

Розділ 2.2: Прилади зрівноваження.

ТЕМА: Прилади зрівноваження.

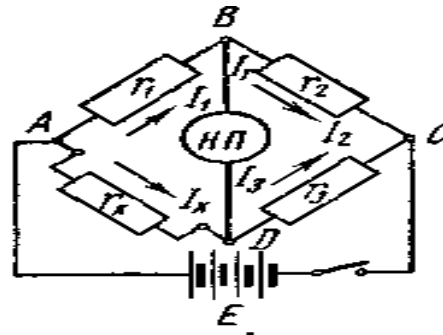
Мета: Ознайомитись з будовою та видами мостів постійного і змінного струму, з будовою та принципом роботи одинарних та двійних мостів змінного струму.

План:

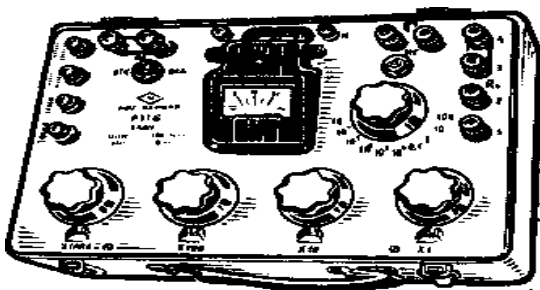
1. Мости постійного струму, будова і принцип дії, особливості і галузь застосування

2. Одинарні і двійні мости постійного струму, будова і принцип дії, особливості і галузь застосування

1. На рис.1.показана принципова схема одинарного (чотирьох-плечового) моста постійного струму.Чотири опори r_1 , r_2 , r_3 , r_x , з'єднані в замкнутий чотирикутник, і є плечима моста.Один із цих опорів r_x — вимірюваний.З інших трьох відомих опорів,обов'язково, один регульований.



а)



б)

Рис. 1. Одинарний міст постійного струму: а — принципова схема, б — зовнішній вигляд.

У діагональ BD включено нульовий показчик HP (гальванометр),а до діагоналі AC підведене живлення від джерела E . Якщо нульовий показчик має кінцевий опір r_z , тому струм I_r у його діагоналі BD може бути рівний нулю

тільки за умови: $U_{AB}=U_{DC}$ або, якщо виразити спадання напруги через відповідні струми і опори, то струм I_r буде дорівнювати нулю за умови:

$$I_1 \cdot r_1 = I_x \cdot r_x \quad \text{або} \quad I_2 \cdot r_2 = I_3 \cdot r_3$$

Оскільки при: $I_r = 0$, $I_r = I_2$, $I_x = I_3$, останній вираз прийме вигляд:

$$I_1 \cdot r_1 = I_3 \cdot r_x$$

або

$$I_2 \cdot r_2 = I_3 \cdot r_3$$

Поділивши останні дві рівності почленно одне на інше, можна одержати умову рівноваги одинарного моста постійного струму:

$$r_x \cdot r_2 = r_1 \cdot r_3 \quad (1)$$

Інакше кажучи, умовою рівноваги одинарного моста постійного струму є рівність добутків опорів протилежних плечей.

З умов рівноваги чисельне значення вимірюваного опору r_x може бути підраховане по формулі:

$$r_x = r_1 \frac{r_3}{r_2} \quad (2)$$

Із цієї формули видно, що вимір опору зводиться до регулювання одного (сусіднього з вимірюваним) плеча, названого звичайно плечем рівноваги, при постійному відношенні двох інших плеч $\frac{r_3}{r_2}$ - або до регулювання відношення двох плеч $\frac{r_3}{r_2}$ - при постійному значенні плеча зрівноваження r_1 до зникнення струму I_r в колі нульового показчика. На практиці застосовують обидва способи зрівноважування мостів.

Багато мостів постійного струму випускаються заводами в комплекті з нульовими показчиками, а іноді і із джерелами живлення (сухими елементами).

По допустимій похибці вимірювальні мости постійного струму розділяють відповідно на наступні класи точності: **0,02; 0,05; 0,2; 1 і 5**. Числове позначення класу точності відповідає допустимому значенню відносної похибки.

Конструктивне оформлення мостів досить різноманітне. У більшості сучасних чотирьохплечих мостів плечі зрівноваження звичайно виконуються у вигляді

чотирьох декад опорів: 10×1 ; 10×10 ; 10×100 і 10×1000 Ом, що забезпечує можливість його регулювання в межах від 1 до 11 110 Ом.

Плечі відношення в таких мостах звичайно роблять у вигляді набору опорів **0,001; 0,01; 0,1; 1; 10; 100; 1000 Ом**. Кількість декад плеча зрівноваження і число ступенів плеча відношення визначення межі вимірювання на мості.

Залежно від конструктивного оформлення опорів моста розрізняють: **магазинні і лінійні, або реохордні, мости.**

У **магазинних мостах** опору плеч являють собою штепсельні або важільні магазини опорів. У лінійних (реохордних) мостах (рис.2) плечі зрівноваження звичайно виконано у вигляді магазину опорів, а плечі відношення здійснюються у вигляді реохорда (каліброваного дроту), розділеного повзунком на дві регульовані частини.

Схема моста показана на рис.2. Для запобігання можливого короткого замикання джерела живлення в коло реохорди включають два обмежувальних опори r_0 .

Одинарні чотирьохплечі мости постійного струму призначені для вимірів опорів у межах від одиниць до сотень тисяч Ом. При вимірі на таких мостах опорів,

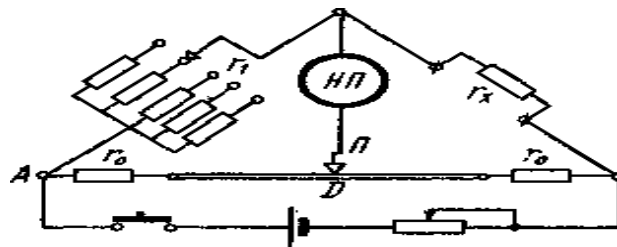


Рис. 2. Схема лінійного моста

менше одного Ома, неминучі значні похибки. При вимірі малих опорів похибка виникає через опір з'єднаних проводів і контактів, якими приєднується до моста вимірюваний опір. Чим ближче за чисельним значенням вимірюваний опір до опору сполучних проводів і контактів, тим більша похибка виміру.

2. Для виміру малих опорів застосовують спеціальні так називані **подвійні мости**. При вимірі більших (більше $1 \cdot 10^5$ Ом) опорів похибки можливі через струм витоку, які можуть з'явитися через сумірність опору ізоляції моста з

вимірюваним опором. Тому дуже великі опори, як наприклад, опір ізоляції, вимірюють за допомогою інших засобів і методів.

На відміну від одинарних чотирьохплечих мостів, у яких вимірюваний опір визначається по відомому опорі плеча зрівноваження й відношенню двох інших плеч, у подвійних шестиплечих мостах вимірюваний опір r_x зрівнюється із зразковою мірою опорю r_0 . Для зменшення впливу перехідних контактних опорів вимірюваний опір виконується або як зразкове - чотирьохзажимним, або воно включається в коло через спеціальне чотирьох зажимне пристосування. Принципова схема подвійного моста показана на рис.3.

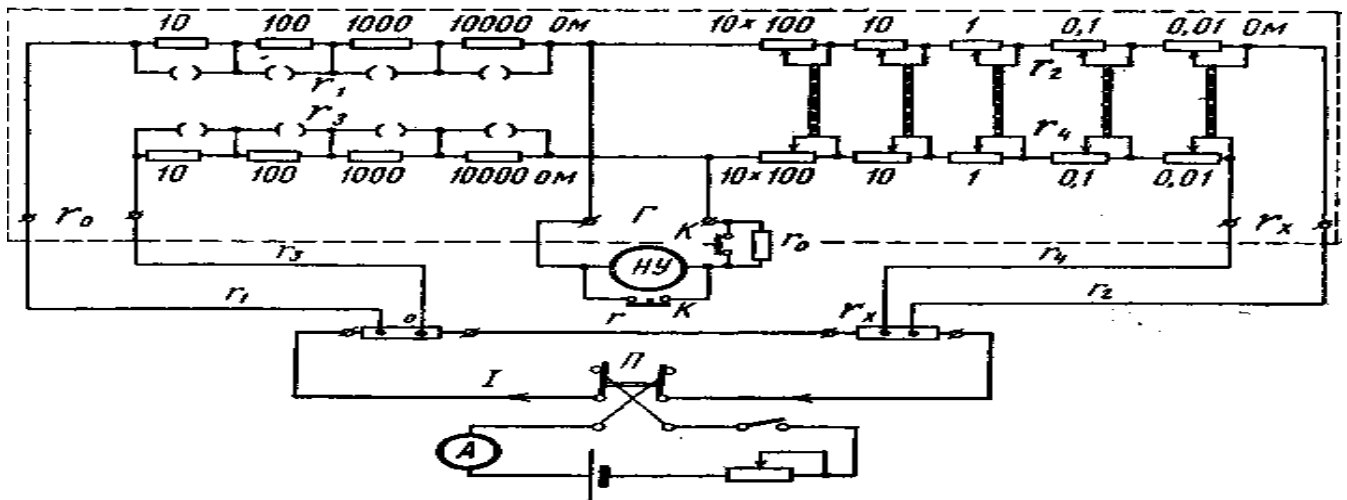


Рис. 3. Принципова схема подвійного моста

Плечима подвійного моста служать: вимірюваний опір r_x , зразковий опір r_0 і дві пари допоміжних опорів r_1-r_3 , r_2-r_4 . Можна підрахувати, що рівновага моста, тобто

відсутність струму в колі нульового показника **НП**, настане за умови:

$$r_x = \frac{r_1}{r_2} \cdot r_0 + \frac{r \cdot r_4}{r + r_3 + r_4} \cdot \left(\frac{r_1}{r_2} - \frac{r_3}{r_4} \right)$$

Якщо підбором опорів плечі моста забезпечити рівність іншого доданка правої частини цього рівняння нулю, то умова рівноваги моста значно спрощується:

$$\frac{r \cdot r_4}{r + r_3 + r_4} \left(\frac{r_1}{r_2} - \frac{r_3}{r_4} \right) = 0,$$

якщо $\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4}$ або $r_1 = r_3$; $r_2 = r_4$

Для цього перемикаючі пристрої, призначені для регулювання опорів r_1 і r_3 , механічно поєднують так, щоб їх можна було регулювати тільки одночасно і строго однаково.

Однаковими встановлюють і опору r_2 і r_4 . Провідник, що з'єднує r_0 із r_x , беруть коротше і великого січення, завдяки чому його опір r дуже малий. При виконанні зазначених вимог умова рівноваги подвійного моста приймає

наступний простий вигляд:

$$r_x = r_0 \cdot \frac{r_1}{r_2} = r_0 \cdot \frac{r_3}{r_4}$$

(3)

Як видно із цієї умови рівноваги, у подвійному мості є одне плече зрівноваження r_0 і дві пари плеч відношення: $\frac{r_3}{r_4}$ і $\frac{r_1}{r_2}$. Тому ці мости і називають подвійними. Опір плеч відношення r_1 , r_3 , r_2 , r_4 , подвійних мостах установлюють не менше **10 Ом**, тоді вплив опорів з'єднаних проводів і контактів, що мають незрівнянно менші значення, зводиться до мінімуму.

У конструкціях сучасних подвійних мостів опору плеч відношення r_2 і r_4 звичайно виконані у вигляді магазинів опорів зі штепсельним перемикаючим пристроєм, за допомогою якого можна одержати значення опорів **10, 100, 1000**, а іноді і **10 000 Ом**.

Опір іншої пари плечей відношення r_x і r_3 , як правило, являє собою чотирьох або п'яти декадних магазинів опорів з важільним перемикаючим пристроєм, що дозволяє регулювати два опори одночасно і строго однаково.

При протіканні робочого струму I (див. рис. 3) по колі r_x і r_0 може з'явитися термо-ЕРС через нагрівання місць контакту різнорідних матеріалів. Поява в схемі моста термо-ЕРС зробить більший або менший вплив на результати вимірів. Щоб виключити цей вплив термо-ЕРС вимір будь-якого опору на подвійному мості проводять обов'язково два рази, змінюючи при цьому напрям робочого струму, для чого в колі живлення встановлений спеціальний перемикач **П** напрямку струму.

Подвійні мости, призначені винятково для вимірів малих опорів. Чутливість подвійного моста залежить від чутливості нульового показника, параметрів

мостового кола і величини робочого струму. Чим більший робочий струм, тим вища чутливість моста. Звичайно, струм не повинен перевищувати значень, допустимих за умови нагрівання r_x і r_0 .

Велике поширення в цей час одержали комбіновані мости постійного струму, розраховані на роботу як за схемою одинарного, так і за схемою подвійного моста. На **рис.4** наведені електрична схема й зовнішній вигляд сучасного комбінованого моста Р-329, що випускає заводом ЗІП замість раніше виготовляючого комбінованого моста МТВ (моста Томсона-Вітстона).

Міст Р-329 являє собою комбінований одинарно-подвійний міст із окремим блоком зразкових опорів. Плечі відношення r_1 і r_3 мають по п'ять декад: **10×100 Ом, 10×10 Ом, 10×1 Ом, 10×0,1Ом і 10×0,01Ом**, що дозволяє робити відлік числового значення опору з *точністю* $\pm 0,01\%$. Плечі відношення r_2 і r_4 складаються кожне із чотирьох опорів **10, 100, 1000 і 10 000 Ом**.

Нуль-індикатор підключається до затисків 1-2 за допомогою кнопок «Грубо» і «Точно». При включенні «Грубо» послідовно з нуль-індикатором включається опір 50кОм. При включенні «Точно» нуль-індикатор включається в схему безпосередньо.

Заспокоєння нуль-індикатора здійснюється за допомогою кнопки «Заспокоєння».

Опір 10 кОм, шунтуючи гальванометр, і опір 50 Ом у колі «Заспокоєння» дають можливість працювати нуль-індикатору (як високоомному, так і низькоомному) у режимі, близькому до критичного при замиканні кнопки «Грубо».

Схема моста дозволяє при вимірах низькоомних опорів користуватися як вбудованими, так і зовнішніми зразковими опорами. Блок зразкових опорів має чотири затискачі: два струмових — **Т1 і Т2** і два потенційних — **П1 і П2** а також штепсельні колодки, що служать для включення зразкового, опору в схему.

Потенційні затискачі блоку при роботі в схемі подвійного моста з'єднуються із затискачами **+N і -N** мідними з'єднувальними планками; при переході до схеми одинарного моста цими ж планками замикаються накоротко затискачі **+N і -N**.

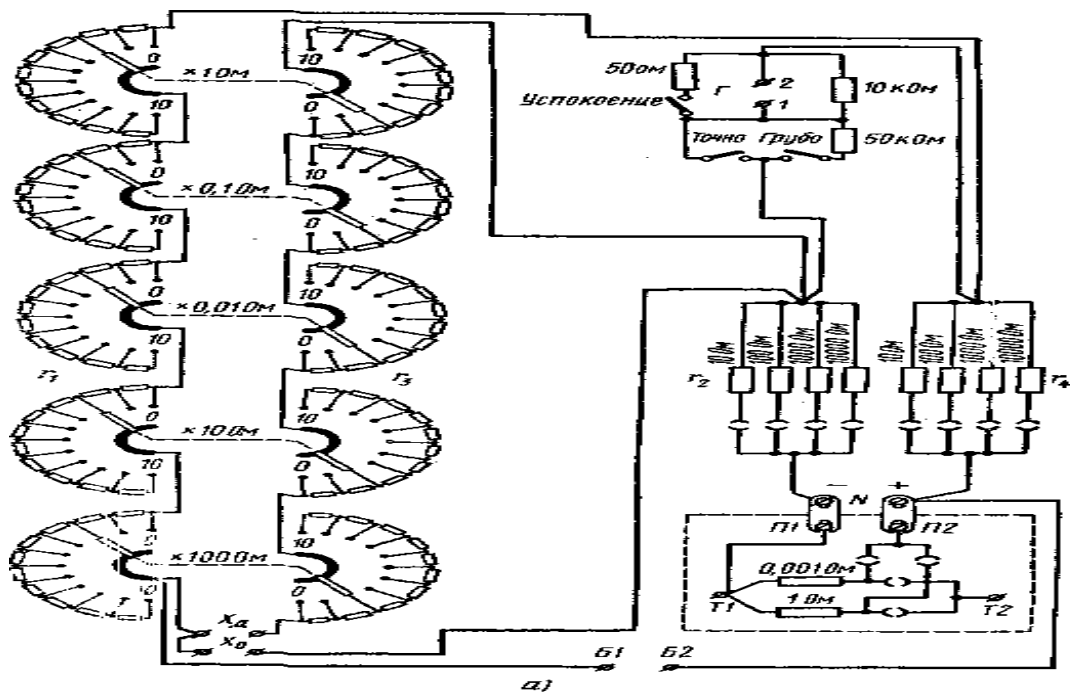
На лицьовій панелі і щитку зі схемою нанесені всі необхідні написи та пояснення. На внутрішній стороні кришки прикріплена принципова схема приладу і короткі правила користування мостом.

Для виміру мостом коротких відрізків дровових опорів застосовують чотирьох зажимну колодку зі струмовими і потенційними затискачами.

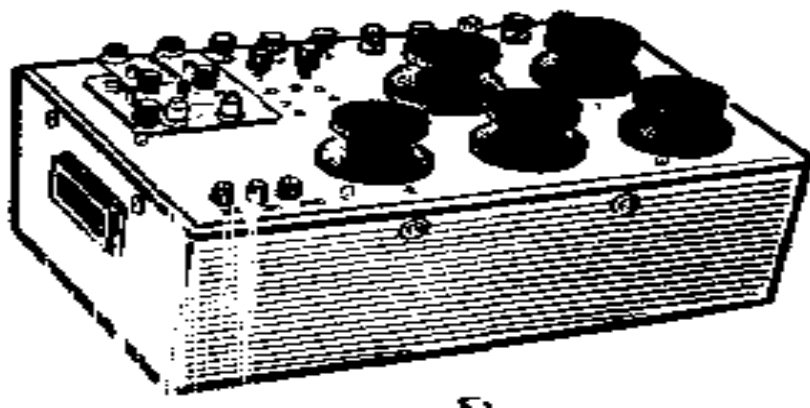
При вимірюванні на мості з використанням внутрішніх зразкових опорів струмовий затискач вимірюваного опору r_x з'єднується зі струмовим затискачем **T1** блоку зразкових опорів. Потенційні затискачі вимірюваного опору підключаються до затискачів X_d моста. У випадку застосування окремих зразкових котушок опору потенційні затискачі r_0 і r_x приєднуються до відповідних затискачів моста (**N** і X_d).

Для вимірів опорів за схемою одинарного моста затискачі **+N** і **-N** замикаються накоротко перемичкою, а вимірюваний опір r_x приєднується до затискачів моста X_0 . При всіх включеннях необхідно дотримувати полярність.

Як джерела живлення мостів постійного струму використовують звичайно акумуляторні батареї ємністю **40-100 А·с** і напругою **2-4 В**. Гальванометри бажано брати з великою чутливістю по напрузі. Критичний опір гальванометра повинне бути того ж порядку, що і опір самого моста. Найбільш підходящими варто вважати $r_{кр}$ від 500 до 2500 Ом.



а)



б)

Рис.4. Комбінований (одинарно-подвійний) міст постійного струму Р-328:
а) — принципова схема, б) — зовнішній вигляд