

Pojačavači sa BJT

- **Opšta razmatranja**
- **Analiza radne tačke**
- **Topologije pojačavača sa BJT**
- **Rezime i primjeri za vježbu**

Pojačavači sa bipolarnim tranzistorom

Opšti koncepti

- Ulazna i izlazna impedansa
- Polarizacija
- DC i analiza malih signala

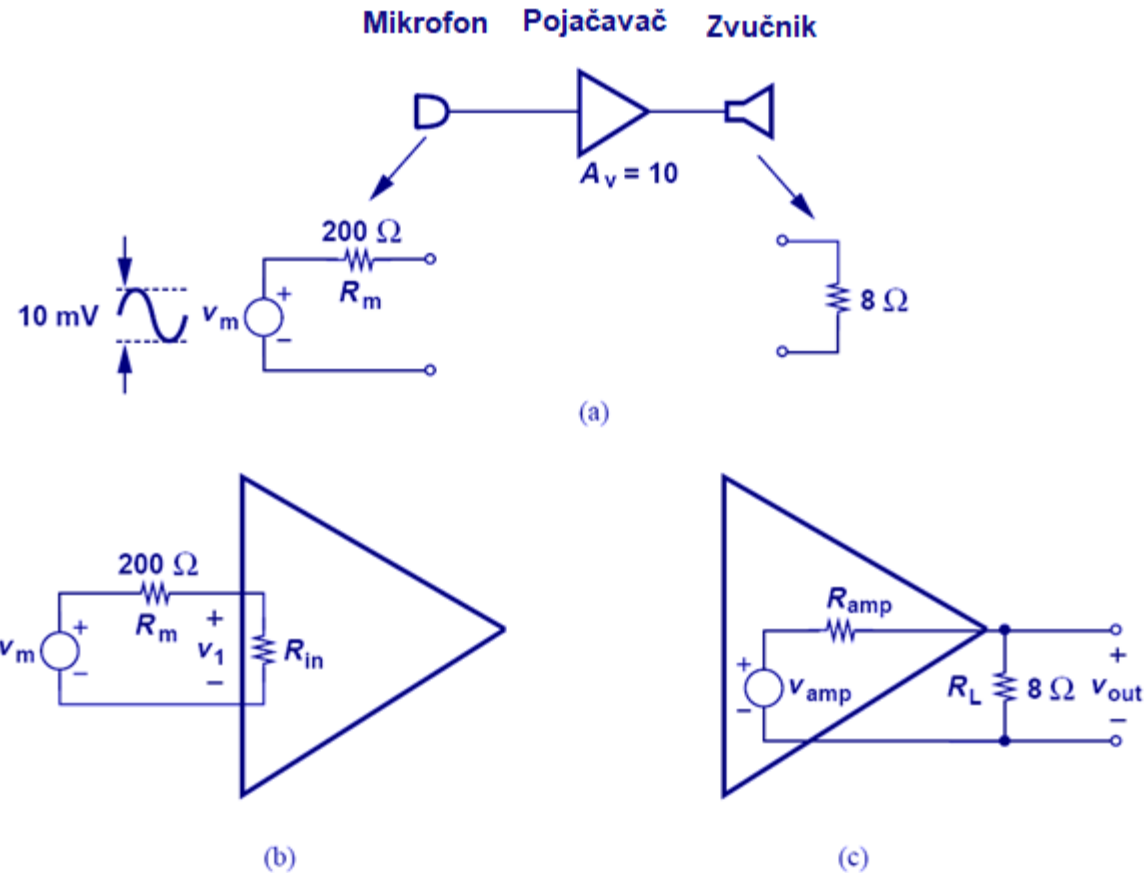
Analiza radne tačke

- Jednostavna polarizacija
- Emitorski otpornik
- Samo-polarizacija
- Polarizacija PNP pojačavača

Topologije pojačavača

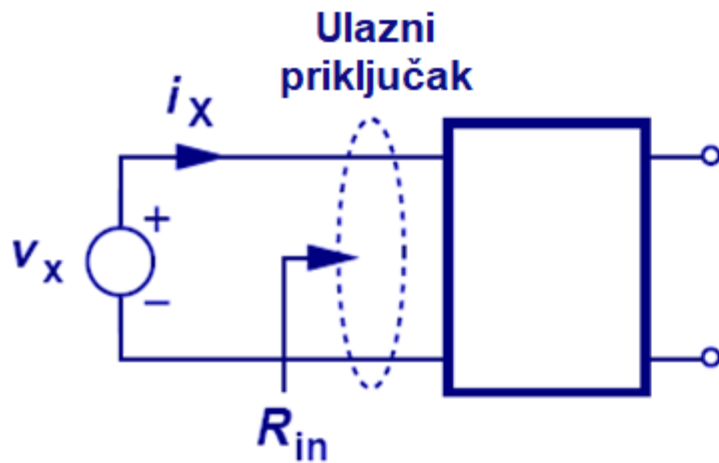
- Zajednički emitor
- Zajednička baza
- Zajednički kolektor (Emitter follower)

Naponski pojačavač

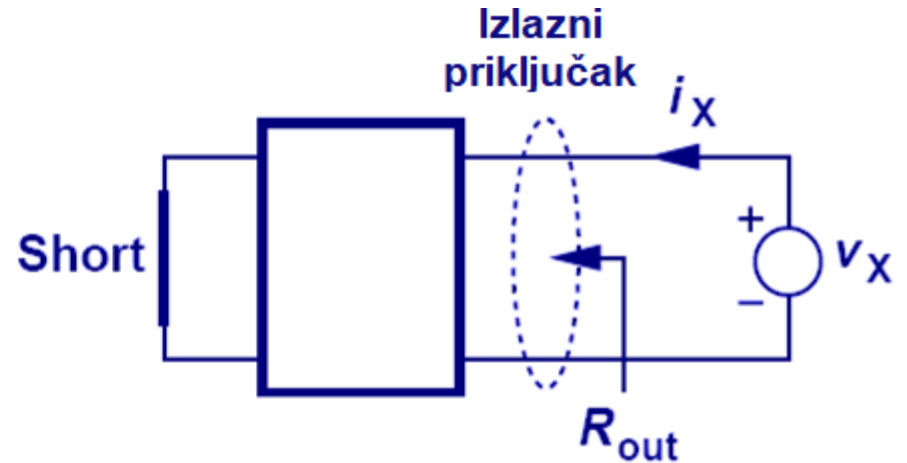


- U idealnom naponskom pojačavaču ulazna otpornost je beskonačna i izlazna otpornost je nula.
- Na žalost, u stvarnosti nije tako.

Ulazno/izlazna otpornost



(a)

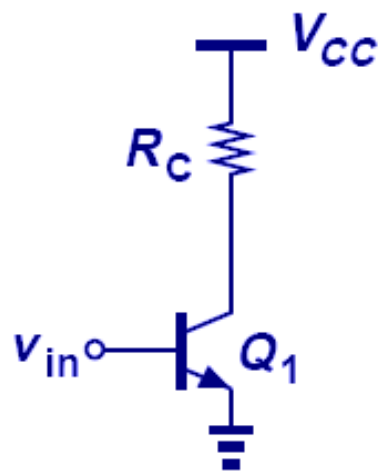


(b)

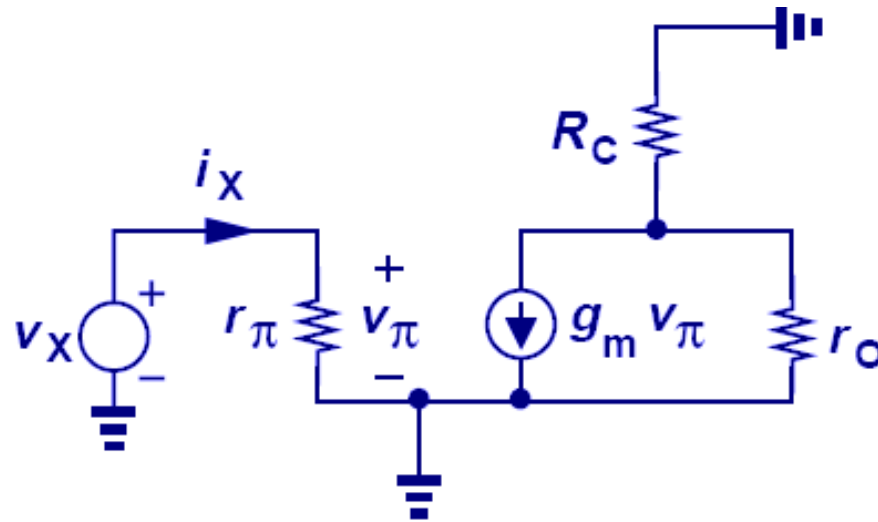
$$R_x = \frac{V_x}{i_x}$$

- Slike iznad pokazuju tehnike mjerenja ulazne i izlazne impedanse.

Ulazna otpornost: Primjer 1



(a)

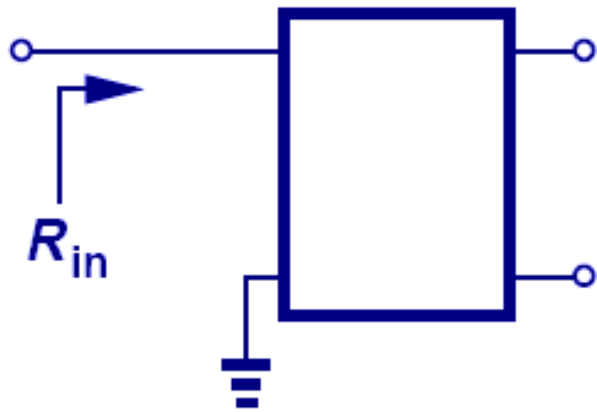


(b)

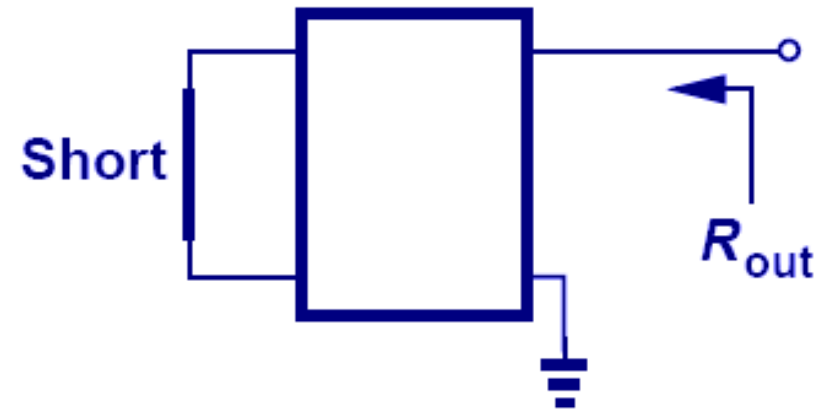
$$\frac{v_x}{i_x} = r_{\pi}$$

- Kada se određuje ulazna i izlazna otpornost podrazumijeva se analiza za male signale.

Impedansa u tački



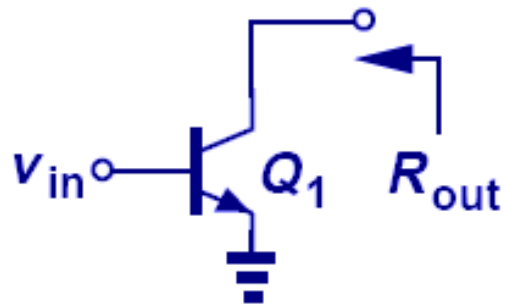
(a)



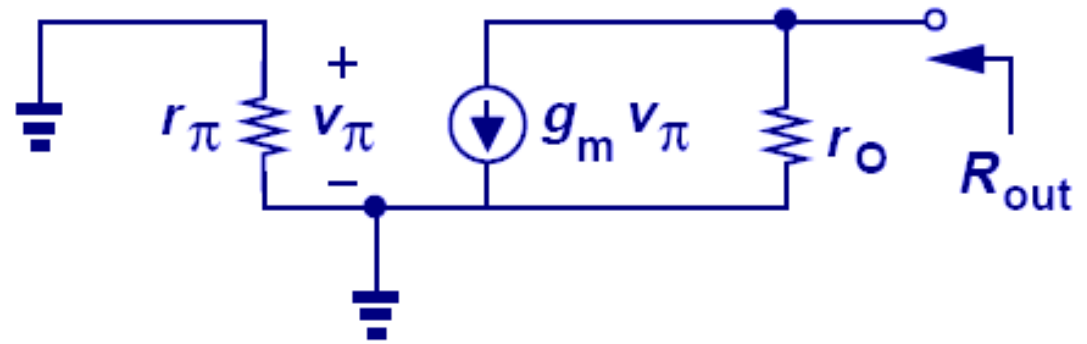
(b)

- Kada se određuju U/I impedance u tački kola, obično se jedan terminal spaja na masu a na drugi terminal se priključuje testni izvor malog signala.

Impedansa u kolektoru



(a)

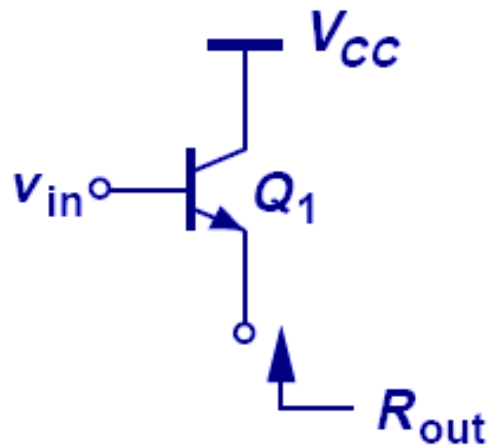


(b)

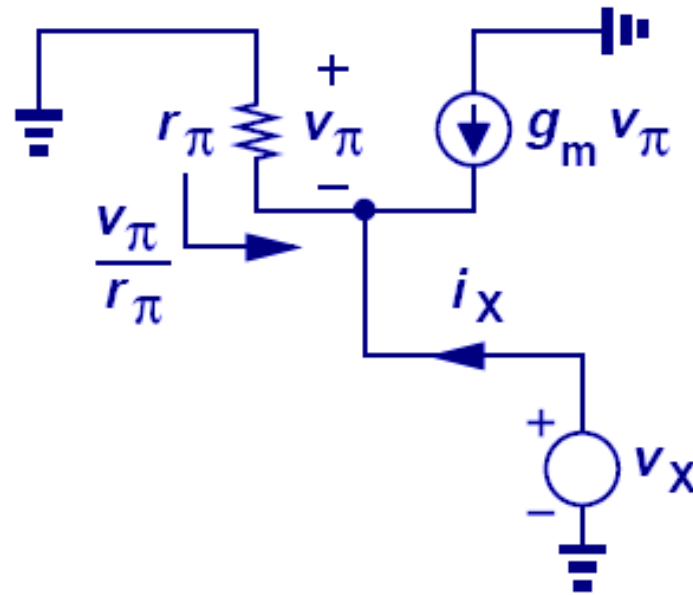
$$R_{out} = r_o$$

- Uzimajući u obzir Early-jev efekat, impedansa koja se vidi na kolektoru jednaka je unutrašnjoj izlaznoj impedansi tranzistora (ako je emitor spojen na masu).

Impedansa u emitoru



(a)



(b)

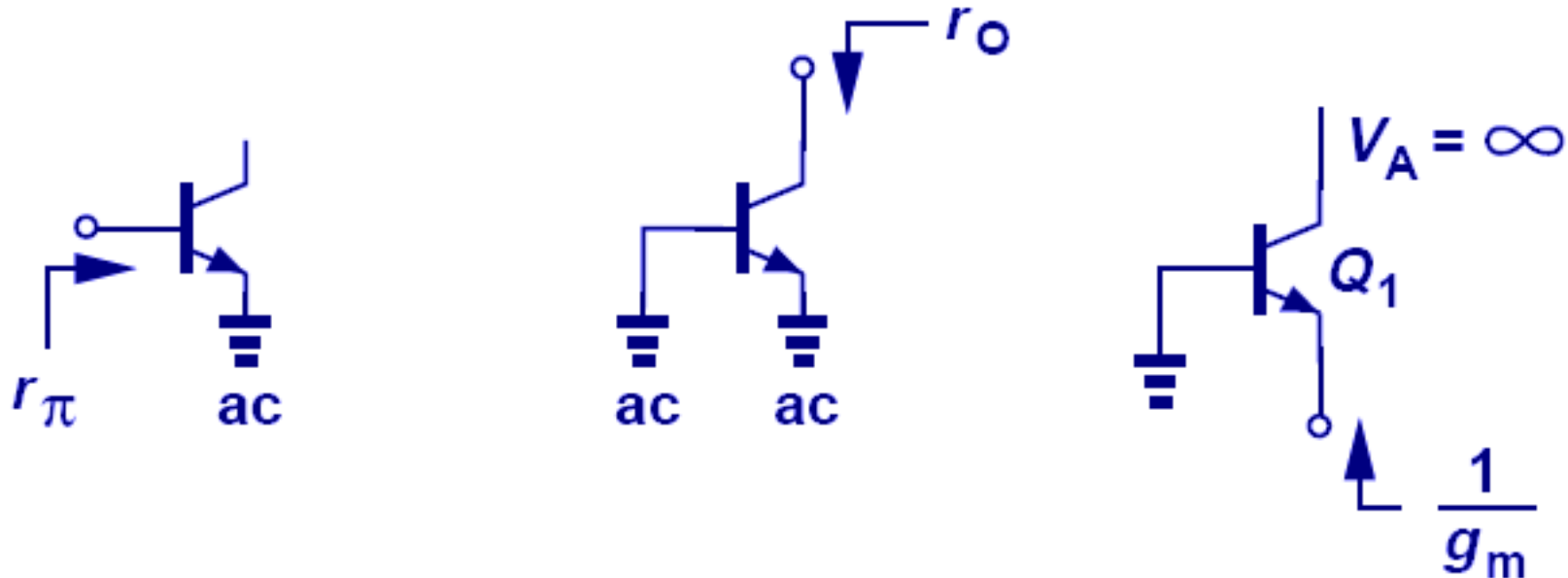
$$\frac{v_x}{i_x} = \frac{1}{g_m + \frac{1}{r_\pi}}$$

$$R_{out} \approx \frac{1}{g_m}$$

$$(V_A = \infty)$$

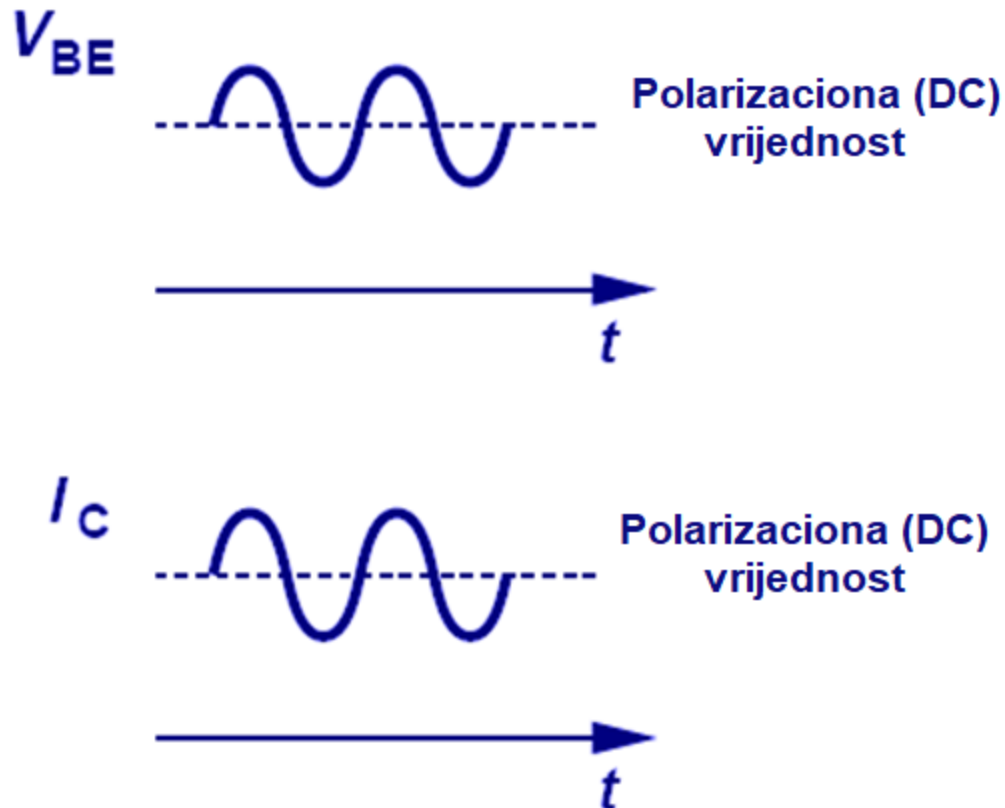
- Impedansa koja se vidi u emitoru tranzistora približno je jednaka recipročnoj vrijednosti transkonductanse (ako je baza na masi).

Tri glavna pravila



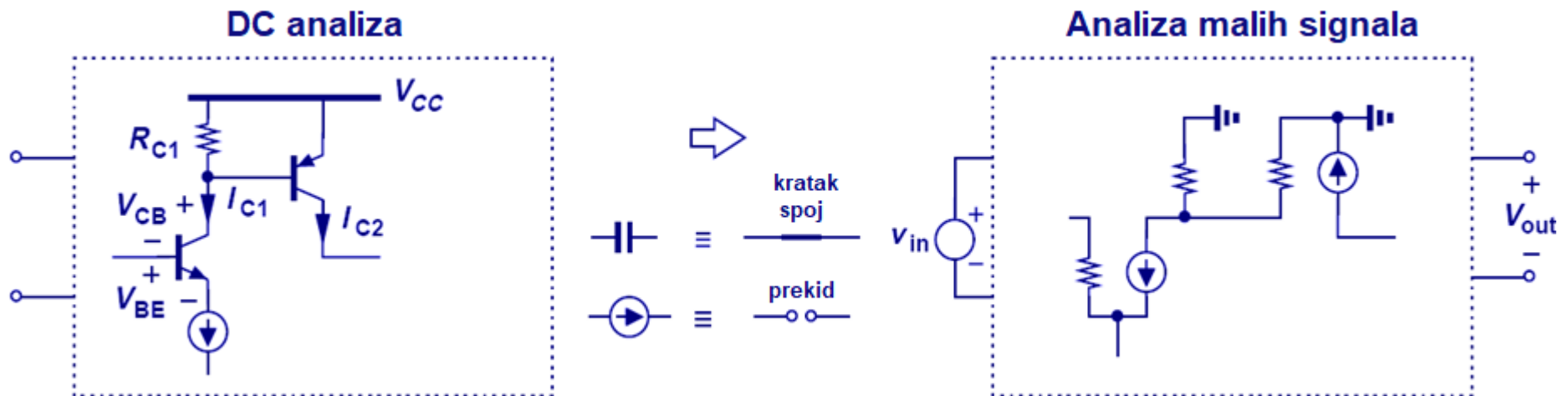
- **Pravilo # 1:** gledajući u bazu, impedansa je r_π ako je emitor na (ac) masi.
- **Pravilo # 2:** gledajući u kolektor, impedansa je r_o ako je emitor na (ac) masi.
- **Pravilo # 3:** gledajući u emitor, impedansa je $1/g_m$ ako je baza na (ac) masi i zanemaren Early-jev efekat.

Polarizacija BJT



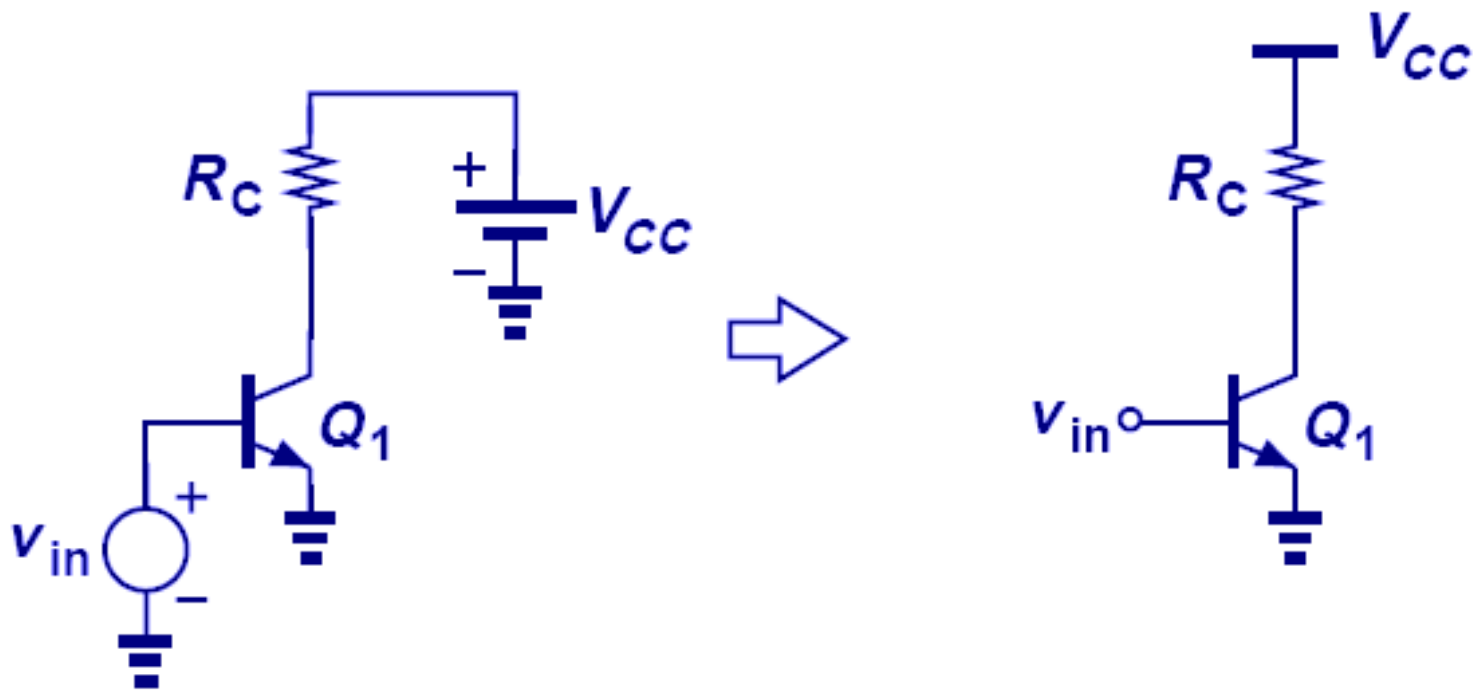
- **Tranzistori moraju biti polarizovani jer**
- tranzistori moraju raditi u aktivnom režimu,
 - parametri njihovih malih signala zavise od uslova polarizacije (položaja radne tačke).

DC analiza vs. Analiza malih signala

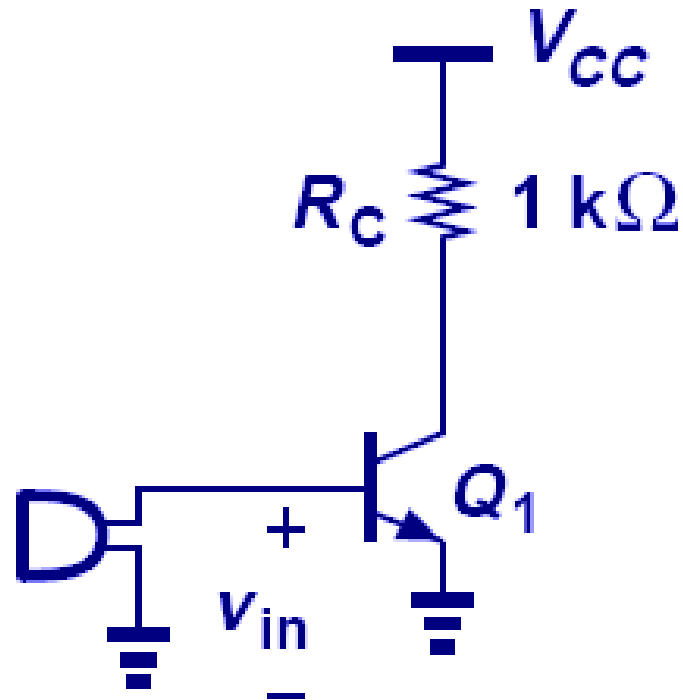


- DC analiza se sprovodi u cilju određivanja radne tačke i dobijanja parametara modela za male signale.
- Prelazi se na analizu malih signala.
- Nezavisni izvori su spojeni na masu, kraktospojeni ili predstavljaju prekid.

Pojednostavljenje označavanja

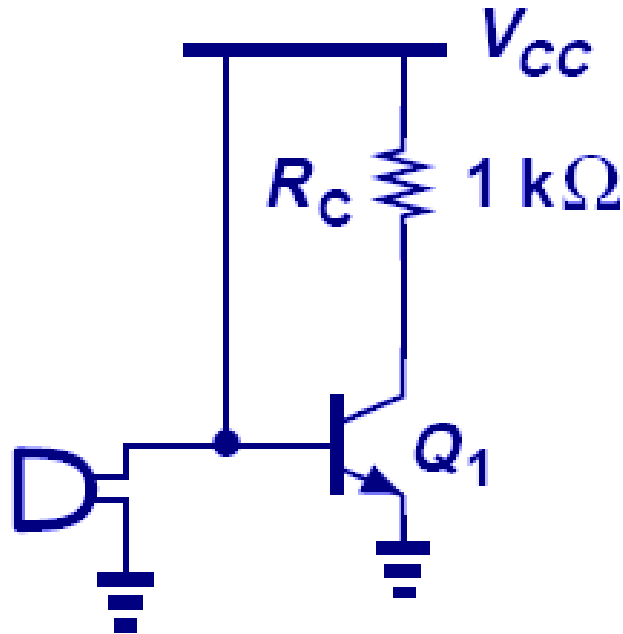


Primjer pogrešne polarizacije



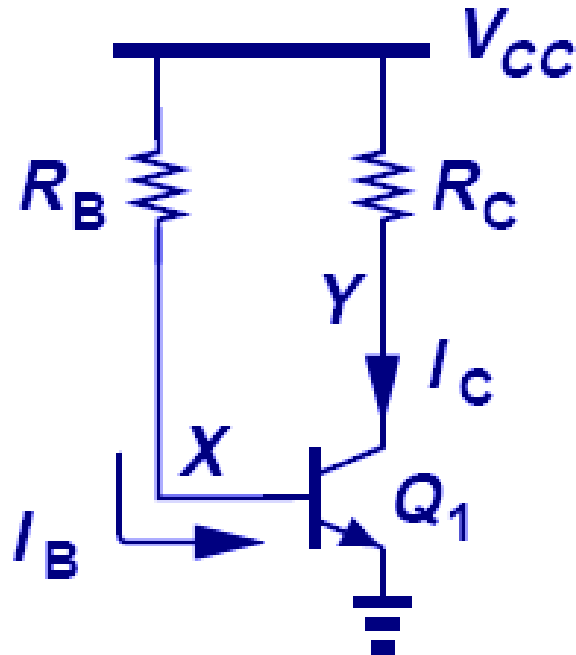
- Mikrofon je povezan na pojačavač u cilju pojačavanja malog izlaznog signala mikrofona.
- Na žalost, na ovaj način nema DC polarizacione struje kroz transistor (nema definisane transkonduktanse).

Još jedan primjer loše polarizacije



- Baza pojačavača je povezana na V_{CC} , u pokušavaju uspostave DC komponente.
- Na žalost, izlazni signal mikrofona je kratko spojen na napon napajanja.

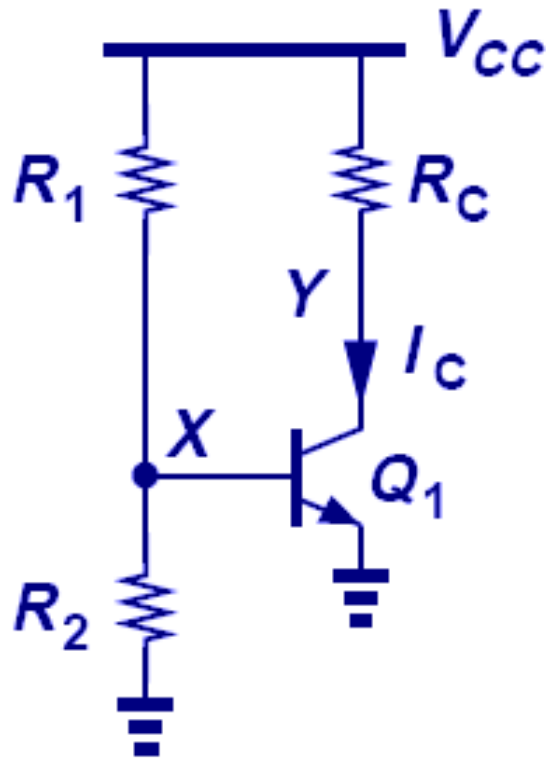
Polarizacija sa otpornikom u bazi



$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}, I_C = \beta \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

- Podrazumijevajući konstantnu vrijednost za V_{BE} , lako je odrediti I_B i I_C kao i napone na priključcima tranzistora.
- Međutim, radna tačka veoma zavisi od varijacija parametra β .

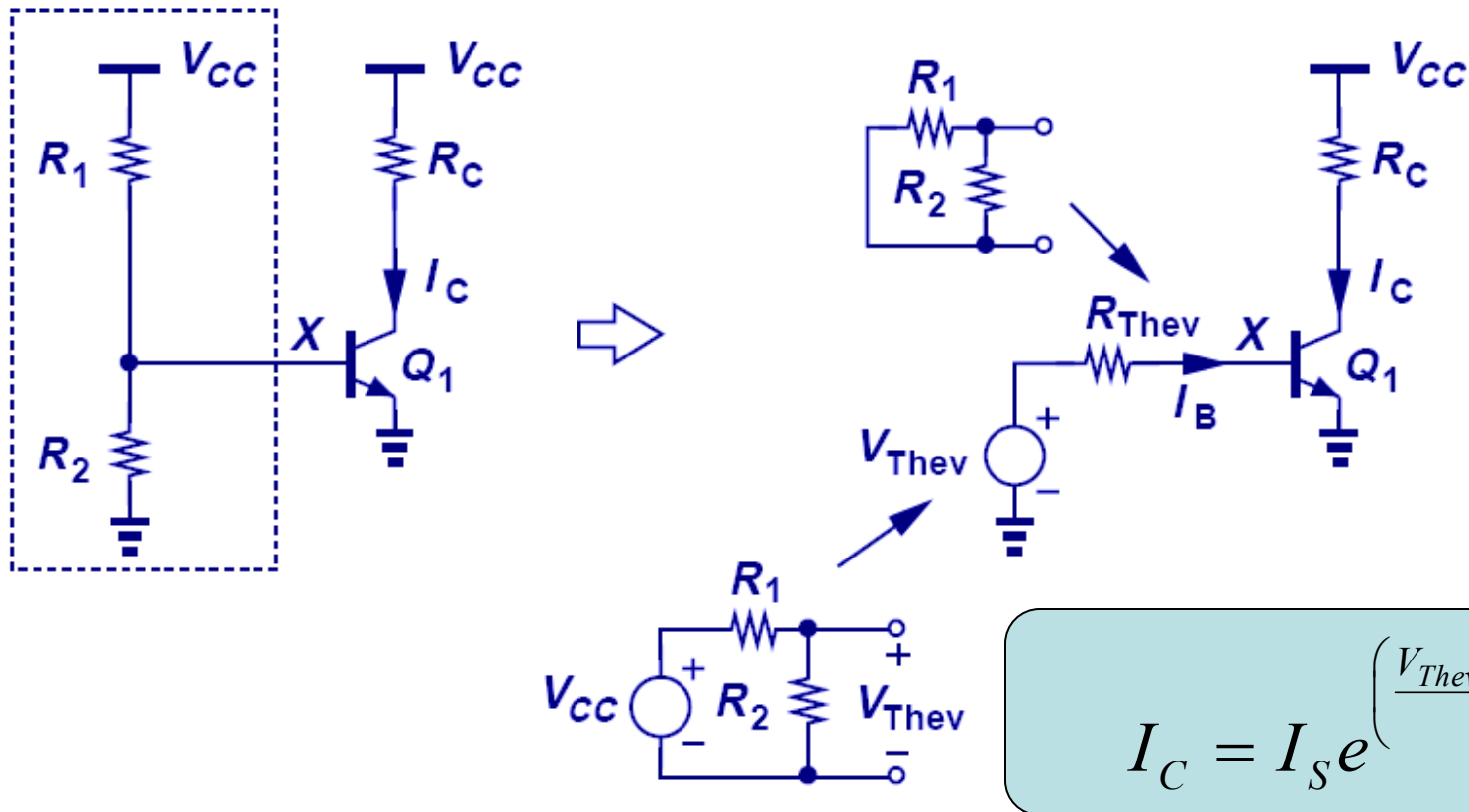
Bolje rješenje: Otpornički razdjelnik



$$V_X \approx \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$
$$I_C \approx I_S e^{\left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{V_{CC}}{V_T}\right)}$$

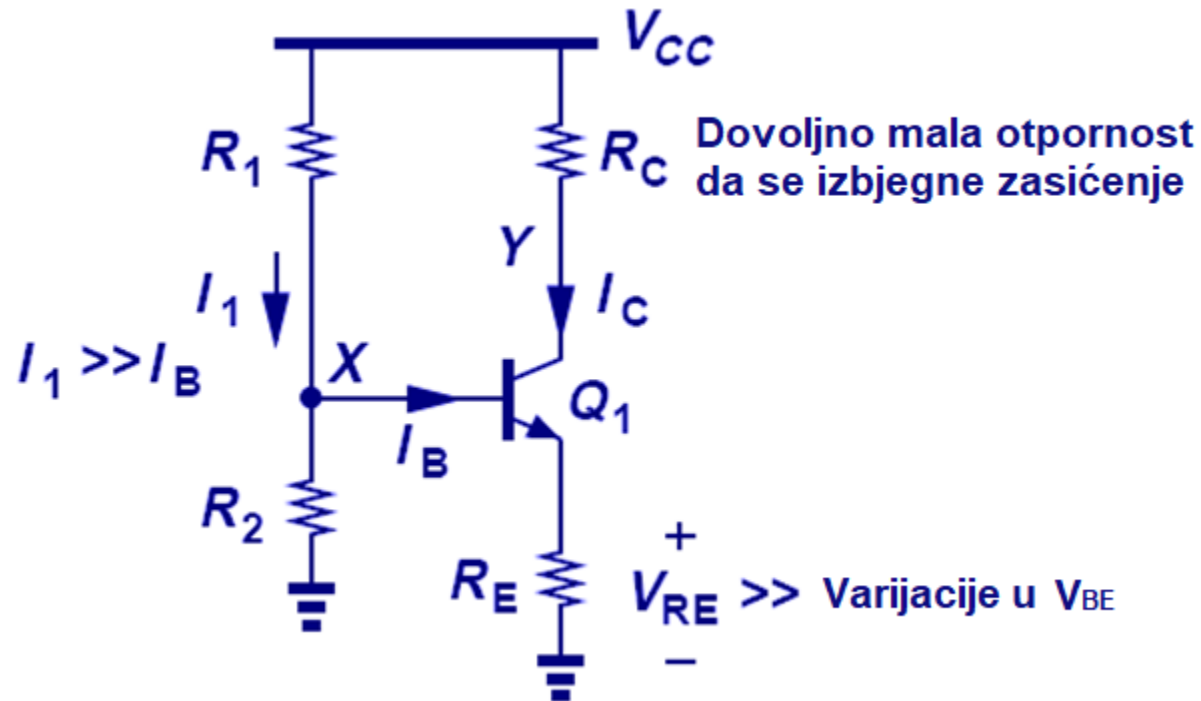
- Upotrebom otporničkog razdjelnika za postavljanje V_{BE} , moguće je dobiti I_C koja je relativno nezavistna od β , ako je bazna struja mala u odnosu na struje kroz otpornike otporničkog razdjelnika.

Izračunavanje struje baze



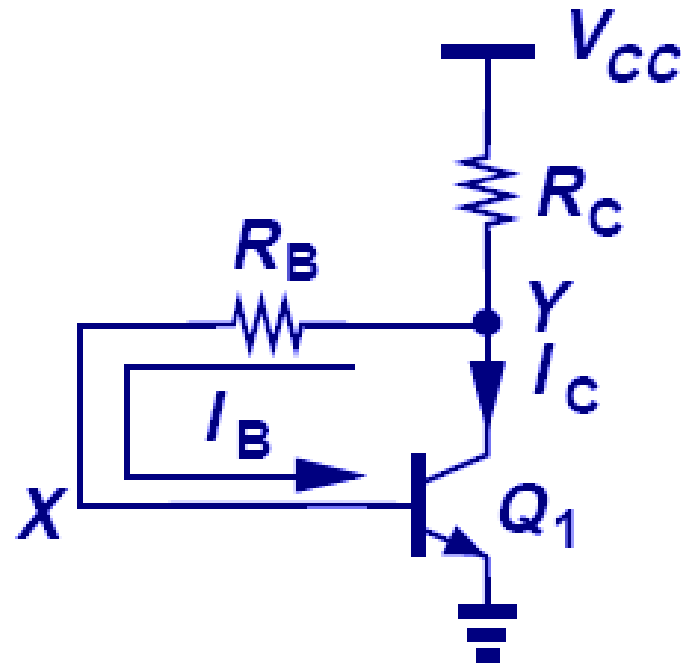
- Sa odgovarajućim odnosom R_1 i R_2 , I_C može biti nezavisna od β .
- Međutim, eksponencijalna zavisnost od odnosa otpornika čini ovo rješenje prilično nepraktičnim.

Polarizacija upotrebom emitorskog otpornika



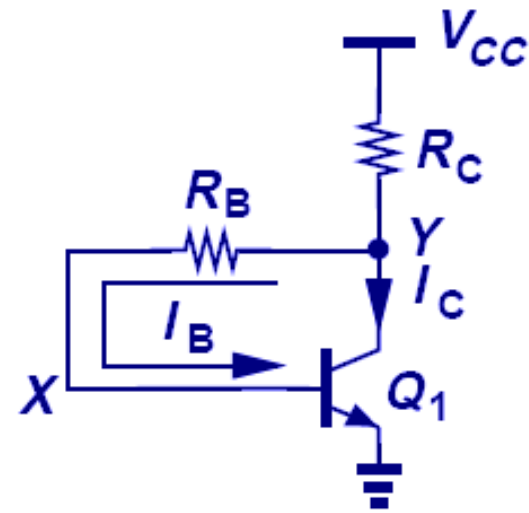
- R_E pomaže da upije promjene u V_X tako da V_{BE} ostaje relativno konstantno.
- Ovaj način polarizacije je manje osjetljiv na β ($I_1 \gg I_B$) i varijacije V_{BE} .

Samo-polarizaciona tehnika



- Ovom tehnikom upotrebljava se kolektorski napon u cilju obezbjeđivanja neophodnih V_x i I_B .
- Važna karakteristika ovog rješenja je da kolektor ima veći potencijal od baze, tako da je garantovan aktivni režim rada tranzistora.

Uputstva za primjenu samo-polarizacije

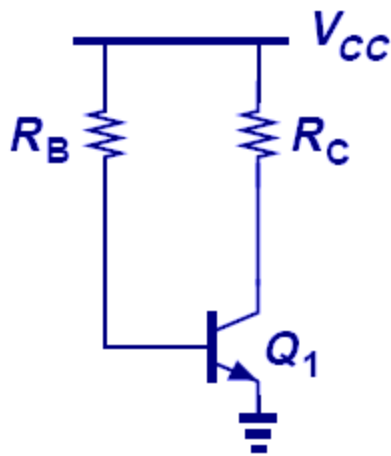


$$(1) \quad R_C \gg \frac{R_B}{\beta}$$

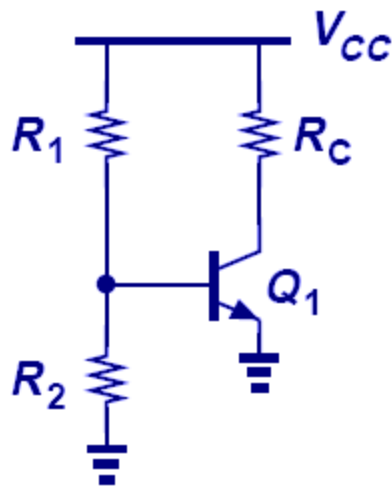
$$(2) \quad \Delta V_{BE} \ll V_{CC} - V_{BE}$$

- (1) obezbjeđuje neosjetljivost na β .
- (2) obezbjeđuje neosjetljivost na promjene V_{BE} .

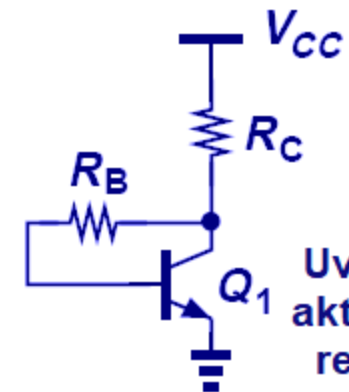
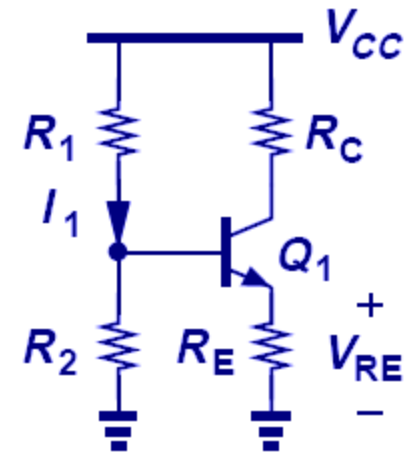
Rezime polarizacionih tehnika



Osjetljiv
na β

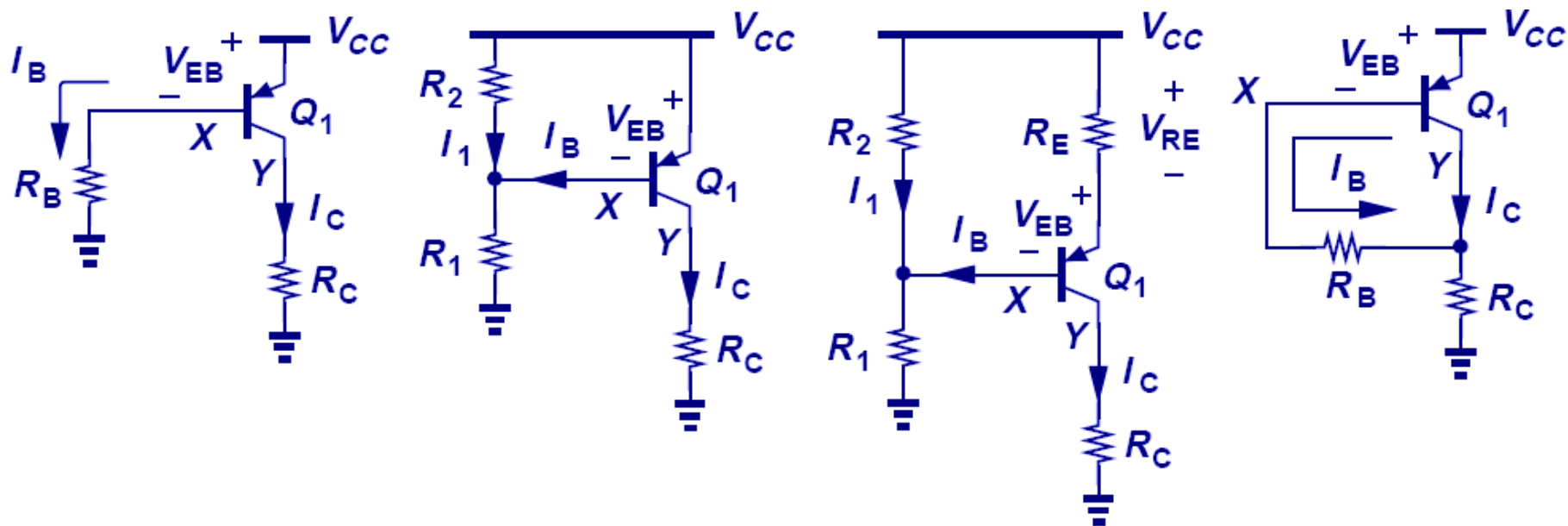


Osjetljiv na odstupanja
vrijednosti otpornosti
otpornika



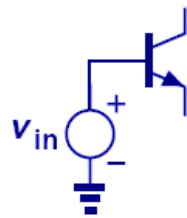
Uvijek u
aktivnom
režimu

Polarizacije pojačavača sa PNP tranzistorom



- Isti principi primijenjeni za NPN polarizaciju važe i za PNP, samo je polaritet suprotan.

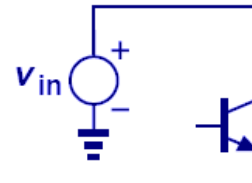
Moguće topologije BJT pojačavača



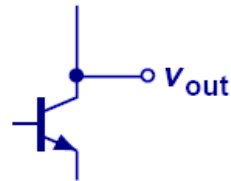
(a)



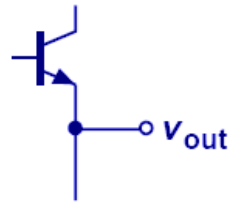
(b)



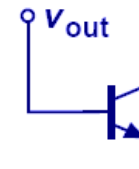
(c)



(d)



(e)



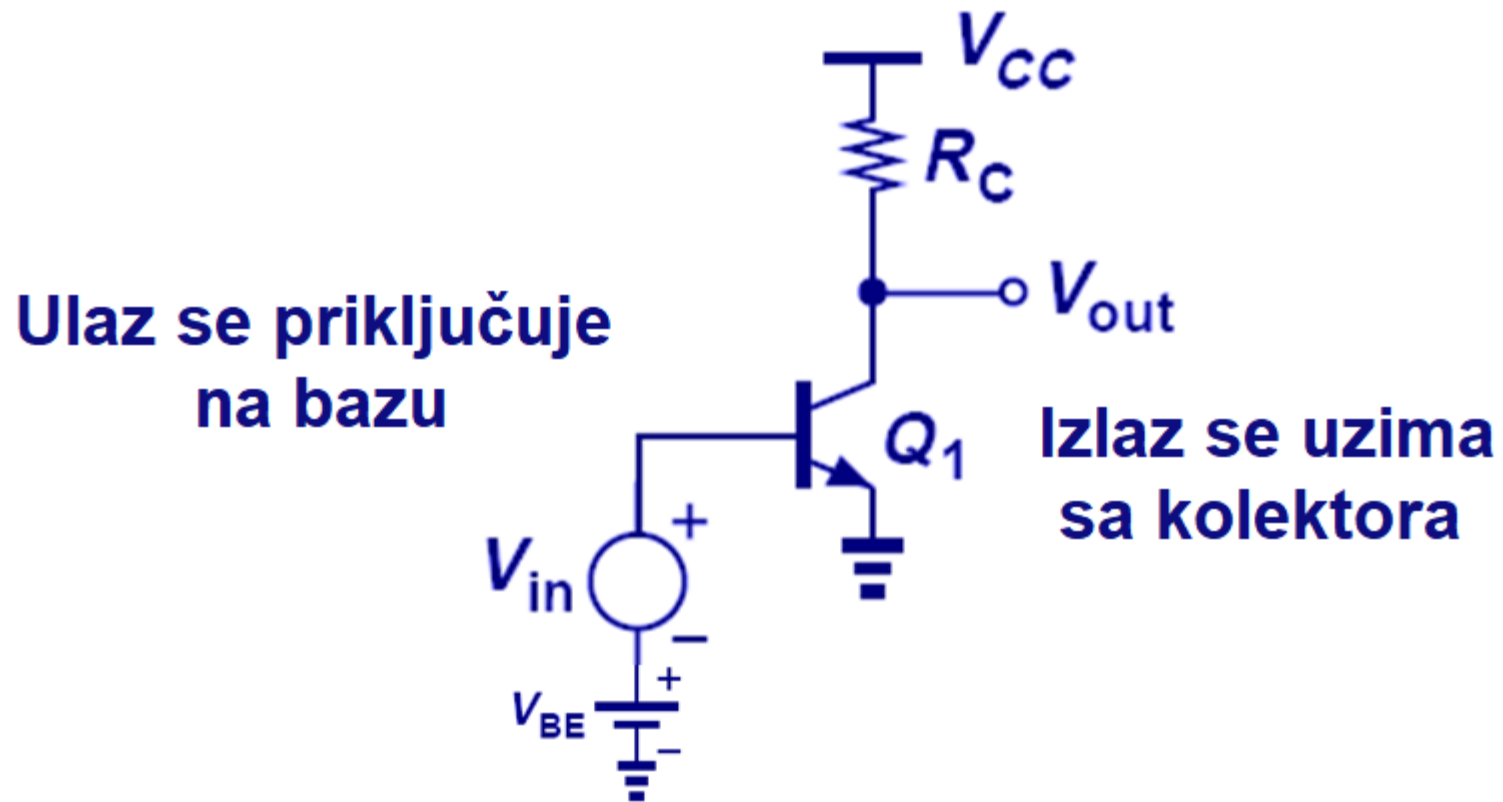
(f)

- Tri su moguća načina za priključenje ulaznog signala i tri načina da se posmatra izlaz.
- Međutim, u praktičnim primjenama značajne su samo 3 od 6 ulazno/izlaznih kombinacija.

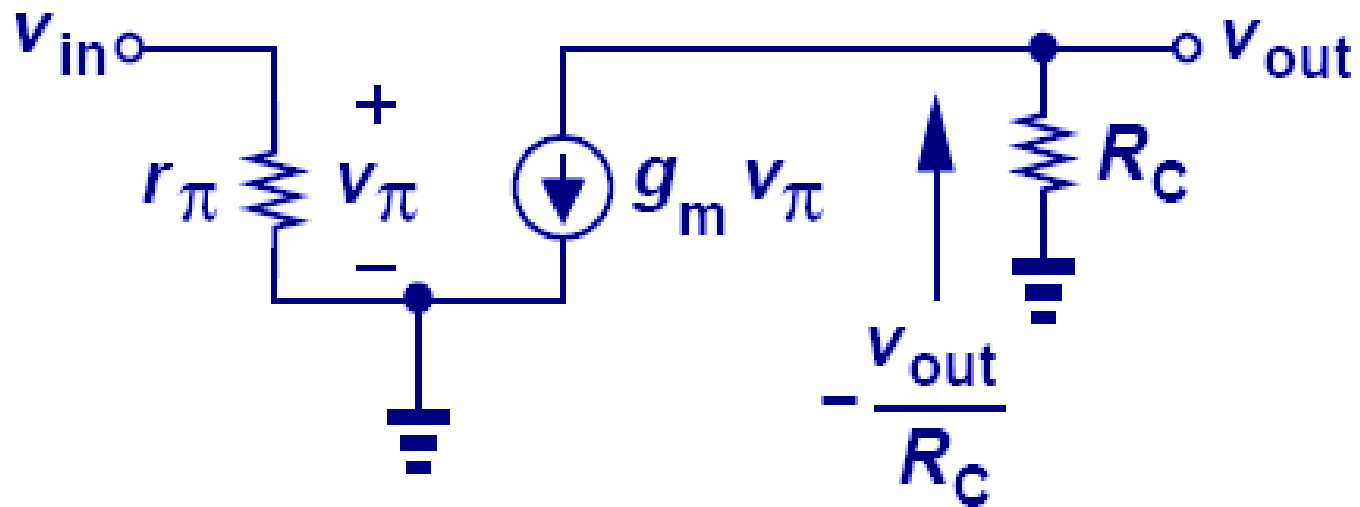
Pojačavač sa zajedničkim emitorom (ZE)

- **Analiza ZE jezgra**
Uključenje Early-jevog efekta
- **Emitorski otpornik**
Uključenje Early-jevog efekta
- **ZE pojačavač sa polarizacijom**

ZE topologija



Mali signal i ZE pojačavač

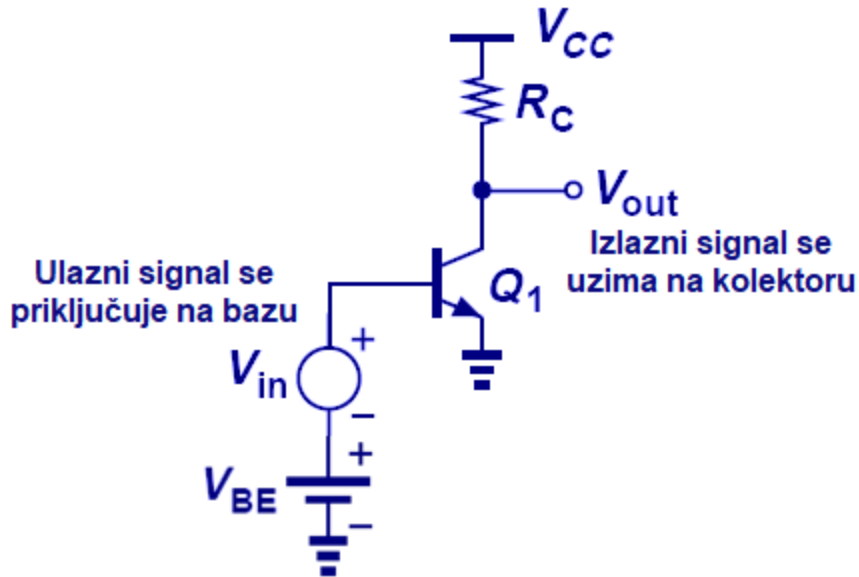


$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}}$$

$$-\frac{v_{out}}{R_C} = g_m v_{\pi} = g_m v_{in}$$

$$A_v = -g_m R_C$$

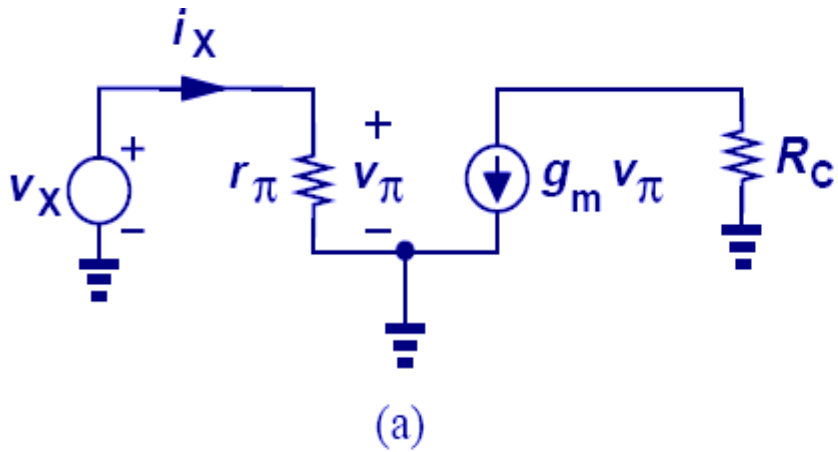
Ograničenja ZE pojačanja



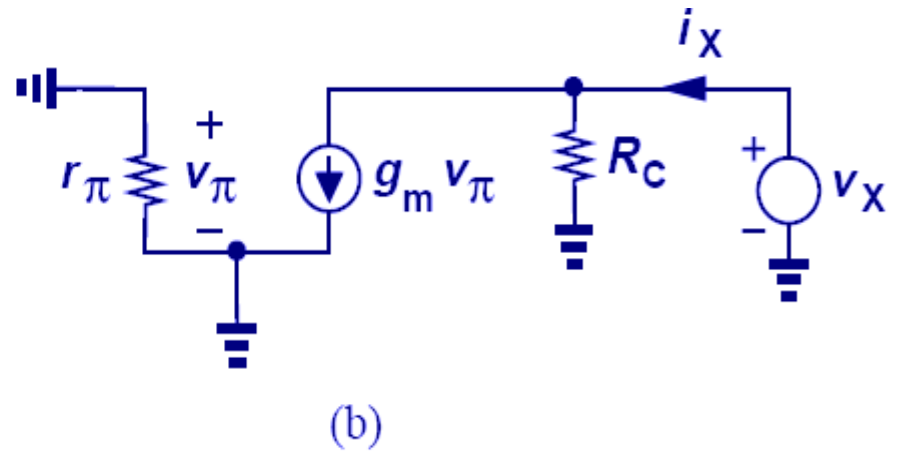
$$A_v = -g_m R_C \quad |A_v| = \frac{I_C R_C}{V_T} \quad |A_v| = \frac{V_{RC}}{V_T}$$

- Kako se g_m može zamijeniti sa I_C/V_T , ZE naponsko pojačanje može se pisati kao odnos V_{RC} i V_T .
- V_{RC} predstavlja potencijalnu razliku između V_{CC} i V_{CE}
- V_{CE} ne treba ići ispod V_{BE} da bi transistor ostao u aktivnom režimu.

U/I impedanse ZE pojačavača



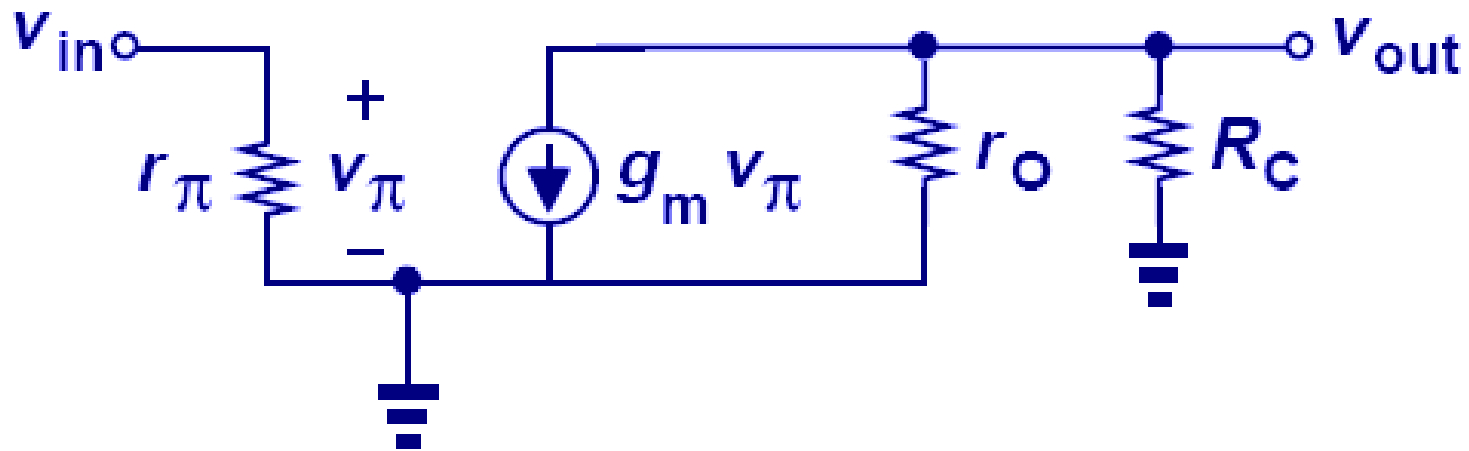
$$R_{in} = \frac{v_X}{i_X} = r_{\pi}$$



$$R_{out} = \frac{v_X}{i_X} = R_C$$

- Kada se određuje izlazna impedansa, ulazni priključak je spojen na masu, pa je $v_{in} = 0$.

Uključenje Early-jevog efekta



$$A_v = -g_m (R_C \parallel r_o)$$

$$R_{out} = R_C \parallel r_o$$

- Early-jev efekt će smanjiti pojačanje ZE pojačavača, jer se r_o pojavljuje u paraleli sa R_C .

Unutrašnje pojačanje

$$A_v = -g_m r_o$$

$$|A_v| = \frac{V_A}{V_T}$$

- Ako R_C postane beskonačne otpornosti, naponsko pojačanje postaje jednako proizvodu g_m i r_o , i predstavlja maksimalno naponsko pojačanje koje se može postići ovim pojačavačem.
- Unutrašnje pojačanje je nezavisno od struje polarizacije.

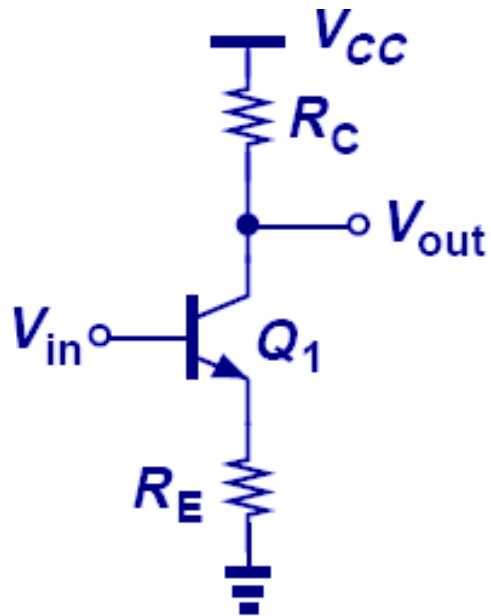
Strujno pojačanje

$$A_I = \frac{i_{out}}{i_{in}}$$

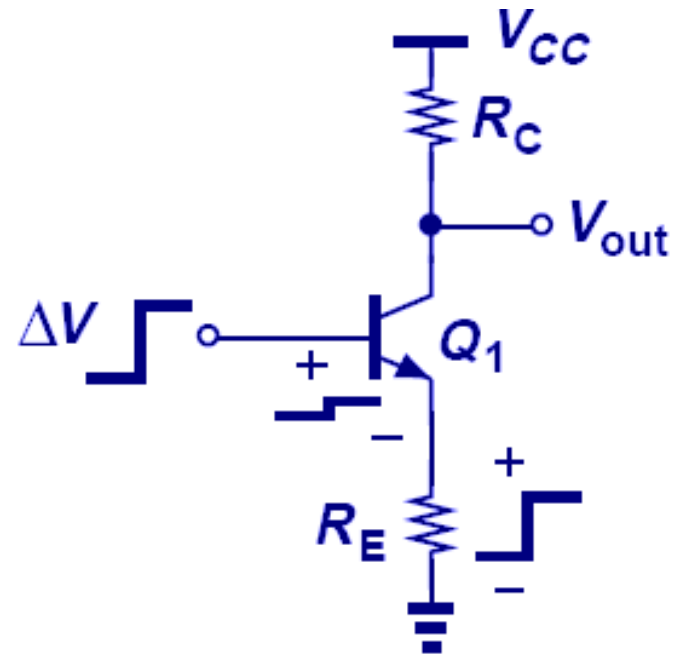
$$A_I|_{ZE} = \beta$$

- Drugi važan parameter pojačavača je strujno pojačanje.
- Ono je definisano kao odnos strujnog signala na potrošaču i strujnog signala na ulazu.
- Za ZE pojačavač, strujno pojačanje je β .

Emitorski otpornik



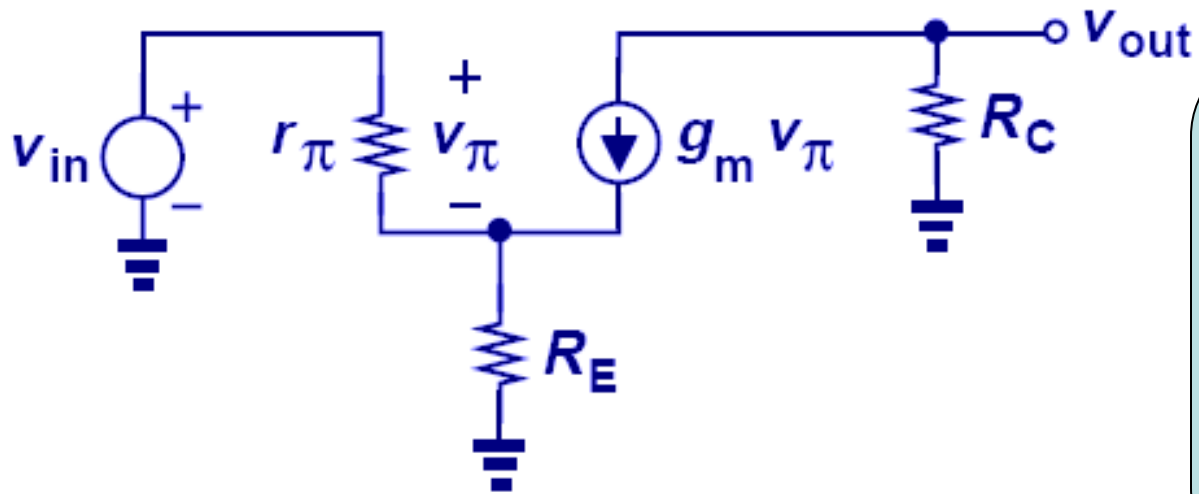
(a)



(b)

- Umetanjem otpornika između emitora i mase, “degeneriše” se ZE pojačavač.
- Emitorski otpornik će umanjiti pojačanje pojačavača ali će poboljšati druge aspekte.

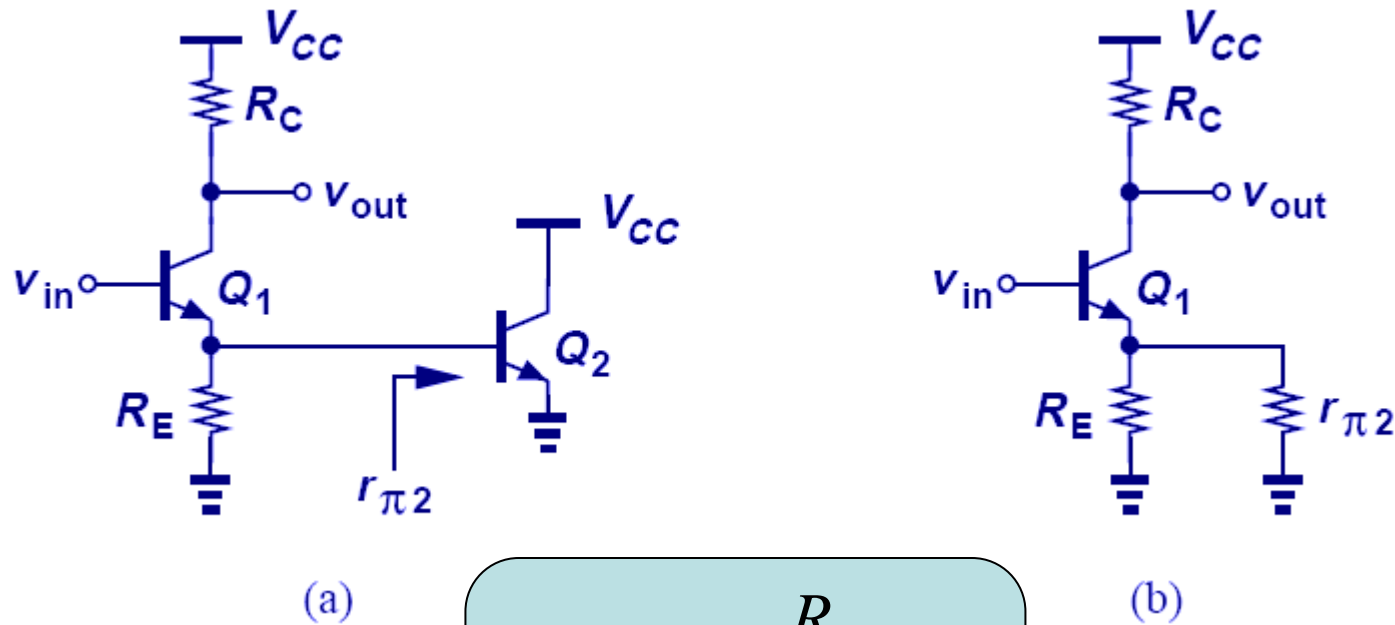
Analiza za male signale



$$A_v = -\frac{g_m R_C}{1 + g_m R_E}$$
$$A_v = -\frac{R_C}{\frac{1}{g_m} + R_E}$$

- Zanimljivo, pojačanja je jednako otpornosti u grani kolektora podijeljenoj sa $1/g_m$ plus otpornost u grani emitora.

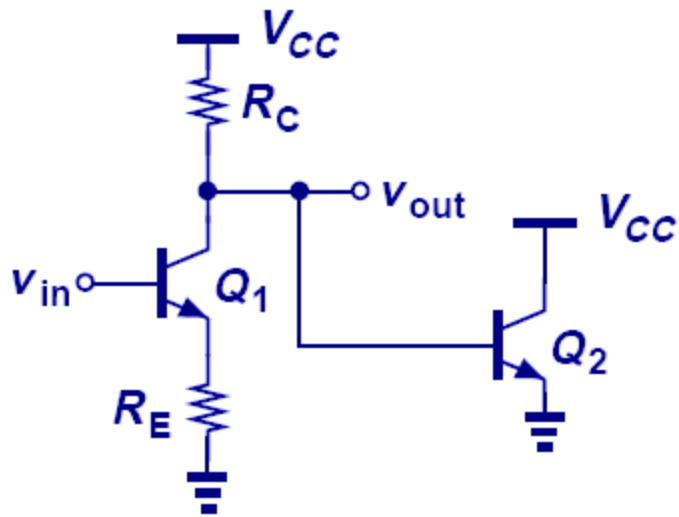
Emitorski otpornik: Primjer 1



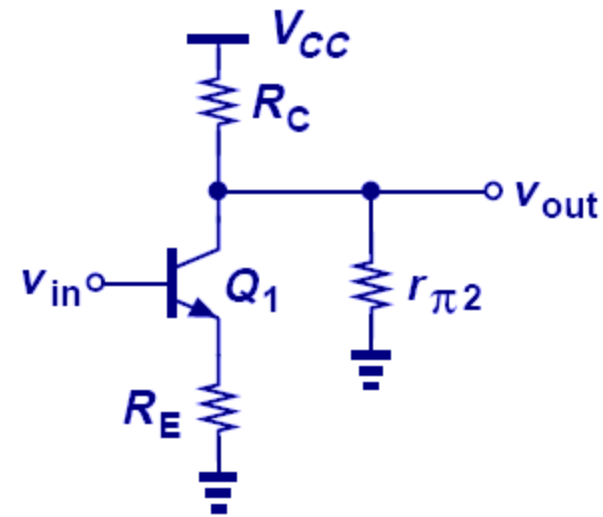
$$A_v = -\frac{R_C}{\frac{1}{g_{m1}} + R_E \parallel r_{\pi 2}}$$

➤ Ulazna impedansa od Q_2 je u paraleli sa R_E .

Emitorski otpornik: Primjer 2



(a)

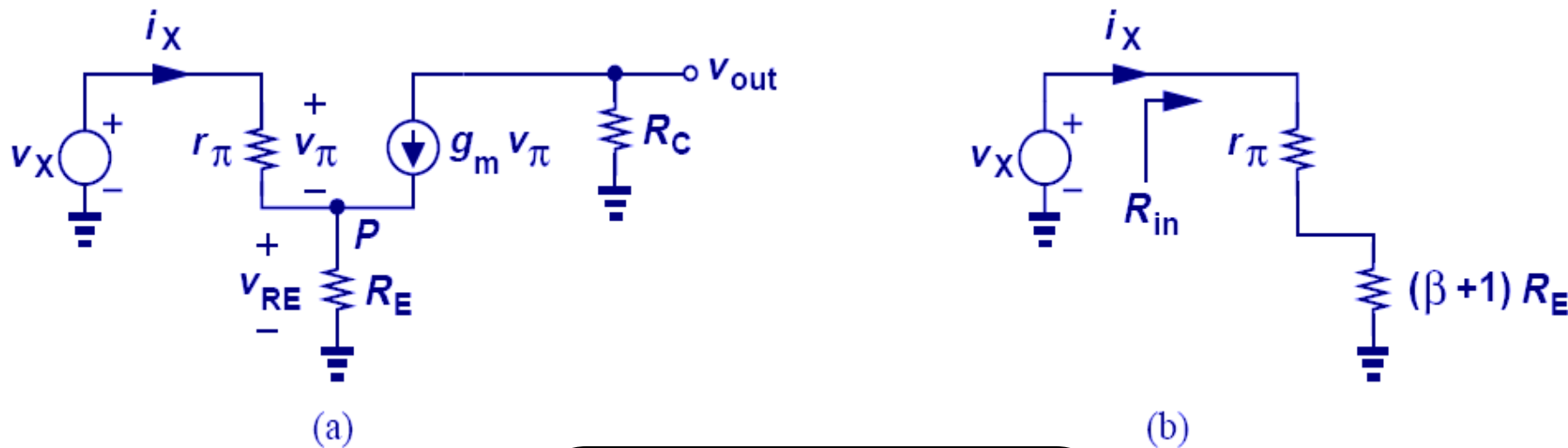


(b)

$$A_v = - \frac{R_C \parallel r_{\pi 2}}{\frac{1}{g_{m1}} + R_E}$$

- U ovom primjeru, ulazna impedansa tranzistora Q_2 je u paraleli sa R_C .

Ulazna impedansa ZE pojačavača sa emitorskim otpornikom



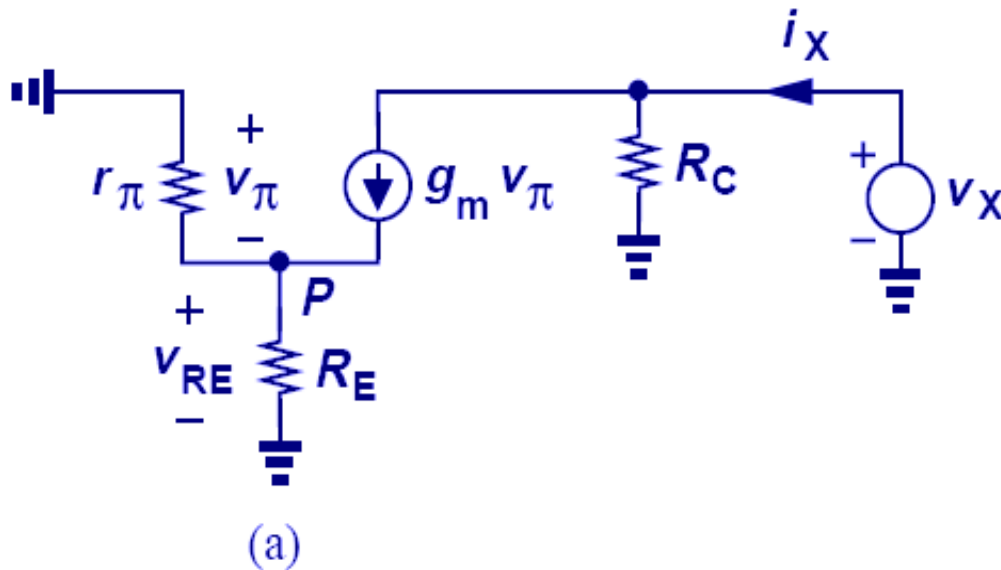
$$V_A = \infty$$

$$v_X = r_\pi i_X + R_E (1 + \beta) i_X$$

$$R_{in} = \frac{v_X}{i_X} = r_\pi + (\beta + 1) R_E$$

- Sa emitorskim otpornikom, ulazna otpornost je povećana sa r_π na $r_\pi + (\beta + 1)R_E$;
- Poželjan efekt?

Izlazna otpornost ZE pojačavača sa emitorskim otpornikom



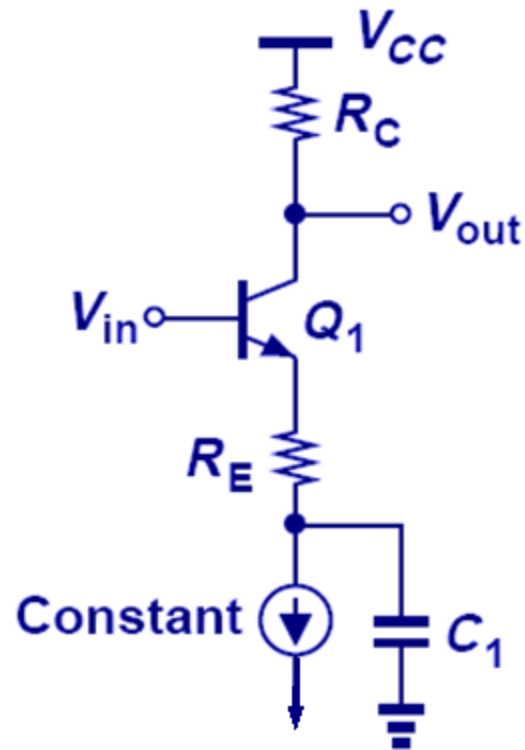
$$V_A = \infty$$

$$v_{in} = 0 = v_{\pi} + \left(\frac{v_{\pi}}{r_{\pi}} + g_m v_{\pi} \right) R_E \Rightarrow v_{\pi} = 0$$

$$R_{out} = \frac{v_X}{i_X} = R_C$$

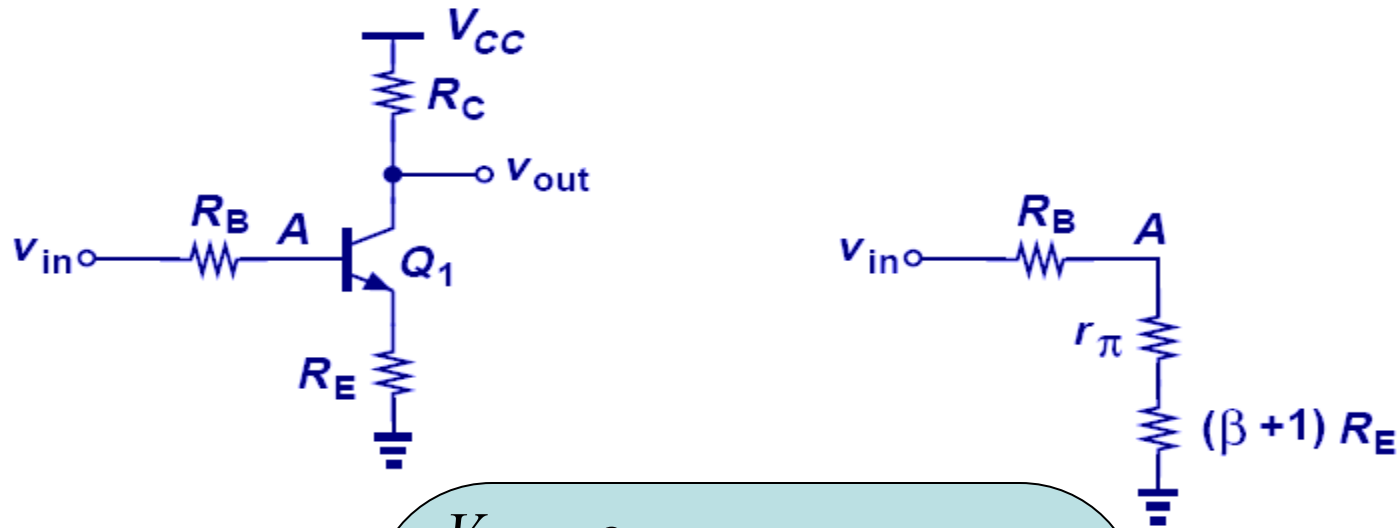
- Emitorski otpornik nema uticaja na izlaznu otpornost. (Da li je zaista tako?)

Kondenzator u emitoru



- Za DC, kondenzator je prekid i strujni izvor polarizuje tranzistor.
- Za AC signale, kondenzator je kratak spoj.

Otpornik u bazi (R_B)



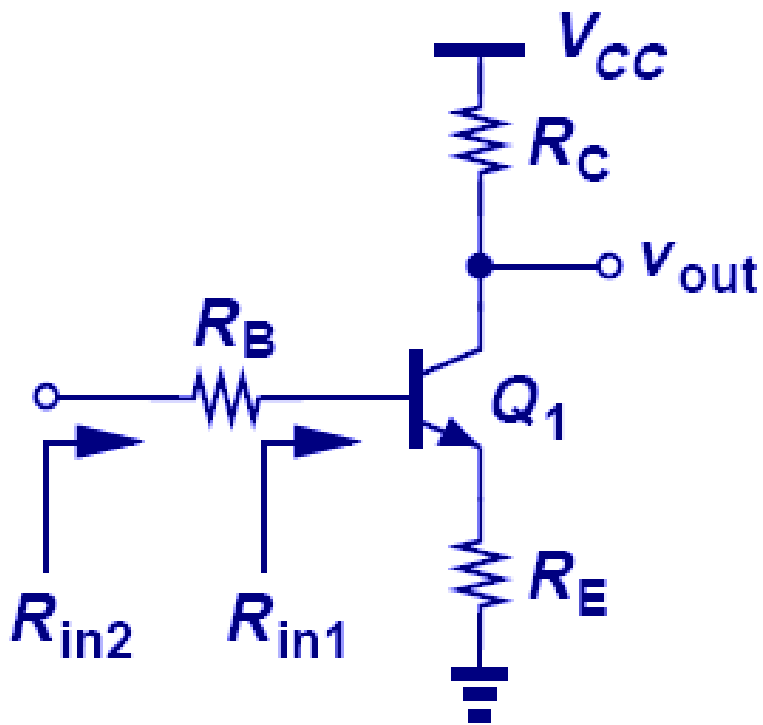
$$V_A = \infty$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{v_A}{v_{in}} \cdot \frac{v_{out}}{v_A}$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{-\beta R_C}{r_\pi + (\beta + 1)R_E + R_B}$$

$$A_v \approx \frac{-R_C}{\frac{1}{g_m} + R_E + \frac{R_B}{\beta + 1}}$$

Ulazno/Izlazne impedanse



$$V_A = \infty$$

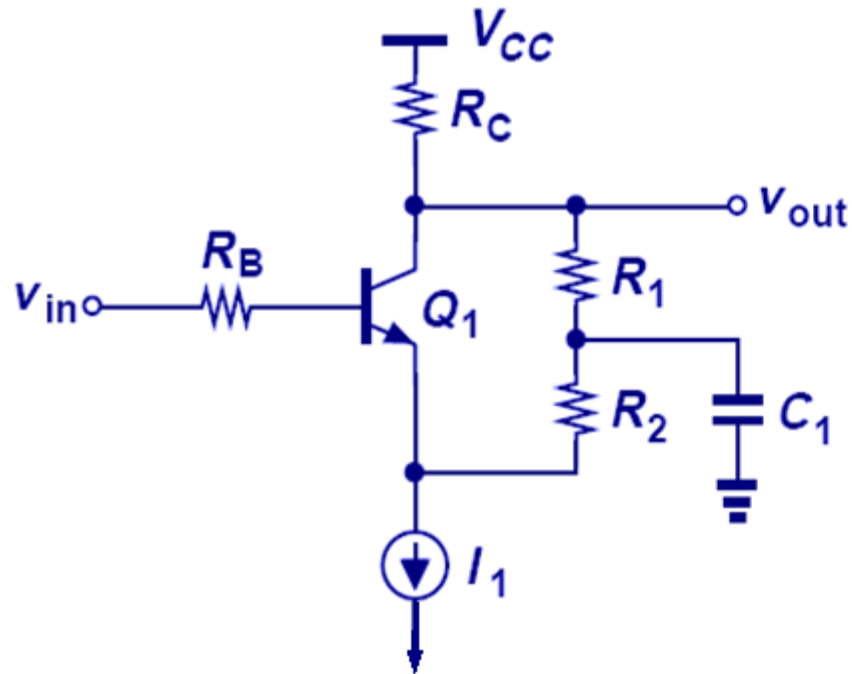
$$R_{in1} = r_{\pi} + (\beta + 1)R_E$$

$$R_{in2} = R_B + r_{\pi2} + (\beta + 1)R_E$$

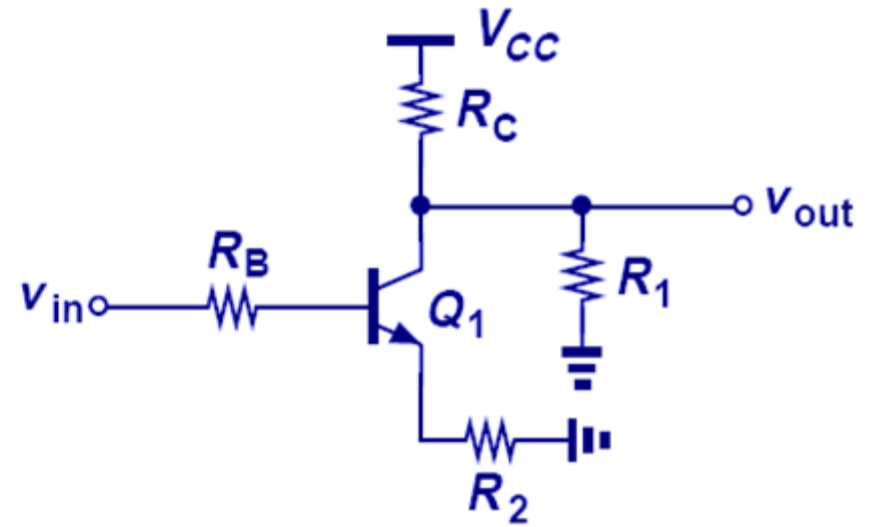
$$R_{out} = R_C$$

- R_{in1} je u praksi važniji, dok se R_B često može smatrati izlaznom impedansom predhodnog stepena.

Emitorski otpornik: Primjer 3



(a)



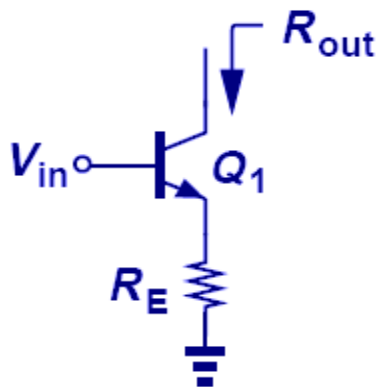
(b)

$$A_v = \frac{-(R_C \parallel R_1)}{\frac{1}{g_m} + R_2 + \frac{R_B}{\beta + 1}}$$

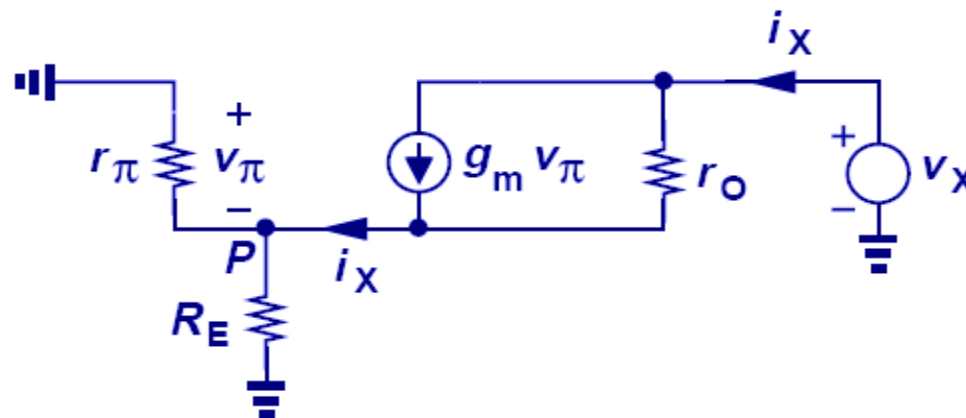
$$R_{in} = r_{\pi} + (\beta + 1)R_2$$

$$R_{out} = R_C \parallel R_1$$

Izlazna impedansa ZE sa emitorskim otpornikom i $V_A < \infty$



(a)



(b)

$$R_{out} = [1 + g_m (R_E \parallel r_\pi)] r_o + R_E \parallel r_\pi$$

$$R_{out} = r_o + (g_m r_o + 1)(R_E \parallel r_\pi)$$

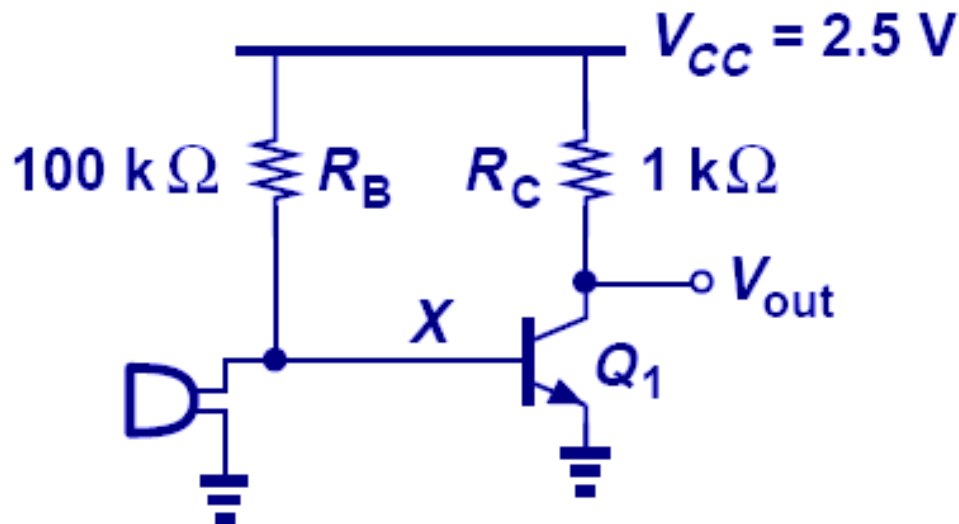
$$R_{out} \approx r_o [1 + g_m (R_E \parallel r_\pi)]$$

- Emitorski otpornik povećava izlaznu impedansu za faktor $1 + g_m (R_E \parallel r_\pi)$.
- Ovo povećava pojačanje pojačavača i čini kolo boljim strujnim izvorom.

Topologija ZE pojačavača

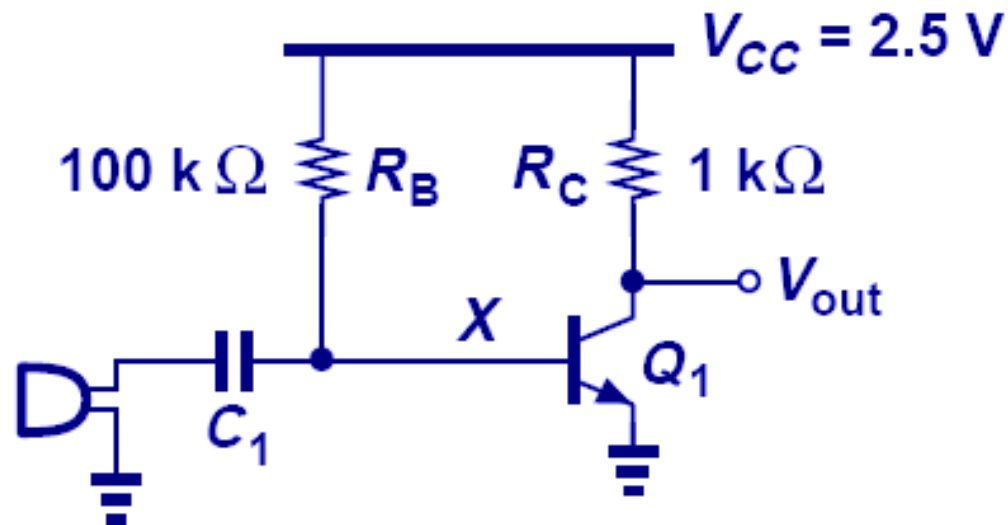
Topologija ZE pojačavača

Loše povezivanje ulaza



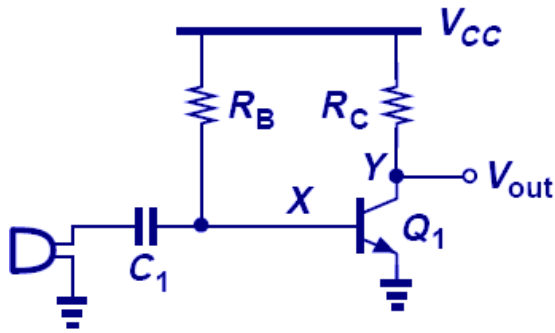
- Kako mikrofoni imaju veoma malu izlaznu otpornost, njegovo povezivanje na bazu Q_1 i masu, izaziva da bazni napon Q_1 opadne i ostavlja Q_1 bez bazne polarizacione struje.

Upotreba sprežnog kondenzatora

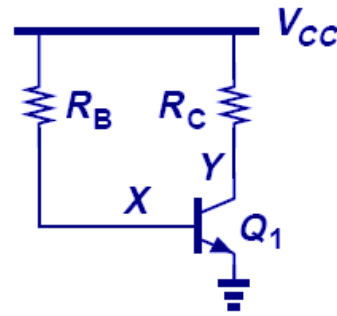


- Kondenzator izolira polarizaciono kolo od mikrofona ali kratko spaja mikrofona sa pojačavačem na većim frekvencijama.

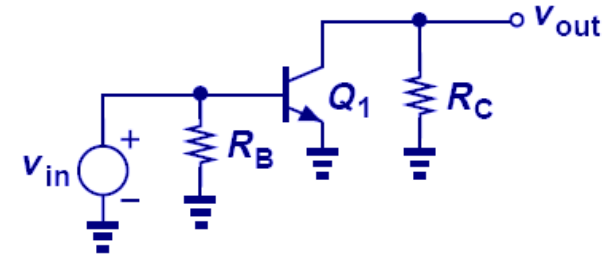
DC i AC analize



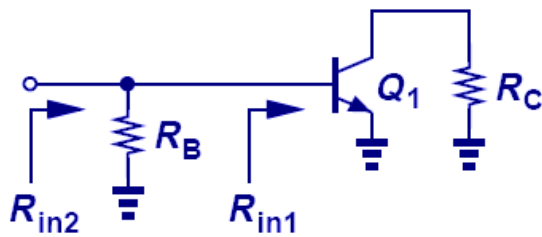
(a)



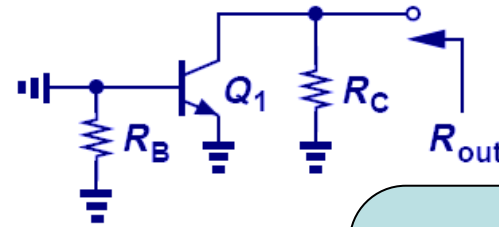
(b)



(c)



(d)



(e)

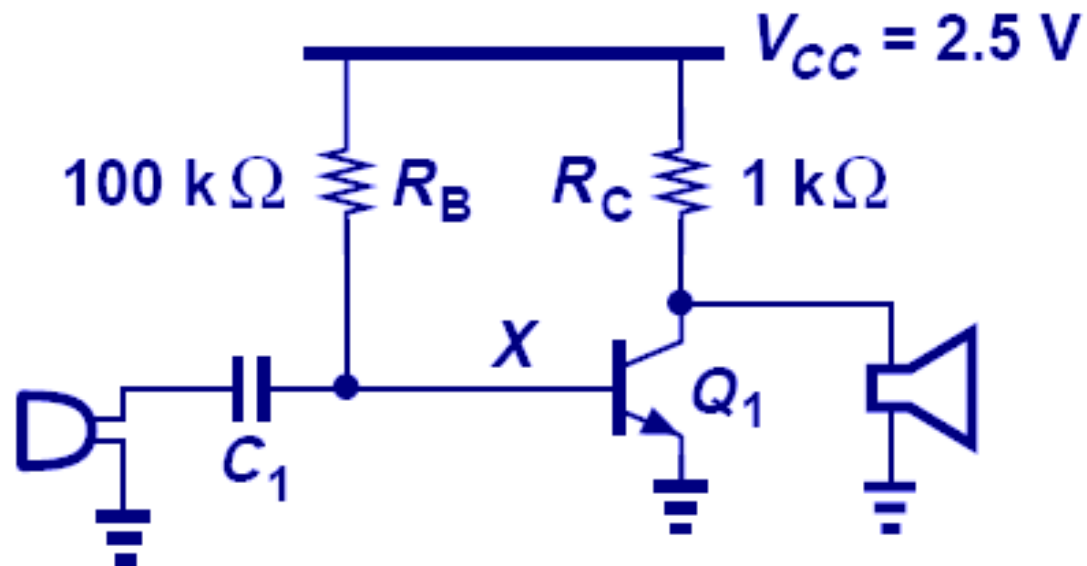
$$A_v = -g_m (R_C \parallel r_o)$$

$$R_{in} = r_\pi \parallel R_B$$

$$R_{out} = R_C \parallel r_o$$

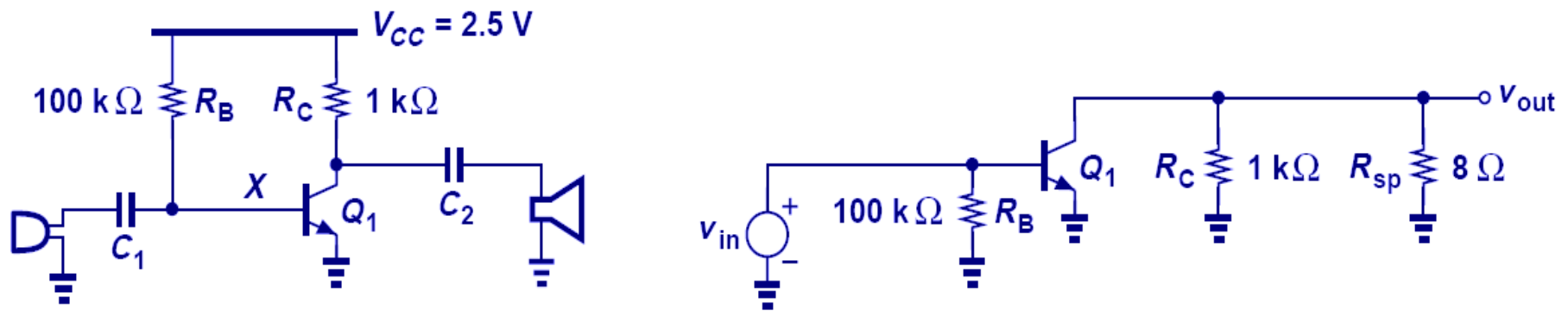
- Sprežni kondenzator je prekid za DC izračunavanja i kratak spoj za AC.

Loše povezivanje na izlazu



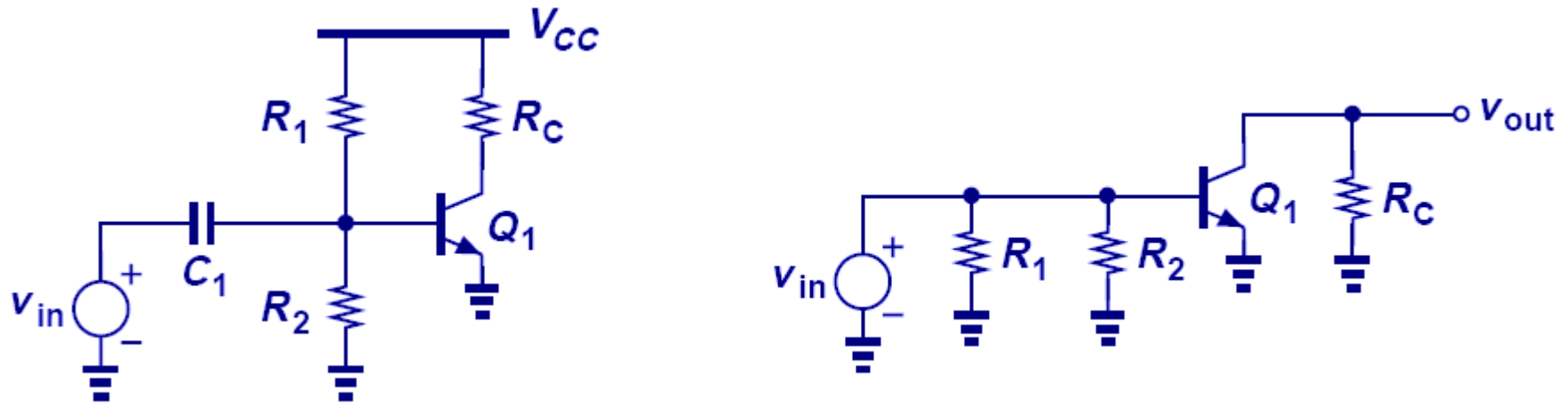
- Kako je zvučnik kalem, njegovo direktno povezivanje na pojačavač će kratko spojiti kolektor na masu za DC i tako pogurati tranzistor u duboko zasićenje.

Omogućavanje korektne polarizacije



- U ovom primjeru, AC sprezanje omogućuje korektnu polarizaciju.
- Međutim, usljed male ulazne impedanse zvučnika, ukupno pojačanje se značajno umanjuje.

ZE stepen sa R_1 , R_2 polarizacijom

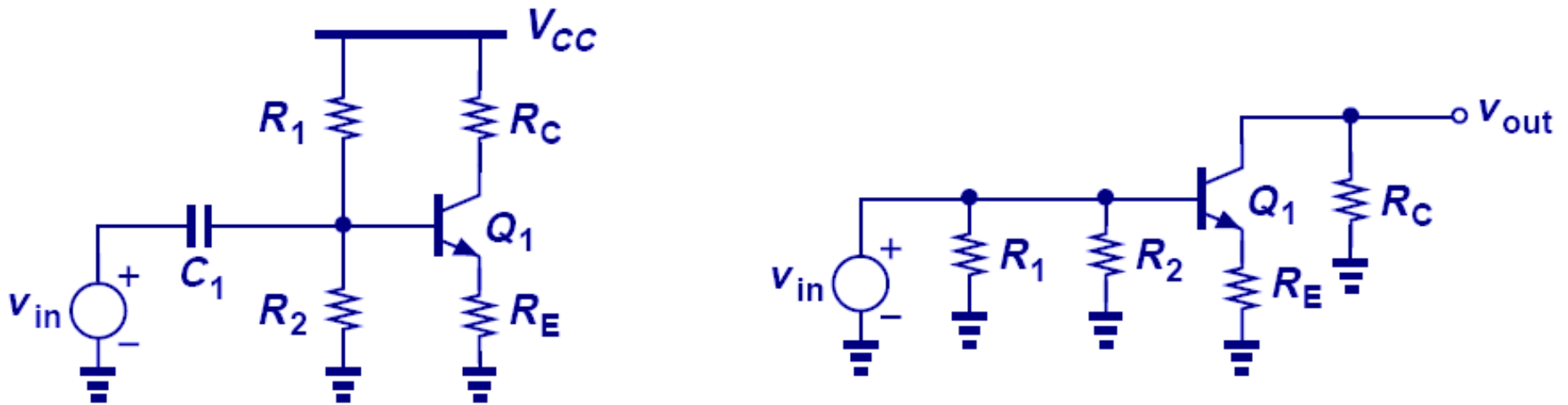


$$A_v = -g_m (R_C \parallel r_o)$$

$$R_{in} = r_\pi \parallel R_1 \parallel R_2$$

$$R_{out} = R_C \parallel r_o$$

ZE stepen sa robustnom polarizacijom

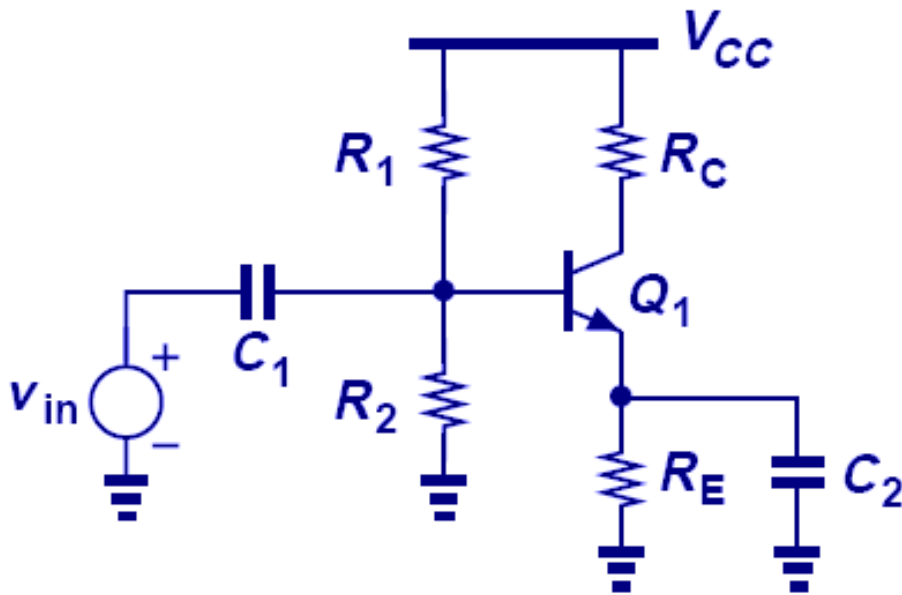


$$A_v = \frac{-R_C}{\frac{1}{g_m} + R_E}$$

$$R_{in} = [r_{\pi} + (\beta + 1)R_E] \parallel R_1 \parallel R_2$$

$$R_{out} = R_C$$

Uklanjanje emitorskog otpornika za AC signal



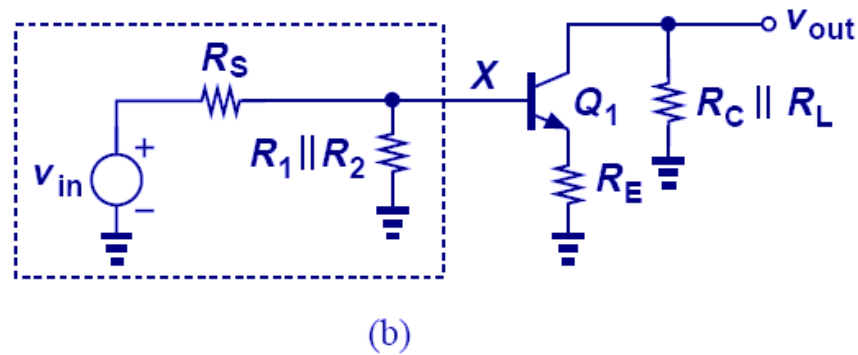
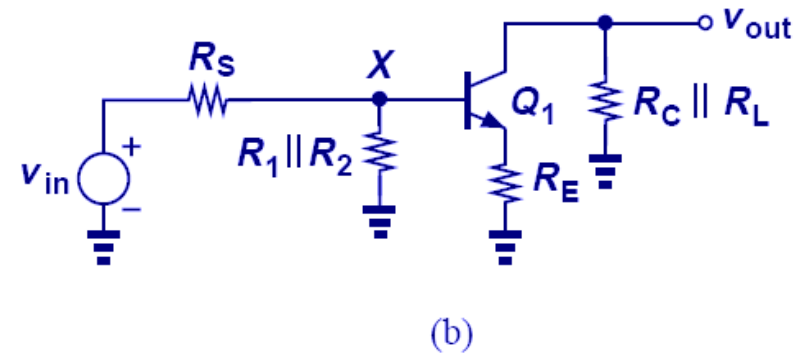
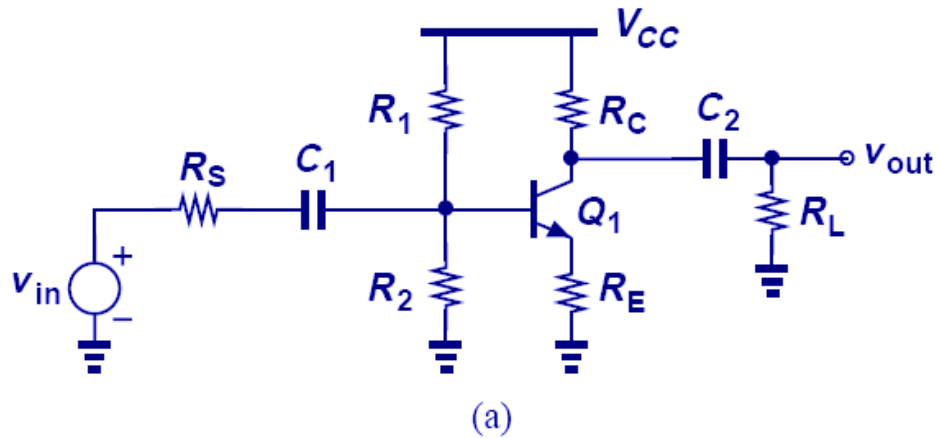
$$A_v = -g_m R_C$$

$$R_{in} = r_\pi \parallel R_1 \parallel R_2$$

$$R_{out} = R_C$$

- Kondenzator kratko spaja R_E na višim frekvencijama.

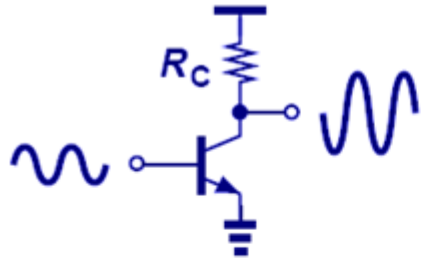
ZE pojačavač



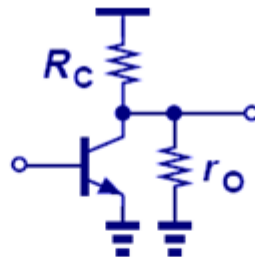
$$A_v = \frac{-R_C \parallel R_L}{\frac{1}{g_m} + R_E + \frac{R_s \parallel R_1 \parallel R_2}{\beta + 1}}$$

Provjeriti!

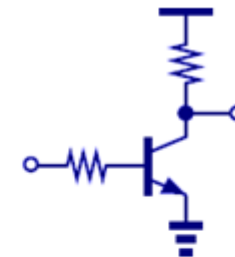
ZE rezime



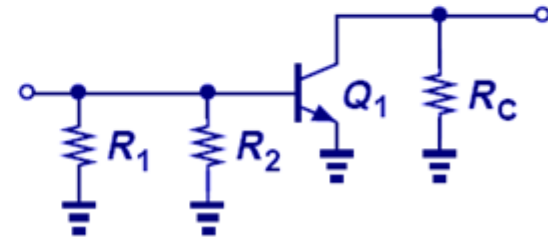
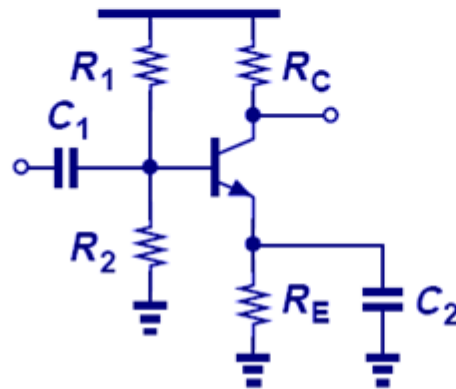
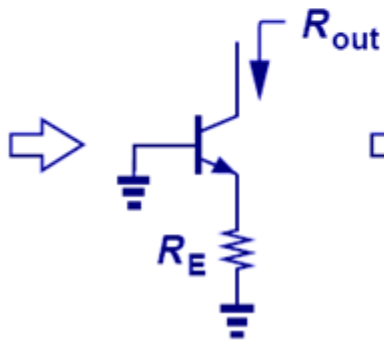
$$A_v = -g_m R_C$$



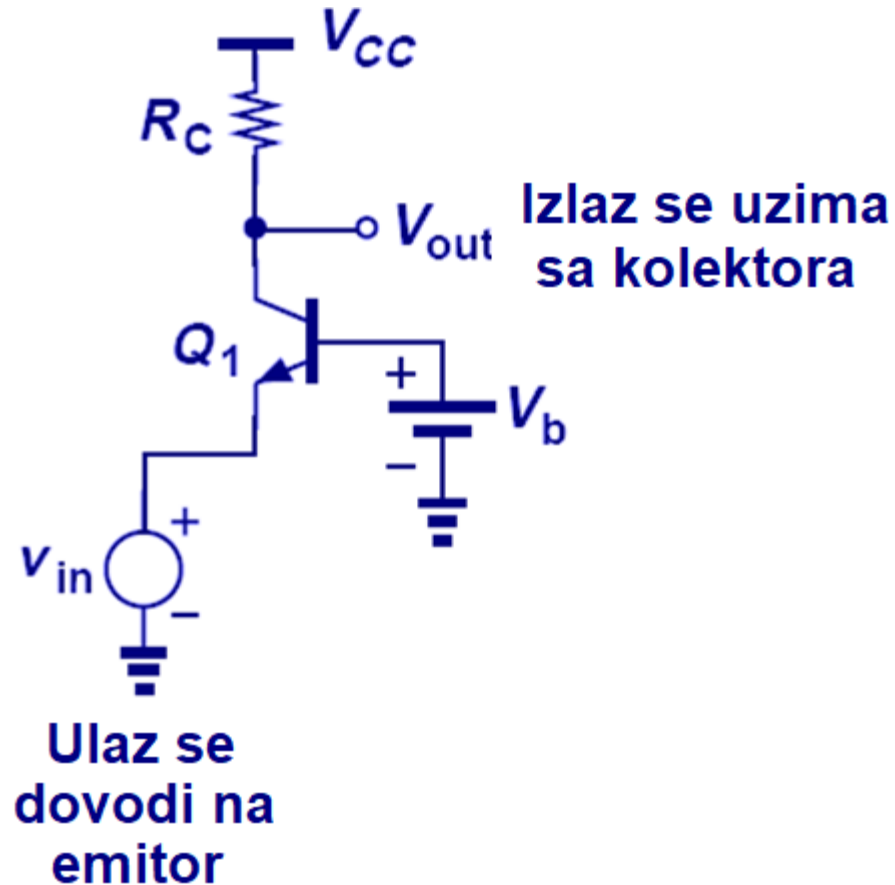
$$A_v = -g_m (R_C \parallel r_o)$$



$$A_v, R_{in}$$

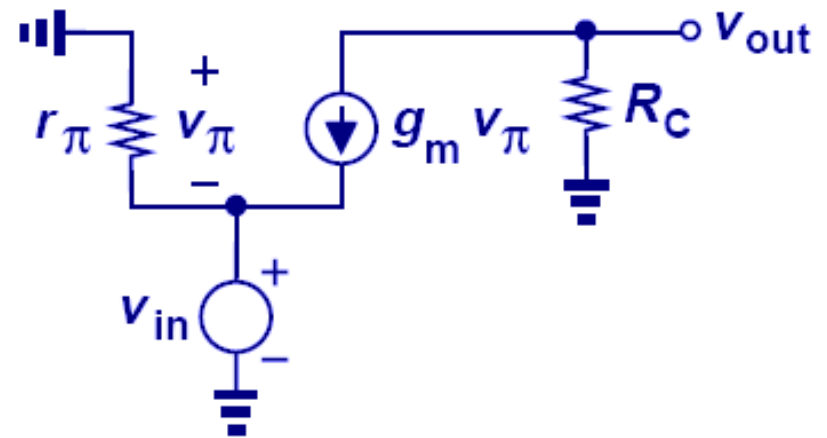
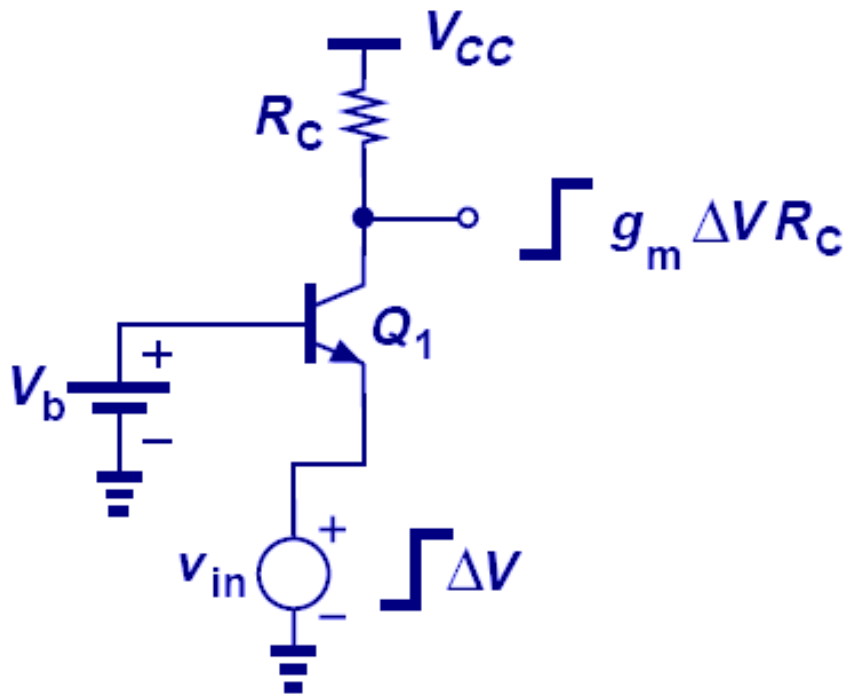


Pojačavač sa zajedničkom bazom (ZB)



- U ZB topologiji, bazni priključak je polarizovan fiksnim naponom, na emitoru se dovodi signal, a kolektor je izlaz.

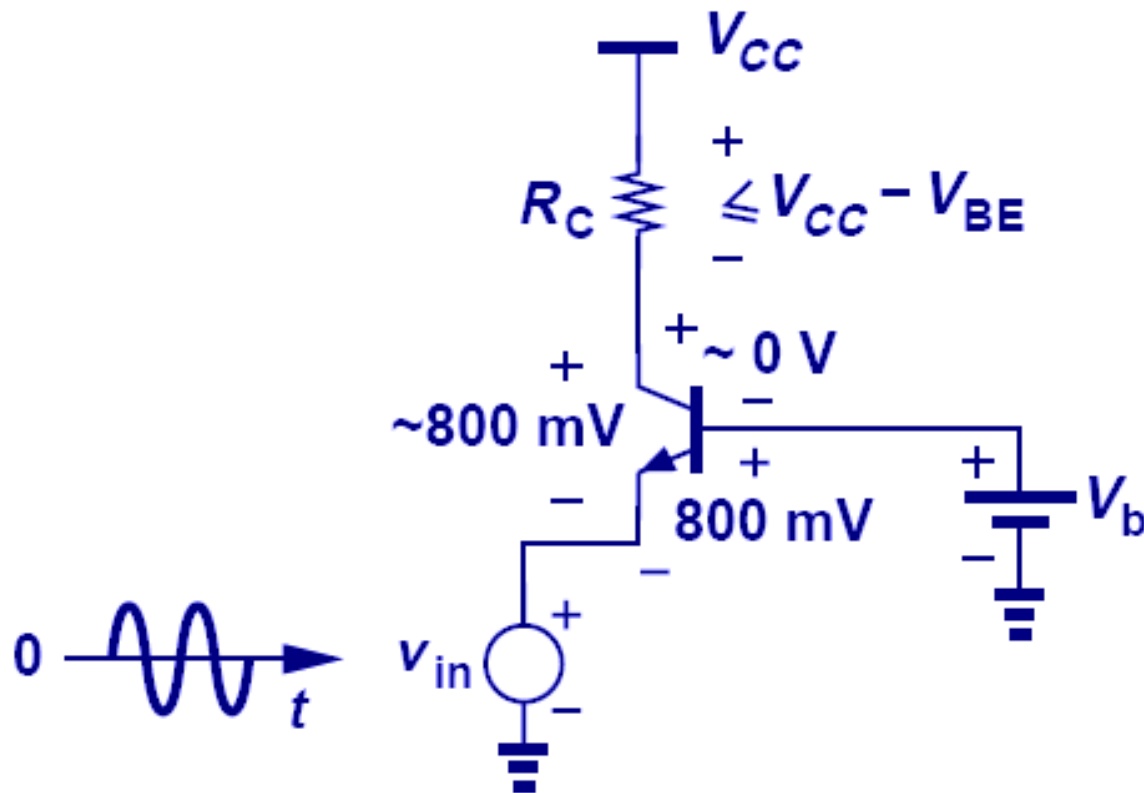
ZB jezgro



$$A_v = g_m R_C$$

- Naponsko pojačanje ZB stepena je $g_m R_C$
- Identično sa ZE stepenom u veličini ali suprotnog znaka.

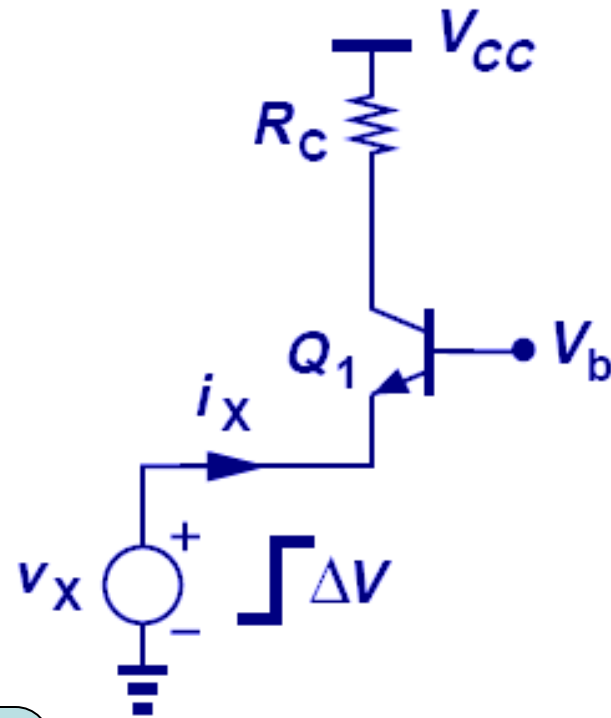
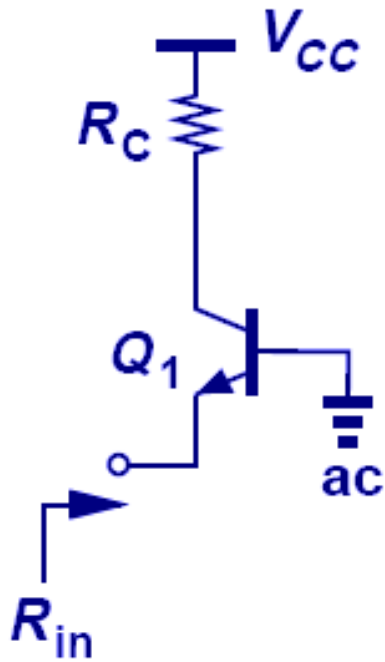
Pojačanje i radna tačka



$$A_v = \frac{I_C}{V_T} \cdot R_C$$
$$= \frac{V_{CC} - V_{BE}}{V_T}$$

- Za održavanje tranzistora izvan zasićenja, maksimalni napon na otporniku R_C ne treba preći $V_{CC} - V_{BE}$.

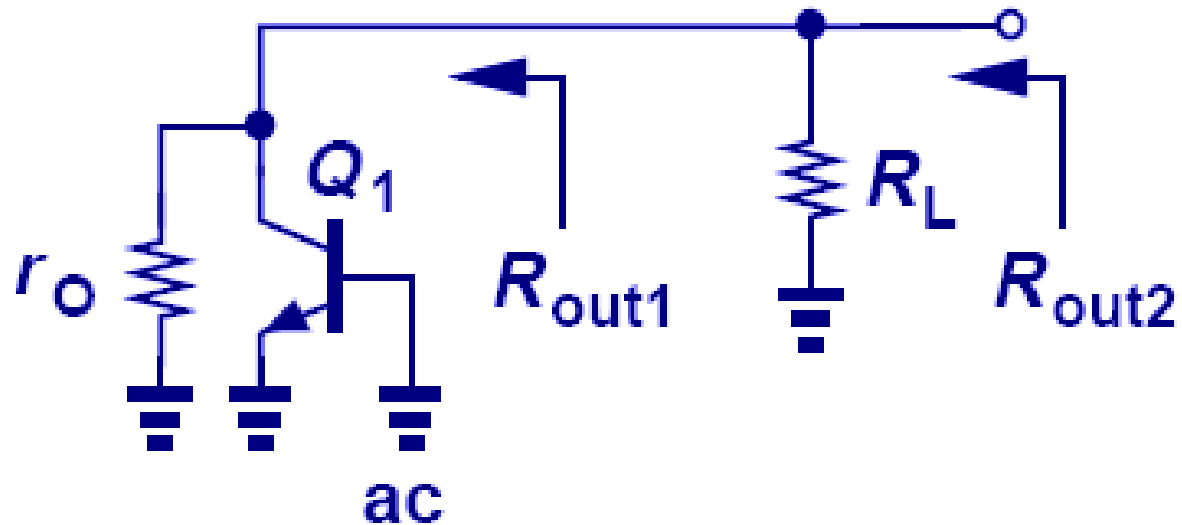
Ulazna otpornost ZB stepena



$$R_{in} = \frac{1}{g_m}$$

- **Ulazna otpornost ZB stepena je mnogo manja nego ZE stepena.**

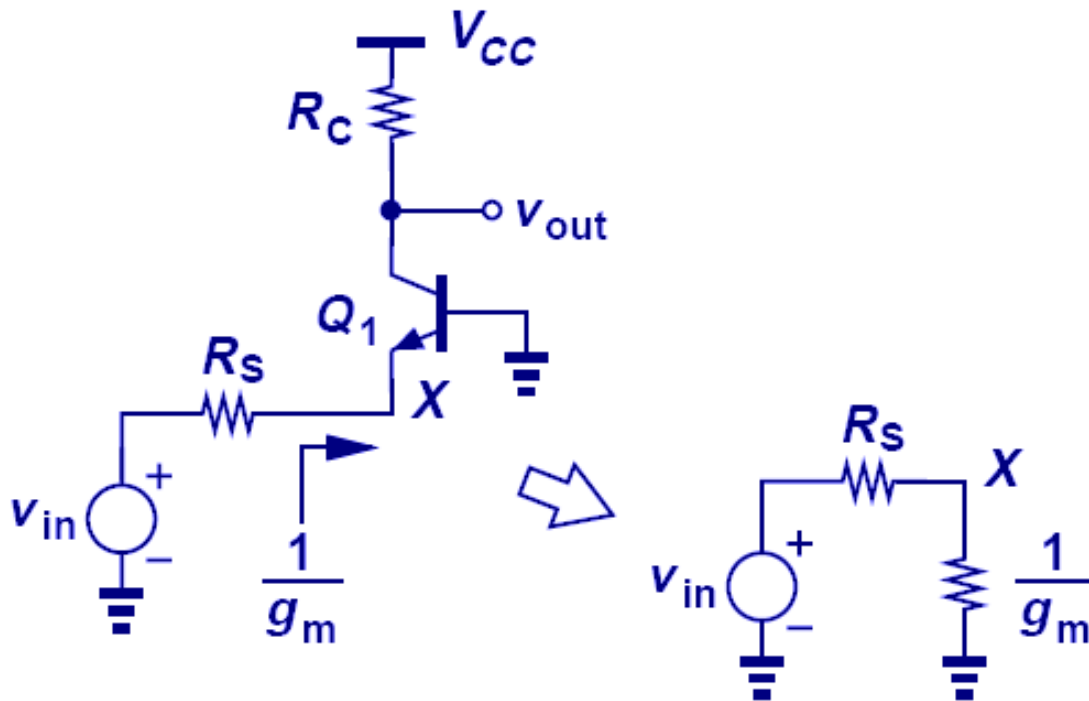
Izlazna impedansa ZB stepena



$$R_{out} = r_O \parallel R_C$$

- Izlazna impedansa ZB stepena je slična kao izlazna impedansa ZE stepena.

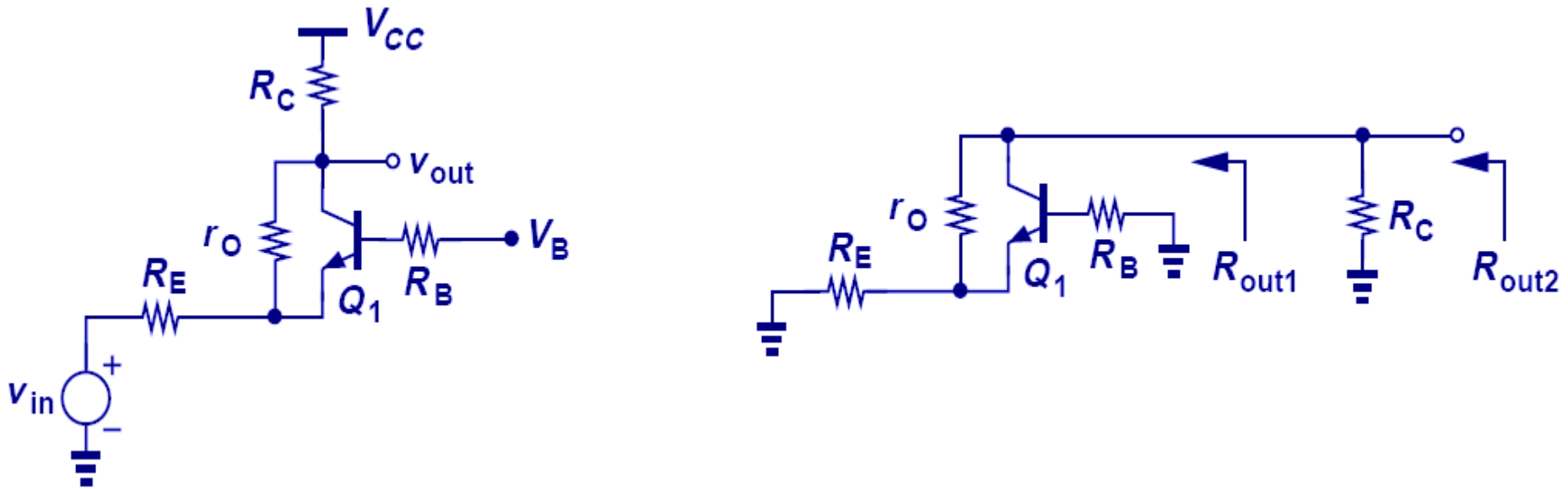
ZB stepen sa otpornošću ulaza



$$A_v = \frac{R_C}{\frac{1}{g_m} + R_S}$$

- Uključenjem otpornosti ulaznog napona, ulazni signal je oslabljen na emitoru pojačavača.
- Ovo je slično ZE stepenu sa emitorskim otpornikom; samo je faza suprotna.

Realna izlazna impedansa ZB stepena

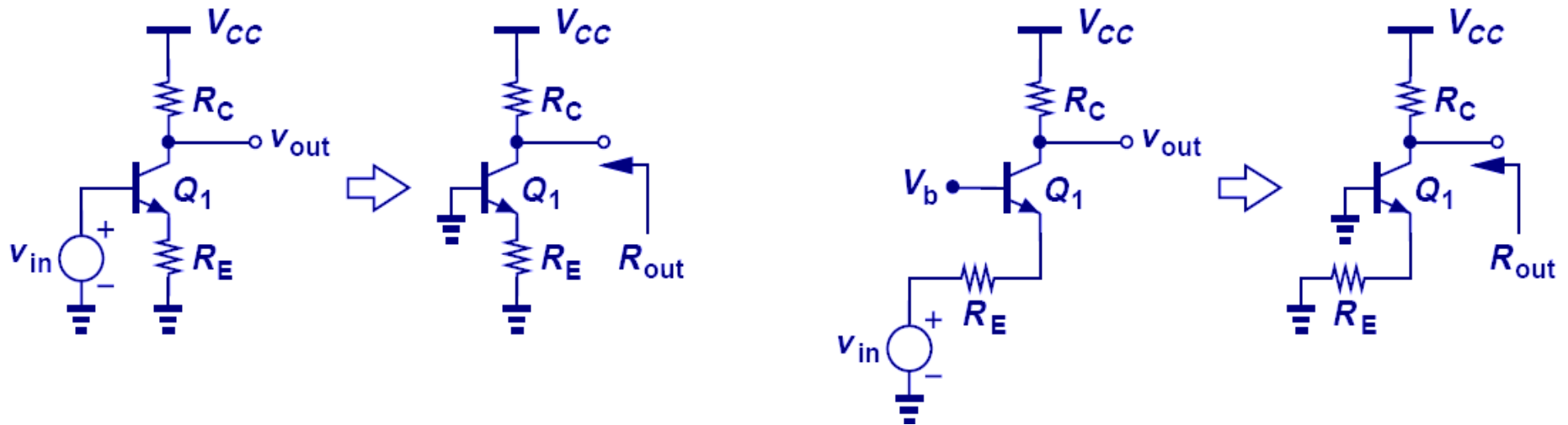


$$R_{out1} = [1 + g_m (R_E \parallel r_{\pi})] r_o + (R_E \parallel r_{\pi})$$

$$R_{out} = R_C \parallel R_{out1}$$

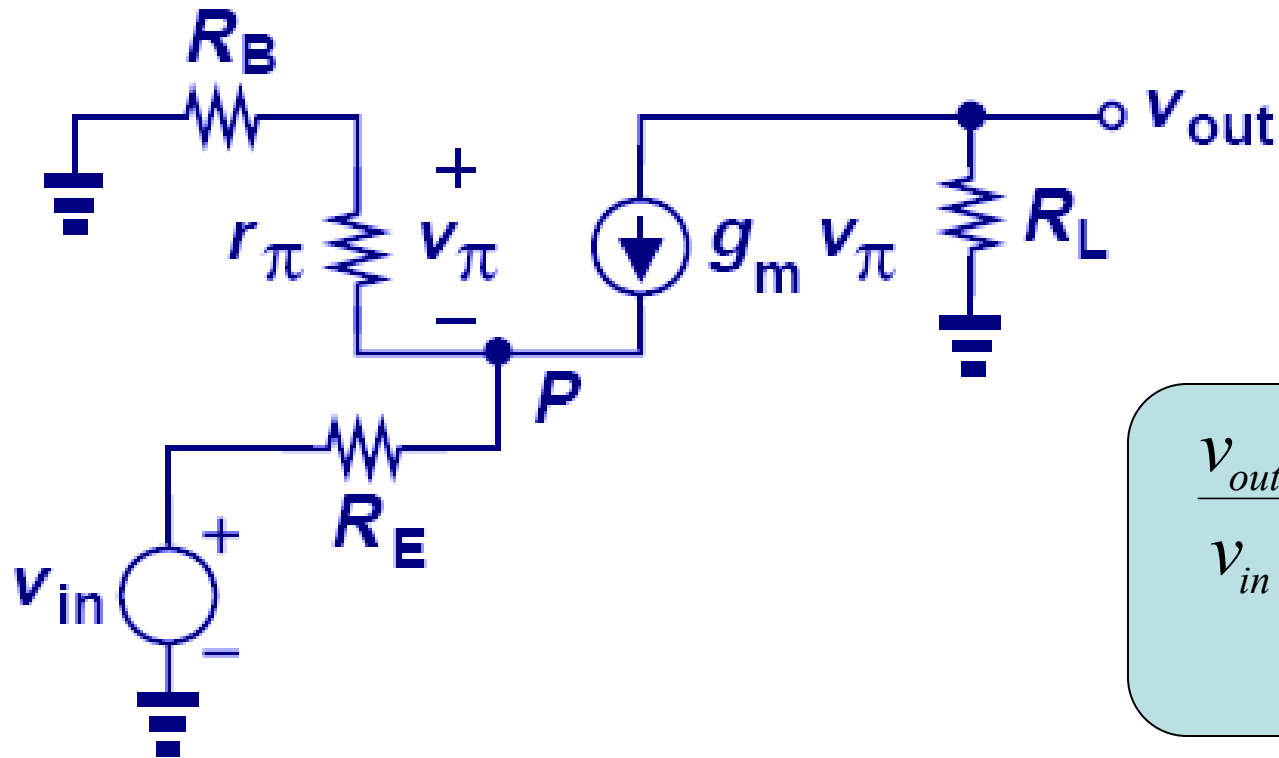
- Izlazna impedansa ZB stepena je jednaka R_C u paraleli sa impedansom koja se vidi u kolektoru.

Izlazna impedansa ZE i ZB stepena



- Izlazne impedance Z_E i Z_B stepena su iste ako su oba kola u istim uslovima. Ovo je stoga jer kad određujemo izlaznu otpornost ulazni port je spojen sa masom, što dovodi do istog kola u oba slučaja.

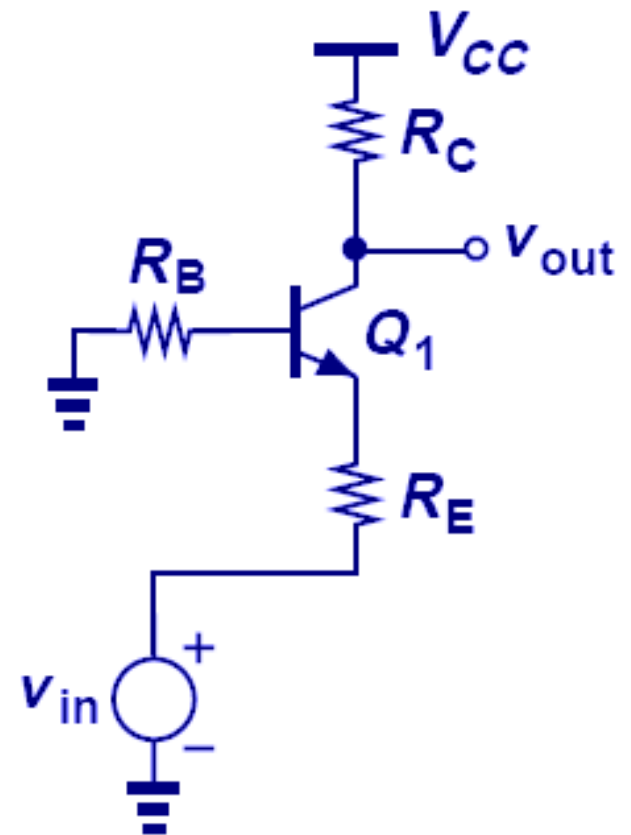
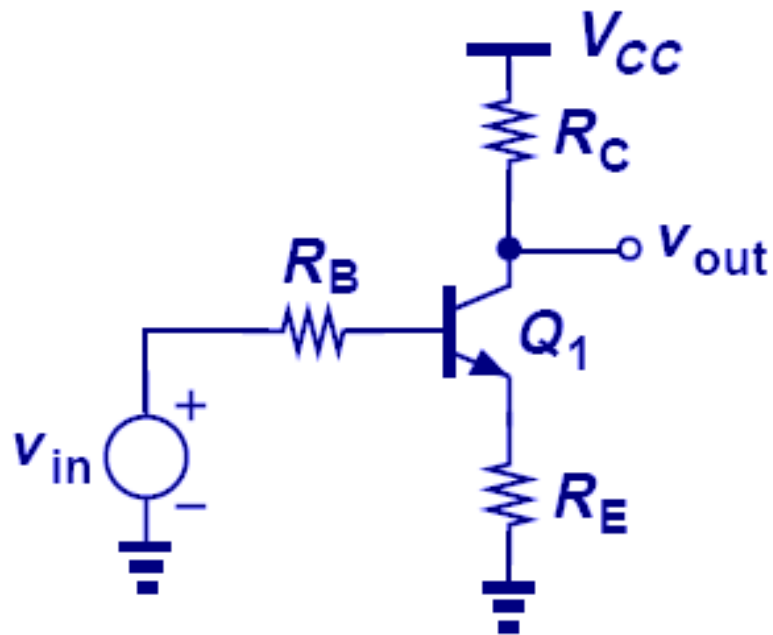
ZB sa otpornikom u bazi



$$\frac{v_{out}}{v_{in}} \approx \frac{R_C}{R_E + \frac{R_B}{\beta + 1} + \frac{1}{g_m}}$$

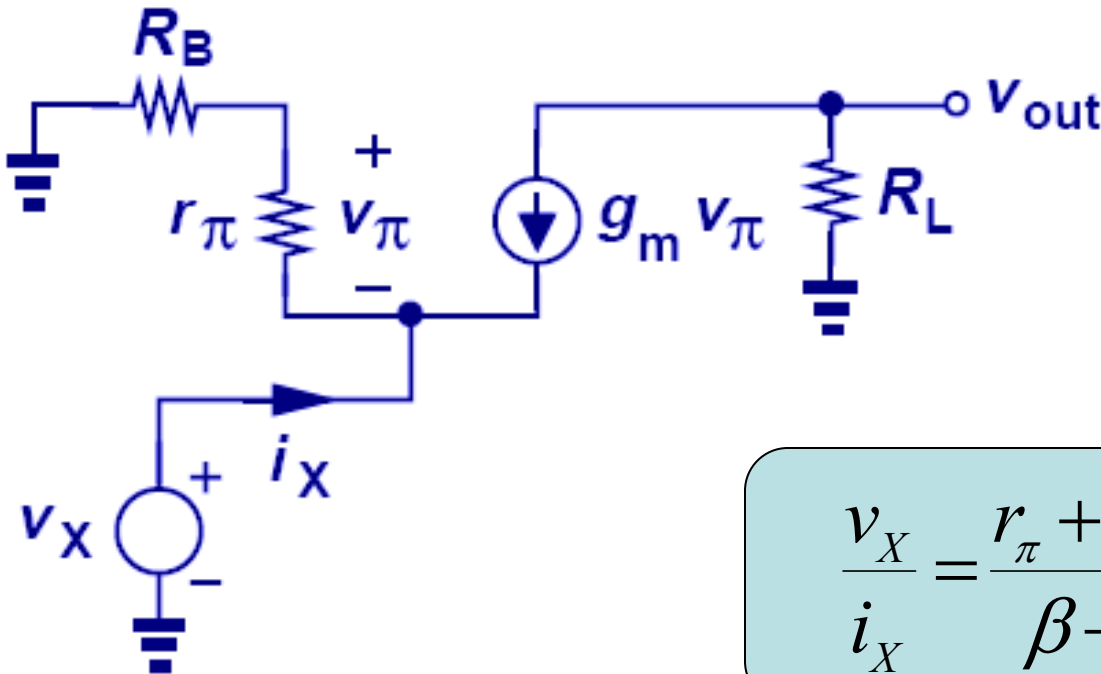
- Sa dodatnim baznim otpornikom, naponsko pojačanje se smanjuje.

Poređenje ZE i ZB stepena sa otpornikom u bazi



- Naponsko pojačanje ZB pojačavača sa otpornikom u bazi je potpuno isto kao kod ZE stepena sa otpornikom u bazi i emiterskim otpornikom, samo je suprotan znak.

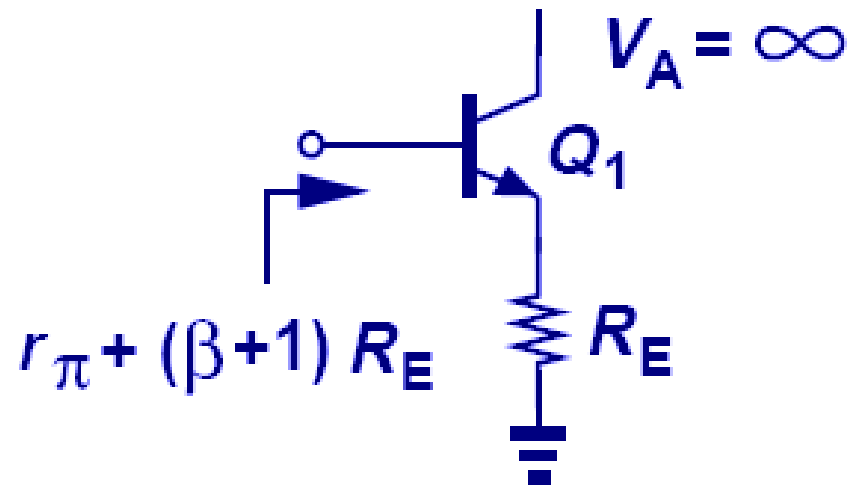
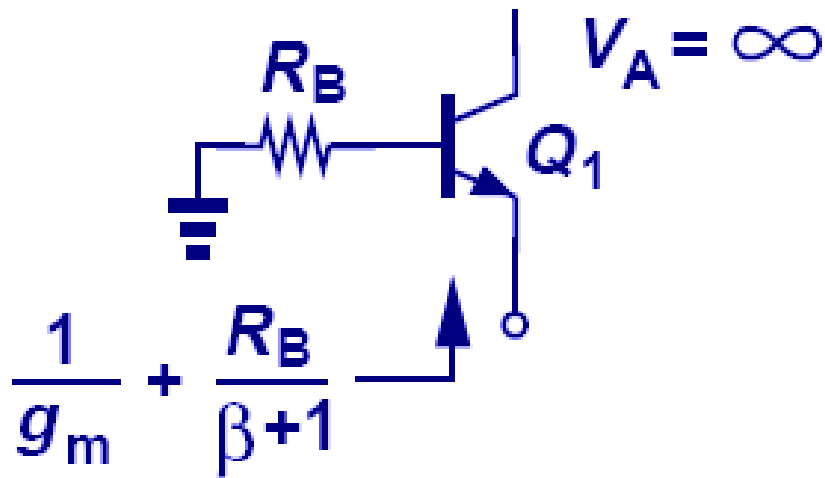
Ulazna otpornost ZB stepena sa otpornikom u bazi



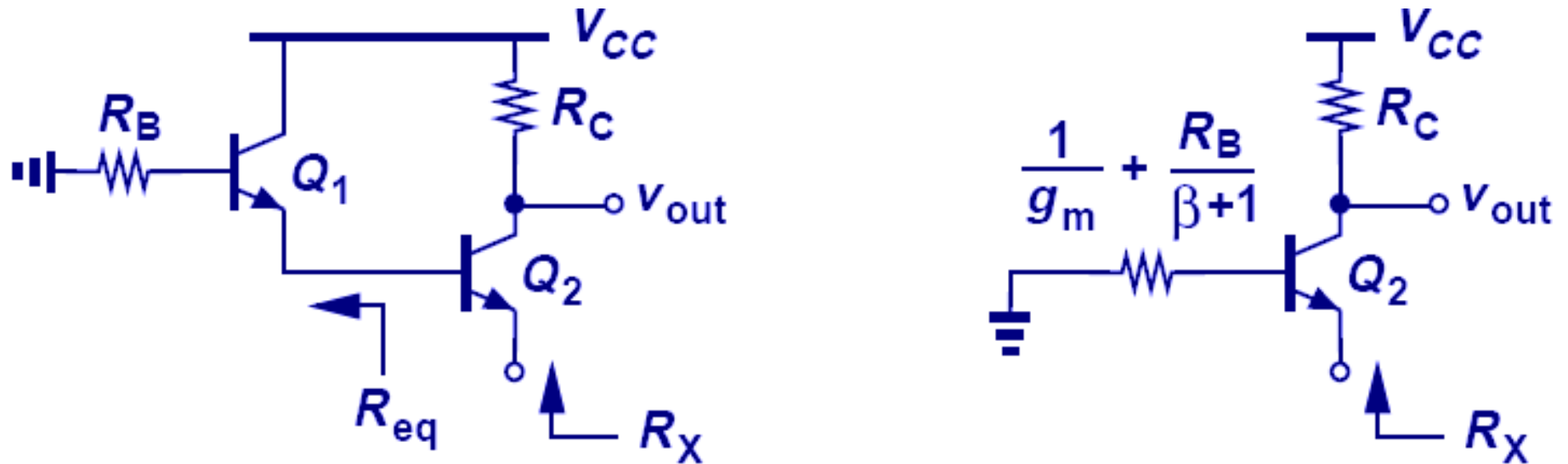
$$\frac{v_X}{i_X} = \frac{r_\pi + R_B}{\beta + 1} \approx \frac{1}{g_m} + \frac{R_B}{\beta + 1}$$

- Ulazna otpornost ZB sa otpornikom u bazi jednaka je $1/g_m$ plus R_B podijeljeno sa $(\beta+1)$.
- To je suprotno od ZE sa emitorskim otpornikom, gdje je emitroska otpornost *pomnožena* sa $(\beta+1)$ kada se gleda iz baze.

Ulazne impedase gledane iz emitora i iz baze



Primjer nalaženja ulazne otpornosti

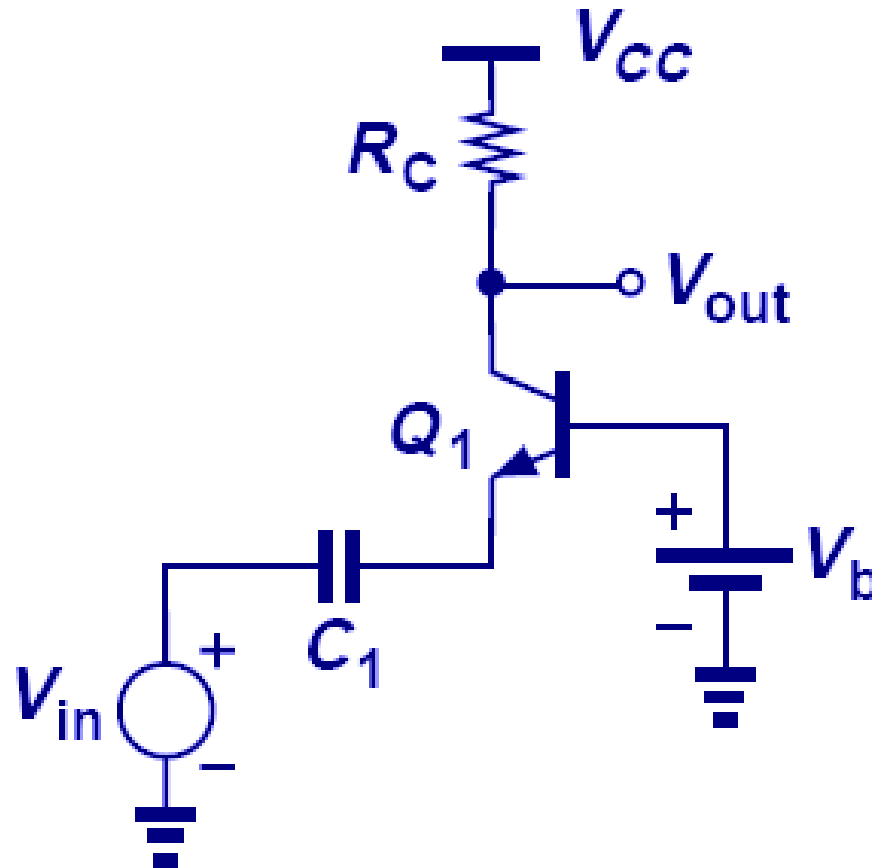


$$R_X = \frac{1}{g_{m2}} + \frac{1}{\beta+1} \left(\frac{1}{g_{m1}} + \frac{R_B}{\beta+1} \right)$$

Provjeriti!

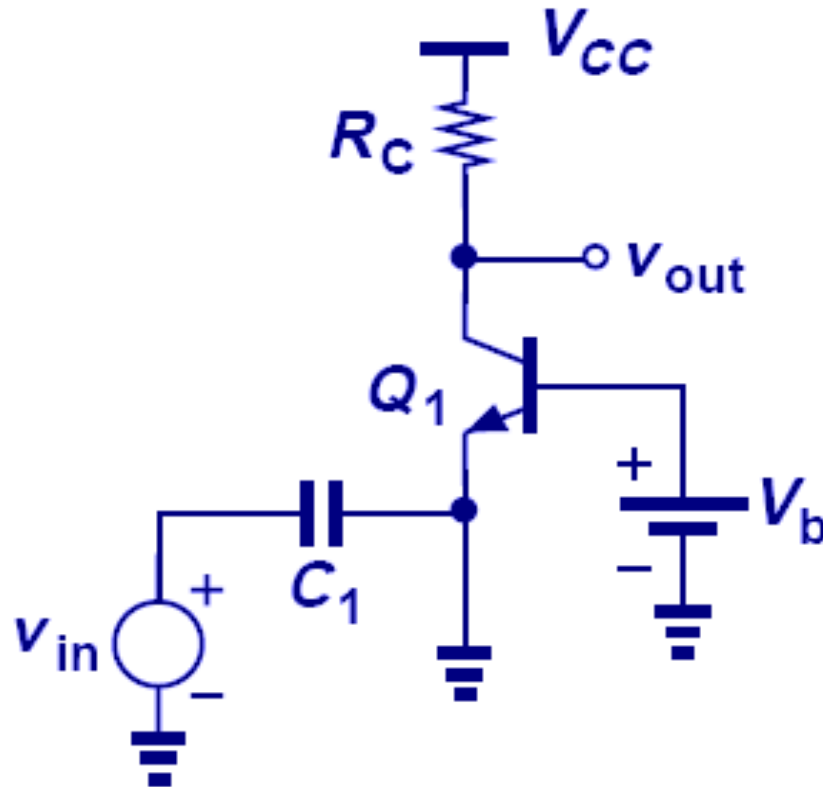
- Da bi se našlo R_X , prvo treba naći R_{eq} , tretirati ga kao baznu otpornost Q_2 i podijeliti sa $(\beta+1)$.

Loša polarizacija ZB stepena



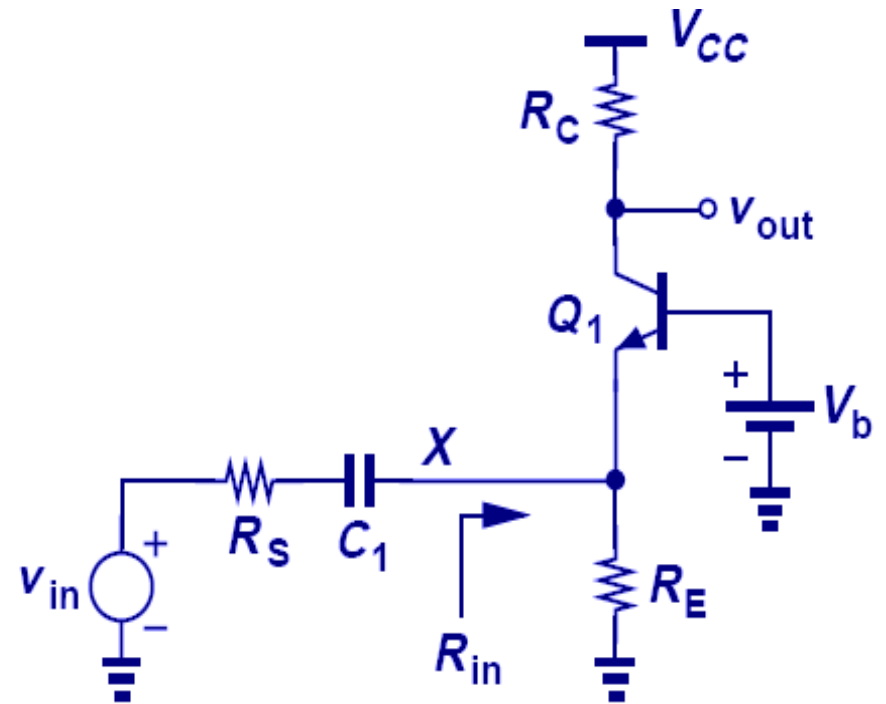
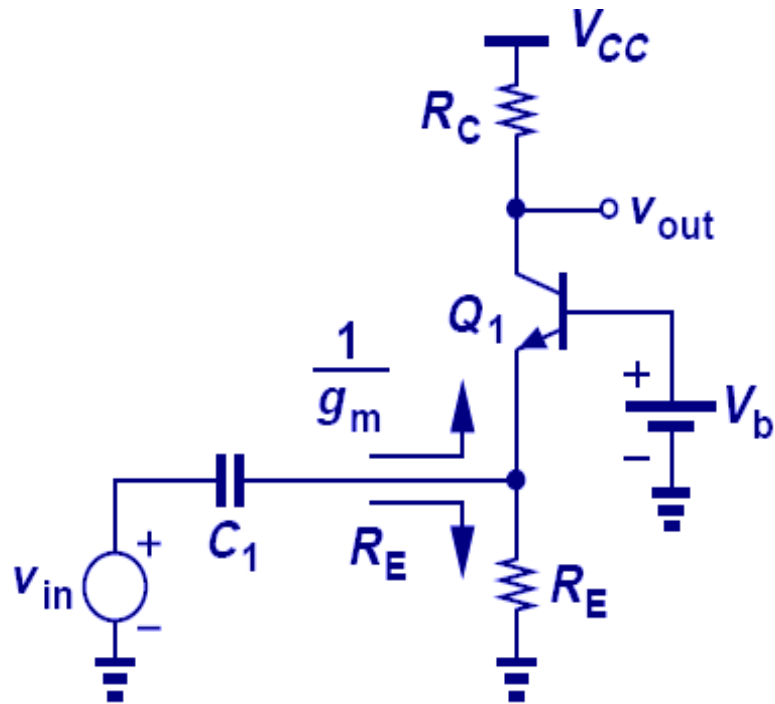
- Na žalost, ne može proticati emitorska struja.

I dalje nije dobro



- U žurbi, student povežu emitor sa masom, razmišljajući da će to obezbijediti DC struju za polarisanje pojačavača. Međutim ulazni signal će biti spojen na masu i pojačavač neće pojačavati.

Ispravna polarizacija ZB pojačavača

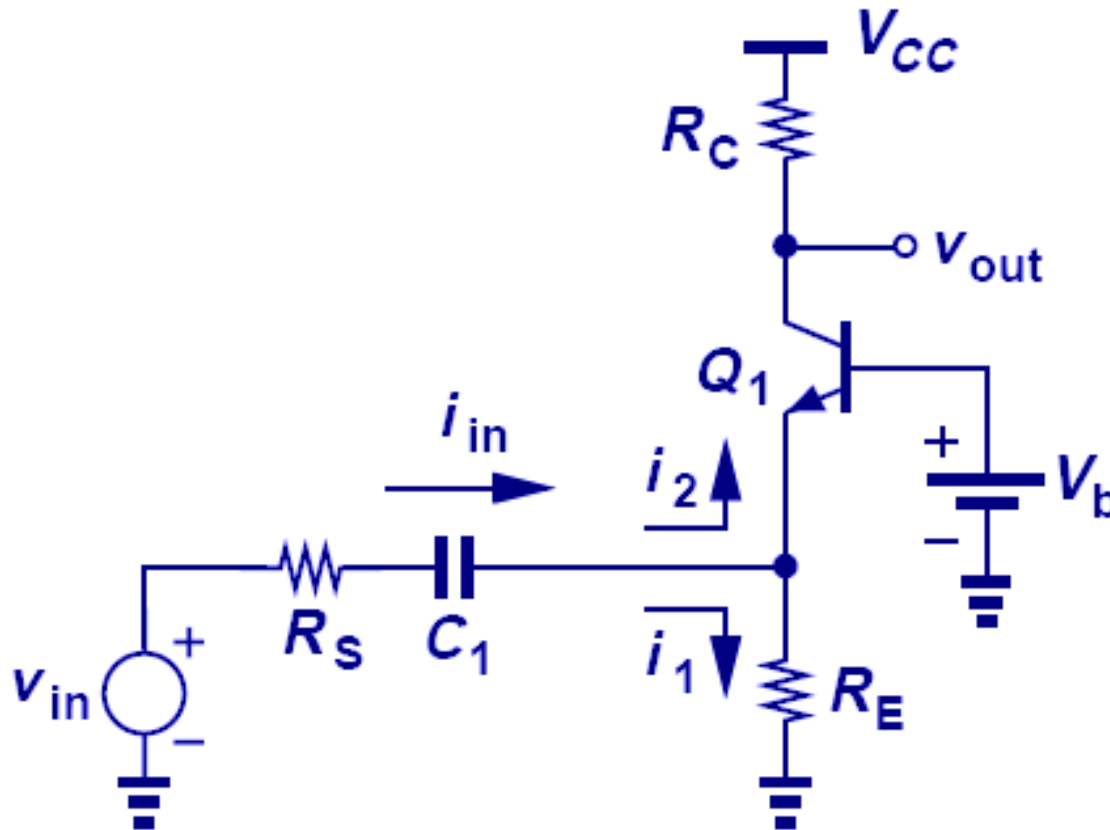


$$R_{in} = \frac{1}{g_m} \parallel R_E$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{R_E}{R_E + (1 + g_m R_E) R_S} g_m R_C$$

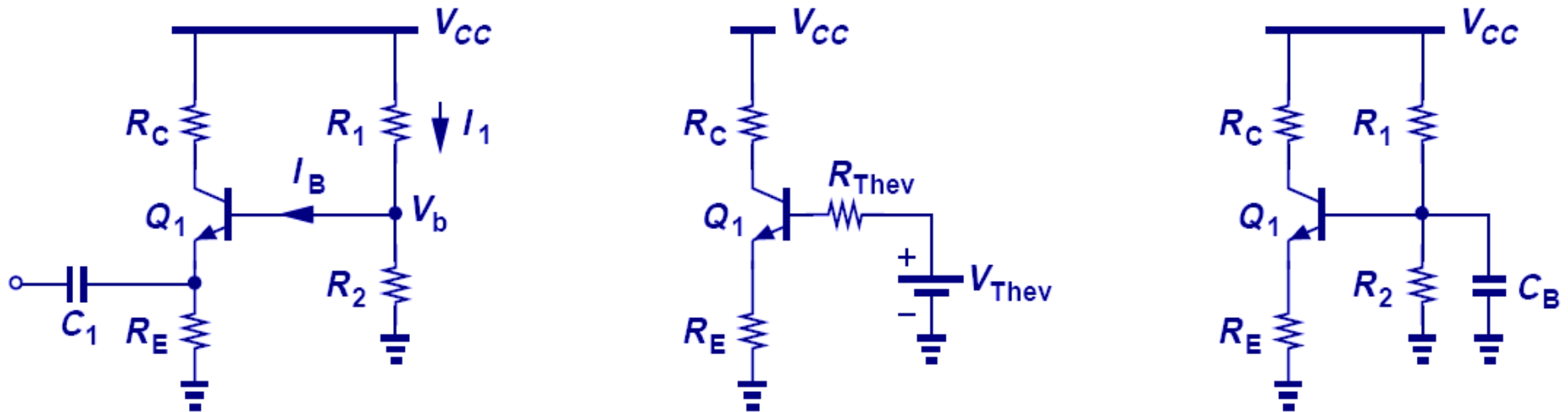
Provjeriti!

Umanjenje ulazne impedancije zbog R_E



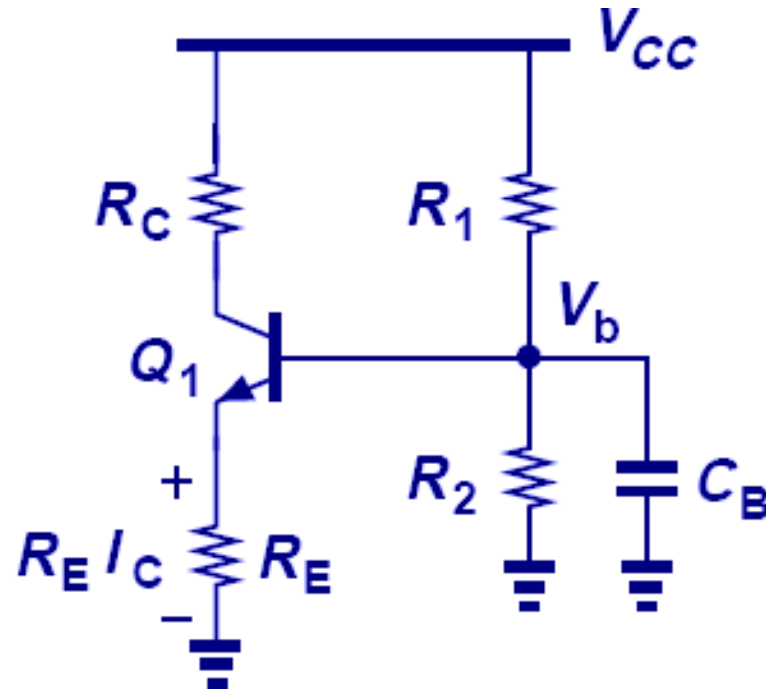
- Umanjenje ulazne impedancije zbog R_E je loše, jer R_E vodi dio ulazne struje na masu, umjesto ka Q_1 (i R_C).

Kreiranje napona na bazi (V_b)



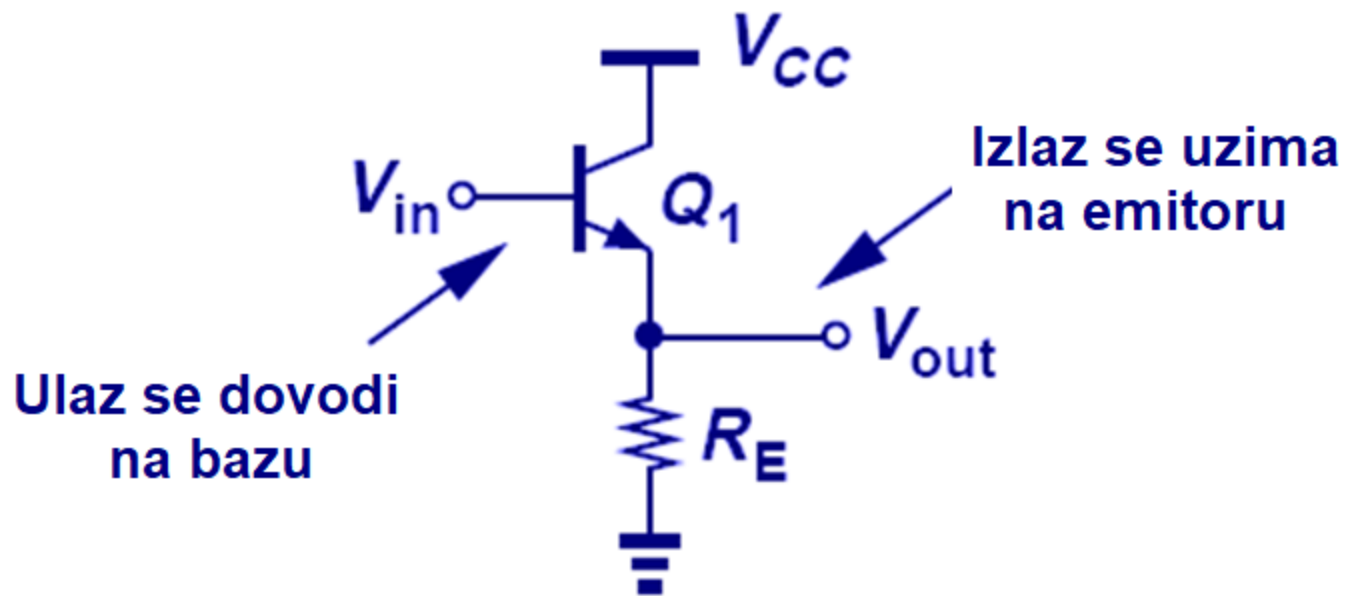
- Naponski djelilac umanjuje pojačanje.
- U cilju otklanjanja tog problema, kondenzator je umetnut između baze i mase, u cilju kratkog spajanja naponskog djelioca na frekvenciji od interesa.

Primjer ZB stepena sa polarizacijom

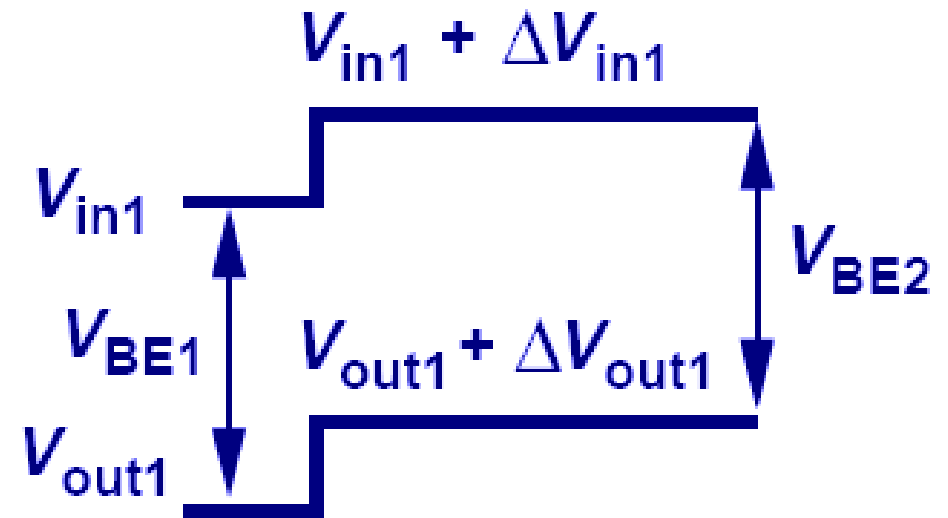
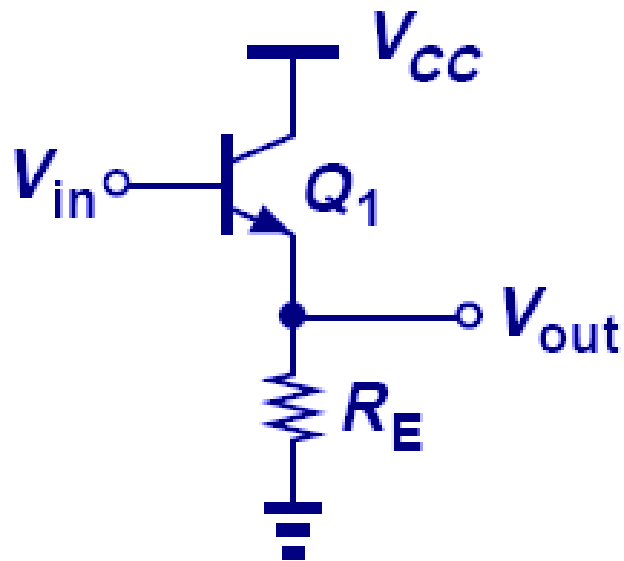


- $R_E \gg 1/g_m$.
- R_1 i R_2 su odabrani tako da je V_b odgovarajuće vrijednosti i struja koja protiče kroz djelilac je mnogo veća nego bazna struja.
- Kondenzator je izabran tako da na frekvenciji od interesa njegova impedansa bude mala u poređenju sa $1/g_m$.

Pojačavača da zajedničkim kolektorom – ZC Emitter Follower

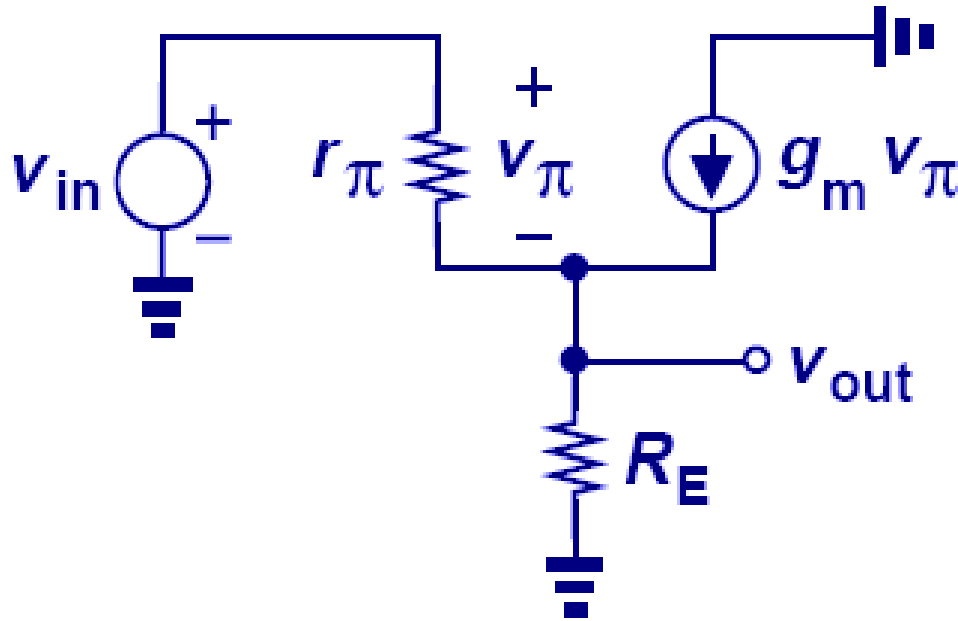


ZC jezgro



- Kada se napon na ulazu poveća za ΔV , izlaz se poveća za za veličinu koja je malo manja od ΔV .
- Absolutne vrijednosti ulaznog i izlaznog napona razlikuju se za V_{BE} .

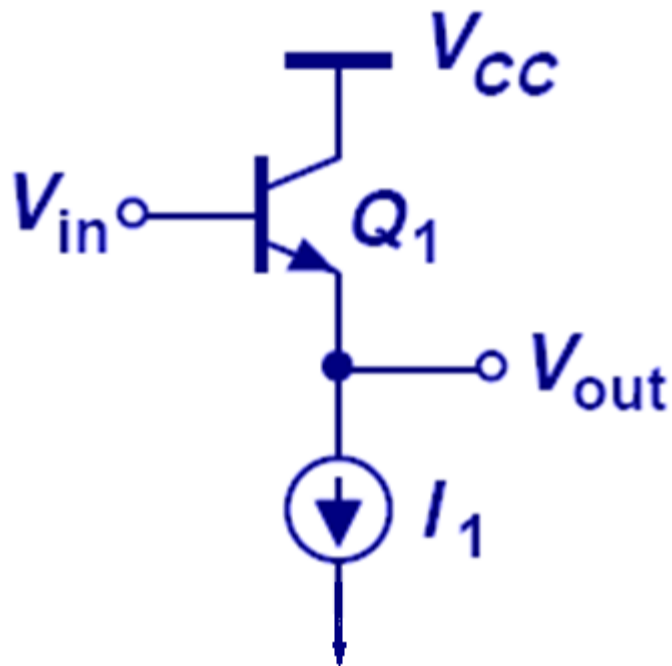
Naponsko pojačanje ZC pojačavača



$$V_A = \infty$$
$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{1}{1 + \frac{r_{\pi}}{\beta + 1} \cdot \frac{1}{R_E}} \approx \frac{R_E}{R_E + \frac{1}{g_m}}$$

- Naponsko pojačanje je (malo) manje od 1 i pozitivno je.

Jedinično pojačanje ZC pojačavača

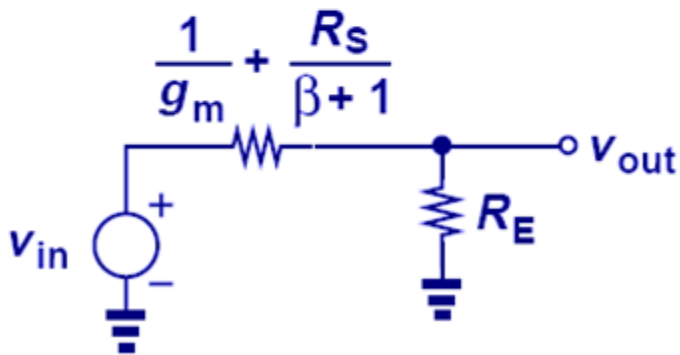
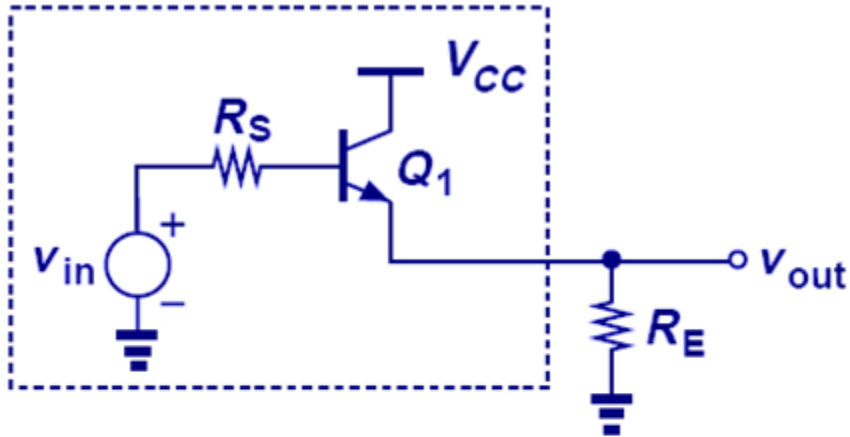


$$V_A = \infty$$

$$A_v = 1$$

- Naponsko pojačanje je jedinično jer konstantna kolektorska struja ($= I_1$) rezultuje u konstantnom naponu V_{BE} , te stoga V_{out} precizno slijedi V_{in} .

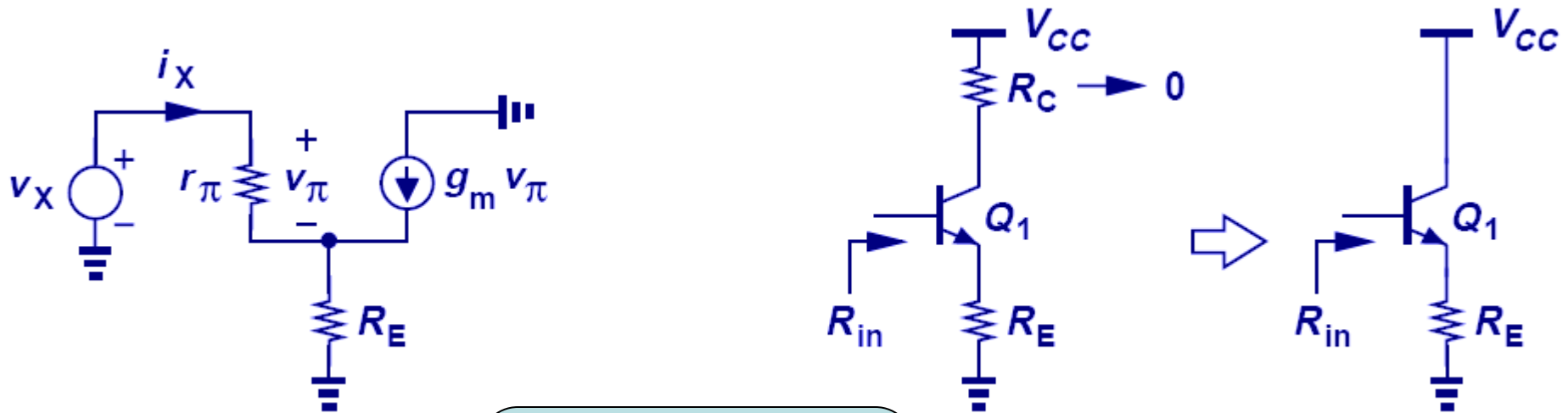
ZC sa otpornošću izvora



$$V_A = \infty$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{R_E}{R_E + \frac{R_S}{\beta + 1} + \frac{1}{g_m}}$$

Ulazna otpornost ZC pojačavača

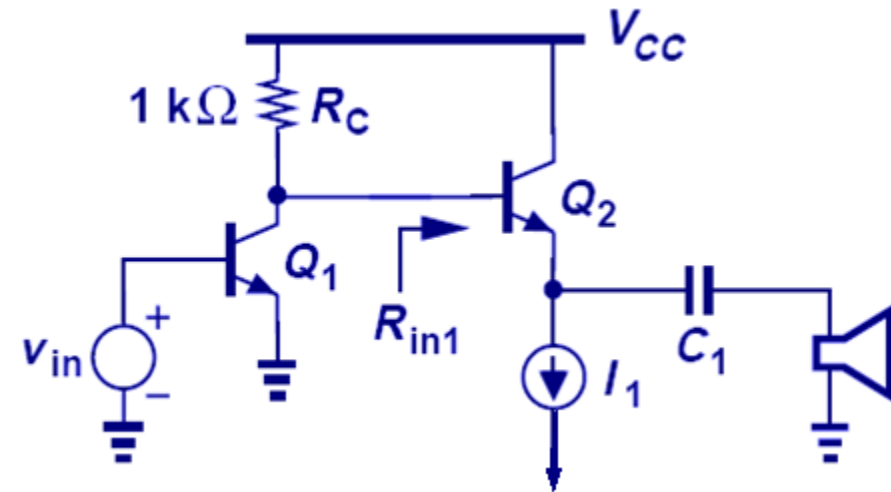
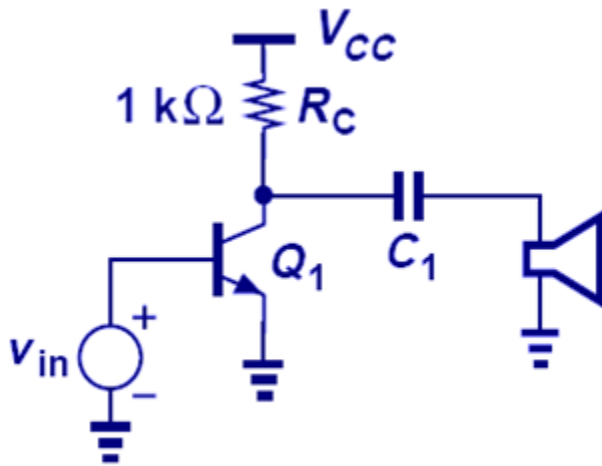


$$V_A = \infty$$

$$\frac{v_X}{i_X} = r_\pi + (1 + \beta)R_E$$

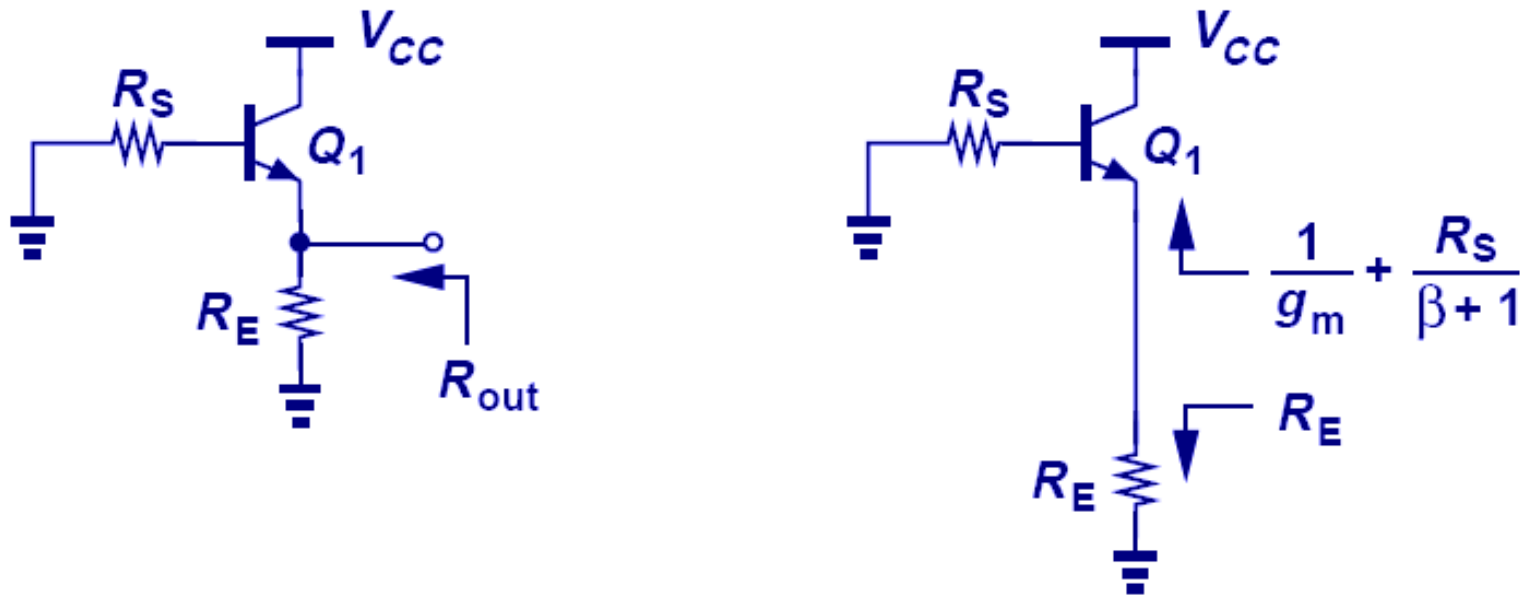
- Ulazna impedansa ZC je jednaka ulaznoj impedansi ZE sa emitorskim otpornikom.
- Ovo nije iznenađujuće jer ulazna impedansa ZE sa emitroskim otpornikom ne zavisi od kolektorske otpornosti.

ZC kao razdvajač



- Kako ZC stepen povećava otpornost potrošača do mnogo većih vrijednosti, pogodan je da se koristi kao razdvojni stepen između ZE stepena i potrošača, u cilju prevezilaženja problema degradacije pojačanja.

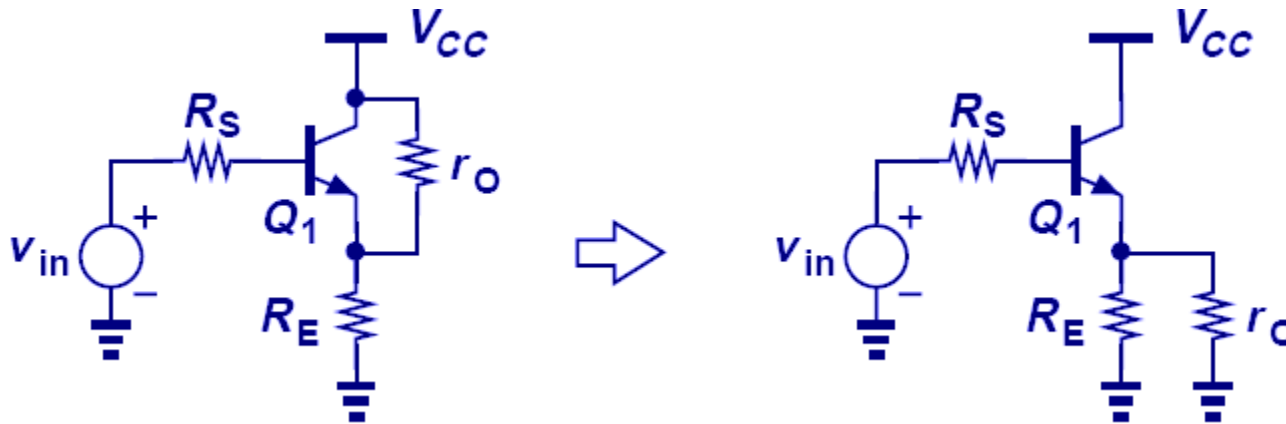
Izlazna otpornost ZC pojačavača



$$R_{out} = \left(\frac{R_s}{\beta + 1} + \frac{1}{g_m} \right) \parallel R_E$$

- **ZC snižava impedansu izvora za faktor $\beta+1$, povećavajući upravljačke mogućnosti.**

ZC sa Early-jevim efektom



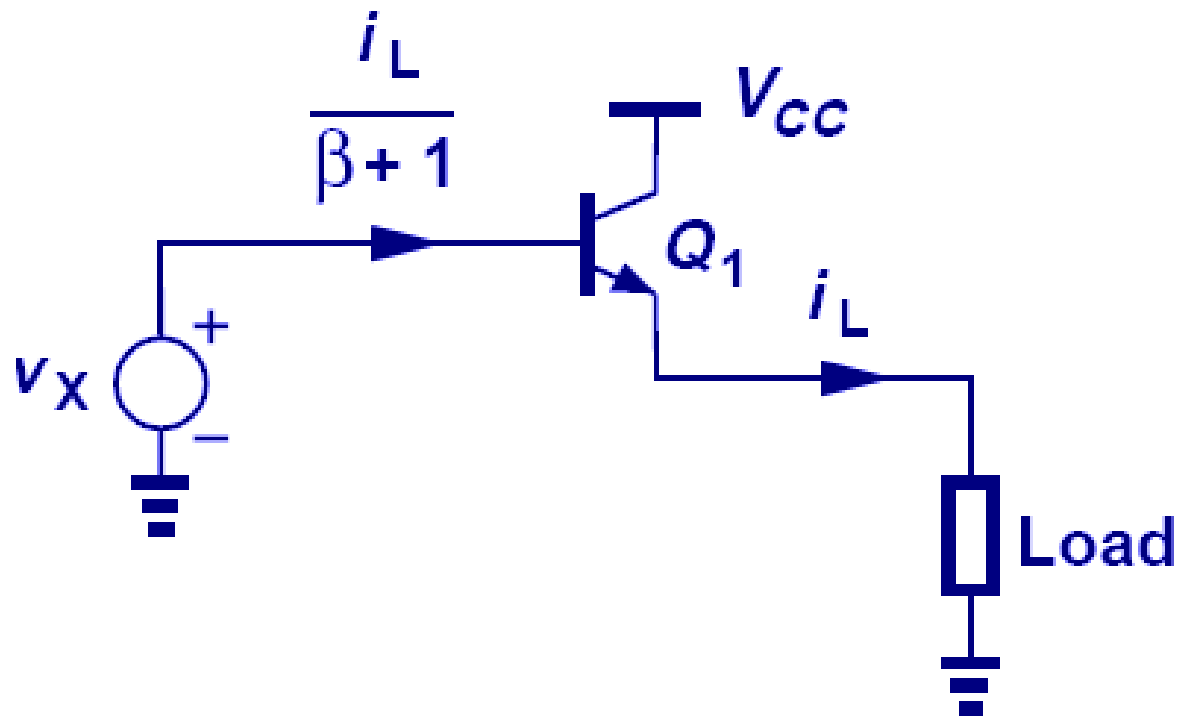
$$A_v = \frac{R_E \parallel r_o}{R_E \parallel r_o + \frac{R_s}{\beta + 1} + \frac{1}{g_m}}$$

$$R_{in} = r_\pi + (\beta + 1)(R_E \parallel r_o)$$

$$R_{out} = \left(\frac{R_s}{\beta + 1} + \frac{1}{g_m} \right) \parallel R_E \parallel r_o$$

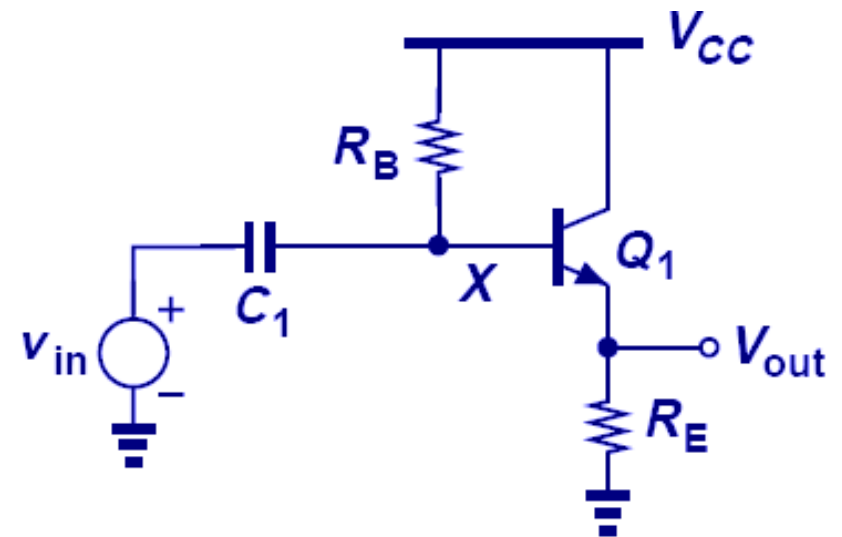
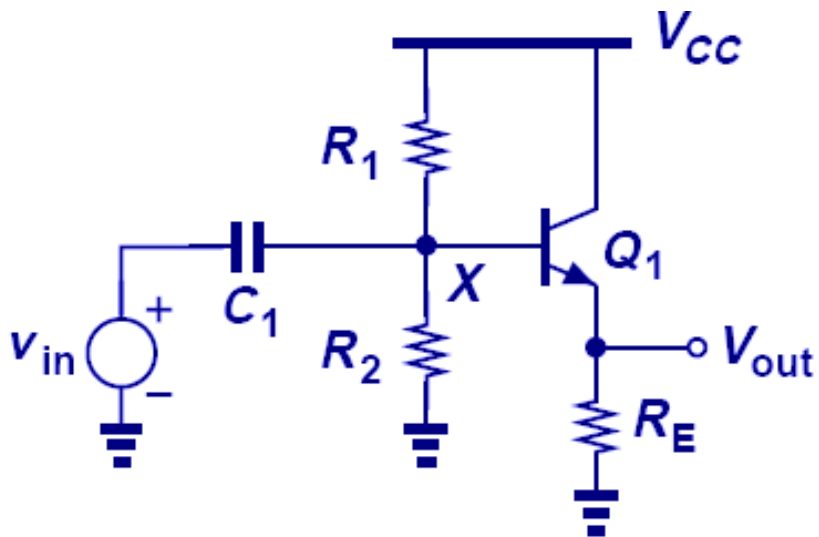
- Kako je r_o u paraleli sa R_E , njegov efekat je jednostavno inkorporirati u jednačine za naponsko pojačanje, ulaznu i izlaznu impedansu.

Strujno pojačanje ZC



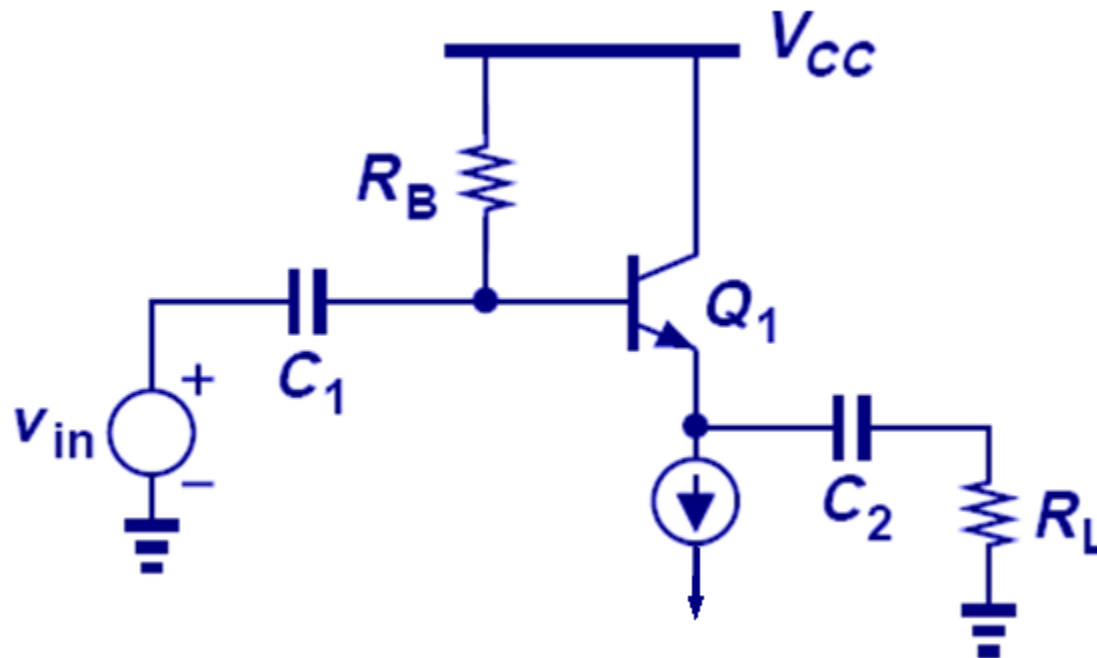
- Postoji strujno pojačanje $(\beta+1)$ od baze do emitora.
- Otpornost potrošače je uvećana $(\beta+1)$ puta, kada se gleda iz baze.

Polarizacija ZC pojačavača



- Polarizacione tehnike su slične onima kod ZE.
- V_b može biti blizu V_{CC} jer je kolektor spojen na V_{CC} .

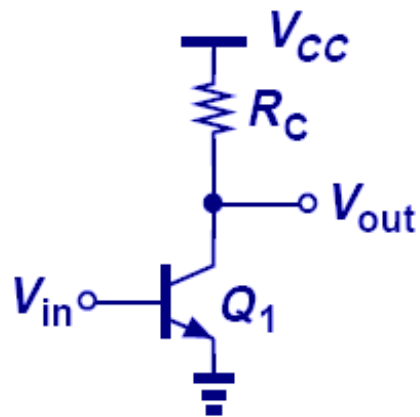
Polarizacija strujnim izvorom



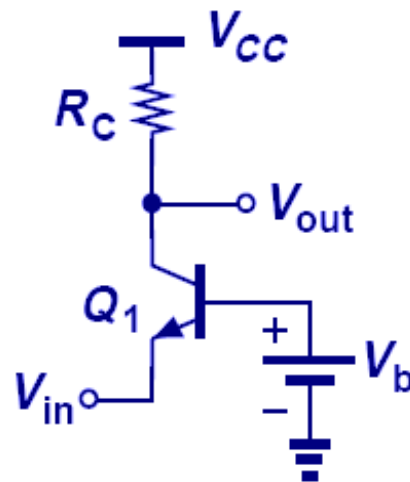
- Smještanjem strujnog izvora u emitoru, bazna struja, V_{BE} , i $I_B R_B$ su fiksirani.

Rezime topologija pojačavača

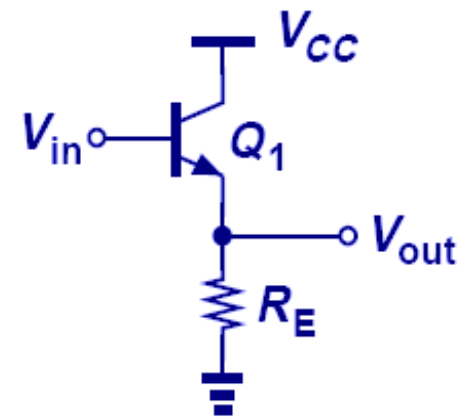
CE Stage



CB Stage

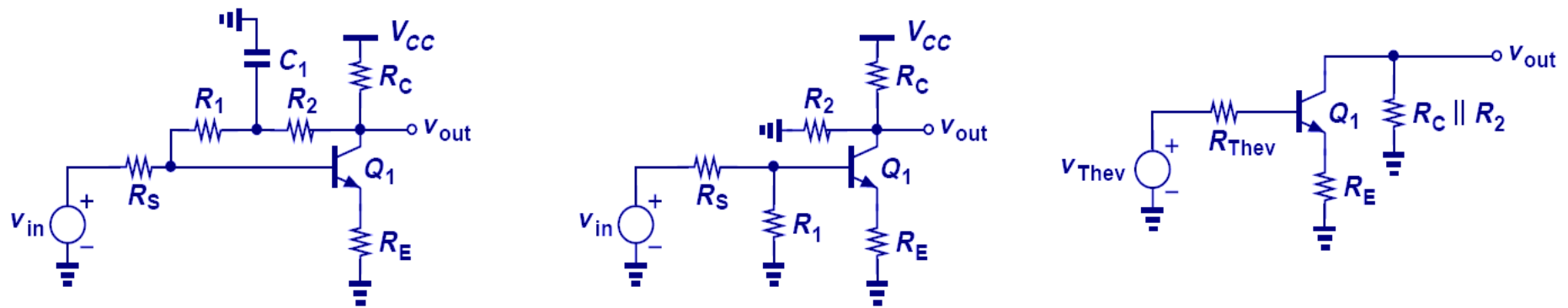


Follower



- Tri pojačavačke topologije, različitih osobina i različitih primjena.
- ZE i ZB imaju naponsko pojačanje, po apsolutnoj vrijednosti veće od 1, dok ZC ima naponsko pojačanje manje od ali približno 1.

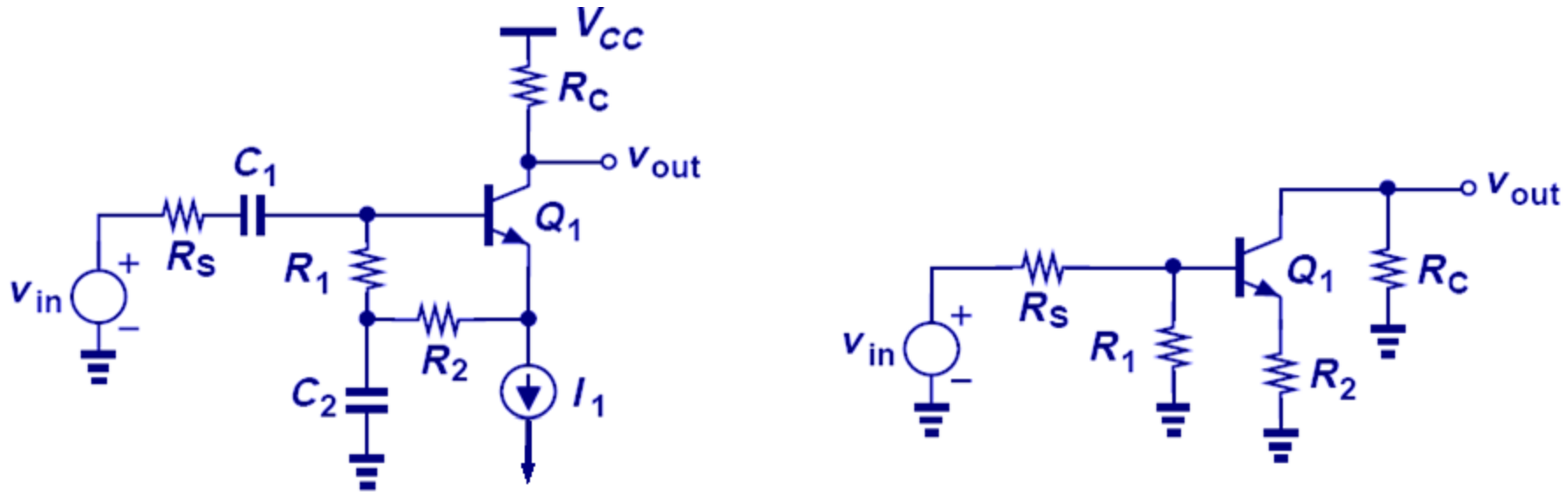
Primjer 1



$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = - \frac{R_2 \parallel R_C}{\frac{R_1 \parallel R_S}{\beta + 1} + \frac{1}{g_m} + R_E} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_S}$$

- Ključ u rješavanju ovog problema je u prepoznavanju AC mase između R_1 i R_2 , i Thevenin-ove transformacije ulazne mreže.

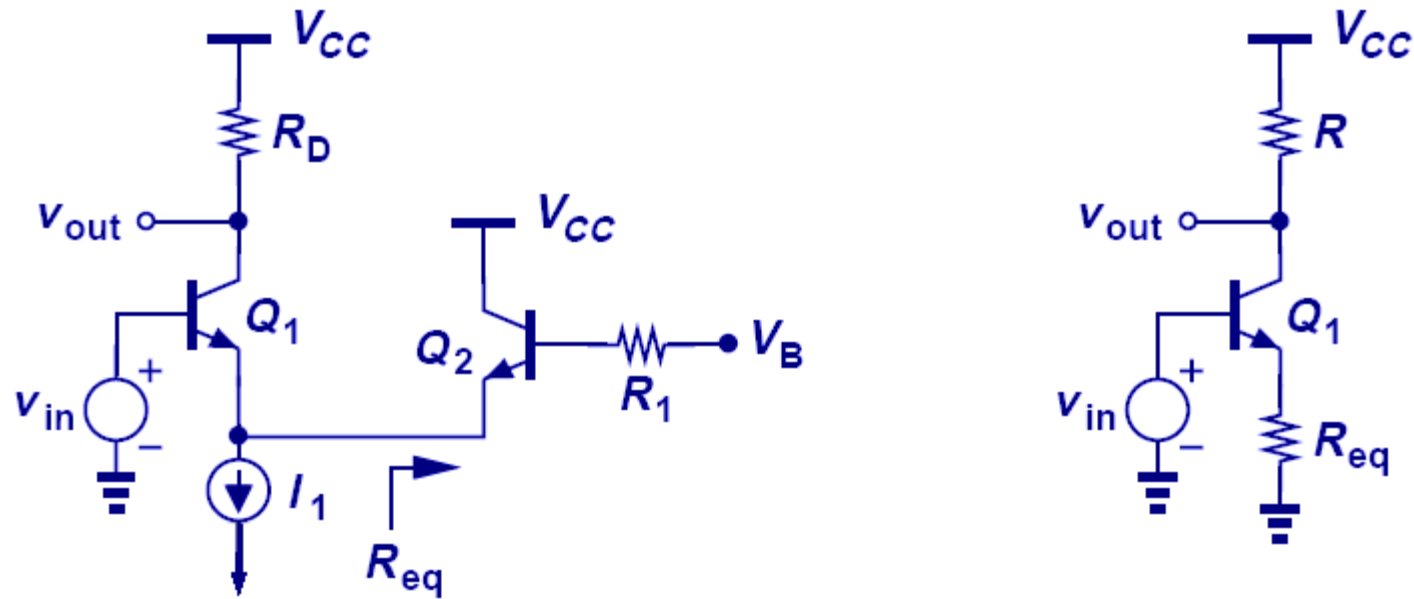
Primjer 2



$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = - \frac{R_C}{\frac{R_S \parallel R_1}{\beta + 1} + \frac{1}{g_m} + R_2} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_S}$$

- Ponovo, AC masa i Thevenin-ova transformacija su potrebne za transformisanje kompleksnog kola jednostavni pojačavački stepen sa emitorskim otpornikom.

Primjer 3

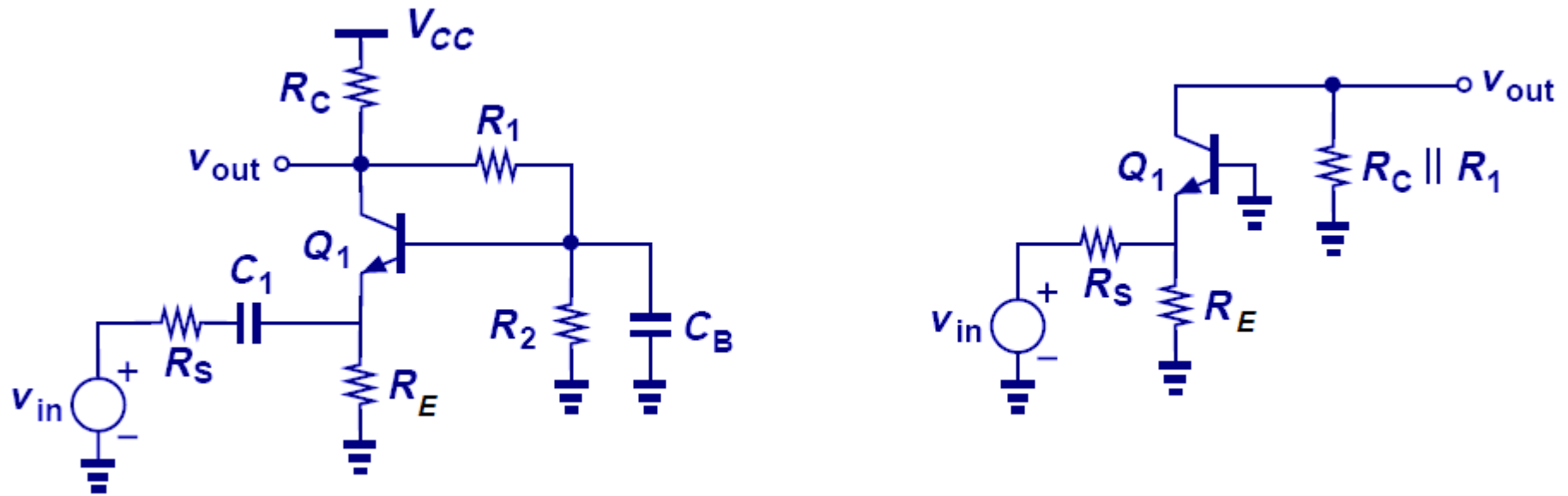


$$R_{in} = r_{\pi 1} + R_1 + r_{\pi 2}$$

$$A_v = \frac{-R_C}{\frac{1}{g_{m1}} + \frac{R_1}{\beta + 1} + \frac{1}{g_{m2}}}$$

- Ključ za rješavanje ovog problema je prvo indetifikovati R_{eq} , koje predstavlja impedansu koja se vidi u emitoru Q_2 u paraleli sa beskonačnom otpornošću idealnog strujnog izvora.
- Drugo, jednačine za pojačanje ZE stepena, gdje je R_E zamijenjeno sa R_{eq} .

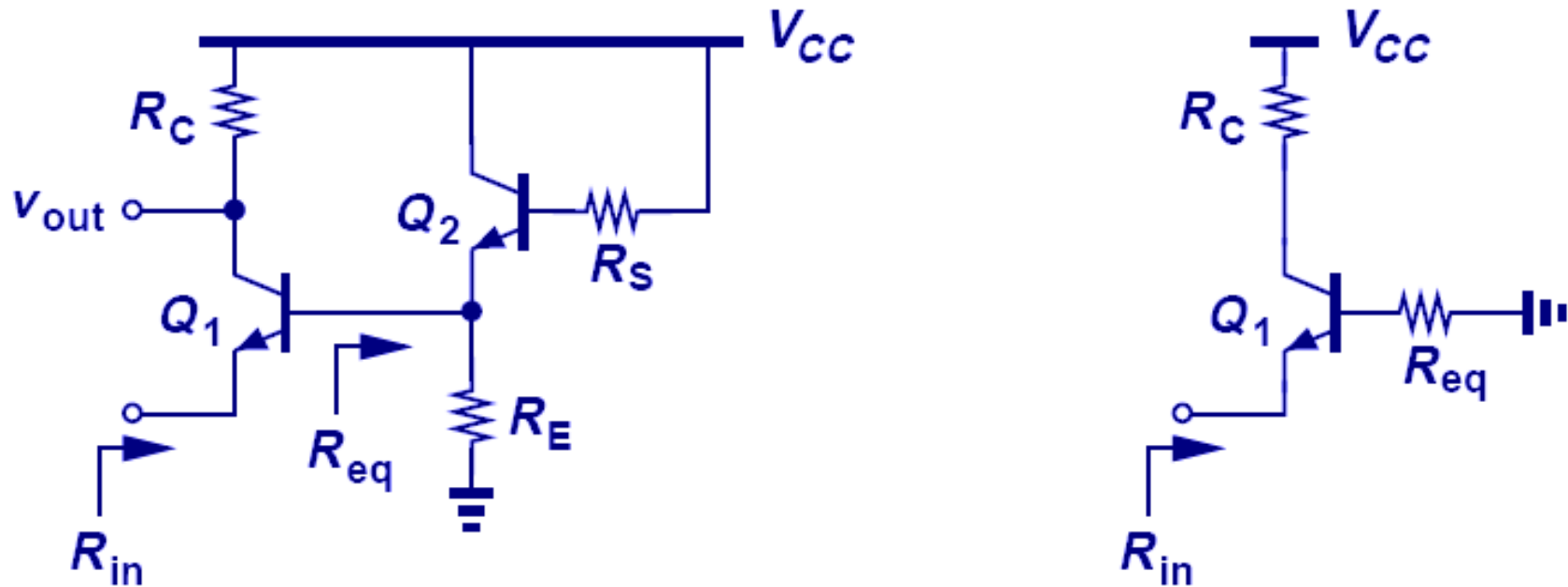
Primjer 4



$$A_v = R_C \parallel R_1 g_m \frac{R_E}{R_E + (1 + g_m R_E) R_S}$$

- Ključ za rješavanje ovog problema je prepoznavanje da C_B na frekvenciji od interesa predstavlja kratak spoj na AC masu.
- R_1 se pojavljuje u paraleli sa R_C i kolo se pojednostavljuje na jednostavni ZB stepen.

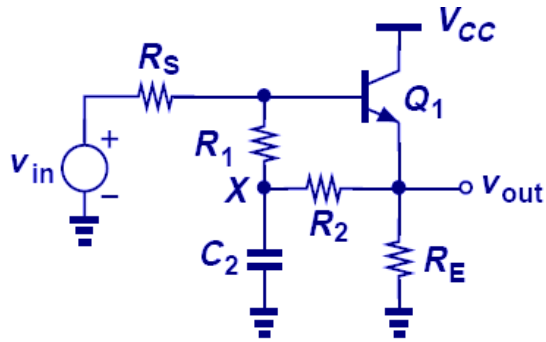
Primjer 5



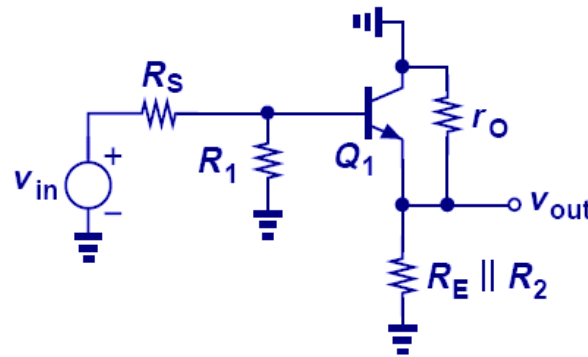
$$R_{in} = \frac{1}{\beta+1} \left[\left(\frac{R_S}{\beta+1} + \frac{1}{g_{m2}} \right) \parallel R_E \right] + \frac{1}{g_{m1}}$$

- Ključ za rješavanje ovog problema je prepoznavanje da ekvivalentna bazna otpornost Q_1 je paralelno vezana sa R_E i impedansa koja se vidi u emitoru Q_2 .

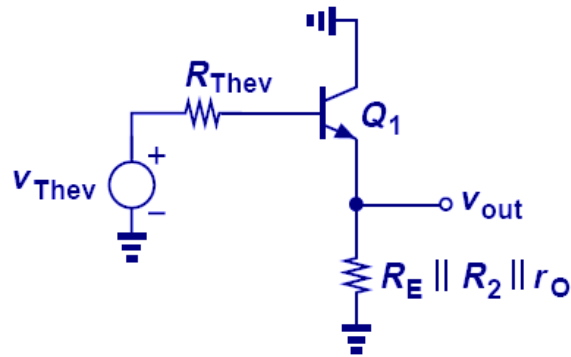
Primjer 6



(a)



(b)



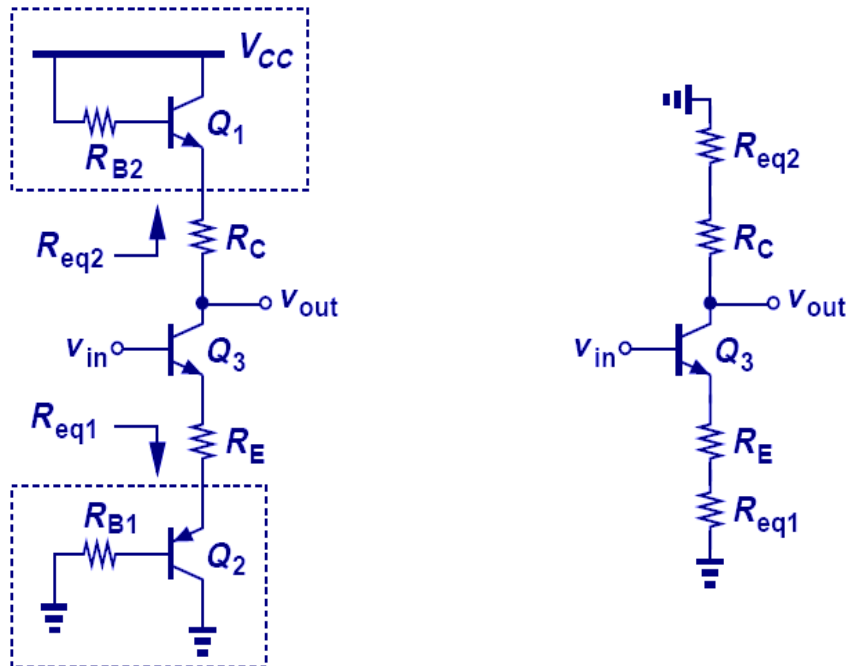
(c)

$$v_{out} = \frac{R_E \parallel R_2 \parallel r_o}{R_E \parallel R_2 \parallel r_o + \frac{1}{g_m} + \frac{R_s \parallel R_1}{\beta + 1}} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_s} v_{in}$$

$$R_{out} = \left(\frac{R_s \parallel R_1}{\beta + 1} + \frac{1}{g_m} \right) \parallel R_E \parallel R_2 \parallel r_o$$

- Ključ za rješavanje ovog problema je prepoznavanje da je DC napajanje AC masa i upotrebom Thevenin-ove transformacije pojednostavljenje kola na emitter follower.

Primjer 7



$$R_{in} = r_{\pi 1} + (\beta + 1) \left(R_E + \frac{R_{B1}}{\beta + 1} + \frac{1}{g_{m2}} \right)$$

$$R_{out} = R_C + \frac{R_{B2}}{\beta + 1} + \frac{1}{g_{m3}}$$

$$A_v = - \frac{R_C + \frac{R_{B2}}{\beta + 1} + \frac{1}{g_{m3}}}{R_E + \frac{R_{B1}}{\beta + 1} + \frac{1}{g_{m2}} + \frac{1}{g_{m1}}}$$

- Impedansa koja se vidi u emitoru Q_1 i Q_2 može se sjediniti sa R_C i R_E , respektivno, i formirati ekvivalentnu emitorsku i kolektorsku impedansu.