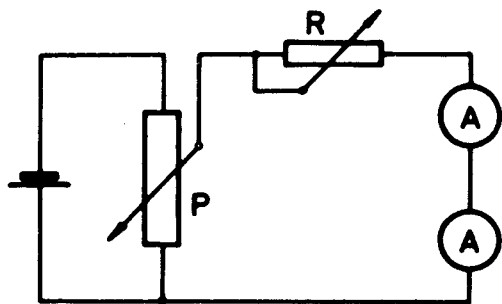


## Cejchování ampérmetru



Obr. 6

Ampérmetr lze cejchovat normálním ampérmetrem nebo normálním voltmetrem a etalonem odporu. V prvním případě zapojíme obvod podle obr.6 , v druhém použijeme obvod zakreslený na obr.5 . Cejchujeme-li ampérmetr voltmetrem, mohou výsledek měření ovlivnit stejné chyby jako při cejchování voltmetru ampérmetrem. Správnou hodnotu proudu tekoucího ampérmetrem vypočítáme ze vztahu

$$I = U \left( \frac{1}{R_N} + \frac{1}{R_V} \right) , \quad (17)$$

který je ekvivalentní s výrazem (16).

## Literatura

- [1] Brož J. a kol.: Základy fyzikálních měření I, SPN, Praha 1983, čl. 4.1.4.2, 4.1.4.6, stať 4.1.5, čl. 4.3.2.2, 4.1.1, 4.1.2, 4.1.5, 4.1.6, 4.1.7 .

## 2. MĚŘENÍ ODPORU

### Pracovní úkol

1. Změřte substituční metodou vnitřní odpor používaných měřících přístrojů na těch rozsazích, na kterých měřící přístroj nejvíce ovlivňuje výsledek měření.
2. Změřte přímou metodou závislost odporu vlákna žárovky na proudu, který jím protéká. Výsledky měření zpracujte graficky a stanovte odpor vlákna žárovky za pokojové teploty.
3. Určete chyby měření.
4. Diskutujte, nakolik na jednotlivých rozsazích měřící přístroje ovlivňovaly výsledky.

### Změna odporu měřícího přístroje při přepnutí rozsahu.

U měřících přístrojů s otočnou cívkou se běžně nastavuje rozsah měřícího přístroje bočnickem (ampérmetr) nebo předřadným odporem (voltmetr). Bočnickem se rozumí rezistor připojený paralelně k měřícímu systému. Chceme-li zvětšit rozsah přístroje  $n$ -krát, musí být odpor  $R_D$  bočnicku  $(n-1)$ -krát menší než odpor  $R_a$  systému.

$$R_b = R_a \frac{1}{n-1} \quad (1)$$

Při přepínání rozsahu ampérmetru se proto mění vnitřní odpor  $R_i$  přístroje. Největší vnitřní odpor má ampérmetr zpravidla na nejcitlivějším (nejmenším) rozsahu. Při přepnutí přístroje na  $n$ -krát větší rozsah se však vnitřní odpor přístroje nezmění přesně  $n$ -krát, jak by odpovídalo paralelnímu spojení odporů  $R_b$  a  $R_a$  volených podle vztahu (1), ale méně. Je to způsobeno tím, že výrobci nenastavují citlivost ampérmetru pouze bočníkem, ale kombinací seriově a paralelně řazených rezistorů (odporovým děličem).

Rozsah voltmetrů se mění do série se systémem řazeným rezistorem (předřadným odporem  $R_p$ ). Chceme-li zvětšit rozsah voltmetru  $n$ -krát, je nutno použít předřadný odpor  $(n-1)$ -krát větší než odpor  $R_v$  systému voltmetru.

$$R_p = (n-1) R_v \quad (2)$$

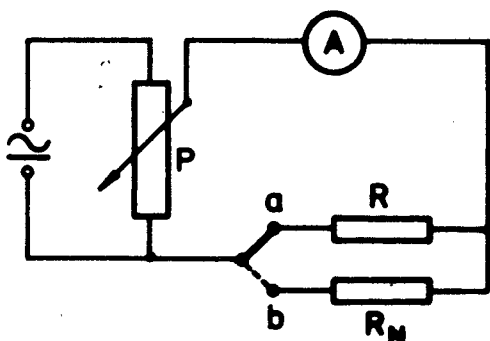
Zapojením předřadného odporu se vnitřní odpor  $R_i$  voltmetru zvětší  $n$ -krát.

$$R_i = R_p + R_v = n R_v \quad (3)$$

S univerzálními měřicími přístroji lze měřit nejen stejnosměrný proud a napětí ale i střídavý proud a napětí. U systémů s otočnou cívkou je výchylka systému úměrná střední hodnotě proudu protékajícího cívkou (viz. rov. (9) úlohy 1). Musí být proto přístroj vybaven usměrňovačem, zpravidla diodami v můstkovém zapojení. Voltampérová charakteristika diod není lineární, není proto lineární ani stupnice pro střídavé proudy a napětí. Stupnice je vynášena v efektivních hodnotách proudu a napětí.

Zařazením usměrňovače se zpravidla změní vnitřní odpor přístroje. Ten bývá u voltmetrů nižší, u ampérmetrů vyšší, na střídavých rozsazích než na stejnosměrných rozsazích. Voltampérové charakteristiky diod jsou takového typu (viz úloha 11), že není možno použít přístroje s usměrňovačem k měření proudů a napětí, je-li napětí na svorkách přístroje podstatně nižší než řádově 0,1 V.

#### Metoda substituční



Obr. 1

Obecné zapojení pro měření odporu substituční metodou je zakresleno na obr.1. Při přepínači v poloze a nastavíme potenciometrem P výchylku ampérmetru A pokud možno ve 2/3 stupnice. Pak přepneme přepínač do polohy b a změnou odporu  $R_N$  nastavíme při nezměněné poloze jezdce na potenciometru P tentýž proud ampérmetrem. Před přepnutím je nutno se přesvědčit, že na rezistoru  $R_N$  je nastavena dostatečně velká

hodnota odporu, aby nedošlo k přetížení ampérmetru. Odpor  $R_N$  se nastavuje na odporové dekádě, na které přečteme naměřenou hodnotu.

Abychom zajistili dostatečnou citlivost při měření je nutné, aby proud v obvodu byl určován především odporem  $R$ . Pokud by odpor potenciometru  $P$  (případně ampérmetru) byl podstatně větší než odpor  $R$ , měli bychom zdroj konstantního proudu a při změně  $R$  by se proud neměnil. Přesnost měření neurčuje jen přesnost odporové dekády  $R_N$ , ale především to, pro jakou nejmenší změnu dokážeme zaregistrovat změnu výchylky ampérmetru.

U této úlohy určujeme substituční metodou jaké jsou na jednotlivých rozsazích (střídavých i stejnosměrných) vnitřní odpory jednoho z měřících přístrojů, který budeme používat k měření odporu v další části úlohy (pracovní úkol 2.). Tento měřící přístroj zapojíme jako rezistor  $R$  na obr.1. Změřená hodnota odporu bude odpovídat vnitřnímu odporu  $R_i$  přístroje. O druhém používaném měřícím přístroji, který je stejného typu, budeme předpokládat, že má stejné vnitřní odpory. Použijeme jej jako ampérmetr  $A$  k indikaci proudu.

U některých měřících přístrojů lze na nejcitlivějším rozsahu měřit jak proud tak napětí. U přístroje AVO-M je tomu tak na stejnosměrném rozsahu 1,2 mA ; 60 mV . V tomto případě není nutné vnitřní odpor měřit. Lze ho vypočítat podle Ohmova zákona  $R_i = U/I = 60 \text{ mV} / 1,2 \text{ mA} = 50 \Omega$  .

V daném uspořádání úlohy lze metodou substituční měřit odpory v intervalu přibližně od  $1\Omega$  do  $10^5\Omega$  . Mimo tento interval jsou vnitřní odpory přístroje zapojeného jako ampérmetr na rozsazích 0,6 A a 6 A ,(jsou menší než  $1\Omega$  ). Při zapojení přístroje jako voltmetr je vnitřní odpor větší než  $10^5\Omega$  na rozsahu 600 V . Na těchto rozsazích se však již vliv měřícího přístroje na výsledek měření prakticky neprojeví. Pokud bychom jej chtěli uvažovat, postačí, vypočítá-li se z hodnoty měřené na citlivějším rozsahu.

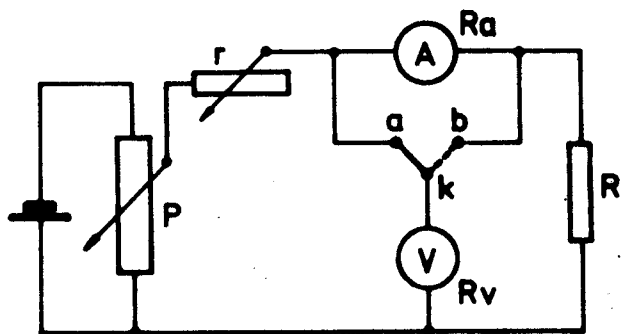
### Metoda přímá

Elektrický odpor je definován vztahem

$$R = \frac{U}{I} \quad , \quad (4)$$

který vyjadřuje Ohmův zákon. Jako  $U$  jsme označili napětí na odporu  $R$  ,  $I$  je

proud, který jím protéká. Zapojení, ve kterém měření provádíme, je zakresleno na obr. 2. Pro měření můžeme použít stejnosměrného nebo střídavého zdroje. Záměna zdrojů by neměla ovlivnit výsledek měření. Pro snadnější nastavení proudu tečkou rezistorem  $R$  je vhodné použít kombinace potenciometru  $P$  a reostatu  $r$  .



Obr. 2

Problém, se kterým se máte při tomto měření především seznámit, spočívá v ovlivnění výsledku měření zapojením měřicího přístroje do obvodu. Každý měřicí přístroj, nejen analogový, má určitý vnitřní odpor. Ideální měřicí přístroj, ampérmetr s nulovým, voltmetr s nekonečně velkým vnitřním odporem, neexistuje. O výjimce bychom mohli hovořit pouze u elektrostatických voltmetrů. Při zapojení měřicích přístrojů proto zařadíme vždy do obvodu odpory, které více či méně ovlivní fázové a napěťové poměry v obvodu. Při měření se střídavým proudem (především vysokofrekvenčním) se navíc mohou uplatnit i vstupní kapacity a indukčnosti přístrojů.

V zapojení na obr.2 můžeme pomocí klíče  $k$  připojit voltmetr buď před ampérmetr (poloha  $a$ ) nebo za ampérmetr (poloha  $b$ ). V prvním případě (poloha  $a$ ) měříme voltmetrem napětí nejen na odporu  $R$ , ale i na ampérmetru  $A$ . Toto zapojení je výhodné, pokud vnitřní odpor  $R_a$  ampérmetru je mnohem menší než měřený odpor  $R$ , ( $R_a \ll R$ ). Proud voltmetrem výsledek měření v tomto případě neovlivní.

Přepneme-li voltmetr za ampérmetr, změříme správně napětí na rezistoru  $R$ , ovšem ampérmetr měří jak proud tekoucí rezistorem  $R$ , tak i voltmetrem  $V$ . Vliv vnitřního odporu  $R_v$  voltmetru se projeví tím méně, čím bude odpor  $R_v$  větší než měřený odpor  $R$ .

Vliv měřicího přístroje na výsledek měření lze považovat za odstranitelnou systematickou chybu. Záleží na přesnosti měřicího přístroje, kdy má praktický význam provést korekci výsledku měření na tuto systematickou chybu. Měříme-li například s měřicím přístrojem třídy přesnosti 1, nemá praktický význam uvažovat vliv měřicího přístroje, pokud systematická chyba vzniklá jeho připojením je menší než 1%. V tomto případě to bude tehdy, je-li  $R_a < 10^{-2} \cdot R$  nebo  $R_v > 10^2 \cdot R$ .

Vliv měřicího přístroje se projevuje nejvíce na nejcitlivějších rozsazích. Na těch je vnitřní odpor ampérmetru největší a vnitřní odpor voltmetru nejmenší. U přístroje AVO-M na nejcitlivějším rozsahu  $60 \text{ mV} =$ ;  $1,2 \text{ mA} =$  je vnitřní odpor přístroje (viz výše) srovnatelný s měřenou hodnotou  $R$ . Přesvědčte se, že i za těchto podmínek lze po provedení korekce určit měřený odpor s přijatelnou přesností. Na druhé straně při jmenovitém napětí žárovky (např. 120 V) měříme na rozsazích, na kterých je odpor ampérmetru dostatečně malý a odpor voltmetru dostatečně velký, takže připojení přístroje neovlivní prakticky výsledek měření.

Je-li třeba provést korekci na proud tekoucí voltmetrem (poloha  $b$ ), musíme uvažovat, že odpory  $R_v$  a  $R$  jsou zapojeny paralelně. Správnou hodnotu odporu spočítáme ze vztahu

$$\frac{1}{R} = \frac{I}{U} - \frac{1}{R_v} \quad (5)$$

Pokud měřená hodnota odporu  $R$  závisí na protékajícím proudu, je třeba si uvědomit, že proud  $I$  měřený ampérmetrem je roven součtu proudů tekoucích odpory  $R$  a  $R_v$ . Proud  $I_R$  odporem  $R$  vypočítáme ze vztahu

$$I_R = I \left( 1 + \frac{R}{R_v} \right)^{-1} \quad (6)$$

Při zapojení klíče v poloze a měříme správně proud  $I$  tekoucí měřeným odporem ( $I = I_R$ ), avšak napětí  $U$  měříme na sériové kombinaci odporů  $R$  a  $R_a$ . Abychom dostali správnou hodnotu odporu  $R$ , musíme od hodnoty vypočtené podle (4) odečíst vnitřní odpor ampérmetru

$$R = \frac{U}{I} - R_a \quad (7)$$

Vzhledem k tomu, že problematika vlivu měřicího přístroje na výsledek měření je při experimentální práci závažná, věnujte jí dostatečnou pozornost při diskuzi výsledků měření.

### Literatura

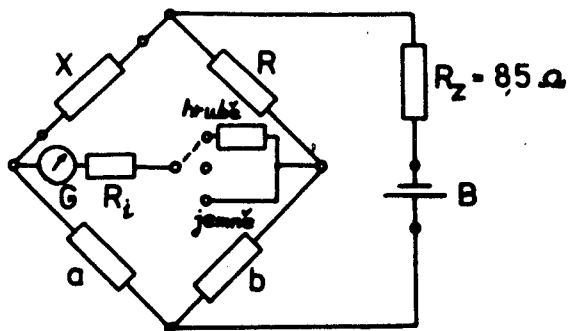
- [1] J. Brož a kol.: Základy fyzikálních měření I, SPN, Praha 1983, 4.1.2, 4.3.2.1, 4.3.3, 4.3.5.1, 4.3.5.3.

## 3. STUDIUM MŮSTKOVÉHO OBVODU

### Pracovní úkol

1. Změřte závislost proudu tekoucího indikátorem (mikroampérmetr) na velikosti odporu  $R$  v jedné z větví rozrovnaného můstku. Měření proveďte alespoň pro čtyři řádově se lišící hodnoty odporů ve větvích můstkového obvodu.
2. Naměřené hodnoty zpracujte na mikropočítači pomocí uživatelského programu.
3. Pro okolí rovnováhy můstku odhadněte, pro jaké hodnoty odporů se budou skutečné proudy tekoucí mikroampérmetrem lišit o 1 % od proudu vypočítaného za předpokladu, že proudová citlivost je nezávislá na stupni rozrovnání můstkového obvodu (velikosti odporu  $R$ ).
4. Zhodnoťte přesnost měření a diskutujte závislost citlivosti můstku (zejména vyrovnaného můstku) na velikosti odporů v jeho větvích.

### Můstkový obvod



Obr. 1

Měření provádíme s můstkem Metra MTW, jehož zjednodušené schéma je zakresleno na obr.1. Můstek používáme jako Wheatstoneův (kolík ve zdířce W). Ke svorkám X připojíme odporový normál (100  $\Omega$ ), ke svorkám G indikátor (mikroampérmetr s rozsahem 100  $\mu\text{A}$ ) a ke svorkám B zdroj 6 V = z rozvodu. Můstek rozrovnáme dekadovým odporem  $R$