

Praktikum B – Elektřina a magnetismus

Zadání úloh

Obsah

1 Měření elektrického odporu přímou metodou	4
Úkol	4
Pomůcky	4
Teorie	4
Postup měření.....	6
Poznámky	6
Literatura	6
2 Měření vnitřního odporu zdrojů napětí.....	7
Úkol	7
Pomůcky	7
Teorie	7
Postup měření.....	8
Poznámky	8
Literatura	8
3 Ověření prvního a druhého Kirchhoffova zákona	9
Úkol	9
Pomůcky	9
Teorie	9
Postup měření.....	10
Poznámky	11
Literatura	11
4 Rezonanční křivky sériového a paralelního rezonančního obvodu	12
Úkol	12
Pomůcky	12
Teorie	12
Postup měření.....	13
Literatura	14
5 Závislost indukčnosti a kapacity na frekvenci harmonického proudu	15
Úkol	15
Pomůcky	15
Teorie	15
Poznámky	16
6 Měření kapacity kondenzátoru z Ohmova zákona. Určení vybíjecí křivky kondenzátoru.	17
Úkol	17
Pomůcky	17
Teorie	17
Postup měření.....	19
Poznámky	20
Literatura	20
7 Základní osciloskopická pozorování a měření.....	21
Úkol	21
Pomůcky	21
Teorie	21
Poznámky	25
Literatura	25
8 Ověření ampérova zákona celkového proudu.....	26
Úkol	26
Pomůcky	26
Teorie	26
Postup měření.....	28
Poznámky	28
Literatura	28
9 Měření výstupních a vstupních charakteristik tranzistorů v zapojení se společným emitorem	29
Úkol	29
Pomůcky	29
Teorie	29
Postup měření.....	31

Poznámky	32
10 Měření horizontální složky zemského magnetického pole a magnetického momentu tyčového magnetu pomocí Gaussovy metody.....	33
Úkol	33
Pomůcky	33
Teorie	33
Postup měření.....	35
Teorie	36
Postup měření.....	36
Literatura	37

1 Měření elektrického odporu přímou metodou

Úkol

1. Změřte ohmické odpory cívek přímou metodou pomocí zapojení AMONT a AVAL.
2. Tytéž odpory změřte pomocí ohmmetru.
3. Vypočítejte pravděpodobnou a relativní chybu měření.
4. Porovnejte obě metody měření s hodnotou naměřenou ohmmetrem.
5. Srovnajte přesnost měření metod AMONT a AVAL pro různé velikosti měřených odporů.
6. Analyzujte výsledek a uveďte, v jakém případě a do jaké míry výpočet odporu cívek ovlivňují vnitřní odpory měřicích přístrojů.

Pomůcky

Zdroj stejnosměrného proudu PHYWE, cívky 300, 600, 1 200 a 12 000 závitů, reostat 1 200 / 0,63 A, ručkový voltmetr, multimetr, propojovací vodiče.

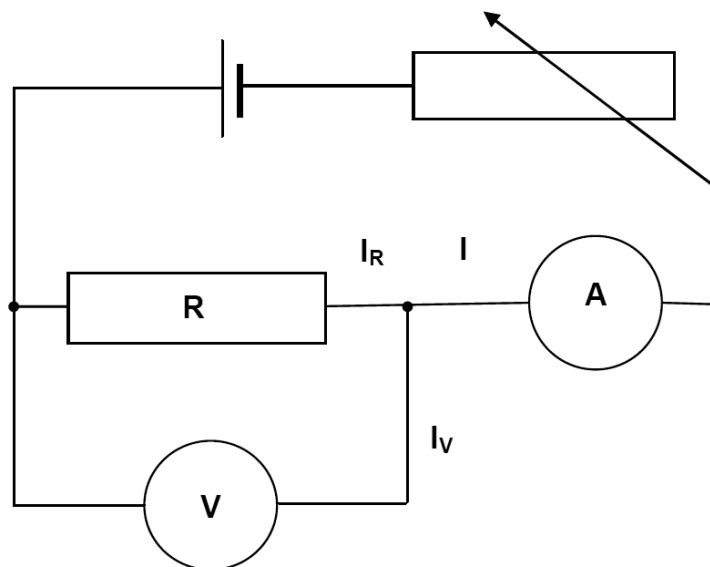
Teorie

Přímá metoda měření elektrického odporu

Odpor můžeme určit z Ohmova zákona:

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

změříme-li proud I protékající odporem a napětí U na odporu.



Obr. 1: Zapojení AMONT

Měřicí přístroje, jimiž měříme proud a napětí však do jisté míry ovlivňují měřicí obvod. V zapojení podle Obr. 1 (AMONT) je proud I procházející ampérmetrem dán součtem proudu I_V , který protéká voltmetrem a proudem I_R protékajícího neznámým

odporem. Platí tedy vztah:

$$I = I_V + I_R = \frac{U}{R_V} + \frac{U}{R} \quad (2)$$

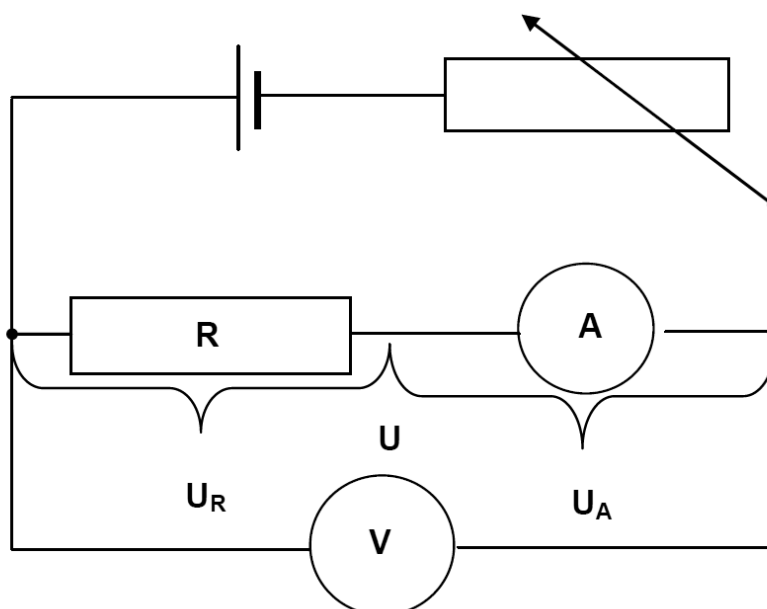
v němž je U napětí na neznámém odporu R měřeného voltmetrem, mající vnitřní odpor R_V .

Vypočteme-li z rovnice (2) neznámý odpor, obdržíme vztah:

$$R = \frac{1}{\frac{1}{U} - \frac{1}{R_V}} \quad (3)$$

V případě, že odpor voltmetru je mnohem větší než neznámý odpor, člen obsahující vnitřní odpor voltmetru (R_V) v rovnici (3) můžeme zanedbat, nemusíme uvažovat vliv voltmetru na dané měření a neznámý odpor vypočteme ze vztahu (1). Z uvedeného je zřejmé, že metoda AMONT je vhodná pro měření odporů menších hodnot, kde je splněna podmínka:

$$R_V \gg R \quad (4)$$



Obr. 2: Zapojení AVAL

V zapojení AVAL podle Obr. 2 je napětí U měřené voltmetrem rovno součtu napětí U_R na neznámém odporu a napětí U_A na ampérmetru. Platí tedy vztah:

$$U = U_R + U_A = I \cdot (R + R_A) \quad (5)$$

kde I je proud měřený ampérmetrem. Z rovnice (5) vychází výpočet pro neznámý odpor R :

$$R = \frac{U}{I} - R_A \quad (6)$$

Bude-li vnitřní odpor ampérmetru mnohem menší než neznámý odpor, čili bude platit podmínka:

$$R_A \ll R \quad (7)$$

jeho vliv na měřené veličiny můžeme zanedbat, není nutné jej zahrnovat do výpočtu a lze použít opět vztah (1). Z uvedeného vyplývá, že tato metoda je vhodná pro měření odporů větších hodnot.

Postup měření

1. Zapojte obvod podle Obr.1.
2. Napětí U i proud I v obvodě nastavujte změnou odporu posuvného reostatu.
3. Měření proveďte u každé cívky desetkrát při různých hodnotách napětí a proudu.
4. Zapojte obvod podle obr. č. 2 a celý postup měření opakujte.
5. Odpor cívky změřte ohmmetrem.
6. I když se jedná o nepřímé měření, určete střední kvadratickou chybu aritmetického průměru a relativní chybu.

Poznámky

- Zdroj stejnosměrného proudu PHYWE nastavte na parametry 10 V/5 A
- Jako ampérmetr použijte školní demonstrační přístroj DV 10 s rozsahem 10 – 100 mA.
- Dodržujte jmenovité hodnoty proudu procházejícího cívkami a reostatem!



Literatura

1. Brož, J. a kol.: Základy fyzikálních měření I, část 4.3.5.1.

2 Měření vnitřního odporu zdrojů napětí

Úkol

1. Určete vnitřní odpory:
 - b) ploché baterie,
 - c) oceloniklového akumulátoru/stabilizovaného zdroje.
2. Určete zatěžovací charakteristiky obou zdrojů

Pomůcky

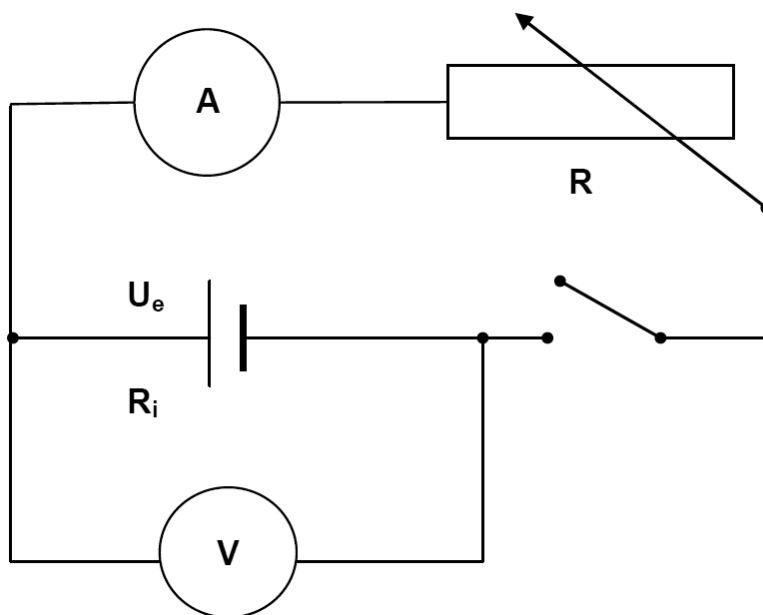
Plochá baterie, akumulátor, stabilizovaný zdroj PHYWE 0 – 15 V, digitální multimetr V560 (voltmetr), univerzální měřicí přístroj DU 10 (ampérmetr), reostat 33 Ω /3,1 A, spínač.

Teorie

Pro elektrický proud procházející jednoduchým uzavřeným obvodem s odporem platí vztah

$$I = \frac{U_e}{R + R_i} \quad (1)$$

kde U_e je elektromotorické napětí článku, R je libovolný odpor v obvodu, na němž je napětí U , R_i je vnitřní odpor článku.



Obr. 1: Zapojení obvodu

O velikosti proudu v obvodu rozhoduje nejen velikost odporu zapojeného v obvodě, ale i velikost vnitřního odporu zdroje. Napětí U se nazývá svorkové a platí pro něj:

$$U < U_e \quad (2)$$

V případě, že $R \gg R_i$, bude připojený voltmetr s určitou přesností měřit elektromotorické napětí. Stav, kdy je $R = 0 \Omega$, nazýváme krátké spojení (zkrat), při

němž vzhledem k nízké hodnotě vnitřního odporu zdroje značně vzroste proud procházející obvodem.

Postup měření

1. Sestavíme obvod podle Obr. 1.
2. Jako zdroj použijeme nejprve plochou baterii 4,5 V.
3. Posuvným reostatem nastavíme na maximální odpor R .
4. Nejprve změříme elektromotorické napětí zdroje při rozpojeném spínači.
5. Jeho zapojením obvod s reostatem uzavřeme.
6. Zjistíme svorkové napětí U a proud I . Baterii zatěžujte proudem 0 – 0,8 A.
7. Posuvným reostatem měníme procházející proud obvodem a celé měření opakujeme desetkrát.
8. Z naměřených hodnot sestavte tabulku.
9. Vyměníme zdroj a celý postup měření opakujeme pro akumulátor i stabilizovaný zdroj. Stabilizovaný zdroj lze zatížit odběrem proudu 0,5 – 5 A. Pozor na přetížení zdroje, které signalizuje kontrolka. Měření při vyšších odběrech proudu provádějte jen krátkodobě.
10. Ze vztahu (1) vyjádřete vztah pro výpočet vnitřního odporu.
11. Stanovte u všech zdrojů jejich vnitřní odpory.
12. Přestože se jedná o měření nepřímé, vypočtete pravděpodobnou a relativní chybu.
13. Z naměřených hodnot sestrojte grafy, znázorňující zatěžovací charakteristiku zdrojů.
14. Okomentujte křivky znázorňující zatěžovací charakteristiku zdrojů.

Poznámky

- V případě ploché baterie a akumulátoru odečet provádějte co nejrychleji. Zabráníte tím postupnému vybíjení zdrojů během měření.



Literatura

1. Brož, J. a kol.: Základy fyzikálních měření I

3 Ověření prvního a druhého Kirchhoffova zákona

Úkol

1. Ověřte I. Kirchhoffův zákon. Měření proveďte desetkrát při různých hodnotách proudu.
2. Ověřte II. Kirchhoffův zákon. Měření proveďte rovněž desetkrát, pro tři různá uspořádání.

Pomůcky

Zdroje proudu PHYWE, akumulátory, dva univerzální měřicí přístroje C 4313, jeden univerzální přístroj DU 10, reostat 1 200 / 0,63 A, rezistory s odpory $R_1 = 390 \, \Omega$, $R_2 = 330 \, \Omega$, $R_3 = 150 \, \Omega$ a $R_4 = 420 \, \Omega$.

Teorie

I. a II. Kirchhoffův zákon

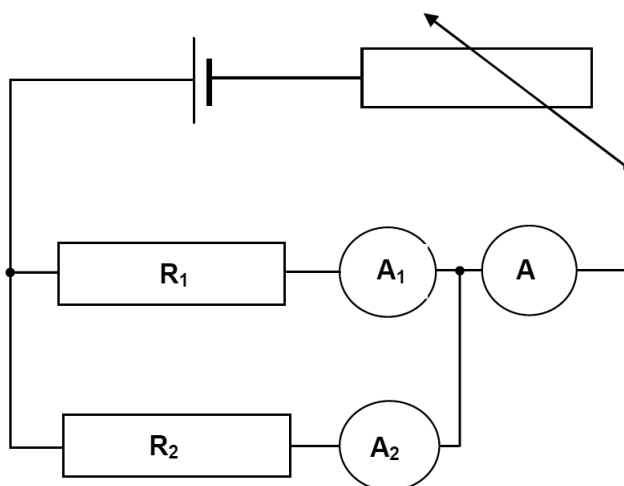
Pro ustálené proudy v libovolné síti platí Kirchhoffovy zákony.

První zákon, zákon o uzlech, říká, že součet proudů vcházejících do uzlu se rovná součtu proudů, které z uzlu vycházejí. Uzly nazýváme místa, kde se setkávají alespoň tři vodiče. Počítáme-li proudy jdoucí k uzlu kladně a proudy jsoucí od uzlu záporně, pak platí:

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0 \quad (1)$$

Druhý zákon, zákon o obvodech, říká, že v libovolném uzavřeném obvodu, který je částí jakkoli složité elektrické sítě, je algebraický součet úbytků napětí na jednotlivých větvích roven algebraickému součtu elektromotorických napětí v příslušném obvodu. Platí tedy:

$$\sum_{j=1}^n U_{ej} = \sum_{k=1}^m R_k I_k \quad (2)$$



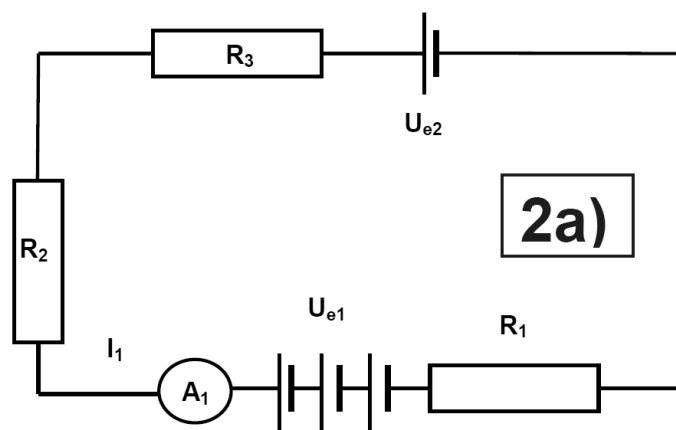
Obr. 1: Obvod pro ověření I. Kirchhoffova zákona

Postup měření**I. Kirchhoffův zákon:**

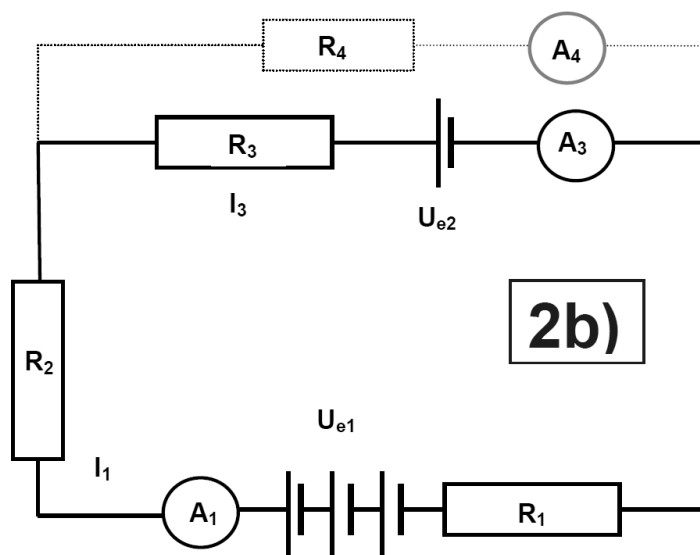
1. Měření provádíme v obvodu zapojeném podle Obr.1.
2. Ohmmetrem změříme hodnotu odporů R_1 a R_2 zapojených do obvodu.
3. Reostat nastavíme na maximální hodnotu odporu a rozsahy ampérmetrů zvolíme též maximální.
4. Měření provádíme desetkrát pro různé hodnoty proudu v obvodě, který měníme změnou odporu posuvného reostatu.

II. Kirchhoffův zákon:

1. Měření provádíme ve třech fázích – a), b), c).
2. Zahájíme sestavením a proměřením základního obvodu podle Obr.2a)



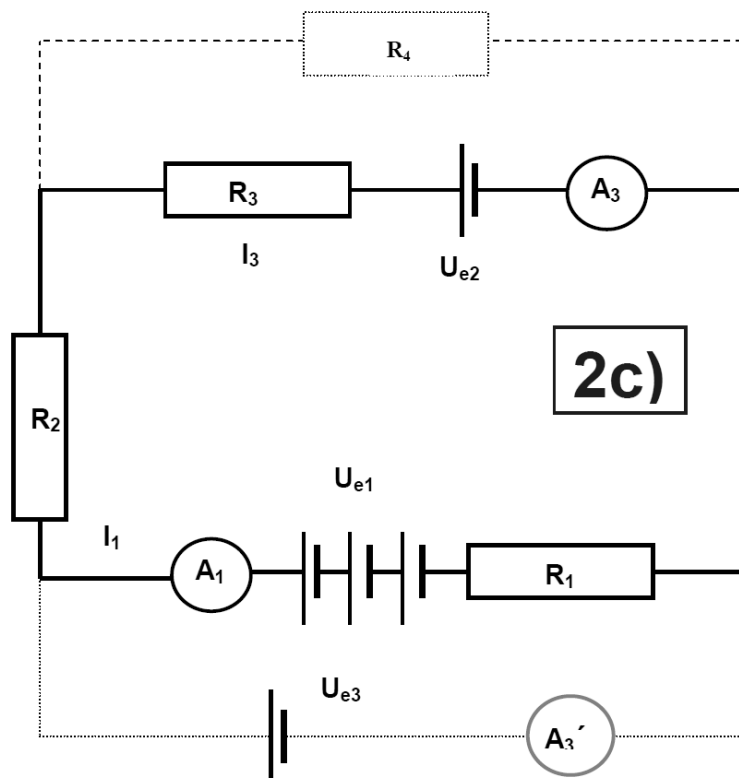
Obr.2a): Základní obvod pro ověření II. Kirchhoffova zákona



Obr.2b): Obvod pro ověření II. Kirchhoffova zákona

3. Ohmmetrem zpřesníme hodnoty odporů R_1 , R_2 , R_3 použitých v obvodu.

4. Určíme hodnoty proudu v obvodu, elektromotorická napětí zdrojů ověříme jedním z měřidel.
5. Ve druhé fázi zpřesníme hodnotu odporu R_4 a připojíme jej k základnímu obvodu podle obr. 2b. Proudů ve větvích se změní, jejich hodnoty zaznameneáme.
6. Provedeme řešení obvodu, naměřené a vypočtené hodnoty srovnáme s teorií.



Obr.2c): Obvod pro ověření II. Kirchhoffova zákona

7. V konečné fázi k základnímu obvodu připojíme zdroj U_{e3} a postupujeme obdobně jako v předchozím bodu.
8. Protokol o měření vypracujte ve formě výpočtů pro Kirchhoffovy zákony v jednotlivých obvodech.

Poznámky

- Na prokazatelné ověření II. Kirchhoffova zákona nastavte co možná největší rozdíl mezi elektromotorickým napětím zdrojů.



Literatura

1. https://cs.wikipedia.org/wiki/Kirchhoffovy_z%C3%A1kony (22.9.2020)
2. MIKULEC, Milan; HAVLÍČEK, Václav. *Základy teorie elektrických obvodů I*. Praha: Vydavatelství ČVUT [ISBN 80-01-01620-X](#). S. 18–21, 105–124, 174–186.

4 Rezonanční křivky sériového a paralelního rezonančního obvodu

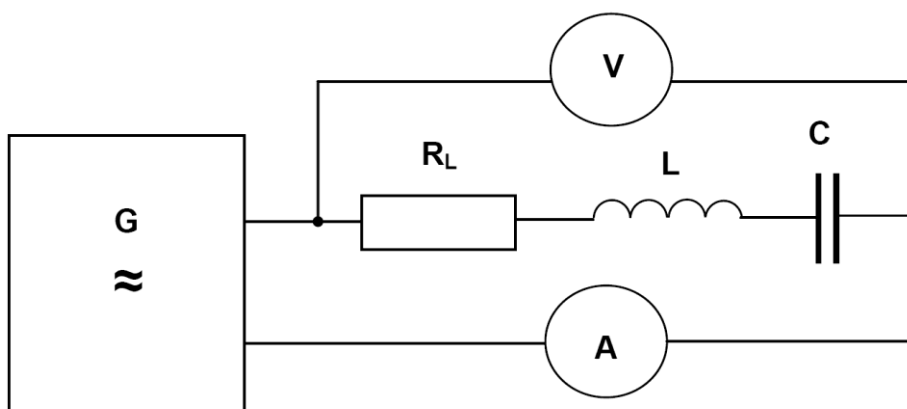
Úkol

1. Zapojte sériový rezonanční obvod podle Obr.1.
2. Zapojte paralelní rezonanční obvod podle Obr.2.
3. Z naměřených hodnot závislosti proudu (sériový obvod) a napětí (paralelní obvod) na frekvenci, sestrojte rezonanční křivky.

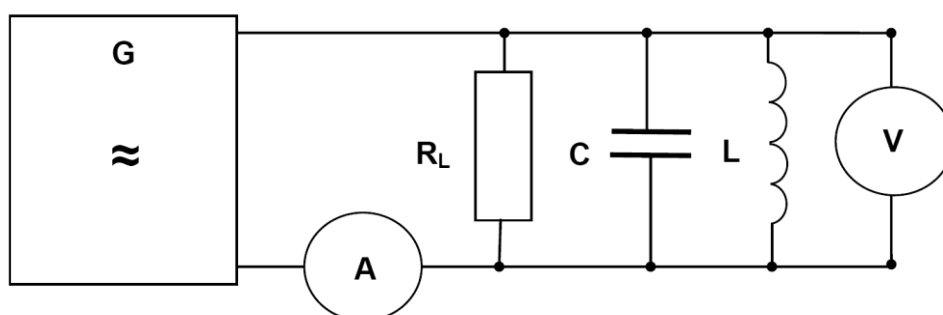
Pomůcky

Voltmetr ručkový, ampérmetr, RC generátor, cívka 1 200 z/1 A, kondenzátor 0,01 F, jádro rozkladného transformátoru, vodiče.

Teorie



Obr. 1: Sériové zapojení RLC prvků



Obr. 2: Paralelní zapojení RLC prvků

Rezonanční obvody

Důležitým případem obvodů střídavého proudu jsou obvody rezonanční. Nejčastěji se vyšetřuje sériové spojení odporu, indukčnosti a kapacity a rovněž jejich paralelní spojení. Na tyto jednoduché obvody můžeme převést prakticky všechny užívané kombinace odporů, cívek a kondenzátorů.

Sériový rezonanční obvod

Impedance Z tohoto obvodu je při vyjádření v komplexní symbolice rovna:

$$Z = R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \quad (1)$$

j je imaginární jednotka a ω kruhová frekvence. Mezi proudem I a napětím U obvodu platí známý vztah:

$$U = Z \cdot I \quad (2)$$

Z rovnic (1) a (2) získáme vztah mezi efektivními hodnotami proudu I a napětí U ve tvaru:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}} \quad (3)$$

v němž jmenovatel značí prostou hodnotu impedance. Proud protékající rezonančním obvodem je obecně fázově posunut vůči napětí. Pro velikost tohoto fázového posunu vyplývá z rovnic (1) a (2) vztah:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad (4)$$

Při proudové rezonanci, která je definována jako stav obvodu, kdy efektivní hodnota protékajícího proudu dosahuje maxima, platí:

$$\omega_R = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (5)$$

ω_R je tzv. rezonanční frekvence. Při proudové rezonanci je impedance Z obvodu minimální a fázový posun mezi proudem a napětím nulový. Na odporu nedochází k fázovému posunu.

Paralelní rezonanční obvod

Pro kvadrát proudu tekoucího tímto obvodem a fázový posun mezi napětím a proudem platí vztahy obdobné rovnicím (3) a (4):

$$I^2 = U^2 \left[\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right)^2 \right] \quad (6)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = -R \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right) \quad (7)$$

Podmínka rezonance je dána opět vztahem (5), stejně jako v případě sériového rezonančního obvodu. Avšak při rezonanci paralelního obvodu je proud I odebíraný ze zdroje minimální.

Postup měření

1. Zapojte obvod podle obrázku č. 1.
2. Nastavte RC generátor na výstupní napětí 10 V
3. Výstupní frekvenci střídavého napětí měňte v rozsahu 0,9 – 5,4 kHz.
4. U sériového obvodu nastavte napětí na RCL prvcích na hodnotu přibližně 0,6 V. To udržujte konstantní pomocí jemné regulace výstupního napětí generátoru a to po celou dobu měření.

5. Vhodně měňte frekvenci od 1,5 do 20 kHz a vyhledejte rezonanční frekvenci, kdy je proud v sériovém obvodu maximální
6. Obdobně měňte frekvenci u paralelního RLC obvodu. Ten sestavte podle obrázku č. 2. Zde nastavte výstupní napětí tak, aby proud v nevětvené části měl hodnotu přibližně 1 mA. Tuto hodnotu udržujte opět konstantní po celou dobu měření.
7. Rezonanční frekvence v paralelním obvodu se projeví maximální hodnotou napětí na RLC prvcích.
8. V obou případech k tabulkám naměřených hodnot sestrojte rezonanční křivku. Na osu x se nanáší frekvence, na osu y hodnoty proudu protékajícího obvodem.
9. Z grafu a tabulky určete rezonanční frekvenci.



Literatura

1. Brož J. a kol.: Základy fyzikálních měření
 2. Živný F., Lepil O.: Praktická cvičení z fyziky, SPN 1971
 3. Lehotský D., Hlavička A., Hofman K., Mazáč J.: Praktikum z fyziky pre pedagogické fakulty, SPN 1967
-

5 Závislost indukance a kapacity na frekvenci harmonického proudu

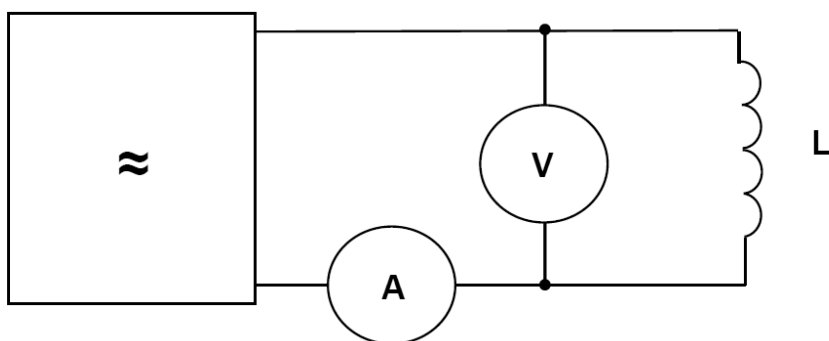
Úkol

1. Určete závislost indukance na frekvenci harmonického proudu pro cívky bez jádra s 1 200 z a 12 000 z. Použijte zapojení podle obr. č. 1.
2. Z naměřených hodnot vypočítejte indukanci v obvodu a stanovte její závislost na změnách frekvence.
3. U cívek porovnejte impedanci a indukanci vzhledem k jejich ohmickému odporu a zvažte, zda jej lze zanedbat. Odpor zjistíte měřením nebo z tabulek.
4. Určete závislost kapacity na frekvenci harmonického proudu u kondenzátorů 0,1 F a 0,5 F. Použijte zapojení podle obr. č. 2.
5. Z naměřených hodnot vypočítejte kapacitanci v obvodu a stanovte její závislost na změnách frekvence.
6. Sestrojte grafy závislosti indukance a kapacity na frekvenci.

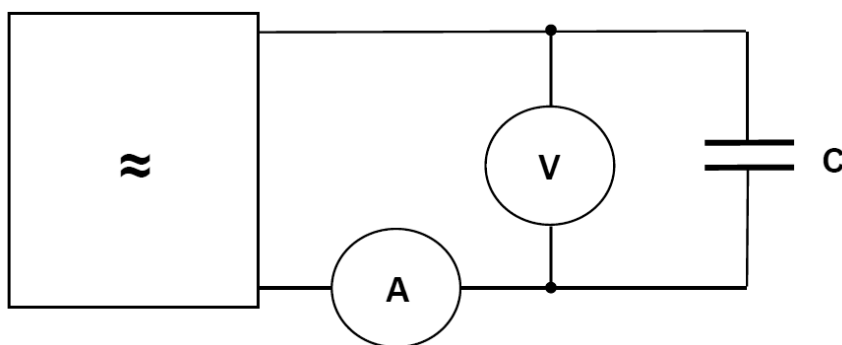
Pomůcky

Zdroj střídavého napětí proměnné frekvence, multimetr (voltmetr), školní digitální měřič DV 10 (jako ampérmetr), cívky 1 200 a 12 000 z, kondenzátory 0.1 μF , 0.5 μF , vodiče.

Teorie



Obr. 1: Určení závislosti indukance na frekvenci harmonického proudu



Obr. 2: Určení závislosti kapacity na frekvenci harmonického proudu

Poznámky

- Na generátoru nastavte výstupní hodnotu napětí 10 V.
 - U kondenzátorů volte rozsah frekvencí generátoru 25 – 150 Hz.
 - U cívky 1 200 z volte frekvenci generátoru 5,4 – 30 kHz,
 - U cívky 12 000 z 0,9 – 5,4 kHz.
-

6 Měření kapacity kondenzátoru z Ohmova zákona. Určení vybíjecí křivky kondenzátoru.

Úkol

1. Určete kapacity dvou kondenzátorů na základě Ohmova zákona a zjistěte, kolika způsoby je lze zapojit. Pro každou kombinaci proveďte deset měření.
2. Změřte kapacitu těchto způsobů zapojení kondenzátorů digitálním měřidlem.
3. Určete vybíjecí křivku kondenzátoru 5000 μ F

Pomůcky

(Úkoly 1. a 2.) Kondenzátory 1 a 10 μ F, zdroj střídavého elektrického napětí (7,5V), reostat 10 k Ω , ručkové měřidlo C 4311, multimetr (DU 10), digitální multimetr umožňující měření kapacity.

(Úkol 3.) Kondenzátor 5 000 μ F, zdroj elektrického napětí (50 V), reostat 10 k Ω , digitální měřidlo DV 10, rezistor 2,2 k Ω , přepínač, stopky.

Teorie

Určení kapacity z Ohmova zákona

Kondenzátorem připojeným na střídavé napětí U prochází proud:

$$I = \omega C U \quad (1)$$

kde C je kapacita kondenzátoru a ω je kruhová frekvence. Výraz:

$$\frac{1}{\omega C} = X_C \quad (2)$$

je označován jako kapacitance, jejíž velikost závisí na kapacitě kondenzátoru. Ze vztahu (1) můžeme vyjádřit kapacitu a platí:

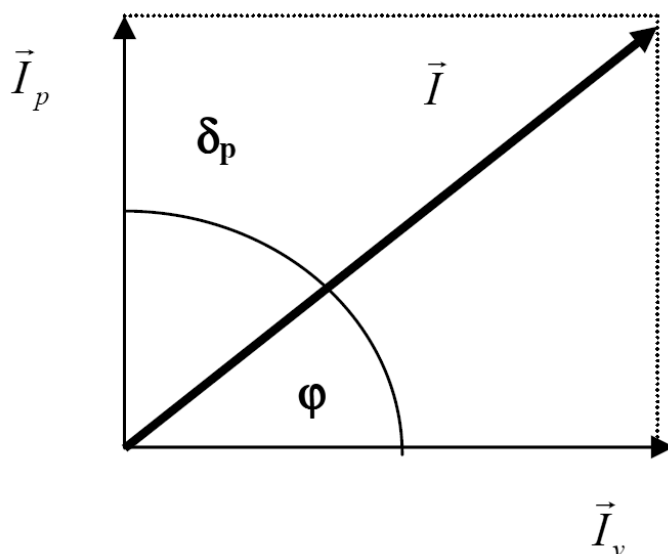
$$C = \frac{I}{\omega U} \quad (3)$$

Tento vztah je platný pouze pro případ, kdy odpor obvodu je zanedbatelně malý vůči kapacitanci kondenzátoru. Kapacitu kondenzátoru pak lze určit změřením velikosti proudu a napětí v obvodu. Hodnoty I a U jsou efektivní hodnoty těchto veličin.

Měření větších kapacit kondenzátorů lze měřit při běžné frekvenci $f = 50$ Hz, při zachování podmínky, že pro vnitřní odpory měřících přístrojů voltmetru (R_V) a ampérmetru (R_A) platí:

$$R_A \ll \frac{1}{\omega C} \ll R_V \quad (4)$$

Uvedené vztahy platí pro bezeztrátové kondenzátory. Ve skutečnosti je většina kondenzátorů ztrátových. To znamená, že kondenzátorem kromě posuvného proudu prochází i proud vodivý a bude se uplatňovat ztrátový činitel, vyjádřený jako doplňkový úhel k fázovému posunu mezi výsledným proudem a vodivým proudem kondenzátoru.



Obr. 1: K vysvětlení ztrátového činitele

Pro tento úhel platí vztah:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\omega RC} \quad (5)$$

a je označován jako ztrátový činitel. R je svodový odpor ztrátového kondenzátoru. Ztrátový kondenzátor lze nahradit sériovým zapojením malého odporu r a bezztrátového kondenzátoru s kapacitou C_r . Pak pro ztrátový činitel platí vztah:

$$\operatorname{tg} \delta = r\omega C_r \quad (6)$$

Z uvedeného vztahu je zřejmé, že ztrátový činitel kondenzátoru závisí na frekvenci procházejícího proudu. Při vysokých frekvencích jsou pak ztráty na kondenzátoru značné. Ztrátový činitel kondenzátoru buď známe, pak pro výpočet kapacity platí vztah:

$$C = \frac{I}{\omega U} \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta} \quad (7)$$

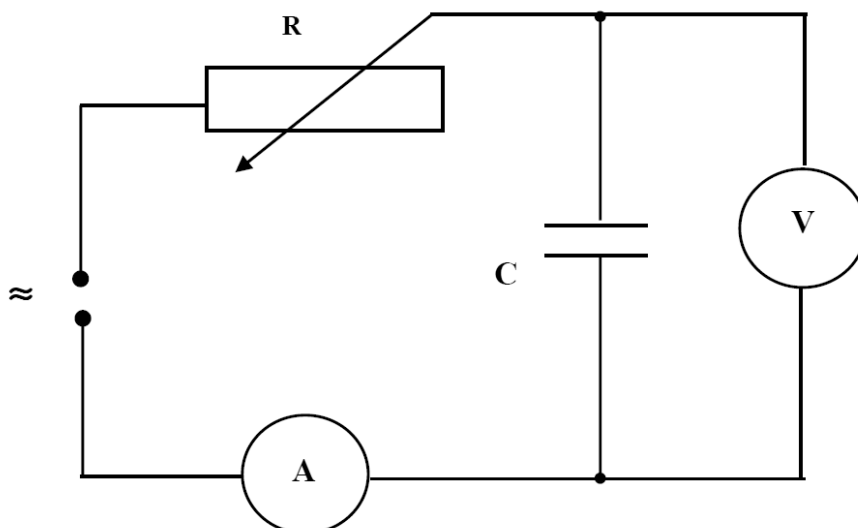
Ize jej změřit pomocí činného výkonu spotřebovaného na kondenzátoru:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{P}{\sqrt{U^2 I^2 - P^2}} \quad (8)$$

I přes určení ztrátového činitele téměř nelze dosáhnout větší přesnosti než 1 %, proto se přímé metody k určení kapacity kondenzátoru užívá jen zřídka a spíše se užívá můstkové a rezonanční metody.

Pokud zanedbáváme ztrátový činitel, je nutné měřit při proudech nízké frekvence a za podmínek daných vztahy (4).

Měření uskutečníme při zapojení podle Obr. 2.



Obr. 2: Měření kapacity z Ohmova zákona

Určení vybíjecí křivky kondenzátoru

Při nabíjení kondenzátoru platí vztah:

$$U_0 = RC \frac{dU_C}{dt} + U_C \quad (9)$$

kde U_0 je maximální napětí kondenzátoru, U_C je okamžitá hodnota napětí, která postupně klesá, neboť je závislá na čase. Platí pro něj vztah vyplývající z řešení výše uvedené rovnice:

$$U_C = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (10)$$

Součin RC nazýváme časovou konstantou. Řešením rovnice (10) dostáváme vztah:

$$U_C = U_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (11)$$

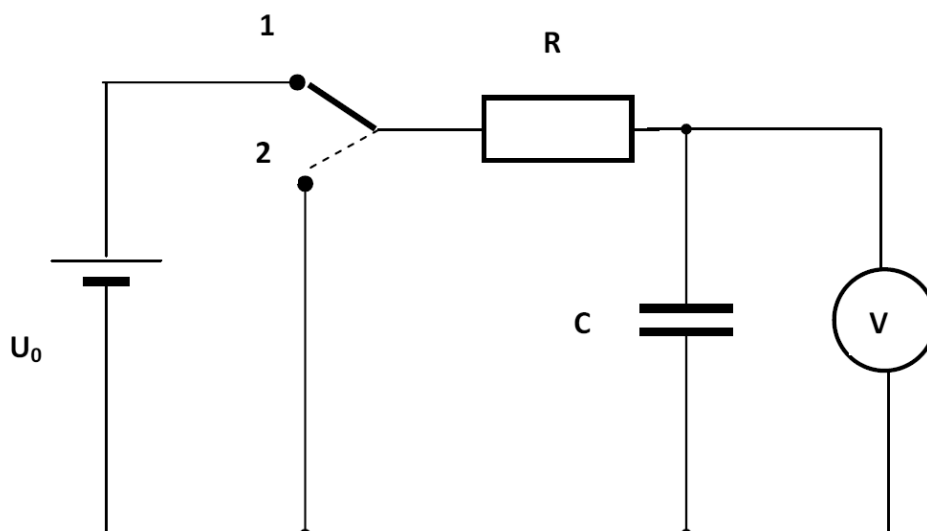
Postup měření

Určení kapacity z Ohmova zákona

1. Obvod sestavíme podle Obr. 2.
2. Posuvným reostatem měníme proud procházející obvodem.
3. Naměřené hodnoty proudu a napětí uvádíme do tabulky a pomocí příslušného vztahu určíme kapacitu kondenzátoru.
4. Kapacitu kondenzátorů přeměříte pomocí digitálního multimetru.
5. Takto změřenou kapacitu tabulkově srovnáte s kapacitami vypočtenými a s jejich jmenovitými hodnotami uvedenými na kondenzátoru.
6. Vzájemně kondenzátory zapojte sériově, paralelně a měření zopakujte. Hodnoty zpracujte do tabulky, vypočítejte výslednou kapacitu a porovnejte ji s teorií.

Určení vybíjecí křivky kondenzátoru

1. Obvod sestavíme podle následujícího schématu:



Obr. 3: Způsob určování vybíjecí křivky kondenzátoru

2. Při poloze **1** kondenzátor nabijeme na určitý potenciál U_0 .
3. Po přepnutí do polohy **2** a současným sepnutím stopek začíná vybíjení kondenzátoru a měření času potřebného k určení vybíjecí křivky. Tu sestojíme na základě určení okamžité hodnoty napětí v časových intervalech 5 s po dobu vybíjení kondenzátoru.
4. Při měření měňte počáteční hodnotu nabíjení U_0 .
5. Měření provedeme pro několik úrovní nabíjení kondenzátoru.

Poznámky

- Vybíjecí křivku sestojte jako graf závislosti přirozeného logaritmu okamžité hodnoty napětí na čase. Pro lepší názornost, však do grafu zanešte skutečné hodnoty napětí v daných časových intervalech.
- Jednou z možností, jak přesně odečítat hodnoty napětí a zároveň časy je natočit na mobilní telefon voltmetr zároveň se stopkami. Hodnoty pak lze odečíst z videozáznamu.



Literatura

1. M. Franková, Měření na kondenzátorech, Ostrava 2010, diplomová práce, VŠB TU Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra elektroenergetiky, vedoucí práce Ing. D. Helštýn.

7 Základní osciloskopická pozorování a měření

Úkol

1. Seznamte se s osciloskopem a jeho ovládacími prvky. Pozorujte průběh sinusového střídavého napětí z tónového generátoru při různých časových základnách.
2. Sledujte průběh pilového a obdélníkového napětí.
3. Pozorujte skládání dvou napětí sinusového průběhu téhož směru o různých frekvencích a amplitudách. Namodelujte vznik rázů.
4. Demonstrujte skládání dvou vzájemně kolmých kmitavých pohybů. Pomocí Lissajousových obrazců ověřte vztah mezi poměrem frekvencí kmitů a počtu vrcholů v obrazci.
5. Pozorujte tlumené kmity na kondenzátoru.
6. Pomocí osciloskopu demonstруйте fázový posun napětí a proudu v RLC obvodech.
7. Pozorujte usměrňovací účinky diody

Pomůcky

Osciloskop 2020GN, osciloskopové sondy, dva generátory funkcí, diody, kondenzátory, odpory, nepájivé pole, vodiče.

Teorie

Osciloskop

Elektronkový osciloskop slouží k přímému pozorování změn elektrického napětí nebo jiných fyzikálních veličin převedených na elektrické napětí. Toto napětí je přiváděno na vychylovací destičky a způsobí vychýlení elektronového paprsku ve vertikálním směru. V místě dopadu elektronů na vnitřní stěně obrazovky pokryté luminiscenční vrstvou vzniká zářící stopa.

Na svislý pár vychylovacích destiček, vychylující elektronový paprsek ve směru vodorovném je přiváděno napětí referenční, z generátoru časové základny (ČZ) osciloskopu. Toto referenční napětí má pilový charakter: lineárně narůstá a po dosažení maximální hodnoty se rychle zmenší na počáteční nulovou hodnotu. Účinkem tohoto napětí se elektronový paprsek pohybuje rovnoměrně zleva doprava a vykresluje na obrazovce vodorovnou čáru (při nízké časové základně se bod pohybuje zleva doprava).

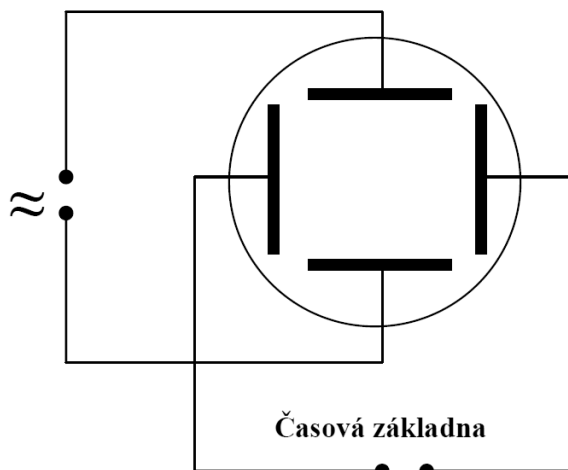
Nikdy nenecháme delší dobu svítit bod na jednom místě! Nebezpečí vypálení stínítka!

Jakmile paprsek dospěje k pravé straně obrazovky (maximum pilového napětí), vrací se k levému okraji (nulové napětí). Podmínka funkčnosti je, aby zpětný chod paprsku proběhl mnohem rychleji než jeho činný chod.

Je-li frekvence napětí přiváděné na svislé destičky celistvým násobkem referenčního napětí, zobrazí se na obrazovce časový průběh připojeného napětí. Není-li poměr pozorovaného a referenčního napětí celé číslo, světelný obraz se na stínítku pohybuje.

Obecné zásady:

1. Po zapnutí přístroje seřídíme jas a ostrost obrazu na stínítku.
2. Připojíme napětí, jehož průběh hodláme sledovat.
3. Upravíme jeho amplitudu tak, aby tvořila asi 2/3 poloměru stínítka.
4. Frekvenci časové základny upravíme nejprve hrubě, potom jemně tak, abychom získali 2 – 3 periody sledovaného napětí.



Obr. 1: Nahoře – schéma časové základny, dole osciloskop LG OS-5020

1. Seznámení s osciloskopem a jeho ovládacími prvky. Pozorování průběhu sinusového střídavého napětí z tónového generátoru při různých časových základnách.

Pozorujte harmonický průběh střídavého napětí. Jako zdroj použijte nízkofrekvenční generátor. Měřte výstupní frekvenci a amplitudu. Na obrazovce osciloskopu se snažte o stabilní obraz sinusoidy.”

2. Sledování průběhu pilového a obdélníkového napětí

Na výstupu generátoru nastavte pilový a obdélníkový signál výstupu. Pozorujte průběh nesinusových signálů a měňte jejich parametry.

3. Pozorování skládání dvou harmonických kmitů téhož směru o různých frekvencích a amplitudách. Vznik rázů.

Pozorujte průběh dvou kmitání téhož směru. Jako další zdroj použijte druhý nízkofrekvenční generátor. Změnou frekvence jednoho z generátorů namodelujte vznik rázů a ověřte podmínku pro jejich vznik. Provedte pro pět různých frekvencí a porovnejte výpočet s teorií.

4. Demonstrace skládání dvou vzájemně kolmých kmitů.

Jeden z generátorů připojte na EXT zdroj signálu (X). Jedním z generátorů měňte frekvenci harmonických kmitů a pozorujte vznik Lissajousových obrazců. Ověřte vztah mezi poměrem frekvencí obou kmitů a počtu vrcholů v obrazcích:

$$\frac{f_h}{f_v} = \frac{v}{h}$$

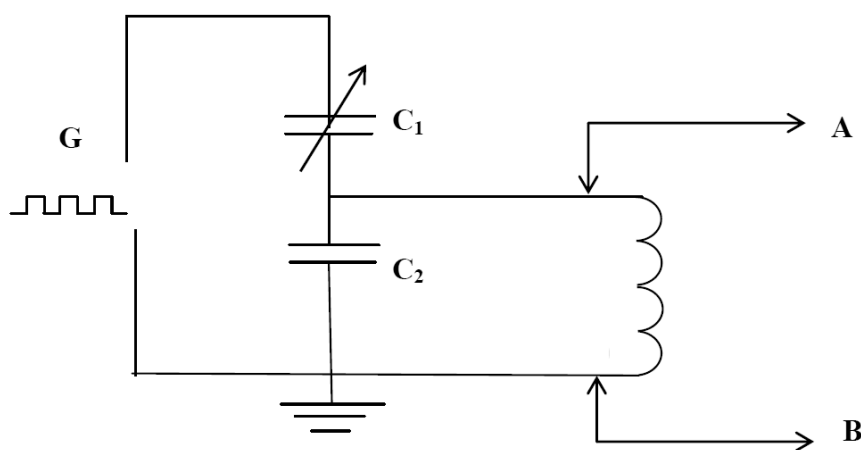
– poměr frekvencí kmitů v horizontálním a vertikálním směru $\frac{f_h}{f_v}$, poměr počtu vrcholů křivky ve vertikálním a horizontálním směru $\frac{v}{h}$.

Doložte platnost tohoto vztahu pro poměry frekvencí: 1:1, 1:2, 1:3, případně 1:4, 2:3, 3:4, 5:3.

Poznámka: časovou základnu osciloskopu nastavte do pravé krajní polohy (poloha X-Y).

5. Pozorování tlumených kmitů na kondenzátoru

Na generátoru nastavte obdélníkové kmitý. Sestavte obvod podle Obr.2 a pozorujte na obrazovce osciloskopu průběh vybíjení kondenzátoru v LC oscilačním obvodu jako průběh tlumeného kmitání. Frekvenci kmitů měňte pomocí změny kapacity otočného kondenzátoru, případně změnou parametrů indukčnosti cívky nasunutím na jádro.



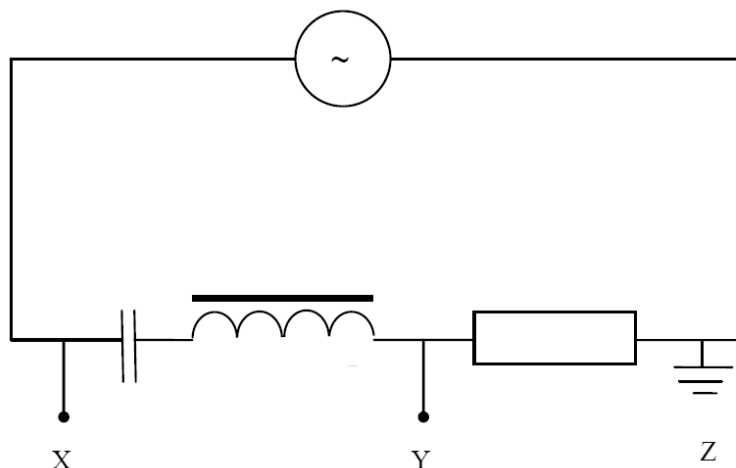
Obr. 2: Schéma pro pozorování tlumených kmitů

Pozn.: osciloskop, nízkofrekvenční generátor, otočný kondenzátor 500 pF (C_1), kondenzátor 0,01 μF (C_2), cívka 300 závitů, (jádro).

Doporučené parametry: výstupní napětí generátoru – max, frekvence 200 Hz, ČZ osciloskopu 1 – 0,1 ms. Jeden z přívodů na cívku zapojte mezi kondenzátory.

6. Demonstrace fázového posunu napětí a proudu v sériovém RLC obvodu

Na jednom z kanálů osciloskopu snímáme hodnoty napětí na kondenzátoru, druhou sondou napětí na rezistoru. Protože na rezistoru je fázový posun mezi napětím a proudem nulový, můžeme tento signál „simulovat“ jako proud v obvodu. Z důvodu větší názornosti této sinusoidě přiměřeně snížíme velikost amplitudy.



Obr. 3: Schéma pro pozorování fázového posunu

Pomůcky

Osciloskop, kondenzátor $0,1 \mu\text{F}$, rezistor 51Ω , cívka 300 závitů, RC generátor BM 365 jako zdroj napětí 10V, vodiče.

Poznámka

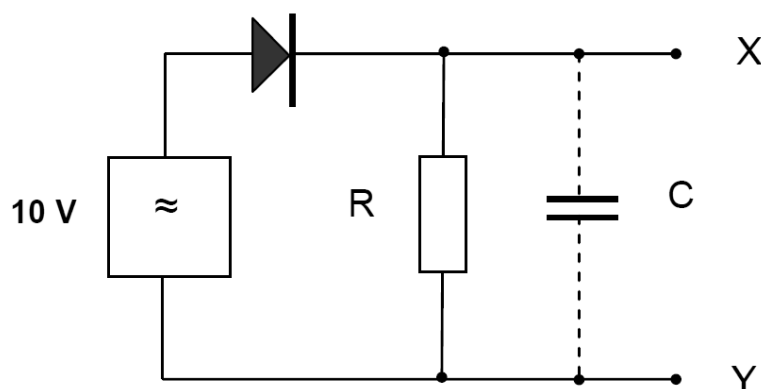
Doporučené parametry: výstupní napětí generátoru 10 V, frekvence 1,2 kHz, ČZ osciloskopu 1 ms, Mode Dual; TV-V.

7. Usměrňovací účinky diody

U diody se nejčastěji využívá její rozdílná vodivost polovodiče v propustném a závěrném směru k usměrnění střídavého proudu.

Zapojte diodu podle schématu na Obr.4. Na zatěžovacím odporu odebírejte usměrněné napětí, jehož průběh sledujte na obrazovce osciloskopu.

Dioda pracuje jako jednocestný usměrňovač. K částečnému vyhlazení pulzního usměrněného napětí připojíme paralelně k odporu kondenzátor. Změnou hodnot kapacity kondenzátoru můžeme pozorovat „vyhlazování“ usměrněného signálu.



Obr. 4: Schéma pro pozorování fázového posunu

Pomůcky

Osciloskop, křemíková (příp. germaniová) dioda, rezistor $1\text{ k}\Omega$, kondenzátor $0,5 - 1\text{ }\mu\text{F}$, generátor BM 365 jako zdroj napětí 10 V , vodiče.

Poznámky

- U jednotlivých úloh je třeba optimalizovat zapojení. Vyzkoušejte součástky s různými jmenovitými hodnotami, různá nastavení osciloskopu či NF generátorů, abyste dosáhli co nejlepšího výsledku.

**Literatura**

1. Návod k osciloskopu LG OS-5020
2. https://en.wikipedia.org/wiki/Lissajous_curve (23.9.2020, Lissajousovy obrazce)
3. https://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/display.php/mechanika/4_8 (23.9.2020, skládání kmitů)
4. http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/elektrotechnika/sylab_polovodicova_technika_bc (23.9.2020, diody)

8 Ověření ampérova zákona celkového proudu

Úkol

1. Ověřte platnost Ampérova zákona celkového proudu změřením magnetického pole solenoidu.
2. Změřte magnetické pole podél osy cívek s různým počtem závitů a s různými průměry.
3. Pro jednu cívku proveďte měření závislosti magnetického pole na velikosti proudu protékajícího cívkou.
4. Změřené závislosti vynesete do grafů a porovnejte s teoretickou předpovědí.

Pomůcky

Zdroj stejnosměrného proudu, cívky 75, 150, 300 závitů ($I_{\max} = 1.2\text{A}$). Cívka 300 závitů ($I_{\max} = 3\text{A}$). Hallova sonda, teslametr, multimetr, laboratorní stojan, výškově stavitelný stůl, propojovací vodiče.

Teorie

Ampérův zákon celkového proudu je fundamentálním vztahem popisujícím magnetické pole a jeho vztah k elektrickému proudu, kterým je vytvářené. Zákon byl formulován pro stacionární elektromagnetické pole později byl zobecněn J.C. Maxwellem pro nestacionární pole.

Jako Ampérův zákon bývá označováno několik důležitých vztahů, týkajících se magnetického pole a jeho působení. Některé zdroje se odvolávají na silové působení mezi vodiči protékajícími proudem (a vytvářejícími magnetické pole). Další možnost je, že „Ampérovým zákonem“ je myšlen tzv. Ampérův zákon celkového proudu (někdy označovaný jako "Oerstedův zákon"). Platnost tohoto třetího vztahu bude třeba ověřit.

Ampérův zákon ve vakuu

Ampérův zákon lze zapsat pro stacionární elektromagnetické pole v integrálním tvaru vztahem:

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 I_{\text{celk}} \quad (1)$$

$\mathbf{B}$ je magnetická indukce, $d\mathbf{l}$ je element křivky C , po které je integrace prováděna, μ_0 je permeabilita vakua a I_{celk} je celkový proud protékající libovolnou plochou, která je křivkou C uzavřena.

Je výhodné zvolit křivku C tak, aby magnetická indukce $\mathbf{B}$ byla jednoduše určitelná pro každý element křivky $d\mathbf{l}$. Potom lze integraci provést velmi jednoduše.

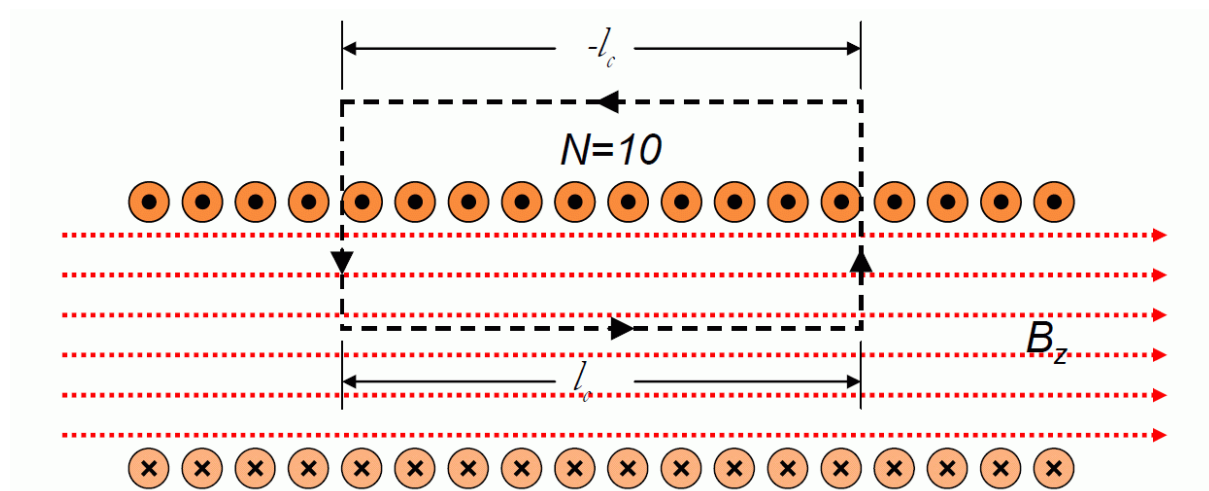
V případě solenoidu je vhodné zvolit tuto křivku tak, aby jednotlivé její části byly buď rovnoběžné nebo kolmé na osu solenoidu, jak je např. uvedeno na Obr.1. Směr magnetické indukce uvnitř i vně solenoidu je dán symetrií uspořádání. Uvnitř je magnetické pole rovnoběžné s osou, vně je magnetické pole nulové (v případě nekonečného solenoidu). Elementy kolmé k ose solenoidu jsou tedy kolmé na vektor $\mathbf{B}$ a tudíž příspěvky $\mathbf{B} \cdot d\mathbf{l}$ k celkovému integrálu jsou nulové. Vně solenoidu je velikost $B=0$, tudíž je tento příspěvek také roven nule. Jediný nenulový příspěvek je tedy část křivky uvnitř solenoidu rovnoběžná s jeho osou a integrál se tedy rovná:

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = 0 + 0 + 0 + B \cdot l = \mu_0 I_{\text{celk}} \quad (2)$$

Protéká-li cívkou proud I , pak na délce l prochází plochou uzavřenou integrační křivkou celkový proud $I \cdot N$, kde N je počet závitů procházejících danou plochou (v příkladu na Obr.1 je $N=10$). Tedy platí:

$$B = \frac{\mu_0 I N}{l} \quad (3)$$

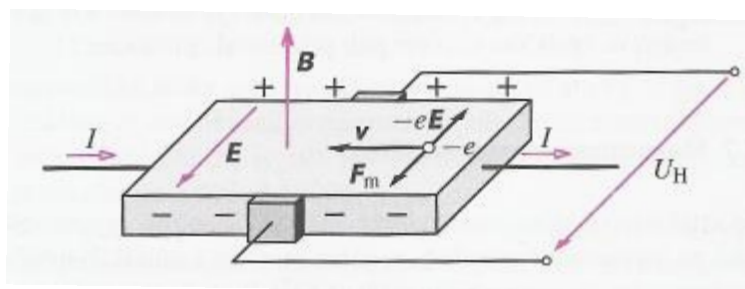
Což je výsledný vztah, jehož platnost bude třeba experimentálně ověřit.



Obr. 1: Volba integrační křivky pro výpočet magnetického pole solenoidu

Hallův jev

Hallův jev spočívá ve vychylování směru toku elektrického proudu v závislosti na velikosti indukce magnetického pole $\mathbf{B}$, které je kolmé na polovodičovou (křemíkovou) tenkou destičku (Hallův element). Výsledkem je generování rozdílového napětí na bočních stranách elementu úměrné právě velikosti působícího magnetického pole či jeho kolmosti vzhledem k destičce.



Obr. 2: K vysvětlení Hallova jevu

Pro měření magnetického pole je k dispozici Hallova sonda s teslametrem.

Postup měření

1. Hallovu sondu umístíme do stojanu a připojíme k teslametru. Hallův element je na konci sondy. Cívku umístíme na výškově stavitelný stolek a obojí nastavíme tak, aby sonda procházela osou cívky.
2. Cívku připojíme ke zdroji proudu.
3. Hallovu sondu postupně zasunujeme do cívky, až projde skrz celou cívku. Na sondě jsou rysky po 1 cm. Odečítáme hodnoty magnetické indukce v závislosti na poloze. Vyneseme závislost mag. indukce na poloze do grafu pro všechny cívky.
4. Ověříme, že hodnota maxima je nezávislá na průměru cívky a zároveň, že je přímo úměrná počtu závitů cívky (cívky jsou stejně dlouhé).
5. Na výškově stavitelný stojan umístíme cívku umožňující průchod proudu až 3 A a proměříme závislost velikosti magnetické indukce na velikosti proudu protékajícího cívku. Závislost také vyneseme do grafu a ověříme, že jde o lineární závislost.

Poznámky

- Cívky pro první část úlohy mají omezení proudu na 1,2 A. Doporučený proud je 0,9 A.
- Teslametr je třeba nechat cca 20-30 minut zapnutý, aby došlo k jeho tepelné stabilizaci. Zapněte jej hned po příchodu do praktika
- Před každým měřením je třeba provést vynulování teslametru při odpojeném zdroji proudu. U každé cívky vyberte oblast okolo středu cívky, kde je mag. indukce přibližně maximální a přibližně konstantní. Hodnoty zprůměrujte a použijte tato maxima pro kontrolu závislosti (3).
- V druhé části úlohy (měření závislosti mag. indukce na proudu cívku) nejprve najděte maximum indukce v závislosti na poloze pro nenulovou hodnotu proudu (libovolnou). Pak měňte proud cca po 0,1 A od 0 do 3 A. Proměřte třikrát.



Literatura

1. M. Kennedy, Magnetic Fields and Induced Power in the Induction Heating of Aluminium Billets, Stockholm 2013, School of Industrial Engineering and Management. Dep. of Materials Science and Engineering, Royal Institute of Technology, Licenční práce, vedoucí práce R. E. Aune, J. A. Bakken
https://www.researchgate.net/figure/Magnetic-field-produced-by-10-turns-of-an-infinite-solenoid-indicating-a-magnetic-field_fig2_256121245
2. <https://automatizace.hw.cz/magneticke-senzory-s-hallovym-efektem-1-princip/> (Hallův jev, 23.9.2020)

9 Měření výstupních a vstupních charakteristik tranzistorů v zapojení se společným emitorem

Úkol

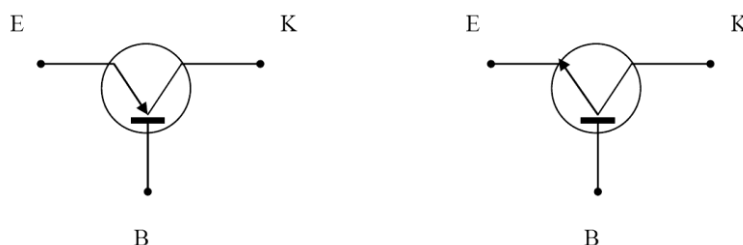
1. Naměřte výstupní a vstupní charakteristiky germaniového tranzistoru 101 NU 70 a křemíkového tranzistoru KC 509 v zapojení se společným emitorem.
2. Sestrojte grafy závislosti kolektorového proudu na kolektorovém napětí při konstantním proudu báze a graf závislosti vstupního proudu na vstupním napětí při konstantním kolektorovém napětí.

Pomůcky

Dva zdroje elektrického napětí (6 V a 12 V), tranzistory 101 NU 70 a KC 509 (případně jiné, novější výroby), dva potenciometry 1 200 Ω / 0,65 A, 3 digitální multimetry, rezistory 2,2 k Ω , vodiče.

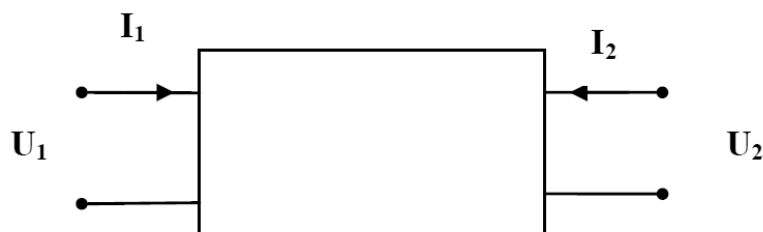
Teorie

Tranzistor patří mezi základní polovodičové prvky, jejichž zavedení do praxe nastartovalo prudký rozmach elektroniky. Technologickou podstatou tranzistoru jsou tři vrstvy polovodičového materiálu s různými typy vodivosti. Na základě jejich kombinace je základním rozlišovacím znakem tranzistorů na typy PNP a NPN. Jejich schématické značky jsou uvedeny na Obr. 1.



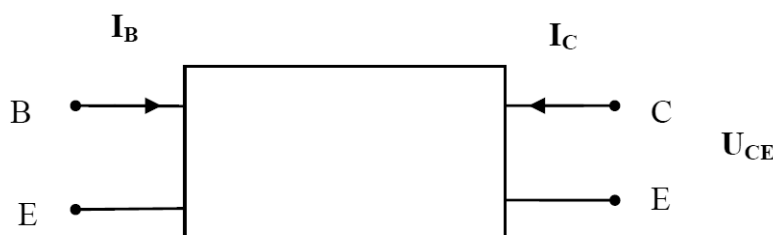
Obr. 1: Schématické značky tranzistorů typu PNP (vlevo) a NPN (vpravo)

Jednotlivé části tranzistoru se nazývají emitor (E), kolektor (K) a báze (B). U tranzistoru typu PNP je bází polovodič typu N a u tranzistoru typu NPN je bází polovodič typu P. Tranzistor lze také považovat za čtyřpól (Obr. 2 a 3), na jehož vstupu je napětí U_1 , na výstupu napětí U_2 , do vstupních svorek vtéká proud I_1 , do výstupních svorek proud I_2 .



Obr. 2: Tranzistor jako čtyřpól

Protože tranzistor má jen tři elektrody, bude u čtyřpólu některá elektroda společná vstupnímu i výstupnímu obvodu. Podle toho, která část je společná, obdržíme zapojení se společným emitorem (SE), se společným kolektorem (SC) a se společnou bází (SB).



Obr. 3: Tranzistor jako čtyřpól – zapojení se společným emitorem

Pro naše měření bude použit tranzistor typu NPN v zapojení se společným emitorem. Zapojujeme ho do obvodu tak, že přechod mezi emitorem a bází je zapojen v propustném směru a přechod mezi kolektorem a bází v závěrném směru. Tento způsob zapojení dává mimo jiné největší výkonové zesílení, a proto se používá pro zesílení slabých signálů. V tomto případě se střídavý elektrický signál přivádí do báze. Jeho malá změna vyvolá velké změny emitorového a kolektorového proudu a tím zesílení napěťové, proudové a výkonové.

K popisu vlastností a činnosti tranzistoru se užívá jeho charakteristika. Nejčastěji to jsou charakteristiky výstupní a vstupní.

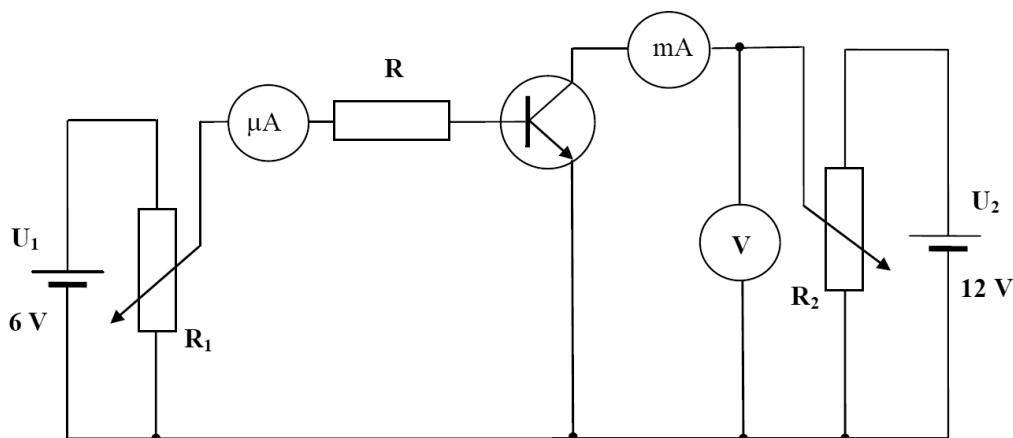
Výstupní charakteristika

Výstupní charakteristika tranzistoru udává funkční závislost mezi kolektorovým proudem I_C a napětím mezi kolektorem a bází (U_{CE}):

$$I_C = f(U_{CE}) \quad (1)$$

při konstantním proudu báze $I_B = \text{konst.}$

Schéma zapojení je na Obr. 4. Při sestavování obvodu je nutné dodržet, aby stabilizační odpor R ve vstupním obvodu byl větší než vstupní odpor r tranzistoru. Rovněž nelze překročit přenášený výkon kolektorem P_C , došlo by ke zničení tranzistoru. Tyto údaje jsou uvedeny v katalogu polovodičových součástek.



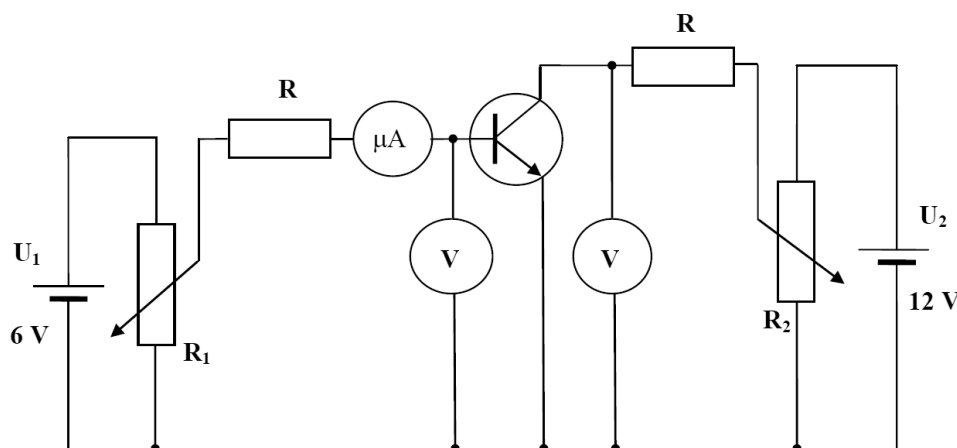
Obr. 4: Měření výstupních charakteristik tranzistoru

Vstupní charakteristika

Vstupní charakteristika udává závislost napětí mezi bází a emitorem na bázovém proudu:

$$U_{BE} = f(I_B) \quad (2)$$

při konstantním kolektorovém napětí U_{CE} . Schéma zapojení je na Obr. 5.



Obr. 5: Měření vstupních charakteristik tranzistoru

Postup měření

V katalogu polovodičových součástek najdete přípustné parametry pro daný tranzistor.

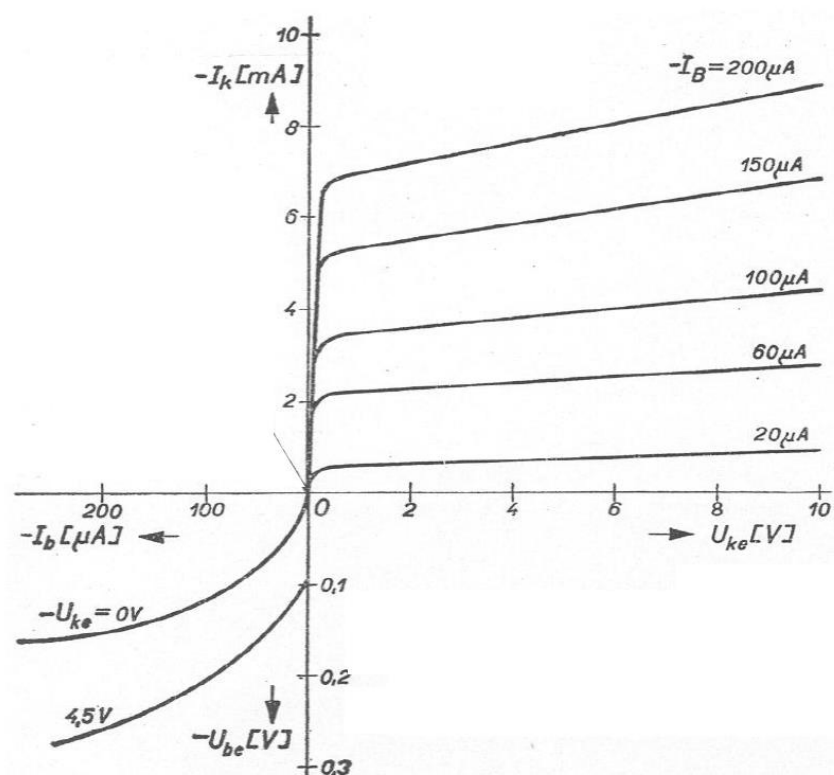
a) Výstupní charakteristika

1. Obvod zapojíme podle Obr. 4.
2. Po kontrole správnosti zapojení postupně nastavujeme stanovenou hodnotu proudu báze I_B ($10\ \mu\text{A}$, $15\ \mu\text{A}$, $20\ \mu\text{A}$, $25\ \mu\text{A}$, $30\ \mu\text{A}$).
3. Pomocí potenciometru R_1 udržujeme konstantní proud báze I_B , postupně měříme závislost kolektorového proudu I_C na změnách napětí mezi kolektorem a emitorem U_{CE} .
4. Závislost kolektorového proudu I_C [mA] na kolektorovém napětí U_{CE} [V] zapisujeme do tabulky a podle ní pak sestojíme graf. Závislost vynášíme do I. kvadrantu grafu – viz Obr. 6.
5. Postupně proměříme výstupní charakteristiku tranzistoru.

b) Vstupní charakteristika

1. Obvod zapojíme podle Obr. 5.
2. Po kontrole správnosti zapojení postupně nastavujeme stanovenou hodnotu proudu báze I_B ($10\ \mu\text{A}$, $20\ \mu\text{A}$, $30\ \mu\text{A}$, $40\ \mu\text{A}$, $50\ \mu\text{A}$).
3. Pomocí potenciometru R_1 měníme proud báze I_B , a měříme napětí mezi bází a emitorem U_{BE} . Kolektorové napětí U_{CE} udržujeme konstantní pomocí potenciometru R_2 .
4. Závislost bázového proudu I_B [μA] na vstupním napětí U_{BE} [V] zapisujeme do tabulky a podle ní pak sestojíme graf. Závislost vynášíme do III. kvadrantu grafu – viz Obr. 6.

5. Postupně proměříme vstupní charakteristiky tranzistoru.



Obr. 6: Měření vstupních charakteristik tranzistoru

Poznámky

- Při měření vstupní charakteristiky je napětí mezi bází a emitorem velmi malé, proudy procházející bází rovněž, používáme proto pro měření voltmetru s co největším vnitřním odporem.

10 Měření horizontální složky zemského magnetického pole a magnetického momentu tyčového magnetu pomocí Gaussovy metody

Úkol

1. Měření horizontální složky zemského magnetického pole pomocí Gaussovy metody.
2. Určení magnetického momentu tyčového magnetu metodou kvyů.

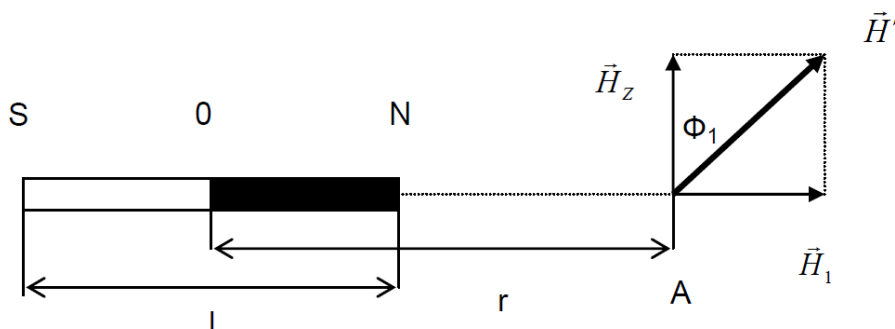
Pomůcky

Gaussův magnetometr, tyčový magnet, délkové měřítko, posuvné měřítko, váhy, stopky, stojan se závěsem.

Teorie

1. Měření horizontální složky zemského magnetického pole pomocí Gaussovy metody.

I. Gaussova poloha je poloha tyčového magnetu v horizontální rovině kolmo ke směru magnetického poledníku a směřuje do bodu A, v němž je umístěna magnetka Gaussova magnetometru (Obr.1).



Obr. 1: I. Gaussova poloha

V bodě A se sčítá horizontální složka intenzity magnetického pole Země H_z s intenzitou magnetického pole tyčového magnetu H_1 . Směr výslednice ukáže magnetka Gaussova magnetometru.

Pro výpočet velikosti intenzity horizontální složky magnetického pole Země využijeme analogii magnetického a elektrického pole. Jako Coulomb stanovil svůj zákon v elektrostatice, můžeme obdobně uvažovat i u magnetického pole. Dva magnetické póly se přitahují nebo odpuzují magnetickou silou, přímo úměrnou jejich magnetickým tokům Φ , Φ' a nepřímo úměrnou jejich vzdálenosti r :

$$F_m = k \cdot \frac{\Phi \cdot \Phi'}{r^2} \quad (1)$$

Konstanta úměrnosti k pro vakuum, a přibližně pro vzduch, má hodnotu:

$$k = \frac{1}{4\pi\mu_0} \quad (2)$$

Kde μ_0 je permeabilita vakua (platí i pro vzduch) Pak obdobu Coulombova zákona pro magnetické pole můžeme psát ve tvaru:

$$\vec{F}_m = \frac{1}{4\pi\mu_0} \cdot \frac{\Phi \cdot \Phi'}{r^2} \cdot \vec{r}^0 \quad (3)$$

Kde $\vec{r}^0$ je jednotkový vektor ve směru $\vec{r}$. Intenzita magnetického pole je obdobně jako v elektrostatice definována jako:

$$\vec{H} = \frac{\vec{F}}{\Phi'} \quad (4)$$

S použitím rovnice (3) pak můžeme vyjádřit:

$$\vec{H} = \frac{1}{4\pi\mu_0} \cdot \frac{\Phi}{r^2} \cdot \vec{r}^0 \quad (5)$$

Jednotka intenzity magnetického pole je $A \cdot m^{-1}$.

Intenzita magnetického pole tyčového magnetu v bodě A ležícím na jeho ose ve větší vzdálenosti r od jeho středu bude obdobně jako intenzita elektrického pole dvou nábojů dána vztahem:

$$H_1 = \frac{1}{4\pi\mu_0} \left[\frac{\Phi}{\left(r - \frac{l}{2}\right)^2} - \frac{\Phi}{\left(r + \frac{l}{2}\right)^2} \right] = \frac{1}{4\pi\mu_0} \frac{2\Phi r l}{\left(r^2 - \frac{l^2}{4}\right)^2} \quad (6)$$

Ve vzorci je l redukovaná délka magnetu, která je 5/6 až 3/4 jeho skutečné délky a r je vzdálenost bodu A od středu magnetu. Zavedeme-li pro součin veličin:

$$\Phi l = m \quad (7)$$

označení jako **magnetický moment magnetu**, můžeme intenzitu magnetického pole tyčového magnetu v 1. Gaussově poloze zapsat:

$$H_1 = \frac{2m}{4\pi\mu_0 r^3 \left(1 - \frac{l^2}{4r^2}\right)^2} \quad (8)$$

Je-li dále $r \gg l$, člen v závorce lze zanedbat a intenzita je:

$$H_1 = \frac{2m}{4\pi\mu_0 r^3} \quad (9)$$

Současně z Obr. 1 plyne pro úhel Φ :

$$\operatorname{tg} \Phi_1 = \frac{H_1}{H_z} \quad (10)$$

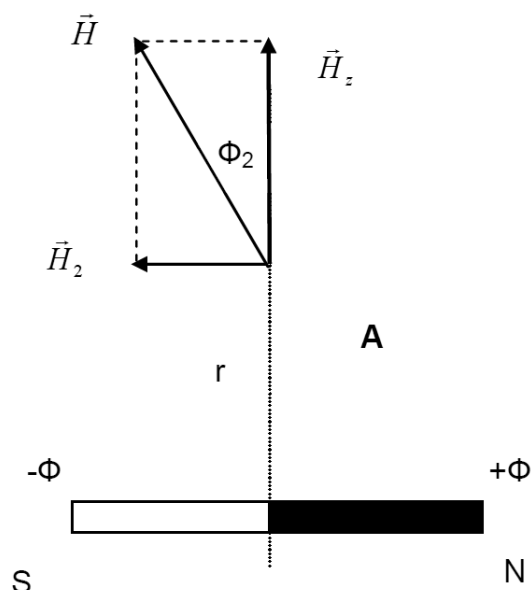
Pak pro horizontální složku magnetického pole Země platí:

$$H_z = \frac{2m}{4\pi\mu_0 r^3 \operatorname{tg} \Phi} \quad (11)$$

Ze vztahu (11) budeme potřebovat poměr

$$\frac{m}{H_z} = 2\pi\mu_0 r^3 \operatorname{tg} \Phi \quad (12)$$

II. Gausovu polohu získáme položením tyčového magnetu tak, aby bod **A** ležel v rovině souměrnosti magnetu ve vzdálenosti r od jeho středu a jeho osa byla stále kolmá k vektoru intenzity magnetického pole Země podle Obr.2:



Obr. 2: II. Gaussova poloha

Obdobným výpočtem získáme intenzitu pole H_2 :

$$H_2 = \frac{1}{4\pi\mu_0} \frac{2\Phi l}{\sqrt{\left(r^2 + \frac{l^2}{4}\right)^3}} = \frac{1}{4\pi\mu_0} \frac{m}{r^3 \sqrt{\left(1 + \frac{l^2}{4r^2}\right)^3}} \quad (13)$$

Opět pro $r \gg l$ pak v druhé Gaussově poloze platí pro intenzitu:

$$H_2 = \frac{m}{4\pi\mu_0 r^3} \quad (14)$$

Ve druhé Gaussově poloze pro úhel Φ_2 platí:

$$\operatorname{tg} \Phi_2 = \frac{H_2}{H_z} \Rightarrow H_z = \frac{m}{4\pi\mu_0 r^3 \operatorname{tg} \Phi_2} \quad (15)$$

Poměr

$$\frac{m}{H_z} = 4\pi\mu_0 r^3 \operatorname{tg} \Phi_2 \quad (16)$$

Postup měření

1. Magnetka magnetometru se vlivem horizontální složky magnetického pole Země ustálí ve směru magnetického poledníku. Buzolu natočíme do polohy, aby ukazovala nulovou polohu.
2. V dané vzdálenosti r pak klademe v 1. Gaussově poloze tyčový magnet jednou na východ a podruhé na západ, ve 2. Gaussově poloze pak na sever a jih od magnetky magnetometru. Kromě toho v každé poloze magnet převracíme o 180° .
3. Ke každé hodnotě ϕ_1 a ϕ_2 vypočítáme příslušný poměr magnetického momentu

a intenzity horizontální složky magnetického pole Země.

4. Měření provedeme pro pět vzdáleností r .

Teorie

2. Určení magnetického momentu tyčového magnetu metodou kyvů.

Mějme tyčový magnet, jehož magnetický moment je m vykonává torzní kmity v horizontální rovině. Svírá-li osa magnetu se směrem magnetického poledníku úhel Φ , je moment silové dvojice D , kterým působí horizontální složka magnetického pole Země na magnet, dán vztahem:

$$D = mH_z \sin\Phi \quad (17)$$

Působením silové dvojice D , která se snaží stočit osu magnetu do polohy rovnoběžné se směrem magnetického poledníku, kývá magnet kolem rovnovážné polohy dané směrem intenzity magnetického pole. Předpokládáme-li, že je toto kývání netlumené, dá se pohyb magnetu vyjádřit rovnicí:

$$J \frac{d^2\Phi}{dt^2} = -D \quad (18)$$

kde J značí moment setrvačnosti magnetu. Pro tyčový magnet platí:

$$J = \frac{1}{4} M \left(R^2 + \frac{l^2}{3} \right) \quad (19)$$

kde M je hmotnost magnetu, R jeho poloměr a l jeho délka. Porovnáním rovnic (17) a (18) s rovnicí kmitavého pohybu:

$$\frac{d^2\Phi}{dt^2} + \omega^2\Phi = 0 \quad (20)$$

dostáváme:

$$\frac{mH_z}{J} = \omega^2 \quad (21)$$

pro součin magnetického momentu a horizontální složky intenzity magnetického pole Země dostaneme vztah:

$$mH_z = \frac{\pi^2 J}{\tau^2} \quad (22)$$

Kde τ je doba kyvu.

Postup měření

1. Určení parametrů daného magnetu (hmotnost, délka, poloměr).
2. Výpočet jeho momentu setrvačnosti
3. Metodou torzních kyvů obdržíme součin $m \cdot H_z$
4. Z I. a II. Gaussovy polohy určíme podíl $\frac{m}{H_z}$
5. Součinem hodnot $\frac{m}{H_z}$ a $m \cdot H_z$ získáme vztah pro výpočet momentu tyčového magnetu.
6. Podílem těchto hodnot získáme vztah pro výpočet velikosti intenzity horizontální složky magnetického pole Země.
7. Vypočtenou hodnotu porovnejte s tabulkovou.

**Literatura**

1. Brož J. a kol.: Základy fyzikálních měření
2. Fuka J, Havelka B.: Elektřina a magnetismus
3. <http://www.pernik.borec.cz/elektro/geomag.pdf> (24.9.2020)