

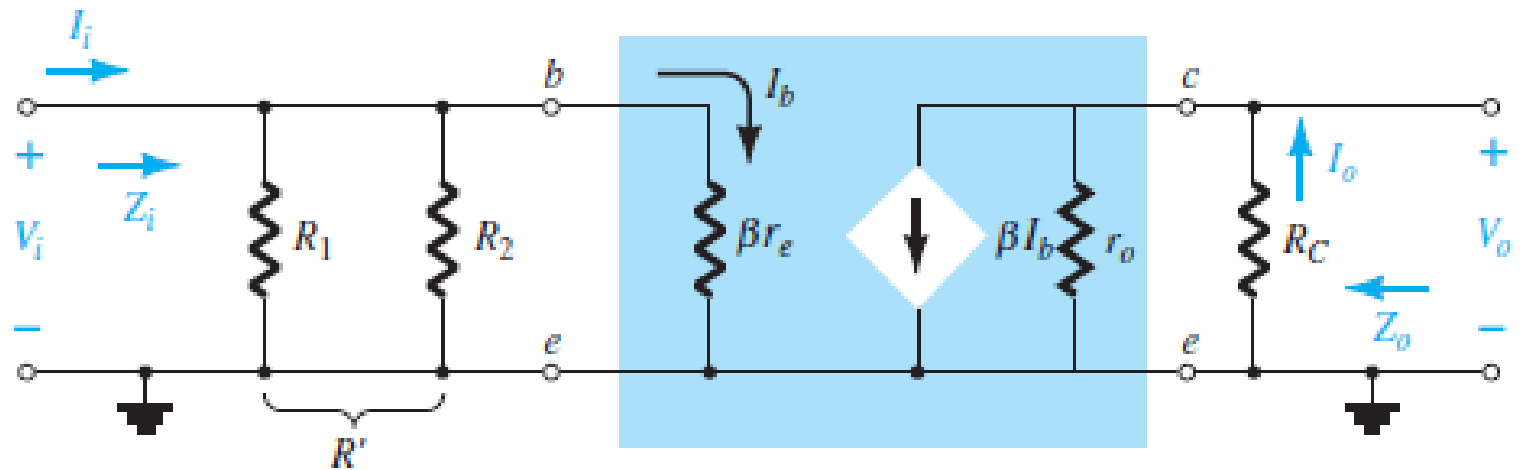
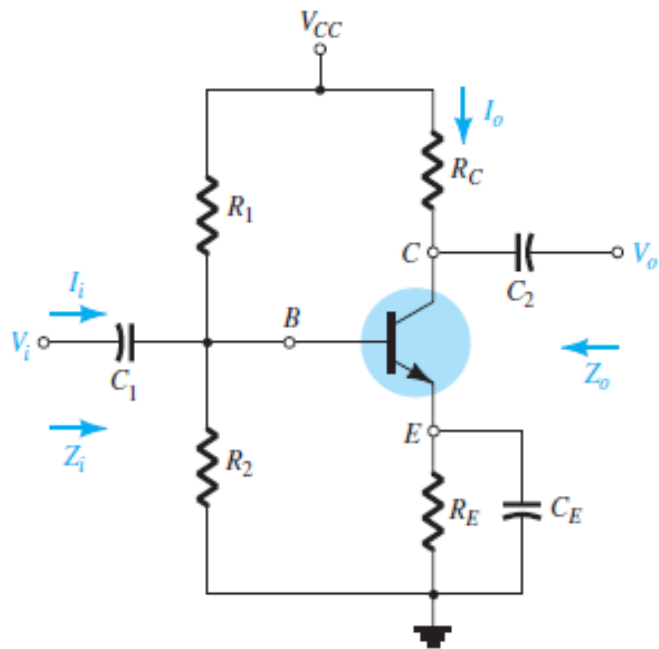
Elektronički Elementi i Sklopovi

Sadržaj predavanja:

1. AC analiza tranzistora u spoju zajedničkog emitera sa naponskim djelilom u ulaznom krugu
2. AC analiza tranzistora u spoju zajedničkog emitera sa emitorskim otporom bez bypass kondenzatora

Elektronički Elementi i Sklopovi

Na slici je konfiguracija sa naponskim djelilicom u ulaznom krugu. Da bi proveli AC analizu, sve DC naponske izvore kratko uzemljimo. Pod pretpostavkom da je frekvencija dovoljno visoka možemo uzemljiti i sve kondenzatore. Upotrebom ekvivalentnog r_e modela dobije se ekvivalentna mreža kao na slici desno.



Elektronički Elementi i Sklopovi

Iz ekvivalentne mreže očito je da su otpori R_1 i R_2 u paralelnom spoju te se mogu zamijeniti otporom R' :

$$(1) R' = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Ulazna impedancija Z_i je paralelna kombinacija otpora R' i otpora βr_e :

$$(2) Z_i = R' \parallel \beta r_e$$

Da se odredi izlazna impedancija Z_o postavi se ulazni napon $V_i = 0$ te zbog toga imamo da je $I_b = 0$ te posljedično imamo da je $\beta I_b = 0$. Zbog toga je izlazna impedancija Z_o :

$$(3) Z_o = R_C \parallel r_o$$

Uz uvjet da je $r_o \geq 10R_C$ izlazna impedancija postaje:

$$(4) Z_o \cong R_C$$

Elektronički Elementi i Sklopovi

Naponsko pojačanje A_v konfiguracije u spoju zajedničkog emitera sa naponskim djelilom u krugu baze jest omjer izlaznog napona V_o i ulaznog napona V_i :

$$(5) A_v = \frac{V_o}{V_i}$$

Budući da u izlaznom krugu imamo paralelnu kombinaciju otpora r_o i R_C , izlazni napon možemo izraziti kao:

$$(6) V_o = -(\beta I_b)(R_C \parallel r_o)$$

Iz ulaznog kruga može se odrediti struja I_b :

$$(7) I_b = \frac{V_i}{\beta r_e}$$

Elektronički Elementi i Sklopovi

Uvrštavajući izraz (7) u (6) dobije se:

$$(8) V_o = -(\beta I_b)(R_C \parallel r_o) = -\left(\beta \frac{V_i}{\beta r_e}\right)(R_C \parallel r_o) = -\left(\frac{V_i}{r_e}\right)(R_C \parallel r_o)$$

Uvrštavanjem (8) u (5) dobije se izraz za naponsko pojačanje A_v :

$$(9) A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{1}{V_i} \left(\frac{V_i}{r_e}\right)(R_C \parallel r_o) = -\frac{R_C \parallel r_o}{r_e}$$

U slučaju da je zadovoljeno da $r_o \geq 10R_C$ izraz (9) postaje:

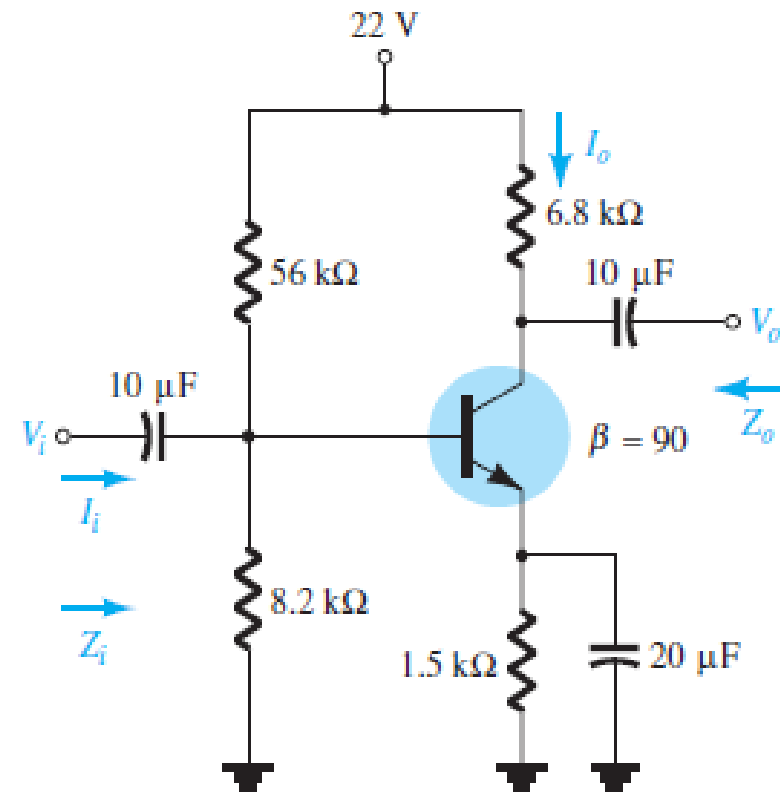
$$(10) A_v = -\frac{R_C}{r_e}$$

Negativni predznak u (10) znači da je izlazni napon zakrenut u fazi za kut od 180° u odnosu na ulazni.

Elektronički Elementi i Sklopovi

PRIMJER 1. Za mrežu na slici treba odrediti:

- A) r_e
- B) Z_i
- C) Z_o (ako je $r_o = \infty \Omega$)
- D) A_v (ako je $r_o = \infty \Omega$)
- E) ponoviti (C) i (D) ako je $r_o = 50 k\Omega$



Elektronički Elementi i Sklopovi

Rješenje:

A) Da bi se našao otpor r_e treba prvo odrediti struju emitera I_E . To možemo tako što se prvo odredi napon na bazi V_B :

$$(A.1.1) V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

Da bi jednadžba (A.1.1) vrijedila prvo mora biti zadovoljeno da je $\beta R_E > 10R_2$:

$$(90)(1.5 \text{ k}\Omega) > 10(8.2 \text{ k}\Omega)$$

$$135 \text{ k}\Omega > 82 \text{ k}\Omega$$

Dakle uvjet $\beta R_E > 10R_2$ je zadovoljen!

Elektronički Elementi i Sklopovi

Sada se iz izraza (A.1.1) odredi napon V_B :

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = \frac{8.2 \text{ k}\Omega}{56 \text{ k}\Omega + 8.2 \text{ k}\Omega} \cdot 22 \text{ V} = 2.81 \text{ V}$$

Budući da je tranzistor u aktivnom području može se odrediti i napon na emiteru:

$$V_E = V_B - V_{BE} = 2.81 \text{ V} - 0.7 \text{ V} = 2.11 \text{ V}$$

Emiterska struja I_E može se naći iz izraza:

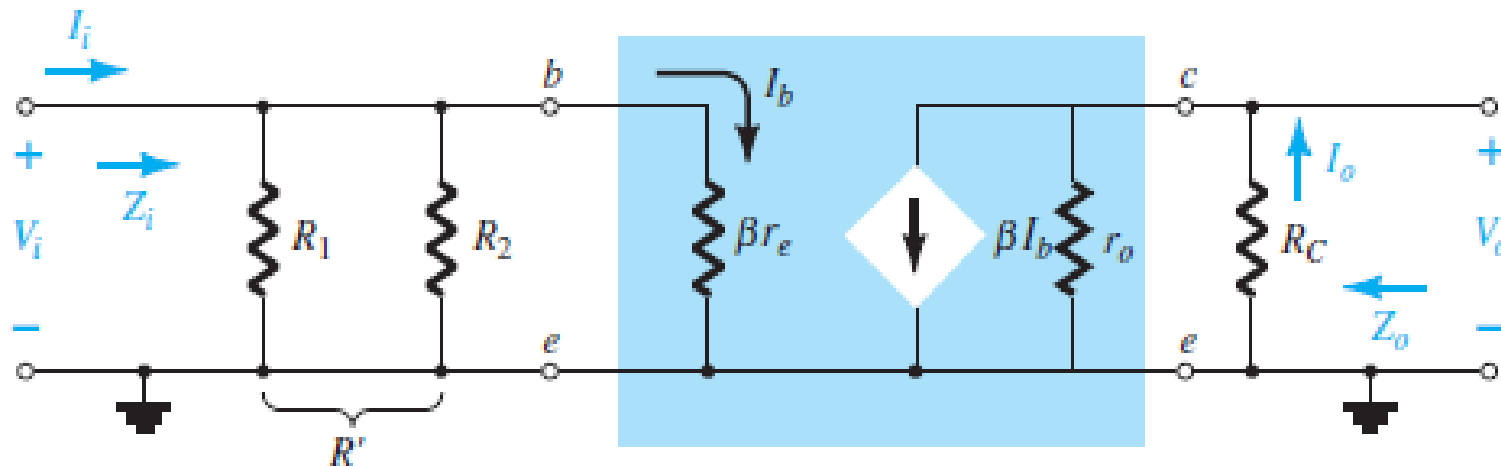
$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{2.11 \text{ V}}{1.5 \text{ k}\Omega} = 1.41 \text{ mA}$$

Otpor r_e je dinamički otpor diode emiter-baza u nadomjesnom modelu:

$$r_e = \frac{26 \text{ mV}}{I_E} = \frac{26 \text{ mV}}{1.41 \text{ mA}} = 18.44 \Omega$$

Elektronički Elementi i Sklopovi

B) Ulazna impedancija Z_i je ulazna impedancija u r_e nadomjesnom modelu:



$$R' = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{56 \text{ k}\Omega \cdot 8.2 \text{ k}\Omega}{56 \text{ k}\Omega + 8.2 \text{ k}\Omega} = 7.15 \text{ k}\Omega$$

$$Z_i = R' \parallel \beta r_e = \frac{7.15 \text{ k}\Omega \cdot (90 \cdot 18.44 \text{ }\Omega)}{7.15 \text{ k}\Omega + 90 \cdot 18.44 \text{ }\Omega} = 1.35 \text{ k}\Omega$$

Elektronički Elementi i Sklopovi

C) ako je $r_o = \infty\Omega$ (otvoreni krug) izlazna impedancija jest:

$$Z_o \cong R_C = 6.8k\Omega$$

D) Uz uvjet da je $r_o = \infty\Omega$ naponsko pojačanje A_v se može naći kao:

$$A_v = -\frac{R_C}{r_e} = -\frac{6.8k\Omega}{18.44\Omega} = -368.76$$

E) Ako je $r_o = 50k\Omega$ onda je izlazna impedancija:

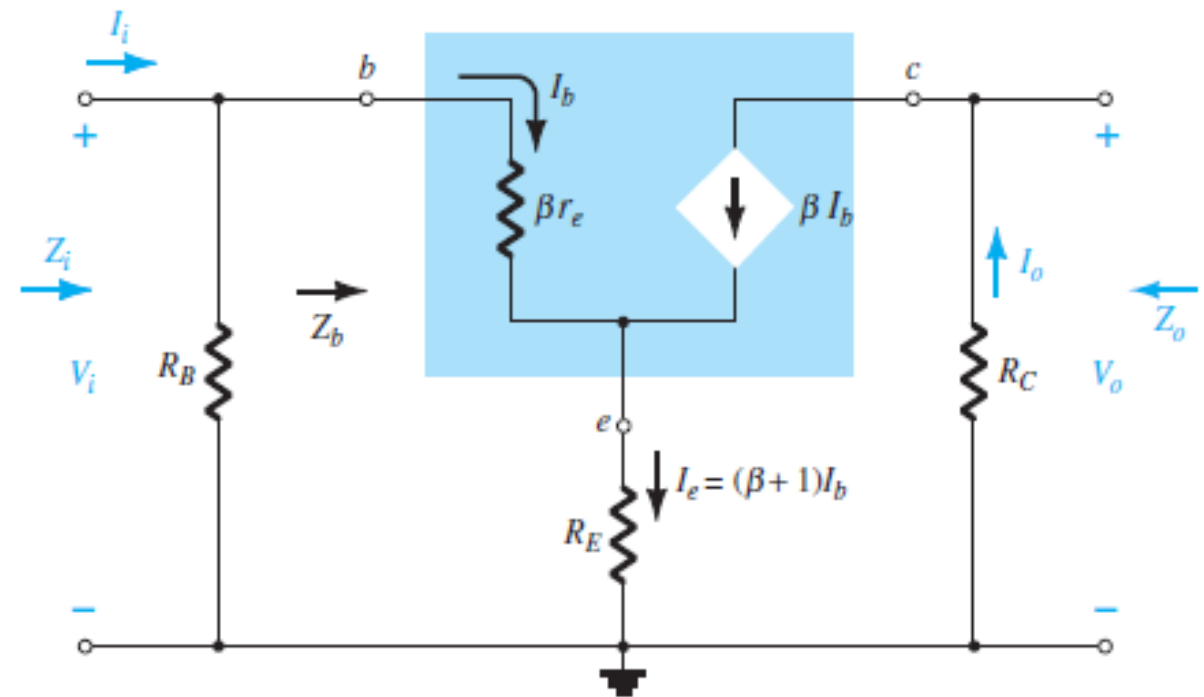
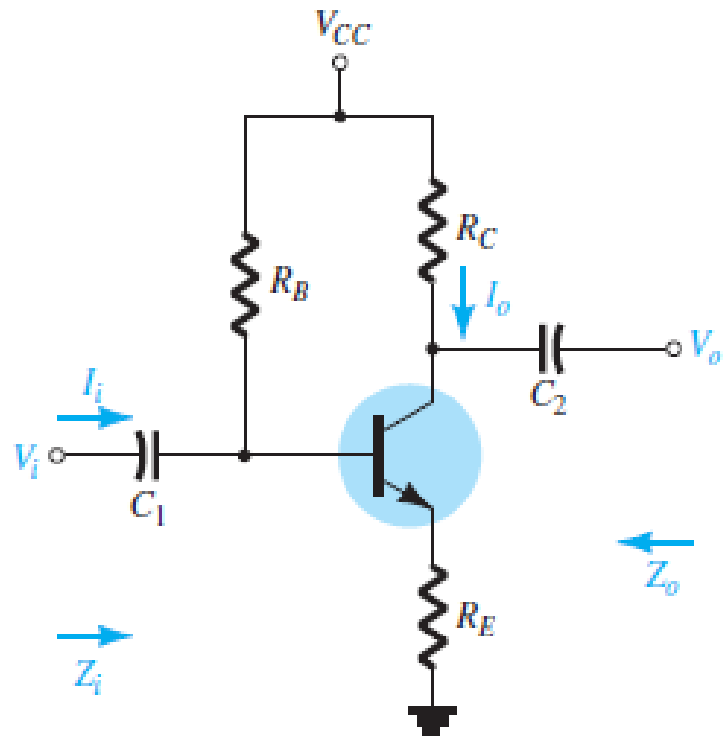
$$Z_o = R_C \parallel r_o = \frac{6.8k\Omega \cdot 50k\Omega}{6.8k\Omega + 50k\Omega} = 5.98k\Omega$$

te je u tom slučaju naponsko pojačanje A_v :

$$A_v = -\frac{R_C \parallel r_o}{r_e} = -\frac{5.98k\Omega}{18.44\Omega} = -324.3$$

Elektronički Elementi i Sklopovi

Spoj zajedničkog emitera bez bypass kondenzatora je na slici lijevo dok je nadomjesna shama sa r_e modelom tranzistora na slici desno.



Elektronički Elementi i Sklopovi

Otpor zbog Earlyevog napona r_o je uklonjen iz nadomjesnog modela radi jednostavnije AC analize.

Na strani ulaza može se primjeniti Kirchhoffov zakon za napone:

$$(11) V_i = I_b \beta r_e + I_e R_E$$

Korištenjem izraza $I_e = (\beta + 1)I_b$ jednadžba (11) postaje:

$$(12) V_i = I_b \beta r_e + (\beta + 1)I_b R_E$$

Ulazna impedancija sklopa Z_b udesno od otpora R_B (vidi nadomjesnu shemu) može se izraziti kao omjer napona V_i i struje baze I_b :

$$(13) Z_b = \frac{V_i}{I_b} = \beta r_e + (\beta + 1)R_E$$

Elektronički Elementi i Sklopovi

Zbog toga što je obično $\beta \gg 1$ izraz (13) postaje:

$$(14) Z_b \cong \beta(r_e + R_E)$$

Budući da je obično zadovoljeno da je $R_E \gg r_e$ vrijedi da:

$$(15) Z_b \cong \beta R_E$$

Ulazna impedancija Z_i je paralelna kombinacija otpora R_B i impedancije Z_b :

$$(16) Z_i = R_B \parallel Z_b$$

Izlazna impedancija Z_o je ona impedancija kada je ulazni napon V_i jednak nuli. Tada je struja $I_b = 0$, te se trujni izvor βI_b u izlaznom krugu može zamijeniti otvorenim krugom. Zbog toga je izlazna impedancija Z_o jednaka:

$$(17) Z_o = R_C$$

Elektronički Elementi i Sklopovi

Pojačanje se može naći iz izraza:

$$(18) A_v = \frac{V_o}{V_i}$$

Izlazni napon V_o se lako odredi iz nadomjesne sheme:

$$(19) V_o = -I_o R_C = -\beta I_b R_C$$

S druge strane struja I_b može se izraziti kao:

$$(20) I_b = \frac{V_i}{Z_b}$$

Uvrštavanjem (20) u (19) dobije se izraz za izlazni napon V_o :

$$(21) V_o = -\beta \frac{V_i}{Z_b} R_C$$

Elektronički Elementi i Sklopovi

Uvrštavanjem (21) u (18) dobije se izraz za naponsko pojačanje:

$$(22) A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\beta \frac{1}{V_i Z_b} R_C = -\frac{\beta R_C}{Z_b}$$

Kada uvrstimo izraz za impedanciju $Z_b \cong \beta(r_e + R_E)$ u (22) dobije se konačni izraz za naponsko pojačanje A_v :

$$(23) A_v = -\frac{R_C}{r_e + R_E}$$

Ako je R_E odabran tako da je $\gg r_e$ tada naponsko pojačanje A_v postaje:

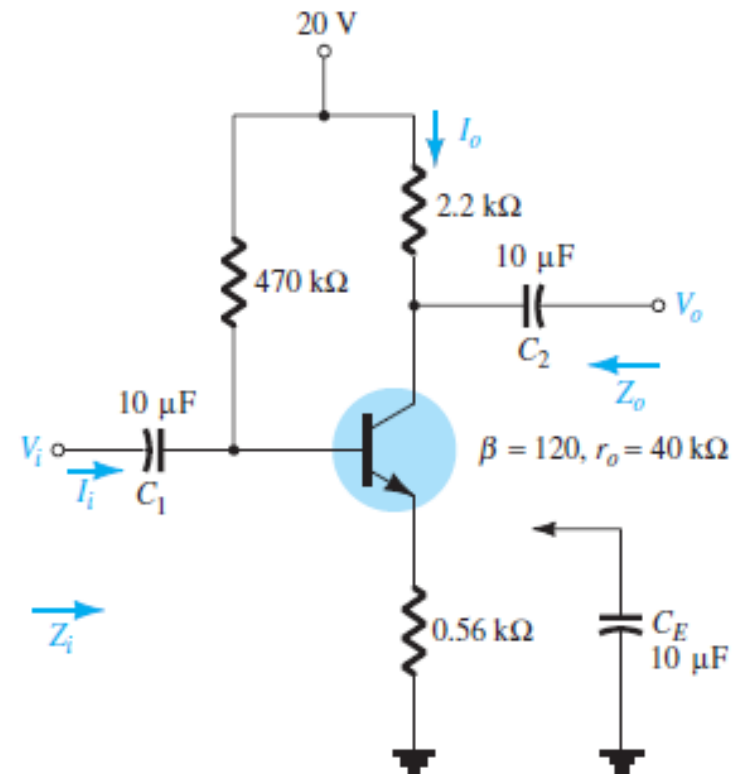
$$(24) A_v = -\frac{R_C}{R_E}$$

Iz izraza (24) vidljivo je da ako je okolna mreža ispravno odabrana, naponsko pojačanje A_v u spoju zajedničkog emitera bez bypass kondenzatora ne ovisi o β !

Elektronički Elementi i Sklopovi

PRIMJER 2. Za mrežu na slici treba odrediti:

- A) r_e
- B) Z_i
- C) Z_o
- D) A_v



Elektronički Elementi i Sklopovi

Rješenje:

A) otpor r_e se može odrediti pomoću DC analize sklopa