

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM 2

Úloha č.: 2.

Název: Měření odporů

Vypracoval: Mária Šoltésová stud. sk. F – 14 dne 23. 11. 2005

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne:

Posuzoval:dne výsledek klasifikace

Připomínky:

Pracovní úloha:

1. Změrajte metodou přímou závislost odporu vlákna žárovky na proudu, který ním protéká. K měření použijte jednosměrné napětí v rozsahu do 24 V.
2. Změrajte substituční metodou vnitřní odpor měracích přístrojů použitých v úloze 1. Výsledek použijte k případné korekci naměřených hodnot v úloze 1.
3. Metodou substituční změrajte závislost odporu vlákna žárovky na proudu od nejmenších proudů (0,2 mA) až do 25 mA. porovnejte přesnost výsledků s přesností dosaženou v úloze 1.
4. Výsledky zpracujte graficky a diskutujte vliv měracích přístrojů.
5. Stanovte odpor vlákna žárovky při izbové teplotě. K extrapolaci odporu vlákna na izbovou teplotu použijte graf závislosti odporu vlákna na příkone žárovky (do grafu vyznačte chybu měření).

Teoretická časť:

Pri ampérmetri nastavujeme rozsah prístroja bočným (sériovo zapojeným odporom). Pri zväčšení rozsahu n -krát musí byť odpor R_b bočného ($n-1$)-krát menší než odpor R_a systému:

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

Pri prepínaní rozsahu sa teda mení vnútorný odpor ampérmetra R_i , pri najcitlivejšom rozsahu je vnútorný odpor najväčší.

Rozsah voltmetrov sa mení rezistorom radeným do série so systémom – predradným odporom R_p . Ak chceme zväčšiť odpor voltmetru n -krát, je potrebné použiť predradný odpor ($n-1$)-krát väčší než odpor R_v systému voltmetru:

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

Zapojením predradného odporu sa vnútorný odpor R_i voltmetru zmení n -krát:

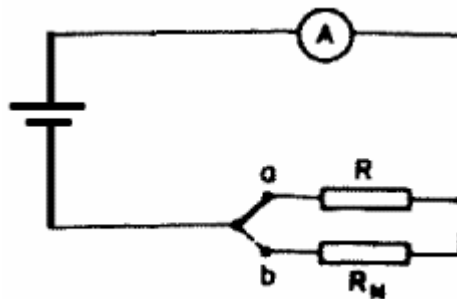
$$R_i = R_p + R_v = nR_v \quad (3)$$

Odpor je možné merať dvoma spôsobmi:

Substitučná metóda

Zapojenie vid' obr.1. Pri prepínači v polohe a nastavíme výchylku ampérmetra A pokiaľ možno v dvoch tretinách stupnice. Potom prepneme prepínač do polohy b a zmenou odporu R_N nastavíme rovnaký prúd ampérmetrom A . Odpor R_N sa nastavuje na odporovej dekáde.

Obr. 1: Zapojenie obvodu pri meraní substitučnou metódou



Priama metóda

Elektrický odpor môžeme určiť z Ohmovho zákona ako

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

ak zmeriame napätia U na odpore R a prúd I , ktorý ním preteká. Zapojenie, v ktorom meriame, je zobrazené na obr. 2. Pomocou kľúča k môžeme pripojiť voltmeter buď pred ampérmetrom (poloha kľúča a) alebo za ampérmetrom (poloha kľúča b). V prvom prípade meriame voltmetrom napätie nielen na odpore R , ale aj na ampérmetri A . Toto zapojenie je výhodné, ak vnútorný odpor ampérmetru R_a je oveľa menší ako meraný odpor R . Ak prepneme voltmeter za ampérmetrom, zmeriame správne napätie na rezistore R , ale ampérmetrom meria aj prúd tečúci voltmetrom V . Vplyv vnútorného odporu R_v voltmetru sa prejaví tým menej, čím bude odpor R_v väčší než meraný odpor R .

Vplyv meracieho prístroja na výsledok merania sa dá odstrániť použitím korekcie. Ak je potrebné urobiť korekciu na prúd tečúci voltmetrom, správnu hodnotu odporu spočítame zo vzťahu

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

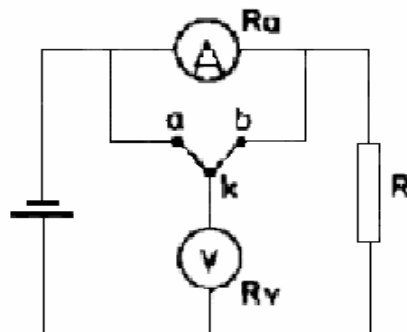
Ak meraná hodnota odporu R závisí na pretekajúcom prúde, prúd I_R tečúci odporom R vypočítame zo vzťahu

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

Pri meraní v polohe kľúča a musíme spraviť korekciu na napätie ampérmetra podľa vzťahu

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

Obr. 2: Zapojenie obvodu pri meraní priamou metódou



Výsledky meraní:

Merali sme odpor vlákna žiarovky priamou metódou. Postupovali sme podľa zapojenia na obr. 2, najprv sme nastavili prúd tečúci ampérmetrom A a v polohe prepínača a sme odčítali napätie na voltmetri V . Potom sme prepli do polohy b , upravili prúd pomocou regulovateľného zdroja na rovnakú hodnotu ako pri polohe a a opäť odčítali napätie na voltmetri.

Prúd sme merali ampérmetrom s triedou presnosti 0,5 na rozsahoch 2,4 mA, 6 mA, 24 mA, 120 mA, napätie sme merali voltmetrom s triedou presnosti 0,5 na rozsahoch 1,2 V, 2,4 V, 12 V, 24 V. Hodnoty namerané pri polohe prepínača a sú uvedené v tabuľke 2, hodnoty namerané pri polohe prepínača b sú uvedené v tabuľke 3, závislosť odporu vlákna žiarovky na prúde je vynesená v grafe 1.

Odchýlky napätia a prúdu sú určené z triedy presnosti prístrojov a rozsahov, na ktorých sa meralo. Odpor $R_{(a)}$ a $R_{(b)}$ sú určené z Ohmovho zákona (4), ich chyba je určená ako chyba podielu z chýb napätia a prúdu. Korigované odpory $R_{(a)k}$ a $R_{(b)k}$ sú určené podľa vzťahov (7) a (5), chyby korigovaných odporov sú určené prenesením chýb zo vzťahov (7) a (5). Veličina I_R udáva skutočný prúd tečúci odporom R v polohe prepínača b určený podľa vzťahu (6), σ_{IR} udáva jeho chybu určenú prenesením chýb zo vzťahu (6).

Substitučnou metódou sme zmerali vnútorné odpory na jednotlivých rozsahoch použitých meracích prístrojov, hodnoty sú uvedené v tabuľke 1. Chyba vnútorných odporov prístrojov je určená z toho, na akú zmenu odporu ešte reagoval ampérmetr.

Tabuľka 1: Vnútorý odpor meracích prístrojov určený substitučnou metódou

ampérmeter			voltmeter		
rozsah [mA]	R_a [Ω]	σ_{R_a} [Ω]	rozsah [V]	R_v [k Ω]	σ_{R_v} [k Ω]
2,4	155	1	1,2	0,946	0,001
6	69,1	0,1	2,4	2,35	0,01
24	17,6	0,1	12	12,0	0,1
120	3,2	0,1	24	23,9	0,1

σ_{R_a} označuje chybu vnútorného odporu ampérmetru, σ_{R_v} označuje chybu vnútorného odporu voltmetru.

Tabuľka 2: Nameraná závislosť odporu vlákna na prechádzajúcom prúde metódou priamou v polohe prepínača a

I [mA]	σ_I [mA]	$U_{(a)}$ [V]	σ_{U_a} [V]	$R_{(a)}$ [Ω]	$\sigma_{R(a)}$ [Ω]	$R_{(a)k}$ [Ω]	$\sigma_{R(a)k}$ [Ω]
0,40	0,01	0,11	0,003	275	13	120	13
0,80	0,01	0,22	0,003	275	7	120	7
1,22	0,01	0,35	0,003	287	4	132	5
1,60	0,01	0,46	0,003	288	3	133	4
2,00	0,01	0,60	0,003	300	3	145	3
2,40	0,01	0,74	0,003	308	2	153	3
3,00	0,02	0,75	0,003	250	3	181	3
4,00	0,02	1,16	0,003	290	2	221	2
5,00	0,02	1,76	0,01	352	3	283	3
6,00	0,02	2,32	0,01	387	2	318	2
10,0	0,1	4,6	0,03	460	7	442	7
14,0	0,1	8,1	0,03	579	5	561	5
16,0	0,1	10,0	0,03	625	5	607	5
18,0	0,1	12,0	0,03	667	4	649	4
20,0	0,1	14,0	0,07	700	6	682	6
25,0	0,3	20,0	0,07	800	14	797	14
28,0	0,3	22,8	0,07	814	13	811	13
29,0	0,3	24,0	0,07	828	12	824	12

Tabuľka 2: Nameraná závislosť odporu vlákna na prechádzajúcom prúde metódou priamou v polohe prepínača b

I [mA]	σ_I [mA]	$U_{(b)}$ [V]	σ_{U_b} [V]	$R_{(b)}$ [Ω]	$\sigma_{R(b)}$ [Ω]	$R_{(b)k}$ [Ω]	$\sigma_{R(b)k}$ [Ω]	I_R [mA]	σ_{I_R} [mA]
0,40	0,01	0,04	0,003	100	10	112	13	0,36	0,04
0,80	0,01	0,09	0,003	113	5	127	7	0,71	0,04
1,22	0,01	0,14	0,003	115	3	130	4	1,07	0,04
1,60	0,01	0,19	0,003	119	3	135	3	1,40	0,04
2,00	0,01	0,25	0,003	125	2	144	3	1,74	0,04
2,40	0,01	0,31	0,003	129	2	149	2	2,08	0,04
3,00	0,02	0,47	0,003	157	2	187	3	2,51	0,05
4,00	0,02	0,69	0,003	173	2	210	2	3,28	0,05
5,00	0,02	1,14	0,01	228	2	252	3	4,5	0,1
6,00	0,02	1,57	0,01	262	2	294	2	5,3	0,1
10,0	0,1	4,3	0,03	430	6	446	7	9,6	0,4
14,0	0,1	7,3	0,03	521	5	545	5	13,4	0,4
16,0	0,1	9,0	0,03	563	5	590	5	15,3	0,4
18,0	0,1	10,9	0,03	606	4	638	5	17,1	0,5
20,0	0,1	13,2	0,07	660	6	679	6	19,1	0,5
25,0	0,3	18,8	0,07	752	13	776	14	24	1
28,0	0,3	24,0	0,07	857	13	889	14	27	1

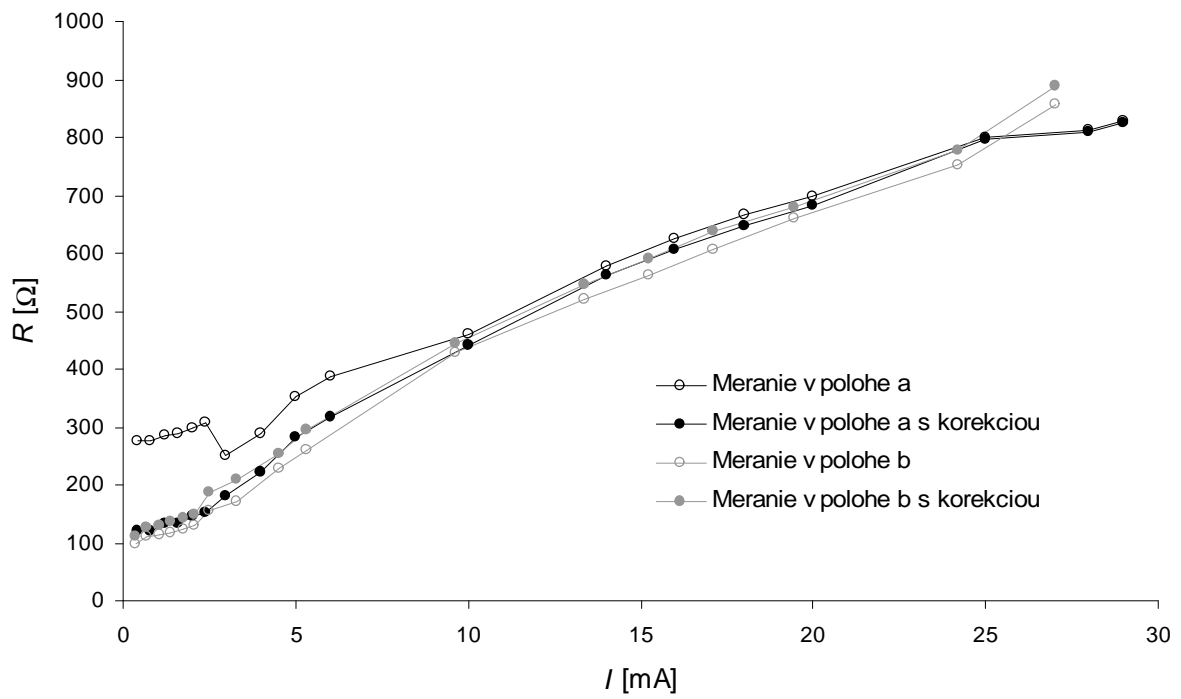
Odpor vlákna žiarovky sme merali aj substitučnou metódou pre prúdy od 0,2 do 25 mA. Postupovali sme podľa schémy na obr. 1. Pomocou regulovateľného zdroju sme nastavili prúd tečúci ampérmetrom pri polohe kľúča *a*, potom sme prepli do polohy *b* a pomocou odporovej dekády sme nastavili odpor tak, aby ampérmetrom tiekol rovnaký prúd. Namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 4, závislosť odporu na pretekajúcom prúde je vynesená v grafe 3. Prúd sme merali miliampérmetrom s triedou presnosti 0,2 na rozsahoch 1,5 mA, 3 mA, 7,5 mA, 15 mA a 30 mA. Odpor na odporovej dekáde sa dá nastaviť s presnosťou 0,1 Ω, chyba určenia odporu je však väčšia, pretože závisí od toho, na aké zmeny ampérmeter ešte zareagoval. V tabuľke je uvedený aj príkon žiarovky *P* určený ako $P = I^2 R$. Odchýlku σ_P sme určili prenesením chýb z tohto vzťahu.

Tabuľka 4: Hodnoty namerané substitučnou metódou

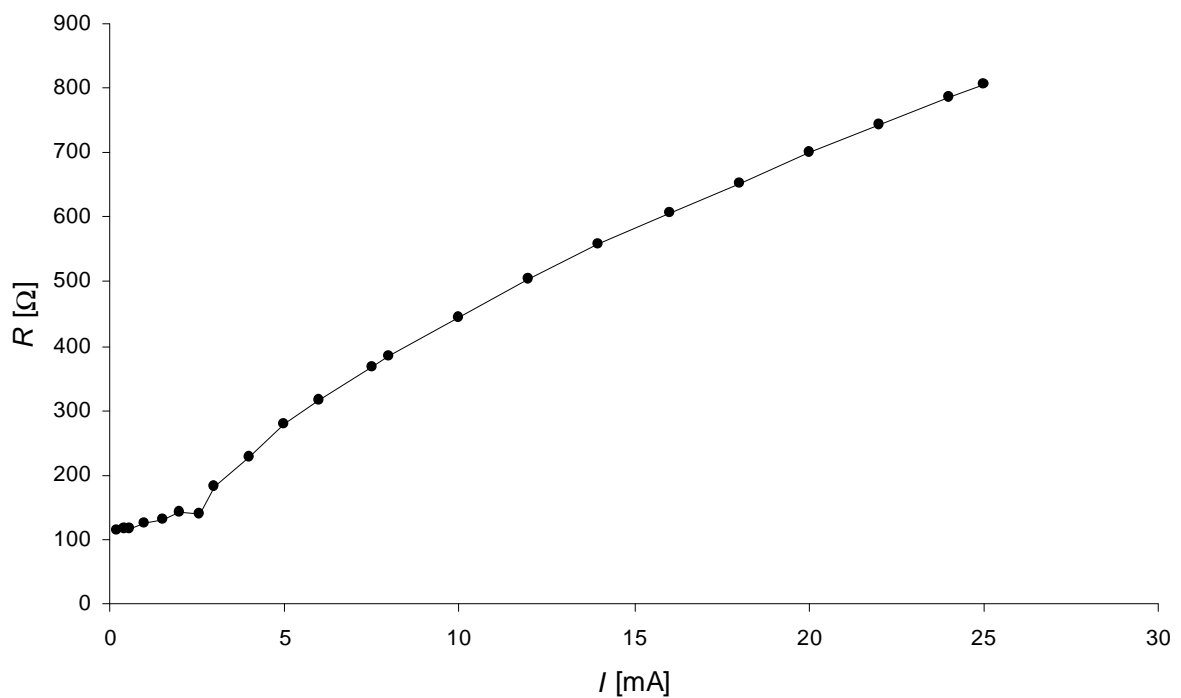
<i>I</i> [mA]	σ_I [mA]	<i>R</i> [Ω]	σ_R [Ω]	<i>P</i> [mW]	σ_P [mW]
0,20	0,002	113	1	0,0045	0,0001
0,40	0,002	116	1	0,0186	0,0003
0,60	0,002	118	1	0,042	0,001
1,02	0,002	124	2	0,129	0,003
1,50	0,002	132	1	0,297	0,003
2,00	0,003	141	2	0,56	0,01
2,60	0,003	140	2	0,95	0,02
3,00	0,003	183	2	1,65	0,02
4,00	0,01	229	2	3,66	0,05
5,00	0,01	278	2	6,95	0,07
6,00	0,01	317	3	11,4	0,1
7,50	0,01	367	3	20,6	0,2
8,0	0,02	385	3	24,6	0,3
10,0	0,02	443	3	44,3	0,5
12,0	0,02	504	3	73	1
14,0	0,02	557	3	109	1
16,0	0,03	606	3	155	1
18,0	0,03	651	3	211	2
20,0	0,03	701	3	280	2
22,0	0,03	743	3	360	3
24,0	0,03	787	3	453	3
25,0	0,03	805	3	503	3

Závislosť odporu žiarovky na príkone je vynesená v grafe 3. Chybové úsečky udávajú chybu príkonu z tabuľky 4. Túto závislosť sme použili na určenie odporu vlákna pri izbovej teplote extrapoláciou na nulový príkon pomocou lineárnej regresie hodnôt v blízkosti nuly. Dostali sme hodnotu odporu $R = (115 \pm 1) \Omega$. Chyba odporu je určená ako chyba z regresie spojená s chybou odporu (uvedená v tabuľke 4), s dostatočnou presnosťou ju môžeme považovať za rovnakú pre všetky použité hodnoty. V grafe 4 sú zobrazené hodnoty, z ktorých sme robili lineárnu regresiu, chybové úsečky udávajú štatistickú chybu určenú z regresie spojenú z chybou určenia odporu.

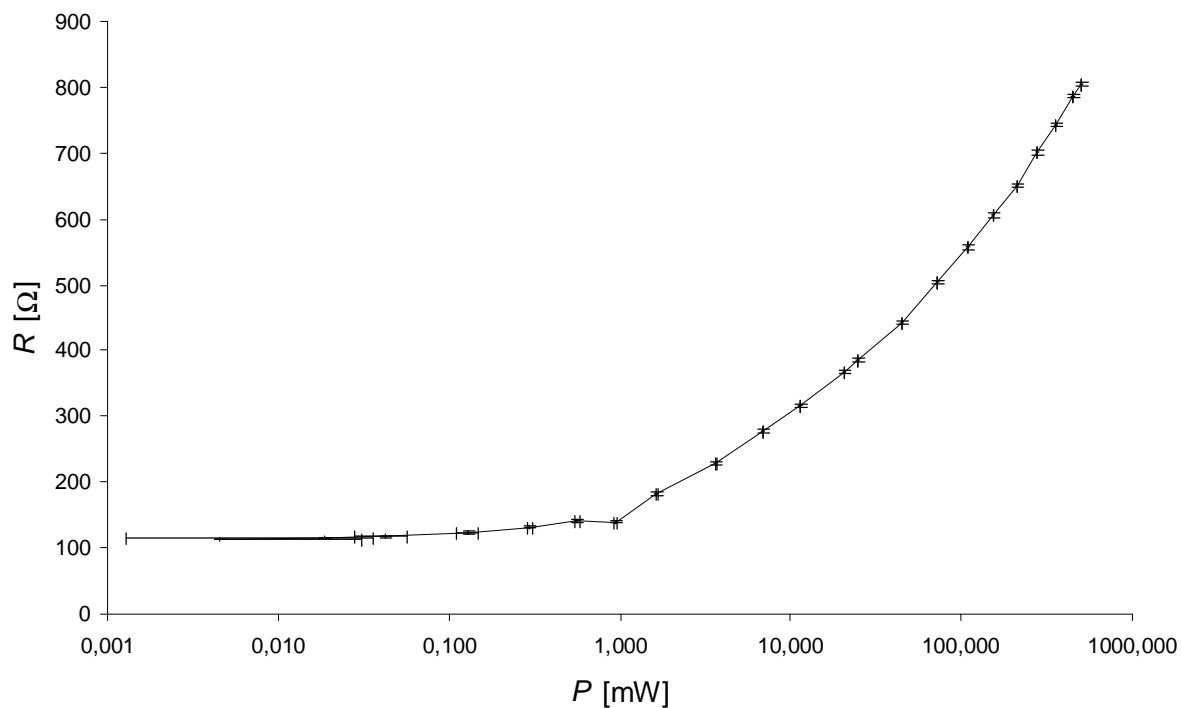
Graf 1: Závislosť odporu na prúde nameraná priamou metódou



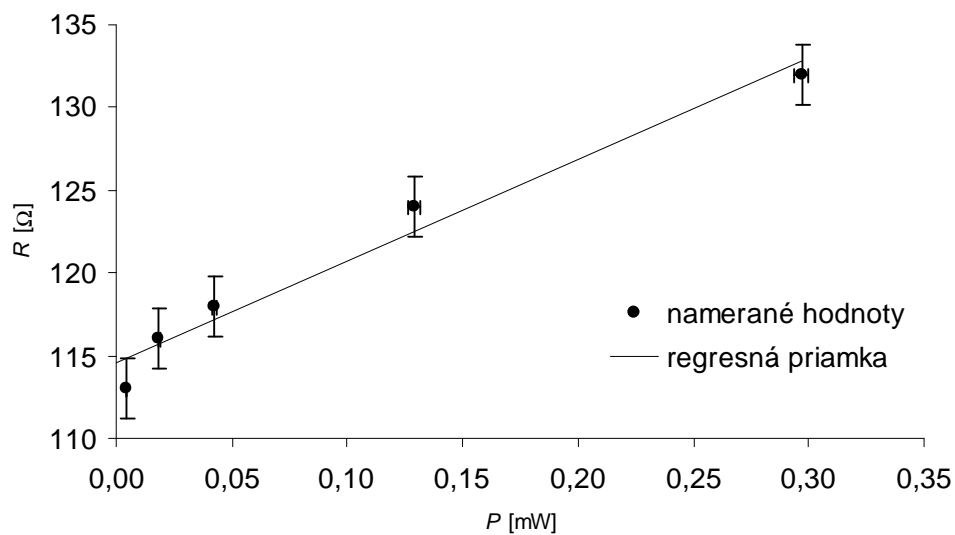
Graf 2: Závislosť odporu na prúde nameraná substitučníou metódou.



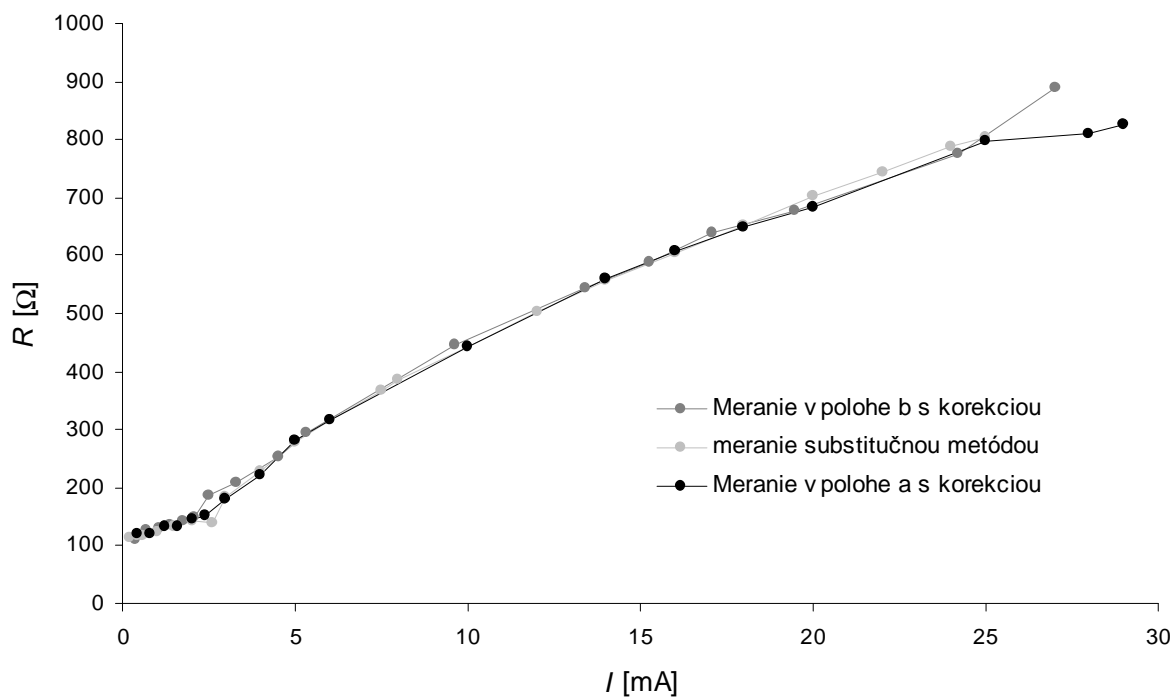
Graf 3: Závislosť odporu na príkone nameraná substitučnou metódou (os x je v logaritmickej mierke)



Graf 4: Hodnoty použité na určenie odporu vlákna pri izbovej teplote



Graf 5: Porovnanie substitučnej a priamej metódy.



Diskusia:

Merali sme odpor vlákna žiarovky priamou a substitučnou metódou. Pri meraní priamou metódou sme merali v zapojení voltmetra pred a za ampérmetrom. Namerané hodnoty pri oboch zapojeniach sa líšili, znamená to, že meracie prístroje nemôžeme považovať za ideálne a ich vnútorné odpory ovplyvňujú meranie. Po prevedení korekcie na vnútorný odpor ampérmetru a voltmetru sa určené hodnoty odporu v rámci chyby väčšinou zhodujú, ako môžeme vidieť z grafu 1. Takisto vidíme, že pri nezapočítaní korekcie sa najväčšej chyby dopúšťame pri meraní na najcitlivejších rozsahoch, kedy je vnútorný odpor ampérmetra najväčší a vnútorný odpor voltmetru najmenší.

Substitučná metóda merania odporov je presnejšia, pretože nie je ovplyvnená vnútornými odpormi meracích prístrojov. Menšia odchýlka je spôsobená tým, že pri tejto metóde meriame priamo odpor, na rozdiel od priamej metódy, kde ho počítame ako podiel dvoch nameraných hodnôt zaťažených prístrojovou chybou. Ako však vidíme z grafu 5, odpory namerané touto metódou sa celkom dobre zhodujú s korigovanou priamou metódou. Odchýlky medzi hodnotami nameranými oboma metódami môžu byť spôsobené rôznym rýchlym ohrievaním vlákna žiarovky pri meraní.

Hodnotu odporu vlákna pri izbovej teplote sme určovali extrapoláciou z grafu závislosti odporu na príkone nameranej substitučnou metódou, pretože tieto hodnoty boli presnejšie ako z merania priamou metódou. Prekladali sme priamkou hodnoty blízke nule, s istým priblížením môžeme uvažovať, že závislosť odporu vlákna žiarovky je pre malé príkony lineárna, ako vidíme z grafu 4.

V niektorých grafoch nie sú vynesené chybové úsečky, pretože vzhľadom k zvolenej mierke sú porovnateľné s veľkosťou bodov.

Záver:

Merali sme odpor vlákna žiarovky priamou metódou a substitučnou metódou. Substitučná metóda je presnejšia, lebo nie je ovplyvnená vnútornými odpormi, jej použitím dostaneme odpor vlákna s menšou chybou. Pri meraní priamou metódou je zjavný vplyv meracích prístrojov na výsledok merania. Po korekcii na vnútorné odpory prístrojov sa však výsledky oboch metód približne zhodujú. Z grafu závislosti odporu vlákna na príkone (graf 3) sme určili hodnotu odporu vlákna pri izbovej teplote ako $R = (115 \pm 1) \Omega$.

Literatúra:

[1] Doc. RNDr. Roman Bakule, CSc., Doc. RNDr. Jiří Šternberk, CSc., Fyzikální praktikum II. Elektřina a magnetismus, Státní pedagogické nakladatelství Praha