

6. Vnitřní odpor zdroje, volt-ampérová charakteristika žárovky

Úkoly měření:

1. Sestrojte Voltův článek, sestrojte obvod pro určení vnitřního odporu zdroje.
2. Určete elektromotorické napětí zdroje ε a hodnotu vnitřního odporu zdroje včetně jeho chyby
3. Sestavte obvod pro určení volt ampérové charakteristiky žárovky.
4. Z naměřených hodnot určete velikost teplotní koeficientu odporu α a β wolframového vlákna žárovky.

Použité přístroje a pomůcky:

1. Zinková a měděná elektroda, kyselina, kádinka, svorky pro uchycení elektrod.
2. Proměnný odpor, ampérmetr, voltmetr, propojovací vodiče, regulovatelný zdroj stejnosměrného napětí, žárovka.
3. Technické listy k měřicím přístrojům (k určení tříd přesnosti pro jednotlivé rozsahy).

Základní pojmy, teoretický úvod:

Elektromotorické napětí

Zdroj elektromotorického napětí (neboli zdroj EMN) udržuje jisté napětí mezi svými svorkami. Pokud si toto napětí chce udržet i při odběru proudu (tzn. při zatížení zdroje), musí být schopen konat práci na nosičích náboje.

Vnitřní odpor ideálního zdroje EMN je roven nule a napětí na jeho svorkách je stále rovno elektromotorickému napětí ε . Ovšem reálný zdroj EMN (v našem případě třeba Voltův článek) má nenulový vnitřní odpor. Napětí na jeho svorkách je rovno elektromotorickému napětí ε pouze v případě, že zdrojem neprochází žádný proud. V případě zatížení zdroje dochází k jeho poklesu. Jednotkou EMN v soustavě SI je volt, tedy stejná jednotka jako pro napětí.

Měřicí přístroje

Základní dělení měřicích přístrojů je na:

- a) přístroje založené na účincích elektrického proudu,
- b) přístroje založené na elektrostatickém působení elektrických nábojů.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Další dělení je možné podle námi měřené veličiny:

- voltmetr – pro měření napětí,
- ampérmetr – pro měření proudu,
- ohmmetr – pro měření odporu,
- wattmetr – pro měření výkonu elektrického proudu,
- galvanometr – pro měření malých napětí a proudů,
- teslametr – měření magnetické indukce.

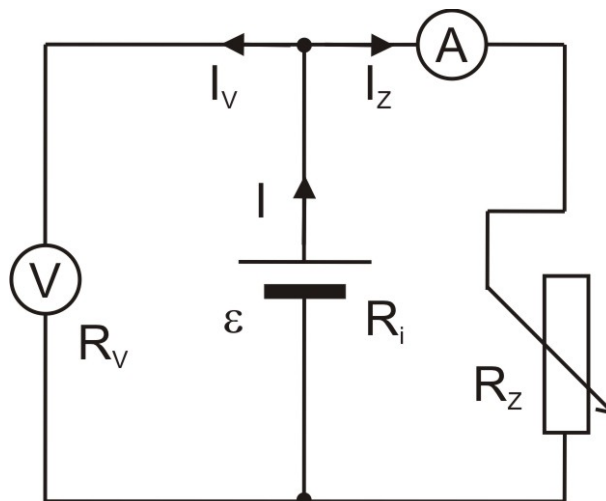
Z hlediska konstrukčního provedení je možné přístroje dělit na analogové a digitální, přičemž analogové vyhodnocují měřenou veličinu spojitě pomocí pohybujícího se ukazatele, kterým obvykle bývá ručička, a digitální vyhodnocují veličinu numericky a zobrazují ji na číslicovém nebo grafickém displeji.

Voltmetr

Voltmetr je přístroj k určení rozdílů potenciálů, tedy k měření napětí. Při měření napětí mezi dvěma body obvodu připojujeme voltmetr mezi tyto body, a tedy vlastní měřený obvod nepřerušujeme. Nezbytné je, aby byl odpor voltmetru mnohonásobně vyšší než odpor kteréhokoliv prvku zapojeného v obvodu, k němuž je voltmetr připojen. V případě nízkého odporu voltmetru by proud tekoucí měřicím přístrojem již nebyl zanedbatelný a zmenšil by námi měřené napětí. Zapojení voltmetru je uvedeno na obr. 1.

Ampérmetr

Pro měření proudu se využívá přístroje, který se nazývá ampérmetr. Je důležité, aby jeho odpor R_A byl velmi malý ve srovnání s ostatními prvky v obvodu. Ampérmetr se totiž při měření proudu vkládá přímo do přerušného obvodu. Pokud by byl odpor ampérmetru velký, tak by docházelo ke zmenšení hodnoty měřeného proudu.



Obr. 1 Způsob zapojení voltmetru a ampérmetru do obvodu

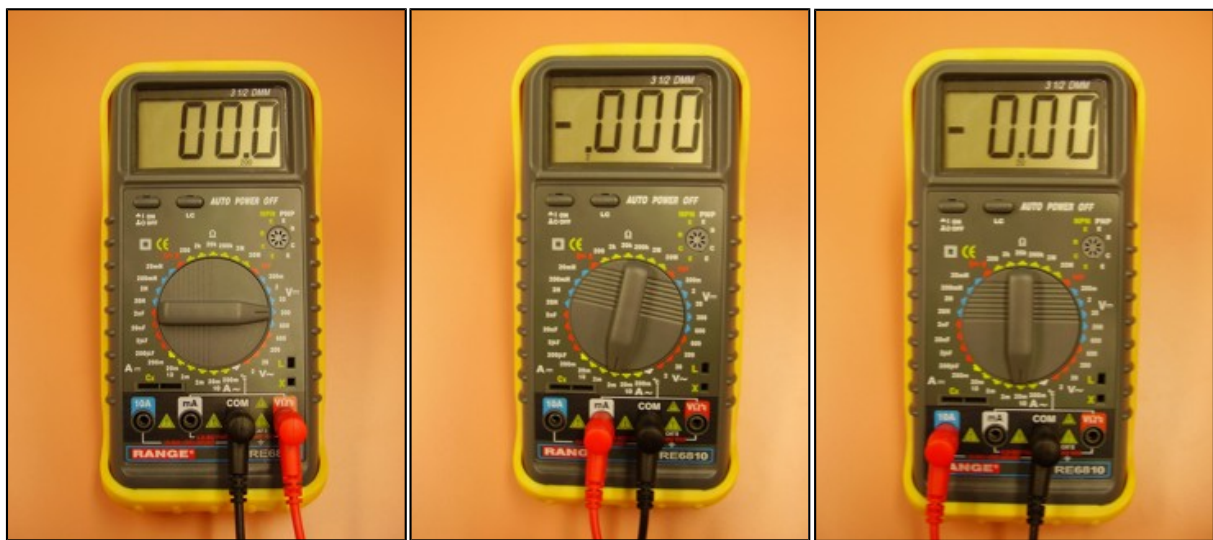
Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Zapojení multimetrů jako voltmetr, ohmmetr a ampérmetr

Značným problémem mezi studenty v laboratorním cvičení bývá zapojení multimetrů do obvodu. Jakým způsobem se k multimetru připojují měřicí kabely, ukazuje obrázek 2. Platí, že vždy je jeden vodič připojen k vstupu s označením „COM“ a druhý kabel se připojuje dle požadovaného přístroje. Pokud chceme voltmetr, tak jej připojíme k vstupu s označením „V“. Stejným způsobem zapojujeme ohmmetr. Liší se zvoleným úsekem stupnice zvoleným pomocí otočného přepínače. Pokud ale požadujeme ampérmetr, tak připojíme druhý konektor do vstupu s označením 10 A, resp. mA. Záleží na předpokládané velikosti proudu. V praxi se postupuje tak, že se vždy zvolí nejvyšší rozsah a v případě zobrazených nízkých hodnot na displeji se postupně přepíná na nižší rozsahy.



Obr. 2 Zapojení měřicích kabelů do multimetru, zleva – voltmetr resp. ohmmetr, uprostřed ampérmetr s rozsahem v miliampérech, vpravo ampérmetr s rozsahem do 10 A

Odpor a rezistor

Měděná a polypropylénová tyč stejného geometrického tvaru a rozměrů má po vložení stejného napětí jinou velikost protékajícího proudu. Tento jev je způsoben různým elektrickým odporem těchto dvou materiálů. Velikost odporu určíme ze známého Ohmova zákona:

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

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Z rovnice plyne, že jednotkou odporu je v soustavě *SI* volt na ampér. Tato jednotka dostala svůj vlastní název ohm (Ω) a tedy platí [1]:

$$1 \Omega = 1 \text{ V} \cdot \text{A}^{-1} \quad (2)$$

V hodinách fyziky je vhodné dodržovat následující ustanovení: **součástka se nazývá rezistor, zatímco vlastnost součástky se nazývá odpor.**

Rezistory patří mezi typické pasivní prvky. Pod pojmem rezistor zde budeme rozumět prvek s převážně *elektrickým (ohmickým odporem)*. Rezistor by měl tedy protékajícímu elektrickému proudu klást jen ohmický odpor bez reaktančních složek. Reálný rezistor vždy má určitou parazitní kapacitu a/nebo indukčnost. Tyto složky se nemohou zanedbat především při vyšších frekvencích.

Odpor měrný (specifický) vodivého materiálu je veličina, představující ohmický odpor jednotkové délky a jednotkového průřezu.

V tabulkách se udává pro 1 m délky při průřezu 1 mm². Označuje se řeckým písmenem ρ (ró). Odpor určité délky odporového drátu se vypočítá podle vztahu [3]:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (3)$$

Kde: l je délka vodiče, ρ je měrný odpor vodiče a S je plocha kolmého průřezu na osu vodiče.

Odpor čistých kovů se vzrůstající teplotou obecně vzrůstá – mají kladný teplotní součinitel, ale např. polovodiče nebo elektrolyty, vykazují klesající odpor s teplotou, mají záporný teplotní součinitel.

Odpor ohmický – též odpor činný – je vlastnost některých látek (materiálů) klást odpor pronikajícím elektronům, kdy celkový odpor dané součástky je dán rozměry součástky a příslušným měrným odporem materiálu, ze kterého je vyrobena.

Převrácenou hodnotou odporu je *vodivost (konduktance)* [1]:

$$G = \frac{1}{R} \quad (4)$$

Jednotkou vodivosti je v *SI* soustavě siemens, $S = \Omega^{-1}$.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky.



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Podle konstrukce rozdělujeme rezistory na dvě základní skupiny [2]:

1. *Neproměnné (pevné) rezistory* - hodnotu odporu nemůžeme regulovat během provozu.
2. *Proměnné rezistory* – hodnotu elektrického odporu můžeme měnit mechanickým způsobem.

Neproměnné rezistory se dělí podle výrobního postupu a použitého materiálu na [2]:

1. *Vrstvové* – odporový materiál je nanesený na keramickém tělísku různého geometrického tvaru (válec, hranol, destička).

Podle *typu vrstvy* se dělí na:

- a) metalizované,
 - b) metaloxidové,
 - c) uhlíkové,
 - d) speciální (vysokoohmové, vysokonapěťové, s potlačenou indukčností atd.).
2. *Drátové* – odporový drát je navinutý v jedné nebo více vrstvách na keramické trubce, válci nebo destičce.

Podle *povrchové ochrany* vinutí se dělí na:

- a) lakové,
 - b) tmelené,
 - c) smaltované.
3. *Objemové* – lisování uhlíkových částic do odporových tyčinek.

Proměnné rezistory se dělí z konstrukčního hlediska na [2]:

- a) *spojitě nastavitelné* (trimry, potenciometry),
- b) *nastavitelné ve stupních* (odporové dekády).

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky.



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Určení vnitřního odporu zdroje

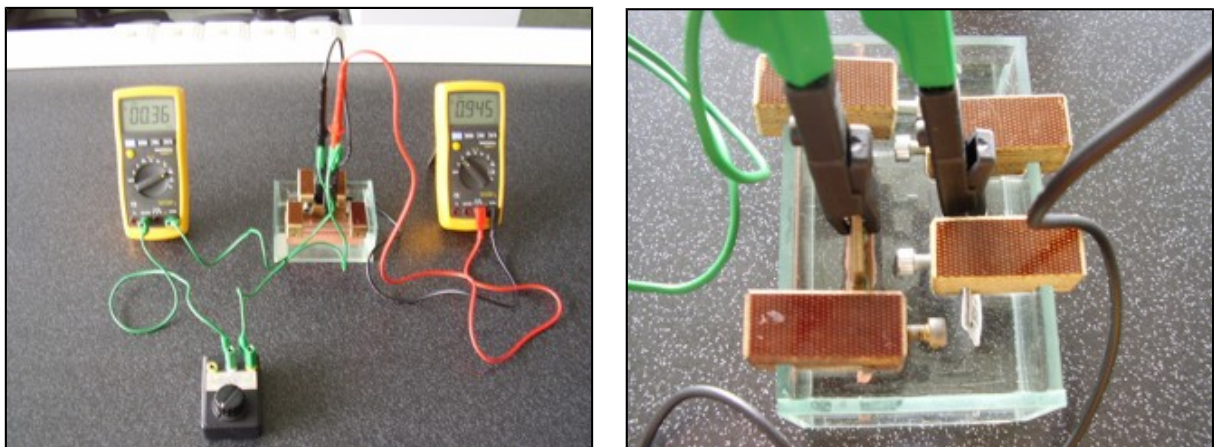
Voltův článek

Voltův článek je primární zdroj stejnosměrného napětí (galvanický článek). Je pojmenován po Alessandru Voltovi, který jej využil při sestavení tzv. Voltova sloupu.

Standardně je Voltův článek tvořen měděnou a zinkovou elektrodou v elektrolytu tvořeném zředěnou kyselinou sírovou. V laboratořích fyziky se bude ale z důvodů bezpečnosti používat elektrolyt tvořený zředěnou kyselinou citronovou.

V případě použití zředěného roztoku kyseliny sírové jako elektrolytu, je výsledné elektromotorické napětí cca 1,2 V. Je dáno součtem potenciálu mezi mědí a elektrolytem (+ 0,4 V) a mezi zinkem a elektrolytem (- 0,8 V). Po zapojení spotřebiče do obvodu teče obvodem proud I_z a elektromotorické napětí klesne na napětí svorkové U_z .

Článek, který bude sestavován v laboratorním cvičení, má tlustou vrstvu elektrolytu a bude mít tedy vysoký vnitřní odpor. Po zapojení do obvodu bude schopen dodávat proud v miliampérech. Pro relevantnost dat je vhodné nezatěžovat zdroj příliš dlouho velkým odběrem proudu, protože pak bude docházet ke změnám vnitřního odporu zdroje.



Obr. 3 Vlevo měřicí aparatura pro určení vnitřního odporu zdroje, vpravo detail Voltova článku

Při připojení vnější zátěže o hodnotě odporu R_e bude podle II. Kirchhoffova zákona obvodem téci proud

$$I = \frac{\varepsilon}{R_i + R_e} \quad (5)$$

takže příslušné svorkové napětí (tj. napětí na zátěži) bude

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

$$U_z = \varepsilon - R_i I_z \quad (6)$$

Měříme-li uvedené veličiny běžnými měřicími přístroji, pak musíme uvažovat i proud procházející voltmetrem. Při odpojené zátěži R_z platí $\varepsilon = (R_i + R_v) I_v = R_i I_v + U_0$. Při zapojení zátěže $\varepsilon = R_i (I_v + I_z) + U_z$, kde U_z , U_0 jsou v obou případech napětí měřené voltmetrem. Proud, procházející v obou případech voltmetrem, bude $I_v = \frac{U_0}{R_v}$ a $I_v' = \frac{U_z}{R_v}$, kde R_v je odpor voltmetru pro daný měřicí rozsah. Po dosazení za I_v a I_v' a porovnáním pravých stran obou rovnic dostaneme pro vnitřní odpor zdroje vztah:

$$R_i = \frac{R_v (U_0 - U_z)}{R_v I_z - (U_0 - U_z)} \quad (7)$$

Postupy měření a pokyny k měření vnitřního odporu zdroje:

1. Sestrojte Voltův článek zobrazený na obr. 3 vpravo: měděnou a zinkovou elektrodu uchyťte do svorek a vložte do zředěného roztoku kyseliny citronové.
2. Nastavte na proměnném rezistoru nejvyšší hodnotu odporu.
3. Dle schématu obvodu na obr. 1 připojte propojovací vodiče a zapojte proměnný odpor, voltmetr a ampérmetr.
4. Nastavte otočením centrálního přepínače na přístrojích příslušné rozsahy.
5. Při nezatíženém zdroji určete hodnotu EMN U_0 .
6. Snižujte hodnotu odporu rezistoru a sledujte změny svorkového napětí U_z a proudu I_z . Zapište U_z a I_z pro 10 nastavených hodnot odporu rezistoru. Poté pokračujte stejným způsobem a zaznamenejte U_z a I_z pro 10 postupně zvyšujících se hodnot odporu rezistoru.
7. Ze změřených hodnot ε , U_z a I_z vypočítejte dle rovnice (6) hodnotu R_i .
8. Vypočítejte průměrnou hodnotu R_i včetně příslušné chyby měření.
9. Sestrojte bodový XY graf závislosti U_z na I_z pro sestupné a vzestupné hodnoty odporu rezistoru.
10. Z koeficientů lineární regrese, proložené naměřenými daty, určete hodnotu vnitřního odporu R_i a EMN ε . Určete chyby měřených veličin. Využijte při tom statistickou funkci LINREGRESE v programu Excel.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky.



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Volt-ampérová charakteristika žárovky

Wolfram - je šedý až stříbřitě bílý, mimořádně obtížně tavitelný kov, jeho bod tavení (teplota tání 3422 °C) je nejvyšší ze všech kovových prvků. Významná je také jeho hustota ($\rho_w = 19,30 \text{ g.cm}^{-3}$), kterou překonávají pouze některé drahé kovy [5]:

platina ($\rho_{Pt} = 21,45 \text{ g.cm}^{-3}$), iridium ($\rho_{Ir} = 22,50 \text{ g.cm}^{-3}$) a osmium ($\rho_{Os} = 22,48 \text{ g.cm}^{-3}$).

Jeho použití je dáno jeho výjimečnými vlastnostmi:

- materiál pro žárovková vlákna – wolfram dokáže snášet provozní teploty vysoko přes 1000 °C,
- svařování elektrickým obloukem – wolframové elektrody,
- přídavek do slitin – zvýšení mechanických vlastnosti – tvrdost, mechanická odolnost (rychlořezné oceli),
- výroba slinutých karbidů,
- armáda - pro svou vysokou hustotu je využíván jako materiál pro penetrační projektily schopné proniknout pancířem obrněných vozidel.

Žárovka obsahuje wolframové vlákno, pro které platí Ohmův zákon:

$$U = R \cdot I \quad (8)$$

Kovy mají kladný teplotní součinitel, tak jejich odpor mírně roste s teplotou. Zpravidla se tato závislost popisuje lineárním vztahem:

$$R = R_0 (1 + \alpha(t - t_0)) \quad (9)$$

kde R_0 je odpor materiálu při teplotě t_0 , R je odpor při teplotě t a α je teplotní koeficient odporu. Pro velké teplotní rozsahy se někdy používá polynomická závislost:

$$R = R_0 (1 + \alpha(t - t_0) + \beta(t - t_0)^2) \quad (10)$$

Teplotu vlákna budeme odhadovat z množství energie vyzářené vláknem. Intenzitu vyzářování, tedy energii vyzářenou za jednotku času 1 m² povrchu tělesa při absolutní teplotě T , je možné popsat Stefan-Boltzmannovým zákonem:

$$H = \alpha \sigma T^4 \quad (11)$$

kde α je pohltivost povrchu tělesa a σ je Stefan-Boltzmannova konstanta ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$).

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Vyjádříme intenzitu vyzařování:

$$H = \frac{P}{S} \quad (12)$$

kde P je vyzářený výkon a S je plocha povrchu vlákna žárovky.
Výkon žárovky je možné napsat jako $P=UI$. Použitím všech těchto vztahů dostaneme:

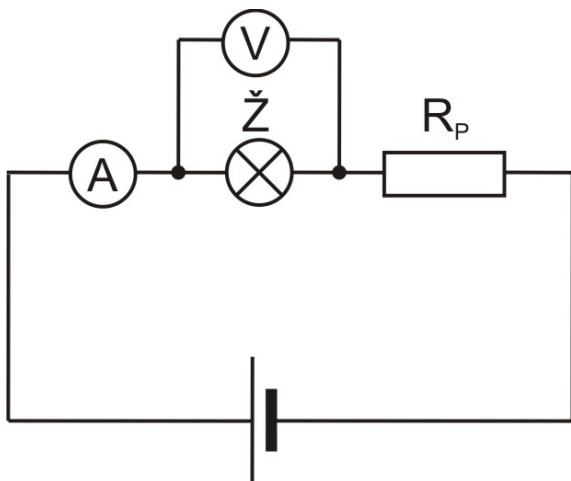
$$\frac{UI}{S} = \alpha\sigma T^4 \quad (13)$$

Změříme-li napětí a proud žárovkou a známe-li povrch vlákna i jeho pohltivost, dokážeme z těchto údajů vypočítat teplotu vlákna:

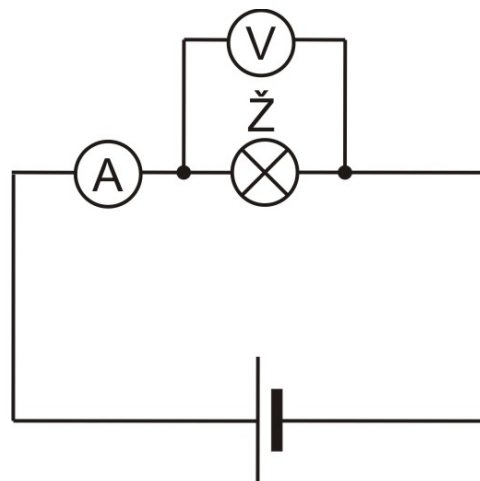
$$T = \sqrt[4]{\frac{UI}{S\alpha\sigma}} \quad (14)$$

Vztah (14) je použitelný při teplotách větších, než je 700 K.

Odpor při pokojové teplotě je třeba změřit tak, aby vláknem tekla co nejmenší proud a jeho zahřívání bylo co nejmenší. Proto při měření tohoto odporu používáme zapojení podle obr. 4., kdy do obvodu zapojíme předřadný odpor R_p . Při jeho dostatečné velikosti (řádově vyšší než odpor měřené žárovky), budou napětí i proud dostatečně malé a vlákno žárovky se nebude zahřívát. Při měření pro vyšší teploty pak použijeme zapojení podle obr. 5.



Obr. 4 Měření odporu studené žárovky



Obr. 5 Měření odporu žárovky

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky.

Postupy měření a pokyny k měření volt-ampérové charakteristiky žárovky:

1. Sestavte obvod pro měření odporu studené žárovky zobrazený na obrázku 4. Při měření využijte předřadný odpor o velikosti $100\text{ k}\Omega$, aby proud tekoucí žárovkou byl co nejmenší a nedocházelo k významnému zahřívání vlákna.
2. Nastavte otočením centrálního přepínače na přístrojích příslušné rozsahy.
3. Pro 10 hodnot napětí nastavených na regulovatelném zdroji si запиšte napětí a proud v obvodu.
4. Podle *Ohmova zákona* si vypočítejte hodnotu odporu při pokojové teplotě R_0 . Určete chybu měření.
5. Sestrojte XY bodový graf závislosti napětí na proudu v žárovce. Z hodnoty směrnice lineární regrese určete hodnotu R_0 včetně příslušné chyby měření. Využijte při tom statistickou funkci LINREGRESE v programu Excel.
6. Sestavte obvod pro měření odporu žárovky zobrazený na obrázku 5.
7. Zvyšujte napětí od 0 V do 12 V s krokem 0,5 V. Pro každé napětí změřte proud tekoucí žárovkou.
8. Z hodnot napětí a proudu vypočítejte podle Ohmova zákona odpor žárovky a podle vztahu (14) vypočítejte její teplotu.
9. Vyneste do grafu závislost odporu žárovky na teplotě.
10. Pokuste se tuto závislost aproximovat vztahy (9) a (10), z koeficientu lineární regrese určete hodnotu parametr α a z koeficientů polynomické regrese vypočítejte hodnoty parametrů α a β .

Seznam použité a doporučené literatury:

- [1] Halliday D., Resnick R., Walker J.: Fyzika, VUT v Brně, Nakladatelství VUTIUM, (2000).
- [2] Žižka M., Stuchlíková L.: Elektronické prvky, Vydavatelství STU v Bratislavě (1999).
- [3] Malina V.: Poznáváme elektroniku VI, Kopp nakladatelství České Budějovice (2001).
- [4] Malina V.: Poznáváme elektroniku I, Kopp nakladatelství České Budějovice (2001).
- [5] Mikulčák J a kolektiv: Matematické, fyzikální a chemické tabulky, Státní pedagogické nakladatelství Praha (1970).

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická