

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ІВАНА ПУЛЮЯ

Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв

**Метрологія,
технологічні вимірювання та прилади**

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

**«ДОСЛІДЖЕННЯ МОСТОВОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СХЕМИ
НА ПОСТІЙНОМУ СТРУМІ.»**

ТЕРНОПІЛЬ 2015

Тема: ДОСЛІДЖЕННЯ МОСТОВОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СХЕМИ НА ПОСТІЙНОМУ СТРУМІ.

Мета роботи: Ознайомитись з принципом дії схеми. Вияснити вплив:

1. Зміни опору плеча моста.
2. Опору вимірювальної діагоналі моста і співвідношення його плеч на чутливість моста.

Теоретичні відомості.

Широке використання в науці і промисловості елементів автоматики, телемеханіки та телевимірювань викликане необхідністю вимірювання неелектричних величин і передачі результатів вимірювання на відстань. Впровадження електричних методів для вимірювання неелектричних величин пояснюється рядом переваг, якими вони володіють:

1. Можливістю дистанційного вимірювання;
2. Простотою підсилення сигналу;
3. Високою чутливістю вимірюваних пристроїв;
4. Великим динамічним діапазоном вимірювання одним пристроєм;
5. Малою інерцією вимірювальних пристроїв;
6. Простотою зберігання і обробки отриманої інформації.

Процес вимірювання являє собою фізичний експеримент порівняння даної фізичної величини з деяким її значенням, прийнятим за одиницю вимірювання. Вимірювана величина фіксується на пристрої, шкала якого повинна бути відградуйована в одиницях вимірювальної величини.

Ряд неелектричних величин (тиск, швидкість, переміщення і т.п) виміряти безпосередньо електричними методами неможливо, для перетворення досліджуваної неелектричної величини в електричну використовують спеціальне електричні давачі. Під давачем розуміють конструктивно завершений перетворювач, призначений для виконання конкретної функції (давач тиску, давач швидкості) незалежно від закладеного в нього принципу перетворення. Електрична величина (напруга, струм), отримана з давача за допомогою вимірювальної схеми перетворюється до виду, зручного для вимірювання, і подається на реєструючий прилад.

В якості вимірювального пристрою використовуються стрілкові або цифрові пристрої, а в якості реєструючого приладу, – різні самописці, осцилографи і т.д.

Отже, схема перетворення, в загальному випадку, складається з давача, вимірювальної схеми і вимірювального пристрою. Одною найбільш розповсюджених вимірювальних схем є мостова схема (міст). Мости є пристроями порівняння. Використовуються зрівноважені і незрівноважені мости. В першому випадку результат вимірювання визначається при зрівноваженому стані моста. При цьому міст називається балансовим, а метод вимірювання нульовим. В другому випадку результат фіксується при незрівноваженому стані моста. Такий міст називається незбалансованим (незрівноваженим), а метод вимірювання – метод безпосереднього відрахунку.

Нульовий метод вимірювання забезпечує найбільш високу точність, але потребує ручного регулювання, і, як правило, подальших обчислень. Тобто не є автоматичним. При використанні автоматичних самозбалансованих мостів цей недолік усувається.

Метод безпосереднього відрахунку є набагато простішим, так як не потребує регулювання моста при кожному вимірюванні. В цьому випадку значення величини, яка контролюється, фіксується безпосередньо по шкалі вимірювального пристрою.

Незрівноважені мости більш універсальні і використовуються для вимірювання як статичних, так і динамічних процесів. В основному вони використовуються для вимірювання неелектричних величин.

В залежності від роду напруги живлення розрізняють мости постійного і змінного струму.

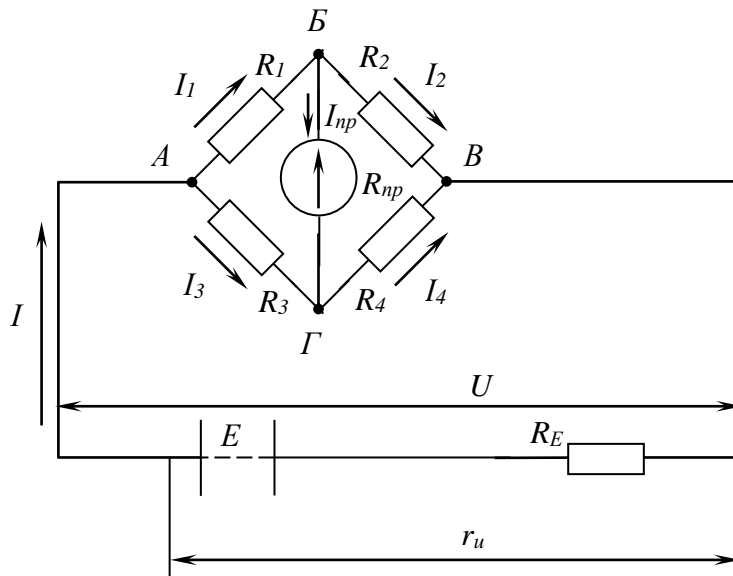


Рис.1 Принципова схема моста постійного струму

На рис.6.1 приведена схема постійного струму. Опори $R_1 \div R_4$ утворюють “плечі” моста (чотириполюсника) з двома парами затискачів.

На затискачі $A-B$ (так звана діагональ живлення) подається живлення від джерела E . До затискачів $B-Г$, які є вихідними, підключається вимірювальний пристрій. Діагональ моста $B-Г$ називається вимірювальною або індикаторною. Для мостових схем характерний стан рівноваги (балансу), при якому струм, що проходить через пристрій, $I_{np}=0$. Цей стан рівноваги мостової схеми забезпечується при умові

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3, \quad (1)$$

тобто при рівності добутків опорів протилежних плеч моста.

Користуючись відомим правилом Кірхгофа, можна знайти струм в вимірювальній діагоналі по таких рівняннях:

$$I_{np} = I \cdot \frac{R_1 \cdot R_4 - R_2 \cdot R_3}{N}, \quad (2)$$

або

$$I_{np} = U \cdot \frac{R_1 \cdot R_4 - R_2 \cdot R_3}{M}; \quad (3)$$

де

$$N = (R_1 + R_2 + R_3 + R_4) \cdot R_{np} + (R_1 + R_3) \cdot (R_2 + R_4); \quad (4)$$

$$M = (R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4) \cdot R_{np} + R_1 R_2 \cdot (R_3 + R_4) + R_3 R_4 \cdot (R_1 + R_2). \quad (5)$$

Тут R_{np} – внутрішній опір гальванометра Γ (приладу). Прирівнюючи праві частини рівняння (2) і (3), можна знайти вихідний опір моста (між точками A і B):

$$R_m = \frac{U}{I} = \frac{M}{N}. \quad (6)$$

З формул (6.2) і (6.3) можна отримати умову рівноваги моста при $I_{np}=0$. Це і дасть відношення (6.1)

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3.$$

Вияснимо, в яких випадках для розрахунку треба використовувати рівняння (2) і (3).

В низькоомних мостах, послідовно з якими включають додаткові резистори з опором $R_{доб}$ (для погашення частини напруги джерела живлення E), можна розрахувати, що загальний струм $I = \frac{E}{r_U + R_m}$ при зміні опорів плеча мало змінюється, якщо $r_U \ll R_m$. Тут r_U – внутрішній опір кола живлення. При аналізі мостів використовують формулу (2).

В високотемпературних мостах, які живляться від низькоомного джерела (наприклад, акумуляторної батареї), при $r_U \ll R_m$ можна вважати напругу на затискачах моста постійною: $U = E - I \cdot r_U \approx const$. В цьому випадку використовують формулу (3).

Під чутливістю моста розуміють його здатність реагувати на незначні зміни вимірювальної величини. При цьому чутливість моста визначається як відношення відхилення $\Delta\alpha$ від нуля вказівника індикатора до зміни вимірювальної величини Δx :

$$S = \frac{\Delta\alpha}{\Delta x}. \quad (7)$$

Помноживши і розділивши праву частину рівняння (7) на ΔI_{np} отримаємо:

$$S = \frac{\Delta\alpha \cdot I_{np}}{\Delta x \cdot I_{np}}. \quad (8)$$

Отже, чутливість можна розглядати як добуток двох складових: приладу $\left(\frac{\Delta\alpha}{I_{np}}\right)$ і мостового кола $\left(\frac{\Delta I_{np}}{\Delta x}\right)$, тобто

$$S_m = S_{I_{np}} \& S_{I\alpha}. \quad (9)$$

В залежності від умов роботи моста чутливість його схеми може визначатися по струму, напрузі або потужності. Очевидно, що чим більший приріст струму ΔI_{np} , напруги ΔU_{np} або потужності ΔP_{np} тим чутливіше мостове коло (при невідомих значеннях інших величин). В більшості випадків чутливість приладу є величина задана і незмінна (конструкторський параметр), отже робота моста характеризується чутливістю його кола.

Розглянемо як визначається чутливість моста при нульовому методі

вимірювання. Припустимо, на початку, що міст збалансований, тобто $I_{np}=0$. Якщо в одному з плеч зрівноваженого моста (див. рис.1) опір R_1 зміниться на величину ΔR_{np} , то в вимірювальній діагоналі з'явиться струм ΔI_{np} . При цьому чутливість схеми по струму (див. 7)

$$S_{cx}^I = \frac{\Delta I_{np}}{\Delta R_1}. \quad (10)$$

В цьому випадку рівняння (2) і (3) при дуже малому ΔR_1 (в знаменнику) записується наступним чином:

$$\Delta I_{np} = I \cdot \frac{(R_1 + \Delta R_1) \cdot R_4 - R_2 R_3}{N} = U \cdot \frac{(R_1 + \Delta R_1) \cdot R_4 - R_2 R_3}{M}.$$

Так при рівновазі $R_1 R_4 - R_2 R_3 = 0$, то

$$\Delta I_{np} = I \cdot \frac{\Delta R_1 \cdot R_4}{N} = U \cdot \frac{\Delta R_1 \cdot R_4}{M}.$$

Отже, чутливість схеми по струму

$$S_{np}^I = I \cdot \frac{R_4}{N} = U \cdot \frac{R_4}{M}. \quad (6.11)$$

Зустрічаються випадки, коли необхідно знати чутливість схеми по напрузі, наприклад, при включені в діагональ моста електричного вольтметра або електронного підсилювача. Внутрішній опір таких приладів дуже великий, отже опір вимірювальної діагоналі дуже високий і можна вважати, що міст знаходиться в режимі холостого ходу ($R_{np}=\infty$).

При цьому чутливість схеми по напрузі

$$S_{np}^U = \frac{\Delta U_{np}}{\Delta R_L} = \frac{\Delta I_{np} R_{np}}{\Delta R_L} = I \cdot \frac{R_4 \cdot R_{np}}{N} = U \cdot \frac{R_4 \cdot R_{np}}{M}. \quad (12)$$

Чутливість незрівноваженого (незбалансованого) моста залежить від кількості давачів і схеми їх включення. Найпростішою і найбільш розповсюдженою схемою є схема рівноплічного моста з одним давачем (див. рис.2), в якій

$$R_2=R_3=R_4=R_0; \quad R_1=R_0+\Delta R, \quad (13)$$

де R – опір давача при відсутності підконтрольного впливу.

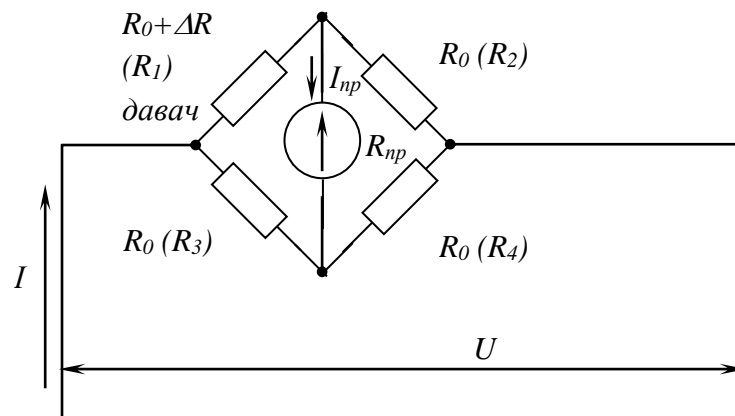


Рис.2 Незрівноважений міст з одним давачем.

Якщо давач увімкнений в перше плече моста, то опір цього плеча буде визначатись по формулі (13). При $R_1=R_0$ міст зрівноважений. Якщо $\Delta R \neq 0$, то в

діагоналі моста з'явиться струм, напрямок якого залежить від знаку приросту ($\pm\Delta R$). При наявності змінного струму зміна його напрямку означає зміну фази на 180° .

Щоб знайти струм, який проходить через прилад, використаємо основне рівняння моста (2), підставивши в нього значення (13):

$$I_{np} = \frac{R_0 \cdot (R_0 \pm \Delta R) - R_0^2}{R_{np} \cdot (4 \cdot R_0 \pm \Delta R) + 4 \cdot R_0^2 \pm \Delta R \cdot 2R_0}. \quad (14)$$

Якщо $\Delta R \ll R$, то членами, які мають в знаменнику ΔR , можна знехтувати. Тоді

$$I \approx \pm \frac{I \cdot \Delta R}{4 \cdot (R_{np} + R_0)} = \pm S_{cx} \cdot \Delta R. \quad (15)$$

Так, як $S_{cx} = \frac{\Delta I_{np}}{\Delta R}$, то

$$S = \frac{I}{4 \cdot (R_{np} + R_0)} = S_0. \quad (16)$$

Якщо прийняти чутливість моста з одним давачем за вихідну одиницю – S_0 (див. рис.2.), то чутливість всіх інших мостових схем можна виразити через S_0 . Розрахункові формали для струму і чутливості при різних способах включення давачів показані на рис.6.3.

Винятком є схема незбалансованого моста (рис.6.3.е) з реостатним давачем. Тут відношення $I=f(\Delta R)$ строго лінійне, так, як у виразі (6.2) використовується сума $R_1+R_2=\text{const}$ і знаменник не залежить від ΔR . Недоліком цієї схеми є живлення моста через ковзаючий контакт.

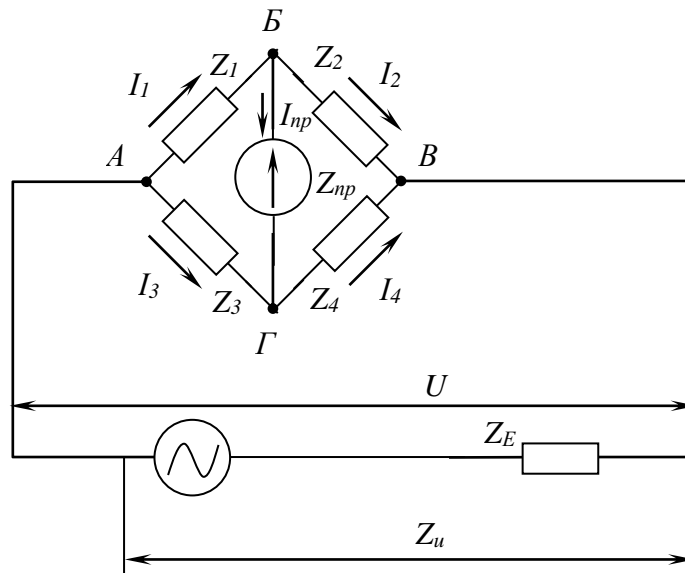


Рис.3 Мостова схема на змінному струмі.

Вище розглядалися випадки живлення моста постійним струмом. При живленні моста змінним струмом (рис.3) активні опори замінюються комплексними $Z=R+jX$, де R – активний опір, X – реактивний. При цьому значення струму в вимірювальній діагоналі

$$I_{np} = I \cdot \frac{Z_1 \cdot Z_4 - Z_2 \cdot Z_3}{N} = U \cdot \frac{Z_1 \cdot Z_4 - Z_2 \cdot Z_3}{M}. \quad (17)$$

Рівняння (1) є частковим випадком рівняння (17). Вирази для N і M тут аналогічні виразам N і M для моста постійного струму. Рівновага моста забезпечується при умові

$$Z_1 \cdot Z_2 = Z_3 \cdot Z_4. \quad (18)$$

Так, як комплексне число визначається як $Z = z \cdot e^{j\varphi}$, де $\varphi = \arctan(x \cdot R)$ – фаза і z – модуль, то вираз (6.18) можна записати у вигляді

$$z_1 z_4 \cdot e^{j(\varphi_1 + \varphi_4)} = z_2 z_3 \cdot e^{j(\varphi_2 + \varphi_3)}$$

звідки

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{z_3}{z_4}; \quad \varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3$$

Труднощі регулювання рівноваги моста змінного струму полягають в тому, що в процесі забезпечення однієї умови (рівності модулів) порушується друга (рівність фаз). Звичайно, такі мости регулюються методом послідовних наближень до отримання мінімального струму, якого можна досягнути в діагоналі.

Регулювання моста змінного струму значно спрощується в таких часткових випадках:

1. $R_1=R_2=R_3=R_4=0$. В цьому випадку має місце лише умова рівноваги:– плечі моста мають лише реактивні опори;
2. $x_1=x_2=x_3=x_4=0$; $R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$ – плечі моста мають лише активні опори;
3. $x_1 \cdot R_4 = x_3 \cdot R_2$, якщо $R_1=R_3=x_2=x_4=0$ і т.д., любі два суміжні плеча мають лише реактивні опори, а два інших – лише активні.

Розглянуті випадки рівноваги моста можливі тільки при використанні в схемі конденсаторів, так як котушки індуктивності містять активний опір.

Опис лабораторної установки.

На рис.4 зображена принципова схема установки для дослідження моста постійного струму. На принциповій схемі приведені: резистор з опором R , імітуючий давач, резистори з опором R_2, R_3, R_4 – плечі моста.

Вимикачі $B1$ і $B2$ мають таке застосування: $B1$ (двопозиційний) для вимірювання опору вимірювальної діагоналі шляхом вимикання балансних резисторів (R_6): верхнє положення – a , нижнє положення – b ; $B2$ (трьохпозиційний) – вимірювання відношення плеч вимірювального моста, тобто при верхньому положенні вимикача (a) до резисторів R_3 і R_4 , що розташовані в сусідніх плечах моста, підключаються паралельно резистори R'_3 і R'_4 , а при нижньому положенні (b) резистори R_3 і R_4 вимикаються.

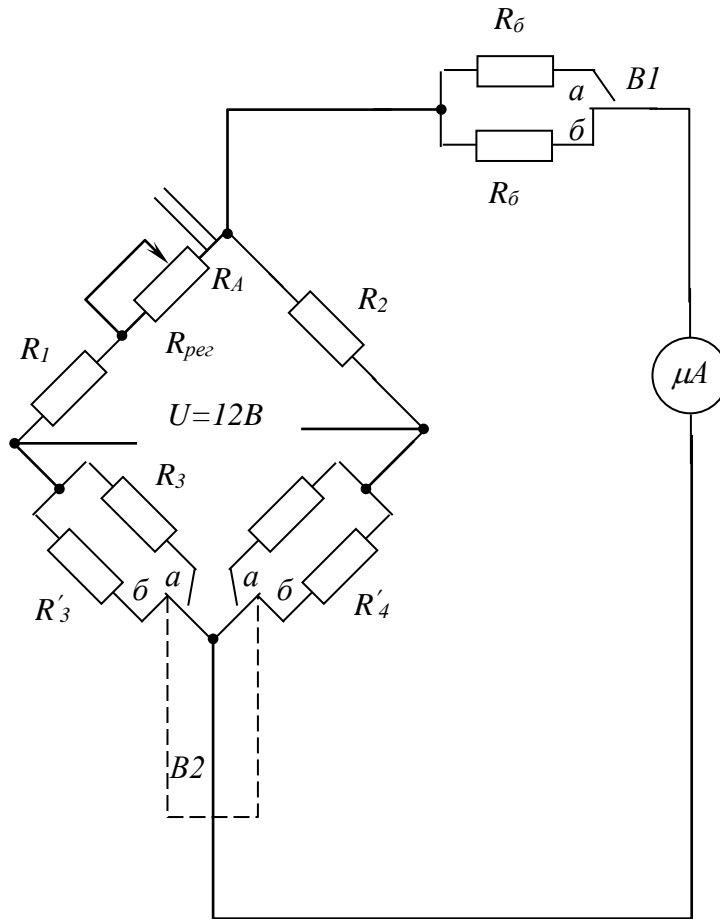


Рис.4 Принципова схема досліджуваного моста постійного струму.

Хід виконання лабораторної роботи.

Лабораторна робота виконується на емуляторі лабораторної установки для дослідження мостової схеми на постійному струмі.

1. Запустити емулятор лабораторної установки.
2. Встановити значення опорів R_2 , R_3 та R_4 .
3. Збалансувати схему для кожного з варіантів.
4. Записати отримані рівняння рівноваги.

Оформлення звіту.

Звіт повинен містити:

1. Мету роботи.
2. Принципову схему дослідження моста постійного струму з переліком обладнання і пристроїв, використовуваних в даній роботі.
3. Результати, отримані при балансуванні мостової схеми.
4. Короткі висновки по всіх пунктах виконаної роботи.

Контрольні питання.

1. Для якої мети використовують вимірювальні мостові схеми?

2. Чим відрізняються зрівноважені мости від незрівноважених? Области їх використання.
3. Чим відрізняються мости постійного струму від мостів змінного струму.
4. Як впливає на чутливість схеми положення вмикачів $B1$ і $B2$.
5. Як визначити, збалансований міст, чи ні?