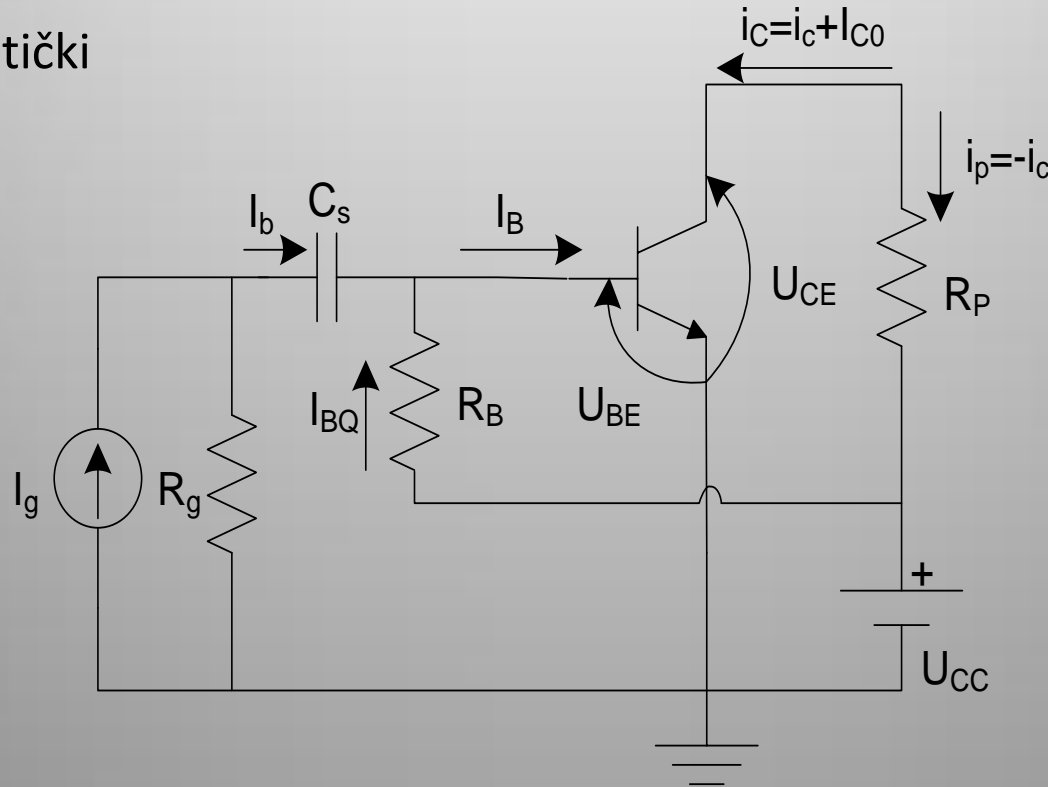


# Dinamička svojstva pojačivača u spoju sa zajedničkim emiterom

Prirodno-matematički fakultet u Nišu  
Departman za fiziku

- Analiza pojačavača u spoju sa zajedničkim emiterom, pod pretpostavkom da se radi o pojačavanju signala relativno niskih frekvencija i male amplitude može se sprovesti:
  - Grafički
  - Analitički



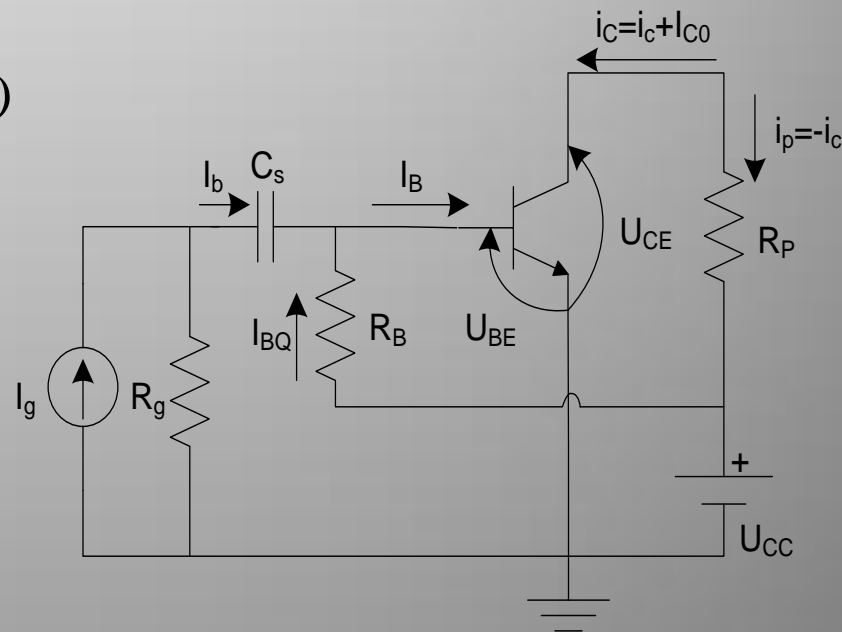
- Ulazno kolo TZE moguće je opisati ulaznim karakteristikama koje daju zavisnost trenutne vrednosti napona između baze i emitera  $u_{BE}$  od struje  $i_B$  i napona između kolektora i emitera  $u_{CE}$ :

$$u_{BE} = f(i_B, u_{CE})$$

- Slično tome za izlazno kolo može se pisati sledeće:

$$i_C = f(i_B, u_{CE})$$

- Dakle, promenu napona  $u_{BE}$  i struje  $i_C$  moguće je izazvati promenama struje  $i_B$  i napona  $u_{CE}$ .



- Iz predhodne dve relacije slede totalni diferencijali:

$$du_{BE} = \frac{\partial u_{BE}}{\partial i_B} di_B + \frac{\partial u_{BE}}{\partial u_{CE}} du_{CE}$$

$$di_C = \frac{\partial i_C}{\partial i_B} di_B + \frac{\partial i_C}{\partial u_{CE}} du_{CE}$$

koje je moguće aproksimirati konačnim ali dovoljno malim prirastima:

$$\Delta u_{BE}, \Delta i_B, \Delta u_{CE}, \Delta i_C$$

Tako da se mali ali konačni prirasti trenutnih totalnih vrednosti veličina  $u_{BE}$ ,  $i_B$ ,  $u_{CE}$ ,  $i_C$  mogu tretirati kao trenutne vrednosti malih naizmeničnih veličina, te važi:

$$du_{BE} \approx \Delta u_{BE} \approx u_{be} \quad di_B \approx \Delta i_B \approx i_b$$

$$du_{CE} \approx \Delta u_{CE} \approx u_{ce} \quad di_C \approx \Delta i_C \approx i_c$$

- Iz predhodnih relacija slede izrazi za trenutne vrednosti naizmeničnih veličina tranzistora u spoju sa zajedničkim emiterom:

$$u_{be} = \frac{\partial u_{BE}}{\partial i_B} i_b + \frac{\partial u_{BE}}{\partial u_{CE}} u_{ce}$$

$$i_c = \frac{\partial i_C}{\partial i_B} i_b + \frac{\partial i_C}{\partial u_{CE}} u_{ce}$$

- to su jednačine tranzistora u spoju sa ZE posmatranog kao četvoropol u režimu malih naizmeničnih signala.
- Iz njih sledi da su zavisne promenjive  $u_{be}$  i  $i_c$  linearne funkcije nezavisnih promenjivih  $i_b$  i  $u_{ce}$  pri čemu su parcijalne derivacije faktori proporcionalnosti koji se nazivaju **hibridnim** ili ***h*-parametrima**.

- Hibridne parametre je moguće definisati na sledeći način:

$$h_{11e} = \frac{\partial u_{BE}}{\partial i_B} = \frac{u_{be}}{i_b} \Big|_{u_{ce}=0}$$

Ulazni otpor uz kratko spojeni izlaz  $h_{ie}$

$$h_{12e} = \frac{\partial u_{BE}}{\partial u_{CE}} = \frac{u_{be}}{u_{ce}} \Big|_{i_b=0}$$

Faktor naponskog povratnog delovanja uz otvoreni ulaz  
 $h_{re}$

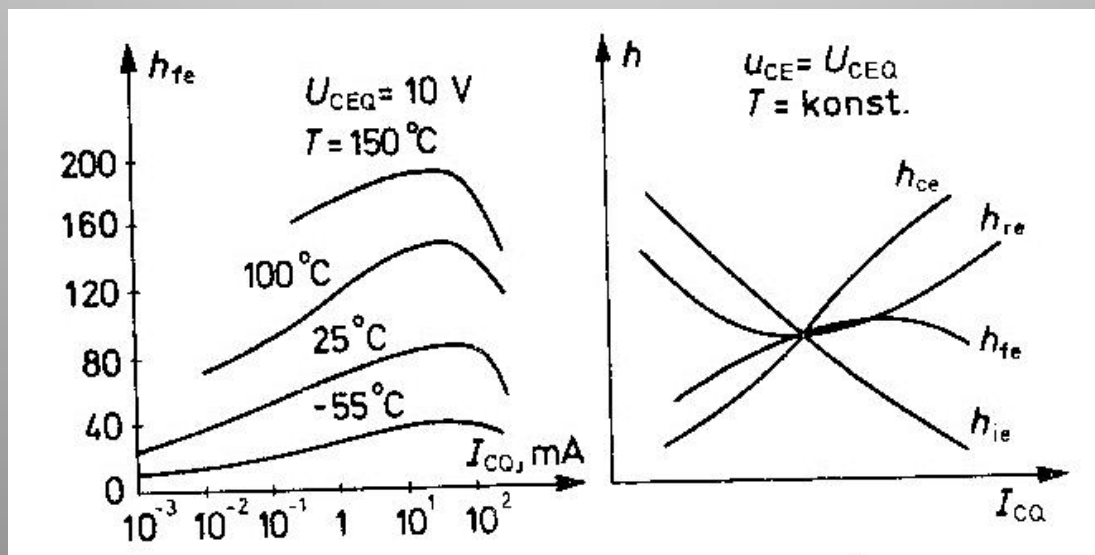
$$h_{21e} = \frac{\partial i_C}{\partial i_B} = \frac{i_c}{i_b} \Big|_{u_{ce}=0}$$

Faktor strujnog pojačanja uz kratko spojeni izlaz  
 $h_{fe}$

$$h_{22e} = \frac{\partial i_C}{\partial u_{CE}} = \frac{i_c}{u_{ce}} \Big|_{i_b=0}$$

Izlazna odvodnost uz otvoreni ulaz  $h_{oe}$

- Hibridni parametri nisu konstantne veličine za jedan tranzistor, već zavise od: **položaja radne tačke, temperature i frekvencije**
- Na slici je prikazana zavisnost faktora strujnog pojačanja  $h_{21}$  od struje kolektora u statičkoj radnoj taki za jedan Si NPN tranzistor u području niskih frekvencija.
- Vidljivo je da pri porastu struje  $I_{CQ}$ , uz konstantnu temperaturu tranzistora,  $h_{21}$  sa porastom struje raste, dostiže maksimum, a zatim opada.
- Kod konstantnog iznosa struje  $I_{CQ}$  faktor strujnog pojačanja  $h_{21}$  raste sa porastom temperature.



- Tipične vrednosti h-parametara Si tranzistora u spoju sa ZE pri sobnoj temperaturi su:

$$h_{11} = 0.5 - 1.5 \text{ k}\Omega$$

$$h_{21} = 50 - 300$$

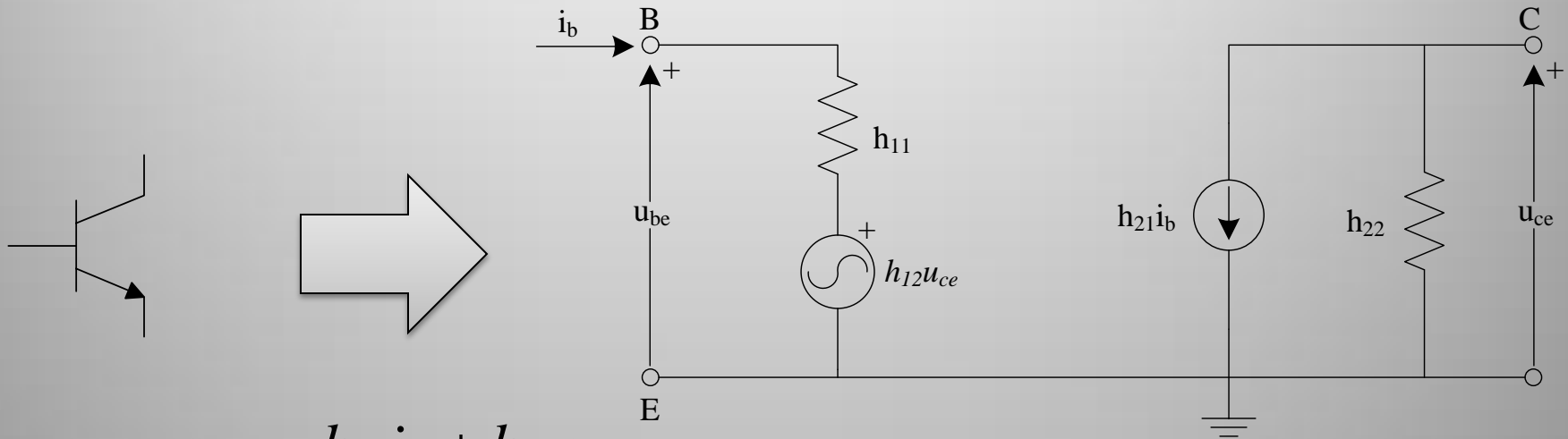
$$h_{12} = 10^{-4}$$

$$h_{22} = 10^{-5} - 10^{-4} \text{ S}$$



Osnovni sklopovi pojačavača sa bipolarnim tranzistorom  
Dinamička svojstva pojačivača u spoju sa zajedničkim emiterom

Analiza pojačavača u spoju sa ZE  
Hibridni parametri bipolarnog tranzistora  
Strujno pojačanje  
Naponsko pojačanje  
Ulazna otpornost  
Izlazna otpornost



$$u_{be} = h_{11}i_b + h_{12}u_{ce}$$

$$i_c = h_{21}i_b + h_{22}u_{ce}$$

# Osnovni sklopovi pojačavača sa bipolarnim tranzistorom

## Dinamička svojstva pojačavača u spoju sa zajedničkim emiterom

Analiza pojačavača u spoju sa ZE

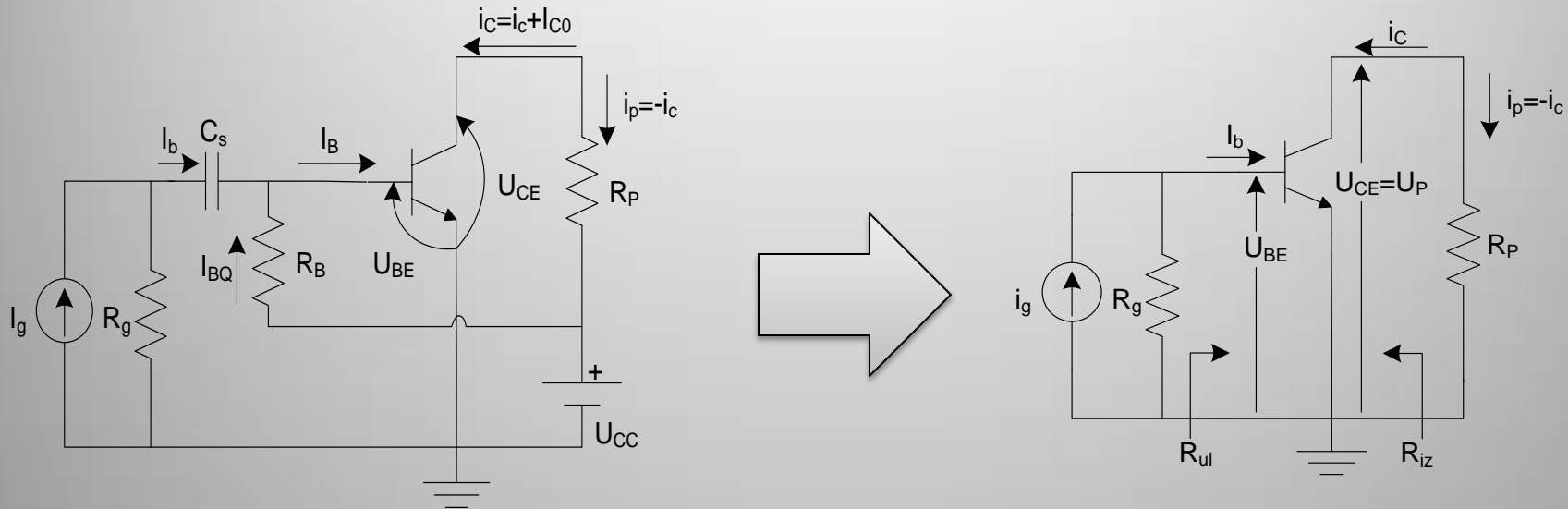
Hibridni parametri bipolarnog tranzistora

Strujno pojačanje

Naponsko pojačanje

Ulazna otpornost

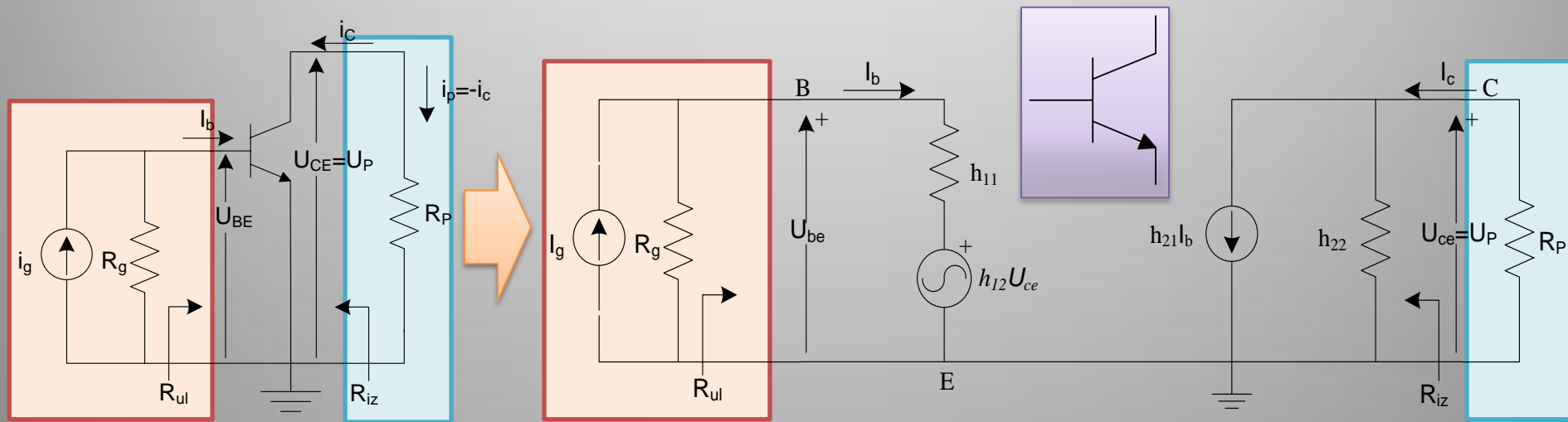
Izlazna otpornost



- Važi princip superpozicije te možemo odvojeno razmatrati statička i dinamička svojstva kola, tj. možemo nacrtati ekvivalentno kolo za mali niskofrekventni naizmenični signal
- Izvor elektromotorne sile  $U_{cc}$  se kratko spoji
- Pretpostavimo da  $C_s$  ima dovoljno veliki kapacitet pa se može zameniti kratkim spojem na frekvenciji signala
- $R_B$  se izostavlja jer važi  $R_B \gg R_{ulT}$  jer je naizmenična struja koja teče kroz njega zanemarljivo mala
- Trenutne vrednosti struja i napona menjamo sa njihovim efektivnim vrednostima

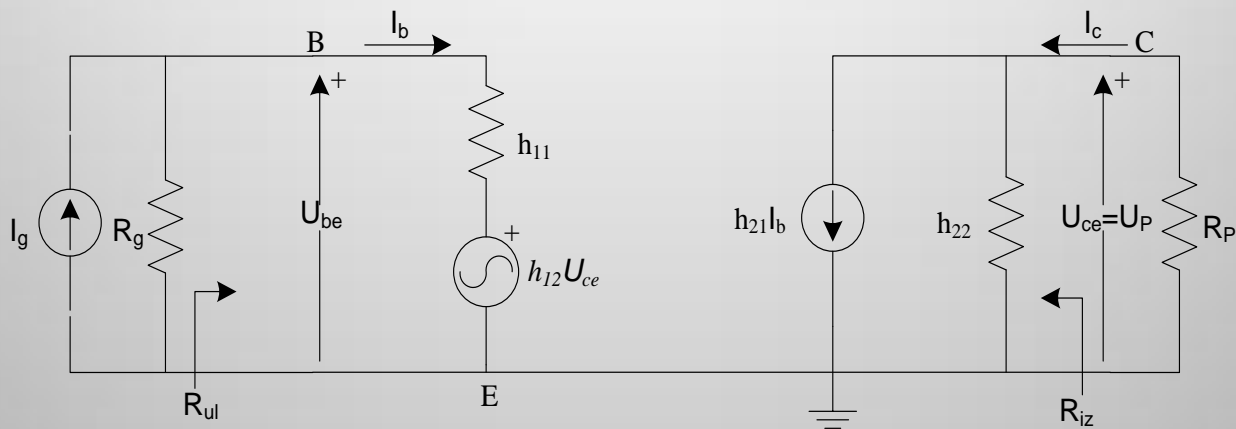
Osnovni sklopovi pojačavača sa bipolarnim tranzistorom  
Dinamička svojstva pojačavača u spoju sa zajedničkim emiterom

Analiza pojačavača u spoju sa ZE  
Hibridni parametri bipolarnog tranzistora  
Strujno pojačanje  
Naponsko pojačanje  
Ulazna otpornost  
Izlazna otpornost



Osnovni sklopovi pojačavača sa bipolarnim tranzistorom  
Dinamička svojstva pojačavača u spoju sa zajedničkim emiterom

Analiza pojačavača u spoju sa ZE  
Hibridni parametri bipolarnog tranzistora  
Strujno pojačanje  
Naponsko pojačanje  
Ulazna otpornost  
Izlazna otpornost



$$I_c = h_{21}I_b + h_{22}U_{ce}$$

$$U_{ce} = U_p = -I_c R_p$$

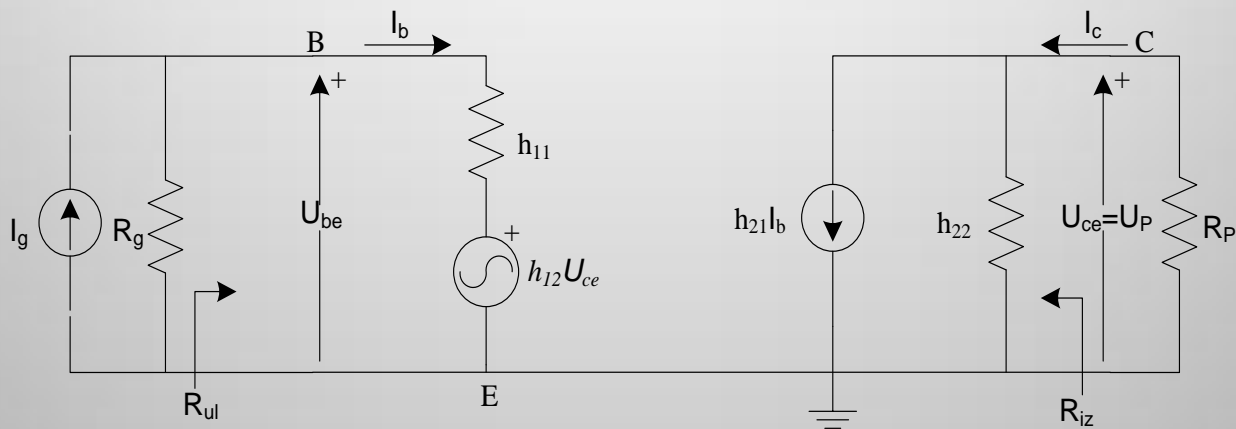
$$I_c = h_{21}I_b + h_{22}(-I_c R_p)$$

$$I_c(1 + h_{22}R_p) = h_{21}I_b$$

$$A_I = \frac{I_p}{I_b} = -\frac{I_c}{I_b} = -\frac{h_{21}}{1 + h_{22}R_p}$$

Osnovni sklopovi pojačavača sa bipolarnim tranzistorom  
Dinamička svojstva pojačavača u spoju sa zajedničkim emiterom

Analiza pojačavača u spoju sa ZE  
Hibridni parametri bipolarnog tranzistora  
Strujno pojačanje  
Naponsko pojačanje  
**Ulazna otpornost**  
Izlazna otpornost

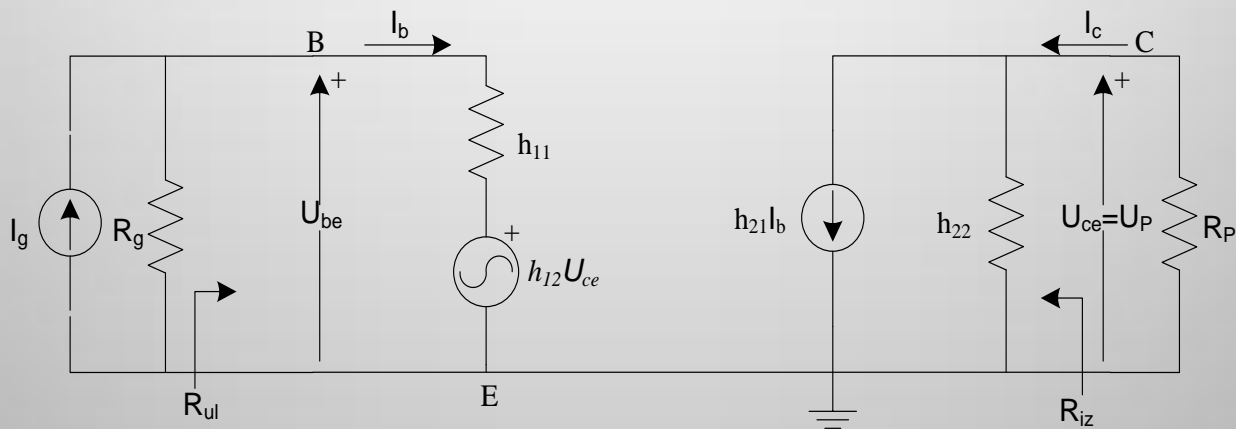


$$U_{be} = I_b h_{11} + h_{12} U_{ce} = I_b h_{11} + h_{12} (-I_c R_p) = I_b (h_{11} + h_{12} A_I R_p)$$

$$R_{ul} = \frac{U_{be}}{I_b} = h_{11} + h_{12} A_I R_p = h_{11} - \frac{h_{12} h_{21}}{h_{22} + \frac{1}{R_p}}$$

**Osnovni sklopovi pojačavača sa bipolarnim tranzistorom**  
**Dinamička svojstva pojačavača u spoju sa zajedničkim emiterom**

Analiza pojačavača u spoju sa ZE  
 Hibridni parametri bipolarnog tranzistora  
 Strujno pojačanje  
**Naponsko pojačanje**  
 Ulazna otpornost  
 Izlazna otpornost

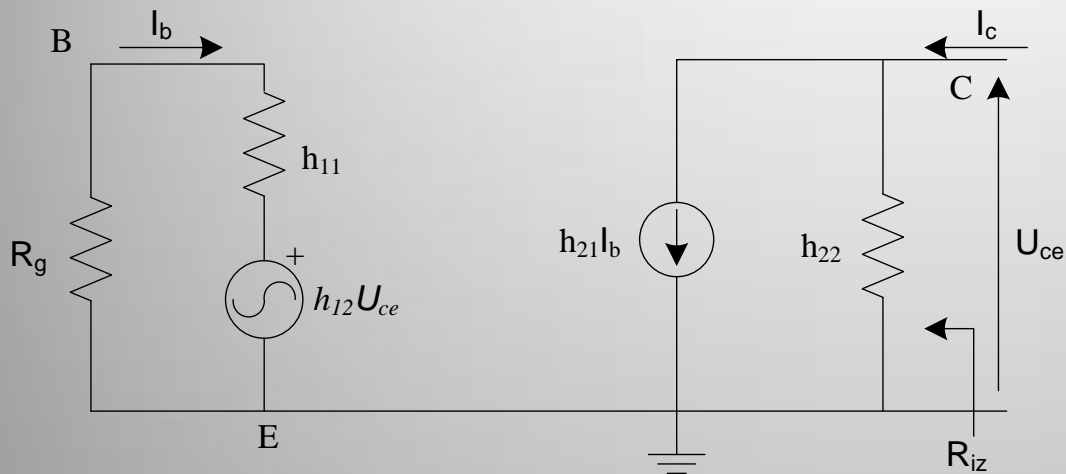


$$A_v = \frac{U_p}{U_{be}} = -\frac{I_c R_p}{I_b R_{ul}} = A_I \frac{R_p}{R_{ul}}$$

$$A_v = -\frac{h_{21}}{h_{11} \left( h_{22} + \frac{1}{R_p} \right) - h_{12} h_{21}}$$

**Osnovni sklopovi pojačavača sa bipolarnim tranzistorom**  
**Dinamička svojstva pojačavača u spoju sa zajedničkim emiterom**

Analiza pojačavača u spoju sa ZE  
 Hibridni parametri bipolarnog tranzistora  
 Strujno pojačanje  
 Naponsko pojačanje  
 Ulazna otpornost  
**Izlazna otpornost**



- Treba odkačiti potrošač na izlazu
- Na izlaz odvesti napon  $U_{ce}$  iz spoljnjeg generatora
- Izlazni otpor predstavlja odnos napona  $U_{ce}$  i struje  $I_c$  koju vanjski generator šalje u izlazno kolo pojačavača

Iz izlaznog kola pojačavača

$$I_c = h_{21}I_b + h_{22}U_{ce}$$

Iz ulaznog kola pojačavača

$$I_b(R_G + h_{11}) + h_{12}U_{ce} = 0$$



$$R_{iz} = \frac{U_{ce}}{I_c} = - \frac{1}{h_{22} - \frac{h_{12}h_{21}}{R_G + h_{11}}}$$

Uslov:  $R_B \gg R_G$  ako to nije ispunjeno onda se otpor  $R_G$  mora zameniti paralelnom vezom ova dva otpora

1. Za signale relativno niskih frekvencija strujno pojačanje je, uz realni potrošač, negativan broj veći od jedinice, osim kod vrlo visokih vrednosti otpora potrošača. Ako je ispunjen uslov da je  $h_{22}R_p < 0.1$ , tada je strujno pojačanje  $A_I \approx -h_{21}$ , dakle nezavisno od otpornosti potrošača.
2. Naponsko pojačanje je, uz realni potrošač, negativan broj veći od jedinice, osim kod sasvim niskih vrednosti otpora priključenog potrošača. Sa porastom otpora potrošača raste i naponsko pojačanje
3. Ulazni otpor ima vrednost  $h_{11}$  kod niskih iznosa otpora potrošača  $R_p$ . Sa porastom otpora potrošača ulazni otpor opada.
4. Izlazni otpor pojačavača u spoju sa ZE opada sa porastom unutrašnjeg otpora generatora na ulazu pojačala.