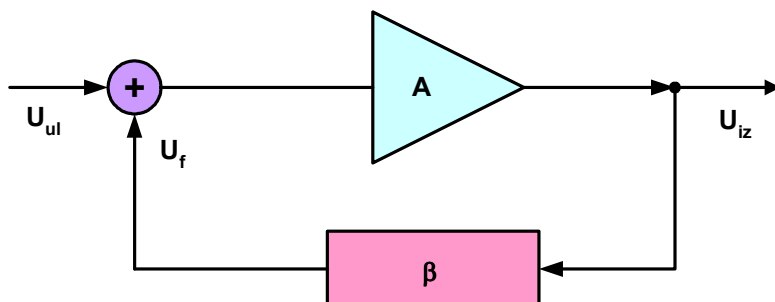
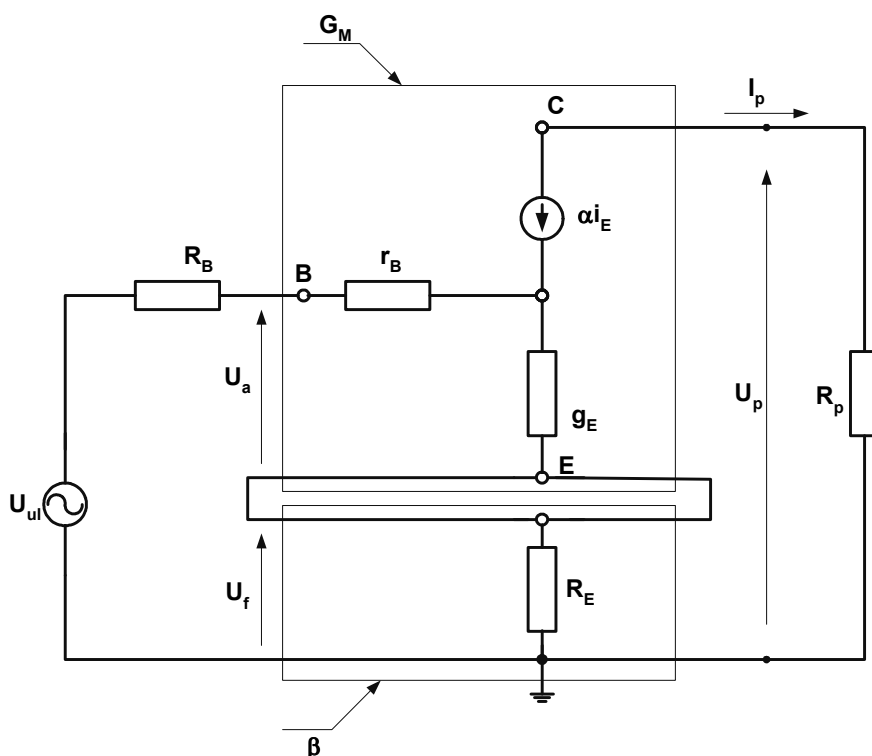


Povratna veza

Pojačalo s povratnom vezom je takvo pojačalo u kojem se dio ulaznog signala dovodi na ulaz kako je to prikazano na slici.

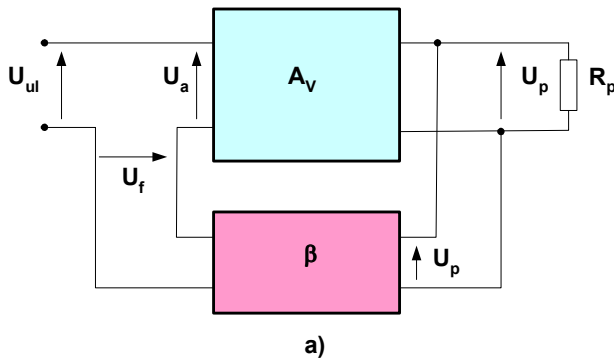


Naše promatrano pojačalo u ZE spoju s emitterskim otporom predstavlja primjer pojačala s negativnom strujnom serijskom povratnom vezom. Naime kako se povećava vrijednost otpora R_E dolazi do smanjenja naponskog pojačanja te ovo predstavlja primjer sklopa s **negativnom povratnom vezom**. Budući da izlazna struja sklopa $h_{fe}I_b$ uzrokuje preko otpora R_E povratno djelovanje izlaznog kruga na ulazni, ona se naziva **strujnom**. Povratna veličina u ulaznom krugu je napon U_e proporcionalan izlaznoj struji. Povratna veličina djeluje u ulaznom krugu **serijski** s naponom U_{be} , smanjujući omjer ulaznog napona tranzistora i ulaznog napona sklopa U_{be}/U_b . Dakle u ulaznom krugu radi se o serijskoj povratnoj vezi pa se ova vrsta povratne veze zove **negativna strujna serijska povratna veza**.



Slika Nadomjesni sklop pojačala u ZE spoju nacrtan na način da se vidi pojačalo sa strujnom serijskom povratnom vezom

Postoje četiri osnovna načina spajanja A-grane i β -grane kao što je prikazano na slici ispod.

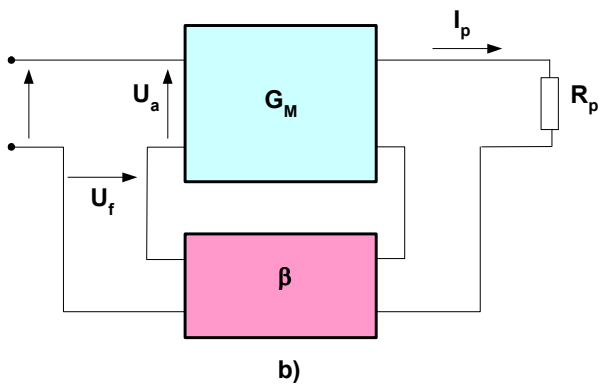


$$A = A_V = \frac{U_p}{U_a} \quad \text{nap. pojacanje u A-grani}$$

$$\beta = \frac{U_f}{U_p} \quad \text{nap. pojacanje u } \beta\text{-grani}$$

Prijenosna funkcija sklopa je:

$$A_{Vf} = \frac{U_p}{U_{ul}} \quad \text{uz } U_a = U_{ul} - U_f \Rightarrow A_{Vf} = \frac{A_V}{1 + \beta A_V}$$

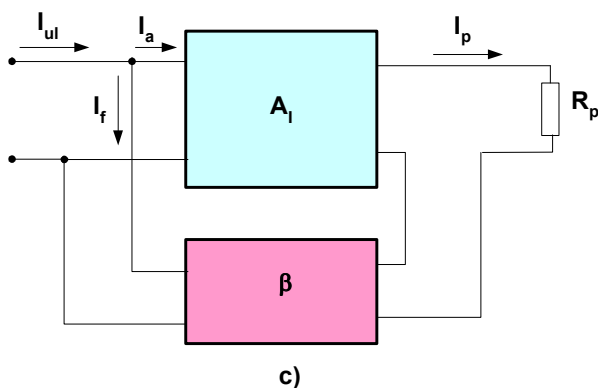


$$G_M = \frac{I_p}{U_a} \quad \text{strmina u A-grani}$$

$$\beta = \frac{U_f}{I_p} \quad \text{prijenosna funkcija u } \beta\text{-grani}$$

Prijenosna funkcija sklopa je:

$$G_{Mf} = \frac{I_p}{U_{ul}} \quad \text{uz } U_a = U_{ul} - U_f \Rightarrow G_{Mf} = \frac{G_M}{1 + \beta G_M}$$

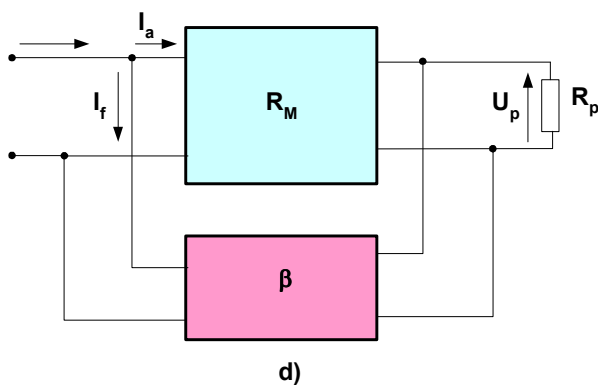


$$A_I = \frac{I_p}{I_a} \quad \text{strujno pojacanje u A-grani}$$

$$\beta = \frac{I_f}{I_p} \quad \text{strujno pojacanje u } \beta\text{-grani}$$

Prijenosna funkcija sklopa je:

$$A_{If} = \frac{I_p}{I_{ul}} \quad \text{uz } I_a = I_{ul} - I_f \Rightarrow A_{If} = \frac{A_I}{1 + \beta A_I}$$



$$R_M = \frac{U_p}{I_a} \quad \text{prijenosna funkcija u A-grani}$$

$$\beta = \frac{I_f}{U_p} \quad \text{prijenosna funkcija u } \beta\text{-grani}$$

Prijenosna funkcija sklopa je:

$$R_{Mf} = \frac{U_p}{I_{ul}} \quad \text{uz } I_a = I_{ul} - I_f \Rightarrow R_{Mf} = \frac{R_M}{1 + \beta R_M}$$

Slika Načini spajanja A-grane i β -grane u pojačalima s negativnom povratnom vezom: a) naponska serijska, b) strujna serijska, c) strujna paralelna, d) naponska paralelna

Sada ćemo pokazati kako negativna povratna veza pozitivno utječe na stabilnost pojačanja. Ako na prethodnoj slici a) uzmemo da je $U_{\beta} = -U_f$ i $A = A_V$ tada možemo pisati:

$$A_{Vf} = \frac{A}{1 - \beta A} \Rightarrow dA_{Vf} = \frac{1}{(1 - \beta A)^2} \cdot dA \Rightarrow \frac{dA_{Vf}}{A_{Vf}} = \frac{1}{1 - \beta A} \cdot \frac{dA}{A}$$

Ako uzmemo da je $A = -20$, $\beta = 0,1$, te dopuštena promjena (tolerancija) pojačanja A je 10% i, tj. $dA/A = 0,1$. Tada za dA_{Vf}/A_{Vf} imamo:

$$\frac{dA_{Vf}}{A_{Vf}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{dA}{A} = 0,033.$$

U slučaju ako je izraz $(1 - \beta A) < 1$ slijedi da je $A_{Vf} > A$, što znači da je pojačanje povećano pa kažemo da se radi o pozitivnoj povratnoj vezi. Posebno važan slučaj pozitivne povratne veze je kada vrijedi $(1 - \beta A) = 0$ i pojačalo se ponaša kao oscilator, tj. daje izlazni signal bez vanjske pobude ($U_{ul} = 0$). Razmotrimo sada ovaj slučaj.

Pojačanje $A_{Vf} = A/(1 - \beta A) = A/0 = \infty$, a pojačanje u petlji povratne veze $U_{\beta}/U_a = \beta A = 1$. Zamislimo da je na ulazu pojačala imamo napon U_a , a da je vanjski signal uklonjen $U_{ul} = 0$. Na izlazu pojačala imamo $U_p = AU_a$, a na izlazu β četveropola $U_{\beta} = \beta U_p = \beta AU_a = U_a$. Dakle pojačalo s pozitivnom povratnom vezom uz $\beta A = 1$ reagira tako da proizvodi napon U_{β} koji je jednak pretpostavljenom naponu U_a . Pojačalo samo po sebi generira ulazni signal, pa se prema tome radi o oscilatoru.

Također trebamo razmotriti slučaj kada je $(1 - \beta A) < 0$, tj. $\beta A > 1$ pa slijedi da je $U_{\beta} > U_a$. Ovo znači da uz pretpostavljeni napon na ulazu U_a , povratni napon U_{β} je veći od U_a , tj. veći od napona za održavanje oscilacija. Ovaj uvjet $U_{\beta} > U_a$ redovito se primjenjuje sa svrhom da se omogući rad oscilatora. Naime prvi uvjet je samo teoretski jer će u stvarnosti samo malo opadanje pojačanja A dovesti do toga da βA postane manje od 1 i sklop će prestati oscilirati. Također se može postaviti i pitanje hoće li drugi slučaj ($U_{\beta} > U_a$) dovesti do beskonačnog napona na izlazu sklopa. Ako pretpostavimo da ulazni napon koji može biti posljedica šuma na ulazu u pojačalo iznosi $U_a = 1,1 \mu V$ i $\beta A = 1,1$ tada će povratni napon U_{β} biti jednak $1,1 \mu V$. Kada ovaj napon ponovo prođe kroz povratnu granu on će iznositi $1,21 \mu V$ i ovaj se proces nastavlja. Vidimo da sklop ima tendenciju da pojačava ulazni napon do beskonačnosti. Međutim ovo je samo teoretski jer je svako pojačalo nelinearno, tj. ima gornju i donju granicu do koje može pojačavati (tranzistor uđe u zasićenje/zapiranje). Ovo znači da će oscilacije biti ograničene mogućnostima tranzistora, pa se općenito kaže da su kod uvjeta $\beta A > 1$ oscilacije ograničene mogućnostima nelinearnog elementa.