

# Měření na bipolárním tranzistoru.

## Úkol:

1. Změřte a nakreslete čtyři výstupní charakteristiky  $I_C = f(U_{CE})$  bipolárního tranzistoru PNP při vámi zvolených hodnotách  $I_B$ .
2. Změřte a nakreslete dvě převodní charakteristiky  $I_C = f(I_B)$  při zvolených hodnotách  $U_{CE}$ .
3. Ve zvoleném pracovním bodě určete graficko-početní metodou diferenciální  $h$ -parametry  $h_{22}$  a  $h_{21}$ . Parametr  $h_{21}$  porovnejte s katalogovým údajem.
4. Zbývající  $h$ -parametry ( $h_{11}$ ,  $h_{12}$ ) určete orientačně měřením v okolí zvoleného pracovního bodu.

## Přístroje:

tranzistor PNP, číslicové voltmetry, analogový a číslicový ampérmetr, přípravek s rezistory, posuvný rezistor  $250 \Omega$

## Návod:

K napájení použijeme dva zdroje napětí, jeden pro obvod báze – emitor a druhý pro obvod kolektor - emitor. Do série se zdrojem  $I_B$  zařadíme velký odpor (řádově *stovky kΩ*), abychom vytvořili zdroj proudu (*vysvětlete!*). Do obvodu kolektoru zařadíme zatěžovací odpor  $250 \Omega$ .

1. Výstupní charakteristiky  $I_C = f(U_{CE})$  se měří při konstantním  $I_B$ . Všechny výstupní charakteristiky vycházejí z jediné saturační přímky; je nutno volit měřené body tak, aby se dala zakreslit i její poloha a přechod (ohyb), na který navazuje téměř lineární část každé charakteristiky. Při měření nastavíme vždy konstantní  $I_B$  a poté proměříme celou charakteristiku;  $I_B$  se již nesmí měnit.
2. Pevodní charakteristiky  $I_C = f(I_B)$  měříme při konstantním  $U_{CE}$ . Toto napětí je třeba při každém měření znovu nastavit změnou napětí zdroje, protože při změně  $I_B$  se mění  $I_C$ , tudíž i úbytek napětí na zatěžovacím odporu, a při konstantním napětí zdroje by se změnilo i  $U_{CE}$ .

3. Parametr  $h_{22}$  (výstupní diferenciální vodivost) vypočítáme graficko-početní metodou: na tečně ve zvoleném pracovním bodě výstupní charakteristiky určíme  $\Delta I_C$  a  $\Delta U_{CE}$ ; spočítáme  $h_{22} = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{CE}}$ .

Podobně určíme  $h_{21}$  (proudové zesílení):  $h_{21} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$ .

4. Zbývající  $h$ -parametry určíme tak, že rozladíme okolí pracovního bodu na obě strany a zjistíme příslušné rozdíly sledovaných veličin. Např. při zjišťování  $h_{11}$  nastavíme konstantní  $U_{CE}$  a  $I_B$ . Pak změňme  $I_B$  o malou hodnotu postupně na obě strany na  $I_{B1}$  a  $I_{B2}$  (jejich rozdíl je  $\Delta I_B$ ), přičemž se změň  $U_{BE}$  z  $U_{BE1}$  na  $U_{BE2}$  (jejich rozdíl je  $\Delta U_{BE}$ ). Napětí  $U_{CE}$  musíme nastavit v obou případech na zvolenou hodnotu. Parametr  $h_{11}$  (vstupní diferenciální odpor) je  $h_{11} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B}$ .

Podobně určíme  $h_{12}$  (zpětný napěťový přenos  $h_{12} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U_{CE}}$ ). Zde může být obtížně měřitelný rozdíl

$\Delta U_{BE}$ , protože  $U_{BE}$  se při změně  $U_{CE}$  (a konstantním  $I_B$ ) téměř nemění.

## Vzor tabulky:

$I_B = \dots$	$U_{CE}$ [V]			
	$I_C$ [mA]			

$U_{CE} = \dots$	$I_B$ [ $\mu$ A]			
	$I_C$ [mA]			

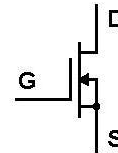
# Měření na unipolárním tranzistoru.

## Úkol:

1. Změřte a nakreslete výstupní charakteristiky  $I_D = f(U_{DS})$  unipolárního tranzistoru MOSFET typu N s vodivým kanálem v zapojení SS (se společným sourcem). Vyznačte všechny oblasti pracovních režimů (obohacený, ochuzený, odporový, nasycení). Změřte charakteristiku při  $U_{GS} = 0$  a po dvou charakteristikách při kladném a záporném řídicím napětí  $U_{GS}$ .
2. Změřte a nakreslete převodní charakteristiku  $I_D = f(U_{GS})$  při vámi zvoleném napětí  $U_{DS}$ . Ve zvoleném pracovním bodě určete graficko-početní metodou parametr  $y_{21}$ . Výsledek porovnejte s katalogovým údajem.
3. Zobrazte na osciloskopu výstupní charakteristiky. Stáhněte je ve formátu obrázku.

## Přístroje:

tranzistor KF 520, číslicové voltmetry, analogový ampérmetr, posuvný rezistor 250  $\Omega$ , usměrňovač, generátor, osciloskop



## Návod:

Tranzistor KF 520 je MOSFET typu N s vodivým (zabudovaným) kanálem. To znamená, že ho lze řídit napětím  $U_{GS}$  obou polarit. Je-li  $U_{GS} > 0$ , pracuje v obohaceném režimu a saturační proud je větší než při  $U_{GS} = 0$ , je-li  $U_{GS} < 0$ , pracuje v ochuzeném režimu a saturační proud je menší.

Tranzistor je opatřen ochranným odporem mezi G a S, aby se nezničil náhodným statickým nábojem.

1. K měření použijeme dvojitý zdroj napětí. Mezi G a S přivádíme z prvního zdroje řídicí napětí  $U_{GS}$ , z druhého zdroje napájíme výstupní obvod (přes zatěžovací rezistor). Nastavíme  $U_{GS} = 0$  a měříme první výstupní charakteristiku  $I_D = f(U_{DS})$ . Další charakteristiky změříme při dvou kladných (obohacený režim) a dvou záporných (ochuzený režim) konstantních napětích  $U_{GS}$ . Na každé křivce lze nalézt část, kdy proud narůstá s napětím přibližně lineárně (odporový režim) a část, kdy se proud s rostoucím napětím již téměř nezvyšuje (saturace neboli nasycení). Meze měření volíme tak, abychom nepřekročili mezní parametry tranzistoru ( $U_{DS}$ ,  $I_D$ ,  $P$ ).
2. Převodní charakteristiku změříme tak, že měníme postupně  $U_{GS}$  od záporných do kladných hodnot, přičemž měříme  $I_D$  a napětí zdroje výstupního obvodu nastavujeme tak, abychom měli vždy konstantní (zvolené) napětí  $U_{DS}$ . Charakteristiku je nutno nakreslit přes dva kvadranty, protože řídicí napětí nabývá obou polarit. Parametr  $y_{21}$  zjistíme graficko-početní metodou. Na tečně v pracovním bodě určíme  $\Delta I_D$  a  $\Delta U_{GS}$  a vypočítáme  $y_{21} = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}}$ .
3. Na řídicí vstup tranzistoru G přivádíme konstantní napětí  $U_{GS}$ . Výstupní obvod D-S napájíme ze střídavého zdroje (generátoru) a usměrňovače, aby napětí  $U_{DS}$  pulsovalo. Osciloskopem v režimu XY snímáme napětí  $U_{DS}$  a proud  $I_D$  (jako úbytek napětí na zatěžovacím odporu). Průběhy zaznamenáme (funkce AUTOSTORE). Zobrazené charakteristiky stáhneme do PC pomocí doplňku Excelu nebo programu IntuiLink. Obrázek doplníme cejchováním os.

## Vzor tabulky:

$U_{GS} = \dots$	$U_{DS}$ [V]			
	$I_D$ [mA]			

$U_{DS} = \dots$	$U_{GS}$ [V]			
	$I_D$ [mA]			

# Měření na integračním RC článku

## Úkol:

1. Změřte útlumovou a fázovou charakteristiku integračního RC článku.
2. Graficky znázorněte změřené a teoreticky spočítané závislosti útlumu  $A_{UdBm}[dB]$ ,  $A_{UdB}[dB]$  a fázového posuvu  $\varphi_m[^\circ]$ ,  $\varphi[^\circ]$  obou článků na frekvenci  $f [Hz]$  v semilogaritmických souřadnicích. Naměřenou a teoretickou závislost nakreslete vždy do jednoho grafu. Určete graficky i početně mezní kmitočet. Proved'te také detailní odvození vzorců pro teoretický výpočet.

## Přístroje:

přípravek s R a C, generátor, osciloskop

## Návod:

Útlumová charakteristika je závislost útlumu  $A_{UdB} = 20 \log A_U = 20 \log \frac{U_2}{U_1}$  na frekvenci.

Fázová charakteristika je závislost fázového posuvu  $\varphi$  mezi vstupním a výstupním napětím na frekvenci. Osa frekvence je vždy logaritmická.

- **Měření** provádíme asi dvě dekády na obě strany od mezní frekvence  $f_0$ , kterou si nejprve spočítáme ze změřených hodnot R a C ( $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi RC}$ ). V každé dekádě provádíme asi 5 měření (1 – 2 – 3 – 5 – 7).
  - Útlum se spočítá podle definičního vztahu z hodnot vstupního a výstupního napětí článku, měřených digitálním osciloskopem (funkce MEASURE, efektivní hodnota RMS).
  - Fázový posuv měříme na osciloskopu pomocí kurzorů; dáváme přitom pozor na jeho znaménko – zde je  $U_2$  zpožděno za  $U_1$ , fázový posuv je záporný (fázor  $\hat{U}_1$  v reálné ose,  $\hat{U}_2$  ve 4. kvadrantu).
- **Teoretický výpočet** útlumu a fázového posuvu provedeme z komplexního přenosu článku, z něhož určíme modul přenosu  $A_U$  (absolutní hodnotu  $\hat{A}_U$ ) a  $tg \varphi$  jako poměr imaginární a reálné části  $\hat{A}_U$ .

Přenos integračního článku  $\hat{A}_U = \frac{\hat{Z}_2}{\hat{Z}_1 + \hat{Z}_2} = \frac{j\omega C}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{j\omega RC + 1}$ . Zavedením mezní frekvence pak

$$\hat{A}_U = \frac{1}{j\frac{f}{f_0} + 1}. \text{ Z toho modul } A_U = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{f}{f_0}\right)^2 + 1}}.$$

$$\circ \text{ Útlum } A_{UdB} = 20 \log A_U = 20 \log \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{f}{f_0}\right)^2 + 1}} = -10 \log \left[ \left(\frac{f}{f_0}\right)^2 + 1 \right].$$

$$\circ \text{ Fázový posuv } \varphi = \arctg \frac{\text{Im}[\hat{A}_U]}{\text{Re}[\hat{A}_U]} = \arctg \frac{-\frac{f}{f_0}}{1} = \arctg \left( -\frac{f}{f_0} \right).$$

## Záhlaví tabulky:

R = .....  $\Omega$   
Hz

C = ..... nF

$\tau$  = ..... ms

$f_0$  = .....

f [Hz]	$U_1$ [V]	$U_2$ [V]	$A_{Um}$ [dB]	$\varphi_m$ [ $^\circ$ ]	$A_U$ [dB]	$\varphi$ [ $^\circ$ ]

# Měření na derivačním RC článku

## Úkol:

1. Změřte útlumovou a fázovou charakteristiku derivačního RC článku.
2. Graficky znázorníte změřené a teoreticky spočítané závislosti útlumu  $A_{UdBm}[dB]$ ,  $A_{UdB}[dB]$  a fázového posuvu  $\varphi_m[^\circ]$ ,  $\varphi[^\circ]$  obou článků na frekvenci  $f[Hz]$  v semilogaritmických souřadnicích. Určete graficky i početně mezní kmitočet. Proveďte také detailní odvození vzorců pro teoretický výpočet.

## Přístroje:

přípravek s  $R$  a  $C$ , generátor, osciloskop

## Návod:

Útlumová charakteristika je závislost útlumu  $A_{UdB} = 20 \log A_U = 20 \log \frac{U_2}{U_1}$  na frekvenci.

Fázová charakteristika je závislost fázového posuvu  $\varphi$  mezi vstupním a výstupním napětím na frekvenci. Osa frekvence je vždy logaritmická.

- **Měření** provádíme asi dvě dekády na obě strany od mezní frekvence  $f_0$ , kterou si nejprve spočítáme ze změřených hodnot  $R$  a  $C$  ( $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi RC}$ ). V rozmezí každé dekády provádíme asi 5 měření.
  - Útlum se spočítá podle definičního vztahu z hodnot vstupního a výstupního napětí článku, měřených digitálním osciloskopem (funkce MEASURE, efektivní hodnota RMS).
  - Fázový posuv měříme na osciloskopu pomocí kurzorů; dáváme přitom pozor na jeho znaménko - zde  $U_2$  předbíhá před  $U_1$ , fázový posuv je kladný (fázor  $\hat{U}_1$  v reálné ose,  $\hat{U}_2$  v 1. kvadrantu).
- **Teoretický výpočet** útlumu a fázového posuvu provedeme z komplexního přenosu článku, z něhož určíme modul přenosu  $A_U$  (absolutní hodnotu  $\hat{A}_U$ ) a  $\text{tg } \varphi$  jako poměr imaginární a reálné části  $\hat{A}_U$ .

Přenos derivačního článku  $\hat{A}_U = \frac{\hat{Z}_2}{\hat{Z}_1 + \hat{Z}_2} = \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{j\omega RC}{j\omega RC + 1}$ . Zavedením mezní frekvence pak

$$\hat{A}_U = \frac{j \frac{f}{f_0}}{j \frac{f}{f_0} + 1}. \text{ Z toho modul } A_U = \frac{\frac{f}{f_0}}{\sqrt{\left(\frac{f}{f_0}\right)^2 + 1}}.$$

$$\text{○ Útlum } A_{UdB} = 20 \log A_U = 20 \log \frac{\frac{f}{f_0}}{\sqrt{\left(\frac{f}{f_0}\right)^2 + 1}} = 20 \log \frac{f}{f_0} - 10 \log \left[ \left(\frac{f}{f_0}\right)^2 + 1 \right].$$

$$\text{○ Fázový posuv } \varphi = \arctg \frac{\text{Im}[\hat{A}_U]}{\text{Re}[\hat{A}_U]} = \arctg \frac{\frac{f}{f_0}}{\left(\frac{f}{f_0}\right)^2} = \arctg \left( \frac{f_0}{f} \right).$$

## Záhlaví tabulky:

$R = \dots \dots \dots \Omega$

$C = \dots \dots \dots \text{ nF}$

$\tau = \dots \dots \dots \text{ ms}$

$f_0 = \dots \dots \dots \text{ Hz}$

f [Hz]	$U_1[V]$	$U_2[V]$	$A_{Um}[dB]$	$\varphi_m[^\circ]$	$A_U[dB]$	$\varphi[^\circ]$



# Měření na operačních zesilovačích I.

## Úkol:

Proveďte následující měření na operačním zesilovači (OZ) 1458:

1. Zapojte invertující zesilovač. Pro  $A_U = 10$ ,  $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$  navrhnete velikost odporu  $R_1$  a zapojte obvod. Změřte a nakreslete převodní charakteristiku  $U_2 = f(U_1)$  pro obě polarity vstupního napětí až do saturace. Určete vstupní odpor.
2. Pro neinvertující zesilovač a  $A_U = 11$ ,  $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$  navrhnete velikost odporu  $R_1$ , zapojte obvod a změřte zesílení pro stejnosměrný signál (pouze jednu hodnotu). Jaký je vstupní odpor?
3. Změřte vstupní klidové proudy  $I_{IB}^+$  a  $I_{IB}^-$  a proudovou nesymetrii vstupů  $I_{IO}$  (za předpokladu vykompenzované napěťové nesymetrie). Výsledky porovnejte s katalogovými hodnotami.
4. Změřte vstupní napěťovou nesymetrii  $U_{IO}$ . Výsledek porovnejte s katalogovou hodnotou.

## Přístroje:

OZ 1458; sada rezistorů; digitální voltmetry

## Návod:

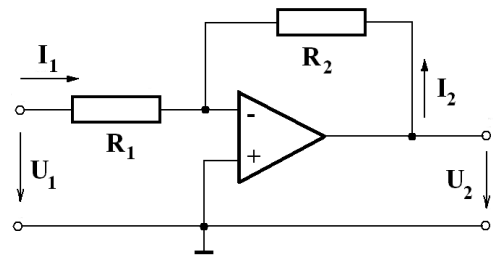
Nezapomeneme na správné napájení OZ z dvojitého zdroje napětí, střed zdroje se vždy spojí se zemí.

Napěťový přenos OZ v invertujícím i neinvertujícím zapojení určíme za zjednodušujících předpokladů:

- OZ má nekonečně velký vstupní odpor, takže do jeho vstupů neteče proud;
- mezi oběma vstupy + a - je nulové napětí.

1. Platí  $I_1 = -I_2$ ; dále: invertující vstup má proti zemi nulové napětí (virtuální zem). Napěťový přenos  $A_U = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_2 I_2}{R_1 I_1} = -\frac{R_2}{R_1}$ .

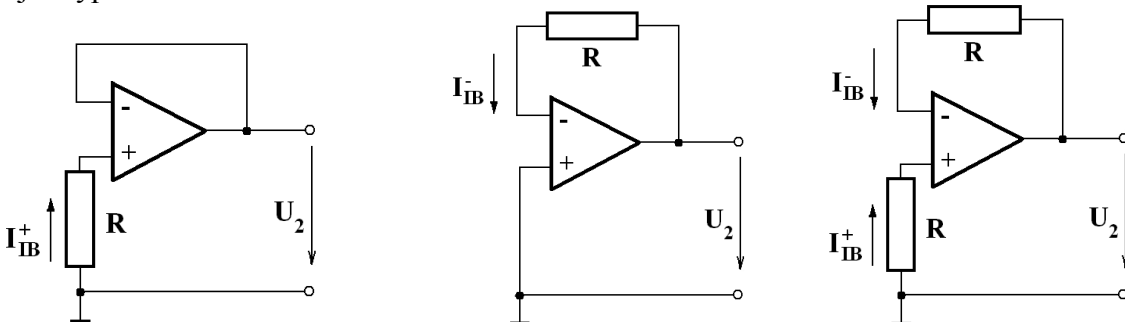
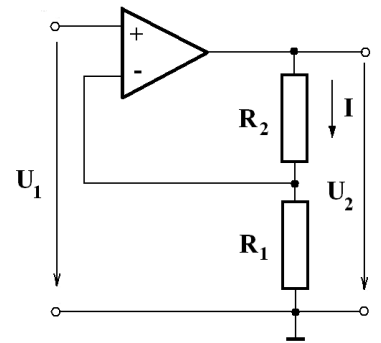
Vstupní odpor je roven  $R_1$ , což může být nevýhoda (kdy?).  
Převodní charakteristika  $U_2 = f(U_1)$  je lineární až do saturace.  
 $U_2$  pak dále již neroste.



2. Spočítáme napěťový přenos  $A_U = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_2 + R_1}{R_1} = \frac{R_2}{R_1} + 1$  za stejných

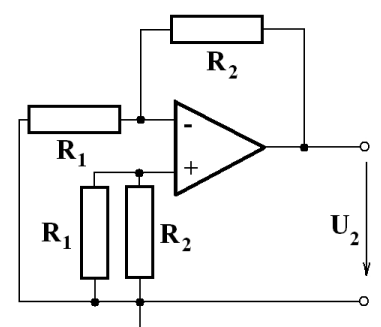
předpokladů (proč je na odporu  $R_1$  napětí  $U_1$ ?). Vstupní odpor je velmi veliký a odpovídá vstupu OZ.

3. Vstupní klidové proudy  $I_{IB}^+$  a  $I_{IB}^-$  jsou proudy, které tečou do vstupů OZ. Určíme je pomocí úbytku napětí na zpětnovazebním odporu v zapojení podle obrázků (napište vzorce). Nejsou-li oba proudy přesně stejné (to by byl poloideální OZ), vzniká vstupní proudová nesymetrie. V zapojení podle obrázku vpravo platí  $U_2 = R(I_{IB}^- - I_{IB}^+) = R I_{IO}$ . Změřenou nesymetrii kontrolujte výpočtem z měření  $I_{IB}^+$  a  $I_{IB}^-$ .



4. Vstupní napěťová nesymetrie je hodnota rozdílového napětí, které musíme přivést na vstup OZ, aby se na výstupu objevilo nulové napětí. Naopak při nulovém rozdílovém napětí mezi vstupy je na výstupu určité napětí, čehož využijeme při měření. V zapojení podle obrázku jsou vykompenzovány vstupní klidové proudy (jak?), takže předpokládáme nulové vstupní rozdílové napětí. Při něm se vlivem nesymetrie objeví na výstupu napětí  $U_2$ .

Pak  $U_{IO} = \frac{U_2}{A_U}$ , přičemž  $A_U = \frac{R_2}{R_1}$  (volíme např.  $R_2 = 100R_1$ ).



# Měření na operačních zesilovačích II.

## Úkol

Proveďte následující měření na operačním zesilovači (OZ) 1458:

1. Zapojte invertující zesilovač s  $R_2 = 100\text{ k}\Omega$ ; navrhnete velikost odporu  $R_1$  tak, aby  $A_U = 10$ . Zapojte obvod, změřte zesílení střídavým signálem a ověřte, že výstupní napětí je fázově posunuto o  $180^\circ$ . Změřte a nakreslete převodní charakteristiku. Sejměte časové průběhy obou napětí.
2. Zapojte neinvertující zesilovač s  $R_2 = 100\text{ k}\Omega$  a  $R_1 = 10\text{ k}\Omega$ . Vypočítejte  $A_U$ . Střídavým signálem ověřte, že výstupní napětí je ve fázi se vstupním. Sejměte obrázek.
3. Určete dobu ustálení výstupního napětí  $\Delta t$  a rychlost přeběhu výstupního napětí  $S$  při skokové změně vstupního napětí. Sejměte obrázek s označenými veličinami.
4. Změřte a nakreslete v zapojení podle bodu 2 frekvenční charakteristiky  $A_{UdB} = f(f)$  a  $\varphi = f(f)$ . Z charakteristiky zisku určete mezní frekvenci  $f_m$ .

## Přístroje:

OZ 1458, sada rezistorů, generátor, osciloskop, PC.

## Návod:

Napěťový přenos OZ určíme za zjednodušujících předpokladů:

- OZ má nekonečně velký vstupní odpor, takže do jeho vstupů neteče proud;
- mezi oběma vstupy + a - je nulové napětí.

Měření podle bodu 1 a 2 provedeme při nízké frekvenci, např. 1 kHz.

1. Pro invertující zapojení platí  $I_1 = -I_2$ . (proudy jsou střídavé, jde proto o fázory proudů)

$$\text{Napěťový přenos } A_U = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_2 I_2}{R_1 I_1} = -\frac{R_2}{R_1}. \text{ Znaménko - značí,}$$

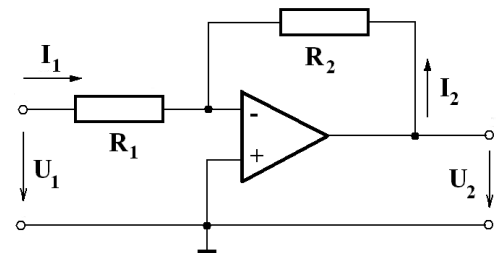
že výstupní napětí je v protifázi ke vstupnímu.

Spočítáme  $R_1$  podle požadavku zadání.

Převodní charakteristika  $U_2 = f(U_1)$  je lineární až do saturace.

Výstupní napětí se pak začne „ořezávat“.

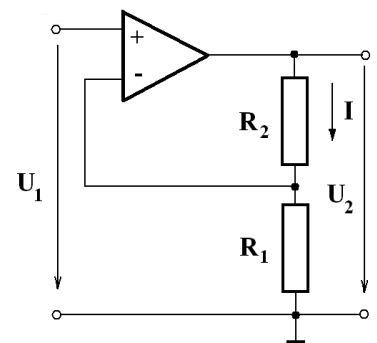
Stáhneme do PC obrázek monitoru osciloskopu a uložíme ho.



2. Spočítáme napěťový přenos  $A_U = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_2 + R_1}{R_1} = \frac{R_2}{R_1} + 1$  za stejných

předpokladů (proč je na odporu  $R_1$  napětí  $U_1$  a proč je výstupní napětí ve fázi se vstupním?).

Sejmeme obrázek.



3. Doba ustálení  $\Delta t$  je doba mezi 10 a 90% doby od skokové změny na vstupu do dosažení ustálené hodnoty na výstupu. Rychlost přeběhu výstupního napětí je poměr  $S = \frac{\Delta u_2}{\Delta t}$  (uvádí se ve  $V/\mu s$ ), kde

$\Delta u_2$  je změna napětí za  $\Delta t$ . Měření provedeme tak, že na vstup OZ přivedeme obdélníkový signál o přiměřené frekvenci, zobrazíme časový průběh výstupního napětí patřičně roztažený časovou lupou, umístíme kurzory na potřebné pozice. Obrázek sejmeme pro kladnou a zápornou změnu vstupního napětí a průběh vyhodnotíme na základě uvedených definic.

4. Frekvenční charakteristiky měříme obvyklým způsobem. Při konstantním napětí na vstupu začne výstupní napětí klesat až od určité vyšší frekvence. Podobné je to s fázovým posuvem výstupu oproti vstupu. Mezní frekvence je frekvence, při které poklesne zesílení o 3 dB oproti zesílení střídavého signálu nízké frekvence. Mezní frekvence závisí na zapojení. (Jak spočítáme napětí odpovídající - 3 dB od výchozí hodnoty?)

# Měření na operačních zesilovačích III.

## Úkol:

Proveďte následující měření na operačním zesilovači (OZ) 1458:

1. Vytvořte z OZ zdroj proudu řízený vstupním napětím  $U_1$ . Použijte  $R_1 = 1\text{ k}\Omega$ , nastavte  $I = 3\text{ mA}$  a ověřte, do jak velké hodnoty zatěžovacího odporu  $R_z$  bude proud skutečně konstantní. Porovnejte s teoretickým výpočtem.
2. Vytvořte z OZ komparátor. Ověřte jeho odezvu při různých hodnotách referenčního napětí  $U_{ref}$  včetně nuly. Na osciloskopu zobrazte převodní charakteristiku komparátoru  $u_2 = f(u_1)$ , obrázek sejměte, vytiskněte a označte hodnoty saturačních napětí.
3. Doplňte komparátor hysterezí. Zjistěte vliv poměru odporů  $R_1/R_2$  na hysterezi. Zobrazte, sejměte a vytiskněte převodní charakteristiky pro dvě různé hodnoty hystereze. Porovnejte s vypočtenou hodnotou.
4. Vytvořte zapojení astabilního klopného obvodu (KO) podle obr. 4. Zobrazte osciloskopem, sejměte a vytiskněte časové průběhy napětí na výstupu OZ a na časovacím kondenzátoru. Z obrázku určete periodu napětí. Porovnejte ji se spočítanou teoretickou hodnotou periody KO.

## Přístroje:

OZ 1458, generátor, osciloskop, PC, voltmetr, ampérmetr, sada R a C

## Návod:

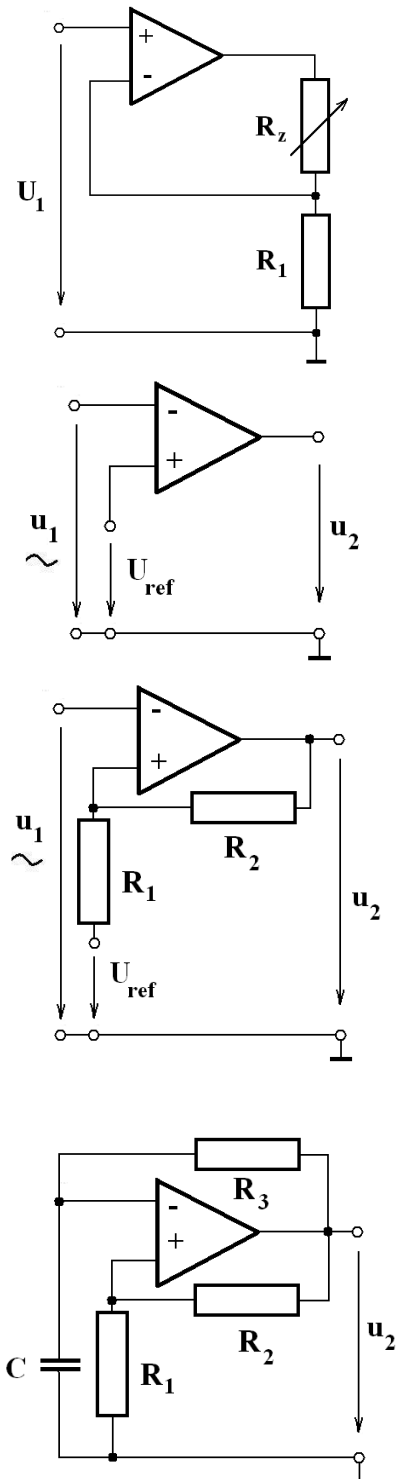
1. Na odporu  $R_1$  je konstantní napětí  $U_1$  (proč?). Zátěží  $R_z$  teče stejný proud jako odporem  $R_1$ . Součet úbytků napětí na  $R_1$  a  $R_z$  může být roven maximálně saturačnímu napětí OZ. (Jak velký může nejvýše být  $R_z$ , aby proud nezačal klesat?)
2. Pokud je mezi oběma vstupy OZ (vnucené) nenulové napětí, výstupní napětí OZ nabývá pouze dvou hodnot – kladné a záporné – odpovídající nasycení (saturaci) obou vnitřních zesilovačů. Komparátor porovnává dvě napětí – vstupní a referenční. U komparátoru bez hystereze se mění výstupní napětí ze záporné na kladnou hodnotu saturačního napětí OZ při poklesu vstupního napětí pod hodnotu referenčního a naopak. Rychlost změny závisí na vlastnostech OZ. Přepneme osciloskop do režimu XY (v horizontálním menu), zobrazíme převodní charakteristiku  $u_2 = f(u_1)$  a sejmeme obrázek monitoru. Určíme z něj saturační napětí obou polarit.
3. Hystereze se dosáhne kladnou zpětnou vazbou a zvyšuje se tak i stabilita komparátoru při pomalých změnách vstupního napětí (při překlápění by mohlo vznikat zakmitání obvodu). K překlopení dochází poté, co poklesne či převýší vstupní napětí součet referenčního napětí s úbytkem napětí na odporu  $R_1$ . Tento úbytek však závisí na tom, je-li před překlopením na výstupu kladné nebo záporné saturační napětí. Proto vzniká hystereze o velikosti  $U_2 \frac{R_1}{R_1 + R_2}$  na obě strany od překlápěcí úrovně  $U_{ref}$  (odvodte!).

Obrázek monitoru opět sejmeme a vyhodnotíme.

4. Astabilní KO se překlápí podobně jako komparátor po poklesu či převýšení napětí na C (invertující vstup) oproti neinvertujícímu vstupu, na kterém je část výstupního napětí  $U_2 \frac{R_1}{R_1 + R_2}$  (napěťový dělič  $R_1, R_2$ ). Kondenzátor

se střídavě přebíjí vlivem kladného či záporného výstupního napětí přes odpor  $R_3$  (exponenciálně s časovou konstantou  $\tau = R_3 \cdot C$ ). Lze odvodit dobu půlkmitu (půlperiody) výstupního obdélníkového napětí  $\frac{T}{2} = \tau \cdot \ln \frac{2R_1 + R_2}{R_2}$  (je-li stejně velké kladné a záporné saturační napětí).

Sejmeme časové průběhy  $u_2$  a  $u_C$ , pomocí kurzorů změříme  $T$  a porovnáme s vypočtenou hodnotou.





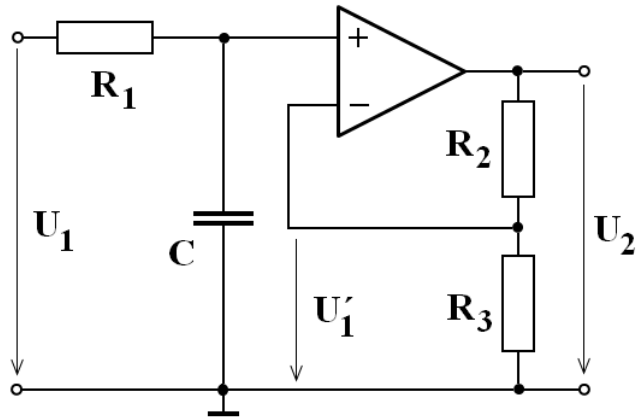
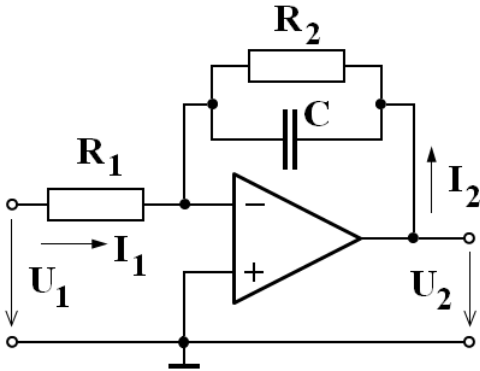
# Měření na aktivních RC filtrech s operačními zesilovači.

## Úkol:

1. Změřte frekvenční charakteristiky a) invertujícího, b) neinvertujícího aktivního RC filtru s OZ zapojeného jako dolnofrekvenční propust. Zvolte hodnoty odporů tak, abyste v propouštěném pásmu měli zisk  $A_{u\text{dB}}$  kolem 20 dB. Zvolte  $C$  tak, aby mezní frekvence byla v řádu jednotek kHz.
2. Graficky znázorněte změřené a teoreticky spočítané charakteristiky zisku  $A_{U\text{dBm}}[\text{dB}]$ ,  $A_{U\text{dB}}[\text{dB}]$  a fázové charakteristiky  $\varphi_m[^\circ]$ ,  $\varphi[^\circ]$  filtrů na frekvenci  $f[\text{Hz}]$ .

## Návod:

Aktivní filtry se od pasivních liší tím, že propouštěné frekvenční pásmo zesilují – napěťová úroveň v dB zde je kladná, jde o zisk. Výpočet komplexního přenosu  $A_U$  provedeme s tím, že uvažujeme ideální OZ.



a) Invertující filtr: 
$$A_u = \frac{U_2}{U_1} = \frac{\frac{1}{\frac{1}{R_2} + j\omega C} I_2}{R_1 I_1} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + j\omega R_2 C}$$
 (platí  $I_1 = -I_2$ ),

Vztah připomíná přenos integračního RC členu, mezní frekvence závisí na  $R_2 C$  a zesílení v propouštěném pásmu je dáno poměrem  $R_2/R_1$ . Navrhne tedy tento poměr tak, aby zisk  $A_{U\text{dB}}$  byl asi 20 dB.  $C$  zvolíme tak, aby  $f_0 = \frac{1}{2\pi R_2 C}$  byla v řádu jednotek kHz.

Výsledky (odvoďte): zisk  $A_{U\text{dB}} = 20 \log \frac{R_2}{R_1} - 10 \log \left[ 1 + \left( \frac{f}{f_0} \right)^2 \right]$ ; fázový posuv  $\varphi = \text{arctg} \left( -\frac{f}{f_0} \right)$

Pozor na velikost fázového posuvu: výsledek se zdá formálně shodný s integračním článkem, ale úhel je ve skutečnosti ve 2. kvadrantu, nikoliv ve 4. Funkce  $\text{tg } \varphi = \text{tg}(\varphi + 180^\circ)$ . Invertor obrací fázi o  $180^\circ$ .

b) Neinvertující filtr: 
$$A_u = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{1 + j\omega R_1 C} \left( \frac{R_2}{R_3} + 1 \right)$$
 (platí  $\frac{U'_1}{U_1} = \frac{1}{1 + j\omega R_1 C}$  a také  $\frac{U_2}{U'_1} = \frac{R_2}{R_3} + 1$ ).

Výsledky: zisk  $A_{U\text{dB}} = 20 \log \left( \frac{R_2}{R_3} + 1 \right) - 10 \log \left[ 1 + \left( \frac{f}{f_0} \right)^2 \right]$ ; fázový posuv  $\varphi = \text{arctg} \left( -\frac{f}{f_0} \right)$ .

Mezní frekvence závisí na  $R_1 C$  a zesílení v propouštěném pásmu je dáno poměrem  $R_2/R_3 + 1$

Měření  $A_{U\text{dBm}}$  a  $\varphi_m$  provedeme pomocí osciloskopu známým způsobem (měření napětí, kurzory...).

## Záhlaví tabulek:

- a)  $R_1 = \dots \Omega$      $R_2 = \dots \Omega$      $C = \dots \text{nF}$      $f_0 = \dots \text{Hz}$   
 b)  $R_1 = \dots \Omega$      $R_2 = \dots \Omega$      $R_3 = \dots \Omega$      $C = \dots \text{nF}$      $f_0 = \dots \text{Hz}$

a) i b)

f [Hz]	$U_1$ [V]	$U_2$ [V]	$A_{U\text{dBm}}[\text{dB}]$	$\varphi_m[^\circ]$	$A_{U\text{dB}}[\text{dB}]$	$\varphi[^\circ]$

# Modelování el. obvodů v prostředí VEE I.

## Úkol:

### 1. Lissajousovy obrazce

Simulujte měření kmitočtů metodou Lissajousových obrazců. Vytvořte Lissajousovy obrazce pro poměr kmitočtů 1:1, 1:2, 2:3 a fázový posuv  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ . Libovolně tři vytiskněte.

### 2. Pasivní dvojbrany

Zobrazte útlumovou a fázovou charakteristiku integračního, derivačního a Wienova RC členu. Program musí také spočítat mezní kmitočet.

## Návod:

Fyzické přístroje i bloky provádějící výpočty představují virtuální objekty. Vkládají se tak, že se vyberou v menu a umístí na pracovní plochu kliknutím. Vlevo v menu *Properties* se nastaví jejich vlastnosti podle potřeby. Další úpravy se provádějí v místním menu, to se vyvolá kliknutím pravým tlačítkem na objekt.

Propojování objektů se provádí spojnicemi z pinů – čtverečků po stranách objektů. Vlevo jsou vstupní piny, vpravo výstupní, nahoře sekvenční vstupní a dole sekvenční výstupní. Spojnice se vygeneruje po kliknutí na výchozí a pak cílový pin.

1. Úlohu spouští objekt *START* (menu *FLOW*), nepřetržitý chod zajišťuje objekt *UNTIL BREAK (FLOW – REPEAT)*, jehož výstupy vedou na sekvenční piny potenciometrů *REAL64 SLIDER (DATA – CONTINUOUS)*, pomocí kterých se nastaví kmitočty (nejmenší krok – *DetentSize* – volíme 1). Harmonické průběhy o těchto kmitočtech následně vytvoří generátory *FUNCTION GENERATOR (DEVICE – VIRTUAL SOURCE)*. Obrazce kreslí objekt zapisovače *X vs Y PLOT (DISPLAY)*. (viz obrázek)

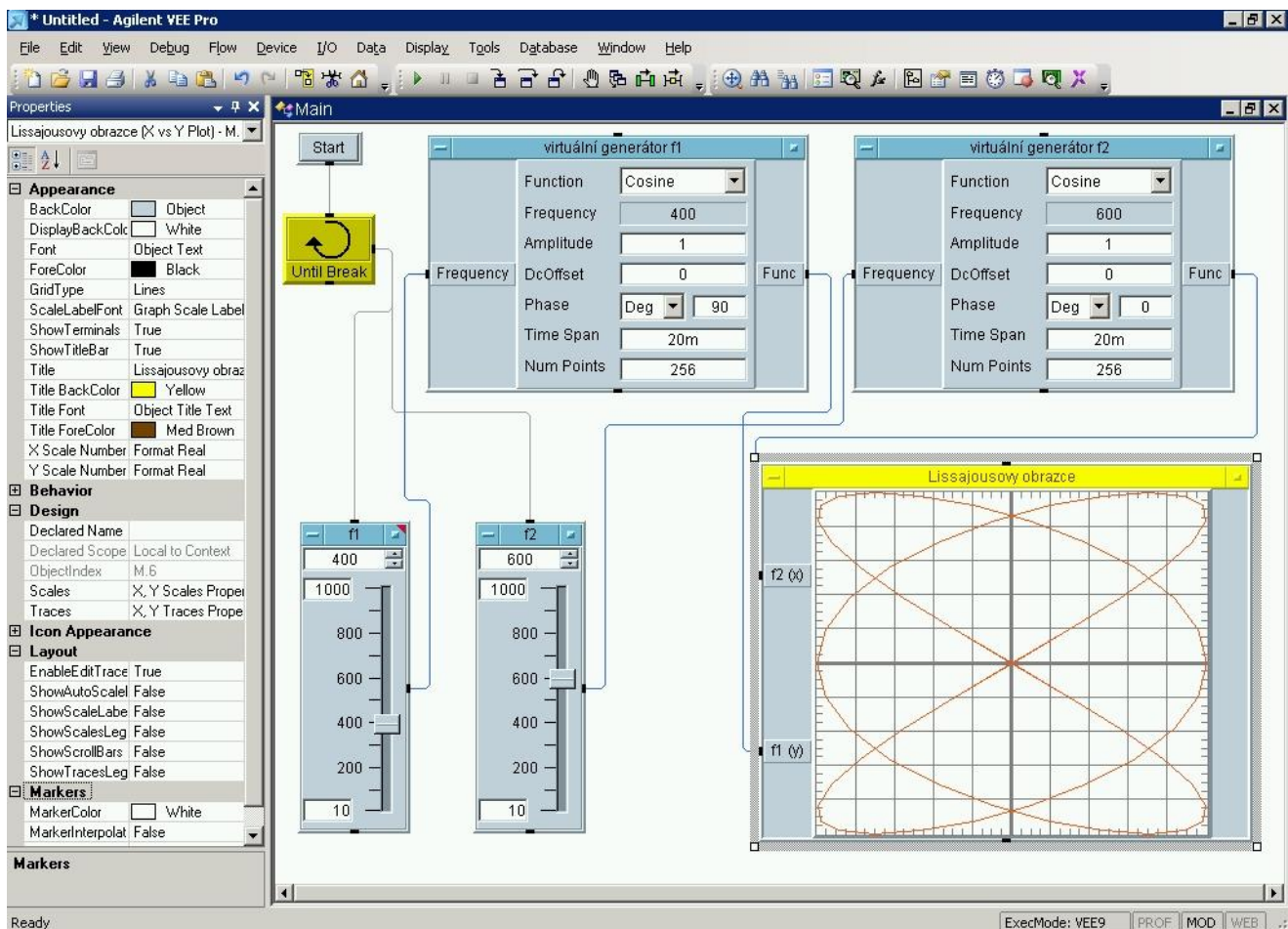
2. Zadáme konstanty *R* a *C* (*DATA – CONSTANT – REAL64*). Lze užít *p, n, u, m, k, M* atd. (např.  $10\text{ k}\Omega$  zadáme jako *10k*). Abychom mohli logaritmičticky „projet“ určité kmitočtové pásmo, použijeme pro generování kmitočtů funkci *FOR LOG RANGE* vybranou v menu *FLOW - REPEAT*. Pásmo volíme asi dvě dekády na obě strany od mezního kmitočtu. Ten vypočítáme pomocí objektu *vzorec (FORMULA v menu DEVICE)* a znázorníme objektem *ALPHANUMERIC* (v menu *DISPLAY*).

Dalším objektem *vzorec* vypočítáme komplexní přenos (imaginární složka se uvádí do závorky za *j*, např. reaktance  $X_C$  se vyjádří  $1/(j(2\pi f * C))$ ). Výrazy pro výpočet komplexního přenosu obou členů z *R, C* a *f* i hodnoty *R, C* použité při měření si připravíme **předem** (viz dřívější úlohy). Na výstupu tohoto vzorce je **komplexní číslo!** Cesta je pak dělí na dvě větve.

**První větev** vede k útlumu - modul přenosu vypočítá ve vzorci funkce *mag( )*, logaritmus funkce *log10( )*. Je možno obě funkce sdružit do jednoho vzorce.

**Druhá větev** vede k výpočtu fázového posuvu - *phase( )*.

Charakteristiky nakreslí zapisovač *X vs Y PLOT*, kterému přidáme další y-vstup (pravým tlačítkem místní menu a *ADD TERMINAL – DATA INPUT*) a stupnici frekvence nastavíme logaritmičticky (v menu *PROPERTIES, SCALES*).



# Měření na rezonančním obvodu.

## Úkol:

1. Zapojte paralelní rezonanční obvod (PRO), najděte rezonanční kmitočet a změřte rezonanční křivku ve vhodně zvolené oblasti. Nakreslete ji v poměrných jednotkách a určete z ní činitel jakosti  $Q$ .
2. Vyvolejte v obvodu tlumené kmity, zobrazte je na osciloskopu a určete z nich činitel jakosti  $Q$ .
3. Nastavte na generátoru funkci rozmitání, zobrazte rezonanční křivku a určete z ní činitel  $Q$ .
4. Porovnejte výsledky všech tří metod.

## Přístroje:

přípravek s rezonančním obvodem, generátor 33120A (33220A), osciloskop HP 5603B (DSO3062A)

## Návod:

1) Rezonanční křivka je závislost impedance rezonančního obvodu na frekvenci. Při napájení ze zdroje proudu je napětí na PRO přímo úměrné impedanci, takže postačí měřit napětí. Zdroj proudu vytvoříme z generátoru zařazením sériové velké impedance, tj. např. kondenzátoru s velmi malou kapacitou. Tím současně impedance oddělíme PRO od generátoru a zabráníme přílišnému zatlumení kmitů rezonančního obvodu do malé výstupní impedance generátoru.

U PRO nabývá impedance při rezonanci maximální hodnoty  $Z_0 = R_p$  (napětí maximální hodnoty  $U_0$ ). Podle maxima napětí vyhledáme rezonanční frekvenci  $f_0$  a v jejím vhodně zvoleném okolí změříme rezonanční křivku. Nakreslíme ji ovšem ne v původních, ale v poměrných jednotkách  $f_r = f/f_0$ ;  $U_r = U/U_0$ . Při rezonanci je  $f_r = 1$ ,  $U_r = 1$ .

Činitel jakosti  $Q$  lze z rezonanční křivky definovat jako  $Q = \frac{f_0}{B_3}$ , kde  $B_3$  je šířka pásma (v Hz) při

poklesu impedance na  $\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2} = 0,707$  hodnoty impedance při rezonanci  $R_p$  (což je vyjádřeno v decibelech o 3 dB). Z rezonanční křivky nakreslené v poměrných jednotkách určíme  $Q$  takto: změříme

na křivce relativní šířku pásma  $\Delta f_r$  při  $Z_r = \frac{\sqrt{2}}{2} = 0,707$  a vypočítáme  $Q = \frac{f_0}{B_3} = \frac{f_0}{\frac{B_3}{f_0}} = \frac{1}{\Delta f_r}$ .

2) Tlumené kmity v PRO vyvoláme pilovitým impulsem z generátoru (nastavíme pilovité kmity o frekvenci mnohem menší než  $f_0$ , aby PRO mohl tlumeně kmitat – např. o tři řády). Z osciloskopu pomocí kurzorů zjistíme dobu  $T_1$ , za kterou klesne počáteční amplituda  $U_0$  tlumených kmitů na polovinu, tedy  $u = U_0/2$ . Dosazením do rovnice obalové křivky tlumených kmitů  $u(t) = U_0 e^{-bt}$  ( $b$  je činitel tlumení) dostaneme  $\frac{U_0}{2} = U_0 e^{-bT_1}$  a vypočítáme  $b$  (po zlogaritmování rovnic - vysvětlete).

Činitel tlumení  $b$  pro tlumené kmity PRO lze vypočítat jako  $b = \frac{R_s}{2L}$  (to plyne z poměrně složité teorie

tlumených kmitů).  $Q$  vypočítáme dosazením převráceného podílu  $\frac{L}{R_s} = \frac{1}{2b}$  do rovnice  $Q = \frac{\omega_0 L}{R_s}$

(definice  $Q$  pro sérioparalelní náhradní schéma PRO a za předpokladu, že kondenzátor je ideální C). Rezonanční frekvenci  $f_0$  (pro určení  $\omega_0$ ) zjistíme pomocí časových kurzorů z křivky tlumených kmitů.

3) Naprogramujeme na generátoru lineární rozmitání v okolí  $f_0$ , a to v menu pomocí tlačítek na panelu přístroje: SWP (sweep) MENU, START  $f$ , STOP  $f$ , SWP TIME např. 10 ms, SWP MODE linear. Vhodně nastavíme časovou základnu osciloskopu a zobrazíme průběh rezonanční křivky.  $Q$  vypočítáme z  $f_0$  a  $B_3$  změřených pomocí kurzorů, obrázek monitoru stáhneme do PC.

## Záhlaví tabulky a vypočtené hodnoty:

1) 

f [Hz]	$f_r = f/f_0$ [-]	U [V]	$U_r = U/U_0$ [-]

 $\Delta f_r = \dots\dots\dots$   $Q = \dots\dots\dots$

2)  $T_1 = \dots\dots\dots$   $b = \dots\dots\dots$   $Q = \dots\dots\dots$

3)  $f_0 = \dots\dots\dots$   $B_3 = \dots\dots\dots$   $Q = \dots\dots\dots$

# Měření elektrických obvodů pomocí prostředí VEE I.

## *Úkol:*

### 1. RC filtry

Změřte útlumovou charakteristiku integračního a derivačního RC článku. Odhadněte z nich mezní kmitočet.

### 2. Rezonanční obvody

Změřte rezonanční křivku paralelního rezonančního obvodu. Určete z křivky pásmo  $B_3$  a činitel jakosti.

## *Návod:*

Fyzické přístroje (funkční generátor, multimetr) ovládáme nikoliv ručně z panelu (jako doposud), nýbrž přímo z programu přes rozhraní GP-IB. Řídíme je pomocí objektu PANEL DRIVER (I/O – INSTRUMENT MANAGER – GET DEVICE). Přístroj musí být zapnut; pokud není přístroj aktivní, je označen NOT LIVE. Přístroj řídíme pomocí nastavených hodnot na PANEL DRIVERu a vstupů do PANEL DRIVERu. Činnost přístroje sledujeme či zaznamenáváme pomocí výstupů z PANEL DRIVERu (ADD TERMINAL INPUT nebo OUTPUT). Tak např. pro vysílání požadované frekvence do generátoru použijeme vstup FREQUENCY a pro čtení údaje multimetru výstup READING.

1. Abychom mohli „projet“ určité kmitočtové pásmo, použijeme funkci FOR LOG RANGE (FLOW - REPEAT), kterou řídíme generátor.. Ten generuje postupně žádané kmitočty a vysílá je do obvodu. Na výstupu obvodu je připojen multimetr, jehož údaje se čtou; je možno je převádět na úroveň (decibely). Obě veličiny (frekvence a útlum) se přivádějí na zapisovač X vs Y PLOT a ten kreslí graf (osa X je logaritmická). Podle průběhu křivky zvolíme vhodné kmitočtové pásmo (asi dvě dekády na obě strany od mezního kmitočtu) a počet hodnot na dekádu (/DEC), aby křivka vypadala spojitě.
2. Program je velmi podobný – kmitočtové pásmo ovšem projíždíme lineárně (FOR RANGE). Nejprve prozkoumáme širší rozmezí kmitočtů a zjistíme tak rezonanční kmitočet. Pak pásmo zúžíme a křivka se vykreslí podrobně. Pásmo  $B_3$  určíme pomocí značek (MARKERS – delta, interpolate), vyvolaných v místní nabídce pod vlastnostmi (PROPERTIES).

# Frekvenční analýza periodických signálů.

## Úkol:

1. Seznamte se s funkcí *FFT* osciloskopu DSO. Zjistěte odstup šumu od sinusového signálu z generátoru.
2. Proměřte kmitočtové spektrum obdélníkového, trojúhelníkového a pilovitého signálu. Změřte harmonické kmitočty, jejich úrovně a porovnejte je s teoretickými hodnotami.
3. Změřte frekvenční spektrum sledu impulsů pro široký a osamocený impuls.
4. Proveďte matematickou analýzu časového průběhu v programu *Scope 6*.

## Přístroje:

funkční generátor, osciloskopy Keysight a Tektronix, PC

## Návod:

Každý periodický průběh veličiny lze rozložit na nekonečné množství harmonických (sinusových) složek, které mají frekvence rovné násobku základní frekvence periodického průběhu. Tento Fourierův rozvoj lze často (pracně) spočítat analyticky. Opakují-li se ve druhé polovině periody některé funkce hodnoty z první poloviny periody s opačným znaménkem, má funkce jen liché harmonické (např. obdélníkový či trojúhelníkový průběh).

Osciloskopy DSO obsahují často modul, pomocí něž lze harmonické složky změřit – provádí tzv. rychlou Fourierovu transformaci *FFT*. Na obrazovce pak není zobrazen časový průběh, ale frekvenční spektrum (vodorovně frekvence, svisle napětí či úroveň). Také existují programy, které spočítají harmonické složky po analýze daného průběhu.

Při použití funkce *MATH FFT* musíte nejprve nastavit zdrojový průběh v časové oblasti tak, aby byl zobrazen větší počet period signálu, na displeji byl vertikálně celý průběh a vertikální posun byl nulový. Vzorkovací kmitočet funkce *FFT* (*Sa/s*) je závislý také na nastavené rychlosti časové základny. Nejvyšší kmitočet (Nyquistův), který lze správně měřit, je roven polovině vzorkovacího kmitočtu.

1. Na osciloskopu *Keysight* vyzkoušejte nejprve spektrum sinusového signálu o amplitudě *1 V* a frekvenci např. *10 kHz*. Po nastavení časového průběhu vyvolejte menu *MATH*, funkci *f(t)* a operátor *FFT*. Nastavte vhodné měřítko frekvenčního spektra (*span*) a frekvenci uprostřed displeje (*center*). V podmenu *More FFT* zvolte vhodné vzorkovací okno. Pro lepší rozlišení kmitočtu je vhodné Hanningovo, pro přesnější určení úrovně ploché (flattop). Pomocí kurzorů změřte frekvenci a úroveň *1. harmonické* a *odstup šumu od signálu* (či parazitních harmonických) v *dB*. Vypočítejte příslušné napětí.
2. Změřte při téže frekvenci úroveň harmonických požadovaných průběhů a zapište je do tabulky.
3. Nastavte na generátoru při frekvenci *10 kHz* široký impuls (např.  $T_s = 20\% T$ ), zobrazte a stáhněte frekvenční spektrum a jeho obálku. Totéž proveďte pro osamocený impuls (neboli velmi úzký impuls vzhledem k periodě *T*).
4. Použijte osciloskop *Tektronix* a funkční generátor. Zobrazte na osciloskopu jen o málo více než jednu periodu signálu. Potom v programu *Scope* obraz stáhněte (přes sériové rozhraní), pomocí kurzorů označte jednu periodu zobrazeného průběhu (pilu vytvoříte např. jako půlperidu trojúhelníka) a proveďte matematickou analýzu *FFT*. Program vypočítá jednotlivé harmonické ve voltech a v procentech z *1. harmonické*. Tyto hodnoty převed'te na *dB* vztažené k *1. harmonické*.

## Naměřené hodnoty

Sinus – odstup signál – šum ..... dB, tj. při  $U_m = 1 V$  je šum ..... mV

obdélník				trojúhelník				pila			
Harmo- nická	teor. úroveň [dB]	změřená úroveň [dB]		Harmo- nická	teor. úroveň [dB]	změřená úroveň [dB]		harmo- nická	teor. úroveň 100% pily [dB]	změřená úroveň [dB]	
		osc.	PC			osc.	PC			osc.	PC
1.	0			1.	0			1.	0		
3.	-9,952			3.	-22,082			2.	-6,021		
5.	-13,979			5.	-30,946			3.	-9,542		
7.	-16,902			7.	-36,776			4.	-12,04		
9.	-19,076			9.	-41,121			5.	-13,98		
11.	-20,819			11.	-49,418			6.	-15,56		



# Měření elektrických obvodů pomocí prostředí VEE II.

## Úkol:

### 1. Voltampérová charakteristika

Naprogramujte na programovatelném zdroji dvěma způsoby měření V-A charakteristiky diody v propustném směru. Grafickou závislost vytiskněte.

### 2. Soustava voltampérových charakteristik

Naprogramujte na programovatelném zdroji měření výstupní charakteristiky unipolárního tranzistoru v obohaceném režimu. Grafickou závislost vytiskněte.

V obou úlohách vyexportujte naměřené hodnoty (I/O, TO FILE) do souboru a zpracujte je graficky v Excelu.

## Návod:

V tomto měření se seznámíme s PLUG&PLAY DRIVERy.

Fyzický přístroj – programovatelný zdroj - ovládáme z programu pomocí objektu PLUG&PLAY DRIVER, který je již (snad) nakonfigurován. Pokud ne, vybereme rozhraní GP-IB, adresa 5. Do driveru se zadávají příkazy. Poklepáním na prázdný příkazový řádek se dostanete na panel pro výběr funkcí, kde vyberete potřebné funkce a do nich zadáte vhodné hodnoty.

**1., způsob A:** Nastavování napětí zdroje po krocích zajistí aplikační funkce **Step power supply voltage**. Zde na kartě *Panel* nastavíme počáteční a koncovou hodnotu napětí (jde o diodu v propustném směru, tak max. 1,5 V) a krok např. 0,05 V. Je vhodné nastavit i **Delay Program**, pauzu či zpoždění, aby se po každém nastavení ustálily parametry obvodu (např. 1 s). Dále je nutno stanovit max. proud (např. 0,8 A) a velikost matice (řady) měřených hodnot (*Array Length*).

Na kartě parametrů zaškrtneme pro matici (řadu) napětí a proudů automatickou volbu velikosti matice (*Auto-Allocate Input*) a zadáme velikost (*size*), aby byla větší nebo nejlépe stejná jako počet měření.

Změřené údaje se nakreslí v zapisovači X vs Y PLOT a také zaznamenají ve vhodné konfigurovaném textovém souboru (TO FILE).

**1., způsob B:** cyklovačem FOR RANGE zvolíme krokování napětí. Příkazem **Set Voltage**, kdy napětí je proměnnou (*variable*) přiváděnou z cyklovače, se nastavuje napětí. Příkazem **Set Current** nastavíme max. proud. Vložíme pauzu a dále pomocí příkazů **Measure Voltage** a **Measure Current** měříme obě veličiny, které se nakreslí v zapisovači a zaznamenají do souboru.

**2.** Jedním PLUG&PLAY DRIVERem (např. výstupu 2, který si vybereme příkazem **SelectOutputPort**) řídíme napětí  $U_{GS}$ . Toto řídící napětí nastavujeme postupně od 0 V do 8 V po 2 V (FOR RANGE, *Set Voltage*, proměnná – *variable* např. A). Dáme pauzu 1 s. Napětí měříme příkazem **Measure Voltage** a sledujeme na ALPHANUMERIC.

Druhým PLUG&PLAY DRIVERem (např. výstupu 1, který si vybereme příkazem **Select Output Port**) řídíme napětí  $U_{DS}$ . Toto napětí nastavujeme postupně od 0 V do 12 V po 1 V (FOR RANGE, **Set Voltage**, proměnná napětí – *variable* např. B) Max. proud (**Set Current**) zadejte 0.1 A. Tento cyklus musí být podřízen cyklu řídících napětí (musíte správně navrhnout sekvenční spojnicí). Dále měříme napětí a proud, které se opět nakreslí zapisovačem a zaznamenají do souboru. Do zapisovače přidejte řídící vstup *Next curve* z FOR RANGE, aby se nekreslily zpětné běhy.

# Měření na stabilizátorech.

## Úkol

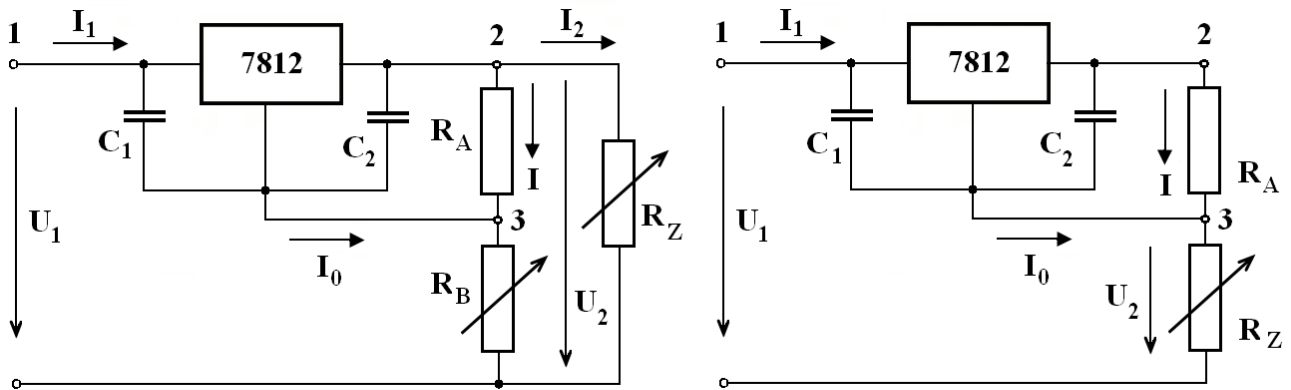
1. Změřte zatěžovací charakteristiku  $U_2 = f(I_2)$  integrovaného stabilizátoru 7812 při jmenovitém napětí do maximálního proudu  $200\text{ mA}$ .
2. Zapojte obvod pro dosažení jiného než jmenovitého napětí (obr. vlevo). Vypočítejte hodnotu odporu  $R_B$  pro výstupní napětí  $15\text{ V}$  a porovnejte se skutečností. Změřte zatěžovací charakteristiku.
3. Zapojte obvod jako zdroj konstantního proudu  $I$  (obr. vpravo). Spočítejte tento proud pro  $R_A = 330\ \Omega$  a porovnejte se skutečností. Změřte zatěžovací charakteristiku.
4. Na spínaném stabilizátoru LM 2574 HVN  $5\text{ V}$  změřte a nakreslete závislosti činitele plnění na napájecím napětí  $t/T = f(U_1)$  a proudu ze zdroje na napětí zdroje  $I_1 = f(U_1)$ , vše při konstantním proudu zátěže  $I_2 = 100\text{ mA}$ . Napětí zdroje nastavujte v rozmezí  $7 - 20\text{ V}$ .

## Přístroje:

přípravky s IO 7812 a LM 2574; posuvné odpory (např.  $R_B = 250\ \Omega$ ,  $R = 600\ \Omega$ )  
digitální voltmetr a ampérmetr, osciloskop

## Návod:

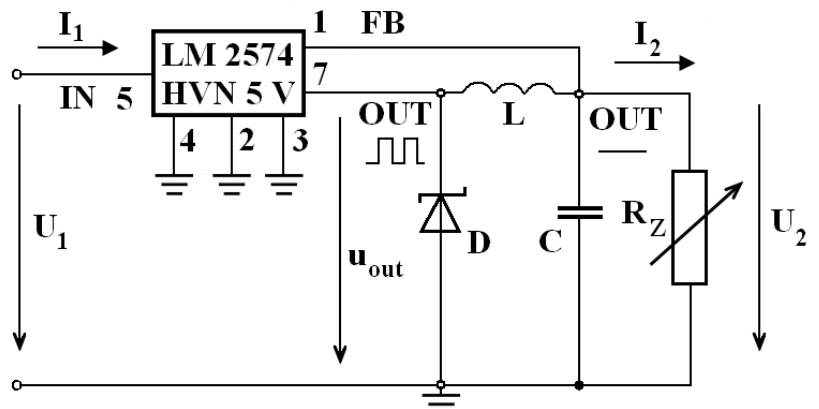
Zpětnovazební stabilizátor řady 7812 je zapojen na přípravku doporučeným způsobem s  $C_1$  a  $C_2$ , vývody jsou totožné s body 1, 2, 3. Na přípravku je též odpor  $R_A = 330\ \Omega$



1. Zapojíme zdroj mezi body 1, 3, zátěž mezi body 2, 3 a proměříme zatěžovací charakteristiku z chodu naprázdno (odpojená zátěž) do maximálního zadaného proudu.
2. Zapojíme obvod podle obr. vlevo (měřicí přístroje nejsou zakresleny). Je-li  $R_A = 330\ \Omega$  a předpokládáme-li, že proud  $I_0$  je zanedbatelný, vypočítáme hodnotu  $R_B$  tak, aby výstupní napětí bylo  $15\text{ V}$ . (Na  $R_A$  je stabilizované napětí z bodu zadání 1, na  $R_B$  je zbytek do  $15\text{ V}$ , oběma odpory teče tentýž proud  $I$ . Na posuvném odporu nastavíme vypočtenou hodnotu  $R_B$  pomocí ohmmetru.)
3. Zapojíme obvod podle obr. vpravo (měřicí přístroje nejsou zakresleny). Zátěži je vnucen proud  $I$  tekoucí odporem  $R_A$ , který je dán výstupním napětím obvodu z bodu zadání 1 a velikostí  $R_A$ . Tento proud poteče do zátěže bez ohledu na její velikost až potud, kdy součet napětí na  $R_A$  a  $R_Z$  se přiblíží k napětí  $U_1$  asi na  $1\text{ V}$  (úbytek uvnitř IO). Pak už IO proud neudrží a ten bude s rostoucím  $R_Z$  klesat.

Spínaný stabilizátor LM 2574 je zapojen na přípravku s výstupním obvodem tvořeným kondenzátorem, tlumivkou a Schottkyho diodou.

4. Na výstup připojíme zatěžovací odpor  $R_Z$  a nastavíme proud  $I_2 = 100\text{ mA}$ . Výstupní vyhlazené napětí je  $U_2 = 5\text{ V}$ . Měříme napětí  $U_1$  a proud  $I_1$  zdroje na vstupu přípravku. Na výstupu IO zobrazíme na osciloskopu pulsující napětí  $u_{out}$  a pomocí kurzorů změříme činitel plnění  $t/T$ . Je zřejmé, že s rostoucím napětím zdroje se pulsy zužují a proud ze zdroje klesá.





# Modelování el. obvodů v prostředí VEE II.

## Úkol:

### 1. Rezonanční obvody

Zobrazte rezonanční křivku paralelního rezonančního obvodu. Vyzkoušejte, jak se mění její tvar se změnami  $R_s$ ,  $L$  či  $C$ .

Stejným způsobem zobrazte rezonanční křivku sériového rezonančního obvodu.

### 2. Amplitudová modulace

Vytvořte amplitudově modulovaný signál. Zobrazte jeho průběh v čase a frekvenční spektrum.

Pozorujte, jak se obě závislosti mění při změnách modulační frekvence a hloubky modulace.

## Návod:

1. Rezonanční křivka je závislost impedance na frekvenci.

Složky impedance  $C$ ,  $L$  a  $R_s$  zadáme pomocí potenciometrů REAL64 SLIDER (menu DATA – CONTINUOUS), přičemž zvolíme stupnice potenciometrů v rozumných mezích (nF – pF, mH –  $\mu$ H,  $\Omega$ ). Dáváme pozor na nastavení kroku v místní nabídce *properties – detens*.

Kmitočty vytváří objekt FOR RANGE. Jejich rozmezí musíme vyzkoušet tak, aby rezonanční kmitočet ležel asi uprostřed. Nepřetržitě generování kmitočtů zajistí sekvence START – UNTIL BREAK – FOR RANGE. Předpokládáme sérioparalelní náhradní schéma - komplexní impedance se vypočítá podle

vzorce ( $Y = j\omega C + \frac{1}{R_s + j\omega L}$ ,  $Z = \frac{1}{Y}$ ) v objektu FORMULA (DEVICE). Modul impedance spočítá

funkce *mag( )*.

Rezonanční křivku nakreslí zapisovač X vs Y PLOT v lineárních souřadnicích. Doplníme ho řídicím vstupem CLEAR, aby se průběžně mazaly dříve nakreslené grafy.

Dále spočítáme pomocí vzorce  $\omega_r = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R_s}{L}\right)^2}$  rezonanční kmitočet a znázorníme ho objektem

ALPHANUMERIC (DISPLAY).

Důležitá poznámka: výstupy objektu smyčkování UNTIL BREAK vedeme ke všem potenciometrům REAL64 SLIDER a zdroji frekvence FOR RANGE, abychom zajistili nepřetržitě dodávání dat pro zapisovač.

Podobně namodelujeme rezonanční křivku sériového rezonančního obvodu, kde  $Z = R_s + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}$

$$\text{a } \omega_r = \sqrt{\frac{1}{LC}}.$$

2. Modulační kmitočet a hloubku modulace vytvoříme potenciometry REAL64 SLIDER. Nepřetržitý běh programu zajistí UNTIL BREAK.

Obě vlny – modulační i nosnou – vytvoříme funkčními generátory (DEVICE – VIRTUAL SOURCE - FUNCTION GENERATOR). Abychom mohli plynule měnit modulační kmitočet, přidáme do jeho generátoru vstup z příslušného potenciometru. Kmitočet nosné zadáme přímo v generátoru.

Modulovanou vlnu vytvoříme podle vzorce  $u(t) = (1 + m \sin \omega t) \sin \Omega t$  objektem FORMULA (vstupy jsou nosná  $\sin \Omega t$  a modulační kmitočet  $\sin \omega t$  z generátorů, hloubka modulace z potenciometru.

Modulovanou vlnu znázorníme v čase pomocí zapisovače XY TRACE (DISPLAY).

Frekvenční spektrum vytvoříme ve vzorci (FORMULA) funkcí *fft(x)* a znázorníme objektem MAGNITUDE SPECTRUM (DISPLAY – SPECTRUM (FREQ)).

# Měření na nízkofrekvenčním zesilovači.

## Úkol:

Proměřte nízkofrekvenční zesilovač.

1. Nastavte neutrální polohu korektorů hloubek a výšek a rozhodněte, zda odpovídá deklarované neutrální poloze jejich potenciometrů.
2. Změřte frekvenční charakteristiky (charakteristiku zisku a fázovou charakteristiku)  $A_{udB}$ ,  $\varphi = f(f)$  jednoho z kanálů, nakreslete je (v semilogaritmických souřadnicích) a zhodnoťte jejich vlastnosti.
3. Určete dolní a horní mezní kmitočty a šířku pásma  $B_3$ .
4. Určete maximální výstupní výkon jednoho kanálu zesilovače.
5. Zhodnoťte vlastnosti korektorů hloubek a výšek ve všech kombinacích mezních poloh (při  $f = 1 \text{ kHz}$ ) a ověřte, jestli nedochází k zakmitávání zesilovače.

## Přístroje:

nízkofrekvenční zesilovač, popř. rozhlasový přijímač  
generátor, osciloskop, PC  
zatěžovací odpor

## Návod:

Všechna měření provádíme při zatížení výstupu zesilovače jmenovitou hodnotou  $R_Z$ , obvykle  $4 \Omega$ . Dbáme na správné zapojení zemnicích svorek, abychom nezkratovali výstup.

1. Neutrální polohu korektorů hloubek a výšek zjistíme tak, že na vstup zesilovače připojíme obdélníkový signál o frekvenci  $1 \text{ kHz}$  a sledujeme na osciloskopu průběh výstupního napětí. Nastavíme potenciometry hloubek a výšek tak, aby se výstup co nejvíce blížil obdélníku. Pak jsou korektory v neutrální poloze.
2. Frekvenční charakteristiky měříme při neutrálním nastavení tónových clon sinusovým signálem v rozmezí  $10 \text{ Hz} - \text{asi } 50 \text{ kHz}$  podobným způsobem, jako u obecných dvojbranů. Zisk  $A_{udB} = 20 \log \frac{U_2}{U_1}$  by měl být v oblasti akustických frekvencí konstantní, aby nedocházelo ke zkreslení. Fázový posuv by měl být v téže oblasti také konstantní, a to  $-180^\circ$ .
3. Při horním a dolním mezním kmitočtu je zisk o  $3 \text{ dB}$  menší, než je maximální zisk. Šířka pásma je rozmezí od dolního do horního mezního kmitočtu.
4. Maximální výkon určíme při  $f = 1 \text{ kHz}$ . Zvyšujeme napětí vstupního signálu a pozorujeme průběh napětí na výstupu. Těsně před počátkem zkreslení sinusovky („oříznutí“) změříme  $U_2$  a vypočítáme 
$$P_{\max} = \frac{U_2^2}{R_z}.$$
5. Vlastnosti korektorů hloubek a výšek určujeme při obdélníkovém vstupním signálu a  $f = 1 \text{ kHz}$ . V mezních polohách (např. výšky max. – hloubky min. atd.) sledujeme (a stáhneme) průběh výstupního napětí. Hloubkový korektor vykazuje tvar přechodové charakteristiky integračního, výškový derivačního členu. Na průbězích nesmí být superponována kmitavá složka.

## Záhlaví tabulky:

f [kHz]	$U_1$ [V]	$U_2$ [V]	$A_{udB}$ [dB]	$\varphi$ [°]

$f_d = \dots\dots\dots$        $f_h = \dots\dots\dots$        $B_3 = \dots\dots\dots$

$P_{\max} = \dots\dots\dots$

# Měření na tranzistorovém zesilovači.

## Úkol:

1. Nakreslete schéma jednostupňového zesilovače s tranzistorem NPN v zapojení se společným emitorem a sériovou proudovou zpětnou vazbou  $R_E$ . Zvolte napájecí napětí  $10\text{ V}$ , rezistory jsou  $R_C = 1\text{ k}\Omega$ ,  $R_E = 100\ \Omega$ . Pracovní bod  $P$  nastavte do středu zatěžovací přímky. Změřte potřebný proud  $I_B$  pro nastavení  $P$ . Vypočítejte velikost potřebného odporu  $R_B$  pro nastavení  $P$ .
2. Do vstupu zesilovače opatřeného oddělovacím kondenzátorem přiveďte sinusový signál  $1\text{ kHz}$  a zvyšujte amplitudu až na hranici nelineárního zkreslení (oříznutí sinusovky) na výstupu. Pak amplitudu snižte na polovinu a změřte a nakreslete charakteristiku zisku. Porovnejte zisk s teoretickou hodnotou.
3. Přemostěte odpor  $R_E$  kondenzátorem  $C_E$ , nastavte vstupní napětí tak, aby na výstupu nebylo viditelné zkreslení (deformovaná sinusovka) a opakujte měření podle bodu 2.
4. Z charakteristik podle bodu 2 a 3 zjistěte horní a dolní mezní kmitočty zesilovače.

## Návod:

1. V pracovním bodě je napětí  $U_{CE} = 5\text{ V}$  (polovina  $U_{CC}$ ). Nastavíme  $P_0$ , změříme proud báze  $I_B$  a kolektoru  $I_C$ . Porovnáme ho s teoretickou hodnotou  $I_C = \frac{U_{CC} - U_{CE}}{R_C + R_E}$ . Vypočítáme potřebný

$$R_B = \frac{U_{CC} - U_{BE} - U_{RE}}{I_B}. \text{ Přepokládáme } U_{BE} = 0,6\text{ V}.$$

2. Charakteristika zisku je závislost zisku na frekvenci  $A_{UdB} = 20 \log A_U = 20 \log \frac{U_2}{U_1} = f(f)$ . Obě napětí měříme pomocí osciloskopu (efektivní hodnota). Zesílení při dostatečně velkém zpětnovazebním odporu  $R_E$  je teoreticky  $A_U = -\frac{R_C}{R_E}$ .
3. Přemostěním  $R_E$  se zruší zpětná vazba  $R_E$  pro střídavý signál, zesílení a zisk jsou proto významně větší (teoreticky by bylo  $A_U = -\frac{\Delta U_{CE}}{\Delta U_{BE}} = -\frac{\Delta I_C R_C}{\Delta U_{BE}} = -\frac{h_{21E} R_C}{h_{11E}}$ ). Jsou také ovlivněny hodnotami  $R_E$  a  $C_E$  a značně frekvenčně závislé. Pozorujeme také změnu fáze při vyšších frekvencích oproti  $-180^\circ$  při  $f = 1\text{ kHz}$ .
4. Horní a dolní mezní kmitočty  $f_H$  a  $f_D$  se zjistí při poklesu zesílení o  $3\text{ dB}$ , tj. na  $0,707$  hodnoty  $U_2$  při  $f = 1\text{ kHz}$ . Při silné záporné zpětné vazbě se v měřeném pásmu nemusí vůbec objevit.

## Naměřené a vypočtené hodnoty:

parametry pracovního bodu P:  $U_{CE} = \dots\dots\dots$   $I_B = \dots\dots\dots$   $R_B = \dots\dots\dots$

kolektorový proud: teoretický  $I_C = \dots\dots\dots$  změřený  $I_C = \dots\dots\dots$

zisk se ZZV při  $f = 1\text{ kHz}$ : teoretický  $A_{UdB} = \dots\dots\dots$  změřený:  $A_{UmdB} = \dots\dots\dots$

zisk s přemostěným  $R_E$  při  $f = 1\text{ kHz}$ : změřený:  $A_{UmdB} = \dots\dots\dots$

## Záhlaví tabulek:

zisk se ZZV

f [Hz]	U <sub>1</sub> [V]	U <sub>2</sub> [V]	A <sub>UmdB</sub> [dB]
10			

zisk s přemostěným  $R_E$

f [Hz]	U <sub>1</sub> [V]	U <sub>2</sub> [V]	A <sub>UmdB</sub> [dB]
10			

mezní kmitočty se ZZV:

$f_D = \dots\dots\dots$   $f_H = \dots\dots\dots$

mezní kmitočty s přemostěním  $R_E$ :

$f_D = \dots\dots\dots$   $f_H = \dots\dots\dots$

# Přechodové jevy.

## Úkol

1. Navrhnete schéma zapojení, pomocí kterého bude možno zobrazit přechodový jev  $u_C(t) = f(t)$  při nabíjení a vybíjení kondenzátoru přes odpor.
2. Vhodným přístrojem změřte hodnoty  $R$  a  $C$ , vypočítejte časovou konstantu  $\tau$  obvodu.
3. Zapojte úlohu, změřte  $u_{nm}(t)$  a  $u_{vm}(t)$  při různých hodnotách  $t$  (do  $t = 3 \tau$ ) pomocí kurzorů. Volte čas počátku přechodového děje  $t = 0$ , počáteční napětí při nabíjení  $u_n(0) = 0$  a při vybíjení  $u_v(0) = U$ .
4. Napište rovnice přechodových jevů a spočítejte při stejných hodnotách  $t$  teoretické hodnoty  $u_{nt}(t)$  a  $u_{vt}(t)$  na kondenzátoru při jeho nabíjení a vybíjení (při stejném  $U$  zdroje)
5. V programu Excel pomocí doplňku pro stahování dat z osciloskopu stáhněte data do tabulky, vyberte z jejich velkého množství vhodný počet a přepočítejte je tak, aby počáteční čas přechodného děje byl  $t = 0$ , napětí při nabíjení  $u_{ne}(0) = 0$  a při vybíjení  $u_{ve}(0) = U$ . Stáhněte také obraz monitoru osciloskopu (formát obrázku).
6. Znázorněte graficky trojice obou křivek (body 3 - 5). Z grafu určete graficky časovou konstantu  $\tau$ .
7. Porovnejte výsledky všech tří způsobů (body 3 - 5).

**Poznámka:** vysvětlení indexů:  $n$  – nabíjení;  $v$  – vybíjení;  $t$  – teoretická hodnota;  $m$  – hodnota měřená kurzorem;  $e$  – hodnota z tabulky v Excelu.

## Přístroje:

osciloskop DSOX 2002A  
přípravek s  $R$  a  $C$   
PC

## Návod:

„Zapnutí“ a „vypnutí“ napájecího napětí se realizuje generátorem obdélníkového průběhu o periodě značně delší, než je časová konstanta obvodu. Je třeba nastavit vhodně offset, aby počáteční napětí při nabíjení bylo nulové a při vybíjení mělo velikost  $U$ .

Napětí na kondenzátoru při nabíjení (zapnutí zdroje neboli kladná hodnota napětí obdélníka) roste exponenciálně podle vztahu  $u_C(t) = U(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ , kde  $\tau = RC$

Napětí na kondenzátoru při vybíjení (vypnutí zdroje čili záporné napětí obdélníka) klesá podle vztahu  $u_C(t) = Ue^{-\frac{t}{\tau}}$ .

Časová konstanta se graficky určí pomocí tečny k charakteristice v čase  $t = 0$ .

## Tabulka:

t[ms]	$u_{nt}$ [V]	$u_{vt}$ [V]	$u_{nm}$ [V]	$u_{vm}$ [V]	$u_{ne}$ [V]	$u_{ve}$ [V]

časová konstanta:

$\tau = \dots\dots\dots$

$\tau_m = \dots\dots\dots$