

Bipolárne tranzistory (BJT)

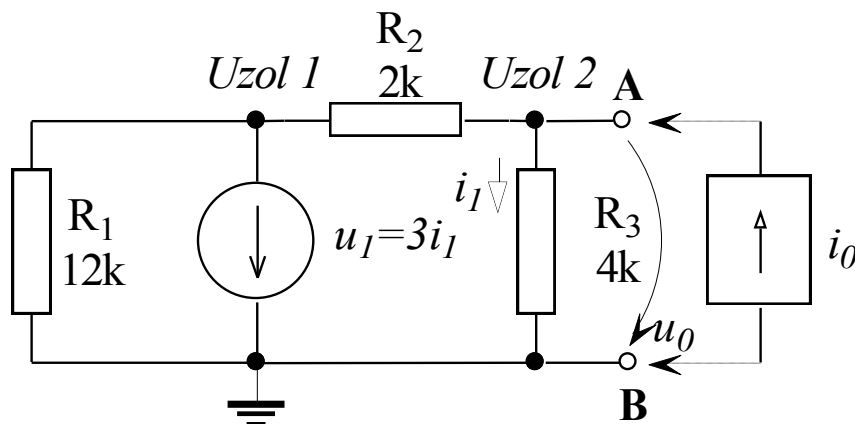
23.12.1947 poobede, Walter H. Brattain, John Bardeen a William Shockley v Bell Telephone Laboratories po prvý krát demonštrovali zosilňovaciu funkciu bipolárneho tranzistora (svojimi vlastnosťami vhodný iba pre laboratórne účely)- začiatok novej éry elektroniky.

Praktické využitie a masovejšie nasadenie až v 60-tých rokoch

Výhody oproti elektrónkam: menšia hmotnosť a rozmery; nevyžaduje žeravenie; odolnejšia konštrukcia; okamžite schopný prevádzky (nevyžaduje čas potrebný na nažeravenie); nižšie prevádzkové napätia. V niektorých špecifických prípadoch (výkonová a vf technika) však elektrónky neboli prekonané.

Základná obvodová analýza - použitie lineárnych prvkov (odpory, kapacity, induktory) navyše sa používajú závislé zdroje (napätové aj prúdové), ktorých charakteristické veličiny (napätie a prúd) sú určené napätím alebo prúdom iných častí obvodu ako tých, ktorých sú súčasťou (pasívne súčiastky majú tieto veličiny závislé iba od veličín vetiev, ktorých sú súčasťou). Závislé aj nezávislé zdroje sú aktívne prvky (sú schopné dodávať výkon do iných obvodov, pasívne prvky túto vlastnosť nemajú).

Príklad:



Daný obvod obsahuje iba závislý zdroj, preto bez pripojenia externého zdroja (i_0) v obvode netečie žiaden prúd. Obvod je zaujímavý iba ak je k nemu pripojený externý zdroj (A, B).

Pri hľadaní Theveninovho ekvivalentného obvodu z pohľadu svoriek A, B klasickým postupom nexeistuje riešenie.

Pripojením externého zdroja na svorky A, B, vyjadrením pomeru u_0/i_0 sa dá vyjadriť ekvivalentný Theveninov odpor R_{TH} .

$$\text{Uzol 1: } \frac{u_1}{12000} - 3i_1 + \frac{u_1 - u_0}{2000} = 0$$

$$\text{Uzol 2: } \frac{u_0 - u_1}{2000} + \frac{u_0}{4000} = i_0, \quad i_1 = \frac{u_0}{4000}$$

$$7u_1 - 15u_0 = 0 \quad | \cdot 2$$

$$-2u_1 + 3u_0 = 4000i_0 \quad | \cdot 7$$

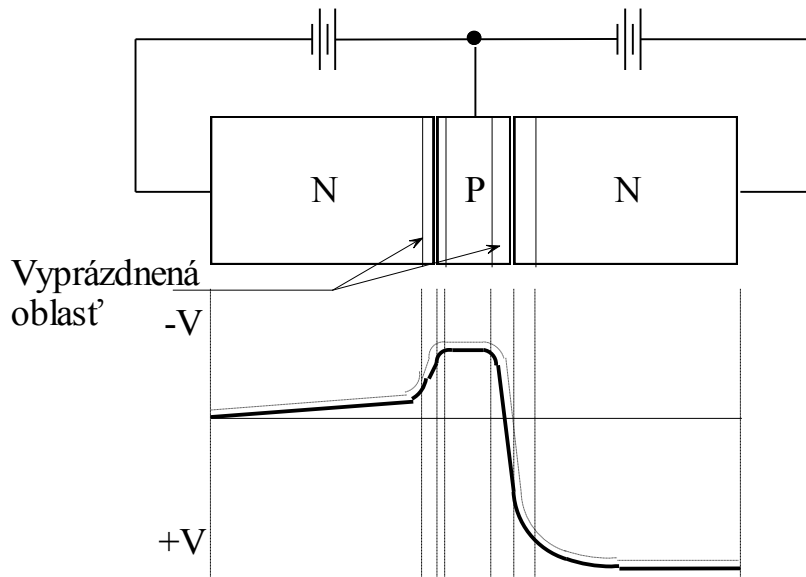
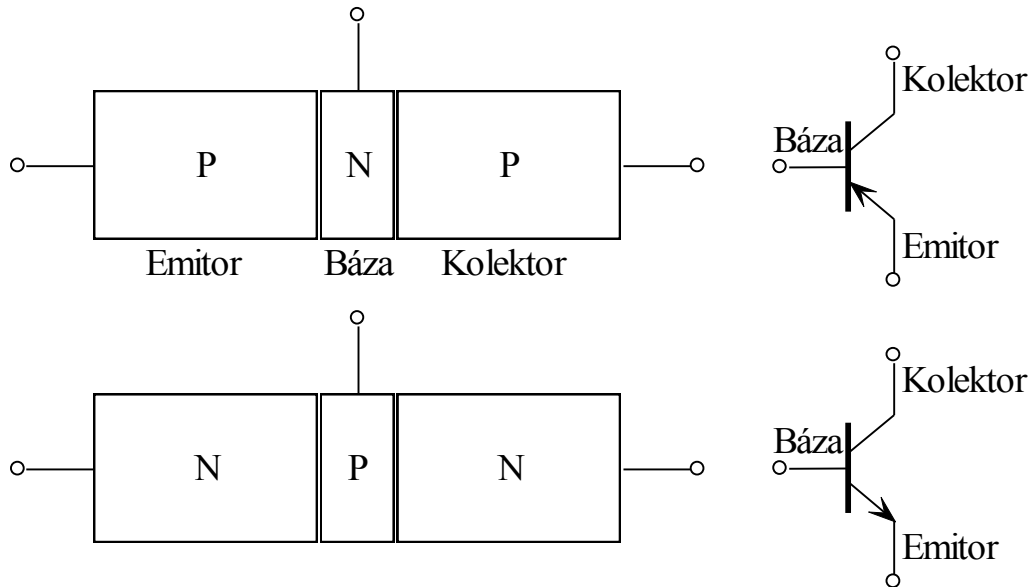
$$-9u_0 = 28000i_0$$

$$R_{TH} = \frac{u_0}{i_0} = -\frac{28000}{9} = -3111\Omega$$

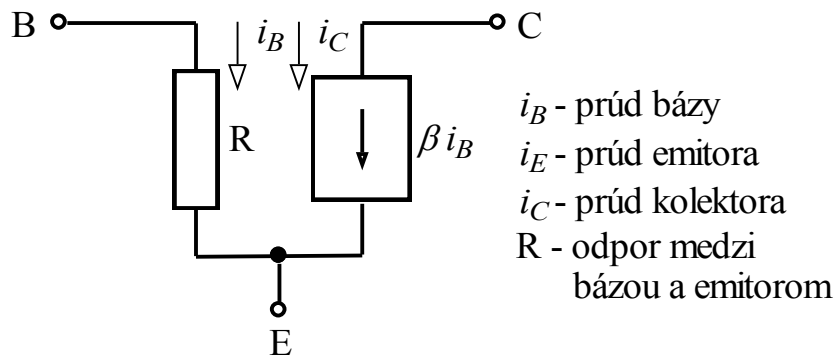
Záporný odpor R_{TH} indikuje, že sa jedná o aktívny obvod.

Konštrukcia tranzistorov

Bipolárny tranzistor je trojvrstvový prvok s tromi vývodmi.

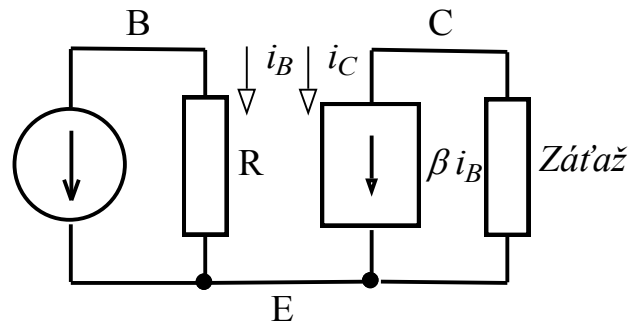
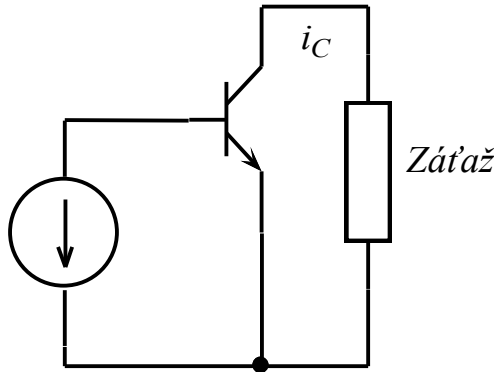


Bipolárny tranzistor vykazuje prúdové zosilnenie.
 Ekvivalentné obvodové modely pre analýzu:

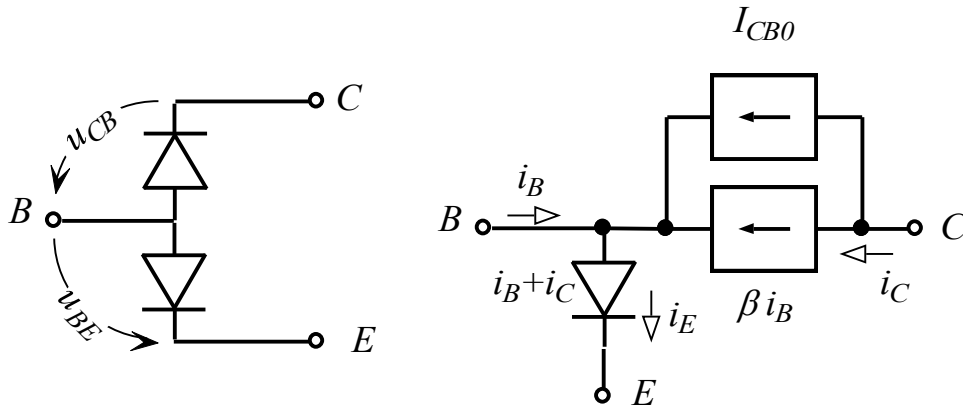


Jednoduchý obvod s tranzistorom a model vhodný pre analýzu zmien veličín.

β - konštanta úmernosti medzi prúdom bázy a kolektora nazývaná prúdový zosilňovací koeficient.



Ebersov – Mollov model

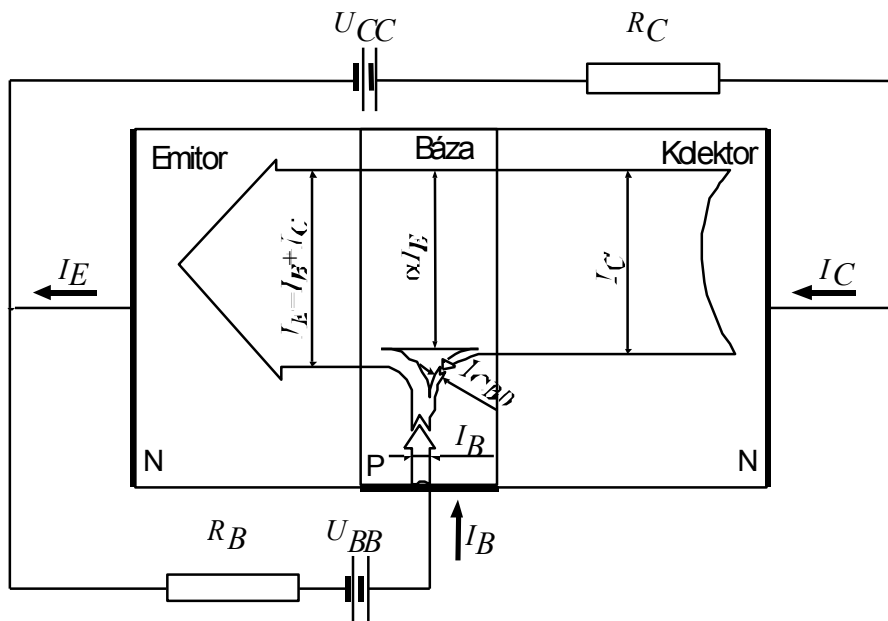
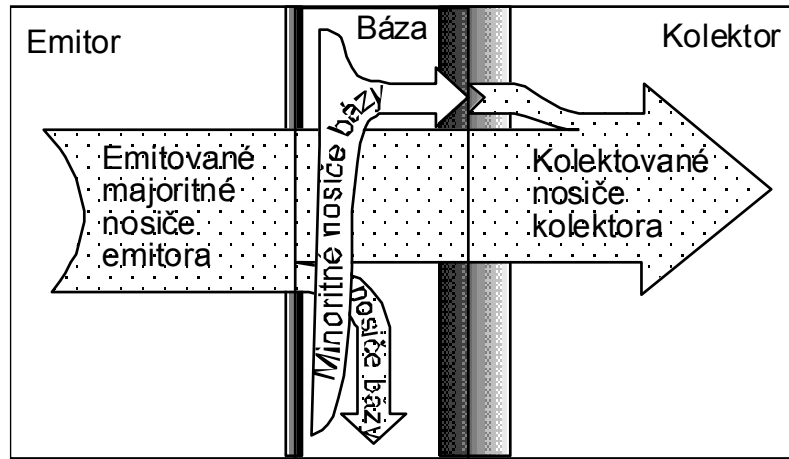


I_{CBO} – zbytkový prúd záverne polarizovaného prechodu C-B nezávislý od prúdu bázy

$$i_E = i_C + i_B$$

$$\alpha = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_E}$$

$$i_C = \alpha i_E + I_{CBO}$$



$$i_E = \alpha i_E + I_{CB0} + i_B$$

$$i_E = \frac{i_C - I_{CB0}}{\alpha}$$

$$i_B = i_E(1 - \alpha) - I_{CB0}$$

$$i_B = \frac{(i_C - I_{CB0})(1 - \alpha)}{\alpha} - I_{CB0} = \frac{(1 - \alpha)i_C}{\alpha} - \frac{I_{CB0}}{\alpha}$$

Pretože α je v reálnych tranzistoroch (0,8 až 0,999)

$$i_B = \frac{(1 - \alpha)i_C}{\alpha} - I_{CB0}$$

$$\beta = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} \Rightarrow \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha},$$

typické hodnoty β sú v rozsahu (10 až 600), pri výpočtoch sa často I_{CB0} zanedbáva lebo je v porovnaní s i_C malý a potom

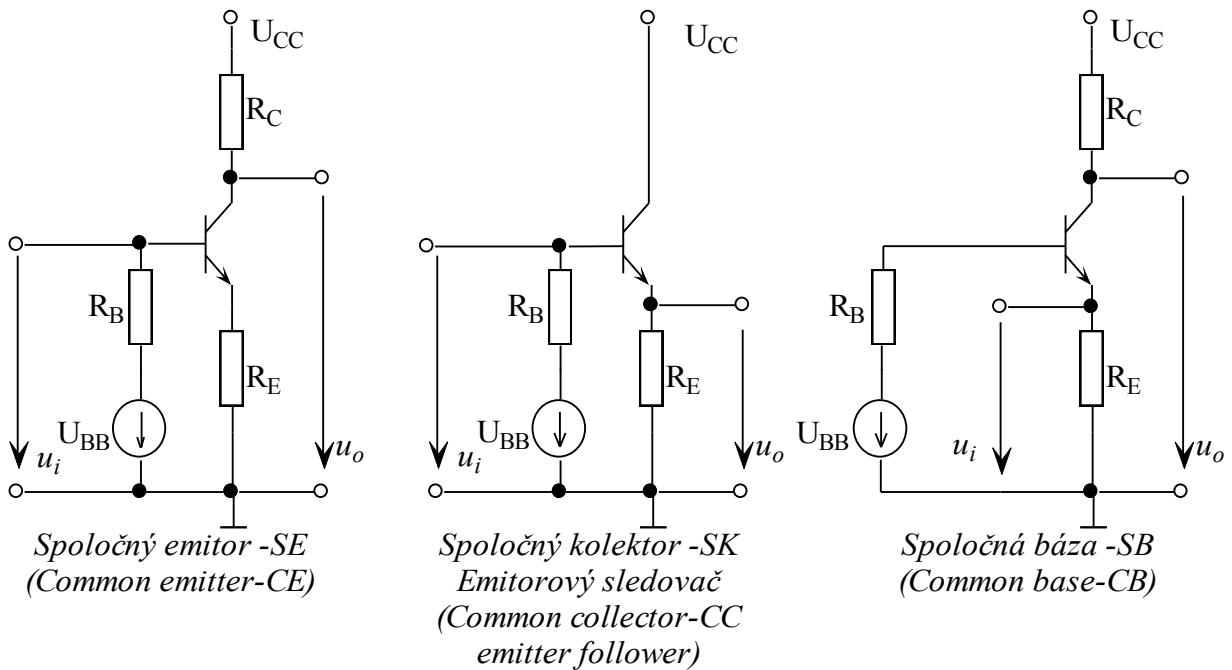
$$i_C \approx \beta i_B$$

β je často ako zosilňovací činiteľ veľkých signálov alebo jednosmerný (DC) zosilňovací činiteľ.

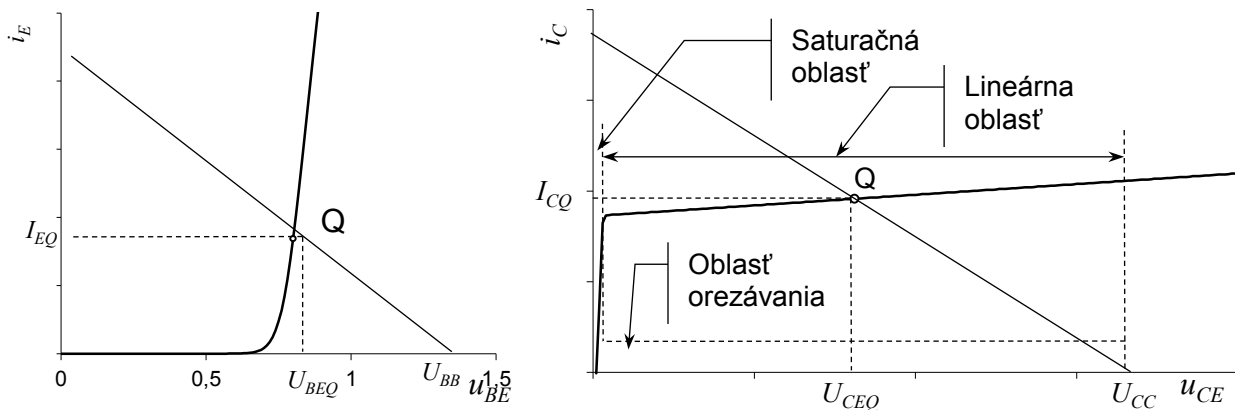
V prípade že α je v rozsahu 0,9 až 0,999 sa často používa zjednodušenie

$$i_C \approx i_E$$

Základné zapojenia tranzistorov



Charakteristiky



Tranzistor je nelineárny prvok preto jeho vlastnosti sú často opisované sériou charakteristických kriviek. Pretože je trojvôdový používajú sa parametrické krivky.

$$r_d = \frac{0,026}{I_{EQ}}$$

$$i_B = \left(\frac{I_0}{\beta} \right) \exp\left(\frac{u_{BE}}{nU_T} \right)$$

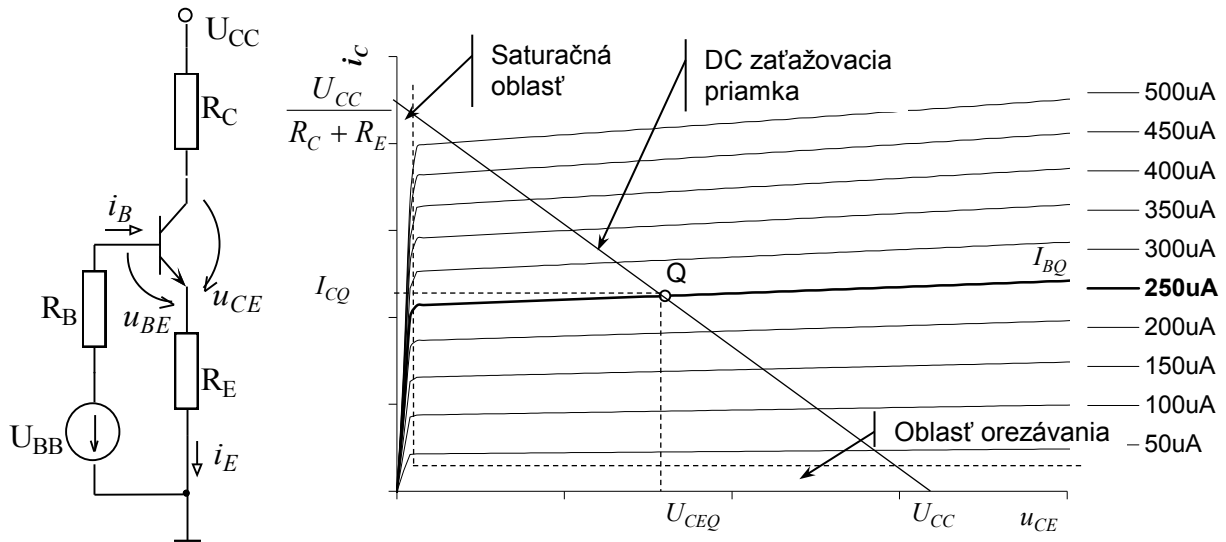
Pre obvod na obr.

$$U_{CC} = i_C R_C + u_{CE} + i_E R_E \text{ ak } i_C \approx i_E \quad U_{CC} = i_C (R_C + R_E) + u_{CE}$$

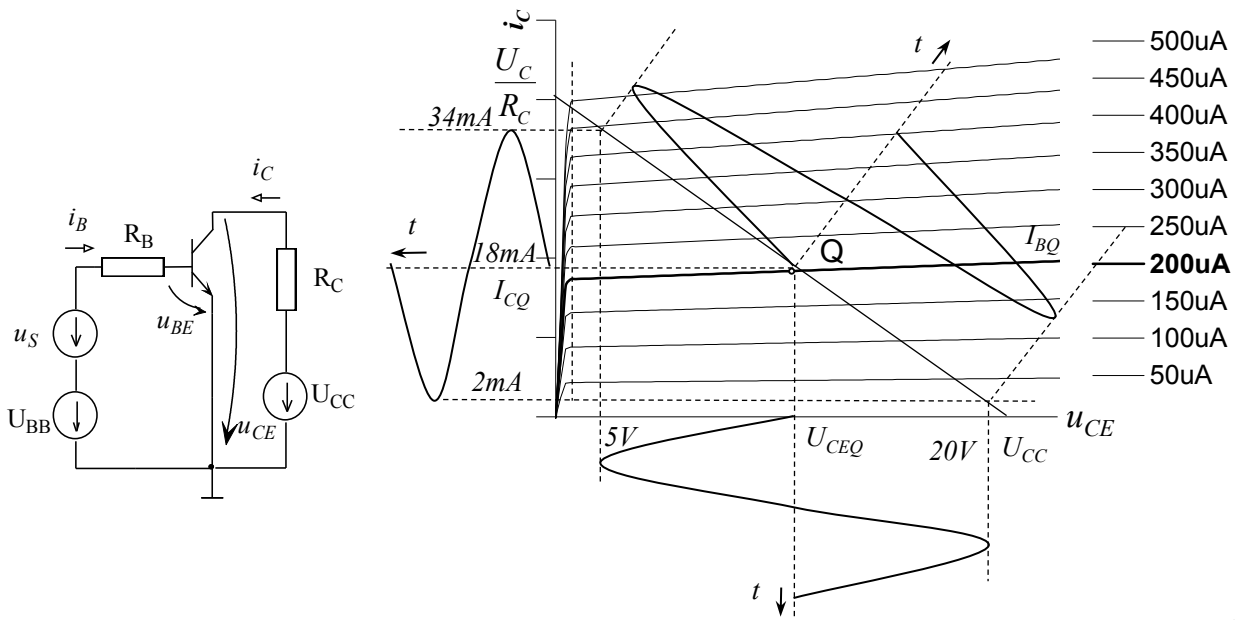
$$i_C = \frac{U_{CC} - u_{CE}}{R_C + R_E} = -\frac{1}{R_C + R_E} u_{CE} + \frac{U_{CC}}{R_C + R_E}$$

Priesečníky: $i_C = 0 \Rightarrow u_{CE} = U_{CC}$

$$u_{CE} = 0 \Rightarrow i_C = \frac{U_{CC}}{R_C + R_E}$$



Zosilňovač so spoločným emitorom (SE)



Analýza JS (DC) pomerov

$$I_B R_B + U_{BE} - U_{BB} = 0 \text{ nech } U_{BE} = 0,6 \text{ až } 0,7V(\text{pre Si})$$

$$U_{CC} = I_C R_C + U_{CE} \Rightarrow I_C = \frac{U_{CC} - U_{CE}}{R_C} \text{ definuje druhý bod zaťažovacej priamky}$$

Q -(DC pracovný bod je definovaný ako bod s nulovým budiacim signálom) musí ležať na zaťažovacej priamke.

$$\text{Nech } u_S = U \sin(\omega t)$$

$$A_i = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} = \frac{32mA}{400\mu A} = 80$$

Zosilňovač so SE (CE) s emitorovým odporom

Obr. z predch. fólie

$$U_{CC} = i_C R_C + u_{CE} + i_E R_E \text{ ak } i_C \approx i_E \quad U_{CC} = i_C (R_C + R_E) + u_{CE}$$

$$i_C = \frac{U_{CC} - u_{CE}}{R_C + R_E} = -\frac{1}{R_C + R_E} u_{CE} + \frac{U_{CC}}{R_C + R_E}$$

Priesečníky: $i_C = 0 \Rightarrow u_{CE} = U_{CC}$

$$u_{CE} = 0 \Rightarrow i_C = \frac{U_{CC}}{R_C + R_E}$$

Pre dosiahnutie maximálneho možného rozkmitu je nutné voliť

$U_{CEQ} = \frac{U_{CC}}{2}$, pretože prechod B-E pracuje ako dióda je možné považovať

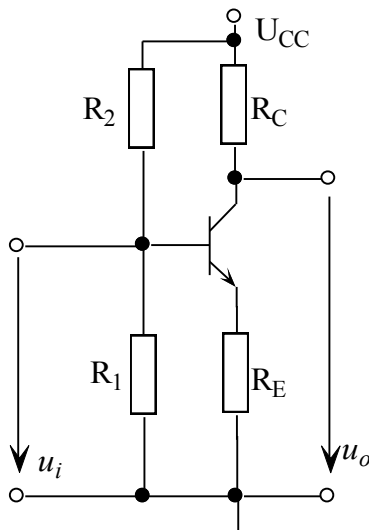
$U_{BE} = U_\gamma$ a potom $U_{BB} = R_B i_B + u_{BE} + i_E R_E$. Ak $i_C = \beta i_B$, resp. $i_E = (\beta + 1) i_B$

a ak $\beta \gg 1$ potom $U_{BB} = R_B \frac{i_C}{\beta} + u_{BE} + i_C R_E \Rightarrow i_C = \frac{U_{BB} - U_{BE}}{\frac{R_B}{\beta} + R_E}$.

U_{BB} a U_{BE} sú konštanty (U_{BE} sa mení veľmi málo, pre Si $\approx 0,7V$), čiže

$I_{CQ} = \frac{U_{BB} - U_{BE}}{\frac{R_B}{\beta} + R_E}$. Aby sa odstránila nutnosť dvoch zdrojov (U_{BB} a U_{CC})

používa sa U_{CC} s vhodnými zapojeniami bázevého obvodu. Napr.



Pomocou Theveninovej teóremy:

$$U_{BB} = \frac{R_2 U_{CC}}{R_1 + R_2}, \quad R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}, \text{ resp.}$$

$$R_1 = \frac{R_B U_{CC}}{U_{CC} - U_{BB}} = \frac{R_B}{1 - \frac{U_{BB}}{U_{CC}}} \text{ a } R_2 = \frac{R_B U_{CC}}{U_{BB}}$$

R_1 a R_2 určujú významnou mierou polohu prac. bodu Q. Aby $i_B \ll$ ako prúd cez odpor R_1 (dôvodom je stabilita Q voči variáciám β), vhodné je voliť $R_B \leq 0,1 \beta R_E$. Pri rovnosti

$$I_{CQ} = \frac{U_{BB} - U_{BE}}{\frac{0,1 \beta R_E}{\beta} + R_E} = \frac{U_{BB} - U_{BE}}{1,1 R_E}$$

Napr. ak $R_1 = 1k\Omega$, $R_2 = 9k\Omega$, $R_C = 9k\Omega$, $U_{CC} = 12V$, $U_{BE} = 0,6V$ a $\beta = 100$

$$U_{BB} = \frac{R_2 U_{CC}}{R_1 + R_2} = \frac{1000 \cdot 12}{1000 + 9000} = 1,2V, \quad R_B = 900\Omega \text{ a } I_{CQ} = \frac{U_{BB} - U_{BE}}{\frac{R_B}{\beta} + R_E} = 5,5 \text{ mA}$$

Výkonová bilancia zapojenia so spoločným emitorom

Výkon zo zdroja je

$$P_{U_{CC}} = P_{(Obv. tranzistora)} + P_{(Nastavovacieho obv.)} = \frac{1}{T} \int_0^T U_{CC} [I_{CQ} + i_C(t)] dt + \frac{U_{CC}^2}{R_1 + R_2} + I_{BQ}^2 R_2 =$$

$$= U_{CC} I_{CQ} + \frac{U_{CC}^2}{R_1 + R_2} + I_{BQ}^2 R_2$$

za predpokladu, že str. hodnota $i_C(t) = 0$ ($i_C(t) = A \sin(\omega t)$; $\int_0^T A \sin(\omega t) dt = 0$).

Výkonová strata na tranzistore

1. Bez signálu

$$P_{TRANZ} = U_{CEQ} I_{CQ}$$

2. Pri budení; za predp. maximálneho rozkmitu a tvare budiaceho signálu $A \sin(\omega t)$

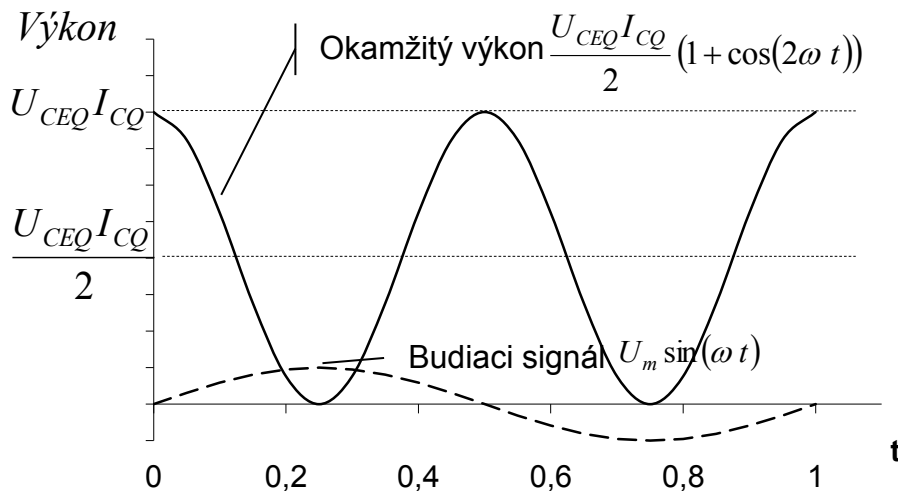
$$u_{CE}(t) = U_{CEQ} - U_{CEQ} \sin(\omega t) = U_{CEQ} [1 - \sin(\omega t)];$$

$$i_C(t) = I_{CQ} + I_{CQ} \sin(\omega t) = I_{CEQ} [1 + \sin(\omega t)]$$

$$P_{TRANZ} = \frac{1}{T} \int_0^T u_{CE}(t) i_C(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_{CEQ} I_{CQ} (1 - \sin^2(\omega t)) dt = \frac{U_{CEQ} I_{CQ}}{T} \int_0^T \cos^2(\omega t) dt =$$

$$= \frac{U_{CEQ} I_{CQ}}{T} \int_0^T \frac{1 + \cos(2\omega t)}{2} dt = \frac{U_{CEQ} I_{CQ}}{2}$$

Z toho vyplýva, že tranzistor rozptyľuje najviac výkonu (teplo) ak je budiací signál nulový



Účinnosť výkonu zdroja

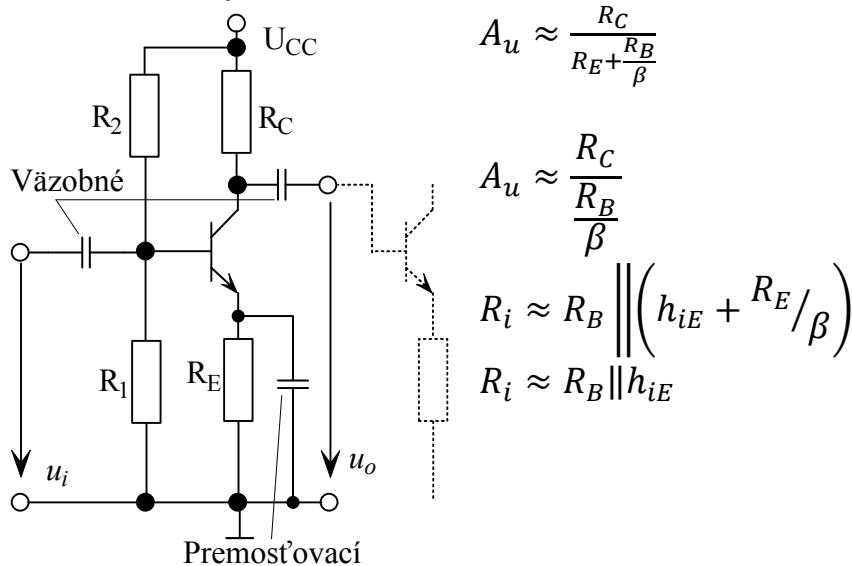
$$\eta = \frac{P_O(ac)}{P_{U_{CC}}(dc)}$$

Premost'ovacie a väzobné kondenzátory

V ďalšom sa predpokladá, že kondenzátor má v rozsahu pracovných frekvencií, vzhľadom k svojmu okoliu minimálnu alebo nulovú a pre JS (DC) pomery nekonečnú impedanciu (reaktanciu).

Premost'ovacie kondenzátory eliminujú vplyv premostenej časti obvodu.

Väzobné kondenzátory prepájajú jednotlivé stupne obvodov, čím zabraňujú vzájomnej interakcii a ovplyvňovaniu ich JS (DC) pomerov. Navyše premost'ovacie kondenzátory ovplyvňujú aj dôležité parametre obvodu ako napr.:



Striedavá zaťažovacia priamka pre SE

Metódy hľadania a nastavenia DC pomerov (biasing) pre SE a SB sú identické.

Pre JS (DC) prípad je odpor vo vetve C-E R_{DC}

$$R_{DC} = R_C + R_E$$

Pre AC prípad pri uvažovaní kapacitnej väzby

$$R_{AC} = (R_C \parallel R_L) + R_E$$

Pri premostení

$$R_{AC} = R_C \parallel R_L,$$

pričom R_L je zaťažovací odpor výstupu stupňa SE (vstupný odpor nasledujúceho stupňa). Potom

AC zaťažovacia priamka má smernicu

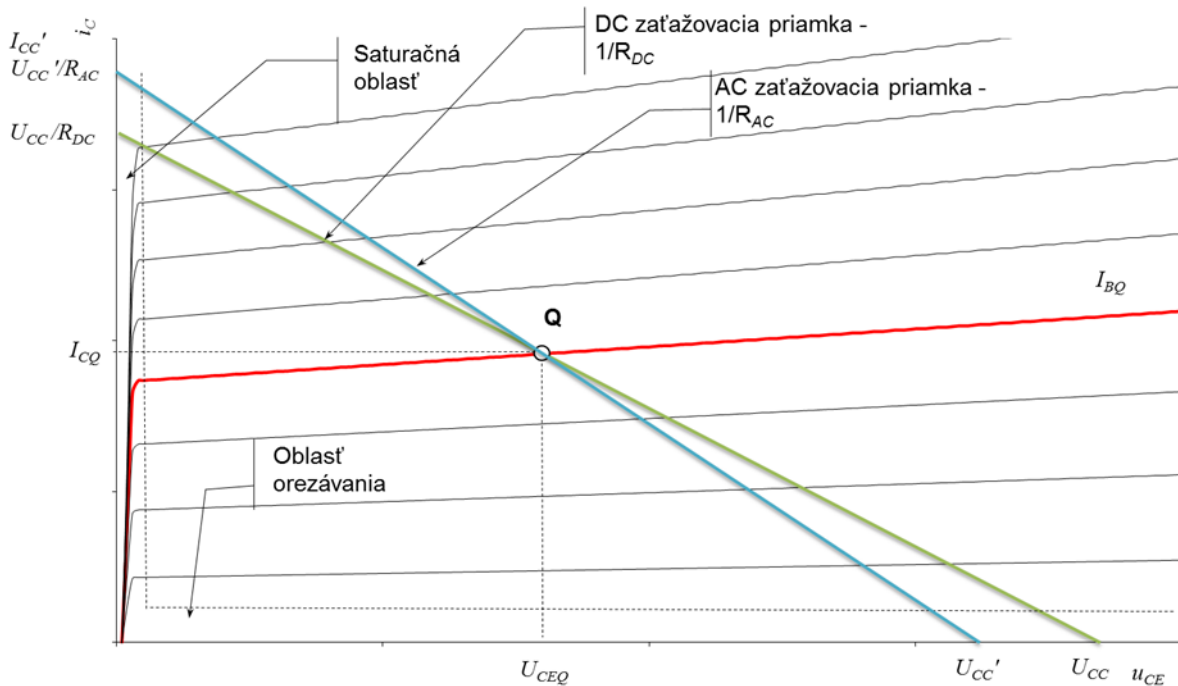
$$-1/R_{AC}$$

DC aj **AC zaťažovacia priamka** prechádzajú **statickým pracovným bodom Q** (ak striedavý signál nadobudne hodnotu **0** –nula, potom sa pracovný bod sa musí vrátiť do polohy Q, pretože Q bod bol zvolený pre nulový budiaci signál).

Rovnica DC zaťažovacej priamky je

$$i_C = \frac{U_{CC} - u_{CE}}{R_C + R_E} = -\frac{1}{R_C + R_E} u_{CE} + \frac{U_{CC}}{R_C + R_E} = -\frac{1}{R_{DC}} u_{CE} + \frac{U_{CC}}{R_{DC}}.$$

Na tejto priamke leží **Q** (I_{CQ} , U_{CEQ} , I_{BQ}) a cez tento bod prechádza aj AC zaťažovacia priamka.



Rovnica priamky prechádzajúca bodom so súradnicami (x_1, y_1) je

$$(y-y_1)=k.(x-x_1)$$

Čiže pre AC zaťažovaciu priamku platí:

$$i_C - I_{CQ} = -\frac{1}{R_{AC}}(u_{CE} - U_{CEQ}) \Rightarrow i_C = -\frac{1}{R_{AC}}u_{CE} + \left(\frac{U_{CEQ}}{R_{AC}} + I_{CQ} \right).$$

Priesečníky na zvislej a vodorovnej osi sú:

$$I'_C = \frac{U_{CEQ}}{R_{AC}} + I_{CQ}$$

$$U'_{CC} = U_{CEQ} + I_{CQ}R_{AC}$$

Voľba AC zaťažovacej priamky pre maximálny výstupný rozkmit

Ak je požadované, aby rozkmit signálu bol maximálny a neskreslený, je potrebné, aby pracovný bod **Q** ležal **uprostred** AC zaťažovacej priamky. Táto úloha je iba geometrickým problémom.

Ak $I'_C = \frac{U_{CEQ}}{R_{AC}} + I_{CQ}$ a ak $I_{CQ} = \frac{1}{2}I'_C \Rightarrow I'_C = 2I_{CQ} \Rightarrow I_{CQ} = \frac{U_{CEQ}}{R_{AC}}$. Pre

pracovný bod na DC zaťažovacej priamke platí:

$$I_{CQ} = -\frac{1}{R_{DC}}U_{CEQ} + \frac{U_{CC}}{R_{DC}} \Rightarrow \frac{U_{CEQ}}{R_{AC}} = -\frac{1}{R_{DC}}U_{CEQ} + \frac{U_{CC}}{R_{DC}}$$

$$\frac{U_{CC}}{R_{DC}} = \frac{U_{CEQ}}{R_{AC}} + \frac{U_{CEQ}}{R_{DC}} = U_{CEQ} \left(\frac{R_{DC} + R_{AC}}{R_{AC} \cdot R_{DC}} \right) \Rightarrow U_{CEQ} = \frac{U_{CC}}{R_{DC}} \left(\frac{R_{DC} \cdot R_{AC}}{R_{AC} + R_{DC}} \right)$$

$$U_{CEQ} = \frac{U_{CC} R_{AC}}{R_{AC} + R_{DC}}, \text{ pozn. } I_{CQ} = \frac{U_{CC}}{R_{AC} + R_{DC}}$$

Podobne z geometrie platí

$$U'_{CC} = 2 \cdot U_{CEQ} \Rightarrow U'_{CC} = \frac{2 \cdot U_{CC}}{1 + \frac{R_{DC}}{R_{AC}}}$$

To je teoretický maximálny rozkmit napätia na výstupe kolektora. Ten je prakticky pri požiadavke minimalizácie skreslenia signálu zmenšený o hodnoty vyplývajúce z oblastí orezávania a saturácie.

Zhrnutie: Postup pri analýze

Prvky a súčiastky sú známe.

Hľadá sa pracovný bod.

Ak je v pracovnej oblasti je možné zistiť maximálny rozkmit na výstupe.

Predpokladom je, že $R_1, R_2, U_{CC}, U_{BE}, R_E, R_C, R_L$ a β sú známe.

Proces:

Krok 1: Použije sa U_{CC}, R_1 a R_2 pre určenie U_{BB} a R_B .

$$U_{BB} = \frac{R_1 U_{CC}}{R_1 + R_2}, R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Krok 2: Určí sa I_{CQ} .

$$I_{CQ} = \frac{U_{BB} - U_{BE}}{\frac{R_B}{\beta} + R_E}.$$

Krok 3: Použitím rovnice DC zaťažovacej priamky sa určí U_{CEQ} .

$$U_{CEQ} = U_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E) = U_{CC} - I_{CQ} R_{DC}.$$

Krok 4: Zostrojí sa DC zaťažovacia priamka do charakteristík tranzistora.

Zostrojí sa AC zaťažovacia priamka pomocou bodu Q a bodu

$$U'_{CC} = U_{CEQ} + I_{CQ} R_{AC}.$$

Krok 5: Určí sa maximálny možný symetrický rozkmit. Ak je Q v hornej polovici AC zaťažovacej priamky, I_{CQ} sa odpočíta od maximálnej hodnoty I_C (priesečník AC zaťažovacej priamky so zvislou osou i_C). Tým sa získa *maximálna amplitúda* výstupného prúdu kolektora tranzistora. Na druhej strane ak Q je v dolnej polovici AC zaťažovacej priamky, potom je I_{CQ} *maximálnou amplitúdou* výstupného prúdu kolektora tranzistora.

Teoretický maximálny rozkmit napätia na výstupe je daný podľa vzťahu:

$$\text{maxRozkmit} = 2i_C(\text{maximálna amplitúda}) \times (R_C || R_L)$$

Zhrnutie: Postup pri syntéze (návrhu)

Úloha je opačná ako v predchádzajúcom prípade. Môže existovať však mnoho riešení.

Na začiatku sú definované podmienky resp. požiadavky na polohu pracovného bodu Q (I_{CQ} , U_{CEQ}) a je treba navrhnuť ostatné prvky obvodu. Je užitočné postupovať zo strany C-E a prejsť na stranu B (báza). Je možné uvažovať o dvoch podmienkach:

1. Buď je snaha umiestniť Q tak, aby sa dosiahol maximálny rozkmit (stred AC zaťažovacej priamky) alebo
2. Obmedziť I_{CQ} na hodnotu, ktorá poskytne maximálny symetrický výstup vzhľadom na vstupný signál.

Hodnoty U_{CC} , U_{BE} , β a R_L sú zvyčajne špecifikované. R_C a R_E sú špecifikované inými požiadavkami ako: *napätový zisk*, *prúdový zisk* a *vstupná impedancia* (vstupný odpor) – bude ozrejmené neskôr. Na tomto mieste uvažujme, že sú dané.

Maximálny rozkmit

Krok 1: Pre umiestnenie Q do stredu AC zať. priamky sa využije vzťah

$$I_{CQ} = \frac{U_{CC}}{R_{AC} + R_{DC}}$$

Krok 2: Pre určenie U_{CEQ} tak, aby sa dosiahol maximálny rozkmit sa využije podmienka

$$U_{CEQ} = \frac{U'_{CC}}{2},$$

pričom

$$U'_{CC} = 2I_{CQ}R_{AC} \text{ (z trojuholníka).}$$

Krok 3: Ak neexistuje iné obmedzenie využije sa podmienka stability pracovného bodu

$$R_B = 0,1 \cdot \beta \cdot R_E$$

Krok 4: Využije sa rovnica pre stanovenie napätia Theveninovej náhrady zdroja

$$U_{BB} = U_{BE} + I_{CQ} \left(\frac{R_B}{\beta} + R_E \right)$$

Krok 5: Z U_{BB} a R_B sa určia R_1 a R_2

$$R_1 = \frac{R_B U_{CC}}{U_{CC} - U_{BB}} = \frac{R_B}{1 - \frac{U_{BB}}{U_{CC}}}$$

$$R_2 = \frac{R_B U_{CC}}{U_{BB}}$$

Krok 6: Určí sa maximálny rozkmit

$$U_{Om} = 2i_c (\text{maximálna amplitúda}) \times (R_C \parallel R_L)$$

Menší než maximálny rozkmit

Ak je budiaci malý, potom sa pracovný bod môže vychýľovať iba v malom rozsahu na obe strany a nikdy nedosiahne oblasť orezávania alebo saturácie. V takom prípade ak je pracovný bod uprostred AC zaťažovacej priamky sa v tranzistore zbytočne vytvára teplo. V ďalšom je návrh kedy sa uvažuje že Q je umiestnený nižšie od stredu AC zaťažovacej priamky.

Predpokladajme, že

$$I_{CQ} = \delta I'_C,$$

pričom I'_C je priesečník AC zaťažovacej priamky a zvislej osi i_C .

$$I'_C = \frac{U'_{CC}}{R_{AC}} = I_{CQ} + \frac{U_{CEQ}}{R_{AC}}.$$

δ je číslo v rozmedzí 0 a 1 a je 0,5 pre požiadavku maximálneho rozkmitu. Možno teda napísať

$$U_{CEQ} = \frac{(1-\delta)I_{CQ}R_{AC}}{\delta}.$$

Pretože Q bod musí ležať aj na DC zaťažovacej priamke

$$U_{CEQ} = U_{CC} - I_{CQ}R_{DC}.$$

Porovnaním predchádzajúcich rovníc

$$\frac{(1-\delta)I_{CQ}R_{AC}}{\delta} = U_{CC} - I_{CQ}R_{DC}, \text{ z čoho}$$

$$I_{CQ} = \frac{U_{CC}}{\frac{(1-\delta)R_{AC}}{\delta} + R_{DC}}$$

V prípade požiadavky maximálneho rozkmitu je $\delta = 0,5$ a tak

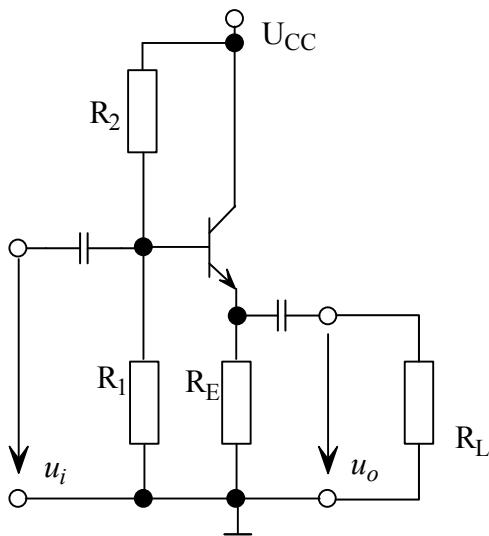
$$I_{CQ} = \frac{U_{CC}}{R_{AC} + R_{DC}}$$

Predchádzajúce vzťahy sú teda univerzálnejšie.

Zosilňovač so spoločným kolektorom (SK)-emitorový sledovač

Emitorový sledovač (ES) alebo zosilňovač so spoločným kolektorom má, na rozdiel od predchádzajúceho (SE), výstup medzi emitorom a zemou. Používa sa v prípade potreby prúdového alebo výkonového zosilnenia.

SE zosilňovač otáča fázu napätia na výstupe kolektora oproti fáze budiaceho signálu. To zn., že ak napätie na vstupe narastá napätie na výstupe klesá. Výstupné napätie na výstupe SK má súhlasnú fázu s budiacim napätím. Napäťové zosilnenie zosilňovača so SK je veľmi málo menej ako 1., pričom v prípade SE zosilňovača je výrazne väčšie ako 1. Nie je nevyhnutné aby v kolektorovej vetve bol zapojený odpor a tiež nie je potrebné premostenie emitorového odporu kondenzátorom. Pri podobnej analýze obvodu na nasledujúcom obrázku ako v predchádzajúcom prípade môžeme tvrdiť, že:



$$R_{AC} = R_E \parallel R_L \text{ a } R_{DC} = R_E.$$

DC zaťažovacia priamka je daná

$$i_C = \frac{U_{CC} - u_{CE}}{R_{DC}}.$$

AC zaťažovacia priamka je v prípade požiadavky maximálneho rozkmitu daná rovnakým spôsobom ako v prípade SE. Q bod je potom definovaný:

$$I_{CQ} = \frac{U_{CC}}{R_{AC} + R_{DC}} = \frac{U_{CC}}{R_E + (R_E \parallel R_L)} \text{ a}$$

$$U_{CEQ} = I_{CQ} R_{AC} = I_{CQ} (R_E \parallel R_L)$$

Postupy analýzy a syntézy sú rovnaké ako v prípade SE. Rozdiely sú iba v definíciách R_{AC} a R_{DC} . Maximálny rozkmit výstupného napätia je

$$U_{Om} = 2i_C (\text{maximálna amplitúda}) \times (R_E \parallel R_L)$$