﴿ پایداری تقویت کننده ها ﴾

شرط لازم و کافی برای پایداری بدون قید و شرط یک عنصر دو دهنه آن است که به ازای کلیه ادمیتانس‌های بار $Y_L$ با مقدار حقیقی مثبت (تلف کننده انرژی)، جزء حقیقی ادمیتانس ورودی عنصر مثبت باشد

و به ازای کلیه ادمیتانس‌های منبع $Y_S$ با مقدار حقیقی مثبت، جزء حقیقی ادمیتانس خروجی دارای جزء حقیقی مثبت باشد.

$$Y_{in} = y_i - \frac{y_r y_f}{y_o + Y_L} \Rightarrow G_{in} = g_i - Re\left\{\frac{y_r y_f}{y_o + Y_L}\right\} = g_i - Re\left\{\frac{(g_r + jb_r) * (g_f + jb_f)}{(g_o + jb_o) + (G_L + jB_L)}\right\}$$

$$G_{in} = g_i - Re\left\{\frac{y_r y_f\left[(g_o + G_L) - j(b_o + B_L)\right]}{(g_o + G_L)^2 + (b_o + B_L)^2}\right\} = g_i - \frac{Re\{y_r y_f\}(g_o + G_L) + Im\{y_r y_f\}(b_o + B_L)}{(g_o + G_L)^2 + (b_o + B_L)^2}$$

$$G_{in} \geq 0 \Rightarrow g_i\left[(g_o + G_L)^2 + (b_o + B_L)^2\right] \geq Re\{y_r y_f\}(g_o + G_L) + Im\{y_r y_f\}(b_o + B_L)$$

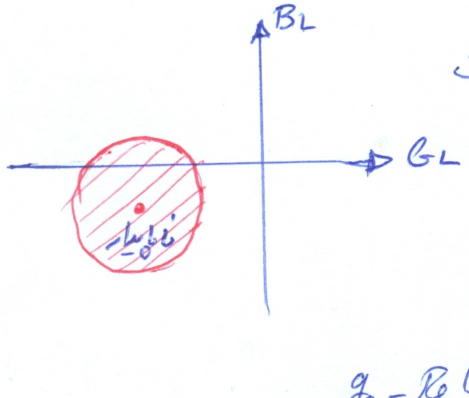
$$(g_o + G_L)^2 + (b_o + B_L)^2 \geq \frac{1}{g_i}\left[Re\{y_r y_f\}(g_o + G_L) + Im\{y_r y_f\}(b_o + B_L)\right]$$

$$\left\{\left[G_L + g_o - \frac{Re(y_r y_f)}{2g_i}\right]^2 - \left(\frac{Re(y_r y_f)}{2g_i}\right)^2\right\} + \left\{\left[B_L + b_o - \frac{Im\{y_r y_f\}}{2g_i}\right]^2 - \left(\frac{Im\{y_r y_f\}}{2g_i}\right)^2\right\} \geq 0$$

$$\left[G_L + g_o - \frac{Re(y_r y_f)}{2g_i}\right]^2 + \left[B_L + b_o - \frac{Im(y_r y_f)}{2g_i}\right]^2 \geq \frac{|y_r y_f|^2}{4g_i^2}$$

نامساوی بالا در حالت تساوی مکان هندسی نقاطی در صفحه $Y_L = G_L + jB_L$ است که به ازای آن $G_{in} = 0$ است

این نقطه‌ها بر روی دایره‌ای به مرکز $\begin{bmatrix} -g_o + \frac{Re(y_r y_f)}{2g_i} \\ -b_o + \frac{Im(y_r y_f)}{2g_i} \end{bmatrix}$ و به شعاع $\frac{|y_r y_f|}{2g_i}$ قرار دارد




برای پایداری بی قید و شرط عنصر لازم است هیچ بخشی از دایره و داخل آن در سمت راست محور $B_L$ قرار نگیرد. برای این منظور ۱) باید مرکز دایره سمت چپ محور $B_L$ باشد

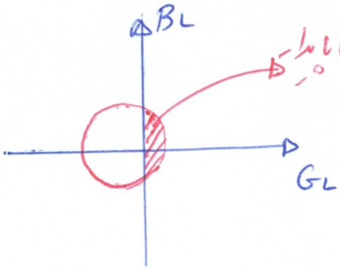
$$-g_o + \frac{Re(y_r y_f)}{2g_i} > 0 \Rightarrow \boxed{2g_i g_o - Re(y_r y_f) > 0}$$

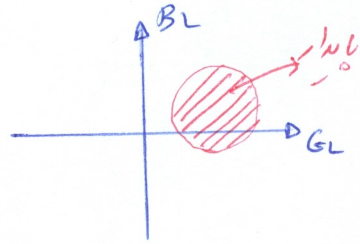
۲) فاصله مرکز تا محور $B_L$ بیشتر از شعاع دایره باشد.

$$g_o - \frac{Re(y_r y_f)}{2g_i} > \frac{|y_r y_f|}{2g_i} \Rightarrow 2g_i g_o - Re(y_r y_f) > |y_r y_f|$$

$$\begin{cases} 2g_i g_o - Re(y_r y_f) > 0 \\ 2g_i g_o - Re(y_r y_f) > |y_r y_f| \end{cases} \longrightarrow \boxed{0 < \frac{|y_r y_f|}{2g_i g_o - Re(y_r y_f)} < 1}$$

ضریب پایداری لینویل
$$C = \frac{|y_r y_f|}{2g_i g_o - Re(y_r y_f)}$$



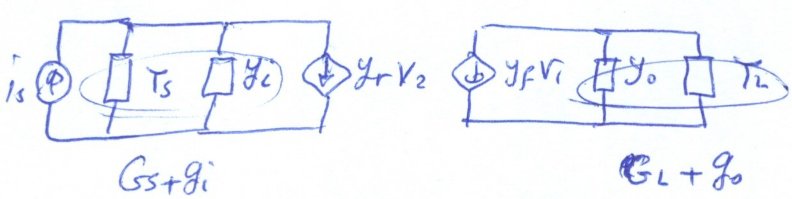




اگر $1 > C > 0$ باشد عنصر بدون شرط پایدار است به ازای تمام بارهای $Y_L$ , $Y_S$.

در غیر این صورت پایداری عنصر مشروط به انتخاب بار مناسب می‌باشد. یعنی به ازای انتخاب بعضی از بارها وضع ناپایدار می‌شوند.

اگر در شرایط انتخاب مناسب بار، وضع عنصر پایدار گردد یعنی

$$g_i \longrightarrow g_i + G_s$$
$$g_o \longrightarrow g_o + G_L$$




اگر در ضریب پایداری لینویل $g_i \longrightarrow g_i + G_s$ , $g_o \longrightarrow g_o + G_L$ تغییر دهیم:

$$\frac{|y_r y_f|}{2(g_i + G_s)(g_o + G_L) - Re(y_r y_f)} < 1 \Rightarrow |y_r y_f| + Re(y_r y_f) < 2(g_i + G_s) \times (g_o + G_L)$$

$$k = \frac{2(g_i + G_s)(g_o + G_L)}{|y_r y_f| + Re(y_r y_f)} > 1$$

ضریب پایداری اشترن

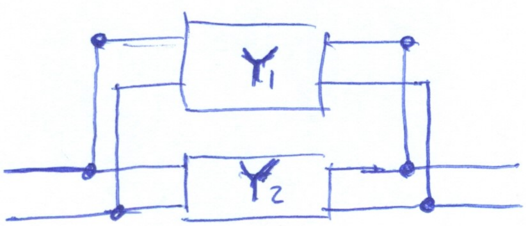
هر چه ضریب پایداری مشروط اشترن بزرگتر از ١ باشد عنصر پایدار شده از حالت مرزی ناپایداری فاصله گرفته و تضمین بیشتری برای پایداری آن وجود دارد.

## یکطرفه سازی عنصر:

منظور از یکطرفه سازی عنصر آن است که ادمیتانس برگشتی عنصر $y_r$ صفر گردد در این صورت سیگنال از خروجی به سمت ورودی نشت پیدا نمی‌کند و پایداری عنصر تضمین می‌گردد چون $y_r$ در صورت ضریب پایداری C قرار دارد.

$$C = \frac{|y_r y_f|}{2 g_i g_o - Re(y_r y_f)} < 1$$

در اینجا باید یک عنصر دو دهانه به موازات تقویت کننده (عنصر اصلی) قرار گیرد.

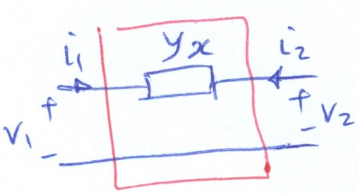



ماتریس ادمیتانس کل برابر با مجموع ماتریس‌های ادمیتانس $Y_1$ , $Y_2$ خواهد شد.

$$Y_1 = \begin{bmatrix} y_{1i} & y_{1r} \\ y_{1f} & y_{1o} \end{bmatrix} , \quad Y_2 = \begin{bmatrix} y_{2i} & y_{2r} \\ y_{2f} & y_{2o} \end{bmatrix}$$

$$Y_{tot} = Y_1 + Y_2 = \begin{bmatrix} y_{1i} + y_{2i} & y_{1r} + y_{2r} \\ y_{1f} + y_{2f} & y_{1o} + y_{2o} \end{bmatrix}$$

یکی از ترکیب‌ها برای یکطرفه سازی شکل روبرو است.




$$y_{i1} = \left.\frac{i_1}{V_1}\right|_{V_2=0} = y_x \qquad y_{f1} = \left.\frac{i_2}{V_1}\right|_{V_2=0} = -y_x$$

$$y_{r1} = \left.\frac{i_1}{V_2}\right|_{V_1=0} = -y_x \qquad y_{o1} = \left.\frac{i_2}{V_2}\right|_{V_1=0} = y_x$$

$$Y_{tot} = \begin{bmatrix} y_{it} + y_x & y_{rt} - y_x \\ y_{ft} - y_x & y_{ot} + y_x \end{bmatrix}$$

$$y_{rt} - y_x = 0 \Rightarrow \boxed{y_x = y_{rt}}$$

شرط یکطرفه شدن عنصر

**مثال:** ترانزیستوری در فرکانس 100MHz دارای پارامترهای Y زیر است

$y_{it} = 5 + j6.5\ m℧$ $\qquad$ $y_{rt} = -j0.4\ m℧$

$y_{ft} = 52 - j20\ m℧$ $\qquad$ $y_{ot} = 0.15 + j0.5\ m℧$

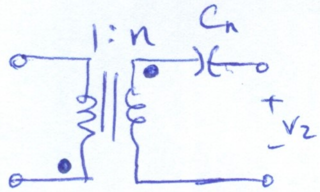
عنصر $y_x$ برای یکطرفه شدن ترانزیستور را بدست آورید:

**حل:** $y_x = -j0.4\ m℧$ پس عنصر سلف است.

$y_x = \frac{1}{\ldots} = -j \times \frac{1}{\ldots 10^8 \ldots} = -j \times 0.4\ m℧$

**اشکال یکطرفه سازی با شبکه L:** هرچند که مطابق مثال دیدیم $Y_{rx} = \frac{1}{j\omega_0 L} = Y_{rt}$ می باشد، این یکطرفه سازی فقط در فرکانس $\omega_0$ برقرار است. قبلاً اشاره شد که در ترانزیستورهای BJT عامل برگشت سیگنال به ورودی $C_\mu$ و $r_\mu$ هستند با افزایش فرکانس هدایت $C_\mu$ زیاد می شود لذا اندازه $Y_r$ زیاد می شود ولی $\frac{1}{j\omega_0 L}$ کاهش می یابد بدین صورت رابطه $\frac{1}{j\omega_0 L} = Y_{rt}$ با تغییر فرکانس دیگر برقرار نیست. حساسیت یکطرفه سازی به فرکانس $\omega_0$ از ایرادات این روش است.

**یکطرفه سازی با خازن:**




$$Y_1 = \begin{bmatrix} jn^2C_n\omega & jnC_n\omega \\ jnC_n\omega & jC_n\omega \end{bmatrix}$$

$$Y_{tot} = \begin{bmatrix} y_i + jn^2C_n\omega & Y_r + jnC_n\omega \\ y_f + jnC_n\omega & y_o + jC_n\omega \end{bmatrix}$$

$$-jnC_n\omega = Y_r$$

$$C_n = \frac{Y_r}{-jn\omega} = +j\frac{Y_r}{n\omega}$$

اگر $n$ مقداری کوچکتر از یک باشد $C_n$ مقدار معقولی بدست خواهد آمد.

**مثال:** مثال یکطرفه سازی قبلی را با یک شبکه خازنی یکطرفه نمایید.

$$-jnC_n\omega = Y_r$$

$$nC_n\omega = 0.4\,m\mho$$

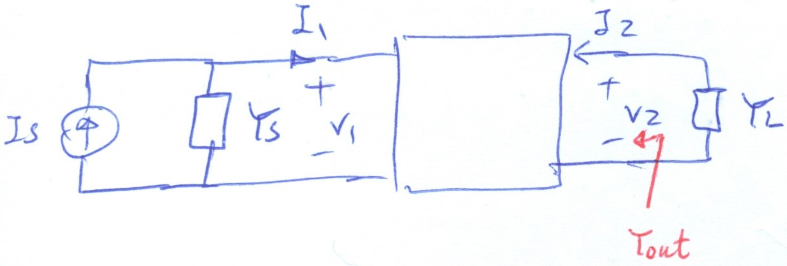
اگر $n=0.25$ انتخاب شود

$$C_n = \frac{0.4\times10^{-3}}{0.25\times2\pi\times10^{8}} = 2.547\,pF$$

مزیت یکطرفه سازی با یک خازن و ترانسفورمر به یکطرفه ساز با سلف در این است که در فرکانسهای با نسبتاً وسیعی مدار یکطرفه خواهد شد چون $-jnC_n\omega = Y_r$ ، عامل تشکیل دهنده $Y_r$ خازن $C_\mu$ است و با افزایش یا کاهش فرکانس هر دو طرف رابطه متناسباً افزایش و کاهش می یابند لذا یکطرفه سازی در طیف وسیعی از $\omega$ ها حفظ می شود.

## بهره قدرت تقویت‌کننده‌ها : power gain

چون توان منبع محدود است می‌بایست حداکثر بهره از این توان برده شود لذا در تقویت‌کننده‌های RF هدف بیشینه کردن توان تقویت‌کننده است.




بهره قدرت : $$G_p = \frac{G_L|V_2|^2}{G_{in}|V_1|^2}$$

نسبت توان جذب شده توسط بار به توان وارد شده به شبکه را بهره قدرت می‌گویند.

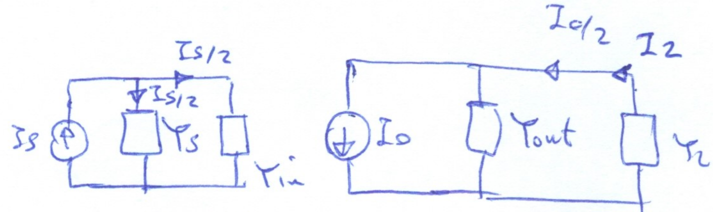
$$G_p = \frac{G_L}{G_{in}} \cdot |A_v|^2 \qquad y_{in} = y_i - \frac{y_r y_f}{y_o + Y_L} \qquad A_v = \frac{-y_f}{y_o + Y_L}$$

$$G_p = \frac{|y_f|^2 G_L}{g_i|Y_L + y_o|^2 + \{(g_o + G_L)Re(y_r y_f) + (b_o + B_L)Im(y_r y_f)\}}$$

این بهره به ادمیتانس منبع ربطی ندارد.

بهره قابل دسترس: نسبت توان قابل دسترس در خروجی به توان قابل دسترس منبع می‌باشد.

$$G_A = \frac{\frac{1}{4G_{out}}|I_o|^2}{\frac{1}{4G_s}|I_s|^2}$$




$G_s = G_{in}$ تطبیق امپدانس در ورودی

$G_{out} = G_L$ تطبیق امپدانس خروجی

$$G_A = \left|\frac{I_2}{I_s}\right|^2 \cdot \left|\frac{I_o}{I_2}\right|^2 \cdot \frac{G_s}{G_{out}}$$

$$G_A = \left|A_I \cdot \frac{Y_{in}}{Y_{in} + Y_s}\right|^2 \cdot \left|\frac{Y_L + Y_{out}}{Y_L}\right|^2 \cdot \frac{G_s}{G_{out}}$$

① جریان اتصال کوتاه در خروجی و ② جریان اتصال کوتاه منبع است.

$$G_A = \frac{|y_f|^2 G_s}{Re(y_o|y_i + Y_s|^2 - y_r y_f (y_i + Y_s)^*)}$$

بهره قابل دسترس به ادمیتانس بار وابسته نیست.

12

بهره مبدل : Transducer Gain نسبت توان جذب شده در بار به توان قابل دسترس منبع

این بهره کامل‌ترین تعریف بین بهره‌های توان است

$$G_T = \frac{G_L |V_2|^2}{\frac{1}{4G_s}|I_s|^2} = 4 G_L G_s \left|\frac{V_2}{I_s}\right|^2$$

$$\frac{V_2}{I_s} = \frac{V_2}{V_1}\cdot\frac{V_1}{I_1}\cdot\frac{I_1}{I_s} = A_V\cdot\frac{1}{y_i}\cdot\frac{\frac{1}{Y_s}}{\frac{1}{Y_s}+\frac{1}{y_i}} = A_V\cdot\frac{\frac{1}{Y_s}}{y_i/Y_s+1} = A_V\cdot\frac{1}{y_i+Y_s}$$

$$G_T = \frac{4 G_L G_s |y_f|^2}{|(y_i+Y_s)(y_o+Y_L) - y_f y_r|^2}$$

این بهره به ادمیتانس بار و منبع (هردو) وابسته است.

$$G_T \le G_P$$

$$G_T \le G_A$$

حداکثر بهره قدرت: با توجه به وابستگی بهره قدرت به ادمیتانس بار به دنبال باری هستیم که بهره قدرت حداکثر گردد.

$$G_P = \frac{G_L |y_f|^2}{g_i |Y_L + y_o|^2 - (g_o+G_L)\,Re(y_r y_f) - (b_o+B_L)\,Im(y_r y_f)}$$

$$\frac{\partial G_P}{\partial B_L} = 0 \quad , \quad \frac{\partial^2 G_P}{\partial^2 B_L^2} < 0 \quad \Rightarrow \quad -G_L |y_f|^2 \{2 g_i (b_o+B_L) - Im(y_r y_f)\} = 0$$

$$\frac{\partial G_P}{\partial G_L} = 0 \quad , \quad \frac{\partial^2 G_P}{\partial G_L^2} < 0 \quad \Rightarrow \quad |y_f|^2 \{ g_i (g_o+G_L)^2 - 2 g_i G_L (g_o+G_L) - g_o Re(y_r y_f) + g_i (b_o+B_L)^2 - (b_o+B_L) Im(y_r y_f)\} = 0$$

$$B_{Lo} = -b_o + \frac{Im(y_r y_f)}{2 g_i}$$

$$G_{Lo} = \frac{1}{2 g_i}\left\{[2 g_i g_o - Re(y_r y_f)]^2 - |y_r y_f|^2\right\}^{1/2}$$

اگر مقادیر کندوکتانس و سوسپتانس بهینه بار را در بهره قدرت قرار دهیم بهره قدرت حداکثر ...

$$G_{P\max} = \frac{|y_f|^2}{2g_i g_o - Re(y_r y_f) + \sqrt{[2g_i g_o - Re(y_r y_f)]^2 - |y_r y_f|^2}}$$

$$G_{P\max} = \left|\frac{y_f}{y_r}\right| \frac{1}{\frac{1}{C} + \sqrt{\frac{1}{C^2} - 1}}$$

برای اینکه $G_{P\max}$ معنی دار باشد باید عبارت زیر رادیکال مثبت گردد

$$2g_i g_o - Re(y_r y_f) > |y_r y_f| \longrightarrow C < 1$$

ضریب پایداری لینویل

لذا به ازای شرط مطلق پایداری می‌توان بار را انتخاب نمود که بهره قدرت را حداکثر کند.

حداکثر بهره قدرت قابل دسترس:

$$G_A = \frac{|y_f|^2 G_s}{Re\left(y_o |y_i + Y_s|^2 - y_r y_f (y_i + Y_s)^*\right)}$$

$$\frac{\partial G_A}{\partial B_s} = 0 \longrightarrow B_{so} = -b_i + \frac{Im(y_r y_f)}{2g_o}$$

$$\frac{\partial G_A}{\partial G_s} = 0 \longrightarrow G_{so} = \frac{1}{2g_o}\sqrt{(2g_i g_o - Re(y_r y_f))^2 - |y_r y_f|^2}$$

ملاحظه می‌گردد که اگر $b_o$ و $g_i$ در ادمیتانس بار بهینه به $b_i$ و $g_o$ تغییر کند ادمیتانس منبع بهینه حاصل می‌گردد.

## تطبیق همزمان ورودی و خروجی دوطرفه:

برای آنکه بهره قدرت مدار ماکزیمم شود باید ورودی و خروجی عنصر دوطرفه با بار و منبع تطبیق داده شود. در این صورت حداکثر توان قابل دسترس منبع جذب ورودی عنصر خواهد شد و حداکثر توان خروجی عنصر جذب بار می‌شود

$$\begin{cases} Y_{in} = Y_S^* \\ Y_{out} = Y_L^* \end{cases} \qquad Y_{in} = Y_i - \frac{Y_r Y_f}{Y_o + Y_L} \qquad Y_{out} = Y_o - \frac{Y_r Y_f}{Y_i + Y_S} \qquad \Rightarrow \begin{cases} Y_S^* = Y_i - \frac{Y_r Y_f}{Y_o + Y_L} \\ Y_L^* = Y_o - \frac{Y_r Y_f}{Y_i + Y_S} \end{cases}$$

در دستگاه بالا دو مجهول $Y_S$ ، $Y_L$ وجود دارد. در صورت تطبیق همزمان ورودی و خروجی داریم:

$$G_{T\max} = G_{P\max} = G_{A\max}$$

برای عنصر یکطرفه که $Y_r = 0$ است داریم

$$G_{T\max} = \frac{|Y_f|^2}{4 g_i g_o}$$

حداکثر بهره مرتبط

Maximum Associated Gain (MAG)

**مثال)** ترانزیستوری در فرکانس 100MHz دارای پارامترهای زیر است. ادمیتانس‌های بهینه و حداکثر بهره قدرت را بدست آورید.

$Y_i = 10 + j7.5\, m℧$ $\qquad Y_r = -j0.1\, m℧$

$Y_f = 55 - j20\, m℧$ $\qquad Y_o = 0.4 + j1.5\, m℧$

**حل:** ابتدا بررسی می‌کنیم آیا عنصر مطلقاً پایدار است یا خیر؟

$$C = \frac{|Y_r Y_f|}{2 g_i g_o - Re(Y_r Y_f)} = 0.585 < 1 \longrightarrow$$ مطلقاً پایدار است.

$$B_{Lo} = -b_o + \frac{Im(Y_r Y_f)}{2 g_i} = -1.775\, m℧$$

$$G_{Lo} = \frac{1}{2 g_i} \sqrt{[2 g_i g_o - Re(Y_r Y_f)]^2 - |Y_r Y_f|^2} = 0.405\, m℧ \Rightarrow G_{T\max} = 189$$

$$10 \log_{10} 189 = 22.76\, dB$$

$$B_{So} = -b_i + \frac{Im(Y_r Y_f)}{2 g_o} = -14.375\, m℧$$