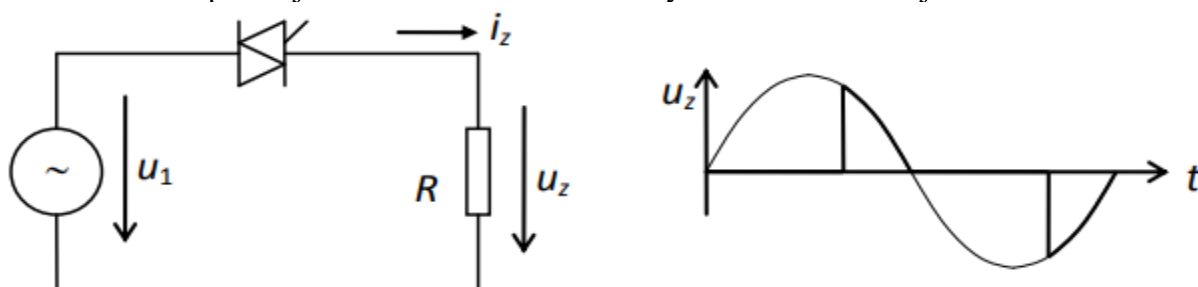


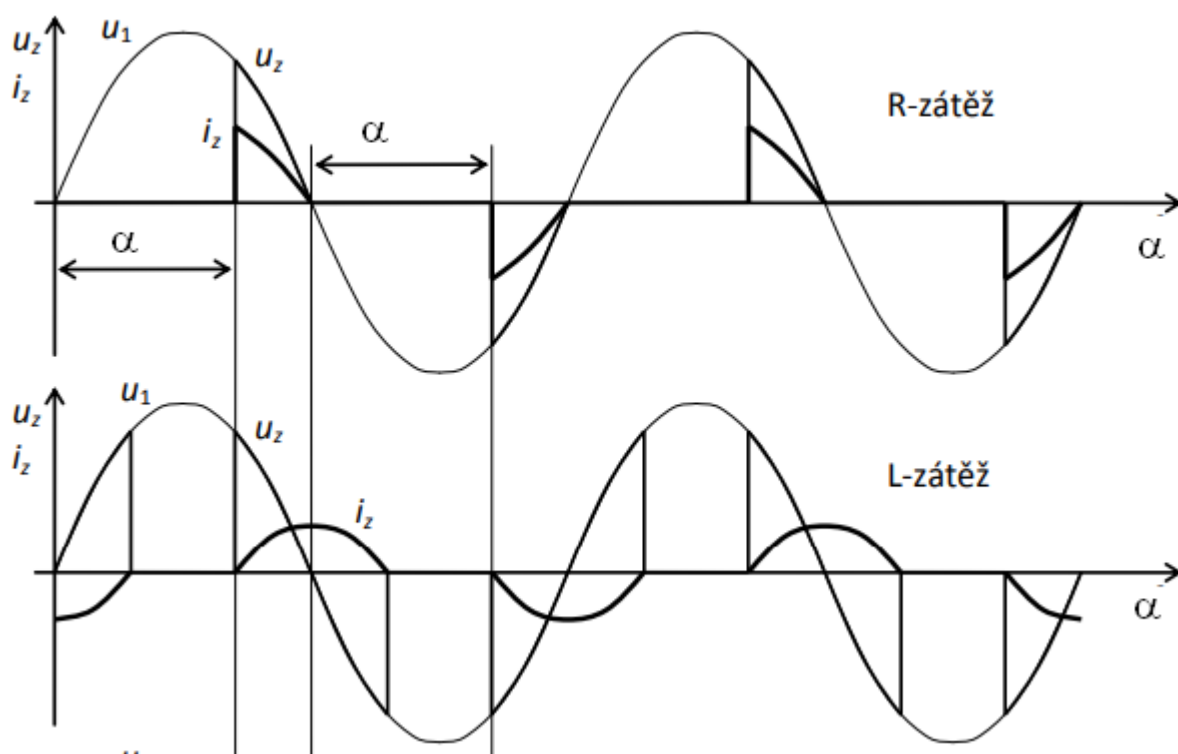
Jednofázový měnič střídavého napětí

Střídavé měniče napětí se chovají odlišně, jsou-li zatíženy různými typy zátěží. Výstupní napětí i proud mají totiž zcela jiné průběhy v případě R-zátěže, L-zátěže, RL-zátěže a asynchronního motoru. Tomu odpovídají i různé řídicí charakteristiky. Označení veličin je definováno na Obr.1.



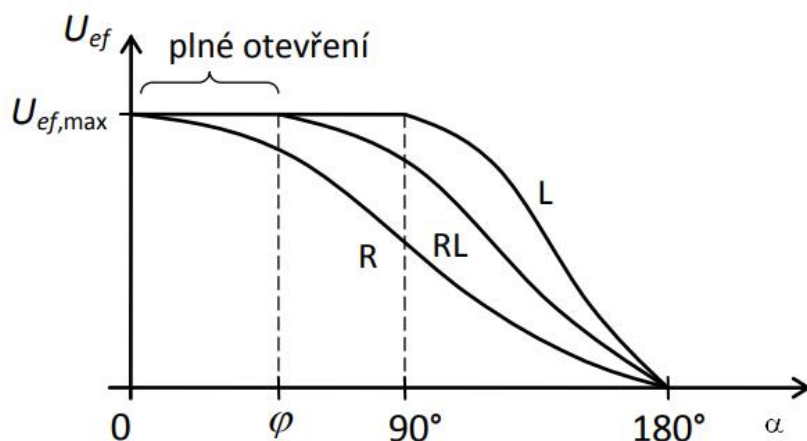
Obr.1: Střídavý měnič napětí s odporovou zátěží. Označení napětí a proudů.

Činný výkon na lineárním odporu je určen vztahem $P_e = U_{ef}^2 / R$. To je důvod, proč nás zajímá efektivní hodnota U_{ef} výstupního napětí $u_z(t)$ měniče. Řídicí charakteristikou tedy rozumíme závislost efektivní hodnoty výstupního napětí na řídicím úhlu α . Z Obr.2 plyne, že řídicí úhel je měřen od průchodu vstupního harmonického napětí u_1 nulou do okamžiku zapálení triaku.



Obr.2: Střídavý měnič napětí. Průběhy napětí a proudu na odporové a indukční zátěži.

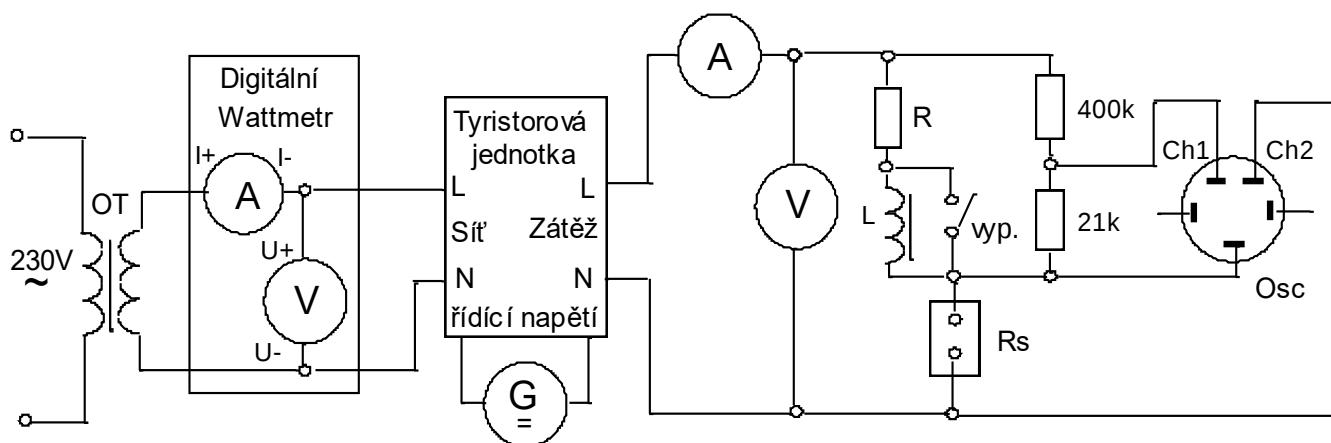
Řídicí charakteristikou je tedy funkční závislost $U_{ef} = f(\alpha)$. Na obr.3 jsou řídicí charakteristiky pro různé typy zátěže. Je zde také vyznačen tzv. kritický úhel. Měnič zůstává plně otevřen v oblasti řídicího úhlu 0° - kritický úhel. Kritický úhel závisí na zátěži. Pro čistě odporovou zátěž je 0° , pro čistě induktivní je 90° .



Obr.3. Řídící charakteristika střídavého měniče

Měření na střídavém měniči napětí

Schéma zapojení:



Zadání :

1. Vytvořte program pro automatizované měření řídicí charakteristiky
2. Na obrazovce osciloskopu sejměte průběh výstupního napětí a výstupního proudu při řídicím úhlu 90° .
3. Pro R zátěž zaznamenejte do tabulky údaje z digitálního wattmetru (α , $\cos\varphi$, P , $I_{sít'$, $U_{sít'}$) a graficky zpracujte závislost $\cos\varphi=f(\alpha)$. Program upravte s využitím tlačítka OK, které bude umožňovat pozastavení běhu programu pro zaznamenání hodnot z digitálního wattmetru.

Odpovězte na následující otázky

1. Odvoďte vztah pro určení řídicího úhlu z řídicího napětí pokud víte, že 0V odpovídá 180° a 10V odpovídá 0° .
2. Ze závislosti $\cos\varphi=f(\alpha)$ určete pro jaké řídicí úhly α je $\cos\varphi$ menší než jedna i když se jedná o R zátěž a pokuste se zdůvodnit jak je to možné.
3. Ze závislosti $U_{ef}=f(\alpha)$ určete kritický úhel. Jakou hodnotu by měl kritický úhel pro čistě induktivní a čistě odporovou zátěž?
4. Jaké napětí je na zátěži v případě, že řídicí úhel je nižší než kritický?

Stykače

Stykač je spínač, který má zajištěnu jednu klidovou polohu (obvykle vypnuto), ve druhé poloze ho drží cizí síla (obvykle zapnuto). Používají se pro časté spínání (až 3000 sepnutí za hodinu) a pro dálkové a automatické ovládání. Je schopen spínat velké výkony.

Princip činnosti

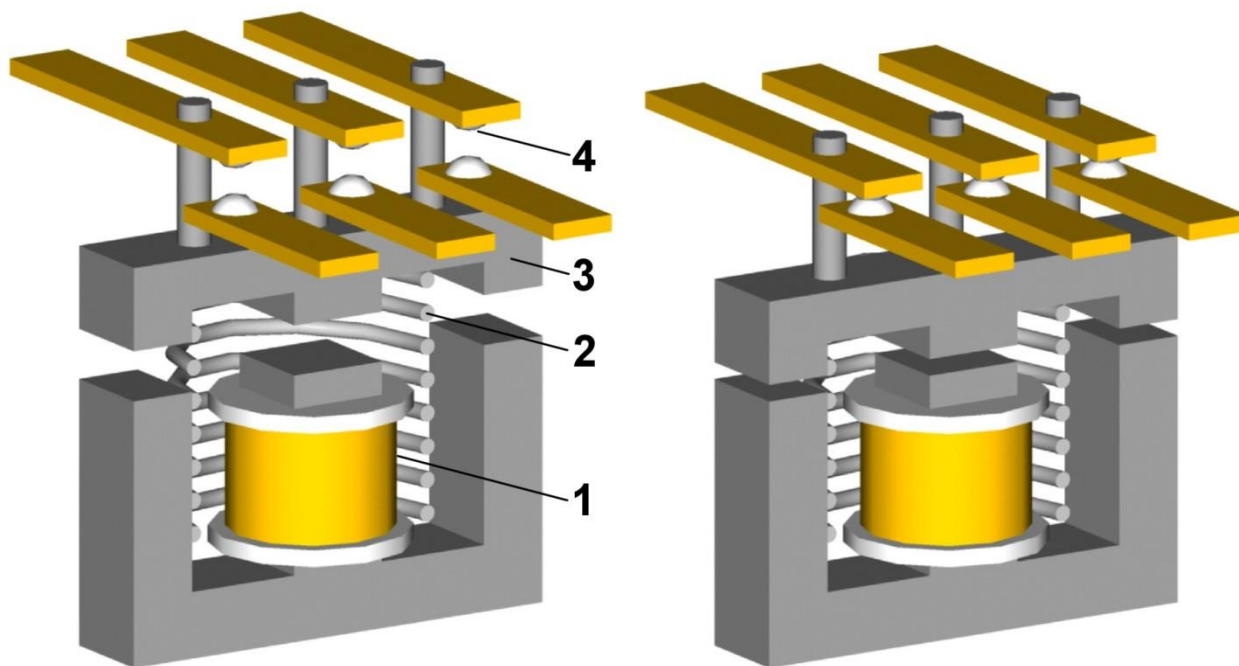
Ovládací cívku připojíme ke zdroji napětí, začne procházet proud, který vytvoří magnetické pole, jádro cívky přitáhne kotvu a sepnou se hlavní kontakty. Přerušením proudu v cívce se magnetické pole zeslabí a vratná pružina odtáhne kotvu s pohyblivým kontaktem, obvod je rozpojen.

Hlavní a pomocné kontakty

Stykač má nejčastěji můstkové kontakty. Kromě hlavních spínacích kontaktů jsou vybaveny jedním nebo několika pomocnými kontakty, které slouží k ovládání, blokování a signalizaci. Pomocné kontakty jsou zapínací a rozpínací. Jejich zatížitelnost bývá max. 6 až 10 A. Při popisu stykače, na schématech i na skutečných stykačích se označují: A1, A2 - svorky ovládací cívky; NO (Normally Open) pomocné kontakty spínací; NC (Normally Closed) pomocné kontakty rozpínací.

Ovládací cívka

Ovládací cívky elektromagnetických stykačů mohou být na napětí 48, 120, 230, 400 a 500 V, 50 Hz a pro stejnosměrné napětí 24, 110 a 220 V. Cívky na malé napětí nejsou spolehlivé, protože jejich přitažlivá síla může poklesnout vlivem úbytku napětí na pomocných kontaktech. Cívka je navržena tak, aby působila i při změnách napětí v rozsahu + 10 % až -15 %. U stykačů nad 200 A je proud zapínací cívky velký, a proto se zapíná pomocným stykačem na 15 A.



Obr.1 princip stykače (1- ovládací cívka, 2- vratná pružina, 3- magnetický obvod (pevná část ve tvaru písmene E a pohyblivá část- kotva ve tvaru písmene I), 4- hlavní spínací kontakty

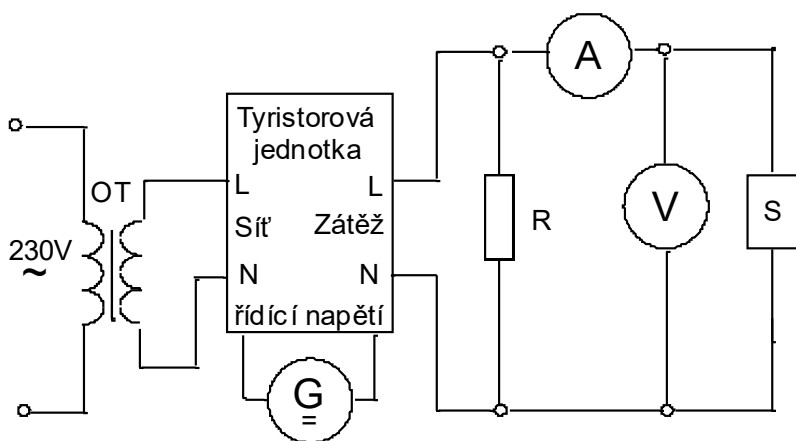
Měření VA charakteristiky stykače

Úkol měření:

Pomalým zvyšováním výstupního napětí střídavého měniče až do hodnoty U_n ovládací cívky stykače vykreslete v programu Keysight VEE v objektu XY Trace vzestupnou V-A charakteristiku. Proud ovládací cívkou bude nejprve plynule stoupat, a to poněkud rychleji než by bylo úměrné napětí díky klesající magnetické vodivosti jádra magnetu. Při určitém napětí se začne pohybovat kotva elektromagnetu a proud poklesne vlivem zmenšení vzduchové mezery. Při dalším zvyšování

napětí bude proud znovu plynule stoupat. Po dosažení hodnoty U_n začněte napětí snižovat a ve stejném objektu vykreslete sestupnou V-A charakteristiku. Postupujte (snižujte napětí) ne po velkých skocích, a ne příliš rychle, aby mechanismus stykače stačil reagovat na pokles napětí. Kotva odpadne při nižším napětí, neboť v sepnutém stavu je přitažlivá síla kotvy vzhledem k nulové vzduchové mezeře větší.

Schéma zapojení:



Zadání :

Vytvořte program pro automatické měření statické VA charakteristiky stykače a pomocí kurzoru odečtěte nebo výpočtem stanovte následující parametry :

1. Napětí přitahu stykače U_p
2. Napětí odpadu stykače U_o
3. Hysterezi
4. Zapínací proudovou špičku I_{max}
5. Trvalý proud stykače I_n
6. Vyhodnoťte z tvaru VA charakteristiky zda je přitah plynulý nebo stupňovitý

Typ stykače			
U_p (V)			
U_o (V)			
Hystereze (V)			
I_{max} (mA)			
I_n (mA)			
Přítah			

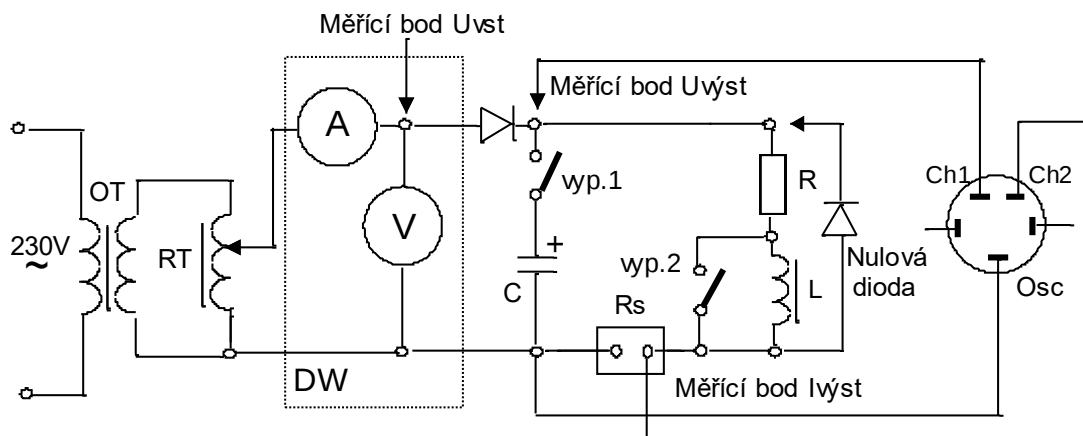
Odpovězte na následující otázky

1. Vysvětlete proč dojde po sepnutí stykače (přitažení kotvy) ke skokovému poklesu proudu?
2. Vysvětlete proč odpadne kotva stykače při nižším napětí resp. proudu?
3. Uveďte jaký význam má závit nakrátko v magnetickém obvodu stykače při napájení cívky ze střídavé sítě.
4. Je možné napájet stykač s cívkou na střídavý proud proudem stejnosměrným ?
5. Zkuste odhadnout a zdůvodnit zda bude mít vliv na naměřené parametry poloha stykače. Prakticky ověřte na stykači V03c který otočíte o 180° .

Poloha stykače	Správná	Otočená o 180°
U_p (V)		
U_o (V)		
I_{max} (mA)		
I_n (mA)		

Měření na usměrňovači

Schéma zapojení:



Zadání:

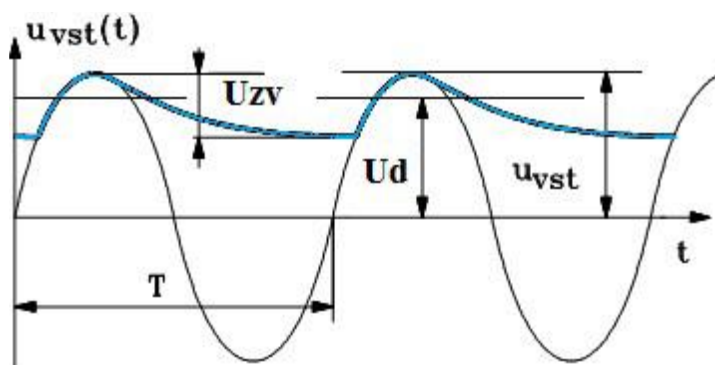
1. Zobrazte a popište průběhy proudu a napětí jednocestného usměrňovače pro následující případy.
 - a. R zátěž
 - b. RL zátěž
 - c. RL zátěž s nulovací diodou
 - d. R zátěž s použitím vyhlazovacího (filtračního) kondenzátoru (menší a větší kapacita)
2. Překreslete schéma zapojení pro dvoucestný usměrňovač, upravte zapojení a zobrazte průběhy napětí a proudů a realizujte bod 6 zadání
 - a. R zátěž
 - b. R zátěž s použitím vyhlazovacího (filtračního) kondenzátoru

Všechny průběhy zobrazené na osciloskopu uložte ve formátu PNG, upravte v počítači (negativ) **doplňte odpovídajícím komentářem** a vytiskněte do referátu.

Odpovězte na následující otázky:

V domácí přípravě:

1. Uveďte, jak je definován činitel zvlnění.



2. Pokud se mezi usměrňovač a napájený obvod vloží další vyhlazovací filtr, určíme jeho vyhlazovací schopnost pomocí činitele filtrace. Uveďte, jak ho stanovíte.

3. Ve kterém okamžiku v případě použití filtračního kondenzátoru je proudově nejvíce namáhána dioda a jaký parametr z katalogu je důležitý?
4. Na jaké napětí je v případě použití filtračního kondenzátoru namáhána dioda v závěrném směru a jaký parametr z katalogu je důležitý?
5. Vysvětlete, na jaké napětí musí být dimenzován filtrační kondenzátor.
6. Jak určíte z osciloskopu $I_{výst}$? Převodník I/U je tvořen odporem $R_s=1\Omega$.

Při měření:

7. Vysvětlete proč je napětí změřené na výstupu usměrňovače při použití filtračního kondenzátoru vyšší než napětí vstupní. Tvrzení podložte měřením.

Vstupní napětí (U_{rms} – digitální wattmetr)	
Výstupní napětí (U_{avg} – osciloskop)	

Komentář:

8. Přibližný výpočet filtračního kondenzátoru pro dvoucestný usměrňovač R zátěž s filtračním kondenzátorem $C=3520\mu F$. Proveďte návrh v případě, že bychom požadovali zvlnění 5%.
 $U_{výst}=20V$ (střední hodnota) a $I_{výst}=500mA$ (střední hodnota).

$$C = k \cdot I / U_{zv}$$

C - kapacita kondenzátoru v μF

k - koeficient zvlnění

U_{zv} - zvlnění ve voltech

I - odebíraný proud (maximální) v mA

Naměřené zvlnění pro $C=3520\mu F$

$U_{zv} =$

Komentář k výsledkům:

Zvlnění [%]	k
5	9
10	8,5
15	8,2
20	8
30	7,5
40	7
50	6,7

9. Závisí zvlnění na výstupním proudu? Svůj předpoklad ověřte měřením. Graficky zpracujte závislost $\varphi_{zv}=f(I_{výst})$ a $U_{výst}=f(I_{výst})$

R zátěž s dvoucestným usměrněním:

$U_{výst}$ = střední hodnota výstupního napětí (U_{avg})

$I_{výst}$ = střední hodnota výstupního proudu (I_{avg})

U_{zv} = zvlnění výstupního napětí

všechny údaje jsou měřené osciloskopem

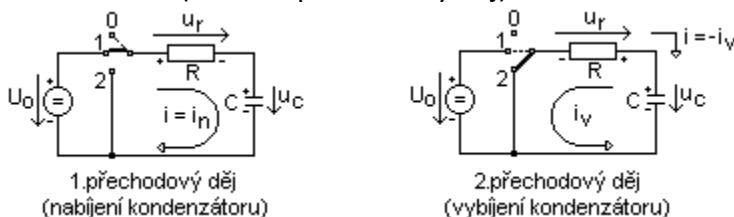
$I_{výst}$ (mA)	U_{zv} (V)	$U_{výst}$ (V)	ϕ_{zv} (%)
200			
250			
300			
350			
400			
450			
500			
550			

Elektrické přechodové děje v obvodech RC a RL

Přechodový jev probíhá v časovém intervalu mezi dvěma ustálenými stavy. V ustáleném stavu se energie soustavy nemění (popř. se mění periodicky), v přechodovém stavu dochází ke změně energie soustavy. Přechodový jev vzniká většinou při náhlé změně napětí zdroje, a to hlavně při zapnutí nebo vypnutí obvodu od zdroje. Tento děj pak vzniká v obvodech, které obsahují prvky schopné hromadit (akumulovat) energii a potom ji odevzdat zpět do zdroje. Takovými to prvky jsou cívka a kondenzátor. Pro řešení přechodových dějů je třeba znát počáteční podmínky, neboť časové průběhy napětí a proudů závisí na předchozím ustáleném stavu. Napětí a proud se při přechodovém jevu mění v určitých mezích, a jejich průběh se blíží exponenciálně.

Přechodový děj v obvodu RC:

Kondenzátor spotřebuje elektrickou energii pro vytvoření elektrického pole (nastává přechodový děj). Energie zůstane nahromaděná v polarizovaném dielektriku ve formě energie elektrického pole. Při zániku elektrického pole se energie vrací do obvodu ve formě vybíjecích proudů kondenzátoru (nastává přechodový děj).



1.ustálený stav:

$$U_c = 0 \quad U_r = 0 \quad I = 0$$

1.přechodový děj (nabíjení kondenzátoru):

Přepneme-li přepínač do polohy ① začne obvodem procházet proud i_n a kondenzátor C se nabíjí přes rezistor R. Tím se zmenšuje rozdíl mezi napětím zdroje U_0 a napětím kondenzátoru U_c , proud i_n v obvodu se zmenšuje, nabíjení kondenzátoru se zpomaluje až nastane 2.ustálený stav.

Pro obvod platí rovnice podle 2.Kirchhoffova zákona:

$$u_r + u_c = U_o$$

Pro $t = 0$:

$$U_c = 0 \dots C \cong \text{zkrat}$$

$$U_r = U_o$$

$$I_o = U_o / R$$

Pro čas t :

$$u_c = U_o * (1 - e^{-t/\tau})$$

$$u_r = U_o * e^{-t/\tau}$$

$$i_n = I_o * e^{-t/\tau}$$

Pro $t \rightarrow \infty$:

$$U_c = U_o \dots C \cong \text{rozpojení}$$

$$U_r = 0$$

$$I = 0$$

Časová konstanta $\tau = R * C$

2.ustálený stav:

$$U_c = U_o \quad U_r = 0 \quad I = 0$$

2.přechodový děj (vybíjení kondenzátoru):

Přepneme-li přepínač do polohy ② začne se kondenzátor C vybíjet přes rezistor R. Tím se zmenšuje napětí na kondenzátoru U_c , proud i_v v obvodu se také zmenšuje, vybíjení kondenzátoru C se tím zpomaluje až nastane opět 1.ustálený stav.

Pro obvod platí rovnice podle 2.Kirchhoffova zákona:

$$u_r + u_c = 0$$

Pro $t = 0$:

$$U_c = U_o$$

$$U_r = -U_c = -U_o$$

$$I_o = -U_c / R = -U_o / R$$

Pro čas t :

$$u_c = U_o * e^{-t/\tau}$$

$$u_r = -U_o * e^{-t/\tau}$$

$$i_v = -I_o * e^{-t/\tau}$$

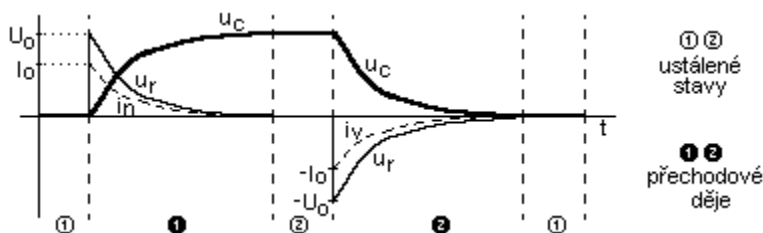
Pro $t \rightarrow \infty$:

$$U_c = 0$$

$$U_r = 0$$

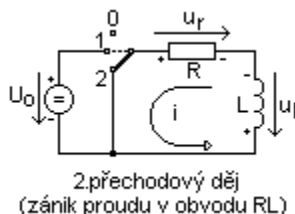
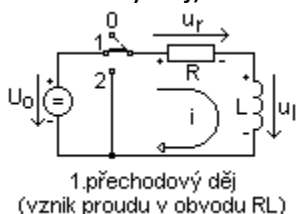
$$I_v = 0$$

Časová konstanta $\tau = R * C$



Přechodový děj v obvodu RL:

Cívka spotřebuje elektrickou energii pro vytvoření magnetického pole (nastává přechodový děj). Při zániku magnetického pole se energie vrací do obvodu ve formě indukovaného napětí (nastává přechodový děj).



1.ustálený stav:

$$U_l = 0 \quad U_r = 0 \quad I = 0$$

1.přechodový děj (vznik proudu v obvodu RL):

Přepneme-li přepínač do polohy ① začne obvodem procházet proud i , který na cívce L způsobí indukování napětí u_l , které je úměrné časové změně indukčního toku, a s polaritou působící proti napětí zdroje, proud i v obvodu se proto zvětšuje na svou maximální hodnotu jen postupně, neboť část energie dodávané ze zdroje do obvodu se spotřebovává na vytváření magnetického pole cívky L . Proud se ustálí (2.ustálený stav) teprve v okamžiku, kdy se časová změna indukčního toku bude rovna nule.

Pro obvod platí rovnice podle 2.Kirchhoffova zákona:

$$u_r + u_l = U_o$$

Pro čas $t = 0$:

$$U_l = U_o \dots L \cong \text{rozpojení}$$

$$U_r = 0$$

$$I = 0$$

$$\text{Časová konstanta } \tau = L / R$$

Pro čas t :

$$u_l = U_o * e^{-t/\tau}$$

$$u_r = U_o(1 - e^{-t/\tau})$$

$$i = I_o * (1 - e^{-t/\tau})$$

Pro čas $t \rightarrow \infty$:

$$U_l = 0 \dots L \cong \text{zkrat}$$

$$U_r = U_o$$

$$I_o = U_o / R$$

2.ustálený stav:

$$U_l = 0 \quad U_r = U_o \quad I = U_o / R$$

2.přechodový děj (zánik proudu v obvodu RL):

Přepneme-li přepínač do polohy ② začne se v cívce indukovat napětí u_l s opačnou polaritou (než v 1.přechodovém ději), neboť předtím nahromaděná energie v magnetickém poli cívky se nemůže ztratit bez náhrady, a obvodem prochází proud i stejným směrem. Energie magnetického pole se v rezistoru mění na tepelnou, velikost proudu i se zmenšuje, až opět nastane 1.ustálený stav.

Pro obvod platí rovnice podle 2.Kirchhoffova zákona:

$$u_r + u_l = 0$$

Pro čas $t = 0$:

$$U_l = -U_o$$

$$U_r = U_o$$

$$I_o = U_o/R$$

Pro čas t :

$$u_l = -U_o * e^{-t/\tau}$$

$$u_r = U_o * e^{-t/\tau}$$

$$i = I_o * e^{-t/\tau}$$

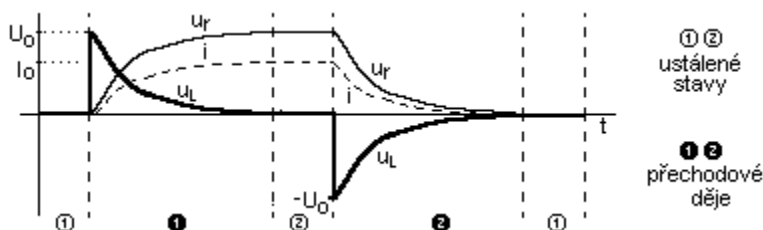
Pro čas $t \rightarrow \infty$:

$$U_l = 0$$

$$U_r = 0$$

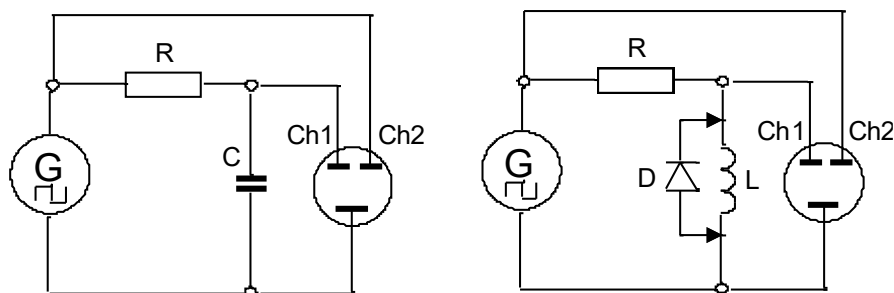
$$I = 0$$

$$\text{Časová konstanta } \tau = L / R$$



Přechodové jevy

Schéma zapojení :



Zadání :

1. Zobrazte na obrazovce osciloskopu přechodový děj $U_C=f(t)$ u RC zátěže a $U_L=f(t)$ u RL zátěže. Připojení a vypnutí napájecího napětí realizujte pomocí obdelníkového napětí v úrovních 0V a 2V o kmitočtu 2KHz generovaného programovatelným generátorem
2. Vytvořte program, kterým sejmete z osciloskopu průběh přechodového napětí.
3. Vypočítejte pomocí matematického popisu napětí U_C a U_L v čase τ , 2τ a 3τ a porovnejte s naměřenou hodnotou. Zpracujte tabelárně.

Odpovězte na následující otázky:

5. Vypočítejte časovou konstantu RC a RL zátěže. $R=5000\Omega$, $C = 0.01\mu F$ a $L=120mH$

Typ zátěže	τ (ms)
RC	
RL	

6. Za jakou dobu považujeme přechodový děj za ukončený? (uved'te v souvislosti s časovou konstantou)
7. Uved'te vztahy pro výpočet U_C a U_L při zapnutí a vypnutí zdroje.
8. Nakreslete průběh $I_R=f(t)$ při zapnutí obvodu RC. Jaký proud by teoreticky vznikl v okamžiku připojení ideálního kondenzátoru ke zdroji 10V a vnitřním odporu 0.2Ω . Jaký katalogový parametr bude nutné kontrolovat u diody pokud bude zapojena mezi zdroj a kondenzátor.
9. Popište k čemu dochází při vypínání RL obvodu a jaký význam má tzv. nulová dioda
10. Na co a kde se přemění energie akumulovaná v tlumivce při jejím vypnutí v případě použití nulové diody

Měření s elektronickou zátěží

Elektronická zátěž je zařízení, které dokáže podle požadavků uživatele měnit hodnotu elektrického odporu mezi vstupními svorkami. Velikost elektrického odporu je možné nastavovat v určitém konečném rozmezí, to je dáno možnostmi a parametry používané zátěže.

Systémy ochrany elektronické zátěže:

- Nadproudová ochrana
- Tepelná ochrana
- Přepět'ová ochrana
- Ochrana galvanickým oddělením

Nalezneme i elektronické zátěže, které nebývají vybaveny všemi těmito systémy ochrany, jedná se spíše o zátěže levnější vyráběné méně známými výrobci. Však nadproudová a tepelná ochrana většinou bývá instalována prakticky do většiny elektronických zátěží.

Elektronické zátěže jsou vyráběny pro použití ve stejnosměrných a střídavých obvodech. V množství typů a provedení převažují stejnosměrné elektronické zátěže.

Většina nabízených elektronických zátěží dokáže pracovat v několika základních režimech, nebo alespoň ve většině z těchto režimů:

- Režim konstantního proudu (CC)
- Režim konstantního napětí (CV)
- Režim konstantního odporu (CR)
- Režim konstantního výkonu (CP)
- Dynamický režim

Ve většině případů jsou elektronické zátěže vybaveny základními vestavěnými měřicími moduly pro měření proudu a napětí, takže při testování elektrických zařízení mnohdy není potřeba externí měřicí přístroje.

Elektronická zátěž je zařízení nejčastěji využívané při :

- testování a vývoji spojitých i spínaných napájecích zdrojů
- testování napět'ových, proudových a tepelných ochran u nap. zdrojů
- testování akumulátorů
- testování solárních panelů
- výkonové aplikace např. DC/DC měniče
-

Její základní vlastností je možnost měnit svůj vnitřní odpor podle zvolených kritérií a nastaveného pracovního režimu.

Stabilizátor MA 7805

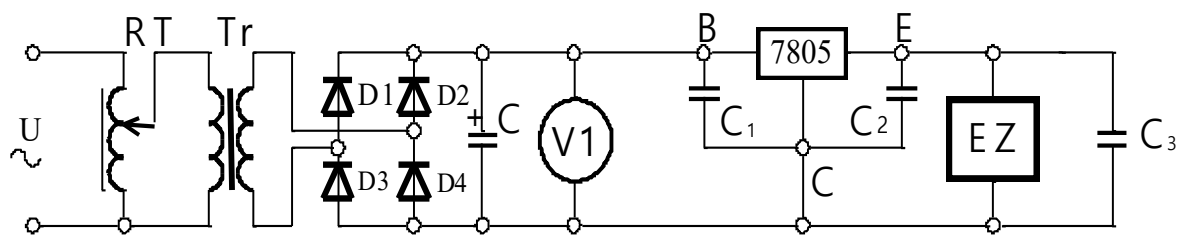
- V katalogu vyhledejte mezní parametry integrovaného stabilizátoru MA7805.
- Pro správnou funkci stabilizátoru platí, že $U_1 \geq U_2 + 3V$ při dodržení podmínky $U_1 < U_{1max}$. Tuto podmínku musíte splňovat během celého měření.
- Jedná se o sériový integrovaný stabilizátor řady 78xx s interně nastavenou hodnotou kladného výstupního napětí (pro záporná napětí se vyrábí řada 79xx). Dvě poslední čísla v označení udávají jmenovité napětí. Kondenzátory C_1 , C_2 jsou zapojeny na přípravku a přispívají ke stabilitě obvodu. Výrobce doporučuje jejich zapojení přímo na vývody stabilizátoru

Zadání :

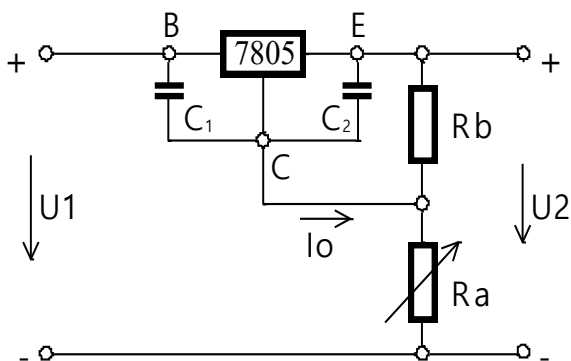
1. S využitím elektronické zátěže změřte zatěžovací charakteristiky stabilizátoru 7805 pro jmenovité napětí 5V. Zdroj zatěžujte maximálně proudem 1A. Určete vnitřní odpor stabilizátoru jako zdroje napětí. Dále stanovte pokles napětí na vstupu a výstupu při maximálním proudě 1A oproti stavu naprázdno. Měření naprogramujte v prostředí Keysight VEE. Elektronická zátěž umožňuje měření napětí na vstupních svorkách a proudů protékajícího zátěží.
2. Upravte zapojení pro dosažení jiného než konstrukčního napětí (např. 8V). Odpor R_b zvolte 150Ω a vypočítejte hodnotu odporu R_a při zanedbání zbytkového proudu I_o . Případně vzniklou chybu zkorigujte malou změnou R_a . Spusťte program a na základě výsledků vyhodnoťte, zda má tato úprava vliv na kvalitu stabilizátoru.
3. Ověřte funkci stabilizátoru jako zdroje proudu
Vypočítejte hodnotu odporu R_1 pro $I_2 = 0,05A$. Odpor R_2 nabývá hodnot 0 až 200Ω . Určete potřebnou velikost vstupního napětí ($U_1 \geq U_2 + 3V$ při $U_1 < U_{1max}$). Upravte zapojení a změřte zatěžovací charakteristiku $I_2 = f(U_{R2})$. Zpracujte tabelárně a graficky. I_0 zanedbejte. $I_2 \leq I_{max}$

$$I_2 = \frac{U_{jm}}{R_1} + I_0$$

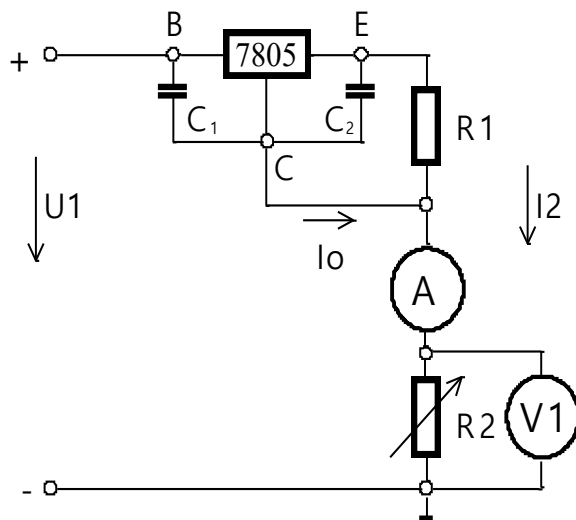
Schéma zapojení :



Pro dosažení jiného než konstrukčního napětí



Zdroj konstantního proudu



Odpovězte na následující otázky

10. Co je to zatěžovací charakteristika zdroje napětí? (Uveďte funkční předpis)

11. Jaké jsou režimy elektronické zátěže LD400 a jaký režim vyberete pro dané zadání?
(Zdůvodněte)

- a. CC -
- b. CV -
- c. CP -
- d. CR -
- e. CG -

Pro dané zadání zvolíme :

12. Naznačte způsob stanovení vnitřního odporu z naměřené zatěžovací charakteristiky. Jaký vnitřní odpor má ideální zdroj napětí?

13. Co je úkolem stabilizátoru napětí?

14. Jak se principiálně udržuje konstantní výstupní napětí u sériového stabilizátoru?

Vybrané SCPI příkazy pro elektronickou zátěž:

- 1) Výběr režimu: MODE <CPD> kde CPD je výběr režimu C, P, R, V nebo G
- 2) Volba rozsahu: Range <NRF> kde NRF je 0 pro vysoký rozsah (80A) a 1 je pro nízký rozsah (8A)
- 3) Zapnutí nebo vypnutí výstupu: INP < NRF > kde NRF je 0= vypnuto nebo 1= zapnuto
- 4) Nastavení požadované hodnoty: A < NRF > kde NRF = požadovaná hodnota. Jednotka odpovídá vybranému režimu
- 5) Dotaz na naměřené napětí na svorkách zátěže: V? - příkaz vrátí hodnotu napětí.
- 6) Dotaz na naměřený proud procházející zátěží: I? - příkaz vrátí hodnotu proudu.

Automatizované měření VA charakteristiky ZD

Zadání: V prostředí Keysight VEE vytvořte program zobrazující VA charakteristiku ZD jak v propustném, tak závěrném směru a s využitím kurzoru odečtete prahové napětí a Zenerovo napětí.

1. Navrhněte schéma zapojení. K dispozici máte měřenou ZD, číslicově řízený zdroj E3631A a relé s ovládací cívkou na 6V a s přepínacími kontakty.

Parametry zdroje:

- Zdroj č.1: 0-6V/5A
- Zdroj č.2: 0-25V/2A
- Zdroj č.3: 0-25V/2A

Zdroj č.2 a č.3 tvoří symetrický zdroj $0 - \pm 25\text{V}/2\text{A}$ s vyvedeným středem (svorka COM) s možností používat zdroje samostatně. Při ovládání musíme zadávat požadované napětí pro zdroj č.2 se znaménkem plus a pro zdroj č.3 se znaménkem mínus (svorka COM je pro tento zdroj kladnou svorkou). Požadavkem je, aby pro měření propustného směru ZD byl použit zdroj č.2 a pro závěrný směr zdroj č.3

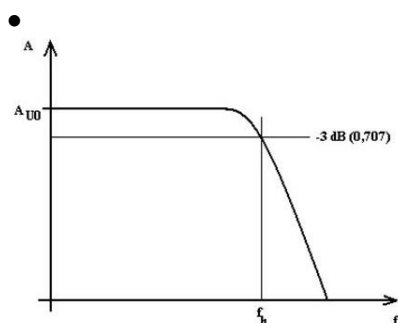
2. Zjistěte mezní parametry měřené ZD. Mezní hodnota proudu v propustném směru se u ZD neudává, použijte tedy stejnou hodnotu, jaká je udaná ve směru závěrném.
3. Principiální postup, který detailně rozpracujte v referátu (snažte se vždy zdůvodnit použití daného kroku)
 1. Zadání mezního parametru ZD
 2. Nastavení proudové pojistky zdrojů
 3. Přepnutí relé do pozice měření propustného směru
 4. Zapnutí výstupu zdroje
 5. Nastavování napětí v propustném směru (zdroj č.2), odečítání napětí a proudu na výstupu zdroje č.2
 6. Vykreslení VA charakteristiky v propustném směru
 7. Podmínka a ukončení měření v propustném směru
 8. Přepnutí relé do pozice měření závěrného směru
 9. Zadání Zenerova napětí
 10. Nastavování napětí v propustném směru (zdroj č.3), odečítání napětí a proudu na výstupu zdroje č.3
 11. Úprava hodnot, vykreslení VA charakteristiky v závěrném směru
 12. Podmínka a ukončení měření v závěrném směru
 13. Kurzory a odečtení požadovaných hodnot
4. V závěru specifikujte vlastnosti a použití ZD a porovnejte katalogovou a naměřenou hodnotu Zenerova napětí

MĚŘICÍ ZESILOVAČE

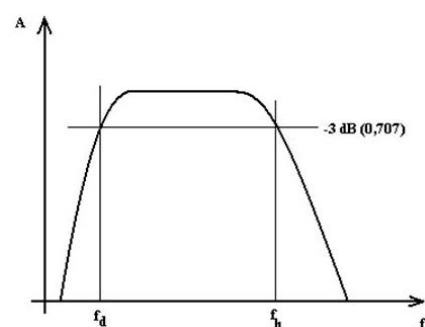
- využívány pro přesné zesílení signálu (napětí nebo proud)
- mohou plnit i řadu dalších funkcí např. impedanční oddělení, invertování (změnu polarity) signálu, sčítání několika signálů, integrování signálu, převádění napětí na proud nebo proudu na napětí apod.
- základní požadavky: přesné a stabilní zesílení a dosažení požadované hodnoty vstupní a výstupní impedance
- v měřicí technice používáme všechny 4 základní zapojení zpětnovazebních zesilovačů:
 - Zesilovač napětí (napětím řízený zdroj napětí)
 - Převodník napětí na proud (napětím řízený zdroj proudu)
 - Převodník proudu na napětí (proudem řízený zdroj)
 - Zesilovač proudu (proudem řízený zdroj proudu)

Požadovaných vlastností zesilovače dosáhneme pomocí vhodně zapojených vnějších prvků (pasivních součástek – rezistorů a kondenzátorů) k základnímu bloku zesilovače. Tyto součástky tvoří tzv. zpětnovazební síť zesilovače.

- z hlediska frekvenční závislosti zesílení rozdělujeme zesilovače na:

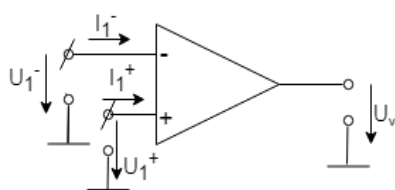


- Stejnoseměrný zesilovač – zesilují pouze stejnosměrný signál



- Střídavý zesilovač – mají schopnost zesilovat stejnosměrný signál (např. v signálové cestě je zařazen kondenzátor) a v definovaném frek. pásmu také střídavý signál. Operační zesilovač je střídavý zesilovač.

- Základní blok měřicího zesilovače je **operační zesilovač**:

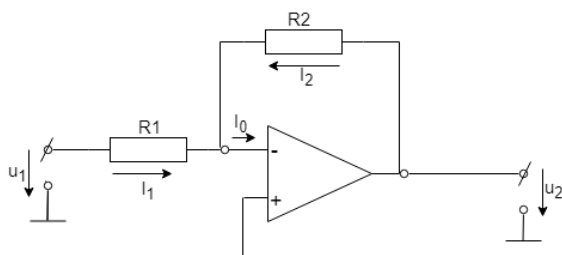


Rozlišujeme:

- Invertující vstup
- Neinvertující vstup
- Výstup
- Napájení se zpravidla nekreslí (symetrické napájecí napětí)

Základním zapojením OZ jsou: invertující zesilovač, neinvertující zesilovač, zdroj proudu řízený napětím a zdroj proudu řízený proudem

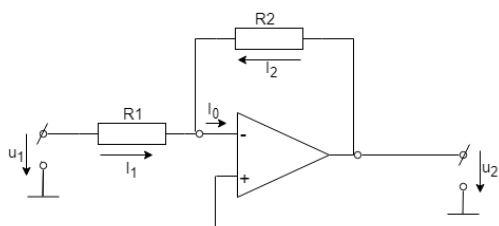
INVERTUJÍCÍ ZESILOVAČ:



$$U_2 = -U_1 * \frac{R_2}{R_1}$$

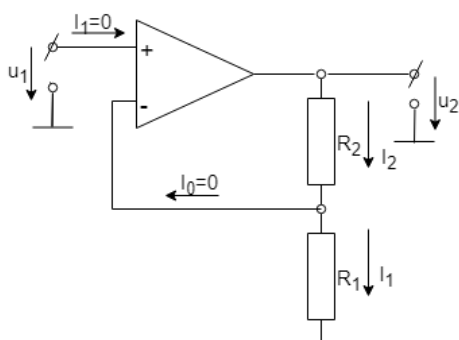
$$A_u = \frac{U_2}{U_1} = -\frac{R_2}{R_1}$$

INVERTOR:



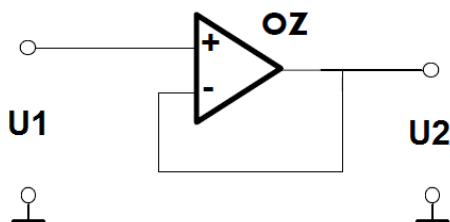
- Zvláštní případ invertujícího zesilovače, ale $R_1 = R_2 \rightarrow U_2 = -U_1$
- Využití při změně polarity signálu

NEINVERTUJÍCÍ ZESILOVAČ:



- $U_2 = U_1 * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$
- $A_u = \frac{U_2}{U_1} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$
- $R_{VST} = \infty$ (PRO IDEÁLNÍ OP. ZESIL.)

NAPĚŤOVÝ SLEDOVAČ:

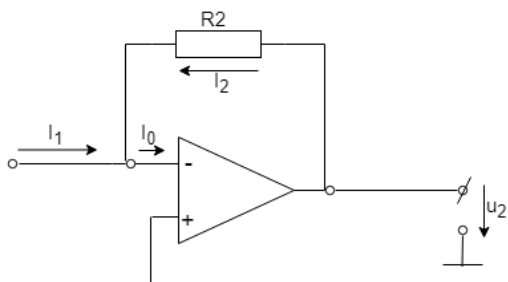


$$R_1 = \infty, R_2 = 0; U_2 = U_1 * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = U_1 * \left(1 + \frac{0}{\infty}\right)$$

$$\Rightarrow U_2 = U_1$$

- Zvláštní případ neinvertujícího zesilovače
- Využití – impedanční oddělení

PŘEVODNÍK PROUDU NA NAPĚTÍ (I/U):



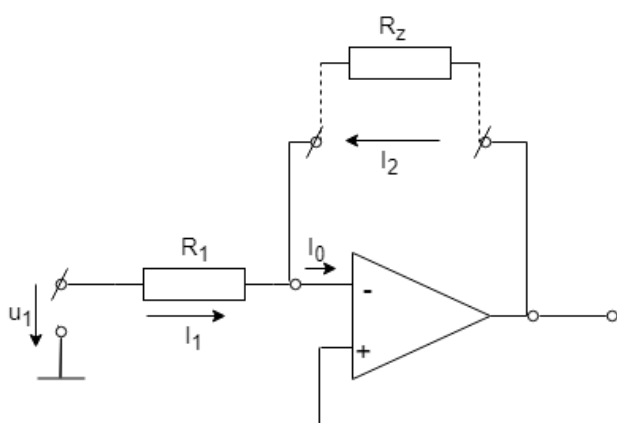
$$R_1 = 0$$

$$A_u = \frac{U_2}{I_1} = -R_2$$

$$U_2 = -R_2 * I_2$$

PŘEVODNÍK NAPĚTÍ NA PROUDU (U/I):

a) Invertující



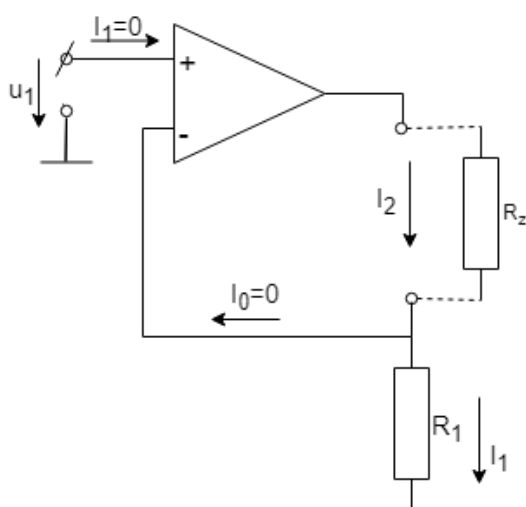
$$I_2 = -\frac{U_1}{R_1}$$

$$A_u = \frac{I_2}{U_1} = -\frac{1}{R_1}$$

$$U_{2S} = U_{cc} - (1 - 3V) - \text{saturační napětí}$$

$$R_{Zmax} = \frac{U_{2S}}{I_2}$$

b) Neinvertující



$$I_2 = \frac{U_1}{R_1}$$

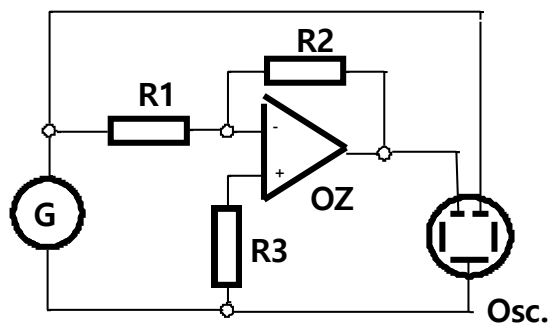
$$A_u = \frac{I_2}{U_1} = \frac{1}{R_1}$$

$$R_{Zmax} = \frac{U_{2S}}{I_2} - R_1$$

MĚŘENÍ NA OPERAČNÍCH ZESILOVAČÍCH

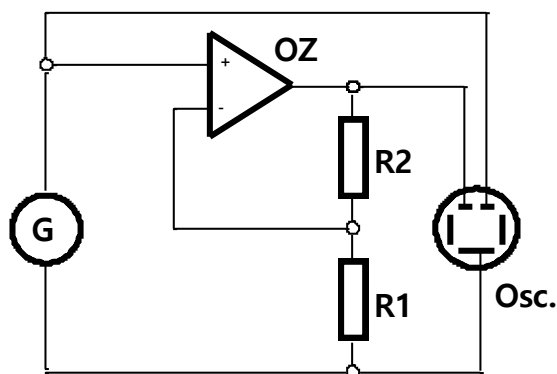
1. Jakými vlastnostmi se OZ blíží ideálním zesilovačům?
2. Vypište z katalogu potřebné charakteristické a mezní parametry OZ MAA 741.
- 2.1 Naznačte způsob vytvoření symetrického napájení OZ pomocí dvou stejných zdrojů stejnosměrného napětí.
3. Navrhněte hodnoty napájecího napětí a zpětnovazebních odporů pro invertující a neinvertující zesilovač.

&3.1 INVERTUJÍCÍ ZESILOVAČ



- napájecí napětí $U_{CC} = \dots\dots$
 - pro $A_u = 10$ a $R_2 = 100\text{ k}\Omega$ navrhněte velikost odporu R_1
 - odporem R_3 kompenzujeme vstupní klidový proud
odpor R_3 určete ze vztahu: $R_3 = \frac{R_2 \cdot R_1}{R_2 + R_1}$
výsledek zaokrouhlete na nejbližší hodnotu z řady E12
 - pro stejnosměrný signál je $R_{VST} = R_1$, jakou hodnotu bude mít odpor R_2 , jestliže chceme vytvořit invertor jehož $R_{VST} = 10\text{ k}\Omega$
- 3.2 Zapojte invertující zesilovač, změřte jeho zesílení a ověřte, že výstupní signál je fázově posunut o 180° . Uvedené schéma doplňte potřebnými přístroji (dvoukanálový osciloskop, generátor obdélníkových impulsů). Zobrazené průběhy načrtněte.

5. NEINVERTUJÍCÍ ZESILOVAČ

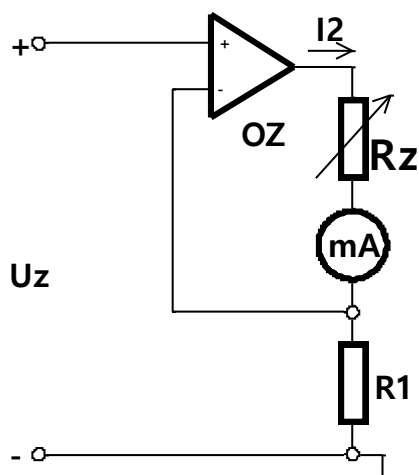


- napájecí napětí $U_{CC} = \dots\dots$
 - pro $A_u = 11$ a $R_2 = 100\text{ k}\Omega$ navrhněte velikost odporu R_1
 - $R_{VST} = R_{CM}$ – což je hodnota odporu mezi vstupem zesilovače a zemí a je udávána v katalogu výrobcem.
- 4.1 Jaká je výhoda neinvertujícího OZ proti invertujícímu z hlediska vstupního odporu.

4.2 Zapojte neinvertující zesilovač, změřte jeho zesílení a ověřte, že výstupní signál je ve fázi se vstupním. Zapojení doplňte potřebnými přístroji (dvoukanálový osciloskop, generátor obdélníkových impulsů). Zobrazené průběhy načrtněte.

4.3 Upravte zapojení tak, abyste vytvořili napěťový sledovač a ověřte, že platí $u_1 = u_2$. Kdy se toto zapojení používá?

5. ZESILOVAČ S VLASTNOSTÍ ZDROJE PROUDU



a) s použitím neinvertujícího zapojení-napájecí napětí $U_{CC} = \dots\dots$

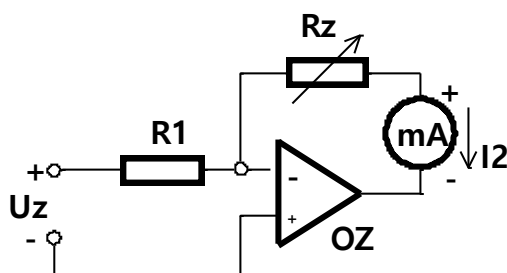
- $R_{VST} = R_{CM}$

5.1 Určete velikost odporu R_1 , jestliže při vstupním napětí 5V chceme vytvořit z OZ zdroj proudu o velikosti 5mA. $I_2 = U_{VST}/R_1$

5.2 Ověřte, že velikost I_2 nezávisí na hodnotě odporu R_Z až do určitého R_{Zmax} . Experimentálně zjistěte velikost R_{Zmax} a porovnejte s vypočtenou hodnotou. Zapojení doplňte potřebnými přístroji a realizujte.

$$R_{Zmax} = (U_{2max}/I_2) - R_1$$

b) s použitím invertujícího zesilovače



- napájecí napětí $U_{CC} = \dots\dots\dots$

- $R_{VST} = R_1$

5.3 Určete velikost odporu R_1 , jestliže při vstupním napětí 5V chceme vytvořit z operačního zesilovače zdroj proudu o velikosti 5 mA. $I_2 = \dots\dots\dots$

5.4 Ověřte, že velikost I_2 nezávisí na odporu R_Z až do určitého R_{Zmax} . Experimentálně zjistěte velikost R_{Zmax} a porovnejte s vypočtenou hodnotou. $R_{Zmax} = \dots\dots\dots$

Zapojení doplňte potřebnými přístroji a realizujte.

MĚŘENÍ NA AKTIVNÍCH FILTRECH S OZ

Aktivní filtry jsou určeny k potlačení nebo naopak k zvýraznění určité části frekvenčního spektra signálu. Aktivní filtry jsou tvořeny zesilovači s odporově kapacitní zpětnovazební sítí.

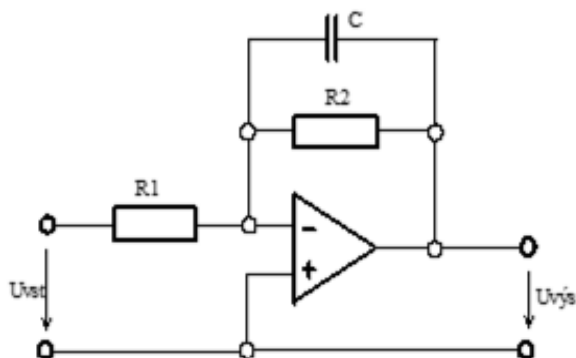
Podle pásma přenášených frekvencí rozlišujeme:

- dolní propusti
- horní propusti
- pásmové propusti a zádrže

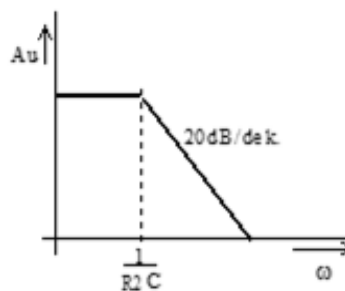
Aktivní filtry mají proti pasivním několik výhod:

- není třeba používat indukčnosti, vystačíme obvykle s článkem RC
- i pro rozsah nízkých kmitočtů vystačíme s malými kapacitami kondenzátorů
- podle potřeby lze vhodně měnit vstupní i výstupní odpor
- dosažitelný zisk > 1

1. DOLNÍ PROPUST



obr.1 a/ dolní propust



b/ asymptotická frekvenční charakteristika

Impedance Z ve zpětné vazbě:
$$Z = \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C}$$

Vztah pro výstupní napětí: jde o invertující zesilovač

$$U_{výst} = -\frac{Z}{R_1} \cdot U_{vst}$$

Po úpravě
$$U_{výst} = -\frac{R_2}{R_1} * \frac{1}{1 + j\omega R_2 C} * U_{vst}$$

- Vztah upravte pro $R_1 = R_2 = R$.

Pro $f = 0$ (zesílení stejnosměrného signálu) je $A_u = \dots\dots\dots$

Čemu se bude blížit výstupní napětí ?

1, pro $\omega = 2\pi f \rightarrow 0$

$U_{výst} \rightarrow \dots\dots\dots$

2, pro $\omega = 2\pi f \rightarrow \infty$

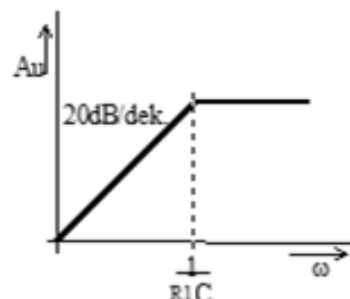
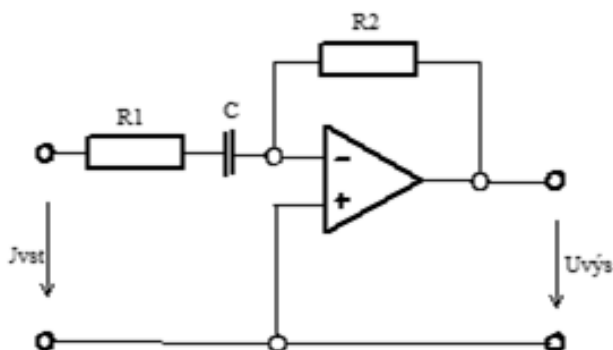
$U_{vst} \rightarrow \dots\dots\dots$

$f_d = 1/(2\pi R_2 C)$ je tzv dělicí kmitočet

- Pro dělicí kmitočet $f_d = 1000$ Hz, stejnosměrné zesílení $A_u = -1$ a kapacitu $C = 0.01 \mu F$ určete velikost odporu R_2 a R_1 .

- Zapojení doplňte potřebnými přístroji, obvod zapojte a změřte amplitudově-frekvenční charakteristiku propusti.

2. HORNÍ PROPUST



Obr.2 a/ horní propust

b/ frekvenční charakteristika propusti

Určete impedanci Z prvků na vstupu OZ.

$$Z = \frac{1 + j\omega R_1 C}{j\omega C}$$

Vztah pro výstupní napětí: jde o invertující zesilovač $U_{výst} = -\frac{R_2}{Z} \cdot U_{vst}$

$$U_{výst} = -\frac{j\omega R_2 C}{1 + j\omega R_1 C} \cdot U_{vst}$$

Vztah upravte pro $R_1 = R_2 = R$

Pro $f = 0$ (zesílení stejnosměrného signálu) je $A_u = \dots\dots\dots$

Čemu se bude blížit výstupní napětí ?

1, pro $\omega = 2\pi f \rightarrow 0$

$U_{výst} \rightarrow \dots\dots\dots$

2, pro $\omega = 2\pi f \rightarrow \infty$

$U_{vst} \rightarrow \dots\dots\dots$

$f_d = 1/(2\pi R_1 C)$ je tzv dělicí kmitočet

- Pro dělicí kmitočet $f_d = 1000$ Hz, stejnosměrné zesílení $A_u = -1$ a kapacitu $C = 0.01 \mu F$ určete velikost odporu R_2 a R_1 .
- Zapojení doplňte potřebnými přístroji, obvod zapojte a změřte amplitudově-frekvenční charakteristiku propusti.

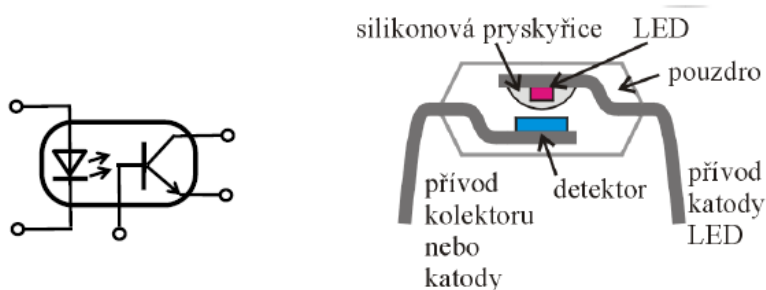
3. Pásmová propust

- Navrhněte zapojení aktivní pásmové propusti.

- Načrtněte její amplitudově-frekvenční charakteristiku. Naznačte výpočet dělicích kmitočtů.

MĚŘENÍ CHARAKTERISTIK OPTOČLENŮ

Optron se využívá nejčastěji pro galvanické oddělení obvodů. Izolační napětí mezi vstupními a výstupními obvody je až několik kilovoltů. Je tvořen vysílačem (nejčastěji GaAs luminiscenční dioda), přijímačem (fototranzistor) a přenosovou cestou (nejčastěji vláknový světlovod). Vše je umístěno do jednoho pouzdra



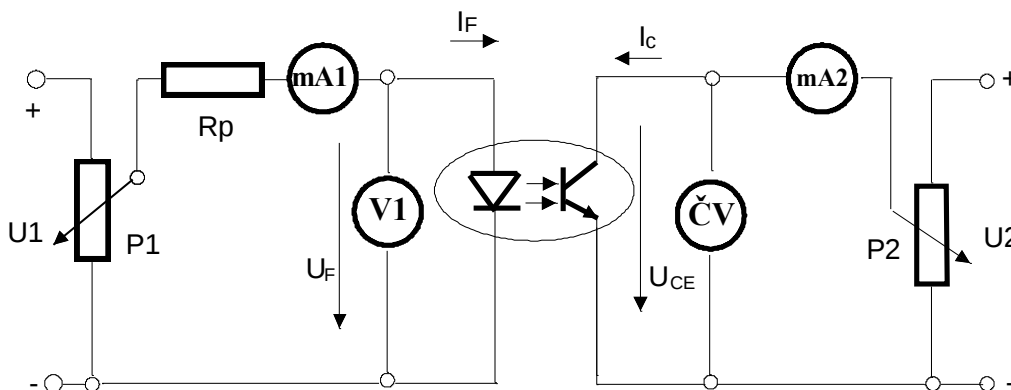
1) Měření VA charakteristiky vysílače ($I_F = f(U_F)$)

viz měření diod.

2) Měření výstupních charakteristik optronu

Měříme dle funkčního předpisu $I_C = f(U_{CE})$ při $I_F = k$.

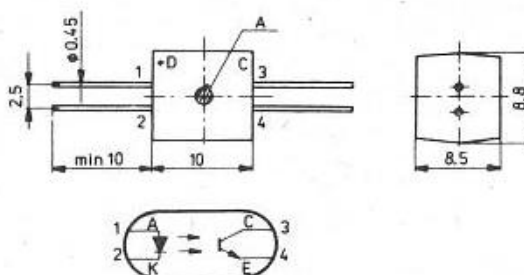
Schéma zapojení:



POSTUP při měření:

- 1) Z katalogu zjistíme mezní parametry (U_{CEmax} , I_{Cmax} , P_{Cmax} , I_{Fmax}) a zapojení vývodů optronu.
- 2) Pomocí potenciometru P_1 nastavíme požadovaný proud vysílače I_F .
- 3) Zvyšujeme napětí U_{CE} , dokud nedosáhneme některého z mezních parametrů. Od takto zjištěné hodnoty po vhodných skocích snižujeme U_{CE} , odečítáme I_C .
- 4) Naměřené hodnoty zpracujeme tabelárně a graficky. Do grafu nezapomeneme vyznačit mezní parametry optronu.

Vypište důležité katalogové parametry měřeného optronu:



3) Měření dynamických parametrů optronu

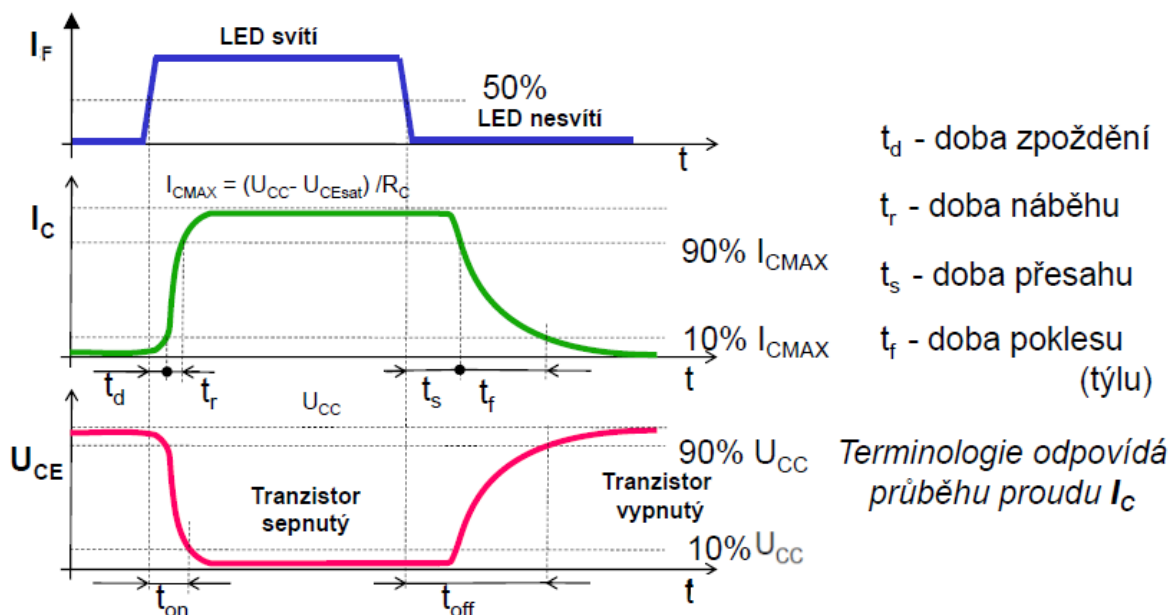
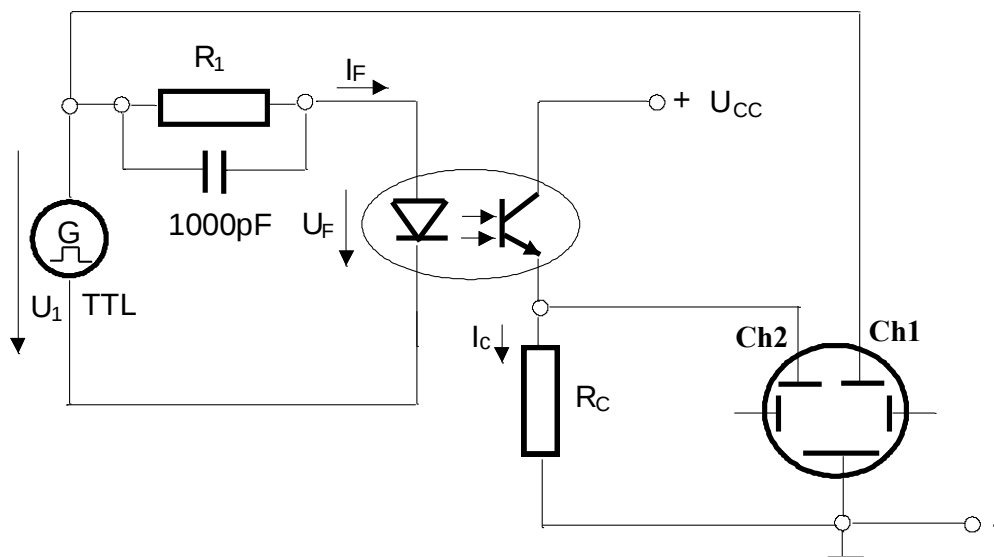


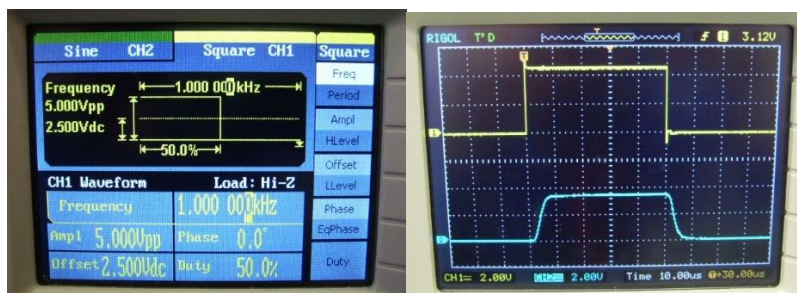
Schéma zapojení:



Návrh odporů R_1 a R_C :

$$R_1 = \frac{U_1 - U_F}{I_F} \quad \text{kde } U_F \text{ a } I_F \text{ je zvolený pracovní bod vysílače}$$

$R_C = \frac{U_{CC} - U_{CE}}{I_C}$ kde U_{CE} a I_C je zvolený pracovní bod přijímače na charakteristice odpovídající zvolenému proudu vysílače I_F , kde např. pro výstupní napětí v úrovni TTL určíme potřebné U_{CC} ze vztahu: $U_{CC} = U_{TTL} + U_{CE}$

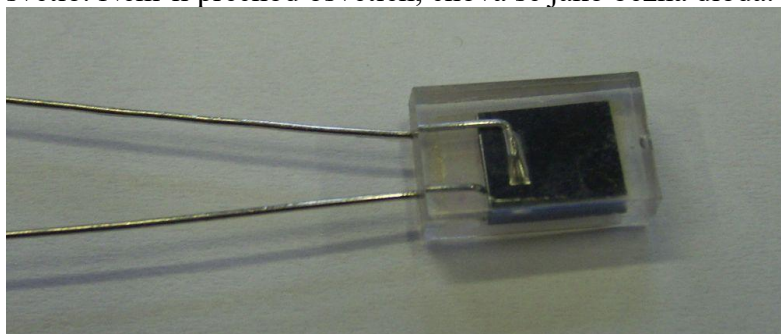


Zadání:

1. Proved'te měření vstupní VA charakteristiky vysílače a výstupních VA charakteristik přijímače optronu. Graficky zpracujte naměřené výstupní charakteristiky: $I_C = f(U_{CE})$ při $I_F = \text{konst.}$ a vstupní charakteristiku $I_F = f(U_F)$. Dále změřte z dynamických parametrů dobu náběhu t_r a doběhu t_f .
2. **Schématata pro měření** nakreslené v Draw.io.
3. **Postup při měření:** můžete upřesnit naznačené postupy. V referátu musí být vypsané mezní parametry optronu (vysílače a přijímače).
4. **Naměřené a vypočítané hodnoty zpracované tabelárně a graficky.** VA charakteristiky přijímače (tranzistoru) zakreslete do správných kvadrantů do jednoho grafu, včetně mezních parametrů (P_{max} dle katalogu, $I_{C\text{max}}$ snižte na $\frac{1}{2}$ katalogové hodnoty, $U_{CE\text{max}}$ použijte 12V a $I_{F\text{max}}$ dle katalogu). Převodní charakteristiku vytvořte pro $U_{CE} = 3\text{V}$. Potřebné hodnoty si odvoďte z tabulky měření výstupních charakteristik přijímače
5. **Dynamické parametry:** naměřte a udělejte printscreen obrazovky
6. **Závěr** (vyhodnoťte zjištěné vlastnosti a parametry optronu a porovnejte s katalogovými údaji)

Měření VA charakteristiky fotodiody

Jedná se o plošnou diodu, která je konstrukčně upravená tak, aby do oblasti PN přechodu pronikalo světlo. Není-li přechod osvětlen, chová se jako běžná dioda.



VA charakteristika diody a funkční předpisy při měření

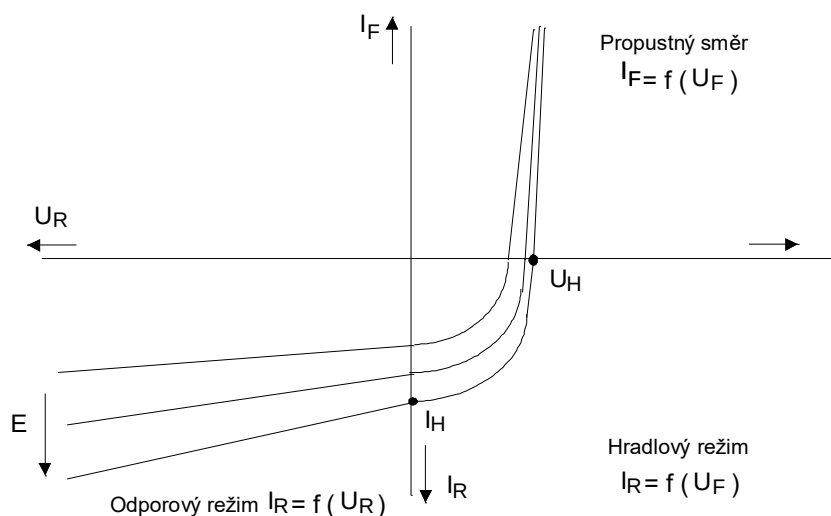
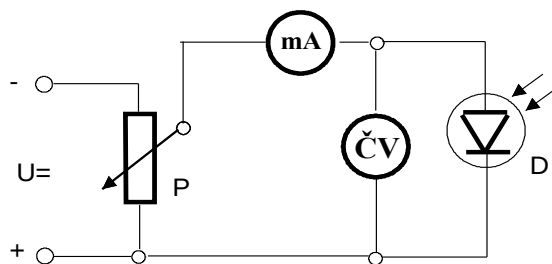


Schéma zapojení pro klasické měření:



Pokud by někomu nevyhovoval společný plus. Může ve schématu prohodit svorky diody a zdroje. Praktická realizace je v následujícím zapojení

POSTUP pro klasické měření:

- 1) Fotodiodu zapojíme v závěrném směru. Nastavíme požadované E . Potenciometrem P nastavujeme napětí U_R od U_{Rmax} do nuly, odečítáme proud I_R .
- 2) Do hradlového směru přejdeme prohozením svorek diody a miliampérmetru (snížíme si napětí zdroje U_1 asi na 1V). Zvyšujeme napětí U_F odečítáme I_R . V okamžiku, kdy $I_R = 0$ je napětí diody stejné jako napětí zdroje (za děličem).
- 3) Do propustného směru se dostaneme prohozením svorek mA. Zvyšujeme proud až do hodnoty I_{fmax} odečítáme napětí U_F .
- 4) Porovnáme zjištěné hodnoty hradlového napětí a proudu s údaji v katalogu.

Schéma s využitím převodníku I na U pro klasické měření

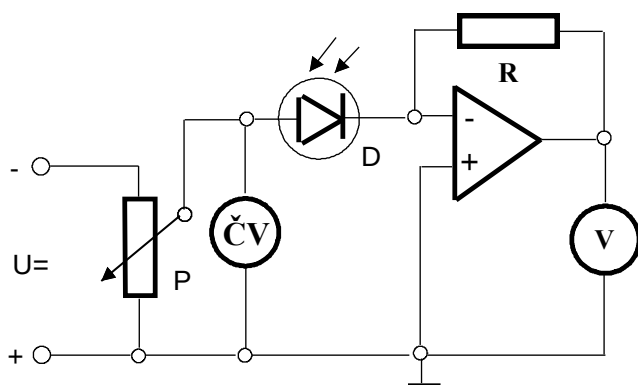
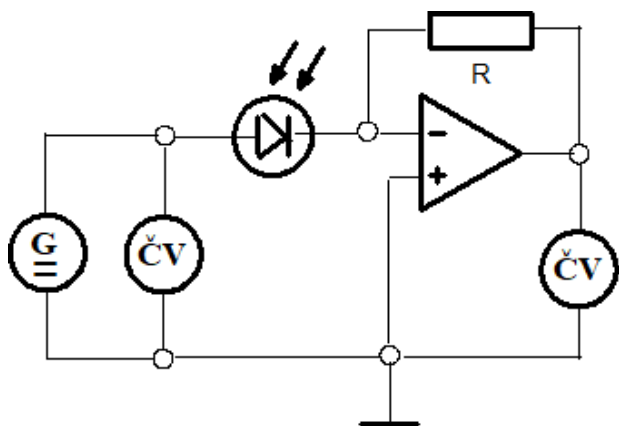


Schéma s využitím převodníku I na U pro automatizované měření



Korigujte postup pro automatizované měření:

ČV je schopen pracovat s oběma polaritami. Generátor je schopen generovat obě polarity stejnosměrného výstupního napětí. Maximální výstupní proud je 20mA.

Transformátor naprázdno a nakrátko – automatizované měření

Pro měření použijeme střídavý lineární zdroj APS 7050. Ten umožňuje plynulé nastavování střídavého napětí v rozsahu do 310Vrms proudu do 4.2Arms s výkonovým omezením 500VA.

Pro nastavení zdroje využijeme následující příkazy:

"*CLS" – tento příkaz vynuluje stavové registry

"Source:voltage:range R155" – nastavení rozsahu na 155V případně 310V

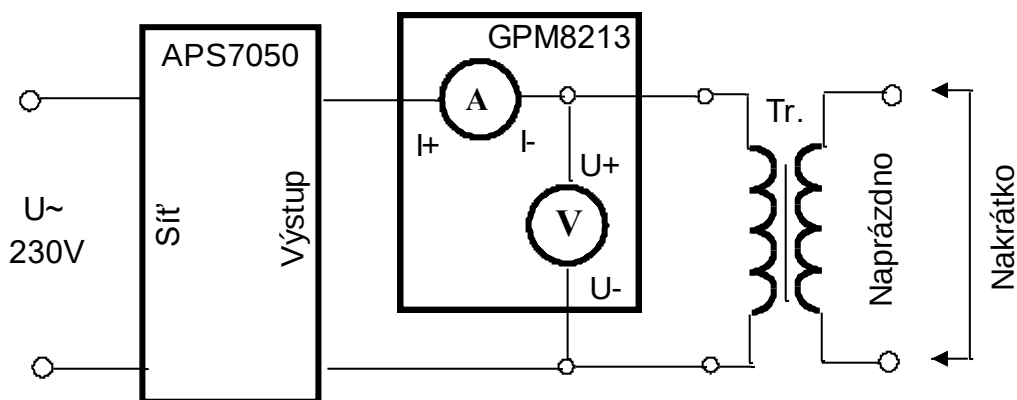
"Source:Current:Limit:RMS:Amplitude ", I_{max} – nastavení limitní hodnoty proudu přes vstup I_{max} , nebo lze místo I_{max} napsat konkrétní hodnotu

"Source:Voltage:Amplitude ", U_{zad} – nastavení požadované hodnoty výstupního napětí přes vstup U_{zad} , nebo lze místo U_{zad} napsat konkrétní hodnotu

"Output on" – zapnutí výstupu

Další přístroj, který budeme potřebovat je digitální wattmetr GPM 8213.

Vhodné schéma zapojení:



Úkoly měření:

Transformátor naprázdno

- 1) Změřte si stejnosměrný odpor primárního vinutí.
- 2) Úlohu zapojte a v prostředí Keysight VEE pro vytvořte program pro měření transformátoru naprázdno. Výstupem budou závislosti $P_o=f(U_o)$, $P_{fe}=f(U_o)$ – první graf a $I_o=f(U_o)$, $\cos\phi_o=f(U_o)$ – druhý graf.
- 3) V objektech alfa numeric se vypíšou: Jmenovité ztráty v železe, poměrný proud naprázdno, poměrný příkon naprázdno a jmenovitý účinník naprázdno.

Transformátor nakrátko

- 1) Upravte schéma zapojení
- 2) Upravte program pro měření transformátoru nakrátko. Korigujte hodnotu nastavené proudové pojistky na maximálně 1,25 I_n měřeného transformátoru. Výstupem budou závislosti $P_k=f(U_k)$ – první graf a $I_k=f(U_k)$, $\cos\phi_k=f(U_k)$ – druhý graf.
- 3) Program je potřeba v určité chvíli pozastavit (tlačítko Ok) a ručně nastavit kurzor na hodnotu napětí nakrátko. Po stisknutí tlačítka Ok se pomocí příkazu `xy.Marker1X`, `xy.Marker1Y` odečtou automaticky hodnoty. Příkazem `re(A)` se odečte x-ová souřadnice která odpovídá napětí nakrátko. Po dalším zpracování se v objektech alfa numeric vypíše: napětí nakrátko, poměrné napětí nakrátko, jmenovité zkratové proudy primárního a sekundárního vinutí.