

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA PEDAGOGICKÁ
KATEDRA MATEMATIKY, FYZIKY A TECHNICKÉ VÝCHOVY

**ELEKTROTECHNICKÉ PRAKTIKUM PRO UČITELSTVÍ
PŘÍRODOVĚDNÝCH A TECHNICKÝCH OBORŮ**
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Libor Šmíd

Přírodovědná studia, obor Fyzika se zaměřením na vzdělávání

Vedoucí práce: Mgr. Daniel Aichinger, Ph.D.

Plzeň, 2023

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a zdrojů informací.

V Plzni dne

.....
vlastnoruční podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Mgr. Danielu Aichingerovi, Ph.D., své rodině i přátelům za podporu.

OBSAH

ÚVOD.....	2
1 TEORETICKÁ ČÁST – NÁVRH PRACOVNÍCH LISTŮ	3
1.1 PRACOVNÍ LIST 1 – VLASTNOSTI MULTIMETRU	3
1.2 PRACOVNÍ LIST 2 – MĚŘENÍ PROUDU POMOCÍ VOLTMETRU.....	6
1.3 PRACOVNÍ LIST 3 – LINEÁRNÍ PŘEVOD ODPORU NA NAPĚTÍ.....	9
1.4 PRACOVNÍ LIST 4 – MĚŘENÍ KAPACITY V MULTIMETRU	13
1.5 PRACOVNÍ LIST 5 – MĚŘENÍ VOLTAMPÉROVÉ CHARAKTERISTIKY	17
1.6 PRACOVNÍ LIST 6 – MĚŘENÍ HMOTNOSTI MŮSTKOVOU METODOU.....	20
1.7 PRACOVNÍ LIST 7 – MĚŘENÍ ELEKTRICKÉHO VÝKONU Z OKAMŽITÝCH HODNOT.....	24
1.8 PRACOVNÍ LIST 8 – MĚŘENÍ CHARAKTERISTIK ELEKTROCHEMICKÝCH AKUMULÁTORŮ	29
1.9 PRACOVNÍ LIST 9 – MĚŘENÍ ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKY ZDROJŮ PROUDU	33
1.10 PRACOVNÍ LIST 10 – OVĚŘENÍ FARADAYOVA ZÁKONA	36
2 PRAKTICKÁ ČÁST – OVĚŘENÍ PRACOVNÍCH LISTŮ	39
2.1 PRACOVNÍ LIST 1	39
2.2 PRACOVNÍ LIST 2	42
2.3 PRACOVNÍ LIST 3	44
2.4 PRACOVNÍ LIST 4	45
2.5 PRACOVNÍ LIST 5	48
2.6 PRACOVNÍ LIST 6	49
2.7 PRACOVNÍ LIST 7	51
2.8 PRACOVNÍ LIST 8	53
2.9 PRACOVNÍ LIST 9	55
2.10 PRACOVNÍ LIST 10	57
ZÁVĚR	I
SEZNAM LITERATURY	II
SEZNAM OBRÁZKŮ	IV
SEZNAM TABULEK	V
SEZNAM GRAFŮ.....	VI

Úvod

Při vyučování odborných předmětů občas zapomínáme na vysvětlení maličností, které nám přijdou samozřejmé, nebo tak běžné, že nás ani nenapadne se jimi více zabírat. Příkladem za elektrotechniku jsou právě digitální měřicí přístroje, které nám ukáží číslo, ale již se nezamyslíme, jak to ten přístroj vlastně zjistí. Hlavním cílem této práce je vypracovat inovované úlohy z elektrotechnického měření pro učitelství přírodovědných a technických oborů, ovšem jejich využití je s upraveným výkladem možné i ve třetím a čtvrtém ročníku na středních odborných školách se zaměřením elektrotechniku. První čtyři úlohy se proto věnují principům fungování digitálních měřících přístrojů, zbylé úlohy se věnují inovativním přístupům k měření elektrických a neelektrických veličin nebo modernizaci úloh, které v elektrotechnice považují za stěžejní.

Druhým cílem je ozkoušení vytvořených úloh a zhodnocení jejich funkčnosti a použitelnosti pro výuku. Odměření jednotlivých úloh i s jejich evaluací je obsaženo v praktické části této práce.

1 TEORETICKÁ ČÁST – NÁVRH PRACOVNÍCH LISTŮ

1.1 PRACOVNÍ LIST 1 – VLASTNOSTI MULTIMETRU

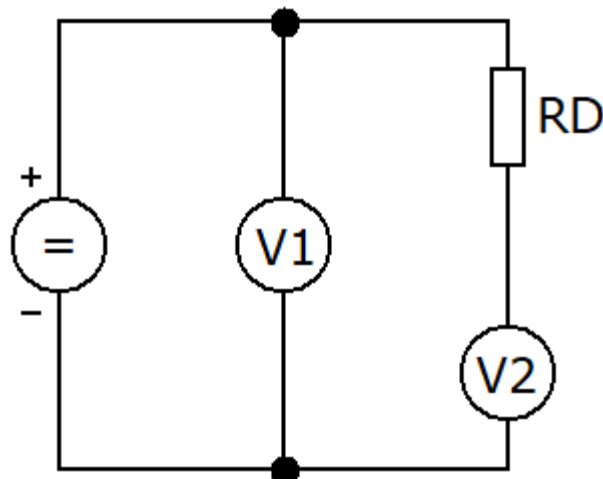
Úkol:

Určete parametry a vlastnosti předloženého multimetru z katalogu, nebo z internetu. Přeměřte vnitřní odpor voltmetru a určete jeho skutečný frekvenční rozsah.

Výklad:

Multimetr je digitální měřicí přístroj pro měření dvou a více elektrických veličin. Budeme se zabývat třemi základními měřenými elektrickými veličinami: napětím U , proudem I a odporem R . Každý měřicí přístroj má ve své přístrojové dokumentaci uvedené vstupní odpory, měřící rozsahy a chybu měření, tedy s jakou přesností je daná veličina změřena. Vaším úkolem bude ověřit tyto hodnoty.

Chceme-li zjistit hodnotu vnitřního odporu multimetru (R_V), zapojeného jako voltmetr, připojíme ke zdroji napětí do série voltmetr s vhodně nastaveným rozsahem a známý přesný rezistor (obrázek 1). Přesný rezistor nám představuje odporová dekáda (R_D).



Obrázek 1: Schéma zapojení pro metodu poloviční výchylky.

V takovém zapojení bude odporovou dekádou i voltmetrem protékat stejný proud, ovšem na voltmetru a odporové dekádě budou odlišné úbytky napětí:

$$I_V = I_{RD} \rightarrow \frac{U_V}{R_V} = \frac{U_D}{R_D} \rightarrow R_V = R_D \cdot \frac{U_V}{U_D},$$

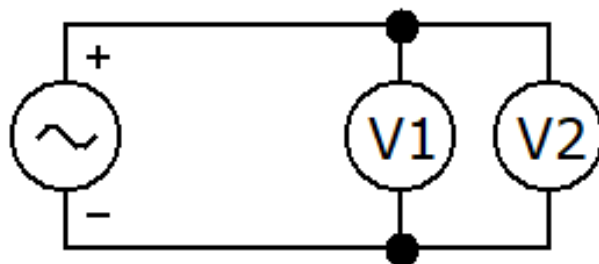
kde napětí na dekádě U_D je pro nás neznámé. Z druhého Kirchhoffova zákona víme, že součet všech napětí v uzavřené smyčce je nula. A jelikož jsme na začátku nastavili napětí na zdroji a napětí na voltmetru přímo vyčteme, platí tedy:

$$U_D = U_0 - U_V \rightarrow R_V = R_D \cdot \frac{U_V}{U_0 - U_V}.$$

Po zapojení celého obvodu budeme na dekádě postupně zvyšovat odpor do doby, kdy voltmetr zobrazí přesně polovinu napájecího napětí U_0 . To znamená že na voltmetru a odporové dekádě je stejné napětí, a tedy mají i stejný odpor:

$$U_V = \frac{U_0}{2} \rightarrow R_V = R_D \cdot \frac{\frac{U_0}{2}}{U_0 - \frac{U_0}{2}} = R_D \cdot \frac{\frac{U_0}{2}}{\frac{U_0}{2}} \rightarrow R_D = R_V.$$

Druhým úkolem je přeměřit skutečný frekvenční rozsah přístroje. Výrobce udává, že měřicí přístroj zvládne přesně naměřit střídavý proud a napětí až do určité frekvence. Pro skutečný frekvenční rozsah měřícího přístroje zapojíme ke generátoru funkcí přesný voltmetr V2 a náš měřený voltmetr V1. Na generátoru nastavíme maximální napětí a budeme postupně zvyšovat frekvenci. Přesný laboratorní voltmetr V2 by měl po celou dobu zobrazovat stejnou hodnotu, ale měřený voltmetr V1 by od určité frekvence měl zobrazovat jiné hodnoty.



Obrázek 2: Schéma zapojení pro frekvenční rozsah.

Seznam pomůcek:

Přesný multimetr, zkoušený multimetr, zdroj stejnosměrného napětí, odporová dekáda, generátor funkcí.

Postup při měření:

1. Zapojte obvod podle schématu (obrázek 1) a nastavte multimetr na měření stejnosměrného napětí, konkrétně rozsah 20 V.
2. Na zdroji stejnosměrného napětí nastavte napětí také na 20 V a připojte ho k obvodu.
3. Na odporové dekádě nastavte odpor 1Ω a postupně odpor zvyšujte k teoretické hodnotě vstupního odporu voltmetru, kterou jste vyčetli ve specifikacích od výrobce.
4. Ve chvíli, kdy voltmetr zobrazí zhruba poloviční napětí zdroje U_0 , velmi jemně upravujte odpor na dekádě, dokud napětí nebude přesně poloviční.
5. Zapojte obvod podle schématu 2 (obrázek 2) a u obou voltmetrů nastavte rozsah střídavého napětí na 20 V.
6. Na funkční generátoru nastavte sinusový signál, maximální amplitudu a frekvenci 50 Hz.
7. Postupně zvyšujte frekvenci s krokem 50 Hz až do frekvence 500 Hz, následně zvyšujte frekvenci až do 1 kHz s krokem 100 Hz.

Zpracování výsledků měření:

Zjištěné a naměřené údaje zapište do tabulky a výsledky porovnejte. Vytvořte tabulky absolutní a relativní odchylky napětí na frekvenci a vynesete je do grafů.

Závěr a hodnocení:

Zhodnoťte, pro jaká měření je předložený měřící přístroj vhodný. Zkuste odhadnout, proč měřící přístroj při vyšších frekvencích udává rozdílné hodnoty. Navrhněte opatření, aby frekvence neovlivňovala měření.

1.2 PRACOVNÍ LIST 2 – MĚŘENÍ PROUDU POMOCÍ VOLTMETRU

Úkol:

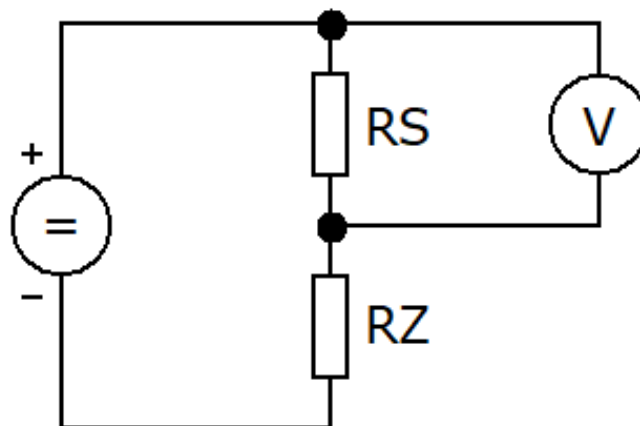
Pomocí voltmetru (galvanometru) změřte proud procházející obvodem.

Výklad:

Měření elektrického proudu až na pár výjimek funguje na principu měření úbytku napětí na rezistoru. Jedná se tedy o převodník proud-napětí. Tento způsob měření využívají jak moderní číslicové digitální měřící přístroje, tak starší ručkové analogové měřící přístroje. V podstatě se jedná o přímou aplikaci Ohmova zákona:

$$U = R \cdot I,$$

tedy elektrický proud I procházející odporem R na něm vytvoří úbytek napětí U . Odpor pro měření proudu by měl mít co nejpřesnější hodnotu a také co nejmenší, aby na něm nevznikal velký úbytek napětí, který by ovlivňoval měření. Jelikož úbytek napětí chceme co nejmenší, musíme ho následně změřit vhodným milivoltmetrem (BEN-ELM, str. 96).



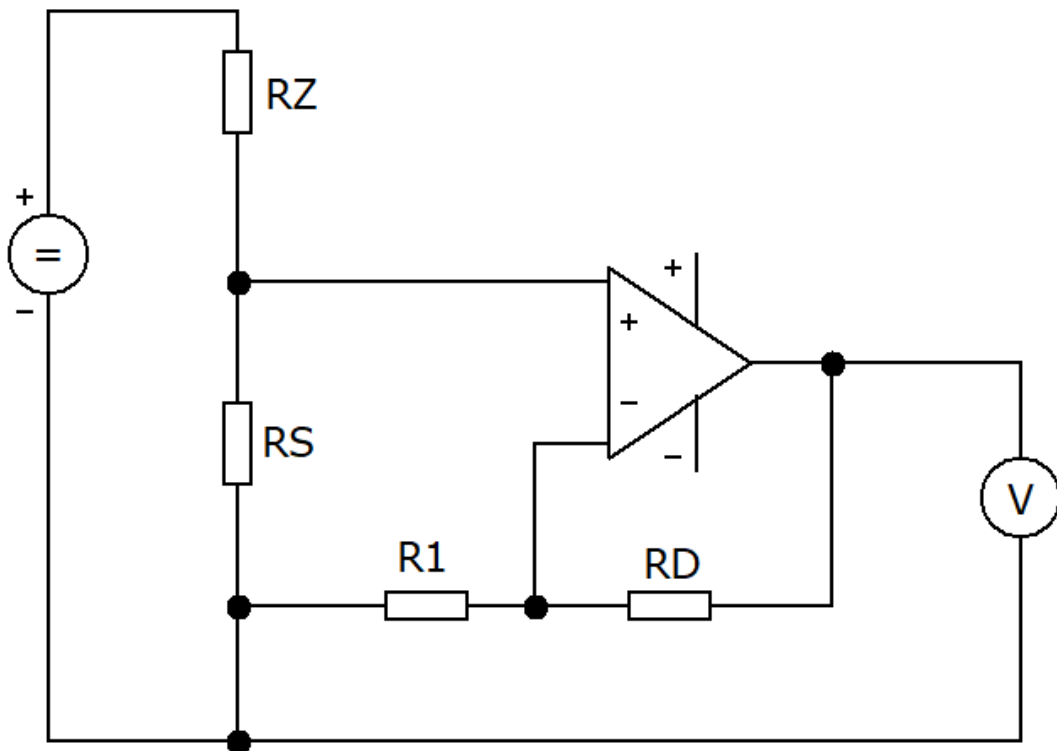
Obrázek 3: Schéma zapojení pro měření proudu.

Tento malý odpor pro měření elektrického proudu se nazývá normál, nebo Shunt rezistor. Obvykle mívají jmenovitý odpor od mili Ohmů až po nízké jednotky Ohmů a také mívají velký ztrátový výkon, aby vydržely měření desítek až stovek ampérů proudu. Se jmenovitým odporem souvisí i tzv. převodní konstanta. Ta vyplývá přímo z Ohmova zákona a říká nám, jaký proud teče odporem, pokud na něm naměříme určité napětí (Vedral, str. 18-22). Např. pro Shunt rezistor $R_S = 1 \Omega$ je převodní konstanta $1 \text{ V}/1 \text{ A}$, tedy

při naměření napětí 1 V teče Shunt rezistorem proud 1 A. Pro Shunt rezistor $R_S = 1 \text{ m}\Omega$ je převodní konstanta 1 mV/1 A.

Tuto metodu lze použít jak pro stejnosměrný proud, tak i pro střídavý. U střídavého proudu ovšem naměříme efektivní hodnotu elektrického proudu. Pokud bychom naměřené střídavé napětí usměrnili aktivním usměrňovačem (typicky s operačním zesilovačem), získali bychom střední hodnotu proudu (Vedral, str. 30-32). Maximální hodnotu proudu určíme jednoduchým usměrňovačem s kondenzátorem, popř. jeho aktivní variace s operačními zesilovači (Srovnal, str. 39-40).

Pro změnu měřicího rozsahu se kvůli k velkým přechodovým odporům vůči Shunt rezistorům používá v ampérmetru tzv. Ayrtonův bočník (Haasz, str. 138). Druhá možnost je zapojení jednoho Shunt rezistoru s operačním zesilovačem (Vedral, str. 18).



Obrázek 4: Schéma zapojení pro měření proudu s operačním zesilovačem.

Neinvertující operační zesilovač snímá napětí na Shunt rezistoru a změnou odporu ve zpětné vazbě změníme zesílení napětí podle měřeného rozsahu:

$$U_2 = U_{RS} \cdot \left(1 + \frac{R_D}{R_1}\right).$$

Seznam pomůcek:

Symetrický zdroj stejnosměrného napětí, voltmetr (galvanometr), odporová dekáda, Shunt rezistor, operační zesilovač.

Postup při měření:

1. Zapojte obvod podle schématu 1 (obrázek 3) a nastavte voltmetr na nejmenší měřitelný rozsah.
2. Změřte napětí na Shunt rezistoru pro zatěžovací odpory: $R_Z = 20 \Omega$, 300Ω , 4000Ω a $50 \text{ k}\Omega$.
3. Zapojte obvod s operačním zesilovačem podle schématu 2 (obrázek 4).
4. Voltmetr nastavte na rozsah s jednotkami Voltů.
5. Změřte napětí na Shunt rezistoru pro zatěžovací odpory: $R_Z = 20 \Omega$, 300Ω , 4000Ω a $50 \text{ k}\Omega$.

Zpracování výsledků měření:

Podle prvního zapojení určete pro každý zatěžovací rezistor proud, který teče obvodem. Pro druhé zapojení využijte hodnoty napětí z prvního měření a teoreticky vypočítejte hodnoty odporu na dekádě pro vytvoření celkové převodní konstanty $1 \text{ V}/1 \text{ A}$ pro všechny zatěžovací rezistory. Poté změřte skutečná napětí a převedte na proud, měření by se měla shodovat.

Závěr a hodnocení:

Zjistěte odpor Shunt rezistoru, určete jeho převodní konstantu a vytvořte tabulku s naměřenými napětími a proudy. Ve druhém zapojení s operačním zesilovačem určete hodnoty odporu na dekádě, abyste získali měřící rozsahy běžného ampérmetru s převodní konstantou $1 \text{ V}/1 \text{ A}$. Která z metod měření proudu je přesnější? Má některá z metod své limity? Pokud můžeme běžným multimetrem změřit proud maximálně 10 A , jaký typ ampérmetru použijeme pro měření vysokého proudu (např. 100 A) a na základě jakého principu měří proud?

1.3 PRACOVNÍ LIST 3 – LINEÁRNÍ PŘEVOD ODPORU NA NAPĚTÍ

Úkol:

Změřte neznámý odpor pomocí operačního zesilovače. (Srovnal, str. 91)

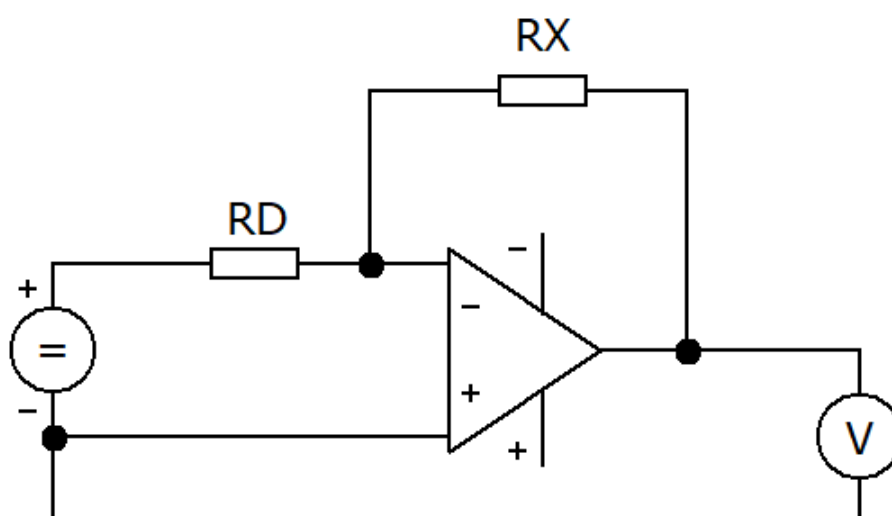
Výklad:

Operační zesilovač je univerzální integrovaný obvod původně vyvinutý pro řešení matematických operací typu integrace a derivace. Operační zesilovač může na rozdíl od klasických tranzistorových zesilovačů zesilovat střídavé i stejnosměrné napětí. Vlastnosti operačního zesilovače (Kesl, str. 110):

Parametr	Ideální OZ	Reálný OZ
Vstupní odpor R_{vst} / Ω	∞	$10^6 - 10^{14}$
Výstupní odpor $R_{výst} / \Omega$	0	1 – 100
Zesílení A	∞	10^6
Frekvenční rozsah f / Hz	0 – ∞	0 – 10^9

Tabulka 1: parametry operačního zesilovače.

V digitálních měřicích přístrojích se operační zesilovač používá k lineárnímu převodu odporu na napětí. Měřený odpor je zapojený v záporné zpětné vazbě operačního zesilovače v invertujícím zapojení (obrázek 5).



Obrázek 5: Schéma zapojení převodníku odpor-napětí.

Změna rozsahu se realizuje dvěma způsoby. Změnou vstupního napájecího napětí, nebo změnou odporu na invertujícím vstupu operačního zesilovače. V tomto měření využijeme druhou možnost, kdy odpor na invertujícím vstupu nahradíme odporovou dekadou.

Operační zesilovač z definice zesiluje rozdíl napětí mezi invertujícím a neinvertujícím vstupem. Výstupní napětí bude mít následující tvar:

$$U_2 = A \cdot (U_{1-} - U_{1+}) = A \cdot \Delta U_1.$$

Z rovnice získáme napětí U_1 :

$$\Delta U_1 = \frac{U_2}{A}.$$

Z definice má operační zesilovač nekonečné zesílení, tudíž musíme rovnici řešit pomocí limity:

$$\Delta U_1 = \lim_{A \rightarrow \infty} \left(\frac{U_2}{A} \right) = 0,$$

a z rovnice nám vyjde, že bez připojeného napětí přímo na vstupy bez odporů, má operační zesilovač nulový rozdíl napětí na vstupu a představuje tak „virtuální zem“ (Rauner, str. 104). V invertujícím zapojení je odpor R_1 zapojen do invertujícího vstupu a zároveň je z něj vyvedený zpětnovazební odpor R_2 , který je dále připojen přímo na výstup operačního zesilovače. Neinvertující vstup je připojen přímo k zemi. Při připojení napětí na odpor R_1 skrz něj bude protékat proud I_1 . Operační zesilovač má ideálně nekonečný (reálně velmi velký) vstupní odpor, tudíž do něj žádný proud neteče, ale všechen poteče do zpětnovazebního odporu R_2 . Na odporu R_1 načteme díky virtuální zemi veškeré vstupní napětí U_1 . Zpětnovazební odpor R_2 je také připojen na virtuální zem, díky tomu na něm naměříme celé výstupní napětí U_2 (Vobecký, str. 186). Protože proud I_1 teče oběma rezistory, můžeme psát:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = -\frac{U_2}{R_2},$$

kde na pravé straně rovnice je záporné znaménko, díky opačnému směru proudu I_1 oproti napětí U_2 . Výstupní napětí invertujícího operačního zesilovače tedy je:

$$U_2 = -U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1},$$

kde R_2 je náš neznámý měřený odpor R_X a R_1 je odporová dekáda R_D :

$$U_2 = -U_1 \cdot \frac{R_X}{R_D}.$$

Přepsáním rovnice získáme vzorec pro zjištění neznámého měřeného odporu:

$$R_X = -\frac{U_2}{U_1} \cdot R_D.$$

Tímto zapojením jsme získali převodník odpor-napětí. Při měření známe vstupní napětí U_1 , které dodává měřící přístroj. Známe také odpor na dekádě, což představuje náš nastavený měřící rozsah a napětí U_2 změříme voltmetrem.

Je nutné mít na paměti, že velikost výstupního napětí U_2 je limitovaná napájecím napětím operačního zesilovače a je nutné podle toho měnit odpor na dekádě. Při nastavení vstupního napětí U_1 na 9 V a připojení symetrického napájecího napětí ± 20 V nám vyjde poměr U_2/U_1 zhruba 2. To bude platit pouze pokud neznámý odpor R_X bude dvojnásobný oproti odporu na dekádě R_D . Z toho vyplývá, že pro každý nastavený odpor na dekádě, můžeme změřit pouze dvojnásobně velký neznámý odpor R_X . Tedy pokud připojíme neznámý odpor R_X a na voltmetru se nám zobrazí maximální napájecí napětí, musíme zvýšit odpor na dekádě, abychom se dostali do měřitelného rozsahu.

Seznam pomůcek:

Odporová dekáda, operační zesilovač, symetrický zdroj stejnosměrného napětí, přesný číslicový voltmetr, ohmmetr, sada odporů k přeměření.

Postup při měření:

1. Sestavte obvod podle schématu (obrázek 5) a na voltmetru nastavte rozsah stejnosměrného napětí na 20 V.
2. Připojte neznámý odpor a měňte odpor na dekádě, dokud nenaměříte napětí zhruba v polovině napájecího napětí operačního zesilovače.
3. Měření opakujte pro všechny předložené neznámé odpory.

Zpracování výsledků měření:

Změřte všechny předložené odpory metodou lineárního převodu a přeměřte je přesným ohmmetrem a výsledky zapište do tabulky.

Závěr a hodnocení:

Porovnejte přesnost měřící metody s ohmmetrem. Určete hlavní zdroj nepřesností. Pro předložené odpory navrhnete konkrétní rozsah-nastavení odporu na dekádě, aby odpovídaly rozsahům na přiloženém ohmmetru.

1.4 PRACOVNÍ LIST 4 – MĚŘENÍ KAPACITY V MULTIMETRU

Úkol:

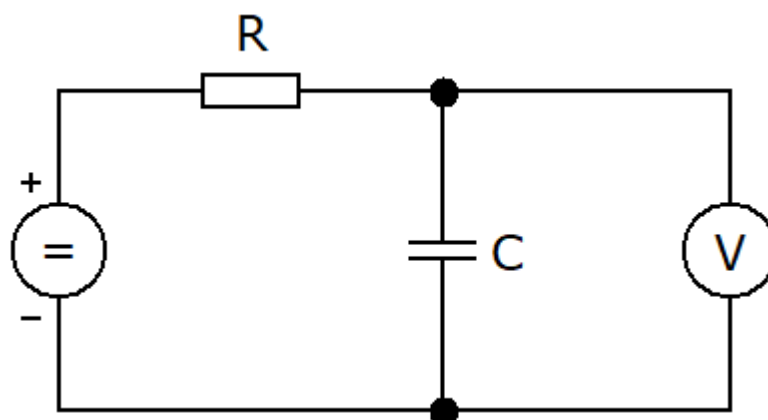
Změřte kapacitu předložených kondenzátorů přesnou Ohmovou metodou a z měření nabíjecí charakteristiky.

Výklad:

Multimetry, nebo speciální měřicí přístroje, tzv. RLC metry, využívají dva způsoby měření kapacity kondenzátoru.

První způsob vychází z nabíjecí a vybíjecí charakteristiky kondenzátoru, přičemž měřicí přístroj pomocí vhodného analogově digitálního převodníku změří čas, za který se kondenzátor nabije na referenční napětí a vybije zpět na nulu (Srovnal, str. 98).

Při zjednodušení této měřicí metody, ovšem při zachování principu měření, můžeme určit kapacitu z nabíjecí charakteristiky kondenzátoru.



Obrázek 6: Schéma zapojení pro nabíjení kondenzátoru.

Nabíjení kondenzátoru má exponenciální průběh (Láníček, str. 208):

$$u_C = U_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right),$$

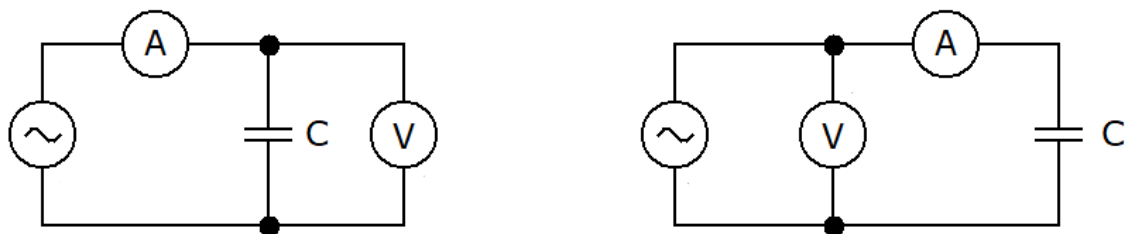
kde U_0 je napětí na zdroji, e je Eulerovo číslo a τ je časová konstanta (vyjde v sekundách [s]), jejíž hodnota se vypočítá součinem kapacity kondenzátoru C a hodnotou nabíjecího odporu R :

$$\tau = R \cdot C.$$

Volbou velikosti nabíjecího odporu můžeme určovat, jak dlouho bude kondenzátoru trvat, než se plně nabije. Obecně platí zjednodušení, že kondenzátor je plně nabitý za dobu $t = 3\tau$ (Blahovec 2, str. 143). Vaším úkolem bude změřit tuto charakteristiku.

Při použití této měřicí metody je nutné brát v potaz možnou polarizaci některých typů kondenzátorů. Při opačném zapojení by polarizované kondenzátory mohly explodovat a způsobit škody na Vašem zdraví, nebo na měřicí aparatuře.

Druhý způsob měření kapacity využívají spíše stolní měřicí přístroje, napájené ze sítě. Měření kapacity kondenzátoru pomocí voltmetru a ampérmetru je ze své podstaty velmi podobná Ohmově metodě měření odporů. V Ohmově metodě změříme proud, který prochází odporem a napětí, které je na odporu. I při měření kondenzátorů je nutné rozlišovat zapojení pro malé a velké kapacity neboli velké a malé reaktance. Pokud má kondenzátor velkou kapacitu, poteče jím velký proud a chová se jako malý odpor. V takovém případě bude velký úbytek napětí na ampérmetru, proto musíme voltmetr zapojit až za ampérmetr, aby měřil napětí pouze na kondenzátoru. Pokud má kondenzátor malou kapacitu, bude se chovat jako velký odpor. Úbytek napětí na ampérmetru bude zanedbatelný, ovšem proud, který teče voltmetrem může mít velký podíl na celkovém proudu, který obvodem teče. Aby nám nezkrusoval měření, zapojíme voltmetr před ampérmetr.



Obrázek 7: Schéma zapojení pro měření velkých kapacit (vlevo) a malých kapacit (vpravo).

Z Ohmova zákona ($R = \frac{U}{I}$) poté vypočítáme hodnotu měřeného odporu. V případě měření kondenzátorů ovšem nezjišťujeme odpor, ale reaktanci (jalová složka impedance) kondenzátoru X_C . Reaktance je zdánlivý odpor, který vykazuje kondenzátor, pokud skrz něj prochází střídavý elektrický proud (BEN-ELM, str. 142).

Po přiložení elektrického napětí u na kondenzátor s kapacitou C , se v něm nahromadí elektrický náboj Q :

$$Q = C \cdot u.$$

Pokud se začne napětí v čase měnit, začne se měnit i velikost elektrického náboje uloženého v kondenzátoru, což je definice elektrického proudu i :

$$\frac{dQ}{dt} = C \cdot \frac{du}{dt} \rightarrow i = C \cdot \frac{du}{dt}.$$

Tedy pokud se napětí na kondenzátoru v čase mění, prochází jím elektrický proud, který je přímo úměrný velikosti kapacity kondenzátoru a časové změně napětí.

Jelikož napětí v elektrické síti má sinusový průběh, můžeme okamžitou hodnotu elektrického napětí a její časovou derivaci zapsat jako:

$$u = U_{\max} \cdot \sin(\omega t) \rightarrow \frac{du}{dt} = U_{\max} \cdot \omega \cdot \cos(\omega t),$$

kde U_{\max} je amplituda elektrického napětí, tj. maximální hodnota.

Kombinací vztahu pro proud, který prochází kondenzátorem a časovou derivací napětí získáme vztah:

$$i = C \cdot U_{\max} \cdot \omega \cdot \cos(\omega t),$$

ze kterého můžeme odvodit amplitudu (maximální hodnotu) elektrického proudu:

$$I_{\max} = U_{\max} \cdot \omega \cdot C.$$

Výsledná impedance kondenzátoru je dána poměrem amplitud napětí a proudu, který kondenzátorem prochází (Láníček, str. 145):

$$Z = \frac{U_{\max}}{I_{\max}} = \frac{U_{\max}}{U_{\max} \cdot \omega \cdot C} = \frac{1}{\omega \cdot C} = X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}.$$

Jelikož jsme od začátku vycházeli z předpokladu, že kondenzátory jsou ideální a zanedbáváme reálný odpor přívodů a desek kondenzátoru, můžeme celou impedanci Z pokládat za vlastní reaktanci X_C . Z posledního řádku vidíme, že reaktance kondenzátoru je nepřímo úměrná jeho kapacitě a frekvenci připojeného střídavého proudu. Ze vztahu pro reaktanci kondenzátoru si odvodíme vztah pro kapacitu kondenzátoru:

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_C} = \frac{I_{\max}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U_{\max}} = \frac{I_{\text{ef}}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U_{\text{ef}}}.$$

Díky použití střídavého napětí ze sítě, máme zafixovanou frekvenci f na 50Hz a při správném odečtení napětí a proudu z měřících přístrojů zjistíme kapacitu měřeného kondenzátoru.

Je nutné brát v potaz, že použití této měřící metody je možné pouze pro nepolarizované kondenzátory, tedy nesmíme měřit především elektrolytické kondenzátory.

Seznam pomůcek:

Voltmetr, ampérmetr, funkční generátor, sada kondenzátorů, regulovaný zdroj stejnosměrného napětí, osciloskop

Postup při měření:

1. Zapojte obvod podle schématu 1 (obrázek 6).
2. Použijte voltmetr UNI-T s možností připojení k počítači pro export dat do excelu.
3. Spusťte měření a spínačem připojte kondenzátor do obvodu.
4. Po nabití kondenzátoru zastavte měření a exportujte data do formátu .xls.
5. Přepojte obvod podle schématu 2 (obrázek 7).
6. Nastavte voltmetr a ampérmetr na střídavý proud.
7. Na autotransformátoru nastavte napětí na 20 V.
8. Hodnoty napětí a proudu zapište do tabulky.

Zpracování výsledků měření:

Vykreslete graf nabíjecí charakteristiky. Z grafu nabíjecí charakteristiky graficky odvodte, za jak dlouho by se kondenzátor nabil, pokud by nabíjení probíhalo od počátku lineárně. Do grafu vyznačte napětí na kondenzátoru za dobu 1τ . Odvodte ze vztahu pro nabíjení kondenzátoru vzorec pro výpočet kapacity kondenzátoru.

Závěr a hodnocení:

Součástí závěru bude graf s nabíjecí charakteristikou. Určete kapacitu kondenzátoru z nabíjecí charakteristiky. Stručně vysvětlete, proč má nabíjecí charakteristika exponenciální charakter. Určete kapacitu kondenzátoru při použití Ohmovy měřící metody. Která z měřících metod nám dala přesnější výsledek? Které měřící metoda pro Vás byla přijatelnější a proč? Porovnejte výhody a nevýhody obou měřících metod.

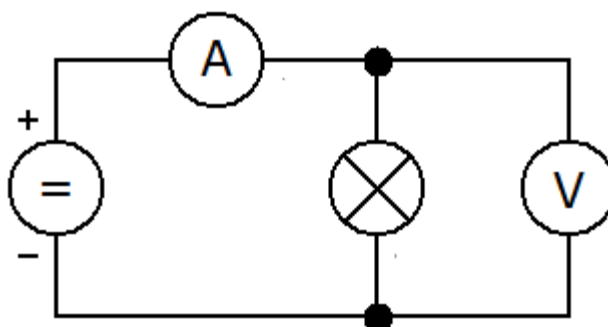
1.5 PRACOVNÍ LIST 5 – MĚŘENÍ VOLTAMPÉROVÉ CHARAKTERISTIKY

Úkol:

Změřte voltampérovou charakteristiku žárovky pomocí měřícího systému Pasco.

Výklad:

Voltampérová charakteristika je grafické znázornění závislosti elektrického proudu na elektrickém napětí. Běžně se měření voltampérové charakteristiky používá pro grafické znázornění prahových napětí polovodičových PN přechodů, nebo vyobrazení výstupních proudových charakteristik bipolárního tranzistoru. Voltampérová charakteristika nám poslouží pro zjištění dynamického odporu žárovky.



Obrázek 8: Schéma zapojení pro měření voltampérové charakteristiky.

Teoreticky by voltampérová charakteristika žárovky měla mít lineární závislost a její dynamický odpor by se rovnal statickému. Pokud budeme měřit správně, uvidíme, že tomu tak není. Ve vykresleném grafu najdeme místo s nejvýraznějším ohybem a toto místo si označíme jako pracovní bod P. V okolí pracovního bodu P určete co nejbližší hodnoty a sestrojte tečnu k bodu P. Tečna by měla mít stejný sklon, jako křivka v bodě P. Nyní již stačí pouze změřit vodorovnou délku tečny, která bude znázorňovat změnu napětí ΔU svislou délku tečny, která znázorňuje změnu proudu ΔI (web Remote-LAB). Z těchto dvou hodnot vypočítáme hodnotu dynamického odporu v bodě P:

$$R_D = \frac{\Delta U}{\Delta I}.$$

Společnost Pasco vyvíjí a vyrábí senzory a obecně inovativní měřící zařízení pro vyučování. Krom samostatných čidel a sensorů má momentálně společnost Pasco pro Českou republiku v nabídce čtyři sady Pasco Sensorium 4.1, každá určená pro jiný vědní

obor: biologie, chemie, fyzika a obecná věda, kterou lze použít pro jakýkoliv vyučovaný technický i humanitní předmět. Společnost Pasco se prostřednictvím svých senzorů a vědeckých sad snaží přiblížit vědeckou, badatelskou a experimentální výuku žákům na základních školách. Jako příklad můžeme uvést senzor pohybu, teploty, síly, napětí, nebo třeba anemometr. Sensory a čidla ovšem nemohou fungovat samostatně. Pro práci s daty ze senzorů je připravený jednoduchý a intuitivní program Pasco Sparkvue, ve kterém si vždy vybereme, jaký způsob měření, sběru dat a jejich vyhodnocení chceme použít. Program Pasco Sparkvue je dostupný pro telefony a tablety s operačním systémem Android i iOS a pro počítače s operačním systémem Windows. Licence programu Pasco Sparkvue pro mobilní zařízení není zpoplatněná, ovšem pro počítače je licenci nutné obnovovat, což osobně považuji za velikou nevýhodu. Pasco senzory propojíme s počítačem pomocí vhodných redukci do USB portu, naopak k mobilním zařízením je připojíme pomocí bezdrátového komunikačního standardu Bluetooth, pokud to ovšem daný senzor umí. Celková manipulace se senzory i s programem Sparkvue je velmi intuitivní a určitě osvojitelné i pro žáky základních škol (web Pasco).

Seznam pomůcek:

Pasco tablet nebo počítač s předinstalovaným měřícím programem Pasco Sparkvue, Pasco voltmetr, Pasco ampérmetr, digitální voltmetr, digitální ampérmetr, měřené žárovky, regulovaný zdroj stejnosměrného napětí.

Postup při měření:

1. Sestavte obvod podle schématu (obrázek 8).
2. Zapněte tablet nebo počítač a spusťte program Sparkvue.
3. V programu Sparkvue zvolte vykreslování spojnicového grafu. Na ose X zobrazte napětí U a na ose Y zobrazte proud I . Vzorkování nastavte nejvyšší, jaké Vám Sparkvue dovolí.
4. V programu Sparkvue spusťte měření a pomalu zvyšujte napětí na zdroji, dokud se nedostanete na maximální napětí žárovky. Poté napětí pomalu snižujte až na nulu.
5. Měření opakujte s digitálními měřícími přístroji.

Zpracování výsledků měření:

Změřte voltampérové charakteristiky předložené žárovky při vzestupném i sestupném napětí. Při měření voltampérové charakteristiky pomocí digitálních měřících

přístrojů měřte proud pro napětí od nuly do maximální hodnoty s krokem po jenom Voltu a výsledky zapisujte do tabulky. Sestrojte graf z ručního měření.

Závěr a hodnocení:

Z měření pomocí systému Pasco vytvořte tabulku s vybranými hodnotami napětí a proudu, aby odpovídaly tabulce z ručního měření. Porovnejte obě měřící metody z hlediska přesnosti a jednoduchosti. Odpovězte, zdali je systém Pasco vhodný pro toto měření a pro jaká měření se systém Pasco nehodí. Jak by měla vypadat voltampérová charakteristika ideální žárovky? Zdůvodněte, proč je průběh voltampérové charakteristiky při sestupném měření odlišný od měření vzestupného. Určete dynamický odpor žárovky v nejvýraznějším ohybu voltampérové charakteristiky pro vzestupný i sestupný průběh.

1.6 PRACOVNÍ LIST 6 – MĚŘENÍ Hmotnosti MŮSTKOVOU METODOU

Úkol:

Zjistěte hmotnost závaží změřením změny odporu tenzometru přesnou můstkovou metodou.

Výklad:

Tenzometr je polovodičová, nebo kovová elektrotechnická součástka, která se používá pro měření mechanických fyzikálních veličin. Typicky pro tlak, sílu a moment síly. Kovový tenzometr je tvořen vhodně tvarovaným vodičem, který při mechanickém namáhání mění svůj odpor (Haasz, str. 235). Obecně pro odpor kovových vodičů platí:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S},$$

kde l je délka vodiče, S průřez vodiče a ρ je měrný elektrický odpor vodiče neboli rezistivita. Pokud vodič (třeba obyčejný drát) natáhneme, zvětší tím svou délku, zmenší se jeho průřez a tím vzroste jeho odpor.

Každý tenzometr má určitou citlivost k , která je přímo úměrná relativní změně odporu tenzometru $\Delta R/R$ a nepřímo úměrná relativnímu prodloužení tenzometru v určitém směru $\Delta l/l$:

$$k = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l}.$$

Relativní změna délky vodiče vychází z Hookova zákona:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E},$$

kde E představuje Youngův modul pružnosti v tahu a σ je mechanické napětí. Youngův modul pružnosti je dán pro určitý materiál, ze kterého je tenzometr vyrobený. Nami použitý tenzometr je vyrobený ze slitin hliníku. Mechanické napětí σ vzniká v tělese, pokud na plochu S působí síla F :

$$\sigma = \frac{F}{S}.$$

Z druhého Newtonova pohybového zákona platí:

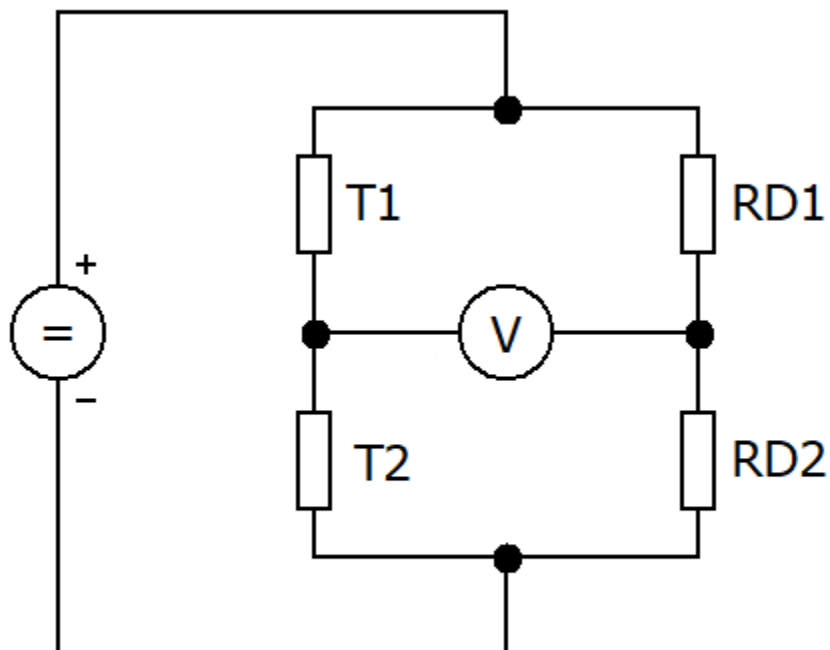
$$F = m \cdot g ,$$

kde m je hmotnost našeho závaží a g je tíhové zrychlení.

Kombinací všech vzorečků dostaneme vztah pro výpočet hmotnosti závaží položeného na tenzometru:

$$m = \frac{R \cdot k \cdot g}{\Delta R \cdot E \cdot S} .$$

Změnu odporu tenzometru přímo změříme obtížně a vzhledem k jeho malému odporu bychom ho změřili se značnou chybou. Výhodnější je odvodit odpor tenzometru můstkovou měřicí metodou pomocí odporové dekády, známého přesného odporu a dalšího stejného tenzometru.



Obrázek 9: Schéma zapojení Wheastonova můstku s tenzometry.

Wheastonův můstek (obrázek 9) funguje na principu vyvážení dvou odporových větví. Tato měřicí metoda využívá určení nulové výchylky voltmetru, zapojeného mezi odporovými větvemi. Každá odporová větev funguje jako dělič napětí. Při přivedení elektrického napětí na jednu odporovou větev se napětí rovnoměrně rozdělí mezi oba odpory ve stejném poměru, jako je poměr odporů. Naším úkolem je odpory v druhé větvi

nastavit tak, aby jejich poměr odpovídal poměru první větve. Pokud budou poměry odporů stejné, rozdělí se stejně i napětí a mezi větvemi naměříme nulový rozdíl napětí (BEN-ELM, str. 131). Je nutné jako druhý odpor ve větvi s tenzometrem také použít tenzometr, jako kompenzaci teplotního vlivu na odpor tenzometru. Oba tenzometry vlivem zahřívání změní svůj odpor stejně a nenaruší nám tak stabilitu měření. Použití dvou shodných tenzometrů se stejným vnitřním odporem nám také umožní jednodušší nastavování odporu na dekádě a jednodušší odečítání jejich hodnot. V tomto zapojení nám tedy ani nezáleží na samotném odporu tenzometru, ale na jeho relativní změně, která bude z podstaty měřící metody stejná, jako na odporové dekádě. Kolikrát se zvětší odpor tenzometru po zatížení, tolikrát musíme zvýšit odpor dekády, abychom nastavili nulovou výchylku. Náš výsledný vztah pro výpočet hmotnosti závaží bude:

$$m = \frac{R_D \cdot k \cdot g}{\Delta R_D \cdot E \cdot S'}$$

kde R_D je odpor na dekádě při nezatíženém tenzometru a ΔR_D je rozdíl odporu dekády po a před zatížením tenzometrem, tedy: $R_{D_{\text{zatížený}}} - R_D$.

Seznam pomůcek:

Dva odporové tenzometry, přesný známý odpor, odporová dekáda, přesný číslicový voltmetr, zdroj stejnosměrného napětí, sada závaží, posuvné měřítko, přesná laboratorní váha.

Postup při měření:

1. Změřte snímací plochu tenzometru.
2. Zapojte obvod podle schématu (obrázek 9).
3. Nastavte nulovou výchylku na voltmetru pro nezatížený tenzometr a odečtěte odpor dekády.
4. Položte závaží na tenzometr, nastavte opět nulovou výchylku a odečtěte odpor dekády.
5. Měření opakujte pro ostatní závaží.

Zpracování výsledků měření:

Odpory dekády zapište do tabulky. Z tabulek zjistěte Youngův modul pružnosti v tahu pro hliník.

Závěr a hodnocení:

Zvažte všechna závaží na přesných laboratorních vahách a porovnejte jejich změřené hmotnosti s vypočítanými. Určete relativní chybu této měřící metody. Pro jaké závaží bylo měření nejvíce odlišné? Pro jaké hmotnosti je tato měřící metoda vhodná a pro které nikoli? Určete hlavní zdroje chyb a navrhněte jejich zpřesnění. Určete závislost odporu tenzometru na hmotnosti položené zátěže.

1.7 PRACOVNÍ LIST 7 – MĚŘENÍ ELEKTRICKÉHO VÝKONU Z OKAMŽITÝCH HODNOT

Úkol:

Změřte elektrický výkon dodávaný ze sítě do rezistoru, cívky a kondenzátoru a určete energie, které jednotlivé zátěže spotřebují.

Výklad:

V této úloze budeme měřit elektrický výkon dodávaný do zátěže střídavým proudem z okamžitých hodnot. Měření výkonu stejnosměrného proudu je jednoduché, neboť hodnoty napětí a proudu se v čase nemění a platí:

$$P = U \cdot I.$$

U střídavého proudu se sinusovým průběhem je situace složitější, jelikož se hodnota napětí i proudu v čase mění, a navíc u kapacitních a induktivních zátěží se fázově posouvá průběh proudu oproti napětí.

Je důležité se zastavit u pojmu efektivní hodnota napětí a proudu. Jelikož se hodnota střídavého napětí a proudu v čase mění, mění se v čase i účinky, které mohou vyvolat (například ohřev způsobený Jouleovým teplem). Proto porovnáváme účinky střídavého proudu s proudem stejnosměrným. Snad všichni vědí, že v naší elektrické síti naměříme napětí 230 V s frekvencí 50 Hz. Ti znalejší vědí, že v naší elektrické síti je skutečné napětí zhruba 325 V, což je tzv. maximální hodnota elektrického napětí. Ovšem těchto maximálních 325 V střídavých vykoná stejnou práci, jako 230 V stejnosměrných. Pro nás je efektivní hodnota velice důležitá, neboť představuje právě tepelné účinky střídavého proudu (Blahovec II, str. 13). Efektivní hodnota jakéhokoliv střídavého napětí se sinusovým průběhem se určí jako:

$$U_{\text{ef}} = \frac{U_{\text{max}}}{\sqrt{2}}.$$

A stejně tak můžeme mluvit o efektivním elektrickém proudu:

$$I_{\text{ef}} = \frac{I_{\text{max}}}{\sqrt{2}}.$$

Efektivní hodnoty napětí a proudu v elektrotechnice jednoduše značíme U a I , neboť se maximální hodnota používá pouze pro dimenzování součástek a není tak důležitá,

jako právě efektivní hodnota. Efektivní hodnotu zobrazovaly staré analogové přístroje díky silovým a tepelným účinkům. Moderní digitální měřicí přístroje většinou také zobrazují efektivní hodnoty napětí a proudu.

Pokud bychom připojili do sítě odporovou zátěž (obyčejnou žárovku můžeme považovat za čistě odporovou zátěž) a nechali si na osciloskopu zobrazit průběh napětí a proudu, uviděli bychom, že napětí a proud jsou ve stejné fázi, tj. jejich sinusové průběhy nejsou nijak posunuty vůči sobě. Z definice výkonu elektrického proudu bychom mohli pomocí efektivních hodnot spočítat, jaký výkon je do žárovky dodáván. Prostým součinem efektivního napětí a efektivního proudu zjistíme tzv. zdánlivý výkon S a jeho jednotkou jsou voltampéry [VA]:

$$S = U \cdot I.$$

Při zapojení čistě odporové zátěže nedochází k fázovému posunu napětí a proudu a můžeme tento zdánlivý výkon považovat za opravdu spotřebovovaný. Pokud bychom ovšem ke střídavému proudu připojili kapacitní (kondenzátor), nebo induktivní (elektromotor) zátěž, došlo by k fázovému posunu proudu oproti napětí a zdánlivý výkon by již neudával pravdivé informace, jaký výkon zátěž skutečně spotřebuje, neboť špičkové hodnoty napětí a proudu se neobjeví ve stejnou chvíli.

Pro zjištění výkonu, který zátěž skutečně spotřebuje, musíme zjistit, jaký je úhel fázového posunu proudu oproti napětí. Pomocí úhlu fázového posunu φ zjistíme tzv. účinník $\cos \varphi$, pomocí kterého dopočítáme výkon skutečně spotřebovaný zátěží. Tento výkon nazýváme činný výkon P a jeho jednotkou jsou watty [W]:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi.$$

Obecně činný výkon měříme wattmetry.

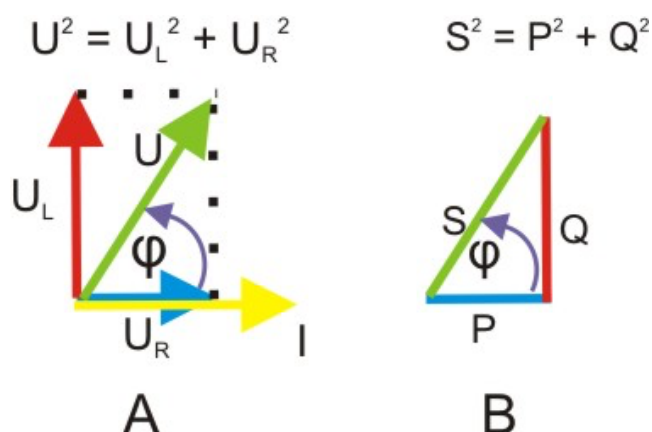
Když jsme ze zdánlivého výkonu dokázali zjistit činný výkon, který opravdu koná práci, tak nám ale část výkonu ještě zbývá. Tento zbytkový výkon nazýváme jalový výkon, který značíme Q a jeho jednotkou jsou voltampéry reaktanční neboli vary [VAR]:

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi.$$

Tento výkon práci nekoná, pouze zatěžuje elektrické vedení.

Z podstaty čistě odporové zátěže, kdy je fázový posun nulový, nám vychází účinník $\cos \varphi$ rovný 1, tedy čistě odporová zátěž spotřebovává pouze činný proud, a naopak nulový jalový proud. Dále ideální čistě indukční, nebo kapacitní zátěž, která posouvá napětí a proud vůči sobě o 90° má účinník $\cos \varphi$ roven nule a spotřebovávají pouze jalový proud (Blahovec II, str. 66-67).

Spojením těchto tří výkonů získáme tzv. trojúhelník výkonů, který propojuje tři výše zmíněné vztahy mezi jednotlivými výkony:



Obrázek 10: Trojúhelník výkonů, zdroj: FyzWeb.cz.

Až do teď jsme se zabývali průměrnými výkony. Okamžitý výkon se v čase mění a získáme ho součinem okamžité hodnoty proudu s okamžitou hodnotou napětí. Značíme ho p a jednotkou jsou watty [W] (Haasz, str. 150):

$$p = u \cdot i.$$

Ze své podstaty může okamžitý výkon nabývat jak kladných, tak záporných hodnot. Záporné hodnoty může výkon dosáhnout ve chvíli, kdy je fáze proudu opačná oproti fázi napětí. K tomu dochází běžně u induktivních a kapacitních zátěží. Pokud by kapacitní, nebo induktivní zátěž byla ideální a posouvala tak fázi proudu oproti napětí o celých 90° , tak by zátěž spotřebovávala pouze jalový proud a střední činný výkon by byl nulový. Induktivní i kapacitní zátěž by energii spotřebovala na nabití a následně by energii opět celou vydala do obvodu.

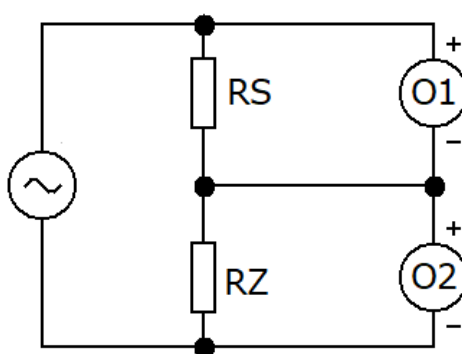
Práce, jakou elektrický proud vykoná můžeme opět rozdělit na okamžitou a celkovou. Okamžitá práce:

$$da = p \cdot dt = u \cdot i \cdot dt,$$

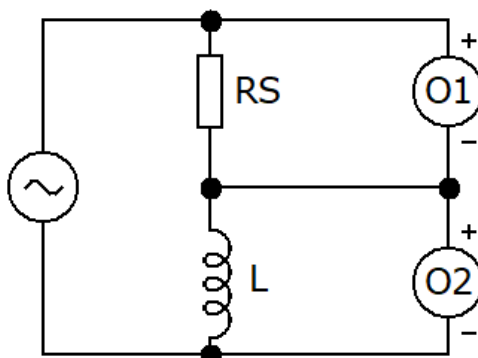
a celková práce:

$$A = \int_{t_1}^{t_2} p \cdot dt.$$

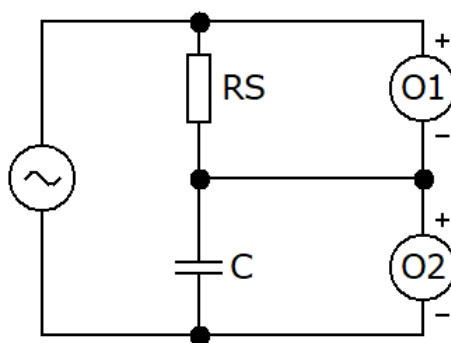
Ze vztahu pro celkovou práci je zřejmé, že pokud máme čistě kapacitní, nebo induktivní zátěž, u které má spotřebovaný výkon také sinusový průběh, je součet plochy pro jednu periodu sinusového průběhu nulový, tedy čistě kapacitní/induktivní nespotřebuje žádnou práci (Tichý, web MFF CUNI).



Obrázek 11: Schéma zapojení pro měření výkonu odporu.



Obrázek 12: Schéma zapojení pro měření výkonu cívky.



Obrázek 13: Schéma zapojení pro měření výkonu kondenzátoru.

Seznam pomůcek:

Generátor funkcí, dvoukanalový osciloskop k počítači, počítač s příslušným softwarem, rezistor, kondenzátor, cívka.

Postup při měření:

1. Zapojte obvod podle schématu 1 (obrázek 11).
2. Připojte měřicí osciloskop do počítače a zobrazte průběh napětí z obou kanálů.
3. Na funkčním generátoru nastavte maximální amplitudu a připojte ho do obvodu.
4. Spusťte měření a pomocí výstřižku zaznamenejte několik period signálů.
5. Po změření rezistoru zastavte měření, přepojte zapojení podle schématu 2 (obrázek 12) a opakujte měření pro cívku.
6. Po změření kondenzátoru zastavte měření, přepojte zapojení podle schématu 3 (obrázek 13) a opakujte měření pro kondenzátor.

Zpracování výsledků měření:

Osciloskopem změříte pouze napětí na součástkách, nikoli proud, který jimi prochází. Proto proud musíte vypočítat z hodnoty napětí na předřadném rezistoru. Vynásobením těchto hodnot v konkrétních časech získáte okamžitý výkon.

Závěr a hodnocení:

Určete z grafů úhel fázového posunu proudu oproti napětí pro cívku a pro kondenzátor. Určete zdánlivé, činné a jalové výkony elektrického proudu pro zapojení s odporovou, kapacitní i induktivní zátěží. Určete, jakou energii rezistor, cívka a kondenzátor spotřebovali během zobrazeného sinusového průběhu.

1.8 PRACOVNÍ LIST 8 – MĚŘENÍ CHARAKTERISTIK ELEKTROCHEMICKÝCH AKUMULÁTORŮ

Úkol:

Změřte nabíjecí a vybíjecí charakteristiky různě vybitých předložených elektrochemických akumulátorů a porovnejte je s kondenzátorem.

Výklad:

Elektrochemické akumulátory ukládají energii ve formě chemické energie a můžeme ji opětovně využít ve formě elektrické energie (web ČEZ). Nejčastěji je známe jako tužkové AA baterie, nebo jejich menší AAA varianta. Je nutné mít ovšem na paměti, že ne všechny tužkové AA baterie jsou stejné. Krom prvků a technologií použitých při výrobě, je nutné rozlišovat hlavně nabíjecí baterie a baterie na jedno použití, tedy baterie alkalické. V tomto pracovním listě se budeme zabývat pouze nabíjecími elektrochemickými akumulátory.

Dříve hojně používané byly niklo-kadmiové (NiCD) akumulátory. Tyto akumulátory mají typické napětí 1,2 V a zvládá dodávat vysoké proudy a snázejí i rychlé nabíjení. Jsou také mechanicky odolné. Mezi nevýhody ovšem patří nižší hustota uložené energie, silný paměťový efekt a obsažené toxické kadmium. Právě díky silnému paměťovému efektu, kdy bylo nutné akumulátor ze začátku několikrát úplně vybit a nabít, a obsah toxického kadmia způsobily jejich vytlačení z trhu, krom zařízení, kde jsou třeba spolehlivé zdroje vysokého proudu. (NiCD akumulátory, web Battex) (Reichl, Základní typy baterií)

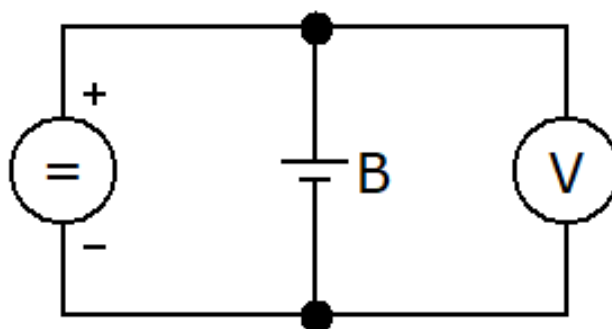
Niklo-kadmiové akumulátory jsou dnes nahrazené velmi podobnými niklo-metalhydridovými (NiMH) akumulátory. Jejich typické napětí se také pohybuje okolo 1,2 V. Oproti niklo-kadmiovým akumulátorům neobsahují toxické kadmium a jsou tak šetrnější k životnímu prostředí. Také mají větší kapacitu a vydrží více nabíjecích cyklů. Paměťový efekt se zde již nijak výrazně neprojevuje, ovšem trpí na samovybíjení, které je vyšší, než u niklo-kadmiových akumulátorů. Dnes se používají jako hlavní typ nabíjecích tužkových AA baterií pro všechna použití. (NiMH akumulátory, web Battex) (Reichl, základní typy baterií)

Posledním typem akumulátoru, který nesmíme opomenout je dnes velmi rozšířený lithium-iontový (Li-Ion) akumulátor. Často používaný lithium-iontový akumulátor typu

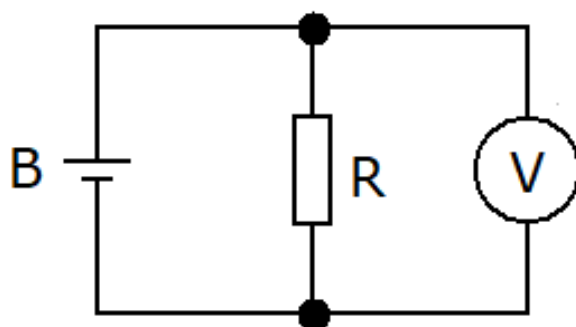
18650 má typické napětí 3,6 V, ale vyrábí se i akumulátory typu AA a AAA se stejnými rozměry a napětím 1,5 V. Dnes se lithium-iontové akumulátory využívají v široké škále výrobků, od elektroniky (např. mobilní telefony) až po elektromobily. Mají nízké samovybíjení, vydrží hodně nabíjecích cyklů a nemají paměťový efekt. Jsou ovšem velmi náchylné na degradaci vlivem teploty a nesprávného zatěžování a nabíjení. Také mechanická odolnost a jejich následné bezpečné zajištění je velký problém hlavně u elektromobilů. (Lithiové akumulátory, web Battex) (Reichl, Základní typy baterií)

Pro nabíjení elektrochemických akumulátorů používáme metody nabíjení konstantním stejnosměrným proudem (CC) a nabíjení konstantním stejnosměrným napětím (CV) či jejich kombinací (CCCV). Nabíjení konstantním proudem se používá pro niklo-kadmiové a niklo-metalhydridové akumulátory. V této metodě (CC) je do akumulátoru pouštěn elektrický proud o pevně dané hodnotě a napětí se volně mění podle úrovně nabití akumulátoru. Při nabíjení konstantním napětím (CV) se k akumulátoru připojí pevně dané napětí a akumulátor odebírá tolik proudu, na kolik je vyrobený. Nabíjení konstantním proudem a poté konstantním napětím (CCCV) se používá při nabíjení lithium-iontových a olověných akumulátorů. Do akumulátoru je nejdříve pouštěn konstantní proud a po dosažení určitého napětí se nabíjení přepne na nabíjení konstantním napětím a odebraný proud klesá. (Reichl, Nabíječky) (Napěťové nabíjení, web Battex)

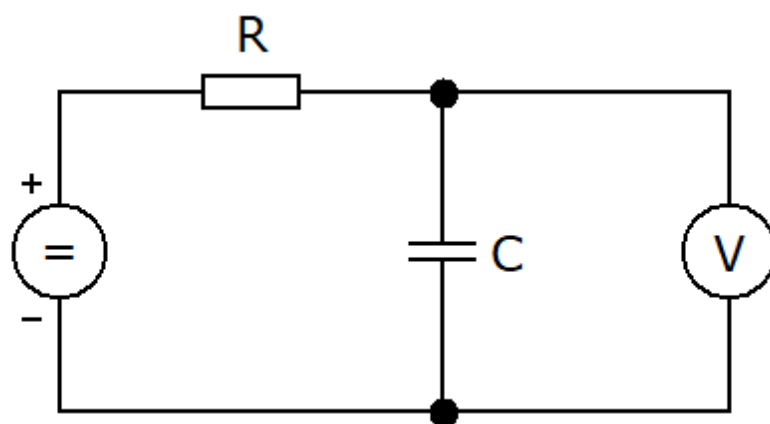
Měření budeme realizovat pomocí systému Pasco.



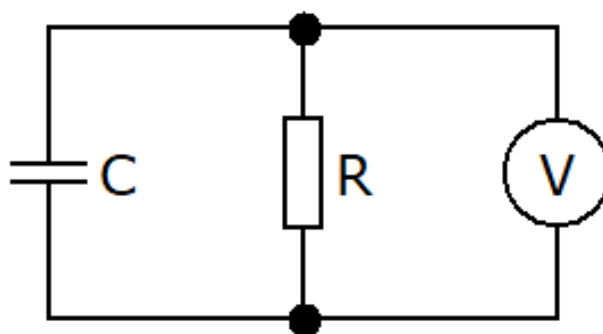
Obrázek 14: Schéma zapojení pro nabíjení elektrochemických článků.



Obrázek 15: Schéma zapojení pro vybíjení elektrochemických článků.



Obrázek 16: Schéma zapojení pro nabíjení kondenzátoru.



Obrázek 17: Schéma zapojení pro vybíjení kondenzátoru.

Seznam pomůcek:

Elektrochemický akumulátor, kondenzátor, Pasco voltmetr, Pasco ampérmetr, počítač s předinstalovaným softwarem Sparkvue, nabíječku akumulátorů, zdroj stejnosměrného napětí, sada odporů.

Postup při měření:

1. Zapojte odvod podle schématu 1 (obrázek 14).
2. Nastavte v programu Pasco Sparkvue vykreslení spojnicového grafu. Na ose X zaznamenávejte čas a na ose Y zaznamenejte napětí.
3. Spusťte měření a zapněte nabíječku akumulátorů.
4. Po úplném nabití článku vypněte měření a přepojte obvod podle schématu 2 (obrázek 15).
5. Spusťte měření a zaznamenejte vybíjení akumulátoru.
6. Po úplném vybití akumulátoru přepojte obvod podle schématu 3 (obrázek 16).
7. Spusťte měření a zapněte zdroj napětí pro nabití kondenzátoru.
8. Po úplném nabití kondenzátoru přepojte obvod podle schématu 4 (obrázek 17).
9. Spusťte měření a zaznamenejte vybíjení kondenzátoru.

Zpracování výsledků měření:

Vykreslete grafy nabíjecích a vybíjecích charakteristik pro všechny elektrochemické akumulátory a pro kondenzátor.

Závěr a hodnocení:

Z průběhů nabíjecích a vybíjecích charakteristik určete, jak dlouho trvalo nabití článků v závislosti na napětí akumulátoru při zahájení nabíjení.

1.9 PRACOVNÍ LIST 9 – MĚŘENÍ ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKY ZDROJŮ PROUDU

Úkol:

Změřte zatěžovací charakteristiky předložených zdrojů proudu a určete jejich výstupní odpor.

Výklad:

Ideální zdroj elektrického proudu a napětí má nulový výstupní odpor. Nulový výstupní odpor znamená, že zdroj dokáže pro celý rozsah napětí dodávat do zátěže jakýkoliv proud, aniž by napětí pokleslo. Takový zdroj proudu ovšem neexistuje. Elektrický odpor se objeví už na svorkách, kontaktech, kabelech, a všech součástkách ve zdroji. Každý zdroj elektrického napětí a proudu (jak starší transformátorové zdroje, tak moderní spínané elektronické zdroje) tedy má výstupní odpor a ten nám omezuje výstupní proud. Ve schématech nahrazujeme reálný zdroj proudu ideálním a na výstup je do série zapojený odpor R_i . V takovém případě nazýváme napětí ideálního zdroje elektromotorickým napětím ε a toto napětí se rozkládá na výstupní odpor R_i a zatěžovací odpor R . Z Ohmova zákona a druhého Kirchhoffova zákona je nám jasné, že při průchodu proudu do zátěže, nám vznikne na vnitřním odporu úbytek napětí:

$$\varepsilon = U + R_i I.$$

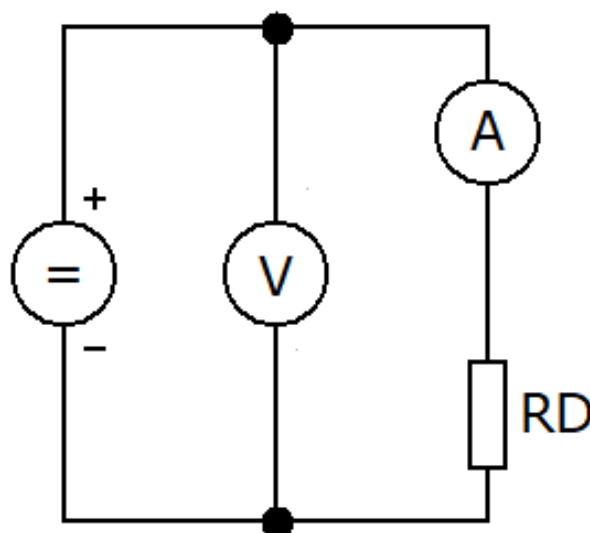
U kondenzátorů je výstupní odpor podstatně menší než u laboratorních zdrojů proudu, nebo baterií. V katalogovém listu kondenzátoru můžeme najít parametr *ESR*, tedy Equivalent Series Resistance (ekvivalentní sériový odpor) a bývá v řádu jednotek až desetin miliohmů. To je důvod, proč i malé kondenzátory mohou na rozdíl od baterií dodat do zátěže vysoké proudy.

Vnitřní odpor laboratorního zdroje proudu, nebo akumulátoru lze nejjednodušeji změřit pomocí zapojení výstupních vodičů do zkratu a změřit proud, který vodičem prochází. Tento způsob měření ovšem může být destruktivní buď pro měřicí přístroj, nebo i pro samotný zdroj proudu, proto tuto přímou metodu nepoužijeme (Šotola, web sotovo.cz). Lepší způsob je pomocí změření zatěžovací charakteristiky. Zatěžovací charakteristika je graf závislosti výstupního napětí na zatěžovacím proudu. Ještě před zahájením měření je nutné změřit svorkové napětí zdroje proudu na prázdko, tedy bez

připojené jakékoliv zátěže. Voltmetr má velmi vysoký vnitřní odpor a teče skrz něj zanedbatelný proud, tedy i úbytek napětí na vnitřním odporu zdroje proudu je zanedbatelný a napětí na voltmetru můžeme považovat za elektromotorické napětí ε . Po připojení ampérmetru a reostatu jimi začne protékat elektrický proud a elektromotorické napětí ε se podle druhého Kirchhoffova zákona rozloží na vnitřní odpor R_i , ampérmetr a reostat. Pro zjednodušení měření připojíme voltmetr přímo na svorky zdroje proudu, čímž budeme měřit napětí na ampérmetru a reostatu a nebudeme muset řešit úbytek napětí na ampérmetru. Změřeným proudem I , který protéká ampérmetrem a svorkovým napětím U můžeme dopočítat hodnotu vnitřního odporu zdroje proudu:

$$R_i = \frac{\varepsilon - U}{I}.$$

Pro přesnější změření vnitřního odporu budeme postupně měnit zatěžovací odpor pomocí reostatu, čímž se nám budou měnit zatěžovací proudy a úbytky napětí na vnitřním odporu zdroje proudu (Vnitřní odpor, web hradebni.cz). Tím můžeme určit i relativní chybu měření vnitřního odporu R_i .



Obrázek 18: Schéma zapojení pro měření vnitřního odporu zdroje proudu.

Seznam pomůcek:

Laboratorní zdroj stejnosměrného napětí, tužková AA baterie, kondenzátor, voltmetr, ampérmetr, zatěžovací výkonové odpory/reostat.

Postup při měření:

1. Změřte svorkové napětí zdroje proudu na prázdno.
2. Zapojte obvod podle schématu 1 (obrázek 18).
3. Reostat nastavte na největší hodnotu odporu.
4. Spusťte měření a pomocí reostatu nastavte proud protékající obvodem podle tabulky.
5. Měňte hodnotu odporu reostatu pro všechny proudy a zapisujte naměřená napětí do tabulky.
6. Po dokončení měření vyměňte laboratorní zdroj proudu za baterii.
7. Opakujte měření pro baterii i nabitý kondenzátor.

Zpracování výsledků měření:

Z naměřených hodnot napětí a proudů vykreslete zatěžovací charakteristiky všech zdrojů proudu.

Závěr a hodnocení:

Určete vnitřní (výstupní) odpory všech měřených zdrojů proudu. Jaká je relativní chyba změřeného vnitřního odporu? Porovnejte Vámi změřené hodnoty vnitřních odporů s tabulkovými/katalogovými hodnotami vnitřních odporů. Jaký by musel být zatěžovací odpor, aby jednotlivé zdroje proudu dodávaly největší výkon?

1.10 PRACOVNÍ LIST 10 – OVĚŘENÍ FARADAYOVA ZÁKONA

Úkol:

Pomocí dvou cívek určete platnost Faradayova zákona elektromagnetické indukce.

Výklad:

Faradayův zákon elektromagnetické indukce popisuje vztah mezi elektrickým a magnetickým polem. Stejně, jako pohybující se elektrické náboje (el. proud) generují ve svém okolí magnetické pole, tak v čase měnící se magnetické pole může ve vodiči generovat elektrické napětí a proud. Mění se magnetické pole může vnikat pohybujícím se magnetem, nebo průchodem střídavého proudu vodičem (Blahovec I, str. 167). Faradayův zákon je typicky zapisován ve tvaru:

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt},$$

kde ε je indukované elektromotorické napětí, $\frac{d\phi}{dt}$ je magnetický tok měnící se v čase. Čím rychlejší, nebo větší ona změna bude, tím větší se naindukuje elektromotorické napětí. Magnetický tok ϕ je definován jako velikost magnetické indukce B procházející plochou S :

$$\phi = B \cdot S.$$

Jedná se o skalární součin, jelikož je nutné vzít v potaz i úhel, který svírá vektor magnetické indukce s plochou, kterou prochází. Můžeme tedy psát:

$$\phi = BS \cos \alpha.$$

Předpokládejme, že vodič, kterým prochází magnetický tok, je stočen do jednoho závitů cívky. Pokud bychom měli závitů více, musíme to také zohlednit ve Faradayově zákoně:

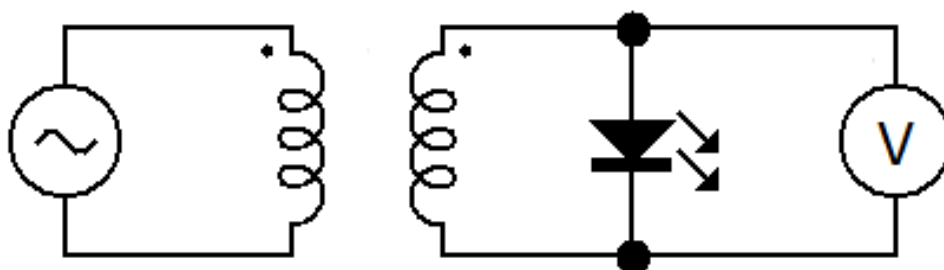
$$\varepsilon = -N \frac{d\phi}{dt},$$

kde N je počet závitů cívky. Čím více závitů bude, tím větší napětí se naindukuje. Ve Faradayově zákoně je také důležité záporné znaménko. Znaménko udává směr indukovaného proudu a je nazýváno Lenzovým zákonem. Pokud vnější magnetické pole dá do pohybu elektrické náboje ve vodiči, tak tyto pohybující se náboje vytváří magnetické

pole opačného směru, čímž působí proti původnímu poli (Pacák, Faradayův indukční zákon).

Můžeme si tohoto zákona všimnout, pokud pustíme magnet skrze měděnou trubici. Padající magnet indukuje v trubici vířivé proudy, které generují vlastní magnetické pole, čímž zpomalují padající magnet.

Dvě válcové cívky, se kterými budeme pracovat, se chovají jako transformátor se vzduchovým jádrem. V klasickém transformátoru slouží jádro pro vedení magnetického pole, vytvářené primární cívkou, do sekundární cívky (Pacák, Střídavé obvody). Souosé provedení našeho transformátoru nám umožňuje jádro vynechat. Jestliže vnější cívka bude primární, pak vnitřkem cívky by měl procházet veškerý magnetický tok a protínat celou vnitřní sekundární cívku čímž dosáhneme maximálního přenosu energie mezi cívkami.



Obrázek 19: Schéma zapojení pro měření Faradayova zákona.

Seznam pomůcek:

Funkční generátor, dvě souosé cívky, svítivá dioda.

Postup při měření:

1. Zapojte obvod podle schématu 1 (obrázek 19) a sekundární cívku plně zasuňte do primární cívky.
2. Na generátoru funkcí nastavte minimální amplitudu a nastavte frekvenci na 1 kHz.
3. Začněte zvyšovat amplitudu do doby, kdy dioda začne jasně svítit.
4. Na generátoru nechte nastavenou tuto amplitudu a postupně měňte frekvenci od 0 Hz až do maxima, co generátor zvládne.
5. Následně nastavte pevnou frekvenci 1 kHz a postupně vytahujte sekundární cívku.

Zpracování výsledků měření:

Vykreslete závislost napětí na sekundární cívce na frekvenci.

Závěr a hodnocení:

Rozeberte zjištěné výsledky měření a zhodnoťte, zda odpovídají Faradayově zákonu a které jeho části. Při jaké frekvenci začala dioda svítit? Proč dioda od určité frekvence svítit přestala a jaká je tato mezní frekvence? Jaké další měření by se dalo realizovat pomocí těchto dvou sousých cívek?

2 PRAKTICKÁ ČÁST – OVĚŘENÍ PRACOVNÍCH LISTŮ

2.1 PRACOVNÍ LIST 1

Pro ověření funkčnosti pracovního listu s úlohou na změření vnitřního odporu multimetru pro napěťový rozsah jsem použil regulovatelný zdroj napětí, jako voltmetr UNIT UT803, odporovou dekádu a měřil jsem vnitřní odpor multimetru Voltcraft VC175. Po zapojení obvodu podle schématu jsem měnil odpor na dekádě, dokud napětí na měřeném multimetru nebylo přesně poloviční, oproti napětí na zdroji. V tu chvíli se odpor dekády rovnal vnitřnímu odporu multimetru. Z mého měření vyšel vnitřní odpor multimetru $R_V = 10,1 \text{ M}\Omega$, což koresponduje s hodnotou v katalogovém listě ($R_V = 10 \text{ M}\Omega$). Přesnost měření bude záviset na počtu zobrazovaných míst na displeji obou voltmetrů.



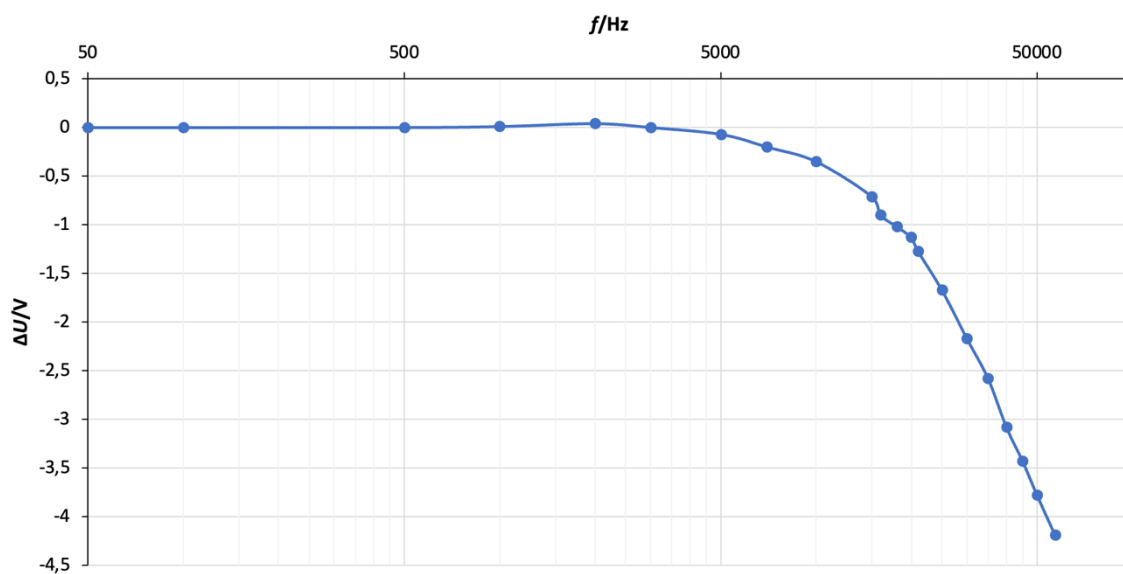
Obrázek 20: Aparatura pro měření vnitřního odporu voltmetru.

Ve druhé části úlohy, ve které zjišťujeme skutečný frekvenční rozsah voltmetru, jsem použil generátor funkcí FG-7005C, na kterém jsem nastavil sinusový signál s maximální amplitudou, která činila zhruba 8 V. Ke generátoru jsem připojil přesný laboratorní multimetr GDM-8145, který dle katalogového listu měří napětí a proud do frekvence 50 kHz s přesností $\pm 5 \%$. Měřeným multimetrem byl ruční MT-1232 a podle technické dokumentace na stránkách prodejce (dratek.cz), byl tento multimetr testován

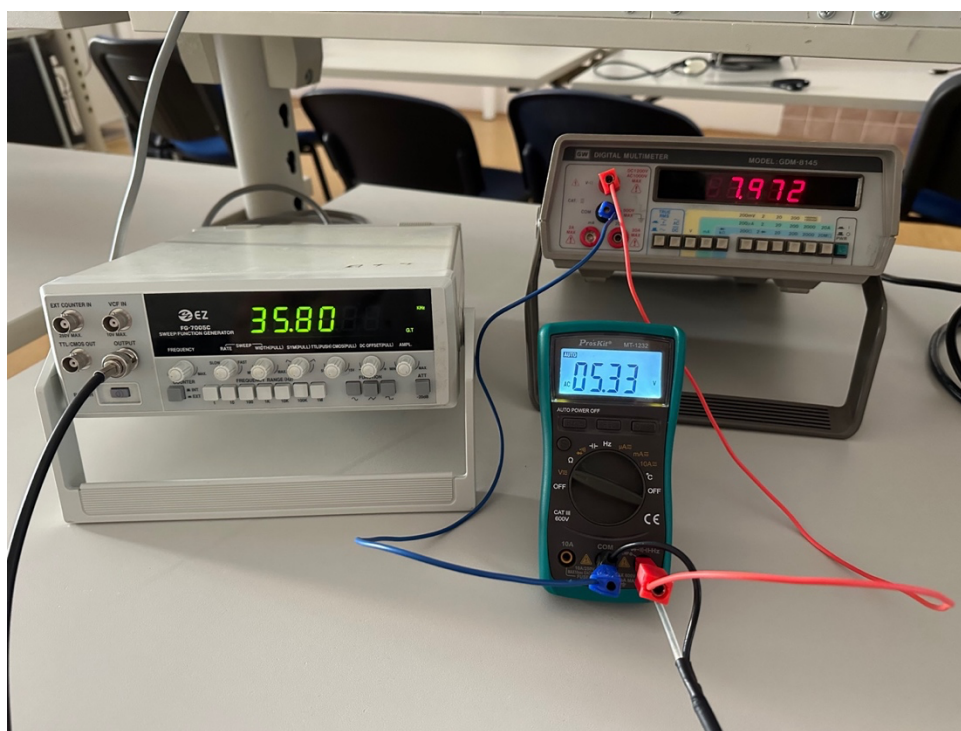
ve frekvencích 50 – 200 Hz. Na obou multimetrech jsem nastavil měřený rozsah na napětí a na generátoru postupně zvyšoval frekvenci od 50 Hz, do 60 kHz. Z tabulky níže můžeme vyčíst, že testovaný multimetr ukazoval shodnou hodnotu s přesným multimetrem až do frekvence zhruba 5 kHz, poté začal testovaný multimetr ukazovat odlišné hodnoty. Výrazný skok nastal po překročení frekvence 60 kHz, kdy napětí na testovaném multimetru spadlo na hodnotu 0,7 V. Tento údaj jsem již nezapisoval do tabulky. Přesný multimetr začal ukazovat mírně odlišné hodnoty od frekvence 50 kHz, což odpovídá údajům z technické dokumentace. Grafickou závislost rozdílu napětí na frekvenci jsem vykreslil do grafu.

f/Hz	$U(V1)/\text{V}$	$U(Vm)/\text{V}$	$\Delta U/\text{V}$
50	7,93	7,93	0
100	7,93	7,93	0
500	7,95	7,95	0
1000	7,96	7,97	0,01
2000	7,93	7,97	0,04
3000	7,9	7,9	0
5000	7,9	7,83	-0,07
7000	7,9	7,7	-0,2
10000	7,9	7,55	-0,35
15000	7,9	7,19	-0,71
16000	7,9	7	-0,9
18000	7,9	6,88	-1,02
20000	7,9	6,77	-1,13
21000	7,9	6,63	-1,27
25000	7,93	6,26	-1,67
30000	7,95	5,78	-2,17
35000	7,96	5,38	-2,58
40000	7,97	4,89	-3,08
45000	7,95	4,52	-3,43
50000	7,92	4,14	-3,78
57000	7,81	3,62	-4,19

Tabulka 2: Naměřené hodnoty frekvenční závislosti



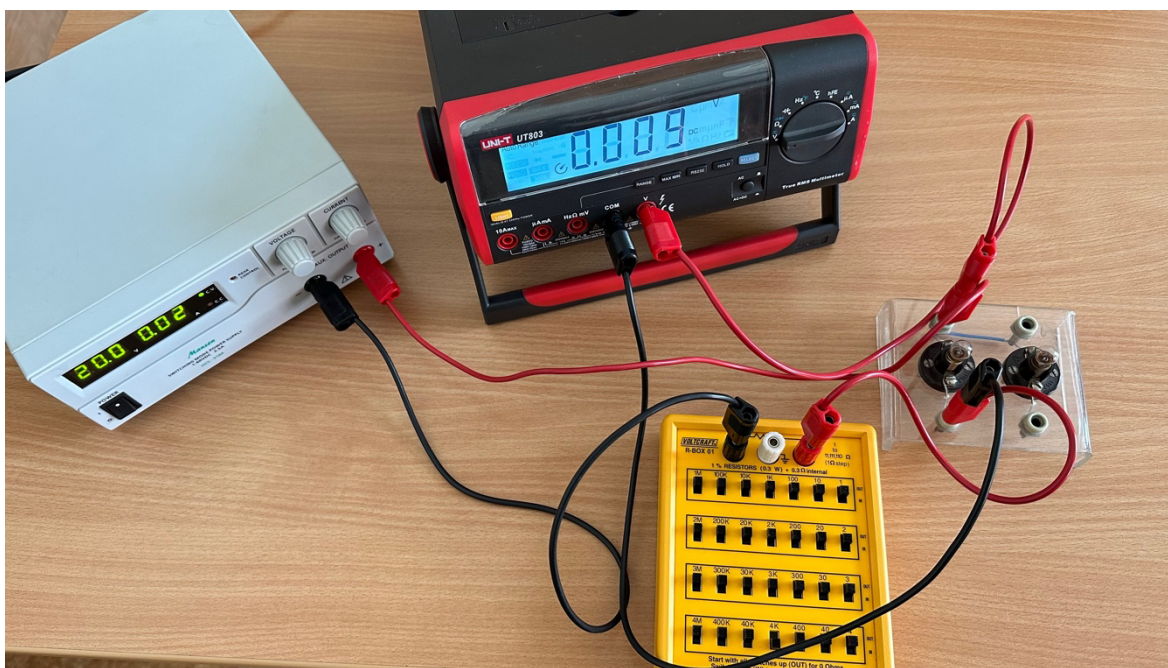
Graf 1: Závislost napětového rozdílu na frekvenci



Obrázek 21: Měřící aparatura pro měření frekvenční závislosti.

2.2 PRACOVNÍ LIST 2

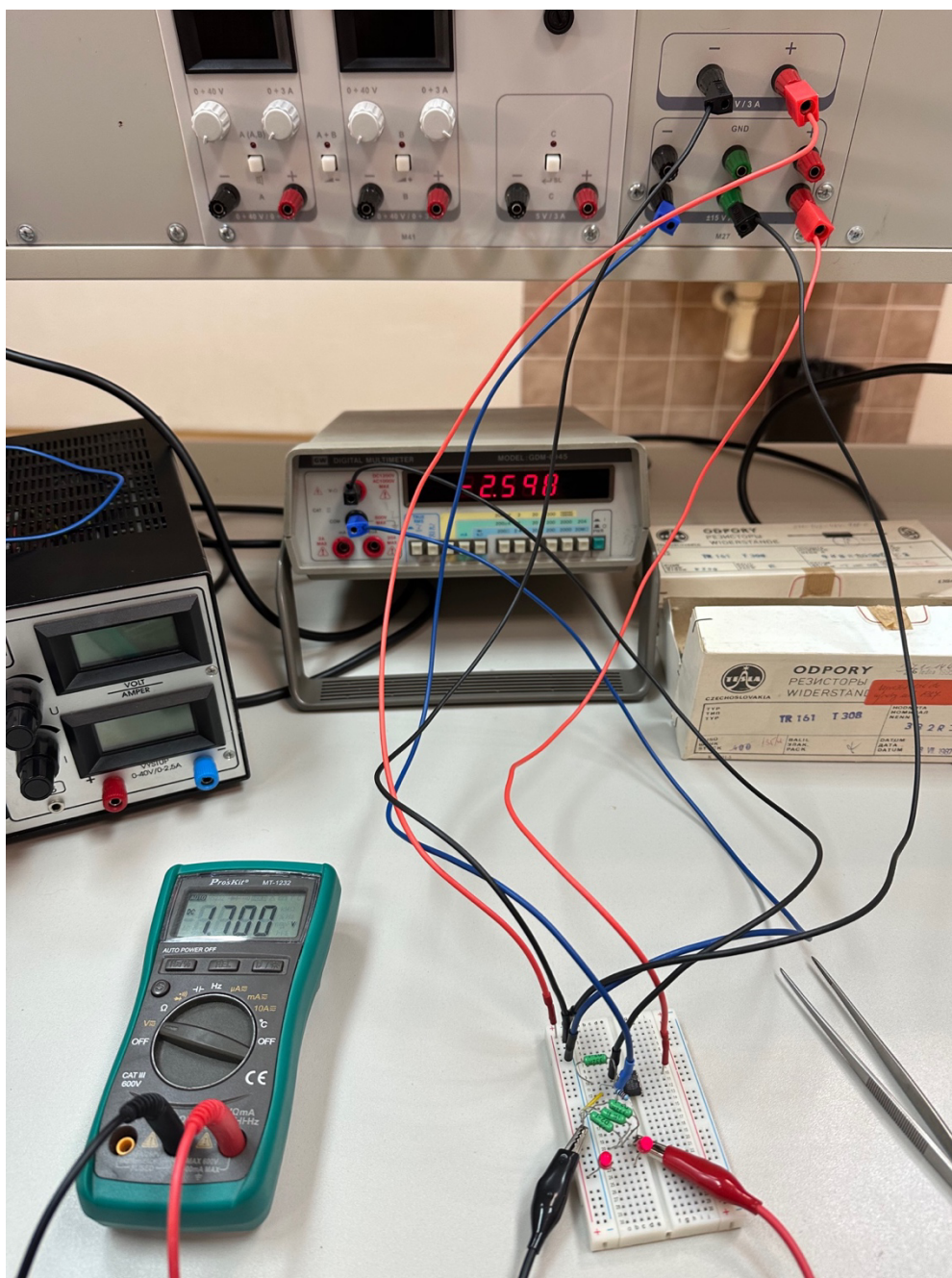
Pro ověření funkčnosti navrženého pracovního listu 2 s úlohou na měření proudu pomocí voltmetru jsem použil regulovatelný zdroj stejnosměrného napětí, multimetr UNI-T UT803, odporovou dekádu a místo přesného měřicího odporu jsem použil žárovíčku, kvůli malému odporu žhavicího vlákna, jejichž odpor jsem změřil nejdříve přímou metodou a vyšel mi $1,8 \Omega$. Na odporové dekádě jsem nastavil odpor $4 \text{ k}\Omega$, abych dekádu nepoškodil vysokým proudem. Jednoduchým výpočtem nám vyjde, že žárovíčkou a odporovou dekádou protéká proud $I = \frac{0,009}{1,8} = 0,005 \text{ A}$. Pro vyšší přesnost měření je třeba na dekádě nastavit ještě menší odpor. Pro ověření spočítaného proudu by bylo dobré za zdroj připojit přesný ampérmetr.



Obrázek 22: Měřící aparatura s měřícím rezistorem (žárovíčkou).

Druhá část v tomto pracovním listu je věnuje stejné měřící metodě, ovšem s připojeným operačním zesilovačem. Díky vysokému vstupnímu odporu operačního zesilovače nijak nezatížíme měřený obvod a díky vysokému zesílení můžeme měřit i velmi malá napětí, tedy proudy tekoucí měřeným rezistorem. Použil jsem operační zesilovač MC1458N, napájený symetrickým napětím $\pm 15 \text{ V}$. Měřil jsem napětí na třech paralelně propojených rezistorech, každý o hodnotě $R = 332 \Omega$ (jejich společná hodnota byla 111Ω), které sloužily jako předřadný odpor ke dvěma svítivým červeným

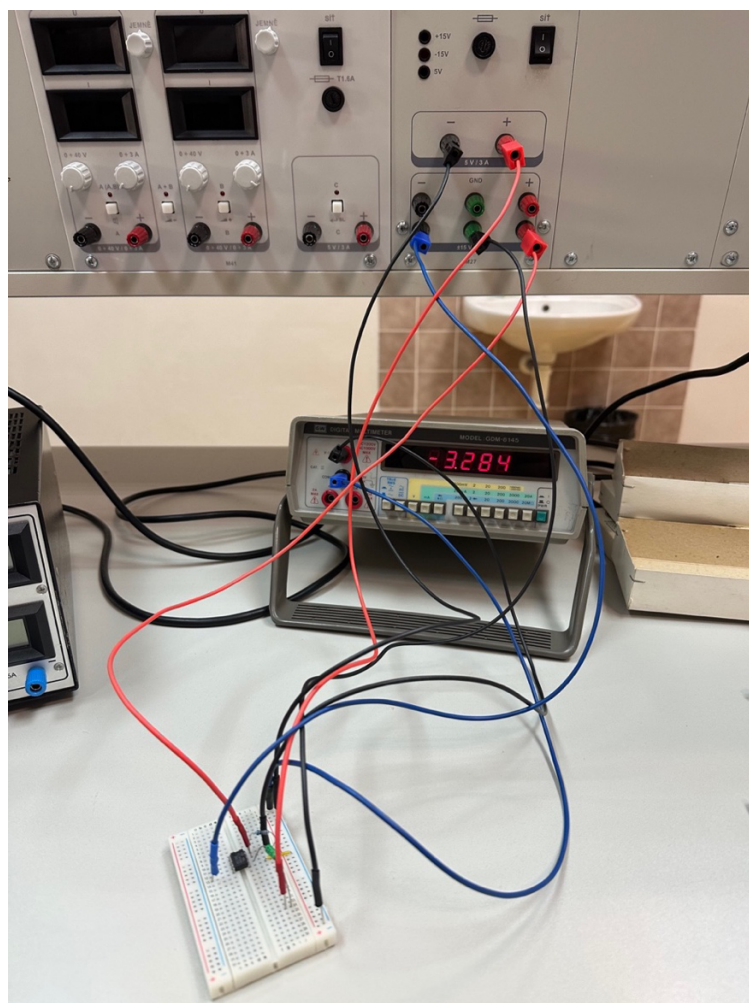
diodám, napájených napětím 5 V. Pro zjednodušení jsem operační zesilovač zapojil v invertujícím zapojení s celkovým zesílením $A = -1,52$. Voltmetr připojený na výstup operačního zesilovače zobrazil napětí $-2,59$ V. Po přepočítání ze zesílení operačního zesilovače mi vyšlo, že napětí na vstupu (měřeném rezistoru) má být 1,7 V, což jsem si ověřil připojeným voltmetrem. Při tomto napětí na měřeném odporu by měl protékající proud mít hodnotu okolo 15,4 mA.



Obrázek 23: Měřící aparatura s operačním zesilovačem.

2.3 PRACOVNÍ LIST 3

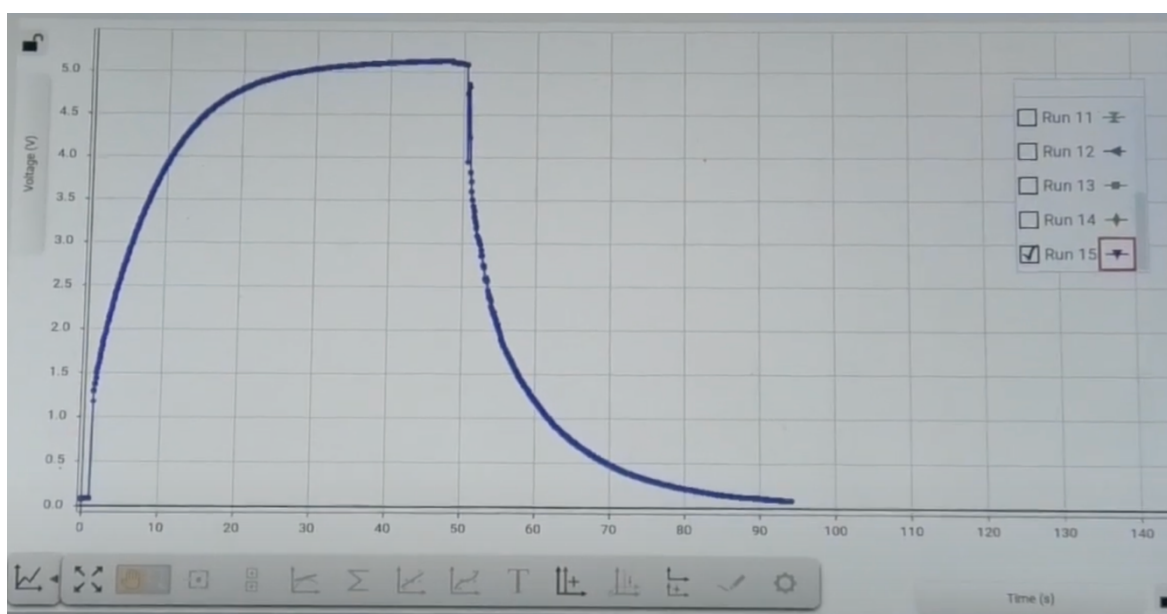
Lineární převod odporu na napětí spočívá v umístění neznámého odporu do zpětné vazby operačního zesilovače v invertujícím zapojení. Funkčnost úlohy si ověříme zapojením operačního zesilovače na nepájivém poli. Použil jsem operační zesilovač typu MC1458N napájený symetrickým napětím o hodnotě ± 15 V, jako známý rezistor v zesilovači $R_D = 332 \Omega$ a vstupní napětí bylo 5 V. Po zapojení všech součástek včetně neznámého rezistoru R_X , připojení napájecích napětích se na zapnutém voltmetru zobrazilo napětí $-3,284$ V. Po dosazení do rovnice $R_X = -\frac{U_2}{U_1} \cdot R_D$, by měl mít neznámý rezistor hodnotu 218Ω . Po odpojení neznámého rezistoru jsem ho přeměřil přímou metodou pomocí multimetru, nastaveného jako ohmmetr, který mi potvrdil hodnotu odporu rezistoru na $R_X = 218 \Omega$.



Obrázek 24: Měřící aparatura s převodníkem odpor-napětí.

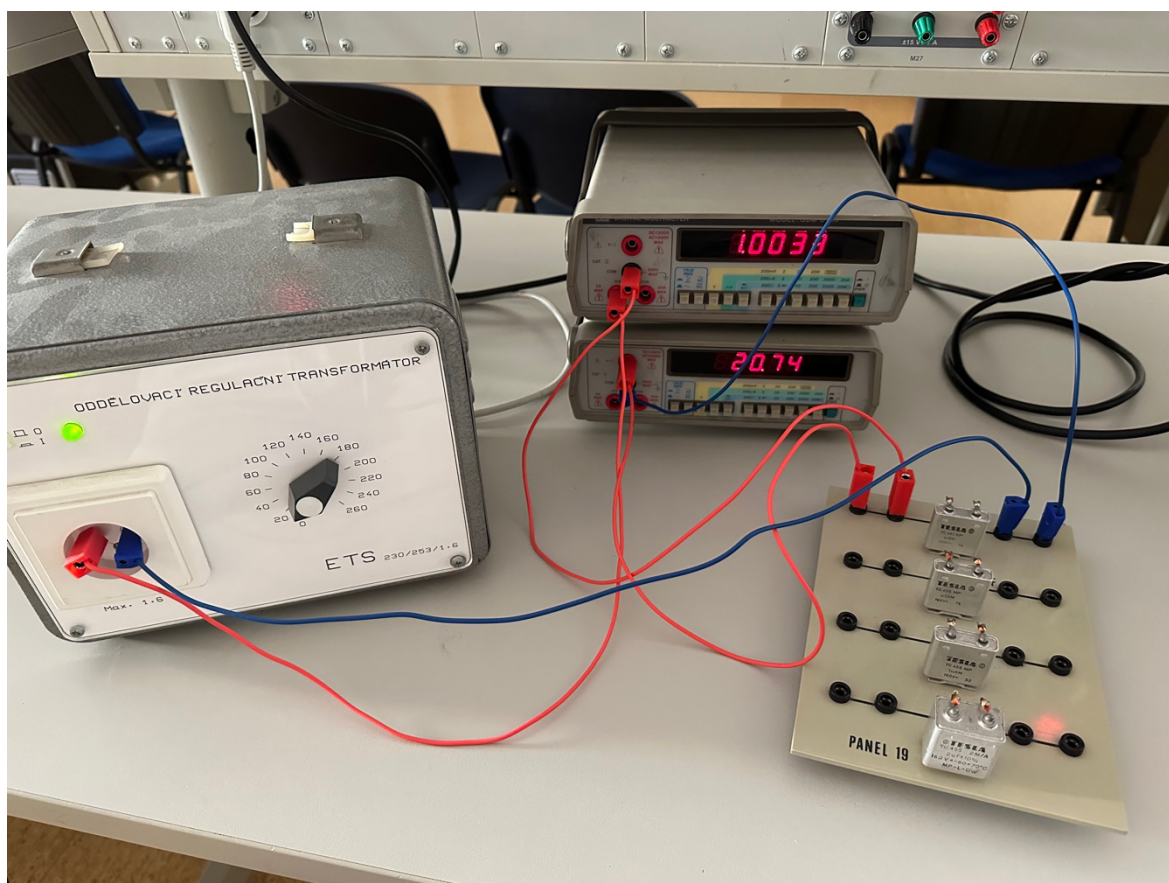
2.4 PRACOVNÍ LIST 4

Pro měření kapacity jsem nejprve zvolil metodu odvození z nabíjecí a vybíjecí charakteristiky. Kvůli vhodnosti zapojení kondenzátoru jsem použil nepolarizovaný kondenzátor ze stavebnice Pasco, který měl na sobě udanou hodnotu 0,22 F. Kondenzátor o takové kapacitě jsem nebyl již schopen ověřit svým multimetrem, jelikož neoplývá takovým rozsahem a musel jsem jeho hodnotu ověřit právě měřením. Kondenzátor s tak vysokou kapacitou by se nízkým proudem nabíjel dlouho, proto jsem musel použít výkonový rezistor s hodnotou 32Ω . Tato kombinace kondenzátoru a rezistoru vyústila v dobře měřitelnou časovou konstantu $\tau \approx 7$ s. Po zapojení obvodu a nastavení správného grafického vykreslování na Pasco tabletu jsem na zdroji nastavil hodnotu napětí na 5,1 V. Po spuštění měření na Pasco tabletu jsem přepínačem spustil nabíjení kondenzátoru. Po dosažení napájecího napětí jsem obvod přepojil na vybíjecí a zaznamenal i vybíjení kondenzátoru. Z průběhu nabíjecí charakteristiky můžeme vidět, že má správný exponenciální charakter a následně jsem vyčetl, že v čase 1τ dosáhlo napětí na kondenzátoru hodnoty 3,25 V, což zhruba odpovídá předpokládané hodnotě 0,632-násobku maximálního napájecího napětí. Tato metoda je spíše vhodná pouze pro ověřování kapacity kondenzátoru, nikoliv pro zjišťování neznámé kapacity, jelikož nemůžeme tušit, jak velký nabíjecí odpor zvolit pro optimální vykreslení nabíjecí charakteristiky.



Graf 2: Průběh nabíjení a vybíjení kondenzátoru naměřená systémem Pasco.

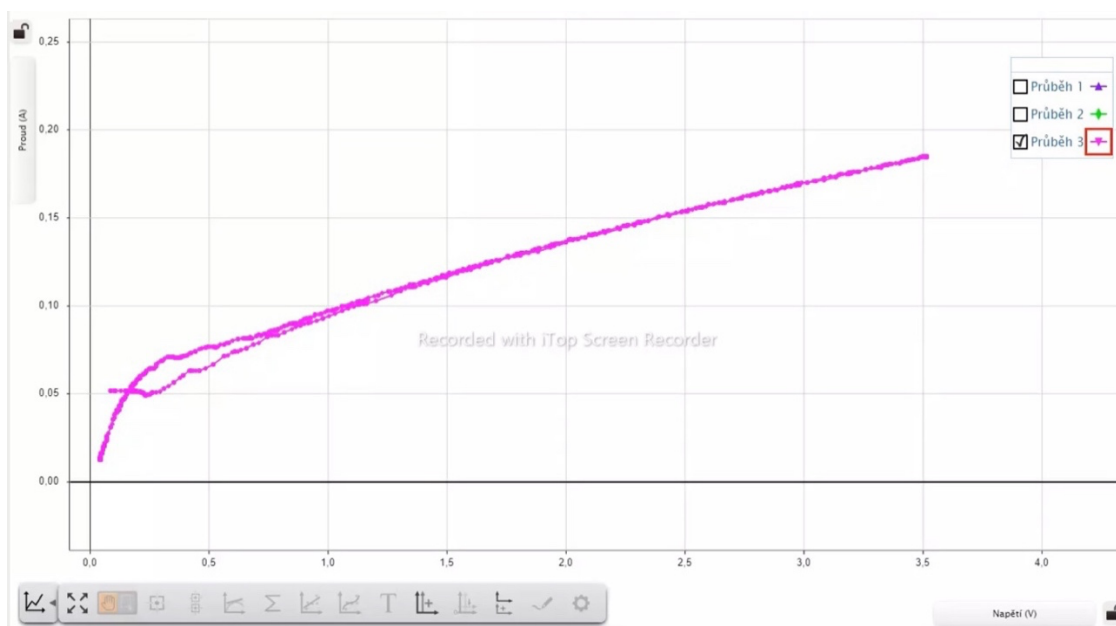
Pro druhou metodu využijeme kapacitní reaktanci, vznikající při průchodu střídavého proudu kondenzátorem. Jelikož jsem nevěděl, na jaká napětí je Pasco kondenzátor z předchozí metody vyrobený, použil jsem kondenzátor s avizovanou kapacitou 100 nF, který je skutečně určený na zapojení do 230 V. V této metodě měření jsem kondenzátor zapojil s ampérmetrem a voltmetrem do sítě přes oddělovací regulační transformátor u kterého jsem kvůli bezpečnosti snížil napětí na 20 V. Využití síťového napětí u měření kapacitní a induktivní reaktance je pro nás výhodné vzhledem k zafixované a přesné frekvenci 50 Hz. Podle napětí na kondenzátoru a proudu, který jím procházel, jsem určil kapacitu kondenzátoru na 154 nF. Kvůli značnému rozdílu mezi vypočítanou a předepsanou hodnotou jsem kondenzátor ještě podrobil přímému měření multimetrem MT-1232, který ukázal hodnotu 154,4 nF, čímž potvrdil mé předchozí měření (obrázek 26). Rozdíl v předepsané a skutečné kapacitě si odůvodňuji stářím měřeného kondenzátoru.



Obrázek 25: Měřící aparatura pro měření kapacity.

2.5 PRACOVNÍ LIST 5

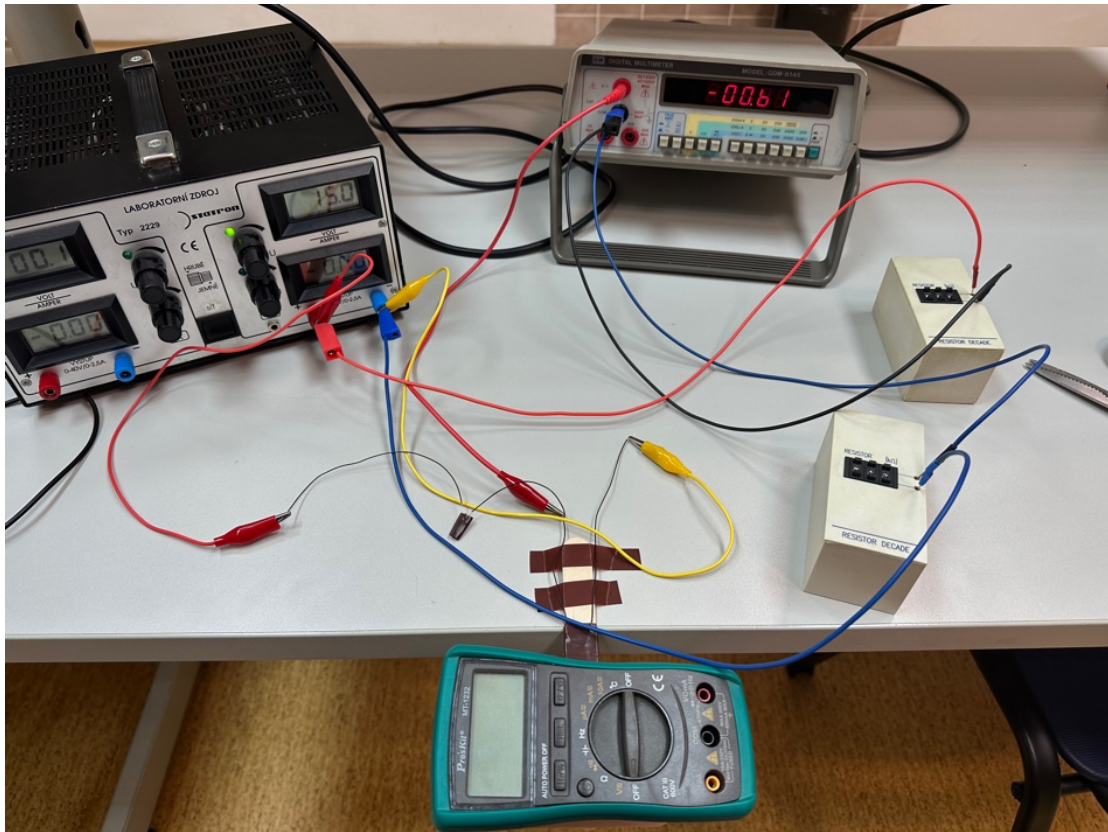
Voltampérovou charakteristiku jsem změřil pomocí systému Pasco a k němu připojeným voltmetrem a ampérmetrem. Měřená žárovka byla určena na napětí 3,5 V, proto jsem do zapojení přidal předřadný rezistor, kvůli snadnější regulaci napětí. Nejprve jsem napětí měnil vzestupně od 0 V do 3,5 V a poté sestupně do 0 V, aby se vykreslily oba průběhy. Na vyobrazené voltampérové charakteristice (Graf 3) můžeme vidět výrazný ohyb – změnu odporu vlákna žárovky, vlivem jeho zahřátí při průchodu elektrickým proudem při prvotním zvyšování napětí. Z grafu lze také vyčíst, že při snižování napětí je vlákno již zahřáté, má vyšší odpor a protéká jím méně proudu. Hodnotu dynamického odporu žárovky se mi určit nepodařilo, neboť se mi nepovedlo z výsledného grafu vybrat jakékoliv body pro zjištění okamžitých hodnot napětí a proudu. Ačkoliv systém Pasco zvládne jednoduše a okamžitě vykreslovat voltampérové charakteristiky, nehodí se pro zjišťování konkrétních hodnot z grafu. Pro určení dynamického odporu je stále nejlepší změřit manuálně několik hodnot a poté z nich v tabulkovém editoru typu Excel vyrobit graf a nahradit chybějící body spojnicí trendu a přímkou dynamického odporu do grafu zakreslit. Pokud ovšem lze z Pasco grafů nějakým způsobem zjistit hodnoty konkrétních bodů, bylo by měření přesnější díky vzorkovací frekvenci až 1 kHz, ovšem přímkou dynamického odporu by se do tohoto grafu zakreslit nedala.



Graf 3: Voltampérová charakteristika žárovky naměřená systémem Pasco.

2.6 PRACOVNÍ LIST 6

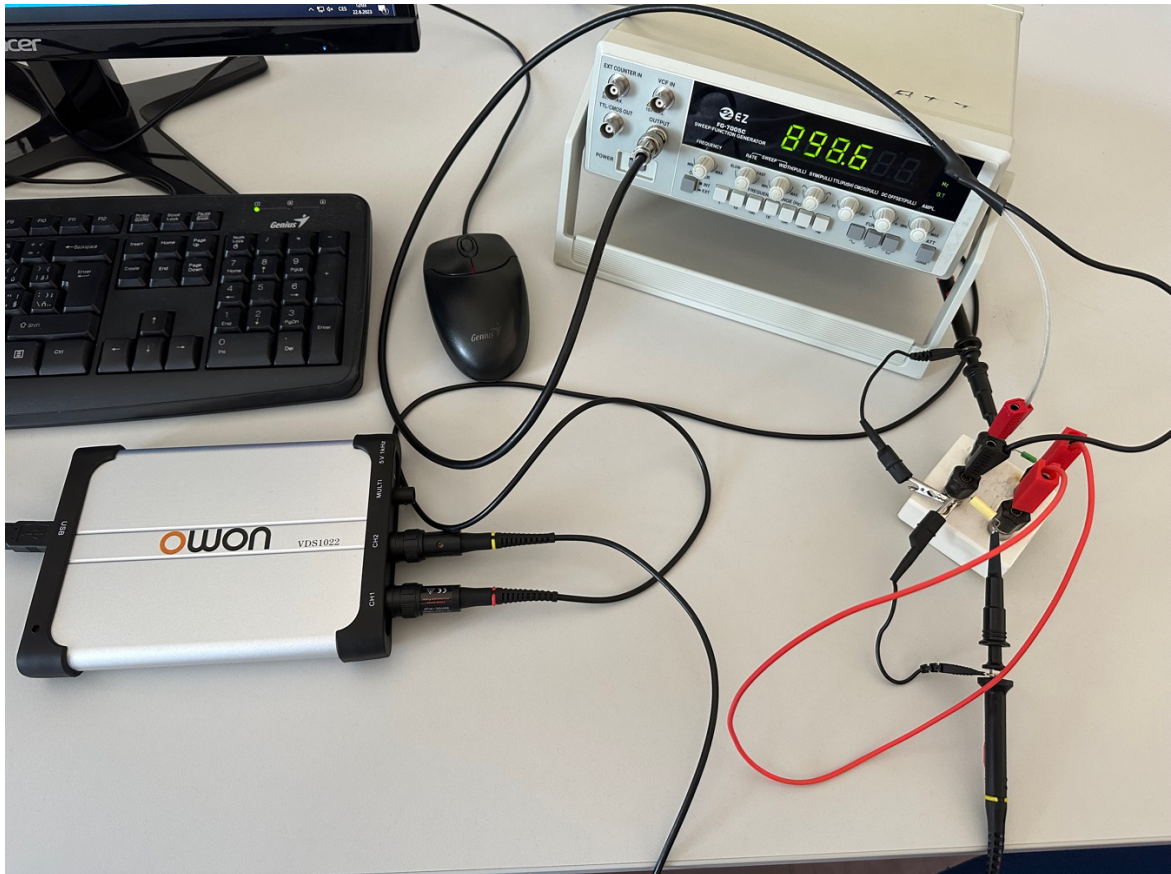
Úloha pro měření hmotnosti můstkovou metodou se potýkala s řadou problémů. Po vcelku jednoduché teorii k této úloze bylo nutné pořídit tenzometry. Z internetových stránek prodejce Hadex jsem pořídit tři kusy tenzometrického senzoru BF350 s vnitřním odporem 350Ω . Prodejce uvádí u výrobku velmi zavádějící informace, například rozměry tenzometru jsou uvedené $80 \times 13 \times 13$ mm, reálné jsou však zhruba 8×5 mm a je tenký jako běžná fólie. Dále měly být u tenzometru již připojené přívodní vodiče, ovšem ani ty nebyly. Rozhodl jsem se tak připájet vodiče sám, bohužel všechny mé pokusy byly marné, než páječka stačila nahřát pocínovanou plošku, podkladová fólie se roztavila. Zkusil jsem tedy plošky propojit s vodiči pomocí krokosvorek a zapojil tenzometry do můstku s dvěma odporovými dekádami. Po zatížení tenzometru jsem ovšem nenaměřil žádnou změnu napětí v můstku. Po následném ověření odporu tenzometru ohmmetrem jsem hledal informace o tomto tenzometrickém senzoru a dočetl jsem se, že tento tenzometr je vyráběný na měření ohybu. Předělal jsem proto své zapojení a vyrobil z dřívěk jednoduchý držák na závaží. Po přestavění zapojení a přidělení tenzometru na dřevěný ohýbač nenastala vůbec žádná změna v měření. Následným přezkoumáním jsem zjistil, že jeden z tenzometrů se mechanicky roztrhl. Ačkoliv tato úloha vypadá teoreticky velice zajímavě, neshledávám jí vhodnou pro měření ve výuce. Rozhodně není vhodné použití tenzometrických senzorů BF350 kvůli jejich malým rozměrům, mechanické křehkosti a obtížnému přichycení vodičů. S lepšími tenzometry by tato úloha jistě fungovala.



Obrázek 27: Měřící aparatura s tenzometry.

2.7 PRACOVNÍ LIST 7

Okamžitý výkon jsem se rozhodl měřit na kondenzátoru, kvůli zobrazení fázového posunu proudu a napětí. Pro měření jsem použil dvoukanalový osciloskop VDS1022 od výrobce OWON, který je připojitelný k počítači přes USB. Na generátoru jsem nastavil frekvenci 900 Hz a amplitudu 6 V a připojil ho k obvodu s kondenzátorem o kapacitě 100 nF a předřadným rezistorem s hodnotou 1,2 k Ω . Jelikož nemůžeme pomocí osciloskopu měřit proud, měřil jsem napětí na předřadném rezistoru a proud následně přepočítal. Na osciloskopu jsem nastavil rozsah 2 V/dílek pro oba kanály. Z grafu (Graf 4) níže můžeme vyčíst, že na předřadném rezistoru (červená) bylo napětí 2 V a bylo oproti napětí na kondenzátoru (žlutá) posunuto o téměř 90°. Proud procházející předřadným rezistorem a kondenzátorem vychází z Ohmova zákona na 1,7 mA. Osciloskop má i funkci pro násobení hodnot obou kanálů, což by pro účel zjištění okamžitých hodnot fungovalo, pokud bychom měřili napětí na předřadném rezistoru s hodnotou 1 Ω , u kterého by byla převodní konstanta rovna jedné, teda každý jeden volt napětí je jeden ampér proudu. Při hodnotách napětí, které jsem měřil, byl násobek obou kanálů vyšší, než mi rozsah osciloskopu dovozoval a při úpravě rozsahu manuálně v nastavení mi software zamrzal a musel jsem ho restartovat. Měření pro zjištění okamžitých hodnot je tedy touto metodou možné, ovšem musíme vhodně vybrat hodnotu předřadného rezistoru.



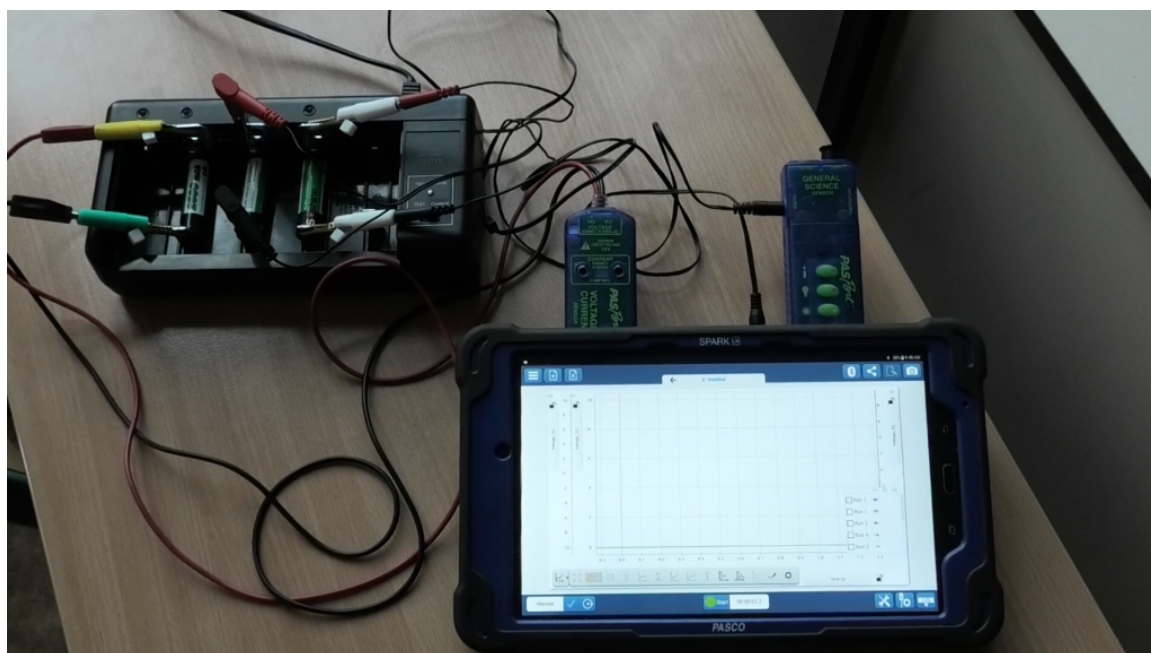
Obrázek 28: Měřící aparatura s osciloskopem.



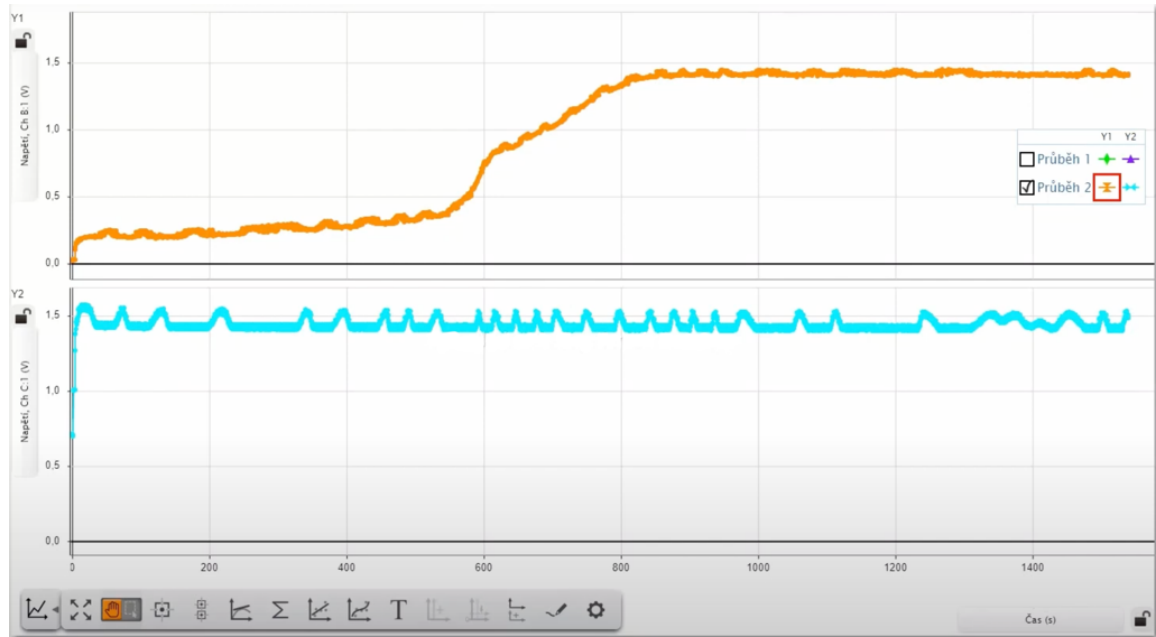
Graf 4: Průběh napětí na kondenzátoru a odporu.

2.8 PRACOVNÍ LIST 8

Pro odměření této úlohy jsem vybral několik elektrochemických akumulátorů typu NiMH s různou úrovní vybití. Pro nabíjení jsem použil starší univerzální nabíječku NiCD i NiMH akumulátorů, jejíž název a typ se mi ovšem nepodařilo zjistit, ovšem mělo by se z podstaty jednat o typ nabíjení konstantním proudem (CC). Po zapojení akumulátorů do nabíječky a následném složitějším připojení Pasco voltmetrů jsem spustil na Pasco tabletu měření a zapnul nabíječku akumulátorů. První akumulátor, který měl počáteční napětí zhruba 0,7 V již po pár sekundách naskočil na plných 1,5 V a krom občasných skokových pulzů bylo napětí konstantní po celou dobu měření. Druhý akumulátor, který byl na počátku měření úplně vybitý, se z počátku oživoval a zhruba deset minut se udržoval na napětí 0,2 – 0,3 V. Poté napětí vcelku rychle vzrostlo na plných 1,5 V a již tak zůstalo po zbytek měření, které trvalo okolo pětadvaceti minut. Následné měření vybíjecí křivky nebylo možné, neboť oba akumulátory ztratily veškeré napětí ihned po odpojení od nabíječky.



Obrázek 29: Měřící aparatura pro nabíjecí charakteristiky elektrochemických akumulátorů.



Graf 5: Nabíjecí křivky dvou elektrochemických akumulátorů.

2.9 PRACOVNÍ LIST 9

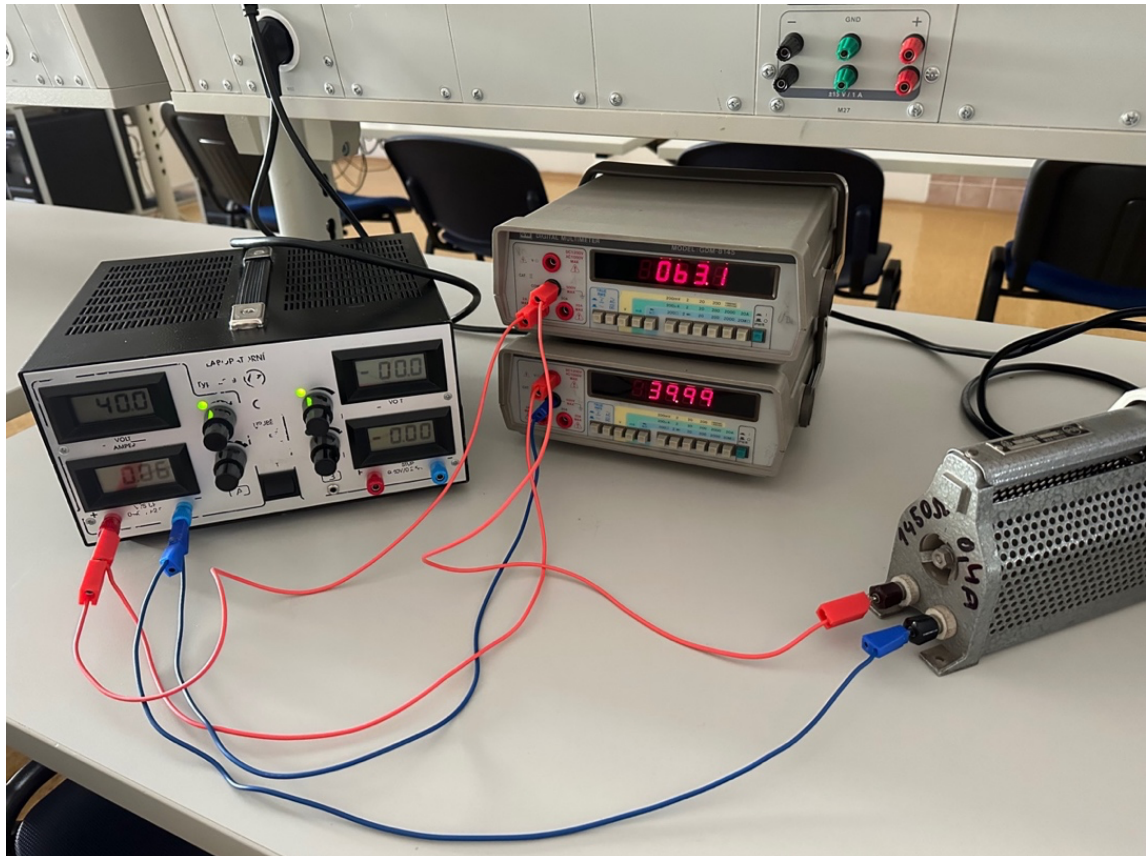
Pro ověření úlohy 9 jsem se rozhodl změřit vnitřní odpor laboratorního zdroje Statron 2229, který má dva regulovatelné výstupy a je schopný dodávat celkový výkon až 200 W. Místo odporové dekády jsou použity posuvný odpor – reostat s maximálním odporem 1250Ω a maximálním povoleným proudem 0,4 A. Nastavil jsem napětí na zdroji na 40 V a změřil svorkové napětí na prázdko. Poté jsem ke zdroji připojil reostat a voltmetr s ampérmetrem. Zvolil jsem si několik hodnot proudu, pro které jsem následně změřil napětí na svorkách měřeného zdroje. Průměrný vnitřní odpor zdroje R_i by měl být zhruba $0,25 \Omega$. Chtěl jsem svůj naměřený údaj porovnat s hodnotou v technické dokumentaci, ovšem hodnotu vnitřního odporu jsem nenašel ani v českých, ani v anglických materiálech. Z tabulky níže vidíme, že i při odebíraném velkém proudu se svorkové napětí zmenšilo velmi málo a můžeme tedy o měřeném zdroji říct, že se jedná o tvrdý zdroj napětí. Pro měkké zdroje by napěťové rozdíly byly výraznější. Pro co nejpřesnější výsledek je vhodné použít co nejpřesnější voltmetry a ampérmetry.

$$U_0 = 40,01 \text{ V}$$

I/mA	U/V	R_i/Ω
30	40	0,33
60	39,99	0,33
100	39,99	0,20
120	39,98	0,25
200	39,97	0,20
400	39,92	0,22

$$R_i/\Omega = 0,257$$

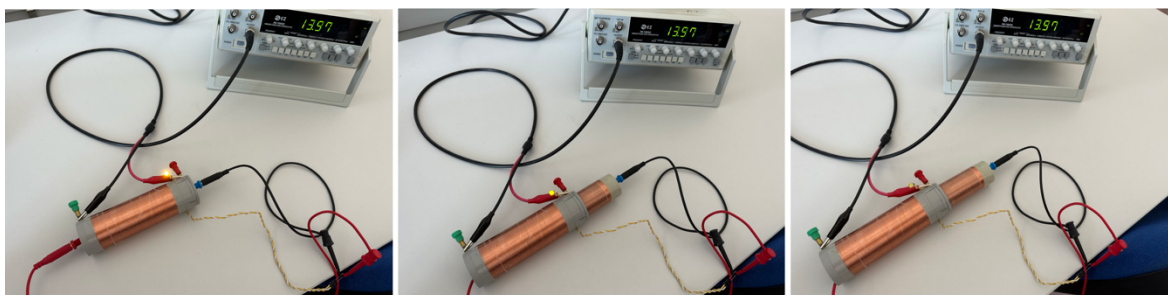
Tabulka 3: Hodnoty vnitřního odporu.



Obrázek 30: Aparatura pro měření vnitřního odporu.

2.10 PRACOVNÍ LIST 10

Pro měření elektromagnetické indukce a ověření Faradayova zákona jsem použil dvě válcové jednovrstvé cívky z lakovaného měděného drátu, navinuté na PVC trubkách. Cívky se dají zasouvat do sebe, jsou tedy souosé. V podstatě se jedná o transformátor se vzduchovým jádrem. Ke vnější cívce jsem připojil generátor funkcí FG-7005C a nastavil amplitudu na minimum. Na vnitřní cívku jsem připojil žlutou svítivou diodu. Cívky jsem nechal kompletně zasunuté, na generátoru jsem nastavil frekvenci 1 kHz a zvyšoval amplitudu, dokud dioda jasně nesvítila. Následovalo zkoumání závislosti jasu diody na frekvenci a dioda svítila zhruba od frekvence 100 Hz a svůj jas zvyšovala až do frekvence 400 kHz, kdy jsou nejspíš změny směrů proudu rychlejší než zotavovací doba diody. Tím jsem ověřil část diferenciální část Faradayova zákona, tedy naindukované elektromotorické napětí stoupá se zvyšující se frekvencí – rychlejší změnou magnetického toku. Poté jsem frekvenci ustálil na 14 kHz a měřil jsem závislost jasu diody na vzájemném překrytí cívek. Jak jsem předpokládal, s menší překrývající se plochou (s menším počtem překrývajících se závitů) jas diody klesal a tím jsem ověřil lineární část Faradayova zákona, tedy elektromotorické napětí bude lineárně stoupat s počtem závitů, které protíná měnící se magnetický tok. Úloha by se dala pro příště rozšířit o fotometrický senzor, kterým bychom mohli měřit svítivost diody v závislosti na frekvenci připojeného napětí.



Obrázek 31: Měřicí aparatura pro Faradayův zákon.

ZÁVĚR

Tuto práci jsem si vybral, neboť je mi téma blízké a dostal jsem možnost vypracovat své vlastní úlohy pro elektrotechnická měření, která by se odlišovala od stávajících, běžně používaných. Cílem této práce bylo vytvořit deset inovovaných laboratorních úloh z elektrotechniky pro učitelství přírodovědných a technických oborů. V první – teoretické části jsou uvedena vypracovaná zadání pro jednotlivé laboratorní úlohy. Každé zadání obsahuje úkol, který mají řešitelé splnit, teoretický výklad pro porozumění podstaty úlohy, seznam pomůcek, postup měření, pokyny ke zpracování naměřených výsledků a závěr s otázkami, na které mají řešitelé odpovědět.

Druhá – praktická část se zabývá ověřením funkčnosti jednotlivých úloh, včetně zhodnocení úloh jako takových z pohledu řešitele. Při měření jednotlivých úloh jsem se zaměřil hlavně na ověření nových neozkoušených postupů nebo na uskutečnění jednoho reprezentativního měření. Výsledky odměření většiny úloh proběhly podle očekávání, kromě úlohy 6, kde došlo ke zničení pořízených tenzometrů, načež nešlo úlohu ověřit.

Všechny zásady pro vytvoření této práce byly vcelku splněny. V budoucnu se určitě zaměřím na úspěšné zprovoznění a odzkoušení úlohy s tenzometry pro měření hmotnosti. Doufám, že úlohy obsažené v této práci najdou uplatnění ve výuce jak v nezměněné podobě, tak upravené a vylepšené jinými autory.

SEZNAM LITERATURY

- (1) **Blahovec, Antonín. 2002.** *Elektrotechnika I.* Praha : Informatorium, 2002. ISBN 80-86073-90-4.
- (2) **Blahovec, Antonín. 2003.** *Elektrotechnika II.* Praha : Informatorium, 2003. ISBN 80-7333-013-X.
- (3) Elektrochemický akumulátor. ČEZ. [Online] [Citace: 20. červen 2023.] https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/elektrochem_akumul.html.
- (4) **Haasz, Vladimír, a další. 2018.** *ELEKTRICKÁ MĚŘENÍ: Přístroje a metody.* Praha : Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2018. ISBN 978-80-01-06412-2.
- (5) Hlavní přednosti hermetických lithiových akumulátorů. *Battex.* [Online] [Citace: 19. červen 2023.] <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/li-akumulatory/zakladni-charakteristiky>.
- (6) Hlavní přednosti hermetických NiCd akumulátorů. *Battex.* [Online] [Citace: 19. červen 2023.] <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nicd-akumulatory/zakladni-charakteristiky>.
- (7) Hlavní přednosti hermetických NiMH akumulátorů. *Battex.* [Online] [Citace: 19. červen 2023.] <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nimh-akumulatory/zakladni-charakteristiky>.
- (8) **Kesl, Jan. 2008.** *Elektronika I.* Praha : Nakladatelství BEN - technická literatura, 2008. ISBN 80-7300-143-8.
- (9) **Kolektiv, autorů. 2002.** *ELEKTROTECHNICKÁ MĚŘENÍ.* Praha : BEN - technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-022-9.
- (10) **Láníček, Robert. 1998.** *Elektronika: obvody, součástky, děje.* Praha : BEN - technická literatura, 1998. ISBN 80-86056-25-2.
- (11) Měření vnitřního odporu zdroje. *vyuka.hradebni.cz.* [Online] [Citace: 19. červen 2023.] https://vyuka.hradebni.cz/file.php/163/Vyuka/Slaboproud/PDF_soubory/08_Nove_vytvorene_duben_2011/Mereni_vnitriho_odporu_zdroje.pdf.
- (12) Napěťové nabíjení. *Battex.* [Online] [Citace: 19. červen 2023.] <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nabijeni-hermetickych-akumulatoru/napetove-nabijeni>.
- (13) **Pacák, Jan.** Faradayův indukční zákon. *aldebaran.cz.* [Online] [Citace: 2. červenec 2023.] https://www.aldebaran.cz/elmg/kurz_10_fara.pdf.
- (14) **Pacák, Jan.** Střídavé obvody. *aldebaran.cz.* [Online] [Citace: 2. červenec 2023.] https://www.aldebaran.cz/elmg/kurz_12_cura.pdf.
- (15) PASCO. [Online] [Citace: 1. červen 2023.] <https://pasco.cz>.
- (16) **Rauner, Karel. 2001.** *Elektronika (fyzikální a analogová část).* Plzeň : Západočeská univerzita, 2001. ISBN 80-7082-775-0.
- (17) **Reichl, Tomáš. 2015.** Nabíječky - princip, funkce a rozdělení. *oenergetice.cz.* [Online] 29. červenec 2015. [Citace: 19. červen 2023.] <https://oenergetice.cz/akumulace-energie/nabijacky-princip-funkce-a-rozdeleni>.

-
- (18) **Reichl, Tomáš. 2015.** Základní typy baterií a správné nabíjení. *oenergetice.cz*. [Online] 10. březen 2015. [Citace: 19. červen 2023.] <https://oenergetice.cz/akumulace-energie/zakladni-typy-baterii-a-spravne-nabijeni>.
- (19) Remote-LAB, GymKT. *remote-lab.fyzika.net*. [Online] Gymnázium J. Vrchlického. [Citace: 1. červen 2023.] <http://remote-lab.fyzika.net/experiment/07/experiment-7-teorie.php?lng=cs>.
- (20) **Srovnal, Vilém. 2008.** *Elektrotechnická měření: měřící přístroje*. Praha : INFORMATORIUM, 2008. ISBN 978-80-7333-062-0.
- (21) **Šotola, Vojtěch. 2020.** Určení vnitřního odporu zdroje. *sotovo.cz*. [Online] 29. říjen 2020. [Citace: 18. červen 2023.] <http://www.sotovo.cz/str/elm.php?id=2>.
- (22) **Tichý, Milan.** Základní pojmy obvodové elektorniky. *physics.mff.cuni.cz*. [Online] [Citace: 31. květen 2023.] <https://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/elektronika/>.
- (23) **Vedral, Josef. 2020.** *ČÍSLICOVÉ MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE*. Praha : Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2020. ISBN 978-80-01-06777-2.
- (24) **Vobecký, Jan a Záhlava, Vít. 2005.** *Elektronika: součástky a obvody, principy a příklady*. Praha : Grada, 2005. ISBN 978-80-247-1241-3.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Schéma zapojení pro metodu poloviční výchylky.	3
Obrázek 2: Schéma zapojení pro frekvenční rozsah.	4
Obrázek 3: Schéma zapojení pro měření proudu.	6
Obrázek 4: Schéma zapojení pro měření proudu s operačním zesilovačem.	7
Obrázek 5: Schéma zapojení převodníku odpor-napětí.	9
Obrázek 6: Schéma zapojení pro nabíjení kondenzátoru.	13
Obrázek 7: Schéma zapojení pro měření velkých kapacit (vlevo) a malých kapacit (vpravo).	14
Obrázek 8: Schéma zapojení pro měření voltampérové charakteristiky.	17
Obrázek 9: Schéma zapojení Wheastonova můstku s tenzometry.	21
Obrázek 10: Trojúhelník výkonů, zdroj: FyzWeb.cz.	26
Obrázek 11: Schéma zapojení pro měření výkonu odporu.	27
Obrázek 12: Schéma zapojení pro měření výkonu cívky.	27
Obrázek 13: Schéma zapojení pro měření výkonu kondenzátoru.	28
Obrázek 14: Schéma zapojení pro nabíjení elektrochemických článků.	30
Obrázek 15: Schéma zapojení pro vybíjení elektrochemických článků.	31
Obrázek 16: Schéma zapojení pro nabíjení kondenzátoru.	31
Obrázek 17: Schéma zapojení pro vybíjení kondenzátoru.	31
Obrázek 18: Schéma zapojení pro měření vnitřního odporu zdroje proudu.	34
Obrázek 19: Schéma zapojení pro měření Faradayova zákona.	37
Obrázek 20: Aparatura pro měření vnitřního odporu voltmetru.	39
Obrázek 21: Měřicí aparatura pro měření frekvenční závislosti.	41
Obrázek 22: Měřicí aparatura s měřícím rezistorem (žárovíčkou).	42
Obrázek 23: Měřicí aparatura s operačním zesilovačem.	43
Obrázek 24: Měřicí aparatura s převodníkem odpor-napětí.	44
Obrázek 25: Měřicí aparatura pro měření kapacity.	46
Obrázek 26: Přímé měření kapacity.	47
Obrázek 27: Měřicí aparatura s tenzometry.	50
Obrázek 28: Měřicí aparatura s osciloskopem.	52
Obrázek 29: Měřicí aparatura pro nabíjecí charakteristiky elektrochemických akumulátorů.	53
Obrázek 30: Aparatura pro měření vnitřního odporu.	56
Obrázek 31: Měřicí aparatura pro Faradayův zákon.	57

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: parametry operačního zesilovače.	9
Tabulka 2: Naměřené hodnoty frekvenční závislosti	40
Tabulka 3: Hodnoty vnitřního odporu.	55

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Závislost napěťového rozdílu na frekvenci.....	41
Graf 2: Průběh nabíjení a vybíjení kondenzátoru naměřená systémem Pasco.	45
Graf 3: Voltampérová charakteristika žárovky naměřená systémem Pasco.....	48
Graf 4: Průběh napětí na kondenzátoru a odporu.	52
Graf 5: Nabíjecí křivky dvou elektrochemických akumulátorů.	54