

### 3. Zesilovač SB v dynamickém režimu

Zapojení se společnou bází má nejstabilnější výkonové zesílení, které nezávisí na změnách parametrů tranzistoru a jejich rozptylu. Proudové zesílení je menší než jedna, protože vstupní proud emitoru  $I_E$  je větší než výstupní proud kolektorů  $I_C$  o proud báze  $I_B$ . V obvodu platí rovnice podle 1. Kirchhoffova zákona:

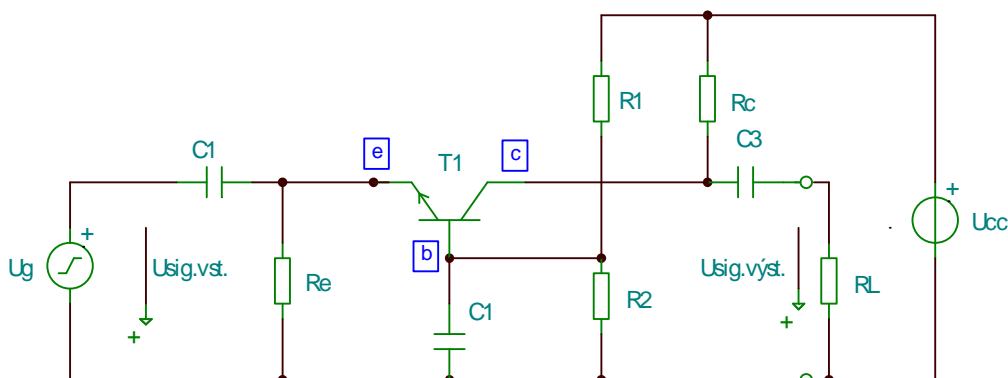
$$I_E - I_C - I_B = 0$$

Napětový přenos  $A_U$  dosahuje při velkých hodnotách zatěžovacích odporů značných hodnot, řádově až několik set, a výstupní napětí je vždy ve fázi s napětím vstupním. Výkonový přenos  $A_P$  dosahuje vzhledem malému proudovému zesílení podstatně menších hodnot, než u zapojení SE.

Vstupní odpor je malý, řádově desítky až stovky ohmů, výstupní odpor je velký, řádově jednotky kiloohmů až jednotky megaohmů a klesá při zmenšování vnitřního odporu zdroje signálu.

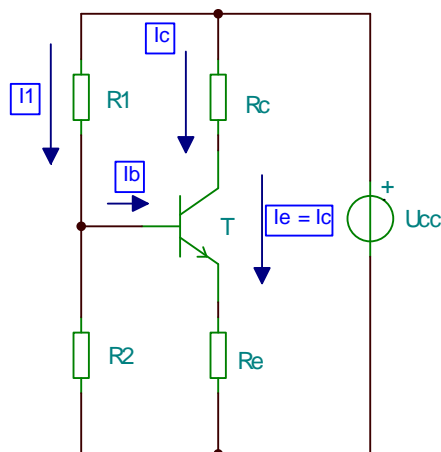
Vzhledem ke svým vlastnostem se zesilovač v zapojení SB používá jako vf. zesilovač pro pásmo VKV. V těchto aplikacích je velmi dobré vf. oddělení výstupního obvodu zesilovače od vstupního obvodu kapacitním uzemněním báze, kondenzátorem  $C_1$ . Zesilovač je stabilní a nevyžaduje obvod unilateralizace, neboli potlačení vlivu vnitřní mezielektrodové kapacity  $C_{CB}$ .

Na obr.1 je nakresleno základní schéma zapojení zesilovače SB v obecném stavu. Vstupní signál se přivádí do obvodu emitoru, kde se přičítá ke stejnosměrnému napětí  $U_{BE}$ . Pod vlivem zvýšení (snížení) okamžité hodnoty  $u_{be}$ , dochází ke změně proudu emitoru a tím i ke změně proudu kolektorů  $I_C$  a proudu báze  $I_B$ . V důsledku změny kolektorového proudu dochází ke změně úbytku napětí na kolektorovém odporu  $R_C$  a tím podle 2. Kirchhoffova zákona i ke změně napětí  $U_{CB}$ . Tato střídavá změna  $u_{cb}$  se přenáší přes vazební kondenzátor  $C_3$  na zátěž  $R_L$ , kde vytváří výstupní signálové napětí  $U_{sig.výst.}$ .



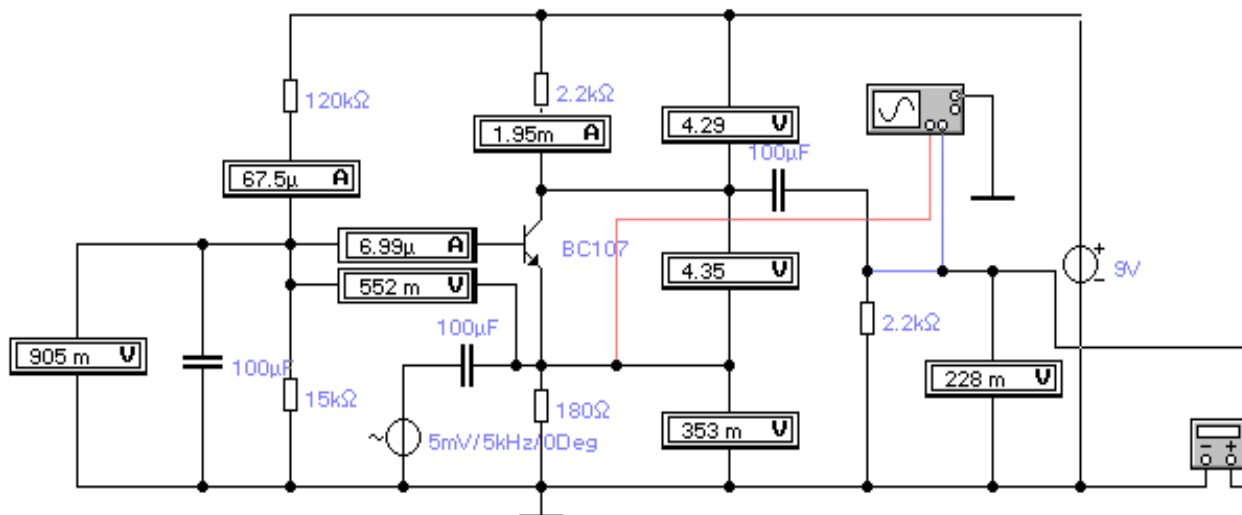
obr.1 Základní schéma zapojení zesilovače se společnou bází SB

Při řešení zesilovače se budeme nejdříve zabývat nastavením pracovního bodu. Na obr.2 je schéma zapojení pro stejnosměrný režim zesilovače.



obr.2 Schéma zapojení zesilovače SB pro řešení stejnosměrného pracovního bodu

U zapojení se společnou bází jsou obvody pro nastavení pracovního bodu stejné, jako u zapojení se společným emitorem. Početní řešení parametrů pracovního bodu vychází stejně jako u zapojení SE z výpočtu proudu, který prochází děličem v obvodu báze. V řešeném příkladu, který budeme simulovat v programu Electronics Workbench, budeme při výpočtu brát v úvahu i proud tekoucí do obvodu báze  $I_b$ , a ukážeme si jaký vznikne rozdíl parametrů při respektování proudu báze i při splnění podmínky, že proud děličem  $I_1$  má být alespoň 5x větší než proud báze  $I_b$ .



obr.3 schéma zapojení zesilovače SB s naměřenými hodnotami obvodových veličin

Proud procházející děličem v obvodu báze  $I_1$

$$I_1 = \frac{U_{cc}}{R_1 + R_2} = \frac{9}{120 + 15} = \frac{9V}{135k\Omega} = 66,7 \mu A$$

Ampérmetr v obvodu děliče báze ukazuje hodnotu  $67,5 \mu A$ . Chyba cca  $1 \mu A$ , je způsobena nepřesností odporů v obvodu simulovaného zesilovače.

Úbytek napětí na odporu děliče  $R_2$

$$U_{R_2} = I_1 \cdot R_2 = 66,7\mu A \cdot 15 k\Omega = 1 V$$

Skutečnou hodnotu proudu, který prochází rezistorem  $R_2$  děliče určíme

$$I_{R_2} = I_1 - I_B = 67,5\mu A - 6,99\mu A = 60,51\mu A$$

Nyní vypočítáme **skutečný úbytek** napětí na rezistoru  $R_2$

$$U_{R_2} = I_{R_2} \cdot R_2 = 60,5\mu A \cdot 15 k\Omega = 907 mV$$

Z hodnoty  $U_{R_2}$  a změřené hodnoty  $U_{be}$  vypočítáme úbytek napětí na emitorovém odporu

$$U_{Re} = U_{R_2} - U_{be} = 0,907 V - 0,552 V = 0,355 V \quad \mathbf{U_{Re} = 0,355V}$$

Proud procházející odporem emitoru

$$I_e = \frac{U_{Re}}{R_e} = \frac{0,355}{180} = 1,97 mA \quad \mathbf{I_e = 1,97 mA}$$

V dalším řešení předpokládáme, že  $I_c = I_e$  potom platí, že  $I_c = 1,97 mA$   $\mathbf{I_c = 1,97 mA}$

z výrazu pro stanovení proudového zesilovacího činitele  $h_{21e} = \frac{I_c}{I_b}$  určíme proudový

$$\text{zesilovací činitel} \quad h_{21} = \frac{I_c}{I_b} = \frac{1,97 mA}{7\mu A} = 281 \quad \mathbf{h_{21}=281}$$

**hodnota  $h_{21}$  tranzistoru BC 107 uvedená v katalogu je 300**

Pro úbytek napětí na kolektorovém odporu  $R_c$

$$U_{Rc} = I_c \cdot R_c = 1,97 mA \cdot 2,2 k\Omega = 4,335 V \quad \mathbf{U_{Rc} = 4,335V}$$

Ke stanovení základních parametrů klidového pracovního bodu, určíme napětí  $U_{ce}$  z rovnice kolektorového obvodu.

$$U_{cc} - I_c R_c - U_{ce} - I_e R_e = 0 \quad \text{pro podmínku } I_c = I_e$$

$$U_{cc} - U_{ce} - I_e (R_c + R_e) = 0$$

$$U_{ce} = 9V - 1,97 mA (2,2 k\Omega + 0,18 k\Omega) = 9 - 4,69 = 4,31 V \quad \mathbf{U_{ce} = 4,31V}$$

$$\text{kontrola } U_{cc} - (U_{Rc} + U_{ce} + U_{Re}) = 0 \quad 9 - (4,335 + 4,31 + 0,355) = 0$$

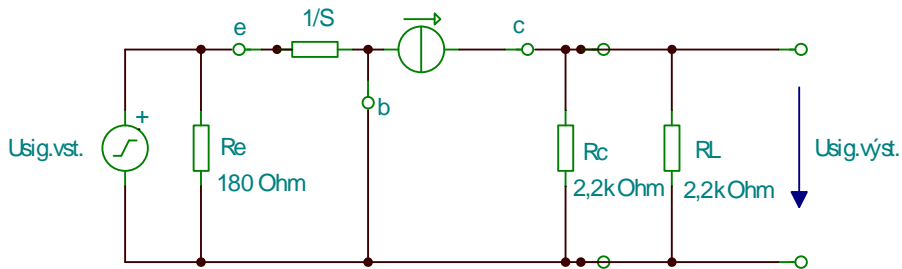
Pracovní bod zesilovače má tyto parametry:

$$P_o [U_{be} = 0,552 V; I_b = 7\mu A; U_{ce} = 4,31 V; I_c = 1,97 mA]$$

**Porovnáme-li vypočítané hodnoty s hodnotami naměřenými vidíme nepatrné rozdíly, které namají vliv na funkci obvodu.**

**b) Řešení tranzistorového zesilovače v obvodu střídavého proudu**

$$S=40\text{mA/V}, h_{21} = 228$$



obr.4 Náhradní obvod zesilovače SB v dynamickém režimu

Ve většině případů, pracuje zesilovač s výstupní zátěží. Touto zátěží může být např.další zesilovací stupeň, druhý stupeň zesilovače. Druhý zesilovací stupeň nahradíme v náhradním obvodu rezistorem  $R_L$ . Celkové náhradní schéma zesilovače v dynamickém režimu je na obr.4 Zadané hodnoty pro řešení dynamického stavu: strmost  $S = 40\text{mA/V}$ ;  $h_{21} = 300$  Úkolem je vypočítat  $R_{\text{sig.vst.}}$ ,  $R_{\text{sig.výst.}}$ ,  $A_U$ ,  $A_I$ ,  $A_P$ .

**b1) Vstupní odpor zesilovače v dynamickém režimu  $R_{\text{sig.vst.}}$  :**

nejdříve stanovíme poměr  $1/S$ - při stanovení poměru budeme vycházet ze zadané hodnoty strmosti

$$\text{vstupní odpor tranzistoru } h_{11} \quad \frac{1}{S} = \frac{1}{40\text{mA/V}} = 25\Omega$$

$$R_{\text{sig.vst.}} = R_e // \frac{1}{S} = 180\Omega // 25\Omega = 22\Omega$$

(// znamená paralelní řazení)

**b2) Výstupní odpor zesilovače  $R_{\text{sig.výst.}}$  je možno nahradit kolektorovým odporem  $R_c$ .**

$$R_{\text{sig.výst.}} = R_c$$

$$R_{\text{sig.výst.}} = 2,2\text{k}\Omega$$

**b 3) Napět'ové zesílení obvodu je vyjádřeno vztahem**

$$A_U = \frac{U_{\text{sig.výst.}}}{U_{\text{sig.vst.}}} = - \frac{I_{\text{sig.c.}}(R_c // R_L)}{I_{\text{sig.c.}} \cdot \frac{1}{S}} = (R_c // R_L) \cdot S$$

$$A_U = 0,04 \text{ A/V} \cdot 1100\Omega = 44$$

$$R_c // R_L = \frac{R_c \cdot R_L}{R_c + R_L} = 1,1\text{k}\Omega$$

**b 3.1) Napět'ový přenos**  $A_U(dB) = 20 \log A_U$

$$A_U(dB) = 20 \log 44 = 32,86 \text{ dB}$$

Ze zadané hodnoty vstupního napětí  $U_{\text{sig.vst}}$  a vypočítané hodnoty napět'ového zesílení určíme velikost výstupního signálového napětí  $U_{\text{sig.výst}}$ .

$$U_{\text{sig.výst}} = U_{\text{sig.vst}} \cdot A_U = 5 \text{ mV} \cdot 44 = 220 \text{ mV}$$

**b 4) Proudové zesílení obvodu je dáno vztahem**

Pro stanovení proudového zesílení vypočítáme velikost vstupního signálového proudu  $I_{\text{sig.vst}}$

$$I_{\text{sig.vst}} = \frac{U_{\text{sig.vst}}}{R_{\text{sig.vst}}} = \frac{5 \text{ mV}}{22 \Omega} = 227 \mu\text{A}$$

Nyní stanovíme velikost výstupního signálového proudu, který protéká zatěžovacím odporem zesilovače  $R_L$ .

$$I_{\text{sig.výst}} = \frac{U_{\text{sig.výst}}}{R_L} = \frac{220 \text{ mV}}{2,2 \text{ k}\Omega} = 100 \mu\text{A}$$

Proudové zesílení zesilovače  $A_i$

$$A_i = \frac{I_{\text{sig.výst}}}{I_{\text{sig.vst}}} = \frac{100 \mu\text{A}}{227 \mu\text{A}} = 0,44$$

**b 4.1) Proudový přenos**  $A_i(dB) = 20 \log A_i$

$$A_i(dB) = 20 \log 0,44 = -7,12 \text{ dB}$$

**b 5) Výkonové zesílení obvodu**

Výkonové zesílení určíme jako součin napět'ového a proudového zesílení

$$A_P = A_U \cdot A_i = 44 \cdot 0,44 = 19,36$$

**b 5.1) Výkonový přenos**

$$A_P = 10 \log A_P = 10 \log 19,36 = 12,87 \text{ dB}$$

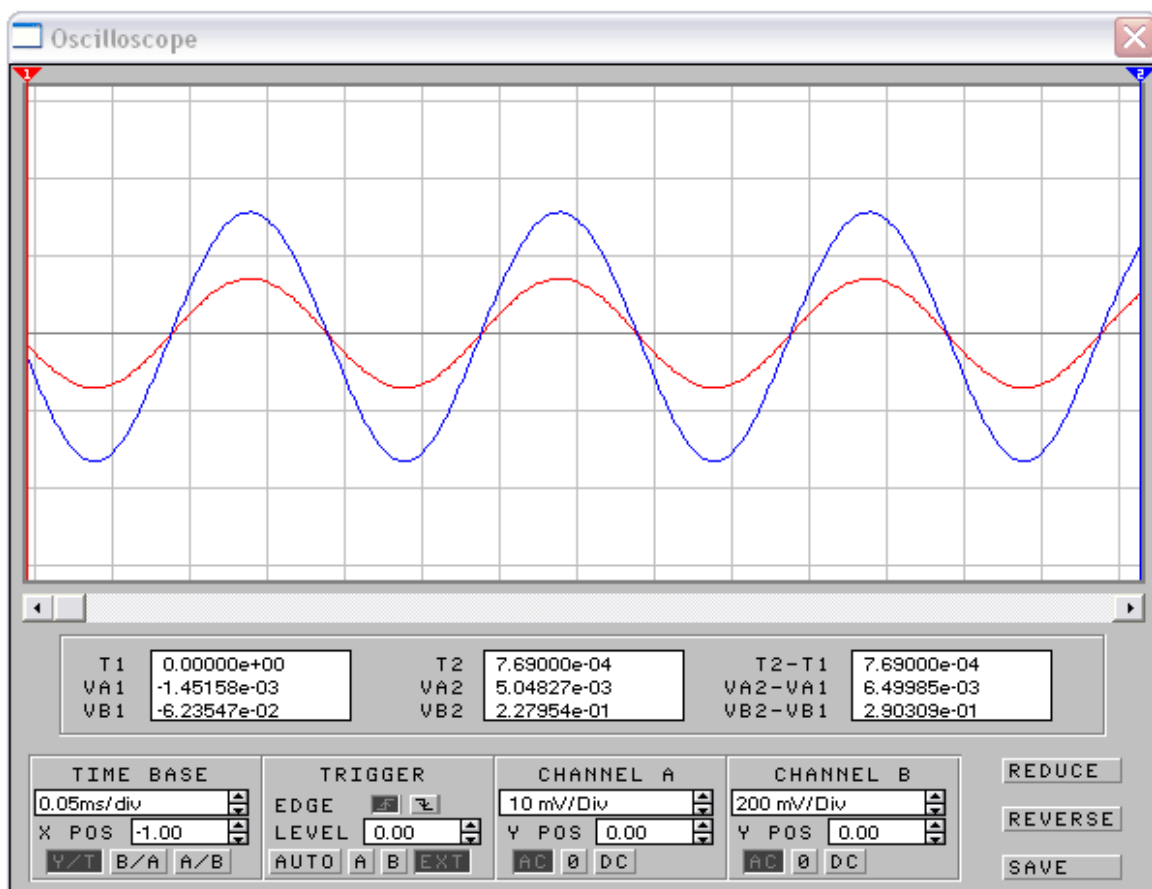
Na závěr provedeme porovnání vypočítaných a naměřených hodnot zadaného zesilovače v zapojení SB.

$U_{\text{sig.výst.}} = 228 \text{ mV}$  měřeno na výstupu zesilovače

$U_{\text{sig.vst.}} = 5 \text{ mV}$  napětí na výstupu budícího zdroje

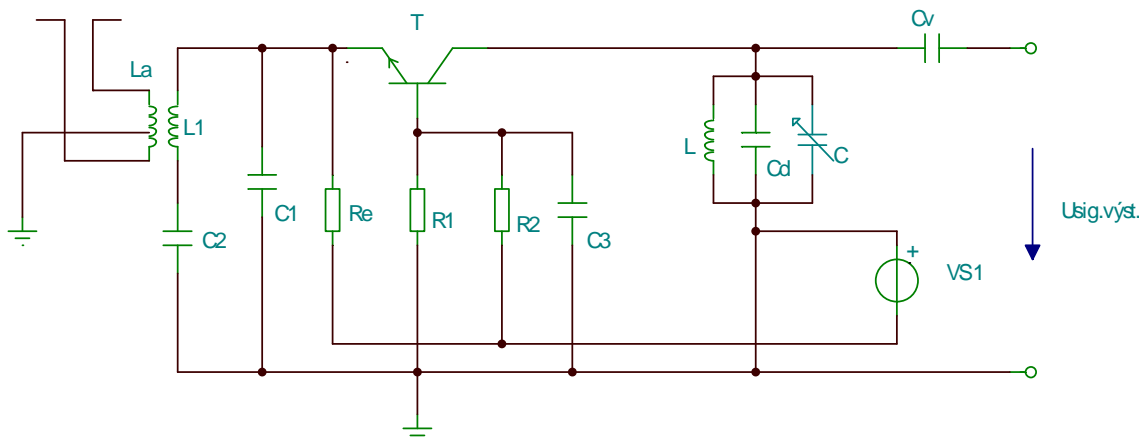
Napětíové zesílení obvodu  $A_U = \frac{U_{\text{sig.výst.}}}{U_{\text{sig.vst.}}} = \frac{228 \text{ mV}}{5 \text{ mV}} = 45,6$ ; vypočítaná hodnota  $A_{U\text{vyp.}} = 44$

Můžeme konstatovat, že naměřené a vypočtené hodnoty spolu korespondují, rozdíly jsou minimální. Závěrem si ukážeme oscilogram obr.5, se zobrazením výstupního (modrý průběh) a vstupního (červený průběh) signálu. Z průběhu obou zobrazení vidíme, že výstupní signál je skutečně ve fázi se vstupním signálem.



obr.5 Zobrazení údajů dvoukanálového osciloskopu

## Praktické aplikace zapojení zesilovačů s společnou bází



obr.6 Zapojení vf.zesilovače pro rozsah VKV

V rádiových přijímačích se na rozsahu vkv pásma nejčastěji používají vf.zesilovače s bipolárním tranzistorem v zapojení se společnou bází. Toto zapojení je výhodné a používá se proto, že použitý tranzistor je proti zapojení SE použitelný do vyšších kmitočtů, neboť platí:

$$f_{T SB} = f_{T SE} \cdot h_{21e}$$

nebo-li mezní kmitočet tranzistoru v zapojení se společnou bází je  $h_{21}$  krát vyšší než u zapojení SE-společný emitor

Další, podstatnou výhodou je, že zesilovací stupeň se společnou bází je dokonale stabilní a není třeba jej neutralizovat. Na obr.6 je typické zapojení vf.zesilovače se společnou bází.

Vstupní obvod je se symetrickou anténou tvořenou složeným dipólem, vázán induktivní vazbou přes vzájemnou indukčnost mezi cívkami  $L_a$  a  $L_1$ . Zesilovací stupeň s vf.tranzistorem je vázán se vstupním obvodem kapacitním děličem  $C_1$ ,  $C_2$ . Provozní činitel jakosti  $Q$  vstupního obvodu volíme tak malý, že vstupní obvod lze naladit na střední kmitočet přenášeného pásma. Vf.zesilovač se přeladuje pouze v obvodu kolektoru, ladícím kondenzátorem  $C$ , v současné době vhodně zapojeným varikapem, který plní funkci ladícího prvku. Výstupní signál s již přesně definovaným kmitočtem se odvádí vazební kapacitou  $C_v$ , na další obvod, nejčastěji aditivní směřovač.

Stejnoseměrný pracovní bod zesilovače je nastaven děličem v obvodu báze- rezistory  $R_1$  a  $R_2$ , teplotní stabilizace pracovního bodu emitorovými rezistorem  $R_e$ . Stejnoseměrné napětí pro kolektor tranzistoru je přivedeno přes vinutí cívky rezonančního obvodu. Kondenzátor  $C_3$ , vysokofrekvenčně uzemňuje bázi, doladovací kondenzátor  $C_d$  se používá při sladění vstupního obvodu přijímače k nastavení maximálního zisku zesilovače na vyšším sladovacím kmitočtu.