

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМ. МАКАРОВА

О.С. Дьяконов, В.С. Буряк, І.І. Стужук

ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ

Методичний посібник для виконання лабораторних робіт
з використанням універсального навчально-дослідного
лабораторного стенду

Миколаїв
НУК
2023

УДК 621.3.011.7(076.5)

Д 93

*Рекомендовано Методичною Радою
Навчально-наукового інституту автоматики та електротехніки*

Укладачі:

О.С. Дьяконов, кандидат технічних наук, доцент кафедри програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій;

В.С. Буряк, старший викладач кафедри програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій;

І.І. Стужук, завідувач лабораторіями кафедри програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій

Рецензент:

В.М. Рябенський, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій

Дьяконов О.С., Буряк В.С., Стужук І.І.

Д 93 Теорія електричних кіл. Методичний посібник для виконання лабораторних робіт з використанням універсального навчально-дослідного лабораторного стенду. – Миколаїв: НУК, 2023. – 58 с.

Методичний посібник містить у собі рекомендації щодо виконання циклу лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Теорія електричних кіл» з використанням універсального лабораторного стенду, розробленого колективом кафедри програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій.

Загальна кількість запропонованих лабораторних робіт – 5.

Методичний посібник призначений для студентів спеціальностей 171 «Електроніка» та 172 «Електронні комунікації та радіотехніка», а також може бути корисним для студентів інших електротехнічних спеціальностей.

УДК 621.3.011.7 (076.5)

© Дьяконов О.С., Буряк В.С., Стужук І.І., 2023

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2023

ЗМІСТ

Вступ	4
Загальні вказівки щодо виконання лабораторних робіт	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1 ВИВЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ	7
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 ЛІНІЙНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	20
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 НЕЛІНІЙНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	26
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 НЕРОЗГАЛУЖЕНІ КОЛА СИНУСОЇДАЛЬНОГО СТРУМУ	31
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5 РОЗГАЛУЖЕНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА СИНУСОЇДАЛЬНОГО СТРУМУ	44

ВСТУП

Курс «Теорія електричних кіл» (ТЕК) є першою дисципліною вищої електротехнічної освіти, а виконання лабораторних робіт з цього курсу – одним з обов'язкових видів занять, що забезпечують зв'язок теорії з практикою.

Лабораторні роботи з курсу ТЕК сприяють глибшому засвоєнню основних теоретичних положень та отриманню певних навичок проведення експерименту.

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Порядок виконання лабораторних робіт

1. Для виконання лабораторних робіт група розбивається на бригади по три-чотири особи. Відповідно до порядкового номеру бригади у лабораторному журналі за нею закріплюється на весь семестр лабораторний стенд, комплект елементів та набір необхідних приладів. Номер бригади відповідає варіанту завдання до лабораторної роботи. Категорично забороняється зміна стендів, елементів та приладів без дозволу викладача.

2. Перед початком кожної роботи студент зобов'язаний отримати у лаборанта набір елементів та перевірити його комплектність. Після виконання роботи та отримання підпису викладача у протоколі всі елементи мають бути здані.

3. Студенти повинні заздалегідь готуватися до чергового заняття, використовуючи конспект лекцій та рекомендовану літературу, та з'являтися до лабораторії з підготовленим протоколом. Чи не підготовлені до занять студенти до роботи не допускаються.

4. На початку кожного заняття здійснюється контроль теоретичної підготовки студентів. За результатами цього опитування та подальшого захисту (на наступному занятті) повністю оформленого протоколу виконаної лабораторної роботи ставиться підсумкова оцінка.

5. Під час занять у лабораторії повинні підтримуватись порядок та ділова обстановка. Студентам забороняється залишати робоче місце.

6. Студенти повинні дбайливо поводитися з устаткуванням. Під час лабораторних робіт вони несуть повну відповідальність за збереження та справність закріплених за ними стендів, елементів та приладів.

Пропущені чи неправильно виконані роботи відпрацьовуються наприкінці семестру.

Пам'ятка з техніки безпеки

Враховуючи те, що напруга в мережі стенду становить 220 В, а на окремих елементах вона може перевищувати 100 В, слід пам'ятати і виконувати такі правила безпеки:

1. Складання схеми та можливі перемикання в ній необхідно проводити тільки при повністю відключених джерелах живлення.

2. Перед початком роботи слід чітко засвоїти призначення всіх елементів, що комутують, що знаходяться на стенді і в досліджуваній схемі.

3. Зібрана схема має бути перевірена викладачем чи лаборантом. Включення її під напругу можливе лише з дозволу.

4. Якщо під час виконання роботи необхідно виконувати ті чи інші операції з апаратурою, що перебуває під напругою, то при цьому слід торкатися лише ізольованих частин.

5. Перед увімкненням електричних кіл усі ручки регуляторів напруги необхідно встановити на мінімальну напругу, повернувши ліворуч до упору.

6. Суворо **забороняється**:

- торкатися неізольованих дротів, затискачів та інших частин електричних кіл та приладів, що знаходяться під напругою;

- Вмикати схему під напругу, якщо один з кінців монтажного дроту вільний;

- залишати без нагляду установку під напругою.

7. У разі аварії на робочому місці (пошкодження приладів та обладнання, перегорання запобіжників тощо) студент зобов'язаний **негайно** відключити схему від мережі та повідомити про це викладача або лаборанта.

Порядок оформлення звіту

Звіт з лабораторних робіт оформляється на аркушах паперу формату А4 (210×297 мм). Текст має бути написаний чітко та акуратно. У тексті допускається застосування лише загальноприйнятих позначень та скорочень, розшифрованих за першої згадки.

До звіту повинні входити: *титільний лист; мета роботи; принципова схема досліджуваного електричного кола; порядок проведення дослідів; розрахункові формули та обчислення*; таблиця використання приладів; результати дослідження (таблиці, графіки, чисельні значення певних параметрів чи режимів); аналіз отриманих результатів та висновки по роботі.

До початку роботи оформляється протокол звіту, що включає пункти 1-5 (виділені *курсивом*) з необхідними таблицями і формулами.

Схеми та графічні побудови необхідно виконувати з дотриманням прийнятих ДСТУ позначень. Для векторних діаграм необхідно вказувати масштаби.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ВИВЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК

ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ

Мета роботи: вивчити влаштування лабораторного стенду та отримати навички складання електричних кіл, вимірювання струмів, напруг, опорів.

Опис лабораторного стенду

Універсальний навчально-дослідний лабораторний стенд (рис. 1.1) призначений для виконання лабораторних робіт з курсу ТЕК фронтальним методом. Він включає у себе набір вимірювальних приладів, джерел енергії, набірного поля і регульованих пасивних елементів.

Джерела енергії розташовані у верхній лівій частині стенду. До них відносяться: лабораторний блок живлення (джерело стабілізованої постійної напруги та струму) – 2 шт.; генератор сигналів довільної форми – 2 прим.; підсилювач сигналів – 2 шт.

Вимірювальні прилади включають: мультиметр – 2 шт., цифровий двоканальний осцилограф – 1 шт.

Вузол електронного ключа є замикаючим і розмикаючим безконтактні вимикачі, керовані зовнішнім джерелом напруги.

Праворуч від набірного поля розташовуються блоки змінного опору; змінної індуктивності; змінної ємності.

Блок змінного опору складається з трьох нерегульованих резисторів: $R_1 = 100 \text{ Ом}$; $R_2 = 200 \text{ Ом}$; $R_3 = 400 \text{ Ом}$ та регульованого резистора R_4 з діапазоном регулювання $0 \dots 999 \text{ Ом}$. Регулювання здійснюється ступінчасто за допомогою перемикачів, ручки керування яких виведені на передню панель.

Блок змінної індуктивності складається з трьох нерегульованих котушок індуктивності: $L_1 = 1 \text{ Гн}$; $L_2 = 1,5 \text{ Гн}$; $L_3 = 2 \text{ Гн}$ (L_1 і L_2 мають спільний сердечник) і котушки регульованої індуктивності L_4 з діапазоном регулювання $0,1 \dots 99,9 \text{ мГн}$. Регулювання здійснюється ступінчасто за допомогою перемикачів, ручки керування яких виведені на передню панель.

Підсилювачі сигналів

Генератори сигналів

Джерела постійних напруг/струму

Мультиметри

Осцилограф

Набірне поле

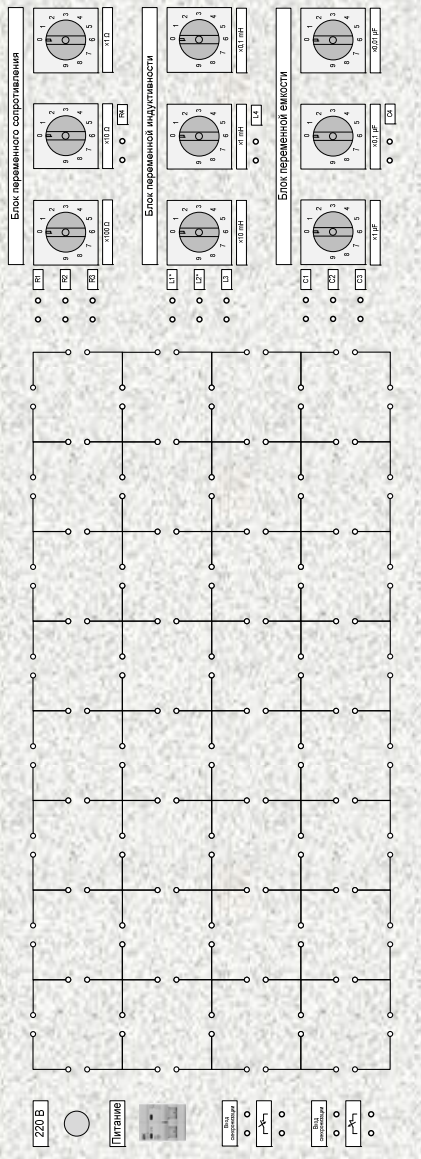


Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд лабораторного стенду

Таблиця 1.1

Номер елементу	Назва елементу	Тип	Номинал	U_n , В	I_n , мА	P_n , Вт	Примітка
01	Резистор	МЛТ-2	50 Ом	–	220	2	Нерегульований
02			75 Ом	–	160	2	
03			100 Ом	–	140	2	
04			150 Ом	–	110	2	
05			200 Ом	–	100	2	
06			300 Ом	–	75	2	
07			510 Ом	–	60	2	
08			750 Ом	–	50	2	
09			820 Ом	–	48	2	
10			1000 Ом	–	44	2	
11	Конденсатор	МБМ	0,1 мкФ	160			
12			0,25 мкФ	160			
13			0,5 мкФ	160			
14			0,75 мкФ	160			
15			0,1 мкФ	160			
16			1,25 мкФ	160			
17			1,5 мкФ	160			
18			1,75 мкФ	160			
19			2,0 мкФ	160			
20	Котушка індуктивності		2 мГн				Витки – 25
21			3 мГн				32
22			5 мГн				41
23			7 мГн				48
24			10 мГн				56
25			15 мГн				72
26			20 мГн				83
27			30 мГн				101
28			50 мГн				136
29			70 мГн				155
30	Стабілітрон	Д8Г5				80	
31	Лампа розжарювання	КМ-24		24		90	

Блок змінної ємності складається з трьох нерегульованих конденсаторів $C1 = 0,1$ мкФ, $C2 = 10$ мкФ, $C3 = 20$ мкФ та регульованої ємності $C4$ з діапазоном регулювання $0,01$ - $9,99$ мкФ. Регулювання здійснюється ступінчасто за допомогою перемикачів, ручки керування яких виведені на передню панель.

Набірне поле стенду є панель з 76 парами певним чином з'єднаних гнізд, призначених для підключення та встановлення елементів досліджуваних електричних кіл. Набірні елементи виконані у вигляді прозорих пластмасових коробок, всередину яких впаяно стандартні елементи. У комплект стенду входять 33 набірні елементи та набір з'єднувальних проводів для підключення до набірної плати джерел живлення та регульованих пасивних елементів. Параметри деяких елементів наведено у табл. 1.1.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДІВ

1. Встановити обмеження струму для лабораторного джерела живлення (рис. 1.2):

- увімкніть лабораторне джерело живлення, натиснувши кнопку живлення (5);



Рисунок 1.2 – Передня панель лабораторного джерела живлення

- ручкою грубого регулювання вихідної напруги (9) встановіть на дисплеї вольтметра (6) значення напруги в діапазоні 2..5 В;

- виведіть ручки грубого (2) та точного (3) регулювання вихідного струму в мінімальне положення, повернувши їх ліворуч до упору;

- закоротіть відрізком дроту позитивну (12) та негативну (13) вихідні клема;

- за наявності перемикача А/мА (7) переведіть його у положення «мА»;

- обертаючи ручку грубого (2), а потім точного (3) регулювання вихідного струму, виставте на дисплеї амперметра значення 200 мА, при цьому повинен загорітися індикатор режиму стабілізації вихідного струму (4);

- відключіть від вихідних клем джерела живлення перемичку, джерело перейде в режим стабілізації вихідної напруги, засвітиться індикатор (10).

2. Виміряти величину вихідної напруги лабораторного джерела живлення з використанням мультиметра (рис. 1.3):

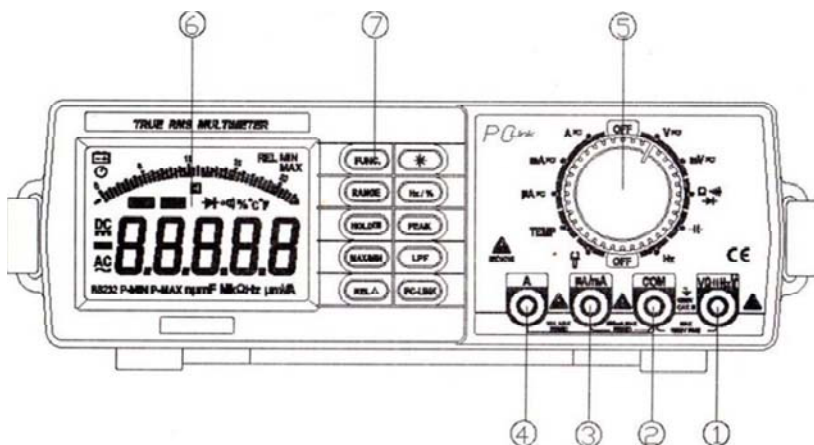
- встановіть поворотний перемикач (5) у положення $V=$, на РК-дисплеї буде відображено DC;

- вставте роз'єм червоного щупа у гніздо $V \Omega Hz$ (1), а роз'єм чорного щупа – у гніздо COM (2);

- підключіть щупи до об'єкта вимірювання – червоний щуп до позитивної вихідної клем лабораторного джерела живлення, а чорний – до негативної;

- у режимі автовибору мультиметр сам вибере належний діапазон виміру; результат вимірювання буде відображено на РК-дисплеї;

- натисканням кнопки RANGE можна обрати режим ручного вибору діапазону. При цьому поява показу OL означатиме необхідність вибору більшого діапазону. Поява показу OL при максимальному діапазоні вимірювання означає, що напруга на вході приладу перевищує 1000 В і слід негайно від'єднати обидва щупи від досліджуваного електричного кола.



1 – Гніздо **V Ω Hz** (позитивний вхід для всіх вимірювань, окрім вимірювання струму, до нього підключається червоний щуп);

2 – Гніздо **COM** (загальний вхід для всіх вимірювань, до нього підключається чорний щуп);

3 – Гніздо **μA/mA** (позитивний вхід для вимірювання струму – діапазон мкА чи mA – до нього підключається червоний щуп);

4 – Гніздо **A** (позитивний вхід для вимірювання струму – діапазон A – до нього підключається червоний щуп);

5 – Поворотний перемикач. Зміна положення поворотного перемикача дозволяє обирати режим вимірювання вхідного сигналу.

УВАГА! Зміна положення поворотного перемикача має здійснюватись до подачі сигналу на вхід мультиметра, у протилежному випадку можливе пошкодження приладу!

6 – Екран РК-дисплею;

7 – Кнопки керування.

Рисунок 1.3 – Передня панель мультиметра

Обертаючи ручку грубого регулювання вихідної напруги лабораторного джерела живлення, провести замір вихідної напруги джерела мультиметром з одночасною фіксацією показань на дисплеї джерела. Зробити п'ять-шість вимірювань для різного положення ручки грубого регулювання, включаючи її максимальне положення. Результати вимірювань занести до табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Номер вимірювання	Значення напруги на дисплеї лабораторного джерела живлення, В	Покази мультиметра, В
1.		
2.		
...		

3. Визначити вольт-амперну характеристику (ВАХ) лабораторного джерела живлення у режимі стабілізації напруги.

Для цього необхідно зібрати електричне коло, принципову схему якого зображено на рис. 1.4.

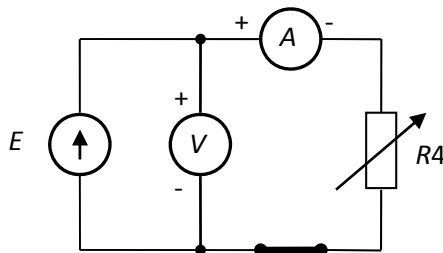


Рисунок 1.4 – Принципова електрична схема для визначення ВАХ лабораторного джерела живлення

В якості опору R_4 використовується блок змінного опору.

Приклад збирання даної схеми на лабораторному стенді наведено на рис. 1.5.

Для вимірювання постійного струму мультиметром виконайте наступні дії:

- встановіть поворотний перемикач у положення mA , на РК-дисплеї буде відображено DC;
- вставте роз'єм червоного щупа у гніздо $\mu\text{A}/\text{mA}$, а чорного – у гніздо COM;
- розірвіть коло навантаження; підключіть щупи послідовно із навантаженням;
- у режимі автовибору мультиметр сам вибере відповідний діапазон вимірювання. Результат вимірювання буде відображено на РК-дисплеї;

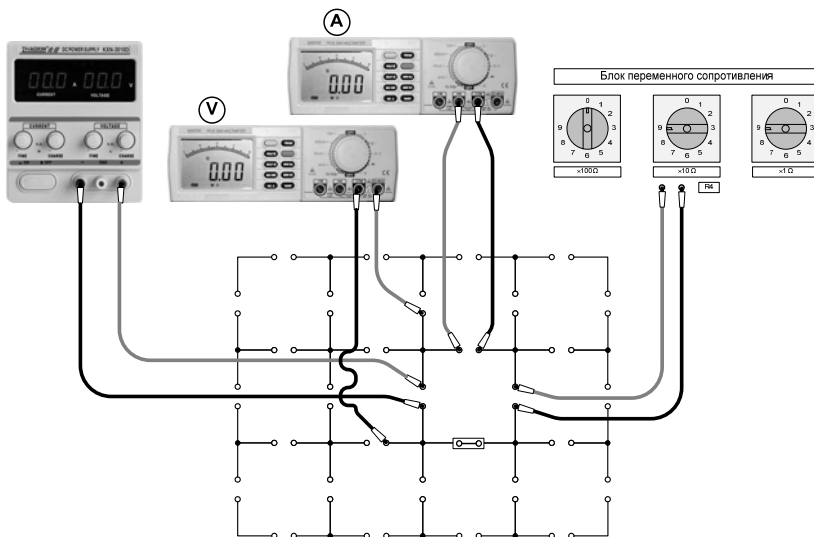


Рисунок 1.5 – Приклад збірки електричного кола для визначення ВАХ лабораторного джерела живлення

- натисканням кнопки RANGE можна обрати режим ручного вибору діапазону. При цьому поява показу OL означатиме необхідність вибору більшого діапазону. Поява показання OL при максимальному діапазоні вимірювання означає, що струм на вході приладу перевищує 220 мА і слід негайно від'єднати обидва щупи від досліджуваного електричного кола.

Зняття ВАХ лабораторного джерела у режимі стабілізації напруги:

- зберіть електричне коло, схему якого зображено на рис. 1.5;
- встановіть напругу холостого ходу лабораторного джерела $U_0 = 5$ В. Для цього достатньо витягти зі схеми перемиčku і, обертаючи ручки грубого та точного регулювання вихідної напруги, за показаннями вольтметра V виставити необхідне значення напруги;
- встановіть початкове значення змінного опору R_4 99 Ом;
- поверніть перемиčku у вихідне положення. Зменшуючи опір R_4 до значень, при яких струм в електричному колі не перевищуватиме 220 мА, визначте п'ять-шість крапок, що належать ВАХ. Результати вимірів занесіть у табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Режим стабілізації напруги	R , Ом						
	U , В						
	I , мА						
Режим стабілізації струму	R , Ом						
	U , В						
	I , мА						

4. Визначити вольт-амперну характеристику (ВАХ) лабораторного джерела живлення у режимі стабілізації струму.

Зняття ВАХ лабораторного джерела у режимі стабілізації струму виконується у наступному порядку:

- встановити обмеження струму для лабораторного джерела живлення, що дорівнює 50 мА (див. п.1);
- зберіть електричне коло, схему якого зображено на рис. 1.5;
- витягніть зі схеми перемичку;
- встановіть напругу холостого ходу лабораторного джерела $U_0 = 30$ В;
- встановіть початкове значення змінного опору R_4 300 Ом;
- поверніть перемичку у вихідне положення. Зменшуючи опір R_4 до 50 Ом, визначте п'ять-шість крапок, що належать ВАХ. Результати вимірів занесіть у табл. 1.3.

5. Визначити опір резисторів, використовуючи коло постійного струму:

- встановіть обмеження струму для лабораторного джерела живлення, що дорівнює 200 мА (див. п.1);
- зберіть електричне коло, схему якого зображено на рис. 1.5.

Встановіть напругу холостого ходу лабораторного джерела $U_0 = 10$ В. Замість резистора R_4 використовуйте резистори з номерами елементів 01...10 (табл. 1.1);

- виміряйте падіння напруги на резисторі та струм, що протікає крізь нього. Результати вимірів занесіть у табл. 1.4.

Таблиця 1.4

Номер елементу	Вимірювання			Розрахунки	
	U , В	I , мА	R , Ом	R , Ом	δ_R
01					
02					
...					
09					
10					

6. Визначити опір резисторів, використовуючи мультиметр.

Для вимірювання опору виконайте наступне:

- встановіть поворотний перемикач у положення Ω , на РК-дисплеї буде відображено ' Ω ';
- вставте роз'єм червоного щупа у гніздо V Ω Hz, а роз'єм чорного щупа – у гніздо COM;
- підключіть щупи до вимірюваного опору;
- результат вимірювання відобразиться на РК-екрані.

Виконайте такі вимірювання для резисторів з номерами елементів 01..10. Результати вимірів занесіть у табл. 1.4.

7. Виміряти струми та напруги в електричному колі постійного струму:

- зберіть електричне коло, схему якого зображено на рис. 1.6, передбачивши можливість вимірювання струмів у кожній гілці. Як джерело ЕРС використовуйте лабораторне джерело живлення з напругою холостого ходу $U_0 = 20$ В. Номери резистивних елементів даного електричного кола відповідають номерам наборних елементів (див. табл. 1.1). Приклад складання схеми на лабораторному стенді наведено на рис. 1.7;

- виміряйте струми у гілках і напруги на всіх резисторах електричного кола. Результати вимірів занесіть у табл. 1.5.

Таблиця 1.5

I_1	I_2	I_3	U_1	U_2	U_3	U_4
мА			В			

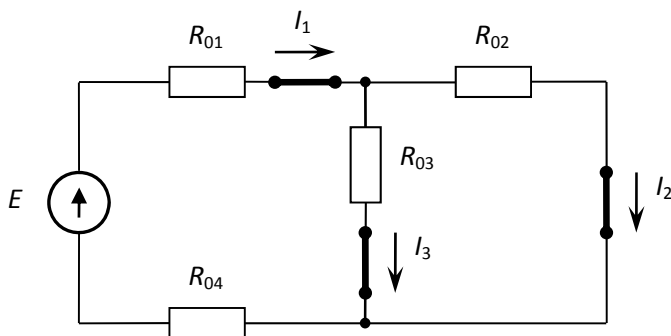


Рисунок 1.6 – Принципова схема електричного кола

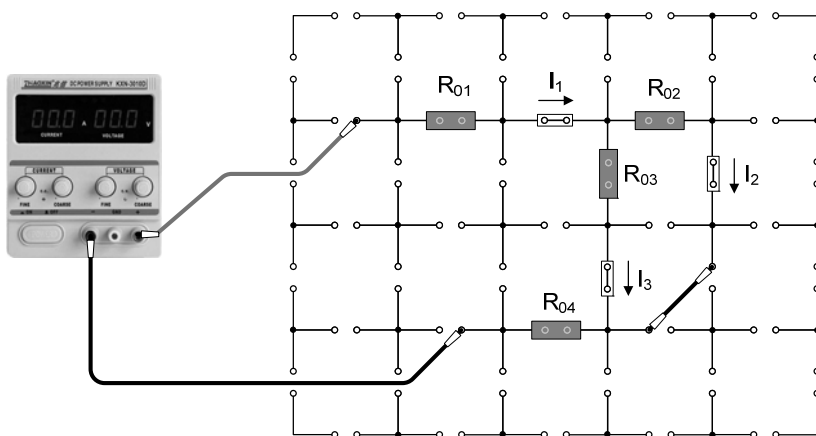


Рисунок 1.7 – Приклад збірки електричного кола

ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ

1. Побудувати ВАХ за даними табл. 1.3 та визначити параметри схеми заміщення. На рис. 1.8, а наведено ВАХ для лабораторного джерела живлення, що працює в режимі стабілізації напруги, на рис. 1.8, б – в режимі стабілізації струму. При цьому слід мати на увазі, що при роботі лабораторного джерела в режимі стабілізації напруги джерела ЕРС дорівнює $E = U_0$ (U_0 – напруга холостого ходу). Внутрішній опір:

$$R_{\text{вн}} = \frac{\Delta U}{\Delta I}.$$

2. За даними табл. 1.4 визначити опори резисторів за законом Ома та знайти відносну похибку вимірювання опорів:

$$\delta_R = \frac{R - R_H}{R_H} \cdot 100\%,$$

де R – обчислений опір; R_H – номінальний опір, який позначений на корпусі резистора.

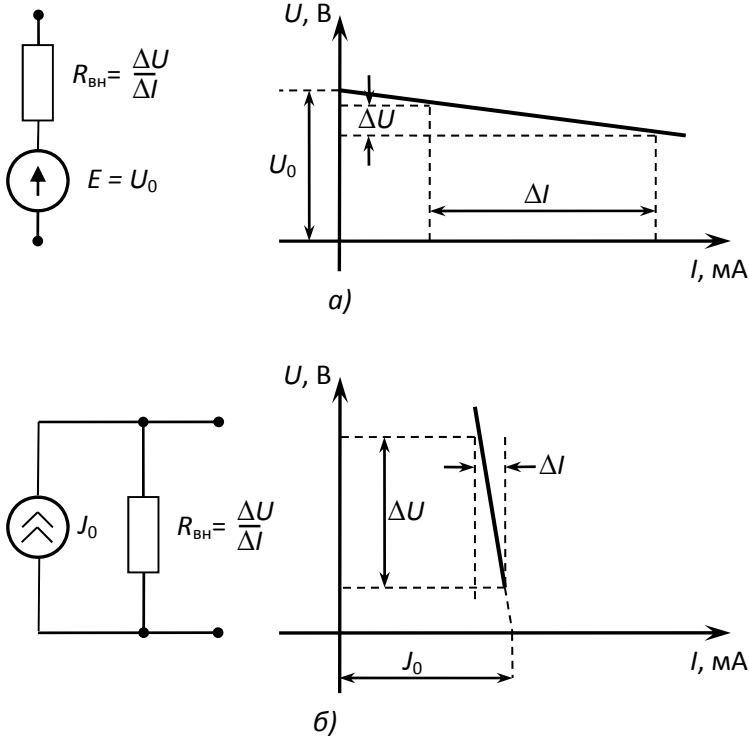


Рисунок 1.8 – ВАХ і схема заміщення для лабораторного джерела, яке працює в режимі стабілізації напруги (а); в режимі стабілізації струму (б)

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

В результаті виконаної роботи необхідно зробити висновки: про можливість заміни джерела напруги та струму ідеальними джерелами ЕРС та ідеальними джерелами струму; про точність відповідності опорів резисторів номінальним значенням.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Як виміряти струм у заданій гілці електричного кола та напругу між заданими точками?
2. Як виміряти опір елемента?
3. У яких межах можна змінювати струм та напругу резистора, якщо відомі його номінальний опір та найбільша допустима потужність?
4. У яких межах може змінюватись опір резистора, якщо відомі його номінальний опір та відносна похибка?
5. Дати визначення послідовного, паралельного та мішаного з'єднання резисторів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ЛІНІЙНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи:

1. Провести експериментальне дослідження складного кола постійного струму;
2. Вивчити методи розрахунку електричних кіл;
3. Набути навички побудови топографічних діаграм та їх використання для аналізу електричних кіл.

ПІДГОТОВКА ДО РОБОТИ

1. Вивчити методи розрахунку складних електричних кіл постійного струму: [3, с. 235-238], [4, с. 18-23, 61-71, 90], [5, с. 10-12, 19-24].

2. Підготувати протокол звіту, у якому необхідно представити схему досліджуваного електричного кола (рис. 2.1). Варіанти схеми, номери елементів, що входять до складу схеми, та величина ЕРС E_2 наведено у табл. 2.1. Значення ЕРС $E_1 = 20$ для всіх варіантів.

3. Вказавши на схемі умовні позитивні напрями струмів гілок довільно, зробити розрахунок досліджуваного електричного кола методом контурних струмів. Значення струмів гілок занести до табл.

2.2. Детальний розрахунок надати в протоколі.

4. Дати у протоколі письмові відповіді контрольні питання.

Таблиця 2.1

Варіант	Варіант схеми	Номер гілки	Номери елементів схеми з табл. 1.1							E_2 , В
			R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	
1	«а»	5 (R5)	01	02	03	04	05	06	07	18
2	«б»	5 (R5)	03	01	04	06	05	07	02	22
3	«в»	2 (R2)	02	01	03	05	07	06	04	20
4	«а»	6 (R6)	01	04	07	05	06	02	03	24
5	«б»	3 (R3)	04	01	03	02	05	07	06	20
6	«в»	3 (R3)	07	05	01	06	04	02	03	15
7	«а»	2 (R2)	06	07	03	04	01	02	05	10
8	«в»	5 (R5)	05	01	06	07	03	04	02	20

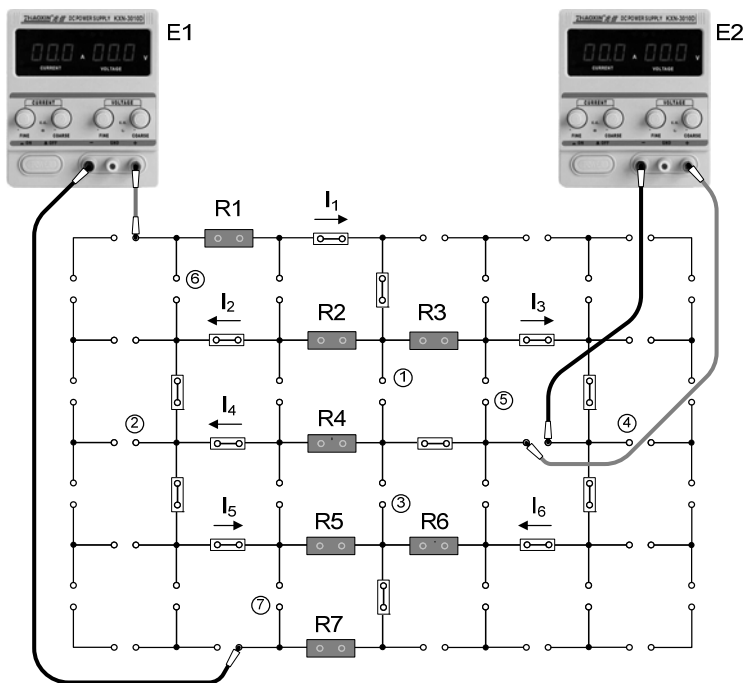
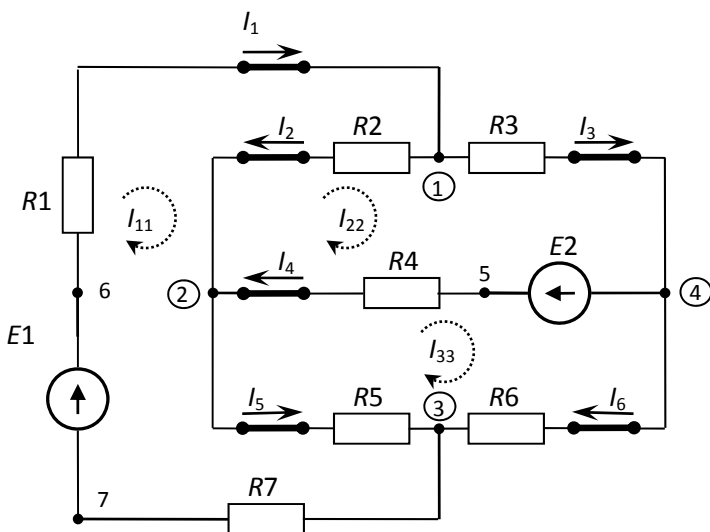


Рисунок 2.1, а) – Принципова схема досліджуваного електричного кола та приклад її збірки на лабораторному стенді

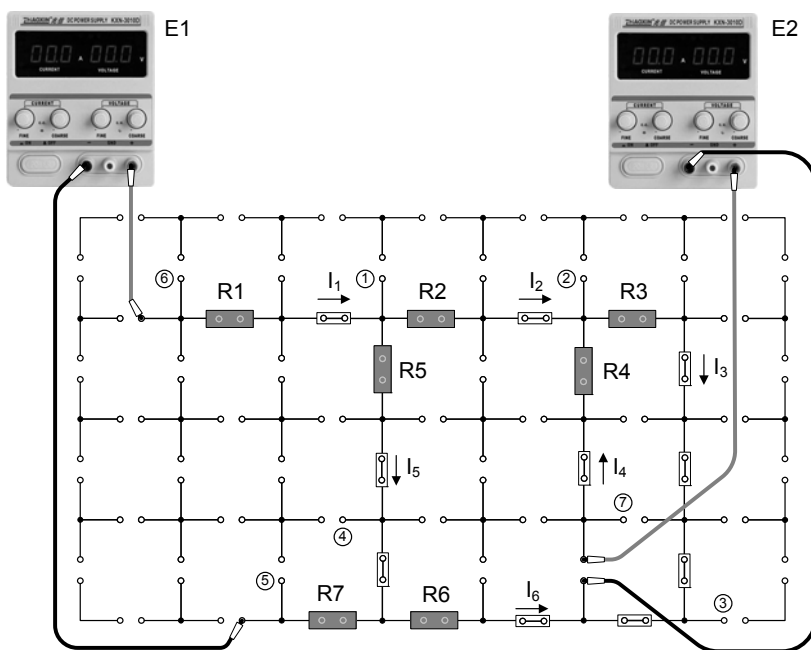
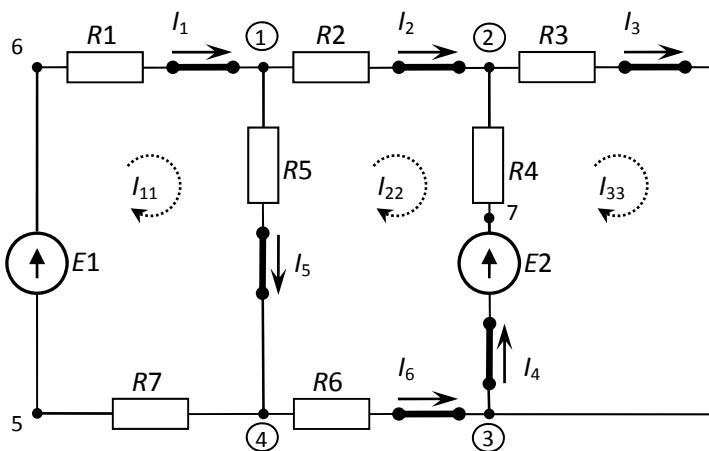


Рисунок 2.1, б) – Принципова схема досліджуваного електричного кола та приклад її збірки на лабораторному стенді

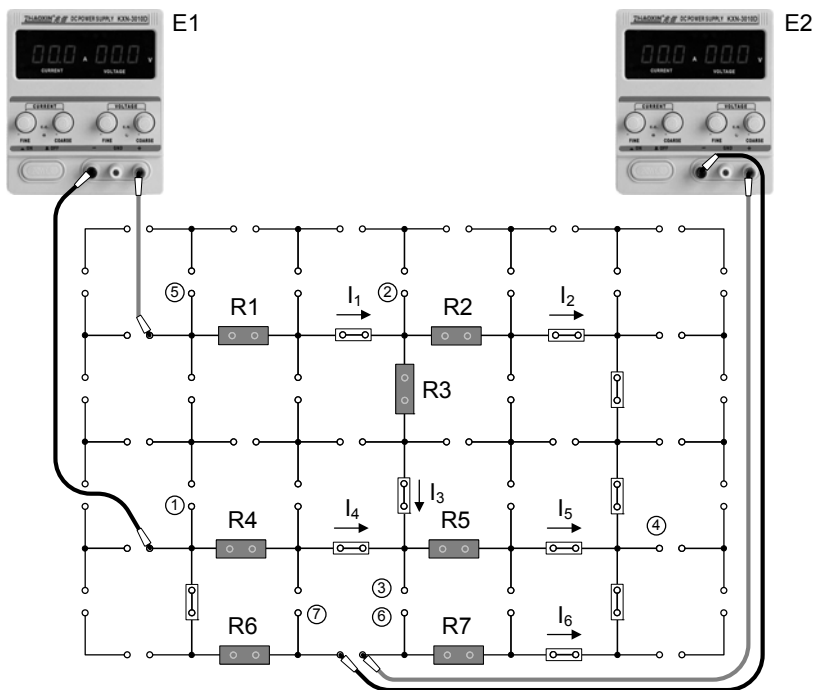
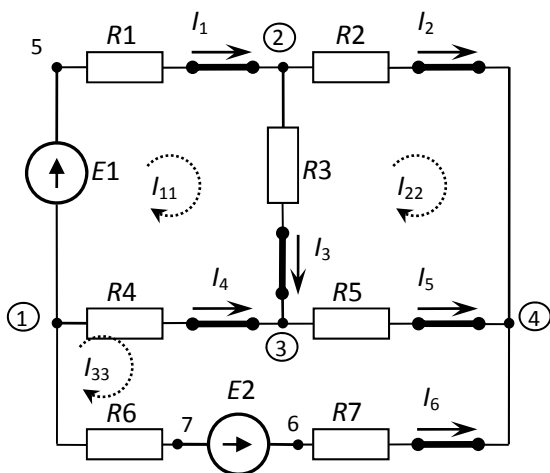


Рисунок 2.1, в) – Принципова схема досліджуваного електричного кола та приклад її збірки на лабораторному стенді

Таблиця 2.2

Завдання до виконання	Значення струмів у гілках електричного кола, мА						Величини ЕРС	
	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	E_1	E_2
1. Метод контурних струмів, розрахунок з E_1 та E_2								
2. Експеримент з E_1 та E_2								
3. Експеримент з E_1								
4. Експеримент з E_2								
5. Метод накладання, розрахунок з E_1 та E_2								
6. Метод вузлових потенціалів, розрахунок з E_1 та E_2								
7. Відносна похибка ϵ , %								

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДІВ

1. Встановити обмеження струму для лабораторних джерел живлення рівним 200 мА.

2. Зібрати електричне коло згідно з варіантом завдання (див. рис. 2.1).

3. Включити лабораторні джерела живлення та виміряти струми в усіх гілках. Якщо дійсний та умовно-позитивний напрямки струму збігаються, значення струму заносяться до таблиці зі знаком плюс, інакше – зі знаком мінус.

4. Прийняти потенціал одного з вузлів зовнішнього контуру рівним нулю. Виміряти потенціали інших вузлів електричного кола та всіх контрольних точок з урахуванням їхнього знаку. Результати вимірювань занести до табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Вузли та контрольні точки електричного кола	1	2	3	4	5	6	7
Потенціал ϕ , В							

5. Провести дослід холостого ходу та короткого замкнення в одній з гілок досліджуваного електричного кола. Результати вимірювань занести до табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Номер гілки	U_{xx} , В	I_{K3} , мА

6. Виміряти струми в усіх гілках електричного кола при дії кожного джерела окремо. Затискачі джерела, що вимикається, необхідно замкнути.

ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ

1. Зіставити експериментальні I_E та розрахункові I_P значення струмів гілок електричного кола, визначені методом контурних струмів. Обчислити похибку вимірів:

$$\varepsilon = \frac{I_E - I_P}{I_{\text{СЕР}}} \cdot 100\%,$$

де:

$$I_{\text{СЕР}} = \frac{I_E + I_P}{2}.$$

Результати розрахунків занести до п. 7 табл. 2.2.

2. Застосувавши метод накладання, за даними пп. 3 та 4 табл. 2.2 визначити струми всіх гілок. Результати розрахунків занести до п. 5 табл. 2.2.

3. Обчислити струми гілок методом вузлових потенціалів, використовуючи результати табл. 2.3. Результати розрахунків занести до п. 6 табл. 2.2.

4. Побудувати потенційну діаграму для зовнішнього контуру за результатами вимірів табл. 2.3, $I = (\varphi_n \pm E_n) \cdot G_n$.

5. Визначити струм обраної гілки методом еквівалентного генератора, використовуючи результати табл. 2.4.

6. Зробити висновки щодо роботи.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Визначити поняття «електричне коло», «електрична схема», «вузол», «гілка», «контур».

2. Чи впливає заземлення будь-якої точки схеми на струморозподіл у ній?

3. У чому полягає суть методу контурних струмів?

4. У чому полягає суть методу накладання?

5. У яких випадках застосовується метод накладання?

6. У чому полягають переваги та недоліки методу накладання?

7. Як виконується побудова потенційних діаграм для електричних кіл постійного струму?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

НЕЛІНІЙНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА

ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи:

1. Набути навички визначення вольт-амперних характеристик (ВАХ) нелінійних елементів;
2. Вивчити графічний спосіб розрахунку електричних кіл;
3. Вивчити розрахунок параметричного стабілізатора.

ПІДГОТОВКА ДО РОБОТИ

1. Вивчити методи розрахунку нелінійних електричних кіл постійного струму: [4, §§ 1.3, 2.1-2.7], [5, §§ 20.1-20.7], [2, §§ 13.1-13.10].
2. Підготувати протокол звіту, у якому накреслити схеми визначення ВАХ досліджуваних нелінійних елементів та збірок при послідовному, паралельному та мішаному з'єднаннях елементів, а також схему параметричного стабілізатора напруги на основі стабілітрона. Схема мішаного з'єднання елементів для дослідження обирається за табл. 3.1 для свого варіанта. Номери лінійних та нелінійних елементів також представлені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Елементи схеми мішаного з'єднання	Номери варіантів							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Рис. 3.1, а			Рис. 3.1, б			Рис. 3.1, в	
<i>R1</i>	32	32	32	32	32	32	32	32
<i>R2</i>	33	33	33	33	33	33	33	33
<i>R3</i>	05	06	07	08	09	10	01	02

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДІВ

1. Встановити обмеження струму лабораторного джерела живлення рівним 200 мА.
2. Зібрати схему електричного кола для визначення ВАХ досліджуваних елементів. Зняти статичні ВАХ кожного з нелінійних елементів R1 та R2. Результати вимірювань занести до табл. 3.2.

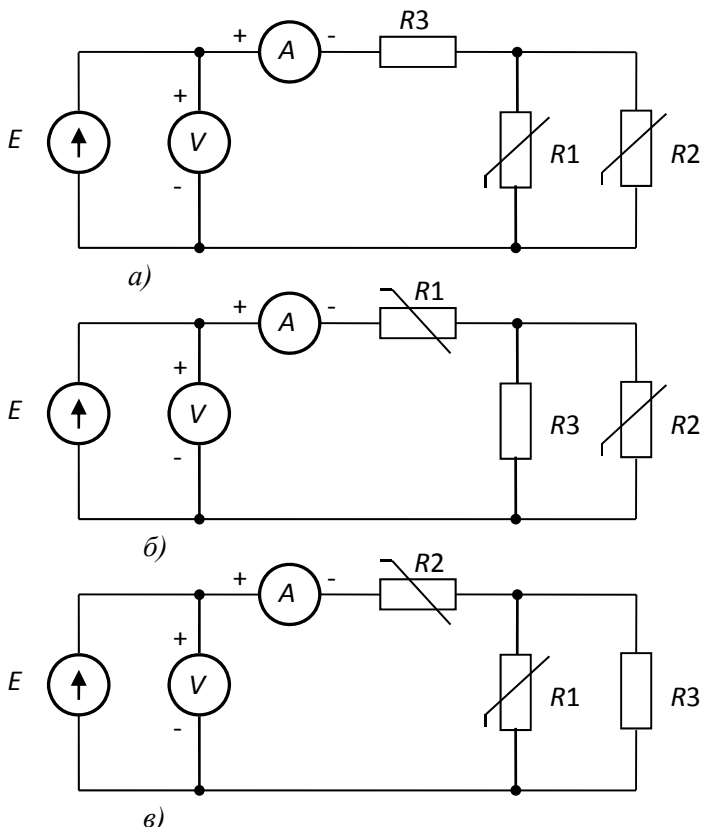


Рисунок 3.1 – Схеми з мішаним з'єднання елементів

Таблиця 3.2

Нелінійний елемент $R1$	U, B								
	I, mA								
Нелінійний елемент $R2$	U, B								
	I, mA								
Послідовне з'єднання елементів $R1, R2, R3$	U, B								
	I, mA								
Паралельне з'єднання елементів $R1, R2, R3$	U, B								
	I, mA								
Мішане з'єднання елементів $R1, R2, R3$	U, B								
	I, mA								

3. По черзі зібрати схеми з послідовним, паралельним та мішаним з'єднанням елементів згідно з варіантом (рис. 3.1) та зняти їхні ВАХ. Результати вимірювань занести до табл. 3.2.

4. Зібрати схему (рис.3.2) для зняття зворотної гілки ВАХ стабілітрона. Результати вимірювань занести до табл. 3.3. Змінюючи полярність лабораторного джерела живлення на протилежну, зняти пряму гілку ВАХ стабілітрона. Результати вимірювань занести до табл. 3.3.

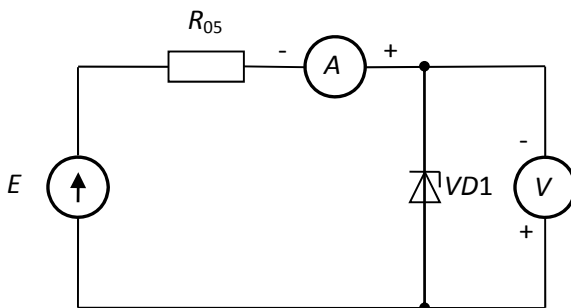


Рисунок 3.2 – Схема для зняття зворотної гілки ВАХ стабілітрона

Таблиця 3.3

VD1	Зворотна гілка							Пряма гілка			
U , В	-10,3	-10,2	-10,1	-10,0	-9,75	-9,5	-9,25	0	0,25	0,5	1,0
I , мА											

5. Зібрати схему параметричного стабілізатора напруги (рис. 3.3). В якості опору навантаження використовується блок змінного опору, $R_n = 200$ Ом. Для дослідження роботи стабілізатора на холостому ході необхідно відключити від нього опір навантаження R_n . Змінюючи напругу лабораторного джерела живлення E від 0 до 20 В, зняти залежність вихідної напруги від вхідної на холостому ході. Результати вимірювань занести до табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Вхідна напруга $U_{вх}$, В									
Вихідна напруга $U_{вих}$, В									

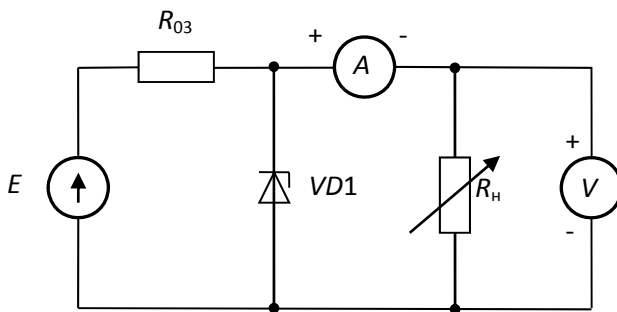


Рисунок 3.3 – Схема параметричного стабілізатора напруги

6. Підключити до стабілізатора опір навантаження R_n , рівний 200 Ом, та встановити напругу лабораторного джерела живлення E , рівну 25 В. Змінюючи опір навантаження R_n від 50 до 300 Ом, зняти залежність вихідної напруги від струму навантаження. Результати вимірювань занести до табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Струм навантаження I_n , мА							
Вихідна напруга $U_{\text{вих}}$, В							

ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ

1. За даними табл. 3.2 побудувати в одній координатній системі ВАХ досліджуваних елементів, користуючись якими, визначити розрахункові ВАХ при послідовному, паралельному та мішаному з'єднанні елементів (рис. 3.1). На побудовані характеристики нанести експериментально отримані точки цих характеристик та порівняти їх.

2. Визначити статичні та диференціальні опори нелінійних елементів, побудувати у вигляді графіка $R = f(I)$.

3. За даними табл. 3.3 побудувати ВАХ стабілітрона, з використанням якої на робочій ділянці визначити диференціальний опір стабілітрона:

$$r_{\text{ст}} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U_{\text{ст max}} - U_{\text{ст min}}}{I_{\text{ст max}} - I_{\text{ст min}}},$$

де $I_{ст\ min}$ – мінімальний струм, що протікає крізь стабілітрон, при якому зберігаються його стабілізуючі властивості; $I_{ст\ max}$ – максимальний струм, при якому прилад зберігає працездатність протягом тривалого часу.

Робоча ділянка розташована на зворотній гілці ВАХ стабілітрона.

4. За допомогою ВАХ визначити напругу стабілізації стабілітрона $U_{ст}$.

5. За даними табл. 3.4 та 3.5 побудувати графічні залежності $U_{вих} = f(U_{вх})$ та $U_{вих} = f(I_{н})$. На графіках вкажіть мінімально допустиму вхідну напругу, максимально допустимий струм навантаження та визначте коефіцієнти стабілізації за напругою та струмом, прийнявши $U_{вх\ ном} = 20\ В$; $I_{н\ ном} = 100\ мА$:

$$k_{ст.U} = \frac{\Delta U_{вх}}{\Delta U_{вих}},$$

$$k_{ст.I} = \frac{\Delta I_{н}}{\Delta U_{вих}}.$$

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Які нелінійні елементи називають симетричними, а які – несиметричними?
2. У чому полягає складність аналізу нелінійних електричних кіл?
3. На яких фізичних явищах ґрунтується принцип роботи стабілітрону?
4. Яку ділянку ВАХ стабілітрону називають робочою?
5. Як змінюється напруга на стабілітроні при зміні струму, що протікає через нього?
6. Які властивості стабілітрону оцінюються диференціальним опором?
7. Чому стабілітрон погано працює при струмах, менших від мінімальних струмів стабілізації?
8. Які основні параметри стабілітрону?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

НЕРОЗГАЛУЖЕНІ КОЛА

СИНУСОЇДАЛЬНОГО СТРУМУ

Мета роботи:

1. Набути навички розрахунку електричних кіл синусоїдального струму символічним методом, а також побудови векторних і топографічних діаграм;
2. Визначити параметри елементів електричного кола;
3. Засвоїти методику розрахунку потужностей, які споживаються електричними колами синусоїдального струму;
4. Дослідити явище електричного резонансу в нерозгалуженому електричному колі.

ПІДГОТОВКА ДО РОБОТИ

1. Вивчити символічний метод розрахунку електричних кіл синусоїдального струму. Ознайомитись з порядком побудови векторних та топографічних діаграм: [3, гл. 4, 5, §§ 5.1-5.5], [5, гл. 6, §§ 6.1-6.6, гл. 7, §§ 7.1-7.5], [2, гл. 3, §§ 3.1-3.24].
2. Ознайомитись з резонансними явищами у нерозгалужених електричних колах синусоїдального струму [3, гол. 6, §§ 6.1-6.3], [2, гл. 3, § 3.25].
3. Підготувати протокол звіту, в якому необхідно накреслити досліджуване електричне коло при послідовному з'єднанні елементів R , L , C з необхідними приладами і таблиці для занесення експериментальних даних.
4. Здійснити розрахунок резонансного режиму нерозгалуженого електричного кола символічним методом, знаючи параметри елементів та напругу мережі, які наведені у табл. 4.1, попередньо визначивши значення резонансної частоти. При розрахунку активним опором котушки індуктивності знехтувати.
5. Детальний розрахунок електричного кола занести до протоколу, результати розрахунку відобразити у табл. 4.2. Побудувати векторну та топографічну діаграми для розрахованого режиму.
6. Надати письмові відповіді на контрольні питання.

Таблиця 4.1

Варіант	Елементи кола			Величина напруги живлення U_{RX} , В	Частота f , кГц	У досліді змінюється величина
	$R4$, Ом	$L4$, мГн	$C4$, мкФ			
1	20	1,2	2,35	8,5	2	C4
2	30	0,9	1,76	7,5	3	L4
3	40	1,5	0,66	10	4	L4
4	30	1,3	2,17	7,5	2	C4
5	20	0,8	1,98	5	5	C4
6	40	1,3	0,78	10	6	L4
7	30	1,4	2,01	7,5	2	C4
8	20	0,7	2,26	5	3	C4

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДІВ

1. Ознайомитися з генератором сигналів, який використовується у роботі, та його технічними характеристиками (рис. 4.1).

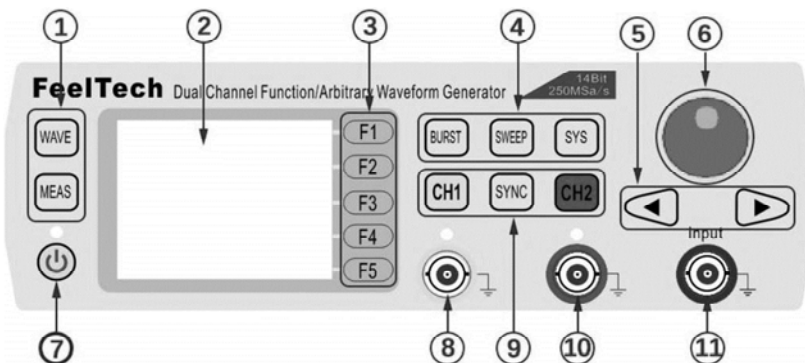
Двоканальний генератор сигналів серії FY6600 працює за принципом прямого цифрового синтезу (DDS – Direct digital synthesis) і може генерувати сигнали синусоїдальної, прямокутної, трикутної форми, імпульсний сигнал, а також сигнали довільної форми, визначені користувачем. Частота вихідного сигналу може бути до 30 МГц. Є функція корекції скважності, функції амплітудної модуляції, гойдання (розгортки) частоти та інші можливості формування сигналів. На графічному індикаторі генератора можна побачити форму сигналу, параметри його амплітуди, частоти, фази.

2. Ознайомитися з інтерфейсом генератора сигналів (рис. 4.2).

Інтерфейс генератора користувача може відображати чотири режими: Dual Channels Parameters (за замовчуванням), Single Channel Extension, Auxiliary Functions і System Interface. На рис. 4.2 наведено інтерфейс користувача в режимі завдання параметрів каналів (Dual Channels Parameters).

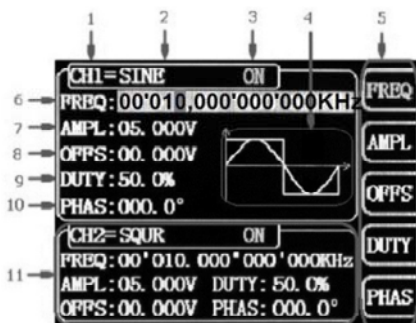
Таблица 4.2

[illegible]



- 1 – **WAVE** – кнопка вибору форми сигналу (Sine, Square тощо); **MEAS** – кнопка перемикавання у режим частотомер / лічильник імпульсів для вимірювання частоти, періоду, коефіцієнту заповнення та тривалості імпульсу сигналу на зовнішньому вході **Input** (режим входу **AC coupling** – тільки змінна напруга) або **Trig IN** (режим входу **DC coupling** – пропуск постійної складової напруги);
- 2 – 2.4-дюймовий кольоровий дисплей TFT LCD;
- 3 – **F1 – F5** – функціональні програмні кнопки, натискання яких активують потрібні функції меню. Значення кнопок будуть відображені на дисплеї;
- 4 – **BURST** – кнопка налаштування генерації пакки імпульсів; **SWEEP** – кнопка налаштування гойдання частоти / амплітуди / зміщення / коефіцієнта заповнення; **SYS** – кнопка виклику системних налаштувань;
- 5 – Кнопки переміщення курсору ◀ ▶ при чисельному вводі параметру;
- 6 – Ручка налаштування параметру (поворотний енкодер із кнопкою). При її повороті збільшується або зменшується поточне обране значення параметру, при натисанні – підтверджується вибір;
- 7 – Кнопка включення живлення;
- 8 – Вихід каналу **CH1**;
- 9 – Кнопки швидкого керування каналами **CH1** и **CH2**. Короткий натиск: якщо цей канал не є активним, то він активується. Якщо канал активний, то короткий натиск на цю кнопку вмикає та вимикає вихід відповідного каналу. **SYNC** – активація режиму синхронізації параметрів сигналу на виході каналу **CH2** з параметрами сигналу на виході каналу **CH1** (**CH1** виступає опорним для **CH2**);
- 10 – Вихід каналу **CH2**;
- 11 – **Input** – зовнішній вхід частотомера/лічильника імпульсів (**AC coupling**).

Рисунок 4.1 – Передня панель генератора сигналів



1 – Поточний обраний канал (CH1);
 2 – Поточна обрана форма сигналу (SINE). Форма сигналу може бути змінена багаторазовим натисканням кнопки **WAVE**, а також обертанням ручки енкодера при початковому однократному натисканні кнопки **WAVE**;
 3 – Поточний статус каналу (ON). Може бути змінений натисканням кнопок **CH1** или **CH2**;

4 – Зображення форми сигналу. Жовтий колір – **CH1**, блакитний – **CH2**;

5 – Рядок меню. Активний пункт меню виділяється підсвіткою;

6 – Поточна частота сигналу (10 kHz). Для завдання частоти натисніть функціональну кнопку **F1 – FREQ** і, використовуючи кнопки переміщення курсору **◀ ▶** й обертаючи енкодер, встановіть чисельне значення. При натисканні кнопки енкодера можна змінювати одиниці вимірювання частоти – MHz, KHz, Hz, mHz, μ Hz;

7 – Поточна амплітуда сигналу (5.0 V). Для завдання амплітуди натисніть функціональну кнопку **F2 – AMPL** і, використовуючи кнопки переміщення курсору **◀ ▶** й обертаючи енкодер, встановіть чисельне значення;

8 – Поточне постійне зміщення сигналу (0.0 V). Для завдання зміщення натисніть функціональну кнопку **F3 – OFFS** і, використовуючи кнопки переміщення курсору **◀ ▶** й обертаючи енкодер, встановіть чисельне значення;

9 – Поточний коефіцієнт заповнення (50%) – величина, зворотна скважності. Для завдання коефіцієнту заповнення натисніть функціональну кнопку **F4 – DUTY** і, використовуючи кнопки переміщення курсору **◀ ▶** й обертаючи енкодер, встановіть чисельне значення. При натисканні на кнопку енкодера встановлюється значення 50%;

10 – Поточна фаза сигналу (0.0°). Для завдання фази сигналу натисніть функціональну кнопку **F5 – PHAS** і, використовуючи кнопки переміщення курсору **◀ ▶** й обертаючи енкодер, встановіть чисельне значення.

11 – Параметри невыбранного каналу (CH2).

Рисунок 4.2 – Користувачський інтерфейс генератора сигналів (обрано канал CH1)

3. Згенерувати на виході першого каналу CH1 генератора синусоїдальний сигнал з наступними параметрами: частота 20 кГц; розмах напруги 2.5 Vpp; зміщення по постійній напрузі 1.6 VDC; початкова фаза 90.9°:

- включіть генератор, натиснувши включення (7) – рис. 4.1;

- оберіть перший канал. Для цього однократно натисніть на кнопку **CH1**. Тепер на екрані всі символи та межі відображення параметрів каналу підсвічуються жовтим кольором;

- оберіть форму сигналу. Для цього натисніть кнопку **WAVE**. Переконайтеся, що на дисплеї відображається синусоїда;

- установіть частоту. Для цього натисніть функціональну кнопку **FREQ**. При цьому підсвітиться поле зі значенням частоти. Натисканням кнопок ◀ ▶ пересуньте курсор на позицію, показану нижче. Потім обертайте ручку енкодера для введення цифри «2»:

FREQ: 00'020.000'000'000kHz

- установіть амплітуду **Vpp** (розмах напруги). Для цього натисніть функціональну кнопку **AMPL**. При цьому підсвітиться поле зі значенням амплітуди. Натисканням кнопок ◀ ▶ та обертанням ручки енкодера введіть значення амплітуди, як показано нижче:

AMPL: 02.500V

- задайте зміщення. Для цього натисніть функціональну кнопку **OFFS**. При цьому підсвітиться поле зі значенням зміщення. Натисканням кнопок ◀ ▶ та обертанням ручки енкодера введіть значення зміщення, як показано нижче:

OFFS: 01.600V

- задайте початкову фазу. Для цього натисніть функціональну кнопку **PHAS**. При цьому підсвітиться поле зі значенням початкової фази. Натисканням кнопок ◀ ▶ та обертанням ручки енкодера введіть значення початкової фази, як показано нижче:

PHAS: 070.9°

- включіть вихід генератора. Для цього натисніть на кнопку **CH1**.

4. Виміряти величину вихідної напруги генератора за допомогою мультиметра (рис. 4.2).

Ключова особливість полягає у розумінні різниці між амплітудою напруги V_{amp} , розмахом напруги V_{pp} (peak-peak) та діючим значенням напруги V_{rms} синусоїдального сигналу (рис. 4.3).

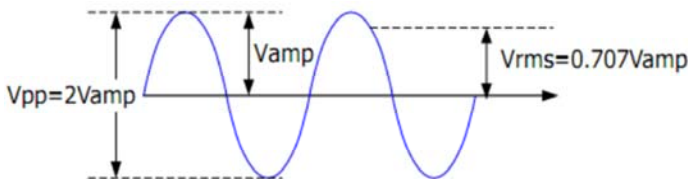


Рисунок 4.3 –Параметри синусоїдального сигналу

Амплітуда напруги V_{amp} (В) – це максимальне миттєве значення напруги.

Розмах напруги V_{pp} (В_{пп} – від піку до піку) – це різниця між максимальною та мінімальною піковою напругою всього сигналу. Для синусоїдального сигналу $V_{pp} = 2V_{amp}$.

Діюче значення напруги V_{rms} (В) чисельно дорівнює напрузі постійного струму, яка за один період дає такий же нагрівальний (тепловий) ефект у тому ж опорі, як і змінний струм. Для синусоїдального сигналу:

$$V_{rms} = \frac{V_{amp}}{\sqrt{2}} = \frac{V_{pp}}{2\sqrt{2}}.$$

Для вимірювання змінної напруги мультиметром:

- встановіть поворотний перемикач у положення $V=$, на РК-дисплеї буде відображено DC. Для вимірювання змінної напруги натисніть кнопку FUNC, при цьому на РК-дисплеї буде відображено 'AC';

- використовуйте спеціальний кабель, який оснащений двома щупами червоного та чорного кольорів та BNC-роз'ємом для підключення до генератора сигналів або осцилографа (рис. 4.4). Вставте роз'єм червоного щупа у гніздо $V \Omega Hz$, а роз'єм чорного щупа – у гніздо COM;

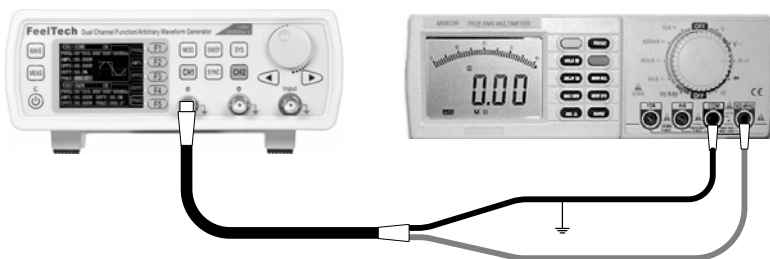


Рисунок 4.4 – Підключення мультиметру до генератора сигналів

- підключіть BNC-роз'єм до виходу **CH1** генератора сигналів;
- у режимі автовибору мультиметр сам обере належний діапазон виміру; результат вимірювання діючого значення напруги V_{rms} буде відображено на РК-дисплеї;

- натиском кнопки **RANGE** можна обрати режим ручного вибору діапазону. При цьому поява показу OL означатиме необхідність вибору більшого діапазону. Поява показу OL при максимальному діапазоні вимірювання означає, що напруга на вході приладу перевищує 1000 В і негайно від'єднати BNC-роз'єм від досліджуваного електричного кола.

5. Виміряти струми та напруги опору, індуктивності та ємності.

- встановіть для каналу CH1 генератора сигналів наступні параметри: тип сигналу – синусоїда; $V_{amp} = 5$ В; чисельне значення частоти в табл. 4.1 для кожного варіанта;

- зберіть схему, зображену на рис. 4.5. Підключіть до виходу CH1 генератора сигналів вхід IN1 підсилювача з коефіцієнтом підсилення $K_u=2$ (6 dB). Вихід підсилювача OUT1 використовується як джерело змінної ЕРС для живлення навантаження;

- як навантаження використовуйте блок змінного опору R4, значення опору задано в табл. 4.1;

- як амперметр використовуйте другий мультиметр, поворотний перемикач якого встановлений у положення mA=. Щоб перевести мультиметр у режим вимірювання змінного струму, натисніть кнопку FUNC, при цьому на РК-дисплеї буде відображено 'AC';

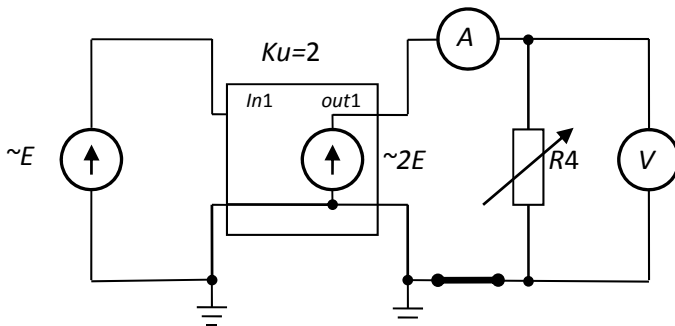


Рисунок 4.5 – Схема для вимірювання струму та напруги у навантаженні

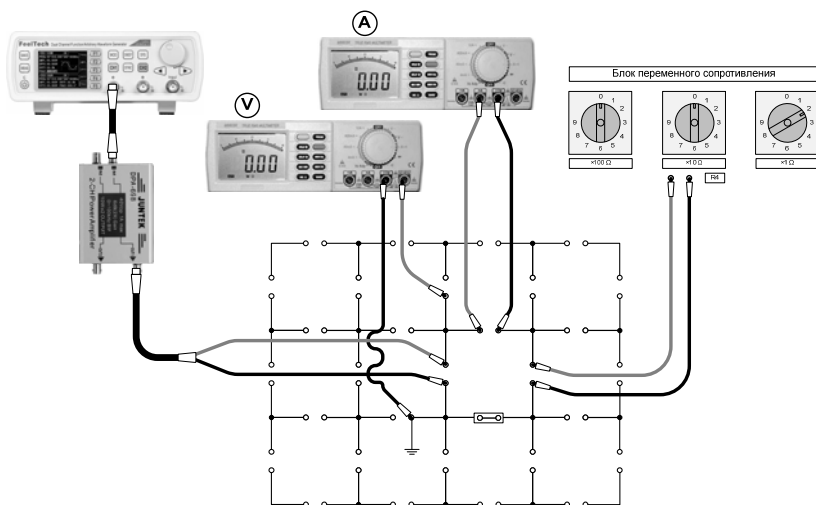


Рисунок 4.6 – Приклад збірки схеми для вимірювання струму та напруги у навантаженні

- як навантаження використовуйте блок змінного опору R4, значення опору задано в табл. 4.1;
- як амперметр використовуйте другий мультиметр, поворотний перемикач якого встановлений у положення mA=. Щоб перевести мультиметр у режим вимірювання змінного струму, натисніть кнопку FUNC, при цьому на РК-дисплеї буде відображено 'AC';
- змінюючи напругу генератора сигналів, виміряйте напругу на навантаженні при трьох значеннях струму. Найбільший струм не повинен перевищувати значення 200 мА. Результати вимірювань занести до табл. 4.3;
- проведіть аналогічні експерименти, використовуючи як навантаження блок змінної індуктивності L4, а потім блок змінної ємності C4. Чисельні значення L4 та C4 задані в табл. 4.1. Результати вимірювань занести до табл. 4.3.

6. Виміряти струм та напругу при послідовному включенні опору, індуктивності та ємності:

- зберіть схему з послідовним з'єднанням елементів R_4 , L_4 , C_4 , як показано на рис. 4.7. Значення величин R_4 , L_4 , C_4 , $U_{вх}$ задані у табл. 4.1. Встановіть для каналу CH1 генератора сигналів такі параметри: тип сигналу – синусоїда; $V_{amp} = 1,414 \cdot U_{вх}$, чисельне значення частоти встановлюється рівним розрахунковому для резонансного режиму;

- виміряти струм в електричному колі та напругу на його елементах при зміні параметру одного з реактивних елементів (згідно з варіантом, див. табл. 4.1). Вимірювання проводяться для семи-восьми значень. При цьому необхідно знайти точку резонансу напруги. Результати вимірів занесіть у табл. 4.2.

Примітка. Діапазон зміни параметрів кола: індуктивність L_4 змінюється від 01 до 3 мГн; ємність C_4 змінюється від 01 до 5 мкФ.

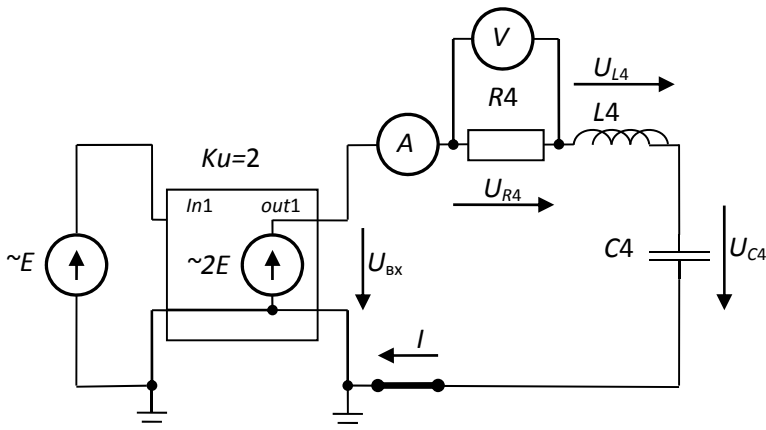


Рисунок 4.7 – Схема послідовного включення опору, котушки індуктивності та ємності

7. Виміряти струм і напругу при послідовному включенні опору, котушки індуктивності та ємності при зміні частоти джерела живлення.

- Для схеми на рис. 4.7 встановіть значення параметрів елементів R_4 , L_4 , C_4 і напруги живлення $U_{вх}$ відповідно до табл. 4.1;

- змінюючи частоту генератора сигналів в діапазоні від 0,2 до 8 кГц, визначити струм в електричному колі та напруги на його елементах для семи-восьми значень частоти. Результати вимірів занесіть у табл. 4.2.

ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ

1. Використовуючи дані досліду 5, розрахувати величини індуктивності, ємності та активного опору, визначити їхнє середнє значення. Порівнюючи значення L , C , R , отримані експериментальним шляхом, з реальними значеннями (табл. 4.1), визначити відносну похибку вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{x_E - x_P}{x_{\text{СЕР}}} \cdot 100\%,$$

де:

$$x_{\text{СЕР}} = \frac{x_E + x_P}{2},$$

x_E – величина, отримана з експерименту; x_P – реальна величина (табл. 4.1); $x_{\text{СЕР}}$ – середнє значення.

Результати записати у табл. 4.3.

2. Використовуючи дані дослідів 6 та 7, зробити розрахунок нерозгалуженого кола. Отримані дані відобразити у табл. 4.2.

3. Побудувати векторні й топографічні діаграми для випадків $\omega L < \frac{1}{\omega C}$ та $\omega L > \frac{1}{\omega C}$, використовуючи результати досліду 6.

4. Побудувати частотні характеристики $U_C=f(\omega)$; $U_L=f(\omega)$; $U_R=f(\omega)$; $I=f(\omega)$; $\varphi=f(\omega)$, використовуючи дані досліду 7.

5. Визначити хвильовий опір і добротність контуру при $\omega L = \frac{1}{\omega C}$.

6. Зробити висновки по роботі.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Як визначити реактивні опори X_L і X_C , знаючи величину індуктивності, ємності та частоту мережі живлення?

2. Запишіть вирази для комплексного опору електричного кола з послідовно з'єднаними елементами R , L , C у показниковій та алгебраїчній формах.

3. До джерела синусоїдальної напруги підключене електричне коло з послідовно з'єднаними елементами R , L , C . Використовуючи вольтметр як вимірювальний прилад і провівши тільки два виміри напруги, визначте $\cos\varphi$. Активний опір котушки прийняти рівним нулю.

4. Запишіть другий закон Кірхгофа для електричного кола з послідовно з'єднаними елементами R , L , C у комплексній формі.

5. Які умови резонансу напруги?

6. Джерело синусоїдальної напруги ($U = 20$ В) живить нерозгалужене R -, L -, C -коло. У момент резонансу напруги величина напруги на котушці індуктивності досягла 100 В. Яка добротність кола?

7. Характеристичний опір електричного кола з послідовно з'єднаними елементами R , L , C складає 20 Ом. Напруга на конденсаторі у момент резонансу $U_C = 100$ В. Чому дорівнює струм у цьому колі в момент резонансу?

8. Побудуйте векторну діаграму для електричного кола, у якому спостерігається явище резонансу напруги, враховуючи активний опір котушки індуктивності.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

РОЗГАЛУЖЕНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА СИНУСОЇДАЛЬНОГО СТРУМУ

Мета роботи: 1. Вивчити умови рівноваги мостових схем синусоїдального струму як різновиду розгалужених електричних кіл. 2. Набути навички побудови векторних та топографічних діаграм для розгалужених кіл. 3. Дослідити електричний резонанс у розгалуженому електричному колі.

Підготовка до роботи

1. Вивчити методи розрахунку розгалужених електричних кіл синусоїдального струму: [3, гл. 5, §§ 5.3-5.17].

2. Вивчити явище резонансу струмів в електричних колах: [3, гл. 6, §§ 6.4-6.5, 6.7-6.9], [5, гл. 7, § 7.7], [2, гл. 3, § 3.26 та 3.27].

3. Підготувати протокол звіту, в якому необхідно накреслити досліджуване розгалужене електричне коло – мостову схему, зображену на рис. 5.1.

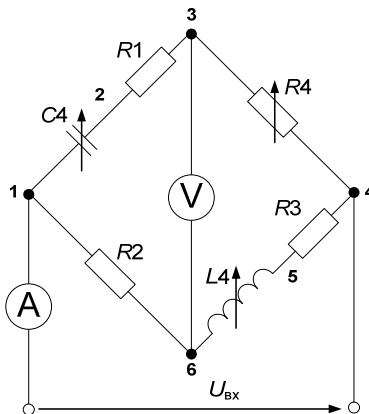


Рисунок 5.1 – Мостова схема

4. Обираючи (згідно з варіантом) величини активних опорів R_1 , R_2 , R_3 , ємності C_4 , входної напруги та частоти (табл. 5.1), провести розрахунок символічним методом, визначивши попередньо значення L_4 і R_4 , за яких виконуються умови рівноваги моста. Дані розрахунку подати у табл. 5.3.

Примітка. Мостова схема вважається врівноваженою, якщо добутки протилежних комплексних опорів, котрі утворюють плечі мосту, є рівними. Для схеми, зображеної на рис. 5.1, умова рівноваги моста, з урахуванням прийнятих умовних позначень, набуває такого вигляду:

$$(R1 - jX_{C4}) \cdot (R3 + jX_{L4}) = R2 \cdot R4.$$

Таблиця 5.1

Варіант	Номери активних опорів			f, кГц	C4, мкФ	U _{вх} , В
	R1	R2	R3			
1	03	02	04	7	0,5	15
2	02	03	04	6	0,6	13
3	04	03	02	5	1,2	14
4	04	02	03	7	1,3	12
5	03	04	02	4	0,97	15
6	02	04	03	3	0,72	13
7	06	02	03	4	0,53	14
8	06	03	02	2	0,85	15

5. Накреслити у протоколі схему паралельного з'єднання котушок індуктивності та конденсатора (рис. 5.2). Використовуючи вихідні дані табл. 5.2, визначити для досліджуваного електричного кола значення ємності, при якому спостерігається резонанс струмів. Здійснити розрахунок цього кола при резонансі. Результати занести до табл. 5.4. Розрахунки виконуються у протоколі.

Таблиця 5.2

Варіант	L4, мГн	R _{вн} L4,	U _{вх} , В	f,	Величина	Діапазон
1	14,5	13,3	13	3	C4	0 – 0,3 мкФ
2	7,6	10,7	10	5	L4	3 – 12 мГн
3	8,3	11,1	7	4	L4	5 – 20 мГн
4	11,1	8,8	6	3	C4	0,1 – 0,4 мкФ
5	12,3	10,2	8	4	C4	0 – 0,25 мкФ
6	14,1	12,5	7	5	C4	0 – 0,2 мкФ
7	9,2	12,6	6	4	L4	4 – 50 мГн
8	9,9	13,8	5	3	L4	4 – 50 мГн

Таблиця 5.3

Стан мосту		U_{13}	U_{34}	U_{46}	U_{16}	U_{12}	U_{23}	U_{45}	U_{56}	U_{14}	U_{36}	$I_{вх}$	I_{134}	I_{164}	I_{L4}	$R4$
		В											мА			Ом
Врівно- важений	Розрахунок															
	Експеримент															
Неврівно- важений	Розрахунок															
	Експеримент															

Таблиця 5.4

$L4,$ мГн	$C4,$ мкФ	$f,$ кГц	$U_{вх},$ В	$I_{вх}$	I_{C4}	I_{L4}	$\omega,$ рад/с	q_L	q_C	$q_{обш}$	$\cos\varphi$	$\varphi,$ град	$P,$ Вт	$Q,$ Вар	$S,$ ВА
Попередній розрахунок резонансного режиму															
Результати експерименту			Розрахункові дані												

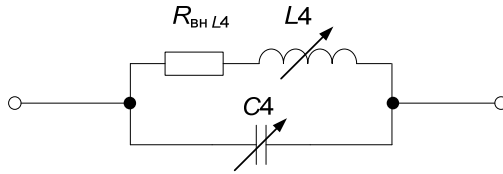


Рисунок 5.2 – Схема паралельного з'єднання котушки індуктивності та ємності

6. Побудувати векторні діаграми для розрахованих режимів роботи схеми пп. 4 і 5. Щоб побудувати векторну діаграму для мосту, необхідно в масштабі горизонтально відкласти вектор $\dot{U}_{14}$ (див. рис. 5.1). Положення крапок 3 і 6 визначають за допомогою засічок, використовуючи вирази:

$$\dot{U}_{14} = \dot{U}_{13} + \dot{U}_{34}; \dot{U}_{14} = \dot{U}_{16} + \dot{U}_{64}.$$

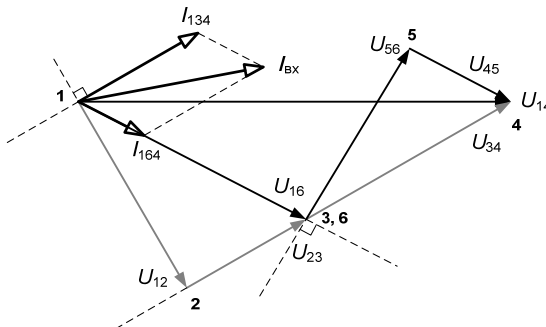


Рисунок 5.3 – Векторна діаграма струмів і напруг для мостової схеми (режим рівноваги мосту)

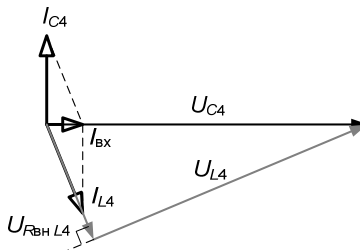


Рисунок 5.4 – Векторна діаграма струмів і напруг для паралельного з'єднання індуктивності та ємності (режим резонансу струмів)

7. Підготувати письмові відповіді контрольні питання.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДІВ

1. Ознайомитися з цифровим осцилографом, що використовується у роботі, та його технічними характеристиками.

Осцилографи називають по-різному, проте найбільш поширеним терміном на сьогоднішній день залишається «осцилограф». Часто можна почути англomовний термін-абревіатуру DSO, який розшифровується як Digital Storage Oscilloscope, що в перекладі означає «цифровий запам'ятовуючий осцилограф», «оцифровуючий осцилограф» або «цифровий осцилограф». Останні три терміни позначають цифрову технологію, яка застосовується у цих приладах для захоплення та збереження сигналів у цифровому вигляді. Принцип роботи цифрового осцилографа ілюструє схема, яку зображено на рис. 5.5.

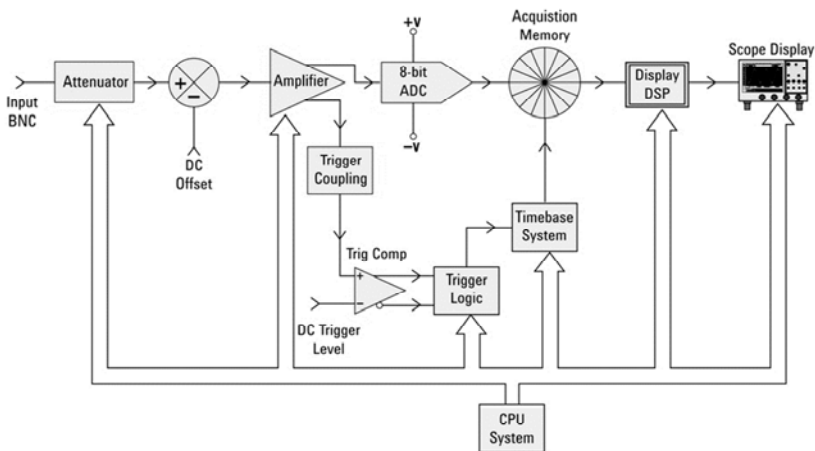


Рисунок 5.5 – Принцип роботи цифрового осцилографа

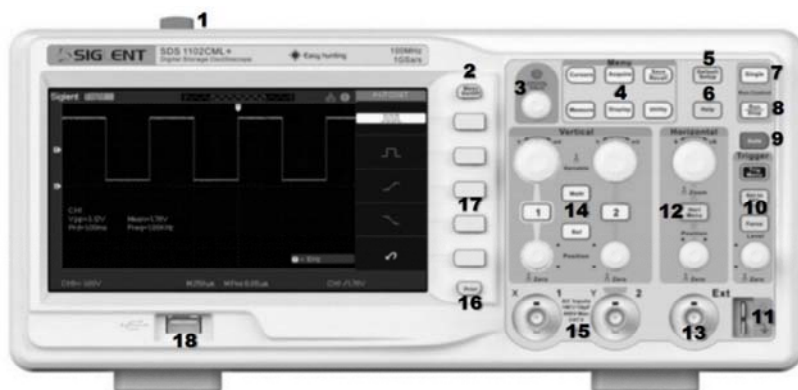
Усі цифрові осцилографи (DSO) побудовані на базі аналого-цифрового перетворювача (ADC) і модуля пам'яті (Acquisition Memory). Саме цей компонент осцилографа створює знімки сигналу. Аналоговий вхідний сигнал надходить у ADC, де аналогове значення напруги у певні моменти часу перетворюється на цифрове двійкове значення. Зазвичай у більшості сучасних DSO для цього використовуються 8 бітів роздільної здатності (256 складових) по вертикалі.

Вхідний сигнал попередньо масштабується в блоках Attenuator (Атенюатор), DC offset (Зміщення постійної складової) та Amplifier (Підсилювач) таким чином, щоб сигнал потрапив у заданий динамічний діапазон ADC. Під час обертання ручки V/div (В/поділ) у блоці атенюатора налаштовуються певні електричні кола дільників напруги для можливого зменшення амплітуди вхідного сигналу, а також встановлюється коефіцієнт підсилення. За допомогою ручки положення по вертикалі змінюється усунення постійної складової. Це робиться для того, щоб вхідний сигнал, що містить певне усунення постійної складової, потрапив у межі заданого динамічного діапазону ADC.

Блоки запуску (Trigger) та часової розгортки (Timebase System) визначають час та швидкість виміру проб ADC (зйомки). Сигнал запуску фактично визначає час, коли блок розгортки повинен зупинити цикли збору (знімки). Наприклад, якщо обсяг пам'яті осцилографа становить 1000 точок (або проб на цикл збору) і на осцилографі налаштований запуск точно по центру екрану, то блок тимчасової розгортки дозволить блокам ADC/пам'яті безперервно збирати проби на вході або дозволить заповнити щонайменше половину обсягу пам'яті. Після запуску блок тимчасової розгортки подасть команду в блоки ADC/пам'яті для відбору 500 додаткових проб перед зупинкою відбору. При цьому перші 500 проб у пам'яті осцилографа будуть дані сигналу перед подією запуску, а останні 500 проб - дані сигналу після події запуску.

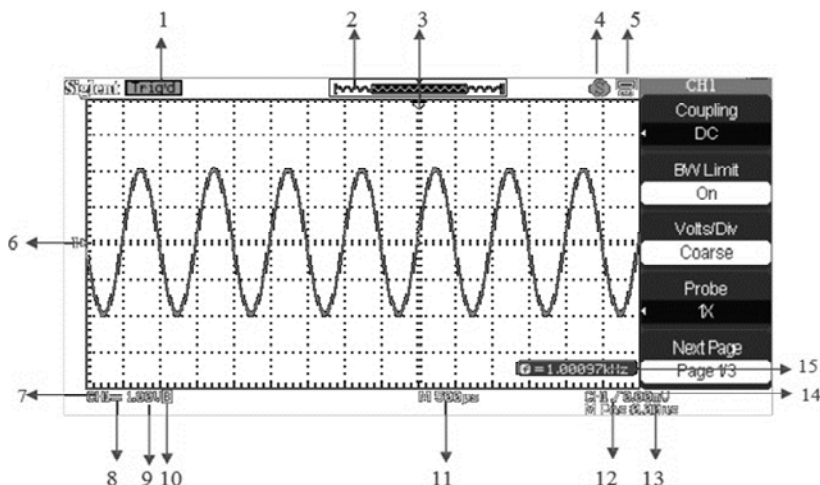
Після завершення циклу збору необхідно обробити проби, збережені в пам'яті осцилографа, для їх відображення. У DSO старих моделей для зчитування даних із пам'яті (по одній пробі одноразово), обробки та повторного збереження вибірових даних у пам'яті дисплея використовувався центральний процесор осцилографа. Цей процес займав багато часу і іноді ставав причиною низької швидкості оновлення сигналу, зокрема при обробці об'ємних записів. У більшості сучасних DSO застосовуються замовні інтегральні схеми спеціального призначення DSP, які забезпечують швидку обробку/цифрову фільтрацію даних та ефективну передачу даних сигналів у пам'ять

дисплея, що сприяє підвищенню пропускної здатності та швидкості оновлення сигналу.



- 1 – Кнопка вмикання/вимикання живлення;
- 2 – Кнопка меню **MENU**;
- 3 – Багатофункціональний регулятор;
- 4 – Зона **MENU** виклику меню функцій (Cursors, Acquire, Save/Recall, Measure, Display, Utility);
- 5 – Кнопка **Default Setup** для відновлення налаштувань виробника;
- 6 – Кнопка **Help** для виклику контекстної допомоги;
- 7 – Кнопка **Single** включення режиму реєстрації однократного сигналу з наступною зупинкою;
- 8 – Кнопка **Run/Stop** для зупинки або запуску реєстрації. **Зауваження:** після зупинки реєстрації (за допомогою кнопки **Run/Stop** або після використання кнопки **Single**) регулятор ВРЕМЯ/ДЕЛ дозволяє стискати або розтягувати зображення осцилограм;
- 9 – Кнопка **Auto** для виклику меню автоматичного налаштування осцилографа для отримання готової осцилограми вхідних сигналів;
- 10 – Зона **Trigger** для керування синхронізацією;
- 11 – Вихід опорного сигналу для компенсації пробника;
- 12 – Зона **Horizontal** для керування горизонтальною розгорткою;
- 13 – Вхід каналу зовнішнього запуску **EXT**;
- 14 – Зона **Vertical** для керування вертикальною розгорткою;
- 15 – Входи каналів **CH1** и **CH2**;
- 16 – Кнопка друку **Print**;
- 17 – Кнопки керування меню;
- 18 – Роз'єм USB-хоста.

Рисунок 5.6 – Елементи керування передньої панелі осцилографа



1 – Стан тригера (**Armed**: осцилограф реєструє передпускові дані, система заблокована; **Ready**: осцилограф реєструє передпускові дані та очікує на сигнал запуску; **Trig'd**: осцилограф виявив подію запуску та реєструє потрібну кількість даних після цього моменту; **Stop**: осцилограф завершив реєстрацію даних для осцилограми; **Auto**: осцилограф працює в автоматичному режимі, реєструє та відображає осцилограми сигналу навіть за відсутності події запуску; **Scan**: осцилограф реєструє та відображає форму сигналу безперервно у режимі сканування).

2 – Індикатор положення вікна осцилограми відносно даних, збережених у пам'яті;

3 – Маркер горизонтального положення моменту запуску. Положення цього маркера можна змінювати обертанням регулятора **Horizontal Position**;

4 – Індикатор активності для кнопки **Print** функції друку / збереження зображення;

5 – Індикатор активності функції зв'язку з комп'ютером для порта USB на задній панелі приладу;

6 – Маркер положення рівня триггеру;

7 – Вказівник символу каналу;

8 – Вказівник режиму входу каналу (DC, AC, GND);

9 – Значення вертикальної чутливості (В/діл);

10 – «B» - індикатор режиму обмеження смуги пропускання;

11 – Значення часу розгортки (мкс/діл);

12 – Індикатор типу триггеру;

13 – Значення часового зсуву між положенням моменту запуску та центральною вертикальною лінією сітки екрану;

14 – Значення напруги рівня запуску;

15 – Показ вбудованого частотоміру для сигналу, що відображається.

Рисунок 5.7 – Користувачський інтерфейс осцилографа

На рис. 5.6 зображено передню панель цифрового осцилографа, а на рис. 5.7 - інтерфейс користувача.

Двоканальний цифровий запам'ятовуючий осцилограф Siglent SDS1052DL+ працює у смузі пропускання до 50 МГц, забезпечує до 500 мільйонів вимірів за секунду у режимі реального часу і до 50 млрд. вимірів у режимі еквівалентної дискретизації. До того ж, його відрізняє максимальна ємність пам'яті 32к для кращого спостереження даних сигналу, кольоровий 7-дюймовий дисплей TFT з інтерфейсом і меню, схожими з Windows.

2. Зібрати досліджуване електричне коло (рис. 5.1).

Параметри елементів електричного кола обираються з табл. 5.1 та попереднього розрахунку. Як джерело сигналу в роботі використовується генератор сигналів з підключеним до нього підсилювачем, блоки змінних ємності C4, індуктивності L4 активного опору R4. Приклад збирання схеми на лабораторному стенді представлений на рис. 5.8.

3. Виміряти струми та напруги на елементах електричного кола для врівноваженого стану мосту.

Результати вимірювань занести до табл. 5.2.

4. Виміряти напруги та різницю фаз за допомогою осцилографа для врівноваженого стану моста:

- підключіть щупи осцилографа до досліджуваної схеми, як показано на рис. 5.9. В даному випадку канал CH1 вимірює вхідну напругу U14, яка є опорною при вимірюванні різниці фаз між U14 та іншими напругами у схемі;

- натисніть на передній панелі осцилографа кнопку Auto для виклику автоматичного налаштування осцилографа. Праворуч на екрані з'явиться меню налаштування автоматичного режиму. Виберіть пункт меню $\square\square\square\square$ для відображення кількох періодів досліджуваних сигналів. На передній панелі натисніть на кнопки Position для каналу CH1 та CH2 у зоні Vertical для усунення постійного зміщення;

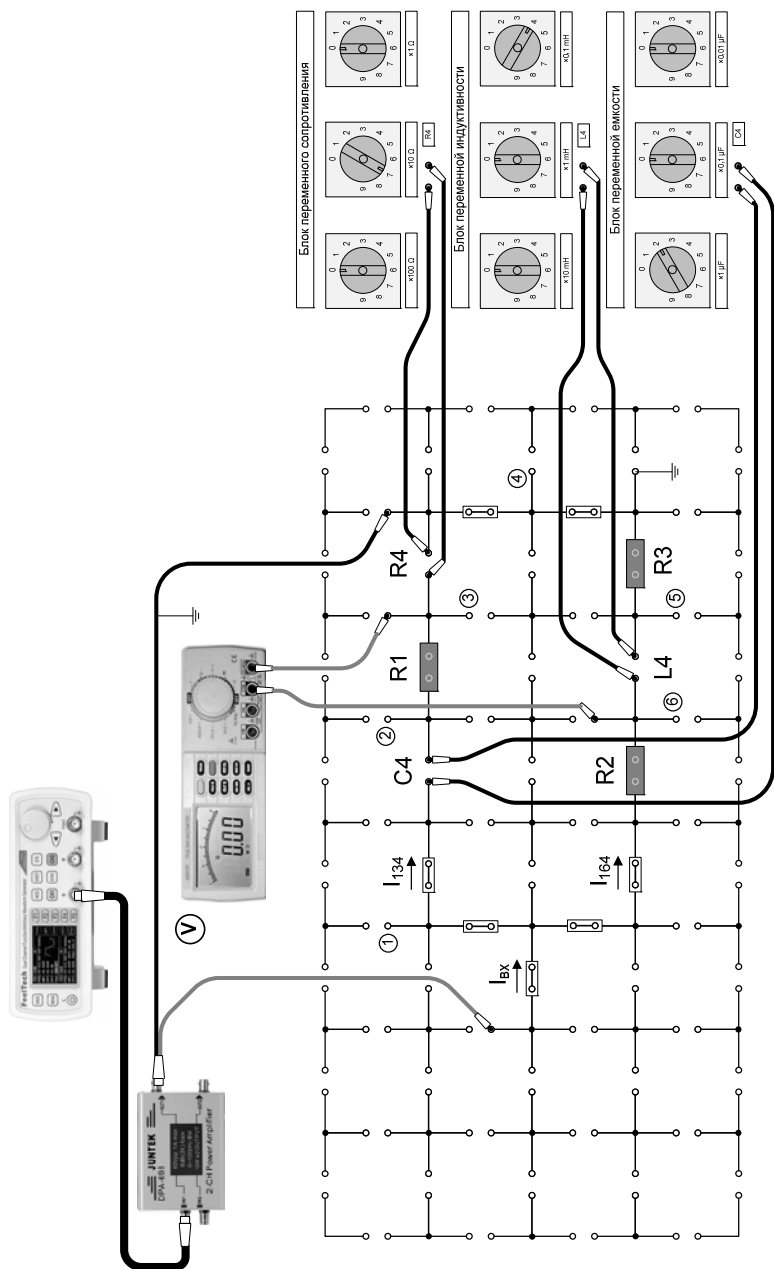


Рисунок 5.8 – Приклад збірки мостової схеми на лабораторному стенді

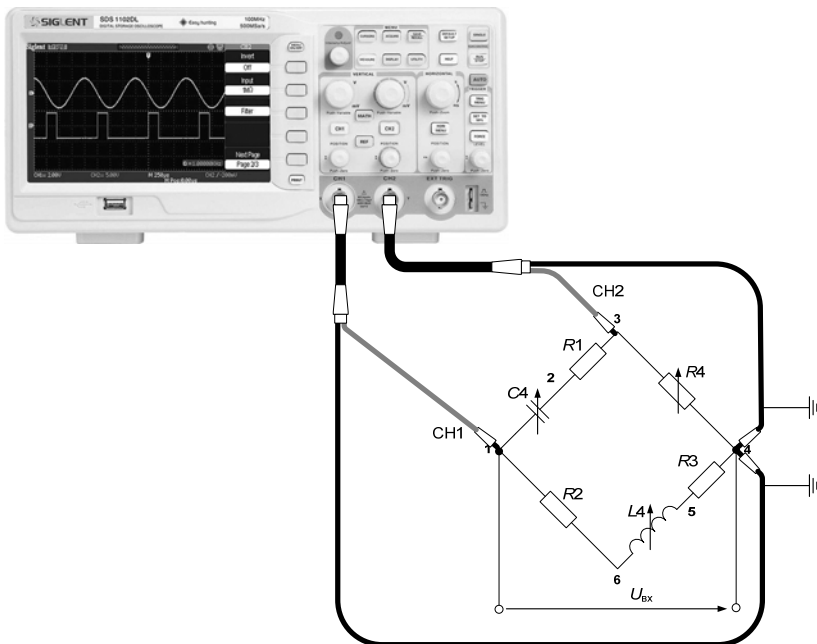


Рисунок 5.9 – Вимірювання напруг та різниці фаз за допомогою осцилографа

- натисніть на передній панелі осцилографа кнопку Measure для виклику меню налаштування вимірювань за допомогою осцилографа. У меню на екрані виберіть Джерело -> CH1 (КАН1), Тип -> V_{rms} ($V_{скз}$). Потім виберіть пункт меню "Додати". У нижній частині екрана осцилографа відобразиться результат вимірювання середньоквадратичного значення напруги каналу CH1 (рис. 5.10). Виконайте аналогічні операції для каналу CH2;

- у меню налаштування вимірювань оберіть Джерело -> CH1-CH2 (КАН1), Тип -> Фаза. Потім оберіть пункт меню "Додати". У нижній частині екрану осцилографа відобразиться результат вимірювання різниці фаз між напругами каналу CH1 та CH2 (рис. 5.11);

- підключаючи щуп осцилографа CH2 до точок 2, 3, 5, 6 досліджуваної схеми, виміряти напруги та різницю фаз. Результати вимірювань занести до табл. 5.5.

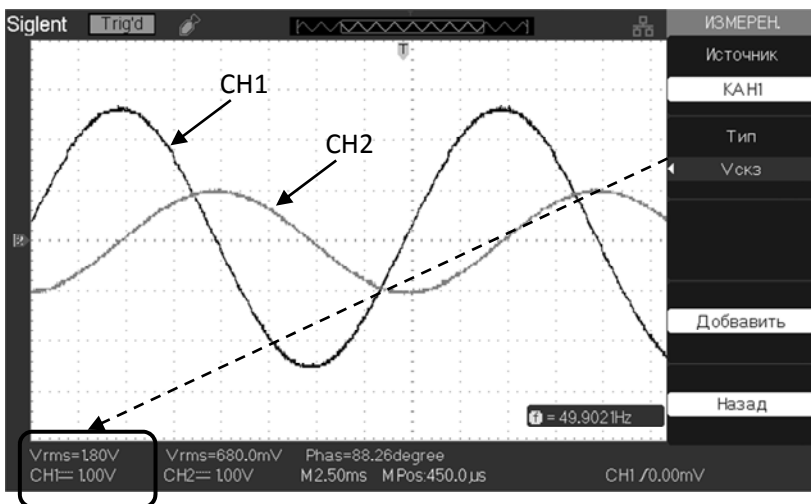


Рисунок 5.10 – Налаштування для вимірювання середньоквадратичного значення напруги каналу CH1

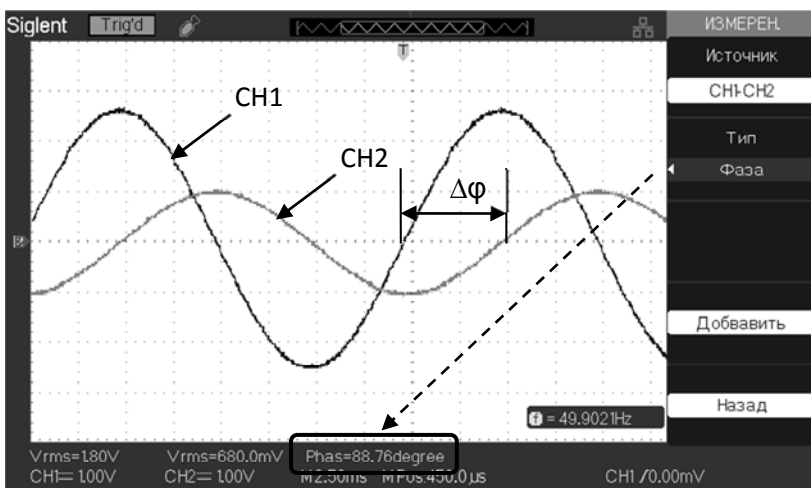


Рисунок 5.11 – Налаштування для вимірювання різниці фаз $\Delta\phi$ між напругами каналів CH1 і CH2

Таблиця 5.5

Врівноважений міст					
Канал	Канал CH1	Канал CH2			
Напруга, В	U_{14}	U_{24}	U_{34}	U_{54}	U_{64}
Різниця фаз $\Delta\phi$, град	$\angle(U_{14}, U_{14})$	$\angle(U_{14}, U_{24})$	$\angle(U_{14}, U_{34})$	$\angle(U_{14}, U_{54})$	$\angle(U_{14}, U_{64})$
	0				
Неврівноважений міст					
Канал	Канал CH1	Канал CH2			
Напруга, В	U_{14}	U_{24}	U_{34}	U_{54}	U_{64}
Різниця фаз $\Delta\phi$, град	$\angle(U_{14}, U_{14})$	$\angle(U_{14}, U_{24})$	$\angle(U_{14}, U_{34})$	$\angle(U_{14}, U_{54})$	$\angle(U_{14}, U_{64})$
	0				

5. Виміряти струми та напруги на елементах електричного кола для неврівноваженого стану моста.

Рівновага моста досягається зміною величин R_4 , L_4 . Результати вимірювань занести до табл. 5.2.

6. Виміряти напруги та різницю фаз за допомогою осцилографа для неврівноваженого стану моста.

Результати вимірювань занести до табл. 5.5.

7. Зібрати електричну схему на дослідження резонансу струмів (рис. 5.2).

Встановивши задану напругу мережі при незмінній частоті f і заданих параметрах елементів (з табл. 5.3), виміряти струми та напруги (шість-сім значень) кола при зміні одного з реактивних опорів (згідно з варіантом). При цьому зробити вимір для випадку резонансу струмів. Результати занести до табл. 5.4.

8. Зняття резонансних кривих.

Встановивши напругу мережі та параметри елементів, взяті для резонансного режиму, зняти резонансні криві за зміни частоти вхідної напруги від 0,2 до 8 кГц. Отримані дані занести до табл. 5.4.

ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ

1. Використовуючи експериментальні дані табл. 5.3. побудувати векторну діаграму для неврівноваженого стану моста.

2. Використовуючи дані табл. 5.5, показати виміряні різниці фаз між векторами напруг.

3. За дослідними даними (табл. 5.4) розрахувати нерезонансні режими розгалуженого електричного кола для випадків $\omega L > 1/\omega C$ та $\omega L < 1/\omega C$. Побудувати векторні діаграми струмів та топографічні діаграми напруги для цих режимів. Результати розрахунку відобразити у табл. 5.4.

4. Побудувати резонансні криві $I_{\text{вх}} = f(\omega)$, $I_C = f(\omega)$, $I_L = f(\omega)$, $\varphi = f(\omega)$, використовуючи результати експерименту за п.8.

5. Зробити висновки щодо роботи.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Запишіть вираз для повної провідності при паралельному з'єднанні елементів R , L , C .

2. Наведіть приклад застосування мостів у колах змінного струму.

3. Запишіть умову рівноваги моста змінного струму у комплексній формі.

4. Запишіть умову виникнення резонансу струмів.

5. Що розуміють під частотними характеристиками електричного кола?

6. Запишіть вираз для повної потужності електричного кола.

7. Як підвищити величину $\cos\varphi$ в енергоємних колах?

8. Котушка індуктивності має 200 витків. Діаметр дроту – 0,5 мм. Як зміниться добротність цієї котушки, якщо діаметр дроту буде 0,25 мм?

Методичний посібник містить у собі рекомендації щодо виконання циклу лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Теорія електричних кіл» з використанням універсального лабораторного стенду, розробленого колективом кафедри програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій.

Загальна кількість запропонованих лабораторних робіт – 5.

Методичний посібник призначений для студентів спеціальностей 171 «Електроніка» та 172 «Електронні комунікації та радіотехніка», а також може бути корисним для студентів інших електротехнічних спеціальностей.

Навчальне видання

Дьяконов Олексій Сергійович
Буряк Володимир Святославович
Стужук Ігор Іванович

ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ

**Методичний посібник для виконання лабораторних робіт
з використанням універсального навчально-дослідного
лабораторного стенду**

Формат 60x84/16. Ум.-друк. аркушів 3,4.

Видавець та виготівник
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
E-mail: publishing@nuos.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6402 від 19.09.2018 р.