

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторної роботи
«Вимірювання параметрів лінійних компонентів кіл з
зосередженими постійними»
з дисципліни

«Метрологія, стандартизація та сертифікація»
для студентів спеціальності G5 «Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка» (освітні програми «Радіоелектронні апарати та засоби», «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки», «Інженерія та програмування в радіоелектроніці», «Інформаційні мережі зв'язку») та G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» (освітня програма «Автоматизація, мехатроніка та робототехніка») усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Вимірювання параметрів лінійних компонентів кіл з зосередженими постійними» з дисципліни «Метрологія, стандартизація та сертифікація» для студентів спеціальностей G5 «Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка» та G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» всіх форм навчання. / уклад.: О.Ю. Малий, О.О. Піроженко, В.Ф. Онищенко. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2026. – 22 с.

Укладачі: Олександр МАЛИЙ, к.т.н., доцент, зав. каф. ІТЕЗ;
Олександр ПИРОЖЕНКО, ст. викладач каф. ІТЕЗ;
Вадим ОНИЩЕНКО, к.ф.-м.н., доцент каф. ІТЕЗ.

Рецензент: Наталія ФУРМАНОВА, к.т.н., доцент, декан факультету ІБЕК

Відповідальний за випуск: Олександр МАЛИЙ, к.т.н., доцент, зав. каф. ІТЕЗ

Затверджено
на засіданні кафедри ІТЕЗ
протокол № 9 від 27.03.26 р.

Рекомендовано до видання
НМК ФІБЕК
протокол № 7 від 9.04.26 р.

ЗМІСТ

1 Підготовка до роботи	4
2 Порядок виконання роботи.....	5
3 Зміст звіту.....	6
4 Контрольні питання.....	7
5 Короткі теоретичні відомості	8
5.1 Параметри лінійних компонентів ланцюгів із зосередженими постійними	8
5.2 Номенклатура приладів для вимірювання параметрів компонентів.....	13
5.3 Способи прямих вимірювань параметрів двополюсників	13
5.4 Способи підключення двополюсників до вимірювальної схеми	20
Перелік джерел посилань.....	22

ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЛІНІЙНИХ КОМПОНЕНТІВ КІЛ ІЗ ЗОСЕРЕДЖЕНИМИ ПОСТІЙНИМИ

Мета роботи – ознайомитися з головними параметрами електричних кіл і способами їх вимірювань, набути практичних навичок роботи з приладами.

1 ПІДГОТОВКА ДО РОБОТИ

Користуючись даними методичними вказівками (розділ 5) і рекомендованою літературою, вивчити головні параметри лінійних компонентів кіл із зосередженими постійними; ознайомитися з номенклатурою приладів для вимірювання таких параметрів; ознайомитися зі способами вимірювань параметрів; відповісти на контрольні запитання.

Підготувати протокол, що містить таблиця 2.1.

2 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. За технічними описами приладів, що використовуються в роботі, ознайомитися: з їхніми технічними та метрологічними характеристиками; порядком підготовки приладів до роботи; порядком виконання вимірювань.

2. Виміряти кожним із приладів параметри компонентів, виданих викладачем.

3. За метрологічними характеристиками приладів оцінити абсолютні та відносні похибки вимірювань параметрів.

4. Внести результати вимірювань у протокол і надати його викладачеві.

Таблиця 2.1 - Результати вимірювань

Компонент	Вимірний параметр	Прилад, що використовується (тип)	Значення параметра	Вимірювання (пряме чи непряме)	Похибка вимірів		Умови викон. вимір. (частота)
					Абсолютна Δ	Відносна δ (%)	
Котушка	L	E7-					
	Q						
	R						
	L	E7-					
	Q						
	R						
Конденсатор	C	E7-					
	$tg\delta$						
	R						
	C	E7-					
	$tg\delta$						
	R						
Резистор	R	E7-					
	L						
	$tg\varphi$						
	R	E7-					
	L						
	$tg\varphi$						

З ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Мета роботи.
2. Спрощені схеми приладів, які у роботі.
3. Розрахунок похибок кожного результату вимірів.
4. Результати вимірів як таблиці 2.1.
5. Висновки, що містять порівняльну оцінку різних способів прямих вимірів (сфера застосування, точність вимірів, продуктивність вимірів).

4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Які ланцюги відносять до лінійних ланцюгів?
2. Які ланцюги відносять до ланцюгів із зосередженими параметрами?
3. Перерахуйте, через які параметри виражають властивості лінійних компонентів ланцюгів із зосередженими параметрами.
4. Перелічіть основні параметри резистора, конденсатора та котушки індуктивності.
5. Через які параметри виражають відмінність властивостей котушки, конденсатора, резистора від ідеальної індуктивності, ємності, опору (відповідно)?
6. Наведіть умовні позначення приладів, які використовуються для вимірювання параметрів лінійних компонентів ланцюгів із зосередженими параметрами.
7. Перерахуйте сфери використання приладів групи Е-.
8. Перерахуйте способи прямих вимірювань параметрів компонентів.
9. Охарактеризуйте контурний спосіб вимірювань (викладіть сутність способу, сферу його застосування, переваги та недоліки).
10. Що розуміють під балансом мосту? Запишіть повне рівняння балансу мосту.
11. Чому в мостах змінного струму регульованими роблять два плечі моста?
12. Поясніть, як здійснюється балансування моста під час вимірювань L та C ?
13. Викладіть методику вимірювання індуктивності приладом генераторного типу.
14. Перелічіть метрологічні характеристики вимірювачів параметрів лінійних компонентів ланцюгів із зосередженими параметрами.

5 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

5.1 Параметри лінійних компонентів ланцюгів із зосередженими постійними

Лінійні електричні ланцюги характеризуються тим, що в них зв'язок між вхідним сигналом $u(t)$ та вихідною реакцією $i(t)$ описується лінійною залежністю $i(t) = a \cdot u(t)$. Для лінійного ланцюга справедливий закон суперпозиції, який полягає в тому, що реакція ланцюга на суму одночасних впливів $u_1(t)$, $u_2(t)$ і т.д. від кількох джерел дорівнює сумі реакцій кожне з впливів окремо, тобто:

$$a \cdot [u_1(t) + u_2(t) + \epsilon \dots] = a \cdot u_1(t) + a \cdot u_2(t) + \dots \quad (5.1)$$

З принципу суперпозиції випливає важливий наслідок: гармонійний сигнал, проходячи через лінійний ланцюг, залишається незмінним формою, набуваючи лише інші значення амплітуди і фази. До таких ланцюгів відносять ланцюги, складені з резисторів, конденсаторів, ліній передач та ін.

Нелінійні ланцюги характеризуються тим, що в них зв'язок між вхідним сигналом $u(t)$ і вихідною реакцією $i(t)$ описується нелінійною залежністю $i(t) = f\{u(t)\}$, що призводить до порушення принципу суперпозиції, а вихідна реакція при гармонійний вхідний вплив має форму, що відрізняється від гармонійної. Нелінійні ланцюги містять такі елементи, як діоди, транзистори, магнітні сердечники та ін.

Електромагнітна енергія, що циркулює в електричних ланцюгах, поширюється по них з кінцевою швидкістю. Це надає процесам, що відбуваються в ланцюгах, хвильовий характер, при якому розподіл струмів і напруг є функцією не тільки часу, а й просторових координат. Однак для ланцюгів, геометричні розміри яких значно менше довжини хвилі коливаль, що поширюються по ним (зазвичай до частот 100 - 300 МГц), завжди можна виділити області з переважною локалізацією або енергії електричного поля (конденсатори), або енергії магнітного поля (індуктивні елементи), або області з перетворенням електричної енергії на теплову (резистори), а вплив з'єднувальних провідників можна знехтувати.

Такі ланцюги називають ланцюгами із зосередженими параметрами (зосередженими постійними).

У низці випадків, проте, залежністю напруг і струмів від просторових координат знехтувати без істотного спотворення процесів, які у ланцюгах, не можна. Такі ланцюги відносять до класу ланцюгів із розподіленими параметрами (постійними).

Дослідження властивостей лінійних двополюсників (до яких можна віднести пасивні компоненти електронної апаратури) найчастіше проводиться при дії на них синусоїдального сигналу, а як узагальнені параметри, що повністю характеризують властивості двополюсника, використовується комплексний опір або комплексна провідність [1].

На рисунку 5.1 показані умовне зображення двополюсника (а), а також послідовна (б) та паралельна (в) схеми його заміщення з відповідними діаграмами напруги та струмів.

У послідовній схемі заміщення (рис. 5.1 б) напруга U розкладається щодо струму на синфазну U_r і квадратурну, тобто зсунуту на 90 градусів, U_x складники:

$$U = U_r + jU_x, \quad (5.2)$$

де j - множник, що показує, що кут зсуву фаз між напругою U_r (і струмом I) та напругою U_x становить 90 градусів.

Комплексний опір ланцюга за такої схеми заміщення можна визначити як:

$$Z = \frac{U_r}{I} + j \frac{U_x}{I} = R_{\text{посл}} + jX_{\text{посл}}, \quad (5.3)$$

де $R_{\text{посл}}$ - активний опір, що характеризує здатність ланцюга до незворотних втрат енергії за рахунок її теплового розсіювання;

$X_{\text{посл}}$ - реактивний опір, що характеризує здатність накопичувати енергію без втрат.

При індуктивному характері опору $X_{\text{посл}}$ енергія накопичується шляхом створення магнітного поля, причому $X_{\text{посл}} = \omega L > 0$, а при ємнісному характері $X_{\text{посл}}$ енергія накопичується шляхом створення електричного поля, при цьому $X_{\text{посл}} = 1/\omega C < 0$, де $\omega = 2\pi f$ - кругова частота.

Комплексна провідність Y є величиною, зворотною до комплексного опору:

$$Y = \frac{1}{Z} = \frac{I}{U} = G_{\text{пар}} + jB_{\text{пар}}, \quad (5.4)$$

де $G_{\text{пар}}$ - активна, а $B_{\text{пар}}$ - реактивна провідність ланцюга. Якщо характер реактивної провідності ємнісної, то

$B_{\text{пар}} = \omega C_{\text{пар}} > 0$, а якщо індуктивний, то $B_{\text{пар}} = -1/\omega L_{\text{пар}} < 0$.

Слід зазначити, що паралельна та послідовна схеми заміщення ланцюгів еквівалентні між собою, а параметри однієї схеми заміщення можна визначити, знаючи параметри іншої схеми.

Найбільш поширеними лінійними двополюсниками є резистори, конденсатори, котушки індуктивності. Оскільки їх основними параметрами є опір, ємність, індуктивність, саме через ці параметри зручно уявити схеми заміщення, а не через активну і реактивну складові комплексного опору або провідності. Тому, наприклад, вираз для комплексного опору конденсатора та котушки індуктивності зручніше перетворити до вигляду:

$$Z = R_{\text{посл}} + jX_{\text{посл}} = X_{\text{посл}} \cdot \left(\frac{R_{\text{посл}}}{X_{\text{посл}}} + j \right). \quad (5.5)$$

Оскільки ідеальної ємності та індуктивності $Z = jX$, то значення R/X характеризує якість конденсатора чи котушки індуктивності. З рисунка 5.1б видно, що:

$$\frac{R_{\text{посл}}}{X_{\text{посл}}} = \frac{U_r}{U_x} = \tan \delta, \quad (5.6)$$

де δ показує на скільки кут зсуву фаз між струмом у двополюснику та напругою на ньому відрізняються від 90 градусів.

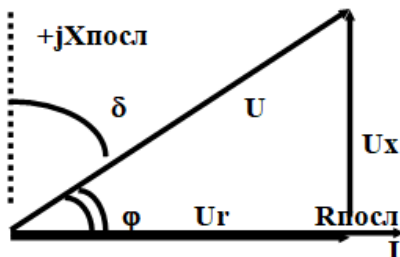
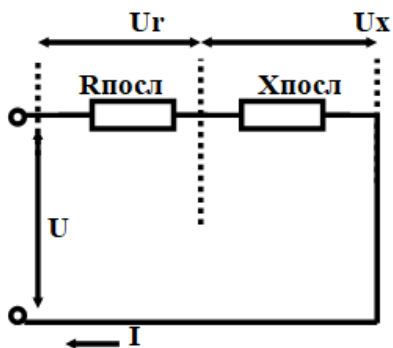
Цей параметр для конденсатора:

$$\tan \delta = -R_{\text{посл}} \cdot \omega C, \quad (5.7)$$

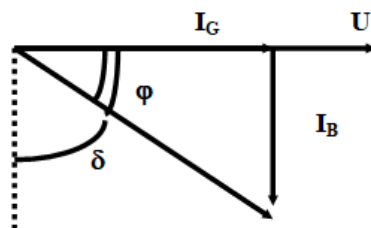
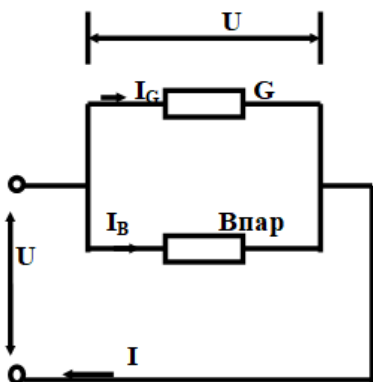
де $R_{\text{посл}}$ визначає втрати енергії у конденсаторі.



а)



б)



в)

Рисунок 5.1 – Двополюсник (а) та схеми його заміщення (б, в)

Для оцінки якості котушки, що характеризується індуктивністю, використовують параметр, що називається добротністю:

$$Q = \frac{1}{\tan \delta} = \frac{\omega L}{R_{\text{посл}}}. \quad (5.8)$$

Для оцінки реактивної складової резисторів використовують тангенс кута фазового зсуву між струмом та напругою $\text{tg } \varphi$:

$$Z = R_{\text{посл}} + jX_{\text{посл}} = R_{\text{посл}} \cdot \left(1 + \frac{jX_{\text{посл}}}{R_{\text{посл}}}\right) = R_{\text{посл}} \cdot (1 + j \tan \varphi)$$

або такий параметр, як постійна часу резистора:

$$\tau = \frac{\tan \varphi}{\omega}. \quad (5.9)$$

Таким чином, для характеристики властивостей двополюсних лінійних ланцюгів достатньо знати будь-яку пару параметрів, що визначають їх активну та реактивну складові повного опору та провідності: $C_{\text{пар}}$ та $G_{\text{пар}}$ – для паралельної схеми заміщення або $R_{\text{посл}}$ та $X_{\text{посл}}$ – для послідовної схеми заміщення. Зокрема:

- $C_{\text{пар}}$ та $\text{tg} \delta$ - для послідовної схеми заміщення конденсаторів;
- $L_{\text{посл}}$ та Q - для послідовної схеми заміщення котушок індуктивності.
- $R_{\text{посл}}$ та $\text{tg} \varphi$ - для послідовної схеми заміщення резисторів.

Одиниці вимірів фізичних величин:

- електрична ємність – Фарада (Ф або F) або кратні одиниці – μF , nF, pF;
- індуктивність – Генрі (Г чи H) чи кратні одиниці – mH, nH, μH ;
- опір - Ом (Ом або Ω) або кратні одиниці - k Ω , M Ω ;
- провідність – Сіменс (См або S) або кратні одиниці – mS, μS ;
- тангенс кута втрат та добротність – безрозмірні одиниці.

5.2 Номенклатура приладів для вимірювання параметрів компонентів

Засоби вимірювань параметрів лінійних компонентів ланцюгів із зосередженими постійними об'єднані в групу E- радіовимірювальних приладів і поділяються на: вимірювачі індуктивності (E3-), добротності (E4-), опору (E6-), ємності (E8-) та універсальні вимірювачі).

Основними вимірювальними завданнями, які вирішуються за допомогою приладів групи E, є:

- контроль та розбракування компонентів при їх виробництві;
- вхідний контроль на підприємствах, які використовують компоненти як покупні;
- при налаштуванні, регулюванні, а також при відшукуванні несправностей в апаратурі;
- вимірювання неелектричних величин (температура, тиск та ін.) за наявності відповідних перетворювачів (датчиків);
- у низці інших завдань.

5.3 Способи прямих вимірювань параметрів двополюсників

Залежно від об'єкта вимірювання, необхідної точності результату, діапазону частот, в якому повинен працювати компонент, застосовують різні способи вимірювання.

Найбільшого поширення набули такі способи:

- способи, засновані на перетворенні вимірюваного параметра струм, напруга або часовий інтервал;
- мостові способи вимірів;
- способи, що ґрунтуються на резонансному принципі вимірювань.

Спосіб омметра

Спосіб заснований на перетворенні опору в струм і застосовується в омметрах для вимірювань опору резисторів на постійному струмі (рис.5.2).

Перед включенням вимірюваного резистора з опором R_x в схему вимірювань затискачі X - X замикають коротко, при цьому стрілка омметра відхиляється на повну шкалу.

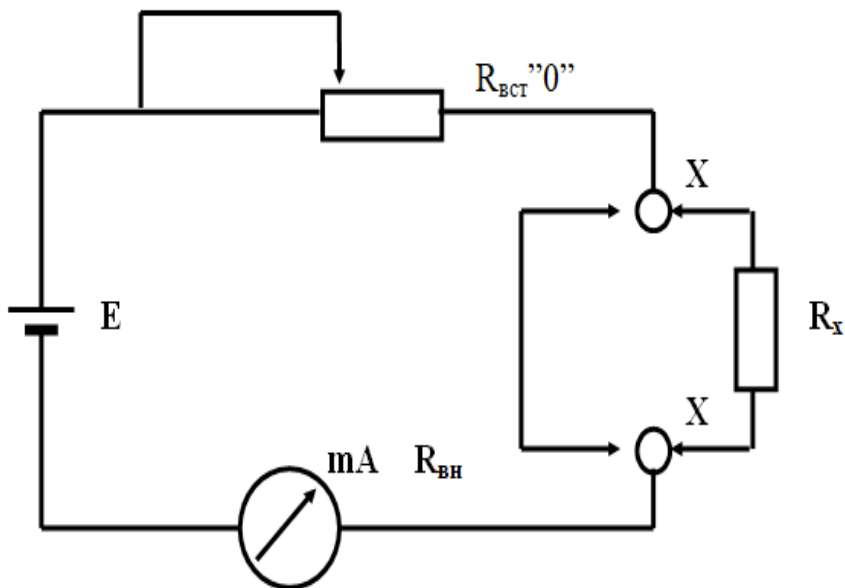


Рисунок 5.2 – Спосіб омметра

При підключенні R_x сила струму в ланцюзі зменшується до значення:

$$I = \frac{E}{R_x + R_{\text{вн}} + R_{\text{вст}} \text{ "0" }} \quad (5.10)$$

Відповідно до такої залежності I від R_x при випуску омметрів з виробництва шкалу амперметра градуують безпосередньо у значеннях опору, підключаючи до затискачів X - X зразкові резистори.

Спосіб стабілізованого струму

Цей спосіб може бути реалізований різними схемотехнічними прийомами. Один із варіантів цього способу (спосіб операційного підсилювача) показаний на рисунку 5.3.

Оскільки операційний підсилювач (ОП) за рахунок негативного зворотного зв'язку підтримує нульову напругу на диференціальному вході через зразковий резистор $Z_{зв}$ тече постійний струм:

$$I_{вх} = \frac{E}{Z_{зв}}.$$

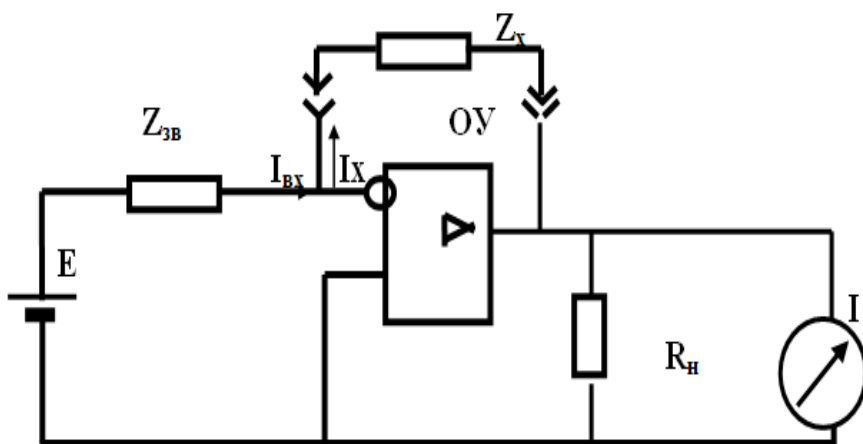


Рисунок 5.3 – Спосіб операційного підсилювача

На виході ОП створюється така напруга, щоб компенсувати вхідний струм, тобто:

$$U_{вих} = -\frac{E}{Z_{зв}} \cdot Z_x. \quad (5.11)$$

Таким чином, при постійних E і $Z_{зв}$ вихідна напруга ОП $U_{вих}$ прямо пропорційно Z_x , і шкала вольтметра, що вимірює $U_{вих}$, може бути проградуйована значення Z_x .

Цей спосіб реалізований в омметрах Е6-10, Е6-17.

Спосіб дискретного рахунку

В основу способу покладено аперіодичний процес, що виникає при підключенні зарядженого конденсатора або котушки індуктивності зі струмом до зразкового резистори, що дозволяє перетворити параметр, що вимірюється в часовий інтервал.

Структурна схема вимірювача ємності, що реалізує цей спосіб, представлена на рисунку 5.4.

У положенні ключа 1 конденсатор C_x заряджений до значення E . У момент початку вимірювання керуючий пристрій (КП) виробляє імпульс, який «обнуляє» лічильник, встановлює тригер в стан «1» і переводить ключ «Кл.» у положення 2.

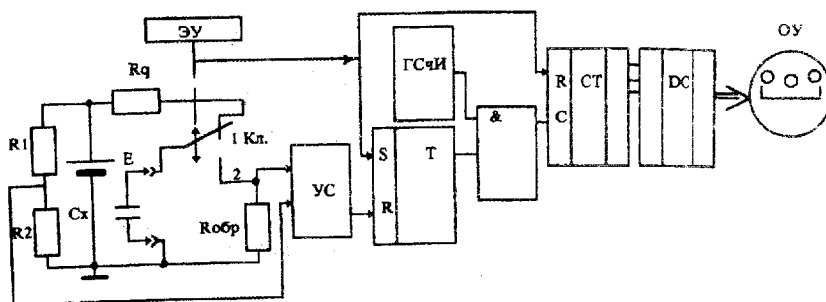


Рисунок 5.4 - Спосіб дискретного рахунку

Лічильник починає вважати імпульси, що надходять на його вхід, від генератора рахункових імпульсів (ГРІ), а конденсатор C_x починає розряджатися через зразковий резистор $R_{зв}$ за експоненційним законом:

$$U_c = E \cdot \exp\left[-\frac{t}{\tau}\right], \quad (5.12)$$

де $\tau = R_{обр} * C_x$ - постійна часу ланцюга розряду.

Резистори діляника R_1, R_2 обрані таким чином, що:

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = e^{-1}, \text{ та напруга } U_{R2} = \frac{E + R_2}{R_1 + R_2} = E \cdot e^{-1}$$

подаються на пристрій порівняння (ПП). Останнє, в момент рівності U_c и U_{R2} , виробляє імпульс, що переводить тригер у стан «0» і припиняє роботу лічильника.

Оскільки робота лічильника припиняється на момент рівності $U_{сх}$ та U_{R2} , то

$$e^{-\frac{t}{\tau}} = e^{-1}, \quad (5.13)$$

де $t = \tau$.

Якщо за час τ на лічильник надійшло N імпульсів із частотою $f_{ліч}$, то:

$$\tau = N \cdot T_{ліч} = \frac{N}{f_{ліч}} \quad (5.14)$$

звідки

$$R_{зв} \cdot C_x = N \cdot T_{ліч} \quad \text{та} \quad C_x = \frac{N}{R_{зв} + f_{ліч}} = K \cdot N.$$

Тобто, ємність конденсатора C_x прямо пропорційна показанням лічильника і тому індикаторний пристрій може бути відградуваний безпосередньо в значеннях C_x .

Цей спосіб застосовується в цифрових вимірювачах ємностей та опорів.

Мостовий спосіб

Класичний мостовий вимірювальний ланцюг складається з чотирьох двополосників $Z1 \dots Z4$ (рис.5.5), причому один з них - $Z1$, є об'єктом вимірювання, а інші - зразковими двополосниками. Баланс мосту характеризується нульовою напругою між точками c і d а наявності напруги живлення між точками a та b .

Рівняння рівноваги (балансу) моста відповідає умові

$$Z1 \cdot Z3 = Z2 \cdot Z4. \quad (5.15)$$

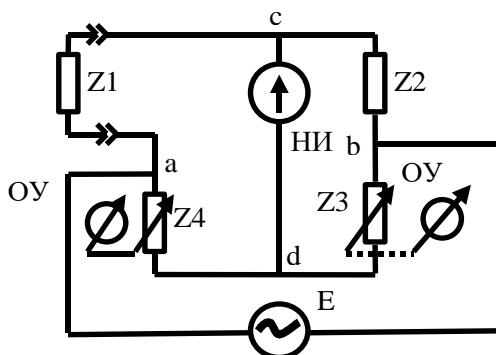


Рисунок 5.5 – Мостова схема вимірів

При комплексному характері $Z1...Z4$ баланс мосту відповідає двом умовам:

- модульній умові рівноваги: $|Z1| \cdot |Z3| = |Z2| \cdot |Z4|$;

- фазовій умові рівноваги: $\varphi1 + \varphi3 = \varphi2 + \varphi4$.

Таким чином, у загальному випадку, врівноваження моста після підключення $Z1 = Z_x$ вимагає наявності не менше двох регульованих елементів, один з яких змінює модуль опору, а інший фазовий кут.

Мостовий метод реалізований у безлічі модифікацій на постійному та змінному струмі (Е7-4, Е7-8, Е7-10). Мостові схеми мають високу точність, чутливість, широкий діапазон вимірюваних значень.

Контурний спосіб (спосіб куметра)

Даний спосіб заснований на явищі резонансу коливального контуру (резонансний принцип вимірів), який можна пояснити схемою, зображеною на рисунку 5.6.

Перед виміром C_x генератор налаштовують на необхідну частоту, потім, змінюючи $C_{зв}$, налаштовують контур в резонанс за максимальними показаннями вольтметра. Потім підключають C_x і знову налаштовують контур резонанс, зменшуючи $C_{зв}$ від значення $C_{зв}^1$ до $C_{зв}^2$. У цьому $C_x = C_{зв}^1 - C_{зв}^2$.

Для вимірювань індуктивності L_1 контур налаштовують за допомогою $C_{зв}$ резонанс, попередньо встановивши необхідну частоту, після чого L_x визначають з відомого виразу:

$$L_x = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C_{зв}^2} \quad (5.16)$$

Нарешті, добротність Q котушки можна знайти за виразом:

$$Q = \frac{U_c}{E_r} \quad (5.17)$$

де E_r - напруга, що надходить на контур з генератора і вимірюється вольтметром у положенні перемикача «К» (калібрування), а U_c - напруга на $C_{зв}$, що вимірюється вольтметром в момент резонансу.

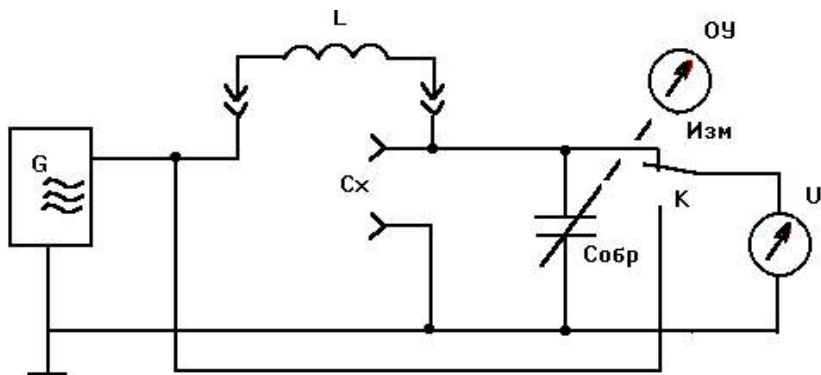
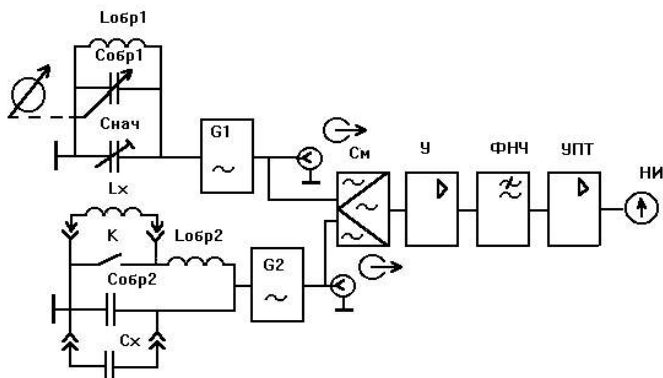


Рисунок 5.6 – Схема способу куметра

Спосіб куметра використовується у вимірювачах добротності Е4-11, Е4-12, що забезпечують вимірювання на будь-якій потрібній частоті (у тому числі на тій частоті, на якій компонент працюватиме в складі апаратури) в діапазоні частот до 300 МГц. До недоліків способу слід віднести те, що вимірювання всіх параметрів, крім Q є непрямими.

Генераторний спосіб

В основі цього способу також лежить резонансний принцип, проте реалізований він по іншому (рис. 5.7).

Рисунок 5.7 – Генераторний спосіб вимірювань L та C

У приладі такого типу є два генератори з самозбудженням G1 та G2. Коливальний контур генератора G1 утворений зразковими елементами $L_{зв}$, $C_{зв}$, $C_{поч}$. Коливальний контур генератора G2 має різну конфігурацію в залежності від роду роботи (вимірювання L_x або C_x). Перед виміром (за відсутності L_x та C_x) генератор G1 налаштовується на частоту коливань генератора G2 зміною ємності конденсатора $C_{поч}$ при нульовому положенні шкали конденсатора $C_{зв}^1$. Про рівність частот судять з нульових биття на виході змішувача, які після фільтрації та посилення індукуються нуль-індикатором. При цьому виконується рівність $f_1 = f_2$, з якої випливає:

$$L_{зв}^1 \cdot C_{поч} = L_{зв}^2 \cdot C_{зв}^2. \quad (5.18)$$

При вимірі індуктивності L_x котушка включається послідовно $L_{зв}^2$, при цьому частота генератора G2 зменшується. Для відновлення рівності частот ємність конденсатора $C_{зв}^1$ збільшують до отримання нульових биття. При цьому:

$$L_{зв}^1 \cdot (C_{зв}^1 + C_{поч}) = (L_{зв}^2 + L_x) C_{зв}^2, \quad (5.19)$$

або, з урахуванням початкової умови:

$$L_{зв}^1 \cdot C_{зв}^1 + L_{зв}^1 \cdot C_{поч} = L_{зв}^2 \cdot C_{зв}^2 + L_x \cdot C_{зв}^2, \quad (5.20)$$

звідки

$$L_x = C_{зв}^1 \cdot \frac{L_{зв}^1}{C_{зв}^2} = k \cdot C_{зв}^1. \quad (5.21)$$

Оскільки відношення $L_{обр}^1 / C_{обр}^2$ постійне, шкала $C_{обр}^1$ градується значення індуктивності.

При вимірі C_x аналіз аналогічний, а за умови $L_{обр}^1 = L_{обр}^2$ відлік за шкалою конденсатора $C_{обр}^1$ безпосередньо визначає значення C_x .


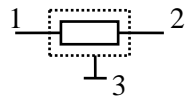
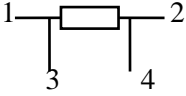
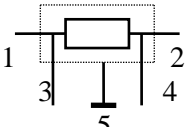
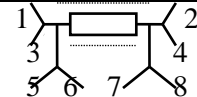
До переваг способу слід віднести високу чутливість засобів вимірювань, недоліків те, що значення частоти, при якій виконуються вимірювання, визначається умовами самозбудження генератора і не може бути довільно. Спосіб реалізований у вимірювачах E7-5A, E7-9 [2].

5.4 Способи підключення двополюсників до вимірювальної схеми

Точність вимірювань параметрів компонентів значною мірою визначається способом його підключення до вимірювального ланцюга приладу (табл. 5.1), що пояснюється наявністю у приєднувальної ланцюга паразитних параметрів, зумовлених ємностями монтажу,

опором з'єднувальних проводів, їх індуктивністю та взаємною індуктивністю.

Таблиця 5.1. Схеми включення компонентів у вимірювальний ланцюг

Найменування схеми підключення	Електрична схема включення	Прилади, вик. схему	Досяжний ефект
Двозатискна		Е7-9, Е4-11	---
Тризатискна		Е8-2	Виняток впливу ел/магн. полів при вимірі малих ємностей
Чотиризатискна		Е6-15, Е6-18	Виняток впливу послідовного опору при вимірі малих опорів
П'ятизатискна		Е7-8, Е7-10, Е7-11, Е8-5	Сумарний ефект для 3-х та 4-х затискних схем
Чотирьохпарна		Е7-12	Виключення впливу взаємної індукції

Перелік джерел посилань

1. Основи метрології та вимірювальної техніки: у 2 т. Т. 1: Теоретична метрологія: навч. посіб. / М. М. Дорожовець, В. П. Мотало, Б. І. Стадник та ін.; за ред. Б. І. Стадника. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. 476 с.

2. Войцицький А. П. Основи інформаційно-вимірювальної техніки: конспект лекцій. Житомир: ЖДУ, 2003. 68 с.