

2. MĚŘENÍ ODPORU

Změna odporu měřicího přístroje při přepnutí rozsahu.

U měřicích přístrojů s otočnou cívkou se běžně nastavuje rozsah měřicího přístroje bočníkem (ampérmetr) nebo předřadným odporem (voltmetr). Bočníkem se rozumí rezistor připojený paralelně k měřicímu systému. Chceme-li zvětšit rozsah přístroje n -krát, musí být odpor R_b bočníku $(n-1)$ -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 nezmenší 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 citlivosti ampérmetru pouze bočníkem, ale kombinací sériově 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.

$$R_i = R_p + R_v = nR_v . \quad (3)$$

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. Přístroj proto musí být 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.

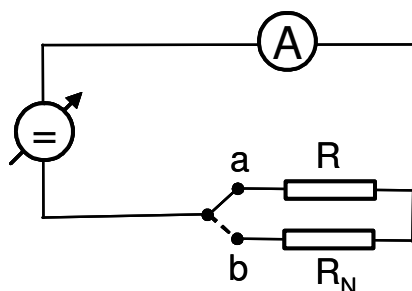
Zařazením usměrňovače se zpravidla změní vnitřní odpor přístroje. Ten bývá na střídavých rozsazích u voltmetrů nižší, u ampérmetrů vyšší, než na rozsazích stejnosměrných. Voltampérové charakteristiky diod jsou takového typu (viz úloha 11), že není možno použít přístroje s usměrňovačem k měření proudů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

Metoda substituční

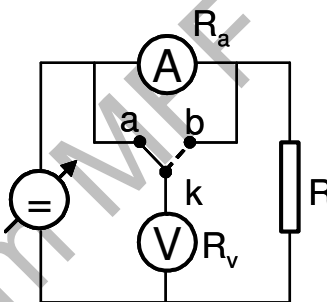
Při použití této metody srovnáváme velikosti měřeného a přesného odporu, jako přesný odpor zapojíme odporovou dekádu. Obecné zapojení pro měření odporu substituční metodou je zakresleno na obr.1. Při přepínači v poloze a nastavíme pomocí zdroje proud odporem R (rozsah ampérmetru volíme tak, aby výchylka byla pokud možno ve $2/3$ stupnice). Pak přepneme přepínač

do polohy b a změnou odporu R_N nastavíme při nezměněné hodnotě proudu ze zdroje 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. 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 měřicích přístrojů, který budeme používat k měření odporu v další části úlohy (pracovní úkol 2.). Tento měřicí přístroj zapojíme jako rezistor R na obr.1. Změřená hodnota odporu bude odpovídat vnitřnímu odporu R_i přístroje. Druhý ampérmetr použijeme k indikaci proudu.



Obr. 1



Obr. 2

Metoda přímá

Elektrický odpor je definován vztahem

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

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.

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 napětíové 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. 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. 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 $R_a < 10^{-2} R$ nebo $R_v > 10^2 R$.

Vliv měřicího přístroje se projevuje nejvíce na nejcitlivějších rozsazích. Na těchto je vnitřní odpor ampérmetru největší a vnitřní odpor voltmetru nejmenší.

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 diskusi výsledků měření.

Literatura:

- [1] R. Bakule, J. Šternberk: Fyzikální praktikum II., SPN, Praha 1989
- [2] 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] B.Sedlák, I. Štoll: Elektřina a magnetismus, Academia, Praha 2002