Geri beslemeli yükseltec analizi

Topoloji / Karakteristik	Gerilim-Seri	Akım-Seri	Akım-Paralel	Gerilim-Paralel
Geri besleme işareti X_f	Gerilim	Gerilim	Akım	Akım
Örneklenmiş işaret X_o	Gerilim	Akım	Akım	Gerilim
Giriş devresini bulmak için	$V_o = 0$	$I_o = 0$	$I_o = 0$	$V_o = 0$
Çıkış devresini bulmak için	$I_i = 0$	$I_i = 0$	$V_i = 0$	$V_i = 0$
işaret kaynağı	thevenin	thevenin	norton	norton
$\beta = \frac{X_f}{X_o}$	$\frac{V_f}{V_o}$	$\frac{V_f}{I_o}$	$\frac{I_f}{I_o}$	$\frac{I_f}{V_o}$
$A = \frac{X_o}{X_i}$	$A_v = \frac{V_o}{V_i}$	$G_m = \frac{I_o}{V_i}$	$A_I = \frac{I_o}{I_i}$	$R_m = \frac{V_o}{I_i}$
$D = 1+\beta A$	$1+\beta A_v$	$1+\beta G_m$	$1+\beta A_I$	$1+\beta R_m$
A_f	$\frac{A_v}{1+\beta A_v}$	$\frac{G_m}{1+\beta G_m}$	$\frac{A_I}{1+\beta A_I}$	$\frac{R_m}{1+\beta R_m}$
R_{if}	$R_i . D$	$R_i . D$	$\frac{R_i}{D}$	$\frac{R_i}{D}$
R_{of}	R_o / D	$R_o . D$	$R_o . D$	R_o / D

Buradaki G_m ve R_m kazançları direnç yada iletkenlik boyutundadır. Fiziksel bir mana taşımasada istenilen anlamlı kazançlara kolayca dönüştürülebilirler yani bir ara işlem (adım) gibi düşünülebilir.

25.10.2013

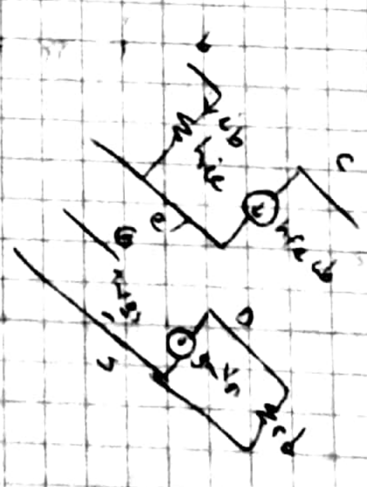
Tabloda,

A: Ana devre kazancı türe göre değişmekte

A: A_v, A_I, R_m, G_m biçiminde karşımıza çıkıyor

$A_f = \frac{A}{1+\beta A}$ A_f: geri beslemeli devrenin kazancı

A: geri besleme durumundaki kazanç

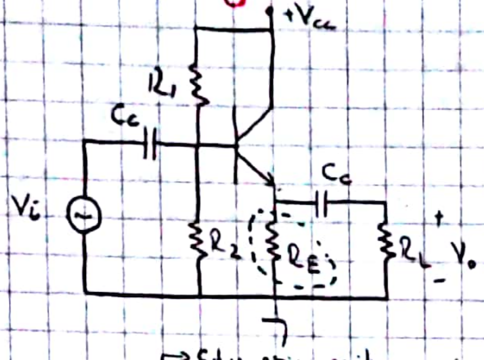


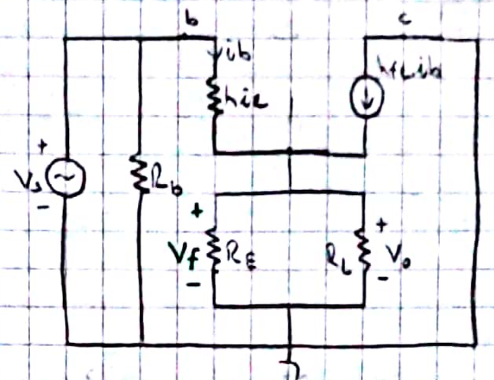
Sonuç olarak;

negatif geri beslemeli (ngb) devreyi analiz edebilmek için

- Türünün doğru belirlenmiş olması
- A'yı hesaplayabilmek için devreyi geribeslemesiz hale getirmek gerekir.

Gerilim - Seri ngb





⇒ Çıkıştan gerilim örneği alıyor ve girişe seri aktarıyor.

⇒ Çıkış (V_o) herhangi bir nedenle artarsa V_s ve h_{ie} sabit olduğundan i_b azalmak zorundadır. Bu $h_{fe} \cdot i_b$ akımı azaltır ve V_o azalır.

→ Çıkış girişe gerilim vermiş.

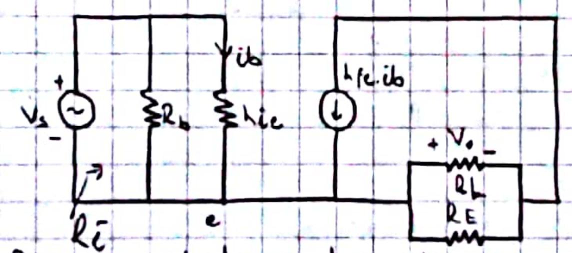
$V_s = h_{ie} i_b + V_o$ Girişe seri aktarma lazım.

Giriş gerilimi ifadesinde çıkış gerilimine ait bir terim vardır. (Çıkış girişe müdahale etmiş)

$$A = A_v = \frac{V_o}{V_s} \qquad \beta = \frac{V_f}{V_o} = 1$$

⇒ Çıkıştan alınan örneği anlayabilmenin pratik bir yolu; gerilim olduğunu düşünüyorsak $V_o = 0$ yapıldığında girişe herhangi bir aktarma yapmaması gerekir.

⇒ Geri beslemeyi sağlayan emetör direnci R_E dir. Devreyi geribeslemesiz hale getirmek R_E elemanını yok etmek değildir.



Devrenin geri beslemesiz durumu.

$$A = A_v = \frac{V_o}{V_s} = \frac{h_{fe} \cdot i_b \, (R_E // R_L)}{h_{ie} \cdot i_b} = \frac{h_{fe}}{h_{ie}} (R_E // R_L)$$

Gerçek gerilim kazancı değil

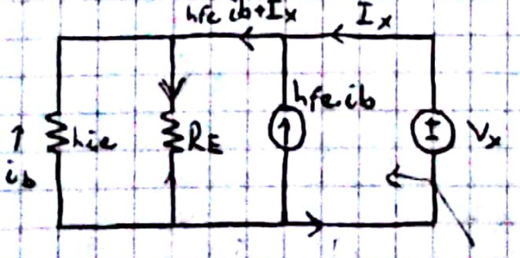
$$D = 1 + \beta A_v = 1 + \frac{h_{fe}}{h_{ie}} (R_E // R_L)$$

$$A_{vf} = \frac{A_v}{D} = \frac{\frac{h_{fe}}{h_{ie}} (R_E // R_L)}{1 + \frac{h_{fe}}{h_{ie}} (R_E // R_L)}$$

Geri beslemeli gerilim kazancı

$R_i = R_b // h_{ie}$ $\qquad R_{if} = R_i \cdot D$

R_o'ı bulmak (R_L açık devre, V_s kısa devre)



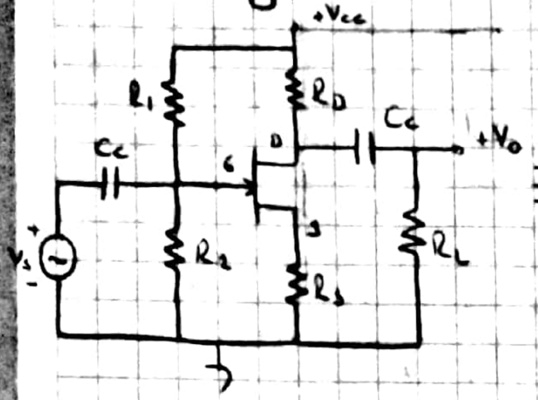
$$V_x = (i_b + i_b \cdot h_{fe} + I_x) R_E \qquad i_b = -\frac{V_x}{h_{fe}}$$

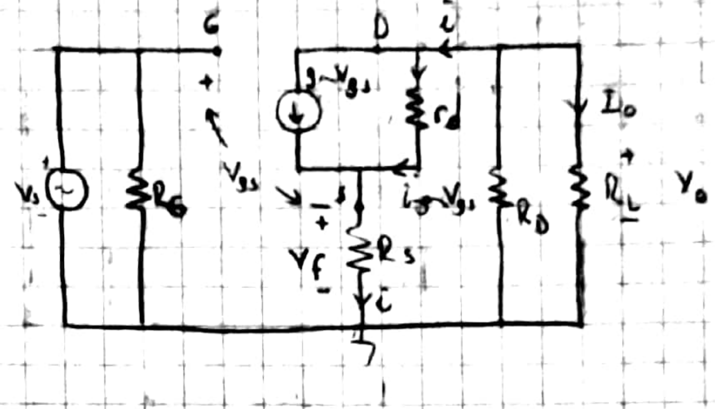
$$I_x = \frac{V_x}{R_E} - (1 + h_{fe}) i_b$$

R_o bulunur $\qquad R_{of} = \frac{R_o}{D}$

⇒ Bize gerekli olan değerler f indisli değerlerdir.

Akım-seri ggb





$V_s = V_{gs} + i.R_s \Rightarrow$ çıkıştan alınan büyüklük V_o ile alakalı değil. çıkış akımıyla alakalı.

$A = G_m = \frac{I_o}{V}$ $\quad \beta = \frac{V_f}{I_o}$ $\quad V_f = i.R_s$ $\quad \beta = \frac{i.R_s}{I_o}$

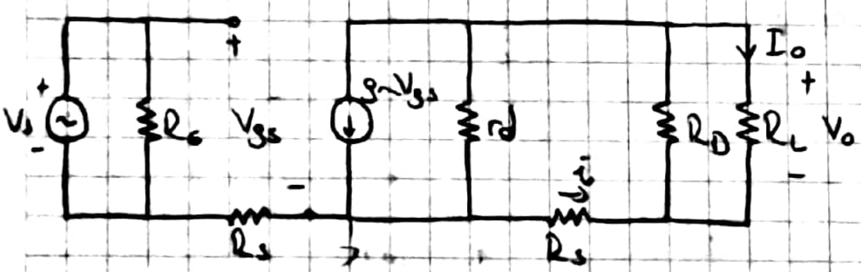
$I_o.R_L = -(i + I_o).R_D \quad I_o.R_L = -i.R_D - I_o.R_D$

$i.rd - g_m V_{gs}.rd + i.R_s = -i(R_D // R_L)$

$I_o.R_L + I_o.R_D = -i.R_D \quad I_o = -\frac{i.R_D}{R_D + R_L}$

$g_m V_{gs} = i.(R_D // R_L) + i.rd + i.R_s$

$i = g_m V_{gs}.\frac{rd}{rd + R_s + (R_D // R_L)}$



$i = g_m V_{gs}\frac{rd}{rd + R_s + (R_D // R_L)}$

$I_o = -i.\frac{R_D}{R_D + R_L}$ $\quad G_m = \frac{I_o}{V_s}$ $\quad V_s = V_{gs}$

Geri beslemesiz hali.

$R_i = R_G \quad R_o = R_D // (rd + R_s)$

$G_{mf} = \frac{I_o}{V_s}$ $\quad A_{vf} = G_{mf}.R_L = \frac{V_o}{V_s}$

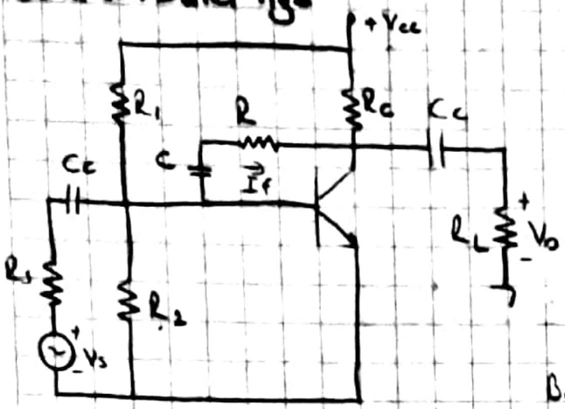
$G_{mf} = \frac{I_o}{V_s}$ $\quad A_{If} = \frac{I_o}{I_s}$ $\quad A_{vf} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{\frac{V_o}{R_L}}{\frac{V_s}{R_L}}$

$A_I = \frac{I_o}{I_s} = G_{mf}.R_i = \frac{I_o}{V_s / R_i}$

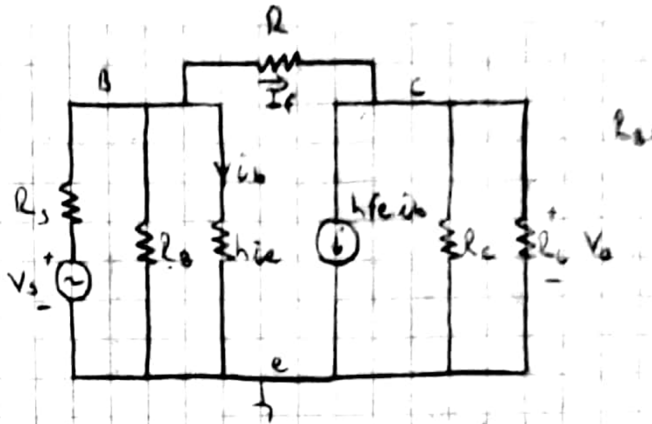
Topoloji / Karakteristik	Gerilim-seri	Akım-seri	Akım-Paralel	Gerilim-Paralel
Geri besleme işaret X_f	Gerilim	Gerilim	Akım	Akım
Örneklenmiş işaret, X_o	Gerilim	Akım	Akım	Gerilim
Giriş devresini bulmak için	$V_o=0$	$I_o=0$	$I_o=0$	$V_o=0$
Çıkış devresini bulmak için	$I_i=0$	$I_i=0$	$V_i=0$	$V_i=0$
İşaret kaynağı	thevenin	thevenin	norton	norton
$\beta=\frac{X_f}{X_o}$	$\frac{V_f}{V_o}$	$\frac{V_f}{I_o}$	$\frac{I_f}{I_o}$	$\frac{I_f}{V_o}$
$A=\frac{X_o}{X_s}$	$A_V=\frac{V_o}{V_i}$	$G_m=\frac{I_o}{V_i}$	$A_I=\frac{I_o}{I_i}$	$R_m=\frac{V_o}{I_s}$
$D=1+\beta A$	$1+\beta A_V$	$1+\beta G_m$	$1+\beta A_I$	$1+\beta R_m$
A_f	$\frac{A_V}{1+\beta A_V}$	$\frac{G_m}{1+\beta G_m}$	$\frac{A_I}{1+\beta A_I}$	$\frac{R_m}{1+\beta R_m}$
R_{if}	$R_i \cdot D$	$R_i \cdot D$	$\frac{R_i}{D}$	$\frac{R_i}{D}$
R_{of}	R_o/D	$R_o \cdot D$	$R_o \cdot D$	R_o/D

01.11.2017

Gerilim-Paralel ngb



$\equiv$

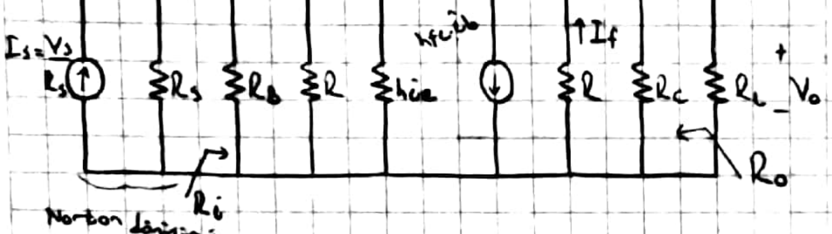


$R_B = R_1 // R_2$

Bu türde bulacağımız kazanç $R_m = \dfrac{V_o}{I_s}$ dir.

$\beta = \dfrac{I_f}{V_o}$ $\qquad R_{mf} = \dfrac{R_m}{1+\beta R_m}$

* Çıkış devresini bulmak için V_i düğümünün sıfırlanılmasındaki amacı, çıkış gerilimden alına dönüştürülen ve giriş düğümüne olan akımın devrenin girişine değil toprağa akmasını sağlamak yani geri beslemenin işlevini yok etmek.



Norton dönüşümü

$V_o = -I_f . R$

$\beta = -\dfrac{1}{R}$ ①

③ $R_m = \dfrac{V_o}{I_s} = \dfrac{-h_{fe}.i_b(R // R_c // R_L).R_{es}}{i_b.(R_{es}+h_{ie})}$

② $i_b = I_s.\dfrac{R_{es}}{R_{es}+h_{ie}}$

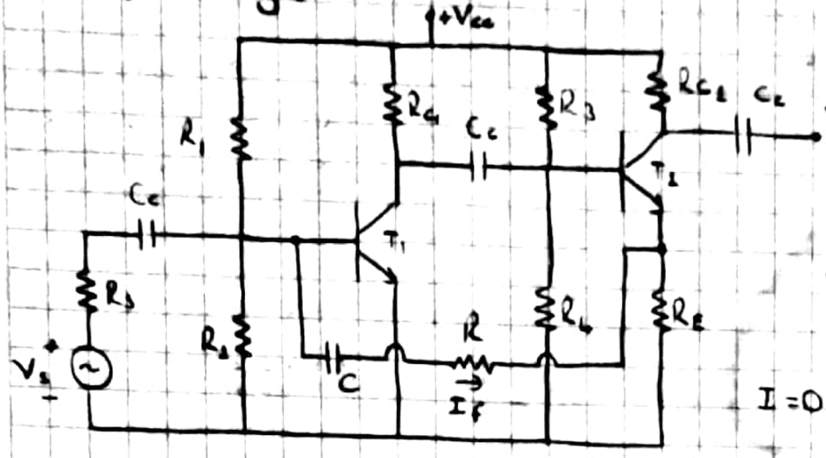
$D = 1 + \beta R_m$ $\qquad \left.R_{mf} = \dfrac{R_m}{D}\right\}$ Gerçek değer $\qquad R_i = R_B // R // h_{ie}$ $\qquad R_o = R_c // R$

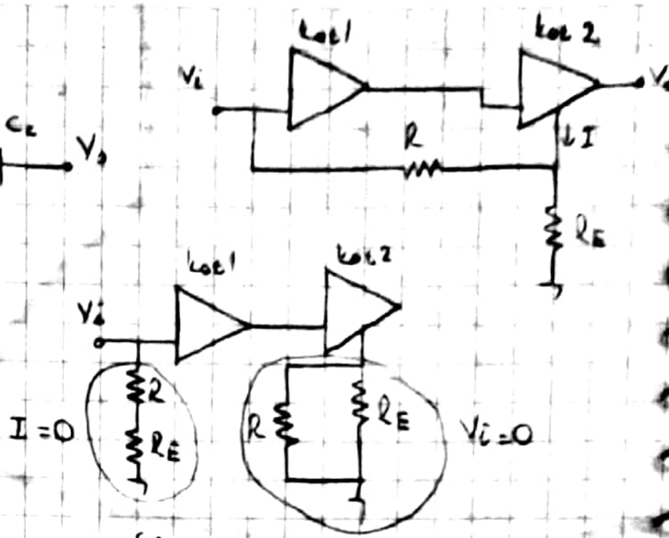
R_{if}, R_{of} ye gözdür

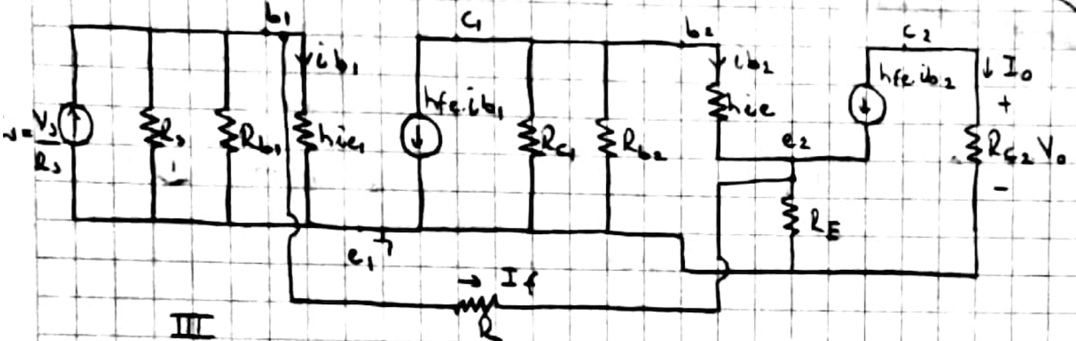
$R_{if} = \dfrac{R_i}{D}$ $\qquad R_{of} = \dfrac{R_o}{D}$

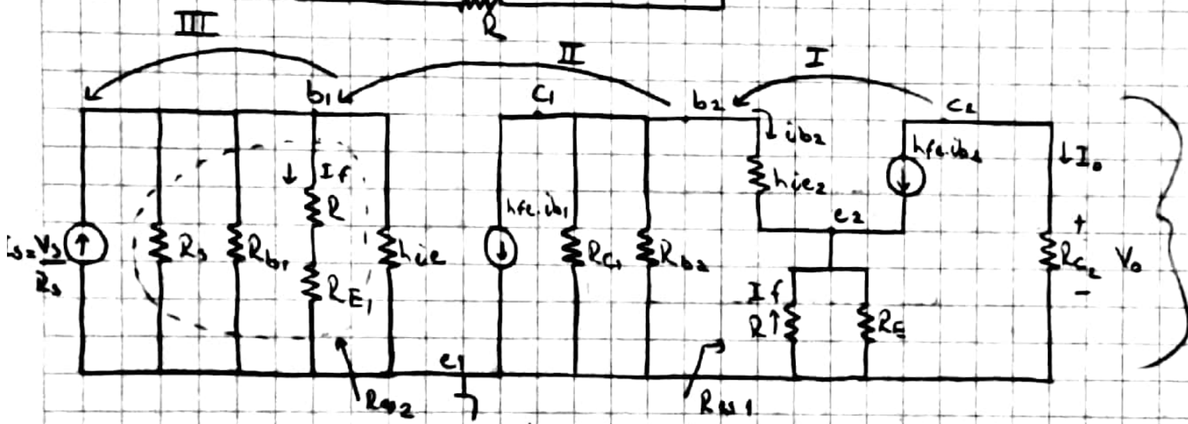
$A_{vf} = \dfrac{V_o}{V_s} = \dfrac{\overset{R_{mf}}{V_o}}{I_s R_s} = \dfrac{R_{mf}}{R_s}$ $\qquad A_{If} = \dfrac{I_o}{I_s} = \dfrac{\overset{R_{mf}}{V_o / R_L}}{I_s} = \dfrac{R_{mf}}{R_L}$

Akım-Paralel ngb









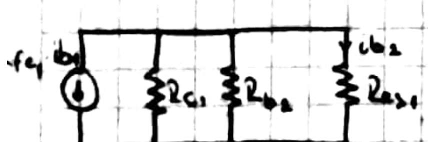
Devrenin geri beslemesiz durumu

$$\beta = \frac{R_E}{R+R_E} = \frac{I_f}{I_o} \qquad A_I = \frac{I_o}{I_s} = \overset{1}{\frac{I_o}{i_{b2}}} \cdot \overset{2}{\frac{i_{b2}}{i_{b1}}} \cdot \overset{3}{\frac{i_{b1}}{I_s}} \qquad \left.I_o = -h_{fe2}\, i_{b2} \quad \frac{I_o}{i_{b2}} = -h_{fe2}\right\}\ \mathrm{I}$$

i_{b1} – i_{b2} arasında bir bağıntı gerekli

$$R_{es1} = h_{ie2} + (1+h_{fe2})(R_E // R) = \frac{V_{b2}}{i_{b2}}\ (\Omega)$$

*Bu türde β hesaplanırken geri besleme direnci R'den sadece çıkış akımının (I_o) akan kısmı I_f olarak değerlendirilir. Başka bir ifadeyle i_{b2} akımı β hesabında dikkate alınmaz. Çünkü her zaman geribesleme katsayısı β sadece çıkıştan alınan örneğin çıkış büyüklüğüne oranıdır.



$$i_{b2} = -h_{fe1}\, i_{b1} \frac{(R_{c1}//R_{b2})}{(R_{c1}//R_{b2})+R_{es1}} \qquad \left.\frac{i_{b2}}{i_{b1}} = -h_{fe1} \frac{(R_{c1}//R_{b2})}{(R_{c1}//R_{b2})+R_{es1}}\right\}\ \mathrm{II}$$

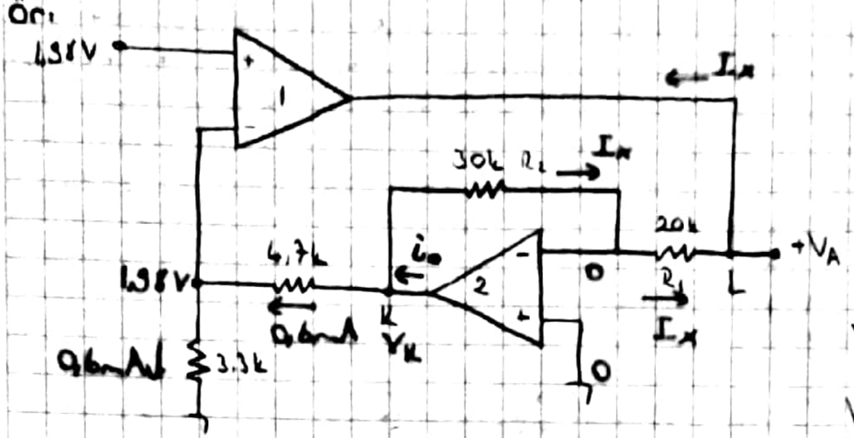
$$\left.\frac{i_{b1}}{I_s} = \frac{R_{es2}}{R_{es2}+h_{ie1}}\right\}\ \mathrm{III} \qquad D = 1+\beta A_I \qquad \left.A_{If} = \frac{A_I}{D}\right\}$$ Geri beslemeli devrenin gerçek kazancı

$$R_i = R_{b1} // (R + R_E // h_{ie} \qquad R_{if} = \frac{R_i}{D} \qquad R_o = R_{c2}$$

*R_{c2} devreye haricen bağlanmış bir yük direnci değildir, bağlanması gereği sadece üzerinden çıkış gerilimi alınmaktadır. Bu nedenle R_o hesaplanırken devrede tutulmalı ve hesaba katılmalıdır.

$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}$ $V_o = V_i \cdot -\frac{3}{2}$

Ör:



V_A gerilimini ve K, L düğümlerindeki akım dağılımlarını bulunuz

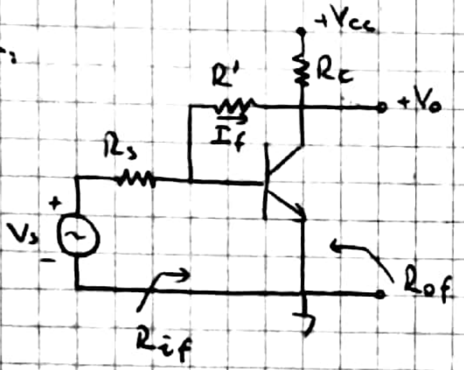
2. op-amp $\frac{30}{20} = 1,5$ katı V_A yı çıkaran op amp

$V_K = 0,6.(3,3+4,7) = 4,8V$

$V_K = -\frac{30}{20} \cdot V_A$ $V_A = -3,2V$

$I_x = \frac{4,8}{30} = 160\mu A$ $i_o = 0,76mA$

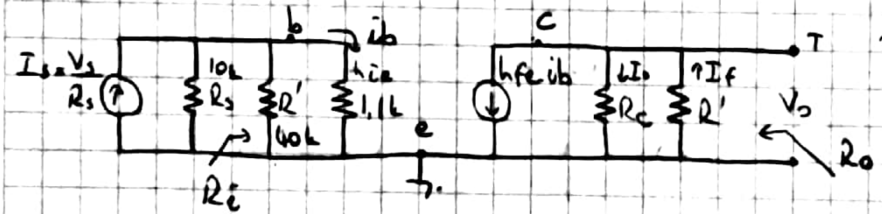
Ör:



Geri beslemeli devrenin DC analizini yapın.

$h_{fe} = 50$ $h_{ie} = 1,1k$ $R' = 40k$ $R_s = 10k$, $R_c = 4k$

(Gerilim paralel ngb)



Devrenin geri beslemesiz hali

$\beta = \frac{I_f}{V_o}$ $V_o = -I_f \cdot R'$ $\beta = -\frac{1}{R'} = -\frac{1}{40k} = -0,025\ mA/V$

$R_m = \frac{V_o}{I_s}$ $V_o = -h_{fe} \cdot i_b (R_c // R')$ $i_b = I_s \cdot \frac{(R_s // R')}{(R_s // R') + h_{ie}}$ $(R_c // R') = 4 // 40 = 3,64k$

$(R_s // R') = 10 // 40 = 8k$

$D = 1 + \beta R_m = 1 + [(-0,025 \frac{mA}{V})(-160 \frac{V}{mA})] = 5$, $R_{mf} = \frac{R_m}{D} = -\frac{160}{5} = -32k$

$R_i = R' // h_{ie}$ $40 // 1,1 = 1,07$

$R_o = R' // R_c = 3,64k$ $R_{if} = \frac{R_i}{D} =$ $R_{of} = \frac{R_o}{D}$

*R_o hesaplanırken R_L direnci açık devre yapılır. Bu devrede V_o yalarında R_L kullanılmadığından, çıkış gerilimi R_c üzerinden alınmaktadır. R_c direnci devrenin asıl elemanlarından biridir ve açık devre edilemez, yani devrede kalır.

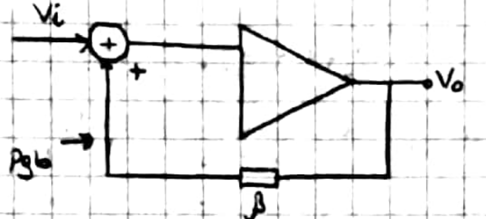
$A_{vf} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{I_o R_s} = \frac{R_{mf}}{R_s} = \frac{-32k}{10k} = -3,2$ ⇒ Bu devre (gerilim-paralel ngb) opampli eviren yükselteç benzemektedir ve gerilim kazancı $-\frac{R'}{R_s}$ yakın bir değer olur.

$A_{If} = \frac{I_o}{I_s}$ $I_o = \frac{V_o}{R_c}$ $A_{If} = \frac{R_{mf}}{R_c}$

$V_o = -\frac{R_f}{R_1} \cdot V_1$ eviren $V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) V_1$ evirmeyen

toplam $V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 + \frac{R_f}{R_3} V_3\right)$ $A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}$

Pozitif Geribesleme ve Osilatörler



⇒ Geri beslemeli sistemlerde çıkıştan alınan örnek girişi destekleyici, arttırıcı yönde uygulanıyorsa pozitif geri besleme adını alır.

Bu durumda geri beslemeli devrenin gerilim kazancı

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{A_v}{1 - \beta A_v}$$

→ bu işaret ngb'de + dır.

β.Av pozitif geribeslemelerde 1 olursa Vo/Vi oranı sonsuz olur. Bu bir risktir. Yükselteç tasarımında β.Av'nın 1 olma riskinden uzak durmak gerekir yani asla buna izin verilmemesi gerekir. Bu β.Av'ye açık çevrim kazancı (L = β.Av) denir.

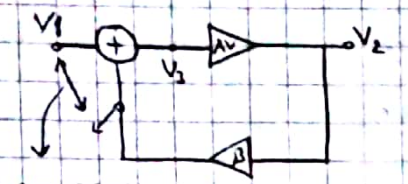
Eğer açık çevrim kazancı yükselteçte 1'e eşitlenirse yükselteç işlevini kaybeder. Sonsuz kazanç nedeniyle çıkış kontrol yok olur ve çıkışta istenmeyen sinyaller ortaya çıkar. Bu bir yükselteç için kabul edilemez bir durumdur. Bu durumda yükselteç kararsız hale gelir. O halde yükselteçlerde her sistemde olduğu gibi kararlılık sorunu vardır ve kararlılık testini yapmak gerekir. Örneğin Hurwitz denemesiyle sadece sistemin kararlılık testinden evet yada hayır cevabı alınır. Daha detaylı analiz için Nyquist diyagramından yararlanılır.

Osilatör: Sinüsoidal formda işaret üreten devrelere osilatör denir. Osilatörler girişi olmayan devrelerdir. Osilatörlerin temelinde pozitif geribeslemeli bir yükselteç vardır.

Kararsızlık Analizi:

Geri beslemeli bir yükseltecin kararsızlık analizi Ruth ve Hurtz kriterlerinin yanısıra Nyquist kriteri ile de yapılır.

Nyquist Kriteri: Geribeslemeli bir yükseltecin kararlılığını test etmek için bu analize başvurulur.



Burayı açınca buradaki V kazancı açık çevrim kazancıdır.

$$V_3 = V_1 + \beta V_2$$

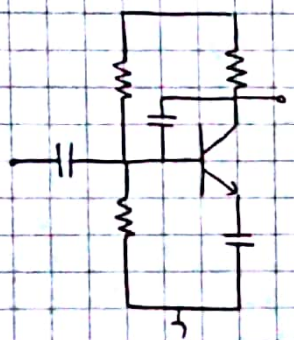
$$V_2 = A_v . V_3 = A_v(V_1 + \beta V_2)$$

A_v = Geribeslemesiz yükseltecin kazancı

$$K_v = \frac{V_2}{V_1} = \frac{A_v}{1-\beta A_v} \qquad L = A_v . \beta \Rightarrow \text{Açık çevrim kazancı}$$

$$K_v(s) = \frac{A(s)}{1-L(s)} \qquad K_v(s) = \frac{A(s)}{F(s)}$$

* A(s) geribeslemesiz bir devredir. G.B. içermeyen devreler kararlıdır. Ancak yüksek f'lerde elemanlar arası kapasiteler GB yapabilir. Burada dikkat etmek gerekir.



Nyquist çiziminde her w değeri için L(jw)'nın genlik ve açısı belirlenebilir. Bu değerler sanal ve reel eksen üzerine yerleştirilip noktalar birleştirilir ve bir eğri elde edilir. Bunun üzerinden yorum yapılır.

Örnek: $L(jw) = \frac{-5}{[1+j(w/w_2)]^3}$ bir gb'li yükseltecin açık çevrim kazancıdır. Nyquist diyagramını oluşturalım.

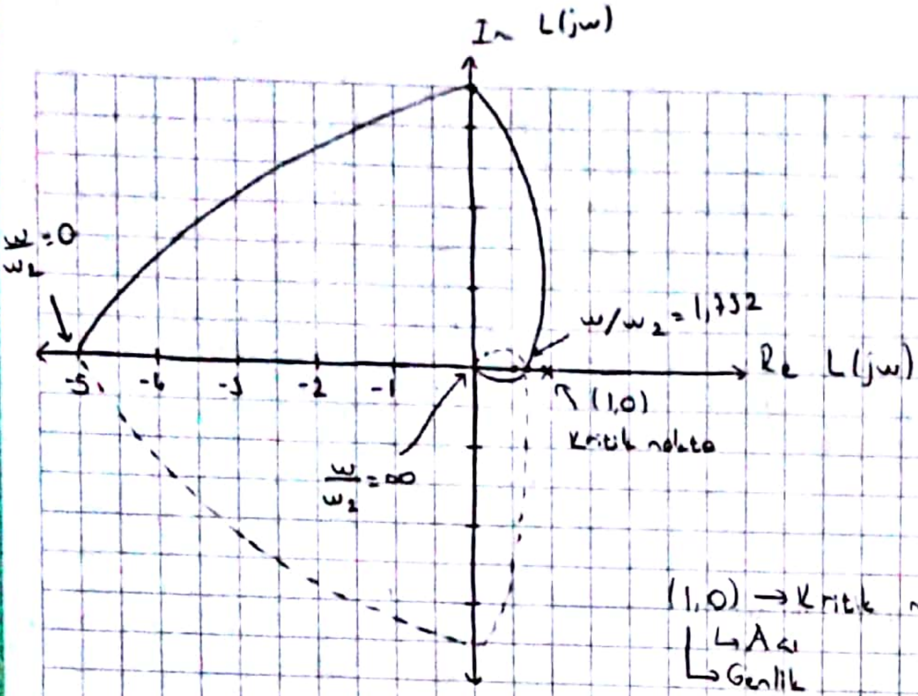
w/w_2	$L(jw)$
0	$5\angle 180°$
0,577	$3,25\angle 150°$
1,732	$0,625\angle 0°$
∞	0

Barkhausen kriteri (1,0)

$$\frac{5}{\left(\sqrt{1+\left(\frac{w}{w_2}\right)^2}\right)^3} = 1 \qquad \frac{w}{w_2} = 1,38$$

$$L(jw) = \frac{5\angle 180°}{(1,704\angle 54°)^3} = 1\angle 18° \qquad \text{faz marjini} = 18°$$

kazanç marjini = 4,08 dB



⇒ L(jw)'nın kutupsal eğrisi ve eksenlerin oluşturduğu kapalı alan (0,1) kritik noktasını çevrelemiyorsa sistem KARARLIdır.

⇒ Örnekteki sistem kararlı bir yapıya sahiptir.

(1,0) → Kritik noktasının anlamı (hem kazanç var hem de faz)
└ ↳ Açı
└ ↳ Genlik

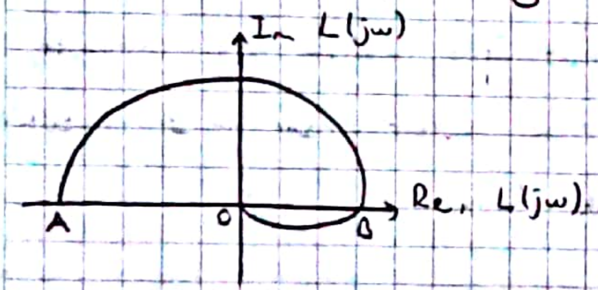
$$180-3\arctan\left(\frac{w}{w_2}\right)=180 \Rightarrow \tan 0=\frac{w}{w_2}=0$$

$$180-3\arctan\left(\frac{w}{w_2}\right)=30 \Rightarrow \tan 30=\frac{w}{w_2}=0{,}577$$

$\tan 60=\frac{w}{w_2}=1{,}73$ çizilen Nyquist eğrisi

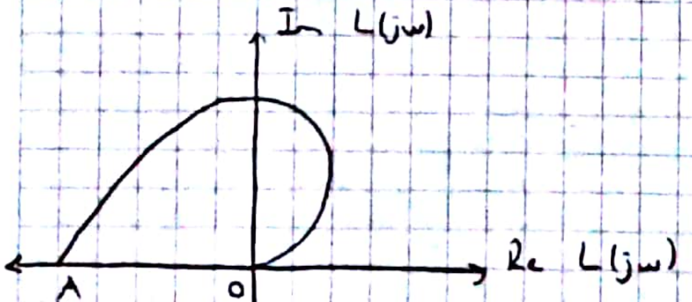
⇒ Yükselteçlerde 3 tip Nyquist diyagramı ortaya çıkar;

1) Olası (geribeslemeli) Nyquist Diyagramı:



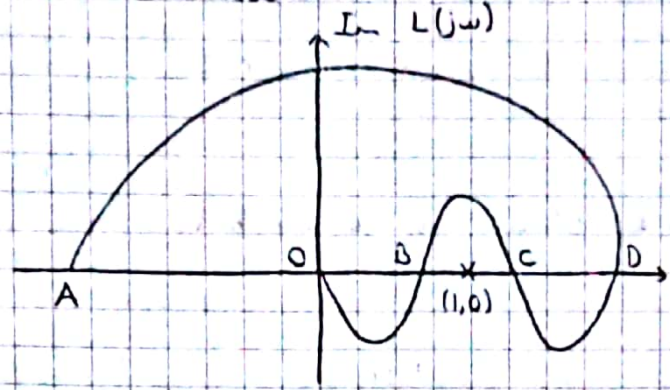
* $\overline{OA}$: orta band kazancı
* $\overline{OB}<1$ ise yükselteç kararlı
* $\overline{OB}>1$ ise yükselteç kararsız

2) (Geribeslemesiz) Mutlak kararlı sistem; burada reel ekseni kesmiyor, kesin kararlı.



* Geri besleme içermiyor.

3) Koşullu kararlı sistem



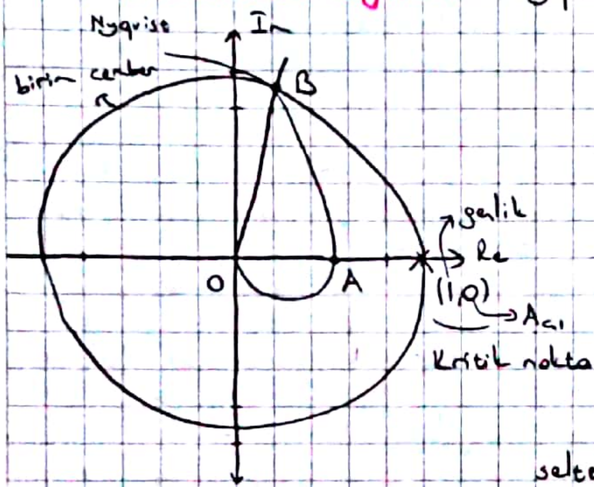
* $\overline{OD} < 1$ veya

$\overline{OB} < 1$ ve $\overline{OC} > 1$ ise kararlı

değilse kararsız.

Genlik -1
Açı -0
} olacak

Kazanç ve Faz Marjinleri (Nyquist diyagramı üzerinden bulunur)



GM (Gain marjin)
Kazanç marjini $|_{dB} = -20 \log \overline{OA}$

faz marjini ⇒ ∡ BOA açısı

⇒ Faz ve kazanç marjini ne kadar büyükse yükseltecin osilasyona girme riski o kadar az olur. Kazanç ve faz marjinlerinin bilinmesinin önemi;

Nyquist diyagramı kritik noktaya çok yakın geçebilir. Eğer besleme gerilimi artarsa ya da devredeki aktif eleman parametreleri değişirse kazanç artabilir. Artan bu kazanç kritik noktanın çevrelenmesine ve osilasyonun başlamasına neden olabilir.

→ Kazanç ve faz marjinini w eksenine göre çizersek;