

# Fyzikální praktikum II

Úloha č. 2

**Název.:** Měření odporu

**Měřil.:** Michal Švanda..... dne: ... 15. listopadu 2000.....

odevzdal

dne:.....vráceno:.....

odevzdal

dne:.....vráceno:.....

odevzdal

dne:.....

---

**Posuzoval:**..... dne:.....

**Výsledek klasifikace:**.....

---

Připomínky:

## Pracovní úkol

1. Změřte metodou přímou závislost odporu vlákna žárovky na proudu, který jím protéká. K měření použijte stejnosměrné napětí v rozsahu do 24V.
2. Změřte substituční metodou vnitřní odpor měřicích přístrojů použitých v úkolu 1. Výsledek použijte ke korekci naměřených hodnot odporů v úkolu 1.
3. Metodou substituční změřte závislost odporu vlákna žárovky na proudu v rozsahu 2 až 25 mA. Porovnejte přesnost výsledků s přesností dosaženou v úkolu 1.
4. Stanovte odpor vlákna žárovky při pokojové teplotě. K extrapolaci odporu vlákna na pokojovou teplotu použijte graf závislosti odporu vlákna na příkonu žárovky.

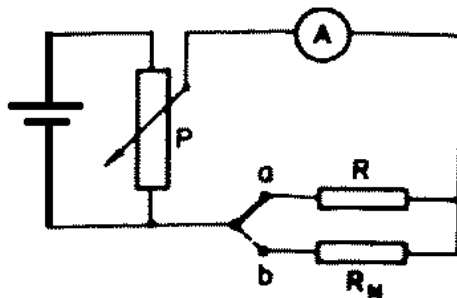
## Teoretický úvod

U měřicích přístrojů s otočnou cívkou (deprézských) nastavujeme rozsah přístroje dalším odporem (bočníkem v případě ampérmetru, který je řazen paralelně; chceme-li zvětšit rozsah přístroje  $n$ -krát, musí být odpor  $R_b$  bočníku  $(n-1)$ -krát větší než odpor  $R_a$  systému) (předřadným odporem v případě voltmetru, který je řazen sériově; chceme-li zvětšit rozsah voltmetru  $n$ -krát, je nutno použít předřadný odpor  $R_p$   $(n-1)$ -krát větší, než je odpor  $R_v$  systému).

Při přepínání rozsahu ampérmetru tedy měníme vnitřní odpor  $R_i$  přístroje. Největší vnitřní odpor mívá ampérmetr zpravidla na nejmenším rozsahu. Protože však vnitřní odpory nejsou nastavovány jen bočníky nebo jen předřadnými odpory, ale jejich kombinací (odporovým děličem), není hodnota připojovaného odporu při změně rozsahu taková, jak jsme si řekli v předchozím odstavci.

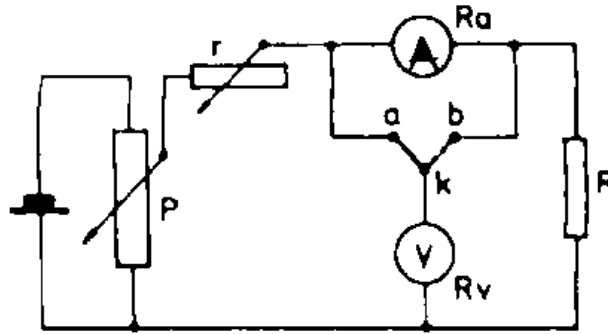
K měření odporů v zásadě používáme dvě metody:

metoda substituční: Měříme při zapojení daném obrázkem:



Proud ze zdroje vedeme (v závislosti na poloze přepínače) buď větví  $R$ , kde se nachází proměřovaný odpor nebo větví  $R_N$ , kde se nachází normalizovaný odpor (v našem případě odporová dekáda). Při poloze přepínače  $a$  nastavíme proud obvodem pomocí potenciometru  $P$  tak, aby byl snadno detekovatelný na ampérmetru (nejlépe ve 2/3 stupnice), pak přepneme přepínač do polohy  $b$  a nastavíme hodnotu na odporu  $R_N$  tak, aby protékající proudy byly stejné. Hodnota  $R_N$  pak určuje skutečnou hodnotu  $R$  měřeného odporu.

metoda přímá: Měříme schématem zapojeným podle následujícího obrázku:



Elektrický odpor je definován vztahem:

$$R = \frac{U}{I}, \quad [\text{R1}]$$

kde  $U$  je napětí na odporu  $R$  a  $I$  je proud protékající tímto odporem. Přepínač je v obvodu zařazen proto, abychom zkoumali ovlivnění výsledků měření připojeným měřicím přístrojem. Je to proto, že ideální měřicí přístroj (ampérmetr s nulovým a voltmetr s nekonečným vnitřním odporem) neexistuje. Proto můžeme klíčem  $k$  řadit voltmetr buď před nebo za ampérmetr. V prvním případě (poloha  $a$ ) měříme voltmetrem napětí nejen na odporu, ale i na ampérmetru. Toto zapojení je výhodné, pokud vnitřní odpor  $R_a$  ampérmetru je mnohem menší než měřený odpor. Proud voltmetrem v takovém případě výsledek neovlivní.

Přepneme-li klíč do polohy  $b$ , správně tedy změříme napětí na rezistoru  $R$ , ale ampérmetr měří jak proud tekoucí odporem  $R$ , tak i voltmetrem.

Je-li třeba provést korekci na proud tekoucí voltmetrem (v poloze  $b$ ), postupujeme podle vztahu:

$$\frac{1}{R} = \frac{I}{U} - \frac{1}{R_v} \quad [\text{R2}]$$

Pokud měřená hodnota odporu závisí na protékajícím proudu, musíme protékající proud rezistorem korigovat podle vztahu:

$$I_R = I \left(1 + \frac{R}{R_v}\right)^{-1} \quad [\text{R3}]$$

Při zapojení klíče v poloze  $a$  měříme správně proud  $I$  tekoucí rezistorem, ale napětí měříme na sériově spojeném odporu a ampérmetru. Proto musíme hodnotu korigovat podle vztahu:

$$R = \frac{U}{I} - R_a \quad [\text{R4}]$$

## Výsledky měření a diskuse

Metodou přímou jsem změřil závislost odporu žárovky na protékajícím proudu. Měření včetně chyb stanovených jako chyby přístrojové (třída přesnosti obou přístrojů je 1) shrnuje tabulka [T1]. Chybu odporu jsem vypočítal z přístrojových chyb proudu a napětí, odpor jsem vypočítal podle vztahu [R1]. Graf [G1] vystihuje závislost napětí na protékajícím proudu (proložená křivka je druhého řádu), který ukazuje, že odpor žárovky je závislý na protékajícím proudu. Graf [G2] pak vystihuje závislost odporu na protékajícím proudu. Vidíme, že tato závislost je přibližně lineární. Již při měření jsem si všiml, že poloha klíče  $k$  nemá znatelný vliv na měřené hodnoty. Přesto jsem celé měření proměřil v poloze klíče  $b$ . Při nulovém napětí již protékal obvodem proud nenulové hodnoty, proto toto měření v dalších výpočtech neuvažuji (v tabulkách je toto měření zvýrazněno kurzívou).

*Zastavme se však, proč není závislost napětí na proudu lineární. Odpor vlákna žárovky se mění s jeho teplotou, a to tak, že se vzrůstající teplotou odpor roste. Můžeme si to například vyložit většími rozkmity krystalické mřížky kovu, takže elektrony protékající kovem se srážejí s mřížkou s větší pravděpodobností. Teplota vlákna pak souvisí s protékajícím proudem, souvisí s uvolňovaným Jouleovým teplem. Jouleovo teplo je však úměrné druhé mocnině protékajícího proudu, tedy i elektrický odpor by měl být úměrný druhé mocnině proudu. My se však pohybujeme ve velmi malých prouděch, kde můžeme kvadratickou závislost aproximovat bez větší újmy závislostí lineární. Proto je závislost odporu na proudu přibližně lineární. V grafu [G2] jsou pro porovnání vyneseny obě regresní křivky (jak lineární, tak kvadratická).*

Substituční metodou jsem změřil vnitřní odpor použitých přístrojů na používaných rozsazích (voltmetr v rozsazích 6 a 60 V, ampérmetr 60 mA a 0,6 A). Naměřené hodnoty shrnuje tabulka [T2]. Hodnoty nejistot naměřených odporů jsem stanovoval jako polovinu intervalu, na kterém jsem již byl schopen poznat znatelnou odchylku ručičky ampérmetru od polohy určené proudem protékajícím obvodem, pokud byl klíčem do obvodu zapojen měřicí přístroj. Neuvažoval jsem systematickou chybu odporové dekády, která zřejmě nebude mít na měření dominantní vliv.

Poté jsem použil naměřených hodnot k opravě úkolu číslo 1. Korekci shrnuje tabulka [T1a], z níž je ve srovnání s tabulkou [T1] vidět, že došlo skutečně k minimálnímu ovlivnění měřených hodnot přístroji, které se ztratí v chybovém intervalu změřené a opravené hodnoty. Opravené hodnoty jsou vyneseny do grafu [G3] a proloženy kvadratickou regresní křivkou.

*Tento fakt byl patrný již při měření, protože při přepínání klíče z polohy a do polohy b nedošlo k znatelné změně měřených hodnot. Proto mohu bez jakékoli újmy prohlásit, že zařazené přístroje neovlivňují měření proudu a napětí žárovkou a že hodnoty naměřené přístroji jsou skutečné hodnoty proudu a napětí, které protékaly žárovkou.*

Substituční metodou jsem proměřil závislost odporu vlákna žárovky na protékajícím proudu. Měření vystihuje tabulka [T3] a graf [G4]. Hodnoty nejistot měření odporu jsem stanovoval stejně jako v případě měření vnitřních odporů přístrojů jako polovinu intervalu, na kterém jsem již bych schopen pozorovat odchylku ručičky ampérmetru v polohách klíče *aa* *b*.

*Získanými body jsem proložil regresní křivku, po mnoha pokusech nakonec nejlépe vystihla závislost křivka kubická, což je fakt, který neumím vysvětlit na základě jednoduché fyziky. Pravděpodobně to souvisí s vnitřní stavbou kovu. Závislost odporu na protékajícím proudu by měla být spíše kvadratická, které odpovídají naměřené body přibližně od hodnoty 10 mA. Body pro menší proudy se řídí pravděpodobně jiným jevem. Při měření se to projevovalo například také "náběhovou dobou" proudu - dokud docházelo k ohřívání vlákna žárovky, proud obvodem se měnil. V oblasti malých proudů byla tato doba řádově v desítkách sekund, zatímco pro velké proudy (10 mA a více) nastala tato změna téměř okamžitě.*

Graf [G5] vystihuje závislost příkonu žárovky na protékajícím proudu. Dle mého názoru ale není vhodný pro extrapolaci odporu žárovky na pokojovou teplotu.

Extrapolaci odporu žárovky při pokojové teplotě (nulovém proudu) jsem provedl ze závislosti odporu na proudu. Provedl jsem ji dvěma způsoby:

výpočtem podle regresní křivky. Jak ukazuje graf [G4], proložil jsem získanými body křivku třetího řádu. Její rovnici (je vepsaná v grafu) jsem použil k extrapolaci na nulový proud. Získaná hodnota (zvětšený úsek je v grafu [G4a]) je  $R_0=(15\pm 2)\ \Omega$ .

extrapolací z dat. Nechal jsem program Origin 5.0 extrapolovat sadu naměřených hodnot pro nulový proud (zvětšený výsek ukazuje graf [G4b]). Získaná hodnota je  $R_0=(19,6\pm 1,5)\ \Omega$ .

*Obě hodnoty se v rámci svých chybových intervalů nepřekrývají. Dle mého odhadu je hodnota skutečného odporu při nulovém proudu někde mezi oběma vypočítanými, pravděpodobně blíže k hodnotě získané počítačem provedenou extrapolací.*

## Závěr

Vyzkoušel jsem si měření odporů dvěma metodami a proměřil odporové vlastnosti vlákna žárovky. Zjistil jsem, že pro měřenou žárovku (jmenovité napětí 24 V) při měření přístroje naměřeného hodnoty významně neovlivňují. Zjistil jsem, že závislost odporu na protékajícím proudu je přibližně kvadratická, což odpovídá naší představě o mechanismu proměnnosti odporu s teplotou. Dvěma různými metodami jsem se pokusil stanovit odpor vlákna žárovky pro nulový tekoucí proud.

## Literatura

- [L1] Brož, J. - Základy fyzikálních měření
- [L2] Bakule, R., Šternberk, J. - Fyzikální praktikum II.

### **Poznámka:**

Veškeré grafy byly vytvářeny programem Origin verze 5.0. Veškeré regresní operace byly prováděny právě tímto programem. Uvedené chyby jsou chybami na hladině  $\sigma$  (pokud není uvedeno jinak).