

---

---

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Донецький національний технічний університет**

---

---

**Кафедра “Електротехніки”**



**Курс**  
**ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ**  
**Розділ перший**  
**«ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА»**

**Методичні вказівки**  
**до виконання лабораторних робіт**

**Донецьк 2006**

---

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

---

**Кафедра електротехніки**

**Курс**  
**ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ**  
**Розділ перший**  
**«ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА»**

**Методичні вказівки**  
**до виконання лабораторних робіт**

**РОЗГЛЯНУТО:**

на засіданні кафедри електротехніки  
протокол N 9  
від 19.05.2005

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

на засіданні  
навчально-видавничої ради ДонНТУ  
протокол №2  
від 24.05.06

---

## УДК 621.3

Курс «Електротехніки». Розділ перший «Електричні кола». Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт (для студентів неелектротехнічних спеціальностей).

**В.І. Костенко, В.Д. Пронін, О.М. Рак, В.О. Сажин, Н.Л. Тютюнник.**  
Донецьк: ДонНТУ, 2006.

Є частиною комплексу методичних матеріалів, що розроблені кафедрою електротехніки ДонНТУ і містять в собі вказівки до підготовки і проведення лабораторних робіт з курсу «Електротехніка»: перша частина «Електричні кола», а також форми звітів.

Розділ «Електричні вимірювання» призначений для самостійного вивчення студентами до початку проведення лабораторних робіт.

Методичні вказівки призначені для студентів, що навчаються згідно з «Програмою з електротехнічних дисциплін для студентів неелектротехнічних спеціальностей вищих навчальних закладів».

Методичні вказівки розроблялись з участю студентів: Мирошниченко Н.М. - група ТП-03з (комп'ютерна графіка, оформлення).

Рецензент: Є.Б. Ковальов, проф. кафедри гірничої електротехніки і автоматики



---

## 1. Вступне лабораторне заняття

**Мета і задачі заняття** – пояснити студентам призначення лабораторних робіт; ознайомитись з особливостями лабораторій кафедри електротехніки ДонНТУ; повторити відомі положення з курсу фізики про найпростіші електричні кола; ознайомитись з принципами електричних вимірювань на підставі методів метрології і стандартизації; організацією виконання лабораторних робіт і правилами техніки безпеки в лабораторіях кафедри.

### 1.1. Призначення лабораторних занять і учбових лабораторій кафедри

Лабораторні роботи допоможуть закріпити теоретичний матеріал і придбати практичні навички із збирання електричних кіл, проведенню електричних вимірювань, експлуатації електрообладнання.

Лабораторні роботи виконуються в учбових лабораторіях з універсальними лабораторними стендами, на яких можливо досліджувати різні електричні кола і приймачі електроенергії. Стенди мають: трифазну систему живлення з трьома лінійними напругами 220 В (між клемми А і В, В і С, С і А) і трьома фазними напругами 127 В (між клемми А і N, В і N, С і N); джерело живлення постійного струму напругою 110 В і 220 В між клемми “+” і “-”. Підведення напруги живлення виконано кабелем на двокнопочні автоматичні вимикачі, що розташовані – один у лівому куті (QF~), а другий (QF-) - у правому куті панелі стенду. Натискуванням на кнопку “Пуск” вимикача QF~ або QF- виконується подавання напруги живлення на схему, що досліджується, а на кнопку “Стоп” – вимикання.

В центрі панелі розташована кнопка аварійного вимикання (КАВ) напруги в лабораторії.

На панелі знаходяться вимірювальні прилади. У лабораторії 1.103 амперметр, вольтметр, ватметр та фазометр поєднані у комплект вимірювальних приладів (КВП).

На стенді встановлені такі приймачі: 3 групи ламп розжарювання, затискачі яких позначені літерами а-х, в-у, с-з з вимикачами, котушка індуктивності (позначена L) і батарея конденсаторів (позначена С) з вимикачами. Ємність батареї можна змінювати за допомогою тумблерів: 10, 20, 40, 60 мкФ. На панель стенду виведені затискачі обмоток асинхронної машини (АМ) і машини постійного струму (МПС), що розташовані під стендом і з'єднані між собою механічно за допомогою муфти, а також гальмівний прилад.

У верхній частині стенду розташована модель двопровідної лінії електропостачання (ЛЕП), що виконана неізолюваними провідниками з підвищеним опором (підключена до затискачів ПЛ1, ПЛ2, КЛ1, КЛ2).

Монтаж схем на лабораторному стенді виконується з'єднувальними провідниками зі штекерами, що встановлюються у відповідні гнізда приладів і приймачів. З'єднувальні провідники знаходяться на торцевому боці (лаб. 1.103) або у нижній частині (лаб. 2.236) стенду.

## 1.2. Використання основних законів електротехніки до розрахунку електричних кіл

Структура найпростішого електричного кола – джерело електричної енергії, приймач енергії, з'єднувальні провідники (ЛЕП).

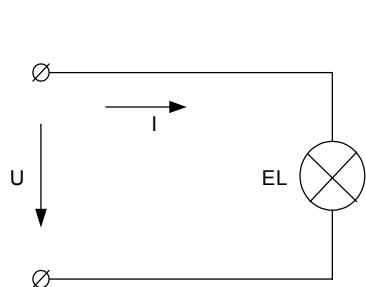


Рис.1.1 Вмикання приймача

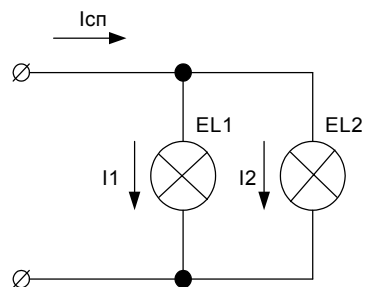


Рис.1.2 Паралельне вмикання

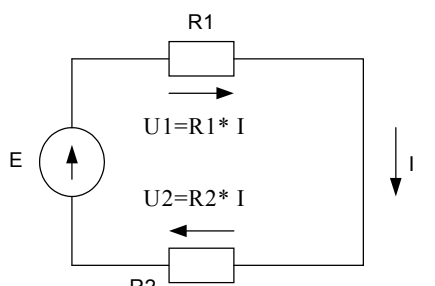


Рис.1.3 Найпростіший замкнений контур

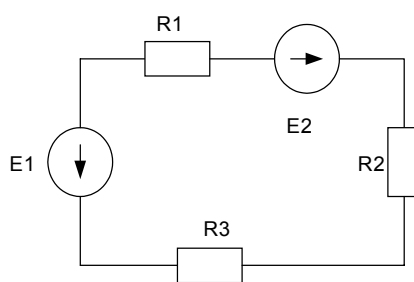


Рис.1.4 Схема для визначення струму з декількома Е.Р.С.

Згідно з **законом Ома** струм у резисторі пропорційний напрузі на його застискачах і зворотнопропорційний його опору. Наприклад, для кола за схемою рис. 1.1:

$$I = U/R_n = G_n \cdot U$$

де  $R_n$  – опір навантаження (лампи розжарювання EL), Ом;

$G_n = 1/R_n$  – його провідність, См.

За **першим законом Кірхгофа** алгебраїчна сума струмів, що спрямовані до вузла дорівнює нулю:

$$\sum I = 0$$

Наприклад, для кола за схемою рис. 1.2:

$$I_{cp} = I_1 + I_2$$

За **другим законом Кірхгофа** алгебраїчна сума Е.Р.С. у замкненому контурі дорівнює алгебраїчній сумі напруг у ньому

$$\sum E = \sum U,$$

або

$$\sum E = \sum I \cdot R.$$

Величини, що складають формулу другого закону, записують із знаком “+”, якщо їхній напрямок співпадає з довільно обраним напрямком обходу контура, в іншому випадку - із знаком “-”. Для кола за схемою рис. 1.3:

$$E = U_1 + U_2,$$

або

$$E = R_1 I + R_2 \cdot I$$

З цього витікає, що:

---

---

$$I = E / (R_1 + R_2) = E / \Sigma R$$

У загальному випадку з декількома джерелами Е.Р.С. за схемою рис. 1.4:

$$I = \Sigma E / \Sigma R$$

Це є формула закону Ома для нерозгалуженого кола постійного струму.

**Закон Джоуля-Ленца** показує тепловий вплив струму і визначає кількість тепла, що виділяється у приймачі. Воно пропорційне його опору, часу і квадрату струму приймача:

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t, [\text{Дж}] \text{ або } [\text{Вт} \cdot \text{с}]$$

Електрична потужність енергії, що споживається при цьому:

$$P = Q / t = R \cdot I^2 = U \cdot I = U^2 / R = G \cdot U^2, [\text{Вт}]$$

### **Номинальні дані електрообладнання.**

Кожний пристрій розрахований на надійну роботу протягом поданого терміну служби. *Режим роботи* на який він розрахований названо *номинальним*. Такий режим характеризується номинальною напругою  $U_{\text{ном}}$ , номинальним струмом  $I_{\text{ном}}$ , номинальною потужністю (для постійного струму  $P_{\text{ном}} = I_{\text{ном}} \cdot U_{\text{ном}}$ ).

Чим більший  $I_{\text{ном}}$ , тим більшим повинен бути перетин провідників для запобігання їх перегрівання. Провідники протилежної полярності відокремлені один від одного, від корпусу і землі ізоляцією. Чим більша  $U_{\text{ном}}$ , тим товщою повинна бути ізоляція для запобігання її електричного пробою. Таким чином розміри і вартість електрообладнання визначаються  $U_{\text{ном}} \cdot I_{\text{ном}}$ , тобто його номинальною потужністю  $P_{\text{ном}}$ . Якщо напруга кола, куди вмикається приймач відрізняється від його номинальної напруги, то режим роботи не є номинальним. Так із зниженням напруги у мережі електрична лампа світить слабко, а з підвищенням – яскравіше і швидше перегорає.

### **1.3. Основи метрології і стандартизації. Похибки вимірювання і класи точності вимірювальних приладів**

При виконанні лабораторних робіт необхідно вимірювати різні фізичні величини: напругу, струм, опір і т.д. Аналогічні завдання вирішуються для забезпечення оптимальної експлуатації електрообладнання у промисловості.

Якщо значення, що отримано за допомогою приладу позначити  $X_e$ , а дійсне значення  $X_d$ , *абсолютну похибку вимірювань* можна визначити:

$$\Delta X = X_e - X_d$$

*Відносну похибку вимірювань* можна визначити:

$$\delta = (X_e - X_d) \cdot 100 \% / X_d = \Delta X \cdot 100 \% / X_d$$

*Наведена похибка вимірювань*:

$$\gamma = \Delta X \cdot 100 \% / X_m = (X_e - X_d) \cdot 100 \% / X_m$$

де  $X_m$  - межа вимірювання приладу, тобто максимальне значення величини, що може вимірюватись на ньому.

Завод - виробник приладу гарантує, що його наведена похибка у вимірюваннях не перевищує вказаного числа відсотків. Це число названо *класом точності приладу*, воно наведено на його шкалі. *Наприклад*, клас точності 2.5 - похибка вимірювань не перевищує 2.5%.







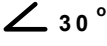



## 1.4. Принцип дії і конструкція електровимірювальних приладів основних систем

На лабораторних стендах встановлені електровимірювальні прилади магнітоелектричної, електромагнітної (вольтметри і амперметри), електродинамічної і феродинамічної (ватметри і фазометри) систем, цифровий прилад і універсальний виимірювальний прилад Ц 4342.

Умовні позначення, що наносяться на шкали приладів наведені в табл. 1.

Таблиця 1.1.

Умовні позначення на шкалах електровимірювальних приладів

Умовне позначення	Пояснення
	Магнітоелектричний прилад
	Магнітоелектричний прилад з рухомим магнітом
	Електромагнітний прилад
	Електродинамічний прилад
	Феродинамічний прилад
	Індукційний прилад
1.5	Клас точності приладу
—	Постійний струм
~	Змінний однофазний струм
≡	Постійний і змінний струм
	Горизонтальний стан шкали
	Вертикальний стан шкали
	Шкала вимірювального приладу розташована під кутом 30°
	Вимірювальне коло ізолювано від корпусу і випробувано напругою 2 кВ
	Обережно! Прочність ізоляції вимірювального кола по відношенню до корпусу не відповідає нормам (знак яскраво червоного кольору)
	Увага! Дивись додаткові вказівки в паспорті та інструкції з експлуатації



### 1.4.1. Прилади магнітоелектричної системи.

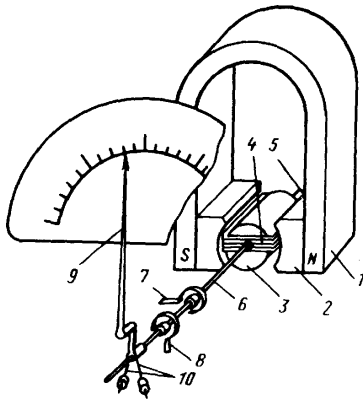


Рис. 1.5. Конструкція магнітоелектричного приладу з рухомою котушкою

У приладах магнітоелектричної системи використовується взаємодія поля постійного магніту з котушкою (рамкою) в якій протікає струм. Конструктивно вимірювальний механізм можна виконувати з рухомим магнітом, або з нерухомою котушкою. На рис. 1.5. показано конструкцію приладу з рухомою котушкою. Постійний магніт 1, магнітопровід з полюсними наконечниками 2 і нерухоме циліндричне осердя 3 складають магнітну систему механізму. У прозорі між полюсними наконечниками і осердям утворюється сильне рівномірне радіальне магнітне поле, в якому знаходиться рухома прямокутна котушка (рамка) 4, що виконана мідним або алюмінієвим проводом на алюмінієвому каркасі (або без нього). Котушка закріплена між напівосями 5 і 6. Спиральні пружини 7 і 8 призначені для утворення моменту, що протидіє. Одночасно вони використовуються для подавання струму, що вимірюється, від вихідних затискачів у рамку. Рамка жорстко з'єднана зі стрілкою 9. Для балансування приладу на рухому частину встановлюють пересувний вантаж 10.

Виконана мідним або алюмінієвим проводом на алюмінієвому каркасі (або без нього). Котушка закріплена між напівосями 5 і 6. Спиральні пружини 7 і 8 призначені для утворення моменту, що протидіє. Одночасно вони використовуються для подавання струму, що вимірюється, від вихідних затискачів у рамку. Рамка жорстко з'єднана зі стрілкою 9. Для балансування приладу на рухому частину встановлюють пересувний вантаж 10.

#### Принцип дії.

Згідно з законом Ампера на провідники рамки 4 зі струмом  $I$ , що розташована у полі постійних магнітів 2, діє електромагнітна сила, що виштовхує:

$$F_e \approx B \cdot I,$$

де  $B$  - індукція магнітного поля.

В результаті рамка обертається і закручує спіральні пружини 7 і 8. Чим більший струм у рамці, тим більший кут відхилення її і пов'язаної з нею стрілки 9, тому шкала приладу рівномірна. Із зміною напрямку струму у рамці змінюється напрямок сили. Так як ці прилади реагують на напрямок струму, ними можна користуватись для визначення полярності струму.

Використовуються для вимірювання постійного струму, або напруги. Відрізняються високою точністю і чутливістю; зовнішні магнітні поля мало впливають на показники приладів тому, що власне поле в них сильне.

Недоліками є: висока вартість приладів, чутливість до перевантажень, неможливість вимірювання змінного струму (із частою зміною напрямку струму у котушці, стрілка з причини сили інерції не відхиляється).

Застосовуються також магнітоелектричні прилади з рухомим магнітом і нерухомими котушками. Ці прилади стійкі до вібрацій і струшування, до перевантажень. Завдяки цим перевагам, вони отримали використання на транспорті. Їх недоліком є невисока точність і низька чутливість.

### 1.4.2. Влаштування і принцип дії приладів електромагнітної системи.

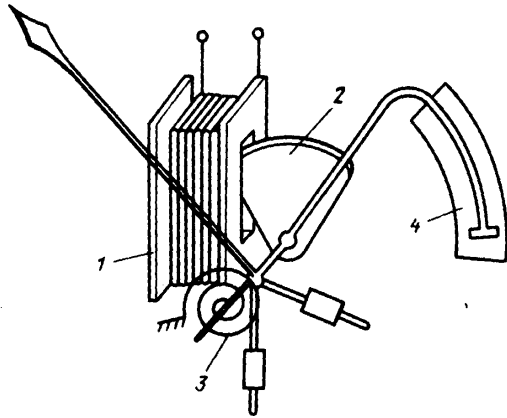


Рис. 1.6. Конструкція електромагнітного приладу

феромагнітним осердям. Під впливом магнітного поля осердя втягується в середину котушки. Рухома частина механізму обертається до тих пір, доки момент, що обертає не врівноважиться

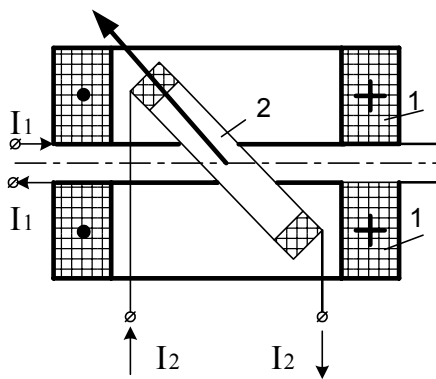


Рис. 1.7. Принцип дії електродинамічних приладів

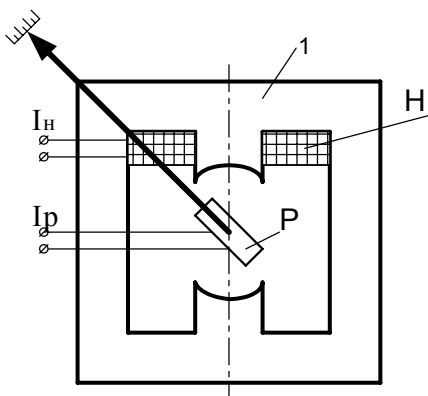


Рис. 1.8. Принцип дії феродинамічних приладів

Одна з найбільше поширених конструкцій електромагнітного вимірювального механізму наведена на рис. 1.6, де 1 - котушка; 2 - осердя закріплене на вісі приладу; 3 - спіральна пружина, що утворює момент протидії; 4 - повітряний заспокоювач. Зустрічаються також конструктивні модифікації вимірювальних механізмів цієї системи.

**Принцип дії приладів електромагнітної системи** ґрунтується на взаємодії магнітного поля, що утворюється струмом у нерухомій котушці з феромагнітним осердям. Під впливом магнітного поля осердя втягується в середину котушки. Рухома частина механізму обертається до тих пір, доки момент, що обертає не врівноважиться моментом, що протидіє і який утворюється пружиною. *Переваги приладів:* можливість вимірювання у колах постійного і змінного струму, простота конструкції, невисока вартість, стійкість до перевантажень, надійність в експлуатації. *Недоліки:* нерівномірність шкали; менша точність, ніж приладів магнітоелектричної системи, неможливість визначення за їхньою допомогою полярності струму (напруги); сильний вплив зовнішніх магнітних полів через те, що власне поле невелике.

### 1.4.3. Конструкція і принцип дії електродинамічних (рис. 1.7) і феродинамічних (рис. 1.8) приладів.

Ці прилади працюють на підставі взаємодії струмів (потоків) двох котушок, одна з котрих нерухома - 1, а друга - 2 має змогу обертатись відносно першої (рис.1.7). На рухому котушку струм  $I_2$  надходить по спіральних пружинах. Сили, що діють на рухому котушку:

$$F = kI_1I_2,$$

де  $I_1$ - струм у нерухомій котушці;

$I_2$  – струм у рухомій котушці.

---

Прилади використовуються в основному для вимірювання потужності, а також напруги, струму та інших величин. Шкали ватметрів ( $F_w = c \cdot U \cdot I$ ) практично рівномірні. Прилади чутливі до перевантажень, зовнішні магнітні поля впливають на їх показники через те, що власні поля приладів малі.

У приладах феродинамічної системи (рис. 1.8) нерухома котушка  $H$  розташована на *магнітопроводі*  $l$ . Це підсилює магнітний потік і момент, що обертає і впливає на рухома котушку  $P$ .

**Цифрові прилади** створюються на основі електронної техніки. Значення величини, що вимірюється наведено на цифровому індикаторі.

### 1.5. Електричні вимірювання

При виконанні лабораторних робіт необхідно здійснювати вимірювання і вміти розраховувати напруги, струми, потужності, опори та ін.

Визначення полярності напруги (струму) можна виконати приладами магнітоелектричної системи, затискачі яких позначені знаками “+” і “-” (або лише “+”). Прилад вмикається в коло довільно. Якщо стрілка відхиляється праворуч, то плюс кола на тому проводі, до якого підключений “+”, бо струм у колі спрямований від затискача “+” до затискача “-”. Якщо стрілка відхиляється ліворуч, то точки вмикання приладу в коло необхідно змінити місцями.

Для **вимірювання напруги** використовуються *вольтметри*, що вмикаються паралельно навантаженню ( $PV$  на рис. 1.9). Обмотка вольтметра виконана тонким проводом з великою кількістю витків, тому його внутрішній опір великий і коливається у межах від 100 до 1000 Ом на 1 В.

**Вимірювання струму** виконується за допомогою *амперметра*, що вмикається у коло послідовно з навантаженням ( $PA$  рис. 1.10). Його обмотка виконується проводом більшого перетину і має малий опір.

**Вимірювання потужності** виконується за допомогою *ватметра*  $PW$  (рис. 1.11). Ватметр має 2 обмотки і відповідно 4 затискача. Перша обмотка - струмова, виконана проводом більшого перетину і розрахована на послідовне вмикання з навантаженням. Вхідний (генераторний) затискач її позначений  $I^*$ , вмикається з боку джерела, а вихідний - позначений літерою  $I$ . Друга обмотка - напруги. Затискачі  $U^*$  і  $U$  вмикаються в коло паралельно навантаженню. Затискач  $U^*$  необхідно поєднати з тією ж точкою кола, що і  $I^*$ .

**Вимірювання опору.** За допомогою амперметра і вольтметра можна визначити опір приймача (наприклад, обмоток електрообладнання) непрямим методом на підставі закону Ома для ділянки кола постійного струму

$$R_x = U_x / I_x.$$

Можливі схеми вмикання приладів подані на рис. 1.13.

Власний струм вольтметра викривляє вимірювання струму  $I_x$  у схемі рис. 1.13,а, а падіння напруги на амперметрі викривляє вимірювання напруги  $U_x$  у схемі рис. 1.13,б. Викривленням можна нехтувати якщо  $I_v \ll I_x$ , або  $\Delta U_A \ll U_x$ , а значення опорів, що вимірюють можна обчислити наближено:

$$R_x \cong U_v / I_A$$

---

Провідність:

$$G_x \cong I_A / U_V$$

Для отримання меншої похибки у вимірюваннях малих опорів необхідно користуватись схемою рис. 1.13,а; для вимірювання більших опорів - схему рис.1.13,б. Для вимірювання опорів можна користуватись омметром (рис. 1.12), що містить джерело живлення  $B$  і міліамперметр  $MA$ , що з'єднані послідовно з опором  $R_x$ . Шкала приладу проградуєвана в  $Omax$  ( $\Omega$ ).

### 1.5.1. Поширення меж вимірювання приладів.

#### а) Вимірювання струму.

Якщо струм  $I_B$ , що вимірюється, більший за номінальний струм амперметра, користуються шунтом ( $PA2$  і  $R_{ш}$  на рис.1.10.). При цьому "надлишковий" струм протікає крізь шунт (рис. 1.14.) з опором  $R_{ш}$ .

Через те, що амперметр і шунт увімкнені паралельно один іншому, на їхніх затискачах виникає одне й те саме падіння напруги

$$\Delta U = \Delta U_A = \Delta U_{ш},$$

тобто:

$$R_{ш} \cdot I_{ш} = R_A I_A.$$

З цього витікає, що:

$$R_{ш} = R_A (I_A / I_{ш})$$

Згідно із схемою (рис. 1.14), струм, що вимірюється:

$$I_B = I_{ш} + I_A,$$

тобто:

$$R_{ш} = R_A \cdot [I_{A,ном} / (I_n - I_{A,ном})]$$

Шунти використовуються разом з приладами магнітоелектричної системи для вимірювань постійного струму.

Для поширення меж вимірювань електромагнітних амперметрів (РА3) на змінному струмі користуються *вимірювальними трансформаторами струму* ТА (рис. 1.10).

#### б) Вимірювання напруги.

Для вимірювання напруги більшої ніж подана межа вимірювання вольтметра, надлишкова частина напруги повинна бути знищена у *додатковому опорі*  $R_\delta$ , що вмикається послідовно з вольтметром (PV2, рис. 1.9). Струм  $I_V$  у вимірювальному колі (рис. 1.15) утворює, при повному відхиленні стрілки вольтметра, напругу на ньому:

$$U_V = R_\delta \cdot I_{V,ном},$$

тоді:

$$U_\delta / U_{V,ном} = R_\delta / R_V$$

З цього витікає:

$$R_\delta = R_V \cdot (U_\delta / U_{V,ном})$$

Згідно зі схемою (рис. 1.15.):

$$U = U_\delta + U_n,$$

тобто:

$$R_\delta = R_V \cdot (U - U_{V,ном}) / U_{V,ном}$$

Додатковими опорами користуються для вимірювання постійної напруги за допомогою вольтметрів магнітоелектричної системи, а змінної напруги до 500-600 В.

Для вимірювання більше високої змінної напруги використовують трансформатори напруги *TV* (рис. 1.10).

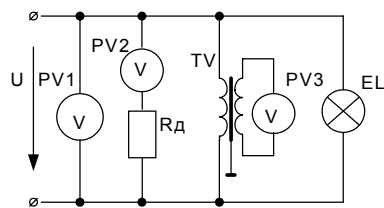


Рис.1.9. Вимірювання напруги

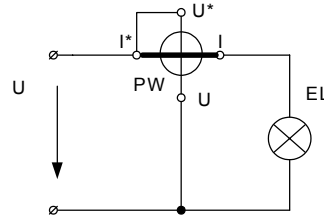


Рис.1.11. Вимірювання потужності

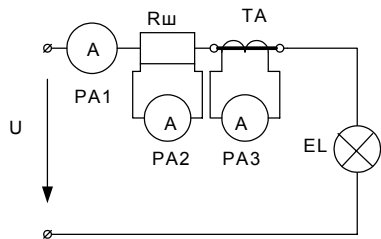


Рис.1.10. Вимірювання струму

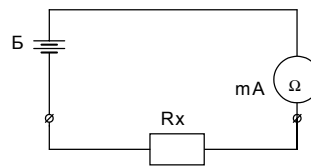
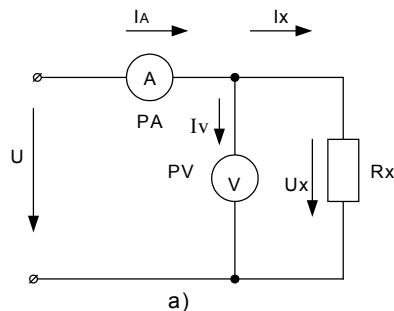
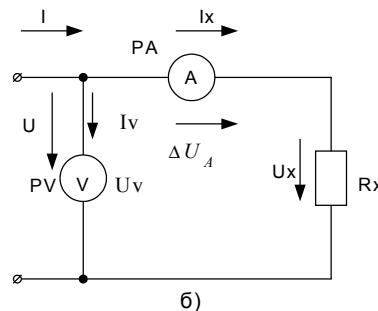


Рис.1.12. Схема омметра



а)



б)

Рис.1.13. Вимірювання опору амперметром і вольтметром

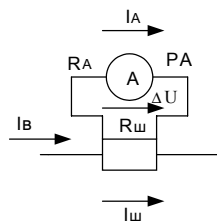


Рис.1.14. Ввімкнення амперметра з шунтом

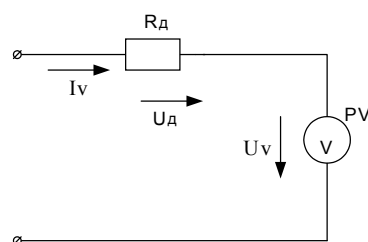


Рис.1.15. Ввімкнення вольтметра з додатковим опором

### в) Визначення ціни ділення приладу

Для визначення ціни ділення приладу необхідно межу вимірювання поділити на кількість ділень. *Наприклад*, ціна ділення амперметра магнітоелектричної системи на 7.5 А, шкалу якого поділено на 75 однакових ділень, складає  $7.5 / 75 = 0.1$  А. Для багатограничного приладу на кожен межу є своя ціна ділення.

---

Для приладів електромагнітної системи з нерівномірною шкалою слід встановити кількість ділень між двома вагомими цифрами і визначити ціну ділення на цьому діапазоні.

Для визначення ціни ділення переносного лабораторного ватметра слід встановити верхню межу вимірювання потужності множенням граничних значень напруги і струму:

$$P_{ном} = U_{ном} \cdot I_{ном}$$

а потім визначити ціну ділення.

### **1.5.2. Відображення метрологічного забезпечення випробувань у протоколах.**

Для оцінки точності вимірювань і забезпечення можливості повторного їх проведення у випадку необхідності, у протоколах вимірювань фіксуються схеми вимірювань і наводяться дані про використані в них вимірювальні прилади. Для отримання навичок виконання таких робіт передбачається відображення метрологічного забезпечення випробувань у протоколах лабораторних робіт.

### **1.6. Правила внутрішнього розпорядку і оформлення результатів у лабораторних роботах**

До лабораторного заняття отримують допуск студенти, що засвоїли методи виконання електричних вимірювань, правила безпеки і готові до виконання конкретної лабораторної роботи.

Лабораторне заняття складається з декількох етапів.

#### **1.6.1. Домашня підготовка**

За темою заняття, що оголошена раніше студент повинен вивчити методичні вказівки до відповідної роботи, опрацювати рекомендований теоретичний матеріал, підготуватись до відповіді на контрольні запитання і підготувати бланк звіту. В бланку всі схеми, таблиці і графіки необхідно виконувати за допомогою креслярських інструментів.

#### **1.6.2. Робота в лабораторії**

Перед початком занять черговий студент приймає аудиторію, отримує необхідні прилади, впускає студентів і слідкує за порядком. Ходіння по лабораторії при відсутності викладача заборонено.

Студенти представляють викладачу підготовлені бланки звіту про роботу, що виконується, після чого протягом 5 хвилин письмово відповідають на одне з контрольних запитань перевірки готовності до виконання роботи, що наведені у методичних вказівках. Якщо студент отримує незадовільну оцінку він не допускається до виконання роботи і готується до повторного опитування.

#### ***Робота, що пропущена виконується у позаурочний час!***

Лабораторні роботи виконуються бригадами по 2-3 особи. Електричні кола збираються по чергово всіма членами бригади.

Збирання кіл і їх перемикання виконується із вимкненими джерелами живлення (вимикачі  $QF\sim$  і  $QF-$ ).

---

Кожне зібране коло перед вмиканням перевіряється викладачем.

Перед розбиранням схеми, що досліджувалась, експериментальні дані перевіряються викладачем.

При розбиранні кіл, провідники з гнізд необхідно виймати за штекери.

Забороняється тягнути за з'єднувальний провід, або смикати за нього. Необхідно братися за ізоляційну втулку штекера.

При виникненні порушень кіл необхідно вимкнути коло і повідомити викладача.

Якщо порушення сталося з вини студентів, то вони усуваються від виконання роботи. У них повторно перевіряється готовність до даної лабораторної роботи. Після цього бригада виконує лабораторну роботу у позаурочний час і бере участь у ремонті стенду.

Якщо виникає **аварійна ситуація** необхідно негайно натиснути на *кнопку аварійного вимикання напруги* - **КАВ**, що знаходиться у центрі кожного лабораторного стенду.

Після виконання лабораторної роботи викладач перевіряє дані, дає згоду на розбирання кіл і підписує бланк звіту.

**При відсутності підпису бланк звіту до захисту не приймається, а лабораторна робота виконується у позаурочний час.**

Чергові повинні повернути додаткові прилади, літературу і навести лад у лабораторії.

Студентів, що порушують правила безпеки і внутрішнього розпорядку, викладач повинен усунути з лабораторії і доповісти про це завідуючому кафедрою або декану.

### **1.6.3. Підготовка звіту до захисту**

Опрацювання матеріалів і підготовку звіту до захисту слід виконувати на тому ж лабораторному занятті (при наявності часу).

Графіки і діаграми необхідно виконувати у масштабі. Вони повинні відповідати експериментальним даним.

Оформлений звіт пред'являється для перевірки на наступному занятті. Якщо звіт не представлений у термін, то студент не допускається до виконання наступної лабораторної роботи.

На захисті лабораторної роботи студент повинен вміти пояснити суть виконаної роботи, встановлені закономірності, відповісти на контрольні запитання, що містяться у методичних вказівках.

В необхідних для засвоєння випадках викладач має право вимагати повторного виконання лабораторної роботи.

## **1.7. Правила техніки безпеки і протипожежної техніки для студентів, що працюють в лабораторіях кафедри електротехніки**

1. Ці правила призначені для лабораторних робіт, що виконуються в лабораторіях кафедри електротехніки.

2. На вступному лабораторному занятті викладач виконує вступний інструктаж (інструктаж на робочому місці), за що студенти підписуються у

---

контрольному аркуші. Студентам, що не пройшли інструктаж, виконувати лабораторну роботу забороняється.

3. Електричні кола повинні збиратися лише з вимкненим джерелом живлення. Вмикання схеми можливе лише після перевірки викладачем, або лаборантом.

4. Забороняється вмикати коло в мережу, якщо в ньому є провідники, один кінець котрих залишається вільним.

5. Забороняється вмикати коло без попередження товаришів. При вмиканні необхідно гучно сказати **“Вмикаю напругу!”**

6. Забороняється виконувати змінення у колах під напругою і торкатися до неізольованих частин обладнання. Повторно коло вмикається після дозволу викладача. Забороняється залишати обладнання, що знаходиться під напругою без нагляду.

7. Про всі негаразди студенти повинні негайно повідомити викладача, або завідуючого лабораторією. Студентам забороняється самостійно виконувати ремонт електричного обладнання, прилади та ін.

8. При роботі з електроустаткуванням:

**ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ** торкатися до труб водопроводів, опалювальних і газових систем.

9. У лабораторіях вимкнення напруги при будь-якій небезпеці (коротке перемикання, пожежа, влучення під напругу та ін.) виконується натискуванням на кнопку аварійного вимкнення.

10. При роботі з електричними машинами необхідно слідкувати, щоб одяга і волосся не були захоплені частинами, що обертаються.

11. Після вимкнення кола з конденсатором забороняється розбирати коло до його розрядження. Розрядження виконується перемиканням затискачів конденсатора провідником з ізольованими наконечниками.

12. Для захисту людей від поразки струмом у випадку пробою ізоляції, корпус електричних машин і трансформаторів заземлюють (приєднують голим провідником до спільного контуру заземлення в лабораторії).

**ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ** вмикання електричних машин, трансформаторів у випадку розривання проводів заземлення.

13. Для захисту кіл від струму короткого перемикання встановлені плавкі запобіжники. Про їх гідність свідчить сяєння контрольних неонових ламп. Запобіжник, що вийшов з ладу слід замінити за вказівкою викладача.

14. При виникненні пожежі необхідно вимкнути напругу і приступити до тушіння піском або встановленими в лабораторії вогнегасниками. Якщо необхідно – викликати пожежну команду (тел. 0-1).

### **1.8. Перша долікарська допомога при враженні електричним струмом**

Перш за все **необхідно**:

- вимкнути напругу або звільнити людину від неї;
- якщо потерпілий при тямі, дихає нормально, є пульс, його необхідно покласти на підстилку (ковдру). Накрити, не дозволяти працювати (при роботі стан можливо погіршає), викликати лікаря;



---

- якщо потерпілий знепритомнів, але дихання стійке, пульс добрий - також покласти, розстебнути одягу, забезпечити приплив свіжого повітря (не обступати натовпом), дати понюхати нашатирний спирт (є в аптечці), бризнути на обличчя водою;

- якщо дихання немає, або воно судомне – почати штучне дихання. Покласти потерпілого на спину, закинути голову так, щоб підборіддя було на одній лінії з шиєю. Штучне дихання краще виконувати з “рота в рот” - удмухувати потерпілому своє повітря з частотою 10-12 разів на хвилину. Рот потерпілого слід прикрити чистою пористою тканиною (бинт, марля). Тіло закутати, не допускати охолодження. Штучне дихання продовжувати до прибуття лікаря або до встановлення стійкого дихання у потерпілого;

- якщо пульсу немає, слід паралельно з штучним диханням виконати непрямий масаж серця, вдавлюючи груди на 3-4 см, але не м’які тканини живота. Виконувати його необхідно до прибуття лікаря або до появи стійких ознак нормальної роботи серця і самостійного дихання у потерпілого.

---

**Лабораторна робота № 1**  
**ПАРАЛЕЛЬНЕ І ПОСЛІДОВНЕ З'ЄДНАННЯ ПРИЙМАЧІВ У КОЛІ**  
**ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.**

**Мета роботи** - придбати навички із збирання електричних кіл, ознайомитися з номінальними даними приймачів електроенергії, виявити відмінності між номінальними і фактичними режимами роботи, особливостями їхньої роботи при паралельному і послідовному з'єднанні.

**Домашня підготовка:**

- a) Вивчити теоретичний матеріал за поданою темою.
- b) Вивчити це керівництво.
- c) Підготувати бланк звіту про роботу.

**Порядок виконання роботи**

**1. Визначення номінальних даних приймачів, що досліджуються**

Вибрати з групи "а-х" лампу найбільшої потужності, а з групи ламп "в-у" - найменшої, їхні каталожні дані (позначені на стенді) внести в табл. 1.

**2. Дослідження паралельного з'єднання приймачів**

a) Вибір джерела живлення:

За каталожними даними приймачів (табл. 1) вибрати затискачі джерела живлення ( $U_{AB}=220$  В або  $U_{AN}=127$  В) для забезпечення номінального режиму роботи ламп.

b) Зібрати коло за принциповою схемою (рис. 1).

c) Проведення досліджень:

- ввімкнути QF~ та вимикачі в колі вибраних ламп EL1 і EL2;
- показання приладів записати в табл. 2;
- оцінити яскравість світіння ламп (яскраво або тьмяно) і внести в табл. 2;
- вимкнути лампу EL1. Результат спостереження внести в бланк звіту;
- вимкнути QF ~.

**3. Дослідження послідовного з'єднання приймачів**

a) Зібрати коло за принциповою схемою (рис. 2).

Межа вимірювання амперметра PA – 1А.

Для вимірювання напруги, підключити до вольтметра PV1 вимірювальні щупи.

b) Проведення досліджень:

- ввімкнути вимикач QF~,
- ввімкнути вибрані лампи EL1 і EL2;
- вольтметром PV1 виконати по черзі вимірювання напруги  $U$ ,  $U_1$  і  $U_2$  [точки "А" і "В" ( $U$ ), "а" і "х" ( $U_1$ ); "b" і "у" ( $U_2$ )]. Записати показання в табл. 3;
- записати в табл. 3 оцінку яскравості світіння ламп в порівнянні з паралельним з'єднанням;

- 
- вимкнути вимикачем лампу EL1. Результат спостереження внести в бланк звіту;
  - вимкнути OF ~.

#### **4. Метрологічне забезпечення лабораторної роботи**

Точність вимірювання забезпечується застосуванням вимірювальних приладів високих класів точності і періодичною перевіркою цих приладів за зразковим (за останнє відповідає персонал лабораторії). Для можливості повторення вимірювання (відтворення експериментів), дані приладів, що використовувались заносяться в *табл. 4*.

#### **Оформлення звіту**

##### *a) Номінальні дані приймачів:*

Обчислити і записати в табл. 1 розрахункові номінальні дані приймачів, що досліджувались:

- струм  $I_{\text{НОМ}} = P_{\text{НОМ}}/U_{\text{НОМ}}$ ,
- опір  $R_{\text{НОМ}} = U_{\text{НОМ}}/I_{\text{НОМ}}$ ,
- провідність  $G = I_{\text{НОМ}}/U_{\text{НОМ}}$ .

Порівняти параметри EL1 і EL2

##### *b) Паралельне з'єднання приймачів:*

За даними табл. 2 обчислити і записати:

- провідності ламп  $G_1 = I_1/U$  і  $G_2 = I_2/U$ ;
- еквівалентну провідність паралельного кола  $G_{\text{екв}} = I/U$ ;
- потужності ламп  $P_1 = U \cdot I_1$  і  $P_2 = U \cdot I_2$ .

Для схеми, що досліджується: записати в звіті та перевірити I-й закон Кірхгофа та рівняння балансу потужностей.

$$I = I_1 + I_2 \quad (1); \quad P = P_1 + P_2 \quad (2); \quad G_{\text{екв}} = G_1 + G_2 \quad (3)$$

Вкажіть в звіті причину, з якої виникають похибки.

Порівняти значення  $I_1$  і  $I_2$ ,  $P_1$  і  $P_2$  з табл. 2 з їхніми номінальними значеннями (табл. 1).

##### *c) Послідовне з'єднання приймачів:*

За даними табл. 3 обчислити і записати:

- опори ламп  $R_1 = U_1/I$  і  $R_2 = U_2/I$ ;
- еквівалентний опір послідовного кола  $R_{\text{екв}} = U/I$ ;
- потужності ламп  $P_1 = U_1 \cdot I$  і  $P_2 = U_2 \cdot I$ .

Переконайтеся в справедливості II-го закону Кірхгофа, записати рівняння балансу потужностей.

$$U = U_1 + U_2 \quad (4); \quad P = P_1 + P_2 \quad (5); \quad R_{\text{екв}} = R_1 + R_2 \quad (6).$$

Порівняйте значення  $I$ ,  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $P_1$ ,  $P_2$  з табл. 3 з їхніми номінальними значеннями (табл. 1)

---

**Лабораторная работа №1**  
**ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЯ ПРИЁМНИКОВ В**  
**ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ**

**Цель работы** – приобрести навыки сборки электрических цепей, ознакомиться с номинальными данными приемников электроэнергии, уяснить различия между номинальными и фактическими режимами их работы, установить особенности их работы при параллельном и последовательном соединениях.

**Домашняя подготовка:**

- а) изучить теоретический материал по теме работы.*
- б) изучить настоящие указания;*
- в) подготовить бланк отчета о работе.*

**Порядок выполнения работы**

**1. Определение номинальных данных исследуемых приемников**

Выбрать из группы «а-х» лампу наибольшей мощности, а из группы ламп «в-у» – наименьшей, их каталожные данные (указанные на стенде) записать в таблицу 1.

**2. Исследование параллельного соединения приемников**

*а) выбор источника питания.*

По каталожным данным приемников (таблица 1) выбрать зажимы источника питания ( $U_{AB}=220$  В или  $U_{AN}=127$  В) для обеспечения номинального режима работы ламп;

*б) собрать цепь по принципиальной схеме рис. 1.*

*в) проведение исследований*

- включить  $QF\sim$  и выключатели в цепи выбранных ламп EL1 и EL2.
- показания приборов записать в таблицу 2.
- оценить яркость свечения ламп (ярко или тускло) и внести в таблицу 2;
- отключить лампу EL1.
- записать результат наблюдения в бланк отчёта.
- отключить автоматический выключатель  $QF\sim$ .

**3. Исследование последовательного соединения приёмников**

*а) собрать цепь по принципиальной схеме рис. 2.*

Предел измерения амперметра PA – 1А.

Для измерения напряжений подключить к вольтметру PV1 измерительные щупы.

*б) проведение исследований*

- включить автоматический выключатель  $QF\sim$ ,
- включить лампы EL1 и EL2, выбранные в п.1.
- вольтметром PV1 измерить поочередно напряжения U,  $U_1$  и  $U_2$  [точки "А" и "В" (U), "а" и "х" ( $U_1$ ); "б" и "у" ( $U_2$ )]. Записать показания в таблицу 3.
- записать в таблицу 3 оценку яркости свечения ламп в сравнении с параллельным соединением;
- отключить выключателем лампу EL1. Результат наблюдения записать в бланк отчёта.
- отключить  $OF\sim$ .

**4. Метрологическое обеспечение лабораторной работы.**

---

Точность измерений обеспечивается применением измерительных приборов высоких классов точности и периодической проверкой этих приборов по образцовым. Для осуществления возможности повторения измерений данные использованных приборов заносятся в табл.4.

### Оформление отчета

*а) номинальные данные приемников*

Вычислить и записать в таблицу 1 расчетные номинальные данные исследованных приемников:

- ток  $I_{\text{ном}} = P_{\text{ном}}/U_{\text{ном}}$ ,
- сопротивление  $R_{\text{ном}} = U_{\text{ном}}/I_{\text{ном}}$ ;
- проводимость  $G = I_{\text{ном}}/U_{\text{ном}}$ .

Сравнить параметры EL1 и EL2

*б) параллельное соединение приемников*

По данным таблицы 2 вычислить и записать:

- проводимости ламп  $G_1 = I_1/U$  и  $G_2 = I_2/U$ ;
- эквивалентную проводимость параллельной цепи  $G_{\text{екв}} = I/U$ ;
- мощности ламп  $P_1 = U \cdot I_1$  и  $P_2 = U \cdot I_2$ .

Для исследуемой схемы: составить, записать в отчете и проверить I-й закон Кирхгофа и уравнение баланса мощностей.

$$I = I_1 + I_2, \quad (1)$$

$$P = P_1 + P_2 \quad (2)$$

$$G_{\text{екв}} = G_1 + G_2, \quad (3)$$

Указать в отчете причину возникающих ошибок.

Сравнить значения  $I_1$  и  $I_2$ ,  $P_1$  и  $P_2$  из табл. 2 с их номинальными значениями (табл. 1).

*в) последовательное соединение приемников*

По данным таблицы 3 вычислить и записать:

- сопротивления ламп  $R_1 = U_1/I$  и  $R_2 = U_2/I$ ;
- эквивалентное сопротивление последовательной цепи  $R_{\text{екв}} = U/I$ ;
- мощности ламп  $P_1 = U_1 \cdot I$  и  $P_2 = U_2 \cdot I$ .

Убедиться в справедливости II-го закона Кирхгофа, составить уравнение баланса мощностей.

$$U = U_1 + U_2, \quad (4)$$

$$P = P_1 + P_2, \quad (5)$$

$$R_{\text{екв}} = R_1 + R_2 \quad (6).$$

Сравнить значения  $I$ ,  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $P_1$ ,  $P_2$  из табл. 3 с их номинальными значениями (табл. 1).

#### **Письменно ответить на вопросы:**

1. Как изменится номинальный ток, сопротивление, проводимость при увеличении номинальной мощности (напряжение неизменно)?
2. При каких условиях параллельно соединенные приемники работают в номинальном режиме?
3. Как распределилось напряжение сети между лампами при последовательном соединении. Ответ объяснить.
4. Какое из соединений последовательное или параллельное необходимо применять для обеспечения независимой работы приемников?
5. Что такое номинальный режим работы приемника электрической энергии, чем он характеризуется?
6. При каких условиях фактический режим работы отличается от номинального?

## ЗВІТ

### про лабораторну роботу № 1

#### «Паралельне і послідовне з'єднання приймачів у колі постійного струму»

Група	П.І.Б. студента	Дата	Підпис викладача

#### 1. Визначення номінальних даних приймачів, що досліджуються.

Таблиця 1

Лампа	Дані за каталогом		Номінальні дані, що розраховуються		
	$U_{\text{НОМ}}$ , В	$P_{\text{НОМ}}$ , Вт	$I_{\text{НОМ}}$ , А	$R_{\text{НОМ}}$ , Ом	$G_{\text{НОМ}}$ , См
EL1					
EL2					

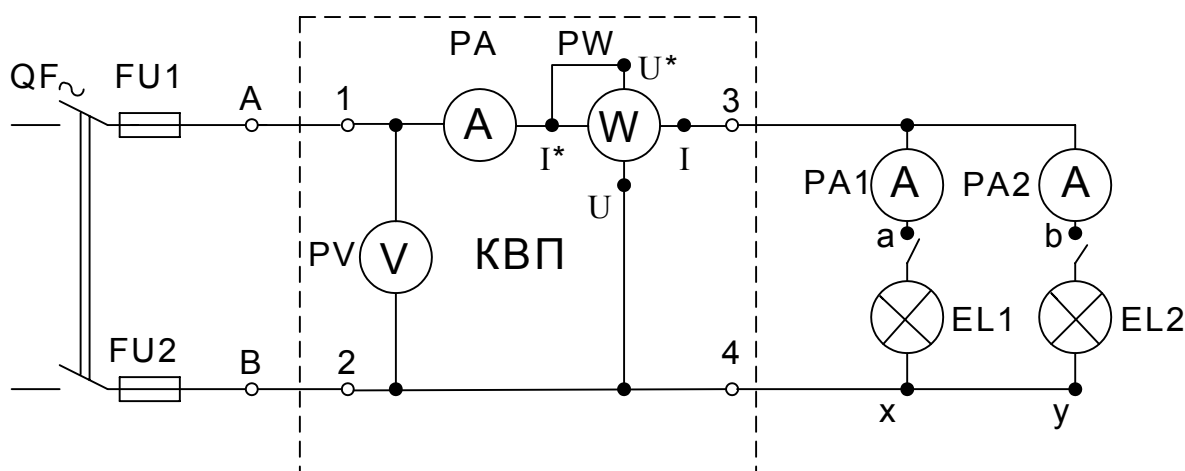


Рис.1 Принципова схема кола

#### 2. Дослідження паралельного з'єднання приймачів.

Таблиця 2

Вимірювання					Оцінка на- калу ламп	Обчислювання				
U, В	I, А	$I_1$ , А	$I_2$ , А	P, Вт		$G_1$ , См	$G_2$ , См	$G_{\text{екв}}$ , См	$P_1$ , Вт	$P_2$ , Вт

З вимкненням лампи EL1 лампа EL2

Перевірка співвідношень:

1

2

3

Причина похибок:

### 3. Дослідження послідовного з'єднання приймачів.

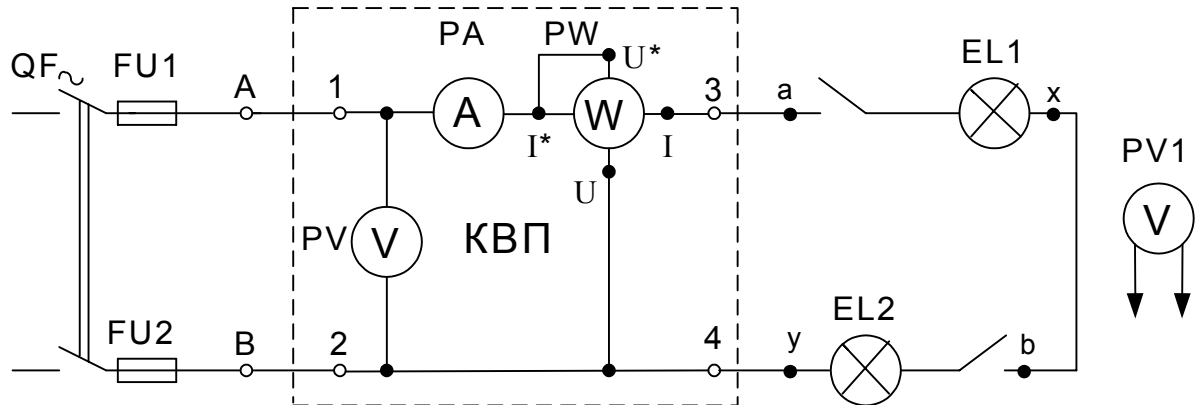


Рис. 2 Принципова схема кола

Таблиця 3

Вимірювання					Оцінка накалу ламп	Обчислювання				
I, А	P, Вт	U, В	U <sub>1</sub> , В	U <sub>2</sub> , В		R <sub>1</sub> , Ом	R <sub>2</sub> , Ом	R <sub>екв</sub> , Ом	P <sub>1</sub> , Вт	P <sub>2</sub> , Вт
З вимкненням лампи EL1, лампа EL2										

Перевірка співвідношень:




### 4. Метрологічне забезпечення лабораторної роботи

Таблиця 4

N п/п	Назва приладу	Позначення на схемах	Система приладу	Клас точності	Верхня межа вимірювання	Заво- дський номер
1						
2						
3						
4						

#### Привести відповіді на питання:

1. Як змінюються номінальні струм, опір і провідність приймачів, якщо їхні номінальні потужності зростають (при незмінній номінальній напрузі)?
2. За яких умов усі паралельно з'єднані приймачі працюють в номінальному режимі?
3. Як розподілилась напруга мережі між лампами при послідовному з'єднанні. Відповідь пояснити.
4. Яке із з'єднань послідовне або паралельне необхідно використовувати для забезпечення незалежної роботи приймачів?
5. Що таке номінальний режим роботи приймача електричної енергії. Чим він характеризується?
6. За яких умов фактичний режим роботи приймача відрізняється від номінального?

---

---

**Лабораторна робота № 2**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА**  
**ПОСТІЙНОГО СТРУМУ**

**Мета роботи** - дослідження основних режимів роботи реального електричного кола, визначення граничної потужності, яку можливо передати приймачам в електричному колі, і засоби її підвищення.

**Домашня підготовка:**

- a) Вивчити теоретичний матеріал за поданою темою.
- b) Вивчити це керівництво.
- c) Підготувати бланк звіту про роботу.

**Порядок виконання роботи**

a) Зібрати коло (рис. 1)

Коло складається з моделі лінії електропостачання (ЛЕП) і приймачів електроенергії. Провідники ЛЕП підвішені на ізоляторах і підключені до затискачів ПЛ1-КЛ1 і ПЛ2-КЛ2 (ПЛ - початок; КЛ - кінець лінії). Напруга  $U_1$  на вході ЛЕП (вольтметр PV1) надходить крізь вимикач QF~ і запобіжник FU1 на затискачі А - N стенду. Напруга  $U_2$  на виході ЛЕП (вольтметр PV2) надходить на приймачі електроенергії - лампи розжарювання (затискачі "а-х", "в-у", "с-з"). Сумарний струм приймачів вимірюється амперметром РА, а потужність - ватметром РW;

b) Дослідження режиму холостого ходу.

- вимкнути всі лампи;
- ввімкнути QF~;
- записати в рядку 1 табл. 1 показання приладів;

c) Дослідження режиму роботи кола при збільшенні навантаження.

- ввімкнути одну лампу.
- записати в рядку 2 табл. 2 показання приладів.
- збільшуючи кількість ввімкнених ламп, заповнити рядки 3...7 табл. 1.
- звернути увагу на зміну яскравості ламп, нагрівання і провисання провідників ЛЕП.

Результати спостережень записати в табл. 1.

Оцінку яскравості ламп і провисання провідників роботи словами: збільшується, зменшується, а нагрівання провідників - не червоніють, червоніють, дуже червоніють.

d) Дослідження режиму короткого замикання

- вимкнути вимикач QF~
- встановити перемичку "П" між затискачами "с" і "z" (за схемою - рис. 1),
- ввімкнути QF~,
- показання приладів записати в рядок 8 табл. 2.



- 
- вимкнути QF~,
  - зняти перемичку "П".

**УВАГА!** В режимі к.з. запис показань приладів виконати швидко, не припускаючи надмірного провисання провідників ЛЕП.

*е) Дослідження можливості підвищення рівня потужності, що передається по ЛЕП.*

- підвищити напругу  $U_1$  на вході ЛЕП, для чого переключити провідник із затискача "N" на затискач "С" (рис. 1).
- повторити дослідження за пунктами *b, c, d* з вищою напругою.
- показання приладів записати в *рядки 9...16 табл. 1.*

### Оформлення звіту

- а) за даними табл.2 для рядків 9...16 визначити потужність, що генерується джерелом в коло  $P_1 = U_1 \cdot I$ , втрати потужності в провідниках ЛЕП  $\Delta P_{л} = P_1 - P_2$  (або  $\Delta P_{л} = R_{л\text{еп}} \cdot I^2$ ), к.к.д. кола  $\eta = P_2/P_1$ , еквівалентний опір приймачів  $R_{н} = U_2/I$ .
- б) за даними рядків 9...16 табл. 2 побудувати залежності  $U_2=f(I)$ ,  $P_1=f(I)$ ,  $P_2=f(I)$ ,  $\eta=f(I)$ . Показати на них точки режимів *х.х.*, *к.з.*, *узгодженого* і *номінального*, вважаючи  $\eta = 0,9$ . Побудувати залежність  $P_2=f(I)$  з нижчою напругою мережі.
- с) Згідно з даними експерименту к.п. (рядок 8 або рядок 16) визначити опір лінії електропостачання  $R_{л\text{еп}}=U_1/I_{к.з.}$ . Результат розрахунку записати на *рис.1*.
- д) З *таблиці 2* в *таблицю 3* виписати найбільше значення потужності  $P_2$ , що споживається лампами нижчою (А-N) і вищою (А - С) напругами живлення ЛЕП  $U_1$ . Значення цих напруг записати у *таблицю 3*.
- е) Обчислити, у скільки разів підвищилася напруга живлення ЛЕП  $U_1$  (*співвідношення 1*) і в скільки разів при цьому збільшилась максимальна потужність  $P_{2\text{max}}$ , що передається приймачу по ЛЕП (*співвідношення 2*).

### Письмово відповісти на питання:

1. Як і чому змінюється напруга  $U_2$  в кінці ЛЕП (на навантаженні) при збільшенні струму навантаження  $I$ ? Яка вона при *х. х.*?
2. При якому співвідношенні корисних ( $R_{н}$ ) і шкідливих ( $R_{л\text{еп}}$ ) опорів виникає узгоджений режим роботи кола? Чому недоцільна робота промислових ЛЕП в узгодженому режимі, незважаючи на те, що приймач споживає в цьому режимі максимальну потужність? Який режим застосовується для роботи промислових ЛЕП?
3. Як і чому змінюється потужність  $P_2$ , що споживається навантаженням при безперервному збільшенні струму навантаження  $I$  і потужності джерела  $P_1$ ? Які явища в провідниках ЛЕП, що спостерігалися вами, підтверджують вашу відповідь?
4. Що доцільно робити для збільшення величини потужності, що передається по ЛЕП?

---

---

**Лабораторная работа № 2**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ**

**Цель работы** - исследование основных режимов работы реальной электрической цепи, определение предельной мощности, которую возможно передать приемникам в электрической цепи, и способа ее повышения.

**Домашняя подготовка:**

- а) изучить теоретический материал по теме работы.*
- б) изучить настоящие указания;*
- в) подготовить бланк отчета о работе.*

**Порядок выполнения работы**

*а) собрать цепь (рисунок 1)*

Цепь состоит из модели линии электропередачи (ЛЭП) и приемников электроэнергии. Провода ЛЭП подвешены на изоляторах и подключены к зажимам НЛ1-КЛ1 и НЛ2-КЛ2 (НЛ - начало; КЛ - конец линии). Напряжение  $U_1$  на вход ЛЭП (вольтметр PV1) подается через автоматический выключатель QF~ и предохранитель FU1 на зажимы А - N стенда. Напряжение  $U_2$  на выходе ЛЭП (вольтметр PV2) подается на приемники электроэнергии - лампы накаливания (зажимы "а-х", "в-у", "с-з."). Суммарный ток приемников измеряется амперметром РА, а мощность - ваттметром РW;

*б) исследовать режим холостого хода.*

- отключить все лампы; включить QF~
- включить QF~;
- записать в строке 1 таблицы 2 показания приборов;

*в) исследовать режим работы цепи при увеличении нагрузки.*

- включить одну лампу.
- записать в строке 2 таблицы 2 показания приборов.
- увеличивая число включенных ламп, заполнить строки 3...7 таблицы 2.
- обратить внимание на изменение яркости ламп, нагрев и провисание проводов ЛЭП.

Результаты наблюдений записать в таблицу 1.

Оценку яркости ламп и провисания проводов произвести словами: *увеличивается, уменьшается, а нагрева проводов - не краснеют, краснеют, сильно краснеют.*

*г) исследовать режим короткого замыкания*

- отключить автоматический выключатель QF~
- установить перемычку "П" между зажимами "с" и "z" (по схеме на рисунке 1),
- включить QF~.
- показания приборов записать в строку 8 таблицы 2.
- выключить QF~.
- снять перемычку "П".

**ВНИМАНИЕ!** В режиме к.з. запись показаний приборов производить быстро, не допуская чрезмерного провисания проводов ЛЭП;

*д) исследовать возможность повышения предела мощности, передаваемой по ЛЭП.*

- повысить напряжение  $U_1$  на входе ЛЭП, для чего переключить провод от зажима "N" на зажим "С" (рисунок 1).

- 
- повторить исследования по пунктам б, в, г при высшем напряжении.
  - показания приборов записать в строки 9...16 таблицы 2.

### Оформление отчета

- а) по данным таблицы 2. для строк 10... 16 рассчитать мощность, генерируемую источником в цепь  $P_1=U_1 \cdot I$ , потери мощности в проводах ЛЭП  $\Delta P_{л}=P_1 - P_2$  (или  $\Delta P_{л}=R_{л\text{ЭП}} \cdot I^2$ ), к.п.д цепи  $\eta=P_2/P_1$ , сопротивление приемников  $R_{н}=U_2/I$ .
- б) по данным строк 10... 16 таблицы 2 построить зависимости  $U_2=f(I)$ ,  $P_1=f(I)$ ,  $P_2=f(I)$ ,  $\eta=f(I)$ . Отметить на них точки режимов х.х., к.з., согласованного и номинального. Построить зависимость  $P_2=f(I)$  при низшем напряжении сети.
- в) По данным опыта к.з. (п. 8 или п. 16) определить сопротивление линии электропередачи  $R_{л\text{ЭП}}=U_1/I_{к.з.}$ . Результат расчета записать на рисунке 1.
- г) Из таблицы 2 в таблицу 3 выписать наибольшие значения мощности  $P_2$ , потребляемые лампами при низшем (А - N) и высшем (А - С) напряжениях питания ЛЭП  $U_1$ . Значения этих напряжений записать в таблицу 3.
- д) Рассчитать, во сколько раз увеличилось напряжение питания ЛЭП  $U_1$  (соотношение 1) и во сколько раз при этом увеличилась максимальная мощность  $P_{2\text{max}}$ , которая передается приемнику по ЛЭП (соотношение 2).

### Письменно ответить на вопросы:

1. Как и почему изменяется напряжение  $U_2$  в конце ЛЭП (т.е. на нагрузке) при увеличении тока нагрузки  $I$ ? Чему оно равно при х.х.?
2. Как и почему изменяется потребляемая нагрузкой мощность  $P_2$  при непрерывном увеличении тока нагрузки  $I$  и мощности источника  $P_1$ ? Какие явления в проводах ЛЭП, наблюдаемые вами, подтверждают ваш ответ?
3. При каком соотношении полезных ( $R_{н}$ ) и вредных ( $R_{л\text{ЭП}}$ ) сопротивлений возникает согласованный режим работы цепи? Почему нецелесообразна работа промышленных ЛЭП в согласованном режиме, несмотря на то, что приемник потребляет в этом режиме максимальную мощность? Какой режим применяется для работы промышленных ЛЭП?
4. Что целесообразно делать для увеличения величины мощности, передаваемой по ЛЭП?

# ЗВІТ

## про лабораторну роботу № 2

### «Дослідження режимів роботи електричного кола постійного струму»

Група	П.І.Б студента	Дата	Підпис викладача

#### 1. Принципова схема кола.

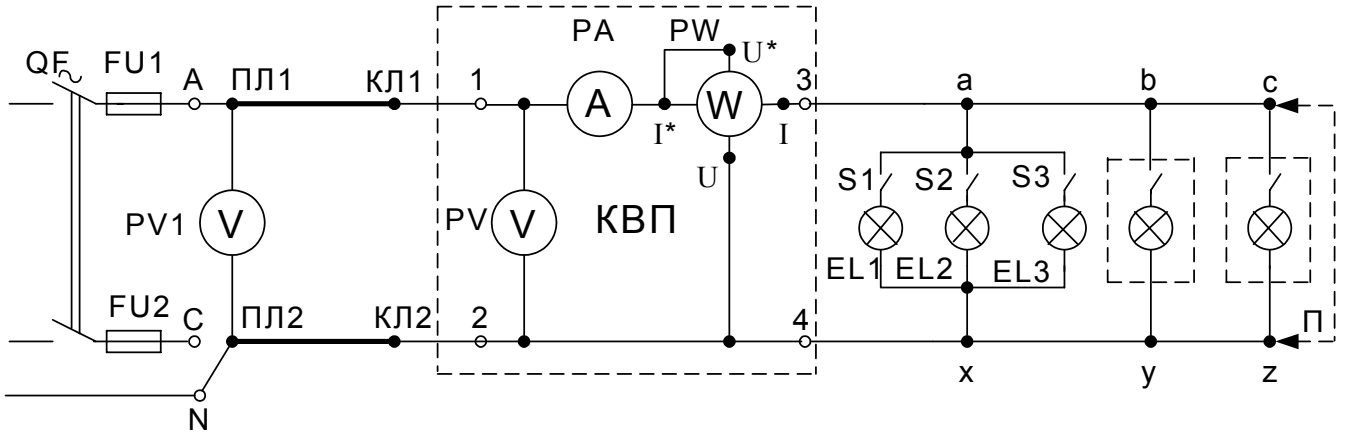


Рис.1 Принципова схема кола, що досліджується

$$R_{\text{ЛЕП}} = \text{ Ом}$$

#### 2. Результати досліджень кола.

Таблиця 1

№	Напряга живлення	кількість ввімк. ламп	Вимірювання				Візуальна оцінка		Обчислення				
			$U_1, \text{ В}$	$U_2, \text{ В}$	$I, \text{ А}$	$P_2, \text{ Вт}$	Яскравість ламп	провісання і нагрівання ЛЕП	$P_1, \text{ Вт}$	$\eta \%$	$\Delta P_{\text{л}}, \text{ Вт}$	$R_{\text{н}}, \text{ Ом}$	
1	Нижча (А – N)	0(х.х.)							<del> </del>				
2		1											
3		2											
4		3											
5		5											
6		7											
7		8											
8		к.з.											
9	Вища (А – С)	0(х.х.)											
10		1											
11		2											
12		3											
13		5											
14		7											
15		9											
16		к.з.											

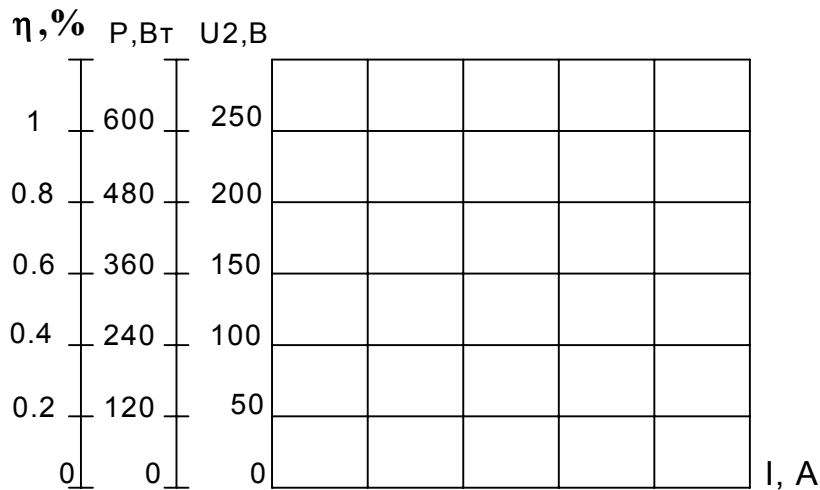


Рис.2 Графічна залежність результатів досліджень

### Максимальні потужності, що передаються по ЛЕП і метод їх підвищення.

Таблиця 2

$U_1, \text{В}$	$P_{2\text{max}}, \text{Вт}$
Нижча ( $U_H$ )	
Вища ( $U_B$ )	

$$U_B / U_H = \underline{\quad} / \underline{\quad} = \underline{\quad}, \quad (1)$$

$$P_{2\text{max.в}} / P_{2\text{max.н}} = \underline{\quad} / \underline{\quad} = \underline{\quad}; \quad (2)$$

#### Письмово відповісти на питання:

1. Як і чому змінюється напруга  $U_2$  в кінці ЛЕП (на навантаженні) при збільшенні струму навантаження  $I$ ? Яка вона при  $x$ .  $x$ ?
2. При якому співвідношенні корисних ( $R_H$ ) і шкідливих ( $R_{\text{лєп}}$ ) опорів виникає узгоджений режим роботи кола? Чому недоцільна робота промислових ЛЕП в узгодженому режимі, незважаючи на те, що приймач споживає в цьому режимі максимальну потужність? Який режим застосовується для роботи промислових ЛЕП?
3. Як і чому змінюється потужність  $P_2$ , що споживається навантаженням, при безперервному збільшенні струму навантаження  $I$  і потужності джерела  $P_1$ ? Які явища в дротах ЛЕП, що спостерігалися вами, підтверджують вашу відповідь?
4. Що доцільно робити для збільшення величини потужності, що передається по ЛЕП?

---

**Лабораторна робота № 3**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ УСОБЛЕНОГО ПРИЄДНАННЯ РІЗНИХ**  
**ПРИЙМАЧІВ У КОЛІ ЗМІННОГО СТРУМУ**

**Мета роботи** – визначення параметрів, що характеризують змінні синусоїдні напруги та струм; встановлення якісних показників енергетичних процесів при вмиканні у мережу змінного струму резистивного (R), індуктивного (L) і ємнісного (C) елементів; уточнення особливостей складання змінних струмів (напруг).

**Домашня підготовка:**

- a) Вивчити теоретичний матеріал за поданою темою.
- b) Вивчити це керівництво.
- c) Підготувати бланк звіту про роботу.

**Порядок виконання роботи**

**1. Визначення параметрів змінних синусоїдних напруг (струмів)**

- a) Зібрати коло за принциповою схемою рис. 1

PV - вольтметр електромагнітної системи на 250 В.

Вхід «Y» електронного осцилографа (ЕО) підключити до затискачів А, N;

- b) Підготувати ЕО до роботи.

Ввімкнути ЕО. Зачекавши дві - три хвилини, повернути праворуч до упору ручку «яркость». Повертанням ручки («вправо - влево»  $\leftrightarrow$ , «вверх - вниз»  $\updownarrow$ ) вивести промінь в центр екрану. Ручкою "фокус" звести промінь у точку; ручкою "яркость" прибрати зайву яскравість. Натиснути кнопки «Развертка» і 1Hz-10 kHz. Повертанням ручки «частота», розгорнути промінь за горизонталлю (нульова смуга сигналу).

**Увага!** Корпус осцилографа не заземлений і при вимірюваннях знаходиться під напругою.

**Не доторкуватись!** Маніпулювати лише ізольованими ручками і кнопками!

- c) **Порядок досліджень**

- ввімкнути QF  $\sim$ ;
- записати в *табл. 1* показання вольтметра PV і частотоміру;
- повертанням ручки «усиление по вертикали» розгорнути зображення на ЕО так, щоб воно точно вмістилося по вертикалі на екрані. Повертанням ручки «частота» отримати зупинку зображення так, щоб на екрані було два-три періода. Звернути увагу, що крива розташована по обидва боки від нульової смуги.
- перенести криву з ЕО на *рис. 2* так, щоб її нуль був на перехресті осей напруги (u) і часу (t), та починався позитивний напівперіод;
- вимкнути QF  $\sim$  та осцилограф.

---

## **2. Дослідження уособленого приєднання різних приймачів у коло змінного струму**

### **a) Приєднання активного приймача**

- зібрати коло за принциповою схемою *рис. 3а*. У ролі активного приймача використовують групу ламп розжарювання “а-х”;
- ввімкнути QF~ і всі вимикачі ламп “а-х”;
- показання приладів записати в *табл. 2*;
- вимкнути QF~.

### **b) Приєднання ємнісного приймача:**

- натомість ламп ввімкнути в коло батарею конденсаторів;
- ввімкнути QF~, вимикач у колі батареї конденсаторів S (*рис. 3б*) і три тумблери конденсатора ємністю по 20 мкФ.;
- показання приладів записати в *табл. 3*. Якщо стрілка приладу дійшла до обмежувача, записати  $\cos \varphi_c = 0$ .
- вимкнути QF~, виконати розрядження конденсаторів.

### **c) Приєднання індуктивного приймача:**

- ввімкнути в коло котушку індуктивності;
- ввімкнути вимикачі Q~ та S у колі L;
- показання приладів записати в *табл. 4*. Якщо стрілка фазометра дійшла до обмежувача, записати  $\cos \varphi_L = 0$ .
- вимкнути QF ~.

## **3. Дослідження особливостей складання синусоїдних величин (на прикладі змінних струмів):**

### **a) Активне навантаження**

- зібрати коло (*рис. 5*);
- ввімкнути QF ~;
- ввімкнути в групах “а-х” і “b-у” таку кількість ламп, щоб отримати різні значення струму на амперметрах PA<sub>1</sub> і PA<sub>2</sub>;
- записати в *табл. 5* показання амперметрів PA<sub>1</sub> (струм I<sub>1</sub>) і PA<sub>2</sub> (струм I<sub>2</sub>), PA (струм I);
- вимкнути QF ~;
- оцінити сумарний струм I, вписати між значеннями I<sub>1</sub> і I<sub>2</sub> знак, якого не вистачає (“+” або “-”).

### **b) Індуктивно-ємнісне навантаження**

- зібрати коло за схемою *рис. 6*;
- ввімкнути QF~, вимикачі котушки і конденсаторів.

---

- ввімкнути стільки тумблерів конденсаторів, щоб струм  $I_2$  був трохи менший за струм індуктивності  $I_1$ .

- показання приладів записати в *табл. 5*;

- вимкнути QF ~;

- оцінити сумарний струм  $I$ , вписати між значеннями  $I_1$  і  $I_2$  знак, якого не вистачає

*с) активно-ємнісне навантаження*

- замінити котушку індуктивності на лампи "а-х";

- ввімкнути QF~, вимикачі в колі С і ламп групи "а-х";

- показання приладів записати в *табл. 5*;

- вимкнути QF ~;

- оцінити, чи дорівнює сумарний струм  $I$  арифметичній сумі  $I_1 + I_2$ , більший або менший за арифметичну суму.

### Оформлення звіту

*а) Параметри синусоїдних величин.*

За даними *табл. 1* обчислити і записати в ній значення:

амплітуди напруги  $U_m = \sqrt{2} U$ , кутової частоти  $\omega = 2\pi f$ , періоду  $T = 1/f$ .

Вказати на рис. 2 період  $T$ , позитивну ( $+U_m$ ) і негативну ( $-U_m$ ) амплітуди.

Навести (з урахуванням масштабу) на *рис. 2* горизонтальну смугу, що відповідає діючому значенню напруги  $U$ .

За даними *табл. 1* записати тригонометричну формулу (1) для визначення миттєвих значень напруги  $u(t)$ .

*б) Уособлене приєднання приймачів.*

- записати результати обчислювання до *таблиці 2, 3, 4*.

- записати у *табл. 2, 3, 4*, поряд з добутком  $U \cdot I_a$ ;  $U \cdot I_C$ ;  $U \cdot I_L$ , літерне позначення та одиницю вимірювання потужності, що визначається цим добутком.

- з урахуванням синусоїдної напруги, що подана в розд.1 формулою (1), кутів зсуву фаз  $\varphi_a$ ,  $\varphi_C$ ,  $\varphi_L$  і діючих значень струмів  $I_a$ ,  $I_L$ ,  $I_C$ . (*табл. 2, 3, 4*) записати в *розд. 2* тригонометричні значення струмів  $i_a$ ,  $i_C$ ,  $i_L$  (формули 2, 3, 4).

- в масштабі  $m_i = 1 \text{ A/ см.}$  відкласти на *рис. 4* вектори струмів  $I_a$ ,  $I_C$ ,  $I_L$

*с) Складання синусоїдних величин.*

- накреслити на *рис. 8 -10* по одному періоду кривої  $i = i_1 + i_2$ , що є результатом складання струмів  $i_1$  і  $i_2$ , для кожного з випадків, наведених в *табл. 5*.

- на *рис. 11-13* виконати векторне складання діючих значень струму (по *табл. 5*). Порівняти результати складання із значеннями струму  $I$  для кожного випадку в *табл. 5*.



---

---

### Лабораторная работа №3

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОСОБЛЕННОГО ВКЛЮЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПРИЕМНИКОВ В ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

**Цель работы** - определение параметров, характеризующих переменные синусоидальные напряжения и токи; установление качественных различий энергетических процессов при включении в сеть переменного тока резистивного (R), индуктивного (U) и емкостного (C) сопротивлений; уточнение особенностей суммирования переменных токов (напряжений).

#### Домашняя подготовка:

- а) изучить теоретический материал по теме работы.*
- б) изучить настоящие указания;*
- в) подготовить бланк отчета о работе.*

#### Порядок выполнения работы

### 1. Определение параметров синусоидальных напряжений (токов):

*а) собрать цепь по принципиальной схеме рис. 1*

PV - вольтметр электромагнитной системы на 250 В.

Вход "У" электронного осциллографа (ЭО) подключить к зажимам А, N;

*б) подготовить ЭО к работе.*

Включить выключатель ЭО. Выждав две-три минуты, повернуть вправо до упора ручку «яркость». Вращая ручки ("вправо - влево"  $\leftrightarrow$ , "вверх - вниз"  $\updownarrow$ ) вывести луч в центр экрана. Ручкой "фокус" свести луч в точку; ручкой "яркость" убрать излишнюю яркость. Нажать клавиши "Развертка" и "1Hz - 10kHz". Вращая ручки "частота" развернуть луч по горизонтали (нулевая линия сигнала).

**ВНИМАНИЕ:** Корпус осциллографа не заземлен и при измерениях может быть под напряжением.

Не прикасаться! Манипулировать только изолированными ручками и кнопками!

*в) порядок исследований*

- включить QF~.

- записать в табл. 1 показания вольтметра PV и частотомера.

- вращая ручку "усиление по вертикали" развернуть изображение на ЭО так, чтобы оно точно уложилось по вертикали на экране. Вращая ручки "частота", добиться остановки изображения так, чтобы на экране было два-три периода. Обратит внимание, что кривая расположена по обе стороны от нулевой линии.

- перенести кривую с экрана ЭО на рис. 2. так, чтобы ее ноль был на пересечении осей *u* и *t* и начинался положительный полупериод.

- отключить QF~ и осциллограф.

### 2. Исследование обособленного включения различных приемников в цепь переменного тока

*а) включение активного приемника:*

- собрать цепь по принципиальной схеме рис. 3а. В качестве активного приемника используется группа ламп накаливания "а-х";

- включить QF~ и все выключатели ламп "а-х".

- показания приборов записать в табл. 2.

---

- отключить QF~.

*б) включение емкостного приемника:*

- вместо ламп подключить к цепи батарею конденсаторов;
- включить QF~, выключатель в цепи батареи конденсаторов S (рис. 3б) и три тумблера конденсаторов емкостью по 20 мкФ.
- показания приборов записать в табл. 3. Если стрелка фазометра уперлась в ограничитель, записать  $\cos\varphi_c = 0$ .
- отключить QF~, разрядить конденсаторы.

*в) включение индуктивного приемника:*

- подключить к цепи индуктивную катушку;
- включить выключатели QF~ и S в цепи L.
- показания приборов записать в табл., 4. Если стрелка фазометра уперлась в ограничитель, записать  $\cos\varphi_L = 0$ .
- отключить QF~.

### **3. Исследование особенностей сложения синусоидальных величин (на примере переменных токов):**

*а) активная нагрузка*

- собрать цепь (рис. 5).
- включить QF~. Включить в группах "а-х" и "в-у" такое количество ламп, чтобы получить разное значение токов на амперметрах PA1 и PA2.
- вписать в табл. 5 показания амперметров PA1 (ток  $I_1$ ), PA2 (ток  $I_2$ ), PA (ток  $I$ ).
- отключить QF~.
- оценить суммарный ток  $I$ , вписать между значениями  $I_1$  и  $I_2$  недостающий знак ("+" или "-");

*б) индуктивно-емкостная нагрузка*

- собрать цепь по схеме рис. 6.
- включить QF~, выключатели катушки и конденсаторов. Включить столько тумблеров конденсаторов, чтобы их ток  $I_2$  был несколько меньше тока индуктивной катушки  $I_1$ .
- показания приборов записать в табл. 5.
- отключить QF~.
- оценить суммарный ток  $I$ , вписать между значениями  $I_1$  и  $I_2$  недостающий знак ("+" или "-");

*в) активно-емкостная нагрузка*

- заменить индуктивную катушку L на лампы "а-х".
- включить QF~, выключатель в цепи C и лампы группы "а-х".
- показания приборов записать в табл. 5.
- отключить QF~.
- оценить, равен ли суммарный ток  $I$  арифметической сумме  $I_1 + I_2$ , больше или меньше арифметической суммы.

### **Оформление отчета**

*а) Параметры синусоидальных величин*

По данным табл. 1 вычислить и записать в нее значения:

- амплитуды напряжения  $U_m = \sqrt{2} U$ ,
- угловой частоты  $\omega = 2\pi f$ ,
- периода  $T = 1/f$ .

Указать на рис. 2 период  $T$ , положительную ( $+U_m$ ) и отрицательную ( $-U_m$ ) амплитуды.

Провести (с учетом масштаба) на рис. 2 горизонтальную линию, соответствующую действующему значению напряжения  $U$ .

По данным табл. 1 записать тригонометрическую формулу (1) для мгновенных значений напряжения  $u(t)$ .

*б) обособленное включение приемников*

- Записать результаты вычислений в таблицы 2, 3, 4.
- Запишите в табл. 2, 3, 4 рядом с произведением  $U \cdot I_a$ ,  $U \cdot I_C$ ,  $U \cdot I_L$  буквенное обозначение и единицу измерения мощности, определяемой этим произведением.
- С учетом синусоидального напряжения, заданного в разд. 1 формулой (1), углов сдвига фаз  $\varphi_a$ ,  $\varphi_L$ ,  $\varphi_C$  и действующих значений токов  $I_a$ ,  $I_L$  и  $I_C$  (табл. 2, 3, 4) записать в разд. 2 (табл. 4) тригонометрические формулы для мгновенных значений токов  $i_a$ ,  $i_L$  и  $i_C$  (формулы 2, 3, 4).
- В масштабе  $m_i = 1 \text{ А/см}$  отложить на рис. 4 векторы токов  $I_a$ ,  $I_L$ ,  $I_C$

*в) сложение синусоидальных величин*

- Начертить на рис.8 –10 по одному периоду кривой  $i = i_1 + i_2$ , которая является результатом сложения токов  $i_1$  и  $i_2$ , для каждого из случаев, приведенных в табл. 5.
- На рис.11-13 выполнить векторное сложение действующих значений токов. (в масштабе по табл. 5). Сравнить результаты сложения с значениями тока  $I$  для каждого случая в табл. 5.

**Письменно ответить на вопросы:**

1. Какое значение синусоидального напряжения показывает вольтметр PV, а какие значения наблюдаются на ЭО?
2. Какой энергетический процесс имеет место в активном приемнике
3. Сравните произведение  $U \cdot I_a$  с показанием ваттметра. Сделайте вывод: полностью ли в активном приемнике ток и напряжение приемника (т.е.  $U \cdot I_a$ ) используются для безвозвратного потребления электроэнергии и преобразования ее в другие виды?
4. Сравните произведение  $U \cdot I_C$  показанием ваттметра. Сделайте вывод о том, происходит ли безвозвратное потребление электроэнергии в емкостном приемнике.  
На какой энергетический процесс используется напряжение и ток емкостного приемника?
5. Сравните произведение  $U \cdot I_L$  с показанием ваттметра, учитывая, что  $P \ll U \cdot I_L$ , т.е.  $P \approx 0$ .  
Сделайте вывод о том, происходит ли безвозвратное потребление электроэнергии в идеальном индуктивном приемнике.  
На какой энергетический процесс используется напряжение и ток в идеальном индуктивном приемнике?
6. Почему показание прибора РА, определяющего суммарный ток амперметров РА1 ( $I_1$ ) и РА2 ( $I_2$ ) в схемах рис. 5, 6, 7 в одних случаях равно арифметической сумме, в других - разности, а в третьих - промежуточному значению?
7. Учитывая, что каждый вектор на плоскости может быть представлен также комплексным числом, сделать вывод: какие методы (синусоид, векторных диаграмм, комплексных чисел) наиболее удобны для сложения синусоидальных величин?

## ЗВІТ

### про лабораторну роботу № 3

#### “Дослідження уособленого приєднання різних приймачів у колі змінного струму.”

Група	П.І.Б студента	Дата	Підпис викладача

### 1. Визначення параметрів змінних синусоїдних напруг ( струмів)

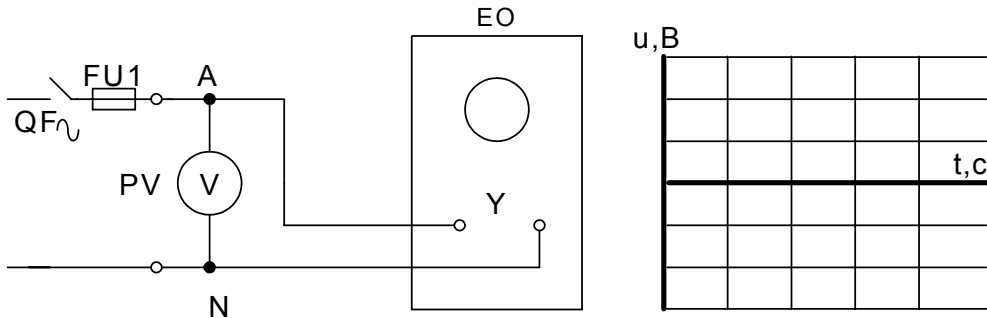


Рис.1. Принципова схема вмикання приладів      Рис.2. Осцилограма напруги

Таблиця 1

Вимірювання		Обчислювання		
U, В	f, Гц	$U_m, В$	$\omega, 1/c$	T, с

$$u(t) = \dots \quad (1)$$

### 2. Дослідження уособленого приєднання різних приймачів.

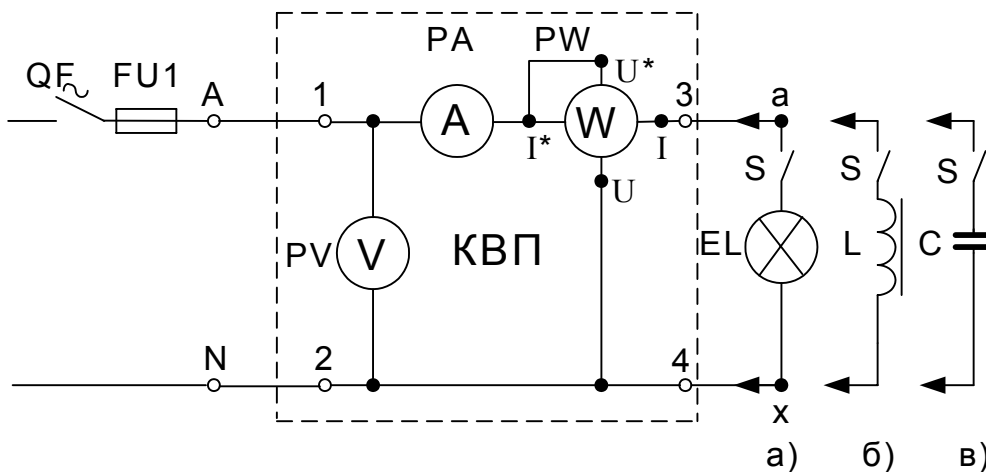


Рис.3. Принципові схеми вмикання окремих елементів R; L; C

**Приєднання активного (резистивного) приймача.**

Таблиця 2

Вимірювання				Обчислювання			
U, В	I <sub>a</sub> , А	P, Вт	cos φ <sub>a</sub>	U*I <sub>a</sub> =	φ <sub>a</sub> , град.	R, Ом	G, См

**Приєднання ємнісного приймача.**

Таблиця 3

Вимірювання				Обчислювання			
U, В	I <sub>c</sub> , А	P, Вт	cos φ <sub>c</sub>	U*I <sub>c</sub> =	φ <sub>c</sub> , град.	R <sub>c</sub> , Ом	B <sub>c</sub> , См

**Приєднання індуктивного приймача.**

Таблиця 4

Вимірювання				Обчислювання			
U, В	I <sub>L</sub> , А	P, Вт	cos φ <sub>L</sub>	U*I <sub>L</sub> =	φ <sub>L</sub> , град.	R <sub>L</sub> , Ом	B <sub>L</sub> , См

$i_a(t)=$

(2)  $i_c(t)=$

(3)  $i_l(t)=$

(4)

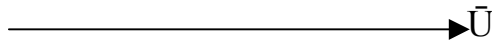


Рис. 4. Векторна діаграма.

**3. Дослідження особливостей складання синусоїдних величин (на прикладі змінних струмів).**

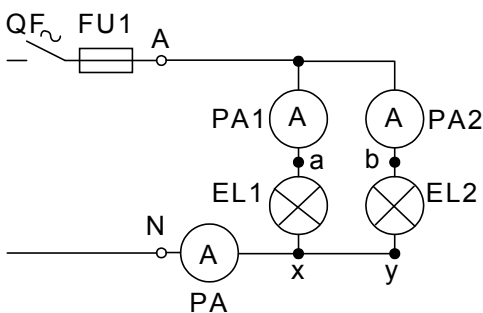


Рис.5

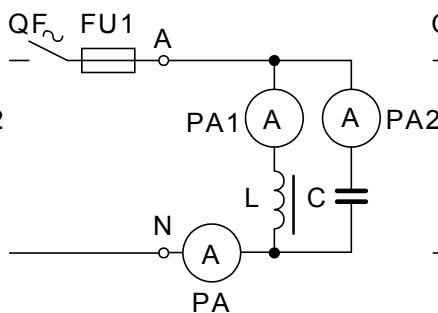


Рис.6

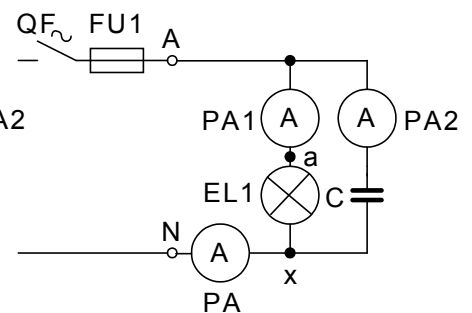
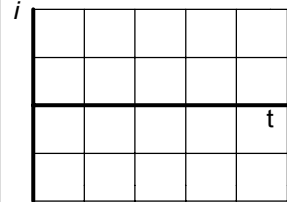
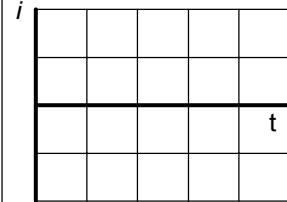
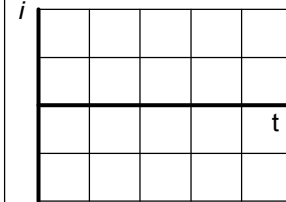
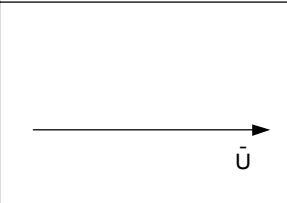




Рис.7

Таблиця 5

$I_{1,A}$	$I_{2,A}$	$I,A$	$I_{1,A}$	$I_{2,A}$	$I,A$	$I_{1,A}$	$I_{2,A}$	$I,A$
 <p>Рис.8</p>	 <p>Рис.9</p>	 <p>Рис.10</p>						
 <p>Рис.11</p>	 <p>Рис.12</p>	 <p>Рис.13</p>						

**Письмово відповісти на питання:**

1. Яке значення синусної напруги показує вольтметр? Які значення спостерігаються на ЕО?
2. Який енергетичний процес має місце в активному приймачі?
3. Порівняйте добуток  $U \cdot I_a$  з показаннями ватметра. Зробіть висновок: чи в повній мірі в активному приймачі струм і напруга приймача (тобто  $U \cdot I_a$ ) використовується для безповоротного споживання електроенергії і перетворення її в інші?
4. Порівняйте добуток  $U \cdot I_C$  з показаннями ватметра; зробіть висновок про те, чи трапляється безповоротне споживання електроенергії в ємнісному приймачі? На який енергетичний процес використовується напруга і струм ємнісного приймача?
5. Порівняйте добуток  $U \cdot I_L$  з показаннями ватметра, враховуючи, що  $P \ll U \cdot I_L$  тобто  $P \approx 0$ . Зробіть висновок про те, чи стається безповоротне споживання електроенергії в ідеальному індуктивному приймачі? На який енергетичний процес використовується напруга і струм в ідеальному індуктивному приймачі?
6. Чому показання приладу РА, що визначає підсумковий струм амперметрів РА1 ( $I_1$ ) та РА2 ( $I_2$ ) в схемах рис.5, 6, 7 в одному випадку дорівнює арифметичній сумі, в другому – різниці, а в третьому - проміжковому значенню?
7. Враховуючи, що кожен вектор на площині можна представити комплексним числом, зробіть висновок, які методи (синусоїд, векторних діаграм, комплексних чисел) найбільше зручні для складання синусоїдних величин?

---

---

**Лабораторна робота № 4**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ПОСЛІДОВНОГО І ПАРАЛЕЛЬНОГО З'ЄДНАННЯ**  
**ПРИЙМАЧІВ У КОЛІ ЗМІННОГО СТРУМУ**

**Мета роботи** - дослідження явищ при послідовному і паралельному з'єднанні приймачів у колах змінного струму, визначення параметрів схем заміщення реальних приймачів, дослідження методу підвищення коефіцієнту потужності електричних мереж.

**Домашня підготовка:**

- a) Вивчити теоретичний матеріал за поданою темою.
- b) Вивчити це керівництво.
- c) Підготувати бланк звіту про роботу.

**Порядок виконання роботи**

**1. Дослідження послідовного з'єднання:**

a) зібрати коло за принциповою схемою рис. 1.

- активний елемент – група ламп “а-х”;
- індуктивний елемент – котушка  $L$ ;
- ємнісний елемент – батарея конденсаторів  $C$ .
- підготувати до роботи вольтметр PV2, зі змінним діапазоном вимірювання.

b) Проведення досліджень

- ввімкнути QF~, вимикачі ламп “а-х”, котушки  $L$  і конденсаторів  $C$  (S1, S2 і S3 за схемою рис. 1).
- ввімкнути тумблер батареї конденсаторів з написом "20".
- записати у строку 1 табл. 1 показання приладів ( $U$ ,  $P$ ,  $I$ ).
- торкаючись щупами вольтметра PV2 до затискачів ламп “а-х”, котушки  $L$  і батареї конденсаторів  $C$ , виконати вимірювання і записати у табл. 1 значення напруг  $U_a$ ,  $U_L$  і  $U_C$ .
- реактивну напругу  $U_p$  вимірювати на ділянці «котушка  $L$  - конденсатор  $C$ » або (що теж саме) між точками «х» і «4» (рис. 1).

c) резонанс напруг (рядок 2 табл. 1)

- змінюючи величину ємності батареї конденсаторів за допомогою тумблерів батареї, добитися резонансу напруг:

$$U_L = U_C;$$

значення  $U_p = U_L - U_C$  при резонансі напруг повинно дорівнювати нулеві  $U_p = 0$ . Якщо неможливо виконати цю умову, то треба отримати мінімально можливе значення.

- записати показання приладів у рядок 2 табл. 1.
- вимкнути QF~.

---

## 2. Дослідження паралельного з'єднання $R$ , $L$ , $C$ і методу підвищення коефіцієнту потужності у промислових мережах:

а) зібрати коло за принциповою схемою рис. 3.

Це коло імітує схему електропостачання промислового підприємства. Жирно виділена модель лінії електропостачання (ПЛ1-КЛ1 і ПЛ2-КЛ2).

Група ламп "а-х" й індуктивна котушка  $L$  імітують, активно-індуктивні приймачі підприємства.

Ємнісний елемент  $C$ , коло якого показано перервною лінією, імітує пристрій для підвищення коефіцієнту потужності – конденсаторні батареї, які додатково встановлюються на підприємствах.

б) Проведення досліджень

- ввімкнути  $QF_{\sim}$ , дві лампи й індуктивну котушку  $L$  ( $S1$ ,  $S2$  за схемою на рис. 3)

- записати у рядок 1 табл. 2 показання приладів:

$pV1$  – напруга на початку ЛЕП (генератора)  $U_G$ ,

$pV2$  – напруга у кінці ЛЕП (приймачів)  $U_P$ ,

$pA$  - струм у нерозгалуженій частині кола – струм ЛЕП ( $I$ );

$pA1$  и  $pA2$  - струми активного й індуктивного приймачів ( $I_a$ ,  $I_L$ );

$pW$  - активна потужність, що споживається приймачами ( $P$ );

- дати візуальну оцінку яскравості ламп і провисання провідників ЛЕП. Оцінку яскравості пояснювати словами «яскраво» або «тьмяно»; провисання – «помітне» або «не помітне».

с) Резонанс струмів

- ввімкнути вимикач батареї конденсаторів ( $S3$  за схемою рис. 3).

- змінюючи значення ємності батареї конденсаторів (тумблерами  $S$ ), добитися приблизної рівності:

$I_L \approx I_C$ , тобто компенсації індуктивного струму ємнісним (режим роботи близький до резонансу струмів).

- показання приладів і візуальну оцінку занести у рядок 2 табл. 2. Візуальну оцінку виконувати у порівнянні з попереднім випадком: провисання провідників ЛЕП - словами «зменшилося» або «збільшилося», яскравості – «яскравіше» або «тьмяніше».

- вимкнути  $QF_{\sim}$ .

### Оформлення звіту

а) Послідовне з'єднання елементів.

Обчислити і занести в табл. 1 для кожного рядка:

- значення опорів: активного ( $R = U_a / I$ ), реактивних ( $X_L = U_L / I$ ,  $X_C = U_C / I$ ), еквівалентного реактивного ( $X = X_L - X_C$ ), повного ( $Z = U / I$ );



---

- значення потужностей: індуктивної  $Q_L = U_L \cdot I$ , ємнісної  $Q_C = U_C \cdot I$ , еквівалентної реактивної  $Q = Q_L - Q_C$ , повної  $S = U \cdot I$ ;

-  $\cos\varphi = P / S$ ;

- зсув фаз  $\varphi$ .

Побудувати у масштабі векторні діаграми напруг  $\bar{U}_a$ ,  $\bar{U}_L$ ,  $\bar{U}_C$ ,  $\bar{U}_p$  і  $\bar{U}$  для обох випадків (рис. 2а і рис. 2б).

*b) Паралельне з'єднання елементів.*

- обчислити і занести в табл. 2 для кожного рядка значення  $S = U_n \cdot I$  і  $\cos\varphi = P / S$ ;

- побудувати у масштабі  $m_I = 1 \text{ A/cm}$  векторні діаграми струмів ( $\bar{I}_a$ ,  $\bar{I}_L$ ,  $\bar{I}_C$ ,  $\bar{I}$ ) для обох випадків табл. 2 (рис. 4а і рис. 4б).

***Письмово відповісти на питання:***

1. Від яких параметрів кола залежить зсув фаз  $\varphi$  і у яких межах він змінюється?

2. При якому з'єднанні індуктивної котушки і конденсатора і при якому співвідношенні між  $X_L$  і  $X_C$  має місце резонанс напруг?

3. Який характер (активний, активно-індуктивний та ін.) має дільниця кола, що містить послідовне з'єднання R, L, C у обох випадках?

4. Які складові має струм  $I$  у ЛЕП і які потужності надходять за допомогою ЛЕП від генератора до приймача до компенсації? Після компенсації?

5. Яким позитивним явищем сприяє компенсація реактивної потужності приймача, який живеться від реальної ЛЕП?

---

## Лабораторная работа № 4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО И ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРИЕМНИКОВ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

**Цель работы:** исследование явлений при последовательном и параллельном соединениях приемников в цепях переменного тока; определение параметров схем замещения реальных приемников; исследование метода повышения коэффициента мощности электрических сетей.

#### Домашняя подготовка:

- а) изучить теоретический материал по теме работы.
- б) изучить настоящие указания;
- в) подготовить бланк отчета о работе.

#### Порядок выполнения работы

##### 1. Изучение последовательного соединения:

а) собрать цепь по принципиальной схеме рис. 1

- активный элемент - группа ламп «а-х»,
- индуктивный элемент - катушка  $L$ ;
- емкостной элемент - батарея конденсаторов  $C$ .
- подготовить к работе вольтметр  $pV_2$  (комбинированный измерительный прибор Ц4342).;

б) проведение исследований

- включить  $QF_{\sim}$ , выключатели ламп «а-х», катушки  $L$  и конденсаторов  $C$  ( $S_1$ ,  $S_2$  и  $S_3$  по схеме рис.1);
- включить тумблер батареи конденсаторов с надписью «20»;
- записать в строку 1 табл.1 показания приборов КИП ( $U$ ,  $P$ ,  $I$ ,  $\cos\varphi$ );
- подключая щупы вольтметра  $pV_2$  к зажимам ламп «а-х», катушки  $L$  и батареи конденсаторов  $C$ , измерить и записать в табл.1 напряжения  $U_a$ ,  $U_L$  и  $U_C$ ;
- реактивное напряжение  $U_P$  измерять на участке «катушка  $L$ - конденсатор  $C$ » или (что, то же самое) между точками «х» и «4» (рис. 1).

в) резонанс напряжений (строка 2 табл.1)

- изменяя ёмкость батареи конденсаторов при помощи тумблеров батареи, добиться резонанса напряжений  $U_L = U_C$ . Значение  $U_P = U_L - U_C$  при резонансе напряжений должно быть равно нулю или близким к нулю  $U_P \approx 0$  (добиться минимального значения).
- записать в строку 2 табл.1 показания приборов;
- отключить  $QF_{\sim}$ .

##### 2. Изучение параллельного соединения $R$ , $L$ , $C$ и метода повышения коэффициента мощности в промышленных сетях:

а) собрать цепь по принципиальной схеме рис. 3.

Эта цепь имитирует схему электроснабжения промышленного предприятия. Жирно выделена модель линии электропередачи (НЛ1–КЛ1 и НЛ2–КЛ2).

Группа ламп «а-х» и индуктивная катушка  $L$  имитируют активно-индуктивные приёмники предприятия.

Емкостной элемент  $C$ , цепь которого показана пунктиром, имитирует устройство для повышения коэффициента мощности – конденсаторные батареи, дополнительно устанавливаемые на предприятиях;

б) проведение исследований (строка 1 табл. 2)

- включить  $QF_{\sim}$ , две лампы и индуктивную катушку  $L$  ( $S_1, S_2$  по схеме рис. 3).
- записать в строку 1 табл. 2 показания приборов:  
 $pV_1$  – напряжение в начале ЛЭП (генератора)  $U_r$ ,  
 $pV_2$  – напряжение в конце ЛЭП (приемников)  $U_n$ ,  
 $pA$  – ток в неразветвленной части цепи – ток ЛЭП (1);  
 $pA_1$  и  $pA_2$  – токи активного и индуктивного приемников ( $I_a, I_L$ );  
 $pW$  – активная мощность, потребляемая приемниками ( $P$ );
- дать оценку яркости ламп и провисания проводов ЛЭП. Оценка яркости производить словами: «ярко» или «тускло»; оценку провисания проводов – «заметно» или «не заметно»;
- в) резонанс токов (строка 1 табл. 2)*
- включить выключатель батареи конденсаторов ( $S_3$  по схеме рис. 3).
- изменяя ёмкость батареи конденсаторов (тумблерами  $S$ ) добиться приближенного равенства  $I_L \approx I_C$ , т.е. компенсации индуктивного тока емкостным (режим работы близкий к резонансу токов).
- показания приборов и визуальную оценку записать в строку 2 табл. 2. Визуальную оценку производить в сравнении с предыдущим случаем: провисание проводов ЛЭП - «уменьшилось» или «увеличилось», яркость ламп - «ярче» или «тусклее».
- отключить  $QF_{\sim}$ .

### Оформление отчёта

#### *а) последовательное соединение элементов*

Вычислить и записать в табл.1 для каждой строки:

- сопротивления: активное ( $R = U_a / I$ ), реактивные ( $X_L = U_L / I$ ,  $X_C = U_C / I$ ), эквивалентное реактивное ( $X = X_L - X_C$ ), полное ( $Z = U / I$ );
- мощности: индуктивную  $Q_L = U_L * I$ , ёмкостную  $Q_C = U_C * I$ , эквивалентную реактивную  $Q = Q_L - Q_C$ , полную  $S = U * I$ ;
- $\cos\varphi = P / S$ ;
- угол сдвига фаз  $\varphi$ ;

Построить в масштабе векторные диаграммы напряжений  $\vec{U}_a, \vec{U}_L, \vec{U}_C, \vec{U}_P$  и  $\vec{U}$  для обоих случаев (рис.2а и рис.2б).

#### *б) параллельное соединение элементов*

- вычислить и занести в табл. 2 для каждой строки значения  $S = U_n * I$  и  $\cos\varphi = P / S$ ;
- построить в масштабе  $m_I = 1A$ : 1см векторные диаграммы токов ( $\vec{I}_a, \vec{I}_L, \vec{I}_C, \vec{I}$ ) для обоих случаев табл. 2 (рис. 4а и рис. 4б).

#### **Письменно ответить на вопросы:**

1. От каких параметров цепи зависит угол сдвига фаз  $\varphi$  и в каких пределах он изменяется?
2. При каком соединении индуктивной катушки и конденсатора и при каком соотношении между  $X_L$  и  $X_C$  имеет место резонанс напряжений?
3. Какой характер нагрузки имеет участок цепи с последовательным соединением  $R, L, C$  в обоих случаях?
4. Какие составляющие имеет ток  $I$  в ЛЭП и какие мощности поступают по ЛЭП от источника к приёмнику до компенсации? После компенсации.
5. К каким положительным явлениям приводит компенсация реактивной мощности приёмника?

## ЗВІТ

### про лабораторну роботу № 4

#### “Дослідження послідовного і паралельного з’єднання приймачів у колі змінного струму.”

Група	П.І.Б. студента	Дата	Підпис викладача

#### 1. Дослідження схем з послідовним з’єднанням R, L, C.

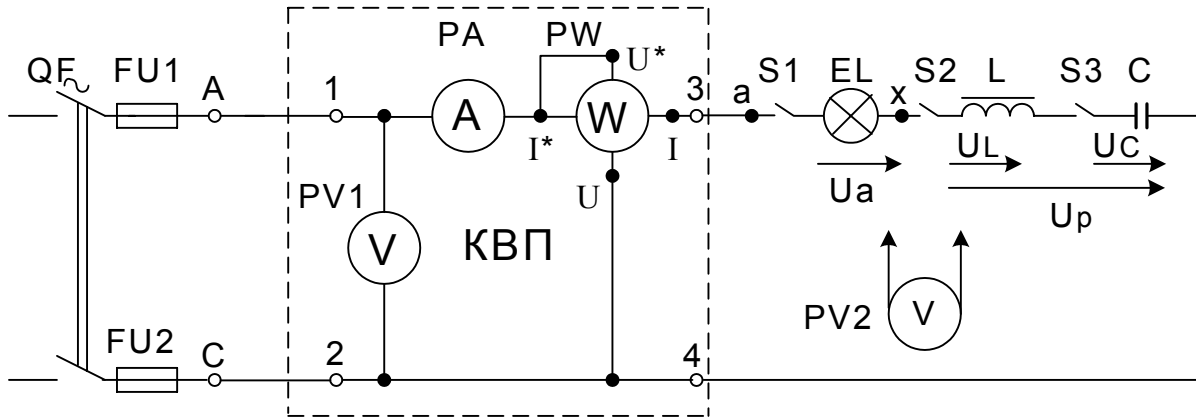


Рис.1 Принципова схема кола з послідовним з’єднанням R,L,C

Таблиця 1

ВИМІРЮВАННЯ							
№	U, В	I, А	P, Вт	U <sub>a</sub> , В	U <sub>L</sub> , В	U <sub>C</sub> , В	U <sub>p</sub> , В
1							
2							

ОБЧИСЛЮВАННЯ										
R, Ом	X <sub>L</sub> , Ом	X <sub>C</sub> , Ом	X, Ом	Z, Ом	Q <sub>L</sub> ,ВАр	Q <sub>C</sub> ,ВАр	Q,ВАр	S,ВА	cos φ	φ

а)  $X_L > X_C$  або  $X_L < X_C$  ;  
(для першого рядка табл.1)  
масштаб

б)  $X_L = X_C$ .  
(для другого рядка табл.1)  
масштаб



Рис. 2. Векторні діаграми із різними співвідношеннями  $X_L$  і  $X_C$

## 2. Дослідження паралельного з'єднання R,L,C і методів підвищення коефіцієнту потужності ( $\cos \varphi$ ) у промислових мережах.

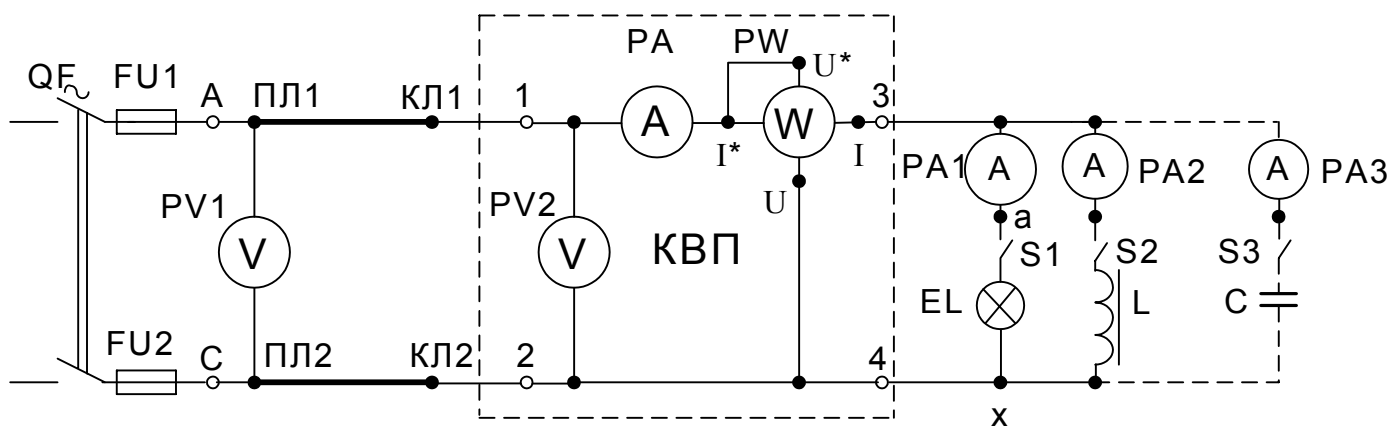


Рис.3 Принципова схема моделі електропостачання підприємства

Таблиця 2

Вимірювання								Візуальна оцінка		Обчислювання	
№	$U_{г},$ В	$U_{п},$ В	$I,$ А	$I_{a},$ А	$I_{L},$ А	$I_{C},$ А	$P,$ Вт	провисання проводників	яскравість ламп	$S,$ ВА	$\cos \varphi$
1						$\otimes$					
2											

а) для першого рядка табл.2  
масштаб

б) для другого рядка табл.2  
масштаб



Рис. 4. Векторні діаграми до і після компенсації

### Письмово відповісти на питання:

- Від яких параметрів кола залежить зсув фаз  $\varphi$  і у яких межах він змінюється?
- При якому з'єднанні індуктивної котушки і конденсатора і при якому співвідношенні між  $X_L$  і  $X_C$  має місце резонанс напруг?
- Який характер (активний, активно-індуктивний та ін.) має дільниця кола, що містить послідовне з'єднання R, L, C у обох випадках?
- Які складові має струм  $I$  у ЛЕП і які потужності надходять за допомогою ЛЕП від генератора до приймача до компенсації? Після компенсації?
- Яким позитивним явищем сприяє компенсація реактивної потужності приймача, який живиться від реальної ЛЕП?

---

## Лабораторна робота № 5

### Дослідження режимів роботи трифазних кіл змінного струму

**Мета роботи** – дослідження трифазних кіл з різними схемами з'єднання приймачів, особливостей їх роботи при симетричному і несиметричному навантаженні.

#### Домашня підготовка:

- a) Вивчити теоретичний матеріал за поданою темою.
- b) Вивчити це керівництво.
- c) Підготувати бланк звіту про роботу.

#### Порядок виконання роботи

##### 1. Дослідження роботи трифазного кола при вмиканні приймача зіркою

a) Зібрати коло трифазного приймача за принциповою схемою рис.1.

"a-x", "b-y", "c-z" - фази трифазного приймача;

Спільна точка x, y, z – нейтраль приймача n;

РА1 - РА4 - амперметри електромагнітної системи на струм 5А;

PV - вольтметр електромагнітної системи на 250 В.

Вказати на рис.1 номінальну напругу  $U_{ном}$  ламп, що використовуються в ролі приймачів.

b) Дослідження роботи симетричного приймача:

- ввімкнути QF~;

- ввімкнути в кожній фазі по три лампи (симетричний трифазний приймач);

- вольтметром PV виконати вимірювання лінійних напруг на приймачах  $U_{ab}$ ,  $U_{bc}$ ,  $U_{ca}$  (затискачі ламп "a" і "b", "b" і "c", "c" і "a"), а також фазні напруги  $U_a$ ,  $U_b$ ,  $U_c$  (затискачі "a" і "x", "b" і "y", "c" і "z"). Результати вимірювань і показання амперметрів записати в рядок 1 табл. 1;

- вимкнути QF~.

c) Дослідження роботи несиметричного приймача в трифазному колі з чотирма провідниками:

- ввімкнути QF~ і кількість ламп у фазах згідно з рядком 2 табл. 1;

- результати записати в рядок 2 табл. 1;

- вимкнути QF~.

d) Дослідження роботи несиметричного приймача в трифазному колі з трьома провідниками:

- виключити нейтральний провід із схеми;

- ввімкнути QF~ ;

- результати записати в рядок 3 табл. 1;

- вимкнути QF~.

---

e) *Ввімкнення однофазних приймачів на фазну напругу:*

- відновити приєднання нейтрального провідника;
- ввімкнути QF~;
- ввімкнути лампи лише в фазі “а - х” (три лампи);
- в рядок 4 табл. 1 записати значення напруги  $U_a$ , струмів  $I_a$  і  $I_N$ ;
- вимкнути QF~.

## **2. Дослідження роботи трифазного приймача при вмиканні приймача трикутником**

a) *Зібрати коло за принциповою схемою рис. 3:*

Визначити на стенді, які амперметри показують лінійні струми, а які – фазні.

b) *Дослідження роботи симетричного приймача:*

- ввімкнути QF~;
- ввімкнути в кожній фазі по три лампи (симетричний трифазний приймач);
- виконати вимірювання лінійних напруг  $U_{ab}$ ,  $U_{bc}$ ,  $U_{ca}$ . Результати вимірювань записати в рядок 1 табл. 2;
- показання амперметрів записати в рядок 1 табл. 2.

c) *Дослідження роботи несиметричного приймача:*

- ввімкнути різну кількість ламп у фазах згідно з рядком 2 табл. 2 (несиметричний трифазний приймач);
- результати записати в рядок 2 табл. 2;
- порівняти, чи однаковий накал ламп у різних фазах.

d) *Ввімкнення однофазного приймача на лінійну напругу:*

- ввімкнути лампи лише в фазі “а - х” (три лампи);
- записати значення струмів  $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_{ax}$  в рядок 3 табл. 2;
- вимкнути QF~.

### **Оформлення звіту**

a) *Принципова схема.*

На рис. 1 дорисувати схему трифазного джерела електроенергії, при з'єднанні зіркою з нейтральним провідником, а також провідники лінії та нейтральний провідник, що відходять від нього.

Вказати стрілками позитивні напрямки фазних е.р.с ( $E_a$ ,  $E_b$ ,  $E_c$ ) фазних ( $U_a$ ,  $U_b$ ,  $U_c$ ) і лінійних ( $U_{ab}$ ,  $U_{bc}$ ,  $U_{ca}$ ) напруг.

Записати під схемою кола трифазного джерела значення фазної та лінійної напруги джерела (за даними рядка 1 табл. 1).

b) *Схема “зірка”.*

Побудувати в масштабі 1А/см векторні діаграми струмів приймача (рис. 2): на рис. 2a – для симетричного приймача за даними рядка 1 табл. 1;

---

на *рис. 2б* – для несиметричного приймача за даними *рядка 2 табл. 1*

**Вказівка:** при побудові векторних діаграм врахувати, що для ламп - активного приймача,  $\cos \varphi = 1$  (кут зсуву фаз між фазною напругою і струмом  $\varphi=0^\circ$ ).

Струм нейтралі на *рис. 2б* побудувати за векторною формулою  $\bar{I}_n = \bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c$ .

Результат порівняти з отриманим значенням (*рядок 2 табл. 1*).

с) *Схема “трикутник”*.

Вибрати масштаб для побудови векторних діаграм фазних і лінійних струмів приймача, що ввімкнено трикутником (*рис. 4*). Побудувати:

на *рис. 4а* – діаграму для симетричного приймача за даними *рядка 1 табл. 2*;

на *рис. 4б* – діаграму для несиметричного приймача за даними *рядка 2 табл. 2*.

Лінійні струми побудувати за допомогою векторних формул:  $\bar{I}_a = \bar{I}_{ax} - \bar{I}_{cz}$

$\bar{I}_b = \bar{I}_{by} - \bar{I}_{ax}$ ,  $\bar{I}_c = \bar{I}_{cz} - \bar{I}_{by}$ .

Отримані значення струмів  $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_c$  порівняти із значеннями, що записані в *рядках 1 і 2 табл. 2*.

**Письмово відповісти на питання:**

1. Які дві системи напруг утворює трифазне джерело, що з'єднано зіркою з нейтральним провідником? Яке співвідношення між цими напругами?

2. Яке призначення нейтрального провідника? Які порушення в електропостачанні можливі з пошкодженням нейтрального провідника?

3. Які співвідношення між фазними і лінійними струмами симетричного приймача, що ввімкнений в трифазне коло трикутником? Чи виконується воно для значень, що вимірювались (за даними *рядка 1 табл. 2*)?



---

## Лабораторная работа № 5

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

**Цель работы** – исследование различных способов соединения приемников в трехфазной сети, особенностей работы трехфазной цепи при симметричной и несимметричной нагрузке.

#### Домашняя подготовка:

- а) изучить теоретический материал по теме работы.
- б) изучить настоящие указания;
- в) подготовить бланк отчета о работе.

#### Порядок выполнения работы

##### ***1. Исследование работы трехфазной цепи при включении приемника звездой***

а) Собрать цепь трехфазного приемника по принципиальной схеме рис. 1.

"а-х", "в-у" и "с-з" - фазы трехфазного приемника;

Общая точка х, у, z - нейтраль приемника п.

РА1 - РА4 - амперметры электромагнитной системы на ток 5А;

PV - вольтметр электромагнитной системы на 250 В.

Записать на (рис. 1) номинальное напряжение  $U_{ном}$  ламп, используемых в качестве приемников.

б) *Исследование работы симметричного приемника:*

- включить QF~.
- включить в каждой фазе по три лампы (симметричный трехфазный приемник).
- вольтметром PV измерить линейные напряжения на приемнике:  $U_{ав}$ ,  $U_{вс}$ ,  $U_{са}$  (на зажимах ламп "а" и "в", "в" и "с", "с" и "а" соответственно), а также фазные напряжения  $U_a$ ,  $U_b$ ,  $U_c$  (на зажимах "а" и "х", "в" и "у", "с" и "z"). Результаты измерений и показания амперметров записать в строку 1 табл. 1.

- отключить QF~.

в) *Исследование работы несимметричного приемника в трехфазной четырехпроводной цепи*

- включить QF~ и лампы в фазах, согласно строке 2 табл. 1
- результаты измерений записать в строку 2 табл. 1.
- отключить QF~.

г) *Исследование работы несимметричного приемника в трехфазной трехпроводной цепи*

- отсоединить нейтральный провод
- включить QF~.
- результаты измерений записать в строку 3 табл. 1.
- отключить QF~.

д) *Включение однофазных приемников на фазное напряжение*

- восстановить цепь нейтрального провода.
- включить QF~.
- включить лампы только в фазе "а-х" (три лампы).
- в строку 4 табл. 1 записать значения напряжения  $U_a$ , токов  $I_a$  и  $I_n$ .
- отключить QF~.

##### ***2. Исследование работы трехфазной цепи при включении приемника треугольником***

а) Собрать цепь по принципиальной схеме рис. 3.

Разобраться на стенде, какие амперметры будут показывать линейные токи, а какие - фазные.

б) *Исследование работы симметричного приемника*

- включить QF~.

---

- включить в каждой фазе по три лампы (симметричный трехфазный приемник). - измерить и записать в строку 1 табл. 2 значения линейных напряжений  $U_{ав}$ ,  $U_{вс}$ ,  $U_{са}$ .

- записать показания амперметров в строку 1 табл. 2.

в) *Исследование работы несимметричного приемника*

- включить различное количество ламп в фазах согласно строке 2 табл. 2 (несимметричный трехфазный приемник).

- результаты измерений записать в строку 2 табл. 2.

- сравнить, одинаков ли накал одинаковых ламп в различных фазах.

г) *Включение однофазного приемника на линейное напряжение*

- включить лампы только в фазе "а-х" (три лампы).

- записать значения токов  $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_{ax}$  в строку 3 табл. 2.

- отключить  $QF_{\sim}$ .

### Оформление отчета

а) *принципиальная схема*

На рис. 1 дорисовать схему трехфазного источника электроэнергии, соединенного звездой с нейтральным проводом, и отходящие от него линейные и нейтральный провода.

Указать стрелками положительные направления фазных эдс ( $E_a$ ,  $E_b$ ,  $E_c$ ) фазных ( $U_a$ ,  $U_b$ ,  $U_c$ ) и линейных ( $U_{ав}$ ,  $U_{вс}$ ,  $U_{са}$ ) напряжений.

Записать под схемой цепи трехфазного источника значения фазного и линейного напряжений источника (по данным строки 1 табл. 1).

б) *схема соединения «звезда»*

Достроить в масштабе 1А:1см векторные диаграммы токов приемника:

на рис. 2,а - для симметричного приемника по данным строки 1 табл. 1,

на рис. 2,б - для несимметричного приемника по данным строки 2 табл. 1.

**УКАЗАНИЕ:** при построении векторных диаграмм учесть, что для ламп - активного приемника,  $\cos\varphi = 1$  (угол сдвига фаз между фазным напряжением и током  $\varphi = 0^\circ$ ).

Ток нейтрали на рис. 2,б построить по векторной формуле  $\bar{I}_n = \bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c$ .

Результат сравнить с измеренным значением (строка 2 табл. 1).

в) *схема соединения «треугольник»*

Выбрать масштаб для построения векторных диаграмм фазных и линейных токов приемника, включенного треугольником. Построить:

на рис. 4а - диаграмму для симметричного приемника по данным строки 1 табл. 2.

на рис. 4б - диаграмму для несимметричного приемника по данным строки 2 табл. 2.

Линейные токи построить с помощью векторных формул:  $\bar{I}_a = \bar{I}_{ax} - \bar{I}_{cz}$ ,  $\bar{I}_b = \bar{I}_{by} - \bar{I}_{ax}$ ,  $\bar{I}_c = \bar{I}_{cz} - \bar{I}_{by}$ .

Полученные значения токов  $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_c$  сравнить с записанными в строках 1 и 2 табл. 2.

**Письменно ответить на вопросы:**

1. Какие две системы напряжений образует источник, соединенный звездой с нейтральным проводом? Какое соотношение между значениями напряжений этих систем?

2. Каково назначение нейтрального провода? Какие нарушения в электроснабжении возможны при повреждении нейтрального провода?

3. Какое соотношение между фазными и линейными токами симметричного приемника, включенного в трехфазную сеть треугольником? Выполняется ли оно для измеренных значений (по данным строки 1 табл.2)?

**Звіт**  
**про лабораторну роботу № 5**  
**“Дослідження режимів роботи трифазних кіл змінного струму.”**

Група	П.І.Б. студента	Дата	Підпис викладача

**1. Дослідження роботи трифазного кола при ввімкненні приймача зіркою.**

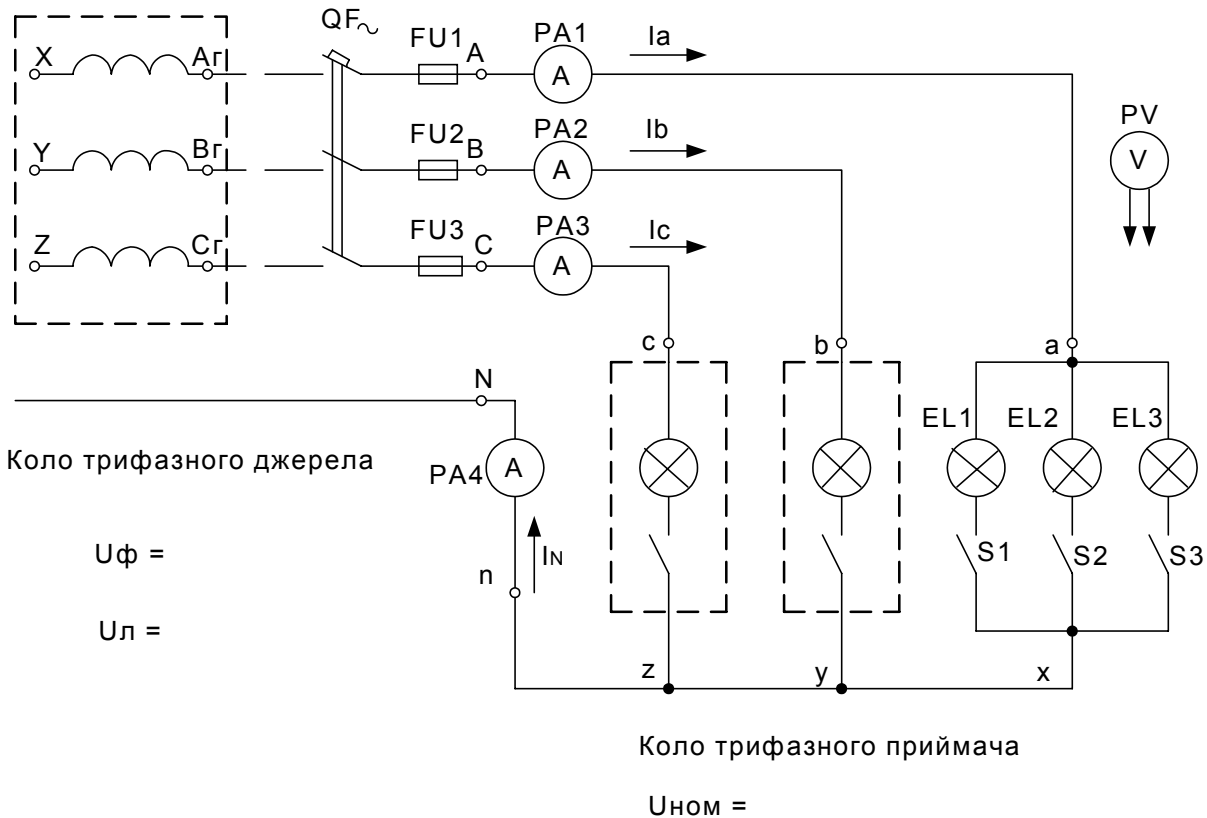


Рис.1. Принципова схема трифазних джерела і приймача ввімкнених зіркою

**Таблиця 1**

№	Кількість ламп у фазі			Тип приймача	На-явність нейтр. провід.	Вимірювання										
	a-x	b-y	c-z			Напруги					Струми					
						Uab	Ubc	Uca	Ua	Ub	Uc	Ia	Ib	Ic	In	
1	3	3	3		з N											
2	3	2	2		з N	X	X	X								
3	3	2	2		без N	X	X	X								X
4	3	0	0		з N	X	X	X		X	X		X	X		

На окремому аркуші побудувати:

Рис.2,а - векторна діаграма симетричного приймача.

Рис.2,б - векторна діаграма несиметричного приймача.

## 2. Дослідження роботи трифазного кола при ввімкненні приймача трикутником.

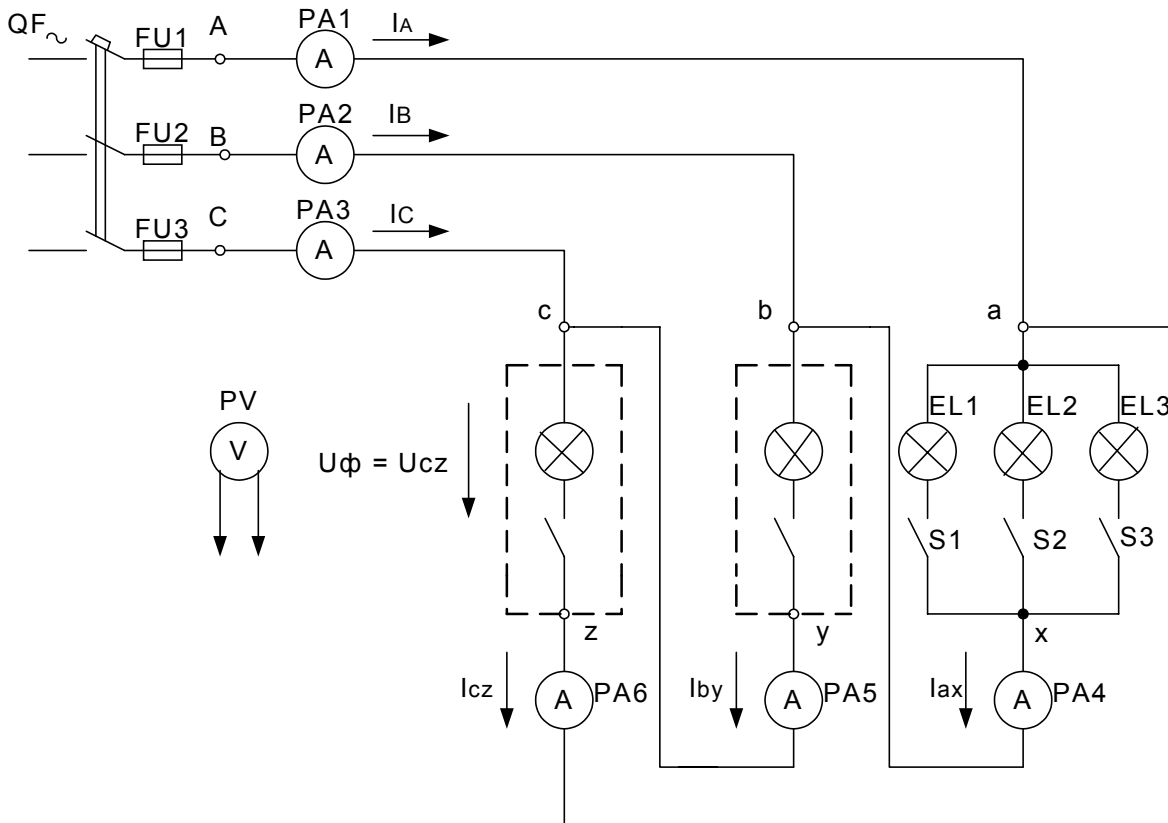


Рис.3. Принципова схема трифазного кола при з'єднанні приймача трикутником

Таблиця 2

№	Кількість ламп у фазі			Тип приймача	Вимірювання									
					Напруги			Струми						
	a-x	b-y	c-z		Uab	Ubc	Uca	IA	IB	IC	Iax	Iby	Icz	
1	3	3	3	симетр.										
2	3	2	2	несиметр.										
3	3	0	0	однофазн.										

На окремому аркуші побудувати:

Рис.4,а - векторна діаграма симетричного приймача.

Рис.4,б - векторна діаграма несиметричного приймача.

**Відповіді на питання:**

---

## Лабораторна робота № 6

### Дослідження кіл синусоїдного струму з взаємними індуктивностями

**Мета роботи:** Дослідна перевірка основних співвідношень між величинами напруг і струмів у колах з індуктивно зв'язаними котушками та визначення параметрів кола при їх узгодженому і зустрічному вмиканні.

#### Домашня підготовка:

- a) Вивчити теоретичний матеріал за поданою темою.
- b) Вивчити це керівництво.
- c) Підготувати бланк звіту про роботу.

#### Порядок виконання роботи

##### 1. Об'єкт досліджень.

Лабораторна робота виконується на трифазному трансформаторі.

- Знайти на трифазному трансформаторі затискачі котушок а-х і с-з сторони нижчої напруги (НН). Котушка із затискачами а-х буде першою, а із затискачами с-з – другою.
- Роботу виконувати з номінальною напругою 127 В (затискачі А-Н джерела трифазного струму).

##### 2. Визначити параметри першої котушки:

- зібрати схему кола за *рис. 1* звіту;
- ввімкнути QF~;
- виконати вимірювання параметрів першої котушки і занести результати вимірювань в *табл. 1*;
- вимкнути QF~.

##### 3. Визначити параметри другої котушки:

- зібрати схему кола за *рис. 2*. Для цього достатньо змінити місцями затискачі котушок а-х і с-з у схемі *рис. 1*;
- ввімкнути QF~;
- виконати вимірювання параметрів другої котушки і занести результати вимірювань в *табл. 2*;
- вимкнути QF~.

##### 4. Експериментальне дослідження кола з послідовним з'єднанням двох індуктивно зв'язаних котушок.

a) Зібрати схему кола за *рис. 3* при узгодженому вмиканні котушок:

- ввімкнути QF~;
- виконати вимірювання всіх величин вказаних в *табл. 3*. Результати записати в *рядок 1*;

---

- вимкнути QF~.

б) Зібрати схему кола за рис. 3 при зустрічному вмиканні котушок:

Для цього достатньо змінити місцями затискачі котушок  $a-x$  або  $c-z$  у схемі.

- ввімкнути QF~;

- виконати вимірювання всіх величин вказаних в табл. 3. Результати записати в рядок 2;

- вимкнути QF~.

### Оформлення звіту

1. Визначення параметрів котушок.

- виконати розрахунки за даними таблиць 1, 2;

- порівняти взаємні індуктивності  $M_{12}$  і  $M_{21}$ ;

- зробити висновок.

2. Послідовне з'єднання котушок.

За величиною напруги мережі і параметрами котушок (табл. 1, табл. 2) визначити значення: струму  $I$ , напруг  $U_1$ ,  $U_2$ , а також потужності  $P$  кола з послідовним з'єднанням котушок (рис. 3) для двох випадків:

а) котушки ввімкнені узгоджено;

б) котушки ввімкнені зустрічно.

### Письмово відповісти на питання:

1. Які елементи називають взаємозв'язаними?

2. Що таке одноіменні затискачі взаємозв'язаних елементів. Як вони визначаються?

3. Яке з'єднання взаємозв'язаних котушок називають узгодженим, а яке зустрічним?

4. Як визначається повна індуктивність двох взаємозв'язаних котушок при узгодженому і зустрічному вмиканні?

---

---

**Лабораторная работа № 6**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПЕЙ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА С ВЗАИМНЫМИ ИНДУКТИВНОСТЯМИ**

**Цель работы:** экспериментальная проверка основных соотношений между величинами токов и напряжений в цепях с индуктивно связанными катушками и определение параметров цепи при согласном и встречном их включении.

**Домашняя подготовка:**

- а) изучить теоретический материал по теме работы.
- б) изучить настоящие указания;
- в) подготовить бланк отчета о работе.

**Порядок выполнения работы**

**1. Объект исследований.**

Лабораторная работа выполняется на трехфазном трансформаторе.

- найти на трансформаторе выводы катушек а-х і с-z, стороны низшего напряжения (НН). Катушка с выводами а-х будет первой, а с выводами с-z – второй.
- работа выполняется при напряжении 127 В (выводы А-Н источника трехфазного тока).

**2. Определить параметры первой катушки**

- собрать схему цепи по рис. 1 отчета.
- включить выключатель QF...
- измерить параметры первой катушки и записать результаты измерений в табл. 1.
- отключить QF...

**3. Определить параметры второй катушки.**

- собрать схему цепи по рис. 2. Для этого достаточно поменять местами выводы катушек а-х и с-z в схеме рис. 1.
- включить выключатель QF...
- измерить параметры второй катушки и записать результаты измерений в табл. 2.
- отключить QF...

**4. Экспериментальное исследование цепи с последовательным соединением двух индуктивно связанных катушек.**

а) Собрать схему цепи по рис. 3 при согласном включении катушек.

- включить выключатель QF...
- измерить все величины, указанные в табл.3. Результаты записать в *строку 1*.
- отключить QF...

б) Собрать схему цепи по рис. 3 при встречном включении катушек. Для этого достаточно поменять местами выводы катушек а-х или с-z в схеме.

- включить выключатель QF...
- измерить все величины, указанные в табл. 3 результаты записать в *строку 2*.
- отключить QF...

**Оформление отчета**

1. *Определение параметров катушек.*

Выполнить расчет по данным таблиц 1, 2.

Сравнить взаимные индуктивности  $M_{12}$  и  $M_{21}$ .

Сделать выводы.

---

## 2. Последовательное соединение катушек.

По напряжению сети и параметрам катушек (табл. 1 и 2) рассчитать величины токов  $I$ , напряжения  $U_1$  и  $U_2$ , а также мощности  $P$  цепи с последовательным соединением катушек (рис. 3) для двух случаев: катушки включены встречно; катушки включены согласно.

### **Письменно ответить на вопросы:**

1. Какие элементы называются индуктивно связанными?
2. Одноименные выводы индуктивно связанных катушек – что это? Как они определяются?
3. Какое соединение индуктивно связанных катушек называют согласным, и какое встречным?
4. Как определяется полная индуктивность двух индуктивно связанных катушек при согласном и встречном включении?



**Звіт**  
**про лабораторну роботу № 6**  
**«Дослідження кіл синусоїдного струму з взаємними індуктивностями»**

Група	П.І.Б. студента	Дата	Підпис

**1. Визначення параметрів котушок і взаємної індуктивності**

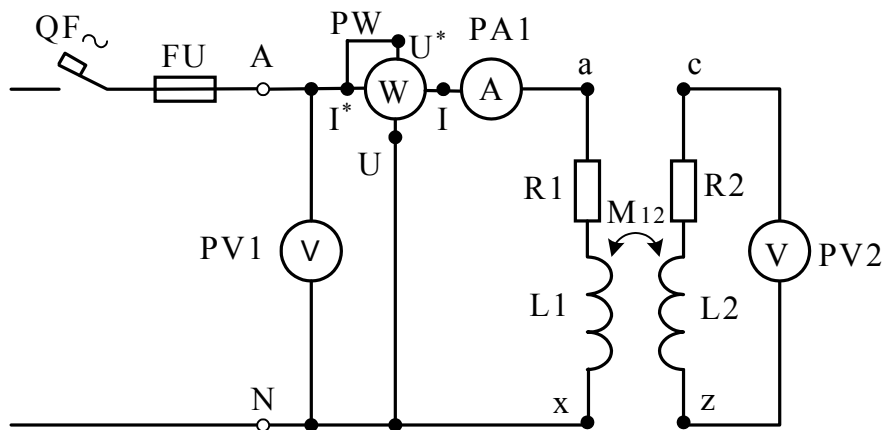


Рисунок 1. Схема для визначення параметрів першої котушки і взаємної індуктивності

**Таблиця 1**

Вимірювання				Обчислювання					
$U_1,$ В	$I_1,$ А	$P_1,$ Вт	$U_2,$ В	$Z_1,$ Ом	$R_1,$ Ом	$X_1,$ Ом	$X_{M12},$ Ом	$M_{12},$ Гн	$L_1,$ Гн

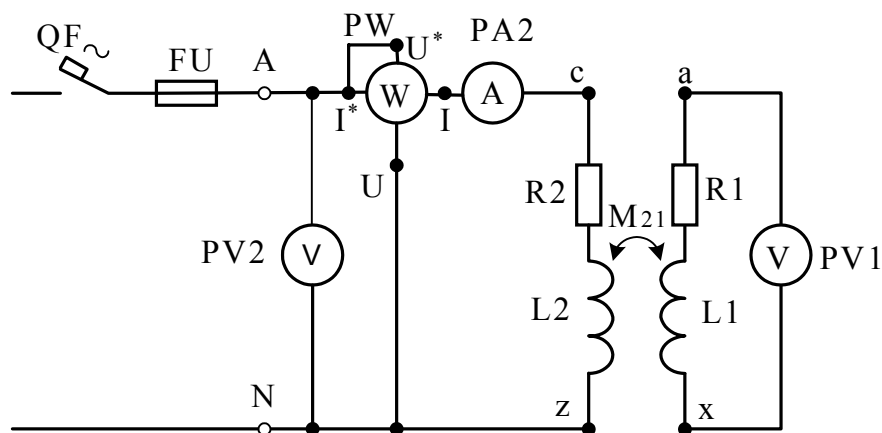


Рисунок 2. Схема для визначення параметрів другої котушки і взаємної індуктивності

Таблиця 2

Вимірювання				Обчислювання					
$U_2,$ В	$I_2,$ А	$P_2,$ Вт	$U_1,$ В	$Z_2,$ Ом	$R_2,$ Ом	$X_2,$ Ом	$X_{M21},$ Ом	$M_{21},$ Гн	$L_2,$ Гн

## 2. Послідовне з'єднання двох індуктивно зв'язаних котушок

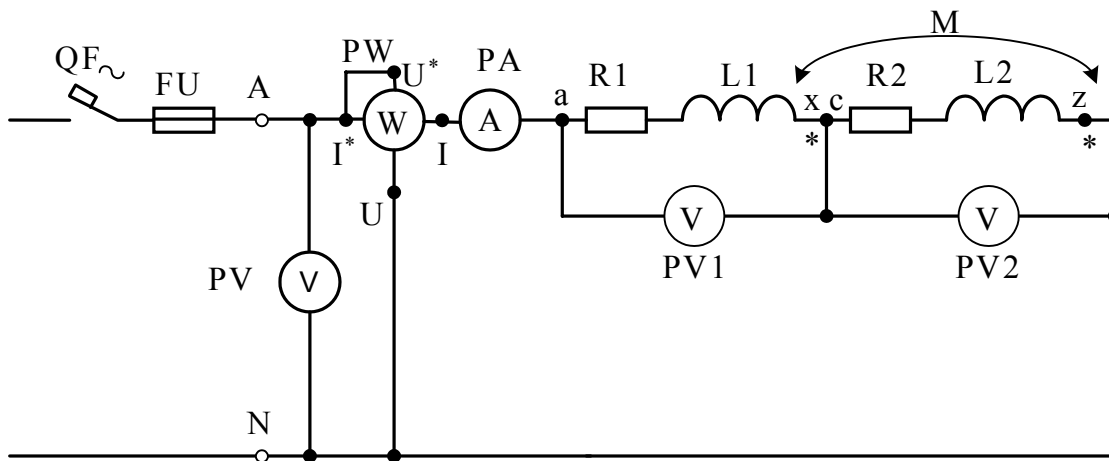


Рисунок 3. Послідовне з'єднання взаємозв'язаних котушок

Таблиця 3

З'єднання котушок	Обчислювання				Вимірювання				
	$I,$ А	$U_1,$ В	$U_2,$ В	$P,$ Вт	$U,$ В	$I,$ А	$U_1,$ В	$U_2,$ В	$P,$ Вт
Узгоджене									
Зустрічне									

### Привести відповіді на питання:

1. Які елементи називають взаємозв'язаними?
2. Що таке одноіменні затискачі взаємозв'язаних елементів. Як вони визначаються?
3. Яке з'єднання взаємозв'язаних котушок називають узгодженим, а яке зустрічним?
4. Як визначається повна індуктивність двох взаємозв'язаних котушок при узгодженому і зустрічному вмиканні?

---

## ЛІТЕРАТУРА

1. Методические указания для подготовки к занятиям по электротехническим дисциплинам (для студентов неэлектротехнических специальностей). Раздел 1. Электрические и магнитные цепи / сост.: Е.С. Траубе, Е.Б.Ковалев, С.Н.Шапочка, А.В. Колодежный. – Донецк: ДГТУ, 1993.-169 с.
2. Пантюшин В.С. Электротехника: - М.: Высш. шк., 1989 -560 с.
3. Китаєв В.Є. Електротехніка з основами промислової електроніки: - К.: Будівельник, 1994.-240 с.

---

## ЗМІСТ

1. Вступне лабораторне заняття .....	3
1.1. Призначення лабораторних занять і учбових лабораторій кафедри.....	3
1.2. Використання основних законів електротехніки до розрахунку електричних кіл .....	3
1.3. Основи метрології і стандартизації. Похибки вимірювання і класи точності вимірювальних приладів .....	5
1.4. Принцип дії і конструкція електровимірювальних приладів основних систем.....	6
1.5. Електричні вимірювання .....	9
1.6. Правила внутрішнього розпорядку і оформлення результатів у лабораторних роботах.....	12
1.7. Правила техніки безпеки і протипожежної техніки для студентів, що працюють в лабораторіях кафедри електротехніки.....	14
1.8. Перша долікарська допомога при враженні електричним струмом.....	15
2. Лабораторна робота №1 «Паралельне і послідовне з'єднання приймачів у колі змінного струму».....	16
3. Лабораторна робота № 2 «Дослідження режимів роботи електричного кола постійного струму».....	22
4. Лабораторна робота № 3 «Дослідження уособленого приєднання різних приймачів у колі змінного струму».....	28
5. Лабораторна робота № 4 «Дослідження послідовного і паралельного з'єднання приймачів у колі змінного струму».....	34
6. Лабораторна робота № 5 «Дослідження режимів роботи трифазних кіл змінного струму».....	44
7. Лабораторна робота № 6 «Дослідження кіл синусоїдного струму з взаємними індуктивностями».....	51
<b>ЛІТЕРАТУРА</b> .....	57

---

Автори:

Костенко Володимир Іванович, професор, зав. каф. електротехніки ДонНТУ

Пронін Владислав Дмитрович, доцент каф. електротехніки ДонНТУ

Рак Олександр Миколайович, доцент каф. електротехніки ДонНТУ

Сажин Володимир Олександрович, ст. викладач каф. електротехніки ДонНТУ

Тютюнник Наталья Леонідівна, ст. викладач каф. електротехніки ДонНТУ

Відп. за випуск В.І. Костенко, професор, зав. каф. електротехніки ДонНТУ.

Курс «Електротехніки». Розділ перший «Електричні кола». Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт (для студентів неелектротехнічних спеціальностей).