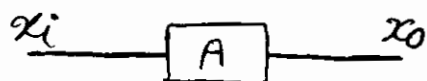
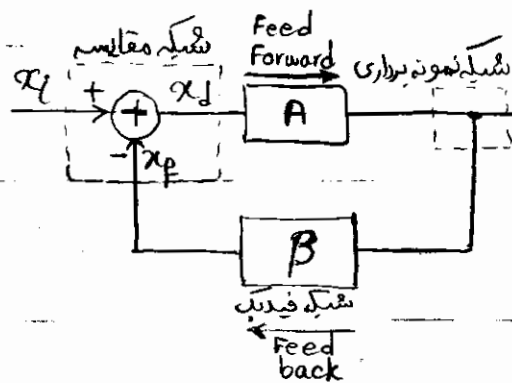


فیدبک منفی در تقویت کننده :



در ترانزیستورهای بدون فیدبک اگر خروجی اعوجاج بدست آید (در اثر اشباع یا قطع) ،

خروجی تصحیح نخواهد شد. برای تصحیح خروجی از یک شبکه نمونه برداری استفاده



می کنیم که از خروجی نمونه برمی دارد و توسط

شبکه فیدبک به شبکه مقایسه کننده می رود تا با ورودی

مقایسه شود.

$$x_o = A x_d \quad , \quad x_d = x_i - x_f \quad , \quad x_f = \beta x_o$$

$$\rightarrow x_o = A(x_i - \beta x_o) \quad , \quad A_f = \frac{x_o}{x_i} = \frac{A}{1 + \beta A}$$

فیدبک منفی $1 + \beta A > 1$ ، فیدبک منفی $A_f < A$
 فیدبک مثبت $1 + \beta A < 1$

تشخیص نوع فیدبک مدار :

مقایسه	A	β	علامت فیدبک
-	+	+	- منفی
+	+	+	+ مثبت
⋮	⋮	⋮	⋮

در فیدبک مثبت :

- $| \beta A | = 1 - \epsilon \rightarrow A_f \rightarrow \infty$
- $| \beta A | = 1 \rightarrow A_f = \infty$
- $| \beta A | > 1 \rightarrow$ مدار ناپایدار

مثال: فرض کنیم $A=100$, $\beta=100\%$ باشد آن گاه:

x_i	βx_0 x_f	$x_i + x_f$ x_d	x_0
۱	۰	۱	۱۰۰
۱	۰/۵	۱/۵	۱۵۰
۱	۰/۷۵	۱/۷۵	۱۷۵
			\vdots
۱	۱	۲	۲۰۰ همگرا به

۵۰
↓
۲۵

x_i	x_f	x_d	x_0
۱	۰	۱	۱۰۰
۱	۲	۳	۳۰۰
۱	۶	۷	۷۰۰

اگر $A=100$ و $\beta=10\%$

۲۰۰
۴۰۰

در تقویت کننده با شبکه فیدبک در ازای از دست دادن گین به یک سری بهبودی هلی کلی و یک

سری بهبودی هلی جزئی (در تقویت کننده هلی خاص) می رسمیم:

۱- تأثیر فیدبک منفی بر تغییر گین تقویت کننده:

بدون فیدبک
 $\frac{dA}{A}$

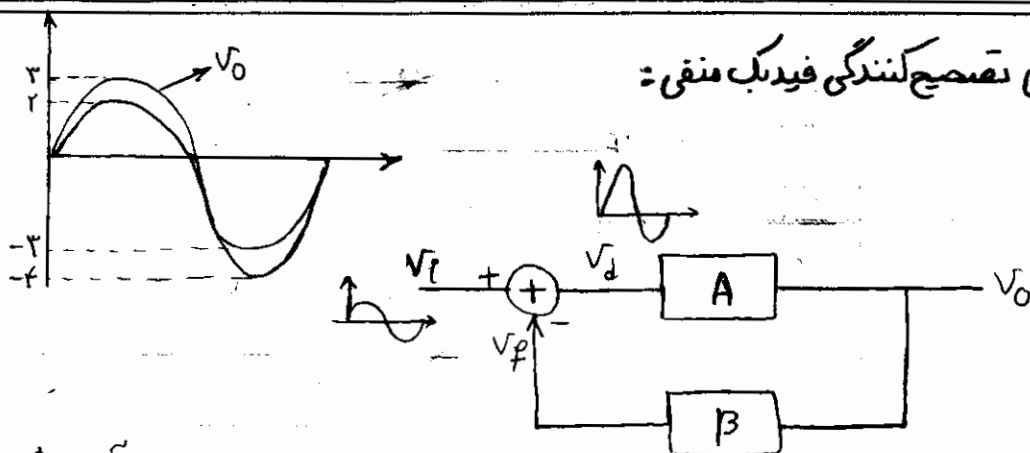
با وصل فیدبک
 $\frac{dA_f}{A_f}$

$$A_f = \frac{A}{1+\beta A} \rightarrow dA_f = \frac{dA(1+\beta A) - A(\beta dA)}{(1+\beta A)^2} = \frac{dA}{(1+\beta A)^2}$$

$$\rightarrow dA_f = \frac{dA/A \times A}{(1+\beta A)(1+\beta A)}$$

$$\rightarrow \frac{dA_f}{A_f} = \frac{dA/A}{1+\beta A}$$

بررسی تصحیح‌کنندگی فیدبک منفی:



آزنان مثبت

$$V_o^+ = A^+ V_d^+ = 2 \times (V_i - V_f^+)$$

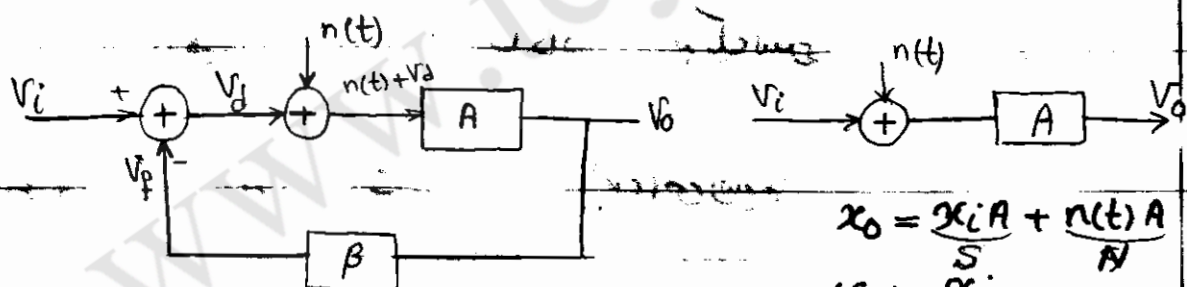
$$V_o^+ = 2 \times (V_i - \beta V_o^+)$$

$$V_o^- = A^- V_d^- = 4 \times (V_i - V_f^-)$$

$$V_o^- = 4 \times (V_i - \beta V_o^-)$$

۲- تأثیر فیدبک منفی بر نویز (noise):

در تقویت‌کننده‌ها مقدار سیگنال به نویز است $(\frac{S}{N})$ که از اهمیت زیادی برخوردار است.



$$X_o = \frac{X_i A}{S} + \frac{n(t) A}{A}$$

$$\rightarrow \left(\frac{S}{N}\right)_o = \frac{X_i}{n(t)}$$

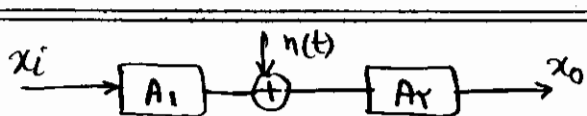
$$V_o = A (n(t) + V_d)$$

$$V_o = A (n(t) + V_i - \beta V_o)$$

$$V_o = \frac{A}{1 + \beta A} V_i + n(t) \frac{A}{1 + \beta A}$$

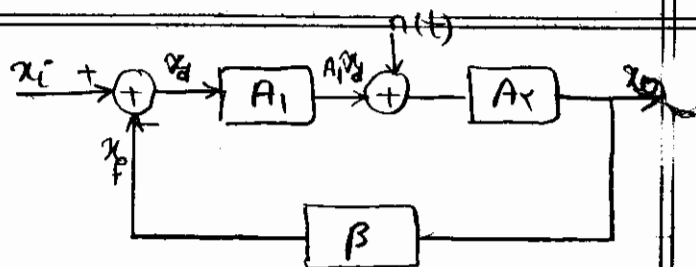
$$\rightarrow \left(\frac{S}{N}\right)_{of} = \frac{V_i}{n(t)}$$

اگر نویز در طبقه سیانی بر تقویت‌کننده وارد شود آنگاه:



$$x_0 = \frac{x_i A_1 A_r}{S} + \frac{n(t) A_r}{N}$$

$$\rightarrow \left(\frac{S}{N}\right)_o = \frac{x_i}{n(t)} \cdot A_1$$



$$x_0 = A_r (A_1 x_d + n(t))$$

$$x_0 = A_r [A_1 (x_i - x_f) + n(t)]$$

$$x_0 = A_r [A_1 (x_i - \beta x_0) + n(t)]$$

$$x_0 = \frac{A_1 A_r}{1 + \beta A_1 A_r} x_i + \frac{A_r}{1 + \beta A_1 A_r} n(t)$$

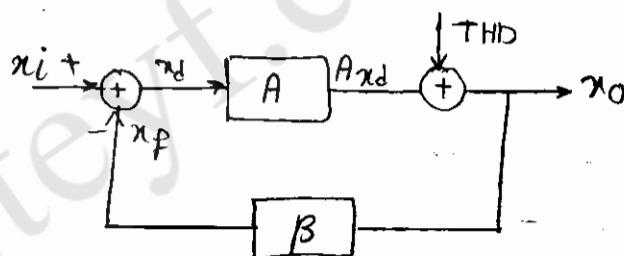
$$\rightarrow \left(\frac{S}{N}\right)_{of} = A_1 \frac{x_i}{n(t)}$$

۳- تأثیر فیدبک منفی بر THD (total harmonic distortion) :



$$x_0 = x_i A + \text{THD}$$

$$\rightarrow \frac{S}{N} = \frac{x_i}{\text{THD}} A$$



$$x_0 = A x_d + \text{THD} = [A (x_i - x_f) + \text{THD}]$$

$$x_0 = [A (x_i - \beta x_0) + \text{THD}]$$

$$x_0 = \frac{A}{1 + \beta A} x_i + \frac{\text{THD}}{1 + \beta A} \rightarrow \left(\frac{S}{N}\right)_f = \frac{A x_i}{\text{THD}}$$

۴- اثر فیدبک منفی بر فرکانس قطع پایین :

$$A(s) = A_o \frac{s}{s + \omega_L}, \quad A_f = \frac{A(s)}{1 + \beta A(s)}$$

$$\rightarrow A_f = \frac{A_o \frac{s}{s + \omega_L}}{1 + \beta A_o \frac{s}{s + \omega_L}} = \frac{A_o s}{(1 + \beta A_o) s + \omega_L} = \frac{A_o}{1 + \beta A_o} \times \frac{s}{s + \frac{\omega_L}{1 + \beta A_o}}$$

$$\rightarrow A_f = A_{f0} \times \frac{s}{s + \omega_{Lf}}$$

$\omega_{Lf} = \frac{\omega_L}{1 + \beta A_o}$

۵- اثر فید بک منفی بر فرکانس قطع بالا :

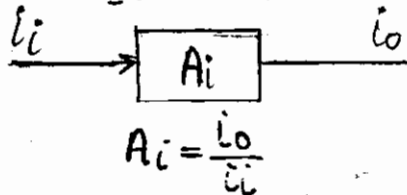
$$A(s) = A_o \times \frac{\omega_H}{\omega_H + s}$$

$$A_f = \frac{A(s)}{1 + \beta A(s)} = \frac{A_o \frac{\omega_H}{s + \omega_H}}{1 + \beta A_o \frac{\omega_H}{s + \omega_H}} = \frac{A_o \omega_H}{(1 + \beta A_o) \omega_H + s} = \frac{A_o}{1 + \beta A_o} \times \frac{\omega_H (1 + \beta A_o)}{s + (1 + \beta A_o) \omega_H}$$

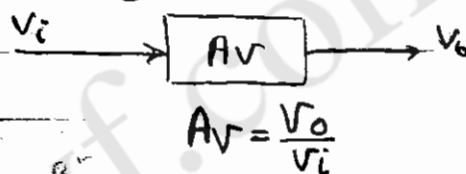
$$\rightarrow A_f = \frac{A_o}{1 + \beta A_o} \times \frac{\omega_H (1 + \beta A_o)}{s + (1 + \beta A_o) \omega_H}$$

انواع تقویت کننده ها :

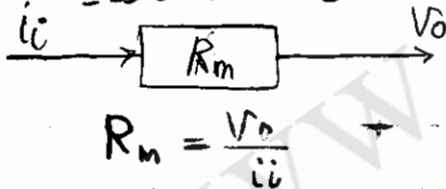
تقویت کننده جریان



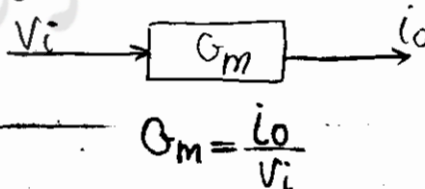
تقویت کننده ولتاژ



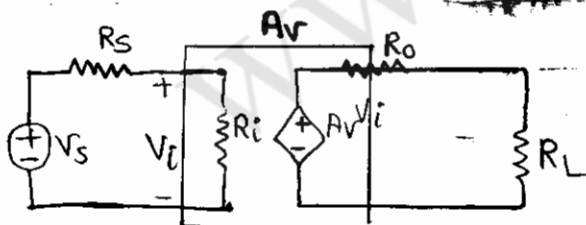
تقویت کننده ترانس رزیستانس



تقویت کننده ترانس کنдукانس



تقویت کننده ولتاژ ایده آل
(R_o اتصال کوتاه و R_i مدار باز)



$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{A_v V_i}{V_i} = A_v$$

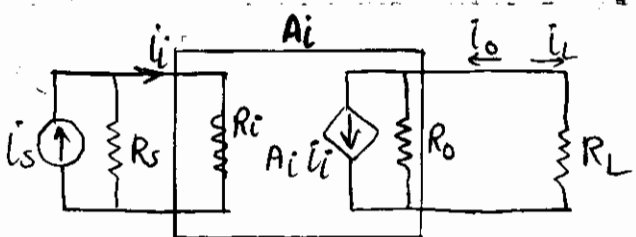
$$A_{V_s} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_i} \cdot \frac{V_i}{V_s} = A_v$$

در تقویت کننده واقعی R_o و R_i اضافی شوند که خواص داشت :

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{A_v V_i \frac{R_L}{R_L + R_o}}{V_i} = A_v \times \frac{R_L}{R_L + R_o}$$

$$A_{V_s} = \frac{V_o}{V_i} \cdot \frac{V_i}{V_s} = \frac{R_i}{R_i + R_s} \times \frac{R_L}{R_L + R_o} \times A_v$$

تقویت کننده جریان ایده آل :



$$\frac{i_o}{i_i} = \frac{A_i \cdot i_i}{i_i} = A_i$$

$$A_{is} = \frac{i_o}{i_s} = \frac{i_o}{i_i} \cdot \frac{i_i}{i_s} = A_i$$

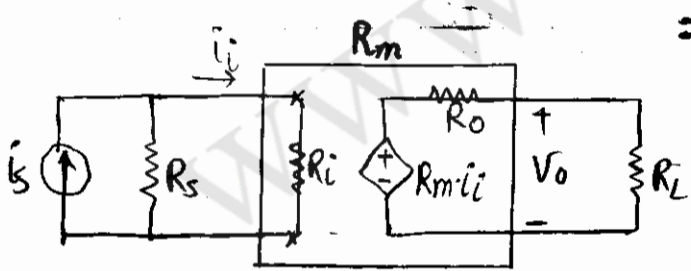
در تقویت کننده جریان واقعی امپدانسهای R_i و R_o اضافی شوند:

$$\frac{i_o}{i_i} = \frac{A_i \cdot i_i \cdot \frac{R_o}{R_o + R_L}}{i_i} = A_i \times \frac{R_o}{R_o + R_L}$$

$$A_{is} = \frac{i_o}{i_s} = \frac{i_o}{i_i} = \frac{i_i}{i_s}$$

$$\rightarrow A_{is} = A_i \cdot \frac{R_s}{R_s + R_i} \times \frac{R_o}{R_o + R_L}$$

تقویت کننده ترانس رزیستنس ایده آل :



$$\frac{V_o}{i_i} = \frac{R_m i_i}{i_i} = R_m$$

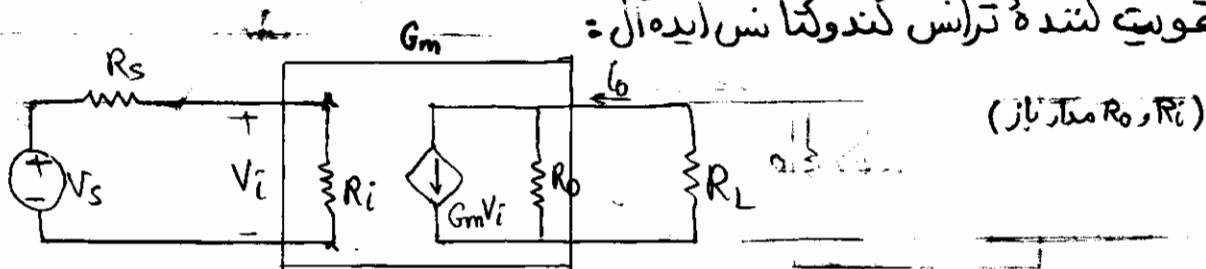
$$R_{ms} = \frac{V_o}{i_s} = \frac{V_o}{i_i} \times \frac{i_i}{i_s} = R_m$$

در تقویت ولتی واقعی مقاومت های R_i و R_o اضافی شوند:

$$\frac{V_o}{i_i} = \frac{R_m i_i \cdot \frac{R_L}{R_L + R_o}}{i_i} = R_m \cdot \frac{R_L}{R_L + R_o}$$

$$R_{ms} = \frac{V_o}{i_s} = \frac{V_o}{i_i} \times \frac{i_i}{i_s} \rightarrow R_{ms} = R_m \times \frac{R_L}{R_L + R_o} \times \frac{R_s}{R_s + R_i}$$

تقویت کننده ترانس کندوکتانس ایده آل:



$$G_m = \frac{i_o}{V_i} = \frac{G_m V_i}{V_i} \quad \text{و} \quad G_{ms} = \frac{i_o}{V_s} = \frac{i_o}{V_i} \times \frac{V_i}{V_s} = G_m$$

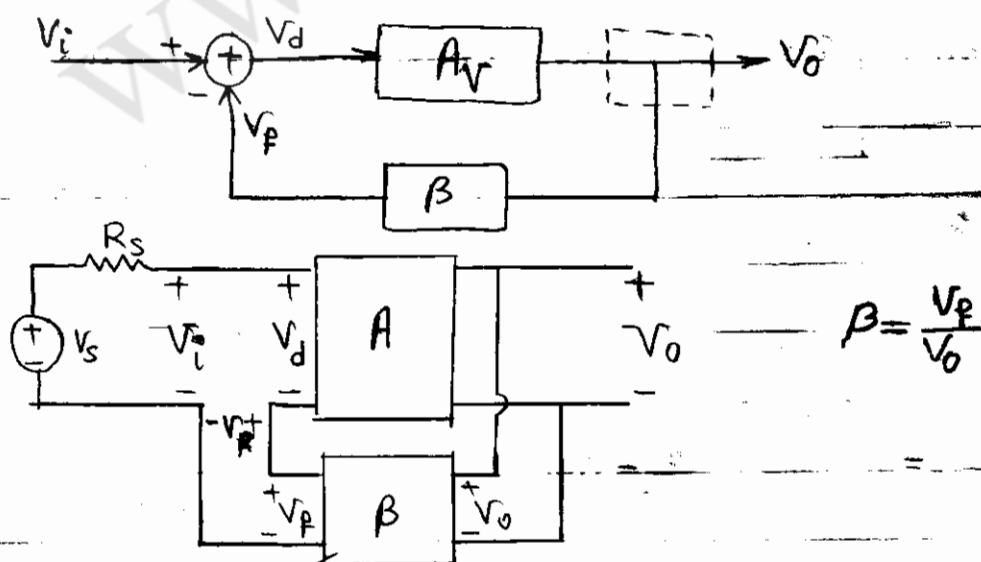
در تقویت کننده واقعی مقادیر R_i و R_o اضافه می شوند:

$$\frac{i_o}{V_i} = \frac{G_m V_i \times \frac{R_o}{R_o + R_L}}{V_i} = G_m \times \frac{R_o}{R_o + R_L}$$

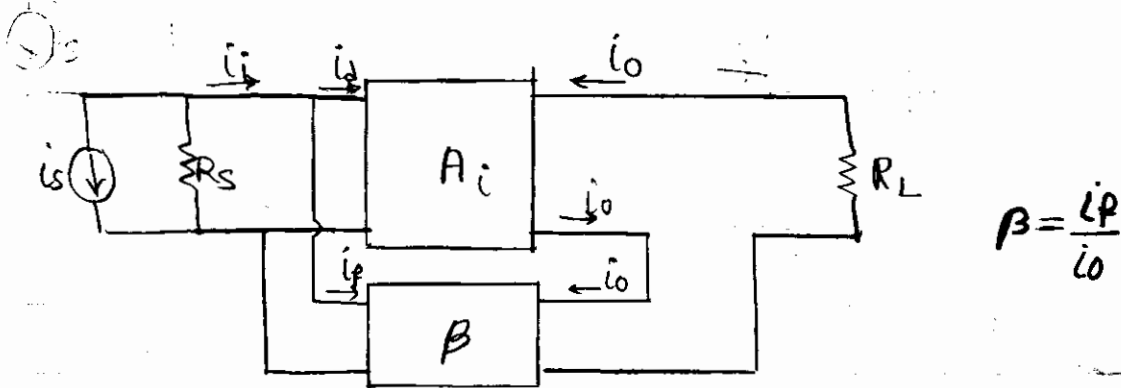
$$G_{ms} = \frac{i_o}{V_s} = \frac{i_o}{V_i} \times \frac{V_i}{V_s} \rightarrow G_{ms} = G_m \times \frac{R_o}{R_o + R_L} \times \frac{R_i}{R_i + R_s}$$

فیدبک و انواع آن:

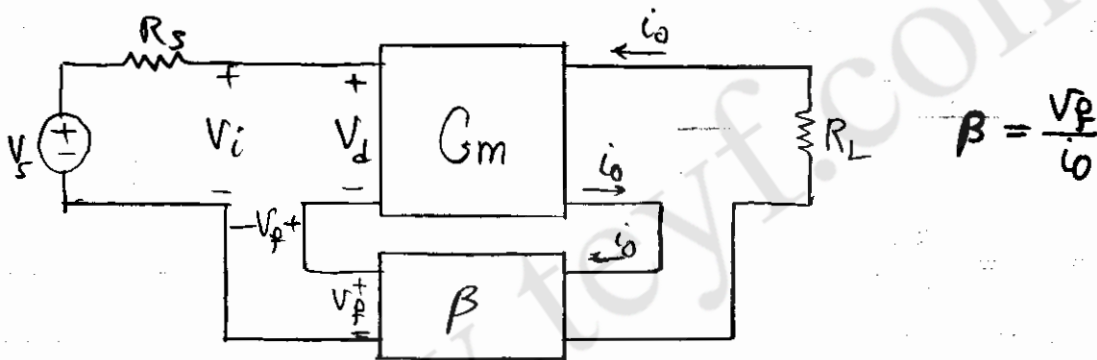
فیدبک ولتاژ-ولتاژ یا شنت-سری یا شنت-ولتاژ یا سری-ولتاژ:



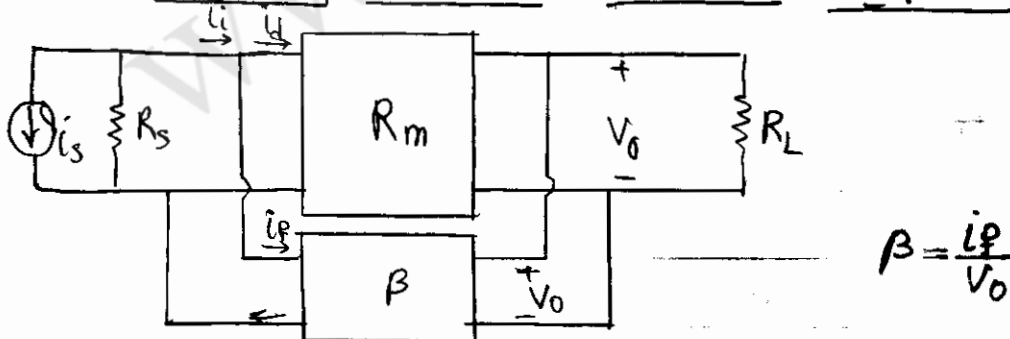
۲- فیدبک جریان-جریان یا سری-شنت یا جریان-جریان یا شنت-شنت:



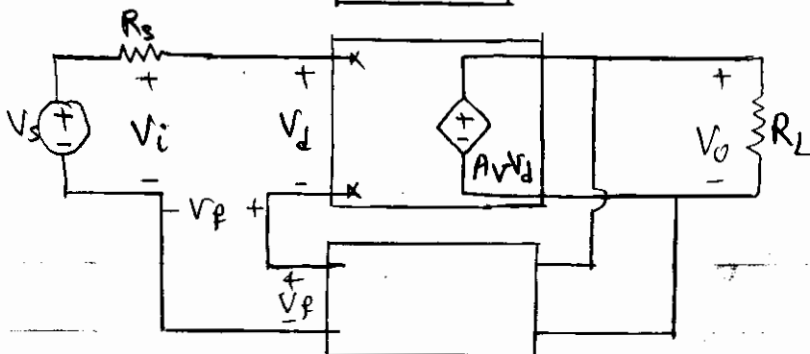
۳- فیدبک جریان-ولتاژ یا سری-سری یا سری-ولتاژ یا جریان-سری:

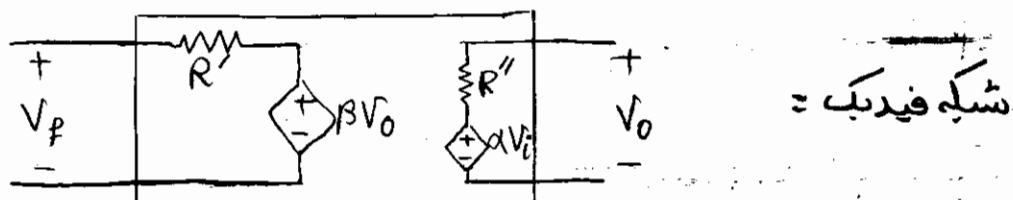


۳- فیدبک ولتاژ-جریان یا شنت-شنت یا شنت-جریان یا ولتاژ-شنت:

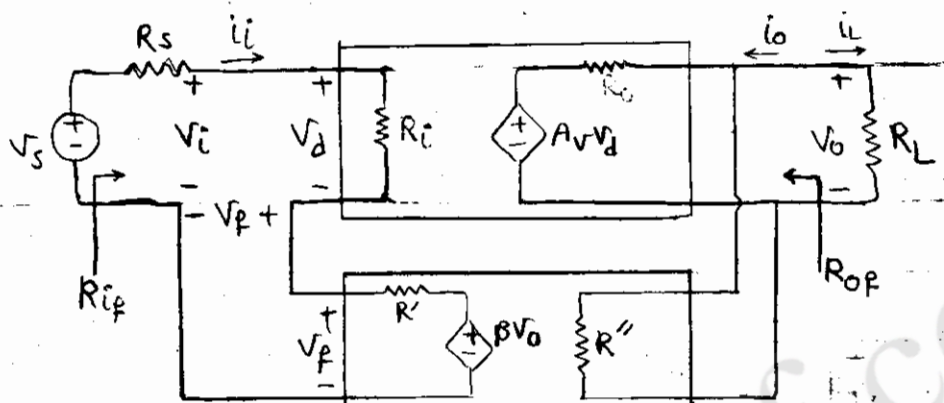


فیدبک ولتاژ-سری:





در محاسبات از منبع αV_i صرف نظر می‌کنیم که تقریب خوبی است.



در حالت ایده آل:

$$A_{Vp} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{A_v}{1 + \beta A_v}$$

$$V_o = A_v \cdot V_d = A_v (V_i - V_p)$$

$$V_o = A_v (V_i - \beta V_o)$$

$$A_{Vp} = A_{Vfs}$$

$$A_{Vp} = \frac{V_o}{V_i}$$

در حالت واقعی:

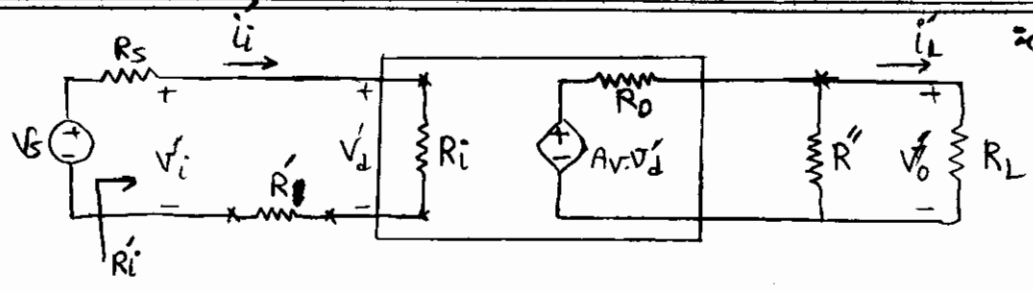
$$V_o = A_v \cdot V_d \approx \frac{R_L \parallel R''}{(R_L \parallel R'') + R_o} \cdot V_d, \quad V_d = V_i - V_p = V_i - (i_i R' + \beta V_o)$$

$$V_d = V_i - \left(\frac{V_d}{R_i} R' + \beta V_o \right)$$

$$V_d = (V_i - \beta V_o) \frac{R_i}{R_i + R'}$$

$$\rightarrow V_o = A_v \cdot \frac{R_i}{R_i + R'} \times \frac{R_L \parallel R''}{(R_L \parallel R'') + R_o} (V_i - \beta V_o)$$

لقوت کننده کلمه

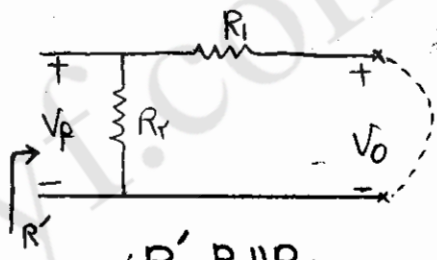
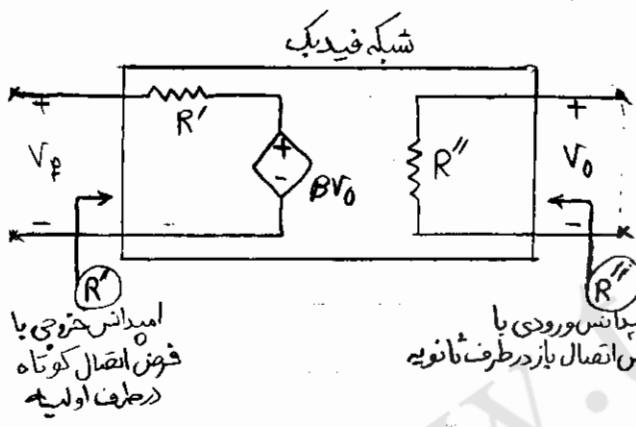


$$A_v = \frac{V_o}{V_i}$$

در این مرحله فقط R_0 را داریم
و R_0 در مرحله بعد اضافه می شوند.

$$R', R_i \rightarrow A'_v = \frac{V_o}{V_i'} = \frac{V_o}{V_d} \times \frac{V_d}{V_i'} = A_v \frac{R_i}{R_0 + R_i}$$

$$R'', R_0 \rightarrow A'_v = \frac{V_o}{V_i'} = A'_v \frac{R_i}{R' + R_i} \times \frac{R_L \parallel R''}{(R_L \parallel R'') + R_0}$$



$$\begin{cases} R' = R_i \parallel R_r \\ R'' = R_i + R_r \\ \beta = \frac{R_r}{R_i + R_r} \end{cases}$$

$$R_{if} = \frac{V_i}{i_i}, \quad V_i = V_d + V_p = R_i i_i + R' i_i + \beta V_o \rightarrow A_v \times V_i$$

$$\rightarrow V_i (1 - \beta A_v) = i_i (R_i + R')$$

$$\rightarrow R_{if} = \frac{R_i + R'}{1 - \beta A_v} > R_i$$

$$R_{if} = \frac{R_i + R'}{1 - \beta \frac{A'_v}{1 + \beta A'_v}} = (1 + \beta A'_v)(R_i + R') = (1 + \beta A'_v)(R'_i)$$

$$\rightarrow R_{if} = (1 + \beta A'_v)(R'_i)$$

$$R_{of} = \left. \frac{V_o}{V_i} \right|_{V_s=0}, \quad i_o = i_{R_0} + i_{R''} = \frac{(V_o - A_v V_d)}{R_0} + \frac{V_o}{R''}$$

$$V_d = V_i - V_f = \frac{R_i}{R_i + R' + R_s} (-\beta V_o)$$

$$\rightarrow i_o = V_o \left[\frac{1}{R_o} (1 + \beta A'_{V_{SNL}} \times \frac{R_i}{R_i + R' + R_s}) + \frac{1}{R'} \right]$$

$$\rightarrow \frac{V_o}{i_o} = \frac{1}{\frac{1 + \beta A'_{V_{SNL}}}{R_o} + \frac{1}{R'}} = \frac{R_o}{1 + \beta A'_{V_{SNL}}} \parallel R''$$

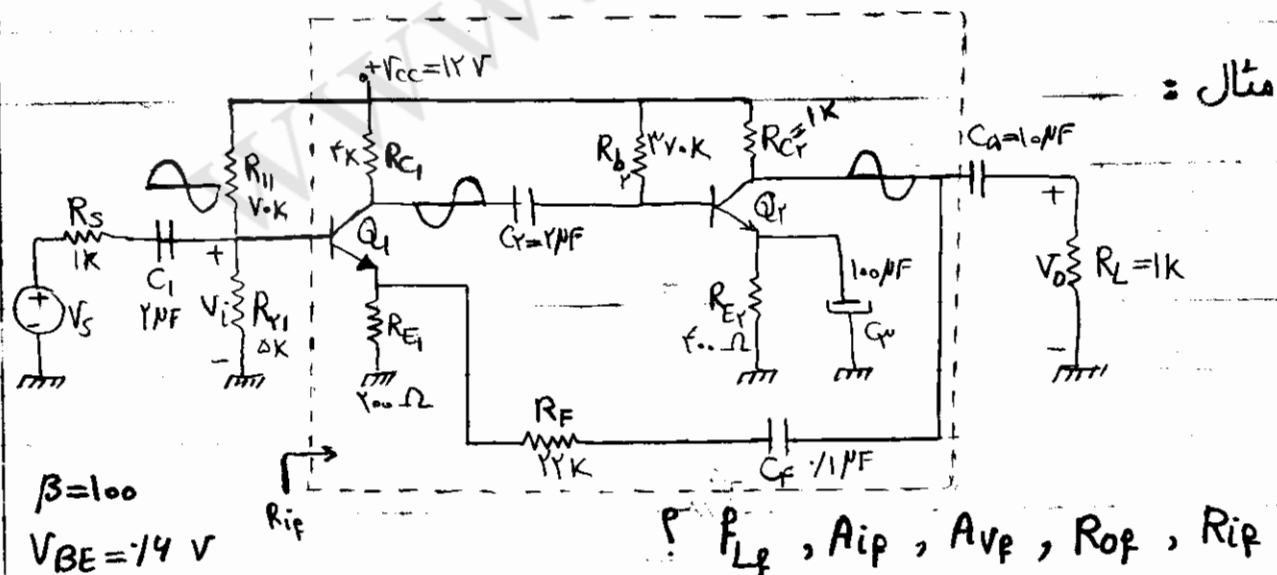
$$\rightarrow R_{of} = \frac{R_o}{1 + \beta A'_{V_{SNL}}} \parallel R''$$

$$A_{if} = \frac{i_L}{i_i}, \quad A_{Vf} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{i_L \cdot R_L}{i_i \cdot R_{if}} \rightarrow A_{if} = A_{Vf} \times \frac{R_{if}}{R_L}$$

$$\rightarrow A_{if} = \frac{A'_V}{1 + \beta A'_V} \times \frac{(1 + \beta A'_V) R'_i}{R_L} \rightarrow A_{if} = A'_V \times \frac{R'_i}{R_L}$$

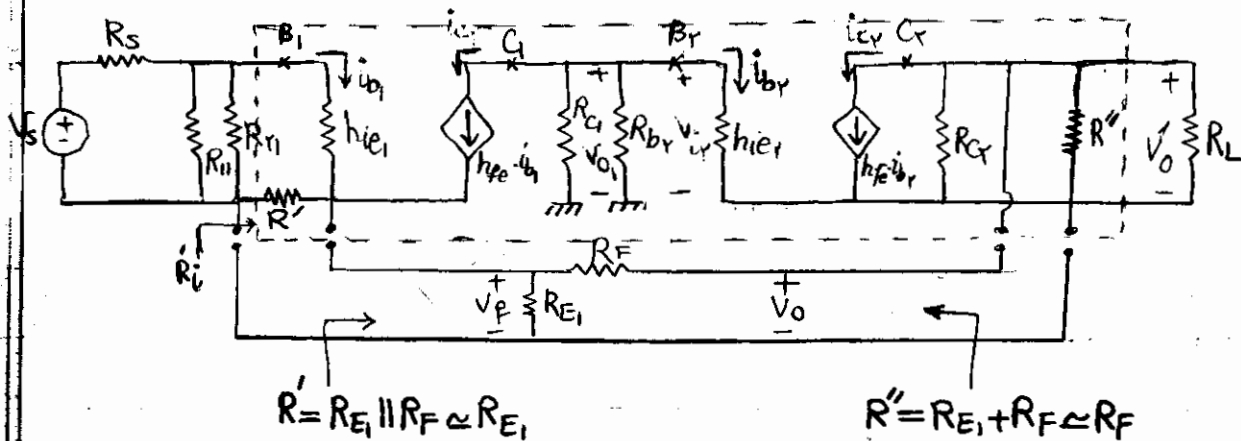
$$\rightarrow A_{if} = \frac{V_o}{V'_i} \times \frac{R'_i}{R_L} = \frac{i'_L \cdot R_L}{i'_L \cdot R'_i} \times \frac{R'_i}{R_L} = A'_i \rightarrow A_{if} = A'_i$$

چون در ورودی مقایسه می‌کنیم تا اثری انجام و در خروجی گین جریان تغییری نمی‌کند



$$Q_1 \begin{cases} I_{C1} = 1 \text{ mA} \\ V_{CE1} = 11 \text{ V} \\ h_{ie1} = 1.1 \text{ k}\Omega \end{cases}$$

$$Q_2 \begin{cases} I_{C2} = 1 \text{ mA} \\ V_{CE2} = 11 \text{ V} \\ h_{ie2} = 1.1 \text{ k}\Omega \end{cases}$$



$$\beta = \frac{V_P}{V_O} = \frac{R_E}{R_E + R_F} = 9 \times 10^{-3}$$

$$A_{V_P} = \frac{A'_V}{1 + \beta A'_V}, \quad A'_V = A_{V_1} \times A_{V_2}$$

$$A_{V_2} = \frac{V_{O_2}}{V_{i_2}} = \frac{-h_{fe} \times i_{b_2} (R_L \parallel R'' \parallel R_{C_2})}{i_{b_2} \times h_{ie_2}} \approx -1.1$$

$$A_{V_1} = \frac{V_{O_1}}{V_{i_1}} = \frac{-h_{fe} i_{b_1} (R_{C_1} \parallel R_{B_2} \parallel h_{ie_2})}{i_{b_1} \times h_{ie_1} \parallel R' (1 + h_{fe}) i_{b_1}} = -1.1$$

$$\rightarrow A'_V = 1.21 \rightarrow A_{V_P} = 40.12$$

$$R_{if} = R'_i (1 + \beta A'_V) = [h_{ie_1} + (1 + h_{fe}) R'] (1 + \beta A'_V) = 20.12 \text{ k}\Omega$$

$$R_i = R_{if} \parallel R_{B_1} \parallel R_{B_2} = 1.2 \text{ k}\Omega$$

$$R_{O_P} = \frac{R_O}{1 + \beta A_{V_{SML}}} \parallel R''$$

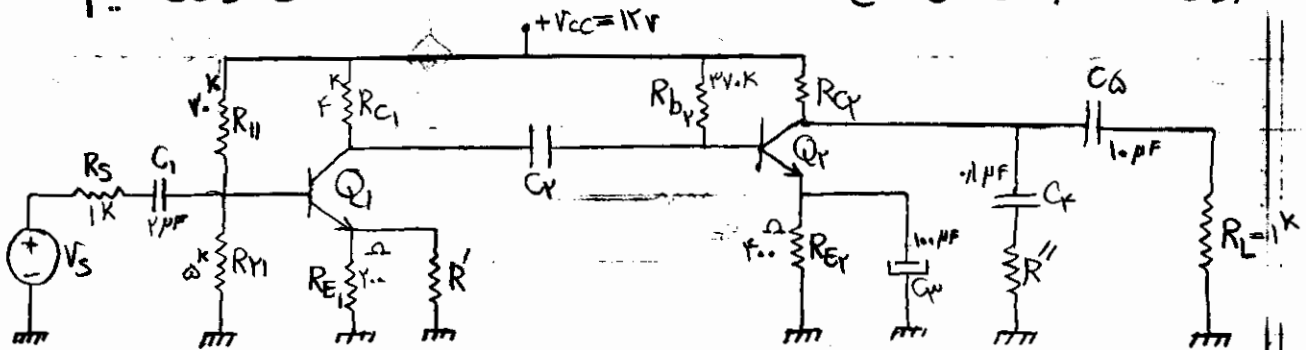
$$A_{V_{SML}} = A_{V_{VNL}} \times A_{V_{is}} = \frac{-h_{fe} R_{C_2}}{h_{ie_2}} \times \left(\frac{V_{O_1}}{V_{i_1}} \right) \left(\frac{V_{i_1}}{V_s} \right)$$

$$\rightarrow A_{V_{SML}} = \frac{-h_{fe} R_{C_2}}{h_{ie_2}} \times A_{V_1} \cdot \frac{R_{B_1} \parallel R_{B_2} \parallel R'_i}{(R_{B_1} \parallel R_{B_2} \parallel R'_i) + R_s} = 1.1$$

$$\rightarrow R_{O_P} = 333 \Omega$$

$$A_{i_P} = A_{V_P} \frac{R_{if}}{R_L} = 20.9$$

برای محاسبه فرکانس قطع مقاومتهای معادل را در تقویم کننده اصلی قرار می دهیم:



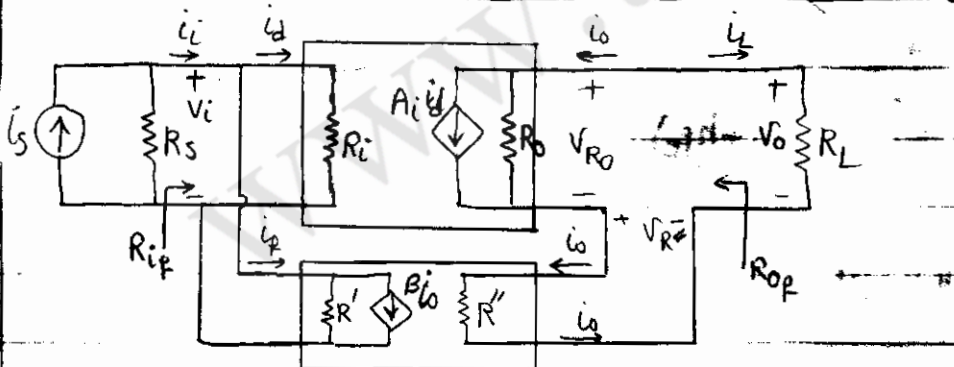
$$\rightarrow R_{Cf} = [R' + (R_L \parallel R_{Cr})], R_{C1}, R_{Cr}, R_{C\pi}, \dots$$

$$\rightarrow f_1 = 23 \text{ Hz}, f_2 = 14 \text{ Hz}, f_3 = 32 \text{ Hz}, f_4 = 61 \text{ Hz}$$

$$, f_5 = 8 \text{ Hz}$$

$$f_{LP} = \frac{f_L'}{1 + \beta A_V'} = \frac{150}{7.18} \text{ Hz} \rightarrow f_{LP}^0 = 150 \text{ Hz}$$

فیدبک جریان-شنت :



$$A_{if} = \frac{i_o}{i_i}$$

$$i_o = A_i \cdot i_d = A_i (i_i - i_f) = A_i (i_i - \beta i_o) \rightarrow A_{if} = \frac{A_i}{1 + \beta A_i}$$

در حالت واقعی خواهیم داشت :

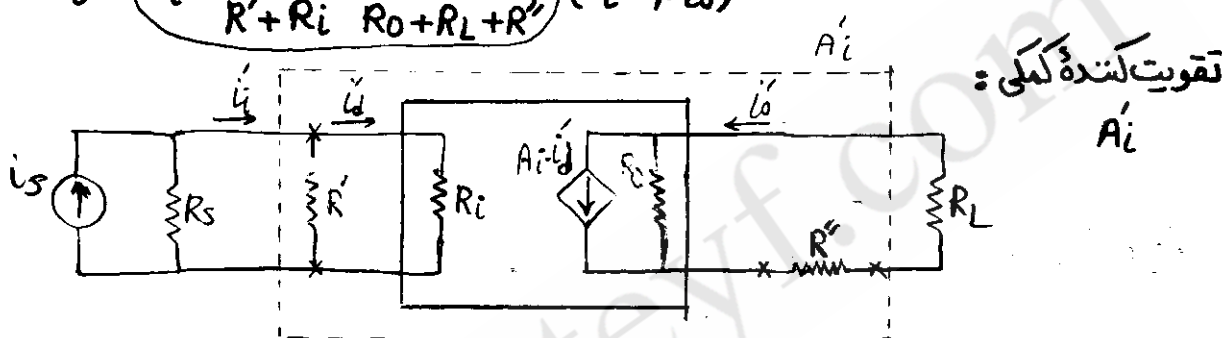
$$A_{if} = \frac{i_o}{i_i}$$

$$i_o = A_i i_d = \left(\frac{R_o}{R_o + R_L + R''} \right)$$

$$i_d = i_i - i_f = i_i - (i_{R'} + \beta i_o) = i_i - \left(\frac{V_i}{R'} + \beta i_o \right)$$

$$\rightarrow i_d = (i_i - \beta i_o) \frac{R'}{R' + R_i}$$

$$\rightarrow i_o = \left(A_i \cdot \frac{R'}{R' + R_i} \cdot \frac{R_o}{R_o + R_L + R''} \right) (i_i - \beta i_o)$$



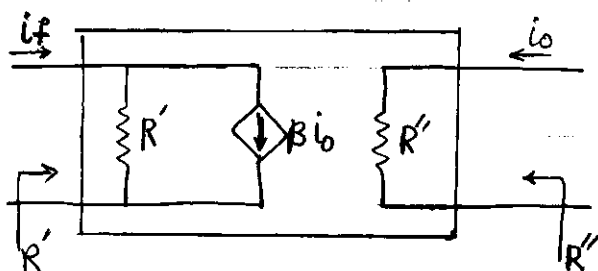
$$\frac{i_o}{i_i} = \frac{i_o}{i_d} \cdot \frac{i_d}{i_i} = \frac{A_i i_d}{i_d} \cdot \frac{i_d}{i_i} = A_i \frac{R'}{R' + R_i}$$

با قرار دادن R_i و R' :

$$\frac{i_o}{i_i} = A_i \cdot \frac{R'}{R' + R_i} \cdot \frac{R_o}{R_o + R_L + R''}$$

بعد از قرار دادن R_o و R'' :

$$\rightarrow A_{if} = \frac{i_o}{i_i} = A_i \frac{R'}{R' + R_i} \cdot \frac{R_o}{R_o + R_L + R''}$$

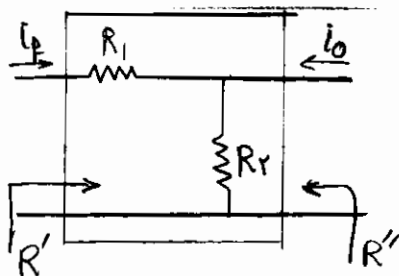


R'' = امپدانس ورودی فیدبک با فرض اتصال کوتاه در طرف ثانویه

R' = امپدانس خروجی فیدبک با فرض اولیه باز

$$\beta = \frac{i_f}{i_o} = \frac{\beta i_o}{i_o} = \beta$$

با فرض اتصال کوتاه خروجی



$$R'' = R_i \parallel R_r, \quad R' = R_i + R_r, \quad \beta = \frac{-R_r}{R_i + R_r}$$

محاسبه امپدانسهای تقویت کننده:

$$R_{if} = \frac{V_i}{i_i}$$

$$i_i = i_d + i_f = \frac{V_i}{R_i} + i_{R'} + \beta i_o = \frac{V_i}{R_i} + \frac{V_i}{R'} + \beta A_{if} i_i$$

$$\rightarrow V_i \left(\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R'} \right) = i_i (1 - \beta A_{if})$$

$$\rightarrow \frac{V_i}{i_i} = \frac{1 - \beta A_{if}}{\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R'}} = (1 - \beta A_{if}) (R_i \parallel R') \rightarrow R_{if} = (1 - \beta A_{if}) (R_i \parallel R') < R_i$$

$$R_{if} = \left(1 - \beta \frac{A_i}{1 + \beta A_i} \right) (R_i \parallel R') = \frac{R_i}{1 + \beta A_i} \rightarrow R_{if} = \frac{R_i}{1 + \beta A_i} < R_i$$

$$R_{of} = \frac{V_o}{i_o} \Big|_{i_s=0}$$

$$V_o = V_{R_o} + V_{R''} = R_o (i_o - A_i i_d) + R'' i_o$$

$$i_d = i_i - i_f = -\beta i_o \left(\frac{R_s \parallel R'}{R_s \parallel R' + R_i} \right)$$

$$V_o = i_o \left[R_o \left(1 + \beta A_i \left(\frac{R_s \parallel R'}{R_s \parallel R' + R_i} \right) \right) + R'' \right]$$

$$A'_{is} = \frac{i_o'}{i_s} = \frac{i_o'}{i_d'} \cdot \frac{i_d'}{i_s} = A_i' \cdot \frac{R' \parallel R_s}{R' \parallel R_s + R_i}$$

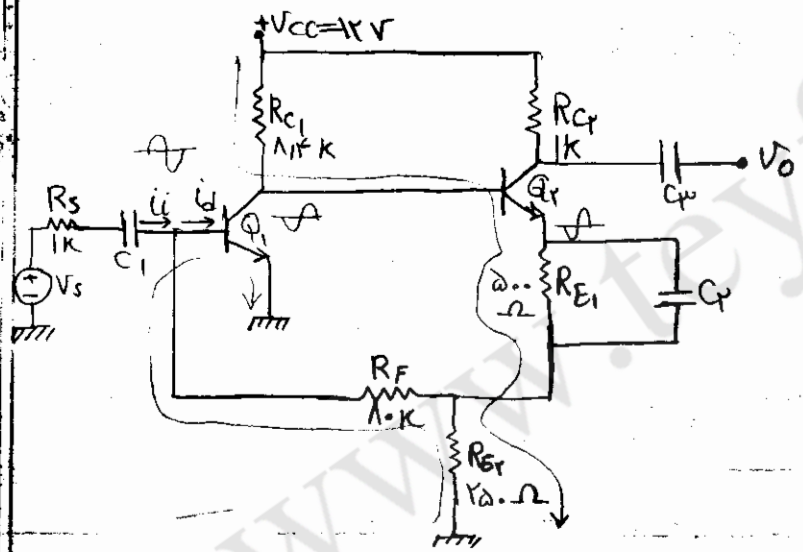
گین جریان تقویت کننده گیل
بدون بار خروجی

$$R_{of} = R_o(1 + \beta A'_{is_{NL}}) + R''$$

$$A_{vf} = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-i_o'}{i_i'} \cdot \frac{R_L}{R_{if}} = -A_{if} \cdot \frac{R_L}{R_{if}} \rightarrow A_{vf} = -A_{if} \cdot \frac{R_L}{R_{if}}$$

$$A_{vf} = \frac{-A_i}{1 + \beta A_i'} \cdot \frac{R_L}{\frac{R' \parallel R_s}{1 + \beta A_i'}} = -\cancel{A_i'} \cdot \frac{R_L}{R' \parallel R_s} = -\frac{i_o'}{i_i'} \cdot \frac{R_L}{R' \parallel R_s} = \frac{v_o'}{v_i'} = A_v'$$

$$\rightarrow A_{vf} = A_v'$$



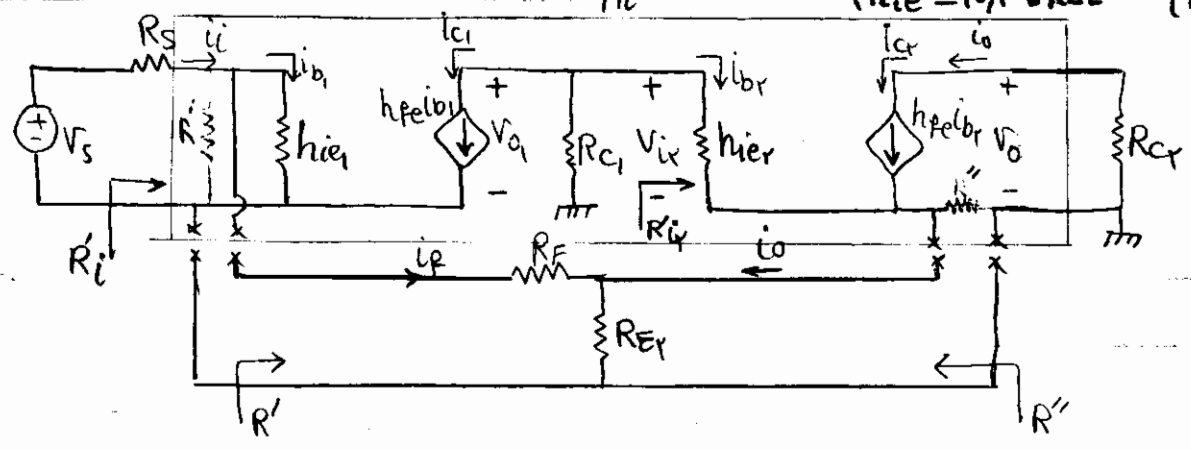
مثال :

$$\beta = h_{fe} = 200$$

$$V_{BE} = 0.7 \text{ V}$$

$$V_{CC} = R_{C1}(I_{C1} + I_{B1}) + V_{BE1} + (R_{E1} + R_{E2})I_{E1}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{E2}I_{E1} = R_F I_{B1} + V_{BE1} \\ \rightarrow Q_1 \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} I_{C1} = 1 \text{ mA} \\ V_{CE1} = 11.4 \text{ V} \\ h_{ie1} = 1.1 \text{ k}\Omega \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} I_{C2} = 1 \text{ mA} \\ V_{CE2} = 2 \text{ V} \\ h_{ie2} = 1.1 \text{ k}\Omega \end{array} \right.$$



نکته: در تقویت کننده با فیدبک جریان مقاومت R_{cr} را جدا و مستقل از تقویت کننده در نظر می گیریم

$$R'' = R_F \parallel R_{Er} \simeq R_{Er} \quad , \quad R' = R_F + R_{Er} \simeq R_F$$

$$\beta = \frac{I_F}{I_O} = \frac{-R_{Er}}{R_{Er} + R_F} = -0.1 \times 10^{-3} \quad R'_{ir} = h_{ier} + (1 + h_{fe})R''$$

$$A'_i = \frac{I'_O}{I'_i} = \frac{I'_O}{I_{br}} \cdot \frac{I_{br}}{I_{c1}} \cdot \frac{I_{c1}}{I_{b1}} \cdot \frac{I_{b1}}{I'_i}$$

$$= h_{fe} \cdot \frac{-R_{c1}}{R_{c1} + R'_{ir}} \cdot h_{fe} \cdot \frac{R'}{R' + h_{ie1}} = -1855$$

$$R_{ip} = \frac{R'_i}{1 + \beta A'_i} = \frac{R' \parallel h_{ie1}}{1 + \beta A'_i} = 545 \Omega$$

$$R_{op} = \underbrace{(R_O)}_{h_{oe}} (1 + \beta A'_{isNL}) + R'' = \infty$$

$$A'_{isNL} = \frac{I'_O}{I_s} = \frac{I'_O}{I_{br}} \cdot \underbrace{\left(\frac{I_{br}}{I_{c1}} \right)}_{\frac{-R_{c1}}{R_{c1} + h_{ie}}} \cdot \frac{I_{c1}}{I_{b1}} \cdot \underbrace{\left(\frac{I_{b1}}{I_s} \right)}_{\frac{R' \parallel R_s}{R' \parallel R_s + h_{ie}}}$$

با تبدیل منبع ولتاژ V_s به منبع جریان:

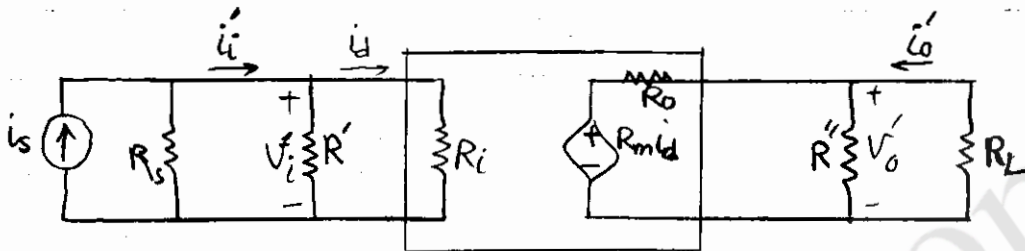
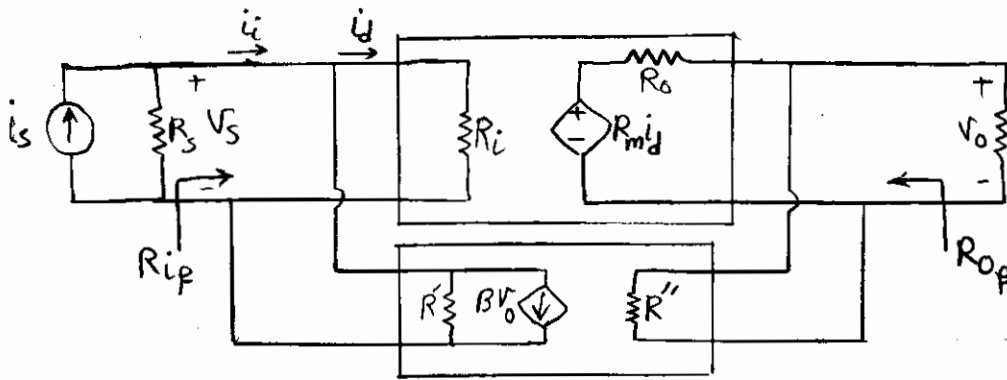
چون $R_O = \infty$ نیازی به محاسبه A'_{isNL} نیست.

$$A_{ip} = \frac{I_O}{I_i} = \frac{A'_i}{1 + \beta A'_i} = -10.3$$

$$A_{V_F} = -A_{ip} \cdot \underbrace{\left(\frac{R_L}{R_{ip}} \right)}_{R_{cr}} = 10.3$$

$$R'_O = R_{cr} \parallel R_{op} \simeq R_{cr}$$

فیدبک ولتاژ-شنت :



$$R'_m = \frac{V_o}{i_i} = R_m \cdot \frac{R' \parallel R_L}{R' \parallel R_L + R_o} \times \frac{R'}{R' + R_i}$$

$$\frac{V_o}{i_i} = R_{mp} = \frac{R'_m}{1 + \beta R'_m}$$

$$R_{ip} = \frac{V_i}{i_i} = \frac{1 - \beta R_{mp}}{\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R'}} = (1 - \beta R_{mp})(R_i \parallel R') \rightarrow R_{ip} = (1 - \beta R_{mp})(R_i \parallel R') < R_i$$

$$i_i = i_d + i_f$$

$$i_i = \frac{V_i}{R_i} + i_{R'} + \beta V_o = \frac{V_i}{R_i} + \frac{V_i}{R'} + \beta R_{mp} i_i \rightarrow i_i (1 - \beta R_{mp}) = V_i \left(\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R'} \right)$$

$$\rightarrow R_{ip} = (1 - \beta \frac{R'_m}{1 + \beta R'_m})(R_i \parallel R') \rightarrow R_{ip} = \frac{R'_i}{1 + \beta R_m}$$

$$R_{op} = \frac{V_o}{i_o} \Big|_{i_s=0}$$

$$i_o = i_{R_o} + i_{R'} = \frac{V_o - R_m i_d}{R_o} + \frac{V_o}{R'} \quad , \quad i_d = i_i - i_f = -\beta V_o \frac{R' \parallel R_s}{(R' \parallel R_s) + R_i}$$

$$\rightarrow i_o = V_o \left[\frac{1}{R_o} \left(1 + \beta R_m \frac{R' \parallel R_s}{R' \parallel R_s + R_i} \right) + \frac{1}{R'} \right]$$

Ex

$$\frac{V_o'}{i_s} = \frac{V_o}{i_d} \cdot \frac{i_d}{i_s}, \quad R'_{m_{SNL}} = \frac{V_o'}{i_s} = \frac{R_{m_{id}}}{i_d} \times \frac{R_s \parallel R'}{R_s \parallel R' + R_i}$$

$$i_o = V_o \left[\frac{1 + \beta R'_{m_{SNL}}}{R_o} + \frac{1}{R''} \right]$$

$$R_{o_F} = \frac{1}{\frac{1 + \beta R'_{m_{SNL}}}{R_o} + \frac{1}{R''}} \rightarrow R_{o_F} = \frac{R_o}{1 + \beta R'_{m_{SNL}}} \parallel R''$$

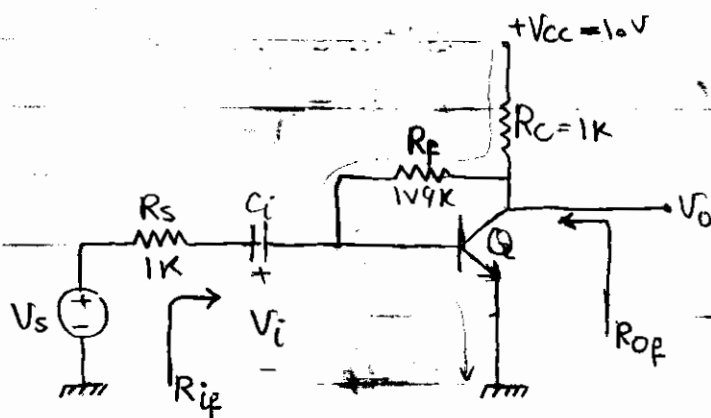
$$A_{v_F} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{R_{i_F} \times i_i} = \frac{R_{m_F}}{R_{i_F}} \rightarrow A_{v_F} = \frac{R_{m_F}}{R_{i_F}}$$

$$A_{v_F} = \frac{\frac{R_m}{1 + \beta R'_m}}{\frac{R'_i}{1 + \beta R'_m}} = \frac{R'_m}{R'_i} = \frac{V_o'/i_i}{R'_i} = \frac{V_o'}{V'_i} = A'_v \rightarrow A_{v_F} = A'_v$$

$$A_{i_F} = \frac{i_o}{i_i} \times \frac{R_L}{R_L} = -\frac{V_o}{i_i \times R_L} = -\frac{R_{m_F}}{R_L} \rightarrow A_{i_F} = -\frac{R_{m_F}}{R_L}$$

$$A_{i_F} = -\frac{R'_m}{(1 + \beta R'_m) R_L} = \frac{-V_o'/i_i}{(1 + \beta R'_m) R_L} = \frac{+ \frac{R_L \times i_o}{i_i}}{(1 + \beta R'_m) R_L} = \frac{A'_i}{1 + \beta R'_m}$$

$$\rightarrow A_{i_F} = \frac{A'_i}{1 + \beta R'_m}$$

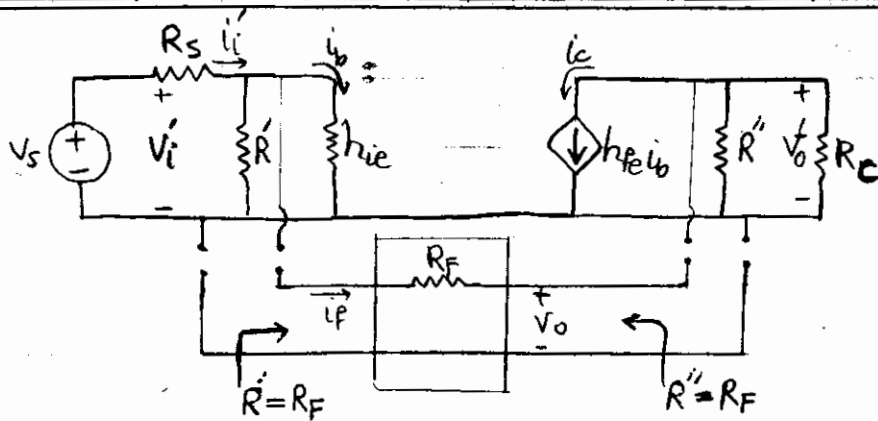


مثال:

$$\beta = h_{fe} = 200$$

$$V_{BE} = 0.7V$$

$$V_{CC} = R_C (I_B + I_C) + R_F I_B + V_{BE} \rightarrow \begin{cases} I_C = 0.2mA \\ V_{CE} = 0.5V \\ h_{ie} = 2k\Omega \end{cases}$$



$$\beta = \frac{i_F}{V_o} = \frac{i_F}{-i_F R_F} = -\frac{1}{R_F}$$

$$R'_m = \frac{V_o'}{i_i'} = \frac{-h_{fe} i_b (R_C \parallel R'')}{i_i'} \quad , \quad i_b = i_i' \cdot \frac{R'}{R' + h_{ie}}$$

$$\rightarrow R'_m = \frac{-h_{fe} i_b (R_C \parallel R'')}{i_b \times \frac{R' + h_{ie}}{R'}} \approx -h_{fe} R_C = -100 \text{ K}\Omega$$

$$R_{mp} = \frac{R'_m}{1 + \beta R'_m} = \frac{-h_{fe} R_C}{1 + \frac{h_{fe} R_C}{R_F}} = \frac{-h_{fe} R_C R_F}{R_F + h_{fe} R_C} = -93 \text{ K}\Omega$$

$$R_{ip} = \frac{R'_i}{1 + \beta R'_m} = \frac{R' \parallel h_{ie}}{1 + \beta R'_m} \approx \frac{h_{ie} \times R_F}{R_F + h_{fe} R_C} = 935 \Omega$$

$$R_{of} = \frac{R_C}{1 + \beta R'_{msNL}} \parallel R''$$

$$R'_{msNL} = \frac{V_o'}{i_s} = \frac{V_o'}{i_b} \cdot \frac{i_b}{i_s}$$

$$= \frac{-h_{fe} i_b R_C}{i_b} \times \frac{R_s \parallel R'}{R_s \parallel R' + h_{ie}} = -47 \text{ K}\Omega$$

معادل نوری منبع را قرار می دهیم و R'' را حذف می کنیم.
ولی R_C را حذف نمی کنیم چون در تقویت های از نوع ولتاژی
 R_C جز تقویت کننده محسوب می شود.

$$\rightarrow R_{of} \approx 47 \Omega$$

$$A_{vf} = \frac{R'_m}{R_i} = \frac{-h_{fe} R_C}{h_{ie}} = -100 \quad , \quad A_{v_{fs}} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_i} \times \frac{V_i}{V_s} = A_{vf} \times \frac{R_{ip}}{R_s + R_{ip}} = -1$$

$$A_{if} = \frac{A_i}{1 + \beta R'_m} = 935$$

بررسی پایداری در فیدبک منفی:

$$A_f = \frac{A}{1+BA}$$

if $BA < -1 \rightarrow$ فیدبک مثبت و ناپایدار

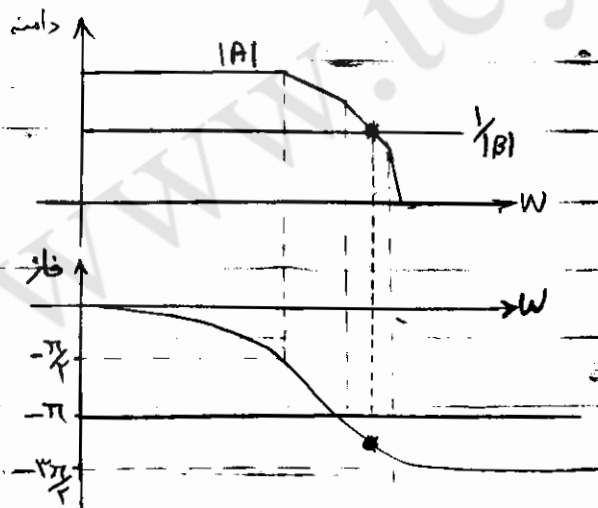
if $BA > -1 \rightarrow$ پایدار

$1+BA=0 \rightarrow$ مرز پایداری $BA = -1$

$$BA = -1 \equiv \begin{cases} |B||A| = 1 \\ \angle B + \angle A = \pi \text{ یا } -\pi \end{cases} \rightarrow \begin{cases} |A| = \frac{1}{|B|} \\ \angle A = -\pi - \angle B \end{cases}$$

چون عموماً شبکه‌های فیدبک مقاومتی هستند در نتیجه $\angle B = 0$

$$\rightarrow \begin{cases} |A| = \frac{1}{|B|} \\ \angle A = -\pi \end{cases} \text{ مرز پایداری}$$



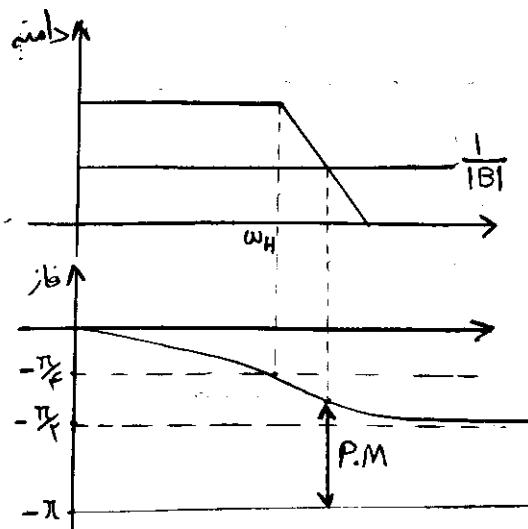
مدار تک قطب:

$$A(s) = \frac{A_0}{1 + s/\omega_H}$$

$$A_f(s) = \frac{A(s)}{1+BA(s)} = \frac{A_0/(1+s/\omega_H)}{1 + \frac{BA_0}{1+s/\omega_H}} = \frac{A_0}{1+BA_0} \times \frac{1}{1 + \frac{s}{(1+BA_0)\omega_H}}$$

ω_{Hf}

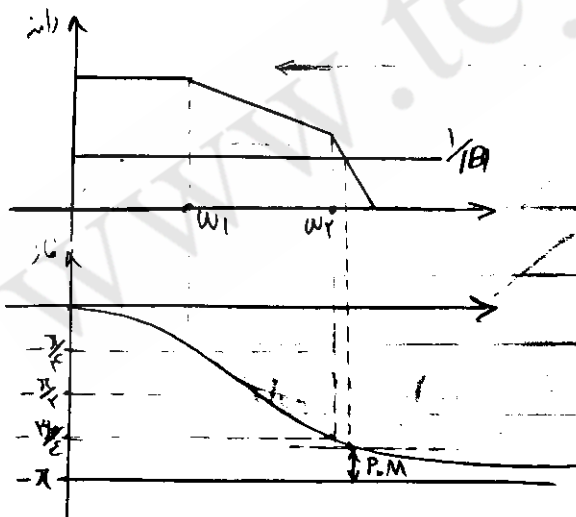
$$\rightarrow A_f(s) = \frac{A_0}{1+BA_0} \times \frac{1}{1 + \frac{s}{(1+B)\omega_H}}$$



$$A(s) = A_0 \frac{b}{s^2 + as + b}$$

۲- مدار دو قطبی:

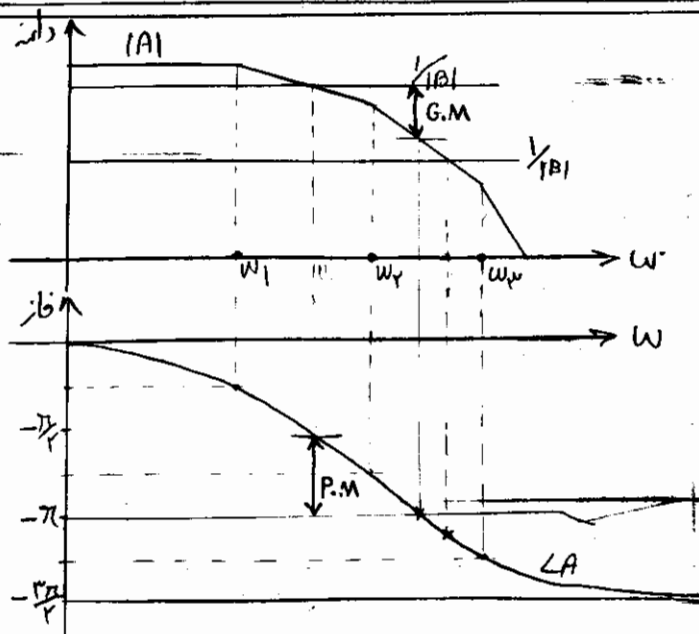
$$A_f(s) = \frac{A(s)}{1+BA(s)} = \frac{A_0 \frac{b}{s^2 + as + b}}{1 + BA_0 \frac{b}{s^2 + as + b}} \rightarrow A_f(s) = \frac{A_0}{1+BA_0} \times \frac{(1+BA_0)b}{s^2 + as + b(1+BA_0)}$$



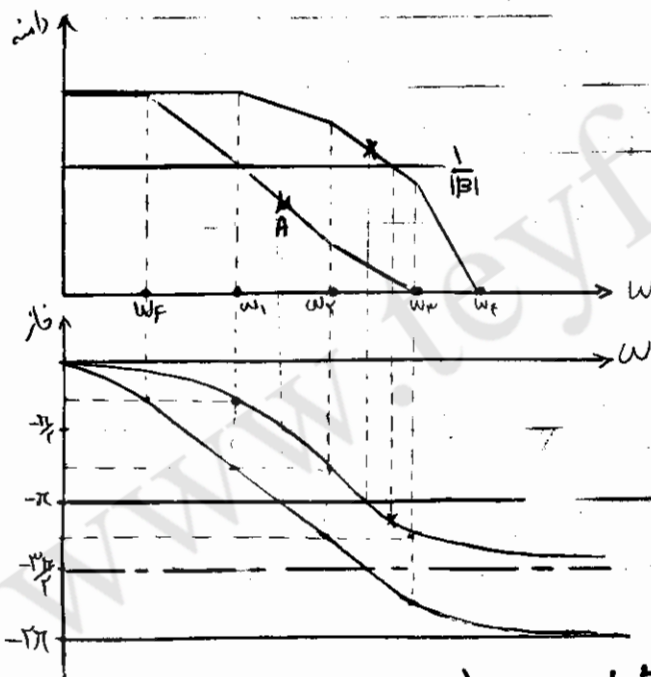
$$A(s) = A_0 \frac{c}{s^3 + as^2 + bs + c}$$

۳- مدار سه قطبی:

$$A_f(s) = \frac{A(s)}{1+BA(s)} \xrightarrow{\text{جایگزینی}} A_f(s) = \frac{A_0}{1+BA_0} \times \frac{(1+BA_0)c}{s^3 + as^2 + bs + (1+BA_0)c}$$



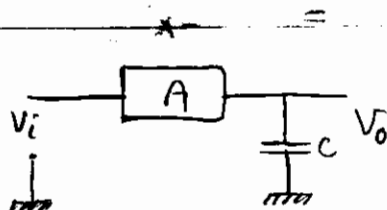
جبران مشخصه فرکانسی:



برای جبران مشخصه فرکانسی روشهایی وجود دارد:

۱- روش قطب مسلط: در این روش یک قطب به سیستم اضافه می‌کنیم به طوری که به عنوان قطب مسلط

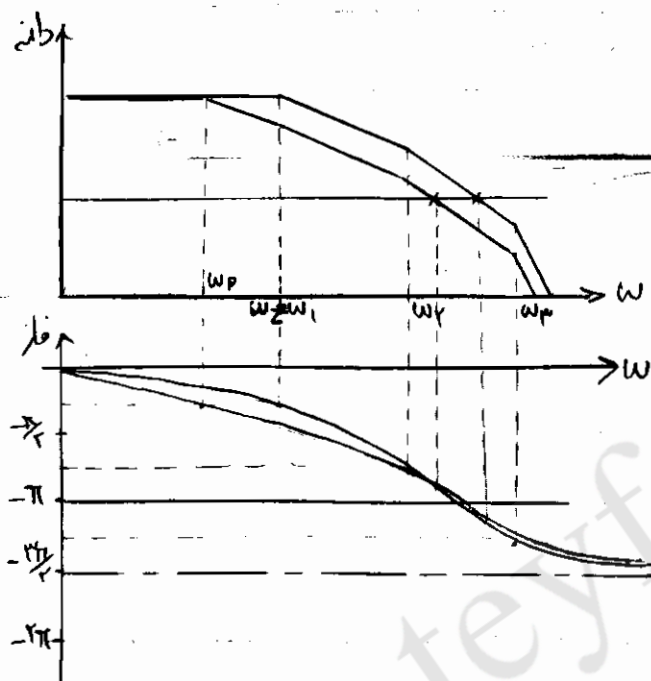
عمل کند (با گذاشتن یک خازن). در شکل بالا این عمل با رنگ سبز نشان داده شده است.



البته در مشخصه فرکانس جدید اگر $\frac{1}{|B|}$ از نقطه A پایین تر باشد باز هم مدار ناپایدار خواهد بود

اما اگر قطب مسلط را درست انتخاب کنیم می توان قسمت ناپایداری را بسیار کوچکتر کنیم.

۲- ایجاد صفر و قطب با هم:



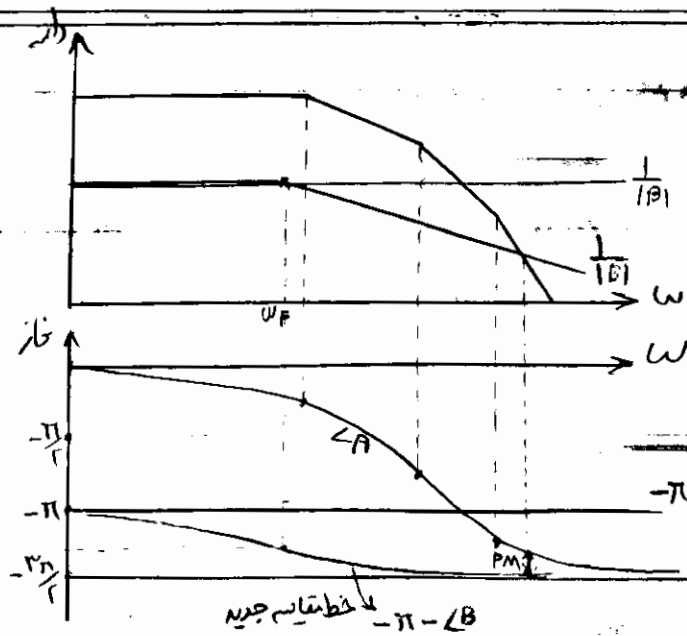
در این حالت یک قطب ω_p ایجاد می کنیم که لازم نیست قطب مسلط باشد. این قطب پائین تر از

کمترین فرکانس سیستم ω_1 است اما نه خیلی زیاد. سپس یک صفر در اولین قطب سیستم ω_1

ایجاد می کنیم. در این حالت شیب دامنه از ω_1 به بعد همان شیب مشخصه راسه قبلی خواهد

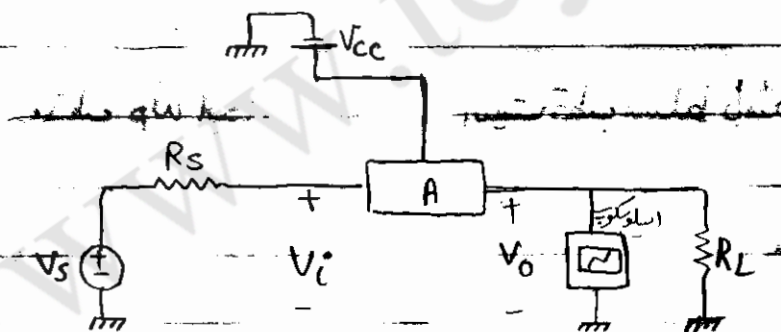
بود. چون در ω_1 یک صفر ایجاد کرده ایم.

۳- ایجاد قطب در شبکه فیدبک :



در این روش یک قطب ω_F در شبکه فیدبک $\frac{1}{\beta}$ ایجاد می‌کنیم که باعث تغییر خط مقایسه از $-\pi$ به $-\pi - \angle B$ می‌گردد.

تقویت‌کننده A در شکل زیر بدون فیدبک و پایدار است اما مجموعه نویسان می‌کند.



عوامل نویسان عوامل خطی هستند که شامل اسیلوسکوپ و V_{CC} و V_S است. همچنین

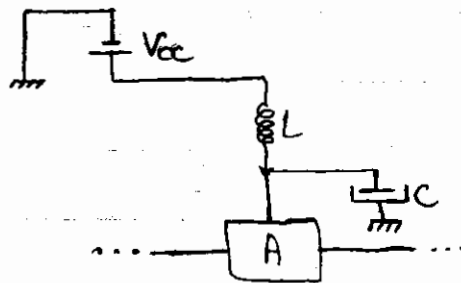
سیمهای بلند باعث ورود noise به مدار می‌شود. اگر نویسان از اسیلوسکوپ باشد ایرادی

ندارد چون نهایتاً از مدار خارج خواهد شد و فقط در آزمایش از این دستگاه استفاده می‌کنیم. اگر

نویسان از منبع تغذیه V_{CC} باشد باید آن را با یک خازن بایپس کنیم. همچنین در فرکانسهای

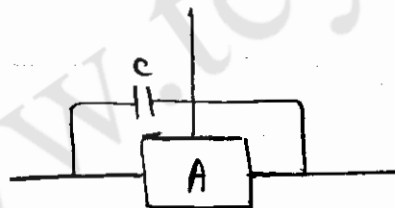
با لای توانیم از فیلتر LC استفاده کنیم.

سلف RFC سلفی است با L بالا و R پائین که بین طبقات تقویت کننده ها قرار می گیرد و از نظر ac مدار باز و از نظر dc سیگنال را عبوری دهد که از این سلف در فرکانسهای بالا استفاده



می شود.

اگر این روش موثر واقع نشد باید از سه روشی که برای جبران مشخصه فرکانسی گفتیم باید استفاده کرد.
روش دیگر استفاده از یک خازن کوچک (حدوداً ۲۰pF) به شکل زیر است.



این خازن باعث می شود که پهنای باند محدود شود و از ناحیه نویسان خارج گردد.

