

Bipolární tranzistor jako zesilovač

Úkol: Proměřte amplitudové kmitočtové charakteristiky bipolárního tranzistoru

1. v zapojení se společným emitorem (SE)
2. v zapojení se společným kolektorem (SC)

1.1 Pokyny pro měření

Úkoly společné pro obě zapojení:

- 1) Nastavte pracovní bod stejnosměrně:

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

$$I_C = \text{cca } 2,5 - 5 \text{ mA}$$

Připojte voltmetr mezi kolektor a emitor a změnou rezistoru R_1 nastavte U_{CE} na polovinu napájecího napětí (v daném případě na 5V). Hodnota rezistoru $R_1=500k$ (50k), je orientační a volbou vhodného dostupného rezistoru R_1 se co nejvíce přiblížte požadované hodnotě U_{CE} .

- 2) Změřte a do grafu vyneste kmitočtově amplitudovou (modulární) charakteristiku:

$$A_U [\text{dB}] = f(f)$$

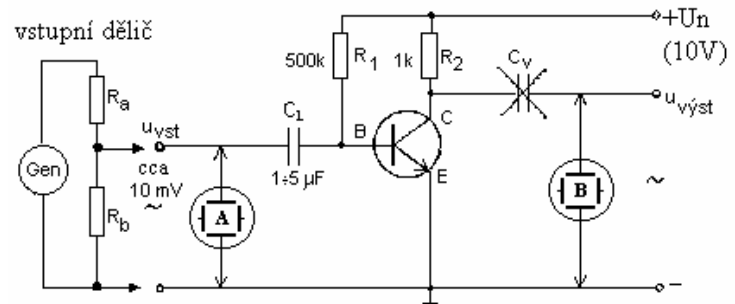
$$A_U = 20 \log \frac{u_2}{u_1} \quad [\text{dB}]$$

Rozsah frekvencí:

$$50\text{Hz} - 2\text{MHz}$$

Kmitočtové charakteristiky vyneste do semilogaritmických souřadnic.

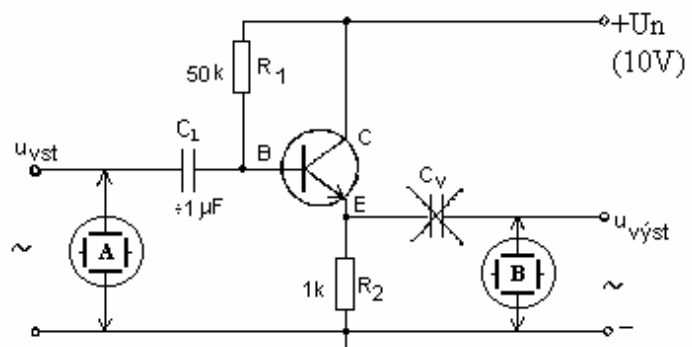
- 3) Odečtěte zesílení při $f = 1\text{kHz}$.



Obrázek 32: Zapojení se společným emitorem

Pozn.:

Nelze-li pro zapojení SE na generátoru nastavit $u_{vst} < 10 \text{ mV}$, použijte na vstupu odporový dělič (R_a, R_b) cca 1:10, jinak bude výstupní signál zkreslený např. ($R_a = 100k, R_b = 10k$).



Obrázek 33: Zapojení se společným kolektorem

Pozn.:

Jsou-li vstupy A a B osciloskopu přepnuty na AC, není v obou zapojeních nutný kondenzátor C_v , který odděluje stejnosměrnou složku signálu.

1.2 Měření a jeho vyhodnocení

Zapojení SE $U_1 =$

f [kHz]									
U_2 [V]									
A_U [dB]									

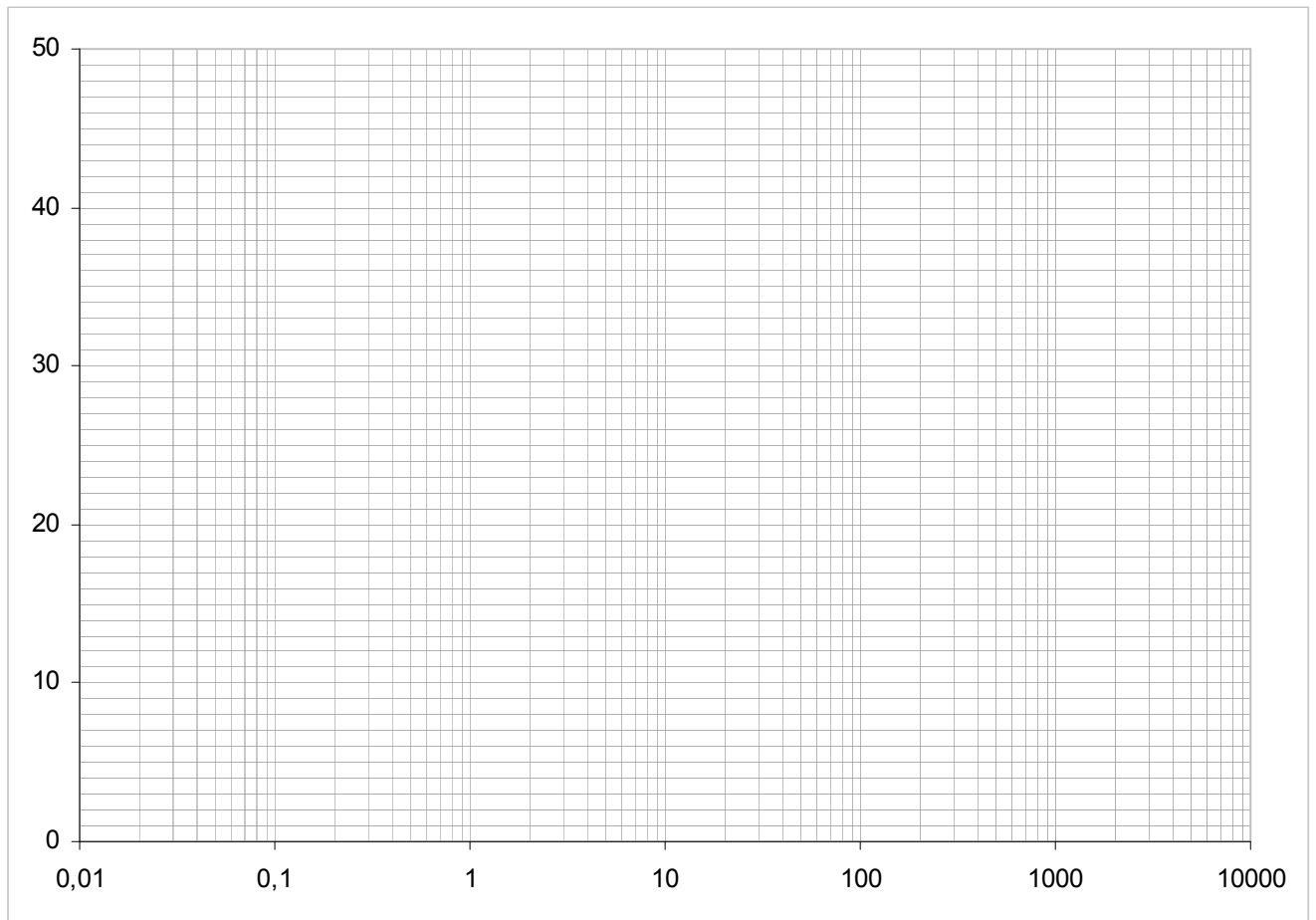
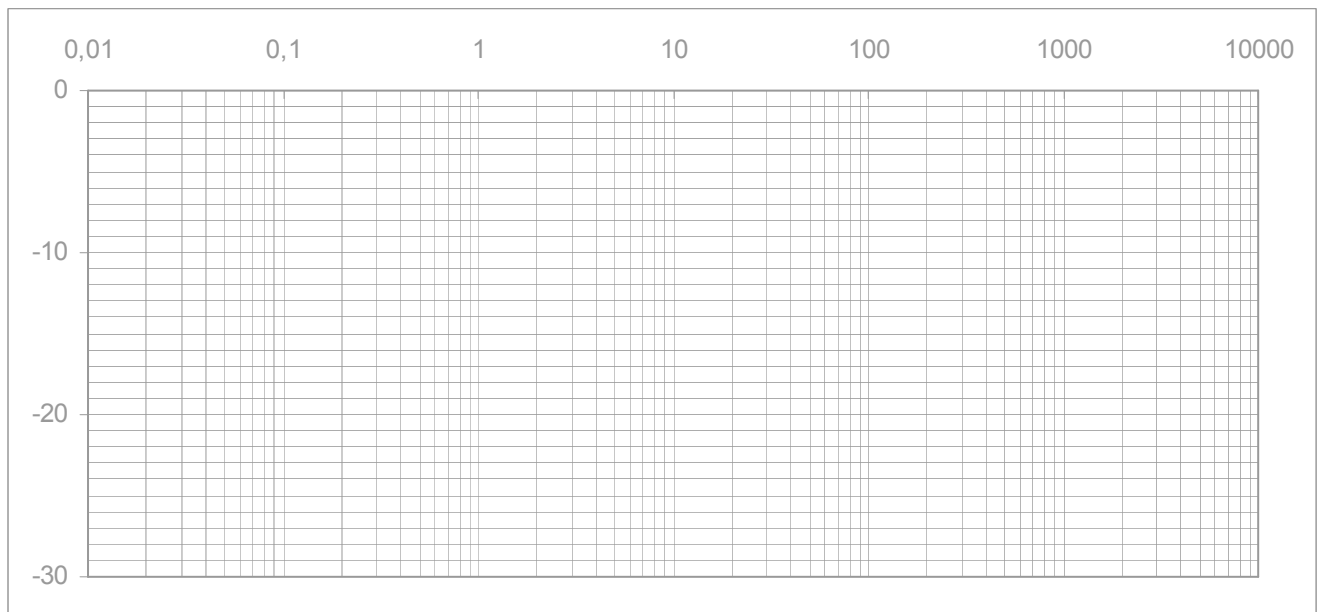
Zapojení SC $U_1 =$

U_R [V]									
U_2 [V]									
A_U [dB]									

Příklad výpočtu A_U :

Závěr:

Kmitočtová amplitudová charakteristika zapojení se společným emitorem

**Kmitočtová amplitudová charakteristika zapojení se společným kolektorem****1.3 Teoretické poznámky**

1.3.1 Tranzistor jako nízkofrekvenční zesilovač

Tranzistor je zesilovacím prvkem, proto nachází nejčastější použití v zesilovačích. Pro spolehlivou funkci tranzistorů je nutné nastavit určité pracovní podmínky. Hovoříme o nastavení pracovního režimu nebo pracovního bodu. Teprve vhodný pracovní režim zesilovací součástky dává předpoklad k její řádné funkci, ke zpracování střídavého signálu.

Na elektrody tranzistoru musíme připojit stejnosměrná napětí tak, aby emitorová dioda byla zapojena v propustném, kolektorová v nepropustném směru. Velikostí stejnosměrných napětí a proudů je určen pracovní bod tranzistoru.

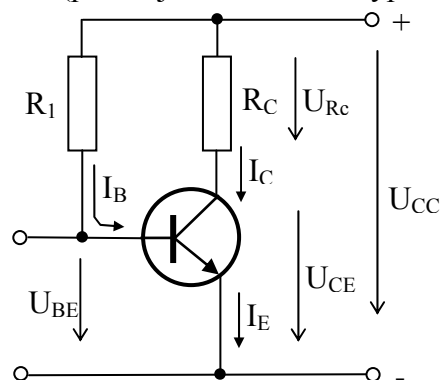
Základní nastavení pracovního bodu není nijak složité. Obvody pro nastavení pracovního bodu se stávají složitějšími jen vlivem opatření, kterými zajišťujeme stabilitu pracovního bodu, tj. neměnnost nastaveného pracovního režimu.

Teplotní nestálost polovodičů způsobuje určité kolísání nastavených pracovních parametrů - pracovního bodu. Toto kolísání může způsobit velmi nepříjemné jevy. Zvýšení teploty vyvolá zvýšení kolektorového proudu, zejména zbytkového proudu I_{K0} . Pokud se tranzistor napájí přes větší rezistor v obvodu kolektoru, zvětšuje se při stoupaní kolektorového proudu úbytek napětí na kolektorovém rezistoru, potřebné napětí na kolektoru tranzistoru se zmenšuje. Zmenšuje se zesílení i výstupní výkon tranzistoru. Kolektorové napětí může poklesnout natolik, že stupeň s tranzistorem přestane pracovat. Pokud se tranzistor napájí přes malý kolektorový rezistor, může se zvýšit teplota tranzistoru tak, až dojde ke zničení tranzistoru. Zvětšení kolektorového proudu vlivem zvýšení teploty zvětšuje kolektorový ztrátový výkon. Tím se dále zvětšuje teplota tranzistoru a kolektorový proud dále narůstá a může tedy vést až k destrukci.

U přístrojů s tranzistory, které budou pracovat v prostředí s proměnlivou teplotou (a to je většina praktických případů), musíme v napájecích obvodech tranzistorů učinit opatření pro teplotní stabilizaci pracovního režimu. U tranzistorů je rozdíl mezi provozní teplotou vlastního tranzistorového systému a teplotou okolí malý. Změny teploty prostředí proto značně ovlivňují pracovní režim tranzistorů. Množství nosičů proudu v polovodičovém materiálu se při vzrůstání teploty zvětšuje. Zvětšují se tedy i proudy protékající tranzistorem. Tak např. zvýšení teploty o každých 10 °C odpovídá vzrůst proudu přibližně na dvojnásobek.

1.3.2 Nastavení pracovního bodu tranzistoru

Základní zapojení pro nastavení pracovního bodu (PB) tranzistoru je na obr. 34. Je to zapojení pro nastavení pracovního bodu pomocí předřadného rezistoru R_1 . Emitor se v tomto zapojení připojuje přímo na záporný pól stejnosměrného zdroje U_{CC} (pokud jde o tranzistor typu NPN; pro tranzistory typu PNP je zapojení úplně shodné, jen polarita zdroje U_{CC} je obrácená). Báze tranzistoru se připojuje na kladný pól zdroje přes předřadný rezistor R_1 . Emitor je tedy polarizován proti bázi kladně - je splněn jeden požadavek: emitorová dioda je zapojena v propustném směru. Kolektor se připojuje na kladný pól zdroje. Má-li být splněn druhý požadavek, tj. zapojení kolektorové diody v nepropustném směru, musí být kolektor proti bázi kladnější. Toho dosahujeme vhodnou volbou předřadného rezistoru R_1 .



Obrázek 34: Nastavení PB předřadným rezistorem

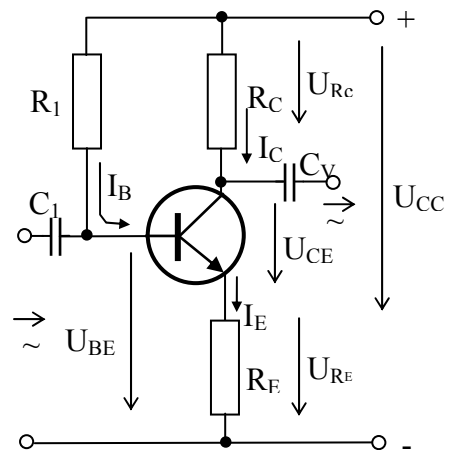
Musí na něm vznikat větší úbytek napětí než na kolektorovém rezistoru R_K . Tím bude potenciál báze tranzistoru méně kladný než potenciál kolektoru. Kolektor bude tedy proti bázi tranzistoru kladnější - kolektorová dioda bude zapojena v nepropustném směru.

Tímto zapojením byl jen nastaven pracovní bod. Pro stabilizaci pracovního bodu zatím nebylo uděláno nic.

1.3.3 Stabilizace pracovního bodu

Stabilizace pracovního bodu při kolísání teploty se dosáhne tím, že se proti narůstání kolektorového proudu (způsobeného vzrůstem teploty) působí změnou potenciálu báze tranzistoru.

Jednoduché zapojení pro nastavení pracovního bodu tranzistoru i s jeho stabilizací je na obr. 35. Od základního zapojení na obr.34 se liší tím, že mezi emitor a kladný pól zdroje je zapojen rezistor R_E - emitorový stabilizační rezistor. V čem spočívá stabilizační účinek tohoto rezistoru. Napětí na předřadném rezistoru R_I je v daném zapojení dáno rozdílem mezi napájecím napětím U_0 a úbytkem napětí na emitorovém rezistoru R_E .



Obrázek 35: Stabilizace PB pomocí R_E

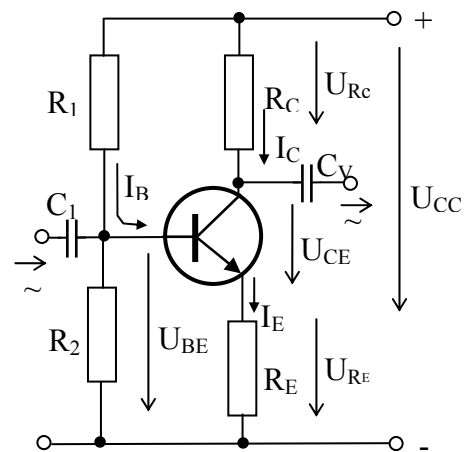
Zvětší-li se proud kolektoru (např. zvýšením teploty), zvětší se úbytek napětí U_E na emitorovém rezistoru. Tím se zmenší napětí U_1 na rezistoru R_1 , klesne proud báze a výsledkem je zmenšení proudu kolektoru, tedy částečná kompenzace jeho původního narůstání.

Zapojení na obr. 35 je vlastně základním zapojením jednoho stupně tranzistorového zesilovače. Střídavý signál, který má tranzistor zesílit, se dostává přes kondenzátor C_1 na bázi tranzistoru, výstupní střídavý signál se odebírá přes kondenzátor C_V z kolektoru.

V zásadě platí, že stabilizační účinek obvodu je tím lepší, čím větší je rezistor v obvodu emitoru a čím menší je rezistor R_1 v obvodu báze.

Zvětšování emitorového rezistoru R_E je nevýhodné (zejména u výkonových tranzistorů), na velkém emitorovém rezistoru se objeví značná část napětí napájecího zdroje. Je zde však určitá možnost snížení odporu rezistoru v obvodu báze. Této možnosti je využito v zapojení na obr. 36.

Pracovní bod není nastaven pomocí předřadného rezistoru, ale pomocí děliče napětí R_1 , R_2 , připojeného na zdroj U_{CC} . Potenciál báze tranzistoru je určen napětím na odbočce děliče, na kterou je báze připojena. Jak lze z obr. VI-5 snadno vyčíst, jsou rezistory děliče (přes malý vnitřní odpor napájecího



Obrázek 36: Stabilizace PB děličem v bázi

zdroje) zapojeny vlastně paralelně. Jako odpor v obvodu báze se uplatňuje odpor paralelní dvojice R_1 , R_2 , který je menší než samotný odpor rezistoru R_1 (obr. 34 a 35).

Stabilizační účinek zapojení podle obr. 36 je dobrý. Kompenzace změn kolektorového proudu je účinná, při zvýšení I_K zvětší se napětí na emitorovém rezistoru, napětí mezi bázi a emitorem se zmenší a výsledkem je zmenšení kolektorového proudu.

Zapojení na obr.36 je jedním z nejpoužívanějších. Představuje opět základní zapojení jednoho tranzistorového zesilovacího stupně. Střídavý signál se přivádí do obvodu báze přes kondenzátor C_1 , zesílený signál se odebírá z kolektoru přes kondenzátor C_V . Děličem napětí R_1, R_2 bývá v praxi často potenciometrický trimr. Pracovní bod se nastaví přesně podle žádané velikosti kolektorového proudu (měřidlo se zapojí do série s kolektorem) natáčením běžce potenciometrického trimru.

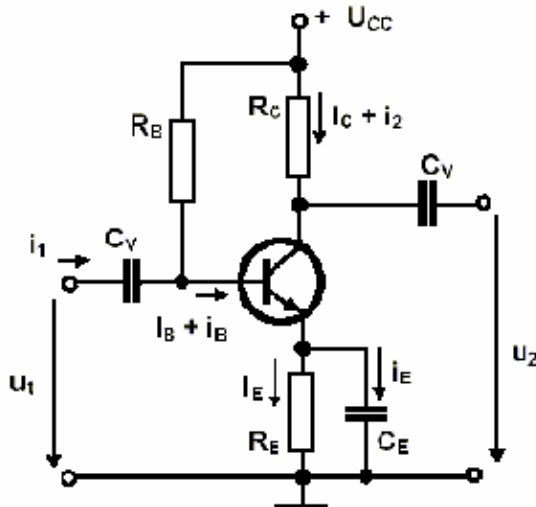
Kromě popsaných způsobů jsou ještě jiné možnosti nastavení a zejména stabilizace pracovního bodu, které jsou však složitější.

SE	SB	SC
velké	velké	≈ 1
velké	Zesílení napěťové ≈ 1	velké
velké	Zesílení proudové ≈ 1	malé
střední	Zesílení výkonové střední	střední
střední	Vstupní odpor nízký	vysoký
střední	Výstupní odpor vysoký	nízký
Fázový posuv výstupního napětí		
180°	0°	0°
Fázový posuv proudu		
0°	0°	180°

Obrázek 37: Druhy zapojení zesilovačů s bipolárním tranzistorem a jejich vlastnosti

1.3.4 Linearizovaný model

SE



Obrázek 38: Zesilovač se společným emitorem

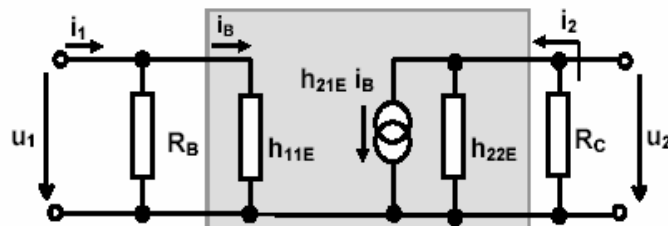
h-parametry v pracovním bodě:

$$h_{11E} = \frac{U_T}{I_B}$$

$$h_{22E} = \frac{I_C}{U_{CE} + U_E}$$

Funkce součástek:

- $R_B, R_C, R_E \dots$ nastavení pracovního bodu tranzistoru a jeho stabilizace zavedením emitorové zpětné vazby (R_E)
- $C_V \dots$ vazební (oddělovací) kondenzátory – oddělují stejnosměrnou a střídavou složku; $1/\omega C_V$ je velmi malé
- $C_E \dots$ přemostění emitorového odporu R_E pro střídavou složku a její uzemnění; $1/\omega C_E \ll R_E$



Linearizovaný ekvivalentní obvod zesilovače pro malý nízkofrekvenční signál:

Napětový přenos (zesilení):

$$A_u = \frac{u_2}{u_1} = \frac{-h_{21E} i_B (R_C \parallel h_{22E}^{-1})}{h_{11E} i_B} \approx -h_{21E} \frac{R_C}{h_{11E}}$$

Proudový přenos (zesilení):

$$A_i = \frac{i_2}{i_1} = \frac{-u_2}{R_{výst}} = -A_u \frac{R_{vstup}}{R_{výst}} \approx h_{21E}$$

Vstupní odpor: $R_{vstup} = \left(\frac{u_1}{i_1} \right)_{výstup\ naprázdno} = R_B \parallel h_{11E} \approx h_{11E}$

Výstupní odpor: $R_{výst} = \left(\frac{u_2'}{i_2'} \right)_{vstup\ nakrátko} = R_C \parallel \frac{1}{h_{22E}} \approx R_C$

Obrázek 39: Náhradní linearizovaný obvod a jeho parametry

1.3.5 Kmitočtová závislost zesílení

- ♦ kmitočet $f_{h_{21e}} \equiv f_\beta$: pokles proudového zesilovacího činitele SE $|h_{21e}| \equiv |\beta|$ o 3 dB ($1/\sqrt{2} \times$)
- ♦ kmitočet $f_{h_{21b}} \equiv f_\alpha$: pokles proudového zesilovacího činitele SB $|h_{21b}| \equiv |\alpha|$ o 3 dB ($1/\sqrt{2} \times$)
- ♦ kmitočet f_T : pokles proudového zesilovacího činitele SE $|h_{21e}| \equiv |\beta|$ na hodnotu 1
- ♦ kmitočet f_{max} : pokles výkonového zesílení na 1

$$f_{max} = \sqrt{\frac{f_T}{8\pi r_{be} C_{bc}}}$$

