



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

v rámci projektu reg. č. CZ.1.07/1.1.36/01.0010

Inovace ve výuce odborných předmětů – aplikace RVP do ŠVP

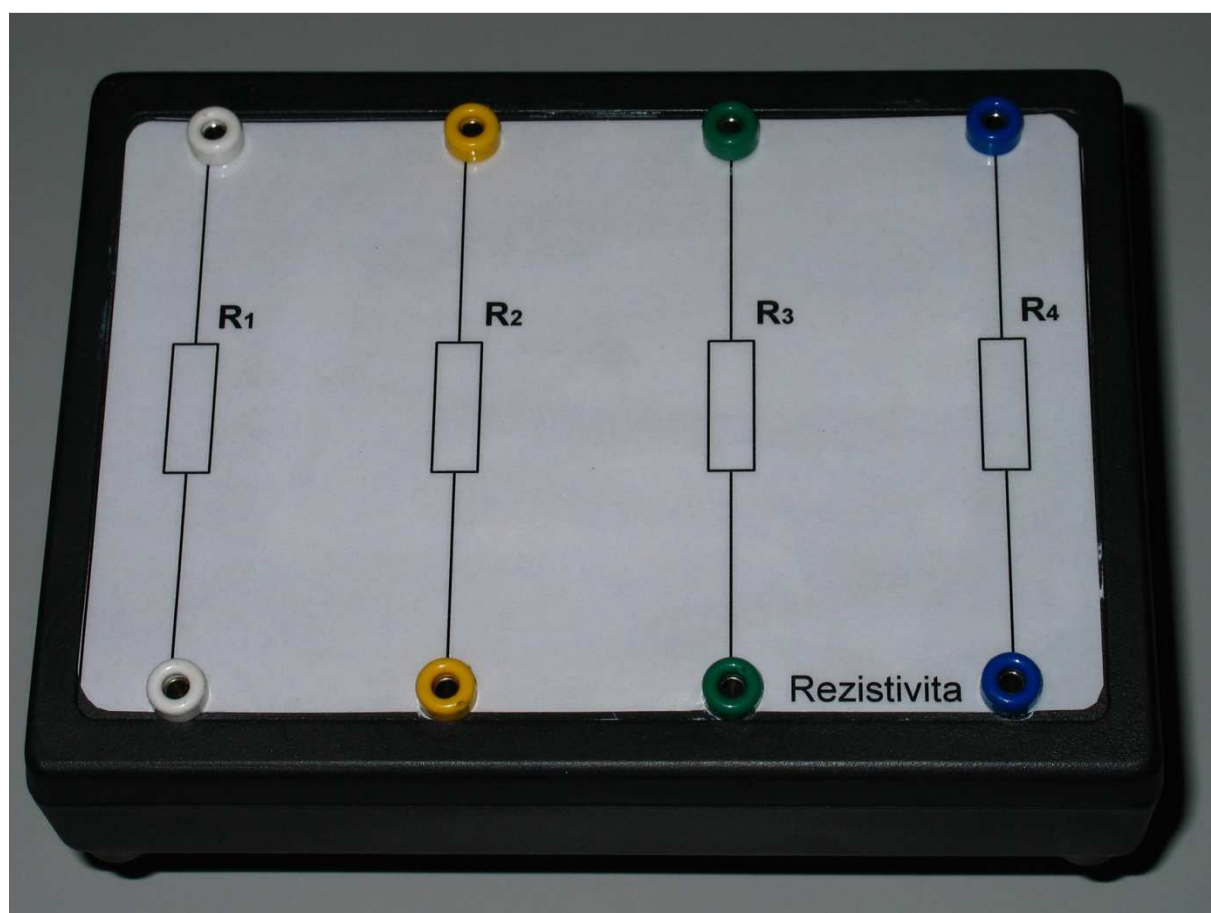
ELEKTRICKÁ MĚŘENÍ

laboratorní úlohy pro měření

OBSAH

Ohmův zákon.....	3
Kirchhoffovy zákony.....	8
Měření odporu.....	13
Měření kapacity ohmovou metodou.....	19
Měření vlastní indukčnosti cívky.....	23
Měření na rezonančním obvodu.....	30
Měření dolní propusti RC.....	36
Měření horní propusti RC.....	40
Volt-ampérová charakteristika nelineárních prvků.....	44
Měření vstupně/výstupní charakteristiky OZ.....	49
Měření vstupně/výstupní charakteristiky TTL hradla NAND.....	56
Měření závislosti odporu termistoru na teplotě.....	62
Měření na usměrňovači střídavého napětí.....	67
Měření na nízkofrekvenčním zesilovači.....	72
Měření na komplementárním koncovém stupni nízkofrekvenčního zesilovače.....	78
Oscilátor s Wienovým článkem.....	84
Přechodová a impulsní charakteristika integračního a derivačního článku.....	89
Kontrola přesnosti měřicího přístroje.....	97
Měření na modulátoru AM.....	103
Měření elektrického výkonu a práce elektroměrem.....	108
Měření transformátoru nakrátko.....	112
Měření výkonu jednofázového motoru.....	115
Měření činného, zdánlivého a jalového výkonu v jednofázové soustavě.....	119
Seznam použité literatury.....	123

OHMŮV ZÁKON

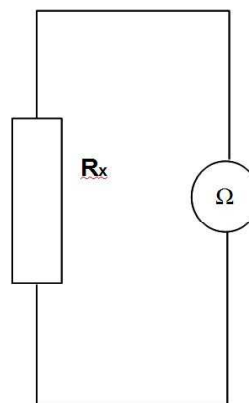
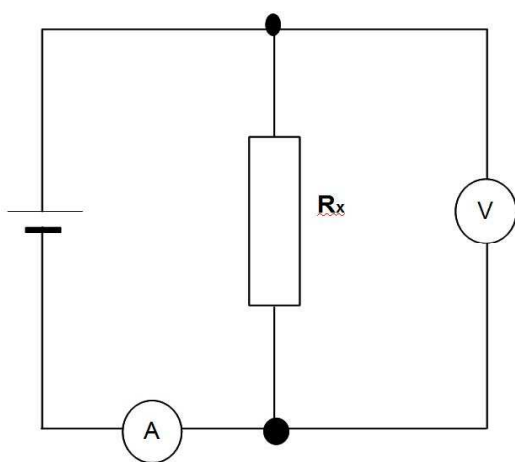


OHMŮV ZÁKON

1. Zadání

Pomocí Ohmovy metody měření malých odporů změřte odpor vzorků vodičů. Provedte kontrolní měření přímou metodou. Z naměřených hodnot vypočtete rezistivitu a podle tabulek určete materiály vzorků.

2. Schema zapojení



Legenda:

A - ampérmetr

V - voltmetr

R_x - odpor měřeného vzorku

Ω - měřič odporu

3. Teoretický rozbor

Elektrický odpor je fyzikální veličina charakterizující schopnost elektrických vodičů vést elektrický proud.

Hodnota elektrického odporu je dána materiálem, tvarem i teplotou vodiče. Velikost odporu závisí na délce vodiče (přímo úměrně), na obsahu průřezu vodiče (nepřímo úměrně), na materiálu vodiče (měrný elektrický odpor) a na teplotě.

Na teplotě závisí odpor vodičů i polovodičů. Odpor vodičů se vzrůstající teplotou stoupá (kladný teplotní součinitel elektrického odporu), kdežto odpor polovodičů, uhlíku a některých speciálních slitin kovů se vzrůstající teplotou klesá (záporný teplotní součinitel elektrického odporu). Elektrický odpor má vždy kladnou hodnotu. Dobré vodiče kladou malý odpor, špatné vodiče kladou velký odpor.

Převrácená hodnota elektrického odporu je fyzikální veličina, která se nazývá elektrická vodivost.

Slovem odpor se označuje také pasivní elektrotechnická součástka, jejíž správný název je rezistor, a která se vyznačuje jedinou vlastností – elektrickým odporem.

Značení

- Značka veličiny: R (angl. *Resistance*)
- Jednotka SI: Ohm, značka Ω
- Další používané jednotky: kiloOhm, $1\text{ k}\Omega = 1\,000\ \Omega$

Výpočet

Elektrický odpor lze určit z vlastností vodiče pomocí vztahu, kde R je měrný el. odpor (rezistivita materiálu), l je délka vodiče a S obsah průřezu vodiče. K výpočtu lze také použít Ohmova zákona, kde U je napětí na koncích vodiče a I je proud procházející vodičem.

Rezistivita (též měrný elektrický odpor nebo také specifický elektrický odpor) je fyzikální veličina, vyjadřující elektrický odpor vodiče jednotkové délky (1 m) a jednotkového obsahu průřezu (1 m²).

Rezistivita je převrácená hodnota konduktivity (měrné vodivosti). Rezistivita je materiálová konstanta, která charakterizuje elektrickou vodivost látky. Čím menší je rezistivita, tím větší je vodivost dané látky. Čím větší je rezistivita, tím větší je elektrický odpor.

Značení

- Značka veličiny: ρ nebo ζ
- Jednotka SI: ohm metr čtvereční/metr, $\Omega\cdot\text{m}^2\cdot\text{m}^{-1}$ po vykrácení je uváděna jako ohmmetr, $\Omega\cdot\text{m}$
- Technická jednotka: ohm milimetr čtvereční/metr, $\Omega\cdot\text{mm}^2\cdot\text{m}^{-1}$... $\longrightarrow$...
 $1\cdot\Omega\cdot\text{mm}^2\cdot\text{m}^{-1} = 1\cdot 10^{-6}\ \Omega\cdot\text{m}^2\cdot\text{m}^{-1}$
- Další jednotky: ohmmilimetr, $1\ \Omega\cdot\text{mm} = 0,001\ \Omega\cdot\text{m}$, mikroohmmetr, $1\ \mu\Omega\cdot\text{m} = 10^{-6}\ \Omega\cdot\text{m}$

Výpočet

Měrný odpor lze určit ze vztahu, kde R je odpor vodiče, S je obsah kolmého průřezu a l je délka vodiče. Lze také použít, kde σ je konduktivita.

Závislost na teplotě

Závislost rezistivity na teplotě se vyjadřuje vztahem

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha\Delta t)$$

kde ρ_0 je počáteční rezistivita, Δt je rozdíl teplot a α je teplotní součinitel elektrického odporu.

Použití

Měrný odpor lze použít pro výpočet odporu R vodiče z látky o rezistivitě ρ , délky l a obsahu průřezu S

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

Příklady hodnot

Hodnoty rezistivity (při teplotě 20 °C). Údaje v různých tabulkách se mohou mírně lišit - záleží na konkrétním zpracování měřeného vzorku materiálu.

látka	ρ [$10^{-6} \Omega \cdot m$]	látka	ρ [$10^{-6} \Omega \cdot m$]
stříbro	0,0152	nikelin	0,42
měď	0,0169	konstantan	0,490
zlato	0,0220	rtuť	0,959
hliník	0,0267	kanthal	1,4
wolfram	0,0536	uhlík	60
zinek	0,0591	10% roztok NaCl	$0,083 \times 10^6$
železo	0,0996	křemík	$2,5 \times 10^9$
platina	0,106	voda	$2,27 \times 10^{11}$
olovo	0,206		

4. Postup měření

- Změření napětí a proudu v obvodu pro měření Ohmovou metodou a následný výpočet odporu.
- Změření jednotlivých odporů vzorků pomocí přímé metody – ohmmetrem.
- Výpočet rezistivity jednotlivých vzorků a určení materiálu.

5. Tabulka naměřených a vypočtených hodnot

Vzor č.	d[mm]	S[mm ²]	l[m]	U[V]	I[mA]	R[Ω]	R _k [Ω]	$\rho[\frac{\Omega mm^2}{m}]$	materiál
1									
2									
3									
4									
5									

R – hodnota vypočteného odporu z Ohmovy metody (využít k výpočtu rezistivity)

R_k - hodnota kontrolního odporu měřeného ohmmetrem

6. Graf

není

7. Závěr

V závěru uveďte:

- vyhodnocení určených materiálů vzhledem k vizuální podobě vzorků.
- vyhodnocení rezistivity vzorků a možnosti použití materiálu.

KIRCHHOFFOVY ZÁKONY



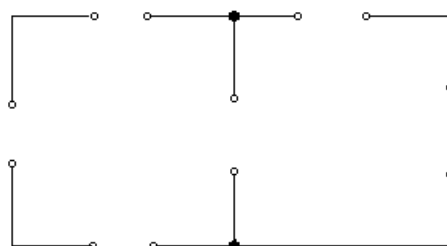
KIRCHHOFFOVY ZÁKONY

1. Zadání

Na demonstračním panelu zapojte obvod pomocí změřených odporů a nastavte velikosti napájecích napětí. Změřte úbytky napětí na odporech a proudy protékající jednotlivými větvemi obvodu. Ověřte napěťový Kirchhoffův zákon. Vypočtěte proudy ve větvích a porovnejte je s naměřenými hodnotami.

2. Schema zapojení

Propojovací pole připravené pro konkrétní zapojení.
Studenti zapojí obvod podle pokynů vyučujícího.



3. Teoretický rozbor

Máme-li nějaký elektrický obvod s rezistory (cívkami, kondenzátory apod.) a známe-li napětí použitých zdrojů a parametry součástek (např. odpory rezistorů), zajímají nás obvykle proudy tekoucí větvemi obvodu a napětí na součástkách.

Na výpočet je možno použít Ohmův zákon, dále se používají dva Kirchhoffovy zákony.

Názvosloví:

UZEL - místo v obvodu, kde se vodivě stýkají nejméně tři vodiče (to jsou body A a B)

VĚTEV - část obvodu mezi dvěma uzly - všemi prvky v jedné větvi protéká stejný proud (to jsou všechny úseky mezi body A, B)

1. Kirchhoffův zákon: Součet všech proudů přitékajících do uzlu je v každém okamžiku roven nule. Proudů tekoucích do uzlu bereme se záporným znaménkem a proudů vytékajících z uzlu s kladným znaménkem.

Zapsáno rovnicí: $I_1 + I_2 + I_3 + \dots = 0$

2. Kirchhoffův zákon: Součet napětí na všech prvcích (aktivních (zdrojů) i pasivních (rezistorů,...)) podél uzavřené smyčky je v každém okamžiku roven nule. Přitom napětí na

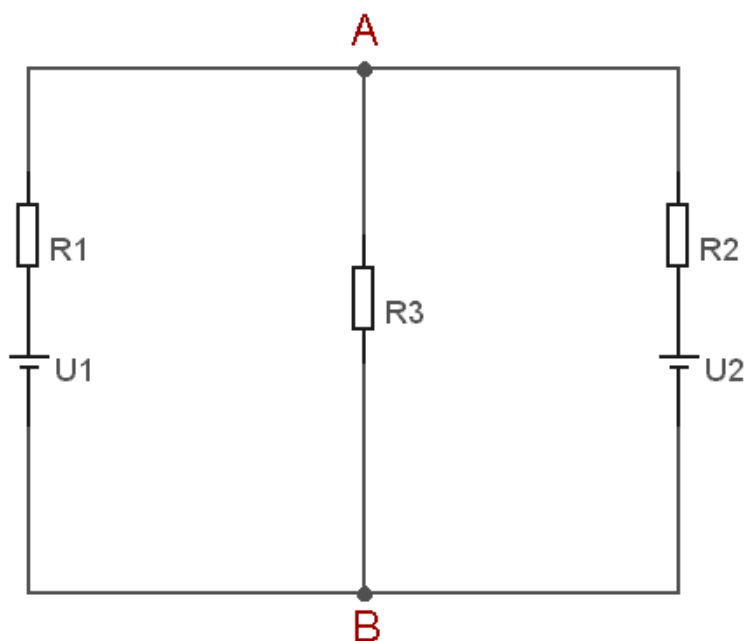
rezistorech vyjadřujeme jako $U=RI$, kde R je odpor rezistoru a I proud jím protékající. Je-li smyčka orientována souhlasně se šipkou značící směr proudu nebo polaritu zdroje (zde šipka směřuje od + pólu k - pólu), bereme příslušný člen s kladným znaménkem, v opačném případě se záporným znaménkem.

Zapsáno rovnicí $U_1+U_2+U_3+...=0$

Volba směru šipek na začátku je libovolná, potom se však už musí dodržovat.

Příklad:

Máme elektrický obvod se dvěma bateriemi a třemi rezistory (obr. 1). Vypočtěte proudy tekoucí jednotlivými větvemi a napětí na jednotlivých rezistorech.



Hodnoty odporů a napětí:

$$U_1=10 \text{ V}$$

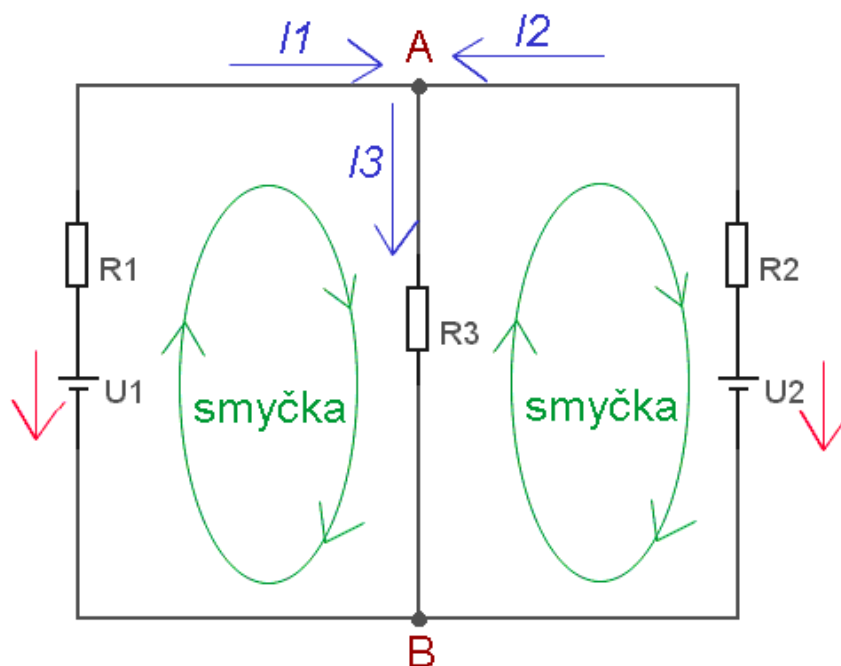
$$U_2=20 \text{ V}$$

$$R_1=10 \Omega$$

$$R_2=20 \Omega$$

$$R_3=30 \Omega$$

1. Označíme si v obrázku šipky u zdrojů napětí (od "+" k "-") a vyznačíme libovolně směry proudu v jednotlivých větvích. Dále si zvolíme uzavřené smyčky (stačí jich tolik, kolik "okének" je ve schématu, v tomto případě tedy dvě).



Smyčka vlevo má stejnou orientaci jako proudy procházející rezistory R_1 a R_3 a opačnou než napětí zdroje U_1 .

Smyčka vpravo má opačnou orientaci než proudy procházející rezistory R_2 a R_3 a stejnou jako napětí zdroje U_2 .

2. Napíšeme první Kirchhoffův zákon např. pro uzel A: Proud I_1 a I_2 vtékají do uzlu (tedy kladné znaménko), proud I_3 z uzlu vytéká (tedy záporné znaménko).

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

3. Napíšeme druhý Kirchhoffův zákon pro obě smyčky:
levá smyčka: $R_1 I_1 + R_3 I_3 - U_1 = 0$

pravá smyčka: $-R_2 I_2 - R_3 I_3 + U_2 = 0$

4. Máme teď tři rovnice pro tři proudy I_1, I_2, I_3 :

Tyto rovnice vyřešíme. Jelikož obecné řešení je komplikované, zavedeme místo I_1, I_2, I_3 proměnné i_1, i_2, i_3 označující číselné hodnoty proudů (v ampérech) a za odpory a napětí dosadíme jejich číselné hodnoty (v základních jednotkách, tj. ohmech, resp. voltech).

Máme rovnice

Ty vyřešíme. Výsledkem jsou čísla $i_1 = -1/11$, $i_2 = 5/11$, $i_3 = 4/11$, tedy proudy

Proud I_1 vyšel se záporným znaménkem. Znamená to, že jeho skutečný směr je opačný než směr námi zvolený. U ostatních proudů souhlasí zvolené směry se skutečnými.

4. Postup měření

- Změření jednotlivých odporů a umístění na zvolená místa.
- Připojení zdrojů napětí a nastavení hodnot napájecích napětí.
- Změření hodnot úbytků napětí na jednotlivých odporech.
- Změření hodnot proudů ve větvích.

5. Tabulka

U_1 [V]	U_2 [V]	R_1 [Ω]	R_2 [Ω]	R_3 [Ω]	R_4 [Ω]

U_{R1} [V]	U_{R2} [V]	U_{R3} [V]	U_{R4} [V]

$I_{1VYP.}$ [mA]	$I_{1MĚŘ.}$ [mA]	$I_{2VYP.}$ [mA]	$I_{2MĚŘ.}$ [mA]	$I_{3VYP.}$ [mA]	$I_{3MĚŘ.}$ [mA]

$U_1 + U_2$ napětí připojených zdrojů

$R_1 - R_4$ hodnoty odporů zapojených v obvodu

$U_{R1} - U_{R4}$ úbytky napětí naměřené na odporech

$I_{1VYP.} - I_{3VYP.}$ hodnoty proudů vypočtených

$I_{1MĚŘ.} - I_{3MĚŘ.}$ hodnoty proudů změřených v jednotlivých větvích

6. Graf

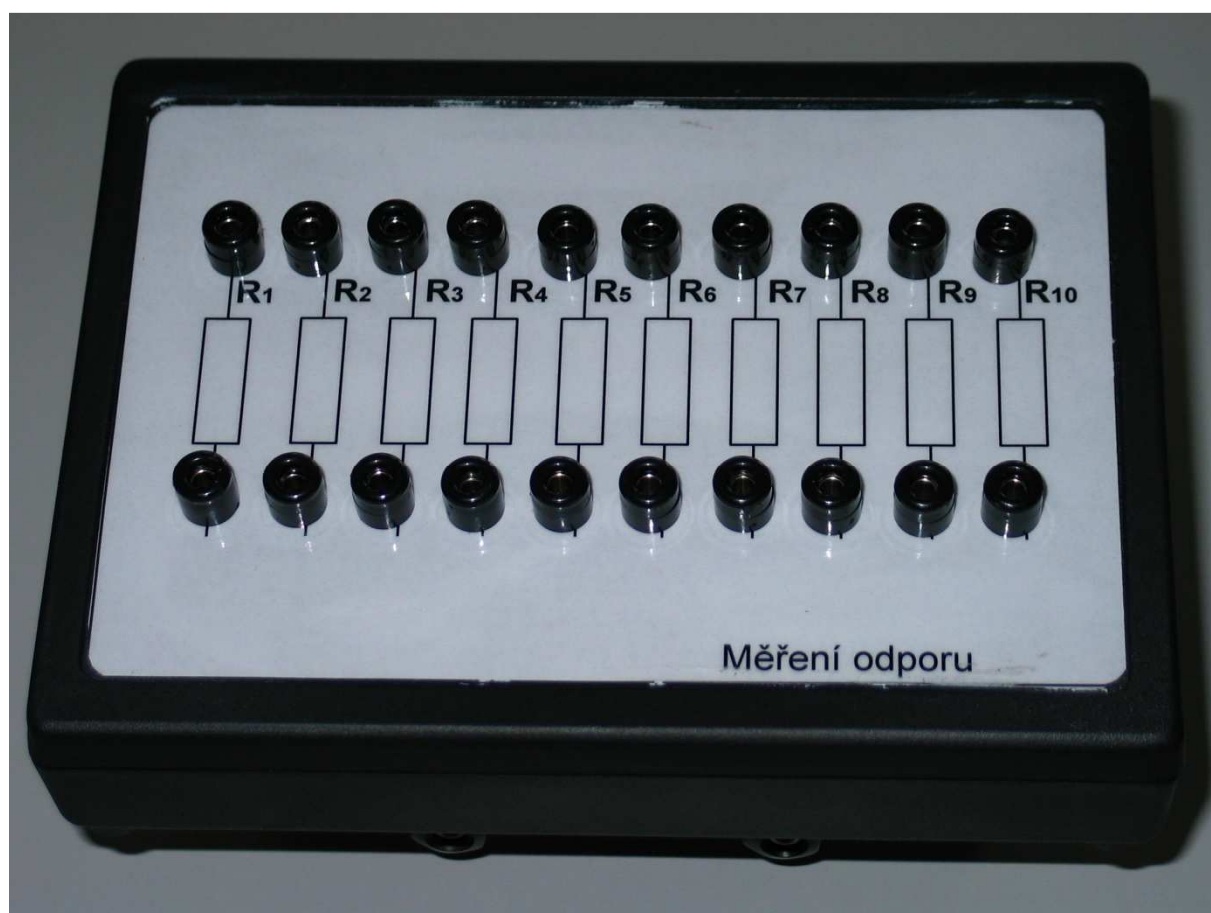
není

7. Závěr

V závěru uveďte:

- Vypočtené hodnoty proudů v jednotlivých větvích a jejich porovnání s proudy naměřenými.
- Provedené potvrzení platnosti napětového Kirchhoffova zákona.

MĚŘENÍ ODPORU



MĚŘENÍ ODPORU

1. Zadání

Změřte odpor určených odporů. Pro měření použijte přímou metodu, Ohmovu metodu a srovnávací metodu. Změřené hodnoty přehledně zaznamenejte a proveďte porovnání. U Ohmovy metody vyjádřete chybu naměřené hodnoty.

2. Schema zapojení

– podle výběru z teoretické části

3. Teoretický rozbor

Elektrický odpor se měří digitálním nebo analogovým měřícím přístrojem nebo Ohmovou metodou, srovnávací metodou a substituční metodou. K napájení obvodu s odporem musíme použít vždy stejnosměrný proud, protože měřením při střídavém napájení bychom nezjistili velikost elektrického odporu, ale hodnotu impedance celého obvodu. Při měření elektrických odporů působí na měřící obvod různé rušivé vlivy, které mohou ovlivňovat zejména měření velmi malých nebo velmi velkých odporů. Mezi tyto rušivé vlivy patří mimo jiné parazitní indukčnost a parazitní kapacita odporu.

Rozdělení

Z hlediska velikosti můžeme elektrické odpory rozdělit na:

malé - do 1 Ω ,

střední - 1 Ω až 1 M Ω ,

velké - nad 1 M Ω .

Ohmova metoda

Ohmova metoda měření elektrického odporu je klasický způsob měření, při němž vypočítáváme velikost odporu měřené zátěže pomocí Ohmova zákona.

Platí vztah:

$$R = \frac{U_x}{I_x}$$

U_x - úbytek napětí na měřeném odporu

I_x - proud protékající měřeným odporem

Zapojení pro malé odpory

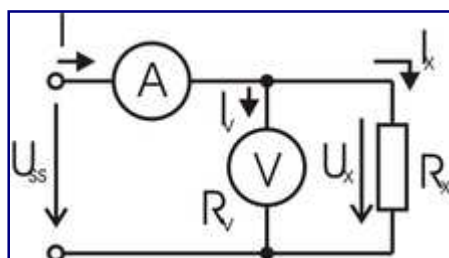


Schéma zapojení pro měření malých odporů Ohmovou metodou

Pro velikost měřeného odporu platí:

$$R_x = \frac{U_x}{I_x}$$

Ampérmetr měří proud, který prochází měřeným odporem a zároveň proud, který prochází voltmetrem.

$$I = I_x + I_v$$

Voltmetr měří přímo napětí na zátěži U_x .

Nyní bude vzorec pro měřený odpor vypadat takto:

$$R_x = \frac{U_x}{I - I_v}$$

Pro proud protékající voltmetrem platí:

$$I_v = \frac{U_x}{R_v}$$

R_v - vnitřní odpor voltmetru pro daný napěťový rozsah.

Pokud bychom počítali odpor zátěže pouze jako podíl hodnot naměřených voltmetrem a ampérmetrem, dopustili bychom se určité chyby metody.

Zapojení pro velké odpory

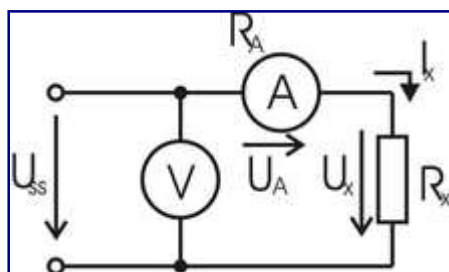


Schéma zapojení pro měření velkých odporů Ohmovou metodou

Pro velikost měřeného odporu platí:

$$R_x = \frac{U_x}{I_x}$$

Ampérmetr měří přímo proud tekoucí zátěží I_x .

Voltmetr měří součet úbytků napětí na ampérmetru i na zátěži.

$$U = U_x + U_A$$

Měřený odpor se vypočte:

$$R_x = \frac{U - U_A}{I_x}$$

Pro úbytek napětí na ampérmetru platí:

$$U_A = R_A I_x$$

R_A - vnitřní odpor ampérmetru pro zvolený rozsah.

Pro velikost měřeného odporu můžeme napsat vztah:

$$R_x = \frac{U - R_A I_x}{I_x} = \frac{U}{I_x} - R_A$$

Pokud bychom počítali odpor zátěže pouze jako podíl hodnot naměřených voltmetrem a ampérmetrem, dopustili bychom se určité chyby metody.

Srovnávací metoda

Při měření odporu srovnávací metodou porovnáváme neznámý odpor s odporem známé velikosti.

Zapojení pro malé odpory

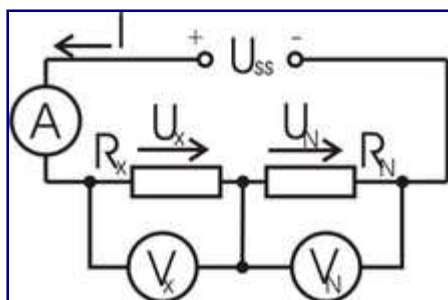


Schéma zapojení pro měření malých odporů srovnávací metodou

Velikost neznámého odporu zjistíme změřením úbytků napětí na jednotlivých rezistorech. Proud v obvodu musí být konstantní.

Protože oběma rezistory teče stejný proud, platí:

$$\frac{U_x}{R_x} = \frac{U_N}{R_N} \Rightarrow R_x = R_N \frac{U_x}{U_N}$$

Pro relativní chybu měření platí:

$$\delta_m = \frac{R_N - R_x}{R_x + R_N}$$

Čím více se budou hodnoty R_x a R_N sobě přibližovat, tím větší bude chyba měření. Bude-li $R_N \gg R_x$, bude chyba metody prakticky zanedbatelná. Tato metoda je velmi přesná, velikost odporu můžeme zjistit s přesností až na několik setin procenta.

Zapojení pro velké odpory

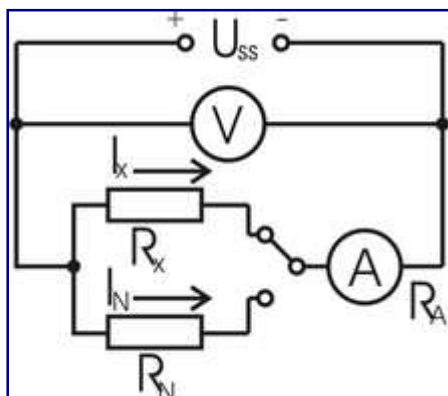


Schéma pro měření velkých odporů srovnávací metodou

Rezistory jsou zapojené paralelně. Napětí musí být po celou dobu měření konstantní. Velikost odporu se zjišťuje srovnáním proudů tekoucích jednotlivými rezistory. Platí:

$$R_x I_x = R_N I_N \Rightarrow R_x = R_N \frac{I_N}{I_x}$$

4. Postup měření

- Stanovení měřených odporů a změření přímou metodou (ohmetrem).
- Podle velikosti odporu zvolit zapojení pro určení odporu pomocí metody Ohmovy a metody srovnávací.
- Sestavit zvolené obvody a naměřit hodnoty, ze kterých se odpor vypočítá.

5. Tabulka naměřených a vypočtených hodnot

Odpor č.	$R_x[\Omega]$	$U_x[V]$	$I_x[mA]$	$R_N[\Omega]$	$U_N[V]$	$I_N[mA]$	$R_x[\Omega]$	$R_p[\Omega]$

R_x měřený odpor

R_N odpor etalonový (normálový)

R_p odpor určený pomocí přímé metody (měřičem odporu) - porovnávací

6. Graf

není

7. Závěr

V závěru uveďte:

- Porovnání zjištěných hodnot a vyhodnocení použitých metod měření odporu.

MĚŘENÍ KAPACITY OHMOVOU METODOU

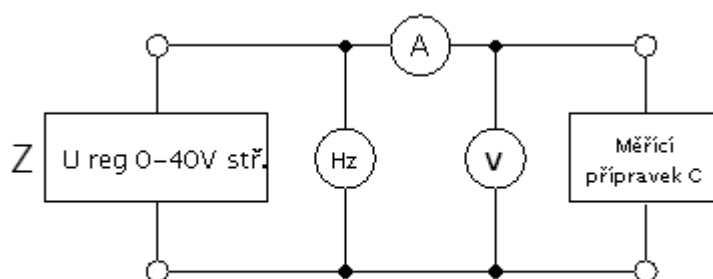


MĚŘENÍ KAPACITY OHMOVOU METODOU

1. Zadání

Proveďte nepřímou metodou měření kapacity dvou kondenzátorů a jejich vzájemnou kombinací

2. Schema zapojení



Legenda:

V - voltmetr

A - ampérmetr

Hz - měřič frekvence

Z - zdroj regulovaného napětí

3. Teoretický rozbor

Základní vlastností kapacity je přijímat elektrický náboj. Základní jednotkou kapacity je 1F(farad). Kapacitu definujeme jako velikost náboje, který se nahromadí v kondenzátoru při napětí 1volt. Jedná se o pasivní, frekvenčně závislou a lineární součástku. Kondenzátor se skládá ze dvou desek a dielektrika. Kapacita deskového kondenzátoru je závislá na ploše elektrod, na tloušťce dielektrika a na jeho permitivitě. Pro měření musíme použít střídavé napětí. Taktéž musíme znát frekvenci, která musí být stálá. K měření kapacit se používá jedna ze tří základních metod:

- nepřímá metoda,
- můstková metoda,
- rezonanční metoda.

Nepřímá metoda měření voltmetrem a ampérmetrem je založena na Ohmově zákoně. Měření touto metodou je vhodné pro měření větších kapacit od 1n výše. Přesnost není také vysoká 3 až 5%. Voltmetr zapojíme podle velikosti kapacitního proudu buď před ampérmetr, nebo za něj.

Kapacita deskového kondenzátoru se vypočítá:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r S/d \text{ [F; F.m}^{-1}; \text{m}^2; \text{m}]$$

ε – permitivita $\varepsilon_0\varepsilon_r$
 S – plocha elektrod
 d – tloušťka dielektrika

Vzorečky potřebné pro měření a výpočet:

$$X_c = U/I [\Omega; V, A] \quad X_c = 1/\omega C = 1/2\pi f C [\Omega; \text{rad/s}, F; \text{Hz}, F]$$

$$C = 1/2\pi f X_c = I/2\pi f U [F; \text{Hz}, \Omega; A, \text{Hz}, V]$$

X_c – kapacitní reaktance

U – napětí

I – proud

f – frekvence

ω – úhlová rychlost

π – Ludolfovo číslo - matematická konstanta 3,14159265358979323846...

4. Postup měření

- vybereme dva kondenzátory z měřicího přípravku
- zapojíme měřidla dle schématu
- autotransfátorem nastavíme požadovanou hodnotu napětí
- odečteme hodnoty na měřících přístrojích a vypočítáme X_c

5. Tabulka naměřených a vypočtených hodnot

Číslo měření	Měřený kondenzátor	Tolerance jmenovité kapacity [%]	U [V]	I [A]	Údaj na kondenzátoru C [nF]	C_x [nF]
1	C1					
2	C2					
3	C1 paralelně s C2					
4	C1 sériově s C2					

Výpočty:

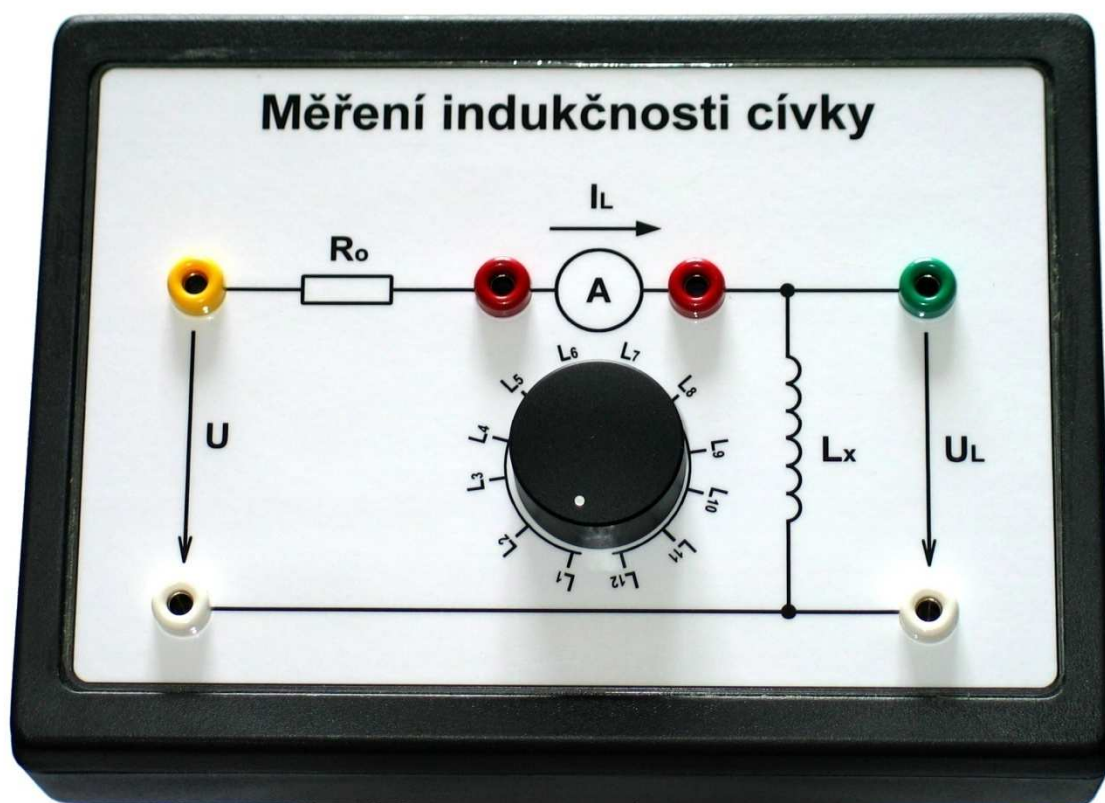
6. Graf

není

7. Závěr

Porovnat vypočtenou a udávanou kapacitu kondenzátoru C1 a C2 s ohledem na toleranci.

MĚŘENÍ VLASTNÍ INDUKČNOSTI CÍVKY

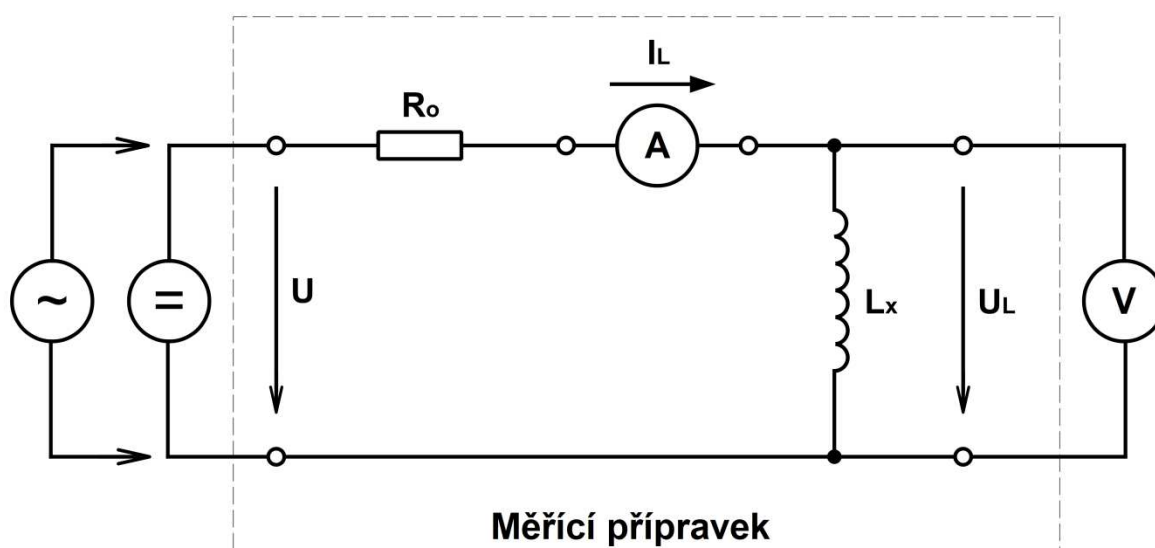


MĚŘENÍ VLASTNÍ INDUKČNOSTI CÍVKY

1. Zadání

Změřte nepřímou metodou pomocí proudu a napětí indukčnost tří určených cívek. Měření proveďte pomocí V-metru a A-metru Ohmovou metodou při napětí 24 V/50 Hz. Odpor vinutí cívek změřte také pomocí Ohmovy metody při stejnosměrném napětí do 20V. Všechny naměřené hodnoty zapište do připravené tabulky a vypočítejte z nich odpor vinutí, impedanci, indukčnost a činitel jakosti jednotlivých cívek. Nakonec změřte indukčnost cívek přímoukazujícím měřičem indukčnosti a výsledky porovnejte.

2. Schema zapojení



Legenda:

A – Ampérmetr

V – Voltmetr

R_o – ochranný rezistor

L_x – měřená cívka

U – stejnosměrné napětí pro měření reálného odporu cívky, střídavé napětí pro měření impedance cívky

U_L – napětí na cívce

I_L – proud cívkou

Součástí přípravku je i přepínač, umožňující volbu jedné z 12 cívek.

3. Teoretický rozbor

Ideální cívka

Za ideální cívku považujeme prvek, jehož jedinou vlastností je indukčnost. Ideální cívka nemá odpor vodiče a kapacitu mezi závity. Ideální cívce se blíží cívka zchlazená pod kritickou teplotu vodiče, ze kterého je navinuta. V takovém případě je odpor vodiče nulový

díky supravodivosti. Ve střídavém obvodu způsobuje ideální cívka fázový posun mezi napětím a proudem 90° , tj. největší napětí se indukuje při průchodu proudu nulou.

Vlastní indukčnost cívky

Na vlastní indukčnosti závisí velikost indukovaného napětí při časové změně magnetického toku. Čím větší bude indukčnost, tím větší bude indukované napětí. Vlastní indukčnost je dána vztahem

$$L = G_m \cdot N^2 = \frac{N^2}{R_m} = \mu_0 \mu_r \cdot \frac{S}{l} \cdot N^2,$$

kde G_m je magnetická vodivost, R_m je magnetický odpor, μ_0 je permeabilita vakua ($\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$), μ_r je permeabilita prostředí (udává, kolikrát se zvětší indukčnost cívky oproti cívce se vzduchovým jádrem), S je průřez jádra, l je délka jádra (v případě toroidu délka střední indukční čáry) a N je počet závitů.

V případě jádra z feromagnetického materiálu není indukčnost konstantní, ale mění se s velikostí budícího proudu, protože permeabilita těchto materiálů je závislá na intenzitě magnetického pole. Permeabilita může při velkých intenzitách magnetického pole klesnout až na hodnotu permeability vakua. Toto kolísání indukčnosti se odstraňuje přerušením jádra vzduchovou mezerou. To způsobí, že sice vrostе magnetický odpor, ale zároveň se stabilizuje indukčnost, protože magnetický odpor vzduchové mezery je až o několik řádů vyšší než odpor feromagnetika. Výkyvy odporu feromagnetického materiálu jsou pak zanedbatelné.

Činný odpor cívky, skinefekt

Jelikož je cívka tvořena vodičem, má také odpor. Tento odpor je frekvenčně závislý a to díky tzv. skinefektu (také se někdy označuje jako povrchový jev). Skinefekt lze vysvětlit na základě Lenzova zákona. Ten říká, že směr indukovaného proudu je takový, aby jím vyvolané magnetické pole působilo proti budícímu poli. Jelikož se v okolí cívky napájené střídavým proudem indukuje střídavé magnetické pole (vstupuje i do vodiče), indukuje zpětně toto pole v cívce proud s opačným směrem, než má proud, který vytváří napájecí zdroj. Největší proud se indukuje ve středu vodiče, čímž dochází k „vytlačování“ elektronů směrem k povrchu, proud tak teče menším průřezem vodiče, což se projeví jako růst odporu. Čím bude vyšší frekvence, tím výraznější bude i skinefekt. Ve vysokofrekvenční technice se proto někdy používají trubkové vodiče, případně postříbřené vodiče.

V případě cívek se železným jádrem je skinefekt výraznější, díky většímu magnetickému toku v jádře.

Cívka ve střídavém obvodu

Ve střídavém obvodu se cívka chová jako jalový odpor, tzv. indukční reaktance (též induktance). S rostoucí frekvencí tento odpor roste. To lze vysvětlit takto: s rostoucím kmitočtem musí vznikat a zanikat magnetické pole v okolí cívky čím dál tím rychleji a cívka se zdánlivě „brání“ změně proudu díky indukovanému napětí, což se projeví růstem odporu cívky. Pro indukční reaktanci platí vztah

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L,$$

kde X_L je indukční reaktance, f je kmitočet a L je indukčnost.

Tento vztah lze odvodit z indukčního zákona

$$u = L \cdot \frac{di}{dt}$$

Za proud dosadíme vztah pro okamžitou hodnotu proudu sinusového průběhu, čímž dostaneme

$$u = L \cdot \frac{d I_{m \max} \sin 2\pi f \cdot t}{dt}$$

Derivováním této složené funkce získáme vztah pro okamžitou hodnotu napětí na cívce

$$u = 2\pi \cdot f \cdot L \cdot I_{m \max} \cdot \cos 2\pi \cdot f \cdot t$$

Z toho vztahu je dobře vidět, že napětí předbíhá proud o 90° , protože platí $\cos x = \sin(x + \frac{\pi}{2})$.

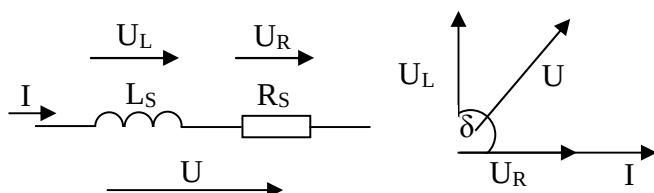
Výraz $2\pi \cdot f \cdot L \cdot I_{m \max}$ lze považovat za amplitudu napětí. Pro indukční reaktanci platí podle Ohmova zákona

$$X_L = \frac{U}{I} = \frac{U \cdot \sqrt{2}}{I \sqrt{2}} = \frac{U_{MAX}}{I_{MAX}}$$

Po dosazení za U_{max} získáme

$$X_L = \frac{2\pi \cdot f \cdot L \cdot I_{m \max}}{I_{m \max}} = 2\pi \cdot f \cdot L$$

Náhradní schéma cívky ve střídavém obvodu

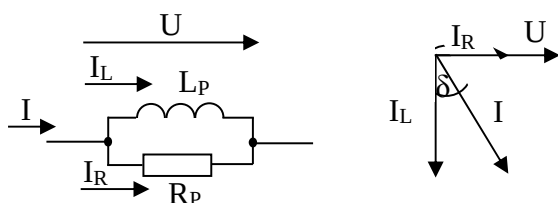


Náhradní schéma respektuje fakt, že cívka je vyrobena z vodiče, který má určitý odpor. Toto schéma je platné pro nižší kmitočty, mezizávitová kapacita se zanedbává. Kvalitu cívky určuje tzv. činitel jakosti, který je převrácenou hodnotou ztrátového činitele. Ztrátový

úhel δ je doplněk fázového posunu do 90° . Pro činitel jakosti sériového náhradního schématu platí podle fázorového diagramu

$$Q = \frac{1}{\tan \delta} = \frac{U_L}{U_R} = \frac{I \cdot X_L}{I \cdot R_s} = \frac{\omega L_s}{R_s}$$

S klesajícím odporem roste kvalita cívky, protože klesá reálná složka napětí.



Pro činitel jakosti paralelního náhradního schématu platí podle fázorového diagramu

$$Q = \frac{1}{\tan \delta} = \frac{I_L}{I_R} = \frac{\frac{U}{X_L}}{\frac{U}{R_P}} = \frac{R_P}{\omega L_P}$$

Pro

paralelní náhradní schéma tedy platí, že s rostoucím odporem roste kvalita, protože klesá reálná složka proudu.

činitel jakosti je pro obě schémata číselně shodný.

Rozbor měřicí metody

Obecně o metodě

Jedná se o metodu nepřímou, protože se provádí výpočet indukčnosti z napětí, proudu, frekvence a činného odporu cívky. Měření se provádí střídavým proudem sinusového průběhu. Při tomto měření je nutné použít přístroje vhodné pro měření frekvence, nejvhodnější jsou nízkofrekvenční měřicí přístroje.

Metoda není vhodná pro cívky se železným jádrem, protože u nich není konstantní činný odpor a to díky výraznějšímu skinefektu, který je způsoben velkým magnetickým tokem v železném jádře. Pro měření takovýchto cívek je nutné použít ještě wattmetr, změřit činný výkon a z něj pak vypočítat reálnou složku impedance cívky.

Ze změřeného napětí a proudu určíme podle Ohmova zákona impedanci cívky

$$Z = \frac{U}{I}$$

Dále např. pomocí multimetru změříme stejnosměrným proudem odpor vinutí. Nyní známe impedanci a odpor, jsme tedy schopni vypočítat reaktanci cívky a to pomocí trojúhelníku odporů. Pro reaktanci platí

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}.$$

Dosazením za indukční reaktanci získáme vztah pro indukčnost cívky

$$L = \frac{1}{2\pi \cdot f} \sqrt{Z^2 - R^2},$$

kde f je frekvence měřícího proudu, Z je impedance cívky a R je činný odpor cívky.

Existuje metoda pro malé a pro velké indukčnosti. Rozlišení na malou a velkou indukčnost provedeme podle vypočítané hraniční indukčnosti. Ta je závislá na frekvenci a odporu měřících přístrojů. Vztah pro ni lze odvodit ze vztahu pro hraniční odpor Ohmovy metody pro měření odporů. Pro něj platí

$$R_h = \sqrt{R_A \cdot R_V}$$

Dosazením reaktance za R_h získáme

$$2\pi \cdot f \cdot L_h = \sqrt{R_A \cdot R_V}$$

Pro hraniční indukčnost tedy platí

$$L_h = \frac{1}{2\pi \cdot f} \sqrt{R_A \cdot R_V}$$

Kde R_A a R_V jsou odpory ampérmetru a voltmetru.

Tento vztah je přibližný, protože neuvažujeme činný odpor cívky, ale pro účely měření postačí.

Metoda pro malé indukčnosti

Je shodná s Ohmovou metodou pro malé odpory, protože ze vztahu pro reaktanci cívky vyplývá, že s klesající indukčností klesá její odpor.

Tato metoda vykazuje systematickou chybu způsobenou tím, že ampérmetr měří i proud protékající voltmetrem. Chybu lze korigovat tak, že od proudu dosazovaného do vztahu pro výpočet impedance odečteme proud voltmetru. Korekce se v praxi obvykle neprovádí, protože vede k řešení komplexní rovnice.

Korekci napětí není nutno provádět, protože voltmetr je připojen paralelně k měřené cívkce.

Metoda pro velké indukčnosti

Je shodná s Ohmovou metodou pro velké odpory, protože ze vztahu pro reaktanci cívky vyplývá, že s rostoucí indukčností roste její odpor.

Tato metoda vykazuje systematickou chybu způsobenou úbytkem napětí na ampérmetru. Lze ji korigovat tak, že od napětí, které je změřeno voltmetrem odečteme úbytek napětí na ampérmetru. Korekce se v praxi obvykle neprovádí, protože vede k řešení komplexní rovnice. Korekci proudu není nutno provádět, protože ampérmetr je v sérii s měřenou cívkou

Chyba metody

Přesnost měření je do 5 %. Chyba může být způsobena zanedbáním mezizávitové kapacity, což změní výslednou reaktanci. Chybu také může způsobit změna činného odporu (viz.výše)

Relativní chyba je dána vztahem

$$\delta_R = \frac{L_X - L_S}{L_S} 100,$$

kde L_x je změřená indukčnost a L_s je skutečná indukčnost změřená pomocí přesného měřiče indukčnosti, např. digitálního multimetru.

Měřicí přípravek je zapojen tak, že k měření lze použít pouze metodu pro měření malých indukčností!

4. Postup měření

- do příslušných zdírek měřicího přípravku zapojte A-metr a V-metr a nastavte je na stejnosměrný rozsah 200 mA a 20 V
- přepínač „**Výběr L**“ přepněte na první určenou indukčnost
- do zdírek označených „**U**“ připojte stejnosměrný zdroj napětí o velikosti do 20 V
- A-metr i V-metr nastavte na nejnižší možný rozsah, kde ještě můžete odečíst hodnoty a tyto hodnoty запиšte do políček označených jako I_{sts} a U_{sts} v připravené tabulce.
- nyní A-metr a V-metr nastavte opět na stejnosměrný rozsah 200 mA a 20 V, přepínačem „**Výběr L**“ přepněte na další určenou indukčnost a stejným způsobem odečtěte a запиšte nové hodnoty
- stejně postupujte i pro třetí zadanou indukčnost
- nyní přepněte A-metr a V-metr na střídavý rozsah 200 mA a 20 V
- přepínač „**Výběr L**“ přepněte na první určenou indukčnost
- do zdírek označených „**U**“ připojte zdroj střídavého napětí o velikosti asi 24 V
- A-metr i V-metr nastavte na nejnižší možný rozsah, kde ještě můžete odečíst hodnoty a tyto hodnoty запиšte do políček označených jako $I_{stř}$ a $U_{stř}$ v připravené tabulce.
- stejně postupujte i pro další zadané indukčnosti
- ze stejnosměrných hodnot vypočítejte ohmický odpor cívky R_L a запиšte ho do příslušného políčka tabulky
- ze střídavých naměřených hodnot spočítejte impedanci cívky Z_L a následně i její indukčnost L
- dále z výše vypočtených hodnot spočítejte činitel jakosti cívky Q
- zda je vámi naměřená a vypočtená hodnota správná, si můžete ověřit tak, že odpojíte V-metr i A-metr a na místo V-metru zapojíte přímoukazuující měřič indukčnosti, na kterém hodnotu indukčnosti dané cívky přímo odečtete
- tento údaj pak запиšte do posledního řádku tabulky označeného jako L_s

5. Tabulka

1. indukčnost		2. indukčnost		3. indukčnost	
I_{sts} [mA]		I_{sts} [mA]		I_{sts} [mA]	
U_{sts} [V]		U_{sts} [V]		U_{sts} [V]	
R_L [Ω]		R_L [Ω]		R_L [Ω]	
$I_{stř}$ [mA]		$I_{stř}$ [mA]		$I_{stř}$ [mA]	
$U_{stř}$ [V]		$U_{stř}$ [V]		$U_{stř}$ [V]	
Z_L [Ω]		Z_L [Ω]		Z_L [Ω]	
L [H]		L [H]		L [H]	
Q [-]		Q [-]		Q [-]	
L_s [H]		L_s [H]		L_s [H]	

6. Graf

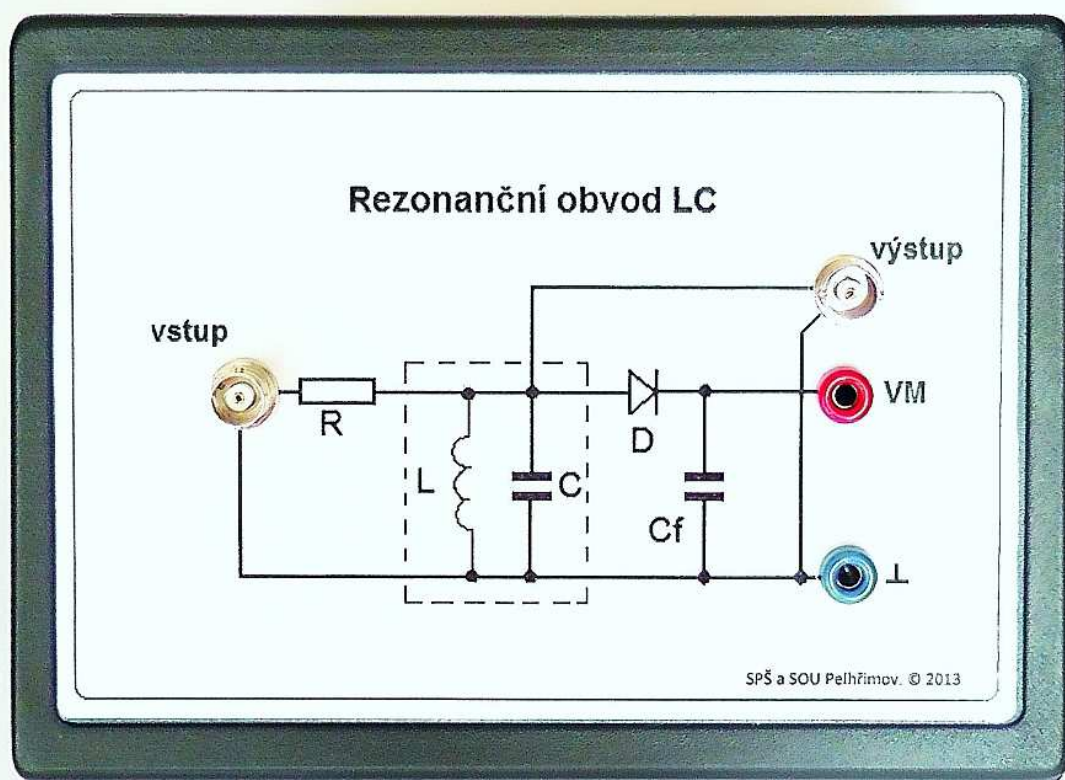
Není

7. Závěr

V závěru uveďte:

- Vypočtené hodnoty jednotlivých indukčností
- Vypočtené činitele jakosti jednotlivých indukčností
- Uveďte, na jakých parametrech cívky závisí činitel jakosti
- Porovnejte rozdíly v naměřených a vypočtených hodnotách indukčnosti a hodnotách indukčnosti naměřených přímoukazujícím měřičem indukčnosti
- Zhodnoťte náročnost a přesnost celého měření.

MĚŘENÍ NA REZONANČNÍM OBVODU LC



MĚŘENÍ NA REZONANČNÍM OBVODU LC

1. Zadání

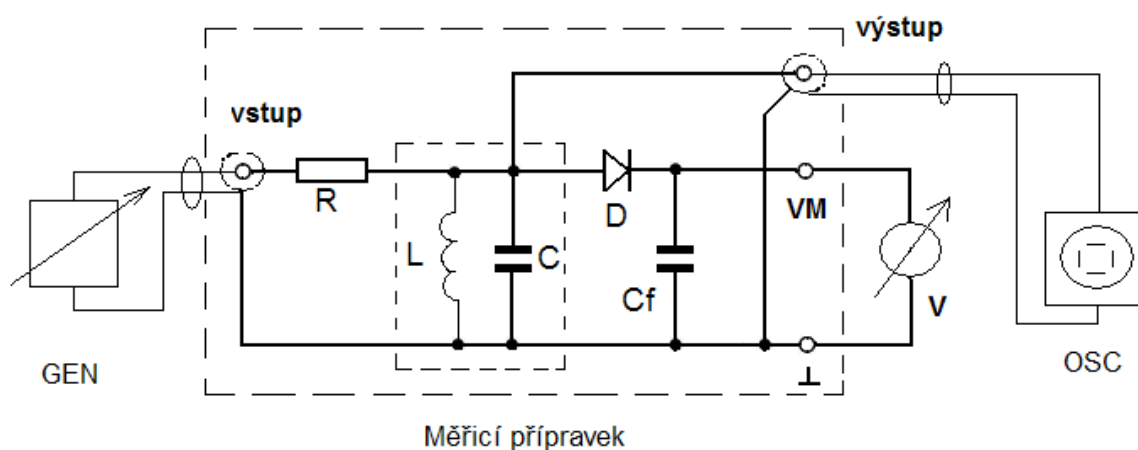
Změřte následující parametry daného paralelního rezonančního obvodu LC:

- Rezonanční frekvenci f_r
- Frekvenční charakteristiku LC obvodu v rozsahu $f_r \pm 30\% f_r$
- Šířku pásma B_3 a B_6 pro pokles výstupního napětí 3 dB, 6 dB a 20dB oproti rezonanci.
- Činitel jakosti LC obvodu Q
- Selektivnost obvodu k_{20}

Naměřené hodnoty vynesete do grafu $U_{LC}=f_{ce}(f)$. V grafu vyznačte rezonanční frekvenci f_r a šířky pásma B_3 , B_6 a B_{20} .

V závěru měření zhodnoťte, zda lze daný obvod LC použít pro úzkopásmový nebo pásmový vysokofrekvenční zesilovač a zdůvodněte toto použití.

2. Schema zapojení



Legenda:

GEN - vf generátor 10 Hz – 2 MHz

V - multimetr v zapojení stejnosměrného voltmetru

LC- měřený rezonanční obvod LC (v měřicím přípravku)

OSC- osciloskop

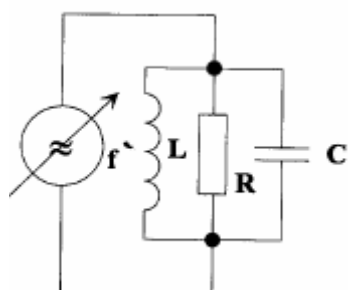
Pozn. (další prvky v měřicím přípravku)

R – oddělovací odpor LC obvodu

D,Cf - vysokofrekvenční sonda

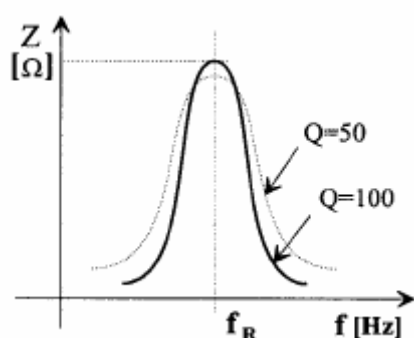
3. Teoretický rozbor

Paralelní rezonanční obvod LC má v rezonanci teoreticky nekonečnou impedanci „Z“.



Reálný obvod však vykazuje pokles této impedance, daný především odporem vinutí cívky „L“ a svodovým odporem kondenzátoru „C“. Tyto veličiny snižují namítné napětí na LC obvodu a ovlivňují jeho závislost na frekvenci. Pro posouzení tohoto vlivu zavádíme pojem činitele jakosti LC obvodu „Q“.

Průběh impedance



Z křivky je patrné, že při paralelní rezonanci je největší impedance, to znamená, že i napětí je maximální. Činitel jakosti Q je zde dán vztahem:

$$Q = R / (2 \pi f_r L) = 2 \pi f_r C R$$

V praxi činitel jakosti **Q** rezonančního LC obvodu určuje, zda je tento obvod vhodný pro konstrukci vysokofrekvenčního zesilovače úzkopásmového, pásmového či širokopásmového.

Šířka pásma

Šířka pásma je dána rozdílem frekvencí, při kterých dochází k poklesu impedance LC obvodu o stanovenou hodnotu, většinou o 3 dB, 6 dB, 20dB a 60 dB.

Platí: Pro pokles o 3 dB: Šířka pásma $B_3 = f_2 - f_1 = f_r / Q$

Podobný vztah platí i pro šířky pásma B_6 , B_{20} a B_{60} .

Odvozený vztah se také často používá pro určení činitele jakosti z naměřené rezonanční křivky, neboť zpětně platí: $Q = f_r / B_3$.

Selektivnost obvodu – činitel tvaru křivky.

Selektivnost obvodu je jeho schopnost vybrat z mnoha frekvencí pouze frekvenci rezonanční. V praxi je tento požadavek nerealizovatelný, vždy s rezonanční frekvencí vybíráme i frekvence v okolí rezonance. Proto zavádíme pojem selektivnost obvodu.

Posuzujeme ji podle strmosti boků rezonanční křivky a označujeme písmenem „**k**“. Porovnáváme vlastně šířku pásma obvodu při poklesu jeho impedance o 60dB s šířkou pásma při poklesu o 6dB.

Pro obvody s velkou selektivitou je činitel tvaru křivky definován vztahem $k_{60}=B_{60}/B_6$.

Pro obvody s menší selektivitou je činitel tvaru křivky: $k_{20}=B_{20}/B_6$.

Ideální hodnota činitele tvaru křivky rovna číslu jedna. Všechny jednoduché rezonanční obvody mají průběh rezonanční křivky podobný.

Výpočty: Požadované údaje znamenají toto:

Poklesy napětí pro:

3dB: $0,707 U_R$

6dB: $0,5 U_R$

20dB: $0,1 U_R$

U_R - napětí při rezonanci

Výběr zesilovače:

$B/f_r \leq 0.1$ – úzkopásmový; $0.1 < B/f_r < 0.5$ – pásmový; $B/f_r > 0.5$ – širokopásmový.

4. Postup měření

- Zapojíme měřicí přístroje na daný LC obvod (přípravek) dle schema zapojení.
- Měníme frekvenci generátoru a na voltmetru a kontrolně na osciloskopu odečítáme hodnoty výstupního napětí. Hodnoty zaznamenáváme do tabulky.
- Naměřené maximální napětí odpovídá rezonanční frekvenci f_r . Pro usnadnění výpočtů v dB nastavíme při rezonanci napětí z generátoru tak, aby voltmetr ukazoval právě 1 volt.
- Měníme frekvenci generátoru níže a výše, než je rezonanční kmitočet a odečítáme tyto frekvence v okamžiku, kdy dojde k poklesu napětí na voltmetru na hodnoty 0,707 voltů, 0,5 voltů a 0,1 voltů. Tyto hodnoty totiž odpovídají poklesům napětí právě o 3dB, 6dB a 20 dB. Naměřené frekvence zaznamenáme do tabulky a spočteme požadované šířky pásma B_3 , B_6 , B_{20} a selektivnost LC obvodu – činitel tvaru křivky k_{20} .
- Na závěr vyneseme graf $U_{LC}=f_{ce}(f)$ a v grafu vyznačíme rezonanční frekvenci f_r a šířky pásma B_3 , B_6 a B_{20} .

5. Tabulka naměřených hodnot

Frekvenční charakteristika LC obvodu

p.č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f[kHz]										
U[mV]										

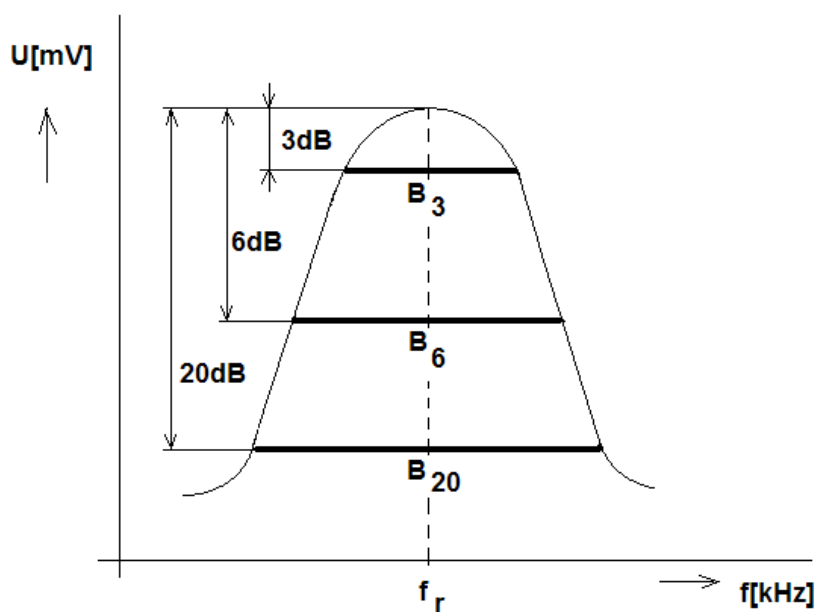
p.č.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
f[kHz]										
U[mV]										

Šířky pásma LC obvodu

B3		B6		B20	
f ₃₁ [kHz]		f ₆₁ [kHz]		f ₂₁ [kHz]	
f ₃₂ [kHz]		f ₆₂ [kHz]		f ₂₁ [kHz]	
B ₃ [kHz]		B ₆ [kHz]		B ₂₀ [kHz]	

6. Graf

Nakreslit na milimetrový papír , body proložit podle křivítka Pro konstrukci grafu je možno též využít PC s programem „OpenOffice“ nebo „Microsoft Office Excel“.



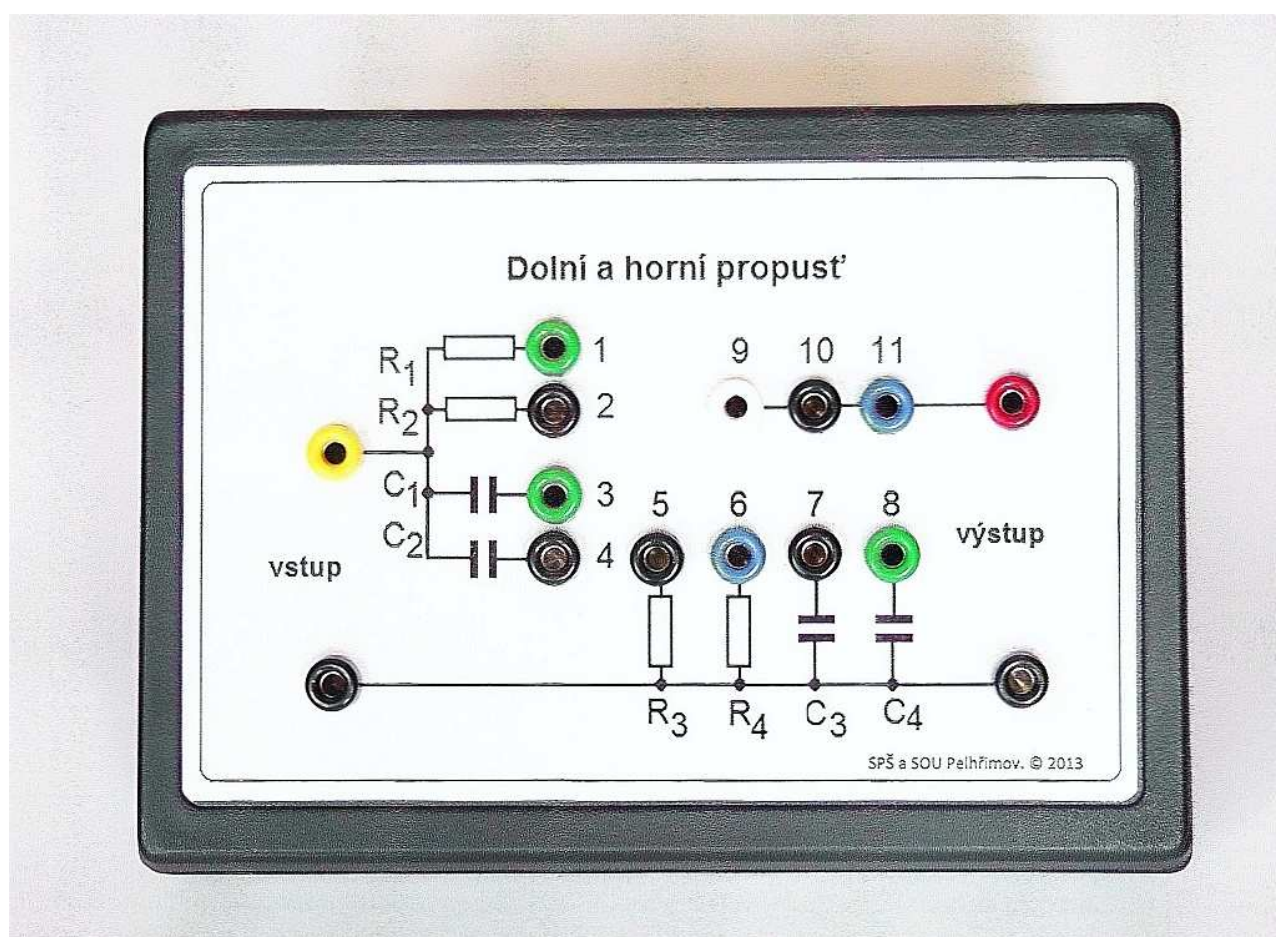
Vzor grafu

7. Závěr

V závěru uveďte:

- naměřenou rezonanční frekvenci a šířku pásem B_3 , B_6 a B_{20} pro měřený LC obvod.
- hodnotu změřeného činitele jakosti LC obvodu a jeho selektivnost $k_{20..}$.
- zdůvodněte výběr obvodu pro druh zesilovače – úzkopásmový, pásmový, širokopásmový.
- zhodnoťte celé měření z hlediska náročnosti a přesnosti naměřených veličin.

MĚŘENÍ DOLNÍ PROPUSTI RC



MĚŘENÍ DOLNÍ PROPUSTI RC

1. Zadání

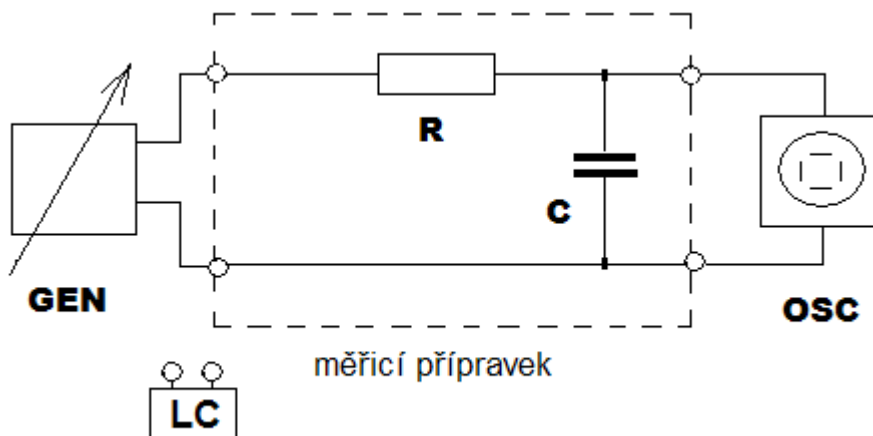
Změřte následující parametry dolní propusti sestavené z RC prvků:

- frekvenční charakteristiku RC propusti v rozsahu 10 Hz – 50 kHz
- mezní frekvenci f_M pro pokles výstupního napětí o 3 dB oproti frekvenci 10Hz
- šířku pásma dolní propusti B.

Naměřené hodnoty vynesete do grafu $U_2=fce(f)$. V grafu vyznačte mezní frekvenci f_M pro pokles napětí o 3 dB a změřenou šířku pásma dolní propusti RC.

Naměřenou hodnotu mezní frekvence dolní propusti ověřte výpočtem z údajů o velikosti RC členů v měřeném přípravku.

2. Schema zapojení



Legenda:

GEN -vř generátor 10 Hz – 2 MHz

RC- měřená dolní propust' (přístroj)

OSC- osciloskop

LC- LC multimetr

3. Teoretický rozbor

RC členy - propusti, filtry

Nejjednodušší RC členy, tzv. poločlánky, jsou složeny z rezistoru a kondenzátoru – proto RC. Jedna součástka je vždy v sérii (v cestě signálu) a druhá paralelně k výstupu propusti.

Mezi poločlánky patří **dolní propust** - propouští nižší kmitočty. Určující kmitočet je tzv. **kmitočet mezní**.

Charakteristické vlastnosti těchto propustí:

Kmitočet, při kterém dojde ke zmenšení zisku o -3 dB, se nazývá kmitočet mezní, označovaný většinou f_M . V tomto okamžiku je na výstupu propusti napětí $(1/\sqrt{2}) \times$ menší, než vstupní, to znamená klesne na hodnotu **0,707** napětí vstupního.

Od hodnoty f_M (-3dB) napětí klesá s tzv. strmostí -20 dB/dekádu, to znamená, že se vždy zmenší o 20 dB při změně kmitočtu o desetinásobek.

Vztah pro určení mezního kmitočtu pro danou propust:

$$f_M = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

Šířku pásma určuje hodnota mezní frekvence f_M této propusti.

Výpočty: Požadované údaje znamenají toto:

Poklesy napětí 3dB: 0,707 maximálního naměřeného napětí.

Dekáda: kmitočet 10x vyšší nebo 10x nižší, než kmitočet mezní.

4. Postup měření

- Zapojíme dolní propust' na měřicí přístroje dle schema zapojení. Na generátoru nastavíme pro snadnější odečet výstupní napětí 10 V špička-špička.

- Měníme frekvenci generátoru a na osciloskopu odečítáme hodnoty výstupního napětí U_2 . Pokles tohoto napětí na hodnotu 7,07 V odpovídá poklesu o 3 dB. Zaznamenáme tuto frekvenci jako frekvenci mezní. Zároveň tato frekvence určuje i šířku pásma dolní propusti.

- Na závěr vyneseme graf $U_R = f_{ce}(f)$ a v grafu vyznačíme mezní frekvenci f_M a naměřenou šířku pásma B. Změřenou hodnotu mezní frekvence ověříme výpočtem z naměřených hodnot použitých prvků – odpor, kapacita.

5. Tabulka naměřených hodnot

Dolní propust' $R_x - C_y$

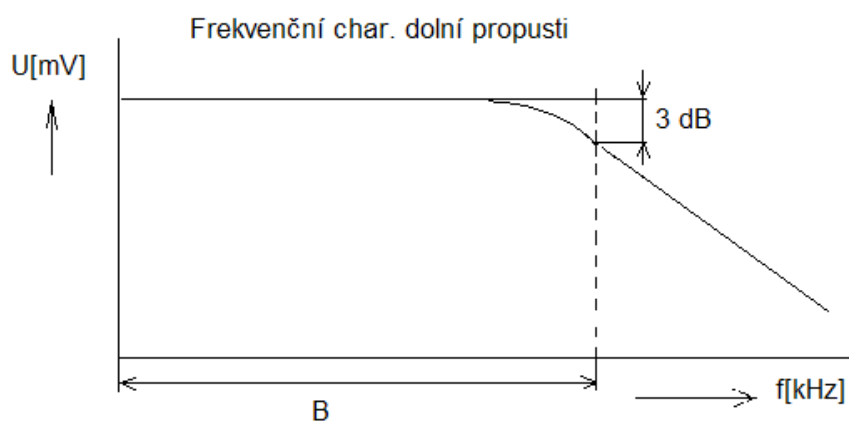
p.č.	1	2	3	4	5	6	7	8
f [kHz]								
U_2 [V]								

p.č.	9	10	11	12	13	14	15	16
f [kHz]								
U_2 [V]								

Souhrn naměřených hodnot.

- změřená mezní frekvence: $f_M = \dots\dots\dots$ kHz
- vypočtená mezní frekvence: $f_M = \dots\dots\dots$ kHz
- šířka pásma dolní propusti: $B = \dots\dots\dots$ kHz
- hodnota odporu R_1 : $\dots\dots\dots$ k Ω
- hodnota kondenzátoru C_3 : $\dots\dots\dots$ nF

6. Graf



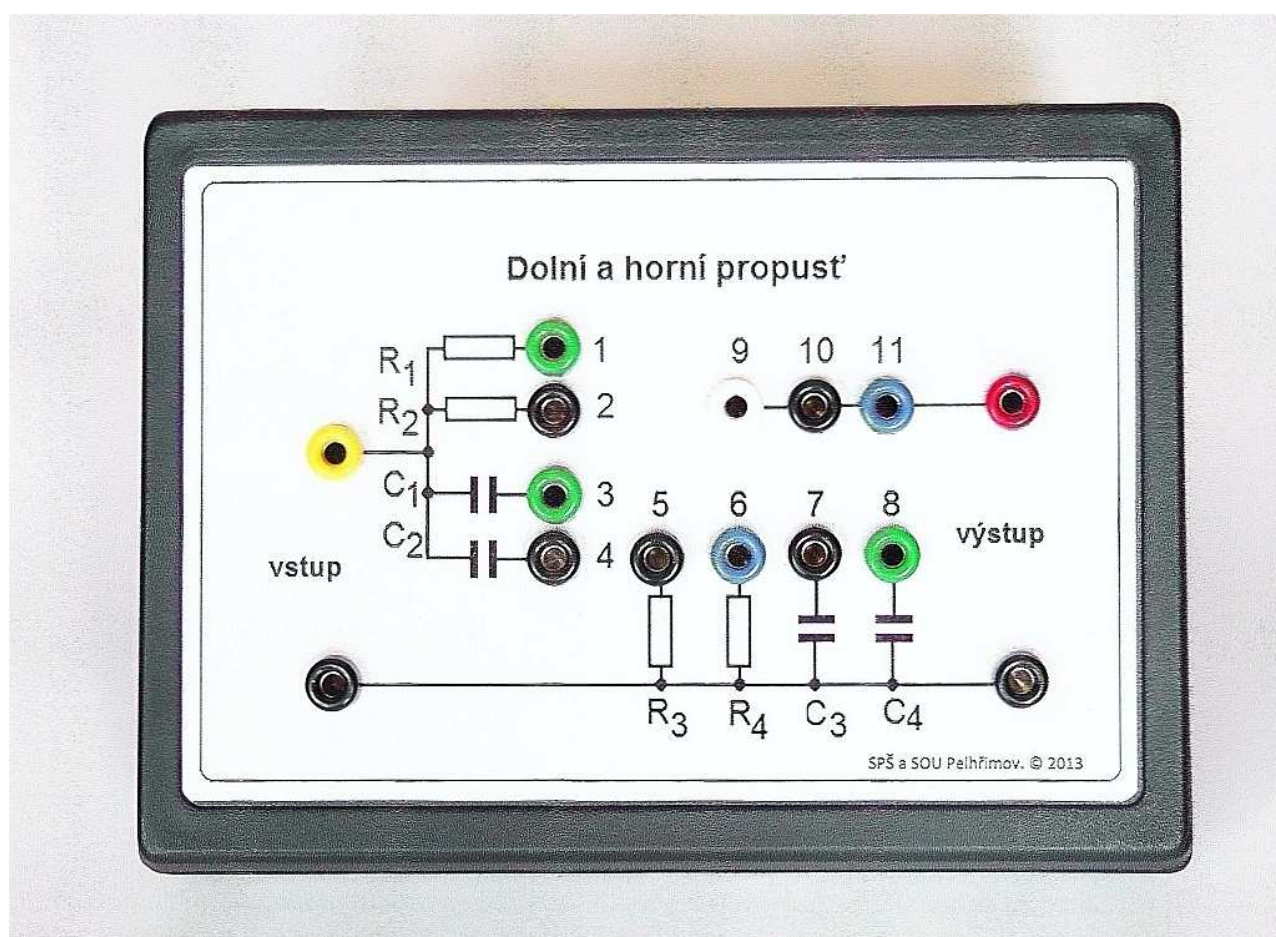
Nakreslit na milimetrový papír , body proložit podle křivítka! Pro konstrukci grafu je možno též použít PC.

7. Závěr

V závěru uveďte:

- naměřenou šířku pásma dolní propusti B .
- vypočtenou a změřenou mezní frekvenci dané propusti.
- zhodnoťte celé měření z hlediska náročnosti a přesnosti naměřených veličin.

MĚŘENÍ HORNÍ PROPUSTI RC



MĚŘENÍ HORNÍ PROPUSTI RC

1. Zadání

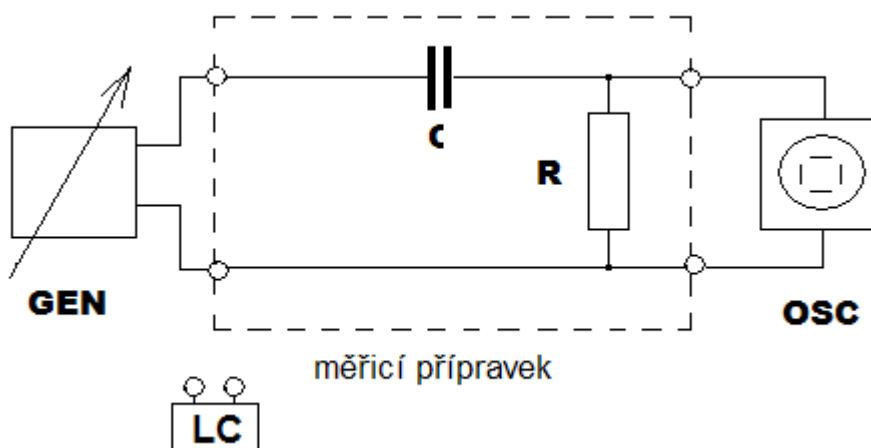
Změřte následující parametry horní propusti sestavené z RC prvků:

- Frekvenční charakteristiku RC propusti v rozsahu 10 Hz – 50 kHz
- Mezní frekvenci f_M pro pokles výstupního napětí o 3 dB.
- Šířku potlačeného pásma horní propusti B_p .

Naměřené hodnoty vynesete do grafu $U_2=fce(f)$. V grafu vyznačte mezní frekvenci f_M pro pokles napětí o 3 dB a změřenou potlačenou šířku pásma horní propusti RC.

Naměřenou hodnotu mezní frekvence horní propusti ověřte výpočtem z údajů o velikosti RC členů v měřeném přípravku.

2. Schema zapojení



Legenda:

GEN -vř generátor 10 Hz – 2 MHz

RC- měřená dolní propust' (přístroj)

OSC- osciloskop

LC- LC multimetr

3. Teoretický rozbor

RC členy - propusti, filtry

Nejjednodušší RC členy, tzv. poločlánky, jsou složeny z rezistoru a kondenzátoru – proto RC. Jedna součástka je vždy v sérii (v cestě signálu) a druhá paralelně k výstupu propusti.

Mezi poločlánky patří **horní propust** - propouští vyšší kmitočty. Určující kmitočet je tzv. **kmitočet mezní**.

Charakteristické vlastnosti těchto propustí:

Kmitočet, při kterém dojde ke zmenšení zisku směrem k nižším kmitočtům o -3 dB, se nazývá kmitočet mezní, označovaný většinou f_M . V tomto okamžiku je na výstupu propusti napětí $(1/\sqrt{2}) \times$ **menší**, než vstupní, to znamená klesne na hodnotu **0,707** napětí vstupního.

Od hodnoty f_M (-3dB) napětí stoupá s tzv. strmostí -20 dB/dekádu, to znamená, že se vždy zvětší o 20 dB při změně kmitočtu o desetinásobek.

Vztah pro určení mezního kmitočtu pro danou propust:

$$f_M = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

Šířku potlačeného pásma určuje hodnota mezní frekvence f_M této propusti.

Výpočty: Požadované údaje znamenají toto:

Poklesy napětí 3dB: 0,707 maximálního naměřeného napětí.

Dekáda: kmitočet 10x vyšší nebo 10x nižší, než kmitočet mezní.

4. Postup měření

- Zapojíme horní propust' na měřicí přístroje dle schema zapojení. Na generátoru nastavíme pro snadnější odečet výstupní napětí 10 V špička-špička

- Měníme frekvenci generátoru a na osciloskopu odečítáme hodnoty výstupního napětí U_2 . Pokles tohoto napětí směrem k nižším kmitočtům na hodnotu 7,07 V odpovídá poklesu o 3 dB. Zaznamenejme tuto frekvenci jako frekvenci mezní. Zároveň tato frekvence určuje i šířku potlačeného pásma horní propusti.

- LC měřičem změříme hodnoty použitého odporu a kondenzátoru pro výpočet mezní frekvence horní propusti.

- Na závěr vyneseme graf $U_2=f(f)$ a v grafu vyznačíme mezní frekvenci f_M a naměřenou šířku potlačeného pásma B_p . Změřenou hodnotu mezní frekvence ověříme výpočtem z naměřených hodnot použitých prvků – kapacita- odpor.

5. Tabulka naměřených hodnot

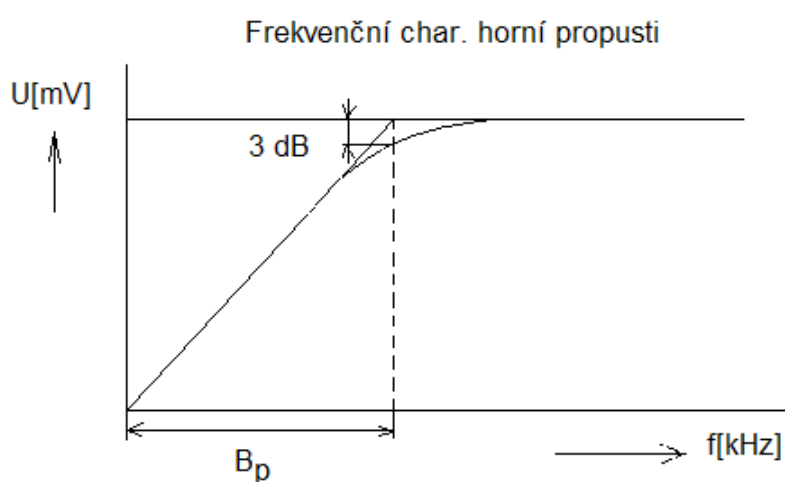
p.č.	1	2	3	4	5	6	7	8
f [kHz]								
U_R [V]								

p.č.	9	10	11	12	13	14	15	16
f [kHz]								
U_R [V]								

Souhrn naměřených hodnot.

- změřená mezní frekvence: $f_M = \dots\dots$ kHz
- vypočtená mezní frekvence: $f_{MV} = \dots\dots$ kHz
- šířka potlačeného pásma horní propusti: $B_p = \dots\dots$ kHz
- hodnota kondenzátoru $C_x: \dots\dots$ kO
- hodnota odporu $R_y \dots\dots$ nF

6. Graf



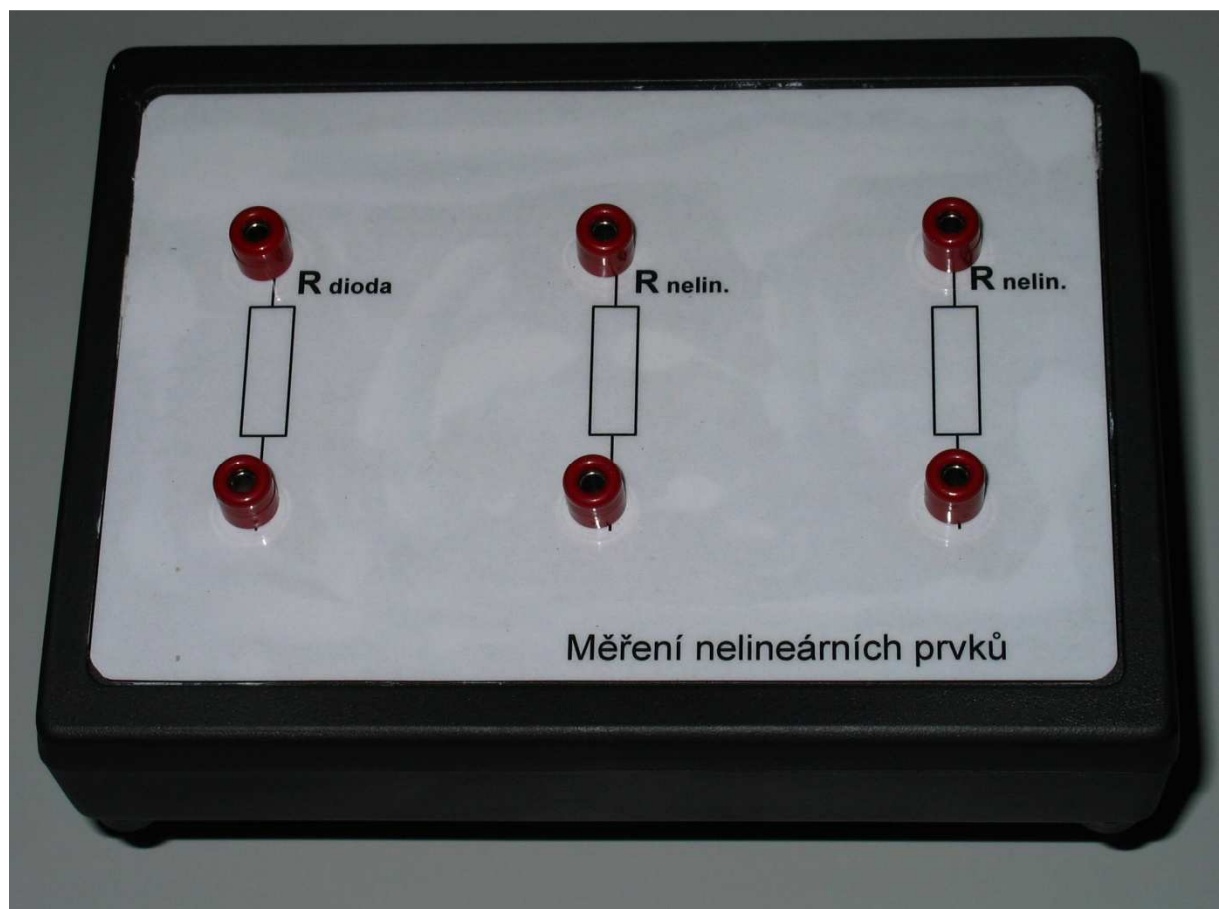
Nakreslit na milimetrový papír , body proložit podle křivítka! Pro konstrukci grafu je možné též použít PC.

7. Závěr

V závěru uveďte:

- naměřenou potlačenou šířku pásma horní propusti B_p .
- vypočtenou a změřenou mezní frekvenci dané propusti.
- zhodnoťte celé měření z hlediska náročnosti a přesnosti naměřených veličin.

VOLTAMPÉROVÁ CHARAKTERISTIKA NELINEÁRNÍCH PRVKŮ

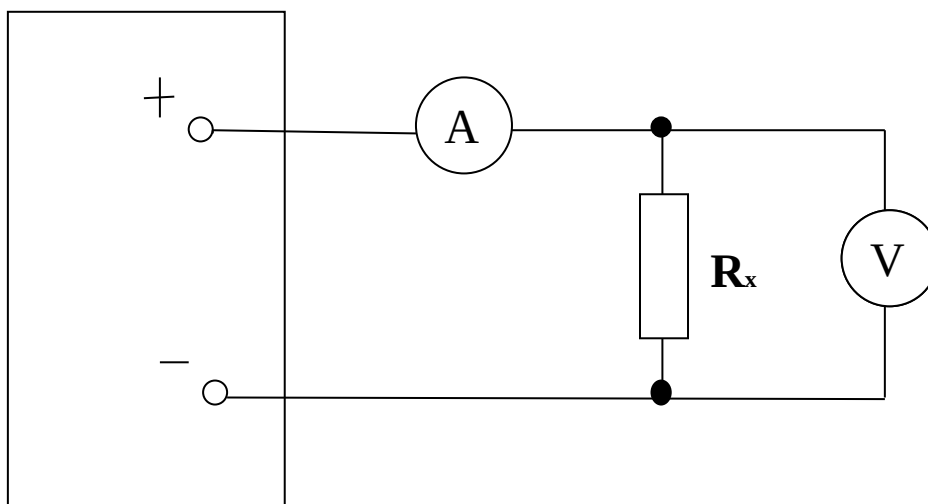


VOLT-AMPÉROVÁ CHARAKTERISTIKA NELINEÁRNÍCH PRVKŮ

1. Zadání

Změřte volt-ampérovou charakteristiku určeného prvku a zakreslete ji do grafu. Změřte volt-ampérovou charakteristiku diody a vysvětlete na ní usměrňovací schopnosti diod.

2. Schema zapojení



Legenda: **A** - ampérmetr

V - voltmetr

R_x - odpor měřeného nelineárního prvku

3. Teoretický rozbor

Volt-ampérová charakteristika prvku se proměřuje proto, abychom získali informaci, jak se chová daný prvek při různých hodnotách. Většinou je určeno odstupňování nastavovaného napětí a při něm se odečítá velikost naměřeného proudu. Nastavování hodnot napětí se provádí pomocí laditelného zdroje, nebo pomocí napěťového děliče.

Ten se realizuje přes proměnný odpor, který je zapojen jako potenciometr.

Nelineární prvky mají jako graf závislosti napětí a proudu křivku, která se liší od přímky v celém průběhu, nebo jen v určité části. Příkladem takového prvku může být například dioda. Určením její volt-ampérové charakteristiky můžeme ověřit usměrňovací vlastnosti diod. Při vynášení grafu diody je vhodné vyznačit a určit prahové napětí v propustném směru a u Zenerovy diody průrazné napětí v závěrném směru, neboť jsou to hodnoty, které určují základní vlastnosti. Většina součástek nebo spotřebičů má lineární voltampérovou

charakteristiku. V některých případech není VA char. úplně lineární, ale z důvodu zjednodušení se malé nelinearity zanedbávají a součástky považujeme za lineární.

Za lineární součástku můžeme považovat např. rezistor. Nelineární součástky mají VA char. ve tvaru např. exponenciály nebo jakékoliv jiné křivky (dioda, termistor, stabilizátory, usměrňovače...) VA char. dělíme na jednoznačné a víceznačné. U víceznačných charakteristik jedné hodnotě závisle resp. nezávisle proměnné odpovídají dvě nebo i více hodnot nezávisle resp. závisle proměnné.

Řešení nelineárních obvodů

Obvod obsahující alespoň jeden nelineární prvek je nelineární. Nejznámější nelineární prvky jsou žárovka (průchodem elektrického proudu se její vlákno rozžhává a zvětší svůj odpor), termistor (vyroben z materiálu o vysokém – záporném teplotním součiniteli vodivosti, s rostoucí teplotou klesá jeho odpor, pozistor (s rostoucí teplotou roste odpor), varistor (s rostoucím napětím a intenzitou elektrického pole uvnitř jeho struktury se otvírá, slouží jako přepět'ová ochrana).

Mezi nelineární součástky patří všechny polovodiče – diody, tranzistory, integrované obvody.

Matematické řešení takových obvodů, např. metodou smyčkových proudů nebo uzlových napětí by bylo velmi obtížné. Především bychom k němu museli znát matematickou rovnici VA (voltampérové) charakteristiky tohoto prvku $I = f(U)$, kterou nemáme vždy k dispozici.

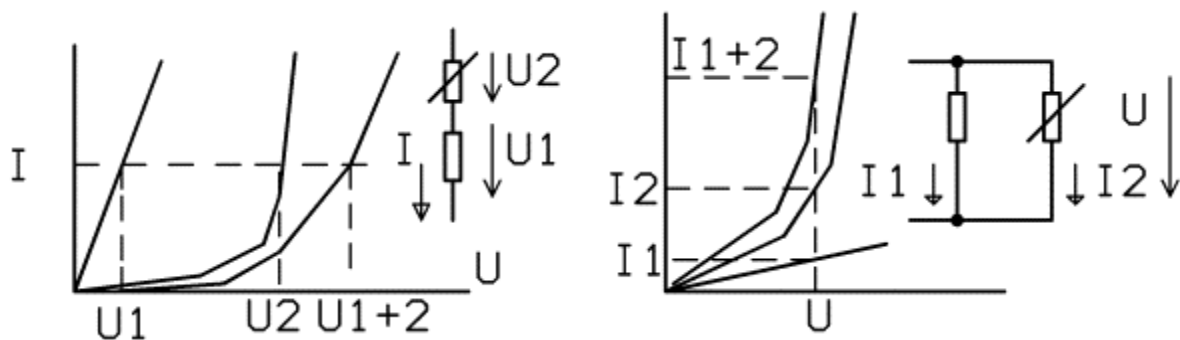
VA charakteristiky nelineárních prvků získáváme nejčastěji měřením (schéma měřícího obvodu viz kapitola Ohmův zákon). Obvykle na osu x vynášíme napětí, na osu y proud. Pokud ji u daného prvku nenajdeme v katalogu výrobce, můžeme si ji sami odměřit.

Máme-li nelineární prvek připojen do obvodu s lineárními součástkami (zdroje napětí, zdroje proudu, rezistory), snažíme se celé zapojení zjednodušit pomocí Theveninovy věty tak, aby zapojení obsahovalo ideální zdroj napětí v sérii s rezistorem (reálný zdroj), ke kterému je připojen nelineární prvek.

Hledáme pracovní bod P nelineárního prvku, to znamená bod na jeho VA charakteristice určující napětí na tomto prvku a proud jím protékající. Ten leží na průsečíku zatěžovací přímky zdroje a VA charakteristiky nelineárního prvku. Zatěžovací přímka zdroje je určena napětím naprázdno U_0 a proudem nakrátko I_k , kde $I_k = U_0 / R_i$ (viz výše uvedený obrázek)

Spojíme-li dva prvky, z nichž alespoň jeden je nelineární, do série, získáme jejich výslednou VA charakteristiku nejlépe jejich grafickým sečtením. Proud, který jimi protéká, je stejný. Graficky sečteme napětí na jednotlivých prvcích v co největším počtu bodů, ze kterých vytvoříme výslednou charakteristiku.

Při paralelním zapojení postupujeme obdobně. Napětí na obou prvcích je stejné, sčítáme proudy tekoucí přes jednotlivé prvky.



Sériové a paralelní zapojení s nelineárními součástkami

4. Postup měření

- Zapojení obvodu dle schématu a pokynů vyučujícího.
- Nastavení napájecího napětí a odečtení proudu.
- Změření hodnot u určených prvků.
- U měření na diodě proměření obou směrů.
- Pro směr propustný zvětšovat napětí po desetině voltu.
- Pro směr závěrný zvětšovat napětí po jednom voltu.

5. Tabulka naměřených hodnot

Podle určených prvků

U[V]	I[mA]

Počet řádků – asi deset v každé směru

6. Graf

Na milimetrovém papíře se vynese závislost napětí a proudu.

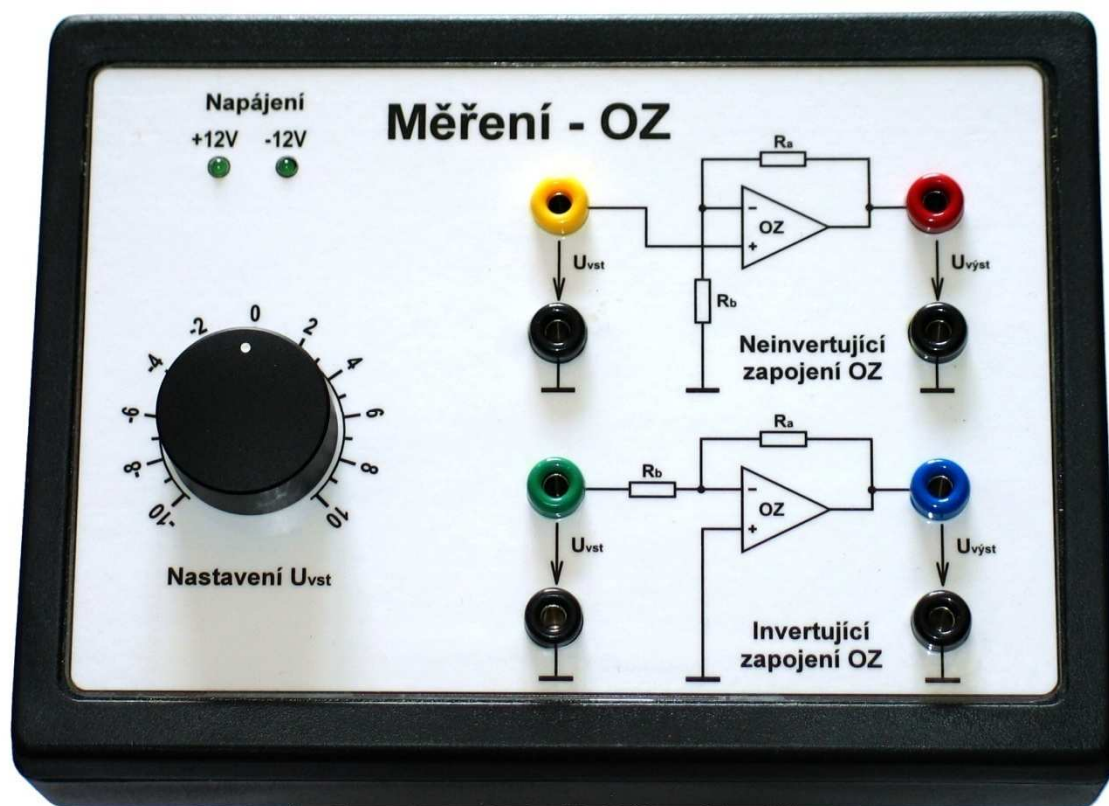
7. Závěr

V závěru uveďte:

Vyhodnocení tvaru volt-ampérové charakteristiky prvku.

Proveďte odečtení některých určujících hodnot z grafu diody (prahové, průrazné napětí).

MĚŘENÍ VSTUPNĚ/VÝSTUPNÍ CHARAKTERISTIKY OZ

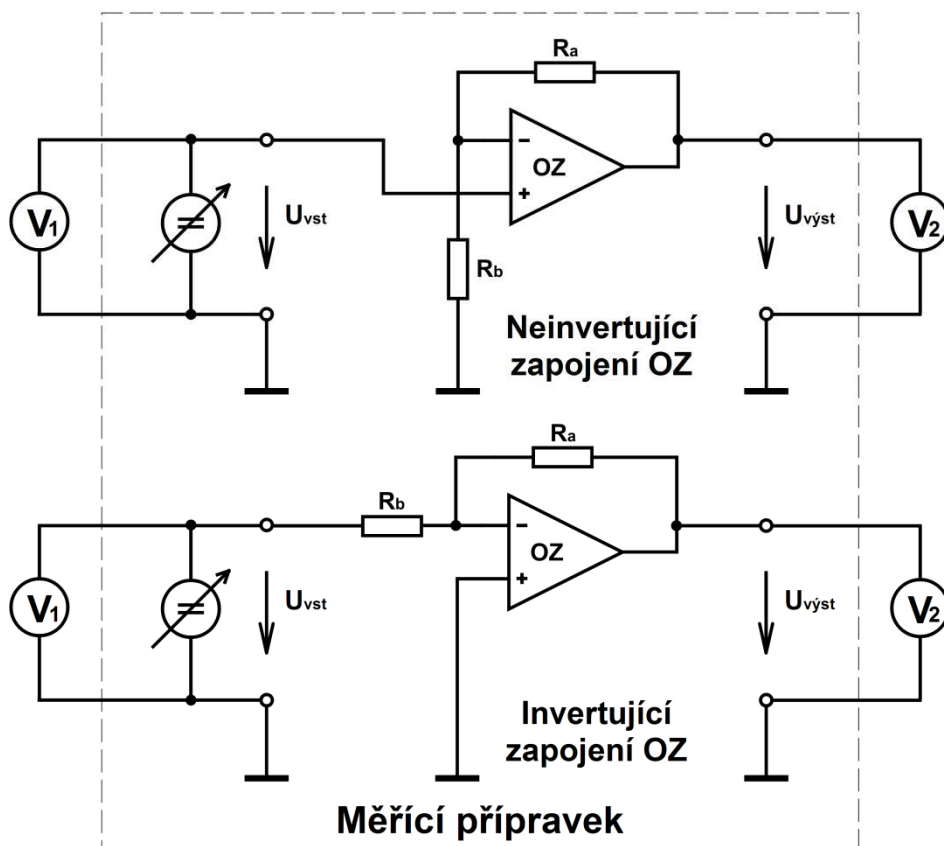


MĚŘENÍ VSTUPNĚ/VÝSTUPNÍ CHARAKTERISTIKY OZ

1. Zadání

Změřte vstupně/výstupní charakteristiku OZ v invertujícím a neinvertujícím zapojení pro určené hodnoty zpětnovazebních odporů. Naměřené hodnoty výstupního napětí zapište do tabulky a doplňte o hodnoty získané výpočtem. Oba výsledky porovnejte a vysvětlete případné rozdíly. Z naměřených a vypočtených hodnot sestrojte pro každé zapojení samostatný graf. Vstupní napětí nastavujte po 1 V od -10 V do +10 V.

2. Schema zapojení



Legenda:

V_1 – Voltmetr (vstupní napětí)

V_2 – Voltmetr (výstupní napětí)

Součástí přípravku je nastavitelný zdroj vstupního napětí U_{vst} .

3. Teoretický rozbor

Ideální OZ:

1. Velké napětíové zesílení AU (ideálně ∞). U reálných OZ je velikost výstupního zesíleného napětí omezena především napájecím napětím.
2. Při zesilování střídavého napětí se zesílení směrem k vyšším kmitočtům zmenšuje. Požadujeme tedy velký rozsah zesilovaných frekvencí střídavého napětíového signálu (ideálně: 0 až ∞ Hz). Proto se u reálných OZ zavádí kmitočtová kompenzace pomocí externích pasivních součástek. Některé OZ mají již tuto kmitočtovou kompenzaci zabudovanou uvnitř a nazýváme ji vnitřní kmitočtovou kompenzací. Avšak vnitřní kompenzace je nastavena pro určitý mezní kmitočet s ohledem na co největší zesílení. V řadě případů je tento kmitočet příliš nízký. Chceme-li tedy dosáhnout širšího přenášeného pásma, volíme operační zesilovač s vnější kompenzací i za cenu menšího zesílení.
3. Zesílení by mělo být nezávislé na zatížení výstupu OZ. To znamená, že by ho neměla ovlivňovat velikost impedance zátěže (odporu). Tento požadavek nelze u tranzistorového zesilovače splnit, ale OZ se splnění této podmínky velmi přibližuje. Jeho výstupní impedance má být co nejmenší, nejlépe nulová.
4. OZ nemá zatěžovat vstupní obvody, ke kterým je připojen a jejichž el. signál zesiluje. Musí tedy vykazovat velkou vstupní impedanci, nejlépe nekonečnou. Tomuto stavu se nejvíce přibližují OZ BIFET a BIMOS se vstupními obvody FET, které mají vstupní odpor velmi vysoký, takže připojené obvody prakticky nezatěžují (vstupem OZ téměř neprochází el. proud).
5. Nulovému vstupnímu napětí musí odpovídat nulové výstupní napětí. Jelikož vstupní obvody OZ nejsou zcela symetrické, na výstupu se OZ se objeví určité napětí i když napětí mezi oběma vstupy je nulové. Tuto nedokonalost je možné a zpravidla i nutné dodatečně kompenzovat. Vstupní napětíová nesymetrie se tedy rovná napětí, které musíme přivést na vstupní svorky OZ, aby výstupní napětí bylo nulové. Kromě toho dochází samovolně ke změnám vstupní napětíové nesymetrie. Tomuto jevu se obvykle říká drift. Protože nejzávažnějším původcem driftu je změna teploty polovodičových přechodů, vstupní napětíovou nesymetrii se podaří zpravidla vykompenzovat až po zahřátí integrovaného obvodu na provozní teplotu.
6. Vstupní klidový proud - napětí, které se objeví na výstupu OZ, i když je vstupní signál nulový, je způsobeno nejen vstupní napětíovou nesymetrií, ale i průchodem vstupního klidového proudu vstupním odporem zesilovače. Vzniklé napětí na odporu se pak zesilovačem zesílí a objeví na výstupu. Jedná se tedy o proud, který musíme přivést na vstup zesilovače, abychom na jeho výstupu dosáhli nulového napětí.
7. Malá vlastní spotřeba [mW]
8. Fázový posun mezi vstupním a výstupním napětíovým signálem je 0° nebo 180°
9. Rychlost přeběhu - rychlost změny výstupního napětí, kterou OZ dokáže vyvinout za jednu mikrosekundu. Udává se ve voltech za mikrosekundu (V/ μ s).

Operační zesilovač (OZ) je součástka se dvěma vstupy a jedním výstupem.

Existují dva druhy:

Symetrické OZ vyžadují dvojí napájení, např. +10 a -10 V oproti zemi. Jejich vstupní i výstupní signál proto může být kladný i záporný.

Nesymetrickým OZ stačí jen jedna polarita napájení, jejich použití je trochu jednodušší. (Samozřejmě ale neumožňují dodat záporná napětí na výstupu, protože se nehodí pro některá zapojení.)

Většinou jde o malý integrovaný obvod se složitým vnitřním zapojením. Vyznačuje se těmito vlastnostmi:

Jeden ze vstupů je značen "+", druhý "-" a OZ zesiluje rozdíl jejich napětí.

Má velmi značné zesílení (a obvykle neznámé v řádu 100000. Pokud je napětí na +vstupu jen o málo vyšší než na -vstupu, výstupní signál je kladný, jinak je záporný.

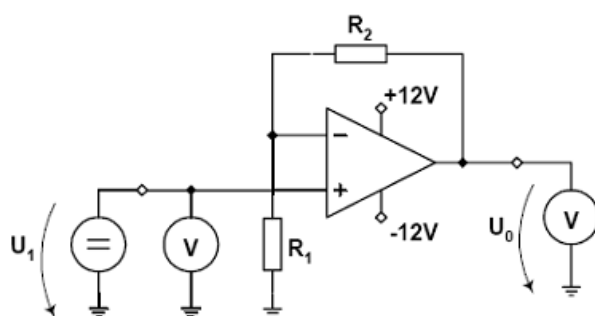
Vstupy mají obrovský vstupní odpor - OZ je ovládán napětím a ze vstupů neodebírá skoro žádný proud.

Operační zesilovač v neinvertujícím zapojení

Zpětná vazba znamená, že nějakým způsobem propojíme signál výstupu na vstup.

Pokud je zpětná vazba kladná, zvýší míru zesílení a to vede obvykle k nestabilitě obvodu, který se pak přepne do horní nebo dolní krajní polohy a setrvává v ní. Pokud je kladná vazba zpožděná, může to způsobit rozkmitání obvodu.

V našem případě použijeme zápornou zpětnou vazbu, abychom OZ "zkrotili" a dali jeho zesilovacím schopnostem rozumné a známé meze. V nejjednodušším případě obvod zapojíme takto:



Operační zesilovač v neinvertujícím zapojení

Vidíme, že rezistory R_1 a R_2 zde tvoří napěťový dělič. Zesílení v neinvertujícím zapojení jednoduše spočítáme podle vzorce:

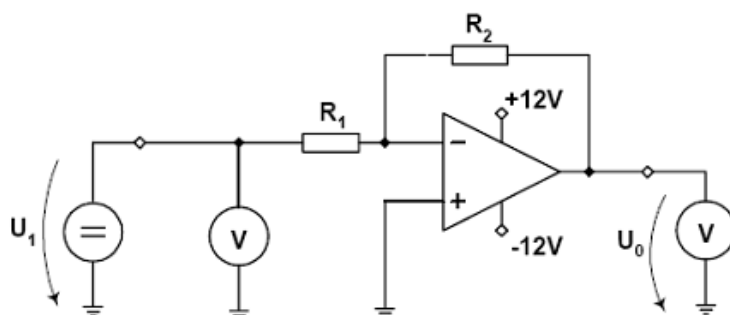
$$A_u = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Operační zesilovač v invertujícím zapojení

Operační zesilovač lze (mimo jiné) zapojit i tak, aby měl zesílený signál obrácenou hodnotu. Oproti předchozímu zapojení stačí zaměnit uzemnění a vstup signálu.

Zde se OZ opět snaží dosáhnout stejného napětí na svých vstupech. Protože je na +vstupu nulové napětí, musí mít výstup vždy opačné napětí, aby to vyrovnal. Zesílení invertujícího zapojení pak spočítáme takto:

$$A_u = - \frac{R_1}{R_2}$$



Operační zesilovač v invertujícím zapojení

4. Postup měření

- měřící přípravek připojte ke zdroji střídavého napětí 24 V
- nejprve budete měřit OZ v neinvertujícím zapojení
- do zdírek označených „ U_{vst} “ připojte V-metr, kterým budete měřit vstupní napětí
- do zdírek označených „ $U_{výst}$ “ připojte V-metr, kterým budete měřit výstupní napětí
- regulačním knoflíkem označeným „**Nastavení U_{vst}** “ zvyšujte postupně vstupní napětí od -10 V až do +10 V po 1 V (do tabulky ale zapisujte skutečně naměřenou hodnotu, protože úplně přesné nastavení požadované hodnoty je velmi obtížné)
- naměřené hodnoty výstupního napětí „ $U_{výst}$ “ zapisujte do připravené tabulky (celkem asi 21 hodnot)
- z naměřených hodnot zakreslete do připraveného grafu V/V charakteristiku
- stejným způsobem pokračujte i při měření OZ v invertujícím zapojení
- zdroj vstupního napětí je společný pro obě zapojení OZ a lze ho považovat za ideální (nulový výstupní odpor) a zapojení obou OZ se vzájemně neovlivňují
- do třetí řádky tabulky doplňte hodnotu výstupního napětí U_{teor} získanou výpočtem podle vzorce pro výpočet zesílení OZ v daném zapojení
- z naměřených a vypočtených hodnot sestrojte vstupně/výstupní charakteristiku (jeden graf pro jedno zapojení, ale společný pro naměřené a vypočtené hodnoty)

5. Tabulka

Neinvertující zapojení: vypočtené $A_u = \dots\dots\dots$ pro $R_1 = \dots\dots\dots$ a $R_2 = \dots\dots\dots$

Hodnota:	-10V	-9V	-8V	-7V	-6V	-5V	-4V	-3V	-2V	-1V	0V
U_{vst} [V]											
$U_{výst}$ [V]											
U_{teor} [V]											

Hodnota:	+1V	+2V	+3V	+4V	+5V	+6V	+7V	+8V	+9V	+10V
U_{vst} [V]										
U_{výst} [V]										
U_{teor} [V]										

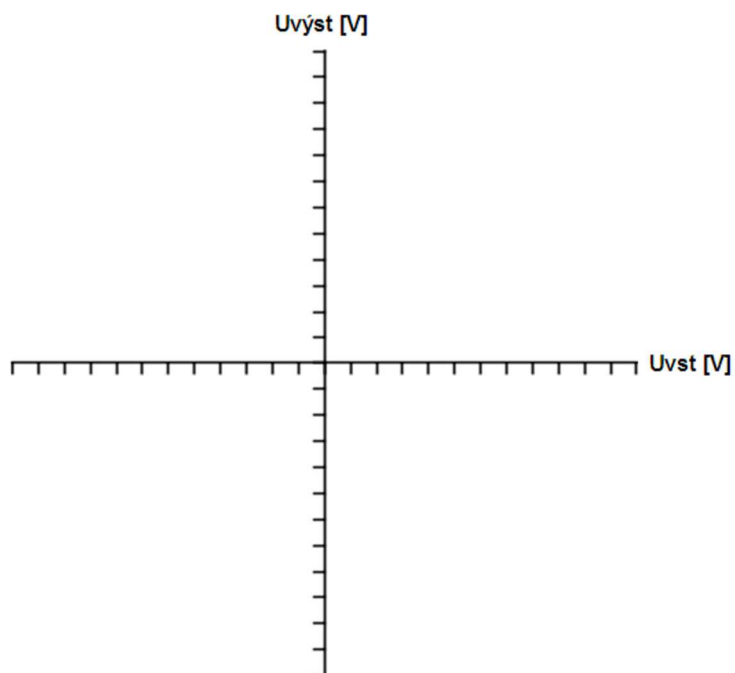
Invertující zapojení: vypočtené $A_u = \dots\dots\dots$ pro $R_1 = \dots\dots\dots$ a $R_2 = \dots\dots\dots$

Hodnota:	-10V	-9V	-8V	-7V	-6V	-5V	-4V	-3V	-2V	-1V	0V
U_{vst} [V]											
U_{výst} [V]											
U_{teor} [V]											

Hodnota:	+1V	+2V	+3V	+4V	+5V	+6V	+7V	+8V	+9V	+10V
U_{vst} [V]										
U_{výst} [V]										
U_{teor} [V]										

6. Graf

2x -Neinvertující zapojení a Invertující zapojení

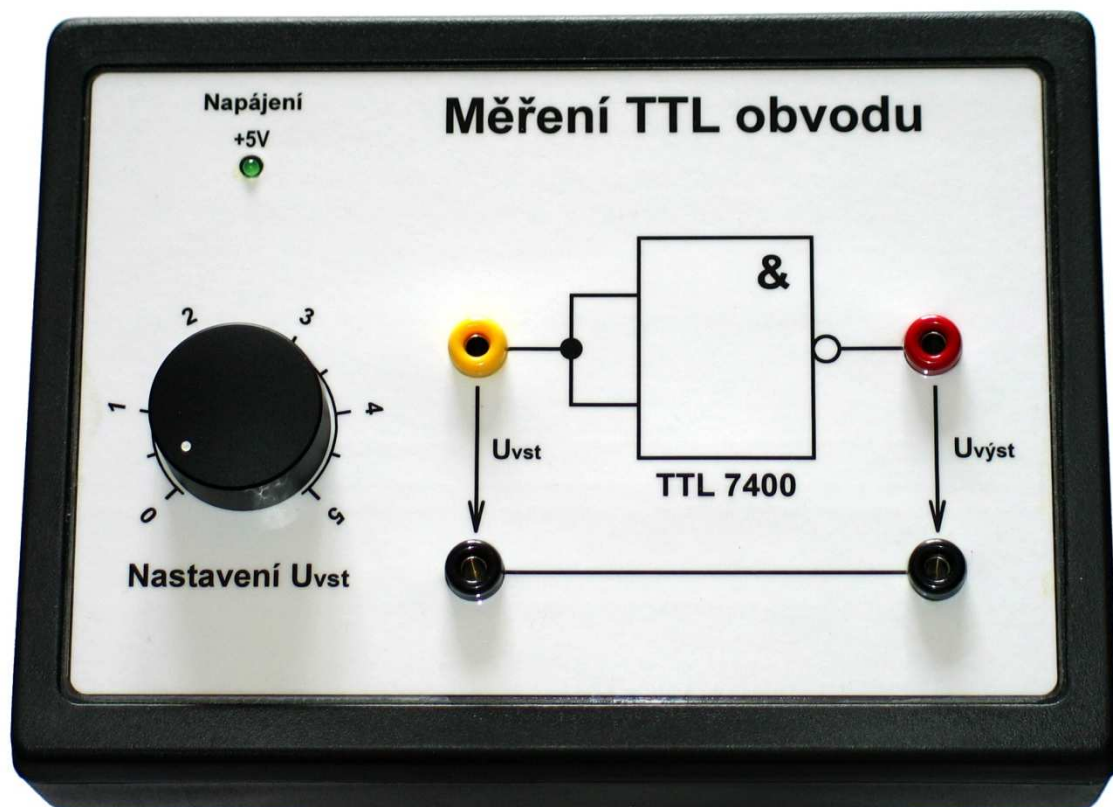


7. Závěr

V závěru uveďte:

- Jak moc se shoduje naměřená charakteristika s ideální vypočtenou charakteristikou.
- Zdůvodněte, proč se skutečná V/V charakteristika liší od ideální.
- Jaký je rozsah použitelných vstupních napětí pro dané hodnoty součástek a proč ?
- Zhodnoťte náročnost a přesnost celého měření.

MĚŘENÍ VSTUPNĚ/VÝSTUPNÍ CHARAKTERISTIKY TTL HRADLA NAND

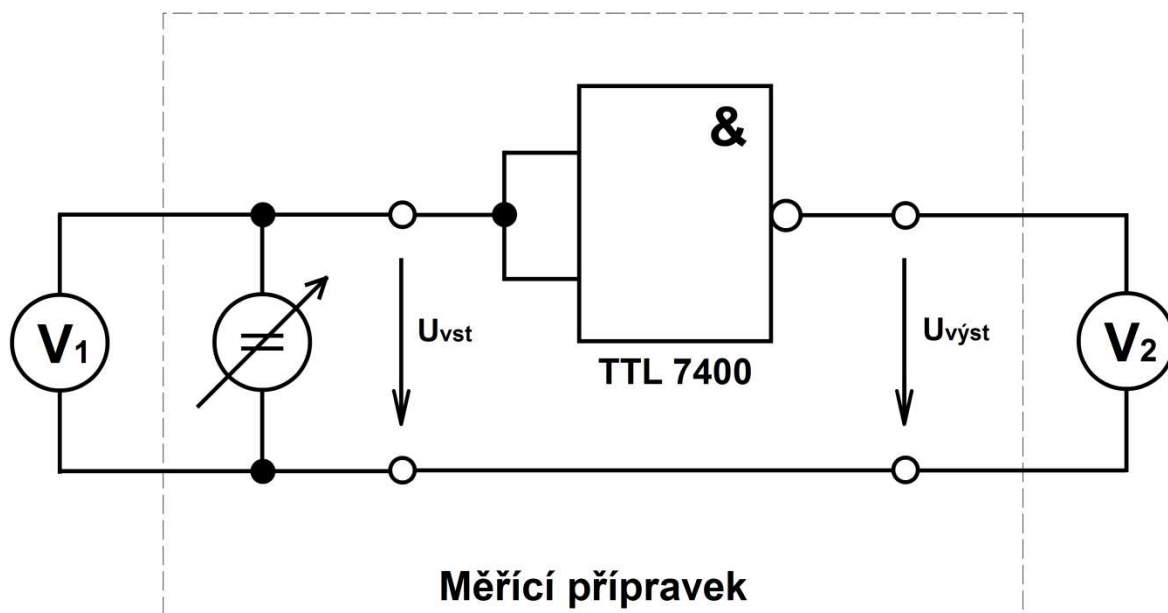


MĚŘENÍ VSTUPNĚ/VÝSTUPNÍ CHARAKTERISTIKY TTL HRADLA NAND

1. Zadání

Změřte vstupně/výstupní charakteristiku TTL hradla NAND 7400. Naměřené hodnoty výstupního napětí zapište do tabulky. Z naměřených hodnot sestrojte do připraveného grafu průběh závislosti výstupního napětí na napětí vstupu. Výsledky porovnejte s již zakresleným teoretickým průběhem a vysvětlete případné rozdíly. Vstupní napětí nastavujte po takových hodnotách, aby bylo možné dostatečně přesně určit výrazné změny (zlomy) výstupního napětí.

2. Schema zapojení



Legenda:

V_1 – Voltmetr (vstupní napětí)

V_2 – Voltmetr (výstupní napětí)

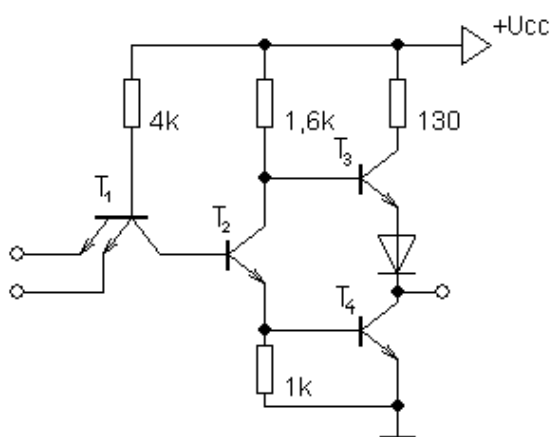
Součástí přípravku je nastavitelný zdroj vstupního napětí U_{vst} .

3. Teoretický rozbor

Každé dvouvstupové hradlo NAND integrovaného obvodu TTL7400 plní logickou funkci negovaného logického součinu: $y = \overline{a \cdot b}$ podle funkční tabulky (pravdivostní tabulky):

a	b	y
L	L	H
L	H	H
H	L	H
H	H	L

kde L je úroveň log. 0 a H úroveň log. 1.



Obr. 1: Zapojení jednoho logického členu NAND s dvojčinným koncovým stupněm.

Princip jeho činnosti je následující (dle obvodového schéma na obr.1):

Přivedeme-li na jeden nebo (nebo oba) vstup hradla signál o úrovni L, bude příslušný přechod (přechody) báze-emitor tranzistoru T_1 polarizován v propustném směru, neboť báze bude kladnější než emitor. Tranzistor T_1 bude v nasyceném stavu - bude mít malý odpor mezi kolektorem a emitorem. Tranzistorem T_1 se odvádějí nosiče proudu z báze tranzistoru T_2 , kde byly nahromaděny při předchozím pracovním cyklu. Tranzistory T_2 a T_4 jsou účinkem T_1 uzavřeny. Tranzistor T_3 pracuje jako emitorový sledovač. Udrží výstupní úroveň obvodu ve stavu H, t.j. na napětí, které je asi o 1,5 V menší, než je napětí U_{CC} . Zvětší-li se napětí vstupu (úroveň L) nad asi 0,7 V, počne se tranzistor T_2 otevírat, avšak tranzistor T_4 zůstane uzavřen. Při zvětšování napětí na vstupu se bude výstupní napětí (stav H) zmenšovat. Jakmile napětí na vstupu dosáhne asi 1,4 V, otevře se i tranzistor T_4 . Zvětší se celkové zesílení obvodu a při malé změně napětí na vstupu dojde k velké změně napětí na výstupu. Při dalším zvětšování napětí na vstupu se bude tranzistor T_2 dokonaleji otevírat a napětí na jeho kolektoru se bude zmenšovat. Tím se bude uzavírat tranzistor T_3 , jemuž je účinkem tranzistoru T_2 odnímán proud báze. K tomu přispívá dioda D, která zabezpečuje, že napětí na emitoru tranzistoru T_3 bude při sepnutých tranzistorech T_2 a T_4 prakticky stejné jako napětí na bázi tranzistoru T_3 . Tranzistor T_4 je nyní v nasyceném stavu a výstupní napětí obvodu je rovné saturačnímu napětí tohoto tranzistoru, tj. asi 0,4 V. Výstupní napětí tedy má úroveň L. Budeme-li měnit nyní vstupní úroveň H na L, probíhá celý pochod obráceně. Nosiče proudu nahromaděné na bázi tranzistoru T_4 jsou odváděny odporem R_3 , nosiče proudu na bázi tranzistoru T_2 jsou odváděny tranzistorem T_1 , který je nasycen. Tranzistor T_3 se otevírá a pracuje jako emitorový sledovač.

Je-li na vstupu hradla nulové napětí, tj. je-li vstup spojen se společným bodem 0, protéká jím proud daný napětím U_{CC} , odporem R_1 a úbytkem napětí na přechodu báze-emitor tranzistoru T_1 v propustném směru. Velikost proudu je asi $-1,1$ mA. Záporné znaménko určuje směr proudu ven z obvodu. Zvětšuje-li se napětí na vstupu, záporný proud se zmenšuje. Při vstupním napětí asi $1,4$ V bude proud nulový. S dalším zvětšováním napětí na vstupu se přechod báze-emitor polarizuje do závěrného směru. Vstupní proud je nyní kladný (vtéká do obvodu) a je určen převážně proudem tohoto přechodu v závěrném směru. Proud je řádu jednotek až desítek μA . Bude-li napětí na vstupu větší než 5 V, závěrný proud přechodu se lavinovitě zvětší a dosáhne se průrazného napětí přechodu. Zvětšení vstupního napětí pak vede k destrukci tranzistoru T_1 . Přivedeme-li na vstup záporné napětí, bude se záporný vstupní proud zvětšovat. Při velikosti tohoto napětí asi -1 V začne vést tzv. záchranná dioda, zapojená mezi každý vstup a zem (katoda na vstupu). Ta nyní „převezme zatížení“ obvodu; bude-li se záporné vstupní napětí dále zvětšovat, zvětší se i proud touto diodou, což může vést k její destrukci a tedy k destrukci celého obvodu. Pro běžný provoz se proto trvalé zatěžování vstupu záporným napětím nepřipouští.

Výstup uvažovaného obvodu je realizován tak, aby dovozoval vhodně řídit vstupy navazujících integrovaných obvodů téže řady. Je-li vstup ve stavu H, vtéká do něj vstupní proud. Výstup obvodu ve stavu H musí tedy tento proud dodávat. Je-li vstup ve stavu L, vstupní proud z něj vytéká. Výstup obvodu ve stavu L musí tedy tento proud přijímat. Je tedy třeba rozlišit zatěžování výstupu, je-li ve stavu H, a zatěžování výstupu, je-li ve stavu L. Dostáváme tak dvě zatěžovací charakteristiky.

Je-li výstup ve stavu H, je jeho napětí udržováno (do jisté míry) emitorovým sledovačem. Zatěžujeme-li výstup nadměrně, t.j. odebíráme-li z něj větší proud, bude se výstupní napětí se zvětšováním proudu zmenšovat prakticky lineárně. Výstupní napětí se zmenšuje asi o 70 mV na 1 mA. Při běžném provozu, jak je definován elektrickými parametry obvodu, odebírá se v tomto stavu z výstupu proud nejvýše 400 μA .

Je-li výstup ve stavu L, je výstupní napětí určeno saturačním napětím tranzistoru T_4 . Zatěžujeme-li výstup tj. přivádíme-li do něj proud (proud je záporný), bude se výstupní napětí s proudem zvětšovat. Při běžném provozu, definovaném elektrickými parametry obvodu, je do výstupu přiváděn proud nejvýše 16 mA. Budeme-li z výstupu ve stavu L proud odebírat, bude se výstupní napětí zmenšovat.

Všimneme si ještě způsobu, jakým je zatěžován napájecí zdroj U_{CC} v průběhu činnosti obvodu. Je-li výstup obvodu ve stavu H, je ze zdroje odebírán proud asi 4 mA, je-li ve stavu L, je ze zdroje odebírán proud asi 10 mA. Při změnách stavu obvodu, tj. během spínání a vypínání tranzistorů je zdroj zatěžován špičkami přechodových proudů. Ze špiček je nejzávažnější špička při přechodu výstupu ze stavu L do stavu H, kdy se mění současně stavy tranzistorů T_3 a T_4 a kdy se odvádějí nosiče proudu nahromaděné v bázi tranzistoru T_4 . Tato špička zvětšuje odběr ve stavu L asi o 10 mA.

K výstupu popsaného logického členu lze připojit jeden nebo několik vstupů následných obvodů, které jsou výstupem řízeny. Počet vstupů obvodu TTL, který je možno připojit k výstupu obvodu téže řady, udává tzv. logický zisk obvodu. Označuje se též jako větvitelnost nebo logická zatížitelnost. Logický zisk obvodu podle obr. 1 je roven 10 . Z jeho výstupu je tedy možno řídit nejvýše deset vstupů obvodů téhož typu. V praxi jsou případy, kdy tento logický zisk nedostačuje. Pak je třeba použít výkonové logické obvody, jejichž logický zisk je větší, obvykle 30 .

4. Postup měření

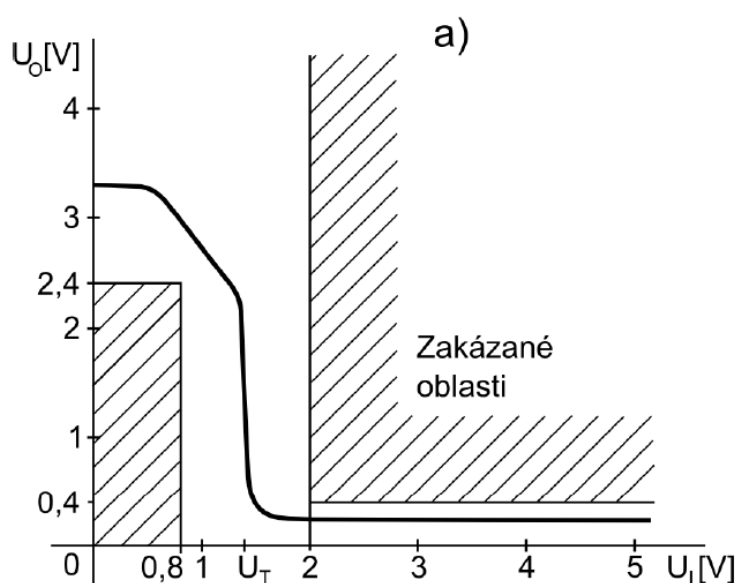
- měřící přípravek připojte ke zdroji střídavého napětí 24 V
- do zdírek označených „ U_{vst} “ připojte V-metr, kterým budete měřit vstupní napětí
- do zdírek označených „ $U_{výst}$ “ připojte V-metr, kterým budete měřit výstupní napětí
- regulačním knoflíkem označeným „**Nastavení U_{vst}** “ zvyšujte postupně vstupní napětí až do hodnoty $+U_{cc}$. Při měření převodní charakteristiky dochází při určitém vstupním napětí k prudkému poklesu výstupního napětí. Z tohoto důvodu je třeba nejprve zhruba určit velikost tohoto napětí a potom charakteristiku proměřit zejména v jeho blízkosti, kde dochází k nejmarkantnějším změnám. (Nelze postupovat tak, že budeme vstupní napětí zvyšovat o konstantní hodnotu !)
- naměřené hodnoty zapisujte do připravené tabulky (celkem asi 20 hodnot)
- z naměřených hodnot zakreslete do připraveného grafu V/V charakteristiku

5. Tabulka

Hodnota:	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
U_{vst} [V]										
$U_{výst}$ [V]										

Hodnota:	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.
U_{vst} [V]										
$U_{výst}$ [V]										

6. Graf

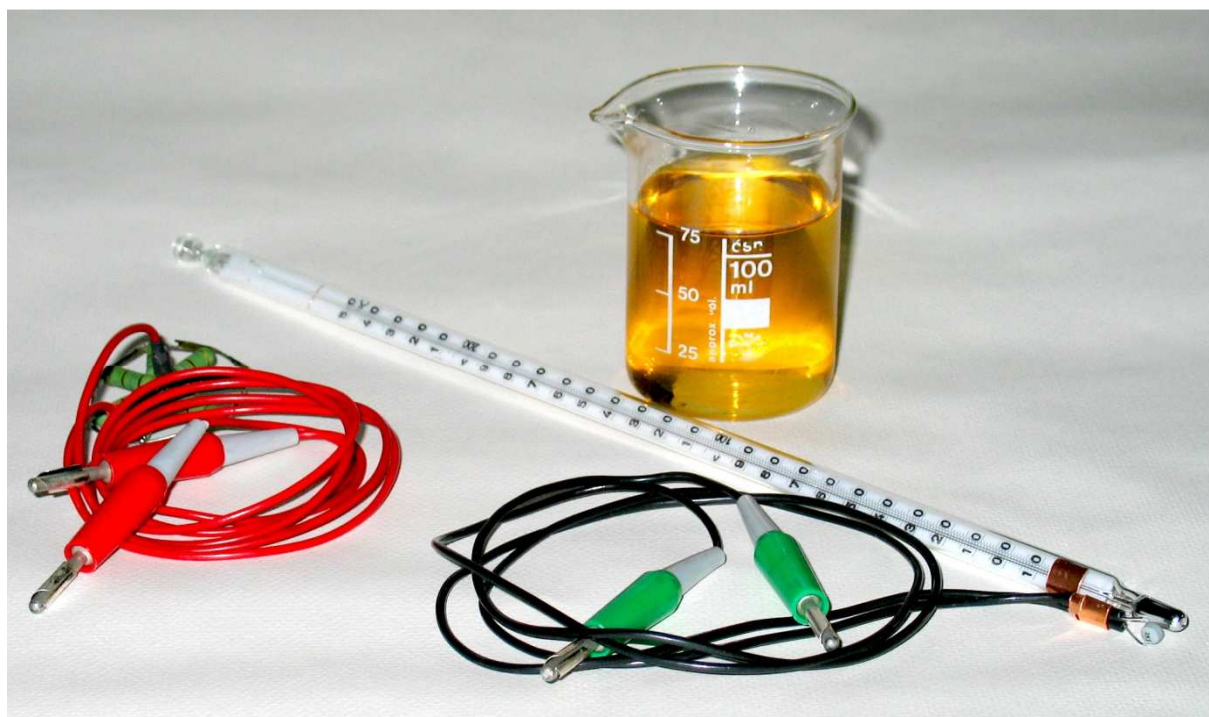


7. Závěr

V závěru uveďte:

- Jak moc se shoduje naměřená charakteristika s ideální teoretickou charakteristikou.
- Jaké jsou skutečné naměřené hodnoty U_{vst} , které odpovídají úrovni log. 0 a log. 1 na výstupu a zda tyto hodnoty korespondují s katalogovými údaji pro danou řadu logických obvodů.
- Jaký je rozsah zakázaných hodnot, při kterých nejsou na výstupu zaručeny odpovídající hodnoty napětí pro úrovně log. 0 a log. 1.
- Zhodnoťte náročnost a přesnost celého měření.

MĚŘENÍ ZÁVISLOSTI ODPORU TERMISTORU NA TEPLOTĚ

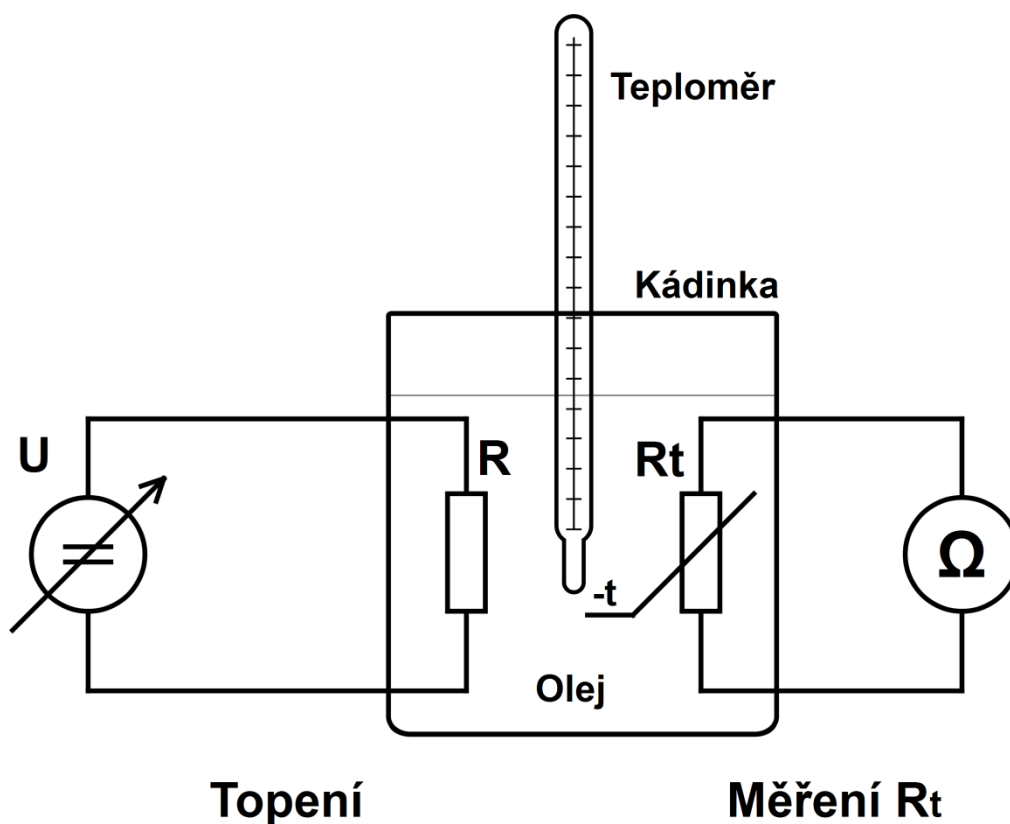


MĚŘENÍ ZÁVISLOSTI ODPORU TERMISTORU NA TEPLITĚ

1. Zadání

Změřte závislost odporu daného termistoru na teplotě v rozsahu od asi $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ po intervalech $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Změřené hodnoty zapisujte do tabulky a porovnejte je s katalogovými údaji. Z naměřených i zjištěných hodnot sestrojte graf a určete typ průběhu. Vysvětlete případné rozdíly mezi naměřenými hodnotami a katalogovými údaji.

2. Schema zapojení



Legenda:

Ω – Ohmmetr

R_t – měřený termistor

U – regulovatelný zdroj napětí pro ohřev olejové lázně $0 - 24\text{ V}/1\text{ A}$

R – topný termistor

Teploměr, kádinka, olej a laboratorní stojan.

3. Teoretický rozbor

Termistor patří mezi součástky vyráběné na bázi polovodičů. Nezáleží u něho na směru proudu a proto se používá i ve střídavých obvodech. Základním vlastností termistoru je změna odporu s růstem teploty. Obecně se za termistor předpokládá prvek, u kterého zvyšováním teploty se odpor zmenšuje. Při této závislosti termistory označujeme jako NTC. Existují však i termistory projevující se opačnou závislostí, u nichž s rostoucí teplotou se zvětšuje i odpor, pak termistor označujeme PTC. Změny odporů bývají u termistorů 5-krát až 50-krát větší než u kovů při stejném teplotním rozdílu.

Elektrická vodivost je způsobena výměnou elektronů mezi sousedními ionty. Energie potřebná k výměně nábojů je malá, takže elektrony (díry) je možno považovat za volné. Jejich koncentrace je prakticky nezávislá na teplotě. S růstem teploty však exponenciálně vzrůstá jejich pohyblivost a teplotní závislost odporu termistoru můžeme opět vyjádřit vztahem:

$$R = R_{\infty} e^{\frac{B}{T}}$$

Veličina B v tomto případě charakterizuje změnu pohyblivosti nositelů náboje.

Veličina R_{∞} je závislá na materiálu a rozměrech polovodiče, veličina B charakterizuje teplotní citlivost termistoru. Teplotní součinitel odporu je pak dán vztahem:

$$\alpha = \frac{-B}{T^2}$$

U termistorů není tedy teplotní součinitel konstantní. S rostoucí teplotou se zmenšuje úměrně kvadrátu teploty. V katalozích elektrotechnických součástek se zpravidla udává jeho hodnota při pokojové teplotě. Experimentálně zjišťujeme jeho hodnotu ze změny odporu termistoru odpovídající změně teploty o 1 K, tedy ze směrnice křivky udávající teplotní závislost odporu stanovené v bodě příslušném zvolené teplotě.

Převážná část průmyslově vyráběných termistorů se připravuje spékáním oxidů některých kovů jako niklu, kobaltu, uranu, železa a dalších, u nichž nejsou valenční sféry zcela zaplněny a při tvorbě oxidů vznikají ionty s rozdílnými náboji.

Termistory NTC - Negative Temperature Coefficient (negistory):

Mají záporný teplotní součinitel, tedy opačný než u kovů. Při zvýšení teploty přibližně o 200°C klesne odpor až o několik řádů. Závislost odporu na teplotě u NTC není lineární, ale exponenciální a to prakticky v celém rozsahu. Používají se pro širší rozsah teplot např. 100-200°C. Pozor na tepelné přetížení termistorů (max. 450mW).

Termistory NTC se vyrábějí v mnoha provedení, např. tenká kruhová destička o průměru 8mm. Většina termistorů se vyznačuje malými rozměry a tedy mají velmi malou teplotní setrvačnost. Termistory se v elektronice uplatňují ve třech odvětvích: měření, kompenzace a spouštění. Při měření se nesmí přivádět na termistor velká napětí, jelikož by se protékajícím proudem zahřál a tím ovlivňoval naměřené hodnoty.

Praktické využití termistorů závisí právě na průběhu jejich teplotní charakteristiky. Charakteristiky u negativních termistorů jsou hladké křivky. Proto nacházejí uplatnění především v měřicí technice. Užívá se jich nejčastěji jako teploměrů, ale též jako anemometrů k měření rychlosti proudícího média. Dále se např. termistory používali u televizních přijímačů s elektronkovou verzí. Zmenšovali proudový náraz u sériově zapojených žhavicích vláken elektronek. Ty se rozžhavovali postupně a termistor ohříváním zmenšoval svůj odpor. Termistorů NTC se též užívá též např. v mnoha kilowattových svítidlech, sériových stejnosměrných motorů atd.

Termistory PTC - Positive Temperature Coefficient (pozistory):

Jsou to vodivé polymery, které jako termistory PTC mají kladný teplotní součinitel, avšak jen ve vymezené oblasti teplot, která je určena nominální teplotou (např. 60°C) a maximální teplotou (např. 100°C). V tomto vymezeném rozsahu je závislost odporu na teplotě téměř lineární a přímá. PTC může sloužit jako teplotní čidlo v regulačních obvodech. Hodí se také všude tam, kde se má předejít přetížení elektronických součástek, ale i silnoproudých zařízení, jako jsou motory, transformátory atd.

PTC v některých případech úspěšně nahrazují dosavadní drátové pojistky, a také slouží ve funkci vypínacích obvodů nebo termostatických spínačů. Činnost pojistky je jednoduchá: dojde-li k nárůstu proudu nad stanovenou mez, PTC rychle a několikanásobně zvětší svůj odpor. Zkratový proud se tedy omezí. Na rozdíl od pojistek se termistor po odeznění zkratu vrátí zpět na původní hodnotu. Nemohou se ale PTC zapojovat do hlavních větví obvodu jelikož za studena nepředstavují nulový odpor, ale řádově na ohmy a desetiny ohmů. Při ochraně obvodů nejde jen o nadměrný proud ale i o rychlost odpojení, u PTC se udává řádově v milisekundách, což vyhovuje i v počítačích např. při ochraně sběrnic. PTC našli své místo též v telekomunikacích: v linkových zakončeních a dokonce i jako náhrada bleskojistek.

4. Postup měření

- připravte si Bunsenův stojan, do kterého upevníte laboratorní teploměr i s upevněným termistorem,
- termistor zapojte na svorky ohmetru a nastavte vhodný rozsah, při kterém bude přesnost měření největší,
- dále si připravte odporové topení, které připojíte ke zdroji nastavitelného napětí (Pozor! Zdroj musí být zatím vypnutý, protože pokud by rezistory určené k ohřívání olejové lázně byly připojeny k napětí mimo olejovou lázeň, hrozilo by jejich přehřátí a tím i zničení!),
- nyní dostanete kádinku s olejem vychlazeným asi na -15 C°,
- do kádinky ponořte do dostatečné hloubky teploměr s termistorem a rezistory topení,
- skleněnou tyčinkou promíchávejte lázeň, aby její teplota byla všude stejná,
- pozorně sledujte teploměr a při dosažení teploty uvedené v tabulce odečtěte odpor termistoru,
- po dosažení teploty asi 10 C° zapněte odporové topení (zpočátku zvolte jen napětí asi 10 V pro nižší výkon a pomalejší nárůst teploty a nezapomeňte důkladně míchat lázeň!),
- po dosažení teploty okolo 20 C°, můžete začít zvětšovat napětí a tím i výkon topení,
- takto postupujte tak dlouho, až dosáhnete teploty 60 C°,
- pokud se stane, že u některé teploty nestihnete odečíst odpor termistoru, tuto hodnotu přeskočte a запиšte následující,
- odpor termistoru pak dopočítáte pomocí interpolace a tuto skutečnost uvedete v závěru,
- po dosažení teploty 60 C° vypněte topení a počkejte, až lázeň vychladne a pak vyjměte teploměr i termistorem a topné rezistory a vše důkladně očistěte,
- z naměřených hodnot sestrojte graf do kterého zanesete i průběh z hodnot udávaných výrobcem (zjistíte z katalogového listu),

5. Tabulka

T [C°]	-10 C°	-8 C°	-6 C°	-4 C°	-2 C°	0 C°	2 C°	4 C°	6 C°	8 C°	10 C°	12 C°
R_t [Ω]												
T [C°]	14 C°	16 C°	18 C°	20 C°	22 C°	24 C°	26 C°	28 C°	30 C°	32 C°	34 C°	36 C°
R_t [Ω]												
T [C°]	38 C°	40 C°	42 C°	44 C°	46 C°	48 C°	50 C°	52 C°	54 C°	56 C°	58 C°	60 C°
R_t [Ω]												

6. Graf

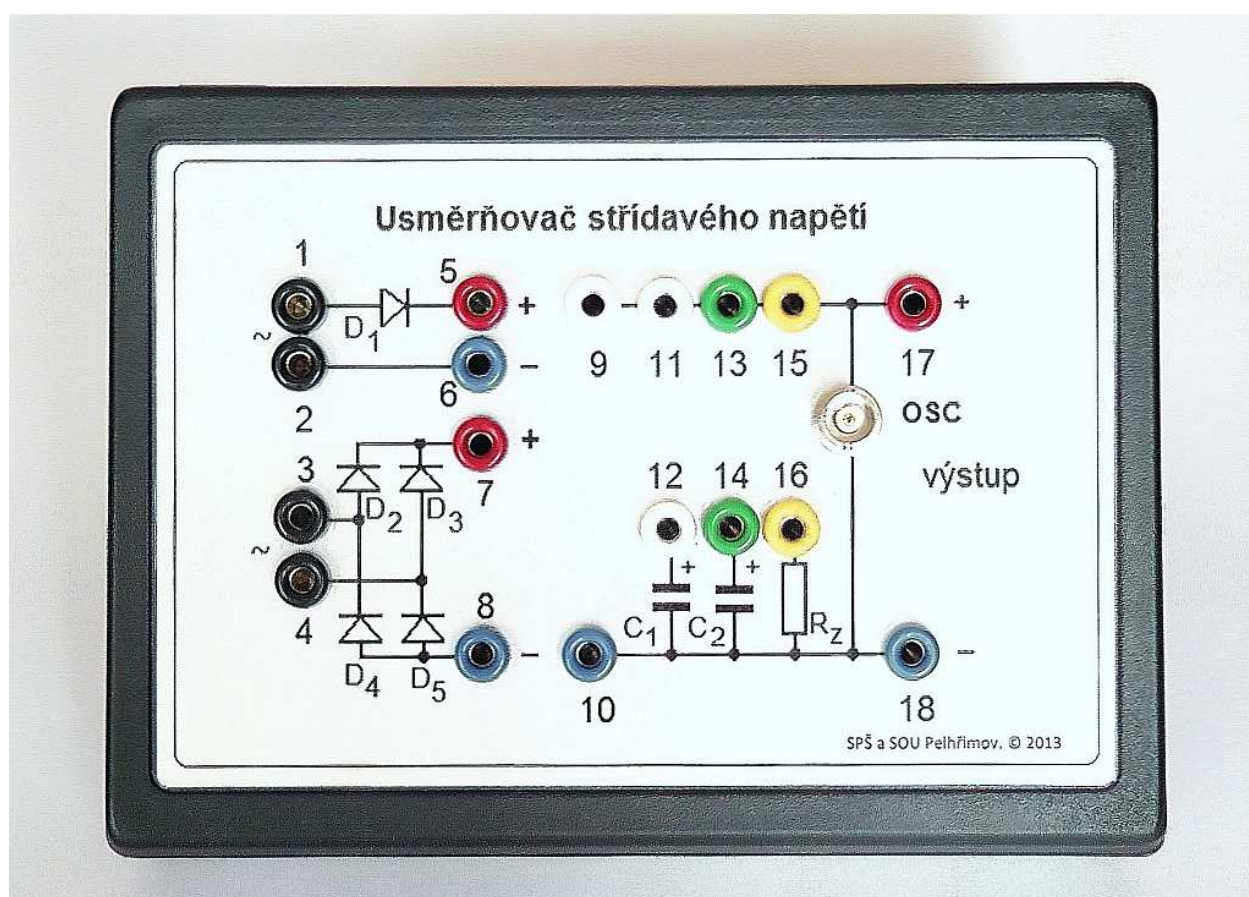
Vyneste graf závislosti odporu termistoru na teplotě $R_t = f(T)$ - milimetrový papír nebo PC.

7. Závěr

V závěru uveďte:

- Jak moc se shoduje naměřená charakteristika s charakteristikou sestavenou z hodnot udávaných výrobcem ?
- Jaká je hodnota odporu termistoru při 25 C° (tu zjistíte interpolací z hodnot pro 24 C° a 26 C°) ?
- Jaký je závislost odporu termistoru na teplotě ?
- Pro jaký rozsah teplot lze tuto závislost považovat za lineární (s přesností $\pm 5\%$)
- Zhodnoťte náročnost a přesnost celého měření.

MĚŘENÍ NA USMĚRŇOVAČI STŘÍDAVÉHO NAPĚTÍ



MĚŘENÍ NA USMĚRŇOVAČI STŘÍDAVÉHO NAPĚTÍ

1. Zadání

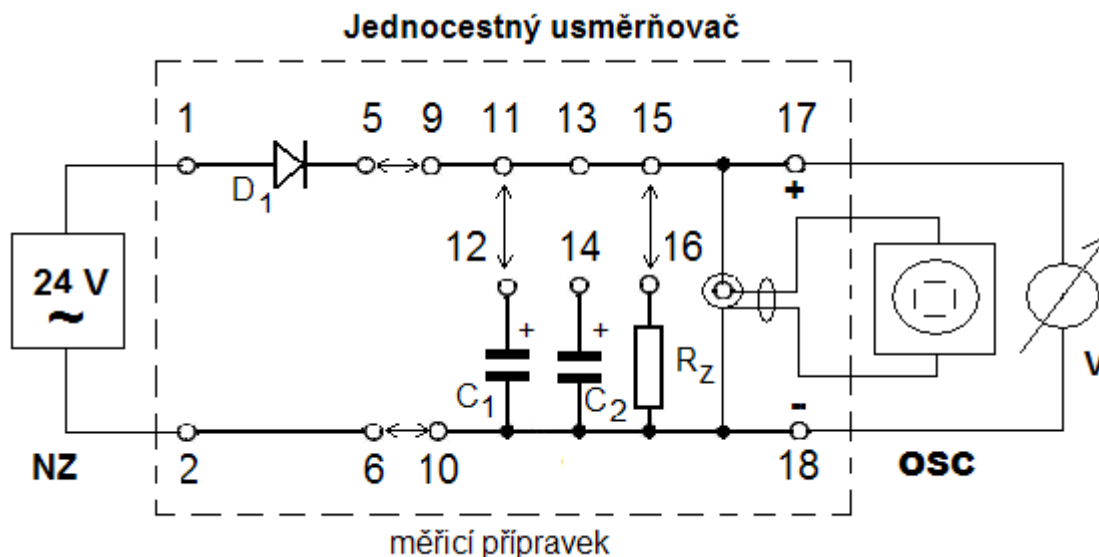
Změřte následující parametry daného usměrňovače střídavého napětí:

- výstupní napětí jednocestného usměrňovače bez filtrace a bez zatěžovacího odporu.
- výstupní napětí jednocestného usměrňovače s RC filtrem pro různé hodnoty kapacity filtračního kondenzátoru „C“ a daný zatěžovací odpor R_z .
- výstupní napětí dvojcestného usměrňovače bez filtrace a bez zatěžovacího odporu.
- výstupní napětí dvojcestného usměrňovače s RC filtrem pro různé hodnoty kapacity filtračního kondenzátoru C a daný zatěžovací odpor R_z .
- pomocí osciloskopu změřte činitel zvlnění pro jednotlivá výstupní napětí.

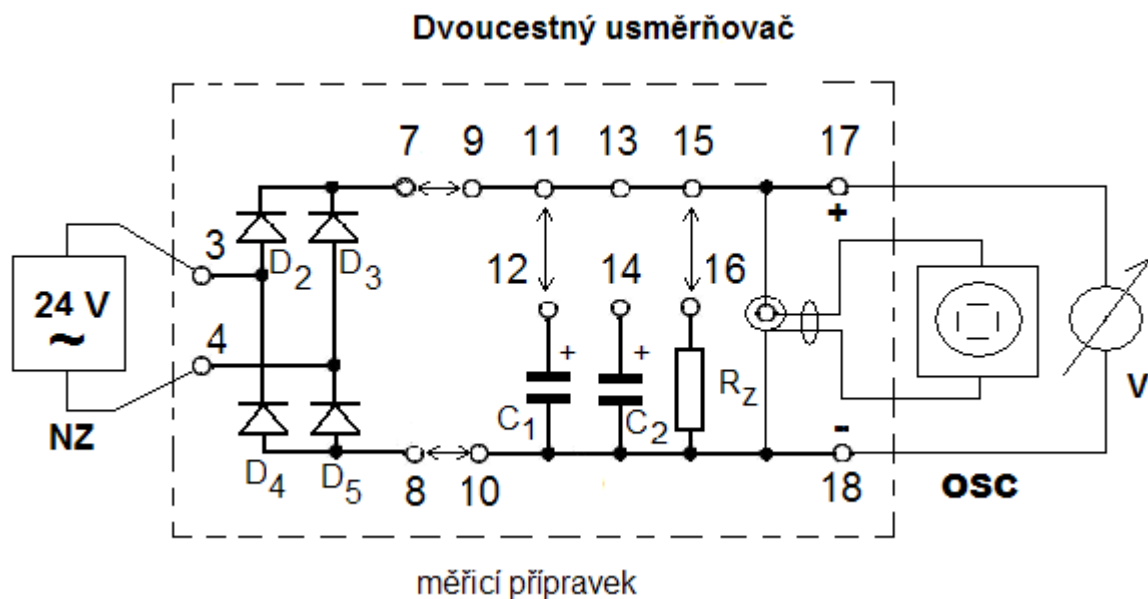
V závěru měření zhodnoťte závislost činitele zvlnění na hodnotě kapacity filtračních kondenzátorů C_1 , C_2 , C_1+C_2 a zátěže R_z .

2. Schema zapojení

Číslo 1.



Číslo 2.



Legenda:

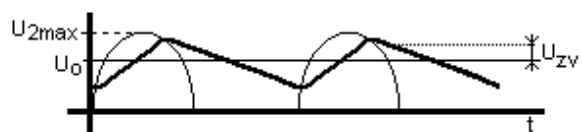
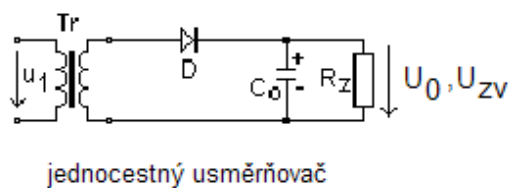
NZ - napájecí zdroj střídavého napětí 24 V

V - voltmetr (multimetr)

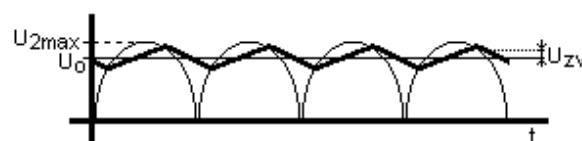
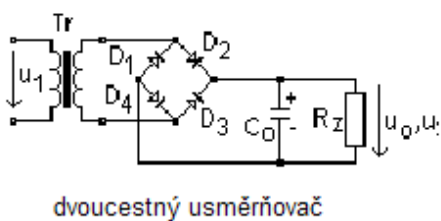
OSC - osciloskop

3. Teoretický rozbor

Na výstupu usměrňovače nikdy nedostaneme stálé stejnosměrné napětí (jako např. z akumulátoru), ale vždy je zvlněné (tj. obsahuje harmonické). Průběh výstupního napětí a velikost jeho zvlnění je závislé na typu usměrňovače. Na jednocestném usměrňovači je větší než na dvoucestném – viz obrázky.



průběh napětí na výstupu s filtračním kondenzátorem



průběh napětí na výstupu s filtračním kondenzátorem

Výstupní napětí usměrňovače nemá stálou hodnotu, ale periodicky se mění přibližně ve tvaru pilovitého průběhu. Podle Fourierovy harmonické analýzy můžeme toto napětí rozložit na řadu harmonických složek.

Nejdůležitější složkou je 1. harmonická, která udává spolu se střední hodnotou výstupního napětí U_o velikost **zvlnění** ϕ_{zv} tohoto napětí. Vyjádříme jej vztahem:

$$\phi_{zv} = \frac{U_{zv}}{U_o} \cdot 100 \quad [\%]$$

Protože zvlnění se přenáší částečně do užitečného signálu (např. u zesilovačů jako nepříjemný brum), je třeba zajistit, aby bylo minimální a nepřestoupilo v jednotlivých případech určitou velikost, závislou na druhu napájeného obvodu.

Příliš velký činitel zvlnění ϕ_{zv} přímo na výstupu usměrňovače za filtračním kondenzátorem lze zmenšit zařazením dalšího kondenzátoru s velkou kapacitou nebo použitím LC, RC filtru mezi usměrňovač a zátěž, kterou tvoří napájené obvody.

4. Postup měření

- Zapojíme měřicí přístroje na daný přípravek, nejprve jednocestný usměrňovač – viz schema zapojení č.1.

- Nejprve odečteme hodnotu výstupního napětí U_o na voltmetru bez zapojeného filtračního kondenzátoru C1, C2 a zatěžovacího odporu R_z . Časový průběh výstupního napětí pozorujeme na stínítku připojeného osciloskopu. Naměřenou hodnotu zaznamenáme do tabulky.

- Poté připojíme postupně filtrační kondenzátory C1, C2 pomocí spojení příslušných svorek a připojíme zatěžovací odpor R_z . Odečteme velikosti výstupního napětí na voltmetru a na osciloskopu velikosti zvlněného výstupního napětí. Z odečtených hodnot spočteme hodnoty činitele zvlnění výstupního napětí.

- Stejná měření provedeme i pro druhý přípravek- dvoucestný usměrňovač, viz. schema zapojení č. 2.

5. Tabulka naměřených hodnot

Jednocestný usměrňovač

p.č.	bez C	C1	C1+R _z	C2	C2+R _z	C1+C2	C1+C2+R _z
$U_o[V]$							
$U_{zv}[V]$							
$\phi_{zv}[\%]$							

Dvoucestný usměrňovač

p.č.	bez C	C1	C1+Rz	C2	C2+Rz	C1+C2	C1+C2+Rz
U _o [V]							
U _{zv} [V]							
Φ _{zv} [%]							

Legenda:

U_o - stejnosměrná složka usměrněného napětí

U_{zv} - amplituda zvlněného napětí

Φ_{zv} - činitel zvlnění

6. Graf

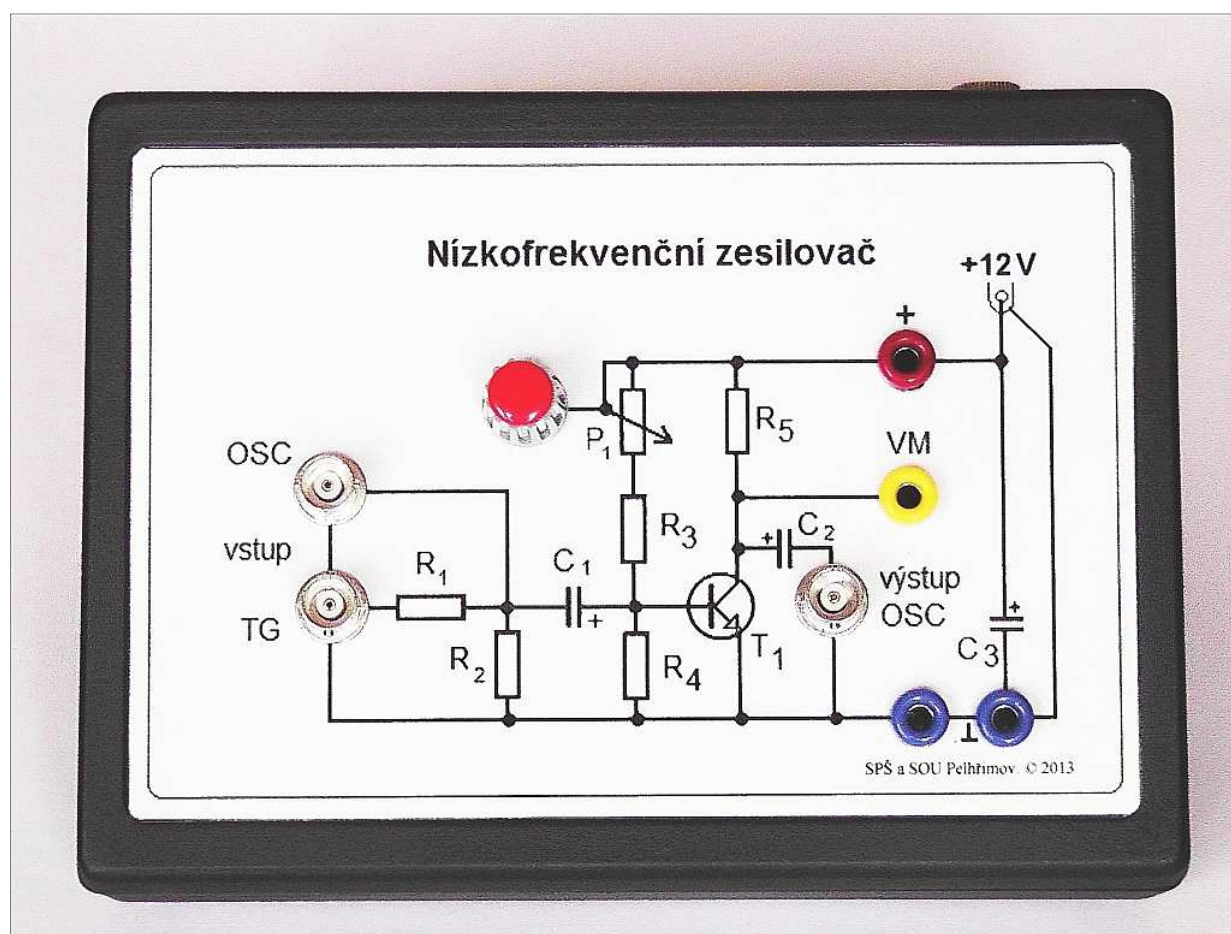
Není

7. Závěr

V závěru uveďte:

- maximální naměřenou hodnotu výstupního napětí pro minimální činitel zvlnění u jednocestného a dvoucestného usměrňovače.
- zhodnoťte vliv kondenzátorů a zátěže na velikost zvlnění výstupního napětí.

MĚŘENÍ NA NÍZKOFREKVENČNÍM ZESILOVAČI



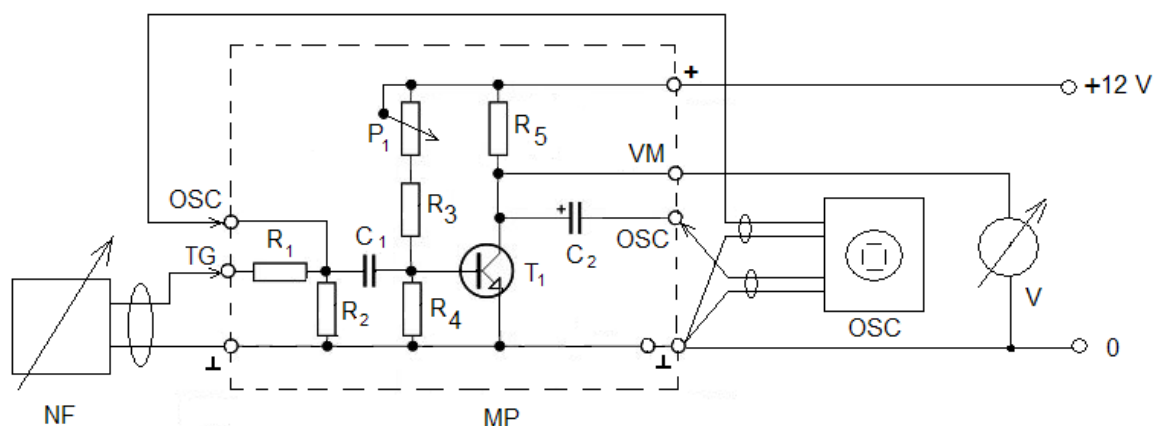
MĚŘENÍ NA NÍZKOFREKVENČNÍM ZESILOVAČI

1. Zadání

Na jednotranzistorovém nízkofrekvenčním zesilovači proveďte tato měření:

- Pomocí nastavovacího prvku v přípravku nastavte pracovní bod tranzistoru do „čisté“ třídy A
- Zjistěte maximální vstupní napětí zesilovače pro stav, kdy obě půlvlny výstupního napětí se začnou rovnoměrně omezovat.
- Změřte frekvenční charakteristiku zesilovače v rozsahu frekvencí 10 Hz – 2 MHz.
- Spočítejte zesílení zesilovače a vypočtené hodnoty vynesete do grafu $A_u = f(\omega)$
- Zjistěte šířku pásma zesilovače pro pokles zesílení o 3 dB.

2. Schema zapojení



Legenda:

NF- nízkofrekvenční generátor

MP – měřicí přípravek

OSC – osciloskop

V - voltmetr

3. Teoretický rozbor

Třídy NF zesilovačů.

NF zesilovače dělíme do různých tříd, které charakterizují jejich pracovní vlastnosti nebo principy, na kterých zesilovač pracuje.

Analogové zesilovače:

Třída A

Zesilovací prvek je v této třídě nastaven přibližně doprostřed své pracovní oblasti. Je tedy neustále v otevřeném stavu. Tyto zesilovače bývají nejčastěji konstruovány v jednočinném zapojení. Tzn. že zesilovací prvek zesiluje obě půlvlny signálu. Díky velkému klidovému proudu má tento zesilovač nejmenší zkreslení ze všech tříd. Jeho nevýhodou je však velký

proudový odběr, který se z velké části přemění v teplo. Teoretická účinnost této třídy je 50%, prakticky se však pohybuje kolem 30%. Proto jsou kladeny velké požadavky na dostatečné chlazení výkonových prvků a na napájecí zdroj (velké chladiče, velké trafo), pokud je zesilovač použit jako výkonový.

Třída B

Zesilovací prvek třídy B má nastaven nulový klidový proud. Proto pracuje ve dvoučinném zapojení, kdy jedna větev zpracovává pouze kladnou půlvlnu signálu a druhá větev zase zápornou půlvlnu signálu. Jeho výhodou je nulový proudový odběr ve stavu bez signálu. Avšak při přechodu z nevodivého stavu do vodivého, kvůli pozvolnosti, vzniká znatelné přechodové zkreslení, slyšitelné hlavně při malé amplitudě vstupního signálu. Proto se tato třída prakticky vůbec nepoužívá.

Třída AB

Tato třída byla vytvořena jako kompromis mezi třídami A a B. Je konstrukčně stejná jako třída B, tedy dvoučinné zapojení a má nastaven malý klidový proud, díky kterému je přechodové zkreslení minimalizováno a není tak energeticky náročná jako třída A. Téměř všechny lineární zesilovače pracují v této třídě.

Třída C

Zesilovací prvek má nastaven nulový klidový proud a navíc ještě zavedeno předpětí, což způsobuje otevření prvku až ve špičkách vstupního signálu. Jeho zkreslení je tedy mnohonásobně větší než zkreslení třídy B. V NF technice se tedy vůbec nepoužívá. Nachází však využití ve VF technice kde se používá jak v jedno, tak ve dvoučinném zapojení.

Digitální zesilovače:

Třída D

Zesilovače pracují na principu PWM (pulzně šířkové modulace). Díky PWM mají tyto zesilovače velkou účinnost, která dosahuje až 80%. Zesilovací prvky (používají se pouze tranzistory) pracují ve spínacím režimu, tzn. že jsou buď rozepnuty nebo sepnuty. To způsobuje větší přechodové zkreslení. Digitální zesilovače se vyznačují velice malou konstrukcí a malými nároky na chlazení.

Třída G

Tato třída používá zapojení třídy AB. Liší se ale způsobem napájení. Napájecí napětí není stálé, ale mění se skokově. Při malých výstupních výkonech je připojeno menší napájecí napětí a po dosažení určité hranice nastaveného výstupního výkonu se připojí napětí větší. Díky tomu tyto zesilovače dosahují větší účinnosti.

Třída H

Třída H je totožná se třídou G jen s tím rozdílem, že napájecí napětí není měněno skokově, ale přesně sleduje velikost vstupního signálu. Díky tomu tato třída dosahuje ještě větší účinnosti než G třída. Nevýhodou je však poměrně značná složitost zapojení.

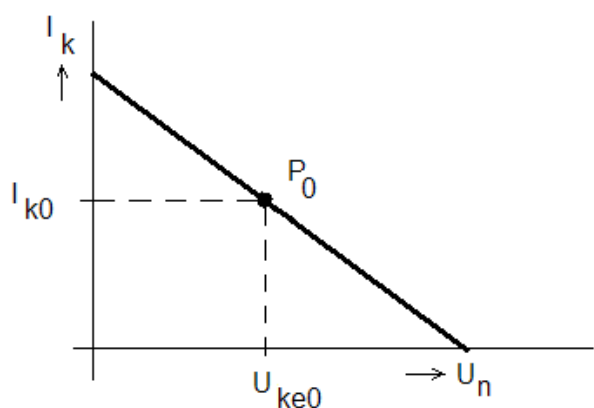
Třída S

Tyto zesilovače jsou pouze vylepšené zesilovače třídy D. Díky modifikacím je na výstupu zesilovače vynechán LC člen pro odfiltrování spínací frekvence.

Třída T

Tato třída byla zavedena firmou Tripath. Jedná se opět o PWM zesilovač, pracující ve třídě D, ale s vylepšenou technologií řízení, díky které je dosahováno účinnosti až 90% a výborných zvukových vlastností.

Nastavení pracovního bodu tranzistoru.

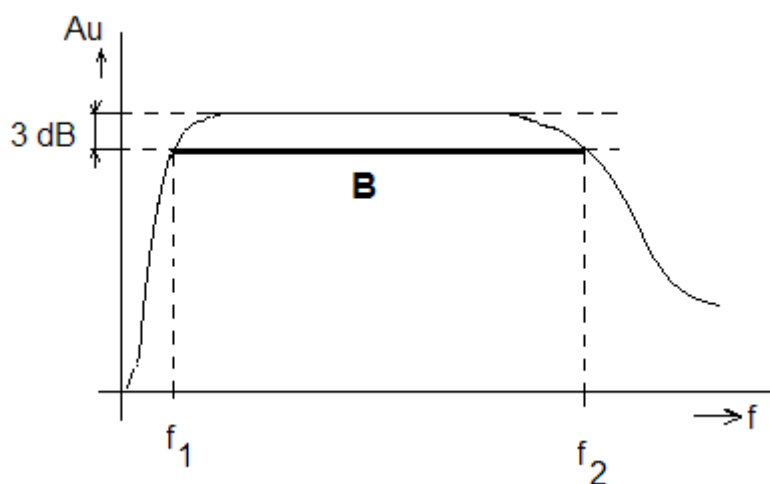


Pro nastavení pracovního bodu tranzistoru do „čisté“ třídy A platí:

$$U_{ke0} = U_n / 2$$

$$I_{k0} = U_n / 2R_2$$

Frekvenční charakteristika zesilovače



Šířka pásma: $B = f_2 - f_1$

Výpočty:

Poklesy napětí o 3dB: 0,707 maximálního naměřeného napětí.

Napěťové zesílení: $A_u = U_2 / U_1$

Šířka pásma zesilovače: $B = f_2 - f_1$

4. Postup měření

- Zapojíme nízkofrekvenční zesilovač (měřicí přípravek) na měřicí přístroje dle schéma zapojení.
- Potenciometrem P nastavíme pracovní bod tranzistoru tak, že U_{CE0} bude rovno 12 V
- Na vstup zesilovač připojíme střídavé napětí z generátoru o frekvenci 1 kHz a zvyšujeme jej na hodnotu, kdy se začínají omezovat rovnoměrně obě půlvlny tohoto napětí. Sledujeme na osciloskopu.
- Hodnotu tohoto napětí si zaznamenáme. Je to maximální možné budicí napětí zesilovače, kdy nedochází ke zkreslení výstupního signálu.
- Na generátoru nastavíme minimálně o 15 mV nižší hodnotu budicího napětí, než je napětí maximální. Toto napětí udržujeme konstantní pro všechny nastavené frekvence.
- Měníme frekvenci generátoru v rozmezí 10 Hz – 2 MHz a na osciloskopu odečítáme hodnoty výstupního napětí. Přesné hodnoty napětí lze odečíst na digitálním osciloskopu.
- Z naměřených hodnot výstupního a vstupního napětí spočteme zesílení zesilovače.
- Z poklesů napětí o 3dB, oproti maximálnímu naměřenému napětí určíme šířku pásma zesilovače..
- Na závěr vyneseme graf $A_u = f(\omega)$ a v grafu vyznačíme naměřenou šířku pásma B.

5. Tabulka naměřených hodnot

p.č.	1	2	3	4	5	6	7	8
f[kHz]								
U_2 [mV]								
A_u								

p.č.	9	10	11	12	13	14	15	16
f[kHz]								
U_2 [mV]								
A_u								

Příklad výpočtu:

Výpočet zesílení A_u : $A_u = U_2 / U_1 = xxx = yy$ (pro frekvenci $f = 1$ kHz)

Výpočet šířky pásma pro pokles zesílení o 3 dB:

Napětí U_2 musí poklesnout na hodnotu (0,707. U_2 při 1kHz). To znamená na hodnotu xxxx mV. Tomu odpovídají frekvence $f_1 = xx$ kHz a $f_2 = yyy$ kHz.

Šířka pásma $B = f_2 - f_1 = zzzz$ kHz.

Souhrn naměřených hodnot:

Vstupní napětí pro měření frekvenční charakteristiky: $U_1 = \dots \text{mV}$ (špička-špička)

Maximální vstupní napětí: $U_{1m} = \dots \text{mV}$ (špička-špička)

Šířka pásma: $B = \dots \text{kHz}$

Zesílení pro $f = 1 \text{ kHz}$: $A_u = \dots$

6. Graf

Nakreslit na milimetrový papír, body proložit podle křivítka! Pro konstrukci grafu je možné též použít PC.

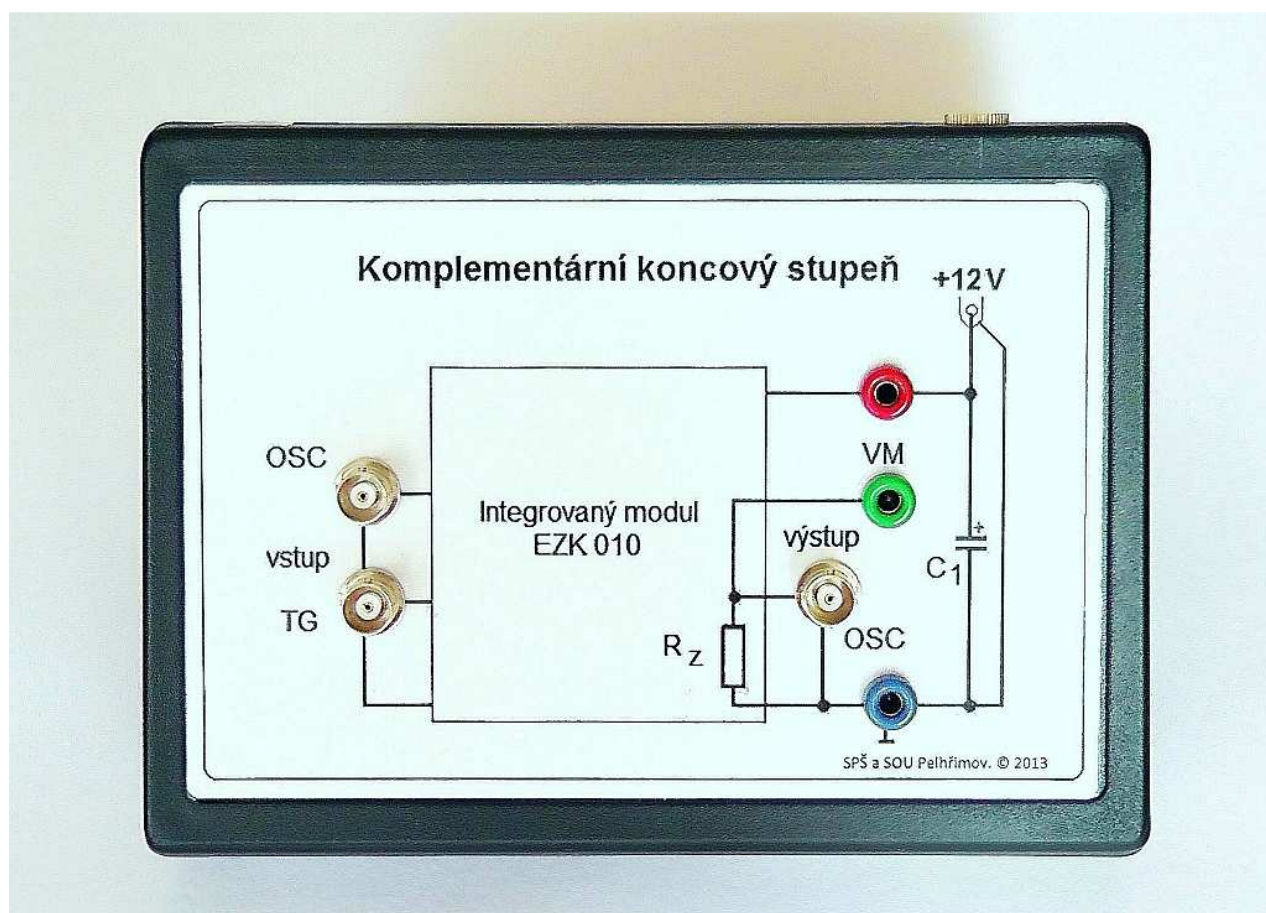
7. Závěr

V závěru protokolu uveďte tyto údaje:

- změřenou šířku pásma zesilovače B .
- maximální vstupní napětí pro nastavený pracovní bod tranzistoru U_{1m} .
- hodnotu zesílení A_u pro frekvenci 1 kHz .

Zhodnoťte šířku pásma NF zesilovače s ohledem na jeho použití v NF technice.

MĚŘENÍ NA KOMPLEMENTÁRNÍM KONCOVÉM STUPNI NÍZKOFREKVENČNÍHO ZESILOVAČE



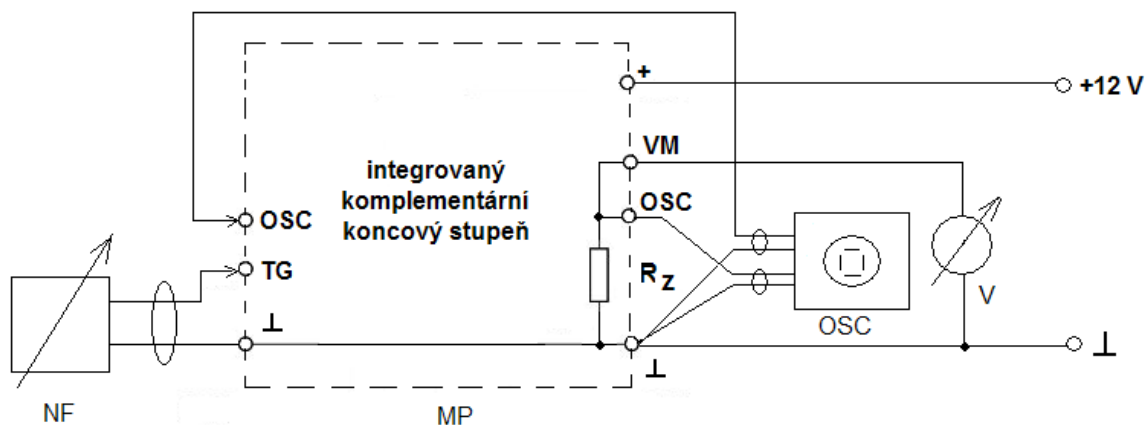
MĚŘENÍ NA KOMPLEMENTÁRNÍM KONCOVÉM STUPNI NÍZKOFREKVENČNÍHO ZESILOVAČE

1. Zadání

Na komplementárním koncovém stupni NF zesilovače proveďte tato měření:

- Zjistěte maximální vstupní napětí zesilovače pro stav, kdy obě půlvlny výstupního napětí se začnou rovnoměrně omezovat. Zároveň pro tento stav zjistěte max. výkon na použitém zatěžovacím odporu R_z .
- Změřte frekvenční charakteristiku zesilovače v rozsahu frekvencí 10 Hz – 150 kHz.
- Spočítejte zesílení zesilovače a vypočtené hodnoty vynesete do grafu $A_u[\text{dB}] = f_{ce}(f)$
- Zjistěte šířku pásma zesilovače pro pokles zesílení o 3 dB.

2. Schema zapojení



Legenda:

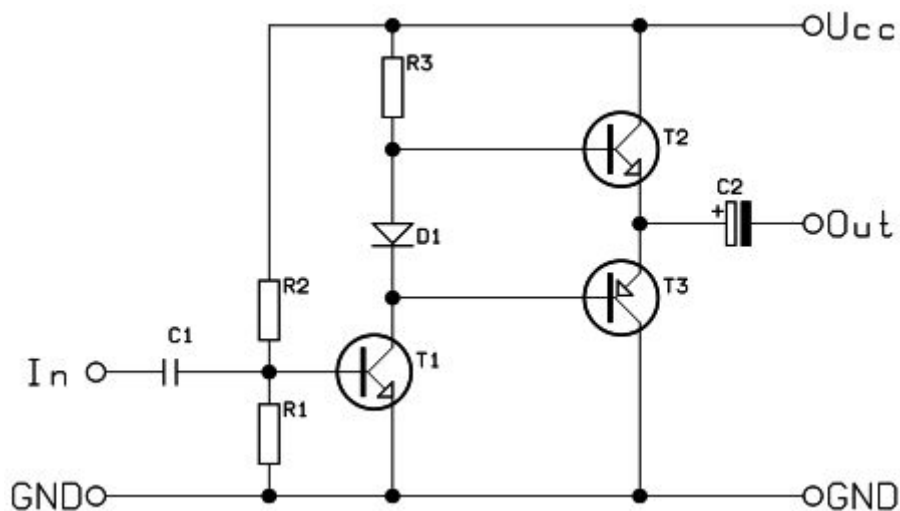
NF- nízkofrekvenční generátor
MP – měřicí přípravek
OSC – osciloskop
V – NF voltmetr
 R_z – zatěžovací odpor 8,2 ohmů

3. Teoretický rozbor

Dvojčinný komplementární tranzistorový zesilovač používá komplementární dvojice tranzistorů opačné vodivosti se stejnými parametry. Z toho vyplývá, že koncové tranzistory mohou být buzeny signálem se stejnou fází. NPN tranzistor pak zesiluje kladné půlvlny a PNP tranzistor záporné půlvlny signálu.

Pracovní bod můžeme nastavit do třídy AB nebo B. V praxi se používá většinou třída AB z důvodů velké účinnosti zařízení a malého přechodového zkreslení signálu.

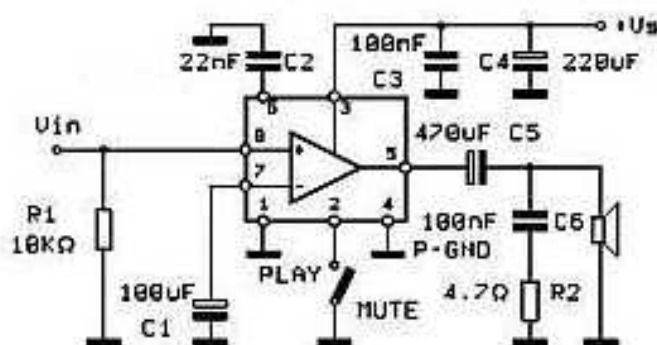
Zesilovač můžeme napájet jak symetrickým, tak i nesymetrickým napětím. V tomto případě však musíme na výstup zapojit vazební kondenzátor C_2 , neboť na výstupu je v klidu poloviční napájecí napětí U_{cc} .



Integrované výkonové zesilovače.

Výhodou těchto obvodů je jednoduchost zapojení zesilovače. Moderním obvodům stačí připojit několik pasivních součástek a zesilovač je bez dalšího nastavování (klidový proud, výstupní offset) schopný funkce. Většina integrovaných zesilovačů má také na čipu integrované ochrany proti přepólování napájecího napětí, zkratu na výstupu, nebo proti přehřátí. Také lze tyto zesilovače snadno zapojovat do můstku pro získání většího výkonu. Mezi nejznámější integrované obvody NF zesilovačů patří **TDA2030** což je monofonní zesilovač s výkonem až 30W, dále pak **TDA2005**, který je schopný dodat až 2x10W do zátěže 2Ω nebo 20W do 4Ω v můstkovém zapojení.

Z důvodů ochrany proti zkratu a přetížení výstupu použijeme v našem měření nF výkonový integrovaný zesilovač TDA7233, který má koncový stupeň zapojen komplementárně a dosáhne maximální sinusový výkon 1,9 W na impedanci 4 ohmy.



Obvodové zapojení TDA 7233

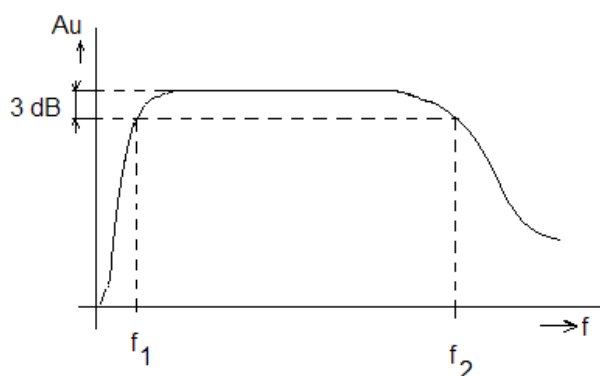
Výstupní výkon zesilovačů.

Výstupní výkon zesilovače se udává v rozdílných údajích.. Nejčastěji jako sinusový (RMS) a špičkový (Peak). Na některých audio zařízeních pak můžeme nalézt ještě tzv. výkon P.M.P.O. Zkratka znamená **Peak Music Power Output** a výkon je zde počítán jako maximální výkon daného zařízení při perfektních podmínkách a 100% účinnosti. Tohoto stavu však v praxi nikdy nedosáhneme. Žádné zařízení totiž není schopné poskytnout uvedený výkon ani v krátkém časovém okamžiku, ani dlouhodobě.. Většinou dojde k zničení zesilovače vlivem tepelných ztrát na jeho výkonových prvcích.

Sinusový, též označován jako trvalý výkon. Je definován jako výkon, který zesilovač dodává do zátěže alespoň po dobu alespoň 10 minut při buzení sinusovým signálem 1kHz a při dodržení jmenovité hodnoty zkreslení. Pouze sinusový výkon je správný údaj zesilovače a odpovídá provozním podmínkám v praxi.

Špičkový výkon je též zavádějící údaj. Měří se špičkový maximální výkon zesilovače, který je schopen dosáhnout. Tím dostaneme údaj, který nemá žádnou souvislost s časem.

Frekvenční charakteristika zesilovače.



Průběh frekvenční charakteristiky zesilovače

Šířka pásma: $B = f_2 - f_1$

Výpočty:

Poklesy napětí o 3dB: 0,707
maximálního naměřeného napětí.

Napěťové zesílení: $A_u = U_2/U_1$, $A_u[\text{dB}] = 20 \cdot \log A_u$

Šířka pásma zesilovače: $B = f_2 - f_1$.

Výstupní výkon: $P_Z = U_Z^2/R_Z$

4. Postup měření

- Zapojíme výkonový zesilovač (měřicí přípravek) na měřicí přístroje dle schéma zapojení.

- Na vstup zesilovač připojíme střídavé napětí z generátoru o frekvenci 1 kHz a zvyšujeme jej na hodnotu, kdy se začínají omezovat rovnoměrně obě půlvlny tohoto napětí. Sledujeme na osciloskopu.

Hodnotu tohoto napětí zaznamenáme do tabulky. Je to maximální možné budicí napětí zesilovače, kdy začíná docházet k viditelnému zkreslení výstupního signálu.

- Změříme hodnotu výstupního napětí na zátěži osciloskopem a pro kontrolu NF voltmetrem. Pozor, osciloskop měří napětí špička-špička a NF voltmetr efektivní hodnotu tohoto napětí. Z naměřených hodnot spočteme maximální výstupní výkon zesilovače.
- Na generátoru nastavíme nižší hodnotu napětí tak, aby výstupní napětí na zátěži bylo právě 1 volt. Toto napětí udržujeme konstantní pro všechny nastavené frekvence.
- Měníme frekvenci generátoru v rozmezí 10 Hz – 150 kHz a na osciloskopu odečítáme hodnoty výstupního napětí.
- Z naměřených hodnot výstupního a vstupního napětí spočteme zesílení zesilovače .
- Z poklesů napětí na hodnotu 0,707 voltů oproti napětí při frekvenci 1 kHz určíme šířku pásma zesilovače. Tento pokles totiž znamená právě pokles o 3 dB.
- Na závěr vyneseme graf závislosti zesílení zesilovače $A_u = f_{ce}(f)$ na frekvenci a v grafu vyznačíme naměřenou šířku pásma B.

5. Tabulka naměřených hodnot

p.č.	1	2	3	4	5	6	7	8
f [kHz]								
U_2 [mV]								
A_u								
A_u [dB]								

p.č.	9	10	11	12	13	14	15	16
f [kHz]								
U_2 [mV]								
A_u								
A_u [dB]								

Pozn. Uvedená napětí v tabulce jsou typu špička-špička

Příklad výpočtu:

Odečítáme na osciloskopu velikosti napětí špička-špička, značíme $U_{š-š}$. Z tohoto napětí spočteme efektivní hodnotu takto:

$$U_{ef} = U_{š-š} / (2^{1/2})$$

Výkon na zátěži: $A_p = U_{ef}^2 / 8,2$ (odpor zátěže je totiž 8,2 ohmů)

Napětíové zesílení zesilovače:

$$A_u = U_2 / U_1$$

Zesílení v dB: $A_u[dB] = 20 \cdot \log A_u$

Šířka pásma: Při měření nastavíme frekvence tak, aby napětí pokleslo právě o 3 dB, tzn. na hodnotu 0,707 napětí při 1 kHz. Dostaneme tak frekvence f_1 a f_2 .

Šířka pásma $B = f_2 - f_1$.

Souhrn naměřených hodnot:

Vstupní napětí pro měření frekvenční charakteristiky: $U_1 = \dots\dots\dots\text{mV}$

Maximální vstupní napětí: $U_{1m} = \dots\text{mV}$

Maximální výkon na zátěži: $A_p = \dots$

Šířka pásma: $B = \dots\dots\dots\text{kHz}$

Průměrné zesílení pro $f = 1\text{kHz}$: $A_u = \dots$

6. Graf

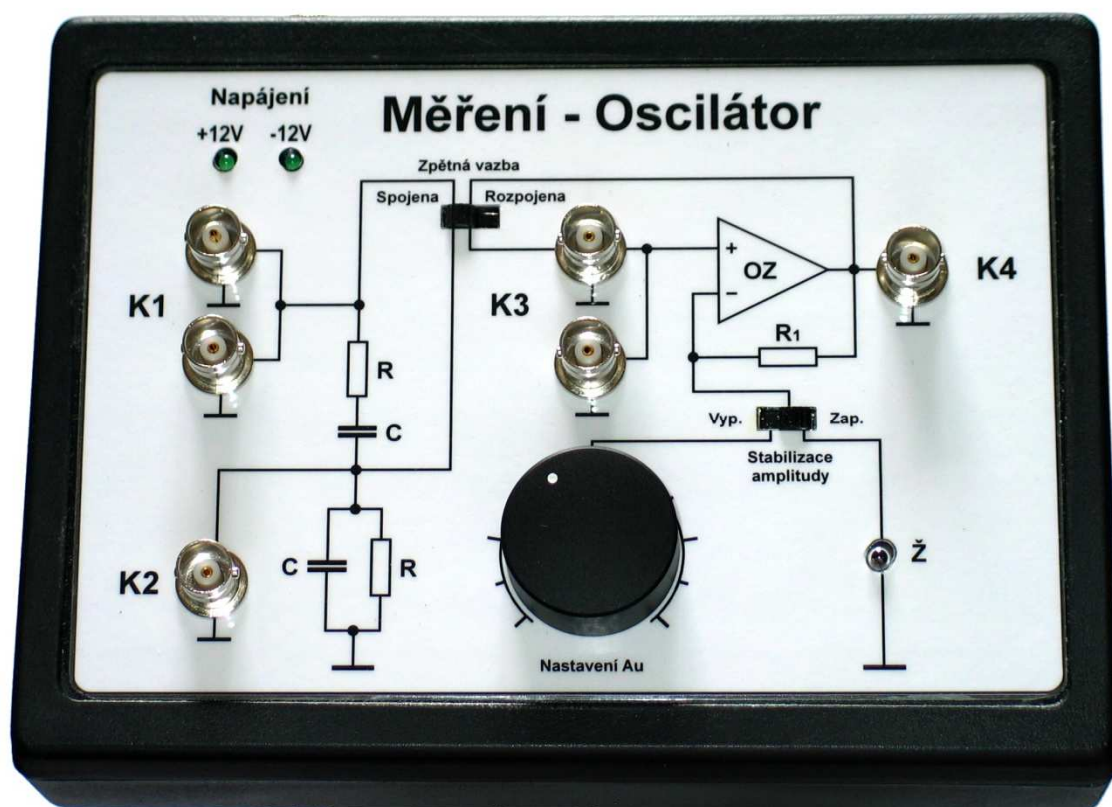
Nakreslit na milimetrový papír, body proložit podle křivítka! Ke konstrukci grafu je možno též použít PC.

7. Závěr.

V závěru protokolu uveďte tyto údaje a zhodnoťte naměřené veličiny:

- změřenou šířku pásma zesilovače – B .
- maximální vstupní napětí pro viditelné zkreslení výstupního signálu
- maximální vstupní výkon pro viditelné zkreslení výstupního signálu
- průměrnou hodnotu zesílení A_u pro frekvenci 1 kHz.

OSCILÁTOR S WIENOVÝM ČLÁNKEM

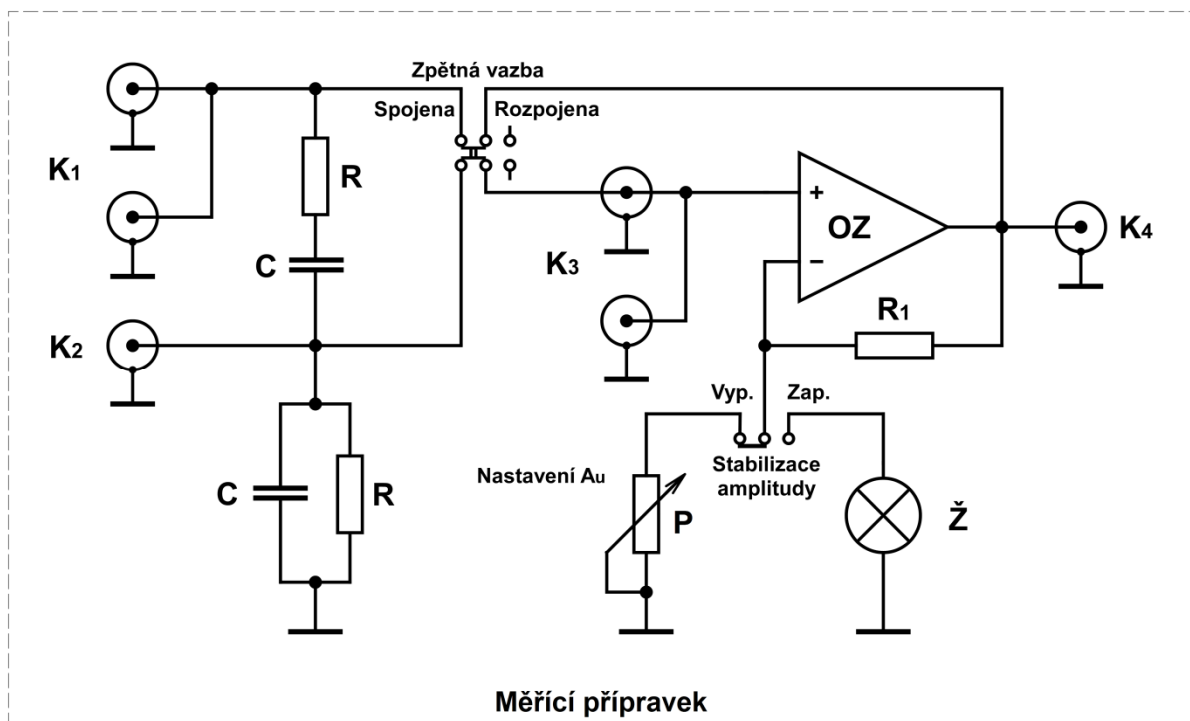


OSCILÁTOR S WIENOVÝM ČLÁNKEM

1. Zadání

Ověřte funkci oscilátoru v Wienovém článku a zjistěte jeho frekvenci. Dále ověřte platnost oscilačních podmínek tak, že změříte přenos zpětné vazby na zjištěném oscilačním kmitočtu a zesílení samotného zesilovače. Také objasněte vliv nelineárního prvku ve zpětné vazbě zesilovače na stabilitu amplitudy. Vše popište v závěru.

2. Schema zapojení



Legenda:

K1 – vstup Wienova článku pro generátor

K1 – vstup Wienova článku pro kanál A osciloskopu nebo nf milivoltmetr

K2 – výstup Wienova článku pro kanál B osciloskopu nebo nf milivoltmetr

K3 – vstup zesilovače pro generátor

K3 – vstup zesilovače pro kanál A osciloskopu nebo nf milivoltmetr

K4 – výstup zesilovače pro kanál B osciloskopu nebo nf milivoltmetr

Součástí přípravku je i vypínač zpětné vazby a přepínač způsobu stabilizace výstupní amplitudy.

3. Teoretický rozbor

Oscilátory nezpracovávají žádný vstupní signál, ale jsou sami zdrojem střídavých signálů. Ze stejnosměrného napájecího napětí vytvářejí napětí střídavá. Druhů oscilátorů je mnoho. Podle principu činnosti se rozdělují na oscilátory zpětnovazební (základem je zesilovač s vhodně zavedenou kladnou zpětnou vazbou) a na oscilátory s prvkem se záporným diferenciálním odporem.

Podle průběhu vyráběného napětí se dělí na oscilátory se sinusovým a nesinusovým průběhem napětí.

Podle kmitočtu vyráběného napětí jsou nízkofrekvenční a vysokofrekvenční.

Zpětnovazební oscilátory sinusového průběhu napětí:

Základem takového oscilátoru je zesilovač s kladnou zpětnou vazbou. Aby se ze zesilovače stal oscilátor, musí být splněny podmínky pro vznik oscilací.

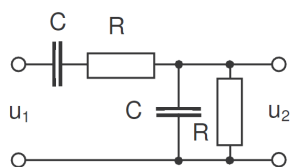
1) fázová podmínka: $\varphi = 0^\circ$, která říká, že součet fázových posunutí v uzavřené smyčce, tvořené zesilovačem a zpětnou vazbou, musí být 0° nebo násobky 360° .

2) amplitudová podmínka: $\beta \cdot A_u > 1$, která říká, že součin činitele zpětné vazby β a velikost výkonového zesílení zesilovače A_u musí být větší jak 1. V praxi se hodnota tohoto součinu volí 1,5 až 2,5. Při větších hodnotách tohoto součinu se pracovní bod zesilovače dostane do B nebo i C třídy a vyráběný sinusový průběh napětí bude zkreslený vyššími harmonickými, což je většinou jev nežádoucí.

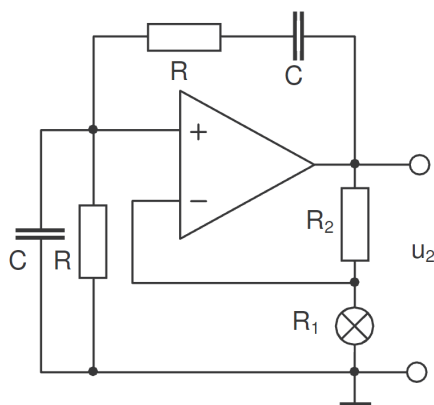
3) mezní podmínka: $\beta \cdot A_u = 1$, která říká, že musí nastat rovnovážný stav, při kterém se amplituda vyráběného napětí přestane zvětšovat (zesilovač v sinusovém oscilátoru nesmí začít limitovat).

Přenos β se spočítá jako poměr u_2 a u_1 ($\beta = u_2/u_1$) a je vždy menší než 1.

Oscilátor s Wienovým členem patří do skupiny můstkových oscilátorů. Základní zapojení je tvořeno operačním zesilovačem a dvěma zpětnovazebními větvemi. Větev kladné zpětné vazby (KZV) obsahuje pásmovou propust realizovanou právě Wienovým členem. Záporná zpětnovazební větev (ZZV) nastavuje požadované zesílení operačního zesilovače jako neinvertujícího zesilovače. V záporné zpětnovazební větvi je možné použít různá stabilizační zapojení s ohledem na udržení harmonických kmitů oscilátoru a jejich amplitudy při změně přenosu v záporné zpětné vazbě. Wienův článek je sérioparalelní kombinace dvou stejných



Obr. 1: Wienův článek



Obr. 2: zapojení oscilátoru s Wienovým článkem

odporů a kondenzátorů, zapojených podle obr. 1.

Toto zapojení má na kmitočtu největší přenos, rovný jedné třetině a na tomto kmitočtu neposouvá fázi výstupního napětí. Zapojuje se do větve kladné zpětné vazby. Tím je splněna fázová podmínka pro vznik oscilací. Amplitudová a mezní podmínka se splní nastavením nelineární ZZV.

K zapojení oscilátoru s Wienovým článkem je ideální použití OZ podle obr. 2.

Stabilizace amplitudy a nastavení zesílení zesilovače, které musí být větší jak 3, je provedeno nelineární ZZV. Zpětnovazební napětí se získává z nelineárního děliče tvořeného odporem R_2 a žárovkou R_1 . Zvětšením výstupního napětí u_2 se proud děličem a tím i žárovkou zvětší, žárovka se přižhává, její odpor vzroste, ZZV se zvětší a amplituda u_2 vzroste jen nepatrně.

4. Postup měření

- nejprve nalezněte frekvenci f_w samostného Wienova článku na maximu jeho přenosu (přípravek není připojen k napájení !)
- přepínač „*Zpětná vazba*“ nastavte do polohy „*Rozpojena*“
- do prvního konektoru K_1 přiveďte z externího generátoru střídavé sinusové napětí, u kterého budete měnit kmitočet tak, aby bylo nalezeno maximum přenosu
- do druhého konektoru K_1 připojte nf mV-metr, kterým budete měřit hodnotu vstupního napětí u_1
- do konektoru K_2 připojte druhý nf mV-metr, kterým budete měřit hodnotu výstupního napětí u_2
- nalezněte kmitočet f_w , při kterém je přenos β Wienova článku maximální a tento přenos spočítejte a запиšte do tabulky
- od konektorů K_1 a K_2 odpojte měřicí přístroje
- nyní měřicí přípravek připojte ke zdroji střídavého napětí 24 V
- do konektoru K_4 připojte vstup osciloskopu
- přepínač „*Zpětná vazba*“ je v poloze „*Spojena*“ a přepínač „*Stabilizace amplitudy*“ v poloze „*Vyp.*“
- potenciometrem „*Nastavení A_u* “ nastavte takové zesílení, při kterém se obvod oscilátoru rozkmitá a na výstupu je stabilní sinusový průběh, který ověřujete na osciloskopu
- Pozor ! Během dalšího měření již nesmíte toto nastavení měnit !
- na osciloskopu odečtěte délku periody jednoho sinusového kmitu, ze které vypočtete kmitočet oscilátoru f_o
- zapněte stabilizaci výstupní amplitudy přepínačem „*Stabilizace amplitudy*“ v poloze „*Zap.*“ a pozorujte její účinek na připojeném osciloskopu
- nyní rozpojte zpětnou vazbu přepínačem „*Zpětná vazba*“ - „*Rozpojena*“ a vypněte stabilizaci amplitudy (přepínač „*Stabilizace amplitudy*“ v poloze „*Vyp.*“)
- do prvního konektoru K_3 připojte druhý vstup osciloskopu
- do druhého konektoru K_3 přiveďte z externího generátoru střídavé sinusové napětí o stejném kmitočtu, jaký jste vypočítali podle odečtu z osciloskopu
- výstupní napětí generátoru sinusového napětí nastavte tak, aby zesilovač nebyl v limitaci a z obrazovky osciloskopu odečtěte velikost amplitudy vstupního U_{vst} a výstupního $U_{výst}$ napětí
- z těchto hodnot vypočtete velikost zesílení A_u zesilovače, které bylo nastaveno pro vznik oscilací
- totéž měření proveďte se zapnutou stabilizací amplitudy a zkuste měnit vstupní napětí U_{vst} v rozsahu $\pm 25\%$ (přepínač „*Stabilizace amplitudy*“ v poloze „*Zap.*“)
- všechny naměřené údaje si zapisujte do tabulky, kam také později zapíšete i další vypočítané hodnoty

5. Tabulka

u_1 [V]			
u_2 [V]			
f_w [kHz]			
β [-]			
f_o [kHz]			
Stabilizace ampl. vypnuta		Stabilizace ampl. zapnuta	
U _{vst} [V]		U _{vst} [V]	
U _{výst} [V]		U _{výst} [V]	
A _u [-]		A _u [-]	
		U _{vst} [V] -25%	
		U _{výst} [V]	
		A _u [-]	
		U _{vst} [V] +25%	
		U _{výst} [V]	
		A _u [-]	

6. Graf

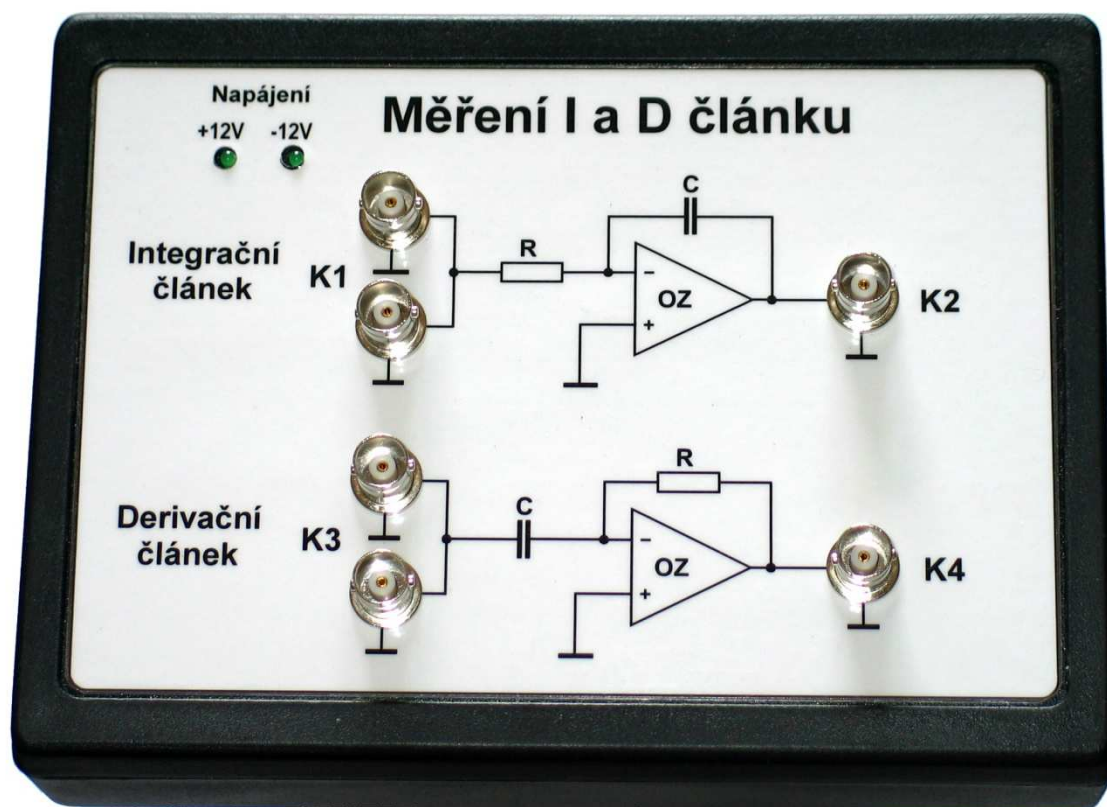
Není

7. Závěr

V závěru uveďte:

- Jak se spolu shoduje kmitočet maxima Wienova článku f_w s kmitočtem oscilátoru f_o
- Jaká je hodnota celkového přenosu oscilátoru ($\beta \cdot A_u$)
- Jaký je vliv zapnuté stabilizace výstupní amplitudy
- Zhodnoťte náročnost a přesnost celého měření.

PŘECHODOVÁ A IMPULSNÍ CHARAKTERISTIKA INTEGRAČNÍHO A DERIVAČNÍHO ČLÁNKU

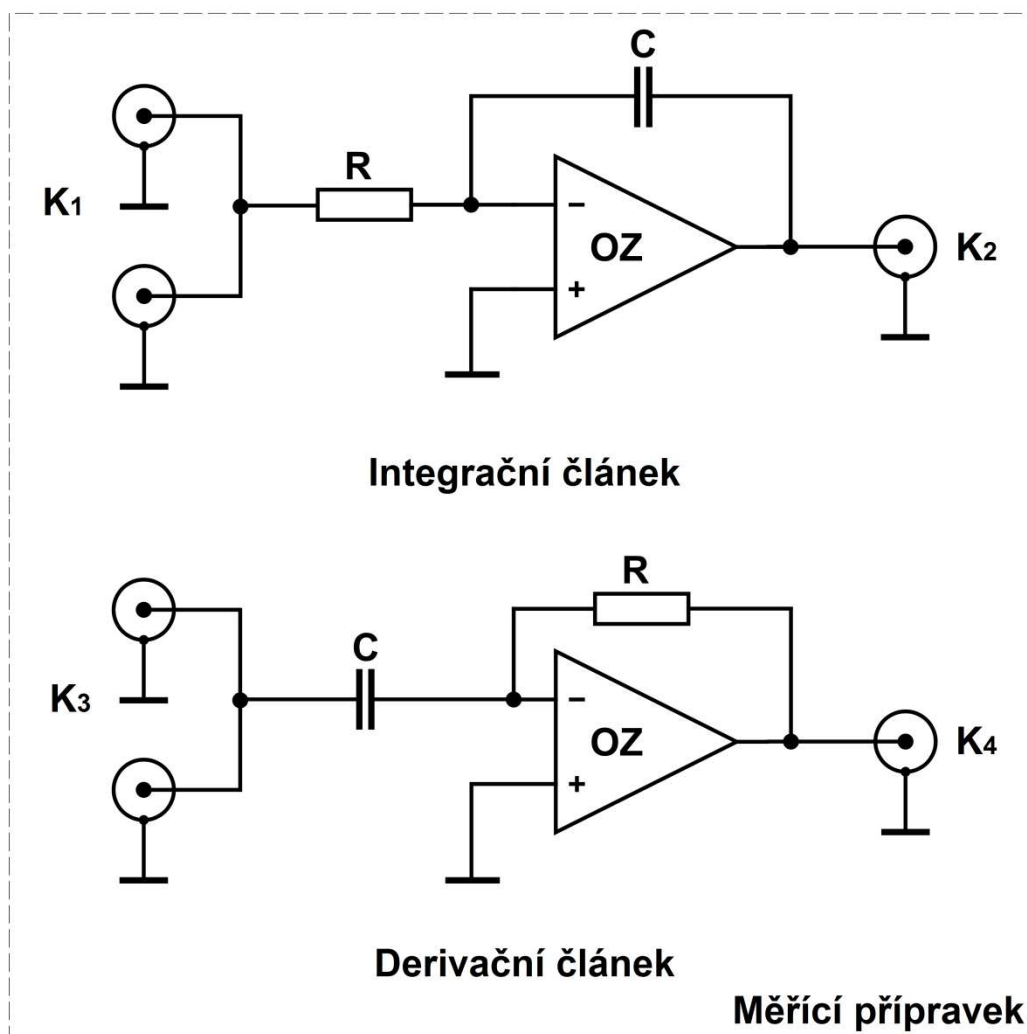


PŘECHODOVÁ A IMPULSNÍ CHARAKTERISTIKA INTEGRAČNÍHO A DERIVAČNÍHO ČLÁNKU

1. Zadání

Zjistěte přechodovou a impulsní charakteristiku aktivního integračního članku pro obdélníkový signál se střídou 1:1 a následně se střídou 1:99. Pro derivační článek pak zjistěte odezvu na obdélníkový signál se střídou 1:1 a odezvu na signál trojúhelníkového tvaru. Výsledné výstupní průběhy zakreslete do připravených grafů a vše popište v závěru.

2. Schema zapojení



Legenda:

- K1 – vstup integračního članku pro generátor
- K1 – vstup integračního članku pro kanál A osciloskopu
- K2 – výstup integračního članku pro kanál B osciloskopu
- K3 – vstup derivačního članku pro generátor
- K3 – vstup derivačního članku pro kanál A osciloskopu
- K4 – výstup derivačního članku pro kanál B osciloskopu

3. Teoretický rozbor

Před vlastním měřením je nutné si vysvětlit některé základní pojmy:

Přechodný jev probíhá v časové oblasti v elektrickém obvodu mezi dvěma ustálenými stavy. Jeho vznik je podmíněn změnami energie v akumulacích prvků obvodu (kondenzátory , cívky). Tyto změny nemohou proběhnout okamžitě, neboť by vyžadovaly zdroj nekonečného výkonu. Z těchto důvodů se velikosti napětí a proudů nemohou měnit skokově – jsou spojité ! Jejich hodnoty se pohybují v určitých mezích a přibližují se k nim exponenciálně.

Přechodný jev považujeme za ukončený v čase 3τ , kdy hodnoty dosáhnou 95 % hodnot maximálních. τ je časová konstanta obvodu (u RC obvodu $\tau = R \cdot C$).

Přenos obvodu – je poměr dvou vhodně zvolených obvodových veličin, např. napětí, proudu nebo výkonu a to buď v závislosti na frekvenci – pak je výsledkem frekvenční charakteristika, nebo v závislosti na čase – pak dostaneme jako výsledek impulsní a přechodovou charakteristiku. Velmi zjednodušeně lze tyto závislosti popsat např. pro napětí takto:

$$F(f) = \frac{u_{výst}}{u_{vst}}$$

pro frekvenční charakteristiku a

$$G(t) = \frac{u_{výst}}{u_{vst}}$$

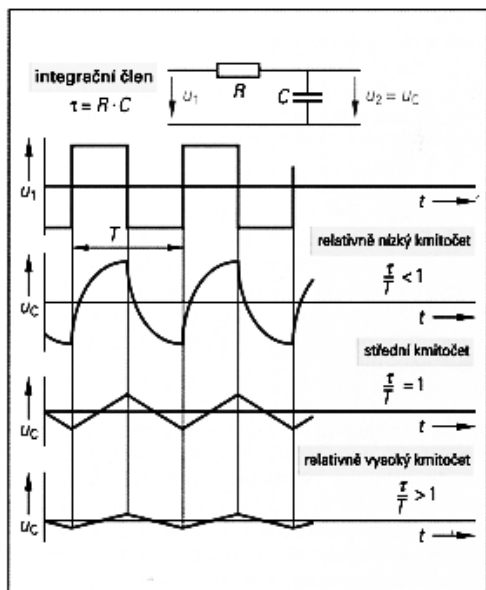
impulsní a přechodovou charakteristiku v časové oblasti.

Cílem tohoto měření je zjistit impulsní a přechodovou charakteristiku aktivního integračního a derivačního článku, které se svými parametry nejvíce blíží ideálnímu integračnímu a derivačnímu článku. Jako vstupní funkce se nejčastěji používá jednotkový skok a nebo úzký napěťový impuls (Diracův impuls – ideální Diracův impuls je nekonečně úzký a nekonečně velký). V časové oblasti pak zkoumáme odezvu článku na tyto impulsy. Lze samozřejmě zjišťovat odezvu i na jiné průběhy vstupního signálu. Např. u derivačního článku se zjišťuje i odezva na signál trojúhelníkového signálu.

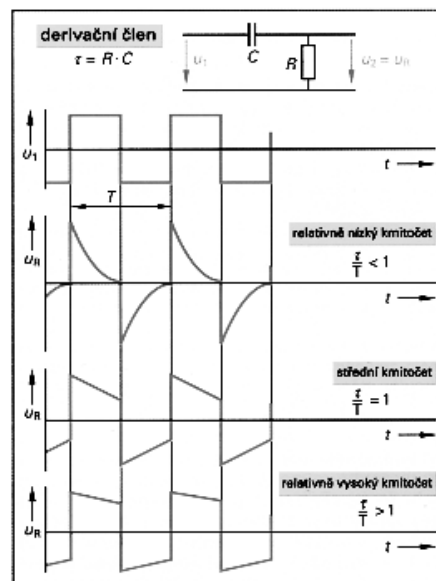
Integrační článek – v nejjednodušším případě je to jednoduchý obvod RC, který integruje periodicky impulsní signál nabíjením a vybíjením kondenzátoru a tím se tvaruje (respektive změny jeho temeno a tál). Provádí tedy matematickou funkci integrování – napětí na výstupu je integrálem napětí na vstupu. V prvním okamžiku je na kondenzátoru napětí U_1 rovno 0. Současně se kondenzátor začne nabíjet nabíjecím proudem I_C . Napětí na odporu klesá a blíží se k nule a napětí na kondenzátoru se blíží k nabíjecímu napětí.

Derivační článek – v nejjednodušším případě je to jednoduchý obvod RC, který derivuje periodicky impulsní signál vybíjením a nabíjením kondenzátoru a tím se tvaruje (respektive změny jeho temeno a tál). Provádí tedy matematickou funkci derivování – napětí na výstupu je derivací napětí na vstupu. V prvním okamžiku je na kondenzátoru napětí U_1 , současně se kondenzátor začne nabíjet nabíjecím proudem I_C . Napětí na odporu klesá a blíží se k nule, přeneseme se rozkmit vstupního napětí na výstup, takže se vstupní napětí přičte okamžité hodnotě výstupního napětí okamžiku t -době impulsu t_1 .

Průběhy pro pasivní integrační a derivační články jsou vidět na následujících obrázcích:



Obr. 4: Pasivní integrační článek



Obr. 5: Pasivní derivační článek

Aktivní integrační a derivační článek má průběhy mírně odlišné. Výsledkem integrace obdélníkového signálu (představuje jednotkový skok) je lineární průběh výstupního napětí, jehož strmost je dána integrační konstantou. Lze tedy tvrdit, že integrační článek potlačuje změny a z obdélníkového signálu vytváří trojúhelníkový a přivedeme-li na vstup integračního článku úzký impuls bude odezvou na tento impuls jednotkový skok.

Derivační článek se pak chová právě naopak. Zdůrazňuje změny a tím vytváří z trojúhelníkového signálu obdélníkový a odezvou na jednotkový skok je Diracův impuls.

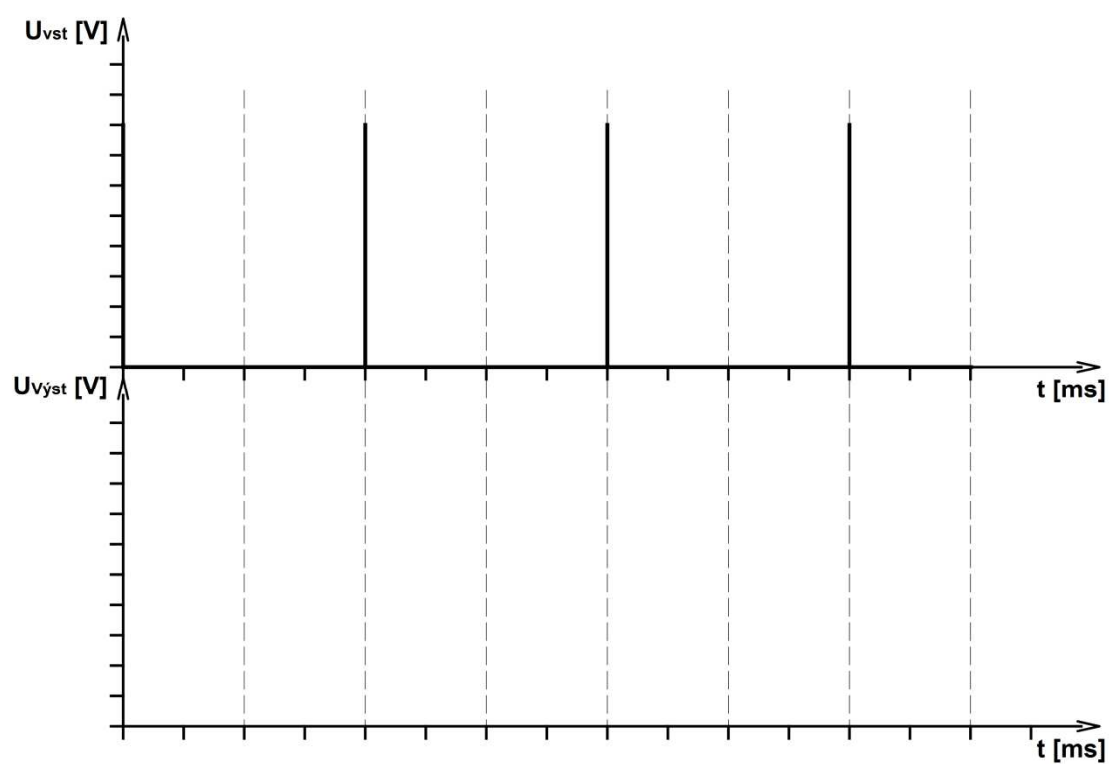
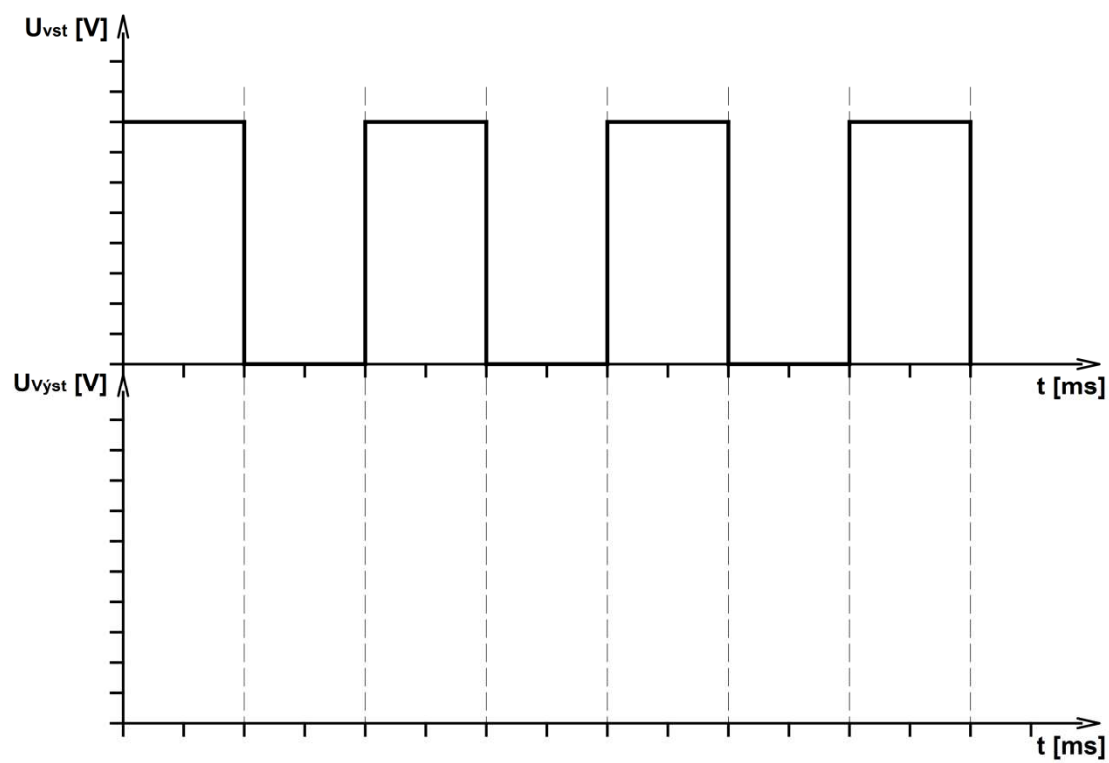
4. Postup měření

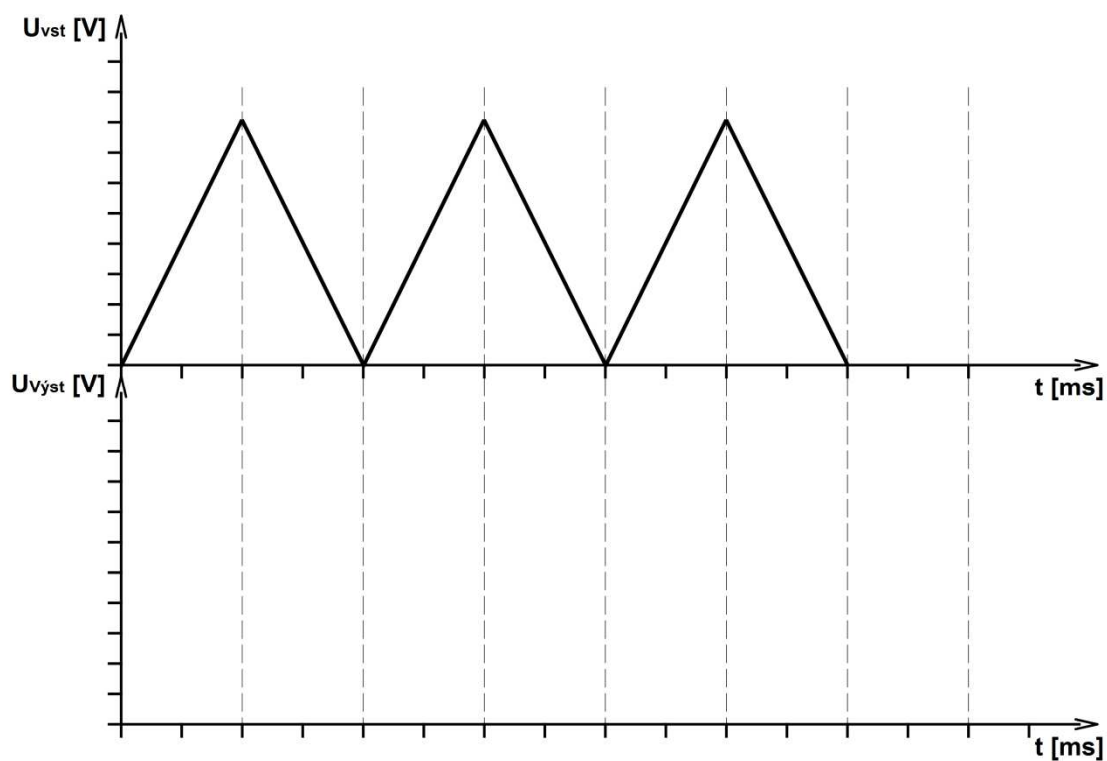
- měřící přípravek připojte ke zdroji střídavého napětí 24 V
- nejprve budete měřit integrační článek
- do prvního konektoru **K1** připojte vstup osciloskopu
- do druhého konektoru **K1** přiveďte z externího generátoru napětí obdélníkového průběhu se střídou 1:1 a o napětí asi 5 V
- do konektoru **K2** připojte druhý vstup osciloskopu
- měňte kmitočet přiváděného napětí a sledujte na osciloskopu odezvu obvodu
- do připraveného grafu zakreslete průběh výstupního napětí
- nyní změňte střídu vstupního obdélníkového signálu na poměr 1:99
- do připraveného grafu zakreslete opět průběh výstupního napětí a měření zopakujte pro další kmitočty
- nyní budete měřit derivační článek
- do prvního konektoru **K3** připojte vstup osciloskopu
- do druhého konektoru **K3** přiveďte z externího generátoru napětí obdélníkového průběhu se střídou 1:1 a o napětí asi 5 V
- dále postupujte obdobným postupem, jako v při měření integračního článku, jen s tím rozdílem, že v druhém měření použijete jako vstupní signál napětí trojúhelníkového tvaru

5. Tabulka

Není

6. Graf





7. Závěr

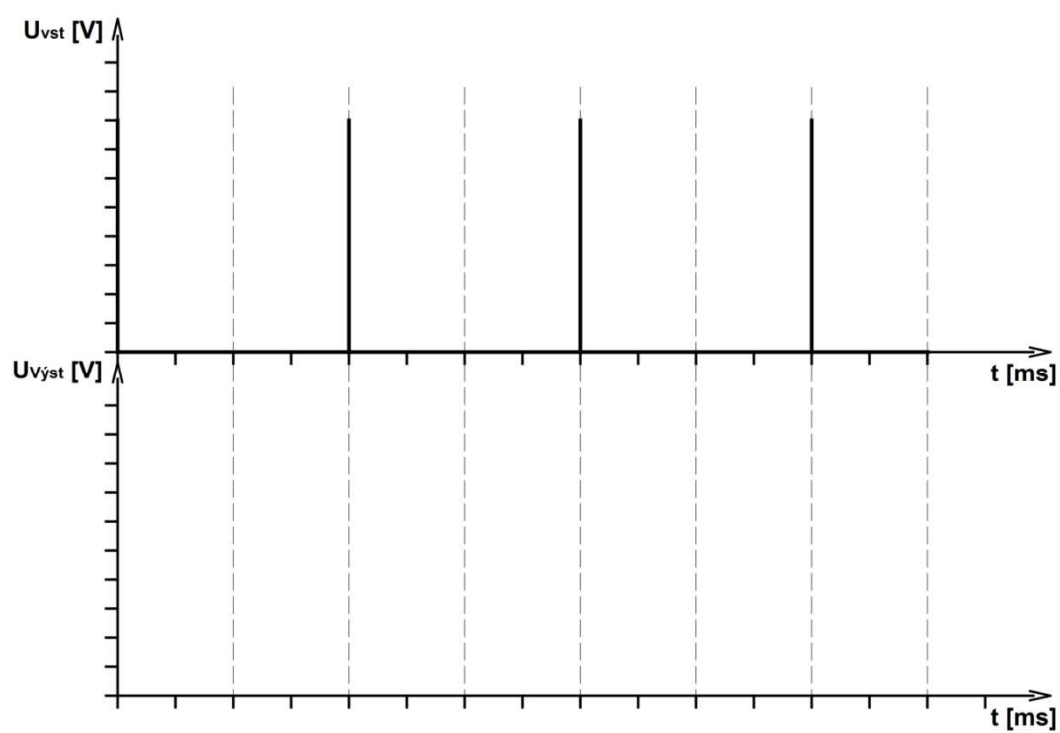
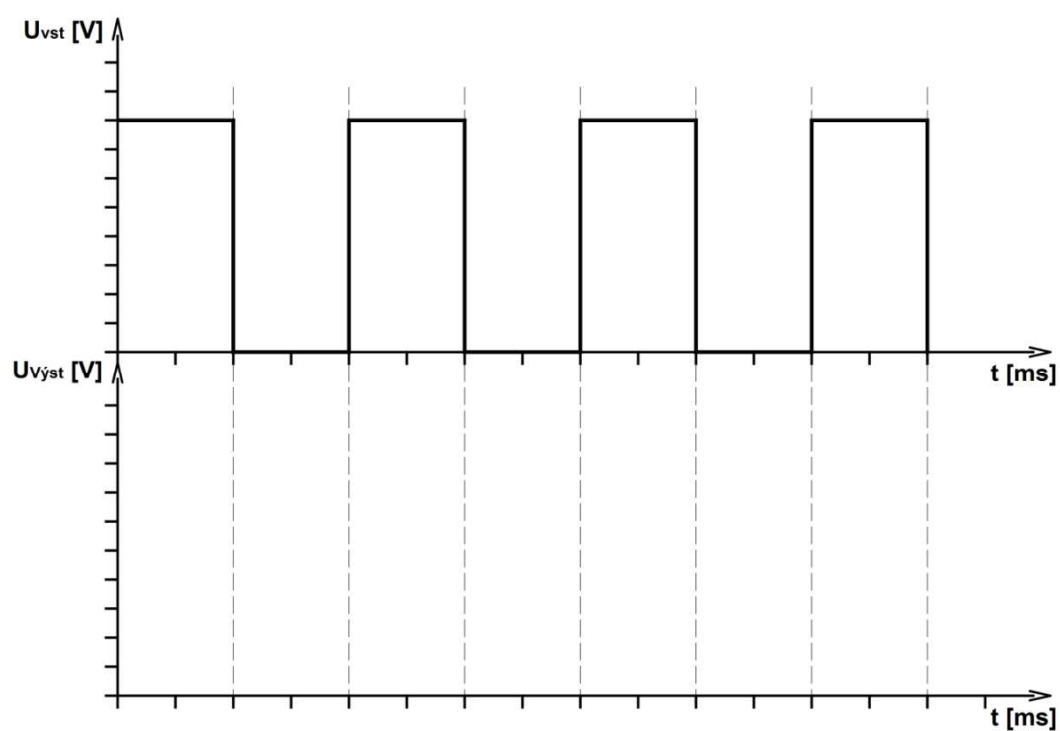
V závěru uveďte:

- Jak se shodují průběhy na výstupu integračního a derivačního článku s teoretickým předpokladem popsaným v teoretickém rozboru
- Jak závisí průběh na výstupu s délkou periody vstupního signálu ve vztahu k integrační (derivační konstantě)
- Zhodnoťte náročnost a přesnost celého měření.

Třída:

Příjmení:

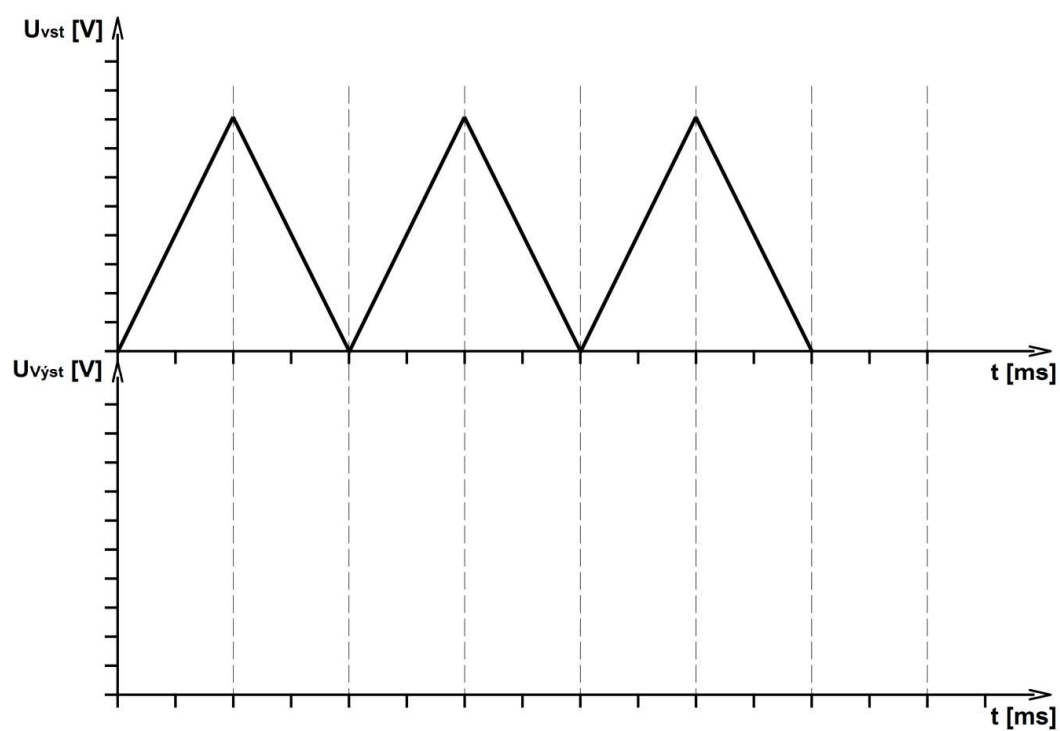
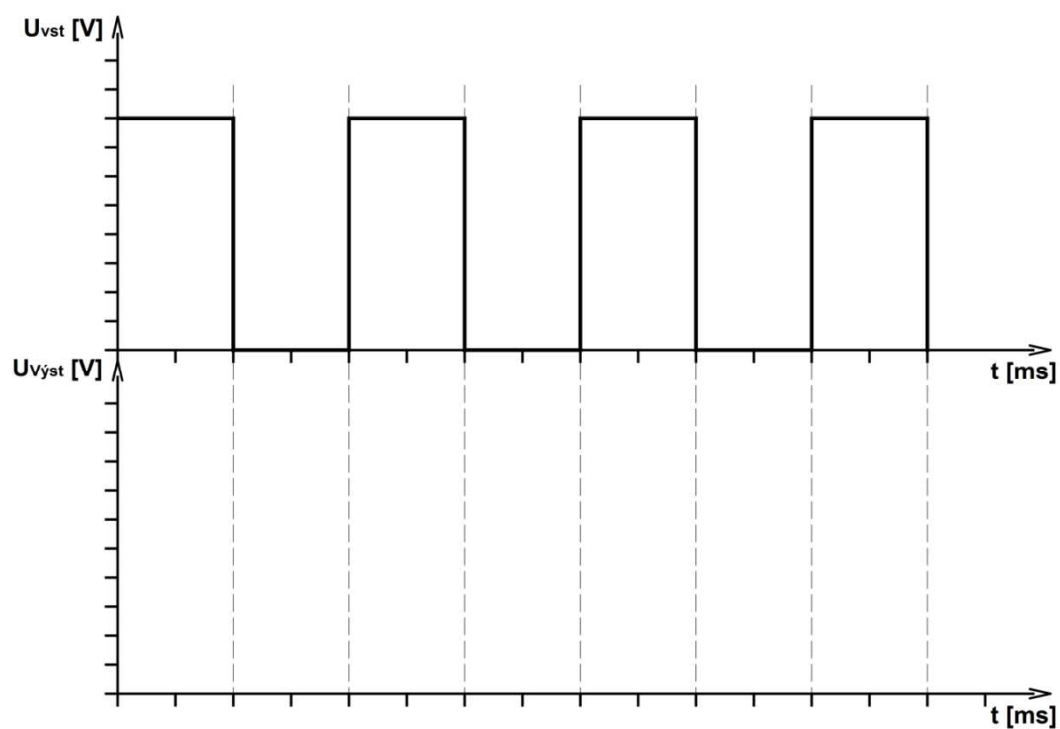
Integrační článek



Třída:

Příjmení:

Derivační článek



Příloha 1 - Graf pro zakreslení průběhů.

KONTROLA PŘESNOSTI MĚŘÍCÍHO PŘÍSTROJE

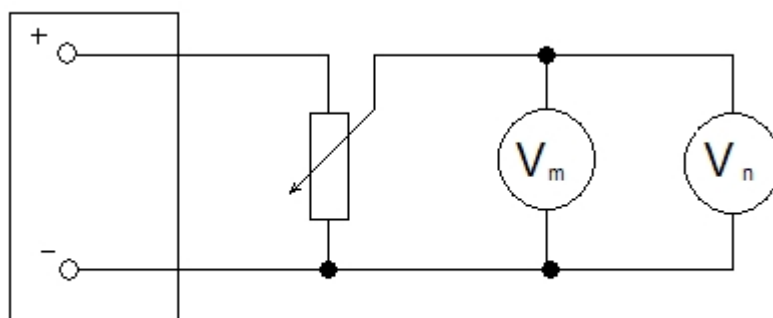


KONTROLA PŘESNOSTI MĚŘÍCIHO PŘÍSTROJE

1. Zadání

Zkontrolujte třídu přesnosti měřícího přístroje, měřícím přístrojem normálovým (s velmi dobrou třídou přesnosti). Sestrojte cejchovací a korekční charakteristiku měřeného přístroje.

2. Schema zapojení



Legenda:

V_m - voltmetr měřený

V_n - voltmetr normálový

3. Teoretický rozbor

Třída přesnosti

Při měření působí na měřicí přístroj řada vnitřních rušivých vlivů (vznikají nedokonalostí přístroje). Každý z těchto vlivů zanáší do měření určitou chybu a přístroj jako celek pak vykazuje tzv. základní chybu, která je souhrnem všech těchto dílčích chyb. Pro praktickou potřebu byla zvolena a normována charakteristika nazývaná třídou přesnosti δ_{TP} . Třída přesnosti zahrnuje všechny dílčí chyby a definuje tak mezní (maximální, dovolenou) relativní chybu v celém měřicím rozsahu přístroje.

$$\delta_{TP} = \frac{|\Delta_m|}{X_R}$$

kde Δ_m - mezní (maximální) absolutní chyba přístroje

X_R - největší hodnota měřícího rozsahu

Zastavme se před dalším odvozováním na chvíli u veličiny X_R - největší hodnoty měřícího rozsahu. Abychom si mohli vysvětlit, co máme za X_R do výše uvedeného vztahu dosazovat, musíme si nejprve definovat několik základních pojmů týkajících se stupnice analogových měřicích přístrojů.

Rozsah stupnice - je dán označenými krajními hodnotami stupnice

Měřicí rozsah - je část stupnice měřicího přístroje, na níž lze měřit s předepsanou přesností. Vyznačení měřicího rozsahu se provádí různými způsoby

Největší hodnota měřicího rozsahu XR je určena:

- horní hranicí měřicího rozsahu (je-li dolní hranicí nula),
- součtem obou mezních hranic (je-li nula uprostřed stupnice),
- rozdílem horní a dolní hranice (u přístrojů s potlačenou nulou).

Má-li přístroj určitou třídu přesnosti, je tím definovaná jeho maximální dovolená relativní chyba vyjádřená v % největší hodnoty měřicího rozsahu. Dle ČSN rozeznáváme u analogových měřicích přístrojů tyto třídy přesnosti:

0,05 - 0,1 - 0,2 - 0,5 - 1 - 1,5 - 2,5 - 5

Údaj třídy přesnosti je uveden na číselníku každého analogového měřicího přístroje. Uvádí se bez značky "%".

Výhody zavedení tříd přesnosti:

- přehledné posouzení a porovnání různých měřicích přístrojů,
- mezinárodní normalizace tříd přesnosti,
- jednoduchá kontrola měřidel (ověří se pouze, zda zjištěná chyba nepřekračuje meze třídy přesnosti (např. v hlavních bodech stupnice) - viz. Ověřování měřicích přístrojů.

Známe-li třídu přesnosti přístroje, můžeme z její hodnoty určit maximální (mezní) absolutní chybu, kterou může přístroj vykazovat.

$$\Delta_m = \pm \frac{X_R}{100} \delta_{TP}$$

Nyní si zavedeme novou veličinu, relativní chybu údaje, která je definována jako podíl mezní absolutní chyby přístroje k velikosti měřené hodnoty

$$\Delta_m = \pm \frac{X_R}{100} \delta_{TP}$$

kde δ_M - relativní chyba údaje,

Δ_m - mezní absolutní chyba přístroje,

X_M - měřená hodnota.

Dosadíme-li do tohoto vztahu za mezní absolutní chybu, dostaneme:

$$\delta_M = \pm \frac{X_R \delta_{TP}}{100 X_M} 100 = \pm \delta_{TP} \frac{X_R}{X_M}$$

Na právě odvozeném vztahu je vidět, že čím menší bude měřená hodnota, jinými slovy, čím menší bude výchylka přístroje, tím větší bude relativní chyba měření. Z toho vyplývá, že při měření analogovými měřicími přístroji musíme volit takový rozsah přístroje, aby jeho výchylka byla co největší. Pak bude měření přesné, protože chyba údaje bude malá. Nejvhodnější je, aby se výchylka pohybovala ve třetí třetině měřicího rozsahu, nejvýše však v jeho druhé polovině. Při malých hodnotách výchylky dosahuje relativní chyba údaje vysokých hodnot a měření v oblasti počátku stupnice nemá tedy žádný smysl, protože je velmi nepřesné.

Pro snazší pochopení si ukážeme právě probranou látku na příkladě.



Vliv výchylky na přesnost měření.

Příklad 2

Na analogovém voltmetru s rozsahem $X_R=120V$ jsme změřili napětí $U_{M1}=120V$, $U_{M2}=60V$, $U_{M3}=30V$ a $U_{M4}=5V$. Určete jaká je absolutní a relativní chyba jednotlivých měření. Třída přesnosti voltmetru je 1.

Absolutní chyba je při všech měřeních stejná a je dána třídou přesnosti použitého voltmetru.

$$\Delta_m = \pm \frac{X_R}{100} \delta_{TP} = \pm \frac{120}{100} 1 = \pm 1,2V$$

To znamená, že přístroj měří s přesností $\pm 1,2V$ po celé stupnici, jak při měření napětí $2V$, tak při měření $120V$.

Velikosti relativních chyb údaje při jednotlivých měřeních určíme buď jako podíl absolutní chyby a příslušné měřené veličiny nebo můžeme použít zjednodušený odvozený vztah

$$\delta_M = \pm \delta_{TP} \frac{X_R}{X_M}$$

Výsledky budou v obou případech pochopitelně stejné.

a) $U_{M1} = 120 V$,

$$\delta_{M1} = \pm \frac{\Delta_m}{U_{M1}} = \pm \frac{1,2}{120} 100 = \pm 1,0\%$$

$$\delta_{M1} = \pm \delta_{TP} \frac{U_R}{U_{M1}} = \pm 1 \frac{120}{120} = \pm 1,0\%$$

b) UM2 = 60 V,

$$\delta_{M1} = \pm \delta_{TP} \frac{U_R}{U_{M2}} = \pm 1 \frac{120}{60} = \pm 2,0\%$$

c) UM3 = 30 V,

$$\delta_{M1} = \pm \delta_{TP} \frac{U_R}{U_{M4}} = \pm 1 \frac{120}{30} = \pm 4,0\%$$

d) UM4 = 5 V,

$$\delta_{M1} = \pm \delta_{TP} \frac{U_R}{U_{M4}} = \pm 1 \frac{120}{5} = \pm 24,0\%$$

4. Postup měření

Určení proměřovaného rozsahu a konstanty měřícího přístroje. Nastavování určených hodnot napětí pomocí normálového přístroje a odečítání výchylky na přístroji měřeném.

5. Tabulka

Měření číslo	Měřený přístroj			Normálový přístroj			U _{roz} [V]	Kor.
	K [$\frac{\text{jednotka}}{\text{dílek}}$]	α [dílek]	U _m [V]	K [$\frac{\text{jednotka}}{\text{dílek}}$]	α [dílek]	U _n [V]		
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Legenda: **K** - konstanta přístroje

α - výchylka ručičky

Un Um - naměřené hodnoty

Uroz. - rozdílové napětí **Uroz. = Un - Um**

Kor. - - korekce se určí jako absolutní hodnota rozdílového napětí

6. Graf

Na milimetrovém papíře sestavit cejchovací charakteristiku přístroje, což je závislost napětí naměřeného měřeným přístrojem a napětí naměřeného normálovým přístrojem. Na milimetrovém papíře sestavit korekční charakteristiku, což je závislost korekce na napětí naměřeného normálovým přístrojem.

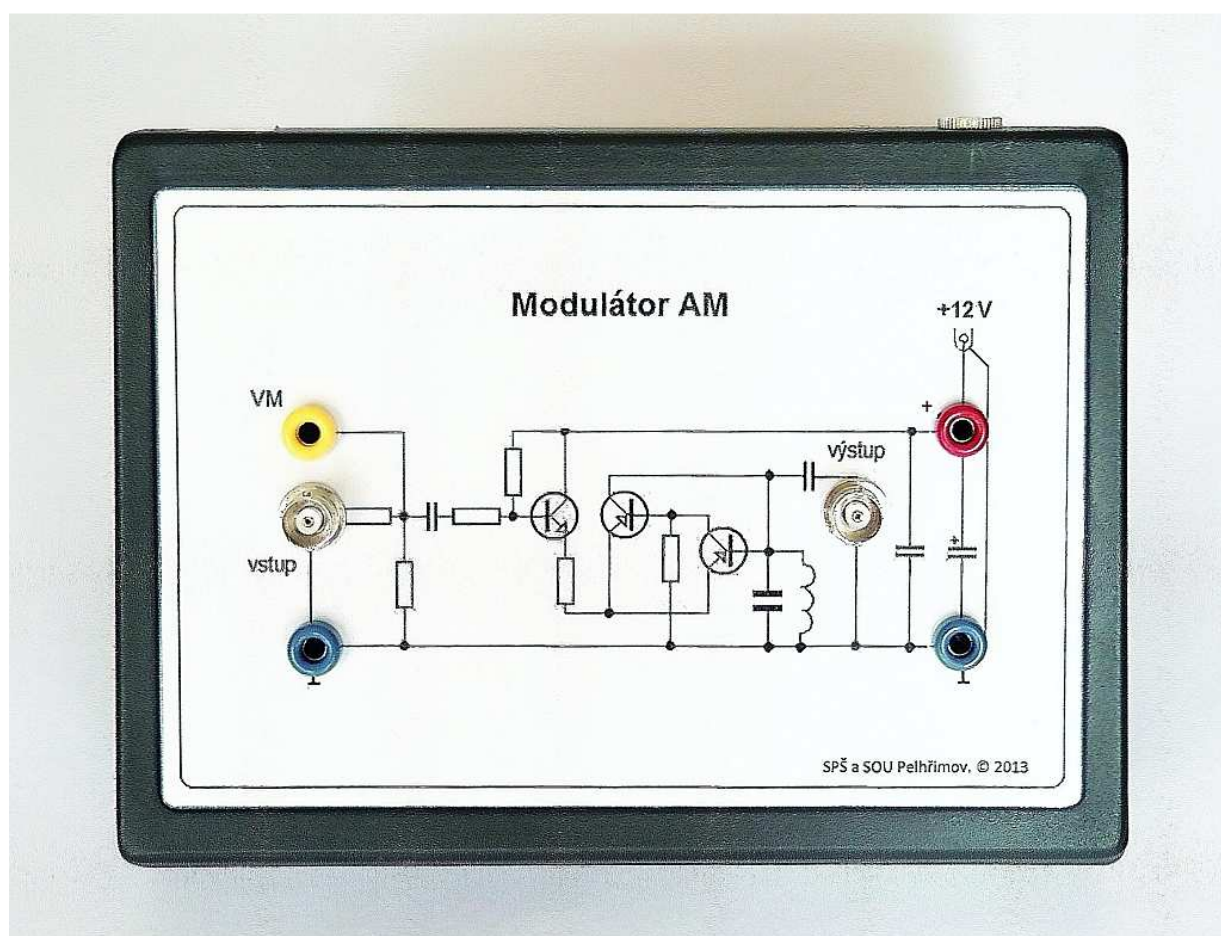
7. Závěr

V závěru uveďte:

Zhodnocení, jestli proměřovaný přístroj splňuje podmínky uvedené třídy přesnosti porovnáním zjištěné největší odchylky a dovolené maximální odchylky.

Vyhodnotit průběhy charakteristiky měřeného přístroje.

MĚŘENÍ NA MODULÁTORU AM



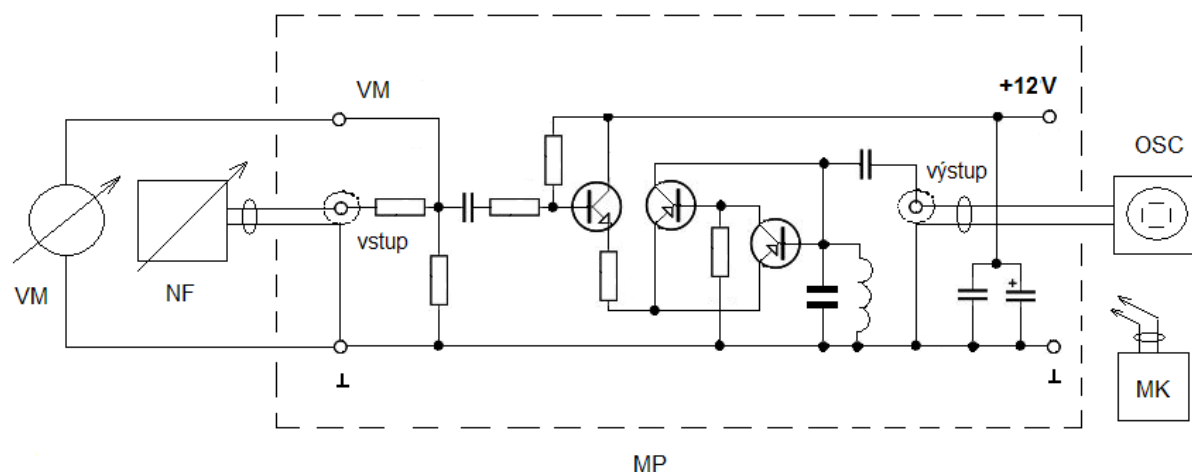
MĚŘENÍ NA MODULÁTORU AM

1. Zadání

Na modulátoru AM proveďte tato měření:

- Změřte závislost hloubky modulace m_a na velikosti vstupního modulačního napětí U_m daného AM modulátoru.
- Měření proveďte pro modulační napětí U_m s frekvencí $f_m = 1$ kHz.
- Hloubku modulace měřte v rozsahu $m_a = 0 - 100\%$.
- Změřené hodnoty hloubky modulace vynesete do grafu $m_a = f_{ce}(U_m)$.
- Změřte frekvenci nosné vlny modulátoru bez modulace pomocí měřiče kmitočtu (modulátor AM si nosnou vlnu vytvoří sám).
- V závěru měření zhodnoťte linearitu daného modulátoru AM.

2. Schema zapojení



Legenda:

VM - voltmetr (měří střídavé napětí NF generátoru)

NF - nízkofrekvenční generátor

OSC – osciloskop

MK – měřič kmitočtu

MP – měřicí přípravek – modulátor AM

3. Teoretický rozbor

Princip modulace

V přenosové technice potřebujeme přenést signály na velké vzdálenosti (např. rozhlasový přenos, hovor pomocí mobilního telefonu, televizní přenos a jiné..). Elektrické kmity získané např. z mikrofону mají příliš malý kmitočet (20 Hz až 20 kHz), aby se mohly šířit bezdrátově na větší vzdálenost. Elektromagnetické vlny s vyšším kmitočtem (např. 1 MHz) tuto schopnost šíření mají.

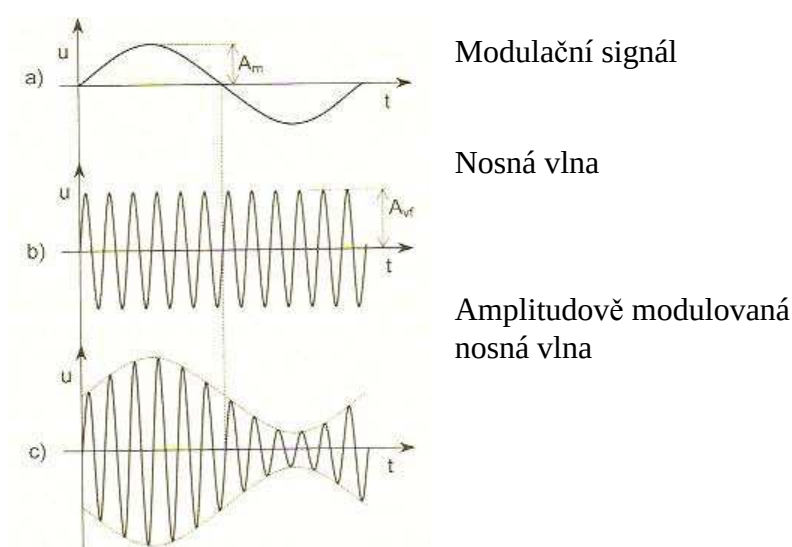
Pro přenos informace spojíme oba signály vhodným způsobem, tj. nízkým kmitočtem, který chceme přenést, ovlivníme některou charakteristickou veličinu elektromagnetické vlny s vyšším kmitočtem, (vysokofrekvenční vlnu), např. její amplitudu, kmitočet, fázi, apod.).

Toto ovlivňování některého z parametrů vysokofrekvenční vlny (nazývané „nosná vlna“) nízkofrekvenčním signálem (modulační signál) se nazývá **modulace**.

Podle parametru nosné vlny, který je nízkofrekvenčním signálem ovlivňován, rozlišujeme modulaci amplitudovou, kmitočtovou, fázovou, impulsovou a jinou.

Amplitudová modulace

Při amplitudové modulaci, která se označuje AM, se mění amplituda nosné vlny v závislosti na změnách okamžité hodnoty amplitudy modulačního signálu. Kmitočet nosné vlny přitom zůstává stejný.



Amplituda nosné modulované vlny je v každém okamžiku součtem nebo rozdílem amplitudy nosné nemodulované vlny a okamžité hodnoty modulačního signálu.

Poměr amplitud modulačního signálu a nosné vlny se nazývá hloubka modulace **m_a** .

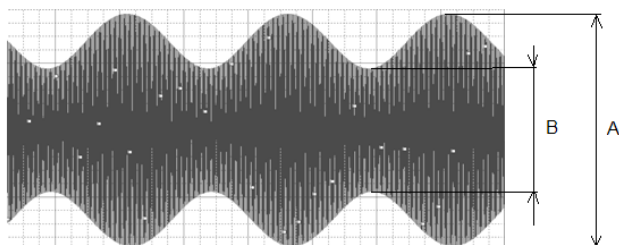
$$m_a = \frac{A_m}{A_{vf}} \cdot 100 [\%]$$

kde **A_m** je amplituda modulačního napětí a **A_{vf}** je amplituda nosné vlny.

Hloubka modulace bývá v praxi menší než 100 %, aby nedocházelo ke zkreslení přenášeného modulačního signálu.

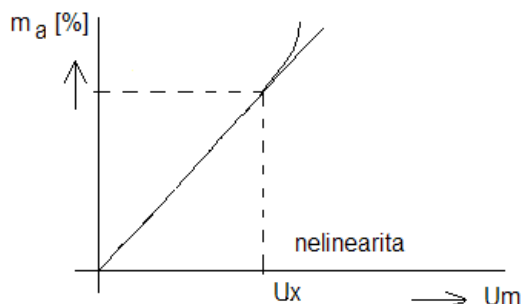
Jak plyne z následujícího obrázku, lze hloubku modulace **m_a** také vypočítat ze vztahu:

$$m_a = \frac{A-B}{A+B} \cdot 100 [\%]$$



Linearita modulátoru AM.

Udává závislost hloubky modulace na vstupním modulačním napětí. Od určité hodnoty tohoto napětí se hloubka modulace nezvyšuje lineárně – viz graf.



Od napětí U_x začíná být modulátor AM nelineární.

4. Postup měření

- Zapojíme střídavý voltmetr (multimetr), generátor NF a osciloskop na měřicí přípravek – viz schema zapojení.
- Nastavíme na generátoru NF požadovaný kmitočet 1 kHz.
- Zvyšujeme napětí NF generátoru a na osciloskopu odečítáme rozkmity střídavého modulovaného napětí „A“ a „B“.
- Naměřené hodnoty zaznamenáváme do tabulky a spočteme hloubky modulace
- Průběžně zvyšujeme střídavé NF napětí až do hodnoty, kdy bude rozkmit „B“ modulovaného napětí na osciloskopu roven nule. Tento stav odpovídá hloubce modulace 100 %.
- Z naměřených hodnot sestrojíme graf $m_a = f(U_m)$. Velikost vstupního napětí U_m do modulátoru měříme multimetrem na střídavém rozsahu.
- Na závěr změříme kmitočet nosné vlny modulátoru - bez modulace, pomocí měřiče frekvence, který připojíme místo osciloskopu (odpojíme generátor NF).

5. Tabulka naměřených hodnot

p.č	1	2	3	4	5	6	7	8
U_m [mV]								
A[dilky]								
B[dilky]								
m_a [%]								

p.č	9	10	11	12	13	14	15	16
U_m [mV]								
A[dilky]	x							
B[dilky]	y							
m_a [%]	zz							

Příklad výpočtu.

Výpočet hloubky modulace pro měření číslo 9:

$$m_a = 100 \cdot (x-y)/(x+y) = zz \%$$

Souhrn naměřených hodnot.

- frekvence nosné vlny: MHz
- vstupní napětí pro hloubku modulace 50 %: $U_m = \dots\dots\dots$ mV
- linearita modulátoru: do vstupního napětí $\dots\dots\dots$ mV a hloubky modulace $\dots\dots\dots$ %.

6. Graf

Vyneste graf závislosti hloubky modulace m_a na modulačním napětí U_m . Pro konstrukci grafu lze využít i PC.

7. Závěr

V závěru uveďte:

- hodnotu vstupního NF napětí pro hloubku modulace $m_a = 50[\%]$.
- kmitočet nosné vlny modulátoru AM.
- zhodnoťte průběh linearity modulátoru a uveďte hodnotu vstupního napětí U_x od kterého se již začíná projevovat jeho nelinearita –viz graf.

MĚŘENÍ ELEKTRICKÉHO VÝKONU A PRÁCE ELEKTROMĚREM

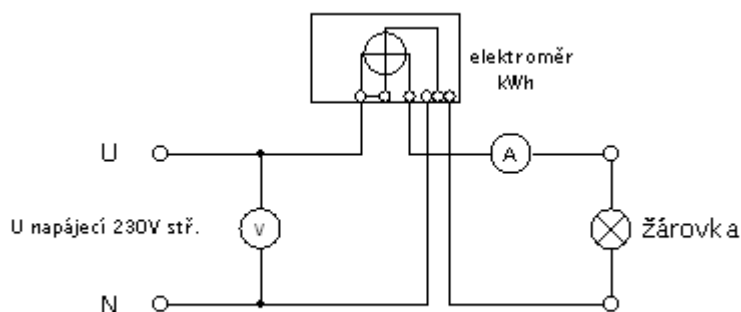


MĚŘENÍ ELEKTRICKÉHO VÝKONU A PRÁCE ELEKTROMĚREM

1. Zadání

Zapojte do elektrického obvodu žárovku na 230V. Změřte elektroměrem elektrickou práci a dále zjistěte skutečný příkon.

2. Schema zapojení



Legenda:

- V - voltmetr
- A - ampérmetr
- kWh - jednofázový elektroměr
- žárovka (spotřebič)
- časomíra (stopky)

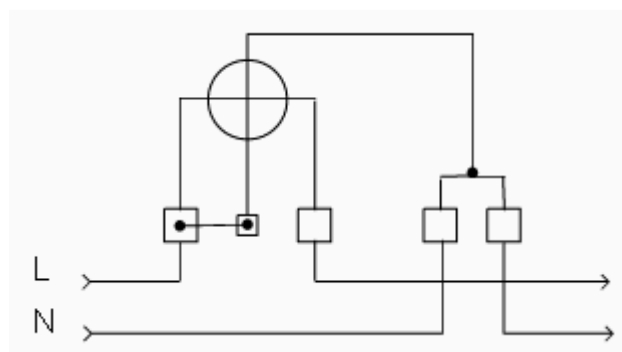
3. Teoretický rozbor

Elektrická práce je výkon za jednotku času. Jednotkou je 1KWh. Pro měření používáme elektroměr. Elektroměry máme jednofázové a třífázové. Elektroměr nám ve skutečnosti měří odebíraný proud a zároveň napájecí napětí. Elektroměry umožňují měřit spotřebovanou el. energii od prakticky nulové až po jmenovitou - tento údaj je vyjádřen jmenovitou hodnotou elektroměrem protékajícího proudu.

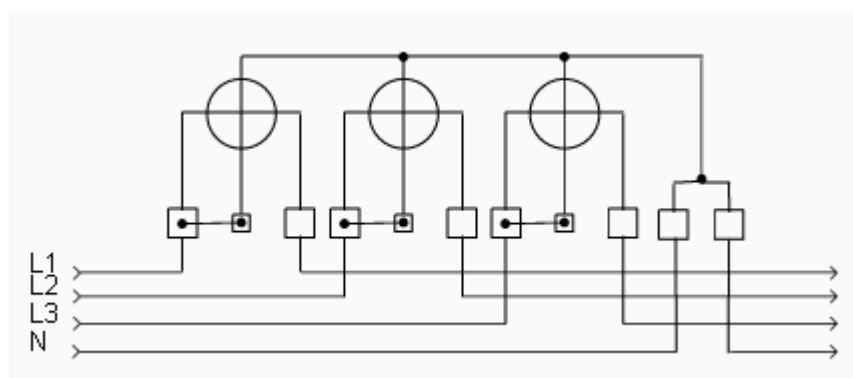
$$W = Pt = UIt = UI \cos \varphi t = RI^2 t = \frac{U^2}{R} t$$

Rozdělení elektroměrů:

1. podle druhu elektrického proudu - stejnosměrné
- střídavé
2. střídavé podle počtu fází - jednofázové
- trojfázové
3. podle cenového tarifu - jednosazbové
- dvousazbové
4. podle konstrukce - mechanické
- elektronické



Zapojení elektroměru - jednofázový jednosazbový



Zapojení elektroměru - třífázový jednosazbový

Střídavý elektroměr při měření využívá indukční princip postupného magnetického pole a princip vířivých proudů působících na hliníkový kotouček. Měřicí ústrojí se skládá ze třech hlavních částí : hnací ústrojí, otočná část a brzdící magnet. Otáčky kotoučku jsou pevným mechanickým převodem přeneseny na počítadlo . Počítadlo trvale registruje změřenou hodnotu spotřebované el. energie [kWh] - většinou s platností na jedno nebo dvě desetinná místa. Elektroměr nejde vynulovat. Každý elektroměr má svou přístrojovou konstantu K_p , která je uvedena na štítku přístroje a udává kolik otáček hliníkového kotouče připadá na 1 kWh. Zapojení elektronických elektroměrů vychází z měření času odběru napětí a odebíraného proudu. Podle normy může být odchylka údaje střídavého elektroměru oproti údaji kontrolního cejchovního wattmetru maximálně $\pm 3 \%$. Toto platí při libovolném zatížení a při účinníku rovném jedné.

Výkon nebo příkon spotřebiče: $P = U \cdot I = u \cdot i \cdot \cos. \varphi$ [W , V , A , -]

Klasický elektroměr zaregistruje práci podle vztahu: $A = n / K_p$ [J ; ot , ot * J⁻¹]

Pomocí wattmetru a časomíry lze změřit práci podle vztahu:

$$A = P \cdot t \quad [J; W, s] \quad A = U \cdot I \cdot t \quad [J; V, A, s]$$

Vzorečky potřebné pro měření a výpočet

Výpočet jmenovité el. práce $A_{jm} = P_{jm} \cdot t$ [Wh; W, h]

Výpočet zdánlivé práce $A_z = U \cdot I \cdot t$ [VAh; V, A, h]

Výpočet odebírané práce A_0 = konečný stav elektroměru minus počáteční stav elektroměru [Wh]

Výpočet skutečného příkonu $P = A_0 / t$ [W; Wh, h]

4. Postup měření

- zapojíme měřidla dle schématu zapojení, nejprve proudové obvody
- odečteme stav na elektroměru
- přivedeme napájecí napětí do obvodu a v témže okamžiku zapneme časomíru
- po uběhnutí námi zadaného času (zvolíme s ohledem na stav elektroměru a velikosti spotřeby) vypneme zdroj a časomíru
- vypočítáme odebíranou práci A_0
- vypočítáme jmenovitou elektrickou práci $A_{jm} = P_{jm} \cdot t$

5. Tabulka naměřených hodnot

U[V]	I[A]	Jmenovitá el. práce A_{jm} [Wh]	Počáteční stav elektroměru [Wh]	Konečný stav elektroměru [Wh]	Odebíraná el. práce A_0 [Wh]	Zdánlivá el. práce A_z [Wh]	Skutečný příkon P [W]	Čas t[h]

Výpočty:

6. Graf

není

7. Závěr

Porovnat jednotlivé výkony a práce.

MĚŘENÍ TRANSFORMÁTORU NAKRÁTKO

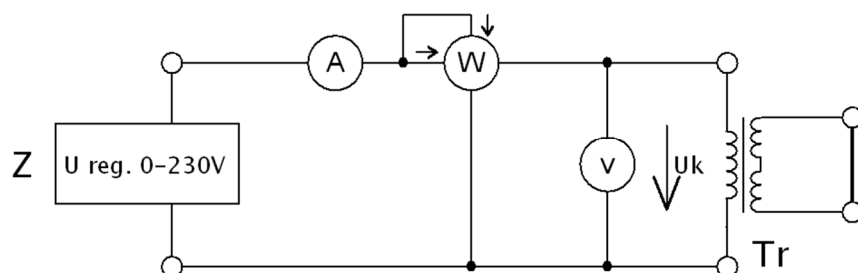


MĚŘENÍ TRANSFORMÁTORU NAKRÁTKO

1. Zadání

Změřte transformátor nakrátko a určete ztráty ve vinutí (ztráty nakrátko), účinník a napětí nakrátko

2. Schema zapojení



Legenda:

V – voltmetr

A – ampérmetr

W – wattmetr

Z – zdroj regulovaného napětí

Tr – transformátor

3. Teoretický rozbor

Transformátory řadíme mezi elektrické stroje. Jedná se o stroj netočivý, který slouží k přeměně elektrické energie na elektrickou energii jiných parametrů se stejným kmitočtem. Transformátor pracuje na principu elektromagnetické indukce. Transformátor se skládá z magnetického a elektrického obvodu. Magnetický obvod se skládá z elektrotechnických plechů, které jsou od sebe izolovány. Elektrický obvod tvoří vinutí transformátoru. Vinutí, na které připojujeme vstupní napětí, se nazývá primární a vinutí, ze kterého odebíráme napětí, se nazývá sekundární. Převodní, neboli transformační rovnice je dána vztahem:

$$p = U_1/U_2 = I_2/I_1 = N_1/N_2$$

U transformátoru můžeme provádět tři základní měření:

- Transformátor naprázdno. Na vstupní vinutí připojíme střídavé napětí a na výstupní vinutí nepřipojíme žádnou zátěž. V tomto případě transformátor odebírá malý proud,

který je fázově posunut za vstupním napětím téměř o 90°, protože transformátor představuje indukční zátěž. Po připojení nezatíženého transformátoru k síti vznikne proudový náraz, který může dosahovat až patnáctinásobku jmenovitého proudu. Po vybuzení magnetického toku se proud transformátoru ustálí na 10% jmenovitého proudu.

- b) Transformátor zatížený. Jedná se o stav, kdy je na sekundární vinutí připojena zátěž.
- c) Transformátor nakrátko. Stav nakrátko je stavem transformátoru, při kterém jsou sekundární svorky zkratovány. To znamená, že výstupní svorky jsou spojeny bezodporovou spojkou. Výstupní napětí se rovná nule a celé vstupní napětí se spotřebuje ve vinutí transformátoru. Zkratový proud tekoucí sekundárním vinutím je značně vysoký. V tomto případě poteče obvodem maximální proud, který je transformátor schopen při daném napětí dodávat. Ztráty budou rovněž velké a pokrývají ztráty ve vinutí.

Vzorce potřebné pro měření a výpočet:

Jmenovitý maximální proud primárním vynutím $I_k = P_{\max} / U_1$ [A;W,V]

$P_{\max}$, U_1 zjistíme ze štítku transformátoru

Vypočítáme účinník $\cos\varphi = P_k / U_k I_k$ [-;W,V,A]

Procentní napětí nakrátko $u_k = U_k * 100\% / U_1$ [%;V,-,V]

4. Postup měření

- zapojíme měřidla dle schématu zapojení, nejprve proudové obvody
- vypočteme jmenovitý maximální proud primárním vinutím dle vzorce $I_k = P_{\max} / U_1$
- na transformátor přivedeme pomocí regulačního transformátoru napětí U_k , až začne primárním vinutím protékat proud I_k .
- odečteme hodnoty na měřících přístrojích a zapíšeme do tabulky
- vypočítáme účinník ze vztahu $\cos\varphi = P_k / U_k I_k$
- vypočítáme procentní napětí nakrátko dle vztahu $u_k = U_k * 100\% / U_1$

5. Tabulka naměřených hodnot

$P_{\max}$ [W]	U_1 [V]	I_k [A]	P_k [W]	$\cos\varphi$ [-]	U_k [V]	u_k [%]

Výpočty:

6. Graf

Není

7. Závěr

Porovnání účinníku, ztrát ve vinutí a procentního napětí nakrátko

MĚŘENÍ VÝKONU JEDNOFÁZOVÉHO MOTORU

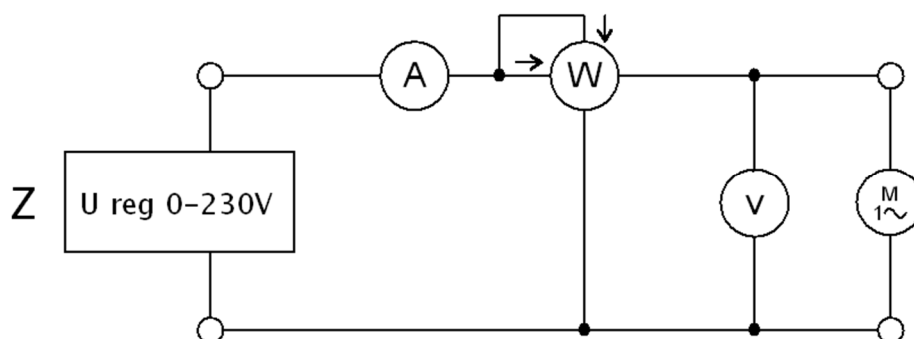


MĚŘENÍ VÝKONU JEDNOFÁZOVÉHO MOTORU

1. Zadání

U daného jednofázového motoru změřte proud a výkon při napětí zvyšujícím se od 0V do 220V po 20 voltech. Následně vypočítejte výkony, запиšte výsledky do tabulky a sestrojte trojúhelník výkonů.

2. Schema zapojení



Legenda:

V - voltmetr

A - ampérmetr

W - wattmetr

Z - regulovatelný zdroj střídavého napětí

M - motor

3. Teoretický rozbor

Elektrické motory řadíme mezi elektrické stroje. Motory rozdělujeme do několika skupin. Nejčastěji dle napájení na střídavé a stejnosměrné. V současné době jsou ze skupiny střídavých motorů nejpoužívanější asynchronní motory s kotvou nakrátko. Tento motor se skládá z pevné části, statoru a otáčivé části rotoru. Stator je tvořen ze svazku izolovaných plechů s drážkami, ve kterých je izolovaně uloženo vinutí. Rotor se také skládá z plechů, ve kterých je tlakovým litím vytvořeno vinutí (tyče), které je na koncích zkratováno.

Motory potřebují ke své činnosti magnetické pole. Budí se v nich magnetujícím proudem, který je potom jalovou složkou odebíraného proudu. Jalová složka proudu způsobuje fázový posun mezi elektrickým napětím a proudem.

Z ekonomického důvodu je nejvhodnější, když se elektrická energie odebírá s velkým účínkem. To znamená, že se snažíme o co nejmenší fázový posun. Při malém účínku jsou přístroje a sítě využity pouze proudově, nikoliv výkonově. Tím vzniká větší náročnost na dodávku el. energie od výrobce až po konečné vedení. Jalovou složku elektrické energie můžeme snížit kompenzací magnetujícího proudu připojenými kondenzátory v kompenzačním rozvaděči.

Jmenovitý výkon motoru je výkon odevzdaný na hřídeli při daném provozu. Při jmenovitém výkonu má motor jmenovité otáčky. Účinnost motoru je definovaná jako poměr výkonu ku příkonu.

Ztráty: Příkon při chodu naprázdno kryje mechanické ztráty například ztráty třením v ložiskách a třením rotoru o vzduch. Ztráty v železe (hysterezní) a ztráty vířivými proudy. Další ztráty jsou tepelné při zatížení a ztráty ve vinutí. Elektromotory mají indukční charakter impedance. Proud se zpožďuje za napětím U o úhel φ .

Vzorečky potřebné pro měření a výpočet:

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi, \quad S = U \cdot I, \quad Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi, \quad \varphi = \arccos\varphi, \quad Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

Elektrický výkon můžeme měřit wattmetrem a u činných spotřebičů nepřímo pomocí voltmetru a ampérmetru. Další možností je použití kombinovaného měřicího přístroje, u kterého současně změříme U, I, P, S, Q . (HAMEG)

Wattmetry mají převážně elektrodynamickou měřicí soustavu s proudovou a napěťovou cívku. Elektrodynamické wattmetry měří činný výkon. Jednou z podmínek při měření je současná kontrola proudu a napětí voltmetrem a ampérmetrem. V žádném případě nesmí dojít k překročení rozsahu proudu a napětí více než 1,2 krát.

4. Postup měření

- zapojit měřený obvod dle schématu zapojení
- na regulovaném zdroji nastavujeme napětí po 20 voltech
- na ampérmetru sledujeme proud
- wattmetrem měříme činný výkon
- vypočítáme jednotlivé výkony
- sestrojíme trojúhelník výkonů

5. Tabulka naměřených hodnot

č. měření	U [V]	I [A]	P [W]	S [VA]	Q [Var]	$\cos\varphi[-]$	$\varphi[^\circ]$
1	20						
2	40						
3	60						
4	80						
5	100						

6	120						
7	140						
8	160						
9	180						
10	200						
11	220						

Výpočty:

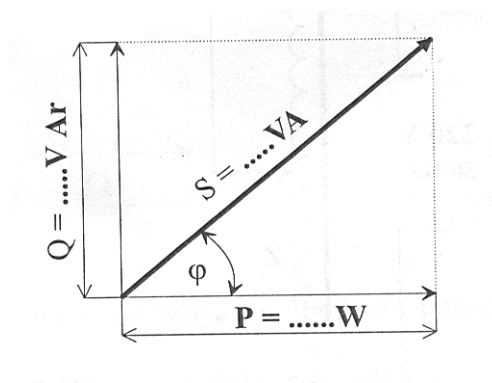
6. Graf

Trojúhelník výkonů

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

$$S = U \cdot I$$

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



7. Závěr

Posoudit měření z hlediska závislosti účinníku $\cos \varphi$ a na napětí. Z výkonového trojúhelníku porovnat velikost činného, jalového a zdánlivého výkonu na motoru.

MĚŘENÍ ČINNÉHO, ZDÁNlivÉHO A JALOVÉHO VÝKONU V JEDNOFÁZOVÉ SOUSTAVĚ

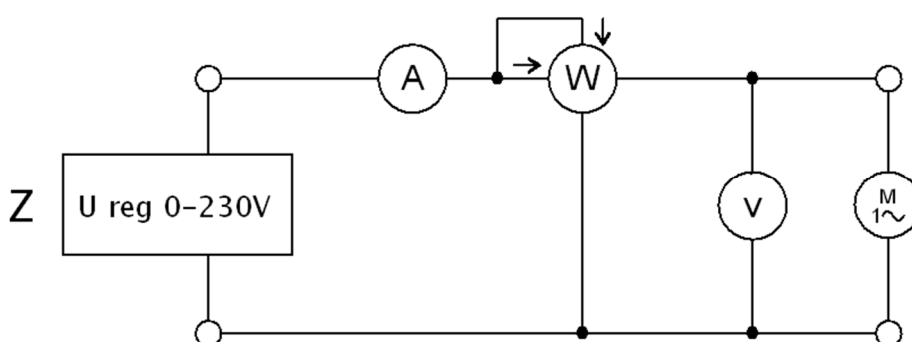


MĚŘENÍ ČINNÉHO, ZDÁNLIVÉHO A JALOVÉHO VÝKONU V JEDNOFÁZOVÉ SOUSTAVĚ

1. Zadání

Zjistit elektrické příkony měřeného spotřebiče.

2. Schema zapojení



Legenda:

V- voltmetr

A -ampérmetr

W -wattmetr

Z- regulovatelný zdroj napětí

3. Teoretický rozbor

Základní jednotkou elektrického výkonu je watt [W]. Elektrický výkon P střídavého proudu je úměrný napětí U a proudu I , záleží také na účinníku $\cos\varphi$. $P=U \cdot I \cdot \cos\varphi$ [W;V,A,-].

Porovnáme-li výkon stejnosměrného a střídavého obvodu, tak zjistíme, že střídavý obvod je na měření složitější. A to protože velmi často vzniká u střídavého proudu fázový posun mezi napětím a proudem. Také často měříme více než jednu fázi.

Ve střídavém obvodu rozeznáváme tři druhy příkonů a výkonů: zdánlivý, činný a jalový

- a) Zdánlivý výkon střídavého proudu měříme pomocí ampérmetru a voltmetru. Zapojení a postup je stejný jako u měření stejnosměrného výkonu. Bereme v úvahu vnitřní odpory měřících přístrojů a zátěže.

- b) Činný výkon nemůžeme měřit pouze voltmetrem a ampérmetrem, protože u jiné než čistě odporové zátěži dochází k fázovému posunu. Z tohoto důvodu se pro měření používá wattmetr. Wattmetr má proudovou a napěťovou cívku. Každá tato cívka je dimenzována pro určitý proud a napětí. Výkon je dán součinem obou veličin. Může se stát, že jedna veličina bude malá a druhá příliš velká. Tím nepřetížíme wattmetr z důvodu celkového výkonu, ale můžeme poškodit přetíženou cívku. Aby nedošlo k poškození wattmetru, je nutné dalším přístrojem kontrolovat velikost proudu a napětí. Přívodní svorky jsou označeny šipkou. V některých případech tečkou, nebo hvězdičkou.
- c) Jalový výkon se měří varmetry. Pokud známe účinník, zdánlivý a činný výkon, můžeme jalový výkon dopočítat.

Vzorečky potřebné pro měření a výpočet:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \text{ [W]}, \quad S = U \cdot I \text{ [VA]}, \quad Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \text{ [VAr]}, \quad \cos \varphi = P/S, \quad Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

4. Postup měření

- zapojit měřený obvod
- na regulovatelném zdroji nastavujeme napětí po 20 voltech
- vypočítáme jednotlivé výkony
- sestrojíme trojúhelník výkonů

5. Tabulka naměřených hodnot

č. měření	U [V]	I [A]	P [W]	S [VA]	Q [VAr]	$\cos \varphi$ [-]
1	20					
2	40					
3	60					
4	80					
5	100					
6	120					
7	140					
8	160					
9	180					
10	200					
11	220					

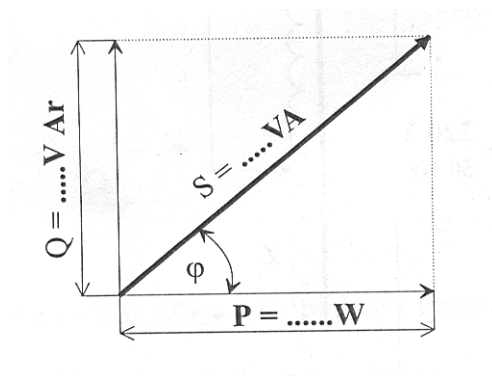
6. Graf

Výkonový diagram motoru

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \text{ [W]}$$

$$S = U \cdot I \text{ [VA]}$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \text{ [VAr]}$$



7. Závěr

Posoudit měření a porovnat vypočítané a změřené výkony.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

HAASZ, Vladimír. - SEDLÁČEK, Miloš.: Elektrická měření. Přístroje a metody. 2. vydání Praha: ČVUT, 2003. 337 s. ISBN 80-01-02731-7

PUNČOCHÁŘ, Josef, Operační zesilovače v elektronice, 5.vydání: BEN - technická literatura, 1996, 467 s. ISBN 8090198430

DAVÍDEK, Vratislav; ANTOŠOVÁ, Marcela, Číslicová technika - učebnice, 4. aktualizované vydání: KOPP, 2009, 305 s. ISBN 978-80-7232-394-4

KESL, Jan.: Laboratorní měření–Elektro, 1.vydání 1998: FRAGMENT, 39s. ISBN 80-7200-263-5

FIALA, Miloš. - VROŽINKA, Milan. – HERCIK, Jiří.: Elektrotechnická měření I, 4.nezměněné vydání: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1989, 345 s.

Internetové zdroje:

http://cs.wikipedia.org/wiki/Integrační_článek

http://cs.wikipedia.org/wiki/Derivační_článek

http://homel.vsb.cz/~jur621/down/files/1/zel_3.pdf

www.elweb.xf.cz/download/en/24.doc

<http://slaboproud.sweb.cz/elt2/stranky1/elt047.htm>

<http://www.b324.com/ek/oscilatory.pdf>

www.vesi-elt.wz.cz/elab/7_elab.doc

http://elektronika-issnp.wz.cz/Soubory/D2_polovodice/07_Termistor_fotoodpor_atd.pdf

<http://poli.cs.vsb.cz/edu/arp/down/dp-technologieco.pdf>

http://skola.sosotrokovice.cz/ProjektyESF/Elektricka_mereni/textypdf/

<http://skola.sosotrokovice.cz/Projekty%20ESF/Elektricka%20mereni/vyuka.html>

http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%BD_odpor

http://cs.wikipedia.org/wiki/Ohm%C5%AFv_z%C3%A1kon

http://cs.wikipedia.org/wiki/Kirchhoffovy_z%C3%A1kony