

## PRINCÍPY MERANIA MALÝCH/VEĽKÝCH ODPOROV Z HĽADISKA POTREBY REVÍZNEHO TECHNIKA

Doc. Ing. Ľubomír ANDRÁŠ, PhD.,

Doc. Ing. Ľuboš ANTOŠKA, PhD., *katedra Elektroniky/AOS gen. M. R. Štefánika, Liptovský Mikuláš*

### ÚVOD

Meranie je proces získavania informácií o kvantitatívnych parametroch meraných veličín. Proces merania/skúšania, na ktorom sa podieľa meraný objekt, merací prístroj a revízny technik, spočíva v experimentálnom porovnávaní hodnôt meraných veličín. V moderných automatizovaných meracích prístrojoch, ktoré využívajú revízni technici v oblasti elektro pri odborných prehliadkach a odborných skúškach (OPaOS)/revíziách veľkú úlohu zohrávajú aj merania malých/veľkých odporov, ktoré svojimi hodnotami určujú kvalitu bezpečnej prevádzky elektrických inštalácií/zariadení a ochrany človeka pred možným zásahom elektrickým prúdom. Preto je potrebné, aby revízni technici pri OPaOS/revíziách poznali aj základné metódy merania malých a veľkých odporov a výsledné namerané hodnoty správne charakterizovali a vedeli vyhodnotiť. V článku sú popísané spôsoby a základné metódy merania malých/veľkých odporov.

### 1. MERANIE ELEKTRICKÉHO ODPORU

Meraním odporu sa zisťuje koľkokrát je neznáma hodnota odporu väčšia, alebo menšia ako jednotka elektrického odporu  $1 \Omega$  (ohm).  $1 \Omega$  je definovaný ako elektrický odpor vodiča, ktorým preteká prúd  $1 \text{ A}$  a na jeho koncoch je napätie  $1 \text{ V}$ . V sústave SI sa hovorí o absolútnom ohme, od internacionálneho ohmu ( $1$  internacionálny ohm =  $1,000495$  absolútnemu ohmu), ktorý sa používal pred zavedením sústavy SI. Absolútny ohm sa určuje pomocou základných jednotiek (výpočtom z geometrických rozmerov, alebo vhodnými absolútnymi meracími metódami). Týmto spôsobom je absolútny ohm určený s presnosťou  $10^{-6}$  až  $10^{-7}$ . V praxi sa hodnoty odporov rozdeľujú na

- |                                     |                                      |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| - malé hodnoty odporov              | do $1 \Omega$ ,                      |
| - hodnoty odporov strednej veľkosti | $1 \Omega$ až $1 \text{ M} \Omega$ , |
| - veľké hodnoty odporov             | viac ako $1 \text{ M} \Omega$ .      |

V závislosti od veľkosti meranej hodnoty odporu je potrebné voliť aj vhodnú meraciu metódu.

#### 1.1. Meranie hodnôt odporov strednej veľkosti

Tieto hodnoty odporov sa v praxi vyskytujú najčastejšie. Podľa toho s akou presnosťou sa chce získať meraná hodnota odporu a o dostupnosti meracích prístrojov, je možné zvoliť jednu z nasledovných metód: **voltampérová, porovnávací, substitučná, mostíková.**

##### 1.1.1 Voltampérová metóda merania odporov

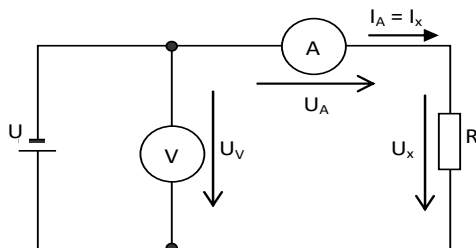
Hodnotu odporu je možné merať aj nepriamo pomocou voltmetra a ampérmetra. Voltmetrom sa zmeria úbytok napätia na odpore, ampérmetrom prúd, ktorý preteká meraným odporom a z nameraných hodnôt napätia a prúdu sa vypočíta veľkosť neznámej hodnoty odporu  $R_x$ .

$$R_x = \frac{U_V}{I_A} \quad [\Omega] \quad (1)$$

Voltmeter a ampérmeter je možné zapojiť do meracieho obvodu dvoma spôsobmi, buď sa zapojí voltmeter pred, alebo za ampérmeter. V oboch prípadoch však vznikne chyba metódy s ktorou sa musí počítať a ktorá sa dá zo známych parametrov obvodu vypočítať a následne prepočtom z výsledku odstrániť.

##### Zapojenie voltmetra pred ampérmetrom

V tomto prípade sa ampérmetrom zmeria prúd, ktorý preteká záťažou, voltmetrom však nameriame hodnotu napätia  $U_V$ , ktorá predstavuje súčet úbytkov napätí na záťaži a vnútornom odpore ampérmetra. Vypočítaná hodnota odporu podľa (1) bude zaťažená chybou, ktorú spôsobí vnútorný odpor ampérmetra.



Obr. 1. Voltampérová metóda merania odporov, zapojenie voltmetra pred ampérmetrom

**Vypočítaná hodnota odporu**

$$R'_x = \frac{U_V}{I_A} = \frac{U_A + U_x}{I_x} = R_A + R_x \quad (2)$$

**Absolútna chyba** ktorej sa pri meraní dopustíme

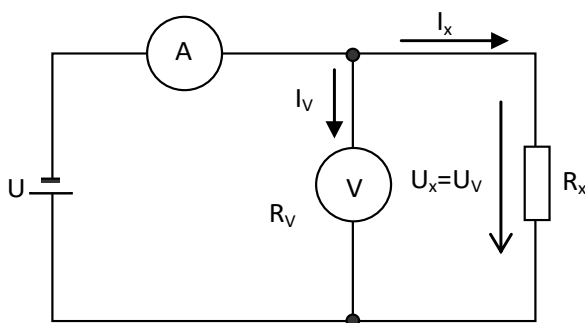
$$\Delta = N - S = R'_x - R_x = R_A + R_x - R_x = R_A, \quad (3)$$

pričom  $R_A$  predstavuje hodnotu vnútorného odporu ampérmetra. Za predpokladu, že vnútorný odpor ampérmetra poznáme, chybu merania môžeme z výsledku merania pomocným prepočtom odstrániť.

Presnosť s akou meranie vykonáme vyjadríme pomocou relatívnej chyby merania:

$$\delta = \frac{N - S}{S} \cdot 100 = \frac{R'_x - R_x}{R_x} \cdot 100 = \frac{R_A}{R_x} \cdot 100 \quad (4)$$

Ak má byť chyba merania menšia ako 0,1%, potom musí platiť  $R_x > 1000 \cdot R_A$ . Zapojenie je vhodné pre meranie **väčších hodnôt odporov**, keď bude vnútorný odpor ampérmetra v porovnaní s meraným odporom  $R_x$  malý.

**Zapojenie voltmetra za ampérmeter**

V tomto prípade voltmetrom meriame priamo úbytok napätia na odpore  $R_x$ . Ampérmetrom meriame hodnotu prúdu, ktorá je daná súčtom prúdov  $I_x$  a  $I_V$ , ktoré pretekajú jednotlivými vetvami zapojenia. Po vypočítaní hodnoty odporu podľa (1) dostaneme výsledok zaťažený chybou, ktorú spôsobí voltmeter svojim vnútorným odporom  $R_V$ .

Obr. 2. Voltampérová metóda merania odporov, zapojenie voltmetra za ampérmetrom

Vypočítaná hodnota odporu na základe nameraných hodnôt voltmetrom a ampérmetrom bude

$$R'_x = \frac{U_V}{I_A} = \frac{U_x}{I_V + I_x} = \frac{U_x}{\frac{U_x}{R_V} + \frac{U_x}{R_x}} = \frac{U_x}{\frac{U_x \cdot R_x + U_x \cdot R_V}{R_V \cdot R_x}} = \frac{R_V \cdot R_x}{R_x + R_V} \quad (5)$$

Vypočítaná hodnota odporu sa bude rovnať paralelnej kombinácii odporov  $R_x$  a  $R_V$ .

**Absolútna chyba merania**

$$\Delta = N - S = R'_x - R_x = \frac{R_V \cdot R_x}{R_x + R_V} - R_x = \frac{R_V \cdot R_x - R_V \cdot R_x - R_x^2}{R_x + R_V} = -\frac{R_x^2}{R_x + R_V} \quad (6)$$

je záporná tzn., že vypočítaná hodnota odporu je vždy menšia ako hodnota odporu  $R_x$ . Je to logický výsledok, lebo výsledná hodnota paralelnej kombinácie odporov je vždy menšia ako hodnota ktoréhokoľvek odporu zapojeného v tejto kombinácii.

Presnosť merania daná relatívnou chybou je

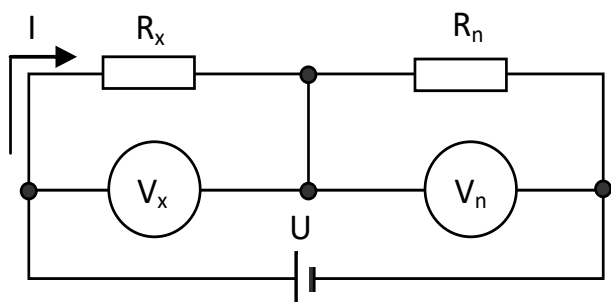
$$\delta = \frac{N - S}{S} \cdot 100 = \frac{-\frac{R_x^2}{R_x + R_V}}{R_x} \cdot 100 = -\frac{R_x}{R_x + R_V} \cdot 100 \quad (7)$$

Zapojenie voltmetra za ampérmeter je vhodné na meranie malých hodnôt odporov, keď vnútorný odpor voltmetra spôsobí malú chybu merania. Voltampérové metódy merania odporov sa v praxi najčastejšie používajú na meranie nelineárnych odporov a to buď pre  $U = \text{konštanta}$ , alebo  $I = \text{konštanta}$ . Pritom meriame funkčné závislosti  $R = f(U)$ , alebo  $R = f(I)$ .

### 1.1.2 Porovnávacia metóda

Pri tejto metóde porovnávame hodnotu neznámeho odporu  $R_x$  so známou hodnotou normálového odporu  $R_n$ . Keďže sa pri tejto metóde pracuje s rozdielom hodnôt, často túto metódu nazývame aj rozdielová metóda. Podľa zapojenia prvkov do meracieho obvodu môže byť porovnávacia metóda sériová a paralelná.

#### Sériové zapojenie



Pri sériovom zapojení sú odpory  $R_x$  a  $R_n$  zapojené do série a paralelne k nim sú pripojené voltmetre  $V_x$  a  $V_n$ . Pri tomto zapojení predpokladáme, že vnútorné odpory voltmetrov sú podstatne väčšie ako hodnoty odporov  $R_x$  a  $R_n$ . Čím väčšie sú vnútorné odpory voltmetrov, tým je menšia chyba metódy, ktorá pri meraní vzniká ich zanedbaním vo vzťahu pre výpočet.

Obr. 3. Sériové zapojenie pre realizáciu porovnávacej metódy

Pre hodnotu prúdu  $I$ , ktorý preteká sériovou kombináciou odporov  $R_x$  a  $R_n$  za predpokladu veľkých vnútorných odporov voltmetrov platí

$$I = \frac{U_x}{R_x} = \frac{U_n}{R_n} \Rightarrow R_x = \frac{U_x}{U_n} \cdot R_n, \quad (8)$$

pričom  $U_x$  a  $U_n$  sú hodnoty napätí namerané voltmetrami  $V_x$  a  $V_n$ . Toto zapojenie porovnávacej metódy je vhodné pre merania malých hodnôt odporov. Keby sme týmto zapojením chceli merať aj väčšie hodnoty odporov, museli by sme vo výslednom vzťahu pre výpočet odporu  $R_x$  uvažovať aj s vnútornými odpormi voltmetrov. V opačnom prípade by chyba metódy bola veľká.

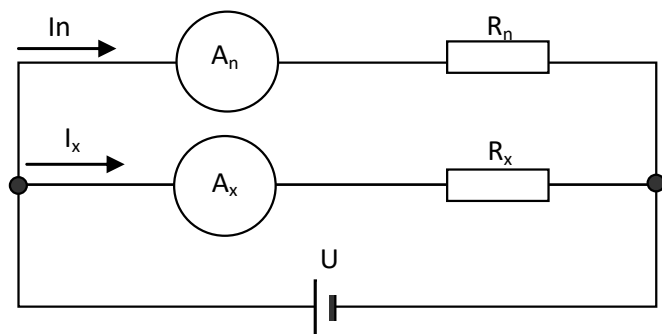
Za predpokladu, že na pozíciu napäťového zdroja  $U$  zapojíme zdroj konštantného prúdu, môžeme meranie realizovať len pomocou jedného voltmetra, ktorým zmeriame úbytok napätia raz na odpore  $R_x$  a potom na odpore  $R_n$ . Ak by hodnoty odporov  $R_x$  a  $R_n$  boli rovnaké a vnútorné odpory voltmetrov by sa tiež rovnali, chyba metódy by sa rovnala nule.

#### Paralelné zapojenie

Pri tomto zapojení sú odpory  $R_x$  a  $R_n$  zapojené paralelne a do série s nimi sú zapojené ampérmetre so svojimi vnútornými odpormi. Predpokladáme, že vnútorné odpory ampérmetrov majú v porovnaní s odpormi  $R_x$  a  $R_n$  malé hodnoty a preto ich vo výslednom vzťahu pre výpočet odporu  $R_x$  neuvažujeme. Pre hodnotu napájacieho napätia  $U$  potom platí

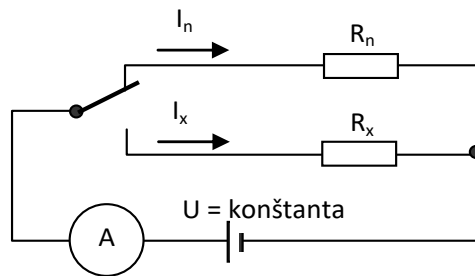
$$U = I_n \cdot R_n = I_x \cdot R_x \Rightarrow R_x = \frac{I_n}{I_x} \cdot R_n, \quad (9)$$

Kde:  $I_x$  a  $I_n$  sú hodnoty prúdov namerané ampérmetrami  $A_x$  a  $A_n$ .



Paralelné zapojenie porovnávacej metódy je vhodné pre meranie väčších hodnôt odporov, kedy môžeme vnútorné odpory ampérmetrov zanedbať. Ak by boli odpory  $R_x$  a  $R_n$  porovnateľné s vnútornými odpormi ampérmetrov, vo vzťahu pre výpočet by sme ich museli uvažovať. V opačnom prípade by chyba metódy bola veľká.

Obr. 4. Paralelné zapojenie porovnávacej metódy



Za predpokladu, že na pozíciu napäťového zdroja  $U$  zapojíme zdroj konštantného napätia, môžeme meranie realizovať len pomocou jedného ampérmetra, ktorým zmeriame prúd pretekajúci raz odporom  $R_x$  a potom odporom  $R_n$ .

Obr. 5. Realizácia metódy pomocou stabilizovaného zdroja napätia a jedným ampérmetrom

Ak by hodnoty odporov  $R_x$  a  $R_n$  boli rovnaké a vnútorné odpory ampérmetrov by sa tiež rovnali, chyba metódy by sa rovnala nule.

### 1.1.3 Substitučná metóda

Substitučná metóda merania odporov je veľmi podobná porovnávacej metóde a realizuje sa podľa zapojení na obr.3, obr. 4, obr. 5. Zapojenia sa odlišujú len v tom, že na pozícii normálového odporu  $R_n$  nemáme zapojený odpor s pevnou hodnotou, ale odpor s premennou hodnotou.

Pri meraní postupujeme tak, že zmenou hodnoty odporu  $R_n$  dosahujeme stav, keď pri sériovom zapojení odporov  $R_x$  a  $R_n$  budú na odporoch rovnaké úbytky napätí a pri paralelnej kombinácii  $R_x$  a  $R_n$  budú odpormi pretekať rovnaké prúdy. Tento stav nazývame stavom vykompenzovania a je charakteristický tým, že za predpokladu rovnakých vnútorných odporov meracích prístrojov bude chyba metódy nulová.

Presnosť merania bude závisieť od chýb jednotlivých meracích prístrojov. Za predpokladu, že na meranie úbytkov napätí sa použije zapojenie s jedným voltmetrom a pre meranie prúdov zapojenie s jedným ampérmetrom, chyba meracích prístrojov sa neuplatní a presnosť bude závisieť len od presnosti odporového normálu.

Pri použití substitučnej metódy platia tie isté zásady ako pri porovnávacej metóde. Sériové sa používa na meranie malých a paralelné na meranie veľkých hodnôt odporov, aby vnútorné odpory meracích prístrojov nespôsobovali chybu merania. Za predpokladu, že pri meraní sa použije zapojenie s jedným meracím prístrojom (vtedy „dosiahneme“ rovnosť vnútorných odporov meracích prístrojov) táto zásada pri substitučnej metóde stráca zmysel.

### 1.1.4 Mostíková metóda

Doterajšie metódy merania odporov strednej veľkosti (okrem substitučnej metódy s jedným meracím prístrojom) mali výsledok merania ovplyvnený presnosťou použitých meracích prístrojov. Mostíková meracia metóda používa merací prístroj iba na indikáciu určitého stavu mostíka. Chyba meracieho prístroja teda neovplyvňuje presnosť merania. Zapojenie pre realizáciu metódy je zložitejšie, ale dosahovaná presnosť je podstatne väčšia.

Prvýkrát uviedol mostíkové zapojenie p. Wheatston a preto sa často mostíkové zapojenia označujú jeho menom. V praxi poznáme dva základné druhy mostíkov

- dekadový,
- drôtový.

#### Dekádový mostík

Pri dekadovom mostíku sa jedná o zapojenie odporov  $R_1$  až  $R_4$  podľa obr. 6. Na pozíciu odporu  $R_1$  sa spravidla zapája neznámy meraný odpor  $R_x$ . Odpor  $R_2$  býva najčastejšie realizovaný odporovou dekadou a pomocou odporov  $R_3$  a  $R_4$  vytvárame vhodný dekadický deliaci pomer za účelom čo najpresnejšieho merania neznámeho odporu. Mostík vyvážíme zmenou odporu  $R_2$  tak, aby vetvou medzi bodmi B a D mal prúd nulovú hodnotu, čo je indikované galvanometrom G.

Pri vyváženom mostíku bude medzi uzlami B a D nulové napätie a platí

$$I_1 \cdot R_1 = I_3 \cdot R_3 \quad I_2 \cdot R_2 = I_4 \cdot R_4 \quad (10)$$

$$\frac{I_1}{I_3} = \frac{R_3}{R_1} \quad \frac{I_2}{I_4} = \frac{R_4}{R_2} \quad (11)$$

Keďže prúd  $I_g = 0$ , musí podľa I. Kirchhoffovho zákona platiť, že  $I_3 = I_4$  a  $I_1 = I_2$ .

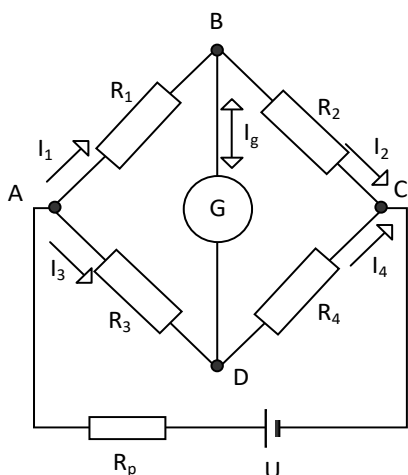
Na základe je možné vzťah (11) písať v tvare

$$\frac{I_1}{I_3} = \frac{R_3}{R_1} \quad \frac{I_2}{I_4} = \frac{R_4}{R_2} \quad (12)$$

Keď sa rovnajú ľavé strany rovníc, musia sa rovnať aj pravé a preto platí

$$\frac{R_3}{R_1} = \frac{R_4}{R_2} \quad (13)$$

$$\text{a odiaľ dostaneme } R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3. \quad (14)$$



Rovnicu 14, ktorá popisuje vyvážený stav v mostíku nazývame podmienkou rovnováhy Wheatstonovho mostíka a vo všeobecnosti ju môžeme interpretovať: súčin hodnôt odporov v protiľahlých vetvách mostíka musí byť v stave vyváženia rovnaký. Dekádové zapojenie Wheatstonovho mostíka sa používa na presné laboratórne merania. Dosahovaná presnosť sa pohybuje až 0.001% a závisí predovšetkým od presnosti použitých odporových dekád a citlivosti indikátora. Merací rozsah tohto typu mostíka sa pohybuje od 0.1  $\Omega$  až do 10 M  $\Omega$ .

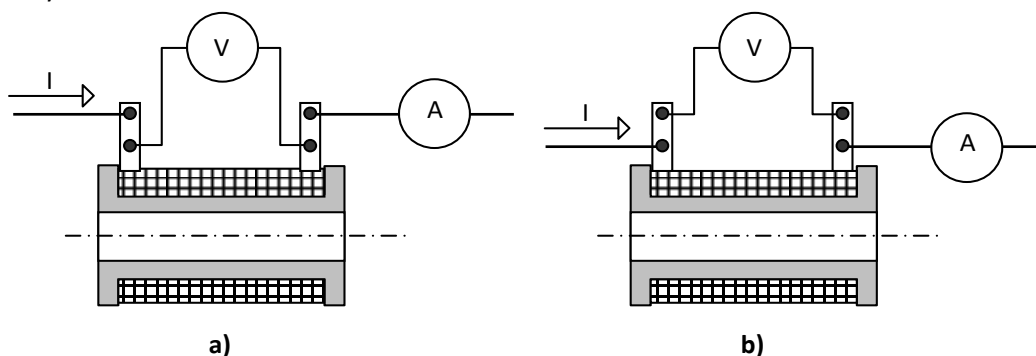
Obr. 6. Zapojenie Wheatstonovho dekádového mostíka

## 1.2 Meranie odporov malých hodnôt

Na meranie malých hodnôt odporov sa používajú metódy: **voltampérová, porovnávacia, mostíková**. Priame meracie metódy sa nepoužívajú, lebo citlivosť prístrojov nie je tak veľká aby bolo možné nimi merať malé hodnoty odporov s dostatočnou presnosťou. Podobne je to aj pri substitučných metódach, ktoré používajú odporové dekády ako premenné odporové normály a tieto dekády majú najmenšiu nastavitelnú hodnotu odporu vysokú vzhľadom na meranú malú hodnotu odporu. To má za následok veľkú chybu pri meraní.

### 1.2.1 Voltampérová metóda

Táto metóda bola popísaná v predchádzajúcej časti a pre ňu sa v tomto prípade hodí len zapojenie voltmetra za ampérmetr. Pri presnom meraní sa musí pri zapojení meraného odporu do obvodu zapojiť voltmeter tak, aby meral len úbytok napätia na odpore a vylúčilo sa meranie úbytku napätia na prechodových odporoch, ktoré vzniknú pripojením meraného odporu do prúdovej vetvy meracieho obvodu. Na obr. 7a je nakreslené správne a na obr. 7b nesprávne zapojenie voltmetra pri meraní malých hodnôt odporov voltampérovou metódou. Pri zapojení podľa obr. 7b voltmeter meria úbytok napätia na cievke zväčšený o úbytky napätia na prechodových odporoch svoriek, kde je meraný odpor pripojený do prúdovej vetvy.



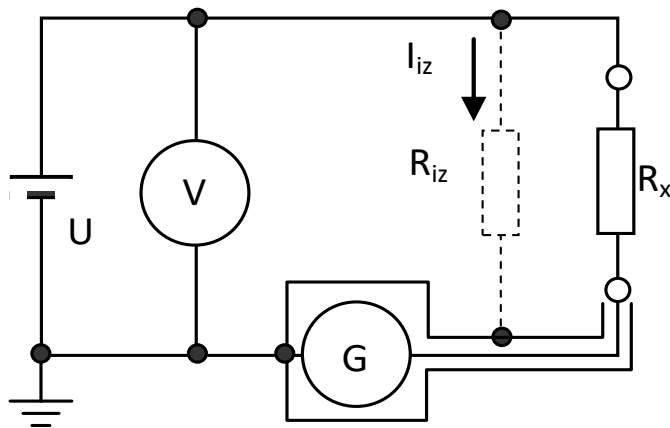
Obr. 7. Správne a) a nesprávne b) zapojenie voltmetra pri meraní malých hodnôt odporu

Keďže úbytky na prechodových odporoch môžu spôsobiť veľkú chybu pri meraní, je potrebné vyvarovať sa nesprávneho zapojenia.

### 1.2.2 Porovnávacia metóda

Princíp, zapojenie aj realizácia metódy je rovnaká ako pri sériovom zapojení porovnávacej metódy. Dôležité je aj miesto pripojenia voltmetrov do meracieho obvodu. Platia tu tie isté zásady zapojenia ako pri voltampérovej metóde merania malých odporov zobrazené na obr. 7.

### 1.3 Meranie odporov veľkých hodnôt



Na meranie odporov veľkých hodnôt sa používa zapojenie voltampérovej metódy obr. 8. Vzhľadom na to, že pri meraní pretekajú obvodom veľmi malé prúdy, na pozícii ampérmetra býva zapojený galvanometer. Pri meraní odporov s hodnotami  $10^6$  a viac, musíme použiť tieneny prepojovací vodič medzi galvanometrom a meraným odporom. V prípade použitia len obyčajného vodiča by sa pri meraní veľmi zmenil prejavil izolačný odpor medzi prívodmi meraného odporu.

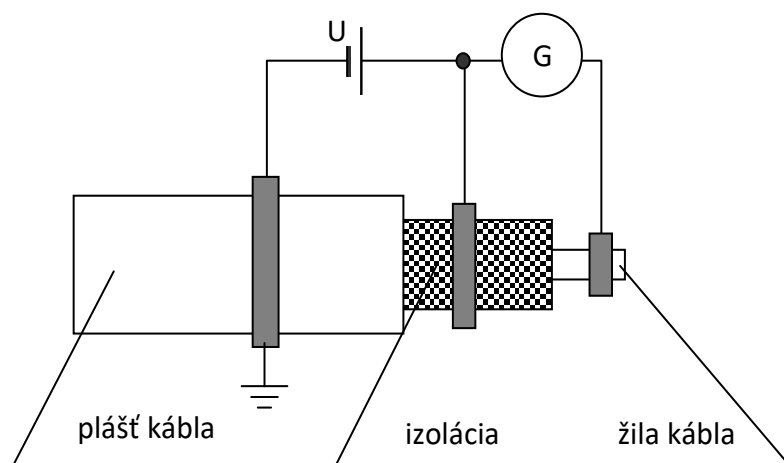
Obr. 8 Voltampérová metóda pre meranie odporov veľkých hodnôt

V zapojení s tieneným vodičom obr. 8 prúd  $I_{iz}$  galvanometrom nepreteká a teda ani neovplyvňuje meranie. Keďže vnútorný odpor galvanometra je zanedbateľný v porovnaní s meraným odporom  $R_x$ , hodnotu meraného odporu vypočítame priamo z nameraných hodnôt napätia a prúdu meracími prístrojmi.

$$R_x = \frac{U_V}{I_G} \quad (15)$$

### 1.4 Meranie izolačných odporov

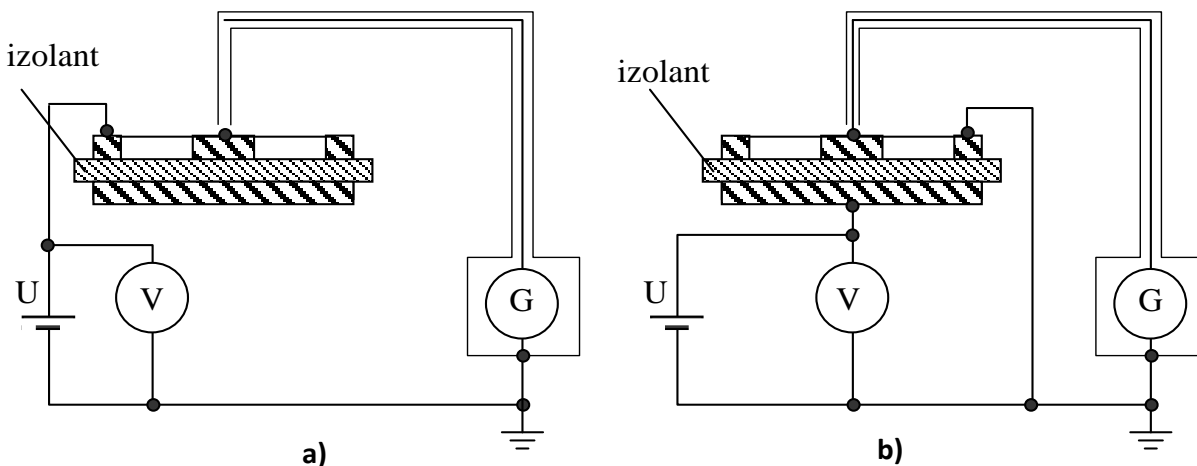
Po pripojení jednosmerného napätia na izolant tečie obvodom prúd, ktorý sa skladá z nabíjacieho prúdu, absorpčného prúdu a ustálenej zložky prúdu. Pri určovaní elektrického odporu začíname zvyčajne merať prúd až po ukončení nabíjacej zložky.



V kvalitných elektroizolačných materiáloch nabíjacia zložka prúdu zanikne až po niekoľkých hodinách, preto sa v technickej praxi pre výpočet odporu uvažuje hodnota prúdu prechádzajúca vzorkou izolantu jednu minútu po pripojení napätia. Táto doba je určená medzinárodnou normou.

Obr. 9 Meranie izolačného odporu káblového plášťa

Odpor izolantov meriame pri intenzitách elektrického poľa  $E \leq 1 \text{ kV/mm}$ , pretože pri vyšších hodnotách intenzity elektrického poľa sa izolanty nemusia chovať ako ohmické odpory. Napájacie napätie meraného obvodu nemá byť väčšie ako 1 kV, aby nebolo potrebné vyhýbať sa ostrým hranám a tenkým vodičom pre zamedzenie iskrenia.



Obr. 10 Meranie izolačného odporu a) a povrchového odporu b) izolačného materiálu

Pri meraní elektrického odporu izolantov treba rozlišovať vnútorný, povrchový a izolačný odpor.

Vnútorný odpor sa rovná pomeru jednosmerného napätia a prúdu tečúceho iba vnútro vzorky medzi dvoma priloženými elektródami. Povrchový odpor je definovaný pomerom napätia a prúdu tečúceho povrchom vzorky medzi dvoma elektródami.

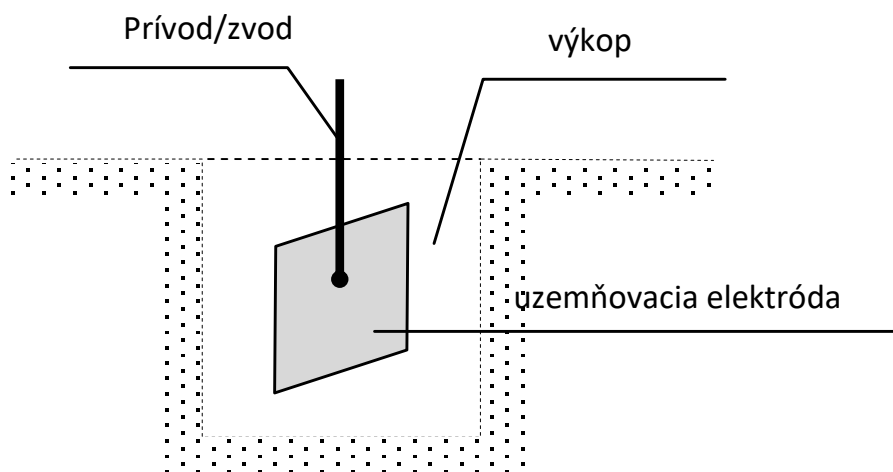
Izolačný odpor je určený pomerom napätia a celkového prúdu tečúceho vnútro aj povrchom vzorky medzi dvoma elektródami.

Pri meraní vnútorného aj povrchového odporu treba oddelene merať prúd, ktorý tečie vnútro vzorky a prúd tečúci povrchom vzorky. To sa dosiahne vhodným usporiadaním elektród obr. 10. Hodnota odporu sa vypočíta podľa ohmovho zákona z nameraných hodnôt napätia voltmetrom a prúdu galvanometrom.

### 1.5 Meranie odporu uzemnenia

Uzemnenie elektrických zariadení je veľmi dôležité v slaboprúdovej aj silnoprúdovej elektrotechnike. Niekedy sa tiež používa aj ako spätný vodič, ale hlavný dôvod použitia je ochrana obsluhujúceho personálu pri prípadnej poruche elektrického zariadenia, prípadne jeho havárii. Pri uzemnení musí byť odpor uzemnenia čo najnižší. Aby uzemnenie splňovalo svoj účel, hodnota uzemňovacieho odporu nesmie

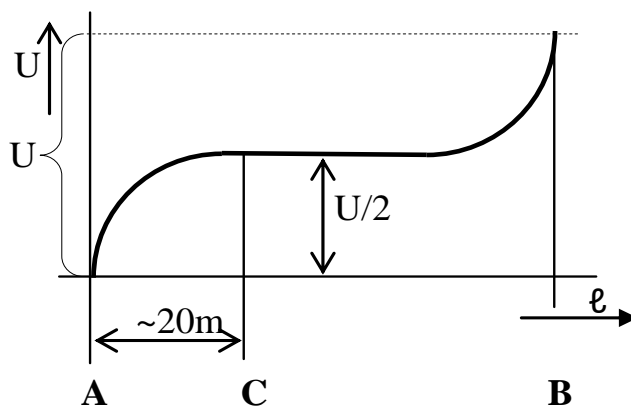
prekročiť určenú hodnotu. Keďže jeho hodnota sa časom mení, pri pravidelných kontrolách uzemnení sa meria práve hodnota odporu uzemnenia. Presnosť merania obyčajne nie je lepšia ako  $\pm 5\%$ . Pri meraní sa nepoužíva jednosmerný prúd, pretože polarizačné napätie, ktoré vzniká medzi vlhkou zemou a elektródami by na meranie pôsobilo rušivo.



Obr. 11 Uzemňovacia sústava

Uzemňovacia sústava znázornená na obr. 11 sa skladá z vlastnej uzemňovacej elektródy a prívodu. Uzemňovacia elektróda môže mať tvar dosky, rúrky, pásu alebo tyče. Povrch uzemňovacej elektródy nemá podliehať korózii, aby sa nezvyšoval odpor uzemnenia. Odpor uzemnenia nazývame celkový odpor medzi uzemňovaným miestom a elektródou, ktorá je vzdialená aspoň 20 m od uzemňovacej elektródy. Je to súčet odporu prívodu/zvodu, rezistivity zeme/merný odpor a prechodových odporov (prívod/zvod-uzemňovacia elektróda, uzemňovacia elektróda- zemina) a hodnoty odporu uzemňovacej elektródy.

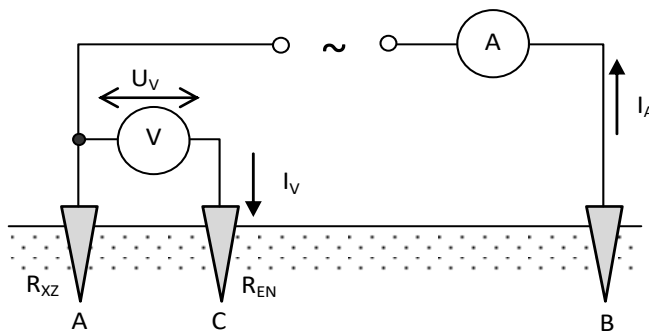
Meracie metódy na meranie uzemňovacieho odporu sa od predchádzajúcich odlišujú predovšetkým v tom, že pri meraní používajú striedavý prúd. To má za následok, že pri meraní musíme brať do úvahy aj kapacitu



uzemňovacej elektródy a potom vlastne meriame impedanciu uzemňovacej sústavy. Meranie môže byť ovplyvnené aj frekvenciou použitého striedavého prúdu. Zásadne treba merať pri takej frekvencii, pre akú sa bude uzemnenie používať. Pribeh potenciálu medzi dvoma elektródami je znázornený na obr. 12. Prakticky celý úbytok napätia na jednej elektróde je v jednej štvrtine vzdialenosti medzi elektródami za predpokladu, že elektródy sú v dostatočnej vzdialenosti od seba.

Obr. 12 Pribeh potenciálu medzi uzemňovacou a meracou (pomocnou) elektródou

Najjednoduchšia metóda na určenie hodnoty odporu uzemnenia je voltampérová metóda podľa obr. 13.



V obvode zdroja striedavého prúdu je zapojený ampérmetr, pomocná elektróda B - prúdová a uzemňovacia elektróda  $R_{XZ}$ . Napätovú elektródu  $R_{EN}$  musíme umiestniť vo vzdialenosti aspoň 20 m od meranej uzemňovacej elektródy  $R_{XZ}$ .

Obr. 13 Voltampérová metóda merania odporu uzemnenia

Pre zapojenie na obr. 13 platí vzťah:

$$R_{XZ} = \frac{U_V + I_V \cdot R_{EN}}{I_A - I_V} = \frac{I_V \cdot (R_V + R_{EN})}{I_A - I_V} \quad (16)$$

Kde:  $R_{XZ}$  - odpor meraného uzemňovača A,  $R_{EN}$  - odpor napätovej elektródy C,  $U_V$  - napätie merané voltmetrom,  $I_V$  - prúd pretekajúci voltmetrom,  $I_A$  - prúd meraný ampérmetrom.

Ak je odpor napätovej elektródy  $R_{EN}$  oproti vnútornému odporu voltmetra zanedbateľný (to je splnené prakticky vždy) a prúd tečúci voltmetrom oproti celkovému prúdu  $I_A$  tiež zanedbateľný, je možné vzťah (16) zjednodušiť na výsledný tvar  $R_{XZ} = U_V / I_A$ .

Doc. Ing. Ľubomír ANDRÁŠ, PhD., katedra Elektroniky/AOS gen. M. R. Štefánika, 031 06 Liptovský Mikuláš 6, Demänová 393, tel.: 0960 423883, E-mail: lubomir.andras@aos.sk.

Doc. Ing. Ľubomír ANTOŠKA, PhD., katedra Elektroniky/AOS gen. M. R. Štefánika, 031 06 Liptovský Mikuláš 6, Demänová 393, tel.: 0960 423246. E-mail: lubos.antoska@aos.sk.

