

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА
ШЕВЧЕНКА**

**ФАКУЛЬТЕТ ВІЙСЬКОВОЇ
ПІДГОТОВКИ**

**КАФЕДРА
ВІЙСЬКОВО-ТЕХНІЧНОЇ
ПІДГОТОВКИ**

ПРЕДМЕТ
“ОСНОВИ ПОБУДОВИ ВІЙСЬКОВИХ
ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ”

ТЕМА № 13
ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ
ЛАНЦЮГІВ З ЗОСЕРЕДЖЕНИМИ
ПОСТІЙНИМИ

ЗАНЯТТЯ № 1
ВИМІРЮВАЧІ ПАРАМЕТРІВ
ЛАНЦЮГІВ З ЗОСЕРЕДЖЕНИМИ
ПОСТІЙНИМИ

НАВЧАЛЬНА МЕТА:

**1. ВИВЧИТИ ЗАГАЛЬНІ
ВІДОМОСТІ ПРО
ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ
ЛАНЦЮГІВ.**

**2. ВИВЧИТИ ПРИНЦИПИ
ВИМІРЮВАННЯ ЄМНОСТІ,
ІНДУКТИВНОСТІ
МОСТОВИМИ МЕТОДАМИ.**

ВИХОВНА МЕТА:

- 1. ВИХОВУВАТИ У СТУДЕНТІВ
ДИСЦИПЛІНОВАНІСТЬ І КУЛЬТУРУ
ПОВЕДІНКИ.**
- 2. ВИХОВУВАТИ ВПЕВНЕНІСТЬ І
ВИНАХІДЛИВІСТЬ ПРИ ВИВЧЕННІ
МАТЕРІАЛУ**
- 3. ВИХОВУВАТИ І РОЗВИВАТИ
ТВОРЧИЙ ПІДХІД ПРИ ВИВЧЕННІ
МАТЕРІАЛУ НА ЗАНЯТТІ І
САМОСТІЙНІЙ ПІДГОТОВЦІ.**

НАВЧАЛЬНІ ПИТАННЯ

- 1. Загальні відомості про вимірювання параметрів ланцюгів з зосередженими постійними.**
- 2. Мости змінного струму. Вимірювання ємностей і індуктивностей мостовими методами.**
- 3. Мостові методи вимірювання опору.**
- 4. Методи калібрування вимірювачів параметрів ланцюгів з зосередженими постійними.**

ПИТАННЯ І

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЛАНЦЮГІВ З ЗОСЕРЕДЖЕНИМИ ПОСТІЙНИМИ

Основними параметрами ланцюгів з зосередженими постійними є ємність, індуктивність, взаємна індуктивність, активний опір.

Вимірювання параметрів ланцюгів займає великий об'єм в загальному комплексі вимірювань в техніці зв'язку, в залежності від діапазону частот застосовують різні методи.

Активні опори на постійному струмі, якщо не треба високої точності, вимірюють омметром. При необхідності точних вимірювань використовують мостові методи. На низьких і середніх частотах широкого розповсюдження одержали мости змінного струму з прийнятими заходами для послаблення впливу на результат вимірювань паразитних параметрів вимірювальної схеми.

Такі мости дозволяють проводити вимірювання з декілька зменшеною точністю на частотах до 150...200 МГц. На високих частотах, коли резонансні властивості коливальних ланцюгів мають значний вплив, використовують резонансні методи вимірювань.

У відповідності з стандартами в підгрупу ЗВ для вимірювань параметрів компонентів і ланцюгів з зосередженими постійними входять наступні види вимірювачів:

E1 - міри, установки або ЗВ для перевірки вимірювачів параметрів компонентів ланцюгів;

E2 - вимірювачі повних опорів і (або) повних провідностей;

E3 - вимірювачі індуктивностей;

E4 - вимірювачі добротності;

E6 - вимірювачі опорів;

E7 - вимірювачі параметрів універсальні;

E8 - вимірювачі ємностей.

Якщо врахувати параметри котушки її власну індуктивність L , опір втрат R_L , і власну ємність C .

Еквівалентну схему можна відобразити за допомогою рис.1.

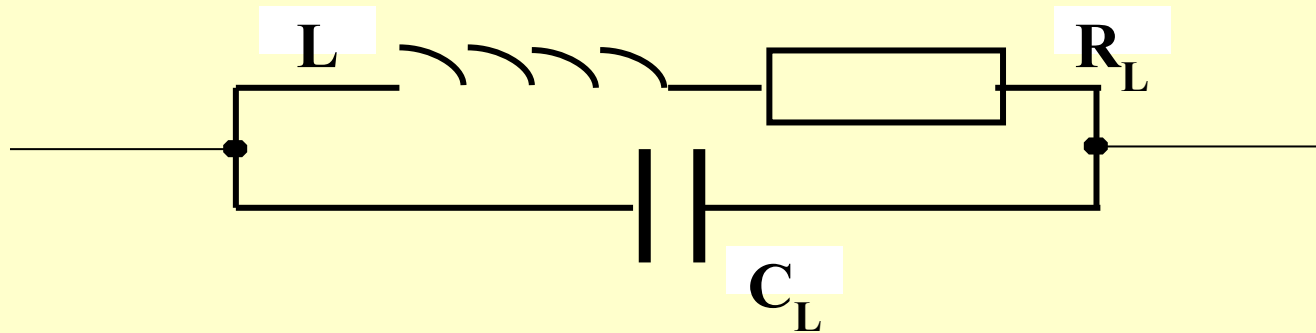


Рис. 1.

Опір R_L обумовлений омічними втратами, втратами в екранах, індуктивність L в сердечниках.

Власна ємність - електрична ємність між окремими витками, ємностями між витками і екранами котушки і т.п.

Котушки індуктивності характеризують часто
легко вимірюваними параметрами резонансною
частотою ω

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC_L}} \quad (1)$$

і добротністю Q

$$Q_L = \frac{\omega_L}{R_L} \quad (2)$$

Котушки індуктивності застосовують на частотах, нижче резонансної

$$\omega < \omega_P \quad (3)$$

На цих частотах еквівалентну схему можна представити як послідовне з'єднання еквівалентно індуктивності L_e і опору R_L , рис. 2:

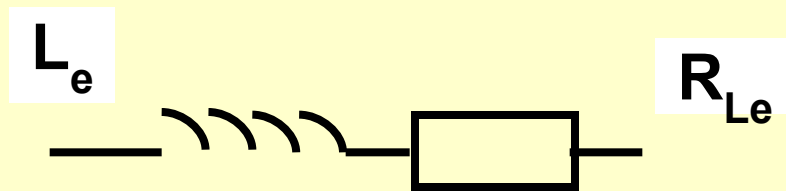


Рис. 2.

$$L_e = \frac{L}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_P}\right)^2} \quad R_{Le} = \frac{R_L}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_P}\right)^2} \quad (4)$$

Якщо робоча частота $\omega < 0,1\omega_P$

то з похибкою менше 1% можна вважати, що

$$L_e = L, \quad R_{Le} = R \quad (5)$$

Власні індуктивності LR і ємність CR постійного резистора дуже малі, так що повний електричний опір резистора на частотах до сотні мегагерц визначається активним опором R .

Опір плівкових резисторів залежить від частоти в широкому діапазоні частот.

Залежність від частоти проявляється лише на дуже високих частотах і обумовлена діелектричними втратами в каркасах.

Паразитними параметрами конденсатора і опір втрат R_c , який обумовлений електричними втратами і індуктивністю ввідів і обкладинок конденсатора L_c . Еквівалентна схема

представлена на рис. 3

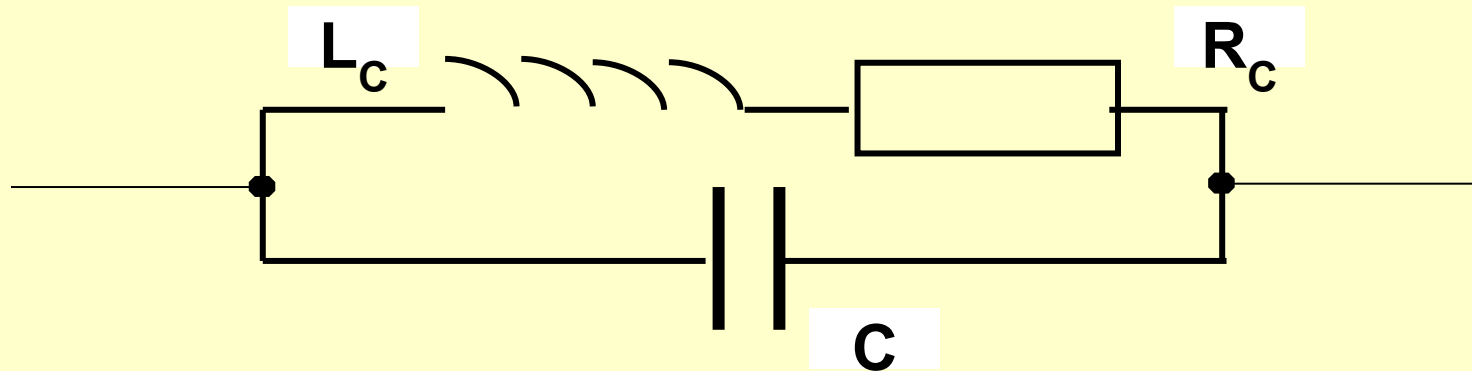


Рис. 3.

МОСТИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Одинарний міст постійного струму (рис. 4) складається з чотирьох резисторів R_1, R_2, R_3, R_4 , що утворюють чотири плеча схеми, джерела живлення E і індикатора I .

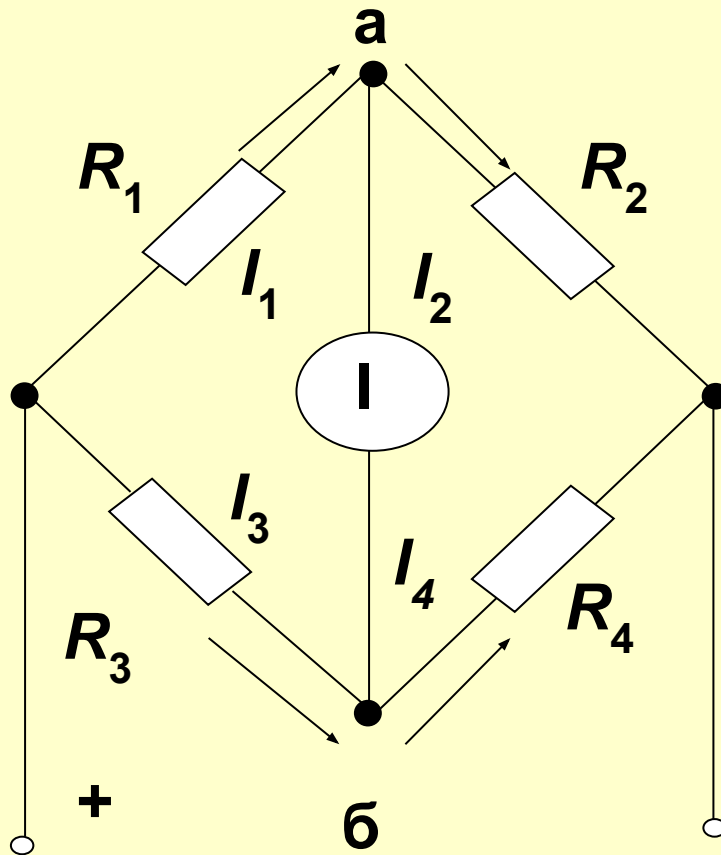


Рис. 4. Схема одинарного чотирьохплечового моста постійного струму

Умовою балансу (врівноваження) такого мосту є відсутність струму через індикатор І, що забезпечується рівністю добутків величин опорів протилежних плечей мосту:

$$R_1 R_4 = R_2 R_3 \quad (6)$$

$$R_x = R_4 = \frac{R_2}{R_1} R_3 \quad (7)$$

Рівновага мосту досягається зміною R_3 , відношення опорів R_2 / R_1 називають масштабним множником, його значення вибирається 10^n , де n — ціле додатне або від'ємне число.

Плече R_3 мосту в цьому випадку називають плечем врівноважування.

Важливим параметром мостової схеми є чутливість, тобто мінімальна зміна вимірюваного опору R_x , що викликає порушення балансу схеми, який реєструється гальванометром.

Чутливість схеми залежить не тільки від чутливості гальванометра, але і від опорів резисторів, що входять до складу його плечей.

Опір плечей мосту рекомендується вибирати попарно рівноплечими або використовувати повністю рівноплечий міст, тобто міст, для якого
 $R_1=R_2=R_3=R_4$.

Одинарні чотирьох плечові мости застосовують для вимірювання порівняно значних опорів, від десятків Ом і вище.

При вимірюванні малих опорів виникають похибки, обумовлені впливом опорів з'єднувальних провідників.

Зменшення впливу опору контактів і з'єднувальних проводів можна забезпечити схемним рішенням.

Так при вимірюванні опорів, менших 10 Ом, використовують чотиризатискне увімкнення Rx.

Для вимірювання малих опорів використовують також подвійні вимірювальні мости (міст Томсона), де схемним шляхом практично виключається вплив з'єднувальних проводів на результат вимірювання.

ПИТАННЯ II

**МОСТИ ЗМІННОГО СТРУМУ.
ВИМІРЮВАННЯ ЄМНОСТЕЙ І
ІНДУКТИВНОСТЕЙ
МОСТОВИМИ МЕТОДАМИ**

Метод вимірювального мосту змінного струму знаходить широкого застосування для вимірювання омичного опору, ємності, тангенса кута втрат, індуктивності, добротності.

На відміну від мостів постійного струму, тут в одну діагональ мосту увімкнене джерело змінної напруги (генератор низької частоти), в іншу — нульовий індикатор змінної напруги, плечі мосту — двополюсники з повним опором Z (рис. 5).

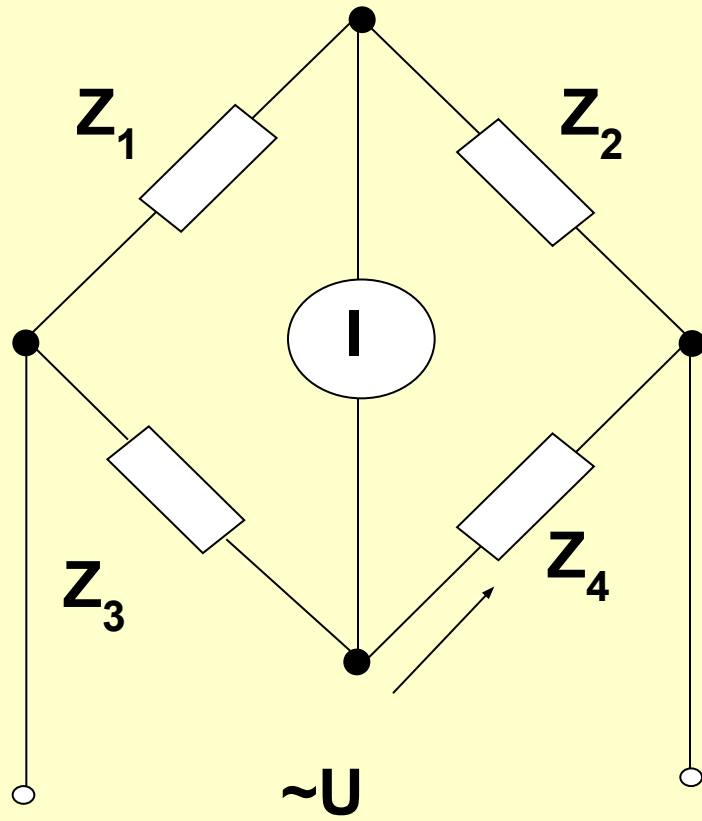


Рис. 5. Схема моста змінного струму

Рівновага мосту досягається за умови рівності добутків комплексних опорів протилежних плечей:

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3 \quad (8)$$

У показовій формі рівність буде мати вигляд

$$|Z_1| |Z_4| e^{j(\phi_1 + \phi_4)} = |Z_2| |Z_3| e^{j(\phi_2 + \phi_3)} \quad (9)$$

$$|Z_1|, |Z_2|, |Z_3|, |Z_4|$$

де — модулі повних

опорів плечей;

$$\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$$

— фазові зсуви між

струмом і напругою у відповідних плечах;

— X_i реактивна складова комплексного опору;

— активна складова комплексного опору

i - го плеча. R_i

Рівність (9) подамо у вигляді двох рівностей:

**рівність добутків модулів комплексних опорів
протилежащих плечей:**

$$|Z_1| |Z_4| = |Z_2| |Z_3| \quad (10)$$

**рівність сум аргументів комплексних опорів
протилежащих плечей**

$$\phi_1 + \phi_4 = \phi_2 + \phi_3 \quad (11)$$

Рівності (10) і (11) визначають умови рівноваги мосту. Вони показують, що міст змінного струму потрібно врівноважувати регулюванням активних і реактивної складових плечей, тобто рівновага здійснюється за модулями і фазами.

При цьому рівняння (10) і (11) рівносильні і обидва обов'язкові для досягнення рівноваги мосту.

Умова (11) показує, при якому розташуванні плечей залежно від їхнього характеру можна врівноважити схему. Якщо суміжні плечі, наприклад третє і четверте (див. рис. 5), мають чисто активні опори R_3 і R_4 , тобто $\Phi_1 = \Phi_2 = 0$, то два інших суміжних плеча можуть мати або індуктивний, або ємнісний характер.

Якщо протилежні плечі чисто активні, то один із двох інших опорів повинен бути індуктивним, а інший - ємнісним.

$$Z = R + jX$$

**де — R частина, що представляє активну складову;
X — уявна частина, що представляє собою реактивну складову.**

В алгебраїчній формі рівність (9) запишеться в наступному вигляді:

$$(R_1 + jX_1)(R_4 + jX_4) = (R_2 + jX_2)(R_3 + jX_3) \quad (12)$$

ВИМІРЮВАННЯ ЄМНОСТІ

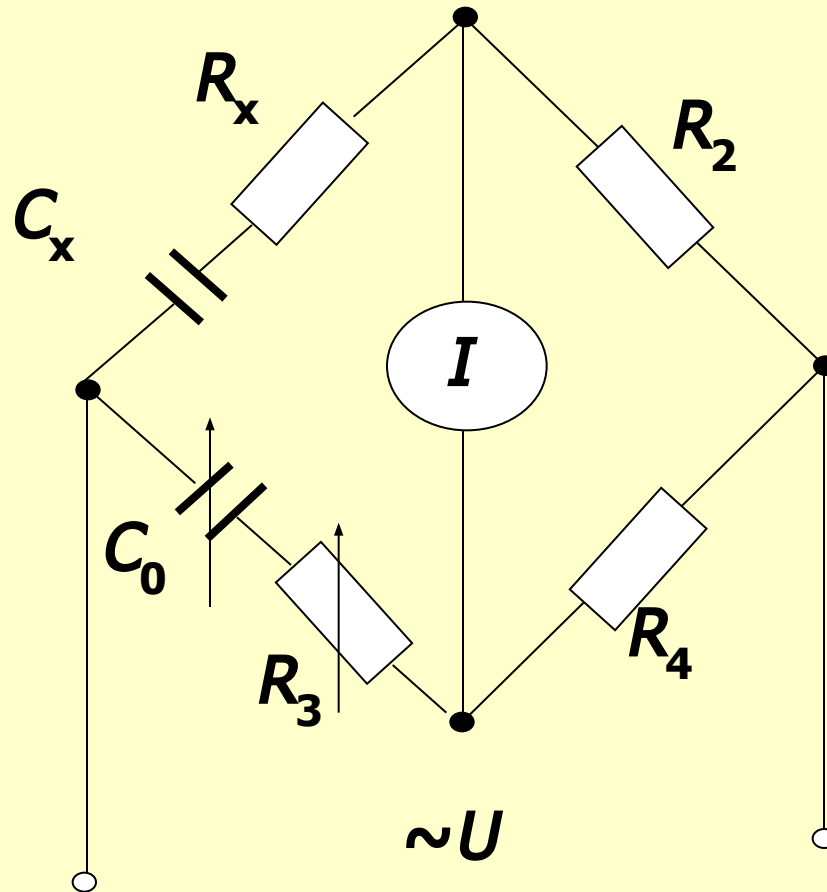


Рис. 6. Схема моста для вимірювання ємності

Ця рівність забезпечується при одночасному виконанні рівності активних і реактивних частин, тобто

$$R_1 R_4 - X_1 X_4 = R_2 R_3 - X_2 X_3$$

$$R_1 X_4 + R_4 X_1 = R_2 X_3 + R_3 X_2$$

Широкого практичного застосування отримали мости, що містять два комплексних плеча, що забезпечують роздільність відліків, коли за значенням одного з регульованих параметрів елементів мосту визначається значення вимірюваної величини.

Такі мости забезпечують також незалежність умови рівноваги від частоти.

Розглянемо міст для вимірювання ємності і кута втрат конденсаторів (рис. 6).

Два його плеча складені з магазинів опорів R_2 і R_4 . Третє плече утворене послідовно з'єднаними зразковими конденсатором C_0 і змінним резистором з малим опором R_0 .

Зразковий конденсатор вибирається з малими втратами, якими можна зневажити.

В третє плече увімкнений вимірюваний конденсатор C_x , опір втрат у якому R_x .

$$Z_1 = R_x + \frac{1}{j\omega C_x} \qquad Z_2 = R_2 \qquad Z_3 = R_0 + \frac{1}{j\omega C_0}$$
$$Z_4 = R_4$$

Згідно з формулою рівноваги моста (8) маємо:

$$(R_x + \frac{1}{j\omega C_x})R_4 = (R_0 + \frac{1}{j\omega C_0})R_2$$

або

$$R_x + \frac{1}{j\omega C_x} = R_0 \frac{R_2}{R_4} + \frac{1}{j\omega C_0} \frac{R_2}{R_4}$$

**Порівнявши окремо речовинні і уявні частини,
маємо:**

$$R_x = R_0 \frac{R_2}{R_4} \quad C_x = C_0 \frac{R_4}{R_2} \quad (13)$$

Як регулювальними елементами мостів найчастіше використовують резистори, тому що вони простіші і дешевші в порівнянні з регульованою ємністю і магазином індуктивностей.

Процедура врівноважування мосту зводиться до наступного:

- змінюючи величину R_0 , варто домогтися мінімуму показів індикатора за рахунок рівності дійсних частин рівняння;**
- змінюючи відношення R_2 / R_4 (за рахунок R_2 або R_4), варто знову домогтися мінімуму показів індикатора за рахунок вирівнювання уявної частини рівняння, але тому що R_2 (R_4) входять у вираз для дійсної частини, то порушується первісна умова рівноваги дійсних частин;**
- змінюючи R_0 , знову необхідно домогтися рівноваги дійсних частин.**

Таким чином, оскільки при зміні або тільки активних, або тільки реактивних складових одночасно змінюються значення і активних, і реактивних складових, то процедура регулювання є багатоступінчатою.

Число почергових регулювань обох параметрів характеризує збіжність мосту, тобто швидкість досягнення рівноваги, що визначається схемою і конструкцією мостів.

Процеси врівноважування мосту змінного струму для вимірювання індуктивності котушки розглянемо на прикладі схеми, представленої на рис. 7.

Для вимірювання індуктивності L_x використовують зразковий конденсатор C_0 , що вмикається в плече, протилежне плечу з вимірюваною індуктивністю.

Паралельно з конденсатором C_0 вмикають резистор R_0 . В інші два плеча вмикають магазини опорів R_2 і R_4 .

Повні опори плечей визначаються рівностями:

$$Z_1 = R_x + j\omega L_x \quad Z_2 = R_2 \quad Z_3 = R_3 \quad Z_4 = \frac{R_0}{1 + j\omega C_0 R_0}$$

Рівновага мосту визначається наступною рівністю:

$$\frac{(R_x + j\omega L_x)R_0}{1 + j\omega C_0 R_0} = R_2 R_3$$

з якої видно, що

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_0} \quad L_x = C_0 R_2 R_3 \quad Q = \frac{\omega L_x}{R_x} = \omega C_0 R_0$$

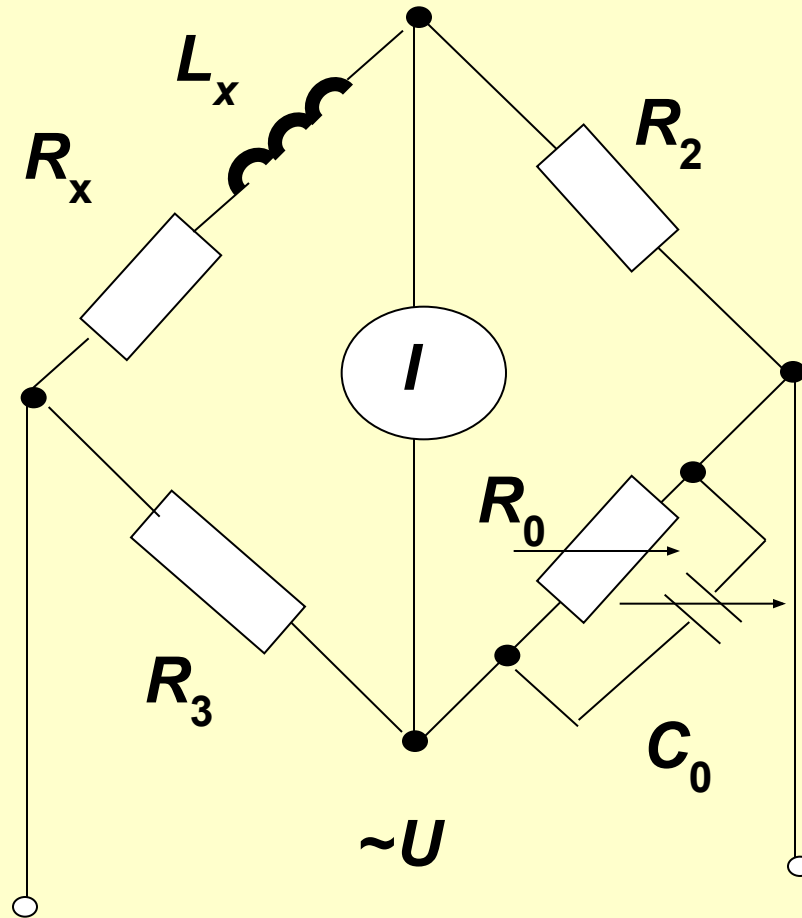


Рис. 7. Схема моста для вимірювання індуктивності

На підставі викладеного можна визначити, що для мостів, у яких два плеча містять тільки активні опори, а два інших — реактивні (див. рис. 6, 7), справедливі наступні твердження:

- якщо активні опори розташовані в суміжних плечах (рис.6) R_2 і R_4 і $\Phi_2 = \Phi_4 = 0$, то два інших плеча повинні містити опори одного характеру (індуктивного або ємнісного), що забезпечує виконання умови $\Phi_1 = \Phi_3$;**
- якщо активні опори розташовані в протилежних плечах (рис. 7) R_2 і R_4 і $\Phi_2 = \Phi_3 = 0$, то характер опорів двох інших плечей повинен бути протилежним, що забезпечує виконання умови $\Phi_1 = \Phi_4$.**

Похибки вимірювань параметрів ланцюгів з використанням розглянутих мостів складає десяти і соті частки відсотка від вимірюваної величини.

Ці похибки визначаються наступними **основними причинами:**

**похибкою значень зразкових елементів схеми мосту;
впливом паразитних зв'язків між елементами схеми;
впливом нестабільності параметрів елементів схеми;
нестабільністю частоти джерела змінної напруги і ін.**

Паразитні ємнісні зв'язки між елементами мосту зростають при збільшенні частоти джерела, що обмежує застосування таких вимірювальних мостів. На високих частотах (десятки і сотні мегагерц) практичне застосування одержали так звані Т- подібні мости.

ПРЯМІ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОМПОНЕНТІВ І ЛАНЦЮГІВ

Вимірювання ємності методом вольтметра і амперметра

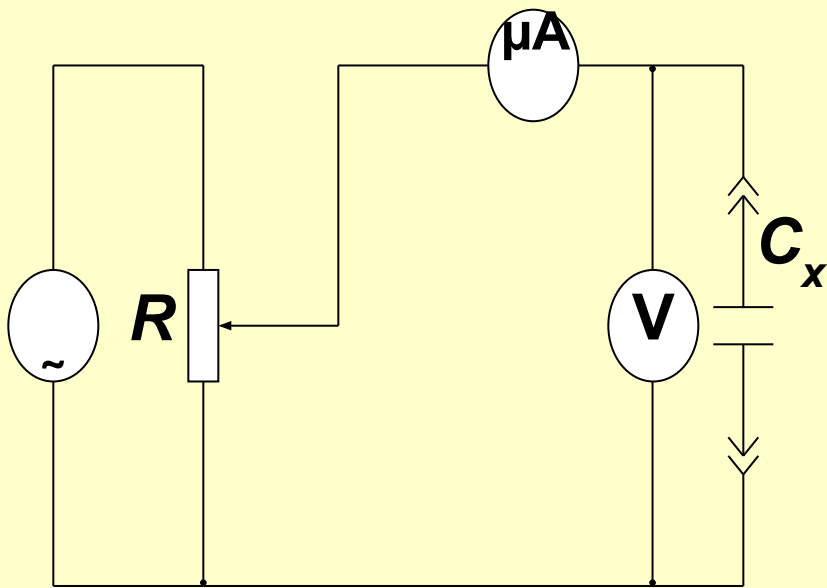
Схеми вимірювань, що пояснюють сутність методу, надані на рис. 8.

Суть методу полягає в тому, що за показами приладів, які вимірюють змінний струм (μA) і напругу (U), можна розрахувати точний опір конденсатора C_x увімкненого в схему вимірювання:

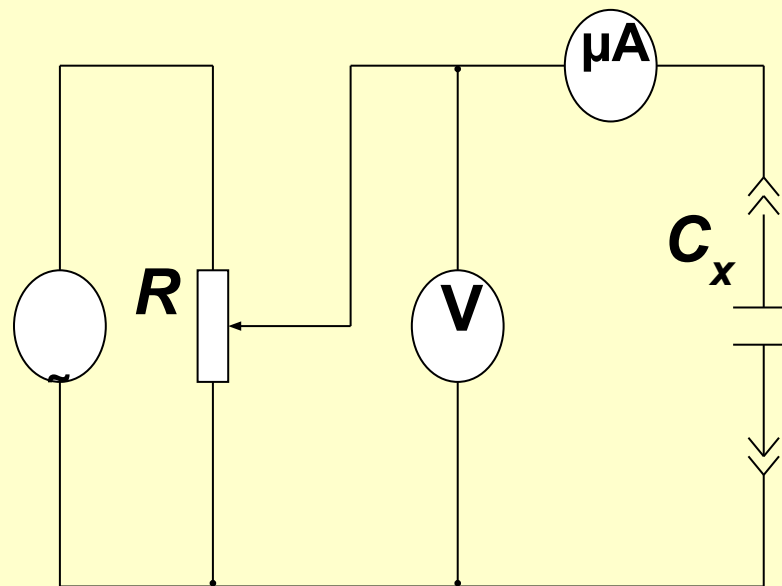
$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = U / I \quad (14)$$

де

$$X = 1 / \omega C_x = 1 / 2\pi f C_x$$



а)



б)

**Рис. 8. Схема вимірювання ємності методом
вольтметра і амперметра**

Якщо втрати малі, тобто активна складова повного опору значно менша від його реактивної складової

$$R \ll X_C \quad 1 / 2\pi f C_x = U / I$$

$$C_x = \frac{I}{U} \frac{1}{2\pi f} \quad (15)$$

Живлення вимірювальної схеми здійснюють від низькочастотного джерела.

Схему на рис. 8, а застосовують для вимірювання ємностей, опір яких X_C значно менший від вхідного опору вольтметра ($X_C \ll R_V$), тобто для вимірювання малих ємностей.

Навпаки, схему на рис.8, б застосовують для вимірювання великих ємностей, опір яких значно більший від опору міліамперметра ($X_C \gg R_V$). Опір визначають із врахуванням частоти сигналу з умови (15).

ПИТАННЯ ІІІ

МОСТОВІ МЕТОДИ ВИМІРЮВАНЬ ОПОРУ

Електронний омметр

Принцип роботи електронних омметрів заснований, як правило, на двох методах

**методі стабілізованого струму
ланцюга подільника**

**методі перетворення виміряного
опору в пропорційну напругу**

Схема омметра, яка побудована за методом стабілізованого струму у ланцюгу подільника, надана на рис. 9.

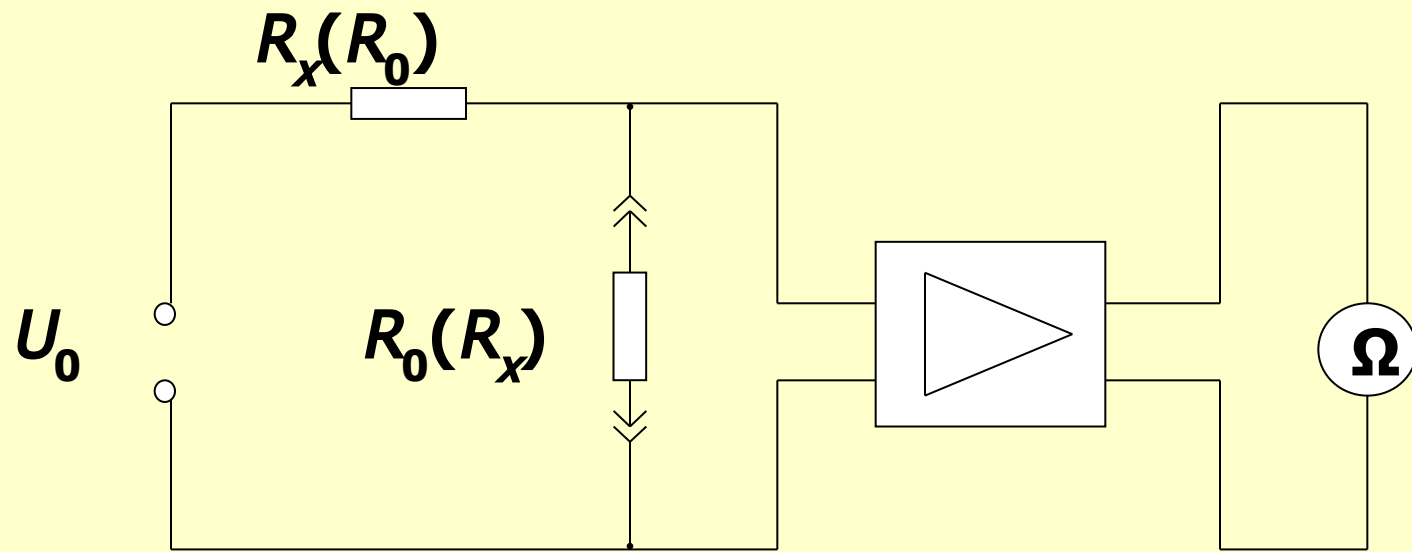


Рис. 9. Схема вимірювання опору методом стабілізованого струму в ланцюзі подільника

В даній схемі подільник складений з R_x і R_0 , живиться від джерела опорної напруги U_0 . Падіння напруги на резисторі R_x підсилюється підсилювачем з більшим входним опором. Вихідна напруга підсилювача залежить від величини вимірюваного опору R_x , тому що напруга, що діє на R_x , несе інформацію про значення цього опору.

Однак прямої лінійної залежності між R_x і величиною вимірюваної напруги не буде, тому що зі зміною R_x буде змінюватися не тільки напруга на ньому, але і загальний струм, що протікає через подільник $R_0 - R_x$.

Щоб струм, який протікає через R_x , мало змінювався, потрібно забезпечити виконання умови $R_0 \ll R_x$. Однак при малому R_x відбувається вплив опору з'єднувальних проводів, що викликає необхідність безпосереднього увімкнення приладу до вимірюваного опору. Для даної схеми:

$$\alpha = K \frac{U_0}{R_x + R_0} R_x \quad (16)$$

де: K — коефіцієнт передачі підсилювача.

З формули видно, що шкала таких омметрів нелінійна з діапазоном показів від 0 до ∞ .

При $R_0 \ll R_x$ можна вважати:

$$\alpha \approx K \frac{U_0}{R_0} R_x \quad (17)$$

Отже, шкала приладу буде більш лінійною у приладів типу (Е6-12, Е6-16, Е6-18), які забезпечують вимірювання ($R_x < R_0$) малих опорів.

Для підвищення точності вимірювання весь діапазон розбивається на менші діапазони, кожному з яких відповідає своє значення.

Перемиканням вибирають найбільш зручну шкалу для відліку показів у необхідному діапазоні вимірювань.

У схемі, що реалізує метод перетворення опору в напругу, застосовується операційний підсилювач з від'ємним зворотним зв'язком (рис. 10).

Такі схеми використовують для вимірювання середніх і великих опорів.

Вимірюваний резистор вмикається в ланцюг від'ємного зворотного зв'язку операційного підсилювача, що має великий коефіцієнт підсилення і великий вхідний опір. Для таких схем:

$$U_x = U_0 \frac{R_x}{R_0} \frac{1}{1 + 1/(K\beta)} \quad (18)$$

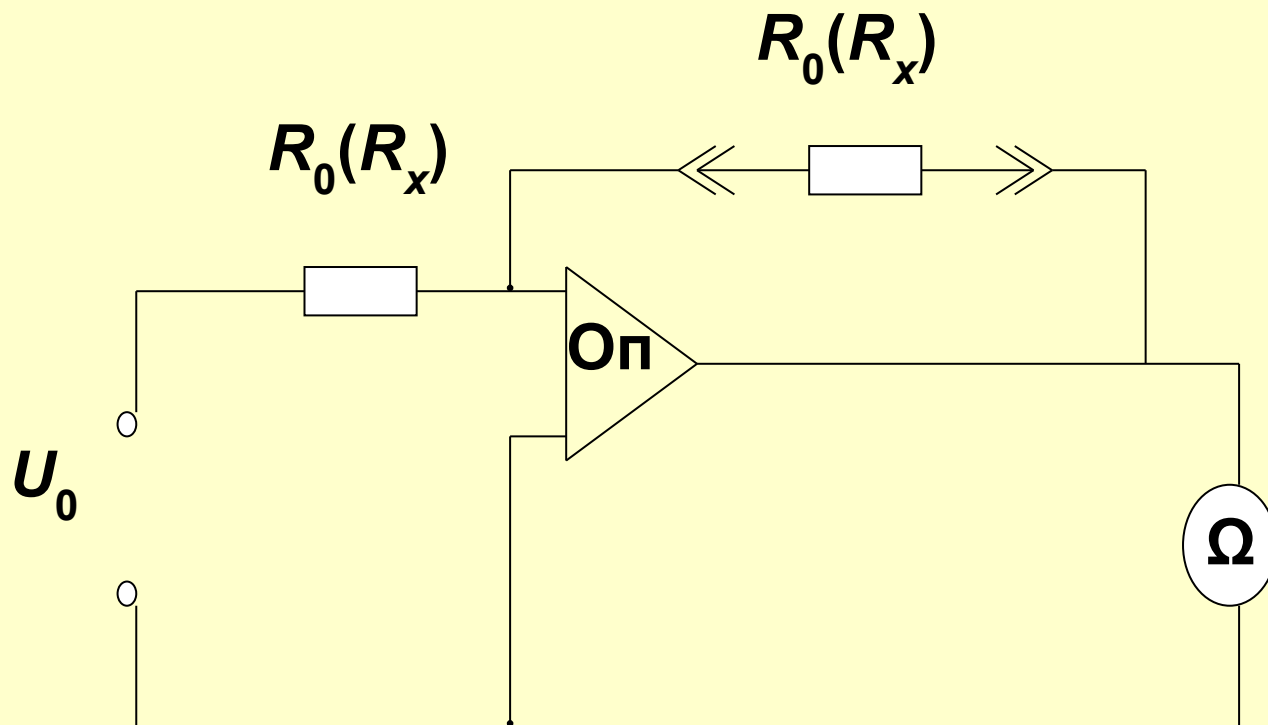


Рис. 10. Схема вимірювання опору методом стабілізованого струму в ланцюзі подільника

де K — коефіцієнт підсилення підсилювача без зворотного зв'язку;

$$\beta = R_0 / (R_0 + R_x)$$

— коефіцієнт зворотного зв'язку підсилювача.

При великому коефіцієнті посилення, тобто коли $K\beta \geq 1$, можна записати:

$$U_x = U_0 \frac{R_x}{R_0}$$

Рівняння шкали приладу у даному випадку:

$$\alpha = KU_0 R_x / R_0 \quad (19)$$

Резонансний метод вимірювання параметрів конденсаторів і котушок індуктивностей

Резонансний метод вимірювання параметрів елементів радіотехнічних ланцюгів заснований на виникненні явища електричного резонансу в коливальному LC- контурі.

Значення вимірюваного параметра визначається виходячи з відомої формули:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_0 C_0}} \quad (20)$$

Після перетворення отримаємо залежності, придатні для визначення ємності і індуктивності:

$$C_x = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 L_0} \quad L_x = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 C_0} \quad (21)$$

де C_0, L_0 — відомі зразкові елементи;
 f_0 — резонансна частота контуру.

На основі резонансного методу розроблені різні прилади для вимірювання окремих параметрів компонентів ланцюгів, однак найбільш повно розглянутий метод реалізується у вимірювачах добротності (куметрах).

У загальному випадку куметр дозволяє вимірювати добротність котушок індуктивностей, ємність і тангенс кута діелектричних втрат конденсаторів, повний опір і провідність двополюсників.

Спрощена схема куметра надана на рис. 11.

Основні елементи приладу: генератор, що перестроюється за частотою, Γ ; мікроамперметр μA ; резистор малого опору R_0 ; зразковий змінний конденсатор C_0 ; вольтметр V .

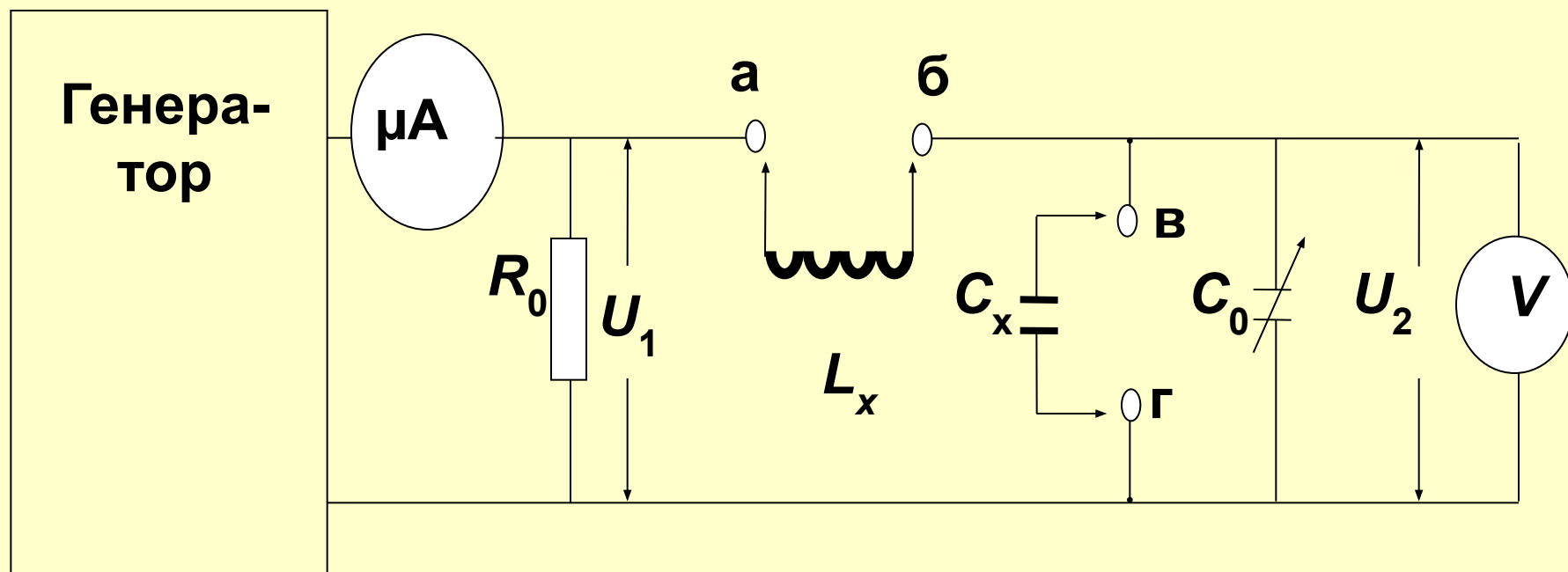


Рис. 11. Схема куметра

При вимірюванні індуктивності L_X випробувана котушка індуктивності підключається до затискачів а і б. Зміною ємності зразкового конденсатора C_0 за максимумом показів вольтметра встановлюється резонанс контуру. Відраховуючи C_0 , маємо всі дані для визначення L_X . При вимірюванні ємності конденсатора C_X ($C_X < C_0$) конденсатор підключається до затискачів в, г, а до затискачів а, б підключається котушка з індуктивністю L_0 , тоді:

$$C_X = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 L_0} - C_0$$

При визначенні добротності за допомогою куметрів враховані властивості послідовного коливального контуру, який має при резонансі на реактивних елементах напругу U_2 , в Q разів більшу від напруги збудження, тобто:

$$U_2 = U_{C_0} = QR_0 I = QU_1$$

де U_C - напруга на конденсаторі C_0 ;
 I - струм, що протікає через резистор R_0 .

При настроюванні послідовного коливального контуру в резонанс його добротність:

$$Q = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{IR_0} U_2$$

Оскільки струм, що протікає через резистор R_0 , в процесі вимірювання підтримується незмінним, шкалу вольтметра, що вимірює U_2 тарують в одиницях добротності Q .

У розглянутих схемах використовують зразкові конденсатори з високою добротністю ($Q_C \gg Q_L$) та з точністю, достатньою для інженерної практики.

Цифрові вимірювачі параметрів елементів електричних кіл

Цифрові вимірювачі мають можливість агрегування з іншими ЦВП і засобами обчислювальної техніки, можуть працювати в складі інформаційно-вимірювальних систем.

При реалізації цифрових вимірювачів параметрів елементів електричних кіл одержали: метод дискретного рахунку і метод врівноваження.

Метод дискретного рахунку

Основою даного методу є перетворення вимірюваного параметра в пропорційний часовий інтервал з наступним вимірюванням тривалості інтервалу шляхом його заповнення послідовністю коротких імпульсів.

Реалізацію методу розглянемо на прикладі вимірювання величини омичного опору R_x .

Структурна схема цифрового вимірювача з аперіодичним розрядом зразкової ємності через вимірюваний резистор наведена на рис. 12, а, де ПП — порівнюючий пристрій; ТР - тригер; ЧС - часовий селектор; КП — керуючий пристрій, ГРІ - генератор рахункових імпульсів; ЕЛ — електронний лічильник; Е — джерело електроживлення.

Принцип дії схеми омметра пояснимо часовими діаграмами (рис.12, б). До початку вимірювань (у момент t_0) КП через контакти 1-3 реле Р підключає конденсатор С до джерела електроживлення Е, що заряджає його до напруги U_C . Генератор рахункових імпульсів виробляє тактові імпульси з періодом T_K .

В момент початку вимірювань КП забезпечує спрацьовування реле Р і замикання контактів 3-2. Конденсатор С починає розряджатися через замкнуті контакти 3-2 реле Р і вимірюваний резистор. Одночасно із замиканням контактів 3-2 реле КП переводить тригер у стан «1», що у свою чергу відкриває часовий селектор, починається формування часового інтервалу Δt , а також підрахунок тактових імпульсів.

У момент часу, коли напруга розряду конденсатора стане рівною опорній напрузі, яка знімається з резистора, спрацьовує ПП і переводить ТР у стан «0».

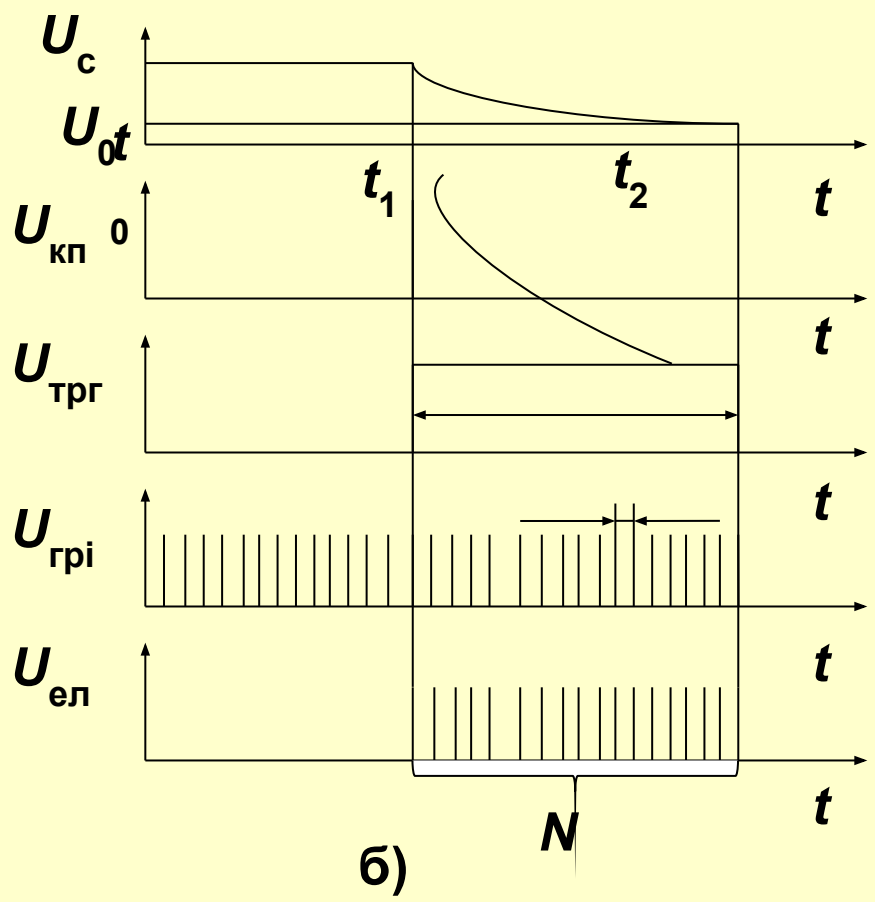
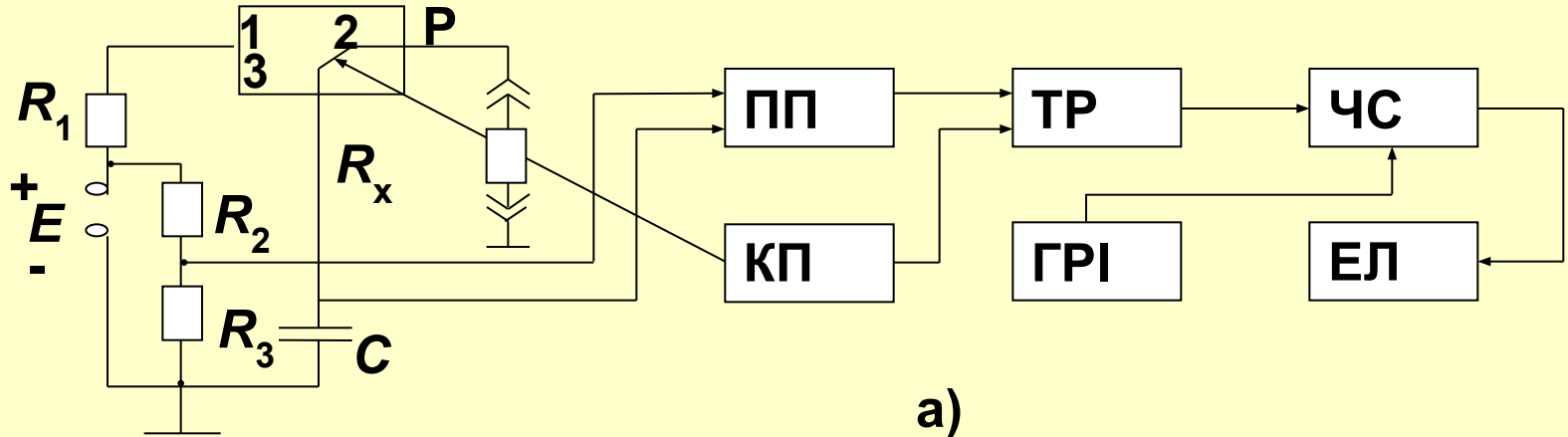


Рис. 13. Цифровий вимірювач параметрів елементів електричних ланцюгів:

а – схема; б – часові діаграми.

Часовий селектор закривається, припиняються підрахунок імпульсів і формування часового інтервалу Δt . При цьому величина Δt буде пропорційна постійної часу τ_p розряду конденсатора C через R_x і кількості імпульсів рахунку N :

$$\Delta t = \tau_p = CR_x = NT_k$$

звідки: $R_x = NT_k / C_0 = KN$

де K — коефіцієнт пропорційності.

Похибка вимірювання в розглянутому випадку залежить в основному від нестабільності елементів (R_x, R_2, R_3, C) схеми, нестабільності ГРІ і складає 0,1...0,2 %.

ПИТАННЯ ІV

МЕТОДИ КАЛІБРУВАННЯ
ВИМІРЮВАЧІВ
ПАРАМЕТРІВ ЛАНЦЮГІВ З
ЗОСЕРЕДЖЕНИМИ
ПОСТІЙНИМИ

Одиниці електричної ємності - фарада (Ф), електричного опору (Ом), індуктивності - генрі (Гн) у вищому метрологічному ланцюзі відтворюються державними первинними еталонами.

Еталоном ємності є розрахунковий конденсатор, в якому змінювання ємності, яка визначає розмір одиниці, виконується шляхом електричної комутації і механічного переміщення.

Еталоном відтворюється ємність $0,4002443 \cdot 10^{-12}$ Ф на частоті 1000 Гц.

СКВ при відтворенні еталоном ємності складає

$$S_0 = 7 \cdot 10^{-7},$$
$$\text{а НВП} - 0,13 \cdot 10^{-7}.$$

(НВП – не усунена відносна похибка)

Еталоном електричного опору є група манганінових котушок електричного опору і прецизійна вимірювальна мостова схема.

СКВ при відтворенні еталону опору складає

$$S_0 = 1 \cdot 10^{-7},$$

а НВП – до $5 \cdot 10^{-7}$.

Еталон індуктивності це група котушок, індуктивність яких визначають розрахунковим методом по геометричним розмірам і магнітній постійній, і прецизійною мостовою схемою.

СКВ відтворення одиниці S_0 і НВП не перевищує 10^{-5} .

Передача розмірів одиниць фарада, ома, Генрі (зразкові засоби, співвідношення похибок, методика вимірювань) регламентується державними повірочними схемами для засобів вимірювань електричної ємності, електричного опору, індуктивності.

В лабораторній практиці застосування дістали зразкові міри - зразкові котушки опору, індуктивності, а також зразкові конденсатори.

Паразитні параметри зразкових засобів намагаються виконати дуже малими. Застосовують і багатозначні міри - магазини опорів, ємностей.

Основою метрологічного забезпечення ЗВ параметрів лінійних компонентів ланцюгів з зосередженими параметрами і їх повірка, в результаті якої визначаються похибки ЗВ і

встановлюється їх придатність до застосування

Повірка робочих приладів виконується за допомогою зразкових мір і магазинів опору, ємності, індуктивності, добротності і тангенса кута втрат.

Основну похибку вимірювачів визначають методом комплектної або поелементної повірки.

При комплектному методі повірка практично приводить до вимірювання фізичної величини, яка відтворюється мірою або магазином, повіряємим приладом. Різниця між показами вимірювача і дійсним значенням дає значення похибки.

Такий метод повірки є кращим при визначенні основної похибки, так як забезпечує режим, який наближений до режиму їх експлуатації. Але комплектна повірка сучасних широкодіапазонних і багатомежних приладів вимагає наявності великої кількості зразкових засобів.

Важко створити високостабільні зразкові міри, які забезпечували б повірку приладів у всьому потрібному діапазоні вимірювань.

Тому дозволяється проводити поелементну повірку. Цей метод допускає застосовувати для тераомметрів і мостів постійного і змінного струмів, конструкція яких дозволяє проводити незалежне поелементне вимірювання параметрів мір.

Після проведення поелементної повірки потрібно додатково повірити на найбільш точному діапазоні вимірювань при значеннях параметрів, близьких до початкового, середнього і кінцевого положення відлікових пристроїв, і тільки після цього визначити його придатність до застосування.

Парку сучасних зразкових мір і магазинів, які призначені для повірки вимірювачів параметрів характерний ряд недоліків:

недостатня точність і стабільність параметрів в потрібних діапазонах вимірювань;

вузький діапазон зміни номінальних значень;

низька дискретність зміни параметрів,

внаслідок чого відлік треба проводити за шкалою повіряемого прилада, що незручно і значно зменшує точність відліку;

неможливість автоматизувати процес повірки при використанні цих зразкових засобів;

потрібно велика кількість зразкових мір і магазинів для повірки одного прилада;

велика маса і габарити;

низька можливість транспортування.

За останні роки все більша увага, особливо в області вимірювання опору, приділяється створенню імітаторів, під якими розуміють такі електричні ланцюги, які при додержанні певних умов, які виконуються в процесі їх використання, поводять себе як опори, але і не мають їх.

Принцип імітації опорів використаний в калібраторі великих опорів і малих струмів ЕК1-6.

Цей ЗВ призначений для перевірки тераомметрів ЕК6-7, ЕК6-11, Е6-13, Е6-1, а також електромеханічних вимірювачів струму і нановольтметрів.

Діапазон відтворення калібратором опорів складає $1 \cdot 10^{-5}$ - $1 \cdot 10^{18}$ Ом.

Межа допустимої похибки відтворення опору в процентах від встановленого значення опору не перевищує $\pm(0,1 - 4)\%$.

ЛІТЕРАТУРА

1. ИЗМЕРЕНИЯ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, 1987.
2. ФЕДОРОВ А.М., ЦИГАН Н.Я., МИЧУРИН В.И., МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН, ЕЛЕКТРОАТОМИЗДАТ 1987.
3. ДСТУ 2681-94.
4. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ, 2015 РІК.
5. КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ.