

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЛАБОРАТОРНИЙ
ПРАКТИКУМ З
ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

Кривий Ріг - 2017

УДК 621.3(075.8)(076.5)

Лабораторний практикум з електротехніки : [навчально-методичний
Л12 посібник] / [автори-укладачі О. О. Лаврентьєва, А. С. Солоха]. – Кривий
Ріг : КДПУ, 2017. – 112 с.

Рецензенти:

Коновал О. А. – завідувач кафедри фізики та методики її навчання КДПУ,
доктор педагогічних наук, професор.

Антоненко І. І. – доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін та
професійного навчання КДПУ, кандидат технічних наук, доцент.

До посібника включено 19 лабораторних робіт з курсу «Електротехніка з
практикумом електромонтажних робіт» для студентів технологічного-педагогічного і
інженерно-педагогічного спеціальностей. Посібник містить опис методики
організації лабораторних робіт у тому числі з використанням сучасних
комп'ютерних технологій, програм-емуляторів.

Для викладачів, студентів вищих педагогічних навчальних закладів

*Рекомендовано до друку вченою радою факультету дошкільної та
технологічної освіти Криворізького державного педагогічного університету
(протокол № 3 від 15 листопада 2017 р.)*

УДК 621.3(075.8)(076.5)

©

ЗМІСТ

МЕТОДИКА ОРГАНІЗАЦІЇ ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ	3
ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ.....	5
ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ НА ЗАНЯТТЯХ З ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ..	7
АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА ТА ЙОГО ПАРАМЕТРІВ.....	11
Лабораторна робота №1. ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОЧОГО МІСЦЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕЛЕКТРОМОНТАЖНИХ РОБІТ	17
Лабораторна робота № 2. ВИВЧЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ	20
Лабораторна робота № 3. ТИПИ ТА ОСОБЛИВОСТІ КОСТРУКЦІЇ ПАЯЛЬНИКІВ	24
Лабораторна робота № 4. ВИМІРЮВАННЯ ОПОРУ МЕТОДОМ ВОЛЬТМЕТРА-АМПЕРМЕТРА	27
Лабораторна робота № 5. МЕТОДИ Й ПРИЛАДИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ОПОРІВ	30
Лабораторна робота № 6. ВИВЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗГАЛУЖЕНОГО КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	36
Лабораторна робота № 7. ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА.....	39
Лабораторна робота № 8. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КОЛА ОДНОФАЗНОГО СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ З ПОСЛІДОВНИМ З'ЄДНАННЯМ СПОЖИВАЧІВ	43
Лабораторна робота № 9. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КОЛА ОДНОФАЗНОГО СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ З ПАРАЛЕЛЬНИМ З'ЄДНАННЯМ СПОЖИВАЧІВ	46
Лабораторна робота № 10. ТРИФАЗНІ КОЛА ЗМІННОГО СТРУМУ. З'ЄДНАННЯ ЗІРКОЮ.....	50
Лабораторна робота № 11. ТРИФАЗНІ КОЛА ЗМІННОГО СТРУМУ. З'ЄДНАННЯ ТРИКУТНИКОМ.....	55
Лабораторна робота № 12. ВИЗНАЧЕННЯ ККД АСИНХРОННОГО КОЛЕКТОРНОГО ДВИГУНА.....	58
Лабораторна робота № 13. ДОСЛІДЖЕННЯ НЕРЕВЕРСИВНОЇ ТА РЕВЕРСИВНОЇ СХЕМ МАГНІТНОГО ПУСКАЧА	62
Лабораторна робота № 14. ДОСЛІДЖЕННЯ ПУСКУ І РЕВЕРСУ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ.....	66

Лабораторна робота № 15. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ДІОДА.....	70
Лабораторна робота №16. ЕЛЕКТРИЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ. КОНСТРУКЦІЯ ПРИЛАДІВ ЕЛЕКТРОУСТАНОВКИ.....	75
Лабораторна робота № 17. ЗНЯТТЯ ВХІДНИХ ТА ВИХІДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНЗИСТОРА	89
Лабораторна робота №18. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ РЕЛЕ ЧАСУ	92
Лабораторна робота № 19. ОДНОФАЗНІ НАПІВПРОВІДНИКОВІ ВИПРЯМЛЯЧІ.....	100
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	111

МЕТОДИКА ОРГАНІЗАЦІЇ ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ З ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

Лабораторні заняття з електротехніки, незалежно від їхнього призначення та змісту, мають приблизно однакову структуру:

I початковий етап – допуск до заняття, у ході якого викладач перевіряє готовність студентів до виконання лабораторних робіт: рівень теоретичної підготовки, розуміння сутності майбутньої роботи, наявність підготовлених письмових матеріалів (таблиць для запису експериментальних даних, заготовок для графіків та ін.) для фіксації дослідних даних. У разі виконання лабораторних робіт, пов'язаних з можливою небезпекою для здоров'я та життя студентів, обов'язковим є інструктаж з правил безпеки й контроль за їх дотриманням.

II етап. Проведення студентами дослідів і збір експериментальних даних.

III етап. Обробка експериментальних даних й оформлення звітів.

IV етап. Здача викладачеві звітів з роботи.

У ряді випадків, якщо студентам не вдається оформити звіти на даному занятті, особливо, коли експериментальні дані вимагають серйозної обробки, здача звітів відбувається на наступному занятті в спеціально встановлений час.

Лабораторні заняття проводяться в спеціально обладнаній лабораторії, у якій виділяються робочі місця, оснащені апаратурою, пристроями та матеріалами, необхідними для виконання завдання.

Кожна робота повинна забезпечуватися інструкцією, у якій вказується тема роботи, її цільовий напрямок, необхідне оснащення, завдання й етапи її виконання. У ряді випадків – теоретичні основи експерименту або досліджуваного явища.

Для більш ефективного засвоєння навчального матеріалу під час проведення лабораторних робіт з електротехніки на сучасному етапі розвитку новітніх технологій, дуже часто використовують комп'ютерні технології. Однією з таких технологій є використання програм-емуляторів.

При виконанні лабораторних робіт з електротехніки з використанням програм-емуляторів слід дотримуватися таких правил [20]:

1. Лабораторні роботи проводяться в дисплейному класі або вдома на персональному комп'ютері з використанням спеціально розробленого навчально-програмного комплексу і повнофункціональної або навчальної версії віртуального середовища (наприклад, NI Multisim 10 (MS 10)).

2. Зміст кожної лабораторної роботи включає: теоретичний матеріал з теми та навчальні завдання, що передбачають віртуальний експеримент, розрахунок, графічну інтерпретацію явищ і процесів, відповіді на контрольні питання, підготовку звіту.

3. Пропоновані студентам навчальні завдання мають формуватися за принципом диференціації і передбачати, залежно від рівня підготовленості, використання готових схем, самостійне моделювання схем у віртуальному середовищі, виконання завдань із розрахунку параметрів елементів схеми відповідно до варіанту.

4. Під час виконання роботи студентів необхідно чітко слідувати методичним інструкціям та виконувати запропонований викладачем варіант завдання (на розрахунок та експеримент).

5. У разі роботи в віртуальній лабораторії, результати вимірювань та розрахунків рекомендується вносити в закладки таблиць електронного зошита, а скріншоти схем пристроїв, осцилограмм і характеристик, знятих з вікон характерних графіків, записувати на її сторінки. Програма електронного тестування запускається при натисканні миші на кнопку «Експеримент» меню програми LabWorks одночасно з запуском середовища MS 10 і виводиться на екрані дисплея на робочому полі середовища MS 10.

6. Після заповнення даними таблиць та внесення копій малюнків отримані дані необхідно зберегти в базі даних і, за необхідності, роздрукувати за допомогою спеціально передбачених опцій віртуальної лабораторії.

7. Отримані студентом розрахункові та експериментальні дані та побудовані діаграми та графіки характеристик електричних мереж та пристроїв мають бути ним прокоментовані з позицій відомих теоретичних положень.

8. Оформлений в електронному вигляді звіт має закінчуватися висновками за результатами роботи та повинен бути представлений на паперовому носії.

9. Виконана в повному обсязі лабораторна робота повинна бути захищена. Перед захистом роботи викладачеві доцільно запропонувати студентів відповіді на питання тестових завдань до лабораторної роботи, тобто пройти самоконтроль. На захисті необхідно приділити особливу увагу відповідності розрахункових та експериментально отриманих даних; пояснити їх різноманітні розбіжності.

ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ НА ЗАНЯТТЯХ З ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

Під час виконання лабораторних робіт з електротехніки використовується напруга змінного й постійного струму до 380 В. При недотриманні правил техніки безпеки така напруга становить серйозну небезпеку. Зважаючи на це, перед виконанням комплексу лабораторних робіт кожен студент зобов'язаний пройти інструктаж з техніки безпеки, що засвідчується особистим підписом у журналі інструктажу з техніки безпеки.

Основні правила з техніки безпеки [10]:

1. Перед початком складання схеми необхідно переконатися в тому, що автоматичний вимикач на стенді знаходиться у вимкненому стані.
2. Робоче місце не повинне захищатися сторонніми предметами.
3. Обладнання необхідно розмішувати таким чином, щоб виключити можливість випадкового дотику до оголених струмоведучих частин.
4. Не допускається використання приладів та апаратів з несправними затискачами, провідників з ушкодженою ізоляцією, несправних реостатів, тумблерів та іншого устаткування.
5. Невикористані провідники необхідно прибрати з робочого місця. Не допускається натягувати та згинати провідники.
6. Категорично забороняється проводити будь-які операції на головних розподільних щитах, а також за межами робочого місця.
7. Напругу на схему подають тільки після дозволу викладача, попередивши про це всіх студентів, які працюють на даному робочому місці. При цьому рукоятки регуляторів напруги повинні знаходитися на нулю.
8. У випадку припинення досліду або перерви в роботі схему необхідно відключити від мережі живлення.
9. Під час лабораторної роботи забороняється: робити перекомутації провідників схеми, яка знаходиться під напругою; торкатися до оголених струмоведучих частин електричного апарата; вмикати схему після будь-яких змін у ній до перевірки викладачем; залишати без догляду схему під напругою.
10. У всіх випадках виявлення несправного устаткування потрібно вимкнути напругу та негайно доповісти про це викладачеві.
11. У тих випадках, коли несправність в електроустановці становить явну небезпеку для людей чи для самої установки, а усунути цю несправність може особа, яка її виявила, вона має зробити це негайно за умови дотримання вимог правил безпеки, а вже потім повідомити про цей випадок викладача.
12. Після закінчення роботи необхідно вимкнути напругу, розібрати схему, упорядкувати робоче місце.

Правила техніки безпеки при роботі із застосуванням комп'ютера [17]:

Загальні положення:

- При виконанні робіт на комп'ютерах необхідно дотримуватися вимог даної інструкції з охорони праці.
- До самостійної роботи на комп'ютерах допускаються особи, які пройшли медичний огляд, навчання по професії, вступний інструктаж з техніки безпеки та первинний інструктаж з техніки безпеки на робочому місці. В

подальшому вони проходять повторні інструктажі з техніки безпеки на робочому місці один раз на півріччя. Під час роботи на комп'ютерах, до складу яких входять відеодисплейні термінали (ВДТ), на користувачів можуть діяти небезпечні та шкідливі виробничі фактори.

- Основним обладнанням робочого місця користувача комп'ютера є ВДТ, клавіатура, робочий стіл, стілець (крісло); допоміжним – пюпітр, підставка для ніг, шафи, полиці та ін. Робочі місця з ВДТ мають бути розташовані на відстані не менше 1,5 м від стіни з вікнами, від інших стін – на відстані 1 м, між собою на відстані не менше 1,5 м.

- Відносно вікон робоче місце доцільно розташовувати таким чином, щоб природне світло падало на нього збоку, переважно зліва. Робочі місця, обладнані ВДТ, слід розташовувати так, щоб уникнути попадання в очі прямого світла. Джерела освітлення рекомендується розташовувати з обох боків екрана паралельно напрямку погляду. Для уникнення світлових відблисків з екрана, клавіатури в напрямку очей користувача, від світильників загального освітлення або сонячних променів необхідно використовувати антиблікові сітки, спеціальні фільтри для екранів, захисні козирки, на вікнах – жалюзі. Фільтри з металевої або нейлонової сітки використовувати не рекомендується, тому що сітка спотворює зображення через інтерференцію світла. Найкращу якість зображення забезпечують скляні поляризаційні фільтри – вони усувають практично всі відблиски, роблять зображення чітким і контрастним.

- При роботі з текстовою інформацією (у режимі введення даних, редагування тексту та читання з екрана ВДТ) найбільш фізіологічним є зображення чорних знаків на світлому (білому) фоні.

- Розташовувати ВДТ на робочому місці необхідно так, щоб поверхня екрана знаходилася в центрі поля зору на відстані 400-700 мм від очей користувача. Рекомендується розміщувати елементи робочого місця таким чином, щоб витримувалася однакова відстань очей користувача від екрана, клавіатури, пюпітра.

- Робота комп'ютерів супроводжується електромагнітним випромінюванням низьких рівнів, інтенсивність якого зменшується пропорційно до квадрату відстані від екрана. Оптимальною для працюючого є відстань 50 см від екрана ВДТ.

- Зручна робоча поза при роботі на комп'ютері забезпечується регулюванням висоти робочого столу, крісла та підставки для ніг. Раціональною робочою позою може вважатися таке положення тіла, при якому ступні працівника розташовані горизонтально на підлозі або на підставці для ніг, стегна зорієнтовані у горизонтальній площині, верхні частини рук - вертикальні, кут ліктьового суглоба коливається у межах 70-90°, зап'ястя зігнуті під кутом не більше ніж 20°, нахил голови – у межах 15-20°.

- Для нейтралізації зарядів статичної електрики в приміщенні, де виконуються роботи на комп'ютерах, в тому числі на лазерних та світлодіодних принтерах, рекомендується збільшувати вологість повітря за допомогою кімнатних зволожувачів. Не рекомендується носити одяг із синтетичних

матеріалів.

Перед початком роботи:

- Увімкнути систему кондиціонування повітря в приміщенні.
- Перевірити надійність встановлення апаратури на робочому столі. ВДТ має стояти не на краю стола. Повернути ВДТ так, щоб було зручно дивитися на екран - під прямим кутом (а не збоку) і трохи зверху вниз; при цьому екран має бути трохи нахиленим - нижній його край ближче до користувача.
- Перевірити загальний стан апаратури, перевірити справність електропроводки, з'єднувальних шнурів, штепсельних вилок, розеток, заземлення захисного екрана.
- Відрегулювати освітленість робочого місця.
- Відрегулювати та зафіксувати висоту крісла, зручний для користувача нахил його спинки.
- Ввімкнути живлення комп'ютера в наступній послідовності: системний блок, монітор, принтер (якщо передбачається друкування).
- Відрегулювати при потребі яскравість свічення екрана ВДТ: мінімальний розмір світної точки, фокусування, контрастність. Не слід робити зображення занадто яскравим, щоб не втомлювати очей. Рекомендуються: яскравість свічення екрана - не менше 100 кд/м² ; відношення яскравості екрана ВДТ до яскравості оточуючих його поверхонь в робочій зоні - не більше 3:1; мінімальний розмір точки свічення - не більше 0,4 мм для монохромного ВДТ і не менше 0,6 мм для кольорового; контрастність зображення знаку - не менше 0,8.
- При виявленні будь-яких несправностей роботу не розпочинати, повідомити про це керівника.

Під час роботи:

- Необхідно стійко розташовувати клавіатуру на робочому столі, не допускаючи її хитання. Разом з тим має бути передбачена можливість її поворотів та переміщень. Положення клавіатури та кут її нахилу мають відповідати побажанням користувача. Якщо в конструкції клавіатури не передбачено простору для опори долонь, то її слід розташовувати на відстані не менше 100 мм від краю столу в оптимальній зоні моторного поля. Під час роботи на клавіатурі сидіти прямо, не напружуватися.
- Для зменшення несприятливого впливу на користувача пристроїв типу «миша» (вимушена поза, необхідність постійного контролю за якістю дій) належить забезпечити вільну велику поверхню столу для переміщення «миші» і зручного упору ліктьового суглоба.
- Не дозволяються сторонні розмови, подразнюючі шуми.
- Періодично при вимкненому комп'ютері прибирати ледь змоченою мильним розчином бавовняною ганчіркою пил з поверхонь апаратури. Екран ВДТ та захисний екран протирають ватою, змоченою у спирті. Не дозволяється використовувати рідинні або аерозольні засоби для чищення поверхонь комп'ютера.
- Забороняється: самостійно ремонтувати апаратуру, тим більше ВДТ, в

якому кінескоп знаходиться під високою напругою (близько 25 кВ); ремонт апаратури виконують тільки спеціалісти з технічного обслуговування комп'ютерів, вони ж раз на півроку повинні відкривати процесор і вилучати пиломасою пил і бруд, що там накопичилися; класти будь-які предмети на апаратуру комп'ютера, канючки та напої на клавіатуру або поруч з нею - це може вивести її з ладу; закривати будь-чим вентиляційні отвори апаратури, що може призвести до її перегрівання і виходу з ладу.

- Для зняття статичної електрики рекомендується час від часу доторкатися до металевих поверхонь (батарея центрального опалення тощо).

Після закінчення роботи:

- Закінчити та записати у пам'ять комп'ютера файл, що перебуває в роботі.

- Вимкнути принтер, інші периферійні пристрої, вимкнути ВДТ і процесор. Вимкнути стабілізатор, якщо комп'ютер підключений до мережі через нього. Штепсельні вилки витягнути з розеток. Накрити клавіатуру кришкою для запобігання попаданню в неї пилу.

- Прибрати робоче місце. Оригінали та інші документи покласти в ящик стола.

- Ретельно вимити руки теплою водою з милом.

В аварійних ситуаціях:

- При раптовому припиненні подавання електроенергії вимкнути комп'ютер в такій послідовності: периферійні пристрої, ВДТ, процесор, стабілізатор напруги, витягнути штепсельні вилки з розеток.

- При виявленні ознак горіння (дим, запах гару), вимкнути апаратуру, знайти джерело займання і повідомити викладача.

У разі виникнення пожежі негайно повідомити пожежну частину, вжити необхідних заходів щодо евакуації.

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА ТА ЙОГО ПАРАМЕТРІВ

Електричним колом називають сукупність пристроїв, призначених для одержання, передачі, перетворення й використання електричної енергії.

Електричне коло складається з окремих пристроїв – елементів електричного кола (джерел електричної енергії, її споживачів, пристроїв для передачі енергії, перетворення, комутації, контролю тощо).

Джерело електричної енергії, її приймач і з'єднувальні провідники вважаються основними елементами кола, тому що при відсутності хоча б одного з них електричне коло зібрати було б неможливо.

Графічне зображення кола називається *електричною схемою*.

Самі загальні відомості про електротехнічний пристрій містить *структурна схема*, на якій показані основні функціональні частини приладу, призначення й взаємозв'язки.

Судити про особливості функціональних частин і деталей, з яких вони складаються, процесах, що протікають в окремих частинах і пристроях загалом, за структурною схемою неможливо. Для цієї мети призначені *принципові електричні схеми*, на яких показані всі елементи пристрою й всі зв'язки між ними. Поруч із умовними графічними позначеннями (УГП) деталей вказуються їхні позиційні позначення, що складаються з однієї або двох букв латинського алфавіту, привласнених даного виду елементів, і цифр, що позначають номери однотипних елементів на схемі [18].

Функціональні схеми займають проміжне положення між принциповими і структурними й поєднують у собі характерні риси обох, вони досить докладні для вивчення процесів, що відбуваються, але не містять надлишкової інформації.

При виготовленні, налаштуванні й ремонті пристрою, крім перерахованих, користуються також схемами *електричних з'єднань* (на які вказують маркування виводів елементів і номера з'єднувальних проводів), і *електромонтажними кресленнями*, на яких зображують не тільки елементи в масштабі у вигляді контурних обрисів, на тих місцях, де вони розташовані в самому пристрої, але й приводять всі необхідні дані для виробництва монтажу [15].

Постає питання засвоєння студентами умовних позначень електричних схем та вміння читати й складати електричні схеми.

Існує два основні види позначень у електричних схемах – графічні і літерні.

Літерні позначення на електричних схемах

Згідно «ДСТУ 2843-94 Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення», «ДСТУ 2815-94 Електричні й магнітні кола та пристрої. Терміни та визначення», «ДСТУ 3120-95 Електротехніка. Літерні позначення основних величин» використовуються такі літерні позначення величин (див. табл. 1) [18].

Основні електротехнічні величини та їх літерні позначення

- опір електричний активний R , Ом (ом);	- струм I , А;
- опір електричний реактивний X , Ом;	- потужність активна P , Вт (ват);
- опір електричний повний Z , Ом;	- потужність реактивна Q , ВАр (вольт-ампер реактивний);
- провідність електрична активна G , См (сименс);	- потужність повна S , ВА (вольт-ампер);
- провідність електрична реактивна B , См;	- магнітна індукція B , Тл (тесла);
- провідність електрична повна Y , См;	- напруженість магнітного поля H , А/м;
- ємність C , Ф (фарад);	- магнітний потік Φ , Вб (вебер);
- індуктивність L , Гн (генрі);	- потокозчеплення Ψ , Вб;
- електрорушійна сила (ЕРС) E , В (вольт);	- промислова частота f , Гц (герц);
- напруга U , В;	- кутова частота ω , рад/с
- потенціал φ , В	

Згідно ДСТУ ГОСТ 7624-54 літерне позначення елементів на електричних схемах виглядає ось так:

- КВ – кінцевий вимикач.
- ПВ – шляховий вимикач.
- ДО – двигун насоса охолодження.
- ДП – двигун подач.
- ДШ – двигун шпінделя.
- ДБХ – двигун швидких ходів.
- ДГ – головний двигун.
- КК – командо-контролер.
- КУ – кнопка управління.
- Напруга, потужність, час, вказівний, реле струму, відповідно – РП, РН, РМ, РС, РВ, РІ, РУ, РГ, РТВ [18].

Міжнародні стандарти послуговуються позначеннями з букв латинського алфавіту, а саме [18]:

- А – пристрої загальні, підсилювачі;
- С – конденсатори;
- Е – елементи різні;
- F – елементи та пристрої захисту;
- G – генератори, джерела струму;
- GB – батареї акумулятора;
- Н – пристрої індикаційні та сигнальні;
- К – реле, контактори;
- L – котушки індуктивні;
- М – двигуни;
- Р – прилади та пристрої для вимірювання;
- S – пристрої комунікативні;
- Т – трансформатори й автотрансформатори;

- U – пристрої зв'язку та перетворювачі;
- V – електровакуумні та напівпровідникові прилади;
- W – лінії та елементи;
- X – контактні з'єднання;
- Y – механічні пристрої з електромагнітним приводом.

До літери, зазвичай, додаються літери і цифри, які визначають положення пристрою в схемі та його специфіку.

Графічні позначення на електричних схемах

Залежно від галузі застосування існуючі електричні прилади й пристрої класифікують за окремими блоками. Це: загальні умовні графічні позначення; умовні графічні позначення ЕРЕ та умовні графічні позначення засобів комутації в схемах електричних, радіотехнічних та автоматизації (див. рис. 1 – 2.).

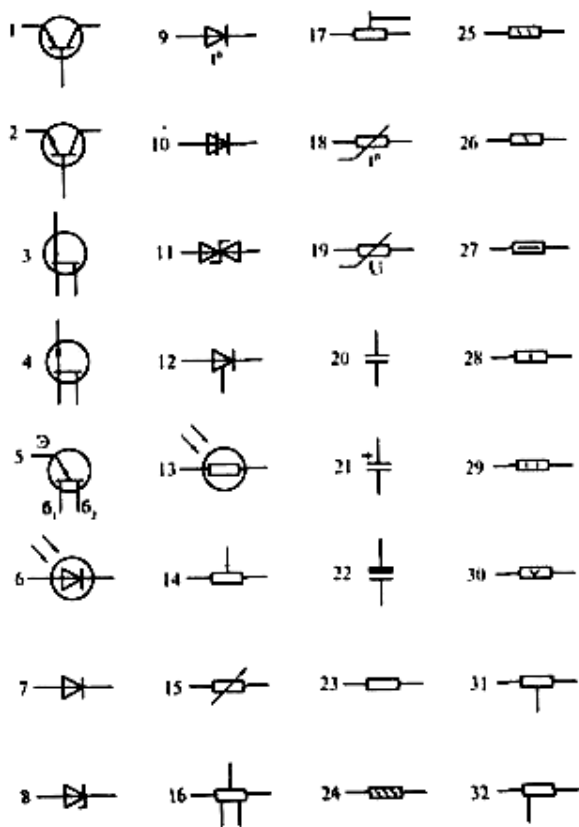
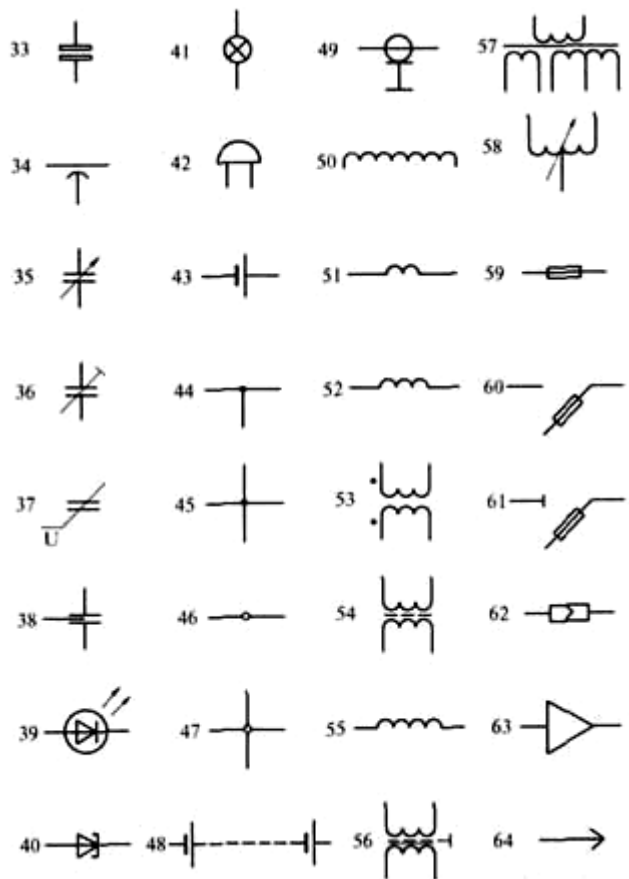


Рис. 1 Загальні та умовні графічні позначення та позначення ЕРЕ в схемах



електричних, радіотехнічних та автоматизації [1]

- 1 - транзистор структури р-п-р в корпусі, загальне позначення;
- 2 - транзистор структури п-р-п в корпусі, загальне позначення,
- 3 - транзистор польовий з рп-переходом і п каналом,
- 4 - транзистор польовий з рп-переходом і р каналом,
- 5 - транзистор одноперехідний з базою п типу, б1, б2 виводи бази, е - вивід емітера,
- 6 - фотодіод,
- 7 - діод випрямляючий,
- 8 - стабілітрон (діод лавинний випрям ний) односторонній,

- 9 - діод тепло-електричний,
- 10 - тиристор діодний, що стирається в зворотному напрямку;
- 11 - стабілітрон з двосторонньою провідністю,
- 12 - тиристор тріодний.
- 13 - фоторезистор,
- 14 - змінний резистор, реостат, загальне позначення,
- 15 - змінний резистор,
- 16 - змінний резистор з відводами,
- 17 - налаштовуваний резистор-потенціометр;
- 18 - терморезистор з позитивним температурним коефіцієнтом прямого нагріву (підігріву),
- 19 - варистор,
- 20 - конденсатор постійної ємності, загальне позначення,
- 21 - конденсатор постійної ємності поляризований;
- 22 - конденсатор оксидний поляризований електролітичний, загальне позначення;
- 23 - резистор постійний, загальне позначення;
- 24 - резистор постійний з номінальною потужністю 0, 05 Вт;
- 25 - резистор постійний з номінальною потужністю 0, 125 Вт,
- 26 - резистор постійний з номінальною потужністю 0, 25 Вт,
- 27 - резистор постійний з номінальною потужністю 0, 5 Вт,
- 28 - резистор постійний з номінальною потужністю 1 Вт,
- 29 - резистор постійний з номінальною потужністю розсіювання 2 Вт,
- 30 - резистор постійний з номінальною потужністю розсіювання 5 Вт;
- 31 - резистор постійний з одним симетричним додатковим відведенням;
- 32 - резистор постійний з одним несиметричним додатковим відведенням;
- 33 - конденсатор оксидний неполяризований,
- 34 - конденсатор прохідний (дуга позначає корпус, зовнішній електрод),
- 35 - конденсатор змінної ємності (стрілка позначає ротор);
- 36 - конденсатор підлаштування, загальне позначення
- 37 - варикап.
- 38 - конденсатор протизавадний;
- 39 - світлодіод,
- 40 - тунельний діод;
- 41 - лампа розжарювання освітлювальна та сигнальна
- 42 - дзвінок електричний
- 43 - елемент гальванічний або акумуляторний;
- 44 - лінія електричного зв'язку з одним відгалуженням;
- 45 - лінія електричного зв'язку з двома відгалуженнями;
- 46 - група проводів, підключених до однієї точки електричного з'єднання. Два проводи;
- 47 - чотири проводи, підключених до однієї точки електричних з'єднань;
- 48 - батарея з гальванічних елементів або батарея акумуляторна;
- 49 - кабель коаксіальний. Екран з'єднаний з корпусом;
- 50 - обмотка трансформатора, автотрансформатора, дроселя, магнітного підсилювача;
- 51 - робоча обмотка магнітного підсилювача;
- 52 - керуюча обмотка магнітного підсилювача;
- 53 - трансформатор без сердечника (магнітопровода) з постійною зв'язком (точками позначені початки обмоток);
- 54 - трансформатор з магнітоелектричним сердечником;
- 55 - котушка індуктивності, дросель без магнітопроводу;
- 56 - трансформатор однофазний з феромагнітним магнітопроводом і екраном між обмотками;
- 57 - трансформатор однофазний триобмотковий з феромагнітним магнітопроводом з

відведенням у вторинній обмотці;

58 - автотрансформатор однофазний з регулюванням напруги;

59 - запобіжник;

60 - запобіжник вимикач;

61 - запобіжник-роз'єднувач;

62 - з'єднання контактне роз'ємне;

63 - підсилювач (напрямок передачі сигналу вказує вершина трикутника на горизонтальній лінії зв'язку);

64 - штир роз'ємного контактного з'єднання.

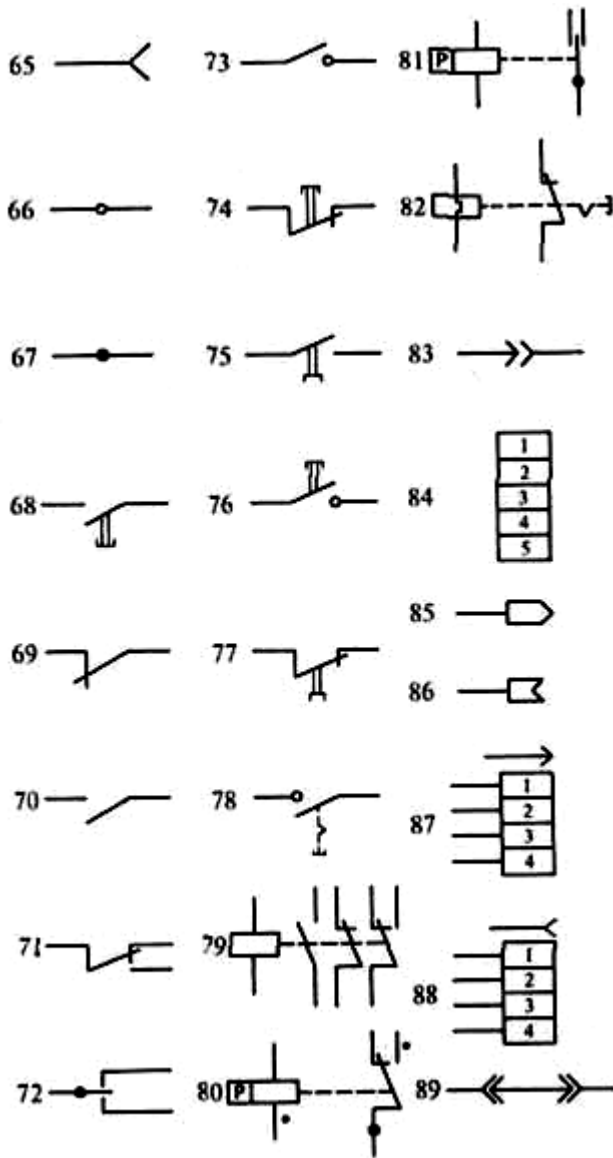


Рис 2. Умовні графічні позначення комутації в схемах електричних радіотехнічних та автоматизації [1]:

65 - гніздо рознімних контактних з'єднань,
66 - контакт розбірного з'єднання наприклад за допомогою затискача

67 - контакт нерозбірного з'єднання, наприклад здійсненого пайкою

68 - вимикач кнопковий однополюсний натискний з Замикаючим контактом з самоповерненням

69 - контакт комутаційного пристрою розмикаючими, загальне позначення

70 - контакт комутаційного пристрою (Вимикача, реле) замикає, що загальне позначення. Вимикач однополюсний.

71 - контакт комутаційного пристрою перемикаючий, загальне позначення. Однополюсний перемикач на два напрями.

72 - контакт перемикаючий трипозиційний з нейтральним положенням

73 - контакт що замикає без самоповороту

74 - вимикач кнопковий натискний з розмикаючим контактом

75 - вимикач кнопковий витяжний із замикаючим контактом

76 - вимикач кнопковий натискний з поверненням кнопки,

77 - вимикач кноночний витяжний з розмикаючим контактом

78 - вимикач кнопковий натискний з поверненням зо допомогою вторинного натискання кнопки,

79 - реле електричне із замикаючим розмикаючим і перемикаючим контактами,

80 - реле поляризоване на один напрямок струму в обмотці з нейтральним положенням

81 - реле поляризоване на обидва напрями струму в обмотці з нейтральним положенням

82 - Реле електротеплове без самоповороту, з поверненням допомогою вторинного натискання кнопки,

83 - роз'ємне однополюсне з'єднання

- 84 - гніздо п'ятипровідне контактного роз'ємного з'єднання,
- 85 – штир контактного роз'ємного коаксіального з'єднання
- 86 - гніздо контактних з'єднань
- 87 - штир чотирьох з'єднань,
- 88 - гніздо чотирьох з'єднань

Лабораторна робота №1
ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОЧОГО МІСЦЯ
ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕЛЕКТРОМОНТАЖНИХ РОБІТ

Мета роботи: Вивчити організацію робочого місця. Ознайомитись з класифікацією електроустановок. Вивчити причини травматизму і способи його попередження. Одержати навички проведення інструктажу з техніки безпеки з учнями.

Обладнання: роздавальний матеріал, картки, набір інструментів для електромонтажних робіт

Теоретичні відомості

Робоче місце – це частина простору, пристосована для виконання робітником або їх групою свого виробничого завдання. Робоче місце, як правило, оснащується основним і допоміжним устаткуванням: а) верстати, механізми, енергетичні установки тощо; б) технологічним (інструмент, пристосування, контрольно-вимірювальні прилади); в) організаційним оснащенням (столи, стільці тощо).

Робочі місця, на якому трудяться робітники електротехнічних професій, бувають різними залежно від того, які дії і операції вони виконують: монтажні, складальні, регулювальні тощо.

Наприклад: а) заготівку дротів для прокладки електропроводок проводять на технологічних лініях; б) робочим місцем для намотування котушок для електричних машин і апаратів слугує намотувальний верстат; в) багато операцій, пов'язаних з електротехнічними, виконують за слюсарним верстаком.

У всіх випадках на робочому місці повинен бути зразковий порядок: інструменти і пристосування необхідно розміщувати на відповідних місцях, туди ж потрібно класти інструмент після закінчення роботи з ним; на робочому місці не повинно бути нічого зайвого, непотрібного для виконання даної роботи; оснащення і організація робочого місця повинні строго відповідати всім вимогам охорони праці, техніці безпеки, виробничій санітарії і гігієні та виключати можливість виникнення пожежі.

Усі вказані вище вимоги стосуються й робочого місця учнів. Воно може бути монтажним столом або верстаком, намотувальним верстатом, спеціальним верстаком або столом (при виконанні слюсарно-складальних робіт) і т.п.

Залежно від виду виконуваних електротехнічних робіт (монтаж, складання, експлуатація і інше) робоче місце повинно бути оснащено відповідними інструментами і пристосуваннями.

Зазвичай на робочому місці розміщують наступні інструменти:

- кріпильно-затискні – плоскогубці, круглогубці, пасатижі, лещата;
- ріжучі – монтерський ніж, кусачки, ножівка тощо;
- ударні – молоток, зубило, пробійник тощо.

Окрім цього, застосовують загально слюсарний інструмент, а також багато видів металорізального інструменту, оскільки виконання електротехнічних робіт часто пов'язане з рубкою металу, вигинанням труб, різанням різних матеріалів, нарізуванням різьб і т. п.

Заводами, наприклад, випускаються набори інструментів для виконання

окремих видів електротехнічних робіт. Кожен набір розміщений в закритій сумці з дермонтину (1Н-3); або в розкладній сумці зі штучної шкіри (НІЕ-3), маса комплекту біля 3 кг.



Рис.1.1. Набір інструментів для виконання електромонтажних робіт.

Так, у комплект інструментів (Рис.1.1) для виконання електромонтажних робіт загального призначення входить таке: плоскогубці універсальні, плоскогубці електромонтажні з еластичними чохлами; гострогубці (кусачки) з еластичними чохлами; викрутки слюсарно-монтажні різні; молоток, ніж монтерський, шило монтерське, покажчик напруги, лінійка метрова складна металева, окуляри захисні, гіпсовка, гладилка, шнур кручений 15 м. Інші інструменти, пристосування, верстати й устаткування будуть вивчатися далі під час виконання наступних лабораторних робіт.

Порядок виконання роботи

Завдання 1. У звіті привести схему, що пояснює проходження струму при попаданні людини під напругу і схему, яка пояснює роль заземлення електроустаткування.

Завдання 2. Скласти тези інструктажу для учнів з тезніки безпеки при виконанні електротехнічних робіт.

Контрольні питання.

- 1) Які основні вимоги пред'являються до робочого місця для виконання електромонтажних робіт?
- 2) Якими основними інструментами, приладами й устаткуванням повинно бути забезпечене робоче місце для виконання електромонтажних робіт?
- 3) Дайте характеристику понять «електроустановка» і «електроприймач». Наведіть приклади електроустановок і електроприймачів,

використовуваних в побуті і на виробництві.

- 4) Яких правил необхідно дотримуватись на робочому місці?
- 5) У яких випадках людина може бути уражена електричним струмом?
- 6) Які захисні засоби застосовуються для попередження електротравматизму? Як ними користуватися?
- 7) Яку роль виконують заземлюючі пристрої?
- 8) Що і як потрібно зробити для звільнення потерпілого від дії електричного струму?
- 9) Перша долікарська допомога потерпілому від впливу електричного струму?

Лабораторна робота № 2 ВИВЧЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

Мета роботи: Вивчення класифікації електровимірювальних приладів, принципу дії та призначення, будови, умовних позначень на шкалі та регулювання їх механізмів.

Прилади та обладнання: зразки приладів різних систем; прилади для розбірки, викрутки, пінцети.

Теоретичні відомості

Технічні засоби, які слугують для виміру електричних величин, називаються *електровимірювальними приладами*.

Від вимірювальних приладів, застосовуваних в електричних колах, насамперед потрібно, щоб вони не вносили помітних викривлень у режим ланцюга. Тому електровимірювальні прилади повинні споживати мінімальну потужність і не виявляти істотного впливу на опір кола.

Електровимірювальні прилади класифікують за цілим рядом ознак.

1. За видом вимірюваної величини. Класифікація в цьому випадку проводиться по найменуванню одиниці вимірюваної величини – вольтметри, амперметри, омметри тощо.

2. За фізичним принципом дії вимірювального механізму приладу, тобто за способом перетворення електричної енергії в механічну дію рухливої частини приладу – магнітоелектричної, електромагнітної, електродинамічної

Магнітоелектрична система. Принцип роботи заснований на взаємодії струму, що протікає по обмотці рухливої котушки, з магнітним полем постійного магніту.

Основні деталі: постійний магніт і рухлива котушка (рамка), по якій проходить струм, пружини.

При проходженні струму через рамку виникає обертаючий момент, під дією якого рухлива частина приладу повертається навколо своєї вісі на деякий кут. За законом Ампера обертаючий момент приладів магнітоелектричної системи прямо пропорційний силі струму.

Електромагнітна система. Принцип роботи заснований на взаємодії магнітного поля нерухомої котушки із сердечником з феромагнітного матеріалу, внесеного в це поле. Обертаючий момент, що діє на рухливу частину приладу, пропорційний квадрату сили струму.

Основні деталі: нерухома котушка й рухомий сердечник з феромагнетика.

Електродинамічна система. Принцип роботи заснований на взаємодії двох котушок (рамок), по яких тече струм. Одна з них нерухома, а інша рухлива. Переміщення котушок відносно одна одної обумовлюється тим, що провідники, по яких протікають струми одного напрямку, притягаються, а зі струмами протилежних напрямків – відштовхуються. Обертаючий момент, що діє на рухливу котушку, пропорційний добутку сили струму в рухливий I_n і нерухомої I_n котушках.

Індукційна система. Принцип дії заснований на взаємодії магнітних потоків, створюваних котушками струму й напруги з вихровими струмами, що наводяться магнітним полем в алюмінієвому диску.

3. За родом вимірюваного струму. Ця класифікація дозволяє визначити, у кола якого струму (постійного, змінного чи того і того) можна застосовувати даний прилад.

4. За класом точності.

Клас точності – узагальнена характеристика, що виражається межами припустимих похибок, а також іншими характеристиками, що впливають на точність. Класи точності конкретного типу приладу встановлюють у нормативних документах. Вимоги до призначення, застосування й позначення класів точності регламентовані в ГОСТ 8.401-80 «ГСИ. Класи точності засобів вимірювання. Основні положення». Цей стандарт гармонізований з міжнародними рекомендаціями.


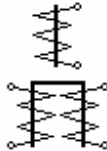
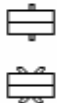
Загалом розрізняють дві групи характеристик електровимірювальних приладів:

- технічні характеристики, тобто знання які необхідно для визначення можливості виміру даної величини в даних умовах;
- метрологічні характеристики – знання, які необхідні для оцінки результатів вимірювань і їх похибки;
- галузь застосування, включаючи діапазони можливої зміни трьох груп величин: а) вимірюваних; б) тих, що впливають на вимірювання; в) невимірюваних. При виході однієї або декількох величин за область застосування, вимір стає або неможливим, або його похибка є дуже високою.

Основні характеристики електровимірювальних приладів можуть бути з'ясовані за умовними позначеннями (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Умовні позначення систем приладів

Система приладу	Умовне позначення
Магнітоелектрична: - з рухомою рамою і механічною протидіючою силою; - з рухомою рамою без механічної протидіючої сили (логометр)	
Електромагнітна: - з механічною протидіючою силою; - без механічної протидіючої сили (логометр)	
Електродинамічна: - з механічною протидіючою силою; - без механічної протидіючої сили	

Умовні позначення на шкалі приладів: род струму, число фаз, клас точності приладу, випробувальна напруга ізоляції, робоче положення приладу, виконання приладу залежно від умов експлуатації, категорії приладу по ступеню захисту від зовнішніх магнітних полів (див. табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Інші умовні позначення

<i>Розшифровка умовного позначення</i>	<i>Умовне позначення</i>
Прилад постійного струму	
Прилад постійного і змінного струму	
Прилад змінного струму	
Прилад трифазного струму	
Прилад класу точності 1,5	1,5
Вимірювальне коло ізольоване від корпусу і випробуване напругою 2 кВ	
Обережно! Міцність ізоляції вимірювального кола не відповідає нормам	
Робоче положення шкали горизонтальне	
Робоче положення шкали вертикальне	
Робоче положення шкали похиле, під кутом 60° до горизонту	
Виконання приладу залежно від умов експлуатації (властивостей навколишнього середовища)	АБВ
Категорія приладу по ступеню захищеності від зовнішніх магнітних полів	

Порядок виконання роботи

1. Переглянути шкали приладів і за умовними позначками на шкалах надати їх технічну характеристику. Результати занести до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Прилад				
Тип				
Заводський номер				
Система				
Клас точності				
Межа вимірювання				
Ціна поділки				
Характер шкали				
Тип струму				
Робоче положення				
Внутрішній опір				

2. За відомим класом точності приладу розрахувати абсолютну похибку вимірювання (ΔA), відносну зведену похибку вимірювання ($\gamma_{зв}$), відносну похибку вимірювання (γ) для трьох значень напруги. Результати занести до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Прилад				
Клас точності				
ΔA				

$\gamma_{зв}, \%$					
$\gamma, \%$ при напрузі U, В					

Контрольні питання

1. Які фізичні явища використовуються в електровимірювальних приладах?
2. Що називається ціною поділки приладу?
3. Що називають класом точності приладів?
4. Дайте пояснення умовним позначкам, які наносяться на шкалу приладів.
5. Як визначають шукане значення вимірюваної величини при вимірюванні?
6. Як вибираються межі вимірювання приладів?

Лабораторна робота № 3

ТИПИ ТА ОСОБЛИВОСТІ КОСТРУКЦІЇ ПАЯЛЬНИКІВ

Мета роботи: вивчити типи, особливості конструкції та принципи роботи паяльників, отримати навички роботи з інструментом для паяння.

Обладнання: паяльники, набір для паяння, ілюстративний стенд.

Теоретичні відомості

Паяння – це один із найбільш розповсюджених видів технологічних операцій, які виконуються на виробництві та в побуті при необхідності одержання нероз’ємного з’єднання деталей. Основний інструмент даної операції – паяльник.

Паяльник – ручний інструмент, що застосовується при лудінні та паянні для нагрівання деталей, флюсу, розплавлення припою і внесення його в місце контакту. Вибір паяльника залежить від частоти і типу робіт, при яких планується використання цього інструменту. Найбільш розповсюджений, універсальний вид паяльників – електричний з нагрівачем (рис. 3.1), що застосовується майже при всіх видах ремонту.

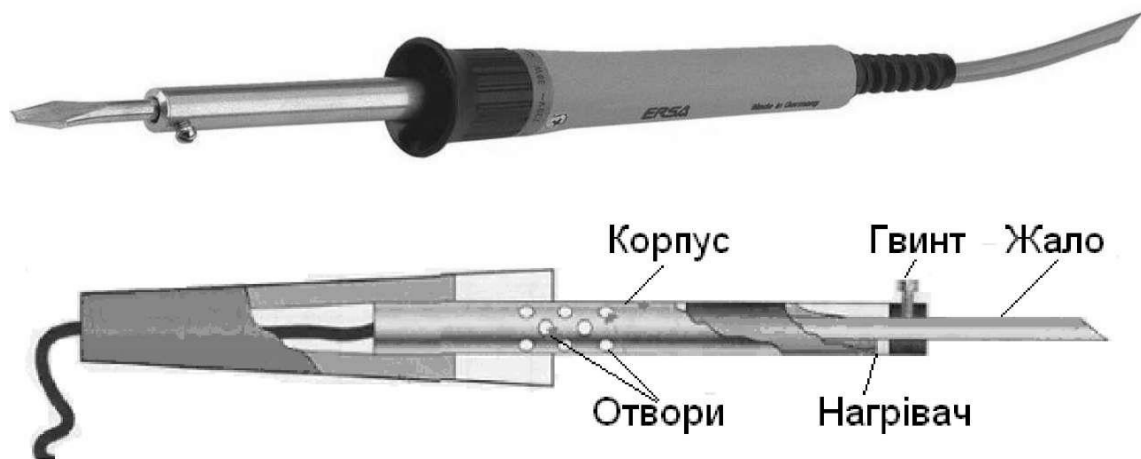


Рис. 3.1. Зовнішній вигляд та конструкція електричного паяльника

Основною робочою частиною електричного паяльника є жало, що нагрівається до робочої температури і розплавляє припій, здійснюючи паяння. Гвинт використовується для фіксації жала та зміни його довжини, а отвори дозволяють зменшити температуру корпусу.

Електричні паяльники розрізняються за потужністю, розмірами і додатковими можливостями, такими як автоматична підтримка заданої температури, можливість заземлення тощо. За конструкцією нагрівачів електричні паяльники розподіляються на два основних типи: паяльники з ніхромовим і керамічним нагрівачами.

Конструкція ніхромового нагрівача включає котушку з неплавкого матеріалу, на якій розміщена ніхромовою нитка. Головною перевагою такого нагрівача є його економічна собівартість і надійність, а недоліком – довгий час нагрівання та неможливість регулювання температури нагріву. Паяльники з керамічними нагрівачами мають кращу характеристику за швидкістю

нагрівання та температурою нагріву.

За конструкцією електричні паяльники розділяють на молоткові, торцеві та Г-подібні. Всі вони мають істотні недоліки: значні витрати часу на нагрів і окислення жала та непродуктивна витрата електроенергії.

Набагато швидше процес паяння відбувається при використанні імпульсних паяльників. Характерною особливістю яких є миттєве нагрівання жала до робочої температури за допомогою електроструму після натискання відповідної кнопки. Охолодження жала відбувається також миттєво на відміну від електричного паяльника. Ця властивість імпульсного паяльника гарантує безпечність та зручність при його використанні. Такі типи паяльників застосовують, насамперед, у радіоелектроніці. Конструктивно паяльник оформлений у вигляді пістолета, у кожусі якого розміщений трансформатор.

У випадку неможливості застосування електричного паяльника використовуються газові паяльники (рис. 3.2-3.3). Такий паяльник в одному корпусі містить жало і газовий балон.

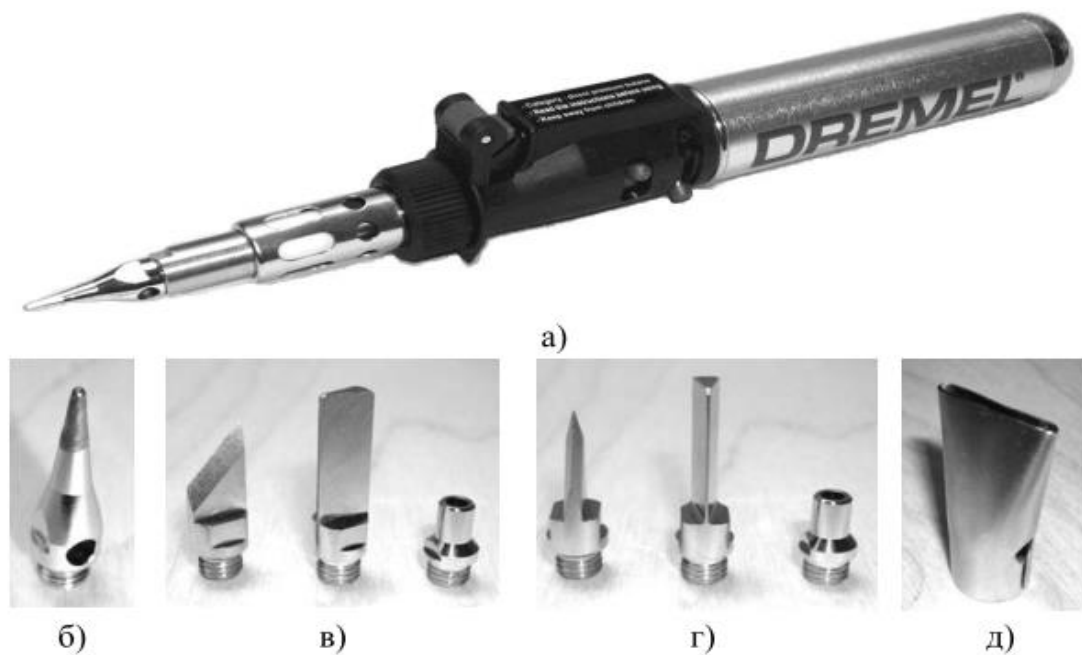


Рис. 3.2. Зовнішній вигляд газового паяльника (а) та типи насадок: б) насадка для паяння; в) різновид ножів для різання; г) різновид ножів для профілювання; д) насадка для гарячого повітря

Під час проведення процесу паяння необхідно дотримуватися заданої робочої температури. Зниження робочої температури призводить до недостатньої рідкотекучості припою та поганого змочування поверхонь, що з'єднуються. Значне збільшення температури викликає вигорання флюсу до активації поверхонь спаю. Оптимальна температура пайки T_n залежить від температури плавлення припою $T_{пл}$:

$$T_n = T_{пл} + (40 \pm 80)^\circ\text{C}.$$

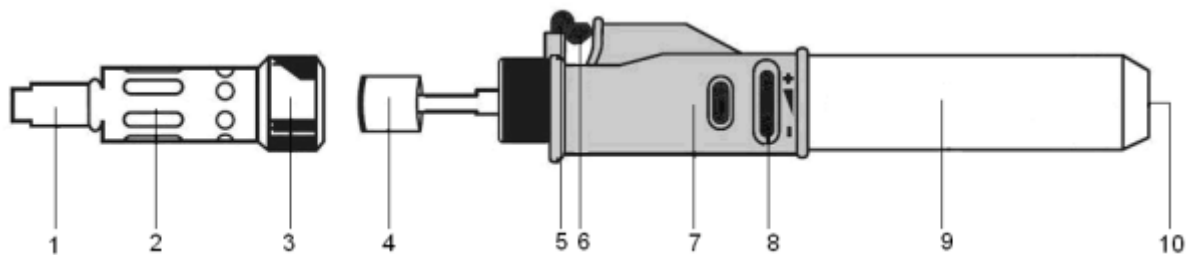


Рис. 3.3. Конструкція газового паяльника:

1 – каталізатор; 2 – захисна насадка; 3 – гайка для кріплення захисної насадки; 4 – керамічний ізолятор; 5 – блокіратор від дітей; 6 – пусковий пристрій; 7 – блокіратор (для тривалої роботи); 8 – кнопка контролю полум'я; 9 – бак ; 10 – клапан для наповнення бака газом

Залежно від теплоємності з'єднання визначають потужність паяльника. Відповідно до необхідної потужності паяльника зниження температури робочого жала $T_{жс}$ не повинно перевищувати 20-40 °С:

$$T_{жс} = T_n + (20...40)^\circ \text{C}$$

Для проведення високоякісного паяння температуру робочого жала паяльника потрібно контролювати й за необхідністю регулювати. Для цього в промисловості застосовують паяльники з автоматичним регулятором температури.

За умови правильно визначеної робочої температури паяльника припій повинен швидко плавитися, але не стікати з робочої частини паяльника (жала) відповідно, каніфоль повинна не вигорати миттєво. Якість паяних з'єднань багато в чому залежить від форми заточення жала паяльника та відсутності дефектів на поверхні жала.

Порядок виконання роботи

1. Розглянути основні типи та особливості конструкції паяльників.
1. Вивчити послідовність та особливості технологічних операцій паяння для різних видів паяльників.
2. Оформити звіт виконаної роботи.

Контрольні питання

1. Які типи електричних паяльників вам відомі?
2. Для чого необхідно контролювати температуру паяння? Яким чином може здійснюватися цей контроль?
3. У чому полягає технологічний процес лудіння? Яке його призначення?
4. В чому перевага імпульсного паяльника?
5. Яким чином визначається необхідна температура нагріву паяльника?
6. Яким чином визначається необхідна потужність паяльника?

Лабораторна робота № 4

ВИМІРЮВАННЯ ОПОРУ МЕТОДОМ ВОЛЬТМЕТРА-АМПЕРМЕТРА

Мета роботи: вивчити метод вольтметра-амперметра, методом одного вольтметра, визначати відносні похибки вимірювання залежно від схеми ввімкнення приладів.

Обладнання: джерело постійного струму, реостат, вольтметр, міліамперметр, ключ, досліджувані резистори.

Теоретичні відомості

Найпростіший метод визначення опору – метод вольтметра-амперметра, заснований на застосуванні закону Ома для ділянки кола. Для цього необхідно одночасно виміряти падіння напруги на резисторі й силу струму, що протікає через нього й, обчисливши їхнє відношення, визначити опір. У цьому й полягає *метод амперметра-вольтметра*.

Процедура вимірювання ускладнюється тим фактом, що обидві величини повинні бути обмірювані одночасно двома різними вимірювальними приладами – амперметром і вольтметром, а підключення одного приладу буде спотворювати показання іншого. Цю ситуацію ілюструє рис 4.1, на якому представлені два варіанти реалізації методу амперметра-вольтметра.

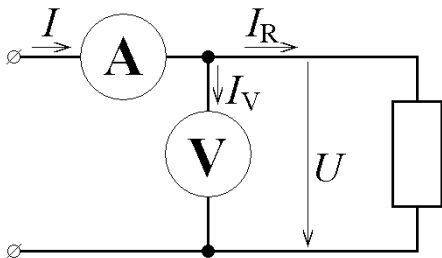


Рис. 4.1а

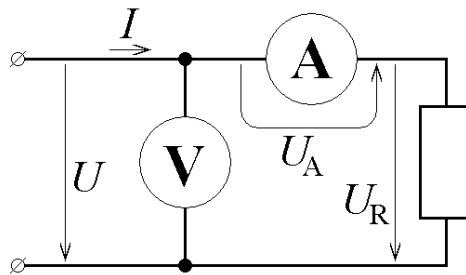


Рис. 4.1б

При використанні варіанта вимірювання, зображеного на рис. 4.1а, вольтметр виявляється включеним паралельно з досліджуваним резистором, тому його покази відповідають паданню напруги на резисторі. У той же самий час струм через амперметр являє собою суму струмів, що протікають через резистор і через вольтметр: $I = I_R + I_V = I_R + U/R_V$, де R_V – опір вольтметра. Відношення цих двох вимірюваних величин, що, як правило, приймається як оцінка вимірюваного опору, становить величину:

$$\begin{aligned} \frac{U}{I} &= \frac{U}{I_R + U/R_V} = \frac{1}{1/R + 1/R_V} = \frac{RR_V}{R + R_V} = \\ &= R \frac{(R + R_V)}{R + R_V} - \frac{R^2}{R + R_V} = R \left(1 - \frac{R}{R + R_V} \right) \end{aligned}$$

Звідси дійсний опір:

$$R_x = \frac{U}{I} = \frac{U}{I - I_V} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_V}} \quad (1)$$

Отриманий опір R_x' :

$$R_x' = \frac{U}{I} \quad (2)$$

Зрозуміло, що пропонований метод має систематичну відносну похибку, рівну:

$$\gamma = \frac{R_x'}{R_V}$$

яка прагне до нуля при виконанні умови $R_V \gg R_x'$.

Звідси виходить, що відносна похибка тим менша, чим більше вимірюваний опір у порівнянні з опором вольтметра. Отже, щоб відносна похибка не перебільшувала 1 %, опір має бути меншим, ніж опір вольтметра, не менше, ніж в 100 разів. Тож, схема 4.1а використовується для вимірювання малих опорів.

При використанні варіанта вимірів, зображеного на рис. 4.1б, послідовно з вимірюваним опором включається амперметр, і тому струм, що протікає через нього, дорівнює струму, який протікає через резистор. Падіння напруги на вольтметрі, у цьому випадку, дорівнює сумі падінь напруги на амперметрі й на досліджуваному резисторі:

$$U = U_R + U_A = U_R + I R_A, \text{ де } R_A - \text{опір амперметра.}$$

Звідси

$$R_x = \frac{U}{I} = \frac{U - U_A}{I} = \frac{U}{I} - R_A \quad (3)$$

Як оцінка вимірюваного опору в цьому випадку також варто прийняти відношення показів вимірювальних приладів, що становить величину:

$$\frac{U}{I} = \frac{U_R + I R_A}{I} = R + R_A$$

тобто при використанні цього методу також виникає систематична похибка, відносна величина якої дорівнює:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{R_A}{R} \quad (4)$$

і прагне до нуля при зменшенні опору амперметра: $R_A \ll R$

Тож, схема 4.1б використовується для вимірювання великих опорів.

Якщо не потрібно великої точності при вимірюванні опору, то можна для цієї мети скористатися звичайним аналоговим *вольтметром*. Для цього треба знати його внутрішній опір R_V , значення якого зазвичай зазначено на вольтметрі.

Для того щоб виміряти опір вольтметром, його включають послідовно з вимірюваним опором R_x , що закорачують за допомогою кнопки SB (рис. 4.2).

При натиснутій кнопці SB визначають покази вольтметра, тобто

одержують напругу мережі U_c , після чого розмикають кнопку й фіксують покази вольтметра U_v .

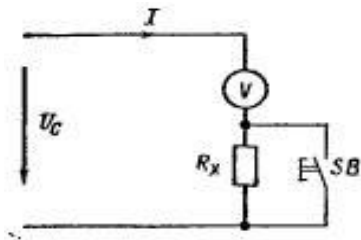


Рис. 4.2. Метод вольтметра

Можна визначити струм у мережі: $I = U_v / R_v$. Потім знаходять падіння напруги на R_x , рівне $IR_x = (U_v / R_v) R_x = U_c - U_v$

Отже, знаючи показання вольтметра при натиснутій кнопці U_c і при розімкнутій U_v і внутрішній опір вольтметра R_v можна визначити вимірюваний опір R_x :

$$R_x = \left(\frac{U_c}{U_v} - 1 \right) \cdot R_v \quad (5)$$

Таким чином, при постійній напрузі джерела струму вимірюваний опір можна обчислити за показниками послідовно з'єданого вольтметра. На цій основі побудовані омметри вольтметрового типу.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з приладами, визначити ціну поділки, внутрішній опір, межі вимірювання напруги і струму. Вибрати самим або за допомогою керівника опори для вимірювання; їх повинно бути мінімум три, один з великим, другий із середнім і третій з малим значеннями опорів.

2. Виміряти опір по схемі рис. 4.1а. Для цього зібрати коло, після перевірки керівником вмикнути струм. Під час збірки схеми можна використовувати потенціометр, міняти амперметри й вольтметри, обираючи ті, у яких стрілка відхиляється більше, ніж на половину шкали.

Результати вимірювань записати в таблицю.

3. Виміряти опори по другій схемі (рис. 4.1.б), результати записати в таблицю 4.1.

4. За результатами вимірювань обчислити дійсне значення вимірюваного опорів за формулами (1) і (3) і приблизне його значення за формулами (2) і (4). За результатами розрахунків знайти абсолютну й відносну похибки.

Таблиця 4.1

Схема	№ опорів	Виміряне			Розраховано		
		I, мА	U, В	R, Ом	R _x , Ом	ΔR, Ом	γ, %

Де $\Delta R = R_x \gamma$

5. Виміряти ці ж опори методом одного вольтметра, здійснити розрахунки за формулою 5. Результати оформити у вигляді таблиці.

6. За результатами вимірювань зробити висновок: а) який зі способів дає точніше покази для виміру великих опорів; б) для вимірювання малих опорів; в) для вимірювання яких опорів придатний метод одного вольтметра.

Лабораторна робота № 5

МЕТОДИ Й ПРИЛАДИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ОПОРІВ

Мета роботи: Вивчити методи й прилади для вимірювання опору, ознайомиться з методикою визначення похибки вимірювання. Дати порівняльну оцінку точності виміру опору різними методами й приладами.

Обладнання: цифровий омметр, електромеханічний омметр, мегаомметр, міст постійного струму, набір резисторів.

Теоретичні відомості

Класифікація. Для вимірювання опорів використовуються спеціальні прилади – омметри. *Омметр* – це електровимірювальний прилад безпосереднього відліку для визначення резистивних опорів. Як правило, вимірювання опору проводиться при постійному струмі, однак, у деяких типах електронних омметрів можливе використання змінного струму.

У електротехнічній практиці діапазон вимірюваних опорів досить широкий ($10^{-9} \div 10^{16}$ Ом), тому прийнято його умовно ділити на: малі опори (менш 10 Ом); середні опори ($10 \div 10^6$ Ом); великі (понад 10^6 Ом).

Вимірювати опори одним приладом у широкому діапазоні з високою точністю технічно не є можливим. У зв'язку з цим використовуються багатограничні омметри, призначені для вимірів у різних діапазонах опорів (як правило, середні опори); тераомметри, гігаомметри й мегаомметри, призначені для вимірювання великих опорів, а також міліомметри й мікроомметри, призначені для вимірювання малих опорів. Існують також омметри для вимірювання опору заземлення, питомого опору ґрунтів і активних опорів із діапазоном вимірювання від $0 \div 0,3$ Ом до $0 \div 15$ кОм (10 діапазонів); вимірювачі опору ізоляції – призначені для виміру опору ізоляції й перевірки її якості (тестери ізоляції) у діапазон $10^4 \div 10^{12}$ Ом.

Опір – це параметр кола, тому при вимірюванні він повинен бути перетворений в активну величину (напруга або струм), що потім вимірюється відповідно вольтметром або амперметром. Для здійснення цього перетворення в омметрі обов'язково необхідне джерело живлення.

Омметри можна класифікувати за принципом дії:

– магнітоелектричні, принцип дії яких, заснований на вимірюванні струму, що протікає через вимірюваний опір при постійній напрузі джерела живлення, а шкала проградуєвана в одиницях опору (специфікація приладу починається літерою М).

– електронні, принцип дії яких, заснований на перетворенні вимірюваного опору в пропорційну йому напругу. Напруга потім вимірюється за допомогою електромеханічного вимірювального механізму (як правило, магнітоелектричний вимірювальний механізм), шкала якого проградуєвана в одиницях опору (наприклад, Е6-13, Ф4101, Ф4104-М1).

– цифрові, принцип дії яких, заснований на перетворенні вимірюваного опору в пропорційну йому напругу, що потім перетворюється в код цифровим вольтметром постійного струму й індукується на цифровому табло (наприклад, ОА3201-1, Е6-23, Щ34).

За конструкцією розрізняють такі омметри:

- 1) щитові – призначені для вертикального розташування на стенді;
- 2) переносні – є стаціонарно розташовуваними приладами, постачені ручками для перенесення. Можуть переноситися на різні робочі місця;
- 3) портативні – малогабаритні прилади.

Омметри найчастіше входять до складу комбінованих приладів, призначених для вимірювання різних неоднорідних електричних величин (струм, напруга, частота, ємність та ін.). До таких приладів належать:

– електромеханічний авометр (ампервольтметр), що дозволяє вимірювати зазначені фізичні величини з досить високою точністю (клас точності 1,0 або 2,5), може використовуватися при проведенні ремонту й налагодження електричних кіл.

– цифровий мультиметр (тестер) – електронний вимірювальний прилад, призначений для вимірювання значень електричного струму, напруги, опору, частоти, ємності тощо. Точність вимірювання мультиметром становить 0,1 %.

– вимірювачі іммітансу, що призначені для вимірювання опору R , індуктивності L , ємності C , тангенсу кута втрат $tg d$, добротності Q різних елементів радіотехнічних пристроїв. Поряд із цими вимірами можливе визначення ємностей нелінійних елементів (варикапів, діодів, стабілітронів та ін.). Виміри можуть проводитися на різних частотах (як правило: 100 Гц, 1 кГц, 10 кГц).

Кожний тип омметра має свої особливості конструкції, методики вимірювання й розрахунку похибки.

Вимірювання опору цифровим омметром. Принцип дії цифрових омметрів заснований на перетворенні вимірюваного опору в пропорційні йому проміжні величини – напругу, інтервал часу, частоту. Найпоширенішим видом перетворення є перетворення вимірюваного опору в постійну напругу, що потім вимірюється цифровим вольтметром постійного струму. Функціональна схема омметра, що працює за даним принципом, показана на рис. 5.1

До переваг цифрових омметрів варто віднести: 1) високу точність вимірювання; 2) простоту відліку показів (відсутня шкала, тому відпадає необхідність визначення ціни поділки); 3) широкий діапазон вимірюваних опорів; 4) можливість збору й нагромадження вимірювальної інформації.

Недоліками цифрових омметрів є: висока вартість; складність конструкції, і, як наслідок, мала ремонтпридатність.

Типова похибка цифрових авометрів при вимірюванні опору складає

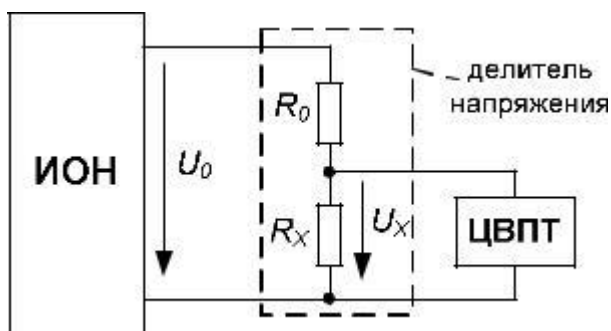


Рис. 5.1. Принципова схема вимірювання опору цифровим омметром



Рис. 5.2. Зовнішній вигляд цифрового омметра

менше 0,2 %.

Вимірювання опорів електромеханічним омметром. В основі принципу дії електромеханічного омметра лежить перетворення вимірюваного опору в напругу або струм. Якщо у вимірюваному колі підтримувати постійною напругу джерела живлення, то струм у ній буде залежати тільки від вимірюваного опору R_x і шкала вимірника може бути проградуїрована в одиницях опору (Ом).

Як вимірювальні механізми в електромеханічних омметрах використовуються магнітоелектричні міліамперметри або мікроамперметри, а як джерело живлення – гальванічні батареї.

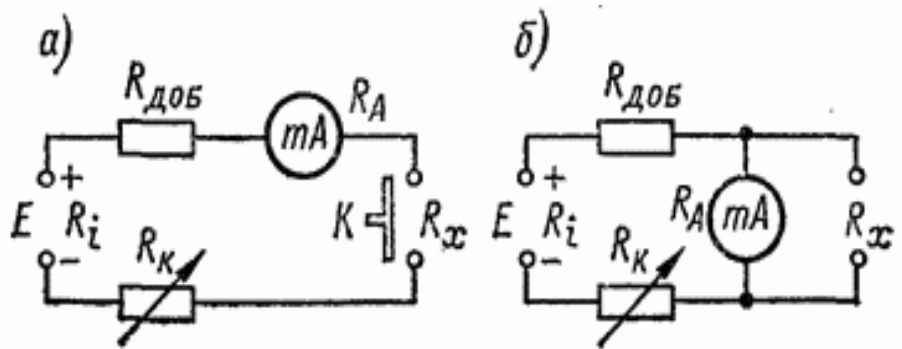


Рис. 5.3. Схеми електромеханічних омметрів

Існує два варіанти (схеми) електромеханічних омметрів: з послідовним (рис. 5.3 а) і з паралельним (рис. 5.3 б) підключенням вимірюваного опору R_x до вимірювального механізму.

За умови сталості напруги джерела живлення шкалу використовуваного міліамперметра можна проградуїувати в одиницях опору, при цьому максимальному струму по шкалі міліамперметра буде відповідати нульова оцінка на шкалі омметра.

Оскільки напруга реального джерела живлення згодом зменшується (розряджаються гальванічні елементи), то для підстроювання положення покажчика відповідно нульовій оцінці шкали омметра використовується регульовальний опір R_k , що називають або опором установки нуля РУСТ "0" (для послідовного включення R_x) або опором установки нескінченності РУСТ " ∞ " (для паралельного).

Таким чином, омметри з послідовним включенням R_x мають зворотну нерівномірну шкалу (нуль праворуч) і застосовуються для вимірювання середніх і великих опорів. А омметри з паралельним включенням R_x мають пряму нерівномірну шкалу (нуль ліворуч) і застосовуються для вимірювання малих опорів.

До головних переваг електромеханічних омметрів відносять: 1) малі габарити й маса приладу; 2) широкий діапазон вимірюваних опорів (при

комбінації схем з послідовним і паралельним включенням вимірюваного опору.

Основними недоліками електромеханічних омметрів є:

1) залежність показів омметра від значення напруги живлення, тому перед кожним виміром здійснюється установка стрілки на контрольну оцінку "0" або " ∞ ";

2) низька точність вимірювання (як правило, клас точності 1,5 або 2,5), тому найчастіше вони входять до складу комбінованих приладів (тестерів), що вимірюють кілька фізичних величин з малою точністю.

При розрахунку відносної похибки вимірювання опору електромеханічними омметрами необхідно використовувати наступну залежність:

$$\gamma = K \frac{L}{Li}$$

де K – клас точності омметра; L – довжина всієї шкали омметра, мм; Li – довжина частини шкали, від крайньої лівої оцінки до положення покажчика при вимірюванні опору, мм.

Вимірювання опорів електромеханічним мегомметром М4100/1

Електромеханічні мегомметри призначені для вимірювання великих опорів, у тому числі опору ізоляції. За принципом дії вони аналогічні електромеханічним омметрам, але оскільки вимірюваний опір R_x значний, то для одержання достатнього струму в колі вимірювального механізму необхідно подавати велику напругу живлення. Як джерело в прилад вбудовують генератор постійного струму з ручним приводом і вихідною напругою до тисячі вольт. Така конструкція не вимагає автономних джерел живлення, що полегшує обслуговування й експлуатацію, тому електромеханічні мегомметри знаходять широке застосування при вимірах у польових умовах.

Мегомметр М4100/1 – це двограничний переносний вимірювальний прилад, призначений для виміру опору ізоляції знеструмлених електричних кіл. На рис. 5.4 наведена електрична принципова схема мегомметра М4100/1.

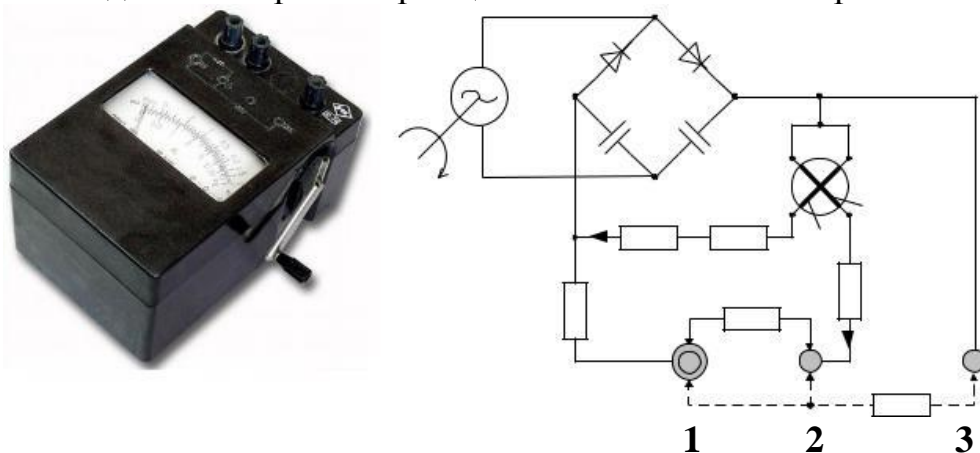


Рис. 5.4. Електрична принципова схема мегомметра

При вимірюванні на межі «М Ω » вимірюваний опір R_x включається послідовно з опором рамки 01, між клемми 1 і 2, клемми 2 і 3 залишаються розімкнутими. При вимірюванні на межі «К Ω » вимірюваний опір R_x

включається між клем 2 і 3, клем 1 і 2 закорачиваються зовнішнім провідником (на рис. 5.4 включення показане пунктирними лініями).

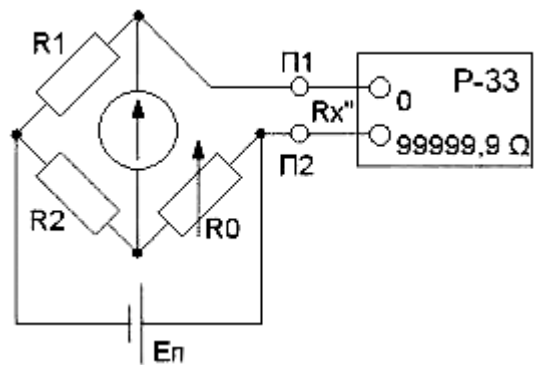
При розрахунку відносної похибки вимірювання опору електромеханічними омметрами необхідно використовувати наступну залежність:

$$\gamma = K \frac{L}{Li}$$

де K – клас точності омметра; L – довжина всієї шкали омметра, мм; Li – довжина частини шкали, від крайньої лівої оцінки до положення покажчика при вимірюванні опору, мм.

Вимірювання опорів мостом постійного струму. Мости постійного струму призначені для вимірювання малих і середніх опорів. Вони є приладами порівняння, у яких у процесі кожного виміру відбувається порівняння вимірюваного опору з мірою. Як міра використовуються еталонні резистори, що утворюють плечі моста.

У мостах постійного струму використовується нульовий метод порівняння з мірою. Одна діагональ моста підключається до джерела живлення, а інша діагональ – до індикатора рівноваги моста (нуль-індикатору), яким є рівність потенціалів у цьому діагоналі.



За конструкцією мости ділять на: одинарні (чотириплечові) і подвійні (шестиплечові). Як правило, індикатором рівноваги в них є гальванометри постійного струму (стрілочні або дзеркальні з оптичним покажчиком).

Головна перевага мостів постійного струму для виміру опорів – висока точність (у ряді приладів погрішність досягає не більше 0,001 %). Це пояснюється застосуванням методу порівняння в процесі вимірювання, точністю мір еталонних резисторів і високою чутливістю гальванометра. До недоліків мостів постійного струму варто віднести: складність конструкції, високу вартість, великий час виміру.

На мал. наведена принципова електрична схема одинарного моста.

Відносна похибка приладу при вимірі опорів визначається його класом точності, зазвичай $K=0,1$ %.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з приладами та принципом їх роботи.

Описати технічні характеристики використаних в роботі омметрів а схемою:

2. Зробити вимірювання опорів, здійснити розрахунки значень відносної та абсолютної похибки, заповнити таблицю. Якщо вимірюваний опір виходить за межі діапазону вимірювання приладу, то у відповідній графі ставиться прочерк.

Таблиця 5.1

Прилад	R1	R2	R3	R4	R5	R6

З урахуванням методики розрахунку похибки записати остаточні значення вимірюваних величин у такому вигляді $R = R \pm \Delta R$ Ом, γ , наприклад $R_1 = 25,0 \pm 1,5$ Ом, 6%; заповнити таблицю 5.2.

Таблиця 5.2

Прилад			
R1			
R2			
і т.д.			

Контрольні питання

1. Призначення омметрів, їхні види й класифікація. Пояснити основні ознаки класифікації, перелічити типи омметрів.
2. Де розташована нулеві відмітки шкали омметра, виготовленого за послідовною і за паралельною схемами?
3. Із якою метою використовуються логометри?
4. Дати порівняльну характеристику точності вимірювання опорів різними методами й приладами.

Лабораторна робота № 6

ВИВЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗГАЛУЖЕНОГО КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи: дослідити параметри розгалуженого електричного кола постійного струму за допомогою законів Ома і Кірхгофа, експериментально перевірити принцип накладання дій джерел ЕРС.

Обладнання і прилади: два джерела постійного струму, 3 резистори, 3 амперметри і вольтметр для вимірювання постійного струму.

Теоретичні відомості

Універсальним методом розрахунку складних кіл є метод безпосереднього використання законів Кірхгофа.

1) алгебраїчна сума струмів, що сходяться у вузлі, дорівнює нулеві:

$$\sum I = 0$$

2) алгебраїчна сума ЕРС у будь-якому контурі дорівнює сумі падіння напруг на опорах цього контуру: $\sum IR = \sum \mathcal{E}$

При цьому досліджуються значення і напрями сили струму, ЕРС, падіння напруги.

Ще одним є методом вивчення складних кіл є *метод накладення*. Він витікає з принципу накладення, відповідно до якого струм в будь-якій гілці електричного кола розглядається як алгебраїчна сума часткових струмів, що виникають в цій гілці під незалежною дією кожної ЕРС окремо.

При розрахунках електричних кіл з декількома джерелами енергії спочатку розраховують часткові струми від кожної ЕРС, вважаючи інші ЕРС рівними нулеві і залишаючи в електричному колі їх внутрішні опори. Потім знаходять суму часткових струмів в кожній гілці з урахуванням їх напрямів.

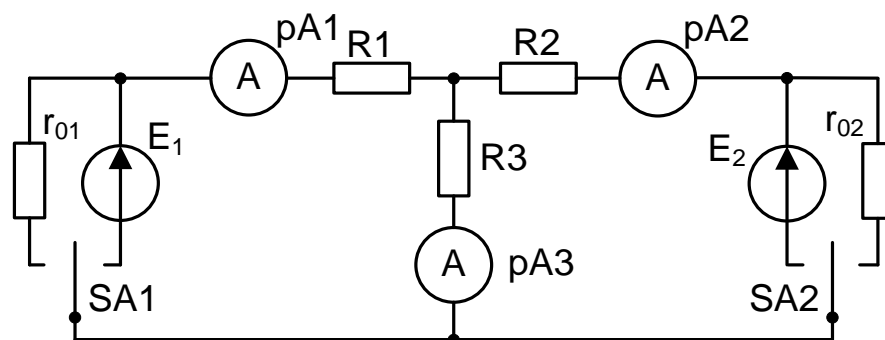


Рис. 6.1. Схема для дослідження розгалуженого кола постійного струму

Припустимо, що в схемі рис. 6.1. залишена E_1 , тоді часткові струми в вітках від дії цієї ЕРС можна розрахувати таким чином:

$$I'_1 = \frac{E_1}{r_{01} + r_1 + \frac{(r_{02} + r_2)r_3}{r_{02} + r_2 + r_3}}; \quad I'_2 = \frac{E_1 - I'_1(r_{01} + r_1)}{r_2 + r_{02}}; \quad I'_3 = \frac{E_1 - I'_1(r_{01} + r_1)}{r_3}.$$

Напрямок струмів слід вказати на схемі стрілками. Аналогічно розраховують часткові струми від E_2 .

Важливою характеристикою кола є баланс потужностей, який використовують для перевірки правильності розрахунку електричних кіл.

Баланс потужностей є наслідком закону збереження енергії – сумарна потужність генерована джерелами електричної енергії дорівнює сумі потужностей споживаної в колі:

$$\sum_{k=1}^n E_k I_k = \sum_{i \in \Phi} I_i^2 r_i .$$

При складанні рівняння слід з'ясувати в якому режимі працюють джерела ЕРС. Для цього необхідно порівняти напрям реального струму у вітці з джерелом і напрям ЕРС даного джерела. Якщо напрями ЕРС і струму співпадають, джерело віддає енергію в електричне коло, в іншому випадку джерело перетворюється на споживача і потужність цього джерела входить в рівняння з негативним знаком.

Порядок виконання роботи

1. Обчислити параметри опорів кола (у тому числі і внутрішніх опорів джерела):

1) Зібрати схему згідно з рис. 6.1.

2) Заміряти напругу джерел E_1 і E_2 , не підключаючи їх до кола.

3) Включити в електричне коло обидва джерела ЕРС. Заміряти струми і напруги на окремих опорах.

4) Обчислити опори r_{01} , r_{02} , R_1 , R_2 , R_3 . Результати вимірювань і обчислень звести в табл. 6.1. Для обчислення опорів слід скористатися законами Ома і Кірхгофа.

Таблиця 6.1

Обчислення значень опорів

Результати вимірювань							Результати обчислень					
E_1 , В	E_2 , В	U_1 , В	U_2 , В	U_3 , В	I_1 , А	I_2 , А	I_3 , А	r_{01} , Ом	r_{02} , Ом	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом

2. Опрацювати метод накладання:

1) Записати значення струмів I_1 , I_2 , I_3 в табл. 6.2.

2) Відключити джерело E_2 (при цьому в схему включається еквівалент його внутрішнього опору), заміряти часткові струми I_1' , I_2' , I_3' .

3) Відключити джерело E_1 і ввімкнути джерело E_2 . Заміряти струми I_1'' , I_2'' , I_3'' . Результати вимірювань записати до табл. 6.2.

4) Розрахувати струми в електричному колі методом накладання, використовуючи дані табл. 6.1.

5) Всі визначені розрахунком часткові і реальні струми записати до табл. 2 і порівняти з експериментальними даними.

3. Здійснити перевірку за допомогою балансу потужностей при ввімкнених джерелах E_1 і E_2 .

Таблиця 6.2

Перевірка принципу накладання

Увімкнені	Результати вимірювань			Результати обчислень		
	I_1	I_2	I_3	Y_1	Y_2	Y_3
$E_1 + E_2$						
E_1	I_1'	I_2'	I_3'	Y_1'	Y_2'	Y_3'
E_2	I_1''	I_2''	I_3''	Y_1''	Y_2''	Y_3''

Контрольні питання

1. Які є методи розрахунку електричних кіл?
2. У чому полягає суть методу накладання?
3. Як визначається режим роботи джерела ЕРС, коли джерело віддає енергію або споживає?
4. У чому полягає фізичний зміст балансу потужності?
5. Чи можна потужність споживачів визначати як суму часткових потужностей?

Лабораторна робота № 7 ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Мета роботи: дослідження експлуатаційних властивостей однофазного трансформатора та вимірювання його основних характеристик: коефіцієнта трансформації і ККД залежно від навантаження.

Обладнання: трансформатор, два вольтметри для вимірювання змінного струму, два амперметри для вимірювання змінного струму, ключ, реостат, ватметр, джерело змінного струму.

Теоретичні відомості

Трансформатором є пристрій, призначений для перетворення напруги й сили змінного струму. Він має осердя (звичайно замкнутої форми) з м'якого заліза або іншого магнітно-м'якого феромагнетика, що несе на собі дві обмотки – первинну й вторинну (рис. 7.1). Кінці первинної обмотки (вхід трансформатора) підключені до мережі живлення змінного струму, а кінці вторинної обмотки (вихід) – до споживачів електричної енергії.

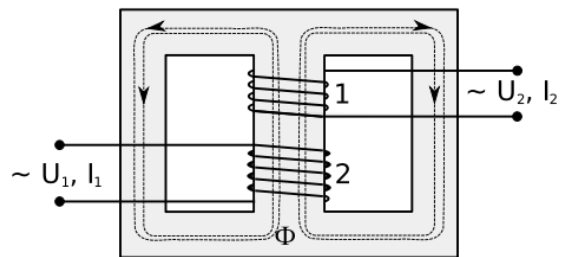


Рис. 7.1. Принципова схема однофазного трансформатора

ЕРС електромагнітної індукції, що виникає у вторинній обмотці, пропорційна числу витків у ній, і тому, змінюючи це число витків, можна змінювати зміну в широких межах напругу на виході трансформатора.

ЕРС самоіндукції, що виникає в первинній обмотці, дорівнює

$$E_1 = -\frac{d\Phi}{dt} N_1$$

а ЕРС у вторинній обмотці

$$E_2 = -\frac{d\Phi}{dt} N_2$$

де N_1 і N_2 – число витків у первинній і у вторинній обмотках.

Застосовуючи до обмоток трансформатора закон Ома для ділянки з ЕРС, знаходимо напругу на вході трансформатора

$$U_1 = R_1 I_1 - E_1 = R_1 I_1 + \frac{d\Phi}{dt} N_1$$

і напругу на виході

$$U_2 = R_2 I_2 - E_2 = R_2 I_2 + \frac{d\Phi}{dt} N_2$$

Тут R_1 і R_2 , – опори первинної й вторинної обмоток [Ом].

Якщо обмежитися тільки випадком розімкнутої вторинної обмотки (холостий хід), то можна покласти $I_2 = 0$. Далі, ми будемо вважати (що

звичайно виконується для всіх технічних трансформаторів), що $R_1 I_1 \ll E_1$. Тоді, ділячи почленно два останніх рівняння, знаходимо:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = k \quad (1)$$

Це відношення називають коефіцієнтом трансформації k , яке показує в скільки разів ЕРС у вторинній обмотці трансформатора менше, ніж у первинній.

Холостим ходом трансформатора називається такий режим його роботи, при якому до первинної обмотки підведена синусоїдальна напруга U_1 , а вторинна обмотка розімкнута й струм у ній дорівнює нулеві. У цьому режимі трансформатор подібний до дроселя із замкнутим феромагнітним магнітопроводом. Корисна потужність трансформатора під час роботи в холосту дорівнює нулеві. Потужність, що споживається, витрачається на магнітні втрати в магнітопроводі та електричні втрати в первинній обмотці.

Коефіцієнт потужності для холостого ходу має таке значення:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{I_{10} U_{10}} \quad (2)$$

Якщо трансформатор навантажений (вторинна обмотка замкнута), то падінням напруги RI не можна знехтувати в порівнянні з ЕРС індукції, і замість формули (1) виходить більше складне співвідношення.

При підключенні навантаження до кінців вторинної обмотки у вторинному колі виникає змінний струм. Потужність струму в первинному й вторинному колах, якщо знехтувати втратами, однакова. Тому збільшення напруги на виході підвищувального трансформатора в K раз супроводжується зменшенням сили струму у вторинній обмотці в K раз.

Передану потужність P (без урахування втрат) можна представити у вигляді

$$P = U_2 I_2 = \frac{U_2^2}{R_2} = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 U_1^2 \quad (3)$$

Коефіцієнт потужності для первинної та вторинної обмоток відповідно дорівнюють:

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{I_1 U_1}; \cos \varphi_2 = \frac{P_2}{I_2 U_2} \quad (4)$$

Коефіцієнт корисної дії трансформатора (ККД)

$$ККД = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{I_2 U_2}{I_1 U_1} \cdot 100\% \quad (5)$$

де P_1 і P_2 – потужності первинної й вторинної обмоток навантаженого трансформатора відповідно [Вт].

Трансформатори для перетворення змінних струмів великих потужностей мають високий ККД, що досягають 98–99,5 %. Зниження ККД трансформатора

обумовлено втратами енергії на нагрівання проводів його обмоток і сталевому осерддю. Втрати в трансформаторі головним чином пов'язані з омичним опором котушок, намагнічуванням і гістерезисними втратами в залізному осердді, і втратами, що виникають через поля розсіювання, оскільки повний первинний магнітний потік не проходить цілком через котушку вторинної обмотки, і навпаки. Реактивні й омичні опори первинних і вторинних кіл через це змінюються. Для зменшення вихрових струмів осердя трансформаторів звичайно виготовляють із тонких сталевих листів, ізольованих один від одного. Це приводить до значного збільшення електричного опору осердя й зменшенню втрат на його нагрівання вихровими струмами.

Порядок виконання роботи

1. Розглянути будову трансформатора.
2. Зібрати схему для дослідження однофазного трансформатора згідно з рис. 7.2.

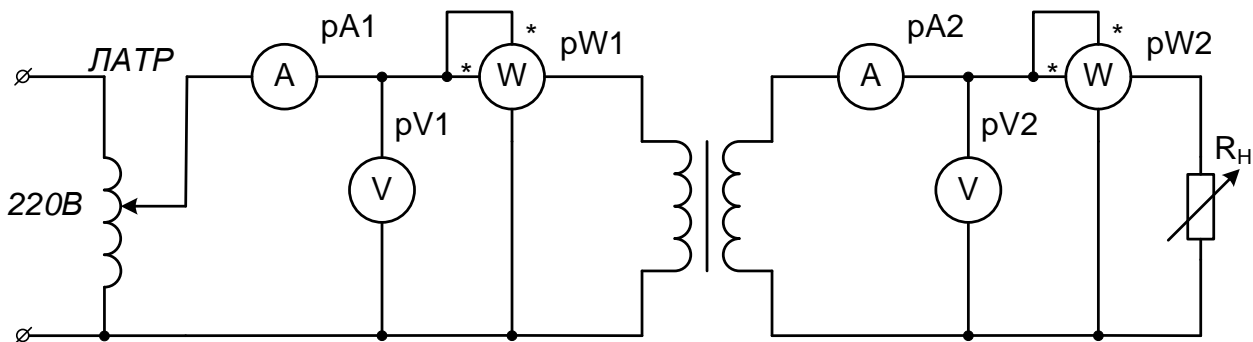


Рис. 7.2. Схема для дослідження однофазного трансформатора

3. Провести дослідження параметрів холостого ходу однофазного трансформатора, для чого плавно збільшуючи за допомогою ЛАТРу напругу первинної обмотки однофазного трансформатора (приблизно 3-4 виміри), при розімкненій вторинній обмотці, записати покази приладів до табл. 7.1.

4. Розрахувати коефіцієнт трансформації та коефіцієнт потужності за формулами (4) і (2).

Таблиця 7.1

Результати вимірювань			Результати обчислень		
U_{10} , В	I_{10} , А	U_{20} , В	K	P_0 , Вт	$\cos \varphi_{10}$

5. Провести дослідження роботи трансформатора при навантаженні, для чого реостатом встановивши силу струму в колі навантаження $I_2=0,1$ А, записати покази приладів. Те ж саме зробити для $I_2 = 0,2; 0,3; 0,4$ А.

6. Для кожного значення розрахувати потужності, що споживаються первинним і вторинним колами, розрахувати ККД трансформатора і коефіцієнти потужності за формулами (4, 5).

Таблиця 7.2

Результати вимірювань				Результати обчислень				
$U_1,$ В	$I_1,$ А	$U_2,$ В	$I_2,$ А	$P_1,$ Вт	$P_2,$ Вт	$\eta,$ %	$\cos \varphi_1$	$\cos \varphi_2$

Контрольні запитання

1. Схема, конструкція і принцип дії однофазного трансформатора.
2. Що таке коефіцієнт трансформації, втрати потужності в сталі та міді?
3. Чим пояснити збільшення струму первинної обмотки трансформатора, при збільшенні струму навантаження?
4. ККД і $\cos\varphi$ трансформатора і їх залежність від навантаження?

Лабораторна робота № 8
ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КОЛА ОДНОФАЗНОГО
СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ З ПОСЛІДОВНИМ З'ЄДНАННЯМ
СПОЖИВАЧІВ

Мета роботи: дослідження властивостей та характеристик електричного кола з послідовним з'єднанням котушки і конденсатора; дослідження режиму резонансу напруг.

Обладнання: комп'ютер із встановленою програмою MS10, мультимедіа.

Теоретичні відомості

Реактивний індуктивний опір X_L котушки й реактивний ємнісний X_C опір конденсатора залежать від частоти f джерела синусоїдальної напруги: $u = U_m \sin(2\pi ft + \Psi_u)$, тобто.

$$X_L = \omega L = 2\pi fL \text{ и } X_C = 1/(\omega C) = 1/(2\pi f C),$$

де $\omega = 2\pi f$ – кутова частота, рад/с; $f = 1/T$ – циклічна частота, Гц; T – період синусоїдального струму, с; Ψ_u – його початкова фаза, рад або град.

У колі однофазного змінного струму з послідовним з'єднанням активного опору R , індуктивного опору X_L та ємнісного опору X_C повний опір кола Z

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (1)$$

У випадку, коли $X_L = X_C$, загальний опір кола стає суто активним, а в колі спостерігається резонанс напруг. Оскільки реактивні опори X_L і X_C не впливають на величину струму в колі, падіння напруги на них не дорівнюють нулеві, а зсунуті по фазі на півперіод та взаємно компенсують один одного.

Діюче значення цих напруг

$$U_L = I \cdot X_L = U \cdot \frac{X_L}{R}; U_C = I \cdot X_C = U \cdot \frac{X_C}{R}$$

У колах, де $X_L = X_C > R$, ці напруги більше в стільки разів, у скільки реактивний опір більше активного опору. Реактивна сумарна потужність в колі дорівнює нулеві, проте не дорівнює нулеві реактивна потужність. Отже, відбувається обмін енергією між котушкою та конденсатором. Відтак, частина кола з X_L і X_C створює коливальний контур, в якому відбувається обмін енергією із частотою, що виходить із рівності $X_L = X_C$:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Ця частота не залежить від частоти джерела живлення та називається резонансною частотою.

Резонанс у контурі настає тоді, коли власна частота контуру співпадає з частотою джерела живлення.

Добротність контуру Q – параметр коливальної системи, що визначає ширину резонансу й характеризує, у скільки разів запаси енергії в системі більше, ніж втрати енергії за час зміни фази на 1 радіан. Позначається символом Q (від англ. quality factor).

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2)$$

Добротність обернено пропорційна швидкості загасання власних коливань у системі. Тобто, чим вище добротність коливальної системи, тим менше втрат енергії за кожний період і тем повільніше згасають коливання.

Робота в середовищі MS10

Для виконання лабораторної роботи використовується готова схема послідовного з'єднання активного та реактивних опорів (рис. 8.1).

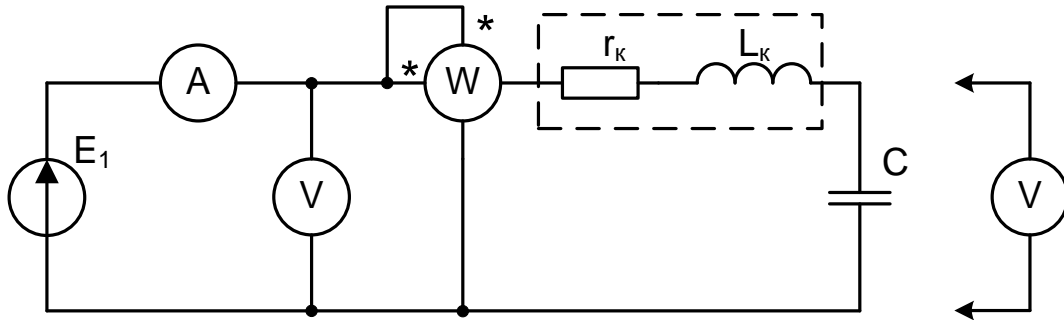


Рис. 8.1. Схема для дослідження резонансу напруг

У бібліотеці інструментів середовища MS10 є віртуальний ватметр XWM, що вимірює як активну потужність $P = UI \cos \varphi$, споживану приймачем, так і коефіцієнт потужності (Power Factor) $\cos \varphi = P/UI$, де U в I – напруга й струм споживача енергії. Тоді модуль кута зсуву фаз між напругою й струмом $\varphi = \arccos(P/UI)$

Порядок виконання роботи

1. Розглянути схему, визначити на ній електровимірювальні прилади, осцилограф, фазометр (Power Factor) (рис. 8.2).

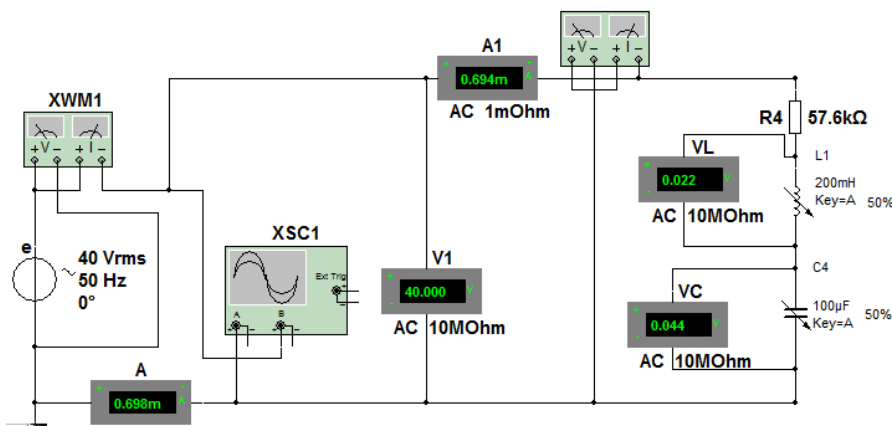


Рис. 8.2. Схема дослідження резонансу напруг

2. Поступово збільшувати ємність батареї конденсаторів, записувати покази приладів до таблиці 8.1. Зробити 7-9 відліків з переходом через резонансний стан кола.

Таблиця 8.1

Дослідження резонансу напруг

№	Результати вимірювань							Результати обчислень				
	I, А	U, В	U _L , В	U _C , В	P, Вт	cosφ	f _к , Гц	Z, Ом	X _L , Ом	r _к , Ом	X _C , Ом	Q
1												
...												
7												

3. Установити ємність постійною і поступово змінюючи значення індуктивності, записати покази приладів, досягнувши резонансу. У цей момент покази амперметра будуть максимальними, а фазометр покаже значення «1».

4. За даними табл. 8.1 побудувати резонансу криву – графік $I=f(L)$.

Контрольні питання

1. Дати визначення поняттям активного та реактивного опорів і наведіть приклад трикутника опорів.

2. Дати визначення поняття резонансу напруг.

3. За яких умов відбувається резонанс напруг і зміною яких величин його можна досягти?

4. Яку ознаку має резонанс напруг у лабораторній роботі та який вигляд має резонансна крива?

5. Як застосовується резонанс напруг і яка з ним пов'язана небезпека?

6. Визначте поняття активної реактивної та повної потужностей. В яких одиницях їх вимірюють?

7. Що таке коефіцієнт потужності?

Лабораторна робота № 9

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КОЛА ОДНОФАЗНОГО СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ З ПАРАЛЕЛЬНИМ З'ЄДНАННЯМ СПОЖИВАЧІВ

Мета роботи: дослідження властивостей та характеристик електричного кола з паралельним з'єднанням котушки і конденсатора; дослідження режиму резонансу струмів.

Обладнання: комп'ютер із встановленою програмою MS10, мультимедіа.

Теоретичні відомості

Реактивний індуктивний опір X_L котушки й реактивний ємнісний X_C опір конденсатора залежать від частоти f джерела синусоїдальної напруги: $u = U_m \sin(2\pi ft + \Psi_u)$, тобто.

$$X_L = \omega L = 2\pi fL \text{ и } X_C = 1/(\omega C) = 1/(2\pi f C),$$

де $\omega = 2\pi f$ – кутова частота, рад/с; $f = 1/T$ – циклічна частота, Гц; T – період синусоїдального струму, с; Ψ_u – його початкова фаза, рад або град.

Побудуємо векторну діаграму для розгалуженої частини кола. За першим законом Кірхгофа струм до розгалуження дорівнює векторній сумі струмів у розгалуженнях (рис. 9.1).

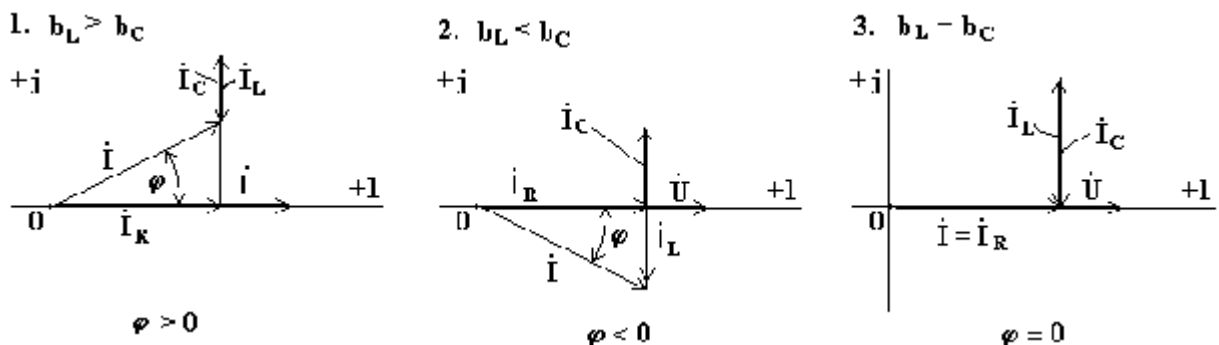


Рис. 9.1. Векторні діаграми струму в колі з паралельним з'єднанням споживачів

Звідси, у колі однофазного змінного струму з паралельним з'єднанням активного опору R , індуктивного опору X_L та ємнісного опору X_C повний опір кола Z

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (1)$$

$$\text{Провідність кола } y = \frac{1}{Z}$$

Провідність вітки з індуктивністю (ідеальний випадок, коли активний опір котушки дорівнює нулеві): $b_L = \frac{1}{X_L}$

$$b_C = \frac{1}{X_C}$$

Провідність вітки з ємністю

$$\text{При цьому, коефіцієнт потужності } \cos \varphi = \frac{I_R}{I} = \frac{I_R}{\sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2}}$$

У випадку, коли $X_L = X_C$, загальний опір кола стає суто активним, а в колі спостерігається резонанс струмів. Оскільки реактивні опори X_L і X_C не впливають на величину напруги в колі, значення сили струму на них не дорівнюють нулеві, а зсунуті по фазі на півперіод та взаємно компенсують один одного.

Діюче значення цих струмів

$$I_L = \frac{U_L}{X_L}; I_C = \frac{U_C}{X_C}$$

У колах, де $X_L = X_C > R$, ці струми більше в стільки разів у скільки реактивний опір більше активного опору. Реактивна сумарна потужність в колі дорівнює нулеві, проте не дорівнює нулеві реактивна потужність. Отже, відбувається обмін енергією між котушкою та конденсатором. Відтак, частина кола з X_L і X_C створює коливальний контур, в якому відбувається обмін енергією із частотою, що виходить із рівності $X_L = X_C$:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Ця частота не залежить від частоти джерела живлення та називається резонансною частотою.

Резонанс у контурі настає тоді, коли власна частота контуру співпадає з частотою джерела живлення.

Практичне значення має графік $I=f(b)$, де b – реактивна провідність кола з паралельним з'єднанням провідників.

Робота в середовищі MS10

Для виконання лабораторної роботи використовується готова схема послідовного з'єднання активного та реактивних опорів (рис. 9.2).

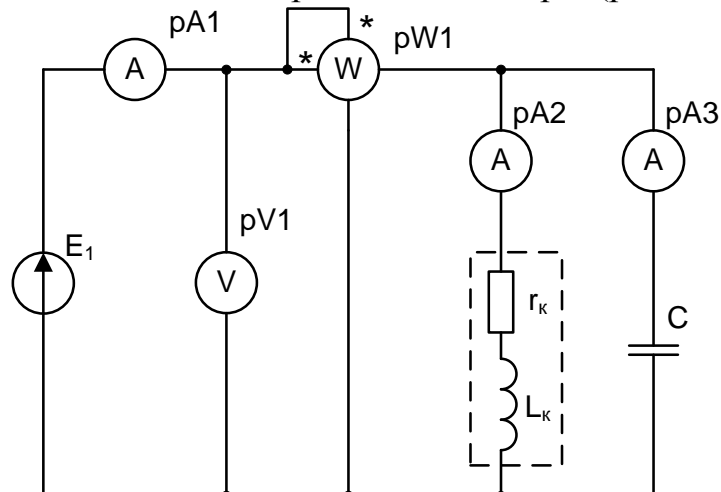


Рис. 9.2. Схема для дослідження резонансу струмів

У бібліотеці інструментів середовища MS10 є віртуальний ватметр XWM, що вимірює як активну потужність $P = UI\cos\varphi$, споживану приймачем, так і коефіцієнт потужності (Power Factor) $\cos\varphi = P/UI$, де U в I – напруга й струм споживача енергії. Тоді модуль кута зсуву фаз між напругою й струмом

$$\varphi = \arccos(P/UI)$$

Порядок виконання роботи

1. Розглянути схему, визначити на ній електровимірювальні прилади, осцилограф, фазометр (Power Factor) (рис. 9.3).

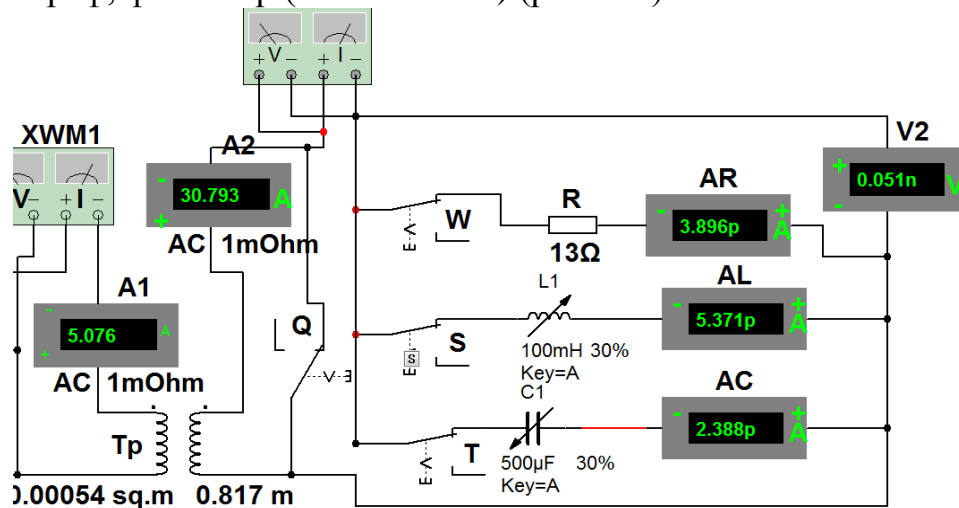


Рис. 9.3. Схема дослідження резонансу струмів

2. Поступово збільшувати ємність батареї конденсаторів, записувати покази приладів до таблиці 9.1. Зробити 7-9 відліків з переходом через резонансний стан кола.

3. Установити ємність постійною і поступово змінюючи значення індуктивності, записати покази приладів, досягнувши резонансу. У цей момент покази амперметрів будуть однаковими, а фазометр покаже значення «1».

Таблиця 9.1

Дослідження резонансу струмів

№	Результати вимірювань						Результати обчислень						
	I, A	U, B	I _L , A	I _C , A	P, Вт	cosφ	Z, Ом	X _L , Ом	X _C , Ом	L, Гн	C, Ф	f _k , Гц	cosφ
1													
...													
7													

4. За даними таблиці 9.1 побудувати резонансу криву – графік $I=f(b)$.

5. За даними перших вимірювань у кожній серії побудувати векторну діаграму для струмів. На ній показати значення струмів на кожній ділянці розгалуженого кола і кут φ .

Контрольні питання

- 1 Дати визначення резонансу струмів.
- 2 За яких умов відбувається резонанс струмів і зміною яких величин його можна досягти?
- 3 Яку ознаку має резонанс струмів і який вигляд має резонансна крива?
- 4 Чому дорівнює $\cos \varphi$ при резонансі струмів?
- 5 Дайте визначення коефіцієнта потужності.
- 6 Де і як використовується резонанс струмів?
- 7 Як виконується компенсація реактивної потужності?

Лабораторна робота № 10

ТРИФАЗНІ КОЛА ЗМІННОГО СТРУМУ. З'ЄДНАННЯ ЗІРКОЮ

Мета роботи: дослідна перевірка співвідношень, що пов'язують напруги і струми трифазних кіл при з'єднанні приймачів зіркою.

Обладнання: система мультимедіа, ППЗ «MS-10»

Теоретичні відомості

Трифазне коло – це сукупність трифазної системи ЕРС, трифазного навантаження і з'єднувальних проводів.

Трифазну систему ЕРС (напруг) отримують за допомогою синхронного трьохфазного генератора, в обмотках якого при обертанні ротора індукуються три синусоїдальні ЕРС однієї і тієї ж частоти, рівні за амплітудою і зсунуті по фазі відносно один одного на кут 120° .

$$\begin{aligned} e_A &= E_m \sin \omega t, \quad \underline{E}_A = E_m / \sqrt{2} e^{j0^\circ} = E_\phi; \\ e_B &= E_m \sin(\omega t - 120^\circ), \quad \underline{E}_B = E_\phi e^{-j120^\circ}; \\ e_C &= E_m \sin(\omega t - 240^\circ) = E_m \sin(\omega t + 120^\circ), \\ \underline{E}_C &= E_\phi e^{j120^\circ} \end{aligned}$$

Обмотки статора генератора з'єднують за схемою «зірка» (рис. 10.1а зліва) або «трикутник» (рис. 10.1б зліва). Фази трифазного приймача (навантаження) також з'єднують за схемою зірка або трикутник (рис. 10.1 а і б справа).

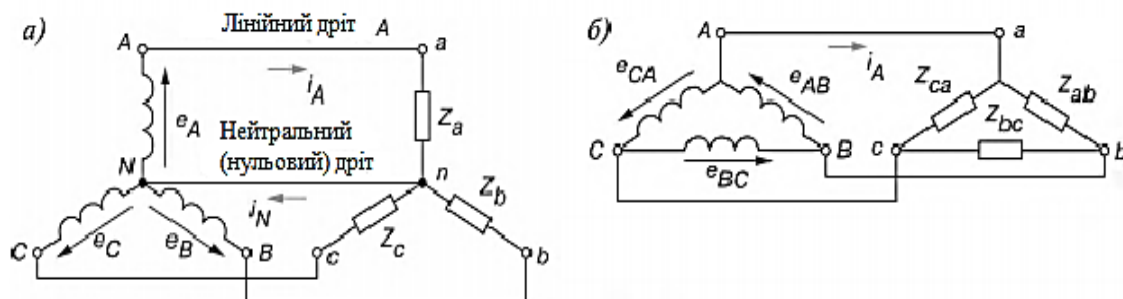


Рис. 10.1. Типи з'єднань у трифазному колі

З'єднання фаз приймача зіркою

На рис. 10.1а зображене трифазне коло, у якому джерело і приймач з'єднані зіркою з нейтральним (нульовим) проводом (чотирипровідна система). Фазні напруги приймача в схемі «зірка-зірка з нулем» рівні фазним напругам джерела:

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A; \underline{U}_b = \underline{U}_B \text{ і } \underline{U}_c = \underline{U}_C,$$

а так звана *напруга зсуву нейтралі* між точками n і N при нульовому опорі нейтрального дроту дорівнює нулеві ($\underline{U}_{nN} = 0$).

У чотиридротяній системі забезпечується незалежний режим роботи фаз приймача (крім короткого замикання у фазі, яке неприпустиме): в разі зміни опору однієї фази (в тому числі при її обриві) напруги і струми двох інших фаз

не змінюються. При цьому дотримується співвідношення між лінійними і фазними напругами:

$$U_{\phi} = U_{\text{л}} / \sqrt{3}, \text{ тобто фазні напруги в } \sqrt{3} \text{ разів менше лінійних.}$$

В освітлювальних системах лінійну напругу $U_{\text{л}}$ встановлюють зазвичай 380 В, а фазну – $U_{\phi} = U_{\text{л}} / \sqrt{3} = 220 \text{ В}$ (рідкіше $U_{\text{л}} = 220 \text{ В}$, а $U_{\phi} = U_{\text{л}} / \sqrt{3} = 127 \text{ В}$).

При нерівномірному навантаженні ($Z_a \neq Z_b \neq Z_c$, наприклад $Z_a = -jX_a$, $Z_b = R_b - jX_b$ та $Z_c = R_c - jX_c$) фазні та лінійні струми (для кожної фази): $I_{\phi} = I_{\text{л}} = U_{\phi} / Z_{\phi}$, а струм в нейтральному проводі складається методом векторів (рис. 10.2): $I_N = I_a + I_b + I_c$.

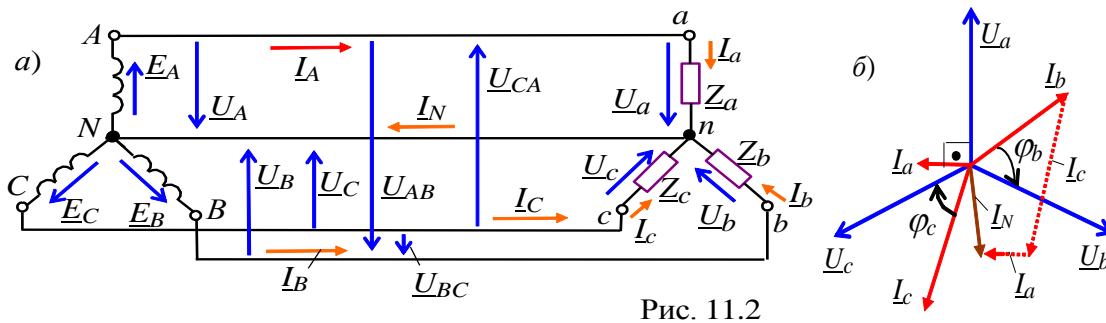


Рис. 11.2

Рис. 10.2. Векторні діаграми при з'єднанні зіркою

При рівномірному навантаженні ($Z_a = Z_b = Z_c = Z_{\phi}$) модулі фазних струмів однакові і дорівнюють відповідним лінійним струмам $I_{\phi} = I_{\text{л}} = U_{\phi} / Z_{\phi}$ (рис.10.2)

На векторній діаграмі вектори струмів складають симетричну зірку (як і вектори фазних напруг), тому сума комплексів фазних струмів:

$$\underline{I}_N = \underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c = 0,$$

тобто струм в нейтральному проводі дорівнює нулеві і нейтральний провід можна прибрати. У результаті отримуємо трипровідну систему включення приймача з генератором за схемою «зірка-зірка» (Y-Y).

При нерівномірному навантаженні і в разі відсутності нейтрального проводу (трипровідна система Y-Y без нуля) має місце залежний режим роботи фаз приймача: при зміні опору однієї фази змінюються всі фазні напруги. Між точками n і N (див. рис. 10.2) з'явиться напруга зсуву нейтралі

$$\underline{U}_{nN} = \frac{\underline{E}_A \underline{Y}_a + \underline{E}_B \underline{Y}_b + \underline{E}_C \underline{Y}_c}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c},$$

де $\underline{Y}_a = 1/Z_a$; $\underline{Y}_b = 1/Z_b$; $\underline{Y}_c = 1/Z_c$; – провідності фаз навантаження.

Напруги фаз приймача знаходять із співвідношень:

$$U_a = U_A - U_{nN}; \quad U_b = U_B - U_{nN}; \quad U_c = U_C - U_{nN}; .$$

У результаті виходить несиметрична зірка фазних напруг приймача («Перекіс» фаз), причому в одній фазі, наприклад у фазі a , напруга \underline{U}_a може зрости і значно перевищити фазну напругу \underline{U}_a генератора (що в більшості випадків неприпустимо), а в інших фазах – зменшитися. Значна несиметрія

фазних напруг приймача утворюється при різних за характером опорах навантаження, наприклад при:

$$\underline{Z}_a = R, \quad \underline{Z}_b = jXL, \quad \underline{Z}_c = -jXC.$$

Із цієї причини, в освітлювальних системах забороняється встановлювати запобіжники і вимикачі на нейтральному проводі.

Комплекси струмів фаз приймача:

$$\underline{I}_a = \underline{U}_a / \underline{Z}_a; \quad \underline{I}_b = \underline{U}_b / \underline{Z}_b; \quad \underline{I}_c = \underline{U}_c / \underline{Z}_c,$$

а їх сума дорівнює нулеві, тобто

$$\underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c = 0.$$

Порядок виконання роботи

Завдання 1. Запустити файл **11.4.msl0** для дослідження трифазного кола в різних режимах роботи при з'єднанні джерела і приймача за схемою «зірка-зірка».

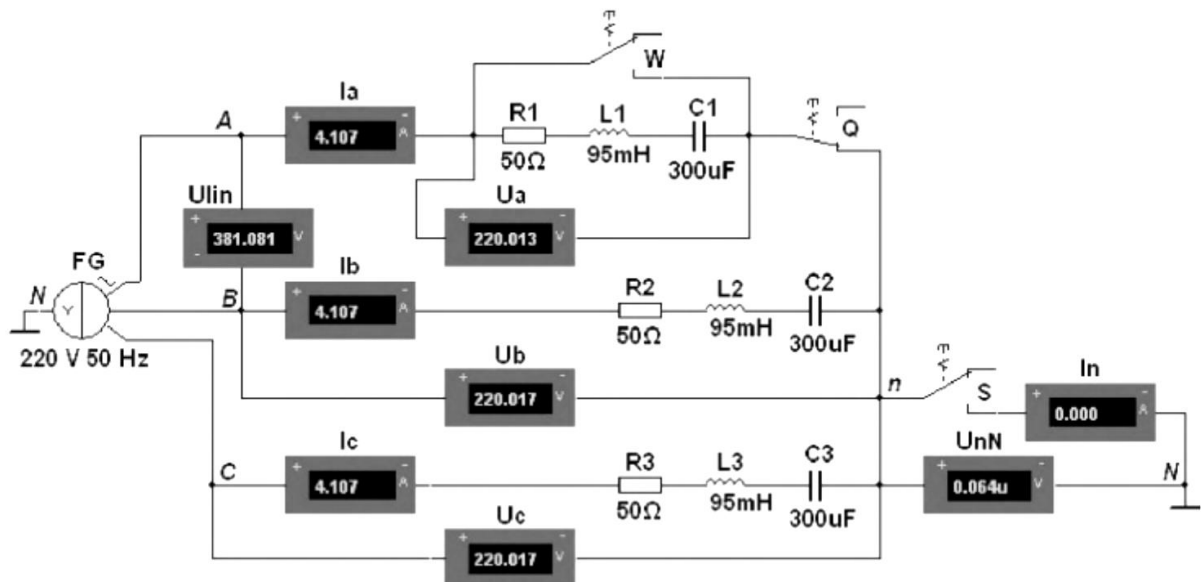


Рис. 10.3. Електрична схема з дослідження з'єднання за схемою «зірка-зірка»

Установити такі режими і параметри пристроїв і елементів:

- ЕРС фази $E_{\phi} = 220 \text{ В}$ і частоту $f = 50 \text{ Гц}$ трифазного джерела напруги **FG** (рис. 4);

- режим **АС** і опір $R_v = 10 \text{ МОм}$ вольтметрів:

Ulin (для вимірювання лінійного напруги генератора);

Ua, Ub, Uc (для вимірювання фазних напруг приймача);

UnN (Для вимірювання напруги зсуву нейтралі);

- режим **АС** і опір $R_A = 1 \text{ мОм}$ амперметрів:

Ia, Ib, Ic (для вимірювання фазних струмів приймача) і **In** (для вимірювання струму в нейтральному проводі);

- призначити клавіші **Q, W** і **S** клавіатури для управління ключами;

- значення опорів фаз приймача (навантаження):

$$\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c, \text{ Ом,}$$

Після перевірки зібраної схеми і установки параметрів елементів **запустіть** програму моделювання MS 10 трифазного кола в різних режимах (положення ключів **Q, W, S** і опору фаз за табл. 10.1).

Покази вимірювальних приладів для чотирипровідних схем при рівномірному і нерівномірному навантаженнях, а також при обриві і короткому замиканні фази *a* занести в табл. 10.1.

Таблиця 10.1

Вид кола	Навантаження	Виміряно									
		U_l , В	U_a , В	U_b , В	U_c , В	U_{nN} , В	I_a , А	I_b , А	I_c , А	I_N , А	
Чотири- провідна	Рівномірна (ключи S і Q замкнені, W – розімкнений): $Z_\phi = R \pm jX$										
	Нерівномірна (ключи W, S і Q замкнені): $Z_a = R; Z_b = \pm jX; Z_c = R \pm jX$										
Три- провідна	Рівномірна (ключ Q замкнений, S і W – розімкнені): $Z_\phi = R \pm jX$									–	
	Нерівномірна (ключ S і Q замкнені, і W – розімкнений): $Z_a = R; Z_b = \pm jX; Z_c = R \pm jX$									–	
	Нерівномірна (ключи S, Q і W розімкнені): обрив фази <i>a</i> ($Z_a = \infty$ (XX)); $Z_b = \pm jX; Z_c = R \pm jX$									–	
	Нерівномірна (ключи W і Q замкнені, S – розімкнений): $Z_a = 0$ (КЗ фази <i>a</i>); $Z_b = \pm jX$; $Z_c = R \pm jX$									–	

Завдання 2. За даними експерименту побудувати векторну діаграму фазних напруг і струмів (в масштабі) споживачів чотирьох кіл при нерівномірному навантаженні. Фазні кути ϕ_a, ϕ_b, ϕ_c визначити за формулою $\phi\phi = \pm \arctg(X\phi / R\phi)$.

Порівняти величину побудованого вектора струму I_n із його експериментальним значенням, а також визначити співвідношення між лінійними і фазними напругами і струмами при рівномірному навантаженні.

Завдання 3. Побудувати векторні діаграми фазних напруг і струмів приймача, з'єднаного зіркою без нейтрального проводу, при нерівномірному навантаженні, при режимах ХХ і КЗ в фазі a .

При побудові векторної діаграми вимірних напруг приймача, з'єднаного зіркою без нейтрального проводу, координати точки n (кінець вектора UnN на комплексній площині) знаходять методом зарубок: з вершин рівнобедреного трикутника лінійних напруг (наприклад, A і B) відкладають вимірні величини Ua і Ub . Отриману точку n з'єднують з вершиною C (отримують вектор Uc). Позитивні спрямування отриманих фазних напруг Ua , Ub і Uc приймача – від точки n до вершин A , B і C трикутника. Далі викреслюють вектори фазних струмів з урахуванням характеру навантаження фаз.

Порівняти значення напруги UnN з отриманими в експериментах значеннями, а також перевірити рівність нулевій суми струмів: $Ia + Ib + Ic = 0$.

Контрольні питання

1. Як з'єднати фази приймача зіркою?
2. Які залежності між лінійними та фазними струмами та напругами.
3. Як змінюються лінійні та фазні струми симетричної системи без нейтралі: а) при обриві лінійного проводу, б) обриві фази, в) короткому замиканні фази?
4. У яких випадках можна обійтися без нейтрального проводу?

Лабораторна робота № 11

ТРИФАЗНІ КОЛА ЗМІННОГО СТРУМУ. З'ЄДНАННЯ ТРИКУТНИКОМ

Мета роботи: Дослідна перевірка співвідношень, що пов'язують напруги і струми трифазних кіл при з'єднанні приймачів трикутником.

Обладнання: система мультимедіа, ППЗ «MS-10»

Теоретичні відомості

На рис. 11.1а зображене трифазне коло, у якому джерело і приймач з'єднані за схемою «трикутник-трикутник». Режим роботи фаз є незалежним (крім короткого замикання у фазі, яке неприпустимо), оскільки фазні напруги приймача визначаються лінійними напругами джерела і рівні їм, тобто $U_{\phi} = U_{\text{л}}$, а фазні струми при нерівномірному навантаженні:

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

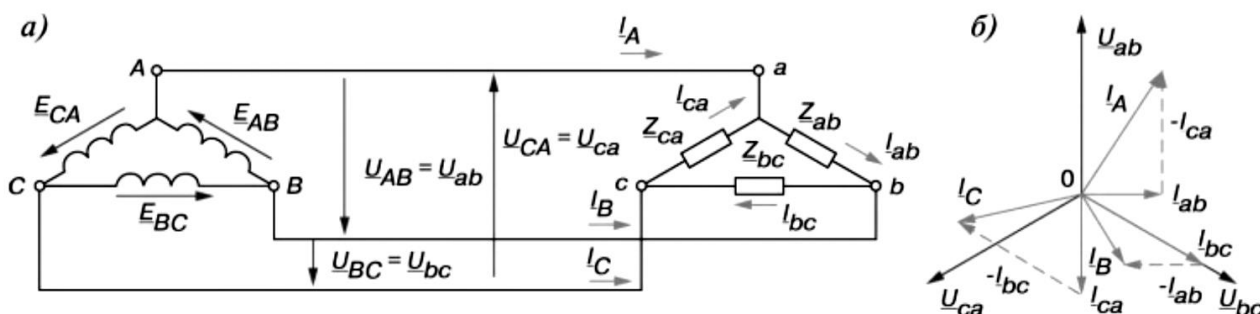


Рис. 11.1. З'єднання трикутником

Лінійні струми визначають за формулами

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{ab} / \underline{I}_{ca}; \quad \underline{I}_B = \underline{I}_{bc} / \underline{I}_{ab}; \quad \underline{I}_C = \underline{I}_{ca} / \underline{I}_{bc}.$$

причому сума комплексів лінійних струмів $\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 0$.

Векторна діаграма напруг і струмів для випадку нерівномірного навантаження ($\underline{Z}_{ab} = jX_{ab}$, $\underline{Z}_{bc} = R_{bc}$, $\underline{Z}_{ca} = R_{ca} - jX_{ca}$) представлена на рис. 11.1б.

При рівномірному навантаженні ($\underline{Z}_{ab} = \underline{Z}_{bc} = \underline{Z}_{ca} = \underline{Z}_{\phi}$) фазні струми приймача: $\underline{I}_{ab} = \underline{I}_{bc} = \underline{I}_{ca} = \underline{I}_{\phi} = U_{\text{л}} / \underline{Z}_{\phi}$.

На векторній діаграмі як фазні, так і лінійні струми становлять симетричні зірочки, причому

$$\underline{I}_{ab} + \underline{I}_{bc} + \underline{I}_{ca} = 0 \quad \text{та} \quad \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 0,$$

а співвідношення між ними

$$\underline{I}_{\phi} = \underline{I}_{\text{л}} / \sqrt{3} \quad \text{або} \quad \underline{I}_{\text{л}} = \sqrt{3} \underline{I}_{\phi}.$$

Порядок виконання роботи

Завдання 1. Відкрити файл 11.5.msl0 (рис. 11.2) для дослідження трифазного кола в різних режимах його роботи при з'єднанні джерела і приймача за схемою «зірка-трикутник».

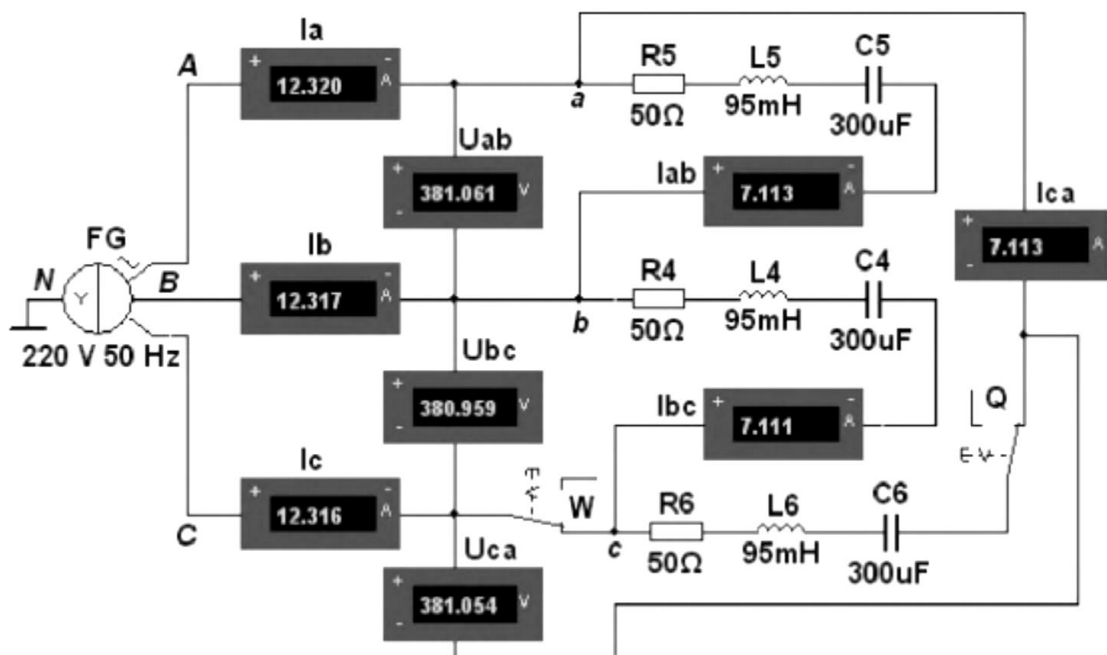


Рис. 11.2. Дослідження з'єднання джерела і приймача за схемою «зірка-трикутник»

Установити такі режими і параметри пристроїв і елементів:

- ЕРС фази $E\phi = 220\text{ В}$ і частоту $f = 50\text{ Гц}$ трифазного джерела напруги FG (рис. 4);

- режим AC і опір $R_V = 10\text{ МОм}$ вольтметрів:

U_{lin} (для вимірювання лінійного напруги генератора);

U_a, U_b, U_c (для вимірювання фазних напруг приймача);

U_{nN} (Для вимірювання напруги зсуву нейтралі);

- режим AC і опір $R_A = 1\text{ мОм}$ амперметрів:

I_a, I_b, I_c (для вимірювання фазних струмів приймача) і I_n (для вимірювання струму в нейтральному проводі);

- призначити клавіші Q, W і S клавіатури для управління ключами;

- значення опорів фаз приймача (навантаження):

$$\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c, \text{ Ом,}$$

Покази вимірювальних приладів при рівномірному і нерівномірному навантаженнях, в тому числі при обриві фази ca і лінійного проводу C, занести в табл. 11.1. Позиції ключів і опорів фаз вказані в табл.11.1.

Переконатися в рівності фазних, а також лінійних струмів при рівномірному навантаженні фаз приймача.

Завдання 2. За даними експериментів побудувати векторні діаграми фазних напруг, фазних і лінійних струмів схеми кола при нерівномірному навантаженні, в тому числі при обривах фази ca і лінійного дроту C. Фазні кути визначити за формулою $\phi\phi = \pm \arctg(X\phi / R\phi)$.

Звернути увагу на зміну лінійних струмів при обриві фази ca і фазних струмів при обриві лінійного дроту C.

Таблиця 11.1

Вид кола	Навантаження	Виміряно								
		U_{ab} В	U_{bc} В	U_{ca} В	I_A А	I_B А	I_C А	I_{ab} А	I_{bc} А	I_{ca} А
Трипровід не: зірка-три- кутник	Рівномірна (ключи Q і W замкнені): $\underline{Z}_\phi = R \pm jX$									
	Нерівномірна (ключи Q і W розімкнені): $\underline{Z}_{ab} = R \pm jX$; $\underline{Z}_{bc} = \pm jX$; $\underline{Z}_{ca} = R$									
	Нерівномірна (ключ Q розімкнений, W – замкнений): $\underline{Z}_{ab} = R \pm jX$; $\underline{Z}_{bc} = \pm jX$; $\underline{Z}_{ca} = \infty$ (XX)									
	Нерівномірна (ключ Q замкнений, W – розімкнений): $\underline{Z}_{ab} = R \pm jX$; $\underline{Z}_{bc} = \pm jX$; $\underline{Z}_{ca} = R$; обрив провуда C									

Порівняти значення модулів побудованих векторів лінійних струмів I_a , I_b , I_c з їх експериментальними значеннями.

Контрольні питання

1. Яка трифазна система називається симетричною?
2. Як установити порядок проходження фаз напруг у трифазній мережі?
3. Як три однофазних приймачі з'єднати трикутником?
4. Які існують залежності між лінійними й фазними струмами трифазної системи при з'єднанні приймачів трикутником?
5. Яким приладом можна виміряти активну потужність приймачів, які з'єднані трикутником?

Лабораторна робота № 12

ВИЗНАЧЕННЯ ККД АСИНХРОННОГО КОЛЕКТОРНОГО ДВИГУНА

Мета роботи: Навчитися складати схему для дослідження змін потужності, коефіцієнта потужності, ККД і числа оборотів електродвигуна при зміні навантаження.

Прилади й обладнання: асинхронний колекторний двигун типу МУН-2 потужністю 80 Вт із механічним гальмом; амперметр типу Э30 на 1 А; вольтметр на 150 або 250 В; ключ; секундомір; лічильник обертів.

Теоретичні відомості

Правильний вибір електродвигуна безпосередньо пов'язаний з його ККД.

У будь-якому електродвигуні електрична енергія із втратою потужності перетворюється в механічну енергію. Втрати складаються з декількох факторів, а саме:

1. Магнітні (перемагнічування й вихрові струми у статорі й роторі).
2. Електричні (опір обмоток статора й ротора).
3. Механічні втрати (тертя підшипників та інших деталей).
4. Теплові (нагрівання двигуна під час роботи).

Різні види втрат по-різному залежать від навантаження електродвигуна. Звичайно можна вважати, що одні види втрат залишаються постійними при зміні навантаження, а інші є змінними.

ККД (коефіцієнт корисної дії електродвигуна) це – порівняння частини механічної енергії, що віддається електродвигуном, із споживаною ним електричною енергією.

Коефіцієнт корисної дії визначається як відношення корисної, або тої потужності, що розвивається на валу N , до споживаної потужності P :

$$\eta = \frac{N}{P} \cdot 100\% \quad (1)$$

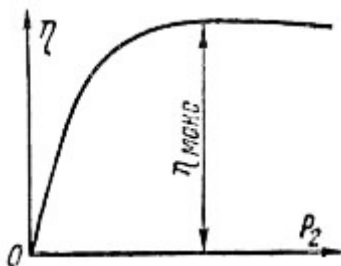
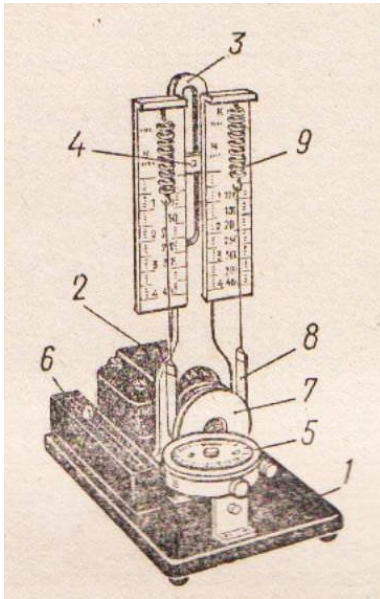


Рис. 12.1. Залежність ККД електричної машини від навантаження

Крива ККД електричної машини $\eta = f(P)$ спочатку швидко зростає зі збільшенням навантаження, потім ККД досягає максимального значення (звичайно при навантаженні, близького до номінального) і при більших навантаженнях зменшується (рис. 12.1). Останнє пояснюється тим, що окремі види втрат (електричні $I_a^2 R_a$ й додаткові) ростуть швидше, ніж корисна потужність.

У даній лабораторній роботі використовується прямий метод визначення

потужності електродвигуна за експериментальними даними. Задля цього використовується установка, схема якої подана на рис. 12.2.



- 1 – підставка
- 2 – електродвигун;
- 3 – металева стійка з поздовжнім прорізом
- 4 – планка з укріпленими на ній динамометрами
- 5 – утримувач з лічильником числа оборотів
- 6 – пусковий реостат
- 7 – дерев'яний шків
- 8 – стрічкове гальмо
- 9 – два динамометри

Рис. 12.2. Установка для дослідження ККД електродвигуна

Прилад містить колекторний електродвигун потужністю близько 40 Вт, розрахований на робочу напругу 220 В, змонтований на горизонтальній панелі. На панелі встановлена: стійка з поздовжнім прорізом (по стійці переміщається планка із прикріпленими до неї двома динамометрами), утримувач шкали лічильника оборотів і реостат. Шків охоплюється стрічковим гальмом, кінці якого пов'язані з динамометрами, що мають дві шкали. Вісь електродвигуна виходить за торець шківа й має фрикційне з'єднання з лічильником оборотів.

Конструкція утримувача дає можливість включити лічильник шляхом переміщення його в невеликих межах уздовж осі електродвигуна. Шкала лічильника має 100 поділок. Кожна поділка відповідає двом оборотам електродвигуна. Поворотом верхнього кільця шкали можна встановлювати покажчик на нульовий розподіл шкали.

Для визначення ККД необхідно зібрати електричну схему (рис. 12.2).

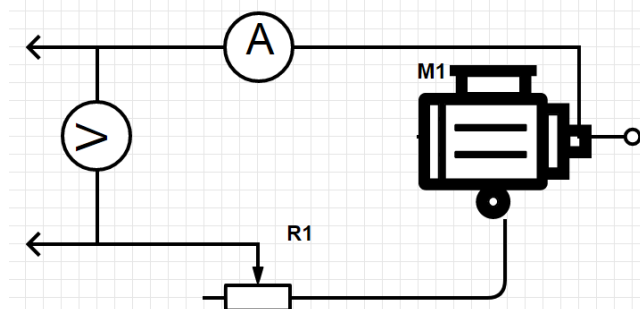


Рис. 12.2. Електрична схема підключення установки

Обчислити потужність на валу двигуна можна за формулою:

$$N = \frac{9.8 \cdot 2\pi R n F}{t}, \text{ Вт}$$

Де R – радіус шківів, м;

F – сила гальмування, $F = F_1 - F_2$,

9,8 Дж/кГм – перехідний коефіцієнт, що дозволяє отримати остаточний результат у ватах.

Потужність, що споживається електродвигуном визначається за показами приладів: $P = I U$

Коефіцієнт потужності:

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot UI}$$

Варто мати на увазі, що потужність, яка розвивається на шкалі даної установки не буде відповідати повній потужності, зазначеній на двигуні, тому що значну потужність поглинає лічильник обертів.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися із будовою механічного гальма.
2. Зібрати електричний коло за схемою рис. 12.2.
3. Планку з динамометрами закрити в прорізі стійки в такий спосіб, щоб покажчики динамометрів установилися на нулі.
4. Вмикнути ключ і зробити виміри при холостому ході електродвигуна. Покази приладів записати в таблицю 12.1.

Таблиця 12.1

№	I, А	U, В	P, Вт	t, сек	n, об/хв	F ₁ , Н	F ₂ , Н	F, Н	N, Вт	cosφ	η, %

5. Визначити число обертів ротора n за допомогою укріпленого лічильника обертів, для чого вловлюється момент збігу нульового розподілу шкали лічильника з покажчиком кільця й вмикається секундомір.

Отримані результати занести в таблицю.

6. Динамометри пересунути трохи нагору, натягаючи стрічкове гальмо. У результаті чого динамометри дадуть різні покази F_1 і F_2 , які записуються в таблицю.

Не виключаючи електродвигун, підняти динамометри трохи вище з таким розрахунком, щоб навантаження на динамометри змінилася на 30 г і знову зробити виміри. Поступово збільшуючи напругу стрічкового гальма, повторити дослід кілька разів до повного гальмування двигуна?

7. Обчислити потужність на валу двигуна.

8. Визначити коефіцієнт потужності.

9. Обчислити *ККД* двигуна:

$$\eta = \frac{N}{P} \cdot 100\%$$

10. Побудувати графік залежності η (вісь *У*) від зміни потужності *N* (вісь *Х*).

Контрольні питання

1. Чому потужність на валу *N* двигуна менше підведеної потужності *P*?
2. Як виміряти підведену потужність *P*?
3. Як змінюється $\cos\varphi$ і *ККД* електродвигуна залежно від зміни навантаження на двигун?
4. При яким навантаженні *ККД* двигуна найбільший?

Лабораторна робота № 13

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕРЕВЕРСИВНОЇ ТА РЕВЕРСИВНОЇ СХЕМ МАГНІТНОГО ПУСКАЧА

Мета роботи: ознайомитись з конструкцією та принципом роботи магнітного пускача, а також його нереверсивної та реверсивної схем увімкнення.

Обладнання: макет.

Короткі теоретичні відомості

Магнітним пускачем називається електричний апарат, призначений для пуску та вимикання короткозамкнених асинхронних двигунів (АД). Як правило, у пускач, окрім контактора, убудовані теплові реле для захисту двигуна від струмових перевантажень та «втрати фази». Робота асинхронних двигунів значною мірою залежить від таких властивостей пускачів, як зносостійкість, комутаційна здатність, надійність захисту двигуна від перевантажень. У процесі експлуатації досить часто обривається одна з фаз трифазної напруги живлення, наприклад, через перегорання запобіжника. До двигуна при цьому підводяться тільки дві фази та струм у статорі різко зростає, що призводить до виходу його з ладу через нагрівання обмотки до високої температури. Теплові реле пускача від цих струмів повинні спрацьовувати та відключати двигун.

При вмиканні асинхронного двигуна пусковий струм у 5...7 разів перевищує номінальний. При такому струмі навіть незначна вібрація контактів швидко виводить їх з ладу. Це накладає високі вимоги щодо вібрації й зносу контактів. З метою зменшення часу вібрації контакти й рухомі частини контакторів магнітного пускача роблять легкими, при цьому зменшується їхня швидкість, збільшується контактне натискання.

Після розгону двигуна струм спадає до номінального значення. Тому вимикання працюючого двигуна відбувається при меншому струмовому навантаженні контактів.

При відключенні двигуна напруга, що відновлюється, на контактах дорівнює різниці напруги мережі та ЕРС двигуна. У результаті на контактах контактора з'являється напруга, що складає 15..20% $U_{ном}$, тобто вимикання відбувається в полегшених умовах.

Часті випадки, коли двигун необхідно відключити від мережі відразу після пуску. У цих випадках контактор пускача відключає струм, рівний багаторазовому номінальному й напрузі, що відновлюється, рівній номінальній напрузі мережі. Згідно з діючими нормами, після 50-кратного ввімкнення та вимикання загальмованого двигуна пускач повинен бути придатний для подальшої роботи.

У технічних даних магнітних пускачів указують їх номінальний струм і номінальну потужність двигуна при різних напругах. Оскільки струм, що відключається пускачем, відносно мало спадає з ростом напруги, потужність двигуна, з яким може працювати даний пускач, зростає зі збільшенням номінальної напруги. Найбільша робоча напруга пускачів дорівнює 660 В.

Найбільш розповсюдженими на даний час в Україні є магнітні пускачі

серії ПМЛ (рис. 13.1).

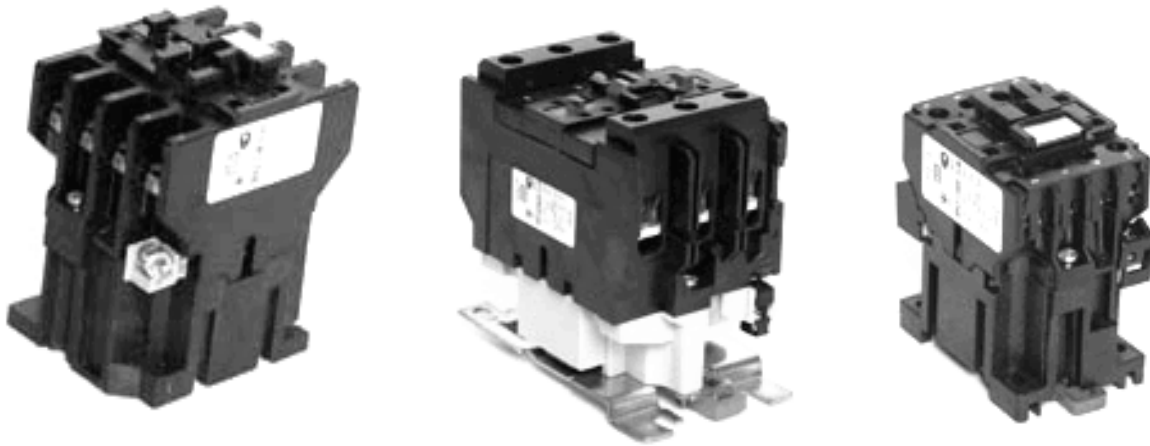


Рис. 13.1. Магнітні пускачі серії ПМЛ на різні струми

Основні елементи магнітного пускача наведені на рис. 13.2.

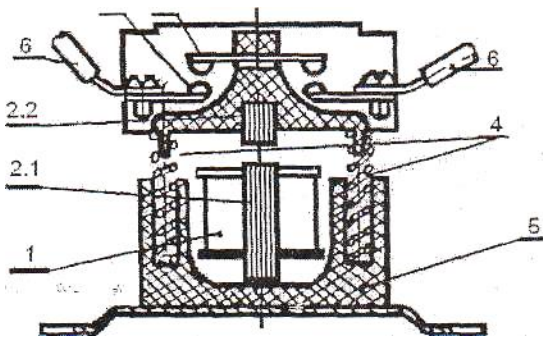


Рис. 13.2. Конструкція магнітного пускача

Це котушка 1; магнітопровід 2.1 і 2.2; контактні пари 3.1 і 3.2; поворотні пружини 4; корпус 5; і монтажні провводи 6. Призначення й взаємний зв'язок елементів у МП описаний в табл. 13.1.

Магнітний пускач (МП) призначений для автоматичного пуску й зупинки асинхронних електродвигунів потужністю до 75 кВт і напругою до 500 В. Принцип роботи

МП допускає дистанційне (на відстані) керування ними. МП має здатність відключати електродвигуни при аварійному відключенні або зниженні напруги живильної мережі більш ніж на 20%. Такий захист називається нульовим.

Ці пускачі працюють у мережі змінного струму напругою до 660 В при номінальному струмі від 10 до 80 А. Магнітні пускачі мають місткову контактну систему з металокерамічними контактами, розташованими в дугогасильному пристрої. Дугогасильний пристрій виконується у вигляді дугогасильної решітки на кожному розриві. У системі допоміжних контактів можна установити до чотирьох додаткових контактів.

Таблиця 13.1

Функціональна структура магнітного пускача

Назва системи і її елементів	Складові частини системи	Виконувані функції
1. Електромагнітна 1.1. Котушка	Каркас із ізоляційного матеріалу (картон, пластмаса) із багат шаровою намоткою на нього проводів із двома виводами – клемми	Створює й концентрує магнітне поле після під'єднання до мережі. Напрямок поля визначається правилом свердлика
1.2. Магнітопровід	Складається двох частин – рухомої – якоря й нерухомої	Підсилює на кілька порядків магнітне поле котушки

	– сердечника, набраних з окремих листових пластин електротехнічної сталі та ізованих одна від одної лаком	внаслідок односпрямованої (полярної), орієнтації елементарних магнітів стали магнітопроводи (доменів). Проводить у необхідному напрямі (від сердечника до якоря) магнітний потік. Якір кріпить рухливі контакти через ізовлюючі прокладки
2. Контактна	Рухливі контакти через ізовлюючі прокладки механічно з'єднані з якорем. Нерухомі контакти через провідники з'єднані із клемми (силових, замикаючих контактів 3 або 4, що замикають і розмикають кола керування, усього контактів мінімум 2	Переміщуючись разом з якорем, комутують електричні силові й управлінські кола (замикають або розмикають)
3. Пружня	Декілька пружин (мінімум 2)	Зм'якшують (амортизують) удари рухливої частини, (якоря) і контактних пар при комутації пускача. Відкидають якір з рухливими контактами у вихідний стан (відключення) після аварійного зниження або провалля напруги, тобто здійснюють нульовий захист

До корпусу пускача може приєднуватися теплове трифазне реле типу РТЛ, що дозволяє регулювати струм спрацьовування.

Існують дві основні схеми ввімкнення магнітного пускача: нереверсивна, яка забезпечує пуск і вимкнення асинхронного двигуна (рис. 13.3), та реверсивна, що забезпечує, окрім пуску, ще й реверс двигуна шляхом зміни послідовності фаз (рис. 13.4).

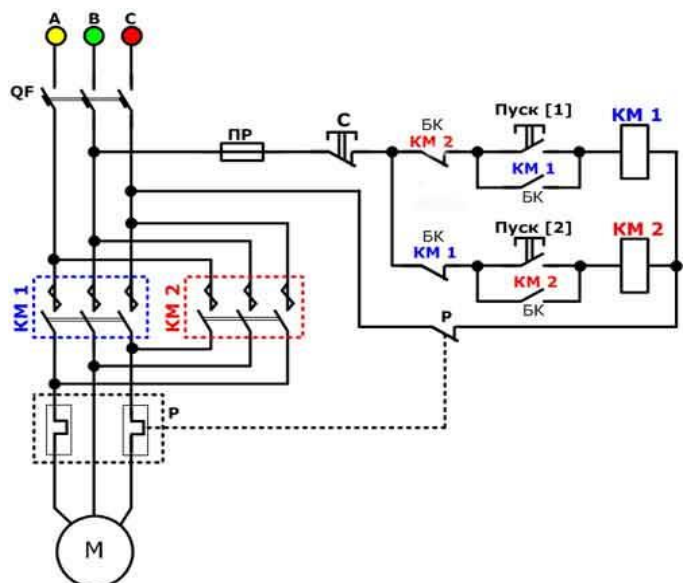
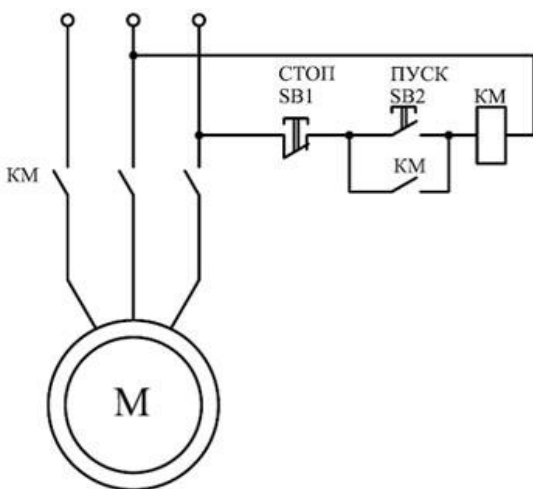


Рис.13.3. Нереверсивна схема

Рис. 13.4. Реверсивная схема

Реверсивні магнітні пускачі мають як механічне блокування, так і електричне блокування, що виключає одночасне спрацювання двох магнітних пускачів.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити принцип побудови та складові схем нереверсивного та реверсивного пуску асинхронного двигуна.
2. Вивчити принцип дії магнітного пускача.
3. Ознайомитись з роботою магнітного пускача.
4. Проспостерігати за роботою магнітного пускача та описати її.

Контрольні питання

1. Яке призначення магнітних пускачів?
2. З яких елементів конструкції складається магнітний пускач?
3. Де можна використовувати магнітний пускач окрім пуску двигунів?
4. Як здійснити реверс асинхронного двигуна?
5. Для чого застосовується механічне та електричне блокування? Який принцип дії блокування?

Лабораторна робота № 14 ДОСЛІДЖЕННЯ ПУСКУ І РЕВЕРСУ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

Мета роботи: з'ясувати принцип пуску та реверсування асинхронного двигуна.

Обладнання: установка для пуску й реверсування асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором шляхом зміни фазових напруг.

Теоретичні відомості

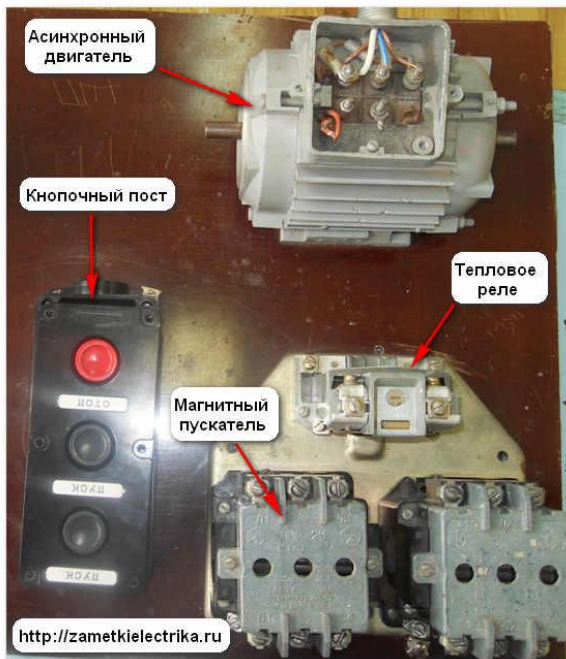


Рис. 14.1. Схема установки

Електрообладнання в установці (рис. 14.1):

- асинхронний двигун з короткозамкненим ротором загального призначення;
- магнітний пускач ПМЕ (для пуску, зупинки й реверсування двигуна);
- теплове реле ТРН (для захисту асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором від перевантажень);
- кнопковий пост ПМЕ 222-3В2 (кнопка пуск – вперед, пуск – назад і стоп).

Асинхронний електродвигун загального призначення.

Може бути використаний в колах з номінальною напругою 220 В і 380 В. Для того, щоб його можна було б використати в однофазному колі 220 В, для зсуву фаз використовується *конденсатор*. Загалом, підключення фаз електродвигуна відбувається за схемами «трикутник» чи «зірка» (рис. 14.2).

Магнітний пускач ПМЕ-071 (рис. 14.3), виготовлений у відкритому виконанні, використовується в стаціонарних електроустановках, для запуску на дистанції за рахунок безпосереднього підключення до мережі й відключення. Здійснює взаємодію з асинхронними електродвигунами з короткозамкненим ротором. Пускачі ПМЕ призначені для роботи під змінною напругою від 127 до 500 В при частоті 50 Гц і з постійним – до 220 В. Установка на пускач теплового реле серії РТЛ або РТТ дозволяє здійснювати його захист від

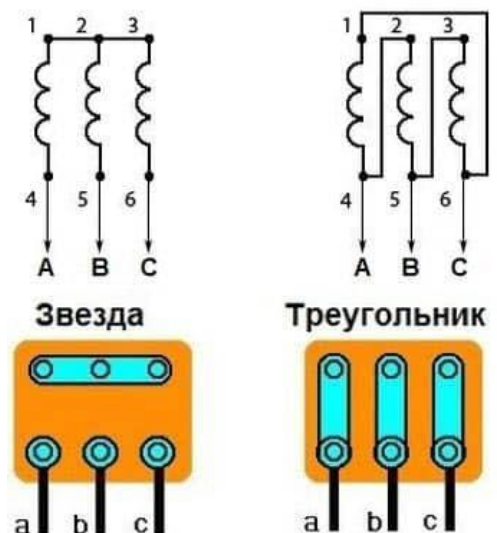


Рис. 14.2. Типи з'єднання

тривалих перевантажень і струмів обриву фаз. При шунтуванні котушки вимкненні пристроєм ліквідації перешкод з'являється можливість використання ПМЕ в системах керування мікропроцесорною технікою.



Рис. 14.3. Магнітний пускач ПМЕ-071

Розшифровка структури умовної позначки електромагнітного пускача ПМЕ-071:

0 – розмір пускача, відповідно до номінального струму. Для цього габариту струм дорівнює 4 А;

7 – відкрите виконання, 4 замикаючих і 4 розмикаючих блок-контакти;

1 – без теплового реле, збірка нереверсивна.

Принцип роботи магнітного пускача ПМЕ-071: при подачі напруги на котушку якоря магнітного пускача, він притягається до осердя й головні контакти замикаються.

Відключення відбувається за допомогою поворотних пружин, які повертають у початкове положення рухливі частини пускача, при цьому відбувається розмикання контактів. Конструкція пускачів зроблена таким чином, що після спадання напруги нижче допустимого відбувається відключення пускачів, але після відновлення параметрів цього не відбувається, тож у пристрої передбачений захист від мимовільних включень.

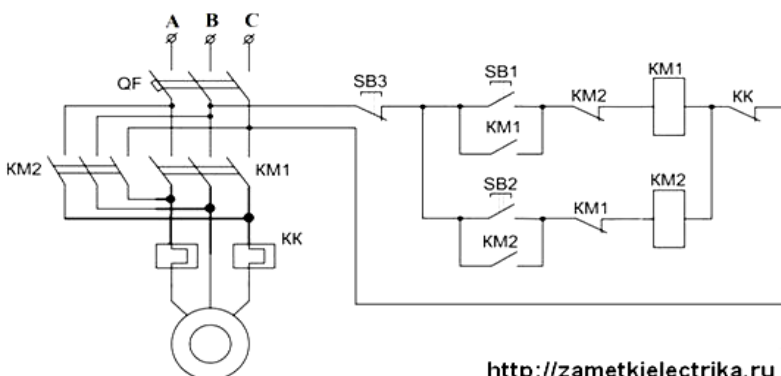
Теплове реле магнітного пускача (рис. 14.4).

Теплове двохолюсне реле ТРН-10 з температурною компенсацією призначено для захисту трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором від перевантажень неприпустимої тривалості. Від коротких замикань реле не захищають і самі мають потребу в такому захисті.



Рис. 14.4. Теплове реле ТРН-10

Принципова та монтажні схеми роботи установки:



<http://zametkielectrika.ru>

Рис. 14.5. Принципова схема

- SB1 – «Уперед»
- SB2 – «Назад»
- SB3 – «Стоп»
- н.в. – нормально-відкритий контакт,
- н.з. – нормально-закритий контакт

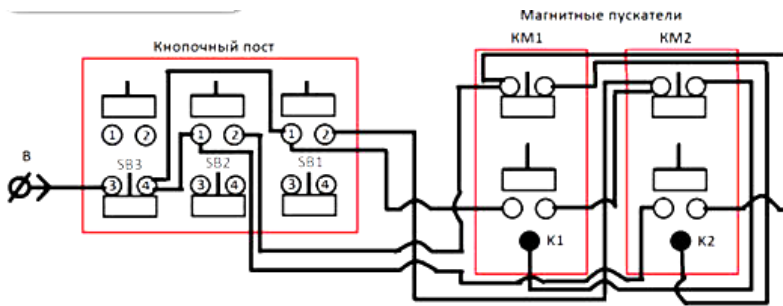


Рис. 14.6. Монтажна схема

Реверсування. Щоб змінити обертання вала (напрямок) електродвигуна, необхідно змінити чергування (проходження) фаз напруги живлення. Контактори КМ1 і КМ2 використовуються для організації реверса електродвигуна. При спрацьовуванні контактора КМ1 фаза напруги живлення буде відрізняться від фази при спрацьовуванні контактора КМ2. Керування котушками контакторів КМ1 і КМ2 здійснюється кнопками «стоп», «уперед» і «назад».

При натисканні кнопки «уперед» одержує живлення котушка контактора КМ1 по колу: фаза С – н.з. контакт кнопки «стоп» – н.з. контакт контактора КМ2 – н.в. контакт натиснутої кнопки «уперед» – котушка контактора КМ1 – фаза В. Контактор КМ1 підтягується й замикає свої силові контакти. Двигун починає обертатися в прямому напрямку. Кнопку «уперед» тримати не потрібно, оскільки котушка контактора КМ1 встає на «самопідхоплення» через свій же контакт.

Для зупинки електродвигуна використовується кнопка «стоп». Kontakтами цієї кнопки розривається живлення котушки («самопідхоплення») контактора КМ1 і контактор КМ1 відпадає, відключаючи електродвигун від мережі.

При натисканні кнопки «назад» одержує живлення котушка контактора КМ2 по колу: фаза С – н.з. контакт кнопки «стоп» – н.з. контакт контактора КМ1 – н.в. контакт натиснутої кнопки «назад» – котушка контактора КМ2 – фаза В. Контактор КМ2 підтягується й замикає свої силові контакти. Двигун починає обертатися у зворотному напрямку. Кнопку «назад» тримати не потрібно, оскільки котушка контактора КМ2 встає на «самопідхоплення» через свій же контакт

У цій схемі виконане блокування кнопок від одночасного натискання, інакше в силовому колі виникне коротке замикання, що приведе до ушкодження електроустаткування. Блокування виконується послідовним включенням н.з. контакту (блока-контакту) відповідного контактора.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися зі схемою, її основними частинами, з'ясувати принцип дії та призначення приладів і обладнання, заповнити таблицю 14.1.
2. Прослідкувати за пуском і реверсом електродвигуна.
3. Здійснити пуск електродвигуна за допомогою ЛАТР, поступово підвищуючи напругу. Зафіксувати номінальний режим роботи

електродвигуна.

Таблиця 14.1

Елемент схеми	Паспортні дані	Призначення	Принцип дії

4. У номінальному режимі здійснити зупинку, порахувати кількість обертів і час до зупинки. Розрахувати кутову швидкість обертання ротора двигуна за формулою:

$$\omega = 4\pi N/t, \text{ де } N - \text{кількість обертів до зупинки, } t - \text{час до зупинки}$$

Контрольні питання

1. Що таке реверсування електродвигуна?
2. Назвіть способи реверсування електродвигунів?
3. Як відбувається реверсування асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором?

Лабораторна робота № 15

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ДІОДА

Мета роботи: вивчити особливості, режими й принципи функціонування напівпровідникового діода.

Обладнання: діод напівпровідниковий на колодці; джерело струму; міліамперметр постійного струму; вольтметр; комплект з'єднувальних провідників

Теоретичні відомості

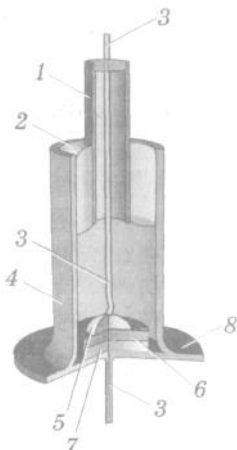


Рис. 15.1. Схема напівпровідникового діоду

Напівпровідниковий діод складається з монокристалової пластинки германію 6 (рис. 15.1), що має електронну провідність за рахунок невеликої добавки донорної домішки. Для створення n-p-переходу просте механічне з'єднання двох напівпровідників з різними типами провідності не використовується, оскільки при цьому між напівпровідниками виходить великий зазор. Товщина ж n-p-переходу повинна бути не більше міжатомних відстаней. Тому в одну з поверхонь пластинки германія вплавають індію. У розглянутому діоді крапля індію 5 вплавлена у верхню частину пластинки германія, а нижня частина пластинки припаяна оловом 7 до металевому корпусу 4. У процесі плавлення атоми індію дифундують усередину германія й утворюють

поверхневу область із дірковою провідністю. Інша частина пластинки, куди атоми індію не проникнули, залишиється з електронною провідністю. У результаті в пластинці утворилися дві різко розмежовані області з різними видами провідності: електронно-дірковий перехід.

Герметично закритий зварений металевий корпус 4, у який поміщена пластинка германія, ізолює її від шкідливих впливів атмосферного повітря й світла, забезпечуючи усталену роботу електронно-діркового переходу. Від пластинки зроблені два виводи 3, причому один з них (верхній) проходить у металевій трубці 1, ізолюваній від корпусу склом 2. Металевий корпус вигнуто на зразок крисів капелюха (радіатор 8) для кращого охолодження, оскільки з підвищенням температури знижуються випрямляючі властивості напівпровідникових діодів (зі зростанням температури зростає концентрація неосновних носіїв струму, отже, зростає й зворотний струм).

За відсутності зовнішнього електричного поля через n-p-перехід діода взаємно дифундують основні носії заряду: електрони з n- германія дифундують у p-германій, а дірки з p-германію переходять в n-германій. У результаті по обох сторонах границі розділу двох напівпровідників утворюються об'ємні заряди різних знаків, а разом з ними й електричне поле. Це поле перешкоджає дифузії основних носіїв заряду й підтримує зворотний рух неосновних носіїв заряду, тобто дірки з n-області переміщуються в p-область, а електрона з p-області в n-область.

При зустрічному русі електронів і дірок частина з них рекомбінує, у

результаті в переході n-p утворюється шар товщиною 10^{-4} - 10^{-5} см, збіднений рухливими носіями заряду. Цей шар називають замикаючим шаром. Незважаючи на його малу товщину, шар становить головну частину опору діода.

За відсутності зовнішнього електричного поля струми, утворені рухом основних і неосновних носіїв заряду, рівні за абсолютною величиною й протилежні за напрямом, тому сила струму через перехід дорівнює нулеві.

При дії на діод зовнішнього електричного поля, спрямованого від діркового напівпровідника до електронного електричне поле в переході n-p слабшає, основні носії зарядів рухаються до границі розділу двох напівпровідників, товщина й опір замикаючого шару зменшуються, у результаті чого дифузійний струм основних носіїв заряду зростає й загальна сила струму через перехід стає нерівною нулеві. Струм, утворений рухом основних носіїв заряду й спрямований від діркового напівпровідника до електронного називають *прямим струмом діода*.

Зі зміною полярності прикладеної напруги електричне поле переходу n-p зростає й дифузійний рух основних носіїв заряду через перехід припиняється: електричне поле видаляє основні носії зарядів із прикордонних шарів у глибокої електронної й діркової областей. Тому товщина замикаючого шару збільшується, а опір зростає. Однак невеликий струм і в цьому випадку тече через діод, він створюється рухом неосновних носіїв заряду. Цей струм спрямований від електронного напівпровідника до діркового називається *зворотним струмом діода*. Залежно від напрямку струму в діоді прикладена до нього напруга, а так само опір діода називають *прямим або зворотним*.

Для того щоб можна було графічно уявити властивості напівпровідникового діода, використовують вольт-амперну характеристику (ВАХ). ВАХ встановлює зв'язок між прикладеним до досліджуваного приладу напругою й струмом через нього. В ідеалі вольт-амперна характеристика напівпровідникового діода повинна була б виглядати в такий спосіб (рис. 15.2 а). Для прямого напрямку струму ідеальний напівпровідниковий діод повинен був би представляти коротке замикання, для зворотного – розрив кола.

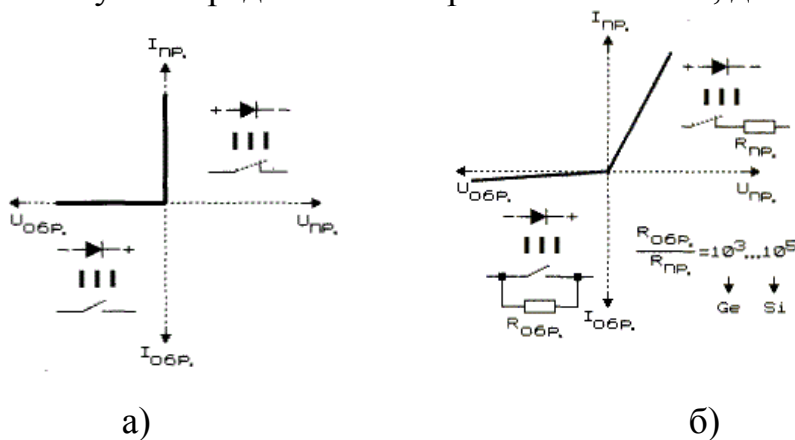


Рис. 15.2. Теоретичні вольт-амперні характеристики напівпровідникового діода

Проміжне положення між ідеальною й реальною займає ідеалізована

вольт-амперна характеристика напівпровідникового діода. Відповідно до рис. 15.2б для прямого напрямку струму, напівпровідниковий діод являє собою невеликий опір $R_{пр.}$, величина якого не залежить від величини прикладеної напруги.

Для зворотного напрямку струму – великий за величиною постійний опір $R_{обр.}$, що також не залежить від напруги. Зазвичай для напівпровідникових діодів, виготовлених з різних матеріалів, відношення цих опорів ($R_{обр.}/R_{пр.}$) перебуває в межах $10^3 \dots 10^5$.

На практиці збіг розрахункових (теоретичних) і експериментальних характеристик спостерігається лише на обмежених ділянках кривих, наприклад, в області малих струмів. В області прямих великих струмів (напруг) залежність струму від напруги практично лінійна. На рис. 15.3 показані реальні ВАХ напівпровідникових діодів.

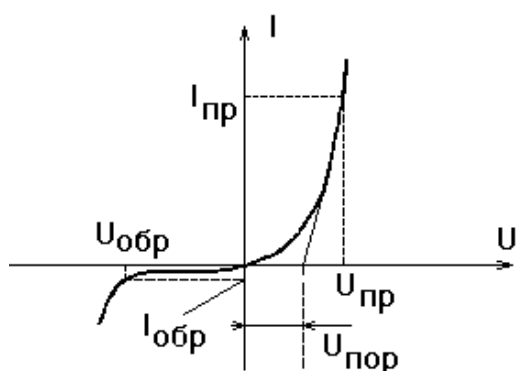


Рис. 15.3. Емпіричні вольт-амперна характеристика напівпровідникового діоду

До найбільш важливих параметрів, що характеризують вибрані й найбільше практично значимі точки ВАХ, прийнято відносити:

Прямий струм ($I_{пр.}$) – середнє значення струму через відкритий діод, при якому забезпечується надійний режим роботи.

Пряме падіння напруги ($U_{пр.}$) – напруга на діоді при проходженні прямого струму $I_{пр.}$

Зворотний струм ($I_{обр.}$) – струм через діод при певній зворотній напрузі.

Максимальна зворотна напруга ($U_{обр.}$) – напруга, що відповідає безпечній області роботи, після перевищення якої може відбутися ушкодження приладу.

За вихідним напівпровідниковим матеріалом діоди ділять на чотири групи: германієві, кремнієві, з арсеніду галію, з фосфіду індію.

За конструктивно-технологічною ознакою розрізняють діоди: точкові та площинні.

За призначенням напівпровідникові діоди ділять на наступні основні групи: випрямні, універсальні, імпульсні, варикапи, стабілітрони (опорні діоди), стабістори, тунельні діоди, звернені діоди, лавино-пролітні (ЛПД), тиристори, фотодіоди, ветодіоди й оптрони.

Діоди характеризуються такими основними електричними параметрами:

- струмом, що проходить через діод у прямому напрямку (прямий струм $I_{пр.}$);
- струмом, що проходить через діод у зворотному напрямку (зворотний струм $I_{зв.}$);
- найбільш припустимим випрямленим струмом $I_{випр.макс.}$;
- найбільшим припустимим прямим струмом $I_{пр.дон.}$;
- прямою напругою $U_{пр.}$;
- зворотною напругою $U_{обр.}$;

- найбільшою припустимою зворотною напругою $U_{обр.макс}$;
- ємністю C_d між выводами діода;
- габаритами й діапазоном робочих температур.

Маркування діодів. На корпусі діода звичайно вказують матеріал напівпровідника, з якого він виготовлений (Г або 1 – германій; К або 2 – кремній, А або 3 – арсенід галію, І або 4 – фосфід індію.), тип (буква, що показує клас або групу), призначення або електричні властивості приладу (цифра), букву, що відповідає різновиди приладу, і дату виготовлення, а також його умовна позначка.

Умовна позначка діода (анод і катод) указує, як потрібно підключати діод на платах пристроїв. Діод має два виводи, один із яких катод (мінус), а інший – анод (плюс). Умовне графічне зображення на корпусі діода наноситься у вигляді стрілки, що вказує прямий напрямок, якщо стрілки немає, то ставиться знак "+". Для деяких типів діодів використовується кольорове маркування у вигляді крапок і смужок.

Порядок виконання роботи

1. Розгляньте пропонуванний діод та опишіть його специфікацію.
2. Зберіть електричне коло за схемою (рис. 15.4), підготуйте таблицю 15.1

Таблиця 15.1

U, В								
I, мА								

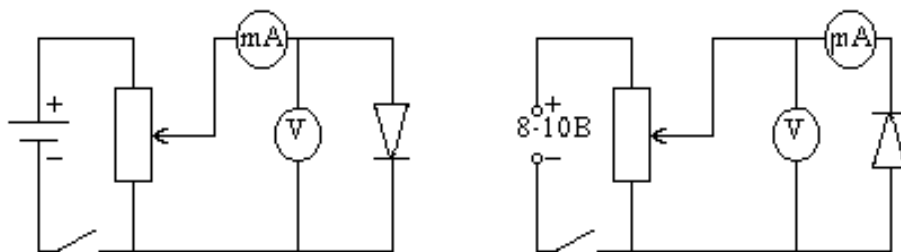


Рис. 15.4. Електрична схема

3. Дослідіть залежність сили прямого струму від прикладеної до діода напруги. Для цього діод вмикніть у пропускну напрямку, звернувши увагу на знаки "+" і "-", зазначені на його панелі. Збільшуючи напругу на діоді щораз приблизно на 0,02 В доти, поки можна знімати показання міліамперметром, запишіть покази обох приладів у таблицю 15.1.

Попередження: сила прямого струму діода не повинна перевищувати 300 мА, інакше діод вийде з ладу.

4. Дослідіть залежність зворотного струму від прикладеної до діода напруги. Для цього зберіть електричне коло за новою схемою. Зверніть увагу на включення діода й вольтметра. Джерелом живлення тут слугує джерело електроживлення змінної напруги.

5. За даними таблиці побудуйте графік залежності сили струму від

прикладеної напруги. Силу прямого струму й пряму напругу вважайте позитивними, а зворотні негативними. На графіку вкажіть основні характеристичні точки напівпровідникового діода.

Контрольні питання

1. Чому при вимірюванні прямого струму в діоді всі з'єднання повинні мати гарні контакти?
2. Чому небезпечно подавати пряму напругу на діод більше 1,5 В?
3. Чому тривале проходження прямого струму змінює опір діода?
4. Навіщо змінюють схему включення приладів, коли вимірюють сили прямого й зворотного струмів у діоді?
5. На якій ділянці вольтів-амперної характеристики опір діода залишається майже постійним?

Лабораторна робота №16

ЕЛЕКТРИЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ. КОНСТРУКЦІЯ ПРИЛАДІВ ЕЛЕКТРОУСТАНОВКИ

Мета роботи: вивчити конструкцію, принцип дії, галузь застосування, переваги й недоліки сучасних джерел світла. Ознайомитись з будовою і призначенням патронів, вимикачів, штепсельних електричних з'єднань, запобіжників.

Обладнання: різні види електричних ламп, електричні патрони, запобіжники, перемикачі, автоматичні захисні пристрої.

Теоретичні відомості

У країні щорічно на освітлення витрачається близько 12 % усієї електроенергії, що виробляється. Спеціальні пристрої, призначені для освітлення територій, а також різних приміщень, будинків і споруд, називають *освітлювальними електроустановками*.

Освітлювальні електроустановки є комплексом, що складається з розподільних пристроїв, магістральних і групових електричних мереж, різних приладів електроустановки, освітлювальної арматури й джерел світла, а також конструкцій для кріплення, підтримання й захисту.

Застосовують дві системи внутрішнього освітлення: загальну й комбіновану.

Розрізняють два види освітлення: робоче й аварійне. Робочим називається освітлення, призначене для освітлення робочих поверхонь, що відповідають нормам. Аварійним називають освітлення, яке дозволяє продовжувати роботу, якщо в мережі робочого освітлення відбулась аварія.

Джерела світла

Сучасні джерела світла розрізняються великою різноманітністю, однак їх можна розділити на кілька – лампи розжарювання, газорозрядні лампи (люмінесцентні, ртутні та ін.), світлодіодні лампи.

Лампи розжарювання мають загальне чи спеціальне призначення. Для загального призначення випускаються лампи відповідно до міжнародної класифікації на номінальну напругу 130, 220, 225, 235 і 240 В й інтервалом напруги живлення: 125...135, 215...225, 220...230, 230...240 і 235...245 В. Лампи розжарювання спеціального призначення можуть виконувати функції світильників, якщо на внутрішню поверхню їхньої колби нанесений дзеркальний чи дифузійний шар, що відбиває світло.

Газорозрядні джерела світла – це досить велика група ламп, у яких видиме випромінювання (світло) утворюється за рахунок електричного розряду в газах чи парах металів. Газорозрядні лампи мають ряд переваг порівняно з лампами розжарювання: мають у 4...5 разів більшу світловіддачу; у 10...15 разів довше мають строк експлуатації, їх спектр випромінювання наближається до сонячного світла.

Світлодіодні лампи або світильники як джерело світла використовують світлодіоди й застосовуються для побутового, промислового й вуличного освітлення. Світлодіодна лампа є одним із самих екологічно чистих джерел світла, вони не використовують речовин, що містять ртуть, тому вони є

небезпечними у випадку виходу з ладу або руйнування. Для правильного вибору джерел світла необхідно знати їх основні світлові величини: світловий потік, освітленість і силу світла.

Світлотехнічні величини та одиниці

Частина електромагнітного спектра з довжинами хвиль 10-340000 нм називається оптичною областю спектра:

" ультрафіолетове випромінювання – 10-380 нм;

" видиме випромінювання – 380-770 нм;

" інфрачервоне випромінювання – 770-340000 нм.

Освітлення характеризується кількісними і якісними показниками. До кількісних показників належить: світловий потік, сила світла, освітленість і яскравість.

Світловий потік Φ – потік променевої енергії, оцінюваний по зоровому відчуттю, характеризує потужність світлового випромінювання.

Одиниця світлового потоку – люмен (лм) – світловий потік, випромінюваний точковим джерелом з тілесним кутом в 1 стерadian при силі світла, рівної 1 канделе.

Світловий потік визначається як величина не тільки фізична, але й фізіологічна, оскільки вимір її ґрунтується на зоровому сприйнятті. Наприклад, світловий потік стеаринової свічки дорівнює 10...15 лм, а лампи розжарювання на напругу 220 В з потужністю 25 Вт - 220 лм.

Оточуючі нас предмети здатні відбивати, поглинати або пропускати світловий потік. Ці властивості називаються світловими властивостями тіл. Світловий потік оцінюється за такими коефіцієнтами: відбивання, поглинання і пропускання. Усі джерела світла, у тому числі й освітлювальні прилади, випромінюють світловий потік у простір нерівномірно, тому вводиться величина просторової щільності світлового потоку – сила світла I .

Сила світла I визначається як відношення світлового потоку $d\Phi$, що виходить від джерела й поширюється рівномірно усередині елементарного тілесного кута d , до величини цього кута: $I = d\Phi / d$.

За величину сили світла прийнята кандела (кд).

Освітленість E – відношення світлового потоку $d\Phi$, що попадає на елемент поверхні dS , до площі цього елемента: $E = d\Phi / dS$

За одиницю освітленості прийнятий люкс (лк).

Яскравість L елемента поверхні dS під кутом до нормалі цього елемента є A , відношення сили світла в даному напрямку до площі проекції випромінюючої поверхні на площину, перпендикулярну до даного напрямку випромінювання.

Коефіцієнт відбиття характеризує здатність відбивати падаючий на нього світловий потік. Він визначається як відношення відбитого від поверхні світлового потоку Φ_0 до падаючого на нього потоку $\Phi_{пад}$.

До основних якісних показників освітлення належать коефіцієнт пульсації, показник засліпленості й дискомфорту, спектральний склад світла.

Для оцінки умов зорової роботи існують такі характеристики як тло, контраст об'єкта із тлом, видимість об'єкта.

При організації освітлення важливе значення має пофарбування стін, стелі приміщень і устаткування. Якщо, наприклад, колір фарбування світлий, то відбите світло падає на робочі поверхні і створює додаткову освітленість (яскравість); це дозволяє не застосовувати потужні джерела світла і заощадити значну кількість електроенергії.

Конструкція джерел світла

1. Лампи розжарювання

Як електричне джерело світла раніше були найбільш поширені лампи розжарювання (рис. 16.1), які складаються зі скляної колби 1 з вольфрамовою ниткою 2 усередині, закріпленої на гачках 3. Живлення до нитки підводиться двома електродами 4, один із яких з'єднаний з центральною частиною 5, а інший з різьбленням 6 цоколя.

Вольфрамова нитка, що випромінює світло, розжарюється електричним струмом до $2500...2700^{\circ}\text{C}$, що приводить до її поступового випарування й стоншення, а також зменшенню випромінювання й перегорання. Крім того, частки вольфраму осідають на внутрішній частині скляної колби і роблять її менш прозорою.

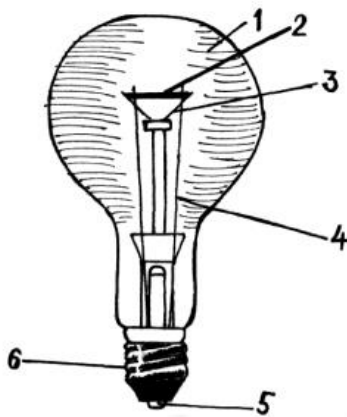


Рис. 1

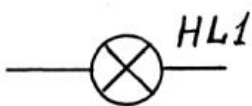


Рис. 16.1. Лампа розжарювання та її умовне позначення

Для зниження випаровування вольфраму і тепловіддачі нитки зменшують її розміри, звертаючи в щільну гвинтову спіраль, а потім у подвійну спіраль – біспіраль (у позначенні типу лампи на це вказує буква "Б"). Колбу ламп можна наповнити малотеплопровідними інертними газами (аргоном, криптоном, ксеноном). Такі лампи називають газонаповненими і позначають буквою "Г". Застосовують і вакуумні лампи (позначаються буквою "В"), з колб яких викачане повітря.

У позначенні ламп вказується цифрами (після букви) їхня розрахункова напруга (215...225 В на напругу мережі 220 В), а останніми цифрами – потужність. Наприклад, вакуумну, біспіральну і газонаповнену лампу на розрахункову напругу 220 В і потужність відповідно 25, 40 і 300 Вт позначають так: В215-225-55; Б215-225-40; Г215-225-300.

Лампи розжарювання випускаються потужністю до 300 Вт з цоколем Е27, понад 300 Вт – з цоколем Е40, 300 Вт – з цоколем Е27, Е40, у декоративних колбах – з цоколем Е27, Е14. Перевагою ламп розжарювання є простота їх конструкції, зручність у користуванні й експлуатації, відносно низька вартість і малі витрати, а їхнім недоліком є низька світловіддача.

Для освітлення підприємств, установ і навчальних закладів застосовують переважно люмінесцентні лампи низького тиску (рис. 16.2). Це герметично закрита скляна трубка 1, внутрішня поверхня якої покрита тонким рівномірним шаром люмінофора 2.

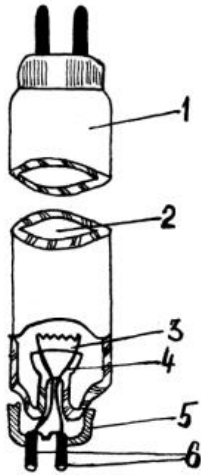


Рис. 16.2.
Люмінісцентна
трубчаста лампа

Усередині трубки (на її кінцях) у скляних ніжках 4 впаяні електроди 3 з вольфрамовою біспіральною ниткою, покритою оксидами лужноземельних металів (стронцію, барію, кальцію), що сприяють більш інтенсивному випромінюванню електронів. Електроди 3 приєднані до контактних штирів 6 цоколя 5. Із трубки викачане повітря і в неї введена невелика кількість чистого аргону та дозована крапелька ртуті. З торців колба запаяна.

Під час роботи лампи ртуть випаровується й у її парах створюється інтенсивне невидиме ультрафіолетове випромінювання, яке перетворюється у світловий потік. Електричний розряд у парах ртуті в сполученні з люмінофором дозволяє одержати випромінювання практично будь-якого кольору. Випускаються п'ять основних кольоровостей ламп: денного світла ЛД; денного світла поліпшеної кольоровості ЛДЦ; холодно-білого світла ЛХБ; білого світла ЛБ; тепло-білого світла ЛТБ. Найвища світловіддача в ламп ЛБ (від 47 до 75 лм/Вт), Трохи нижче в ЛД, ЛХБ, ЛТБ і найнижча в ЛДЦ.

Крім того, застосовують лампи ЛЕ (для житлових і громадських будинків), ЛХЕ (для лікувальних приміщень, кафе, ресторанів), ЛДЦУФ з підвищеною часткою ультрафіолетового випромінювання (для підприємств текстильного виробництва) потужністю 15, 20, 30, 40, 65 і 80 Вт, а також малогабаритні ЛБ потужністю 8 і 13 Вт із тривалістю горіння 2 тис. год., фігурні (кільцеві, U- і W-образні, кольорові (червоні, рожеві, жовті, зелені, блакитні), рефлекторні (з дифузним відбиваючим шаром під плівкою люмінофора, що направляє світловий потік у нижню півсферу, через частину колби без відбиваючого шару). Термін служби ламп низького тиску близько 12 тис. год.

На рис. 16.3 зображені: а) газорозрядна лампа низького тиску з простими електродами для роботи на змінному струмі; б) із двома виводами; в) з чотирма виводами

Для встановлення виду випромінювання використовують літерні позначення: ультрафіолетове UV, інфрачервоне IR. Для вказівки складу наповнюваного газу використовують позначення: неон Ne, ксенон Xe, натрій Na, ртуть Hg, йод J. Колір лампи вказується за допомогою буквено-цифрових позначень: червоний С2, жовтий С4, зелений С5, синій С6, білий С9.

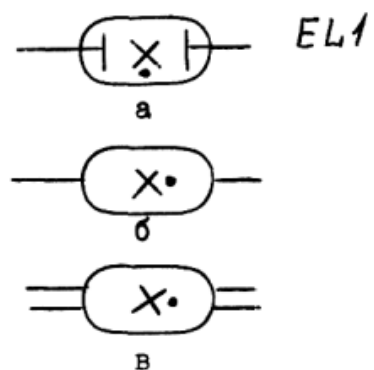


Рис. 16.3. Умовні позначення люмінісцентних ламп

3. Одноцокільні лампи ЛТБЦАО

Для місцевого освітлення житлових кімнат адміністративно-громадських приміщень випускаються лампи ЛТБЦАО 9, ЛТБЦАО 13, ЛТБЦАО 18-I і ЛТБЦАО 25 (Рис. 16.4) на напругу 220 В і потужністю від 9 до 25 Вт із

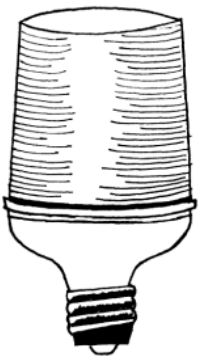


Рис. 16.4.
Одноцокольна
лампа

тривалістю горіння 5 тис. год. Вони компактні, їх пускорегулювальна апаратура вбудована в корпус з різьбовим цоколем E27/27, що забезпечує підключення ламп через звичайний патрон для ламп розжарювання. При використанні таких ламп розжарювання 40, 60, 75 і 100 Вт заощаджується до 75 % електроенергії.

4. Дугова ртутна люмінесцентна лампа високого тиску ДРЛ

Застосовують для загального освітлення закритих приміщень і зовнішнього освітлення. На відміну від люмінесцентних ламп низького тиску світловий потік і запалюваність ламп високого тиску в меншому ступені залежать від температури навколишнього середовища. Стабілізація їхніх параметрів настає через 10...15 хв після включення.

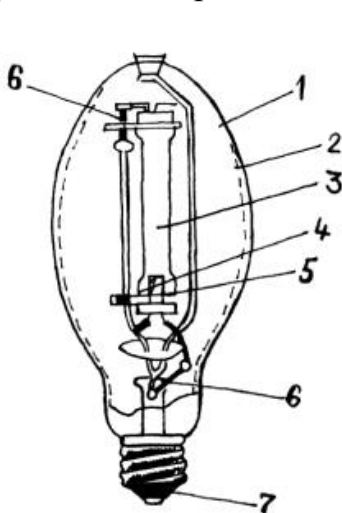


Рис. 16.5. Дугова ртутна лампа високого тиску

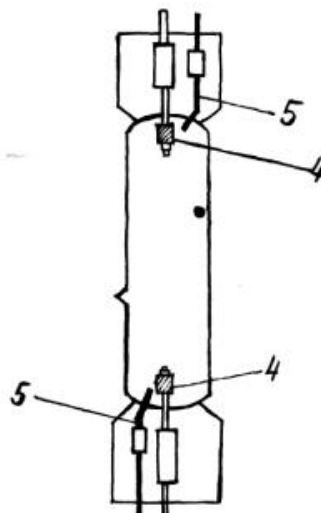


Рис. 16.6. Пальник лампи

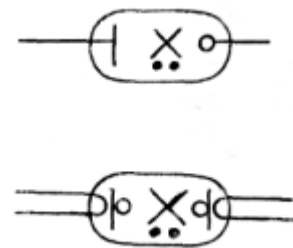


Рис. 16.7. Умовне позначення на електричних схемах

Лампи ДРЛ із виправленою кольоровістю (рис. 16.5) складаються з: кварцової трубки (пальника) 3 (рис. 16.6), розміщеної в колбі 1, внутрішня поверхня, яка покрита тонким шаром люмінофора 2, і послідовно включених резисторів 6.

Шар люмінофора може перетворювати інтенсивне ультрафіолетове випромінювання трубки у світло придатне для освітлення. У кварцову трубку (рис. 16.6) впаяні два основних вольфрамових 4 електроди, покритих активованим шаром і приєднаних до центральної частини цоколя 7 і два додаткових (запалювальних) 5. Крім того в трубці знаходиться крапелька ртуті (40 ... 60 мг). Після відкачки повітря колба заповнюється чистим газом (аргоном) під тиском 2,5...4,5 кПа. Така конструкція дозволяє запалювати чотириелектродну лампу від мережі 220 В без стартера.

Наявність пускорегулювальних пристроїв із дроселем і конденсатором у схемах ДРЛ дозволяє зменшувати коливання світлового потоку і збільшувати

коефіцієнт потужності. При цьому пускорегулювальні пристрої споживають близько 10 % номінальної потужності ламп.



Рис. 16.8.
Металогалогенна
дзеркальна лампа

Випускаються лампи типу ДРЛ потужністю від 50 до 2000 Вт, що працюють при температурі від 25 до 40°C. Їхня світлова віддача трохи нижче, ніж у трубчастих люмінесцентних ламп низького тиску (від 40 до 55 лм/Вт) при такому ж терміні служби, а одинична потужність вище.

На рис. 16.7 наведене умовне графічне позначення лампи типу ДРЛ.

Випускаються металогалогенні дзеркальні лампи-світильники (рис. 16.8), які використовуються для освітлення сухих, курних і вологих виробничих приміщень.

6. Дугова ртутна лампа – типу ДРЛФ

Для опромінення росади в теплицях застосовують лампи ДРЛФ на колбі яких передбачений відбивач, що дозволяє максимально збільшувати силу світла, при цьому підвищується рівень освітленості, скорочується кількість ламп для нормального опромінення рослин, зменшується споживання енергії.

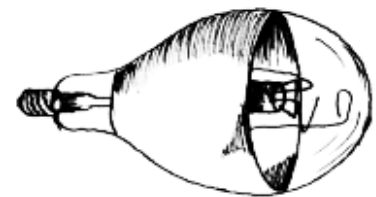


Рис. 16.9. Дугова ртутна
лампа

7. Натрієві газорозрядні лампи

Для вуличного освітлення і освітлення підземних переходів застосовують натрієві газорозрядні лампи, що вдало сполучають у собі поліпшену передачу кольору. Вони можуть бути U-подібні (рис. 16.10) та прямі, низького і високого тиску.

У лампах низького тиску розряд відбувається в парах натрію при низькому тиску і малих струмах. У трубку 1, що виконана зі спеціального скла, стійкого до впливу парів натрію, поміщають металевий натрій.

5. Дугові ртутні металогалогенні лампи

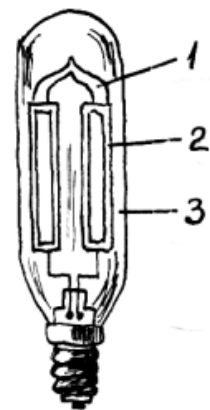


Рис. 16.10

Для освітлення промислових і громадських будинків використовуються дугові ртутні металогалогенні лампи, що є різновидом ламп типу ДРЛ (рис. 16.9). Вони мають більш високу світловіддачу, це досягається додаванням у ртутний розряд йодиду металу, що у гарячому стані розпадається на атоми йоду і металу.

Залежно від металу лампа починає випромінювати світло, характерне для нього, що дозволяє в багатьох випадках відмовитися від люмінофора. З гарячої зони атоми йоду і металу переміщуються в більш холодну зону до стінок трубки і з'єднуються в початковий стан, тобто в лампі відбувається замкнений цикл. Введення, наприклад, йодиду талія, дає зеленуватий колір, натрію – жовтуватий відтінок, а індію – блакитнуватий відтінок.

У холодному стані він осідає на стінки трубки у виді плям металевого блиску, при 97°C плавиться, а при 200°C і вище випаровується і заповнює

трубку, що дозволяє підтримувати дуговий розряд. Введення невеликої кількості інертного газу (неону, гелію, аргону) у трубку збільшує термін служби ламп.

Напруга працюючих ламп звичайно 140...190 В, а для їхнього запалювання необхідно 450 В, які отримують за допомогою трансформаторів. Для нормальної роботи ламп велике значення має температура стінок трубки (вона, повинна бути в межах 270...280 С), для підтримки такої температури трубку (пальник) встановлюють у скляному екрані 2 і вакуумній сорочці 3.

Натрієві лампи випромінюють жовте світло і мають світловіддачу 170 лм/Вт. При роботі цих ламп підвищується гострота розрізнення і швидкість зорового сприйняття, але через однорідність жовтого світла спотворюється колір предметів.

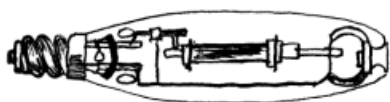


Рис. 16.11

Натрієва лампа високого тиску (рис. 6.11) дозволяє отримати поряд із жовтим інші кольори видимого спектра, що при змішуванні дає прийнятний золотаво-білий колір.

Трубку такої лампи виготовляють з полікристалічного оксиду алюмінію, стійкого до впливу пар натрію. Виводи в трубці виконані з молібдену з навитою на нього спіраллю з вольфраму.

Трубка заповнена натрієм і аргоном для полегшення запалювання, а також ртуттю для підвищення світлової віддачі лампи й одержання необхідного спадання напруги на ній.

Випускаються дугові натрієві трубчасті лампи на напругу 220 В невеликій потужності: 70 Вт – рис. 16.12,а; 100Вт – б; 150 Вт – в.

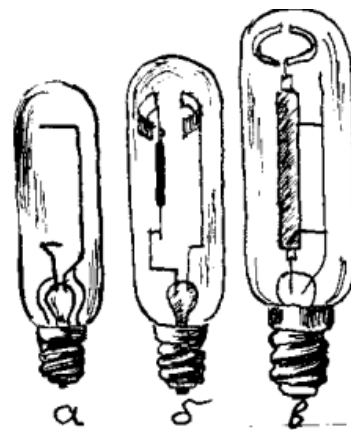


Рис. 16.12

Світлодіодні лампи

Це самостійний пристрій. Корпус світильника найчастіше унікальний, спеціально спроектований під світлодіодне джерело освітлення. Конструктивно такий світильник складається з корпусу, світлодіодного джерела світла й електронного драйвера (перетворювача живлення) (рис. 16.13).

Світлодіодні джерела світла в основному використовуються для спрямованого або місцевого освітлення через особливості напівпровідникового випромінювача світити переважно в одному напрямку.

Перевага світлодіодного світильника порівняно з лампами накаливання – низьке енергоспоживання, заявлений довгий термін служби від



Рис. 16.13

30'000 до 50'000 і більше годин, простота установки, більш низька температура корпусу порівняно з лампою накаливання, що має порівнянну яскравість, висока механічна міцність, найчастіше – невеликі габарити.

Повна екологічна безпека дозволяє зберігати навколишнє середовище, не вимагаючи спеціальних умов із утилізації: не містить ртуті, її похідних та інших отрутих, шкідливих або небезпечних складових матеріалів і речовин. Основні недоліки – висока ціна, багато з світлодіодних ламп світять тільки в одному напрямку. У дешевих лампах за рахунок економії на конденсаторах виникає невидиме неозброєному оку високочастотне випромінювання, а через економію на тепловідвідних елементах перегорання від перегріву, особливо в закритих плафонах.

Електроустановка освітлюваних приладів

Електроустановчі вироби світлотехнічного призначення – це велика група апаратів, розрахована на номінальну напругу 42, 220 і 380 В та номінальні струми до 25 А частотою 50 Гц. До них відносять: патрони, вимикачі й перемикачі, електричні двополюсні з'єднувачі, однополюсні різьбові запобіжники, електроустановчі автомати, комбіновані блоки, безконтактні світлорегулятори, набори всіляких дзвоників. Вони призначені для приєднання джерел світла до електричної мережі, керування джерелами світла й забезпечення необхідних режимів роботи освітлення, обумовлених місцевими умовами, наприклад характером виробництва, тривалістю світлового дня.

Крім того, широке впровадження побутових приладів (електричні плити, автоматичні пральні машини з електричним підігрівом води, електричні каміни, посудомийні і сушильні машини, натирачі підлоги) підвищеної потужності (1,5...4 кВт), а останнім часом до 8,5 кВт вимагає створення електричних з'єднувачів, розрахованих на струми 16 і 25 А при напрузі 220 В. До найбільш розповсюджених приладів освітлювальних електроустановок належать патрони, вимикачі, перемикачі, штепсельні розетки з вилками, стартерні пристрої та ін.

Конструкція електроустановчих виробів

1. Патрони

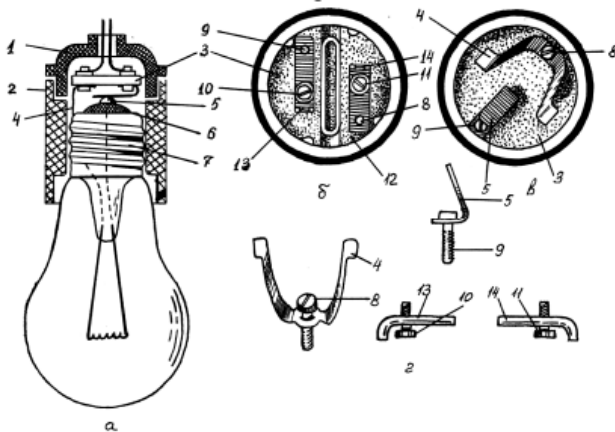


Рис. 16.14

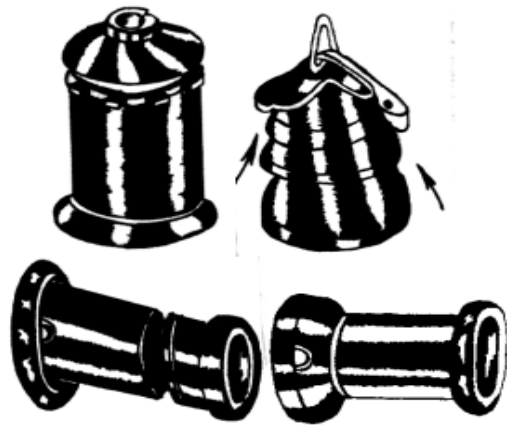


Рис. 16.15

Освітлювальні патрони (рис. 16.14) призначені для закріплення лампи і подачі на неї напруги. Корпус різьбового патрона складається з двох пластмасових частин, що згвинчуються, 1 і 2. У середині знаходиться керамічний вкладиш 3 з контактами 4 і 5. Коли лампа цілком вкручена в патрон, центральний контакт 6 її цоколя притискається до пружного контакту 5 патрона, а до контакту 4 – гільза 7 цоколя.

На рис. 16.14, вкладиш 3 показаний з боку контактів 4 і 5, а на рис. 16.14, б – з боку гвинтів 10 і 11, до яких приєднуються проводи. На рис. 16.14, г показані деталі розбірного вкладиша. Гвинтами 8 і 9 пластини 13 і 14 пригвинчені до основи 12 вкладиша.

Патрони з різьбленням випускаються п'яти розмірів: Р40, Р33, Р27, Р14, Р10 (цифри вказують діаметр цоколя в міліметрах, буква Р від слова «різьблення»). Патрони розрізняються не тільки за габаритами, але також і по місцевому монтажу. Патрони діляться на: ніпельний, настінний, стельовий, підвісний (рис. 16.15).

У люстрах застосовуються спеціальні патрони з затискачами для кріплення абажура (рис. 16.16).

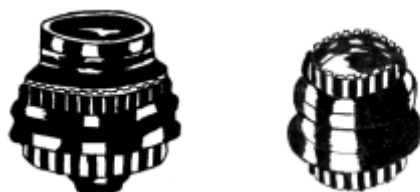


Рис. 16.16

У люмінесцентних світильниках для



Рис. 16.17

кріплення ламп застосовують стоїчний патрон ЛВС круглий патрон ЛВК; круглий патрон ЛОС і патрони для кріплення стартерів (Рис. 16.17).

У місцях, де присутні вібрації, тряска, застосовують спеціальні штифтові байонетні патрони з одним і двома рухливими контактами. Цоколь лампи має два діаметрально розташованих штифти, що при закріпленні лампи повинні збігатися з прорізами патрона.

Лампу вводять у патрон до упору, потім повертають вправо і відпускають. Пружини, що є в патронах, виявляються стиснутими. Це викликає появу пружних сил, що утримують лампу.

2. Вимикачі

Вимикачами

називаються прилади (рис. 16.18), що здійснюють переривання струму в електричному ланцюзі. Залежно від контактної системи вимикачі поділяються на: кнопкові, підймальні, барабанні і клавішні. Найбільш зручні і довговічні клавішні вимикачі з металокерамічними контактами.

На рис. 16.19 приведена кінематична схема клавішного вимикача, що працює таким чином. При натисканні на клавішу 1 хитного механізму з пружиною стиску вона повертається навколо своєї осі.



Рис. 16.18

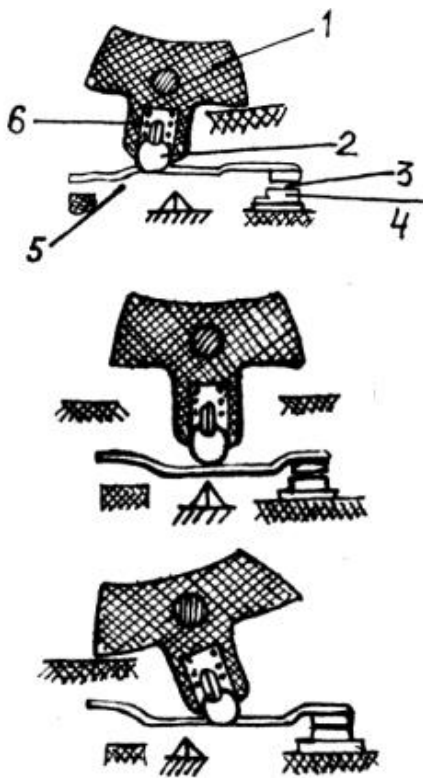


Рис. 16.19

Упорна куляка 2 під дією пружини 6 натискає на хитний важіль 5, на кінці якого приварений рухливий контакт 3. При швидкому хитанні важеля контакт чи замикається розмикається. Перевагами двоплечевого хитного механізму є: висока працездатність (до 200...500 тис. циклів "ввімкнуто-вимкнуто"), миттєве відключення, стабільність контактного натискання протягом усього терміну служби, безшумність спрацювання завдяки незначному моменту інерції при хитанні, малі габарити і маса вимикача, простота виготовлення, низька собівартість, невелике зусилля, яке необхідно прикласти до клавіші, щоб механізм спрацював, можливість переключень.

На рис. 16.20 наведено умовне графічне позначення вимикача.

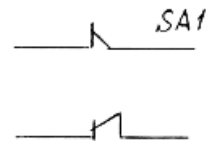


Рис. 16.20

У вимикачах застосовується також перекидний механізм із пружиною стиску (рис. 16.21), що спрацьовує при натисканні на важіль (чи клавішу) 1. Пружина 2 стискується при проходженні рукоятки через основну лінію миттєво перекидає рухливий контакт 3 до нерухомого 4, відбувається включення. Відключення проходить у тому ж порядку при натисканні важеля 1 у протилежну сторону.

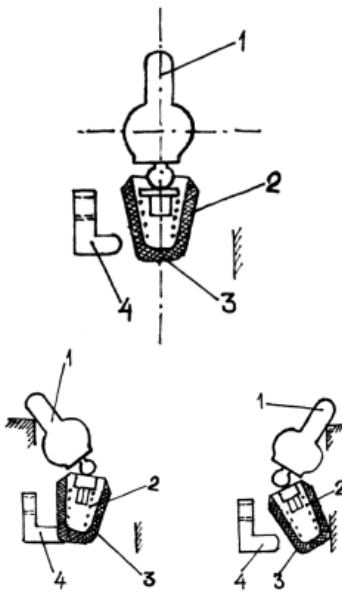


Рис. 16.21

Для керування освітленням на сходових клітках застосовують вимикачі з пневматичним механізмом (рис. 16.22).

При натисканні на кнопку 1 тиск передається гумовій мембрані 4; при цьому замикаються рухливі 3 і нерухомі 2 контакти, зі спеціального об'єму 6 через мікрометричний гвинт 8 (виконуючий роль клапана) видаляється повітря і стискується пружина 5.

Час всмоктування повітря через регульований калібрований отвір 7 відповідає автоматичній витримці часу. При випрямленні мембрана передає

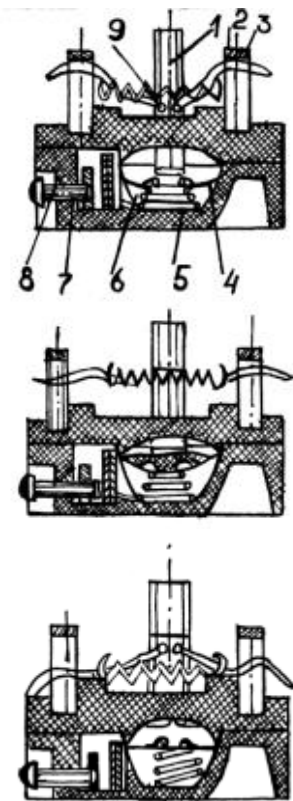


Рис. 16.22

тиск пружині, яка відключає 9, під її дією контакти розмикаються з витримкою часу від 0 до 3 хв.

На рис. 16.23 зображено умовне графічне позначення вимикача з пневматичним механізмом.



Рис. 16.23

Вимикачі, об'єднані зі світлорегуляторами безконтактними приладами, призначені для регулювання освітленості: від слабкої (кілька відсотків) до практично

повної. Втрати потужності у світлорегуляторі не перевищує 1,5% потужності приєднаної лампи.

На рис. 16.24, а показаний світлорегулятор сполучений з вимикачем. Для регулювання освітленості треба обертати рукоятку 1, а для включення і відключення – натискати. Включення і відключення можливі при будь-якому положенні рукоятки.

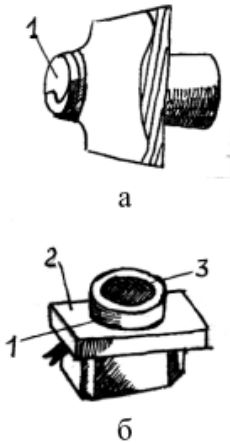


Рис. 16.24

На рис. 16.24, б зображений принципово новий вимикач з сенсорним чуттєвим приводом для світлорегулятора.

У корпусі 2 чи у світильнику зібрана електронна схема, що спрацьовує при дотику до металевої пластини 3. Лампа розжарювання вмикається. При наступному дотику схема повертається у вихідний стан лампа гасне.

Освітленість регулюється обертанням обойми 1.

3. Штепсельні розетки і вилки

Штепсельні розетки і вилки працюють у парі, тому незалежно від їхнього зовнішнього вигляду й оформлення, способу монтажу, установки й кріплення повинні відповідати один одному.

Штепсельні з'єднувачі (рис. 16.25) складаються з розеткової і штепсельної 1 частин з циліндричними 2 і плоскими 4 (рис. 16.26) штифтовими контактами. Відстань між контактами повинна бути 19 мм для циліндричних і 12,7 мм для плоских.

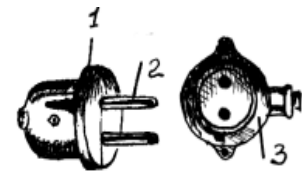


Рис. 16.25

Штепсельна розетка для прихованої установки (рис. 16.27, а, г) складається з монтажної скоби 6, до якої гвинтами пригвинчений корпус 5 розетки і розпірні лапки 8, а гвинтом 2 – декоративна кришка 1. Отвори в розпірних лапках довгасті, і вгвинчуванням гвинтів 9 можна змінювати відстань між кінцями лапок від 65 до 75 мм, що забезпечує кріплення розетки в ніші чи монтажній коробці 7.

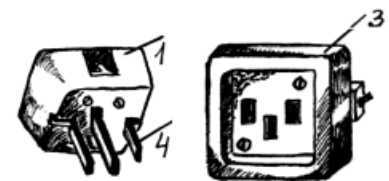


Рис. 16.26

З'єднання кришки і корпусу виконується гвинтом 2 через наскрізний отвір 12 із різьбленням таким чином, щоб виступи 4 у кришці ввійшли в отворі 11 корпусу, а контактні вузли 10 і отвору 3 у кришці поєднались (рис 16.27, а). Контактне гніздо (рис. 16.27, в) утворюється деталями 10 і 16. Достатнє натискання на штифт вилки забезпечується пружиною 17. Контактні вузли до

корпусу кріпляться гвинтами 19 і пластиною 15 з різьбленням. Для приєднання проводів 18 призначений гвинт 13, шайба, що пружинить 20 і скоба 14 (рис. 16.27, б).

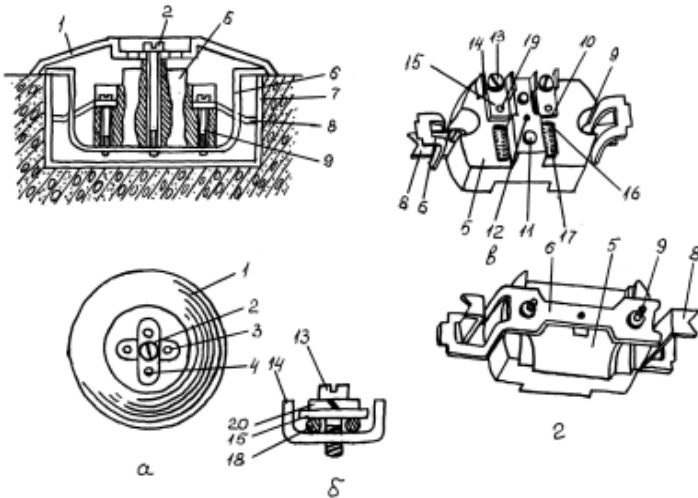


Рис. 16.27

На рис. 16.28 наведене умовне графічне позначення штепсельної розетки для багатолінійних схем, а на рис. 16.29 для однолінійної схеми.

Корпус штепсельної вилки (рис. 16.30) складається з двох половинок 10 і 11, у який уставляються циліндричні штифти 2. Корпус з'єднують гвинтом 3 і гайкою.

Кожен штифт має гвинт 8 із шайбою для приєднання жили шнура, а також виступ 9, що у зібраній вилці входить у поглиблення 7 у корпусі, фіксуючи положення штифта. Шнур закріплюють від висмикування скобою 5, під яку підкладена ізоляція 6 (рис. 16.30, в). Скобу закріплюють гвинтами 4 (рис. 16.30, а).

На рис. 16.31 наведене умовне графічне позначення штепсельної вилки.

Штепсельні розетки і вилки призначені для підключення переносних струмоприймачів до електричної мережі. Промисловість випускає дво- і триполюсні розетки вилки, розраховані на струм 6, 10, 15 і 25 А з циліндричними і плоскими контактами.

У штепсельних з'єднаннях завжди є оголені струмоведучі частини – штифти. Тому в конструкції вилок закладені заходи для виконання вимог техніки безпеки: штифти вилок на 2/3 довжини ізолюються.

Двополюсні штепсельні з'єднання застосовуються в тих випадках, коли



Рис. 16.28



Рис. 16.29

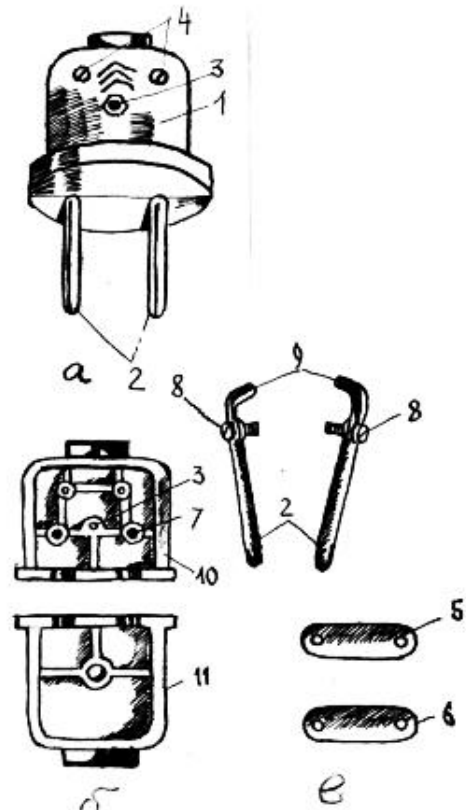


Рис. 16.30

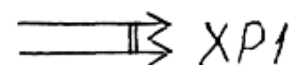


Рис. 16.31

конструкція приладу не передбачає заземлення (занулення) його корпусу. Такі з'єднання використовуються в приміщеннях без підвищеної небезпеки.

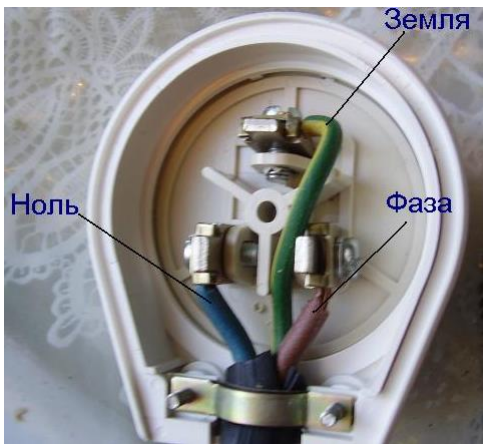


Рис. 16.32

Триполюсні з'єднання (рис. 16.32) застосовують тільки в тих випадках, коли заземлення (занулення) передбачене конструкцією приладу. Пластина, що заземлює, у такої вилки довга і пластини розташовані так, що при включенні вилки довга пластина входить у заземлене гніздо раніш і тільки після цього в гнізда входять робочі штифти.

Штепсельні розетки і вилки мають різні варіанти виконання для того, щоб прилади, розраховані на напругу 12, 36, 42 В, не можна було включити в мережу з напругою 220 В.

Освітлювальна апаратура випускається для схованої і відкритої проводки, для сухих і вологих приміщень тощо.

Порядок виконання роботи

1. Опрацювати теоретичний матеріал та рекомендовану літературу.
2. Вивчити будову, принцип роботи електроосвітлювальних ламп.
3. Вивчити конструктивні особливості, принцип роботи електроустановчих виробів.
4. Замалювати лампу розжарювання та люмінесцентну трубчасту лампу, вказавши їх схематичне зображення та внутрішню будову.
5. Скласти схеми підключення електричної лампи накалювання, схему підключення люмінесцентної лампи. На навчальному полігоні виконати під'єднання.
6. Підготувати відповіді на контрольні питання.
- 7.

Контрольні питання

- 1 Що називається освітлювальними установками?
- 2 З чого складаються електроосвітлювальні установки?
- 3 Які є види електричного освітлення?
- 4 На які групи поділяються джерела світла?
- 5 Яке призначення різних видів джерел світла?
- 6 Які фізичні величини називають силою світла, освітленістю?
- 7 Яку будову мають лампи розжарювання?
- 8 Які фактори впливають на зношуваність ламп розжарювання?
- 9 Які недоліки мають лампи розжарювання?
- 10 Яку будову мають люмінесцентні лампи?
- 11 Для чого біспіральну нитку розжарювання покривають оксидами лужноземельних металів?
- 12 Чим заповнюють трубки газорозрядних ламп?

- 13 Які є види люмінесцентних ламп?
- 14 Яку будову мають одно цокольні, дугові, металогенні лампи?
- 15 Який принцип дії світлодіодних ламп?
- 16 Що належить до електроустановчих виробів?
- 17 Яку будову має електроосвітлювальний патрон?
- 18 Яких розмірів випускаються патрони та на які типи вони поділяються?
- 19 На які типи поділяються вимикачі?
- 20 Як позначаються вимикачі на електричних схемах?
- 21 Яка будова та принцип роботи пневматичного вимикача?
- 22 Яке призначення світлорегуляторів?
- 23 Будова й призначення штепсельних розеток і вилок.

Лабораторна робота № 17

ЗНЯТТЯ ВХІДНИХ ТА ВИХІДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНЗИСТОРА

Мета роботи: дослідження статичних вхідних і вихідних характеристик біполярного транзистора.

Обладнання: лабораторний стенд; мультиметр.

Теоретичні відомості

Транзистор – це напівпровідниковий прилад, призначений для підсилення, генерування й перетворення електричних сигналів у широкому діапазоні частот (від постійного струму до десяти ГГц) і потужності (від десятків міліватів до сотень ватів). Розрізняють *біполярні транзистори*, у яких використовуються кристали n- і p-типу, і *польові (уніполярні) транзистори*, виготовлені на кристалі германія або кремнію з одним типом провідності (рис. 17.1).

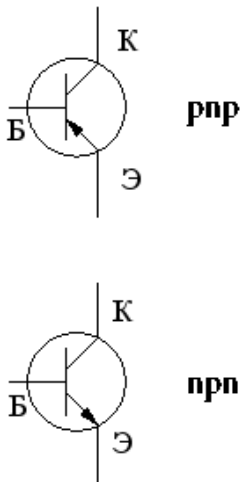


Рис. 17.1

У підсилювальних каскадах зазвичай використовується транзистор включений за схемою із загальним еміттером. Тут еміттер є загальним електродом для вхідного кола (кола бази) і вихідного кола (кола колектора), звідки схема й одержала свою назву. Струм колектора в цій схемі в кілька десятків, або навіть сотень разів (залежно від параметра h_{21e}

транзистора) перевершує струм бази, що й забезпечує підсилення по струму слабкого сигналу, підведеного до кола бази. В активному підсилювальному режимі роботи транзистор включений так, що його емітерний перехід зміщений у прямому напрямку (відкритий), а колекторний перехід зміщений у зворотному напрямку (закритий).

Будь-яка схема включення транзистора характеризується двома основними показниками:

Коефіцієнт підсилення по струму $h_{21e} = I_{вих}/I_{вх}$.

Вхідний опір $R_{вх} = U_{вх}/I_{вх}$.

Каскад із загальним емітером має такі характеристики:

Коефіцієнт підсилення по струму:

$$I_{вих}/I_{вх} = I_{к}/I_{б} = I_{к}/(I_{э}-I_{к}) = \alpha/(1-\alpha) = \beta \quad [\beta \gg 1].$$

Вхідний опір: $R_{вх} = U_{вх}/I_{вх} = U_{бе}/I_{б}$.

Переваги транзисторного підсилювача: великі коефіцієнти підсилення по струму та напрузі, найбільше з можливих підсилення потужності, також можна обійтися одним джерелом живлення, вихідна змінна напруга інвертується щодо вхідної.

Недоліки: має меншу температурну стабільність. Частотні властивості такого включення в порівнянні зі схемою із загальною базою істотно гірше.

Вхідна характеристика біполярного транзистора в схемі включення із загальним еміттером – це залежність струму бази $I_{б}$ від напруги база-емітер $U_{бе}$ при постійній напрузі $U_{ке}$.

Вихідна характеристика біполярного транзистора в схемі включення із

загальним еміттером – це залежність струму колектора I_k від напруги колектор-еміттер $U_{ке}$ при різних постійних значеннях струму бази.

Вхідною характеристикою при $U_{ке} = 0$ є пряма вітка вольт-амперної характеристики еміттерного переходу й виходить із початку координат. При $U_{ке} \neq 0$ ця характеристика виходить із точки нижче початку координат, оскільки при $U_{бе} = 0$ (див. рис. 17.2) у колі бази протікає маленький зворотний струм колекторного переходу. Напрямок цього струму протилежний стосовно прямого струму еміттерного переходу, тому відкладається нижче осі абсцис, і для того, щоб струм бази став рівним нулеві, потрібно прикласти маленьку пряму напругу $U_{бе0}$ до еміттерного переходу. Тому вхідна характеристика при $U_{ке} \neq 0$ іде нижче й правіше характеристики при $U_{ке} = 0$.

Вихідною характеристикою при $I_b = 0$ є зворотна вітка ВАХ колекторного р-п-переходу й виходить із початку координат. При $I_b > 0$ характеристика йде вище, причому тем вище, чим більше величина струму бази. Причому ці криві, окрім характеристики при $I_b = 0$, виходять не з початку координат, а нижче, оскільки при $U_{ке} = 0$ через колекторний р-п-перехід протікає маленький прямий струм під дією вхідної ЕРС, і для того, щоб цей струм став рівним нулеві, у колі колектора потрібно ввести маленьку напругу $U_{кэ0}$. Однак величина цього прямого струму й величина напруги $U_{кэ0}$ настільки малі, що в довідковій літературі наводяться вихідні характеристики, які виходять із початку координат.

Графіки вхідних і вихідних характеристик біполярного транзистору показані на рис. 17.2.

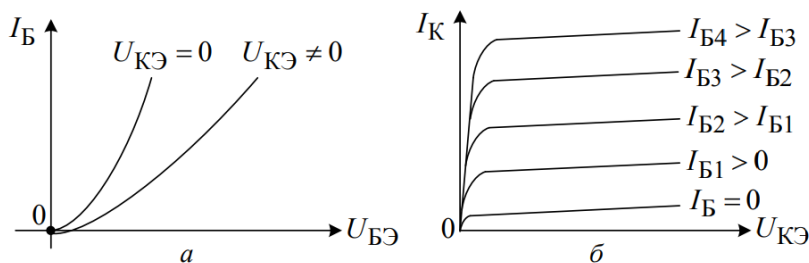


Рис. 17.2. а) вихідна характеристика, б) вхідна характеристика

Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему дослідження транзистора, зображену на рис. 17.3. Для дослідження використовується транзистор MPS3709 (nation11), вітчизняний аналог - *КТ3102А*.

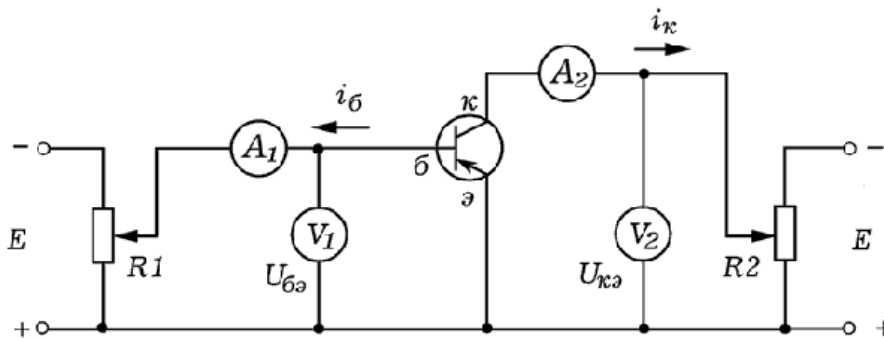


Рис. 17.3. Схема для дослідження транзистора

2. Вивчити вхідні характеристики транзистора.

Таблиця 17.1

Дані для побудови вхідних характеристик транзистора

Вхідний струм I_B , мкА	1	5	10	20	50	100	200	300	400	500
Вхідна напруга U_{BE} , мВ, при $U_{KE1} = 0$ В,										
Вхідна напруга U_{BE} , мВ, при $U_{KE2} = 15$ В										

3. Вивчити вихідні характеристики транзистора.

Таблиця 17.2

Дані для побудови вихідних характеристик транзистора

Вихідна напруга, U_{KE} , В	0,1	1	2	5	10	15	20	25	30	35
Вихідний струм I_K , мА, при вхідному струмі $I_{B1} = 100$ мкА										
Вихідний струм I_K , мА, при вхідному струмі $I_{B2} = 300$ мкА										
Вихідний струм I_K , мА, при вхідному струмі $I_{B3} = 500$ мкА										

4. За результатами вимірювань побудувати вхідні і вихідні характеристики транзистора.

5. Визначити h -параметри транзистора за отриманими характеристиками.

Контрольні питання

1. Будова і принцип дії транзистора
2. Чим відрізняються транзистори типу р-п-р від п-р-п?
3. Що таке h -параметри транзистора?
4. Яке співвідношення існує між струмами в біполярному транзисторі?
5. струмом?
6. Чому досліджувана схема називається схемою із загальним еміттером?
7. Які характеристики в схемі із загальним еміттером називаються вхідними й вихідними? Який вигляд вони мають?

Лабораторна робота №18 ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ РЕЛЕ ЧАСУ

Мета роботи: дослідити залежність технічних параметрів та принципів дії реле часу різних типів на системи управління технологічним процесом. Набути умінь оцінювання технічних і метрологічних параметрів реле часу і застосування їх у системах автоматики.

Обладнання: стенд, на якому розміщені електронне реле ЕРВ-1М і моторне реле ВС-10, клеми для підключення до джерела живлення, сигнальні лампи та необхідні органи управління (тумблерні перемикачі тощо).

Теоретичні відомості

До реле часу належать реле, які мають час спрацьовування або відпускання понад 1 с. Реле часу в системах автоматики використовують для управління операціями в функції часу. Основні характеристики реле – мінімальний і максимальний час витримки, похибка відліку часу, кількість керованих кіл. Залежно від будови, реле часу поділяються на електромеханічні, моторні та електронні.

Реле часу моторне багатоланцюгове типу ВС-10

Будова реле часу показана на рис. 18.1. Механізм реле приводиться в дію синхронним двигуном 1 типу СД-2. Від двигуна через понижувальний редуктор 2 обертання за допомогою торцевого храповика 3 передається зірочці 4, а через неї трьом дискам 8 із шкалами. Зчеплення між зірочкою та храповиком відбувається за допомогою важеля 6, який переміщується електромагнітом 5.

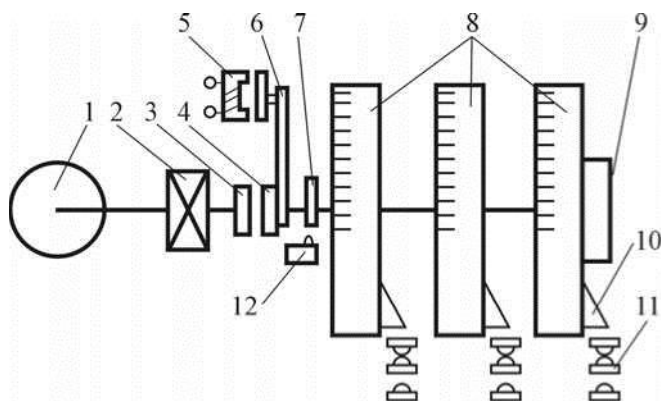


Рис. 18.1. Кінематична схема моторного реле часу: 1 – електродвигун; 2 – редуктор; 3 – храповик; 4 – зірочка; 5 – електромагніт; 6 – важіль; 7 – кулачок; 8 – диски; 9 – гайка; 10 – упор; 11 – контактна група; 12 – мікрореле

На кожному з дисків знаходиться упор 10, який може перемикає відповідну контактну групу 11. Ці контакти використовуються для управління зовнішніми ланцюгами, тобто є виконавчими елементами реле часу. Диски фіксуються на валу гайкою 9.

Необхідна витримка часу встановлюється поворотом кожного з дисків відносно візира. При цьому змінюється кут відстань між упором та контактною групою. Поділка шкали на диску, який розташовується проти візира, вказує витримку часу в хвилинах.

Для вмикання реле часу на робочий режим, тобто для початку відліку часу, необхідно подати живлення на електродвигун та електромагніт. При цьому обертання від двигуна передається на вал з дисками. Під час їх обертання через установлений час упорами дисків приводяться в дію контактні групи.

Загальний кут повороту дисків не повинен перевищувати 360° , тому для його обмеження передбачено розімкнення кола живлення електродвигуна та електромагніту контактами мікрореле 12, який спрацьовує під дією кулачка 7, жорстко закріпленого на валу установчих дисків. При цьому відбувається розчеплення храповика, і диски пружиною повертаються в початкове положення.

Монтажна схема реле часу ВС-10 показана на рис. 18.2.

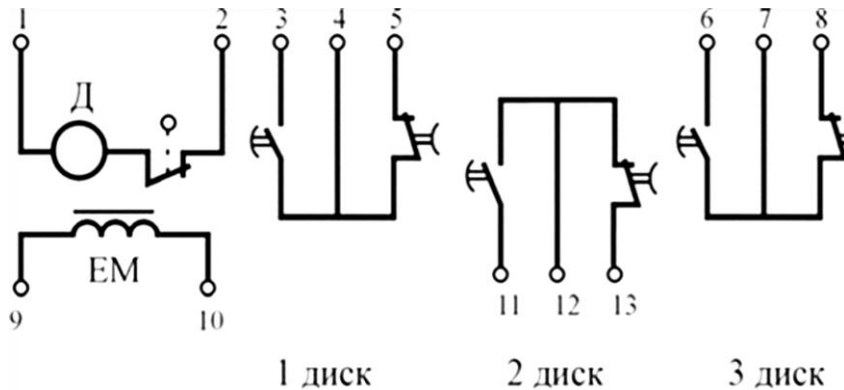


Рис. 18.2. Монтажна схема реле часу

Кожна контактна група реле часу виконана у вигляді контактів, які перемикаються: один з яких замикає, а другий розмикає виконавчі ланцюги з витримкою при спрацьовуванні.

Абсолютна похибка відліку часу моторних реле

головним чином залежить від ціни поділки шкали на установчому диску і дбайливості налаштування на заданий час.

Серійні моторні реле часу випускаються на граничні витримки часу від 1 хв до 24 год і більше. Оскільки граничний кут обертання дисків для всіх моторних реле часу приблизно однаковий, похибка відрахування часу тим більша, чим більший граничний час, який може встановлюватись на реле.

Надійність роботи моторних реле часу пов'язана з наявністю рухомих частин і відносно складної механічної конструкції, яка при експлуатації зношується.

Електронне реле часу

Електронні реле часу характеризуються простотою будови, надійністю через відсутність рухомих частин, а також високою точністю відліку часу.

Для відліку часу в електронних реле часу використовується принцип зарядження й розрядження конденсатора через електричний опір. Якщо коло, в якому послідовно з'єднані резистор R та конденсатор C , підключити до джерела постійної напруги U_0 , то різниця потенціалів на обкладинках конденсатора U_C зростає від нуля до потенціалу джерела згідно із формулою:

$$U_C = U_0(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

Де t – час, який пройшов з моменту подачі напруги.

Аналогічне явище (але в протилежному напрямку) спостерігається і при зворотному процесі – розрядженні зарядженого до напруги U_0 конденсатора через резистор.

Графічно ці залежності показано на рис. 18.3.

Основною характеристикою схеми або RC -кола є добуток RC який має назву сталої часу $r = RC$.

Час, потрібний для досягнення потенціалу U_c на обкладинках конденсатора:

$$t = R C \ln \frac{U_0}{U_0 - U_c}$$

При збільшенні опору резистора R або ємності конденсатора C стала часу t збільшується, крива заряду (розряду) стає менш крутою, і напруга на обкладинках конденсатора досягає того самого значення U_c вже за більший проміжок часу (рис. 18.3, а).

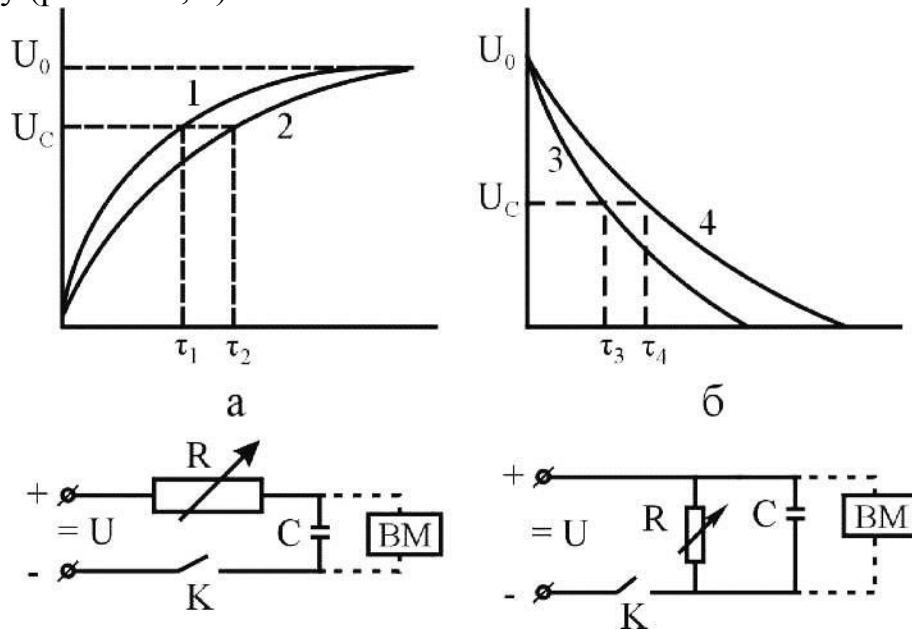


Рис. 18.3. Криві заряду (а) та розряду (б) конденсатора через резистор при різних сталих часу τ ($\tau_1 < \tau_2$; $\tau_3 < \tau_4$)

Використовуючи описану властивість RC -кола, можна змінюючи значення сталої часу шляхом зміни опору резистора R або ємності конденсатора C , регулювати час, за який різниця потенціалів на обкладинках конденсатора зміниться від 0 до U_c при заряду або від U_0 до U_c при розряді. Цей принцип і використовується в електронних реле часу як механізм відрахування часу витримки. Встановлення потрібної витримки часу звичайно виконується шляхом зміни опору резистора, а конденсатор приймається зі сталою ємністю.

Електронне реле часу типу ЭРВ-1М. На рис. 18.4 показано загальний вигляд електронного реле часу, а його принципова схема – на рис. 18.5.

Електронне реле часу (ЭРВ-1М) призначено для формування тимчасової витримки вмикання (вимикання) приладу від моменту подачі або зняття напруги.

В коло, яке складається з конденсатора C_0 і магазину опорів (резистори $R_1 \dots R_8$), увімкнено мікросхему (ЛсБ24В-А3А2), рис. 18.5.

Відрахування часу проводиться при замиканні контакту управління КУ. При цьому конденсатор C_0 розряджається через резистори $R_1 \dots R_8$. Унаслідок цього потенціал запирання поступово зменшується.

При досягненні цим струмом значення струму спрацьовування електромагнетного реле KL, реле спрацьовує і перемикає робочі контакти KL1 і KL2. Час витримки реле регулюється перемиканням резисторів $R_1 \dots R_8$.

Контакт KL1, який замикається в початковій стадії спрацьовування реле KL, закорочує обкладинки конденсатора C_0 , завдяки чому відбувається його миттєвий розряд і різке зростання струму.



Рис. 18.4. Загальний вигляд електронного реле часу змінного струму ЭРВ-1М

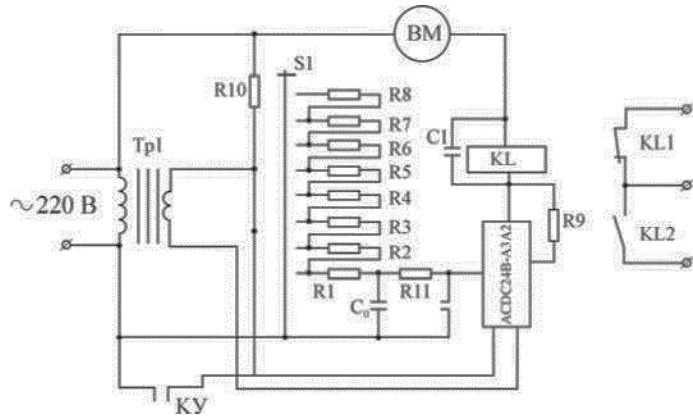


Рис. 18.5. Принципова схема електронного реле часу змінного струму ЭРВ-1М

Цим забезпечується чітке спрацьовування електромагнетного реле KL. Конденсатор $C1$ слугує для згладжування пульсацій струму.

Електронне реле часу ЭРВ-1М працює від мережі електричного струму з напругою 220 В і частотою 50 Гц. Найбільша витримка часу – 100 с. Регулювання витримки часу – ступінчасте.

Використання реле часу в схемах автоматики

Реле часу будь-якого типу вмикається в схему автоматики через три групи зовнішніх струмопроводів: живлення, перемикач режиму роботи і виконавчих. Для зручності в роботі, будова реле часу передбачає доступ до цих елементів без знімання захисного кожуха. Для живлення реле часу, які вивчаються в лабораторних роботах, використовується мережа змінного струму напругою 220 В, частотою 50 Гц.

Перемикач режиму роботи (контакти управління) використовується для встановлення реле часу в режим відрахування часу або очікування (зарядження). Як перемикач режиму роботи можуть використовуватися контакти пускових кнопок, інших реле, тумблерних вимикачів тощо.

Виконавчими колами є контактні групи, які можуть мати різні функції: замикання, розмикання та перемикач, з витримкою при спрацьовуванні або відпусканні, а також миттєвої дії. Ці контакти використовуються для управління зовнішніми електричними колами, тобто для безпосереднього керування виконавчими механізмами технологічних операцій. Для зручності роботи на панель реле часу наносять умовними позначками схеми, які відображають маркування зовнішніх струмопроводів і їх підключення до відповідних елементів, рис. 18.6.

Схеми підключення моторного реле часу показані на рис. 18.7. У схемі (рис. 18.7, а) коло двигуна та електромагніта зчеплення мають незалежне живлення. Таке підключення забезпечує мінімальну похибку відрахунку часу.

На рис. 18.7, б, електромагніт та двигун з'єднані паралельно. Реле часу в

цьому разі використовується без попереднього вмикання двигуна, але при цьому похибка відрахунку часу збільшується.



Рис. 18.6. Види контактів у системах автоматики: а – контакт, який замикається, з витримкою на замиканні; б – контакт, що розмикається, з витримкою на розмиканні; в – контакт, що замикається, з витримкою на розмиканні; г – контакт, що розмикається, з витримкою на замиканні

У електронному реле часу контакти управління не мають зовнішнього підключення до кола живлення (рис. 18.8).

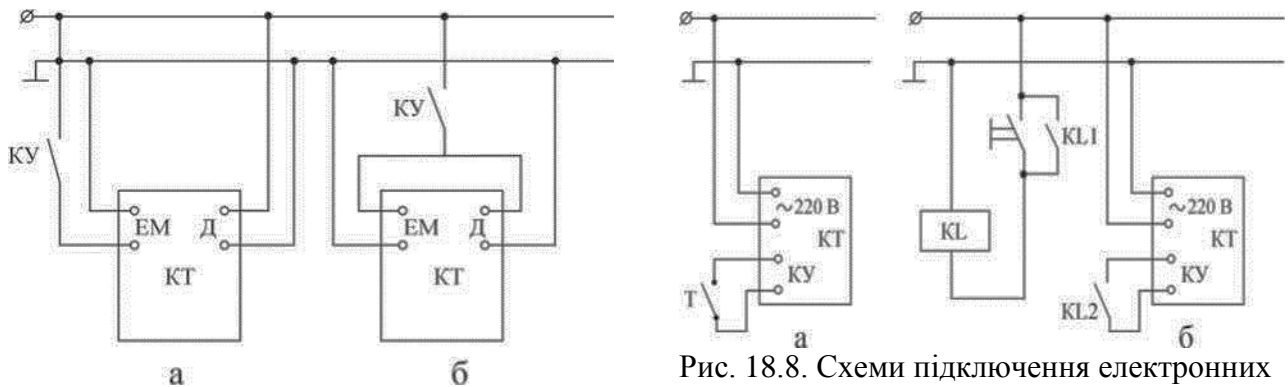


Рис. 18.7. Схема підключення моторного реле часу: а – незалежне з'єднання; б – паралельне з'єднання

Рис. 18.8. Схеми підключення електронних реле часу: а – без зовнішнього блокування контактів управління; б – із зовнішнім блокуванням контактів управління

У системах автоматики зручно перемикає режим роботи реле часу шляхом подачі короткочасних імпульсів, тобто шляхом короткочасного замикання ланцюгів управління.

Оскільки в період відраховування часу контакти управління повинні не змінювати свого стану (наприклад, бути постійно замкненими), тому короткочасний пусковий імпульс необхідно запам'ятовувати в електричній схемі. Здійснюється це за допомогою блокувальних контактів миттєвої дії проміжного реле, яке передбачається в конструкції реле часу або повинно бути додатково увімкнене в схему підключення (рис. 18.8, б).

Порядок виконання роботи

Визначення технічних характеристик реле часу

1. Користуючись набором проводів та необхідних елементів, зібрати схему для дослідження моторного реле часу згідно з рис. 18.9, а.
2. Відкрутити фіксувальну гайку і встановити обертанням дисків реле витримку часу згідно із завданням. Закріпити положення дисків фіксувальною гайкою.
3. Увімкнути тумблер живлення електричного стенда.

4. Увімкнути тумблер живлення моторного реле і секундомір. Провести вимірювання часу витримки. Час витримки фіксується сигнальними лампочками А (перший диск) і Б (другий диск). Вимірювання провести 3 рази (після кожного вимірювання повертати диски на нульову відмітку), результати занести до табл. 18.1.

Примітка: Повернення дисків реле на нульову відмітку відбувається автоматично при вимиканні тумблера живлення реле.

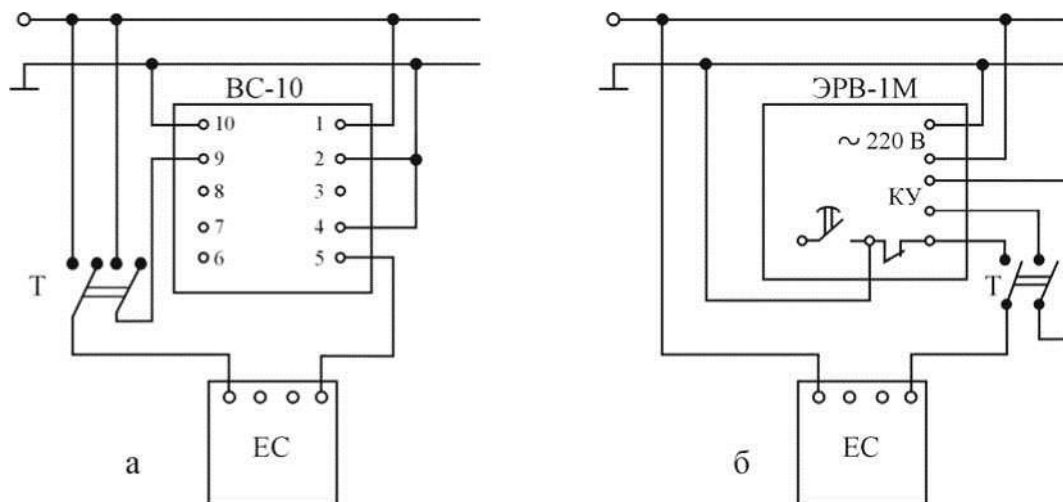


Рис. 18.9. Схеми дослідження реле часу: а – моторного реле ВС-10; б – електронного реле ЭРВ-1М

5. Користуючись набором проводів та необхідних елементів, зібрати схему для дослідження електронного реле часу згідно з рис. 18.9, б.

6. Перемиканням магазину опору в положення R1–R5 (згідно завдання), встановити задану витримку часу.

Таблиця 18.1

Дослідження реле часу

Тип реле часу	Номер диску	Задана витримка, с	Результати випробувань, с				Випадкові похибки		Систематичні похибки	
			1	2	3	середнє	Δ	%	Δ	%
ВС-10	I									
ВС-10	II									
ЭРВ-1М										

7. Увімкнути тумблер живлення електричного стенда.

8. Увімкнути тумблер живлення електронного реле і секундомір. Провести

вимірювання часу витримки. Час витримки фіксується сигнальною лампочкою В. Вимірювання провести 3 рази, результати занести до табл. 18.1.

9. Визначити абсолютні та відносні значення випадкових і систематичних похибок витримки часу для моторного і електронного реле.

При визначенні похибок електронного реле приймати наступні значення заданої (номінальної) витримки: для R1 – 0,7с; для R2 – 2 с; для R3 – 10 с; для R4 – 17 с; для R5 – 70 с.

10. Порівняти значення отриманих похибок для реле різних типів і зробити висновки щодо особливостей їх застосування в системах автоматики.

Використання реле часу в системах управління технологічним процесом

1. Одержати завдання на виконання технологічного процесу:

Операція	Позначення	Тривалість, с
	А	
	Б	
	В	

2. Користуючись одержаними даними при виконанні першого завдання і теоретичними відомостями, вибрати можливий тип реле часу для виконання вказаних варіантів технологічних циклів процесу.

3. Скласти електричну схему для виконання технологічного циклу із використанням різних типів реле часу та циклограму відповідно.

4. На реле, розташованих на стенді, встановити завдання, використовуючи як сигналізатори виконання технологічних операцій сигнальні лампочки.

5. Циклограма технологічного процесу

Код операції	Тривалість, с								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
А									
Б									
В									

6. Увімкнути живлення та перевірити роботу схеми управління. Визначити час виконання кожної з операцій. Вимірювання провести 3 рази. Одержані дані занести до табл. 18.2.

Таблиця 18.2.

Результати дослідження схеми управління

Операція	Тривалість циклу, с				Похибка	
	задана	фактична		середня фактична	абсолютна, с	відносна, %
А						
Б						
В						

7. Визначити абсолютні і відносні систематичні похибки витримки часу за результатами управління технологічним процесом (табл. 18.2).

Контрольні запитання

1. Що таке реле часу і які їх різновиди Ви знаєте?
2. Поясніть будову і принцип дії моторного реле часу.
3. Поясніть принцип налаштування і функціонування електронного реле часу за його схемою.
4. Які Ви знаєте різновиди контактних груп в реле часу?
5. Наведіть переваги та недоліки моторного і електронного реле часу.
6. Як визначити випадкові та систематичні похибки відліку часу реле?
7. В яких системах автоматики використовують реле часу?
8. Схеми підключення моторних та електронних реле часу.
9. Переваги та недоліки схем роботи з зарядженням та з розрядженням конденсатора.
10. Приклади використання реле часу в системах автоматики.

Лабораторна робота № 19

ОДНОФАЗНІ НАПІВПРОВІДНИКОВІ ВИПРЯМЛЯЧІ

Мета роботи: дослідження однофазних одно- і двухполуперіодних схем випрямлення та згладжуючих LC-фільтрів; побудова вольтамперних характеристик некерованих і керованих випрямлячів.

Обладнання: комп'ютер із встановленою програмою MS10, мультимедіа.

Теоретичні відомості

Випрямлячем (джерелом вторинного електроживлення) називають пристрій, що слугує для перетворення змінних напруги і струму в постійні, які необхідні для живлення ряду електронних пристроїв.

Узагальнена структурна схема однофазного випрямляча на напівпровідникових приладах, що складається з трансформатора, випрямного блоку, фільтра, що згладжує і стабілізатора, наведена на рис. 19.1, а.

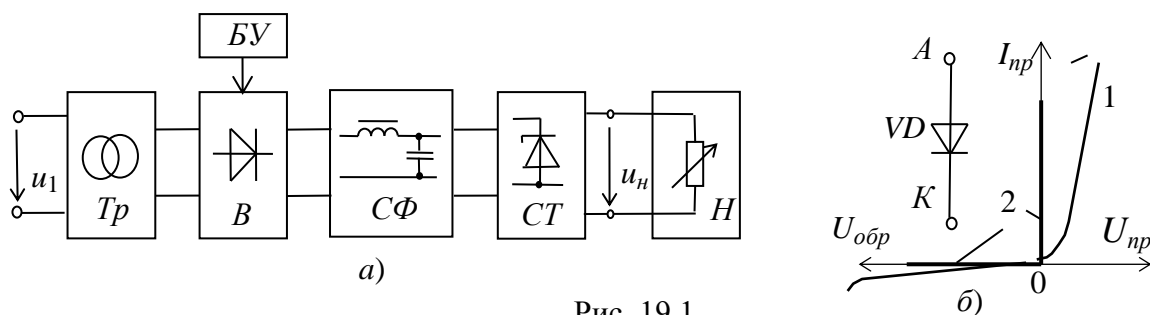


Рис. 19.1

Трансформатор Tr призначений для узгодження вхідної (мережевої) напруги u_1 і вихідної (випрямленої) u_H напруги навантаження H . Блок вентилів B виконує функцію випрямлення змінного струму. Для зменшення пульсацій випрямленої напруги (струму) в колі навантаження H застосовують фільтр згладжування $СФ$.

У разі керованого випрямляча необхідний блок управління $БУ$, що містить систему управління вентилями і систему автоматичного регулювання рівня вихідної напруги U_H . У некерований випрямляч вбудовують блок стабілізації $СТ$, що підтримує номінальний рівень вихідної напруги або струму навантаження при коливаннях напруги мережі і при зміні опору навантаження. Залежно від умов роботи і вимог, що пред'являються до випрямляча, окремі його вузли можуть бути відсутні.

Перетворення змінного струму в постійний здійснюється за допомогою нелінійних елементів з несиметричною ВАХ, що володіють вентильними властивостями (однобічну провідність). У даній роботі будуть досліджуватися випрямлячі на напівпровідникових приладах.

Ідеальний електричний вентиль не дає втрат, його опір в провідному напрямку від анода A до катода K (рис. 18.1, б) дорівнює нулеві, у непровідному – нескінченності, тобто ВАХ має вигляд 2 на відміну від ВАХ1 реального вентиля. Найпростіші вентиля (діоди) є некерованими, а вентиля (тиристри, транзистори, електронні лампи), які мають третій електрод, створюють

широкий клас керованих вентилів.

З урахуванням розглянутих типів вентилів і пропонованих вимог до якості напруги живлення навантажувальних пристроїв, будують різні схеми випрямлення, тобто пристрої, які називаються випрямлячами.

Класифікаційні ознаки випрямлячів:

- некеровані ($U_n = const$) і керовані ($U_n = var$);
- одноконтактні и двоконтактні;
- однофазні та багатофазні (частіше трифазні);
- малої (до 1 кВт), середньої (до 100 кВт) та великої (вище 100 кВт) потужності;
- низької (до 25 В), середньої (до 1000 В) та високої (вище 1000 В) напруги.

Основні параметри випрямлячів:

- U_{cp} (I_{cp}) – середня значення випрямленої напруги навантаження;
- $U_{m.og}$ – амплітуда основної гармоніки випрямленої напруги;
- $q_n = U_{m.og}/U_{cp}$ – коефіцієнт пульсації випрямленої напруги;
- S – потужність трансформатора (в вольтамперах – В·А або в кіловольтамперах – кВ·А);
- $I_{np.cp}$ – прямий середній струм вентиля;
- $U_{np.cp}$ – середня напруга (менше 2 В) на вентилі при струмі $I_{np.cp}$;
- $U_{обр.max}$ и $I_{np.max}$ – максимально дозволена зворотна напруга і прямий струм вентиля.

Некеровані випрямлячі

Потужність однофазних некерованих випрямлячів змінного струму коливається від десятків до декількох сотень ват. Основними схемами однофазних випрямлячів є: однонапівперіодна і двухполуперіодна (мостова або з середньою точкою).

Однофазна однонапівперіодна схема випрямлення (рис. 19.2, а) з активним навантаженням є найпростішою з відомих схем для цих цілей. Вона складається з силового трансформатора Tr , одного вентиля (діода) VD і навантаження R_n . Первинна обмотка трансформатора включена в мережу змінного струму з напругою u_1 ; до вторинної обмотки з напругою u_2 послідовно підключені діод VD і навантаження (резистор R_n). Тимчасові діаграми напруги u_2 вторинної обмотки трансформатора, напруги на навантаженні u_n і на вентилі u_d представлені на рис. 22.2, б, в і г.

Струм i_n в навантаженні протікає тільки при позитивній напівхвилі вторинного напруги u_2 трансформатора, тобто коли напруга на аноді діода більш позитивна, ніж на його катоді. При цьому напруга на діоді $U_{np} < 2$ В. При негативній напівхвилі u_2 діод закритий, максимальна зворотна напруга на діоді $U_{обр.max} \approx U_{2m}$.

Струм в навантаженні R_n протікає тільки в один напівперіод синусоїдальної напруги, звідси назва випрямляча – однополуперіодний.

Середня випрямлена напруга і струм за період $U_{cp} = U_{2m} / \pi \approx 0,318 U_{2m}$;

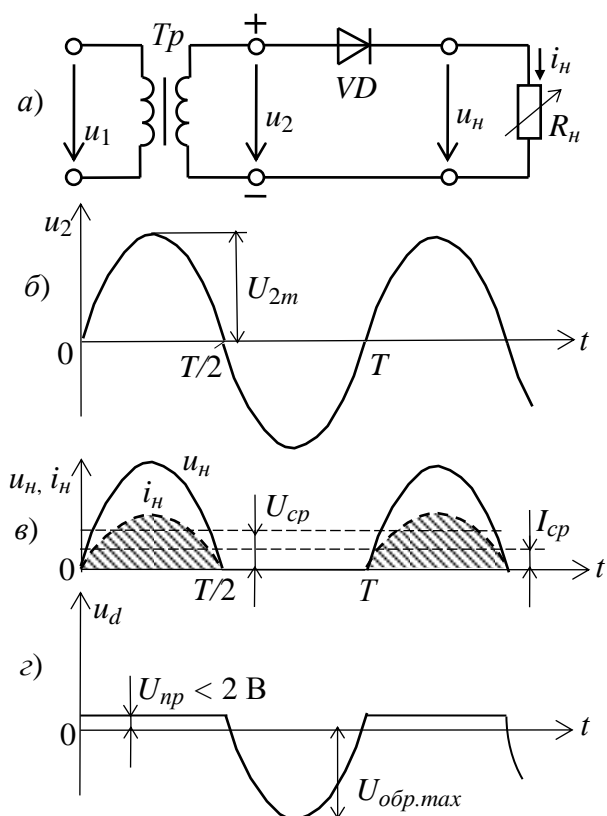


Рис. 19.2

$$I_{cp} = I_{2m} / \pi \approx 0,318 I_{2m}.$$

Амплітуда $U_{m.ог}$ основної гармоніки випрямленої напруги, може бути знайдена із розкладу в ряд Фур'є:

$$U_{m.ог} = U_{2m} / 2.$$

Тоді коефіцієнт пульсації

$$q_n = U_{m.ог} / U_{cp} = \pi / 2 \approx 1,57.$$

Однофазні напівпровідникові випрямлячі використовують для живлення пристроїв, що вимагають малого струму і високої напруги, наприклад, для живлення електронно-променевих трубок, трубок рентгенівських апаратів та ін.

До недоліків цих випрямлячів слід віднести уніполярний струм, який, проходячи через вторинну обмотку, намагнічує сердечник трансформатора, змінюючи його

характеристики і зменшуючи ККД; мале значення випрямленої напруги ($U_{cp} \approx 1/3 U_{2m}$); високий рівень пульсацій ($q_n = 1,57$) и велику зворотну напругу на діоді ($U_{обр} \approx U_{2m}$).

Мостова схема двухполуперіодного випрямляча (рис. 19.3, а) складається з трансформатора Tr і чотирьох діодів, зібраних по мостовій схемі. Тимчасові діаграми випрямленої напруги u_n і струму i_n наведені на рис. 19.3, б.

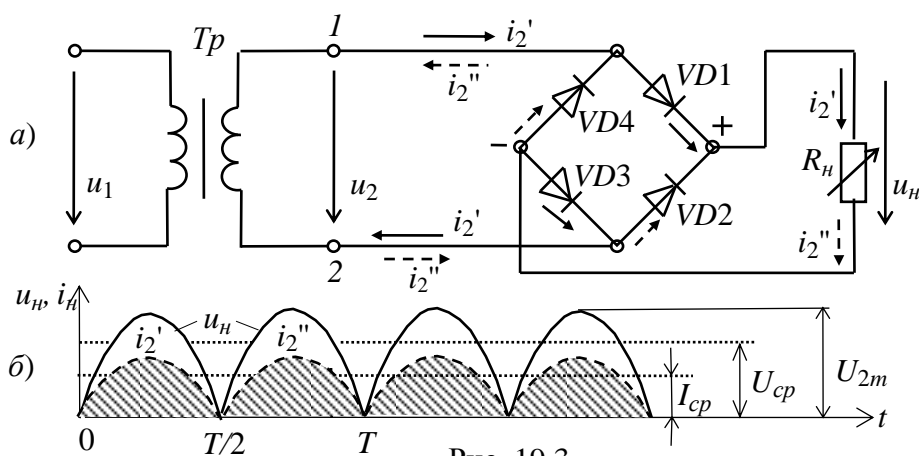


Рис. 19.3

Середнє значення випрямленої напруги і струму (постійні складові): $U_{cp} = (2/\pi)U_{2m} \approx 0,636U_{2m}$; $I_{cp} = (2/\pi)I_{2m} \approx 0,636I_{2m}$, где $I_{2m} = U_{2m} / R_n$.

Амплітуда основної (другої) гармоніки випрямленої напруги, визначена з розкладання в ряд Фур'є:

$$U_{m.oz} = (4/3\pi)U_{2m} \approx 0,424U_{2m}.$$

Тоді коефіцієнт пульсації:

$$q_n = U_{m.oz} / U_{cp} = 2/3 \approx 0,667.$$

Зворотна напруга на вентилях $U_{обр.max} = U_{2m}$.

У двонапівперіодній схемі випрямлення порівняно з однополуперіодною значно краще спрацьовує трансформатор, менше коефіцієнт пульсації ($q_n \approx 0,67$), хоча його величина залишається значною.

Керовані випрямлячі

Зростає група споживачів енергії, які потребують регульованої вихідної напруги. Для живлення таких споживачів застосовують тиристорні випрямлячі: однофазні при малих токах споживання і трифазні великої потужності.

На рис. 19.4,а наведена схема однофазного керованого випрямляча з виводом нульової точки трансформатора. Як вентилях у випрямлячі використані тиристори $VS1$ і $VS2$.

При зазначеній на рис. 19.4,а полярності вторинного напруги u_2 трансформатора Tr тиристор $VS1$ може пропускати струм i_n' за умови, що на його керуючий електрод надійде сигнал управління I_{y1} . Цей сигнал подають із зсувом по фазі по відношенню до моменту природного відмикання на кут α , який називається кутом управління (рис. 19.4, б). Моментом природного відмикання тиристора називають момент появи позитивної напруги між анодом і катодом тиристора (при $\alpha = 0$).

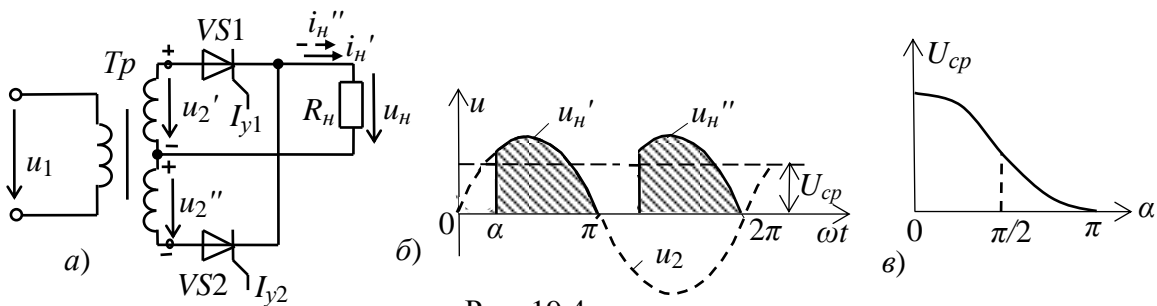


Рис. 19.4

При включенні тиристора при активній напрузі R_n в момент часу $\omega t = \alpha$ напруга на навантаженні u_n зростає стрибком до значення $u_n' = u_2'$ (при ідеальному тиристорі та ідеальному трансформаторі). При $\omega t = \pi$ струм вентиля та струм навантаження дорівнюють нулеві, тиристор $VS1$ запирається. До отпирання тиристора $VS2$ в навантаженні з'являється безструмова пауза, енергія в навантаження не передається. В момент $\omega t = \pi + \alpha$ подається керуючий імпульс на тиристор $VS2$, тиристор відкривається, до навантаження прикладається напруга u_n'' . Струм проходить через нижню полуобмотку трансформатора, тиристор $VS2$ та навантаження зберігають сталий напрям. В момент $\omega t = 2\pi$ проходить виключення тиристора $VS2$.

Середнє значення напруг на навантаженні та коефіцієнт пульсацій:

$$U_{cp} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_{2m} \sin \omega t d\omega t \approx \frac{U_{2m}}{\pi} (1 + \cos \alpha);$$

$$q_n(\alpha) = \frac{2}{n^2 - 1} \sqrt{1 + n^2 \operatorname{tg}^2 \alpha},$$

де $n \geq 2$ – номер основної гармоніки випрямленої напруги.

Зменшення середньої напруги U_{cp} (тока I_{cp}) при збільшенні кута α показано на рис. 19.4, в. Залежність $U_{cp}(\alpha)$ називають *регулюючою* характеристикою випрямляча. Затримка по фазі керуючих сигналів, які подаються на тиристори, здійснюється за допомогою систем імпульсного фазового керування.

Згладжувальні фільтри

Вимоги до рівня пульсації напруги живлення електронної апаратури дуже високі: так, припустимий коефіцієнт пульсації q_n для живлення двотактних підсилювачів напруги не повинен перевищувати 1...2%, одноктний підсилювачів – 0,1...0,5%, а підсилювачів проміжної частоти – 0,01...0,05%.

Згладжувальні фільтри призначені для зменшення пульсацій випрямленої напруги на навантаженні до значень, при яких не позначається їх негативний вплив на роботу електронної апаратури. Вони повинні пропускати постійну складову випрямленої напруги і помітно послаблювати його гармонійні складові.

Дія фільтра щодо зменшення пульсації напруги (струму) на навантаження характеризується коефіцієнтом згладжування k_c , яким є відношення коефіцієнта пульсації на виході випрямляча q_n (до фільтра) до коефіцієнта пульсації на навантаженні q_{n1} (після фільтра), тобто $k_c = q_n / q_{n1}$.

Розрізняють пасивні та активні згладжуючі фільтри.

Принцип роботи пасивних LC-фільтрів заснований на здатності індуктивних котушок (дроселів) і конденсаторів змінювати свої опору при зміні частоти струму протікання.

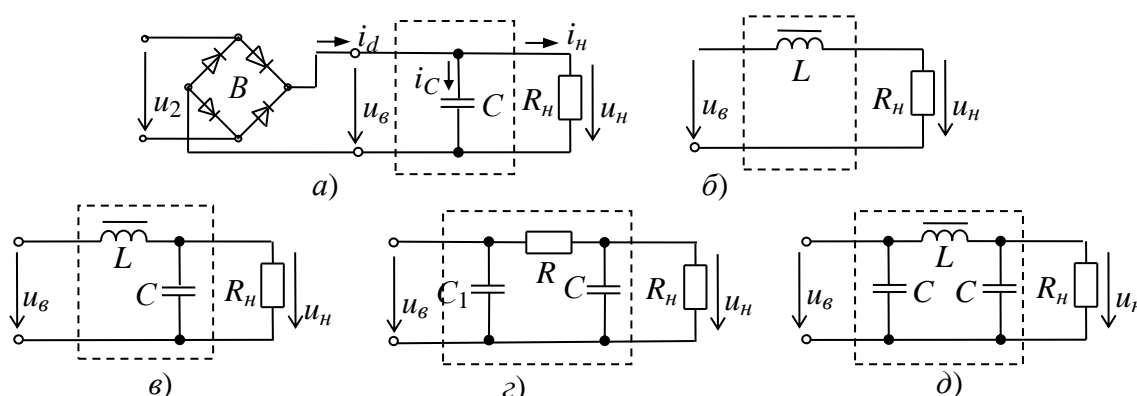


Рис. 19.5

У бездросельных активних фільтрах роль індуктивних елементів зазвичай виконують транзистори, опори яких при змінному струмі при певних режимах роботи можуть бути у багато разів більше опорів при постійному струмі. Активні фільтри забезпечують незалежність коефіцієнта згладжування k_c від струму навантаження і мають менші габарити порівняно з LC-фільтрами, проте

їх параметри залежать від температури.

На рис. 19.5. наведено схеми найпростіших однофазних згладжувальних LC-фільтрів широкого застосування. Ємнісний фільтр (рис. 19.5, а) включається паралельно високоомному навантаженню R_H , що перешкоджає проходженню через навантаження високочастотних гармонійних складових струму.

Тимчасові діаграми випрямленої напруги u_{δ} двухполуперіодного випрямляча та напруги на навантаження u_H , яке пояснює принцип дії C-фільтра, зображені на рис. 19.6, а.

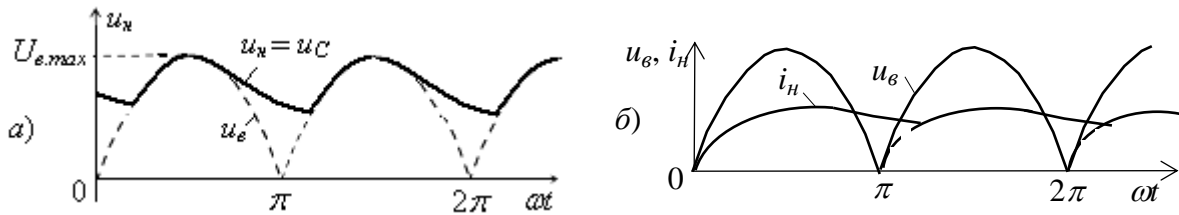


Рис. 19.6

Коефіцієнт пульсації зазвичай обирається в діапазоні $q_{n1} = 0,01 \dots 0,1$.

Одноелементний L-фільтр (рис. 19.5, б) включають послідовно з навантаженням R_H . При зростанні випрямленої напруги та струму навантаження i_H магнітна енергія запасється в індуктивному елементі L (дроселі). При зниженні напруги u_{δ} струм в навантаженні тримається за рахунок накопиченої енергії в дроселі (рис. 19.6, б). Коефіцієнт згладжування L-фільтра $k_c = X_L / R_H$.

З цього виразу випливає, що в потужних випрямлячах (коли опір R_H є малим) L-фільтр діє найбільш ефективно.

Необхідна індуктивність дроселя при заданому коефіцієнті k_c

$$L \geq k_c R_H / (n\omega),$$

де n – номер основної гармоніки випрямленої напруги u_{δ} .

У LC-фільтрі (рис. 19.5, в) конденсатор шунтує навантаження по змінній складовій ($X_C = 1/(n\omega C)$; $X_C \ll R_H$), а опір дроселя X_L по змінній складовій повинен бути значно більшим за опір $Z_{нар}$ паралельно з'єднаних елементів R_H і X_C . Приймавши $Z_{нар} = X_C$, коефіцієнт згладжування LC-фільтра

$$k_c = n^2 \omega^2 LC - 1.$$

Тоді для розрахунку L і C отримаємо

$$LC = (1 + k_c) / (n\omega)^2.$$

З цього рівняння знаходять потрібне значення L , задаючи C , або навпаки знаходять C , задаючи L .

Якщо при розрахунку LC-фільтра потужного випрямляча отримують занадто великі значення індуктивності дроселя ($L > 100$ Гн) та ємності ($C > 150$ мкФ) конденсатора, то використовують дволанковий CRC-фільтр: одноелементна C_1 -ланка і Γ -образна RC-ланка (рис. 19.5, з), у якої

$$k_c = k_{c1} \cdot k_{c2},$$

де k_{c1} і k_{c2} – відповідно коефіцієнти згладжування першої і другої ланок.

Для отримання кращого згладжування вихідної напруги після C-фільтра

зазвичай включають додаткову Г-образну LC-ланку. Отриманий П-подібний CLC-фільтр (рис. 19.5, д) розраховують як дволанковий:

$$k_c = k_{c1} \cdot k_{c2}.$$

Зовнішні характеристики випрямлячів

Під зовнішньою характеристикою випрямляча розуміють залежність середнього значення випрямленої напруги від середнього значення струму навантаження, тобто $U_{cp} = f(I_{cp})$:

$$U_{cp} = E_{2cp} - \Delta U_{Tr} - \Delta U_{\epsilon} - \Delta U_{\phi} = E_{2cp} - (R_{Tr} + R_{\epsilon} + R_{\phi})I_{cp},$$

де E_{2cp} – середнє значення ЕРС вторинної обмотки трансформатора; ΔU_{Tr} , ΔU_{ϵ} і ΔU_{ϕ} – активні падіння напруг на вторинній обмотці трансформатора, на одночасно відкритих вентилях та на активному опорі дроселя фільтра (рис. 19.7)

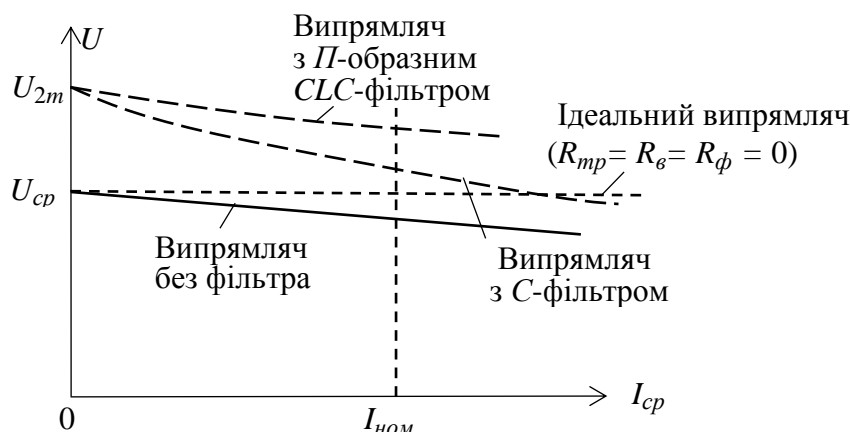


Рис. 19.7

З виразу зовнішньої характеристики видно, що зі зростанням випрямленого струму I_{cp} збільшується падіння напруг на опорах R_{Tr} і R_{ϵ} , а напруга на опорі навантаження U_{cp} зменшується, тобто *нахил зовнішньої характеристики випрямляча визначається значеннями внутрішніх опорів обмотки трансформатора, випрямляча, фільтра і характером навантаження.*

Якщо в випрямній пристрій включено фільтр, то залежність $U_{cp} = f(I_{cp})$ змінюється. Зменшення напруги U_{cp} випрямляча з ємнісним фільтром відбувається більш різко, ніж без нього. Це пояснюється тим, що зі збільшенням струму навантаження, окрім причин, через які зменшувалася напруга U_{cp} у випрямлячі без фільтра, накладається зниження напруги U_{cp} , викликане зменшенням постійної часу $\tau = R_n C$ разрядки конденсатора C через зменшення опору R_n .

Випрямлена напруга при холостому ході випрямляча з П-образним CLC-фільтром така ж сама, як у випрямляча з ємнісним фільтром, тобто дорівнює ЕРС U_{2m} , однак зниження напруги зі збільшенням струму навантаження випрямляча з CLC-фільтром відбувається в меншому ступені.

Порядок виконання роботи

Завдання 1. Завантажити файл 22.8.ms10.

1.1. Підготувати схему для проведення досліджень. Із цією метою:

- встановити параметри компонентів схеми, наведені на рис. 19.8: амплітуду ЕРС джерела напруги $E_{1m} = 14,142$ В (діюче значення $E_1 = 10$ В), частоту ЭДС $f = 50$ Гц, початковий кут зсуву фази $\Psi_e = 0$;

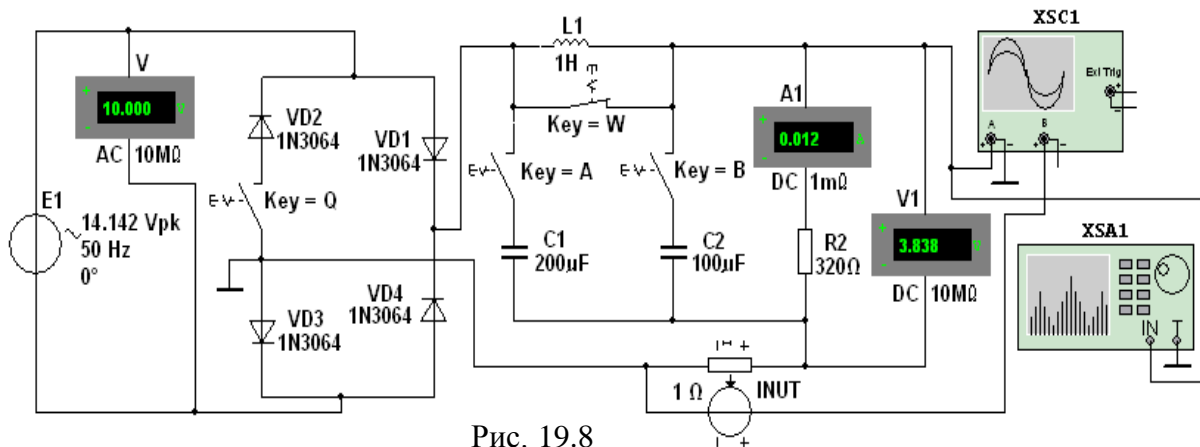


Рис. 19.8

1.2. Провести моделювання процесів, що відбуваються в однополуперіодному випрямлячі.

– осцилограми напруг u_n та струму i_e однопівперіодного випрямляча з CLC-фільтром показано на рис. 19.9, в;

– розрахувати коефіцієнти пульсацій q_n , q_{n1} , q_{n2} вихідної напруги і коефіцієнти згладжування k_{c1} і k_{c2} однопівперіодного випрямляча; занести їх значення до табл. 19.1;

Таблиця 19.1

Тип випрямляча	Встановлено	Виміряно				Розраховано	
		U_{2m} , В	U_{cp} , В	I_{cp} , мА	$U_{m.oz}$, В	Коефіцієнт пульсації	Коефіцієнт згладжування
Однополуперіодний - без фільтра	Ключ W замкнений; ключі Q, A і B розімкнуті					$q_n =$	Нет
– з C-фільтром	Ключі W і A замкнуті; ключі Q і B розімкнуті	—				$q_{n1} =$	$k_{c1} = q_n/q_{n1} =$
– з CLC-фільтром	Ключі Q і W розімкнуті; ключі A і B замкнуті	—				$q_{n2} =$	$k_{c2} = q_n/q_{n2} =$

1.3. За результатами вимірювань побудувати в одному масштабі (на одному малюнку) вольтамперні характеристики $U_{cp}(I_{cp})$ однопівперіодного випрямляча без згладжувального фільтра і з CLC-фільтром (див. рис. 19.9).

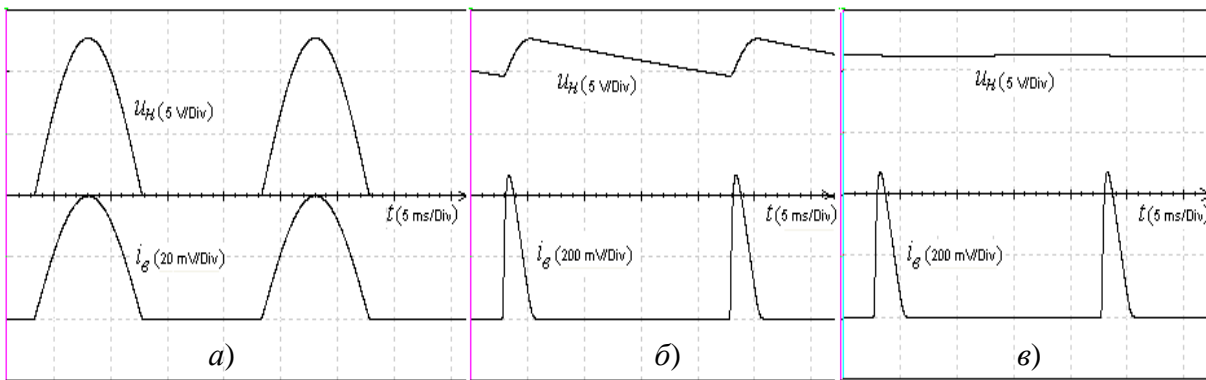


Рис. 19.9

Завдання 2. Дослідити схему двухполуперіодного (мостового) некерваного випрямляча при роботі без згладжувального фільтру і з фільтрами С - і CLC-типу.

Таблиця 19.2

Тип випрямляча а	Встановлено	Виміряно									
		$R_2 = 2 \text{ кОм}$		600 Ом		320 Ом		100 Ом		50 Ом	
		$U_{cp}, \text{ В}$	$I_{cp}, \text{ мА}$	$U_{cp}, \text{ В}$	$I_{cp}, \text{ мА}$	$U_{cp}, \text{ В}$	$I_{cp}, \text{ мА}$	$U_{cp}, \text{ В}$	$I_{cp}, \text{ мА}$	$U_{cp}, \text{ В}$	$I_{cp}, \text{ мА}$
Однополуперіодний: - без фільтра	Ключ W замкнутий; ключі Q, A B розімкнуті										
- з CLC-фільтром	Ключі Q і W розімкнуті; ключі A і B замкнуті										

– скопіювати три осцилограми вихідної напруги u_H (без фільтра та з фільтрами С- та CLC-типа) (рис. 19.10) на сторінку звіту;

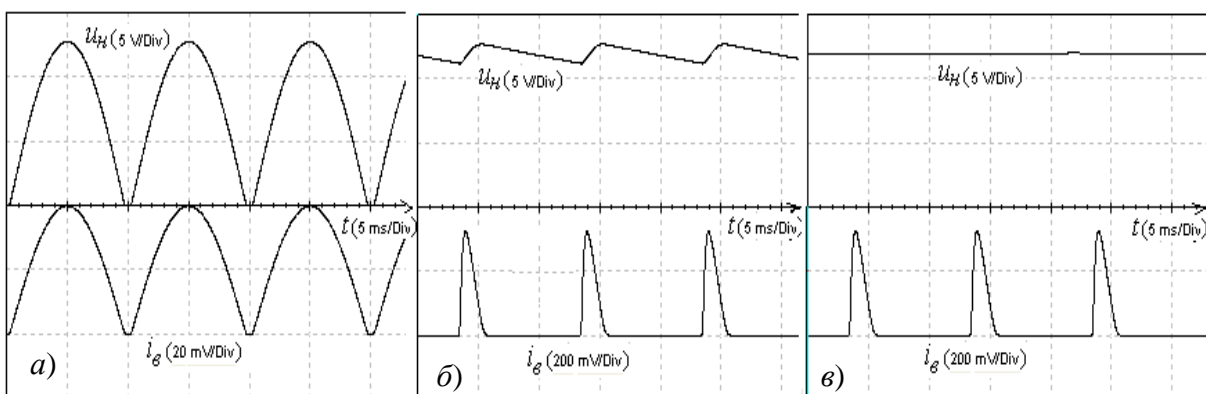


Рис. 19.10

– зняти та побудувати (за даними табл. 19.2) в одному масштабі (на одному малюнку) вольтамперні характеристики $U_{cp}(I_{cp})$ двухполуперіодного випрямляча без згладжувального фільтру і з CLC-фільтром.

Завдання 3. Зібрати схему однофазного керованого випрямляча з середньою точкою (рис. 19.11) або відкрити файл 22.12.ms10.

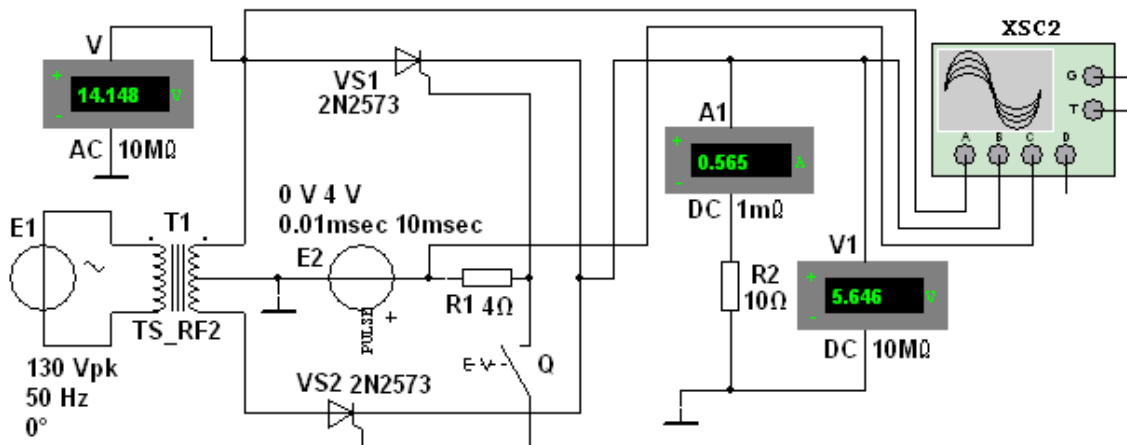


Рис. 19.11

Схема містить джерело синусоїдальної напруги $E1$; трансформатор $T1$ із середньою точкою; два тиристри $VS1$ і $VS2$; джерело $E2$ з регульованим часом затримки t_z (Delay Time) керуючих імпульсів для відмикання тиристорів (задана тривалість імпульсів (Pulse Width) $t_i = 0,2$ мс і період (Period) $T = 10$ мс); прилади для виміру й спостереження за змінами електричних величин; навантажувальний резистор $R2$. Щоб сформувати однополуперіодний керований випрямляч при роботі на навантаження $R2$, необхідно розімкнути ключ Q .

3.1. Провести моделювання процесів при роботі однополуперіодного випрямляча (табл. 19.3).

Таблиця 19.3

Тип випрямляча	Встановлено	Виміряно				Розраховано
		U_m , В	U_{cp} , В	I_{cp} , А	$U_{m.ог}$, В	Коефіцієнт пульсації
Однополуперіодний	Ключ Q розімкнений					$q_{n1} =$
Двополуперіодний	Ключ Q замкнений					

3.2. Провести моделювання процесів в однополуперіодному керованому випрямлячі:

Таблиця 19.4

Встановлено	Виміряно												
	$t = 0,2$ мс		2 мс		4 мс		6 мс		8 мс		10 мс		
	U_{cp} , В	I_{cp} , А	U_{cp} , В	I_{cp} , А	U_{cp} , В	I_{cp} , А	U_{cp} , В	I_{cp} , А	U_{cp} , В	I_{cp} , А	U_{cp} , В	I_{cp} , А	
Ключ Q розімкнений													

– зняти і побудувати регулюючу характеристику $I_{cp}(\alpha)$ випрямляча, послідовно задаючи час затримки $t_z = 0,2; 2; 4; 6; 8$ і 10 мс імпульсів керування

u_y генератора **E2** та вимірюючи для заданих значень t_3 (відповідних кутів відпирання α) струм I_{cp} навантаження;

– **скопіювати** осцилограми напруг u_n на навантаженні при $t_3 = 4$ и 8 мс на сорінку звіту.

Контрольні питання

1. Випрямлячі, їх характеристики і види.
2. Основні параметри випрямлячів.
3. Некеровані випрямлячі, переваги і недоліки.
4. Керовані випрямлячі, регульовальна характеристика.
5. Згладжуючі фільтри, види та характеристики.
6. Зовнішні характеристики випрямлячів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Богданов І. Т. Фізичні основи електротехніки : Навчальний посібник + CD / І. Т. Богданов. – К. : «Четверта хвиля», 2007. – 268 с.
2. Вартабедян В. А. Загальна електротехніка : навч. посібник / В. А. Вартабедян. – Київ : Вища школа, 1986. – 215 с.
3. Електротехніка : Навчальний посібник для самостійної роботи студентів / В. Г. Данько, В. І. Милых, А. К. Черкасов, В. Ф. Боллюх. – Киев : УМК ВО, 1990. – 264 с.
4. Зайцев В. Е. Электротехника. Электроснабжение, электротехнология и электрооборудование строительных площадок : учеб. пособие для студ. сред. проф. образования/ В. Е. Зайцев, Т. А. Нестерова. – 5-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 300 с.
5. Иванов И. И. Электротехника : лабораторные работы : учеб. пособие / И. И. Иванов. – Київ : Вища школа, 1982. – 250 с.
6. Иванов И. И. Электротехника : учеб. пособие / И. И. Иванов. – Москва : Высшая школа, 1984. – 500 с.
7. Калугін Н. І. Охорона праці в загальноосвітній школі / Н. І. Калугін, Ю. Б. Плотніков. – Київ : Радянська школа, 1980. – 125 с.
8. Касаткин А. С. Электротехника / А. С. Касаткин, М. В. Немцов. – М. : Высшая школа. 2002. – 542 с.
9. Методика викладання у вищій школі : навчальний посібник / О. В. Малихін, І. Г. Павленко, О. О. Лаврентьева, Г. І. Матукова. – Сімферополь : ДІАЙП, 2011. – 224 с.
10. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін: «Електротехніка, основи електроніки та мікропроцесорної техніки» та «Основи електротехніки та електроніки» для студентів напрямів для студентів напрямів 0902 – Інженерна механіка, 0903 – Гірництво, 0707 – Геологія (Розділ «Електричні кола») / Упорядн.: Д. В. Ципленков, С. І. Федоров, О. В. Остапчук. – Д. : НГУ. – 2008. – 41 с.
11. Основи технічної електроніки : у 2-х кн. : підручник / за ред. Гумен М. Б. – Київ : Вища школа, 2007. – 300 с.
12. Паначевний Б. І. Загальна електротехніка. Теорія і практикум : підручник / Б. І. Паначевний. – Київ : Каравела, 2004. – 300 с.
13. Паначевний Б. І. Курс електротехніки : підручник / Б. І. Паначевний. – Харків : Торнадо, 1999. – 280 с.
14. Петрицин І. Застосування комп'ютерного моделювання у процесі електротехнічної підготовки майбутнього вчителя технологій / І. Петрицин // Молодь і ринок. – 2017. – № 1. – С. 60-64.
15. Практикум з електротехніки / ред. П. М. Борко. – Київ : Радянська школа, 1988. – 280 с.
16. Синдеев Ю. Г. Электротехника с основами электроники : учеб. Пособие / Ю. Г. Синдеев. – 15-е изд., стереотипное – Ростов н/Д : Феникс, 2013. – 250 с.
17. Шкрабець Ф. П. Електротехніка, основи електроніки та мікропроцесорної техніки: Навчальний посібник / Шкрабець Ф.П., Ципленков Д.В., Куваєв

- Ю.В. та ін. – Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2004. – 515 с.
- 18.Электрические измерения / Р. М. Демидова-Панферова, В. Н. Малиновский, В. С. Попов и др. – М. : Энергоиздат, 1983. – 392 с.
- 19.Multisim [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://сhem.net/software/multisim.php> – Назва з екрану.
- 20.Multisim. Руководство пользователя [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.yaruga.belnet.ru/icq/SimSxem/multisim_rus.pdf. – Назва з екрану.