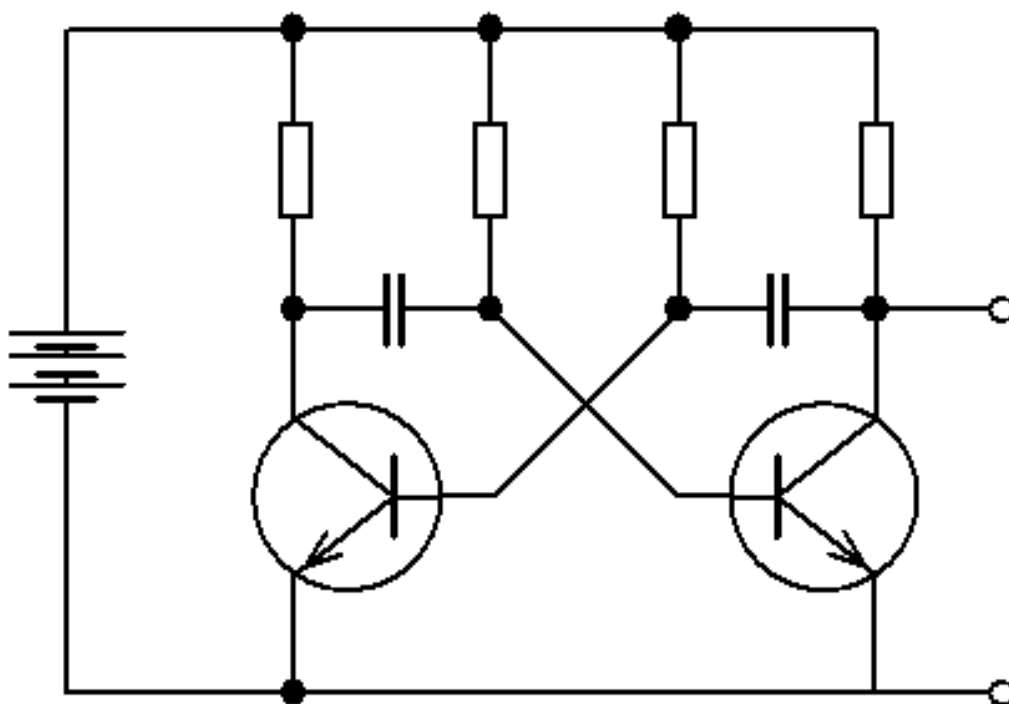


Netradiční sbírka z fyziky V

Elektrické obvody 2

Jakub Šafařík



Obsah

Úvod 1

I. Obvodové součástky.....	3
1. Induktor	3
2. Měření indukčnosti.....	5
3. Tlumivka.....	7
4. Spojování induktorů.....	11
II. Jednoduché elektrické obvody	13
5. Obvod se žárovkou a spínačem	13
6. Reostat jako proměnný odpor	17
7. Reostat jako dělič napětí	21
8. Wheatstoneův můstek.....	23
9. Transfigurace trojúhelník – hvězda	27
III. Voltampérová charakteristika	31
10. V-A charakteristika rezistoru	31
11. Voltampérová charakteristika žárovky	35
12. Zatěžovací charakteristika zdroje.....	37
Rejstřík.....	39
Přílohy.....	41
Reostat jako dělič napětí.....	41
Odporová dekáda	41
Zapojení ampérmetru a voltmetru	42
Voltampérová charakteristika rezistoru	43
Zapojení žárovky	44
Voltampérová charakteristika žárovky	45
Zatěžovací charakteristika zdroje	45
Doporučená literatura.....	47

Seznam obrázků

Obr. 2.1: Měření indukčnosti	5
Obr. 3.1: Tlumivky TLEC24-1R0K.....	7
Obr. 3.2: Barevné značení tlumivky	7
Obr. 3.3: Schematické značky induktorů.....	8
Obr. 3.4: Tlumivky.....	9
Obr. 5.1: Obvod se žárovkou a spínačem.	13
Obr. 5.2: Obvod se žárovkou doplněný o rezistor	14
Obr. 6.1: Reostat	17
Obr. 6.2: Potenciometr	17
Obr. 6.3: Dvě varianty schematické značky reostatu	17
Obr. 6.4: Reostat jako proměnný odpor	18
Obr. 6.5: Reostat otočený	18
Obr. 7.1: Rozdělení napětí na jednotlivých částech reostatu	21
Obr. 7.2: Reostat jako dělič napětí.....	21
Obr. 8.1: Wheatstoneův můstek	23
Obr. 9.1: Můstkový obvod s trojúhelníkovým uspořádáním.....	27
Obr. 9.2: a) trojúhelník b) hvězda.....	27
Obr. 9.3: Obvod po transfiguraci	29
Obr. 10.1: Obvod pro měření voltampérové charakteristiky rezistoru	32
Obr. 11.1: Obvod pro měření voltampérové charakteristiky žárovky	35
Obr. 12.1: Zatěžovací charakteristika zdroje.....	37
Obr. P. 1: Reostat jako dělič napětí.....	41
Obr. P. 2: Odporová dekáda.....	41
Obr. P. 3: Možnosti zapojení ampérmetru a voltmetru	42
Obr. P. 4: Zapojení pro měření voltampérové charakteristiky rezistoru	43
Obr. P. 5: Zapojení pro měření voltampérové charakteristiky rezistoru – detail	43
Obr. P. 6: Zapojení žárovky.....	44
Obr. P. 7: Zapojení žárovky – detail.....	44
Obr. P. 8: Voltampérová charakteristika žárovky.....	45
Obr. P. 9: Vnitřní odpor zdroje	46

Seznam tabulek

Tab. 1.1: Výpočty velikosti magnetického pole	3
Tab. 3.1: Tabulka značení tlumivek.....	8

Seznam rovnic

Rce. 1.1: Vztah mezi magnetickým polem v induktoru a protékáním proudem	3
Rce. 1.2: Výpočet indukčnosti válcové cívky	4
Rce. 4.1: Výsledná indukčnost při sériovém řazení induktorů.....	11
Rce. 4.2: Výsledná indukčnost sériového řazení dvou induktorů	11
Rce. 4.3: Výsledná indukčnost paralelního řazení.....	11
Rce. 4.4: Výsledná indukčnost paralelního řazení dvou induktorů	11
Rce. 5.1: Výpočet odporu rezistoru	15
Rce. 8.1: Vztahy pro napětí a proud v jednotlivých větvích můstku	23
Rce. 8.2: Dosazení z Ohmova zákona	23
Rce. 8.3: Proud jednotlivými větvemi.....	24
Rce. 8.4: Podmínka pro vyvážený můstek.....	24
Rce. 8.5: Výpočet neznámého odporu rezistoru	24
Rce. 9.1: Transfigurace trojúhelník-hvězda	28
Rce. 9.2: Transfigurace hvězda-trojúhelník	28
Rce. 10.1: Ohmův zákon.....	31

Předmluva

Svět kolem nás je neodmyslitelně spjat s elektřinou, elektrickými stroji a přístroji, tedy i s elektrickými součástkami, z nichž jsou námi používané funkční celky zkonstruovány. V moderním světě bychom bez elektrických zařízení, které nám značně usnadňují život, již nebyli schopni fungovat jako společnost, ani jako jedinci. Pochopit do detailu přesnou funkci celých přístrojů se někdy zdá téměř nemožné.

Pokud se však nevzdáme hned na začátku a zahájíme naši objevnou cestu po tajích elektrických přístrojů, nezbyvá nám nic jiného, než rozluštit tajemství elektrických součástek – základních kamenů těchto zařízení. Pochopíme-li základní funkci součástek, můžeme pokračovat dále k větším celkům, kterými jsou elektrické obvody, následně celé funkční bloky, až nakonec pochopíme celý mechanismus a funkci vybraného přístroje.

Tento úkol není vůbec jednoduchý, zvláště v době, kdy nás výrobci zařízení nutí stát se pouhými uživateli těchto přístrojů a to velmi často bez možnosti porozumět principu jejich funkce. Věřím, že odpovědi na některé otázky, které si zvědavý uživatel moderních přístrojů ohledně jejich funkce pokládá, nalezne přímo v tomto textu.

Sbírka je druhým dílem série zabývající se elektrickými obvody. Jak se bude postupně počet publikací rozrůstat, bude čtenář mít šanci seznámit se s čím dál větším spektrem součástek a elektrických obvodů.

Ing. Jakub Šafařík, Ing. Paed. IGIP
e-mail: SafarikJ@gybot.cz

V Praze 12. 9. 2016, rev. 1.1.2

Úvod

Pátý díl sbírky netradičních úloh z fyziky je zaměřen na elektrické obvody. Látka navazuje na předcházející sbírku – Elektrické obvody 1, která byla úvodem do elektrických obvodů. Tento text si klade za cíl detailně popsat funkci jednotlivých elektrických součástí, jejich charakteristiky a následné využití v jednoduchých i složitějších obvodech.

Publikace je rozdělena do dvanácti kapitol, které na sebe navazují. Pro lepší názornost jsou v kapitole Přílohy uvedeny fotografie některých zapojení a další rozbor problematiky elektrických obvodů a jejich součástí. Postupy sestavení jednotlivých obvodů jsou v učebnici detailně vysvětleny a jejich schémata podrobně popsána. Na základě takto vyložené problematiky by následně neměl být problém vyřešit úkoly, které jsou uvedeny v každé kapitole. Tyto úkoly si kladou za cíl ověřit znalosti a procvičit nabyté zkušenosti v tematice elektrických obvodů. Pro zájemce o hlubší studium problematiky slouží seznam doporučené literatury, ve které je možné nalézt informace sahající za rámec této sbírky.

Při práci s tímto textem ve školních lavicích je doporučeno, aby studenti pracovali ve dvojicích, společně konzultovali návrhy řešení a vybírali nejlepší cestu k dosažení požadovaného cíle. Pro vyřešení zadaných úkolů je většinou možné volit z několika postupů, které se od sebe liší nejen složitostí návrhu, ale i vhodností návrhu pro konkrétní využití. V ideálním případě by studenti měli být schopni vybírat postupy, návrhy a realizace, které budou z hlediska časového i finančního optimální.

I. Obvodové součástky

V následujících kapitolách bude popsána funkce a parametry některých obvodových součástek. Též bude detailně vysvětleno, jak určit a změřit parametry těchto obvodových prvků.

1. Induktor

Součástka, jejíž hlavní funkcí je vytvářet a následně udržovat magnetické pole se nazývá induktor. Pokud chceme v induktoru vybudit magnetické pole B , jednotkou je tesla (T), musíme jím nechat protékat elektrický proud I (A). Čím větší bude elektrický proud, tím větší magnetické pole se v induktoru vytvoří. Konstanty úměrnosti mezi magnetickým polem a proudem udávají fyzické parametry induktoru. V následující tabulce jsou uvedeny některé jednoduché případy induktorů. Z Tab. 1.1 je jasné vidět, že velikost magnetického pole závisí na fyzických parametrech induktoru.

Místo	Výpočet	Legenda
V dutině válcové cívky	$B = \mu \frac{N}{l} I$	μ – permeabilita prostředí ($\text{H} \cdot \text{m}^{-1}$) N – počet závitů (-)
Ve vzdálenosti d od přímého vodiče	$B = \mu \frac{1}{2\pi d} I$	l – délka cívky, na které je navinuto N závitů (m)
Ve středu kruhového závitu	$B = \mu \frac{1}{2r} I$	I – elektrický proud (A) d – vzdálenost od vodiče (m) r – poloměr kruhového závitu (m)

Tab. 1.1: Výpočty velikosti magnetického pole

Parametr, který nás dále bude zajímat a udává vlastnosti induktoru, se nazývá indukčnost, značíme ji L a její jednotkou je henry (H). Tato konstanta udává závislost magnetického indukčního toku na velikosti proudu protékajícího induktorem. Velmi zjednodušeně řečeno: indukčnost nám říká, jak hodně je daný obvodový prvek schopen generovat magnetické pole. Vztah, který popisuje tuto závislost, uvádí Rce. 1.1.

$$\Phi = L \cdot I$$

Rce. 1.1: Vztah mezi magnetickým polem v induktoru a protékajícím proudem

Kde Φ je magnetický indukční tok, jehož jednotkou je weber (Wb). Magnetický indukční tok udává, jak velké magnetické pole prochází vytyčenou plochou.¹

Zaměříme-li se na nejjednodušší induktor – válcovou cívku, můžeme vypočítat velikost indukčnosti uvnitř této cívky (ve směru osy cívky – úhel α ve vztahu uvedeném

¹ $\Phi = N \cdot B \cdot S \cdot \cos(\alpha)$, kde N je počet závitů, B magnetická indukce, S vytyčená plocha a α je úhel, který svírá normála plochy s vektorem magnetické indukce. Více v [3].

v poznámce pod čarou ¹ je roven nule), kombinací vztahů uvedených v Rce. 1.1 a v poznámce pod čarou ¹ dostaneme Rce. 1.2.

$$L = \mu \cdot \frac{N^2 \cdot S}{l}$$

Rce. 1.2: Výpočet indukčnosti válcové cívky

Obdobně jako u rezistoru a kapacitoru má také induktor krom již zmíněného základního parametru – jmenovité hodnoty indukčnosti, ještě další důležité parametry. Tyto údaje lze snadno dohledat v katalogu výrobce. Těmito parametry jsou:

- jmenovitá hodnota zatížitelnosti – nejvyšší hodnota stejnosměrného proudu, který může induktorem protékat
- maximální stejnosměrný odpor – udává maximální možnou hodnotu ohmického odporu součástky
- elektrická pevnost – maximální hodnota napětí, na něž lze součástku připojit, aby nedošlo k průrazu elektrické izolace mezi závitů
- rozsah pracovních teplot atd.

Úkol

1. Ze vztahu Rce. 1.1 pomocí Tab. 1.1 odvoďte vztah uvedený v Rce. 1.2. Uveďte význam jednotlivých veličin a jejich jednotky.
2. Vezměte drátový reostat a zespoda prozkoumejte jeho tvar. O jakou součástku se (krom proměnného odporu) díky tvaru navinutého drátu jedná?
3. Vypočtete velikost magnetického pole ve středu kruhového závitu, který je tvořen drátem o délce 1 m a protéká jím elektrický proud 1 A. Vypočtete, jak velké by bylo magnetické pole ve stejné vzdálenosti, kdybychom drát narovnali a vytvořili z něho přímý vodič. Velikost proudu protékající přímým vodičem zůstává stejná. Hodnoty porovnejte.

2. Měření indukčnosti

Chceme-li měřit indukčnost nějakého obvodového prvku, musíme správně zapojit měřicí sondy do multimetru a nastavit příslušný rozsah. Správné zapojení je uvedeno na Obr. 2.1.



Obr. 2.1: Měření indukčnosti

Pro správné zapojení měřících sond je svorkou vyznačeno příslušné místo s označením L_X , zapojení je stejné jako pro měření kapacity. Též stejně jako v případě měření kapacity **je nutné pro měření indukčnosti mít stačeno tlačítko LC**, které se nachází hned pod displejem. Otočný volič posuneme do polohy H_{LX} a nastavíme požadovaný rozsah.²

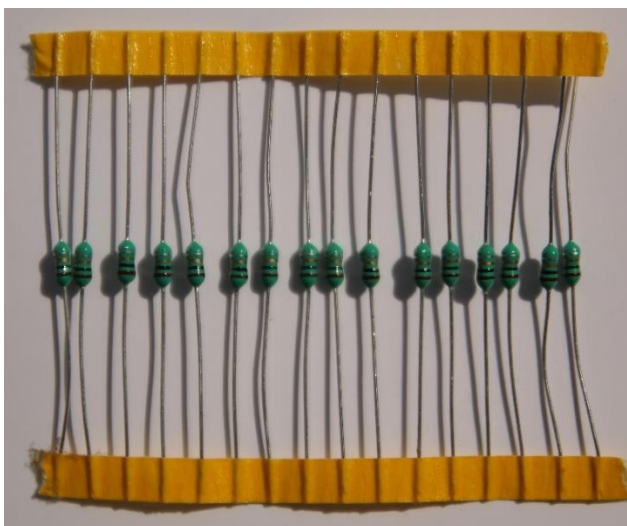
² Netušíme-li, v jakém rozsahu se pohybuje měřená hodnota, nastavíme vždy největší možnou hodnotu. Následně snižujeme nastavený rozsah až na nejbližší vyšší, než je měřená hodnota!

Úkol

1. Vezměte dva drátové reostaty s různými parametry. Změřte indukčnost každého celého reostatu. Změřte další potřebné parametry a pomocí vztahu R_{ce} 1.2 vypočtete, kolika závitů každý reostat disponuje.
2. Vezměte válcovou cívku a změřte její indukčnost. Změřte další potřebné parametry cívky a vypočtete teoretickou hodnotu indukčnosti. Do cívky následně zasuňte feromagnetické jádro. Jak předpokládáte, že se změní indukčnost? Ověřte měřením. Následně dopočtete relativní permeabilitu jádra a pomocí tabulek určete, o jaký materiál by se mohlo jednat.
3. Opakujte úkol 2. pro jiný typ cívky.
4. Porovnejte naměřené hodnoty v úkolu 1. a 2. Je indukčnost v případě reostatu vlastnost pozitivní nebo negativní? Diskutujte!

3. Tlumivka

Tlumivka není nic jiného nežli induktor, z hlediska konstrukčního se jedná o cívku, která má buď vzduchové, nebo většinou feromagnetické jádro. Zapojíme-li tlumivku do elektrického obvodu, přidáme prvek, který se vyznačuje svou indukčností. V souladu s kapitolou I je tedy zřejmé, že tlumivka si vytváří magnetické pole v obvodu tak, že přeměňuje elektrickou energii na magnetickou.³ Vizuálně jsou tlumivky velice podobné rezistorům – příklad je uveden na Obr. 3.1.



Obr. 3.1: Tlumivky TLEC24-1R0K






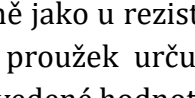
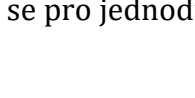
Abychom byli schopni odlišit tlumivky s různými hodnotami indukčnosti, můžeme jako u rezistorů nebo kondenzátorů využít číselný kód, nebo barevné značení. V číselném kódu je základní jednotkou μH . Pokud se v kódu objeví písmenko R, znamená desetinnou čárku. Např. tlumivka s označením 3R3 má indukčnost o velikosti $3,3 \mu\text{H}$. Při uvedení tří cifer ve značení má poslední cifra význam násobitele (mocnina desítky). Např. 101 znamená indukčnost $10 \cdot 10^1 = 100 \mu\text{H}$.

Blíže se podíváme také na určení indukčnosti pomocí barevného značení. Budeme k tomu potřebovat převodní tabulku – Tab. 3.1. Barevné značení samotné součástky je uvedeno na Obr. 3.2.



Obr. 3.2: Barevné značení tlumivky

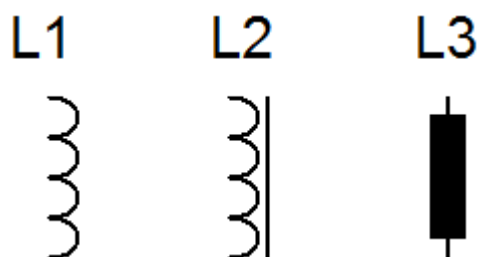
³ Zde je vidět analogie s kondenzátorem, který uchovává energii ve formě elektrického pole.

Barva	Barva	1. číslice	2. číslice	Násobitel	Tolerance
Černá		0	0	10^0	20 %
Hnědá		1	1	10^1	1 %
Červená		2	2	10^2	2 %
Oranžová		3	3	10^3	3 %
Žlutá		4	4	10^4	4 %
Zelená		5	5	10^5	
Modrá		6	6	10^6	
Fialová		7	7	10^7	
Šedá		8	8	10^8	
Bílá		9	9	10^9	
bez označení					20 %
Stříbrná				10^{-2}	10 %
Zlatá				10^{-1}	5 %

Tab. 3.1: Tabulka značení tlumivek

Obdobně jako u rezistorů první dva barevné proužky určují první dvě číslice a třetí barevný proužek určuje násobitel. Poslední proužek udává největší možnou odchylku od uvedené hodnoty. Základní jednotkou je μH . Tlumivka na Obr. 3.2 má tedy velikost indukčnosti $4\,700\ \mu\text{H}$ s odchylkou 5 %.

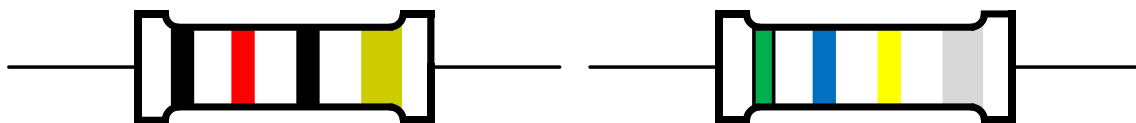
Na Obr. 3.3 jsou uvedeny některé schematické značky induktorů tak, jak bývají běžně uváděny v elektrické dokumentaci. L1 – cívka, L2 – cívka s jádrem, L3 – tlumivka. V dalším textu se pro jednoduchost omezíme na znázornění induktorů pomocí značky L1 na Obr. 3.3.



Obr. 3.3: Schematické značky induktorů

Úkol

1. Určete indukčnosti tlumivek, které jsou označeny kódy: 332; 1R8.
2. Určete indukčnosti tlumivek, které jsou označeny barevnými kódy – viz Obr. 3.4.



Obr. 3.4: Tlumivky

3. Vyberte dvě různé tlumivky, určete hodnoty jejich indukčností pomocí značení a správnost ověřte pomocí měření multimetrem – hodnoty si poznamenejte.

4. Spojování induktorů

Obdobně jako u rezistorů a kondenzátorů, pokud nemáme k dispozici induktor s požadovanou indukčností, můžeme vhodnou kombinací (sériovou, paralelní) výslednou indukčnost sestavit z více induktorů.⁴ Pro připomenutí raději zopakujeme typy řazení:

- Sériové řazení – zapojujeme součástky za sebou
- Paralelní řazení – součástky zapojujeme vedle sebe

Chceme-li celkovou indukčnost struktury zvětšit, použijeme **sériové řazení induktorů**. Platí, že výsledná indukčnost je dána součtem jednotlivých indukčností. Vztah pro výslednou indukčnost L uvádí Rce. 4.1. **Celková indukčnost při sériovém řazení je tedy vždy větší nežli největší použitá!**

$$L = L_1 + L_2 + \dots + L_N$$

Rce. 4.1: Výsledná indukčnost při sériovém řazení induktorů

Pro sériovou kombinaci dvou cívek dostáváme vztah – viz Rce. 4.2.

$$L = L_1 + L_2$$

Rce. 4.2: Výsledná indukčnost sériového řazení dvou induktorů

Chceme-li celkovou indukčnost struktury zmenšit, použijeme paralelní řazení induktorů. Platí, že převrácená hodnota výsledné indukčnosti je dána součtem převrácených hodnot jednotlivých indukčností. Vztah pro výslednou indukčnost paralelního řazení N induktorů uvádí Rce. 4.3. **Celková indukčnost při paralelním řazení je tedy vždy menší nežli nejmenší použitá!**

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_N}$$

Rce. 4.3: Výsledná indukčnost paralelního řazení

Pro paralelní kombinaci dvou (rozuměj právě dvou!) induktorů můžeme předchozí rovnici upravit na tvar Rce. 4.4.

$$L = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$$

Rce. 4.4: Výsledná indukčnost paralelního řazení dvou induktorů

⁴ V dalších úvahách nebereme v potaz vzájemné ovlivňování induktorů. Předpokládáme, že magnetické pole daného induktoru je ideálně uzavřeno pouze v této jedné součástce a nijak neovlivňuje ostatní induktry. Neuvažujeme tzv. vzájemnou indukci – více v [4].

Srovnáme-li výpočet výsledné indukčnosti při sériovém a paralelním řazení induktorů s výpočtem výsledného odporu rezistorů, je vidět, že **výsledná indukčnost se počítá stejně jako výsledný odpor!**

Úkol

1. Vyberte dvě různé tlumivky, určete hodnoty jejich indukčností pomocí značení a přeměřte multimetrem – hodnoty si zaznamenejte. Tlumivky zapojte sériově do kontaktního pole a pomocí multimetru změřte výslednou indukčnost. Vypočtete teoretickou hodnotu výsledné indukčnosti (použijte naměřené hodnoty indukčností jednotlivých tlumivek) a srovnajte s měřením.
2. Postupujte stejně jako v úkolu 1, jen tlumivky zapojte paralelně.
3. Vyberte si pět tlumivek tak, aby maximálně dvě měli stejnou hodnotu indukčnosti. Změřte indukčnosti všech tlumivek – hodnoty si zaznamenejte a označte si jednotlivé tlumivky. Nakreslete libovolné schéma, ve kterém se bude vyskytovat sériovo-paralelní kombinace tlumivek, dále zapojte tuto strukturu do kontaktního pole a změřte výslednou indukčnost. Nakonec vypočtete teoretickou hodnotu výsledné indukčnosti a srovnajte s měřením.

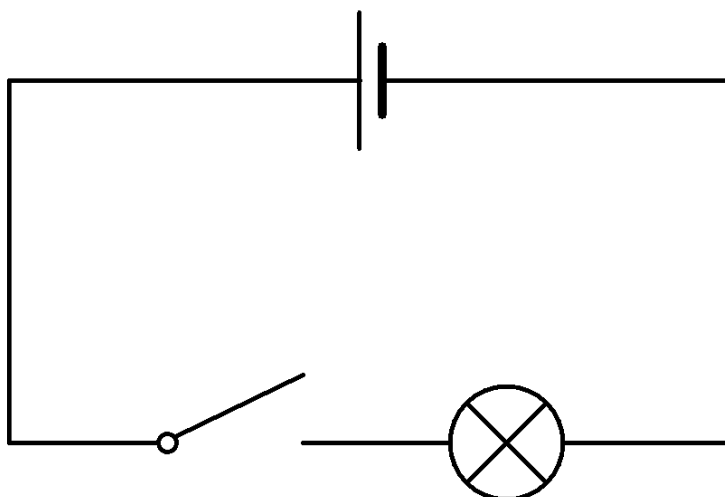
II. Jednoduché elektrické obvody

V předchozích kapitolách jsme se zaměřili na studium samostatných součástí a jejich parametrů. Umět správně určit parametry jednotlivých součástí je důležité především pro jejich aplikaci v komplexnějších typech obvodů. V následujícím textu se podíváme na jednoduché obvody, které již budou složeny z několika součástí a budou plnit určitou funkci.

5. Obvod se žárovkou a spínačem

V této úloze máme za úkol sestavit obvod, který se bude skládat ze žárovky a spínače, po jehož sepnutí žárovka začne svítit. Nutnou součástí obvodu musí samozřejmě být i napájecí zdroj, pro naši realizaci využijeme jako zdroj napětí laboratorní zdroj.

Nejprve si nakreslíme schéma elektrického obvodu – Obr. 5.1.



Obr. 5.1: Obvod se žárovkou a spínačem.

Z hlediska polarity žárovky je lhostejné, která nožička bude připojena ke kladnému pólu zdroje a které k zápornému. Jelikož funkcí žárovky je přeměnit elektrickou energii na světelnou⁵, je jedno, jestli do ní elektrická energie vstupuje z jedné strany, nebo z druhé. V tomto ohledu je žárovka symetrický člen.⁶

Než začneme samotný obvod zapojovat, je nutné **SE ZAMYSLET!**, jestli máme splněny všechny podmínky pro to, aby žárovka mohla v tomto obvodu po stisku spínače fungovat. Jestli jsou splněny (nejsou překročeny) její parametry.

⁵ Tato přeměna je velice neefektivní a většina energie se mění na teplo, které většinou dále nijak nevyužijeme. Žárovka je tedy velice neefektivní součástka, mnohem lepšími světelnými zdroji jsou například polovodičové diody, výbojky...

⁶ Stejně jako například rezistor.

Vždy při zapojování jakéhokoliv obvodu je nutné uvědomit si:

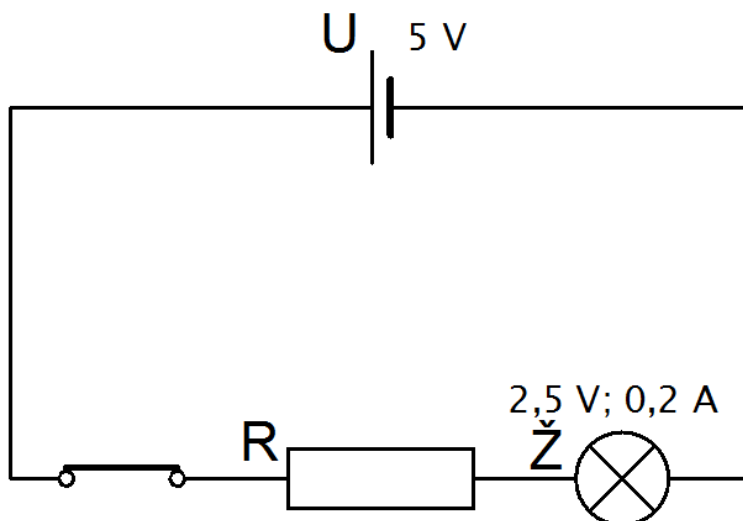
- co zapojujeme
- kam to zapojujeme

V našem případě zapojujeme žárovku, její parametry nalezneme na objímce. Pokud je na této součástce uveden např. údaj: 2.5V 0.2A, znamená to, že žárovka je určena pro napětí 2,5 V a proud 0,2 A. Někdy bývá údaj o provozním elektrickém proudu uveden pouze desetinnou tečkou a číslem (bez nuly): .2A. Význam je opět stejný, provozní proud je u takového značení též 0,2 A. V druhém kroku musíme zjistit, kam žárovku připojujeme – parametry napájecího zdroje. Jediným pro nás podstatným parametrem je velikost napájecího napětí stejnosměrného zdroje. Tuto hodnotu změříme voltmetrem připojeným přímo ke zdroji. **POZOR! Na multimetru nastavte nejprve požadovaný rozsah a měření napětí a teprve poté připojte ke zdroji!** Pokud připojíte nejprve multimetr ke zdroji a teprve poté přetáčíte otočný volič přes různé rozsahy, můžete multimetr zničit (spálit pojistky).

Známe tedy parametry jednotlivých součástek, odečetli jsme například hodnoty:

- žárovka: 2,5 V, 0,2 A
- zdroj: 5 V

Z porovnání je jasně vidět, že žárovka není dimenzována pro napětí zdroje, tento problém je nutné vyřešit. Jinými slovy, potřebujeme, aby se část napětí z 5V zdroje někde upotřebila a na žárovku zbylo jen požadovaných 2,5 V. Nejjednodušší prvek, který můžeme do obvodu zapojit a má tuto vlastnost je rezistor. Schéma obvodu rozšířeného o rezistor je na Obr. 5.2.



Obr. 5.2: Obvod se žárovkou doplněný o rezistor

Po sepnutí spínače začne obvodem protékat elektrický proud. Požadovaná velikost proudu je dána jako parametr žárovky. Protože rezistor R i žárovka Ž jsou zapojeni v sérii, poteče oběma součástkami stejný elektrický proud: 0,2 A. Díky sériovému zapojení obou součástí víme, že celkové napětí zdroje U se rozdělí⁷ mezi obě dvě součástky. Na rezistoru R bude tedy úbytek napětí také 2,5 V. Pokud známe úbytek napětí na rezistoru a proud procházející rezistorem, můžeme jednoduše z Ohmova zákona dopočítat odpor rezistoru. Výpočet uvádí Rce. 5.1.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{2,5}{0,2} = 12,5 \Omega$$

Rce. 5.1: Výpočet odporu rezistoru

Velikost odporu, který je nutné zapojit do série se žárovkou, aby byly splněny její parametry je 12,5 Ω. Pokud nemáme přesnou hodnotu odporu, můžeme si ho sestavit sériovou (paralelní) kombinací rezistorů. Není však nutné dosáhnout úplně přesné hodnoty, víme, že uváděné hodnoty jsou vždy s určitou odchylkou, tudíž nikdy nedosáhneme zcela přesných čísel jako ve výpočtech. Navíc nepočítáme se všemi možnými ztrátami v našem obvodě, což také ovlivňuje přesné hodnoty. Z tohoto důvodu zcela postačuje použít rezistor o odporu 10 Ω, či 15 Ω.⁸ Zapojení do kontaktního pole je uvedeno v kapitole Přílohy – Obr. P. 6 a Obr. P. 7.

Úkol

1. Zapojte obvod se žárovkou dle schématu na Obr. 5.2. Pomocí voltmetru a ampérmetru přeměřte hodnoty napětí a proudů pro jednotlivé součástky. Naměřené hodnoty porovnejte s výpočtem (určete procentuální odchylku).
2. Nahrad'te žárovku v obvodu na Obr. 5.2 rezistorem. Jaký rezistor musíte použít? Jak se změní chování obvodu.
3. Navrhněte obvod se spínačem, do kterého připojíte 2 žárovky sériově. Určete parametry ostatních obvodových prvků. Obvod zapojte a ověřte jeho funkčnost. Hodnoty proudů a napětí přeměřte pomocí multimetru.
4. Navrhněte obvod se spínačem, do kterého připojíte 2 žárovky paralelně. Určete parametry ostatních obvodových prvků. Obvod zapojte a ověřte jeho funkčnost. Hodnoty proudů a napětí přeměřte pomocí multimetru.

⁷ Dle Ohmova zákona se napětí rozdělí v poměru odporů součástí.

⁸ Samozřejmě je nutné dbát i na další parametry rezistoru – především na jmenovitou zatížitelnost rezistoru.

6. Reostat jako proměnný odpor

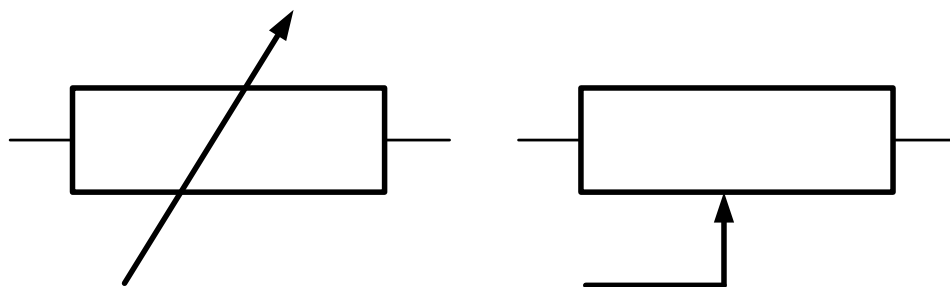
Reostat⁹ je součástka, jejíž elektrický odpor můžeme v obvodu cíleně měnit. Hodnotu odporu můžeme na reostatu nastavit pomocí jezdce, nebo pomocí otočného ovladače, obě možnosti jsou uvedeny na Obr. 6.1 a Obr. 6.2. Schematické značky součástky jsou uvedeny na Obr. 6.3.



Obr. 6.1: Reostat



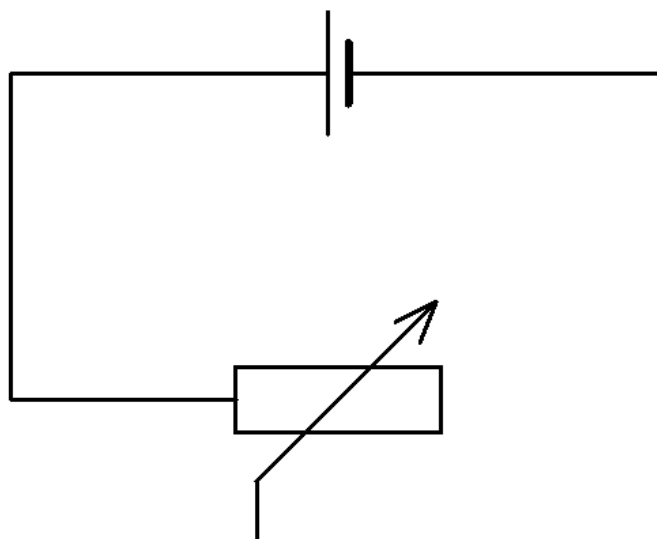
Obr. 6.2: Potenciometr



Obr. 6.3: Dvě varianty schematické značky reostatu

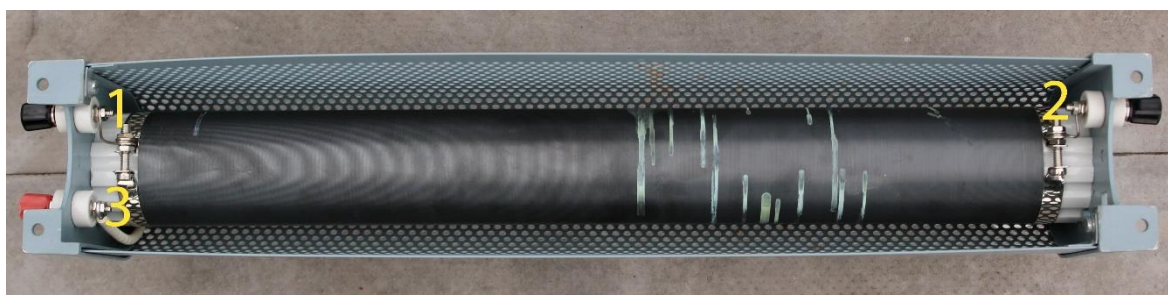
⁹ Někdy je tato součástka označována jako potenciometr, nebo jako trimr. Rozdíly mezi těmito součástkami jsou pro nás zanedbatelné, spočívají v mechanických vlastnostech součástek či v odlišných hodnotách parametrů (výkonové zatížení atd.). Všechny tři uvedené součástky však mají vlastnost proměnného odporu.

Reostat máme možnost do obvodu zapojit dvěma odlišnými způsoby. První z možností je zapojení jako proměnný odpor – na Obr. 6.4.



Obr. 6.4: Reostat jako proměnný odpor

Při tomto typu zapojení využijeme právě dva vývody reostatu z celkových tří – viz Obr. 6.1 a Obr. 6.2. Zapojení reostatu jakožto proměnného odporu znamená, že můžeme velmi snadno měnit hodnotu odporu posouváním jezdec.¹⁰ Pokud reostat otočíme, je vidět, že jeho obvodová vlastnost (elektrický odpor) je tvořen jedním drátem namotaným na pevném izolantu – viz Obr. 6.5. Vývod reostatu, jež je na našem obrázku označen číslem 1 je připojen k levému konci drátu, vývod číslo 2 k pravému konci drátu. Při zapojení reostatu do elektrického obvodu mezi vývody 1 a 2 tedy zapojíme celý reostat s jeho maximální hodnotou odporu.¹¹ Pokud chceme naplno využít funkce reostatu, tedy měnit hodnotu elektrického odporu, musíme zapojit reostat mezi jeden konec drátu (vývod 1, nebo 2) a jezdec – vývod 3.¹²



Obr. 6.5: Reostat otočený

¹⁰ Změna odporu v závislosti na posunu jezdec většinou není lineární a nejvíce se odpor mění u konci reostatu!

¹¹ Tento údaj včetně maximální proudové a napěťové zatížitelnosti nalezneme na štítku na vrchní straně reostatu.

¹² Vývod jezdec bývá většinou označen odlišnou barvou (v našem případě červeně). Je možné ho od zbylých dvou odlišit tak, že vývody obou konců reostatu leží naproti sobě a vývod jezdec je posunut. Celá situace je dobře vidět na Obr. 6.5.

Stejně budeme postupovat, pokud do obvodu zapojíme potenciometr. Jak je vidět na Obr. 6.2., tento proměnný odpor je konstruován naprosto stejně – také má tři vývody. Krajní dva opět odpovídají celému odporovému rozsahu a jezdec, který je v tomto případě nahrazen otočným voličem, je připojen na prostřední vývod.

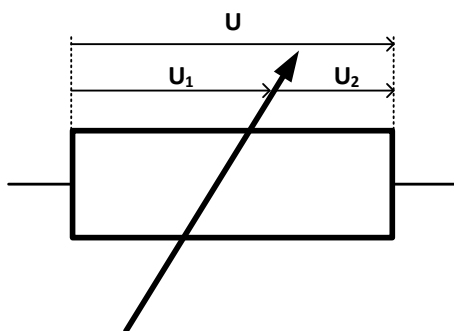
V případě našich zapojení reostatu jako proměnného odporu nastavujeme požadovanou hodnotu odporu v elektrickém obvodu od největší možné! V opačném případě hrozí nebezpečí spálení součástek z důvodu velkého elektrického proudu tekoucího obvodem. (Dle Ohmova zákona při malém odporu protéká obvodem velký proud.)

Úkol

1. Ověřte ohmmetrem celkový odpor reostatu. Připojte reostat k ohmmetru tak, aby byl využit maximální odpor celého reostatu (mezi vývody 1 a 2 na Obr. 6.5) Ověřte, že pohybem jezdc se nijak naměřená hodnota odporu nemění.
2. Zapojte ohmmetr mezi vývody reostatu 1 a 3 na Obr. 6.5. Před zapojením si nejprve rozmyslete, kam je nutné posunout jezdec, abychom nastavili největší možný odpor a učiňte tak! Sledujte, jak se mění hodnota elektrického odporu v závislosti na pohybu jezdc.
3. Zapojte ohmmetr mezi vývody reostatu 2 a 3 na obr Obr. 6.5. Před zapojením si nejprve rozmyslete, kam je nutné posunout jezdec, abychom nastavili největší možný odpor a učiňte tak! Sledujte, jak se mění hodnota elektrického odporu v závislosti na pohybu jezdc. Jak se situace změnila vzhledem k úkolu č. 2?
4. Zapojte elektrický obvod se žárovkou dle předchozí kapitoly (5), místo rezistoru zapojte do obvodu se žárovkou reostat. Vyberte vhodný reostat a rozhodněte, jakou hodnotu odporu nastavíte před zapojením! Zakreslete schéma zapojení.
5. Zapojte elektrický obvod se žárovkou dle předchozí kapitoly (5), místo rezistoru zapojte do obvodu se žárovkou potenciometr. Vyberte vhodný potenciometr a rozhodněte, jakou hodnotu odporu nastavíte před zapojením!

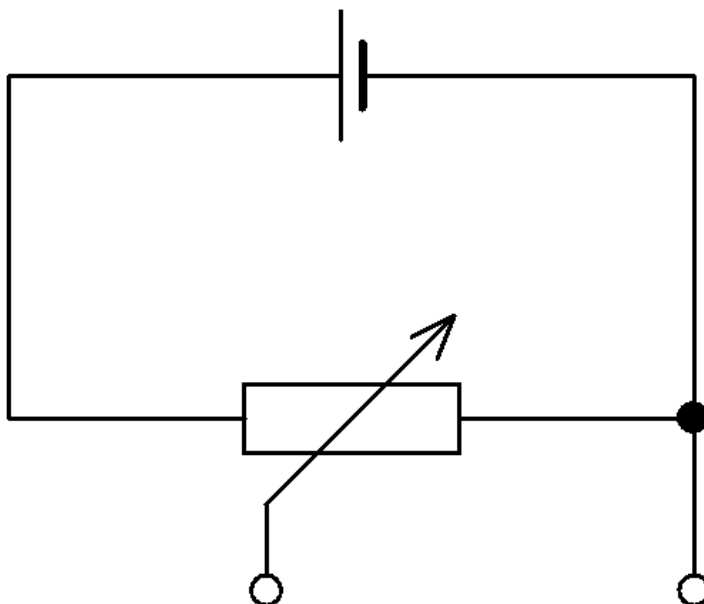
7. Reostat jako dělič napětí

Druhá možnost, jak zapojit reostat do elektrického obvodu, je zapojit ho jako dělič napětí. Tentokrát využijeme všechny tři vývody reostatu. Celý reostat (vývody 1 a 2 dle Obr. 6.5.) zapojíme přímo ke zdroji napětí. Jezdec nám rozdělí reostat na dva sériově spojené rezistory. Jak je patrné z názvu bude nás v tomto zapojení zajímat hlavně napětí na jednotlivých částech reostatu. Celkové napětí zdroje se rozdělí dle Ohmova zákona na jednotlivé části reostatu v poměru jejich odporů – viz Obr. 7.1.



Obr. 7.1: Rozdělení napětí na jednotlivých částech reostatu

Reostat jako dělič napětí zapojíme v případě, že chceme přímo regulovat velikost napětí v části obvodu, kterou připojíme mezi jezdec a jednu ze zbývajících svorek reostatu. Schéma daného obvodu je uvedeno na viz Obr. 7.2. Pomocí svorek (prázdná kolečka) je vyznačena ta část napěťového děliče, na které nastavíme požadované napětí (kam připojíme další součástky).



Obr. 7.2: Reostat jako dělič napětí

Před připojením celého obvodu ke zdroji napětí je nutné si uvědomit, **do jaké polohy nastavit jezdec!** Tentokrát budeme chtít, aby na začátku byla námi sledovaná

část obvodu připojena k nejmenšímu možnému napětí, tudíž na reostatu nastavíme nejmenší možnou hodnotu odporu.¹³ Při zapojení dle schématu na Obr. 7.2 to znamená jezdec posunout zcela vpravo. Pro lepší názornost je v kapitole Přílohy znázorněno reálné zapojení – Reostat jako dělič napětí.

Úkol

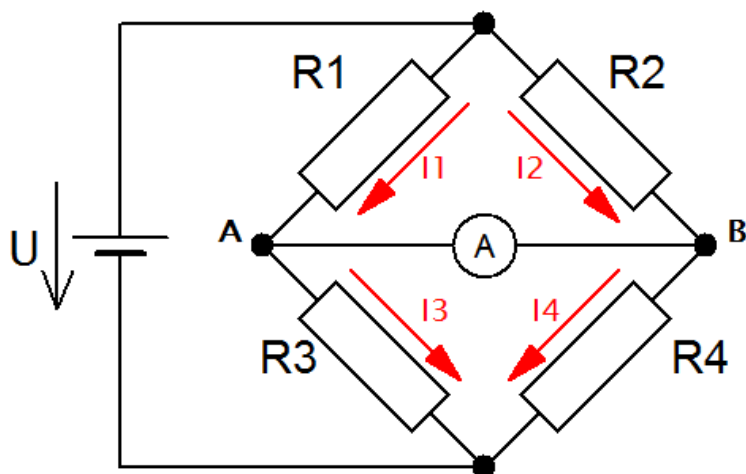
1. Pokud připojíme celý reostat k napětí U , vypočtete obecně, jaké bude napětí na obou částech napěťového děliče, které mají odpor R_1 a R_2 – viz Obr. 7.1.¹⁴
2. Připojte reostat ke zdroji napětí a ověřte pomocí voltmetru, jaké je napětí připojeného zdroje a jaké je napětí na jednotlivých částech reostatu (mezi jezdcem a jednou stranou; mezi jezdcem a druhou stranou).
3. Zapojte elektrický obvod se žárovkou (kapitola 5), s využitím reostatu jako děliče napětí. Napětí na žárovce nastavte pomocí tohoto děliče. Nejprve nakreslete schéma zapojení a rozhodněte, kam posunete jezdec před zapojením!
4. Zapojte elektrický obvod se žárovkou (kapitola 5), s využitím potenciometru jako děliče napětí. Napětí na žárovce nastavte pomocí tohoto potenciometru. Nejprve nakreslete schéma zapojení a rozhodněte, kam posunete jezdec před zapojením!

¹³ Dle Ohmova zákona při protékajícím proudu bude na malém odporu malá hodnota napětí.

¹⁴ Pokud k jedné části děliče napětí připojíme paralelně zátěž, změníme tím hodnotu elektrického odporu dané části a tím tedy i změníme hodnotu napětí na této části. Z nezatíženého děliče se stane zatížený, který má jiné parametry.

8. Wheatstoneův můstek

Někdy se v elektrických obvodech můžeme setkat s tzv. můstkovým zapojením. V této kapitole podíváme na tzv. Wheatstoneův můstek¹⁵, který představuje můstkové zapojení čtyř rezistorů. Nejběžnější typ zapojení je uveden na Obr. 8.1. Tento jednoduchý obvod se dá velmi dobře využít pro přesné měření odporů a malých změn odporů.



Obr. 8.1: Wheatstoneův můstek

Obvod se skládá ze dvou větví, jedna obsahuje rezistory R_1 a R_3 , druhá větev rezistory R_2 a R_4 . Obě větve jsou připojeny ke zdroji napětí. Onen pomyslný můstek mezi větvemi je v našem případě tvořen ampérmetrem. Pokud je můstek vyvážen, neprotéká ampérmetrem žádný proud, jinými slovy elektrický potenciál v uzlu A a v uzlu B je stejný. Je tedy zřejmé, že $U_{AB} = 0$. Je-li tento předpoklad splněn, musí platit následující vztahy a odvození:

$$U_1 = U_2 \text{ a } U_3 = U_4 \\ I_1 = I_3 \text{ a } I_2 = I_4$$

Rce. 8.1: Vztahy pro napětí a proud v jednotlivých větvích můstku

S využitím Ohmova zákona dostaneme:

$$U_1 = U_2 \\ R_1 I_1 = R_2 I_2$$

Rce. 8.2 Dosazení z Ohmova zákona

¹⁵ Tento typ zapojení elektrického obvodu vynalezl v roce 1833 britský fyzik a matematik Samuel Hunter Christie (1784–1865), v roce 1843 můstek vylepšil a zpopularizoval britský vědec a vynálezce Sir Charles Wheatstone (1802–1875), po kterém je můstek pojmenován.

Z podmínky vyváženosti můstku plynou také vztahy pro proudy v jednotlivých větvích. Napětí na každé větvi je stejné jako napájecí napětí a odpor dané větve je dán sériovou kombinací obou rezistorů:

$$I_1 = \frac{U}{R_1 + R_3} \text{ a } I_2 = \frac{U}{R_2 + R_4}$$

Rce. 8.3: Proud jednotlivými větvemi

Dosadíme-li vyjádření proudu z Rce. 8.3 do Rce. 8.2 dostaneme podmínku pro vyváženost můstku – Rce. 8.4:

$$\begin{aligned} R_1 \frac{U}{R_1 + R_3} &= R_2 \frac{U}{R_2 + R_4} \\ \frac{R_1}{R_1 + R_3} &= \frac{R_2}{R_2 + R_4} \\ \frac{R_1}{R_1 + R_3} &= \frac{R_2}{R_2 + R_4} \\ 1 + \frac{R_1}{R_3} &= 1 + \frac{R_2}{R_4} \\ \frac{R_1}{R_3} &= \frac{R_2}{R_4} \end{aligned}$$

Rce. 8.4: Podmínka pro vyvážený můstek

V praxi se můstek využívá tak, že jeden z rezistorů (např. R_1) nahradíme rezistorem s neznámým odporem (R_x). Jeho velikost pak určíme ze vztahu Rce. 8.5, který jsme dostali vyjádřením z Rce. 8.4. Protože vztah platí pro vyvážený můstek, je tedy nutné můstek vyvážit. To se dělá pomocí rezistoru R_3 , místo kterého obvykle připojíme odporovou dekádu¹⁶.

$$R_x = R_3 \frac{R_2}{R_4}$$

Rce. 8.5: Výpočet neznámého odporu rezistoru

Wheatstoneův můstek se v praxi používá především k měření neelektrických veličin jakožto velice přesná nepřímá metoda měření. Vhodné je toto zapojení použít pro měření teploty, tlaku, posunutí atd. Senzor dané veličiny opět představuje odpor R_1 a celé měření probíhá v souladu s výše uvedeným.

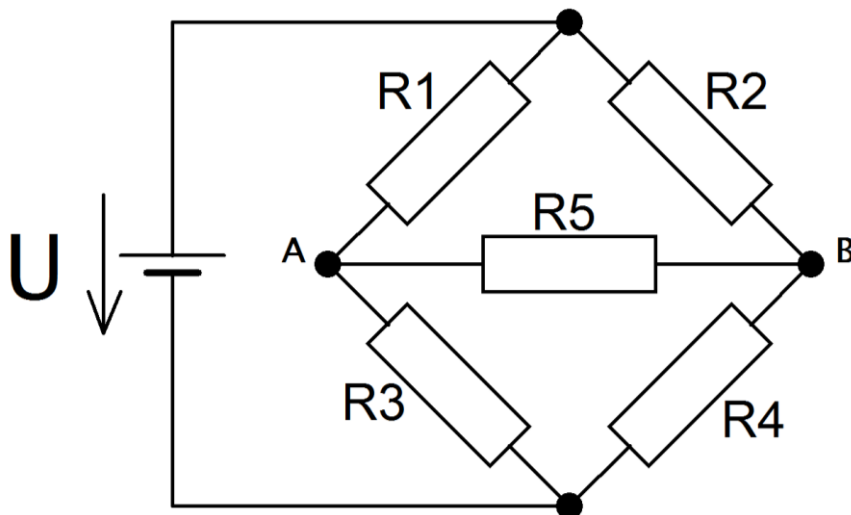
¹⁶ Odporová dekáda umožňuje nastavit potřebnou velikost odporu – názorně v kapitole Přílohy – Odporová dekáda.

Úkol

1. Zapojte Wheatstoneův můstek tak, aby byl vyvážen (vyberte vhodné rezistory). Připojte můstek ke zdroji napětí (např. 5 V) a ověřte, že je vyvážen. V případě, že můstek není dokonale vyvážen, zjistěte a zdůvodněte příčinu.
2. Zapojte Wheatstoneův můstek s odporovou dekádou a vyzkoušejte nalezení přesné hodnoty neznámého odporu. Určenou hodnotu ověřte (pomocí kódu rezistoru, pomocí ohmmetru...).

9. Transfigurace trojúhelník – hvězda

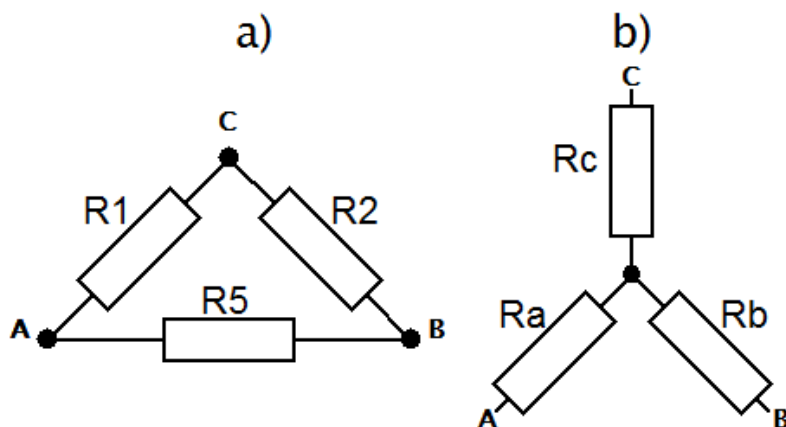
V elektrických schématech se někdy můžeme setkat s obvodem, kde jednotlivé součástky, nebo alespoň část z nich, jsou uspořádány do trojúhelníku. Na Obr. 9.1 vidíme můstkový obvod, který je tvořen pěti rezistory.



Obr. 9.1: Můstkový obvod s trojúhelníkovým uspořádáním

Pokud můstek na Obr. 9.1 není vyvážen, protéká rezistorem R_5 elektrický proud a je pro nás relativně obtížné určit proudy tekoucí jednotlivými rezistory a napětí na nich. Kdybychom mezi uzly A a B neměli žádný rezistor, výpočet by byl relativně jednoduchý. Jednou z možných metod řešení takového obvodu je tzv. transfigurace trojúhelník – hvězda.

Transfigurace spočívá v nahrazení částí obvodu, které tvoří trojúhelník obvodem, jenž bude mít tvar hvězdy. V obvodu uvedeném na Obr. 9.1 máme dvě možnosti náhrady. Buď trojúhelník tvořený rezistory R_1 , R_2 a R_5 , nebo trojúhelník obsahující rezistory R_3 , R_4 a R_5 . Vyberme první variantu, nahradíme tedy trojúhelník tvořený rezistory odpovídající hvězdou – Obr. 9.2. Nahrazený obvod pak následně opět zakomponujeme do původního obvodu.



Obr. 9.2: a) trojúhelník b) hvězda

Má-li náhrada v obvodu odpovídat původnímu zapojení, musí platit, že hodnota odporu mezi jednotlivými svorkami (uzly A , B a C) musí zůstat zachována. Z tohoto důvodu je nutné provést přepočtení hodnot odporů rezistorů R_1 , R_2 a R_5 na odpory rezistorů R_a , R_b a R_c dle Rce. 9.1.¹⁷

$$R_a = \frac{R_1 \cdot R_5}{R_1 + R_5 + R_2}$$

$$R_b = \frac{R_5 \cdot R_2}{R_1 + R_5 + R_2}$$

$$R_c = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_5 + R_2}$$

Rce. 9.1: Transfigurace trojúhelník – hvězda

Pro opačný postup, budeme-li chtít provést transfiguraci hvězda – trojúhelník, platí vztahy uvedené v Rce. 9.2.

$$R_1 = R_c + R_a + \frac{R_c \cdot R_a}{R_b}$$

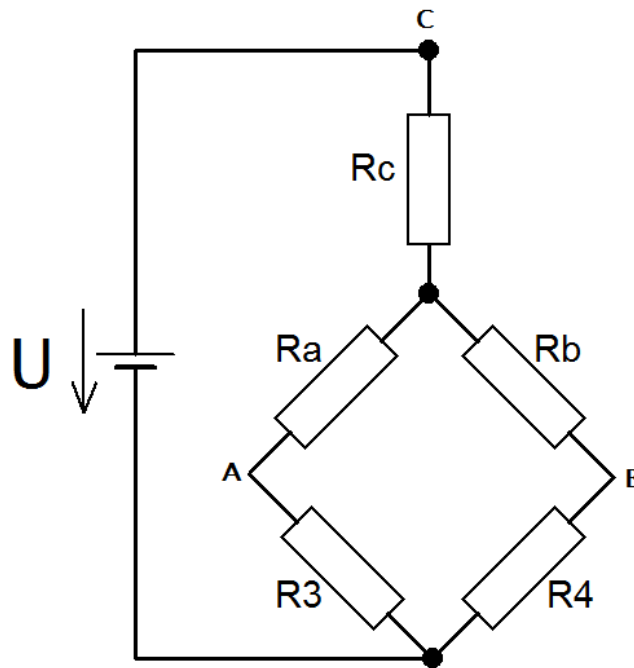
$$R_2 = R_b + R_c + \frac{R_b \cdot R_c}{R_a}$$

$$R_5 = R_a + R_b + \frac{R_a \cdot R_b}{R_c}$$

Rce. 9.2: Transfigurace hvězda – trojúhelník

Po přepočtení odporu jednotlivých rezistorů je můžeme nahradit ve schématu na Obr. 9.1, dostaneme tak náhradní schéma – Obr. 9.3. Takovýto obvod jsme už schopni jednoduše řešit např. přes výpočet celkového odporu atd.

¹⁷ Odvození vztahů pro transfigurace je uvedeno v [5].



Obr. 9.3: Obvod po transfiguraci

Úkol

1. V této kapitole je podrobně popsána náhrada tří rezistorů ve schématu elektrického obvodu na Obr. 9.1. Analogicky řešte tento obvod (transfigurace a náčrt náhradního schématu) v případě, že budeme chtít provést transfiguraci trojúhelník hvězda s rezistory R_3 , R_4 a R_5 .
2. Vyberte pět vhodných rezistorů, přeměřte jejich odpory a zapojte je dle schématu na Obr. 9.1. **Při zapojování obvodu nepřipojujte ke zdroji napětí!** Pomocí ohmmetru změřte celkový odpor struktury. Následně vypočtete celkový odpor, při výpočtu využijte transfiguraci trojúhelník – hvězda. Porovnejte naměřenou a vypočtenou hodnotu.
3. Vyberte tři vhodné rezistory, přeměřte jejich odpory a zapojte je do trojúhelníku. Poté proveďte transfiguraci trojúhelník – hvězda a zapojte náhradní obvod hvězdu s odpovídajícími odpory (přeměřte, případně sestavte vhodné odpory kombinací více jednotlivých). Ověřte, že si hodnoty odporů mezi svorkami (A - C ; A - B a B - C na Obr. 9.2) odpovídají. **Při zapojování obvodu nepřipojujte ke zdroji napětí!**
4. Vyberte vhodné rezistory (přeměřte hodnotu jejich odporů) a zapojte můstkový obvod dle Obr. 9.1. Nastavte vhodnou velikost napájecího napětí a připojte rezistory. Změřte napětí na připojeném zdroji a proud, který je ze zdroje odebírán. Z naměřených hodnot vypočtete celkový odpor struktury. Vypočtete výsledný odpor celé struktury pomocí transfigurace trojúhelník – hvězda. Naměřenou a vypočtenou hodnotu porovnejte.

III. Voltampérová charakteristika

Jednou ze základních charakteristik, která udává chování elektrotechnických součástek v obvodu je voltampérová charakteristika. Je to závislost proudu protékajícího součástkou na ekletickém napětí na součástce (případně obráceně).¹⁸ Z této charakteristiky můžeme dále určit elektrický odpor dané součástky.¹⁹ Z grafu charakteristiky jsou tedy patrné všechny elektrické veličiny, které nás pro popis součástky zajímají – proud, napětí a elektrický odpor.

10. V-A charakteristika rezistoru

Jak již bylo uvedeno v kapitole 5, rezistor se z hlediska elektrického obvodu (průtoku proudu a úbytku napětí) chová tak, že dle svého elektrického parametru – odporu, se brání průtoku proudu. V důsledku tohoto chování se na této součástce mění elektrická energie²⁰ (vytváří se úbytek napětí). Tato závislost je jasně popsána v Ohmově zákoně, pro názornost je uveden v Rce. 10.1.

$$U = R \cdot I$$

Rce. 10.1: Ohmův zákon

Proměnnými veličinami v ohmově zákoně jsou napětí a proud, odpor je konstanta udávající elektrické parametry součástky. Z matematického hlediska se jedná tedy o lineární závislost, jejímž grafem je přímka. Parametr R udává sklon dané přímky.²¹ Pro znázornění voltampérové charakteristiky rezistoru (žárovky) tedy budeme potřebovat zaznamenat hodnoty protékajícího proudu při různých hodnotách napětí na součástce. Z předchozí kapitoly víme, že nastavovat hodnoty napětí nám umožní reostat zapojený jako napěťový dělič. Pokud tedy připojíme rezistor k napěťovému děliči a paralelně k rezistoru připojíme voltmetr, můžeme měřit nastavené hodnoty napětí na rezistoru. Abychom zároveň mohli měřit proud protékající rezistorem, zapojíme sériově k rezistoru ještě ampérmetr. Situace je znázorněna na Obr. 10.1.²²

Samotný rezistor zapojíme do kontaktního nepájivého pole a drátky připojíme k vývodům kontaktního pole. Zbytek obvodu s měřicími přístroji již zapojíme pomocí

¹⁸ Charakteristika může být závislá na mnoha dalších parametrech jako tlak, teplota...

¹⁹ Pokud se jedná o lineární prvek (např. rezistor) můžeme odpor těchto součástek určit jednoduše jako směrnici dané přímky. U nelineárních prvků (např. dioda) je výpočet složitější. Více v [1].

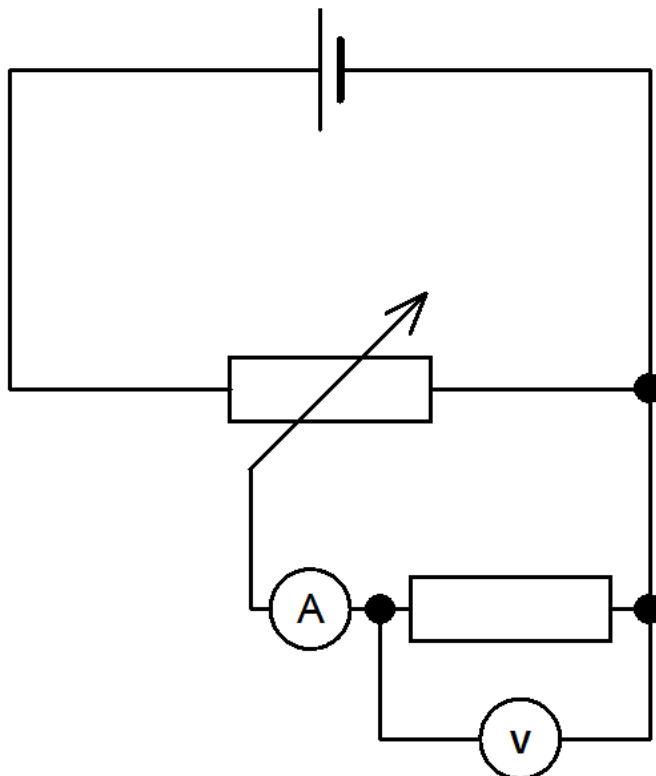
²⁰ Elektrická energie se mění na tepelnou, případně světelnou.

²¹ Ve skutečnosti charakteristika není nikdy zcela lineární, neboť s rostoucím proudem, který protéká rezistorem, se součástka více zahřívá. A jak je uvedeno např. v [3], odpor je závislý na teplotě. Pro naše měření však tento jev můžeme zanedbat.

²² Voltmetr je možné paralelně připojit k samotnému rezistoru, nebo k sériové kombinaci rezistoru a ampérmetru, více v kapitole Přílohy – Zapojení ampérmetru a voltmetru.

klasických vodičů do kontaktů nepájivého pole, situace je znázorněna v kapitole Přílohy – Voltampérová charakteristika rezistoru.

Před zapojením ke zdroji napětí nezapomeneme překontrolovat nastavení jezdcu na reostatu! Jezdec nastavíme na nejmenší odpor – nejmenší hodnotu napětí! Ve schématu na Obr. 10.1 to znamená posun jezdcu doprava.



Obr. 10.1: Obvod pro měření voltampérové charakteristiky rezistoru

Pokud je obvod zapojen podle vzoru na obrázku Obr. 10.1 (Obr. P. 4 a Obr. P. 5) zbývá už jen posouváním reostatu nastavovat hodnoty napětí a odečíst pro ně vždy velikost protékajícího proudu. Pamatujme, že nikdy nesmíme překročit parametry součástek udané výrobcem – napětí, proud, výkon... Proto je před začátkem měření nutné vyhledat tyto parametry a poznamenat si hodnoty, které nesmíme překročit (například U_{\max} , I_{\max}).

Pro naše měření bude stačit si interval měřených hodnot – tedy nula až maximální hodnoty udané výrobcem rozdělit na deset rovnoměrných dílů, tedy pro deset hodnot nastavených napětí určit deset hodnot protékajících proudů.²³ Naměřené hodnoty vyneseme do tabulky a z tabulky následně zhotovíme graf.²⁴

²³ Pro přesnější měření je možné naměřit deset hodnot od nuly směrem nahoru a pak dalších deset hodnot (můžou být i stejné) opět směrem k nule. Tím je možné například částečně snížit vliv změny teploty (v důsledku měnícího se proudu) na výslednou charakteristiku.

²⁴ Nezávislá hodnota bude napětí (levý sloupec tabulky a vodorovná osa grafu), závislá hodnota bude proud (pravý sloupec tabulky a svislá osa grafu).

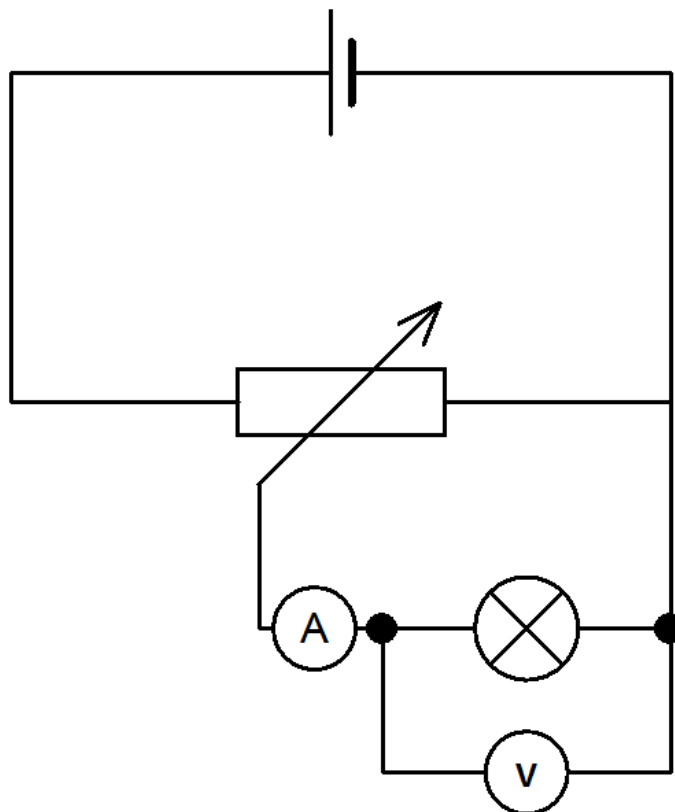
Body v grafu vždy znázorníme jako křížky a grafem proložíme křivku, které nám graficky zprůměruje naměřené hodnoty. Průměrnou hodnotu elektrického odporu můžeme určit i z tabulky naměřených hodnot.

Úkol

1. Vyberte si libovolný rezistor, změřte jeho voltampérovou charakteristiku a zanešte do grafu. Grafem proložte vhodnou křivku a nechte zobrazit její rovnici. Z této rovnice určete odpor rezistoru. Ověřte hodnotu výpočtem odporu z tabulky naměřených hodnot. Zjistěte hodnotu odporu ze značení rezistoru a srovnajte s měřením (uvažujte odchylku uvedenou ve značení).
2. Vyberte dva rezistory, jeden bude mít poloviční hodnotu odporu než druhý a změřte jejich voltampérové charakteristiky a následně je zanešte do jednoho grafu. Jak předpokládáte, že budou vypadat oba průběhy v grafu?
3. Vyberte vhodný rezistor a zapojte ho do obvodu dle schématu na Obr. 10.1. Zjistěte, jak se rezistor zahřívá při malém proudu a jak při hodnotách blízcích se maximální povolené. Některé multimetry obsahují teploměr, kterým můžete teplotu přímo určit. Stačí však provést orientační zjištění změny teploty tak, že přiložíme prst na rezistor a budeme pomalu zvětšovat velikost proudu tekoucího tímto rezistorem.

11. Voltampérová charakteristika žárovky

Chceme-li naměřit voltampérovou charakteristiku žárovky, budeme postupovat naprosto stejně jako v případě rezistoru. Schéma zapojení tedy bude totožné s Obr. 10.1, pouze s tím rozdílem, že rezistor ve schématu nahradíme žárovkou – viz Obr. 11.1.



Obr. 11.1: Obvod pro měření voltampérové charakteristiky žárovky

Při měření nezapomeneme, že žárovka má své mezní parametry (kapitola 5), které nesmíme překročit! **Před zapojením ke zdroji napětí překontrolujeme nastavení jezdce na reostatu! Jezdec nastavíme na nejmenší odpor – nejmenší hodnotu napětí! Ve schématu na Obr. 11.1 to znamená posun jezdce doprava.** Skutečné zapojení je uvedeno v kapitole Přílohy – Zapojení žárovky.

Charakteristika žárovky nevychází lineární, ale lze v ní najít dva úseky, které se za lineární dají považovat. Pokud zvyšujeme napětí od nuly, proud lineárně narůstá. Po dosažení určitých hodnot napětí a proudu (dáno parametry žárovky), přestává být charakteristika lineární a v grafu se objevuje „koleno“, jež je způsobeno zahřátím žárovky.²⁵ Při následném zvyšování napětí roste proud opět přibližně lineárně. Průběh je znázorněn v kapitole Přílohy – Voltampérová charakteristika žárovky.

²⁵ Ve skutečnosti charakteristika není nikdy zcela lineární, neboť s rostoucím proudem, který protéká žárovkou, se žárovka více zahřívá (obdobně jako u rezistoru). Pro naše měření však tento jev můžeme částečně zanedbat.

Úkol

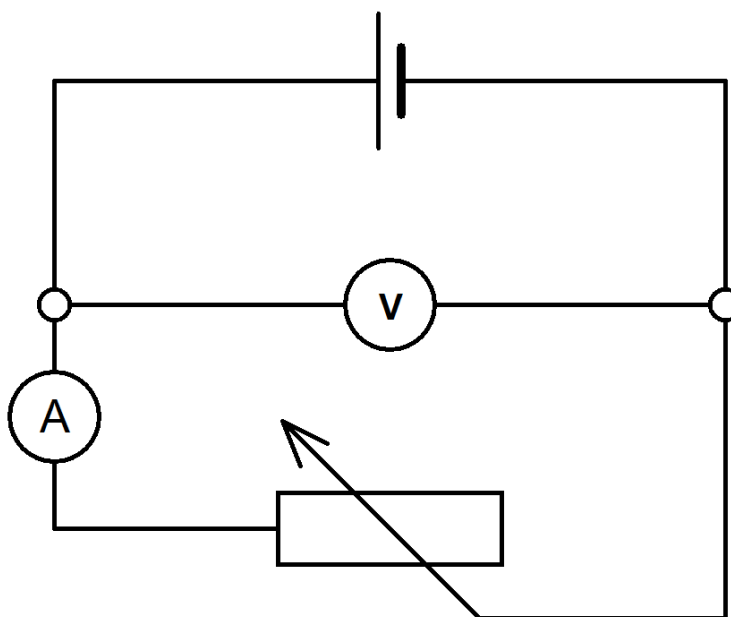
1. Změřte voltampérovou charakteristiku žárovky (alespoň 10 hodnot), v nelineární části měřte po malých krocích. Zapište si hodnoty napětí a proudu, při kterých se žárovka začne rozsvěcet. Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky a sestrojte graf, kterým proložte vhodnou křivku. V grafu vyznačte bod, kdy se žárovka začala rozsvěcet.
2. Vysvětlete nelineární tvar charakteristiky z úkolu č. 1.
3. Vypočtete odpor žárovky v první části voltampérové charakteristiky (od počátku ke „kolenu“) a v třetí části (od „kolene“ směrem k vyšším hodnotám napětí a proudů). Výpočet proved'te buď z tabulky, nebo z grafu. Srovnajte obě hodnoty a vysvětlete, proč jsou rozdílné.
4. Pro jednotlivá měření z úkolu 1 dopočtete hodnoty elektrického odporu. Sestrojte graf závislosti odporu na napětí a proložte jím vhodnou křivku.
5. Porovnejte voltampérovou charakteristiku žárovky a rezistoru. Co mají společného a čím se liší?

12. Zatěžovací charakteristika zdroje

V předchozí kapitole jsme uvedli, že voltampérová charakteristika součástek velmi dobře popisuje chování těchto součástek v elektrickém obvodu. Říká nám, jak přesně se mění proud tekoucí součástkou v závislosti na připojeném napětí (nebo naopak). Pokud stejnou charakteristiku změříme u zdroje napětí, vyjde nám zajímavý závěr.

Budeme tedy měřit napětí na svorkách zdroje a proud tekoucí z tohoto zdroje do zbylé části obvodu. Abychom mohli měnit proud tekoucí ze zdroje, budeme ve zbylé části obvodu měnit odpor. Pro jednoduchost celý obvod připojený ke zdroji napětí nahradíme jedním proměnným odporem (reostatem) – budeme tedy měnit zátěž připojenou ke zdroji (zatěžovací odpor). Z tohoto důvodu se běžně místo názvu voltampérová charakteristika zdroje používá spojení zatěžovací charakteristika zdroje, význam je stejný. Pro lepší názornost je zapojení znázorněno v kapitole Přílohy – Zatěžovací charakteristika zdroje.

Na Obr. 12.1 je znázorněno schéma zapojení obvodu. Hodnoty opět budeme vynášet do tabulky jako v kapitole 10. Tentokrát budeme chtít změřit (sestrojit) závislost napětí na svorkách zdroje (měřeno voltmetrem) na proudu tekoucím ze zdroje (měřeno ampérmetrem).



Obr. 12.1: Zatěžovací charakteristika zdroje

Ideálně začneme měření s reostatem, na kterém je možné nastavit velkou hodnotu odporu. Tím proměříme začátek charakteristiky a též příliš nezátěžujeme (nevybíjíme) zdroj. Pokud nastavíme malou zátěž, může téci obvodem relativně velký proud a zdroj hodně zatěžujeme (rychle vybíjíme), proto tuto část charakteristiky

naměříme rychle a pak opět nastavíme velkou zátěž, či obvod rozpojíme.²⁶ **Pozor na nastavení rozsahu ampérmetru a maximální zatížitelnost reostatu!** Reostaty s menší hodnotou maximálního odporu většinou snesou větší proudové zatížení. Proto je vhodné během měření reostat vyměnit za jiný s odpovídajícími parametry.

Úkol

1. Naměřte zatěžovací charakteristiku školního zdroje a jednoho dalšího typu zdroje (plochá baterie, devítivoltová baterie...). Do jednoho grafu sestrojte průběhy charakteristik a porovnejte mezi sebou. Který z uvedených zdrojů má větší (menší) vnitřní odpor?
2. Zopakujte měření z úkolu č. 1 pro školní zdroj a další typ zdroje.
3. V grafech z předchozích úloh odhadněte (vyznačte) hodnoty zkratových proudů daných zdrojů.

²⁶ Pokud měření provádí na školním zdroji více skupin najednou, může se hodnota veličin odečítaných na měřících měnit v závislosti na nastavení zátěže ostatních skupin. Z tohoto důvodu je lepší měřit postupně a po skončení dát signál další skupině, že mohou začít měřit.

Rejstřík

indukčnost, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 12

nastavení polohy jezdce reostatu, 22

paralelní řazení, 11 12, 15, 31

sériové řazení, 11, 12, 15, 21, 24, 31

tlačítko LC, 5

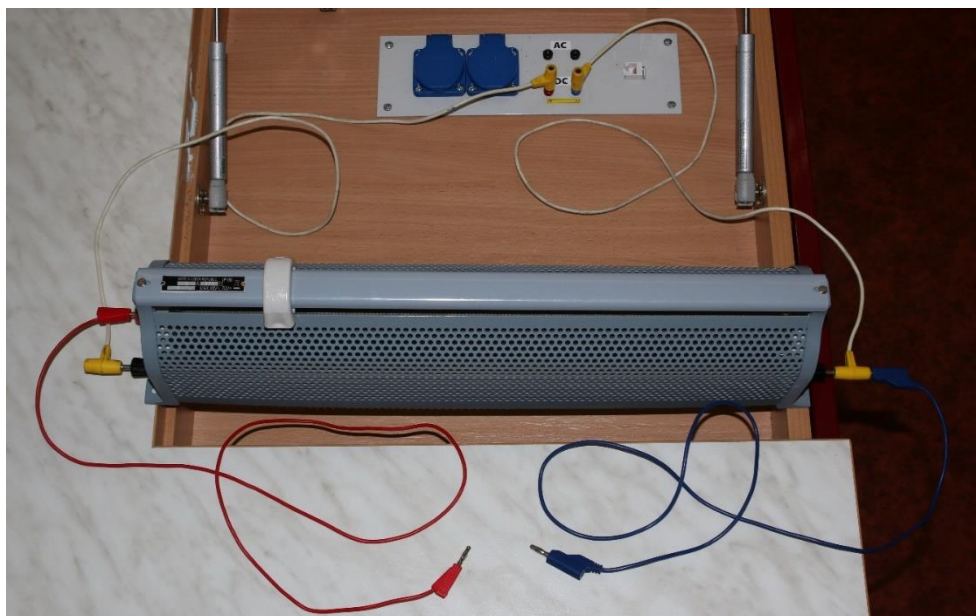
vyvážený můstek, 23, 24

vývod reostatu, 18, 21

Přílohy

Reostat jako dělič napětí

Jak vypadá reálné zapojení reostatu jako děliče napětí, je uvedeno na Obr. P. 1. Pokud bychom v tomto zapojení chtěli nastavit počáteční hodnotu napětí mezi červenou a modrou svorkou na nejnižší možnou, posuneme jezdec zcela vpravo.



Obr. P. 1: Reostat jako dělič napětí

Odporová dekáda

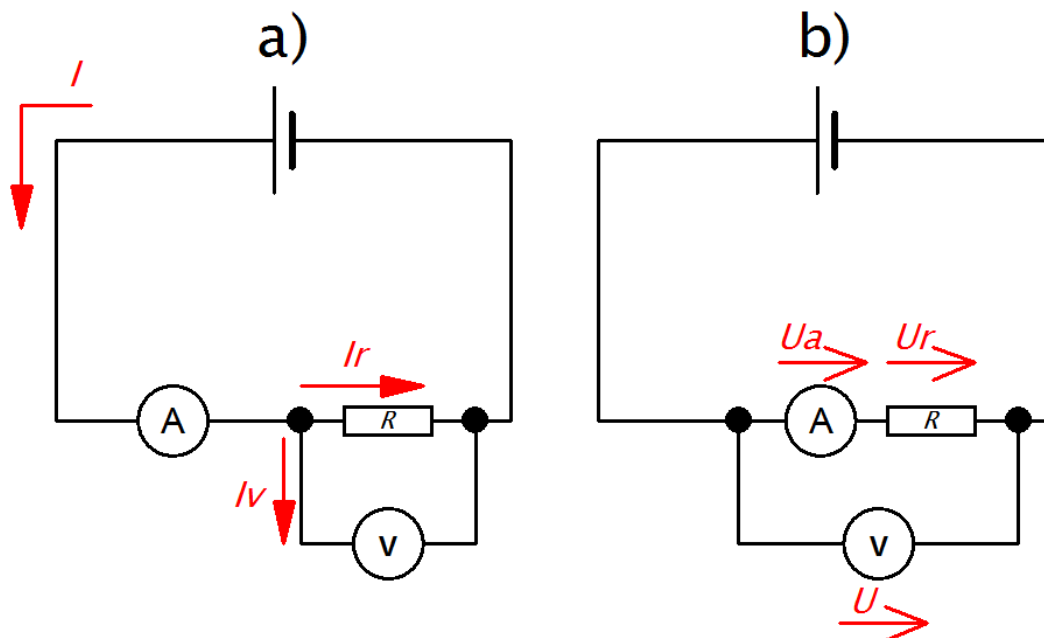
Odporová dekáda umožňuje postupným přepínáním, např. otočných voličů, nastavovat a velmi snadno měnit požadovanou hodnotu výstupního odporu. Jeden z možných typů je znázorněn na Obr. P. 2. Po nastavení požadované hodnoty elektrického odporu připojíme odporovou dekádu ke zbytku obvodu pomocí svorek v horní části přístroje.



Obr. P. 2: Odporová dekáda

Zapojení ampérmetru a voltmetru

V případě současného měření proudu procházejícího elektrickou součástí a napětí na této součástce máme dvě možnosti, jak ampérmetr a voltmetr zapojit. Oba dva typy zapojení jsou znázorněna na Obr. P. 3.



Obr. P. 3: Možnosti zapojení ampérmetru a voltmetru

Jelikož předpokládáme, že ampérmetr má nulový vnitřní odpor (reálně velmi malý) a voltmetr nekonečný (reálně velmi velký) je v případě našich měření je téměř lhostejné, jakou variantu zapojení si vybereme. Můžou však nastat situace, kdy zapojení bude mít výrazní vliv na výslednou naměřenou hodnotu.

V případě a) budeme voltmetrem měřit napětí pouze na rezistoru, ampérmetr však bude měřit proud, který teče do rezistoru, ale i do voltmetru. Hodnota proudu tedy nebude zcela přesná, resp. se bude lišit o I_v , neboť platí vztah $I = I_r + I_v$. Proud I_v a tedy i nepřesnost měření se bude zvětšovat s rostoucím R .

V případě b) budeme ampérmetrem měřit přesnou hodnotu proudu tekoucího rezistorem, voltmetr však bude měřit úbytek napětí na rezistoru, ale i na ampérmetru. Hodnota napětí tedy nebude zcela přesná, resp. se bude lišit o U_a , neboť platí vztah $U = U_a + U_r$. Napětí U_a a tedy nepřesnost měření se bude zvětšovat s klesající hodnotou R .

Z uvedeného rozboru můžeme vyvodit závěr:

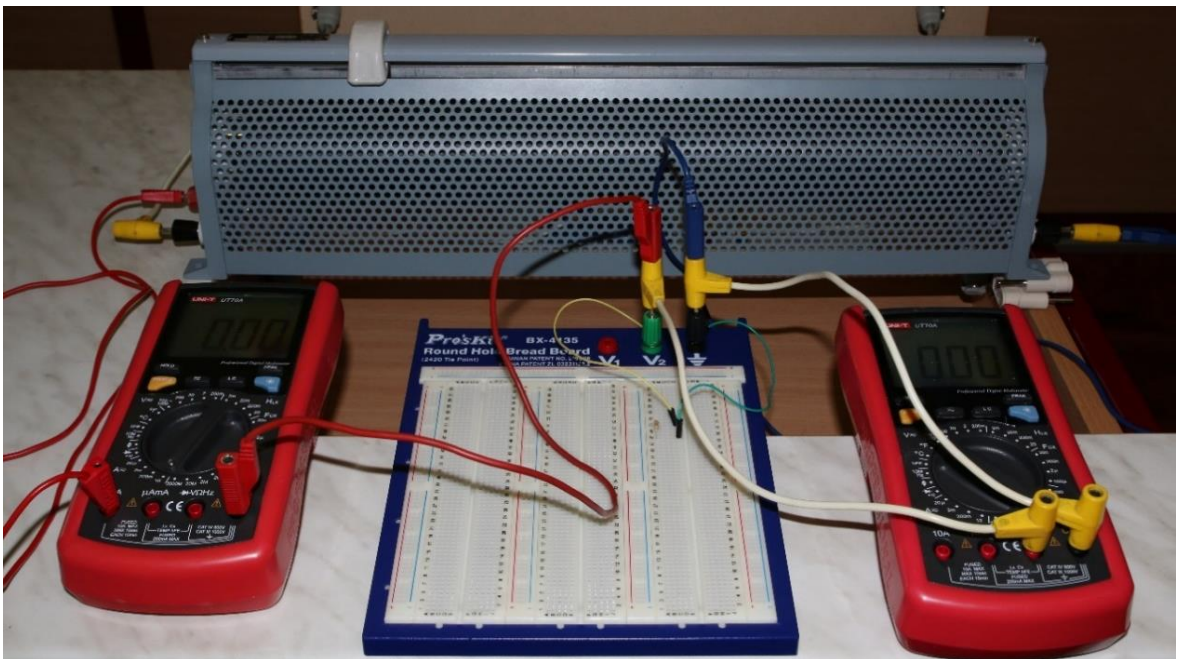
- zapojení a) použijeme pro malé hodnoty měřeného odporu
- zapojení b) použijeme pro velké hodnoty měřeného odporu

Voltampérová charakteristika rezistoru

Zapojení součástek a měřících přístrojů je znázorněno na Obr. P. 4 a Obr. P. 5.



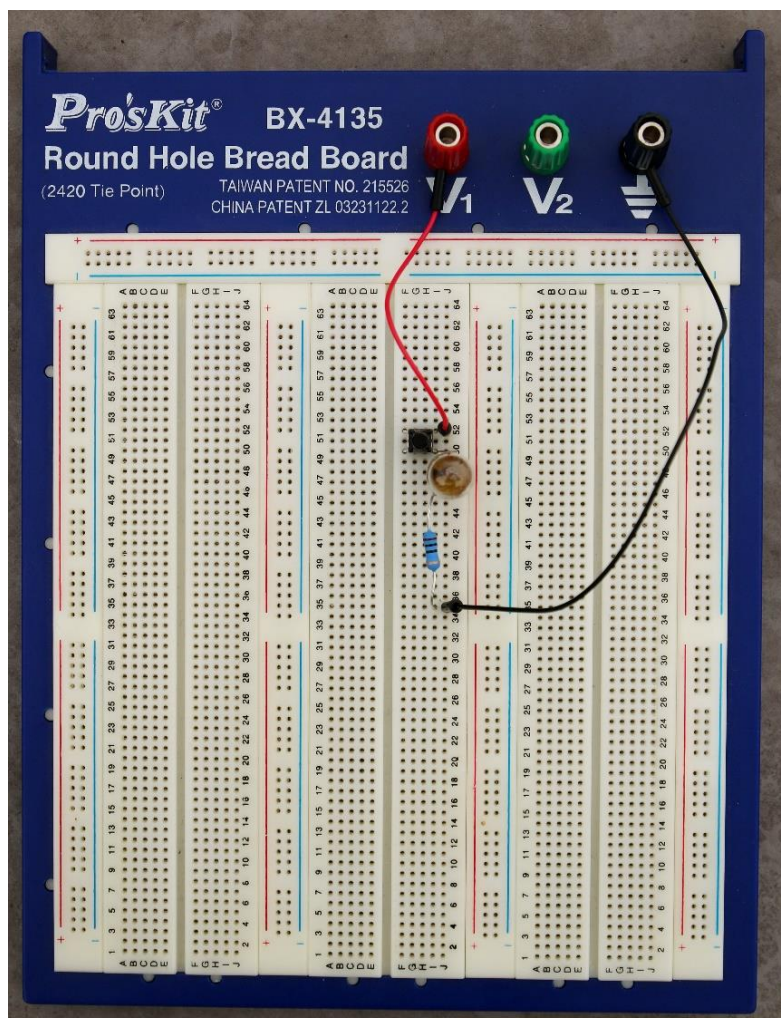
Obr. P. 4: Zapojení pro měření voltampérové charakteristiky rezistoru



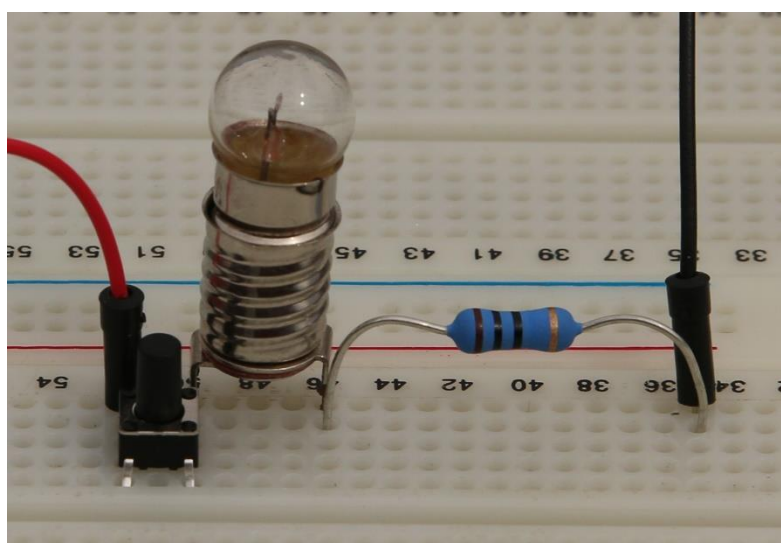
Obr. P. 5: Zapojení pro měření voltampérové charakteristiky rezistoru - detail

Zapojení žárovky

Zapojení žárovky s rezistorem do kontaktního pole je uvedeno na Obr. P. 6 a Obr. P. 7.



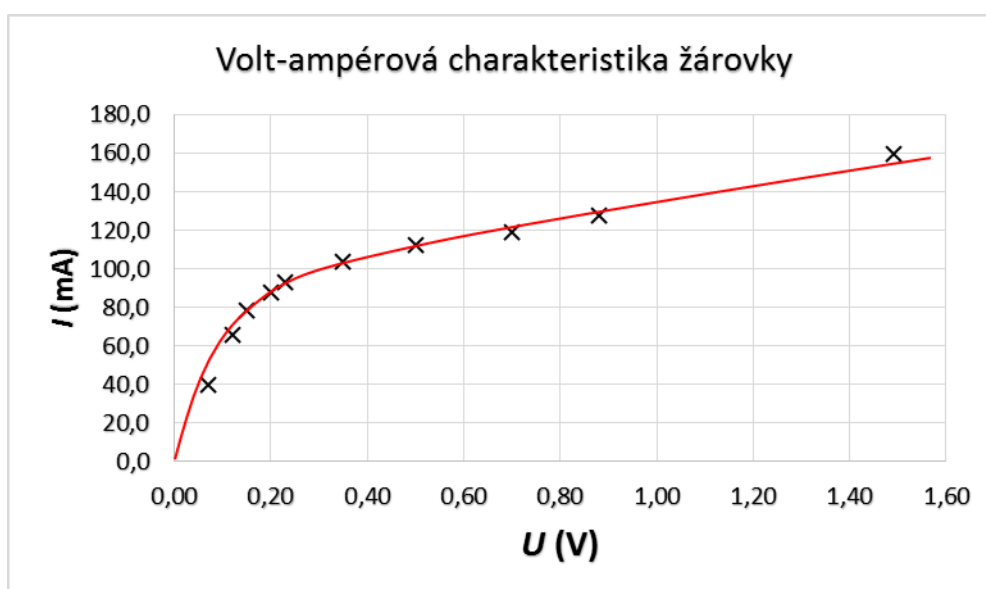
Obr. P. 6: Zapojení žárovky



Obr. P. 7: Zapojení žárovky - detail

Voltampérová charakteristika žárovky

Následující graf zobrazuje průběh voltampérové charakteristiky žárovky. Z grafu je jasně patrná nelineární část, tzv. koleno. Graf začíná v počátku, neboť při nulovém napětí neprotéká žárovkou žádný proud. Všechny ostatní naměřené hodnoty jsou zatíženy chybami měření, proto výslednou křivku proložíme naměřenými hodnotami. Z průběhu na Obr. P. 8 je vidět, že pro naše měření můžeme část křivky od počátku pokládat za lineární. Následně při dosažení určité hodnoty napětí a proudu se žárovka velmi rychle zahřívá a dochází zde k relativně velké změně elektrického odporu žárovky. V této oblasti průběh přestává být lineární a žárovka díky dosažené teplotě začíná svítit. Následující část charakteristiky můžeme opět pokládat za lineární.



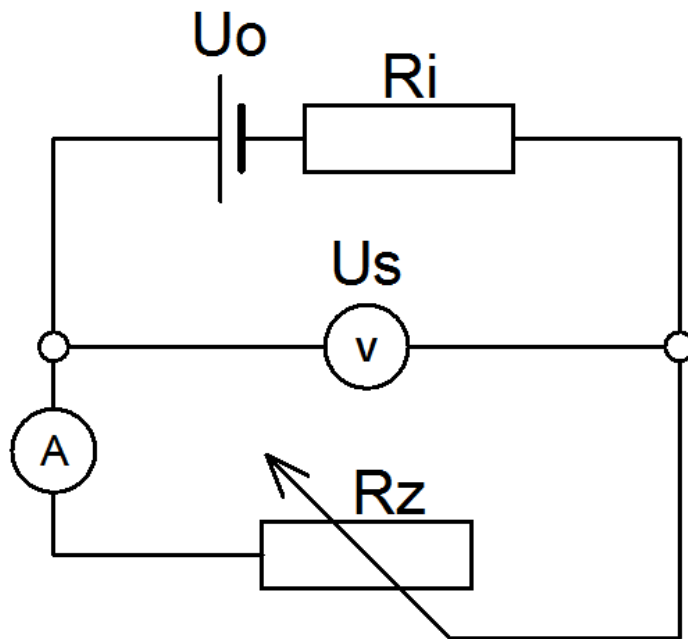
Obr. P. 8: Voltampérová charakteristika žárovky

Zatěžovací charakteristika zdroje

Zdroje napětí nejsou (stejně jako ostatní součástky) zcela ideální a vykazují určité ztráty. V našem případě je možné si nakreslit náhradní schéma obvodu tak, abychom postihli dané ztráty v samotném napěťovém zdroji. Ze zdroje teče elektrický proud, který v jednotlivých částech zdroje vytváří úbytek napětí a tím část energie mění na teplo. Uvedenou vlastnost plní součástka, kterou označujeme jako rezistor. Pokud tedy do náhradního schématu zakreslíme místo samotného zdroje sériovou kombinaci zdroje s rezistorem, bude toto zapojení lépe odpovídat skutečnosti – Obr. P. 9. Pro naše účely tedy můžeme říci, že důvodem poklesu napětí na svorkách zdroje je vnitřní odpor zdroje R_i .

Vnitřní odpor je nedílnou součástí samotného zdroje a v našich měřeních ho nemůžeme z vnějšku nijak ovlivňovat. Pro názornost jsou ve schématu vyznačeny

svorky zdroje prázdnými kolečky. K těmto místům připojujeme ke zdroji měřicí přístroje a zátěž.



Obr. P. 9: Vnitřní odpor zdroje

Doporučená literatura

- [1] VOBECKÝ, Jan a Vít ZÁHLAVA. *Elektronika: součástky a obvody, principy a příklady*. 2., rozš. vyd. Praha: Grada, 2001, 188 s. ISBN 80-7169-884-9.
- [2] MALINA, Václav. *Poznáváme elektroniku*. 1. vyd. České Budějovice: Kopp, 2006, 430 s. ISBN 80-7232-271-0.
- [3] SVOBODA, Emanuel. *Přehled středoškolské fyziky*. 4. uprav. vyd. Praha: Prometheus, 2006, 531 s. ISBN 80-7196-307-0.
- [4] ROUBALOVÁ, Jitka. *Elektrotechnika* [online]. Plzeň, 2015 [cit. 2016-08-15]. Dostupné z:
http://download.spstrplz.cz/automatizace_vyrobnich_procesu/2_ucebni_texty_KA1/Elektrotechnika.pdf
- [5] MIKULEC, Milan a HAVLÍČEK, Václav. *Základy teorie elektrických obvodů*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02519-5.