

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт з курсу
«ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ
ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ»

Рекомендовано Методичною радою НУК



ВИДАВНИЦТВО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМ. АДМІРАЛА МАКАРОВА

2024

УДК 621.315.6

М54

Автори:

О. А. Авдєєва, кандидат технічних наук;

С. Ю. Александровський, старший викладач кафедри СЕЕС;

С. І. Бандура, старший викладач кафедри СЕЕС;

В. І. Костюченко, кандидат технічних наук, доцент кафедри СЕЕС;

С. М. Новогрецький, кандидат технічних наук, доцент кафедри СЕЕС

Рецензент

О. О. Черно, доктор технічних наук, професор

Рекомендовано Методичною радою НУК

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу М54 «Основи метрології та електричні вимірювання» / О. А. Авдєєва, С. Ю. Александровський, І. С. Бандура, В. І. Костюченко, С. М. Новогрецький. – Миколаїв : НУК, 2024. – 80 с.

Наведено вказівки до виконання лабораторних робіт, а саме: короткі теоретичні відомості, програми лабораторних досліджень, розрахункові формули, принципові схеми лабораторних установок та їх описи, методика обробки експериментальних даних, рекомендована література та контрольні питання для самоконтролю. Рекомендовано для вивчення та набуття практичних навичок використання технічних засобів вимірювання, методів та оцінки точності вимірювання різних параметрів електричних ланцюгів.

Призначено для студентів Навчально-наукового інституту автоматики та електротехніки НУК імені адмірала Макарова.

УДК 621.315.6

© О. А. Авдєєва, С. Ю. Александровський,
І. С. Бандура, В. І. Костюченко,
С. М. Новогрецький, 2024

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2024

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.....	6
Лабораторна робота № 1 Визначення метрологічних характеристик амперметра та вольтметра	8
Лабораторна робота № 2 Вимірювання активної потужності в ланцюгах трифазного струму методом двох ватметрів.....	13
Лабораторна робота № 3 Вимірювання електричних параметрів конденсаторів та котушок індуктивності мостом змінного струму.....	20
Лабораторна робота № 4 Дослідження лічильника електроенергії на базі мікроконтролера MSP430FE42х.....	27
Лабораторна робота № 5 Вимірювання характеристик електричних періодичних сигналів цифровим осцилографом.....	36
Лабораторна робота № 6 Вимірювання частотних характеристик пасивного чотириполюсника цифровим осцилографом	48
Лабораторна робота № 7 Вимірювання питомих втрат в електротехнічній сталі ватметровим методом.....	56

Додаток А. Інструкція з експлуатації. Професійний LCR-метр з двохранним дисплеєм моделі DT-9935.....	61
Додаток Б. Робота з програмою Audacity.....	64
Додаток В. Інструкція з експлуатації. Генератор функціональних/довільних сигналів серії SDG1000.....	67
Додаток Г. Інструкція з експлуатації. Цифрові запам'ятовуючі осцилографи модельного ряду SDS 1000DL.....	70
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	78

ВСТУП

Вимірювання електричних і магнітних параметрів, визначення характеристик вимірювальних приладів та електротехнічних пристроїв є основними вміннями, які дозволяють проводити технічне обслуговування, діагностику та моніторинг режимів роботи електромеханічних й електроенергетичних комплексів.

У методичних вказівках розглянуті питання: визначення метрологічних характеристик та повірки таких вимірювальних приладів, як амперметр, вольтметр, лічильник електроенергії; вивчення методу двох ватметрів для вимірювання потужності, що споживається трифазним навантаженням; ознайомлення із мостовим методом визначення параметрів конденсатора й котушки індуктивності; використання осцилографа для електричних вимірювань; визначення питомих магнітних втрат і характеристик магнітних матеріалів.

Лабораторні роботи дозволять отримати практичні навички при вивченні дисципліни «Основи метрології та електричних вимірювань».

ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Для виконання лабораторних робіт студенти повинні пройти інструктаж з техніки безпеки.

Перед тим, як приступити до складання схеми, студенти повинні ознайомитися з устаткуванням і записати паспортні дані електричних машин і апаратів. Перед складанням схеми необхідно переконатися, що всі автомати і рубильники на робочому місці відключені.

Студенти бригади повинні самостійно зібрати схему установки і надати її викладачу для перевірки. Включати установку можна тільки з дозволу викладача. Всі зміни в схемі повинні робитися при відключеному живленні і нерухомих машинах. Робота під напругою допускається тільки з дозволу викладача із застосуванням відповідних заходів безпеки.

По закінченню роботи бригада надає викладачу для перевірки протокол експериментальних досліджень. Схему можна розібрати після дозволу викладача. Якщо робота не буде виконана у встановлений розкладом термін, слід погодити з викладачем час додаткових занять. На чергове заняття кожний студент повинен надати звіт по попередній роботі. Звіт оформляється кожним студентом індивідуально. До одного зі звітів бригади прикладається протокол експериментальних досліджень, підписаний викладачем.

Звіт слід оформляти окремо по кожній роботі. Він має містити: план роботи; метрологічні характеристики вимірювальних приладів; принципи електричні схеми з'єднань

лабораторного устаткування для проведення досліджень; експериментальні дані, отримані у ході лабораторних експериментів, і результати розрахунків у табличній формі з зазначенням одиниць вимірювання; графіки розрахункових та експериментальних залежностей; розрахункові формули і короткі пояснення отриманих результатів; висновки по роботі.

Звіт має бути оформлений акуратно. Принципові електричні схеми у звіті повинні відповідати вимогам МЕК щодо їх графічного виконання. Розрахункові й опорні точки на графіках експериментальних і теоретичних залежностей слід чітко позначати. Криві проводити поміж розрахунковими точками так, щоб відстань до них була мінімальна, а характер кривих відповідав теорії.

Всі розрахунки повинні виконуватися в одиницях вимірювання СІ. По кожній характеристиці для однієї з точок має бути наведений типовий розрахунок. При виконанні великого числа однотипних розрахунків рекомендується використовувати ЕОМ.

Лабораторна робота № 1
ВИЗНАЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК АМПЕРМЕТРА
ТА ВОЛЬТМЕТРА

1. Мета роботи:

1.1. Оволодіти методом повірки вимірювального приладу за зразковим.

1.2. Визначити похибки, варіацію показань та поправки до показань приладів, що перевіряються.

1.3. Визначити клас точності приладів, що перевіряються.

2. Основні теоретичні відомості

Похибка показань приладу є основною характеристикою і визначає ступінь наближення його показань до дійсного значення вимірюваної величини. Розрізняють такі види похибок:

– **абсолютна похибка** – різниця між показаннями приладу та дійсним значенням вимірюваної величини, яке зазвичай визначається за зразковим приладом:

$$\Delta\alpha = \alpha_x - \alpha,$$

де α_x – значення виміряної приладом величини;

α – дійсне значення вимірюваної величини.

Абсолютна систематична похибка, взята із зворотним знаком, називається поправкою p . Отже, поправка є величина, яку потрібно додати до показань приладу, щоб отримати дійсне значення вимірюваної величини;

– **відносна** похибка – відношення абсолютної похибки до дійсного значення вимірюваної величини:

$$\beta = \frac{\Delta\alpha}{\alpha} 100\%.$$

– **приведена** похибка – відношення абсолютної похибки до нормованого значення (у випадку стрілочних амперметра та вольтметра нормованим є найбільше значення вимірюваної величини α_m , яке можна виміряти за шкалою приладу):

$$\beta_m = \frac{\Delta\alpha}{\alpha_m} 100\%.$$

Найбільше значення приведеної похибки для приладів, в яких максимальна похибка не має суттєвої залежності від результатів вимірювань, зазвичай вказується як клас точності приладу і нормується відповідно до табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Види похибок	Клас точності приладу							
	0,05	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2,5	4
Найбільше значення приведеної похибки, %	±0,05	±0,1	±0,2	±0,5	±1	±1,5	±2,5	±4
Час заспокоєння, с	4	4	4	4	4	4	4	4
Варіація показань, %								
а) для приладів, що працюють в умовах тряски та вібрацій	0,1	0,2	0,4	1	2	3	5	8
б) для інших приладів	0,05	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2,5	4

Наявність тертя в опорах викликає у стрілочних приладів варіацію показань. **Варіацією** показань називається найбільша різниця між окремими показаннями, що відповідають одному й тому ж дійсному значенню вимірюваної величини за незмінних зовнішніх умов:

$$\gamma = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\alpha} 100\%.$$

Варіація показань приладу не має перевищувати припустимого значення.

Перехідний процес у стрілочному вимірювальному приладі характеризується часом заспокоєння. Часом заспокоєння називається проміжок часу, який минув зі зміни вимірюваної величини до того часу, коли стрілка приладу не віддаляється від свого остаточного положення більш ніж на один відсоток довжини шкали. Відповідно до табл. 1.1 цей час не повинен перевищувати 4 секунди для приладів усіх класів.

3. Вказівки для виконання роботи

3.1. Визначення похибок.

Регульовальним пристроєм, яким у лабораторній роботі виступає лабораторний автотрансформатор *ТТ1*, змінюють струм або напругу так, щоб стрілка приладу, що перевіряється, пройшла по всій шкалі для перевірки відсутності заїдань у рухомій частині. Встановивши нульове значення струму (напруги), перевіряють, чи стрілка встановлюється на нульовій позначці, і, якщо необхідно, підправляють положення стрілки коректором. Потім встановлюють значення вимірюваної величини рівним верхній межі вимірювань приладу, що перевіряється, і залишають прилад під навантаженням на 15 хвилин для прогріву його обмоток, шунтів, додаткових опорів.

Після прогріву приступають до визначення похибок. Для цього зменшують вимірювану величину до нуля, а потім плавно збільшують її, встановлюючи стрілку приладу, що перевіряється, по черзі на кожній числовій позначці шкали і записуючи його показання та показання зразкового приладу.

Пройшовши всю шкалу, дають перевантаження, щоб стрілка дійшла до упору, а потім починають плавно зменшувати навантаження, знову зупиняючись на кожній числовій позначці шкали і записуючи показання приладів.

3.2. Визначення варіації показань.

Експериментально варіація показань знаходиться як різниця дійсних значень вимірюваної величини, що

відповідають одній і тій же відмітці шкали приладу, що перевіряється, отриманих спочатку при збільшенні, а потім при зменшенні вимірюваної величини.

3.3. Поправку показань на відповідній відмітці приладу, що перевіряється, визначаємо як середнє значення абсолютних похибок, які були визначені для цієї відмітки, взяте зі зворотним знаком.

3.4. Визначення часу заспокоєння.

Встановлюють стрілку на середину шкали. Залишаючи незмінним положення регульовального пристрою, вимикають його живлення, а після заспокоєння стрілки біля нульового положення знову включають, одночасно запускаючи секундомір. У момент, коли максимальне відхилення стрілки від усталеного положення зменшується до 1 % довжини шкали, секундомір зупиняють.

Час заспокоєння визначається як середнє арифметичне за трьома показаннями секундоміра.

4. План виконання роботи

4.1. Ознайомитись з приладами, записати їхню систему, максимальне значення вимірюваної величини, клас точності, заводський номер.

4.2. Зібрати схему згідно з рис. 1.1.

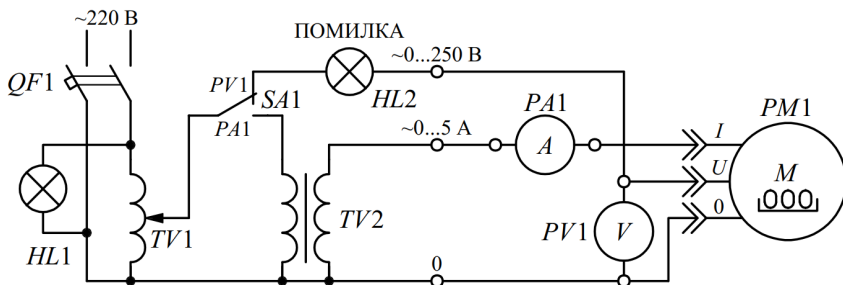


Рис. 1.1

4.3. Для приладів, які перевіряються, визначити абсолютні, відносні та наведені похибки, варіацію показань і поправки, вимірювання та підрахунки звести до табл. 1.2.

4.4. Визначити час заспокоєння приладів, що перевіряються.

4.5. Визначити клас точності приладу.

4.6. Зробити висновки щодо роботи.

Таблиця 1.2

$I_x(U_x)$	При збільшенні показань			При зменшенні показань			γ	p	
	$I(U)$	Похибки		$I(U)$	Похибки				
		$\Delta I(\Delta U)$	β		β_m	$\Delta I(\Delta U)$			β
A(B)			%			A(B)		%	

5. Питання для самоконтролю

5.1. Чому прилади електромагнітної системи мають нерівномірну шкалу, а магнітоелектричні – рівномірну?

5.2. Які обмеження по роду струму мають прилади магнітоелектричної системи і чому? Як технічними засобами зняти ці обмеження і як це вплине на точність вимірювань?

5.3. Які є способи розширення меж вимірювання амперметрів і вольтметрів?

5.4. В якій частині шкали приладу з рівномірною шкалою відносна похибка приладу буде найбільшою?

5.5. Що таке клас точності вимірювального приладу?

5.6. Які види похибок ви знаєте та як вони визначаються?

Лабораторна робота № 2
ВИМІРЮВАННЯ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ
В ЛАНЦЮГАХ ТРИФАЗНОГО СТРУМУ
МЕТОДОМ ДВОХ ВАТМЕТРІВ

1. Мета роботи:

1.1. Вивчити метод вимірювання потужності у трифазних ланцюгах за допомогою двох ватметрів.

1.2. Встановити вплив зсуву фаз між струмом та напругою на показання ватметрів.

1.3. Визначити активну та реактивну потужності трифазного ланцюга при різних коефіцієнтах потужності.

1.4. Побудувати векторну діаграму при вимірюванні потужності двома ватметрами в симетричному трифазному ланцюзі для кутів зсуву фаз $\varphi = 60^\circ$ та $\varphi = 90^\circ$.

2. Основні теоретичні відомості

Метод вимірювання потужності двома ватметрами в трифазних трипровідних ланцюгах характеризується тим, що враховує всю потужність трифазної системи незалежно від рівномірності навантаження. Миттєва потужність трифазного ланцюга p може бути виражена формулою

$$p = p_A + p_B + p_C = i_A u_A + i_B u_B + i_C u_C,$$

де $i_A, i_B, i_C, u_A, u_B, u_C$ – миттєві значення відповідних фазних струмів та напруг. Але так як $i_A + i_B + i_C = 0$, то $i_C = -i_A - i_B$. Підставляючи значення i_C у формулу для визначення миттєвої потужності, отримаємо:

$$p = i_A (u_A - u_C) + i_B (u_B - u_C)$$

або

$$p = i_A u_{AC} + i_B u_{BC},$$

де u_{AC} , u_{BC} – лінійні напруги між відповідними фазами.

Таким чином, величина миттєвої потужності ланцюга трифазного струму може бути представлена у вигляді суми двох доданків:

$$p = p' + p'' = i_A u_{AC} + i_B u_{BC}.$$

Активна або середня за період потужність ланцюга трифазного струму може бути представлена у вигляді двох інтегралів, що усереднюють значення миттєвих потужностей p' та p'' за період:

$$p = \frac{1}{T} \int_0^T p' dt + \frac{1}{T} \int_0^T p'' dt = P' + P''.$$

Алгебраїчна сума показань двох ватметрів дорівнює активній потужності всієї трифазної системи, але розподіл цієї потужності між показаннями двох ватметрів не пов'язаний безпосередньо зі ступенем рівномірності навантаження, а залежить від величини та знаку зсуву фаз.

Якщо струми і напруги змінюються за синусоїдальним законом, то активна потужність трифазного ланцюга може бути виражена як

$$P = P' + P''$$

або

$$P = I_A U_{AC} \cos \psi_1 + I_B U_{BC} \cos \psi_2,$$

де ψ_1 – кут зсуву фаз між струмом I_A і напругою U_{AC} ;

ψ_2 – між струмом I_B і напругою U_{BC} .

В окремому випадку, при симетричній системі та рівномірному навантаженні фаз векторна діаграма буде мати вигляд, показаний на рис. 2.1. Очевидно, що при таких умовах

$$\psi_1 = 30^\circ - \varphi_A, \quad \psi_2 = 30^\circ + \varphi_B.$$

У зв'язку з тим, що при симетричному навантаженні $\varphi_A = \varphi_B = \varphi$, потужність трифазного ланцюга можемо представити у наступному вигляді:

$$P = I_A U_{AC} \cos(30^\circ - \varphi) + I_B U_{BC} \cos(30^\circ + \varphi),$$

тобто показання двох ватметрів будуть однакові лише за чисто активного навантаження ($\varphi = 0$). Якщо струми і напруги незмінні за амплітудою, то при індуктивному навантаженні, якому відповідають позитивні значення φ , показання першого ватметра P' зі збільшенням φ будуть збільшуватися і досягнуть свого найбільшого значення при $\varphi = 30^\circ$, а при подальшому зростанні кута зменшуватимуться.

Показання другого ватметра P'' зі збільшенням φ будуть тільки зменшуватися і при $\varphi = 60^\circ$ ватметр покаже нуль. При подальшому збільшенні кута, щоб вирахувати показання другого ватметра, слід змінити напрям струму в струмовій обмотці приладу відповідним перемикачем на приладі $PW2$ та враховувати його показання як від'ємне значення.

Тобто у цьому випадку для отримання потужності ланцюга трифазного струму потрібно з показань першого ватметра відняти показання другого:

$$P = P' + (-P'') = P' - P''.$$

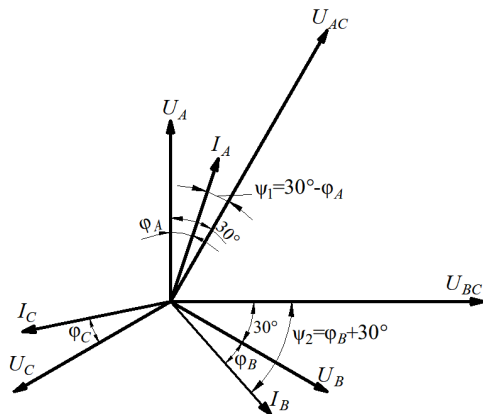


Рис. 2.1

При рівномірному навантаженні фаз різниця показань ватметрів, помножена на $\sqrt{3}$, являє собою реактивну потужність $Q = \sqrt{3}(P' - P'')$ трифазної системи, у той час як сума показань ватметрів дорівнює активній потужності P . Таким чином, при рівномірному навантаженні фаз трифазної системи з показань ватметрів P' і P'' можна визначити тангенс кута зсуву фаз між фазним струмом і напругою:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\sqrt{3}(P' - P'')}{P' + P''}.$$

3. Вказівки до виконання роботи

Схема з'єднань приладів для вимірювання потужності у трипровідних ланцюгах трифазного струму наведена на рис. 2.2.

Рівномірне навантаження фаз створюється ідентичними резисторами $R1, R2, R3$. Ватметри $PW1$ та $PW2$ у трифазний ланцюг увімкнені через трансформатори струму $TA1, TA2$ та фазорегулятор $MA1$. Кут зсуву фаз між струмом і напругою змінюється фазорегулятором $MA1$, шляхом кутового повороту його ротора відносно статора. Це дозволяє імітувати зміну характеру навантаження від чисто активного до чисто індуктивного без зміни струму навантаження. Коефіцієнт трансформації фазорегулятора $MA1$ дорівнює $k_{TV} = 2$, коефіцієнт трансформації трансформаторів струму $TA1, TA2$ $k_{TI} = 0,6$. У схему також включені амперметр $PA1$, вольтметр $PV1$ і ватметр $PW3$, що вимірюють електричні параметри для порівняння та додаткового контролю.

4. План виконання роботи

4.1. Ознайомитись з приладами, записати їхню систему, максимальне значення вимірюваної величини, клас точності, заводський номер.

4.2. Зібрати схему згідно з рис. 2.2.

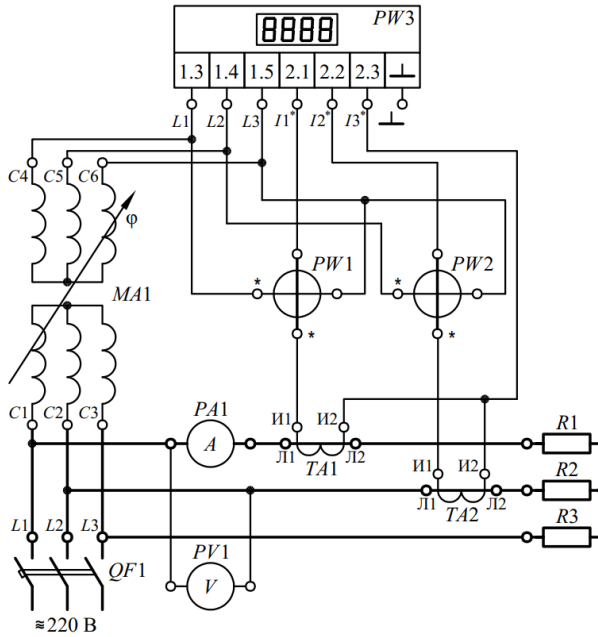


Рис. 2.2

4.3. Для перевірки коефіцієнтів трансформації трансформаторів струму та фазорегулятора прилад $PW3$ перевести в режим вимірювання струму й напруги та порівняти його показання із показаннями приладів $PA1$ та $PV1$.

4.4. Здійснити вимірювання потужності при симетричному активному навантаженні, для чого за допомогою фазорегулятора $MA1$ знайти положення, при якому $\varphi = 0$ ($P' = P''$). При цьому треба пам'ятати, що для отримання результатів вимірювань показання ватметрів треба помножити на коефіцієнти трансформації трансформатора струму та фазорегулятора. Порівняти значення потужності, отримані за показаннями:

двох ватметрів $PW1$ (P') і $PW2$ (P'');

ватметра $PW3$ (P_3);

амперметра $PA1$ та вольтметра $PV1$ ($S = \sqrt{3} I_A U_{AB}$).

4.5. Додатково провести шість вимірювань, що відповідають наступним значенням кута зсуву фаз:

$$0^\circ < \varphi_1 < 60^\circ, 0^\circ < \varphi_2 < 60^\circ, \varphi_3 = 60^\circ, \\ 60^\circ < \varphi_4 < 90^\circ, 60^\circ < \varphi_5 < 90^\circ, \varphi_6 = 90^\circ.$$

4.6. Визначити для кожного вимірювання наступні параметри:

- активну потужність P трифазного трипровідного ланцюга методом двох ватметрів:

$$P = P' + P'';$$

- реактивну потужність, споживану при симетричному навантаженні,
 - за показами двох ватметрів:

$$Q_1 = \sqrt{3}(P' - P'');$$

– за показами амперметра, вольтметра та трифазного ватметра:

$$Q_2 = \sqrt{S^2 - P_3^2} = \sqrt{(\sqrt{3}I_A U_{AB})^2 - P_3^2};$$

- кут зсуву фаз φ :

$$\varphi = \arctg(Q_1/P);$$

- відносну похибку отриманого значення P , якщо за дійсне значення взяти показання трифазного ватметра P_3 :

$$\delta = \frac{P - P_3}{P_3} 100\%.$$

4.7. Побудувати векторні діаграми вимірювання потужності ланцюга трифазного струму методом двох ватметрів для кутів зсуву фаз $\varphi_3 = 60^\circ$ та $\varphi_6 = 90^\circ$. Результати вимірювань та розрахунків звести до табл. 2.1.

Таблиця 2.1

$I_A = \dots A; \quad U_{AB} = \dots B; \quad S = \dots BA$								
Зсув фази	P_3	P'	P''	P	Q_1	Q_2	φ	δ
	Вт				ВАр		град	%

4.8. Зробити висновок стосовно отриманих результатів.

5. Питання для самоконтролю

5.1. Як ватметрами виміряти реактивну потужність у трифазному трипровідному та чотирипровідному ланцюзі?

5.2. Коли для визначення активної потужності показання двох ватметрів потрібно підсумовувати, а коли брати їхню різницю?

5.3. Які обмеження існують щодо використання метода двох ватметрів?

5.4. Як за допомогою амперметра, вольтметра та трифазного ватметра виміряти реактивну потужність у трифазному трипровідному ланцюзі із симетричним навантаженням?

5.5. Чим відрізняються одна від одної повна, активна та реактивна потужності? Як вони визначаються в трифазній симетричній системі за лінійними та фазними значеннями струму та напруги?

5.6. Якої системи електромеханічні вимірювальні механізми можуть бути використані для ватметра?

5.7. Поясніть принцип дії цифрового ватметра.

Лабораторна робота № 3
ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
КОНДЕНСАТОРІВ ТА КОТУШОК ІНДУКТИВНОСТІ
МОСТОМ ЗМІННОГО СТРУМУ

1. Мета роботи:

1.1. Вивчити метод вимірювання електричних параметрів конденсаторів і котушок індуктивності мостом змінного струму.

1.2. Визначити електричні параметри схеми заміщення досліджуваних конденсаторів і котушок індуктивностей.

1.3. Порівняти отримані результати з безпосередніми вимірюваннями зразковим приладом.

2. Основні теоретичні відомості

Конденсатор прийнято характеризувати двома основними параметрами: ємністю C і тангенсом кута діелектричних втрат $\operatorname{tg} \delta$. При вимірюванні ємності конденсатора з твердим діелектриком необхідно пам'ятати, що діелектрик має кінцевий опір, так як під впливом прикладеної напруги в ньому виникає струм провідності, струм зміщення та втрати на електричний гістерезис. Зазвичай реальний конденсатор є еквівалентною схемою у вигляді ідеальної ємності в послідовному або паралельному з'єднанні з активним опором, що зумовлює виникнення еквівалентних втрат. Струм I_C у ланцюзі такого конденсатора випереджає напругу U_C на кут φ , менший за дев'яносто градусів. Кут δ , що доповнює до 90°

кут ϕ зсуву між струмом I_C та напругою U_C , називається кутом втрат конденсатора (рис. 3.1,а).

При вимірюванні параметрів котушки індуктивності в ній зазвичай виділяють і вимірюють значення індуктивності L та опір втрат R або добротність Q , під якою розуміють відношення індуктивного опору котушки до активного:

$$Q = \frac{\omega L}{R}.$$

Таким чином, для вимірювання параметрів конденсаторів і котушок індуктивності необхідні методи й апаратура, що дозволяють проводити роздільний вимір активної та реактивної складових комплексного опору. Найчастіше для досягнення цих цілей застосовують мости змінного струму.

3. Вказівки для виконання роботи

Плечі мосту змінного струму для вимірювання параметрів конденсатора рис. 3.1,б складаються з наступних пасивних елементів: перше – із вимірюваного конденсатора, що характеризується ємністю C_x та послідовно з'єднаним активним опором R_x , який є насправді умовним та характеризує активні втрати енергії у конденсаторі; друге – із зразкового конденсатора $C1$, послідовно з яким включений магазин опорів $R2$, що служить для отримання такого ж кута зсуву фаз між струмом і напругою, як і в плечі, що містить C_x ; третє та четверте плечі складаються з магазину опорів $R1$ та нерегульованого резистора $R3$ відповідно. Живлення моста здійснюється від понижуючого трансформатора (на схемі не показано). Мілівольтметр PVI виконує функцію нуль-індикатора HI і служить для контролю рівноваги моста.

Умова рівноваги моста визначається однаковими електричними потенціалами у вершинах діагоналі, в якій включений HI , тобто різниця потенціалів у цій діагоналі має дорівнювати нулю. Це можливо лише у випадку, якщо добутки повних опорів протилежних плеч будуть однаковими,

що може бути представлено математично для випадку, зображеного на рис. 3.1, наступним виразом:

$$\left(R_x + \frac{1}{j\omega C_x}\right) \cdot I_1 = \left(R_2 + \frac{1}{j\omega C_1}\right) \cdot I_2; \quad R_1 \cdot I_2 = R_3 \cdot I_1;$$

$$\left(R_x + \frac{1}{j\omega C_x}\right) \cdot R_1 = \left(R_2 + \frac{1}{j\omega C_1}\right) \cdot R_3,$$

де I_1 та I_2 – струми, що проходять по нижній і верхній частинах мосту відповідно. Наявність НІ в діагоналі не впливає на величини струмів у плечах повністю зрівноваженого мосту, так як різниця потенціалів, а значить і струм в діагоналі вимірювання в цьому випадку дорівнює нулю.

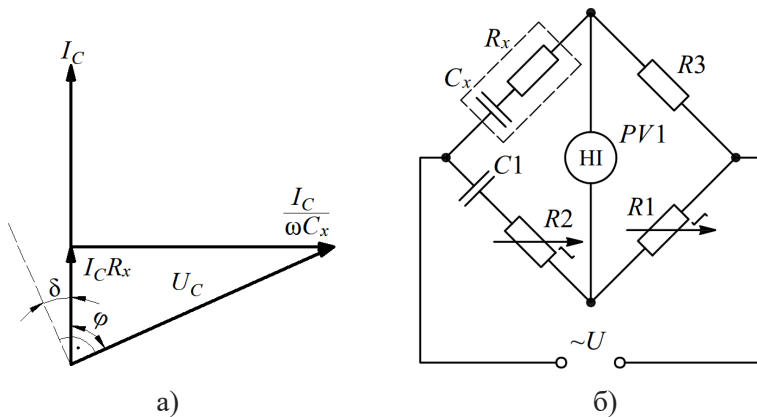


Рис. 3.1

Звідси, розділяючи дійсну та уявну частини тотожності, отримуємо дві умови рівноваги мосту:

$$R_x \cdot R_1 = R_2 \cdot R_3; \quad \frac{R_1}{C_x} = \frac{R_3}{C_1}$$

або

$$R_x = R_3 \frac{R_2}{R_1}; \quad C_x = C_1 \frac{R_1}{R_3}.$$

Кут зсуву фаз струму відносно напруги в ланцюзі конденсатора може бути визначений через його тангенс за формулою

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{\omega C_x R_x}.$$

Кут втрат δ , що доповнює φ до 90° , визначається також через тангенс за виразом

$$\operatorname{tg} \delta = \omega C_x R_x.$$

При вимірюванні параметрів котушки індуктивності зразковий конденсатор вмикається паралельно магазину опорів $R1$ і у протилежному котушці плечі. Повний опір плеча, в який включена котушка індуктивності L_x (рис. 3.2), дорівнює:

$$Z_L = R_x + j\omega L_x.$$

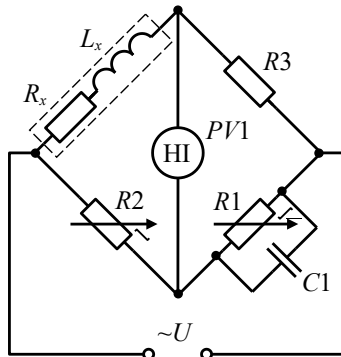


Рис. 3.2

Повний опір першого плеча ($C1, R1$)

$$Z1 = \frac{R1}{1 + j\omega C1R1}.$$

При рівновазі мосту відповідно до раніше визначеної умови справедливо

$$Z_L = \frac{R2R3}{Z1} \quad \text{або} \quad R_x + j\omega L_x = \frac{R2R3(1 + j\omega C1R1)}{R1}.$$

Прирівнявши окремо дійсні та уявні частини, отримаємо дві умови рівноваги:

$$R_x = \frac{R2R3}{R1}; \quad L_x = R2R3C1.$$

Добротність котушки визначається як

$$Q = \frac{\omega L_x}{R_x} = \omega R1C1.$$

Для перевірки результатів, отриманих при вимірюванні характеристик конденсаторів і котушок індуктивності мостовим методом, у лабораторному стенді передбачений зразковий прилад – цифровий мультиметр *PRLC* (на схемі не показаний), що дозволяє виміряти такі параметри, як ємність C_{x0} , активний опір R_{x0} і кут втрат δ_0 конденсатора; індуктивність L_{x0} , активний опір R_{x0} та добротність котушки індуктивності Q_0 .

4. План виконання роботи

4.1. Ознайомитись з приладами, записати їх основні параметри.

4.2. Виміряти приладом *PRLC*, що розташований на стенді, значення опору $R3$ та ємності конденсатора $C1$, а також характеристики заданих викладачем конденсаторів і котушок індуктивності. Результати вимірювань занести до табл. 3.1. Інструкція з експлуатації приладу DT-9935 наведена у додатку А.

Таблиця 3.1

Електронний компонент	C_o	R_o	δ_o	L_o	Q_o
	мкФ	Ом	град	мГн	
$R3$					
$C1$					
C_x					
L_x					

4.3. Зібрати схему згідно з рис. 3.1,б.

4.4. Вимірювання параметрів конденсатора за допомогою моста проводиться наступним чином. Встановивши $R2 = 0$, змінюють значення $R1$ до отримання найменшого значення струму ланцюга нуль-індикатора $PV1$. Після цього, змінюючи опір $R2$, досягають ще більшого зменшення струму. Далі знову повторюють регулювання $R1$ і $R2$, доки струм не стане рівним нулю. Кінцеві значення $R1$ та $R2$ фіксують для визначення параметрів конденсатора.

4.5. Провести вимірювання й розрахунок ємності C_x та активного опору R_x конденсаторів за допомогою мостового метода.

4.6. За допомогою мостового метода визначити ємності C_x та активні опори R_x конденсаторної батареї при послідовному і паралельному з'єднанні двох конденсаторів. Величину еквівалентної ємності перевірити за формулами:

– при послідовному з'єднанні

$$\frac{1}{C_{\Sigma}} = \frac{1}{C_{1x}} + \frac{1}{C_{2x}};$$

– при паралельному з'єднанні

$$C_{\Sigma} = C_{1x} + C_{2x}.$$

4.7. Визначити для кожного конденсатора кут втрат δ та кут зсуву струму щодо напруги ϕ .

4.8. Здійснити вимірювання індуктивності, зібравши схему рис. 3.2. Балансування моста при вимірюванні індуктивності слід починати, встановивши опір $R1$ у середнє положення. Подальші операції з балансування моста аналогічні п. 4.4.

4.9. Виконати вимірювання параметрів другої котушки індуктивності, а також параметрів послідовного і паралельного з'єднання двох котушок.

Величину еквівалентної індуктивності перевірити за формулами:

- при послідовному з'єднанні

$$L_{\Sigma} = l_{1x} + L_{2x};$$

- при паралельному з'єднанні

$$\frac{1}{L_{\Sigma}} = \frac{1}{L_{1x}} + \frac{1}{L_{2x}}.$$

Усі вимірювання та розрахунки звести до табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Досліджувані компонент	R1	R2	R _x	C _x	tg δ	δ	tg φ	φ	L _x	Q
	Ом			мкФ		град		град	мГн	

4.10. Отримані результати порівняти з даними табл. 3.1 і визначити відносну похибку вимірювання ємності (індуктивності), якщо вважати *PRLC* зразковим вимірювальним приладом.

4.11. Зробити висновки щодо роботи.

5. Питання для самоконтролю

5.1. Сформулюйте і поясніть умови рівноваги мостів постійного та змінного струму.

5.2. Чим відрізняються принципові схеми мосту для вимірювання ємності й індуктивності, якщо як зразковий елемент використовується ємність?

5.3. Поясніть, чому не завжди вдається повністю зрівноважити міст змінного струму?

5.4. Чому величини активного опору котушки індуктивності, виміряні на різних частотах, можуть не співпадати?

5.5. Чому величини ємності та індуктивності електронних компонентів, виміряні на різних частотах, можуть не співпадати?

Лабораторна робота № 4
ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІЧИЛЬНИКА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ
НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА *MSP430FE42x*

1. Мета роботи:

1.1. Ознайомитись із конструктивними особливостями електронного лічильника електроенергії на базі мікроконтролера.

1.2. Ознайомитись з основними метрологічними характеристиками електронного лічильника електроенергії.

1.3. Виконати перевірку метрологічних характеристик електронного лічильника електроенергії.

2. Основні теоретичні відомості

2.1. Мікроконтролери сімейства *MSP430FE42x* із вбудованим сигнальним процесором *ESP430CE1* для однофазного лічильника електроенергії з вбудованим аналоговим вхідним терміналом та температурним датчиком розроблені спеціально для використання у пристроях вимірювання споживаної потужності (рис. 4.1).

Процесор *ESP430CE1* виконує більшість дій щодо вимірювання споживаної електроенергії автоматично, не використовуючи ресурси обчислювального ядра. Це дозволяє зберегти ресурси обчислювального ядра для використання в інших завданнях, наприклад для здійснення зв'язку з іншими пристроями. Процесор *ESP430CE1* може працювати з різними струмовими датчиками. Як струмовий датчик використовуються шунт (рис. 4.1) або трансформатори струму.

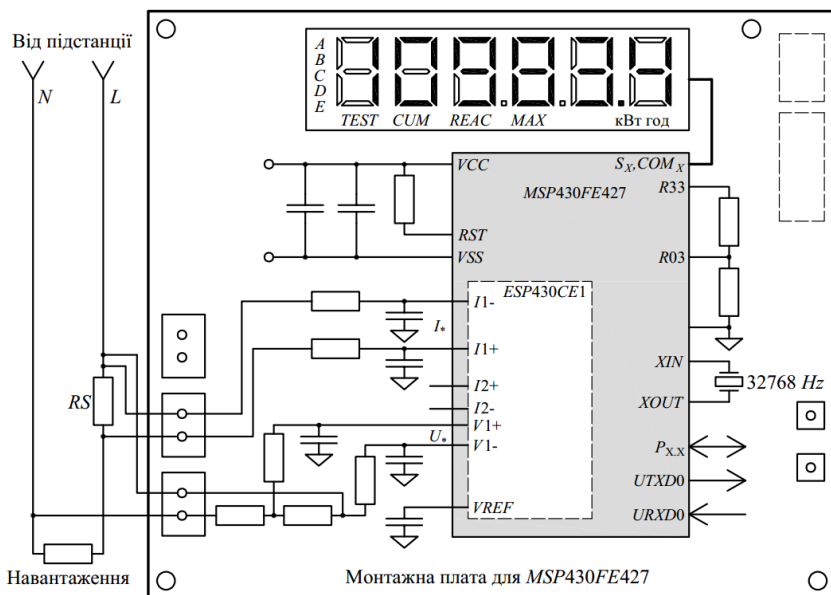


Рис. 4.1

Всі параметри можуть бути налаштовані програмно, а калібрувальні константи можуть бути збережені у *Flash*-пам'яті мікроконтролера *MSP430* та передані процесором *ESP430CE1* при ініціації системи.

2.2. У лабораторній роботі використовується лічильник Меркурій-206, який має такі функціональні можливості:

- облік активної та реактивної енергії у багатотарифному (до 4-х тарифів) або однотарифному режимах;
- зберігання, виведення на рідкокристалічний індикатор (PKI) та передача за інтерфейсами наступної облікової інформації:
 - a. активної та реактивної енергії наростаючим підсумком за кожним тарифом і сумою;
 - b. активної та реактивної енергії на початок кожного з 12-ти попередніх місяців по кожному з тарифів і за сумою;

- зберігання архівної інформації, що зчитується через цифрові інтерфейси:
 - a. добових зрізів активної енергії протягом 6 місяців;
 - b. місячних зрізів активної енергії протягом 4 років;
 - вимірювання, виведення на РКІ та передача за інтерфейсами наступних параметрів електромережі:
 - a. миттєві значення активної та реактивної потужності і зафіксований максимум;
 - b. діючі значення фазного струму й напруги та їх максимуми;
 - c. частоту мережі;
 - контроль навантаження за допомогою установки лімітів активної потужності й енергії та відключення навантаження при перевищенні лімітів або за командою диспетчера; контроль здійснюється двома способами:
 - a. імпульсним виходом;
 - b. через вбудоване реле (для лічильника з індексом «О» в умовному позначенні);
 - формування профілю потужності навантаження як масиву потужностей активної енергії усереднених на 30-хвилинних інтервалах (глибина зберігання архіву складає 6 місяців);
 - наявність журналу подій (кільцевого по 64 записи на кожну подію), у якому фіксуються:
 - a. час включення / виключення лічильника;
 - b. час розкриття / закриття приладу;
 - c. час, дата і код параметризації.
- Зв'язок лічильника із зовнішніми пристроями можливий за інтерфейсом RS-485 і через оптопорт, що дозволяє вибрати інформацію, яка відображається на індикаторі.
- Лічильник на РКІ може відображати:
- номер поточного тарифу;
 - значення спожитої енергії кожного виду з початку експлуатації за кожним тарифом і суму за всіма тарифами;

- поточні значення активної та реактивної потужностей навантаження;
- поточні значення струму та напруги;
- значення спожитої енергії з початку експлуатації на перше число кожного з попередніх 12-ти місяців за кожним тарифом і суму за всіма тарифами;
- час перемикання тарифних зон;
- поточний час і дату;
- час напрацювання з моменту введення в експлуатацію;
- час напрацювання батареї.

Схема підключення лічильника показана на рис. 4.2.

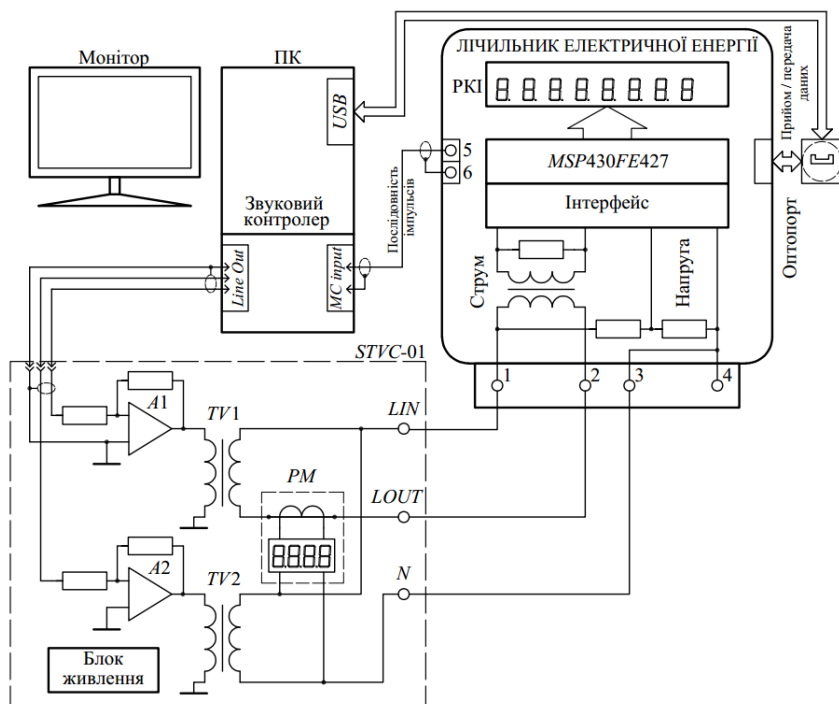


Рис. 4.2

2.3. У лабораторній роботі проводиться повірка лічильника згідно з методикою, викладеною в [1]:

2.3.1. Опробування лічильника.

При опробуванні перевіряється:

- функціонування РКІ;
- функціонування інтерфейсів зв'язку.

2.3.2. Визначення метрологічних характеристик лічильника:

- перевірка стартового струму (порогу чутливості);
- перевірка відсутності самоходу;
- визначення похибки лічильника при вимірюванні активної та реактивної енергії.

2.3.3. Для перевірки лічильника в лабораторії використовується джерело випробувальних напруг *STVC-01*, кероване від комп'ютера через програму *TVS*, яка дозволяє задавати напругу, струм навантаження, коефіцієнт потужності та час проведення вимірювання.

3. План виконання роботи

3.1. Підключити лічильник до джерела напруги, дотримуючись маркування (рис. 4.2).

3.2. Виконати опробування лічильника.

3.2.1. Перевірка функціонування РКІ.

З робочого столу запустити програму *TVS* (рис. 4.3).

При включенні лічильника короткочасно повинні загорітися всі сегменти індикатора РКІ. Необхідно перевірити включення всіх сегментів індикатора. Приклад працюючого РКІ наведено на рис. 4.4.

За допомогою програми *TVS* на вкладці «Main» задати напругу 230 В, струм у навантаженні відсутній. Записати поточне значення спожитої електроенергії з РКІ.

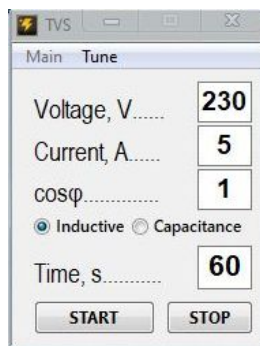


Рис. 4.3

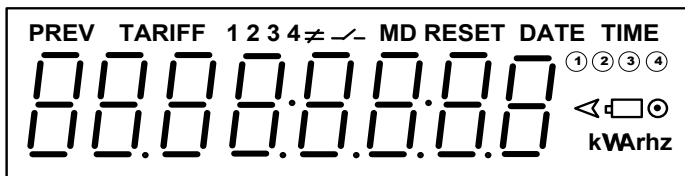


Рис. 4.4

Програмою TVS встановити струм 10 А, коефіцієнт потужності $\cos \varphi = 1,0$ і час 450 с. Увімкнути установку кнопкою «START». При цьому почне збільшуватись значення спожитої електроенергії. Через 7,5 хв (450 с) навантаження відключиться. Після чого необхідно записати кінцеві показання спожитої електроенергії. Різниця у показаннях має бути в межах від 280 до 295 Вт·год.

3.2.2. Перевірка функціонування інтерфейсів, можливості програмування та зчитування інформації через інтерфейс зв'язку.

Для перевірки можливості програмування і зчитування через інтерфейс необхідно під'єднати до порту RS-232 комп'ютера оптичний пристрій сполучення ДСТ Р МЕК 61107-2001.

Запустити програму «Конфігуратор». У програмі «Конфігуратор» відкрити вкладку «Параметри зв'язку». Вибрати тип лічильника, тип інтерфейсу, швидкість обміну, номер порту. У полі «Мережева адреса» ввести восьмизначний заводський номер лічильника. Натиснути кнопку «З'єднати».

Відкрити вкладку «Миттєві значення». Порівняти показання лічильника з показаннями зразкового приладу РМ.

Відкрити вкладку «Тарифи». Прочитати тарифний розклад лічильника, натиснувши кнопку «Прочитати з лічильника». При цьому в таблиці має відобразитися тарифний розклад, який був записаний раніше.

3.3. Визначити метрологічні показники лічильника.

3.3.1. Перевірка стартового струму (порогу чутливості).

Перевірку стартового струму проводять при номінальній напрузі 230 В, коефіцієнті потужності, що дорівнює одиниці, і значенні струму 10 мА. Час випробувань установити 360 с.

Результати перевірки вважаються позитивними, якщо лічильник реєструє за вказаний час електроенергію: імпульсний вихід лічильника періодично змінює свій стан (перевіряється за світлодіодом, що блимає в такт імпульсного виходу).

3.3.2. Перевірка відсутності самоходу.

Під час перевірки самоходу встановити напругу мережі 250 В. Струм навантаження повинен бути відсутнім. При цьому необхідно контролювати період миготіння світлового індикатора споживаної потужності лічильника.

Результати перевірки вважаються позитивними, якщо імпульсний вихід лічильника створює не більше одного імпульсу протягом 4,4 хв (264 с) для лічильників з максимальним струмом 60 А.

3.3.3. Визначення похибки вимірювання активної енергії.

Алгоритм дій наступний. Запустити програму Audacity.

Програмою TVS встановити відповідно до табл. 4.2 для поточного номеру випробування значення напруги, струму, коефіцієнта потужності.

Кнопкою «START» у вікні програми TVS увімкнути струм. У разі відхилення показань приладу *PM* від установлених значень у вікні програми TVS зробити коригування вхідних даних (напруга, струм і $\cos \varphi$) за допомогою вкладки «Tune» у програмі TVS. Програмою Audacity записуємо сигнал, який знімається з імпульсного виходу лічильника. Вимірюємо період цього сигналу $T_{\text{вм}}$.

Знаючи, що при проходженні через лічильник електроенергії в 1 кіловат на годину (3600 с) на імпульсному виході формується 5000 імпульсів, знайдемо базовий період сигналу:

$$T_6 = \frac{3600}{5000} = 0,72 \text{ с.}$$

Знаючи базовий T_{ϕ} та вимірний $T_{\phi M}$ періоди, напругу мережі U , струм I , коефіцієнт потужності споживача $\cos \phi$, знайдемо похибку лічильника

$$\delta P = \frac{U \cdot I \cdot \cos \phi \cdot T_{\phi M} - 1000 T_{\phi}}{1000 T_{\phi}} \cdot 100\%.$$

Дані випробувань заносимо до табл. 4.1.

Таблиця 4.1

№	U	I	$\cos \phi$	$T_{\phi M}$	δP
	В	А		с	%

Результати повірки вважаються позитивними, якщо в усіх випробуваннях похибка знаходиться в межах допустимих значень, наведених у табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Номер випробування	Параметри вхідних сигналів			Межі допустимої похибки при вимірі активної енергії
	U	I	$\cos \phi$	
	В	А		
1	230	$0,1I_{\phi}$	1,0	$\pm 1,0$
2	230	$0,2I_{\phi}$	1,0	$\pm 1,0$
3	230	I_{ϕ}	1,0	$\pm 1,0$
4	230	I_{\max}	1,0	$\pm 1,0$
5	230	$0,1I_{\phi}$	0,8 інд.	$\pm 1,0$
6	230	$0,2I_{\phi}$	0,8 інд.	$\pm 1,0$
7	230	I_{ϕ}	0,8 інд.	$\pm 1,0$
8	230	I_{\max}	0,8 інд.	$\pm 1,0$
9	230	$0,1I_{\phi}$	0,8 ємн.	$\pm 1,0$
10	230	$0,2I_{\phi}$	0,8 ємн.	$\pm 1,0$
11	230	I_{ϕ}	0,8 ємн.	$\pm 1,0$
12	230	I_{\max}	0,8 ємн.	$\pm 1,0$

У табл. 4.2 наступні позначення: $I_6 = 5 \text{ A}$ (номінальний струм для лічильника Меркурій-206); $I_{\max} = 4 I_6 = 20\text{A}$; інд. – індуктивний характер навантаження; ємн. – ємнісний характер навантаження.

3.4. Зробити висновки щодо роботи.

4. Питання для самоконтролю

4.1. Які основні метрологічні характеристики лічильника електроенергії?

4.2. Які основні відмінності в конструкції та технічних можливостях електромеханічних і електронних лічильників електроенергії? Поясніть принцип дії електронного лічильника.

4.3. Як визначити усереднену потужність споживача за показами лічильника електроенергії?

4.4. Як залежить відносна похибка вимірювання активної електроенергії від коефіцієнта потужності споживача та імпульсних спотворень у мережі? Поясніть відповідь.

4.5. Як можна виміряти споживану електроенергію лічильником, номінальний струм якого в n разів менший за номінальний струм споживача?

Лабораторна робота № 5
ВИМІРЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК
ЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРІОДИЧНИХ СИГНАЛІВ
ЦИФРОВИМ ОСЦИЛОГРАФОМ

1. Мета роботи:

1.1. Вивчити основні функціональні можливості осцилографа та принципи роботи з ним.

1.2. Практично освоїти вимірювання параметрів напруги електричних періодичних сигналів різної форми, включаючи несинусоїдальні, за допомогою цифрового осцилографа.

1.3. Ознайомитися з осцилографічним методом вимірювання частоти та фази.

2. Основні теоретичні відомості

Електронний осцилограф – це один з найпоширеніших у даний час електровимірювальних приладів. Слово «осцилограф», що походить від грец. «осциллум» – коливання і «графо» – пишу показує основне призначення приладу – відображати криві коливань швидкоплинних процесів.

За допомогою осцилографа можна виміряти напруги, струми, частоту, фазові зрушення, досліджувати періодичні та неперіодичні сигнали різної форми.

Періодичний сигнал – це детермінований сигнал, миттєві значення якого повторюються через рівні проміжки часу. Всі періодичні електричні сигнали мають загальні характеристики. Приклади періодичних електричних сигналів представлені на рис. 5.1: *a* – гармонійний (синусоїдальний

або косинусоїдальний); **б** – трикутний; **в** – пілкоподібний; **г** – прямокутний, біполярний імпульс (меандр); **д** – однополярний імпульс; **е** – напруга на виході регульованого двонапівперіодного випрямляча.

2.1. Основні параметри періодичних сигналів

Періодичні сигнали напруги, струму та потужності характеризуються часовими й амплітудними параметрами (параметрами рівня).

До першої групи (часових параметрів) відносяться період T , частота сигналу f , фазовий зсув φ , а також пов'язані з ними параметри, наприклад, кутова частота ω , коефіцієнт потужності $\cos \varphi$ (якщо розглядаються два синусоїдальні сигнали однієї частоти).

Період T сигналу – тривалість одного повного циклу зміни сигналу, що вимірюється в одиницях часу [секундах (с), мілісекундах (мс), мікросекундах (мкс) і т. д.].

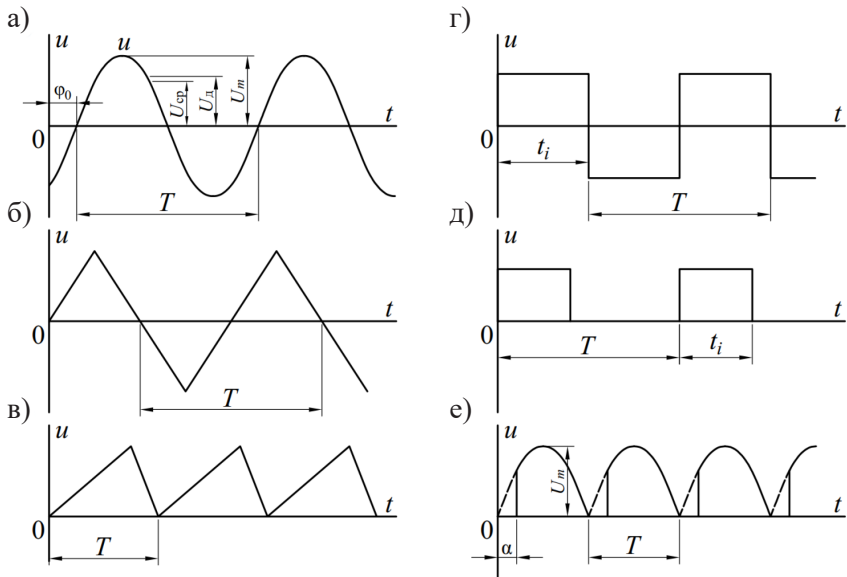


Рис. 5.1

Частота f сигналу – число періодів сигналу в одиницю часу (найчастіше в секунду). Частота – це величина, зворотна періоду $f = 1/T$. Основна одиниця виміру частоти – герц (Гц): $1 \text{ Гц} = 1/\text{с}$. Крім основної одиниці (Гц) використовуються кратні одиниці: кілогерц (кГц), мегагерц (МГц) та ін. У нашій країні номінальне значення частоти електричної мережі – 50 Гц . При цьому номінальне значення періоду $T = 1/f = 1/50 = 0,02 \text{ с} = 20 \text{ мс}$.

Фазовий зсув φ характеризує відносний часовий зсув двох синусоїдальних сигналів однієї частоти і виражається в градусах (наприклад $\varphi = 30^\circ$).

Інколи, якщо розглядають залежність сигналу не від часу, а від зміни фази, період позначають у радіанах або градусах. В цьому випадку $T = 360^\circ$ або $T = 2\pi$ радіан.

Кутова частота ω пов'язана з частотою f співвідношенням $\omega = 2\pi f$ і вимірюється в радіанах на секунду (рад/с).

Для періодичних сигналів, близьких за формою до прямокутної, до часових параметрів відносять також тривалість імпульсу t_i та шпаруватість Q (відношення тривалості імпульсу t_i до періоду сигналу T).

До параметрів рівня відносяться: максимальне (амплітудне, пікове), середнє, середньовипрямлене та середньоквадратичне (діюче) значення сигналу. Для гармонійного сигналу ці параметри пов'язані наступними співвідношеннями (рис. 5.1,а):

$$u = U_m \sin(\omega t - \varphi_0);$$

$$U_{\text{д}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} U_m^2 \sin^2 \alpha d\alpha} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot U_m;$$

$$U_{\text{сєрв}} = \frac{1}{T} \int_0^T |u| dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} U_m |\sin \alpha| d\alpha = \frac{2U_m}{\pi} = 0,637 \cdot U_m = U_{d0};$$

$$U_{\text{сєр}} = \frac{1}{T} \int_0^T u dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} U_m \sin \alpha d\alpha = 0;$$

де U_m – амплітудне значення (максимальне по модулю миттєве значення за період T);

U_d – діюче значення (середньоквадратичне значення за період T);

$U_{\text{серв}}$ – середньовипрямлене значення за період T ;

$U_{\text{сер}}$ – середнє значення за період T ;

u – миттєве значення (значення величини у певний момент часу);

φ_0 – початкова фаза (для рис. 5.1 має знак «мінус»).

З них найважливішим та корисним для оцінки особливостей електричного сигналу є середньоквадратичне (діюче) значення, оскільки саме воно визначає здатність виконувати роботу (нагрівати, рухати, світити тощо). Переважна більшість вимірювальних приладів, призначених для роботи з періодичними напругами та струмами, градууються у середньоквадратичних (діючих) значеннях.

Для напруги на виході регульованого двонапівперіодного випрямляча (рис. 5.1, **ж**) співвідношення, що зв'язують амплітудне, діюче та середнє значення з урахуванням кута відкриття тиристорів α , мають вигляд

$$U_d = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} = \sqrt{\frac{\int_{\alpha_0}^{\pi} U_m^2 \sin^2 \alpha d\alpha}{\pi}} = \frac{U_m}{2} \sqrt{\frac{2(\pi - \alpha_0) + \sin 2\alpha_0}{\pi}};$$

$$U_{\text{сер}} = \frac{1}{T} \int_0^T u dt = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha_0}^{\pi} U_m \sin \alpha d\alpha = \frac{1}{\pi} U_m (1 + \cos \alpha_0) = U_{d0} \frac{1 + \cos \alpha_0}{2},$$

де U_{d0} – середня напруга на виході схеми при куті $\alpha = 0$.

2.2. Визначення частоти напруги методом порівняння двох частот

Вимірювання частоти засноване на спостереженні фігур Ліссажу. Для цього на вхід X осцилографа подається напруга частоти f_x , а на вхід Y – напруга зразкової (відомої) частоти f_0

(рис. 5.2). При подачі на один вхід напруги $u_x = U_{mx} \sin(2\pi f_x t)$, а на інший $u_0 = U_{m0} \sin(2\pi f_0 t)$ – відхилення променя по горизонталі та вертикалі будуть пропорційні цим напругам:

$$\begin{aligned}x &= k_x \sin(2\pi f_x t); \\y &= k_y \sin(2\pi f_0 t),\end{aligned}$$

де k_x, k_y – коефіцієнти пропорційності.

Тоді крива, що описується променем на екрані, визначається рівнянням

$$y = k_y \sin\left(\frac{f_0}{f_x} \arcsin \frac{x}{k_x}\right).$$

Фігура буде нерухомою, якщо промінь через період T_n (період фігури Ліссажу) потрапляє в ту саму точку. Очевидно, що це можливо лише за умови $T_n f_0 = m$ та $T_n f_x = n$, де m і n будь-які цілі числа. Звідси випливає умова нерухомості фігур Ліссажу:

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

Якщо відношення частот відрізняється від простого дробу, то на екрані видно прямокутник, що світиться. При зміні частот і наближенні їх співвідношення до простого дробу з прямокутника вимальовується фігура, що обертається. При кратному відношенні частот фігура стає нерухомою. Фігури Ліссажу, отримані за допомогою осцилографа, при різному співвідношенні частот наведені на рис. 5.2.

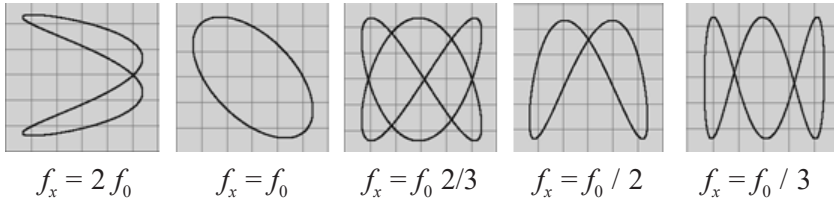


Рис. 5.2

Відношення частот визначимо з простих міркувань: за кожен період коливань напруги, поданої на вхід Y , промінь двічі перетинає горизонтальну лінію; так само він двічі перетинає вертикальну вісь за кожен період коливання напруги, поданої на вхід X . Через фігуру Ліссажу, отриману на екрані осцилографа, проводять горизонтальну та вертикальну лінії у будь-якому місці, але минаючи точки перетину самої фігури. Порахувавши число перетинів з осями, можна визначити частоту, що вимірюється:

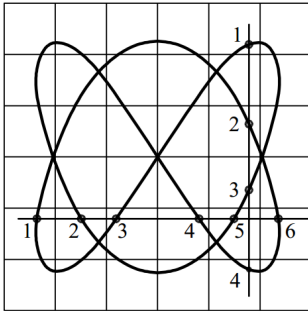


Рис. 5.3

$$f_x = \frac{n}{m} f_0,$$

де n – число точок перетину фігури з вертикальною віссю;
 m – число точок перетину фігури із горизонтальною віссю.

На рис. 5.3 наведена крива, яка спостерігається на екрані при співвідношенні частот, що дорівнює 2:3.

2.3. Визначення фази

Фазою гармонійного коливання $u = Um \cos \alpha$ вважають аргумент $\alpha = \omega t + \varphi_0$, де t – час, φ_0 – початкова фаза, що характеризує стан гармонійного коливання в момент початку відліку часу, тобто при $t = 0$. З поняття фази випливає поняття про зсув фаз між двома гармонійними коливаннями однієї частоти:

$$\varphi = \alpha_1 - \alpha_2 = (\omega t + \varphi_1) - (\omega t + \varphi_2) = \varphi_1 - \varphi_2.$$

Відомо, що падіння напруги на послідовному RC -ланцюзі відстає від напруги на опорі R або, що теж саме, від струму через RC -ланцюг, причому фазовий зсув визначається співвідношенням

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{R\omega C},$$

де C та R – ємності та опір ланцюга;

$$\omega = 2\pi f - \text{кутова частота.}$$

Якщо параметри RC -ланцюга невідомі, зсув фаз φ можна визначити методом еліпса.

Еліпс виходить, якщо на вертикальні та горизонтальні входи подати напруги однієї і тієї ж частоти, але зсунуті по фазі. В результаті складання цих напруг на екрані виходить зображення еліпса, який можна описати наступним рівнянням:

$$y = \frac{B}{A} \left(x \cdot \cos \varphi + \sqrt{A^2 - x^2} \cdot \sin \varphi \right),$$

де A і B – амплітудні, а x та y – миттєві значення відхилень

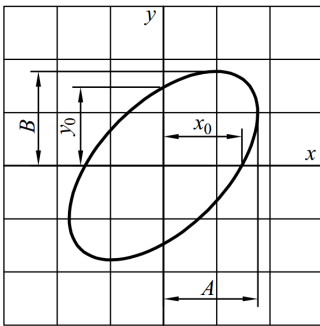


Рис. 5.4

променя у горизонтальному та вертикальному напрямках (рис. 5.4).

З умови $x = 0$ знайдемо точку перетину з віссю ординат $y = y_0$, а з умови $y = 0$ знайдемо точку перетину з віссю абсцис $x = x_0$. Легко побачити, що в результаті одержимо

$$\sin \varphi = \pm \frac{x_0}{A} = \pm \frac{y_0}{B}.$$

3. План виконання роботи

3.1. Спостереження форми та вимірювання параметрів періодичних сигналів.

3.1.1. Зібрати схему, зображену на рис. 5.5.

3.1.2. Здійснити налаштування осцилографа відповідно до інструкції з експлуатації осцилографа (додаток Г).

3.1.3. Змінюючи послідовно на генераторі сигналів $G1$ форму, амплітуду та частоту сигналу згідно з інструкцією (додаток В), зафіксувати синусоїдальну, трикутну, прямокутну криві на екрані осцилографа.

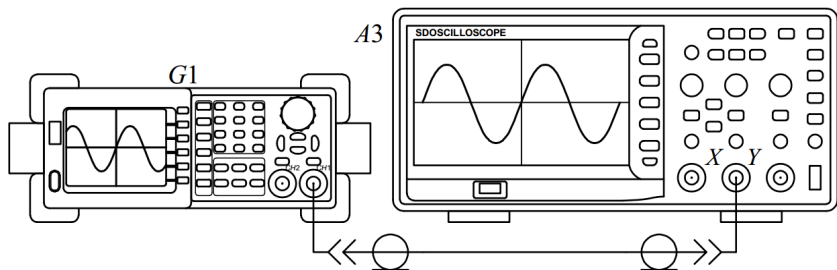


Рис. 5.5

3.1.4. Визначити амплітуду, період та частоту синусоїдальної напруги згідно з інструкцією з експлуатації осцилографа (додаток В). Записати масштаби по осях часу та напруги. Розрахувати діюче і середнє значення сигналу.

3.2. Вимірювання параметрів напруги несинусоїдальної форми.

3.2.1. Зібрати схему, що зображена на рис. 5.6.

3.2.2. Здійснити налаштування осцилографа згідно з додатком Г.

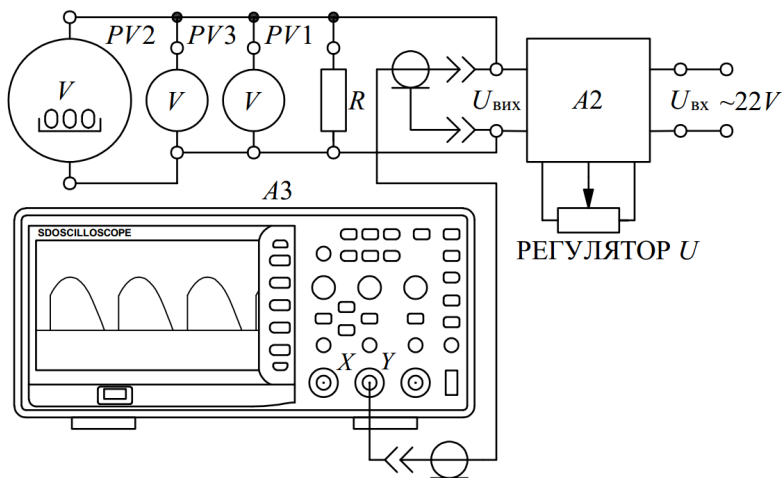


Рис. 5.6

3.2.3. Регулятором напруги «РЕГУЛЯТОР U » виставити мінімально можливий кут відкриття тиристорів α регульованого двонапівперіодного випрямляча А2 (рис. 5.1,**Ж**).

3.2.4. Зафіксувати значення амплітуди U_m і кута α (якщо відомий відрізок часу t_α від початку напівперіоду до відкриття тиристора та тривалість періоду вхідної синусоїдальної напруги T , кут $\alpha = 360^\circ t_\alpha/T$).

3.2.5. Змінюючи кут відкриття тиристорів, повторити вимірювання для п'яти значень кута α .

3.2.6. Розрахувати діюче та середнє значення напруги для різних кутів та порівняти їх із показаннями вольтметрів $PV1...PV3$ різної системи ($PV1$ – прилад електромагнітної системи; $PV2$ – цифровий вимірювальний прилад; $PV3$ – прилад магнітоелектричної системи). Напруга $U_{\text{дАС}}$ розраховується за формулою

$$U_{\text{дАС}} = \sqrt{U_{\text{д}}^2 - U_{\text{сеп}}^2}.$$

Напруги U_{2DC} та $U_{\text{2АС}}$ відповідають різним режимам вимірювання цифровим приладом. У режимі DC вимірюється постійна складова вхідної напруги, а у режимі АС вимірюється середньоквадратичне значення напруги без постійної складової.

3.2.7. Результати вимірювань та розрахунків звести в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

№ з/п	α	U_m	$U_{\text{д}}$	$U_{\text{сеп}}$	$U_{\text{дАС}}$	U_1	U_{2DC}	$U_{\text{2АС}}$	U_3
	град	В	В	В	В	В	В	В	В

3.3. Визначення частоти напруги шляхом порівняння двох частот.

3.3.1. Осцилограф А3 перевести в режим X/Y, дотримуючись інструкції (додаток Г).

3.3.2. На вхід Y осцилографа $A3$ подати напругу відомої частоти $f_0 = 50$ Гц (рис. 5.7), а на вхід X з генератора сигналів $G1$ напругу іншої частоти.

3.3.3. Регулюючи частоту генератора $G1$, отримати на екрані осцилографа послідовно кожну фігуру Ліссажу, зображену на рис. 5.2.

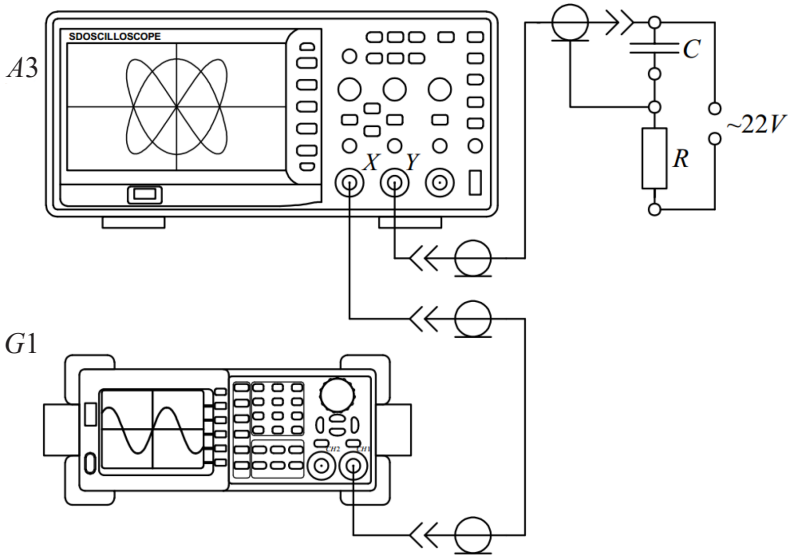


Рис. 5.7

3.3.4. Сфотографувати або запам'ятати у вигляді файлу кожну фігуру та записати частоти напруги генератора сигналів $G1$ (f_{G1}), які їм відповідають.

3.3.5. За виглядом фігур Ліссажу розрахувати частоту сигналу f_x у відповідності до розглянутого на рис. 5.3 алгоритму. Порівняти отримані результати із значеннями частот, що зафіксовані у п. 3.3.4.

3.3.6. Отримані результати звести в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

№ з/п	f_0	f_{G1}	n	m	f_x
	Гц	Гц			Гц

3.4. Визначення фази методом еліпсу.

3.4.1. Зібрати схему рис. 5.8 (як ємність C може бути використаний конденсатор $C1$ або $C2$ за вибором викладача).

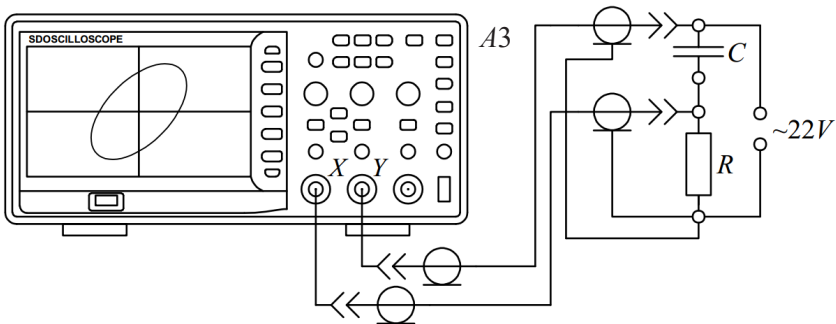


Рис. 5.8

3.4.2. Осцилограф $A3$ залишається в режимі вимірювання X/Y .

3.4.3. Отримавши зображення еліпса на екрані, сфотографувати або запам'ятати у вигляді файлу.

3.4.4. Визначити параметри A , B , x_0 та y_0 у відповідності до п. 2.3 і рис. 5.4. Знайти кут зсуву фаз, використовуючи окремо результати вимірювань по осі x та по осі y :

$$\varphi_1 = \arcsin \frac{x_0}{A} \quad \text{та} \quad \varphi_2 = \arcsin \frac{y_0}{B}.$$

Результат усереднюємо: $\varphi = (\varphi_1 + \varphi_2) / 2$.

3.4.5. Розрахувати за отриманим значенням φ ємність C , що входить до складу RC -ланцюжка, ($R = 2$ кОм):

$$C = \frac{1}{\omega R \operatorname{tg}(\varphi)}.$$

3.5. Зробити висновки по роботі.

4. Питання для самоконтролю

4.1. Поясніть принцип роботи осцилографа.

4.2. Чим конструктивно відрізняються аналоговий осцилограф з електронно-променевою трубкою від цифрового?

4.3. Що таке лінійна розгортка та для чого вона використовується?

4.4. Чому при вимірюванні напруги на виході двонапівперіодного випрямляча магнітоелектричний та електромагнітний вольтметри мають різні показання?

4.5. Якщо фігура Ліссажу починає обертатись на екрані з певною частотою, про що це свідчить?

4.6. Що ми будемо спостерігати на екрані при вимірюванні фази зсуву φ між двома синусоїдальними напругами однакової частоти методом еліпсу, якщо $\varphi = 0^\circ$ та $\varphi = 90^\circ$?

Лабораторна робота № 6
ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПАСИВНОГО ЧОТИРИПОЛЮСНИКА
ЦИФРОВИМ ОСЦИЛОГРАФОМ

1. Мета роботи:

1.1. Практично ознайомитись з осцилографічним методом визначення частотних характеристик пасивного чотириполюсника.

1.2. Ознайомитись з теорією розкладу несинусоїдальних періодичних сигналів у ряд Фур'є.

1.3. Ознайомитись з методикою визначення вихідної напруги пасивного чотириполюсника при наявності на вході несинусоїдального періодичного сигналу та відомих частотних характеристиках.

1.4. При вхідному періодичному сигналі прямокутної форми заданої частоти зняти лінійну розгортку вихідної напруги пасивного чотириполюсника, що працює в режимі холостого ходу.

1.5. Визначити частотні характеристики пасивного чотириполюсника в режимі холостого ходу та форму вихідного сигналу за методом Фур'є. Порівняти отриману розрахункову форму вихідного сигналу із експериментально знятою.

1.6. Зробити висновок.

2. Основні теоретичні відомості

Ділянка електричного ланцюга, яка має два вхідні 1-1' і два вихідні 2-2' полюси (затискачі), називається

чотириполюсником (рис. 6.1). Вони широко використовуються в електричних колах як постійного, так і змінного струму. Чотириполюсник, який складається з пасивних елементів (R, L, C), називається пасивним. Активні чотириполюсники мають внутрішні некомпенсовані джерела електроенергії. До активних чотириполюсників відносяться різні підсилювачі, схеми, що містять джерела енергії, і т. п. Пасивними чотириполюсниками є трансформатори, лінії електропередач, пасивні фільтри тощо.

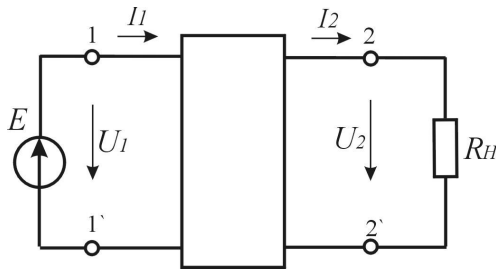


Рис. 6.1

Чотириполюсник характеризується залежностями між вхідними (\dot{U}_1, \dot{I}_1) та вихідними (\dot{U}_2, \dot{I}_2) комплексними напружками і струмами, що описуються у вигляді шести матричних залежностей, коефіцієнти яких (z -, y -, a -, h -, g -параметри) є характеристиками чотириполюсника:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{z}_{11} & \dot{z}_{12} \\ \dot{z}_{21} & \dot{z}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{y}_{11} & \dot{y}_{12} \\ \dot{y}_{21} & \dot{y}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{h}_{11} & \dot{h}_{12} \\ \dot{h}_{21} & \dot{h}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{U}_2 \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{U}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{g}_{11} & \dot{g}_{12} \\ \dot{g}_{21} & \dot{g}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{a}_{11} & \dot{a}_{12} \\ \dot{a}_{21} & \dot{a}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix}.$$

Коефіцієнти повністю визначаються параметрами схеми чотириполюсника. Коефіцієнти чотириполюсника можуть бути визначені шляхом аналізу роботи схеми у режимі холостого ходу або короткого замикання. При цьому схема чотириполюсника може бути як завгодно складною, або взагалі невідомою. Наприклад, для форми запису залежності через a -параметри маємо:

- в режимі холостого ходу (струм $\dot{I}_2 = 0$)

$$\dot{U}_1 = \dot{a}_{11} \dot{U}_2; \quad \dot{I}_1 = \dot{a}_{21} \dot{U}_2,$$

звідки

$$\dot{a}_{11} = \dot{U}_1 / \dot{U}_2; \quad \dot{a}_{21} = \dot{I}_1 / \dot{U}_2;$$

- в режимі короткого замикання (струм $\dot{U}_2 = 0$)

$$\dot{U}_1 = \dot{a}_{12} \dot{I}_2; \quad \dot{I}_1 = \dot{a}_{22} \dot{I}_2,$$

звідки

$$\dot{a}_{12} = \dot{U}_1 / \dot{I}_2; \quad \dot{a}_{22} = \dot{I}_1 / \dot{I}_2.$$

Будь-який чотириполюсник характеризується передавальною функцією, яка являє собою відношення вихідних однойменних параметрів до вхідних: $\dot{k}_u = \dot{U}_2 / \dot{U}_1 = k_u \cdot e^{j\varphi_u}$ (комплексний коефіцієнт передачі напруги), $\dot{k}_i = \dot{I}_2 / \dot{I}_1 = k_i \cdot e^{j\varphi_i}$ (комплексний коефіцієнт передачі струму).

У загальному випадку коефіцієнти чотириполюсника є функціями частоти ω . Залежності модулів комплексних коефіцієнтів передачі $k_u(\omega)$ та $k_i(\omega)$ являють собою амплітудно-частотні чотириполюсники (скорочено АЧХ), а залежності їх фаз від частоти $\varphi_u(\omega)$ та $\varphi_i(\omega)$ – фазочастотними характеристиками (скорочено ФЧХ) чотириполюсника.

В електротехніці дуже поширене перетворення електричних сигналів, які через певні проміжки часу повторюються. Такі сигнали називаються періодичними та можуть бути представлені у вигляді ряду Фур'є, тобто нескінченного числа доданків виду $b_n \cos(\omega_n t)$ і $c_n \sin(\omega_n t)$, де n – ціле

число (номер гармоніки), що змінюється від 1 до $+\infty$, а b_n та c_n – коефіцієнти ряду. В цьому випадку ряд Фур’є називається тригонометричним, а обчислення такого ряду часто називають розкладом на гармоніки.

Математично розклад періодичної функції $f(t)$ у тригонометричний ряд Фур’є можна записати наступним чином:

$$f(t) = b_0 + b_1 \cos(\omega t) + c_1 \sin(\omega t) + b_2 \cos(2\omega t) + c_2 \sin(2\omega t) + \dots + b_n \cos(n\omega t) + c_n \sin(n\omega t) + \dots = b_0 + \sum_{n=1}^{+\infty} (b_n \cos(n\omega t) + c_n \sin(n\omega t)).$$

Коефіцієнти ряду визначаються за формулами

$$b_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} f(\alpha) d\alpha;$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f(t) \cos(n\omega t) dt = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} f(\alpha) \cos(n\alpha) d\alpha;$$

$$c_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f(t) \sin(n\omega t) dt = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} f(\alpha) \sin(n\alpha) d\alpha,$$

де $\alpha = \omega t$ – кутова змінна, а фактично фазовий зсув функції періодичного електричного сигналу відносно початку координат, рад.;

$\omega = 2\pi f$ – кутова частота функції $f(t)$, рад/с;

$f = 1/T$ – циклічна частота сигналу $f(t)$ або частота першої (основної) гармоніки, Гц;

T – період сигналу, с.

Для сигналу прямокутної форми (рис. 5.1,е) маємо

$$f_n(t) = \begin{cases} -U_m, & \text{якщо } -T/2 < t < 0; \\ U_m, & \text{якщо } 0 < t < T/2, \end{cases}$$

де U_m – амплітудне значення сигналу за період.

Підставимо $f_n(t)$ у формули для визначення коефіцієнтів:

$$b_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f_n(t) dt = -\frac{1}{T} \int_{-T/2}^0 U_m dt + \frac{1}{T} \int_0^{T/2} U_m dt = 0;$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f_n(t) \cos(n\omega t) dt = -\frac{1}{T} \int_{-T/2}^0 U_m \cos(n\omega t) dt + \\ + \frac{1}{T} \int_0^{T/2} U_m \cos(n\omega t) dt = -\frac{U_m}{Tn\omega} \sin(n\omega t) \Big|_{-T/2}^0 + \frac{U_m}{Tn\omega} \sin(n\omega t) \Big|_0^{T/2} = 0;$$

$$c_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f_n(t) \sin(n\omega t) dt = -\frac{2}{T} \int_{-T/2}^0 U_m \sin(n\omega t) dt + \\ + \frac{2}{T} \int_0^{T/2} U_m \sin(n\omega t) dt = \frac{2U_m}{Tn\omega} \cos(n\omega t) \Big|_{-T/2}^0 - \frac{2U_m}{Tn\omega} \cos(n\omega t) \Big|_0^{T/2} = \\ = \frac{U_m}{\pi n} (\cos(0) - \cos(-n\omega T/2) - \cos(n\omega T/2) + \cos(0)) = \\ = \frac{2U_m}{\pi n} (1 - \cos(n\pi)) = \frac{2U_m}{\pi n} (1 - (-1)^n) = \frac{4U_m}{\pi k},$$

де $n = 1, 2, 3, 4, \dots$;

$k = 2n - 1 = 1, 3, 5, 7, \dots$;

$\omega T = 2\pi$.

Таким чином, прямокутний сигнал розкладається на непарні гармоніки синусних складових:

$$f_n(t) = \frac{4U_m}{\pi} \sum_{k=1,3,5}^{+\infty} \frac{\sin(k\omega t)}{k}.$$

Якщо в нас є АЧХ та ФЧХ пасивного чотирьополісника (параметри якого не залежать від амплітуди вхідного сигналу) та форма вхідного сигналу $f_n(t)$, можна передбачити форму вихідного сигналу, розклавши вхідний сигнал на тригонометричні складові ряду Фур'є. За принципом

суперпозиції вихідний сигнал буде складатись із тих самих гармонік, що діють на вхід чотириполюсника, але видозмінених у відповідності до амплітудної та фазової частотних характеристик. Наприклад, якщо розглядати режим холостого ходу чотириполюсника, при вхідному прямокутному періодичному сигналі $f_{\text{вх}}(t)$, на виході чотириполюсника будемо мати напругу:

$$f_{\text{вих}}(t) = \frac{4U_m}{\pi} \sum_{k=1,3,5}^{+\infty} \frac{k_u(k\omega) \sin(k\omega t - \phi_u(k\omega))}{k}. \quad (6.1)$$

АЧХ та ФЧХ пасивного чотириполюсника в режимі холостого ходу можна досить легко визначити за допомогою цифрового осцилографа, якщо подавати на вхід синусоїдальну напругу заданої амплітуди та частоти. За допомогою осцилографа вимірюється амплітуда вихідного і вхідного сигналів, а також різниця фаз між ними. Співвідношення напруг відповідає модулю комплексного коефіцієнта передачі k_u , а різниця фаз дорівнює фазі комплексного коефіцієнта передачі ϕ_u . Змінюючи частоту, отримуємо залежності модуля та фази від частоти: $k_u(\omega)$ та $\phi_u(\omega)$.

3. План виконання роботи

3.1. Зібрати схему, що зображена на рис. 6.2.

3.2. Фіксація осцилограми вихідної та вхідної напруг пасивного чотириполюсника.

3.2.1. Здійснити налаштування генератора сигналів, задавши на виході напругу прямокутної форми з амплітудою від 1 до 3 В та частотою від 5 до 20 кГц (параметри напруги задаються викладачем) (додаток В).

3.2.2. Здійснити налаштування осцилографа відповідно до інструкції з експлуатації осцилографа (додаток Г).

3.2.3. Зберегти осцилограми вхідного та вихідного сигналу у зручному для перенесення до звіту та подальшого аналізу форматі.

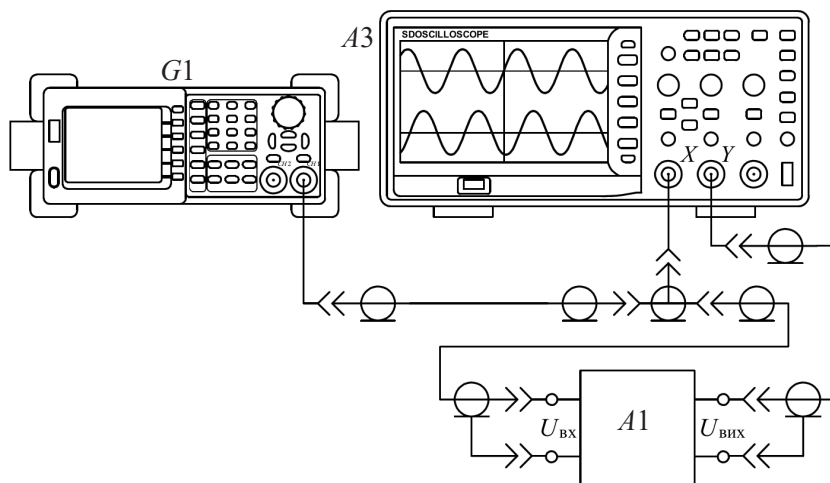


Рис. 6.2

3.3. Визначення амплітудно-частотної та фазочастотної характеристик пасивного чотириполюсника в режимі холостого ходу.

3.3.1. Задати на вході чотириполюсника за допомогою генератора сигналів напругу синусоїдальної форми амплітудою від 1 до 3 В із частотою f_1 , яка була задана викладачем при виконанні п. 3.2.1.

3.3.2. Отримати осцилограми вхідної та вихідної напруг чотириполюсника. Визначити амплітудні значення вхідної $U_{вх}$ та вихідної $U_{вих}$ напруг, а також зсув фаз φ_u між ними.

3.3.3. Задаючись за допомогою генератора сигналів синусоїдальними напругами із частотами $f_n = n f_1$ ($n = 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21$), повторити вимірювання.

3.3.4. Розрахувати модуль комплексного коефіцієнту передачі k та кутову частоту ω для кожного вимірювання.

3.3.5. Звести результати досліду та розрахунків у табл. 6.1.

Таблиця 6.1

№	n	f	$U_{вх}$	$U_{вих}$	φ_u	k_u	ω
		Гц	В	В	град		рад/с

3.4. Використовуючи отримані в п. 3.3 АФХ та АЧХ, побудувати графік залежності від часу вихідної напруги пасивного чотириполюсника у відповідності до функціональної залежності (6.1), отриманої шляхом розкладу вхідного прямокутного сигналу в тригонометричний ряд Фур'є. Порівняти графік із осцилограмою вихідної напруги, отриманої у п. 3.2.

3.5. Зробити висновок.

4. Питання для самоконтролю

- 4.1. Поясніть поняття пасивного чотириполюсника.
- 4.2. Як визначити пов'язані між собою вихідні та вхідні електричні параметри пасивного чотириполюсника?
- 4.3. Як визначити коефіцієнти чотириполюсника?
- 4.4. Поясніть сутність амплітудно-частотної та фазочастотної характеристик чотириполюсника.
- 4.5. Як використовується в електротехніці розклад функції в тригонометричний ряд Фур'є?
- 4.6. Поясніть принцип визначення вихідного сигналу чотириполюсника при наявних його АЧХ та ФЧХ, а також відомих параметрах несинусоїдального періодичного вхідного сигналу.

Лабораторна робота № 7
ВИМІРЮВАННЯ ПИТОМИХ ВТРАТ
В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІЙ СТАЛІ
ВАТМЕТРОВИМ МЕТОДОМ

1. Мета роботи:

1.1. Практично ознайомитись з ватметровим методом вимірювання втрат у зразках електротехнічної сталі за допомогою апарату Епштейна.

1.2. Зняти і побудувати криву залежності втрат у сталі від індукції у зразку та криву намагнічування зразка.

2. Основні теоретичні відомості

З усіх методів вимірювання втрат у магнітних матеріалах ватметровий метод, ідея якого була запропонована М.О. Доліво-Добровольським, набув найбільш широкого поширення.

Сутність методу полягає в тому, що потужність, яка вимірюється ватметром, включеним у ланцюг котушки з магнітопроводом, складається з втрат на гістерезис, втрат на вихрові струми та потужності, що споживається обмотками зразка та вимірювальними ланцюгами приладів.

Останню можна розрахувати і, віднявши від загальної потужності, знайти значення втрат на вихрові струми та гістерезис.

Апарат для випробувань (апарат Епштейна) являє собою чотири однакові котушки з двома обмотками. Котушки розташовані так, що утворюють чотири сторони квадрата. Всередину котушок закладаються пакети, набрані зі смуг

електротехнічної сталі. Пакети збираються так, що утворюють замкнений магнітний ланцюг.

Схема включення апарата Епштейна представлена на рис. 7.1.

Показання ватметра $PW1$ рівні

$$P_w = U_2 I_1 \cos \varphi,$$

де I_1 – струм в обмотці WI ;
 U_2 – напруга на виводах WII ;
 φ – кут зсуву фаз між ними.

Втрати на гістерезис та вихрові струми можна розглядати як втрати холостого ходу трансформатора, що визначаються за формулою

$$P_0 = E_1 I_0 \cos \varphi_0,$$

де $E_1 = E_2 w_1/w_2$ – ЕРС у первинній обмотці WI ;
 w_1, w_2 – кількість витків відповідної обмотки;
 I_0 – струм холостого ходу при розімкненій обмотці WII ;
 φ_0 – фазовий зсув між E_1 та I_0 .

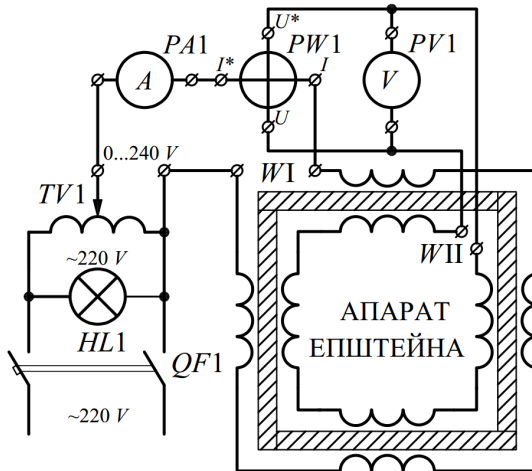


Рис. 7.1

Підключення до обмотки III вольтметра PVI і обмотки напруги ватметра PWI викличе струм I_2 . Цей струм можна вважати чисто активним, оскільки активний опір приладів набагато більший за індуктивний опір вторинного ланцюга. Струм I_2 в ланцюзі вторинної обмотки III збільшить і активну складову струму первинної обмотки, нове значення активної складової струму в обмотці II :

$$I_1 \cos \varphi = I_0 \cos \varphi_0 + I_2 \frac{w_2}{w_1}.$$

Підставляючи у вираз для P_0 значення ЕРС та активної складової струму, отримуємо:

$$P_0 = E_2 I_1 \frac{w_1}{w_2} \cos \varphi - E_2 I_2 = P_w \frac{w_1}{w_2} - E_2 I_2.$$

Враховуючи, що струм I_2 , споживаний обмоткою напруги ватметра і вольтметром, у край малий, вираз для визначення втрат холостого ходу трансформатора можна спростити, знехтувавши другою складовою:

$$P_0 = P_w \frac{w_1}{w_2}.$$

Втрати сталі зазвичай визначаються залежно від індукції, величину якої знаходять за формулою

$$B_m = \frac{\sqrt{2} E_2}{2\pi f w_2 S} = \frac{E_2}{4,44 f w_2 S},$$

де f – частота мережі, Гц;

S – перетин зразка, m^2 , який визначається за густиною електротехнічної сталі по формулі

$$S = \frac{G}{\gamma l},$$

де $G = 10$ кг – маса випробуваного зразка;

$l = 2$ м – загальна довжина пластин у пакеті;

$\gamma = 7850 \text{ кг/м}^3$ – густина сталі;
 $w_1 = w_2 = 600$ витків – кількість витків первинної та вторинної обмоток.

3. План виконання роботи

3.1. Зібрати схему згідно з рис. 7.1.

3.2. Розрахувати напруги вторинної обмотки ($U_2 = E_2$) зразка, що відповідають індукції B_m , Тл:

$$U_2 = E_2 = B_m 4,44 f w_2 S.$$

3.3. Встановлюючи за допомогою трансформатора $TV1$ розраховані напруги, зняти показання приладів та занести їх до табл. 7.1.

Таблиця 7.1

B_m	U_2	I_1	P_w	P_0'	H
Тл	В	А	Вт	Вт/кг	А/м

3.4. Розрахувати і побудувати криву залежності питомих втрат від індукції $P_0' = f(B_m)$ та криву намагнічування $B_m = f(H)$.

Питомі втрати сталі визначаються як

$$P_0' = \frac{P_w}{G}, \frac{\text{Вт}}{\text{кг}}.$$

Для побудови кривої намагнічування напруженість магнітного поля знайдеться як

$$H = \frac{\sqrt{2} I_1 w_1}{l_{\text{cp}}}, \frac{\text{А}}{\text{м}},$$

де $l_{\text{cp}} = 2 \text{ м}$ – середня довжина сердечника.

3.5. Зробити висновки щодо роботи.

4. Питання для самоконтролю

4.1. Яку потужність вимірює ватметр у схемі 7.1?

4.2. Які характеристики – статичні чи динамічні – визначаються в цій роботі?

4.3. Поясніть відмінність між втратами на гістерезис та на вихрові струми?

4.4. Від яких величин і як залежать втрати в сталі?

4.5. Поясніть нелінійний характер кривої намагнічування сталі.

4.6. Якщо в магнітопроводі виникне значний повітряний зазор, як це вплине на результати вимірювання питомих втрат у сталі та кривої намагнічування?

ІНСТРУКЦІЯ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ
**ПРОФЕСІЙНИЙ LCR-МЕТР
 З ДВОХЕКРАННИМ ДИСПЛЕЄМ
 МОДЕЛІ DT-9935**

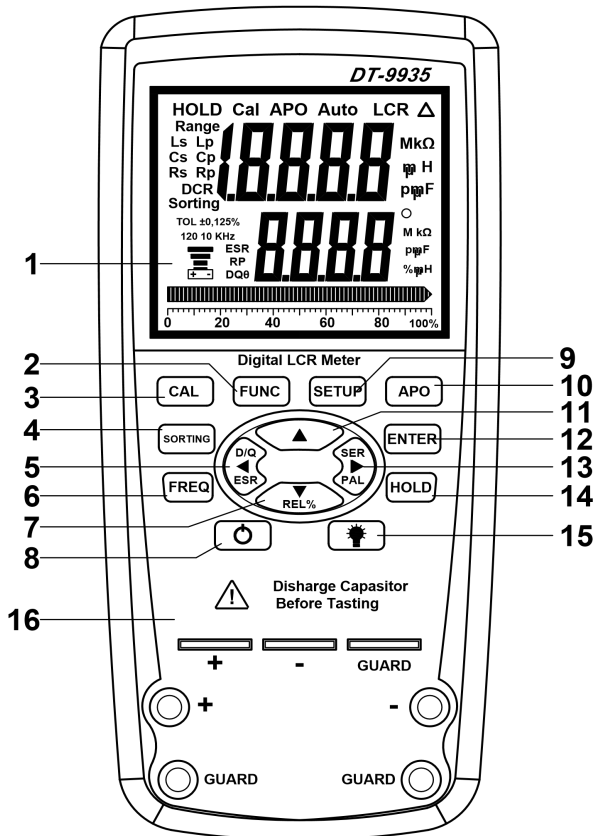


Рис. А.1

А1. Опис передньої панелі приладу DT-9935 (рис. А.1):

1. Рідкокристалічний двохекранний дисплей РК.

2. Кнопка вибору режимів «*FUNC*» (*Auto LCR/L/C/ACR/DCR*).
3. Кнопка режиму калібрування «*CAL*».
4. Кнопка режиму сортування «*SORTING*».
5. Кнопка режиму виведення даних вторинного екрана (коефіцієнта згасання (*D*), добротності (*Q*), кута діелектричних втрат (θ), еквівалентного послідовного (*ESR*) та паралельного (*Rp*) опорів) і зміни параметра сортування «◀».
6. Кнопка вибору тестової частоти «*FREQ*».
7. Кнопка відносних вимірювань та зміни параметра сортування «▼».
8. Кнопка увімк./вимк. живлення приладу.
9. Кнопка налаштування параметра сортування «*SETUP*».
10. Кнопка «*APO*» (автоматичне вимкнення живлення).
11. Кнопка зміни параметра сортування «▲».
12. Підтвердження та введення параметра сортування «*ENTER*».
13. Вибір схеми послідовного та паралельного вимірювань і кнопка зміни параметра сортування «▶».
14. Кнопка режиму фіксації показів на екрані «*HOLD*».
15. Кнопка підсвічування екрана.
16. Вхідні роз'єми (поздовжньо-підпружинені контакти) та контакти для вимірювання позитивного, негативного значень, захищений контакт.

Двохекранний дисплей має два екрани (дві цифрові шкали): первинний та вторинний, над якими знаходиться рядок індикації вибраного режиму роботи (*HOLD*, *Cal*, *APO*, *Auto LCR*). Первинний відображає значення основних параметрів (*Ls*, *Lp*, *Cs*, *Cp*, *Rs*, *Rp*, *DCR*) досліджуваних елементів, вторинний призначений для вимірювання додаткових технічних параметрів (*Q*, *D*, θ , *ESR*, *Rp*). Зліва, навпроти шкал, розташовані значки вимірюваних параметрів, праворуч – одиниці виміру відповідних параметрів. У лівому нижньому куті розташована індикація

заряду акумулятора. Над нею – індикація випробувальної частоти, що задається.

A2. Вимірювання параметрів конденсатора приладом DT-9935

1. Увімкнути прилад кнопкою 8. У випадку необхідності кнопкою 15 увімкнути підсвічування РК екрана 1.

2. Кнопкою «*FREQ*» вибрати частоту 100 Hz, як найближчу до частоти мережі 50 Hz.

3. Кнопкою 3 «*FUNC*» вибрати режим *Auto* (верхній рядок екрана) для вимірювання ємності C_s (поле зліва), що відображається на екрані 1. Зафіксувати значення ємності C_s .

4. Кнопкою 5 «◀» вибрати режим (*ESR*), що відповідає вимірюванню активного опору при послідовній схемі заміщення конденсатора. Зафіксувати значення еквівалентного послідовного опору R_s .

5. Кнопкою 5 «◀» вибрати режим вимірювання кута діелектричних втрат (θ). Зафіксувати його.

A3. Вимірювання параметрів котушки індуктивності приладом DT-9935

1. Увімкнути прилад кнопкою 8. У випадку необхідності кнопкою 15 увімкнути підсвічування РК екрана 1.

2. Кнопкою «*FREQ*» вибрати частоту 100 Hz, як найближчу до частоти мережі 50 Hz.

3. Кнопкою 3 «*FUNC*» вибрати режим *Auto* (верхній рядок екрана) для вимірювання індуктивності L_s (поле зліва), що відображається на екрані 1. Зафіксувати значення індуктивності L_s .

4. Кнопкою 5 «◀» вибрати режим (*ESR*), що відповідає вимірюванню активного опору при послідовній схемі заміщення котушки індуктивності. Зафіксувати значення еквівалентного послідовного опору R_s .

5. Кнопкою 5 «◀» вибрати режим вимірювання добротності (Q). Зафіксувати її.

РОБОТА З ПРОГРАМОЮ AUDACITY

Б1. Програма Audacity – це мультиплатформний редактор, простий і оснащений потужними інструментами для роботи з аудіофайлами.

Використовуючи функціонал програми, можна записувати звукові сигнали, додавати ефекти, обрізати треки, склеювати аудіо, покращувати якість аудіозапису та багато іншого.

У лабораторній роботі програма Audacity використовується для обробки сигналу, що надходить з імпульсного виходу лічильника. Для оцінки метрологічних характеристик лічильника необхідно записати сигнал, що є послідовністю прямокутних імпульсів, відмасштабувати його і визначити час між двома сусідніми імпульсами. Розглянемо як це можна зробити за допомогою програми Audacity.

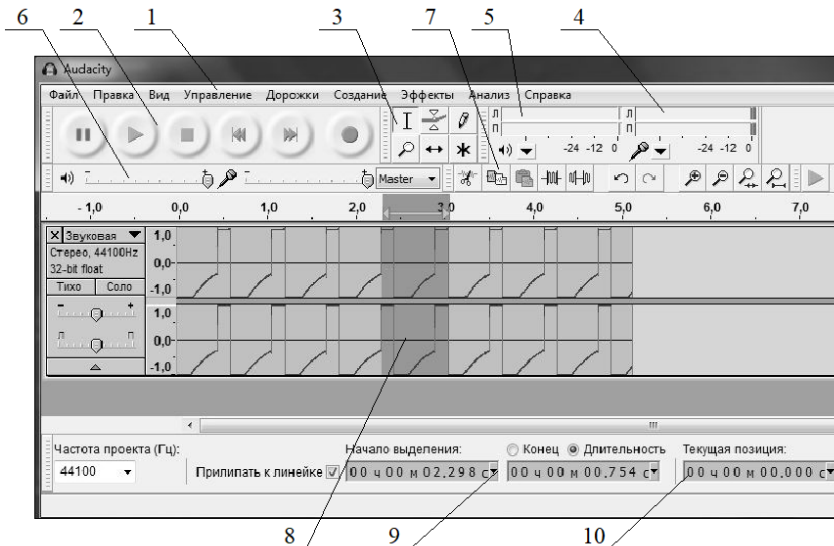


Рис. Б.1

Б2. Інтерфейс програми

- 1 – панель меню;
- 2 – панель управління аудіо з кнопками (зліва направо) паузи, відтворення, зупинки програвання, перемотування, запису;
- 3 – інструменти для обробки: виділення, огинаюча, малювання, масштабування та ін.;
- 4 – індикатор рівня запису;
- 5 – індикатор рівня відтворення;
- 6 – панель мікшерів, регулювання дозволяють керувати вхідними та вихідними параметрами звукової карти (регулятор праворуч – встановлювати рівень звуку на вході, ліворуч – на виході);
- 7 – панель навігації, яка дозволяє швидко отримати доступ до часто застосовуваних інструментів (вирізати, скопіювати, вставити, масштабування тощо);
- 8 – виділений фрагмент сигналу, що підлягає обробці;
- 9 – інструменти вибору, за допомогою яких можна відстежувати час початку та кінця відрізка, якщо було виділено фрагмент аудіозапису;
- 10 – відображення поточної позиції сигналу.

Б3. Запис сигналу

1. Кнопкою «START» у вікні програми TVS увімкнути блок живлення STVC – 0,1.
2. У вікні програми Audacity включити режим запису сигналу, що надходить з оптичного виходу лічильника, натиснувши кнопку «ЗАПИС» панелі управління аудіо 2 (рис. Б.1).
3. Коли на екрані з'явиться 5...6 імпульсів прямокутної форми, кнопкою «СТОП» зупинити запис.

Б4. Обробка сигналу

1. Кнопкою «МАСШТАБУВАННЯ» панелі інструментів обробки підібрати зручну для вимірювання відстань між імпульсами.

2. Кнопкою «ВИДІЛЕННЯ» тієї ж панелі інструментів виділити відстань між двома сусідніми імпульсами (темний фрагмент 8 на рис. Б.1).

3. У вікні «ТРИВАЛІСТЬ» панелі вибору 9 зафіксувати час, що дорівнює періоду чергування імпульсів.

ІНСТРУКЦІЯ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ

ГЕНЕРАТОР ФУНКЦІОНАЛЬНИХ/ДОВІЛЬНИХ СИГНАЛІВ СЕРІЇ SDG1000

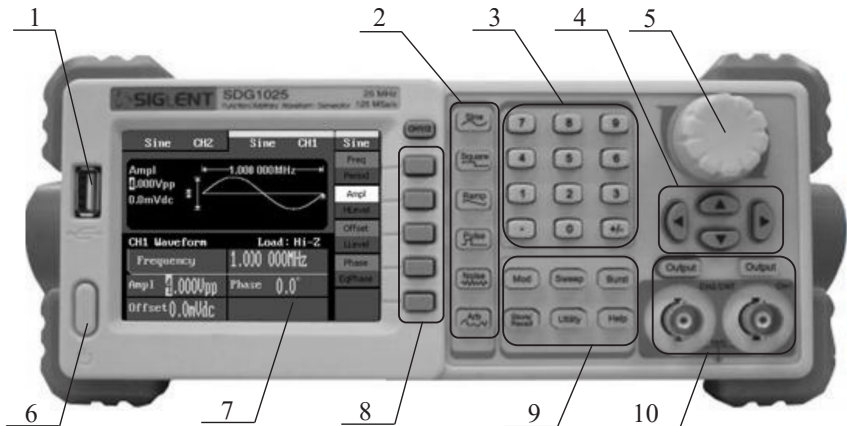


Рис. В.1

В1. Двоканальні генератори функціональних/довільних сигналів серії SIGLENT SDG1000 використовують технологію прямого цифрового синтезу (*DDS*), яка може забезпечити стабільні, високоточні, чисті сигнали з низьким рівнем спотворень.

На передній панелі генератора розташовані наступні органи управління, реєстрації та комутації сигналів (рис. В.1):

- 1 – USB-порт;
- 2 – кнопки задавання форми сигналу (синусоїдальний, прямокутний, трикутник, імпульсний, шум, довільна форма);
- 3 – кнопки цифрового набору значень параметрів сигналу;

4 – джойстик, у якого кнопки «▲» та «▼» використовуються для перемикавання параметрів, а кнопки «◀» та «▶» – для зсуву цифр;

5 – ручка використовується для зміни цифрового значення сигналу в діапазоні від 0 до 9;

6 – кнопка «МЕРЕЖА» призначена для включення генератора;

7 – LCD-дисплей призначений для відображення меню Режим Роботи, форми сигналу, його параметрів для кожного з двох каналів;

8 – кнопки меню Режим Роботи призначені для вибору параметрів сигналу, що вимагають задавання або коригування (амплітуда, період, частота, фаза та ін.);

9 – функціональні клавіші (в лабораторній роботі не використовуються);

10 – Контроль Виходу являє собою два вихідні роз'єми для з'єднання із зовнішнім ланцюгом і кнопки, за допомогою яких комутуються відповідні виходи.

В2. Налаштування вихідного сигналу

Для прикладу розглянемо формування синусоїдального сигналу заданої амплітуди та частоти.

1. Увімкнути генератор кнопкою 6.

2. Кнопкою CH1/2 вибрати канал № 1. Номер каналу з'явиться на екрані дисплея 7 (рис. В.2).

3. Натиснути послідовно кнопки Sine → Freq/Period для вибору форми та частоти/періоду сигналу.

4. Значення частоти можна встановити або кнопками цифрового набору 3, або ручкою 5 та кнопками «◀»/«▶» джойстика 4. Після цього необхідно

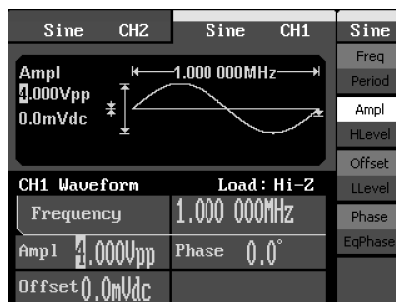


Рис. В.2

вибрати одиницю вимірювання на вкладці Unit дисплея 7 (MHz/kHz/Hz/mHz/ μ Hz) та натиснути відповідну кнопку 8.

5. Для задавання значення амплітуди натиснути відповідну кнопку «AmpI» або кнопкою «▼» джойстика обрати цей параметр.

6. Введіть значення амплітуди, використовуючи клавіатуру 7 або ручку 5 та джойстик 4 для введення потрібного значення, виберіть одиницю вимірювання (у нашому випадку V_{pp}/mV_{pp}), і натисніть відповідну кнопку, як у п. 4.

7. Аналогічно налаштовуються інші параметри сигналу, однак у лабораторній роботі це не потрібно.

8. Після встановлення всіх необхідних параметрів сигналу, необхідно натиснути кнопку «Output» Контролю Виходу 10 каналу 1 (CH1), щоб активувати вихідний сигнал.

ІНСТРУКЦІЯ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ

ЦИФРОВІ ЗАПАМ'ЯТОВУЮЧІ ОСЦИЛОГРАФИ МОДЕЛЬНОГО РЯДУ SDS 1000DL

Г1. SIGLENT SDS1102DL+ – це компактний настільний двоканальний цифровий осцилограф зі смугою пропускання 100 МГц. 7-дюймовий кольоровий РК-дисплей осцилографа забезпечує яскраве та чітке відображення осцилограм. SIGLENT SDS1102DL+ оснащений багатомовним інтерфейсом та онлайн-допомогою. Платформа SDS1000DL серії осцилографів Siglent дозволяє впевнено працювати в досить широкому діапазоні частот (до 200МГц). Об'єм пам'яті 32 кб, достатній для цифрової обробки сигналу, та висока частота дискретизації 500 МГц забезпечують відсутність випадань та шуму, наявність артефактів при відображенні форми вхідного сигналу. Осцилограф SDS1022DL призначений для реалізації будь-яких лабораторних і дослідницьких проєктів, комплектації робочих місць персоналу виробничих і навчальних організацій.

Г2. На передній панелі осцилографа розташовані органи управління, комутації, індикації (рис. Г.1). Розглянемо основні з них:

- 1 – функціональні кнопки;
- 2 – кнопка увімкнення/вимкнення меню «MENU ON/OFF»;
- 3 – універсальна ручка «Intencity/Adjust» використовується при залученні безлічі функцій, наприклад: регулювання часу утримання, переміщення курсорів, встановлення ширини імпульсу, встановлення числа рядків відео, регулювання верхніх і нижніх меж за частотою, масок X та Y і т. д.; також можна обертанням Універсальної ручки регулювати розташування налаштувань, форм сигналів, картинок при режимах збереження/виклику з пам'яті та вибору опцій меню;

4 – панель «VERTICAL» управління по вертикалі містить:

- кнопки переключення каналів «CH1», «CH2». Натисніть на кнопку переключення каналів для включення обраного каналу [ON] або вимкнення [OFF], а також відкриття меню конкретного каналу; коли канал увімкнений, кнопка включення каналу підсвічується;
- кнопка «MATH» призначена для виведення на екран меню математичних операцій; це меню дозволяє використовувати математичні функції осцилографа;
- натисканням кнопки «REF»: можна вивести на екран меню функції сигналу опорної форми. Це меню можна використовувати для збереження або виклику з пам'яті приладу 4 або 2 сигнали еталонного зразка;

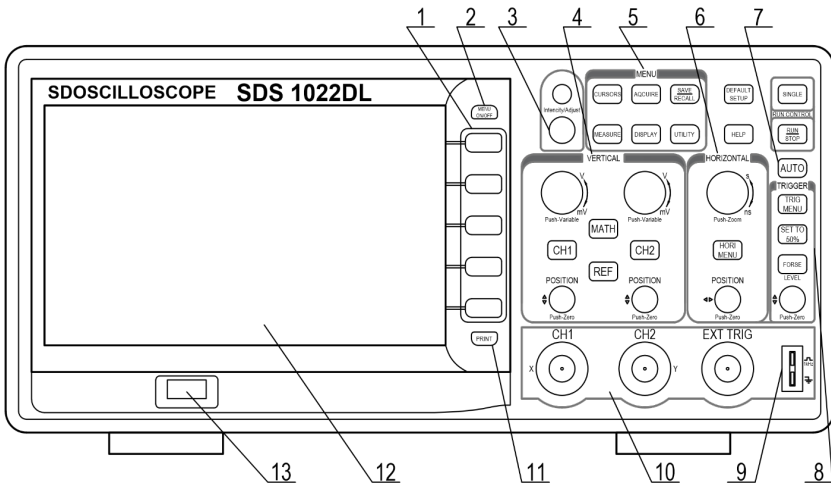


Рис. Г.1

- ручки задавання масштабу по вертикалі (V/div, mV/div) для кожного каналу;
- ручки зміщення «POSITION» зображення $\blacktriangle\blacktriangledown$ сигналу за вертикаллю для кожного каналу;

5 – панель «MENU» містить набір кнопок стандартних функцій:

- кнопка «CURSORS» відповідає за відображення меню курсорів; органи управління вертикальною розгорткою регулюють положення курсору, при цьому має відображатися меню курсора, а самі курсори мають бути активовані; курсори залишаються відображеними, доки опція «Type» не буде виставлена на «Off»; після виходу з меню курсорів їх не можна регулювати;

- кнопка «DISPLAY» відкриває меню дисплея, яке можна використовувати в цьому меню для налаштувань масштабної сітки та стилів представлення форм сигналів;

- кнопка «UTILITY» відкриває меню утиліта (обслуговуюча програма), за допомогою якої можна налаштувати такі характеристики осцилографа, як звук, мова, лічильник, оновлення тощо;

- натискання кнопки «SAVE/RECALL» викликає відображення меню «Збереження/Виклик», що дозволяє зберігати в пам'яті або викликати з пам'яті до 20 налаштувань осцилографа або форм сигналів і записувати інформацію на пристрій через USB; ця функція також використовується для виклику з пам'яті заводських установок приладу, збереження даних форм сигналів у форматі CSV, а також для збереження або роздруківки картинок відображеного на екрані сигналу;

- кнопка «MEASURE» дозволяє відкрити меню параметрів вимірювань;

- кнопка «ACQUIRE» призначена для відображення меню «Захоплення»; ця функція може використовуватися для налаштувань режиму частоти вибірки (квантова вибірка, пікові значення, усереднені значення);

6 – панель «HORIZONTAL» управління по горизонталі оснащена:

- кнопка «HORI MENU», що дозволяє відобразити меню горизонтальної розгортки; це меню можна

використовувати для відображення форм сигналів та масштабування їх окремих ділянок;

- ручка задавання масштабу по горизонталі (s/div, ns/div);

- ручка «POSITION» горизонтального  позиціонування сигналу;

7 – кнопка «AUTO» призначена для автоматичного виставлення органів управління осцилографом, щоб створити оптимальне зображення на дисплеї в залежності від вхідних сигналів;

8 – панель «TRIGGER» містить наступні органи управління:

- кнопка «TRIG MENU», натискання на яку дозволяє відобразити меню тригерів; це меню можна використовувати для встановлення типів тригерів (фронт сигналу, імпульс, відео, крутість, альтернатива) та установок тригерів;

- кнопка «Set to 50 %» призначена для швидкої стабілізації форми сигналів; осцилограф може встановити рівень тригера таким, щоб він автоматично ставав на «півдорозі» між мінімальними та максимальними значеннями напруги;

- кнопка «FORCE» використовується для завершення процедури захоплення поточних форм сигналів, незалежно від того, чи вийшов осцилограф на режим тригера, чи ні; це ефективно при одноразових захопленнях та звичайному режимі тригера;

9 – роз'єм підключення пробника;

10 – панель вхідних роз'ємів має: два вхідні роз'єми каналів «CH1», «CH2» для відображення на екрані форм сигналів; роз'єм «EXT TRIG» підключення джерела зовнішньої синхронізації (тригера);

11 – кнопка «PRINT» застосовується для роздруківки осцилограми, коли принтер підключений до осцилографа, або для збереження інформації на накопичувачі USB;

12 – екран дисплея (рис. Г.2);

13 – USB-порт.

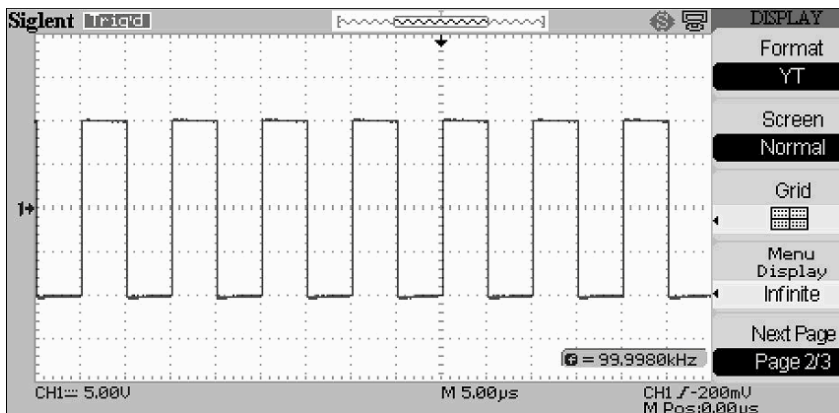


Рис. Г.2

Г3. Підготовка до роботи

Увага! Системою утиліт (кнопка «UTILITY» панелі 5) виставлено всі необхідні параметри: звук, мова інтерфейсу, лічильники частоти та ін.

- Увімкнути осцилограф (кнопка «МЕРЕЖА» знаходиться зверху на корпусі);
- натиснути кнопку «AUTO» для попереднього налаштування;
- натиснути кнопку «CH2» (Y) на панелі 4 (рис. Г.1) для вибору цього каналу як робочого;
- на панелі 5 натиснути кнопку «DISPLAY» і в меню на першій сторінці (Page 1/3) вибрати: «Type» → «Vectors»; «Persist» → «Off»; «Intensity» → «80 %»; «Brightness» → «40 %»;
- перейти до другої сторінки («Page 2/3»), натиснувши кнопку «Next Page»; вибрати: Формат → «YT»; «Screen» → «Normal»; «Grid» «Відображення сітки та осей на екрані»;
- перейти до третьої сторінки («Page 3/3»), натиснувши кнопку «Next Page»; у меню вибрати – «Skin» → «Classical».

Г4. Налаштування зображення на екрані дисплея у форматі YТ

Формат YТ відображає параметри напруги щодо часу (горизонтальна шкала). Для налаштування оптимального зображення досліджуваного вхідного сигналу використовуються органи керування панелі 4 – «VERTICAL» і 6 – «HORIZONTAL».

- Вибір формату YТ описано у п. Г3;
- натиснувши по черзі ручки «POSITION» панелі 4 та панелі 6 («Push-Zero»), виставити початок координат у середині екрана;
 - натиснути кнопку «CH2» (Y) на панелі 4 (рис. Г.1) для підключення вхідного сигналу до цього каналу;
 - використовуйте ручку вертикального позиціонування «POSITION» для переміщення сигналу на каналі вгору або вниз екрана; роздільна здатність по цій ручці варіюється в залежності від налаштувань вертикальної шкали; при регулюванні позиціонування сигналів по вертикалі, інформація про ці операції буде відображатися в лівому нижньому куті екрана (наприклад, «Volts Pos = 24.6mV»);
 - ручка «Volt/div» використовується для посилення або послаблення сигналів, що надходять на канал; при обертанні ручки «Volt/div» осцилограф або збільшує, або зменшує вертикальний розмір сигналу на екрані щодо нульового рівня (рівня заземлення);
 - при натисканні на ручку «Volt/div» можна перемикнути опцію «Volt/div» між «Coarse» («Грубе налаштування») та «Fine» («Точне налаштування»); шкала вертикальної установки регулюється в 1–2–5 етапів у режимі грубої установки (підвищення значень – за годинниковою стрілкою, зниження – проти годинникової стрілки); у режимі точного налаштування можна змінювати ручкою шкалу Volt/div маленькими інтервалами між грубими налаштуваннями;
 - горизонтальне положення всіх каналів регулюється ручкою управління по горизонталі «POSITION» панелі 6;

роздільна здатність при такому управлінні варіюється з налаштуваннями генератора розгортки;

- для отримання оптимального зображення вхідного сигналу по горизонталі (розтягнення або стиснення) використовується ручка «s/div», поворот якої змінює масштаб горизонтальної осі.

Г5. Формат X-Y

Формат XY відображає точку, коли на каналі 1 і 2 щоразу відбувається вибірка. Цей формат використовується для порівняння двох сигналів різної частоти, аналізу різниці фаз, або взаємозалежності періодичних сигналів однакової частоти. В цьому форматі на екрані зазвичай спостерігають фігури Ліссажу. Даний формат містить параметри напруги каналу 1 в залежності від параметрів напруги каналу 2, де канал 1 – горизонтальна вісь X, а канал 2 – вертикальна вісь Y. Осцилограф використовує режим несинхронізованої вибірки та подає дані у вигляді точок.

Порядок дій:

- подати на входи «CH1» (X) та «CH2» (Y) панелі вхідних роз'ємів 10 (рис. Г.1) відповідні сигнали;
- натиснути кнопку «DISPLAY», кнопку «Format», обрати режим «XY»;
- налаштувати горизонтальну шкалу та положення каналу 1 за допомогою ручок «Volt/div» та «POSITION»;
- налаштувати вертикальну шкалу та положення каналу 2 за допомогою ручок «Volt/div» та «POSITION»;
- повернути ручку «s/div» для регулювання частоти вибірки.

Г6. Збереження інформації на зовнішньому USB-накопичувачі:

- налаштуйте оптимальне зображення на екрані дисплею (див. п. Г4);

- натисніть кнопку «SAVE/RECALL» для виклику меню «SAVE/REC» (рис. Г.3);

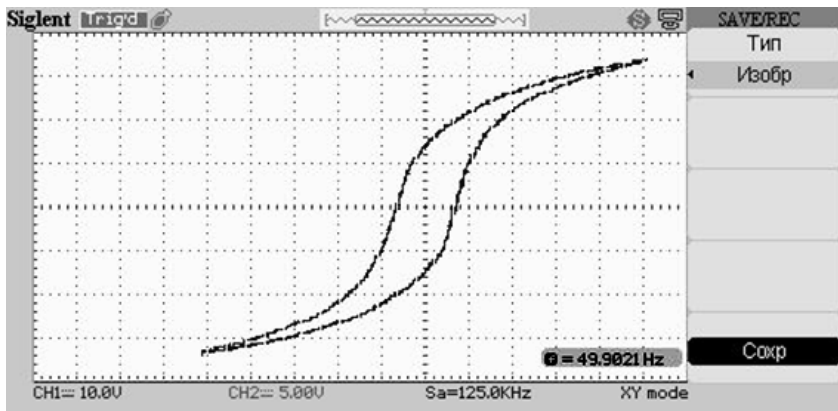


Рис. Г.3

- натисніть на опційну кнопку «Type/Тип» для вибору «Waveforms/Зображення»;
- вставте накопичувач USB у роз'єм USB 13 (рис. Г.1) осцилографа та дочекайтеся активації накопичувача (близько 5 секунд);
- натисніть кнопку «Save/Зберегти» для вибору «New file/Нов. файл»;
- створіть файл, після чого натисніть клавішу «Confirm/Підтверд.» (через 5 с з'явиться підказка «Save data success/збереження даних пройшло успішно») – тепер дані стосовно форми сигналів були збережені на накопичувачі USB;
- щоб отримати наступне зображення, натисніть кнопку «Next Page/Наступна сторінка» → «Recall/Назад».

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Поліщук Є. С. Засоби та методи вимірювань неелектричних величин : підручник / Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець, Б. І. Стадник, О. В. Івахів та ін. – Львів : Видавництво «Бескид Біт», 2008. – 618 с.

2. Навчальний посібник з курсу «Основи метрології та електричні вимірювання» / С. Ю. Александровський, С. І. Бандура, О. Ю. Кімстач, В. І. Костюченко, С. М. Новогрецький. – Миколаїв : НУК, 2021. – 248 с.

3. Основи метрології та електричні вимірювання : навч. посібник / М. М. Дорожовець, Р. М. Івах, В. П. Мотало та ін.; за ред. д-ра техн. наук, проф. Б. І. Стадника. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 372 с.

4. Шаповаленко О. Г. Основи електричних вимірювань : підручник / О. Г. Шаповаленко, В. М. Бондар. – К. : Либідь, 2002. – 320 с.

НОТАТКИ



A series of horizontal dotted lines spanning the width of the page, intended for writing notes.

Навчальне видання

АВДЄЄВА Олена Андріївна
АЛЕКСАНДРОВСЬКИЙ Станіслав Юрійович
БАНДУРА Сергій Іванович
КОСТЮЧЕНКО Віталій Іванович
НОВОГРЕЦЬКИЙ Сергій Миколайович

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт з курсу
«ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ
ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ»

Комп'ютерне верстання *Н. М. Ковальчук*
Коректор *О. Є. Вакула*

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 4,53. Вид. № 88. Зам. № 2803-03.
Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54007
E-mail : publishing@nuos.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6402 від 19.09.2018 р.