

Міністерство освіти і науки України

Харківський орденна “Знак Пошани” електромеханічний технікум
транспортного будівництва

Затверджую:

Заступник директора технікуму з
навчальної роботи

_____ В.О.Величко

“ _____ ” _____ 2013 р.

**Посібник для практичних робіт
з дисципліни “Електрорадіовимірювання”**

**Напряму: 050102 Комп’ютерна інженерія
Спеціальності : 5.05010201
“Обслуговування комп’ютерних систем і мереж ”**
(шифр і назва спеціальності)

Харків 2013

РОЗРОБЛЕНО: Харківський ордена «Знак Пошани» електромеханічний технікум транспортного будівництва
(повне найменування вищого навчального закладу)

РОЗРОБНИК: викладач ХЕМТТБ Ю.В. Білоконенко

Розглянуто на засіданні циклової комісії з напряму підготовки 050102 «Комп'ютерна інженерія» за спеціальністю 5.05010201 «Обслуговування комп'ютерних систем і мереж»

«_____» _____ 20____ року, протокол № _____

Голова циклової комісії _____ М.М.Бочарніков

ПЕРЕДМОВА

Програма предмета „Електрорадіовимірювання” передбачає виконання великої кількості практичних робіт.

Перелік та зміст практичних робіт, а також кількість годин на кожну з них визначається навчальним планом і програмою.

Приставаючи до практичного заняття, студенти повинні чітко уявляти результат, який необхідно отримати в процесі виконання роботи, тобто знати її мету.

Проведення практичного заняття ґрунтується на попередньо вивченому теоретичному матеріалі і проведених тестах – для виявлення ступеня оволодіння студентами теоретичними положеннями.

Практична робота № 1

Розрахунок похибок прямих вимірювань. Визначення похибок непрямих вимірювань

Мета роботи: 1) закріплення та поглиблення знань студентів, отриманих під час теоретичного заняття;
2) навчитись самостійно розраховувати похибки прямих вимірювань та робити відповідні висновки;
3) виробити зацікавлення у студентів до практичного застосування теоретичних знань.

Література: .1 Гуржій А.М., Поворознюк Н.І. Електричні і радіотехнічні вимірювання: Посіб. для пед.працівників та учнів проф.-тех. навч. закл. – К.: Навч.книга, 2002. – 287 с.

2 Попов В.С. Электрические измерения (с лабораторными работами). Учебник для техникумов. Изд. 2-е, переработ. и доп. М., “Энергия”, 1974. – 400 с.

3 Бартовский А.Л., Козин Б.О., Кучер С.А. “Измерения в электрических устройствах железнодорожного транспорта”. М.: Транспорт, 1982.

Теоретичні відомості:

Процедура вимірювання складається з таких основних етапів: прийняття моделі об'єкта вимірювання, вибір методу вимірювання, вибір засобу вимірювання, проведення експерименту для отримання результату вимірювання. Однак на кожному етапі виникає невідповідність між ідеальними і реальними умовами і тому результат вимірювання відрізняється від істинного значення фізичної величини, тобто виникає **похибка** вимірювання.

Похибка вимірювання є основним показником якості та досконалості вимірювання. Прогрес в галузі вимірювання пов'язаний зі зменшенням похибок вимірювання.

Похибка вимірювання – це відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірюваної величини.

Класифікація похибок вимірювання:

Залежно від місця (причини) виникнення похибки поділяються на *інструментальні* та *методичні*.

Причиною виникнення інструментальних похибок є недосконалість засобів вимірювання, а методичні похибки зумовлені методом вимірювання та вимірювального перетворення.

За характером зміни (закономірність проявлення похибок) похибки поділяються на *систематичні* та *випадкові*.

Систематична похибка – це складова загальної похибки вимірювання, яка залишається незмінною або закономірно змінюється з повторними вимірюваннями однієї і тієї ж величини і в однакових умовах.

Випадковою називають похибку, яка змінюється непередбачувано, нерегулярно, хаотично, випадковим чином під час повторних вимірювань однієї і тієї самої величини в однакових умовах.

За умовами вимірювання похибки поділяються на *основні* та *додаткові*.

Похибки вимірювань залежать від умов за яких виконується вимірювання. Нормальні умови вимірювання визначаються тим, що чинники, які впливають на результат вимірювання, наприклад, тиск, температура, вологість повітря та інші, знаходяться в певних межах ($t = 20 \pm 5^\circ\text{C}$), що регламентується відповідними документами.

Основною похибкою називається похибка таких вимірювань, що проводяться за нормальних умов. Коли умови виходять за межі нормальних, то внаслідок впливу негативних чинників на процес вимірювання з'являється додаткова похибка.

За режимом вимірювання похибки поділяються на *статичні* та *динамічні*.

За способом вираження похибки поділяються на *абсолютні*, *відносні*, *зведені*.

Абсолютною похибкою вимірювання називається різниця між результатом вимірювання (значенням вимірюваної величини) та істинним значенням вимірюваної величини

$$\Delta A = A_{\text{вим}} - A_{\text{д}}$$

Поправка – це значення величини δA , яке треба додати до вимірюваного значення $A_{\text{вим}}$ з метою виключення систематичної похибки. Таким чином, дійсне значення величини дорівнює:

$$A = A_{\text{вим}} + \delta A$$

Або поправка

$$\delta A = A - A_{\text{вим}}$$

Абсолютна похибка – це розмірна величина, яка має ту ж саму розмірність, що і вимірювана величина.

Відносною похибкою називають відношення абсолютної похибки ΔA до вимірюваної величини $A_{\text{вим}}$

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_{\text{вим}}} 100\%$$

Зведеною похибкою називається відношення абсолютної похибки ΔA до номінального $A_{\text{н}}$ значення вимірюваної величини

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_{\text{н}}} 100\%$$

На шкалах електровимірювальних приладів вказана цифра класу точності приладу, яка означає основну найбільшу допустиму зведену похибку приладу

$$\gamma_{\text{зв.найб}} = \frac{\Delta A_{\text{найб}}}{A_{\text{н}}} 100\%$$

Залежно від її величини установлюються класи точності вимірювальних приладів.

Умова вибору або перевірки класу точності

$$\gamma_{\text{д}} \geq \gamma_{\text{зв.найб}}$$

Класи точності: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

При прямому методі безпосередньої оцінки найбільша абсолютна похибка в будь-якій точці шкали приладу, а отже і найбільша вірогідна абсолютна похибка $\Delta A_{\text{н.в}}$ можуть бути визначені із формули

$$\gamma_{\text{д}} = \frac{\Delta A_{\text{найб}}}{A_{\text{н}}} 100\%$$

$$\Delta A_{\text{найб}} = \Delta A_{\text{н.в}} = \frac{\gamma_{\text{д}} A_{\text{н}}}{100}$$

Найбільшу вірогідну відносну похибку $\gamma_{\text{н.в}}$ можна визначити з формули

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_{\text{вим}}} 100\%$$

підставивши в чисельник $\Delta A_{\text{н.в}}$

$$\gamma_{н.в.} = \frac{\gamma_{\partial} A_n}{100 A_{вим}} 100 = \frac{\gamma_{\partial} A_n}{A_{вим}}$$

Отже, найбільша вірогідна відносна похибка в стільки разів більше класу точності приладу, в скільки разів межа Вимірювання приладу більше значення вимірюваної величини.

Завдання на практичну роботу:

З А Д А Ч А № 1

Вольтметром з верхньою межею вимірювання $U_n = 250\text{В}$, найбільшою абсолютною похибкою $\Delta U_{\text{найб}} = 2.5\text{В}$ виміряна напруга $U_{\text{вим}} = 200\text{В}$, ціна поділки $C = 2,5\text{В}$.

ВИЗНАЧИТИ:

1. Клас точності вольтметра γ_d ?
2. Загальне число поділок шкали α_n ?
3. Чутливість вольтметра S_v ?
4. 5. Найбільшу можливу відносну і абсолютну похибки $\gamma_{н.в.}$ -? і $\Delta U_{н.в.}$?
6. Межі дійсного значення виміряної напруги U_d ?
7. Вимірювана приладом напруга $U'_{\text{вим}}$ з похибкою 1.5%?

Відповісти на запитання:

- Що таке похибка вимірювання?
- Назвіть основні види похибок вимірювання.
- Що таке основна і додаткова похибки?
- Назвіть умову вибору та перевірки класу точності.
- Що таке поправка приладу?

Практична робота № 2

Визначення технічних характеристик приладів для вимірювання струмів та напруг за допомогою умовних позначок розташованих на шкалах

1. Мета роботи:

- 1.1. Вивчити конструкцію вимірювальних приладів різних систем.
- 1.2. Придбати вміння визначати технічні характеристики приладів по умовним позначкам, нанесеним на шкали приладів.

2. Необхідні прилади та обладнання:

- 2.1. Макети з відкритими і діючими приладами різних систем (один із приладів має бути багатомежевим).
- 2.2. Вузлик окремі деталі представлених приладів.
- 2.3. Плакати по будові приладів, таблиці з умовними позначками, нанесеними на прилади, підручники.

3. Послідовність виконання роботи:

- 3.1. Користуючись таблицями умовних позначень і умовними позначеннями, що нанесені на шкали приладів представлених для вивчення, визначити технічні характеристики приладів та записати їх в таблицю 1.
- 3.2. Користуючись підручниками та навчальними посібниками, вивчити будову 2-3 приладів за нижче вказаним планом:
 - назва, тип, № і система приладів;
 - принцип дії;
 - рухома і нерухома частина приладу, елементи їх будови;
 - спосіб закріплення рухомої частини;
 - спосіб подачі струму в рухому рамку (якщо вона є);
 - принцип утворення крутячого та протидіючого моментів;
 - спосіб заспокоєння рухомої частини, якими елементами здійснюється;
 - призначення і будова коректора, його елементи будови;
 - система відлікового пристрою, його основні елементи;
 - за рахунок чого досягнута багатомежевість приладу в вимірюванні.
- 3.3. Зробити звіт про виконану роботу і висновки про порівнянні переваги і недоліки приладів різних систем.

Таблиця 1 - Технічні характеристики приладів

№ п/п	Характеристики приладів	Розглянуті прилади		
		№1	№2	№3
1	Назва приладу			
2	Система (умовна та літерна позначка)			
3	Рід і характер вимірювальної величини			
4	Клас точності			
5	Характер шкали			
6	Межі вимірювання			
7	Постійна (ціна поділки)			
8	Чутливість			
9	Група експлуатації			
10	Категорія захищеності			
11	Положення приладу при роботі			
12	З якими допоміжними пристроями працює			

4.Відповісти на контрольні запитання:

4.1.Як залежить опір шунта і додаткового резистора від межі вимірювання струму та напруги?

4.2.Які найбільш можливі області використання приладів магнітоелектричної і електромагнітної систем.

5.Зміст роботи:

5.1.Мета роботи.

5.2.Технічні характеристики приладів (таблиця 1).

5.3.Короткий опис і малюнок вивчених приладів (схематичне зображення).

5.4.Висновки (порівняльні характеристики приладів).

5.5.Відповіді на поставлені запитання.

Практична робота №3 ВИМІРЮВАННЯ СТРУМІВ І НАПРУГ

Мета роботи: вивчити прилади для вимірювання струмів і напруг

Теоретичні відомості

Класифікація приладів для вимірювання струму і напруги. Прилади, призначені для вимірювання сили струму, залежно від їх номіналів підрозділяються на мікроамперметри, міліамперметри, амперметри і кілоамперметри.

При вимірюванні сили струму через амперметр повинен протікати весь струм навантаження, тому прилад включають послідовно з опором навантаження (рис. 1). Для того, щоб включення приладу не відображалось на режимі живлення навантаження, його внутрішній опір повинен бути дуже малим, у багато разів менше опору навантаження. Наприклад, внутрішній опір амперметрів з номіналом 5А буває порядку від тисячних до десятих доль Ома (0,008 ч 0,5 Ом). Чим вищий номінал приладу, тим менший його внутрішній опір, і, навпаки, у приладів з малими номіналами вимірюваної сили струму внутрішній опір більше.

Для вимірювання напруги залежно від номіналів вимірюваних величин застосовуються мілівольтметри, вольтметри і кіловольтметри.

За допомогою вольтметрів можна вимірювати напругу між двома точками досліджуваного ланцюга. Для вимірювання напруги на затискачах електричного генератора Γ (див. рис.19) вольтметр повинен бути приєднаний до цих затисків, тобто паралельно до генератора. Аналогічно при вимірюванні напруги на опорі навантаження вольтметр приєднують паралельно до навантаження. Отже, у будь-якому випадку при вимірюванні напруги прилад приєднують паралельно до вимірюваної ділянки ланцюга.

Для того, щоб підключення вольтметра не впливало на електричний режим ланцюга, його внутрішній опір повинен бути дуже великим і у багато разів перевищувати опір вимірюваної ділянки ланцюга. Тому вольтметри володіють великим внутрішнім опором; чим воно більше, тим точніше буде результат вимірювання.

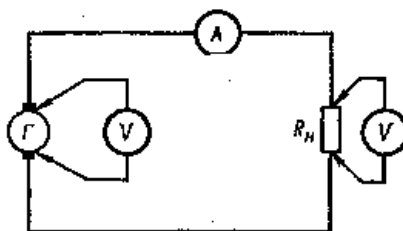


Рис. 19 Включення приладів у вимірюване коло

Іноді в практиці для характеристики внутрішнього опору вольтметра користуються величиною опору, що доводиться на 1 В шкали приладу. У хороших лабораторних приладів магнітоелектричної системи ця величина досягає 1000 Ом на 1 В, а в спеціальних конструкціях - 20 000 Ом на 1 В шкали приладу. У технічних вольтметрів цієї ж системи опір буває 100 - 300 Ом на 1 В шкали.

Шунти, додаткові резистори. У будь-якому електровимірювальному приладі повний поворот його рухомої частини, при якому вказівна стрілка відхиляється до правої крайньої відмітки шкали, відбувається при певній силі струму, що протікає через прилад. Цю силу струму називають струмом повного відхилення стрілки, або номінальним струмом приладу.

Для того, щоб використовувати вимірювальні механізми для різних меж вимірювання струмів, напруг і інших величин широко застосовуються вимірювальні перетворювачі струму і напруги у вигляді шунтів і додаткових опорів.

Шунт застосовується для розширення межі вимірювання струму вимірювального механізму.

Шунт є чотириохзатискний резистор, величина опору якого значно менше опору рамки вимірювального механізму. Його включають послідовно у вимірюваний ланцюг. Паралельно шунту приєднують вимірювальний механізм (рис.20,а). У такому з'єднанні вимірювальний прилад (амперметр) використовується для вимірювання сили струму.

Для включення шунта у вимірюваний ланцюг служать масивні затискачі звані струмовими. Перехідні контактні опори цих затискачів додаються до власного опору шунта. Перехідні опори нестійкі і не можуть бути точно враховані. Для виключення впливу їх на показання приладу вимірника приєднують до шунта за допомогою потенційних затискачів. Вони завжди розташовуються всередині між струмовими затискачами. При такому включенні опір шунта між потенційними затискачами не залежить від перехідних опорів струмових затискачів, дякуючи чому виключається вплив перехідного опору струмових затискачів на показання приладу.

Для виведення розрахункової формули, що визначає опір шунта $R_{ш}$, спочатку знаходять падіння напруги U_n між точками підключення вимірювального механізму..

Позначивши вимірюваний струм I , струм повного відхилення стрілки I_n і опір приладу R_u знаходять падіння напруги на паралельному з'єднанні приладу і шунта

$$U_n = I_u R_u = I \frac{R_{ш} R_u}{R_{ш} + R_u} . \quad (1)$$

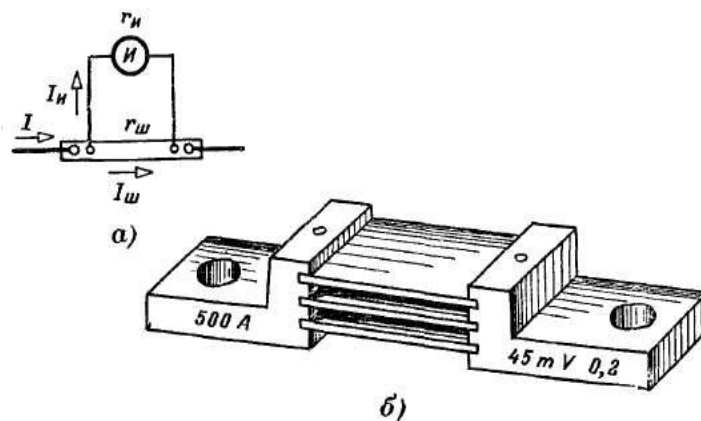


Рис. 20 Схема з'єднання вимірювального механізму з шунтом (а) і зовнішній вигляд шунта (б)

Скоротивши ліву і праву частини рівняння (1) на R_u і перетворивши його, одержимо

$$R_{ш} \left(\frac{I}{I_n} - 1 \right) = R_u . \quad (2)$$

У рівнянні (2) відношення $I / I_n = n$ називають шунтуючим множником. Ця величина показує, в скільки разів розширюється межа вимірювання приладу по струму. Підставивши шунтуючий множник у формулу (2), одержують остаточний вираз, по якому визначають опір шунта

$$R_{ш} = R_u (n - 1) = R_n . \quad (3)$$

Приведений розрахунок дозволяє визначити опір однограничного шунта.

Шунти виготовляються з манганинової дроту, стрічки або стрижнів, укріплених між масивними наконечниками, на яких є струмові і потенційні затиски.

Шунти можуть встановлюватися усередині приладу, якщо прилад розрахован на вимірювання невеликої сили струму (до 100 А). Зовнішні шунти застосовуються з приладами, що вимірюють великі струми. Вони підрозділяються на індивідуальні і взаємозамінні (калібровані).

Індивідуальний шунт застосовують тільки з тим приладом, який градується з даним шунтом. Взаємозамінний шунт можна застосовувати з будь-яким приладом, межа вимірювання якого (по напрузі) рівна падінню напруги, вказаному на шунті.

Для вимірювання напруг, що перевищують напругу, на яку розрахований вимірювальний механізм (або прилад), послідовно з ним включають додатковий резистор (рис.21). В цьому випадку частина вимірюваної напруги падає на опорі вимірювального механізму (або приладу), решта частини – на додатковому резисторі.

Величину опору додаткового резистора визначають залежно від даних вимірювального механізму і необхідної межі вимірювання напруги.

Позначивши величину необхідної межі вимірювання напруги U , величину напруги, при якій стрілка вимірника відхиляється до кінця шкали $U_{\text{и}}$, опір рамки вимірника $R_{\text{и}}$ і величину опору резистора $R_{\text{д}}$, обчислюють силу струму в ланцюзі приладу

$$I = U / (R_{\text{и}} + R_{\text{д}}) = U_{\text{и}} / R_{\text{и}}.$$

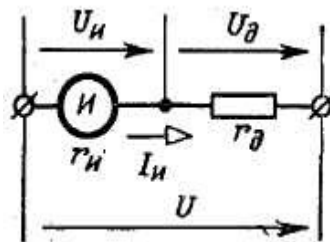


Рис. 21 Схема з'єднання вимірювального механізму з додатковим резистором

Вирішуючи рівність щодо $R_{\text{д}}$, визначають його величину

$$R_{\text{д}} = R_{\text{и}} [(U/U_{\text{и}}) - 1] = R_{\text{и}} (m - 1).$$

Вираз $U/U_{\text{и}} = m$ називають множителем додаткового резистора, що показує, в скільки разів збільшується межа вимірювання приладу по напрузі.

Додаткові резистори виготовляють з манганінового дроту, намотуючи його бифілярно на секціоновані каркаси у вигляді котушок або на пластини з ізоляційного матеріалу. Їх встановлюють усередині корпусу приладу у вольтметрах на номінальну напругу до 600 В.

Зовнішні додаткові резистори поміщають в закритий корпус. Вони подібно до шунтів можуть бути індивідуальними або взаємозамінними (калібріваними).

Резистори можна застосовувати з будь-яким приладом, у якого струм повного відхилення стрілки відповідає номінальному струму взаємозамінного резистора.

Вимірювальні трансформатори струму і напруги. Вимірювальні трансформатори, що розділяються на трансформатори струму і напруги, використовуються як перетворювачі великих змінних струмів і напруг у відносно малі струми і напруги, допустимі для вимірювань приладами з невеликими стандартними номінальними значеннями (наприклад, 5 А, 100 В). Застосуванням вимірювальних трансформаторів в ланцюгах високої напруги досягається безпека для персоналу, обслуговуючого прилади, оскільки прилади включаються в ланцюг низької напруги, що заземляється. Спрощуються

і конструкції приладів, оскільки вони застосовуються в ланцюгах низької напруги. При застосуванні вимірювальних трансформаторів відсутній гальванічний зв'язок між первинним ланцюгом і приладами.

Вимірювальні трансформатори напруги призначені для розширення меж вимірювання по напрузі ватметрів, лічильників, частотомірів, вольтметрів, фазометрів і т.д.

Трансформатор напруги складається із замкнутого магнітопровода, набраного з листової трансформаторної сталі, і двох ізольованих обмоток – первинної і вторинної з числами витків w_1 і w_2 . первинная обмотка трансформатора приєднується до мережі з вимірюваною напругою; до затисків вторинної обмотки підключаються сполучені паралельно вольтметри і паралельні ланцюги інших приладів.

Для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу на випадок пробою ізоляції між обмотками один із затисків вторинної обмотки трансформатора, його корпус (якщо він металевий) і сердечник заземляються. Затиски первинної обмотки трансформатора напруги позначають буквами А (почало) і Х (кінець), а затиски вторинної обмотки – відповідно а і х. Оскільки опори обмоток напруги вимірювальних приладів великі, то трансформатори напруги працюють в режимі, близькому до холостого ходу, і для них небезпечні короткі замикання.

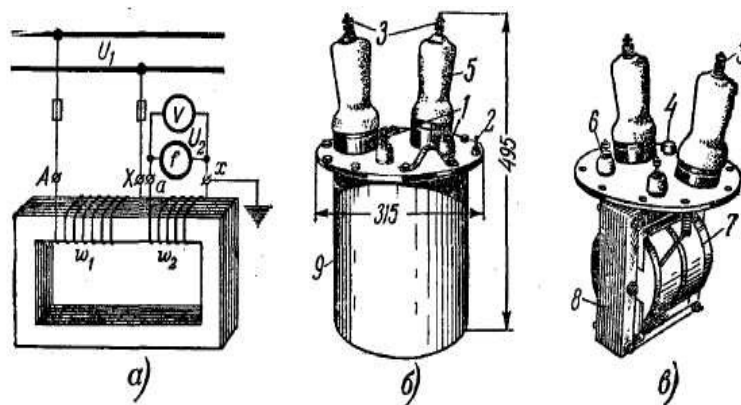


Рис. 22 Трансформатор напруги

а) будова трансформатора напруги і схема його включення; б) загальний вид трансформатора напруги типу НОМ-10 для внутрішньої установки на напругу 10 кВ; у) вид виймальної частини НОМ-10; 1- затисків для приєднання дротів низької напруги (н.н.); 2- болт заземлення; 3 – затиски для приєднання дротів високої напруги (в.н.); 4 – пробка отвору для заливки масла; 5 – ізолятори в.н.; 6 – ізолятори Н.Н.; 7 – обмотка в.н.; 8 – магнітопровід; 9 – бак з маслом.

Тому первинні обмотки трансформаторів включають через запобіжники.

Кожен трансформатор розраховується на певне значення номінальної первинної напруги $U_{1н}$. Відношення номінальної первинної напруги до номінальної вторинної напруги називається *номінальним коефіцієнтом трансформації*

$$K_{Uн} = U_{1н} / U_{2н} = w_1 / w_2.$$

Номінальний коефіцієнт трансформації є основним параметром трансформатора. Його значення для кожного трансформатора постійно і указується на щитку.

Найбільша потужність, якою володіє трансформатор при погрішностях не вище за допустимих, називається номінальною потужністю трансформатора

$$S_n = I_{н2} U_{н2} = U_{н1} / Z_n.$$

До трансформатора напруги можна підключити таку кількість приладів, при якій їх сумарна потужність не перевищує S_n , оскільки при збільшенні кількості приладів

зростають струми в обмотках трансформатора, а отже, і погрішності. Тому необхідно виконувати умову

$$S_H = \Sigma S_{\text{прил}},$$

де S_H – номінальна потужність трансформатора, яка вказана на його щитку;

$\Sigma S_{\text{прил}}$ – сума потужностей, які споживаються вимірювальними приладами.

Для всіх трансформаторів напруги нормують значення номінальної потужності відповідно до одного з наступних класів точності: 0,2; 0,5; 1,0; 3,0. Лабораторні вимірювальні трансформатори напруги виготовляють наступних класів точності: 0,05; 0,1; 0,2.

Трансформатори напруги одностаничні і багатостаничні, переносні і стаціонарні, для внутрішньої або зовнішньої установки, однофазні і трифазні, з сухою ізоляцією (на напруги до 3 кВ) і масляні – (напруги понад 3 кВ).

Вимірювальні трансформатори струму (рис.23) призначені для розширення меж вимірювання по струму ватметрів, лічильників, амперметрів і включення приладів захисту. Крім того, у високовольтних ланцюгах їх використовують для захисту вимірювальних приладів і обслуговуючого персонала від високих напруг.

Первинна обмотка трансформатора струму містить невелику кількість витків w_1 і включається послідовно в ланцюг вимірюваного струму I_1 . До затисків вторинної обмотки, що містить більшу кількість витків w_2 , підключають послідовно струмові обмотки вимірювальних приладів. Опори струмових обмоток вимірювальних приладів малі (0,2-2 Ом), тому трансформатори струму працюють в режимі, близькому до короткого замикання.

Затискачі первинної обмотки трансформаторів струму позначають буквами Л1 – Л2 (лінія), а затискачі вторинної – буквами И1 – И2 (измеритель). З тієї ж причини, що і у трансформаторів напруги, один із затисків вторинної обмотки сполучають з корпусом і заземляють.

Струми в обмотках трансформатора, що працює під навантаженням, зв'язані співвідношенням $I_1 / I_2 = w_2 / w_1$. Тому струм, поточний по вторинній обмотці і вимірювальним приладам, буде в стільки разів менше струму в первинній обмотці, в скільки число витків w_2 більше числа витків w_1 . Трансформатори струму виготовляють на номінальні первинні струми $I_{1н}$ від доль ампера до десятків тисяч ампер. Номінальний вторинний струм трансформаторів струму дорівнює 5 А. У трансформаторів, призначених для установки на відкритих підстанціях, де відстань між ними і вимірювальними приладами велике, номінальний вторинний струм може бути рівний 1 А.

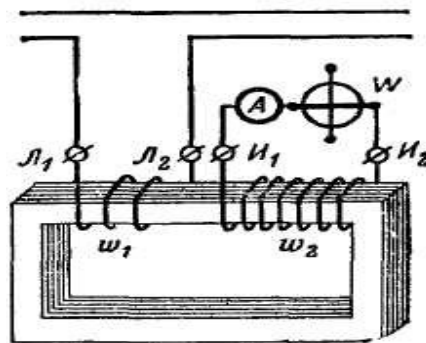


Рис. 23 Будова трансформатора струму і схема його включення

Відношення номінального первинного струму до номінального вторинного струму трансформатора називається *номінальним коефіцієнтом трансформації*

$$K_n = I_{1n} / I_{2n}.$$

Номінальний коефіцієнт трансформації є основним параметром трансформатора і указується на його щитку.

Включення великого числа вимірювальних приладів у вторинну обмотку трансформатора зменшує розмагнічуючу дію вторинних витків ампера і збільшує струм холостого ходу, а отже, і похибки. Тому кожен трансформатор характеризується номінальним вторинним навантаженням. Це той найбільший опір, який можна підключити до вторинної обмотки трансформатора, щоб при цьому похибки не збільшувалися вище допустимих. Чим вищий клас точності трансформатора, тим менше його номінальне навантаження. Звичайно її величина лежить в межах 0,2-2 Ом.

Для збереження результатів вимірювання необхідно виконувати вимонгу

$$R_n \geq \Sigma r,$$

де R_n – номінальна навантаження трансформатора, яка вказується на його щитку;

Σr – сума всіх опорів (обмоток приладів та з'єднуючих проводників).

Всі трансформатори струму, окрім лабораторних, повинні відповідати одному з наступних класів точності 0,2; 0,5; 1; 3,0; 10.

Трансформатори струму класів точності 3 і 10 застосовуються тільки для включення приладів захисту. Лабораторні трансформатори струму виготовляють наступних класів точності: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2.

За основними конструктивними ознаками трансформатори струму підрозділяються на стаціонарні і переносні, високовольні і низьковольні, багатовиткові і одновиткові, проходні і опорні.

Вимірювальні кліщі є переносний трансформатор струму з роз'ємним сердечником. Кліщі використовуються для вимірювань без попереднього розриву ланцюга струму. Первинною обмоткою

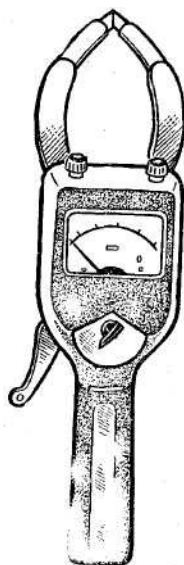


Рис. 24 Вимірювальні кліщі типу И-30

служить дріт ланцюга, який охоплюється половинами роз'ємного сердечника. Выбор измерительных трансформаторов производится по номинальным данным тока и напряжения контролируемой цепи.

Вибір вимірювальних трансформаторів проводиться за номінальними даними струму і напруги контрольованого кола.

При цьому слід мати на увазі, що в електричних колах низької напруги для вимірювання великої сили струму можуть застосовуватися тіки вимірювальні трансформатори струму. Вольтметри і обмотки напруг інших приладів включають безпосередньо в контрольоване коло.

Для визначення вимірюваної напруги U_1 , сили струму I_1 або потужності P_1 в контрольованому колі достатньо показів приладів, ввімкнених во вторинні кола трансформаторів, помножити на номінальний коефіцієнт трансформації:

$$I_1 = K_{\text{ТТ}} I_2; \quad U_1 = K_{\text{ТН}} U_2; \quad P_1 = K_{\text{ТТ}} K_{\text{ТН}} P_2.$$

У колах високої напруги, незалежно від вимірюваної сили струму, вимірювання проводяться через вимірювальні трансформатори струму і напруги.

*Література: [1] стор. 47-128;
[2] стор. 39-61; 84-90; 119-127.
[3] стор. 74-87; 104-108.*

Відповісти на контрольні запитання:

- Як класифікуються прилади для вимірювання струму і напруги?
- Призначення шунтів та додаткових резисторів.
- Методика розрахунку шунтів та додаткових резисторів.
- Схеми увімкнення шунтів та додаткових резисторів.
- Для чого використовують вимірювальні трансформатори струму і напруги?
- Схеми увімкнення вимірювальних приладів через вимірювальні трансформатори струму і напруги.

Оформити та захистити звіт.

Практична робота № 4

Вивчення будови і принципу дії приладів електромагнітної, магнітоелектричної та електродинамічної систем

Мета роботи: вивчити принцип дії приладів різних систем

Теоретичні відомості

Прилади магнітоелектричної системи. Вимірювальний механізм приладу магнітоелектричної системи (рис.1) складається з постійного магніту 6, виготовленого з високоякісної нікельалюмінієвокобальтової сталі і магнітопровода 4, 7 з полюсними наконечниками 11 і 15. між ними встановлений строго центрований сталевий циліндр 13, завдяки чому в зазорі, утвореному між полюсними наконечниками і циліндром, зосереджено сильне, рівномірне, радіально направлене магнітне поле.

Рухомою частиною вимірювального механізму служить легка алюмінієва рамка 12 з обмоткою з тонкого (діаметром 0,02-0,2 мм) ізолюваного мідного або алюмінієвого дроту (рис.1). Рамка встановлена в зазорі, не торкаючись полюсних наконечників і сталевго циліндра. З торцевих сторін до рамки приклеєні спеціальні букси, в які вставлені сталеві керни 10 і 14. Вони є напівосями рамки. Кінці кернів упираються в підп'ятники 1 і 8, закріплені у верхньому і нижньому містках (містки на малюнку не показані).

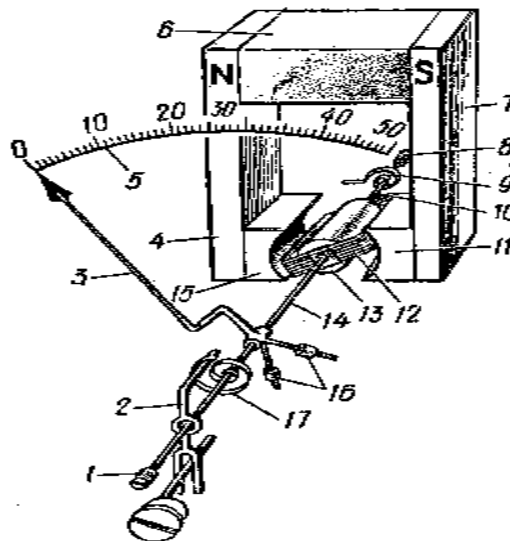


Рис. 1 Будова вимірювального механізму магнітоелектричної системи

Кінці обмотки рамки сполучені із спіральними пружинами 9 і 17, призначеними для створення протидіючого моменту що жорстко скріплюють з напівосями. Ці пружинки служать одночасно струмопровідними провідниками, що сполучають обмотку рамки з вимірювальною схемою приладу. На передній напівосі рамки 12 укріплена вказівна стрілка 3 з балансними вантажами 16. Спіральна пружина 17 сполучена з важелем коректора 2. Над вимірювальним механізмом розміщена шкала 5. Вимірювальний механізм і інші деталі вимірювальної схеми приладу укріплені на підставі з пластмаси або металу і закриті захисним пластмасовим або металевим корпусом, що має закрите оглядове вікно.

При протіканні постійного електричного струму по обмотці рамки приладу виникає механічна взаємодія між магнітним полем струму і полем постійного магніту. На кожну із сторін рамки діють сили F , напрям яких визначається правилом лівої руки. Вони

утворюють пару сил, що створює що обертає момент, який повертає рамку на певний кут α .

Сила F , що діє на кожен з активних сторін рамки, визначається рівністю

$$F = BI l \omega$$

де B - магнітна індукція в зазорі;

I - сила струму в рамці;

l - активна довжина однієї сторони рамки;

ω - число витків обмотки рамки.

Відомо, що обертає момент $M_{об} = 2Fb/2$

де b - ширина рамки.

Підставивши в це рівняння величину сили F , одержимо

$$M_{об} = 2Fb/2 = 2BI l b \omega / 2 = B I s \omega$$

де $s = bl$ - активна площа рамки.

При повороті рамки на кут α виникає протидіючий момент $M_{пр} = D\alpha$. У сталому положенні рамки $M_{об} = M_{пр}$ або, замінюючи $M_{об}$ його значенням $B I s \omega = D\alpha$, визначають кут повороту α рухомої частини приладу

$$\alpha = B s \omega / D.$$

Вираз $B s \omega / D = S I$ є *чутливість* приладу по струму.

Кут відхилення α рухомої частини приладу магнітоелектричної системи пропорційний струму і шкала приладу рівномірна.

Оскільки прилад володіє внутрішнім опором r , то при протіканні струму по його рамці падіння напруги на затисках приладу $U = I r$. Знаючи постійну приладу по струму $C_I = 1/SI$, можна визначити силу струму $I = C_I \alpha$, тоді $U = C_I \alpha r = C_U \alpha$, де $C_U = C_I r$ - постійна приладу по напрузі.

Звідси витікає, що магнітоелектричний вимірювальний прилад може бути застосований як для вимірювань сили струму, так і для вимірювань напруги. Залежно від призначення прилад має певну вимірювальну схему. При безпосередньому включенні вимірювального приладу у вимірювальний ланцюг без спеціальної вимірювальної схеми їм можна вимірювати невеликі величини струму або напруги (силу струму близько 15-30 мА або напруга від 45 мВ до декількох вольт). Це пояснюється високою чутливістю вимірювальних механізмів. Тому для розширення меж вимірювань застосовуються додаткові пристосування.

У вимірювальних механізмах магнітоелектричної системи для заспокоєння рухомої частини використовується алюмінієвий каркас рамки, в якому при його русі в магнітному полі індукується струм. Взаємодія індукованого струму з магнітним полем постійного магніту породжує гальмівний момент, який заспокоює рухому частину.

Окрім вимірювальних механізмів магнітоелектричної системи із зовнішнім магнітом, набули поширення механізми з внутрішньорамковим магнітом (мал. 2). У вимірювальному механізмі такої конструкції магнітний потік створюється магнітом 2, намагніченим по діаметру, і проходить через вирівнююче поле накладки 8, повітряний зазор і кільцеве ярмо 7. У зазорі між накладками 8 і ярмом 7 поміщена рамка 6, укріплена на розтяжках 3 і 10, припаяних до утримуючих пружин 5 і 9. З верхньою утримуючою пружиною 5 скріплює водій коректора 4. Обмежувачі 1 служать для запобігання обриву розтяжок при струсах.

У приладах з внутрішньорамковим магнітом краще використовується енергія магніту за рахунок зменшення потоків розсіяння. Крім того, значно зменшуються габарити і вага приладу. Проте магнітне поле у приладів з магнітом в середині рамки неоднорідно, шкали нерівномірні. Точність і чутливість їх нижче, ніж у приладів із зовнішнім магнітом.

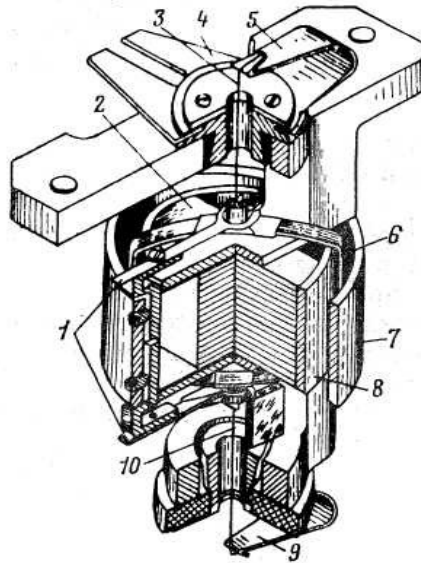


Рис. 2 Вимірювальний механізм з магнітом в середині рамки

Перевагами приладів магнітоелектричної системи є: висока чутливість; високий ступінь точності; рівномірна шкала; незначний вплив зовнішніх магнітних полів завдяки наявності сильного власного магнітного поля; незначний вплив температури, що пояснюється наявністю спеціальної температурної компенсації; невелика споживана потужність унаслідок високої чутливості; хороше заспокоєння (не більше 2-3 с).

До недоліків приладів магнітоелектричної системи слід віднести: складність і дорожнечу конструкції; низьку перевантажувальну здатність з огляду на те, що при перегріві струмом втрачають свої пружні властивості протидіючі пружинки, а при великій силі струму вони перегорають; можливість застосування для вимірювань тільки в ланцюгах постійного струму (за відсутності додаткових перетворювачів).

Електровимірювальні прилади магнітоелектричної системи, застосовуються як вольтметри, мілівольтметри, амперметрів, міліамперметрів, мікроамперметрів.

Магнітоелектричні прилади з перетворювачем. Як уже зазначалося, магнітоелектричні прилади мають високу точність, чутливість і незначне споживання енергії, але вони непридатні для безпосереднього використання у колах змінного струму. Для усунення цього недоліку їх використовують разом з додатковими вимірювальними перетворювачами змінного струму в постійний. На практиці здебільшого використовуються випрямні та термоелектричні перетворювачі.

Випрямні прилади Складаються з випрямного вимірювального перетворювача змінного струму в постійний і магнітоелектричного приладу.

Випрямні перетворювачі можуть бути однопівперіодні та двопівперіодні.

Принцип дії випрямних перетворювачів ґрунтується на односторонній провідності напівпровідникового діода, завдяки чому змінний струм перетворюється в пульсуючий струм однієї полярності.

Недоліком випрямних приладів є нелінійність вольт-амперної характеристики діодів, нестабільність цієї характеристики у часі та залежність її від температури і частоти.

На основі магнітоелектричного приладу з випрямними перетворювачами донедавна випускалися малогабаритні багатофункціональні електромеханічні прилади (тестери), які широко застосовувалися на практиці. Значна кількість таких приладів знаходиться в експлуатації і дотепер. Останнім часом такі прилади витісняються

аналогічними за функціями, але більш точними і з більшими функціональними можливостями, цифровими тестерами кишенькового формату.

Прилади ЕМС, ЕДС, ФДС, детекторні, електростатичні. Прилади **електромагнітної системи** застосовуються для вимірювання постійних і змінних струмів і напруг, а також для вимірювання частоти і кута зсуву фаз у колах змінного струму.

Електромагнітний прилад (рис.3) складається: з котушки 1 із щілиноподібним отвором; феромагнітного осердя 2, несиметрично закріпленого на осі; стрілки 3, прикріпленої до осі; спіральної пружини 4, яка створює момент протидії.

Дія електромагнітного приладу ґрунтується на взаємодії магнітного поля котушки з рухомим феромагнітним осердям.

Внаслідок цієї взаємодії осердя втягується в котушку і рухома вісь повертається на деякий кут під дією обертального моменту, який пропорційний квадрату струму:

$$M = k_M \cdot I^2.$$

Момент протидії пружини прямо пропорційний куту повороту осі, на якій закріплена стрілка і осердя

$$M_{np} = k_{np} \cdot \alpha.$$

Стрілка зупиняється, коли моменти врівноважуються: $M = M_{np}$. Тоді кут повороту, на який відхилилася стрілка,

$$\alpha = \frac{k_M}{k_{np}} \cdot I^2$$

пропорційний квадрату струму, і тому шкала електромагнітних приладів нерівномірна.

У амперметрів електромагнітної системи котушка виготовляється з невеликою кількістю витків проводу, що має великий поперечний переріз (для зменшення опору котушки).

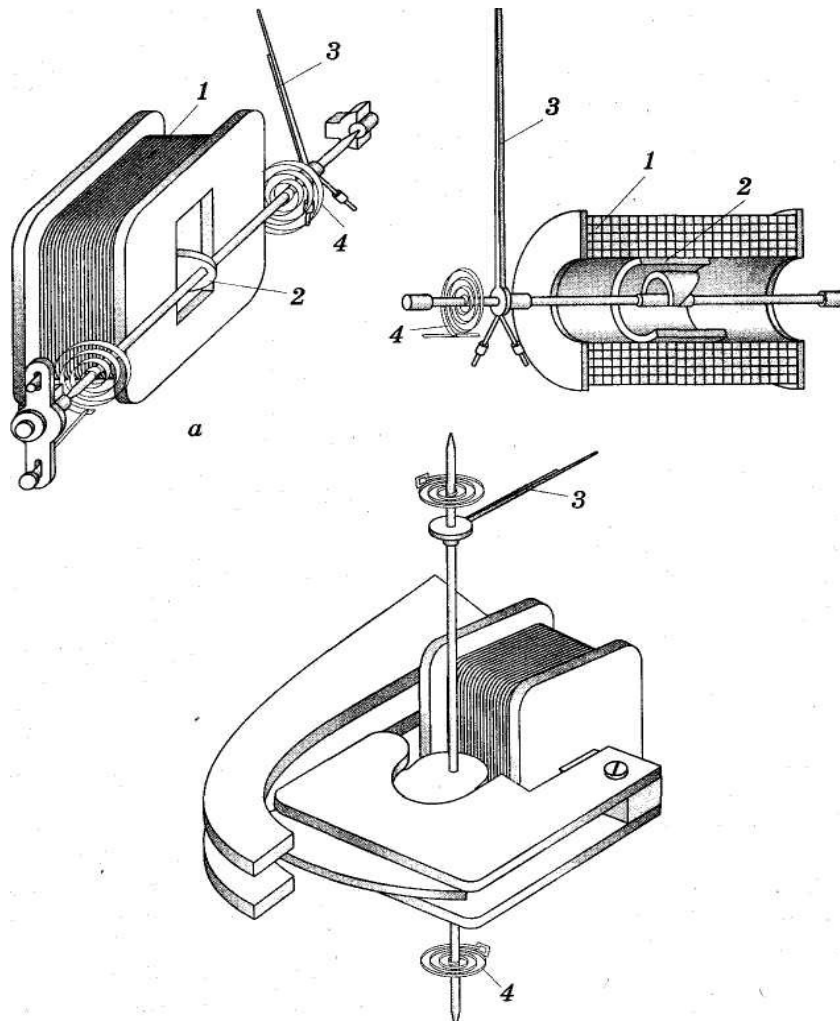


Рис. 3 Будова електромагнітного приладу

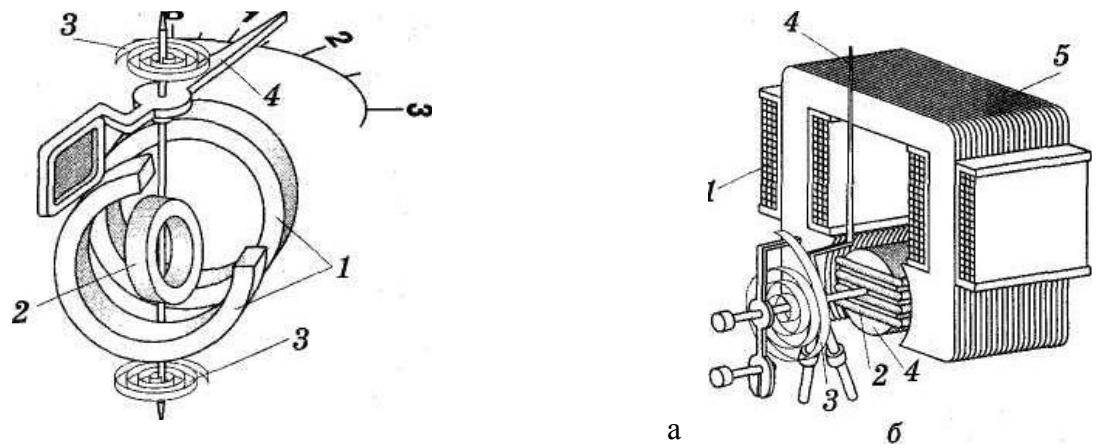
У вольтметрів, навпаки, котушка виготовляється з тонкого проводу $0,08...0,1$ мм і має велику кількість витків (2000...10000).

До переваг електромагнітних приладів належать їхня простота, дешевизна, надійність, здатність витримувати короточасні навантаження, а також придатність для вимірювання в колах змінного й постійного струму.

Недоліками приладів електромагнітної системи є порівняно низька точність, нерівномірність шкали, досить велика споживана потужність, залежність показів від частоти та впливу зовнішніх магнітних полів.

Електродинамічні та феродинамічні перетворювачі і прилади електродинамічної системи, побудовані на їх основі, застосовують для вимірювання потужності, струму, напруги у колах постійного та змінного струмів. Крім того у колах змінного струму електродинамічні прилади застосовують як частотоміри та фазометри.

Електродинамічний прилад складається з таких основних частин (рис.4, а): нерухої котушки 1, яку вмикають, як правило, послідовно зі споживачем; рухої котушки 2, закріпленої на осі, яку вмикають паралельно споживачеві; спіральних пружин 3, які створюють момент протидії і за допомогою яких струм подається у рухому котушку; стрілки 4, жорстко скріпленої з рухомою котушкою, та шкали з нанесеними поділками і цифрами.



**Рис. 4 а) будова приладу електродинамічної системи;
б) будова приладу феродинамічної системи**

Принцип дії приладів електродинамічної системи ґрунтується на взаємодії провідників зі струмом I_1 рухомої котушки з магнітним полем, створеним струмом I_2 у нерухомій котушці.

Ця взаємодія характеризується обертальним моментом, який визначається за формулою

$$M = k_M I_1 I_2 \cos(\psi_{I1} - \psi_{I2}),$$

де k_M – конструктивна стала приладу.

Феродинамічний прилад (рис.4,б) відрізняється від електродинамічного лише тим, що його нерухомі котушки мають магнітопровід 5 з магнітним якого матеріалу.

Електродинамічні прилади застосовують найчастіше як ватметри для вимірювання потужності у колах як постійного, так і змінного струмів. У такому разі нерухома котушка вмикається послідовно зі споживачем, а рухома – паралельно.

Послідовно з рухомою котушкою вмикається додатковий опір $R_{\text{дод}}$ для зменшення власного споживання енергії і підвищення точності. Струм у рухомій котушці I_U , згідно із законом Ома, прямо пропорційний напрузі на споживачеві U :

$$I_U = \frac{U}{R_U + R_{\text{дод}}} = \kappa_U \cdot U,$$

де R_U , $R_{\text{дод}}$ – опори рухомої котушки і додаткового резистора.

Обертальний момент електродинамічного ватметра

$$M = k_M \cdot k_U \cdot U \cdot I \cos \varphi = k_M \cdot k_U \cdot P$$

прямо пропорційний активній потужності, тому шкала електродинамічних ватметрів рівномірна.

В електродинамічних та феродинамічних амперметрах нерухому і рухома котушки з'єднують послідовно.

У такому випадку через котушки протікає один і той же струм

$$I_1 = I_2 = I; \cos(\varphi_{I1} - \varphi_{I2}) = 1$$

і обертальний момент пропорційний квадрату струму

$$M = k_M \cdot I^2.$$

В електродинамічних вольтметрах послідовно з'єднують нерухому і рухома котушки, а також додатковий резистор. Струм у такому послідовному з'єднанні

$$I_V = \frac{U}{R_H + R_p + R_{\text{дод}}} = \kappa_V \cdot U /$$

Обертальний момент пропорційний квадрату напруги

$$M = k_M \cdot k_V \cdot U^2.$$

Електродинамічні прилади придатні для роботи як в колах постійного, так і змінного струму. У колах змінного струму електродинамічні прилади мають найвищу точність порівняно з іншими електромеханічними приладами. Проте на роботу електродинамічних приладів сильно впливають зовнішні магнітні поля.

Прилади електростатичної системи застосовуються головним чином як вольтметри для вимірювання напруг у колах постійного та змінного струму.

Вольтметр електростатичної системи складається з таких основних частин (рис. 5): системи нерухомих електродів 1; системи рухомих електродів 2; спіральної пружини 3 для створення моменту протидії та для підведення напруги до рухомих електродів; стрілки 4 закріпленої на осі разом із системою рухомих електродів.

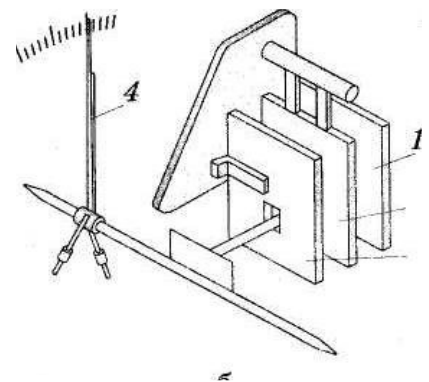
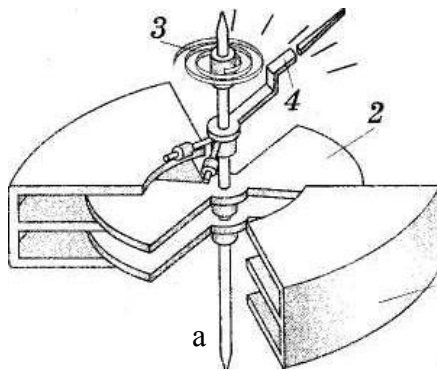


Рис. 5 Будова приладу електростатичної системи

Якщо до рухомих електродів підвести потенціал одного знака, а до нерухомих – іншого, то електроди матимуть заряди протилежних знаків і притягуватимуться один до одного з силою, яка пропорційна заряду електродів:

$$F = k_q \cdot q_1 \cdot q_2.$$

Оскільки заряд прямо пропорційний напрузі, то

$$q = C \cdot U,$$

де C – ємність між електродами.

Сила взаємодії, а також обертальний момент будуть прямо пропорційні квадрату прикладеної до електродів напруги:

$$F = k_U \cdot U^2; \quad M = k_M \cdot U^2.$$

Позитивними якостями приладів електростатичної системи є:

здатність вимірювати великі напруги безпосередньо без додаткових пристроїв;
придатність для вимірювання як постійних, так і змінних напруг;
незначна потужність, яку споживають прилади;
широкий частотний діапазон вимірювання.

Недоліками цих приладів слід вважати низьку точність та чутливість, а також сильний вплив зовнішніх чинників (вологості, електричних полів).

Відповісти на контрольні питання :

- Назвіть складові конструкції приладів магнітоелектричної системи.
- Поясніть принцип дії приладів МЕС.
- Дайте визначення постійної та чутливості приладів магнітоелектричної системи.

- Назвіть переваги і недоліки приладів МЕС.
- Як класифікуються гальванометри?
- Для вимірювання яких величин застосовують гальванометри?
- Конструктивні особливості гальванометрів.
- Будова, принцип дії, переваги і недоліки приладів електромагнітної, електродинамічної, феродинамічної систем.

Оформити та захистити звіт.

Практична робота № 5

Перевірка технічного амперметра

1. Мета роботи:

- 1.1. Ознайомитися з методами перевірки електровимірювальних приладів різних систем і класів точності
- 1.2. Провести перевірку технічного амперметра методом порівняння і зробити висновок у відповідності точності приладу, класу точності позначеному на шкалах.

2. Необхідні прилади та обладнання:

- 2.1. Амперметр технічний A_t , тип Э 378
- 2.2. Амперметр зразковий A_o , тип Д 566 (Э59)
- 2.3. Ламповий реостат на 600 Вт
- 2.4. Повзунковий реостат, тип РСРС 40х4.

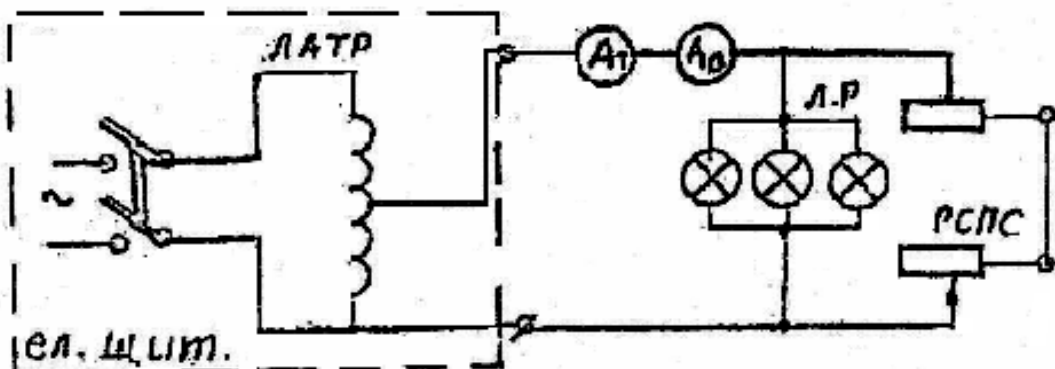
3. Послідовність виконання роботи:

- 3.1. Вивчити інструкційну карту з метою з'ясування послідовності виконання подальшої роботи.
- 3.2. Ознайомитися з приладами. По умовним позначенням на шкалах з'ясувати основні технічні характеристики приладів і записати їх в таблицю 1

Таблиця 1 Технічні характеристики приладів

№ п/п	Назва приладу	Тип №	Система	Рід і характер вимірювальних величин	Клас точності	Межі вимірювання	Ціна поділки
1	Амперметр (A_t)						
2	Амперметр (A_o)						

3.3. Зібрати схему для перевірки амперметра (мал.1)



3.4. Після перевірки схеми викладачем провести вимірювання в послідовності приведеній нижче:

Перед включенням джерела струму за допомогою коректорів стрілки приладів установити на нуль, показання занести в табл.2, як перший рахунок. Рукоятку ЛАТРа розподільного щитка поставити у положення, відносно мінімальної напруги на вході. Ввімкнути струм, після чого, плавно добиватися постановки стрілки технічного амперметра на кожному цифровому діленні шкали (1,2,3,4,5... А).

Показання зразкового амперметра записати у графу 2. Грубу установку струму в колі проводити ЛАТРом, а точну – реостатом РСПС.

Для кожного вимірювання вирахувати:

- абсолютну похибку технічного амперметра, як різницю між показаннями технічного амперметра і показаннями зразкового амперметра, яке приймають за дійсне значення вимірювальної величини:

$$\pm \Delta I = I_T - I_O ;$$

- поправку для кожної оцифрованої відмітки шкали перевіреного амперметра.

Поправка рівняється абсолютній похибці з протилежним знаком:

$$\delta = - (\pm \Delta I);$$

- основну похибку приладу, як відношення найбільшої з усіх одержаних при вимірюванні абсолютних похибок до номінального значення шкали, відображену у відсотках:

$$\gamma_{np} = \frac{\Delta I_{найб}}{I_n} \times 100\%$$

Таблиця 2 Результати вимірювань та розрахунків

Показання приладів		Похибки		Значення поправки δ_i
Технічного I_T	Зразкового I_O	Абсолютна ΔI	Приведена (основна) похибка приладу γ_{np}	
А	А	А	%	В
0				
1				
2				
3				
4				
5				

3.6. На основі результатів зробленої роботи зробити висновок про відповідність класу точності перевірених приладів класу точності, вказаному на шкалі.

4. Відповісти на запитання:

4.1. Що розуміють під перевіркою технічних вимірювальних приладів, яка мета таких перевірок?

4.2. Яка похибка називається основною похибкою приладу? Її величина для перевірених приладів?

4.3. Як розраховується основна похибка при перевірці приладів методом рівняння?

5. Зміст роботи:

5.1. Назва, номер і мета роботи.

5.2. Технічна характеристика приладів (таблиця 1).

5.3. Схема для перевірки амперметра (мал. 1).

5.4. Результати вимірювань та розрахунків (табл. 2).

5.5. Графіки поправок.

5.6. Висновок.

5.7. Відповіді на контрольні запитання.

Практична робота № 6

Перевірка технічного вольтметра

1. Мета роботи:

- 1.1. Ознайомитися з методами перевірки електровимірювальних приладів різних систем і класів точності
- 1.2. Провести перевірку технічного вольтметра методом порівняння і зробити висновок у відповідності точності приладу, класу точності позначеному на шкалах.

2. Необхідні прилади та обладнання:

- 2.1. Вольтметр технічний U_T , тип Э 378
- 2.2. Вольтметр зразковий U_o , тип Д 566 (523)
- 2.3. Повзунковий реостат, тип РСРС 40х4.

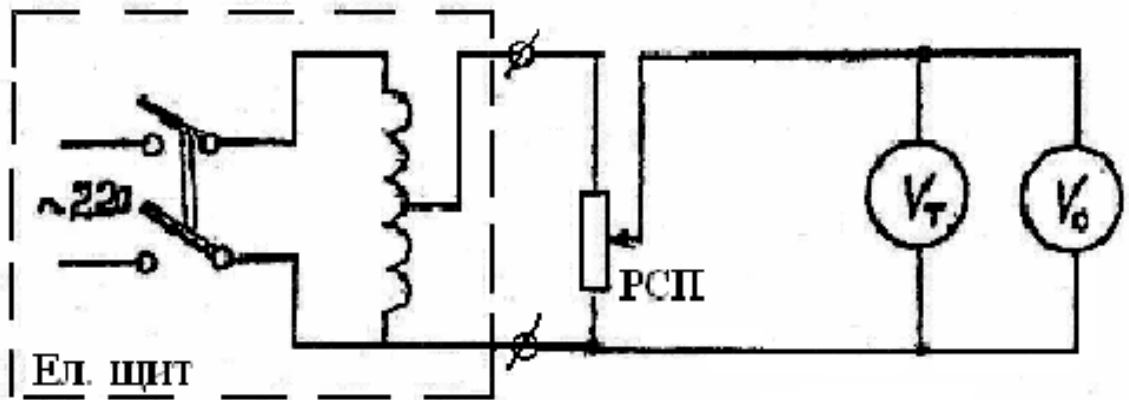
3. Послідовність виконання роботи:

- 3.1. Вивчити інструкційну карту з метою з'ясування послідовності виконання подальшої роботи.
- 3.2. Ознайомитися з приладами. По умовним позначенням на шкалах з'ясувати основні технічні характеристики приладів і записати їх в таблицю 1

Таблиця 1 Технічні характеристики приладів

№ п/п	Назва приладу	Тип №	Система	Рід і характер вимірювальних величин	Клас точності	Межі вимірювання	Ціна поділки
1	Вольтметр (U_T)						
2	Вольтметр (U_o)						

3.3.Зібрати схему для перевірки вольтметра (мал.2)



Мал. 1 Схема для перевірки вольтметра

Після перевірки схеми викладачем провести вимірювання і розрахунки у послідовності викладеній у пункті 4. Грубу установку напруги провести ЛАТРом електророзподільного щитка, а точну підгонку реостатом РСП.

3.4.Побудувати графіки поправок для перевірених приладів.

$$\delta_i = f(I_T); \quad \delta_i = f(U_T)$$

Таблиця 2

Результати вимірювань та розрахунків

Показання приладів		Похибки		Значення поправки δ_u
Технічного U_T	Зразкового U_0	Абсолютна ΔU	Приведена $\gamma_{пр}$	
В	В	В	%	В
0				
50				
100				
150				
200				
250				

3.5. На основі результатів зробленої роботи зробити висновок про відповідність класу точності перевірених приладів класу точності, вказаному на шкалі.

4. Відповісти на запитання:

4.1. Що розуміють під перевіркою технічних вимірювальних приладів, яка мета таких перевірок?

4.2. Яка похибка називається основною похибкою приладу? Її величина для перевірених приладів?

4.3. Як розраховується основна похибка при перевірці приладів методом рівняння?

5. Зміст роботи:

5.1. Назва, номер і мета роботи.

5.2. Технічні характеристики приладів (табл. 1)

5.3. Схема для перевірки вольтметра (мал. 1).

5.4. Результати вимірювань та розрахунків (табл. 2).

5.5. Графіки поправок.

5.6. Висновок.

5.7. Відповіді на контрольні запитання.

Практична робота №7

ВИМІРЮВАННЯ ЄМНОСТІ МІКРОФАРАДОМЕТРОМ

1. Мета роботи:

- 1.1 Вивчити будову і схему мікрофарадометра, набути навички роботи з ними по вимірюванню ємності.
- 1.2 Оцінити метод вимірювання по його зручності і точності.

2. Необхідні прилади та обладнання:

- 2.1 Мікрофарадометр Д524.
- 2.2 Набір конденсаторів.
- 2.3 Джерело живлення змінного струму \ електричний щит V

3. Послідовність виконання роботи.

- 3.1 Ознайомитися з схемою мікрофарадометра і "Правилами роботи з приладом", викладеними на боковій частини приладу.
Уявити призначення перемикачів, затискачів, спосіб вимірювання і відліку показань.
Технічні дані занести в таблицю 1.
- 3.2 Підготувати мікрофарадометр для вимірювання. Після перевірки готовності приладу провести вимірювання ємності конденсаторів, керуючись "Правилами роботи з приладом".

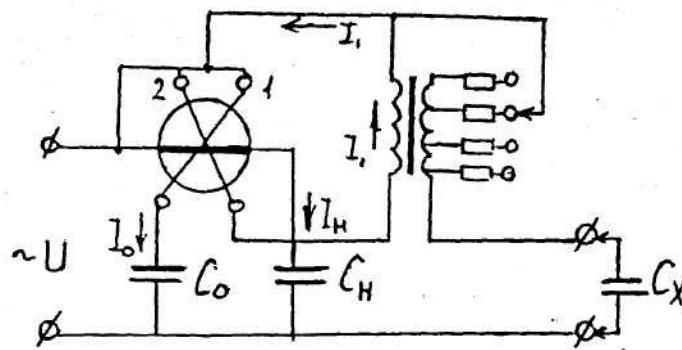
Таблиця1 Технічні характеристики мікрофарадометра

№ п\п	Назва тип	Межі вимірювання	Постійна /ціна поділки/	Клас точності
1.				
2.				
3.				

Результати вимірювань записати, в таблицю 2, номінальні дані отримати у викладача після вимірювання.

Обчислити похибку вимірювань

$$\gamma = \frac{C_x - C_n}{C_n} 100\%$$



Мал. 1 Принципова схема мікрофарадометра.

Таблиця 2- Результати вимірювань і розрахунків

№ макету	№ п/п	Мікрофарадометр C_x	Номінал C_{xn}	Похибки вимірювань γ

4. Відповісти на запитання:

4.1 Який вимірювальний механізм застосовується в мікрофарадометрі?

4.2 В чому заключається суть вимірювання мікрофарадометром?

5. Зміст звіту:

5.1 Мета роботи. Назва та номер роботи \вносяться в штамп \

5.2 Технічні характеристики мікрофарадометра \таблиця 1 \

5.3 Принципова схема мікрофарадометра \ мал. 1 \

5.4 Результати вимірювань та обчислень \табл. 2 \

5.5 Відповіді на запитання.

6. Висновок

Практична робота №8

ВИМІРЮВАННЯ ОПОРУ СЕРЕДНЬОЇ ВЕЛИЧИНИ ОДИНАРНИМ МОСТОМ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ТА ОММЕТРОМ

1. Мета роботи:

- 1.1 Ознайомитися з будовою мосту, його з'єднань. Навчитись здійснювати вимірювання опорів.
- 1.2 Ознайомитися з будовою і схемою омметра. Навчитись готувати омметр для вимірювання опорів на потрібній межі вимірів.
- 1.3 Порівняти і оцінити використані засоби вимірювання опорів, визначити можливу найбільш доцільну ділянку використання вивчених засобів.

2. Необхідні прилади та обладнання:

- 2.1 Міст постійного струму МО-62.
- 2.2 Омметр М 371 (М 218).
- 2.3 Набір опорів.

3. Послідовність виконання роботи:

- 3.1 Вивчити інструкційну карту з метою з'ясування об'єму і змісту подальшої роботи. Підготувати форми для занесення записів в процесі роботи.
- 3.2 Вивчити будову мосту МО-62, принципову схему зовнішніх з'єднань, способи живлення мосту (дивись на відкидній кришці мосту).
- 3.3 З'ясувати призначення затисків, перекидних і декадних перемикачів, кнопок, розташованих на лицьовій панелі мосту (дивись додаток до роботи).
- 3.4 Підготувати міст для вимірювання опорів R_x по подвійнозатискової схемі. З допомогою шнура живлення підключити міст до електрощита, установити напругу 220 В, перемикач "ПС" встановити в положення "2-ох затискової схеми - 23", перемикач гальванометра "ГВ - ГН" встановити в положення "Гальванометр внутрішній", до затискачів "П1-П2" підключити вимірюваний опір R_x .
- 3.5 Основні технічні характеристики мосту записати в табл.1. Ввімкнути живлення і здійснити вимірювання опору R_x (дивись додаток). Величину "N" і опір плеча порівняння R_0 отримані при вимірюванні, записати в табл. 3 і обчислити виміряний опір:

$$R_{x1} = N \cdot R_0;$$

Таблиця 1

Технічні характеристики мосту МО-62

1. Тип мосту	
2. Межі вимірювання	
3. Клас точності	
4. Повідомлення про способи живлення	

Таблиця 2

Технічні характеристики омметра

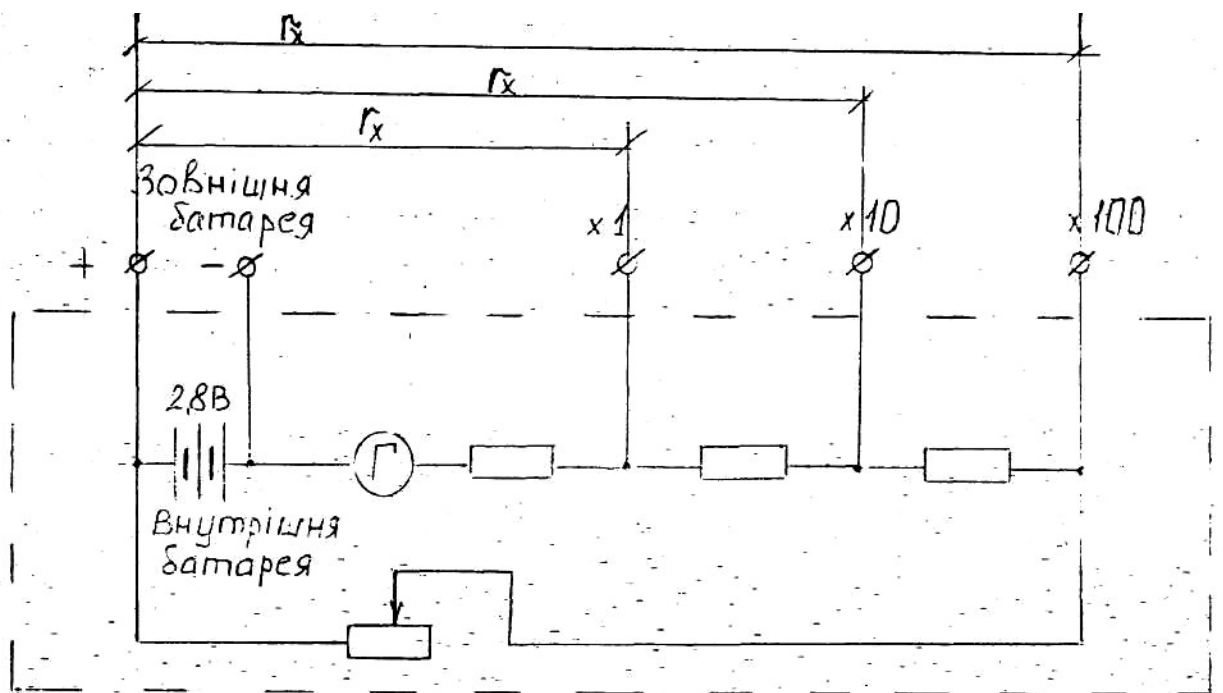
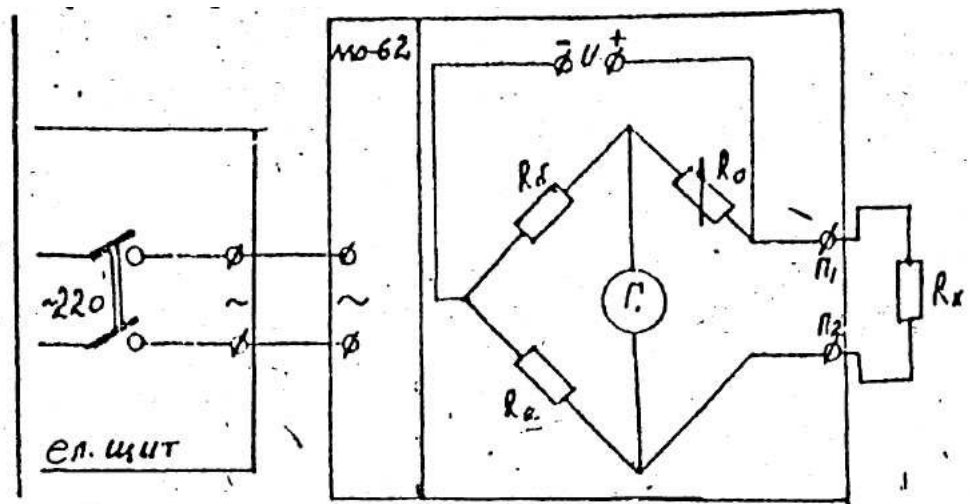
№ п/п	Тип омметра	Клас точності	Межі вимірювання	Ціна поділки

Таблиця 3

Результати вимірювань та розрахунків

№ компл вимір. опорів	№ вимір	Результат вимірювань				Номинал R_n	Розрахунки похибок	
		Мостом МО-62			Оммет- ром М-371 R''_x		мос- том	оммет- ром
		віднош плеч N	опір плеча порівн. R_0	вимір опір R'_x				
-	-	-	Ом	Ом	Ом	Ом	%	%
	1							
	2							
	3							
	4							
	5							

Примітка: Номинальні данні R_x одержати у викладача після виконання вимірювання.



Мал. 1. Схема вимірювання мостом постійного струму

Мал. 2. Схема вимірювання омметром

Після перевірки готовності мосту викладачем, виставити коефіцієнт відношення плеч мосту "N" в відповідності з припущеним значенням вимірюваного опору R_x , а перемикачем живлення "ПП" - встановити відповідну напругу.

Величину напруги і коефіцієнт "N" виставляти користуючись табл.1 , яка розташована на відкидній кришці мосту.

3.4 Вивчити схему (на зворотній стороні приладу) і будову омметра. З'ясувати дані про джерело живлення, призначення затискачів. Визначати межі вимірювань, ціну поділки на кожній ділянці.

Уяснити необхідність і порядок установки стрілки приладу на контрольну відмітку "0" перед кожним вимірюванням. Основні технічні дані і відомості способів живлення записати в табл.2. Накреслити схему.

Визначити, які із опорів, виміряні мостом, можуть бути виміряні цим омметром і на яких межах вимірювання омметра. Тільки після цього приступити до вимірювання.

3.5 Виконати вимірювання опорів R_x омметром в тій же послідовності. Результати вимірювань занести в табл.3.

3.6 Обчислити похибки вимірювання опорів виконаних мостом і омметром, результати записати в табл.3.

4 Відповісти на запитання:

4.1 Як здійснюється живлення вимірювальної частини моста МО-62 при його вмиканні на змінний струм 220 В?

4.2 Чи буде впливати зміна напруги живлення моста на результат вимірювання?

4.3 В чому полягає початкова підготовка омметра до вимірювань?

4.4 Які по величині опори відносяться до категорії середньої величини?

5 Зміст звіту:

5.1 Найменування, № і мета роботи.

5.2 Технічні характеристики приладів (табл. 1,2).

5.3 Схема моста при вимірюванні опорів середньої величини.

5.4 Результати вимірювань та обчислень (табл.3).

5.5 Принципова схема омметра

5.6 Обчислення похибок при вимірюванні омметром та мостом.

5.7 Висновок з виконаної роботи.

Відповідь на контрольні запитання.

Практична робота № 9

ВИМІРЮВАННЯ АКТИВНОГО ОПОРУ, ЄМНОСТІ, ІНДУКТИВНОСТІ ТА ВЗАЄМОІНДУКТИВНОСТІ МОСТОМ ЗМІННОГО СТРУМУ.

1. Мета роботи:
 - 1.1 Вивчити будову та схему моста змінного струму, набути навички роботи з ним для вимірювання активного опору, ємності, індуктивності та взаємоіндуктивності.
 - 1.2 Оцінити метод вимірювання параметрів електричних кіл мостом змінного струму по точності, зручності, можливості роботи в польових умовах.
2. Необхідні прилади та обладнання:
 - 2.1 Міст змінного струму типу Р 556.
 - 2.2 Набір конденсаторів різної ємності.
 - 2.3 Спарені катушки індуктивності. /Трансформатори струму/
3. Послідовність виконання роботи :
 - 3.1 Вивчити інструкційну карту з метою з'ясування об'єму та змісту роботи. Підготувати форми для занесення записів в процесі роботи.
 - 3.2 Ознайомитись з будовою та можливими схемами моста змінного струму, вивчити правила роботи з ним, які наведені на відкидній кришці моста. З'ясувати призначення перемикачів, затискачів, засоби вимірювання і порядок відліку результатів вимірювання. Технічні характеристики моста записати в таблицю 1.

Таблиця 1 Технічні характеристики моста змінного струму

Назва приладу	Тип	Межі вимірювання	Ціна поділки	Допустима похибка
Мост змінного струму				

- 3.3 Зробити вимірювання ємності конденсаторів. Результати вимірювання записати в таблицю. 2.
- 3.4 З кришки моста зарисувати спрощену схему моста.
- 3.5 Зробити розрахунок точності вимірювання, отримавши номінальні дані /дійсне значення/ ємності у викладача.

Похибки вимірювання визначити по формулі:

$$\gamma = \frac{C_x - C_n}{C_n} \cdot 100\%$$

Таблиця 2

Результати вимірювань та обчислень

№ п/п	№ макета	Межа вимірювання С	Положення реохорда	Результат вимірювання Сх	Номінальне значення Сн	Відносна похибка вимірювання γ
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						

3.6 Виконати вимірювання параметрів котушки:

- Виконати вимірювання активного опору котушок Кі, К.2
- Виконати вимірювання індуктивності кожної котушки Ь₁ Ь₂-

Результати вимірювань занести в таблицю 3.

Вимірювання взаємної індуктивності виконати слідуючим чином:

- з'єднати котушки послідовно і виміряти максимальну індуктивність при узгодженому включенні котушок Ь макс:
- з'єднати котушки зустрічно і виміряти мінімальну індуктивність котушок Ь мін:
- результат вимірювань занести в таблицю 3.

По результатам вимірювання обчислити взаємну індуктивність по формулі:

$$M = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{4}$$

З електротехніки відомо що максимальна індуктивність двох котушок

$$L_{\max} = L_1 + L_2 + 2M$$

Практична робота № 10

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КОМБІНОВАНИХ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИБОРІВ

1. Мета роботи:

1.1 Вивчити спрощену схему і будову одного із комбінованих приладів.

1.2 Навчитись безпомилково вибирати положення перемикачів, в відповідності до роду вимірюваної величини, визначати і виставляти необхідну межу вимірювання, рядок шкали, по якому проводиться відлік, ціну поділки і виконувати вимірювання.

2. Необхідні прилади та обладнання:

2.1 Комбіновані прилади тип Ц4312, Ц4313, Ц4315 та інші аналогічні.

2.2 Об'єкти для вимірювання:

Набір резисторів, джерело струму.

Таблиця 1 Загальні відомості про представлені прилади

Тип і № приладу	Вимірювані величини
	1. 2. 3. 4. 5.

3. Послідовність виконання роботи:

3.1 Ознайомитися зі спрощеною схемою та будовою приладу, призначенням і розміщенням органів управління, затискачів.

Заповнити таблицю 1.

Таблиця 2 Межі вимірювання, ціна поділки при вимірюванні струму і напруги

№ пп	Межі вимірювання		Постійна		Клас точності	В якій системі працює	Харак тер шкали
	По струму	По напрузі	По струму	По напрузі			
По постійному струму і напрузі							
1.							
2.							
По змінному струму і напрузі							
1.							
2.							

3.2 Для кожної вимірюваної величини визначити: рядок і характер шкали, межі вимірювання, ціну поділки, клас точності, систему, в якій він працює при вимірюванні цієї величини. Результати записати в таблицю 2.

Перед заповненням таблиці попередньо перемикач і кнопку "Роду вимірюваної величини" встановити в положення, при якому постійна напруга і струм. Перемикач "Межі вимірювання" встановити в 3 різні положення по напрузі, а потім по струму, і визначені для них відповідні дані занести в таблицю 2.

Аналогічно визначити параметри по змінному струму і напрузі, а також по опору \табл.3\.

Таблиця 3 Межі вимірювання приладом опору

Межі вимірювання	Характер шкали	Постійна
В Омах В кОмах В якому класі точності працює В якій системі працює		

3.3 Підготувати прилад для вимірювання постійної напруги на межі 20-50 В, змінної напруги та опору. Результати занести в таблицю 4.

Таблиця 4 Результати вимірювань напруги та опору

№ пп	Вимірювання U		Вимірювання U		Вимірювання опору	
	Щитовим приладом	Комбінованим приладом	Щитовим приладом	Комбінованим приладом	Омметр	Комбінованим приладом
	В	В	В	В	Ом	Ом
1.						
2.						

3.4 По результатам виконаної роботи зробити висновок - які величини і в яких межах вимірює прилад, в яких умовах і з якою метою його зручно застосовувати.

4. Відповісти на контрольні запитання:

- 4.1 В якому положенні повинні знаходитися перемикачі "Рід вимірюваної величини", " Межі вимірювання", по якій шкалі ведеться відлік та в якому положенні повинна знаходитись стрілка приладу при вимірюванні:
 - 4.1.1 Напруга постійного струму 380 В?
 - 4.1.2 Напруга змінного струму 33 В?
 - 4.1.3 Постійний струм 0,02А?
 - 4.1.4 Опір 20 кОм?
5. Зміст звіту:
 - 5.1 Мета роботи. Назва та номер \заноситься в штамп \
 - 5.2 Основні технічні характеристики приладу Угабл.1, табл.2, табл.3\
 - 5.3 Результати вимірювань \табл.4\
 - 5.4 Відповіді на запитання.
 - 5.5 Висновок.
6. Зобразити передню частину приладу з указанням перемикачів, шкал, затискачів, кнопок.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ОПОРУ І НАПРУГИ.

1. Мета роботи:

- 1.1. Познайтися з будовою і технічними даними цифрового вольтметра.
- 1.2. Придбати навички вимірювання цифровим вольтметром електричних величин. .

2. Необхідні прилади та обладнання:

- 2.1. Цифровий вольтметр типу В7-16.
- 2.2. Аналогові вольтметри типу М-45М/Е39/.
- 2.3. Джерело струму з регульованою напругою./Електричний щит/
- 2.4. Набір різних по величині резисторів.

3. Послідовність виконання роботи:

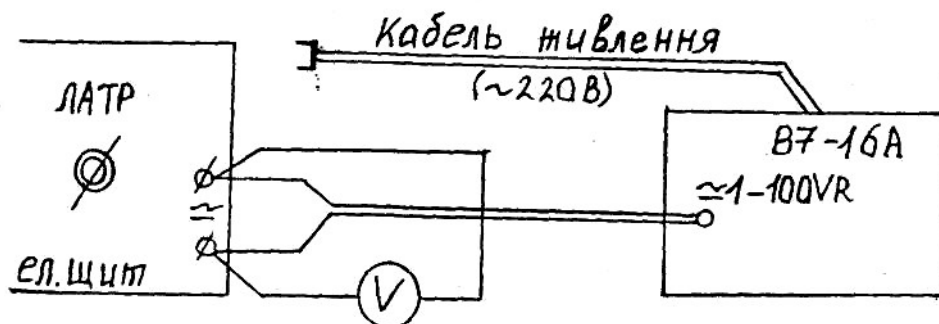
- 3.1. Ознайомитися з будовою цифрового вольтметра. Визначити розташування та призначення органів управління приладом. Основні технічні характеристики приладу записати в таблицю 1.
- 3.2. Ознайомитися з інструкцією по підготовці приладу до роботи, по проведенню калібровки приладу перед вимірюванням.

Таблиця 1 Основні технічні дані приладів

Тип приладу	Вимірювані величини	Назва меж вимірювання	Діапазон вимірювання	Основні похибки вимірювання (формули)
1	2	3	4	5
		1 2 3 4		
		1 2 3 4 5		
		Межі вимірювання і ціна поділки		

Провести установку нуля і калібровку приладу перед вимірюванням напруги(в присутності викладача).

3.3.Зібрати схему і зробити вимірювання напруги постійного струму на межах «1U», «10U», «100U» (мал.1), керуючись інструкцією «Вимірювання напруги постійного струму».



Мал.1 Схема зовнішніх сполучень при вимірюванні напруги

Таблиця 1 Результати вимірювання напруги та обчислення похибок.

Вимірювальна напруга	Межа вимірювання установлена на В7-16А	Показання В7-16А	Відносна похибка вимірювання	
			Аналоговим	Цифровим
	В	В	%	%

3.4.Зробити обчислення похибок вимірювання напруги аналоговим вольтметром по формулі:

$$\gamma = \frac{\gamma_d U_H}{U_{\text{вим}}}$$

і цифровим вольтметром по формулі:

$$\gamma_{\text{нв}} = (0,05 + 0,05 \frac{U_H}{U_X})$$

Результати занести в таблицю 2

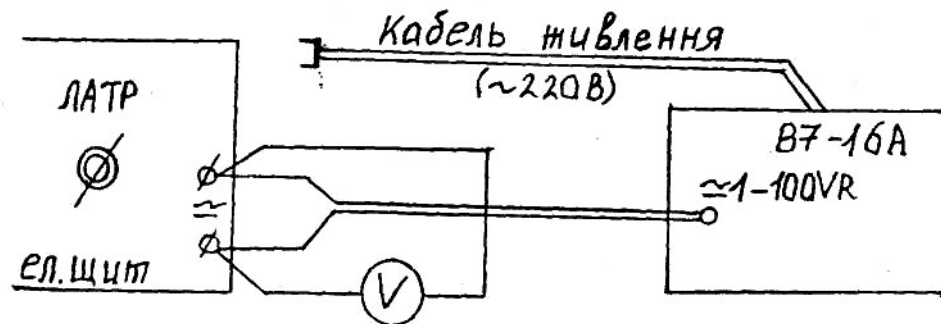
3.5.Ознайомитися з інструкцією, згідно з її рекомендаціями провести калібровку приладу для вимірювання активного опера, робота по калібровці виконується в присутності викладача.

3.6.Зібрати схему (мал.2) і провести вимірювання різних опорів, результати вимірювань записати в таблицю 3.

Обчислити похибки вимірювань по формулі:

$$\gamma_{\text{нв}} = (0,02 + 0,02 \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{в}}}) \%$$

Мал.2 Схема зовнішніх з'єднань при вимірюванні активного опору.



3.7. По результатам виконаної роботи зробити висновки про переваги і недоліки вимірювання аналоговими та цифровими приладами та найбільш доцільні ділянки їх використання.

Таблиця 3 Результати вимірювання опору та обчислення похибок.

№ п/п	Приблизне значення опору	Межа вимірювання установлена на В7-16А	Показання В7-16А	Відносна похибка вимірювання
	Ом	В	В	%
1				
2				
3				
4				

4. Відповісти на контрольні запитання:

4.1. Які прилади називаються цифровими вимірювальними приладами?

4.2. Які операції необхідно провести перед вимірюванням цифровими приладами?

4.3. Які прилади називаються аналоговими приладами?

5. Зміст твору:

5.1. Мета роботи.

5.2. Технічні характеристики приладів/таблиця 1/.

5.3. Схема зовнішніх з'єднань при вимірюванні напруги/мал.1/.

5.4. Результати вимірювань та обчислень при проведенні вимірювання напруги/таблиця 2/.

5.5. Схема зовнішніх сполучень при вимірюванні опору/мал.2/.

5.6. Результати вимірювань та обчислень пов'язаних з вимірюванням активного опору/
таблиця 3/.

5.7. Висновки по результатам роботи.

Мета роботи: вивчення будови і принципу дії частото вимірювачів різних типів

Теоретичні відомості

Измерение частоты. Измерение частоты, являющейся параметром периодического сигнала, в измерительной технике и других областях науки и техники играет огромную роль. Частота f , представляющая собой величину, обратную периоду T сигнала, равна числу полных циклов изменения сигнала в единицу времени.

Измерение частоты электрических сигналов производится с помощью измерительных приборов – частотомеров либо непосредственно, либо методом сравнения.

К наиболее широко используемым в технике измерения частотомерам, измерение частоты которыми производится непосредственным методом, относятся: электромеханические измерители частоты – частотомеры (герцметры) с логометрическим измерительным механизмом; электронные стрелочные измерители частоты – конденсаторные частотомеры; резонансные частотомеры.

К методу сравнения для измерения частоты сигналов относится осциллографический метод - метод интерференционных фигур (фигур Лиссажу) и метод круговой развертки с модуляцией яркости луча.

Прибор, в котором отсутствует механический противодействующий момент и отклонение подвижной части которого зависит от отношения двух токов, называется *логометром*. Отсутствие механического противодействующего момента у логометров обуславливает безразличное положение подвижной части прибора, не находящегося под напряжением. Существуют логометры различных систем (магнитоэлектрической, электромагнитной и др.), и служат они для измерения параметров электрических цепей – сопротивлений (омметры), индуктивностей (генриметры), емкости (фарадометры), а также других величин.

Электромагнитные герцметры с логометрическим измерительным механизмом предназначены в основном для измерения частот напряжений, применяемых в цепях питания. Эти приборы имеют узкий частотный диапазон относительно номинальных частот 50, 60, 100, 150, 200, 400, 430, 500, 800, 1000 или 1500 Гц. Они рассчитаны на включение в измерительную цепь напряжением 36, 110, 127, 220 или 380 В. Выпускаются эти герцметры в виде переносных или щитовых приборов классов точности 0,2; 0,5 и 0,5; 2,5 соответственно. Основными недостатками резонансных электромагнитных герцметров, определяющими их ограниченное применение, является высокая чувствительность к внешним вибрациям и значительное потребление мощности (1,5-2 ВА).

Конденсаторные частотомеры предназначены для измерения частоты периодических сигналов в диапазоне 10 Гц – 200 кГц и применяются при регулировке, ремонте и проверке акустической и звукозаписывающей аппаратуры, при настройке генераторов, радиоприемной и радиопередающей аппаратуры, а также при наладке другой аппаратуры, имеющей в своем составе резонансные системы.

Резонансные частотомеры предназначены для измерения частоты непрерывных, амплитудно-модулированных и импульсно-модулированных сигналов в диапазоне частот 50 кГц – 10 ГГц и применяются при наладке и ремонте передатчиков, гетеродинов и приемников. Относительная погрешность измерения частоты резонансными частотомерами составляет примерно 0,25-0,5% в диапазоне 50 кГц – 150 МГц, 0,1% в диапазоне 150 – 375 МГц и 0,05% в диапазоне 350 МГц – 10 ГГц.

Электронно-счетные частотомеры предназначены для измерения частоты гармонических и импульсных сигналов в диапазоне 10 Гц – 70 ГГц. Кроме того, они могут быть использованы для измерения периода, интервалов времени, длительности импульсов и отношения частот. Они используются для счета числа импульсов электрических сигналов, а также выдают напряжения частот кварцевого генератора, используемых в других внешних устройствах (аппаратуре) в качестве опорной сетки частот.

Гетеродинные частотомеры предназначены для измерения частоты непрерывных и импульсно-модулированных сигналов в диапазоне 125 кГц – 18 ГГц и применяются при различных измерениях в радиотехнике и радиофизике. Относительная

погрешность измерения частоты гетеродинными частотомерами составляет $(1-2)10^{-4}$ в диапазоне 125 кГц-20 МГц и $(5-50)10^{-6}$ в диапазоне 20 МГц – 18 ГГц.

В зависимости от измеряемой частоты и требуемой точности измерений выбирается метод измерения.

Широкое распространение получили следующие методы измерения частоты: заряда и разряда конденсатора, используемый в диапазоне низких и звуковых частот; резонансный для измерений в области высоких частот: сравнения измеряемой частоты с частотами образцового генератора.

Измерение частоты по схеме моста. Для измерения тональных частот, занимающих диапазон от 100 Гц до 15 кГц, иногда используют мостовую схему (рис.31), условие равновесия которой зависит от частоты подведенного к ней напряжения переменного тока.

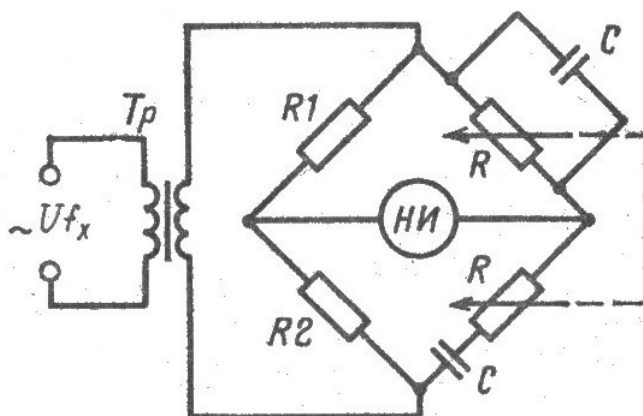


Рисунок 31 Мостовая схема измерения частоты

В схеме моста сопротивление резистора R2 устанавливают в 2 раза больше сопротивления резистора R1. Емкости конденсаторов C одинаковые. При постоянных значениях сопротивления указанных резисторов и емкости конденсаторов измеряемая частота зависит только от сопротивления резисторов R, которыми балансируют мост, и определяется равенством $f_x = 1/2\pi RC$. Сопротивления резисторов R равны между собой и регулируются одновременно общей ручкой. Это дает возможность отградуировать мост непосредственно в величинах измеряемой частоты f_x .

Погрешность измерений этим способом составляет 0,5-1%. Аппаратура с использованием мостовых схем измерения частоты постепенно вытесняется более точными современными приборами.

Измерение частоты резонансным методом. Высокие частоты довольно часто измеряют резонансным методом. Для этой цели применяют колебательный контур LC (рис.32), с которым индуктивно связана (через катушку L') цепь индикатора, состоящая из гальванометра Гв и детектора Д. При измерении исследуемый генератор ГВЧ индуктивно связывают с контуром LC частотомера и, вращая ручку конденсатора C, настраивают частотомер в резонанс с генератором по максимальному отклонению стрелки индикатора. Во время резонанса индуктивное и емкостное сопротивления контура равны между собой $\omega L = 1/\omega C$. Из этого выражения можно определить частоту, на которую настроен контур

$$f_k = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

При известной индуктивности катушки L и емкости конденсатора C легко вычислить частоту $f_x = f_k$.

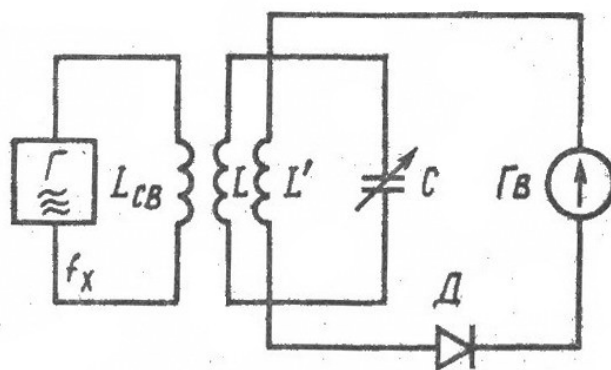


Рисунок 32 Схема измерения высоких частот

Обычно в резонансных частотомерах шкала переменного конденсатора C градуирована в единицах частоты (килогерцах или мегагерцах) при заданной индуктивности катушки L , или же для определения частоты используют градуировочные таблицы.

Измерение частоты методом перезаряда конденсатора. Идея метода иллюстрируется схемой, приведенной на рисунке 33. Конденсатор C с помощью переключателя K подключают на заряд к батарее E , а затем на разряд через гальванометр $Гв$. Если конденсатор заряжается и разряжается полностью за время одного переключения переключателя K , то количество электричества, накапливаемое конденсатором и отдаваемое им гальванометру, будет $q = CE$. Если переключения производить с частотой f_x в 1с, через гальванометр пройдет ток $I = qf_x$. Подставив значение $q = CE$, можно определить частоту $f_x = 1/CE$. Следовательно, при заданных значениях емкости C и напряжения источника E ток через гальванометр пропорционален частоте переключений f_x . Значит, шкалу гальванометра можно градуировать в герцах.

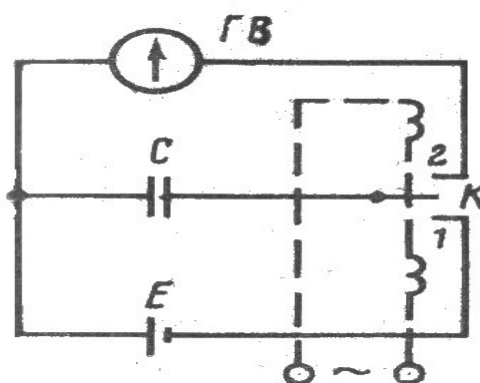


Рисунок 33 Схема измерения частоты методом перезаряда конденсатора

Если вместо переключателя K применить поляризованное реле, к контакту которого будет подключен конденсатор, а к обмотке (на рис.33 показана пунктиром) подвести переменное напряжение, то такая схема может обеспечить измерение частоты напряжения, подведенного к обмотке реле в диапазоне от 5 до 150-200 Гц. Элементы схемы должны быть подобраны так, чтобы при измерении наиболее высокой частоты конденсатор успевал полностью заряжаться в течение полупериода и полностью разряжаться за такое же время.

Осциллографические методы измерения частоты, основанные на сравнении с помощью осциллографа частоты исследуемого сигнала с частотой сигнала образцового

генератора, предназначены для измерения частоты непрерывных и импульсных периодических сигналов в диапазоне 10 Гц – 20 МГц.

Измерение угла сдвига фаз. Для измерения угла сдвига фаз между током и напряжением, а также коэффициента мощности в однофазной цепи переменного тока можно воспользоваться косвенным методом и определить эти величины по показаниям амперметра, вольтметра и ваттметра. Недостатком этого метода является необходимость одновременного отсчета показаний трех приборов и вычисления искомой величины, что снижает точность измерений.

Для измерения угла сдвига фаз между током и напряжением, а также коэффициента мощности в однофазной цепи переменного тока применяются специальные для этой цели приборы, называемые фазометрами. Из электромеханических фазометров наибольшее распространение получили фазометры электродинамической, ферродинамической и электромагнитной системы.

Электродинамические фазометры осуществляются на основе электродинамического логометра. На рисунке 34 показана схема однофазного электродинамического фазометра.

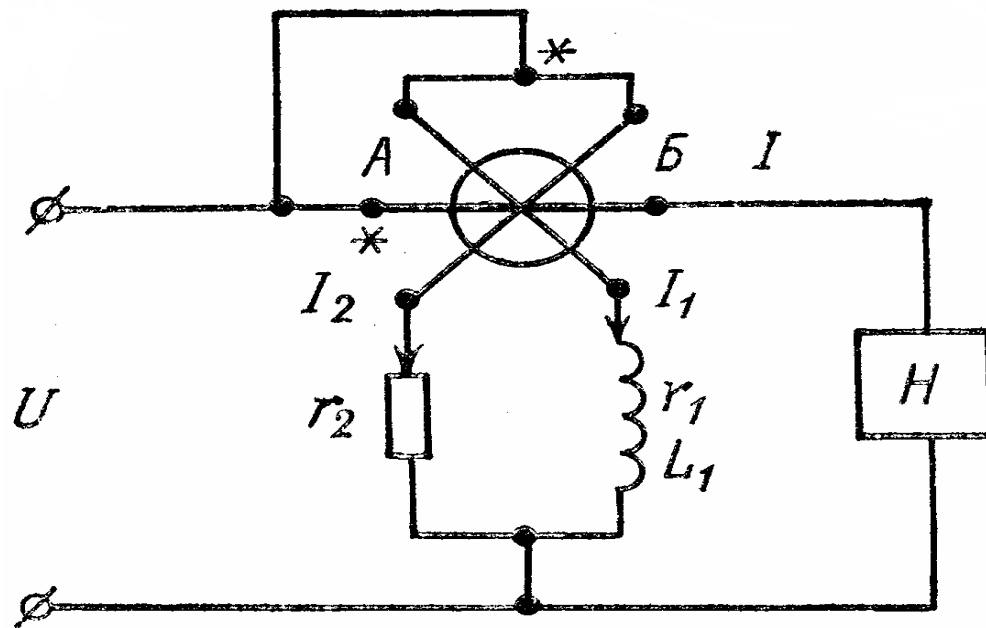


Рисунок 34 Электродинамический однофазный фазометр

Представленный фазометр обладает рядом недостатков. В частности, параллельная цепь такого прибора может быть рассчитана только на одно значение напряжения, так как при изменении величины добавочного сопротивления изменится характеристика шкалы. Существенным недостатком является также большая зависимость показаний от частоты.

В качестве щитовых (класса точности 2,5) применяются узкопрофильные со световым отсчетом ферродинамические фазометры (Д 392), предназначенные для измерения, сигнализации и регулирования коэффициента мощности в трехфазных сетях переменного тока частоты 50 Гц, с равномерной нагрузкой фаз и симметрией линейных напряжений.

Литература: [1] стр. 144-199;

[2] стр. 230-277;

[3] стр. 127-169.

Контрольні запитання:

- Какие методы измерения мощности, электрической энергии, частоты и угла сдвига фаз Вы знаете?

- Опишите конструкцию и принцип действия электродинамического ваттметра.
- Назовите основные элементы конструкции счетчика электрической энергии индукционной системы, его принцип действия.
- Назовите устройство и принцип действия частотомеров различных систем.

Відповіді на запитання та оформити звіт

ВИМІРЮВАННЯ КУТА ЗСУВУ ФАЗ

1. Мета роботи:

- 1.1. Ознайомитися з будовою і електричною схемою фазометра.
- 1.2. Придбати навички включення фазометра в контрольне коло і виконувати вимірювання.

2. Необхідні прилади та обладнання:

- 2.1. Амперметр на 2,5-5А, тип Э59-1 шт.
- 2.2. Вольтметр на 150 В, тип Э378-1шт.
- 2.3. Однофазний ватметр, тип Д533-1шт.
- 2.4. Однофазний фазометр, тип Д363-1шт.
- 2.5. Реостат навантаження, тип РСПС-1шт.
- 2.6. Індуктивне навантаження /дросьель/.
- 2.7. Набір конденсаторів.
- 2.8. З'єднувальні провідники.

3. Послідовність виконання роботи:

- 3.1. Ознайомитися з будовою і електричною схемою фазометра. Записати основні технічні характеристики приладів записати в таблицю 1.

Таблиця 1 Технічні характеристики приладів

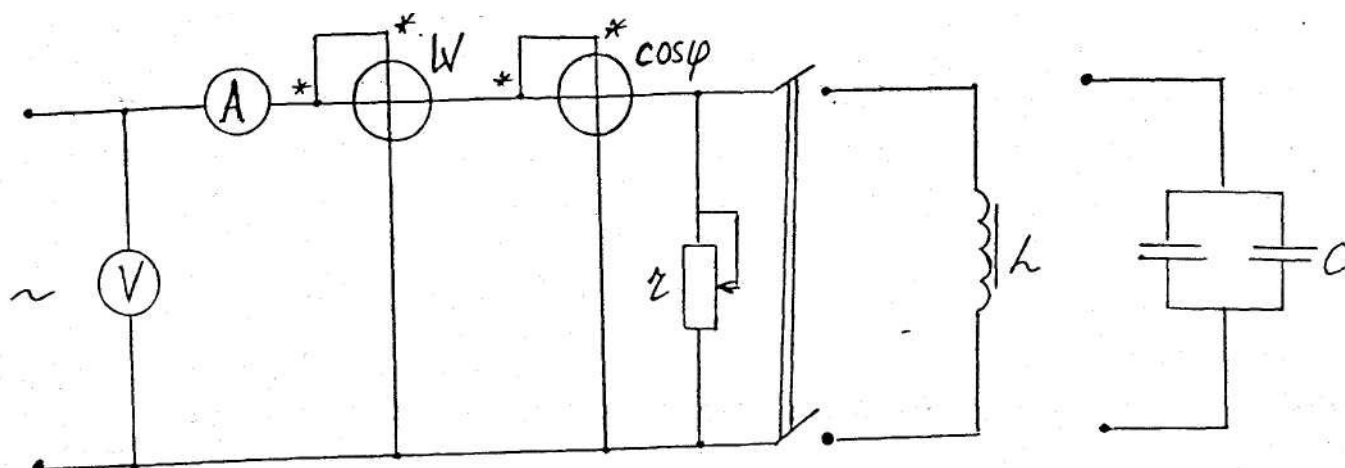
№ п/п	Назва приладу	Тип	Клас точності	Межі вимірювання	Стала / ціна поділки /
1	Амперметр				
2	Вольтметр				
3	Ватметр				
4	Фазометр				

3.2. Зібрати схему для перевірки лічильника (мал.1)

- 3.3. Після перевірки схеми викладачем, включити схеми з активним навантаженням /в колі тільки реостат/, збільшуючи напругу, домогтися показання амперметра 2-3А. Записати показання приладів в таблицю 2.

- 3.4. Паралельно реостату включити індуктивне навантаження /дросьель/, показання приладів занести в таблицю 2.

3.5. Паралельно з реостатом і дроселем підключити конденсатор, зняти показники приладів, записати показання приладів в таблицю 2.



Мал.1 Схема включення приладів

Таблиця 2 Результати вимірювання і обчислювання.

№ п/п	Показання приладів				Примітка		
	I	U	P	$\cos \varphi$	φ	$\cos \varphi$	
	A	B	Вт				
1.							
2.							
3.							

3.6. Включити схему живлення.

4. Відповісти на запитання:

4.1.3 якою метою виконується вимірювання коефіцієнта потужності?

4.2. Як впливає його величина на роботу лінії?

4.3. Як можна його збільшити?

Практична робота № 13

ВИВЧЕННЯ БУДОВИ ОСЦИЛОГРАФА ТА ВИКОРИСТАННЯ ЙОГО ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН

1 Мета роботи:

- 1.1 Ознайомитися з будовою та технічними можливостями електронного осцилографа.
- 1.2 Придбати навички вимірювання електричних величин осцилографом.

2 Необхідні прилади та обладнання:

- 2.1 Електронний осцилограф.

- 2.2 Звуковий генератор - ЗГ.
- 2.3 Електронний комутатор – ЕК.
- 2.4 Монтаж досліджуваних електричних кіл на окремих плакатах.

3 Порядок виконання роботи:

- 3.1 Ознайомитися з будовою електронного осцилографа; уяснити загальний принцип дії; зарисувати схему включення електроннопроменевої трубки; записати призначення її елементів, спосіб отримання на екрані кривої досліджуваного процесу, фігур Лісажу; зарисувати лицьову панель осцилографа і указати призначення органів керування осцилографом.
- 3.2 Підготувати осцилограф до роботи, як указано нижче.
- 3.3 Виконати вимірювання частоти напруги за допомогою фігур Лісажу, які будуть отримані на екрані осцилографа.

Опорною частотою, за наявності одного генератора звукової частоти - 13, може служити промислова частота $f_x = 50$ Гц. З цією метою достатньо затиск контрольного сигналу КС осцилографа з'єднати з горизонтальним входом його - "х-х".

Як вимірювані частоти напруги буде частота, що задається генератором "ЗГ". Для цього напруга з виходу "ЗГ" подати на вертикальний вхід "у-у" (рис.1) осцилографа. (За наявності другого "ЗГ" напруга з нього подається на затиски "х-х", тоді опорну частоту f_x можна буде змінювати).

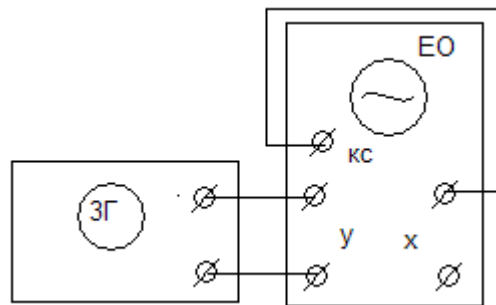


Рисунок 1 Схема зовнішніх з'єднань осцилографа та ЗГ

Ручку "діапазон частот" встановити в положення "викл.", ручками "посилення" відрегулювати амплітуди напруги і, змінюючи частоту напруги генератора "ЗГ", отримати на екрані декілька стійких фігур Лісажу. По фігурах, перетнутих двома взаємперпендикулярними осями "у-у" і "х-х", обчислити вимірювані частоти f_y напруги, що подається від генератора ЗГ, з умови

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{n_y}{n_x}; \quad f_y = f_x \frac{n_y}{n_x},$$

де n_y , n_x - число точок перетину відповідних осей з фігурою.

- 3.4 Підготувати осцилограф до роботи. Підключити макет досліджуваного ланцюга через електронний комутатор до осцилографа, як показано на рисунку 2.

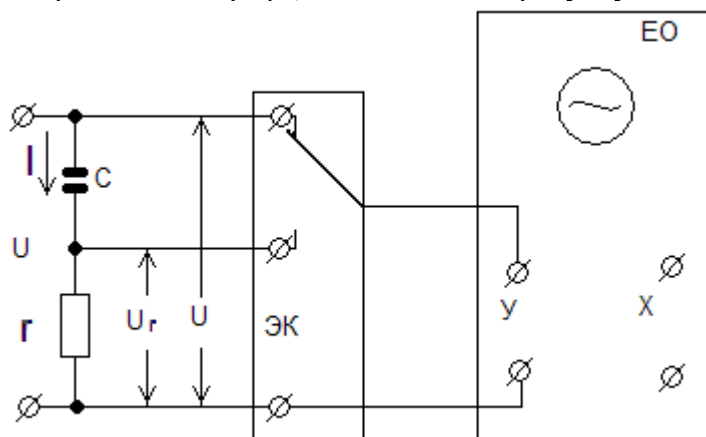
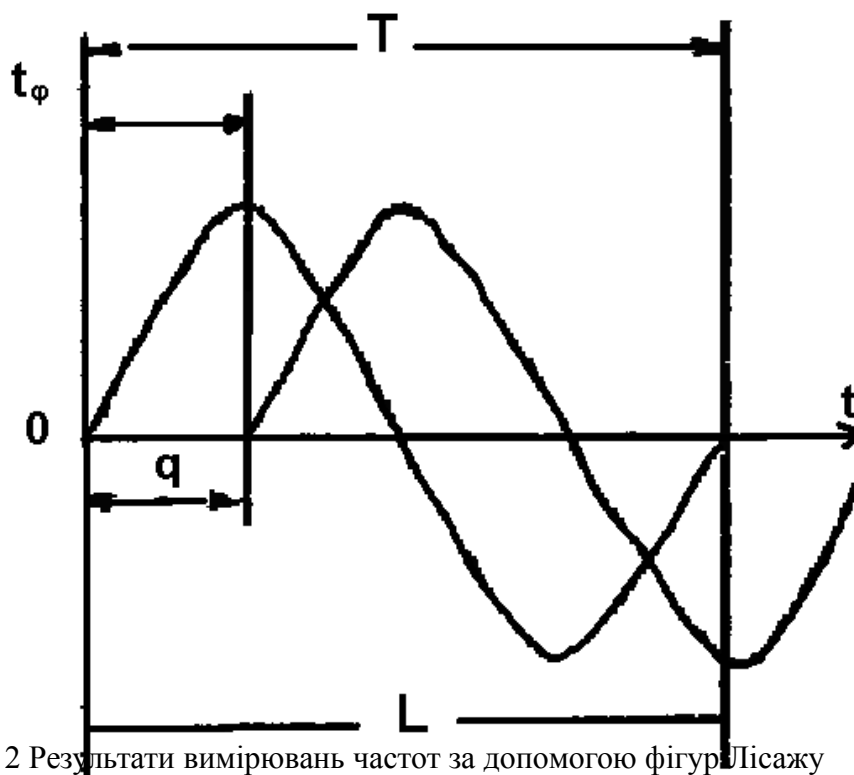


Рисунок 2 Схема зовнішніх з'єднань при вимірюванні кута зсуву фаз

Таблиця 1 Результати та обчислювання при вимірюванні зсуву фаз

№ пп	Зображення отриманих кривих на екрані ЕО	Обчислення

Користуючись ручками настройки, як вказано в “додатку”, отримати на екрані осцилографа стійкі криві, зміщені по фазі. Криві зарисувати в таблицю 1 і провести зміну кута зсуву фаз між напругою (або напругою або струмом - залежно від характеру досліджуваного ланцюга), для чого на екрані провести зміну значень, вказаних на рисунку 3 - l (мм) і L (мм).



Таблиця 2 Результати вимірювань частот за допомогою фігур Лісажу

№ пп	Фігури Лісажу, які спостерігаються	Визначення частот, Якщо частота $f_{x0} = 50$ Гц
---------	---------------------------------------	---

0		$f_y = f_{x0} \frac{n_1}{n_2} = 50 \frac{2}{4} = 25 \text{ Гц}$
1		
2		
3		
4		

Провести обчислення кута зсуву фаз із співвідношення:

$$\frac{\varphi}{360} = \frac{t\varphi}{T} = \frac{l}{L}; \quad \varphi = 360 \frac{l}{L}.$$

По куту φ визначити $\cos \varphi$. Результати записати в таблицю 40.

4 Відповісти на контрольні питання:

- 4.1 Призначення і основні елементи електроннопроменевої трубки?
- 4.2 Порядок підготовки електронного осцилографа ЕО до роботи.
- 4.3 Принцип отримання стійких зображень на екрані ЕО.
- 4.4 Як отримують на екрані і з якою метою фігури Лісажу.

Додаток
до лабораторної роботи 6

Підготовка осцилографа до роботи

Заздалегідь переконавшись, чи правильно встановлений перемикач мережі, чи підключені підсилювачі вертикального і горизонтального відхилення до відхиляючих пластин електроннопроменевої трубки. Після чого:

- ручку “діапазон частот” встановити в положення 30;
- ручку “синхронізація” встановити в положення “внутр.” або “від мережі”.

Підключити шнур живлення осцилографа в мережу;

- включити вимикач “мережа”. Повинна зажевріти сигнальна лампа. Після 2-хвилинного прогрівання;

- включити вимикач “промінь”;
- ручками “вісь” “у”, “вісь” “х” “яскравість” і “фокус” відрегулювати положення лінії розгортки по центру екрану, фокусування і яскравість променя;

- ручкою “посилення” встановити довжину лінії розгортки 0,7-0,9 діаметр екрану;

- з'єднати затиск “контрольний сигнал” із затиском “вхід по осі “у”. На екрані повинні з'явитися зображення - синусоїда;

- ручками “ослаблення” і “посилення” встановити зображення, зручне для спостереження.

Примітка. При установці ручки “ослаблення вхідного сигналу” в положення 1:1 - на вхід може бути подана напруга не більше 2,5 В, при положенні ручки в положення 1:10 - не більше 25 В і при положенні 1:100 - до 250 В;

- ручками “частота плавно” і “амплітуда синхронізації” добитися нерухомого (стійкого) зображення. Потім відключають “контрольний сигнал” від затиску вертикального входу. Осцилограф готовий до роботи.

Практична робота № 14

Методика перевірки працездатності тиристорів

Мета роботи: вивчити структуру тиристорів та їх види.

Теоретичні відомості

Тиристорами називаються напівпровідникові прилади з трьома р-п переходами.

Існує декілька різновидностей тиристорів. Найчастіше використовуються так звані некеровані тиристори (*діністори*) та керовані тиристори (*триністори*).

Будова і принцип роботи некерованого тиристора (діністора)

Діністор (діодний тиристор) – прилад з двома зовнішніми виводами – анодом і катодом (рис.15). Виготовляється на основі кремнієвого кристалу, в якому сформовано

чотири області з чередуванням в них електронної та діркової провідності. Крайні області мають назву емітери, внутрішні – бази. Крайні р-n переходи – емітерні, середній – колекторний. Діністори, як і всі типи тиристорів, є пристроями порогової дії, що видно з вольт-амперної характеристики. Джерело живлення увімкнене так, що емітерні переходи знаходяться під прямою напругою, а колекторний – під зворотною. При зростанні напруги між анодом і катодом спочатку відбувається перехід носіїв струму з емітерів до баз, де вони накопичуються. Анодний струм дуже малий. При певній величині анодної напруги енергія носіїв стає достатньою для лавинного процесу руху через колекторний перехід, внаслідок чого анодний струм різко зростає (це називається *вмиканням* тиристора). При цьому відбувається перерозподіл падіння напруги між діністором і анодним резистором, напруга на діністорі різко падає.

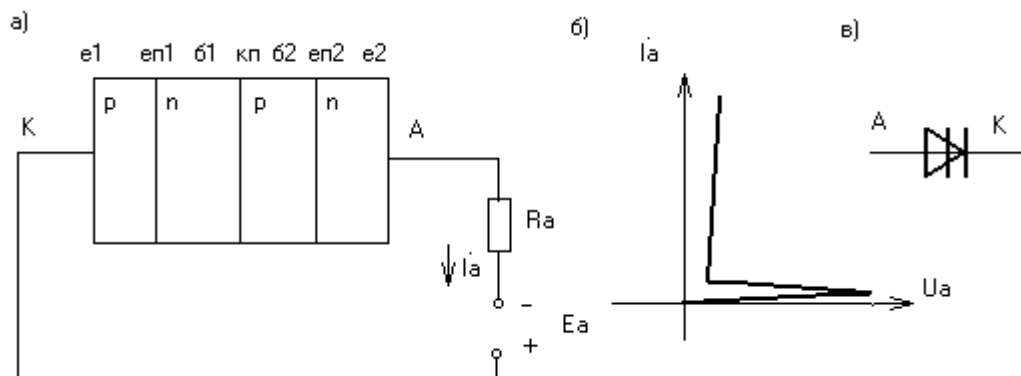


Рис.15 Структура (а), вольт-амперна характеристика (б) та умовне позначення (в) діністора.

Будова і принцип роботи керованого тиристора (триністора)

Триністор, на відміну від діністора, крім анода і катода, має третій, так званий *керуючий електрод*. Він приєднується до однієї з баз, тому існує два типи триністорів: керовані по аноду і керовані по катоду (рис.16). Через керуючий електрод на емітерний перехід в прямому напрямку подається керуюча напруга, під дією якої і відбувається вмикання триністора. Оскільки керуюча напруга подається на емітерний перехід в прямому напрямку, її величина є незначною. При цьому сила струму в кристалі може сягати десятків і навіть сотень ампер. Таким чином, триністор дає змогу керувати колами значних струмів шляхом подачі порівняно невеликої напруги на керуючий електрод.

Тиристори використовуються в схемах випрямлячів, перетворювачів, електроприводів та інших пристроях силової електроніки.

Маркірування тиристорів здійснюється за існуючою системою маркірування напівпровідникових приладів. Тип тиристора помічається літерами Н (для діністорів) або У (для триністорів); наприклад, КН202Е, КУ102Б тощо.

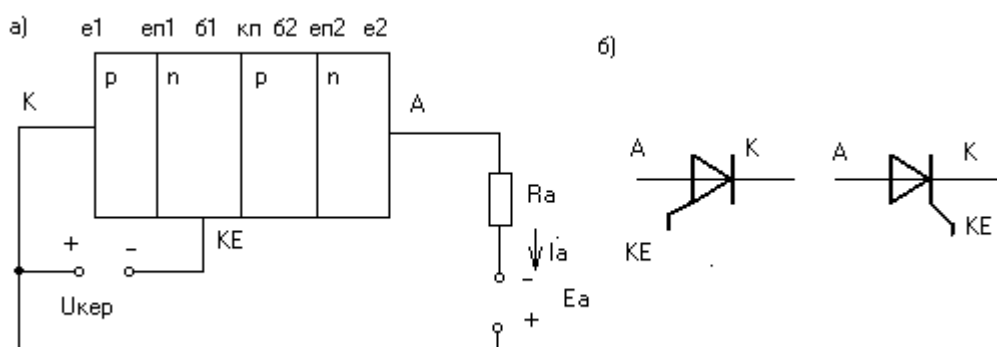


Рис.16 Структура (а) та умовні позначення триністорів (б – керований по аноду, в – керований по катоду).

Відповісти на контрольні запитання та оформити звіт

- Яку структуру мають тиристори?
- В чому різниця між діністорами і тріністорами?
- Які назви мають основні елементи тиристорів?
- Користуючись вольт-амперною характеристикою, поясніть принцип роботи тиристора.
- Чим відрізняються тиристори, керовані по аноду і керовані по катоду?
- Де використовуються тиристори і як позначаються в схемах?

Практична робота № 15**Режими роботи генераторів та їх класифікація**

Мета роботи : вивчити режими роботи генераторів, їх класифікацію та структурні схеми

Теоретичні відомості*Загальні відомості про коливальні контури*

Коливальним контуром називається замкнене електричне коло, яке складається з конденсатора і котушки індуктивності. Таким чином, контур має індуктивність L , ємність C і активний опір R .

Коливальні контури є складовими частинами генераторів гармонічних коливань, резонансних підсилювачів, електричних фільтрів.

Вільними називаються коливання в контурі, які здійснюються без зовнішнього джерела енергії. Якщо розглянути *ідеальний контур*, тобто такий, у якому $R=0$, то після зарядження конденсатора і підключення до нього котушки відбувається обмін енергією між ними. Внаслідок цього в колі протікає синусоїдальний електричний струм. Частота вільних коливань (власна частота контуру) визначається його ємністю і індуктивністю:

$$f \approx 1 / (2\pi \sqrt{LC})$$

Реальний контур має певний активний опір, тому вільні коливання в ньому затухають. Оскільки контури відрізняються за величиною активного опору, для характеристики їх якості введений показник добротності Q . Це є відношення реактивного опору контуру до активного на частоті вільних коливань. Практично добротність визначається за формулою:

$$Q = (\sqrt{L/C}) / R$$

Для якісних контурів добротність становить декілька сотень.

Для одержання незатухаючих коливань до контуру необхідно підключити зовнішнє джерело енергії (генератор синусоїдальних коливань певної частоти). Такі коливання називаються *вимушеними*. В залежності від способу підключення генератора контури бувають послідовними і паралельними (рис.37).

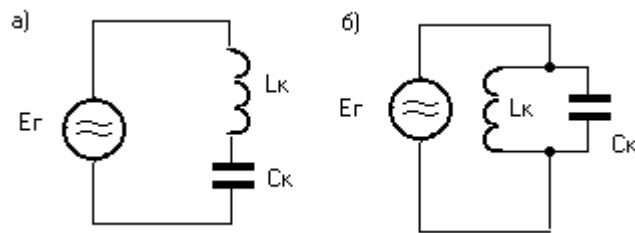


Рис.1 Послідовний (а) і паралельний (б) коливальні контури

Якщо частота генератора співпадає з власною частотою контуру, в контурі виникає *резонанс*. В послідовному контурі при цьому значно зростає сила струму, що відображується *резонансною кривою* контуру (рис.38). При резонансі в паралельному контурі значно зростає напруга на ньому.

Найважливіша властивість контуру – його *вибірковість*. Це здатність контуру з багатьох діючих на нього коливань різних частот вибирати коливання тієї частоти, на яку він налаштований. Ця властивість використовується в перетворювачах частоти, передавачах та приймачах височастотних коливань, електричних фільтрах.

Генератори вимірювальних сигналів є джерелами сигналів різних форм та частот, використовуються для регулювання радіоелектронної апаратури.

Незалежно від призначення, принципу дії та схеми генератори складаються з нелінійного підсилювача, кола позитивного зворотнього зв'язку та джерела постійного струму.

Генератори синусоїдальних коливань виготовляються двох видів: генератори сигналів та генератори стандартних сигналів (мають більш високі показники стабільності частоти, але менший рівень по амплітуді).

Призначення, будова і принцип роботи автогенератора

Автогенератор (автономний генератор) призначений для перетворення енергії джерела живлення в незатухаючі синусоїдальні коливання.

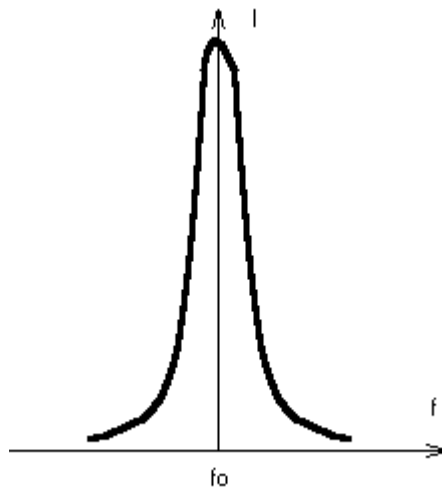


Рис.2 Резонансна крива контуру

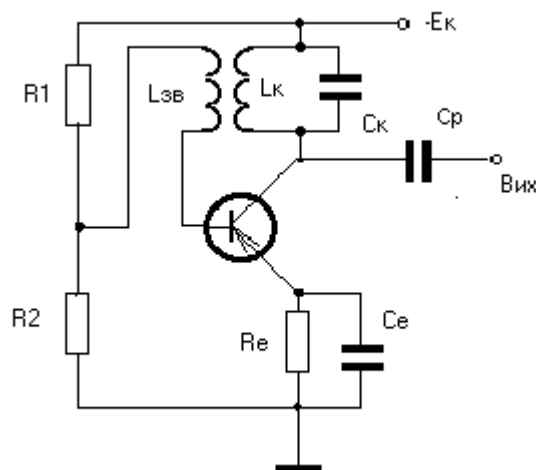


Рис.3 Автогенератор з індуктивним зворотним зв'язком

Основні складові частини автогенератора (рис.39):

- коливальний контур. Призначений для утворення коливань певної частоти;
- коло живлення – для поповнення енергії коливань в контурі;
- підсилювальний елемент (транзистор) – для перетворення струму живлення в змінний струм;
- коло зворотного зв'язку – для передачі керуючої напруги від контуру на базу транзистора.

Принцип роботи автогенератора полягає в його самозбудженні. При вмиканні джерела живлення в контурі виникають коливання, оскільки конденсатор заряджається і розряджається на котушку індуктивності. Напруга коливань від контуру колом зворотного зв'язку подається на базу транзистора, від чого його колекторний струм пульсує і підтримує коливання в контурі незатухаючими.

Частота коливань, які генеруються, визначається параметрами контуру:

$$f \approx 1 / (2\pi \sqrt{LC})$$

Умови самозбудження автогенератора:

- фазова умова. Потребує для самозбудження автогенератора позитивного зворотного зв'язку;
- амплітудна умова. Потребує для самозбудження автогенератора достатнього коефіцієнта зворотного зв'язку.

Схеми LC-генераторів

До LC-генераторів відносяться схеми автогенераторів, до складу яких входять коливальні контури. Окрім складових частин, названих вище, схеми автогенераторів мають елементи зміщення, температурної стабілізації режиму транзисторів, елементи зв'язку з іншими каскадами схеми тощо. Для забезпечення стабільної частоти коливань в схему можуть вмикатися кварцеві резонатори.

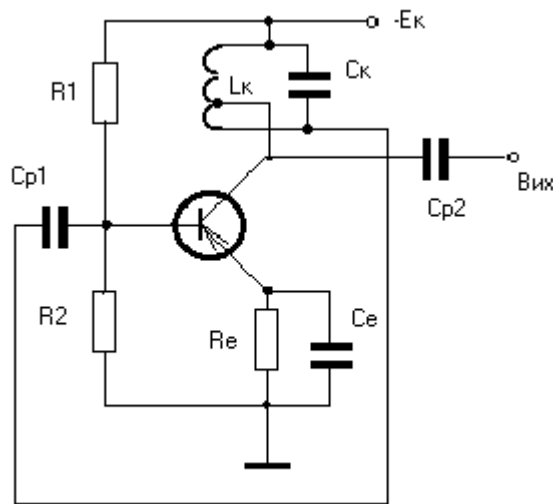


Рис.4 Індуктивна трьох точкова схема автогенератора

За способами утворення зворотного зв'язку існує декілька схем автогенераторів:

- з індуктивним зворотним зв'язком;
- з автотрансформаторним зворотним зв'язком (рис.4);
- з ємнісним зворотним зв'язком.

Дві останні схеми в практиці мають назву трьох точкових.

RC-генератори

Як відомо, генератори гармонічних коливань призначені для перетворення енергії джерела живлення в незатухаючі синусоїдальні коливання.

В ході аудиторних занять розглядалися схеми LC-генераторів, які мали коливальний контур. Частота коливань такого генератора визначається виразом $f \approx 1/2\pi\sqrt{LC}$. Видно, що для генерування низькочастотних коливань потрібно значно збільшувати індуктивність і ємність контуру. Тому поряд з LC-генераторами використовуються RC-генератори.

RC-генератор (рис.41) являє собою резисторний каскад підсилення, в якому позитивний зворотний зв'язок для самозбудження утворюється за допомогою трьох фазуючих RC-ланок. Частота коливань визначається величинами R і C фазуючих ланок.

В сучасній схемотехніці широко використовуються RC-генератори, побудовані на операційних підсилювачах.

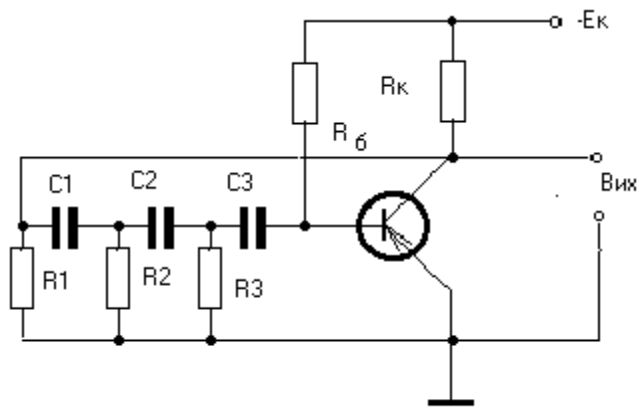


Рис.5 Схема RC-генератора

Розгляньте детальніше наведені схеми, з'ясуйте призначення їх елементів.

Генератори з незалежним збудженням.

На відміну від автогенератора генератор з незалежним збудженням має вхід, на який подається керуюча напруга від стороннього джерела вхідного сигналу певної частоти. Його схема будується за принципом підсилювача, навантаженням якого є резонансний коливальний контур (резонансний підсилювач). Генератор з незалежним збудженням, окрім підсилення напруги або потужності сигналу певної частоти, може використовуватись для перетворення частоти, зокрема, для помноження частоти. Для цього генератор повинен працювати в режимі відсічки колекторного струму, при якому струм є несінусоїдальним. При подачі на вхід сигналу частотою f колекторний струм розкладається на безліч гармонік різної частоти ($2f$, $3f$, $4f$,...). Якщо навантажувальний контур при цьому налаштований на частоту, приміром, другої гармоніки $2f$, то на виході з'явиться сигнал подвоєної частоти.

Генератори з незалежним збудженням широко використовуються в радіотехнічних пристроях, системах зв'язку, вимірювальній техніці.

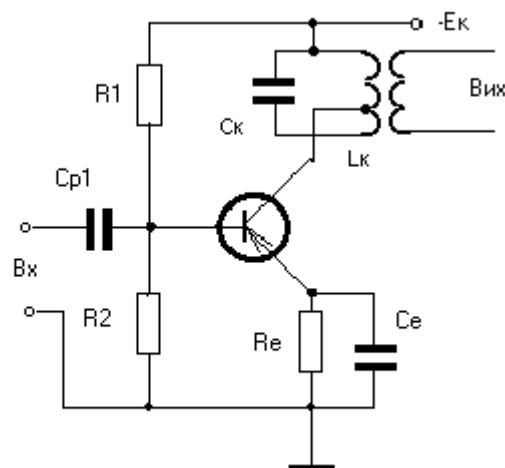


Рис.6 Схема генератора з незалежним збудженням

Поняття про модуляцію.

В системах передачі інформації (радіотехніці, системах багатоканального зв'язку, системах телемеханіки) використовують принцип „накладення” інформаційних сигналів на електричні коливання як правило синусоїдальної форми і більш високої частоти, ніж інформаційний сигнал, які виконують при цьому роль носія інформації.

Модуляцією називається процес зміни певних параметрів електричних коливань (носієвих коливань) у відповідності до інформаційного сигналу, який передається.

В залежності від того, який параметр носійних коливань змінюється у відповідності до інформаційного сигналу, існує три види модуляції: амплітудна, частотна, фазова.

В телемеханічних транспортних системах найбільш поширеними є амплітудна (АМ) і частотна (ЧМ) модуляція.

Користуючись графіками (рис.7), розгляньте, у чому полягає суть названих видів модуляції, різницю між ними.

При амплітудній модуляції (рис.7а) змінюється амплітуда носійних коливань у відповідності до інформаційного сигналу.

При частотній модуляції (рис.7б) змінюється частота носійних коливань у відповідності до інформаційного сигналу.

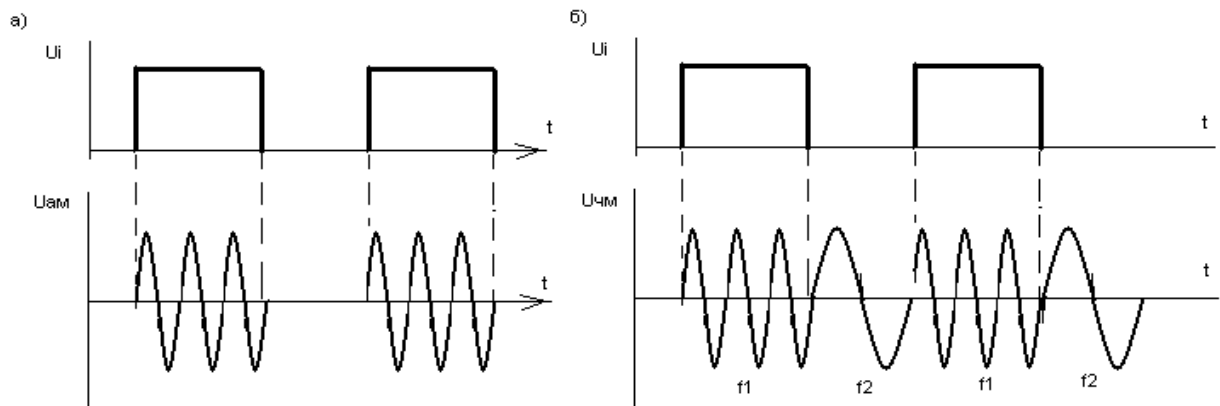


Рис.7 До пояснення амплітудної і частотної модуляції

Частотна модуляція має більш високу захищеність від зовнішніх завад, оскільки амплітуда ЧМ коливань є незмінною.

Процес модуляції здійснюється в спеціальному каскаді електронної схеми (КМ), побудованому за принципом генератора з незалежним збудженням, на входи якої подаються як носійні коливання, так і інформаційний сигнал (рис.8). З виходу каскаду модуляції знімається модульований сигнал АМ або ЧМ.

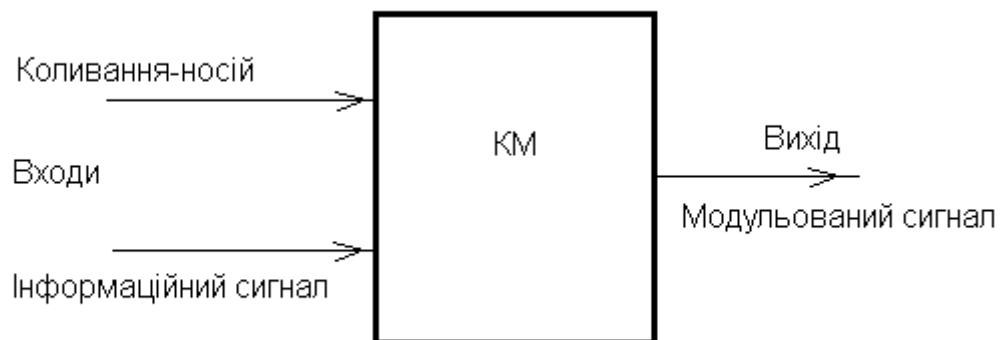


Рис.8 Структурна схема модуляції

Схеми автогенераторів на операційних підсилювачах.

В сучасній схемотехніці для генерування гармонічних коливань широко використовуються LC- та RC-автогенератори, в яких підсилювальним елементом є не транзистор, а операційний підсилювач (ОП) (рис.9).

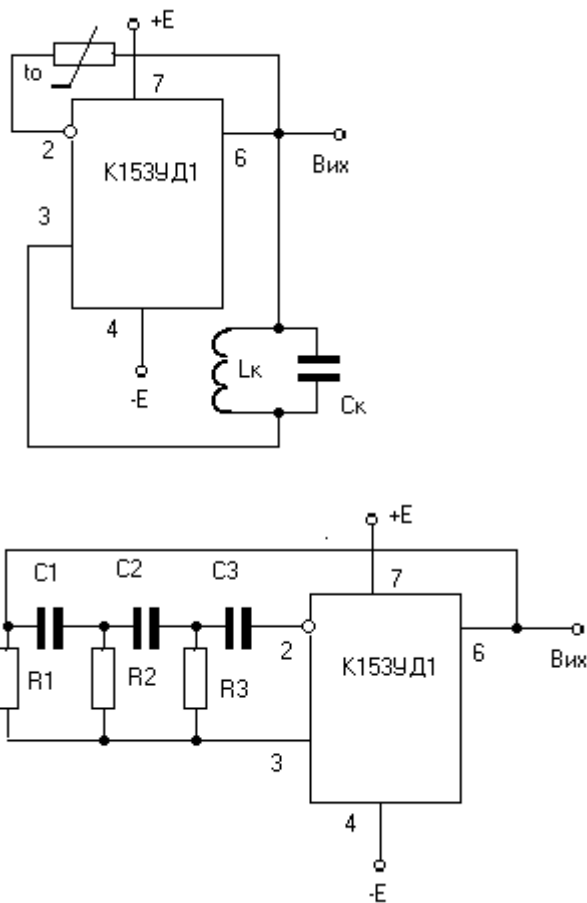


Рис.9 Схеми автогенераторів на операційних підсилювачах

Вони мають високі технічні показники, зумовлені високими якісними показниками самих ОП. Позитивний зворотний зв'язок для самозбудження здійснюється через резонансний контур, налаштований на певну частоту (в LC-автогенераторі), або через RC-ланки (в RC-автогенераторі). Оскільки ОП мають надлишковий коефіцієнт підсилення, в схемі автогенератора є можливість використати досить глибокий негативний зворотний зв'язок (НЗЗ), що суттєво підвищує стабільність частоти коливань. Увімкнений в коло НЗЗ терморезистор забезпечує температурну стабільність частоти і амплітуди коливань.

Відповісти на контрольні запитання та оформити звіт.

- Яке призначення має автогенератор?
- Назвіть основні складові частини автогенератора і вкажіть їх призначення.
- Поясніть призначення RC-генератора.
- Поясніть призначення окремих елементів схеми RC-генератора.
- Чим визначається частота коливань на виході RC-генератора?
- Чим генератор з незалежним збудженням відрізняється від автогенератора?
- Поясніть призначення основних елементів схеми генератора (рис.4).
- В чому полягає особливість режиму роботи генератора?
- Вкажіть достоїнства автогенераторів, побудованих на операційних підсилювачах. Чим ці достоїнства зумовлені?
- Чим визначається частота коливань, які виробляють автогенератори?
- Вкажіть призначення елементів схем автогенераторів.

