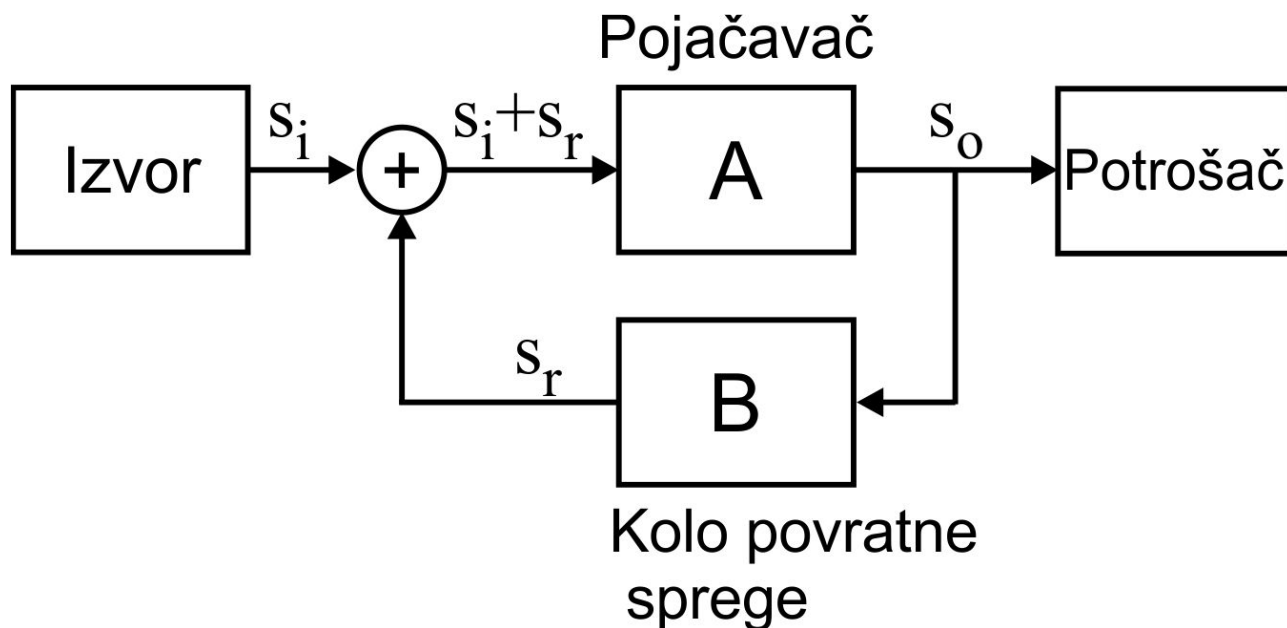


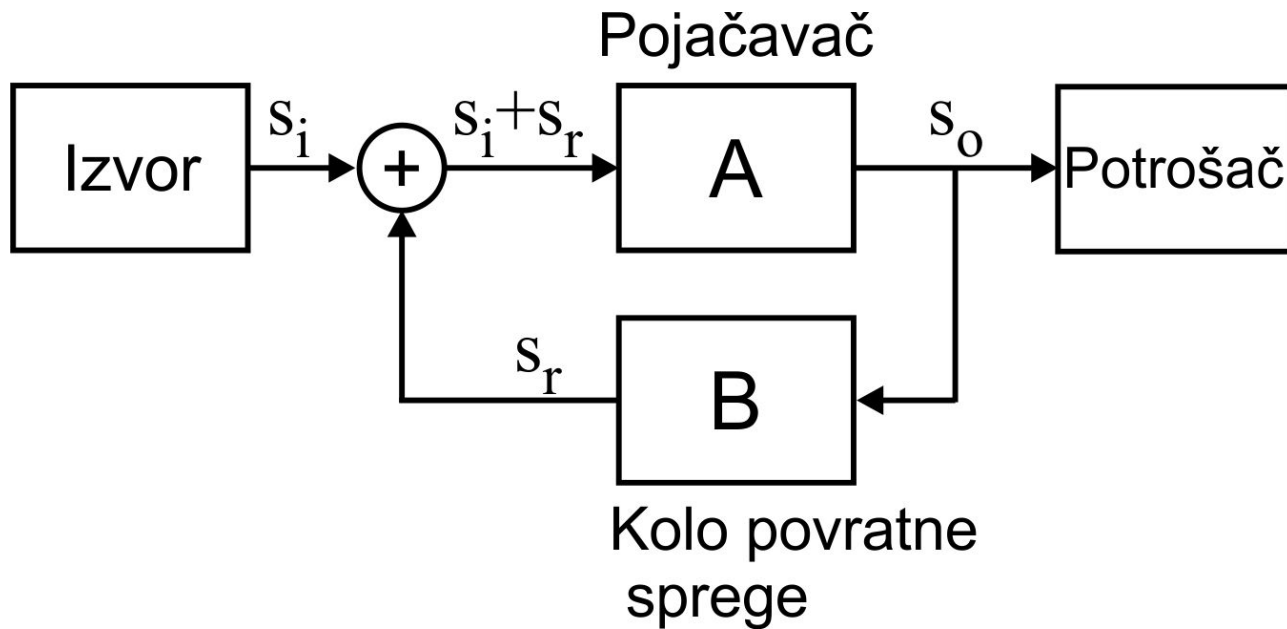
Pojačavači sa negativnom
povratnom spregom

Opšta struktura pojačavača sa povratnom spregom.



U kolu pojačavača sa povratnom spregom deo signala sa izlaza se namenski vraća na ulaz. U strukturi pojačavača sa povratnom spregom mogu se izdvoji kolo osnovnog pojačavača A i kolo povratne sprege B. Signal se u osnovnom pojačavaju prostire isključivo od ulaza ka izlazu, a u kolu povratne sprege isključivo od izlaza ka ulazu. Na slici je: s_i ulazni signal, s_r je vraćeni signal, s_o izlazni signal. Ovi signali mogu biti struje ili naponi. Nije neophodno da svi budu istovremeno struje ili naponi.

Opšta struktura pojačavača sa povratnom spregom.

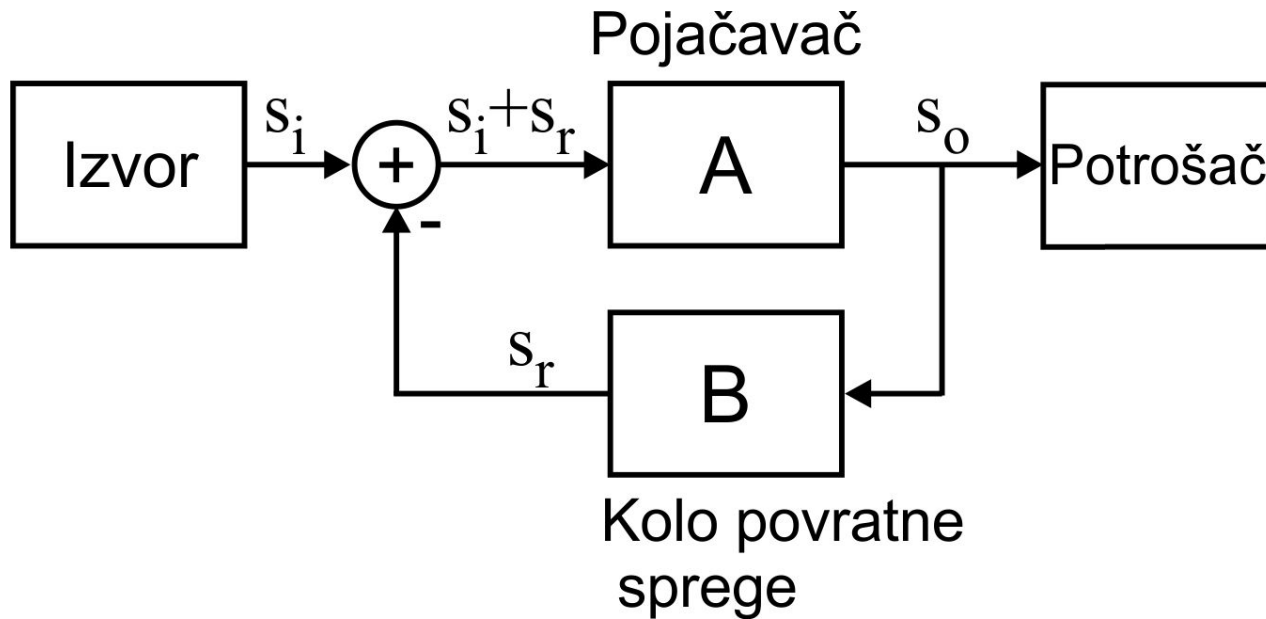


-pojačanja osnovnog pojačavača $A = \frac{s_o}{s_i + s_r}$

-koeficijent povratne sprege $B = \frac{s_r}{s_o}$

-pojačanja pojačavača sa povratnom spregom $A_r = \frac{s_o}{s_i}$

Opšta struktura pojačavača sa povratnom spregom.



$$A \cdot (s_i + s_r) = s_o$$

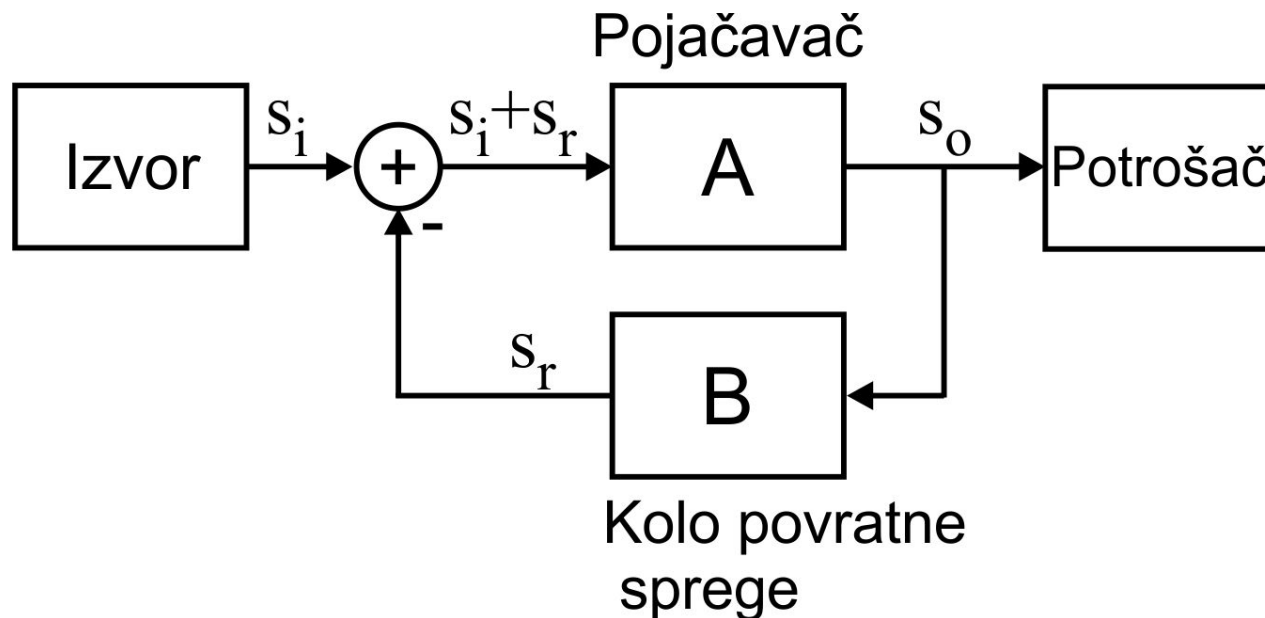
$$s_r = B \cdot s_o$$

$$A_r = \frac{s_o}{s_i} = \frac{A}{1 - A \cdot B}$$

Pojačanje kola sa povratnom spregom izraženo u funkciji od pojačanja osnovnog pojačavača A i koeficijenta povratne sprege B.

$$A_r = \frac{A}{1 - A \cdot B}$$

Opšta struktura pojačavača sa povratnom spregom.



$$A_r(j\omega) = \frac{A(j\omega)}{1 - A(j\omega) \cdot B}$$

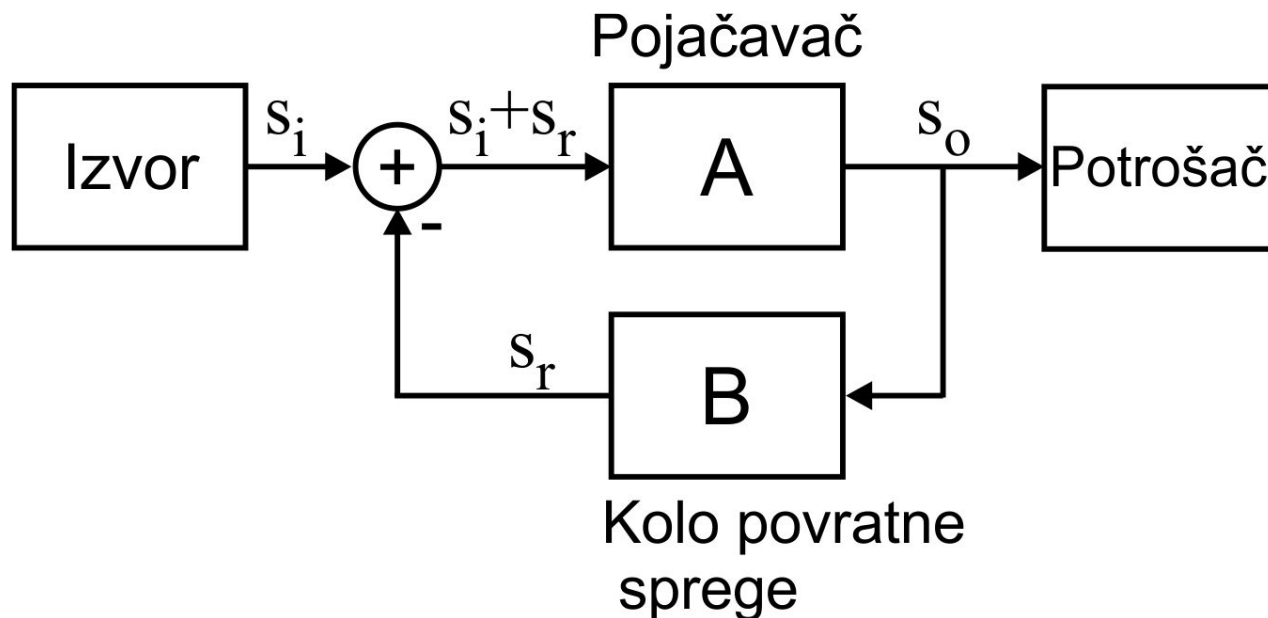
Funkcija povratne sprege

$$F(j\omega) = 1 - A(j\omega) \cdot B$$

Kružno pojačanje

$$T(j\omega) = A(j\omega) \cdot B$$

Opšta struktura pojačavača sa povratnom spregom.

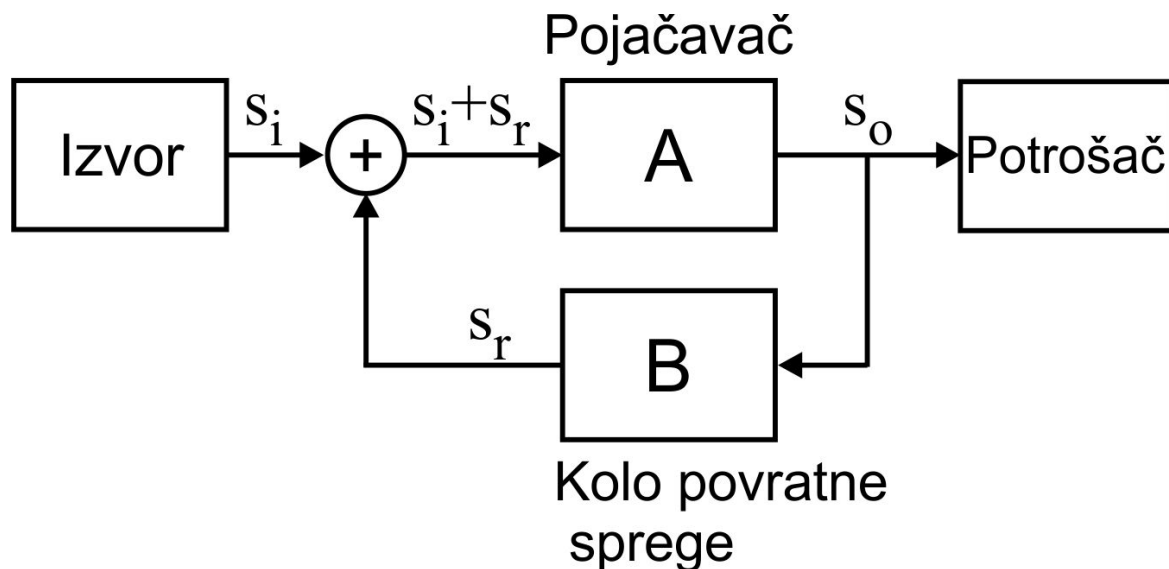


$$A_r = \frac{A}{1 - AB}$$

$$\text{za } AB \gg 1 \quad \Rightarrow \quad A_r = -\frac{1}{B}$$

Ako je $AB \gg 1$, pojačanje pojačavača sa povratnom spregom zavisi samo od kola povratne sprege. U kolima sa operacionim pojačavačima ovaj uslov je uvek zadovoljen.

Opšta struktura pojačavača sa povratnom spregom.



$$A_r = \frac{A}{1 - AB}$$

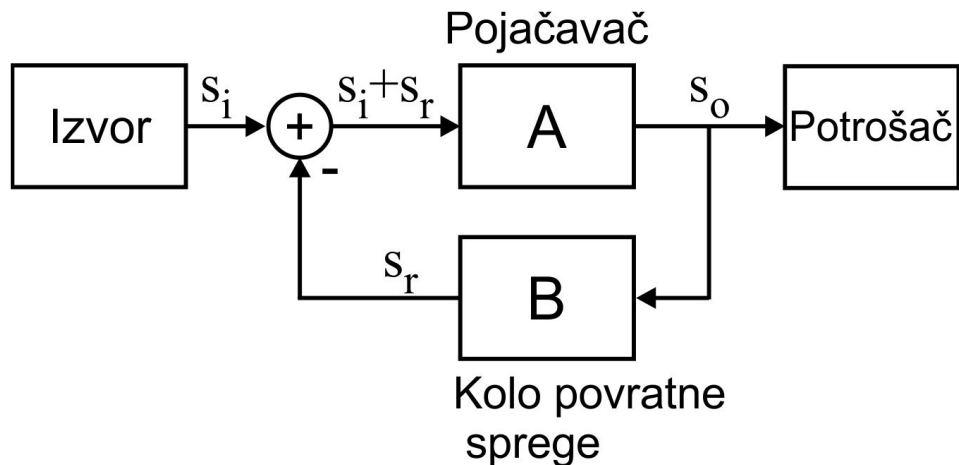
$T = A \cdot B < 0$ $f = 1 - A \cdot B > 1$ ➔ $A_r < A$ **Negativna povratna sprega**

$T = A \cdot B > 0$ $f = 1 - A \cdot B < 1$ ➔ $A_r > A$ **Pozitivna povratna sprega**

Kada je signal koji se vraća sa izlaza na ulaz preko kola povratne sprege oduzima od ulaznog signala realizuje se negativna povratna sprega. Kod pozitivne povratne sprege vraćeni signal i ulazni signal su u fazi, odnosno sabiraju se.

U pojačavačima se koristi isključivo negativna povratna sprega.

Pozitivna povratna sprega se koristi za realizaciju oscilatora.



NEGATIVNA POVRATNA SPREGA

$$1 - AB > 1$$

$$A_r = \frac{A}{1 - AB} \quad \rightarrow \quad A_r < A$$

- **Signal reakcije** (vraćeni signal), s_r , vraća se u protiv fazi sa **ulaznim signalom** s_i !
- Signal na ulazu pojačavača se smanjuje, tako da se i vrednost izlaznog signala smanjuje.
- Da bi se ostvarila negativna povratna sprega neophodno je da osnovni pojačavač obrće fazu, jer je kolo povratne sprege ne obrće fazu (otporno kolo) $B > 0$. Kao osnovni pojačavač koristi se pojačavač u sprezi sa zajedničkim emitorom ili zajedničkim sorsom, za koji je pojačanje negativno, $A < 0$.

$$A_r = \frac{A}{1 - AB}$$

$$1 - AB > 1 \quad \longrightarrow \quad A_r < A \quad \text{NEGATIVNA}$$

Uvođenjem negativne povratne sprege popravljaju se karakteristike pojačavača:

1. Smanjuje se osetljivost pojačavača.
2. Smanjuju se nelinearna amplitudska izobličenja.
3. Povećava se propusni opseg pojačavača i čini ga ravnijim (smanjuju se linearna amplitudska izobličenja)
4. Smanjuje se šumove generisane unutar pojačavača.
5. Menja se vrednosti ulazne i izlazne impedanse.

Uticaj negativne povratne sprege na osetljivost pojačavača

Parametri kola menjaju vrednost usled promena temperature, starenja, varijacija napona i sl.

Pod parametrima kola podrazumevaju se vrednosti:

- pasivnih komponenata
 - otpornika, kondenzatora,...
- parametri aktivnog elementa (tranzistora):
 - ~ koeficijent pojačanja,
 - ~ strmina,
 - ~ unutrašnja otpornost,...

Uticaj negativne povratne sprege na osetljivost pojačavača

Pored toga, sve komponente ugrađene u pojačavač, prave se sa određenom tolerancijom. To znači da iz proizvodnje ne mogu da izađu dva pojačavača sa identičnim vrednostima elemenata kola, čak i kada su rađeni u istoj seriji.

Značajno je, sa aspekta proizvodnje, da osobine uređaja (pojačavača) istog tipa budu što sličnije – ako ne mogu biti iste. Zato je veoma važno da osetljivost karakteristika pojačavača – pojačanja – na promene vrednosti pojedinih parametara kola budu što manje.

Uticaj negativne povratne sprege na osetljivost pojačavača

Da bi se sagledao uticaj promene parametra kola na karakteristike pojačavača uvodi se **logaritamska osetljivost** (relativna osetljivost). Ona zapravo predstavlja odnos relativnog priraštaja pojačanja pojačavača i relativnog priraštaja parametra. U izrazu se koristi parcijalni izvod jer se uzima u obzir samo priraštaj pojačanja koji je nastao pod dejstvom razmatranog parametra. Logaritamska osetljivost pojačanja pojačavača na promene parametra p definiše se kao:

$$S_p^A = \frac{\partial \ln(A)}{\partial \ln(p)}$$

$$S_p^A = \frac{p}{A} \cdot \frac{\partial A}{\partial p}$$

Uticaj negativne povratne sprege na osetljivost pojačavača

Relativna osetljivosti pojačanja sa povratnom spregom A_r , na promenu vrednosti pojačanja pojačavača bez povratne sprege A , definiše se kao:

$$S_A^{A_r} = \frac{A}{A_r} \cdot \frac{\partial A_r}{\partial A} = \frac{A}{A_r} \cdot \frac{\partial}{\partial A} \left(\frac{A}{1 - AB} \right)$$
$$S_A^{A_r} = \frac{A \cdot (1 - AB)}{A} \cdot \frac{(1 - AB) + AB}{(1 - AB)^2} = \frac{1}{(1 - AB)}$$

Osetljivost pojačavača sa povratnom spregom manja je od osetljivosti pojačavača bez povratne sprege, jer je $1 - AB > 0$.

Očigledno je da će osetljivost pojačavača sa povratnom spregom na promenu pojačanja pojačavača bez povratne sprege biti utoliko manja ukoliko je funkcija povratne sprege veća (“jača” sprega).

Uticaj negativne povratne sprege na osetljivost pojačavača

Relativna osetljivost pojačanja na promene parametra osnovnog pojačavača, p

$$S_p^{A_r} = \frac{p}{A_r} \cdot \frac{\partial A_r}{\partial p} = \frac{p}{A_r} \cdot \frac{\partial A_r}{\partial A} \cdot \frac{\partial A}{\partial p}$$

$$\frac{\partial A_r}{\partial A} = \frac{\partial}{\partial A} \cdot \left(\frac{A}{1 - A \cdot B} \right) = \frac{(1 - A \cdot B) + A \cdot B}{(1 - A \cdot B)^2} = \frac{1}{(1 - A \cdot B)^2}$$

$$S_p^{A_r} = \frac{1}{1 - AB} \cdot \frac{p}{A} \cdot \frac{\partial A}{\partial p}$$

$$S_p^{A_r} = \frac{1}{1 - AB} \cdot S_p^A$$

Uticaj negativne povratne sprege na osetljivost pojačavača

Relativna osetljivost pojačanja na promene parametra kola povratne sprege, p

$$S_p^{A_r} = \frac{p}{A_r} \cdot \frac{\partial A_r}{\partial p} = \frac{p}{A_r} \cdot \frac{\partial A_r}{\partial B} \cdot \frac{\partial B}{\partial p}$$

$$\frac{\partial A_r}{\partial B} = \frac{\partial}{\partial B} \cdot \left(\frac{A}{1 - A \cdot B} \right) = \frac{A^2}{(1 - A \cdot B)^2}$$

$$S_p^{A_r} = \frac{A}{1 - AB} \cdot p \cdot \frac{\partial B}{\partial p} = \frac{A \cdot B}{1 - AB} \cdot \frac{p}{B} \cdot \frac{\partial B}{\partial p}$$

$$S_p^{A_r} = \frac{A \cdot B}{1 - A \cdot B} \cdot S_p^B \approx S_p^B$$

Uticaj negativne povratne sprege na osetljivost pojačavača

Na osnovu izraza za relativne osetljivosti parametara možemo da zaključimo da je osetljivost parametara pojačavača, p_A , smanjena uvođenjem povratne sprege. Sa druge strane osetljivost parametara kola povratne sprege, p_B , je ostala približno ista.

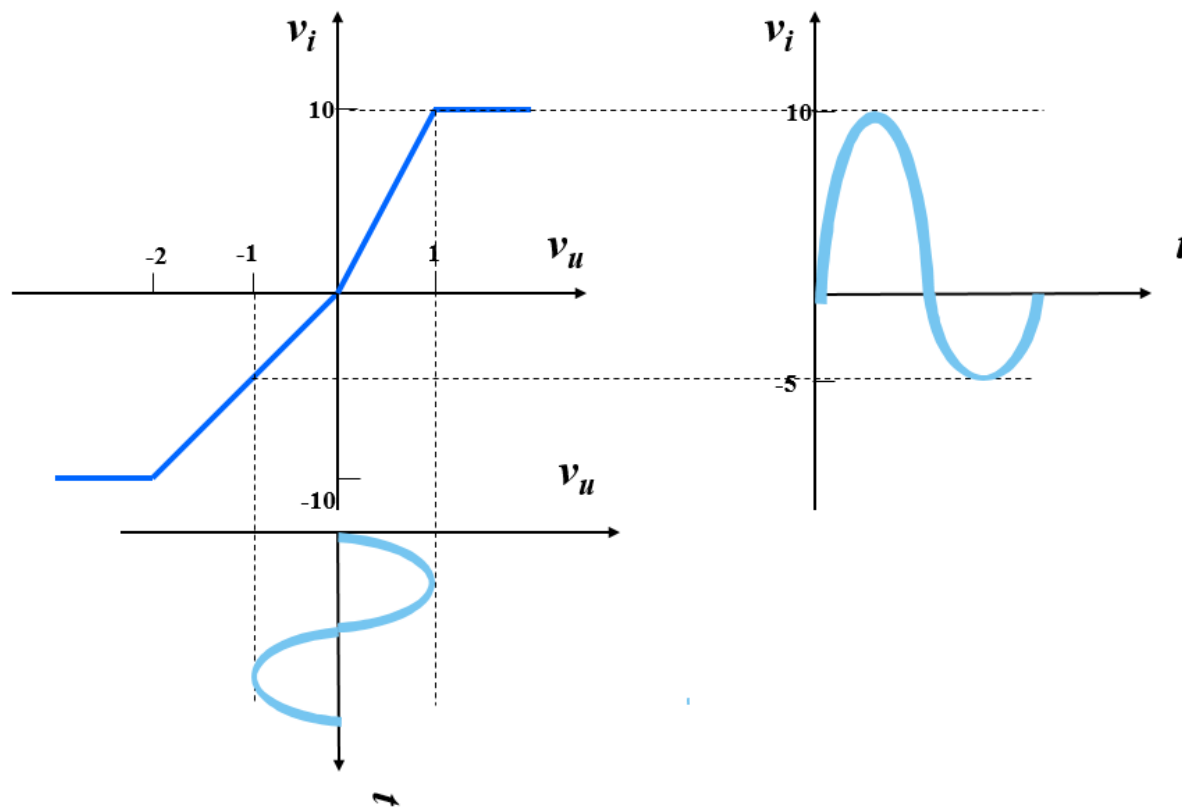
Osetljivost parametara kola povratne sprege je od manjeg značaja nego osetljivost parametara pojačavača. Razlog je činjenica da kolo pojačavača čine poluprovodničke komponente koje su mnogo osetljivije na ambijentalne promene u odnosu na pasivne komponente.

$$S_{p_a}^{A_r} = \frac{1}{1 - A \cdot B} \cdot S_{p_a}^A$$

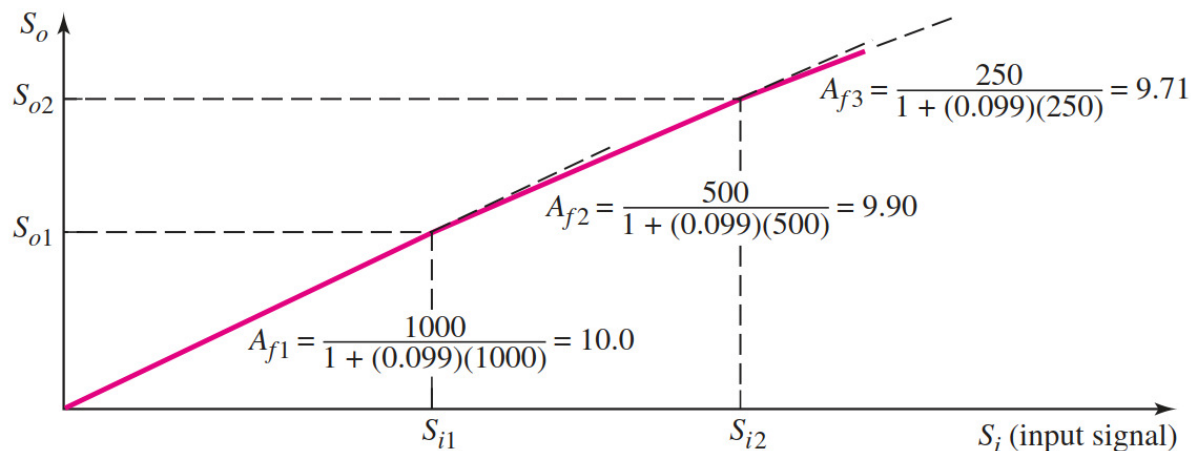
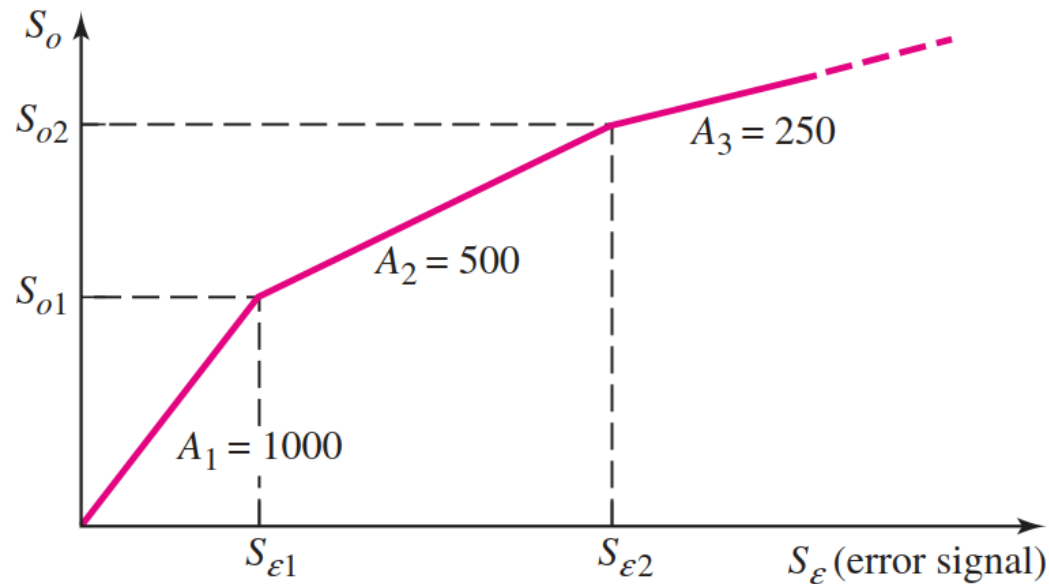
$$S_{p_B}^{A_r} = \frac{A \cdot B}{1 - A \cdot B} \cdot S_{p_b}^B \approx S_{p_b}^B$$

Uticaj negativne povratne sprege na nelinearna izobličenja

Nelinearna izobličenja su posledica nelinearnosti prenosne karakteristike. Usled nelinearnih izobličenja talasni oblik napona na izlazu razlikovaće se od talasnog oblika napona na ulazu. Ova izobličenja su neizbežna jer je njihov uzrok nelinearnost karakteristika tranzistora.



Uticaj negativne povratne sprege na nelinearna izobličenja



Prenosna karakteristika osnovnog pojačavača nije linearna već sadrži tri linearna segmenta obeležena sa A_1 , A_2 i A_3 .

Prenosna karakteristika pojačavača sa povratnom spregom imaće mnogo manja nelinearna izobličenja. Nagib karakteristike u svakom od tri segmenta biće umanjen onoliko puta koliko iznosi funkciju reakcije u tom segmentu:

$$f_i = 1 - A_i \cdot B \quad \text{za } i=1,2,3.$$

Ukoliko je zadovoljeno da je:

$$B \cdot A_i \gg 1$$

$$A_{ri} = \frac{A_i}{1 - B \cdot A_i} \approx \frac{1}{B}$$

Uticaj negativne povratne sprege na nelinearna izobličenja

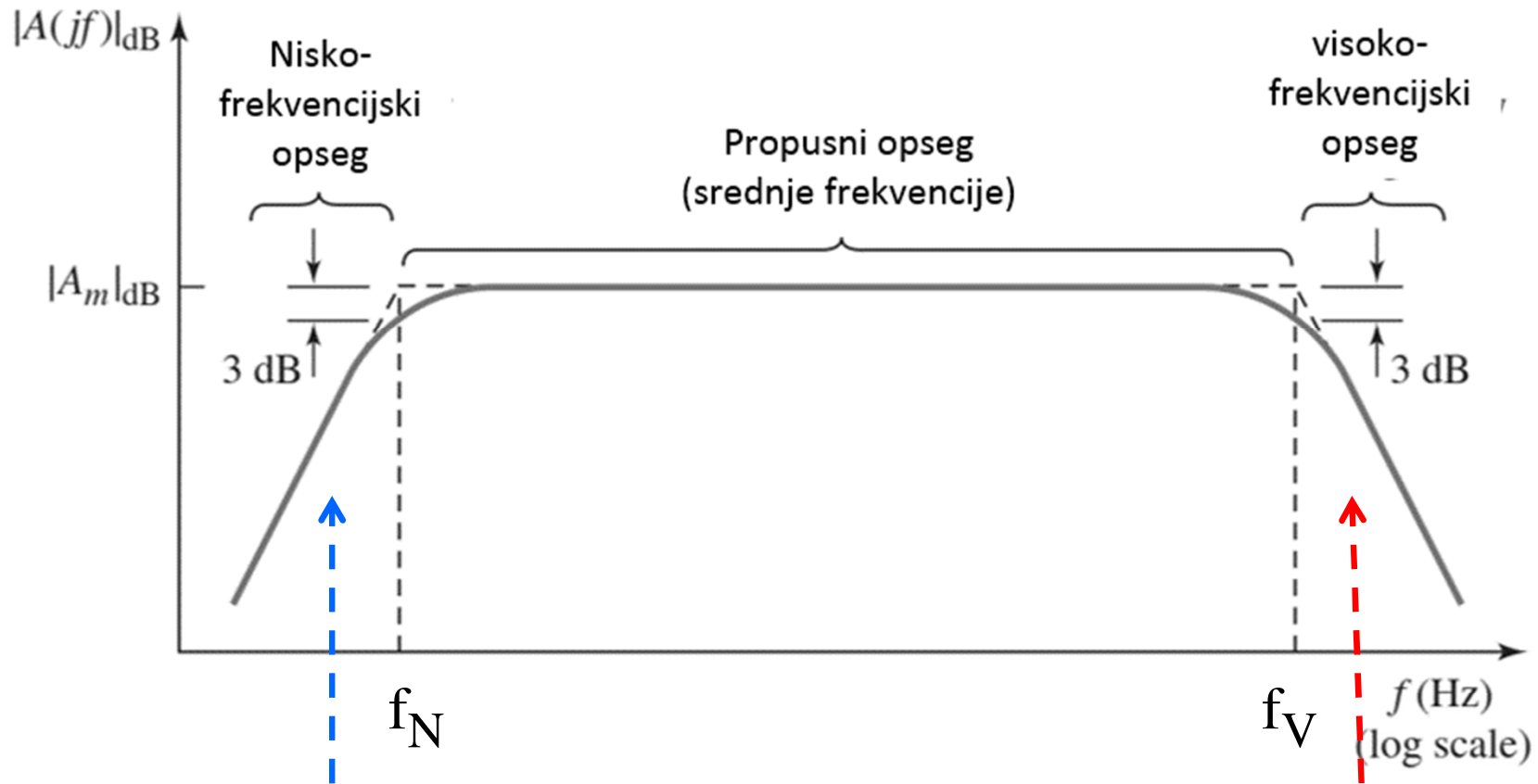
Jedini način da se smanje nelinearna izobličenja jeste uvođenje negativne povratne sprege. Najčešće se negativna povratna sprega primenjuje u poslednjem pojačavačkom stepenu jer su tu najveća izobličenja.

Nagib prenosne karakteristike pojačavača sa povratnom spregom biće u svakom delu prenosne karakteristike umanjen onoliko puta koliko iznosi funkciju reakcije u tom delu karakteristike: $f_i = 1 - A_i \cdot B$. Ukoliko za svaki deo karakteristike važi $B \cdot A_i \gg 1$, sledi da:

$$A_{ri} = \frac{A_i}{1 - B \cdot A_i} \approx \frac{1}{B}$$

Ukoliko je uspostavljena jaka povratna sprega ($A \cdot B \gg 1$) u svim delovima prenosne karakteristike nagib je približno isti i jednak recipročnoj vrednosti koeficijenta povratne sprege B.

Uticaj negativne povratne sprege na frekvencijsku karakteristiku



$$A(j\omega) \approx A_0 \cdot \frac{j \frac{\omega}{\omega_N}}{1 + j \frac{\omega}{\omega_N}}$$

Prenosna funkcija se aproksimira prenosnom funkcijom najjednostavnijeg propusnika visokih frekvencija.

$$A(j\omega) \approx \frac{A_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega_V}}$$

Prenosna funkcija se aproksimira prenosnom funkcijom najjednostavnijeg propusnika visokih frekvencija.

Uticaj negativne povratne sprege na frekvencijsku karakteristiku

U visoko-frekvencijskom opsegu primenjujemo aproksimaciju frekvencijske karakteristike naponskog pojačanja pojačavača $A(j\omega)$ koja odgovara najjednostavnijem propusniku niskih frekvencija, odnosno sadrži jednu nulu.

Nakon što se zameni frekvencijska zavisnost za pojačanje osnovnog pojačavača dobija se izraz za frekvencijsku zavisnost pojačvača sa povratnom spregom. Dobija se da je gornja granična frekvencija pojačavača sa povratnom spregom veća $(1-A_0B)$ puta.

Frekvencijska zavisnost u visoko-frekvencijskom opsegu

$$A(j\omega) \approx \frac{A_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega_V}}$$

$$A_r(j\omega) \approx \frac{A(j\omega)}{1 - A(j\omega) \cdot B}$$

$$A_r(j\omega) \approx \frac{A_0}{1 - A_0 \cdot B} \cdot \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_V \cdot (1 - A_0 \cdot B)}}$$

$$A_r(j\omega) \approx A_{or} \cdot \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_{Vr}}}$$

$$\omega_{Vr} = \omega_V \cdot (1 - A_0 \cdot B)$$

$$A_{or} = \frac{A_0}{1 - A_0 \cdot B}$$

Uticaj negativne povratne sprege na frekvencijsku karakteristiku

U niskofrekvencijskom opsegu primenjujemo aproksimaciju frekvencijske karakteristike naponskog pojačanja pojačavača koja odgovara najjednostavnijem propusniku visokih frekvencija, odnosno sadrži jednu nulu u koordinatnom početku i jedan pol.

Nakon što se zameni frekvencijska zavisnost za pojačanje osnovnog pojačavača dobija se izraz za frekvencijsku zavisnost pojačavača sa povratnom spregom. Dobija se da je donja granična frekvencija pojačavača sa povratnom spregom manja $(1-A_0B)$ puta.

Frekvencijska zavisnost u nisko-frekvencijskom opsegu

Donja granična frekvencija kola sa povratnom spregom

$$A(j\omega) \approx A_0 \cdot \frac{j \frac{\omega}{\omega_N}}{1 + j \frac{\omega}{\omega_N}}$$

$$A_r(j\omega) \approx \frac{A(j\omega)}{1 - A(j\omega) \cdot B}$$

$$A_r(j\omega) \approx \frac{A_0}{1 - A_0 \cdot B} \cdot \frac{j \frac{\omega}{\omega_N} \cdot (1 - A_0 \cdot B)}{1 + j \frac{\omega}{\omega_N} \cdot (1 - A_0 \cdot B)}$$

$$A_r(j\omega) \approx A_{or} \cdot \frac{j \frac{\omega}{\omega_{Nr}}}{1 + j \frac{\omega}{\omega_{Nr}}}$$

$$\omega_{Nr} = \frac{\omega_N}{(1 - A_0 \cdot B)}$$

$$A_{or} = \frac{A_0}{1 - A_0 \cdot B}$$

Utica j negativne povratne sprege na šumove

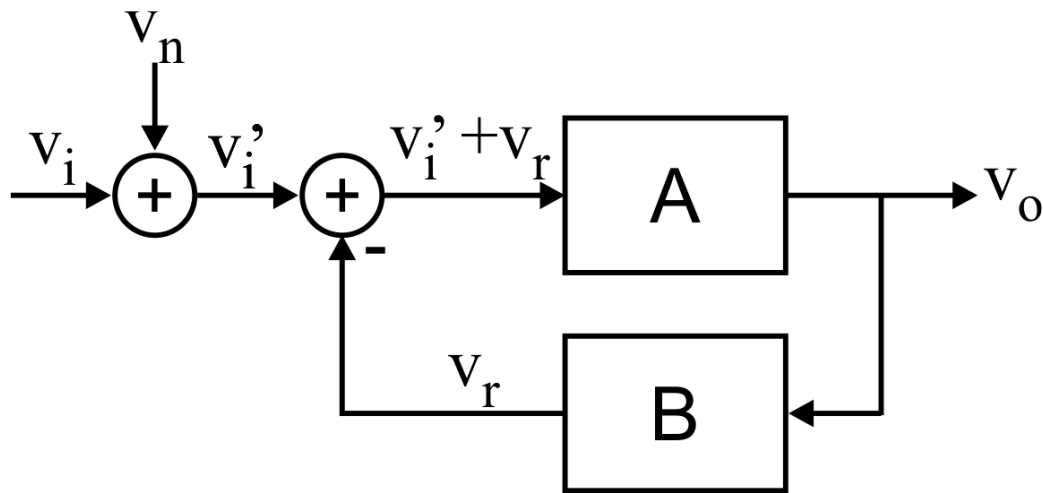
Pod terminom **šum** u elektronici se podrazumeva slučajni, neželjeni signal. Ovaj signal može biti generisan unutar samog pojačavača ili može biti unet od spolja zajedno sa signalom. Šum se obično predstavlja generatorom koji nema smer.

Nivo šuma u pojačavaču se najčešće izražava preko veličine koja se zove odnos signal šum, SNR (signal to noise ratio). Što je veća vrednost SNR veća je mogućnost da se signal pojača bez gubitka informacija. Odnos signal šum na ulazu i izlazu pojačavača nije isti:

$$(SNR)_i = \frac{S_i}{N_i} = \frac{v_i}{v_n}$$
$$(SNR)_o = \frac{S_o}{N_o} = \frac{A \cdot v_i}{A_n \cdot v_n}$$

Uticaj negativne povratne sprege na šumove

Pod izvesnim uslovima negativna povratna sprega može da smanji uticaj šuma. Ukoliko je šum nastao van pojačavača negativnom povratnom spregom ne može da se poboljša odnos signal šum, jer se i signal i šum pojačavaju za isti iznos.



$$[v_i + v_n - B \cdot v_o] \cdot A = v_o$$

$$v_o = \frac{A}{1 - A \cdot B} \cdot v_i + \frac{A}{1 - A \cdot B} \cdot v_n$$

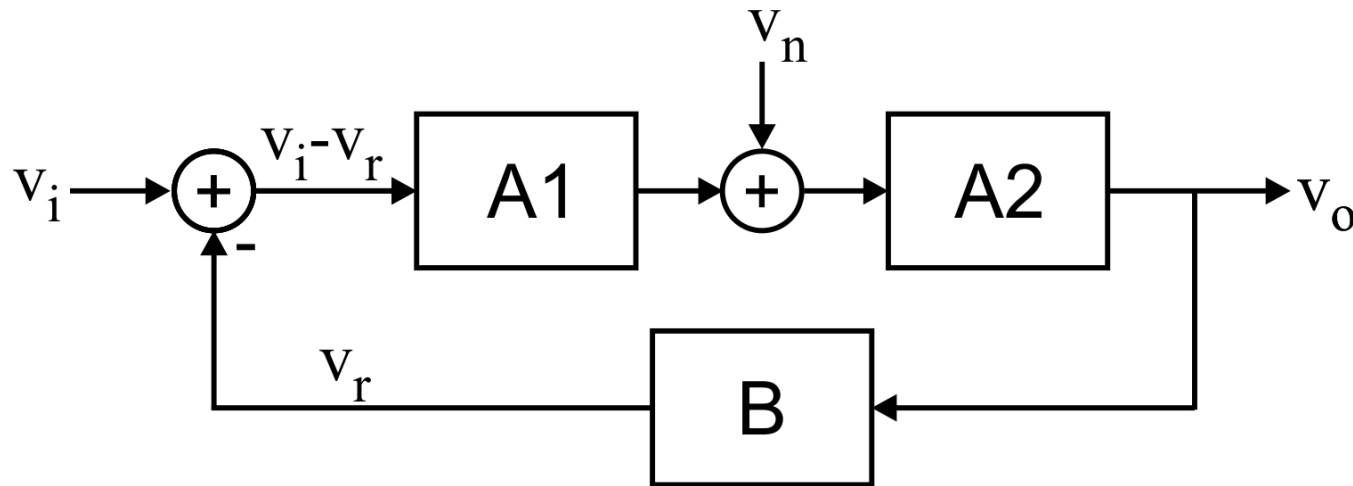
Odnos signal šum na ulazu $(SNR)_i = \frac{S_i}{N_i} = \frac{v_i}{v_n}$

$$(SNR)_o = \frac{S_o}{N_o} = \frac{A \cdot v_i}{1 - A \cdot B} \cdot \frac{1 - A \cdot B}{A \cdot v_o}$$

Odnos signal šum na izlazu $(SNR)_o = \frac{v_i}{v_n} = (SNR)_i$

Uticaj negativne povratne sprege na šumove

Pod izvesnim uslovima negativna povratna sprega može da smanji uticaj šuma. Ukoliko je šum nastao unutar pojačavača dolazi do umanjenja šuma u odnosu na signal.



$$[(v_i + v_o \cdot B) \cdot A_1 + v_n] \cdot A_2 = v_o$$

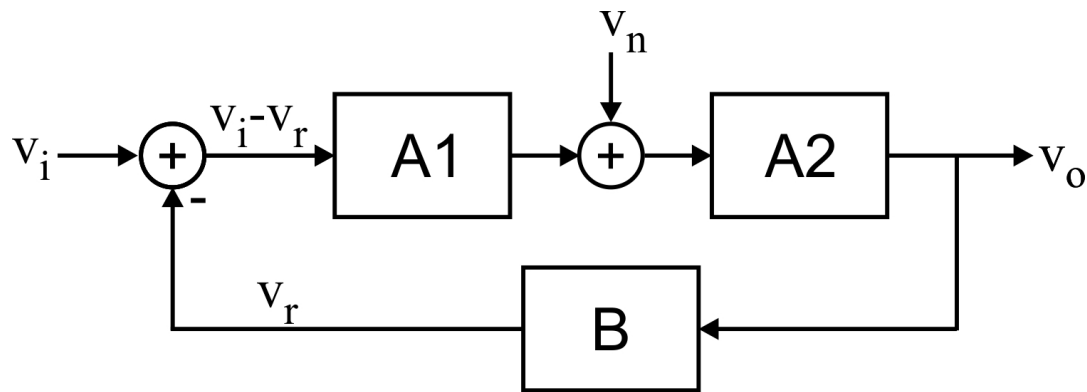
$$A_1 \cdot A_2 \cdot v_i + v_n \cdot A_2 + v_o \cdot B \cdot A_1 \cdot A_2 = v_o$$

$$v_o = \frac{A_1 \cdot A_2 \cdot v_i + v_n \cdot A_2}{1 - B \cdot A_1 \cdot A_2}$$

$$v_o = \frac{A \cdot v_i}{1 - B \cdot A} + \frac{A_2 \cdot v_n}{1 - B \cdot A}$$

Uticaj negativne povratne sprege na šumove

Kada je šum nastao u pojačavaču dolazi do povećanja odnosa signal šum na izlazu u odnosu na ulaz. Ovo povećanje jednako je pojačanju signala od ulaza do mesta na kome je izvor šuma, A_1 .



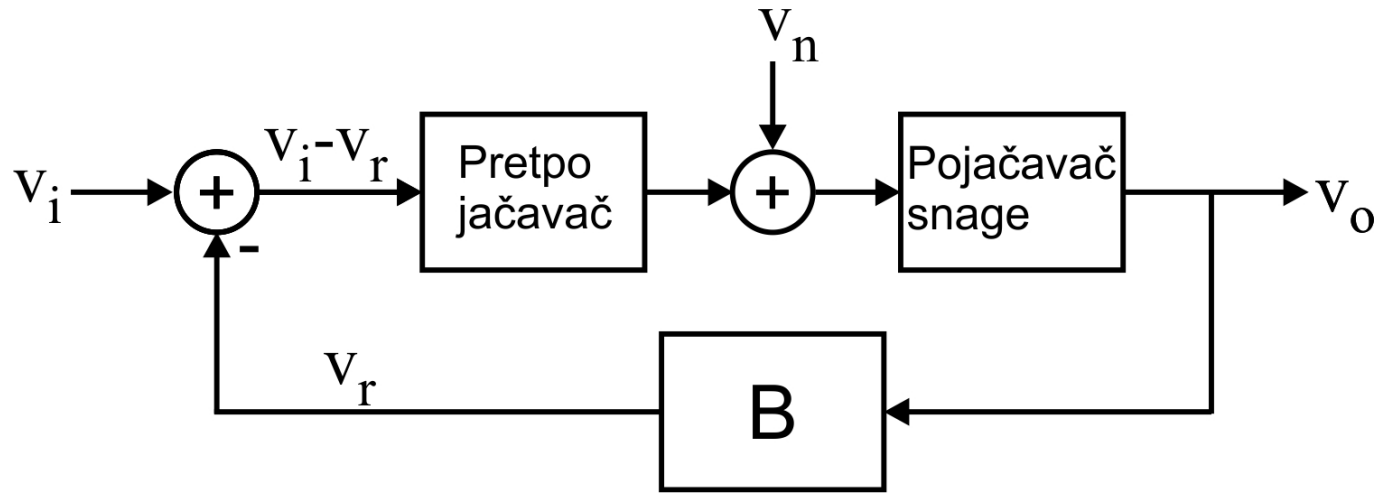
$$v_o = \frac{A \cdot v_i}{1 - B \cdot A} + \frac{A_2 \cdot v_n}{1 - B \cdot A}$$

Odnos signal šum na ulazu $(SNR)_i = \frac{S_i}{N_i} = \frac{v_i}{v_n}$

Odnos signal šum na izlazu $(SNR)_o = \frac{S_o}{N_o} = \frac{A_1 \cdot A_2 \cdot v_i}{1 - A \cdot B} \cdot \frac{1 - A \cdot B}{A_2 \cdot v_n}$

$$(SNR)_o = (SNR)_i \cdot A_1$$

Uticaj negativne povratne sprege na šumove



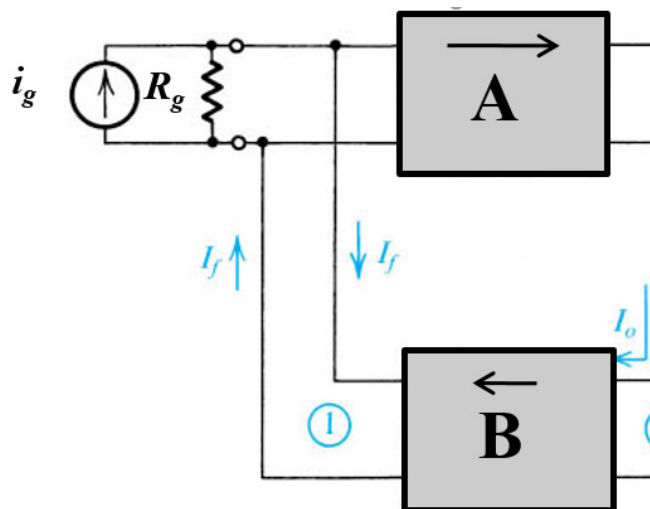
Negativna povratna sprega se koristi kod audio pojačavača snage za potiskivanje šuma napajanja.

Šum napajanja generiše se usled velikih struja u pojačavaču snage, koji ima naponsko pojačanje $A_2=1$!

Veliko naponsko pojačanje ostvari se u prepojačavaču sa velikim pojačanjem, A_1 . Primenom povratne sprege generisani šum na izlazu potisne se A_1 puta.

Uticaj negativne povratne sprege na ulaznu impedansu

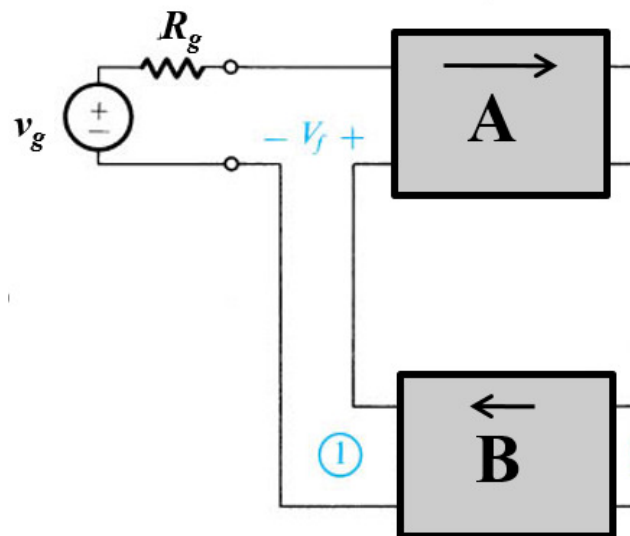
Povezivanje na ulazu:
Paraleno



Pod dejstvom povratne sprege na ulazu se stvara dodatna komponenta struje, I_f , koja deluje tako da povećava ulaznu struju. Usled toga ulazna otpornost kola, R_{ir} , biće smanjena u odnosu na ulaznu otpornost osnovnog pojačavača, R_i .

$$R_{ir} = \frac{R_i}{(1 - A \cdot B)}$$

Redno



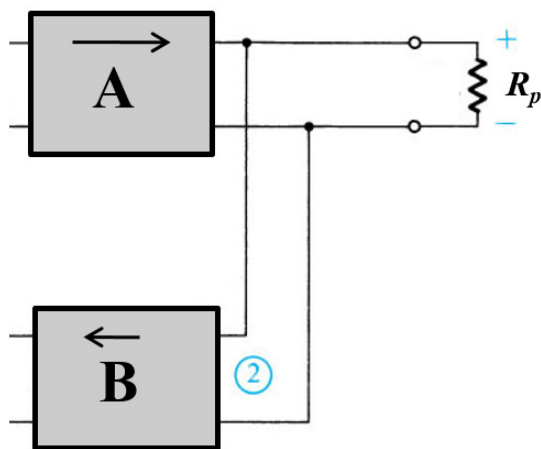
Pod dejstvom povratne sprege na izlazu se stvara dodatna komponenta napona, V_f , koja deluje tako da povećava ulazni napon. Usled toga ulazna otpornost kola, R_{ir} , biće povećana u odnosu na ulaznu otpornost osnovnog pojačavača, R_i .

$$R_{ir} = R_i \cdot (1 - A \cdot B)$$

Uticaj negativne povratne sprege na izlaznu impedansu

Povezivanje na izlazu:

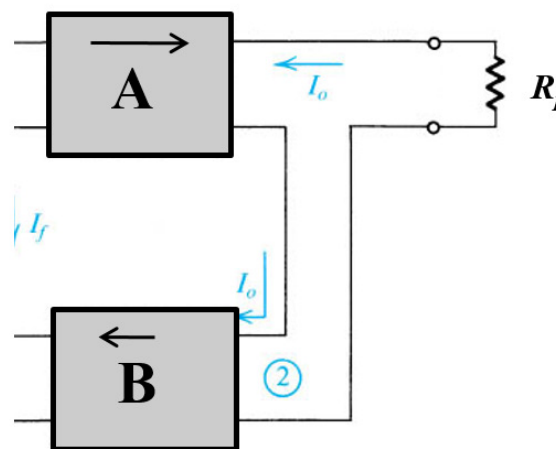
Paraleno



Pod dejstvom povratne sprege na izlazu se stvara dodatna komponenta struje koja deluje tako da povećava izlaznu struju. Usled toga izlazna otpornost kola, R_{or} , biće smanjena u odnosu na izlaznu otpornost osnovnog pojačavača, R_o .

$$R_{or} = \frac{R_o}{1 - A \cdot B}$$

Redno



Pod dejstvom povratne sprege na izlazu se stvara dodatna komponenta napona koja deluje tako da povećava izlazni napon. Usled toga izlazna otpornost kola, R_{or} , biće povećana u odnosu na izlaznu otpornost osnovnog pojačavača, R_o .

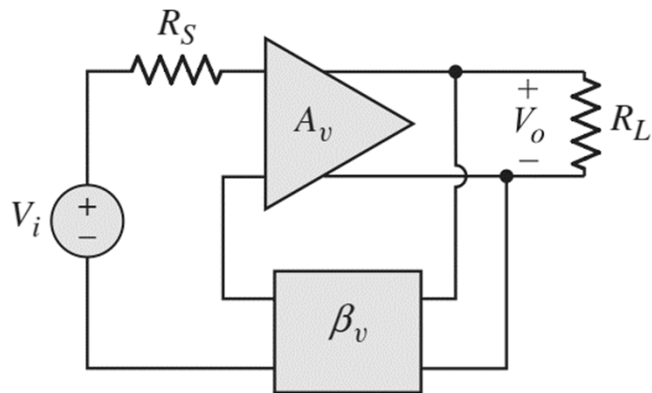
$$R_{or} = R_o \cdot (1 - A \cdot B)$$

1. Tipovi realizacije NPS

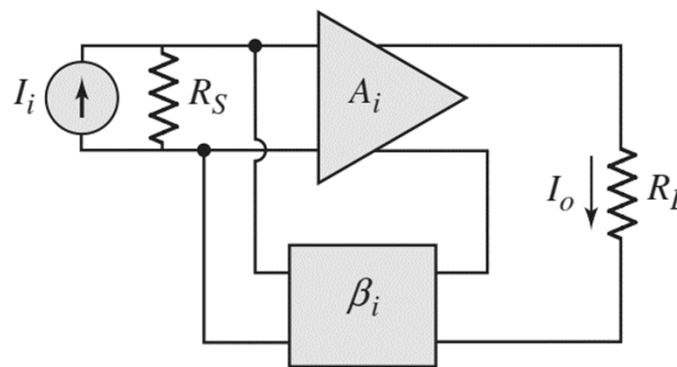
- a) Paralelno naponska
- b) Redno strujna
- c) Paralelno strujna
- d) Redno naponska

1. Tipovi realizacije NPS

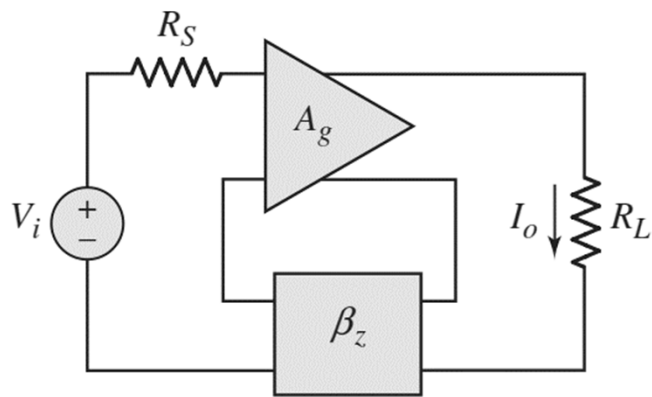
Postoje 4 tipa povratne sprege zavisno do načina na koji su povezani kolo osnovnog pojačavača A i kolo povratne sprege B. Ova dva četvoropola mogu da se povežu na ulazu (ili izlazu) redno ili paralelno. Kada su na određenom pristupu (ulaznom ili izlaznom) povezani redno to znači da na tom pristupu imaju istu struju. Isto tako kada su na odredjenom pristupu dva četvoropola povezana paralelno to znači da na tom pristupu imaju isti napon.



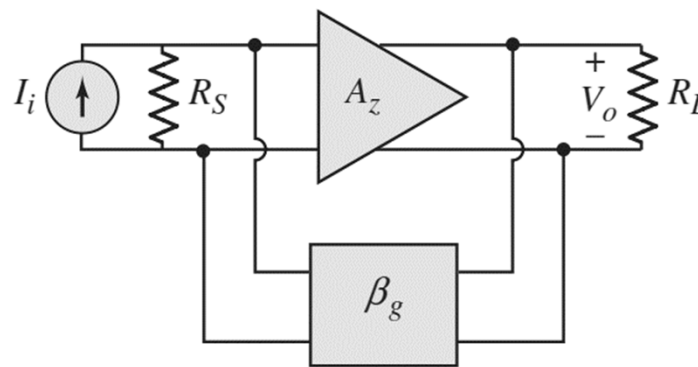
Redno-paralelna
(redno-naponska)



Paralelno-redna
(paralelno-strujna)



Redno-redna
(redno-strujna)



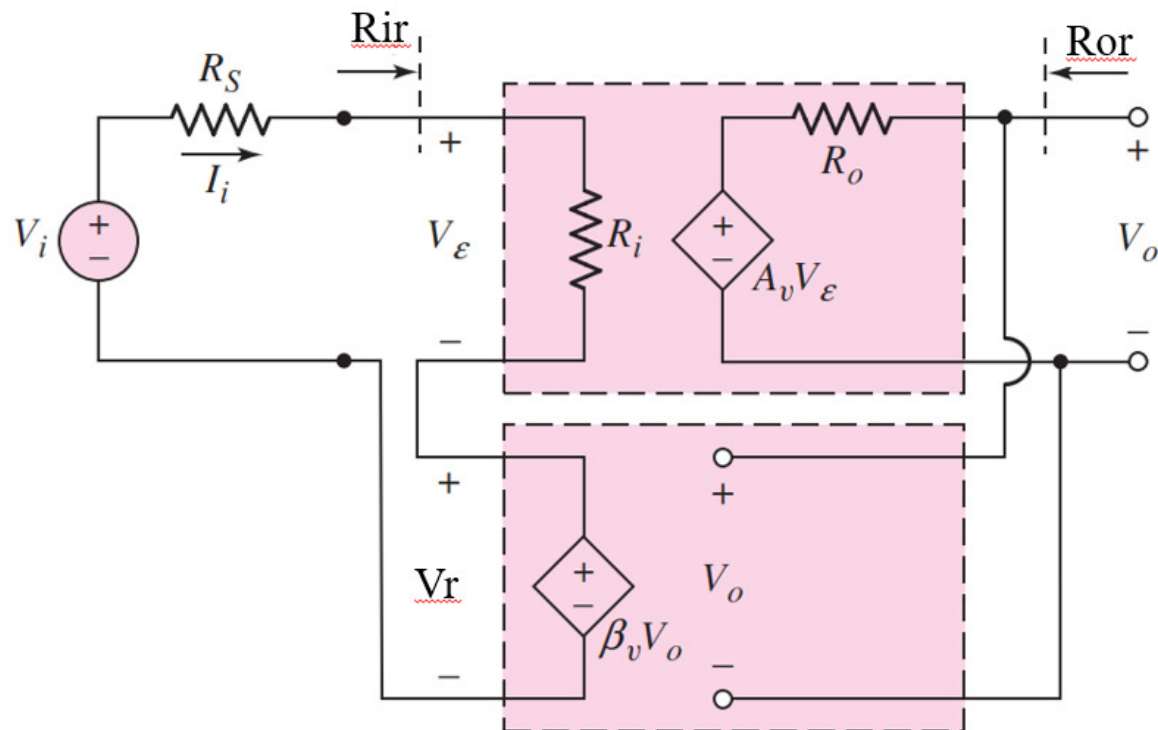
Paralelno-paralelna
(paralelno-naponska)

Redno paralelan povratna sprega

- Na ulazu su A i B vezani redno, a na izlazu paralelno.
- S obzirom da je na izlazu paralelna veza, kolo povratne sprega na izlazu uzorkuje napon i vraća taj signal na ulaz. Izlazna veličina je napon.
- S obzirom da je na ulazu redna veza, signal koji se preko kola povratne sprega vraća na ulaz utiče na ulazni napon. Ulazna veličina je napon.

Koeficijent povratne sprega $B_v = \frac{\text{ulazna veličina}}{\text{izlazna veličina}} = \frac{V_r}{V_o}$

Prenosna funkcija osnovnog pojačavača $A_v = \frac{\text{izlazna veličina}}{\text{ulazna veličina}} = \frac{V_o}{V_e}$



$$A_{vr} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{A_v}{1 - B_v \cdot A_v}$$

$$R_{ir} = R_i \cdot (1 - B_v \cdot A_v)$$

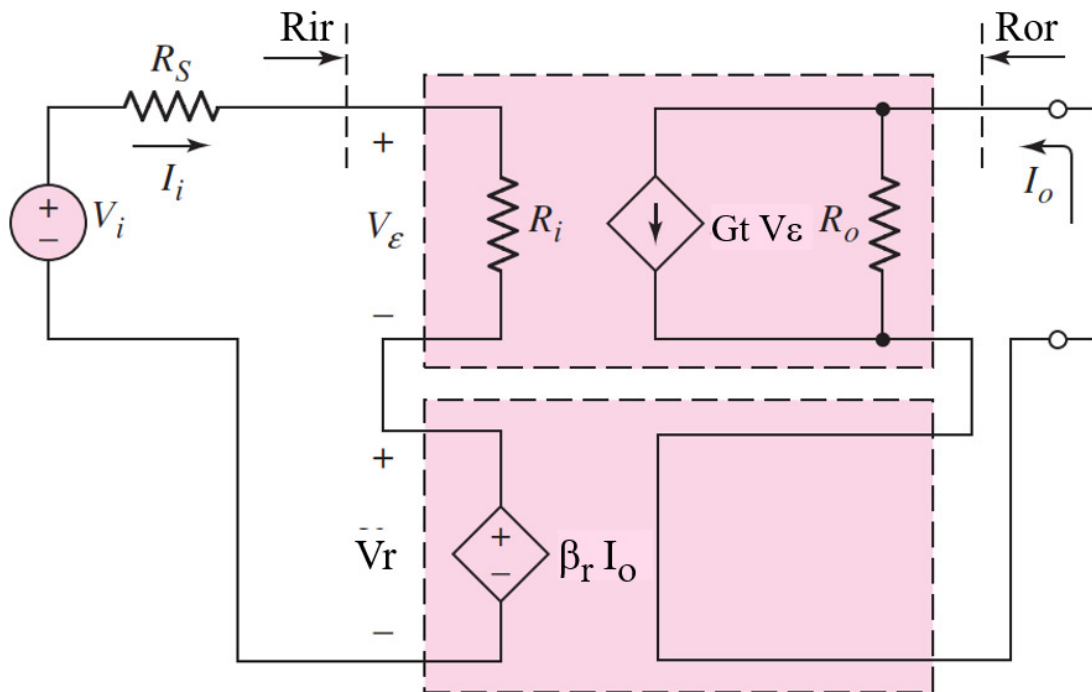
$$R_{or} = \frac{R_o}{1 - B_v \cdot A_v}$$

Redno redna povratna sprega

- Četovorpoli A i B su i na ulazu i na izlazu vezani redno.
- S obzirom da je na izlazu redna veza, kolo povratne sprege na izlazu uzorkuje struju i vraća taj signal na ulaz. Izlazna veličina je struja.
- S obzirom da je na ulazu redna veza, signal koji se preko kola povratne sprege vraća na ulaz utiče na ulazni napon. Ulazna veličina je napon.

Koeficijent povratne sprege $B_r = \frac{\text{ulazna veličina}}{\text{izlazna veličina}} = \frac{V_r}{I_o}$

Prenosna funkcija osnovnog pojačavača je prenosna provodnost $G_t = \frac{\text{izlazna veličina}}{\text{ulazna veličina}} = \frac{I_o}{V_e}$



$$G_{tr} = \frac{I_o}{V_i} = \frac{G_t}{1 - B_r \cdot G_t}$$

$$R_{ir} = R_i \cdot (1 - B_r \cdot G_t)$$

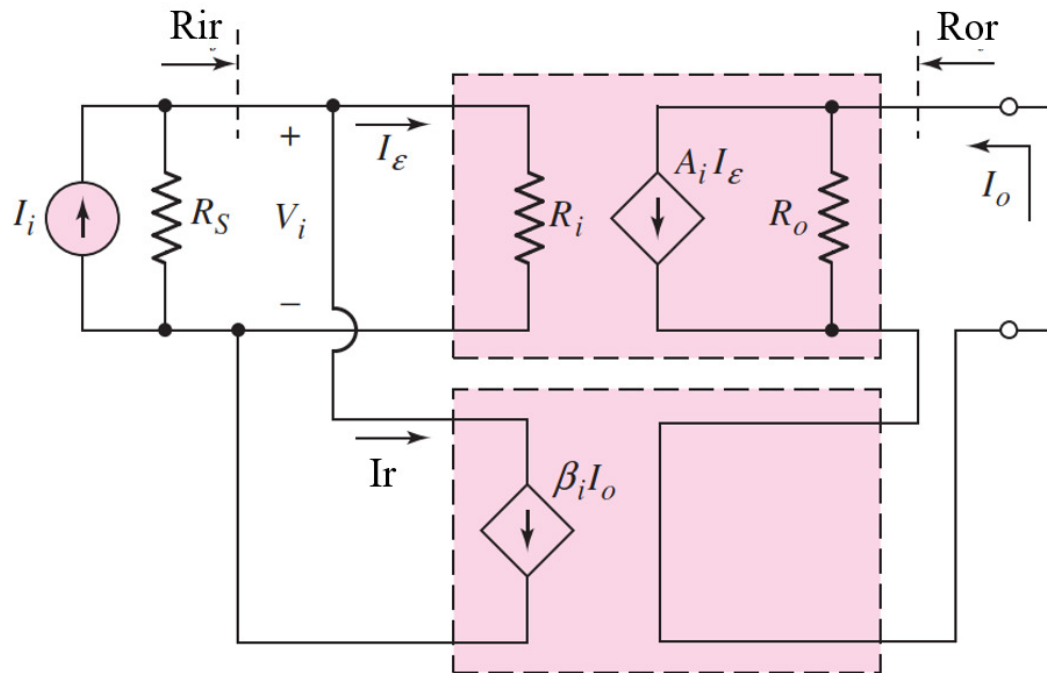
$$R_{or} = R_o \cdot (1 - B_r \cdot G_t)$$

Paralelno redna povratna sprega

- Na ulazu su A i B vezani paralelno, a na izlazu redno.
- S obzirom da je na izlazu redna veza, kolo povratne sprege na izlazu uzorkuje struju i vraća taj signal na ulaz. Izlazna veličina je struja.
- S obzirom da je na ulazu paralelna veza, signal koji se preko kola povratne sprege vraća na ulaz utiče na ulaznu struju. Ulazna veličina je struja.

Koeficijent povratne sprege $B_i = \frac{\text{ulazna veličina}}{\text{izlazna veličina}} = \frac{I_r}{I_o}$

Prenosna funkcija osnovnog pojačavača je strujno pojačanje $A_i = \frac{\text{izlazna veličina}}{\text{ulazna veličina}} = \frac{I_o}{I_e}$



$$A_{ir} = \frac{I_o}{I_i} = \frac{A_i}{1 - B_i \cdot A_i}$$

$$R_{ir} = \frac{R_i}{1 - B_i \cdot A_i}$$

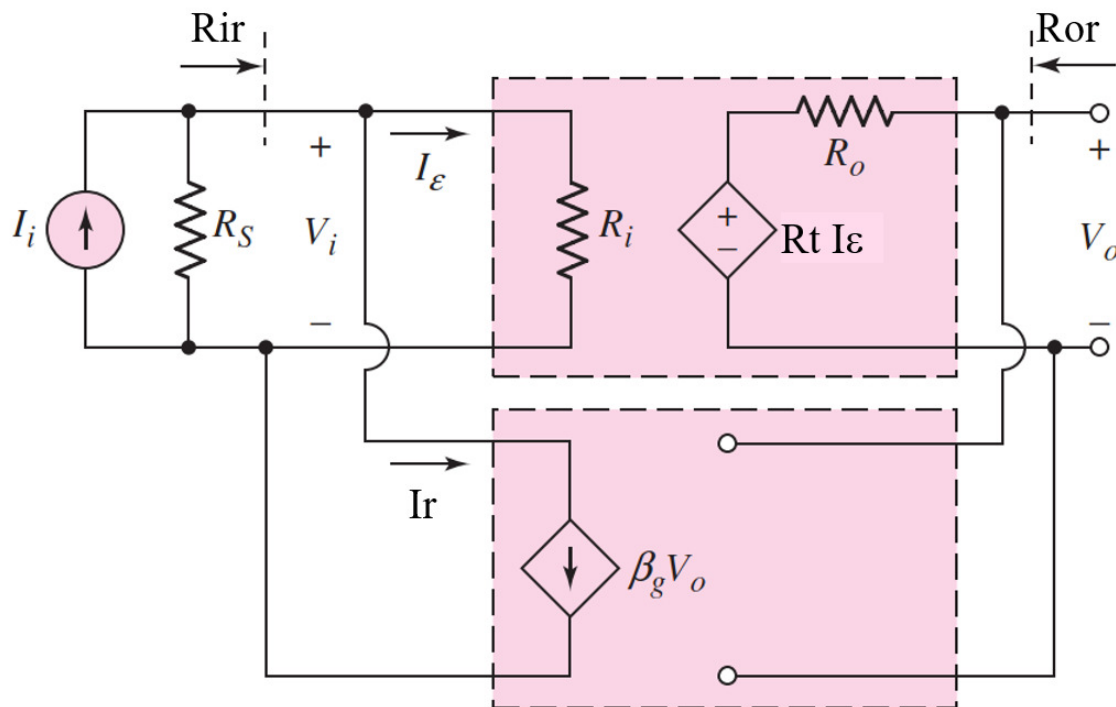
$$R_{or} = R_o \cdot (1 - B_i \cdot A_i)$$

Paralelno paralelna povratna sprega

- Četvorpoli A i B su i na ulazu i na izlazu vezani paralelno.
- S obzirom da je na izlazu paralelna veza, kolo povratne sprege na izlazu uzorkuje napon i vraća taj signal na ulaz. Izlazna veličina je napon.
- S obzirom da je na ulazu paralelna veza, signal koji se preko kola povratne sprege vraća na ulaz utiče na ulaznu struju. Ulazna veličina je struja.

Koeficijent povratne sprege $B_g = \frac{\text{ulazna veličina}}{\text{izlazna veličina}} = \frac{I_r}{V_o}$

Prenosna funkcija osnovnog pojačavača je prenosna otpornost $R_t = \frac{\text{izlazna veličina}}{\text{ulazna veličina}} = \frac{V_o}{I_e}$



$$R_{tr} = \frac{V_o}{I_i} = \frac{R_t}{1 - B_g \cdot R_t}$$

$$R_{ir} = \frac{R_i}{1 - B_g \cdot R_t}$$

$$R_{or} = \frac{R_o}{1 - B_g \cdot R_t}$$

1. Tipovi realizacije NPS

Tip povratne sprege	Ulazna veličina	Izlazna veličina	Koef. P. S. B	Prenosna funkcija
Redno-paralelna	napon	napon	V/V	Naponsko pojačanje $A_n = \frac{v_o}{v_i}$
Paralelno-paralelna	struja	napon	I/V	Prenosna otpornost $R_t = \frac{v_o}{i_i}$
Redno-redna	napon	struja	V/I	Prenosna provodnost $G_t = \frac{i_o}{v_i}$
Paralelno-redna	struja	struja	I/I	Strujno pojačanje $A_i = \frac{i_o}{i_i}$

1. Tipovi realizacije NPS

Tip povratne sprege	Prenosna funkcija	Ulazna otpornost	Izlazna otpornost
Redno-paralelna	$A_{vr} = \frac{A_v}{1 - B_v \cdot A_v}$	$R_{ir} = R_i \cdot (1 - B_v \cdot A_v)$	$R_{or} = \frac{R_o}{1 - B_v \cdot A_v}$
Paralelno-paralelna	$R_{or} = \frac{R_o}{1 - B_g \cdot A_v}$	$R_{ir} = \frac{R_i}{1 - B_g \cdot R_t}$	$R_{or} = \frac{R_o}{1 - B_g \cdot R_t}$
Redno-redna	$G_{tr} = \frac{G_t}{1 - B_r \cdot G_t}$	$R_{ir} = R_i \cdot (1 - B_r \cdot G_t)$	$R_{or} = R_o \cdot (1 - B_r \cdot G_t)$
Paralelno-redna	$A_{ir} = \frac{A_i}{1 - B_i \cdot A_s}$	$R_{ir} = \frac{R_i}{1 - B_i \cdot A_i}$	$R_{or} = R_o \cdot (1 - B_i \cdot A_i)$

A_{v0} je naponsko pojačanje osnovnog pojačavača, R_{t0} prenosna otpornost osnovnog pojačavača
 G_{t0} je prenosna odvodnost osnovnog pojačavača A_{i0} strujno pojačanje osnovnog pojačavača
 R_i ulazna otpornost osnovnog pojačavača, R_o izlazna otpornost osnovnog pojačavača.

Analiza kola sa povratnom spregom preko četvorpol

U pojačavaču sa povratnom spregom mogu se uočiti dva četvorpol: četvorpol osnovnog pojačavača A i četvorpol kola povratne sprege, B. Kolo sa povratnom spregom se može analizirati tako što se odrede odgovarajući parametri za ta dva četvorpol i oni zamene modelima. Ovaj postupak zasniva se na pretpostavci da se signal kroz pojačavač prostire samo od ulaza ka izlazu (povratni parametar četvorpol A je jednak nuli) i da se kroz kolo povratne sprege signal prenosi samo od izlaza ka ulazu (prenosni parametara četvorpol B je jednak nuli).

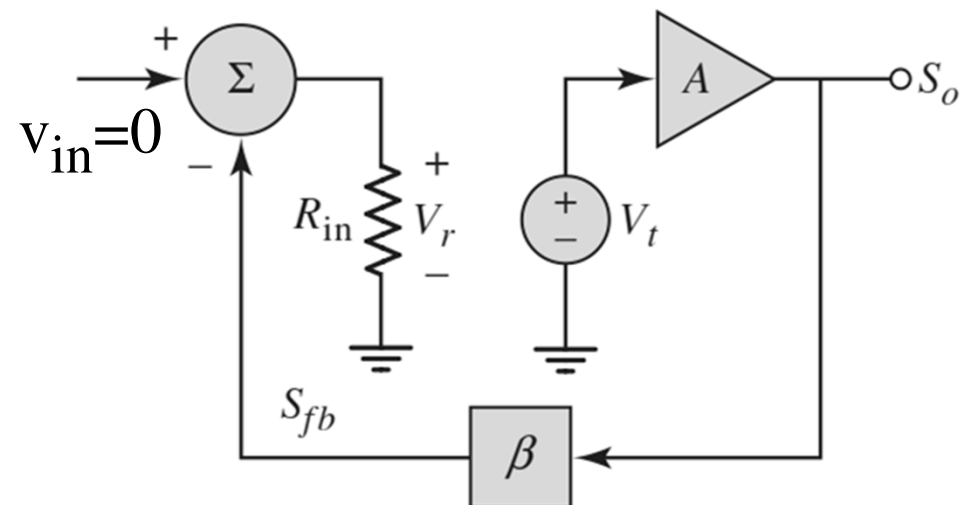
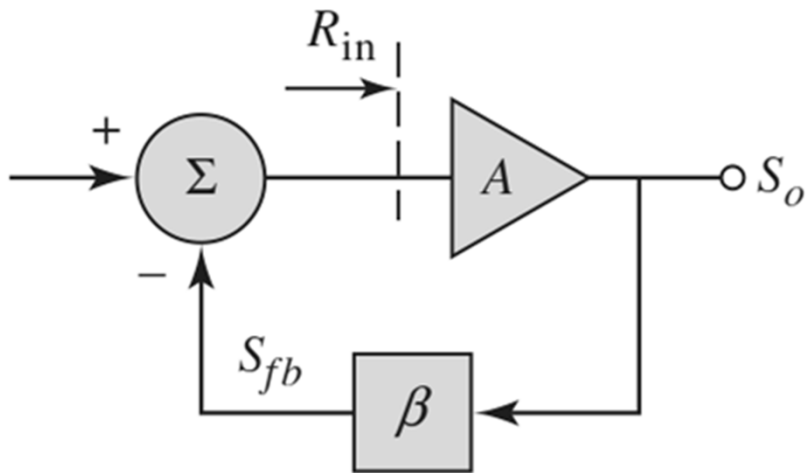
Analiza kola sastoji se od sledećih koraka:

1. Nakon što se utvrdi tip povratne sprege izdvoji se kolo povratne sprege, B, iz pojačavača i odrede se njegovi parametri po definiciji.
2. Formira se takozvano modifikovano kolo osnovnog pojačavača tako što se ukloni kolo reakcije, a na mestima na kojima je ono uklonjeno doda po jedna impedansa na ulaznom pristupu (ulazni parametar kola povratne sprege) i na izlaznom pristupu (izlazni parametar kola povratne sprege). Nađe se prenosna funkcija koja odgovara tom tipu sprege (A_{v0} , R_{t0} , G_{t0} ili A_{i0}).
3. Primeni se opšta formula za pojačanje pojačavača sa povratnom spregom pri čemu je koeficijent povratne sprege, B, povratni parametar kola povratne sprege.

Analiza kola sa povratnom spregom preko kružnog pojačanja

Da bi se odredilo kružno pojačanje ulazni signal (napon ili struja) se podešava na nultu vrednost. Raskida se kolo povratne sprege u određenoj tački i na mestu prekida se priključuje testni generator, V_t . Pri tome je potrebno obezbediti da se nakon raskidanja povratne sprege zadrže uslovi koji su postojali u kolu pre prekida. Radi toga potrebno je da se otpornost koja se vidi sa krajeva testnog generatora, R_{in} , doda na drugoj strani preseka u odnosu na testni generator. Kružno pojačanje predstavlja odnos vraćenog signala V_r i signala testnog generatora, V_t .

$$A \cdot B = \frac{V_r}{V_t}$$



Analiza kola sa povratnom spregom preko kružnog pojačanja

Postupak određivanja kružnog pojačanja sastoji se od sledećih tačaka:

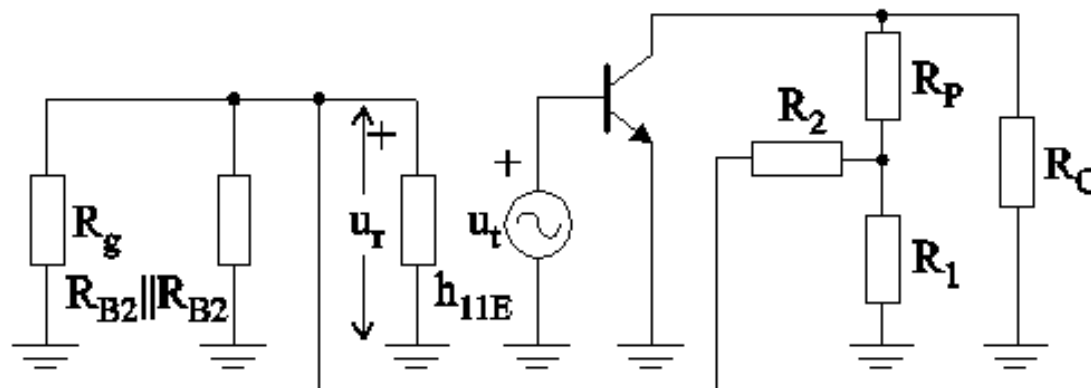
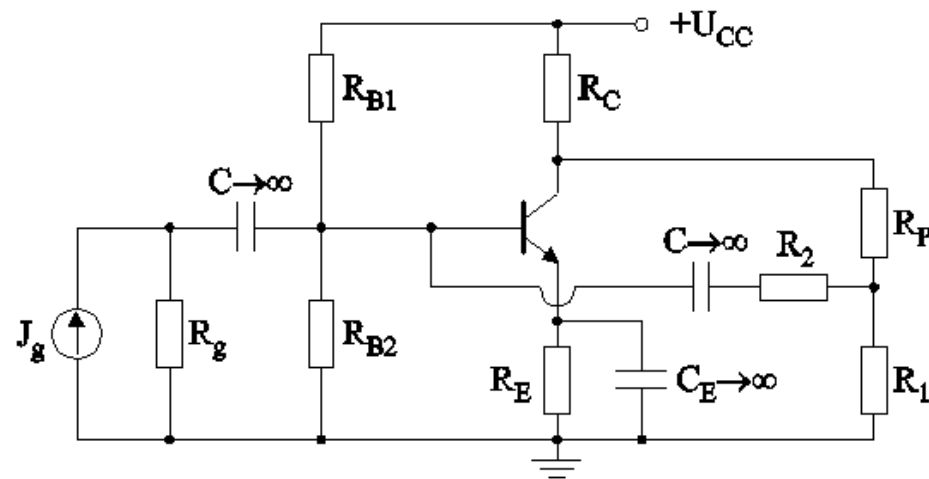
- Ukinuti pobudni generator ($v_{in} = 0$).
- Prekinuti kolo povratne sprege u određenoj tački.
- Povezati test generator v_t na mestu prekida u smeru toka signala.
- Odrediti impedansu koja se vidi sa krajeva test generator, R_{in} , i priključiti tu impedansu na drugi kraj preseka.
- Kružno pojačanje je odnos napona na drugoj strani preseka, v_r , i napona test generatora, v_t .

$$AB = \frac{v_r}{v_t}$$

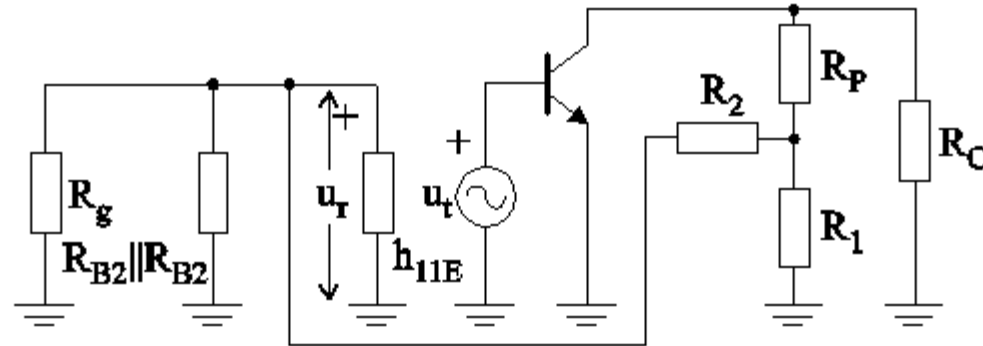
NPS

Odrediti kružno pojačanje pojačavače sa slike (Slika 1.10.1).

Poznato je: $R_{B1} = R_{B2} \gg R_g = 2\text{k}\Omega$; $R_C = 2\text{k}\Omega$; $R_P = 1\text{k}\Omega$; $R_1 = 2\text{k}\Omega$;
 $R_2 = 1\text{k}\Omega$; $h_{11E} = 2\text{k}\Omega$; $h_{21E} = 200$; $h_{12E} = 0$; $h_{22E} = 0\text{S}$.



Primer određivanja kružnog pojačanja



Slika 1.10.2

Ako uvedemo oznaku:

$$(1.10.1) \quad R_{EK} = R_C \parallel (R_P + (R_1 \parallel (R_2 + R_g \parallel h_{11E}))) = 1k\Omega$$

za kružno pojačanje se dobija:

$$(1.10.2) \quad \beta A = \frac{u_r}{u_t} = \frac{R_g \parallel h_{11E}}{R_g \parallel h_{11E} + R_2} \frac{(R_2 + R_g \parallel h_{11E}) \parallel R_1}{(R_2 + R_g \parallel h_{11E}) \parallel R_1 + R_P} \left(-\frac{h_{21E} R_{EK}}{h_{11E}} \right)$$

Pojačavači sa negativnom povratnom spregom

Elementarna pitanja

1. Struktura pojačavača sa povratnom spregom; Pojačanje pojačavača sa povratnom spregom; Kružno pojačanje; Funkcija povratne sprege; Negativna i pozitivna povratna sprega.
2. Tipovi negativne povratne sprege (blok šema za svaki od četiri tipa).

Ostala ispitna pitanja

3. Uticaj negativne povratne sprege na osetljivost (relativna osetljivost pojačanja na promene parametara osnovnog pojačavača i parametare kola povratne sprege).
4. Uticaj negativne povratne sprege na frekvencijsku karakteristiku (granične frekvencije).
5. Uticaj negativne povratne sprege na nelinearna izobličenja.
6. Uticaj negativne povratne sprege na šumove.
7. Postupak određivanja kružnog pojačanja kola sa povratnom spregom.
8. Ulazna otpornost, izlazna otpornost i prenosna funkcija za redno-naponsku i paralelno-naponsku povratnu spregu.
9. Ulazna otpornost, izlazna otpornost i prenosna funkcija za redno-strujnu i redno-naponsku povratnu spregu.