
В 6. Пряк и косвен метод за измерване на електрически съпротивления при постоянен ток. Мостов метод за постоянен ток. Автоматичен мост. Схеми. Условие за равновесие.

Общи сведения

- Съпротивлението е параметър, характеризиращ електрическите вериги и елементи при постоянен ток.
- Съвременната електроизмервателка техника разполага с разнообразни методи и уреди за измерване на съпротивления.
- Изборът на един или друг метод или уред зависи от конкретните изисквания на поставената задача: особеностите на измервания обект, големината на съпротивлението, желаната точност, влиянието на околната среда и др.

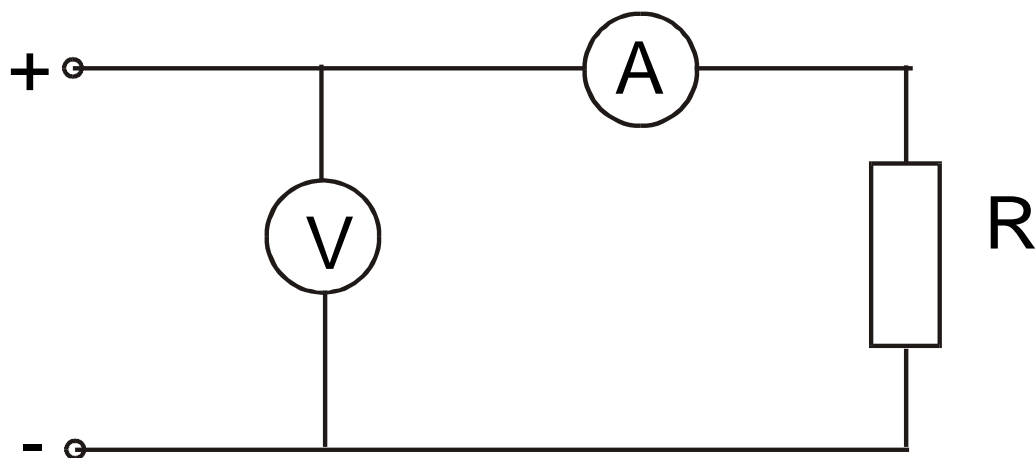
Подобхвати на съпротивленията	Стойност, Ω	Относителни грешки при измерването, %
Много малки	$10^{-8}-10^{-4}$	1-5
Малки	$10^{-4}-10$	$10^{-5}-1$
Средни	$10-10^6$	$10^{-6}-10^{-3}$
Големи	10^6-10^{10}	$10^{-3}-0,1$
Много големи	$10^{10}-10^{15}$	0,1-20

ИЗМЕРВАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ СЪПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ПОСТОЯНЕН ТОК ЧРЕЗ АМПЕРМЕТЪР И ВОЛТМЕТЪР

Методът на амперметъра и волтметъра е най-простия метод за измерване на съпротивления и се основава на закона на Ом. След като са измерени токът I през неизвестното съпротивление R и напрежението U на неговите изводи се изчислява:

$$R = \frac{U}{I}$$

Възможни са две схеми на включване на амперметъра и волтметъра: V-A и A-V схема. Определянето на съпротивлението R и по двете схеми е съпроводено с методична грешка, която се дължи на собствената консумация на измервателните уреди.



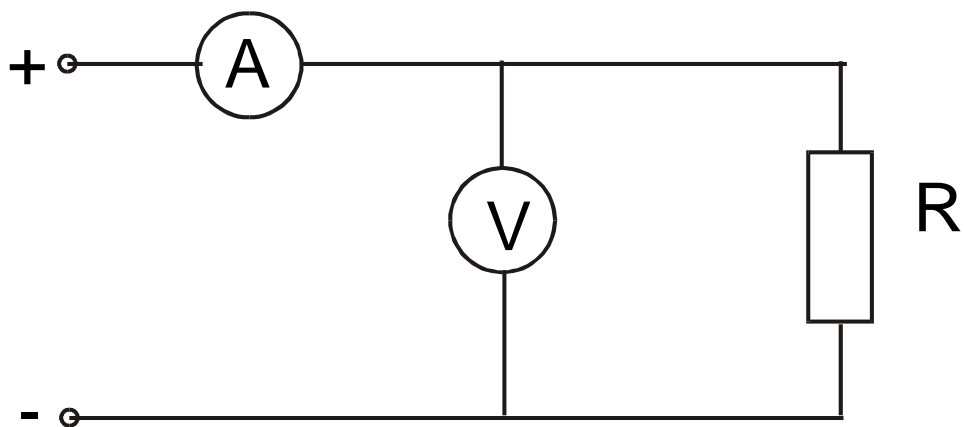
За схема V-A от уредите се определя $R_{изм}$:

$$R'_X = \frac{U}{I} = \frac{U_X + IR_A}{I} = R_X + R_A$$

Относителната методична грешка е:

$$\delta' = \frac{R'_X - R_X}{R_X} = \frac{R_A}{R_X}$$

т.е схема V-A е подходяща за измерване на сравнително големи съпротивления.



За схема A-V се определя:

$$R''_X = \frac{U}{I} = \frac{U}{I_X + I_V} = \frac{U}{U/R_X + U/R_V} = \frac{R_X R_V}{R_X + R_V}$$

$$\delta'' = \frac{R''_X - R_X}{R_X} = -\frac{R_X}{R_X + R_V}$$

Схема A-V е по-подходяща за измерване на сравнително малки съпротивления.

ЕДИНИЧЕН (УИТСТОНОВ) И ДВОЕН (ТОМСЪН) МОСТ.

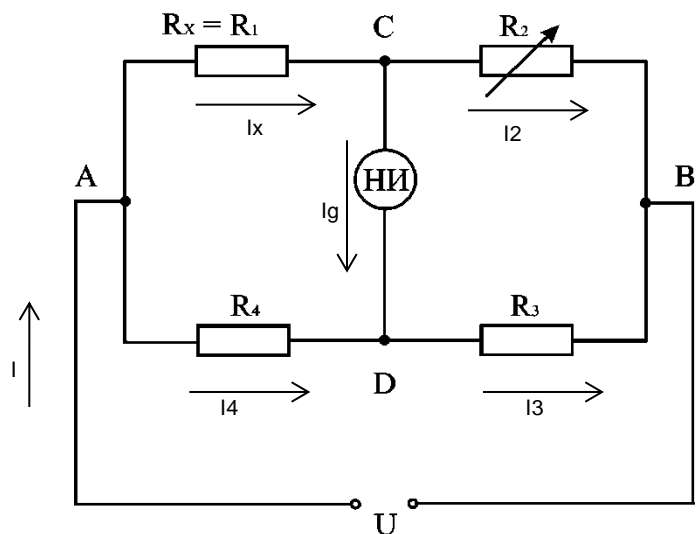
Големият диапазон от стойности на съпротивления, срещащи се в практиката (10^{-6} до $10^{14}\Omega$), а също така и голямото разнообразие на условията и обектите на измерване е причината за развитието на много методи за измерване на активни съпротивления. Имаме преки и косвени методи за измерване. Важно при провеждане на измерването е да се направи оценка на точността на резултатите от измерването.

Мостовете за постоянен ток се използват в измервателната техника за измерване на електрически съпротивления. Те са изградени на основата на сравнителния метод.

В зависимост от конфигурацията на измервателната схема биват: единичен (мост на Уитстон) и двоен (мост на Томсон). Единичните мостове се използват обикновено за измерване на съпротивления от 10 до 10^8 , а двойните от 10^{-8} до 100Ω .

Единичният мост за постоянен ток представлява четири раменна схема, съставена от резисторите R_1 , R_2 , R_3 и R_4 . Има два диагонала: захранващ диагонал АВ, към който се свързва източник за постоянно напрежение и индикаторен диагонал CD, към който се включва чувствителен измервателен уред или нулев индикатор.

Има уравновесени и неуравновесени мостови схеми. За измерване на съпротивления обикновено се използват мостове в уравновесен режим. Мостът е в равновесно състояние, когато тока през индикатора НИ е равен на нула. Това означава, че потенциалната разлика между точките С и D също е равна на нула.



Равновесие на моста се постига при условието:

$$R_1 R_3 = R_2 R_4$$

Ако едно от четирите съпротивления на мостовата схема е измерваното съпротивление (например $R_1 = R_x$) то него можем да го изчислим чрез другите три съпротивления от условието за равновесие, т.е.

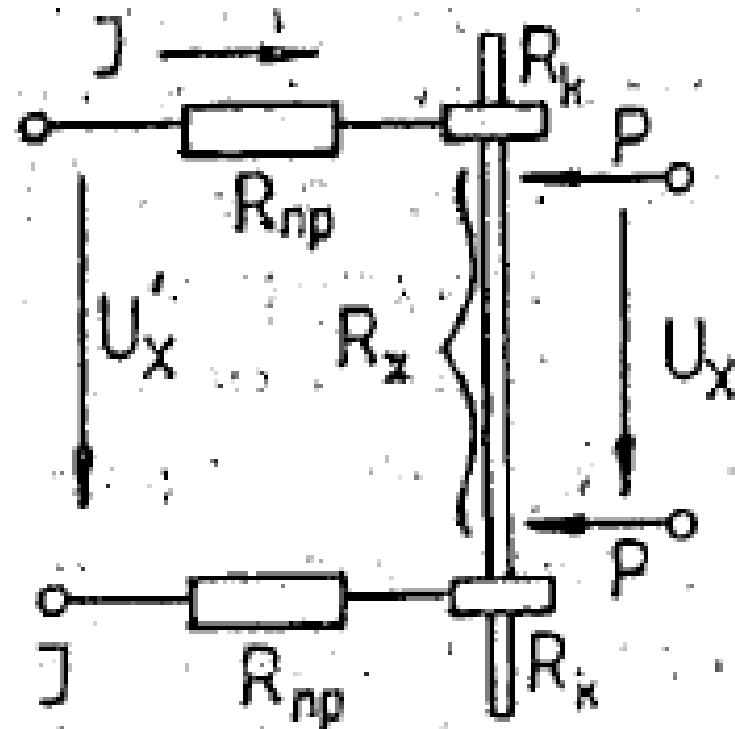
$$R_x = R_2 \frac{R_4}{R_3}$$

Установяването на състоянието на равновесие става чрез нулеви индикатори. За нулеви индикатори се използват магнитоелектрически галванометри или електронни индикатори.

В зависимост от начина, по който се постига равновесието, мостовете биват декадни (магазинни) и реохордни (линейни). При декадните мостове уравниването се извършва чрез регулиране на многоразрядна резисторна декада R_2 , а измервателните обхвати на моста се установяват чрез задаване на различни отношения R_4 / R_3 , кратни на 10^n ($n = \pm 1, \pm 2, \pm 3$). Линейните мостове се уравниват чрез изменение на отношението R_4/R_3 , което се извършва плавно и по-рядко степенно (при навит реохорд), а измервателният им обхват се задават чрез R_2 . Реохордните мостове са по-неточни от декадните и практически не се използват.

Измерване на малки съпротивления

- Влияние на контактните съпротивления и на съпротивленията на свързващите проводници - възниква положителна грешка
 - Отстраняване - чрез четириточково (четириклемно) свързване на измерваното съпротивление
 - Всички образцови резистори и шунтове се изпълняват с четири извода
- Паразитни контактни термо-е.д.н., особено при малка стойност на напрежителния пад U_x
 - Намаляване - използват се проводници от един и същи материал и потенциалните изводи се поставят пред една и съща температура.
 - Грешките, предизвикани от контактни термо-е.д.н., имат систематичен характер и могат да се изключат като се извършват две измервания при различна посока на тока.

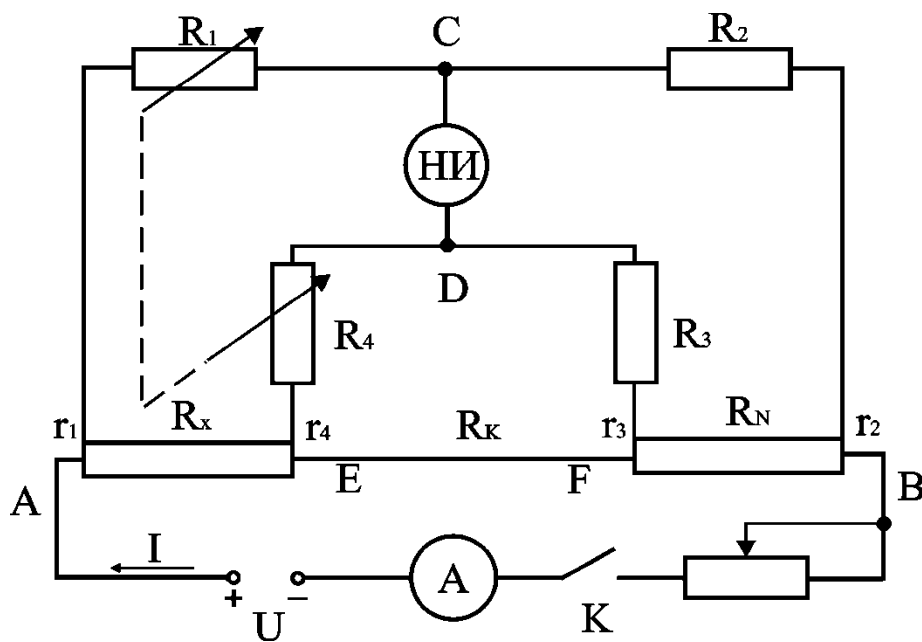


Двойният мост се използва за измерване на малки съпротивления (<100).

Принципната му схема е показана на фигурата.

Съпротивления R_x и R_N са с четири извода и са свързани по четири точкови схема с R_1, R_2, R_3 и R_4 . По този начин се намалява влиянието на паразитните съпротивления на контактните и на свързващите проводници r_1, r_2, r_3 и r_4 , тъй като те се прибавят към достатъчно големите стойности на резисторите R_1, R_2, R_3 и R_4 от мостовата схема.

Двойните мостове се използват само в уравнивесен режим.



Условието за равновесие се получава най-лесно чрез преобразуване на триъгълното свързване на R_3 , R_4 и R_k в еквивалентна звезда, при което двойният мост се преобразува в единичен и условието за равновесие, е

$$R_x = R_N \frac{R_1}{R_2} + R_k \frac{R_3}{R_3 + R_4 + R_k} \left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_4}{R_3} \right)$$

Втория член от израза може да се пренебрегне, когато са изпълнени условията:

$$R_k \approx 0$$

защото R_k е къс дебел проводник и $R_1 = R_4$ и $R_2 = R_3$

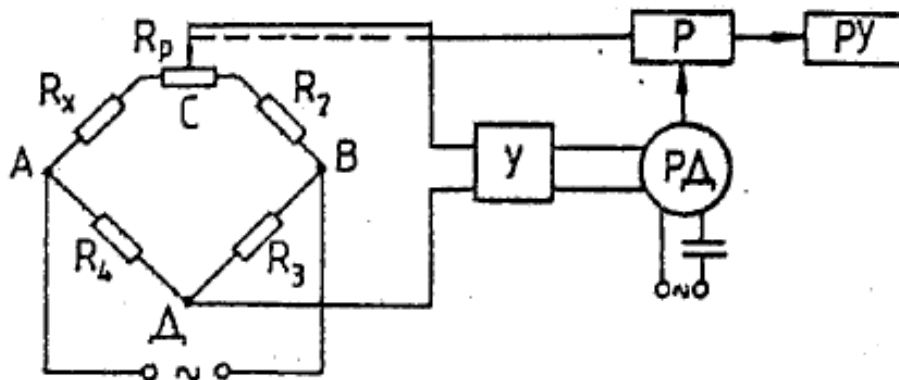
R_x се изчислява с израза:

$$R_x = R_N \frac{R_1}{R_2}$$

При точни измервания с двоен мост за избягване грешки от контактни термоелектродвижещи напрежения измерването се извършва два пъти при различна посока на тока през R_x и R_N чрез превключване на ключа K . В този случай за действителен резултат трябва да се вземе средноаритметичната стойност от двете измервания.

За да се предпазят чувствителните нулеви индикатори от повреда в началото на уравнивяването трябва да се намали тяхната чувствителност. При галванометрите това става обикновено чрез шунтирането им с нискоомен регулируем резистор, а при електронните индикатори - чрез последователно включване на високоомен допълнителен резистор.

Автоматични мостове



MC - мостова схема

У - усилвател

РД - реверсивен двигател

Р - редуктор

РУ - регистриращо устройство

- Процесът на уравнивяване на моста е автоматизиран
- При равновесие $U_{CD} = 0$ - реверсивния двигател РД е в покой
- При изменение на измерваното съпротивление $R_x \rightarrow U_{CD} \neq 0$, двигателят се задвижва и премества плъзгача на реохорда докато се уравни моста. РУ регистрира върху диаграмна хартия изменението на R_x
- Особености: променливотоково захранване - променливотоков усилвател за напрежението - не се поставят изисквания за стабилност на захранващото напрежение на мостовата схема
- Приложение: в промишлеността при измерване на различни неелектрични величини, преобразувани в съпротивление.
- Основна грешка: $\pm (0,2\% \div 0,5\%)$ при бързодействие от 0,2 s до 5 s.

ЛИТЕРАТУРА

- *Електрически измервания* – под общата редакция на проф. Борис Матраков, София, ИПК при ТУ, 1999
- *Метрология и измервателна техника*, том 1 - под общата редакция на проф. Христо Радев, София, Софтрейд, 2010
- *Електрически измервания* – под общата редакция на проф. Ал. Балтаджиев, София, ДИ Техника, 1977
- *Метрология*, Пенчо Д. Чаушев, София, ТУ 1997
- *Основи на метрологичното осигуряване*, Н. Колев, П. Чаушев, В. Гавраилов, ДИ Техника, София 1982