

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт

**з дисциплін: «Електронні системи», «Метрологічне забезпечення електронних систем», «Компонентна база електронних систем», «Основи електричних та неелектричних вимірювань», «Метрологія та вимірювальна техніка», «Компоненти електронних систем», «Компоненти та матеріали інформаційно-вимірювальних систем»
(для студентів денної та заочної форм навчання усіх спеціальностей)**

ПОКРОВСЬК – 2021

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін : «Електронні системи», «Метрологічне забезпечення електронних систем», «Компонентна база електронних систем», «Основи електричних та неелектричних вимірювань», «Метрологія та вимірювальна техніка», «Компоненти електронних систем», «Компоненти та матеріали інформаційно-вимірювальних систем» (для студентів денної та заочної форм навчання усіх спеціальностей) [Електронний ресурс] / уклад. О.В. Вовна, К.В. Рижкова. – Покровськ : ДонНТУ, 2021. – 167 с.

Методичні вказівки є лабораторним практикумом з дисциплін «Електронні системи», «Метрологічне забезпечення електронних систем», «Компонентна база електронних систем», «Основи електричних та неелектричних вимірювань», «Метрологія та вимірювальна техніка», «Компоненти електронних систем», «Компоненти та матеріали інформаційно-вимірювальних систем», у них викладено необхідні положення під час підготовки до лабораторних робіт, порядок виконання та завдання до лабораторних робіт, зміст звіту та контрольні запитання.

Укладачі: Вовна О.В. – професор, д.т.н., зав. каф. електронної техніки.

Рижкова К.В. – асистент каф. електронної техніки.

Рецензент Цололо С.О. – доцент, к.т.н., доцент каф. комп'ютерної інженерії.

Відповідальний за випуск: Вовна О.В. – завідувач кафедри електронної техніки, д.т.н., професор.

Затверджено навчально-методичним відділом ДонНТУ,
протокол № 8 від 27.04.2021 р.

Розглянуто на засіданні кафедри електронної техніки,
протокол № 3 від 08.04.2021 р.

ДонНТУ, 2021 рік

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1 – Вивчення аналогових вимірювальних пристроїв	7
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 – Розширення меж вимірювання, розрахунок додаткових опорів та шунтів.....	20
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 – Вимірювання амплітуди сигналу	30
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 – Вимір параметрів елементів електричних схем методом вольтметра і амперметра.....	41
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5 – Вимір параметрів елементів схем мостовим методом	49
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6 – Вимір параметрів електричних схем резонансним методом	67
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7 – Вимір деформації, температури (тензорезистор і терморезистор, термопара)	86
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8 – Вивчення цифрового осцилографа та реєстратора (самописця) на базі осцилографа.....	108
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9 – Вимір потужності	115
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10 – Вимір частоти і інтервалів часу	135
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11 – Вимірювання зсуву фаз	150
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	166

ВСТУП

Лабораторний стенд НТЦ-05.08.1 «Електричні вимірювання» призначено для використання як навчального обладнання під час проведення лабораторних робіт з дослідження характеристик і параметрів основних вимірювальних пристроїв. Лицьову панель стенду НТЦ-05.08.1, зовнішній вигляд якої наведено на рис. 1, розбито на групи відповідно до тематики виконання робіт.

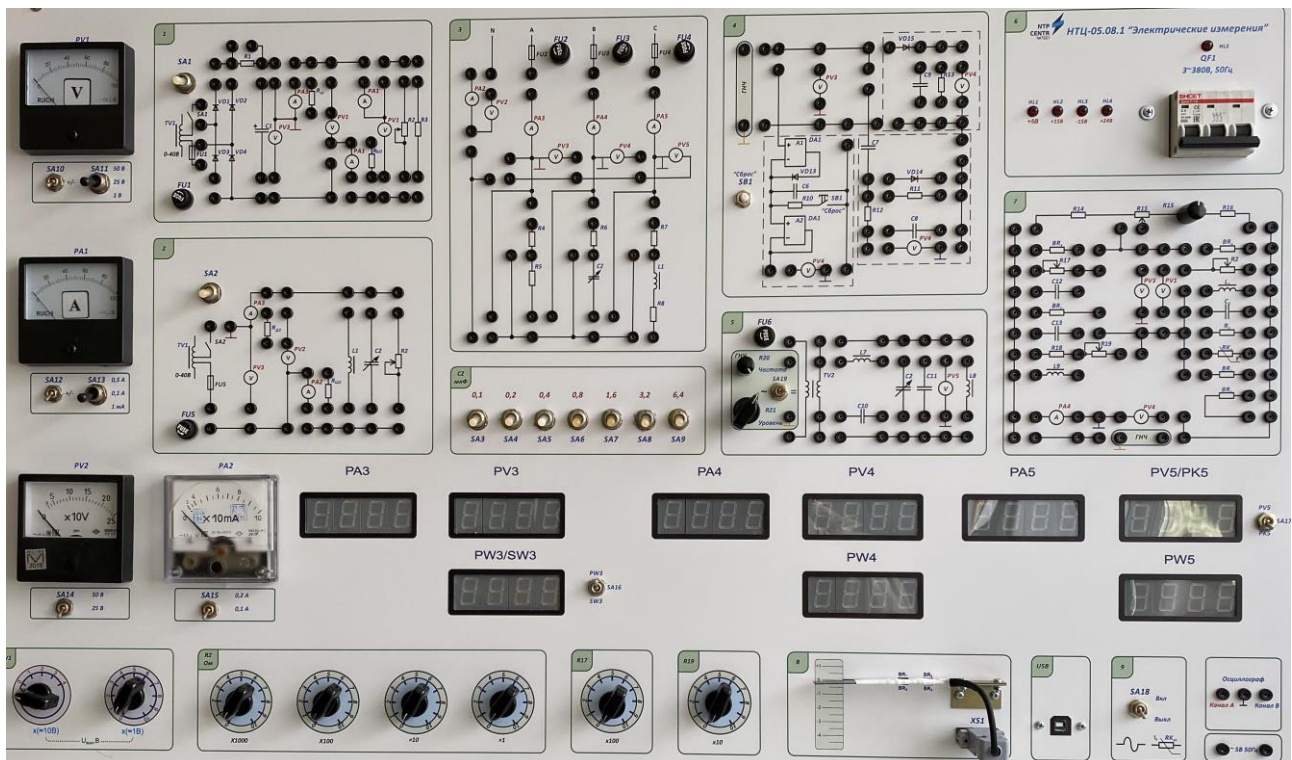


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд лицьової панелі стенду

НТЦ-05.08.1 «Електричні вимірювання»

Стенд дозволяє досліджувати характеристики та параметри таких пристроїв:

- вольтметра магнітоелектричної системи;
- амперметра магнітоелектричної системи;
- вольтметра електромагнітної системи;
- амперметра електромагнітної системи;
- цифрового осцилографу;

- мостів для вимірювання потужності;
- дослідження температурних властивостей елементів.

Виконання кожної лабораторної роботи складається з трьох частин:

1 Підготовка до лабораторної роботи:

- вивчення теоретичного базового матеріалу;
- виконання всіх попередніх розрахунків;
- складання плану експериментальних досліджень.

2 Експериментальні дослідження запропонованого електронного компонента.

3 Оформлення та захист звіту з лабораторної роботи.

Під час підготовки до лабораторної роботи студент повинен чітко усвідомити кінцеву мету дослідження, форму та характер зміни вхідних і вихідних параметрів компонента, що досліджується, та виконати необхідні розрахунки. Звіт, з лабораторної роботи, повинен мати в своєму складі назву та мету роботи, схеми та компоненти, що досліджувалися, пояснення принципів роботи схем та компонентів, план експериментальних досліджень та висновки.

Порядок проведення досліджень у лабораторії:

1 Студент допускається до виконання лабораторної роботи за умови, якщо він підготовлений у відповідно до наведених вище вимог.

2 Після дозволу викладача виконувати дослідження студент збирає схему та самостійно здійснює її налаштування, у випадку, якщо схема не працює або працює некоректно або неправильно, він має знайти причину несправності та усунути її.

3 Після здійснення налаштування схеми, а також перевірки відповідності її вихідних сигналів розрахунковим даним, студент запрошує викладача для огляду та перевірки.

4 Після цього здійснюються заплановані дослідження, по закінченню яких результати пред'являються викладачеві та за його дозволом схема розбирається та робоче місце прибирається.

5 До наступної лабораторної роботи остаточно оформлюється звіт, який пред'являється викладачеві. Звіт з попередньої лабораторної роботи захищається студентом на наступному занятті. Якщо студентом не представлений звіт із попередньої роботи, то він не допускається до виконання наступної лабораторної роботи.

Перед виконанням кожної лабораторної роботи викладачем здійснюється опитування студентів за змістом роботи, а також за методикою її виконання. Непідготовлені студенти не допускаються до виконання лабораторної роботи, вони вивчають у лабораторії незасвоєний ними матеріал за літературою, що рекомендується.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ВИВЧЕННЯ АНАЛОГОВИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

Мета роботи: вивчити принцип роботи основних аналогових приладів, визначити та порівняти основні параметри амперметрів та вольтметрів.

Визначення основних параметрів аналогових приладів

1 Повірка вольтметра магнітоелектричної системи

Порядок виконання роботи:

1.1 Вивчити лицьову панель щитових приладів *PV1*, *PA1*, *PA2* і *PV2*. За позначенням визначити їх тип, точність вимірювання, ціну поділки, діапазони вимірювання. Дані занести в таблицю 1.1.

1.2 Зібрати схему, представлену на малюнку 1.1. В якості вольтметра, що повіряється вольтметр *PV1* включений в діапазоні 25 В. В якості повіряючого буде прилад *PV3*.

1.3 Включити тумблер *SA11* в середнє положення 25 В (*SA10* вниз).

1.4 Встановити номінал опору R_2 рівним 10 кОм (перемикач $\times 1000$ в блоці R_2 в положення 10).

1.5 Значення опору R_2 змінюється галетними перемикачами 1×1000 , 1×100 , 1×10 , 1×1 у наступному вигляді:

$$R_2 = 1000 \cdot n_{1 \times 1000} + 100 \cdot n_{1 \times 100} + 10 \cdot n_{1 \times 10} + 1 \cdot n_{1 \times 1}, \text{ Ом,}$$

відповідно для кожного перемикача, де n – положення кожного перемикача відповідно.

Таблиця 1.1 – Основні параметри аналогових вимірювальних пристроїв

Пристрій	Вимірювана величина	Тип	Діапазон вимірювання	Ціна поділу	Клас точності	Призначення
PV1	напруга	електромагнітний	1 В	0,01 В	1,5	вимірювання напруги змінного струму на частоті від 20 до 400 Гц
			25 В	0,25 В		
			50 В	0,5 В		
PA1	струм	електромагнітний	1 мА	0,01 мА	1,5	вимірювання змінного струму на частоті від 20 до 400 Гц
			0,1 А	0,001 А		
			0,5 А	0,005 А		
PV2	напруга	магніто-електричний	25 В	1 В	2,5	вимірювання напруги постійного струму
			50 В	2 В		
PA2	струм	магніто-електричний	0,1 А	0,01 А	2,5	вимірювання постійного струму
			0,2 А	0,02 А		

1.6 Перед включенням стенда переконатися, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

1.7 Включити стенд автоматичним вимикачем *QF1*.

1.8 Переконайтеся, що регулятори напруги ЛАТРа знаходяться в початкових положеннях «0» (в крайньому лівому положенні).

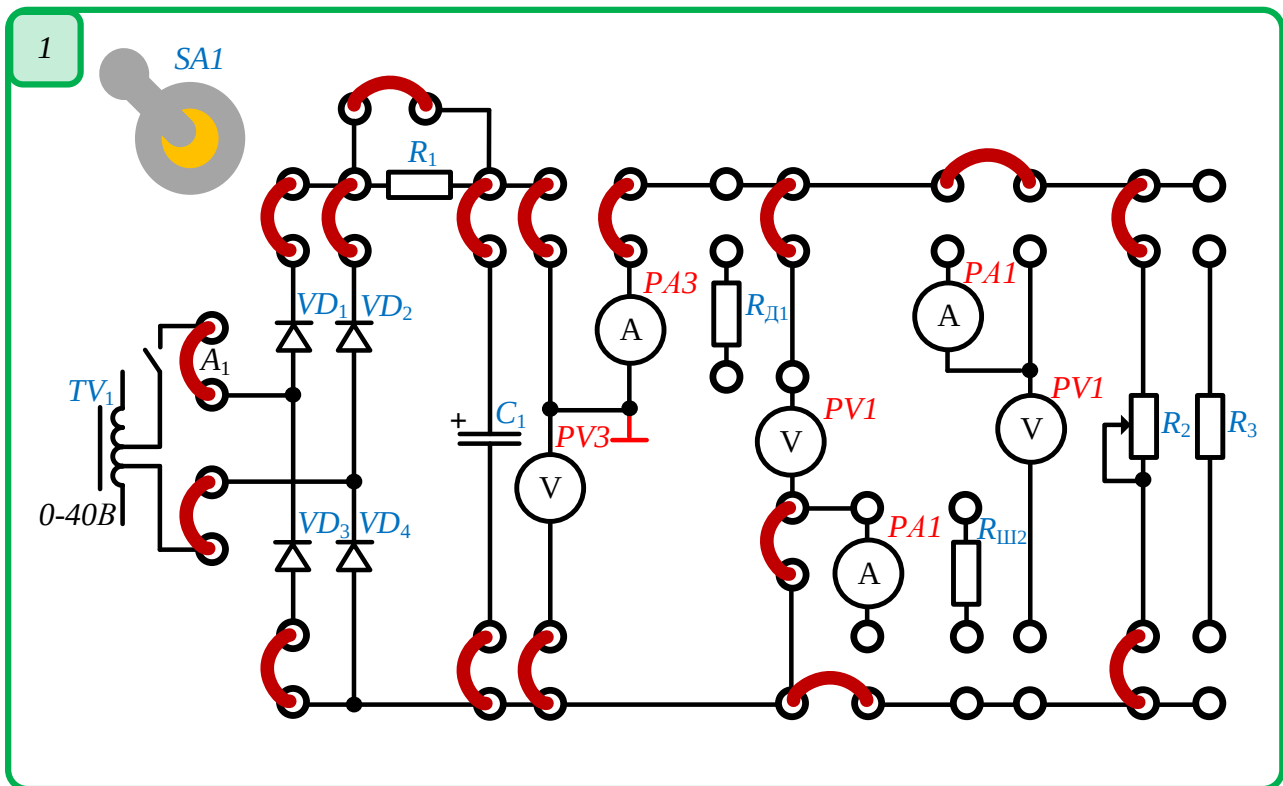


Рисунок 1.1 – Схема для реалізації перевірки вольтметра магнітоелектричної системи

1.9 Підключити живлення ЛАТРа $TV1$ до досліджуваної схеми тумблером $SA1$.

1.10 Поступово збільшуючи напругу ЛАТР, записати результати спостереження вольтметра, що повіряється $PV1$ і повіряючого $PV3$ вольтметра. Дані вимірювань занести в таблицю 1.2.

УВАГА! Напруга на виході ЛАТРа регулюється двома перемикачами: грубе регулювання: лівий перемикач – з кроком 10 В (від 0 до 40 В) і точне регулювання: правий перемикач – з кроком (1 - 2) В (від 0 до 10 В).

УВАГА! При відхиленні стрілки приладу $PV1$ в зворотну сторону, необхідно відключити досліджувану схему ($SA1$ вниз), перемкнути тумблер $SA10$ для зміни полярності підключення приладу, потім назад підключити

досліджувану схему (SA1 вгору).

Таблиця 1.2 – Експериментальні дані повірки вольтметра магнітоелектричної системи

Повіряючий $PV3$, В	Що повіряється $PV1$, В	ΔU , В	γ_0 , %	Клас точности
5				
...				
25				

1.11 Вимкнути стенд в наступному порядку:

- вимкнути тумблер SA1;
- вимкнути стенд автоматичним вимикачем QF1;
- повернути перемикачі ЛАТРа TV1 в початковий стан «0» (в крайнє ліве положення «0»);
- повернути перемикачі резистора R₂ в початковий стан «0» (в крайнє ліве положення «0»);
- тумблер SA11 в верхнє положення 50 В (максимальний діапазон);
- прибрати всі джампера.

1.12 Обчислити за результатами вимірювання абсолютну похибку в декількох точках шкали вольтметра, що повіряється:

$$\Delta U = U_{PV1} - U_{PV3}.$$

1.13 Розрахувати величину відносної похибки вольтметра, що повіряється:

$$\gamma_0 = \frac{\Delta U}{U_{PV3}} \cdot 100\%.$$

1.14 Визначити клас точності приладу, що повіряється і порівняти його з класом точності, нанесеного на шкалі приладу.

2 Повірка амперметра магнітоелектричної системи

Порядок виконання роботи:

2.1 Зібрати схему, представлену на малюнку 1.2. В якості приладу, що повіряється буде використаний амперметр $PA2$ включений в діапазоні 100 мА. В якості повіряючого буде прилад $PA3$.

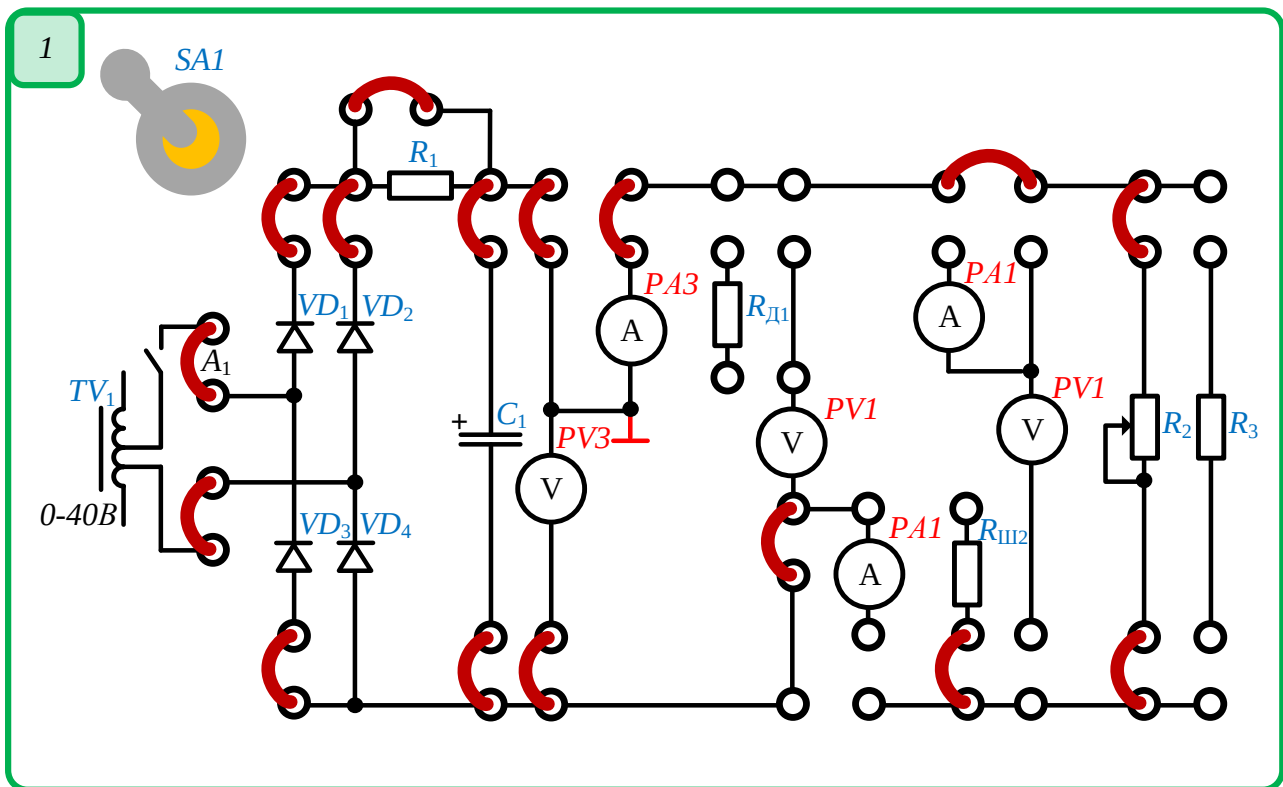


Рисунок 1.2 – Схема для реалізації повірки амперметра магнітоелектричної системи

2.2 Включити тумблер $SA13$ в середнє положення 0,1 А ($SA12$ вгору).

2.3 Встановити номінал опору R_1 рівним 100 Ом (перемикач $x10$ в блоці R_2 в положення 10).

Значення опору R_2 змінюється галетним перемикачем 1x1000, 1x100,

1х10, 1х1 у вигляді:

$$R_2 = 1000 \cdot n_{1 \times 1000} + 100 \cdot n_{1 \times 100} + 10 \cdot n_{1 \times 10} + 1 \cdot n_{1 \times 1}, \text{ Ом},$$

відповідно для кожного перемикача, де n – положення кожного перемикача відповідно.

2.4 Перед включенням стенда переконатися, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

2.5 Ввімкнути стенд автоматичним вимикачем $QF1$.

2.6 Переконатися, що регулятори напруги ЛАТРа знаходяться в початкових положеннях «0» (в крайньому лівому положенні).

2.7 Підключити живлення ЛАТРа $TV1$ до досліджуваної схеми тумблером $SA1$.

2.8 Поступово збільшуючи напругу ЛАТР, зняти кілька свідчень вивіреного $PA1$ і повіряючого $PA3$ амперметрів. Дані вимірювань занести в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 – Експериментальні дані повірки амперметра магнітоелектричної системи

Повіряючий $PA3$, мА	Що повіряється $PA1$, мА	ΔI , мА	γ_0 , %	Клас точности
20				
...				
100				

УВАГА! Напруга на виході ЛАТРа регулюється двома перемикачами: грубе регулювання: лівий перемикач – з кроком 10 В (від 0 до 40 В) і точне регулювання: правий перемикач – з кроком (1 – 2) В (від 0 до 10 В).

УВАГА! При русі стрілки приладу $PA2$ в зворотну сторону, необхідно відключити досліджувану схему ($SA1$ вниз), перемкнути тумблер $SA12$ для

зміни полярності підключення приладу, підключити назад досліджувану схему (SA1 вгору).

2.9 Вимкнути стенд в наступному порядку:

- вимкнути тумблер SA1;
- вимкнути стенд автоматичним вимикачем QF1;
- повернути перемикачі ЛАТРа TV1 в початковий стан «0» (у крайнє ліве положення «0»);
- повернути перемикачі резистора R₂ в початковий стан «0» (у крайнє ліве положення «0»);
- тумблер SA13 в верхнє положення 0,5 А (максимальний діапазон);
- прибрати всі джампера.

2.10 Обчислити за результатами вимірювання абсолютну похибку в декількох точках шкали приладу, що повіряється:

$$\Delta I = I_{PA1} - I_{PA3}.$$

2.11 Розрахувати відносну похибку приладу, що повіряється:

$$\gamma_0 = \frac{\Delta I}{I_{PA3}} \cdot 100\%.$$

2.12 Визначити клас точності приладу, що повіряється і порівняти його з класом точності, що нанесено на його шкалі.

3 Повірка вольтметра електромагнітної системи

Порядок виконання роботи:

3.1 Зібрати схему, представлену на малюнку 1.3. Як прилад, що повіряється буде використаний вольтметр PV2 включений в діапазоні 25 В. В якості повіряючого буде прилад PV3.

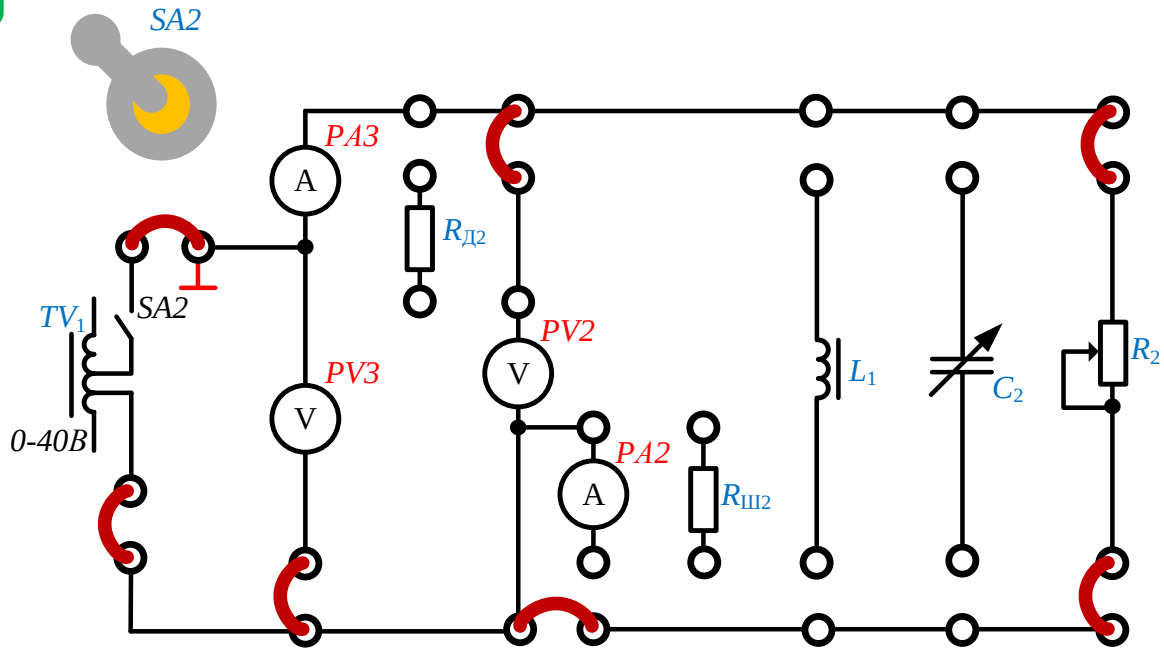


Рисунок 1.3 – Схема для реалізації повірки вольтметра електромагнітної системи

3.2 Ввімкнути тумблер $SA14$ в верхнє положення.

3.3 Встановити номінал опору R_1 рівним 10 кОм (перемикач $\times 1000$ в блоці R_2 в положення 10).

Значення опору R_2 змінюється галетними перемикачами 1×1000 , 1×100 , 1×10 , 1×1 в наступному вигляді:

$$R_2 = 1000 \cdot n_{1 \times 1000} + 100 \cdot n_{1 \times 100} + 10 \cdot n_{1 \times 10} + 1 \cdot n_{1 \times 1}, \text{ Ом},$$

відповідно для кожного перемикача, де n – положення кожного перемикача відповідно.

3.4 Перед включенням стенда переконатися, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

3.5 Включити стенд автоматичним вимикачем $QF1$.

3.6 Переконатися, що регулятори напруги ЛАТРа знаходяться в

початкових положеннях «0» (в крайньому лівому положенні).

3.7 Підключити живлення ЛАТРа $TV1$ до досліджуваної схеми тумблером $SA2$.

3.8 Поступово збільшуючи напругу ЛАТР, зняти кілька свідчень приладу, що повіряється – $PV2$ і повіряючого – $PV3$ вольтметра. Дані вимірювань занести в таблицю 1.4.

УВАГА! Напруга на виході ЛАТРа регулюється двома перемикачами: грубе регулювання: лівий перемикач – з кроком 10 В (від 0 до 40 В) і точне регулювання: правий перемикач – з кроком (1 – 2) В (від 0 до 10 В).

Таблиця 1.4 – Експериментальні данні повірки вольтметра електромагнітної системи

Повіряючий $PV3$, В	Що повіряється $PV2$, В	ΔU , В	γ_0 , %	Клас точности
5				
...				
25				

3.9 Вимкнути стенд в наступному порядку:

- вимкнути тумблер $SA2$;
- вимкнути стенд автоматичним вимикачем $QF1$;
- повернути перемикачі ЛАТРа $TV1$ в початковий стан «0» (у крайнє ліве положення «0»);
- повернути перемикачі резистора R_2 в початковий стан «0» (у крайнє ліве положення «0»);
- тумблер $SA14$ в верхнє положення 50 В (максимальний діапазон);
- прибрати все джампера.

3.10 Обчислити за результатами вимірювання абсолютну похибку в декількох точках шкали приладу, що повіряється:

$$\Delta U = U_{PV2} - U_{PV3}.$$

3.11 Розрахувати відносну похибку приладу, що повіряється:

$$\gamma_0 = \frac{\Delta U}{U_{PV3}} \cdot 100\%.$$

3.12 Визначити клас точності приладу, що повіряється і порівняти його з класом точності, що нанесено на його шкалі.

4 Повірка амперметра електромагнітної системи

Порядок виконання роботи:

4.1 Зібрати схему, представлену на малюнку 1.4. В якості приладу, що повіряється буде використаний амперметр $PA2$ включений в діапазоні 100 мА. В якості повіряючого буде прилад $PA3$.

4.2 Включити тумблер $SA15$ в нижнє положення 0,1 А.

4.3 Встановити номінал опору R_1 рівним 100 Ом (перемикач $\times 10$ в блоці R_2 в положення 10).

Значення опору R_2 змінюється галетними перемикачами 1×1000 , 1×100 , 1×10 , 1×1 в наступному вигляді:

$$R_2 = 1000 \cdot n_{1 \times 1000} + 100 \cdot n_{1 \times 100} + 10 \cdot n_{1 \times 10} + 1 \cdot n_{1 \times 1}, \text{ Ом},$$

відповідно для кожного перемикача, де n – положення кожного перемикача відповідно.

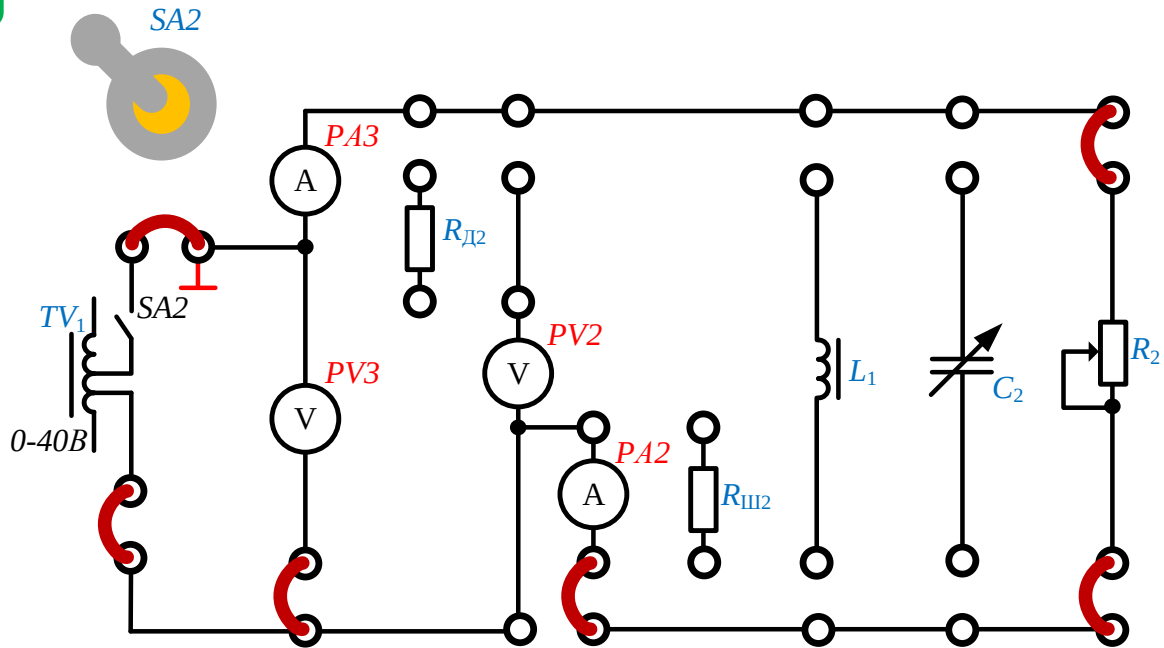


Рисунок 1.4 – Схема для реалізації повірки амперметру електромагнітної системи

4.4 Перед вмиканням переконатися, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

4.5 Включити стенд автоматичним вимикачем *QF1*.

4.6 Переконатися, що регулятори напруги ЛАТРа знаходяться в початкових положеннях «0» (в крайньому лівому положенні).

4.7 Підключити живлення ЛАТРа *TV1* до досліджуваної схеми тумблером *SA2*.

4.8 Поступово збільшуючи напругу ЛАТР, зняти кілька свідчень приладу, що повіряється *PA2* і повіряючого *PA3* амперметрів. Дані вимірювань занести в таблицю 1.5.

УВАГА! Напруга на виході ЛАТРа регулюється двома перемикачами: грубе регулювання: лівий перемикач - з кроком 10 В (від 0 до 40 В) і точне регулювання: правий перемикач - з кроком (1 - 2) В (від 0 до 10 В).

Таблиця 1.5 – Експериментальні данні повірки амперметра електромагнітної системи

Повіряючий I_{PA3} , мА	Що повіряється I_{PA2} , мА	ΔI , мА	γ_0 , %	Клас точности
30				
...				
100				

4.9 Вимкнути стенд в наступному порядку:

- вимкнути тумблер $SA2$;
- вимкнути стенд автоматичним вимикачем $QF1$;
- повернути перемикачі ЛАТРа $TV1$ в початковий стан «0» (у крайнє ліве положення «0»);
- повернути перемикачі резистора R_2 в початковий стан «0» (у крайнє ліве положення «0»);
- тумблер $SA15$ в верхнє положення 0,2 А (максимальний діапазон);
- прибрати всі джампера.

4.10 Обчислити за результатами вимірювання абсолютну похибку в декількох точках шкали приладу, що повіряється:

$$\Delta I = I_{PA1} - I_{PA3}.$$

4.11 Розрахувати відносну похибку приладу:

$$\gamma_0 = \frac{\Delta I}{I_{PA3}} \cdot 100\%.$$

4.12 Визначити клас точності приладу, що повіряється і порівняти його з класом точності, що нанесено на шкалі повіряючого приладу.

Зміст звіту:

- 1 Мета роботи.
- 2 Принципові схеми експериментальних досліджень .
- 3 Результати експериментальних досліджень перевірки амперметра та вольтметра.
- 4 Розрахунок похибок приладу, визначення класу точності.
- 5 Висновки за результатами виконаних досліджень у лабораторній роботі.

Контрольні запитання:

- 1 Що таке аналогові вимірювальні прилади?
- 2 Наведіть основні типи аналогових вимірювальних приладів.
- 3 Для вимірювання якої напруги призначен електромагнітний тип вольтметра?
- 4 Які існують класи точності вимірювальних пристроїв?
5. Чим відрізняються електромагнітні пристрої вимірювання від магніто-електричних?
- 6 Наведіть формулу для розрахунку абсолютної похибки?
- 7 Навіщо проводити перевірку приладів?
8. Від чого залежить відносна похибка?
- 9 Що таке клас точності?
- 10 Прилади якого класу вимірюють більш точно?

Література: [1, 3, 5]

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

РОЗШИРЕННЯ МЕЖ ВИМІРЮВАННЯ, РОЗРАХУНОК ДОДАТКОВИХ ОПОРІВ І ШУНТІВ

Мета роботи: дослідження вольтметра і амперметра, розширення їх меж вимірювання.

1 Розширення меж вимірювання вольтметра магнітоелектричної системи

Теоретичні відомості

Резистор, включений послідовно з вимірювальним механізмом (ВМ), момент обертання якого залежить від струму, і використовується для вимірювання напруги, називається додатковим резистором. Його основне призначення – перетворити напругу в струм.

Струм I_0 у колі ВМ (див. рис. 2.1) визначається рівнянням перетворення:

$$I_0 = \frac{U_X}{R_{\text{ВМ}} + R_{\text{Д}}},$$

де U_X – напруга, що вимірюється; $R_{\text{ВМ}}$ – опір вимірювального механізму; $R_{\text{Д}}$ – опір додаткового резистора.

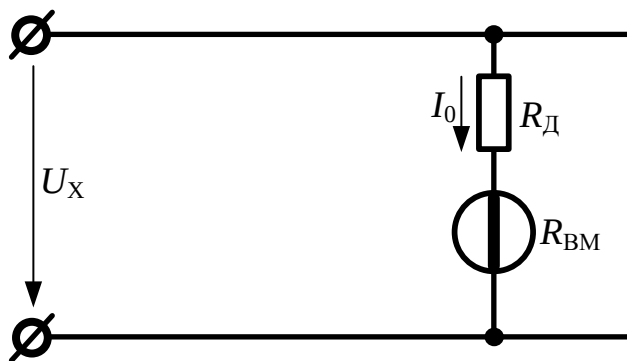


Рисунок 2.1 – Схема підключення додаткового резистора до ВМ

Додаткові резистори також служать для розширення меж вимірювання за напругою вже готових вольтметрів та інших приладів, наприклад: ватметрів, фазометрів, що мають паралельні ланцюги, що включаються під напругу.

Якщо вольтметр має номінальну межу вимірювання U_H і опір R_{BM} і потрібно розширити межі вимірювання до $U'_H > U_H$, то вірна рівність:

$$\frac{U_H}{R_{BM} + R_D} = \frac{U'_H}{R_{BM} + R'_D},$$

звідси

$$R'_D = R_{BM} \cdot (n - 1),$$

де $n = \frac{U'_H}{U_H}$ – множник шкали.

Додаткові резистори виготовляються зазвичай з манганінового дроту, намотаного на каркас з ізоляційного матеріалу.

У вольтметрів з верхньою межею вимірювання до 300 В додаткові резистори вбудовують всередині корпусу приладу. При влаштуванні вольтметрів з межею вимірювання понад 300 В, додаткові резистори через їх розміри і за умовами охолодження, встановлюють поза корпусу приладу.

Залежно від точності підгонки, додаткові резистори поділяються на класи: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0.

Порядок виконання роботи:

1.1 Зібрати схему, представлену на рис. 2.2. В якості вимірювального приладу використовується вольтметр $PV1$ включений в діапазоні 25 В з додатковим резистором R_{D1} . В якості контрольного буде прилад $PV3$.

1.2 Включити тумблер $SA11$ в середнє положення 25 В ($SA10$ вниз).

1.3 Встановити номінал опору R_1 рівним 10 кОм (перемикач $\times 1000$ в блоці R_2 в положення 10).

1x10, 1x1 в наступному вигляді:

$$R_2 = 1000 \cdot n_{1 \times 1000} + 100 \cdot n_{1 \times 100} + 10 \cdot n_{1 \times 10} + 1 \cdot n_{1 \times 1}, \text{OM},$$

ВІДПОВІДНО ДЛЯ КОЖНОГО ПЕРЕМІКАЧА, ДЕ n – ПОЛОЖЕННЯ КОЖНОГО ПЕРЕМІКАЧА ВІДПОВІДНО.

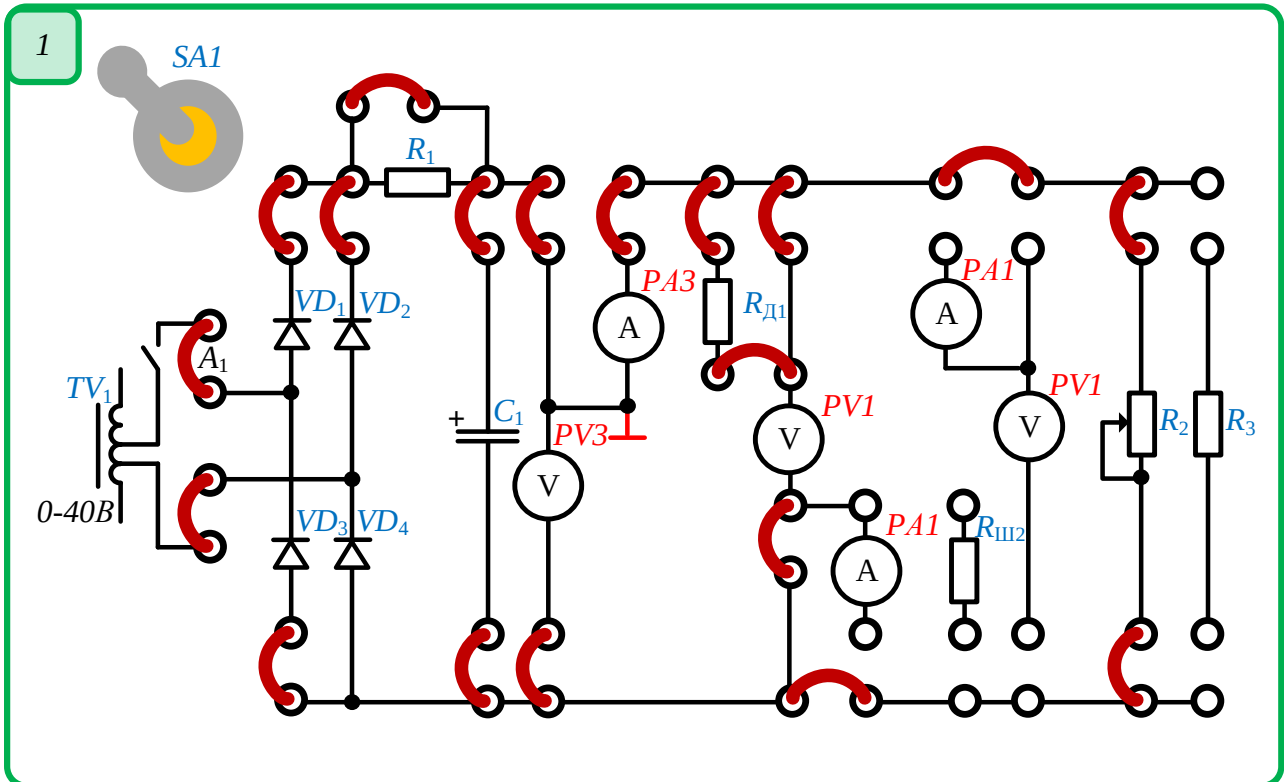


Рисунок 2.2 – Схема для розширення меж вимірювань вольтметра
магнітоелектричної системи

1.4 Перед включенням стенда переконатися, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

1.5 Включити стенд автоматичним вимикачем QF1.

1.6 Переконалися, що регулятори напруги ЛАТРа знаходяться в початкових положеннях «0» (в крайньому лівому положенні).

1.7 Підключити живлення ЛАТРа TV1 до досліджуваної схеми тумблером

SA1.

1.8 Поступово збільшуючи напругу ЛАТР, зняти кілька свідчень досліджуваного $PV1$ і контрольного $PV3$ вольтметрів. Дані вимірювань занести в таблицю 2.1.

УВАГА! Напруга на виході ЛАТРа регулюється двома перемикачами: грубе регулювання: лівий перемикач – з кроком 10 В (від 0 до 40 В) і точне регулювання: правий перемикач – з кроком (1 - 2) В (від 0 до 10 В).

УВАГА! При русі стрілки приладу $PV1$ в зворотну сторону, необхідно перемкнути тумблер SA10 для зміни полярності підключення приладу.

Таблиця 2.1 – Експериментальні дані повірки вольтметра електромагнітної системи при розширенні його меж вимірювання

Повіряючий $PV3$, В	Що повіряється $PV1$, В
10	
...	
50	

1.9 Вимкнути стенд в наступному порядку:

- вимкнути тумблер SA1;
- вимкнути стенд автоматичним вимикачем QF1;
- повернути перемикачі ЛАТРа TV1 в початковий стан «0» (у крайнє ліве положення «0»);
- повернути перемикачі резистора R_2 в початковий стан «0» (у крайнє ліве положення «0»);
- тумблер SA11 в верхнє положення 50 В (максимальний діапазон);
- прибрати всі джампера.

1.10 Визначте величину опору додаткового резистора $R_{д1}$ вимірювального приладу $PV1$, для чого виміряйте його внутрішній опір мультиметром (прийняти опір приладу $PV1$ в діапазоні 25 В рівним 130 кОм). Величину $R_{д1}$ визначимо за формулою:

$$R_{д1} = R_{PV1} \cdot \left(\frac{U'_H}{U_H} - 1 \right),$$

де U'_H – підсумковий діапазон вольтметра PV2; U_H – початковий діапазон вольтметра PV1 (25 В); початковий $R_{д1} = 130$ кОм.

2 Розширення меж вимірювання амперметра магнітоелектричної системи

Теоретичні відомості

Припустимо, що амперметр може вимірювати максимальну силу струму I_A , а нам необхідно виміряти силу струму I . Тоді струм $I - I_A$ необхідно пропустити не через амперметр (мікроамперметр), а поруч, по паралельному колу (див. рис. 2.3, а). Такий електричний ланцюг, що включається паралельно амперметру і служить для розширення меж вимірювання амперметра, називають шунтом. У цьому випадку виникає необхідність розрахувати опір шунта і проградувати шкалу амперметра в нових значеннях сили струму.

Нехай I – сила струму, яку необхідно виміряти, I_A – максимальна сила струму, яку може виміряти амперметр. Тоді $I_{ш} = I - I_A$ – сила струму, яка повинна протікати через шунт. Позначимо R_A – опір амперметра, $R_{ш}$ – опір шунта. За законами паралельного з'єднання провідників $U_{ш} = U_A$ або $I_{ш} \cdot R_{ш} = I_A \cdot R_A$. Звідси, з урахуванням сили струму через шунт, отримаємо:

$$R_{ш} = \frac{I_A \cdot R_A}{I_{ш}} = \frac{I_A \cdot R_A}{I - I_A} = \frac{R_A}{\frac{I}{I_A} - 1} = \frac{R_A}{n - 1},$$

де $n = \frac{I}{I_A}$ – коефіцієнт шунтування.

Розрахувавши за формулою опір шунта, підбираємо шунт. Для виготовлення шунтів на невеликі струми використовують провід з манганіна, а

на великі – манганінові пластини (манганін володіє малим температурним коефіцієнтом опору і тому опір шунта майже не змінюється при нагріванні струмом, що протікає). Схема підключення багатограничних шунтів на невеликі струми показана на малюнку 2.3, б).

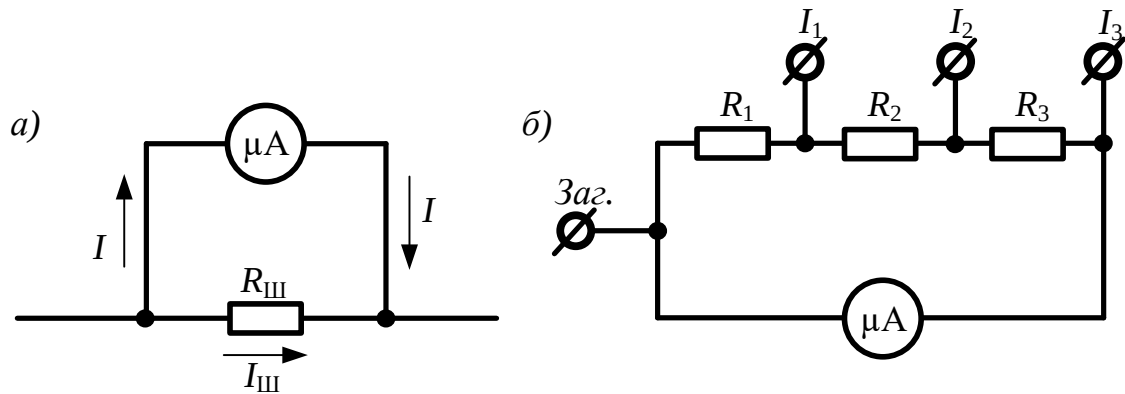


Рисунок 2.3 – Схеми підключення шунтів

Шунти на струми до 30 А зазвичай вбудовують всередину приладу. Для вимірювання великих струмів (до 6000 А) використовують прилади з зовнішніми шунтами. Зовнішні шунти мають масивні кінцевики з червоної міді, до яких підключаються струмові і потенційні затискачі. Шунт являє собою чотирьохзажимний резистор. Два зажими шунта, до яких підводиться струм, називаються струмовими, а два зажими, з яких знімається напруга, називаються потенційними. До потенційних зажимів шунта підключається вимірювальний механізм. Схема підключення чотирьохзажимного шунта показана на малюнку 2.4.

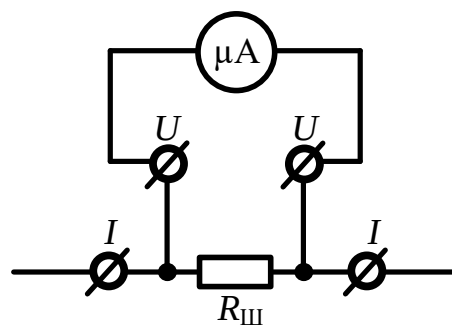


Рисунок 2.4 – Схема підключення чотирьохзажимного шунта

Зовнішні шунти роблять взаємозамінними. Шунти відповідно до ГОСТ можуть мати номінальне падіння напруги на потенційних зжимах 10, 15, 30, 50, 60, 75, 300 мВ.

Порядок виконання роботи:

2.1 Зібрати схему, представлену на малюнку 2.5. В якості вимірювального приладу буде використаний амперметр *РА1* включений в діапазоні 0,1 А з шунтом $R_{ш1}$. В якості контрольного буде прилад *РА3*.

2.2 Включити тумблер *SA13* в середнє положення 0,1 А (*SA12* вгору).

2.3 Встановити номінал опору R_1 рівним 100 Ом (перемикач $\times 10$ в блоці R_2 в положення 10).

Значення опору R_2 змінюється галетними перемикачами 1х1000, 1х100, 1х10, 1х1 в наступному вигляді:

$$R_2 = 1000 \cdot n_{1 \times 1000} + 100 \cdot n_{1 \times 100} + 10 \cdot n_{1 \times 10} + 1 \cdot n_{1 \times 1}, \text{ Ом},$$

відповідно для кожного перемикача, де n – положення кожного перемикача відповідно.

2.4 Перед включенням стенда переконатися, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

2.5 Включити стенд автоматичним вимикачем *QF1*.

2.6 Переконатися, що регулятори напруги ЛАТРа знаходяться в початкових положеннях «0» (в крайньому лівому положенні).

2.7 Підключити живлення ЛАТРа *TV1* до досліджуваної схеми тумблером *SA1*.

2.8 Поступово збільшуючи напругу ЛАТР, зняти кілька свідчень досліджуваного *РА1* і контрольного *РА3* амперметрів. Дані вимірювань занести в таблицю 2.2.

2.9 Вимкнути стенд в наступному порядку:

- вимкнути тумблер $SA1$;
- вимкнути стенд автоматичним вимикачем $QF1$;
- повернути перемикачі ЛАТРа $TV1$ в початковий стан «0» (у крайнє ліве положення «0»);
- повернути перемикачі резистора R_2 в початковий стан «0» (у крайнє ліве положення «0»);
- тумблер $SA13$ в верхнє положення 0,5 А (максимальний діапазон);
- прибрати всі джампера.

2.10 Визначте величину опору шунта $R_{ш1}$ вимірювального приладу $PA1$, для чого виміряйте його внутрішній опір мультиметром (прийняти опір приладу $PA1$ в діапазоні 0,1 А рівним 5,1 Ом). Величину $R_{ш1}$ визначимо за формулою:

$$R_{ш1} = \frac{R_{PA1}}{\frac{I'}{I_{PA1}} - 1},$$

де I' – кінцевий діапазон амперметра $PA1$, I_{PA1} – початковий діапазон амперметра $PA1$ (0,1 А); опір шунта прийняти $R_{ш1}=5,1$ Ом.

Зміст звіту:

- 1 Мета роботи.
- 2 Принципові схеми експериментальних досліджень .
- 3 Результати експериментальних досліджень.
- 4 Розрахунок додаткових опорів резисторів.
- 5 Висновки за результатами виконаних досліджень у лабораторній роботі.

Контрольні запитання:

- 1 Що таке додатковий резистор?

2 Що таке шунт?

3 Для чого застосовуються додаткові резистори у ВМ?

4 Як вбудовуються додаткові резистори в залежності від меж вимірювання?

5 За допомогою яких пристроїв можна розширити межі вимірювання амперметра.

6 Яким співвідношенням визначається коефіцієнт шунтування?

7 Скільки зажимів має шунт?

8 Як називаються зажими шунта з яких знімається напруга та струм?

9 Наведіть схему підключення шунта.

10 Яким співвідношенням визначається номінал додаткового опору резистора?

Література: [1, 3, 5, 11]

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ВИМІРЮВАННЯ АМПЛІТУДИ СИГНАЛУ

Мета роботи: вимірювання амплітуди піковими детекторами: електронним, з відкритим і закритим входом, вимір амплітуди осцилографічним методом.

Теоретичні відомості

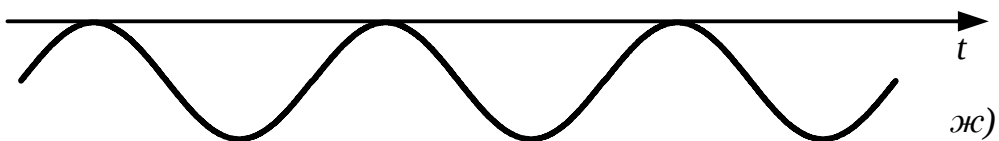
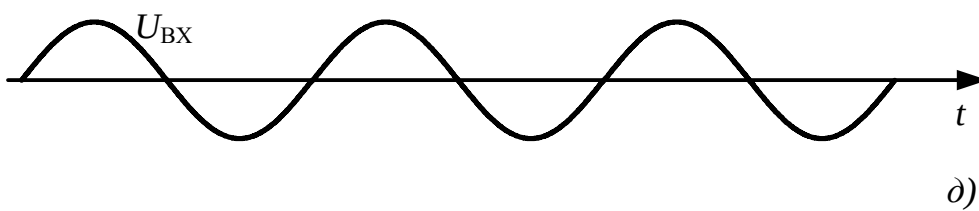
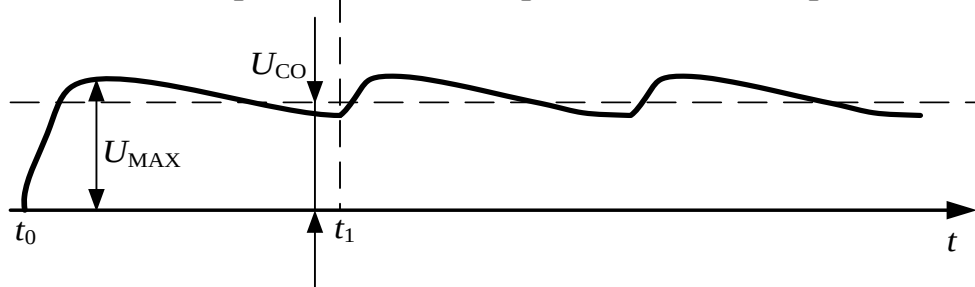
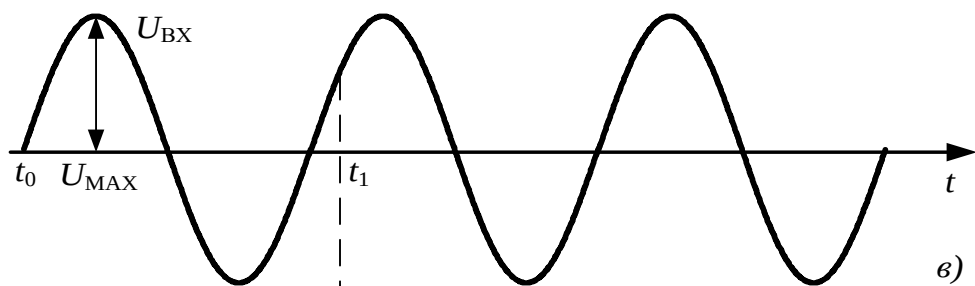
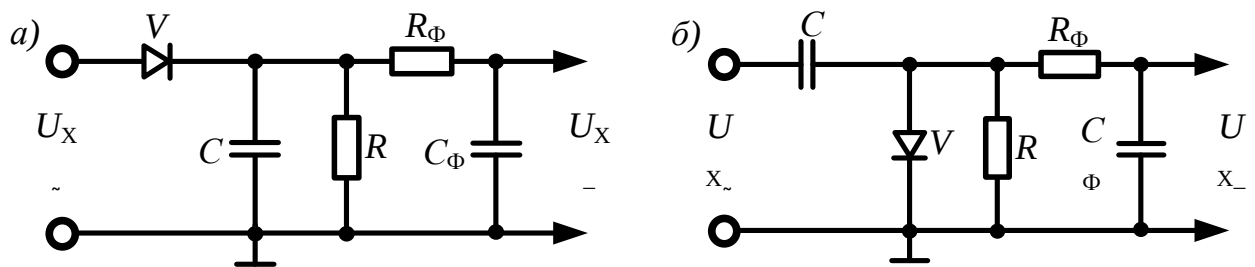
Перетворювачі амплітудного значення (ПАЗ) будуються в більшості випадків за схемами, наведеними на малюнку 3.1, а і б. Розглянемо роботу ПАЗ з відкритим входом (див. рис. 3.1, а) при подачі на вхід синусоїдальної напруги. Нехай в деякий початковий момент t_0 вхідна напруга починає наростати (див. рис. 3.1, в), заряджаючи конденсатор через відкритий діод VD_1 . Під час досить малої постійної часу заряду τ_z (де R_1 - внутрішній опір джерела сигналу; R_D - опір відкритого діода) в порівнянні з періодом вимірюваної напруги на конденсаторі C практично повторює вхідну напругу і тому через чверть періоду досягає значення $U_{\max}$ (див. рис. 3.1, г). З цього моменту вхідна напруга зменшується і діод закривається.

Конденсатор буде розряджатися через резистор R до моменту t_1 коли вхідна напруга стає рівною напрузі на конденсаторі, після чого діод відкривається і конденсатор заряджається до $U_{\max}$ і т.д. Середнє значення напруги на конденсаторі U_{C0} близько до $U_{\max}$. Співвідношення

$$K_{\text{ПАЗ}} = \frac{U_{C0}}{U_{\max}}$$

є коефіцієнтом перетворення ПАЗ. Схема ПАЗ, наведена на малюнку 3.1, а, має так званий відкритий вхід, оскільки при наявності постійної складової у вхідному сигналі $\pm U_0$ вихідна напруга ПАЗ дорівнюватиме $U_{\max} + U_0$. Наведена схема призначена для вимірювання амплітуди вхідного сигналу позитивної

полярності. Для вимірювання амплітуди сигналу негативної полярності необхідно змінити полярність включення діода.



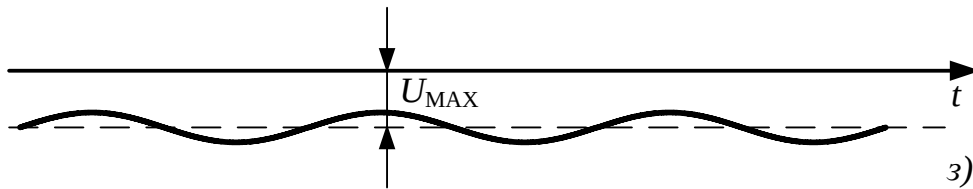


Рисунок 3.1 – Схеми перетворювачів амплітудного значення і осцилограми їх роботи

Пристрій, приведений на малюнку. 3.1, б, називається ПАЗ з закритим входом. У цьому ПАЗ процес заряду конденсатора аналогічний розглянутому вище (ПАЗ з відкритим входом). Напруга на конденсаторі встановлюється і залишається близьким до значення $U_{\max}$ (див. рис. 3.1, е). Тому напруга на діоді VD2 дорівнює алгебраїчній сумі вхідної напруги (див. рис. 3.1, д) і напруги на конденсаторі, і має вигляд, представлений діаграмою на малюнку 3.1, ж. За допомогою фільтра $R_{\Phi}C_{\Phi}$ напруга усереднюється, і на виході ПАЗ напруга майже постійно і близько до $U_{\max}$ (див. рис. 3.1, з).

Амплітудна характеристика $U_{C0} = f(U_{\max})$ нелінійна при $U_{\max}$ до (0,3 – 0,5) В через нелінійність вольтамперної характеристики діода і близька до лінійної залежності при великій напрузі.

Амплітудно–частотна характеристика ПАЗ $K_{\text{ПАЗ}} = \varphi(f)$ рівномірна в смузі частот від 20 Гц до 1000 МГц. Верхнє значення частоти $f_{\text{В}}$ смуги пропускання визначається частотними властивостями діода, значеннями міжелектродних і монтажних ємностей і індуктивностей проводів, що підводяться. Для зведення до мінімуму впливу останніх чинників ПАЗ конструктивно оформляється у вигляді пробника і виноситься за межі приладу. Нижня межа $f_{\text{Н}}$ смуги пропускання визначається постійною часу розряду конденсатора $\tau_{\text{Р}}$ ($\tau_{\text{Р}} = RC$), і чим більше її значення, тим менше $f_{\text{Н}}$.

Вхідний опір ПАЗ не залишається незмінним протягом періоду синусоїдальної напруги, що діє на його вході. Поки діод закритий, вхідний струм дуже малий. У сталому режимі ПАЗ споживає струм від джерела сигналу

протягом дуже короткого проміжку часу, коли відбувається підзарядка конденсатора. Для характеристики вхідного опору ПАЗ використовуються усереднені оцінки. Вхідний еквівалентний опір ПАЗ ($R_{\text{ВХекв}}$) - це такий лінійний опір, що споживає від джерела сигналу ту ж активну потужність, що і схема ПАЗ. В цьому випадку при синусоїдальному вхідному сигналі воно визначається наступним чином:

– для схеми рисунок 3.1, а:

$$R_{\text{ВХекв}} = \frac{R}{2};$$

– для схеми рисунок 3.1, б:

$$R_{\text{ВХекв}} = \frac{R}{3 + \frac{R}{R_{\phi}}}.$$

У реальних ПАЗ опір резистора $R=(10 \div 50)$ МОм і тому $R_{\text{ВХекв}} = (5 \div 25)$ МОм.

Розглянуті ПАЗ використовуються також для вимірювання амплітуди імпульсів. Якщо на вході ПАЗ (див. рис. 3.1, а) діє послідовність прямокутних імпульсів (див. рис. 3.2), то вихідна напруга перетворювача (напруга на конденсаторі) близько до U_{max} .

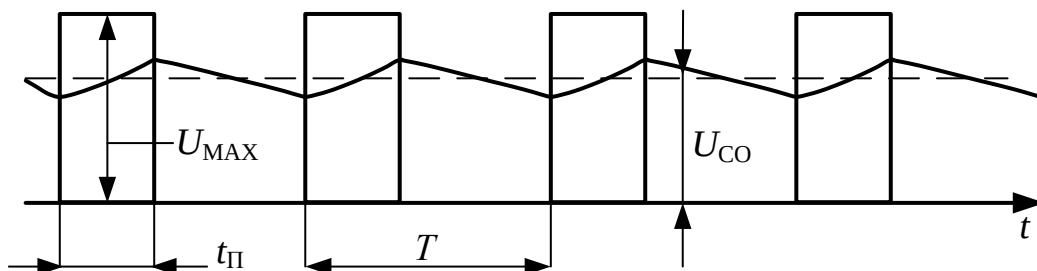


Рисунок 3.2 – Перетворення прямокутних імпульсів

Коефіцієнт перетворення ПАЗ $\left(K_{\text{ПАЗ}} = \frac{U_{\text{с0}}}{U_{\text{max}}} \right)$ в загальному випадку

залежить від шпаруватості імпульсів $\left(Q = \frac{T}{t_I} \right)$ співвідношення між постійними часу заряду і розряду конденсатора. Розглянуті ПАЗ дозволяють вимірювати амплітуду імпульсів з мінімальною тривалістю до десятих часток мікросекунди і шпаруватістю від 2 до 103. Вхідний еквівалентний опір ПАЗ (див. рис. 3.1, а) при імпульсному впливі (див. рис. 3.2), дорівнює:

$$R_{\text{ВХекв}} = \frac{R}{Q}.$$

Описані вище пікові детектори мають істотні недоліки. Вхідний імпеданс є змінною величиною, і в момент піків вхідного колювання він дуже малий. Крім того, через падіння напруги на діоді ця схема нечутлива до піків, менших за 0,6 В, а для великих піків вона дає помилку (на величину падіння напруги на діоді). Більш того, падіння напруги на діоді залежить від температури і струму, що протікає через діод, а це значить, що похибка схеми залежить від температури навколишнього середовища і швидкості зміни вихідної напруги; нагадаємо, що $I = C \frac{dU}{dt}$. Використання на вході емітерного повторювача дозволяє позбутися тільки від першого з перерахованих недоліків.

На рис. 3.3 показана поліпшена схема, в якій використовується зворотний зв'язок. Якщо напругу зворотного зв'язку знімати з конденсатора, то падіння напруги на діоді не створить ніяких проблем. На малюнку 3.4 представлений можливий вид вихідного колювання.

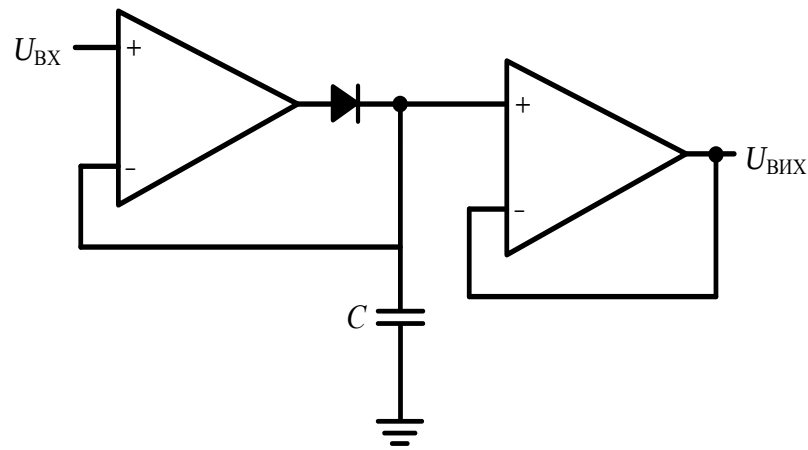


Рисунок 3.3 – Схема пікового детектора на базі операційного підсилювача

Обмеження, властиві операційного підсилювача, позначаються на цій схемі такими показниками:

а) кінцева швидкість наростання операційного підсилювача створює проблеми, навіть для відносно повільно мінливих входних сигналів. Для більшої ясності зазначимо, що вихід операційного підсилювача потрапляє в негативне насичення, коли вхід підсилювача має менш позитивний потенціал, ніж вихід (зобразивши напругу ОП у вигляді графіка, не можна забувати про пряме падіння напруги на діоді). Отже, вихід операційного підсилювача повинен бути наближений до величини вихідної напруги (плюс падіння напруги на діоді) тоді, коли входний сигнал починає перевищувати рівень вихідного. При швидкості наростання S це можна описати виразом:

$$\frac{U_{\text{ВІХ}} - U_{\text{П-}}}{S},$$

де $U_{\text{ВІХ}}$ – вихідна напруга; $U_{\text{П-}}$ – негативна напруга живлення.

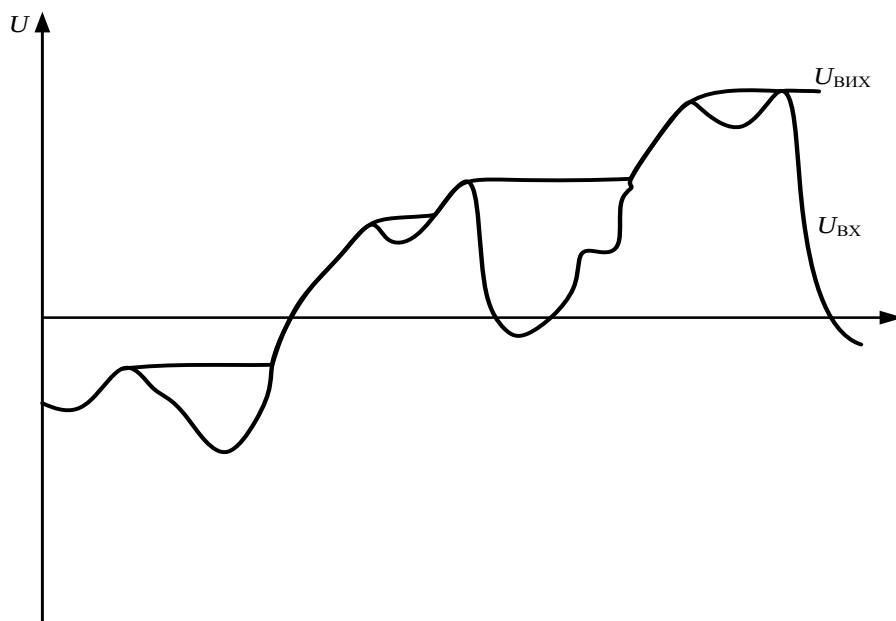


Рисунок 3.4 – Можливий вид вихідних коливань пікового детектора

б) вхідний струм зміщення викликає повільний розряд конденсатора (або його заряд в залежності від знака зсуву). Це явище називають іноді «витоком заряду» і для того, щоб уникнути його, найкраще використовувати операційні підсилювач з дуже малим струмом зміщення. З тієї ж причини і діод слід підбирати таким чином, щоб він мав малий витік струму; вихідні каскади операційного підсилювача повинні мати більший імпеданс (найкраще використовувати операційні підсилювачі на польових транзисторах або зі входами на польових транзисторах).

в) максимальний вихідний струм операційного підсилювача обмежує швидкість зміни напруги на конденсаторі, інакше кажучи, швидкість, з якою сигнал на виході відстежує зміну сигналу на вході. Тому при виборі конденсатора доводиться йти на компроміс між швидкістю витоку заряду і швидкістю наростання вихідної напруги.

Скидання пікового детектора. На практиці зазвичай бажано тим чи іншим способом скидати вихід пікового детектора. Один із способів полягає в підключенні до виходу схеми резистора, завдяки якому напруга на виході згасає з постійною часу RC . При цьому схема «запам'ятовує» тільки останні

пікові значення. Більш досконалий спосіб, полягає в підключенні до конденсатору C транзисторного перемикача; вихід схеми скидається в нуль за рахунок поданого на базу короткого імпульсу.

1 Вимірювання амплітуди сигналу

Порядок виконання роботи:

1.1 Зібрати схеми, представлені на малюнку 3.5 (зі встановленим джампером 1 і без встановлених джамперів 2 і 3) і малюнку 3.6.

1.2 Включити комп'ютер і запустити програму «DiSco».

1.3 Налаштуйте перший канал осцилографа і запустіть його в режимі багаторазового запуску.

1.4 Перед включенням стенда переконаватися, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

1.5 Включити стенд автоматичним вимикачем $QF1$.

1.6 За осцилограмами в програмі «DiSco» задайте вихідний сигнал генератора (за допомогою органів управління генератором R_{20} , R_{21} і $SA19$) з наступними параметрами: частота 1 кГц; амплітуда 4 В;

1.7 Скинути показання електронного пікового детектора кнопкою «Сброс» $SB1$.

1.8 Записати діюче значення сигналу по приладу $PV3$.

1.9 Записати амплітудне значення з електронного пікового детектора по приладу $PV4$.

1.10 Прибрати джампер 1 по малюнку 3.5 і встановити джампер 2. Записати амплітудне значення з детектора з закритим входом по приладу $PV4$.

1.11 Прибрати джампер 2 по малюнку 3.5 і встановити джампер 3. Записати амплітудне значення з детектора з відкритим входом по приладу $PV4$.

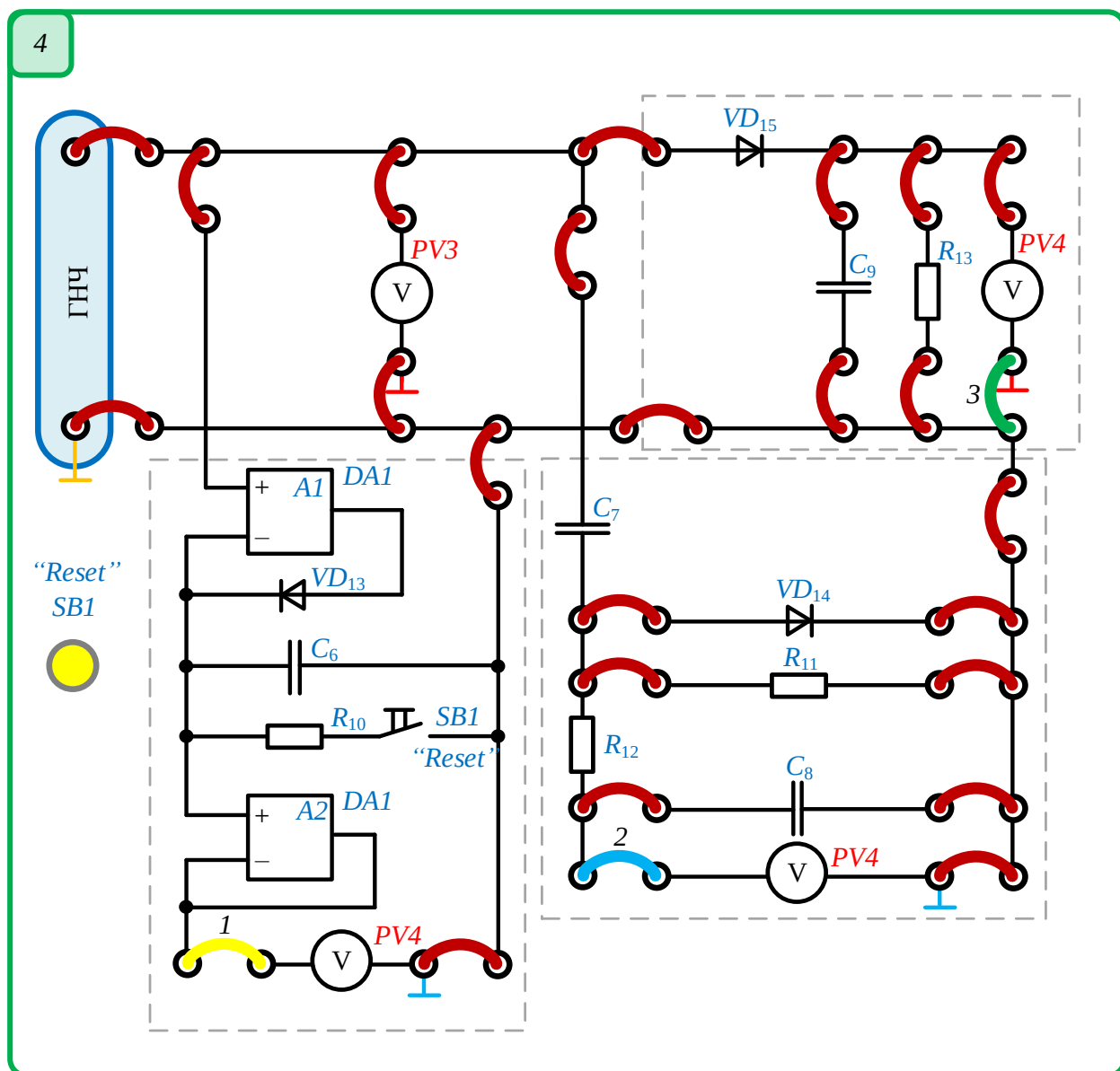


Рисунок 3.5 – Схема дослідження пікового детектора

1.12 Зупинити осцилограф.

1.13 Вимкнути стенд в наступному порядку:

- вимкнути стенд автоматичним вимикачем $QF1$;
- прибрати джампера;
- переконатися, що всі інші перемикачі в початковому стані;
- закрити програму «DiSco» і вимкнути комп'ютер.

1.14 Розрахувати значення величин теоретично, порівняти з практичними показаннями.

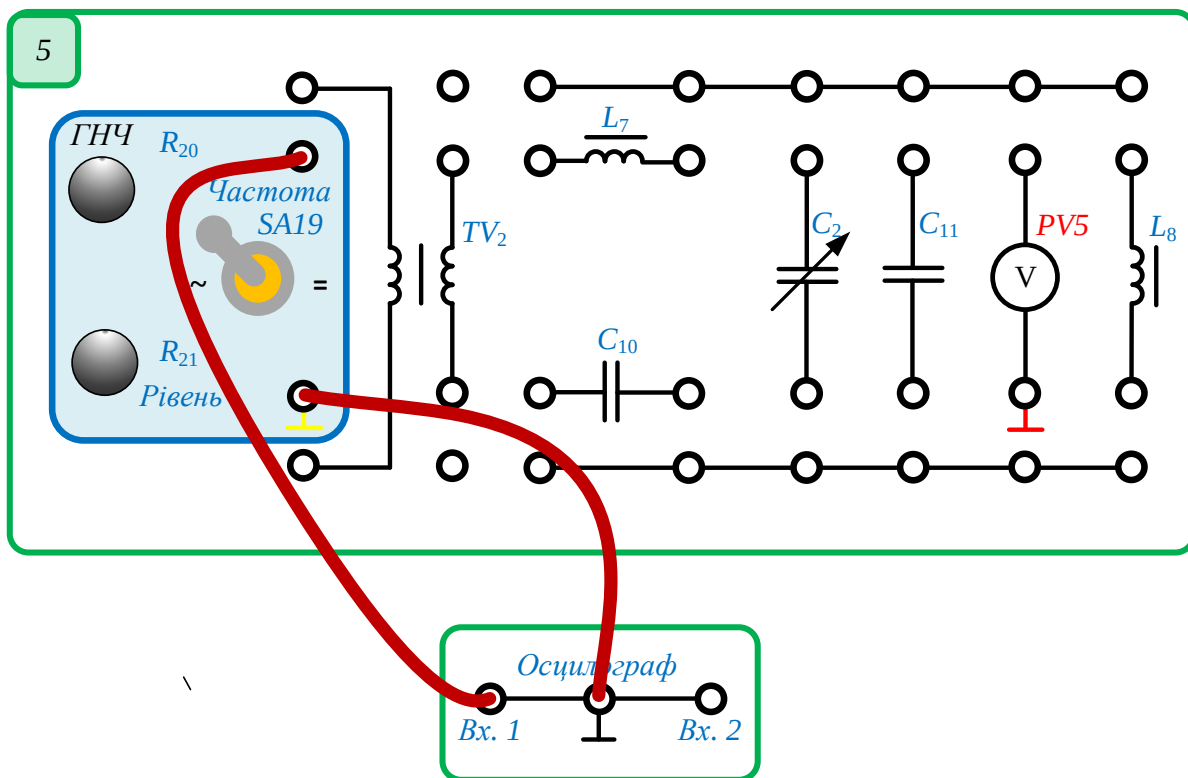


Рисунок 3.6 – Схема підключення вмонтованого осцилографа

Зміст звіту:

- 1 Мета роботи.
- 2 Принципові схеми експериментальних досліджень .
- 3 Результати експериментальних досліджень.
- 4 Висновки за результатами виконаних досліджень у лабораторній роботі.

Контрольні запитання:

- 1 Що таке перетворювач амплітудного значення?
- 2 Наведіть принцип роботи ПАЗ?
- 3 Які недоліки є у розглянутих детекторах?
- 4 Наведіть схему пікового детектора на базі операційного підсилювача.
- 5 Що таке вхідний еквівалентний опір ПАЗ?
- 6 Яким співвідношенням розраховується вхідний еквівалентний опір ПАЗ із закритим входом?
- 7 Наведіть принципову схему ПАЗ із закритим входом.
- 8 Від чого залежить коефіцієнт перетворення ПАЗ?

9 Яким співвідношенням визначається вхідний еквівалентний опір ПАЗ при імпульсному впливі?.

10 Опишіть принцип роботи ПАЗ з закритим входом.

Література: [2, 3, 6]

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ВИМІР ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ МЕТОДОМ ВОЛЬТМЕТРА І АМПЕРМЕТРА

Мета роботи: вимір опору непрямим методом (амперметром і вольтметром).

Теоретичні відомості

Метод вольтметра і амперметра – непрямий спосіб визначення різних опорів, що дозволяє ставити елемент з певним опором в робочі умови. Цей метод заснований на використанні закону Ома для ділянки кола, опір R_X якого визначається за відомим падінням напруги U_X на ньому і току I_X , звідси:

$$R_X = \frac{U_X}{I_X}.$$

Існують різні способи вимірювання падіння напруги U_X і струму I_X (див. рис. 4.1).

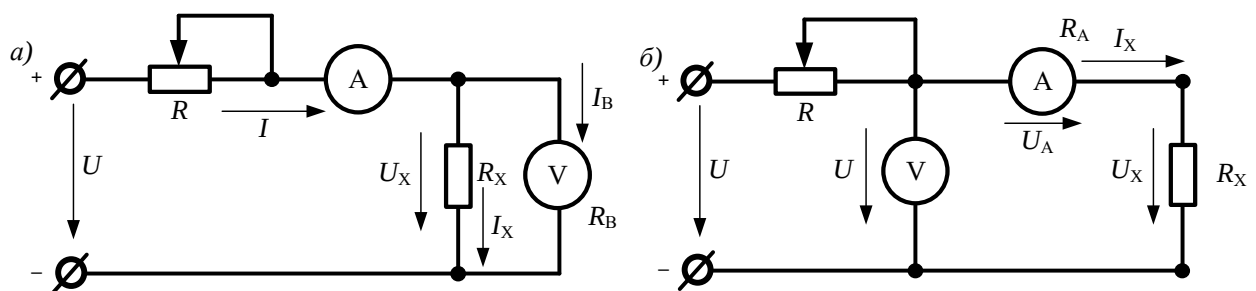


Рисунок 4.1 – Схеми для вимірювання падіння напруги

Вимірювальні частини наведених схем не забезпечують одночасне вимірювання напруги U_X і струму I_X . Схема, наведена на малюнку 4.1, а, дозволяє виміряти за допомогою вольтметра напругу U_X , а амперметр дає

можливість визначити струм I , який дорівнює сумі I_X і I_B , з яких останній є струмом обмотки вольтметра. В цьому випадку опір визначається:

$$R_X = \frac{U_X}{I_X} = \frac{U_X}{I - I_B} = \frac{U_X}{I - \frac{U_X}{R_B}},$$

де R_B – опір вольтметра.

У схемі на малюнку 4.1, б амперметр враховує струм I_X , але вольтметр показує напругу U , яка дорівнює загальній кількості падінь напруг U_X на опорі R_X і U_A на амперметр. Тому опір визначається:

$$R_X = \frac{U_X}{I_X} = \frac{U - U_A}{I_X} = \frac{U}{I_X} - \frac{U_A}{I_X} = \frac{U}{I_X} - R_A,$$

де R_A – опір амперметра.

Отже, якщо при розрахунку опору враховувати опір приладів, то всі схеми рівноцінні.

Якщо опір, що визначається R_X малий в порівнянні з опором вольтметра R_B , струмом I_B можна знехтувати і, застосовуючи схему на малюнку 4.1, а, опір R_X розраховується так:

$$R_X = R'_X = \frac{U_X}{I_X},$$

допускаючи відносну похибку:

$$\gamma_0 = \frac{R'_X - R_X}{R_X} = -\frac{R'_X}{R_B} = -\frac{R_X}{R_X + R_B}.$$

У цих випадках, коли опір, що визначається R_X , порівняно з опором

вольтметра R_B і знехтувати струмом I_B не можна, слід користуватися схемою на малюнку 4.1, б. і при розрахунку не враховувати падіння напруги U_A на амперметрі, визначаючи опір R_X так:

$$R_X = R'_X = \frac{U}{I_X},$$

якщо відносна похибка вимірювання:

$$\gamma_0 = \frac{R'_X - R_X}{R_X} = \frac{R_A}{R_X - R_A} = \frac{R_A}{R_X}.$$

Для виявлення меж доцільності використання тієї чи іншої схеми слід порівняти відносні похибки, а потім знайти значення опору R_X , для якого обидві схеми рівноцінні:

$$\frac{R_X}{R_X + R_B} = \frac{R_A}{R_X}$$

або

$$R_X^2 - R_A \cdot R_X - R_B \cdot R_A = 0.$$

звідси

$$R_X \cong \sqrt{R_B \cdot R_A}.$$

Отже, для опорів $R_X < \sqrt{R_B \cdot R_A}$ пріоритетна схема на рис. 4.1, а, а для опору $R_X > \sqrt{R_B \cdot R_A}$ – схема на рис. 4.1, б. Схему на рис. 4.1, а називають

схемою визначення «малих» опорів, а на рис. 4.1, б – схемою для визначення «великих» опорів.

При визначенні опорів методом вольтметра і амперметра слід вибирати магнітоелектричні прилади з такими межами вимірювань, щоб свідчення їх були близькі до номінальних значень, тому що це забезпечує менші похибки вимірювання.

1 Вимірювання «великих» опорів непрямим методом (амперметром і вольтметром)

Порядок виконання роботи:

1.1 Зібрати схему, представлену на рис. 4.2. В якості невідомого опору великої величини буде використаний резистор R_3 .

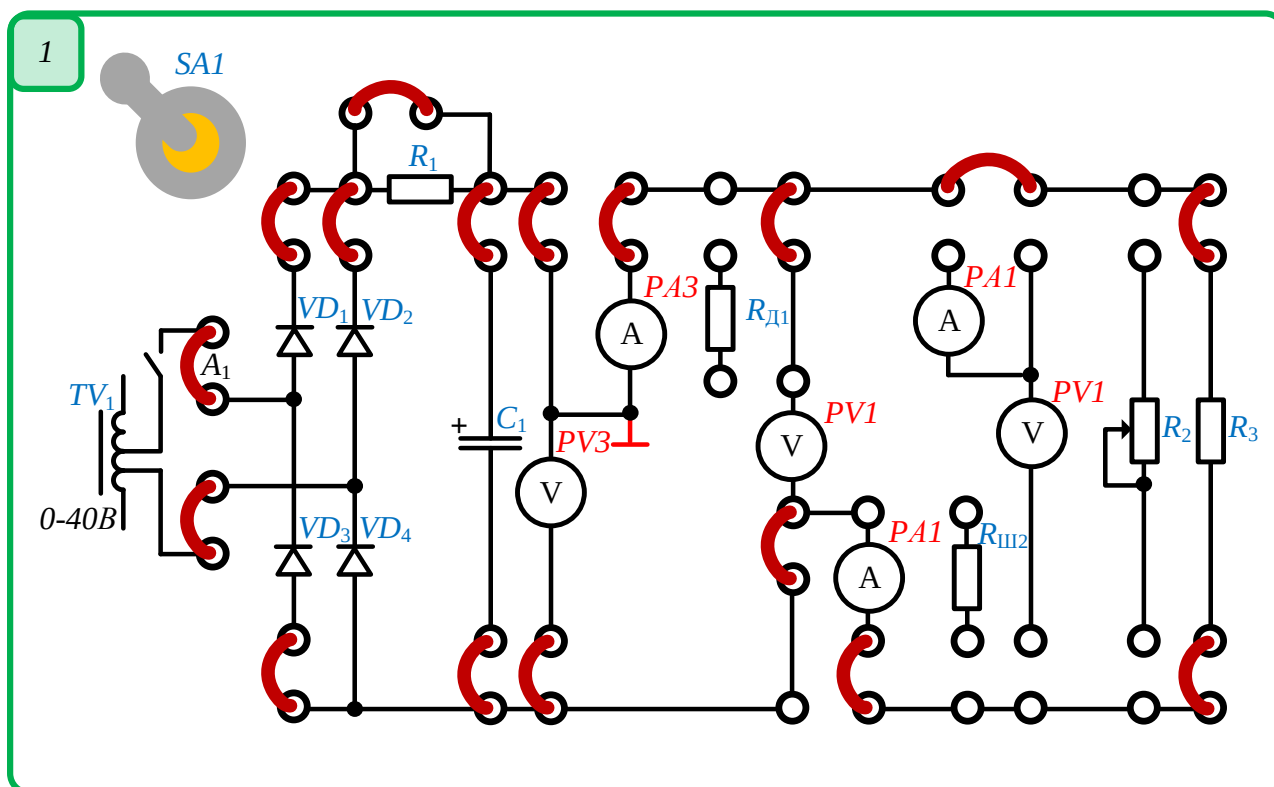


Рисунок 4.2 – Схема для вимірювання «великих» опорів

1.2 Перед включенням стенда переконатися, що всі інші перемикачі

знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

1.3 Включити стенд автоматичним вимикачем *QF1*.

1.4 Переконатися, що регулятори напруги ЛАТРа знаходяться в початкових положеннях «0» (в крайньому лівому положенні).

1.5 Встановити тумблер *SA10* вниз, *SA12* вгору.

1.6 Підключити живлення ЛАТРа *TV1* до досліджуваної схеми тумблером *SA1*.

1.7 Поступово збільшувати напругу ЛАТР до (30 – 40) В (контролювати по приладу *PV3*).

1.8 Зняти показання приладів *PV1* і *PA1*. При необхідності змінити діапазон виміру струму приладу *PA1* на 1 мА тумблером *SA13* вниз.

1.9 Вимкнути тумблер *SA1*.

1.10 Повернути перемикачі ЛАТРа в початковий стан «0» (у крайнє ліве положення «0»).

2 Вимірювання «малих» опорів непрямим методом (амперметром і вольтметром)

Порядок виконання роботи:

2.1 Зібрати схему, представлену на малюнку 4.3. В якості невідомого опору малої величини буде використаний резистор R_2 в положенні 10 тумблера 1х1 блоку R_2 (10 Ом).

2.2 Встановити тумблер *SA10* вгору, *SA12* вгору.

2.3 Включити тумблер *SA1*.

2.4 Поступово збільшуючи напругу ЛАТР, встановити величину струму не більше 100 мА, (контролювати по приладу *PA3*).

2.5 Зняти показання приладів *PV1* і *PA1*. При необхідності переключити діапазон виміру струму приладу *PA1* на 0,1 А тумблером *SA13* в середнє положення, а діапазон напруги в положенні 1 В, тумблером *SA11* в нижнє положення.

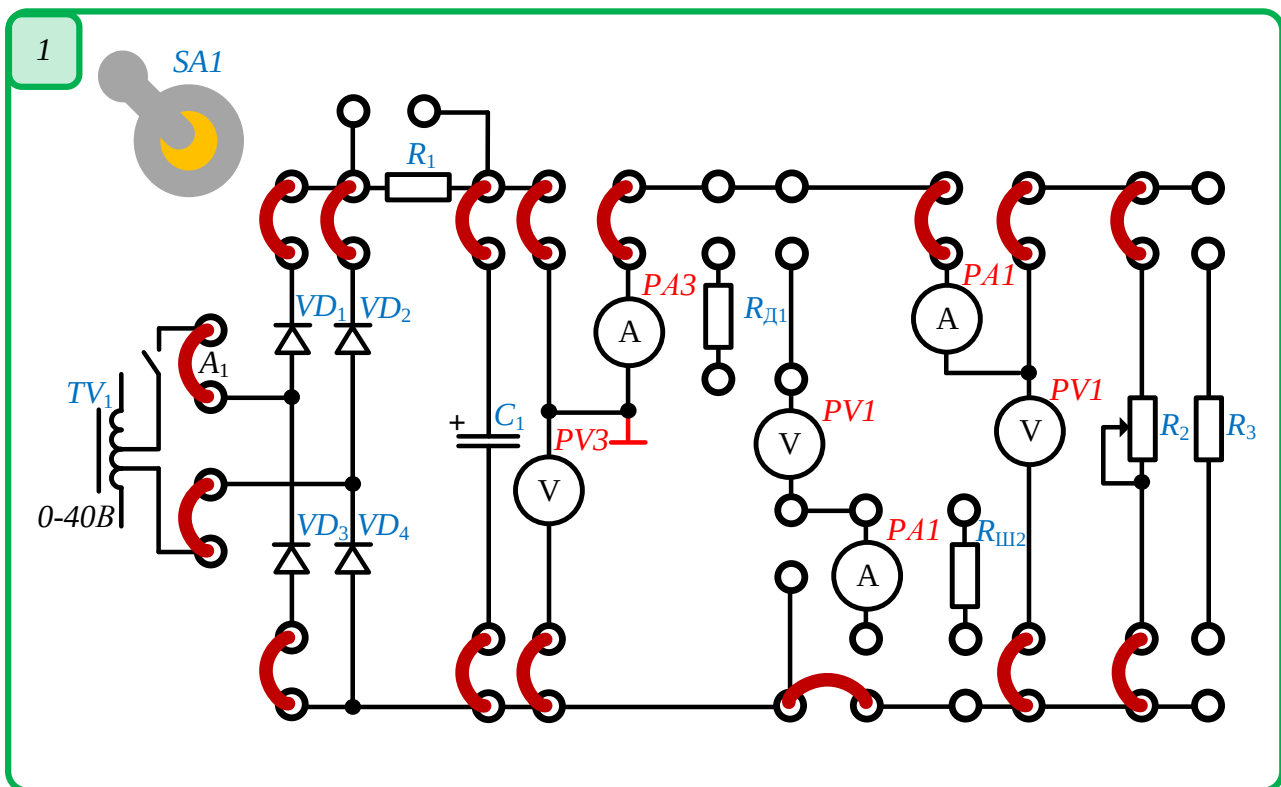


Рисунок 4.3 – Схема для вимірювання «малих» опорів

УВАГА! Напруга на виході ЛАТРа регулюється двома перемикачами: грубе регулювання: лівий перемикач – з кроком 10 В (від 0 до 40 В) і точне регулювання: правий перемикач – з кроком (1 – 2) В (від 0 до 10 В).

УВАГА! При русі стрілки приладу $PA1$ або $PV1$ в зворотну сторону, необхідно перемкнути тумблер $SA10$ або $SA12$ відповідно для зміни полярності підключення приладу $PA1$ або $PV1$.

2.6 Вимкнути стенд в наступному порядку:

- вимкнути тумблер $SA1$;
- вимкнути стенд автоматичним вимикачем $QF1$;
- повернути перемикачі ЛАТРа в початковий стан «0» (у крайнє ліве положення «0»);
- тумблер $SA13$ в верхнє положення 0,5 А (максимальний діапазон);
- тумблер $SA11$ в верхнє положення 50 В (максимальний діапазон);
- прибрати всі джампера.

2.7 Обчислити за результатами вимірювання величини опорів R_2 і R_3 за

формулою:

$$R_{3M} = \frac{U_{PV1}}{I_{PA1}}.$$

2.8 Обчислити за результатами вимірювання абсолютну похибку вимірювання опорів. Прийняти фактичний опір $R_{2\Phi}=10$ Ом, $R_{3\Phi}=1$ МОм:

$$\Delta R = R_{3M} - R_{\Phi}.$$

3.9 Розрахувати відносну похибку.

$$\gamma_0 = \frac{\Delta R}{R_{\Phi}} \cdot 100 \, \%.$$

Зміст звіту:

- 1 Мета роботи.
- 2 Принципові схеми експериментальних досліджень .
- 3 Результати експериментальних досліджень.
- 4 Теоретичний розрахунок параметрів.
- 4 Висновки за результатами виконаних досліджень у лабораторній роботі.

Контрольні запитання:

- 1 На чому заснован непрямий спосіб вимірювання різних опорів ?
- 2 Наведіть закон Ома для ділянки кола?
- 3 Наведіть схему для визначення «малих» опорів?
- 4 Яка схема пріоритетна для вимірювання таких опорів $R_X < \sqrt{R_B \cdot R_A}$?
- 5 Які види приладів слід вибирати для вимірювання опорів
- 6 Наведіть схему для визначення «великих» опорів.
- 7 Яким співвідношенням визначається невідомий опір R_X ?
- 8 Наведіть рівняння для обчислення абсолютної похибки вимірювань.

9 Наведіть схему для вимірювання опору методом «амперметра».

10 Наведіть схему для вимірювання опору методом «вольтметра».

Література: [1, 3, 14]

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5
ВИМІР ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ
ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ МОСТОВИМ МЕТОДОМ

Мета роботи: виміряти, проаналізувати і розрахувати параметри елементів електричних схем мостовим методом.

Теоретичні відомості:

Мости постійного струму. Схема моста постійного струму (див. рис. 5.1) складається з чотирьох плечей (гілок) і двох діагоналей; плечі являють собою резистори з опорами R_1 , R_2 , R_3 і R_4 в одну з діагоналей включають джерело живлення, в іншу – індикатор з двосторонньою шкалою (гальванометр або мікроамперметр) з внутрішнім опором R_I .

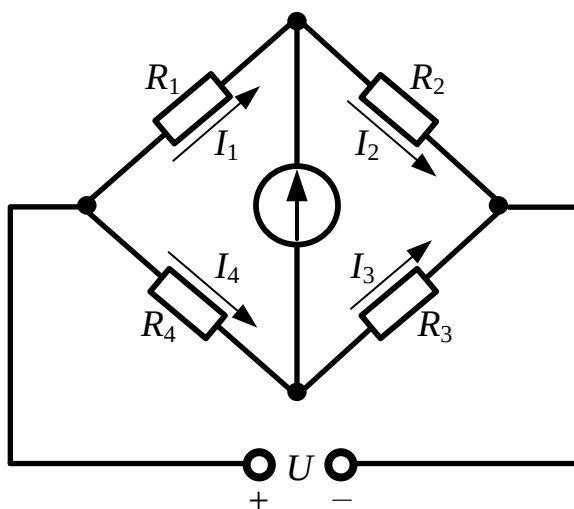


Рисунок 5.1 – Схема мосту постійного струму

Струм в індикаторі I_I обчислюють на підставі законів Кірхгофа:

$$I_I = \frac{U \cdot (R_1 \cdot R_3 - R_2 \cdot R_4)}{R_1 \cdot (R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4) + R_1 \cdot R_2 \cdot (R_3 + R_4) + R_3 \cdot R_4 \cdot (R_1 + R_2)}.$$

Звідси впливають два можливих стану мостової схеми при вимірах: неврівноважений – коли струм в індикаторі не дорівнює нулю, і врівноважений – коли струм в індикаторі дорівнює нулю. Відповідно до цього мости поділяють на дві групи: одні призначені для роботи тільки в нестійкому, інші – тільки в урівноваженому стані.

У неврівноважених мостах опір одного з плечей невідомо, а інші величини, що входять в формулу, постійні, отже, величина струму індикатора I_1 може служити мірою невідомого опору, тобто такий міст є прямопоказуючим приладом. Ці мости широко застосовують для вимірювання неелектричних величин електричними методами.

У врівноважених мостах струм I_1 ток в момент відліку дорівнює нулю, що досягається при виконанні умови рівноваги моста – рівності добутку опорів протилежних плечей:

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4.$$

Отже, якщо опори трьох плечей відомі, то з умови легко визначається невідомий опір четвертого плеча. Наприклад, нехай $R_1=R_x$, тоді $R_x = \frac{R_2 \cdot R_4}{R_3}$.

Процес врівноваження моста постійного струму досягається зміною величини опору одного плеча R_2 при постійному відношенні R_4/R_3 , або відношення опорів плечей R_4/R_3 при постійному значенні величини R_2 . Практичні схеми мостів виконують так, що в процесі вимірювання можна змінювати обидві ці величини, одну плавно, а іншу стрибками, що дозволяє значно розширити межі вимірювань.

Мости змінного струму. Якщо в схемі моста постійного струму (див. рис. 5.1) замінити опір резисторів в плечах повними опорами деяких двополюсників Z , то отримаємо принципову схему моста змінного струму. В діагоналі такого моста включають джерело змінної напруги $\sim U$ і індикатор з вхідним опором Z_1 (див. рис. 5.2). Як джерело напруги зазвичай застосовують

генератор звукової частоти, як індикатор - телефони, лампові або детекторні вольтметри, виборчі підсилювачі і нульові індикатори з електронно-променевою трубкою.

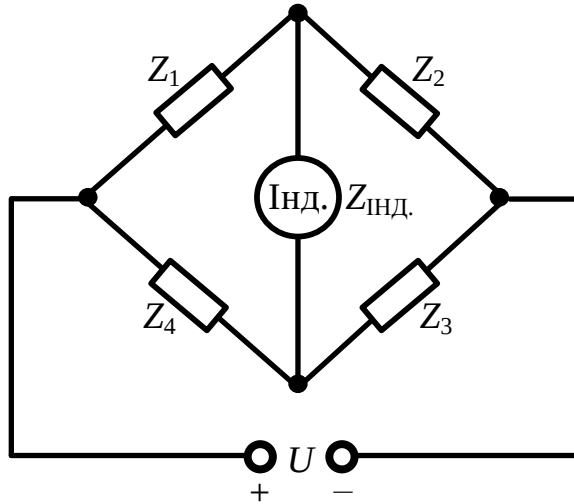


Рисунок 5.2 – Міст змінного струму

Струм в діагоналі індикатора обчислюють за формулою, аналогічною формулою мосту постійного струму:

$$I_1 = \frac{U_m \cdot (Z_1 \cdot Z_3 - Z_2 \cdot Z_4)}{Z_1 \cdot (Z_1 + Z_2) \cdot (Z_3 + Z_4) + Z_1 \cdot Z_2 \cdot (Z_3 + Z_4) + Z_3 \cdot Z_4 \cdot (Z_1 + Z_2)}.$$

Індикатори мостів змінного струму мають великий вхідний опір, напруга на їх вході визначається наступною формулою:

$$U_1 \approx \frac{U_m \cdot (Z_1 \cdot Z_3 - Z_2 \cdot Z_4)}{(Z_1 + Z_2) \cdot (Z_3 + Z_4)}.$$

З обох виразів отримуємо, що рівновага мосту, коли струм і напруга в діагоналі індикатора дорівнюють нулю, досягається при виконанні умови рівності добутків повних опорів протилежних плечей:

$$Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4.$$

Цю умову можна уявити інакше. Підставивши в формулу вираження повних опорів в показовій формі, тоді отримаємо:

$$|Z_1| \cdot e^{j\varphi_1} \cdot |Z_3| \cdot e^{j\varphi_3} = |Z_2| \cdot e^{j\varphi_2} \cdot |Z_4| \cdot e^{j\varphi_4},$$

де $|Z_1|, |Z_2|, |Z_3|, |Z_4|$ – модулі повних опорів плечей, $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ – фазні зсуви між струмом і напругою в відповідних плечах.

Тоді рівняння розкладається на дві умови рівноваги:

$$\begin{cases} |Z_1| \cdot |Z_3| = |Z_2| \cdot |Z_4|; \\ \varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4. \end{cases}$$

Звідси випливає, що міст змінного струму можна врівноважити регулюванням не менше двох елементів схеми зі змінними параметрами, тобто потрібно досягати рівноваги по модулях і за фазами окремо. Потрібно мати на увазі, що навіть при роздільних регулюваннях активних і реактивних складових, змінюються одночасно і модуль і фаза, тому міст змінного струму можна привести в рівновагу лише послідовними наближеннями. Швидкість досягнення рівноваги, тобто число послідовних регулювань одного і іншого параметра, визначається збіжністю моста, яка є важливою характеристикою конструкції будь-якого мосту змінного струму.

Друга умова рівноваги мосту змінного струму, що вимагає, щоб суми фазових зрушень протилежних плечей були рівні один одному, визначає можливість побудови схеми мосту. Дійсно, якщо в перше і третє плече включені резистори, то в другому і четвертому плечах повинні знаходитися відповідно котушка індуктивності і конденсатор. Якщо в суміжних плечах, наприклад, в першому і другому, стоять резистори, в інші суміжні повинні бути

включені однакові реактивні, опору – індуктивні, або ємнісні. Очевидно, що в усі плечі можна включати двополюсники з опорами однакового характеру.

Схеми мостів змінного струму. На малюнку 5.3.а представлений міст Віна для вимірювання індуктивностей. Два його плеча складені з резисторів з опорами R_1 і R_2 ; у третє включають вимірювану котушку індуктивності L_X з опором втрат R_X , четверте плече утворено послідовно з'єднаними зразковими котушками (L_{3P} , R_L) і резистором R_{3P} . При виконанні умови рівноваги виходить наступна рівність:

$$R_1 \cdot (R_X + j\omega L_X) = R_2 \cdot (R_{3P} + R_L + j\omega L_{3P}),$$

або

$$R_1 \cdot R_X + j\omega \cdot R_1 \cdot L_X = R_2 \cdot (R_{3P} + R_L) + j\omega \cdot R_2 \cdot L_{3P}.$$

Прирівнявши дійсні і уявні складові, отримаємо:

$$L_X = \frac{R_1}{R_2} \cdot L_{3P};$$

$$R_X = \frac{R_1}{R_2} \cdot (R_{3P} + R_L);$$

$$Q_X = \frac{\omega L_X}{R_X} = \frac{\omega L_{3P}}{R_{3P} + R_L}.$$

У практичних схемах мостів значення індуктивності зразковї котушки L_{3P} зазвичай постійно; для спрощення обчислень резистор встановлюють також з незмінним значенням опору, рівним $10n$ Ом (n – ціле число); для отримання плеча застосовують магазин опорів. Для визначення значення R_X використовують зразковий резистор із змінним опором.

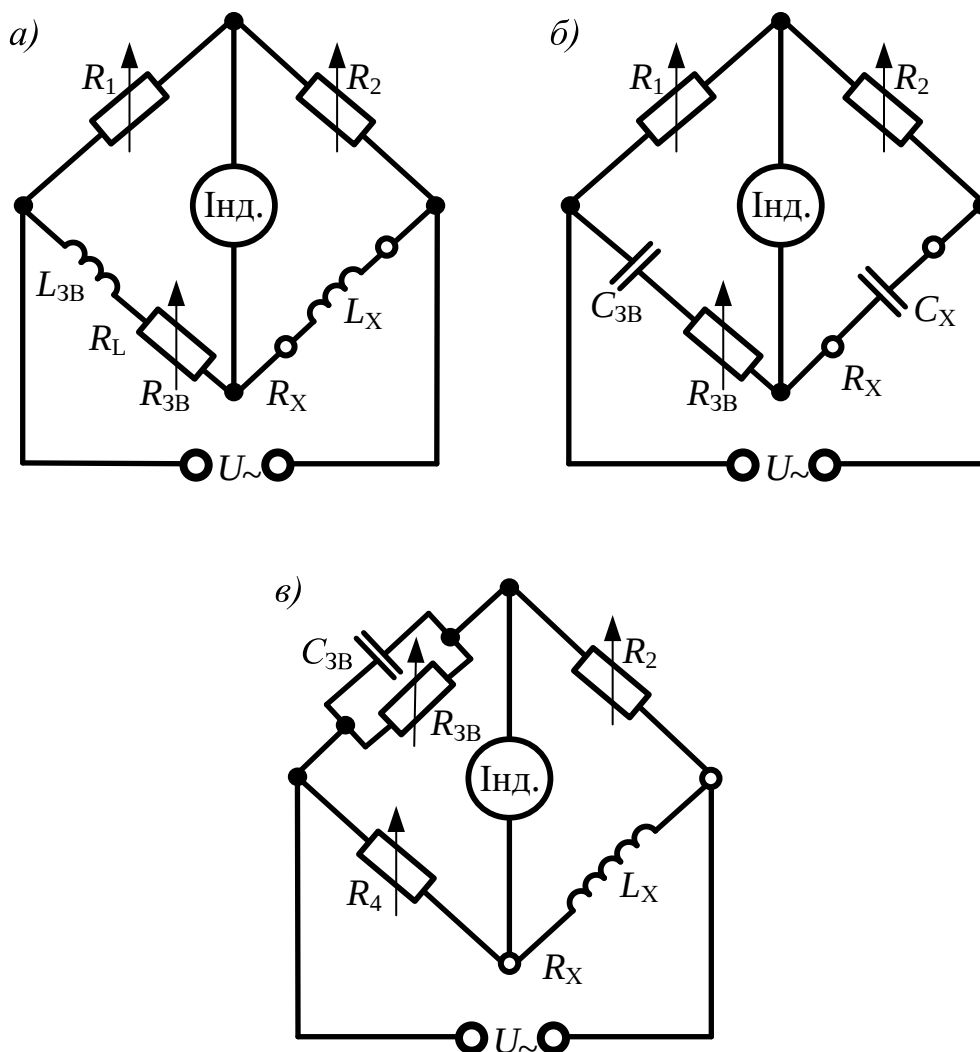


Рисунок 5.3 – Схеми мостів:

а – міст Віна для вимірювання індуктивності; б – міст Соті для вимірювання ємності; в – міст Максвелла для вимірювання індуктивностей

Аналогічний міст для вимірювання ємностей - міст Соті представлений на малюнку 5.2, б. Втратами в зразковому конденсаторі можна знехтувати. При рівновазі моста отримуємо рівність:

$$R_1 \cdot \left(R_X + \frac{1}{j\omega C_X} \right) = R_2 \cdot \left(R_{3P} + \frac{1}{j\omega C_{3P}} \right),$$

Звідси

$$C_X = \frac{R_1}{R_2} \cdot C_{3P};$$

$$R_X = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_{3P};$$

$$\varphi_X = \varphi_{3C},$$

де φ_{3C} – фазовий зсув не в зразковому конденсаторі, а в плечі, що складається із зразкових конденсатора з ємністю C_{3P} і резистора з опором R_{3P} . Зазвичай цікавить не кут φ_{3C} , а так званий кут втрат, що його доповнює до 90° :

$$\delta_X = \frac{\pi}{2} - \varphi_X = \frac{\pi}{2} - \varphi_{3C};$$

$$\operatorname{tg} \delta_X = \frac{R_X}{X} = R_X \cdot \omega \cdot C_X = R_{3P} \cdot \omega \cdot C_{3P} = \operatorname{tg} \varphi_{3C}.$$

Кут втрат, як правило, малий, тому можна вважати $\delta_X \approx \operatorname{tg} \delta_X$, що справедливо до 10° з похибкою, меншою 1%.

Мости Віна і Соті називають мостами відношення плечей, так як для визначення невідомої величини потрібно мати відому величину відношення опорів суміжних плечей.

Вимірювання індуктивності і її добротності можна виконати за допомогою моста Максвелла, використовуючи зразкову ємність (див. рис. 5.3, в). Тут плечі R_2 і R_4 утворюються ступінчастими магазинами опорів, а перше плече - зразковим конденсатором з пренебрежимо малими втратами і змінним зразковим резистором з опором R_{3P} .

Умова рівноваги має вигляд:

$$Z_{3P} \cdot Z_X = R_2 \cdot R_4$$

або

$$\frac{R_{3P}}{1 + j\omega \cdot C_{3P} \cdot R_{3P}} \cdot (R_X + j\omega \cdot L_X) = R_2 \cdot R_4,$$

звідси

$$L_X = R_2 \cdot R_4 \cdot C_{3P};$$

$$R_X = \frac{R_2 \cdot R_4}{R_{3P}};$$

$$Q_X = \frac{\omega \cdot L_X}{R_X} = R_{3P} \cdot \omega \cdot R_{3P}.$$

Міст Максвелла називають мостом добутку плечей.

Розглянуті схеми мостів змінного струму конструктивно об'єднують в універсальних мостах для виміру L , C і R , в яких шляхом перемикачів можна отримати потрібну схему, в тому числі і міст постійного струму. Універсальні мости працюють на звукових частотах, зазвичай 100 або 1000 Гц; при більш високих частотах різко зростає похибка через нестабільні ємнісні зв'язки між елементами моста, між елементами і землею, та між мостом і оператором. Величина цих зв'язків непостійна, і тому результати вимірювань не повторюються. Для зменшення ємнісних зв'язків застосовують електростатичне екранування всіх частин моста і монтажних проводів.

1 Вимірювання опору мостовим методом

Порядок виконання роботи:

- 1.1 Зібрати схеми, представлені на рис. 5.3 і рис. 5.4.
- 1.2 Включити комп'ютер і запустити програму «DiSco».
- 1.3 Налаштуйте перший канал осцилографа і запустіть його в режимі багаторазового запуску.
- 1.4 Перед включенням стенда переконайтеся, що всі інші перемикачі

знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

1.5 Включити стенд автоматичним вимикачем $QF1$.

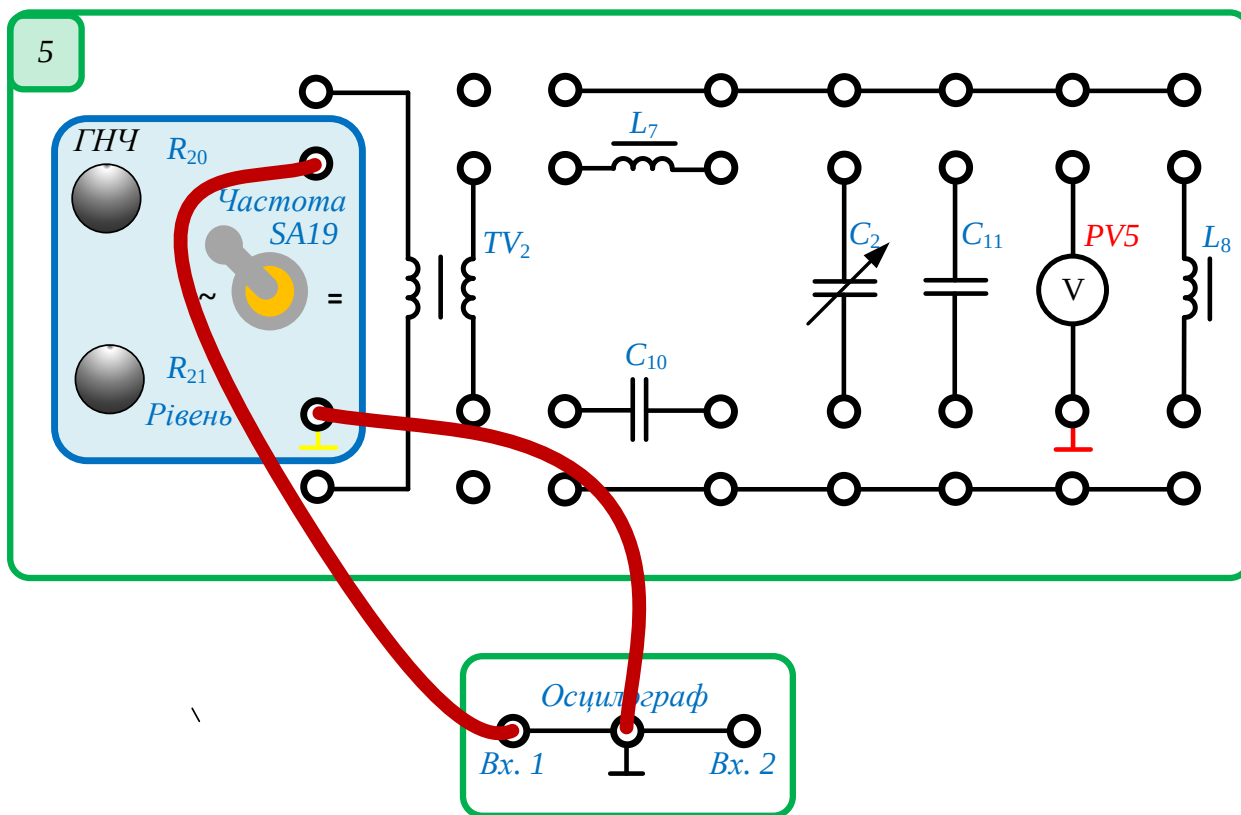


Рисунок 5.3 – Схема підключення вбудованого осцилографа

1.6 За осцилограммами в програмі «DiSco» задайте вихідний сигнал генератора (за допомогою органів управління генератором R_{20} , R_{21} і $SA19$) з наступними параметрами: форма - постійний сигнал; зміщення 10 В.

Для формування постійного сигналу амплітудою 10 В частотою 0 кГц зміщеного на 0 В щодо нуля.

1.7 Встановіть резистор R_{19} в максимальне значення 100 Ом.

1.8 Встановіть резистор R_{17} в максимальне положення 1 кОм.

1.9 Змінюючи значення опору R_2 домогтися показання приладом $PV3$ близького до нуля значення.

Значення опору R_2 змінюється галетними перемикачами 1x1000, 1x100, 1x10, 1x1 в наступному вигляді:

ВІДПОВІДНО ДЛЯ КОЖНОГО ПЕРЕМІКАЧА, ДЕ n – ПОЛОЖЕННЯ КОЖНОГО ПЕРЕМІКАЧА ВІДПОВІДНО.

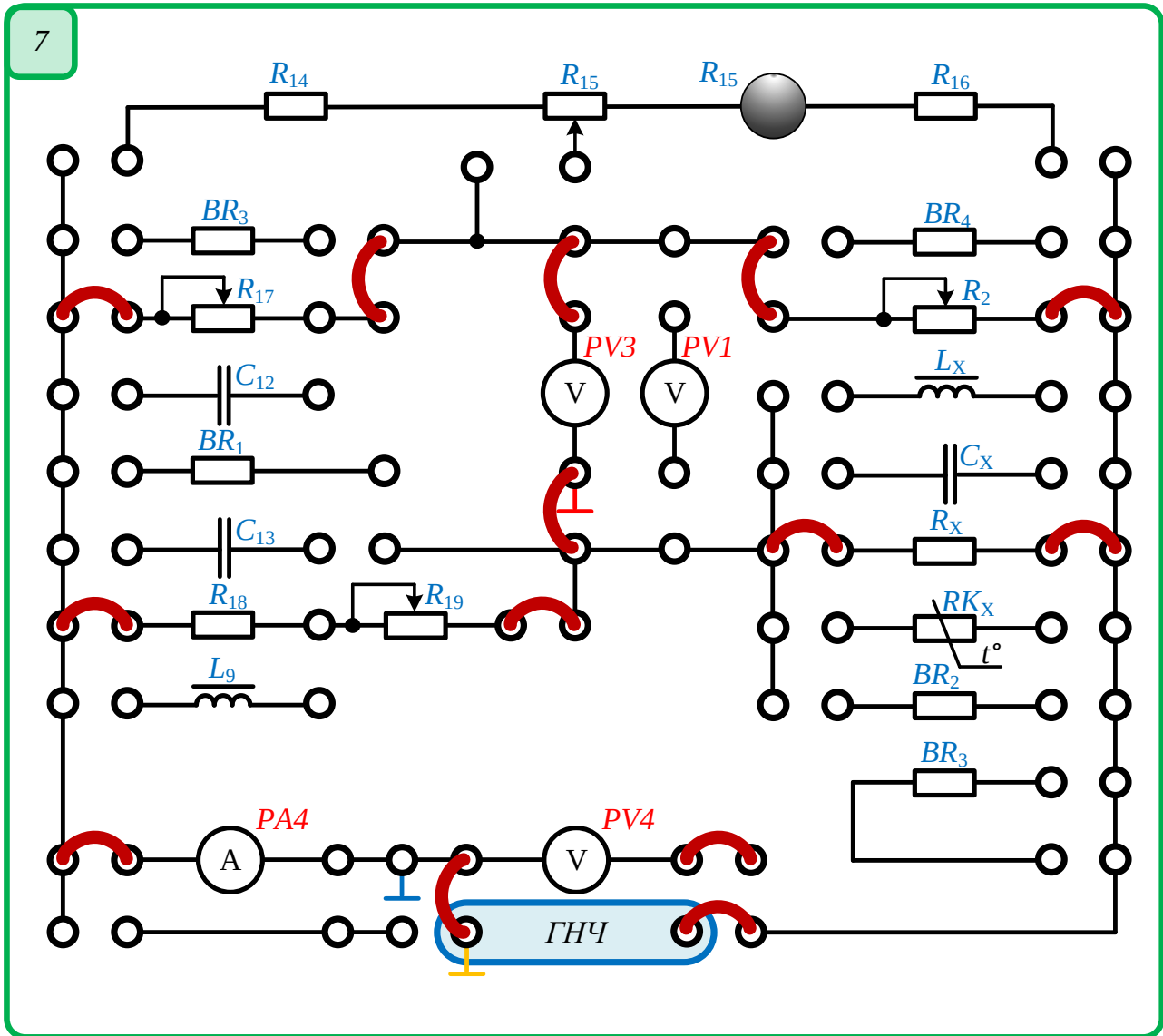


Рисунок 5.4 – Схема для вимірювання опору мостовим методом

1.10 Не змінюючи номіналів резисторів, зупинити програму «DiSco», записати значення резисторів R_2 , R_{17} , R_{18} , R_{19} .

1.11 Вимкнути стенд в наступному порядку:

- вимкнути стенд автоматичним вимикачем QF1;
- повернути перемикачі резисторів R_2 , R_{17} , R_{19} в початковий стан «0»;

– прибрати всі джампера.

1.12 Розрахувати невідомий опір по формулі:

$$R_x = \frac{R_2 \cdot (R_{18} + R_{19})}{R_{17}},$$

де $R_{18}=200$ Ом.

1.13 Обчислити за результатами вимірювання абсолютну похибку вимірюного опору. Прийняти фактичний опір $R_{X \text{ ФАКТ}} = 1300$ Ом.

$$\Delta R = R_{X \text{ ВИМ}} - R_{X \text{ ФАКТ}}.$$

1.14 Обчислити відносну похибку:

$$\gamma_0 = \frac{\Delta R}{R_{X \text{ ФАКТ}}} \cdot 100 \, \%.$$

2. Вимірювання ємності мостом Соті

Порядок виконання роботи:

2.1 Зібрати схеми, представлені на рисунку 5.3 і рисунку 5.5.

2.2 Включити комп'ютер і запустити програму «DiSco».

2.3 Налаштуйте перший канал осцилографа і запустіть його в режимі багатократного запуску.

2.4 Перед включенням стенда переконатися, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

2.5 Включити стенд автоматичним вимикачем $QF1$.

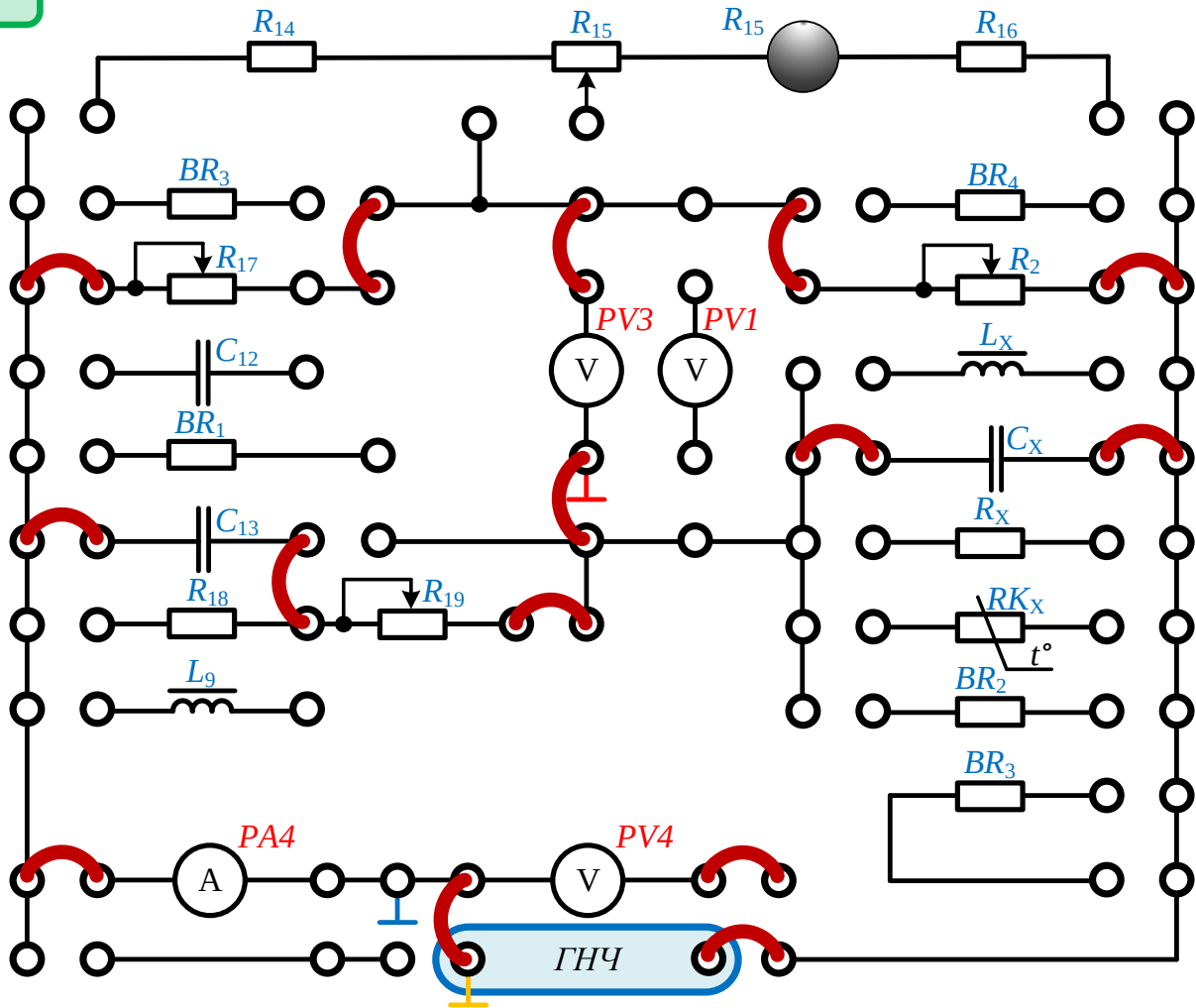


Рисунок 5.5 – Схема для вимірювання ємності мостом Соті

2.6 За осцилограмами в програмі «DiSco» задайте вихідний сигнал генератора (за допомогою органів управління генератором R_{20} , R_{21} і $SA19$) з наступними параметрами: форма – синус; амплітуда 4 В; зміщення 0 В; частота 1кГц.

2.7 Встановіть резистор R_{19} в максимальне значення 100 Ом.

2.8 Встановіть резистор R_{17} в максимальне положення 1 кОм.

2.9 Змінюючи значення опорів R_2 і R_{19} домогтися показання приладу $PV3$ близького до нуля значення.

Значення опору R_2 змінюється галетними перемикачами 1x1000, 1x100, 1x10, 1x1 в наступному вигляді:

$$R_2 = 1000 \cdot n_{1 \times 1000} + 100 \cdot n_{1 \times 100} + 10 \cdot n_{1 \times 10} + 1 \cdot n_{1 \times 1}, \text{ Ом},$$

відповідно для кожного перемикача, де n – положення кожного перемикача відповідно.

2.10 Не змінюючи номіналів резисторів, зупинити програму «DiSco», записати значення резисторів R_2 , R_{17} , R_{19} .

2.11 Вимкнути стенд в наступному порядку:

- вимкнути стенд автоматичним вимикачем $QF1$;
- повернути перемикачі резисторів R_2 , R_{17} , R_{19} в початковий стан «0»;
- прибрати всі джампера.

2.12 Розрахувати невідому ємність C_X по формулі:

$$C_X = \frac{R_{17}}{R_2} \cdot C_{13}.$$

2.13 Обчислити за результатами вимірювання абсолютну похибку вимірювання ємності. Прийняти фактичну ємність $C_{X\text{ФАКТ}}=1$ мкФ, ємність $C_{13}=4,7$ мкФ:

$$\Delta C = C_{X\text{ВИМ}} - C_{X\text{ФАКТ}}.$$

2.14 Розрахувати відносну похибку:

$$\gamma_0 = \frac{\Delta C}{C_{X\text{ФАКТ}}} \cdot 100 \, \%.$$

2 Вимірювання індуктивності мостом Віна

Порядок виконання роботи:

3.1 Зібрати схеми, представлені на рисунку 5.3 і рисунку 5.6.

3.2 Включити комп'ютер і запустити програму «DiSco».

3.3 Налаштуйте перший канал осцилографа і запустіть його в режимі багаторазового запуску.

3.4 Перед включенням стенда переконайтеся, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

3.5 Включити стенд автоматичним вимикачем $QF1$.

3.6 За осцилограмами в програмі «DiSco» задайте вихідний сигнал генератора (за допомогою органів управління генератором R_{20} , R_{21} і $SA19$) з наступними параметрами: форма – синус; амплітуда 4 В; зміщення 0 В; частота 1 кГц.

3.7 Встановіть резистор R_{19} в максимальне значення 100 Ом.

3.8 Встановіть резистор R_{17} в максимальне положення 1 кОм.

3.9 Змінюючи значення опорів R_2 і R_{19} домогтися показання приладу PV3 близького до нуля значення.

3.10 Не змінюючи номіналів резисторів, зупинити програму «DiSco», записати значення резисторів R_2 , R_{17} , R_{19} .

3.11 Вимкнути стенд в наступному порядку:

- вимкнути стенд автоматичним вимикачем $QF1$;
- повернути перемикачі резисторів R_2 , R_{17} , R_{19} в початковий стан «0»;
- прибрати всі джампера.

3.12 Розрахувати невідому індуктивність L_X за формулою:

$$L_X = \frac{R_2}{R_{17}} \cdot L_9.$$

3.13 Обчислити за результатами вимірювання абсолютну похибку вимірювання індуктивності. Прийняти фактичну індуктивність $L_{X \text{ факт}} = 10,0$ мГн, індуктивність $L_9 = 5,0$ мГн:

4.2 Включити комп'ютер і запустити програму «DiSco».

4.3 Налаштуйте перший канал осцилографа і запустіть його в режимі багаторазового запуску.

4.4 Перед включенням стенда переконаватися, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

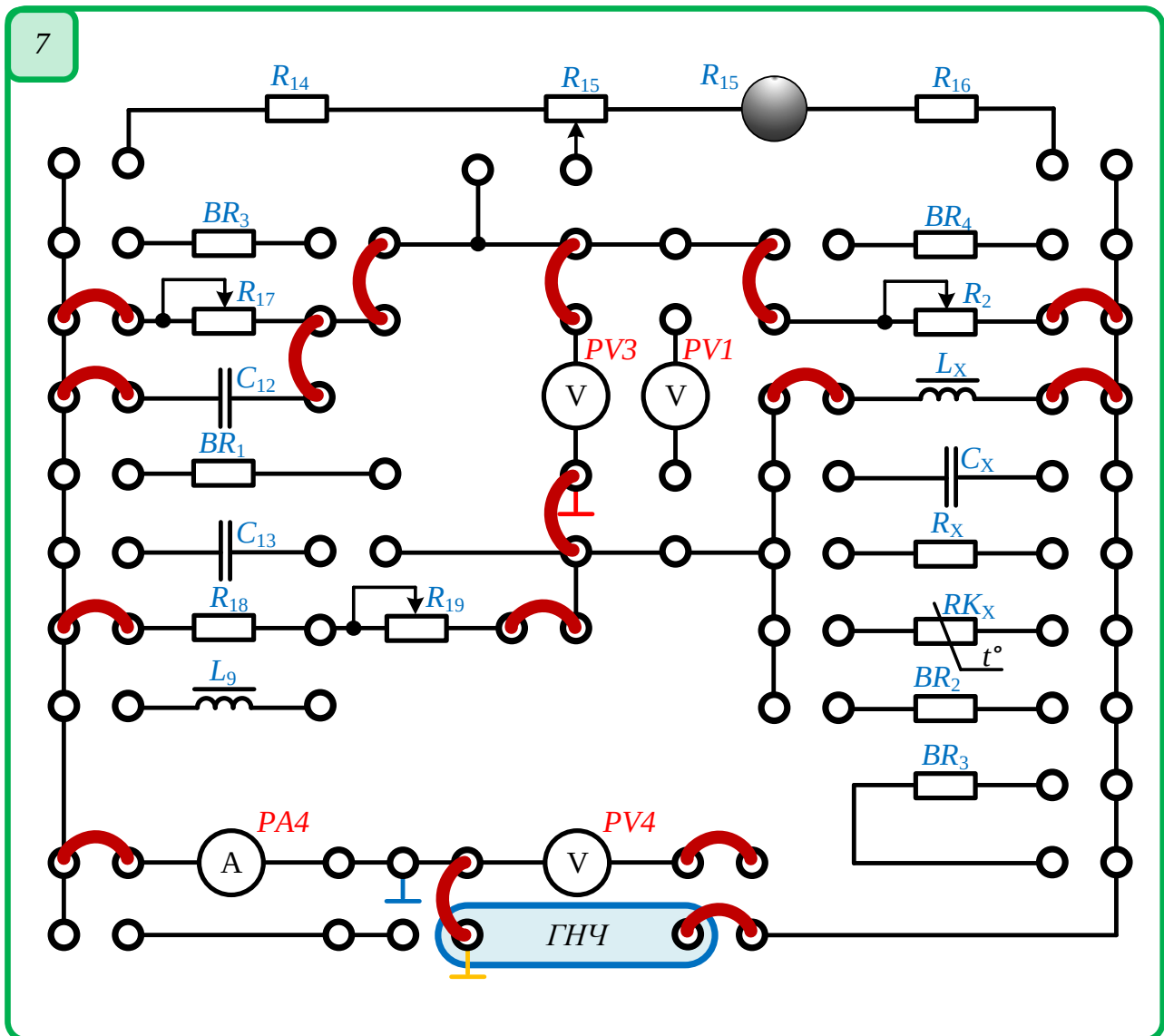


Рисунок 5.7 – Схема для вимірювання індуктивності мостом Максвелла

4.5 Включити стенд автоматичним вимикачем *QF1*.

4.6 За осцилограмами в програмі «DiSco» задайте вихідний сигнал генератора (за допомогою органів управління генератором R_{20} , R_{21} і $SA19$) з наступними параметрами: форма – синус; амплітуда 4 В; зміщення 0 В; частота

1 кГц.

4.7 Встановіть резистор R_{19} в максимальне значення 100 Ом.

4.8 Встановіть резистор R_{17} в максимальне положення 1 кОм.

4.9 Змінюючи значення опорів R_2 і R_{19} домогтися показань приладу PV3 близького до нуля значення.

Значення опору R_2 змінюється галетними перемикачами 1x1000, 1x100, 1x10, 1x1 в наступному вигляді:

$$R_2 = 1000 \cdot n_{1 \times 1000} + 100 \cdot n_{1 \times 100} + 10 \cdot n_{1 \times 10} + 1 \cdot n_{1 \times 1}, \text{ Ом},$$

відповідно для кожного перемикача, де n – положення кожного перемикача.

4.10 Не змінюючи номіналів резисторів, зупинити програму «DiSco», записати значення резисторів R_2 , R_{17} , R_{19} .

4.11 Вимкнути стенд в наступному порядку:

- вимкнути стенд автоматичним вимикачем $QF1$;
- повернути перемикачі резисторів R_2 , R_{17} , R_{19} в початковий стан «0»;
- прибрати всі джампера.

4.12 Розрахувати невідому індуктивність L_X за формулою:

$$L_X = R_2 \cdot (R_{19} + R_{18}) \cdot C_{12}.$$

4.13 Обчислити за результатами вимірювання абсолютну похибку вимірювання індуктивності, прийняти фактичну індуктивність $L_{X \text{ ФАКТ}} = 0,082$ Гн, ємність $C_{12} = 0,1$ мкФ:

$$\Delta L = L_{X \text{ ВИМ}} - L_{X \text{ ФАКТ}}.$$

4.14 Обчислити відносну похибку:

$$\gamma_0 = \frac{\Delta L}{L_{\text{Х ФАКТ}}} \cdot 100 \, \%.$$

Примітка: У даній роботі найбільша точність досягається якщо проводити дослід з частотою 5 кГц. Для цього рівновага моста встановлюється не по приладу *PV3*, а за показаннями осцилографа.

Зміст звіту:

- 1 Мета роботи.
- 2 Принципові схеми експериментальних досліджень .
- 3 Результати експериментальних досліджень.
- 4 Теоретичний розрахунок параметрів.
- 4 Висновки за результатами виконаних досліджень у лабораторній роботі.

Контрольні запитання:

- 1 Що являють собою мости змінного струму ?
- 2 Які можливі стани є у мостових схемах при вимірі?
- 3 Що являють собою мости постійного струму?
- 4 Які є різновиди мостів змінного струму?
- 5 Як ще називають міст Максвелла?
- 6 Параметри яких компонентів схеми можна виміряти за допомогою наведених мостів?.
- 7 Як домогтися рівноваги мосту змінного струму?
- 8 Наведіть схему мосту постійного струму.
- 9 Які частоти є робочими для універсальних мостів?
- 10 Які зміни відбуваються під час роботи мостів на високій частоті?

Література: [1, 11]

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6
ВИМІР ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ
ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ РЕЗОНАНСНИМ МЕТОДОМ

Мета роботи: дослідження і вимір параметрів електричних схем резонансним методом. Вимірювання ємності резонансним методом.

Теоретичні відомості:

Принцип резонансного методу вимірювання полягає у визначенні власної частоти коливального контуру, що складається зі зразкового і вимірюваного елементів. Значення вимірюваного параметра обчислюється за формулою:

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

Резонансний метод застосовується на високих частотах для вимірювання індуктивності, ємності і опору втрат в них. Головна перевага цього методу полягає в тому, що вимірювання можна виконувати на робочих частотах.

Вимірювальна установка складається з високочастотного генератора, вимірювального контуру і індикатора резонансу. Похибка резонансного методу вимірювання визначається неточністю налаштування коливального контуру в резонанс з частотою генератора, похибкою установки частоти і її нестабільністю за час вимірювання, а також відносною величиною паразитних параметрів вимірювального пристрою.

Для зменшення похибки вимірювання застосовують такі заходи. Настроюється елемент вимірювального контуру (зазвичай зразковий конденсатор змінної ємності) забезпечують вернієрним пристроєм з відповідним уповільненням або паралельно основному, зразковому конденсатору приєднують другий (допоміжний) малої ємності, так званий електричний ноніус. Ці заходи дозволяють плавно встановлювати і фіксувати

момент резонансу. Вибирають генератор з кращою стабільністю частоти і точністю її становлення. Для зменшення внесеного в контур опору генератора, останній слабо пов'язують з вимірювальним контуром. Здійснюють ємнісним або індуктивним зв'язком. Як індикатор використовують ламповий вольтметр з великим вхідним опором і відомою малою ємністю. Монтаж вимірюваного контуру зазвичай виконують без проводів, його елементи безпосередньо з'єднують один з одним. Величина втрат в зразкових конденсаторах достатньо мала, а в зразкових котушках відома і може бути врахована.

Великий вплив на похибку вимірювання надає власна ємність котушки індуктивності C_L . Це ємність, що розподілена вздовж обмотки котушки яка не піддається точному розрахунку, яку можна вважати зосередженою на робочих частотах f , яка є набагато меншою власній частоті котушки:

$$f_L = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_L}}.$$

Наявність власної ємності в котушці індуктивності призводить до отримання в результаті вимірювання деяких діючих значень індуктивності L_d і опору втрат R_d , що відрізняються від дійсних значень L і R_L . Зв'язки між L і L_d , R_L і R_d легко встановити, прирівнявши провідності еквівалентних схем один одному:

$$L_d = L \cdot \frac{C + C_L}{C}; \quad R_d = R_L \cdot \left(\frac{C + C_L}{C} \right)^2.$$

Очевидно, що бажано прагнути до дотримання умови $C \gg C_L$, де C - ємність вимірювального контуру. Можна висловити співвідношення між L і L_d , а також R_L і R_d через частоту:

$$L_{\text{д}} = \frac{L}{1 - \left(\frac{f}{f_L}\right)^2}$$

та

$$R_{\text{д}} = \frac{R_L}{\left(1 - \left(\frac{f}{f_L}\right)^2\right)^2}.$$

Звідси очевидно, що робоча частота генератора f повинна бути в багато разів нижче власної частоти котушки f_L .

Вимірювання індуктивності резонансним методом зручно виконувати трьома способами, в залежності від очікуваного її значення. Перший спосіб (див. рис. 6.1, а) застосовують для вимірювання значень індуктивності порядку сотень мікрогенрі. Вимірювальний коливальний контур налаштовують в резонанс по максимальному показанню індикатора. Налаштування здійснюють зміною частоти f генератора або ємності $C_{\text{ЗР}}$ зразкового конденсатора. Зчитують ці значення за відповідними шкалами і обчислюють дійсну індуктивність:

$$L_{\text{х}} = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot (C + C_L)},$$

де C – ємність вимірювального контура, $C = C_{\text{ЗР}} + C_{\text{ВХ}}$ – вхідна ємність індикатора.

Якщо власна ємність котушки C_L невідома, то обчислюють діюче значення індуктивності:

$$L_{\text{хд}} = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot C}.$$

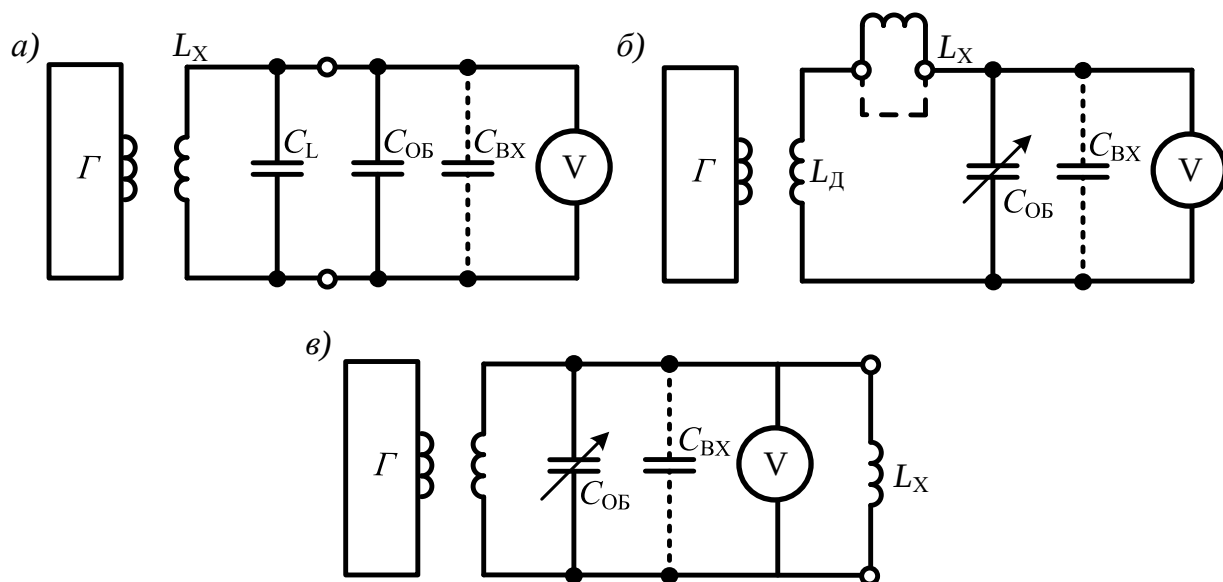


Рисунок 6.1 Три варіанти вимірювання індуктивності:

- а – резонансним методом; б – резонансним з заміщенням при послідовному включенні вимірюваної котушки;
в – резонансним з заміщенням при паралельному включенні

Другий спосіб (див. рисунок 6.1, б) застосовують для вимірювання значень індуктивності порядку десятків мікрогенрі. Тут резонансний метод поєднується з заміщенням вимірюваної індуктивності зразковою ємністю. Вимірювальний контур складають зі зразкового змінного конденсатора і допоміжної котушки L_d . Вимірювання виконують двічі, налаштовуючи контур в резонанс при незмінній обраній частоті генератора: один раз без вимірюваної котушки, другий – включивши її послідовно з допоміжною.

Помітивши значення ємностей зразкового конденсатора під час налаштування в резонанс $C_{зр1}$ і $C_{зр2}$ можна записати:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_d \cdot C_{зр1}}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(L_d + L_x) \cdot C_{зр2}}},$$

звідси:

$$L_x = L_d \frac{C_{зр1} - C_{зр2}}{C_{зр2}}.$$

Якщо допоміжна котушка є зразковою, то задача вирішена, якщо ж вона випадкова і величина індуктивності її невідома, останню слід виключити з формули, підставивши її значення з першої рівності:

$$L_{\text{Д}} = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot C_{\text{ЗР1}}},$$

в результаті отримуємо:

$$L_{\text{ХД}} = \frac{C_{\text{ЗР1}} - C_{\text{ЗР2}}}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot C_{\text{ЗР1}}}.$$

Вимірювана і допоміжна котушки не повинні мати зв'язку один з одним за рахунок загального магнітного поля.

Третій спосіб (див. рис. 6.1, в) використовують для вимірювання великих значень індуктивностей – до сотень мілігенрі. Вимірювання виконується способом, аналогічним попередньому, з тією різницею, що вимірювана котушка індуктивності включається паралельно допоміжної. Величина діючої індуктивності:

$$L_{\text{ХД}} = L_{\text{Д}} \cdot \frac{C_{\text{ЗР1}}}{C_{\text{ЗР2}} - C_{\text{ЗР1}}} = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot (C_{\text{ЗР2}} - C_{\text{ЗР1}})}.$$

Вимірювання ємності резонансним методом виконують трьома способами. Перший спосіб чисто резонансний (див. рис. 6.2, а). Контур складають зі зразкової котушки з відомими параметрами, $C_{\text{Л}}$ і вимірюваного конденсатора. Контур налаштовують в резонанс зміною частоти генератора і невідому ємність розраховують за формулою:

$$C_{\text{Х}} = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot L_{\text{ЗР}}} - C_{\text{Л}} - C_{\text{ВХ}}.$$

Похибка вимірювання визначається похибкою всіх вхідних в цей вираз величин, і для її зменшення застосовують способи, що поєднують метод резонансу з заміщенням. Вимірювальний контур складають зі зразкового конденсатора змінної ємності і допоміжної котушки.

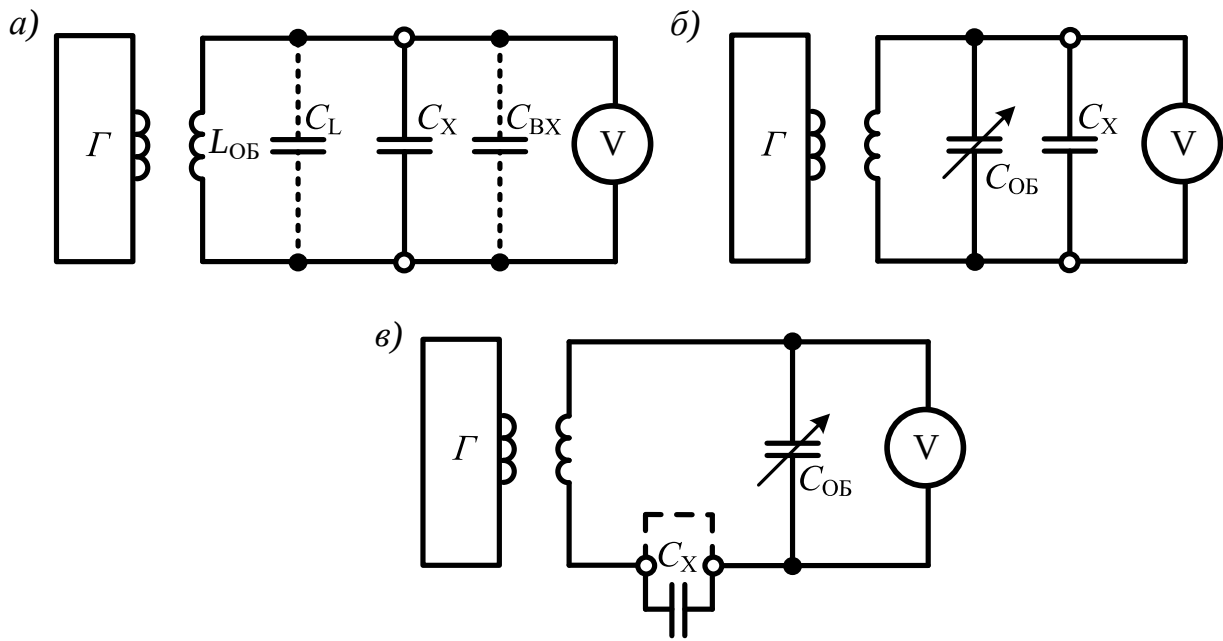


Рисунок 6.2 – Три варіанти вимірювання ємності:

- а – резонансним методом; б – резонансним з заміщенням при паралельному включенні вимірюваного конденсатора;
- в – резонансним з заміщенням при послідовному включенні

Якщо вимірювана ємність не виходить за межі зміни ємності зразкового конденсатора (від $C_{\min}$ до $C_{\max}$), то використовують схему, наведену на рисунку 6.2, б. Перше налаштування виконують без вимірюваного конденсатора за допомогою зміни частоти генератора при визначеному рівні ємності зразкового конденсатора $C_{зр1}$ поблизу її максимальної величини. Потім, включають паралельно зразковому конденсатору вимірюваний C_X і не змінюючи частоти генератора, вдруге налаштовують контур в резонанс.

Очевидно, що ємність $C_{зр2}$ при резонансі буде менше $C_{зр1}$ на величину C_X , тобто:

$$C_X = C_{3P1} - C_{3P2}.$$

Якщо ємність вимірюваного конденсатора більше максимальної ємності зразкового, то їх спочатку з'єднують послідовно (див. рис. 6.2, в) і контур налаштовують в резонанс, за допомогою зміни частоти генератора при значенні C_{3P1} поблизу її максимальної величини. Потім вимірюваний конденсатор відключають та налаштовуючи контур зразковим конденсатором змінної ємності при незмінній частоті генератора, відновлюють резонанс. Отримане при цьому друге значення зразковою ємності C_{3P2} дозволяє обчислити вимірювану ємність:

$$C_X = \frac{C_{3P1} \cdot C_{3P2}}{C_{3P1} - C_{3P2}}.$$

1 Вимірювання індуктивності резонансним методом

Порядок виконання роботи:

1.1 Зібрати схеми, представлені на рисунку 6.3 і рисунку 6.4.

1.2 Включити комп'ютер і запустити програму «DiSco».

1.3 Налаштуйте перший канал осцилографа і запустіть його в режимі багаторазового запуску.

1.4 Перед включенням стенда переконайтеся, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

1.5 Включити стенд автоматичним вимикачем *QF1*.

За осцилограмами в програмі «DiSco» задайте вихідний сигнал генератора (за допомогою органів управління генератором R_{20} , R_{21} і $SA19$) з наступними параметрами: форма – синус; амплітуда 10 В; зміщення 0 В; частота 700 Гц.

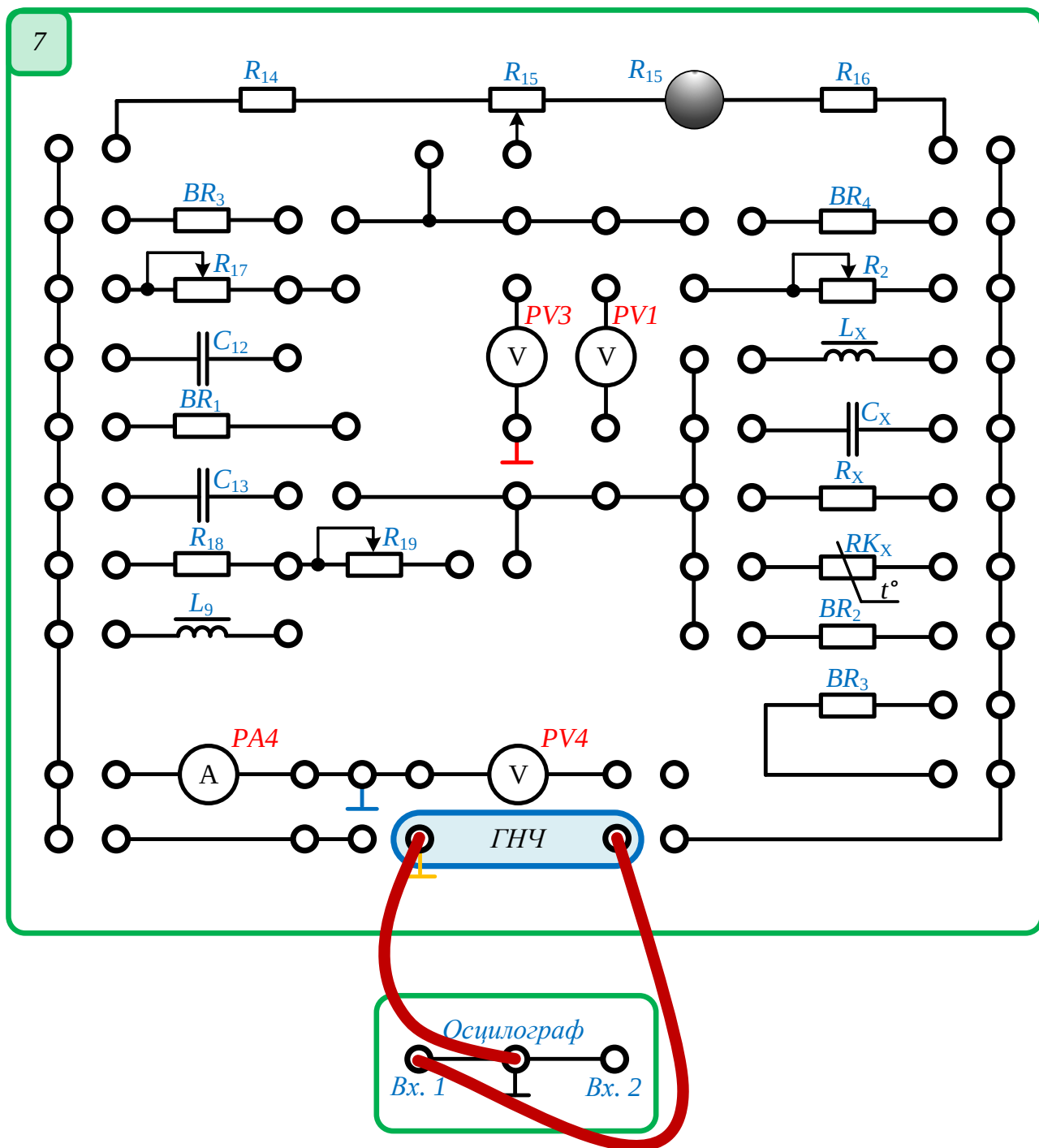


Рисунок 6.3 – Схема підключення генератора низької частоти до осцилографа

1.6 Змінюючи значення ємності C_2 домогтися показання приладом $PV5$ максимального значення (умова резонансу).

1.7 Не змінюючи номіналу ємності C_2 , зупинити «DiSco», записати значення ємності $C_{2.1}$.

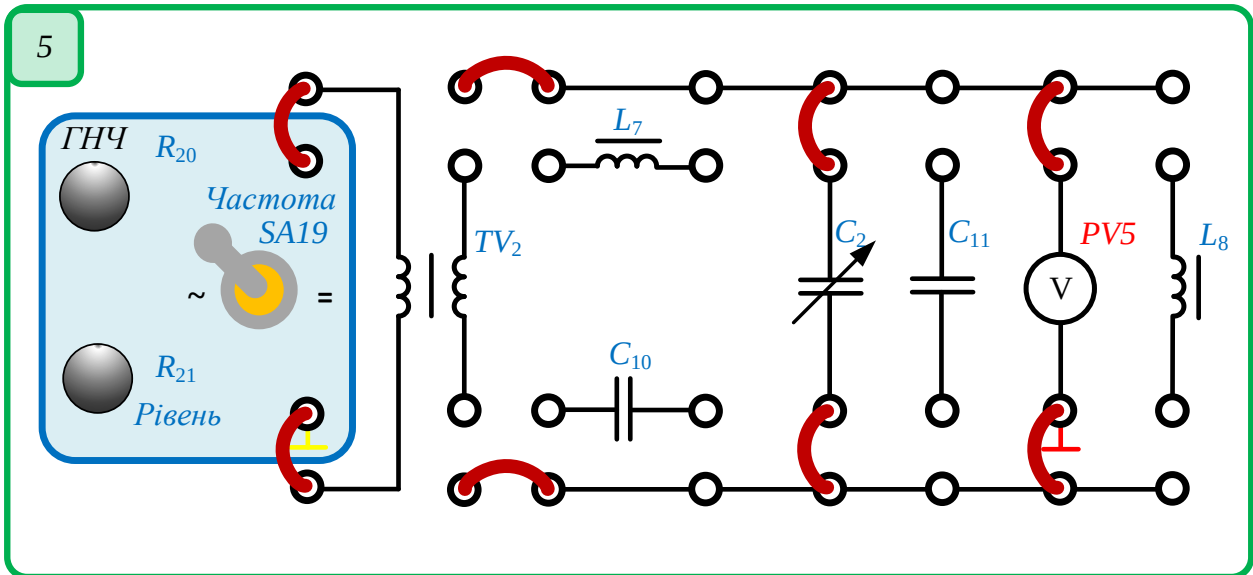


Рисунок 6.4 – Схема для вимірювання індуктивності резонансним методом

1.8 Вимкнути стенд в наступному порядку:

- вимкнути стенд автоматичним вимикачем $QF1$;
- повернути перемикачі ємності C_2 в початковий стан (вимкнений);
- прибрати всі джампера.

1.9 Розрахувати невідому індуктивність $L_{X TV2}$ за формулою:

$$L_{X TV2 д} = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot C2.1}.$$

2 Вимірювання індуктивності резонансним методом з заміщенням при послідовному включенні вимірюваної котушки

Порядок виконання роботи:

- 2.1 Зібрати схеми, представлені на рисунку 6.3 і рисунку 6.5.
- 2.2 Включити комп'ютер і запустити програму «DiSco».
- 2.3 Налаштуйте перший канал осцилографа і запустіть його в режимі багаторазового запуску.

5

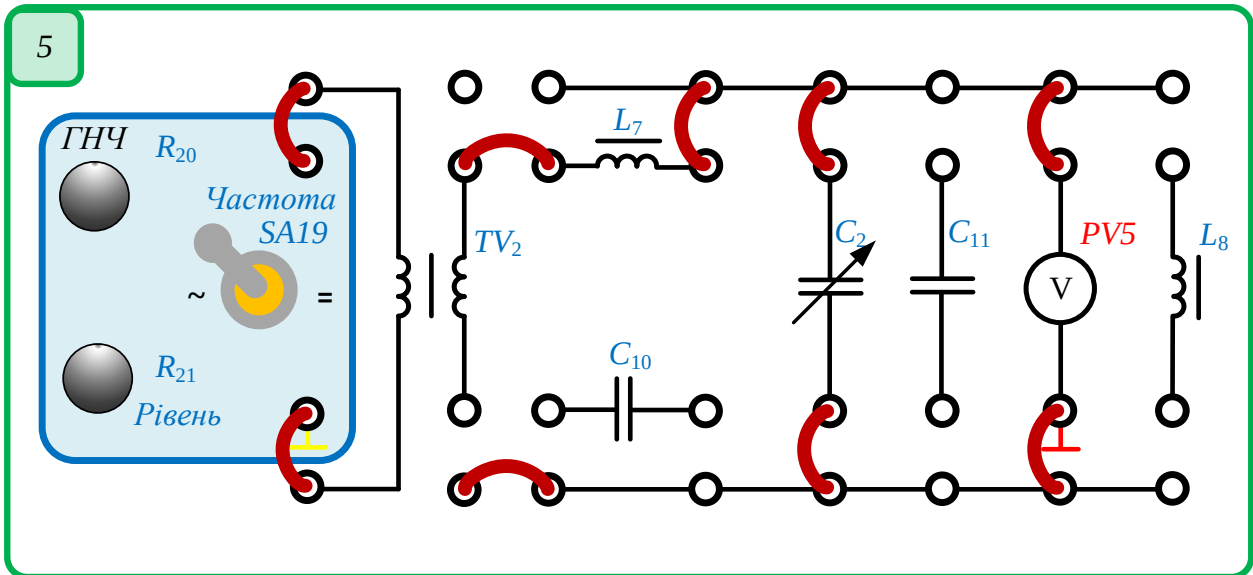


Рисунок 6.5 – Схема для вимірювання індуктивності резонансним методом з заміщенням при послідовному включенні вимірюваної котушки

2.4 Перед включенням стенда переконаватися, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

2.5 Включити стенд автоматичним вимикачем $QF1$.

За осцилограмами в програмі «DiSco» задайте вихідний сигнал генератора (за допомогою органів управління генератором R_{20} , R_{21} і $SA19$) з наступними параметрами: форма – синус; амплітуда 10 В; зміщення 0 В; частота 1 кГц.

2.6 Змінюючи значення ємності C_2 домогтися показання приладом $PV5$ максимального значення (умова резонансу).

2.7 Не змінюючи номіналу ємності C_2 , зупинити «DiSco», записати значення ємності $C_{2.2}$.

2.8 Вимкнути стенд в наступному порядку:

- вимкнути стенд автоматичним вимикачем $QF1$;
- повернути перемикачі ємності C_2 в початковий стан (вимкнені);
- прибрати всі джампера.

2.9 Розрахувати невідому індуктивність L_7 :

$$L_{7Д} = L_{TV2Д} \cdot \frac{C_{2.1} - C_{2.2}}{C_{2.2}},$$

значення $L_{TV2Д}$ і $C_{2.1}$ взяти з досліду 1 лабораторної роботи № 6.

2.10 Обчислити за результатами вимірювання абсолютну похибку вимірювання індуктивності, прийняти фактичну індуктивність $L_{7ФАКТ} = 8,2$ мГн:

$$\Delta L = L_{7ВИМ} - L_{7ФАКТ}.$$

2.11 Розрахувати відносну похибку:

$$\gamma_0 = \frac{\Delta L}{L_{7ФАКТ}} \cdot 100 \, \%.$$

3 Вимірювання індуктивності резонансним методом з заміщенням при паралельному включенні вимірюваної котушки

Порядок виконання роботи:

3.1 Зібрати схеми, наведені на рисунку 6.3 і рисунку 6.6.

3.2 Включити комп'ютер і запустити програму «DiSco».

3.3 Налаштуйте перший канал осцилографа і запустіть його в режимі багаторазового запуску.

3.4 Перед включенням стенда переконатися, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

3.5 Включити стенд автоматичним вимикачем $QF1$.

За осцилограмами в програмі «DiSco» задайте вихідний сигнал генератора (за допомогою органів управління генератором R_{20} , R_{21} і $SA19$) з наступними параметрами: форма – синус; амплітуда 4 В; зміщення 0 В; частота 1 кГц.

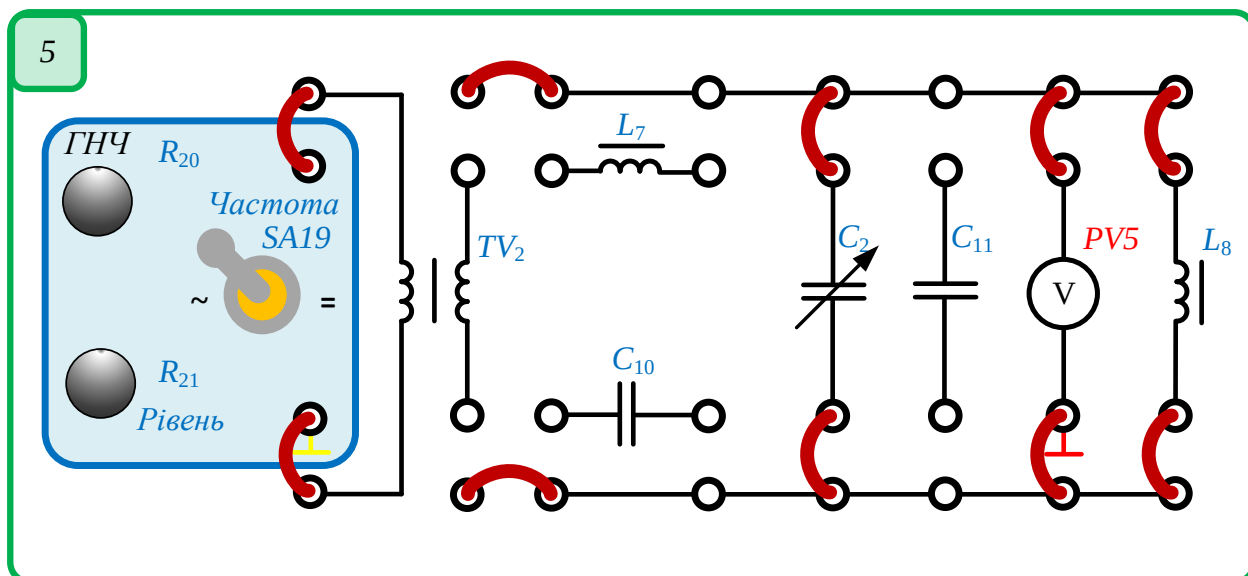


Рисунок 6.6 – Схема для вимірювання індуктивності резонансним методом з заміщенням при паралельному включенні вимірюваної котушки

3.2 Включити комп'ютер і запустити програму «DiSco».

3.3 Налаштуйте перший канал осцилографа і запустіть його в режимі багаторазового запуску.

3.4 Перед включенням стенда переконайтеся, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

3.5 Включити стенд автоматичним вимикачем $QF1$.

За осцилограмами в програмі «DiSco» задайте вихідний сигнал генератора (за допомогою органів управління генератором R_{20} , R_{21} і $SA19$) з наступними параметрами: форма – синус; амплітуда 4 В; зміщення 0 В; частота 1 кГц.

3.6 Змінюючи значення ємності C_2 домогтися показання приладом $PV5$ максимального значення (умова резонансу).

3.7 Не змінюючи номіналу ємності C_2 , зупинити «DiSco», записати значення ємності $C_{2,3}$.

3.8 Вимкнути стенд в наступному порядку:

- вимкнути стенд автоматичним вимикачем $QF1$;
- повернути перемикачі ємності C_2 в початковий стан (вимкнути);
- прибрати всі джампера.

3.9 Розрахувати невідому індуктивність L_8 за формулою:

$$L_{8Д} = L_{TV2Д} \cdot \frac{C_{2.1}}{C_{2.3} - C_{2.1}},$$

значення $L_{TV2Д}$ і $C_{2.1}$ взяти з досліду 1 лабораторної роботи № 6.

3.10 Обчислити за результатами вимірювання абсолютну похибку вимірювання індуктивності. Прийняти фактичну індуктивність $L_{8\text{ ФАКТ}}=82$ мГн:

$$\Delta L = L_{8ИЗМ} - L_{8\text{ ФАКТ}}.$$

3.11 Розрахувати відносну похибку:

$$\gamma_0 = \frac{\Delta L}{L_{8\text{ ФАКТ}}} \cdot 100 \, \%.$$

4 Вимірювання ємності резонансним методом

Порядок виконання роботи:

4.1 Зібрати схеми, представлені на рисунку 6.3 і рисунку 6.7

4.2 Включити комп'ютер і запустити програму «DiSco».

4.3 Налаштуйте перший канал осцилографа і запустіть його в режимі багаторазового запуску.

4.4 Перед включенням стенда переконаватися, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

4.5 Включити стенд автоматичним вимикачем $QF1$.

За осцилограмами в програмі «DiSco» задайте вихідний сигнал генератора (за допомогою органів управління генератором R_{20} , R_{21} і $SA19$) з наступними параметрами: форма – синус; амплітуда 4 В; зміщення 0 В; частота 1 кГц.

Змінюючи значення ємності C_2 домогтися показання приладом PV5 максимального значення (умова резонансу).

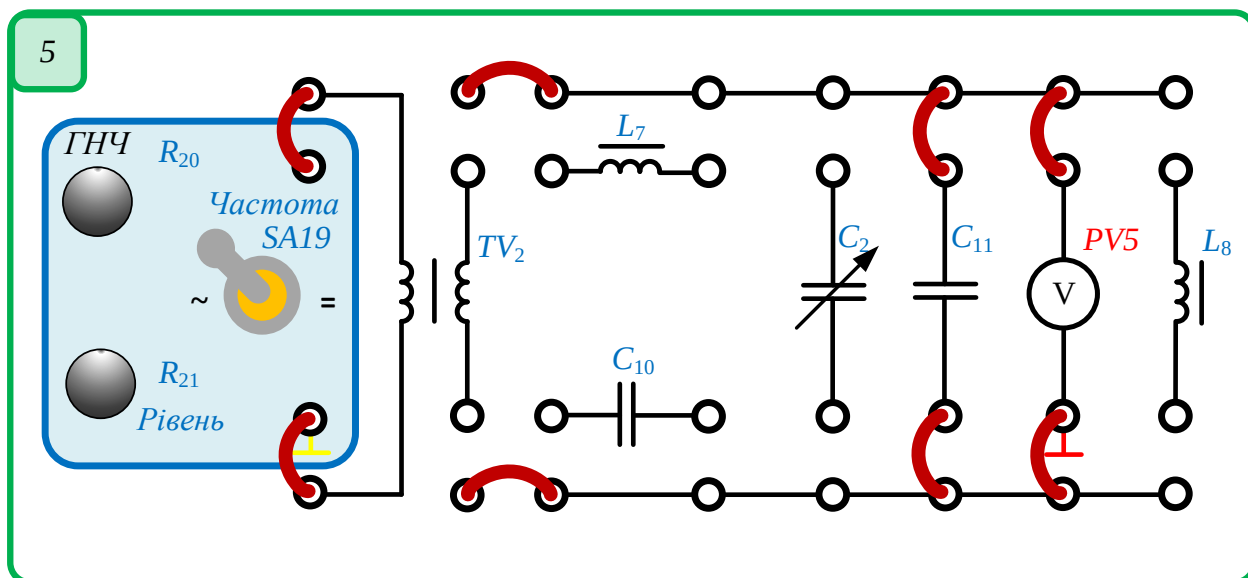


Рисунок 6.7 – Схема для вимірювання ємності резонансним методом

4.6 Змінюючи значення частоти генератора за допомогою рукоятки «Частота» R_{20} , домогтися показання приладом PV5 максимального значення (умова резонансу).

4.7 Не змінюючи частоти генератора, за допомогою програми «DiSco», визначити значення частоти f_{PE3} .

4.8 Вимкнути стенд в наступному порядку:

- вимкнути стенд автоматичним вимикачем QF1;
- прибрати всі джампера.

4.9 Розрахувати невідому ємність C_{11} :

$$C_{11} = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f_{PE3}^2 \cdot L_{TV2Д}},$$

Значення $L_{TV2Д}$ взяти з досліду 1 лабораторної роботи № 6.

4.10 Обчислити за результатами вимірювання абсолютну похибку вимірювання ємності, прийняти фактичну ємність $C_{11ФАКТ}=4,7$ мкФ:

$$\Delta C = C_{113\text{МІН}} - C_{11\text{ФАКТ}}.$$

4.11 Розрахувати відносну похибку:

$$\gamma_0 = \frac{\Delta C}{C_{11\text{ФАКТ}}} \cdot 100 \, \%.$$

5 Вимірювання ємності резонансним методом із заміщенням при паралельному включенні вимірюваної ємності

Порядок виконання роботи:

5.1 Зібрати схеми, представлені на рисунку 6.3 і рисунку 6.8.

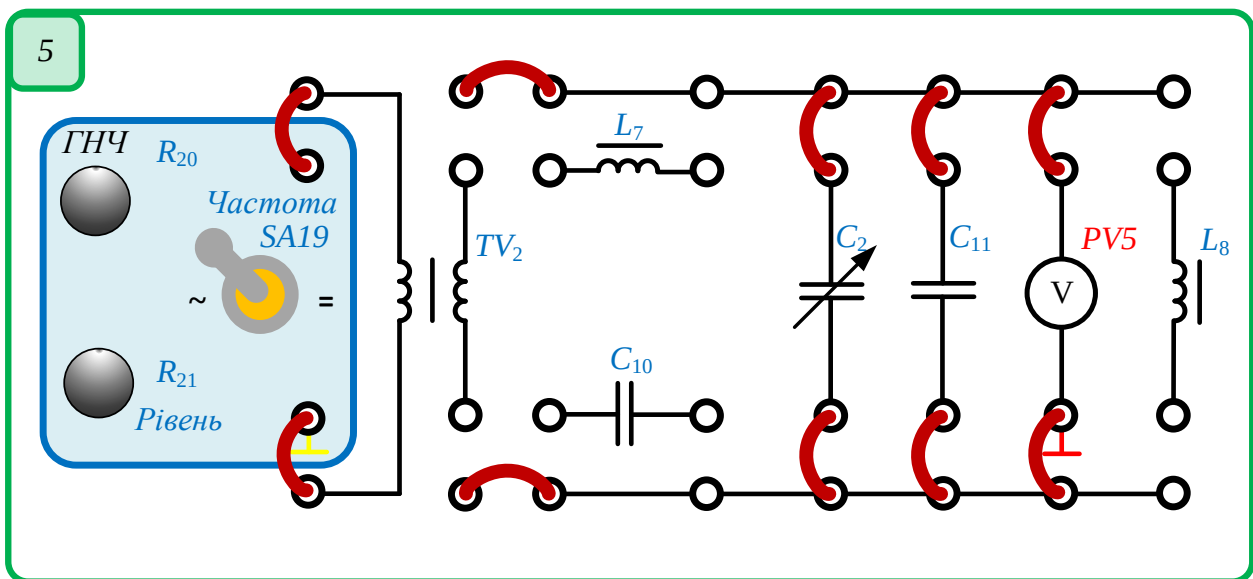


Рисунок 6.8 – Схема для вимірювання ємності резонансним методом з заміщенням при паралельному включенні вимірюваної ємності

5.2 Включити комп'ютер і запустити програму «DiSco».

5.3 Налаштуйте перший канал осцилографа і запустіть його в режимі багатократного запуску.

5.4 Перед включенням стенда переконайтеся, що всі інші перемикачі

знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

5.5 Включити стенд автоматичним вимикачем $QF1$.

За осцилограмами в програмі «DiSco» задайте вихідний сигнал генератора (за допомогою органів управління генератором R_{20} , R_{21} і $SA19$) з наступними параметрами: форма синус; амплітуда 4 В; зміщення 0 В; частота 1 кГц.

5.6 Змінюючи значення ємності C_2 домогтися показання приладу $PV5$ максимального значення (умова резонансу).

5.7 Не змінюючи номіналу ємності C_2 , зупинити «DiSco», записати значення ємності $C_{2.4}$.

5.8 Вимкнути стенд в наступному порядку:

- вимкнути стенд автоматичним вимикачем $QF1$;
- прибрати всі джампера.

5.9 Розрахувати невідому ємність C_{11} за формулою:

$$C_{11} = C_{2.1} - C_{2.4},$$

значення $C_{2.1}$ взяти з досліду 1 лабораторної роботи № 6.

5.10 Обчислити за результатами вимірювання абсолютну похибку вимірювання ємності, прийняти фактичну ємність $C_{11 \text{ ФАКТ}}=4,7$ мкФ:

$$\Delta C = C_{11\text{ЗМ}} - C_{11\text{ФАКТ}}.$$

5.11 Розрахувати відносну похибку:

$$\gamma_0 = \frac{\Delta C}{C_{11\text{ФАКТ}}} \cdot 100 \, \%.$$

Вимірювання ємності резонансним методом з заміщенням при послідовному включенні вимірюваної ємності

Порядок виконання роботи:

6.1 Зібрати схеми, представлені на рисунку 6.3 і рисунку 6.9.

6.2 Включити комп'ютер і запустити програму «DiSco».

6.3 Налаштуйте перший канал осцилографа і запустіть його в режимі багаторазового запуску.

6.4 Перед включенням стенда переконаватися, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

6.5 Включити стенд автоматичним вимикачем QF1.

За осцилограмами в програмі «DiSco» задайте вихідний сигнал генератора (за допомогою органів управління генератором R_{20} , R_{21} і $SA19$) з наступними параметрами: форма – синус; амплітуда 4 В; зміщення 0 В; частота 1 кГц.

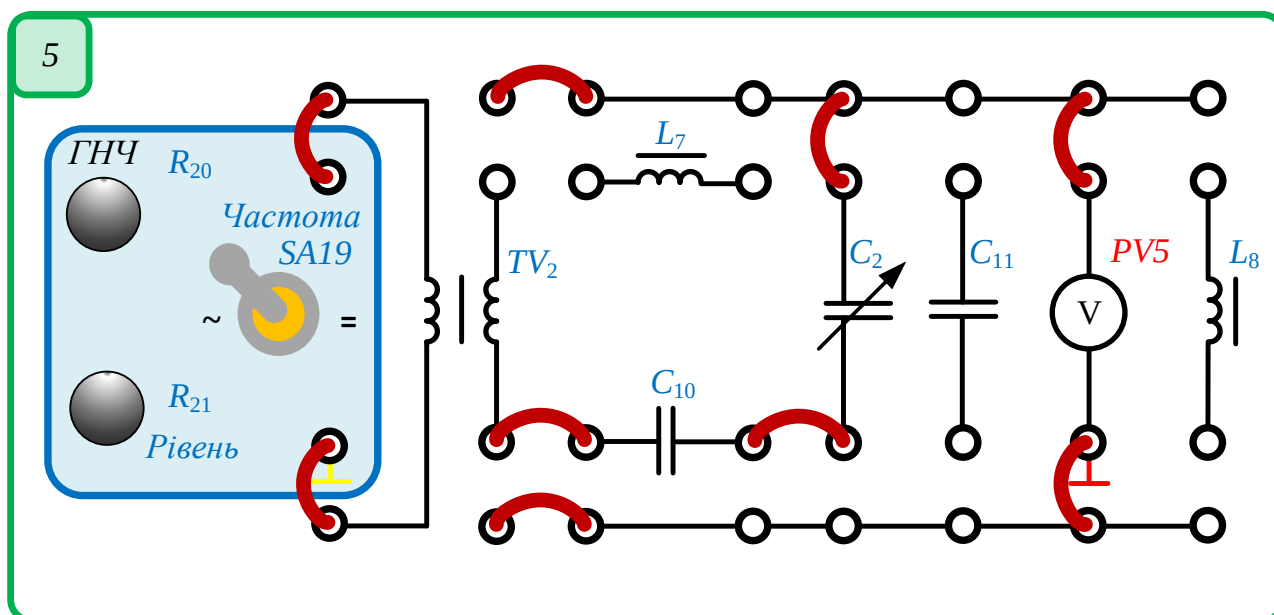


Рисунок 6.9 – Схема вимірювання ємності резонансним методом з заміщенням при послідовному включенні вимірюваної ємності

6.6 Змінюючи значення ємності C_2 домогтися показання приладом $PV5$ максимального значення (умова резонансу).

6.7 Не змінюючи номіналу ємності C_2 , зупинити «DiSco», записати значення ємності $C_{2.5}$.

6.8 Вимкнути стенд в наступному порядку:

- вимкнути стенд автоматичним вимикачем $QF1$;
- прибрати всі джампера.

6.9 Розрахувати невідому ємність C_{11} за формулою:

$$C_{11} = \frac{C_{2.1} \cdot C_{2.5}}{C_{2.1} - C_{2.5}},$$

значення $C_{2.1}$ взяти з досліду 1 лабораторної роботи № 6.

6.10 Обчислити за результатами вимірювання абсолютну похибку вимірювання ємності, прийняти фактичну ємність $C_{10 \text{ ФАКТ}} = 47 \text{ мкФ}$:

$$\Delta C = C_{10 \text{ ЗМ}} - C_{10 \text{ ФАКТ}}.$$

6.11 Розрахувати відносну похибку:

$$\gamma_0 = \frac{\Delta C}{C_{10 \text{ ФАКТ}}} \cdot 100 \text{ \%}.$$

Зміст звіту:

- 1 Мета роботи.
- 2 Принципові схеми експериментальних досліджень .
- 3 Результати експериментальних досліджень.
- 4 Теоретичний розрахунок параметрів.
- 4 Висновки за результатами виконаних досліджень у лабораторній роботі.

Контрольні запитання:

- 1 В чому полягає принцип резонансного методу вимірювання?
- 2 Для чого застосовується даний метод вимірювання?
- 3 З чого складається установка для вимірювання резонансним методом?
- 4 За допомогою яких заходів можна зменшити похибку вимірювання в

данному методі?

5 Які є варіанти вимірювання індуктивності резонансним методом?

6 Наведіть принципову схему для вимірювання індуктивності резонансним методом із заміщенням при паралельному включенні.

7 Який спосіб вимірювання використовують для вимірювання великих значень індуктивності?

8 Наведіть схему для вимірювання ємності чисто резонансним методом.

9 Наведіть формулу для визначення резонансної частоти контуру.

10 Наведіть схему для вимірювання ємності резонансним методом заміщення при послідовному включенні вимірювальної котушки.

Література: [1, 11, 12]

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

ВИМІР ДЕФОРМАЦІЇ, ТЕМПЕРАТУРИ (ТЕНЗОРЕЗИСТОР І ТЕРМОРЕЗИСТОР, ТЕРМОПАРА)

Мета роботи: вивчити принципи побудови та роботи терморезистора, тензорезистора та термопари.

Теоретичні відомості:

Теплові вимірювальні перетворювачі. Тепловими вимірювальними перетворювачами неелектричних величин називаються перетворювачі, засновані на теплових процесах: нагріванні, охолодженні, теплообміні і ін. Практично використовуються два принципи перетворення параметрів теплових процесів в електричні величини, а саме, термоелектричний і зміна електричного опору провідників або напівпровідників при зміні їх температури. Перетворювачі першого виду отримали назву термоелектричних, другі терморезисторів. Теплові перетворювачі застосовуються не тільки для вимірювання температури, але і таких величин, як переміщення і розміри, швидкість і витрата рідких і газоподібних речовин, малі концентрації газів (вакуум), вологість і навіть для хімічного аналізу газових сумішей. При цьому використовуються залежно протікання теплових процесів від таких факторів, як теплопровідність середовища, площа поверхні теплообміну, швидкість руху середовища, що охолоджує нагріте тіло, концентрація теплопровідної середовища та ін.

З точки зору динамічних властивостей всі теплові перетворювачі відрізняються досить великою інерційністю і плавністю перехідних процесів, так як в них відсутні резонансні явища. У першому наближенні поведінка цих перетворювачів в динамічному режимі може бути описано лінійними диференціальними рівняннями першого порядку. Характерною особливістю теплових перетворювачів є залежність коефіцієнтів (постійних часу) диференціальних рівнянь, що описують тепловий обмін, від умов теплообміну.

Наприклад, перехідні характеристики терморезистора при раптовому зануренні його в нагріту середу будуть різними – в залежності не тільки від температури середовища, але і від її теплопровідності. Частотні характеристики цих перетворювачів залежать і від амплітуди зміни температури середовища, в яку поміщений терморезистор. У загальному випадку динамічні властивості теплових перетворювачів описуються нелінійними диференціальними рівняннями зі змінними коефіцієнтами.

Аналіз і досвід показують, що інерційність теплових перетворювачів зменшується з ростом інтенсивності теплообміну. У всіх випадках для зменшення як динамічних, так і статичних похибок перетворювачів необхідно прагнути до поліпшення теплового контакту з середовищем, з якої відбувається теплообмін. Крім того, в вимірювальних ланцюгах теплових перетворювачів з цією ж метою застосовують диференціюються коригувальні ланки, що виправляють в певній мірі спад частотної характеристики перетворювача на підвищених частотах зміни вхідної величини. Застосування активної корекції дозволяє зменшити постійну часу теплових перетворювачів в (10 - 20) раз.

Термоелектричні перетворювачі. Термоелектричний перетворювач як різновид електричних перетворювачів, складається з двох перетворювачів, поєднані в одне ціле. Змінний електричний струм – його діюче значення – перетворюється в тепло (перший ступінь перетворення), а тепло, пов'язане з температурою, перетворюється в постійну е.р.с. (другий ступінь перетворення). Другий ступінь перетворення ґрунтується на термоелектричному явищі і здійснюється термоелектричним перетворювачем, званим також термопарою.

Якщо два різнорідних провідника або напівпровідника А і Б, звані термоелектроди, з'єднані так, як показано на рисунку 7.1, і якщо температура місця з'єднання термоелектродів t_1 (робочий або гарячий спай), а кінцевики називають неробочими або холодними спаями, $t_2 < t_1$ то в колі виникає е.р.с. E_T , що є функцією температур t_1 і t_2 :

$$E_T = f(t_1) - f(t_2).$$

Підтримуючи $t_2 = \text{const}$, одержимо можливість вимірювати температуру, так як $E_T = f(t_1)$. З'єднання термопари з вимірювальним приладом ВП можна здійснити різними способами, один з яких показаний на рисунку 7.1. Так як при цьому в ланцюг вводиться третій провідник (ВП), що відрізняється за своїми термо електродними властивостями від термоелектродів термопари, необхідно, щоб t_2 холодних спаїв була не тільки постійною, а й однаковою.

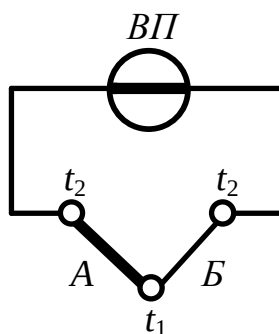


Рисунок 7.1 – Схема підключення термопари до вимірювального перетворювача

Перетворення змінного струму в тепло здійснюється за допомогою нагрівача (металевий дріт), по якому протікає перетворений струм. Кількість тепла, що виділяється в нагрівачі за період T_C змінного струму:

$$Q_H = R_H \int_0^{T_C} i^2 dt,$$

де R_H – опір нагрівача.

Внаслідок теплової інерції нагрівача, що характеризується постійної часу τ_0 , при частотах змінного струму, великих $1/\tau_0$, температура нагрівача практично не змінюється при зміні миттєвого значення змінного струму. Тому кількість тепла Q_0 , що відводиться за час T_C , якщо не враховувати випромінювання, визначається виразом:

$$Q_0 = c \cdot A \cdot \Theta_T \cdot T_C,$$

де c – коефіцієнт теплопередачі; A – поверхня охолодження нагрівача; Θ_T – різниця температур нагрівача і навколишнього середовища.

Під час встановленої теплової рівноваги $Q_H = Q_0$:

$$\Theta_T = \frac{R_H}{c \cdot A} \cdot \frac{1}{T_C} \int_0^{T_C} i^2 dt.$$

З цього випливає, якщо $t_2 \neq t_1$, то за умови лінійності рівняння перетворення термопари:

$$\Theta_T = k \cdot \Theta_T = \frac{k \cdot R_H}{c \cdot A} \cdot I_X^2 = k' \cdot I_X^2,$$

де k – коефіцієнт, що залежить від матеріалів термоелектродів термопари; I_X – діюче значення струму, що перетворюється

Цей вираз є рівнянням перетворення. Звідси випливає, що чутливість перетворювача:

$$S_T = \frac{dE_T}{dI_X} \approx \frac{\Delta E_T}{\Delta I_X} = 2 \cdot k' \cdot I_X.$$

На рисунку 7.2 схематично зображено термоелектричні перетворювачі. Струм I_X протікає по нагрівачу ВГ, що виготовляється з константана, ніхром, вольфраму, платини або чавуну. Вольфрам і чавун використовують тільки в вакуумі. Термопари зазвичай виконують із сплавів хромель–копель і золото–паладій–платина в парі з платино–родиєм.

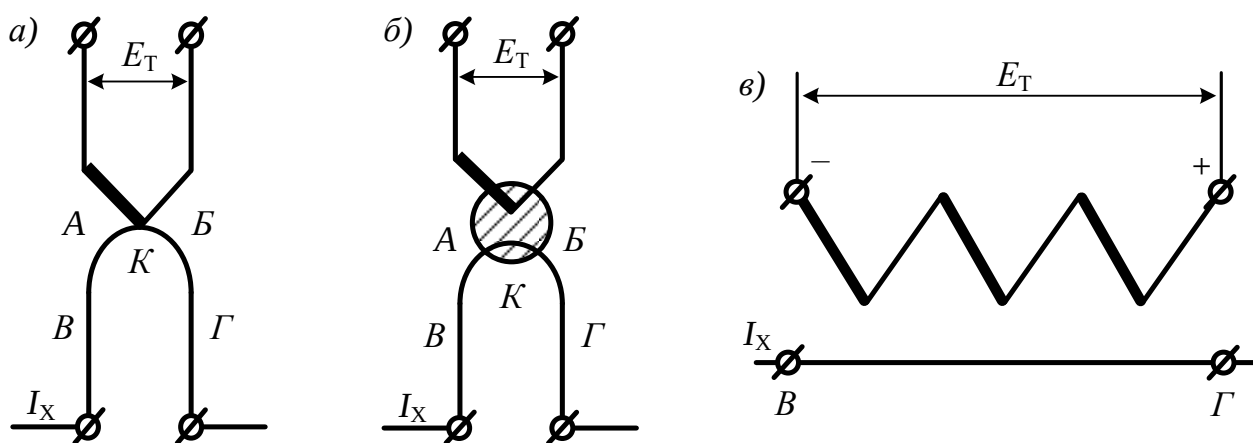


Рисунок 7.2 – Схематичне зображення термоелектричних перетворювачів

Розглянемо один із способів включення вимірювального механізму ВМ (див. рис. 7.3) до термопар $A-B$ з зажимами A і $б$.

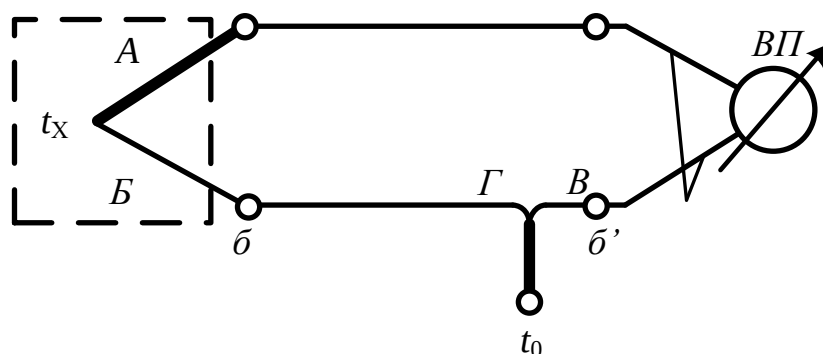


Рисунок 7.3 – Спосіб включення вимірювального механізму термопар

З'єднувальні дроти B і Γ (подовжувальні термоелектроди, повинні бути термоідентичними: дроти $У$ і $В'$ – з електродом A , а провід Γ – з електродом B . У цьому випадку холодним спаєм термопар є спай T_0 ; термостатуючі його, можна уникнути впливу зміни температури спаїв A' і $б'$, при цьому спаї A і $б$ можуть мати будь-яку, але однакову температуру.

До матеріалів термопар ставляться такі вимоги: однозначність залежності термо-е.р.с. від температури; сталість термоелектричних властивостей; хімічна і механічна стійкість при високих температурах; хороша електропровідність. Бажано, крім того, щоб поєднання термоелектродів термопар давало якомога

більшу значення термо-е.р.с.

Термoeлектроди термопари з'єднують один з одним шляхом пайки або зварювання і поміщають в захисну арматуру, яка забезпечує термопару від дії хімічно агресивних газів. Ця арматура виготовляється газонепроникною, механічно міцною і паропорною, добре проводить тепло. Матеріал арматури, крім того, не повинен виділяти при нагріванні газів або парів, шкідливих для термоелектродів.

В якості захисної арматури застосовують труби зі спеціальних сталей, а для термопар з благородних металів – кварцові і керамічні труби. Для електричної ізоляції використовують азбест (до 300°C), кварцові трубки і наміста (до 1000 ° C) і керамічні трубки і наміста (до 1400°C).

Експлуатаційні характеристики. Рівняння перетворення термопари в загальному випадку з достатнім наближенням можна представити у вигляді:

$$E_T = A \cdot t + B \cdot t^2 + C \cdot t^3,$$

де E_T – термо-е.д.с; t – різниця температур гарячого спаю і холодних кінців; постійні A , B і C залежать від матеріалів термоелектродів.

Звідси випливає, що чутливість S_T не є величиною постійною, а залежить від температури:

$$S_T \approx \frac{dE_T}{dt} = A + 2 \cdot B \cdot t + 3 \cdot C \cdot t^2.$$

У зв'язку з цим для промислових термопар даються табличні дані термо-е.р.с. для різних температур з інтервалом в 10°C при температурі холодних кінців $T_0 = 0^\circ\text{C}$.

Для вимірювання температур нижче 1000°C, як правило, застосовують термопари з неблагородних металів та їх сплавів. Застосовуючи термопари для вимірювання температур вище 1000°C, слід мати на увазі, що з ростом

температури збільшується рухливість і активність атомів матеріалів термопар, що веде до збільшення нестабільності і невідтворення її характеристик. У зв'язку з цим для температур від 1000 до 1750°C застосовуються термопари з благородних металів платинової групи. Термопари з благородних металів в силу своїх високих метрологічних властивостей знаходять застосування переважно в якості зразкових термопар. Для короточасних вимірювань високих температур (до 1000°C) застосовують дешеві вольфрамо-молібденові термопари, що характеризуються низькою чутливістю (10 мВ/°C) і малої стабільністю.

Для температур вище 1750°C використовуються термопари з жаротривких металів та їх сплавів (іридію, необ, молібденіту, ренію, танталу і вольфраму). Іридій-вольфрамові термопари, наприклад, працюють в нейтральній атмосфері до температури 2300°C. Вольфрам-ренієві і молібден-ренієві термопари в нейтральному і відновлювальному середовищах дозволяють вимірювати температури до 1800°C з похибкою близько 1,5%.

У деяких випадках хороші результати забезпечують спеціальні термопари, складені з металевого провідника і напівпровідника (вугілля, кремній) або двох напівпровідників. Ці термопари, не відрізняючись механічною міцністю, розвивають термо-е.р.с, що значно перевищує термо-е.р.с. термопар з металевих електродів, і, крім того, дозволяють вимірювати високі температури. Наприклад, термопара карбід-необ-графіт в нейтральній і відновлювальних середовищах працюють до температури 3000°C.

Терморезистори. Терморезистор є провідник або напівпровідник, включений в електричне коло і знаходиться в теплообміні з навколишнім середовищем.

Вимоги, що пред'являються до матеріалу терморезистора: можливо більш високе значення температурного коефіцієнта опору, хімічна стійкість до впливів навколишнього середовища; достатня тугоплавкість і міцність; великий питомий електричний опір, що важливо при виготовленні малогабаритних перетворювачів.

У всіх випадках для зменшення втрат тепла через теплопровідність струмопідводящих провідників прагнуть збільшувати відношення довжини проводу терморезистора до його діаметру, це відношення, як правило, має значення не менше 200.

Провідникові терморезистори. У більшості випадків в якості матеріалу провідникових терморезисторів застосовують чисті метали, так як сплави мають більш низький температурний коефіцієнт електричного опору, ніж чисті метали, що входять до складу сплаву. Крім того, залежність опору від температури для чистих металів добре відома, в зв'язку з чим часто прилади з їх використанням допускають стандартне градуювання. З металів, практичне застосування знайшли мідь, платина і нікель.

Мідні терморезистори. Електролітична мідь допускає нагрів не більше ніж до 180°C (щоб уникнути окислення). Рівняння перетворення мідних терморезисторів в діапазоні температур від -50 до $+180^{\circ}\text{C}$ практично лінійне:

$$R_t = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t),$$

де α – температурний коефіцієнт електричного опору, рівний $4,3 \cdot 10^{-3} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ у інтервалі температур від 0 до 100°C ; t – температура; R_0 – опір під час 0°C .

Коли опір R_0 невідомий, приймають опір:

$$R_2 = R_0 \cdot \frac{\tau + t_2}{\tau + t_1},$$

де R_1 і R_2 – опір при температурах t_1 і t_2 відповідно; $\tau = 1/\alpha$ – постійна, що залежить від роду матеріалу та дорівнює, наприклад для міді, 234°C .

Для розрахунку опору R_2 під час будь якої температури t_2 за формулою треба знати лише опір R_1 під час будь якої іншої температури t_1 .

Платинові терморезистори. Платина допускає нагрів до 1200°C без небезпеки окислення або розплавлення. Рівняння перетворення – нелінійне і

має вигляд: в інтервалі температур від 0 до +660°C:

$$R_t = R_0 \cdot (1 + A \cdot t + B \cdot t^2),$$

в інтервалі температур від 0 до -180°C:

$$R_t = R_0 \cdot (1 + A \cdot t + B \cdot t^2 + C \cdot (t - 100)^3),$$

де R_0 – опір під час температури 0° C; A, B, C – постійні.

Для температур вище 660° C і нижче -180°C залежність $R_t = f(t)$ стандартизована і надається у вигляді таблиці.

Нелінійність рівняння перетворення є основним недоліком платинових терморезисторів. Однак висока відтворюваність залежності $R_t = f(t)$, хімічна стійкість і пластичність платини, що дозволяє виготовляти дуже тонкі нитки (до 1,25 мкм), робить її в ряді випадків незамінною. Платину можна застосовувати в відновлювальному середовищі (вуглець, пари кремнію, калію, натрію і ін.).

Нікелеві терморезистори. Нікель застосовується до температур (250÷300)°C. Під час впливу більш високих температурних залежностей – неоднозначна. В інтервалі температур від 0 до +100 ° C справедлива залежність якщо $\alpha \approx 5 \cdot 10^{-8} \text{ 1/}^\circ\text{C}$.

Електричні властивості нікелю дуже залежать від домішок і термічної обробки. Основні переваги нікелю: високий питомий електричний опір (в п'ять разів більше, ніж у міді) і великий температурний коефіцієнт опору, що дозволяє використовувати його в тих випадках, коли терморезистор повинен мати малі розміри, напівпровідникові терморезистори (термістори). Залежність опору напівпровідників (суміші окислів деяких металів, спресованих і спечених при високих температурах) від абсолютної температури T досить точно описується співвідношенням:

$$R_T \approx R_0 \cdot e^{\beta \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)},$$

де R_0 – опір під час дії абсолютної температури T_0 ; β – коефіцієнт, що залежить від роду напівпровідника.

На рисунку 7.4 представлена крива $R_T = f(T)$ і для порівняння показана залежність R_t опору провідника.

Значення температурного коефіцієнта напівпровідника стрімко залежить від температури (протилежної провіднику) і визначається за формулою:

$$\alpha = -\frac{\beta \cdot T}{T_0},$$

звідки випливає, що α негативний і зростає зі збільшенням температури.

Напівпровідникові терморезистори мають великий температурний коефіцієнт (в 8–10 разів більший, ніж у металів) і значно більшу величину питомої електричного опору, в зв'язку з чим вони можуть мати малі розміри (обсяг близько 1мм^3) і відповідно невелику інерційність. Недоліком напівпровідникових терморезисторів є погана відтворюваність залежності для одних і тих же типів, що ускладнює їх стандартне градуювання.

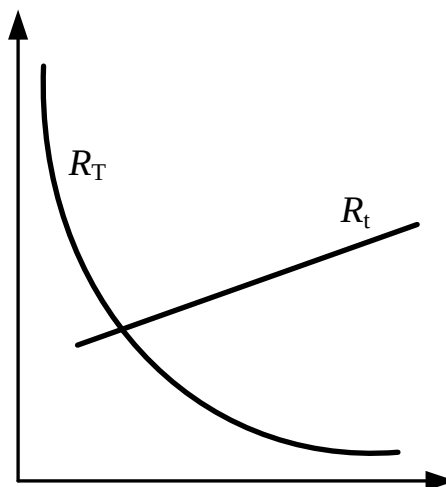


Рисунок 7.4 – Графіки зміни $R_T = f(T)$ і $R_t = f(t)$

З метою часткового виправлення нелінійності рівняння перетворення напівпровідникові терморезистори включаються в електричні ланцюги в поєднанні з манганіновим резисторами паралельно, послідовно або послідовно-паралельно.

Тензочутливі перетворювачі (тензорезистори). Принцип дії і пристрій. Тензорезистори бувають дрові, фольгові і напівпровідникові. Пристрій найбільш поширеного дровяного тензорезистора схематично представлено на малюнку 7.5.

На смужку паперу (плівку клею) 1, звану підкладкою, наноситься зигзагоподібно тонкий дріт 2 (діаметром $0,02 \div 0,03$ мм), до кінців якої приварюються або припаюються контакти 3 з металевої фольги. Все це заливається клеєм, а зверху дріт часто заклеюється ще тонким папером 4 для захисту від механічних пошкоджень. Для виготовлення дровів використовуються константан, ніхром, платіноіридієвого сплав і ін.

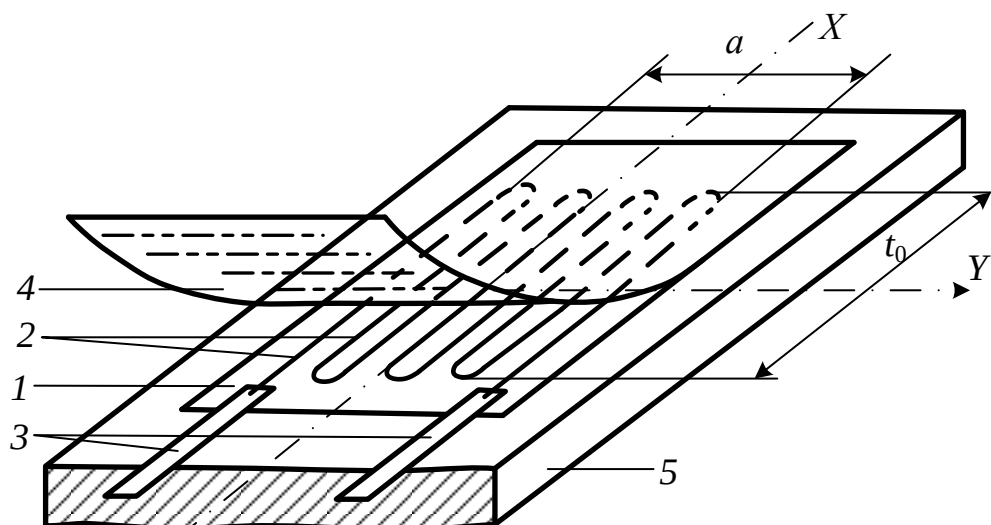


Рисунок 7.5 – Пристрій найбільш поширеного дровяного тензорезистора

Довжина l_0 (див. рис. 7.5) називається базою перетворювача. Зазвичай l_0 дорівнює $(8 \div 5)$ мм. Однак в спеціальних випадках застосовують тензорезистори і з малою базою (до 2,5 мм). Ширина a перетворювачів – від 3 до 10 мм; опір – близько $(50 \div 150)$ Ом. Коли розміри перетворювача не обмежуються, то

довжина бази досягає 100 мм, а опір - $(800 \div 1000)$ Ом.

Сформована зазначеним способом решітка дроту приклеюється до досліджуваної деталі 5 і сприймає деформацію останньої. Разом з деформацією деталі деформується дріт, тим самим змінюється опір перетворювача внаслідок явища тензоефекта. Вхідною величиною перетворювача є деформація, вихідною – зміна опору.

Розглядаючи деформацію як зміну довжини дроту Δl , рівняння перетворення матиме вигляд, де Δl – зміна опору перетворювача.

На практиці для характеристики тензорезистора користуються коефіцієнтом тензочутливості:

$$k = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta l}{l}},$$

де $\frac{\Delta R}{R}$ – відносне змінення опору перетворювача; $\frac{\Delta l}{l}$ – відносна деформація дроту.

Досвід показує, що тензоефект провідника відбувається не тільки внаслідок зміни його геометричних розмірів в процесі деформації (довжини і поперечного перерізу), але і в результаті зміни питомої електричної опору. Коефіцієнт k для різних металів лежить в межах від 0,5 до 4. Так як механічна напруга σ в досліджуваній деталі пов'язано з модулем пружності E матеріалу цієї деталі співвідношенням:

$$\sigma = E \cdot \frac{\Delta l}{l},$$

тоді рівняння перетворення тензорезистора можна отримати у вигляді:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{k}{E} \cdot \sigma.$$

Механічні напруги як в матеріалі деталі, так і в дроті тензорезистора не повинні перевищувати межі пружних деформацій, бо, в іншому випадку, в матеріалі відбудуться незворотні деформації, які можуть привести до різкої зміни характеристик перетворювача. У зв'язку з цим допустиму величину напружень в матеріалі деталей обмежують $(20 \div 30)\%$ межі пружності.

Як відомо, в металах значення відносної деформації в межах пружних деформацій не перевищує $2,5 \cdot 10^{-3}$, що при значеннях коефіцієнта k , рівних $(0,5 \div 4)$, призводить до значень $\frac{\Delta R}{R} = (1,25 \div 10) \cdot 10^{-3}$. Таким чином, відносна зміна опору перетворювачів не перевищує 1% при граничних напруженнях в металах, в зв'язку з чим опір перетворювача не повинен змінюватися в часі або від впливу зовнішніх факторів більш ніж на соті частки відсотка. Основні вимоги, що пред'являються до матеріалу дроту, такі: можливо більше значення k ; малий ТКС; високий питомий електричний опір (при заданому значенні l_0 прагнуть отримати якомога більший опір перетворювача).

Температурні коефіцієнти лінійного розширення дроту і матеріалу об'єкта, на який наклеюється перетворювач, повинні бути близькі за значенням, інакше може з'явитися температурна похибка.

Тензорезистори є перетворювачами разової дії, так як вони наклеюються на деталь і не можуть бути зняті без пошкодження.

Властивості тонких дротів в сильному ступені залежать від хімічного складу сплаву, а також від термічної і механічної обробок. Тому на практиці з партії одного і того ж проводу виготовляють серію перетворювачів і градуують кілька штук $(8 \div 10)\%$. Отримана цифра середнього значення коефіцієнта тензочутливості k приймається для всіх перетворювачів з данної партії дроту.

З метою збільшення потужності розсіювання тензорезистора застосовують дротові решітки, закріплені на кінцях, – «відкриті конструкції»

(див. рис. 7.6, а). Тут частини 1 і 2 пов'язані з об'єктом і можуть переміщатися відносно один одного. Дріт закріплюється на стійках 3 з ізолюючого матеріалу (кераміка).

У практиці знаходять застосування так звані «потужні» тензорезистори, що представляють собою велику кількість паралельно (або послідовно) з'єднаних решіток перетворювачів (до $30 \div 50$), що значно збільшує потужність, що віддається в вимірювальний прилад і дозволяє використовувати їх без підсилювачів при безпосередньому включенні магнітоелектричного приладу або вібратора осцилографа.

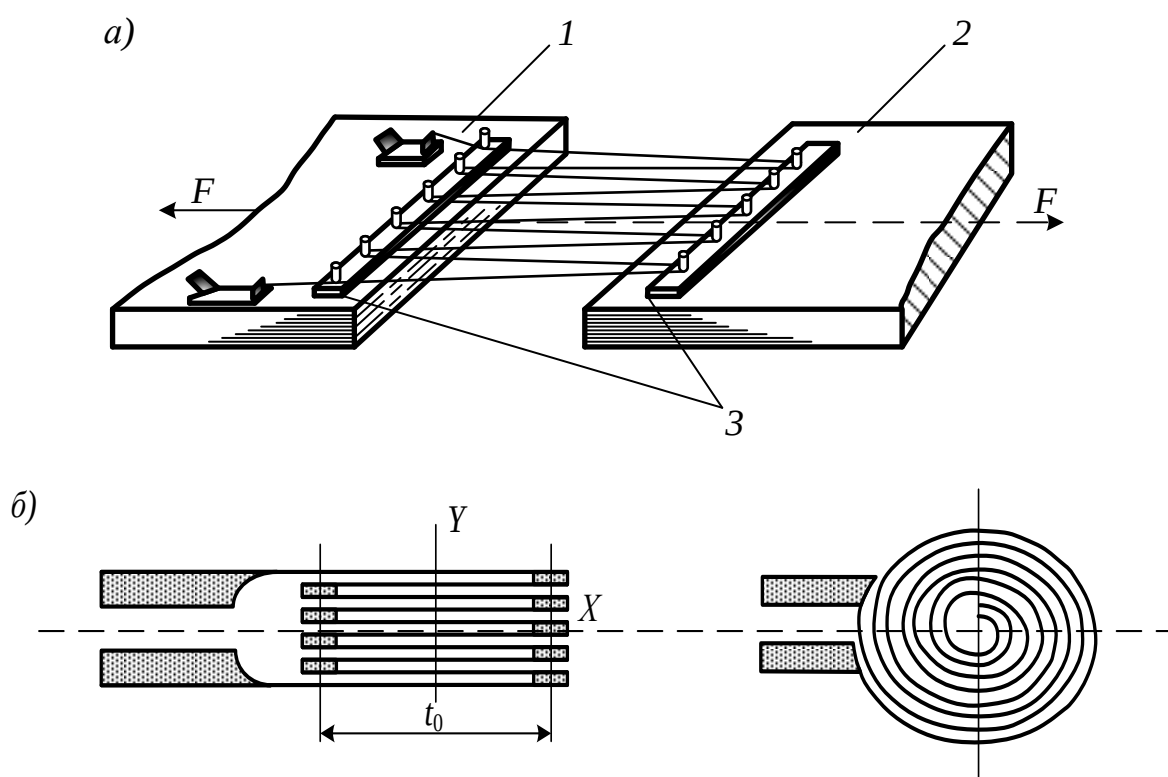


Рисунок 7.6 – Конструктивне виконання тензорезисторів

Широко застосовуються фольгові тензорезистори, що виготовляються шляхом спеціальної фотографії контуру решітки на тонку ($0,004 \div 0,012$) мм металеву фольгу. Зворотний бік фольги покривається лаком або клеєм. Після прояву незахищена емульсією частина фольги протравлюється, і на плівці лаку залишається тільки контур тензорезистора (див. рис. 7.6, б). Подібну конструкцію мають і плівкові перетворювачі, виготовлені методом вакуумної сублімації матеріалу з подальшою його конденсацією на підкладці.

Фольгові перетворювачі допускають велику потужність розсіювання, так як метал перетворювача має хороший тепловий контакт з об'єктом. Вони мають також більш надійний механічний контакт з поверхнею об'єкта, можуть бути виготовлені практично будь-якої форми і розмірів, що важливо в спеціальних випадках (наприклад, для використання на мембранах манометрів, як це показано на малюнку 7.6, в), і мають зручні висновки, що допускають безпосередню припайку решт, на відміну від дротяних перетворювачів, у яких спостерігаються часті обриви в місцях приєднання висновків.

Останнім часом промисловість виготовляє перетворювачі з монокристалів напівпровідників: кремнію, германію, арсеніду галію та ін. Цінною властивістю таких перетворювачів є велике значення коефіцієнта тензочутливості k (від -200 до $+850^{\circ}\text{C}$) при дуже малих базках (до $2,5$ мм). Випускаються перетворювачі, що дозволяють застосовувати їх при температурах від -250 до $+250^{\circ}\text{C}$; недолік їх – механічна неміцність.

До тензорезисторів відносяться також перетворювачі об'ємного стиснення, що використовуються для вимірювання тиску. Такі перетворювачі являють собою котушку з дроту (зазвичай манганінового) або напівпровідниковий елемент. Знаходячись під всебічним стисненням при високих і надвисоких тисках, вони змінюють свій опір.

Для приклеювання тензорезисторів до досліджуваних деталей застосовують спеціальні клеї. Розроблено клеї для роботи в нормальних умовах (БФ-2; БФ-4, ацетоноцеллулоїдніе), в умовах підвищених і високих температур – до $(600\div 700)^{\circ}\text{C}$ (Б-56, ВН-15), а також при роботі у вологому середовищі або в воді.

Похибки. Основна похибка тензорезисторів багато в чому визначається точністю градуювання. Досвід показує, що при ретельній приклейці тензорезисторів і хорошій якості клею похибка, обумовлена неідентичністю перетворювачів, не перевищує $1,5\%$, якщо користуються середнім значенням коефіцієнта тензочутливості. При індивідуальній градуїровці перетворювача основну похибку можна зменшити до $(0,2\div 0,5)\%$ і навіть менше (до $0,03\%$ при

особливо ретельному виготовленні).

Істотне значення мають залишкові деформації клею під час його просушування. Це явище може призвести до зміни початкового опору перетворювача до 1% в початковий період (після наклейки) і до менш значних змін – у наступний $(0,1 \div 0,2)\%$.

Тензорезистори мають також поперечну чутливість, під якою розуміють чутливість перетворювача в напрямку осі Y (вісь бічної чутливості), обумовленою тим, що в напрямку осі Y довжина дроту хоча і значно менше довжини по осі X (вісь основної чутливості), але не дорівнює нулю (див. рис. 7.5). Поперечна чутливість призводить до появи систематичної похибки у разі, коли при вимірах мають місце деформації в різних напрямках (як в напрямку осі X , так і осі Y). Поперечна чутливість дротяних тензорезисторів становить $(0,25 \div 1)\%$ від основної чутливості.

Для перетворювачів з не кліяними петлями (див. рис. 7.6, а) поперечна чутливість мала, а для фольгових і плівкових вона практично може бути усунена шляхом збільшення ширини торцевих кінців.

Температурна похибка тензорезисторів обумовлена різницею температурних коефіцієнтів лінійного розширення матеріалу перетворювача і об'єкта вимірювання, а також ТКС матеріалу перетворювача. Наприклад, для тензорезисторів з константанового дроту температурна похибка може досягати 10% і вище при коливанні температури середовища або деталі на 10°C . У напівпровідникових тензорезисторів ця похибка ще більше. У разі застосування диференціального включення перетворювачів в мостовий ланцюг ця похибка різко зменшується.

Зміна властивостей матеріалу тензорезистора внаслідок старіння і залишкових деформацій дуже невелика і призводить до досить малої похибки, якою можна знехтувати.

Вимірювальні кола. У переважній більшості випадків застосовують мостові кола з живленням постійним або змінним струмом (див. рис. 7.7). Перевага віддається колам з диференціальним включенням перетворювачів, в

яких один тензорезистор R_1 відчуває деформацію розтягування, а другий R_2 – деформацію стиску. У цьому випадку виключається температурна похибка і вдвічі збільшується чутливість. У зв'язку з тим, що при деформації відносна зміна опору перетворювачів невелика, потужність на вимірювальній діагоналі моста, як правило, недостатня для роботи вихідного показника, внаслідок чого потрібно її посилення (на малюнку: Π - підсилювач; $\Phi\mathcal{D}$ - фазочуттєвий демодулятор; $У\mathcal{K}$ - вихідний показник).

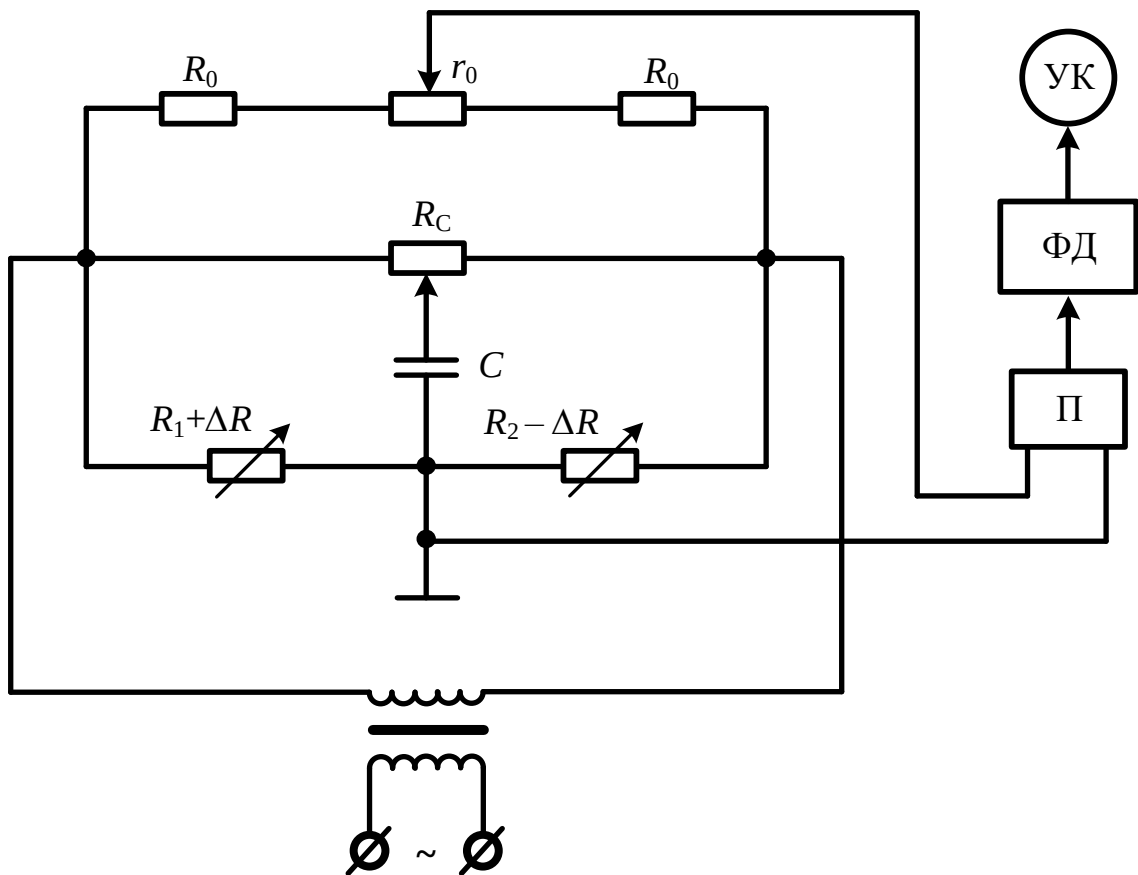


Рисунок 7.7 – Вимірювальна схема з тензорезистором

Мостові кола з тензорезисторами, за винятком тих, що призначені для вимірювання тільки змінних в часі деформацій, мають елементи для врівноваження моста перед початком вимірювання. Це необхідно тому, що навіть дуже незначна різниця в опорах тензорезисторів призводить до того, що при відсутності деформації міст виявиться неврівноваженим. Елементи для врівноваження повинні виконуватися виключно ретельно, бо дуже малі зміни їх

опорів можуть привести до великих похибок.

При живленні мостових кіл змінним струмом виникає необхідність врівноваження також і за реактивною складовою в зв'язку з наявністю паразитних ємностей і індуктивностей. Зокрема, встановлено, що ємність між проводом тензорезистора і металевим об'єктом, який, як правило, заземлений, досягає в ряді випадків великих значень – $(500 \div 1000)$ пФ. На рисунку 7.7 ємність C і опір R_C служать для зазначеної мети. Для вимірювання статичних деформацій широко використовуються самоврівноваженні мости.

Області застосування. Тензорезистори застосовуються для вимірювання сил, тисків, обертаючих моментів, прискорень та інших величин, перетворених в пружну деформацію. Простота конструкції і малі габарити дозволяють використовувати тензорезистори в важкодоступних місцях різних машин і механізмів без зміни їх конструкцій. Тензорезистори широко застосовуються для вимірювання швидкозмінних величин (близько десятків кілогерц).

1 Дослідження терморезистора

Порядок виконання роботи:

1.1 Зібрати схему, представлену на рисунку 7.8.

1.2 Перед включенням стенда переконатися, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

1.3 Переключити режим індикації приладу $PV5/PK5$ в режим відображення температури за допомогою тумблера $SA17$ (вниз).

1.4 Включити стенд автоматичним вимикачем $QF1$.

1.5 За допомогою органів управління генератором R_{20} , R_{21} і $SA19$ по приладу $PV4$ задати постійний сигнал величиною 10 В.

1.6 Записати показання температури термопари по приладу $PK5$, C , струм і напруга терморезистора $PA4$ і $PV4$.

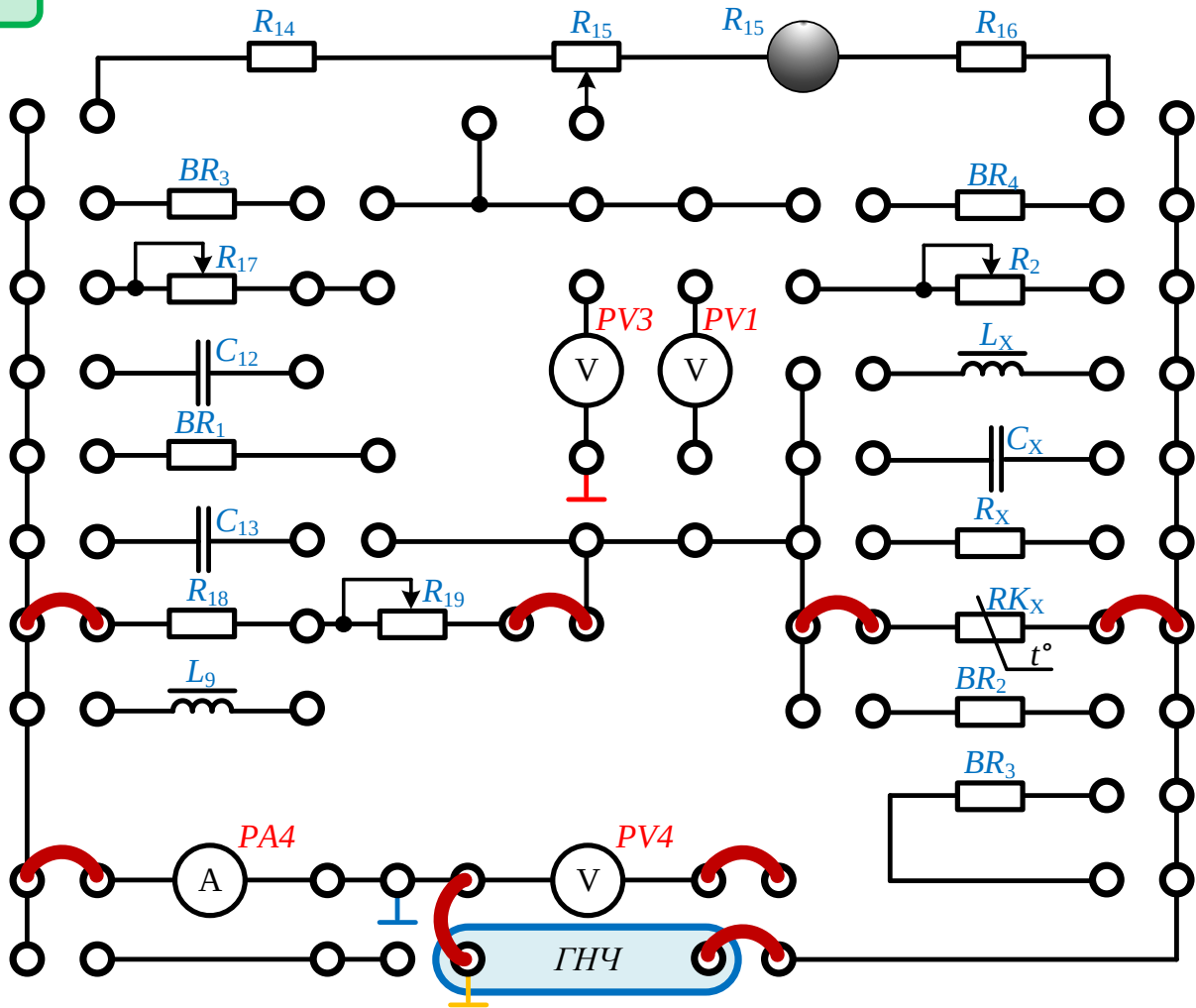


Рисунок 7.8 – Схема для дослідження терморезистора

1.7 У блоці 9 включити тумблер SA18.

1.8 Контролюючи температуру по приладу РК5, С, нагріти досліджуваний терморезистор до (80–90) °С. При цьому через рівні проміжки часу знімати показання приладів РК5, PA4 і PV4. Експериментальні дані занести в таблицю 7.1.

1.9 Вимкнути тумблер SA18.

1.10 За формулою провести перерахунок опору і побудувати графік залежності $RK_X(t)$:

$$RK_X = \frac{U_{PV4}}{I_{PA4}} - R_{18},$$

де $R_{18}=200\text{ Ом}$.

Таблиця 7.1 – Експериментальні дані визначення статичної характеристики перетворення терморезистора

$PK5, t, ^\circ C$	$U_{PV4}, \text{В}$	$I_{PA4}, \text{мА}$	$RK_X = \frac{U_{PV4}}{I_{PA4}} - R_{18}, \text{Ом}$
20			
...			
90			

1.11 Вимкнути стенд в наступному порядку:

- вимкнути стенд автоматичним вимикачем $QF1$;
- перемкнути тумблер $SA17$ в верхнє положення $PV5$;
- прибрати всі джампера.

2 Дослідження вагової системи на тензорезисторах

Порядок виконання роботи:

2.1 Зібрати схему, представлену на рисунку 7.9.

2.2 Перед включенням стенда переконатися, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

2.3 Включити стенд автоматичним вимикачем $QF1$.

За допомогою органів управління генератором R_{20} , R_{21} і $SA19$ по приладу $PV4$ задати постійний сигнал величиною 10 В.

2.4 Регулюючи положення перемикача R_{15} , домогтися показань приладу $PV1$ значення, близького до 0,5 В.

2.5 Згинаючи пластину з тензодатчиками в блоці 9, зняти залежність показання приладу $PV1$ (з межею вимірювання 1 В), від прикладеного зусилля до пластини (на кожному відліку лінійки). Експериментальні дані занести в таблицю 7.2.

Таблиця 7.2 – Експериментальні дані визначення статичної характеристики вагової системи на тензорезисторах.

$l, \text{мм}$	$U_{PV1}, \text{В}$

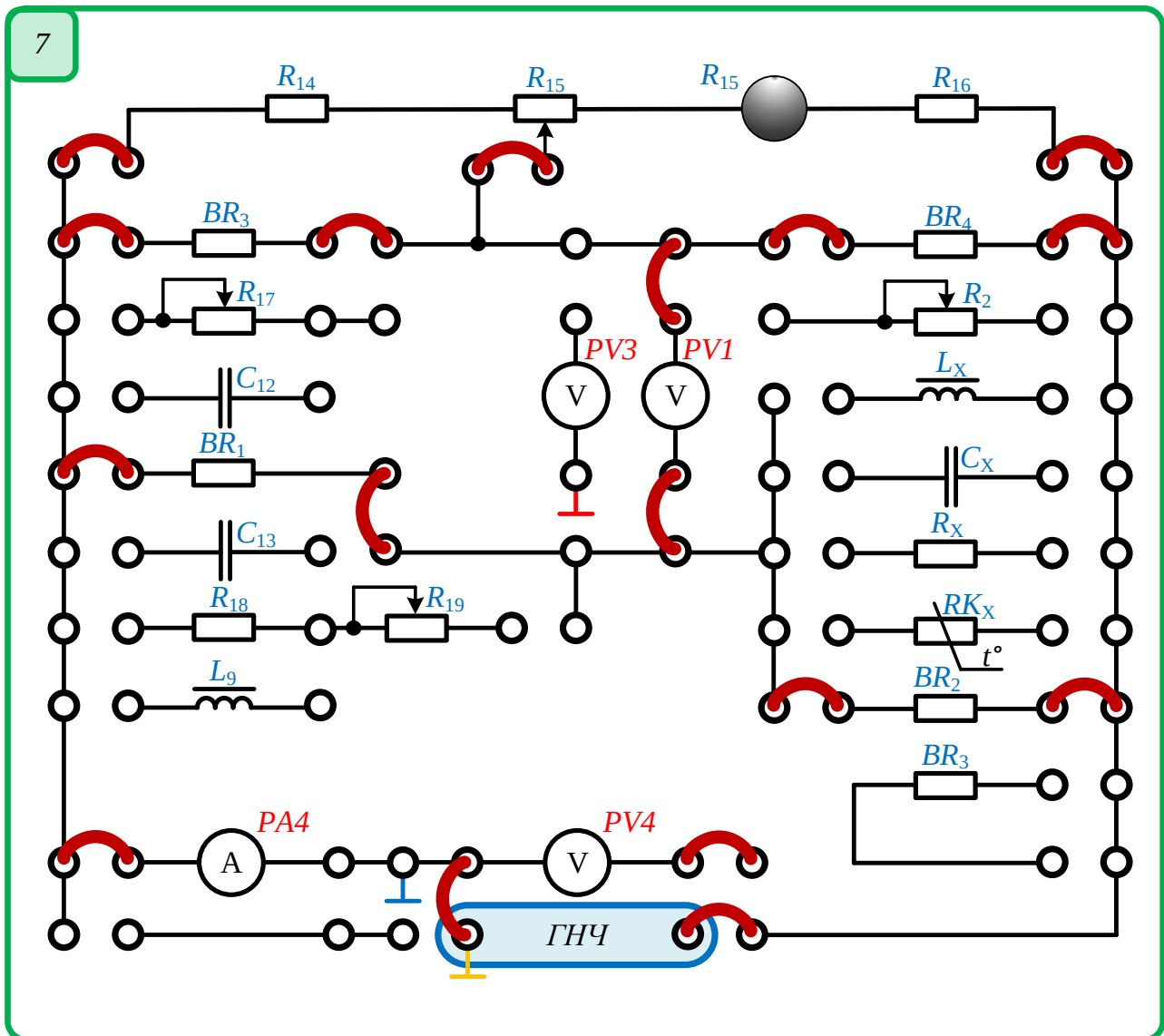


Рисунок 7.9 – Схема для дослідження вагової системи на тензорезисторах

2.7 Вимкнути стенд в наступному порядку:

- вимкнути стенд автоматичним вимикачем $QF1$;
- повернути рукоятку резистора R_{15} в мінімальне положення;
- прибрати всі джампера.

Зміст звіту:

- 1 Мета роботи.
- 2 Принципові схеми експериментальних досліджень .
- 3 Результати експериментальних досліджень.
- 4 Теоретичний розрахунок параметрів.
- 4 Висновки за результатами виконаних досліджень у лабораторній роботі.

Контрольні запитання:

- 1 Що називається тепловими вимірювальними перетворювачами?
- 2 Що таке термопара?
- 3 Що таке терморезистор?
- 4 Які є види терморезисторів?
- 5 Що таке тензорезистор?
- 6 Які бувають тензорезистори?
- 7 Наведіть області застосування тензорезисторів.
- 8 Що є недоліком напівпровідникових терморезисторів?
- 9 Які термопари використовують для вимірювання температур нижче 1000°C?
- 10 Що таке термоелектричний перетворювач?

Література: [4, 14, 15]

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

ВИВЧЕННЯ ЦИФРОВОГО ОСЦИЛОГРАФА ТА РЕЄСТРАТОРА (САМОПИСЦЯ) НА БАЗІ ОСЦИЛОГРАФА

Мета: вивчити принцип роботи і основні інструменти роботи цифрового осцилографа. Вивчити способи реєстрації даних за допомогою цифрових реєстраторів.

Теоретичні відомості

За способом обробки вхідного сигналу осцилографи поділяють на аналогові та цифрові. За кількістю променів поділяються на одно–двохпроменеві тощо. N –променевий осцилограф має N сигнальних входів та може одночасно відображати на екрані N графіків. Цифрові осцилографи також поділяються на запам'ятовуючі, люмінофорні та стробоскопічні.

Аналогові осцилографи. Аналоговий осцилограф безпосередньо відображає сигнал, здобутий зондом, і суттєво простежує його на екрані. Можливості зберігання дозволяють відображати форму сигналу протягом тривалого періоду часу замість розпаду негайно. Де аналогові осцилографи дійсно стають власністю в роботі з аналоговими сигналами та тимчасовими ефектами. Аудіо та аналогові роботи відео чудово підходять для можливостей аналогового осцилографа, який також може обробляти низькошвидкісні цифрові сигнали. Аналогові осцилографи забезпечують кращий динамічний діапазон, ніж цифрові осцилографи, і не страждають від проблем, що можуть спричинити помилкові показники на цифрових осцилографах. Аналогові осцилографи, як правило, більш доступні, ніж цифрові осцилографи, і часто необхідні для правильного усунення неполадок і відмінний варіант для новачків та любителів.

Цифрові осцилографи доступні в різних типах. Двома ключовими факторами в роботі цифрових осцилографів є їх частота дискретизації та пропускна спроможність. Частота дискретизації осцилографа обмежить його

здатність фіксувати перехідні, одноразові події, а пропускна спроможність осцилографа обмежує частоту повторюваних сигналів, які можуть бути відображені за допомогою осцилографа.

Осцилографи цифрові зберігання. Більшість цифрових осцилографів – осцилографи цифрових накопичувачів. Цифрові осцилограми зберігання можуть захоплювати перехідні події та зберігати їх для аналізу, архівування, друку або іншої обробки. Вони мають постійне сховище для запису сигналів, і їх можна вивантажити на інші носії для зберігання та аналізу на комп'ютері.

Цифрові осцилограми зберігання не можуть відображати рівень інтенсивності сигналу в реальному часі, на відміну від аналогового осцилографа. Події з однієї події можуть бути зафіксовані за допомогою тригерів, які можна встановити вручну або автоматично в залежності від осцилографа. Цифрові осцилограми зберігання є робочими конями реального цифрового дизайну, де одночасно аналізуються чотири або більше сигналів.

Цифрові зразкові осцилографи. Цифрові осцилограми зразків мають трохи іншу технологію введення, що інші осцилографи використовують набагато більшу пропускну здатність для нижчого динамічного діапазону. Вхід не ослаблений або не посилюється, тому осцилограф повинен мати можливість обробляти весь діапазон вхідного сигналу, який, як правило, обмежується приблизно 1-вольтовим піком до піку. Цифрові осцилограми для відбору зразків працюють лише на повторюваних сигналах і не допоможуть сприймати перехідні процеси за нормальною частотою дискретизації. З іншого боку, цифрові зразкові осцилографи можуть захоплювати сигнали, які на порядок швидше, ніж інші типи осцилографів, з пропускну здатністю більше 80 ГГц.

Портативні осцилографи. Малі портативні осцилографи доступні для польових і тестових додатків, де громіздкі осцилографи є громіздкими або важко знайти потужність. Вони зазвичай обмежуються двома входами, а пропускна здатність і частота дискретизації обмежені.

Комп'ютерні осцилографи. Один з нових видів осцилографів – це комп'ютерний осцилограф, зазвичай зовнішній пристрій, підключений до

комп'ютера через USB. Ці типи осцилографів зробили швидкі кроки в можливостях, збільшуючи їх частоту дискретизації, пропускну здатність та загальні можливості. Деякі системи підходять до можливостей низькокласних осцилографів для цифрового зберігання всього за кілька сотень доларів і створюють чудові можливості для любителів пошуку осцилографа.

Цифрові реєстратори даних призначені для запису технічних параметрів в цифровому вигляді на електронні носії інформації – магнітні диски, твердотільні накопичувачі і інші. У найпростішому випадку цифровий реєстратор є мікропроцесорний пристрій з аналого–цифровим, перетворювачем, цифровим таймером для тимчасової прив'язки і накопичувачем інформації, в більш складних випадках – це спеціалізована ЕВМ, яка крім простого запису інформації з безлічі каналів надає можливість обробки інформації, в тому числі в режимі реального часу, і її візуалізацію на екрані дисплея. Можлива реалізація пристрою реєстрації на базі звичайного універсального комп'ютера з АЦП за допомогою відповідного програмного засобу.

1 Дослідження цифрового осцилографа

Порядок виконання роботи:

1.1 Зібрати схему, представлену на рисунку 8.1.

1.2 Включити комп'ютер і запустити програму «DiSco».

1.3 Налаштуйте перший канал осцилографа і запустіть його в режимі багаторазового запуску.

1.4 Перед включенням стенда переконайтеся, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

1.5 Включити стенд автоматичним вимикачем *QF1*.

За осцилограмами в програмі «DiSco» задайте вихідний сигнал генератора (за допомогою органів управління генератором R_{20} , R_{21} і $SA19$) з наступними параметрами: форма – синус; амплітуда 10 В; зміщення 0 В;

частота 1 кГц.

1.6 Для зручності можна зупинити осцилограф і використовуючи такі інструменти як «мітки часу», «маркери вимірювання рівня сигналу», масштаб відображення сигналу по амплітуді і тимчасовій розгортці, цифрові індикатори частоти, напруги, провести дослідження сигналу, його амплітуди, частоти, шпаруватість і інші параметри .

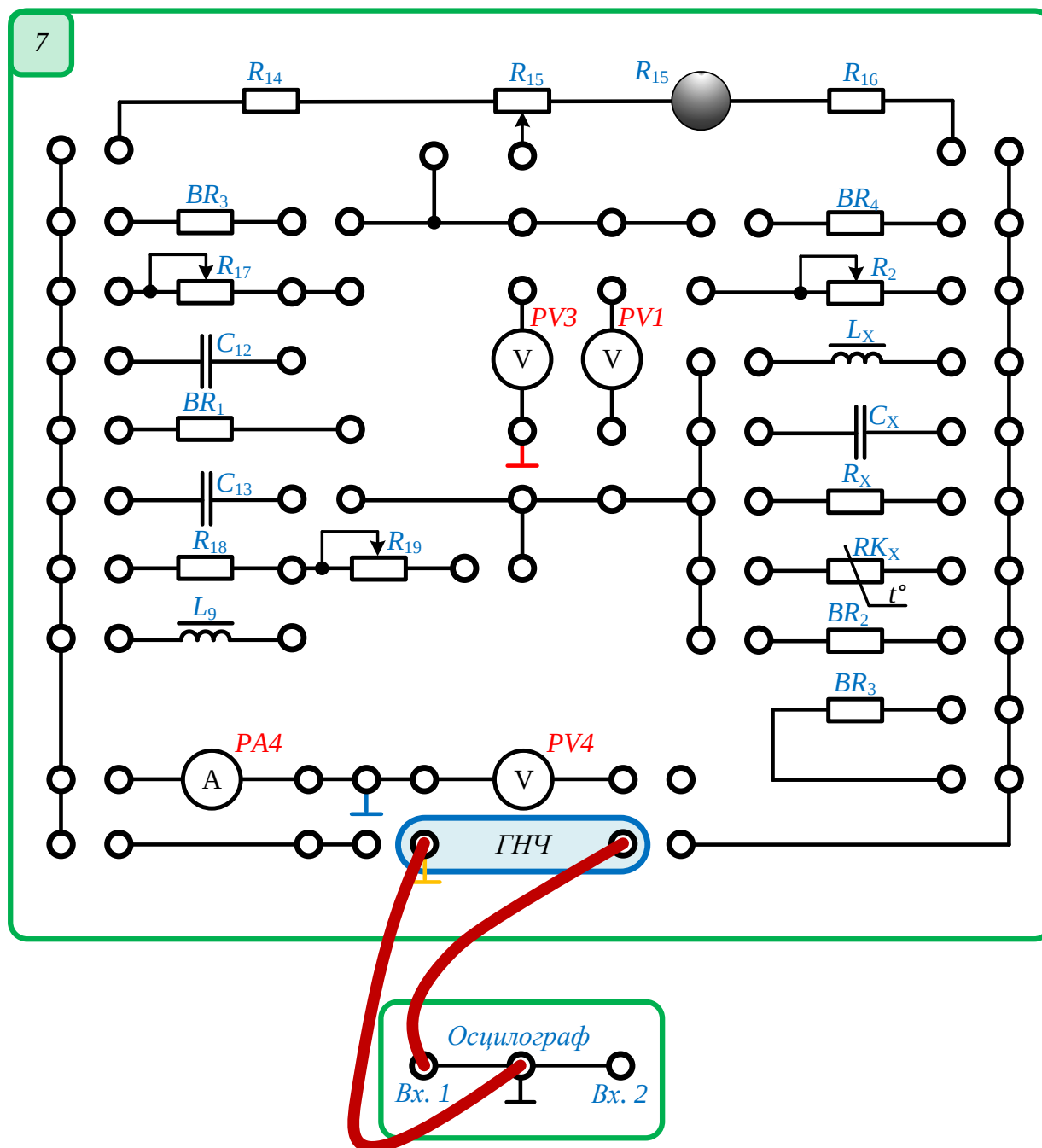


Рисунок 8.1 – Схема для дослідження основних інструментів роботи цифрового осцилографа

1.7 Вимкнути стенд в наступному порядку:

- вимкнути стенд автоматичним вимикачем *QF1*;
- прибрати все джампера;
- закрийте програму «DiSco» і вимкніть комп'ютер.

2 Дослідження цифрового реєстратора (самописця)

Порядок виконання роботи:

2.1 Зібрати схему, представлену на рисунку 12.1.

2.2 Ознайомитися з принципом роботи цифрового осцилографа *BM8020* і його режимом реєстратора за інструкцією для роботи з програмою «DiSco».

2.3 Перед включенням стенда переконатися, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

2.4 Переключити режим індикації приладу *PV5/PK5* в режим відображення температури за допомогою тумблера *SA17* (вниз).

2.5 Включити комп'ютер і запустити програму «DiSco».

2.6 Налаштуйте осциллограф для роботи в режимі реєстратора. В якості вхідного сигналу для реєстрації буде використовуватися сигнал з терморезистора.

2.7 Перед включенням стенда переконатися, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

2.8 Включити стенд автоматичним вимикачем *QF1*.

2.9 Запустити самописець.

2.10 В блоці 9 включити тумблер *SA18*.

2.11 Нагріти досліджуваний терморезистор до (80 – 90) °C.

2.12 Вимкнути тумблер *SA18*.

2.13 Зупинити самописець.

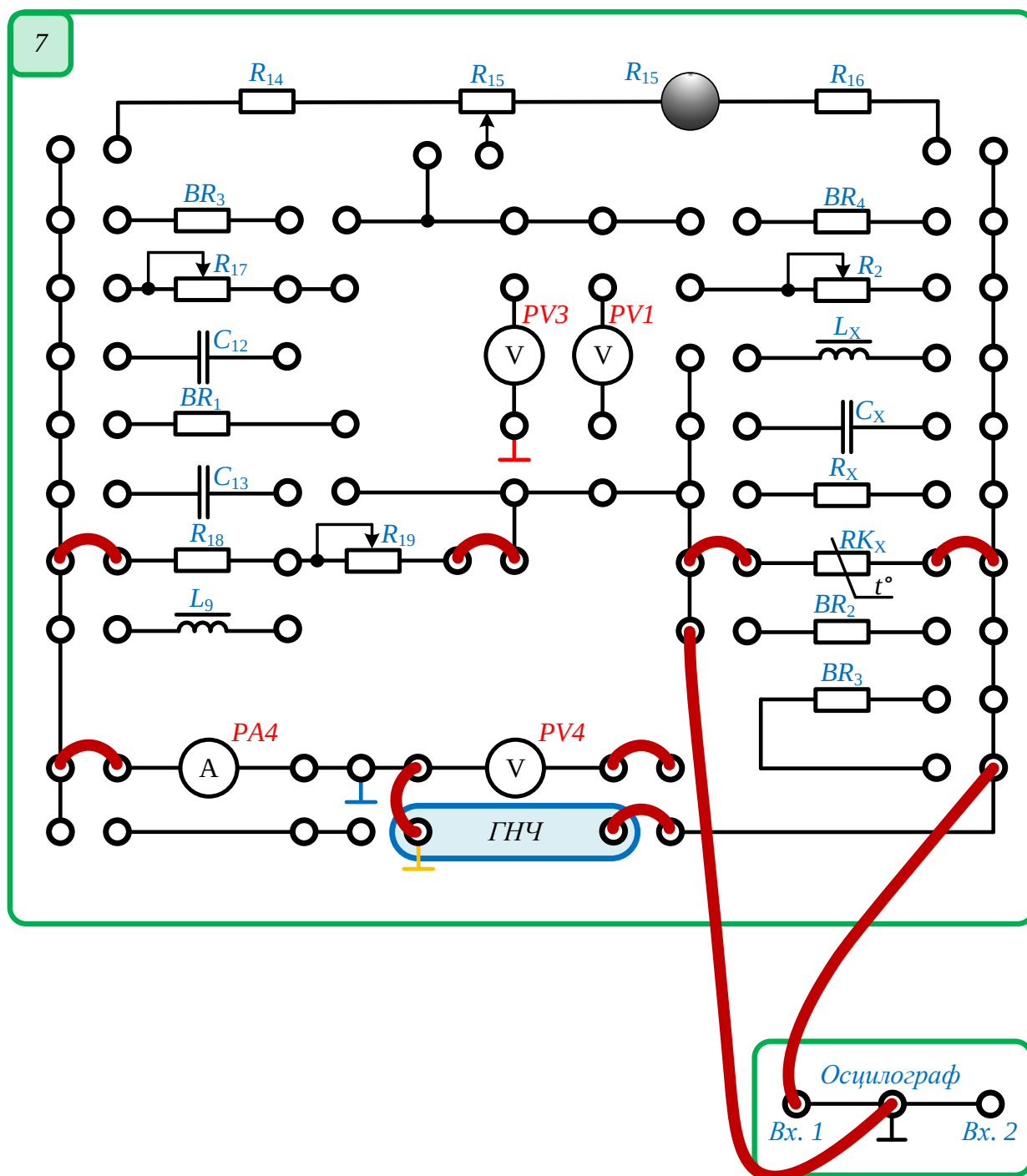


Рисунок 12.1 – Схема для вивчення способів реєстрації даних за допомогою цифрових реєстраторів

2.13 Зупинити самописець.

2.14 Вимкнути стенд в наступному порядку:

- вимкнути стенд автоматичним вимикачем $QF1$;
- перемкнути тумблер $SA17$ в верхнє положення $PV5$;
- прибрати всі джампера.

Зміст звіту:

- 1 Мета роботи.
- 2 Принципові схеми експериментальних досліджень .
- 3 Результати експериментальних досліджень.
- 4 Висновки за результатами виконаних досліджень у лабораторній роботі.

Контрольні запитання:

- 1 На які типи поділяються осцилографи за способом обробки вхідного сигналу ?
- 2 Наведіть принцип роботи аналогового осцилографа.
- 3 Для чого призначені цифрові реєстратори даних?
- 4 На які групи поділяються осцилографи за кількістю променів?
- 5 Опишіть принцип роботи цифрового зразкового осцилографа.
- 6 Які осцилографи є більш правдивими?
- 7 Чим обмежені портативні осцилографи?
- 8 На які типи поділяються цифрові осцилографи?
- 9 Що являє собою цифровий реєстратор?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

ВИМІР ПОТУЖНОСТІ

Мета роботи: вимірювання потужності у колі змінного та постійного струму методами двох та трьох ваттметрів.

Теоретичні відомості

Вимірювання потужності в колах постійного струму. Аналізуючи вираз, для визначення потужності:

$$P = U \cdot I,$$

можна зробити висновок, що потужність P може бути визначена побічно шляхом проведення двох прямих вимірювань: напруги на навантаженні U за допомогою вольтметра і струму в навантаженні I за допомогою амперметра. Найбільш доцільне застосування в цьому випадку вольтметра і амперметра магнітоелектричної системи.

На рисунку 9.1, а, б наведено дві схеми включення амперметра і вольтметра. Вибір тієї чи іншої схеми обумовлений допустимою методичною похибкою вимірювання, спричиненої сумірністю внутрішніх опорів приладів і опору навантаження $R_{\text{НАГР}}$.

Схема рис. 9.1, а застосовується при вимірюванні потужності в разі, коли опір навантаження відносно малий, схема рис. 9.1, б – коли опір навантаження відносно великий.

Незважаючи на дану простоту і доступність, метод амперметра і вольтметра для вимірювання потужності P на практиці застосовується вкрай рідко. Це пояснюється тим, що названий метод вимагає одночасного відліку показань двох приладів і подальшого обчислення P .

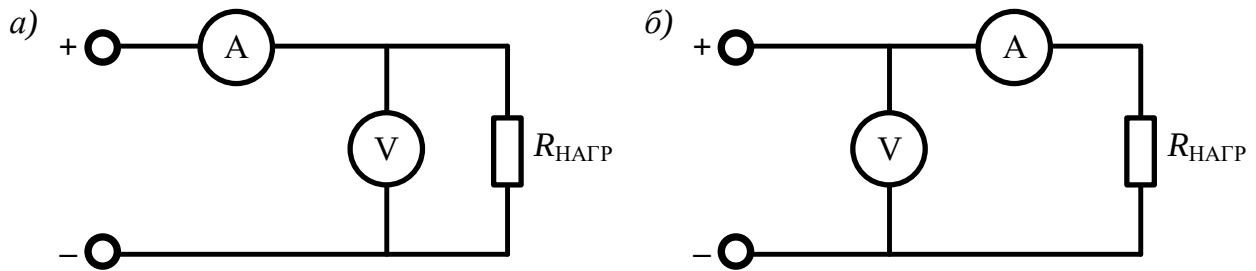


Рисунок 9.1 – Схеми включення приладів для вимірювання потужності в колі постійного струму: а – опір навантаження малий в порівнянні з опором вольтметра; б – опір навантаження великий в порівнянні з опором амперметра

Найбільш просто і з необхідною точністю, вимірювання потужності виконується безпосередньо за допомогою одного одноелементного електродинамічного ватметра. Включення такого ватметра в коло постійного струму необхідно здійснювати з дотриманням правильності з'єднання генераторних затисків обмотки ланцюга струму і напруги. На рисунку 9.2 показано включення ватметра PW для вимірювання потужності P .

Генераторний затиск струмової обмотки ватметра завжди включається в гілку джерела живлення. Генераторний затиск обмотки напруги, з метою зменшення методичної похибки, може бути включений так, як це показано на рисунку 9.2, а чи б.

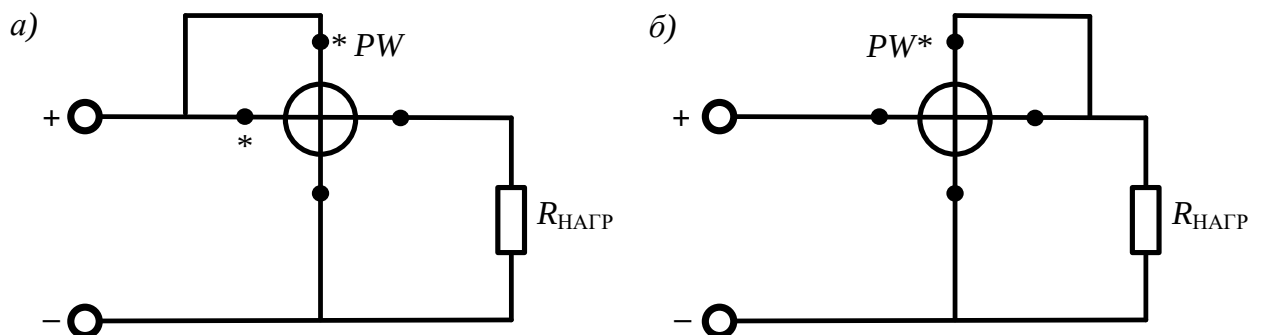


Рисунок 9.2 – Схеми включення ватметра в коло постійного струму:

а – опір навантаження відносно великий;

б – опір навантаження відносно малий.

Схема рисунок 9.2, а – застосовується при відносно великому значенні опору навантаження $R_{\text{НАГР}}$, а схема рис. 9.2, б – при відносно малому значенні опору навантаження $R_{\text{НАГР}}$. Опір навантаження можна порівняти з опором кола струму. Значення опору кола струму завжди вказується на циферблаті приладу.

У більшості випадків застосування ватметрів опір навантаження $R_{\text{НАГР}}$ відносно великий, значення опору навантаження набагато більше опору послідовного кола струму ватметра, отже, ватметр необхідно включати за схемою рисунок 9.2, а.

Цілком очевидно, що недотримання правильності включення генераторного затиску кожній із обмоток ватметра призводить до зміни напрямку моменту, що обертає і виходу покажчика ватметра за межі шкали.

Вимірювання активної потужності в колах змінного струму. Вимірювання активної потужності в однофазному колі проводиться одноелементними ватметрами. Вимірювання активної потужності в трифазних колах в лабораторних умовах також може бути проведено за допомогою одноелементного ватметра, що включаються в трифазне коло за схемами з використанням методу одного, двох або трьох приладів. Однак при технічних вимірах, як правило, в цьому випадку використовуються спеціальні двох- і трьохелементні ватметри.

Розширення діапазонів вимірювання у всіх випадках застосування ватметрів в колах змінного струму здійснюється за допомогою вимірювальних трансформаторів струму і напруги.

Вимірювання потужності методом одного приладу. При використанні методу одного приладу вимірювання потужності здійснюється за допомогою одноелементного ватметра. Метод застосовується при вимірюванні потужності в однофазних колах і симетричних трифазних колах (комплексні опори фаз однакові) і в тому і в іншому випадку обмотка напруги ватметра включається на фазну напругу, а обмотка струму включається послідовно в будь-якій фазі.

На рисунку 9.3 показано включення одноелементного ватметра в однофазне коло змінного струму. Нехтуючи методичною похибкою, записуємо

показання ватметра:

$$P_w = U \cdot I \cdot \cos \varphi,$$

де U і I – діючі значення напруги і струму навантаження.

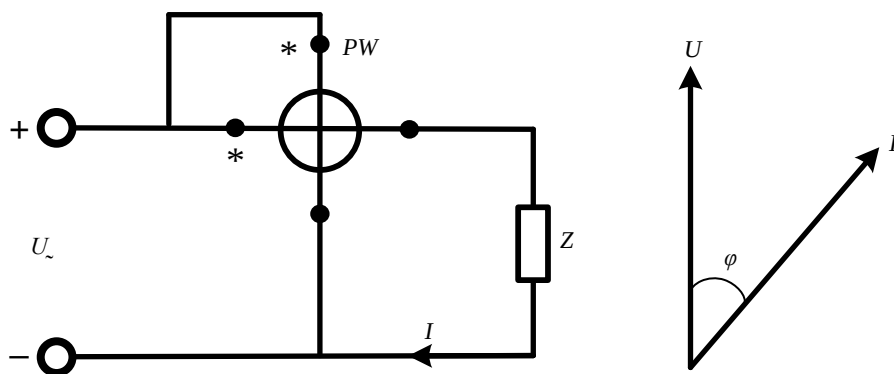


Рисунок 9.3 – Схема включення ватметра в однофазне коло змінного струму і векторна діаграма

На рисунку 9.4, а, б показано включення одноелементного ватметра в симетричне трифазне трьохпровідне коло. На рисунку 9.4, а – навантаження з'єднано зіркою і нульова точка доступна. На рисунку 9.4, б – навантаження з'єднано трикутником. Якщо ватметр неможливо включити в фазу так, як це показано на рис. 9.4, б, або нульова точка при з'єднанні навантаження зіркою (рисунку 9.4, а) недоступна, то в цьому випадку використовується штучна нульова точка. Штучна нульова точка зазвичай створюється за допомогою двох резисторів (опір кожного резистора дорівнює опору кола обмотки напруги ватметра) і опору кола обмотки напруги. Опір кола обмотки напруги будь-якого ватметра або приведено на циферблаті приладу, або вказується в технічному паспорті на даний прилад.

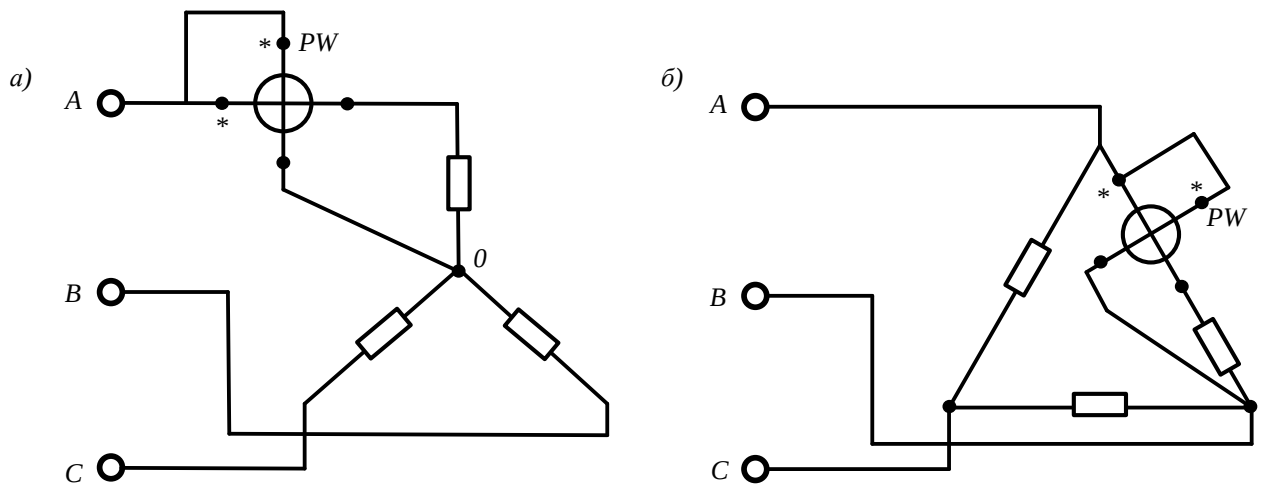


Рисунок 9.4 – Схеми включення ватметра в трифазне трьохпровідне коло при повній симетрії: а – навантаження з'єднано зіркою і нульова точка доступна; б – навантаження з'єднано трикутником.

Включення ватметра в трифазне трьохпровідне коло по схемі зі штучною нульовою точкою показано на рис. 9.5.

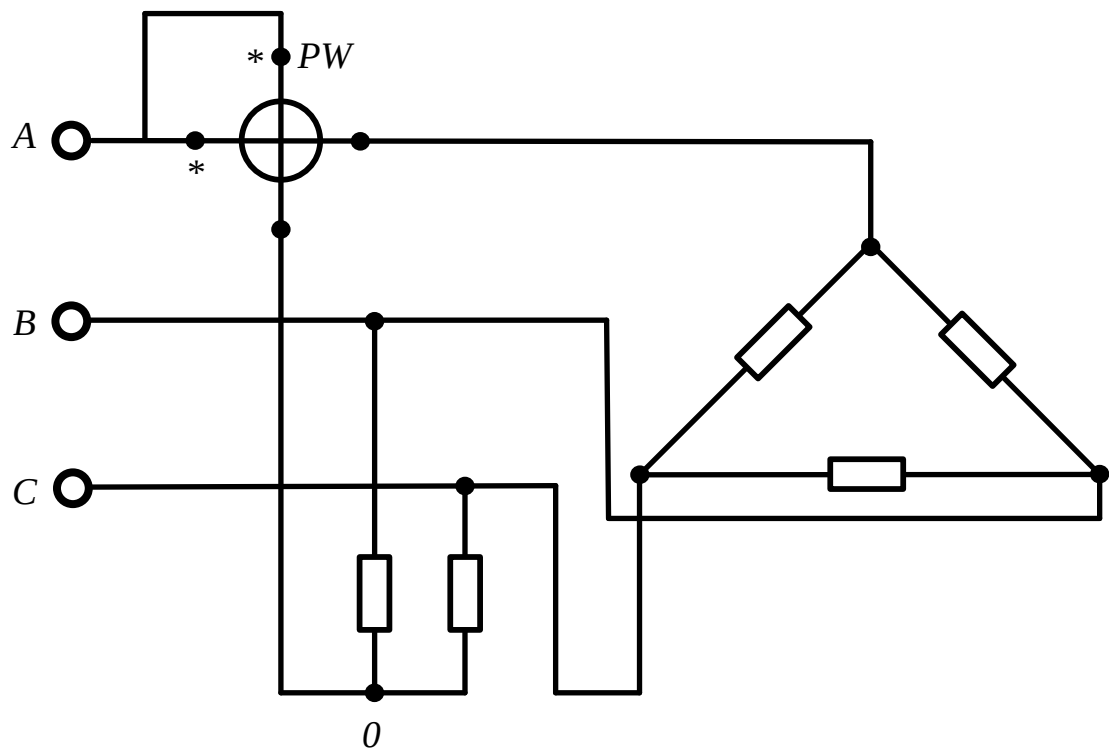


Рисунок 9.5 – Схема включення ватметра в трифазне трьохпровідне коло з недоступною нульовою точкою при повній симетрії

Аналізуючі схеми включення ватметрів, що наведено на рис. 9.4, а, б, можна побачити, що покази ватметра будуть відповідати потужності однієї фази.

Потужності однієї фази буде відповідати і показання ватметра, включення якого зображено на рис. 9.5. Дійсно, фазна наруга U_A , на яку ввімкнена обмотка напруги ватметра, дорівнює $U_A = U_{AB} / \sqrt{3}$. Лінійний струм I_A в обмотці струму ватметра $I_A = I_{AB} \sqrt{3}$. Показання ватметра, відповідно::

$$P_W = \frac{U_{AB}}{\sqrt{3}} \cdot I_{AB} \cdot \sqrt{3} \cdot \cos(\dot{U}_{AB}, \dot{I}_{AB}) = U_{AB} \cdot I_{AB} \cos \varphi,$$

тобто ватметр показує потужність однієї фази, так як під час симетричного навантаження $\angle(U_A, I_A) = \angle(U_{AB}, I_{AB})$.

Для отримання потужності усього трьохфазного кола у всіх трьох розглянутих випадках необхідно показання ватметра потроїти:

$$P = 3 \cdot P_W.$$

Ще раз варто нагадати, що все розглянуте справедливо лише при вимірюванні потужності в симетричних колах, тобто під час симетрії напруг і рівності комплексних опорів фаз.

Розширення діапазону вимірювання ватметра за струмом при застосуванні його для вимірювання потужності в низьковольтних колах з великими струмами проводиться за допомогою вимірювального трансформатора струму. Якщо ватметр застосовується в колі змінного струму, крім того, ще й з підвищеною напругою, то діапазон виміру його по напрузі розширюють за допомогою вимірювального трансформатора напруги.

Для прикладу на рисунку 9.6, а показано включення ватметра для вимірювання потужності в однофазному колі через вимірювальний

трансформатор струму, а на рис. 9.6, б – через вимірювальний трансформатор струму і вимірювальний трансформатор напруги. Слід звернути увагу на правильність включення генераторних затискачів ватметра і відповідних затискачів вимірювальних трансформаторів. Незавжди бачити, що в схемі рис. 9.6, а значення вимірюваної потужності P визначається множенням свідчення ватметра P_W на номінальний коефіцієнт трансформації $K_{I_{\text{НОМ}}}$ вимірювального трансформатора струму, що застосовується:

$$P = P_W \cdot K_{I_{\text{НОМ}}}.$$

В схемі рисунок 9.6, б значення вимірюваної потужності розраховується за формулою:

$$P = P_W \cdot K_{I_{\text{НОМ}}} \cdot K_{U_{\text{НОМ}}},$$

де $K_{U_{\text{НОМ}}}$ – номінальний коефіцієнт трансформації вимірювального трансформатора напруги, що використовується.

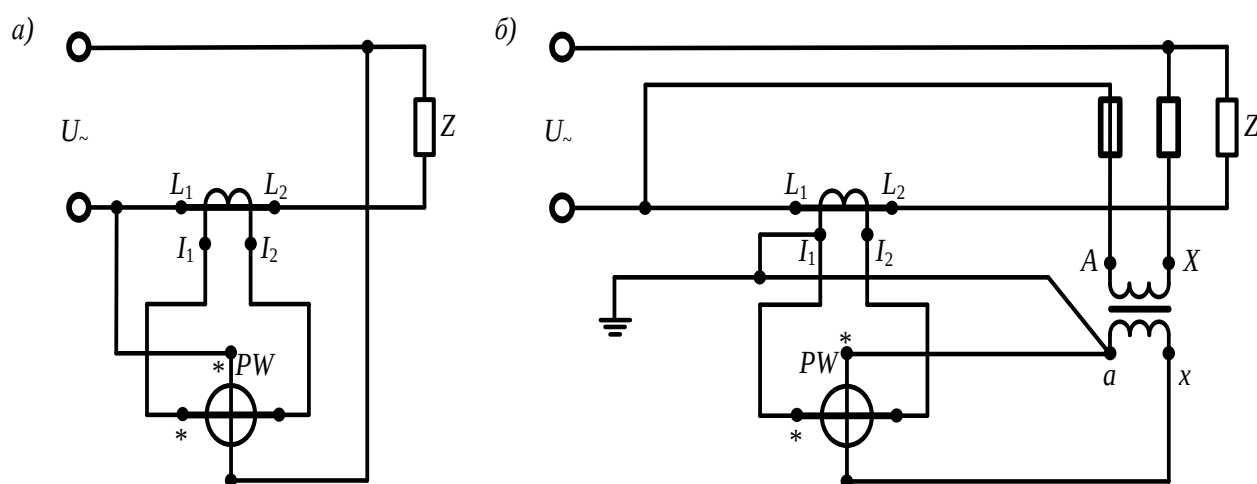


Рисунок 9.6 – Схеми включення ватметра в однофазне коло змінного струму.

а – з використанням вимірювального трансформатора струму; б – з використанням вимірювальних трансформаторів струму і напруги

Вимірювання потужності методом двох приладів. Метод двох приладів використовується при вимірюванні потужності в трифазному трьохпровідному колі за допомогою двох одноелементних ватметрів. Метод дає правильні результати незалежно від схеми з'єднання і характеру навантаження як при симетрії, так і при асиметрії струмів і напруг. Крім того, метод двох приладів застосовується для включення елементів двоелементного ватметра при вимірюванні за допомогою його потужності в трифазному трьохпровідному колі.

На рисунку 9.7, а зображена схема включення двох одноелементних ватметрів. Зазвичай струмова обмотка одного ватметра, наприклад, $PW1$ включається в фазу A , а струмова обмотка іншого ватметра – $PW2$ – в фазу C . Обмотки напруги ватметрів включаються на лінійні напруги так, як це показано на рисунку 9.7, а. На рисунку 9.7, б представлена векторна діаграма кола для окремого випадку – випадку симетрії струмів і напруг.

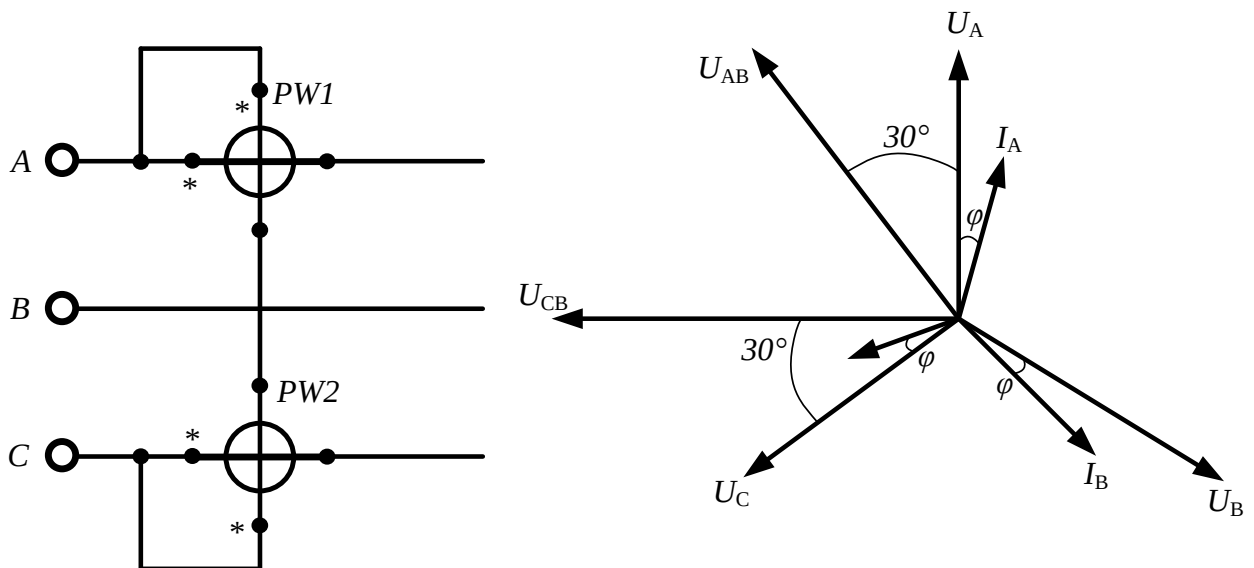


Рисунок 9.7 – Схема включення двох ватметрів в трифазне трьохпровідне коло (а) і векторна діаграма (б)

Бачимо, що показання ватметра $PW1$ в цьому випадку дорівнює:

$$P_{W1} = U_{AB} \cdot I_A \cdot \cos(30^\circ + \varphi) = U_L \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ + \varphi).$$

Аналогічно розраховуємо показання ватметра $PW2$:

$$P_{W2} = U_{BC} \cdot I_C \cdot \cos(30^\circ - \varphi) = U_L \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ - \varphi).$$

Враховуючі, що при вимірюванні потужності з використанням методу двох приладів, загальна потужність кола дорівнює алгебраїчній сумі показань ватметрів, а також з огляду на вираження $PW1$ і $PW2$, отримуємо:

$$P = P_{W1} + P_{W2} = U_L \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ + \varphi) + U_L \cdot I_L \cdot \cos(30^\circ - \varphi).$$

Після перетворення отримуємо:

$$P = U_L \cdot I_L \cdot 2 \cdot \cos 30^\circ \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi.$$

Таким чином, сума показань ватметрів $PW1$ і $PW2$, є не що інше, як потужність трифазного кола.

Слід зазначити, що відповідно до $PW1$ і $PW2$ показання кожного ватметра можуть бути позитивними або негативними залежно від значення кута φ і його знака. Більш того, якщо $\varphi = +60^\circ$ показання ватметра $PW1$ дорівнює нулю, а якщо $\varphi = -60^\circ$ нульове показання буде у ватметра $PW2$. Якщо $\varphi = 0$, тобто під час чисто активного навантаження, показання ватметра $PW1$ дорівнює показанню ватметра $PW2$.

Двоелементні ватметри, зазвичай звані трифазними ватметрами, являють собою конструкцію з двох вимірювальних механізмів одноелементних феродинамічних ватметрів з однією спільною рухомою частиною.

Зразкове конструктивне виконання двоелементного ферродинамічного вимірювального механізму, широко використовуваного для побудови трифазних ватметрів, показано на рис. 9.8. Два шихтованих магнітопроводи 1 мають нерухомі струмові обмотки 2. Обмотки напруги, виконані у вигляді рухомих рамок 3, укріплені на загальній осі.

Включення струмових обмоток і обмоток напруги трифазних двоелементних ватметрів проводиться за схемою рисунок 9.7, в якій використовується метод двох приладів.

Розширення діапазонів вимірювання трифазних двоелементних ватметрів, так само як і одноелементних однофазних ватметрів, здійснюється за допомогою вимірювальних трансформаторів струму і напруги. На рисунку 9.9 показано включення елементів двоелементного трифазного ватметра в трифазне трьохпровідне коло через вимірювальні трансформатори струму. Очевидно, що в цьому випадку для отримання потужності кола, показання ватметра необхідно помножити на номінальний коефіцієнт трансформації $K_{I_{\text{ном}}}$ що застосовуються в вимірювальних трансформаторах струму. Якщо вимірювання потужності здійснюється двома одноелементними ватметрами, то на значення множиться арифметична сума показань ватметрів.

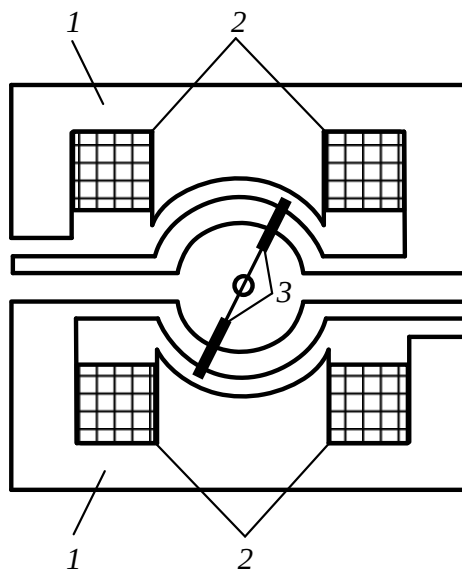


Рисунок 9.8 – Двоелементний ферродинамічний вимірювальний механізм

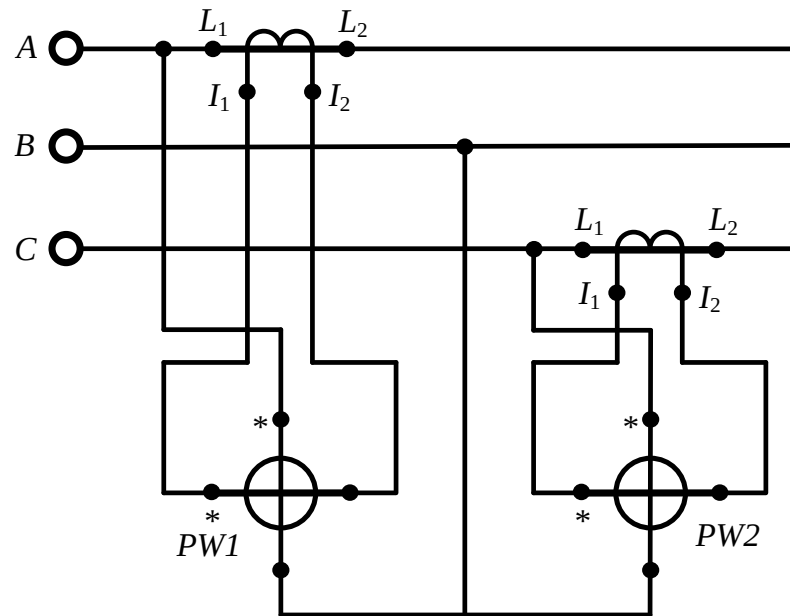


Рисунок 9.9 – Схема включення елементів двоелементного ватметра в трифазне трьохпровідне коло з використанням трансформаторів струму

Вимірювання потужності методом трьох приладів. Відомо, що метод трьох приладів застосовується при вимірюванні потужності в трифазному чотирьохпровідному колі (при цьому використовуються три одноелементні ватметри). Так як і метод двох приладів, метод трьох приладів дає правильні результати незалежно від схеми з'єднання і характеру навантаження як при симетрії, так і при асиметрії струмів і напруг. За схемою, що реалізує метод трьох приладів, включаються також елементи трьохелементних трифазних ватметрів.

На рисунку 9.10 наведена схема включення трьох одноелементних ватметрів за методом трьох приладів в трифазному чотирьохпровідному колі. Бачимо, що в цьому випадку кожен ватметр вимірює потужність однієї фази:

$$P_{w1} = P_A = U_A \cdot I_A \cdot \cos \varphi_A;$$

$$P_{w2} = P_B = U_B \cdot I_B \cdot \cos \varphi_B;$$

$$P_{w3} = P_C = U_C \cdot I_C \cdot \cos \varphi_C,$$

де U_A , U_B і U_C – фазні напруги; I_A , I_B і I_C – фазні струми; φ_A , φ_B і φ_C – фазні зсуви між відповідними фазними напругами і фазними струмами.

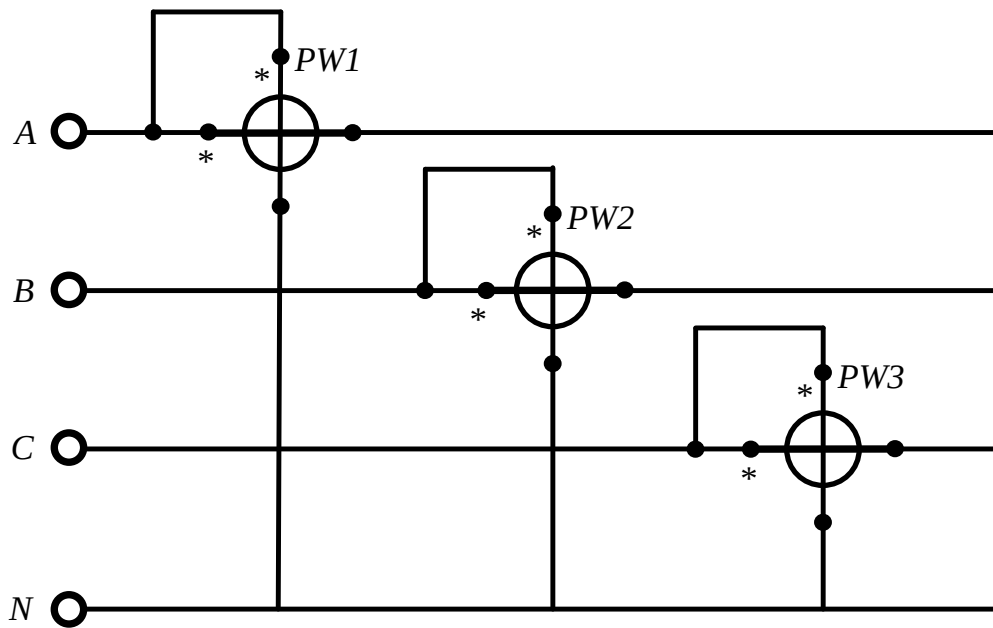


Рисунок 9.10 – Схема включення трьох ватметрів в трифазне трьохпровідне коло

Очевидно, що для знаходження потужності трифазного чотирьохпровідного кола необхідно взяти алгебраїчну суму показань всіх ватметрів:

$$P = P_A + P_B + P_C = P_{w1} + P_{w2} + P_{w3}.$$

Принципова конструктивна схема трьохелементного трифазного феродинамічного ватметра приведена на рисунку 9.11. Кожен елемент містить виконаний з магнітом'якого матеріалу шихтований магнітопровід 1 з нерухомою струмовою обмоткою 3. Рухливі рамки елементів 2 жорстко укріплені на одній осі. Таким чином, на рухому частину трифазного трьохелементного ватметра діє арифметична сума моментів всіх трьох елементів. Безпосереднє включення елементів ватметра в трифазне

чотирихпроводне коло здійснюється за схемою, зображеної на рисунку 9.10.

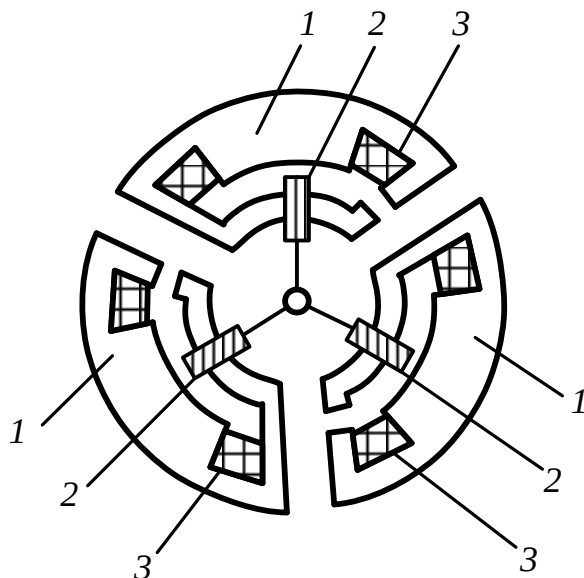


Рисунок 9.11 – Трьохелементний феродинамічний вимірювальний механізм

Розширення діапазонів вимірювання трьохелементних трифазних ватметрів здійснюється так само, як і двоелементних ватметрів – за допомогою вимірювальних трансформаторів струму і напруги.

1 Вимірювання потужності в колах постійного струму

Порядок виконання роботи:

1.1 Зібрати схему, представлену на рисунку 9.12.

1.2 Перед включенням стенда переконаватися, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

1.3 Встановити номінал опору R_1 рівним 100 Ом (перемикач $\times 10$ в блоці R_2 в положення 10).

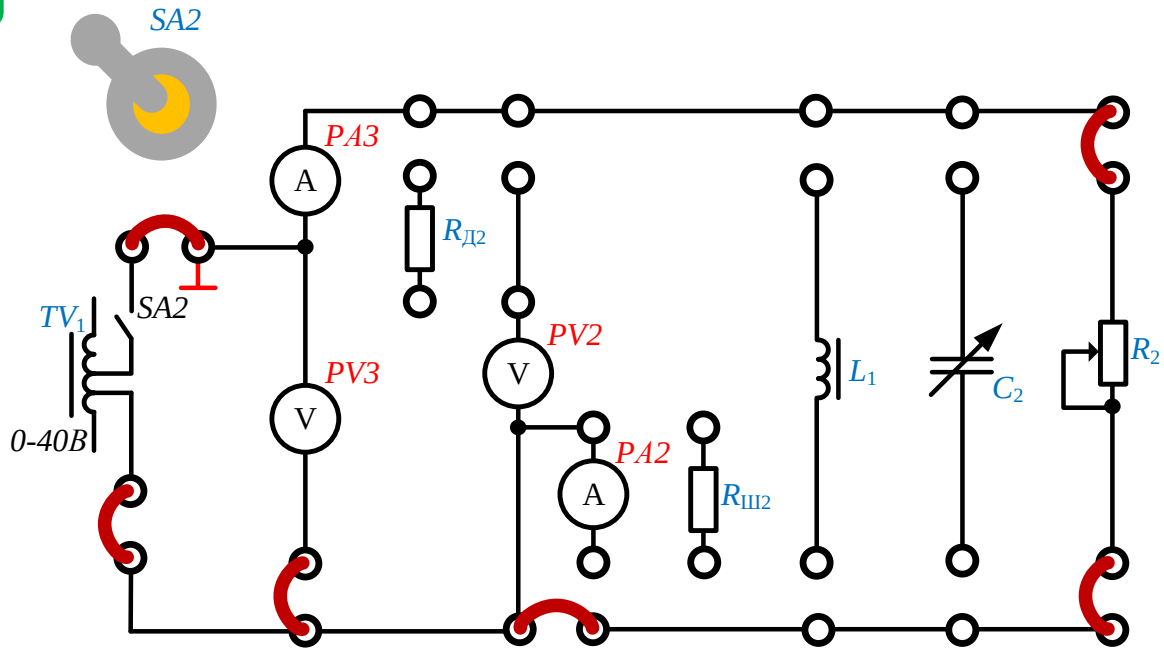


Рисунок 9.12 – Схема для вимірювання потужності в колах постійного струму

Значення опору R_2 змінюється галетними перемикачами 1x1000, 1x100, 1x10, 1x1 в наступному вигляді:

$$R_2 = 1000 \cdot n_{1 \times 1000} + 100 \cdot n_{1 \times 100} + 10 \cdot n_{1 \times 10} + 1 \cdot n_{1 \times 1}, \text{ Ом,}$$

для кожного перемикача, де n – положення кожного перемикача відповідно.

1.4 Включити стенд автоматичним вимикачем $QF1$.

1.5 Переконатися, що регулятори напруги ЛАТРа знаходяться в початкових положеннях «0» (в крайньому лівому положенні).

1.6 Підключити живлення ЛАТРа $TV1$ до досліджуваного кола тумблером $SA1$.

1.7 Поступово збільшуючи напругу ЛАТР, встановити значення напруги по приладу $PV3$ ($30 \div 40$) В.

УВАГА! Напруга на виході ЛАТРа регулюється двома перемикачами: грубе регулювання: лівий перемикач – з кроком 10 В (від 0 до 40 В) і точне регулювання: правий перемикач – з кроком (1 – 2) В (від 0 до 10 В).

1.8 Зняти показання приладів $PV3$, $PA3$ і $PW3$.

1.9 Вимкнути стенд в наступному порядку:

- вимкнути тумблер $SA1$;
- вимкнути стенд автоматичним вимикачем $QF1$;
- повернути перемикачі ЛАТРа $TV1$ в початковий стан «0» (в крайнє праве положення «0»);
- прибрати всі джампера.

1.10. Обчислити за результатами вимірювання U і I потужність навантаження:

$$P = U_{PV3} \cdot I_{PA3}.$$

1.11 Розрахувати потужності виходячи зі значення $R_{HAB} = R_2 \approx 100$ Ом (більш точно можна виміряти мультиметром):

$$P = I_{PA3}^2 \cdot R_{HAB};$$

$$P = \frac{U_{PV3}^2}{R_{HAB}}.$$

1.12 Порівняти всі розраховані потужності і потужність виміряну приладом PW .

2 Вимірювання потужності в колах змінного струму методом трьох ватметрів

Порядок виконання роботи:

2.1 Зібрати схему, представлену на рисунку 9.13.

2.2 Перед включенням стенда переконатися, що всі інші перемикачі

знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

2.3 Включити стенд автоматичним вимикачем $QF1$.

2.4 Зняти показання приладів:

- $PV3$ – напруга фази A ;
- $PA3$ – струм фази A ;
- $PW3$ – потужність фази A ;
- $PV4$ – напруга фази B ;
- $PA4$ – струм фази B ;
- $PW4$ – потужність фази B ;
- $PV5$ – напруга фази C ;
- $PA5$ – струм фази C ;
- $PW5$ – потужність фази C .

2.5 Вимкнути стенд в наступному порядку:

- вимкнути стенд автоматичним вимикачем $QF1$;
- прибрати всі джампера.

2.6 Обчислити за результатами вимірювання U і I потужність навантаження в кожній фазі:

$$P_{w1} = P_A = U_A \cdot I_A;$$

$$P_{w2} = P_B = U_B \cdot I_B;$$

$$P_{w3} = P_C = U_C \cdot I_C.$$

2.7 Порівняти суму показань трьох ватметрів і розрахованих потужностей, виходячи з активного навантаження $R_4=R_6=R_8 \approx 510$ Ом (точніше можна виміряти мультиметром):

$$P = P_A + P_B + P_C = P_{w1} + P_{w2} + P_{w3}.$$

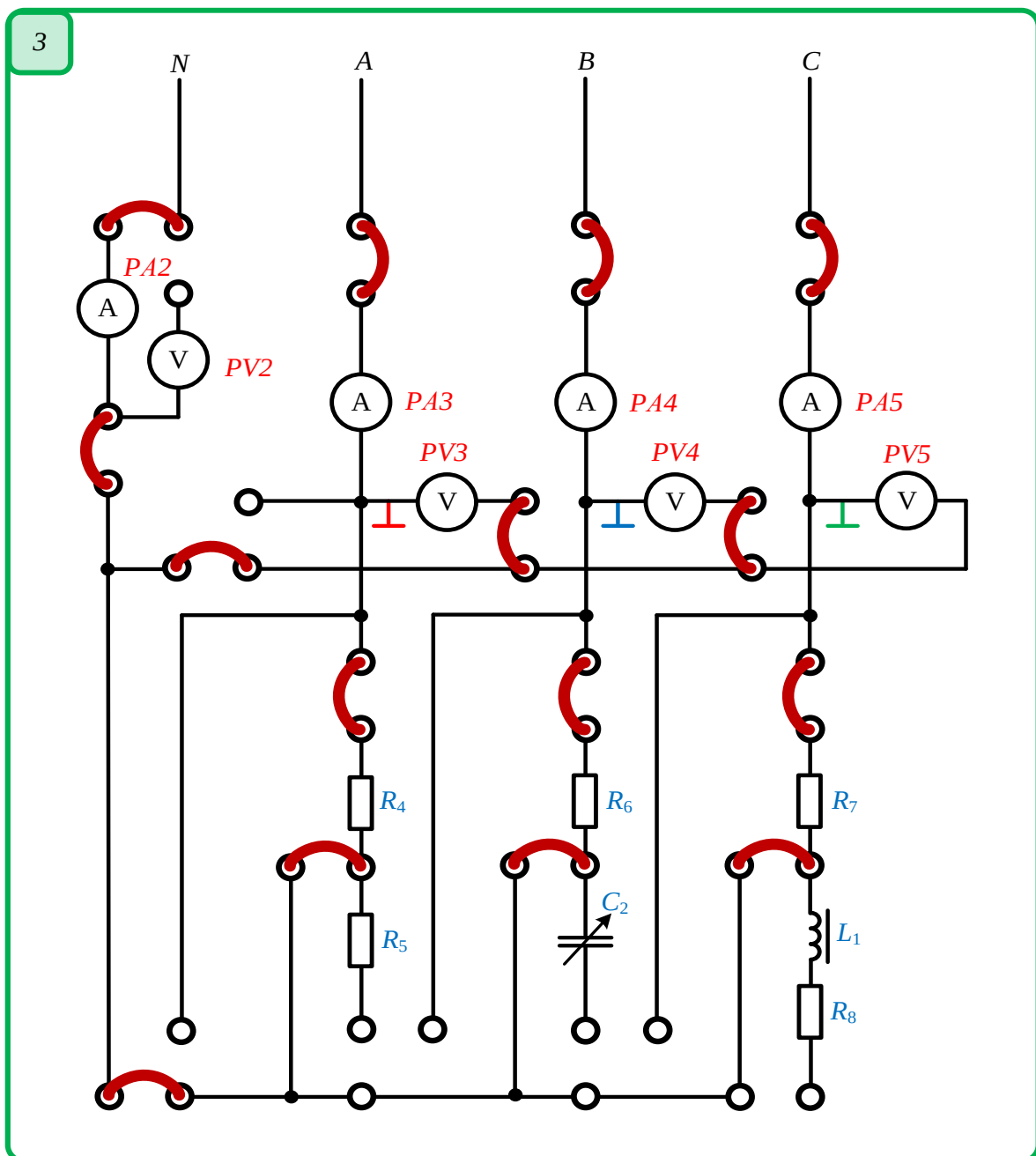


Рисунок 9.13 – Схема для вимірювання потужності у колах змінного струму методом трьох ватметрів

3 Вимірювання потужності у колах змінного струму методом двох ватметрів

Порядок виконання:

3.1 Зібрати схему, представлену на рисунку 9.14.

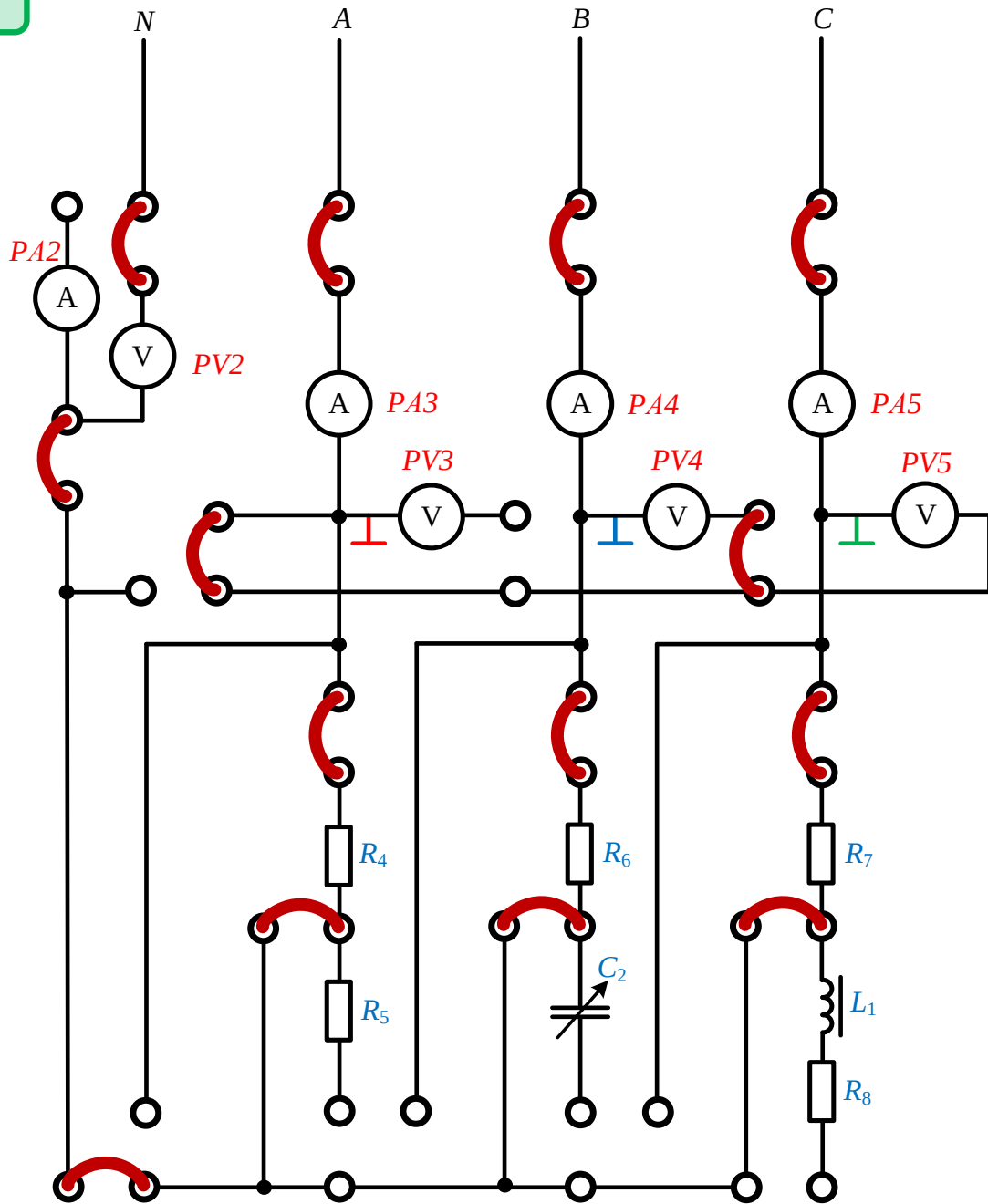


Рисунок 9.14 – Схема для вимірювання потужності в колах змінного струму методом двох ватметрів

3.2 Перед включенням стенда переконатися, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

3.3 Включити стенд автоматичним вимикачем *QF1*.

3.4 Зняти показання приладів:

- $PA3$ – струм фази A ;
- $PV4$ – лінійна напруга U_{AB} ;
- $PA4$ – струм фази B ;
- $PW4$ – перша частина активної трифазної потужності;
- $PV5$ – напруга фази C ;
- $PA5$ – лінійна напруга U_{AC} ;
- $PW5$ – друга частина активної трифазної потужності.

3.5 Вимкнути стенд в наступному порядку:

- вимкнути стенд автоматичним вимикачем $QF1$;
- прибрати всі джампера.

3.6 Скласти потужності $PW4$ і $PW5$:

$$P = P_{w1} + P_{w2},$$

порівняти їх показання з вимірюною потужністю методом трьох ватметрів в досліді 2, лабораторної роботи № 9.

Додатково можна дослідити вимір трифазної потужності під час рівномірного, нерівномірного і ввімкненого в трикутник навантаження

Зміст звіту:

- 1 Мета роботи.
- 2 Принципові схеми експериментальних досліджень .
- 3 Результати експериментальних досліджень.
- 4 Теоретичний розрахунок параметрів.
- 4 Висновки за результатами виконаних досліджень у лабораторній роботі.

Контрольні запитання:

- 1 Які методи вимірювання потужності вам знайомі?
- 2 Опишіть принцип вимірювання потужності методом одного приладу.
- 3 Яким рівнянням визначається потужність у колах постійного струму?

4 Опишіть принцип вимірювання потужності в колах змінного струму.

5 Коли доцільне використання методу «двох приладів» при вимірюванні потужності?

6 Наведіть схему включення трьох ватметрів.

7 За допомогою чого можна розширити діапазон вимірювання одноелементних однофазних ватметрів?

8 Наведіть схему для вимірювання потужності в разі, коли опір навантаження відносно малий.

9. Наведіть принципову схему трьохелементного трифазного ватметра.

10 Наведіть схему для вимірювання потужності в разі, коли опір навантаження відносно великий.

Література: [1, 3, 11]

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

ВИМІР ЧАСТОТИ І ІНТЕРВАЛІВ ЧАСУ

Мета: ознайомитися з методами вимірювання частоти, провести вимірювання частоти і інтервалів часу цифровим частотоміром та осцилографічним методом.

Теоретичні відомості

Методи вимірювання частоти і інтервалів часу. Частота – одна з найважливіших характеристик періодичного процесу, визначається числом повних циклів (періодів) зміни сигналу в одиницю часу.

Період – найменший інтервал часу, що задовольняє рівняння $u(t) = u(t + T)$. Миттєва кутова частота визначається через похідну в часі від фази напруги сигналу, тобто $\omega(t) = d\varphi / dt$. Так як фаза у гармонійного сигналу зростає в часі за лінійним законом, то частота f – постійна величина:

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \frac{\omega}{2\pi}.$$

Діапазон використовуваних частот в радіоелектроніці, автоматиці, експериментальній фізиці, техніці, зв'язку і т.д. простягається від часток Герца до тисяч гігагерц, тобто від інфранизьких до надвисоких частот.

Вибір методу вимірювання частоти визначається її діапазоном, необхідною точністю вимірювання, формою сигналу, потужністю джерела сигналу вимірюваної частоти і іншими факторами.

Вимірювання частоти електричних сигналів проводиться методами безпосередньої оцінки і порівняння.

Частотоміри – прилади, що вимірюють частоту. Вимірювання частоти методом безпосередньої оцінки проводиться частотомірами: електромеханічними з логометричними механізмами, конденсаторними,

цифровими (електронно-рахунковими).

Вимірювання частоти сигналів методом порівняння проводиться за допомогою осцилографа, частотно-залежного моста змінного струму, частотомерів гетеродинних, побудованих на бігтях, резонансах та ін.

Аналогові електромеханічні частотоміри (електромагнітні, електродинамічні, феродинамічні) призначені в основному для вимірювання частот напруг ($20 \div 2500$) Гц, що застосовуються в колах живлення, з невисокою точністю (класи точності 0,2; 0,5; 1,5; 2,5). Ці частотоміри мають обмежене застосування, значну потужність споживання і схильні до вібрацій.

Аналогові конденсаторні частотоміри використовуються для вимірювання частоти періодичних сигналів в діапазоні від 10 Гц до 500 кГц; застосовуються при регулюванні, налагодженні звукозаписної і радіоапаратури.

Цифрові (електронно-лічильні) частотоміри використовуються для точних вимірювань частоти гармонійних і імпульсних сигналів в діапазоні від 10 Гц до 50 ГГц; використовуються для вимірювання відносних частот, періоду, тривалості імпульсів, інтервалів часу.

Вимірювання частоти за допомогою осцилографа здійснюється порівнянням цієї частоти з частотою сигналу зразкового генератора, цей метод використовується при вимірюванні частоти безперервних, імпульсних періодичних сигналів в діапазоні від 10 Гц до 20 МГц.

Частотно-залежні мости, змінного струму дозволяють вимірювати частоти в діапазоні від 20 Гц до 20 кГц.

Гетеродинні частотоміри призначаються для вимірювання частоти безперервних, амплітудно-модульованих сигналів у діапазоні від 100 кГц до 20 ГГц при різних вимірах в радіотехніці.

Резонансні частотоміри використовуються для вимірювання частоти безперервних, амплітудно-модульованих і імпульсно-модульованих сигналів у діапазоні від 50 кГц до 10 ГГц; застосовуються для налагодження приймально-передавальної апаратури.

В останні роки найбільш широкого поширення набули цифрові

частотоміри.

Аналогові конденсаторні частотоміри. Робота конденсаторного частотоміра заснована на вимірюванні середнього значення струму розряду I конденсатора, періодично перезаряджається в такт з вимірюваної частотою f_x (див. рис. 10.1). Якщо конденсатор C за допомогою перемикача B заряджати від джерела е.р.с. E , до напруги U_1 , а потім розряджати через електромагнітний мікроамперметр до напруги U_2 , то кількість електрики, отримане конденсатором при заряді, буде дорівнює кількості електрики, що віддає мікроамперметр, тобто:

$$q = C \cdot (U_1 - U_2).$$

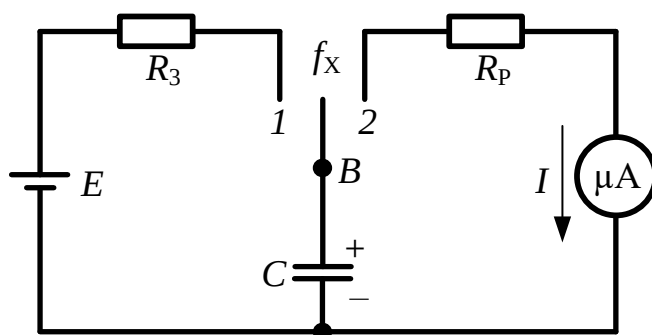


Рисунок 10.1 – Схема аналогового конденсаторного частотоміра

Якщо перемикач B перемикає f_x раз в секунду, то кількість електрики, що протікає через мікроамперметр в одну секунду, являє собою середнє значення розрядного струму за період:

$$I = q \cdot f_x = C \cdot (U_1 - U_2) \cdot f_x.$$

З цього виразу випливає, що струм, що протікає через прилад, лінійно пов'язаний з вимірюваною частотою:

$$f_x = \frac{I}{C \cdot (U_1 - U_2)}.$$

Якщо ємність C і напруги U_1 , U_2 підтримувати постійними, то шкалу мікроамперметра можна переписати в одиницях частоти. На цьому принципі працюють конденсаторні частотоміри, в яких перемикання конденсатора з заряду на розряд здійснюють електронним комутатором з частотою перемикання f_x при подачі на його вхід напруги вимірюваної частоти. Лінійна залежність між струмом I і частотою f_x можлива при виконанні умови $C \cdot (U_1 - U_2) = \text{const}$. Тому в схемі частотоміра передбачений обмежувач, що підтримує постійному напругу U_1 – при заряді, і U_2 – при розряді конденсатора у всьому робочому діапазоні частот.

Вимірювання частоти сигналів в широкому діапазоні частот можливо за умови, що постійні часу заряду і розряду конденсатора будуть менше, ніж напівперіод найвищої частоти. Це досягається зміною ємності конденсатора (застосування набору конденсаторів), а опір кола заряду і розряду залишаються постійними.

Верхня межа вимірюваної частоти сигналів (мінімальне значення ємності C) визначається чутливістю за струмом мікроамперметра, нижня межа – частотою вимірюваного сигналу, при якому виникають механічні коливання стрілки мікроамперметра (близько 10 Гц).

Цифрові (електронно-лічильні) частотоміри. Принцип дії цифрового (електронно-лічильного) частотоміра побудований за схемою, в якій підраховується число імпульсів N , відповідне числу періодів невідомої частоти f_x за відомий високоточний інтервал часу, званий часом вимірювання T_l . Якщо за цей час T_l підраховано N імпульсів, то середнє значення вимірюваної частоти:

$$f_x = \frac{N}{T_l}.$$

Кожного разу вимірювання T_1 в 1с кількість підрахованих імпульсів (періодів) N і є значення вимірюваної частоти f_x (Гц), тобто $f_x = N$.

На рисунку 10.2, а наведено приклад побудови схеми одного з цифрових частотомірів. Вхідний пристрій, що складається з широкополосного підсилювача з пропускну здатністю від 10 Гц до 3,5 МГц і атен'юатора, призначена для узгодження частотоміра з джерелом сигналу, а також для посилення або обмеження напруги на вході до значення, що запускає формувач. Останній перетворює синусоїдальні або періодичні імпульсні сигнали в послідовність імпульсів постійної амплітуди з великою крутизною фронтів, незалежно від вхідного сигналу, частота проходження яких дорівнює частоті вимірюваного сигналу (див. рис. 10.2, б). Часовий селектор (електронний ключ з двома входами) відкривається строб-імпульсом, що виробляється пристроєм управління (схемою автоматики), на високоточний час вимірювання і пропускає ці імпульси на електронний лічильник. Цифровий індикатор автоматично видає результат вимірювання в герцах. Генератор міток часу складається з генератора зразкової частоти 1 МГц з кварцовою стабілізацією і подільників частоти. Подільники частоти здійснюють розподіл частоти, кварцового генератора 1 МГц декадними ступенями до 0,01 Гц, тобто 100; 10; 1 кГц, 100; 10; 1; 0,1; 0,01 Гц. Отримані частоти використовуються для формування високоточного часу вимірювання – міток часу, рівних відповідно 10^{-6} ; 10^{-5} ; 10^{-4} ; 10^{-3} ; 10^{-2} ; 10^{-1} ; 1; 10; 100 с.

Пристрій управління (автоматики) керує всім процесом вимірювання і забезпечує регульований час індикації (0,3÷5) з результатів вимірювання на цифровому табло, скидання рахункових декад і інших схем в «нульовий» стан перед кожним виміром, режим ручного, автоматичного і зовнішнього пуску приладу, виробляється з частот, що надходять з подільників, строб-імпульсів, що відкриває селектор на час рахунку; імпульс запуску цифродрукуючого пристрою.

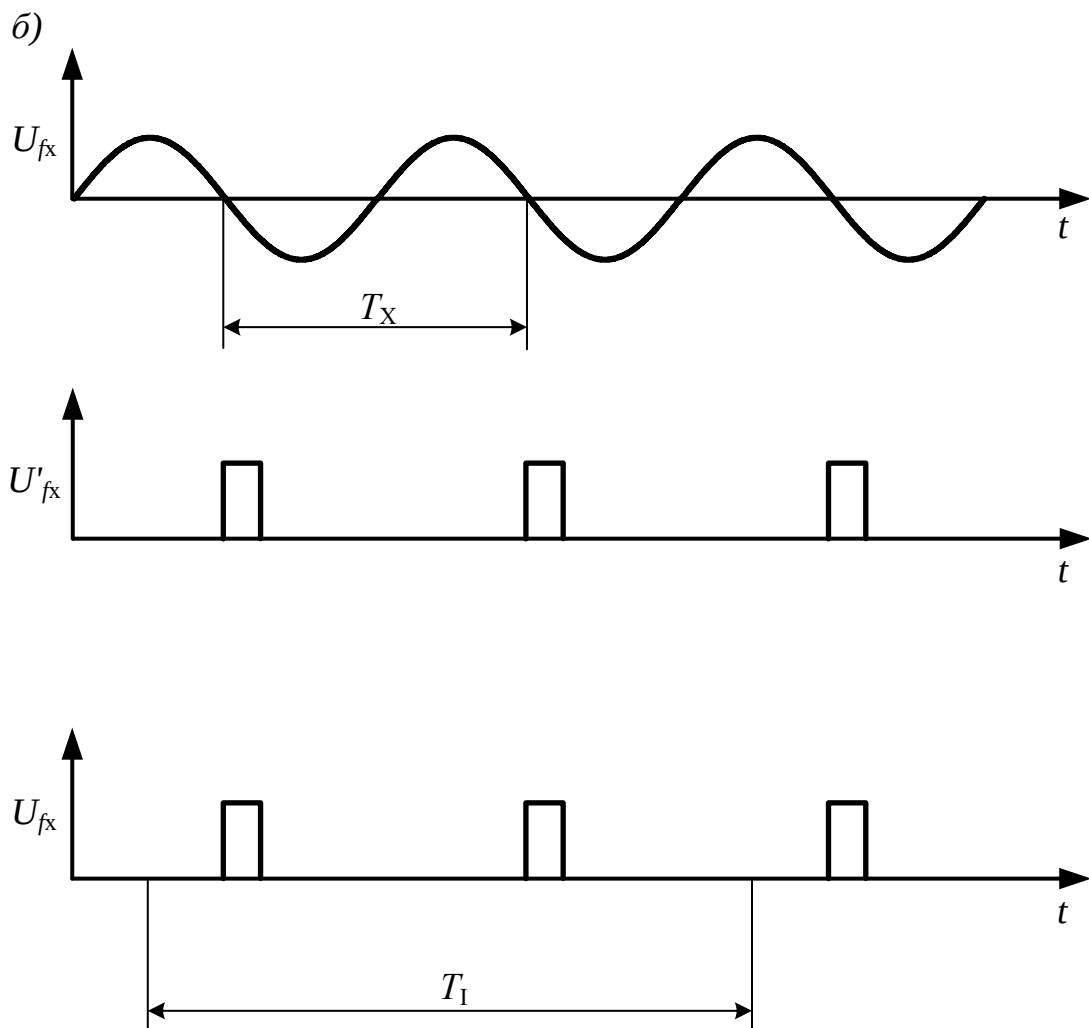
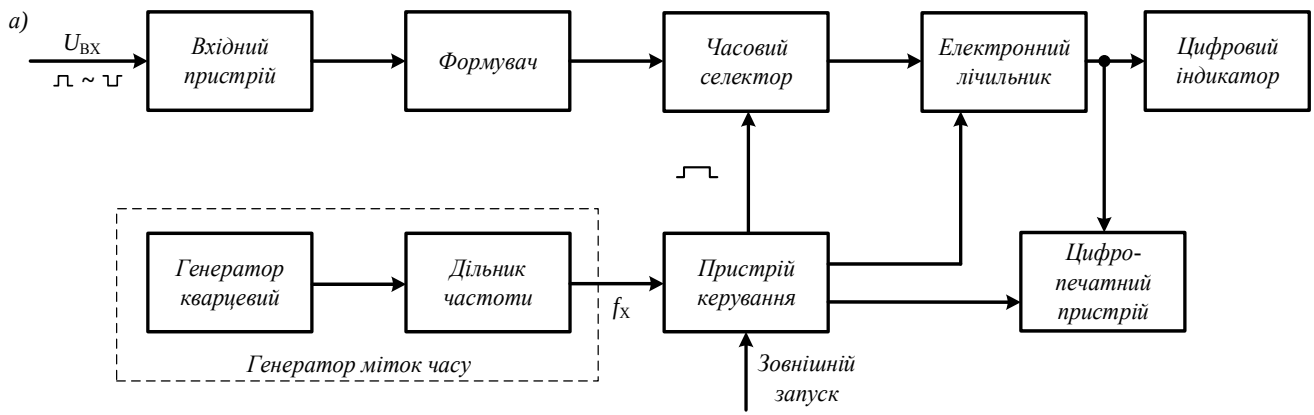


Рисунок 10.2 – Схема цифрового частотоміра (а) і часові діаграми, що пояснюють принцип його роботи (б)

Електронний лічильник, призначений для рахунку імпульсів N , що надходять з тимчасового селектора, складається з декількох послідовно

з'єднаних рахункових декад, кожна з яких відповідає певному порядку частоти f_x (одиницям, десяткам, сотням герц і інш.). Цифровий індикатор забезпечує розшифровку результатів вимірювань, що надходять з дешифратора. Останній перетворює двійково–десятковий код 8–4–2–1, що надходить з рахункових декад в десятиковий.

Основна особливість послідовного рахунку імпульсу, покладеного в основу роботи цифрових частотомірів, полягає в збільшенні похибки вимірювання при зменшенні частоти. Відносна похибка вимірювання частоти дорівнює:

$$\frac{\Delta f_x}{f_x} = \frac{\Delta N}{N} + \frac{\Delta T_1}{T_1}.$$

Значення першої компоненти похибки дискретності залежить від співвідношення T_1 – часу вимірювання («тимчасових воріт» селектора) і періоду $T_x = 1/f_x$ досліджуваного сигналу. Похибка дискретності обумовлена розбіжністю моментів появи рахункових імпульсів щодо фронту і спаду строб–імпульсу: якщо T_1 і T_x є кратними числами, то похибка рахунку імпульсів $\Delta N = 0$; якщо ж T_1 і T_x – не кратні числа, то значення ΔN залежить від взаємного розташування T_1 і T_x – розбіжності моментів їх появи, при цьому максимальна абсолютна похибка рахунку імпульсів ΔN не перевищує одного імпульсу $\Delta N = \pm 1$, що визначає молодший розряд рахунку.

Значення другої компоненти похибки визначається нестабільністю частоти кварцового генератора f_0 , що задає «тимчасові ворота» приладу T_1 . Відносна похибка часу вимірювання дорівнює відносній похибці частоти внутрішнього кварцового генератора і становить значення порядку 10^{-7} , тобто:

$$\frac{\Delta T_1}{T_1} = \frac{\Delta f_0}{f_0} = \gamma_{\Gamma}.$$

Відносна похибка вимірювання (%) частоти:

$$\frac{\Delta f_x}{f_x} = \frac{\Delta N}{N} + \frac{\Delta T_I}{T_I} = \frac{1}{N} + \gamma_\Gamma = \frac{1}{f_x \cdot T_I} + \gamma_\Gamma,$$

або, якщо $\gamma_\Gamma = 10^{-7}$, тоді

$$\gamma_f = \frac{\Delta f_x}{f_x} \cdot 100 \% = \pm \left(\frac{1}{f_x \cdot T_I} + 10^{-7} \right) \cdot 100,$$

де f_x – вимірювана частота, Гц.

Як впливає з виразу, відносна похибка вимірювання частоти досліджуваного сигналу при інших рівних умовах залежить від його значення. Відносна похибка вимірювання частоти незначна при вимірюванні високих частот і велика при вимірюванні низьких частот, наприклад, якщо $f_x = 10$ МГц, $T_I = 1$ с, то $\gamma_f = 10^{-5} \%$; $f_x = 10$ Гц, $T_I = 1$ с, то $\gamma_f = 10 \%$.

Відповідно, при вимірюванні високих частот похибка обумовлена в основному нестабільністю кварцового генератора, а при вимірюванні низьких частот – похибкою дискретності. Для зменшення похибки вимірювання низьких частот необхідно збільшити час вимірювання, але це не завжди можливо, тому в цифрових частотомірах або застосовують помножувачі, що дозволяють підвищувати вимірювані частоти в 10^n раз, або переходять від вимірювання частоти досліджуваного сигналу до вимірювання його періоду T_x з подальшим обчисленням значення вимірюваної частоти за формулою:

$$f_x = \frac{1}{T_x}.$$

При вимірюванні періоду T_x вхідний сигнал через вхідний пристрій і формувач надходить на пристрій управління, яке формує строб-імпульс, період

якого $T_{C-I} = T_I = T_X$, тобто час вимірювання, протягом якого відкритий часовий селектор, так само періоду T_X вимірюваного сигналу, і електронним лічильником підраховується число імпульсів зразкової частоти кварцового генератора, що пройшли за цей час. Отже, період досліджуваного сигналу:

$$T_X = N \cdot T_0,$$

а частота

$$f_X = \frac{1}{T_X} = \frac{1}{N \cdot T_0} = \frac{f_0}{N}.$$

Відносна похибка вимірювання періоду:

$$\gamma_T = \pm \left(\gamma_T + \frac{T_0}{N \cdot T_X} \right) \cdot 100.$$

Цифрові частотоміри крім частоти і періоду досліджуваного сигналу вимірюють відношення, суму двох частот, інтервал часу, тривалість імпульсів, частоту їх слідування.

Вимірювання частоти осцилографом. Частота досліджуваного сигналу може бути визначена, якщо сигнал вимірюваної частоти подати на Y-вхід осцилографа, використовуючі лінійну розгортку отримаємо на екрані кілька періодів досліджуваного сигналу. Тоді частота $f_X = 1 / T_X = N / t_X$, де N – число періодів, T_X – виміряний інтервал часу.

Точність вимірювання може бути збільшена, якщо вимірювання частоти здійснити методом порівняння вимірюваної частоти f_X зі зразковою f_0 . Осцилограф при цьому використовується в якості індикаторного пристрою. Залежно від виду осцилограм, способу відліку результату вимірювання, частоти досліджуваного сигналу, розрізняють вимірювання частоти по

інтерференційним фігурам (фігурам Ліссажу) і кругової розгортки з модуляцією яскравості променя. Способи вимірювання прості, зручні і забезпечують достатню точність.

Вимірювання частоти сигналу по інтерференційним фігурам (фігурам Ліссажу). Застосовують цей спосіб для вимірювання частот сигналів синусоїдальної частоти від 10 Гц до значення, обумовленого смугою пропускання осцилографа.

Сигнали зразкової f_0 і вимірюваної f_x частот підводять безпосередньо або через підсилювач до вертикальних і горизонтальних пластин осцилографа. Вимірювання виконують при вимкненому генераторі розгортки. Частоту f_0 зразкового генератора змінюють до отримання на екрані сталого зображення якоїсь фігури Ліссажу. Форма фігури залежить від співвідношення амплітуд, частот і початкових фаз порівнюваних сигналів. Нерухомі фігури на екрані виходять, коли частоти сигналів зразкового генератора і досліджуваного рівні або ставляться один до одного як цілі числа, тобто:

$$\frac{f_{\Gamma}}{f_{\text{В}}} = \frac{n_{\text{В}}}{n_{\Gamma}},$$

де $n_{\text{В}}, n_{\Gamma}$ – цілі числа, рівні числу точок перетину фігури Ліссажу з вертикальною і горизонтальною прямими, що не проходить через точки перетину самої фігури. Для рисунка 10.3 зсув за фазою дорівнює 0 або 180° :

$$\frac{f_{\Gamma}}{f_{\text{В}}} = \frac{2}{3}, \text{ тобто } f_x = \frac{2}{3} \cdot f_0.$$

Початковий зсув за фазою завжди оцінюється по відношенню до періоду напруги більш високої частоти.

Вимірювання частоти за фігурами Ліссажу характеризується високою точністю, в основному визначається точністю генератора зразкової частоти. Недоліки цього способу – складність розшифровки фігур при співвідношенні частот більше 10 і зростання похибки у встановленні справжнього ставлення

частот.

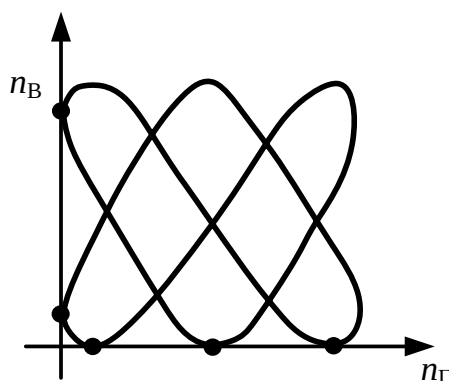


Рисунок 10.3 – Вимірювання частоти за фігурою Ліссажу

Вимірювання частоти сигналу в режимі кругової розгортки з модуляцією яскравості променя. Якщо напруга однієї частоти (зразкової f_0) використовувати для отримання кругової розгортки на екрані осцилографа, а напругу іншої (більшої частоти f_x) подати на електрод (модулятор), керуючий яскравістю світіння трубки, то в позитивний напівперіод цієї напруги яскравість розгортки буде збільшуватись, а в негативний – зменшуватися. В результаті коло вийде переривчасте, причому число темних (або світлих) штрихів цього кола дорівнюватиме відношенню частот, тобто:

$$\frac{f_x}{f_0} = n.$$

При цілому значенні n осцилограма буде нерухомою. Якщо ж, навпаки, частота яка вимірюється менше зразкової частоти, то для отримання кругової розгортки використовують напругу невідомої частоти а модуляцію променя по яскравості здійснюють напругою зразкової частоти. Для отримання кругової розгортки можна використовувати зсув за фазою на $\pi/2$ між напругами на елементах ланцюжка RC . Схема вимірювання і зображення на екрані осцилографа для співвідношення частот $\frac{f_x}{f_0} = 9$ дані на рисунку 10.4.

Резонансний спосіб. Частотоміри, що використовують явище електричного резонансу, являють собою коливальну систему (див. рис. 10.5), що настраюється в резонанс з вимірюваною частотою зовнішнього джерела сигналів. Стан резонансу фіксують по найбільшим показаннями індикатора резонансу, пропорційним струму (напруги) в коливальній системі. Вимірювану частоту відраховують безпосередньо по шкалі каліброваного елемента налаштування (в частотомірах малої точності) або за допомогою градуювальних таблиць і графіків. Вхідний пристрій здійснює узгодження частотоміра з джерелом сигналу.

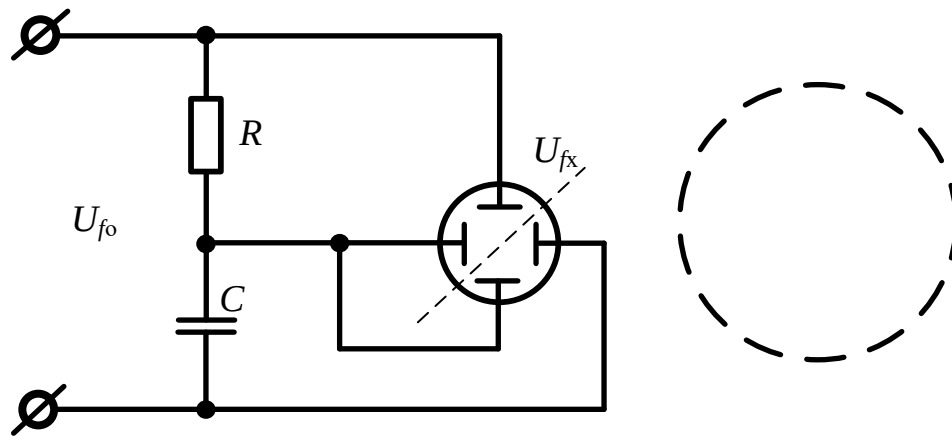


Рисунок 10.4 – Вимірювання частоти в режимі кругової розгортки

Частотоміри містять коливальні контури із зосередженими постійними, вимірюють частоти до 200 МГц, вони налаштовуються в резонанс за допомогою змінного конденсатора.

Частотоміри, що містять коливальні системи з розподіленими постійними (відрізки лінії, об'ємні резонатори), вимірюють частоти понад 200 МГц, налаштовуються в резонанс зміною геометричних розмірів коливальної системи. Резонансний метод простий, зручний, похибка вимірювання при його застосуванні становить десяті й соті частки відсотка.

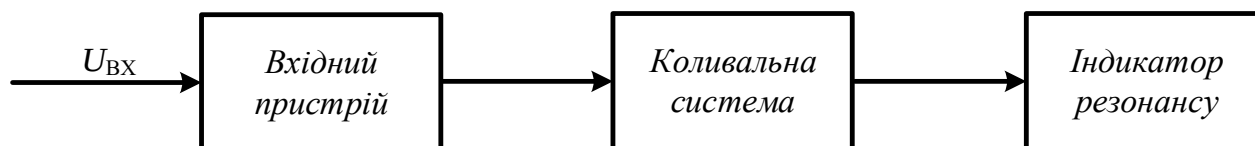


Рисунок 10.5 – Схема резонансного частотоміра

Порядок виконання роботи:

- 1 Зібрати схему, представлену на рисунку 10.6.
- 2 Перед включенням стенда переконатися, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).
- 3 Включити комп'ютер і запустити програму «DiSco».
- 4 Налаштуйте перший канал осцилографа і запустіть його в режимі багаторазового запуску.
- 5 Перед включенням стенда переконатися, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).
- 6 Включити стенд автоматичним вимикачем *QF1*.
- 7 За осцилограмами в програмі «DiSco» задайте вихідний сигнал генератора (за допомогою органів управління генератором R_{20} , R_{21} і $SA19$) з наступними параметрами: форма–синус; амплітуда 4 В; зміщення В; частота 50Гц (100, 150, 200 і ін. кратні 50 Гц).
- 8 За допомогою режиму відображення осцилограм ХУ, відкрити вікно для дослідження фігур Ліссажу.
- 9 Визначити форму фігури, розрахувати за формулами частоту сигналу. Для більш стабільного відображення фігур, підлаштовувати частоту генератора.
- 10 Для перевірки повернутися в основне вікно осцилографа і використовуючи такі інструменти як «мітки часу», «вимірювальні лінійки», визначити частоту зразкового і досліджуваного сигналів осцилографічним методом.

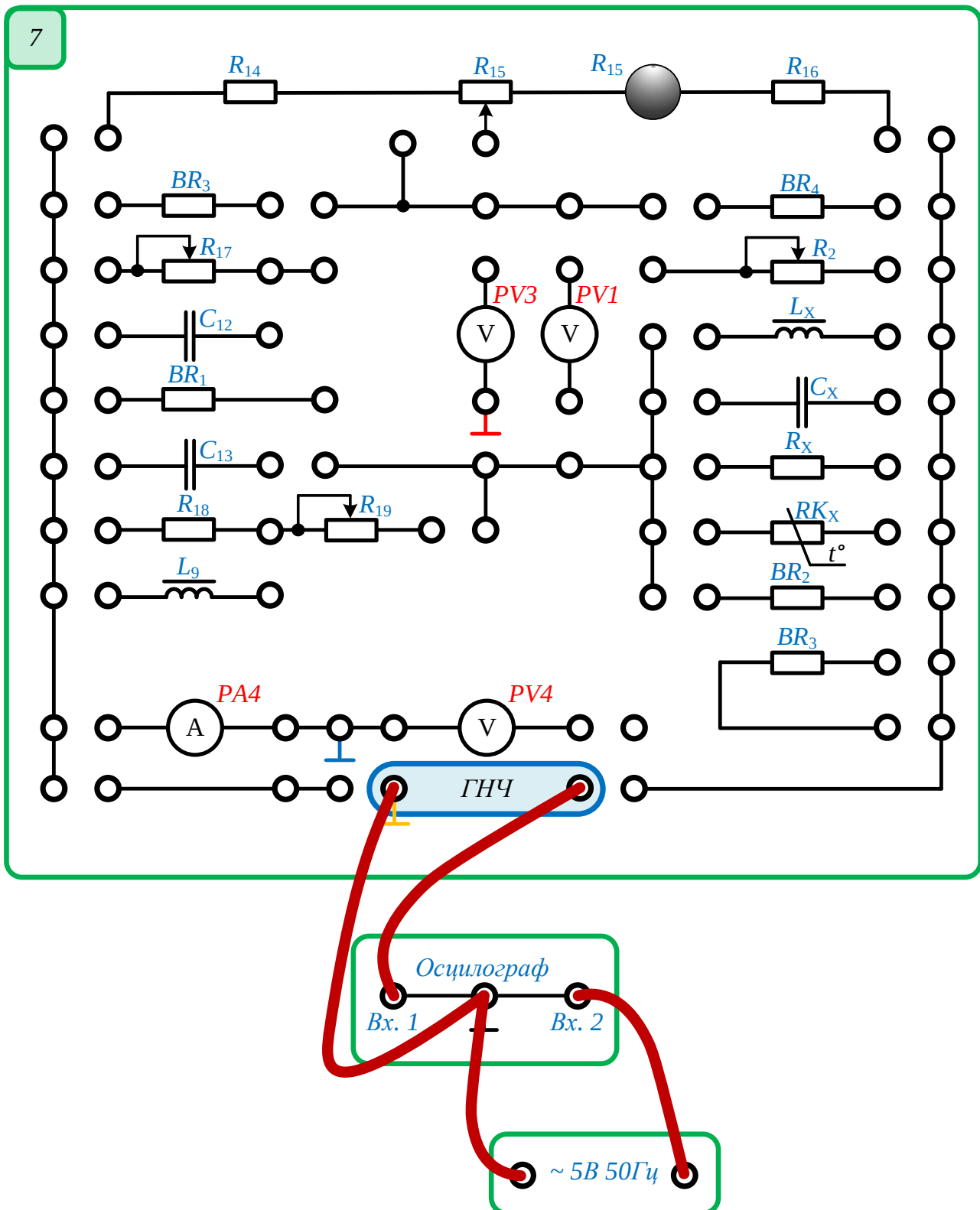


Рисунок 10.6 – Схема для вимірювання частоти за фігурами Ліссажу

11 Вимкнути стенд в наступному порядку:

- вимкнути стенд автоматичним вимикачем $QF1$;
- прибрати всі джампера.

Зміст звіту:

- 1 Мета роботи.
- 2 Принципові схеми експериментальних досліджень .
- 3 Результати експериментальних досліджень.
- 4 Теоретичний розрахунок параметрів.
- 4 Висновки за результатами виконаних досліджень у лабораторній роботі.

Контрольні запитання:

- 1 Що таке період?
- 2 Що таке частотомір? Види частотомірів.
- 3 Для чого призначені аналогові електромеханічні частототміри?
- 4 Наведіть схему аналогового конденсаторного частотоміру.
- 5 На чому побудовано принцип дії електронно-лічильного частотоміра?
- 6 Для вимірювання яких частот використовують метод вимірювання за фігурами Ліссажу?
- 7 Який метод вимірювання є більш простий, зручний і має мінімальну похибку?
- 8 Які недоліки способу вимірювання частоти по фігурам Ліссажу?
- 9 Що таке частота? Як її визначити?
- 10 Які частоти можна виміряти за допомогою частотно – залежних мостів?

Література: [1, 2, 6]

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

ВИМІРЮВАННЯ ЗСУВУ ФАЗ

Мета: дослідження методів вимірювання зсуву фаз.

Теоретичні відомості

Методи вимірювання зсуву по фазі. Фаза характеризує стан гармонійного сигналу в даний момент часу. Для синусоїдальної функції:

$$u(t) = U_m \cdot \sin(\omega t + \varphi),$$

фаза – весь аргумент $(\omega t + \varphi)$.

Фаза гармонійного сигналу є лінійною функцією часу.

Зрушення по фазі φ є модуль різниці початкових фаз φ_1 і φ_2 двох сигналів:

$$u_1(t) = U_{m1} \cdot \sin(\omega t + \varphi_1);$$

$$u_2(t) = U_{m2} \cdot \sin(\omega t + \varphi_2),$$

одинакової частоти

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2.$$

Вимірювання зсуву по фазі між вхідною і вихідною напругами будь-якого чотириполюсника (підсилювача, фільтра, трансформатора, пристрою автоматики і ін.) В заданому діапазоні частот, а також визначення залежності зміни фази від частоти широко застосовуються в радіоелектроніці.

Методи вимірювання зсуву по фазі залежать від діапазону частот, рівня, форми сигналу і необхідної точності вимірювання. Вимірювання зсуву по фазі проводиться методами безпосередньої оцінки і порівняння.

Фазометри – прилади, що вимірюють зсув по фазі. Зрушення по фазі виражається в радіанах або градусах. До фазометрів безпосередньої оцінки відносять: аналогові електромеханічні фазометри з логометричними механізмами; аналогові електронні фазометри з перетворенням фазового зсуву в пропорційний струм; цифрові фазометри (електронно-лічильні).

Вимірювання зсуву по фазі методом порівняння проводиться за допомогою осцилографа. На промисловій частоті і на частотах від декількох десятків герц до (6–8) кГц при вимірюванні зсуву по фазі застосовують логометричні фазометри, використання яких рекомендується при великих рівнях синусоїдального сигналу і пов'язане з великим споживанням енергії і невисокою точністю. В широкому діапазоні частот в малопотужних колах при грубих вимірах зсув по фазі вимірюють за допомогою осцилографа, а при більш точних вимірах - компенсаційним методом, використовуючи осцилограф як індикатор рівності фаз. В діапазоні частот від декількох герц до десятків мегагерц при точних вимірах зсуву по фазі використовують аналогові і цифрові електронні фазометри. Їх застосування рекомендується при різних формах і малих рівнях сигналу з малим споживанням енергії.

Вимірювання зсуву по фазі між напругою U та струмом I в промисловій частоті здійснюється за допомогою трьох приладів: вольтметра, амперметра і ватметра; визначається так:

$$\varphi = \arccos \frac{P}{U \cdot I}.$$

Точність вимірювання φ невисока через методичні похибки, що викликані власною потужністю споживання приладів.

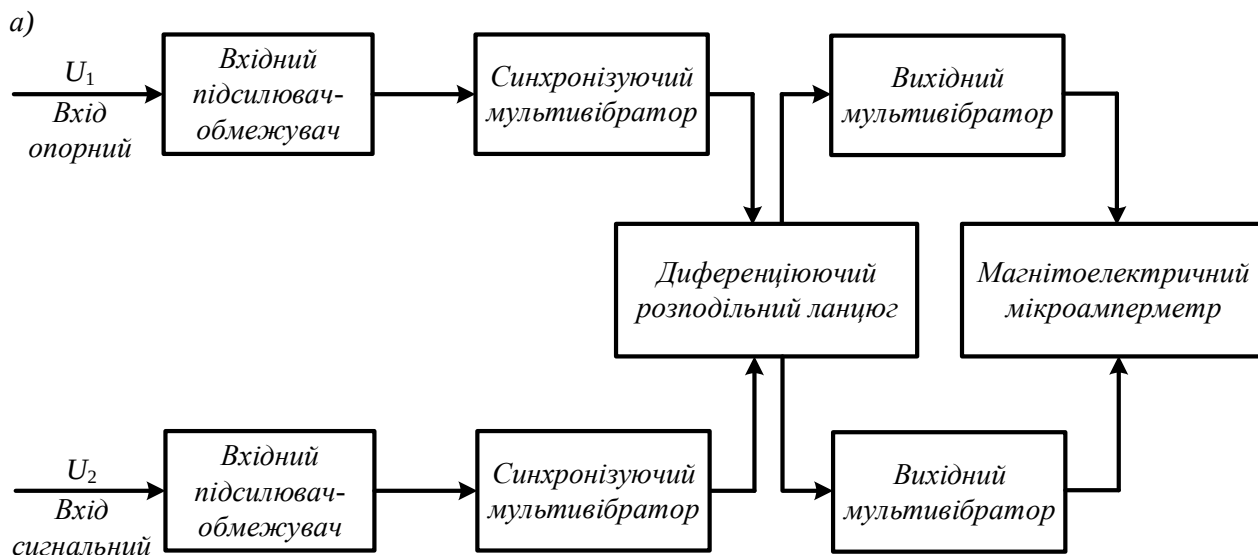
Аналогові електронні фазометри. В основу роботи двоканального аналогового електронного фазометра (див. рис. 11.1, а) покладено принцип перетворення зсуву по фазі між двома синусоїдальними напругами в інтервал часу між імпульсами з подальшим перетворенням у струм, середнє значення

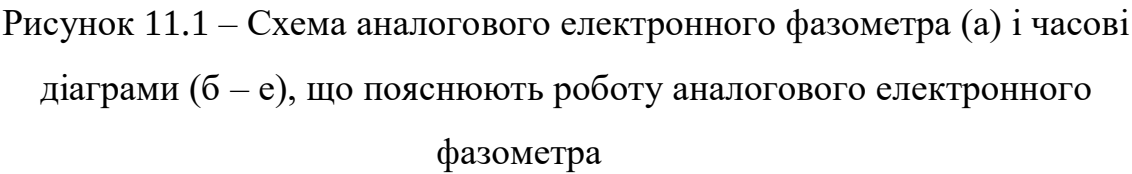
якого пропорційно вимірюваному зрушенню за фазою.

Синусоїдальні сигнали u_1 і u_2 однієї і тієї ж частоти, зсув по фазі між якими вимірюється, подають на входи опорного і сигнального (вимірювального) каналів, що складаються з підсилювачів–обмежувачів, що диференціюють коло і синхронізованих мультивібраторів. Вхідні сигнали u_1 і u_2 в обох каналах посилюються і перетворюються підсилювачами–обмежувачами в симетричні сигнали прямокутної форми з крутими фронтами і зрізами типу «Меандр» (див. рис. 11.1, б), диференціюються, а потім синхронізовані мультивібратори формують періодично повторювані прямокутні імпульси з незмінною крутизною (див. рис. 11.1, в), тривалістю, що дорівнює $T/2$, і зсунутих один щодо одного на інтервал часу ΔT пропорційний зсуву по фазі φ .

Прямокутні імпульси з опорного і сигнального каналів надходять в спеціальне диференціююче і розподільне коло, на виході якого виходять гострі імпульси однакової форми і тривалості; позитивні імпульси відповідають фронтам, а негативні – зрізам (див. рис. 11.1, г). Продиференційовані імпульси подаються на вихідні синхронізовані мультивібратори.

На вихідний мультивібратор опорного каналу надходять продиференційовані позитивні імпульси опорного каналу і негативні – вимірювального каналу, а на мультивібратор вимірювального каналу відповідно – позитивні імпульси вимірювального і негативні – опорного каналів.





При цьому мультивібратор опорного каналу формує імпульс (див. рис. 11.1, д) тривалістю $T/2 + \Delta T$, а мультивібратор вимірювального каналу – імпульс тривалістю $T/2 - \Delta T$. Показання магнітоелектричного мікроамперметра, включеного за схемою віднімання струмів, пропорційні середньому значенню (постійної складової) різниці струмів (див. рис. 11.1, е) вихідних мультивібраторів за період вхідного сигналу:

$$I_0 = I_{CP} = 2 \cdot \frac{\Delta T}{T} \cdot I_m,$$

де I_m – фіксоване значення амплітуди вихідних імпульсів.

Використовуючи вираз $\varphi = \omega \cdot \Delta T$ і $\omega = 2\pi / T$, отримаємо, зсув за фазою φ , що зв'язується зі значення відносного часового інтервалу $\Delta T/E$:

$$\varphi = 360^\circ \cdot \frac{\Delta T}{T}.$$

Зсув за фазою φ пропорційний інтервалу часу ΔT між імпульсами. Після підстановки значень, отримаємо:

$$\varphi = 360^\circ \cdot \frac{I_{CP}}{2 \cdot I_m} = 180^\circ \cdot \frac{I_{CP}}{I_m}.$$

З нього випливає, що шкала мікроамперметра може бути налаштована безпосередньо в градусах зсуву по фазі і не залежити від частоти і рівнів вхідних сигналів, зсув по фазі між якими вимірюється.

Похибка вимірювання зсуву по фазі визначається похибкою перетворення останніх в часовий інтервал, ступенем стабільності вихідних струмів і точністю самого мікроамперметра і становить значення порядку $(1,5 \div 3)\%$.

Цифрові (електронно–лічильні) фазометри. В основі побудови

цифрового фазометра лежить формула:

$$\varphi = 360^\circ \cdot \frac{\Delta T}{T},$$

в яку слід замість тимчасових інтервалів ΔT і T підставити відповідне їм число імпульсів, зразкової частоти. Схема цифрового фазометра, подібна до схеми цифрового вимірювача, інтервалів часу. Принцип, вимірювання зсуву за фазою за один період зводиться до вимірювання періоду синусоїдальних напруг u_1 і u_2 . Час відкритого стану селектора визначається вимірюваним періодом T і за цей проміжок часу через селектор на електронний лічильник проходять імпульси зразкової частоти f_0 (періоду T_0). Число імпульсів N (див. рис. 11.2, а–в), перелічені лічильником за період T , становить:

$$N = \frac{T}{T_0}.$$

Потім синусоїдальні напруги u_1 і u_2 , зсув по фазі між якими слід виміряти, перетворюються в послідовність імпульсів, прив'язаних до певної фази вхідного напруги (див. рис. 11.2, г, д). В результаті імпульси однієї послідовності виявляються зсунутими щодо імпульсів іншої послідовності на час ΔT , пропорційно зсуву по фазі. Час відкритого стану визначається вже ΔT , число n (див. рис. 11.2, е) полічених імпульсів зразкової частоти f_0 дорівнюватиме:

$$N = \frac{\Delta T}{T_0}.$$

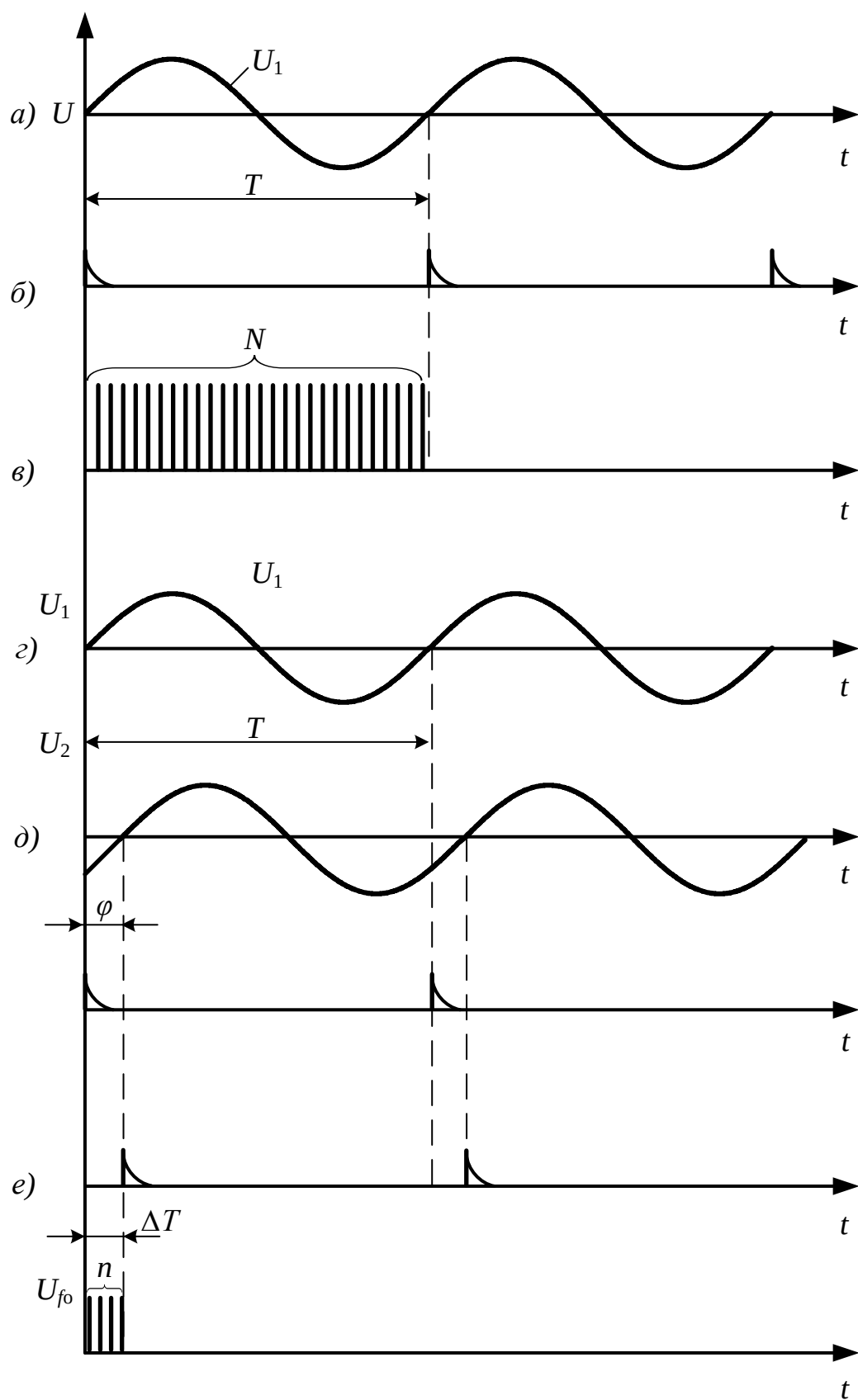


Рисунок 11.2 – Часові діаграми, що пояснюють роботу цифрового фазометру

Підставши значення N і n , отримаємо:

$$\varphi = 360^\circ \cdot \frac{n}{N}$$

або

$$\varphi = 360^\circ \cdot \frac{f}{f_0} \cdot n.$$

На цьому принципі побудовані низькочастотні цифрові фазометри, в яких виконується умова $(f_0 / f) \geq 10^3$.

На частоті $f_0 = 10$ МГц максимальна частота вхідних сигналів повинна бути не більше 10 кГц. При вимірі малих зрушень по фазі або при високій частоті досліджуваних синусоїдальних напруг, використовується генератор зразкової частоти, що набагато перевищує частоту досліджуваних напруг (тобто $f_0 \gg f$), також електронний лічильник з великою ємністю і високою швидкістю рахунку.

При вимірюванні середнього значення зсуву по фазі за кілька періодів досліджуваних напруг потрібно знання частоти досліджуваних напруг. Рахунок імпульсів зразкової частоти (рахункових імпульсів) протягом часу ΔT проводиться за час циклу вимірювання $T_H \ll T$.

Схема цифрового фазометра з усередненням за період і тимчасові діаграми напруг представлені на рисунку 11.3 а, б. Досліджувані напруги u_1 і u_2 у формувачах перетворюються в періодичну послідовність імпульсів, зрушених на інтервал ΔT . Пристрій управління формує прямокутний імпульс тривалістю ΔT , який відкриває часовий селектор 1 і через нього проходять імпульси зразкової частоти f_0 . Щоб імпульси підраховувалися електронним лічильником протягом декількох періодів досліджуваної напруги, передбачений другий селектор, що відкривається імпульсом з дільника частоти на час циклу

вимірювання, де k –коефіцієнт ділення частоти. Таким чином, протягом часу усереднення на електронний лічильник пройде кілька груп імпульсів. Число груп визначається відношенням часу усереднення до періоду досліджуваних напруг, а число імпульсів в групі – відношенням тривалості інтервалу ΔT до періоду рахункових імпульсів T_0 . Загальна кількість імпульсів, що пройшли в електронний лічильник і далі в цифровий індикатор.

$$N = \frac{T_I}{T} \cdot \frac{\Delta T}{T_0}.$$

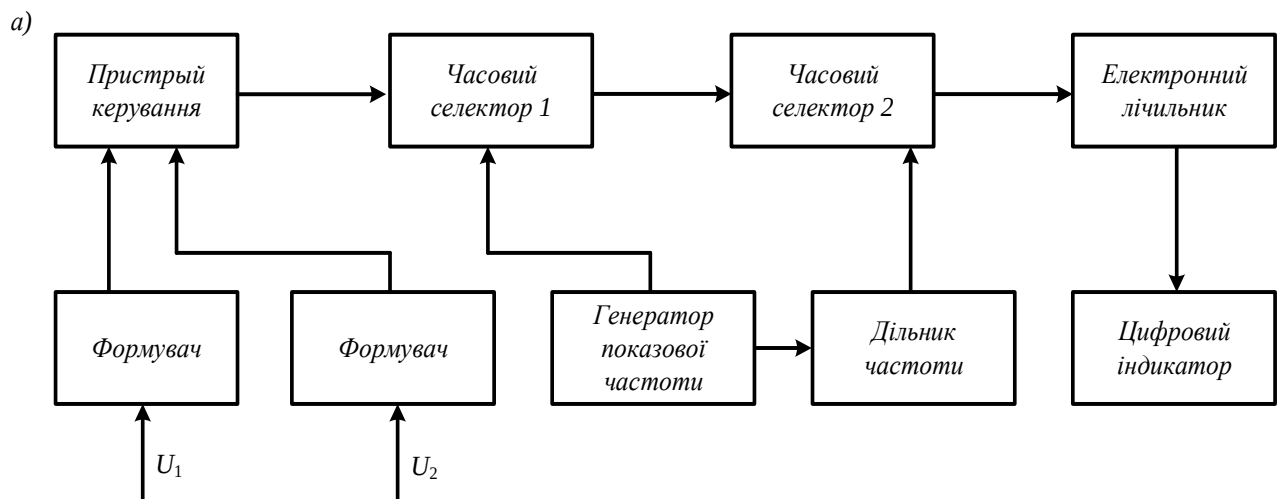
Підставивши в формулу значення $T_I = k \cdot T_0$ і $\Delta T = \varphi \cdot T / 360^\circ$, отримаємо

$$N = \frac{k \cdot T_0}{T} \cdot \frac{\varphi \cdot T}{360^\circ \cdot T_0} = \frac{k \cdot \varphi}{360^\circ},$$

звідси

$$\varphi = \frac{360^\circ}{k} \cdot N.$$

Таким чином, фазометр виходить прямопоказуючим. Для фазометра в порівнянні з вимірювачем інтервалів часу є ще похибка часу вимірювання T_I .



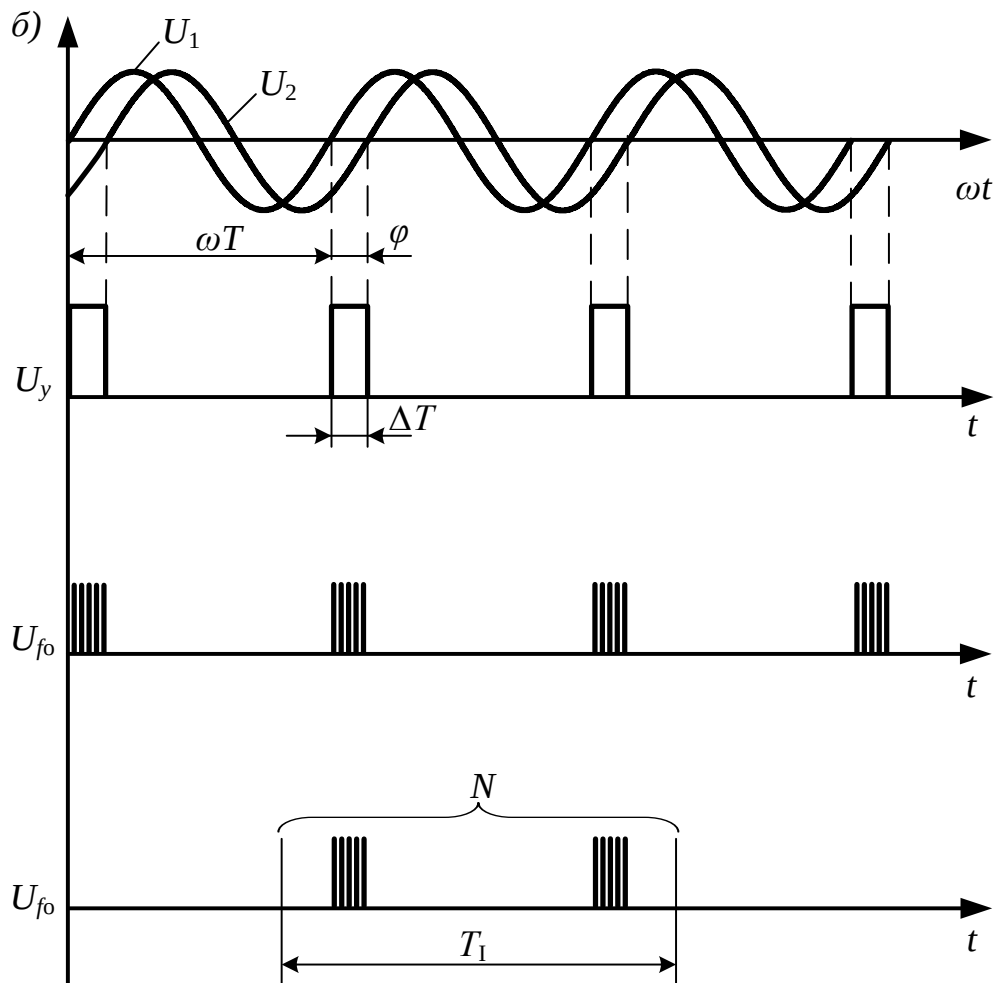


Рисунок 11.3 – Схема цифрового фазометра з усередненням (а) і часові діаграми напруг (б)

Вимірювання зсуву по фазі осцилографом. Вимірювання зсуву по фазі між двома напругами однакової частоти можна виконати, використавши електронний осцилограф. Спосіб вимірювання простий і широко застосовується при грубих вимірах. Зрушення по фазі розраховують за параметрами, виміряними із зображення на екрані – за осцилограмами напруги при лінійній розгортці і фігурам Ліссажу під час кругової розгортки.

Вимірювання зсуву по фазі в режимі лінійної розгортки. Під час використання лінійної розгортки на екрані двопроменевого або однопроменевого осцилографа одночасно спостерігаються дві досліджувані напруги u_1 і u_2 . При вимірюванні за допомогою двопроменевого осцилографа на входи вертикальних каналів подають дві синусоїдальні напруги однакової

частоти: $u_1(t) = U_{m1} \cdot \sin \omega t$ і $u_2(t) = U_{m2} \cdot \sin(\omega t - \varphi)$, між якими вимірюється зрушення по фазі. При суміщенні горизонтальної розгортки променів в одну лінію на екрані спостерігаються зображення напруг u_1 і u_2 (див. рис. 11.4). За вимірними в масштабі відрізками ab і ac , відповідним тимчасового зсуву ΔT і періоду T , обчислюється зсув по фазі:

$$\varphi = \frac{ab}{ac} \cdot 360^\circ.$$

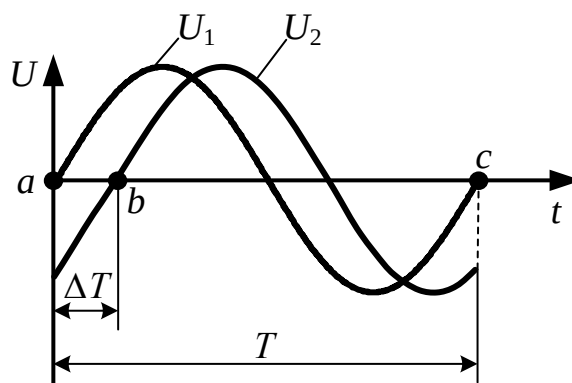


Рисунок 11.4 – Осцилограми напруг, що досліджуються

Вимірювання зсуву по фазі за фігурами Ліссажу (фігура еліпса). Під час вимірювання зсуву за фазою між напругою за фігурами Ліссажу, одне з них подається на вхід вертикального, а інше на вхід горизонтального каналів. При цьому на екрані спостерігають фігуру Ліссажу в вигляді еліпса (генератор розгортки при цьому вимкнений). Центр еліпса (див. рис. 11.5) необхідно поєднати з початком координат і знайти точки перетину еліпса з віссю абсцис (ординат) і максимальну абсциссу (ординату) еліпса. Якщо $t=0$ або $t = \pi / \omega$ напруга, що відхиляє промінь по вертикалі, $u_1 = 0$, а напруга, що відхиляє промінь по горизонталі, $u_2(t) = U_{m2} \cdot \sin \varphi$ або $u_2(t) = -U_{m2} \cdot \sin \varphi$. Відрізок ab еліпса пропорційний $2U_{m2} \cdot \sin \varphi$. Відрізок $a'b'$, пропорційний $2U_{m2}$, відповідає максимальному відхиленню променя в горизонтальному напрямку. Зрушення за фазою:

$$\varphi = \arcsin \frac{ab}{a'b'}$$

або

$$\varphi = \arctg \frac{A}{B}.$$

За фігурою еліпса можна вимірювати значення зсуву по фазі без визначення знака кута зсуву. Похибка вимірювання по фігурі еліпса становить (5÷10)%. Причинами похибки є неточність визначення довжин відрізків, ширина променя, деформація еліпса, викликана наявністю вищих гармонік в напругах, що досліджуються, різні фазові похибки підсилювачів горизонтального і вертикального каналів осцилографа. Вимірювання φ виконують в діапазоні частот, що відповідає смузі пропускання підсилювачів.

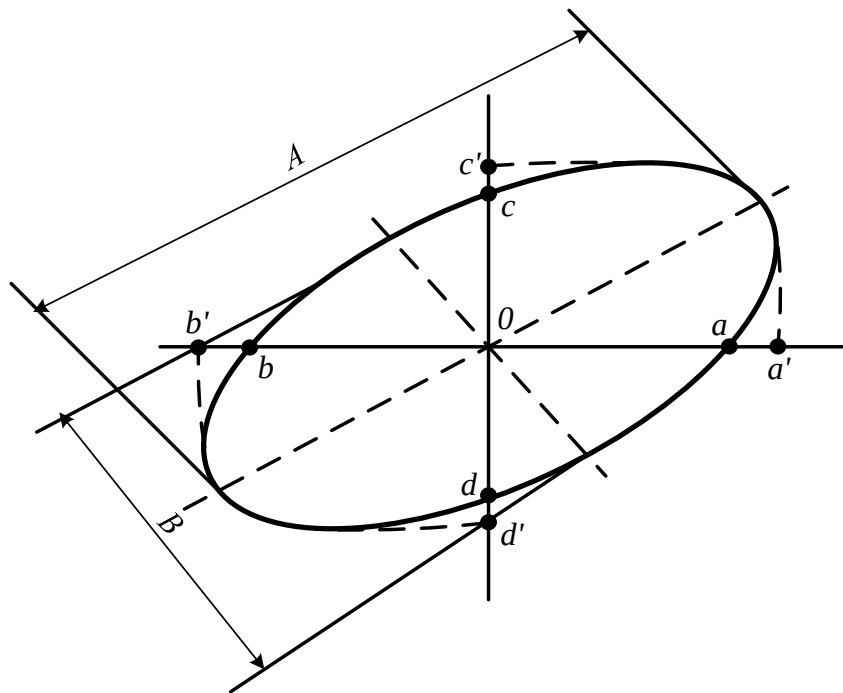


Рисунок 11.5 – Вимірювання фазного зсуву за фігурою еліпс

Невизначеність знака фазового зсуву можна усунути, якщо напругу u_2 одночасно подати на вхід X осцилографа і на модулятор (керуючий електрод) ЕПТ зі зрушенням по фазі на 90° , за рахунок чого збільшиться яскравість

частини еліпса при позитивній напівхвилі поданої напруги. Так як при позитивному і негативному фазному зсуві електронний промінь рухається відповідно за годинниковою і проти годинникової стрілки, то при позитивних значеннях яскравіше світиться верхня частина еліпса, а при негативних – нижня. Схема зі зміною яскравості променя дозволяє вимірювати фазний зсув в межах $\pm 180^\circ$ із зазначенням знака.

Вимірювання фазного зсуву компенсаційним методом. Точність вимірювання фазного зсуву може бути значно підвищена, якщо в коло одного з досліджуваних напруг вноситься зсув по фазі (див. рис. 11.6), що дорівнює за значенням, але зворотний за знаком зрушення по фазі між досліджуваними напругами u_1 і u_2 .

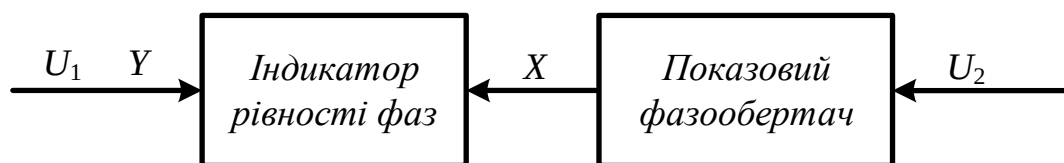


Рисунок 11.6 – Вимірювання фазного зсуву компенсаційним методом

Значення внесеного фазного зсуву змінюється до тих пір, поки різниця фаз між досліджуваними напругами не стане дорівнює 0 або 180° . На екрані осцилографа (в індикаторі рівності фаз) замість еліпса буде спостерігатися пряма, нахилена вправо (зрушення фаз дорівнює φ) або вліво від вертикальної осі (зрушення фаз дорівнює $180^\circ - \varphi$). Таким чином, виконується порівняння вимірюваного фазного зі зсувом по фазі, створюваним зразковим фазообертачем. Відлік кута фазного зсуву визначається за шкалою фазообертача. В якості фазообертача використовують RC-коло, мостові і трансформаторні схеми та ін. Частотні властивості фазообертача визначають діапазон робочих частот.

Порядок виконання роботи:

- 1 Зібрати схему, представлену на рисунку 11.7.

2 Перед включенням стенда переконатися, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

3 Включити комп'ютер і запустити програму «DiSco».

4 Налаштуйте перший і другий канал осцилографа і запустіть його в режимі багаторазового запуску.

5 Перед включенням стенда переконатися, що всі інші перемикачі знаходяться в початковому положенні (вимкнені).

6 Включити стенд автоматичним вимикачем $QF1$.

7 За допомогою режиму відображення осцилограм XY , відкрити вікно для дослідження фігур Ліссажу.

8 Зупинити осцилограф.

9 Використовуючи координати, які відображаються в правому верхньому куті, визначається відрізками ab , $a'b'$.

10 Для зручності можна зупинити осцилограф і використовуючи такі інструменти як «мітки часу», «вимірювальні лінійки», визначити період сигналів, час неузгодженості між ними (відрізки ab і ac) і розрахувати зрушення фаз осцилографічним методом.

11 Вимкнути стенд в наступному порядку:

– вимкнути стенд автоматичним вимикачем $QF1$;

– прибрати всі джампера.

12 За отриманими відрізками розрахувати зрушення фази між сигналами за формулами:

$$\varphi = \arcsin \frac{ab}{a'b'};$$

$$\varphi = \frac{ab}{ac} \cdot 360^\circ.$$

13 Пояснити отриману різницю кутів.

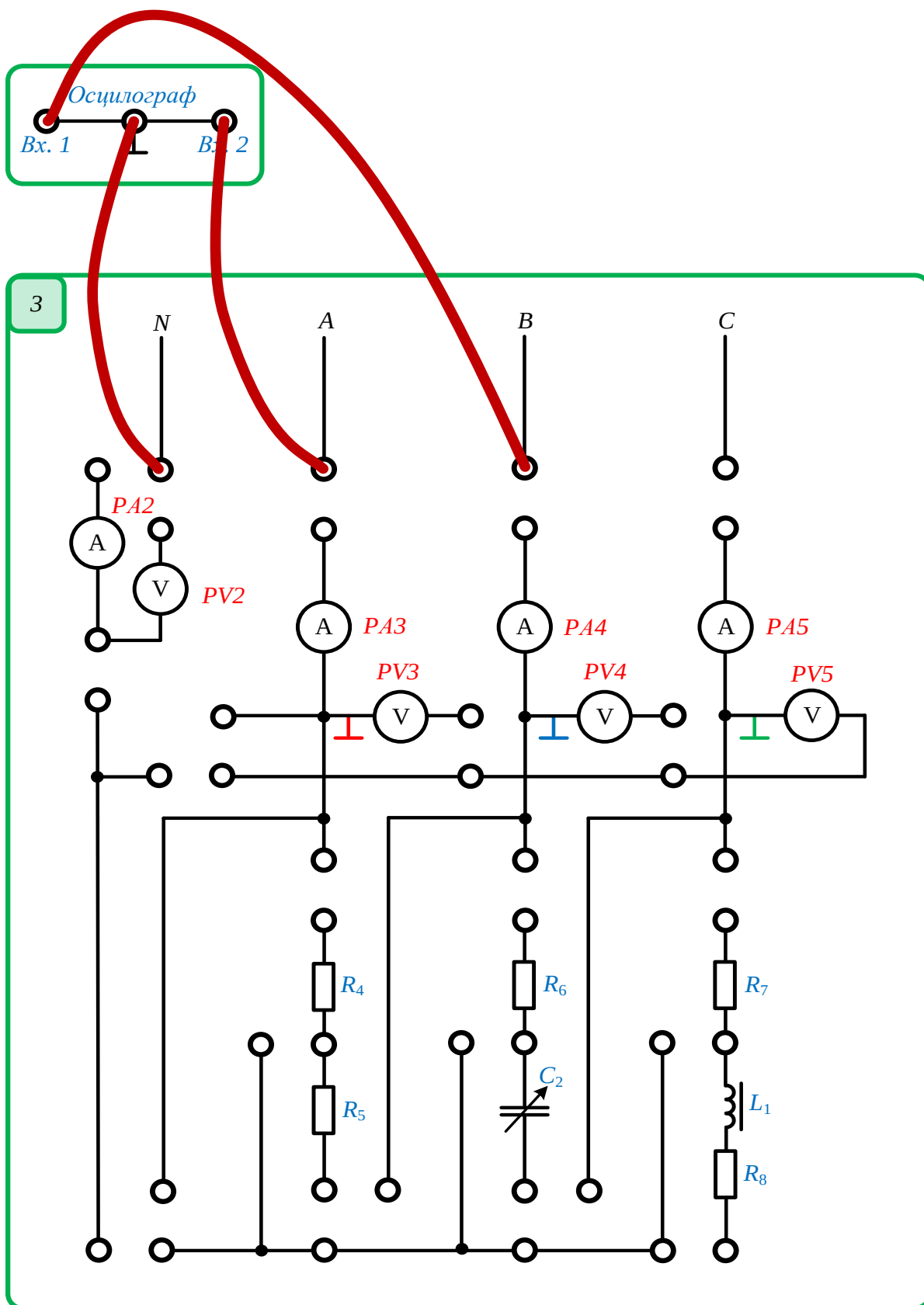


Рисунок 11.7 – Схема для вимірювання фазного зсуву за фігурам Ліссажу (фігура еліпса)

Зміст звіту:

- 1 Мета роботи.
- 2 Принципові схеми експериментальних досліджень .
- 3 Результати експериментальних досліджень.
- 4 Теоретичний розрахунок параметрів.
- 4 Висновки за результатами виконаних досліджень у лабораторній роботі.

Контрольні запитання:

- 1 Що таке фазометр?
- 2 Які фазометри відносять до фазометрів безпосередньої оцінки?
- 3 Опишіть принцип роботи аналогового електронного фазометру.
- 4 В чому полягає принцип вимірювання фазного зсуву компенсаційним методом?
- 5 Опишіть принцип роботи цифрового фазометру.
- 6 Від чого залежить вибір методу вимірювання фазового зсуву?
- 7 Які види фігур Луссажу використовуються для вимірювання фазового зсуву?
- 8 Наведіть схему цифрового фазометру з усередненням.
- 9 За допомогою яких приладів виконується вимірювання зсуву по фазі між напругою та струмом?
- 10 Що характеризує фаза? Наведіть рівняння.

Література: [1, 2, 6]

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Информационно-измерительная техника и электроника : учеб. высш. проф. образование / В.В. Калашников, С. Нефёдов, Г. Раннев и др. – М. : Академия, 2007. – 512 с.
2. Данилин, А.А. Измерения в радиоэлектронике : учеб. пособие / А.А. Данилин, Н.С. Лавренко. – Изд-во Лань, 2017. – 407 с.
3. Мирский, Г.Я. Электронные измерения : учеб. пособие / Г.Я. Мирский. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Радио и связь, 1986. – 440 с. : ил.
4. Шарапов, В.М. Датчики : справ. пособие / В.М. Шарапов, Е.С. Полищук. – М. : Техносфера, 2012. – 624 с.
5. Нестерчук, Д.М. Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології : конспект лекцій / Д.М. Нестерчук. – Мелітополь : Видав.-поліграф. центр «Люкс», 2020. – 256 с.
6. Дьяконов, В.П. Современная осциллография и осцилографы / В.П. Дьяконов. – М. : СОЛОН-Пресс, 2010. – 320 с. – (Серия «Библиотека инженера»).
7. Основы метрології та вимірювальної техніки : навч. посіб. / В.О. Поджаренко, П.І. Кулаков, О.Г. Ігнатенко та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 151 с.
8. Фрайден, Дж. Современные датчики : справ. / Дж. Фрайден. – М. : Техносфера, 2006. – 592 с.
9. Парахуда, Р.Н. Информационно-измерительные системы : письм. лекции / Р.Н. Парахуда, Б.Я. Литвинов. – СПб. : СЗТУ, 2002. – 74 с.
10. Давачі : довідник / З.Ю. Готра, Л.Я. Ільницький, Є.С. Поліщук та ін. – Львів : Каменярь, 1995. – 312 с.
11. Панев, Б.И. Электрические измерения : справ. (в вопросах и ответах) / Б.И. Панев, Р.Г. Агаев, В.И. Галинский. – М. : Агропромиздат, 1987. – 224 с.
12. Справочник по электроизмерительным приборам / К.К. Илюнин, Д.И. Леонтьев, Л.И. Набебина и др. – Л. : Энергия, 1977. – 832 с.

13. Зудин, В.Л. Датчики : измерение перемещений, деформаций и усилий : учеб. пособие для вуз. / В.Л. Зудин, Ю.П. Жуков, А.Г. Маланов. – 2-е изд. – М. : Юрайт, 2020. – 199 с.

14. Платт, Ч. Энциклопедия электронных компонентов. Т.1. Резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, переключатели, преобразователи, реле, транзисторы / Ч. Платт, Ф. Янссон ; [пер. с англ.] – СПб. : БХВ-Петербург, 2016. – 352 с.

15. Датчики температуры [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.compel.ru/catalog/sensors/temp-sensors>. – Назва з екрана.