

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

Кафедра
комп'ютерних наук

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт з курсу
ІНФОРМАЦІЙНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ
СИСТЕМИ

Частина 1 (лабораторні роботи №1-4)

для студентів денної та заочної форм навчання,
спеціальності

122 “Комп'ютерні науки та інформаційні технології”

Тернопіль – 2016

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1 Вимірювання фізичних величин: струму, напруги та опору за допомогою тестера.....	6
2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 Вимірювання параметрів елементів електричних кіл за допомогою універсального вимірювального моста.....	18
3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 Вимірювання параметрів елементів електричних кіл з допомогою куметра та цифрового вимірювача R, L, C.....	33
4. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 Вимірювання параметрів транзисторів і напівпровідникових діодів.....	44
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	51
ДОДАТКИ	52

ВСТУП

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу “Інформаційні вимірювальні системи”, який читається для студентів спеціальності 122 “Комп’ютерні науки та інформаційні технології” покликані допомогти студентам денної та заочної форм навчання засвоїти принципи функціонування сучасних засобів вимірювання та інформаційних вимірювальних систем, оволодіти на практиці методами, засобами та видами вимірювання, навчитись проводити обробку отриманих результатів вимірювання.

Успішне засвоєння курсу вимагає від студента ґрунтовних знань з фундаментальних та професійно-орієнтованих дисциплін: вищої математики, фізики, дискретної математики, теорії ймовірностей та випадкових процесів, математичної статистики.

Зміст та структура методичних вказівок відповідає освітньо-професійним програмам підготовки фахівців зі спеціальності 122 “Комп’ютерні науки та інформаційні технології”. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт охоплюють матеріал необхідний для формування навичок у студентів по вимірюванню електричних величин напруги, струму, опору, величин R , L , C що сприяє формуванню у студентів ефективного та цілеспрямованого використання сучасних методів вимірювання, вимірювальних приладів та інформаційно-вимірювальних систем.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Тема: Вимірювання фізичних величин: струму, напруги та опору за допомогою тестера.

Мета: Набути практичних навичок вимірювання струму, напруги та опору за допомогою тестера.

Прилади та обладнання:

1. Тестер Ц4342 (або аналогічний).
2. Блок живлення Б5-44А (або аналогічний).
3. Генератор сигналів низькочастотний ГЗ-123 (або аналогічний).
4. Набір резисторів різних номіналів.
5. Вольтметр універсальний В7-38 (або аналогічний).
6. Набір двохполюсників різного призначення.

Теоретичні відомості

Однією із різновидностей аналогових вимірювальних приладів є ампервольтметр, який також називають як авометр, тестер або мультиметр. Тестер відноситься до універсальних вимірювальних приладів, який дозволяє вимірювати напругу постійного та змінного струмів, силу струмів, опори. Частина тестерів, крім цього, дозволяє вимірювати додатково параметри транзисторів, ємності конденсаторів. При вимірюванні змінних напруг і струмів переважна більшість тестерів можуть практично використовуватися тільки для вимірювання напруг і струмів синусоїдальної форми. Для реєстрації результатів вимірювань в тестерах використовують магнітоелектричні вимірювальні механізми (індикатори) з рухомою котушкою. Магнітоелектричні індикатори з рухомою котушкою, які використовують в тестерах, мають опір котушки від 5 до 5000 Ом, струм повного відхилення (струм рамки) від 10 мкА до 1 мА. У відповідності з законом Ома, відхилення стрілки індикатора на повну шкалу відбувається при подачі напруги на котушку від 50 мВ до 5 В. Щоб одержати кілька

діапазонів вимірювань напруг і струмів, необхідні здійснювати перетворення їх значень до допустимих для даної котушки індикатора. Тому, для розширення діапазонів вимірювань застосовують перетворювачі на резисторах, які з'єднують послідовно з котушкою при вимірюванні напруг, і паралельно – при вимірюванні струмів. Послідовно під'єднані до котушки додаткові резистори збільшують загальний опір кола, внаслідок чого можна вимірювати більш високі напруги. При паралельному з'єднанні резисторів (які називають шунтами) з котушкою зменшується загальний опір кола, що дозволяє вимірювати великі значення струмів.

При використанні джерела енергії постійного струму прилад можна застосовувати для вимірювання опорів. Якщо з'єднати послідовно котушку і джерело живлення з резистором, опір якого необхідно виміряти, то стрілка індикатора покаже значення струму, що протікає через опір. Цей струм у відповідності з законом Ома обернено пропорційний величині опору, тому покази приладу по шкалі також будуть обернено пропорційні опору. Тому градування шкали для вимірювання опорів при послідовному ввімкненні вимірюваного опору R_x проводиться в протилежному напрямку по відношенню до шкал струмів і напруг. Значення опорів в цьому випадку можна вимірювати в межах від кількох Ом до кількох сотень кОм і більше.

Для вимірювання малих опорів від одиниць Ом до сотих долей Ом – застосовують схему з паралельним під'єднанням вимірюваного опору R_x . В цьому випадку градування шкали відбувається в тому ж напрямку, що і шкала напруг і струмів.

В обох схемах шкала для визначення опору R_x нерівномірна, розтягнута при малих значеннях опорів і більш стиснута при більших значеннях R_x . На рис. 1.1а,б зображені обидві схеми для вимірювання опорів.

Вимірювальний елемент (наприклад резистор) під'єднують до клем $X1$, $X2$. Перед вимірюванням опору R_x в схемі 1.1а, спочатку закорочують клеми $X1$, $X2$ і з допомогою змінного резистора R_0 встановлюють

максимальне значення струму через мікроамперметр, що відповідає нульовій відмітці шкали опорів. Перемикач $S1$ при цьому повинен бути ввімкнений (тобто батарея $GB1$ під'єднана до кола). Після цього клемми $X1$, $X2$ роз'єднують і до них під'єднується резистори або інший елемент, опір якого R_x вимірюється. Струм через мікроамперметр зменшується тим більше, чим більше значення R_x . Підбираючи значення опору резистора $R1$, можна одержати різні діапазони вимірювань опорів.

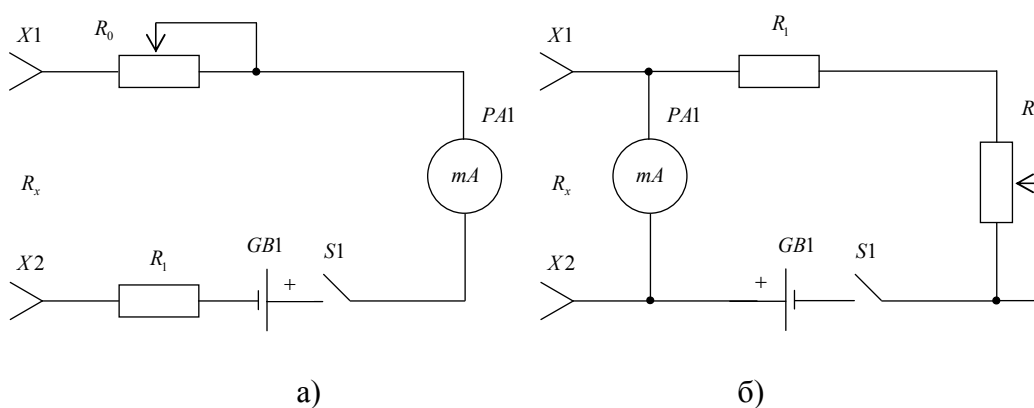


Рис. 1.1 Схеми вимірювання опорів

а) з послідовним під'єднанням R_x ; б) з паралельним під'єднанням R_x

В схемі 1.1б після під'єднання батареї $GB1$ клемми $X1$, $X2$ не закорочують і з допомогою потенціометра R_0 , як і в попередній схемі, виставляють максимальне значення струму через мікроамперметр. Але при цьому положення стрілки буде відповідати відмітці ∞ по шкалі визначення опорів. Після цього до клем $X1$, $X2$ під'єднують елемент, опір якого R_x необхідно виміряти. Чим менше значення R_x , тим менший струм протікає через мікроамперметр (і одночасно більший через R_x).

Крім зображених схем на Рис.1.1 існують і інші їх різновидності.

З допомогою механічних перемикачів які використовуються для під'єднання дільників напруги (додаткових резисторів), шунтів, елементів живлення в коло рамки індикатора, можна побудувати аналоговий вимірювальний прилад, здатний вимірювати напруги, опори в широких

межах. Цей прилад найчастіше називають авометр або тестер, спрощена структура схеми такого вимірювального приладу зображена на рис.1.2.

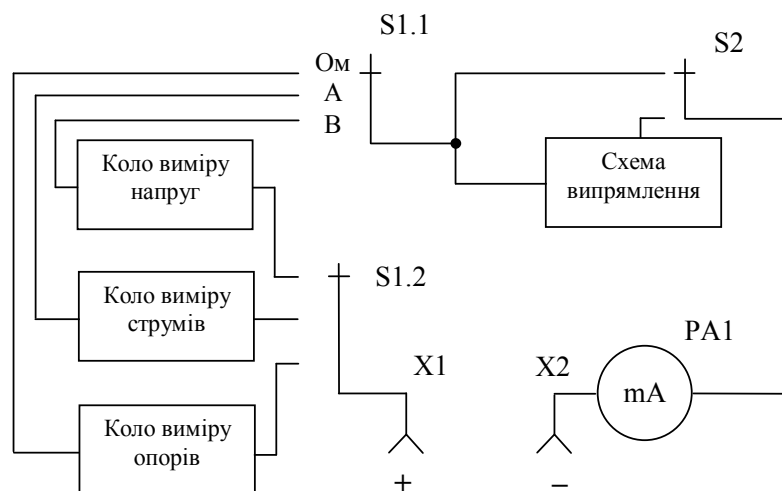


Рис. 1.2 Спрощена структурна схема авометра (тестера)

Перемикач $S1$ дозволяє вибрати вид вимірювальної фізичної величини (напруги, струму або опору), перемикач $S2$ дозволяє вибрати режим вимірювання (на постійному або змінному струмі). Крім того, кола вимірювальних напруг, струмів і опорів мають перемикачі діапазонів вимірювань, які на даній схемі не показані. На даній схемі $X1$, $X2$ – вхідні клеми тестера.

При вимірюванні змінних струмів і напруг низьких частот в тестерах використовують одно – або двохпівперіодні схеми випрямлення.

Шкалу приладу при вимірюванні змінної напруги або струму, як правило, градуують в середньоквадратичних значеннях синусоїдального сигналу, які становлять $0,707$ від максимальних значень.

Тестери мають середнє значення похибки $\pm(2 \div 5)\%$. Клас точності тестера виражається в процентах від найбільшого (кінцевого) значення шкали індикатора, а це значить, що точність кожного окремого вимірювання залежить від положення стрілки на поділках шкали. Наприклад: при заданому (паспортному) класі точності 4% прилад має похибку 40% , якщо

покази змінюються коли стрілка знаходиться на поділці, що відповідає 1/10 повної шкали. Тому для виключення великих похибок вимірювань тестер необхідно використовувати таким чином, щоб покази індикатора знаходилися у верхній частині шкали. Це можливо при наявності кількох діапазонів вимірювань, які частково перекриваються у співвідношеннях 1-2-5 або 1-3-10.

Для прикладу розглянемо основні параметри і призначення тестера типу Ц4342-М1. Цей прилад призначений для вимірювань сили і напруги постійного струму, середньоквадратичного значення сили і напруги змінного струму синусоїдальної форми, опору на постійному струмі. Крім того, цей тестер дозволяє вимірювати окремі параметри біполярних транзисторів малої потужності: статичний коефіцієнт передачі струму в схемі із спільним емітером h_{21E} , зворотній струм колектора $I_{зск}$, зворотній струм колектор-емітер $I_{ске}$ при розімкненому виводі бази колектор-емітер $I_{ке}$ при короткозамкнутих виводах емітера і бази $I_{еб}$.

При вимірюванні сили струму прилад дозволяє вибирати кілька діапазонів вимірювань від 0,05 мА до 2500 мА, при вимірюванні напруг – від 0,1 В до 1000 В (для змінних напруг нижній діапазон 0,2–1 В), при вимірюванні опорів – від 0,3 до 10000 кОм.

Клас точності становить 2,5 при вимірюванні постійних напруг і струмів і 4,0 при вимірюванні змінних напруг і струмів і параметра h_{21E} .

Хід роботи

1. Ознайомитися з технічним описом і інструкціями по експлуатації вимірювальних приладів.
2. Підготувати прилади до роботи, ввімкнути електроживлення приладів.

3. Напругу на виході блока живлення виставити 0,5 В, вибрати необхідний діапазон вимірювання тестера, провести встановлення «нуля» вольтметра.

4. Під'єднати до виходу блока живлення тестер в режимі вольтметра і універсальний вольтметр.

5. Виставляючи на виході блока живлення різні значення напруг постійного струму від 0,5 до 29,5 В, провести їх вимірювання з допомогою тестера і універсального вольтметра. Результати вимірювань записати в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1

№ п/п	U1 [В]	U2 [В]	U3 [В]	ΔU [В]	δU [%]
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

де U1 – значення напруги, відраховане по шкалі блока живлення;

U2 – значення напруги, відраховане по шкалі тестера;

U3 – значення напруги, відраховане по шкалі вольтметра;

ΔU – абсолютна похибка вимірювання; $\Delta U = U1 - U3$;

δU – відносна похибка вимірювання: $\delta U = \pm \frac{\Delta U}{U3} \cdot 100\%$;

6. За результатами вимірювань розрахувати абсолютну та відносну похибки вимірювань, результати розрахунків занести в таблицю 1.1.

7. Зібрати схему для вимірювання постійних струмів, виставивши напругу на виході блока живлення $U1 = 0,5$ В.

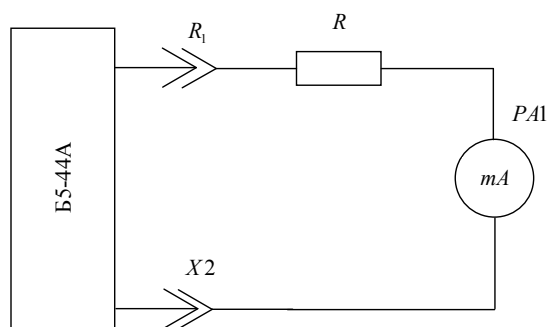


Рис. 1.3 Структурна схема вимірювання

де РА1 – тестер, ввімкнений в режимі міліамперметра.

8. Змінюючи напругу на виході блока живлення від 0,5 до 12 В, провести вимірювання постійного струму в колі. Результати вимірювань занести в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U1[B]										
I[мА]										
R [Ом]										
P [Вт]										

де I – значення струму, відраховане по шкалі тестера;

U_1 – значення напруги на виході блока живлення;

P – потужність, що розсіюється на резисторі R : $P = I^2 R$.

9. За результатами вимірювань виконати розрахунки потужності, що розсіюється на резисторі R , результати розрахунків занести в таблицю 1.2.

10. Провести вимірювання напруг змінного струму. Для цього до виходу генератора ГЗ-123 (при під'єднаному опорі навантаження $R_n = 50 \text{ Ом}$)

під'єднати тестер і вольтметр В7-38, що працюють в режимі вимірювання напруг змінного струму, встановивши попередньо напругу на виході генератора $U_1 = 0,1$ В і частоту сигналу $F = 100$ Гц .

11. Виставляючи різні значення напруги на виході генератора (від 0,1 В до 20 В), провести їх вимірювання з допомогою тестера і вольтметра. Результати вимірювань занести в таблицю 1.3.

12. За результатами вимірювань виконати розрахунки абсолютної та відносної похибок вимірювань, результати розрахунків занести в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3

№ п/п	U1[B]	U2[B]	U3[B]	ΔU [B]	δU [%]
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

де U_1 – значення напруги, відраховане по шкалі генератора

U_2 – значення напруги, відраховане по шкалі тестера;

U_3 – значення напруги, відраховане по шкалі вольтметра;

ΔU – абсолютна похибка вимірювання: $\Delta U = U_1 - U_3$;

δU – відносна похибка вимірювання: $\delta U = \pm \frac{\Delta U}{U_3} \cdot 100\%$

13. Напругу на виході генератора виставити $U_1 = 6$ В і провести вимірювання напруги на різних частотах. Результати вимірювань занести в таблицю 1.4.

14. За результатами вимірювань виконати розрахунки абсолютної і відносної похибок вимірювань, результати розрахунків занести в таблицю 1.5.

15. За результатами розрахунків побудувати графік залежності $\Delta U = f(F)$ при $U_1 = const$.

16. Провести вимірювання опорів резисторів різних номіналів з допомогою тестера і вольтметра в режимі омметра. Результати вимірювань записати в таблицю 1.5.

17. За результатами вимірювань виконати розрахунки абсолютних і відносних відхилень опору резисторів від номінальних значень, результати розрахунків записати в таблицю 1.5.

18. Провести перевірку придатності до роботи двополюсників різного призначення з допомогою тестера, результати перевірки записати в таблицю 1.6, позначивши позначкою "+" придатні до роботи двополюсники і "-" - не придатні.

Таблиця 1.4

№ п/п	F [кГц]	U1[B]	U2[B]	U3[B]	ΔU [B]	δU [%]
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

де F – частота сигналу на виході генератора.

Таблиця 1.5.

№ п/п	R_n [Ом]	$R1$ [Ом]	$R2$ [Ом]	$\Delta R1$ [Ом]	$\Delta R2$ [Ом]	$\delta R1$ [%]	$\delta R2$ [%]
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

де R_n – значення опору резистора, написане на його корпусі.

$R1$ – значення опору, відраховане по шкалі тестера.

$R2$ – значення опору, відраховане по шкалі прилада В7-38.

$\Delta R1$, $\Delta R2$ – абсолютні відхилення опору резистора від номінального значення $\Delta R1 = R_n - R1$, $\Delta R2 = R_n - R2$,

$\delta R1$, $\delta R2$ – відносні відхилення опору від номінального значення:

$$\delta R1 = \pm \frac{\Delta R1}{R1} \cdot 100\%, \quad \delta R2 = \pm \frac{\Delta R2}{R2} \cdot 100\%$$

Таблиця 1.6.

№ п/п	Назва, тип	Умовне позначення	Придатність
1			
2			
3			
4			
5			

Де в графу “Назва, тип” записують різновидності двополюсника або елемента (конденсатор, діод, котушка, фільтр, кабель і т.д.).

19. Після закінчення вимірювань вимкнути прилад, розібрати схему вимірювань.

Зміст звіту

1. Номер лабораторної роботи та тема роботи.
2. Мета роботи.
3. Прилади і обладнання.
4. Теоретичні відомості (не обов'язково).
5. Хід роботи (не обов'язково), результати вимірювань і розрахунків, схеми та графіки.
6. Усно дати відповіді на контрольні питання.
7. Висновки.

Контрольні питання

1. Які фізичні величини можна вимірювати за допомогою тестера?
2. Які типи індикаторів переважно використовують у тестерах?
3. Що таке ціна поділки аналогового вимірювального прилада?
4. Поясніть послідовність вимірювання напруги змінного струму з допомогою тестера.
5. Поясніть послідовність вимірювання напруги постійного струму з допомогою тестера.
6. Як, для вимірювання напруги, необхідно підключити тестер у вимірювальне коло?
7. Як, для вимірювання струму, необхідно підключити тестер у вимірювальне коло?
8. Для розширення діапазонів вимірювань (при вимірюванні напруг) за допомогою перетворювачів на резисторах як їх з'єднують?
9. Для розширення діапазонів вимірювань (при вимірюванні струмів) за допомогою перетворювачів на резисторах як їх з'єднують?
10. Для вимірювання великих значень напруг, як підключаються додаткові резистори?
11. Для вимірювання великих значень струмів, як підключаються шунти?

12. Поясніть послідовність вимірювання опорів з допомогою тестера.
13. Які схеми випрямлення використовують в тестерах при вимірювання напруги змінного струму?
14. Поясніть, що таке шунт, його призначення?
15. Поясніть призначення додаткових резисторів в приладах для вимірювання напруги.
16. Які схеми використовують для вимірювання опорів на постійному струмі?

Література

1. Литвиненко Я.В. Конспект лекцій з курсу «Інформаційні вимірювальні системи» (частина 1) для студентів денної та заочної форм навчання, спеціальностей: 6.050101 “Інформаційні управляючі системи та технології” / Литвиненко Я.В., Лупенко С.А., Щербак Л.М. – Тернопіль: ТНТУ імені І. Пулюя, 2013. – 88 с.
2. Атамальян З.Г. «Приборы и методы измерения электрических величин», М.: Высшая школа, 1989, §5.3, ст.106-111.
3. Демидов-Панферова Р.М. и др. «Задачи и примеры расчетов по электроизмерительной технике», М.- Энергоатомиздат,1990, гл. 3-4, ст. 31-41, 57-70.
4. Бриндли К. «Электронные контрольно-измерительные приборы», М.: Энергоатомиздат, 1989, перевод с английского Ю.Ф. Архипцева, §1.1, ст. 12-19.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Тема: Вимірювання параметрів елементів електричних кіл з допомогою універсального вимірювального моста.

Мета: Набути практичних навичок вимірювання параметрів конденсаторів, котушок індуктивності, резисторів з допомогою універсального вимірювального моста.

Прилади та обладнання:

1. Універсальний вимірювач параметрів R, L, C типу E7-11 (або аналогічний).
2. Набори резисторів, конденсаторів, котушок індуктивності.

Теоретичні відомості

Мостовою схемою (схемою універсального вимірювального моста) називають електричне коло, чотиріполіусник або багатополіусник, коефіцієнт передачі якого при певних умовах дорівнює нулю. Ці умови називають умовами балансу або рівноваги моста. Ланки кола, опори яких входять в умову рівноваги, називають плечами моста. В залежності від кількості плеч, які входять в схему моста, міст може бути чотиріплечим, шестиплечим і т.ін.

В мостах змінного струму умови рівноваги зв'язують комплексні опори плеч. Якщо в рівняння балансу моста змінного струму не входить частота, то міст називають частотно-незалежним.

Мостові схеми знайшли широке застосування в приладах для вимірювання опорів, ємностей, індуктивностей, частоти, можуть також використовуватися в приладах для вимірювання напруги, потужності, температури і т.ін. Широке застосування мостових схем пояснюється високою точністю вимірювань і відносною простотою.

Вимірювання опору, індуктивності, ємності проводять найчастіше одинарними чотиріплечими мостами змінного струму. Оскільки опори плеч

моста змінного струму в загальному випадку комплексні рис.2.1, то необхідно врахувати фазові співвідношення.

Для зрівноваженого стану моста змінного струму справедливе співвідношення в комплексній формі:

$$\dot{Z}_1 \cdot \dot{Z}_3 = \dot{Z}_2 \cdot \dot{Z}_4 \quad (2.1)$$

де $\dot{Z}_1, \dot{Z}_2, \dot{Z}_3, \dot{Z}_4$ – комплексні опори плеч моста змінного струму. Якщо записати рівняння (1) в степеневій формі, то одержимо рівність:

$$\dot{Z}_1 \cdot e^{i\varphi_1} \cdot \dot{Z}_3 \cdot e^{i\varphi_3} = \dot{Z}_2 \cdot e^{i\varphi_2} \cdot \dot{Z}_4 \cdot e^{i\varphi_4} \quad (2.2)$$

звідки виходить, що $Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4$ (рівність добутків модулів комплексних опорів протилежних плеч), тобто такий міст має дві умови рівноваги.

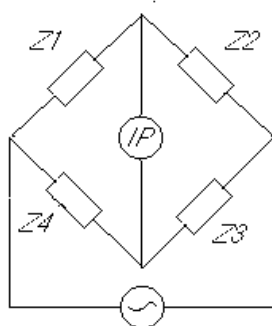


Рис.2.1 Схема моста змінного струму

Щоб напруга на індикаторі рівноваги (IP) моста змінного струму була рівна нулю, необхідно одночасне виконання умов рівноваги по модулю та фазі, причому умова рівноваги по фазі дозволяє визначити, якими по характеру повинні бути опори плеч моста, щоб забезпечив рівновагу.

Умови рівноваги моста записати в іншому вигляді, представивши \dot{Z} в рівнянні (2.1) в алгебраїчній формі:

$$(R_1 + jx_1)(R_3 + jx_3) = (R_2 + jx_2)(R_4 + jx_4) \quad (2.3)$$

звідки:

$$R_1 X_3 - X_1 X_3 = R_2 X_4 - X_2 X_4 \quad (2.4)$$

$$R_1 X_3 + R_3 X_1 = R_2 X_4 + R_4 X_2 \quad (2.5)$$

Де R, X – активний та реактивний опори.

Зрівноваження моста по двох величинах вимагає наявності в його схемі не менше двох регулюючих елементів. Для зручності регулювання мости будують таким чином, щоб регулювальними елементами були резистори змінного опору (або конденсатори змінної ємності). При порівнюванні ємності з індуктивністю регулювальні елементи розташовують в протилежних плечах моста, а ємності з ємністю або індуктивності з індуктивністю – в сусідніх. Для живлення моста змінного струму вибирають напругу з частотою 100, 1000 або 3000 Гц

До індикаторів рівноваги в мостах змінного струму пред'являють такі вимоги: високу чутливість, можливість регулювання чутливості в широкому діапазоні і мінімальний поріг чутливості. Чим менший їх поріг чутливості, тим з більшою точністю зрівноважується міст. Напруга розбалансу може змінюватися від кількох вольт на початку зрівноваження до мікрвольт в кінці зрівноваження, а чутливість індикатора повинна змінюватися на 5-6 порядків. Тому в схем електронного індикатора рис 2.2 застосовують чотирьохкаскадний підсилювач, напівпровідниковий, середньовипрямленого значення перетворювач змінного струму в постійний вихідний магнітоелектричний мікроамперметр. Електронний індикатор рівноваги має високу регульовану чутливість в діапазоні частот 20 Гц – 10 МГц.



Рис.2.2 Структурна схема індикатора рівноваги

Похибки моста змінного струму визначаються похибками окремих його елементів (стабільністю, точністю, розташуванням); впливом опору з'єднувальних провідників; зміною параметрів джерела живлення, індикатора рівноваги; похибкою градування і виконанням шкали, конденсаторів змінної ємності, варіометрів, опорів резисторів і т.ін. На точність вимірювання впливають квадратурні похибки, тобто неповне врахування

реактивних складових в активних опорах і активних складових в реактивних опорах. Чим більша частота, на якій виконується вимірювання, тим сильніше проявляються ці похибки. Для зменшення похибок напругу змінного струму, для живлення, моста подають через розділяючий трансформатор, при цьому міст заземляється так, щоб вплив паразитних ємностей і індуктивностей був мінімальним.

Схема моста для вимірювання опорів на постійному струмі зображена на рис.2.3. Плечі моста складаються з активних резисторів, значення R_2 може змінюватись плавно (або ступенями I плавно, в залежності від конкретної схеми) R_x – вимірюваний опір

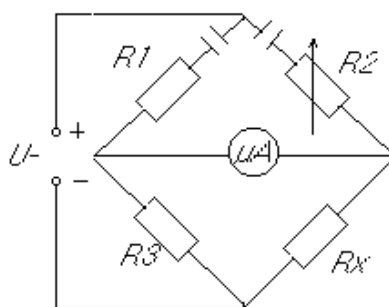


Рис.2.3 Схема одинарного моста для вимірювання опорів

На постійному струмі з допомогою змінного резистора R_2 добиваються рівноваги моста, при якій струм і напруга в індикаторній діагоналі дорівнюють нулю при наявності напруги в діагоналі живлення. Умова рівноваги моста має такий вигляд:

$$R_1 R_x = R_2 R_3 \quad (2.6)$$

Звідки знаходимо

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1} \quad (2.7)$$

По скільки відношення $\frac{R_3}{R_1}$ є сталим, то шкалу змінного резистора R_2

можна проградувати в одиницях вимірювання R_x .

Для вимірювання параметрів конденсаторів існують багато різновидностей мостових схем, одна з яких зображена на рис. 2.4.

Вимірювання проводять, як правило, на низькій частоті 100 – 1000 Гц. Як індикатор рівноваги (балансу) застосовують найчастіше електронний вольтметр.

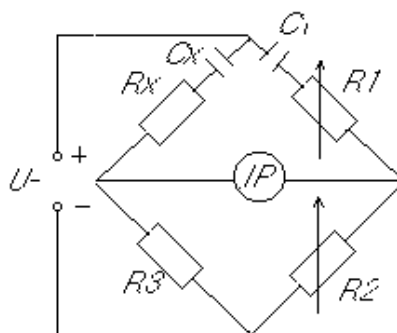


Рис.2.4 Схема моста змінного струму для вимірювання параметрів конденсаторів

В даній схемі C_x – вимірювана ємність, R_x – опір втрат досліджуваного конденсатора.

Умова балансу моста для даної схеми:

$$(R_x + I / j\omega C_x)R_2 = R_3(R_1 + I / j\omega C_1) \quad (2.8)$$

або

$$R_x R_2 + R_2 / j\omega C_x = R_1 R_3 + R_3 / j\omega C_1, \quad (2.9)$$

звідки

$$R_x = R_1 R_3 / R_2 \quad (2.10)$$

$$C_x = C_1 R_3 / R_2 \quad (2.11)$$

Для балансування моста служать змінні резистори R_1, R_2 , які виконуються у вигляді магазину опорів. Магазин, що змінює опір R_2 , можна відградувати безпосередньо в одиницях вимірювання ємності C_x (якщо C_1, C_3 величини сталі). В переважній більшості випадків замість R_x вимірюють або тангенс кута діелектричних втрат конденсатора $\text{tg}\delta_x = \omega \cdot C_x \cdot R_x$, або добротність $Q_x = 1 / \text{tg}\delta_x$. Підставивши у вираз для $\text{tg}\delta_x$ значення C_x та R_x , одержимо:

$$\text{tg}\delta_x = \omega \cdot C_x \cdot R_x = \omega \cdot R \cdot R_3 / R_3 (C_1 R_2 / R_3) = \omega \cdot R_1 \cdot C_1 \quad (2.12)$$

Таким чином, при балансуванні моста з допомогою R_1, R_2 можна провести окремий відлік ємності C_x і тангенса кута діелектричних втрат $\text{tg}\delta_x$,

тобто шкалу R_2 градуують в одиницях ємності C_x , а шкалу R_1 - в одиницях кута $tg\delta_x$.

Для вимірювання параметрів котушок індуктивності використовують схему рис.2.5.а. якщо їх добротність $Q < 30$, та схему рис.2.5.б., якщо добротність $Q > 30$.

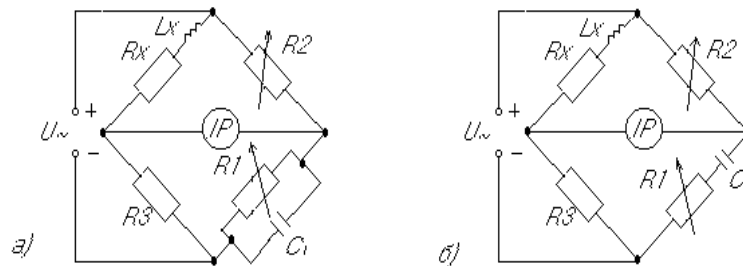


Рис.2.5 Схеми моста для вимірювання параметрів котушок індуктивності з $Q < 30$ (а) та $Q > 30$ (б).

L_x – досліджувана котушка індуктивності,

R_x – активний опір втрат цієї котушки. З врахування того,

$$\text{що } \dot{Z}_1 = \frac{1}{1/R_1 + j\omega C_1},$$

Запишемо умову рівноваги ядстаїфїсхеми рис.2.5.а.:

$$(R_x + j\omega L_x) \cdot \frac{1}{1/R_1 + j\omega C_1} = R_1 \cdot R_3 \quad (2.13)$$

звідки знаходимо, відповідно, активний опір, індуктивність, добротність котушки:

$$R_x = R_2 R_3 / R_1; \quad (2.14)$$

$$L_x = R_2 R_3 / R_1; \quad (2.15)$$

$$Q_x = \omega L_x / R_x = \omega C_1 R_1; \quad (2.16)$$

R_x, Q_x - знаходять по шкалі змінного резистора R_1 , а L_x по шкалі R_2 . Для вимірювання параметрів котушок індуктивності з добротністю

$Q > 30$ застосовують схему послідовного з'єднання резистора R_1 і конденсатора з відомою ємністю C_1 . В цьому випадку рівноваги моста.

$$(R_x + j\omega L_x)(R_1 + 1/j\omega C_1) = R_2 R_3, \quad (2.17)$$

$$\text{звідки } R_x + j\omega L_x / C_1 = R_2 R_3 \quad (2.18);$$

$$\omega L_x R_1 = R_x / \omega C_1 \quad (2.19)$$

Із спільного розв'язку рівнянь (2.18) і (2.19) знаходимо:

$$R_x = (\omega^2 C_1 R_2 R_1 R_3) / [I + (\omega C_1 R_1)^2]; \quad (2.20)$$

$$L_x = (R_2 R_3 C_1) / [I + (\omega C_1 R_1)^2]; \quad (2.21)$$

$$Q_x = (\omega L_x) / R_x = \frac{1}{\text{tg } \delta} = 1 / (\omega C_1 R_1); \quad (2.22)$$

або

$$R_x = (\omega^2 C^2 R_2 R_1 R_3) / (1 + 1/Q_x^2); \quad (2.23)$$

$$L_x = (R_2 R_3 C_1) / (1 + 1/Q_x^2); \quad (2.24)$$

Для котушок з високою добротністю відношення I/d_x невелике, в порівнянні з I , тому:

$$R_x \approx \omega^2 C^2 R_2 R_1 R_3; \quad (2.25)$$

$$L_x \approx R_2 R_3 C_1; \quad (2.26)$$

Мостові вимірювачі індуктивностей, ємностей і опорів мають ряд ідентичних елементів. Тому вони можуть бути об'єднані в одному комбінованому приладі – універсальному вимірювальному мості. Мостові схеми, показані на рис.2.3. – рис.2.5., використовують в схемі універсального моста типу Е7-11. вимірювання проводять на частотах 100 та 1000 Гц. Діапазоні вимірювання ємностей конденсаторів $10 - 10^9$ пФ, індуктивності котушок $10 - 10^9$ мкГн, опорів резисторів $0,1 - 10^7$ Ом. Структурна схема універсального вимірювального моста зображена на рис.2.6.

Від блока живлення отримують змінну напругу частотою 100 або 1000 Гц від генераторів G_1 , G_2 та постійну регульовану напругу від випрямляча U_1 що дозволяє змінювати чутливість моста На постійному струмі

використовується магнітоелектричний індикатор РАІ, а на змінному електронний вольтметр ЕВ. З допомогою перемикача S_2 мікроамперметр під'єднується безпосередньо до блока мостів БМ при вимірюваннях на постійному струмі, або до електронного вольтметра ЕВ при вимірюваннях на змінному струмі. Чотириплечий блок мостів БМ відповідями чином комутується для вимірювання $R, L, Q, C, tg \delta_q$. АІ - підсилювач сигналу змінної напруги регульованим коефіцієнтом підсилення, що дозволяє регулювати чутливість моста на змінному струмі. Крім того, якщо необхідно провести вимірювання на частотах, відмінних від 100 Гц та 1 кГц, то на гніздо "ЗОВН.ГЕНЕР." подають сигнал від зовнішнього генератора при нижньому положенні перемикача 81-1.

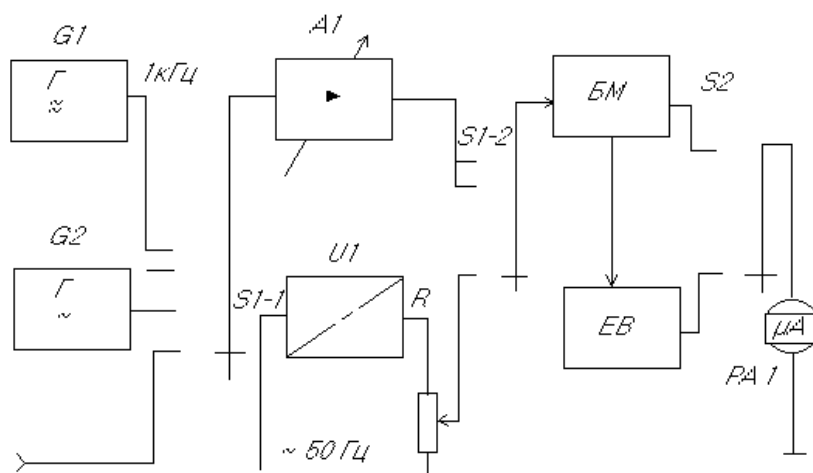


Рис.2.6 Структурна схема універсального вимірювального моста

Хід роботи

1. Ознайомитися з основними технічними параметрами, органами управління прилада Е7-11.
2. Підготувати прилад до роботи, ввімкнути живлення, прогріти 15 хв.
3. Під'єднати вимірювальний кабель до прилада. кінці кабеля повинні бути розімкнуті.
4. Провести підготовку прилада до вимірювання опорів резисторів на постійному струмі. Для цього перемикач "R, L, C, R~, R" поставити в

положення "R ". перемикач діапазонів в положення, що відповідає діапазону, на якому буде проводитись вимірювання; перемикач [f]Hz в положення "100"; перемикач "R -_ 1", розташований на задній панелі, в положення " > 0 < "із допомогою ручки (під шліц), розташовані над цим перемикачем, встановити стрілку індикатора прилада в нульове положення. Виконавши регулювання, перевести перемикач в нижнє положення "_ 1".

5. Резистор, опір якого вимірюється, під'єднати до зажимів вимірювального кабеля.

6. Ручку чутливості моста поставити в крайнє парве положення.

7. Вибрати необхідний діапазон вимірювання. Для цього з допомогою ручки перемикача діапазонів почергово змінювати встановлений діапазон до тих нір, поки знак напруги розбалансу на індикаторі балансу не зміниться на протилежний. Це і буде необхідний для вимірювання діапазон.

8. Збалансувати міст з допомогою ручок "МНОЖИТЕЛЬ", поступово збільшуючи чутливість до значення, Шо забезпечує індикацію розбалансу на $\frac{1}{2}$ похибки вимірювання для даної величини.

9. Виміряне значення опору дорівнює добутку відліку по шкалах "МНОЖИТЕЛЬ" на значення опору, що відповідає вибраному діапазону і вказане в таблиці на передній панелі прилада. Результати вимірювання записати в таблицю 2.1.

10. Повторити вимірювання опорів для інших резисторів, результати вимірювань записати в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1

п/п	R_n		R_x		ΔR		$\delta R[\%]$
	Числове значення	Одиниця вимірювання	Числове значення	Одиниця вимірювання	Числове значення	Одиниця вимірювання	
1.							

2.							
3.							

Де R_H -значення опору резистора, вказане на його корпусі (опір номіналу);

R_x , – значення опору резистора, виміряне за допомогою прилада E7-11;

ΔR – абсолютне відхилення опору резистора від номінального значення: $\Delta R = R_H - R_x$;

δR – відносне відхилення опору резистора від номінального значення:

$$\delta R = \pm \frac{\Delta R}{R_x} \cdot 100\% \quad (2.27)$$

11. Провести вимірювання ємності конденсаторів і тангенса кута втрат Діелектриків цих конденсаторів. Для цього необхідно:

Під'єднати конденсатор до вимірювального кабеля.

Перемикач "L, C, R~,R" поставити в положення "C".

Перемикач " $Q < 0.5, Q > 0.5, tg\delta$ " поставити в положення " $tg\delta$ "

Перемикач "[f]Hz" поставити в положення, що відповідає частоті, на якій будуть проводити вимірювання (наприклад, 1000Гц).

Перемикач діапазонів вимірювань поставити в крайнє праве положення (7-ий діапазон).

Шкалу " $tg\delta$ " поставити на нульову мітку.

Ручку регулятора чутливості поставити в крайнє праве положення.

Вибрати необхідний діапазон вимірювання. Для цього на шкалі "МНОЖИТЕЛЬ" встановити відлік 1,090. Натистути кнопку "ВИБОР" із допомогою ручки перемикача діапазонів змінювати вліво діапазон до тих пір, поки знак фази напруги розбалансу на індикаторі не зміниться на протилежний. Це буде діапазон, на якому повинні проводитись вимірювання.

Відпустити кнопку "ВИБОР", провести балансування моста. Для цього необхідно зменшувати покази шкали перемикача "МНОЖИТЕЛЬ" до одержання мінімуму показів індикатора балансу, після цього повертанням

плавної шкали "МНОЖИТЕЛЬ" знайти положення, при якому мінімум стане ще меншим. Якщо повертання плавної шкали не змінює показів індикатора, то необхідно перейти до врівноваження моста по втратах. Знайшовши мінімум знову повернутись до врівноваження по ємності. Регулювання повторюється при поступовому збільшенні чутливості до значення, що забезпечує індикацію зміни відліку по шкалах не менше половини основної похибки вимірювання.

Досягнувши мінімуму при такій чутливості, провести відлік результату вимірювання. Вимірюване шачення ємності дорівнює відліку по шкалі "МНОЖИТЕЛЬ", помпоженому на значення ємності, вказане в таблиці на передній панелі прилада для відповідного положення перемикача діапазонів. Виміряне значення тангенса кута діелектричних втрат відраховується безпосередньо по шкалі " $\text{tg } \delta$ ". Результати вимірювань записати в таблицю 2.2. (Якщо вимірювання проводилося на частоті 100Гц, то відлік результату вимірювання ємності необхідно збільшити в 10 раз).

При вимірюванні ємностей, менших 1000 пФ, необхідно вносити поправку на початкову ємність мостової схеми: зменшити результат вимірювання на значення початкової ємності.

Вимірювання ємності та $\text{tg } \delta$ повторити для інших конденсаторів, результати вимірювання записати в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2

п/п	C_n		C_x		$\text{tg } \delta$	ΔC		$\delta C[\%]$
	Числове значення	Одиниця вимірювання	Числове значення	Одиниця вимірювання		Числове значення	Одиниця вимірювання	
1.								
2.								
3.								

де C_H - значення ємності конденсатора, вказане на його корпусі (ємність оміналу);

C_X - значення ємності, виміряне з допомогою прилада Е7-11;

ΔC - абсолютне відхилення ємності конденсатора від номінального значення: $\Delta C = C_H - C_X$;

δC - відносне відхилення ємності конденсатора від номінального значення:

$$\delta C = \pm \frac{\Delta C}{C_u} \cdot 100\% . \quad (2.28)$$

12. Провести вимірювання індуктивності та добротності когушок індуктивності. Для цього необхідно:

Під'єднати досліджувану котушку до вимірювального кабеля

Перемикач "L, C, R~,R" поставити в положення "L".

Перемикач " $tgQ < 0.5, Q > 0.5, tg\delta$ " поставити в положення " $tg\delta$ "

Перемикач "[f]Hz" поставити в положення "1000 Hz".

Перемикач діапазонів поставити в крайнє праве положення.

Ручку регулятора чутливості поставити в крайнє праве положення.

Вибрати необхідний діапазон вимірювань.

Для цього:

- встановити на шкалі "МНОЖИТЕЛЬ" покази 1,090;
- натиснути кнопку "ВИБОР";
- повертаючи в право ручку перемикача діапазонів, знайти

діапазон, при якому знак фази напруги розбалансу на стрілковому індикаторі зміниться на протилежний.

Відпустивши кнопку "ВИБОР" та перевівши перемикач " $tg\delta$ " в положення "Q, провести

врівноваження мостової схеми, добиваючись почергово ручками шкали "МНОЖИТЕЛЬ" та шкала "Q" мінімальних показів індикатора

балансу при поступовому збільшенні чутливості до значення, що забезпечує індикацію розбалансу на 1/2 значення основної похибки вимірювання. Результати вимірювання індуктивності та добротності записати в таблицю 2.3. Якщо відлік результату вимірювання на шкалі "МНОЖИТЕЛЬ" вийшов з двома або трьома нулями попереду, то необхідно, не змінюючи відліку по шкалі "Q", перевести перемикач діапазонів на одне або два положення вліво і повторити вимірювання на цьому діапазоні.

Вимірне значення індуктивності дорівнює відліку по шкалі "МНОЖИТЕЛЬ", помноженому на значення індуктивності, вказане в таблиці на передній панелі прилада Е7-11, у відповідності з положенням перемикача діапазонів вимірювань. При вимірюваннях на частоті 100Гц відлік вимірювання індуктивностей збільшується в 10 раз.

Якщо вимірне значення індуктивності менше 100мкГн, то необхідно внести поправку в результат вимірювання на початку індуктивності мостової схеми.

Вимірне значення добротності відраховується безпосередньо по відповідній шкалі "Q".

13. Провести вимірювання індуктивності та добротності інших котушок, результати вимірювань записати в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3

№ п/п	L_x		Q_x
	Числове значення	Одиниця вимірювання	
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			

де L_x - індуктивність досліджуваної котушки, значення якої виміряне з допомогою прилада Е7-11;

Q_x - добротність досліджуваної котушки.

14. Після виконання вимірювань від'єднати досліджувану катуку від кабеля, вимкнути живлення прилада.

15. По результатах вимірювань п.п. 9-12 розрахувати абсолютні та відносні відхилення опорів резисторів та ємностей конденсаторів від номінальних значень, результати розрахунків записати в таблиці 2.1. та 2.3.

Зміст звіту

1. Номер лабораторної роботи та тема роботи.
2. Мета роботи.
3. Прилади і обладнання.
4. Теоретичні відомості (не обов'язково).
5. Хід роботи (не обов'язково), результати вимірювань і розрахунків, схеми та графіки.
6. Усно дати відповіді на контрольні питання.
7. Висновки.

Контрольні питання

1. Які схеми називаються мостовими?
2. Що називають умовами балансу моста?
3. Які є різновидності мостових схем?
4. Для яких вимірювань можуть застосовуватись мостові схеми?
5. Які переваги мостових вимірювальних схем?
6. Які умови рівноваги моста змінного струму?
7. Які вимоги пред'являють до індикаторів рівноваги мостів змінного струму?
8. Поясніть принцип вимірювання ємностей конденсаторів за допомогою моста змінного струму.
9. Поясніть принцип вимірювання опорів резисторів за допомогою моста на постійному струмі.

10. Поясніть принцип вимірювання індуктивності котушок за допомогою моста змінного струму.

Література

1. Литвиненко Я.В. Конспект лекцій з курсу «Інформаційні вимірювальні системи» (частина 1) для студентів денної та заочної форм навчання, спеціальностей: 6.050101 “Інформаційні управляючі системи та технології” / Литвиненко Я.В., Лупенко С.А., Щербак Л.М. – Тернопіль: ТНТУ імені І. Пулюя, 2013. – 88 с.

2. Хромой Б.П., «Злектрорадиоизмерения», М., Радио и связь, 1985.

4. Атамалян З.Г, «Приборы й методи измерения электрических величин», М., Высшая школа 1989.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

Тема: Вимірювання параметрів елементів електричних кіл за допомогою куметра та цифрового вимірювача R, L, C параметрів.

Мета: Ознайомлення з методикою вимірювань параметрів елементів електричних кіл на високих частотах.

Прилади та обладнання:

1. Вимірювач добротності (куметр) типу Е4-11 (або аналогічний).
2. Цифровий вимірювач L, C, R типу Е7-12 (або аналогічний).
3. Набір резисторів, конденсаторів, котушок індуктивності.

Теоретичні відомості

Основними параметрами елементів і електричних кіл є опори резисторів, ємність конденсаторів, тангенс кута діелектричних втрат конденсаторів, індуктивності і добротність котушки, взаємоіндуктивність двох котушок, опір коливального контура (кола) і т.ін.

Контроль і вимірювання електричних параметрів необхідні при відборі окремих елементів при створенні і випробуванні різних радіоелектронних пристроїв.

Вимірювання параметрів елементів кіл може бути прямим і непрямим. Прямі вимірювання виконуються методами безпосереднього відліку, непрямі - вольтметром і амперметром, методами нульовим і заміщення.

При вимірюванні параметрів елементів електричних кіл з зосередженими постійними параметрами застосовують мостові і резонансні методи, а також методи, в яких використовуються перетворення параметра, що вимірюється, в напругу, струм або часовий інтервал.

При мостовому методі досліджуваний елемент під'єднують до одного із плечей збалансованого чотириплечового або більш складного моста, що приводить до порушення балансу. Після цього з допомогою зразкових елементів (змінних конденсаторів, резисторів) баланс відновлюють. По зміні

параметрів зразкових елементів можна визначити параметри досліджуваного конденсатора, резистора, котушки індуктивності і т.ін. Мостовий метод можна застосовувати в широкому діапазоні частот - до 100-200 МГц, але він знайшов найбільшого поширення в діапазоні низьких частот на постійному струмі.

Резонансний метод полягає у застосуванні відомих залежностей між параметрами коливального контуру R , L , C і його резонансною частотою і добротністю. Цей метод може застосовуватися в діапазоні частот від кількох кГц до сотень МГц.

Основою роботи куметра (вимірювач добротності) Е4-11 є резонанс напруг в послідовному коливальному контурі.

Вимірювач добротності, спрощена схема якого зображена на мал 2.1, складається із генератора високої частоти (ГВЧ), вимірювального контура і індикатора резонансу (електронного вольтметра "Q").

Генератор дозволяє встановлювати необхідне значення частоти по шкалі.

Вимірювальний контур складається із досліджуваної або допоміжної (зразкової) котушки і зразкового конденсатора C з відградуваною шкалою. При резонансі в послідовному колі:

$$wL = 1/wC \quad (3.1)$$

Добротність котушки Q практично дорівнює добротності контуру, так як втрати в зразковому конденсаторі дуже малі і ними можна знехтувати:

$$Q = \frac{w_0 L_x}{r_k} = \frac{1}{w_0 C_0 r_k} = \frac{U_{вих}}{U_{ex}} \quad (3.2)$$

де r_k - еквівалентний опір втрат контура при резонансі,

$U_{вих}$ - напруга на конденсаторі C_0 в момент резонансу,

U_{ex} - напруга, що підводиться до резонансного контуру

Якщо значення напруги $U_{\text{вх}}$ підтримувати постійним, то $U_{\text{вих}}$ буде пропорційною добротності Q , тому шкалу вихідного вольтметра можна проградувати в одиницях вимірювання добротності.

Вхідна напруга подається у вимірювальний контур від ГВЧ через ємнісний дільник C_1, C_2 підтримується сталою і контролюється з допомогою вхідного електронного вольтметра "Рівень" (в приладі Е4-11, використовується один вольтметр, який переключається для вимірювання $U_{\text{вих}}$ при калібруванні прилада, а при вимірюваннях добротності і інших параметрів вольтметр підключений до C_0).

Крім добротності з допомогою куметра можна вимірювати ряд інших параметрів двополюсників наприклад, індуктивність котушки, власну ємність котушки, індуктивності, ємність конденсатора, опір втрат, повний опір двополюсника.

При вимірюванні ємності конденсатора C_x до зажимів 1-1' під'єднують допоміжну котушку і налаштовують контур в резонанс із зразковим конденсатором, ємність якого C_{01} . Потім до зажимів 2-2' під'єднують досліджуваний конденсатор і знову настроюють контур в резонанс зменшенням ємності зразкового конденсатора, ємність якого відраховують як C_{02} . Тоді ємність досліджуваного конденсатора $C_x = C_{01} - C_{02}$.

В окремих приладах для вимірювання параметрів R, L, C застосовують метод перетворення вимірюваного параметра в напругу. Якщо виміряти амплітуду напруги U на опорі Z_x амплітуду струму через нього, а також різницю фаз між струмом і напругою, то повний опір можна розрахувати по формулі

$$Z_x = R_x + jX = \frac{U}{I} (\cos \varphi + j \sin \varphi). \quad (3.3)$$

Як правило, різницю фаз не визначають тому виміряне значення : $Z_x = \frac{U}{I}$

Такий спосіб може бути застосований при вимірюванні активних опорів, а також індуктивностей і ємностей з малими втратами, дійсно якщо $R_x \ll X$, то

$$Z_x \approx X; C_x = \frac{1}{\omega x}; L_x = \frac{X}{\omega}; \quad (3.4)$$

Втрати в активних елементах, а також шунтуюча дія вольтметра викликають методичні похибки. Крім того, похибки обумовлені неточністю вимірювання напруги і струму.

Процес вимірювання індуктивності, ємності можна спростити, якщо встановити струм певного значення, а вимірювати тільки напругу. Вимірюване значення відраховують по шкалі вольтметра.

Подібний метод вимірювання застосований в цифровому вимірювачі R, L, C типу E7-12, структурна схема якого зображена на мал 2.2. Напруга з частотою 1МГц подається з генератора на перетворювач $g_x \rightarrow \frac{U_c}{U_n}$.

Перетворювач формує дві синусоїдальні напруги U_c та U_n . Напруга U_c пропорційна значенню струму через вимірюваний елемент, а напруга U_n - значенню напруги на ньому. Напруги U_c U_n — нормовані, тобто залежать не від значення провідності вимірюваного елемента, а від відношення $\frac{g_x}{g_k}$ де g_k - номінальне (кінцеве) значення провідності, що вимірюється на ввімкненому діапазоні вимірювання.

В залежності від еквівалентної схеми (паралельної або послідовної), в якій відбувається вимірювання параметрів елемента, одна з вихідних напруг U_c , U_n перетворювача є вимірюваною (U_x), а друга опорною (U_0). При вимірюванні параметрів елемента по паралельній еквівалентній схемі у вигляді складових адмітансу (повної провідності) як вимірювана напруга U_x

вибирається U_c , а при вимірюванні по послідовній еквівалентній схемі у вигляді складових імпедансу (повного опору) - U_H .

Цифровий двотактний логометр виділяє синхронним детектором з напруги U_x ту складову що вимірюється, і виміряє відношення значення до напруги U_o .

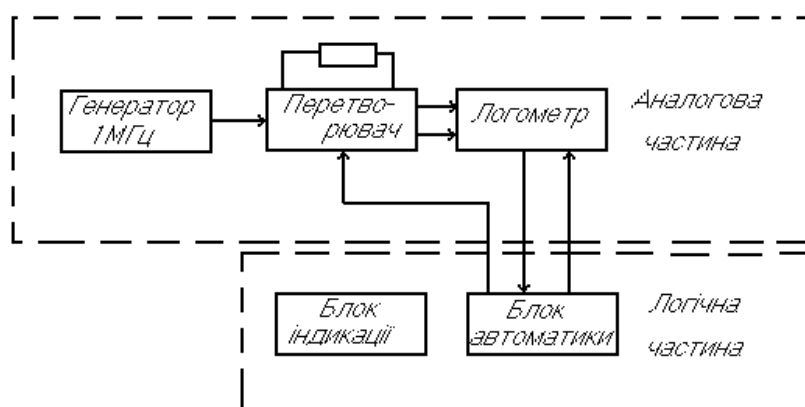


Рис 3.1 Спрощена структурна схема прилада Е7-12

Блок автоматички прилада забезпечує взаємодію всіх вузлів, автоматичний вибір діапазону вимірювання і знака вимірюваної величини.

Результат вимірювання висвічується на цифровому табло (блок індикації).

Хід роботи

1. Ознайомитися з основними органами управління куметра.
2. Ввімкнути живлення куметра, прогріти його 30хв., перемикач “ $Q - Q$ ” поставити в положення “ Q ”
3. Встановити нуль куметра. Для цього необхідно:
 - 3.1. Перемикач "ПРЕДЕЛЫ Q " поставити в положення "НУЛЬ Q ".
 - 3.2. Ручкою встановлення нуля "НУЛЬ" стрілку прилада встановити на риску "0" по шкалі " Q ".

4. Провести калібрування куметра. Для цього необхідно:

4.1. Перемикач "ПРЕДЕЛЫ Q " поставити в положення "КАЛИБР Q_y ".

4.2. Перемикач піддіапазонів генератора поставити на потрібний піддіапазон

4.3. Ручкою "ЧАСТ. МГц" виставити необхідну частоту по шкалі генератора

4.4. Ручкою "КАЛИБР Q_y " стрілку прилада поставити точно на риску під знаком "v".

4.5. Перемикач "ПРЕДЕЛЫ Q " поставити в одне із положень, наприклад, 300, після чого куметр готовий до вимірювань.

5. Провести вимірювання добротності котушок методом безпосереднього відліку. Для цього необхідно:

5.1. Під'єднати котушку до клем L_x .

5.2. Поставити перемикач "ПРЕДЕЛЫ Q " в положення, що відповідне можливому значенню добротності (наприклад, 300 або 1000).

5.3. Настроїти контур в резонанс. Грубе настроювання в резонанс здійснюється натискуванням кнопки ввімкнення електричного приводу вимірювального конденсатора, після чого точні настроювання здійснюється ручкою "ЕМКОСТЬ pF" по максимальному відхиленню стрілки вимірювального прилада.

5.4. Відрахувати добротність Q по шкалі прилада, результати вимірювань записати в таблицю 2 1 вимірювання провести на різних частотах для трьох котушок.

Таблиця 3.1.

F_1 [МГц]	35	40	45	50
Q_1				
F_2 [МГц]	80	100	120	140
Q_2				

F_3 [МГц]	150	200	250	280
Q_3				

Де Q_1, Q_2, Q_3 - добротність трьох котушок, виміряні на різних частотах.

6. Провести вимірювання власної ємності котушок індуктивності аналітичним методом. Для цього необхідно:

6.1. Під'єднати котушку до клем L_x , перевірити встановлення нуля і провести калібрування приладе.

6.2. Поставити перемикач "ПРЕДЕЛЫ Q" в положення, що відповідає можливому значенню добротності.

6.3. Встановити ручкою "ЕМКОСТЬ pF" ємність вимірювального конденсатора близько до максимального значення.

6.4. Настроїти ручкою "ЧАСТ.МHz" контур в резонанс, визначивши необхідний піддіапазон перемикачем піддіапазона генератора.

6.5. Провести відлік значення ємності вимірювального конденсатора C_{01} і частоти генератора f_1 .

6.6. Встановити ручкою "ЧАСТ.МHz" на шкалі генератора частоту $f_2 = 2f_1$.

6.7. Провести калібрування прилада.

6.8. Настроїти контур в резонанс ручкою "ЕМКОСТЬ pF".

6.9. Провести відлік резонансної ємності C_{02} по шкалі вимірювального конденсатора.

Власна ємність котушки індуктивності C_L визначається по формулі:

$$C_L = \frac{C_{01} - 4C_{02}}{3} \quad (3.5)$$

Результати вимірювань і розрахунків записати в таблицю 2.2.

Таблиця 3.2

№ п/п	1	2	3
C_{01} [пФ]			
F_1 [МГц]			

$C_{02}[нФ]$			
$F_2[МФ]$			
$C_L[нФ]$			

7 Провеста вимірювання ємності конденсатора. Для цього необхідно:

7.1 Вибрити з комплекту котушку індуктивності, під'єднати її до кола L_x .

7.2. Встановити частоту, на якій буде проводитись вимірювання (наприклад, 50мГц).

7.3. Настроїти контур в резонанс з допомогою ручки "ЕМКОСТЬ pF" і зробити відлік ємності C_{01} по шкалі вимірювального конденсатора.

7.4. Під'єднати послідовний конденсатор до клем C_x .

7.5. Настроїти контур в резонанс з допомогою вимірювального конденсатора і відрахувати по шкалі цього конденсатора ємність C_{02} . Ємність конденсатора визначається по формулі: $C_x = C_{01} - C_{02}$. Результати вимірювань записати в таблицю 2.3. Якщо ємність досліджуваного конденсатора більша максимальної ємності вимірювального, то досліджуваний конденсатор вмикають послідовно з котушкою, а ємність визначають по рмулі:

$$C_x = \frac{C_{01} \cdot C_{02}}{C_{01} - C_{02}} \quad (3.5)$$

Таблиця 3.3

№ п/п	1	2	3	4	5	6
$C_H[нФ]$						
$C_{01}[нФ]$						
$C_{02}[нФ]$						
$C_x[нФ]$						
$\Delta C[нФ]$						
$\delta C[нФ]$						

Де C_H - номінальна ємність конденсатора, вказана на його корпусі;

$\Delta C, \delta C$ - відповідно абсолютна та відносна похибки відхилення ємності від номінального значення: $\Delta C = C_H - C_X$; $\delta C = \frac{\Delta C}{C_H}$.

8 Вимкнути живлення куметра.

9. Провести вимірювання опорів резисторів за допомогою прилада Е7-12, результати і розрахунки занести в таблицю 2.4.

10. Провести вимірювання ємності конденсаторів за допомогою приладу Е7-12, результати вимірювань занести до таблиці 2.5.

11. Провести вимірювання індуктивності котушок за допомогою прилада Е7-12, результати вимірювань занести в таблицю 2.6.

Таблиця 3.4

№ п/п	R_H		R_X		ΔR		$\delta R\%$
	Числове значення	Одиниця виміру	Числове значення	Одиниця виміру	Числове значення	Одиниця виміру	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Де $R_H, R_X, \Delta R, \delta R$ - номінальний, вимірний опори та абсолютна і відносна похибки.

Таблиця 3.5

№ п/п	1	2	3	4	5
Тип конденсатора					
C_H					
C_X					
$\text{tg } \delta$					
ΔC					
$\delta C, \%$					

Де $C_H, C_X, \Delta C, \delta C\%$ – див таб.т. 2.4.

$\text{tg } \delta$ - тангенс кута діелектричних втрат конденсатора.

Таблиця 3.6

№ п/п	1		2		3	
	Числове занчення	Одиниця виміру	Числове занчення	Одиниця виміру	Числове занчення	Одиниця виміру
L_x						

Де L_x - значення індуктивності, відраховане по шкалі приладу Е7-12. 12.

Після виконання вимірювань вимкнути живлення приладів.

Зміст звіту

1. Номер і назва роботи.
2. Мета роботи.
3. Прилади та обладнання.
4. Хід роботи, результати вимірювань та розрахунків.
5. Висновки, відповіді на контрольні питання 3 та 4.

Контрольні питання

1. Які існують різновидності цифрових вимірювачів R, L, C?
2. Який метод вимірювання R, L, C використовується в приладі Е7-12?

Які переваги методу?

3. Поясніть призначення куметра?
4. В чому полягає принцип резонансного методу при вимірюванні параметрів електричних кіл?
5. На яких частотах застосовують резонансний метод вимірювання?
6. Що називають добротністю коливального контура?
7. В чому полягає принцип роботи куметра при вимірюванні добротності котушки індуктивності?
8. Поясніть послідовність вимірювання ємності конденсатора за допомогою куметра?
9. Поясніть призначення генератора в схемі куметра.

Література

1. Хромой Б.П., «Электрорадиоизмерения», М., Радио и связь, 1985.
2. Атамальян З.Г., «Приборы и методы измерения электрических величин», М., Высшая школа 1989.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

Назва роботи: Вимірювання параметрів транзисторів і напівпровідникових діодів.

Мета роботи: Ознайомлення з методикою вимірювання параметрів напівпровідникових приладів з допомогою вимірювачів параметрів малопотужних транзисторів та діодів.

Прилади та обладнання:

1. Випробувач малопотужних транзисторів і діодів типу Л2-54.
2. Набори транзисторів та діодів.

Теоретичні відомості

Основними параметрами випрямляючих діодів і стабілітронів малої потужності є такі: постійна пряма напруга діода $U_{пр}$, при заданому постійному прямому струмі; постійний зворотній струм $I_{зв}$ при заданій зворотній напрузі; постійний прямий струм $I_{пр}$; напруга стабілізації $U_{ст}$ (для стабілітронів) при протіканні заданого струму стабілізації; ємність діода; диференційний опір а також максимально допустимі параметри. Статичні параметри діода повністю характеризують його вольт-амперну характеристику, що достатньо для перевірки працездатності елемента і розрахунку схем.

Схеми з'єднання приладів для вимірювання параметрів прямої і зворотної віток вольт-амперної характеристики діодів показані на рис.4.1.(б, в). При визначенні параметрів прямої вітки від джерела постійного струму (рис. 4.1,б) з внутрішнім опором R_s задається певна величина струму, яка не залежить від зміни падіння напруги на даному діоді.

Диференційний опір діода в різних точках його вольт-амперної характеристики різний рис.4.1.(а).

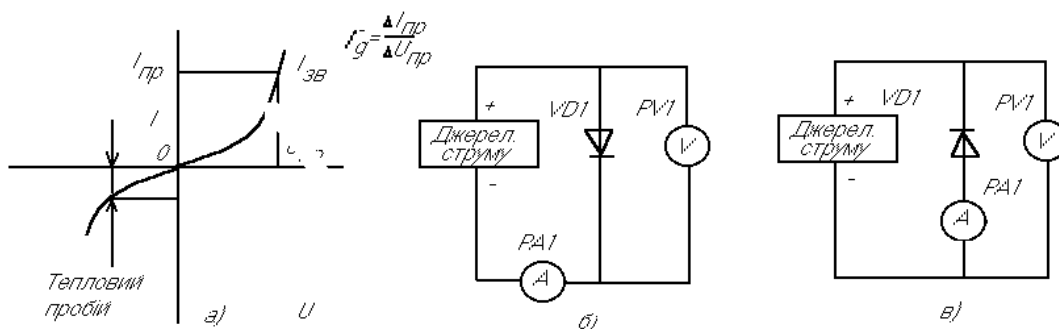


Рис.4.1 Вимірювання параметрів вольт-амперної характеристики діода

При вимірюванні параметрів зворотної характеристики діодів рис.4.1.(в) необхідно, щоб джерело живлення мало малий внутрішній опір (джерело напруги), оскільки значення зворотнього струму невелике і незначна його зміна приводить до великої зміни напруги (на великому $R_{зв}$ діода).

В області пробою опір діода знову різко зменшується і необхідно регулювати струм. Цю область характеристики необхідно досліджувати обережно, щоб не вивести з ладу діод.

Основними експлуатаційними характеристиками транзисторів є параметри малого сигналу, які вимірюють в лінійних режимах і використовують при розрахунках схем підсилювачів на транзисторах. Це параметри транзистора, представленого еквівалентним чотиріполюсником. Найчастіше застосовується система h -параметрів, яка добре реалізується у вимірювальній схемі, створюючи режим короткого замикання (КЗ) або холостого ходу (ХХ) на виході або вході транзистора.

$$U_1 = h_{11} + h_{12}U_2 ; \quad (4.1)$$

$$I_2 = h_{21}i_1 + h_{22}U_2 \quad (4.2)$$

де U_1, i_1 – напруга і струм на вході транзистора;

$$h_{11} = U_1 / i_1 ; \quad h_{21} = i_2 / i_1 \quad \text{при КЗ на виході};$$

$$h_{12} = U_1 / U_2 ; \quad h_{22} = i_2 / U_2 \quad \text{при ХХ на вході};$$

Встановивши задані i_1 та U_2 і вимірюючи i_2 та U_1 , можна визначити всі h -параметри.

Всі h -параметри мають певний фізичний зміст:

$h_{11} = U_1 / i_1$ - вхідний опір транзистора при короткозамкнутому виході

($U_2 = 0$), $h_{12} = U_1 / U_2$ - коефіцієнт зворотнього зв'язку по напрузі при

розімкнутому по змінному струму вході ($i_1 = 0$); $h_{21} = i_2 / i_1$ коефіцієнт

передачі струму при короткозамкнутому виході ($U_2 = 0$), $h_{22} = i_2 / U_2$ - вихідна

провідність при розімкнутому по змінному струму вході ($i_1 = 0$).

h -параметри вимірюють при ввімкненні транзисторів із спільною базою (СБ)

або спільним емітером (СЕ). Параметр $h_{21Б}$ або $h_{2Е}$ є одним із найбільш

важливих. Його можна вимірювати на постійному і імпульсному струмі

(рис.4.2.)

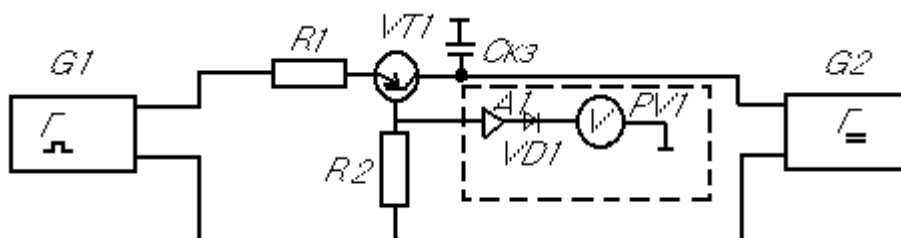


Рис.4.2 Схема вимірювання h_{21}

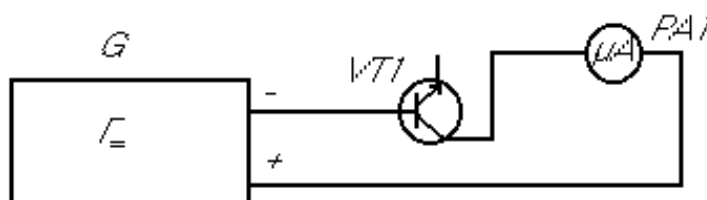


Рис.4.3 Схема вимірювання зворотнього струму колектора

По визначенню $h_{21E} = \frac{I_K - I_{KBO}}{I_B - I_{KBO}}$, але поскільки завжди $I_{KBO} \ll I_K$, то практично $h_{21E} = \frac{I_K}{I_B - I_{KBO}}$. Якщо струм бази $I_B \gg I_{KBO}$, то можна вважати $h_{21E} \approx \frac{I_K}{I_B}$.

В схемі (рис.4.2.) від генератора імпульсного струму G_1 задається струм емітера $I_E = I_K + I_B$, а імпульсним вольтметром PV1 вимірюється падіння напруги, що створюється базовим струмом на резисторі R_{BI} . пропорційне струму $I_B = \frac{I_E}{h_{21E} + 1}$, причому $I_E = const$ Шкала приладу обернено пропорційна значенню величини h_{21E} , що є недоліком методу. Перевагою є відсутність впливу зворотніх струмів, і не вимагається зміна режиму при заміні транзистора.

Для найбільш часто вживаних параметрів застосовують часто додаткові позначення наприклад: $h_{21B} = \alpha$; $h_{21E} = \beta$. Залежність між α та β визначається виразом: $\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$. Зворотній струм колектора I_{KBO} малопотужних транзисторів при нормальних умовах не перевищує 10-20 мкА. Схема вимірювань зображена на рис.4.3. I_{KBO} - це струм через перехід колектор-база при заданому значенні зворотної напруги і розімкнутому виводі емітера.

Зворотній струм емітера $I_{ЕБО}$ і зворотній струм колектор-емітер $I_{КЕО}$ при заданому опорі в колі бази вимірюється аналогічним способом.

Хід роботи

1. Ознайомитися з технічним описом інструкції по експлуатації приладу Л2-54.
2. Підготувати прилади до роботи, ввімкнути електроживлення приладів.

3. Провести вимірювання параметрів малопотужних транзисторів з допомогою прилада Л2-54 результати вимірювань записати в таблицю 4.1., і порівняти з даними, які приведені в довіднику.

Таблиця 4.1

Параметри		Тип транзистора				
Типовий режим	U_c [В]					
	I_c [Ма]					
h_{22} [мкСм]	1.					
	2.					
h_{21E}	1.					
	2.					
h_{21B}	1.					
	2.					
I_{CBO} [мкА]	1.					
	2.					

де в графу "1" записують результати вимірювань, а в графу "2" - дані з довідника.

U_c , I_c – відповідно напруга і струм колектора в типовому режимі вимірювань транзистора.

4 Провести вимірювання параметрів малопотужних діодів різних типів. Необхідно виміряти наступні параметри: зворотній струм діода I_R , пряму напругу діода U_F . Результати вимірювань записати в таблицю 4.2. і порівняти з даними, приведеними в довіднику.

Таблиця 4.2

Параметри		Тип діода				
I_R [мкА]	1.					
	2.					
U_F [В]	1.					
	2.					

5. Провести вимірювання напруги стабілізації U_Z малопотужних стабілітронів. Результати вимірювань записати в таблицю 4.3. та порівняти з даними, приведеними в довіднику.

Таблиця 4.3

Параметри		Тип стабілітрона				
U_z [В]	1.					
	2.					

6. Після виконання роботи вимкнути живлення приладів.

Зміст звіту

1. Номер і назва роботи.
2. Мета роботи
3. Прилади та обладнання.
4. Хід роботи, результати вимірювань, параметри елементів з довідкової літератури.
5. Висновки, відповіді на контрольні питання 2 та 4.

Контрольні питання

1. Дайте визначення параметрів транзистора $h_{11}, h_{21E}, h_{21B}, h_{22}$.
- 2 Поясніть принцип вимірювання параметра h_{21E} транзистора.
- 3 Поясніть принцип вимірювання зворотнього струму колектора транзистора.
- 4 Поясніть послідовність вимірювання h_{21E} та h_{21B} з допомогою прилада Л2-54.
- 5 Поясніть послідовність вимірювання h_{22} з допомогою прилада Л2-54.
- 6 Дайте визначення параметрів I_R, U_F напівпровідникових діодів.
7. Поясніть послідовність вимірювання I_R, U_F з допомогою прилада Л2-54.
8. Що називають напругою стабілізації U_Z напівпровідникового стабілітрона?
9. Поясніть послідовність вимірювання напруги стабілізації U_Z стабілітрона з допомогою прилада Л2-54.

Література

1. Хромой Б.П., Моисеев Ю.Г. «Электрорадиоизмерения», М., Радио и связь 1985, § 12.2-12.3, ст. 257.
2. Атамалян З.Г. «Приборы и методы измерения электрических величин». МІ Высшая школа, 1989, §14.2-14.3, ст.305-310.
3. Л2-54 Испытатель маломощных транзисторов и диодов. Техническое описание й инструкция по эксплуатации, 2.746.024 ТО, 1988.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Поліщук Ю.К. Метрологія та метрологічне забезпечення виробництва / Ю.К. Поліщук. – К.: КМУЦА, 1995. – 96 с.
2. Поліщук Є.С. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник; за ред. проф. Поліщука Є.С. / Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук та ін. – Львів: Бескид Біт, 2003. – 544 с.
3. Грановский В.А. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях / В.А. Грановский, Т.Н. Сираян. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 228 с.
4. Рего К.Г. Метрологическая обработка результатов технических измерений: справ. пособие / К.Г. Рего. – К.: Техника, 1987. – 128 с.
5. Атамалян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин: учеб. пособие / Э.Г. Атамалян. – М.: Высшая школа, 1982. – 223 с.
6. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые) / П.П. Орнатский. – Киев: Выща школа, 1980. – 558 с.
7. Головка Д.Б. Основи метрології та вимірювань / Д.Б. Головка, К.Г. Рего, Ю.О. Скрипник. – К.:Либідь, 2001. – 408 с.
8. Коваленко І.О. Метрологія та вимірювальна техніка: навч. посібник / І.О. Коваленко, А.М. Коваль. – Житомир: ЖІТІ, 2001.– 652 с.

Додаток А
Зразок оформлення титульної сторінки звіту

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Кафедра
комп'ютерних наук

ЗВІТ
з лабораторної роботи №1
на тему «Вимірювання фізичних величин: струму, напруги та опору за
допомогою тестера»
з дисципліни «Інформаційні вимірювальні системи»

Виконав
студент групи СН-31
Іванов П.С.

Перевірив
к.т.н., доц. Литвиненко Я.В

Тернопіль – 2016






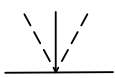

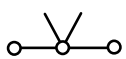

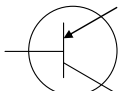
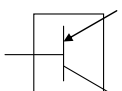
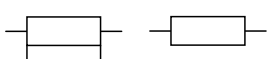
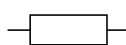

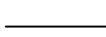

ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1

Умовні позначення які зустрічаються на засобах вимірювання

Умовне позначення	Пояснення
1	2
Класи точності	
1,5	вказує значення основної похибки відносно кінцевого значення діапазону вимірів, %.
	вказує значення основної похибки відносно довжини шкали, %.
	вказує значення основної похибки відносно дійсного значення вимірюваної величини, %.
Позначення типу вимірювального механізму	
	магнітноелектричний з рухомою рамкою
	магнітноелектричний логометр
	магнітноелектричний з рухомим магнітом
	магнітноелектричний логометр
	електромагнітний
	електромагнітний логометр
	електродинамічний
	електродинамічний логометр
	феродинамічний
	феродинамічний логометр

Продовження табл. Б.1

1	2
	Індукційний
	індукційний логометр
	електростатичний
	тепловий механізм
	біметалічний
	вібраційний
Інші умовні позначення	
	випрямлячі
	термоперетворювач з безпосереднім нагрівом гарячого спая (без ізоляції)
	термоперетворювач з побічним нагрівом гарячого спая (в ізоляції)
	наявність електронних елементів і/або схем у вимірювальному ланцюгу
	наявність електронних елементів і/або схем в допоміжному струмовому ланцюгу
	наявність шунта та додаткового резистивного опору
	послідовний повний опір
	послідовна індуктивність
	постійний струм
	змінний струм

Продовження табл. Б.1

1	2
	постійний та змінний струм
	трифазний струм
	трифазний змінний струм із несиметричним навантаженням
	трифазний прилад з одним вимірювальним механізмом
	трифазний прилад з двома вимірювальними механізмами
	вимірювальний механізм з магнітним екраном
	вимірювальний механізм з електростатичним екраном
АСТ	астатичний вимірювальний механізм
	вертикальне робоче положення приладу
	горизонтальне робоче положення приладу
	похиле робоче положення
	увага! Дотримуватись інструкції
	випробна напруга (без цифри 500В. Цифра вказує напругу в кВ)
	вимірювальний прилад, що не проходить випробування високою напругою
	прилад не відповідає нормам міцності ізоляції
	захисна ізоляція
N	необхідність орієнтації приладу відносно зовнішнього магнітного поля
	коректор нуля