

Електронний підручник з навчальної дисципліни

«Електротехніка та електроніка»

Укладач: Баховська М.В.

Любешівський ТКЛНТУ

Любешів 2017

АНОТАЦІЯ

У електронному підручнику наведені: робоча програма, лекції з «Електротехніки та електроніки», лабораторні роботи, перелік завдань для самостійної роботи, тестові завдання закритої форми: тести репродуктивного характеру – з однією правильною відповіддю, тести на відповідність (логічні пари), як один із видів контролю для перевірки рівня сформованості знань і вмінь студентів, розроблені відповідно до методичних рекомендацій Міністерства освіти і науки України щодо використання тестових технологій у навчальному процесі. Подані завдання застосовуються для узагальнення, систематизації, закріплення теоретичних положень, законів, явищ курсу електротехніки, а також умінь застосовувати формули для обчислення параметрів електричного кола, читати схеми, діаграми.

Матеріали електронного підручника можуть бути використані студентами для самостійної підготовки до екзамену, а викладачами – в підготовці та проведенні якісного контролю самостійної діяльності студентів на лекційних та лабораторних заняттях.

Пропонований електронний підручник призначений для викладачів електротехніки та електроніки вищих навчальних закладів I-II рівнів акредитації, професійних ліцеїв, керівників методичних об'єднань (матеріали для олімпіад) та майбутніх фахівців напрямів: «Машинобудування», «Автомобільний транспорт», «Транспортні технології» – техніків-технологів, техніків-механіків, інженерів з безпеки руху.

Він стане в нагоді і для всіх студентів, які вивчають курс загальної електротехніки з основами електроніки незалежно від виду навчального закладу та спеціальності.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЮБЕШІВСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ КОЛЕДЖ ЛУЦЬКОГО НТУ**

Циклова комісія викладачів математичних та природничо-наукових
дисциплін

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

«Електротехніка і електроніка»

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Для всіх напрямків підготовки	Характеристика навчальної дисципліни	
Загальна кількість годин - 135		денна форма навчання	
		Нормативна (за вибором)	
		Рік підготовки:	
		2-й	2-й
		Семестр	
		1-й	2-й
	Лекції		
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4 самостійної роботи студента – 2,5	Освітньо-кваліфікаційний рівень: Молодший спеціаліст	38 год.	10 год.
		Практичні, семінарські	
		10 год.	6 год.
		Лабораторні	
		16 год.	- год.
		Самостійна робота	
		42 год.	13 год.
		Індивідуальні завдання: год.	
Вид контролю: екзамен			

Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить:
для денної форми навчання – 68%

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою вивчення дисципліни є формування знань з основних понять і законів електротехніки, співвідношення електричних і енергетичних величин, які характеризують стан електричних і магнітних кіл, знань принципу дії та конструкції таких електротехнічних приладів, як трансформатори, електровимірювальні прилади, електричні апарати, електричні машини постійного та змінного струмів, принцип дії напівпровідникових приладів.

Завданням вивчення дисципліни є набуття навичок розрахунку кіл постійного та змінного струмів, трифазних кіл, вивчення принципів дії і побудови електричних машин, електричних апаратів та електровимірювальної техніки, ознайомлення з принципом дії та галузями застосування електронних пристроїв.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен:

виробити уміння виконувати розрахунок складних електричних кіл; набути навичок з використання електровимірювальної апаратури; набуття уявлення про комутаційну апаратуру; набуття навичок з визначення параметрів та характеристик електричних машин; ознайомлення і засвоєння принципів дії напівпровідникових приладів і принципу дії перетворювальної техніки на їх базі, вироблення уяви про принципи дії та методи розрахунку основних електронних приладів і пристроїв енергетичної електроніки.

3. Програма навчальної дисципліни

Тема № 1 Кола струму

Лінійні електричні кола постійного струму

Вступ. Значення курсу «Електротехніка» для розв'язання технічних задач. Предмет курсу «Електротехніка», його будова, зв'язок з сумісними дисциплінами, місце в загальній системі електротехнічної освіти спеціаліста. Основні визначення та елементи електричних кіл . Електричне коло та його складові. Схема кола. Додатні напрямки струму та напруги

Класифікація та закони електричних кіл. Класифікація елементів електричних кіл, їх параметри. Джерела напруги і струму, їх взаємні перетворювання. Основні закони електричних кіл.

Загальна характеристика методів розрахунку розгалужених кіл. Задачі аналізу електричних кіл. Основні властивості та перетворення електричних кіл. Алгебраїчні методи розрахунку усталених процесів у колах: застосування рівнянь Кірхгофа. Методи накладення та контурних струмів. Метод вузлових потенціалів. Метод двох вузлів. Метод еквівалентного генератора. Баланс потужностей. Потенціальна діаграма.

Топологічні поняття теорії електричних кіл. Нерозгалужені і розгалужені електричні кола. Умовні додатні напрями електричних величин на схемах електричних кіл.

Аналіз електричного стану нерозгалужених та розгалужених електричних кіл з декількома джерелами електричної енергії шляхом застосування законів Кірхгофа, методу контурних струмів, методу вузлових потенціалів, методу активного двополюсника, методом суперпозиції та методами перетворень.

Електричні кола однофазного синусоїдного струму

Основні поняття та визначення. Основні поняття та визначення синусоїдних електричних величин (ЕРС, напруги, струму), амплітуда, частота, період, фаза, початкова фаза, зсув за фазою. Діюче та середнє значення

Елементи кіл синусоїдного струму та методи розрахунку складних кіл. Резистивний, індуктивний та ємнісний елементи в колі синусоїдного струму. Усталені процеси в колі синусоїдного струму з послідовним з'єднанням резистивного, індуктивного та ємнісного елементів.

Потужність у колі синусоїдного струму. Активна, реактивна та повна потужності. Коефіцієнт потужності та способи його підвищення.

Методи розрахунку складних кіл. Топографічна діаграма. Баланс потужностей.

Зображення синусоїдних електричних величин обертовими векторами. Векторні діаграми. Зображення синусоїдних електричних величин комплексними величинами. Комплексна амплітуда та комплексне діюче значення.

Резонансні явища в колах синусоїдного струму. Резонанс при послідовному та паралельному з'єднанні елементів кола. Коливання енергії при резонансі. Добротність контуру.

Рівняння електричного стану кола з послідовним з'єднанням елементів. Активний, реактивний та повний опір двополюсника. Векторні діаграми на комплексній площині. Фазові співвідношення між струмами і напругами.

Паралельне з'єднання елементів. Рівняння електричного стану, векторні діаграми на комплексній площині. Фазові співвідношення між струмами і напругами.

Частотні властивості кіл змінного струму.

Коливання енергії і потужності в колах синусоїдного струму. Активна, реактивна і повна потужності. Коефіцієнт потужності.

Техніко-економічне значення підвищення коефіцієнта потужності та способи компенсації реактивної потужності.

Електричні кола трифазного струму

Електричні кола трифазного струму. Основні поняття та визначення багатофазних кіл. Елементи трифазних кіл.

Схеми з'єднання фаз зіркою та трикутником. Симетричні та несиметричні режими трифазних кіл з різними схемами з'єднання фаз приймачів. Потужність трифазних кіл.

Фазні і лінійні напруги. Умовно-додатні напрями електричних величин у трифазних колах. Класифікація і способи ввімкнення споживачів у трифазне коло.

Поняття про несиметричні режими у трипровідній і чотирипровідній системі. Призначення нейтрального проводу. Напруга між нейтральними. Приклади несиметричних режимів у трифазних колах.

Потужність трифазного кола. Коефіцієнт потужності симетричних трифазних споживачів і способи його підвищення.

Тема № 2 Електроприлади та машини

Вмикання електровимірювальних приладів і поширення границь вимірювання. Визначення і класифікація засобів і методів електричних вимірювань. Принцип дії аналогових електромеханічних вимірювальних приладів. Принцип дії електронних вимірювальних приладів. Принципи організації вимірювань електричних величин. Похибки приладів та вимірювань.

Класифікація електричних машин і основи принципу їх дії. Електрична машина як узагальнений конструктивний модуль. Магнітні поля в електричних машинах. Створення обертового магнітного поля трифазною обмоткою. Реакція якоря.

Трансформатори. Загальні відомості, призначення і класифікація. Будова і принцип дії. Рівняння трансформатора.

Конструкція і принцип дії машин постійного струму. Генераторний режим роботи машини постійного струму. Двигунний режим роботи машини постійного струму. Потужності і втрати потужності. Класифікація машин за способом збудження. Параметри і характеристики двигуна постійного струму.

Конструкція і принцип дії трифазних асинхронних двигунів і трифазних синхронних машин. Характеристики трифазних асинхронних двигунів. Способи пуску трифазних асинхронних двигунів. Регулювання їх частоти обертання. Електричне гальмування трифазних асинхронних двигунів. Будова трифазної синхронної машини. Генераторний режим роботи трифазної синхронної машини. Двигунний режим роботи трифазної синхронної машини.

Класифікація, будова і принцип дії електричних апаратів. Загальне поняття про електричні апарати і їх призначення. Узагальнена структура електричного апарата. Силловий електромагнітний механізм. Комутуючі контакти. Проблема дугогасіння. Комутаційні апарати. Принцип дії і конструкція реле. Запобіжники.

Тема № 3 Електроніка

Електронні прилади. Інтегральні мікросхеми. Фізичні основи роботи електронно-діркового переходу (р-n-переходу). Напівпровідникові діоди. Будова і принцип дії біполярних і польових транзисторів. Тиристри, їх принцип дії, різновиди. Інтегральні мікросхеми і їх різновиди. Характеристики, області їх застосування. Техніко-економічні переваги мікроелектроніки.

Пристрої перетворювальної техніки: випрямлячі, регулятори напруги, автономні інвертори. Загальні відомості, класифікація, експлуатаційні параметри і характеристики випрямлячів. Робота однофазних і трифазних випрямлячів на активне навантаження. Основні поняття про згладжуючі фільтри, будова схем. Аналіз роботи однофазних тиристорних регуляторів змінного струму. Призначення та класифікація автономних інверторів. Пів-мостовий однофазний інвертор струму.

Напівпровідниковий діод. . Р-n перехід. Вольт-амперна характеристика р-n переходу. Ємності напівпровідникового переходу. Температурні властивості напівпровідникових діодів. Одно- та двохполуперіодні випрямлячі на напівпровідникових діодів. Електричні схеми та принцип роботи випрямлячів. Фільтри. Стабілізатори напруги та струму.

Схеми включення напівпровідникових транзисторів. Транзисторні підсилювачі. Аналіз роботи підсилювачів. Коефіцієнти підсилення, амплітудно-частотні характеристики. Режими роботи і температурна стабілізація. Розрахунок транзисторного каскаду з загальним емітером.

Зворотні зв'язки в підсилювачах, їх вплив на параметри та характеристики підсилювачів.

Підсилювач постійного струму. Дрейф нуля. Диференційний каскад та його використання в операційному підсилювачі.

Схеми, властивості і застосування операційних підсилювачів (ОП). Підсилювач-диференціатор, суматор та інтегратор на базі ОП.

Компаратори та тигери. Логічні елементи. Цифрові схеми. Побудова регістрів, суматорів, лічильників.

Мікропроцесори. Режими адресації. Команди пересилок, арифметичні, логічні, зсуву.

Тема № 4 Електрообладнання

Загальні відомості про електричні апарати. Рубильники, вимикачі, перемикачі, запобіжники, автоматичні вимикачі. Електричний привід, електрична апаратура управління і захисту. Виробництво, розподіл та споживання електричної енергії. Виробництво і споживання електричної енергії як єдиний процес. Електроенергетичні системи. Електричні станції. Порівняльні техніко-економічні характеристики теплових, гідравлічних і атомних електростанцій.

Електричні мережі. Кабельні і повітряні лінії електропередач. Способи втрат потужності при передачі електричної енергії. Електропостачання промислових та електротранспортних підприємств. Трансформаторні підстанції і розподільчі пункти. Тягові підстанції. Типи споживачів електричної енергії. Категорії споживачів, споживання.

Основні відомості про електробезпеку

Дія електричного струму на організм людини. Перша допомога при ураженні людини електричним струмом. Аналіз небезпеки електричних мереж. Технічні способи і засоби захисту від ураження електричним струмом. Захисні заземлення, занурення, вирівнювання потенціалів, розподільвальні трансформатори. Поняття про правила технічної безпеки та правила технічної експлуатації.

Вступ

1-2

Значення курсу для розв'язання технічних задач.

Предмет курсу його будова, зв'язок з сумісними дисциплінами,

Розділ 1. Кола струму

3

Елементи електричного кола і їх характеристики.

4

Електричне коло, його елементи, ВАХ елементів, лінійні і нелінійні

5

Схеми заміщення джерел енергії. Умови еквівалентності схем заміщення.

6

Лабораторна робота № 1

7-8

Вивчення залежності опору реальних провідників від їхніх геометричних параметрів і питомих опорів матеріалів

9

Структура електричного кола і основні закони.

10

Структура (топологія) електричного кола. Закон Ома.

Закони Кірхгофа.

Лабораторна робота № 2

11-12

Дослідження опорів провідників при паралельній і послідовній сполуці

13-14

Лабораторна робота № 3

ЕРС і внутрішній опір джерел постійного струму. Закон Ома

для повного ланцюга

- 15 Методи накладення та контурних струмів. Метод вузлових потенціалів.
- 16 Метод двох вузлів. Метод еквівалентного генератору. Баланс потужностей. Потенціальна діаграма.
- 17 Основні поняття та визначення синусоїдних електричних величин (ЕРС, напруги, струму), амплітуда, частота, період, фаза, початкова фаза, зсув за фазою. Діюче та середнє значення
- 18 Резистивний, індуктивний та ємнісний елементи в колі синусоїдного струму. Усталені процеси в колі синусоїдного струму з послідовним з'єднанням резистивного, індуктивного та ємнісного елементів.

Лабораторна робота № 4

- 19-20 Дослідження складних ланцюгів постійного електричного струму
- Еквівалентні перетворення в електричних колах.
- 21
- 22 Еквівалентні перетворення в електричних колах.
- 23 Перетворення пасивних ділянок електричного кола.
- Схеми з'єднання фаз зіркою та трикутником. Симетричні та несиметричні режими трифазних кіл з різними схемами

24 з'єднання фаз приймачів. Потужність трифазних кіл.

Лабораторна робота № 5

25-26

Потужність у ланцюзі постійного струму

27-28 **Практична робота № 1**

29-30

Контрольна робота

Розділ 2. Електроприлади та машини

31 Вмикання електровимірювальних приладів і поширення границь вимірювання.

32 Визначення і класифікація засобів і методів електричних вимірювань.

33 Принцип дії аналогових електромеханічних вимірювальних приладів. Принцип дії електронних вимірювальних приладів.

34 Принципи організації вимірювань електричних величин. Похибки приладів та вимірювань.

35 Класифікація електричних машин і основи принципу їх дії. Електрична машина як узагальнений конструктивний модуль.

36 Магнітні поля в електричних машинах. Створення обертового магнітного поля трифазною обмоткою. Реакція якоря.

37 Асинхронні машини. Будова та принцип дії трифазного асинхронного двигуна.

38 Синхронні машини. Будова трифазної синхронної машини. Принцип дії генератора і двигуна. Особливості роботи синхронного генератора в електромережі.

Лабораторна робота № 6

39-40

Дослідження електричного кола змінного струму з послідовним з'єднанням індуктивного та активного опорів

41 Машини постійного струму. Будова та принцип дії. Способи збудження. Режими генератора і двигуна.

42 Двигуни постійного струму. Пуск двигуна. Властивість саморегулювання обертового моменту. Механічні та робочі характеристики. Регулювання частоти обертання. Паспортні данні двигунів постійного струму.

Лабораторна робота № 7

43-44

Вимірювання опору ізоляції обмоток електродвигуна

45 Трансформатори. Призначення та області застосування трансформаторів. Будова і принцип дії однофазного трансформатора.

46 Втрати енергії в трансформаторі. Зовнішні характеристики. Паспортні данні трансформаторів. Розрахунок струмів короткого замикання і зміни вторинної напруги за паспортними даними.

47-48

Практична робота № 2

49-50 **Контрольна робота**

Розділ 3. Електроніка

51 Електроніка, її роль і значення у сучасному суспільстві, науці, техніці і виробництві. Класифікація основних пристроїв сучасної електроніки, історія і перспективи їх розвитку.

52 Характеристики, параметри, призначення напівпровідникових діодів, тиристорів, біполярних та польових транзисторів. Інтегральні мікросхеми та мікромініатюризація приладів і пристроїв сучасної електроніки.

53 Напівпровідниковий діод. Р-п перехід. Вольт-амперна характеристика р-п переходу.

54 Одно- та двохполуперіодні випрямлячі на напівпровідникових діодів. Електричні схеми та принцип роботи випрямлячів. Фільтри. Стабілізатори напруги та струму.

Лабораторна робота № 8

55-56

Складання схеми нереверсивного керування трифазним асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором

57

Біполярний і польовий транзистори, тиристор.

58 Схеми включення напівпровідникових транзисторів.
Транзисторні підсилювачі.

59 Аналіз роботи підсилювачів. Коефіцієнти підсилення,
амплітудно-частотні характеристики.

60 Поняття про багатокаскадні підсилювачі напруги.
Підсилювачі потужності. Зворотні зв'язки в
підсилювачах, їх вплив на параметри та характеристики
підсилювачів.

61 Схеми, властивості і застосування операційних
підсилювачів (ОП). Підсилювач-диференціатор,
суматор та інтегратор на базі ОП.

62 Компаратори та тигери. Логічні елементи. Побудова
регістрів, суматорів, лічильників. Мікропроцесори.
Режими адресації. Команди пересилок, арифметичні,
логічні, зсуву.

63-64 ***Практична робота № 3***

65-66 **Контрольна робота**

Розділ 4. Електрообладнання

67 Загальні відомості про електричні апарати. Рубильники,
вимикачі, перемикачі, запобіжники, автоматичні
вимикачі.

68 Електричний привід, електрична апаратура управління і захисту.

69 Виробництво, розподіл та споживання електричної енергії. Виробництво і споживання електричної енергії як єдиний процес.

70 Електроенергетичні системи. Електричні станції. Порівняльні техніко-економічні характеристики теплових, гідравлічних і атомних електростанцій.

71 Електричні мережі. Кабельні і повітряні лінії електропередач. Способи втрат потужності при передачі електричної енергії.

72 Електропостачання промислових та електротранспортних підприємств.

73 Трансформаторні підстанції і розподільчі пункти. Тягові підстанції. Типи споживачів електричної енергії. Категорії споживачів, споживання.

74 Дія електричного струму на організм людини. Перша допомога при ураженні людини електричним струмом.

75 Аналіз небезпеки електричних мереж. Технічні способи і засоби захисту від ураження електричним струмом.

76 Захисні заземлення, занурення, вирівнювання потенціалів, розподільвальні трансформатори. Поняття про правила технічної безпеки та правила технічної

експлуатації.

77-78 **Практична робота № 4**

79-80 **Контрольна робота**

4. Структура навчальної дисципліни

№ теми	Назва змістовного модуля та теми	Кількість годин			
		Лекцій	ЛПЗ	Самостійна робота	всього
	Вступ	2	-	-	2
1.	Кола струму	14	14	20	48
1.1	Лінійні електричні кола постійного струму	8	6	8	22
1.2	Електричні кола однофазного синусоїдного струму	6	8	12	26
1.3	Електричні кола трифазного струму				
2.	Електроприлади та машини	12	8	14	34
2.1	Електровимірювальні прилади	4	-	7	11
2.2	Електричні машини	8	8	7	23
3.	Електроніка	10	6	8	24
3.1	Напівпровідникові прилади	6	2	4	12
3.2	Електронні пристрої	4	4	4	12
4.	Електрообладнання	10	4	13	27
	Разом	48	32	55	135

Теми лабораторних робіт

№ з/п	Тема	Кількість годин	Дата
1	Л.р. № 1. Вивчення залежності опору реальних провідників від їхніх геометричних параметрів і питомих опорів матеріалів	2	
2	Л.р. № 2. Дослідження опорів провідників при паралельній і послідовній сполуці	2	
3	Л.р. № 3. ЕРС і внутрішній опір джерел постійного струму. Закон Ома для повного ланцюга	2	
4	Л.р. № 4. Дослідження складних ланцюгів постійного електричного струму	2	
5	Л.р. № 5. Потужність у ланцюзі постійного струму	2	
6	Л.р. № 6. Дослідження електричного кола змінного струму з послідовним з'єднанням індуктивного та активного опорів	2	
7	Л.р. № 7. Вимірювання опору ізоляції обмоток електродвигуна Вимірювання опору обмоток статора електродвигуна	2	
8	Л.р. № 8. Складання схеми нереверсивного керування трифазним асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором	2	

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Процес високоякісного навчання включає здобуття студентами знань не тільки на аудиторних заняттях, а й під час самостійної та індивідуальної роботи на навчальній базі кафедри інформатики та інформаційних технологій і за її межами. Зокрема, мета навчальної дисципліни “Основи електротехніки та електроніки” — сформулювати електротехнічне мислення та інтуїцію, навчити застосовувати здобуті знання та навички для розв’язування типових і нестандартних практичних завдань, здатність до самостійної діяльності.

Самостійна робота студентів має бути систематичною, послідовною, здійснюватись з використанням методико-технологічних прийомів, принципів тощо. Це дасть змогу студентам досконало опанувати предметом курсу. Передусім студенти мають усвідомити теоретичну та практичну значущість дисципліни “Основи електротехніки та електроніки” для підготовки фахівців високої кваліфікації з напрямку “Комп’ютерні науки”, детально ознайомитись із найважливішими розділами курсу; усвідомити що всі з розглядуваних тем пов’язані між собою.

Індивідуальна робота сприяє поглибленню знань з дисципліни шляхом творчого пошуку та вивчення запропонованих проблем. З цією метою доцільним є вдале поєднання теоретичного та практичного матеріалу.

Під час самостійної та індивідуальної роботи з метою самоконтролю набутих знань студентам потрібно активно використовувати тестові та розрахункові завдання.

Мета теоретичних завдань — визначити рівень засвоєння студентом основних термінів, принципів, законів і методичних положень, на які спираються електротехніка, електроніка. Розрахункові завдання (задачі та лабораторні роботи) покликані визначити вміння студента застосовувати теоретичні знання при конкретних обчисленнях параметрів та величин.

Тема 1. Історія розвитку та фізичні основи електротехніки, лінійні та нелінійні кола постійного струму

Основні питання, які необхідно опрацювати і засвоїти

1. Історія розвитку електротехніки, особливості розвитку електротехніки в Україні.
2. Електричні заряди та електричне поле, взаємозв’язок силових та енергетичних характеристик електричного поля.
3. Потенціали, напруга, електроємність, конденсатори, батареї конденсаторів.
4. Постійний електричний струм, джерела електричного струму.
5. Величини, параметри та елементи електричного кола, схеми заміщення.

6. Передавання потужності від джерела до навантаження, закони Ома та Кірхгофа, змішане з'єднання приймачів.
7. Методи суперпозиції та вузлової напруги.
8. Методи еквівалентних перетворень та контурних струмів.
9. Метод побудови потенційних діаграм.
10. Загальні визначення нелінійних кіл, графічні та аналітичні методи розрахунку.

Студент повинен знати:

- особливості законів електростатики;
 - особливості законів постійного струму;
 - елементи електричних кіл;
 - закони та методи розрахунку лінійних і нелінійних кіл;
 - особливості законів Кірхгофа та Ома.
- типові методи розрахунку електричних кіл (методи суперпозиції, вузлової напруги, еквівалентних перетворень, контурних струмів та метод побудови потенційних діаграм). *Студент повинен уміти:*
- розв'язувати задачі з електростатики
 - розв'язувати задачі на лінійні та нелінійні електричні кола;
 - розв'язувати задачі на закони Кірхгофа;
 - виконувати лабораторні роботи;
 - застосовувати графічний метод розрахунку нелінійних кіл;
 - застосовувати аналітичні методи розрахунку нелінійних кіл;
 - збирати електричні кола.

Питання для поглибленого вивчення

1. Українські вчені-електротехніки, їх внесок у розвиток науково-технічної дисципліни.

Індивідуальне завдання

Тип завдання: бібліографічний огляд навчально-методичної, монографічної та періодичної літератури з проблем теми.

Мета завдання: перевірка знань студентів, набутих у процесі вивчення лінійних та нелінійних кіл постійного струму з акцентом на проблематиці типових задач.

Самостійна робота: проаналізувати за літературними джерелами основні наукові здобутки з теми, розв'язувати конкретні задачі.

Ключові терміни: електричне коло, схеми заміщення, закони Ома, закони Кірхгофа, методи суперпозиції, вузлової напруги, еквівалентних перетворень, контурних струмів та побудови потенційних діаграм. Нелінійні кола, графічний та аналітичний методи розрахунків.

Література [1, розділи 1—3]

Тема 2. Електромагнетизм, однофазний та трифазний змінні струми, магнітні кола

Основні питання, які необхідно опрацювати і засвоїти

1. Синусоїдний струм, основні характеристики.
2. Синусоїдний струм, діюче значення величин.
3. Синусоїдний струм, метод векторних діаграм.
4. Синусоїдний струм, символічний метод.
5. Активний опір, індуктивність та ємність у колі змінного струму.
6. Нерозгалужені та розгалужені кола.
7. Потужність кола синусоїдного струму.
8. Трифазні електричні кола.
9. З'єднання зіркою та трикутником, потужність трифазної системи.
10. Розрахунок симетричних та несиметричних трифазних систем.
11. Електромагнетизм, електромагнітна індукція.
12. Магнітні кола з постійною та зі змінною магніторушійною силою.
13. Взаємна індуктивність.
14. Обчислення однорідних та неоднорідних магнітних кіл.
15. Перехідні процеси у колах постійних та синусоїдних струмів.

Студент повинен знати:

- основні закони електричних кіл синусоїдного струму;
- діючі значення синусоїдних величин;
- метод векторних діаграм;
- символічний метод;
- активний опір у колі синусоїдного струму;
- індуктивність у колі синусоїдного струму;
- ємність у колі синусоїдного струму;
- особливості трифазних систем;
- з'єднання зіркою та трикутником;
- потужність трифазної системи;
- основи електромагнетизму та закони магнітних кіл;
- особливості перехідних процесів в однофазних та трифазних електричних колах.

Студент повинен уміти:

- розв'язувати задачі з визначення параметрів синусоїдного струму;
- застосовувати закони електромагнетизму;
- розв'язувати задачі на кола однофазного струму;
- розв'язувати прості задачі на кола трифазного струму.

Питання для поглибленого вивчення

1. Потужність кола синусоїдного струму, підвищення коефіцієнта потужності, резонанс, чотириполюсники;
2. З'єднання зіркою та трикутником, розрахунок симетричних і несиметричних трифазних систем. **Індивідуальне завдання**

Тип завдання: бібліографічний огляд навчально-методичної, монографічної та періодичної літератури з теми.

Мета завдання: перевірка знань студентів, набутих під час вивчення дисципліни “Електротехніка”, з акцентом на проблематиці постійних і змінних струмів.

Самостійна робота:

1) підготувати файл-дослідження, що стосується проблеми “Трифазний струм”;
2) проаналізувати перехідні процеси у колах постійних і змінних (синусоїдних) струмів, підготувати реферат і файл-дослідження з означених тем.

Ключові терміни: електромагнетизм, кола синусоїдного струму, діюче значення синусоїдних величин, трифазні електричні кола, з’єднання зіркою та трикутником, симетричні та несиметричні трифазні системи, магнітні кола з постійною та зі змінною магніторушійною силою.

Література [1, розділи 5—8]

Тема 3. Трансформатори, електричні машини, елементи автоматики, електровимірвальні прилади та електровимірювання

Основні питання, які необхідно опрацювати і засвоїти

1. Призначення та принцип роботи трансформатора.
2. Види, типи трансформаторів.
3. Режими роботи: холостий (неробочий) хід.
4. Режим навантаження.
5. Режим короткого замикання.
6. Втрати у трансформаторах.
7. Реальний та ідеалізований трансформатори.
8. Трифазні, багатообмоткові, вимірвальні та автотрансформатори.
9. Будова та принцип роботи асинхронних машин.
10. Особливості синхронних електричних машин.
11. Машини постійного струму.
12. Електричні мікромашини.
13. Елементи автоматики, електропривод та електропостачання.
14. Електровимірвальні прилади та електровимірювання
15. Системи електровимірвальних приладів та похибки вимірювання.
16. Особливості вимірювання потужностей та енергії.

Студент повинен знати:

- режими роботи, види та типи трансформаторів;
- робочі характеристики трансформатора;
- конструкцію трансформатора та зображення трансформаторів на електричних схемах;
- види, типи електричних машин;
- обертове магнітне поле, будова та принцип роботи асинхронних машин;
- асинхронний генератор;
- однофазні та двофазні асинхронні двигуни;

- синхронний генератор та синхронні машини;
- машини постійного струму: будова та принцип роботи;
- класифікація та призначення електричних мікромашин;
- електропривод та електропостачання;
- електровимірювання та електровимірювальні прилади.

Студент повинен уміти:

- розрахувати основні робочі характеристики трансформатора;
- пояснити робочі характеристики двигунів та генераторів;
- розв'язувати задачі на обчислення характеристик трансформаторів та електричних машин;
- проаналізувати режими роботи електроприводів;
- застосовувати знання про електровимірювальні прилади на практиці.

Питання для поглибленого вивчення

1. Асинхронні, синхронні та інформаційні електричні мікромашини.

Індивідуальне завдання

Тип завдання: бібліографічний огляд навчально-методичної, монографічної та періодичної літератури з проблем теми.

Мета завдання: вивчення трансформаторів та електричних машин, підготовка файл-досліджень про використання трансформаторів та різних типів електричних машин. *Самостійна робота:* підготовка міні-есе з файл-досліджень з проблем теми 3.

Ключові терміни: трансформатори, режим холостого ходу та короткого замикання, втрати у трансформаторах, трифазні трансформатори, вимірювальні та автотрансформатори, синхронні та асинхронні машини, інформаційні мікромашини, електропривод, електропостачання, електровимірювання, класифікація та похибки електровимірювальних приладів.

Література [1, розділи 9—15]

Тема 4. Основи напівпровідникової техніки

Основні питання, які необхідно опрацювати і засвоїти

1. Провідність та застосування напівпровідників, електричні явища в контактах.
2. Напівпровідникові діоди.
3. Вторинні джерела електроживлення.
4. Тиристори та їх застосування
5. Випрямлячі та згладжуючі фільтри.
6. Стабілізатори.
7. Біполярні та польові транзистори.
8. Підсилювачі електричних сигналів.
9. Підсилювачі постійного струму.
10. Генератори гармонійних сигналів.
11. Імпульсні пристрої та імпульсні підсилювачі.
12. Диференціюючі та інтегруючі ланцюги, лінії затримки.
13. Тригери.

14. Особливості застосування диністорів, триністорів.

15. Спеціальні типи тиристорів: симістор, фототиристор, оптронний тиристор, двоопераційний тиристор.

Студент повинен знати:

- властивості напівпровідників;
- характеристики напівпровідникових діодів та їх застосування;
- види, типи транзисторів та їх застосування;

Студент повинен уміти:

- виконувати лабораторні роботи з використанням діодів, транзисторів та тиристорів;
- розв'язувати задачі з теми.
- обчислювати параметри систем.

Питання для поглибленого вивчення

1. Характеристики та параметри транзисторів.

Індивідуальне завдання

Тип завдання: бібліографічний огляд навчально-методичної, монографічної та періодичної літератури з теми.

Мета завдання: вивчення основ напівпровідникової техніки, підготовка файл-досліджень про використання діодів, тиристорів та транзисторів.

Самостійна робота: підготовка міні-есе та файл-досліджень з проблем теми 4.

Ключові терміни: напівпровідники, види та типи провідності, діоди, тиристири, біполярні транзистори, польові транзистори, вторинні джерела електроживлення.

Література [1, розділ 16]

Тема 5. Історія розвитку електроніки, електронні лампи, газорозрядні та фотоелектричні прилади

Основні питання, які необхідно опрацювати і засвоїти

1. Види та типи електронних ламп, принципи їх роботи.
2. Газорозрядні прилади, їх застосування.
3. Фотоелектричні прилади, їх застосування.
4. Історія розвитку електроніки: XX ст.

Студент повинен знати:

- принципи роботи електронних ламп;
- особливості та властивості газорозрядних приладів;
- класифікацію та властивості фотоелектричних приладів.

Студент повинен уміти:

- пояснити особливості розвитку електроніки у XX ст.;
- застосовувати газорозрядні та фотоелектричні прилади.

Питання для поглибленого вивчення: застосування газорозрядних та фотоелектричних приладів.

Індивідуальне завдання

Тип завдання: бібліографічний огляд навчально-методичної, монографічної та періодичної літератури з теми.

Мета завдання: визначення особливостей застосування газорозрядних та фотоелектричних приладів.

Самостійна робота: підготовка файл-досліджень з проблем теми № 5.

Ключові терміни: електронні лампи, газорозрядні прилади, фотоелектричні прилади.

Література [7, розділи 14—17]

Тема 6. Електронні випрямлячі, підсилювачі, стабілізатори, генератори та вимірювальні прилади

Основні питання, які необхідно опрацювати і засвоїти

1. Випрямлячі та згладжуючі фільтри.
2. Стабілізатори та підсилювачі електричних сигналів.
3. Генератори гармонійних сигналів, тригери.

Студент повинен знати:

- особливості застосування випрямлячів, згладжуючих фільтрів та стабілізаторів;
- особливості підсилювачів та генераторів;
- властивості та застосування тригерів.

Студент повинен уміти:

- застосовувати знання на практиці;
- поглиблювати свої знання з теми.

Питання для поглибленого вивчення: генератори та імпульсні підсилювачі.

Індивідуальне завдання:

Тип завдання: аналітичне дослідження, бібліографічний огляд навчально-методичної, монографічної та періодичної літератури з теми
Мета завдання: Вивчити особливості застосування приладів та систем за темою № 6.

Самостійна робота: підготовка файл-досліджень з теми № 6.

Ключові терміни: випрямлячі, згладжуючі фільтри, стабілізатори, підсилювачі, генератори, тригери.

Література [1, розділ 16; 2, розділи 1—5]

Тема 7. Інтегральні мікросхеми, логічні елементи, мікропроцесори, перспективи розвитку мікроелектроніки

Основні питання, які необхідно опрацювати і засвоїти:

1. Загальні відомості про ІМС (інтегральні мікросхеми).
2. Гібридні та напівпровідникові ІМС.
3. Призначення і параметри ІМС.
4. Логічні елементи та їх застосування.

Студент повинен знати:

- параметри ІМС;
- алгебру логіки та реалізацію простих логічних функцій;
- цифрові мікроелектронні пристрої;

Студент повинен уміти:

- поглиблювати знання з теми № 7;

Питання для поглибленого вивчення: дешифратори, мультиплексори, лічильники імпульсів, регістри.

Індивідуальне завдання:

Тип завдання: аналітичне дослідження теми та розробка пропозицій щодо файл-досліджень з теми № 7.

Мета завдання: ліквідація прогалин у знаннях.

Самостійна робота: оформити самостійні файл-дослідження з окремих проблем теми; розробити рекомендації щодо методів практичної схемотехніки.

Ключові терміни: ІМС — інтегральні мікросхеми, логічні елементи, цифрові мікроелектронні пристрої, мікропроцесори, перспективи мікроелектроніки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Основна

1. *Паначевний Б. І., Свергун Ю. Ф.* Загальна електротехніка: теорія і практикум. — К.: Каравела, 2004.
2. *Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г.* Електроніка і мікросхемотехніка. — К.: Каравела, 2006.
3. *Морозов А. Г.* Электротехника, электроника и импульсная техника. — М.: Высш. шк., 1987.
4. *Гершунский Б. С.* Основы электроники и микроэлектроники. — К.: Вища шк., 1989.

Додаткова

5. *Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г.* Промислова електроніка та мікросхемотехніка. — К.: Каравела, 2004.
6. *Борисов О. В., Гусєв В. О., Якименко Ю. І.* Твердотільна електроніка. — К.: Політехніка, 2004.
7. *Данилов И. А., Иванов П. М.* Общая электротехника с основами электроники. — М.: Высш. шк., 1989.

Критерії оцінювання рівня знань студентів

Рівні навчальних досягнень студентів	Бали	Критерії оцінювання навчальних досягнень студентів
I. Початковий	1	Студент володіє навчальним матеріалом на рівні розпізнавання електричних величин, за допомогою викладача відповідає на запитання, що потребують відповіді “так” чи “ні”.
	2	Студент описує електричні явища на основі свого попереднього досвіду, за допомогою викладача відповідає на запитання, що потребують однослівної відповіді.
	3	Студент за допомогою викладача описує явище або його частини у зв'язаному вигляді без пояснень відповідних причин, розрізняє позначення окремих електротехнічних величин.
II. Середній	4	Студент за допомогою викладача описує явища, без пояснень наводить приклади, що ґрунтуються на його власних спостереженнях чи матеріалі підручника, розповідях викладача тощо.
	5	Студент описує явища, відтворює значну частину навчального матеріалу, знає одиниці вимірювання окремих величин, записує основні формули, рівняння і закони.
	6	Студент може зі сторонньою допомогою пояснювати явища, виправляти допущені неточності (власні, інших студентів), виявляє елементарні знання основних положень (законів, понять, формул).
	7	Студент може пояснювати явища, виправляти допущені неточності, виявляє знання і розуміння основних положень (законів, понять, формул, теорій).
III. Достатній	8	Студент уміє пояснювати явища, аналізувати, узагальнювати знання, систематизувати їх, зі сторонньою допомогою (викладача, одногрупників тощо) робити висновки.
	9	Студент вільно володіє вивченим матеріалом у стандартних ситуаціях, наводить приклади його практичного застосування та аргументи на підтвердження власних думок.
IV. Високий	10	Студент вільно володіє вивченим матеріалом, уміло послуговується науковою термінологією, вміє опрацьовувати наукову інформацію (знаходити нові факти, явища, ідеї, самостійно використовувати їх відповідно до поставленої мети тощо).

Рівні навчальних досягнень студентів	Бали	Критерії оцінювання навчальних досягнень студентів
	11	Студент на високому рівні опанував програмовий матеріал, самостійно, у межах чинної програми оцінює різноманітні явища, факти, теорії, використовує здобуті знання і вміння у нестандартних ситуаціях, поглиблює набуті знання.
	12	Студент вільно володіє програмовим матеріалом, виявляє здібності, вміє самостійно поставити мету дослідження, вказує шляхи її реалізації, робить аналіз та висновки.

Міністерство освіти і науки України
Любешівський технічний коледж ЛНТУ

ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

для студентів всіх напрямів підготовки

Електротехніка та електроніка: Конспект лекцій з дисципліни
«Електротехніка та електроніка» / Уклад.: М.В.Баховська - Любешів., 2017.- 150 с.

ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни «Електротехніки та електроніки»

під редакцією чл.-кор. НАН України А.А.Щерби

Укладач: Баховська Марія Василівна

Відповідальний
редактор:

Рецензенти:

Лекція № 1

Тема: **Основні задачі і напрямки електротехніки. Основні історичні моменти. Три напрямки розвитку галузі.**

П л а н .

1. Електромагнітні явища – основа різних напрямків науки і техніки.
2. Области використання електроенергії.
3. Три основні напрямки електротехнічної галузі.
4. Коротко про розвиток електротехніки.
5. Основні моменти розвитку електроніки.
6. Мікроелектроніка – один з напрямків розвитку електроніки.
7. Електромагнітна теорія – об'єктивна і відносна.
8. Загальний план курсу "Основи електротехніки і електроніки".

Рекомендована література:

1. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники: Учебное пособие для неэлектротехнических специальностей техникумов. — Москва: Высшая школа, 1989. -752с.
2. Евдокимов Ф. Е. Общая электротехника: Учебник для учащихся неэлектро-технических специальностей техникумов. — Москва: Высшая школа, 1987. - 352 с.
3. Общая электротехника с основами электроники. Учебник для техникумов. В.А. Гаврилюк, Б.С. Гершунский, А.В. Ковальчук, Ю.А. Куницкий, А.Г. Шаповаленко — Киев: Вища школа, 1980. - 480 с.
4. Китаев В.Е. Электротехника с основами промышленной электроники: Учебник для проф.-техн. Училищ.-М.:Высш. Шк.,1985.-224 с.

Магнітні та електричні явища лежать в основі різних напрямів науки та техніки. Вони є основою і електротехніки. А також електроніки та радіоелектроніки.

В електроніці та радіоелектроніці вирішується широке коло задач, пов'язаних з використанням електромагнітних явищ для передачі та обробки інформації (це зв'язок, вимірювання, керування, автоматизація технологічних процесів). І неможливо правильно сконструювати, модернізувати або просто відремонтувати будь-який прилад, що використовує електричну енергію, без умінь якісно і кількісно аналізувати його роботу в різних режимах і

проводити необхідні обчислення, без навичок використання електричних і магнітних величин.

Функціонування сучасного суспільства без електричної енергії фактично стало неможливим. Це впливає хоча б з переліку основних напрямків її використання: побут, реклама, інформаційні технології, зв'язок, електричні технології (виплавка сталей, електрозварювання, електроліз і т. п.), електротранспорт, силовий електропривод, що перетворює електричну енергію в механічну. Немає жодної галузі господарювання, жодної науково-дослідної роботи технічного спрямування, де б в той чи інший спосіб не була використана електротехніка. Тому знайомство з електротехнікою як наукою про практичне застосування електричних та магнітних явищ природи та законів, що їх описують, стає нагальною потребою для будь-якого технічного спеціаліста.

На сучасному етапі можна виділити **три основні напрямки** електротехнічної галузі: *електротехніка, електроніка, мікропроцесорна техніка*.

Розвиток **електротехніки** практично почався після створення італійцем Алессандро Вольта у 1800 році хімічного джерела електричної енергії — електричної батареї. Наявність такого джерела відносно малої потужності дала можливість провести цілу низку наукових досліджень і відкрити фундаментальні правила та закони, що склали теоретичний фундамент електротехніки. Помітним практичним наслідком цих досліджень стало широке застосування у першій половині XIX сторіччя дротяного електричного телеграфу, найбільш вдалий варіант якого розробив американець Семюель Морзе.

Створення наприкінці XIX сторіччя електричних машин постійного та змінного струму дозволило перетворювати механічну енергію в електричну, передавати її на велику відстань та знову перетворювати електричну енергію в механічну та інші види енергії в потрібному місті і в потрібній кількості. Широкого розповсюдження набули електричне освітлення та електропривод різноманітних виробничих машин з релейно-контакторним керуванням.

Згодом електричну енергію почали використовувати для виготовлення високоякісної сталі в електросталеплавильних печах, для електрозварювання металевих конструкцій. Для забезпечення всіх цих споживачів електричною енергією були створені потужні електричні станції та мереж. Елементною базою таких електротехнічних пристроїв є електромагнітні та електромеханічні перетворювачі, складовими яких є обмотки з міді або алюмінію та магнітопроводи з феромагнітних матеріалів, призначені для створення магнітних полів потрібної конфігурації та інтенсивності. В таких класичних електротехнічних пристроях використовуються явища електромагнітної індукції, взаємодії провідника із струмом з магнітним полем, взаємодії провідників із струмом між собою, електромагніти.

Одночасно розвиток електротехніки дав поштовх для виникнення спорідненої галузі — **електроніки**, яка займається вивченням та застосуванням фізичних явищ в електровакуумних та напівпровідникових приладах, характеристик та параметрів цих приладів, властивостей пристроїв та систем, заснованих на використанні цих приладів.

Можна вважати, що електроніку започаткували досліди Генріха Герца у 1888 р., які встановили наявність електромагнітного зв'язку між двома віддаленими один від одного коливними контурами. На питання "Яке значення будуть мати ваші досліди для практики?" Г. Герц якось відповів: "Ніякого". Але сталося зовсім інакше. Вже у травні 1895 р. російський винахідник О. С. Попов на засіданні російського фізико-хімічного товариства у С.-Петербурзі продемонстрував пристрій для реєстрації природних електромагнітних хвиль, створених блискавками. У березні 1896 р. він же передав на відстань біля 250 м першу бездротову телеграму з двох слів: "Генріх Герц".

У червні 1896 р. італійський інженер і підприємець Г. Марконі отримав перший патент з бездротової телеграфії і заснував компанію, яка багато зробила для широкого впровадження радіотелеграфії і передачі інформації на великі відстані. Почалися роботи по створенню потужних генераторів радіохвилі У 1904 р. в США було створено перший електровакуумний діод, а у 1907 р. — триод, принцип роботи яких був заснований на явищі електронної емісії, відкритого Т. Едісоном.

В наступні роки швидко розвішається радіотелеграф, радіозв'язок, виникає радіомовлення. Під час другої світової війни було створено радіолокатори, які відіграли величезну роль у боротьбі, наприклад, з германськими підводними човнами, які полювали на транспорт союзників. Радіолокатори використовували також: і для виявлення та винищення ворожих літаків. Електроніка забезпечила появу точних і чутливих вимірювальних приладів, електроніка надала можливість створити точну зброю.

Електроніка дозволила проводити обчислення, які раніше були недосяжні для вчених і змушували їх вести дослідження на спрощених моделях об'єктів: у 1946 р. у США було створено першу електронно-цифрову обчислювальну машину (ЕЦОМ), яка містила біля 18 000 ламп.

Таким чином електроніка перестала бути лише радіоелектронікою і знайшла широке застосування у техніці та промисловості. Галузь технічної електроніки, яка займається застосуванням електровакуумних і напівпровідникових приладів та створених на їх основі систем в промисловості, називають **промисловою електронікою**.

Основні напрямки промислової електроніки: інформаційна електроніка, до якої можна віднести обчислювальну та інформаційно-вимірювальну техніку; енергетична електроніка (потужні електровакуумні та напівпровідникові перетворювачі електричної енергії); електронна технологія (застосування електронних та іонних пучків, високочастотний нагрів і плавка, ультразвукове різання та зварювання).

З виникненням ЕЦОМ складність електронних пристроїв стала швидко зростати, а традиційна елементна база — електровакуумні лампи — не могли вже забезпечити їх надійність. Тимчасовий вихід з положення дало застосування напівпровідникових приладів — транзисторів, які за своїми функціональними можливостями могли замінити електровакуумні лампи. Поруч з транзисторами було розроблено багато інших напівпровідникових приладів (діодів, тиристорів). Застосування напівпровідникових приладів у електроніці, обчислювальній техніці, автоматичній, енергетичній набуло масового характеру, оскільки вони мали ряд суттєвих

переваг перед електровакуумними приладами: високий коефіцієнт корисної дії, довговічність, надійність, порівняно малі габарити та масу.

Подальший прогрес було забезпечено завдяки бурхливому розвитку у 1970—1980 роках мікроелектроніки на ґрунті об'єднання досягнень електроніки та інтегральної технології. Електронні пристрої, виготовлені з використанням інтегральних мікросхем, започаткували розвиток нової галузі електроніки — **мікроелектроніки**. На базі досягнень мікроелектроніки створені потужні швидкодіючі малогабаритні ЕЦОМ та мікропроцесорні системи. Сучасна обчислювальна техніка широко використовується не тільки для зберігання та обробки інформації, але й для керування технічними об'єктами за заданою програмою. Застосування мікропроцесорів дозволяє в багатьох випадках зменшити габарити виробів та споживання ними електричної енергії, поліпшити їх функціональні можливості. Основною перевагою мікропроцесорних систем є можливість зміни їх функцій шляхом лише зміни керуючої програми, що пояснює їх широке використання для автоматизації сучасного виробництва.

При вивченні теорії електромагнітних процесів треба брати до уваги:

по-перше, що ця теорія є об'єктивною, тобто її використання дозволяє (при певних умовах) правильно розуміти роботу електромагнітних пристроїв і експлуатувати їх;

по-друге, що окремі закони електромагнетизму відносні і діють лише в певній області, при певних умовах і обмеженнях, і це треба враховувати при їх використанні.

У загальному випадку електромагнітні явища описуються методами теорії електромагнітного поля. Вони універсальні, хоча і досить складні. Ми будемо розглядати менш універсальний, спрощений варіант дослідження процесів електромагнітних пристроїв.

Курс "*Основи електротехніки і електроніки*" являє собою вивчення основних закономірностей і параметрів електричних кіл, устрій та принцип дії деяких основних електротехнічних та електронних пристроїв і базових схем, спираючись на курси фізики та математики.

Цей курс є основою для вивчення в подальшому таких предметів як "Основи комп'ютерної схемотехніки" та "Архітектура ЕОМ".

Лекція № 2

Тема: Електричні кола постійного струму. Основні поняття. Поняття електричного кола. Елементи кола, його характеристики і параметри.

План.

Основні визначення електричного кола (визначення електричного кола та його елементів)

1. Величини електричного кола (поняття і обчислення струму, напруги, ЕРС)
2. Енергетичний баланс в колі
 - потужність приймача,
 - потужність джерела,
 - баланс енергій і потужностей
3. Умовно – додатні напрями
4. Параметри електричного кола (поняття і обчислення електричного опору і провідності, ємності, індуктивності)
5. Елементи електричного кола (елементи реальні та ідеальні, активні і пасивні, поняття двополюсника, режими роботи двополюсника; поняття схеми заміщення)
6. Режими роботи джерела живлення (режими номінальний, неробочий та короткого замикання; коефіцієнт корисної дії джерела; поняття джерела ЕРС та джерела струму)
7. Теплова дія струму (формули визначення кількості виділеного тепла, формула залежності опору від температури)

Література

1. Данилов И.А., Иванов П.М. *Общая электротехника с основами электроники*. 1989.
2. *Общая электротехника с основами электроники. Учебник для техникумов*. В.А. Гаврилюк, Б.С. Гершунский, и др.
3. Евдокимов Ф. Е. *Общая электротехника: Учебник для учащихся неэлектротехнических специальностей техникумов*.

Основні визначення електричного кола

Електричне коло — це сукупність пристроїв, що генерують, передають, перетворюють та споживають електричну енергію.

Пристрої, призначені для генерування електричної енергії, називаються **джерелами електричної енергії**, або **джерелами живлення**, або джерелами електрорушійної сили (ЕРС), або джерелами струму.

Пристрої, що споживають електричну енергію, називаються **приймачами електричної енергії** або **навантаженням**. Приймачами електричної енергії можуть бути:

- привідні електродвигуни різних типів;
- лампи розжарювання, нагрівальні та освітлювальні прилади;
- електрохімічні та радіотехнічні прилади тощо.

Перетворювачі електричної енергії можуть розглядатися для різних сторін електричного кола як джерела або як споживачі енергії (наприклад, трансформатори).

Кожний пристрій електричного кола має назву **елемента електричного кола**.

1. Величини електричного кола

До величин електричного кола належать:

- електричний струм;
- електрична напруга;
- електрорушійна сила.

Електричний струм — це, спрямований рух носіїв електричних зарядів у провідному середовищі під дією електричного поля.

Якщо швидкість руху електричних зарядів не змінюється з часом, то струм називається *постійним*.

Величину електричного струму (силу струму) — кількість електричного заряду, перенесеного через поперечний перетин провідника за одиницю часу — позначають літерою I : $I = Q / t$,

вимірюють в амперах (А). Прилад для вимірювання — амперметр.

Струм, який змінюється з часом за величиною і напрямом, називається *змінним*. Тобто, змінний струм є функцією часу. I сила струму визначається як швидкість зміни кількості заряду, що переноситься:

$$i = \frac{dQ}{dt}$$

Якщо миттєве значення струму повторюється через рівні проміжки часу, то він називається *періодичним змінним*. Струм, який змінюється за синусоїдним законом, називається *змінним синусоїдним*.

Струм з'являється в електричному колі тоді, коли на його затискачах створено різницю потенціалів (існує електричне поле вздовж ділянки кола). Різниця потенціалів між двома точками електричного кола називається **напругою** або **спадом напруги**.

Напругу позначають літерою U , вимірюють у вольтах (V). Прилад для вимірювання — вольтметр.

Потенціал заданої точки кола позначають літерою ϕ з відповідним індексом, наприклад, для точок 1 і 2 потенціали ϕ_1 і ϕ_2 , а різниця потенціалів $U_{12} = \phi_1 - \phi_2$

Такий запис означає, що $\phi_1 > \phi_2$ і напруга U_{12} - позитивна.

Електрична напруга чисельно дорівнює роботі A , яка виконується джерелом електричної енергії при переміщенні заряду в один кулон з однієї точки кола в іншу: $U_{12} = \frac{A_{12}}{Q}$

Тобто, можна сказати, що **напруга** — це енергія, яку кожний електричний заряд при проходженні даної ділянки кола.

Електрорушійна сила (ЕРС) — це енергія, яку одержує кожний електричний заряд у джерелі електричної енергії. ЕРС створюється енергією сторонніх (неелектричних) сил всередині джерела при перетворенні неелектричних видів енергії в електричну. Позначається літерою E .

Розмірність ЕРС: $[E]=V$ (вольт)

2. Енергетичний баланс в колі

Потужність - це кількість електричної енергії W , утвореної (виробленої) - для виконання роботи A - або спожитої (при виконанні роботи) за одиницю часу. Позначається літерою P : $P = \frac{W}{t} = \frac{A}{t}$.

Одиниці вимірювання потужності: $[P]=Вт$ (ватт)

Для переміщення заряду по замкненому електричному колу джерело енергії має виконувати роботу, що чисельно дорівнює електрорушійній силі ($E P C$):

$$E = A/Q, \quad A = E Q.$$

Отже, потужність, яку розвиває джерело, $P_{дж} = E \frac{Q}{t} = E \cdot I$

Енергія джерела (вироблена) $W_{дж} = P_{дж} \cdot t = E \cdot I \cdot t$

Для підтримання струму в електричному колі джерело електричної енергії повинно утворювати різницю потенціалів на вхідних затискачах кола.

А робота по перенесенню зарядів через споживач — $A = UQ$

Отже, потужність споживання $P_{cn} = E \frac{Q}{t} = E \cdot I$, де U - спад напруги на ділянці кола (на споживачі), I — струм на тій ділянці (через споживач).

Енергія споживача (витрачена, спожита) $W_{cn} = P_{cn} \cdot t = E \cdot I \cdot t$

За загальним законом збереження енергії :

уся вироблена джерелом енергія має бути витрачена, а виробляє джерело стільки енергії, скільки її споживається.

Це твердження записується у вигляді **балансу енергій** або **балансу потужностей** в електричному колі:

$$W_{дж} = \sum W_{cn} + W_{втр},$$

де $\sum W_{cn}$ — сума енергій усіх споживачів зовнішнього кола,

$W_{втр}$ — енергія внутрішніх втрат джерела;

$$\text{або } P_{дж} = \sum P_{cn} + P_{втр},$$

де $\sum P_{cn}$ — сума енергій усіх споживачів зовнішнього кола,

$P_{втр}$ - потужність внутрішніх втрат джерела.

3. Умовно-додатні напрями:

—**умовно-додатний напрям струму** (далі — додатний напрям струму, або напрям струму)— це напрям руху позитивних зарядів;

—**умовно-додатний напрям напруги** (далі— додатний напрям напруги, або напрям напруги)— це напрям зменшення потенціалу, тобто – від більшого потенціалу до меншого;

—**умовно-додатний напрям ЕРС** (далі — додатний напрям ЕРС, або напрям ЕРС)— це напрям дії сторонніх сил у джерелі живлення, тобто – від низького потенціалу до високого.

Умовно-додатні напрями струму та ЕРС джерела збігаються. Умовно-додатні напрями струму та напруги на елементах споживача збігаються. Умовно-додатні напрями струмів, напруг та ЕРС на схемах позначаються стрілками.

4. Параметри електричного кола

До **параметрів** електричного кола належать:

- електричний опір (провідність);
- ємність;
- індуктивність;

— взаємна індуктивність.

Електричний опір (R) характеризує спроможність елемента перетворювати електричну енергію на тепло (через зштовхування носіїв заряду з атомами та молекулами провідника).

Величина електричного опору визначається розмірами (довжиною l , площею

поперечного перерізу S) та питомим опором проводу (ρ): $R = \rho \frac{l}{S}$,

вимірюється в омах (Ом).

Інколи замість поняття опору вживається поняття **провідності** $G=1/R$, яка вимірюється в сименсах (См)

Електрична ємність (C) характеризує спроможність елемента (системи електродів) накопичувати електричні заряди (тобто створювати електричне поле). Ємність є коефіцієнтом пропорційності між величиною заряду, накопиченого на електродах, і напругою між цими електродами: $Q = C U$

Одиниця вимірювання - фарада (в реальності - мікрофарада, нанофарада)

Якщо електроди - плоскопаралельні пластини, то ємність визначається розмірами електродів (площею поверхні S одного з них), відстанню між ними (d) та електричними властивостями діелектрика

(ϵ): $C = \epsilon \epsilon_0 \frac{S}{d}$

Індуктивність (L) характеризує спроможність елемента збуджувати магнітне поле (перетворювати електричну енергію на магнітне поле) і є коефіцієнтом пропорційності між величиною магнітного потоку і силою струму, що створює цей потік: $\Phi \cdot w = \Psi = LI$

Одиниця індуктивності - генрі (Гн); на практиці - мілігенрі, мікрогенрі.

Індуктивність також залежить від конструкції пристрою - розмірів (S, l) і кількості витків (w), а також від магнітних властивостей середовища (μ):

$$L = \mu \mu_0 \frac{S w^2}{l} \text{ (наближена формула для циліндричної котушки)}$$

1.3.5. **Взаємна індуктивність (M)** характеризується впливом двох індуктивних параметрів (L_1, L_2) один на одного:

$$M = k \sqrt{L_1 L_2}$$

5. Елементи електричного кола

У загальному випадку кожний реальний елемент має R, L та C .

Інколи є можливість обмежитися лише одним параметром. Такі елементи, що мають тільки один параметр, називаються **ідеальними**.

Наприклад, ідеальне джерело живлення має тільки E , ідеальний опір — тільки R тощо.

Елементи електричного кола бувають активними та пасивними. Якщо роботу елемента описують за допомогою поняття параметрів (R , L , C та M), цей елемент — **пасивний**. Якщо для опису роботи елемента потрібно вживати поняття величини електричного кола (I , U , E), то цей елемент — **активний**.

До активних елементів належать усі джерела живлення та деякі приймачі (акумулятори, двигуни тощо).

Джерела живлення утворюють внутрішню ділянку, а приймачі — зовнішню ділянку кола. Ці ділянки відокремлюються *полюсами*.

Ділянка кола, відокремлена двома полюсами, має назву **двополюсника**. Якщо двополюсник містить хоча б один активний елемент, цей двополюсник *активний*. *Пасивний* двополюсник містить тільки пасивні елементи.

Як і двополюсники, ділянки кола також бувають активні та пасивні. Якщо напрямки струму та напруги ділянки кола протилежні, ця ділянка працює у режимі джерела живлення. Якщо напрямки струму та напруги збігаються, ця ділянка працює у режимі приймача електричної енергії.

Схеми заміщення

Для вивчення процесів в електричних колах складають математичну модель, що містить окремі ідеальні елементи (параметри). Графічне зображення реального кола за допомогою ідеальних елементів, параметрами яких є параметри реальних заміщених елементів, має назву **схеми заміщення**.

Іноколи один і той же елемент у схемі заміщення може бути представлений різними параметрами. Таким чином, котушка індуктивності у колі постійного струму характеризується резистивним параметром (якщо величиною її електричного опору не можна знехтувати), у колі змінного струму — параметрами R та L , а у колі височастотного струму електричні властивості котушки описуватимуться трьома параметрами - R , L та C .

6. Режими роботи джерела живлення

Розрізняють характерні режими роботи джерела живлення:

- номінальний;
- неробочий (або режим холостого ходу);
- короткого замикання;
- узгоджений.

Режим роботи визначається співвідношенням між опором навантаження (R_H) та внутрішнім опором джерела живлення ($R_{\text{внтр}}$).

Важливим показником раціональної роботи джерела електричної енергії є **коефіцієнт корисної дії** (ККД), який визначається відношенням потужності у навантаженні ($P_H = R_H I^2$) до повної потужності, що виробляється джерелом електричної енергії ($P_{\text{дж}} = E I$):

$$\eta = \frac{P_n}{P_{джс}} = \frac{P_{джс} - \Delta P}{P_{джс}},$$

де $\Delta P = R_{вн} I^2$ — втрати потужності джерелом енергії (через внутрішній опір джерела).

Номинальний режим, гарантує оптимальні параметри джерела живлення, його надійність та довговічність. Номинальний режим забезпечується, коли $R_n > R_{внтр}$. У цьому режимі значна частина потужності передається у навантаження при досить великому ККД ($>0,5$).

Неробочий режим (цей режим також називають **холостим ходом**) — це режим, за якого зовнішнє коло розімкнене. Напруга на клеммах джерела є максимальною і дорівнює його ЕРС, струм у колі відсутній ($U=E, I=0$).

Режим короткого замикання здійснюється тоді, коли опір навантаження дорівнює нулеві ($R_n = 0$). Напруга на приймачі енергії відсутня ($U=0$), струм короткого замикання дуже великий.

Узгоджений режим — це такий режим, за якого у навантаження передається максимальна потужність (вона дорівнює чверті максимальної потужності). При цьому ККД нижчий за ККД у номінальному режимі. У такому режимі $R_n = R_{внтр}$.

ККД джерела (η) залежить від співвідношення опорів зовнішнього та внутрішнього кіл. У межових режимах:

- а) неробочому ($R_n = \infty$) $\eta \rightarrow 1$;
- б) короткого замикання ($R_n = 0$) $\eta = 0$;
- в) узгодженому ($R_n = R_{внтр}$) $\eta = 0,5$.

За співвідношенням $R_n / R_{внтр}$ джерела електроенергії визначаються як джерела ЕРС або джерела струму. Якщо джерело живлення має дуже малий внутрішній опір ($R \rightarrow 0$), таке джерело підтримує порівняно сталу напругу на навантаженні і називається **джерелом ЕРС**.

Є джерела живлення, що мають дуже великий внутрішній опір. Струм у колі з таким джерелом майже не залежить від опору навантаження і підтримується порівняно сталим. Таке джерело називається **джерелам струму**.

7. Теплова дія струму.

При проходженні електричного струму по провіднику (через R), електрична енергія перетворюється на теплову. Кількість теплоти, що виділяється математично визначається формулою:

$$Q = I^2 R t \quad (\text{за законом Джоуля-Ленца})$$

і вимірюється в джоулях. Щоб визначити кількість виділеної теплоти в калоріях, треба врахувати співвідношення цих одиниць: 1 Дж = 0,24 кал,

тобто в калоріях теплота обчислюється за формулою $Q = 0,24 \cdot I^2 \cdot R \cdot t$

Електричний опір провідника залежить від його **температури**:

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(\Theta_2 - \Theta_1)],$$

де R_1 - опір при температурі Θ_1 ,

R_2 - опір при температурі Θ_2 ,

α - температурний коефіцієнт опору даного матеріалу (довідкові дані).

Лекція № 3

Тема: Основні закони електричних кіл. Визначення вузла, вітки, контуру в колі. Закон Ома (для ділянки кола, для повного кола). Два закони Кірхгофа.

План.

1. Графічні елементи схеми (поняття вузла, вітки, контура)
2. Закон Ома (для ділянки, для повного кола)
3. Закони Кірхгофа (формулювання, приклад)
4. Послідовне з'єднання опорів в колі (поняття, напруги та еквівалентний опір)
5. Паралельне з'єднання опорів в колі (поняття, струми та еквівалентний опір)
6. Послідовне та паралельне з'єднання джерел енергії

Рекомендована література:

Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники: Учебное пособие для неэлектротехнических специальностей техникумов. — Москва: Высшая школа, 1989. -752с.

Евдокимов Ф. Е. Общая электротехника: Учебник для учащихся неэлектро-технических специальностей техникумов. — Москва: Высшая школа, 1987. - 352 с.

Общая электротехника с основами электроники. Учебник для техникумов. В.А. Гаврилюк, Б.С. Гершунский, А.В. Ковальчук, Ю.А. Куницкий, А.Г. Шаповаленко — Киев: Вища школа, 1980. - 480 с. Китаев В.Е. Электротехника с основами промышленной электроники: Учебник для проф.-техн. училищ.-М.:Вышш. Шк.,1985.-224 с.

Основними фізичними законами, які дозволяють описати будь-які режими електричного кола, є закон Ома і два закони Кірхгофа. Для їх формулювання треба визначитись з деякими термінами.

Віткою електричного кола називається його ділянка, яка складається з одного або кількох елементів, з'єднаних так, що по них проходить один і той самий струм (послідовне з'єднання). Вітка має два полюси (початок і кінець).

Вузлом, або *точкою розгалуження*, називається точка електричного кола, де з'єднано три або більше проводів чи віток.

Контур електричного кола являє собою замкнутий шлях, що складається з кількох віток так, що жодна вітка та жоден вузол не зустрічаються в контурі більше одного разу.

Схему електричного кола з її джерелами живлення (два), вузлами (чотири), вітками (шість), контурами (три) та іншими елементами показано на рис. 1.2.1.

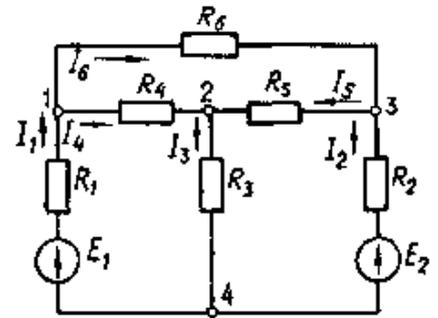


Рис. 1.2.1.

Закон Ома

Відповідно до закону Ома для ділянки електричного кола *сила струму на ділянці кола* *прямо пропорційна напрузі на цій ділянці*:

$$I = UG = U / R$$

Для повного електричного кола закон Ома можна подати так: сила струму прямо пропорційна електрорушійній силі E та обернено пропорційна повному опору кола, величина якого складається з опорів внутрішньої (r) та зовнішньої (R) ділянок кола, тобто

$$I = \frac{E}{r + R}$$

Закони Кірхгофа

1) Рівняння електричного стану струмів для вузла, який часто називають першим законом Кірхгофа, формулюється так:

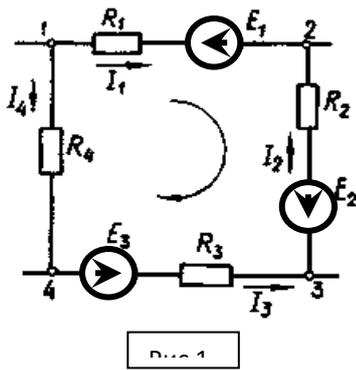
алгебраїчна сума струмів у вузлі електричного кола в кожний момент часу дорівнює нулю, тобто $\Sigma I = 0$;

при цьому струми, які спрямовані до вузла, приймають із знаком плюс, а ті, що витікають з нього, — із знаком мінус.

2) Рівняння електричного стану контуру, а його часто називають другим законом Кірхгофа, формулюється так:

у замкнутому контурі електричного кола алгебраїчна сума е.р.с. дорівнює алгебраїчній сумі спаду напруг на всіх ділянках контуру,

тобто $\Sigma E = \Sigma U = \Sigma (IR)$.



При складанні рівнянь за другим законом Кірхгофа е.р.с. записується зі знаком «+», якщо її напрямок збігається з напрямком довільно вибраного обходу контуру, тобто якщо при обході після затискача джерела «-» настає затискач джерела зі знаком «+». В іншому разі е.р.с. записується зі знаком «-». Спад напруги на опорах записується зі знаком «-», якщо напрямок струму в опорі збігається з напрямком обходу контуру.

Наприклад, у схемі на рис.1.2.2 рівняння електричного стану контуру 1—2—3—4 має такий вигляд:

$$E_1 + E_2 - E_3 = I_1 R_1 - I_2 R_2 - I_3 R_3 - I_4 R_4$$

Еквівалентні заміни електричних кіл

Простими електричними колами називаються кола з одним джерелом енергії. При цьому приймачами можуть бути декілька резисторів, ввімкнених послідовно й паралельно.

Якщо відомі е.р.с. генератора, його внутрішній опір і опір резисторів, то струми в усіх вітках можна знайти, використовуючи метод перетворення (згортання) або метод пропорційних величин (подібності).

Метод перетворення полягає в заміні груп послідовно й паралельно зв'язаних резисторів еквівалентним R. Потім за рівнянням стану простого контуру знаходять струм у нерозгалуженій частині кола, а далі за допомогою перетворення знаходять струми в усіх вітках заданого кола.

Розглянемо найпоширеніші і найпростіші методи згортання електричних кіл.

Послідовне з'єднання резисторів.

Якщо декілька резисторів (або приймачів електричної енергії) з'єднані один з одним без розгалужень і по них протікає один і той самий струм, то вони утворюють одну вітку, і з'єднання

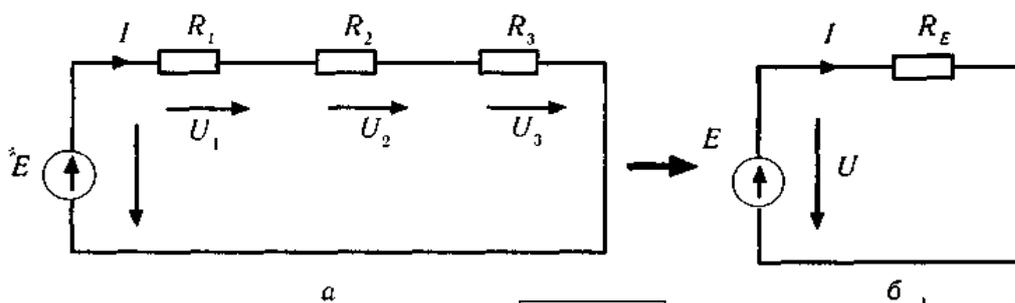


Рис.1.2.3

резисторів називається послідовним.

Сума напруг на ділянці з послідовним з'єднанням резисторів дорівнює напрузі на затискачах кола:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = I R_1 + I R_2 + I R_3 = I (R_1 + R_2 + R_3)$$

Ряд послідовно з'єднаних резисторів (рис.1.2.3.а) можна замінити **еквівалентним** резистором з опором R (рис.1.2.3.б), величина якого при незмінній напрузі на затискачах з'єднання не повинна спричиняти зміни напруги в колі.

Отже, еквівалентний опір ряду послідовно з'єднаних резисторів (кількістю n) дорівнює сумі їхніх опорів:

$$R_{\text{екв}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Паралельне з'єднання резисторів.

Це таке з'єднання, при якому до одних і тих самих двох вузлів електричного кола приєднано

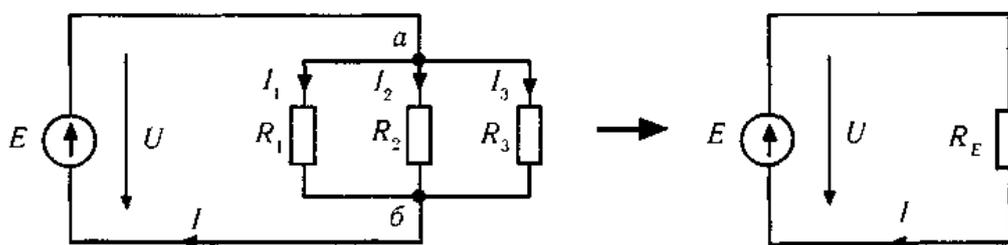


Рис. 1.2.4.

декілька резисторів.

Оскільки резистори приєднано до двох вузлів і кожний із них перебуває під однаковою напругою, то за законом Ома струми в резисторах визначаються за формулами:

$$I_1 = \frac{U_{ab}}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U_{ab}}{R_2}; \quad I_3 = \frac{U_{ab}}{R_3}.$$

тобто струми в паралельних вітках із резисторами розподіляються обернено пропорційно їхнім опорам.

Ряд паралельно з'єднаних резисторів можна замінити **еквівалентним** з опором R , значення якого при тій самій напрузі на затискачах з'єднання повинно бути таким, щоб струм в еквівалентному резисторі дорівнював сумі струмів в окремих вітках (за законом Кірхгофа).

Еквівалентний опір кола з паралельно з'єднаними резисторами (кількістю n) визначається за

формулою:
$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

Через те, що напруга на паралельних вітках однакова, то при паралельному з'єднанні приймачів енергії та заданій напрузі режим роботи кожного з них не впливає на режим роботи інших.

Споживачі електричної енергії — електродвигуни, лампи розжарювання, електропечі,— які розраховані на роботу з незмінною номінальною напругою, з'єднуються паралельно один з одним.

Послідовне з'єднання джерел енергії. Це з'єднання застосовують для отримання більшої е.р.с, для джерел, що мають невеликий внутрішній опір. Загальна е.р.с. при цьому визначається сумою усіх послідовно з'єднаних джерел.

Паралельне з'єднання джерел енергії. Це з'єднання застосовують тоді, коли потрібно одержати загальний струм, більший за струм одного джерела. Таке з'єднання джерел енергії використовують при однакових е.р.с. усіх джерел з'єднання.

При паралельному з'єднанні струми окремих джерел енергії додаються.

Лекція № 4-5

Тема : **Розрахунок простих електричних кіл**

План.

1. Поняття простого електричного кола.
2. Змішане з'єднання споживачів в колі.
3. Метод "згортання-розгортання" (поняття та приклад розрахунку кола)
4. З'єднання споживачів трикутником та "зіркою", їх еквівалентна взаємозаміна.

Рекомендована література:

5. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники: Учебное пособие для неэлектротехнических специальностей техникумов. — Москва: Высшая школа, 1989. -752с.
6. Общая электротехника с основами электроники. Учебник для техникумов. В.А. Гаврилюк, Б.С. Гершунский, А.В. Ковальчук, Ю.А. Куницкий, А.Г. Шаповаленко — Киев: Вища школа, 1980. - 480 с.
7. Китаев В.Е. Электротехника с основами промышленной электроники: Учебник для проф.-техн. Училищ.-М.:Высш. Шк.,1985.-224 с.

Простими електричними колами називаються кола з одним джерелом енергії. При цьому приймачами можуть бути декілька резисторів, ввімкнених послідовно й паралельно.

Змішане з'єднання резисторів.

Змішаним називається послідовно-паралельне з'єднання резисторів або ділянок кола, кожна з яких у свою чергу може складатися з послідовно або паралельно з'єднаних резисторів.

Щоб розрахувати схеми зі змішаним з'єднанням резисторів, треба спочатку умовно замінити паралельне з'єднання резисторів еквівалентним, а потім розрахувати коло з послідовним з'єднанням.

Якщо відомі е.р.с. генератора, його внутрішній опір і опір резисторів, то струми в усіх вітках можна знайти, використовуючи **метод перетворення (згортання)** або **метод пропорційних величин (подібності)**.

Метод перетворення полягає в заміні груп послідовно й паралельно зв'язаних резисторів еквівалентним R. Потім за рівнянням стану простого контуру знаходять струм у нерозгалуженій частині кола, а далі за допомогою перетворення знаходять струми в усіх вітках заданого кола.

Розглянемо найпоширеніші і найпростіші методи згортання електричних кіл.

Розрахунок простого кола постійного струму методом „згортання-розгортання” (Приклад №1)

Варіант 1.

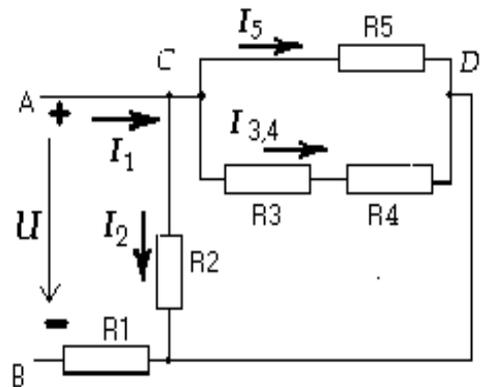
Задані:

напруга на затискачах кола $U_{AB} = 150\text{В}$;

і опори $R_1 = 8\text{ Ом}$,

$R_2 = 3\text{ Ом}$, $R_3 = 10\text{ Ом}$,

$R_4 = 5\text{ Ом}$, $R_5 = 10\text{ Ом}$.



Визначити еквівалентний опір кола, струми в кожному резисторі, а також напруги на резисторах.

Розв'язання.

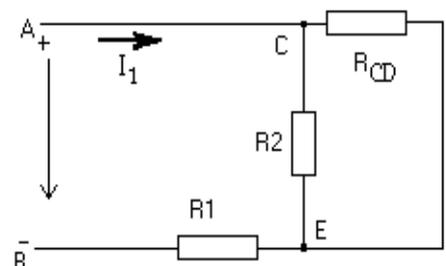
1) Спочатку позначаємо стрілками струм в кожному резисторі, індекс струму повинен відповідати номеру резистора, по якому він йде.

2) Визначаємо загальний опір розгалуження R_{CD} , враховуючи, що резистори R_3 і R_4 з'єднанні послідовно між собою, а з резистором R_5 паралельно:

$$R_{CD} = \frac{(R_3 + R_4) \cdot R_5}{(R_3 + R_4 + R_5)} = \frac{(10 + 5) \cdot 10}{(10 + 5 + 10)} = 6 \text{ (Ом)}$$

Замінімо три опори на ділянці CD (R_3 , R_4 , R_5) одним еквівалентним - R_{CD} , після чого схема заміщення прийме вигляд:

Для цієї схеми:



$$U_{AB} = 150 \text{ В}$$

$$R_1 = 8 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 3 \text{ Ом}$$

$$R_{CD} = 2 \text{ Ом}$$

3) Визначаємо загальний опір кола відповідно точок CE. Резистори R_{CD} і R_2 ввімкнені паралельно, тому

$$R_{CE} = \frac{R_{CD} \cdot R_2}{R_{CD} + R_2} = 2 \frac{6 \cdot 3}{(6 + 3)} \text{ (Ом)}$$

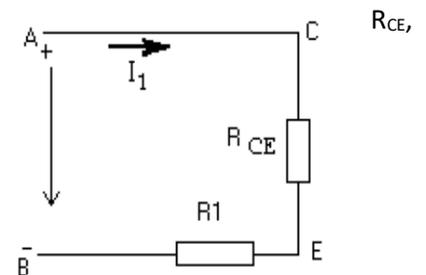
Замінімо опори на ділянці CE (R_{CD} і R_2) одним еквівалентним - після чого схема заміщення прийме вигляд:

Для цієї схеми:

$$U_{AB} = 150 \text{ В}$$

$$R_1 = 8 \text{ Ом}$$

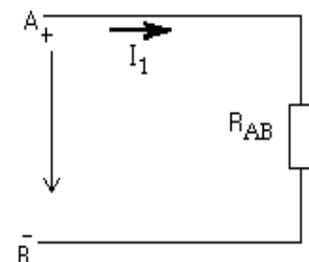
$$R_{CE} = 2 \text{ Ом}$$



4) Знаходимо еквівалентний опір всього кола, що тепер складається з двох послідовно з'єднаних опорів (R_1 і R_{CE}):

$$R_{AB} = R_1 + R_{CE} = 8 + 2 = 10 \text{ (Ом)}$$

Схема еквівалентної заміни матиме вигляд:



5) Визначаємо струми в резисторах кола.

а) Оскільки напруга U_{AB} прикладена до всього кола, а $R_{AB} = 10 \text{ Ом}$, то згідно із законом Ома :

$$I_1 = \frac{U_{AB}}{R_{AB}} = \frac{150}{10} = 15 \text{ (А)}$$

Увага !!! Неможливо останню формулу написати у вигляді $I_1 = U_{AB}/R_1$, тому що напруга U_{AB} прикладена до всього кола (що має опори R_1 і R_{CE}), а не до ділянки R_1 .

б) Для визначення струму I_2 знаходимо напругу на резисторі R_2 (U_{CE}). За умовою, напруга U_{CE} менше напруги U_{AB} на величину спаду напруги на резисторі R_1 :

$$U_{CE} = U_{AB} - I_1 \cdot R_1 = 150 - 15 \cdot 8 = 30 \text{ (В)},$$

$$\text{Тоді } I_2 = \frac{U_{CE}}{R_2} = 10 \frac{30}{3} \text{ А}$$

в) Оскільки $U_{CE} = U_{CD}$, то можна визначити струми $I_{3,4}$ та I_5 :

$$I_{3,4} = \frac{U_{CD}}{(R_3 + R_4)} = 2 \frac{30}{(10 + 5)} \text{ (А)}$$

$$I_5 = \frac{U_{CD}}{R_5} = 3 \frac{30}{10} \text{ (А)}$$

б) Перевіримо вірність визначення струмів за першим законом Кірхгофа, записаного для вузла С:

$$I_1 = I_2 + I_{3,4} + I_5$$

$$15 = 10 + 2 + 3 = 15 \text{ (А)}$$

Варіант 2.

Нехай в схемі приклада відомі опори всіх резисторів, а замість напруги U_{AB} заданий один із струмів, наприклад $I_2 = 2A$. Треба знайти останні струми і напругу U_{AB} .

$$\text{Знаючи } I_2, \text{ визначаємо: } U_{CE} = I_2 \cdot R_2 = 2 \text{ (A)} \cdot 3 \text{ (Ом)} = 6 \text{ (В)}$$

Оскільки $U_{CE} = U_{CD}$,

то

$$I_{3,4} = \frac{U_{CD}}{(R_3 + R_4)} = \frac{6}{(10+5)} = 0,4 \text{ (A)}$$

$$I_5 = \frac{U_{CD}}{R_5} = \frac{6}{10} = 0,6 \text{ (A)}$$

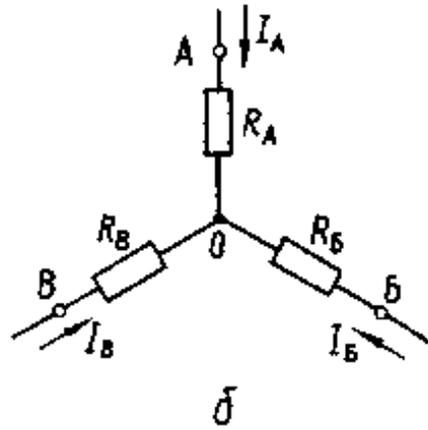
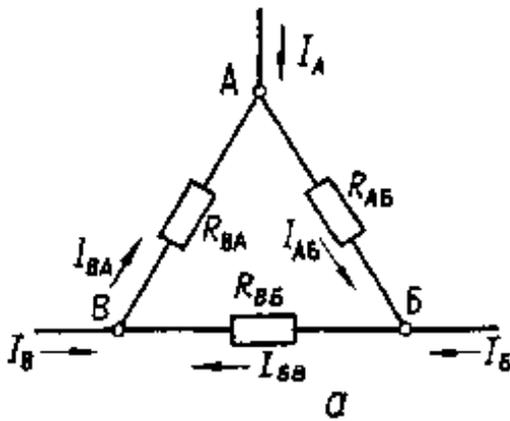
Згідно з першим законом Кірхгофа

$$I_1 = I_2 + I_{3,4} + I_5 = 2 + 0,4 + 0,6 = 3 \text{ (A)},$$

$$\text{тоді } U_{AB} = U_{CE} + I_1 \cdot R_1 = 6 + 3 \cdot 8 = 30 \text{ (В)}.$$

Крім послідовного і паралельного з'єднань опорів, зустрічаються ще з'єднання **трикутником** та **"зіркою"** (рис.1.2.4).

У деяких випадках розрахунок електричного кола значно спрощується, якщо трикутник опорів замінити зіркою опорів, тобто трьома вітками, які мають додатковий загальний вузол О. В інших випадках розрахунок кіл виникає потреба зірку замінити трикутником.



Ці заміни трикутника й зірки опорів повинні бути **еквівалентними**, тобто при відповідно однакових напругах між вершинами А, Б, В трикутника і зірки струми I_A, I_B, I_B у підвідних проводах (вітках) повинні залишатися без змін. Рівність струмів повинна виконуватися за будь-яких змін і перемикань в інших частинах кола.

Опори еквівалентної зірки можна знайти за формулами:

$$R_A = \frac{R_{AB} R_{BA}}{R_{AB} + R_{BA} + R_{BB}}; \quad R_B = \frac{R_{AB} R_{BB}}{R_{AB} + R_{BA} + R_{BB}}; \quad R_B = \frac{R_{BB} R_{BA}}{R_{AB} + R_{BA} + R_{BB}}.$$

Отже, опір вітки еквівалентної зірки дорівнює добутку опорів двох сторін трикутника, які приєднані до тієї самої вершини, що й вітка зірки, поділеному на суму опорів усіх сторін трикутника.

Для заміни зірки еквівалентним трикутником користуються формулами

$$R_{AB} = R_A + R_B + \frac{R_A R_B}{R_B}; \quad R_{AB} = R_A + R_B + \frac{R_A R_B}{R_B}; \quad R_{BB} = R_B + R_B + \frac{R_B R_B}{R_A}.$$

Таким чином, опір сторони еквівалентного трикутника дорівнює сумі опорів двох віток зірки, приєднаних до тих самих вершин, що й сторона трикутника, та їхньому добутку, поділеному на опір третьої вітки зірки.

Розгалужені електричні кола, які мають декілька контурів із довільним розміщенням приймачів і джерел живлення, належать до складних кіл, якщо їх не можна розрахувати, використовуючи тільки закон Ома і перший закон Кірхгофа. Методи розрахунку складних кіл розглядаються, нижче.

Лекція № 6

Тема: Електрична ємність провідників. Конденсатор. Основні поняття.

План

1. Поняття електричної ємності провідників.
2. Конденсатор. Основні поняття.
3. Діелектрична проникність.

Рекомендована література:

8. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники: Учебное пособие для неэлектротехнических специальностей техникумов. — Москва: Высшая школа, 1989. -752с.
9. Евдокимов Ф. Е. Общая электротехника: Учебник для учащихся неэлектро-технических специальностей техникумов. — Москва: Высшая школа, 1987. - 352 с.
10. Общая электротехника с основами электроники. Учебник для техникумов. В.А. Гаврилюк, Б.С. Гершунский, А.В. Ковальчук, Ю.А. Куницкий, А.Г. Шаповаленко — Киев: Вища школа, 1980. - 480 с.
11. Китаев В.Е. Электротехника с основами промышленной электроники: Учебник для проф.-техн. училищ.-М.:Высш. Шк.,1985.-224 с.

Поняття електричної ємності провідників.

Ємність є однією з найважливіших властивостей провідників. Збільшення заряду у визначену кількість разів, у стільки ж разів збільшує напруженість, яку створює поле, а відповідно і потенціал таким чином можна записати:

$$Q = C \cdot \varphi$$

де C – деяка постійна величина, яка називається ємністю провідника;

Q - величина заряду;

U - потенціал тіла;

φ -

$$C = \frac{Q}{\varphi}$$

$$C = \frac{Q}{U}$$

Ємність провідника - це фізична величина, яка характеризує здатність провідника накопичувати електричний заряд і дорівнює відношенню заряду провідника до його потенціалу.

Або **електричною ємністю тіла** називають його здатність утримувати на собі електричний заряд при потенціалі, що дорівнює 1 В.

Ємність такого провідника, збільшення заряду якого на 1 Кл призводить до підвищення його потенціалу на 1 В, така одиниця називається – **фарадою**, або така ємність при якій тіло здатне утримувати на собі 1 Кл електричного заряду при потенціалі 1 В.

Фарада дуже велика одиниця, тому на практиці використовують більш менші:

$$1 \text{ мкф} = 10^{-6} \text{ ф};$$

$$1 \text{ пф} = 10^{-12} \text{ ф}.$$

Величина електричної ємності тіла визначається їх зовнішньою поверхнею. Електрони, які попадають на поверхню тіла під дією зовнішніх сил, відштовхуються полями власних електронів даного тіла і не маючи можливості проникнути в середину тіла, залишаються на його поверхні. Отже, чим більше зовнішня поверхня тіла, тим більше можна надати йому заряд при одному й тому ж потенціалі, а якщо тіло утримує більше заряд – ємність у нього більше.

1. Конденсатор. Основні поняття.

Для отримання порівняно великих по величині електричних зарядів, виготовляють спеціальні прилади, що називають **конденсаторами** (елемент електричного кола, призначений для використання його ємності). **Конденсатор** (рос. *конденсатор*, англ. *condenser, capacitor*; нім. *Kondensator m*)

— система з двох чи більше електродів (*обкладок*), які розділені діелектриком, товщина якого менша у порівнянні з розміром обкладок. Така система має взаємну ємність і здатна зберігати електричний заряд. У 1745 році в Лейдені німецький фізик Евальд Юрген фон Клейст та голландський фізик Пітер ван Мушенбрук створили перший конденсатор — «лейденську банку».

Характеристики конденсаторів:

- **Номінальна напруга** Іншою не менш важливою характеристикою конденсаторів є номінальна напруга — значення напруги, яке позначається на конденсаторі, при якому він може працювати у заданих умовах під час строку служби із зберіганням параметрів у допустимих межах.
- **Питома ємність** Конденсатори також характеризуються питомою ємністю — відношення ємності до об'єму (або маси) конденсатора.
- **Ємність** Основною характеристикою конденсатора є його електрична ємність (точніше *номінальна ємність*), яка визначає накопичений заряд. Типові значення ємності конденсаторів складають від одиниць пікофарад до сотень мікрофарад. Але існують конденсатори з ємністю десятків фарад.
- **Полярність** Більшість конденсаторів із оксидним діелектриком (електролітичні) мають уніполярну провідність, внаслідок чого їх експлуатація можлива тільки при позитивному потенціалі аноду.
- **Тангенс кута втрат** Втрати енергії в конденсаторі визначаються втратами у діелектрику та обкладках. При протіканні змінного струму через конденсатор, вектори напруги і струму зсунуті на кут $\pi/2 - \delta$ (δ — кут діелектричних втрат). При відсутності втрат $\delta = 0$. Тангенс кута втрат визначається відношенням активної потужності P_a до реактивної P_p при синусоїдній напрузі визначеної частоти. Величина, зворотна $\text{tg } \delta$, називається добротністю конденсатора.

- **Електричний опір ізоляції конденсатора** Електричний опір ізоляції — це опір конденсатора постійному струму, яке визначається співвідношенням $R_{iz}=U/I_{вит}$, где U — напруга, що спрямована на конденсатор, $I_{вит}$ — струм витоку.
- **Температурний коефіцієнт ємності (ТКЄ)** ТКЄ — це параметр, який характеризує залежність ємності конденсатора від температури. Практично ТКЄ визначають як відношення зміни ємності конденсатора при зміні температури на 1°C . Але ТКЄ визначається не для всіх типів конденсаторів.

Класифікація конденсаторів:

- **Конденсатори з газоподібним діелектриком;**
- **Конденсатори з рідким діелектриком;**
- **Конденсатори з твердим неорганічним діелектриком:** скляні, слюдяні, керамічні, тонкошарові із неорганічних плівок;
- **Конденсатори з твердим органічним діелектриком:** паперові, металопаперові, плівочні, комбіновані;
- **Електролітичні та оксидо-напівпровідникові конденсатори.** Такі конденсатори відрізняються від інших типів перш за все своєю величезною питомою ємністю. В якості діелектрика використовується оксидний шар на металі, який є анодом. Друга обкладка (катод) — це або електроліт (у електролітичних конденсаторах) або шар напівпровідника (у оксидно-напівпровідникових), нанесений безпосередньо на оксидний шар. Анод виготовляється, в залежності від типу конденсатора, з алюмінієвої, ніобієвої чи танталової фольги.

Використання конденсаторів

- Конденсаторам знаходиться використання практично у всіх галузях електротехніки.
- Конденсатори використовуються як фільтри при перетворенні змінного струму на постійний.
- При з'єднанні конденсатора з катушкою індуктивності утворюється коливальний контур, який використовується у пристроях прийому-передачі.
- За допомогою конденсаторів можна отримувати імпульси великої потужності, наприклад, у фотоспалахах.
- Оскільки конденсатор здатний довгий час зберігати заряд, то його можна використовувати в якості елемента пам'яті.

Найпростішим конденсатором являється плоский конденсатор, який складається з двох однакових металевих пластин, розділених шаром повітря, або іншого матеріалу, в якому не має вільних електронів. Такі матеріали називають **діелектриками**. Особливість плоского конденсатора у порівнянні з іншими конденсаторами в тому, що електричне поле між його пластинами рівномірне, тобто напруженість такого поля в будь-якій точці однакова. Рівномірне поле зображають однаковою густиною стрілок. Електричні заряди на пластинах конденсатора розташовуються тільки на одній стороні (внутрішній) під дією електричних сил тяжіння, що виникають.

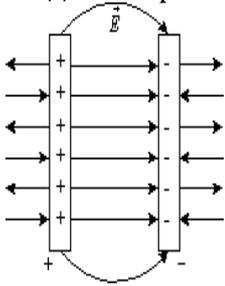
Електрична ємність плоского конденсатора, яку розуміють як ємність однієї з пластин (будь-якої) визначають за формулою:

$$C = \frac{\epsilon \cdot S}{d}$$

Де S – однієї сторони пластини в м^2 ;

d – відстань між пластинами в м ;

ϵ – діелектрична проникність ізолюючого шару.



Схематичне зображення плоского конденсатора.

Якщо одні й ті ж самі заряджені тіла при незмінній відстані між ними, помістити у вакуумі і в будь-якому іншому середовищі (ізолюючому), наприклад у воді, то сили взаємодії будуть різними, у воді сили у 81 раз менше ніж у вакуумі. На взаємодію між зарядженими впливає і середовище в якому вони знаходяться. Для врахування впливу середовища введено величину, яку називають **діелектричною проникністю** середовища. Так середовище, яке відрізняється від вакууму, завжди зменшує сили взаємодії між зарядженими тілами, то у формулі закону Кулона діелектричну проникність вводять у знаменник:

$$F = q_1 \cdot q_2 / \epsilon \cdot r^2$$

Діелектрична проникність для різних діелектриків, у відповідності з прийнятою у нас системою одиниць вимірювання, може бути представлена як добуток двох співмножників:

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

Де ϵ_0 – діелектрична проникність вакууму, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл/В·м;

ϵ_r відносна проникність, яка представляє собою число, що вказує у скільки разів діелектрична проникність середовища більше діелектричної проникності вакууму.

Таблиця № 1. Діелектрична проникність матеріалів.

Найменування матеріалу	відносна діелектрична проникність
конденсаторний	3
повітря сухе	1
папір листовий	5-6,2
папір трансформаторне	2-2,5
масло трансформаторне	8-10
фарфор електротехнічна	3-7
фарфор лінійний	4-10
оліт	6-8
поліетилен	3,2-4
поліпропілен	3,6-5
оптичне скло	3,5-3,9

Лекція № 7.

Тема : **Магнітні кола. Магнетизм та електромагнетизм. Основні поняття.**

План

1. Магнетизм та електромагнетизм. Основні поняття.
 2. Основні характеристики магнітного поля.
 3. Магніти та їх властивості.
 4. Магнітне поле електричного поля.
-
12. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники: Учебное пособие для неэлектротехнических специальностей техникумов. — Москва: Высшая школа, 1989. -752с.
 13. Евдокимов Ф. Е. Общая электротехника: Учебник для учащихся неэлектротехнических специальностей техникумов. — Москва: Высшая школа, 1987. - 352 с.
 14. Общая электротехника с основами электроники. Учебник для техникумов. В.А. Гаврилюк, Б.С. Гершунский, А.В. Ковальчук, Ю.А. Куницкий, А.Г. Шаповаленко — Киев: Вища школа, 1980. - 480 с.
 15. Китаев В.Е. Электротехника с основами промышленной электроники: Учебник для проф.-техн. училищ.-М.:Высш. Шк.,1985.-224 с.

Магнетизм – це особливий прояв руху електричних зарядів в середині атомів і молекул, який проявляється в тому, що деякі тіла здібні притягувати до себе і утримувати частини заліза, нікелю та інших металів.

Такі тіла називають магнітними.

Приклад: компас являється магнітом і встановлюється в магнітному полі Землі так, що один кінець вказує напрямком на північ і називається «північним полюсом» - N, а протилежний кінець «південний полюс» - S.

В залежності від призначення, магнітам надають різну форму:

- Прямокутну;
- Ромбічну;
- Круглу;

Магніт будь-якої форми має два полюси: «південний» і «північний». Якщо намагнічений стрижень розділити на декілька частин, то кожна з них буде мати два полюси, отримати магніт з одним полюсом не можливо. Навколо будь-якого намагніченого тіла виникає магнітне поле, яке являється матеріальним середовищем, в якому виявляється дія магнітних сил. На малюнках магнітне поле зображають у вигляді магнітних ліній, які мають напрямком від північного полюсу до південного. Будь-яка магнітна лінія не має початку і кінця і уявляє собою замкнену криву, так північний і південний полюси невід'ємні один від одного.

Матеріали, атоми яких не мають магнітного моменту і намагнітити їх не можливо – називають

діамагнітними. До них можна віднести абсолютну більшість матеріалів, які зустрічаються в природі, з них є метали (мідь, свинець, цинк, срібло).

Матеріали, атоми яких володіють магнітним моментом і можуть намагнічуватися - називають парамагнітними, до них відносяться: алюміній, олово, марганець.

Виключення складають феромагнітні матеріали, атоми яких володіють великим магнітним моментом і дуже легко намагнічуються. До них можна віднести: залізо, сталь, чавун, нікель, кобальт та інші.

Електромагнітами називають електромеханічні прилади, які перетворюють електричну енергію в механічну і виконують механічні операції (підйом вантажів, протягування, штовхання, утримування та інші.)

Навколо провідника зі струмом виникає магнітне поле впливає на магнітну стрілку, два провідники взаємодіють один з одним. Силова дія магнітного поля має і другі прояви. Якщо по провіднику, зігнутому у вигляді кільця, пропустити електричний струм то під його дією виникне магнітне поле. Провідник зігнутий спіралью і складений з кількох витків, розташованих так що осі їх співпадають, називається соленоїдом. При проходженні струму через обмотку соленоїда, чи один виток провідника, збуджується магнітне поле, напрям якого визначають за правилом буравчика.

За класичною теорією електромагнетизму джерелами магнітного поля є макро- та мікроструми. Фарадеєм був запроваджений термін «магнітне поле». Згодом класичну теорію магнітного поля побудував Максвелл, а у ХХ сторіччі з'явилась квантова теорія магнітного поля.

Магнітне поле характеризується рядом величин. Важливішою з них, що характеризує інтенсивність магнітного поля, являється магнітна індукція

Магнітна індукція – це векторна величина, яка визначає силу, діючу в даній точці поля, на електричні заряди що рухаються, і дія поля на тіло яке володіє магнітними властивостями. Напрямок вектора **B** співпадає з напрямком магнітних ліній, які називаються лініями магнітної індукції.

В якості одиниці магнітної індукції прийнята – **тесла (Тл)**, яка представляє собою інтенсивність магнітного поля, при якій на провідник довжиною **1 м**, розташований перпендикулярно напрямку ліній магнітного поля, з протікаючим по ньому струмом **1 А**, діє сила **1 Н**.

При розрахунках багатьох електротехнічних пристроїв використовують величину, яку називають магнітним потоком, або потоком вектора магнітної індукції. Поток вектора магнітної індукції **Φ** через площину **S** в однорідному магнітному полі, називають величину, що дорівнює проекції вектора магнітної індукції на нормаль **n** до площини, помноженої на величину площини:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

Якщо в однорідному магнітному полі площина **S** перпендикулярна лінії магнітної індукції, то

$$\Phi = B \cdot S$$

В якості одиниці потоку вектора магнітної індукції прийнято **вебер (Вб)**, який представляє собою величину потоку в однорідному магнітному полі, який проходить при магнітній індукції **1 Тл** через площину **S**, **1 м²**, розташовану перпендикулярно магнітним лініям поля, тобто

$$1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot 1 \text{ м}^2$$

Напруженість магнітного поля являється кількісною характеристикою, вона не залежить від магнітних властивостей, а кількісно визначає той вклад в магнітну індукцію, який вносить зовнішні прилади, збуджуючи магнітне поле. Напруженість **H** пов'язана з індукцією в конкретному середовищі.

$$\mathbf{B} = \mu_0 \cdot \mathbf{H}$$

Де μ_0 – абсолютна магнітна проникність.

μ_0 – абсолютна проникність у вакуумі.

Намагнічуючою силою котушки зі струмом називають добуток числа витків на струм який протікає по ній.

$$\mathbf{F} = \mathbf{w} \cdot \mathbf{I}$$

Магнітна напруга між точками а і б, розташованими на одній лінії магнітної індукції в однорідному магнітному полі, дорівнює добутку напруженості поля і відстані між цими точками - l.

$$U_m = \mathbf{H} \cdot l$$

Магнітна напруга вимірюється в амперах, А.

Зако́ни електромагнетизму.

Електричний струм збуджує магнітне поле. Ця здатність струму характеризується

магніторушійною силою (МРС). Ця сила називається ще намагнічуючою, або повним струмом. Магніторушійна сила чисельно дорівнює силі струму. Дослідним шляхом було встановлено **закон повного струму – циркуляція вектора напруженості за замкнутим контуром дорівнює повному струмові, що зчеплений з цим контуром.**

$$\oint \mathbf{H}dl = \sum \mathbf{I} = \mathbf{F}$$

Додатними вважають струми, напрям магнітного поля яких збігаються з напрямом обходу контура. Напря́м магнітного поля визначається за правилом буравчика – если поступательное движение буравчика совпадает с направлением тока в проводнике, то вращательное движение его рукоятки указывает направление магнитных линий поля, образующегося вокруг этого проводника.

За допомогою закону повного струму можна розв'язати багато академічних задач. Наприклад, визначимо напруженість магнітного поля на довільній відстані X від провідника зі струмом I. замкненим контуром можна обрати коло, що має радіус X, тоді за законом повного струму

$$\oint \mathbf{H}dl = I;$$

$$\mathbf{H}2\pi\mathbf{X} = \mathbf{I};$$

$$\mathbf{H}=\mathbf{I}/2\pi\mathbf{X}$$

Котушка індуктивності, що вмикається в джерело постійного струму, має МРС

$$\mathbf{F} = \mathbf{w} \cdot \mathbf{I}$$

Де w- число витків;

I – сила струму у котушці.

На провідник зі струмом, що знаходиться в магнітному полі, діє сила. Ця сила пропорційна струму, магнітній індукції та активній довжині провідника, тобто

$$\mathbf{F} = \mathbf{B}l\sin\alpha$$

Де α - кут між B та I. напрям дії сили визначається за правилом лівої руки. Цей закон називається **–закон електромагнітної сили.**

За законом електромагнітної індукції у провідникові, що рухається у магнітному полі, індукується ЕРС , тобто

$$\mathbf{E} = -\mathbf{v}B\sin\alpha$$

Де E – ЕРС провідника;

v- швидкість руху провідника.

Напря́м струму визначається правилом правої руки. У загальному разі ЕРС дорівнює швидкості зміни магнітного потоку, зчепленого з контуром, у якому вона індукується, тобто

$$\mathbf{E}=-\mathbf{d}\Phi/\mathbf{dt}$$

Знак «-» підтверджує правило Ленца. Тобто ЕРС прагне протидіяти причині, що її зумовлює.
Перший закон Кірхгофа для магнітного кола: *алгебраїчна сума магнітних потоків будь-якого вузла магнітного кола дорівнює нулеві.*

Другий закон Кірхгофа для магнітного кола – закон повного струму: *алгебраїчна сума МРС, що діють у замкнутому контурі, дорівнює алгебраїчній сумі магнітних напруг на магнітних опорах цього контуру*

Лекція № 8

Тема : **Електричні кола змінного струму. Основні поняття кіл синусоїдних струмів. Розрахунок кіл синусоїдального струму.**

План.

1. Поняття про періодичні струми і напруги.
2. Період і частота.
3. Середнє значення періодичних функцій.
4. Рівняння миттєвих значень синусоїдних величин.
5. Графік і параметри синусоїдних струмів і напруг.
6. Діюче і середнє значення синусоїди.

Рекомендована література:

16. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники: Учебное пособие для неэлектротехнических специальностей техникумов. — Москва: Высшая школа, 1989. -752с.
17. Евдокимов Ф. Е. Общая электротехника: Учебник для учащихся неэлектротехнических специальностей техникумов. — Москва: Высшая школа, 1987. - 352 с.
18. Общая электротехника с основами электроники. Учебник для техникумов. В.А. Гаврилюк, Б.С. Гершунский, А.В. Ковальчук, Ю.А. Куницкий, А.Г. Шаповаленко — Киев: Вища школа, 1980. - 480 с.
19. Китаев В.Е. Электротехника с основами промышленной электроники: Учебник для проф.-техн. училищ.-М.:Вышш. Шк.,1985.-224 с.

Поняття про періодичні струми і напруги.

Синусоїдні електричні величини (ЕРС, струм, напруга) відносяться до гармонійних періодичних змінних величин.

Змінними їх називають, оскільки їх значення змінюються в часі (мають різні значення в різні моменти часу), тобто вони є функціями часу.

Кожне значення будь-якої функції часу (тобто значення функції при заданому значенні аргументу t) називають **миттєвим**.

Періодичними струмами і напругами називаються струми і напруги, миттєві значення яких повторюються через рівні проміжки часу.

У сучасній техніці широко використовуються різноманітні за формою види періодичних сигналів: прямокутні, експонентні, колоколоподібні, трикутні і т.п. (рис. 3.1.1).

Математична залежність періодичних струмів і напруг від часу $i(t)$, $u(t)$ називається **рівнянням** їхніх миттєвих значень.

Для наочного уявлення й описання періодичних функцій $i(t)$ і $u(t)$ використовуються їхні часові графіки, побудовані по рівнянням миттєвих значень.

Періодичні струми і напруги мають деякі постійні, незмінні в часі числові параметри. До них відносяться період T (рис.3.1.1,а), максимальне і мінімальне значення I_{max} і I_{min} (рис.3.1.1,б), постійна складова I_0 (рис.3.1.1,г) і т.д.

Період і частота.

Основним параметром періодичних функцій часу (струмів, напруг) є період, що позначається великою літерою T .

Періодом називається найменший проміжок часу, після закінчення якого періодична функція напруги $u(t)$ чи струму $i(t)$ повторює свої миттєві значення (рис.3.1.1, а, г).

Крім періоду T для характеристики періодичних функцій використовується **частота** f , – **число періодів за секунду**.

Частота вимірюється в герцах.

За визначенням частота є величина, зворотна до періоду: $f = \frac{1}{T}$.

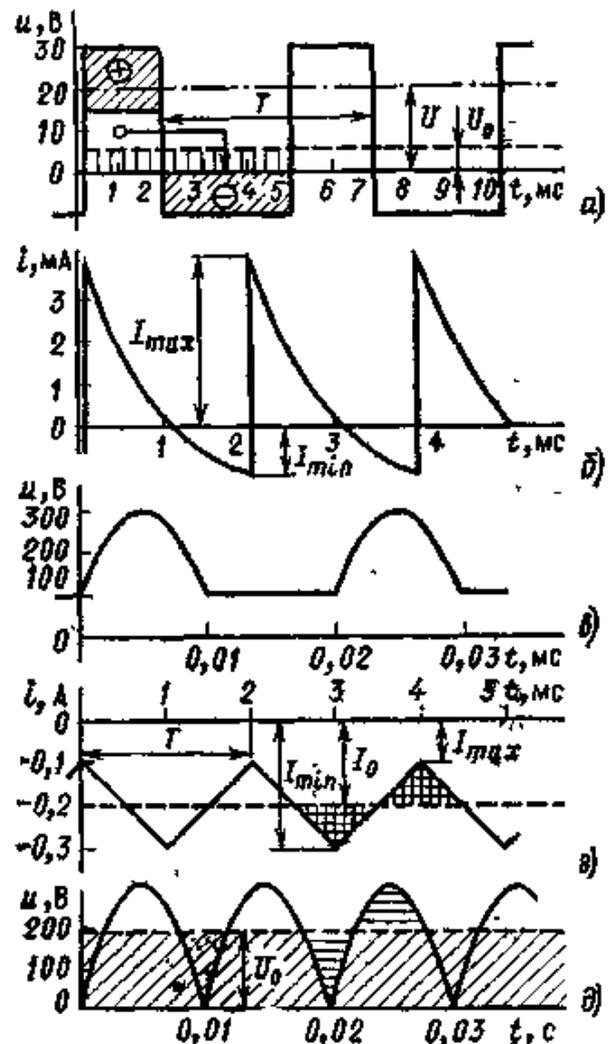


Рис.3.1.1.

У сучасній техніці використовується широкий діапазон частот електричних сигналів — від сотих часток герца до мільярдів герців.

В електроенергетиці в Європі стандартна частота — 50 Гц, у США — 60 Гц.

Для живлення апаратури транспортних засобів: літаків, автомобілів, суден, тепловозів використовуються синусоїдні струми з частотою 400, 500 і до 1000 Гц. У багатьох областях техніки використовуються періодичні електричні сигнали в звуковому діапазоні від 50 до 10^5 Гц. У радіотехніці, телебаченні, зв'язку, системах керування використовуються періодичні сигнали з частотою до 10^{10} Гц.

Середнє значення періодичних функцій.

Важливою характеристикою періодичних сигналів, наприклад напруги $u(t)$, є *середнє значення за період*, що позначається U_0 і називається його **постійною складовою** (мал. 6.1, а).

За визначенням
$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt$$

На рис. 3.1.1,а показані графічні побудови по визначенню U_0 відповідно до формули: алгебраїчне підсумовування площ, обмежених підінтегральною функцією. Косим штрихуванням виділені рівні площі негативної (–) і позитивної (+) напівхвиль, що компенсують один одного при інтегруванні, а частина площі, що залишилася, позитивної напівхвилі рівномірно розподілена по всьому періоду T , включаючи обидві напівхвилі (показано стрілкою).

Чи у всіх періодичних $u(t)$ і $i(t)$ є постійна складова? Виявляється, що не в усіх. У періодичних функцій, що є симетричними відносно осі часу, площі позитивної і негативної напівхвиль однакові, а тому постійна складова дорівнює нулеві (негативна величина компенсує позитивну).

Рівняння миттєвих значень синусоїдних величин.

Під впливом синусоїдних ЕРС у лінійних електричних колах і напруги, і струми мають синусоїдну залежність від часу (синусоїдну форму графіка функції). Усі синусоїдні величини (наприклад, напруга) мають стандартну загальну форму запису, яка є **рівнянням миттєвих значень**:

$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$$

де U_m — амплітуда синусоїдної напруги;

ω — кутова частота;

ψ — початкова фаза.

Ці три величини є **параметрами** (постійними величинами для конкретної напруги в конкретній задачі), а час t є **аргументом** часової функції $u(t)$.

Отже, для однозначного визначення миттєвих $u(t)$ або $i(t)$ необхідно визначити сукупність їхніх трьох параметрів: **амплітуду, кутову частоту і початкову фазу**.

Синусоїдні напруги і струми одержали найбільше поширення в сучасній техніці завдяки їхнім наступним якостям.

По-перше, пристрої для виробництва (генератори), перетворення (трансформатори) і споживання (асинхронні двигуни) електричної енергії із синусоїдними напругами і струмами досить прості, зручні в експлуатації.

По-друге, синусоїдні величини при лінійних операціях: підсумовуванні, інтегруванні, диференціюванні — залишаються також синусоїдними величинами. Такої властивості не мають ніякі інші функції. За цю чудову властивість синусоїдні часові функції називаються **гармонійними**, тобто досконалими.

Графік і параметри синусоїдних струмів і напруг.

Математичній функції синусоїдної напруги відповідає її часовий графік (рис. 3.1.2), який можна побудувати при відомих параметрах (U_m , ω , ψ_u) по точках, задаючи послідовно $t=t_1, t_2, t_3 \dots$ і обчислюючи відповідні значення функції — $u(t_1), u(t_2), u(t_3)$ і т.д.

Оскільки на практиці для індикації та експериментального вивчення миттєвих струмів і напруг застосовуються осцилографи, то часові графіки будемо називати **осцилограмами**. З використанням осцилограми більш докладно розглянемо параметри синусоїди.

Коефіцієнт при синусі, що є максимальним по модулю миттєвим значенням синусоїди, називається її **амплітудою** і позначається прописними літерами з індексом m (U_m чи I_m).

Аргумент синусоїдної чи напруги струму (аргумент під знаком синуса), відлічуваний від точки переходу чи напруги токи через нуль до позитивного значення, називається **фазовим кутом** чи просто **фазою**

$$\alpha = \omega t + \psi,$$

де ψ — **початкова фаза**, тобто значення фазового кута в початковий момент часу при $t=0$.

З розглянутого випливає, що синусоїдні функції часу мають аргументом або час t , або фазовий кут α .

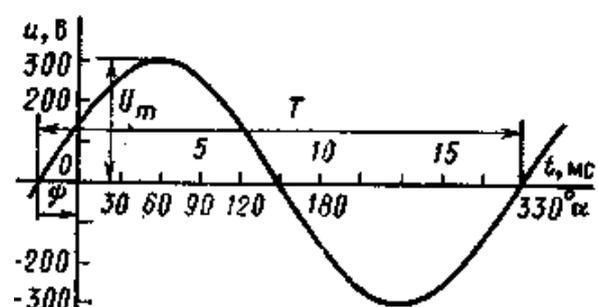


Рис.3.1.2.

Між двома цими аргументами однієї і тієї ж функції є певний зв'язок. Очевидно, що одному періоду T синусоїди відповідає зміна фазового кута на 360° (рис. 3.1.2) або – на 2π радіан. Оскільки при зміні часу на $\Delta t=T$ фазовий кут $\alpha=\omega t+\psi$ дістане збільшення на 2π , то $\alpha+2\pi=\omega(t+T)+\psi$. Віднімаючи від отриманого значення його вихідне значення, одержуємо $2\pi=\omega T$.

Таким чином,

$$\omega = 2\pi/T = 2\pi f,$$

де $f=1/T$ — лінійна частота напруги (або струму).

Параметр ω називається **кутовою частотою** синусоїдної напруги (струму) і дорівнює частоті f , помноженої на 2π .

Таким чином, за допомогою параметра ω множина значень поточного часу t переводиться у множину поточних значень фазового кута. Так поточному часу $t=0$ відповідає початкова фаза ψ ,

а моменту часу $t=T/2$ відповідає фазовий кут $\alpha\left(\frac{T}{2}\right) = \frac{2\pi}{T} \frac{T}{2} + \psi = \pi + \psi$ і т.д.

Отже, на синусоїдному графіку масштаб осі абсцис можна встановлювати або в секундах (вісь часу) або в кутах (вісь фазового кута); між часом і фазовим кутом є взаємо-однозначна відповідність.

Щоб визначити на осцилограмі початкову фазу ψ , необхідно визначити масштаб по осі абсцис у кутах (одному періоду відповідає 360°); тоді **початкова фаза відраховується від точки перетинання синусоїдою осі абсцис при переході з негативної на півхвилі в позитивну до точки початку координат** (мал. 6.4).

Початкова фаза має знак плюс, якщо напрямок відліку збігається з позитивним напрямком відліку кутів (осі абсцис), і знак мінус, якщо має протилежний напрямок. Наприклад, на рис. 3.1.2 $\psi > 0$.

Відмітимо, що початок координат на осцилограмі при проведенні експериментів можна обирати довільно. Але для однозначного визначення початкових фаз $u(t)$ і $i(t)$ воно повинно бути зафіксовано кресленням координатних осей з вибором точки O або довільно, або з якихось додаткових умов.

Діюче і середнє значення синусоїди.

Амперметри і вольтметри, що застосовуються для виміру синусоїдних струмів і напруг, показують діючі значення цих величин. Звернімо увагу, що в технічній літературі теж звичайно вказується саме діюче значення струму, напруги, ЕРС.

Діюче значення для синусоїди, як і для будь-якої періодичної функції, визначається як середньоквадратичне значення періодичної величини:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U_m^2 \sin^2 \omega t dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \frac{T}{2} U_m^2} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707 U_m.$$

Обчислення діючого значення синусоїди графічно проілюстроване на рис. 3.1.3. Спочатку обчислюється підінтегральний вираз $u^2(t)$, потім обчислюється площа, обмежена графіком, тобто провадиться графічне інтегрування за половину періоду. Потім виконується усереднення, тобто знаходиться значення U^2 , при множенні якого на $T/2$ утворюється площа прямокутника, рівна площі підінтегральної функції. І, нарешті, після добування квадратного кореня виходить $U = 0,707 U_m$.

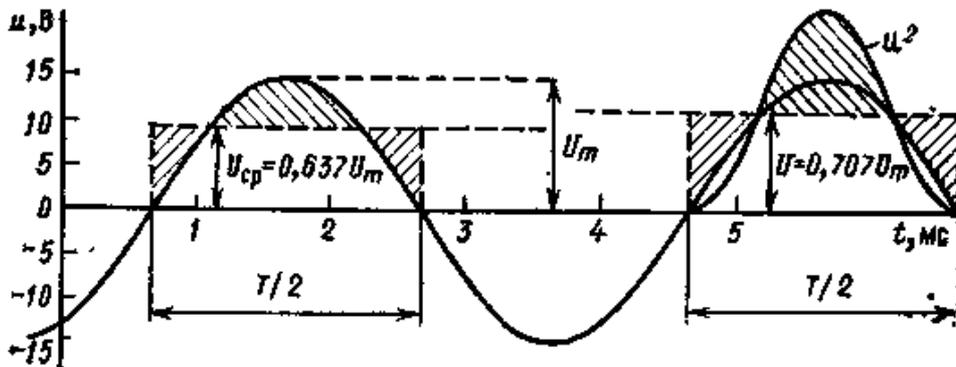


Рис.3.1.3.

Середнє значення за період функції, симетричної щодо осі часу, дорівнює нулю. Тому для синусоїди прийнято розглядати **середнє по модулю** значення (середнє значення за півперіод), обираючи $\psi_0=0$:

$$U_{\text{ср}} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} u(t) dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} U_m \sin \omega t dt = \frac{2}{T} \frac{T}{2\pi} U_m \int_0^{T/2} \left(-\cos \frac{2\pi}{T} t\right) dt =$$

$$= \frac{2}{\pi} U_m \approx 0,637 U_m.$$

На рис. 3.1.3 площа прямокутника $U_{cp} \times T/2$ за визначенням U_{cp} дорівнює площі напівхвилі

$$\int_0^{T/2} U_m \sin \omega t dt \quad (\text{рівні і не спільні частини площ прямокутника і напівхвилі на рис. 3.1.3}$$

заштриховані).

Приклад 1.

Визначити амплітудне, середнє і діюче значення синусоїдної напруги (рис.3.1.2).

Рішення.

Відповідно до масштабу по осі ординат $U_m = 300$ В. Тоді

$$U_{cp} = 0,637 \cdot U_m = 191 \text{ В};$$

$$U = 0,707 \cdot U_m = 212 \text{ В}.$$

Лекція № 9

ТЕМА: Розрахунок кіл синусоїдних струмів. Нерозгалужене коло змінного струму з R, L, C

План

1. Векторна діаграма напруг.
2. Зсув фаз між струмом і напругою в колі.
3. Повний і реактивний опір кола.
4. Зміна зсуву фаз при зміні реактивного опору.
5. Загальний випадок кола з послідовним з'єднанням елементів.
6. Використання векторної діаграми для аналізу послідовного кола.
7. Поняття символів функцій.
8. Комплексне число та форми його запису (повторення з курсу математики)
9. Комплексні зображення гармонічних функцій часу
10. Комплексний запис опору і провідності .
11. Потужність у символічному вигляді.
12. Баланс потужностей в колі

Рекомендована література:

20. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники: Учебное пособие для неэлектротехнических специальностей техникумов. — Москва: Высшая школа, 1989. - 752с.
21. Евдокимов Ф. Е. Общая электротехника: Учебник для учащихся неэлектротехнических специальностей техникумов. — Москва: Высшая школа, 1987. - 352 с.
22. Общая электротехника с основами электроники. Учебник для техникумов. В.А. Гаврилюк, Б.С. Гершунский, А.В. Ковальчук, Ю.А. Куницкий, А.Г. Шаповаленко — Киев: Вища школа, 1980. - 480 с.
23. Китаев В.Е. Электротехника с основами промышленной электроники: Учебник для проф.-техн. училищ.-М.:Высш. Шк.,1985.-224 с

Векторна діаграма напруг.

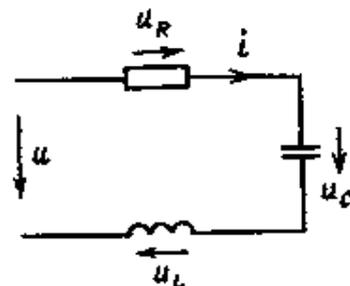


Рис.3..3.1

Припустимо, що схема заміщення електричного кола має послідовно з'єднані активний опір, індуктивність та ємність (рис.1).

Тут, як і раніше, прийmemo струм в колі синусоїдним:

$$i = I_m \sin \omega t.$$

Вхідна напруга (повна напруга кола) за другим законом Кірхгофа визначається як сума трьох напруг:

$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C$$

Побудуємо векторну діаграму (рис.2) з урахуванням відомих фазових співвідношень.

Напруга на опорі збігається по фазі зі струмом, на ємності вона відстає від струму на 90° , а на індуктивності – випереджає струм на 90° . Підсумовуючи три вектори напруг на елементах кола, одержуємо вектор вхідної напруги.

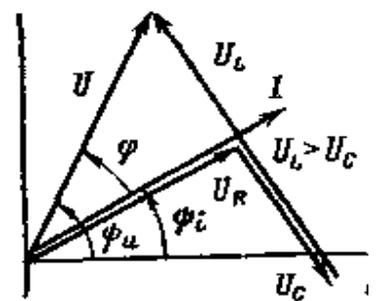


Рис.3.3.2

З векторної діаграми видно, що **діюче значення вхідної напруги (повної)**

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}.$$

В цьому виразі

U_R – активна складова повної напруги кола,

$(U_L - U_C)$ – реактивна складова повної напруги.

1. Зсув фаз між струмом і напругою в колі.

Різниця початкових фаз вхідної напруги (повної) і струму в колі є зсувом фаз φ .

Кут φ на векторній діаграмі відраховується від вектора струму до вектора вхідної напруги.

Якщо $U_L > U_C$ тобто коло має індуктивний характер, зсув фаз позитивний — напруга випереджає струм на кут φ .

Якщо $U_L < U_C$ тобто коло має ємнісний характер, зсув фаз негативний — напруга відстає від струму на кут φ .

Приклад. У колі змінного струму (рис.3,а) показання трьох вольтметрів $V_1—V_3$ відповідно $U_1=6$ В, $U_2=12$ В, $U_3=4$ В; необхідно визначити показання вольтметра V .

Рішення. Задавши початкову фазу струму рівною нулю, побудуємо векторну діаграму напруг (рис.3,б). З векторної діаграми визначимо невідоме показання вольтметра V :

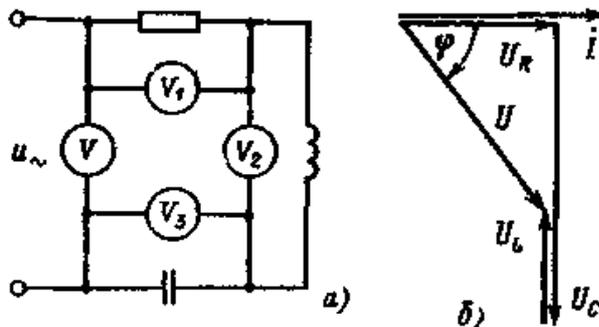


Рис.3.3.3

$$U = \sqrt{U_1^2 + (U_2 - U_3)^2} = \sqrt{6^2 + (12 - 4)^2} = 10 \text{ В.}$$

2. Повний і реактивний опір кола.

Виразимо напруги на елементах через струм i і опори:

$$U_R = RI; U_L = X_L I; U_C = X_C I.$$

Підставивши ці вирази у формулу для напруги, одержимо:

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Звідси **повний опір** кола з послідовним з'єднанням R, L і C :

$$Z = U/I = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Різниця з'єднаних послідовно індуктивного і ємнісного опорів називається **реактивним опором** кола і позначається $X = X_L - X_C$.

Якщо сторони трикутника напруг розділити на діюче значення струму, то одержимо трикутник опорів (рис.4).

Зсув фаз визначимо з трикутника опорів:

$$\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R} = \arctg X/R$$

Кут φ у трикутнику опорів відраховується від катета R до

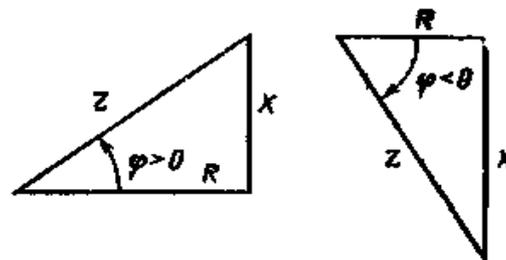


Рис.3.3.4

гіпотенузи Z .

Якщо $X_L > X_C$ коло носить індуктивний характер: $X > 0$, $\varphi > 0$.

Якщо $X_L < X_C$ коло носить ємнісний характер: $X < 0$, $\varphi < 0$.

Отже, реактивний опір X може бути і позитивним, і негативним. Повний опір кола $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ – завжди позитивний.

З трикутника опорів маємо:

$$R = Z \cdot \cos \varphi;$$

$$X = Z \cdot \sin \varphi.$$

Приклад.

Для кола рис.1 визначити вхідну напругу, опори кола і зсув фаз, якщо $I = 5 \text{ A}$; $U_R = 100 \text{ V}$; $U_L = 150 \text{ V}$; $U_C = 75 \text{ V}$.

Рішення. Згідно з формулою вхідна напруга

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = \sqrt{100^2 + (150 - 75)^2} = 125 \text{ (В)}$$

Опори кола – активний, індуктивний і ємнісний:

$$R = \frac{U_R}{I} = \frac{100}{5} = 20 \text{ (Ом)}$$

$$X_L = \frac{U_L}{I} = \frac{150}{5} = 30 \text{ (Ом)}$$

$$X_C = \frac{U_C}{I} = \frac{75}{5} = 15 \text{ Ом.}$$

Загальний реактивний опір всього кола – позитивний:

$$X = X_L - X_C = 30 - 15 = 15 \text{ Ом.}$$

Повний опір кола

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{20^2 + 15^2} = 25 \text{ Ом.}$$

Зсув фаз між напругою і струмом: $\varphi = \arctg X/R = \arctg 15/20 = 36^\circ 50'$.

Коло носить індуктивний характер.

3. Зміна зсуву фаз при зміні реактивного опору.

У колі з послідовним з'єднанням R , L і C (рис.1) характер кола залежить від характеру реактивного опору $X = X_L - X_C$, тобто від співвідношення між X_L і X_C .

Якщо $X_L > X_C$, то коло носить індуктивний характер. У цьому випадку векторна діаграма (див.рис.2) наочно показує, що $U_L > U_C$, а зсув фаз $\phi > 0$. З трикутника опорів (див. рис. 4) випливає, що вихідну схему (рис.1) при таких умовах можна представити еквівалентною схемою, що включає тільки два опори: активний R і реактивний $X_L = X = X_L - X_C$. Таке коло докладно розглянуте в темі "Коло з активним опором і індуктивністю".

Якщо $X_C > X_L$, то коло носить ємнісний характер: реактивний опір $X = (X_L - X_C) < 0$ і зсув фаз $\phi < 0$. У цьому випадку векторна діаграма і трикутник опорів дозволяють зробити висновок, що вихідну схему можна представити еквівалентною схемою з послідовним з'єднанням тільки двох опорів: R і еквівалентного ємнісного опору $X_C = X = |X_L - X_C|$. Це еквівалентне коло докладно розглянуте в темі "Коло з активним опором і ємністю".

Нарешті, якщо $X_L = X_C$, то й реактивний опір кола $X = X_L - X_C = 0$. У цьому випадку вихідну схему можна представити еквівалентною схемою тільки з одним активним опором R , що розглянута в темі "Активний опір при змінному струмі".

Отже, у випадку $X_L = X_C$ навіть при наявності L і C коло носить чисто активний характер, а зсув фаз $\phi = 0$. Такий режим називається резонансом напруг і докладно розглянутий раніше.

4. Загальний випадок кола з послідовним з'єднанням елементів.

У загальному випадку коло з послідовним з'єднанням елементів спрощують на основі методу перетворення.

При послідовному з'єднанні елементів (рис.5, а)

$$\left. \begin{aligned} R_{\text{екв}} &= R_1 + R_2 + \dots + R_n; \\ L_{\text{екв}} &= L_1 + L_2 + \dots + L_n; \\ \frac{1}{C_{\text{екв}}} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}. \end{aligned} \right\}$$

Тим самим вихідна схема зводиться до вже розглянутої, що складається тільки з трьох елементів (рис.1) з параметрами, еквівалентними параметрам вихідних елементів. Подальший аналіз і розрахунок кола здійснюється відповідно зі співвідношеннями для кола з L , C і R .

Якщо в колі задані активні і реактивні опори, то для послідовного з'єднання

$$R_{\text{екв}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n;$$

$$X_{екв}=(X_{L1}+X_{L2}+\dots+X_{Lm})-(X_{C1}+X_{C2}+\dots+X_{Ck})$$

Подальший аналіз і розрахунок здійснюються з використанням трикутника опорів зі сторонами $R_{екв}$, $X_{екв}$, Z .

5. Використання векторної діаграми для аналізу послідовного кола.

Аналіз послідовних кіл і розподілу напруг на їхніх елементах проводяться по векторній топографічній діаграмі напруг.

За вихідний вектор при побудові топографічної діаграми звичайно приймається вектор струму, що є загальним для всіх елементів. Оскільки початкова фаза однієї величини (струму чи напруги) може бути прийнята довільною (бо сенс має тільки різниця їхніх фаз), то звичайно рівною нулю приймається початкова фаза струму. Побудування діаграми покажемо на прикладі.

Приклад.

Побудувати векторну діаграму напруг у колі з послідовним з'єднанням двох котушок індуктивності, що характеризуються параметрами $R_{к1}$, $L_{к1}$ і $R_{к2}$, $L_{к2}$, двох конденсаторів з ємностями C_1 і C_2 і резистора з опором R (рис.5,а), якщо відомі струм у колі I і всі активні і реактивні опори кола.

Рішення.

1) Оскільки початкова фаза струму не задана, то приймаємо $\psi_i=0$ і в масштабі будуємо горизонтальний вектор струму I (рис.5,б);

2) далі визначаємо величину $U_{Rк1}=I \cdot R_{к1}$ і від початкової точки a відкладаємо вектор, колінеарний вектору I , довжиною $|U_{Rк1}|$ у відповідному масштабі;

3) потім знаходимо величину $U_{Lк1}=I \cdot X_{Lк1}$ і від кінця вектора $U_{Rк1}$ відкладаємо вектор довжиною $|U_{Lк1}|$, що напрямлений відносно вектора струму під кутом $+90^\circ$ (проти годинникової стрілки);

4) визначаємо величину $U_{C1}=I \cdot X_{C1}$ і від кінця вектора $U_{Lк1}$ відкладаємо вектор U_{C1} , що відстає від вектора струму на кут 90° , тобто напрямлений відносно вектора струму під кутом -90° (за годинниковою стрілкою);

5) від кінця вектора U_{C1} відкладаємо вектор довжиною (в масштабі) U_R , що співпадає за напрямком з вектором струму (тобто паралельний йому і з таким же напрямком);

і так далі..

Обійшовши весь контур від точки a до точки e , вхідну напругу U (тобто повну напругу всього кола) можна визначити по векторній діаграмі як модуль (довжину) вектора напруги, що з'єднує точки a й e , тому що вектор вхідної напруги за другим законом Кірхгофа

$$\vec{U} = \vec{U}_{Rk1} + \vec{U}_{L1} + \vec{U}_{C1} + \vec{U}_R + \vec{U}_{C2} + \vec{U}_{Rk2} + \vec{U}_{L2}$$

Очевидно, що, вимірявши вольтметром напругу на затискачах (а,е), одержимо таку ж величину.

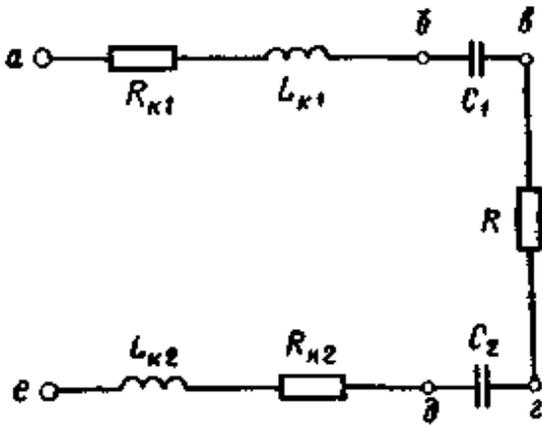


Рис.3.3.5,а

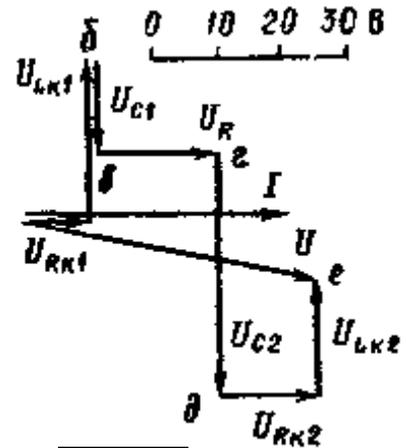


Рис.3.3.5, б

Звернімо увагу, що вектори напруг можна було відкласти і в іншому порядку, не змінивши при цьому суті діаграми, оскільки зміна місць доданків не змінює величину суми (як алгебраїчної, так і векторної).

Векторна діаграма дозволяє розрахувати напруги між будь-якими двома точками кола, зсуви фаз між напругою і струмом на будь-якій його ділянці і провести аналіз режиму роботи як всього кола, так і окремих його елементів.

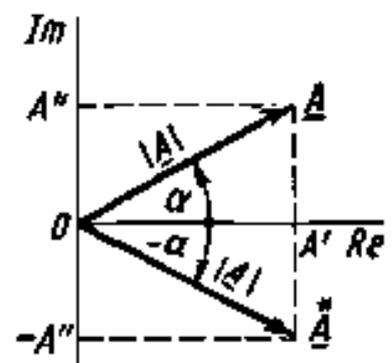
Для розрахунку кіл синусоїдного струму застосовується також один із символічних методів – **метод комплексних величин**, основа якого полягає в тому, що будь-який вектор на площині, що відповідає періодичній гармонічній функції, можна уявити комплексною величиною. При цьому операції над вихідними функціями (о р и г и н а л а м и) замінюються простішими операціями над їхніми *символами* (з о б р а ж е н н я м и).

Символічний метод дає змогу геометричні дії над векторами замінити алгебраїчними. Розрахунки кіл змінного струму символічним методом проводяться у такий же спосіб, що й кіл постійного струму (тобто, із застосуванням тих самих формул і виразів основних законів електричних кіл).

Комплексне число можна уявити точкою на комплексній площині.

Комплексні величини мають такі форми запису:

алгебраїчну



$$\underline{A} = A' + jA'';$$

$$\underline{A} = \operatorname{Re} \underline{A} + j \operatorname{Im} \underline{A};$$

тригонометричну

$$\underline{A} = A \cdot \cos \alpha + jA \cdot \sin \alpha;$$

показникову

$$\underline{A} = Ae^{j\alpha};$$

$$\underline{A} = |\underline{A}|e^{j\alpha}; \quad (\text{останнє випливає з формули Ейлера } A \cdot \cos \alpha + jA \cdot \sin \alpha = Ae^{j\alpha}),$$

де \underline{A} — комплексна величина,

$A' = \operatorname{Re} A = A \cdot \cos \alpha$ — дійсна частина,

$A'' = \operatorname{Im} A = A \cdot \sin \alpha$ — уявна частина,

$A = |\underline{A}|$ — модуль комплексної величини,

α — аргумент комплексної величини (кут між позитивною реальною віссю і відрізком OA).

Символ j — це уявна одиниця: $j = \sqrt{-1}$.

Два комплексних числа називаються спряженими, якщо їх дійсні частини рівні, а уявні відрізняються лише знаком.

Спряжена комплексна величина зверху позначається зіркою, тобто:

$$\underline{A}^* = A' - jA'';$$

$$\underline{A}^* = \operatorname{Re} \underline{A} - j \operatorname{Im} \underline{A};$$

$$\underline{A}^* = Ae^{-j\alpha};$$

$$\underline{A}^* = |\underline{A}|e^{-j\alpha};$$

$$\underline{A} = A \cdot \cos \alpha - jA \cdot \sin \alpha$$

Комплексні зображення гармонічних функцій часу.

Кожній гармонічній функції часу $a(t)$ — тобто, векторній величині — можна поставити у відповідність комплексне число:

$$\underline{a} = A_m \cdot \cos(\omega t + \psi) + jA_m \cdot \sin(\omega t + \psi) = A_m e^{j(\omega t + \psi)},$$

модуль якого дорівнює амплітуді гармонічної функції A_m (довжині вектора), а аргумент – її фази $\theta = \omega t + \psi$.

Комплексне число, модуль якого дорівнює амплітуді гармонічної функції A_m , а аргумент – її початковій фазі ψ , називають комплексною амплітудою гармонічної функції часу: $\dot{A}_m = A_m e^{j\psi}$.

При розрахунках електричних кіл змінних гармонічних струмів (і напруг) використовуються комплексні зображення (символи) цих функцій. Оскільки усі струми і напруги в одному електричному колі мають однакову частоту, вся необхідна інформація (значення амплітуд та початкових фаз) міститься в комплексних амплітудах величин. Тому в якості символів гармонічних струмів і напруг для розрахунку кола використовують їх комплексні амплітуди. Замість амплітудного значення в практичних розрахунках частіше користуються діючими значеннями, але все інше залишається таким же, як і з амплітудами.

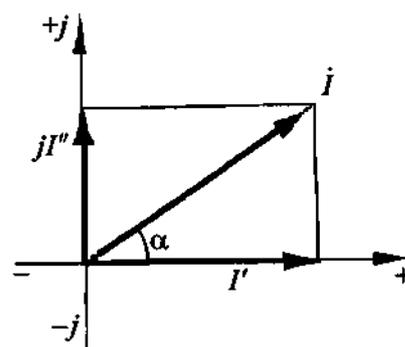
Для позначення комплексних електричних величин, що є синусоїдними функціями часу, застосовується основне позначення (діючої або амплітудної величини) з крапкою над ним. Наприклад, синусоїдні струм, напругу, магнітний потік (діючі значення) можна записати у вигляді комплексів (в різних формах):

$$\begin{aligned} \dot{I} &= I e^{j\alpha}; \\ \dot{U} &= U \cos \alpha + jU \sin \alpha; \\ \dot{\Phi} &= \Phi' + j\Phi''. \end{aligned}$$

Значення опорів і провідностей в колі не є функціями часу (не векторні). Величина потужності також не є векторною (тобто, потужності і опори не мають напрямку), а зміна значень потужності в часі зумовлена змінними струмом і напругою ($S=U \cdot I$). Тому в символічному вигляді повні опір, провідність та потужність позначають власними літерними позначеннями, підкресленими рискою. Наприклад: $\underline{Z}, \underline{Y}, \underline{S}$.

Таким чином, при застосуванні символічного методу вектор (струму, напруги або е.р.с.) розглядається як величина комплексна на комплексній площині. Тому метод має також назву **«метод комплексних величин»**.

Кожний вектор (наприклад, I) розкладається на дві складові (I' та I'') на осях прямокутної системи координат (рис.): $\bar{I} = \bar{I}' + j\bar{I}''$



Вісь абсцис називають віссю дійсних значень та позначають знаками «+» та «-». Вісь ординат називають віссю уявних значень. Складову вектора за уявною віссю виділяють символом j .

Множення кожного вектора на символ j повертає цей вектор на 90° проти ходу годинної стрілки. Множення на j^2 повертає вектор на 180° (наприклад: $j^2 U = -U$). Тому символ j називають поворотним коефіцієнтом.

Отже, струм, заданий синусоїдною функцією часу $i = I_m \sin(\omega t + \alpha)$, можна представити вектором \dot{I}_m , або комплексним символом в одній з трьох форм:

для амплітудних значень

$$\dot{I}_m = \operatorname{Re} [\dot{I}_m] + j \operatorname{Im} [\dot{I}_m] = I'_m + j I''_m,$$

$$\dot{I}_m = I_m (\cos \alpha + j \sin \alpha),$$

$$\dot{I}_m = I_m e^{j\alpha},$$

для діючих значень

$$\dot{I} = \operatorname{Re} [\dot{I}] + j \operatorname{Im} [\dot{I}] = I' + j I'',$$

$$\dot{I} = I (\cos \alpha + j \sin \alpha),$$

$$\dot{I} = I \cdot e^{j\alpha},$$

$$\text{де } I_m = \sqrt{\operatorname{Re} [\dot{I}_m]^2 + \operatorname{Im} [\dot{I}_m]^2} = \sqrt{(I'_m)^2 + (I''_m)^2} \text{ — модуль комплексної величини (амплітуда струму),}$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im} [\dot{I}_m]}{\operatorname{Re} [\dot{I}_m]} = \operatorname{arctg} \frac{I''_m}{I'_m} \text{ — аргумент комплексної величини (початкова фаза струму)}$$

Величину комплексного діючого $\dot{I} = \frac{\dot{I}_m}{\sqrt{2}}$ називають **комплексним струмом**.

Аналогічно записуються комплекси інших синусоїдних (тобто, періодичних) функцій (електричних, магнітних тощо)

Комплексний запис **опору і провідності** визначається із закону Ома в символічній формі:

$$\dot{U} = \underline{Z} \cdot \dot{I} \text{ (закон Ома)}$$

$$\text{звідси } \underline{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{Ue^{j\psi_u}}{Ie^{j\psi_i}} = \frac{U}{I} e^{j(\psi_u - \psi_i)} = Z e^{j\varphi},$$

де Z – модуль комплексного числа (повний опір кола),

$\varphi = \psi_u - \psi_i$ – аргумент цього числа (різниця початкових фаз напруги і струму заданого кола або ділянки).

Це показникова форма запису комплексного символу опору.

При переході від показникової форми до алгебраїчної отримаємо:

$$\underline{Z} = Z e^{j\varphi} = Z \cos \varphi + jZ \sin \varphi = R + jX, \quad \text{оскільки } R = Z \cos \varphi, \quad X = Z \sin \varphi.$$

Таким чином, **активний опір R** заданої ділянки (або всього кола) є **дійсною складовою повного опору** цієї ділянки (або всього кола), а **реактивний опір X** – його **уявною складовою**.

Видно, що $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ як модуль комплексного числа, а $\varphi = \arctg \frac{X}{R}$ як його

аргумент. Знак реактивного опору визначатиме знак аргументу. Основні значення аргументу лежать в інтервалі кутів $[-\pi/2; \pi/2]$. При розрахунках він може приймати й інші значення від 0 до $\pm 2\pi$.

Між провідністю Y і опором Z однієї й тієї ж ділянки мають місце співвідношення у символічному вигляді:

$$\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}} = \frac{1}{R + jX} = \frac{R}{R^2 + X^2} - j \frac{X}{R^2 + X^2} = \frac{R}{Z^2} - j \frac{X}{Z^2} = g - jb,$$

(g – активна провідність, b – реактивна провідність)

$$\underline{Z} = \frac{1}{\underline{Y}} = \frac{1}{g - jb} = \frac{g}{g^2 + b^2} + j \frac{b}{g^2 + b^2} = \frac{g}{Y^2} + j \frac{b}{Y^2} = R + jX.$$

Повний опір Z називають **імпедансом** електричного кола.

Активний опір R називають **резистансом**, реактивний X — **реактансом**. Реактанс буває **індуктивним** (індуктивний опір) та **ємнісним** (ємнісний опір).

Повну провідність Y називають **адмітансом** електричного кола.

Активну провідність g називають **кондуктансом**, реактивну b — **сусцептансом**.

Сусцептанс буває **індуктивним** (індуктивна провідність) та **ємнісним** (ємнісна провідність).

Потужність у символічному вигляді визначається добутком комплексу напруги та

спряженого комплексу струму, тобто $\underline{S} = \dot{U} \dot{I}^*$

Якщо $\dot{U} = Ue^{j\psi_u}$, $\dot{I} = Ie^{j\psi_i}$, $\dot{I}^* = Ie^{-j\psi_i}$, а $\varphi = \psi_u - \psi_i$ (зсув фаз), то

$$\underline{S} = UIe^{j\varphi}$$

Це вираз повної потужності у показниковій формі.

Можна потужність визначити в алгебраїчній та тригонометричній формах:

$$\begin{aligned} \underline{S} &= S \cos \varphi + jS \sin \varphi, \\ \underline{S} &= P + jQ, \end{aligned}$$

де $S = UI$ — модуль повної потужності, $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

P — активна потужність, $P = S \cos \varphi$;

Q — реактивна потужність, $Q = S \sin \varphi$.

Таким чином, повна потужність є величина комплексна. Активна потужність є дійсною частиною повної потужності, реактивна — уявною частиною повної потужності.

Увага! Співпадання дійсної складової з активною та уявної з реактивною має місце тільки для неекторних величин (опору, провідності, потужності), величини яких є результатом множення або ділення векторних величин. Для векторних величин (струму, напруги, е.р.с.) такого співпадання не існує.

Якщо є кілька приймачів електричної енергії, то співвідношення для повної потужності має вигляд

$$S = \sqrt{(\sum P)^2 + (\sum Q_L - \sum Q_C)^2}.$$

Баланс потужностей в колі можна визначити рівнянням $S_{дж} = S_{прийм}$,

де $S_{дж}$ — потужність усіх джерел живлення, $S_{прийм}$ — потужність усіх приймачів кола,

тобто

$$\sum_{k=1}^n \dot{U}_k I_k^* = \sum_{k=1}^m I_k^2 Z_k$$

Треба пам'ятати, що добуток $\dot{U}_k I_k^*$ береться зі знаком «-», коли напруга та струм джерела протилежні (струм збігається за напрямком з е.р.с.). Якщо джерело працює у режимі приймача (струм та напруга збігаються за напрямком, а струм і е.р.с. – протинапрявлені), добуток $\dot{U}_k I_k^*$ треба брати додатним.

Внутрішній опір джерела живлення вважають звичайним приймачем електричної енергії.

Лекция № 10

Тема : Электрические цепи переменного тока. Трехфазные цепи.

План:

1. Понятие трехфазной цепи.
2. Основные свойства трехфазной цепи, преимущества трехфазной цепи в сравнении с однофазной.
3. Способы соединения обмоток генератора.
4. Мощность трехфазной цепи.

Литература:

24. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники: Учебное пособие для неэлектротехнических специальностей техникумов. — Москва: Высшая школа, 1989. -752с.
25. Евдокимов Ф. Е. Общая электротехника: Учебник для учащихся неэлектротехнических специальностей техникумов. — Москва: Высшая школа, 1987. - 352 с.
26. Общая электротехника с основами электроники. Учебник для техникумов. В.А. Гаврилюк, Б.С. Гершунский, А.В. Ковальчук, Ю.А. Куницкий, А.Г. Шаповаленко — Киев: Вища школа, 1980. - 480 с.
27. Китаев В.Е. Электротехника с основами промышленной электроники: Учебник для проф.-техн. училищ.-М.:Вышш. Шк.,1985.-224 с.

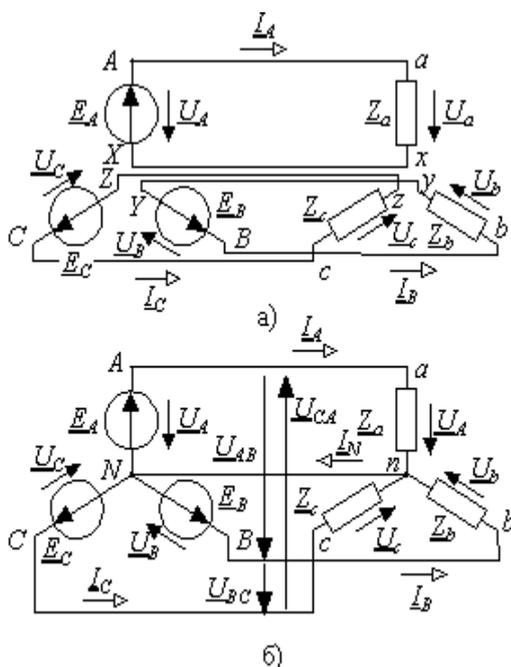


Рис. 1

Электрические цепи переменного тока Трехфазные цепи.

Трехфазные цепи являются частным случаем **многофазных систем**, под которыми **понимают совокупность нескольких нагрузок и источников питания, имеющих одинаковую частоту и смещенных по фазе на некоторый угол друг относительно друга**. Каждая **пара источник-нагрузка** может рассматриваться как отдельная цепь и **называется фазой системы**.

Если отдельные фазы системы не соединены между собой электрически (рис. 1 а)), то такую систему называют **несвязанной**. Несвязанная система не обладает никакими особыми свойствами, и если между фазами отсутствует и магнитная связь, то такая совокупность цепей вообще не может рассматриваться как многофазная.

Соединение фаз системы между собой (рис. 1б)) придает ей особые качества, благодаря которым многофазные системы (в особенности трехфазные) получили исключительное распространение в области передачи и преобразования электрической энергии. Одним из очевидных преимуществ связанной системы (рис. 1) является сокращение с шести до четырех числа проводников, соединяющих источники с нагрузкой. При благоприятных обстоятельствах это число может быть уменьшено до трех. В дальнейшем мы отметим целый ряд других преимуществ, которым обладают связанные системы.

Любая многофазная система может быть симметричной и несимметричной. Симметрия системы определяется симметрией ЭДС, напряжений и токов. **Под симметричной многофазной системой ЭДС, напряжений или токов** понимают совокупность соответствующих величин, имеющих **одинаковые амплитуды и смещенных по фазе на угол $2\pi/m$ по отношению друг к другу, где m - число фаз системы**. Если для обозначения фаз трехфазной системы использовать первые буквы латинского алфавита, то симметричную систему ЭДС можно записать в виде

$$\begin{aligned}
 e_A &= E_m \sin \omega t; \\
 e_B &= E_m \sin(\omega t - 2\pi/3); \\
 e_C &= E_m \sin(\omega t - 4\pi/3) = \\
 &= E_m \sin(\omega t + 2\pi/3)
 \end{aligned}
 \Leftrightarrow
 \begin{aligned}
 \underline{E}_A &= E e^{j0} = E(1 + j0); \\
 \underline{E}_B &= E e^{-j2\pi/3} = E \left[-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right]; \\
 \underline{E}_C &= E e^{-j4\pi/3} = E e^{j2\pi/3} = E \left[-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right]
 \end{aligned}
 \quad (1)$$

Аналогичные выражения можно написать и для токов и падений напряжения в симметричной трехфазной системе.

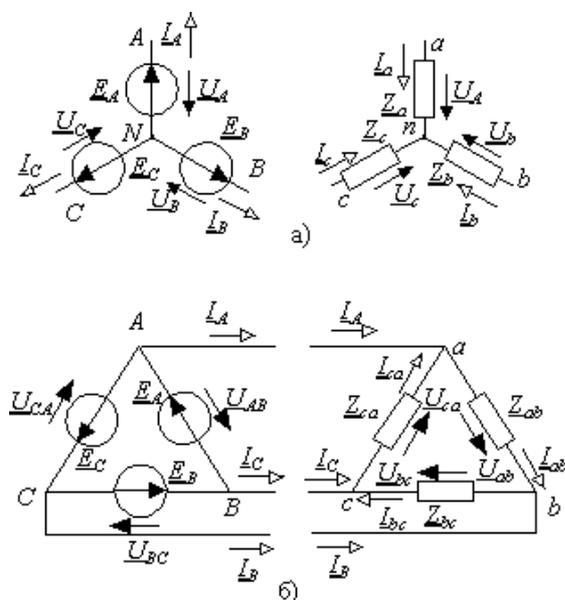


Рис. 2

Основное свойство симметричных многофазных систем заключается в том, что сумма мгновенных значений величин образующих систему в каждый момент времени равна нулю. Для изображений величин образующих систему это свойство означает **равенство нулю суммы фазных векторов**. В справедливости этого утверждения легко убедиться на примере трехфазной системы, если в области изображений сложить числа в скобках в правой части выражений (1).

Многофазная система симметрична только тогда, когда в ней симметричны ЭДС, токи и напряжения. Если принять равными нулю внутренние сопротивления источников питания или включить их значения в сопротивления нагрузки, то условие симметрии системы сводится к симметрии ЭДС и равенству комплексных сопротивлений нагрузки. Это условие для трехфазной системы записывается в виде

$$\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c . \quad (2)$$

В дальнейшем мы будем считать, что источники питания являются источниками ЭДС и использовать условия симметрии системы в виде выражений (1) и (2).

В многофазные системы объединяют источники ЭДС и нагрузки. Для обеспечения правильного соотношения сдвига фаз при соединении или связывании системы в общем случае необходимо определить выводы элементов, по отношению к которым выполняются условия (1). Они называются начало и конец фазы источника или нагрузки. Для источников многофазной системы принято за положительное направление действия ЭДС от начала к концу.

На электрических схемах, если это необходимо, начало и конец обозначают буквами латинского алфавита. На [рис. 1 а](#)) начала элементов соответствуют индексам XYZ, а концы - ABC. В дальнейшем мы будем использовать строчные буквы для нагрузки, а прописные для источников ЭДС.

Существуют два способа связывания элементов в многофазную систему - соединение звездой и соединение многоугольником. **Звезда это такое соединение, в котором начала всех элементов объединены в один узел, называемый нейтральной точкой.** Подключение к системе при этом осуществляется концами элементов (рис. 2 а)). **Многоугольник это соединение, в котором все элементы объединены в замкнутый контур так, что у соседних элементов соединены между собой начало и конец.** С системой многоугольник соединяется в точках соединения элементов. Частным случаем многоугольника является треугольник рис. 2 б).

Источники питания и нагрузки в многофазных системах в общем случае могут быть связаны разными способами.

При анализе многофазных систем вводится ряд понятий, необходимых для описания процессов. Проводники, соединяющие между собой источники и нагрузку, называются **линейными**

проводами, а проводник соединяющий нейтральные точки источников и нагрузки - **нейтральным проводом**.

Электродвижущие силы источников многофазной системы ($e_A, \underline{E}_A, E_A, e_B, \underline{E}_B, E_B, e_C, \underline{E}_C, E_C$), напряжения на их выводах ($u_A, \underline{U}_A, U_A, u_B, \underline{U}_B, U_B, u_C, \underline{U}_C, U_C$) и протекающие по ним токи ($i_A, \underline{I}_A, I_A, i_B, \underline{I}_B, I_B$),

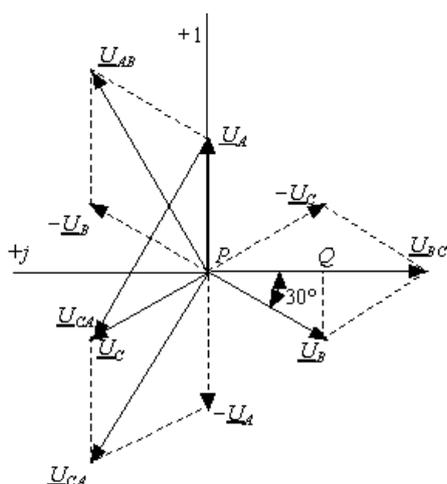


Рис. 3

$I_B, I_C, \underline{I}_C, I_C$) называются **фазными**. Напряжения между линейными проводами ($\underline{U}_{AB}, U_{AB}, \underline{U}_{BC}, U_{AC}, \underline{U}_{CA}, U_{CA}$) называются **линейными**.

Связь линейных напряжений с фазными можно установить через разность потенциалов линейных проводов [рис. 1 б](#)) как $U_{AB} = U_{AN} + U_{NB} = U_{AN} - U_{BN} = U_A - U_B$ или в символической форме

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_A - \underline{U}_B ; \underline{U}_{BC} = \underline{U}_B - \underline{U}_C ; \quad (3)$$

$$\underline{U}_{CA} = \underline{U}_C - \underline{U}_A .$$

Построим векторную диаграмму для симметричной трехфазной системы фазных и линейных напряжений (рис. 3). В теории трехфазных цепей принято направлять вещественную ось координатной системы вертикально вверх.

Каждый из векторов линейных напряжений представляет собой сумму одинаковых по модулю векторов фазных напряжений ($U_\phi = U_A = U_B = U_C$), смещенных на угол 60° . Поэтому линейные напряжения также образуют симметричную систему и модули их векторов ($U_\pi = U_{AB} = U_{BC} = U_{CA}$)

можно определить как
$$U_\pi = 2 \cdot PQ = 2U_B \cos 30^\circ = \sqrt{3}U_B = \sqrt{3}U_\phi .$$

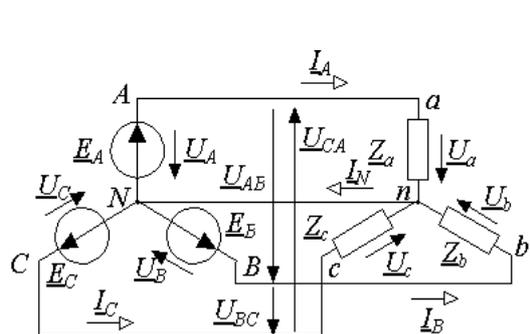
Выражения (3) справедливы как для симметричной системы, так и для несимметричной. Из них следует, что **векторы линейных напряжений** соединяют между собой концы фазных (вектор \underline{U}_{CA} рис. 3). Следовательно, **при любых фазных напряжениях они образуют замкнутый треугольник и их сумма всегда равна нулю**. Это легко подтвердить аналитически сложением выражений (3) - $\underline{U}_{AB} + \underline{U}_{BC} + \underline{U}_{CA} = \underline{U}_A - \underline{U}_B + \underline{U}_B - \underline{U}_C + \underline{U}_C - \underline{U}_A = 0$.

Тот факт, что геометрически векторы линейных напряжений соединяют концы векторов фазных, позволяет сделать заключение о том, что **любой произвольной системе линейных напряжений соответствует бесчисленное множество фазных**. Это подтверждается тем, что для создания фазной системы векторов при заданной линейной, достаточно произвольно указать на комплексной плоскости нейтральную точку и из нее провести фазные векторы в точки соединения многоугольника линейных векторов.

Из уравнений Кирхгофа для узлов a, b и c нагрузки соединенной треугольником ([рис. 2 б](#)) можно представить комплексные линейные токи через фазные в виде

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca} ; \underline{I}_B = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab} ; \underline{I}_C = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc} . \quad (4)$$

В случае симметрии токов $I_A = I_B = I_C = I_n$ и $I_{ab} = I_{bc} = I_{ca} = I_\phi$, поэтому для них будет справедливо такое же соотношение, как для линейных и фазных напряжений в симметричной системе при



соединении звездой, т.е. $I_{II} = \sqrt{3}I_\phi$. Кроме того, их сумма в каждый момент времени будет равна нулю, что непосредственно следует из суммирования выражений (4).

Перейдем теперь к рассмотрению конкретных соединений трехфазных цепей.

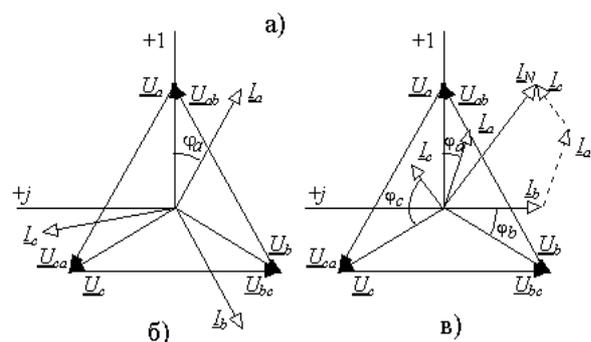


Рис. 4

Пусть фазы источника и нагрузки соединены звездой с нейтральным проводом (рис. 4а). При таком соединении нагрузка подключена к фазам источника и $U_A = U_a$, $U_B = U_b$ и $U_C = U_c$, а $I_A = I_a$, $I_B = I_b$ и $I_C = I_c$. Отсюда по закону Ома токи в фазах нагрузки равны

$$I_a = U_a / Z_a ; I_b = U_b / Z_b \text{ и} \quad (5)$$

$$I_c = U_c / Z_c.$$

Ток в нейтральном проводе можно определить по закону Кирхгофа для нейтральной точки нагрузки. Он равен

$$I_N = I_a + I_b + I_c. \quad (6)$$

Выражения (5) и (6) справедливы всегда, но в симметричной системе $Z_a = Z_b = Z_c = Z$, поэтому $I_N = I_a + I_b + I_c = U_a/Z_a + U_b/Z_b + U_c/Z_c = (U_a + U_b + U_c)/Z = 0$, т.к. по условию симметрии $U_a + U_b + U_c = 0$.

Следовательно, в симметричной системе ток нейтрального провода равен нулю и сам провод может отсутствовать. В этом случае связанная трехфазная система будет передавать по трем проводам такую же мощность, как несвязанная по шести. На практике нейтральный провод в системах передачи электроэнергии сохраняют, т.к. его наличие позволяет получать у потребителя два значения напряжения - фазное и линейное (127/220 В, 220/380 В и т.д.). Однако сечение нейтрального провода обычно существенно меньше, чем у линейных проводов, т.к. по нему протекает только ток, создаваемый асимметрией системы.

При симметричной нагрузке токи во всех фазах одинаковы и смещены по отношению друг к другу на 120° . Их модули или действующие значения можно определить как $I = U_\phi / Z$.

Векторные диаграммы для симметричной и несимметричной нагрузки в системе с нейтральным проводом приведены на рис. 4 б) и в).

При отсутствии нейтрального провода сумма токов в фазах нагрузки равна нулю $I_a + I_b + I_c = 0$. В случае симметричной нагрузки режим работы системы не отличается от режима в системе с нейтральным проводом.

При несимметричной нагрузке между нейтральными точками источника и нагрузки возникает падение напряжения. Его можно определить по методу двух узлов, перестроив для наглядности схему рис. 5 а). В традиционном для теории электрических цепей начертании она будет иметь вид рис. 5 б).

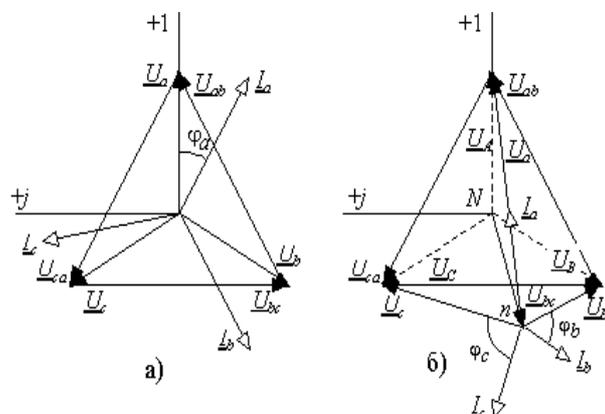
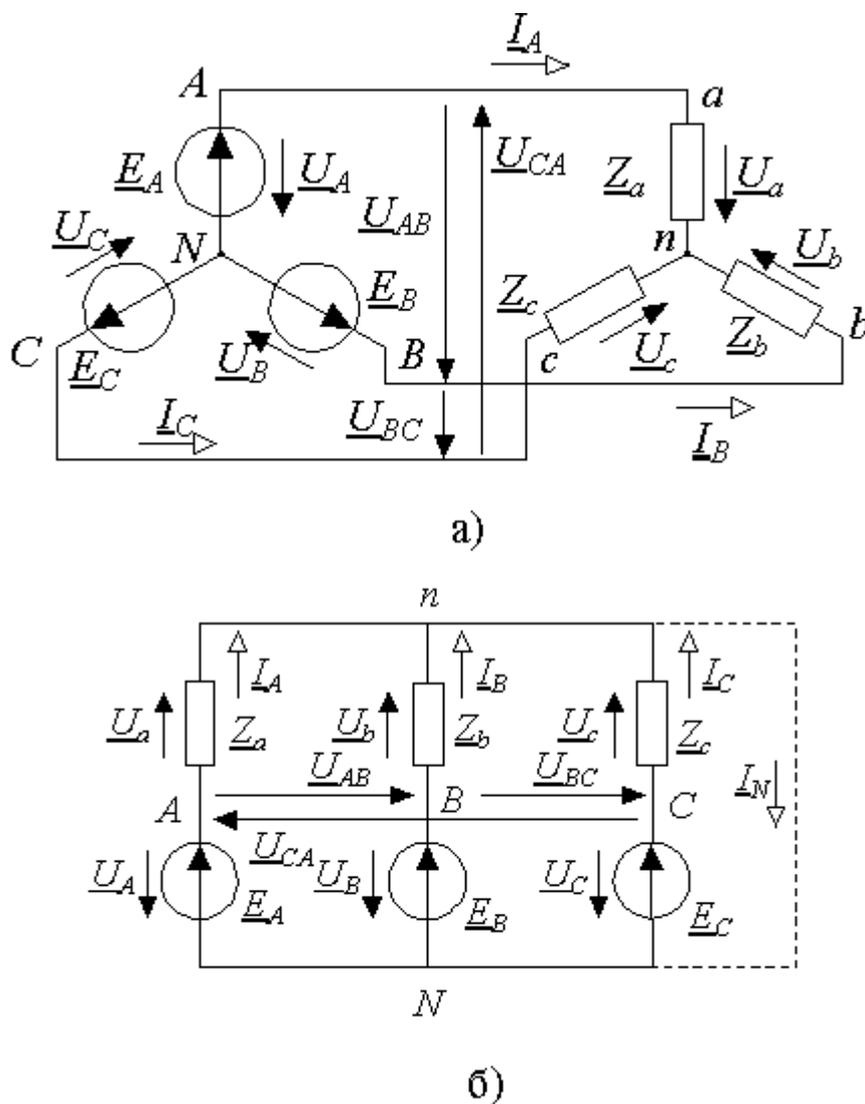


Рис. 6

$$\underline{U}_{nN} = \frac{\underline{E}_A \underline{Y}_a + \underline{E}_B \underline{Y}_b + \underline{E}_C \underline{Y}_c}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c} \quad (7)$$



Отсюда

где $\underline{Y}_a = 1/\underline{Z}_a$, $\underline{Y}_b = 1/\underline{Z}_b$, $\underline{Y}_c = 1/\underline{Z}_c$ — комплексные проводимости фаз нагрузки.

Напряжение \underline{U}_{nN} представляет собой разность потенциалов между нейтральными точками источника и нагрузки. По схеме рис. 5 б) его можно представить также через разности фазных напряжений источника и нагрузки $\underline{U}_{nN} = \underline{U}_A - \underline{U}_a = \underline{U}_B - \underline{U}_b = \underline{U}_C - \underline{U}_c$. Отсюда фазные напряжения нагрузки

Рис. 5

В трехфазных цепях нагрузка и источник могут быть соединены по-разному. В частности нагрузка, соединенная треугольником, может быть подключена к сети, в которой источник питания соединен звездой (рис. 7 а)).

При этом фазы нагрузки оказываются подключенными на линейные напряжения

$$\underline{U}_{ab} = \underline{U}_{AB} ; \underline{U}_{bc} = \underline{U}_{BC} ; \underline{U}_{ca} = \underline{U}_{CA}.$$

Токи в фазах можно найти по закону Ома

$$\underline{I}_{ab} = \underline{U}_{ab} / \underline{Z}_{ab} ; \underline{I}_{bc} = \underline{U}_{bc} / \underline{Z}_{bc} ;$$

$$\underline{I}_{ca} = \underline{U}_{ca} / \underline{Z}_{ca},$$

а линейные токи из уравнений Кирхгофа для узлов треугольника нагрузки

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca} ; \underline{I}_B = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab} ; \underline{I}_C = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc} . \quad (10)$$

Векторы фазных токов нагрузки на диаграммах для большей наглядности принято строить относительно соответствующих фазных напряжений. На рис. 7 б) векторные диаграммы построены для случая симметричной нагрузки. Как и следовало ожидать, векторы фазных и линейных токов образуют симметричные трехфазные системы.

На рис. 7 в) построена векторная диаграмма для случая разных типов нагрузки в фазах. В фазе *ab* нагрузка чисто резистивная, а в фазах *bc* и *ca* индуктивная и емкостная. В соответствии с характером нагрузки, вектор \underline{I}_{ab} совпадает по направлению с вектором \underline{U}_{ab} ; вектор \underline{I}_{bc} отстает, а вектор \underline{I}_{ca} опережает на 90° соответствующие векторы напряжений. После построения векторов фазных токов можно по выражениям (10) построить векторы линейных токов \underline{I}_A , \underline{I}_B и \underline{I}_C .

Трехфазная цепь является совокупностью трех однофазных цепей, поэтому ее мощность может быть определена как сумма мощностей отдельных фаз.

При соединении звездой активная мощность системы будет равна

$$P = P_a + P_b + P_c = U_a I_a \cos \varphi_a + U_b I_b \cos \varphi_b + U_c I_c \cos \varphi_c = \quad (11)$$

$$= I_a^2 R_a + I_b^2 R_b + I_c^2 R_c ,$$

а реактивная

$$Q = Q_a + Q_b + Q_c = U_a I_a \sin \varphi_a + U_b I_b \sin \varphi_b + U_c I_c \sin \varphi_c =$$

$$= I_a^2 X_a + I_b^2 X_b + I_c^2 X_c .$$
(12)

Если нагрузка соединена треугольником, то активная и реактивная мощности будут равны

$$P = P_{ab} + P_{bc} + P_{ca} = U_{ab} I_{ab} \cos \varphi_{ab} + U_{bc} I_{bc} \cos \varphi_{bc} + U_{ca} I_{ca} \cos \varphi_{ca} =$$

$$= I_{ab}^2 R_{ab} + I_{bc}^2 R_{bc} + I_{ca}^2 R_{ca} ,$$
(13)

$$Q = Q_{ab} + Q_{bc} + Q_{ca} = U_{ab} I_{ab} \sin \varphi_{ab} + U_{bc} I_{bc} \sin \varphi_{bc} + U_{ca} I_{ca} \sin \varphi_{ca} =$$

$$= I_{ab}^2 X_{ab} + I_{bc}^2 X_{bc} + I_{ca}^2 X_{ca} .$$
(14)

Полную мощность можно определить из треугольника мощностей как

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \neq S_a + S_b + S_c \neq S_{ab} + S_{bc} + S_{ca} .$$
(15)

Следует обратить внимание на то, что **полная мощность трехфазной цепи не является суммой полных мощностей фаз.**

При симметричной нагрузке мощности всех фаз одинаковы, поэтому полная мощность и ее составляющие для соединения звездой будут равны. При соединении нагрузки треугольником

$$P = 3U_{\phi} I_{\pi} \cos \varphi_{\pi} = 3I_{\pi}^2 R_{\pi} = \frac{3U_{\phi}^2}{R_{\pi}} = \frac{U_{\pi}^2}{R_{\pi}} = 3 \frac{U_{\pi}}{\sqrt{3}} I_{\pi} \cos \varphi_{\pi} = \sqrt{3} U_{\pi} I_{\pi} \cos \varphi_{\pi}$$

$$Q = 3U_{\phi} I_{\pi} \sin \varphi_{\pi} = 3I_{\pi}^2 X_{\pi} = \frac{3U_{\phi}^2}{X_{\pi}} = \frac{U_{\pi}^2}{X_{\pi}} = 3 \frac{U_{\pi}}{\sqrt{3}} I_{\pi} \sin \varphi_{\pi} = \sqrt{3} U_{\pi} I_{\pi} \sin \varphi_{\pi}$$

$$S = 3U_{\phi} I_{\pi} = \sqrt{3} U_{\pi} I_{\pi}$$
(16)

$$\begin{aligned}
 P &= 3U_{\text{л}} I_{\text{ф}} \cos \varphi_{\text{н}} = 3I_{\text{ф}}^2 R_{\text{н}} = I_{\text{л}}^2 R_{\text{н}} = 3U_{\text{л}} \frac{I_{\text{л}}}{\sqrt{3}} \cos \varphi_{\text{н}} = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi_{\text{н}} \\
 Q &= 3U_{\text{л}} I_{\text{ф}} \sin \varphi_{\text{н}} = 3I_{\text{ф}}^2 X_{\text{н}} = I_{\text{л}}^2 X_{\text{н}} = 3U_{\text{л}} \frac{I_{\text{л}}}{\sqrt{3}} \sin \varphi_{\text{н}} = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \sin \varphi_{\text{н}} \\
 S &= 3U_{\text{л}} I_{\text{ф}} = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}}
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

Из выражений (16) и (17) следует, что **полная мощность трехфазной сети и ее составляющие при симметричной нагрузке могут быть определены по линейным токам и напряжениям независимо от схемы соединения.**

Лекція № 11

Тема : **Перехідні процеси в колах з ємністю**

План.

- 1) Основні поняття
 - (а) поняття усталеного (примушеного) режиму в колі;
 - (б) поняття перехідного режиму;
 - (в) закони комутації;
 - (г) математична модель струму і напруги перехідного режиму (дві складові).
- 2) Зарядка конденсатора (включення кола з ємністю й опором на постійну напругу):
 - (а) струм перехідного режиму (фізичні основи процесу, схема підключення, функція струму, графік струму);
 - (б) стала часу (поняття і формула обчислення);
 - (в) напруга на ємності в перехідному режимі (функція та її аналіз, графік);
 - (г) напруга на опорі в колі при перехідному режимі (функція та її аналіз, графік).
- 3) Розрядка конденсатора:
 - (а) фізичні процеси при відключенні зарядженої ємності від джерела (схема підключення для розрядки);
 - (б) струм перехідного режиму (функція струму, графік струму);
 - (в) стала часу (поняття і формула обчислення);
 - (г) напруга на ємності в перехідному режимі (функція та її аналіз, графік);
 - (д) напруга на опорі в колі при перехідному режимі (функція та її аналіз, графік).
- 4) Розв'язування задач.

Література:

Евдокимов Ф.Е. Теоретические основы электротехники. - Глава 25. §§ 25.1, 25.4 – 25.5.

Будіщев М.С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка. - § 4.3.

2.1. Закони комутації .Дотепер ми розглядали в основному усталені процеси в електричних колах, коли напруги, струми і е.р.с. протягом тривалого проміжку часу залишалися *постійними чи*

змінювалися періодично. Такий режим кола встановлюється при досить тривалій дії джерел постійної чи синусоїдальної е.р.с. і тому називається ще примушеним режимом. Примушений режим встановлюється в колі не миттєво слідом за моментом включення чи відключення джерел живлення або за моментом зміни її параметрів (L, C або R), тобто за моментом комутації.

З моменту **комутації** в колі спостерігається **перехідний режим**, що тільки через досить великий інтервал часу (теоретично нескінченно великий) змінюється примушеним режимом.

Перший закон комутації: **струм у колі з індуктивністю не може змінюватися стрибком** або, інакше, струм у момент, що безпосередньо іде за комутацією, має те ж значення, що він мав у момент, що безпосередньо передує комутації.

Другий закон комутації: **напруга на ємності не може змінюватися стрибком** або, інакше, напруга на ємності в момент, що безпосередньо іде за комутацією, має те ж значення, що й у момент, що безпосередньо передує комутації.

Вивчення перехідних процесів у лінійних колах спрощується, якщо перехідний режим розглядати як результат накладення двох процесів (математична модель процесу). Першого — нового примушеного режиму, вважаючи, що він настає миттєво після комутації, і другого — вільного режиму, що забезпечує перехід кола від колишнього примушеного режиму до нового примушеного режиму.

Закон зміни вільного струму (напруги) визначається схемою кола і величинами її параметрів.

Дійсний струм у колі протягом перехідного режиму можна представити у вигляді суми нового примушеного струму і вільного струму: $i = i_{np} + i_e$

напруга протягом перехідного режиму $u = u_{np} + u_e$

2.2. Перехідні процеси в колах з ємністю

Зарядка конденсатора. (Включення кола з ємністю й опором на постійну напругу)

Приєднаємо незаряджений конденсатор з ємністю C через резистор з опором R до джерела живлення з постійною напругою U.

Напруга на затискачах конденсатора пропорційна заряду на його пластинах і оскільки конденсатор не був зарядженим, то за законом комутації напруга на конденсаторі в момент його включення ($t=0$) дорівнює нулю, тобто $U_c(0) = 0$.

Після закінчення процесу зарядки (у сталому режимі) напруга на конденсаторі дорівнює напрузі джерела живлення, тобто її примушена складова $U_{Cnp}=U$.

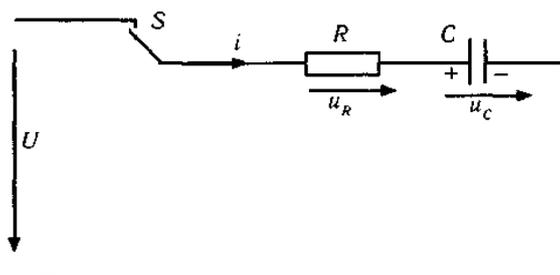


Рис.

Під час перехідного процесу напруга на конденсаторі складається з двох складових: напруги примушеного режиму $U_{спр}=U$ і напруги вільного режиму

$$u_c = -Ue^{-\frac{t}{\tau}}.$$

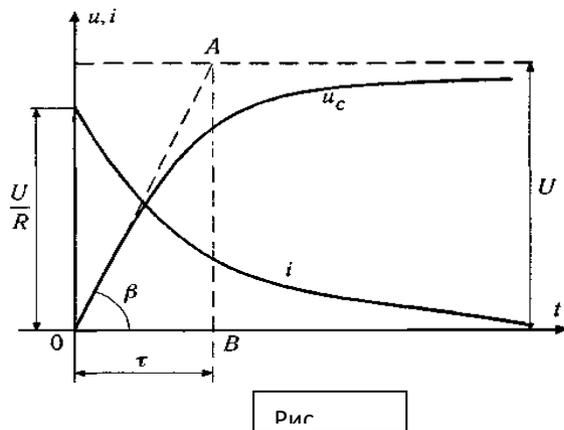
Таким чином, напруга на конденсаторі при зарядці

$$u_c = U - Ue^{-\frac{t}{\tau}} = U(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}),$$

тобто, вона дорівнює різниці постійної напруги U джерела живлення і вільної напруги, що зменшується з перебігом часу за законом показової функції від значення U до нуля.

Параметр τ називається **сталюю часу** кола і визначається параметрами кола:

$$\tau = CR$$



Струм перехідного режиму, або зарядний струм:

$$i = C \frac{dU_c}{dt} = C \frac{1}{\tau} U e^{-\frac{t}{\tau}} = I e^{-\frac{t}{\tau}}$$

де $I = \frac{CU}{\tau} = \frac{U}{R}$.

Струм i від початкового значення I з часом поступово зменшується за законом показової функції практично до нуля.

За час $t = \tau$ зарядний струм зменшується в 2,72 рази (тобто до значення $i=0,37 \cdot I$), а напруга на конденсаторі за той же час зростає від нуля до $0,63 \cdot U$ (див. графік рис.2.2.2.).

За час $t = 3\tau$ струм зменшується до $0,05 \cdot I$, а напруга на конденсаторі збільшується до $0,95U$.

Через час $t = 5\tau$ зарядка конденсатора **практично закінчується**.

Спад напруги на опорі R пропорційний струму: $u_R = R \cdot i = R \cdot I e^{\frac{-t}{\tau}} = U e^{\frac{-t}{\tau}}$

Розрядка конденсатора.

При відключенні конденсатора від джерела заряд на ньому зберігається.

А при замиканні накоротко відбувається процес *розрядки конденсатора*.

Струм у колі при цьому спрямований протилежно струму зарядки: $i = -u_C/R$

Напруга на конденсаторі в початковий момент має найбільше значення, а потім змінюється за законом показової функції

$$u = U e^{\frac{-t}{\tau}},$$

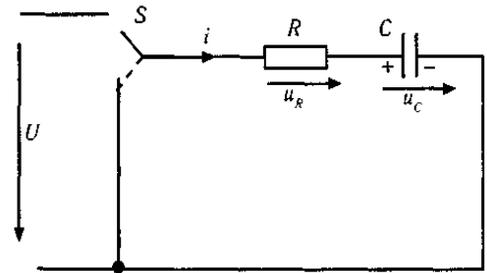


Рис.

досягаючи за час $t = 5\tau$ практично нульового значення (графік – на рис 2.2.4).

Струм розрядки в початковий момент ($t = 0$) стрибком змінюється від нуля до значення $-U/R$, а потім змінюється пропорційно напрузі на конденсаторі:

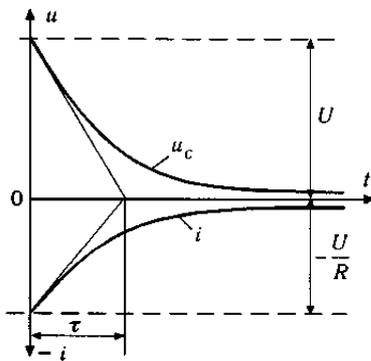


Рис.

$$i = I e^{\frac{-t}{\tau}} = \frac{U}{R} e^{\frac{-t}{\tau}}$$

Швидкість протікання процесу, як і раніш, визначається **сталого часу τ** .

Процес розрядки вважається закінченим через час $t = 5\tau$

Вся енергія електричного поля зарядженого конденсатора за час розряду перетворюється на тепло в резисторі R .

Включення кола з індуктивністю й опором на постійну напругу

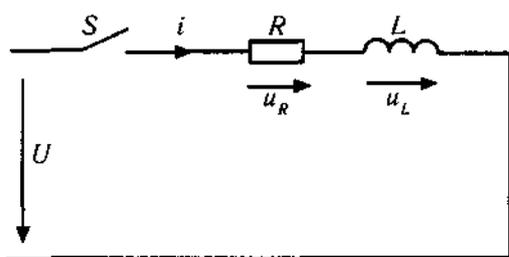


Рис. 2.3.1.

При включенні кола з індуктивністю L і опором R на постійну напругу U струм у колі i внаслідок дії е.р.с. самоіндукції наростає поступово від нуля до примушеного (усталеного) значення $i = \frac{U}{R} = I$ за експоненціальним законом,

що характеризується вільною складовою струму:

$$i_g = -I e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Струм перехідного режиму $i = i_{np} + i_g = I - I e^{-\frac{t}{\tau}} = I(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$

У початковий момент часу ($t = 0$) вільний струм, рівний по величині і зворотний за знаком примушеному струму, компенсує примушений струм, так що струм перехідного режиму дорівнює нулю.

Потім, вільний струм зменшується за законом показової функції, а перехідний струм збільшується. Нарешті, при $t = \infty$ струм досягає примушеного значення $I = U/R$.

Теоретично струм досягне сталого значення через нескінченно великий час. А практично часто сталий режим настає дуже швидко.

Про тривалість перехідного процесу судять за величиною, що називають **сталюю часу**:

$$\tau = \frac{L}{R}$$

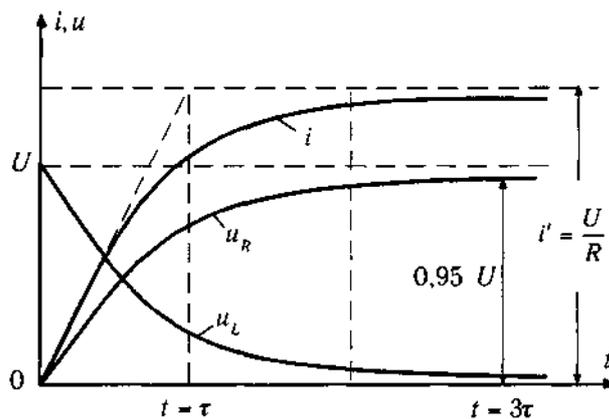


Рис. 2.3.2.

Дійсно, через проміжок часу $t=\tau$ струм в колі змінюється за законом $i_{(t=\tau)} = I(1 - e^{-1}) = I(1 - \frac{1}{e}) \approx 0,63 \cdot I$, тобто зростає від нуля до 63% від значення усталеного струму I .

Через час $t=3\tau$ величина струму в цьому колі $i_{(t=3\tau)} = I(1 - e^{-3}) = I(1 - \frac{1}{e^3}) \approx 0,95 \cdot I$, тобто досягає 95% від струму примушеного режиму.

Вважаючи закінчення перехідного процесу при струмі i , що відрізняється на 1% від струму примушеного режиму I , одержуємо **тривалість перехідного режиму** $t_{\text{перех}} = 4,6\tau$ так що при малій індуктивності кола (величина $\tau=L/R$ мала) примушений режим може наступити через частки секунди і навіть мілісекунди.

Напруга на активному опорі при перехідному процесі

$$u_R = iR = I(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})R = U(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

Напруга на індуктивності при перехідному процесі

$$u_L = U - u_R = U - U(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = U \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Електрорушійна сила самоіндукції при перехідному процесі

$$e_L = -L \frac{di}{dt} = -L \frac{1}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} = -I R e^{-\frac{t}{\tau}} = -U e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Електрорушійна сила самоіндукції дорівнює по величині і зворотна за знаком напрузі на індуктивності. У початковий момент вона має найбільше значення, рівне напрузі на затискачах кола U , і з ростом струму спадає до нульового значення.

Відключення кола з індуктивністю й опором

Перехідний процес відключення нерозгалуженого кола протікає складніше, ніж при її включенні.

При відключенні кола контакти рубильника розходяться й у коло послідовно включається опір повітряного проміжку між контактами рубильника, що відходять один від одного. Якщо припустити, що провідність повітря дуже мала, то струм у такому колі повинен майже миттєво зменшитися до нуля й у колі виникне дуже велика е.р.с. самоіндукції. Ця е.р.с. викликає між розбіжними контактами рубильника сильне електричне поле, так що відбудеться іонізація повітря, можливо навіть виривання з поверхні контактів рубильника вільних електронів (явище автоемісії); у повітряному проміжку виникне іскровий або дуговий розряд.

Таким чином, газовий проміжок між розбіжними контактами рубильника при відключенні кола має провідність і **струм у колі зменшується до нуля не миттєво**. Опір газового проміжку між контактами пристрою, що вимикає, - нелінійний; тому аналіз перехідного процесу при відключенні досить складний.

Варто пам'ятати, що відключення кіл, по яких проходять значні струми (сотні, тисячі амперів і більш), протікає дуже важко для апаратури вмикання та перемикавання. Для розриву таких кіл застосовуються спеціальні пристрої вимикання, що не руйнуються від дугового розряду і забезпечують швидке його гасіння і розрив кола струму.

Лекція № 12

Тема : Електричні вимірювання. Вимірювання електричних величин.

План

1. Поняття "вимірювання" та "електровимірювальні прилади"
2. Класифікація електровимірювальних приладів
 - а) за родом вимірювальної величини;
 - б) за фізичним принципом дії вимірювального механізму;
 - в) за родом струму;
 - г) за класом точності;
 - д) за типом відлікового пристрою;
 - е) за виконанням залежно від умов експлуатації;
 - є) за стійкістю до механічних впливів;
 - ж) за ступенем захисту від зовнішніх магнітних та електричних полів тощо.
3. Вимірювання струмів, напруг, потужностей та енергії
 - а) способи підключення приладів при вимірюванні струмів, напруг, потужностей та енергії;
 - б) способи розширення меж вимірювання амперметрів та вольтметрів.

Рекомендована література для самостійного вивчення теми

Данилов, Иванов. — §§ 11.2, 11.4, 11.5

Поняття "вимірювання" та "електровимірювальні прилади"

Вимірювання – це процес порівняння фізичної величини з її значенням, прийнятим за одиницю.

Електровимірювальні прилади — це такі технічні засоби, які виробляють сигнали вимірювальної інформації у формі, що доступна для безпосереднього сприйняття спостерігачем.

Електровимірювальні прилади дають змогу вимірювати як електричні, так і неелектричні величини. На шкалі наводиться назва приладу або початкова латинська літера одиниці, що вимірюється.

Електровимірювальні прилади можна класифікувати:

- а) за родом вимірювальної величини;
- б) за фізичним принципом дії вимірювального механізму;
- в) за родом струму;
- г) за класом точності;
- д) за типом відлікового пристрою;
- е) за виконанням залежно від умов експлуатації;
- є) за стійкістю до механічних впливів;
- ж) за ступенем захисту від зовнішніх магнітних та електричних полів тощо.

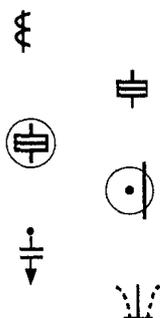
1. Класифікація електровимірювальних приладів

2.1. За вимірювальною величиною електровимірювальні прилади поділяються на:

- вольтметри (позначаються літерою *V*);
- амперметри (*A*);
- ватметри (*W*);
- омметри (Ω);
- лічильники енергії (*Wh*);
- фазометри (ϕ);
- частотоміри (*Hz*) тощо.

До умовної літери може бути додано позначення кратності основної одиниці, наприклад: міліамперметр — *mA*; кіловольтметр — *kV*; мегомметр — *M Ω* тощо.

2.2. За фізичним принципом дії  розрізняють такі системи електровимірювальних



приладів:

а) магнітоелектрична ----

б) електромагнітна ---

в) електродинамічна ----

г) феродинамічна --

д) індукційна -----

е) електростатична ---

є) вібраційна -----

тощо.

2.3. Умовні позначення на шкалі приладу характеризують класифікацію приладів **за родом струму**:

а) постійний струм;

б) змінний (однофазна система);

в) постійний і змінний;

г) трифазна система;

д) трифазна несиметрична система.

2.4. **За класом точності** електровимірювальні прилади класифікуються відповідно до стандартів. Клас точності позначається цифрою, котра дорівнює зведеній похибці у відсотках, що допускає прилад. Випускають прилади таких класів точності: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. У лічильниках електроенергії класи точності такі: 0,5; 1,0; 2,0; 2,5.

2.5. **За типом відлікового пристрою** електровимірювальні прилади розрізняються. В залежності від призначення прилади можуть бути:

— показуючі;

— реєструючі;

— самопишучі;

— друкуючі;

— інтегруючі;

— підсумовуючі.

Більш поширені показуючі прилади, тобто прилади безпосередньої оцінки. Відліковий пристрій цих приладів складається звичайно з шкали і показника. Показчиком може бути стрілка або світлова пляма з рисою. Треба знати правила користування відліковим пристроєм. Такі показуючі прилади називаються **аналоговими**. Показання таких приладів — це безперервна функція величини, що вимірюється.

В **цифрових** електровимірювальних приладах показання наводяться у цифровому вигляді.

2.6. У залежності від умов експлуатації, діапазону робочих температур та відносної вологості, електровимірювальні прилади поділяються на п'ять груп:

- група А (температура +10...+35°C, вологість 80);
- група Б (температура -30...+40°C, вологість 90);
- група Б₁ (температура -40...+50°C, вологість 95);
- група В₂ (температура -50...+60°C, вологість 95);
- група В₃ (температура -50...+80°C, вологість 98).

2.7. За стійкістю до механічних впливів прилади підрозділяються в залежності від значення максимально допустимого прискорення при ударах та вібраціях (м/с²). За стандартом електровимірювальні прилади поділяються на групи:

- звичайні з підвищеною міцністю (ОП);
- нечутливі до вібрацій (ВН);
- віброміцні (ВП);
- нечутливі до трясіння (ТН);
- трясінняміцні (ТП);
- удароміцні (У).

Звичайні прилади групи ОП витримують прискорення до 15 м/с².

2.8. За ступенем захисту від зовнішніх магнітних та електричних полів прилади поділяються на I і II категорії. Від зовнішніх полів прилади захищаються екранами.

2.9. У більшості показуючих електровимірювальних приладів *рухома частина пристрою переміщується внаслідок дії **обертаючого моменту**. **Обертаючий момент виникає внаслідок взаємодії магнітних або електричних полів та, до деякої міри, пропорційний вимірюваній величині.** У вимірювальному пристрою завжди є **протидіючий момент**, що створюється механічною або електромагнітною силою.*

Для створення механічної протидії використовується звичайно спіральна пружина, іноді для більшої чутливості—підвіси або розтяжки.

Прилади, в котрих створюється електромагнітний протидіючий момент, називають **логотрами**

Таблиця 1.

Позначення на шкалах приладу

Зміст умовного позначення	Умовне позначення
Прилад постійного струму	—
Прилад постійного та змінного струму	⎓
Прилад змінного струму	~
Прилад трифазного струму	≈
Робоче положення шкали горизонтальне	┌
Робоче положення шкали вертикальне	⊥
Прилад класу 0,5	0,5
Ізоляцію вимірювального кола відносно корпусу приладу випробувано напругою 2 кВ.	☆

3. Вимірювання струмів, напруг, потужностей та енергії

3.1. Для **вимірювання струму** будь-якої вітки електричного кола амперметр вмикають послідовно з елементами кола (рис.5.1). В колах постійного струму звичайно застосовуються прилади магнітоелектричної системи і нечасто — електромагнітної системи. Для зменшення похибки вимірювання треба, щоб опір амперметра був значно меншим (на два порядки) за опір елемента вітки, в котрій вимірюється струм.

Для вимірювання напруги вольтметр вмикають паралельно до елемента, напругу на якому треба визначити (рис.5.1). В колах постійного струму звичайно користуються приладами магнітоелектричної системи. Для зменшення похибки вимірювання опір вольтметра повинен бути великим (на два порядки більшим за опір елемента, на якому вимірюється напруга).

Потужність у колі постійного струму обчислюється за показаннями амперметра і вольтметра $P = UI$

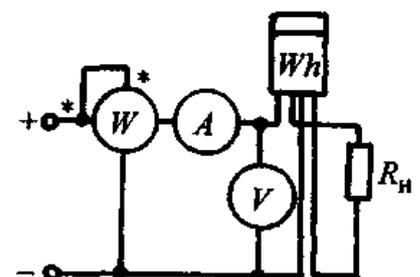


Рис.5.1.

У випадках, коли немає змоги виміряти водночас напругу і струм, вимірюють потужність електродинамічним ватметром (рис.5.1).

Енергію в колах постійного струму вимірюють звичайно електродинамічним лічильником.

Схему вмикання вимірювальних приладів в коло постійного струму наведено на рис. 5.1.

3.2. Для розширення меж вимірювання амперметра використовують шунти (рис. 5.2).

Якщо I_A — максимально допустимий струм амперметра, то можна записати

$$I_A R_A = I_{ш} R_{ш}, \quad \text{тоді} \quad I_{ш} = \frac{I_A R_A}{R_{ш}}$$

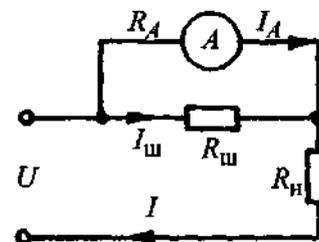


Рис.5.2.

За першим законом Кірхгофа $I = I_A + I_{ш}$, тобто $\frac{I}{I_A} = 1 + \frac{R_A}{R_{ш}}$.

Відношення $n = \frac{I}{I_A}$ називається коефіцієнтом розширення меж вимірювання амперметром. У цьому разі можна визначити опір шунта, котрий забезпечує розширення меж з коефіцієнтом

$$R_{ш} = \frac{R_A}{n - 1}$$

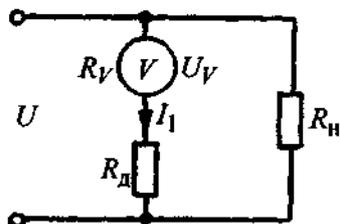


Рис.5.3.

Для розширення меж вимірювання вольтметра використовують додаткові опори, котрі вмикаються послідовно з обмоткою вольтметра (рис. 5.3).

Якщо U_V —максимально допустима напруга вольтметра,

$$U = I_1 R_V + I_1 R_D$$

Величина $m = \frac{U}{U_V}$ називається коефіцієнтом розширення меж вимірювання вольтметром.

Тоді
$$m = \frac{I_1}{U_V} (R_V + R_D)$$

Оскільки $\frac{U_V}{I_1} = R_V$, можна визначити величину додаткового опору, котрий забезпечує розширення меж вимірювання вольтметра $R_D = R_V(m - 1)$.

Лекція № 13

Тема: Електровимірювальні прилади деяких систем.

План.

1. Принцип дії, переваги та недоліки приладів магнітоелектричної системи.
2. Принцип дії, переваги та недоліки приладів електромагнітної системи.
3. Принцип дії, переваги та недоліки приладів електродинамічної системи.
4. Принцип дії, переваги та недоліки приладів феродинамічної системи.
5. Принцип дії, переваги та недоліки приладів індукційної системи.
6. Принцип дії, переваги та недоліки приладів електростатичної системи.
7. Особливості цифрових приладів.

Рекомендована література:

Общая электротехника с основами электроники. Учебник для техникумов. В.А. Гаврилюк, Б.С. Гершунский, А.В. Ковальчук, Ю.А. Куницкий, А.Г. Шаповаленко — Киев: Вища школа, 1980. - 480 с.

Китаев В.Е. Электротехника с основами промышленной электроники: Учебник для проф.-техн. училищ.-М.:Высш. Шк.,1985.-224 с.

1. У приладах **магнітоелектричної системи** обертаючий момент створюється внаслідок взаємодії сталого магніту з провідником зі струмом. Рухомою частиною може бути або рамка зі струмом, або сталий магніт, розташований на осі.

Прилади магнітоелектричної системи з рухомим магнітом є приладами низьких класів точності і застосовуються як вказівні на транспортних засобах тощо.

Електровимірювальні прилади з рухомою рамкою мають високу точність і застосовуються при більш точних вимірюваннях.

На рамку зі струмом у магнітному полі діє електромагнітна сила. Оскільки сила визначається за законом електромагнітної сили, то й обертаючий момент буде пропорційний струму, що протікає в рамці. Якщо протидіючий момент створюється пружиною

$$M_{пр} = m\alpha,$$

то кут повороту рамки (стрілки приладу) α пропорційний струму в рамці

$$\alpha = cI,$$

де m — питомий протидіючий момент,

c — постійна величина.

Величина $c = \alpha/I$ — називається чутливістю приладу і характеризує клас точності.

Оскільки кут повороту стрілки пропорційний струму, шкала приладів магнітоелектричної системи рівномірна, що є перевагою таких приладів. **Магнітоелектричні прилади застосовують для вимірювання постійних струмів та напруг.** Вони також можуть використовуватися для вимірювання опорів як гальванометри.

Позитивними особливостями приладів магнітоелектричної системи є високий клас точності (до 0,1) і порівняно малі внутрішні втрати енергії.

Недоліком приладів цієї системи можна вважати непридатність до роботи в полях змінного струму, чутливість до перевантажень і залежність від температури оточення.

Магнітоелектричним приладом можна виконувати вимірювання в полях змінного струму, якщо в коло рухомої котушки ввімкнути перетворювач змінного струму на постійний.

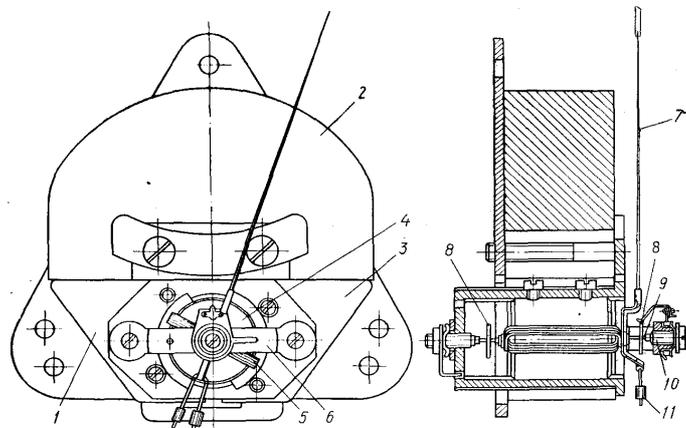


Рис. 8.1. Измерительный механизм магнитоэлектрической системы.

2. Електровимірювальний прилад **електромагнітної системи** має нерухому котушку і розташовану на осі феромагнітну пластинку. Якщо в котушці протікає струм, що вимірюється, то створене котушкою поле втягує всередину феромагнітну пелюстку. Якщо вимірюється величина в полі постійного струму, то обертаючий момент пропорційний квадрату струму. Якщо в котушці протікає синусоїдний струм, то обертаючий момент пропорційний квадрату діючого значення цього струму

$$M_{об} = kI^2,$$

де k — коефіцієнт пропорційності.

Кут відхилення рухомої частини також пропорційний квадратові струму

$$\alpha = cI^2.$$

Спеціальна форма феромагнітної пелюстки може трохи поліпшити нерівномірність. Створюють прилади, у котрих шкала нерівномірна тільки в початковій частині.

Квадратова пропорційність означає, що напрямок відхилення стрілки не залежить від напрямку струму, тобто **приладами електромагнітної системи можна вимірювати як в колах постійного, так і в колах змінного струму.**

Прилади електромагнітної системи можуть безпосередньо вимірювати значні струми (до 300 А) та напруги (до 600 В). Вимірювальний механізм амперметра на великий струм має котушку у вигляді одного витка мідної шини. Електромагнітний вольтметр на велику напругу має котушку з великою кількістю витків дроту малого перерізу з додатковими резисторами, котрі компенсують температурні похибки.

Точність електромагнітного приладу значно обмежується належністю феромагнітного осердя через явище залишкового намагнічування. Для зменшення впливу гістерезису (тобто підвищення класу точності приладу) осердя виготовляють зі спеціальних феромагнітних сплавів (наприклад, пермалоїв) з невеликою коерцитивною силою.

Такі прилади мають високий клас точності, до 0,2.

Основними **перевагами** приладів електромагнітної системи можна вважати:

- а) простоту, надійність, дешевизну;
- б) спроможність використання в колах постійного та змінного струму;
- в) високу переважувальну здатність.

До **недоліків** приладів електромагнітної системи відносять:

- а) невисоку точність;
- б) невисоку чутливість;
- в) велике власне споживання електроенергії (0,5... 15 Вт);
- г) обмежений частотний діапазон вимірювальних величин;
- д) нерівномірність шкали;
- е) чутливість до впливу зовнішніх магнітних полів.

Власне магнітне поле приладу дуже слабе, тому зовнішнє поле значно впливає на його показання. Для зменшення впливу зовнішнього поля вимірювальний механізм захищають сталевим екраном.

Значно менше впливає зовнішнє поле на прилади електромагнітної системи з астатичним вимірювальним механізмом.

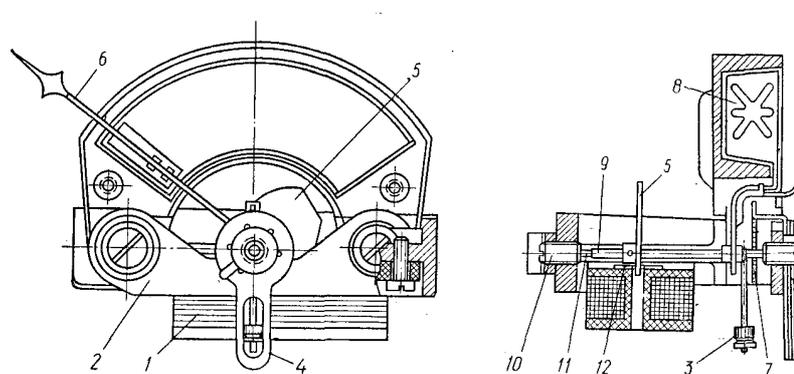


Рис. 8.2. Измерительный механизм электромагнитной системы.

Астатичний вимірювальний механізм має дві нерухомі обмотки та два осердя на одній осі. Обмотки вмикаються послідовно у такий спосіб, що їх потоки зустрічні, а моменти, що діють на осердя, — узгоджені. В цьому разі зовнішній магнітний потік підсилює обертаючий момент одного осердя і водночас послаблює момент другого осердя. Тому в астатичних електромагнітних приладах загальний обертаючий момент не залежить від зовнішнього магнітного поля.

Прилади електромагнітної системи застосовуються в промислових електротехнічних пристроях низької частоти та постійного струму, а також — досить широко — як щитові амперметри і вольтметри класів 1,0; 1,5; 2,0.

3. Прилади **електродинамічної системи** мають вимірювальний механізм, що складається з двох котушок: нерухомої і рухомої. Нерухома котушка має дві секції, всередині котрих на осі розташована рухома котушка. За наявності струму у котушках виникають електромагнітні сили взаємодії, що прагнуть повернути рухома котушку, тобто обертаючий момент пропорційний (для постійних струмів і відповідної конструкції механізму) добутку струмів:

$$M_{o6} = k I_1 I_2.$$

Якщо прилад вмикається у коло синусоїдного струму, то обертаючий момент пропорційний добутку діючих значень струму і косинусу зсуву фаз між ними

$$M_{o6} = k I_1 I_2 \cos \alpha.$$

Електродинамічні прилади можна використовувати як амперметри, вольтметри та ватметри у колах постійного та змінного струмів.

Протидіючий момент створюється двома пружинами, по котрих здійснюється й підвід струму до рухомої котушки. Підбираючи форми котушок та їх розташування, можна одержати майже лінійну шкалу вольтметрів і амперметрів, починаючи з 20% верхньої межі вимірювання.

Використовуючи електродинамічний прилад, котушки вмикають паралельно амперметру тому, що обмежене підведення великого струму до рухомої котушки через пружини. Обидві обмотки вмикаються через додаткові резистори.

При вимірюванні напруги обмотки вмикаються послідовно і також з додатковим резистором.

Якщо прилад використовується як ватметр, то нерухому обмотку вмикають послідовно, а рухому з додатковим резистором — паралельно до навантаження. Кут відхилення стрілки пропорційний потужності навантаження, тому шкала ватметрів електродинамічної системи завжди рівномірна. Напрямок відхилення рухомої частини залежить від відносного напрямку струму в котушках. Тому затискачі струмової обмотки і обмотки напруги, котрі вмикаються на джерело живлення, позначаються *зіркою* (*). Ці затискачі називаються **генераторними**.

Прилади електродинамічної системи мають **переваги** над приладами інших систем:

- а) дуже високу точність (класи 0,1; 0,2; 0,5);
- б) можливість використання в колах постійного і змінного струму.

Висока точність цих приладів обумовлена тим, що магнітні потоки замикаються повітрям, а не в феромагнітних осердях, тобто виключається вплив та похибки явища гістерезису, вихрових струмів тощо. Тому прилади електродинамічної системи у вигляді переносних широко застосовуються в точних лабораторних дослідженнях.

Основними **недопiками** приладів електродинамічної системи вважають:

- а) залежність показання від впливу зовнішніх магнітних полів через слабке власне магнітне поле;
- б) слабку перевантажувальну спроможність через обмеження струмопідводу до рухомої котушки;
- в) значну споживану потужність;
- г) незначний обертаючий момент.

4. Для зменшення впливу зовнішніх магнітних полів та з метою підвищення обертаючого моменту в приладах **феродинамічної системи** застосовується феромагнітне осердя.

Нерухома котушка цих приладів розташована на сталевому магнітопроводі. Прилад створює потужний магнітний потік, що захищає його від впливу зовнішніх полів і підвищує обертаючий момент.

Вимірювальні прилади феродинамічної системи мають порівняно низьку точність вимірювання і обмежений діапазон частот. Прилади цієї системи використовують в основному як щитові в колах змінного струму. Великий обертаючий момент дає змогу використовувати феродинамічні системи в самописних приладах у колах з частотою від 10 до 1500 Гц.

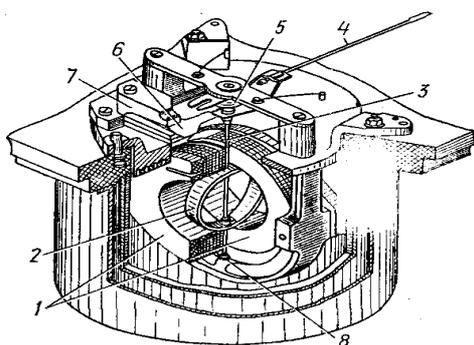


Рис. 8.3. Измерительный механизм электродинамической системы.

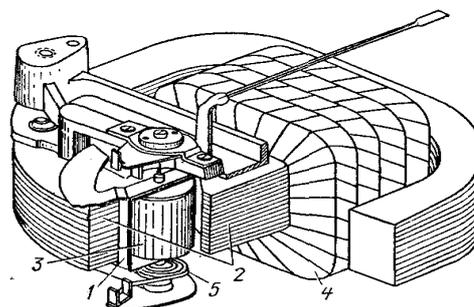


Рис. 8.4. Измерительный механизм феродинамической системы.

5. Принципово прилади **індукційної системи** можна зробити будь-якого призначення (амперметри, вольтметри, ватметри тощо). Але найбільшого розповсюдження **набули індукційні лічильники електричної енергії**.

Індукційний лічильник — це маленький двигун змінного струму. Принцип дії ґрунтується на взаємодії обертового (або біжучого) магнітного поля з вихровими струмами у рухомій частині приладу.

Біжуче поле створюється двома магнітними потоками, що зсунуті на деякий кут за фазою. Ці потоки створюються двома електромагнітами. Обмотка одного електромагніту (з великою кількістю витків) увімкнена паралельно навантаженню. Обмотка другого має малу кількість витків і вмикається послідовно щодо навантаження, тобто один потік пропорційний напрузі, а другий — струму навантаження. Створюється обертаючий момент, що пропорційний потужності змінного струму

$$M_{об} = kP$$

Протидіючий момент створюється сталим магнітом, в полі котрого обертається рухома частина — алюмінієвий диск. Взаємодія сталого магнітного потоку з вихровими струмами зумовлює гальмівний момент M_{Γ} .

При сталій частоті обертання $M_{об} = M_{\Gamma}$, а $W = c n$,

де W — енергія, що споживається навантаженням,

n — кількість обертів лічильника,

c — сталий коефіцієнт (стала лічильника показує кількість кіловат-годин електроенергії, що відповідає одному оберту диска).

Перевагами приладів індукційної системи можна вважати:

- а) порівняно великий обертаючий момент;
- б) стійкість до значних перевантажень (по струму до 300%);
- в) незалежність від зовнішніх магнітних полів.

Взагалі лічильники індукційної системи дуже надійні в експлуатації. Вони випускаються промисловістю класів 1,0; 2,0; 2,5 (лічильники активної енергії) і 2,0; 3,0 (лічильники реактивної енергії). Бувають лічильники однофазні і трифазні.

До **недоліків** приладів цієї системи можна віднести те, що лічильники індукційної системи використовуються для змінного струму лише однієї частоти. Показання приладів цієї системи залежать значною мірою від температури оточуючого середовища.

Для розширення меж вимірювання енергії змінного струму за напругою і струмом використовують вимірювальні трансформатори напруги і струму.

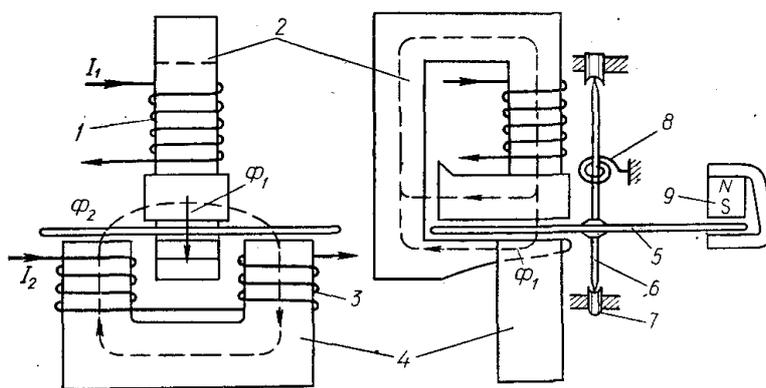


Рис. 8.5. Измерительный механизм индукционной системы.

6. Вимірювальний механізм приладу **електростатичної системи** складається з металевих ізольованих пластин. Під дією потенціалу рухома пластина відхиляється, тобто створюється обертаючий момент

$$M_{об} = cU^2,$$

що пропорційний квадрату постійної напруги, або квадрату діючого значення синусоїдної напруги.

Підбиранням форми і розмірів пластин можна отримати рівномірну шкалу.

Прилади електростатичної системи використовуються тільки як вольтметри постійної і змінної напруги.

До **переваг** електростатичних вольтметрів можна віднести:

- а) мале власне споживання електричної енергії;
- б) нечутливість до зовнішніх магнітних полів та коливань температури;
- в) можливість вимірювати високі напруги без застосування вимірювальних трансформаторів напруги.

До **недоліків** приладів цієї системи можна віднести порівняно низьку чутливість приладів.

Для розширення меж вимірювання електростатичними вольтметрами застосовують ємнісні та резистивні подільники напруги.

7. Цифрові прилади вимірюють значення безперервної електричної величини в окремі моменти часу. Результат вимірювання подається в цифровій формі.

Промисловість виготовляє цифрові вольтметри постійної напруги від 1 мкВ до 1000 В. Завдяки застосуванню каліброваних шунтів ці прилади можна використовувати як цифрові амперметри до 7500 А, крім того, як вольтметри змінної напруги, частотомери, омметри тощо.

Переваги:

Ці прилади мають дуже велику точність вимірювання (похибки від 0,1 до 1%), велику швидкодію, широкі межі вимірювань. Цифрові прилади можна комутувати з обчислювальними машинами.

До **недоліків** цифрових приладів треба віднести їх високу вартість та порівняну складність.

Лекція № 14

ТЕМА: Класифікація машин. Електричні машини постійного струму. Принцип дії машин постійного струму. Будова машин постійного струму

План :

1. Призначення, принцип дії і класифікація електричних машин.
2. Будова машин постійного струму.
3. Типи і характеристики машин постійного струму.
4. Спеціальні машини постійного струму.

Рекомендована література

Общая электротехника с основами электроники. Учебник для техникумов. В.А. Гаврилюк, Б.С. Гершунский, А.В. Ковальчук, Ю.А. Куницкий, А.Г. Шаповаленко — Киев: Вища школа, 1980. - 480 с.

Китаев В.Е. Электротехника с основами промышленной электроники: Учебник для проф.-техн. училищ.-М.:Высш. Шк.,1985.-224 с.

1. ПРИЗНАЧЕННЯ, ПРИНЦИП ДІЇ І КЛАСИФІКАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН.

Електричні машини призначені для перетворення енергії. Механічну енергію на електричну перетворюють за допомогою електричних генераторів. Електричну ж енергію на механічну— за допомогою електричних двигунів. Машини для перетворення змінного струму на постійний і навпаки, а також частоти або кількості фаз змінного струму називають *електромашинними перетворювачами*.

Принцип дії, будова і робота різних електричних машин ґрунтуються на використанні деяких фізичних явищ. Найважливіші з них — електромагнітна індукція і взаємодія магнітних (електромагнітних) полів. Ці явища ви вивчали на уроках фізики у 8-му класі. Згадайте такий дослід: провід, з'єднаний з чутливим вимірювальним приладом (гальванометром), переміщують між полюсами підковоподібного магніту, при цьому стрілка гальванометра відхиляється. Дослід показує, що в провіднику під час руху його в магнітному полі виникає електрорушійна сила (ЕРС). Її називають ЕРС електромагнітної індукції, або просто ЕРС індукції, а напрям цієї ЕРС визначають, як відомо з курсу фізики, користуючись правилом правої руки: долоню правої руки розміщують так, щоб лінії магнітної індукції входили в неї, а відігнутий під прямим кутом великий палець збігався з напрямом руху провідника, тоді витягнуті чотири пальці руки показують напрям ЕРС індукції.

ЕРС індукції виникає й тоді, коли провідник нерухомий, але міститься в змінному магнітному полі.

Отже, явище електромагнітної індукції полягає в тому, що в провідному контурі, який міститься в змінному магнітному полі або перетинає лінії магнітної індукції постійного магнітного поля, виникає електрорушійна сила індукції.

Згадаємо інший дослід: по проводу, розміщеному між полюсами підковоподібного магніту, пропускають електричний струм — провід переміщується перпендикулярно до ліній магнітної індукції. Дослід показує, що на провід зі струмом у магнітному полі діє сила, напрям якої визначають, користуючись правилом лівої руки: долоню лівої руки розміщують так, щоб лінії магнітної індукції входили в неї, а чотири витягнуті пальці збігалися з напрямом струму в провіднику, тоді відігнутий під прямим кутом великий палець показує напрям сили, що діє на провідник. Сила діятиме на провід зі струмом і тоді, коли в досліді постійний підковоподібний магніт замінити електромагнітом. Проводу можна надати форми рамки; якщо рамку розмістити в магнітному полі і пропустити по ній струм, то вона повернеться навколо своєї осі.

Обертання рамки зумовлене тим, що на її сторони діють сили в протилежних напрямках. А такі сили, як відомо з фізики, створюють обертаючий момент. Розглянуте явище лежить в основі будови і роботи електричних двигунів, багатьох електричних приладів, апаратів. У кожному з розглянутих вище випадків і аналогічних до них (наприклад, коли струм проходить по двох паралельних проводах) виникнення сили можна пояснити взаємодією магнітних (електромагнітних) полів: магнітного поля постійного підковоподібного магніту й магнітного поля, створюваного струмом, який проходить по провіднику; магнітного поля постійного підковоподібного магніту (або електромагніту) і магнітного поля, створюваного струмом, що проходить по рамці; магнітних полів, створюваних струмами, котрі проходять по кожному з паралельно розміщених проводів.

За видом струму розрізняють машини змінного струму і машини постійного струму.

Електричні машини змінного струму поділяють, крім того, на дві групи — синхронні й асинхронні. Щоб зрозуміти ознаки цієї класифікації, розглянемо будову електричних машин. Електрична машина має нерухому частину — статор і рухому — ротор (якір), нерухомо з'єднаний з валом машини. Кожна із цих частин може виконувати будь-яку з двох функцій: створювати або магнітне поле, або ЕРС індукції. Термін «ротор» звичайно вживають тоді, коли говорять про машини змінного струму, а термін «якір» — стосовно машин постійного струму. Кількість обертів ротора (вала машини) за одиницю часу називають *частотою обертання* електричної машини.

Магнітне поле, що його створює статор, у більшості електричних машин змінюється періодично; часто воно є обертовим магнітним полем. Якщо частота обертання магнітного поля і частота обертання вала електричної машини однакові, такі машини називають синхронними. В асинхронних машинах частота обертання ротора менша за частоту обертання магнітного поля.

Електричні машини експлуатують у різних умовах. А тому залежно від форми виконання розрізняють відкриті й захищені електричні машини,

причому захищені можуть бути брзко-захищеними, водозахищеними, пилозахищеними, вибухоза-хищеними та ін.

Під час роботи електричні машини нагріваються. Це шкідливо для ізоляції та інших частин. Тому більшість електричних машин мають вентиляційні пристрої.

2. БУДОВА МАШИН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Одна й та сама машина постійного струму в принципі може працювати і як генератор, і як двигун. (Ця властивість машини постійного струму, що називається *оборотністю*, дає змогу не розглядати окремо будову генератора чи двигуна.) Проте кожен електричний завод випускає з певним призначенням — працювати тільки як генератор або тільки як двигун. Дуже рідко використовують машини постійного струму, призначені для роботи як генератором, так і двигуном.

Генератори постійного струму застосовують тоді, коли потрібно мати самостійне джерело струму, наприклад для живлення деяких видів електромагнітів, електромагнітних муфт, електродвигунів, електролізних ванн, зварювальних установок тощо.

Електродвигуни постійного струму застосовують тоді, коли потрібно плавно регулювати швидкість, наприклад у тролейбусах, електровозах, деяких типах підйомних кранів, у пристроях автоматики.

Статор машини постійного струму складається зі *станини* (рис. 62) і *осердя*. Станину виготовляють з маловуглецевої сталі, яка має значну магнітну проникність. Тому станина є також і магнітопроводом. Одночасно це основна деталь, що об'єднує інші деталі й складальні одиниці машини в єдине ціле. Так, до станини із середини прикріплюють болтами *полюси*, котрі складаються з осердя, полюсного наконечника і котушки.

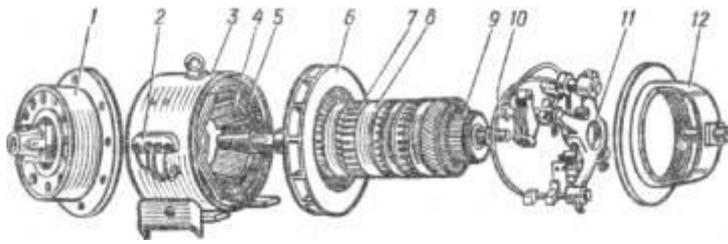


Рис. 62. Будова машини постійного струму:

1 — задній підшипниковий щит; 2 — затискачі; 3 — станина; 4 — головний полюс; 5 — обмотка головного полюса; 6 — вентилятор; 7 — обмотка якоря; 8 — осердя якоря; 9 — колектор; 10 — вал; 11 — траверса із щитковим механізмом; 12 — передній підшипниковий щит

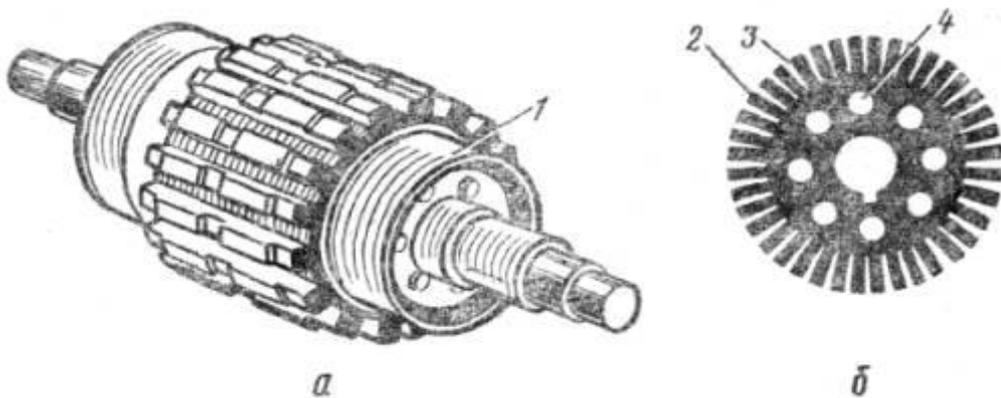


Рис. 63. Якір машини постійного струму:

а — якір без обмотки; б — сталевий лист осердя якоря; 1 — натискні шайби; 2 — зубець; 3 — паз; 4 — вентиляційний отвір

Розрізняють основні й додаткові полюси. Основні полюси збуджують магнітне поле; тому обмотки їх котушок називають обмотками збудження. Додаткові полюси встановлюють у машинах підвищеної потужності (понад 1 кВт) для поліпшення роботи машини; обмотку додаткових полюсів з'єднують послідовно з обмоткою ротора (якоря).

Ротор (якір) (рис. 63) машини постійного струму складається з осердя й обмотки. Осердя якоря набирають з тонких листів електротехнічної сталі, ізольованих один від одного лаковим покриттям, що зменшує втрати на вихрові струми. У пази осердя вкладають обмотку якоря. В осерді якоря роблять вентиляційні канали. Щоб струм від обмотки якоря в зовнішнє коло

(у генераторі) або із зовнішнього кола до обмотки якоря (у двигуні) проходив в одному й тому самому напрямі, у машині постійного струму встановлюють *колектор* (рис. 64). Набирають його з мідних пластин, ізолюваних одна від одної міканітовими прокладками. Кожну пластину колектора з'єднують з одним або кількома витками обмотки якоря. Осердя якоря і колектор закріплюють на одному валу (див. рис. 62). Отже, колектор — це пристрій, який конструктивно об'єднаний з якорем (ротором) електричної машини і є механічним перетворювачем частоти. По ізолюваних один від одного і приєднаних до витків обмотки якоря пластинах, що становлять колектор, ковзають струмознімні щітки (рис. 65). Через ці щітки й колектор обмотка якоря приєднується до зовнішнього електричного кола. Щітки вставляють в обойми щіткотримача і притискають до колектора пружинами.

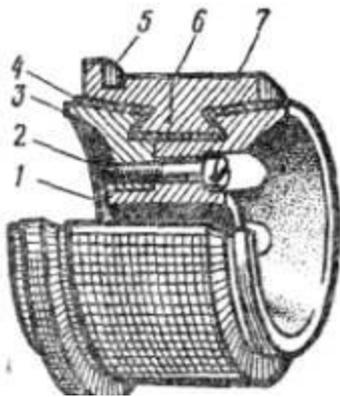


Рис. 64. Будова колектора:

1 — корпус; 2 — болт; 3 — натискне кільце; 4 — міканітова прокладка; 5 — «півник»; 6 — «ластівчин хвіст»; 7 — колекторна пластина 130

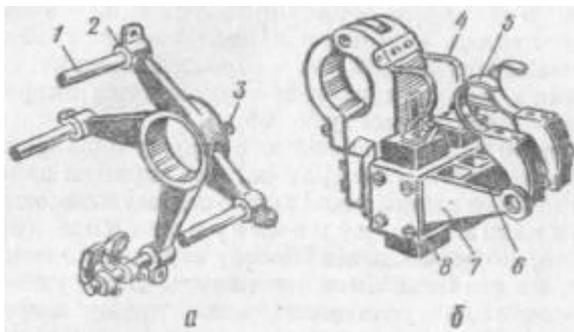


Рис. 65. Щітковий механізм машини постійного струму:

a — траверса; б — щіткотримач; 1 — щітковий палець; 2 — ізоляція кільця від траверси; 3 — стопорний болт; 4 — мідний провід; 5 — натискні пластини; 6 — місце розміщення пружини; 7 — обойма; 8 — щітка

Під час роботи машини щітки ковзають по колектору. Щіткотримачі кріплять до траверси.

3. ТИПИ І ХАРАКТЕРИСТИКИ МАШИН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Машини постійного струму розрізняють за способом збудження.

У машинах з *незалежним збудженням* обмотка збудження живиться від побічного джерела струму (рис. 66, *a*). Якщо обмотка збудження дістає живлення від затискачів якоря і з'єднана з ними паралельно, таку машину називають машиною з *паралельним збудженням* (рис. 66, *б*). Таку саму машину, але з послідовним з'єднанням обмотки збудження із затискачами якоря називають машиною з *послідовним збудженням* (рис. 66, *в*). У машинах зі *змішаним збудженням* є дві обмотки збудження, одна з яких з'єднана із затискачами якоря послідовно, а друга — паралельно (рис. 66, *г*).

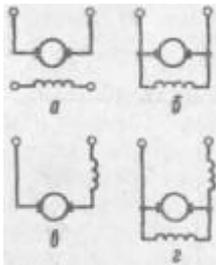


Рис. 66. Схеми машин постійного струму (пускові й регулювальні реостати не показано):

a — з незалежним збудженням; б — з паралельним збудженням; в — з послідовним збудженням; г — зі змішаним збудженням

Характеристики машини постійного струму показують її робочі якості. Характеристику генератора, яка виражає залежність між напругою на його затискачах і силою струму в обмотці якоря, називають зовнішньою

характеристикою (рис. 67). З рисунка видно, що залежно від способу збудження генератора можна дістати як стабільні, так і регульовані напруги.

Характеристики двигунів постійного струму виражають також залежність обертаючого моменту від сили струму в обмотці якоря (рис. 68) і частоти обертання від обертаючого моменту (рис. 69). Залежність частоти обертання від обертаючого моменту називають механічною характеристикою двигуна. Ці характеристики показують, що залежно від способу живлення обмотки збудження можна в широких межах регулювати як значення обертового моменту, так і частоту обертання двигуна постійного струму.

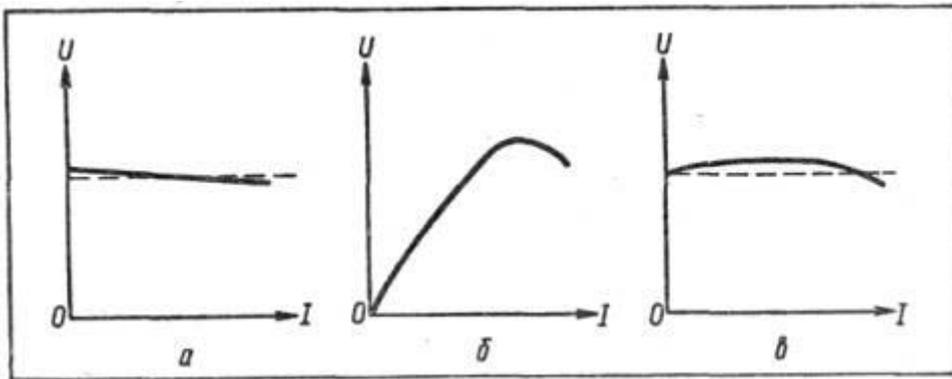


Рис. 67. Зовнішня характеристика генератора постійного струму:

a — з незалежним і паралельним збудженням; *б* — з послідовним збудженням; *в* — зі змішаним збудженням

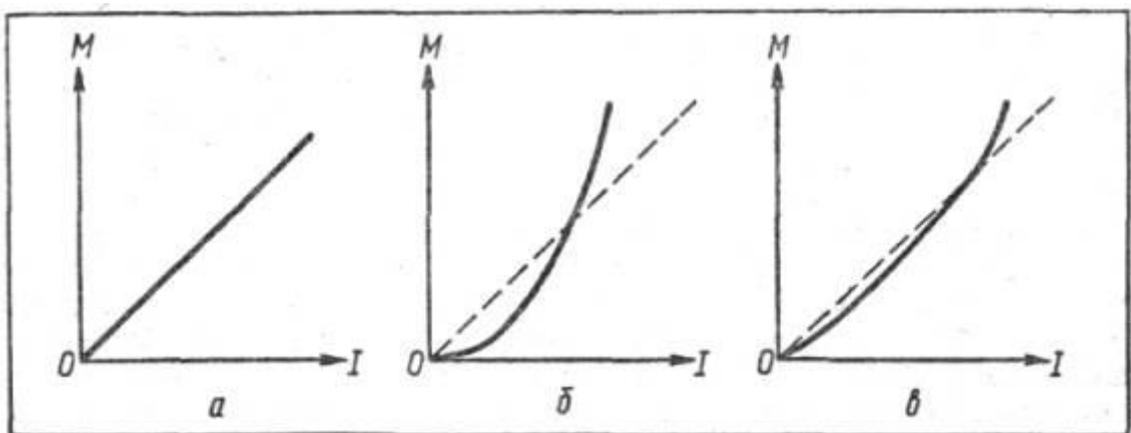


Рис. 68. Залежність обертаючого моменту на валу електродвигуна постійного струму від сили струму в обмотці якоря:

а — з незалежним і паралельним збудженням; б — з послідовним збудженням; в — зі змішаним збудженням

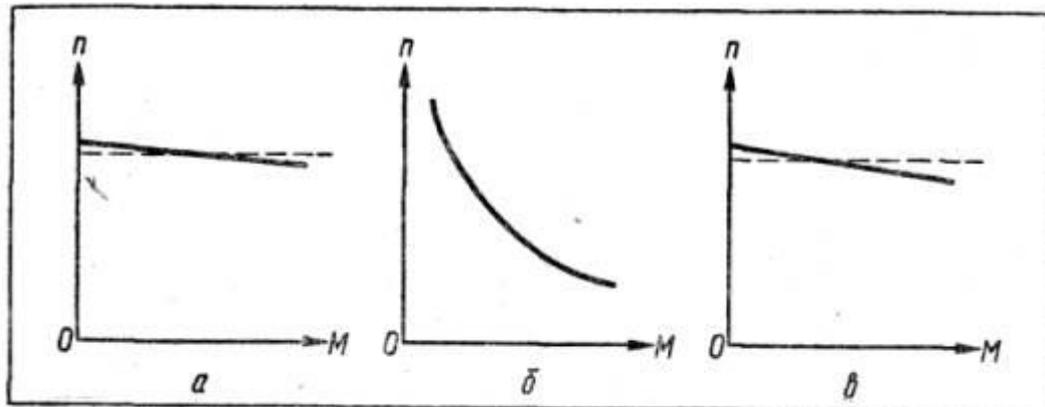


Рис. 69. Механічна характеристика електродвигуна постійного струму:

а — з незалежним і паралельним збудженням; б — з послідовним збудженням; в — зі змішаним збудженням

4. СПЕЦІАЛЬНІ МАШИНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.

Потреба в спеціальних машинах постійного струму виникла в основному в зв'язку з автоматизацією виробництва і розвитком електрифікованого транспорту.

Йшлося про генераторні датчики — мікромашини постійного струму, які застосовують для перетворення частоти обертання вала двигуна на електричний сигнал. Таку мікро-машину з незалежним збудженням, вмонтовану в тахометр, називають *тахогенератором*.

У системах автоматичного керування і регулювання застосовують *виконавчі двигуни*. Вони призначені для перетворення електричного сигналу на механічне переміщення, наприклад на обертання вала. Потужність виконавчих двигунів звичайно становить 500...600 Вт. Вони мають

відповідати таким вимогам, як швидкодія, висока надійність, точність регулювання частоти обертання. Як виконавчі використовують двигуни постійного струму з друкованою обмоткою якоря. Якір виготовляють у вигляді тонкого диска з текстоліту, скла або іншого немагнітного матеріалу, на обидва боки якого друкованим способом наносять провідники обмотки якоря. Магнітне поле статора створюється постійними магнітами і підсилюється за допомогою кілець з феромагнітного матеріалу. Останнім часом застосовують також машини постійного струму з гладеньким якорем. У нього обмотка розміщена не в пазах, а безпосередньо на осерді. Ці машини мають поліпшені характеристики, які забезпечуються меншою індуктивністю обмотки якоря і підвищеною магнітною Індукцією в повітряному зазорі між якорем і статором.

В автоматичних системах звичайно потрібно підсилювати електричні сигнали. Для цього часто застосовують підсилювачі, у яких енергія перетворюється за допомогою електронних ламп або транзисторів. Поширені також *електромашинні підсилювачі* (ЕМП).

Такий підсилювач являє собою машину постійного струму, на обмотку збудження якої може подаватися сигнал, який треба підсилити. Підсилення досягається за рахунок використання енергії первинного двигуна, як правило, електричного. За допомогою електромашинних підсилювачів потужність сигналу підсилюється в 10^4 — 10^5 разів.

На електрифікованому транспорті застосовують *тягові електричні двигуни*. Звичайно це двигуни постійного струму з послідовним збудженням. Проте умови роботи їх відрізняються від умов роботи електричних двигунів, які використовують у стаціонарних установках. Тягові двигуни працюють в умовах частого пуску, різних змін напруги, сили струму, частоти обертання. Отже, тягові двигуни повинні мати великий пусковий обертовий момент (забезпечується завдяки послідовному збудженню) і можливість регулювання в широких межах частоти обертання. Усе це зумовлює особливості конструкції тягових двигунів на відміну від електричних машин загального призначення.

Лекція № 15

Тема : Трансформатори. Призначення, будова і принцип дії трансформатора.

План.

1. Визначення.
2. Класифікація трансформаторів та коротка характеристика основних типів.
3. Принцип дії трансформатора (на прикладі найпростішого). Коефіцієнт трансформації.
4. Особливості конструкції трансформаторів:
 - призначення та конструкція осердя;
 - призначення та конструкція обмоток;
 - охолодження обмоток.

Література:

Данилов, Иванов. Общая электротехника с основами электроники. §§ 7.1, 7.2, 7.4.

Евдокимов. Общая электротехника. § 7.1.

Паначевний. Курс электротехники. § 9.1.

1. Трансформатор — статичний електромагнітний пристрій із двома або більшим числом індуктивно зв'язаних обмоток, який служить для перетворення за допомогою електромагнітної індукції змінного струму однієї напруги в змінний струм іншої напруги.

2. Класифікація.

За призначенням трансформатори бувають: силові, узгоджувальні та імпульсні;

за потужністю – малої, середньої та великої потужності;

за кількістю обмоток – двообмоткові та багатообмоткові;

за способом охолодження – сухі і масляні;

за типом осердя – стержньові, броньові і тороїдні; а також – без осердя (повітряні);

за кількістю фаз – однофазні і трифазні.

Силові трансформатори призначені для перетворення електричної енергії в електричних мережах та в установках для її приймання і використання. Вони складають основну, найбільш численну групу.

Потужні силові трансформатори встановлюють на електростанціях для підвищення електричної енергії генераторів. Передача електроенергії по лінії електропередачі високою напругою і малими струмами значно зменшує втрати потужності, що дає можливість зменшити переріз проводів та істотно знизити витрати кольорового металу.

У кінці лінії електропередачі встановлюють трансформатори, які знижують напругу до рівня, необхідного для розподілу її між великими споживачами (міста, населені пункти, промислові підприємства, цехи підприємств та ін.).

У місцях споживання електроенергії встановлюють трансформатори, які знижують напругу до експлуатаційної. Більшість споживачів працюють при напрузі 220, 380 і 660 В.

Отже, електроенергія, яка передається від електростанції до електроприймачів, трансформується декілька разів. Спочатку підвищується, а потім знижується.

Трансформатори, призначені для підвищення напруги, називаються *підвищувальними*, а трансформатори, призначені для зниження напруги, — *знижувальними*.

Трансформатори широко використовують у радіо- і телеапаратурі, у вимірювальних пристроях, місцевому освітленні тощо.

Трансформатори, які використовуються для узгодження напруги або опорів між каскадами в радіопристроях, називаються **узгоджувальними**.

Трансформатори, призначені для передачі імпульсів напруги або струмів з однієї мережі в іншу, називаються **імпульсними**. Вони широко використовуються в імпульсній техніці.

Залежно від потужності трансформатори випускають з природним і **масляним охолодженням**. Активні частини трансформаторів у потужних енергетичних установках занурюють в мінеральне трансформаторне масло для кращого відведення тепла і поліпшення ізоляції.

Трансформатори малої потужності випускають з **повітряним охолодженням**.

3. Принцип дії трансформатора.

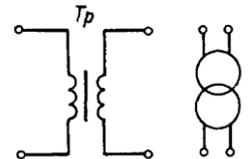
Магнітопровід - це феромагнітне осердя трансформатора, на якому розташовуються обмотки.

Обмотка – це провід, обмотаний навколо стержня магнітопроводу для створення магнітного поля під дією струму, що протікатиме обмоткою, або для зворотного явища (електромагнітної індукції).

Обмотка, до якої підводиться електрична енергія, називається **первинною**, а обмотка, від якої відводиться електрична енергія, — **вторинною**.

Умовне позначення однофазного трансформатора

В основі роботи будь-якого трансформатора лежить явище електромагнітної індукції.



Розглянемо принцип дії трансформатора на прикладі однофазного двообмоткового трансформатора.

Під час вмикання первинної обмотки трансформатора до мережі змінного струму з напругою U_1 у ній виникає струм I_1 , який збуджує в магнітопроводі змінний магнітний потік Φ . Замикаючись по магнітопроводу, змінний магнітний потік перетинає витки обмоток та індукуює в первинній обмотці (w_1) е.р.с. e_1 , а у вторинній обмотці (w_2) е.р.с. e_2 .

Під час вмикання вторинної обмотки до навантажування е.р.с. e_2 створить у ній струм I_2 .

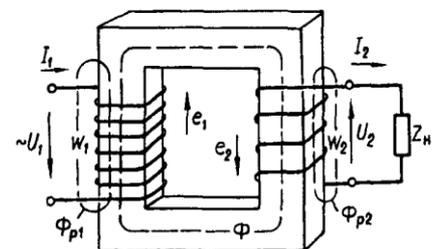


Рис. 6.3. Схема принципу дії однофазного двообмоткового трансформатора.



Отже, у трансформаторі електрична енергія первинного кола з параметрами U_1, I_1 та частотою f перетворюється в електричну енергію змінного струму з параметрами U_2, I_2 та частотою f .

Поряд з основним магнітним потоком у трансформаторі ще є змінні магнітні потоки розсіювання Φ_{p1} та Φ_{p2} , які замикаються навколо витків первинної та вторинної обмоток в основному через повітря. Магнітні лінії потоків розсіювання зчеплені тільки з витками своєї обмотки і не беруть участі у передачі енергії з первинного кола до вторинного. У кожній з обмоток вони створюють е.р.с. e_{p1} та e_{p2} відповідно.

Змінні е.р.с. e_1 і e_2 залежать від кількості витків і швидкості зміни магнітного потоку:

$$e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt}; \quad e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt}.$$

Оскільки е.р.с. e_1 і e_2 створюються одним і тим самим магнітним потоком при синусоїдальній напрузі, то діючі значення е.р.с. E_1 і E_2 залежатиме від частоти струму, витків обмотки та магнітного потоку:

$$E_1 = 4,44 f w_1 \Phi;$$

$$E_2 = 4,44 f w_2 \Phi.$$

Поділивши значення е.р.с. первинного і вторинного кола, одержимо вираз для **коефіцієнта трансформації**:

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} = n.$$

Отже, коефіцієнт трансформації — це відношення е.р.с. обох обмоток або відношення чисел витків цих обмоток.

У трансформаторі виникає подвійне перетворення електричної енергії. Спочатку електрична енергія мережі у первинній обмотці перетворюється в енергію магнітного поля і передається у вторинну обмотку. У вторинній обмотці енергія магнітного поля перетворюється в електричну і передається у навантаження.

Втрати трансформатора на нагрівання його обмоток, магнітопроводу невеликі. Тому, нехтуючи втратами, **можна вважати**, що у трансформаторі перетворюються тільки напруга і струм, а **потужність залишається незмінною**:

$$U_1 I_1 \approx U_2 I_2.$$

При цьому $U_1 \approx E_1$, $U_2 \approx E_2$.

Вираз для **коефіцієнта трансформації** можна переписати у вигляді

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} = n.$$

Якщо не враховувати втрати активної та реактивної потужності в трансформаторах, які зумовлені основним магнітним потоком і потоком розсіювання, то можна вважати, що коефіцієнт трансформації буде

$$n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1},$$

тобто струми в трансформаторі обернено пропорційні їхнім напругам.

4. Особливості конструкції трансформаторів.

Конструкція трансформатора залежить від його габаритів, які, в свою чергу, залежать від номінальної потужності трансформатора.

Основні частини трансформатора — магнітопровід та обмотки.

Основне призначення магнітопроводу — підсилення магнітного зв'язку між обмотками трансформатора, тобто зменшення магнітного опору контуру, крізь який проходить магнітний потік.

Частини магнітопроводу, на яких розміщені обмотки, називаються **стержнями**, а частини, на яких немає обмоток, — **ярмом**.

Магнітопровід набирається із листів електротехнічної сталі завтовшки 0,36...0,5 мм, які ізолювані один від одного лаком, папером або окалиною. Тобто осердя трансформатора роблять **шихтованим**. Це робиться для зменшення втрат від

переманічування та вихрових струмів: сталь у своєму складі має кремній, що підвищує електричний опір і не впливає на магнітний опір.

Магнітопровід (осердя) трансформатора буває трьох типів:

- стержньовий,
- броньовий,
- тороїдний.

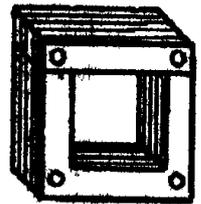
Стержньове осердя набирається із П-подібних ізольованих пластин трансформаторної сталі.

Позначається стержньове осердя як **П20Х45**,

де П — тип осердя,

20 — ширина стержня, мм,

45 — товщина пакета, мм.

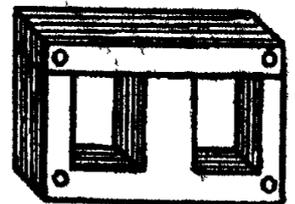


Броньове осердя набирається з Ш-подібних пластин. Обмотки розташовуються концентрично на центральному стержні. У позначенні **Ш20х45**,

Ш — тип осердя (броньовий),

20 — ширина центрального стержня, мм,

45 — товщина пакета, мм.



Тороїдне осердя менш технологічне. Звичайне тороїдне осердя виготовляється нешихтованим. Позначається осердя цього типу таким чином:

О60х40х10,

де О — тип осердя (тороїдне),

60 — зовнішній діаметр тора, мм,

40 — внутрішній діаметр осердя, мм,

10—висота тора, мм.



Осердя усіх типів можуть виготовлятися із феромагнітної стрічки. Це більш технологічне виконання. У цьому разі до позначення типу осердя додається літера «Л». Наприклад: ПЛ, ШЛ, ЛО.

У трансформаторах малої потужності, які використовуються при частотах понад 20 кГц, феромагнітний магнітопровід відсутній, оскільки він фактично не проводить магнітного потоку через витиснення його до поверхні магнітопроводу.

Обмотки трансформаторів виготовляють з мідного (рідше — з алюмінієвого) дроту круглого або прямокутного перерізу, ізольованого лаком, кабельним папером або бавовняною пряжею. Їх конструкція залежить від призначення і потужності трансформатора. Вони повинні мати дуже малі втрати енергії.

У кожного трансформатора розрізняють обмотку вищої напруги (**ВН**), та обмотку нищої напруги (**НН**). Практичне значення такого поділу полягає в тому, що більш висока напруга потребує більш надійної ізоляції обмотки та вхідних затискачів. Тому обмотку ВН розташовують далі від магнітопроводу, ніж обмотку НН.

За взаємним розташуванням та формою обмотки бувають: концентричні та дискові.

Концентричні обмотки мають форму циліндра (див. рис. 6.2) і можуть бути одношарові і багатшарові.

Дискові обмотки виконують у вигляді дисків (витки одного диску лежать в одній площині) – на стержні магнітопроводу диски НН чергуються з дисками ВН (через диск ізоляції).

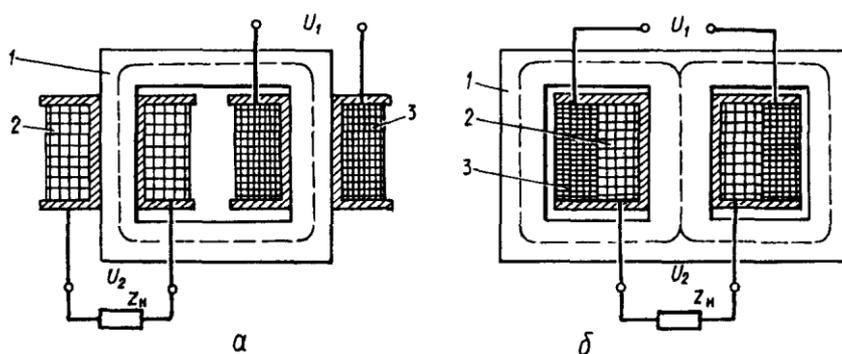


Рис. 6.2. Будова однофазного трансформатора:
a – стержньового, *б* – броньового,
 1 – стержень, 2 – вторинна обмотка, 3 – первинна обмотка.

Охолодження.

Трансформатори малої потужності мають природне охолодження (повітряне) і їх називають **сухими**.

В трансформаторах значної потужності магнітопровід з обмотками розміщують в ємкості з **трансформаторним маслом**, яке служить для охолодження і, до того ж, посилює ізоляцію обмоток від магнітопроводу.

Лекція № 16

Тема: **Напівпровідникові прилади. Напівпровідникові діоди. Транзистори.**

План.

1. Пряме і зворотне зміщення (вмикання) р-п-переходу.
2. Класифікація напівпровідникових приладів.
3. Визначення та класифікація напівпровідникових діодів. Загальний вигляд ВАХ діода.
4. Випрямні діоди (призначення і особливості).
5. Стабілітрони (призначення і особливості, схема вмикання)
6. Визначення напівпровідникового транзистора.
7. Визначення і особливості структури біполярного транзистора. Типи та умовні позначення.
8. Схеми вмикання біполярних транзисторів та їх особливості:
 - схема із загальною базою;
 - схема із загальним емітером;
 - схема із загальним колектором.
9. Вхідні і вихідні ВАХ біполярних транзисторів (на прикладі схеми із загальним емітером).

1. Напівпровідники та їх властивості.

Напівпровідниками прийнято називати матеріали кристалічної структури, в яких значно змінюється провідність під дією тепла, світла, електричних та магнітних полів, радіаційного опромінення, а також в результаті додавання в них у вигляді домішок інших матеріалів. До числа напівпровідників відносяться окисли металів, сірчисті з'єднання, з'єднання з селеном. Типові напівпровідники: селен, германій, кремній, телур. Напівпровідники відрізняються від провідників та діелектриків провідністю.

Особливістю металевих провідників є – наявність вільних електронів, які являються носіями електричних зарядів, а у діелектриків вільних електронів не має, тому вони не проводять електричний струм. На відміну від провідників, напівпровідники мають не

тільки «електрону» провідність, а й «дірочну», яка залежить від температури, освітлення, стиснення, електричного поля та інших факторів.

2. Залежність провідності напівпровідників від домішок.

При відсутності домішок і температурі $T=0$ (абсолютний нуль), усі валентні електрони зв'язані і вільних не має, германій не проводить електричний струм, при збільшенні температури, або при опроміненні збільшується провідність (оскільки збільшується енергія електронів). При кімнатній температурі в кристалі виникає струм.

Електропровідність зумовлена переміщенням вільних електронів називається електронною провідністю, або провідністю n -типу.

Після того як з'явилися вільні електрони в ковалентних зв'язках утворюється вільне і незаповнене електроном (вакантне) місце – «електронна дірка», яка має позитивний заряд і будь-який з електронів може зайняти це місце (дірки). Один ковалентний зв'язок буде встановлено, але буде порушено в іншому місці.

Переміщення «дірок» подібно переміщенню позитивних зарядів – називають «дірковою провідністю».

Провідність, яка виникає в результаті переміщення «дірок», називається «дірковою провідністю», або провідністю p -типу.

У чистого напівпровідника при порушенні ковалентних зв'язків, виникає однакова кількість вільних «електронів» і «дірок».

Електропровідність напівпровідника при відсутності в ньому домішок називають власною провідністю.

У випадку коли в кристалі будуть атоми інших елементів, можна отримати перевагу електронів над дірками, або навпаки.

Домішки, що віддають початковому матеріалу електрони називають **донорами**.

Домішки, які призводять до виникнення дірок називають **акцепторами**.

3. Пряме і зворотне зміщення (вмикання) p - n -переходу.

Якщо до напівпровідникового кристалу з двома типами провідності прикласти зовнішню напругу так, як це показано на рис. 8.2, а ("+" до структури n -типу і "-" до структури p -

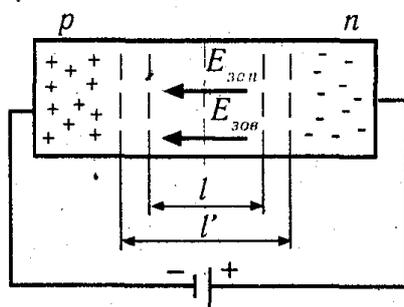


Рис. 8.2. а)

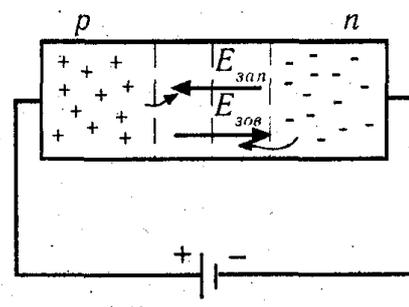


Рис. 8.2. б)

типу), то вона створить у запираючому шарі електричне поле напруженістю $E_{зовн}$, яке співпадає з напрямком поля нерухомих іонів $E_{зап}$. Це приводить до розширення запираючого шару (рис. 8.2, а), збільшення опору $p-n$ -переходу. Струм через нього дуже малий, оскільки він створюється неосновними носіями зарядів, тобто електронами в p -шарі і дірками в n -шарі. Цей струм називають **зворотним**, а $p-n$ -перехід у такому стані — **закритим**.

Якщо змінити полярність зовнішньої напруги (рис. 8.2, б), то зовнішнє поле буде спрямоване назустріч запираючому; запираючий шар стає вузьким і, при наявності напруги $0,3 \div 0,5$ В, опір $p-n$ -переходу різко зменшується і виникає відносно великий струм.

Повна вольт-амперна характеристика (ВАХ) $p-n$ -переходу показана на рис. 8.3. Вона є суттєво нелінійною.

На ділянці 1 $E_{зовн} < E_{зап}$ і прямий струм малий. На ділянці 2 $E_{зовн} > E_{зап}$, $p-n$ -перехід відкритий і струм обмежено лише опором самого напівпровідника. На ділянці 3 існує лише зворотний струм за рахунок наявності невеликої кількості неосновних носіїв зарядів, тобто електронів в p -зоні і дірок в n -зоні. Із збільшенням зворотної напруги $E_{зовн}$

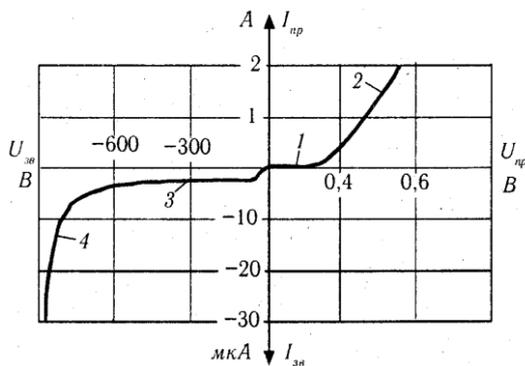


Рис.

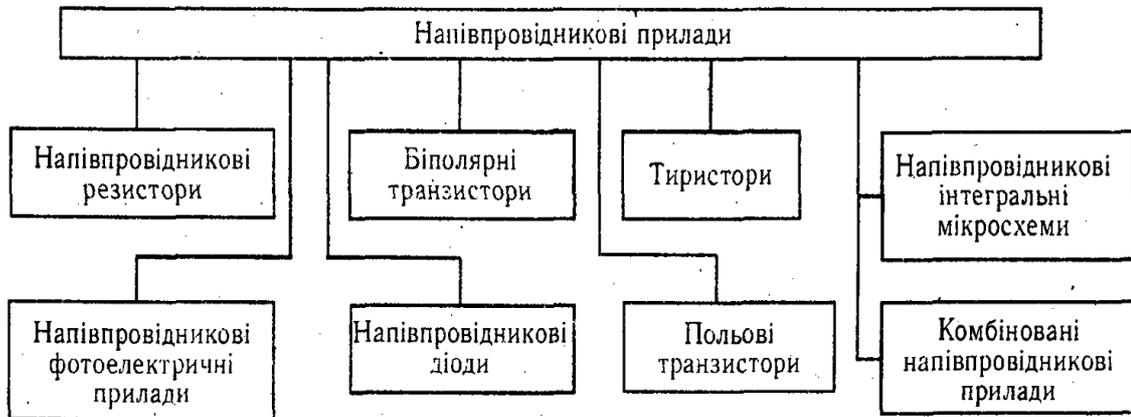
стає такою великою, що неосновні носії починають рухатися з великою швидкістю, достатньою для лавиноподібного розмноження носіїв зарядів — електронів і дірок. Цей вид пробою $p-n$ -переходу називають **лавинним**.

Властивості чистих та легованих напівпровідників, а також $p-n$ -переходу використовують в двохелектродних напівпровідникових приладах — резисторах та діодах. У більш складних приладах — транзисторах і тиристорах — використовують електричні властивості, які утворюються взаємодією декількох $p-n$ -переходів.

2. Класифікація напівпровідникових приладів

Прилади, принцип дії яких засновано на використанні властивостей напівпровідників, називають напівпровідниковими.

Класифікація напівпровідникових приладів:



Напівпровідникові резистори і діоди є двохелектродними приладами. Транзистори і тиристори мають три електроди (виводи). Тиристори можуть бути і двохелектродними.

Електричні характеристики напівпровідникових **резисторів** визначають властивості однорідного напівпровідникового матеріалу, з якого вони виготовлені. Напівпровідниковий матеріал може мати один з двох типів електропровідності, які позначають латинськими літерами p та n .

У напівпровідникових **діодах** використовують напівпровідники з різними типами електропровідності, які утворюють один так званий $p-n$ -перехід. Електричні характеристики діода визначають електричні властивості такого $p-n$ -переходу.

У **біполярних транзисторах** використовують два $p-n$ -переходи. Взаємодія цих переходів визначає електричні властивості транзисторів. У **польових транзисторах** застосовують напівпровідники з різними типами провідностей і використовують взаємодію одного з цих однорідних напівпровідників з $p-n$ -переходом.

У **тиристорах** застосовують напівпровідники з різними типами електропровідності, які утворюють три і більше $p-n$ -переходи.

У напівпровідникових **фотоелектричних приладах** використовують ефект генерації світла і зміни електричних характеристик напівпровідникових структур під впливом електромагнітного опромінювання оптичного діапазону.

Комбіновані напівпровідникові прилади являють собою декілька різних напівпровідникових приладів, об'єднаних в одному корпусі.

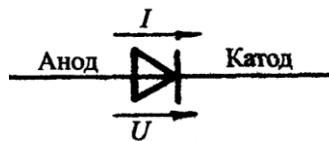
Напівпровідникові **інтегральні мікросхеми** — мікроелектронні вироби, які виконують певну функцію обробки сигналу і в яких всі елементи та міжелементні з'єднання виконані в об'ємі та на поверхні напівпровідника.

Напівпровідникові діоди

Напівпровідниковий діод має один *p-n*-перехід та два виводи (електроди). **Робота діодів ґрунтується на однібічній провідності *p-n*-переходу.** Звичайно діоди мають герметичні корпуси, що сприяють відведенню тепла.

Напівпровідникові діоди класифікуються за різними ознаками:

- а) типом конструкції переходу (точкові, площинні),
- б) функціональними ознаками (випрямні, стабілітрони, варикапи, імпульсні, детекторні, перетворювальні тощо);
- в) основним матеріалом (германієві, кремнієві та деякі інші);
- г) фізичними процесами (лавинно-пролітні, тунельні, діоди Шоткі, фотодіоди, світлодіоди та інші);
- д) граничними технічними параметрами (малострумні, малопотужні, середньої потужності, великої потужності, низькочастотні, надвисокочастотні та інші).



Умовне позначення діода:

Прямий струм діода спрямований від анода до катода.

Пряме увімкнення діода (коли на анод подається позитивний заряд джерела живлення) характеризується **дуже малим опором *p-n*-переходу.**

Зворотне увімкнення (на аноді – негативний потенціал) характеризується **великим опором переходу.**

Вольт-амперна характеристика діода (рис. 8.2) показує, що при зворотному увімкненні при деякому значенні зворотного струму можливий **електричний пробій *p-n*-переходу** – створення провідного каналу в *p-n*-переході. При пробіі зворотний струм діода різко зростає за величиною.

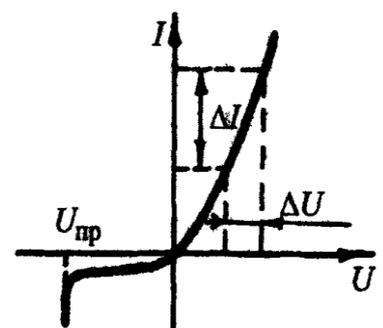
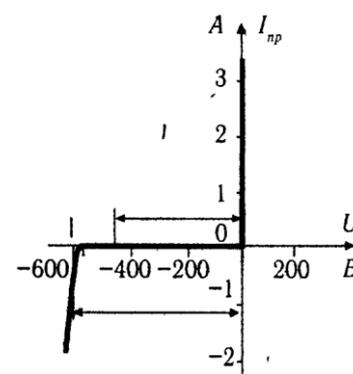


Рис.8.2. Вольт-амперна характеристика діода

Випрямні напівпровідникові діоди призначені для випрямлення змінного струму (перетворення його на струм одного напрямку).

Якщо скористатися однаковим масштабом струмів і напруг для прямого і зворотного напрямків, ВАХ діода буде мати вигляд:

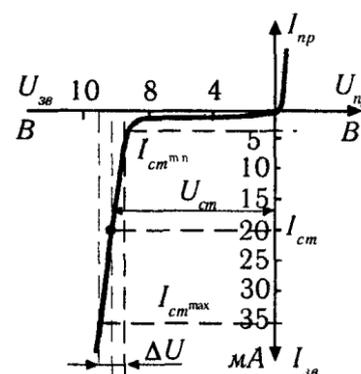


Стабілітрони.

Для стабілізації напруги використовують напівпровідникові діоди, що називаються стабілітронами.

Робочою ділянкою ВАХ стабілітрона є ділянка зворотної вітки ВАХ $p-n$ —переходу у зоні електричного пробою.

Під час зміни струму через стабілітрон від $I_{cm.min}$ до $I_{cm.max}$ напруга на стабілітроні незначно зростає на $2\Delta U$. Середньому значенню струму стабілітрона I_{cm} відповідає напруга стабілізації U_{cm} . Можливі відхилення від напруги стабілізації складають звичайно $\Delta U = (0,05 \div 0,2)U_{cm}$.



Таким чином, **досить великі зміни зворотного струму майже не змінюють напругу на стабілітроні.**

Мінімальні і максимальні робочі струми напівпровідникових стабілітронів дорівнюють I_{cm} $= 1 \div 10$ мА, а $I_{cm.max} = 50 \div 2000$ мА.

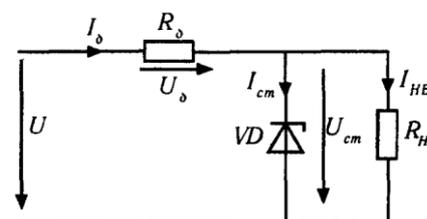
Напруга стабілізації U_{cm} може знаходитись у межах $U_{cm} = 1 \div 1000$ В. Але найчастіше в електронних пристроях систем автоматизації застосовуються стабілітрони з $U_{cm} = 3,3 + 24$ В і з $I_{cm.max} = 5 \div 70$ мА.

Застосовуються і більш потужні стабілітрони, наприклад, Д815, які мають $U_{cm} = 4,7 \div 15$ В і струм $I_{cm} = 0,5 \div 1$ А.

Стабілітрони використовують у параметричних стабілізаторах напруги. Приклад найпростішої схеми вмикання стабілітрона наведено:

паралельно до резистора навантаження $R_{нв}$ під'єднано стабілітрон VD ;

баластний резистор $R_з$ застосовується для досягнення робочого режиму стабілітрона. 8.4.1.



Транзистором називається напівпровідниковий триелектродний прилад, призначений для підсилення, генерування або перетворення електричних сигналів і перемикання електричних імпульсів у схемах.

Транзистори підрозділяються на біполярні та уніполярні.

Біполярні транзистори (або просто транзистори) — це прилади, в яких струм зумовлений рухом носіїв зарядів обох знаків (електронів та дірок).

В **уніполярних** (або *польових*) транзисторах струм зумовлений рухом носіїв зарядів лише одного знаку (електронами чи дірками).

Біполярний транзистор — це напівпровідниковий прилад, що має два *p-p*-переходи та три електроди.

Середній електрод називається **базою (Б)**, два крайніх — **емітером (Е)** та **колектором (К)**. Емітер позначають стрілкою.

Треба пам'ятати, що завжди **стрілка спрямована із p-області у p-область**.

Розрізняють два типи біполярних транзисторів: *p-p-p*-типу та *n-p-n*-типу.

Умовне позначення біполярних транзисторів:

Транзистор умовно можна уявити як два послідовно з'єднаних діоди в одному корпусі. Якщо діоди мають спільні катоди, вони створюють транзистор типу *p-p-p*, а якщо спільні аноди — транзистор типу *n-p-n*.

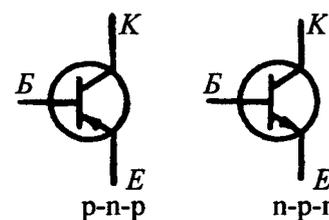


Рис. 8.2.7.

Завжди емітерний перехід увімкнений прямо, а колек-

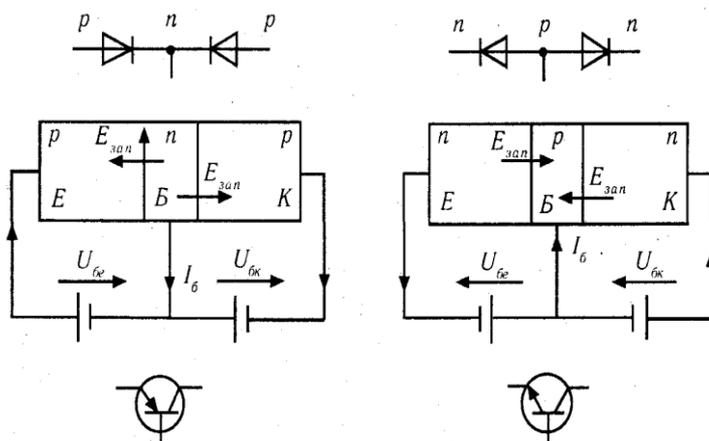


Рис.

торний — зворотно.

Через те, що емітерний перехід вмикається прямо, то він має малий опір. Колекторний перехід умикається зворотно і має дуже великий опір. До емітера прикладається невелика напруга, а до колектора дуже велика (десятки вольт). Малою зміною струму емітерного переходу можна керувати великими змінами струму у колі колектора, тобто навантаження. Таким чином, транзистор підсилює потужність.

У якості підсилювального елемента транзистор застосовується в схемах підсилювачів електричних сигналів.

Змінна електрична величина подається на вхід підсилювача. За допомогою енергії джерела живлення підсилювач забезпечує на навантаженні форму вхідного сигналу, величина якого підвищується.

Транзистор може бути ввімкнений у схему підсилювача (підсилювальний каскад) трьома різними способами:

- а) за схемою із загальною базою,
- б) із загальним емітером,
- в) із загальним колектором.

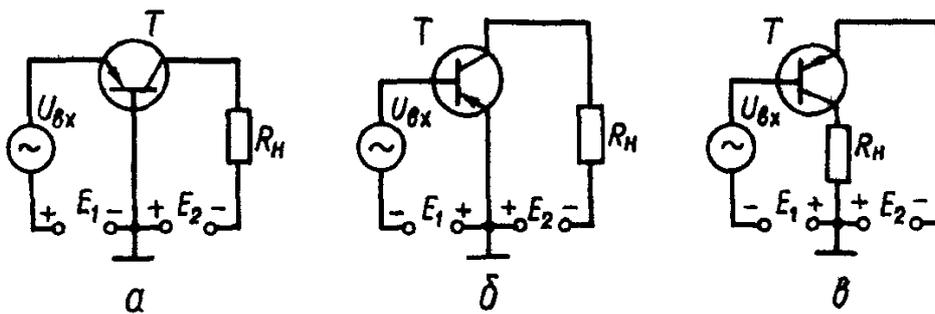


Рис. 8.2.9.

Принцип підсилювання електричних коливань у різних схемах однаковий, але кожна із схем має відмінні від інших властивості.

В схемі *із загальною базою* транзистор має великий коефіцієнт підсилення за напругою і потужністю (до тисячі).

Важливою перевагою схеми із загальним емітером порівняно зі схемами із загальною базою та загальним колектором є велике підсилення за струмом.

Коефіцієнт підсилення за напругою для схеми із загальним емітером приблизно такий, як і в схемі з загальною базою.

Коефіцієнт підсилення за потужністю для схеми із загальним емітером досягає декількох тисяч.

У схемі з загальним колектором вхідний опір дуже великий (десятки й сотні кілоом), а вихідний — дуже малий (десятки або сотні Ом). Тому каскад із загальним колектором має коефіцієнт підсилення за напругою менше одиниці, за струмом — більше десяти, а за потужністю — менше, ніж за струмом.

Ця схема використовується в основному для узгодження опорів між окремими каскадами або між виходом підсилювача і низькоомним навантаженням.

Характеристики транзисторів.

Важливим показником підсилювальних і інших властивостей транзистора є сімейство його характеристик: статичних і динамічних.

Статичною називається характеристика транзистора, що описує взаємозв'язок між вхідними та вихідними струмами та напругами, коли у вихідному колі немає навантаження.

Застосовуються такі статичні характеристики біполярних транзисторів:

- а) вхідні;
- б) вихідні;
- в) перехідні.

Вхідна характеристика — це залежність $I_{вх} = f(U_{вх})$ при сталій напрузі на виході ($U_{вих} = const$).

Вихідна характеристика — це залежність $I_{вих} = f(U_{вих})$ при сталому вхідному струмі ($I_{вх} = const$).

Перехідна характеристика (характеристика підсилення) — це залежність $I_{вих} = f(I_{вх})$ при сталій напрузі на виході ($U_{вих} = const$).

Вхідні і вихідні характеристики будують експериментально, а перехідні можна побудувати за допомогою сім'ї вихідних характеристик.

Статичні характеристики біполярних транзисторів різні для кожної зі схем вмикання транзисторів.

На рис. 8.2.10 наведено **вхідні статичні характеристики** транзистора *p-p-p*-типу, що увімкнений за схемою із спільним емітером.

Вхідна характеристика (вольт-амперна характеристика емітерного переходу) являє собою звичайну праву вітку вольт-амперної характеристики діода. Напівпровідниковий транзистор не можна чисто механічно уявляти у вигляді двох діодів, тому що процеси в одному переході впливають на процеси в іншому. Вигляд вхідної характеристики залежить від напруги між емітером та колектором.

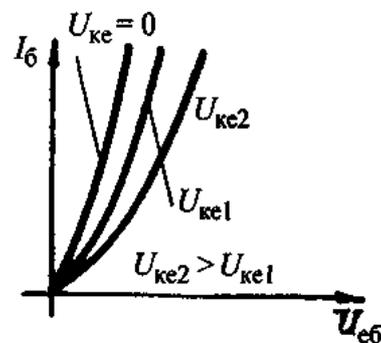


Рис. 8.2.10.

Вихідна характеристика нагадує вольт-амперну характеристику діода, що увімкнений зворотно. На струм колектора значною мірою впливає струм бази. У робочій області струм колектора незначно залежить від напруги між колектором та емітером (рис. 8.2.11).

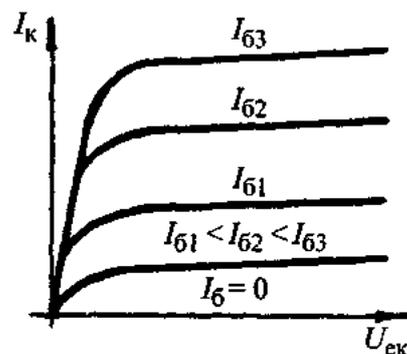


Рис. 8.2.11.

Електроніка

Електроніка (від грец. Ηλεκτρόνιο — електрон) — наука про взаємодію електронів з електромагнітними полями і про методи створення електронних приладів і пристроїв, в яких ця взаємодія використовується для перетворення електромагнітної енергії, в основному для передачі, обробки і зберігання інформації.

Також електроніка — це галузь фізики та техніки, в якій досліджуються електронні процеси, що пов'язані з утворенням та керуванням руху вільних електронів та/або

інших заряджених частинок в різноманітних середовищах (вакуум, тверде тіло, газ, плазма) та на їх границях, а також проблеми і методи розробки електронних приладів різного призначення.

Електроніка спирається на багато розділів фізики — електродинаміку, класичну і квантову механіку, фізику твердого тіла, оптику, термодинаміку, а також на хімію, металургію, кристалографію і інші науки. Використовуючи результати цих і ряду інших галузей знань, Е., з одного боку, ставить перед іншими науками нові завдання, чим стимулює їх подальший розвиток, з іншої — створює нові електронні прилади і пристрої і тим самим озброює науку якісно новими засобами і методами дослідження. Практичні завдання електроніки: розробка електронних приладів і пристроїв, що виконують різні функції в системах перетворення і передачі інформації, в системах управління, в обчислювальній техніці, а також в енергетичних пристроях; розробка наукових основ технології виробництва електронних приладів і технології, що використовує електронні і іонні процеси і прилади для різних галузей науки і техніки.

Електроніка грає провідну роль в науково-технічній революції. Впровадження електронних приладів в різні сфери людської діяльності значною мірою (частенько вирішальною) сприяє успішній розробці складних науково-технічних проблем, підвищенню продуктивності фізичної і розумової праці, поліпшенню економічних показників виробництва. На основі досягнень електроніки розвивається промисловість, що випускає електронну апаратуру для різних видів зв'язку, автоматики, телебачення, радіолокації, обчислювальної техніки, систем управління технологічними процесами, приладобудування, а також апаратуру світлотехніки, інфрачервоної техніки, рентгенотехніки і ін.

Історія

Електроніка зародилася на початку 20 ст. після створення основ електродинаміки (1856–1873), дослідження властивостей термоелектронної емісії (1882–1901), фотоелектронної емісії (1887–1905), рентгенівських променів (1895–1897), відкриття електрона (Дж. Дж. Томсон, 1897), створення електронної теорії (1892–1909). Розвиток Електроніки почався з винаходу лампового діода (Дж. А. Флемінг, 1904), триелектродної лампи — тріод-пентода (Л. де Форест, 1906); використання тріод-пентода для генерування електричних коливань (німецький інженер А. Мейснер, 1913); розробки потужних генераторних ламп з водяним охолодженням (М. О. Бонч-Бруєвич, 1919—25) для радіопередавачів, використовуваних в системах далекого радіозв'язку і радіомовлення.

Вакуумні фотоелементи (експериментальний зразок створив О. Г. Столетов, 1888; промислові зразки — німецькі учені Ю. Ельстер і Г. Хейтель 1910); фотоелектронні помножувачі — однокаскадні (П. В. Тимофєєв, 1928) і багатокаскадні (Л. О. Кубецький, 1930) — дозволили створити звукове кіно, послужили основою для розробки передавальних телевізійних трубок : відикона (ідея запропонована в

1925 О. О. Чернишовим, іконоскопа (С. І. Катаєв і незалежно від нього В. К. Зворикін, 1931—32), суперіконоскопа (П. В. Тимофєєв, П. В. Шмаков, 1933), суперортикона (двостороння мішень для такої трубки була запропонована радянським ученим Г. В. Брауде в 1939; вперше суперортикон описаний американськими ученими А. Розі, П. Веймером і Х. Лоу в 1946) і ін. Створення багаторезонаторного магнетрона (Н. Ф. Алексєєв і Д. Є. Маляров, під керівництвом М. О. Бонч-Бруєвича, , 1936—37), відбивного клістрона (М. Д. Дев'ятков та інші і незалежно від них радянський інженер В. Ф. Коваленко, 1940) послужило основою для розвитку радіолокації в сантиметровому діапазоні хвиль; пролітні клістри (ідея запропонована в 1932 Д. А. Рожанським, розвинена в 1935 радянським фізиком А. Н. Арсенєвою і німецьким фізиком О. Хайлем, реалізована в 1938 американськими фізиками Р. і З. Варіанами і ін.) і лампи біжної хвилі (американський учений Р. Компфнер, 1943), забезпечили подальший розвиток систем радіорелейного зв'язку, прискорювачів елементарних часток і сприяли створенню систем космічного зв'язку. Одночасно з розробкою вакуумних електронних приладів створювалися і удосконалювалися газорозрядні прилади (іонні прилади), наприклад ртутні вентиля, використовувані головним чином для перетворення змінного струму в постійний в потужних промислових установках; тиратрони для формування потужних імпульсів електричного струму в пристроях імпульсної техніки; газорозрядні джерела світла.

Використання кристалічних напівпровідників як детекторів для радіоприймальних пристроїв (1900—1905), створення купроксних і селенових випрямлячів струму і фотоелементів (1920—1926), винахід кристадіна (О. В. Лосєв, 1922), винахід транзистора (В. Шоклі, В. Браттейн, Дж. Бардін, 1948) визначили становлення і розвиток напівпровідникової електроніки. Розробка планарної технології напівпровідникових структур (кінець 50 — початок 60-х рр.) і методів інтеграції багатьох елементарних приладів (транзисторів, діодів, конденсаторів, резисторів) на одній монокристалічній напівпровідниковій пластині привело до створення нового напрямку в Е. — мікроелектроніки (див. також Інтегральна електроніка). Основні розробки в області інтегральної Е. направлені на створення інтегральних схем — мікромініатюрних електронних пристроїв (підсилювачів, перетворювачів, процесорів ЕОМ (електронна обчислювальна машина), електронних пристроїв пам'яті тощо), що складаються з сотень і тисяч електронних приладів, що розміщуються на одному напівпровідниковому кристалі площею в декілька мм². Мікроелектроніка відкрила нові можливості для вирішення таких проблем, як автоматизація управління технологічними процесами, переробка інформації, вдосконалення обчислювальної техніки і ін., що висуваються розвитком сучасного суспільного виробництва. Створення квантових генераторів (М. Г. Басов, О. М. Прохоров і незалежно від них Ч. Таунс, 1955) — приладів квантової електроніки — визначило якісно нові можливості Е., зв'язані з використанням джерел потужного когерентного випромінювання оптичного діапазону (лазерів) і побудовою надточних квантових стандартів частоти.

Радянські учені внесли вагомий внесок до розвитку Е. Фундаментальні дослідження в області фізики і технології електронних приладів виконали М. О. Бонч-Бруєвич, Л. І. Мандельштам, М. Д. Папалексі, С. А. Векшинський, О. О. Чернишов, М. М. Богословський і багато др.; по проблемах збудження і перетворення електричних

коливань, випромінювання, поширення і прийому радіохвиль, їх взаємодії з носіями струму у вакуумі, газах і твердих тілах — Б. О. Введенський, В. Д. Калмиков, О. Л. Мінц, О. А. Расплетін, М. В. Шулейкін і др.; в області фізики напівпровідників — А. Ф. Йоффе; люмінесценції і по інших розділах фізичної оптики — С. І. Вавилов; квантової теорії розсіяння світла випромінювання, фотоефекту в металах — І. Є. Тамм і багато ін.

Області, основні розділи і напрями електроніки

Е. включає три області досліджень: вакуумну Е., твердотілу Е., квантову область Е. Кожна підрозділяється на ряд розділів і ряд напрямів. Розділ об'єднує комплекси однорідних фізико-хімічних явищ і процесів, які мають фундаментальне значення для розробки багатьох класів електронних приладів даної області. Напрямок охоплює методи конструювання і розрахунків електронних приладів, родинних по принципах дії або по виконуваних ними функціям, а також способи виготовлення цих приладів.

Вакуумна електроніка містить такі розділи:

1. Емісійна електроніка, що охоплює питання термо-, фотоемісії, вторинної електронної емісії, тунельної емісії, дослідження катодів і антиемісійних покриттів;
2. формування потоків електронів і потоків іонів управління цими потоками;
3. формування електромагнітних полів за допомогою резонаторів, систем резонаторів, уповільнюючих систем, пристроїв введення і виведення енергії;
4. електронна люмінесценція (катодолюмінесценція);
5. фізика і техніка високого вакууму (його здобуття, збереження і контроль);
6. теплофізичні процеси (випар у вакуумі, формозміна деталей при циклічному нагріві, руйнування поверхні металів при імпульсному нагріві, відведення тепла від елементів приладів);
7. поверхневі явища (утворення плівок на електродах і ізоляторах, неоднорідностей на поверхнях електроду);
8. технологія обробки поверхонь, у тому числі електронна, іонна і лазерна обробка;
9. газові середовища — розділ, що включає питання здобуття і підтримки оптимального складу і тиску газу в газорозрядних приладах.

Основні напрями вакуумної електроніки охоплюють питання створення електровакуумних приладів (ЕВП) наступних видів: електронних ламп (тріод-пентодів, тетродів, пентодів і т. д.); ЕВП НВЧ (надвисокі частоти) (магнетронів, клістронів і т. д.), електроннопроменевих приладів (кінескопів, осцилографічних трубок і т. д.); фотоелектронних приладів (фотоелементів, фотоелектронних помножувачів), рентгенівських трубок; газорозрядних приладів (потужних перетворювачів струму, джерел світла, індикаторів).

Твердотільна електроніка [ред. код]

Розділи і напрями твердотільної електроніки. в основному пов'язані з напівпровідниковою електронікою. Фундаментальні розділи останньої охоплюють наступні питання:

1. вивчення властивостей напівпровідникових матеріалів, вплив домішок на ці властивості;
2. створення в кристалі областей з різною провідністю методами епітаксialного вирощування (епітаксія), дифузії, іонного впровадження (імплантації), дією радіації на напівпровідникові структури;
3. нанесення діелектричних і металевих плівок на напівпровідникові матеріали, розробка технології створення плівок з необхідними властивостями і конфігурацією;
4. дослідження фізичних і хімічних процесів на поверхні напівпровідників;
5. розробку способів і засобів здобуття і виміру елементів приладів мікронних і субмікронних розмірів.

Основні напрями напівпровідникової Е. пов'язані з розробкою і виготовленням різних видів напівпровідникових приладів; напівпровідникових діодів (випрямних, змішувачах, параметричних, стабілітронів), підсилювальних і генераторних діодів (тунельних, лавинно-пролітних, діодів Ганна), транзисторів (біполярних і уніполярних), тиристорів, оптоелектронних приладів (світлодіодів, фотодіодів, фототранзисторів, оптронів, світлодіодних і фотодіодних матриць), інтегральних схем. До напрямів твердотілої Е. відносяться також діелектрична електроніка, що вивчає електронні процеси в діелектриках (зокрема, в тонких діелектричних плівках) і їх використання, наприклад для створення діелектричних діодів, конденсаторів; магнітоелектроніка, що використовує магнітні властивості речовини для управління потоками електромагнітної енергії за допомогою феритових вентилів, циркуляторів, фазообертачів і т. д. і для створення пристроїв пам'яті, у тому числі на магнітних доменах; акустоелектроніка і п'єзоелектроніка, що розглядають питання поширення поверхневих і об'ємних акустичних хвиль і створюваних ними змінних електричних полів в кристалічних матеріалах і взаємодії цих полів з електронами в приладах з напівпровідниково-п'єзоелектричною структурою (кварцевих стабілізаторах частоти, п'єзоелектричних фільтрах, ультразвукових лініях затримки, акустоелектронних підсилювачах і т. д.); кріоелектроніка, що досліджує зміни властивостей твердого тіла при глибокому охолодженні для побудови малошумливих підсилювачів і генераторів НВЧ (надвисокі частоти), надшвидкодійних обчислювальних пристроїв, що запам'ятовують; розробка і виготовлення резисторів.

Квантова електроніка [ред. код]

Найважливіші напрями квантової електроніки — створення лазерів і мазерів. На основі приладів квантової електроніки будуються пристрої для точного виміру відстаней (далекоміри), квантові стандарти частоти, квантові гіроскопи, системи оптичною багатоканальному зв'язку, космічної телекомунікації, радіоастрономії. Енергетична дія лазерного концентрованого випромінювання на речовину використовується в промисловій технології. Лазери знаходять різне вживання в біології і медицині.

Е. знаходиться у стадії інтенсивного розвитку; для неї характерний поява нових областей і створення нових напрямів у вже існуючих областях.

Технологія електронних приладів[ред. код]

Конструювання і виготовлення електронних приладів базуються на використанні поєднання всіляких властивостей матеріалів і фізико-хімічних процесів. Тому необхідно глибоко розуміти використовувані процеси і їх вплив на властивості приладів, уміти точно управляти цими процесами. Виняткова важливість фізико-хімічних досліджень і розробка наукових основ технології в електроніці обумовлені, по-перше, залежністю властивостей електронних приладів від наявності домішок в матеріалах і речовин, сорбованих на поверхнях робочих елементів приладів, а також від складу газу і міри розрядки середовища, що оточує ці елементи; по-друге, — залежністю надійності і довговічності електронних приладів від міри стабільності вживаних вихідних матеріалів і керованості технології.

Досягнення технології незрідка дають поштовх розвитку нових напрямів в Е. Загальні для всіх напрямів Е. особливості технології полягають у виключно високих (в порівнянні з іншими галузями техніки) вимогах, що пред'являються в електронній промисловості до властивостей використовуваних вихідних матеріалів; міри захисту виробів від забруднення в процесі виробництва; геометричній точності виготовлення електронних приладів. З виконанням першого з цих вимог зв'язано створення багатьох матеріалів, що володіють надвисокою чистотою і досконалістю структури, із заздальгідь заданими фізико-хімічними властивостями — спеціальних сплавівмонокристалів, кераміки, стекл і ін. Створення таких матеріалів і дослідження їх властивостей складають предмет спеціальної науково-технічної дисципліни — електронного матеріалознавства. Одній з найгостріших проблем технології, пов'язаних з виконанням другої вимоги, є боротьба за зменшення запиленої газового середовища, в якому проходять найважливіші технологічні процеси. У ряді випадків допустима запиленість — не понад три порошинки розміром менше 1 мкм в 1 м-коду 3 . Про жорсткість вимог до геометричної точності виготовлення електронних приладів свідчать, наприклад, цифри: у ряді випадків відносна погрішність розмірів не повинна перевищувати 0,001%; абсолютна точність розмірів і взаємного розташування елементів інтегральних схем досягає сотих доль мкм. Це вимагає створення нових, досконаліших методів обробки матеріалів, нових засобів і методів контролю. Характерним для технології в Е. є необхідність широкого використання новітніх методів і засобів: електроннопроменевої, ультразвукової і лазерної обробки і зварювання, фотолітографії, електронної і рентгенівської літографії, електроіскрової обробки, іонної імплантації, плазмохімії, молекулярної епітаксії, електронної мікроскопії, вакуумних установок, що забезпечують тиск залишкових газів до 10 — 13 мм рт. ст. Складність багатьох технологічних процесів вимагає виключення суб'єктивного впливу людини на процес, що обумовлює актуальність проблеми автоматизації виробництва електронних приладів із застосуванням ЕОМ (електронна обчислювальна машина) поряд із загальними завданнями підвищення продуктивності праці. Ці і інші специфічні особливості технології в Е. привели до необхідності створення нового напрямку в машинобудуванні — електронного машинобудування.

Електроніку можна розділити на дві важливі пов'язані між собою області — розробку й вдосконалення елементної бази та конструювання електронних схем. Елементну базу електроніки складають електронні прилади із різноманітними характеристиками, які використовуються в електронних схемах для збору, обробки інформації та використання її для управління різноманітними процесами і відтворення її в зручному для споживача вигляді.

Обробка електричних сигналів виконується елементами електричного кола з нелінійними вольт-амперними характеристиками. Нелінійність характеристик елементів електроніки відрізняє їх від елементів електротехніки, хоча елементи електротехніки, такі як джерела живлення, резистори, конденсатори, котушки індуктивності теж використовуються в електронних схемах.

Оброблений сигнал може бути відтворений у зручній для людини формі, наприклад, на екрані монітора або телевізора або у вигляді звукових сигналів — мови, музики. Він може бути також записаний на носій інформації для відтворення у майбутньому, або управляти сервоприводами в автоматичних системах керування тощо.

Електровакуумні прилади [ред. код]

Докладніше у статті Електровакуумний прилад

Електровакуумні прилади історично були першим класом електронних елементів із нелінійними вольт-амперними характеристиками, що здобули широке використання. За дату народження електроніки можна вважати 1903–1904 роки, коли були винайдені перші діоди та тріоди. В вакуумних лампах електрони рухаються тільки від катода до анода, що забезпечує однонаправленість електричного струму. Найпростішу з електровакуумних ламп можна використовувати для випрямлення струму, нелінійність характеристик тріода дозволяє його застосування в підсилювачах і генераторах.

Інші вакуумні прилади — електронно-променеві трубки — використовуються для відтворення інформації на дисплеях, екранах телевізорів тощо. За тими ж принципами побудовані електронні мікроскопи.

Більшість приладів такого роду працює в умовах високого вакууму, але в деяких, наприклад, газотронах або іонізаційних камерах, робочий об'єм заповнений газом.

Електровакуумні прилади, що широко використовувалися в першій половині ХХ ст., поступово почали поступатися твердотільним і на початку ХХІ століття зберігають тільки окремі ніші застосування. Електровакуумні лампи замінені транзисторами та мікросхемами, дисплеї дедалі частіше рідкокристалічні, телевізори — плазмові тощо.

Твердотільні електронні прилади в основному використовують властивості напівпровідників, провідність яких дуже чутлива до домішок, температури, освітлення тощо. На контактах легованого напівпровідника з металом або двох по різному легованих областей напівпровідника утворюються області просторового

зряду — контакт Шотткі, р-п перехід, які мають нелінійні вольт-амперні характеристики. Ці явища дозволили сконструювати напівпровідникові елементи — діоди, транзистори, які поступово витіснили вакуумні прилади з більшості галузей застосування.

Розвиток напівпровідникової технології дозволив об'єднувати різноманітні елементи електричного кола: транзистори, діоди, резистори та ємності на одній підкладці, що призвело до створення інтегральних схем або мікросхем (див. РТЛ, ТТЛ тощо). Напівпровідникова електроніка стала мікроелектронікою. Сучасні інтегральні схеми об'єднують в одному пристрої сотні мільйонів транзисторів.

Електронні схеми поділяються на два класи — аналогові та цифрові. Схеми першого типу призначені для обробки аналогових сигналів, схеми другого типу — для роботи з цифровим сигналом. Цифрові електронні схеми поступово витісняють аналогові навіть із областей традиційного застосування, наприклад, у телебаченні. Цифровий або дискретний сигнал отримують, квантуючи аналоговий. Передача й зберігання сигналу в цифровому вигляді надійніша, незважаючи на часткове спотворення сигналу при дискретизації.

Аналогова електроніка[ред. код]

Прикладом аналогового приладу є аналоговий тип радіоприймача. Аналогова електроніка потребує різноманітних електронних схем: генераторів, підсилювачів, модуляторів та демодуляторів. Радіоприймач отримує від антени модульований електричний сигнал широкого набору частот. Він фільтрує сигнал, виділяючи певну частоту, підсилює його, демодулює, перетворює в сигнал частоти звукового діапазону й передає на динамік для відтворення звуку.

Схеми аналогових приладів зазвичай будуються із стандартних блоків, які виконують певну функцію. Кількість розроблених аналогових схем величезна — від окремих елементів, до схем, що включають тисячі елементів.

Цифрова електроніка трактує сигнал як дискретний, найчастіше виділяючи тільки два стани — наявність і відсутність сигналу. Часто вхідний сигнал аналоговий, тому першою стадією його обробки в цифрових схемах є квантування. Цифрова електроніка використовує інший тип електронних схем — тригери, мультівібратори, особливістю яких є перемикання між різними дискретними станами.

Вершиною цифрової електроніки є програмована цифрова електроніка, яка дозволяє задавати правила обробки сигналу за допомогою програми — певного набору інструкцій, що зберігаються на носії інформації і можуть змінюватися програмістом. Розвиток програмованої цифрової електроніки відкрив еру інформаційних технологій.

Перспективи розвитку електроніки

Одна з основних проблем, що стоять перед Електронікою, пов'язана з вимогою збільшення кількості оброблюваної інформації обчислювальними електронними системами управління, з одночасним зменшенням їх габаритів і споживаної енергії. Ця

проблема вирішується шляхом створення напівпровідникових інтегральних схем, що забезпечують час перемикання до 10^{-11} с; збільшення міри інтеграції на одному кристалі до мільйона транзисторів розміром 1—2 мкм; використання в інтегральних схемах пристроїв оптичного зв'язку і оптоелектронних перетворювачів (див. статтю «Оптоелектроніка»), надпровідників; розробки пристроїв пам'яті, ємністю декілька мегабіт на одному кристалі; вживання лазерної і електроннопроменевої комутації; розширення функціональних можливостей інтегральних схем (наприклад, перехід від мікропроцесора до МІКРОЕОМ на одному кристалі); переходу від двовимірної (планарної) технології інтегральних схем до тривимірної (об'ємною) і використання поєднання різних властивостей твердого тіла в одному пристрої; розробки і реалізації принципів і засобів стереоскопічного телебачення, що володіє більшою інформативністю в порівнянні із звичайним; створення електронних приладів, що працюють в діапазоні міліметрових і субміліметрових хвиль, для широкосмугових (ефективніших) систем передачі інформації, а також приладів для ліній оптичного зв'язку; розробки потужних, з високим ккд (коефіцієнт корисного дії), приладів НВЧ (надвисокі частоти) і лазерів для енергетичної дії на речовину і направленої передачі енергії (наприклад, з космосу). Одна з тенденцій розвитку Е. — проникнення її методів і засобів в біологію (для вивчення кліток і структури живого організму і дії на нього) і медицину (для діагностики, терапії, хірургії). У міру розвитку Е. і вдосконалення технології виробництва електронних приладів розширюються області використання досягнення Е. у всіх сферах життя і діяльності людей, зростає роль Е. у прискоренні науково-технічного прогресу.

Види трансформаторних підстанцій

ТП, КТП, БКТП

Що таке трансформаторна підстанція? В першу чергу - це електрична установка, призначення якої - перетворювати (або понижувати, або підвищувати) напругу в електромережі і розподіляти енергію.

Трансформаторна підстанція складається з декількох об'єктів:

Силові трансформатори

РП (розподільчий пристрій)

Пристрої автоматичного захисту і управління

Допоміжні споруди

Розглянемо види трансформаторних підстанцій, які припускає класифікація:

понижуючі;

підвищуючі.

Перші підстанції відповідають за перетворення первинної напруги електромережі у вторинну (значно нижчу). Другі трансформаторні підстанції, як правило, споруджуються при електричних станціях. Їх призначення - перетворення напруги, яка виробляється генераторами в напругу більш високе, яку зручно транспортувати на великі відстані.

Види трансформаторних підстанцій:

Місцеві (їх ще називають «цехові»)

Районні (самі значущі понижуючі).

Ці підстанції відповідають за прийом електроенергії прямо від високовольтних ліній електропередач і передачу її далі на районні трансформаторні підстанції.

Потім, знизивши напругу до 35, а в деяких випадках 6-10 кВ, електрика вирушає далі - на місцеві підстанції. Тут напруга знижується до 690, 400, 230 В). І - нарешті, відбувається розподіл електроенергії серед споживачів.

Трансформаторні підстанції на напругу 10 кВ виробляють на заводі, а потім доставляють в потрібне місце в готовому (зібраному), або розібраному (блоками) вигляді. Такі види трансформаторних підстанцій носять назву КТП (комплектні трансформаторні підстанції).

Виділяють і певні види комплектних трансформаторних підстанцій. Бувають різні КТП. Наприклад, КТП, що має один трансформатор, здійснює прийом, розподіл, а потім перетворення електроенергії 3-х фазного електроструму, що має частоту 50 Гц і номінальну напругу від 6 до 10/0.4 кВ.

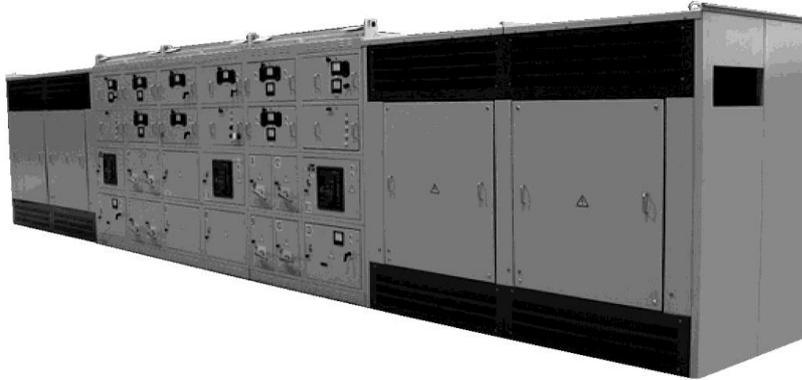


Двотрансформаторна КТП, потрібна для постачання електрикою комунальної сфери міста та інших населених пунктів. А також в самих різних галузях. Мета - якомога більше поліпшити ефективність електропостачання. Двотрансформаторна підстанція забезпечує значно вищий рівень надійності, во у випадку виходу із ладу одного із трансформаторів, найважливіші споживачі живляться від наступного.



КТП щоголового виконання потрібна для того, щоб приймати, перетворювати і розподіляти електроенергію 3-х фазного змінного струму, що має частоту 50 Гц і номінальну напругу 6 (10) / 0,4 кВ. Застосовується, як правило, для

енергопостачання об'єктів не дуже великих (об'єкти промисловості, сільського господарства, селищні та інші). Вони відрізняються простотою монтажу, дешевизною, і зручністю організації вводу - виводу, проте їх відрізняє порівняно невелика потужність.



КТП внутрішньої установки (цехове КТП), що має один або два трансформатора, призначена для того, щоб приймати, перетворювати і розподіляти електроенергію 3-х фазного змінного струму, що має частоту 50 Гц і номінальну напругу 6 (10) / 0,4 кВ. КТП виробляють і застосовують переважно в системі електропостачання таких об'єктів, як комунальні, нафтогазовидобувні і промислові.

Види трансформаторних підстанцій за значенням

підстанції глибокого вводу

головні знижувальні

тягові, для потреб транспорту, який працює на електроенергії

трансформаторні (які називаються ще й «цехові», якщо мова йде про промислових мережах, і «міськими», якщо мова йде про міських мережах).

Найголовніша знижуюча підстанція має напругу від 35 до 220 кВ. Ця підстанція підживлюється прямо від енергосистеми району та розподіляє електричну енергію по всьому підприємству.

Підстанція глибокого вводу має напругу 35-220 кВ. Вона виконана, як правило, по найпростішим схемами комутацій на стороні первинної напруги. Такі схеми називаються «схеми з глибоким введенням».

Виробництво та розподіл енергії в Україні. Електричні станції.

Електроенергетика – базова галузь, що забезпечує потреби країни в електричній енергії. Надлишкові потужності дозволяють експортувати частину енергії. Із загальної потужності електрогенеруючих станцій потужність теплових електростанцій, теплоелектроцентралей і блокстанцій становить 63,9%, атомних електростанцій – 26,2%, гідроелектростанцій і гідроакумуючих електростанцій – 9,7%, нетрадиційних джерел – 0,2%.

Основою електроенергетики країни є Об'єднана електроенергетична система (ОЕС) України, яка здійснює централізоване енергозабезпечення електроенергією внутрішніх споживачів і взаємодіє з енергосистемами сусідніх країн, забезпечуючи експорт і імпорт електроенергії магістральними і міждержавними лініями електропостачання і через електростанції напругою 220-750 кВ.

Сьогодні понад 92% енергоблоків ТЕС відпрацювали свій розрахунковий ресурс і потребують модернізації або заміни.

Система тепlopостачання в Україні досить розвинена. Сьогодні структура теплоспоживання – це: промисловість – 35,4%, житлово-комунальний сектор – 43,7%, інші сектори економіки – 20,9%.

В країні працює близько 250 ТЕЦ. Основним паливом для ТЕЦ служить природний газ (76-80%), використовуються також мазут (15-18%) і вугілля (5-6%).

В тепловому господарстві країни діє понад 100 тис. котелень різного призначення. Основним паливом для котелень є природний газ (52-58%), частка рідкого палива складає 12-15%, вугілля – 27-36%. Чималий обсяг

теплоти виробляють індивідуальні (поквартирні) генератори (газові, рідинні, твердопаливні котли, побутові печі тощо).

Обладнання більшості ТЕЦ застаріле, не відповідає сучасним екологічним вимогам і нормативам, потребує реконструкції, модернізації або повної заміни.

Задоволення попиту в тепловій енергії з одночасним забезпеченням необхідного рівня енергетичної безпеки, економічності, екологічної чистоти і комфортності вимагає максимально можливого заміщення природного газу в структурі теплопостачання на інші види первинної енергії, передусім власного походження.

Розвиток системи теплопостачання прогнозується здійснювати до 2030 р. за такими напрямками:

- збільшення рівня виробництва теплової енергії на теплових і атомних електричних станціях майже в 1,7 раза (з 56,4 млн Гкал до 93,9 млн Гкал) з одночасним зменшенням частки природного газу на виробництво теплової енергії за рахунок поетапної заміни газового нагріву системами акумулятивного електронагріву;

- розширення впровадження електричних теплогенераторів, що дозволить ефективно використовувати встановлену потужність поза межами опалювального сезону для кондиціонування, забезпечуючи вирівнювання сезонних навантажень енергетичної системи. Прогнозується до 2030 р. збільшення обсягів виробництва теплоенергії електричними теплогенераторами до 180,0 млн Гкал;

- збільшення рівня виробництва теплової енергії поквартирними генераторами в 1,4 раза до 33,3 млн Гкал;

- розширення обсягів виробництва теплової енергії за рахунок інтенсивного впровадження енергозберігаючих технологій і використання нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії;

- зменшення виробництва теплової енергії котельними установками, передусім на природному газі в 1,7 раза (з 148,8 млн Гкал до 85,9 млн Гкал).

Пріоритетним проектом розвитку системи теплопостачання України є реконструкція другого енергоблоку Трипільської ТЕС, яка розрахована на 2007-2011 рр. Обсяг залучених кредитних коштів складе 624 млн грн. Технічне переозброєння другого енергоблоку дозволить використати для його роботи виключно вугілля без використання газу із збільшенням потужності енергоблоку з 300 МВт до 325 МВт і подовженням терміну його експлуатації на 15-20 років. Трипільська ТЕС з 6 пилевугільними блоками потужністю по 300 МВт кожний розташована в Київській області. Перший енергоблок станції було введено в експлуатацію в грудні 1969 р., шостий – у серпні 1972 р.

Передбачається також проект з реконструкції електростанції на 200 млн грн. і в «Західенерго». Дуже серйозні і амбіційні проекти – проекти «Укренерго» щодо будівництва нових ліній видачі потужності, будівництва нових підстанцій і реконструкції підстанцій. Реалізація подібних проектів забезпечить стабільні поставки електроенергії споживачам України і дозволить збільшити її експорт до Білорусі, Росії і Західної Європи.

Встановлена потужність ГЕС і ГАЕС становить 5,1 млн кВт. У балансі потужності енергосистеми України гідро- і гідроаккумулятивні електростанції становлять менше 10%, що зумовлює дефіцит як маневрових, так і регулюючих потужностей.

На чотирьох АЕС працює 15 енергоблоків, що відпрацювали 54,2% терміну експлуатації, передбаченого вихідними проектами.

Враховуючи тривалий інвестиційний цикл спорудження нових потужностей, питання продовження експлуатації енергоблоків АЕС за терміни, передбачені проектами, є стратегічним завданням.

Важливою проблемою для українських АЕС є відпрацьоване ядерне паливо (ОЯП) і радіоактивні відходи. Лише Запорізька АЕС має власне сховище відпрацьованого ядерного палива, проектна ємність якого може забезпечити зберігання всього об'єму ОЯП, накопиченого впродовж терміну експлуатації. На інших АЕС ця проблема ще не вирішена, ОЯТ інших АЕС відправляється для зберігання і подальшої переробки на підприємства Російської Федерації.

З 2000 р. розпочата робота щодо переходу на альтернативні джерела закупівлі ядерного палива для українських АЕС. На третьому енергоблоці Південно-Української АЕС в 2005 р. розпочато дослідно-промислову експлуатацію перших шести тепловипромінювальних приладів виробництва фірми Westinghouse.

Україна має значні власні запаси урану – основної сировини для виробництва ядерного палива.

Єдиним виробником урану в Україні є державне підприємство «Східний гірничо-збагачувальний комбінат» (Жовті Води, Дніпропетровська обл.). До 2011 р. комбінат має намір збільшити забезпечення українських атомних електростанцій урановим концентратом до 71% порівняно з теперішніми 32%.

Запаси уранових руд в Україні дозволяють забезпечити потреби ядерної енергетики власним природним ураном на довгострокову перспективу.

За розвіданими запасами цього енергоносія Україна посідає перше місце в Європі і шосте в світі, однак видобувається при цьому лише 30% від кількості, необхідної для вітчизняних АЕС. Зараз Україна видобуває 800 т урану на рік. На сьогодні Україна має 12 детально розвіданих уранових ендегенних родовищ з сумарними запасами, що дозволяють забезпечити

потреби діючих АЕС України на 100 років. Найбільші з них розташовані в Кіровоградському рудному районі.

Для збільшення щорічного видобутку урану в Україні з 800 т до 3 тис. т до 2014 р. в уранодобувну галузь необхідно залучити 2-3 млрд USD інвестицій упродовж найближчих 5-6 років.

До 2011 р. Україна має намір збільшити видобуток урану майже вдвічі – з 0,8 тис. т до 1,4 тис. т на рік.

29 грудня 2006 р. уряд України прийняв рішення створити концерн «Укратомпром» для організації елементів незамкнутого циклу виробництва ядерного палива в Україні.

Розвиток уранового виробництва для задоволення потреб АЕС України до 2015 р. в урановій сировині потребує збільшення річного добутку урану більше, ніж втричі, а до 2030 р. – в 7,5 раза. Виробництво уранового концентрату для забезпечення в повному обсязі потреб ядерної енергетики України до 2030 р. передбачається здійснити за такими напрямками:

- будівництво Новокосянтинівської шахти з початком видобутку перших 100 тис. т руди в 2008 р.; 500 тис. т – в 2012 р. і виходом на проектну потужність в 2015 р. з послідовним збільшенням виробничої потужності до 2,5 млн т руди на рік;
- введення в експлуатацію з 2006 по 2010 рр. полігонів свердловинного підземного видобутку для отримання уранового концентрату в обсягах близько 15% від потреби АЕС України з нижчою собівартістю порівняно із звичайною технологією;
- введення в експлуатацію нових родовищ урану. Напрями розвитку цирконієвого виробництва:

- кооперація з Російською Федерацією виробництва цирконієвого сплаву і прокату за технологією РФ з урахуванням потреб атомної енергетики України та Росії;
- експорт вітчизняної цирконієвої продукції на світовий ринок, передусім, для потреб ядерної енергетики США і країн Європейського Співтовариства.

Стратегічним завданням є створення власного виробництва ядерного палива. Для цього в найближчій перспективі буде розширюватися кооперація з виробниками ядерного палива за рахунок створення власного виробництва цирконієвої продукції – металічного цирконію, сплаву цирконію, прокату і комплектуючих виробів.

До 2010 р. передбачається створити виробничі потужності з випуску цирконієвого прокату.

Через незадовільний стан електричних мереж, їхньої невідповідності діючим нормам і режимам електроспоживання, а також низький рівень приладів обліку, високим є рівень технологічних затрат на транспортування і постачання електроенергії.

Для задоволення потреб споживачів у якісному і надійному електропостачанні необхідно:

- в 2011-2020 рр. вводити щорічно в дію не менше 15 тис. км ліній електропередач потужністю 0,4-150 кВ;
- в наступні роки здійснювати щорічне будівництво нових ліній електропередач відповідно до потреб розвитку електронавантаження споживачів і проводити відновлення діючих ліній в обсязі норм амортизаційних відрахувань. При цьому будівництво нових ліній електропередач і розподільних трансформаторних підстанцій, а також реконструкцію діючих необхідно здійснити з розрахунком переведення

господарських потреб населення сільської місцевості з газу на електроенергію.

Будівництво і модернізація підстанцій напругою 35-150 кВ може відбуватися в прямій залежності від ступеня подальшого енергозабезпечення промислових, сільськогосподарських і комунально-побутових споживачів і здійснюватися випереджувальними темпами відносно збільшення електричного навантаження.

Розвиток і реконструкція електромереж в сільській місцевості може здійснюватися за рахунок коштів місцевого і державного бюджетів, а також підприємницьких структур.

Технічне переозброєння, реконструкція електричних мереж та їхній розвиток можуть здійснюватися на вітчизняній нормативній базі з урахуванням рекомендацій Міжнародної електротехнічної комісії і регіональних особливостей щодо умов надійності і екологічної безпеки, з урахуванням реальної вартості земель і максимального використання основних матеріалів і оснащення власного виробництва.

План

1. Енергія в технологічних процесах.
2. Загальна характеристика традиційних систем виробництва енергії в Україні.
3. Основи технологій виробництва електроенергії ТЕС, ГЕС, ГАЕС, АЕС.
4. Нетрадиційні технології виробництва електроенергії.
5. Вплив якості енергоресурсів, робочих параметрів энергоагрегатів, втрат в ЛЕП, засобів обліку електроспоживання та інших факторів на прибутковість електроенергетичних підприємств.

Важливо зрозуміти, що у найближчі десятиріччя жодна з нових альтернативних технологій енергетики не зможе стати економічно конкурентоспроможною настільки, щоб замінити сучасні теплові чи атомні електростанції, а тому необхідно постійно працювати над удосконаленням нових альтернативних енергозберігаючих технологій і впроваджувати в економіку України вже відомі у світовій економіці, а також новітні енергозберігаючі ефективні заходи і технології.

Енергетика як галузь господарства охоплює різноманітні енергетичні ресурси, виробництво, перетворення, передачу і використання різних видів енергії.

Електроенергетика є провідною галуззю енергетики, яка забезпечує електроенергією всі галузі народного господарства та всіх інших споживачів.

Електроенергія виробляється електричними станціями.

Електрична станція – це сукупність установок, обладнання та апаратури, які використовуються безпосередньо для виробництва електричної енергії, а також необхідні для цього споруди та будівлі, розташовані на певній території. Тобто це підприємство призначене для

виробництва електричної енергії. Електростанції характеризуються потужністю, що дорівнює сумарній потужності всіх установлених на електростанції електрогенераторів в МВт.

Електростанції за використанням джерела енергії поділяються на:

1. теплові електростанції, що працюють на твердому, рідкому і газоподібному паливі;
2. гідравлічні, що використовують відповідні гідроресурси;
3. атомні, які використовують як паливо збагачений уран або інші радіоактивні елементи;
4. електростанції, що використовують нетрадиційні джерела енергії (вітрові, сонячні, геотермальні, припливів та відпливів тощо).

Залежно від характеру споживання електроенергії станції бувають регіонального і місцевого значення.

Найпоширенішими в Україні є теплові електростанції (ТЕС). Вони виробляють майже 2/3 всієї електричної енергії.

Перевагою ТЕС є відносно вільне розміщення, вдвічі дешевша вартість їх будівництва порівняно з гідравлічними електростанціями (ГЕС). Недоліком –негативний вплив на навколишнє середовище.

Найбільшими ТЕС в Україні є Вуглегірська, Старобешівська, Курахівська, Слов'янська (Донецька обл.), Криворізька – 2, Придніпровська (Дніпропетровська обл.), Бурштинська (Івано-Франківська обл.), Запорізька, Ладизинська (Вінницька обл.), Трипільська (Київська обл.) та ін.

Технологія одержання електричної енергії на теплових електростанціях (ТЕС) полягає у перетворенні хімічної енергії горіння палива (вугілля, нафти, газу тощо) послідовно в теплову, механічну і електричну енергію. До господарства ТЕС входять:

1. паливне господарство, яке включає постачання та зберігання палива на паливних складах, систему підготовки палива до спалювання,
2. система забезпечення повітрям та відбору газів, систему золошлаковидалення;
3. головний корпус, де розміщені машинний зал і котельня, (сукупність котлів та допоміжного обладнання);
4. система технічного водопостачання установки, водопідготовки (хімводочистки) та конденсатоочистки;
5. електротехнічне господарство: енергогенератор, трансформаторна підстанція та система управління енергообладнанням.

Дедалі більшого значення набувають теплоелектроцентралі (ТЕЦ) - різновид ТЕС, які забезпечують комбіноване виробництво електричної та теплової енергії.

На ТЕЦ існують внутрішні втрати конденсату та пари, обумовлені неповною герметичністю водопарового тракту, а також безповоротної витрати пари конденсату на технічні потреби станції. Вони складають невелику частку загальної витрати пари на турбіни (близько 1—1,5 %).

Зовнішні втрати пари та конденсату, пов'язані з постачанням теплоти промисловим споживачам і населенню.

В середньому зовнішні витрати дорівнюють 35—50 %.

Внутрішні і зовнішні витрати пари та конденсату, відновлюються попередньо відпрацьованою водою водопідготувальної установки.

Таким чином, живильна вода котлів являє собою суміш турбінного конденсату та додаткової води.

Висновок. ТЕЦ, порівняно з ТЕС, більш економічні, бо використовують до 70 % тепла, яке є в паливі, тоді як конденсаційні ТЕС використовують лише 30...35 % тепла палива.

Термодинамічні основи роботи ТЕС: на паротурбінних електростанціях ротори електричних генераторів приводяться в обертання паровими турбінами, в яких теплова енергія пари перетворюється на кінетичну, що передається роторові турбіни. Таким чином, водяна пара є робочим тілом паротурбінної електростанції. Пара необхідних параметрів утворюється у котлі за рахунок тепла, що виділяється при спалюванні органічного палива.

Гідроелектростанції — це комплекс силових установок і споруд, призначений для перетворення механічної енергії води в електричну.

ГЕС мають значні переваги перед ТЕС, які полягають у зниженні собівартості електроенергії, відсутності палива, простоті обладнання та обслуговування, високій надійності електропостачання, а також повній автоматизації роботи. Коефіцієнт корисної дії ГЕС становить понад 80 %.

Проте, розміщення їх повністю залежить від природних умов, а виробництво електроенергії має сезонний характер. Будівництво ГЕС на рівнинних річках України завдає значних матеріальних збитків, оскільки потребує затоплення великих територій, що використовуються під водосховища. Питома вага капіталовкладень на будівництво великих гідроелектростанцій у 2—3 рази вища, ніж при спорудженні потужних теплових електростанцій. Строки будівництва гідроелектростанцій також в 2,5—3 рази перевищують строки для спорудження теплових електростанцій. Тому гідроенергетика посідає незначне місце в загальному енергетичному комплексі України — біля 6 % виробництва електроенергії.

Гідроенергетичні ресурси (ГР)— запаси енергії річкових потоків і водойм, які лежать вище рівня моря. Загалом гідроенергетичні ресурси становлять близько 60 % всієї енергії поверхневого стоку та належать до відновлюваних природних ресурсів. В Україні споруджено 47 ГЕС.

Принцип роботи. У гідроелектростанціях потоки води підводяться до водяних турбін, де енергія руху води перетворюється в механічну енергію обертання роторів турбін. Турбіни обертають ротори електрогенераторів, які перетворюють механічну енергію в електричну.

Потужність гідроелектростанцій прямо пропорційна висоті напору води, який залежить від висоти греблі, і кількість води, що проходить за одиницю часу через турбіни гідроелектроагрегатів.

ГР України обмежені, тому їх використовують здебільшого для покриття пікових навантажень діючої енергосистеми. З цією метою на річках створюють системи гідроакumuлюючих електростанцій (ГАЕС): Київська, Дністровська і Запорізька (Дніпрогес— 2). За їх допомогою можна успішно розв'язувати проблему забезпечення споживачів електроенергією в пікові години. Діючи за принципом переміщення того самого обсягу води між двома басейнами, розміщеними на різних рівнях висоти, ГАЕС працюють як гідротурбіни з електрогенераторами в денні пікові години і як перекачувальні насоси – вночі.

ГАЕС споживають і накопичують енергію, коли вона є в надлишку, і повертають її в електричну мережу, коли її недостатньо.

Атомні електростанції (АЕС) за характером використовуваного палива не пов'язані з родовищами його видобування, що забезпечує широкий маневр їх розміщення. АЕС орієнтовані виключно на споживачів електроенергії, особливо на райони з обмеженими ресурсами палива та гідроенергії.

В Україні працюють кілька потужних атомних електростанцій — Запорізька, Південно-Українська, Рівненська, Хмельницька.

Джерелом отримання електроенергії на АЕС є ланцюгова реакція ділення ядер атомів важких елементів. Ця реакція відбувається в атомних реакторах з виділенням великої кількості тепла.

Обґрунтування економічних і екологічних переваг АЕС ґрунтувались на таких твердженнях:

1. Ресурси урану для атомної енергетики дорівнюють ресурсам вугілля, нафти й газу разом узятим.

2. АЕС економлять дефіцитне органічне паливо (нафту і газ).

3. АЕС не споживають кисню і майже не викидають шкідливих газів і твердих продуктів.

4. За умов безаварійної експлуатації і збільшення потужності всіх діючих електростанцій, навіть у кілька разів, глобальне радіоактивне забруднення (за теоретичними розрахунками) становитиме не більше 1 % від рівня природної радіації на планеті.

5. Атомна енергетика ліквідує прірву між багатими й бідними державами, зменшить загрозу насильницького перерозподілу світових ресурсів.

Разом з тим, деякими державами світу були переглянуті й суттєво скорочені програми подальшої побудови АЕС, що пов'язано з їх техногенною небезпечністю, особливо у разі природних катаклізмів, як ще раз показали події на АЕС Японії.

На АЕС отримане в реакторі тепло перетворюється на електроенергію за допомогою парових турбін і електричних генераторів. В парових турбінах використовують водяний пар як робоче тіло. Принцип отримання теплової енергії в реакторах різних типів однаковий, але використання тепла залежно від призначення різне. За числом контурів циркуляції для передачі виділеного тепла робочому тілу виділяють одно-, дво- та триконтурні теплові схеми.

Атомна енергетика займає 24 % у Гідроенергетика та інші нетрадиційні джерела – в межах 3 %.

Серед альтернативних джерел виробництва електроенергії є енергія сонячного світла, вітру, морських течій, хвиль, припливів і відпливів, геотермальна енергія земних надр та інші.

Прибутковість електроенергетичних підприємств залежить від багатьох факторів, серед яких визначальними є вартість палива, характеристики робочих параметрів енергоагрегатів та їх коефіцієнти корисної дії, втрати в лініях електропередач (ЛЕП); точність засобів обліку виробництва, споживання та втрати енергії; відстань транспортування, досконалість енергосистем, можливість регулювати виробництво та споживання електроенергії в часі, використання сучасних технологій електроенергетики та енергозбереження і багато іншого.

Найважливіша тенденція в розвитку електроенергетики – об'єднання електростанцій в енергосистеми, які здійснюють виробництво, транспортування і розподіл електроенергії між споживачами. Створення енергосистем зумовлюється потребою ритмічного забезпечення споживачів електроенергією, виробництва і споживання якої має не тільки сезонні, а й добові коливання. В Україні досить розгалужена об'єднана енергосистема, до якої належать усі великі електростанції. Об'єднана енергосистема України пов'язана з енергосистемою “Мир”, а також з енергосистемами сусідніх з Україною держав.

Втрати електроенергії в лініях електропередач прямо пропорційні відстані передачі електроенергії, силі електричного струму, активному електричному опору проводів чи кабелів та ін. і обернено пропорційні електричній напрузі в лініях електропередач.

Рентабельність виробництва електроенергії в Україні (тобто відношення собівартості електроенергії в Україні, до її світової собівартості) становить: при використанні як палива вугілля – 58 %, газу— 155, мазуту – 95...125, урану – 89, води – 24 %.

Таким чином, використання сучасних маловитратних технологій виробництва, передачі та споживання електроенергії дає можливість значно зменшити собівартість електроенергії та підвищити прибутковість електроенергетичних підприємств. Головним напрямком удосконалення у паливно-енергетичному комплексі країни повинна бути розробка і впровадження енергозберігаючих технологій та енергозберігаючих організаційних заходів.

Лекція № 19

Лінія електропередачі (лінія електропересилання, лінія електропередавання, ЛЕП) — один з компонентів електричної мережі призначена для передачі електричної енергії.

Розрізняють кабельні та повітряні лінії електропередачі.

Будова

Будова повітряних ліній електропередачі може мати різні форми залежно від типу лінії. Каркасом може служити простий дерев'яний стовп, що має одну чи більше поперечок для підтримки проводу. Високовольтні лінії електропередач зазвичай виконуються наступними:

- Збудовані з ґратчастих сталевих опор;
- Бетонні опори;
- Сталева опора циліндричного типу (в Україні встановлено менше 10 таких опор);
- Опори із пластику підвищеної міцності (їхнє застосування обмежене через високу вартість).

ЛЕП у кабельному виконанні найчастіше застосовується у населених пунктах та при необхідності перетину таких перешкод, як залізнична колія або автодорога. Високовольтні КЛ прокладаються на глибині понад 0,7 м та складаються з однофазних ізольованих кабелів при напрузі понад 35 кВ та трифазних — при нижчих напругах.

Історія створення ЛЕП

Можливість передачі електричних імпульсів на велику відстань була продемонстрована 14 липня 1729 фізиком Стівеном Грейєм. Він мав на меті показати, що можна передавати електроенергію за допомогою цього методу. У досліді використовувалися вологі мотузки ізконопель, підвішені

на шовкових нитках (про низький опір металевих провідників в той час не знали).

Проте першим практичним використанням повітряних ліній були дроти для телеграфів. У 1837 було створено першу комерційну лінію телеграфу протяжністю 13 миль (20 км). Передача електричної енергії була зроблена у 1882 році з допомогою першої ЛЕП між Мюнхеном і Бед Бруком. В 1891 році було побудовано першу трифазну лінію змінного струму з нагоди Міжнародної виставки електроенергії у Франкфурті.

Фізичні характеристики ЛЕП

Кожна лінія електропередач фактично є металевим провідником з розподіленими параметрами, а саме:

- Імпедансу, що складається з активної та реактивної складової.
- Поперечної провідності.

Найточнішим представленням лінії є врахування одиничних параметрів розподілених по всій довжині лінії. Однак практично для рівнів напруги до 330 кВ при довжині до 300 км, що використовуються на сьогодні, достатнім є використання П-подібної схеми заміщення з нерозподіленими параметрами. Фактична похибка при використанні цієї схеми є несуттєвою та фактично не впливає на результат.

Зміст фізичних параметрів

- Активний опір — параметр описує опір металевого провідника, з якого виконана лінія.

- Реактивний опір — величина, що виникає під дією ЕРС самоіндукції та ЕРС взаємодіючої, що протидіє самоіндукції. Залежить у значній мірі від розташування фаз (прямо пропорційно) та радіусу проводів (обернено пропорційно). Також залежить від матеріалу, що застосовується. Має індуктивний характер. У кабельних лініях менше у 2-3 рази, ніж у повітряних через меншу відстань між провідниками.

- Активна провідність — величина, що обумовлюється втратами активної енергії через недосконалість ізоляції та на коронний розряд. Фактично може не враховуватись за нормальної вологості в мережах до 110 кВ та за будь-яких умов для мереж напругою менше 35 кВ через незначну величину.

- Ємнісна провідність — величина, що виникає як ємність між фазами та між фазою та землею. Ємність кабельних ліній є більшою через близькість фаз між собою та наявність металевих екранів. Не враховується у ПЛ 35 кВ та нижче.

Усі ці параметри, з огляду на стандартизацію матеріалів (алюміній або мідь) та перерізів проводів, можуть бути знайдені у таблицях вже розраховані на певну довжину, як правило 1 чи 100 км^[6].

Окремої уваги потребують сталеві проводи, у яких реактивний опір змінюється в залежності від струму, що протікає.

В Україні використовуються наступні класи змінної напруги при передачі та розподілу електричної енергії:

- Низька напруга — 220 В, 0,4 кВ (відомі як 380В/220В);
- Середня напруга — 6 кВ, 10 кВ, 35 кВ,
- Висока напруга — 110 кВ, 150 кВ, 220 кВ, 330 кВ,
- Надвисока напруга — 400 кВ, 500 кВ, 750 кВ

Також є одна лінія постійної напруги 800 кВ (± 400 кВ) ПС Михайлівська — Волгоградська ГЕС (лінія «Волгоград — Донбас»).

Основною шкалою напруг в ОЕС України є 10, 35, 110, 330, 750 кВ.

У Луганській області використовується шкала 10, 35, 110, 220, 500 кВ, у Криму — 10, 35, 110, 220, 330 кВ (на сході Криму відсутній клас напруги 330 кВ).

Проте існують і значні технологічні втрати, і не слід забувати, що на початку 1990-х років втрати у вітчизняних електромережах були на рівні 6-8%, такі ж втрати і в електричних мережах розвинутих країн.

Значні резерви економії енергетичних ресурсів наявні в електромережах. В нашій країні втрати в електричних мережах сягають 12-14% а за іншими статистичними даними до 18%. Перш за все, це обумовлено величезними обсягами крадіжок електричної енергії з мереж, відсутністю систем обліку, що дозволяє використовувати її майже без обмежень, застарілим обладнанням електромереж, крадіжками обладнання.

- навантажувальні втрати в проводах ліній електропередачі (ЛЕП) та обмотках силових трансформаторів підстанцій;

Основні технологічні втрати електроенергії в мережах це:

- втрати на корону проводів ЛЕП;**
- втрати в залізі осердь трансформаторів при неробочому ході;**
- втрати в компенсаційних пристроях (конденсаторні батареї, синхронні компенсатори, статичні тиристорні компенсатори та ін.);**
- втрати на власні потреби;**

Проведені оціночні розрахунки вказують, що найбільш ефективними заходами є заходи групи 2 і в першу чергу технічні заходи по компенсації реактивної потужності. Питоме зниження втрат при встановленні БСК в мережах споживачів, що отримують живлення від трансформаторів 220/6-10 кВ, вкладає 70 тис.кВт.г в рік на 1 Мвар реактивної потужності батареї; від трансформаторів 110/6-10 кВ – 200 тис.кВт.г в рік; від трансформаторів 35/6-10 кВ – 300 тис.кВт.г в рік. Таким чином, проведення комплексних заходів – є ефективним способом зниження втрат електроенергії в системах електропостачання промислових підприємств.

Величина втрат в лініях і мережах визначається їх технічними параметрами і струмом навантаження, кВт, , де 1,1 – коефіцієнт, що

враховує опір перехідних контактів, скручення жил і способів прокладки ліній; - число фаз ліній; - довжина ліній, м; - поперечний розріз проводу, мм²; - питомий опір матеріалу проводу при 20 0С (Ом*мм²/м); I – середнє значення струму навантаження, А.

Втрати потужності і енергії, що супроводжується коронним розрядом, досягає в лініях 330 кВ та вище декількох сотень кіловат на один кілометр лінії (в лініях 220- 110 кВ і нижче втрати на корону незначні), тобто в цих умовах втрати на корону не тільки спів розмірні, але й інколи перевищують втрати на нагрівання проводів. Явище корони викликає додатковий нагрів проводів, підвищує інтенсивність корозії проводів і арматури повітряних ліній.

Істотно впливає на покращення техніко-економічних характеристик режимів роботи розподільчої мережі раціональне планування поточкорозподілу реактивної потужності в основних мережах та мережах споживачів. Правильний вибір ступені компенсації реактивних навантажень на приймальних підстанціях системи впливає на поточкорозподіл реактивної потужності, що призводить до зміни сумарних втрат активної потужності і енергії в цілій системі.

Розміщувати КП в електричних мережах рекомендується таким чином, щоб 70-80% потужності КП встановлювались безпосередньо в мережах споживачів. Вибір того чи іншого засобу компенсації здійснюється на основі техніко-економічних розрахунків. При цьому порівнюються затрати засобів на виробляємий 1 кВАр.г

Основними типами компенсаційних пристроїв (КП) при експлуатації електричних мереж є батареї статичних конденсаторів (БСК) і синхронних компенсаторів (СК), які мають наступні переваги: можливість працювати в індуктивно-емнісних режимах, широкий регульовальний діапазон, високу

надійність і якість електропостачання споживачів. В останній час використовуються регульовані статичні джерела реактивної потужності.

Збільшення поперечного розрізу електромереж.

При наявності паралельних ліній бажано з розумінням економії електроенергії тримати їх включеними паралельно. При використанні їх на паралельну роботу, сумарний опір (еквівалентний) опір цих мереж зменшиться, і, отже, втрати активної та реактивної енергії при її передачі скоротяться. При паралельному з'єднанні опорів еквівалентний опір, при припущенні що опори резервної та основної ліній рівні, буде в два рази нижче. Звідси впливає зменшення втрат активної та реактивної потужностей також у два рази.

Втрати електроенергії в лініях залежать від значення опорів і струму, що пропускається через лінії. Опір діючих ліній може вважатися практично постійним. Звідси впливає, що для зменшення втрат електроенергії можливий один шлях - зменшення струму, що протікає через них. Зменшити значення струму можна, наприклад використанням у роботі значної кількості резервних ліній.

В мережах до 220 кВ включно існують технічні можливості використання зниження навантажувальних втрат потужності та енергії за рахунок підвищення рівня робочої напруги.

Підвищення рівня робочої напруги.

Розрахунки вказують на можливість зниження втрат енергії до 1% сумарних втрат в системі за рахунок оптимізації режимів робочої напруги.

При підвищенні рівня робочої напруги можуть дещо зрости втрати на корону, проте в лініях 110 – 220 кВ ці втрати незначні. Втрати на корону значні в лініях понад 330 кВ. Проте в цих лініях допустимі перенапруги

ізоляції незначні, що обмежує використання такого заходу зниження втрат електроенергії як підвищення напруги в лініях понад 330 кВ.

Будь-яке обладнання під час експлуатації потребує технічного обслуговування та ремонту. При проведенні ремонту обладнання, навантаження на інше (резервне) обладнання збільшується, що значно збільшує втрати потужності. Втрати електроенергії від проведення ремонту основного обладнання прямо пропорційно залежить від часу його проведення. Таким чином, значна тривалість ремонту призводить до значних втрат електричної енергії.

Скорочення терміну ремонту електромереж.

При електропостачанні потужних приймачів електроенергії (електричні печі й ін.), як правило, застосовують багатополосні шинопроводи. Якщо застосовувати розташування шин, як зазначено на 1б., те втрати електроенергії в такому шинопроводі будуть значно більше, ніж при розташуванні, показаному на 1а. Це пояснюється тим, що при розташуванні шин, показаному на рис 1а. сильно позначається "ефект близькості", при якому різко зростає індуктивний опір шин і відповідно збільшується реактивна складова струму, що в кінцевому рахунку приводить до збільшення загального струму і відповідно втрат потужності й енергії.

Економія електроенергії в шинах.

Характерною особливістю режимів електричних мереж до 1000 В полягає в нерівномірності навантаження фаз, що призводить до збільшення втрат потужності та енергії. Так, при коефіцієнті асиметрії струмів, рівному 2%, у вузлах навантаження при потужності одноразового навантаження 0,18 і потужності симетричного навантаження 0,82 втрати потужності в трансформаторі і в лінії 0,4 кВ збільшуються на 13%, а втрати напруги в

найбільш навантаженої фазі зростають практично у 2 рази порівняно з симетричним режимом.

Передача і розподіл електричної енергії по повітряно-кабельних лініях у розподільних мережах 0,38 -10 кВ.

Аналогічне положення має місце при установці додаткових фільтрокомпенсиючих пристроїв (ФКП) при несинусоїдальності форми кривої струму і напруги. Установлюючи випрямні пристрої по 12-24 фазній схемі, можна значно скоротити несинусоїдальність і обійтися без ФКУ.

- істотне підвищення електробезпеки при експлуатації за рахунок зниження числа однофазних замикань на землю, обривів проводів і відсутності можливостей безпосереднього контакту зі струмоведучими частинами лінії електропередачі;

Помітну економію енергії в електричних мережах напругою 0,38-10 кВ дає перехід від ВЛ у розподільних мережах нижчої і середньої напруги до штучно синтезованих конструкцій типу КЛ. Гібридна конструкція, що синтезує кращі властивості ПЛ і КЛ, називається повітряно-кабельною лінією (ПКЛ). Вона являє собою конструкцію, що складається з полегшених опор, на які підвішується спеціальний повітряний кабель (ПК). Конструкція ПК являє собою скручені струмоведучі ізоляційні жили в загальній чи оболонці без її, з несучим тросом, розташовуваним чи усередині цієї оболонки, чи поза нею, чи спільно в одному пучку з проводами, скрученими з несучим тросом. ПК можна виконати на посиленних ізольованих струмоведучих жилах, що є самонесучими, без несучого троса. ПК призначений для підвіски на опорах полегшеного типу за допомогою спеціальної арматури. ПКЛ мають наступні переваги:

- зменшення вітрових аварій унаслідок зменшення навантажень від ожеледі і вітру, відсутності моментів, що крутять, на опорах в аварійних

режимах, значного збільшення механічної міцності конструкції ПК у порівнянні з проводами звичайного виконання;

- зниження пошкоджуваності ізоляції і підвищення експлуатаційної надійності унаслідок виключення факторів механічного впливу, характерних для ПЛ звичайного виконання (забруднення, накиди, перекриття повітряних проміжків птахами, гілками дерев і т.п.);

- можливість монтажу ПК по стінах промислових і житлових будинків і інших інженерних споруджень, особливо в умовах суцільної міської забудови у великих індустріальних районах;

- легкість конструктивного виконання багатоланцюгових ліній; зменшення вартості будівельної частини ліній за рахунок спрощення конструкцій опор, збільшення довжини прольотів, виключення металоконструкцій, ізоляторів, контурів заземлення й інших елементів ПЛ звичайного виконання;

- підвищення техніко-економічних показників за рахунок зниження втрат активної потужності в мережі;

- зниження реактивного опору, що приводить до поліпшення режиму напруги в мережі ПКЛ і збільшенню її пропускної здатності;

Основну економію електричної енергії при використанні ПКЛ дає зниження втрат активної потужності й енергії безпосередньо в самої ПКЛ, унаслідок зменшення витоків реактивної потужності по ділянках мережі і підвищення напруги в споживачів.

- зниження вартості додаткових КП для забезпечення оптимальних режимів роботи мережі.

Споживачі електроенергії

ЗМІСТ

ВСТУП	179
СПОЖИВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....	180
ПРИЙМАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	187
ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ	191
ЕЛЕКТРИЧНА ТЕХНОЛОГІЯ.....	197
ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАЛЬНІ УСТАНОВКИ.....	207
ГАЛЬВАНІЧНІ УСТАНОВКИ.....	208
ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТ.....	209
ЕЛЕКТРИЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ.	213
Параметри джерел світла.	214
Джерела світла	215
Первинне і повторне запалювання лампи.....	223
Пускорегулююча апаратура (ПРА).....	225

Освітлювальні мережі.	229
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.	233
КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ.....	234
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
ДОДАТКИ.....	237

Вступ

Електроенергетика є базовою галуззю економіки України. Надійне й ефективне її функціонування, безперебійне постачання споживачів - основа поступального розвитку економіки країни і невід'ємний фактор забезпечення цивілізованих умов життя всіх її громадян.

Електроенергетичний потенціал України повністю покриває потреби народного господарства і населення країни, а також експорт електроенергії. Виробництво електроенергії є високотехнологічним, цілком автоматизованим процесом, при якому в електроенергетичній системі України синхронно працюють сотні потужних генераторів електричних станцій. Вироблювана ними електроенергія безупинно перетворюється на напруги різних рівнів, необхідних для передачі, розподілу і споживання. Розподільні системи перетворення та передачі електроенергії (трансформаторні підстанції і лінії електропередачі) за потужністю в кілька разів перевищують сумарну потужність генеруючих джерел, і також працюють строго погоджено за багатьма електричними параметрами.

Характерною рисою електроенергетики, що визначає специфіку її роботи, є нерозривність процесу виробництва, передачі й споживання електроенергії, оскільки вона використовується безпосередньо в момент її вироблення і не може бути складована як інші енергоносії.

Безперервність процесу електропостачання споживачів забезпечується тільки при постійному балансі вироблюваної і споживаної електроенергії і потужності, що безупинно міняється (за часом доби, днем тижня, сезоном). Від ступеня збалансованості вироблюваної і споживаної електроенергії і потужності залежить частота електричного струму, що є однаковою для всієї України. При нестачу палива або генеруючих потужностей, щоб уникнути розвалу роботи енергетичної системи України і припинення електропостачання споживачів використовують змушене відключення надлишкової частини споживачів електричної енергії і потужності для того, щоб зберегти стійкість роботи енергосистеми. Забезпечення безперервного електропостачання споживачів особливо важливо, оскільки збиток (економічний, соціальний, оборонний) від порушення електропостачання в десятки разів перевищує втрати від руйнування пошкодженого устаткування.

Споживачі електричної енергії

Споживачем електричної енергії називається електроприймач або група електроприймачів, об'єднаних технологічним процесом і розміщених на певній території.

Приймачем електричної енергії (електроприймачем) називається апарат, агрегат, механізм, призначений для перетворення електричної енергії в інші види енергії.

Приймачі електроенергії розподіляються на такі групи:

1. Приймачі трифазного струму напругою до 1000 В, частотою 50 Гц;
2. Приймачі трифазного струму напругою вище 1000 В, частотою 50 Гц;
3. Приймачі однофазного струму напругою до 1000В, частотою 50 Гц;
4. Приймачі, що працюють з частотою, відмінною від 50 Гц, і живляться від перетворювальних підстанцій і установок;
5. Приймачі постійного струму, що живляться від перетворювальних підстанцій і установок.

Систематизацію споживачів електричної енергії і їхніх навантажень здійснюють за наступними основними експлуатаційно-технічними ознаками: виробничим призначенням; виробничими зв'язками; режимами роботи; потужністю і напругою; родом струму; необхідним ступенем надійності живлення; територіальним розміщенням; щільністю навантаження; стабільністю розташування електроприймачів. Однак при визначенні електричних навантажень досить систематизувати споживачів електричної енергії за режимами роботи, потужністю, напругою, родом струму і необхідним ступенем надійності живлення, вважаючи інші ознаки допоміжними.

За **режимами роботи** всі споживачі можна розподілити на ряд груп, для яких передбачаються три режими роботи: *тривалий*, при якому приймач може працювати тривалий час, причому перевищення температури окремих частин апарата не виходить за межі, встановлені нормативною документацією; *короткочасний*, при якому робочий період не настільки тривалий, щоб температура окремих частин апарата могла досягти сталого значення, період зупинки настільки тривалий, що апарат встигає остигнути до температури навколишнього середовища; *повторно-короткочасний*, при якому робочі періоди чергуються з періодами пауз, а тривалість всього циклу не перевищує 10 хв., нагрівання не перевершує припустимого, а при охолодженні не досягає температури навколишнього середовища.

У тривалому режимі працює більшість електричної двигунів, які обслуговують основні технологічні агрегати і механізми. З тривалістю роботи від декількох годин до декількох змін підряд, з досить високим, незмінним або маломінливим навантаженням працюють електроприводи вентиляторів, насосів, компресорів та ін. Довгостроково, але з перемінним навантаженням і короткочасними відключеннями, за час яких електричної двигун не встигає остигнути до температури навколишнього середовища, а тривалість циклів перевищує 10 хв., працюють електричні двигуни, що обслуговують верстати холодної обробки металів, деревообробні верстати, молоти, преси та ін.

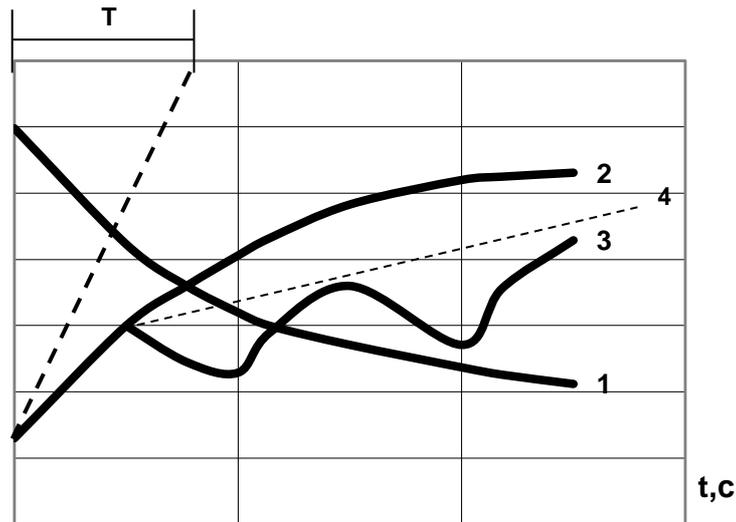


Рис.1- Криві нагрівання й охолодження

- 1- охолодження; 2- тривалий режим;
- 3- крива нагрівання при повторно-короткочасному режимі;
- 4- рівень нагрівання при повторно-короткочасному режимі.

У короткочасному режимі працює більшість електричних приводів допоміжних механізмів металорізальних верстатів, а також механізмів для відкривання гідравлічних затворів, усякого роду заслінок та ін.

У повторно-короткочасному режимі працюють електричні двигуни мостових кранів, тельферів, підйомників і аналогічних їм установок, допоміжних і деяких головних приводів. До цієї групи відносяться також зварювальні апарати, що працюють з постійними великими кидками потужності.

Нагрівальні апарати і електropечі працюють у тривалому режимі з постійним або маломінливим навантаженням. Особливістю режиму роботи електричного освітлення є різка зміна і сталість навантаження при включенні і зміні режиму роботи.

У житлових будинках до них відносяться: ліфти, пожежні насоси, системи автоматичного димовидалення, аварійне освітлення коридорів, вестибюлів, холів і сходових кліток будинків висотою 16 поверхів і більше, загороджувальні вогні, встановлювані на дахах будинків висотою більше 50 м. До першої категорії також відносяться: електроприймачі спеціального призначення незалежно від поверховості будинків – це вбудовані автоматичні телефонні станції, станції перекачування фекальних вод, опорно-підсилювальні пункти і блоки-станції радіотрансляції, водопровідні й каналізаційні вузли, приймачі будинків масового скупчення людей (театри, кіно, клуби та ін), приймачі особливих лікувальних установ – операційних залів, родильних будинків, пунктів невідкладної допомоги, у промисловості - споживачі, перерва в електропостачанні яких

може викликати небезпеку для життя людей або значний матеріальний збиток, пов'язаний з пошкодженням устаткування, масовим браком продукції або тривалим розладом складного технологічного процесу виробництва.

До другої категорії відносяться приймачі житлових будинків висотою від 6 до 16 поверхів, споживачі будинків будь-якої поверховості, в яких встановлені напідложні стаціонарні електроплити, а також електроприймачі адміністративно-громадських будинків, лікувальних і дитячих установ, шкіл і навчальних закладів. На промислових підприємствах до другої категорії належать приймачі, перерва в електропостачанні яких пов'язана з істотною недовідпусткою продукції, простоем людей, механізмів, промислового транспорту.

За **потужністю і напругою** всі споживачі електричної енергії можна розподілити на дві групи: *споживачі великої потужності* (80 – 100 кВт і вище) на напругу 3-6-10 кВ, як одержують живлення безпосередньо від мережі 3-6-10 кВ. До цієї групи відносяться могутні печі опору й дугові печі для плавки чорних і кольорових металів, які живляться через власні трансформатори; *споживачі малої і середньої потужності* (нижче 80 – 100 кВт), живлення яких можливе й економічно доцільне тільки на напругу 380-660 В.

За **родом струму** всі споживачі електричної енергії можна розподілити на три групи: ті, що працюють від мережі *змінного струму промислової частоти*; ті, що працюють від *мережі змінного струму підвищеної або зниженої частоти*; ті, що працюють від *постійного струму*.

Основний род струму, на якому працює більшість електричних приймачів – змінний трифазний струм частотою 50 Гц.

Відповідно до Правил обладнання електроустановок (ПОЕ) всі споживачі підрозділяються на три категорії за забезпеченням надійності і безперебійності живлення. До першої категорії відносяться споживачі, що допускають перерву в електропостачанні тільки на час дії пристроїв автоматичного включення резерву. Такі споживачі повинні забезпечуватися електроенергією від двох незалежних джерел електропостачання.

Друга категорія споживачів допускає перерву електропостачання на час, необхідний для включення резерву силами оперативного персоналу. Електроприймачі цієї категорії можуть житися від однострумкової підстанції при наявності централізованого резерву трансформатора.

До третьої категорії відносяться приймачі п'ятиповерхових житлових будинків і нижче за відсутності напідложних стаціонарних електроплит. У промисловості до цієї категорії належать всі приймачі, що не підходять під визначення 1-й і 2-й категорій.

Навантаження споживачів електричної енергії є основним параметром, за яким виконується вибір всіх елементів системи електричного постачання. Тому правильне визначення електричного навантаження необхідне при проектуванні й експлуатації електричних мереж.

Компенсація реактивної потужності

Коефіцієнтом потужності ($\cos \varphi$) називають величину відношення активної потужності P до повної потужності S , що споживана установкою:

$$\cos \varphi = P / S .$$

Навантаження окремих приймачів змінюється за часом і, як наслідок цього, змінюється коефіцієнт потужності.

Величину $\cos \varphi$ у даний момент можна визначити за показанням фазометра або за одночасними показаннями вимірювальних приладів: амперметра, вольтметра і ватметра, використовуючи співвідношення цих величин для трифазної системи струмів:

$$\cos \varphi = P / \sqrt{3} UI .$$

Реактивна потужність, що віддається джерелу живлення, проходячи по живильних проводах, нагріває їх, і в результаті, підвищується опір живильної лінії. Підвищення опору лінії призводить до збільшення втрат активної потужності в самій лінії.

Концентрація реактивної потужності в багатьох випадках економічно недоцільна з наступних причин:

1. При передачі значної реактивної потужності виникають додаткові втрати активної потужності й електроенергії у всіх елементах системи електропостачання, обумовлені завантаженням їх реактивною потужністю. Так, при передачі активної P і реактивної Q потужностей через елемент системи електропостачання з опором R втрати активної потужності складуть

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \frac{P^2}{U^2} R + \frac{Q^2}{U^2} R = \Delta P_A + \Delta P_P .$$

2. Додаткові втрати активної потужності, викликані протіканням реактивної потужності й пропорційні її квадрату. Особливо істотні виникають додаткові втрати напруги в мережах районного значення. Так, при передачі потужності P і Q через елементи системи електропостачання з активним опором R і реактивним X втрати напруги складуть

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U} = \frac{PR}{U} + \frac{QX}{U} = \Delta U_P + \Delta U_Q.$$

3. Завантаження реактивною потужністю системи промислового електропостачання і трансформаторів зменшує їхню пропускну здатність і вимагає збільшення перерізів проводів ліній, збільшення номінальної потужності або числа трансформаторів підстанції.

Основні причини низького коефіцієнта потужності в електроустановках такі:

- недовикористання потужності механізмів технологічних, енергетичних, сантехнічних і транспортних машин і відповідно встановленої потужності електродвигунів і трансформаторів, їх неповне і нерівномірне навантаження за часом;
- завищення встановленої потужності трансформаторів і електродвигунів при проектуванні;
- робота на холостому ході (ХХ) електродвигунів і трансформаторів;
- наявність приймачів з великим індуктивним навантаженням (дугові електропечі, електрозварювання і ін.).

На промислових підприємствах зменшення споживаної реактивної потужності може бути досягнуто природним шляхом: поліпшенням режиму роботи приймачів, застосуванням двигунів більш досконалих конструкцій, усуненням їхнього недовантаження, вдосконаленням спеціальних компенсуючих пристроїв.

Основними споживачами реактивної потужності є асинхронні двигуни, трансформатори і вентильні перетворювачі, тому для зниження споживання установкою реактивної потужності необхідно всебічно аналізувати такі питання:

- заміна малонавантажених асинхронних двигунів двигунами меншої потужності;
- зниження напруги у двигунів, що систематично працюють з малим навантаженням;
- обмеження холостого ходу двигунів і зварювальних трансформаторів;
- застосування синхронних двигунів замість асинхронних у випадку, коли це можливо за умовами технологічного процесу;
- застосування синхронізованих асинхронних двигунів;
- застосування найбільш доцільної силової схеми і системи керування вентильного перетворювача.

Заміна малонавантажених двигунів двигунами меншої потужності. Реактивна потужність, що споживається асинхронним двигуном, залежить від його технічних даних і коефіцієнта

завантаження. При номінальному завантаженні і номінальній напрузі асинхронний двигун споживає реактивну потужність

$$Q_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\eta} \operatorname{tg} \varphi_{\text{НОМ}},$$

де η – коефіцієнт корисної дії при повному завантаженні.

Реактивна потужність, споживана двигуном з мережі на холостому ході, може бути визначена як

$$Q_X \approx \sqrt{3} U_{\text{НОМ}} I_X.$$

Для двигуна з номінальним коефіцієнтом потужності $\cos \varphi = 0,91 - 0,93$ реактивна потужність Q_X становить близько 50% реактивної потужності при номінальному завантаженні двигуна. Для двигуна з $\cos \varphi = 0,77 - 0,79$ вона досягає 70%.

Збільшення споживання реактивної потужності при повному завантаженні двигуна в порівнянні зі споживанням на Q_X (холостому ході)

$$\Delta Q_{\text{НОМ}} = Q_{\text{НОМ}} - Q_X \approx \frac{P_{\text{НОМ}}}{\eta} \operatorname{tg} \varphi_{\text{НОМ}} - \sqrt{3} U_{\text{НОМ}} I_X$$

При завантаженні асинхронного двигуна менше номінальної навантажки, приріст споживання реактивної потужності в порівнянні з приростом на Q_X пропорційний квадрату коефіцієнта завантаження двигуна:

$$\Delta Q = k_3^2 \Delta Q_{\text{НОМ}},$$

де $k_3 = P / P_{\text{НОМ}}$ – коефіцієнт завантаження двигуна.

Реактивна потужність, споживана двигуном при довільному завантаженні, складає

$$Q = Q_X + \Delta Q_{НОМ} k_3^2.$$

Коефіцієнт потужності асинхронного двигуна при довільному завантаженні $P = k_3 P_{НОМ}$ знаходимо з

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{Q_X + k_3^2 \Delta Q}{k_3 P_{НОМ}} \right)^2}}.$$

Коефіцієнт потужності двигуна зменшується при зменшенні його завантаження. Так, якщо при 100% завантаженні $\cos \varphi = 0,8$, то при 50% завантаженні він дорівнює 0,65, а при 30% – 0,51. Тому заміна систематично малонавантажених двигунів двигунами меншої потужності сприяє підвищенню коефіцієнта потужності електроустановок. Заміна двигуна повинна зменшувати сумарні втрати активної потужності як в енергосистемі, так і в приймачі. Сумарні втрати визначаються як

$$\Delta P_{сум} = k_{3.в.} Q + \Delta P,$$

де ΔP – повні втрати активної потужності в двигуні, $k_{3.в.}$ – коефіцієнт зміни втрат, кВт/квар, задається підприємству енергосистемою або приймається за довідковими даними. Коефіцієнт зміни втрат $k_{3.в.}$ чисельно дорівнює питомому зниженню втрат активної потужності у всіх елементах системи електропостачання (від джерела живлення до місць споживання електроенергії), отриманому при зменшенні переданої підприємству реактивної потужності. Як показали розрахунки, найменше значення $k_{3.в.}$ дорівнює приблизно 0,02 кВт/квар для трансформаторів, приєднаних безпосередньо до шин станції, а найбільше значення $k_{3.в.}$ дорівнює 0,15 для трансформаторів 10-6/0,4 кВ, що живляться від районних мереж.

Більш зручно сумарні втрати розраховувати за виразом

$$\Delta P_{сум} = [Q_X (1 - k_3^2) + k_3^2 Q_{НОМ}] \cdot k_{3.в.} + \Delta P_X + k_3^2 \Delta P_{а,НОМ},$$

де $\Delta P_X = P_{НОМ} \left(\frac{1 - \eta}{\eta} \right) \frac{k_{\partial в}}{1 + k_{\partial в}}$ – втрати активної потужності при XX двигуна, кВт;

$$\Delta P_{a.ном} = P_{ном} \frac{1-\eta}{\eta} \cdot \frac{1}{k_{дв} + 1} - \text{приріст втрат активної потужності в двигуні при 100\%}$$

завантаженні, кВт;

$k_{дв} = \Delta P_X / \Delta P_{a.ном}$ - розрахунковий коефіцієнт, що залежить від конструкції двигуна і дорівнює

$$k_{дв} = \frac{\Delta P_X \%}{(100 - \eta\%) - \Delta P_X \%}$$

Тут $\Delta P_X \%$ – втрати XX,% активної потужності, споживаної двигуном при завантаженні 100%.

Рядом робіт показано, що якщо середнє завантаження двигуна менше 45% номінального значення його потужності, то заміна двигуна менш потужним завжди доцільна і перевірка розрахунками не потрібна. При завантаженні двигуна більше 70% номінальної потужності можна вважати, що заміна його в загальному випадку недоцільна. При завантаженні в межах 45-70% треба виконувати перевірочні розрахунки, і заміна доцільна при достатньому зменшенні сумарних втрат активної потужності.

Приймачі електричної енергії

Трансформатори є основним електричним устаткуванням, що забезпечує передачу енергії від електростанції до споживачів і її розподіл. За їхньою допомогою здійснюється підвищення напруги для ліній електропередачі енергосистем, а також багаторазове східчасте зниження напруги до значень, застосовуваних безпосередньо в приймачах. Для компенсації втрат напруги в мережах підвищувальні трансформатори мають на вищій стороні напругу на 10% більшу номінальної напруги мережі, а понижуючі – нижчу напругу на 5-10% вище номінальної напруги мережі. Кожен трансформатор характеризується номінальними даними: потужністю, струмами первинної і вторинної обмоток, утратами холостого ходу ΔP_{XX} , утратами короткого замикання ΔP_K (або втратами в міді ΔP_M), напругою короткого замикання U_K , струмом холостого ходу i_{XX} (або i_0), а також групою з'єднання і видом охолодження.

Напруга короткого замикання трансформатора – це напруга, яку необхідно підвести до однієї з обмоток при замкнутій накоротко іншій, щоб у цій останній протікав номінальний струм. Напруга К.З. у відсотках від номінальної вказується у каталогах і складає 4,5-12%. **Струм холостого ходу** – струм, що при номінальній напрузі встановлюється в одній обмотці при розімкнутій іншій обмотці. Утрати х.х. ΔP_{XX} визначаються струмом i_0 , вираженим у відсотках від номінального струму відповідної обмотки. **Номінальні струми обмоток** трансформатора наводяться в каталогах. Під номінальним навантаженням слід розуміти навантаження, що дорівнює

номінальному струму (номінальній потужності), який трансформатор може нести протягом всього терміну служби (20-25 років) при номінальних температурних умовах.

Група з'єднань – кутовий (кратний 30°) зсув векторів між однойменними лінійними напругами обмоток трансформатора.

Початки обмоток двохобмоточного однофазного трансформатора позначають буквами А і а, кінці – Х і х. У трифазних двохобмоточних трансформаторах початки і кінці обмоток позначають відповідно буквами А,В,С,; а,в,с і Х,У,З; х,у,з. Великі букви відносяться до вищої напруги, малі – до обмоток нижчої напруги. Затиски нульової точки при з'єднанні в зірку позначають через О і о. Поняття початку і кінця обмотки умовно. У трифазних трансформаторах застосовують наступні схеми з'єднань $Y/Y, \Delta/\Delta, \Delta/Z, Y/\Delta, \Delta/Y, Y/Z$ (Y – з'єднання зіркою, Δ – трикутником, Z – зигзаг-зіркою; у чисельнику зазначені з'єднання обмотки вищої напруги, у знаменнику – нижчої напруги).

Ці схеми утворюють 12 різних груп з'єднань зі зсувом фаз лінійних е.р.с. первинної і вторинної обмоток від 0° до 360° через 30° . Зсув фаз прийнятий за положенням стрілок годинника, вектор е.р.с. обмотки вищої напруги сполучають з великою (хвилинною) стрілкою і завжди встановлюють на цифрі 12, а вектор е.д.с. обмотки нижчої напруги відповідає малій (годинній) стрілці; положення останньої залежить від зсуву фаз е.р.с. обох обмоток. Зсув фаз 0° відповідає 12 годині, таке з'єднання називають групою 12; зсуву фаз 180° відповідає група 6. Схеми $Y/Y, \Delta/\Delta, \Delta/Z$ можуть утворювати парні групи 2,4,6,8,10,12, а схеми $Y/\Delta, \Delta/Y, Y/Z$ – непарні групи 1,3,5,7,9,11. Групи 12 і 6 є основними парними групами, а групи 11 і 5 – основними непарними групами.

Для визначення параметрів трансформатора складають схему заміщення. При цьому користуються наступними допущеннями:

- при зміні навантаження трансформатора в широких межах магнітний потік можна вважати практично постійним і таким, що дорівнює магнітному потокові в режимі Х.Х;
- при опиті "нормального" короткого замикання магнітний потік в сердечнику настільки малий, що ним можна знехтувати і прийняти втрати в сталі практично рівними нулю, а втрати в міді (в обмотках) дорівнюють утратам при номінальному навантаженні.

Для трансформатора зірка-зірка з нулем потужністю S_H , напругою первинної обмотки U_{1H} , а вторинної $U_{20(XX)}$, напруги короткого замикання U_k %, потужність К.З. $P_{КЗ}$, потужність Х.Х. P_{XX} , струм Х.Х. I_{0XX} , коефіцієнт потужності $\cos \varphi_2$, коефіцієнт завантаження β .

Необхідно розрахувати активні й реактивні опори, спадання напруги у вторинній обмотці і побудувати схему заміщення.

Розрахунок починаємо з визначення номінального струму первинної обмотки:

$$I_{1H} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_{1H}}.$$

Струм Х.Х. дорівнює

$$I_0 = I_0 \cdot I_{1H}.$$

Коефіцієнт потужності на Х.Х. дорівнює

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot U_{1H} \cdot I_0}.$$

Повний опір обмоток трансформатора

$$z_K = \frac{U_{K\Phi}}{I_{K\Phi}}.$$

Активний опір

$$r_K = \frac{P_K}{3I_K^2}.$$

Реактивний опір

$$x_K = \sqrt{z_K^2 - r_K^2}.$$

Опори первинної обмотки відповідно

$$r_1 = r_2' = r_K / 2,$$

$$x_{\sigma 1} = x_{\sigma 2}' = x_K / 2.$$

Опори вторинної обмотки

$$r_2 = r_2' / K^2,$$
$$x_{\sigma 2} = x_{\sigma 2}' / K^2.$$

Опір ланцюга, що намагнічує,

$$z_0 = \frac{U_{H\Phi}}{I_{0\Phi}},$$
$$r_0 = \frac{P_0}{3I_0^2},$$
$$x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2}.$$

Для побудови зовнішньої характеристики $U_2 = f(\beta)$ визначаємо втрати напруги у вторинній обмотці:

$$\Delta U_2 \% = \beta(U_a \% \cos \varphi_2 + U_p \% \sin \varphi_2),$$
$$U_a \% = U_K \% \cos \varphi_K; \cos \varphi_K = r_K / z_K,$$
$$U_p \% = \sqrt{(U_K \%)^2 - (U_a \%)^2}.$$

Напруга на затисках вторинної обмотки трансформатора

$$U_2 = \frac{U_{20}}{100}(100 - \Delta U_2 \%).$$

Задаючись різними значеннями коефіцієнта завантаження β , знаходимо U_2 . Для побудови залежності $\eta = f_2(\beta)$ розрахунок η виконуємо за формулою

$$\eta = \frac{\beta S_H \cos \varphi_2}{\beta S_H \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_K}.$$

Електричні машини

Усе різноманіття електрифікованого устаткування загального застосування можна розділити на машини-двигуни, машини-знаряддя і транспортні машини. Машини-двигуни – це установки, що перетворюють електричну енергію в механічну роботу. Машини-знаряддя – це машини, що використовують механічну роботу машин-двигунів для виконання технологічних операцій. Транспортні машини служать для переміщення різних вантажів.

Усі машини використовують електричні двигуни змінного або постійного струму, що розрізняються за потужністю, швидкістю, характером руху, конструктивним виконанням, способом охолодження і захисту від впливу навколишнього середовища, статичними і динамічними характеристиками і т.н. Електричні двигуни змінного струму є асинхронними і синхронними.

Асинхронним називають двигун змінного струму, в якого швидкість обертання ротора залежить від навантаження. Магнітне поле в асинхронному двигуні створюється змінним струмом обмоток статора і ротора. Швидкість обертання ротора відрізняється від швидкості обертання поля. Асинхронні двигуни за конструктивними ознаками підрозділяються на безколекторні й колекторні. Найбільше поширення як двигуни одержали безколекторні асинхронні двигуни. Основним типом такого двигуна є трифазний двигун двох конструкцій – двигун з короткозамкнутим ротором і двигун з фазною обмоткою ротора. Асинхронні двигуни з фазним ротором мають на роторі обмотку, аналогічну статорній.

Двигун змінного струму, ротор якого обертається з частотою, рівною частоті обертового магнітного поля, що створений обмоткою статора, ввімкненою в електричну мережу, називають синхронним двигуном. Синхронні двигуни випускають з двома модифікаціями роторів. При частоті обертання до 1500 об/хв застосовують явнополюсні ротори, при великих частотах обертання - неявнополюсні.

При підключенні двигунів до живильної мережі, коли потужність двигуна порівнянна з потужністю живильного трансформатора, виникає необхідність в обмеженні пускового струму двигуна, щоб кидки струму не впливали на роботу інших споживачів, заживлених від даного трансформатора. Для цього розраховують і послідовно з двигуном установлюють струмообмежуючий реактор.

У довідниках вказується потужність двигуна, яку можна одержати на валу ротора двигуна, або корисна потужність. Активна потужність двигуна при номінальному навантаженні, споживана з мережі, буде більша за величиною і визначається як

$$P_H = \frac{P}{\eta}, \text{кВт} .$$

Реактивна потужність двигуна

$$Q_H = P_H \operatorname{tg} \varphi, \text{кВАр} .$$

Повна потужність двигуна

$$S_H = \frac{P}{\eta \cdot \cos \varphi}, \text{кВА}; S_H = \sqrt{P_H^2 + Q_H^2}, \text{кВА} .$$

Повний струм, споживаний двигуном з мережі,

$$I = \frac{S_H}{\sqrt{3} U_{\text{л}}}, \text{А} .$$

Активна складового струму

$$I_a = I \cos \varphi, \text{А} .$$

Реактивна складового струму:

$$I_p = I_a \operatorname{tg} \varphi, \text{А} .$$

Пусковий струм двигуна в 5-7 разів перевищує значення номінального струму

$$I_{\text{п}} = 5I, \text{А} .$$

Індуктивний опір двигуна в пусковому режимі

$$X_{1\sigma}^D = \frac{U_\phi}{I_\Pi}, \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір струмообмежуючого реактора

$$X_P = \frac{(U_{2H} - I_{2H} X_{2\sigma}^T - I_{2H} X_{1\sigma}^D)}{I_{2H}}, \text{ Ом,}$$

де $X_{2\sigma}^T$ - реактивний опір вторинної обмотки трансформатора,
 I_{2H} - номінальний струм вторинної обмотки трансформатора.

При розрахунку опору струмообмежуючого реактора використано номінальний струм вторинної обмотки трансформатора I_{2H} , але трансформатор при нормальній роботі має інший струм залежно від коефіцієнта навантаження.

Машини постійного струму виконують з незалежним збудженням або самозбудженням. Незалежне збудження в більшості випадків електромагнітне, тобто на полюсах є обмотка збудження, по якій проходить постійний струм від стороннього джерела. У машинах із самозбудженням струм для обмотки збудження надходить з якоря. Можливі три варіанти з'єднання обмотки збудження з обмоткою якоря: рівнобіжне, послідовне, змішане. Тому розрізняють машини постійного струму рівнобіжного, послідовного і змішаного збудження. В останньому випадку в машині є дві обмотки збудження. Можливе також комбіноване збудження - незалежне з рівнобіжним, незалежне з послідовним і т.і.

Розглянемо як відбувається перетворення електричної енергії в механічну роботу.

На провідник, розташований у магнітному полі, при протіканні струму діє сила, напрямок якої визначається за правилом лівої руки, а величина сили за законом Ампера:

$$F = B l I,$$

де B - індукція;

l - довжина провідника;

I - сила струму.

Під дією сили провідник рухається і виконує роботу

$$A = Fb = BLlb = BIS = I\Phi.$$

Якщо провідник виконати у формі рамки, з'явиться обертаючий момент

$$M = 2FR,$$

який поверне рамку в положення, коли площа рамки буде перпендикулярна до силових ліній магнітного поля, $M = 0$. При обертанні буде виконана робота

$$A = M\omega t, \text{ Дж},$$

де ω - кутова швидкість рамки;

t - час.

Якщо в магнітне поле помістити декілька рамок, з'єднаних послідовно, то кожна буде прагнути повернутися перпендикулярно до силових ліній магнітного поля. Повертаючись, рамки перетинають силові лінії і за законом Фарадея ЕРС $E = BLv$, v - лінійна швидкість рамки. Відбувається перетворення електричної енергії зовнішнього джерела за законом Ампера в механічну, яка одночасно, за законом Фарадея, перетворюється в електричну. Цей процес можна подати у вигляді

$$F = BLI - M = FR; E = \frac{LdB}{dt} = BL \frac{dS}{dt} = BLv,$$

де F - сила; M - момент обертання; v і ω - лінійна і кутова швидкості; L і R - довжина і радіус рамки.

Сукупність рамок, з'єднаних послідовно, називають обмоткою якоря. ЕРС якоря спрямована за правилом Ленца в протилежному напрямку, тобто зустрічно. Рівняння електричної рівноваги обмотки якоря за законом Кіргофа з урахуванням електричного опору якоря $R_{\text{я}}$ має вигляд

$$U_{\text{я}} = I_{\text{я}}R_{\text{я}} + E = I_{\text{я}}R_{\text{я}} + S\Phi\omega_{\text{я}}.$$

Помножимо на струм якоря й одержимо рівняння балансу потужності двигуна

$$U_{\text{я}} I_{\text{я}} = I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}} + S \Phi \omega_{\text{я}} I_{\text{я}} = I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}} + M \omega_{\text{я}}.$$

Ліва частина – потужність, підведена від зовнішнього джерела, права - це складові енергії, що підводиться і перетворюється в тепло та механічну роботу обертання.

При живленні від тиристорного перетворювача напруга і струм

$$U = U_0 + \sum U_{v \max} \sin(v m \omega t + \varphi_{v\eta}),$$

$$I = I_0 + \sum I_{v \max} \sin(v m \omega t + \varphi_{v\iota}),$$

де U_0 – постійна складова; $U_{v \max}$ - амплітуда n гармоніки; v - порядковий номер гармоніки; m – кількість імпульсів за період напруги мережі; ω – кутова частота; φ_{η} і φ_{ι} - кути зсуву.

Для гармонійних складових струму обмотка якоря представляє індуктивний опір:

$$\sum X_v = \sum v m \omega L_{\text{я}},$$

де $L_{\text{я}}$ - індуктивність якоря.

Діюче значення струму і напруги

$$U_{\text{я}} = \sqrt{U_0^2 + \sum U_v^2}; I_{\text{я}} = \sqrt{I_0^2 + \sum I_v^2}.$$

Рівняння електричної рівноваги

$$\sqrt{U_0^2 + \sum U_v^2} = R_{\text{я}} \sqrt{I_0^2 + \sum I_v^2} + S \Phi \omega_{\text{я}} + \sum X \sum I_v.$$

Помножимо на струм з урахуванням, що гармонійні складові не беруть участь в утворенні обертаючого моменту, а постійна складова не створює спадання напруги на індуктивності обмотки якоря. Одержимо баланс

$$\sqrt{(U_0^2 + \sum U_v^2)(I_0^2 + \sum I_v^2)} = (I_0^2 + \sum I_v^2)R_{\text{я}} + M\omega_{\text{я}} + \sum X_v \sum I_v^2.$$

Ліва частина - це повна потужність S , споживана двигуном від перетворювача. Перші два члени правої частини складають відповідно теплову і механічну потужності, а сума – це активна потужність двигуна P . Третя частина - це реактивна потужність Q , що визначається як $Q = S - P$.

Для знаходження коефіцієнта потужності двигуна вважаємо, що активна потужність в основному визначається постійною складовою струму

$$P = R_{\text{я}}I_0^2 + S\Phi\omega_{\text{я}}I_0 = I_0\sqrt{U_0^2 + \sum U_v^2},$$

тому що

$$R_{\text{я}}\sum I_v^2 \ll R_{\text{я}}I_0^2 + S\Phi\omega_{\text{я}}I_0.$$

Тоді коефіцієнт потужності

$$K_n = \frac{P}{S} = \frac{I_0\sqrt{U_0^2 + \sum U_v^2}}{\sqrt{I_0^2 + \sum I_v^2}\sqrt{U_0^2 + \sum U_v^2}} = \frac{I_0}{\sqrt{I_0^2 + \sum I_v^2}} = \frac{I_0}{I_{\text{я}}}.$$

Коефіцієнт потужності можна визначити методом двох амперметрів, який полягає у вимірі окремо постійної складової струму магнітоелектричним амперметром і вимір діючого значення струму з урахуванням гармонійних складових електромагнітним амперметром з подальшим розподілом.

З рівняння балансу виходить, що нагрів двигуна при живленні від тиристорного перетворювача збільшується на величину

$$\frac{I_0^2 + \sum I_v^2}{I_0^2} = \frac{I_{\text{я}}^2}{I_0^2}.$$

На цю ж величину зменшується і ККД.

$$\eta_{\partial} = \frac{\eta_H I_0}{I_{\text{я}}} = K_{\eta} \eta_H,$$

η_H - номінальний ККД при живленні від акумулятора.

Зменшення ККД пояснюється тим, що обертаючий момент створюється тільки постійною складовою струму, а нагрів – постійною і гармонійною складовими. Тому механічна потужність двигуна повинна бути зменшена на величину коефіцієнта використання $K_{\eta} = K_{\eta} \eta_H \cdot 100\%$.

Відношення $I_0 / I_{\text{я}}$ визначає коефіцієнт потужності двигуна, зменшення ККД і коефіцієнт використання двигуна K_{η} за механічною потужністю.

Електрична технологія

Електротехнологічні процеси широко застосовуються в промисловості й підрозділяються на:

1) електротермічні процеси, в яких використовується перетворення електричної енергії в теплову для нагрівання матеріалів і виробів з метою зміни їхніх властивостей або форми, а також для їхнього плавлення і випару;

2) електрозварювальні процеси, в яких одержувана з електричної енергії теплова енергія використовується для нагрівання тіл з метою здійснення нероз'ємного з'єднання із забезпеченням безпосередньої суцільності в місці зварювання;

3) електрохімічні методи обробки й одержання матеріалів, при яких за допомогою електричної енергії здійснюється розкладання хімічних сполук і їхній розподіл шляхом переміщення заряджених часток (іонів) у рідкому середовищі під дією електричного поля (електроліз, гальванотехніка, анодна електрохімічна обробка);

4) електрофізичні методи обробки, при яких для впливу на матеріали використовується перетворення електричної енергії як у механічну, так і в теплову (електроерозійна, ультразвукова, магнітоімпульсна, електровибухова);

5) аерозольна технологія, при якій енергія електричного поля використовується для надання електричного заряду зваженим у газовому потоці дрібним часткам речовини з метою переміщення їх під дією поля в потрібному напрямку.

Термін „електротехнологічні установки й устаткування” включає агрегати, в яких здійснюються електротехнологічні процеси, а також допоміжні електротехнологічні апарати і прилади. До них відносяться: електричні печі й електричні нагрівальні установки, електрозварювальні установки усіх видів, установки для розмірної електрофізичної і електрохімічної обробки металів і установки електроаерозольної технології, а також джерела живлення, пристрої захисту, керування та ін.

Різноманіття електропечей класифікувати за технологічним призначенням неможливо, тому що для того самого процесу можна використовувати кілька різних типів електротермічного устаткування. За цією ознакою довелося б обмежитися розподілом електропечей на плавильні й термічні. Класифікація електропечей проведена за принциповою ознакою – за способом перетворення електричної енергії в теплову (табл. 1).

Електропечі опору за способом перетворення електричної енергії в теплову розділяються на печі непрямої дії й установки прямого нагрівання. За технологічним призначенням печі непрямого нагрівання можна розділити на три групи: термічні, плавильні й сушильні печі. Печі непрямого нагрівання розділяються за температурним режимом на низько- (температурна границя лежить у межах 600-650°C і процеси теплообміну йдуть з переважною роллю конвекції), середньо- (1200-1250°C) і високотемпературні печі (вище 1250°C). Тепло передається за рахунок теплопровідності тіла, що нагрівається. Потужність випромінювання залежить від ступеня чорності і різниці температур нагрівача і тіла, від площі випромінювання і конструкції нагрівача та печі.

Таблиця 1-

Класифікація електротермічних установок за способом перетворення електричної енергії в теплову.

Рід нагрівання	Спосіб перетворення енергії	Область застосування	Електротермічне устаткування
Нагрівання опором	Електроенергія перетворюється в теплову при протіканні струму через тверді або рідкі тіла (ефект Джоуля)	Нагрівання металів під термообробку і пластичну деформацію; плавка металів; сушіння матеріалів; нагрів у вакуумі і контрольованій атмосфері	Електропечі опору; конвективні й радіаційні, періодичного і безперервної дії, нагрівальні й плавильні; установки контактного нагрівання; інфрачервоне нагрівання
Нагрівання електричною дугою	Електроенергія перетворюється в теплову в дуговому розряді в газоподібному середовищі або в парах металу	Плавка чорних і кольорових металів; вакуумна дугова плавка; плазмові плавка і напилювання; плазмовий нагрів газів і одержання ацетилену; одержання якісних виливків	Електричні дугові печі прямої і непрямої дії; вакуумні дугові печі; плазмові дугові установки
Нагрівання дугою і опором	Електроенергія перетворюється в теплову в дуговому розряді і при протіканні струму в твердих і рідких тілах	Одержання феросплавів, карбїду кальцію, чавуна, фосфору, абразивів, міднонікелевого штейну і ряду кольорових металів	Руднотермічні печі; феросплавні, для одержання карбїду кальцію, фосфору, абразивів

Нагрівання переважно в перемінному магнітному полі	Електроенергія перетворюється в енергію змінного магнітного поля, а потім у теплову в поміщених у цьому полі тілах	Плавка чорних і кольорових металів; нагрів металів під термообробку і пластичну деформацію; поверхнєве загартування; зонна плавка; безелектродний розряд	Індукційні плавильні печі: каналні й тигельні, періодичної і безперервної дії; індукційні нагрівальні установки; установки поверхнєвого загартування
--	--	--	--

Продовж. табл. 1

Нагрівання переважно в змінному електричному полі	Електроенергія перетворюється в енергію перемінного електричного поля, а потім у теплову у вміщених в це поле тілах	Нагрівання діелектриків і пластмас під полімеризацію; сушіння матеріалів; стерилізація продуктів; готування їжі	Установки діелектричного нагрівання
Нагрівання електронним пучком	Енергія електронного пучка перетворюється в теплову в тілах, що бомбардуються електронами пучка	Плавка у вакуумі високореакційних кольорових і чорних металів; нагрів металів у вакуумі; напилювання; зонна плавка	Електронні плавильні й нагрівальні установки переривчастої і безперервної дії; установки для зонної плавки

Від конструкції нагрівача залежить тепловий ККД печі, тому що при однаковій електричній потужності нагрівача швидкість нагрівання робочого простору печі залежить від площі випромінювання. Ідеальним є варіант, коли нагрівач є суцільним циліндром, у середині якого знаходиться абсолютно чорне тіло, що нагрівається.

Потужність випромінювання з одиниці випромінюючої поверхні ідеального нагрівача називають питомою поверхнєвою потужністю:

$$W_i = \frac{P}{F}, \frac{Вт}{см^2}.$$

Питома поверхнева потужність визначає максимальну кількість теплоти, випромінюваної з одиниці площі поверхні нагрівача залежно від різниці температур нагрівача і тіла і представленої у формі ряду кривих (рис. 2).

Для нагрівачів інших конструкцій, що відрізняються від ідеального, питома поверхнева потужність зменшується на величину коефіцієнта ефективності випромінювання α , тобто $W_H = \alpha W_j$.

Коефіцієнт ефективності випромінювання нагрівача залежно від конструкції вибирають з табл. 2.

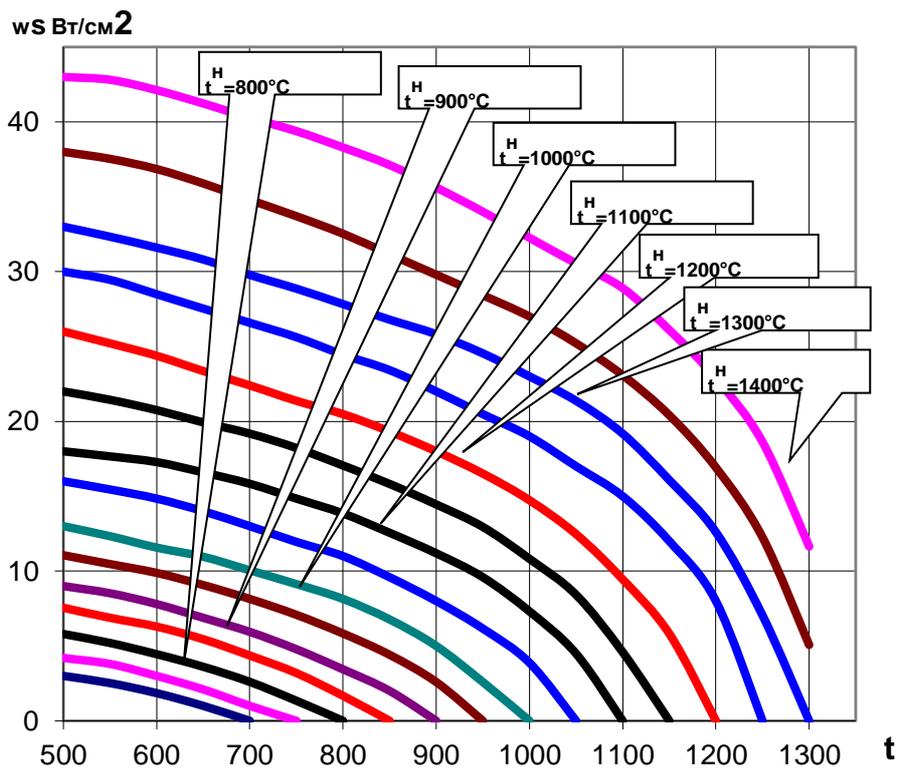


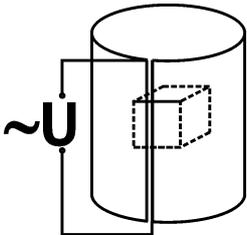
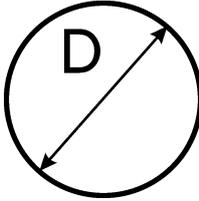
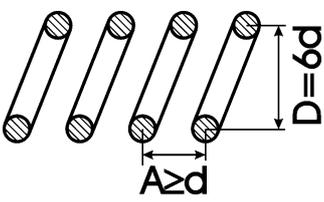
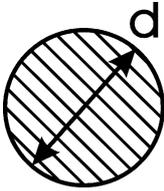
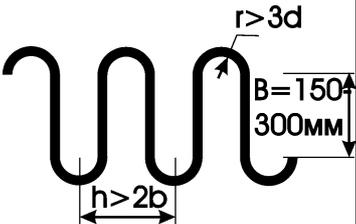
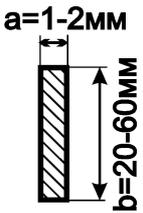
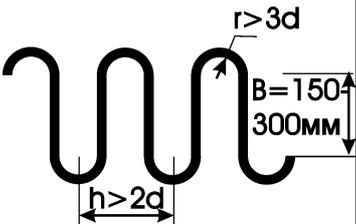
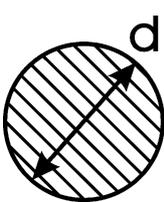
Рис.2 - Графіки питої поверхневої потужності випромінювання ідеального абсолютно чорного нагрівача

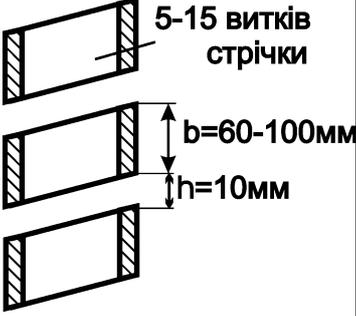
Розрахунок нагрівача полягає у визначенні його довжини, площі поперечного перерізу, форми і схеми розташування в робочому просторі печі. Вихідні дані для розрахунку: призначення печі, матеріал, що нагрівається, його теплоємність $c \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \text{°C} \right]$ (див. у Додатку) і маса m у кг, початкова і кінцева температури нагрівання t_1 і t_2 , необхідний час нагрівання T в секундах, напруга мережі живлення. Попередньо приймають ККД печі $\eta = 0,6$. Тоді розрахунок

проводиться в такій послідовності. Визначають необхідну кількість теплоти Θ для нагрівання й електричну потужність P_n печі:

$$\Theta = Cm(t_1 - t_2), \text{ кДж}; \quad P_n = \frac{\Theta}{\eta T}, \text{ кВт}.$$

Таблиця 2.

Конструкція нагрівача	Форма нагрівача	Поперечний періз матеріалу	Коефіцієнт ефективності випромінювання нагрівача
Ідеальний у формі циліндра			1
Спіраль			0,3
Стрічковий зигзаг			0,4
Дротовий зигзаг двотрубчастий заповнений піском			0,6

Лінійний індуктор			0,9
-------------------	---	---	-----

За таблицею вибирають форму нагрівача, його профіль і матеріал згідно з Додатком для його виготовлення. Робочу температуру нагрівача приймають не менше як на 100°C вище кінцевої температури в печі, але не більше максимально допустимої для даного матеріалу. За таблицею визначають питому поверхневу потужність випромінювання нагрівача $W_H = \alpha W_i$. Необхідна площа поверхні випромінювання нагрівача $F = P_n / W_H$, [см²] і його довжина для круглого профілю $l = F / \pi d$, для прямокутного $l = F / 2(a + b)$.

Електричний опір нагрівача і напругу його живлення визначаються за

$$R = \frac{\rho l}{S}; U = \sqrt{P_{\pi} R}$$

Як правило, напруга живлення печі нижче від мережної, тому застосовують понижуючий трансформатор або тиристорний регулятор напруги, які мають перевагу через ціну і габарити. Силовий кабель вибирають за таблицею Додатка.

Дугові електропечі відносять до першої категорії електричного постачання. Температура електричної дуги досягає 5000 °С. Вольтамперна характеристика дуги, тобто залежність напруги на дузі від її струму, нелінійна. Для запалювання дуги необхідно спочатку виконати штучне коротке замикання (КЗ), а потім, піднімаючи електроди створити дугу. Як джерело живлення дуги використовують спеціальні пічні трансформатори, до яких ставляться наступні вимоги:

- 1) обмежувати кидки струму КЗ при запалюванні дуги і коливанні напруги в мережі;
- 2) забезпечувати умови стабільного горіння дуги.

Розглянемо роботу пічного трансформатора і варіант визначення основних параметрів

При включенні первинної обмотки під напругу U_1 з'являється струм I_1 , що утворює потік Φ_1 (рис. 3):

$$\Phi_1 = \mu\mu_0 S \frac{I_1 W_1}{l}$$

Для зручності аналізу потік розкладемо на дві складові: головний потік Φ , що замикається по магнітопроводу, і потік розсіювання $\Phi_{\sigma 1}$, що замикається по повітря. Вони утворюють ЕРС: головну E_1 і $E_{\sigma 1}$, що спрямовані зустрічно напрузі U_1 .

Рівняння рівноваги первинної обмотки і її струму

$$U_1 = I_1 R_1 + E_1 + E_{\sigma 1} \rightarrow I_1 = \frac{U_1 - E_1 - E_{\sigma 1}}{R_1}$$

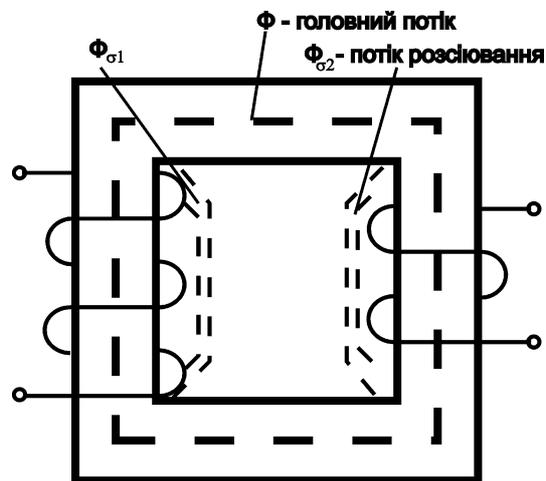


Рис. 3. - Магнітні потоки трансформатора

У первинній обмотці електроенергія перетворюється в енергію магнітного поля, головний потік якого індукуює у вторинній обмотці ЕРС взаємоіндукції:

$$e_2 = W_2 \frac{d\Phi}{dt}; E_2 = \omega W_2 \Phi$$

Ці ЕРС, що індуковані загальним потоком, мають однаковий напрям (рис. 4).

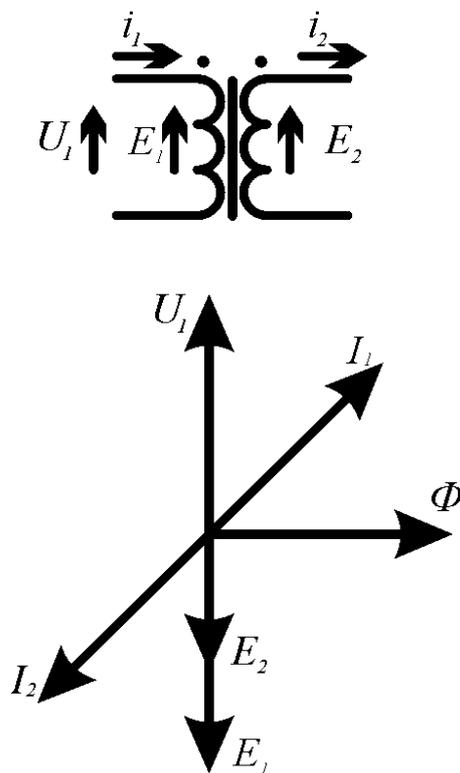


Рис. 4. - Напрямки ЕРС і струмів у трансформаторі

При замиканні ланцюга вторинної обмотки з'являється струм I_2 , що збігається з напрямком E_2 , але спрямований зустрічно струму I_1 , тобто на кут 180° .

Струм I_2 утворює, подібно струму I_1 , дві складові магнітного потоку: потік розсіювання, що замикається по повітрю $\Phi_{\sigma 2}$, і потік Φ_2 в осерді трансформатора, спрямований зустрічно головному потокові Φ (зустрічно спрямовані струми).

Потік Φ і відповідно ЕРС E_1 починають зменшуватися, при цьому починає збільшуватися струм I_1 до величини (рівноваги), достатньої для збільшення потоку Φ до первинного значення, змінюється і $\Phi_{\sigma 1}$. Таким чином, головний потік Φ , завдяки зворотному зв'язку (через ЕРС E_1) залишається практично постійним, а потоки розсіювання збільшуються. При цьому головний потік і вторинна ЕРС трохи зменшуються. У вторинній обмотці на величину $\Phi_{\sigma 2}$ зменшується потік Φ_2 , і вона «споживає» з мережі менше струм, що приводить до зменшення U_2 (рис. 5).

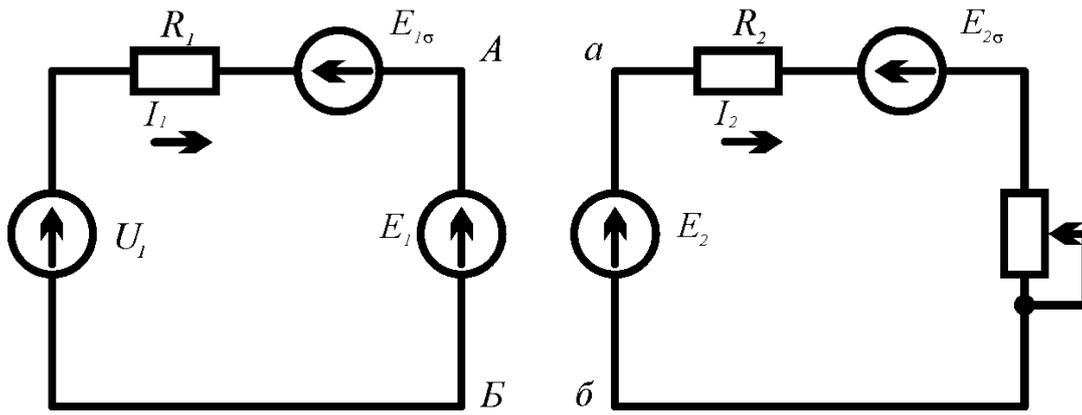


Рис.5. - Схема первинного і вторинного кіл

$$E_2 - I_2 R_2 - E_{\sigma 2} = U_2.$$

Для розрахунку складової повної потужності трансформатора і розрахунку струмів КЗ в обмотках необхідно подати його у вигляді сукупності активних і індуктивних опорів, з'єднаних у відповідну схему заміщення. Для електричного з'єднання первинної і вторинної обмоток у ланцюг необхідно параметри вторинної обмотки привести до первинної за такими формулами (рис. 6):

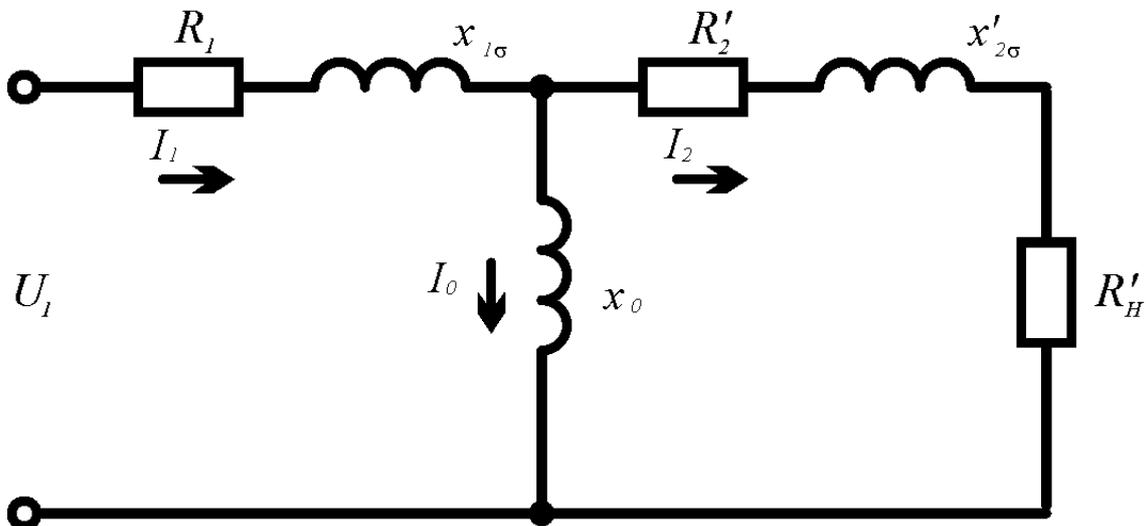


Рис.6. - Схема заміщення трансформатора

$$E_1 = E'_2 = E_2 K_T; I_1 = I'_2 = \frac{I_2}{K_T}; P_2 = P'_2; I_2^2 R_2 = I_2^{(1)2} R'_2; R'_2 = R_2 K_T^2;$$

$$Q_{2\sigma} = Q'_{2\sigma}; I_2^2 X_{2\sigma} = I_2^{(1)2} X'_{2\sigma}; X'_{2\sigma} = X_{2\sigma} K_T^2.$$

Параметри схеми заміщення розраховують з паспортних даних трансформатора, якої одержують у результаті експериментальних випробувань: номінальна потужність, напруга первинної і вторинної обмоток, напруга короткого замикання $U_K\%$ у відсотках від номінального значення напруги, при якій струм в обмотках дорівнює номінальному при короткозамкнутій вторинній обмотці, потужність P_K короткого замикання трьох фаз, потужність P_0 холостого ходу, струм I_0 холостого ходу у відсотках від номінального. Опір намагнічування визначають за

$$Z_0 = \frac{U_\phi}{I_0}; R_0 = \frac{P_0}{3I_0^2}; X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2},$$

активні й індуктивні опори розсіювання - за

$$Z_K = \frac{U_K\%}{100} * \frac{U_H^2}{S_H}; R_K = R_1 + R_2' = \frac{P_K}{3I_{\phi 1НОМ}^2}; X_K = X_{1\sigma} + X_{2\sigma}' = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2};$$

$$R_1 = R_2' = \frac{R_K}{2}; X_{1\sigma} = X_{2\sigma}' = \frac{X_K}{2}; R_2 = \frac{R_2'}{K_T^2}; X_{2\sigma} = \frac{X_{2\sigma}'}{K_T^2}.$$

Реактивна потужність трансформатора складається з реактивної потужності холостого ходу, що не залежить від навантаження, і реактивної потужності розсіювання, що залежить від навантаження:

$$Q = Q_0 + Q_\sigma = \left(\frac{I_0\%}{100} + \frac{U_K\%}{100} \right) S_H.$$

Основною відмінністю пічних трансформаторів від силових мережних є підвищений індуктивний опір і реактивна потужність розсіювання за рахунок розміщення обмоток на різних стрижнях сердечника. Це забезпечує, з одного боку, сприятливі умови для стійкого горіння дуги, тому що в момент переходу струму дуги через нуль до неї відразу прикладена напруга настільки більша, наскільки більше фазовий зсув між напругою і струмом, що забезпечує надійне перезапалювання дуги, а з другого - обмежує кидки струму в момент короткого замикання при запалюванні дуги і коливання напруги в мережі. Такі коливання в мережі можуть створити аномальні режими для приймачів, підключених до силового трансформатора, від якого живиться і пічний трансформатор. Тому необхідно розрахувати провали напруги в мережі і при їхньому перевищенні норми встановити струмообмежуючий реактор. Для цього складаємо розрахункову схему і схему заміщення мережного і пічного трансформаторів. Визначаємо індуктивні опори короткого замикання X_K . При цьому X_K пічного трансформатора необхідно привести до

первинної напруги мережного трансформатора за []. Розраховуємо первинний і вторинний струми КЗ мережного трансформатора за

$$I_{1T} = \frac{U_1}{(X_{KM} + X_{KP}^1)}; I_{2T} = I_{1T} K_{1T}.$$

Визначаємо індуктивний опір розсіювання $X_{2\sigma}$ вторинної обмотки мережного за (). Знаходимо величину зниження вторинної напруги мережного трансформатора при номінальному струму I_{2H} за

$$\Delta U_{2H} = I_{2H} * X_{2\sigma};$$

і при струмі КЗ за

$$\Delta U_{2K} = I_{2K} * X_{2\sigma}.$$

Якщо $\Delta U_{2K} > \Delta U_{2H}$, то встановлюють реактор, індуктивний опір якого визначають за:

$$X_P = \frac{U_{2H} - I_{2H} X_{2\sigma} - I_{2H} X_{KPT}}{I_{2H}},$$

де X_{KPT} – опір пічного трансформатора.

Електрозварювальні установки

У загальному випадку зварювання - це спосіб з'єднання металів шляхом їхнього розігріву до розплавленого або тістоподібного стану з наступним охолодженням. Особливістю електричного зварювання є використання електричної дуги для розплавлювання металів і опору для місцевого розігріву деталей, що з'єднуються. У першому випадку електрозварювання називається дуговим, у другому – контактним. Установки дугового зварювання можуть працювати на змінному і постійному струмі, а контактного зварювання – тільки на змінному струмі. Джерелом живлення дуги є зварювальний трансформатор або генератор постійного струму. Зварювальні трансформатори аналогічні пічним трансформаторам для дугових печей, мають низький $\cos \varphi = 0,4 - 0,6$ для надійного горіння дуги, підвищений індуктивний опір розсіювання для обмеження струмів КЗ, круту характеристику, щоб величина струму мало залежала від довжини

дуги і напруги на ній. На відміну від пічних трансформаторів зварювальні мають меншу потужність 2 – 10 кВАр, напругу на дузі порядку 60 В й активні або реактивні регулятори струму дуги.

Для розрахунку трансформатора для дугового зварювання початковими даними є діаметр d у мм зварювального електрода і напруга живлення U_1 . Зварювальний струм визначають за емпіричною формулою $I_2 = 20d$ (А). Вторинна напруга холостого ходу приймається $U_{2x} = 60 - 70$ В, а при зварюванні $U_{2p} = 18 - 25$ В. Визначають потужність вторинної обмотки $P_2 = U_{2p} I_2$ (Вт) і трансформатори $P_T = P_2 / \eta_T$, де $\eta_T = 0,99$. Площу поперечного перерізу осердя трансформатора $S = \sqrt{P_T}$ (см²) визначають з величини магнітної індукції на рівні 1,3 Тл. Кількість витків на 1В напруги знаходять як $W = \frac{40}{S}$, кількість витків первинної і вторинної обмоток $W_1 = U_1 W$; $W_2 = U_{2x}$. Струм первинної обмотки $I_1 = I_2 W_2 / W_1$. Площу поперечного перерізу провoda обмотки визначають за щільністю струму $\delta = 5 - 8$ А/мм² з урахуванням повторно- короткочасного режиму роботи.

Гальванічні установки

Процес електрохімічного покриття металом іншого металу з метою підвищення зносостійкості виробу і додання йому декоративного вигляду називають гальваностегією.

Робота електричної енергії полягає у переміщенні іонів речовини на катод з наступною їх нейтралізацією в молекули речовини. Кількість речовини, виділеної на катоді, визначають за законом Фарадея:

$$m = K_E I t, \text{ г}$$

де K_E – електрохімічний еквівалент речовини;

I – сила струму в А,

t – час електролізу за годину.

Для живлення установок застосовуються електромашинні агрегати і напівпровідникові випрямлювачі. ККД агрегатів складається з ККД двигуна і генератора

$\eta_{ем} = \eta_{д} \eta_{г} \approx 0,8 \cdot 0,8 = 0,64$, а ККД напівпровідникового випрямлювача - з ККД

трансформатора і випрямлювача $\eta_{нв} = \eta_{т} \eta_{в} \approx 0,9 \cdot 0,99 = 0,89$.

Електротранспорт

Для електрифікації транспорту застосовують постійний (випрямлений) струм напругою 275, 600, 1650 і 3300 В і однофазний змінний струм промислової частоти напругою 10,5 і 27,5 кВ.

Номінальну напругу на струмоприймачі приймають відповідно 250, 550, 1500 і 3000 В при постійному і 10, 25 кВ при змінному струмі. На магістральній і приміській залізницях використовується однофазний змінний струм з частотою 50 Гц. Номінальна напруга приймача - відповідно 25000 В змінного і 3000 В постійного струму. Номінальна напруга приймачів промислового транспорту складає 10000 (6000) змінного струму. Залежно від призначення приймача може використовуватися напруга постійного струму 250 В для підземного транспорту, 3000, 1500 і 550 В для наземного транспорту, а напруги на шинах тягових підстанцій - відповідно 11000 (6000) В змінного і 275, 3300, 1650 і 600 В постійного струму. Тягові підстанції для міського транспорту на шинах мають напругу 825 В для метрополітену і 600 В для трамвая і тролейбуса постійного струму, номінальну напругу приймачів - 750 і 550 В.

Магістральні електровози, що працюють на постійному струмі, мають по 6 або 8 тягових двигунів з послідовним збудженням. Пуск здійснюється контактено-реостатним методом при трьох угрупованнях двигунів: послідовному, послідовно-рівнобіжному і рівнобіжному. На кожній із трьох безреостатних позицій можливі чотири ступеня ослаблення поля, тобто всього електровоз має 15 ходових позицій у режимі тяги. Електровоз і поїзд гальмуються механічно за допомогою стиснутого повітря. При числі тягових двигунів 8 при реостатному пуску двигуни з'єднуються: всі послідовно, паралельно дві групи по чотири послідовно з'єднаних двигуна і паралельно чотири групи по два послідовно включених двигуна. Крім пневматичного гальмування електровоз має рекуперативне гальмування при тих же угрупованнях двигунів. Електровози змінно-постійного струму за влаштуванням механічної частини подібні до електровозів постійного струму. Змінна напруга живлення 25 кВ на електровозі знижується за допомогою трансформатора і випрямляється напівпровідниковими випрямлювачами. Тягові двигуни постійного струму послідовного збудження живляться від випрямлювача, напруга якого під час пуску змінюється 33 ступенями від найменшого (початкового) до найбільшого шляхом переключення виводів вторинної обмотки трансформатора і схемних рішень.

Для транспортного обслуговування цехів і складів застосовують електрокари вантажопідйомністю від 0,75 до 3 т і акумуляторні автотранспортні вантажопідйомністю від 0,5 до 1,5 т.

Допоміжні механізми, гальмове пневматичне устаткування, силова пускорегулююча і захисна електроапаратура в приміських електропоїздах і вагонах метрополітену розміщуються під кузовом. Електрична апаратура монтується у спеціальних захисних камерах, що підвішуються на ізоляторах до рами кузова. У трамвайних вагонах з безпосереднім керуванням і в тролейбусах, що мають відносно невелику кількість електроапаратури, прагнуть розмістити її в кабіні водія.

Вагони метрополітену і приміські електропоїзди мають групову автоматичну систему керування, що забезпечує роботу вагонів за "системою багатьох одиниць", тобто керування потягом виконується з одного поста, звичайно з першого (головного вагона), за допомогою поїзних проводів, що йдуть уздовж усіх вагонів.

Приміський потяг складається з 10-12 вагонів, половина з них моторні і половина причіпні. Два з причіпних є головними, кожен має пост керування і виготовляється обтічної форми.

Електропоїзди обладнані пневматичними й електропневматичними автогальмами з високим коефіцієнтом натискання гальмових колодок. Для попередження заклинювання колісних пар при малих швидкостях зусилля натискання гальмових колодок автоматично знижується при зниженні швидкості за допомогою інерційного регулятора.

Потяги метрополітену повинні розвивати високе прискорення й уповільнення, тому всі вагони виготовляють моторними. Потяги складаються з однотипних вагонів. Вагони мають реостатне гальмування, при якому тягові двигуни працюють у режимі генераторів послідовного збудження. При зниженні швидкості вагона до 8-10 км/год, коли реостатне гальмування стає слабким, відбувається автоматичне включення пневматичного гальмування. Якщо при гальмуванні потяга за якимись причинами не збереться схема реостатного гальмування, то в цьому вагоні відбувається автоматичне включення пневматичного гальмування, що заміщає реостатне гальмування. Екстрене гальмування потягу здійснюється за допомогою пневматичних автогальм.

Трамвайні вагони мають групову автоматичну систему керування, що забезпечує плавний пуск при високому прискоренні і плавне реостатне гальмування, що використовується як службове. При малих швидкостях, а також несправностях у схемі реостатне гальмування автоматично заміщається електромагнітним. Електромагнітне гальмування включається автоматично також при відпусканні педалі пильності. Для екстреного гальмування вагона використовуються рейкові гальма, живлення яких здійснюється від акумуляторної батареї. Вагони керуються автоматично за допомогою багатоступінчастого комутаційного апарата, що має 80 ступенів пуску і 100 ступенів реостатного гальмування, завдяки чому досягаються прискорення й уповільнення приблизно 1,5-1,8 м/с².

Тролейбуси мають групову автоматичну систему керування. У якості зупинного використовується реостатне гальмування, що діє в комбінації з пневматичним гальмуванням. При малому натисканні гальмової педалі виходить реостатне гальмування, при більш глибокому натисканні на реостатне гальмування накладається пневматичне гальмування. При екстреному гальмуванні педаль натискається до упору і на реостатне гальмування накладається пневматичне гальмування максимальної інтенсивності.

Тягові мережі працюють у своєрідних умовах, що відрізняються від умов роботи системи електропостачання інших промислових об'єктів. Навантаження тягової мережі змінюються в широких межах і безупинно переміщуються. Тягові двигуни рухомого складу можна переводити в генераторний режим, здійснюючи рекуперацію – передачу нагромаджень кінетичної енергії в тягову мережу. Тягова мережа рейкового транспорту несиметрична. Параметри контактної і рейкової мереж істотно розрізняються. Рейкова мережа шунтується ґрунтом, в результаті чого деяка частина тягового струму протікає по землі. Схеми з'єднання контактної і рейкової мереж звичайно розрізняються. Відзначені особливості ускладнюють розрахунок системи електропостачання й аналіз режимів її роботи.

Розрахунки системи електропостачання виконують на базі конкретних графіків або за заданими розмірами руху. Порядок електричного розрахунку тягових мереж за середніми розмірами руху наступний:

- визначається середнє навантаження лінії для однобічного живлення $I_n = \sum I_i n_i$

-

- при двосторонньому живленні $I_n = \sum I_i n_i / 2$,

-

- визначається середнє навантаження підстанції $I_{n/cm} = \sum I_n$,

-

- квадрат ефективного навантаження лінії для однобічного живлення

-

$$i_{n,e}^2 = (\sum I_i n_i)^2 + \sum I_i^2 n_i (k_{ei}^2 - 1),$$

-

- при двостороннім живленні

-

-

$$i_{n,e}^2 = \left(\frac{1}{2} \sum I_i n_i\right)^2 + \sum I_i^2 n_i (1,33 k_{ei}^2 - 1) / 4,$$

-

- квадрат ефективного навантаження підстанції

-

-

$$i_{n,e}^2 = (\sum I_n)^2 + \sum (I_{n,e}^2 - I_n^2).$$

Тут - I_i - середній потяговий струм за час ходу по ділянці кожного з потягів типу i , А;

n_i - середнє число потягів на ділянці (не обов'язково ціле число);

k_{ei} - коефіцієнт ефективності струму одного потяга.

Тягові підстанції на залізничному транспорті розташовуються на відстані 15-25 км на двоколійних і 20-30 км на одноколійних ділянках при постійному струмі, при змінному струмі - 45-50 км.

Число випрямних агрегатів N_a і їхня потужність для підстанцій постійного струму вибирають за умови

$$N_a \geq I_{n/cm.e} / I_{н.а}$$

$$N_a \geq I_{n/cm.max} / k_{пер} I_{н.а}$$

де $I_{n/cm.e}$ - діюче значення струму підстанції; $I_{н.а}$ - номінальний струм агрегата; $k_{пер}$ - короткочасна перевантажувальна здатність агрегата; N_a - число робочих агрегатів. Звичайно приймають один резервний агрегат на двох підстанціях і одну пересувну підстанцію на чотири-шість стаціонарних.

Потрібна потужність на тягу трансформаторів тягових підстанцій змінного струму, кВА,

$$S_T \approx (2S_{Ta}k_{Ea}k_{Ma} + 0,65S_{Tb}k_{Eb}k_{Mb})0,8,$$

де S_{Ta} S_{Tb} – розрахункові потужності по плечей а і b,кВА;

k_{Ea} , k_{Eb} - коефіцієнти ефективності навантажень пліч живлення;

k_{Ma} , k_{Mb} -коефіцієнти, що враховують припустиме перевантаження трансформаторів по навантаженню плечей а і b.

Повна розрахункова потужність триобмоточних трансформаторів, кВА,

$$S_{розрах} = S_T + S_P,$$

де S_P – районне навантаження;

$$S_P = \sum (S_{Pmax n})k_{н,р}k_{м,р}k_{п},$$

де $S_{Pmax n}$ -максимальне районне навантаження n-го споживача; $k_{н,р}$ – коефіцієнт нерівномірності районного навантаження; $k_{м,р}$ - перевантажувальна здатність районних трансформаторів; S – число районних споживачів; $k_{п}$ - коефіцієнт попиту.

Тягові підстанції залізниць забезпечують електроенергією електричну тягу потягів і таких залізничних споживачів, як локомотивні і вагонні депо, майстерні, освітлення, зв'язок, автоблокування та ін. Одночасно тягові підстанції здійснюють електропостачання прилягаючих до

підстанцій промислових, комунальних і сільськогосподарських підприємств. Тягові підстанції бувають опорні, проміжні транзитні, проміжні на відгалуженнях і тупикові.

Тягові підстанції метрополітену класифікують за способом розміщення – підземному і наземному, за місцем розташування на трасі – основні (біля станцій), вестибюльні (біля машинних залів ескалаторів), тунельні (на перегонах) і деповські (при депо). За призначенням бувають тягові, тягово-знижувальні (сполучені) й знижувальні. На двох останніх здійснюється живлення силових мереж і висвітлення пасажирських станцій.

Тягові підстанції міського електротранспорту за призначенням класифікують на трамвайні, тролейбусні й змішані. За системою електропостачання на децентралізоване електропостачання (підстанції одноагрегатні) і централізоване електропостачання (підстанції багатоагрегатні). Живлення рухомого складу трамвая здійснюється по контактному проводу (позитивної полярності) і по рейках, які виконують роль зворотного проводу, негативної полярності схеми електропостачання. У зв'язку з недосконалістю ізоляції рейок щодо землі частина тягового струму відгалужується у ґрунт і далі замикається на негативну шину тягової підстанції. Ці струми не мають чітко виражених шляхів по землі, тому називаються блукаючими. Для ліній при проектуванні, споруд та експлуатації здійснюють наступні заходи щодо обмеження струмів витоку з рейок:

- збільшення провідності рейкової мережі шляхом влаштування електричних з'єднувачів на кожному температурному стику;
- збільшення перехідних опорів рейка-земля (влаштування шляхів на відособленому полотні, водовідводів, застосування ізоляційних баластів з бітумізованого піску, просочення шпал масляними антисептиками, влаштування ізоляції від залізобетонних шпал тощо.);
- відсутність робочого заземлення у негативної шини підстанції.

Електричне освітлення

Оптична область спектра випромінювання з довжиною хвиль приблизно від 1 нм до 1 мм поділяється на ультрафіолетову (УФ), видиму й інфрачервону (ІЧ). УФ випромінювання – оптичне випромінювання, довжини хвиль монохроматичних складових якого знаходяться у межах від 1 до 380 нм і поділяється на три області: УФ-А- від 315 до 400 нм, УФ-В- від 280 до 315 нм, УФ-С- від 100 до 280 нм.

Видиме випромінювання (світло) – випромінювання, яке, потрапляючи на сітківку ока, може викликати зорове відчуття (відчуття перетворення енергії зовнішнього подразника у факт свідомості). Воно має довжини хвиль монохроматичних складових у межах 380-780 нм.

Інфрачервоне випромінювання (ІЧ) має довжини хвиль монохроматичних складових, що знаходяться за видимим випромінюванням, але не більше 1 мм. ІЧ випромінювання поділяється на три області: ІЧ-А- від 780 до 1400 нм; ІЧ-В- від 1400 до 3000 нм; ІЧ-С- від 3000 до 10^6 нм (від 3 мкм до 1 мм).

Спектр випромінювання – сукупність монохроматичних випромінювань, що входять до складу складного випромінювання. Джерела випромінювання можуть мати суцільний, смугастий, лінійчатий спектр або такий, що має суцільну і лінійчасту складові.

Світловий потік – потужність світлової енергії, ефективна величина якого вимірюється в люменах. 1 лм відповідає світловому потокові, випромінюваному в одиничному тілесному куті точковим джерелом із силою світла 1 кандела.

Сила світла точкового джерела – просторова щільність світлового потоку. Кандела (кд) – дорівнює силі світла, що випускається в перпендикулярному напрямку з площі в $1/600000 \text{ м}^2$ чорного тіла при температурі затвердіння платини $T=2045 \text{ К}$ й тиску 101325 Па . $I_{\alpha\beta} = d\Phi / d\omega$

Освітленість – щільність світлового потоку по освітлюваній поверхні. Освітленість у 1 лк має поверхня, на 1 м^2 якої падає і рівномірно по ній розподіляється світловий потік у 1 лм.

$$E_{\text{ср}} = \Phi / A.$$

Освітленість E_0 в точці поверхні (розташованої перпендикулярно до відносно падаючих на неї променів світла) зворотно пропорційна квадрату відстані l від цієї точки до джерела світла l розмірам, малим у порівнянні з l . $E_0 = I/l^2$. Освітленість E_α у точці, вилученій від основи перпендикуляра l , опущеного на поверхню з центра джерела світла, пропорційна третьому ступеню косинуса кута α , під яким світлові промені падають на поверхню в даній точці.

$$E_\alpha = E_0 \cos^3 \alpha.$$

Яскравість у напрямку α тіла або ділянки його поверхні дорівнює відношенню сили світла в напрямку α до проекції випромінюючої поверхні на площину, перпендикулярну до цього напрямку. За одиницю виміру яскравості $\text{кд}/\text{м}^2$ прийнята яскравість такої поверхні, яка у перпендикулярному напрямку випромінює силу світла в 1 кд з площі в 1 м^2 . $L_\alpha = d_\alpha / d \cos \alpha$.

Параметри джерел світла

Світлотехнічні параметри джерел світла ДС характеризуються: світловим потоком Φ , силою світла I , світловою яскравістю L , розподілом яскравості по поверхні, розподілом сили світла в просторі (крива сили світла), спектральною щільністю випромінювання (спектром випромінювання). Колір випромінювання додатково характеризується колірними параметрами: координатами кольоровості X і Y , колірною температурою T_k і індексом передачі кольору R_a (загальний індекс передачі кольору) і R_i (спеціальний індекс передачі кольору характеризує передачу кольору на кольорах великої насиченості – червоних, жовтих, зелених і синьому, а також на зразках, що відтворюють колір людської шкіри і зеленого листя).

Електричний режим характеризується: потужністю ДС $P_{\text{л}}$, робочою напругою на ДС $U_{\text{л}}$, струмом I і родом струму (постійний, змінний з частотою f). Для РЛ електричний режим додатково повинен враховувати втрати потужності в пускорегулюючій апаратурі (ПРА), коефіцієнт потужності

лампи K_L і лампи з ПРА ($\cos \varphi$), напруги запалювання (пробою) і загасання розряду, струм пускового режиму.

Геометричні параметри ДС: габаритні й приєднувальні розміри, висота світлового центру, розміри випромінюючого тіла. Конструктивні – форма колби і її оптичних властивостей, форма і розташування тіла розжарювання, конструкція ніжки або вводу, конструкція і розміри електродів, відстань між ними та ін.

Тепловий режим: t° тіла розжарювання, t° колби, цоколя, виводів електродів та інших вузлів.

Показники довговічності для ДС – повний і корисний терміни служби. Повний термін служби - це тривалість горіння від початку роботи до повної або часткової втрати працездатності (перегорання нитки розжарювання, втрата здатності запалювання). Корисний термін служби - це тривалість горіння ДС від початку експлуатації до моменту відходу за встановлені межі одного з параметрів, що визначають доцільність використання ДС даного типу (зниження світлового потоку, нестабільність положення дуги та ін.).

Ефективність ДС оцінюється за його енергетичним ККД, інакше світловій віддачі, що є характеристикою ефективності перетворення електричної енергії у світлову енергію. Світлова віддача - це відношення ефективного світлового потоку до потужності ДС (світловий ККД.).

Джерела світла

Для електроосвітлення використовують електричні лампи розжарювання і газорозрядні лампи.

Сучасна освітлювальна лампа розжарювання (рис. 7) складається з таких конструктивних деталей.

1. **Скляна колба.** У вакуумних лампах тиск залишкових газів у колбі після відкачки складає 10^{-5} – 10^{-7} мм рт.ст. У газорозжарювальних лампах після відкачки колба заповнюється сумішшю інертних газів, тиск яких у холодній лампі $p \sim 600$ мм рт. ст. Скло колби лампи розжарювання повинно мати постійний коефіцієнт розширення, безкольоровість і стійку прозорість; високу міцність (колба повинна витримувати легкі удари, струси, вітрове навантаження. Температура розм'якшення скла мусить знаходитися в межах 400–500°C. Скло мусить бути термостійким і витримувати різкі коливання температури.

2. **Тіло розжарювання**, виконане з вольфрамового дроту, звитого спіраллю або біспіраллю. У сучасних лампах тіло розжарювання робиться тільки з вольфраму - тугоплавкого металу, що володіє значною формостійкістю при високих температурах.

3. **Молібденові кріючки**, що надають певну форму тілу розжарювання і підтримують її протягом всього строку служби.

4. **Електроди**, які передають напругу на тіло розжарювання.

5. **Скляний стержень** (штабника), у верхній частині якого є потовщення, так звана лінзочка, куди впаюють кріючки.

6. **Порожній скляний циліндр** з розгорнутою нижньою (тарілка) і опресованою верхньою частиною, так званою лопаткою, в якій з'єднані штабик, електроди і відкачка трубка (штенгель). У

лопатці продувається отвір, через який проводиться відкачка лампи. Штабик з крючками, тарілка, електроди з тілом розжарювання і штенгель, зібрані разом, становлять ніжку лампи.

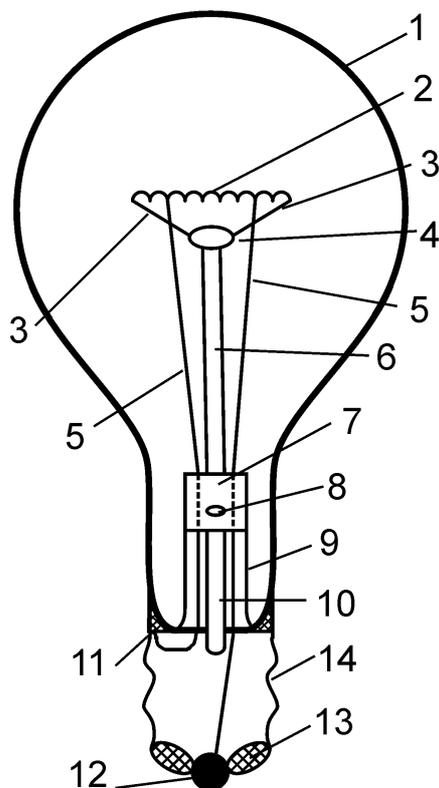


Рис. 7. - Лампа розжарювання загального користування:

- 1 – скляна колба; 2 – тіло розжарювання; 3 – молибденові крючки;*
- 4 – лінзочка; 5 – електроди; 6 – скляний стержень; 7 – лопатка;*
- 8 – отвір; 9 – скляний циліндр; 10 – відкачна трубка; 11 – цоколь;*
- 12 – шайба; 13 – скломаса; 14 – різьба.*

7. Цоколь, який складається з металевого стакану з різьбою (латунь або оцинкована сталь), до якого припаяний один із електродів. Другий електрод припаюється до латунної контактної шайби, скріпленої із стаканом цоколя за допомогою скломаси, що служить ізоляцією. Цоколь спеціальною мастикою з'єднується з колбою лампи. Останнім часом у деяких типах ламп цоколь опресовується на колбі.

Електричні й світлові характеристики лампи, а також строк їх служби залежать від величини живильної напруги. У промисловій мережі, від якої працюють лампи розжарювання, трапляються відхилення напруги від номінального значення або спад її в проводах розподільчої мережі. Тому важливо знати, як змінюються електричні й світлотехнічні характеристики лампи із зміною напруги (рис.8).

Лампи розжарювання з йодним циклом

Руйнування нитки лампи розжарювання при її нагріванні відбувається за рахунок випаровування вольфраму – частинки вольфраму відриваються від поверхні розжареної нитки і осідають на внутрішній поверхні колби, утворюючи на ній темний наліт. Процес випаровування вольфраму і поступове зменшення діаметра нитки продовжуються до тих пір, поки не порушується її цілісність.

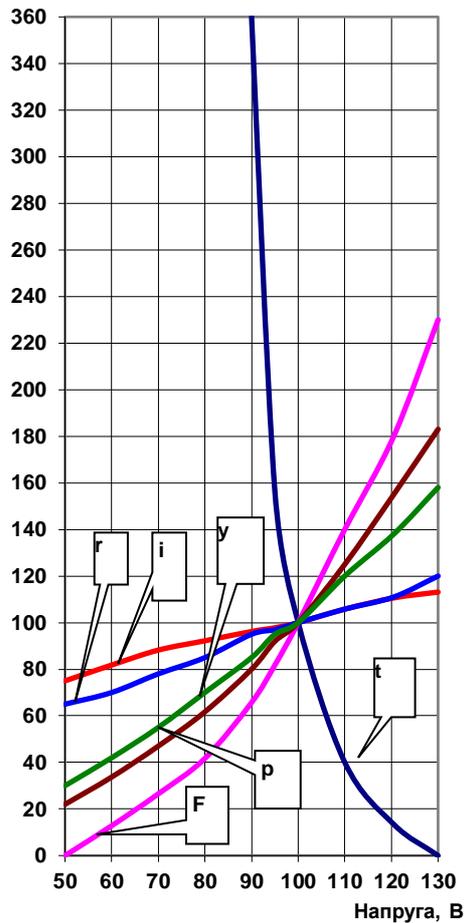


Рис. 8. - Хід зміни характеристик лампи, викликаний зміною напруги:

I – струм; P – потужність; r – активний опір; ψ – світлова віддача; τ – середній строк служби;
 F – світловий потік лампи

При введенні в колбу дозованої кількості йоду його атоми під впливом високих температур переміщуються до стінок лампи і утворюють з осівшими на них розпиленими частинками вольфраму з'єднання – йоди вольфраму. Це з'єднання, попадаючи в зону високих температур поблизу нитки розжарювання, знову розпадається на вольфрам і йод. При цьому частинки вольфраму осідають на нитку розжарювання, а атоми йоду переміщуються до стінок лампи. Створюється безперервний йодний цикл, який призводить до регенерації вольфрамової нитки і

тим самим до продовження строку її служби. Такий цикл відбувається тільки при певних температурних умовах.

Колбу лампи виготовляють із теплостійкого кварцового скла, а форму приймають у вигляді трубки діаметром 10–12 мм. Нитка лампи розміщується строго по осі. Лампи наповнюють інертним газом (аргоном, ксеноном або криптоном).

Промисловість випускає лампи розжарювання з йодним циклом типу КИ потужністю 500,1000, 1500 і 2000 Вт, світлова віддача яких 22лм/Вт, а строк служби 2000 год.

Люмінесцентні лампи. На відміну від ламп розжарювання, ці лампи мають більш високу світлову віддачу і термін служби. Найбільша світлова віддача, яка відповідає лампам потужністю 40 Вт, без устаткування втрачав в ПРА для ламп білого кольору (ЛБ-40) складає до 70 лм/вт. Строк служби люмінесцентних ламп - 10000 год.

Характерною ознакою люмінесцентних ламп є значне зниження світлового потоку в процесі горіння. Так, у лампи 40–80 Вт після 4000 год. горіння середня величина світлового потоку складає 70–80% номінального значення.

На відміну від ламп розжарювання і ламп ДРЛ на режим роботи люмінесцентних ламп значно впливає температура оточуючого середовища. Люмінесцентні лампи, які працюють у звичайних стартерних схемах (рис.3), зберігають номінальні характеристики при температурі повітря + 18-25°C.

Відхилення температури в сторону зниження або підвищення викликає зменшення світлового потоку, а при низьких температурах (нижче 5°C) розряд не виникає і лампа не засвічується.

Люмінесцентні лампи в зовнішньому освітленні застосовують лише у світильниках з тепловою ізоляцією або з підігрівом і при наявності спеціальних схем включення (рис.9).

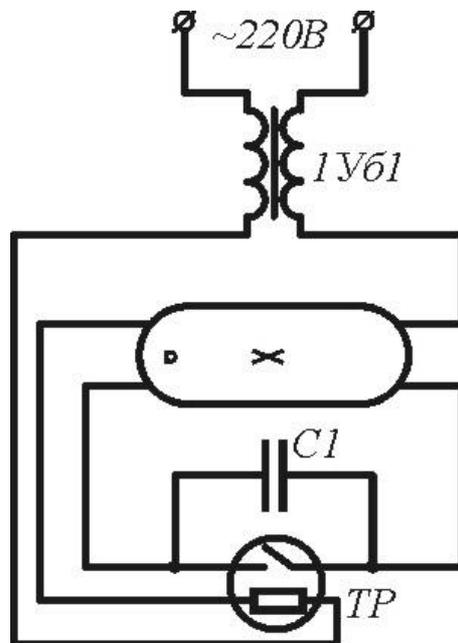


Рис. 9. - Схема включення люмінесцентної лампи з дроселем і тепловим стартером

Натрієві лампи. Найбільш високою світловою віддачею відзначаються натрієві лампи. Лампи типу ДНаТ, (схема включення рис.10), які випускає вітчизняна промисловість при строку служби 25000 год. мають світлову віддачу вище 140 лм/Вт.

Враховуючи їх спектральні характеристики (560-610нм, жовтий колір), ці лампи рекомендуються для архітектурного освітлення і освітлення автострад, майданів, вокзалів, аеропортів та ін.

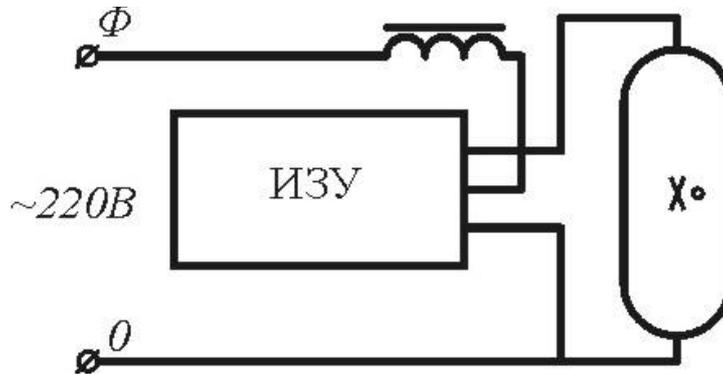


Рис. 10. - Схема включення натрійової лампи

Ртутні лампи високого тиску. Лампи типу ДРЛ широко застосовують для зовнішнього освітлення (площі, вулиці, дороги та ін.) і освітлення промислових підприємств (великі цехи з високими стелями, склади та ін.).

У ряді випадків, особливо там, де необхідно створити високий рівень освітленості, цим лампам віддають перевагу перед люмінесцентними. Випуск і використання цих дорогих джерел світла пояснюється:

- високою світловіддачею – до 60 лм/вт;
- компактною конструкцією, яка дає змогу при малих габаритах створювати лампи на різні потужності в діапазоні 80Вт-2кВт;
- високим терміном служби (7500 год) і малим спадом світлового потоку (не більше 30% за час служби);
- значним зниженням вартості ламп, завдяки використанню нового устаткування, яке дає можливість автоматизувати і механізувати процес виготовлення ламп;
- освоєння нових типів ламп, що забезпечують кольоропередачу.

Принцип дії ламп ДРЛ. Принципова конструкція ламп типу ДРЛ показана на рис. 11. Основними елементами ламп цих типів є ртутно-кварцевий пальник, зовнішня колба, ніжка, арматура для кріплення і електричного вмикання пальника, цоколь. У середину пальника вводиться доза ртуті й інертного газу (аргону при тиску 20– 50 мм рт. ст.). Джерелом світла є електричний розряд в парах ртуті, який утворюється між двома основними електродами в кварцовій колбі-пальнику.

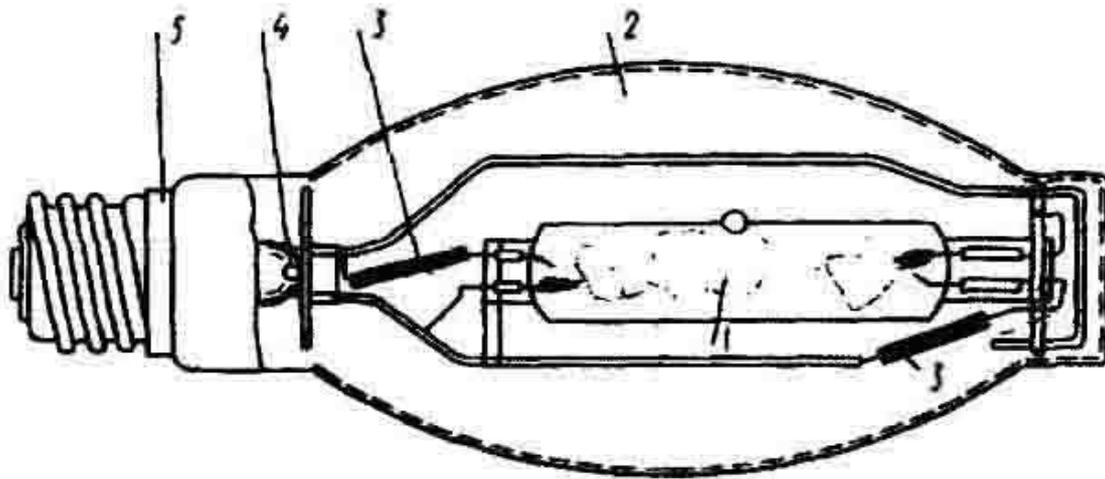


Рис. 11. - Принципова конструкція ртутної лампи високого тиску ДРЛ-400: 1 – горілка; 2 – зовнішня колба; 3 – обмежувальний опір; 4 – ніжка і арматура; 5 – цоколь.

Характеристики лампи, в тому числі такі важливі, як світловий потік і світлова віддача залежать від тиску ртутної пари, що утворюється в пальнику. У холодній лампі тиск парів рідкої ртуті визначається пружністю парів, які насичують об'єм пальника при температурі оточуючого середовища. У нагрітій лампі тиск парів (поки в лампі є рідка ртуть) визначається як пружність парів, що насичують об'єм пальника, при температурі місця розміщення рідкої ртуті. Звичайно ДРЛ конструюється так, щоб при робочому режимі вся рідка ртуть перетворювалась на пару. В цьому випадку розряд горить в ненасичених парах ртуті.

При розпалюванні розряду температура стінок пальника підвищується і відповідно зростає тиск ртутної пари. Підвищення тиску, в свою чергу, супроводжується підвищенням градієнта потенціалу в стовпі і підвищенням напруги горіння розряду. В реальних умовах включення лампи цей ріст напруги в лампі супроводжується підвищенням потужності. Це викликає даліше підвищення температури колби, тиску ртутної пари, напруження горіння і т. д. доти, поки в лампі не випарується вся ртуть. В установленому режимі тиск парів ртуті залежно від конструкції і потужності пальника становить 5–15 ат.

Зовнішня колба в цих лампах виконує декілька функцій. Світлова віддача ДРЛ тим вища, чим більший тиск ртутної пари. Звідси випливає, що однією з умов підвищення світлової віддачі є збільшення температури стінок пальника. При інших рівних умовах (зокрема, при заданій потужності розряду) температура стінки пальника буде тим вищою, чим менше тепла відводиться з її поверхні. Розміщення пальника в зовнішній колбі є одним із методів її утеплення і забезпечення незалежності теплового режиму від впливу зовнішньої температури. Змінюючи

склад і тиск газу, який наповнює зовнішню колбу, можна регулювати температуру кварцового паяльника.

Потужність випромінювання ртутного розряду високого тиску в ультрафіолетовій області складає значну частку від загальної потужності випромінювання. Зовнішня колба із скла, яке не пропускає ультрафіолетового випромінювання, виключає утворення озону в приміщеннях, де використовуються лампи, а також охороняє шкіру від опіків.

Змінюючи склад зовнішньої колби, можна регулювати спектральний склад видимого випромінювання в ультрафіолетовій області, а також у видимій області спектра. Зовнішня колба охороняє пальник від пошкодження і забруднення. У лампах з люмінофором вона служить для нанесення люмінофору.

На рис. 12 показана схема включення ДРЛ. Пальник лампи має два основних електроди і два або один запалюючих, розміщених на малій відстані від основних. Запалюючі електроди через резистори, які розміщуються поза пальником в об'ємі зовнішньої колби, приєднуються до протилежних основних електродів, виводи яких підводяться до цоколя лампи.

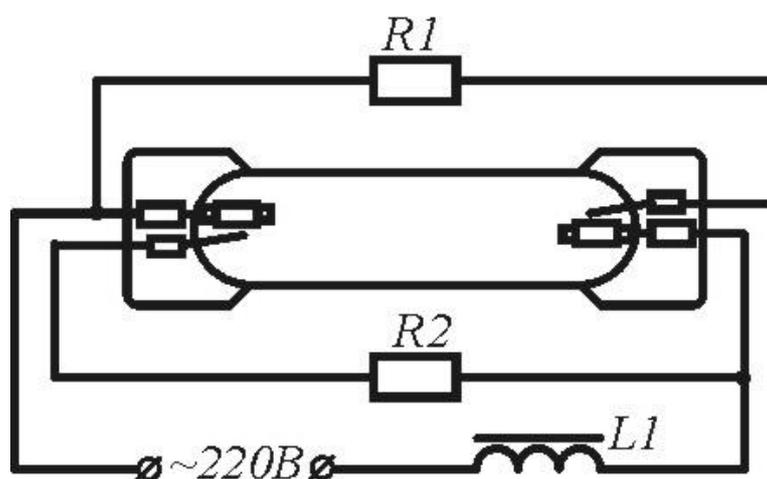


Рис. 12. - Принципова схема включення чотирьохелектродної лампи ДРЛ в мережу.

Напруга підводиться до цих виводів через стабілізуючий баласт. Величина напруги мережі U_c звичайно недостатня для того, щоб викликати пробій розрядного проміжку між основними електродами, оскільки відстань між ними складає кілька сантиметрів (залежно від розмірів пальника, які визначаються його потужністю). Як видно з рисунка, допоміжні проміжки між основними і запалюючими електродами виявляються під дією повної напруги. Відстань між цими електродами вибирається такою, щоб при заданому для даної конструкції тиску інертного газу величина напруги запалу розряду U_z в допоміжному проміжку була нижчою від величини U_c . Тому спочатку виникає розряд між допоміжними і основними електродами, характер і струм якого визначається величиною обмежувального опору. Це тліючий розряд з невеликою силою струму. Виникнення допоміжного розряду далі призведе до пробію проміжку між основними

електродами і виникненню розряду між основними електродами. Величина струму основного розряду обмежується стабілізуючим баластом.

Вплив зміни напруги на характеристики розрядних ламп, які працюють в схемах з реактивним баластом. Зниження напруги, якщо воно триває навіть кілька мілісекунд, може призвести до погашення лампи.

Величина напруги, при якій відбувається погашення $U_{ног}$, залежить від типу баласту, стабілізуючого роботу лампи, і від схеми її вмикання. Напряга затухання залежить від конструктивних розмірів пальника, вибраного співвідношення $U_{л} / U_{с}$ і робочого режиму лампи. Приблизно, для лампи середньої потужності можна прийняти, що $U_{ног} = (1,3 - 1,4)U_{л}$. Таким чином $U_{ног}$ лампи в схемі з індуктивним баластом приблизно на 10% нижче, ніж $U_{ног}$ тієї ж лампи на схемі з активним баластом. Більш стійка робота лампи спостерігається при горінні її у вертикальному положенні. Найменше значення $U_{ног}$ маємо при роботі лампи в схемі з ємкісним баластом, тому що така схема, при інших рівних умовах, забезпечує найменшу зміну струму лампи при зниженні $U_{с}$.

Зміна $U_{с}$ викликає зміну струму лампи. Напряга на лампі при зміні струму в малих межах змінюється неістотно. У схемі з індуктивним баластом зміна $i_{л}$ із зміною $U_{с}$ спостерігається тільки в тих випадках, коли $U_{л} / U_{с} < 0,4$, але на практиці такі випадки зустрічаються мало. Типовий приклад зміни електричних і світлових характеристик лампи для співвідношення $U_{л} / U_{с} \approx (P_{л} - 400 \text{ Вт})$, що найчастіше використовується, показаний на рис. 13.

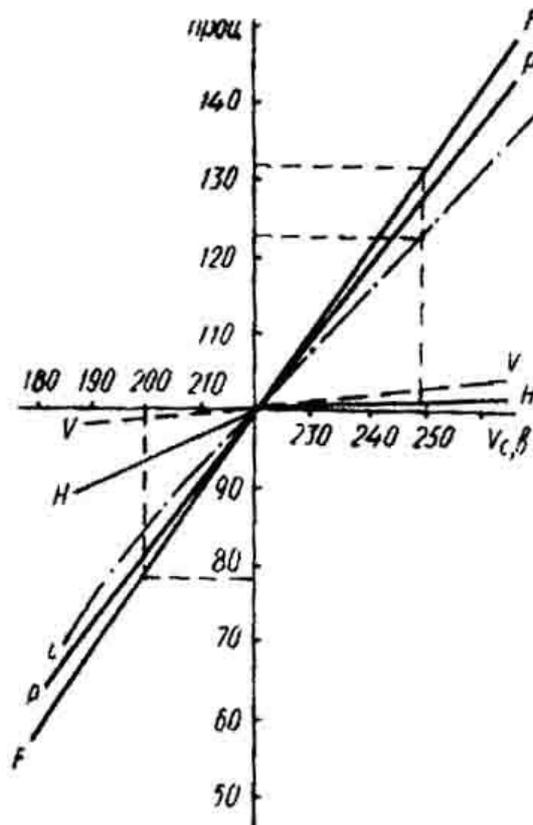


Рис. 13. - Зміна електричних і світлових характеристик лампи ДРЛ-400 з індуктивним баластом при зміні напруги мережі:

i – струм; V – напруга; P – потужність; F – світловий потік; H – світлова віддача

З кривих бачимо, що зміна U_c на $\pm 10\%$ викликає відповідні зміни струму лампи на $\pm 25\%$. Таким чином, світлова віддача лампи змінюється неістотно.

Первинне і повторне запалювання лампи

Конструктивні розміри електродів пальника, їх взаємне розміщення і тиск аргону в пальнику вибирають таким чином, щоб запалювання розряду в пальнику відбувалося навіть в тому випадку, коли тиск парів ртуті дуже малий. Такі умови створюються при сильно зниженій температурі оточуючого середовища (після кількох *годин* перерви в горінні лампи). Якщо температура оточуючого повітря нижча ніж -20 – -30°C , то U_3 визначається тільки тиском аргону в лампі, формою, взаємним розміщенням і матеріалом електродів.

З підвищенням температури повітря U_3 знижується за рахунок появи парів ртуті.

Звичайно лампи конструюються таким чином, щоб їх запалення відбувалося при напрузі не вище 200 В. Ця вимога досить легко може бути реалізована в три,чотириелектродних лампах, розрахованих на роботу при напрузі 200–230 в. Для запалювання двоелектродних ламп, які

мають високу напругу U_3 , і ламп, призначених для роботи в електричній мережі з напругою 110-130 В, застосовуються спеціальні пускові схеми. Загальний принцип конструювання таких схем – створення напруги, достатньої для запалення лампи протягом обмеженого часу, поки не утвориться дуговий розряд між основними електродами. Все це відноситься до запалювання холодної лампи. Якщо якість лампи посередня і величина U_3 нижча від нормованого значення U_c , то запалення лампи практично відбувається миттєво. Інші явища спостерігаються, коли з тих чи інших причин (наприклад, за рахунок зниження U_c менше норми) відбувається погашення лампи, яка перед цим працювала в стаціонарному режимі і була нагріта до робочої температури. Таку лампу запалити повторно у звичайній схемі включення неможливо. Напруга повторного запалювання лампи залежить від температури T_1 кварцевого пальника. Чим вища T_1 , тим більш високий тиск ртутної пари відповідає цій температурі і тим більше значення напруги U_3 . Між електродами відбувається повторний пробій газорозрядного проміжку. Напруга перестає залежати від T_1 тільки тоді, коли в лампі немає рідкої ртуті (для звичайних ламп T_1 – 500°C), а величина U_3 в цьому випадку досягає 4000–5000 В. Пальник погашеної лампи, нагрітий до 700–800°C, починає охолоджуватися. Повторне запалення пальника, якщо напруга між електродами лампи, яка не горить, дорівнює 200 В, відбувається тільки тоді, коли T_1 знизиться до 200°C. Таким чином, повторне запалення лампи може відбутися тільки після повторної перерви в роботі. Тривалість цієї перерви орієнтовно 2–5 хв

Розгоряння розрядних ламп, які працюють послідовно з реактивним баластом Номінальна величина світлового потоку встановлюється не після запалення розряду в пальнику, оскільки необхідний деякий час для того, щоб ртуть в пальнику повністю випарувалась, бо тільки після цього настає стаціонарний режим горіння. Зміни характеристик ламп у процесі горіння і особливості цього процесу залежать від типу баласту, який стабілізує роботу пальника. Для звичайних ртутних ламп, які працюють послідовно з реактивним баластом, і для ртутнорозжарювальних ламп, навантаженням яких є нелінійний опір, вони різні.

З точки зору готовності освітлювальної установки до роботи бажано, щоб час розгоряння лампи був мінімальним. Необхідними умовами для цього є: великий пусковий струм, теплова ізоляція пальника і швидкий прогрів всередині пальника місця розміщення рідкої ртуті. Слід при цьому пам'ятати, що занадто великий струм скорочує строк служби катодів, якщо вони не розраховані на такі перевантаження.

Теплова ізоляція розрядної трубки визначається родом і тиском газу, який наповнює об'єм зовнішньої колби. Використання аргоно-азотної суміші при відносно низькому тиску замість чистого азоту дає можливість помітно скоротити час розгоряння лампи. Негативний ефект такого утеплення пальника полягає в тому, що одночасно збільшується час перезапалення, а тривалість остигання пальника збільшується. Практичний час установа стаціонарного режиму складає 4–6 хв.

Ртутні лампи високого тиску з домішками галоїдних з'єднань (металогалоїдні лампи).

У конструктивному відношенні ці лампи подібні до ламп типу ДРЛ. Різниця полягає в тому, що в середину розрядних колб нових ламп, крім ртуті і аргону, додатково вводяться визначені

елементи у формі найпростіших хімічних сполук. Це дає змогу в широких межах змінювати спектри випромінювання розряду.

Введення хімічних сполук замість чистих елементів дозволяє при допустимій робочій температурі колби підвищити пружність парів речовини і концентрацію елемента, який нас цікавить, або використати випромінювання елементів, які в чистому вигляді руйнують скло колби. Принцип роботи подібних ламп такий: при достатній температурі стінок колби в об'ємі ламп створюється певний тиск парів речовини, яка вводиться. Молекули речовини, попадаючи в зону розряду з високою температурою, розкладаються на атоми, які, в свою чергу, збуджуються і випромінюються. Для того, щоб така лампа могла діяти протягом тривалого часу, необхідно, щоб атоми, які входять до складу хімічної сполуки, дифундуючи за межі розрядного каналу і попадаючи в зону з більш низькою температурою, знову практично повністю об'єднувалися в початковій сполуки для підтримання потрібного замкнутого циклу. Якщо в лампу вводиться не один, а кілька елементів у вигляді хімічних сполук, то для кожного з них повинен існувати і підтримуватися свій замкнутий цикл. Для нормальної роботи таких ламп хімічні сполуки повинні відповідати таким вимогам:

-пружність парів при допустимій робочій температурі колби повинна бути достатньою для одержання випромінювання з високим виходом. Температура розкладу сполук має бути вищою від робочої температури колби, тому що сполуки будуть розкладатися на стінках колби. Сполуки повинні легко утворюватися за межами розряду і складатися з мінімального числа елементів (збільшення призводить до незамикавання циклу);

Атоми використаних речовин не повинні утворювати таких сполук, що не реагують з матеріалом колби, електродів та іншими елементами всередині лампи, тому що в цьому випадку можуть утворюватися шкідливі для роботи лампи сполуки і кількість речовин, які братимуть участь в циклі, зміниться.

- сполуки не повинні справляти шкідливої дії на матеріал колби і на електроди;

- потенціали збудження елементів з спектральними лініями, які нас цікавлять, повинні бути нижче потенціалів збудження ліній інших елементів, які входять в сполуки або присутні в розряді.

Всім цим вимогам найбільшою мірою задовольняють галоїдні сполуки багатьох елементів, перш за все йодисті сполуки металів.

Металогалоїдні лампи з домішками типу ДРІ мають світлову віддачу 80–90 лм/вт, Строк служби цих ламп - до 25000 год.

Пускорегулююча апаратура (ПРА)

Активний баласт. Схеми з активним опором в якості баласту мають низьку економічність через великі втрати потужності, тому не знайшли широкого застосування. Єдиним практичним варіантом цієї схеми є ртутно-розжарювальні лампи, в яких послідовно з ртутною горілкою включається вольфрамова спіраль. Застосування спіралі, що розжарюється при роботі лампи до високої температури, дає можливість створити додатковий світловий потік який в декілька раз підвищує ефективність такої схеми порівняно з розрахованою без урахування випромінювання спіралі.

Індуктивний баласт (дросель). Головною перевагою індуктивного баласту є невелика втрата потужності. Втрати в дроселі прийнято оцінювати відношенням до потужності лампи. Розрахунок показав, що вони складають 5-12% залежно від типу лампи високого тиску. Порівняно з втратами в схемі з резистивним баластом активні втрати тут в 4 – 5 разів нижчі.

Таким чином схема з індуктивним баластом відзначається високою економічністю і широко застосовується в освітлювальній техніці.

Ємнісний баласт. Ємнісні баласты малогабаритні, мають невелику вагу і характеризуються відсутністю втрат. Але при низьких частотах живлячої напруги використання таких баластів несуттєве.

У схемі з конденсатором струм має вигляд вузького піка, амплітуда якого в кілька раз перевищує діюче значення струму. Це пояснюється тим, що в момент зміни напрямку струму, ємність, напруга на якій досить велика, практично розряджається через лампу. Різкі кидки струму несприятливо впливають на роботу катодів і скорочують довговічність лампи. Крім того, якість освітлення ламп, ввімкнених послідовно з ємнісним баластом, низька через дуже великі термінові паузи.

У практичних варіантах схеми застосовується послідовне ввімкнення ємності й індуктивності відповідної величини. Такий баласт має назву ємнісного. При правильно підбраному співвідношенні C і L вдається зберегти позитивні якості чисто ємнісного баласту і знизити амплітудне значення струму до величини, при якій строк служби лампи практично не відрізняється від строку служби лампи в схемі з індуктивним баластом.

Ртутно-ксенонові лампи надвисокого тиску з короткою дугою. Ртутно-ксенонові лампи надвисокого тиску з короткою дугою типу ДРШ (дугові ртутні кульові) є джерелами випромінювання високої яскравості у видимій і ультрафіолетовій областях світла. Для використовуваного в цих лампах дугового розряду в парах ртуті при тисках у кілька десятків атмосфер характерний лінійчатий спектр випромінювання із сильно вираженим безперервним фоном. Випромінювання з хвилями, коротше 250 нм, практично відсутнє. Внаслідок існування безперервного фону частка червоного світла у видимому випромінюванні досягає 4-6%.

Конструкція цих ламп являє собою товстостінну кварцову колбу еліптичної або кульової форми, в яку впаяні на відстані декількох міліметрів один від одного два електроди (рис 14).

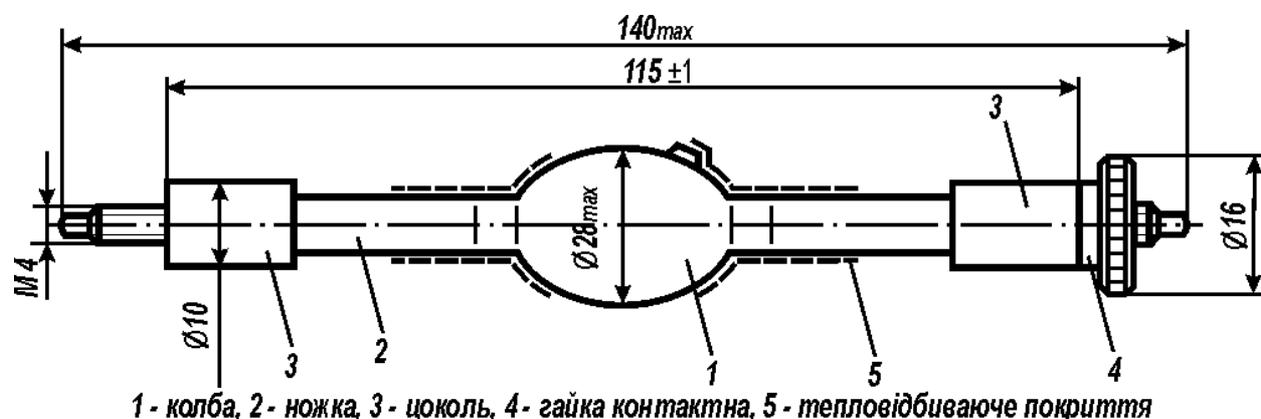


Рис. 14. - Загальний вид дослідної короткодугової ртутно-ксенонової лампи надвисокого тиску ДРШ-600 (СРЖА 433220.028 ТУ):

У деяких типів ламп є третій електрод з вольфрамового дроту, призначений для зниження амплітуди імпульсу запалювання. Можливість варіювати в широких межах розміри колби й електродів дозволяє створювати кулькові лампи на різні струми і потужності без примусового охолодження. Існуючі й розроблювані лампи малої потужності (до 500 Вт), що використовують для фотолітографії, можуть бути подані наступними значеннями потужності: 75, 100, 150, 200, 250, 350, 500; середньої потужності: 800-1000 Вт.

Лампи наповняють інертним газом (частіше ксеноном) до тиску в кілька сотень міліметрів ртутного стовпчика і рідкою ртуттю. Інертний газ зменшує розпилення матеріалу електродів у період розгоряння. При наявності рідкої ртуті тиск пару в лампі визначається як тиск насичених парів при мінімальній температурі внутрішньої поверхні колби лампи, з яким може стикатися ртуть. Оскільки тиск насичених парів різко зростає з ростом температури, при роботі лампи в насичених парах має місце значна залежність тиску і щільності пару, а, відповідно, і всіх характеристик розряду від температури колби. Тому велике значення має рівномірний розподіл температури по поверхні колби, що значною мірою залежить від положення лампи - анодом вниз або нагору.

Для зменшення залежності характеристик ртутної лампи від режиму її роботи кількість ртуті строго дозується з таким розрахунком, щоб при заданій потужності ртуть повністю випаровувалася і розряд відбувався в ненасичених парах. За умови, що температура найбільш холодної частини колби досягає 750-800°C, тиск визначається кількістю введеної в лампу ртуті і змінюється значно повільніше, ніж в області насичених парів.

Для встановлення однакової температури на поверхні колби зі збільшенням потужності розряду діаметр колби повинен зростати. При цьому важливо зберегти по поверхні колби рівномірний розподіл температури. Для цього застосовують колбу еліптичної форми, а на горловину колби зовні наносять металеве покриття, наприклад, шар платини або золота. При експлуатації доводиться, однак, враховувати, що таке металеве дзеркало відбиває не тільки теплове, але і видиме випромінювання.

Малі міжелектродні відстані короткодугових ламп обумовлюють високу частку втрат енергії на електродах. При роботі на постійному струмі частка потужності, виділювана на аноді, досягає 50%, а на катоді- 10%-15% від усієї потужності, що підводиться до лампи. Це вимагає оптимізації конструкції як анода, так і катода (форми і маси) з метою зміни теплових навантажень. Залежно від умов розряду, температури і властивостей катода розряд у районі катода може відбуватися у двох різних формах. Якщо температура робочої частини недостатня для одержання термоелектронної емісії, розряд стягується у катода в яскраву світну пляму невеликого розміру. Якщо температура робочої частини достатня, то катодна область займає всю поверхню робочої частини. Цей режим найбільш важливий, тому що забезпечує найбільш стабільне положення світного тіла.

Імпульсні джерела світла. Імпульсні джерела світла широко використовують в різних областях науки і техніки. Найбільше застосування вони одержали в стробоскопії для виміру швидкості руху об'єктів з періодично повторюваними фазами, високошвидкісній фотографії, світолокації, фотолітографії, у лазерній техніці і т.ін. Принцип дії імпульсних джерел світла заснований на використанні конденсованого електричного розряду в атмосфері інертних газів. Найчастіше для наповнення імпульсних джерел світла використовують ксенон. Ці джерела світла відрізняються від інших джерел високою яскравістю світлого тіла (до 100 Гкд/м^2), короткою тривалістю світлового імпульсу (одиниці мікросекунд). За конструктивними ознаками імпульсні джерела світла поділяються на лампи з обмеженим каналом розряду (трубчасті) і з необмеженим (кулькові). З імпульсних ламп як у вітчизняному, так і закордонному опромінюваному устаткуванні, використовують, головним чином кулькові лампи, що мають просту конструкцію і компактне світне тіло. Звичайно їх виконують у вигляді багатоелектродної конструкції з одним або декількома допоміжними електродами, що знижують напругу запалювання лампи і стабілізують положення каналу розряду.

Для фотохімічних процесів пропонувалися лампи й інших конструкцій, наприклад, трубчаста у вигляді спіралі Архімеда, лампа з розрядною формою у вигляді диска, «Куля в кулі» і т.п. Ці конструкції мали на меті забезпечення симетричного протяжного тіла з рівномірним розподілом яскравості за площею світлого тіла. До недоліків таких ламп слід віднести складну конструкцію, низьку технологічність виготовлення і меншу, ніж у кулькових ламп, довговічність. Крім того, тіло, що світить, у цих ламп має порівняно низьку колірну температуру- близько 5000K і, відповідно, меншу частку випромінювання в діапазоні довжин хвиль максимальної спектральної чутливості фотоматеріалів.

Одержання симетричного протяжного світлого тіла можливо й у кулькових лампах. Для цього потрібні енергії розряду в кілька десятків або сотень джоулів при відповідних тисках газу і розмірах розрядного проміжку.

Освітлювання - основна характеристика імпульсних ламп, оскільки вона визначає експозицію фотоматеріалу. Освітлювання залежить від конструкції розрядного проміжку і параметрів режиму живлення. Характеризуються імпульсні лампи відношенням освітлювання до енергії імпульсу або світловою віддачею, що являє собою відношення повного світлового потоку до енергії імпульсу. Для більшості імпульсних кулькових ламп значення середньої сили світла на 1 Вт середній потужності лежать у межах $0, 6-1, 2 \text{ кд/Вт}$.

Нестабільність сили світла може виявлятися у вигляді:

- зниження сили світла, викликаного осадженням на колбі розпиленого електродного матеріалу;
- зниження сили світла на перших імпульсах за рахунок зменшення щільності газу в розрядному проміжку;
- зміни пікової сили світла від імпульсу до імпульсу, викликані флуктуаціями довжини іскри і щільності газу в розрядному проміжку .

Спектр випромінювання імпульсних ламп складається із суцільного фону, на який накладений лінійчатий спектр випромінювання газу, що наповняє лампу.

Спектральний розподіл випромінювання імпульсних кулькових ламп відносно мало залежить від режиму роботи. Спектральний розподіл випромінювання трубчастих ламп залежить від середньої за час розряду питомої електричної потужності. Збільшення питомої електричної потужності приводить до підвищення частки випромінювання в короткохвильовій області.

Освітлювальні мережі

Для освітлювальних установок повинно застосовувати напругузмінного струму при заземленої нейтралі 380/220В або постійного струму, що не перевищує 220 В. При підвищених вимогах до електробезпеки можливе застосування мережі напруги змінного струму з ізольованою нейтраллю напругою 220 В.

Постійний струм використовується для резервного живлення особливо відповідальних освітлювальних приймачів і в спеціальних електроустановках.

Напруга 12, 24 і 36 В застосовується для місцевих і переносних світлових приладів розжарювання.

Вимоги по зниженню напруги відносно номінальної у найбільш віддалених ламп є такими:

2,5% - у ламп робочого освітлення промислових і громадських будинків, а також прожекторного освітлення зовнішніх установок;

5% - у ламп робочого освітлення житлових будинків, зовнішнього освітлення, виконаного світильниками, і аварійного освітлення;

10% - у ламп 12-36 В, рахуючи від виводів нижчої напруги понижуючого трансформатора.

Частота коливань напруги у ламп робочого освітлення при змінах менше 1% не обмежується, при коливаннях більше 1% припустима їхня частота визначається залежно від величини коливання напруги за формулою

$$n = \frac{6}{U_t - 1},$$

де n - найбільше припустиме число коливань напруги в годину;

U_t - величина коливання напруги у %.

Надійність електропостачання освітлювальних установок, як і інших споживачів, поділяється на три категорії. 1 категорія - освітлювальні установки, перерва в електропостачанні яких не повинна мати місця або допускається тільки на час автоматичного включення резерву. Живлення забезпечується від двох незалежних джерел. Але якщо перерва в електропостачанні установки загрожує життю багатьох людей, веде до руйнування особливо важливого технологічного устаткування, порушення роботи найважливіших вузлів зв'язку, водопостачання, енергетики, то освітлювальні установки виділяються з навантажень 1 категорії в "особливу" групу і живляться від двох незалежних джерел з переключенням частини світильників на третє незалежне джерело при повному, а в деяких випадках і частковому загасанні установки.

II категорія - освітлювальні установки, для яких допускається перерва в електропостачанні на час, необхідний для ручного включення резерву черговим персоналом або виїзною бригадою. У більшості випадків установки II категорії забезпечуються автоматичним введенням резерву, тому що це не вимагає великих капітальних витрат, тим більше, що в багатьох випадках важко відокремити навантаження II категорії від I.

III категорія - всі інші освітлювальні установки, що допускають перерву живлення на час ремонту або заміни пошкодженого елемента до однієї доби.

В освітлювальних установках збереження повного освітлення при виході з ладу одного з джерел живлення або однієї з ліній не потрібне, тому необхідний ступінь резервування живлення освітлювальної установки в основному здійснюється шляхом утворення аварійного освітлення. Аварійне освітлення підрозділяється на аварійне освітлення для евакуації персоналу й аварійне освітлення для продовження роботи. З метою скорочення ліній, що прокладаються паралельно, у деяких випадках на аварійне освітлення виділяють цілі ряди світильників. У цьому разі назва робочого й аварійного освітлення умовні. Світильники аварійного освітлення для евакуації мають бути приєднані до мережі, незалежно від мережі робочого освітлення. Слід прагнути до максимальної незалежності живлення аварійного освітлення.

Можливість сполучення силових і освітлювальних мереж обмежується підвищеними вимогами освітлювальних мереж до якості напруги і необхідністю збереження освітлення в періоди ремонтних і профілактичних робіт.

Сполучення освітлювальних і силових живильних ліній можливо для громадських і житлових будинків, в окремих випадках для виробничих приміщень допоміжного характеру з "спокійними" силовими навантаженнями, причому загальними лініями є тільки лінії до вступних або до ввідно-розподільних пристроїв. Для приміщень зі споживачами I і II категорій, коли зазначеними пристроями є робоче і резервне живлення, таке сполучення доцільно при дотриманні вимог до якості живильної напруги.

При виконанні аварійного освітлення окремими лініями або рядами, коливання напруги в мережі, що живить, ці ряди не повинно перевищувати нормовані значення.

Схеми живлення

Живлення навантажень III категорії може здійснюватися від однієї однострансформаторної підстанції. Аварійне і робоче освітлення при цьому повинно мати самостійне живлення або від шини трансформатора, або від уводу в будинок.

Для освітлювальних установок приміщень зі споживачами II категорії формально припустиме живлення від однієї однострансформаторної підстанції, але насправді бажано мати більш надійну схему живлення. При живленні електроустановок більш ніж від однієї однострансформаторної підстанції для робочого й аварійного освітлення треба використовувати різні трансформатори. З метою збереження повного освітлення при аварійних і планових відключеннях трансформаторів бажано мати перемички між однострансформаторними підстанціями, що забезпечують можливість включення повного освітлення у приміщенні.

Мережі освітлення розділяються на живильні й групові. Живильні мережі – це лінії від трансформаторних підстанцій або інших точок живлення до групових щитків, до групової мережі відносяться лінії від групових щитків до освітлювальних приладів.

У кожну фазу групової лінії повинно включатися не більше 20 штук ЛН, ДРЛ, МГЛ, НЛВД або 50 штук ЛЛ. Керування освітленням може бути місцеве або централізоване, що може бути реалізовано такими способами: пряме, дистанційне, автоматичне і телемеханічне.

Встановлена потужність освітлювальної установки визначається як сума потужностей усіх ламп, що живляться відповідною ділянкою мережі. Для ліній з РЛ (крім ламп Дкст) до потужності ДС необхідно додавати втрати в ПРА, рівні: 20 % - для ЛЛ, 10 % - для РЛВТ потужністю до 400 Вт і 5 % - потужністю більше 400 Вт. Коефіцієнт попиту для різних освітлювальних установок, при відсутності нормативних даних, можна приймати:

1 – для дрібних виробничих будинків і торговельних приміщень, зовнішнього освітлення;

0,95 – для виробничих будинків, що складаються з окремих великих прольотів;

0,9 – для бібліотек, адміністративних будинків і підприємств громадського живлення;

0,8 – для виробничих будинків, що складаються з великого числа окремих приміщень;

0,6 – для складських будинків і електростанцій, що складаються з великого числа окремих приміщень.

При розрахунку групової мережі і всіх ланок аварійної мережі коефіцієнт попиту приймається рівним 1.

Вибір перерізу провідників освітлювальної мережі виконують по струму, який можна визначити за формулами

для трифазної мережі з нульовим проводом і без нього при рівномірному навантаженні фаз

$$I = \frac{P_3}{\sqrt{3}U_n \cos\varphi};$$

для двофазної мережі з нулем при рівномірному навантаженні фаз

$$I = \frac{P_2}{2U_\phi \cos\varphi};$$

для двофазної мережі

$$I = \frac{P_1}{U_H \cos\varphi};$$

для кожної з фаз дво- і трифазної мережі з нулем при будь-якому, у тому числі нерівномірному навантаженні

$$I = \frac{P_1}{U_\phi \cos \varphi},$$

де P – потужність навантаження(включаючи втрати в ПРА),

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності навантаження,

U_L, U_ϕ, U_H – лінійна, фазна або номінальна напруга мережі.

При виборі проводів слід враховувати, що в чотирьохпровідній трифазній мережі при рівномірному навантаженні по фазах, струм у нульовому проводі може досягати величини фазного струму, тому переріз нульової жили повинний бути таким же, як і переріз фазної.

Для живильної мережі обов'язково виконується перевірка на втрати напруги. Величина втрат напруги визначається як

$$\Delta U = U_{X.X} - U_{\text{МИН}} - \Delta U_T,$$

де ΔU – припустимі втрати в мережі;

$U_{X.X}$ – номінальна напруга при холостому ході;

$U_{\text{МИН}}$ – напруга у найбільш віддаленої лампи (2,5 – 5 %);

ΔU_T – втрати напруги в трансформаторі.

$$\Delta U_T = \beta(U_{A.T} \cos \varphi + U_{P.T} \sin \varphi),$$

де β – коефіцієнт завантаження трансформатора;

$U_{A.T}$ і $U_{P.T}$ – активні й реактивні складові короткого замикання трансформатора;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності.

$U_{A.T}$ і $U_{P.T}$ визначаються як

$$U_{A.T} = \frac{P_K}{P_H} 100;$$

$$U_{P.T} = \sqrt{U_K^2 - U_{A.T}^2}$$

де P_K – втрати короткого замикання;

P_H – номінальна потужність трансформатора;

U_K – напруга короткого замикання.

Для електроживлення освітлювальної установки застосовуються проводи і кабелі з алюмінієвими жилами. Провідники з мідними жилами обов'язкові тільки у вибухонебезпечних зонах або приміщеннях класів В-1 і В-1а та для переносних освітлювальних приладів.

На штучне освітлення витрачається близько 13% електроенергії, що виробляється. Заходи щодо зниження споживання електроенергії повинні постійно удосконалюватися. У першу чергу це заміна джерел світла з низькою світловою віддачею на ті, в яких цей показник вище. Так, заміна ламп розжарювання на розрядні скорочує споживання електроенергії при використанні ДРЛ на 40 %, ЛЛ - на 55 %, НЛВТ на 70 %. Правильна побудова системи керування дозволяє заощаджувати електроенергію на 10 – 15 %.

Контрольні запитання

1. Назвіть параметри систематизування споживачів.
2. Споживачі електроенергії.
3. Приймачі електроенергії, їх характеристика.
4. Дайте характеристику режимам роботи приймачів.
5. Перелічіть категорії споживачів щодо забезпечення надійності і безперебійності живлення приймачів.
6. Назвіть причини виникнення реактивної енергії.
7. Перелічіть причини недоцільності концентрації генераторів реактивної енергії.
8. Назвіть характерні місця, для яких визначається встановлена потужність.
9. Перелічіть причини зниження коефіцієнта потужності споживача.
10. Перевірка заміни недовантаженого двигуна на двигун меншої потужності.
11. Методи підвищення коефіцієнта потужності.
12. Переваги конденсаторних батарей при компенсації реактивної потужності в порівнянні з іншими компенсаторами.
13. Основні характеристики трансформатора.
14. Досліди холостого ходу і короткого замикання.
15. Група з'єднань трансформатора.
16. Позначення виводів і групи з'єднань.
17. Дослідне визначення груп з'єднань.
18. Рівнобіжне включення трансформаторів.
19. Рівнобіжне включення трансформаторів непарних груп з'єднання.
20. Рівнобіжне включення трансформаторів парних груп з'єднання.
21. Фазування трансформаторів.
22. Фазування трансформаторів із заземленої нейтралю.
23. Фазування трансформаторів з ізольованої нейтралю.
24. Схема заміщення трансформатора.
25. Методика визначення параметрів схеми заміщення трансформатора.
26. Електрифіковане устаткування.
27. Електричні машини.
28. Електричні машини з асинхронними двигунами.
29. Електричні машини із синхронними двигунами.
30. Електричні машини з двигунами постійного струму.
31. Електричні машини з двигунами постійного струму при живленні від перетворювача.

32. Електротехнологія.
33. Способи перетворення електричної енергії в інші види енергії.
34. Електрична піч опору.
35. Дугова електрична піч.
36. Індукційна піч.
37. Печі діелектричного нагрівання.
38. Електрозварювання.
39. Вимоги до зварювальних трансформаторів.
40. Електрозварювальне устаткування.
41. Електроліз.
42. Гальванотехніка.
43. Гальванічні установки.
44. Електричне висвітлення.
45. Спектр випромінювання.
46. Основні світлотехнічні величини.
47. Світлотехнічні параметри джерел світла.
48. Електричні параметри джерел світла.
49. Геометричні параметри джерел світла.
50. Термін служби джерела світла.
51. Крива сили світла.
52. Лампи розкалювання.
53. Розрядні лампи.
54. Люмінесцентні лампи.
55. Дугова ртутна лампа.
56. Дугова натрієва лампа.
57. Пускорегулююча апаратура.
58. Ступінь захисту світильників від впливу навколишнього середовища.
59. Клас захисту від ураження електричним струмом.
60. Робота розрядної лампи з індуктивним баластом.
61. Робота розрядної лампи з індуктивно-ємнісним баластом.
62. Світлові прилади.
63. Світильники.
64. Світлотехнічні характеристики світильників.
65. Освітлювальні мережі.
66. Категорії освітлювальних установок.
67. Види висвітлення.
68. Коефіцієнт попиту освітлювальної установки.
69. Визначення навантаження освітлювальної установки.
70. Види електричного транспорту.
71. Напруги застосовувані для живлення електротранспорту.
72. Тягові підстанції.

Контрольні завдання

1. Потрібно розрахувати активну, реактивну і повну потужності і струми при номінальному навантаженні на валу для двигуна потужністю P_M кВт на робочу напругу U В, що має ККД η і коефіцієнт потужності $\cos \varphi$. Розрахувати індуктивний опір струмообмежувача

реактора, щоб пусковий струм не перевищував номінального струму мережного трансформатора. ТДН-400-10/0,4, $U_k\%=6\%$.

P_M кВт	U В	ккд η	$\cos \varphi$	Мережний тр-тор
20	380	0,8	0,8	ТДН-400-10/0,4 $U_k\% = 6$

2. Для двигуна постійного струму з ККД $\eta = 0,85$ при його живленні від тиристорного перетворювача необхідно: розрахувати енергетичні показники двигуна, активну, реактивну і повну потужності двигуна, механічну потужність на валу, якщо діюче значення струму якоря $I_{я} = 200$ А, а його постійна складова $I_0 = 160$ А, що дає значення напруги якоря $U_{я} = 220$ В.

3. Для електропечі опору, призначеної для розплавлювання за 2 години 100 кг алюмінію в чавунному тиглі масою 70 кг, необхідно розрахувати параметри нагрівача при ККД печі 0,6.

4. Для дугової електропечі, призначеної для плавлення за одну годину 1,5 т сталі необхідно: розрахувати індуктивний опір струмообезуючого реактора за умови, щоб спад вторинної напруги мережного трансформатора типу ТРДН-6300-110/10, $U_k\%=5\%$ при коефіцієнті завантаження $\beta = 0,75$ у момент запалювання дуги не перевищував номінального значення. Пічний трансформатор ЕТМК-1200/10, потужність 1000 кВа, напруга 10/0,11 кВ, нормальна напруга КЗ $U_k\%=18\%$.

5. Для індукційної печі для плавлення за одну годину 160 кг бронзи необхідно розрахувати активні, реактивну і повну потужності печі і перетворювача частоти на 2,4 кГц 800 В якщо ємність конденсаторів, які компенсують, 32 мкФ, вибрати силові кабелі для живлення печі.

6. Для установки електрозварювання необхідно розрахувати: зварювальний трансформатор, що живиться напругою 220 В, для роботи з електродами діаметром 4 мм; провали напруги в мережі в момент запалювання дуги, якщо напруга КЗ зварювального трансформатора $U_k\%=10\%$, а мережний трансформатор ТДК-100-10/0,4 $U_k\%=7\%$ при коефіцієнті завантаження 0,7.

7. Для установки електролізу, призначеної для виробництва алюмінію, необхідно розрахувати: кількість електроенергії для виробництва 1 т алюмінію, якщо процес відбувається при напрузі 6 В и струмі 30 кА; активну, реактивну і повну потужності понижуючого трансформатора, якщо його ККД 98%, а коефіцієнт потужності $\cos \varphi = 0,85$.

8. Потрібно перевірити за умовами рентабельності заміну двигуна типу А92-4 потужністю 100 кВт, що працює з навантаженням на валу, що дорівнює 50 кВт, двигуном А82-4 потужністю 55кВт.

Коефіцієнт зміни втрат у заданому пункті енергосистеми дорівнює 0,02; 0,1; 0,15 кВт/кВАр.

9. Для трансформатора зірка-зірка з нулем потужністю $S_n = 100$ кВА, напругою первинної обмотки $U_{1H} = 6000$ В, а вторинної $U_{20(XX)} = 400$ В, напруги короткого замикання

$U_k \% = 5,5\%$, потужність К.З. $P_{кз} = 2400$ Вт, потужність Х.Х. $P_{хх} = 600$ Вт, струм Х.Х. $I_{0,хх} = 0,07 I_{1H}$,
 коефіцієнт потужності $\cos \varphi_2 = 0,75$, коефіцієнт завантаження $\beta = 0,8$,
 необхідно розрахувати активні й реактивні опори, спадання напруги у вторинній обмотці і побудувати схему заміщення.

10. Вибрати перетин живильного кабелю для освітлювальної установки, що складається з 15 ламп ДРЛ- 250, розташованих на відстані 50 м від ввідного щита, 23 ламп ЛБ-40, розташованих на відстані 70 м від ввідного щита і 17 ламп накаливання потужністю 100 Вт, розташованих на відстані 30 м від ввідного щита.

Треба розрахувати активну, реактивну і повну потужності й струми при номінальному навантаженні на валу для двигуна потужністю P кВт на робочу напругу U_n В, що має ККД η і коефіцієнт потужності $\cos \varphi$. Розрахувати індуктивний опір струмообмежувача реактора, щоб пусковий струм не перевищував номінальний струм мережного трансформатора ТДН-400-10/0,4, $U_k \% = 6\%$.

знаходимо значення номінального струму силового трансформатора:

$$I_{H.Tp} = \frac{S}{\sqrt{3}U_n} \text{ А.}$$

Індуктивний опір мережного трансформатора

$$X_{\sigma}^T = \frac{U_k \%}{100} * \frac{U_{\phi}^2}{I_{H.Tp}} \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір первинної обмотки і приведений опір вторинної обмотки

$$X_{1\sigma}^T = X_{2\sigma}^{Tl} = X_{\sigma}^T / 2 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір вторинної обмотки

$$X_{2\sigma}^T = X_{2\sigma}^{Tl} / K^2 \text{ Ом.}$$

Додатки

Додаток А

Таблиця А.1

Струмові навантаження на неізольовані шини прямокутного перерізу

Площа перерізу в мм ²	Струм в амперах		
	мідні	алюмінієві	стальні
250	870	670	365
500	1510	1170	535
800	2180	1690	750

Таблиця А.2

Струмові навантаження на силові трижильні кабелі в алюмінієвій оболонці з паперовою ізоляцією напругою 0.4-10 кВ

Площа перерізу в мм ²	Струм в амперах			
	Мідні жили		Алюмінієві жили	
	земляна прокладка	повітряна прокладка	земляна прокладка	повітряна прокладка
1	2	3	4	5
16	120	80	90	60
25	160	105	125	80
35	190	125	145	95
50	235	155	180	120
70	285	200	220	155
95	340	245	260	190
120	390	285	300	220
150	435	330	335	255
185	490	375	380	290
240	570	430	440	330

Таблиця А.3

**Струмові навантаження на силові проводи в гумовій та
пластмасовій ізоляції напругою 0.4 кВ**

Площа перерізу у мм ²	Струм в амперах				
	Три одножильні проводи				Переносні гнучкі трижильні кабелі в гумовій оболонці
	прокладка у повітрі		Прокладка у трубі		
	мідні	алюмінієві	мідні	алюмінієві	
2.5	30	24	25	19	28
1	2	3	4	5	6
4	41	32	35	28	36
6	50	39	46	32	45
10	80	60	60	47	60
16	100	75	80	60	80
25	140	105	100	80	105
35	170	130	125	95	130
50	215	165	170	130	160
70	270	210	210	165	200
95	330	255	255	200	-
120	385	295	290	220	.
150	440	340	330	255	-
185	510	390	-	-	-
240	605	405	-	-	-

Таблиця 1.4

Марки силових кабелів і проводів

Марка кабелю або проводу	Характеристика	Напруга викорис тання, кВ	Площа перерізу жили, мм ²
1	2	3	4
ААШВ	Силові кабелі з паперовою ізоляцією жил Алюмінієві жили в алюмінієвій оболонці й захисним покриттям у формі шлангу з полівінілхлориду	6-35	6-240
ААШп	Те саме шланг з поліетилену		
АВАШВ	Силові кабелі з пластмасовою ізоляцією жил	6-35	6-240

	Алюмінієві жили в алюмінієвій обмотці із захисним покриттям з полівінілхлоридного шланга		
--	--	--	--

Продовж. табл. А.4

1	2	3	4
	Силові кабелі з гумовою ізоляцією жил		
АВРГ	Алюмінієві жили в полівінілхлориді оболонці без захисного покриття	0,66	4-300
	Силові проводи з гумовою ізоляцією		
АПРІ	3 алюмінієвою жилою в гумовій ізоляції, переплетений бавовняною прядивом	0.66	2.5 - 120
АПВ	3 алюмінієвою жилою з пластмасовою ізоляцією	0,66	2.5 - 120

Таблиця А.5

Фізичні характеристики матеріалів

Назва матеріалу	Питома вага, г/см	Електричний опір, ом*мм ² /м	Теплоємність, кДж/кг°С	Температура плавлення, 1°С
Алюміній	2,7	0,029	0,91	660
Сталь	7,9	ОД4	0,5	1500
Олово	7,3	0,12	0,23	232
Свинець	11,4	0,21	0,13	327
Бронза	8,5	0,18	0,36	1000
Латунь	8,6	0,065	0,38	900
Мідь	8,9	0,0175	0,35	1083
Чавун	7,8	0,5	0,54	1200
Графіт	2,3	8	0,7	3500
Вода	1,0	-	4,2	-

Таблиця А.6

Характеристика матеріалів для нагрівачів електропечей опору

Матеріал	Питома Вага, г/см	Питомий Опір, ом*мм /м	Температура плавлення 1°С	Максимальна робоча температура 1°С
Ніхром Х20Н80	8,4	1,1	1400	1150
Фехраль Х13Ю4	7,2	1,26	1450	900
Сплав ЄИ-626	7,2	1,42	1525	1300
Карборунд	2,3	1500		1500

Таблиця А.7

Технічні дані пічних трансформаторів для дугових електропечей

Тип трансформатора	ЕТМ- 400/10	ЕТМК- 1200/10	ЕТМК -1800/10
Потужні сть.кВа	400	1000	1500
Напруга U_1/ U_2 кВ	6,3/0,11	10/0,11	18
Напруга короткого замикання, U_k %	34	18	18

Таблиця А.8.

Електрохімічні еквіваленти речовин при їх електролізі

Речовини	Електрохімічний еквівалент г $г/А*год$
Срібло	4,025
Алюміній	0,335
Мідь	1,19
Хром	0,65
Нікель	ІД

Додаток Б

Таблиця Б.1

Остання цифра шифру	Передостання цифра шифру									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	11	21	31	41	51	61	71	81	91
1	2	12	22	32	42	52	62	72	82	92
2	3	13	23	33	43	53	63	73	83	93
3	4	14	24	34	44	54	64	74	84	94
4	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95
5	6	16	26	36	46	56	66	76	86	96
6	7	17	27	37	47	57	67	77	87	97
7	8	18	28	38	48	58	68	78	88	98
8	9	19	29	39	49	59	69	79	89	99
9	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Таблиця Б.2

Номер варіанта	Номер варіанта контрольного завдання				
	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1; 51	1	25	49	73	
2; 52	2	26	50	74	
3; 53	3	27	51	75	
4; 54	4	28	52	76	
5; 55	5	29	53	77	
6; 56	6	30	54	78	
7; 57	7	31	55	79	
8; 58	8	32	56	80	
9; 59	9	33	57	81	
10; 60	10	34	58	82	
11; 61	11	35	59	72	
12; 62	12	36	60	74	
13; 63	13	37	61	76	
14; 64	14	38	62	78	
15; 65	15	39	63	80	
16; 66	16	40	64	82	

17; 67	17	41	65	73	
18; 68	18	42	66	75	
19; 69	19	43	67	77	

Продовж. табл.Б.2

1	2	3	4	5	6
20; 70	20	44	68	79	
21; 71	21	45	69	81	
22; 72	22	46	70	80	
23; 73	23	47	71	78	
24; 74	24	48	72	76	
25; 75	2	25	50	74	
26; 76	4	27	52	81	
27; 77	6	29	54	79	
28; 78	8	31	56	77	
29; 79	10	33	58	75	
30; 80	12	35	60	73	
31; 81	14	37	62	82	
32; 82	16	39	64	81	
33; 83	18	41	66	80	
34; 84	20	43	68	79	
35; 85	22	45	70	78	
36; 86	24	47	72	77	
37; 87	1	26	49	76	
38; 88	3	28	51	75	
39; 89	5	30	53	74	
40; 90	7	32	55	73	
41; 91	9	34	57	74	
42; 92	11	36	59	76	
43; 93	13	38	61	78	
44; 94	15	40	63	80	
45; 95	17	42	65	82	
46; 96	19	44	67	81	
47; 97	21	46	69	79	
48; 98	23	48	71	77	
49; 99	22	47	50	75	
50; 100	20	46	52	73	

Вступ

Предметом вивчення дисципліни «Електротехніки та електроніки» є електромагнітні явища і їх використання для генерування, передачі і розподілу електроенергії, вирішення проблем електромеханіки, електротехнології, електроенергетики і т.п.

Мета і завдання кредитного модуля

Метою даного кредитного модуля є вивчення основних законів теорії електричних кіл постійного та синусоїдного струму, ознайомлення з математичними методами їх аналізу та моделювання.

Вивчення кредитного модуля дає такі знання:

- 1) методів аналізу ustalених процесів в лінійних електричних колах постійного та однофазного синусоїдного струму;
- 2) енергетичних процесів в електричних колах.

Вміння:

- 1) формування математичної моделі кола;
- 2) розрахувати ustalений режим в лінійному електричному колі, в якому діють джерела постійної або синусоїдної ЕРС;
- 3) скласти рівняння енергетичного балансу електричного кола.

Навички:

- 1) практичного застосування методів моделювання і розрахунку процесів у технічних пристроях, принцип дії яких оснований на використанні електромагнітних явищ;
- 2) проведення електричних досліджень і узагальнення їх результатів;
- 3) використання електровимірювальної апаратури;
- 4) самостійної роботи з навчальною та методично-навчальною літературою

ЗБІРНИК

лабораторних робіт

з предмету

ЕЛЕКТРОТЕХНІКА та ЕЛЕКТРОНІКА

Для оволодіння основами автоматики та обчислювальної техніки потрібний загальнотехнічний рівень підготовки учнів, який включає вивчення предмета «Електротехніка з основами промислової електроніки».

Лабораторні роботи відіграють важливу роль при вивченні предмета «Електротехніка з основами промислової електроніки». Вони дають учням наочне уявлення про фізичні процеси, що відбуваються в електричних колах, про роботу тих або інших електричних апаратів, напівпровідникових приладів та інтегральних мікросхем у пристроях промислової електроніки, про їх властивості та характеристики.

Під час лабораторних занять учні дістають корисний для майбутньої роботи досвід дослідження, особливо там, де треба виконувати різні вимірювання, ремонт і налагодження електрорадіотехнічного обладнання.

Цей збірник лабораторних робіт написано відповідно до програми предмета «Електротехніка з основами промислової електроніки» для електромонтерів з ремонту та обслуговування електроустаткування, але шляхом виключення тих або інших розділів, цього збірника, може бути використаний для навчання учнів різних професій.

У даному збірнику описано склад лабораторного устаткування та методику виконання 12 лабораторних робіт, які охоплюють основні розділи загальної електротехніки та промислової електроніки. Опис кожної лабораторної роботи складається з визначення її мети, викладу порядку виконання роботи, контрольних питань і завдання. В кожній лабораторній роботі наводяться короткі теоретичні відомості з досліджуваної теми.

Лабораторна робота № 1

Тема: Вивчення залежності опору реальних провідників від їхніх геометричних параметрів і питомих опорів матеріалів.

Мета: визначити питомий опір провідника й зрівняти його з табличним значенням.

1. Короткий теоретичний опис

Німецький фізик Георг Ом (1787-1854) в 1826 році виявив, що відношення напруги U між кінцями металевого провідника, що є ділянкою електричного ланцюга, до сили струму I в ланцюзі є величина постійна:

$$R = \frac{U}{I} = \text{const} \quad (1)$$

Цю величину R називають електричним опором провідника. Електричний опір вимірюється в Омах. Електричним опором 1 Ом володіє така ділянка ланцюга, на якому при силі струму 1 А напруга дорівнює 1 В:



Досвід показує, що електричний опір провідника прямо пропорційно його довжині L і обернено пропорційно площі S перерізу провідника:



Постійний для даної речовини параметр ρ називається питомим електричним опором речовини. Питомий опір вимірюється в Ом·м, або $\frac{\hat{u} \cdot \hat{u}^2}{\hat{i}}$

2. Порядок виконання роботи



Рис. 1.

2.1. Зберіть на монтажному столі електричну схему, показану на малюнку Рис.1.

2.2. Виберіть матеріал провідника – мідь ($0,0175 \frac{\hat{u} \cdot \hat{u}^2}{i}$), визначте значення довжини й площі поперечного перерізу: $L = 100$ м; $S = 0.1$ мм²;

2.3. Визначте експериментально за допомогою мультиметра напругу на провіднику.

Для цього необхідно підключити паралельно провіднику мультиметр у режимі виміру постійної напруги, дотримуючи полярності.

Запишіть показання мультиметра.

2.4. Визначте експериментально за допомогою мультиметра силу струму в ланцюзі.

Включите мультиметр у режимі виміру постійного струму послідовно в ланцюг, дотримуючи полярності.

Запишіть показання мультиметра.

2.5. Розрахуйте опір провідника по формулі (1).

2.6. Визначте питомий опір міді по формулі (2).

2.7. Проробіть пункти 2.3 - 2.6. змінюючи довжину, але, не міняючи площу поперечного переріза й матеріал провідника.

2.8. Результати вимірів занесіть у таблицю:

№ іспиту	Довжина, м	Напруга, В	Сила струму, А	Опір, Ом	Питомий опір, $\frac{\hat{u} \cdot \hat{u}^2}{i}$
1	100				
2	50				
3	10				

2.9. Знайдіть середнє значення питомого опору й зрівняєте його з табличним значенням.

2.10. Виміряйте опір провідника безпосередньо за допомогою омметра. Зрівняєте отримані результати. Сформулюйте висновки по проробленій роботі.

3. Контрольні питання.

3.1. Що називають питомим опір провідника?

3.2. Як залежить опір провідника від його довжини?

3.3. По якій формулі можна розрахувати питомий опір провідника?

3.4. У яких одиницях виміряється питомий опір провідника?

Лабораторна робота № 2

Тема: Дослідження опорів провідників при паралельній і послідовній сполуці.

Мета: вивчити закони протікання струму через послідовно й паралельно з'єднані провідники й визначити формули розрахунку опорів таких ділянок.

1. Короткий теоретичний опис.

Провідники в схемах можуть з'єднуватися послідовно (Рис 1.) і паралельно (Рис.2.).



Розглянемо схему послідовної сполуки провідників, зображену на Рис. 1.

Напруга на кінцях всього ланцюга складається з напруг на кожному провіднику:

$$U = U_1 + U_2 + U_3, (1)$$

За законом Ома для ділянки ланцюга:

$U_1 = R_1I; U_2 = R_2I; U_3 = R_3I; U = RI, (2)$, де R - повний опір ланцюга, I - загальний струм, що проходить у ланцюзі.

З виражень (1) і (2), одержуємо: $RI = R_1I + R_2I + R_3I,$

звідки повний опір ланцюга послідовно з'єднаних провідників: $R = R_1 + R_2 + R_3,$ (3)

При послідовній сполуці провідників їхній загальний опір дорівнює сумі електричних опорів кожного провідника.

Розглянемо тепер схему паралельної сполуки провідників, зображену на Рис. 2.

Через ланцюг тече повний струм $I : I = I_1 + I_2 + I_3. (4)$

За законом Ома для ділянок ланцюга: $U = R_1I_1; U = R_2I_2; U = R_3I_3; U = RI, (5)$

З виражень (4) і (5), одержуємо: $I = U/R = U/R_1 + U/R_2 + U/R_3$

звідки:



При паралельній сполуці провідників величина, зворотна опору ланцюга, дорівнює сумі зворотних величин опорів всіх паралельно з'єднаних провідників.

2. Порядок виконання роботи.

2.1. Зберіть на монтажному столі електричну схему, показану на малюнку:



Виберіть номінали опорів наступними: $R_1 = 1 \text{ кОм}$; $R_2 = 2 \text{ кОм}$; $R_3 = 3 \text{ кОм}$; $R_4 = 4 \text{ кОм}$;

2.2. Визначите експериментально за допомогою мультиметра (у режимі виміру опорів) опір між крапками: А й С; С и D; В і D; А і D. Запишіть ці показання.

2.3. Розрахуйте теоретичні значення опорів між зазначеними крапками схеми й зрівняйте їх з обмірjованими. Які висновки можна зробити із цього досвіду?

2.4. Виміряйте за допомогою мультиметра (у режимі виміру струму) струми, що течуть через кожний опір. Запишіть показання приладу.

2.4. Перевірте експериментально, що в послідовному ланцюзі струм однаковий через всі опори, а в паралельному ланцюзі розділяється так, що сума всіх струмів через паралельно з'єднані елементи, дорівнює повному струму через всю ділянку.

2.5. Виміряйте за допомогою мультиметра (у режимі виміру постійної напруги) напруги на кожному опорі. Запишіть показання приладу.

2.6. Перевірте експериментально, що в послідовному ланцюзі напруга на всій ділянці дорівнює сумі напруг на кожному елементі, а в паралельному ланцюзі, напруга те саме на кожному елементі.

	Практичні виміри	Розраховані данні	Опори кОм	Струми А	Напруги В
RA C			R1	I1	U1
RC D			R2	I2	U2
RB D			R3	I3	U3
RA D			R4	I4	U4

3. Контрольні питання.

3.1. Чи може опір ділянки двох паралельно з'єднаних провідників бути більше (менше) кожного з них? Поясніть відповідь.

3.2. Які закони збереження використовуються для висновку формул опору паралельної й послідовної сполуки провідників?

Лабораторна робота № 3

Тема: ЕРС і внутрішній опір джерел постійного струму. Закон Ома для повного ланцюга.

Мета: визначити внутрішній опір джерела струму і його ЕРС.

1. Короткий теоретичний опис

Електричний струм у провідниках викликають так звані джерела постійного струму. Сили, що викликають переміщення електричних зарядів усередині джерела постійного струму проти напрямку дії сил електростатичного поля, називаються *сторонніми силами*. Відношення роботи $A_{стор.}$, чиненої сторонніми силами по переміщенню заряду Q уздовж ланцюга, до значення цього заряду називається *електрорушійною силою* \mathcal{E} джерела (ЕРС):


$$\mathcal{E} = \frac{A_{стор.}}{Q} \quad (1)$$

Електрорушійна сила виражається в тих самих одиницях, що й напруга або різниця потенціалів, тобто у Вольтах.

Робота - ця міра перетворення енергії з одного виду в іншій. Отже, у джерелі стороння енергія перетвориться в енергію електричного поля $W = \mathcal{E} \cdot Q$ (2)

При русі заряду Q на зовнішній ділянці ланцюга перетвориться енергія стаціонарного поля, створеного й підтримуваного джерелом: $W_1 = U \cdot Q$, (3)

а на внутрішній ділянці: $W_2 = U_{вн.} \cdot Q$ (4)

За законом збереження енергії $W = W_1 + W_2$ або $\mathcal{E} \cdot Q = U \cdot Q + U_{вн.} \cdot Q$ (5)

Скоротивши на Q , одержимо: $\mathcal{E} = U_{вн.} + U$ (6)

тобто електрорушійна сила джерела дорівнює сумі напруг на зовнішній і внутрішній ділянці ланцюга.

При розімкненому ланцюзі $U_{вн.} = 0$, тобто $\mathcal{E} = U$ (7)

Підставивши в рівняння (6) вираження для U і $U_{\text{вн.}}$ за законом Ома для ділянки ланцюга

$$U = I \cdot R; U_{\text{вн.}} = I \cdot r, \text{ одержимо: } \square = I \cdot R + I \cdot r = I \cdot (R + r) \quad (8)$$

Звідси:



$$\square = I \cdot (R + r) \quad (9)$$

Таким чином, сила струму в ланцюзі дорівнює відношенню електрорушійної сили джерела до суми опорів зовнішньої й внутрішньої ділянок ланцюга. Це закон Ома для повного ланцюга. У формулу (9) входить внутрішній опір r .



Рис.1

Нехай відомі значення сил струмів I_1 і I_2 і падіння напруг на реостаті U_1 і U_2 (див. мал. 1.). Для ЕРС можна записати: $\square = I_1 \cdot (R_1 + r)$ и $\square = I_2 \cdot (R_2 + r)$ (10)

Дорівнюючи праві частини цих двох рівностей, одержимо $I_1 \cdot (R_1 + r) = I_2 \cdot (R_2 + r)$

$$\text{або } I_1 \cdot R_1 + I_1 \cdot r = I_2 \cdot R_2 + I_2 \cdot r, \text{ чи } I_1 \cdot r - I_2 \cdot r = I_2 \cdot R_2 - I_1 \cdot R_1$$

так як $I_1 R_1 = U_1$ і $I_2 R_2 = U_2$, то можна останнє рівняння записати так $r \cdot (I_1 - I_2) = U_2 - U_1$,

звідки



$$\square = I \cdot (R + r) \quad (11)$$

2. Порядок виконання роботи

2.1. Зберіть ланцюг за схемою, зображеної на малюнку 1. Установіть опір реостата 7 Ом, ЕРС батареї 1,5 В, внутрішній опір батареї 3 Ом.

2.2. За допомогою мультиметра визначте напругу на батареї при розімкнутому ключі. Це й буде ЕРС батареї відповідно до формули (7).

2.3. Замкніть ключ і виміряйте силу струму й напруга на реостаті. Запишіть показання приладів. Змініть опір реостата й запишіть інші значення сили

струму й напруги. Повторіть вимір сили струму й напруги для 3 різних положень повзунка реостата й запишіть отримані значення в таблицю. Розрахуйте внутрішній опір по формулі (11).

2.4. Визначте внутрішній опір батареї.

№ іспиту	ЕРС, В	R, Ом	I, А	U, В	r, Ом
1.					
2.					
3.					
4.					

3. Контрольні питання

3.1. Сформулюйте закон Ома для повного ланцюга.

3.2. Чому дорівнює ЕРС джерела при розімкненому ланцюзі?

3.3. Як виміряти ЕРС джерела ?

Лабораторна робота № 4

Тема: Дослідження складних ланцюгів постійного електричного струму.

Мета: вивчити прийоми розрахунку складних електричних ланцюгів постійного струму.

1. Короткий теоретичний опис.

Складні ланцюги не завжди вдається представити у вигляді блоків послідовно й паралельно з'єднаних опорів. Як же знаходити опір таких ланцюгів? Іноді це завдання можна істотно спростити, якщо схема має симетрію.



Рис.1.

Розглянемо як приклад такого ланцюга ділянка металевої сітки з однаковими опорами r . Який опір між крапками А і В? Представити цей ланцюг у вигляді блоків послідовно й паралельно з'єднаних опорів не вдається. Як же бути?



Рис.2.

Нехай до крапок А і В підключене джерело струму. Подивимося на струми, які будуть текти через елементи металевої сітки.



Рис.3.

Із симетрії ясно, що струми через елементи СО та ДО повинні бути однакові й дорівнюють струмам, що течуть через елементи OF та OE. А раз так, то в крапці О ланцюг можна розірвати, при цьому струми через елементи сітки не зміняться:

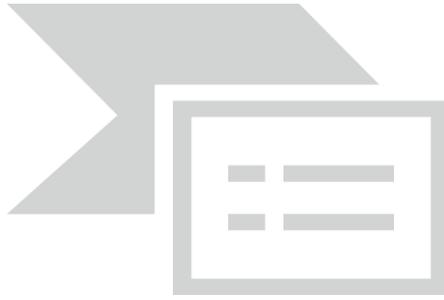


Рис.4.

Останню схему вже можна представити у вигляді блоків послідовно й паралельно з'єднаних опорів і визначити повний опір R_{AB} ланцюга:



2. Порядок виконання роботи.

2.1. Зберіть на монтажному столі схему, показану на мал. 3. Передбачте вимикач, що з'єднує крапки О та О'. Виберіть значення опорів однаковими й рівними 1 кОм.

2.2. Виміряйте за допомогою омметра опір між крапками А і В при замкнутому й розімкнутому положенні вимикача. Поясніть результати вимірів.

2.3. Підключіть батарейку з ЕРС 1.5 вольтів й послідовно з нею амперметр між крапками А і В зібраної Вами схеми. Виміряйте силу струму при розімкнутому й замкнутому ключі. Виміряйте напругу між крапками О та О' при розімкнутому ключі й підключеній батарейці до крапок А і В. Крапки схеми, напруга між якими дорівнює нулю, можна з'єднувати й таку сполуку не змінить струмів, що течуть по елементах схеми. Іноді така сполука може істотно спростити схему.

	R_{AB} , кОм	R_{AB} , кОм
	Данні іспиту	Данні розрахунку
При замкненому ключі		
При розімкнутому ключі		

3. Контрольні питання.

- 3.1. Між якими крапками схеми, зображеної на мал.3, напруга дорівнює нулю?
- 3.2. Досліджуйте аналогічним способом опір між протилежними вершинами дротового куба? Чому дорівнює опір між цими крапками?

Лабораторна робота № 5

Тема: Потужність у ланцюзі постійного струму.

Мета: вивчити закони виділення потужності в ланцюгах постійного струму й узгодження джерел струму з навантаженням.

1. Короткий теоретичний опис.

Будь-яке реальне джерело струму має внутрішній опір. Тому при підключенні джерела струму до навантаження, тепло буде виділятися як у навантаженні, так і усередині джерела струму (на його внутрішньому опорі). На якому навантаженні, підключеному до цього джерела струму, буде виділятися максимальна потужність? Розглянемо схему, зображену на малюнку 1.



Рис.1.

Сила струму, що тече в контурі, визначається із закону Ома для повного ланцюга:

$$I = \frac{E}{r + R}, \quad (1)$$

де E - ЕРС джерела струму, r – внутрішній опір джерела, R – опір навантаження.

Напруга U на навантаженні R буде дорівнює:

$$U = IR, \quad (2)$$

а потужність P , виділювана на опорі R , буде дорівнює:



Як бачимо з формули (3), виділена на навантаженні R потужність буде мала, якщо опір R навантаження буде мало ($R \ll r$). Потужність також буде мала при дуже великому опорі навантаженні ($R \gg r$). Розрахунок показує, що максимальна потужність буде виділятися на навантаженні при рівності внутрішнього опору r і опору навантаження $R = r$. У цьому випадку:



2. Порядок виконання роботи.



Рис.2.

2.1. Зберіть на монтажному столі схему, показану на мал.2.

Виберіть значення параметрів елементів наступними:

Батарейка: $\mathcal{E} = 1.5 \text{ В}$; $r = 10 \text{ Ом}$; Реостат: $R = 20 \text{ Ом}$

2.2. Змінюючи положення движка реостата, вимірюйте силу струму в ланцюзі й напругу на реостаті (навантаженні).

2.3. Занесіть отримані дані (опір реостата R , силу струму I і напругу U) у таблицю.

2.4. Розрахуйте потужність P , виділювану на навантаженні для різних значень опору реостата, по формулі $P = UI$.

2.5. Побудуйте графік залежності потужності від опору навантаження.

2.6. Визначите із графіка значення опору навантаження, на якій виділяється максимальна потужність.

2.7. Зрівняйте отриманні Вами значення з теоретичним (4).

Зробіть висновки.

№ іспиту	E, В	r, Ом	R, Ом	I, А	U, В	P, Вт
1.						
2.						
3.						
4.						

3. Контрольні питання.

3.1. Чому при збільшенні опору навантаження напруга на ній росте?

3.2. Поясніть, чому виділювана на навантаженні потужність мала, якщо опір навантаження сильно відрізняється від внутрішнього опору джерела? Зверніть увагу на формули для сили струму (1) і напруги (2) на навантаженні.

Лабораторна робота № 6

Тема: Принципи роботи плавких запобіжників в електричних ланцюгах.

Мета: розрахувати запобіжники для захисту електричної мережі з напругою 220 В, що живить освітлювальні й електронагрівальні прилади.

1. Короткий теоретичний опис.

Електричні ланцюги завжди розраховані на певну силу струму. Якщо по тій або іншій причині сила струму в ланцюзі стає більше припустимої, то проведення можуть значно нагрітися, а покриваюча їхня ізоляція - запалитися.

Причиною значного збільшення сили струму в мережі може бути або одночасне включення потужних споживачів струму, наприклад електричних плиток, або *коротке замикання*. Коротким замиканням називають сполука кінців ділянки ланцюга провідником, опір якого дуже мало в порівнянні з опором ділянки ланцюга.

Опір ланцюга при короткому замиканні незначно, тому в ланцюзі виникає більша сила струму, проведення при цьому можуть сильно загостритися й стати причиною пожежі. Щоб уникнути цього, у мережу включають запобіжники.

Призначення запобіжників - відразу відключити лінію, якщо сила струму раптом виявиться більше припустимої норми. Розглянемо пристрій запобіжників, застосовуваних у квартирній проводці. Головна частина запобіжника - дріт з легкоплавкого металу (наприклад, зі свинцю), що проходить усередині порцелянової пробки. Пробка має гвинтову нарізку й центральний контакт. Нарізка з'єднана із центральним контактом свинцевого дроту. Пробку вгвинчують у патрон, що перебуває усередині порцелянової коробки. Свинцевий дріт уявляє, таким чином, частину загального ланцюга. Товщина свинцевих дротів розрахована так, що вони витримують певну силу струму. Якщо сила струму перевищить припустиме значення, то свинцевий дріт розплавиться й ланцюг виявиться розімкнутим. Запобіжники із провідником, що плавиться, називають *плавким запобіжником*.

Плавкі запобіжники повинні забезпечувати нормальну роботу електроприймачів при тривалому проходженні по них номінального струму й негайно відключати їх при перевантаженнях і коротких замиканнях. Тому запобіжники вибирають із урахуванням наступних обставин:

- 1) номінальний струм плавкої вставки повинен задовольняти вимогу
$$I_{вст.} = 1,25 \cdot I_{нагр}$$

де $I_{нагр}$ – струм нагрівки;

- 2) кожний запобіжник повинен спрацювати лише тоді, коли відбудеться коротке замикання на ділянці ланцюга, що він захищає, тобто запобіжники повинні працювати *вибірково*.

2. Порядок виконання роботи.

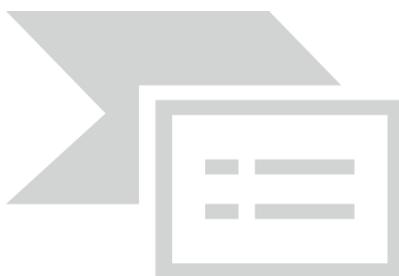


Рис.1.

1. Зберіть електричний ланцюг, зображений на малюнку рис. 1.
2. Виберіть напругу генератора мережі рівним 220 В, потужності електричних лампочок - 60 і 150 Вт, а робоча напруга - 240 В. Виберіть потужності електронагрівальних приладів - 600 і 1000 Вт, а робоча напруга - 240 В.

3. Визначите розрахунковий струм для кожного електроприймача по формулі



Результати занесіть у таблицю.

4. Розрахуйте номінальні значення струмів плавких запобіжників, що захищають окремо електроосвітлювальну мережу (Пр.3) і мережу, що живить електронагрівальні прилади (Пр.2), а також струм для загального запобіжника (Пр.1), що захищає всі електричні прилади.
5. Замкніть ключі К1 і К4, К5. Переконаєтеся, що лампи зайнялися, а запобіжники Пр.1 та Пр.3 не перегорять.
6. Замкніть ключі К1 і К2, К3. Переконаєтеся, що нагрівачі ввімкнулися, а запобіжники Пр.1 та Пр.2 не перегорять.
7. Замкніть всі ключі. Переконаєтеся, що всі електроприлади ввімкнулися, а всі запобіжники не перегорять.

	Р, Вт	Інагр, А	(Пр.3) Івст, А	(Пр.2) Івст, А	(Пр.1) Івст, А
Р, нагрів. прилад.1	1000				
Р, нагрів. прилад.2	600				
Р, лампи 1	150				
Р, лампи 2	60				
Р, загальна					

3. Контрольні питання.

- 3.1. Яка мета установки запобіжників в електричних ланцюгах?
- 3.2. Як розраховується номінальний струм плавкої вставки запобіжника?
- 3.3. Чому правилами техніки безпеки забороняється установка так званих "жучків" - випадково обраних провідників замість цілих запобіжників?

Лабораторна робота № 7

Тема: Дослідження електричного кола змінного струму з послідовним з'єднанням індуктивного та активного опорів.

Мета: дослідити електричне коло змінного струму, що складається з послідовно з'єднаних індуктивної котушки та активного опору, з'ясувавши співвідношення між струмами і напругами в цьому колі.

1. Короткий теоретичний опис

Фізичні процеси, що проходять у колах змінного струму, відрізняються від процесів, які відбуваються в колах постійного струму. Оскільки математичні методи для розрахунку кіл змінного струму застосувати складно, ці кола досліджують експериментально, використовуючи побудову різних графіків. Найбільш зручними з них є векторні діаграми. З їх допомогою відображають співвідношення між діючими значеннями напруг і струмів. Будуючи векторні діаграми у відповідному масштабі, можна виконувати електричні розрахунки.

Усі елементи в колах змінного струму поділяються на активні та реактивні. Активним елементом вважається той, при проходженні змінного електричного струму через який жодних індуктивних або ємнісних процесів у ньому не відбувається. При цьому векторна діаграма кола має вигляд, показаний на рис. 1, а. До реактивних елементів належать конденсатори та індуктивні котушки. Останні при вмиканні їх у коло змінного струму спричиняють зсув напруги відносно струму на кут 90° (рис. 1, б).

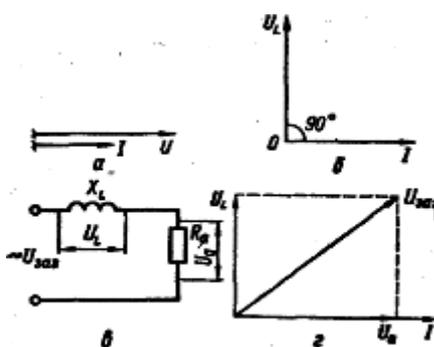


Рис. 1

Векторну діаграму кола, що складається з активного опору та індуктивної котушки (рис. 1, в), зображено на рис. 1, г. Загальна напруга на вході цього кола визначається виразом:

$$U_{\text{заг}} = \sqrt{U_a^2 + U_L^2}$$

Повний опір кола:

$$Z = U_{\text{заг}} / I_{\text{заг}} = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

де $R = U_a / I_{\text{заг}}$ — його активна, а $X_L = U_L / I_{\text{заг}}$ — індуктивна складові. Повну потужність кола можна розрахувати за формулою:

$$S = U_{\text{заг}} I_{\text{заг}} = \sqrt{P^2 + Q_L^2}$$

де $P = U_a \cdot I$ — активна, а Q_L — індуктивна потужності. Струм у колі визначається виразом:

$$I_{\text{заг}} = U_{\text{заг}} / Z$$

2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з лабораторною установкою.
2. Скласти електричну схему згідно з карткою-завданням для дослідження кола змінного струму з послідовно з'єднаними індуктивним і активним опорами.
3. Напругу $U_{\text{заг}}$ джерела живлення встановити в межах 50...80 В і в процесі виконання роботи підтримувати сталою.
4. В індуктивну котушку вставити сталєне осердя з мінімальним повітряним зазором.
5. Повзунок резистора R встановити в крайнє праве положення, що відповідає максимальному значенню опору.
6. Подати живлення на схему, ввімкнувши тумблер, установлений на планшеті.

7. Дослідити співвідношення між струмом і напругами в схемі для чотирьох-п'яти значень опору резистора, експериментальні дані занести в таб. 1.

Таблиця 1

№ дослід у	Експериментальні дані					Результати обчислень					
	U _{заг} , В	U ₁ , В	U ₂ , В	I _{заг} , А	P, Вт	R, Ом	X _L , Ом	Z, Ом	cos φ	Q, вар	S, В·А
1.											
2.											
3.											

8. Розрахувати значення R, X_L, Z, cos φ, Q, S і результати обчислень занести в табл.1.

9. Повзунок резистора R установити в крайнє праве положення, що відповідає максимальному значенню опору.

10. Поступово висовуючи осердя з індуктивної котушки, для трьох його положень зняти покази всіх вимірювальних приладів.

11. Дослідити співвідношення між струмом і напругами в схемі; експериментальні дані занести в таблицю, ідентичну за формою табл.1.

12. Розрахувати значення R, X_L, Z, cos φ, Q, S і результати обчислень занести в табл. 1.

13. За даними табл. 1 побудувати графіки залежностей струму I, потужностей P, Q, S і cos φ від активного опору R. Для одного з його значень побудувати векторну діаграму напруг і струму в колі.

14. За даними таблиці, в яку занесено експериментальні значення величин побудувати графіки залежностей струму I , потужностей P , Q , S і $\cos \varphi$ від реактивного опору X_L .

3. Контрольні питання.

3.1. Чому зі збільшенням частоти змінного струму індуктивний опір збільшується?

3.2. Які різниці фаз між струмом і напругою для котушки індуктивності?

3.3. У яких одиницях вимірюються індуктивний опір?

3.4. Як записується аналог закону Ома для максимальних (ефективних) значень струму й напруги для реактивних елементів - котушки індуктивності?

Лабораторна робота № 8

Тема: Явище резонансу в ланцюзі змінного струму.

Мета: вивчення сталих змушених коливань у ланцюгах змінного струму. Дослідження явища резонансу.

1. Короткий теоретичний опис.



Рис.1.

Розглянемо електричну схему на мал.1., у якій послідовно з'єднані конденсатор, резистор і котушка індуктивності підключені до генератора змінної напруги.

У цьому ланцюзі виникають змушені коливання сили струму й напруги на окремих її елементах. Амплітуда коливань сили струму в ланцюзі буде залежати від частоти \square прикладеної постійної напруги генератора, тому що

опору реактивних елементів - конденсатора й котушки індуктивності залежать від частоти.

При низькій частоті ω змінного струму ємнісний опір конденсатора  буде дуже більшим, тому сила струму в ланцюзі буде мала. У зворотному граничному випадку великої частоти ω змінного струму більшим буде індуктивний опір котушки , і сила струму в ланцюзі знову буде мала.

Повний опір Z ланцюга, зображеної на мал. 1., визначається формулою:



Ясно, що максимальна сила струму в ланцюзі буде відповідати такій частоті ω_0 прикладеної змінної напруги, при якій індуктивний і ємнісний опори будуть однакові:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad (1)$$

При рівності реактивних опорів котушки й конденсатора, амплітуди напруг на цих елементах також будуть однаковими $U_C = U_L$. Коливання напруги на котушці й конденсаторі протилежні по фазі, тому їхня сума при виконанні умови (1) буде дорівнює нулю. У результаті напруга U_R на активному опорі R буде дорівнює повній напрузі генератора U , а сила струму в ланцюзі досягає максимального значення . Циклічна частота ω

коливань сили струму й Е.Р.С. при цьому дорівнює  (2)

і збігається із циклічною частотою вільних незатухаючих електромагнітних коливань в електричному контурі.

Явище різкого зростання амплітуди змушених коливань сили струму в коливальному контурі при наближенні циклічної частоти ω зовнішньої змінної Е. Р. С. до частоти ω_0 вільних незатухаючих коливань у контурі називається *резонансом в електричному ланцюзі змінного струму*. Частота $\omega = \omega_0$ називається *резонансною циклічною частотою*.

2. Порядок виконання роботи.

2.1. Зберіть на монтажному столі схему, показану на мал. 1., попередньо вибравши значення параметрів елементів наступними:

Генератор: $U_{\text{эф}} = 100 \text{ В}$; $\omega = 100 \text{ Гц}$; Резистор: $R = 200 \text{ Ом}$; $P = 500 \text{ Вт}$;

Конденсатор: $C = 10 \text{ мкф}$; $U_{\text{раб}} = 400 \text{ В}$; Котушка: $L = 1 \text{ Гн}$.

2.2. Змінюючи частоту генератора від 80 Гц до 100 Гц через 10 Гц, за допомогою вольтметрів виміряйте напруги на котушці, конденсаторі, резисторі й занесіть обмірювані значення в таблицю.

2.3. Розрахуйте по формулі (2) частоту резонансу й зрівняйте отримане значення з експериментальним.

№	ω , Гц	U_L , В	U_C , В	U_R , В	X_L , Ом	X_C , Ом	Z , Ом	ω_0 , Гц
1.								
2.								
3.								

3. Контрольні питання.

3.1. Як залежать реактивні опори конденсатора й котушки індуктивності від частоти змінного струму?

3.2. Чому сила струму в послідовному ланцюзі з конденсатором, котушкою й резистором має максимум при певній частоті й прагне до нуля при дуже малій і дуже великій частоті.

3.3. При якій умові настає резонанс у послідовному ланцюзі змінного струму?

Лабораторна робота № 9

Тема: Вимірювання опору ізоляції обмоток електродвигуна.

Мета: Навчитися вимірювати опір ізоляції обмоток електродвигуна.

1. Короткий теоретичний опис

Ізоляційні матеріали, що застосовуються для ізоляції обмоток електричних машин, не є ідеальними діелектриками. Залежно від своїх фізико-хімічних властивостей вони більшою або меншою мірою проводять по своїй поверхні або крізь внутрішні шари невеликий електричний струм.

Електричний опір ізоляції — один з найважливіших показників надійності роботи не тільки електродвигунів, а й інших електричних апаратів. Про опір ізоляції судять за значенням постійного струму, який проходить через неї (при вимірюванні на змінному струмі між обмоткою та корпусом електродвигуна виникає ємність великих значень, що призводить до спотворення показів приладів).

Таблиця 1.

Об'єкт випробування	Напруга на приладі, кВ	Опір ізоляції, МОм
Обмотка:		
статора	1	0,5
ротора	0,5	0,2

Норми значень опору ізоляції регламентовано Правилами влаштування електроустановок. Деякі значення цього опору наведено в табл. 1.

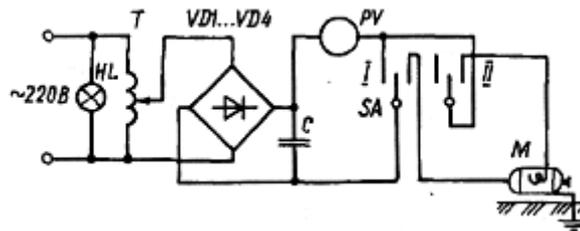
Під час вимірювання опору ізоляції кола, що не підлягають вимірюванням, мають бути з'єднані з корпусом машини. Після вимірювання опору ізоляції кола її потрібно розрядити на заземлений корпус електродвигуна.

Вимірювати опори ізоляції можна методом амперметра та вольтметра або мегаомметром.

2. Порядок виконання роботи

2.1. Ознайомитися з лабораторною установкою.

2.2. Скласти електричну схему для дослідження опору ізоляції обмоток електродвигуна згідно схеми на рис.1.



Дано: двигун типу АОЛ011;

DV1...DV4 типу Д242А; C = 2 мкФ. Визначити: PV.

Рис. 1

2.3. Установити ручку автотрансформатора в нульове положення.

2.4. Подати живлення на схему (при цьому засвітиться лампа HL).

2.5. Установити перемикач SA в положення I.

2.6. Ручкою автотрансформатора встановити необхідну напругу U1 (як правило, це номінальна напруга електродвигуна) і записати її значення.

2.7. Установити перемикач SA в положення II.

2.8. Записати усталене значення напруги U2 на вольтметрі PV.

2.9. Обчислити опір ізоляції Rіз, МОм, за формулою

$$R_{из} = R_n \frac{U_1 - U_2}{U_2} = R_n \left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right) \cdot 10^{-6},$$

де R_v — опір вольтметра (береться з його паспортних даних і, як правило, становить 30...50 кОм).

2.10. Зробити висновки про придатність ізоляції обмоток електродвигуна.

2.11. Данні записати у таблицю 2.

Таблиця 2

$U_1, В$	$U_2, В$	$R_v,$ кОм	$R_{із},$ МОм

3. Контрольні питання

3.1 Які існують типові схеми захисного вимикання?

3.2 На яких фізичних явищах ґрунтується робота захисних пристроїв?

3.3 Який принцип дії одно- та трифазного захисних пристроїв?

3.4 Як працюватиме схема захисного пристрою у разі згоряння запобіжника у фазі А?

Лабораторна робота № 10

Тема: Вимірювання опору обмоток статора електродвигуна.

Мета: Навчитися вимірювати опір обмоток статора електродвигуна методом амперметра та вольтметра.

1. Короткий теоретичний опис

При вимірюванні опору обмоток електродвигунів постійному струму важливі не тільки абсолютне значення опору і його відповідність розрахунковому, а й симетричність окремих фаз. Однакові, але істотно відмітні від розрахункового значення опору кожної фази можуть бути зумовлені помилкою в кількості витків котушки, застосуванням проводу з перерізом, що відрізняється від розрахункового, або відмінністю середньої довжини витка від розрахункової.

Різні значення опорів окремих фаз можуть бути наслідком помилок у схемі з'єднання котушок і котушкових груп, виткових замикань, поганої якості паянь.

Відповідно до Правил улаштування електроустановок опір постійному струму електродвигунів змінного струму вимірюється стосовно обмоток статорів електродвигунів напругою 3 кВ і вище тд потужністю 300 кВт і більше. Опір обмоток ротора вимірюється стосовно синхронних електродвигунів і двигунів з фазним ротором.

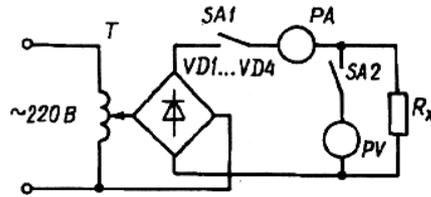
Опір постійному струму реостатів і пускорегулювальних резисторів вимірюється стосовно двигунів напругою 3 кВ і вище на всіх відгалуженнях. Стосовно решти двигунів вимірюється опір реостатів та пускових резисторів і перевіряється мегаомметром цілісність відпаювань. На підставі вимог Правил технічної експлуатації ці роботи здійснюються тільки під час капітального ремонту. При цьому виміряні значення опорів обмоток різних фаз не повинні відрізнятися одне від одного, а також від раніше вимірянних значень або заводських даних більш як на $\pm 2\%$, значення опорів реостатів і пускорегулювальних резисторів — на $\pm 10\%$.

Опори вимірюють прямим та непрямим методами. При прямому методі вимірювання застосовують мегаомметри, омметри, авометри, різні мости, в яких реалізуються методи порівняння вимірюваного опору з опором зразкових резисторів тощо.

Із непрямих методів випарювання опору постійному струму найпоширенішим є метод амперметра та вольтметра.

2. Порядок виконання роботи

2.1. Скласти електричну схему для вимірювання опорів постійному струму методом амперметра та вольтметра згідно з схеми.



Дано: VD1...VD4 типу Д242Б.
Визначити: PA; PV.

2.2. Ввімкнути схему в мережу.

2.3. Ввімкнути вимикач SA1.

2.4. За допомогою автотрансформатора Т установити струм у колі за амперметром PA в межах 20 % номінального струму двигуна. Час умикання схеми не повинен перевищувати 1 хв.

2.5. При усталеному значенні струму ввімкнути вимикач SA2.

2.6. Занести покази приладів у табл. 1.

Таблиця 1

Номер дослід-ду	Експериментальні дані		Розрахункові дані			
	PA, А	PV, В	R _x , Ом	R _{x1} Ом	R _{x2} , Ом	R _{x3} , Ом

2.7. Виконати розрахунки, користуючись такими співвідношеннями:

а) при вимірюванні опору обмотки однофазного двигуна

$$R_x = U \sqrt{I^2 - U^2 / R_v}$$

де R_x — шуканий опір обмотки, Ом; U — напруга джерела струму, В; I — сумарний струм кола, А; R_v — внутрішній опір вольтметра, Ом;

б) при вимірюванні опорів обмоток трифазного двигуна, якщо опори R₁₋₂, R₂₋₃, R₃₋₁ між кожною парою вивідних кінців однакові, опори кожної фази (R_{x1}, R_{x2}, R_{x3}) у разі з'єднання зіркою (рис. 49, а) становлять

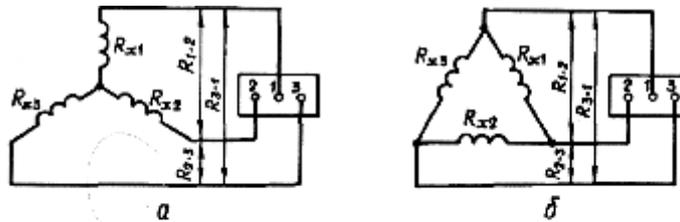


Рис. 49

$$R_{x1} = R_{x2} = R_{x3} = 0,5R_{1-2} = 0,5R_{2-3} = 0,5R_{3-1} ,$$

а при з'єднанні трикутником (рис. 49, б)

$$R_{x1} = R_{x2} = R_{x3} = 1,5R_{1-2} = 1,5R_{2-3} = 1,5R_{3-1} .$$

Якщо вимірні опори на виводах різняться між собою, то при з'єднанні фаз зіркою

$$R_{x1} = 0,5 (R_{1-2} + R_{1-3} - R_{2-3}) ;$$

$$R_{x2} = 0,5 (R_{1-2} + R_{2-3} - R_{3-1}) ;$$

$$R_{x3} = 0,5 (R_{3-1} + R_{2-3} - R_{1-2}) ,$$

а в разі з'єднання трикутником

$$R_{x1} = \frac{2R_{2-3} R_{3-1}}{R_{2-3} + R_{3-1} - R_{1-2}} - 0,5 (R_{2-3} + R_{3-1} - R_{1-2}) ;$$

$$R_{x2} = \frac{2R_{3-1} R_{1-2}}{R_{3-1} + R_{1-2} - R_{2-3}} - 0,5 (R_{3-1} + R_{1-2} - R_{2-3}) ;$$

$$R_{x3} = \frac{2R_{3-1} R_{2-3}}{R_{1-2} + R_{2-3} - R_{3-1}} - 0,5 (R_{1-2} + R_{2-3} - R_{3-1}) .$$

2.8. Зробити висновки про придатність обмоток.

3. Контрольні запитання

3.1 Що спричиняє відхилення опору обмотки електродвигуна від його паспортних даних або від норм випробувань?

3.2 Які значення мають опори обмоток двигунів змінного струму?

Лабораторна робота № 11

Тема: Складання схеми нереверсивного керування трифазним асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором.

Мета: Ознайомитися з типовою схемою нереверсивного керування трифазним асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором; навчитися складати схему, здійснювати пуск, призупинення двигуна вручну й автоматично за допомогою автоматичного вимикача або магнітного пускача.

1. Короткий теоретичний опис

Електрична схема (рис. 1) складається з автоматичного вимикача або рубильника SF, кнопок керування SB1 і SB2, магнітного пускача KM1, теплових реле KK1, KK2 та електродвигуна M.

У схемі є силове коло, а також коло керування. До складу першого входять: автоматичний вимикач SF, запобіжники FU1...FU3, силові контакти KM1.1 магнітного пускача, котушки теплових реле KK1 і KK2, електродвигун M, а до складу другого — кнопка «Стоп» (SB1), кнопка «Пуск» (SB2), котушка магнітного пускача KM1, контакти теплових реле KK1.1, KK2.1.

При замкненому триполюсному вимикачі SF напруга на контакти KM1.1 магнітного пускача подається через запобіжники FU1...FU3. При натисканні на кнопку «Пуск» (SB2) струм проходить по такому колу: фаза С — кнопка SB1 — кнопка SB2 — котушка магнітного пускача KM1 — контакти теплових реле KK1.1, KK2.1 — фаза В. У цей час навколо котушки магнітного пускача створюється магнітне поле, її осердя втягується, замикаючи контакти KM1.1 та KM1.2. Контакти KM1.2 називаються блокувальними (вони блокують контакти кнопки SB2).

Після відпускання кнопки «Пуск» струм починає проходити через контакти KM1.2; при цьому котушка магнітного пускача перебуває під напругою, що подається через блокувальний контакт KM1.2. При замиканні силових контактів KM1.1 трифазна напруга через котушки теплових реле KK1 та KK2 підводиться до двигуна M, і він починає обертатися.

Для того щоб вимкнути двигун з мережі, потрібно натиснути на кнопку SB1. При цьому розривається коло живлення котушки магнітного пускача KM1 і розмикаються контакти KM1.1, KM1.2. Одночасно роз'єднується коло живлення двигуна, а також коло живлення котушки магнітного пускача.

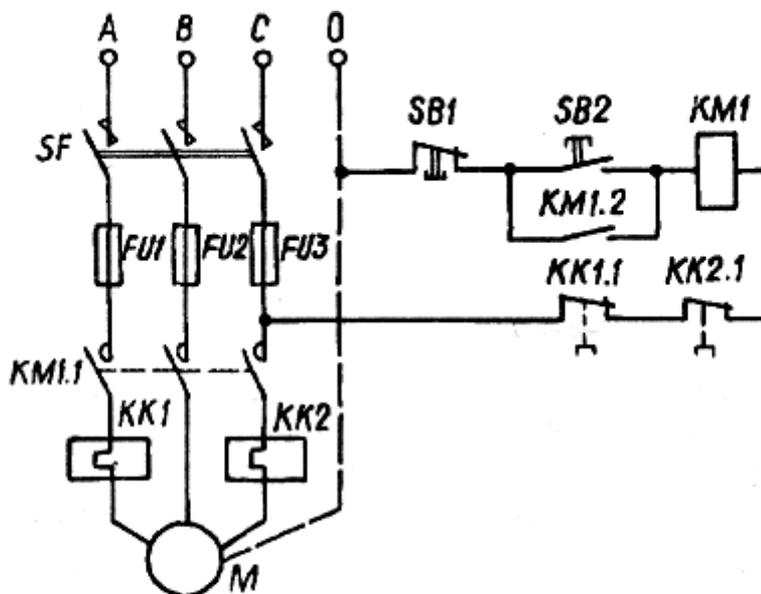
У схемі передбачено захист від струмів короткого замикання за допомогою плавких запобіжників FU1...FU3. Захист двигуна від тривалого перевантаження здійснюється тепловими реле. Захист працює так. Нехай у

схемі є коротке замикання і згорів запобіжник FU2. Тоді на фазі В напруги не буде. Не надходить вона й на котушку магнітного пускача. Магнітна система останнього повертається в початковий стан, що приводить до розмикання контактів КМ1.1, КМ1.2 і призупинення двигуна.

Теплові реле КК1 та КК2 захищають двигун від тривалих перевантажень, якщо навантаження перевищує номінальне на 10...20 %. При цьому підсилено нагрівається одне з теплових реле, що спричинює вигинання біметалевої пластини та розмикання контактів КК1.1 і КК2.1, а також кола живлення магнітного пускача і вимикання двигуна від мережі.

2. Порядок виконання роботи

2.1. Скласти електричну схему для дослідження нереверсивного керування трифазним асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором згідно з схеми:



Дано: SF типу АЕ2016-10НУ3;
двигун типу 4ААМ56А4У3; SB1, SB2
типу КЕ011У3; КМ1 типу ПМЛ-2100.04Л;
КК1, КК2 типу РТЛ-1022.

Скласти електричну схему.

рис.1

2.2. Приєднати схему до мережі, натиснути на кнопку «Пуск» (SB2), пустити двигун у хід і виміряти частоту обертання його вала на холостому ході.

2.3. Призупинити двигун, натиснувши на кнопку «Стоп» (SB1).

2.4. Скласти звіт, в який включити опис конструкції двигуна, апаратури та схеми його вмикання.

3. Контрольні питання

- 3.1 Яку функцію виконує автоматичний вимикач у схемі нереверсивного керування трифазним асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором?
- 3.2 Яке призначення у цій схемі запобіжників?
- 3.3 Яку функцію виконують теплові реле у схемі нереверсивного керування трифазним асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором?
- 3.4 Яку будову має магнітний пускач?
- 3.5 Як працює схема нереверсивного керування трифазним асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором?

Лабораторна робота № 12

Тема: Складання схеми реверсивного керування трифазним асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором.

Мета: Ознайомитися з типовою схемою реверсивного керування трифазним асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором; навчитися складати схему, здійснювати пуск, призупинення двигуна вручну й автоматично за допомогою автоматичного вимикача або магнітних пускачів.

1. Короткий теоретичний опис

Електрична схема (рис.1) складається з автоматичного вимикача QF, кнопок керування SB1...SB3, магнітних пускачів KM1, KM2, теплових реле KK1, KK2, електродвигуна M.

У схемі є силове коло, а також коло керування. До складу першого входять: автоматичний вимикач QF, запобіжники FU1...FU3; силові контакти КМ1.1, КМ2.1 магнітних пускачів; котушки теплових реле КК1, КК2; електродвигун М, а до складу другого — кнопки «стоп» (8В1), «Вперед» (SB2), «Назад» (SB3), котушки магнітних пускачів КМ1 і КМ2, блок-контакти КМ1.2, КМ1.3 та КМ2.2, КМ2.3 магнітних пускачів і контакти КК1.1, КК2.1 теплових реле.

При замиканні триполюсного вимикача QF напруга на контакти КМ1.1, КМ2.1 магнітних пускачів подається через запобіжники FU1...FU3. При натисканні на кнопку «Вперед» (8В2) струм проходить по такому колу: фаза С — кнопка «Стоп» (SB1) — кнопка «Вперед» (SB2) — кнопка «Назад» (SB3) — контакт КМ2.3 — котушка магнітного пускача КМ1 — контакти теплових реле КК1.1, КК2.1 — фаза В. У цей час навколо котушки магнітного пускача КМ1 створюється магнітне поле, її осердя втягується, замикаючи контакти КМ1.1 та КМ1.3 і розмикаючи контакти КМ1.2. Оскільки в цій схемі здійснюється реверсування двигуна (тобто обертання його в різні боки) завдяки перемикаючій фаз В та С, для того щоб не було зустрічного вмикання фаз, передбачено електричне і механічне блокування. Це дає змогу уникнути одночасного вмикання двох магнітних пускачів.

Електричне блокування виконано на контактах КМ1.3 та КМ2.3, а механічне — на контактах SB2.1 і SB3.1. Після того як кнопку «Вперед» (SB2) відпущено, струм починає проходити через контакти КМ1.2, тобто котушка магнітного пускача КМ1 буде під напругою. Силові контакти КМ1.1 цього пускача замикаються, живлення через котушки теплових реле КК1 і КК2 подається на двигун М, який починає обертатися. Одночасно розмикається контакт КМ1.3 у колі живлення магнітного пускача КМ2, що виключає його вмикання.

Перехід до зворотного обертання двигуна досягається натисканням на кнопку «Назад» (8В3). При цьому спочатку розривається коло живлення котушки магнітного пускача КМ1, і тільки після цього замикається контакт SB 1.3.

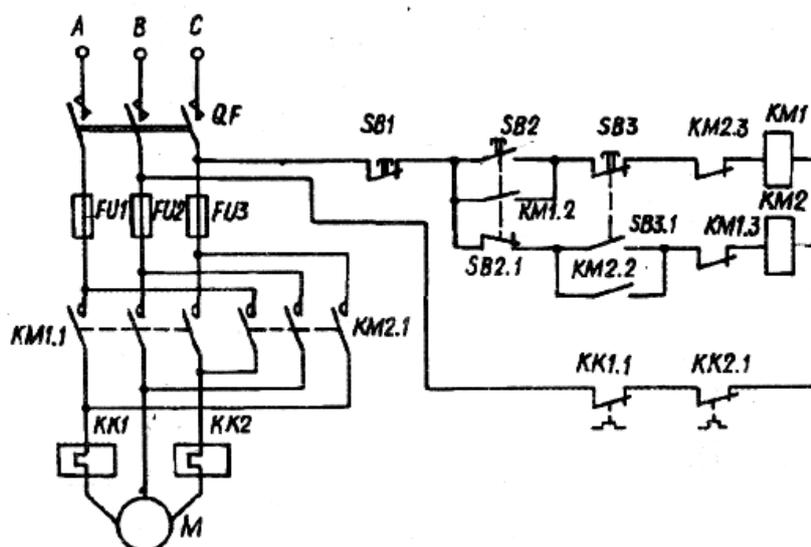
У цьому разі струм проходить по такому колу: фаза С — кнопка «Вперед» (SB2.1) — кнопка «Назад» (SB3.1) — контакт КМ1.3 — котушка магнітного пускача КМ2 — контакти теплових реле КК1.1 і КК2.1. При спрацьовуванні магнітного пускача КМ2 замикаються контакти КМ2.1 та КМ2.2 і розмикається контакт КМ2.3. При замиканні силових контактів КМ2..1 змінюється послідовність фаз у лінії двигуна (фаза А змінюється фазою С),

внаслідок чого ротор починає обертатися у зворотному напрямі. При натисканні на кнопку «Стоп» (SB1) розривається коло живлення магнітних пускачів КМ1, КМ2, і двигун зупиняється.

Захист двигуна при реверсивному керуванні ним такий самий, як і при нереверсивному (див. попередню лабораторну роботу).

2. Порядок виконання роботи

2.1. Скласти електричну схему для дослідження реверсивного керування трифазним асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором згідно з схемою:



Дано: QF типу АЕ2016-10НУ3; двигун типу 4ААМ56А4У3; SB1...SB3 типу КЕ011У3; КМ1, КМ2 типу ПМЛ-2100.04Л; КК1, КК2 типу РТЛ-1022.

Скласти електричну схему.

рис. 1

2.2. Приєднати схему до мережі, натиснути на кнопку «Вперед» (SB2), пустити двигун у хід і визначити частоту обертання його вала на холостому ходу.

2.3. Зупинити двигун, натиснувши на кнопку «Стоп» (SB1).

2.4. Повторити пуск двигуна, натиснувши на кнопку «Назад» (SB3).

2.5. Вимкнути двигун з мережі.

2.6. Скласти звіт, в який включити опис конструкції двигуна, апаратури та схеми його вмикання.

3. Контрольні питання

- 3.1 Що потрібно зробити для того, аби змінити напрям обертання трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором?
- 3.2 Які переваги та недоліки асинхронних двигунів?
- 3.3 Для чого застосовується електричне блокування у схемі реверсивного керування трифазним асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором?
- 3.4 Для чого застосовується механічне блокування у схемі реверсивного керування трифазним асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором?

ЗМІСТ

Передмова.....	3
Л.р. № 1. Вивчення залежності опору реальних провідників від їхніх геометричних параметрів і питомих опорів матеріалів.....	4
Л.р. № 2. Дослідження опорів провідників при паралельній і послідовній сполуці.....	6
Л.р. № 3. ЕРС і внутрішній опір джерел постійного струму. Закон Ома для повного ланцюга.....	8
Л.р. № 4. Дослідження складних ланцюгів постійного електричного струму.....	10
Л.р. № 5. Потужність у ланцюзі постійного струму.....	12
Л.р. № 6. Принципи роботи плавких запобіжників в електричних ланцюгах.....	14
Л.р. № 7. Дослідження електричного кола змінного струму з послідовним з'єднанням індуктивного та активного опорів.....	16
Л.р. № 8. Явище резонансу в ланцюзі змінного струму.....	18
Л.р. № 9. Вимірювання опору ізоляції обмоток електродвигуна.....	20

**Л.р. № 10. Вимірювання опору обмоток статора
електродвигуна.....22**

**Л.р. № 11. Складання схеми нереверсивного керування трифазним
асинхронним двигуном з короткозамкненим
ротором.....
....24**

**Л.р. № 12. Складання схеми реверсивного керування трифазним
асинхронним двигуном з короткозамкненим
ротором.....**

**з дисциплін: «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА»,
«ЗАГАЛЬНА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА З ОСНОВАМИ ЕЛЕКТРОНІКИ»,**

Погоджено на засіданні ЦК «Математичних та природничо-наукових дисциплін»

Протокол № ___ від « _____ » _____ 2017 року

Голова ЦК _____ /

А Н О Т А Ц І Я

У збірнику наведені тестові завдання закритої форми: тести репродуктивного характеру – з однією правильною відповіддю, тести на відповідність (логічні пари), як один із видів контролю для перевірки рівня сформованості знань і вмінь студентів, розроблені відповідно до методичних рекомендацій Міністерства освіти і науки України щодо використання тестових технологій у навчальному процесі. Подані тестові завдання застосовуються для узагальнення, систематизації, закріплення теоретичних положень, законів, явищ курсу електротехніки, а також умінь застосовувати формули для обчислення параметрів електричного кола, читати схеми, діаграми.

Матеріали збірника можуть бути використані студентами для самостійної підготовки до екзамену, а викладачами – в підготовці та проведенні якісного контролю самостійної діяльності студентів на лекційних та лабораторних заняттях.

Пропонований збірник тестів призначений для викладачів електротехніки вищих навчальних закладів I-II рівнів акредитації, професійних ліцеїв, керівників методичних об'єднань (матеріали для олімпіад) та майбутніх фахівців напрямів: «Машинобудування», «Автомобільний транспорт», «Транспортні технології» – техніків-технологів, техніків-механіків, інженерів з безпеки руху.

Він стане в нагоді і для всіх студентів, які вивчають курс загальної електротехніки з основами електроніки незалежно від виду навчального закладу та спеціальності.

З М І С Т

ТЕСТИ З ТЕМ:

- 1. «ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ».....5**
- 2. «ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ».....7**
- 3. «ОДНОФАЗНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ЗМІННОГО СТРУМУ».....14**

4. «ТРИФАЗНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА».....	19
5. «ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ ТА ПРИЛАДИ».....	23
6. «ТРАНСФОРМАТОРИ».....	28
7. «ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ».....	31
8. «НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПРИЛАДИ».....	35
9. «ЕЛЕКТРОННІ ВИПРЯМЛЯЧІ, ПІДСИЛЮВАЧІ ТА ГЕНЕРАТОРИ».....	38
ЛІТЕРАТУРА.....	41

ТЕСТИ З ТЕМИ:

«ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ»

1. Електротехнічне поле створюється...
 - а) атомами
 - б) молекулами
 - в) електричними зарядами
 - г) провідником

2. Силовою характеристикою електричного поля є
 - а) напруга U
 - б) напруженість E
 - в) магнітна індукція B
 - г) діелектрична проникність поділу

3. Енергетичною характеристикою електричного поля є
 - а) потенціальна енергія
 - б) кінетична енергія
 - в) потужність
 - г) потенціал

4. Електричне поле напруженість якого однакова в усіх точках простору називається
 - а) синхронним
 - б) однорідним
 - в) симетричним
 - г) електростатичним

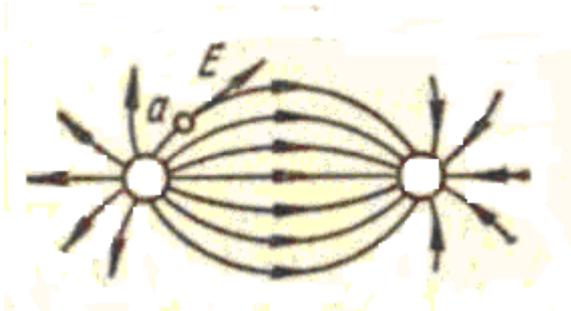
5. Картину розповсюдження електричного поля в просторі прийнято зображати невидимими силовими лініями електричного поля, або лініями напруженості, які починаються на заряді, а закінчуються на заряді.
 - а) + -

б) - +

в) + ∞

г) - ∞

6. На малюнку зображені електричні поля двох зарядів.....



а) + -

б) + +

в) - +

г) - -

7. Пристрій, який накопичує електричне поле і являє собою два провідника, розділені шаром діелектрика, товщина якого мала по зрівнянню з розмірами провідників називається ...

а) запобіжником

в) антеною

б) заземленням

г) конденсатором

8. Як зміниться ємність плоского конденсатора при збільшенні площі пластин в 3 рази?

а) зменшиться в 3 рази

б) збільшиться в 3 рази

в) збільшиться в 6 разів

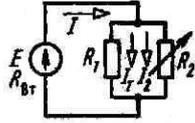
г) не зміниться

ТЕСТИ З ТЕМИ:

«ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ»

1. Електричний струм це ...
 - а) рух заряджених частинок
 - б) упорядкований рух частинок
 - б) упорядкований рух вільних заряджених частинок під дією сил електричного поля
 - г) упорядкований рух заряджених частинок
2. За напрямком струму приймають напрямком руху заряджених частинок.
 - а) додатних
 - б) від'ємних
 - в) нейтральних
3. Умова яка не впливає на виникнення електричного струму:
 - а) наявність вільних заряджених частинок
 - б) сила електричного поля, яка діє на заряди або різниця потенціалів на кінцях провідника
 - в) наявність опору у провідника
 - г) замкнене електричне коло
4. Якою ознакою характеризуються металеві провідники?
 - а) наявністю вільних йонів
 - б) наявністю вільних електронів
 - в) наявністю електронів і дірок
 - г) наявністю вільних електронів та йонів
5. Електричний струм в металевих провідниках створюється....
 - а) іонами
 - б) електронами

- в) атомами
 - г) нейтронами
- 6.** Струм в електролітах-це
- а) спрямований рух потоку вільних електронів
 - б) зміщення електронів та йонів на дуже малі відстані
 - в) впорядкований та спрямований рух потоку йонів
 - г) спрямоване переміщення вільних електронів і дірок
- 7.** Струм називається постійним, якщо протягом часу.....
- а) не змінює величину та напрям руху
 - б) змінює величину струму і напруги
 - в) змінює величину та напрям руху
 - г) змінює напрям, а не величину
- 8.** Відношення сили струму до площі поперечного перерізу називається....
- а) напругою
 - б) густиною струму
 - в) рідиною струму
 - г) густиною напруги
- 9.** Величину роботи, що витрачається на пересування додатного заряду від від'ємної клеми джерела до додатної називають.....
- а) електрорушійною силою
 - б) напругою
 - в) роботою
 - г) потужністю
- 10.** Як зміняться струми I_1 , I_2 , I при зменшенні R_2 , якщо $R_{вт} \neq 0$; $E = \text{const}$?



- а) I_1 - не зміниться, I_2 – збільшиться, I - збільшиться
- б) I_1 - зменшиться, I_2 – збільшиться, I - збільшиться
- в) I_1 - не зміниться, I_2 – зменшиться, I - зменшиться
- г) I_1 - збільшиться, I_2 – зменшиться, I – не зміниться

11. Величину роботи по переміщенню одиниці заряду, але не зовнішніми сторонніми силами, а силами електричного поля називають

- а) електрорушійною силою
- б) напругою
- в) роботою
- г) потужністю

12. Вкажіть одиницю вимірювання електрорушійної сили у системі СІ

- а) Ом/А
- б) А
- в) В
- г) Н

13. У внутрішньому електричному колі струм протікає

- а) від плюса джерела електричної енергії до його мінуса
- б) від мінуса джерела електричної енергії до його плюса
- в) у двох напрямках
- г) це залежить від характеру навантаження

14. Опір - величина, яка характеризує властивість ділянки електричного кола, опиратися проходженню електричного струму і не залежить від:

- а) довжини проводу
- б) поперечного перерізу проводу
- в) матеріалу провідника
- г) ізоляції провідника

д) температури

15. В скільки разів зміниться опір мідного проводу, якщо його довжину збільшити в два рази, а поперечний переріз зменшиться в три рази?

- а) збільшиться в 6 разів
- б) зменшиться в 3 рази
- в) збільшиться в 2 рази
- г) збільшиться в 0,66 раз

16. Як зміниться опір мідного провідника, якщо його довжину зменшили в 2 рази, а площу поперечного перерізу зменшили в 4 рази?

- а) зменшиться в 2 рази
- б) збільшиться в 2 рази
- в) зменшиться у 8 разів
- г) збільшиться у 8 разів

17. Довжину і діаметр провідника збільшили в 2 рази. Як зміниться опір провідника?

- а) не зміниться
- б) зменшиться в 2 рази
- в) збільшиться в 2 рази
- г) збільшиться в 4 рази

18. Площу поперечного перерізу провідника збільшили в 2 рази. Як зміниться опір провідника?

- а) не зміниться
- б) збільшиться в 2 рази
- в) зменшиться в 2 рази
- г) збільшиться в $\frac{1}{2}$ рази

19. Які дослідні та конструктивні дані необхідно мати, щоб визначити довжину мотка проводу, не розмотуючи його ?

- а) U, S, I
- б) U, S, ρ
- в) U, I, S, ρ
- г) U, I, ρ

20. Як зміниться опір металевого провідника при нагріванні?

- а) збільшиться
- б) зменшиться
- в) не зміниться
- г) це залежить від температури нагрівання

21. При підвищенні температури опір терморезистора збільшився на 50%. Як зміниться його провідність?

- а) збільшиться на 50%
- б) зменшиться на 50%
- в) залишиться не змінною

22. Визначити відповідність.

З зростанням температури опір у провідників...

- | | |
|-----------------|----------------|
| 1) першого роду | а) зростає |
| 2) другого роду | б) зменшується |

23. Яка одиниця виміру провідності?

- а) Ом
- б) А
- в) См
- г) В

24. Оберіть номери правильних варіантів відповідей.

Кількість тепла, що виділяється в провіднику прямо пропорційно залежить від:

- а) сили струму
- б) квадрату сили струму
- в) опору провідника
- г) часу проходження струму

25. Як зміниться кількість тепла що виділяється в лінії електропередач за однаковий час при збільшенні сили струму в 2 рази?

- а) збільшиться в 2 рази
- б) збільшиться в 4 рази
- в) залишиться незмінним
- г) зменшиться в 2 рази

26. Формула яка є законом Ома для ділянки кола.

$$U = \frac{I}{R}$$

а)

$$I = \frac{U}{R}$$

б)

$$I = \frac{E}{R+r}$$

в)

г) $E = IR + I r = I(R + r)$

27. Сила струму на зовнішній ділянці кола прямо пропорційно залежить від:

- а) напруги
- б) заряду
- в) опору;
- г) електрорушійної сили

28. Сила струму на ділянці кола обернено пропорційно залежить від ...

- а) напруги
- б) заряду
- в) опору
- г) електрорушійної сили

29. Доповнити:

Зменшення напруги вздовж кола по мірі віддалення від джерела визвано...

- а) зменшенням струму
- б) зменшенням температури
- в) падінням напруги

30. Через резистор опором 1кОм проходить струм силою 10 мА. Яка напруга прикладена до цього резистора?

- а) 10 В
- б) 100 мВ
- в) 100 В
- г) 10^{-5} В

31. Знайдіть формулу, що визначає загальний опір кола послідовно включених резисторів R_1, R_2, R_3

- а) $R_1 + R_2 - R_3 = R_{заг}$
- б) $R_1 + R_2 + R_3 = R_{заг}$
- в) $\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = R_{заг}$
- г) $\frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$

32. Знайдіть формулу, що визначає загальний опір кола двох паралельно включених резисторів

- а) $\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = R_{заг}$
- б) $R_1 + R_2 + R_3 = R_{заг}$

$$в) \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = R_{заг}$$

$$г) R_1 + R_2 - R_3 = R_{заг}$$

33. Чому дорівнює загальний опір 20 лампочок, з'єднаних паралельно, якщо опір кожної лампочки 12 Ом ?

а) 240 Ом

б) 0,6 Ом

в) 7,5 Ом

г) 32 Ом

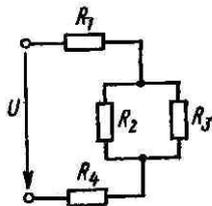
34. Три резистора опором R кожний з'єднані послідовно. Паралельно одному з резисторів ввімкнули резистор опором $R/2$. Як зміниться еквівалентний опір всього кола?

а) не зміниться

б) збільшиться

в) зменшиться

35. Чому дорівнює загальний опір схеми:



а) $R_1 + R_2 + R_3 + R_4$

б) $R_1 + R_2 \cdot R_3 + R_4$

в) $\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$

г) $R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} + R_4$

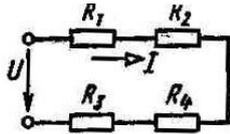
36. Два резистори з опорамі $R_1 = 20$ Ом і $R_2 = 50$ Ом включили паралельно до джерела живлення. Знайти відношення сил струмів у резисторах I_1/I_2 .

а) 0,4

- б) 1
- в) 2,5
- г) 0,5

37. Яка напруга на резисторі R_3 , якщо $U = 20$ В

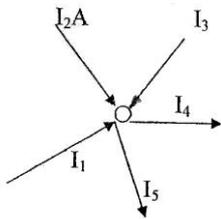
$R_1 = 2$ Ом, $R_2 = 4$ Ом, $R_3 = 3$ Ом, $R_4 = 1$ Ом?



- а) 2 В
- б) 6 В
- в) 3 В
- г) 20 В

38. Оберіть номери вірних відповідей.

Вказати вірно записані формули по першому закону Кірхгофа для вузла А



- а) $-I_1 - I_2 - I_3 = -I_4 - I_5$
- б) $I_1 + I_2 + I_3 + (-I_4) + (-I_5) = 0$
- в) $-I_1 - I_2 - I_3 + I_4 + I_5 = 0$
- г) $I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5$

39. Енергія або робота в одиницю часу це....

- а) потужність
- б) період
- в) струм
- г) швидкість

40. В скільки разів збільшиться потужність розсіювання на резисторі, якщо сила струму в ньому збільшиться в 1,5 рази?

- а) 1,5 рази
- б) 3 рази
- в) 2,25 раз

г) 0,66 раз

41. Яка з написаних формул не використовується для визначення потужності, яка втрачається на резисторі опором R ;

а) I^2R

в) UI

б) $\frac{U^2}{R}$

г) U^2R

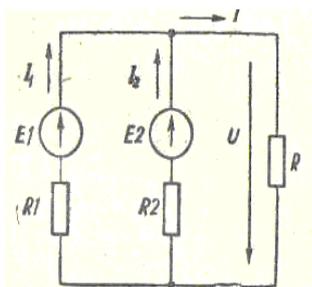
42. Встановити відповідність

- 1.** Величину роботи, що витрачається на пересування додатного заряду від від'ємної клеми джерела до додатної називають..... а) електрорушійною силою
- 2.** Величину роботи по переміщенню одиниці заряду, але не зовнішніми сторонніми силами, а силами електричного поля називають..... б) напругою
- 3.** Енергія або робота в одиницю часу це..... в) потужністю

43. Другий закон Кірхгофа записується для.....

- а) вузла
- б) гілки
- в) контура
- г) електричного кола.

44. Визначити відповідність. Для розрахунку складного кола зображеного на малюнку необхідно скласти систему рівнянь яка має



- 1) Загальну кількість рівнянь а) 1
 2) Кількість за 1м законом Кірхгофа б) 3
 3) Кількість за 2м законом Кірхгофа в) 2

45. Визначити відповідність режимів кіл та умов їх виникнення:

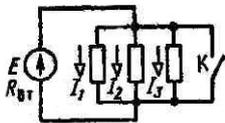
1 Режим роботи електричного кола якому відповідають умови: $R = \infty; I = 0; U = E;$ а) коротке замикання

2 Режим роботи електричного кола якому відповідають умови: $R = 0; U = 0; I = \frac{E}{r_0}$ б) холостий хід

46. Плавкі запобіжники захищають електричне коло від....

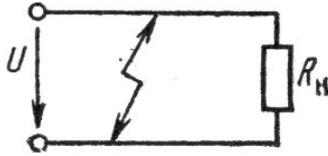
- а) струмів короткого замикання
- б) перенавантаження
- в) недовантаження
- г) збільшення напруги

47. Як зміняться струми I_1, I_2, I_3 при замиканні К?



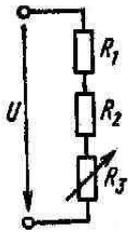
- а) не зміняться
- б) зменшаться
- в) будуть дорівнювати нулю
- г) збільшаться

48. Як зміниться струм споживача в R_n при короткому замиканні в лінії?



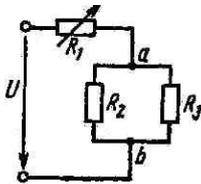
- а) миттєво збільшиться
- б) не зміниться
- в) буде дорівнювати нулю
- г) зменшиться

49. У приведеній схемі опір R_3 зменшився. Як зміняться напруги на всіх ділянках кола, при умові, що $U = \text{const}$?



- а) на R_3 – зменшиться, на R_1, R_2 – не зміниться
- б) на R_3 – зменшиться, на R_1, R_2 – збільшиться
- в) на R_3 – збільшиться, на R_1, R_2 – не зміниться
- г) на R_3 – збільшиться, на R_1, R_2 – зменшиться

50. Як зміняться напруги на ділянках кола при зменшенні R_1 , якщо $U = \text{const}$?

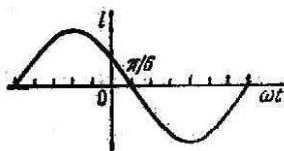


- а) U_1 – збільшиться, U_{ab} – зменшиться
- б) U_1 – зменшиться, U_{ab} – збільшиться
- в) U_1 – зменшиться, U_{ab} – не зміниться
- г) U_1 – збільшиться, U_{ab} – не зміниться

ТЕСТИ З ТЕМИ:

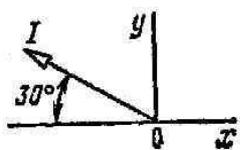
«ОДНОФАЗНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ЗМІННОГО СТРУМУ»

1. Визначити початкову фазу змінного струму, представленого на графіку



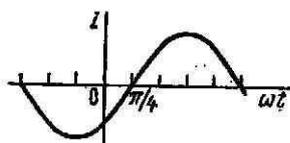
- а) $\pi/6$
- б) $-\pi/6$
- в) $5\pi/6$
- г) $-5\pi/6$

2. Виберіть правильний вираз для струму, векторна діаграма якого показана на малюнку



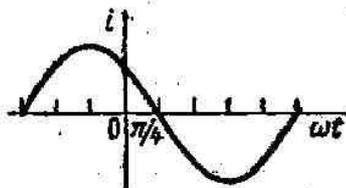
- а) $i = I_m \sin(\omega t + 30^\circ)$
- б) $i = I_m \sin(\omega t - 30^\circ)$
- в) $i = I_m \sin(\omega t + 210^\circ)$
- г) $i = I_m \sin(\omega t - 210^\circ)$

3. Визначити початкову фазу змінного струму, показаного на графіку



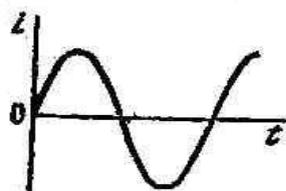
- а) $3\pi/4$
- б) $-3\pi/4$
- в) $\pi/4$
- г) $-\pi/4$

4. Визначити початкову фазу змінного струму, представленого на графіку



- а) $\pi/4$
- б) $-\pi/4$
- в) $3\pi/4$
- г) $-3\pi/4$

5. В який момент часу t миттєве значення струму досягне позитивного максимуму, якщо струм змінюється так, як показано на графіку?



- а) $t = T/8$
- б) $t = T/4$
- в) $t = 3T/4$
- г) $t = T/2$

6. Визначити відповідність між параметрами та їх формулою визначення

1) миттєве значення змінного струму

а) I_m

2) амплітудне значення змінного струму

б) $i = I_m \cdot \sin \omega t$

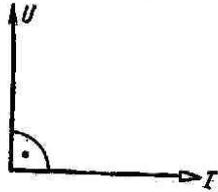
3) діюче значення змінного струму

в) $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$

7. Який період має струм, якщо його частота 50 Гц?
- 0,50 с
 - 0,02 с
 - 0,005 с
 - 0,2 с
8. Визначити діюче значення струму $i = 141 \sin(\omega t + \pi/2)$
- 141 А
 - 100 А
 - 70,7 А
 - 220 А
9. До електричного кола прикладена напруга $u = 141 \sin 314t$. Опір кола $Z = 20$ Ом. Визначити частоту і діюче значення струму
- $f = 50$ Гц, $I = 7,05$ А
 - $f = 50$ Гц, $I = 5$ А
 - $f = 314$ Гц, $I = 5$ А
 - $f = 314$ Гц, $I = 14,1$ А
10. Діюче значення напруги, прикладеної до електричного кола, $U = 100$ В. Повний опір кола 10 Ом. Визначити амплітуду струму в колі.
- 10 А
 - 14,1 А
 - 20 А
 - 1,41 А
11. До електричного кола прикладена напруга $u = 141 \sin 314t$. Опір кола $Z = 15$ Ом. Визначити частоту і діюче значення струму
- $f = 50$ Гц, $I = 9,4$ А
 - $f = 50$ Гц, $I = 6,7$ А
 - $f = 314$ Гц, $I = 5$ А
 - $f = 314$ Гц, $I = 14,1$ А
12. Визначити відповідність між параметрами та їх формулою визначення

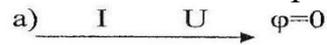
- 1) індуктивний опір а) $\frac{1}{\omega C}$
 2) активний опір б) $\rho \frac{l}{s}$
 3) ємнісний опір в) ωL

13. Яке коло характеризується векторною діаграмою?

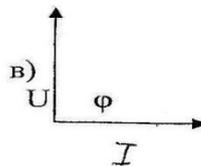
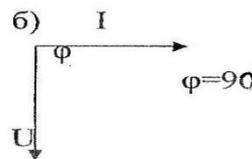


- а) коло R, L, C
 б) коло R, L
 в) коло C
 г) коло L

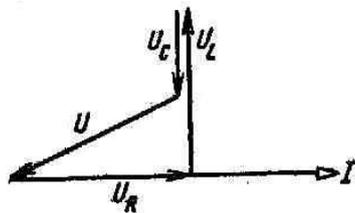
14. Визначити відповідність між елементами кола та векторними діаграмами



- 1) на індуктивному опорі
 2) на активному опорі
 3) на ємнісному опорі

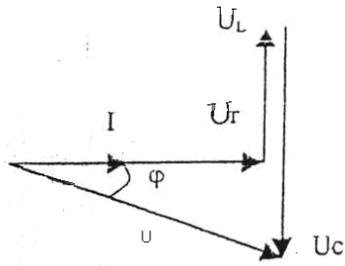


15. За якої умови векторна діаграма має такий вигляд



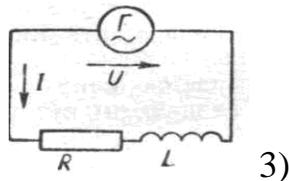
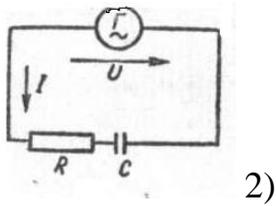
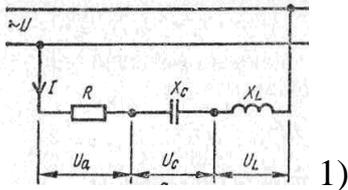
- а) $X_C > X_L$
 б) $X_C = X_L$
 в) $X_L > X_C$
 г) $\omega L = 1/\omega C$

16. За якої умови векторна діаграма має такий вигляд



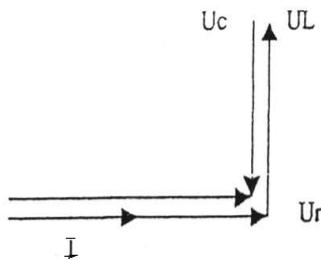
- а) $X_C > X_L$
- б) $X_C = X_L$
- в) $X_L > X_C$
- г) $\omega_L = 1/\omega_C$

17. Визначити відповідність між схемами і формулами за якими розраховується повний опір кола



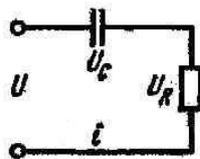
- а) $Z = \sqrt{R^2 + x_c^2}$
- б) $Z = \sqrt{R^2 + x_L^2}$
- в) $Z = \sqrt{R^2 + (x_L - x_c)^2}$

18. За якої умови векторна діаграма має такий вигляд



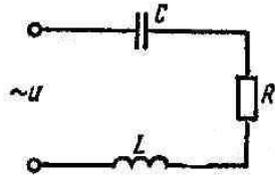
- а) $X_C > X_L$
- б) $X_C = X_L$
- в) $X_L > X_C$
- г) $\omega_L = 1/\omega_C$

19. Знайдіть напругу на затискачах схеми, якщо $U_C = 30$ В, $U_R = 40$ В



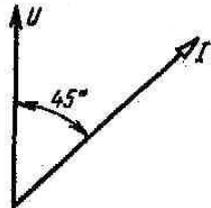
- а) 70 В
- б) 50 В
- в) 35 В
- г) 40 В

20. $X_L = X_C = 10$ Ом. Чому дорівнює хвильовий (повний) опір контуру?



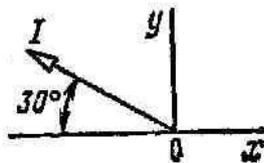
- а) 100 Ом
- б) 10 Ом
- в) 0,1 Ом
- г) завдання не має відповіді, бо невідома величина опору R

21. $u = 100\sin(\omega t + \pi/2)$. Виберіть вираз для струму, якщо опір кола 100 Ом.



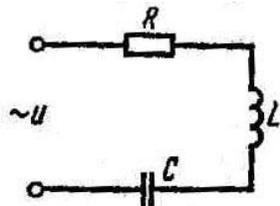
- а) $i = \sin \omega t$
- б) $i = \sin(\omega t - \pi/4)$
- в) $i = \sin(\omega t - \pi/2)$
- г) $i = 100 \sin \omega t$

22. Виберіть правильний вираз для струму, векторна діаграма якого показана на малюнку



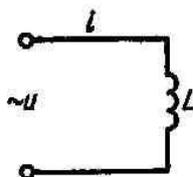
- а) $i = I_m \sin(\omega t + 210^\circ)$
- б) $i = I_m \sin(\omega t + 30^\circ)$
- в) $i = I_m \sin(\omega t - 210^\circ)$
- г) $i = I_m \sin(\omega t - 30^\circ)$

23. $U = 200$ В, $R = 100$ Ом, $X_L = X_C = 100$ Ом. Знайдіть силу струму в колі.



- а) 0,66 А
- б) 1 А
- в) 2 А
- г) 4 А

24. $X_L = 10$ Ом, $u = 10\sin \omega t$. Виберіть вираз для струму



- а) $i = \sin \omega t$
- б) $i = 10 \sin \omega t$
- в) $i = 10 \sin(\omega t - \pi/2)$
- г) $i = \sin(\omega t - \pi/2)$

25. Визначити відповідність між явищами електричного кола та умовами їх виникнення

1) резонанс струмів відбувається

2) резонанс напруг відбувається

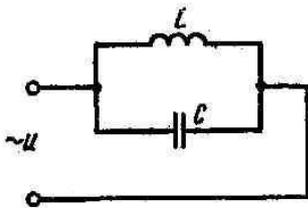
а) в нерозгалуженому колі змінного

струму з R, LC при умові $X_L = X_C$;

б) в розгалуженому колі змінного

струму з R; L; C при $X_L = X_C$;

26. $X_L=10$ Ом, $X_C=20$ Ом. Як треба змінити ємність конденсатора, щоб у колі виник резонанс струмів?



а) збільшити у 2 рази

б) зменшити у 2 рази

в) збільшити в 4 рази

г) зменшити в 4 рази

27. Індуктивність котушки в коливальному контурі збільшилась у два рази, ємність конденсатора зменшилась у два рази. Як змінився хвильовий опір контуру?

а) збільшився у 2 рази

б) збільшився у 4 рази

в) не змінився

г) зменшився у 4 рази

28. На векторній діаграмі струму відкладається вектор, довжина якого відповідає

а) діючому значенню струму

б) амплітудному значенню струму

в) миттєвому значенню струму

г) середньоквадратичному значенню струму

29. Визначити відповідність між параметрами та їх формулою визначення

1) потужність в колі постійного струму

а) $U \cdot I$

2) повна потужність в колі змінного струму

б) $U \cdot I \cdot \cos \varphi$

3) активна потужність в колі змінного струму

в) $U \cdot I \cdot \sin \varphi$

4) реактивна потужність

г) $\sqrt{Q^2 + P^2}$

30. Щоб збільшити коефіцієнт потужності (приблизити $\cos \varphi = 1$) необхідно:

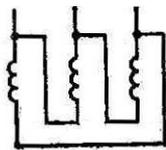
- а) збільшувати навантаження електродвигунів;
- б) паралельно до індуктивного навантаження вмикати конденсатор;
- в) послідовно до індуктивного навантаження вмикати конденсатор;
- г) зменшувати навантаження двигунів.

ТЕСТИ З ТЕМИ:

«ТРИФАЗНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА»

1. Обмотки трифазного генератора з'єднані трикутником. З чим з'єднаний початок третьої обмотки?
 - а) з початком першої обмотки
 - б) з кінцем першої
 - в) з початком другої
 - г) з кінцем другої
2. Обмотки трифазного генератора з'єднані зіркою. З чим з'єднаний кінець першої обмотки?
 - а) з початком другої обмотки
 - б) з кінцем другої обмотки
 - в) з початком третьої обмотки
 - г) з кінцями другої і третьої обмоток
3. Обмотки трифазного генератора з'єднані трикутником. З чим з'єднаний кінець другої обмотки?
 - а) з початком третьої обмотки
 - б) з кінцем третьої обмотки
 - в) з початком першої обмотки
 - г) з кінцем першої обмотки

4. Як з'єднані ці обмотки?



- а) зіркою
- б) трикутником
- в) зіркою з нульовим проводом

5. Що називається фазою трифазної ЕРС?

- а) аргумент синуса в записі виразів для миттєвих значень ЕРС
 - б) частина трифазного кола, в якій протікає один з трьох струмів
 - в) справедливі і перше, і друге визначення
 - г) аргумент синуса в початковий момент часу
- 6.** Трифазний змінний струм виникає у замкненому трифазному колі під дією трьох ЕРС, зсунутих за фазою на
- а) 90°
 - б) 45°
 - в) 180°
 - г) 120°
- 7.** Провід, що з'єднує обмотку генератора із споживачем, називають
- а) нейтральним
 - б) фазним
 - в) лінійним
 - г) нульовим
- 8.** Як називається напруга, виміряна між двома лінійними провідниками?
- а) фазна
 - б) лінійна
 - в) діюча
 - г) амплітудна
- 9.** Як називається напруга, виміряна між лінійним і нульовим проводом?
- а) лінійна
 - б) номінальна
 - в) діюча
 - г) фазна
- 10.** Як називається напруга, виміряна між початками двох обмоток генератора?
- а) номінальна
 - б) фазна

в) лінійна

г) амплітудна

11. Які співвідношення між фазними і лінійними напругами і струмами властиві для з'єднання зіркою?

а) $U_{\text{л}} = \sqrt{3} U_{\text{ф}}$; $I_{\text{л}} = I_{\text{ф}}$

б) $I_{\text{л}} = \sqrt{3} I_{\text{ф}}$; $U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}$

в) $I_{\text{л}} = I_{\text{ф}}$; $U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}$

г) $U_{\text{л}} = \sqrt{3} U_{\text{ф}}$, $I_{\text{л}} = \sqrt{3} I_{\text{ф}}$

12. Які співвідношення між фазними і лінійними напругами і струмами властиві для з'єднання трикутником?

а) $U_{\text{л}} = \sqrt{3} U_{\text{ф}}$; $I_{\text{л}} = I_{\text{ф}}$

б) $I_{\text{л}} = \sqrt{3} I_{\text{ф}}$; $U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}$

в) $I_{\text{л}} = I_{\text{ф}}$; $U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}$

г) $U_{\text{л}} = \sqrt{3} U_{\text{ф}}$, $I_{\text{л}} = \sqrt{3} I_{\text{ф}}$

13. Встановити відповідність між фазними та лінійними напругами та їх формулою

1) Співвідношення між фазною і лінійною напругою при з'єднанні споживачів у зірку

а) $U_{\text{л}} = \sqrt{3} U_{\text{ф}}$;

2) Співвідношення між фазною і лінійною напругою при з'єднанні споживачів в трикутник

б) $U_{\text{ф}} = U_{\text{л}}$;

14. Встановити відповідність між фазними та лінійними струмами та їх формулою

1) Співвідношення між фазним і лінійним струмом при з'єднанні споживача зіркою

а) $I_{\text{ф}} = I_{\text{л}}$;

2) Співвідношення між фазним і лінійним струмом при з'єднанні споживача трикутником

б) $I_{\text{л}} = \frac{I_{\text{ф}}}{\sqrt{3}}$.

15. Фазна напруга генератора 380В. Обмотки з'єднані зіркою. Чому дорівнює лінійна напруга?

а) 660 В

б) 380 В

в) 220 В

г) 127 В

16. Фазна напруга у симетричній трифазній системі, з'єднаній за схемою «зірка», дорівнює 127 В. Чому дорівнює лінійна напруга?

а) 127 В

б) 220 В

в) 380 В

г) 254 В

17. Чому дорівнює струм у нульовому проводі чотирьохпровідної трифазної системи при симетричному навантаженні?

а) нулю

б) алгебраїчній сумі фазних струмів

в) алгебраїчній сумі лінійних струмів

г) фазному струмові

18. Чому дорівнює струм у нульовому проводі чотирьохпровідної трифазної системи при несиметричному навантаженні?

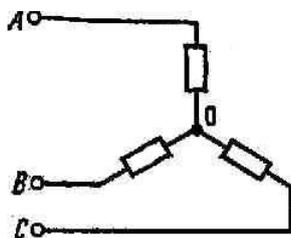
а) нулю

б) алгебраїчній сумі фазних струмів

в) алгебраїчній сумі лінійних струмів

г) фазному струмові

19. Між якими точками треба з'єднати вольтметр для вимірювання фазної напруги?



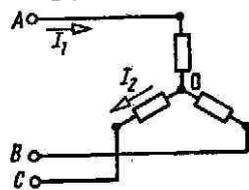
а) АВ

б) ВС

в) АО

г) АС

20. Який із струмів лінійний, а який – фазний?



а) I_1, I_2 – лінійні

б) I_1, I_2 – фазні

в) I_1 – лінійний, I_2 – фазний

г) I_1 – фазний, I_2 – лінійний

21. Трифазне симетричне навантаження з'єднане трикутником. Фазний струм 20А. Чому дорівнює лінійний струм?

а) 20 А

в) 40 А

б) 34,6 А

г) 17,3 А

22. Трифазне симетричне навантаження з'єднане зіркою. Фазний струм 20А. Чому дорівнює лінійний струм?

а) 20 А

б) 34,6 А

в) 40 А

г) 17,3 А

23. Симетричне навантаження з'єднане зіркою. Лінійна напруга 380 В. Чому дорівнює фазна напруга?

а) 127 В

б) 660 В

в) 380 В

г) 220 В

24. Симетричне навантаження з'єднане трикутником. Лінійна напруга 380 В. Чому дорівнює фазна напруга?

а) 127 В

б) 660 В

в) 380 В

г) 220 В

25. Лінійний струм 17,3 А. Чому дорівнює фазний струм, якщо симетричне навантаження з'єднане зіркою?

а) 17,3 А

б) 10 А

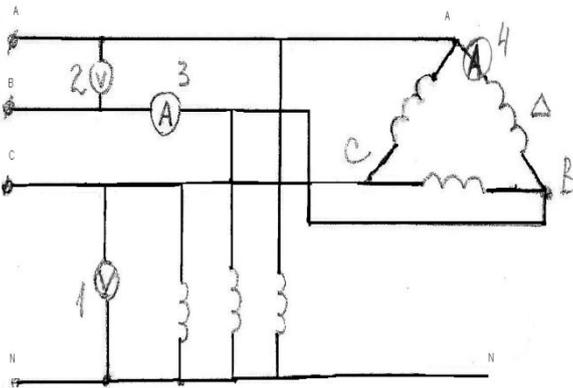
в) 173 А

г) 20 А

26. Чому дорівнює сума струмів i_a , i_b , i_c , створених симетричною трифазною системою ЕРС у симетричному навантаженні?

- а) нулю
- б) алгебраїчній сумі діючих значень цих струмів
- в) алгебраїчній сумі амплітудних значень цих струмів
- г) арифметичній сумі струмів

27. Розгляньте схему і встановіть відповідність який вимірювальний прилад який параметр вимірює



- | | |
|--------------|---------------------|
| 1) вольтметр | а) фазний струм; |
| 2) вольтметр | б) лінійна напруга; |
| 3) амперметр | в) фазна напруга; |
| 4) амперметр | г) лінійний струм; |

ТЕСТИ З ТЕМИ:

«ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ ТА ПРИЛАДИ»

1. Різниця між показом приладу і дійсним значенням вимірюваної величини називається

- а) поправкою
- б) відносною похибкою
- в) абсолютною похибкою
- г) основною зведеною похибкою

2. Клас точності приладу 1,5. Вкажіть допустиме значення основної зведеної похибки вимірювання.

- а) 1,5%
- б) 0,15%
- в) 0,015%
- г) $\pm 0,015\%$

3. Які моменти діють на рухому систему електровимірювального приладу?
- а) обертовий
 - б) інерційний
 - в) протидіючий
 - г) демпфуючий
4. На основі чого базується принцип дії приладу електромагнітної системи?
- а) на взаємодії магнітного поля постійного магніту з провідниками обмотки рухомої котушки
 - б) на взаємодії магнітного поля котушки з рухомих феромагнітним осердям
 - в) на взаємодії провідників зі струмом у рухомій котушці з магнітним полем, створеним струмом у нерухомій котушці
 - г) на взаємодії заряджених тіл
5. Який прилад використовується для вимірювання напруги?
- а) лічильник
 - б) амперметр
 - в) вольтметр
 - г) ватметр
6. Взаємодія двох котушок зі струмом лежить в основі приладів.....
- а) електромагнітної системи
 - б) електродинамічної системи
 - в) магнітоелектричної системи
 - г) індукційної системи
7. Який прилад використовується для вимірювання електричної потужності?
- а) лічильник

- б) амперметр
- в) вольтметр
- г) ватметр

8. Який прилад використовується для вимірювання струму?

- а) лічильник
- б) амперметр
- в) вольтметр
- г) ватметр

9. Встановити відповідність між родом вимірюваної величини та найменуванням приладу

- | | |
|-----------------------|---------------|
| 1) Струм | а) Амперметр |
| 2) Напруга | б) Вольтметр |
| 3) Потужність | в) Ватметр |
| 4) Електрична енергія | г) Лічильник |
| 5) Опір | д) Омметр |
| 6) Зсув фаз | е) Фазометр |
| 7) Частота | ж) Частотомір |

10. Встановити відповідність між позначенням на приладі та його найменуванням

- | | |
|---------------|--------------|
| 1) Амперметр | а) V |
| 2) Вольтметр | б) A |
| 3) Ватметр | в) Ω |
| 4) Лічильник | г) W |
| 5) Омметр | д) kWh |
| 6) Фазометр | е) Hz |
| 7) Частотомір | ж) φ |

11. Який прилад використовується для вимірювання електричної енергії?

- а) лічильник

- б) амперметр
- в) вольтметр
- г) ватметр

12. Логометр – це прилад для вимірювання

- а) сили струму
- б) напруги
- в) опору
- г) індуктивності

13. На шкалі приладу нанесений знак . Який це прилад?

- а) електромагнітний
- б) магнітоелектричний
- в) індукційний
- г) електродинамічний

14. На шкалі приладу нанесений знак . Який це прилад?

- а) електромагнітний
- б) магнітоелектричний
- в) індукційний
- г) електродинамічний

15. На шкалі приладу нанесений знак . Який це прилад?

- а) електромагнітний
- б) магнітоелектричний
- в) індукційний
- г) електродинамічний

16. На шкалі приладу нанесений знак . Який це прилад?

- а) електромагнітний
- б) магнітоелектричний
- в) індукційний
- г) електродинамічний

17. На шкалі приладу нанесений знак  Який це прилад?

- а) електромагнітний
- б) магнітоелектричний
- в) індукційний
- г) електродинамічний

18. Встановити відповідність умовного позначення на шкалі приладу яке характеризує прилад за родом струму:

1) змінний (однофазна система)

а)



2) постійний і змінний

б)



3) постійний струм

в)



19. Індукційна система використовується в приладах.....

- а) ватметрах;
- б) фазометрах;
- в) частотометрах
- г) лічильниках

20. Які класи точності властиві для лабораторних вимірювальних приладів?

- а) 0,05; 0,1;
- б) 0,2; 0,5;
- в) 1,0; 1,5; 2,5
- г) 4; 5

- 21.** Які класи точності властиві для контрольних вимірювальних приладів?
- а) 0,05; 0,1;
 - б) 0,2; 0,5;
 - в) 1,0; 1,5; 2,5
 - г) 4; 5
- 22.** Які класи точності властиві для технічних вимірювальних приладів?
- а) 0,05; 0,1;
 - б) 0,2; 0,5;
 - в) 1,0; 1,5; 2,5
 - г) 4; 5
- 23.** Які класи точності властиві для шкільних вимірювальних приладів?
- а) 0,05; 0,1;
 - б) 0,2; 0,5;
 - в) 1,0; 1,5; 2,5
 - г) 4; 5
- 24.** Який опір повинен мати вольтметр, щоб він не створював великих втрат енергії ?
- а) це залежить від системи приладу
 - б) великий
 - в) малий
 - г) це залежить від точності приладу
- 25.** Чи можна магнітоелектричний прилад використовувати для вимірювань у колах змінного струму?
- а) можна
 - б) не можна
 - в) можна, якщо ввести додатковий опір
 - г) можна, якщо прилад під'єднати через випрямну систему
- 26.** Який опір повинен мати амперметр, щоб він не створював великих втрат енергії ?
- а) це залежить від системи приладу

- б) великий
- в) малий
- г) це залежить від точності приладу

27. Доповнити.

Амперметр вмикається в схему..... до навантаження

- а) паралельно
- б) послідовно
- в) рухома – паралельно, нерухома – послідовно
- г) рухома – послідовно, нерухома – паралельно

28. Доповнити.

Вольтметр вмикається в схему..... до навантаження

- а) паралельно
- б) послідовно
- в) рухома – паралельно, нерухома – послідовно
- г) рухома – послідовно, нерухома – паралельно

29. Які елементи використовують для розширення меж вимірювання амперметрів у колах постійного струму?

- а) додаткові резистори
- б) дроселі
- в) шунти
- г) вимірювальні трансформатори струму

30. Який елемент використовують для розширення меж вимірювання вольтметрів у колах постійного струму?

- а) шунт
- б) дросель
- в) додатковий резистор

г) вимірювальний трансформатор напруги

31. Для розширення меж вимірювання у колах постійного струму застосовують

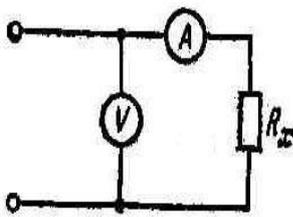
а) шунти, які вмикають послідовно з амперметром

б) шунти, які вмикають паралельно до амперметра

в) вимірювальні трансформатори

г) додаткові резистори, які вмикають послідовно з амперметром

32. Для вимірювання яких опорів доцільно використовувати схему?



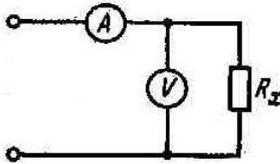
а) великих опорів

б) середніх опорів

в) опорів, значно менших від внутрішнього опору вольтметра

г) опорів, значно більших, ніж внутрішній опір амперметра

33. Для вимірювання яких опорів доцільно використовувати цю схему?



а) малих опорів

б) середніх опорів

в) опорів, значно більших від опору амперметра

г) опорів, набагато менших від опору вольтметра

34. Як вмикаються рухома і нерухома обмотки ватметра?

а) паралельно

б) послідовно

в) рухома – паралельно, нерухома – послідовно

г) рухома – послідовно, нерухома – паралельно

35. В колах постійного струму потужність вимірюється методом....

а) амперметра і ватметра

б) методом одного ватметра

в) методом трьох ватметрів

- г) методом двох ватметрів
- 36.** В чотирьохпровідній мережі з симетричним навантаженням активна потужність вимірюється методом....
- а) амперметра і ватметра
 - б) методом одного ватметра
 - в) методом трьох ватметрів
 - г) методом двох ватметрів
- 37.** В чотирьохпровідній мережі з несиметричним навантаженням активна потужність вимірюється методом....
- а) амперметра і ватметра
 - б) методом одного ватметра
 - в) методом трьох ватметрів
 - г) методом двох ватметрів
- 38.** В трьохпровідній мережі активна потужність вимірюється методом....
- а) амперметра і ватметра
 - б) методом одного ватметра
 - в) методом трьох ватметрів
 - г) методом двох ватметрів

ТЕСТИ З ТЕМИ:

«ТРАНСФОРМАТОРИ»

- 1.** При якій напрузі доцільно передавати електричну енергію на великі відстані?
- а) при високій
 - б) при низькій
 - в) це залежить від характеру навантаження
 - г) це залежить від потужності генератора
- 2.** Скільки стержнів повинно мати осердя трифазного трансформатора?
- а) 1

- б) 2
- в) 3
- г) 4

3. Чому магнітопровід трансформатора виготовляють з ізольованих пластин електротехнічної сталі?

- а) для спрощення технології виготовлення
- б) для зменшення маси трансформатора
- в) для зменшення магнітних втрат
- г) для зменшення теплових і магнітних втрат

4. У паспорті трансформатора зазначається потужність

- а) активна
- б) реактивна
- в) повна
- г) корисна

5. Які трансформатори характеризуються великою і середньою потужністю?

- а) стержньові
- б) броньові
- в) тороїдальні
- г) підвищувальні

6. В якому режимі нормально працює вимірювальний трансформатор напруги?

- а) у режимі оптимального навантаження
- б) у режимі, при якому к.к.д. максимальний
- в) у режимі короткого замикання
- г) у режимі холостого ходу

7. Визначити відповідність

1) Трансформатор називається підвищувальним, якщо напруга на первинній обмотці U_1 і вторинній U_2 мають співвідношення.

а) $U_1 < U_2$

2) Трансформатор називається знижувальним, якщо напруга на первинній обмотці U_1 і вторинній U_2 мають співвідношення.

б) $U_1 > U_2$

8. Чому дорівнює відношення напруг на затискачах первинної і вторинної обмоток трансформатора?

- а) відношенню частот струму на вході і виході трансформатора
- б) відношенню кількості витків обмоток
- в) відношенню потужностей на вході і виході трансформатора
- г) відношенню струмів первинної і вторинної обмоток

9. Однофазний трансформатор під'єднаний до мережі 220 В. Споживана потужність 2,2 кВт. Струм первинної обмотки 2,5 А. Знайдіть коефіцієнт трансформації.

- а) $k = 2$
- б) $k = 3$
- в) $k = 4$
- г) $k = 5$

10. Скільки витків на вторинній обмотці силового трансформатора, якщо $U_1 = 220$ В, $U_2 = 55$ В, $w_1 = 100$ витків?

- а) 25
- б) 00
- в) 121
- г) 50

11. Який коефіцієнт трансформації трансформатора, якщо $I_1 = 10$ А, $I_2 = 5$ А?

- а) 2
- б) 0,5
- в) 0,05
- г) 50

12. Яку потужність вимірює ватметр, під'єднаний у первинну обмотку трансформатора при короткому замиканні?

- а) потужність номінальних втрат у трансформаторі
- б) потужність втрат в обмотках
- в) потужність втрат у магнітопроводі

- г) потужність у магнітопроводі та електричні втрати у первинній обмотці
- 13.** Які прилади необхідні для досліду короткого замикання трансформатора?
- а) два амперметри, вольтметр і ватметр
 - б) два вольтметри, амперметр і ватметр
 - в) два вольтметри і ватметр
 - г) амперметр і вольтметр
- 14.** У режимі холостого ходу трансформатора активна потужність витрачається на
- а) втрати в обмотках
 - б) втрати у магнітопроводі
 - в) втрати у первинній обмотці
 - г) втрати у вторинній обмотці
- 15.** Що показує ватметр, ввімкнений у коло первинної обмотки трансформатора у досліді короткого замикання?
- а) втрати в осерді трансформатора
 - б) втрати у первинній обмотці
 - в) втрати у вторинній обмотці
 - г) втрати в обмотках трансформатора
- 16.** Що показує ватметр, під'єднаний до первинного кола трансформатора, якщо вторинна обмотка розімкнута?
- а) нуль
 - б) втрати потужності у магнітопроводі
 - в) втрати енергії в обмотках трансформатора
 - г) втрати енергії у первинній обмотці
- 17.** Для якого режиму роботи трансформатора магнітні втрати у сталі значно менші від втрат в обмотках?
- а) холостого ходу
 - б) короткого замикання
 - в) при індуктивному характері навантаженні

- б) випрямлення змінної ЕРС, що індукується в обертовій обмотці якоря
 - в) створення магнітного поля
 - г) боротьба з комутаційним іскрінням
2. В якого генератора постійного струму обмотка збудження ввімкнена паралельно до обмотки якоря?
- а) у серієсного
 - б) у шунтового
 - в) у компаундного
 - г) з незалежним збудженням
3. Вкажіть механічну характеристику двигуна постійного струму
- а) $n(P2)$
 - б) $I_{я}(P2)$
 - в) $n(M)$
 - г) $M(P2)$
4. Ковзання асинхронного двигуна 5%, частота струму живлення 50 Гц, обертове магнітне поле статора – шестиполюсне. Знайти швидкість обертання ротора, об/хв.
- а) 3000
 - б) 2850
 - в) 1425
 - г) 950
5. Який спосіб пуску використовують для асинхронних двигунів з фазним ротором?
- а) прямий пуск
 - б) пуск при зниженій напрузі
 - в) з допомогою пускового реостата
 - г) через автотрансформатор
6. Який спосіб поліпшення комутації доцільно використовувати у потужних машинах постійного струму?

- а) встановлення додаткових полюсів
- б) надійне кріплення обмотки якоря
- в) шунтування обмотки збудження
- г) зміна напруги живлення

7. У якого двигуна постійного струму обмотка збудження ввімкнена послідовно з обмоткою якоря?

- а) у шунтового
- б) у серієсного
- в) у компаундного
- г) з незалежним збудженням

8. Що відбудеться, якщо двигун постійного струму послідовного збудження під'єднати до мережі при від'єданому механічному навантаженні на валу?

- а) двигун не запуститься
- б) обмотка якоря перегріється
- в) двигун піде “в рознос”
- г) перегріється обмотка збудження

9. Частота струму живлення 500 Гц. Знайдіть швидкість обертання двополюсного обертового магнітного поля, об/хв.

- а) 15000
- б) 60000
- в) 30000
- г) 3000

10. Чим відрізняється асинхронний двигун з фазною обмоткою ротора від асинхронного двигуна з короткозамкнутою обмоткою ротора?

- а) наявністю контактних кілець
- б) наявністю зазору для охолодження повітрям

- в) металом, з якого виготовлена обмотка ротора
- г) кількістю котушок статора

11. Чому осердя обертового якоря машини постійного струму набирають з тонких ізольованих листів електротехнічної сталі?

- а) для зменшення електричних втрат у машині
- б) для зменшення теплових і магнітних втрат
- в) для зменшення маси якоря
- г) з конструктивних міркувань

12. В якого генератора постійного струму використовується паралельна і послідовна обмотки ?

- а) у компаундного
- б) з незалежним збудженням
- в) у серієсного
- г) у шунтового

13. З якою метою використовують компенсаційну обмотку у машинах середньої і великої потужності ?

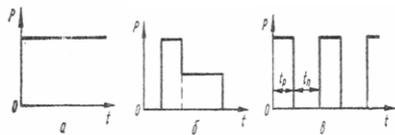
- а) щоб знизити ЕРС машини
- б) щоб поліпшити комутацію
- в) щоб підвищити обертовий момент
- г) щоб збільшити струм якоря

14. Який спосіб пуску використовується для асинхронних двигунів малої і середньої потужності ?

- а) прямий пуск
- б) ввімкнення двигуна у мережу через знижувальний автотрансформатор
- в) перемикання обмотки статора з «трикутника» на пускову схему «зірка»
- г) пуск при допомозі пускового реостата

15. Виберіть параметри, від яких залежить частота обертання ротора асинхронного двигуна
- а) f, p, s
 - б) s, p
 - в) I, U
 - г) E, I, R
16. В яких генераторах постійного струму використовують додаткові полюси ?
- а) у малопотужних
 - б) у машинах великої потужності
 - в) у шунтових генераторах
 - г) у генераторах з незалежним збудженням
17. Як з'єднують обмотку додаткових полюсів ?
- а) послідовно з обмоткою збудження
 - б) паралельно з обмоткою збудження
 - в) послідовно з обмоткою якоря
 - г) паралельно з обмоткою якоря
18. Виберіть умову роботи асинхронної машини в режимі двигуна, якщо n_1 – швидкість обертання магнітного поля, n_2 - швидкість обертання ротора
- а) $n_1 > n_2$
 - б) $n_1 < n_2$
 - в) $n_1 = n_2$
 - г) $n_2 = 0$
19. Із збільшенням навантаження на валу асинхронного двигуна ковзання
- а) збільшується
 - б) зменшується
 - в) ковзання не залежить від навантаження двигуна
 - г) наближається до нуля
20. Явнополюсні ротори застосовують
- а) у швидкохідних синхронних машинах
 - б) у тихохідних синхронних машинах

- в) в асинхронних машинах
- г) у машинах постійного струму
21. На якому струмі обертове магнітне поле має більшу магнітну індукцію?
- а) постійному
 - б) змінному однофазному
 - в) змінному трифазному
 - г) і на постійному і на змінному
22. Доповнити: сердечник і статора і ротора збирають з сталевих пластин змочених в лаці, тому що _____
- а) так зручніше в експлуатації
 - б) щоб не виникало коротке замикання між пластинами
 - в) для зменшення втрат на віхрьові струми
 - г) для зменшення втрат на перемагнічування
23. Зменшення напруги мережі у асинхронних двигунів призведе до...
- а) того, що обертаючий момент залишиться незмінним
 - б) збільшення обертаючого моменту
 - в) зменшення обертаючого моменту
24. Доповнити: при пуску АД пусковий струм ____
- а) залишиться незмінним
 - б) збільшується
 - в) зменшується
25. Всі великі сучасні синхронні генератори випускаються
- а) з нерухомим і рухомим індуктором;
 - в) з короткозамкненим ротором
 - г) з фазним ротором
26. Доповнити: двигун збудження не боїться розносу
- а) паралельного
 - б) послідовного
 - в) мішаного
 - г) незалежного
27. Встановити відповідність
Якому режиму роботи електродвигуна співвідносяться графіки



- 1) короткочасний
- 2) тривалий
- 3) повторно-короткочасний

28. Встановити відповідність

1) з збільшенням навантаження на валу асинхронного двигуна.....

а) ковзання зменшується

2) з зменшенням навантаження на валу асинхронного двигуна.....

б) ковзання зростає

29. Встановити відповідність та доповніть пуск асинхронних двигунів

1) з потужністю до 10—20 кВт здійснюють..

а) перемиканням обмотки

2) з короткозамкненим ротором обмотка статора якого з'єднана в зірку здійснюється..

статора з зірки на трикутник
б) вмиканням обмотки статора через реактор

3) з короткозамкненим ротором обмотка статора якого з'єднана в трикутник здійснюється....

в) підключенням безпосередньо в мережу

4) з фазним ротором здійснюється.....

г) вмиканням пускового реостата в обмотку ротора

30. Визначити відповідність «контактів магнітного пускача до їх функцій»
Згідно схеми включення

1) контакти магнітного пускача №1 необхідні..

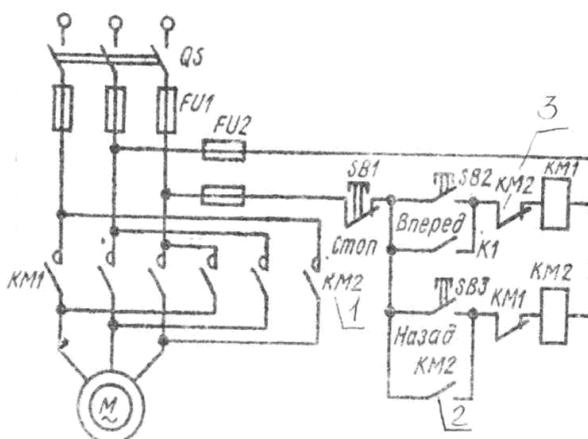
а) для блокування кнопки

2) контакти магнітного пускача №2 необхідні..

б) для блокування роботи магнітного пускача КМ2

3) контакти магнітного пускача №3 необхідні..

в) для запуску двигуна у зворотньому напрямку



ТЕСТИ З ТЕМИ:

«НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПРИЛАДИ»

1. Скільки р-n переходів має симістор?
 - а) 2
 - б) 3
 - в) 4
 - г) 5

2. Як називається напівпровідниковий прилад, принцип роботи якого ґрунтується на тому, що зворотна напруга на р-n переході в діапазоні електричного пробою майже не змінюється у випадку значної зміни струму?
 - а) варикап
 - б) термістор
 - в) позистор
 - г) стабілітрон

3. З якого матеріалу виготовлений транзистор, маркування якого починається з цифри 2?
 - а) з кремнію
 - б) з індію
 - в) з германію
 - г) з арсеніду галію

4. Яка схема ввімкнення транзистора характеризується найбільшим коефіцієнтом підсилення за струмом і за потужністю?
 - а) із спільним емітером
 - б) із спільним колектором
 - в) із спільною базою

5. Як називається напівпровідниковий прилад з одним р-n переходом, який перетворює електричну енергію в енергію світлового випромінювання?
 - а) фототранзистор
 - б) фототиристор
 - в) світлодіод

г) оптрон

6. Напівпровідниковий діод, в якому використовується залежність ємності р-п переходу від зворотної напруги, називається:

а) стабілітроном

б) стабістором

в) тунельним діодом

г) варикапо

7. Напівпровідниковий прилад, в якому електричний опір змінюється залежно від інтенсивності та спектрального складу падаючого випромінювання

а) фоторезистор

б) фотодіод

в) фототранзистор

г) фототиристор

8. У якому режимі біполярний транзистор працює як швидкодіючий електронний комутатор?

а) в активному

б) у режимі насичення

в) у режимі відсікання

г) у ключовому режимі

9. На яку напругу стабілізації розрахований стабілітрон КС168А?

а) 168 В

б) 6,8 В

в) 68 В

г) 1,68 В

10. Яка схема ввімкнення транзистора має високий вхідний і низький вихідний опір і використовується в основному для узгодження опорів між окремими каскадами або між виходом підсилювача і низькоомним навантаженням?

а) з загальним емітером

б) з загальною базою

в) з загальним колектором

- 11.** Як називається напівпровідниковий прилад з трьома р-п переходами і трьома виводами?
- а) диністор
 - б) триністор
 - в) симістор
 - г) транзистор
- 12.** Виберіть характеристики транзистора КТ608
- а) середньої потужності, низькочастотний
 - б) середньої потужності, високочастотний
 - в) великої потужності, низькочастотний
 - г) великої потужності, високочастотний
- 13.** З якого матеріалу виготовлений діод 1Д402А?
- а) зі сполук індію
 - б) зі сполук галію
 - в) з германію
 - г) з кремнію
- 14.** Щоб не допустити пробою транзистора у схемі з загальним емітером, при під'єднанні транзистора до джерела живлення першим підключають
- а) базовий вивід
 - б) вивід емітера
 - в) вивід колектора
 - г) будь-який вивід
- 15.** Вивід В – витік польового транзистора відповідає
- а) емітеру біполярного транзистора
 - б) колектору біполярного транзистора
 - в) базі біполярного транзистора
- 16.** Що означає марка транзистора ГТ 115А?
- а) германієвий, малопотужний високочастотний, номер розробки 115, група А

- б) германієвий, середньої потужності, низькочастотний, номер розробки 15, група А
- в) германієвий, малопотужний низькочастотний, номер розробки 15, група А
- г) германієвий, великої потужності, середньочастотний, номер розробки 115, група А

17. У транзисторі n-p-n типу струм проходить

- а) від емітера до бази
- б) від бази до емітера
- в) від бази до колектора
- г) від колектора до бази

18. Який вивід транзистора у схемі з загальним емітером не можна від'єднувати першим?

- а) емітерний
- б) колекторний
- в) базовий
- г) першим можна від'єднувати будь-який вивід

19. Який діод належить до випрямного типу діодів?

- а) АИ201И
- б) КД202А
- в) АЛ307А
- г) Д814А

20. Вивід С – стік польового транзистора відповідає

- а) емітеру біполярного транзистора
- б) колектору біполярного транзистора
- в) базі біполярного транзистора

ТЕСТИ З ТЕМИ:

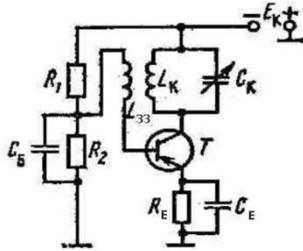
«ЕЛЕКТРОННІ ВИПРЯМЛЯЧІ, ПІДСИЛЮВАЧІ ТА ГЕНЕРАТОРИ»

1. Схема якого випрямляча найбільш поширена в радіоапаратурі?

- а) двопівперіодна з середньою точкою

- б) місткова
- в) однопівперіодна
- г) схема трифазного випрямляча

2. Які параметри схеми автогенератора в основному впливають на частоту коливань?



- а) L_k ; C_k ; C_e ; C_b
- б) L_k ; C_k ; L_{33}
- в) L_k ; C_k
- г) L_k ; C_k ; C_e

3. Підсилювач складається з трьох каскадів, коефіцієнти підсилення яких $k_1 = 20$; $k_2 = 10$; $k_3 = 30$. Який загальний коефіцієнт підсилення?

- а) 60
- б) 6000
- в) $20 \lg 60$
- г) $20 \lg 6000$

4. Як називається підсилювач, навантаженням якого є паралельний коливальний контур?

- а) широкопasmовий
- б) підсилювач постійного струму
- в) резонансний
- г) підсилювач звукової частоти

5. Нелінійні спотворення ПЗЧ визначаються?

- а) залежністю параметрів транзисторів від частоти
- б) реактивними елементами ПЗЧ
- в) нелінійністю вольт-амперної характеристики транзисторів
- г) схемою включення транзистора

6. Виберіть вираз для постійної складової випрямленої напруги однопівперіодного випрямляча

- а) $U_0 = 0,45U_2$
- б) $U_0 = 0,9U_2$

в) $U_0=1,41U_2$

г) $U_0=2,82U_2$

7. Коефіцієнти підсилення трикаскадного підсилювача відповідно дорівнюють 10 дБ, 20 дБ, 30 дБ. Який загальний коефіцієнт підсилення підсилювача?

а) 60 дБ

б) 6000 дБ

в) $20 \lg 60$

г) $20 \lg 6000$

8. Чутливість підсилювача – це

а) максимальна вхідна напруга, яку необхідно подати на вхід підсилювача, щоб на його виході дістати задану потужність

б) номінальна вхідна напруга, яку необхідно подати на вхід підсилювача, щоб на його виході дістати задану потужність

в) відношення максимальної вхідної напруги до мінімальної вхідної напруги

г) діюче значення вхідної напруги підсилювача

9. Генератори типу LC використовуються в основному

а) на високих частотах

б) на низьких частотах

в) як генератори імпульсів

г) як генератори пилкоподібної напруги

10. Який генератор виробляє імпульси прямокутної форми?

а) RC – генератор

б) LC – генератор

в) генератор типу LC з ємнісним зв'язком

г) мультивібратор

11. Для зменшення пульсацій випрямленого струму призначений

а) вентиль

б) фільтр

в) стабілізатор

г) каскад

12. Постійна складова випрямленої напруги у схемі двопівперіодного одноктного випрямляча

а) $U_0=0,45 U_2$

б) $U_0=1,41 U_2$

в) $U_0=2,82 U_2$

г) $U_0=0,9 U_2$

13. Величина, яка показує, у скільки разів напруга вихідного сигналу підсилювача більша від напруги сигналу на його вході, називається

а) коефіцієнтом корисної дії

б) динамічним діапазоном

в) коефіцієнтом підсилення

г) коефіцієнтом частотних спотворень

14. Як називається пристрій, який перетворює енергію джерела постійного струму в енергію електромагнітних коливань певної форми, частоти та амплітуди

а) підсилювач

б) блок живлення

в) генератор

г) стабілізатор

15. Параметрична стабілізація частоти синусоїдних електричних коливань генератора забезпечується використанням

а) кварцового резонатора

б) стабілізатора напруги

- в) термокомпенсованих резисторів і конденсаторів
- г) стабілізатора струму

16. Як називається підсилювач постійного струму, який виготовляється у вигляді інтегральної мікросхеми, має два входи, один вихід і великий коефіцієнт підсилення ?

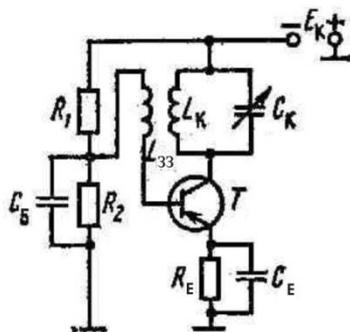
- а) підсилювач постійного струму
- б) резонансний
- в) операційний
- г) широкопasmовий.

17. Яке з приведених співвідношень властиве для схеми однопівперіодного випрямляча ?

- а) $U_0 = 0,9 U_2$; $U_{зв.} = 2,82 U_2$
- б) $U_0 = 0,45 U_2$; $U_{зв.} = 1,41 U_2$
- в) $U_0 = 0,45 U_2$; $U_{зв.} = 2,82 U_2$
- г) $U_0 = 0,9 U_2$; $U_{зв.} = 1,41 U_2$

18. При складанні автогенератора з індуктивним зворотним зв'язком було порушено умову балансу фаз. Яким чином можна забезпечити виконання цієї умови?

- а) поміняти місцями провідники, що йдуть до S_k
- б) збільшити індуктивність L_{33}
- в) зменшити індуктивність L_{33}
- г) поміняти місцями провідники, що йдуть у L_{33}



19. Скільки однакових каскадів з коефіцієнтом підсилення $k_u = 10$ повинен

містити підсилювач, щоб забезпечити загальне підсилення 100?

а) 10

б) 2

в) це залежить від схеми

г) це залежить від потужності

20. Частота коливань, які виробляє LC – генератор визначається за формулою

а) $f = 1/T$

б) $f = 1/2\pi\sqrt{LC}$

в) $f = 1/\sqrt{2\pi LC}$

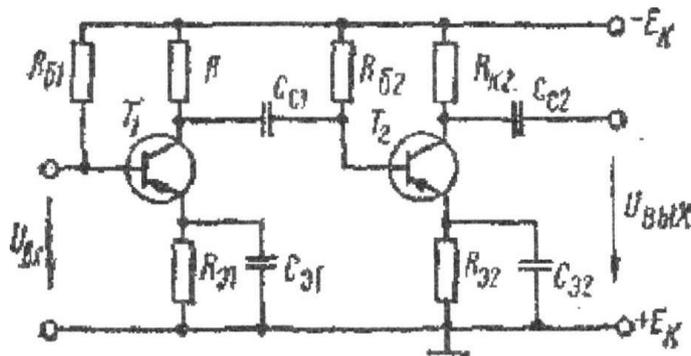
г) $f = \omega/2\pi$

21. На схемі зображений двохкаскадний підсилювач з

а) трансформаторним зв'язком; б)

гальванічним зв'язком;

в) ємнісним зв'язком



КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Для кожного тестового завдання з вибором відповіді подано три-чотири варіанти відповідей, з яких тільки одна вірна. Завдання з вибором відповіді вважається виконаним вірно, якщо в бланку відповідей указана тільки одна літера, якою позначена вірна відповідь..

Правильне розв'язання кожного завдання теми оцінюється одним балом.

Сума балів, нарахованих за вірно виконані студентом завдання, переводиться в оцінку за 4-бальною системою оцінювання навчальних досягнень студентів за спеціальною шкалою.

Відповідність кількості набраних балів студентом оцінці за 4-бальною системою оцінювання навчальних досягнень студентів по кожній темі наведено у таблиці 1.

ТЕМА №1 «ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ»

Кількість набраних балів	Оцінка за 4-бальною системою
0-4	2
5-6	3
7	4
8	5

Таблиця 1

ТЕМА №2 «ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ»

Кількість набраних балів	Оцінка за 4-бальною системою
0-25	2

Таблиця 1

34-26	3
44-35	4
50-45	5

ТЕМА №3 «ОДНОФАЗНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ЗМІННОГО СТРУМУ»

Кількість набраних балів	Оцінка за 4-бальною системою
0-15	2
20-16	3
26-21	4
30-27	5

Таблиця 1

ТЕМА №4 «ТРИФАЗНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА»

Кількість набраних балів	Оцінка за 4-бальною системою
0-14	2
19-15	3
24-20	4
28-25	5

Таблиця 1

ТЕМА №5 «ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ ТА ПРИЛАДИ»

Кількість набраних балів	Оцінка за 4-бальною системою
0-17	2
24-18	3
31-25	4
35-32	5

Таблиця 1

ТЕМА №6 «ТРАНСФОРМАТОРИ»

Кількість набраних балів	Оцінка за 4-бальною системою
0-10	2
14-11	3
18-15	4
21-19	5

Таблиця 1

ТЕМА №7 «ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ»

Кількість набраних балів	Оцінка за 4-бальною системою
0-15	2
20-16	3
26-21	4
30-27	5

Таблиця 1

ТЕМА №8 «НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПРИЛАДИ»

Кількість набраних балів	Оцінка за 4-бальною системою
0-10	2
13-11	3
17-14	4
20-18	5

Таблиця 1

ТЕМА №9 «ЕЛЕКТРОННІ ВИПРЯМЛЯЧІ, ПІДСИЛЮВАЧІ ТА ГЕНЕРАТОРИ»

Кількість набраних балів	Оцінка за 4-бальною системою
0-10	2
14-11	3
18-15	4
21-19	5

Таблиця 1

ВІДПОВІДІ

ТЕМА №1 «ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ»

1)в; 2)б; 3)г; 4)б; 5)а; 6)а; 7)г; 8)б;

ТЕМА №2 «ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ»

1)б; 2)а; 3)в; 4)б; 5)б; 6)в; 7)а; 8)б; 9)б; 10)а; 11)б; 12)в; 13)б; 14)г; 15)а; 16)б;
17)а; 18)б; 19)в; 20)а; 21)б; 22) 1-а; 2-б; 23)в; 24)б,в,г; 25)б; 26)б; 27)а; 28)в;
29)в; 30)а; 31)б; 32)а; 33)б; 34)в; 35)г; 36)в; 37)б; 38)1-б; 2-г; 39)а; 40)в; 41)г;
42)1-а; 2-б; 3-в; 43)в; 44)1-б; 2-а; 3-в; 45)1-б; 2-а; 46)а; 47)в; 48)а; 49)б; 50)б;

ТЕМА №3 «ОДНОФАЗНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ЗМІННОГО СТРУМУ»

1)г; 2)а; 3)б; 4)в; 5)б; 6)1-б; 2-а; 3-в; 7)б; 8)б; 9)б; 10)б; 11)а; 12)1-в; 2-б; 3-а;
13)г; 14)1-в; 2-а; 3-б; 15)в; 16)а; 17)1-в; 2-а; 3-в; 18)б; 19)б; 20)г; 21)в; 22)б; 23)в;
24)г; 25)1-б; 2-а; 26)а; 27)б; 28)б; 29)1-а; 2-г; 3-б; 4-в; 30)б;

ТЕМА №4 «ТРИФАЗНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА»

1)г; 2)г; 3)а; 4)б; 5)в; 6)г; 7)в; 8)б; 9)г; 10)в; 11)а; 12)б; 13)1-а; 2-б; 14)1-а; 2-б;
15)в; 16)б; 17)а; 18)б; 19)в; 20)в; 21)б; 22)а; 23)г; 24)а; 25)а; 26)а; 27)1-в; 2-б; 3-
г; 4-а

ТЕМА №5 «ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ ТА ПРИЛАДИ»

1)в; 2)а; 3)а; 4)б; 5)в; 6)б; 7)г; 8)б; 9)1-а; 2-б; 3-в; 4-г; 5-д; 6-е; 7-ж; 10)1-б;
2-а; 3-г; 4-д; 5-в; 6-ж; 7-е; 11)а; 12)в; 13)б; 14)а; 15)г; 16)в; 17)в; 18)1-б; 2-а; 3-а;
19)г; 20)б; 21)а; 22)в; 23)г; 24)б; 25)б; 26)в; 27)б; 28)а; 29)в; 30)в; 31)б; 32)а;
33)а; 34)в; 35)а;

ТЕМА №6 «ТРАНСФОРМАТОРИ»

1)а; 2)в; 3)г; 4)в; 5)б; 6)а; 7)1-а; 2-б; 8)б; 9)в; 10)а; 11)б; 12)б; 13)б; 14)б; 15)г;
16)б; 17)б; 18)г; 19)б; 20)г; 21)г;

ТЕМА №7 «ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ»

1)б; 2)б; 3)в; 4)г; 5)в; 6)а; 7)б; 8)в; 9)а; 10)б; 11)б; 12)в; 13)в; 14)а; 15)а; 16)б;
17)а; 18)а; 19)а; 20)б; 21)в; 22)в; 23)в; 24)б; 25)а; 26)а; 27)1-в; 2-а; 3-б 28)1-б; 2-
а; 29)1-в; 2-а; 3-б; 4-г; 30)1-в; 2-а; 3-б;

ТЕМА №8 «НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПРИЛАДИ»

1)г; 2)г; 3)а; 4)а; 5)в; 6)г; 7)а; 8)г; 9)а; 10)в; 11)г; 12)а; 13)в; 14)а; 15)б; 16)в;
17)б; 18)в; 19)б; 20)б;

ТЕМА №9 «ЕЛЕКТРОННІ ВИПРЯМЛЯЧІ, ПІДСИЛЮВАЧІ ТА ГЕНЕРАТОРИ»

1)а; 2)в; 3)б; 4)в; 5)б; 6)а; 7)б; 8)б; 9)а; 10)в; 11)б; 12)г; 13)в; 14)а; 15)в; 16)б;
17)б; 18)а; 19)б; 20)б; 21)в.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Електроніка та мікросхемотехніка [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка» / А. А. Щерба, К. К. Побєдаш, В. А. Святненко: – Київ: НТУУ «КПІ», 2013. – 360 с. - Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/3569>
2. Електротехніка та електроніка. Теоретичні відомості, розрахунки та дослідження за підтримкою комп'ютерних технологій: Навч. посіб. /Щерба А.А., Рябенський В.М., Кучеренко М.Є., Побєдаш .К.К. та ін. – К.: "Корнійчук", 2007, - 488 с. з іл.
3. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник для студентів вищих навчальних закладів, що навчаються за напрямками “Електромеханіка” та “Електротехніка”: У 4-х т. /Сенько В.І., Панасенко М.В., Сенько Є.В. та ін. Т2. Аналогові та імпульсні пристрої. –Харків: Фоліо, 2002.
4. Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум: Навч. посіб. 2-е вид. – К.: Каравела, 2004, - 432 с.
5. Руденко В.С., Сенько В.І., Трифонюк В.В. Основы промышленной электроники. – К.: Выща шк., 1985. – 400 с.
6. Горбачев Г.Н., Чаплыгин Е.Е. Промышленная электроника. –М.: Энергоатомиздат, 1988. 7. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. –М.: ВШ, 1982.
7. Скаржепа В.А., Луценко А.Н. Электроника и микросхемотехника. Ч.1. Электронные устройства информационной автоматики. –К.: Выща шк., 1989.
8. Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И. Аналоговая и цифровая электроника. –М.: Горячая Линия – Телеком, 2000.
9. Методические указания к выполнению лабораторного практикума по разделу «Аналоговые устройства и системы» курса «Энергетическая электроника» для студентов факультета «Электроэнерготехника и автоматика». /Сост. В.И.Сенько, Н.П.Макаренко, К.К.Побєдаш, В.С.Смирнов. –К.: КПИ, 1989.
10. Розділ «Аналогові пристрої та системи» // Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Електроніка» для студентів електротехнічного та електроенергетичного фаху. /Укладачі: В.І.Сенько, М.П.Макаренко, К.К.Побєдаш та ін. –К.: КПІ, 1993.

11. Основи схемотехніки електронних систем: Підручник /В.І.Бойко, А.М.Гуржій, В.І.Жуйков та ін. – К.: Вища шк., 2004.
12. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін «Електроніка та мікросхемотехніка», «Електроніка і системотехніка» для студентів вищих навчальних закладів усіх форм навчання, що навчаються за напрямками «Електромеханіка», «Електротехніка», «Опtotехніка». Розд. «Аналогові пристрої», з грифом НТУУ «КПІ» укладачів: А.А Щерби, В.І.Сенько, К.К.Победаша та ін.

