МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА
Електричні кола

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

Київ 2024

ББК 31.261.8
Е50

Укладачі: І. М. Кравченко, асистент;
О. П. Остапущенко, канд. техн. наук, доцент

Рецензент С. В. Іносов, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск Л. І. Мазуренко, д-р техн. наук, професор

Затверджено на засіданні кафедри електротехніки та електроприводу, протокол № 6 від 14 березня 2023 року.

В авторській редакції.

Е50 **Електротехніка** та електроніка. Електричні кола : методичні вказівки до виконання лабораторних робіт / уклад.: І. М. Кравченко, О. П. Остапущенко – Київ: КНУБА, 2024. – 36 с.

Містять загальні вимоги до виконання лабораторних робіт, рекомендації з обробки результатів експериментів та оформлення протоколів, техніки безпеки під час виконання лабораторних робіт, порядок виконання лабораторних робіт. До складу методичних вказівок увійшли лабораторні роботи, які передбачені робочою програмою з дисципліни.

Призначено для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» денної та заочної форм навчання.

© КНУБА, 2024

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Метою виконання студентами лабораторних робіт згідно з нормами робочої навчальної програми з дисципліни «Електротехніка та електроніка» під час вивчення розділу «Електричні кола» є забезпечення теретичної і практичної підготовки в обсязі, потрібному для того, щоб майбутні кваліфіковані спеціалісти будівельної індустрії мали знання електротехнічних законів, принципів електропостачання, орієнтувалися в енергозбереженні і могли вибирати потрібні механізми із сучасними електроприводами для виконання технологічних завдань у реальному виробничому процесі.

У методичних вказівках наведено лабораторні роботи за темою «Електричні кола». Кожна робота складається з теоретичної частини, опису лабораторної установки, рекомендацій щодо виконання роботи та розрахунків. Лабораторні роботи охоплюють такі теми: електричні кола постійного струму, лінія передачі постійного струму, однофазні електричні кола з паралельним і послідовним з'єднанням елементів, трифазні електричні кола зі з'єднанням споживачів зіркою і трикутником. Лабораторні роботи підібрані таким чином, щоб максимально ознайомити майбутніх спеціалістів із принципом дії електричного обладнання приводів будівельних машин.

Лабораторні роботи побудовані так, щоб майбутній спеціаліст отримав уяву про процеси, які відбуваються в електричних колах, про принцип дії вимірювальних приладів, про перетворення електрики в інші види енергії (теплову, механічну); розібрався, як вибирається переріз провідників і кабелів для відповідного навантаження; ознайомився з методами поліпшення коефіцієнта потужності електричної установки, що дає суттєву економію електричної енергії не тільки в галузі будівництва та будівельної індустрії.

Набуті знання дадуть майбутнім спеціалістам краще зрозуміти процеси в однофазних і трифазних колах змінного струму; принципи ощадного використання електричного обладнання, машин, трансформаторів; шляхи впровадження енергозберігальних технологій.

ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

До роботи в лабораторіях електротехніки й електроприводу допускаються студенти, які засвоїли відповідні розділи теоретичного курсу, пройшли інструктаж з техніки безпеки та підготували протоколи для виконання лабораторної роботи.

Академічну групу розподіляють по окремих бригадах по три-чотири студента в кожній.

Студенти, які вперше працюють в електротехнічній лабораторії, мають ознайомитись із правилами поведінки іта технікою безпеки під час виконання лабораторних робіт і постановити підпис у відповідному журналі.

Студенти зобов'язані завчасно підготуватися до лабораторного заняття: ознайомитися з інструкцією до роботи, підготувати протокол і самостійно відповісти на запитання, наведені в інструкції.

Протокол має містити такі пункти: назва лабораторної роботи, її мета, схема лабораторної установки, таблиці спостережень, а також графіки, діаграми та висновки.

Студенти мають пред'явити викладачу протоколи для перегляду й відповісти на запитання, після чого бригада може приступати до роботи. Студенти, які виявилися непідготовленими, до занять не допускаються.

Закінчивши дослідну частину роботи, кожний студент пред'являє викладачу для підпису протокол із результатами досліджень. Якщо дані спостережень є незадовільними або протокол не був підписаний керівником, робота вважається невиконаною.

РЕКОМЕНДАЦІЇ З ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ТА ОФОРМЛЕННЯ ПРОТОКОЛУ

Результати вимірювань під час виконання лабораторної роботи мають бути занесені у відповідні таблиці. Усі схеми, таблиці і графіки мають відповідати стандартам. Елементи електричних схем та їхні позначення виконуються за допомогою креслярських інструментів або спеціальної лінійки з елементами електричних і функціональних схем, позначення яких відповідають вимогам держстандартів. Лабораторні роботи можуть бути виконані в електронній формі.

Графіки та векторні діаграми обов’язково викреслюються в масштабі. В одних координатних осях допускається побудова декількох

графіків. Для побудови криволінійного графіка потрібно мати не менше п’яти точок.

Після виконання практичної частини, розрахунків і побудови графіків потрібно зробити висновки з результатів досліджень, у яких показати відповідність даних експериментів теоретичним положенням, а також причини можливих похибок.

Під час експлуатації електрообладнання в процесі виконання лабораторних робіт слід пам'ятати про техніку безпеки.

ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Виробничі приміщення за ступенем небезпеки ураження струмом поділяються на три категорії залежно від їх вологості, наявності струмопровідного пилу, ізолюючої підлоги, кількості металевого обладнання тощо: без підвищеної небезпеки, з підвищеною небезпекою та особливо небезпечні.

Незважаючи на те, що лабораторії кафедри електротехніки та електроприводу належать до категорії приміщень без підвищеної небезпеки, потрібно пам'ятати, що багато елементів лабораторної установки, до яких можливе доторкання, перебувають під напругою. Тому в лабораторії треба виявляти обережність і дотримуватися таких правил техніки безпеки:

– беззаперечно виконувати всі вказівки викладачів і лаборантів; бути дисциплінованими та уважними; перебувати безпосередньо біля дослідної лабораторної установки;

– забороняється підходити до інших установок, розподільних щитів і пультів і робити на них будь-які ввімкнення; вмикати схему в мережу, якщо хтось торкається її неізольованої струмопровідної частини;

– складання схеми виконувати так, щоб проводи не натягались і не переплітались;

– не дозволяється вмикати живлення до перевірки викладачем правильності з’єднань елементів схеми;

– у разі виконання будь-яких змін у зібраній схемі потрібно, щоб перед вмиканням її ще раз перевірив керівник. Робити перемикання в схемі, що перебуває під напругою, суворо забороняється;

– забороняється торкатись оголених струмопровідних частин схеми, що перебувають під напругою;

– забороняється проводити будь-які ввімкнення на головному розподільному щиті;

– забороняється ставити або замінювати запобіжники на щитках без дозволу керівника;

– у всіх випадках виявлення несправного електроустаткування і вимірювальних приладів треба негайно звернутися до викладача;

– у випадку нещасного випадку негайно вимкнути лабораторну установку, повідомити викладача, надати потерпілому першу допомогу та викликати лікаря.

У разі порушення зазначених вище правил з техніки безпеки студент може бути усуненим від роботи і притягнутим до дисциплінарної відповідальності.

Лабораторна робота № 1
ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІНІЇ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи

1. Дослідити вплив струму навантаження на напругу в кінці лінії передачі.
2. Дослідити вплив опору лінії передачі на напругу в кінці лінії передачі.
3. Навчитися розраховувати втрати напруги в лінії передачі.
4. Навчитися розраховувати мінімальний переріз проводів лінії передачі за припустимою величиною спаду напруги.

Основні теоретичні положення

Під час передачі електричної енергії у проводах, які з'єднують джерело енергії і споживача, під час проходження струму I виникає спад напруги ΔU

$$\Delta U = I \cdot R_л$$

де $R_л$ – опір обох проводів лінії передачі.

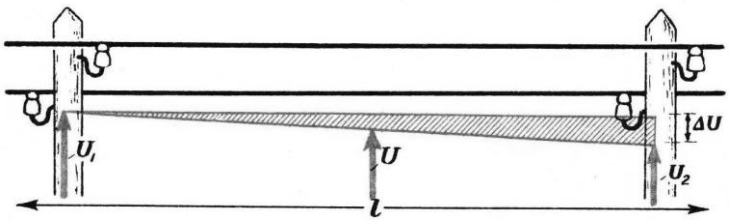


Рис. 1.1. Лінія передачі постійного струму

Напруга на початку лінії U_1 (рис.1.1–1.2) за другим законом Кірхгофа дорівнює:

$$U_1 = I \cdot R_л + I \cdot R_{нав.} = \Delta U + U_2 \ ,$$

де U_2 – напруга в кінці лінії передачі (на затискачах споживача);

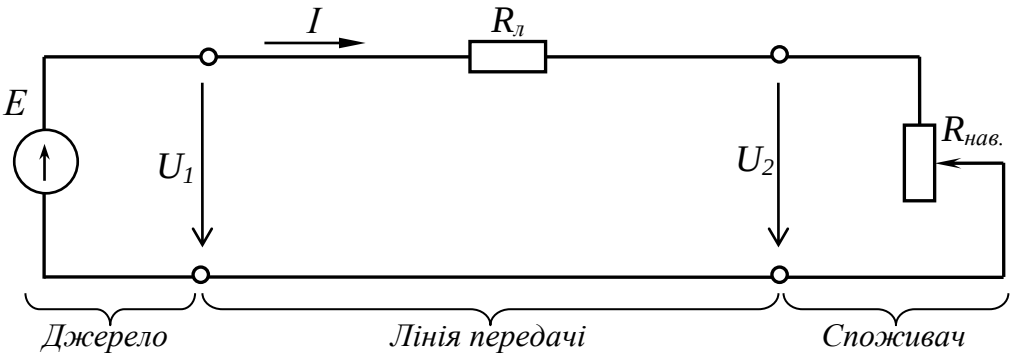


Рис. 1.2. Схема електрична лінії передачі

$R_{нав.}$ – опір навантаження.

Струм, який проходить по лінії передачі споживачу, визначається:

$$I = \frac{U_1}{R_л + R_{нав.}}.$$

Напругу на затискачах споживача можна визначити:

$$U_2 = I \cdot R_{нав.} = U_1 - I \cdot R_л.$$

Струм у лінії передачі і напруга U_2 змінюється залежно від режиму роботи споживача. Розрізняють такі режими роботи електричного кола: номінальний, холостого ходу, короткого замикання та погоджений.

Номінальним називають такий режим електричного кола, за якого струм, що проходить по елементах кола, дорівнює номінальному значенню струму для цих елементів. Номінальні параметри зазначаються в довідниках, технічній документації або на самих елементах. У номінальному режимі величина опору навантаження має дорівнювати номінальному значенню $R_{нав.} = R_{ном.}$. Тоді за номінальної напруги $U_{1н}$ будуть номінальними струм $I_{ном.}$, напруга $U_{2ном.}$ і потужності $P_{1ном.}$ та $P_{2ном.}$, які визначаються за формулами:

$$P_{1ном.} = U_{1ном.} \cdot I_{ном.}, \qquad P_{2ном.} = U_{2ном.} \cdot I_{ном.}.$$

Коефіцієнт корисної дії: $\eta_{ном.} = \dfrac{P_{2ном.}}{P_{1ном.}}$.

Режим «холостого ходу» встановлюється, коли споживач відімкнений, тобто опір навантаження $R = \infty$, при цьому струм у лінії передачі відсутній:

$$I_{xx} = \frac{U_1}{R_л + \infty} = 0.$$

Напруга на споживачі дорівнює напрузі на вході лінії передачі:

$$U_{2xx} = U_1 - I_{1xx} \cdot R_л = U_1.$$

Втрати напруги і потужності в режимі холостого ходу відсутні:

$$P_{2xx} = U_{2xx} \cdot I_{1xx} = 0.$$

Режим «короткого замикання» лінії передачі виникає, коли $R_{нав.}=0$, а струм у лінії передачі є набагато більшим за номінальну величину і залежить від величини опору проводів лінії передачі:

$$I_{к.з.} = \frac{U_1}{R_л + 0} = \frac{U_1}{R_л}.$$

Напруга споживача буде дорівнювати $U_2=0$, $U_{2к.з.} = I_{к.з.} \cdot R_{нав.} = 0$.

Потужність споживача також дорівнюватиме нулю $P_{2к.з.} = U_{2к.з.} \cdot I_{к.з.} = 0$ і енергія джерела витрачатиметься на нагрівання проводів лінії передачі. Потужність, витрачена на нагрівання, дорівнюватиме:

$$P_{1к.з.} = U_1 \cdot I_{к.з.} = I^2_{к.з.} \cdot R_л.$$

Погодженим режимом називають такий режим, коли потужність споживача за заданого опору лінії передачі буде максимальною. Такий режим досягається в разі відповідного співвідношення (погодженості) величин опорів лінії передачі й навантаження, тобто коли $R_{нав.}= R_л$. Струм у лінії дорівнюватиме:

$$I_{пог.} = \frac{U_1}{R_л + R_{нав.}} = \frac{U_1}{2 \cdot R_л} = \frac{I_{к.з.}}{2},$$

а напруга на затискачах споживача буде: $U_{2пог.} = \frac{U_1}{2}$,

коефіцієнт корисної дії лінії передачі: $\eta_{пог.} = \frac{P_{2пог.}}{P_{1пог.}} = \frac{U_{2пог.} \cdot I_{пог.}}{U_1 \cdot I_{пог.}} = 0{,}5$.

Щоб отримати найбільший коефіцієнт корисної дії лінії передачі за заданого навантаження, потрібно зменшити опір проводів лінії передачі, тобто зменшити втрати напруги до припустимої величини ΔU%.

Опір проводів лінії передачі визначається за формулою:

$$R_л = \frac{2 \cdot l}{\gamma \cdot S},$$

де l – довжина лінії передачі (м); γ – питома електропровідність матеріалу проводів (для міді – 58,8 м/Ом мм^2, алюмінію – 36,0 м/Ом·мм^2, заліза – 9,7 м/Ом·мм^2); S – площа поперечного перерізу провідників (мм^2).

Для нормальної роботи споживачів зменшення напруги U_2 не має перевищувати допустимого відхилення ΔU%. Величина ΔU% наводиться у довідниках. Наприклад, для розподільної мережі освітлення відносна величина спаду напруги:

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_{2ном.}} \cdot 100 \le 2{,}5\%.$$

Знаючи допустимий спад напруги, можна розрахувати мінімальний переріз проводів лінії передачі (мм^2):

$$S = \frac{2 \cdot 100 \cdot I \cdot l}{\gamma \cdot \Delta U\% \cdot U_2} = \frac{2 \cdot 100 \cdot P \cdot l}{\gamma \cdot \Delta U\% \cdot U_2^2},$$

де P – потужність приєднаних споживачів (Вт).

Контрольні запитання

1. Які причини призводять до втрат напруги в лінії передачі?
2. Як змінюється η зі збільшенням навантаження?
3. Як зміниться напруга на навантаженні споживача:
   а) зі збільшенням струму споживача;
   б) зі збільшенням опору лінії передачі?

Проведення досліду

1. Скласти електричне коло, схему якого зображено на рис. 1.3.

Схема є моделлю лінії передачі (рис. 1.1, 1.2). Опором резистора $R_л$ встановлюються параметри двох проводів лінії передачі, тобто довжина й переріз. Резистор $R_{нав}$ імітує навантаження, причому чим більшим є його опір, тим меншим є навантаження, і, навпаки, чим меншим є його опір, тим більшим є навантаження. Навантаження контролюють за показаннями амперметра A. Вхідна і вихідна напруги лінії передачі контролюються за допомогою вольтметрів відповідно V1 і V2.

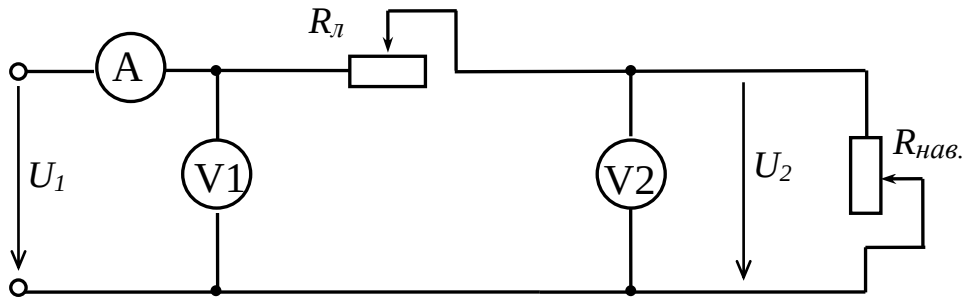


Рис. 1.3. Схема електрична лабораторної установки

2. Спочатку встановити повзун резистора $R_л$ у таке положення, щоб опір лінії передачі був максимальним. Споживач вимкнути.

3. На вхід лінії передачі подати напругу, величину якої узгодити з керівником занять. Визначити струм I, напругу на вході лінії передачі U_1 та напругу споживача U_2 (потрібно стежити, щоб на вході лінії передачі напруга була постійною) Показання відповідних приладів записати в таблицю даних (табл. 1.1).

4. Поступово збільшуючи навантаження, виконати аналогічні вимірювання (для проведення досліду достатньо виміряти 5-6 точок).

5. Зменшити опір лінії передачі і виконати експерименти, які описані в п. 3. Результати спостережень записати в табл. 1.1.

Таблиця 1.1.

№ з/п.	Дані спостережень			Результати обчислень						
	I	U_1	U_2	P_1	P_2	ΔP	ΔU	$R_л$	$R_{нав.}$	η
	А	В	В	Вт	Вт	Вт	В	Ом	Ом	%
Максимальний опір лінії передачі $R_{л1}$										
х.х.										
1…5										
Опір лінії передачі $R_{л2} < R_{л1}$ (≈ 0,5 від $R_{л1}$)										
х.х.										
1…5										

Опрацювання результатів досліду

1. Розрахувати для всіх випадків навантаження потужності P_1, P_2, втрату потужності ΔP, втрату напруги ΔU в лінії передачі, опори лінії передачі $R_л$ та споживача $R_{нав.}$, коефіцієнт корисної дії лінії передачі η. Результати обчислень записати в табл. 1.1.

2. На одному рисунку для обох опорів лінії передачі побудувати в масштабі графіки залежностей: $U_2 = f(I)$, $\Delta U = f(I)$, $\Delta P = f(I)$, $\eta = f(I)$.

3. Зробити висновки до кожного графіка й порівняти першу і другу лінії передачі.

Лабораторна робота № 2
ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩА РЕЗОНАНСУ НАПРУГ

Мета роботи

1. Дослідити нерозгалужене електричне коло з котушкою і конденсатором.
2. Вивчити умови виникнення резонансу напруг та явища, які супроводжують резонанс.
3. Навчитися будувати за даними дослідів векторні діаграми.

Основні теоретичні положення

1. Якщо в електричне коло послідовно з котушкою індуктивності, яка має активний $R_к$ та реактивний x_L опори, ввімкнути конденсатор з ємнісним опором x_C, то струм у такому колі визначають за формулою (А):

$$I = \frac{U}{\sqrt{R_к^2 + (x_L - x_C)^2}}.$$

Знаменник у цій формулі $Z = \sqrt{R_к^2 + (x_L - x_C)^2}$ називають повним опором електричного кола з послідовним з'єднанням *R*, *L* і *C*.

Величину кута зсуву фаз між напругою і струмом визначають таким чином:

$$\varphi = \operatorname{arctg}\frac{x}{R} = \operatorname{arctg}\frac{x_L - x_C}{R}.$$

Залежно від того, який з реактивних опорів є більшим, у колі переважатиме індуктивний або ємнісний характер навантаження. Якщо $x_L > x_C$, кут зсуву фаз φ буде додатним і напруга буде випереджатиме струм на кут φ, і навпаки, якщо $x_L < x_C$, то кут φ буде від'ємним, тобто напруга відставатиме від струму (рис. 2.1).

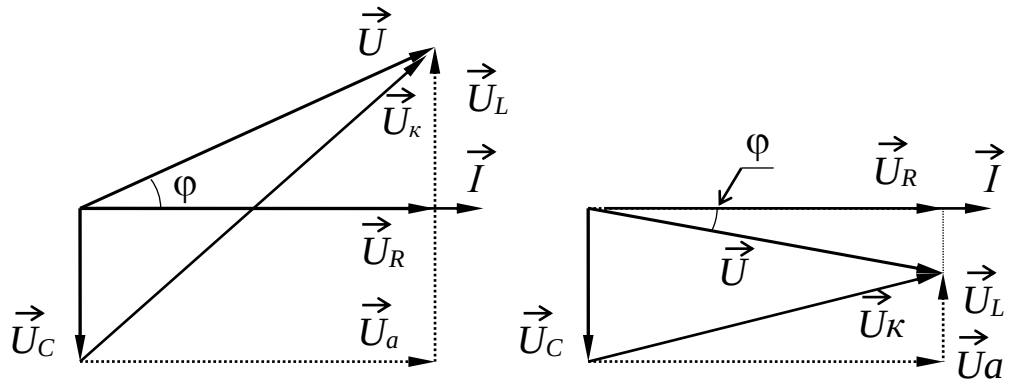


Рис. 2.1. Векторні діаграми

І тільки у випадку, коли $x_L = x_C$, виникає особливий режим в електричному колі, який називають резонансом напруг. Резонансу напруг можна досягти, змінюючи одну з трьох величин: індуктивність L, ємність C або частоту струму f. З умови резонансу $x_L=x_C$ (або $\omega L=1/\omega C$) можна знайти значення L, C, f, за якого виникає резонанс.

Частоту $f_{рез.} = 1/\left(2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}\right)$ називають резонансною або власною частотою електричного кола. Коли настає резонанс напруг, власна частота кола $f_{рез.}$ дорівнює частоті вимушених коливань напруги в мережі.

У разі резонансу напруг загальний опір зменшиться й дорівнюватиме активному опору:

$Z = \sqrt{R_к^2 + (x_L - x_C)^2} = R_к$, а струм $I_{рез.} = \dfrac{U}{R_к}$ буде найбільшим і збігатиметься з напругою за фазою $\varphi = \mathrm{arctg}\dfrac{x_L - x_C}{R_к} = 0$.

Діючі значення напруг на індуктивності та ємності в разі резонансу:

$$U_{L\,рез.} = I_{рез.} \cdot x_L = U \cdot \frac{x_L}{R_к}, \quad U_{C\,рез.} = I_{рез.} \cdot x_C = U \cdot \frac{x_C}{R_к}$$

будуть рівними за величиною між собою. З рівнянь видно, що за умови $R_к < x_L$ і $R_к < x_C$ напруги на реактивних елементах будуть більшими за напругу U, підведеною до електричного кола. Ці напруги можуть бути небезпечними і призвести до пошкодження приладів і апаратів, увімкнених у коло.

Загальна потужність у разі резонансу дорівнюватиме активній потужності:

$$S = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2} = I^2 \cdot R_к = P,$$

а коефіцієнт потужності: $\cos\varphi = P/S = 1$.

Це означає, що з мережі надходить тільки енергія, потрібна для покриття втрат на активному опорі. Але, незважаючи на те, що реактивна потужність усього кола дорівнює нулю (Q_L-Q_C=0), запас енергії в магнітному полі котушки й електричному полі конденсатора існує, тому що $x_L \neq 0$ і $x_C \neq 0$, а $Q_L=Q_C=I^2_{рез.}\ x_L=I^2_{рез.}\ x_C$. Котушка й конденсатор обмінюються між собою енергією, що і призводить до збільшення напруг на окремих ділянках кола.

Контрольні запитання

1. Записати закон Ома для визначення струму в досліджуваному електричному колі.
2. За яких умов виникає явище резонансу напруг? Якими способами можна його досягти?
3. Як впливає зміна частоти прикладеної синусоїдальної напруги на величину реактивного опору конденсатора й котушки індуктивності?
4. Від чого залежить величина кута зсуву фаз між напругою і струмом?
5. Чим небезпечне явище резонансу напруг?
6. Пояснити принцип побудови векторних діаграм.

Проведення досліду

1. Скласти електричне коло, схему якого зображено на рис. 2.2.
2. Враховуючи можливість виникнення великих напруг на окремих ділянках електричного кола, дослідження проводити за напруги на затискачах блока живлення $U \leq 50$ В.

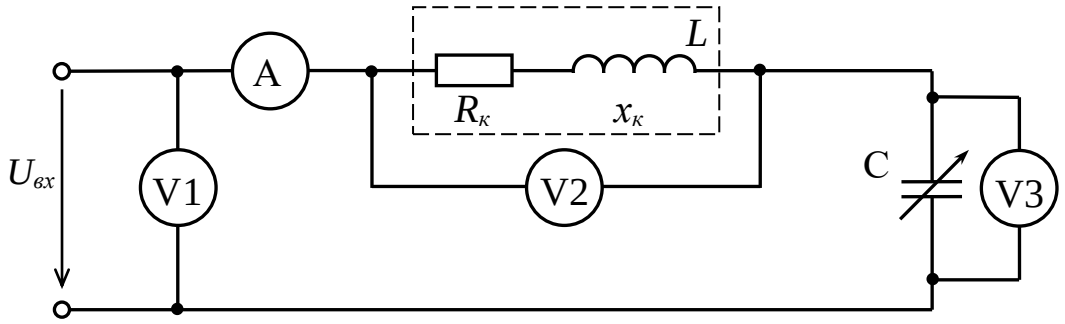


Рис. 2.2. Схема лабораторної установки

3. Змінюючи величину ємності в межах від 2 до 16 мкФ, виміряти величини, зазначені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Дані вимірювань					Результати обчислень					
C	I	U	U_C	$U_к$	x_C	Z	P	S	cosφ	φ
мкФ	А	В	В	В	Ом	Ом	Вт	В А	-	град.

Особливу увагу звернути на момент резонансу напруги, який фіксується за максимальним значенням струму в електричному колі. Під час проведення досліду підібрати значення ємності, яке максимально наближається до резонансного.

4. Визначити дослідним шляхом параметри котушки індуктивності, для чого після виконання основних дослідів зібрати електричне коло відповідно до рис. 2.3.

Електричне коло з котушкою підключити спочатку до затискачів змінного струму, а потім до затискачів постійного струму та записати отримані дані в табл. 2.2 (у таблиці вказано рекомендовані значення напруги та струму).

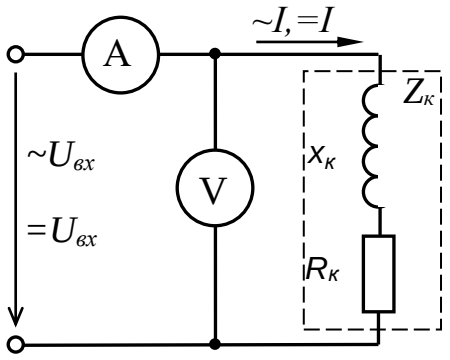


Рис. 2.3. Схема випробування *а* котушки *б*

Таблиця 2.2

Змінний струм		Постійний струм	
~*U*	~*I*	=*U*	=*I*
В	А	В	А
100,0	…	…	1,0

На підставі отриманих дослідних даних визначаємо параметри котушки індуктивності:

- $Z_к = \frac{\approx U}{\approx I}$ – повний опір котушки (Ом);
- $R_к = \frac{= U}{= I}$ – активний опір котушки (Ом);
- $x_к = \sqrt{Z_к^2 - R_к^2}$ – реактивний опір котушки (Ом);
- $L_к = \frac{x_к}{\omega} = \frac{x_к}{2\pi \cdot f} \cdot 10^3$ – індуктивність котушки (мГн);
- з умов резонансу $x_C = x_к$ визначимо $C_{рез.} = \frac{1}{\omega \cdot x_C} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot x_C} \cdot 10^6$ (мкФ).

Опрацювання результатів досліду

1. За даними вимірювань U_C та I обчислити значення ємнісного опору x_C.

2. За даними параметрів котушки індуктивності розрахувати значення ємності $C_{рез.}$, за якої виникає резонанс напруг.

3. Обчислити значення повного опору Z і впевнитися, що в разі резонансу опір Z буде мінімальним.

4. Розрахувати активну P, загальну S потужності, коефіцієнт потужності cosφ і кут зсуву φ. Зробити висновки щодо цих величин.

5. Побудувати в масштабі залежності: $I = f(C)$, $U_C = f(C)$, $U_L = f(C)$, $\cos\varphi = f(C)$, $\varphi = f(C)$.

6. Побудувати в масштабі векторні діаграми напруг і струмів для випадків $C < C_{рез.}$, $C = C_{рез.}$, $C > C_{рез.}$ за даними вимірювань.

7. За вимогою викладача побудувати трикутники опорів та потужностей в масштабі для випадків $C < C_{рез.}$, $C = C_{рез.}$, $C > C_{рез.}$, зробити висновки.

Лабораторна робота № 3
ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩА РЕЗОНАНСУ СТРУМІВ

Мета роботи

1. Вивчити умови виникнення явища резонансу струмів і дослідити режими роботи електричного кола в разі резонансу.
2. Навчитися підвищувати коефіцієнт потужності споживача до заданої величини.
3. Навчитися будувати за даними дослідів векторні діаграми.

Основні теоретичні положення

Явище резонансу струмів може виникнути в електричному колі, коли паралельно до опору індуктивного характеру (котушки) включити споживач з ємнісним опором (конденсатор) (рис. 3.1,а).

Для проведення аналізу роботи та розрахунків розгалужених кіл котушку індуктивності доцільно зображувати еквівалентною паралельною схемою заміщення з відповідними провідностями $g_к$ та b_L (рис. 3.1,б) де:

$$g_к = \frac{R_к}{R_к^2 + x_L^2}, \quad b_L = \frac{x_L}{R_к^2 + x_L^2}.$$

Явище резонансу струмів виникає за умови, якщо індуктивна b_L і ємнісна провідності b_C паралельно з'єднаних споживачів будуть рівними між собою, тобто:

$$b_L = b_C\,; \quad \frac{\omega \cdot L}{g^2 + (\omega \cdot L)^2} = \omega \cdot C\,.$$

Для повного струму в нерозгалуженій частині кола маємо:

$$I = U \cdot Y = U \cdot \sqrt{g_к^2 + (b_L - b_C)^2}\,.$$

За резонансу струмів $I_{рез.} = U \cdot g_к = I_a$, загальний струм буде найменшим і дорівнюватиме активній складовій загального струму. Кут зсуву фаз між напругою і загальним струмом за резонансу дорівнюватиме нулю:

$$\varphi = \mathrm{arctg}\frac{b}{g} = \mathrm{arctg}\frac{b_L - b_C}{g_к} = 0\,.$$

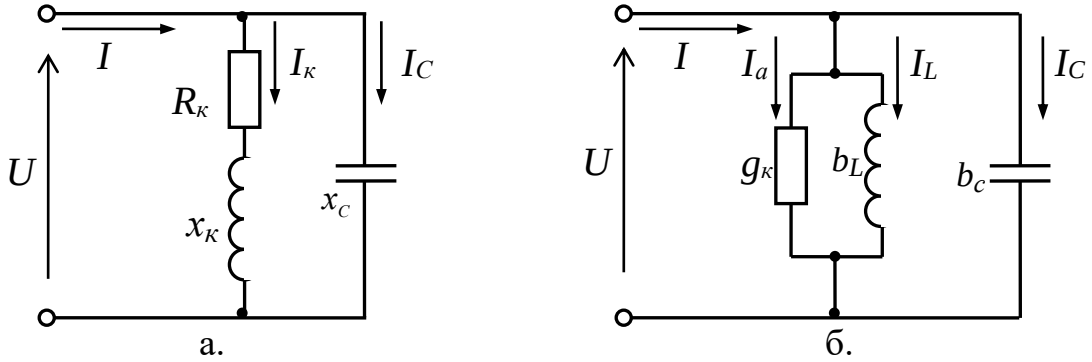


Рис. 3.1. Схеми з'єднання споживачів

У разі рівності реактивних провідностей будуть рівними між собою відповідні струми (А): $I_L = U \cdot b_L$, $I_C = U \cdot b_C$, $I_L = I_C$.

Оскільки реактивні струми I_L і I_C є зворотними за фазою, то вони компенсуються і в нерозгалуженій частині кола реактивних струмів немає. Реактивна складова загального струму за резонансу струмів дорівнює нулю $I_x = I_L - I_C = 0$.

На практиці цю властивість використовують в одному із способів підвищення коефіцієнта потужності cosφ електричних установок. За резонансу струмів коефіцієнт потужності дорівнюватиме:

$$\cos\varphi = \frac{P}{U \cdot I} = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2}} = 1.$$

Якщо cosφ=1 або близький до 1 електричні кола розвантажуються від реактивних струмів, зменшуються втрати напруги й потужності. Зі зменшенням втрат електричне коло можна більше навантажити. Чим

вищим є cosφ, тим менше споживається енергії від електростанції: $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$. Коефіцієнт потужності споживачів вважають нормальним, якщо він лежить у межах 0,85÷0,95. Якщо споживач працює з нижчим за норму коефіцієнтом потужності $\cos\varphi_1$ і його потрібно підвищити до $\cos\varphi_2$, то паралельно споживачу вмикають батарею конденсаторів, ємність якої розраховують за формулою (мкФ):

$$C = \frac{P}{2\pi \cdot f \cdot U^2} \cdot \left(\mathrm{tg}\varphi_1 - \mathrm{tg}\varphi_2\right) \cdot 10^6,$$

де P – активна потужність споживача (Вт); U – прикладена напруга (В); f – частота синусоїдального струму (Гц).

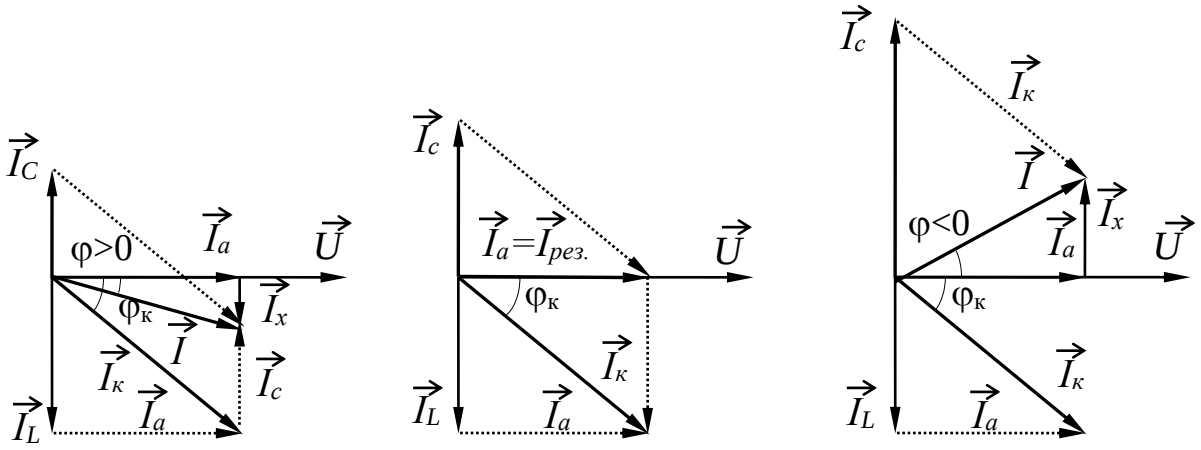


Рис. 3.2. Векторні діаграми за різних значень С

Якщо величина ввімкненої ємності C є більшою або меншою від резонансного значення $C_{рез.}$, то загальний струм збільшиться порівняно з $I_{рез.}$ і кут зсуву $\varphi \neq 0$ (рис. 3.2).

Побудову векторної діаграми слід починати з вектора напруги $\vec{U}$. Вектор активної складової струму $\vec{I}_a$ співпадає за фазою з напругою, вектор реактивного струму $\vec{I}_C$ креслимо під кутом +π/2 до вектора напруги, вектор реактивного струму $\vec{I}_L$ креслимо під кутом -π/2. Якщо знехтувати активними втратами в конденсаторі, то активна складова загального струму є активною складовою струму котушки. Тоді вектор струму $\vec{I}_{\hat{e}}$ знаходять як геометричну суму векторів $\vec{I}_a$ та $\vec{I}_L$: $\vec{I}_к = \vec{I}_a + \vec{I}_L$, а загальний струм дорівнюватиме $\vec{I} = \vec{I}_к + \vec{I}_C$.

Якщо складові струму котушки $\vec{I}_a$ та $\vec{I}_L$ невідомі, то, щоб побудувати векторну діаграму, потрібно або визначити кут φ чи $\varphi_к$, або знайти

положення векторів $\vec{I}$ та $\vec{I}_{\hat{e}}$ на площині, побудувавши методом засічок трикутник струмів, який відповідає рівнянню $\dot{I} = \dot{I}_к + \dot{I}_C$.

Контрольні запитання

1. Записати закон Ома для визначення загального струму та струмів у вітках досліджуваного електричного кола.
2. Назвіть умови, за яких в електричному колі виникає резонанс струмів.
3. Як на практиці використовується явище резонансу струмів?

Проведення досліду

1. Скласти електричне коло згідно з рис. 3.3.

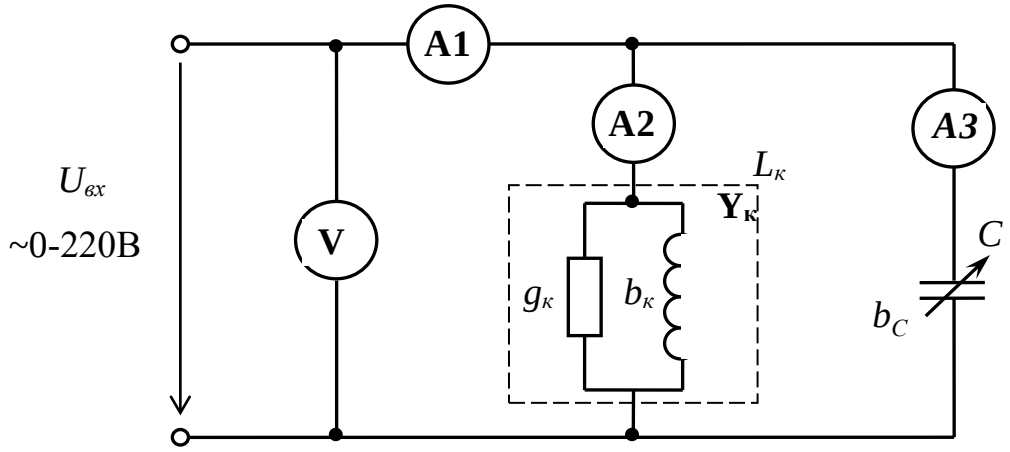


Рис. 3.3. Схема електрична лабораторної установки

2. За вказівкою викладача на вхід схеми подати задану напругу (100 … 200 В) і, змінюючи величину ємності в межах від 2 до 16 мкФ, виміряти величини, зазначені в табл. 3.1. Окремо відмітити резонанс струмів, який фіксується за найменшим значенням струму у нерозгалуженій частині кола.

Таблиця 3.1.

№ з/п	Дані вимірювань					Результати обчислень			
	U	C	I	$I_к$	I_C	P	S	cosφ	∠φ
	В	мкФ	А	А	А	Вт	В А	-	град.

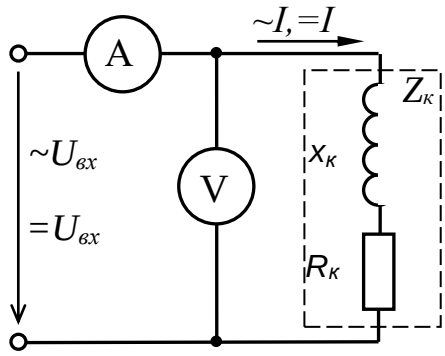


Рис.3.4. Схема випробування котушки

3. Визначити дослідним шляхом параметри котушки індуктивності, для чого після виконання основних дослідів зібрати електричне коло відповідно до рис. 3.4.

Електричне коло з котушкою підключити спочатку до затискачів змінного струму, а потім до затискачів постійного струму і записати отримані дані в табл. 3.2 (у таблиці вказано рекомендовані значення напруги та струму).

Таблиця 3.2

Змінний струм		Постійний струм	
~*U*	~*I*	=*U*	=*I*
В	А	В	А
100,0	…	…	1,0

На підставі отриманих дослідних даних визначаємо параметри котушки індуктивності:

- $Z_к = \frac{\approx U}{\approx I}$ – повний опір котушки (Ом);
- $Y_к = \frac{1}{Z_к}$ – повна провідність котушки (См);
- $R_к = \frac{=U}{=I}$ – активний опір котушки (Ом);
- $g_к = \frac{1}{R_к}$ – активна провідність котушки (См);
- $x_к = \sqrt{Z_к^2 - R_к^2}$ – реактивний опір котушки (Ом);
- $b_к = \frac{1}{x_к}$ – реактивна провідність котушки (См);
- $L_к = \frac{x_к}{\omega} = \frac{x_к}{2\pi \cdot f} \cdot 10^3$ – індуктивність котушки (мГн);

- з умов резонансу $x_C = x_к$ визначимо $C_{рез.} = \frac{1}{\omega \cdot x_C} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot x_C}$ (мкФ).

Опрацювання результатів досліду

1. За даними параметрів $R_к$ та $L_к$ котушки індуктивності розрахувати її активну $g_к$, реактивну b_L провідності та коефіцієнт потужності $\cos\varphi_к$.
2. Розрахувати значення ємності, за якої виникає резонанс струмів.
3. Обчислити значення активної потужності P, повної потужності S і коефіцієнта потужності $\cos\varphi$.
4. Побудувати в масштабі графіки залежностей $I = f(C)$, $\cos\varphi = f(C)$, $\varphi = f(C)$ та проаналізувати їх.
5. Побудувати в масштабі за даними вимірювань векторні діаграми струмів і напруг для випадків $C < C_{рез.}$, $C = C_{рез.}$, $C > C_{рез.}$.
6. За вимогою викладача побудувати трикутники провідностей і потужностей в масштабі для випадків $C < C_{рез.}$, $C = C_{рез.}$, $C > C_{рез.}$, зробити висновки.

Лабораторна робота № 4
ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА ІЗ З′ЄДНАННЯМ СПОЖИВАЧІВ «ЗІРКОЮ»

Мета роботи

1. Дослідити трифазні кола при з′єднанні споживачів «зіркою» за різних режимів навантаження.
2. Навчитися вимірювати в трифазному колі лінійні та фазні напруги, струми.
3. Визначити призначення нульового проводу.
4. Навчитися розраховувати потужність споживачів у трифазному колі.
5. Навчитися будувати за даними досліду векторні діаграми.

Основні теоретичні положення

Трифазне електричне коло змінного струму складається із симетричного генератора і відповідним чином з'єднаних споживачів. У обмотках (А, В, С) генератора індукуються три ЕРС E_A, E_B, E_C, які є однаковими між собою за величиною і зсунутими по фазі одна відносно іншої на кут 120°.

З'єднання споживачів (або три групи споживачів) називають “зіркою», якщо їх кінці X, Y, Z з'єднані в одну спільну точку, яку називають нейтральною або нульовою, а до вільних кінців A, B, C підведено напругу від трифазного генератора (рис. 4.1). Три проводи, які з'єднують початки обмоток генератора зі споживачами, називають лінійними. Струми I_A, I_B, I_C, які проходять по цих проводах, називають лінійними струмами.

У разі з'єднання споживачів «зіркою» лінійні струми $I_л$ є одночасно фазними струмами $I_л=I_A=I_B=I_C$. Провід, який з'єднує нейтральні точки генератора і споживача, називають нейтральним або нульовим. Напруги U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}, що є між відповідними лінійними проводами, називають лінійними напругами. Напруги U_A, U_B, U_C, що є між відповідними лінійними проводами й нейтральною точкою генератора N або нейтральною точкою споживачів n називають фазними напругами. Якщо нейтральні точки генератора і споживачів з'єднані нейтральним проводом, то фазні напруги споживачів незалежно від навантаження завжди дорівнюватимуть фазним напругам генератора.

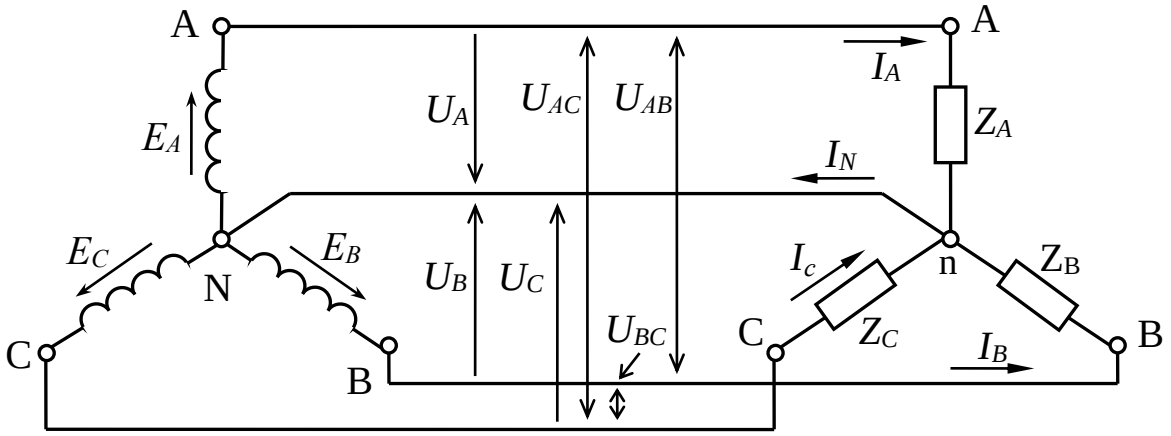


Рис. 4.1. Схема з'єднання споживачів

Лінійні напруги дорівнюють геометричній різниці відповідних двох фазних напруг:

$$\vec{U}_{AB}=\vec{U}_A-\vec{U}_B,\ \vec{U}_{BC}=\vec{U}_B-\vec{U}_C,\ \vec{U}_{CA}=\vec{U}_C-\vec{U}_A.$$

Якщо лінійні та фазні напруги є симетричними, то між їхніми величинами існує залежність: $U_л=\sqrt{3}\cdot U_ф$.

Величини фазних струмів визначають фазною напругою $U_ф=U_A=U_B=U_C$ на затискачах навантаження і повним опором $Z_ф$ споживача відповідної фази:

$$I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\phi}}.$$

Кути зсуву фаз між фазною напругою і фазним струмом визначаються за формулою $\varphi = \mathrm{arctg}\frac{x_{\phi}}{R_{\phi}}$,

де x_{ϕ} – реактивний опір фази навантаження (Ом); R_{ϕ} - активний її опір (Ом).

Якщо $Z_A = Z_B = Z_C$, то за симетричних фазних напруг U_A, U_B, U_C фазні струми I_A, I_B, I_C будуть рівними між собою і зсунутими за фазою один відносно одного на кут 120°, тобто також будуть симетричними.

Режим, коли у трифазній системі напруги і струми є симетричними, називається симетричним режимом. Коли навантаження трьох фаз є несиметричним, тобто опори в фазах є різними за величиною або різними за характером навантаження, то фазні струми також будуть несиметричними.

За наявності нейтрального проводу струм кожної фази залежатиме від опору тільки цієї фази, що є нормальним станом.

У нейтральному проводі буде проходити струм $\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$. Величину струму в нейтральному проводі можна знайти графічним способом, побудувавши векторну діаграму (рис. 4.2).

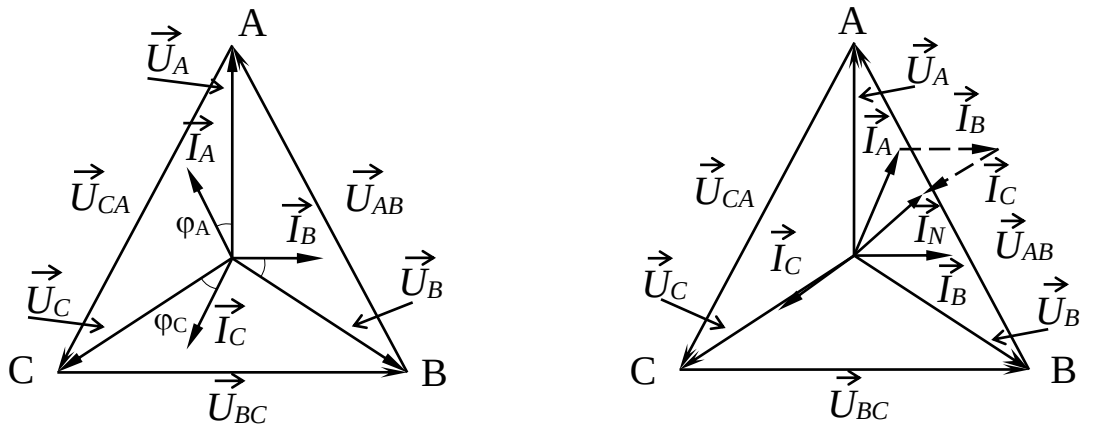


Рис. 4.2. Векторні діаграми

У разі обриву нейтрального проводу за несиметричного навантаженні фазові струми перерозподіляються так, щоб їх векторна сума $\vec{I}_N$ дорівнювала нулю. Це призводить до того, що зміняться за величиною фазові напруги на споживачах. Напруга в тій фазі, де опір менший, буде зниженою, а де опір більший – підвищеною порівняно з номінальними значеннями. При цьому векторна різниця двох фазних напруг завжди дорівнює відповідній лінійній напрузі, яка залишається незмінною, кути зсуву між фазними напругами вже не дорівнюватимуть 120°. Унаслідок цього порушується симетрія фазних напруг на споживачах. Виникає різниця потенціалів U_{Nn} між нейтральними точками генератора та споживача (рис. 4.3). (На векторній діаграмі рис. 4.3 пунктирними лініями позначено вектори фазних напруг генератора.) У такому трифазному колі зміна навантаження в одній фазі призводить до зміни струмів і напруг в інших фазах. Оскільки такий режим трифазного кола є неприпустимим для експлуатації, потрібно стежити за тим, щоб нейтральний провід ніколи не розривався або роз'єднувався.

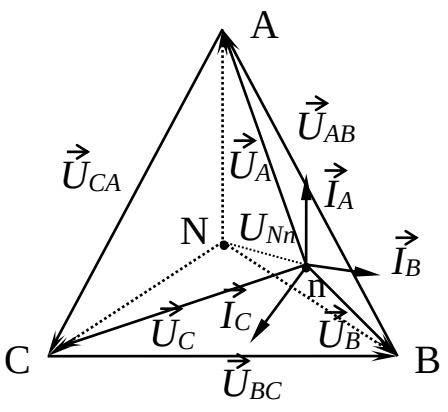


Рис. 4.3. Векторна діаграма

Активна і реактивна потужності трифазної системи складаються з суми трьох фазних потужностей:

$$P = P_A + P_B + P_C; \qquad Q = Q_A + Q_B + Q_C .$$

Повну потужність у загальному випадку розраховують за формулою:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} .$$

Для симетричної системи напруг і струмів активну, реактивну і повну потужності розраховують за такими формулами:

$$P = 3 \cdot P_ф = 3 \cdot U_ф \cdot I_ф \cdot \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot U_л \cdot I_л \cdot \cos\varphi;$$

$$Q = 3 \cdot Q_ф = 3 \cdot U_ф \cdot I_ф \cdot \sin\varphi = \sqrt{3} \cdot U_л \cdot I_л \cdot \sin\varphi;$$

$$S = 3 \cdot U_ф \cdot I_ф = \sqrt{3} \cdot U_л \cdot I_л ;$$

де $U_ф$, $I_ф$ – діючі значення фазних напруг і струмів; $U_л$, $I_л$ – діючі значення лінійних напруг і струмів; φ – кут зсуву між фазною напругою і фазним струмом.

Контрольні запитання

1. Які напруги вважають фазними, а які – лінійними?
2. Яким є співвідношення між лінійними і фазними напругами?
3. Яке призначення має нейтральний провід?
4. У яких випадках можна обійтися без нульового проводу?

Проведення досліду

1. Скласти електричне коло згідно з рис. 4.5.

2. Увімкнути напругу. Встановити рівномірне навантаження – у кожній фазі включити по три лампи розжарювання EL. За симетричного навантаження амперметри, які вимірюють фазні струми, мають показувати однакові значення струмів, а амперметр, увімкнений у нейтральний провід, має показувати нуль. Записати показання амперметрів у таблицю даних.

3. Вольтметром із щупами виміряти на затискачах споживачів лінійні та фазні напруги і напругу між нейтральними точками споживача та генератора U_{Nn}.

4. Вимкнути вимикачем SA3 нейтральний провід і переконатися, що за рівномірного навантаження режим трифазного кола не зміниться.

5. За допомогою вимикачів SA1 та SA2 створити нерівномірне навантаження фаз із нейтральним проводом і без нього. Кількість ввімкнених ламп має бути різною у всіх фазах.

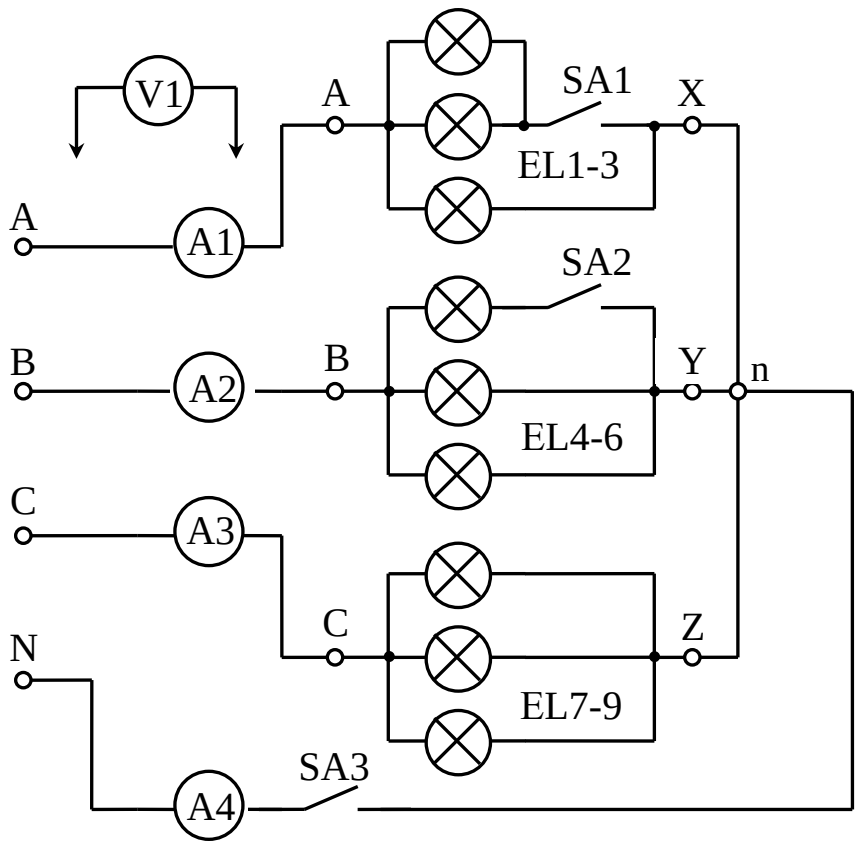


Рис. 4.5. Схема електрична лабораторної установки

6. Вимкнувши напругу, від'єднати провідники від затискачів із лампами EL7-9 і приєднати їх до батареї конденсаторів С. У фазах А і В встановити симетричне навантаження (включити по 3 лампи) фаз, а у фазі С підібрати ємність конденсаторної батареї такої величини, щоб у всіх фазах струми були приблизно однаковими. Окремо записати величину ємності конденсаторної батареї у мкФ. Ввімкнувши напругу, виконати вимірювання. Звернути увагу на те, що за рівних струмів у всіх фазах виникає струм у нульовому проводі. Пояснити причину виникнення струму в нульовому проводі.

7. Попередньо вимкнувши напругу, від'єднати батарею конденсаторів від фази С і знову приєднати лампи розжарення EL7-9. Від'єднати довільно один із лінійних проводів, тобто створити аварійну ситуацію з обривом фази. Встановити симетричне навантаження фаз і, ввімкнувши напругу, виконати вимірювання. Дослід зробити для випадку з нульовим проводом і без нього. Дані всіх вимірювань записати в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Дані вимірювань											Дані обчислень			
Лінійні напруги			Фазні напруги			Напруга між N та n	Фазні (лінійні) струми			Струм у нуль. проводі	Фазні (лінійні) потужності			
U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	U_A	U_B	U_C	U_{Nn}	I_A	I_B	I_C	I_n	P_A	P_B	P_C	$\sum P$
В	В	В	В	В	В	В	А	А	А	А	Вт	Вт	Вт	Вт
1. Симетричне навантаження з нульовим проводом														
2. Несиметричне навантаження з нульовим проводом														
3. Несиметричне навантаження без нульового проводу														
4. Несиметричне навантаження з нульовим проводом і конденсатором у фазі С														
5. Обрив фази за симетричного навантаження з нульовим проводом														
6. Обрив фази за симетричного навантаження без нульового проводу														

Опрацювання результатів досліду

1. Знайти відношення лінійних напруг до фазних і порівняти з теоретичним значенням цієї величини.

2. Обчислити активну потужність кожної фази і загальну потужність для всіх випадків навантаження.

3. За даними дослідів побудувати в масштабі векторні діаграми напруг і струмів, причому масштаб вибрати для всіх векторних діаграм однаковим. Векторні діаграми будувати тільки олівцем і за допомогою креслярського знаряддя (лінійки, транспортира, циркуля).

4. Визначити графічно струм ву нейтральному проводі I_n і порівняти його із значенням, знайденим експериментально.

5. Визначити графічно напругу між нульовими точками генератора та споживача U_{Nn} і порівняти її із значенням, знайденим експериментально.

6. Зробити висновки до кожного режиму навантаження на підставі побудованих векторних діаграм.

Лабораторна робота № 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА ЗІ З′ЄДНАННЯМ СПОЖИВАЧІВ «ТРИКУТНИКОМ»

Мета роботи

1. Дослідити трифазне коло зі з'єднанням споживачів «трикутником».
2. Навчитися вимірювати фазні і лінійні струми та напруги.
3. Навчитися розраховувати потужність трифазного кола.
4. Навчитися будувати за даними досліду векторні діаграми і робити висновки.

Основні теоретичні положення

Такий тип з'єднання, за якого між собою з'єднуються точки A і Z, B і X, C і Y споживачів, називається з'єднанням «трикутником» (рис. 5.1). Кожний споживач вмикається між двома відповідними лінійними проводами, унаслідок чого перебуває під лінійною напругою генератора, яка одночасно є фазною напругою споживача.

Згідно з рис. 5.1 $U_{AX}=U_{AB}$, $U_{BY}=U_{BC}$ та $U_{CZ}=U_{CA}$, тобто $U_ф=U_л$. Фазні струми в разі з'єднання споживачів трикутником позначаються двома індексами: I_{AX}, I_{BY}, I_{CZ} або I_{AB}, I_{BC}, I_{CA}.

Струм фазний і кут зсуву між фазним струмом і фазною напругою визначаються за формулами:

$$I_{AB}=\frac{U_{AB}}{Z_{AB}};\quad I_{BC}=\frac{U_{BC}}{Z_{BC}};\quad I_{CA}=\frac{U_{CA}}{Z_{CA}},$$

тобто:

$$I_ф=\frac{U_ф}{Z_ф},\ \text{а}\ \ \varphi_ф=\operatorname{arctg}\frac{x_ф}{R_ф}.$$

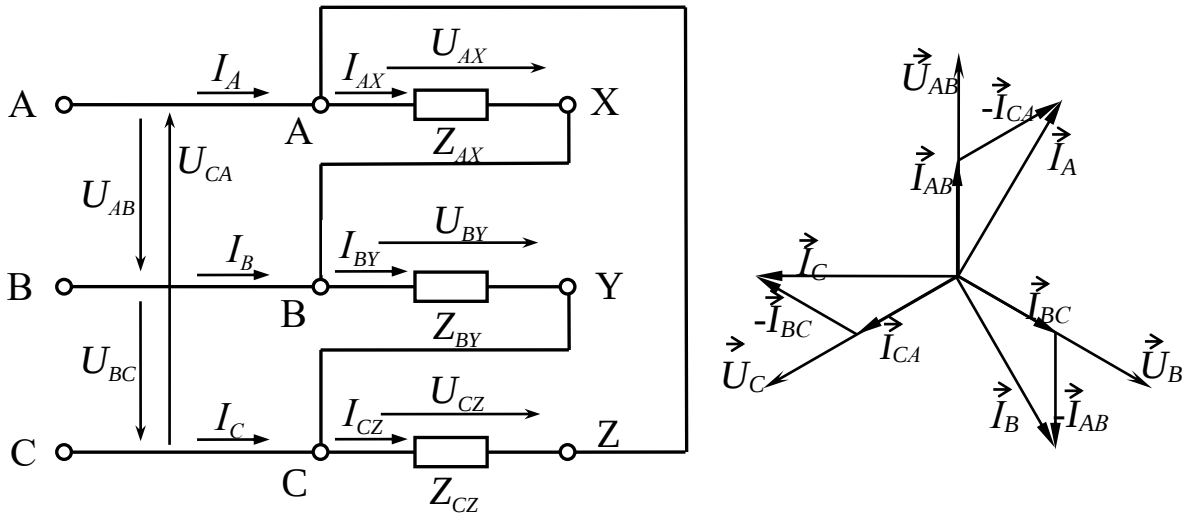


Рис. 5.1. Схема з'єднання споживачів «трикутником» і векторна діаграма

Лінійні струми I_A, I_B, I_C згідно з I законом Кірхгофа для вузлів A, B, C в загальному випадку дорівнюють геометричній різниці відповідних фазних струмів:

$$\vec{I}_A = \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{CA}; \quad \vec{I}_B = \vec{I}_{BC} - \vec{I}_{AB}; \; \vec{I}_C = \vec{I}_{CA} - \vec{I}_{BC}.$$

Коли навантаження є рівномірним, лінійні струми будуть однаковими між собою за величиною і більшими за фазні у $\sqrt{3}$ разів:

$$I_л = \sqrt{3} \cdot I_Ф.$$

Векторні діаграми напруг і струмів для симетричного і несиметричного навантажень при у разі з'єднання споживачів трикутником зображені на рис. 5.2.

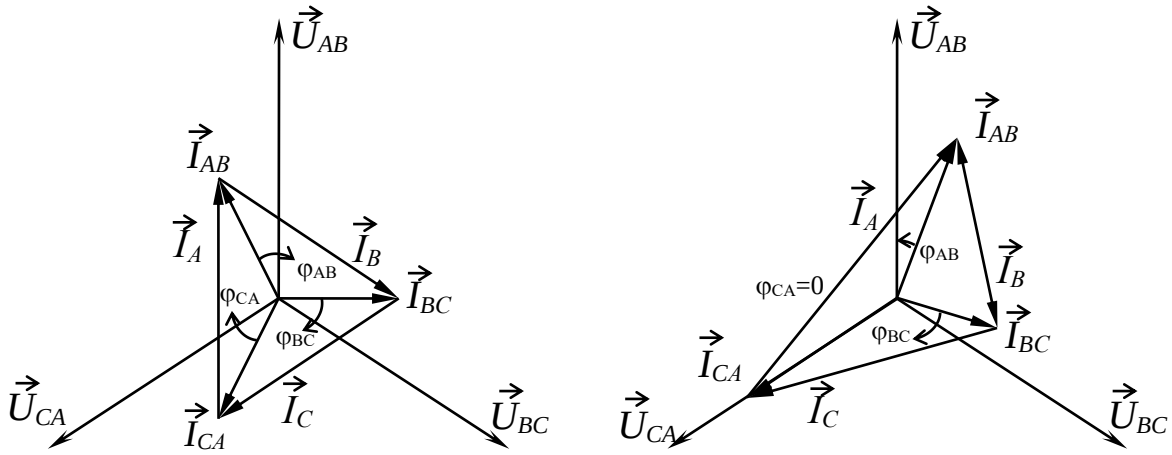


Рис. 5.2. Векторні діаграми

Контрольні запитання

1. За якими ознаками можна зробити висновок, що навантаження фаз є симетричним?

2. Якими є співвідношення між лінійними і фазними струмами трифазної системи, якщо споживачі з'єднані «трикутником»?

3. Пояснити методику побудови векторних діаграм.

4. Як впливає обрив лінійного проводу на роботу споживачів у разі їх з'єднання «трикутником»?

Проведення досліду

1. Скласти трифазне електричне коло згідно з рис. 5.3. Вимірювальний комплект К-50 або К505 призначено для вимірювання основних параметрів (напруги, струму і активної потужності) у трифазних електричних колах. Затискачі із позначкою «генератор» приєднати до мережі, а затискачі з позначкою «навантаження» до кіл лабораторного стенда. Як навантаження використовують лампи розжарення EL.

2. Виконати симетричне навантаження фаз, уввімкнувши однакову

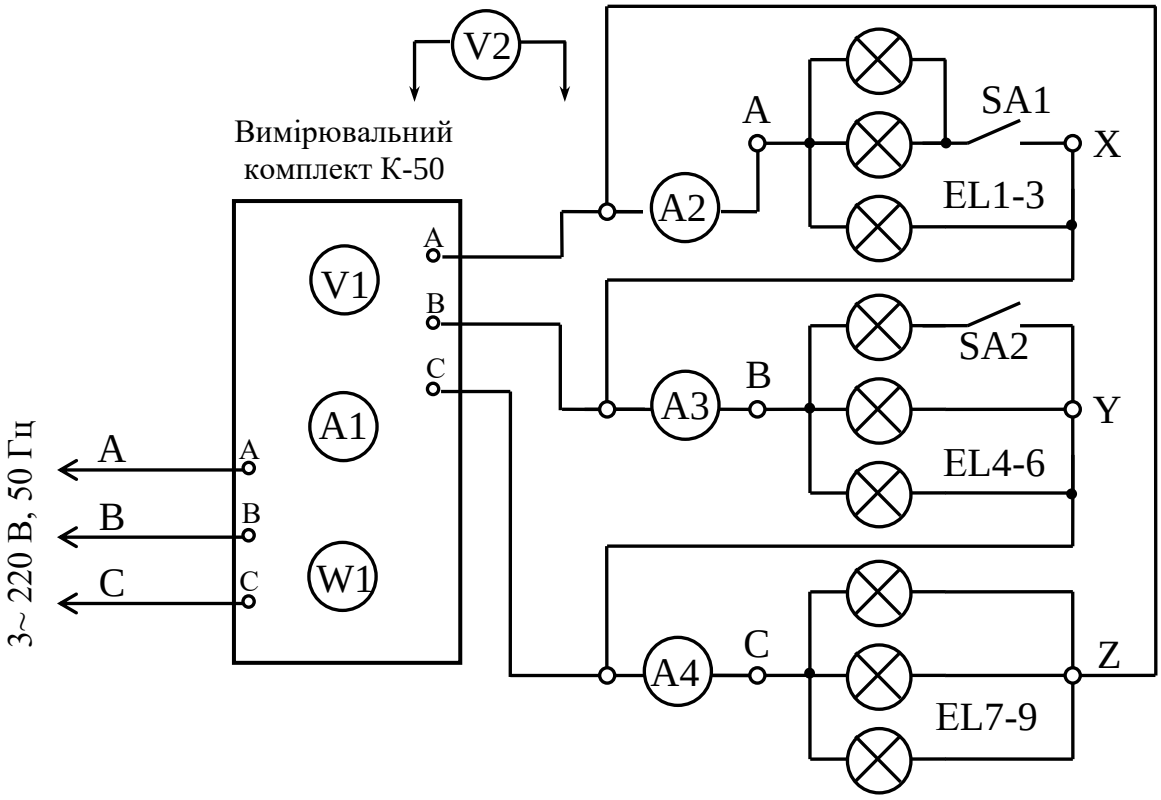


Рис. 5.3. Схема електрична лабораторної установки

кількість ламп у кожній фазі, і виміряти фазні I_{AB}, I_{BC}, I_{CA} та лінійні I_A, I_B, I_C струми. Вольтметром із щупами виміряти на затискачах споживачів лінійні напруги. Дані всіх вимірювань записувати в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Дані спостережень										Результати обчислень			
№ з/п	Фазні струми			Лінійні струми			Лінійні напруги			Фазні потужності			∑
	I_{AB}	I_{BC}	I_{CA}	I_A	I_B	I_C	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	P_{AB}	P_{BC}	P_{CA}	P
	А	А	А	А	А	А	В	В	В	Вт	Вт	Вт	Вт
1. Симетричне навантаження													
2. Обрив лінійного проводу за симетричного навантаження													
3. Несиметричне навантаження													
4. Несиметричне навантаження з конденсатором у фазі С													
5. Розвантаження фази А													

3. Не змінюючи навантаження, вимкнути напругу, від'єднати один із лінійних проводів, знову подати напругу й записати показання приладів. Зазначити особливості цього режиму.

4. Відновити попередню схему. За допомогою вимикачів SA1 і SA2 створити різні навантаження у фазах і виконати вимірювання.

5. Вимкнути напругу живлення і замість ламп у фазі С приєднати батарею конденсаторів. Навантаження можна встановити довільно або у фазах А і В включити по три лампи, а у фазі С підібрати величину ємності конденсатора такою, щоб фазні струми були приблизно однаковими. При цьому звернути увагу на величини лінійних струмів.

6. Розвантаження фази А зробити викручуванням лампи EL з патрона.

Опрацювання результатів досліду

1. Знайти відношення лінійних струмів до фазних і порівняти з теоретичним значенням цієї величини.

2. Обчислити активну потужність кожної фази і загальну потужність трифазної системи для всіх випадків навантаження.

3. За даними дослідів побудувати в масштабі векторні діаграми напруг і струмів, причому масштаб вибрати для всіх векторних діаграм

однаковим. Векторні діаграми будувати тільки олівцем і за допомогою креслярського знаряддя (лінійка, транспортир, циркуль).

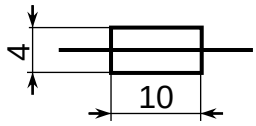
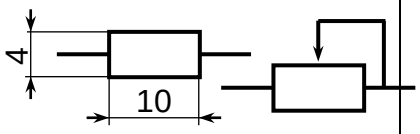
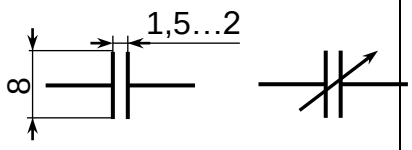
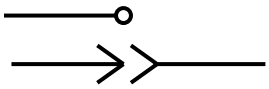
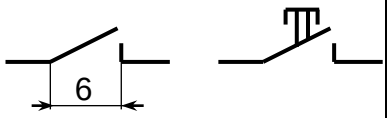
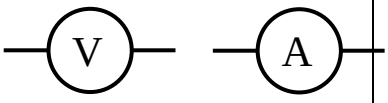
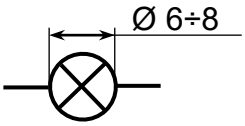
4. Зробити висновки до кожного режиму навантаження на підставі побудованих векторних діаграм.

Список літератури

1. *Городжа А. Д.* Загальна електротехніка : навчальний посібник. – Київ : КНУБА, 2000. – 150 с.
2. *Загальна електротехніка*: підручник / під ред. Глухова Д. Я. – Київ : Вища школа, 1970. – 426 с.
3. *Вартабенян В. А.* Загальна електротехніка : підручник. – Київ : Вища школа, 1979. – 374 с.
4. *Іванов А. О.* Лабораторні роботи з електротехніки : навчальний посібник. – Київ: Вища школа, 1970. – 256 с.
5. *Будіщев М. С.* Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка: підручник. – Львів : Афіша, 2001. – 424 с.

Додаток 1

Умовні графічні позначення елементів і пристроїв на схемах електричних принципових

№ пп	Назва	Познач.	Графічне позначення
1	Запобіжник	FU	
2	Резистор (постійний і змінний)	R	
3	Обмотка котушки індуктивності	L	
4	Обмотка трансформатора силового	Y	
5	Конденсатор (постійний і змінний)	C	
9	Затискач або з´єднувальний контакт	X	
10	Вимикач (контакт)	S, SA	
11	Вимірювальний прилад (вольтметр і амперметр)	PV, PA	
12	Лампа розжарювання, освітлювальна	EL	

Додаток 2

Основні електричні і магнітні величини

Назва величини			Одиниці вимірювання	
№	Найменування	Познач.	Найменування	Познач
1	Сила електричного струму	*I,i*	Ампер	А
2	Електрична напруга	*U,u*	Вольт	В
3	Частота	*Hz,f*	Герц	Гц
4	Частота кутова	ω	Рад/с	$с^{-1}$
5	Потужність активна	*P*	Ватт	Вт
6	Потужність реактивна	*Q*	Вар	В Ар
7	Потужність повна	*S*	Вольт-ампер	В А
8	Коефіцієнт потужності	cosφ	Косінус фі	cosφ
9	Електрична ємність	*C*	Фарада	Ф
10	Електричний опір	Ω	Ом	Ом
11	Електричний опір активний	*R, r*	Ом	Ом
12	Електричний опір реактивний	X_C, X_L	Ом	Ом
13	Електричний опір повний	*Z,z*	Ом	Ом
14	Електрична провідність повна	*Y*	Сіменс	$Ом^{-1}$
15	Електрична провідність активна	*G*	Сіменс	$Ом^{-1}$
16	Електрична провідність реактивна	*bl, bc*	Сіменс	$Ом^{-1}$
17	Індуктивність	*L*	Генрі	Гн
18	Період коливань	*T*		С
19	Магнітна індукція	*B*	Тесла	Тл
20	Магнітний потік	*Ф*	Вебер	Вб

Для нотаток

Навчально-методичне видання

ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА
Електричні кола

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

Укладачі: **КРАВЧЕНКО** Ігор Миколайович,
ОСТАПУЩЕНКО Ольга Павлівна

Випусковий редактор *Т. В. Івченко*
Комп'ютерне верстання *Д. М. Ніколаєвич*

Підписано до друку 29.01.2024. Формат 60 x 84 1/16
Ум. друк. арк. 2,09. Обл.-вид. арк. 2,25.
Електронний документ. Вид. № 21/III-24

Видавець і виготовлювач:
Київський національний університет будівництва і архітектури

Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03037

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002