



الکترونیک (3)

فصل سوم

پاسخ فرکانسی، پایداری و جبران سازی

درس: دکتر رحمتی

<http://ee.iust.ac.ir/rahmati/>

آدرس Email و Website برای تکالیف و...:

rahmati@iust.ac.ir

<http://ee.iust.ac.ir/rahmati/>

1/2/2006

1



فصل دوم Chapter 2

Frequency Response and Stability

بررسی پاسخ فرکانسی و پایداری

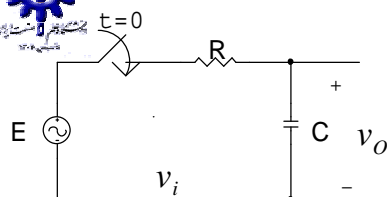
تقویت کننده ها

1/2/2006

2



مثال: برای تقویت کننده های تک قطب (یا داری قطب غالب) خواهیم داشت:



$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{A}{1 + j \frac{f}{f_h}} \quad f_h = \frac{1}{2\pi RC}$$

پاسخ خروجی یک مدار RC به ورودی شکل موج مربعی

$$\frac{v_o}{E} = (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad \frac{v_o}{E} = 0.1 \Rightarrow t = 0.1RC$$

$$\frac{v_o}{E} = 0.9 \Rightarrow t = 2.3RC$$

$$t_r = t_2 - t_1 = 2.2RC$$

$$f_h t_r = 0.35$$

1/2/2006

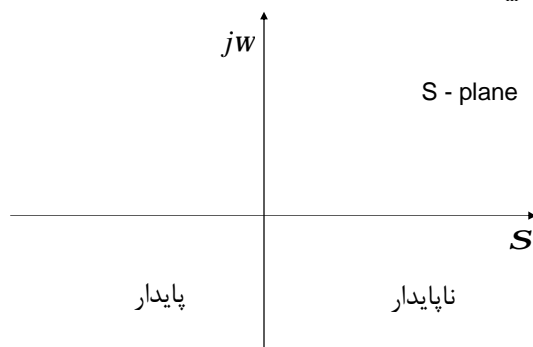
3



تابع تبدیل (بهره) تقویت کننده

$$A(s) = \frac{A_m s^m + A_{m-1} s^{m-1} + \dots + A_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + 1} \quad n \geq m$$

• ضرایب a_n و A_m اعداد حقیقی هستند.



4 اگر قطب های تابع تبدیل سمت چپ محور $j\omega$ باشد تقویت کننده پایدار است

1/2/2006



شرایط هرویتز (Hurvitz):

• شرایط لازم برای نداشتن ریشه در سمت راست:

1. همه ضرائب غیر صفر باشند.
2. همه ضرائب هم علامت باشند.

روش روث (ROUTH):

– در این روش با توجه به معلوم بودن تابع تبدیل تقویت کننده جدول Routh را تشکیل می دهیم .

$$A(s) = \frac{A_m s^m + A_{m-1} s^{m-1} + \dots + A_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + 1}$$

1/2/2006

5



جدول Routh

$$\begin{array}{cccc} a_n & a_{n-2} & a_{n-4} & 0 \\ a_{n-1} & a_{n-3} & a_{n-5} & 0 \\ c_1 & c_2 & c_3 & 0 \\ d_1 & d_2 & & \end{array}$$

$$c_1 = \frac{a_{n-1}a_{n-2} - a_n a_{n-3}}{a_{n-1}} \quad c_2 = \frac{a_{n-1}a_{n-4} - a_n a_{n-5}}{a_{n-1}}$$

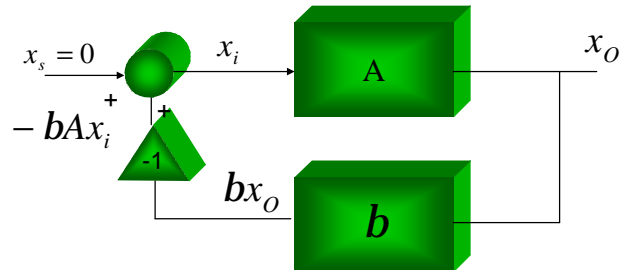
پس از تشکیل جدول، اگر همه جملات ستون اول هم علامت و مخالف صفر بودند تقویت کننده پایدار است

1/2/2006

6



تقویت کننده های با فیدبک



$$A_f(s) = \frac{x_o}{x_s} = \frac{A(s)}{1 + bA(s)}$$

قطب های $A(s), A_f(s)$ یکی نیستند. مگر اینکه $b = 0$ باشد.

If $-bA$ is real and $> 1 \Rightarrow$ سیستم ناپایدار

If $-bA$ is real and $< 1 \Rightarrow$ سیستم پایدار



چند نکته

- از آنجا که فیدبک ثابت نیست ، با تغییر b وضعیت پایداری سیستم تغییر می کند.
- شبکه فیدبک بر روی تقویت کننده اثر باری دارد و در نتیجه روی بهره خود تقویت کننده هم اثر خواهد داشت. (با تغییر b ، A ثابت نمی ماند).
- فرض می کنیم A از b مستقل است.
- با تغییر بهره شبکه فیدبک تعداد قطب ها تغییر نمی کند بلکه فقط محل قطب ها عوض می شود.



قوائد رسم مکان هندسی ریشه ها $b_0 > 0$

- تعداد شاخه های مکان هندسی برابر با تعداد قطب ها است.
- شروع مکان هندسی از قطب هاست.
- هر شاخه از مکان هندسی به یک صفر ختم میشود.
- شاخه های مکان هندسی نسبت به محور حقیقی متقارن هستند.
- تعداد مجانب ها $n-m$
- مجانب ها یا موازی محور jw هستند یا متقاطع ، اگر متقاطع باشند محل تقاطع روی محور S است.



- در فیدبک مقاومتی مجموع قطب ها ثابت می ماند.

If : $b(s)A(s) = b_0 A_0 g(s)$

$$\text{محل تقاطع مجانب ها} = \frac{\left[\sum \text{poles}(g(s)) - \sum \text{zeros}(g(s)) \right]}{n - m}$$

$$\text{زاویه مجانب ها با محور حقیقی} = \frac{(2k+1)p}{n - m}$$



سؤال؟

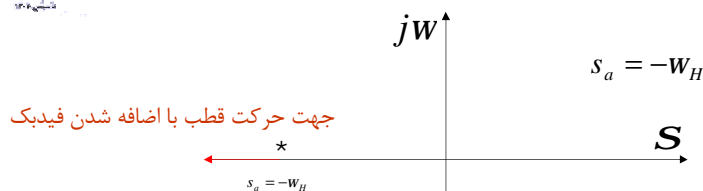
- تقویت کننده های زیر پس از اعمال فیدبک چه شرایطی پیدا می کنند.

1. تقویت کننده تک قطب پایدار با اعمال فیدبک مقاومتی؟
2. تقویت کننده دو قطبی پایدار با اعمال فیدبک مقاومتی؟
3. تقویت کننده سه قطبی پایدار با اعمال فیدبک مقاومتی؟

بهره فرکانس پایین: A_0 بهره فیدبک: b_0



تقویت کننده تک قطبی



$$A(s) = \frac{A_0}{1 - \frac{s}{s_a}}$$

$$A_f(s) = \frac{A_{f_0}}{1 - \frac{s}{s_a(1 + b_0 A_0)}}$$

$$A_{f_0} = \frac{A_0}{1 + b_0 A_0}$$

اگر فیدبک مقاومتی باشد باشد آنگاه $b_0 A_0 > 0$ و $s_1 \geq s_a$ خواهد بود. $s_1 = s_a(1 + b_0 A_0)$

- اگر تقویت کننده تک قطبی باشد با اعمال فیدبک مقاومت تقویت کننده ناپایدار نخواهد شد.



در تقویت کننده های تک قطبی

$$A(jf) = \frac{A_0}{1 + j \frac{f}{f_H}} \quad f_H = \frac{w_H}{2p} = \frac{|s_a|}{2p}$$

$$f_{H_f} = \frac{w_H (1 + b_0 A_0)}{2p} = f_H (1 + b_0 A_0) \quad A_f(jf) = \frac{A_{f0}}{1 + j \frac{f}{f_{H_f}}}$$

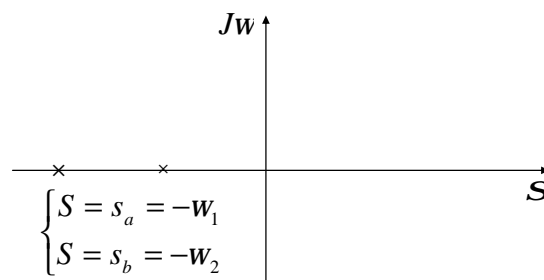
- بهره با فیدبک با ضریب $(1 + b_0 A_0)$ کاهش یافته است.
- حاصلضرب بهره در پهنای باند ثابت مانده است.
- فقط در تقویت کننده هایی که تک قطبی هستند و یا قطب غالب دارند در صورت اعمال فیدبک مقاومتی ، حاصلضرب بهره در پهنای باند ثابت می ماند.

1/2/2006

13



تقویت کننده های دو قطبی



$$A(s) = \frac{A_0}{(1 - \frac{s}{s_a})(1 - \frac{s}{s_b})}$$

$$A(s) = \frac{w_1 w_2 A_0}{s^2 + (w_1 + w_2)s + w_1 w_2}$$

$$A_f(s) = \frac{w_1 w_2 A_0}{s^2 + (w_1 + w_2)s + w_1 w_2 (1 + b_0 A_0)}$$

1/2/2006

14



$$A_f(s) = \frac{A_{f_0}}{\left(\frac{s}{w_0}\right)^2 + \frac{w_1 + w_2}{w_0} \left(\frac{s}{w_0}\right) + 1}$$

$$A_{f_0} = \frac{A_0}{1 + b_0 A_0}$$

$$Q = \frac{w_0}{w_1 + w_2}$$

$$w_0 = \sqrt{w_1 w_2 (1 + b_0 A_0)}$$

$$S_{1,2} = -\frac{(w_1 + w_2)}{2} \pm \frac{(w_1 + w_2)}{2} \sqrt{1 - 4Q^2}$$

If: $b_0 = 0 \Rightarrow w_0 = \sqrt{w_1 w_2}$ $Q = Q_{\min} = \frac{\sqrt{w_1 w_2}}{w_1 + w_2} \Rightarrow$ ریشه های تابع تبدیل با فیدبک و بدون فیدبک برابر می شوند.

1/2/2006

15



دو ریشه حقیقی داریم $1 - 4Q^2 > 0 \Rightarrow Q < \frac{1}{2}$

ریشه مضاعف دارد. $1 - 4Q^2 = 0 \Rightarrow Q = \frac{1}{2}$

دو ریشه مختلط دارد. $1 - 4Q^2 < 0 \Rightarrow Q > \frac{1}{2}$

$$A_f(s) = \frac{A_{f_0}}{\left(\frac{s}{w_0}\right)^2 + 2k \left(\frac{s}{w_0}\right) + 1}$$

$$K = \frac{1}{2Q}$$

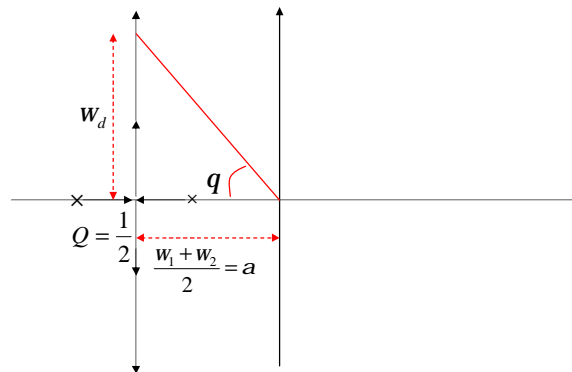
$$S_{1,2} = -K w_0 \pm j w_d = w_0 \sqrt{1 - K^2} = -a \pm j w_d$$

$$a = \frac{(w_1 + w_2)}{2}$$

$$w_d = w_0 \sqrt{1 - K^2}$$

1/2/2006

16



$$\cos q = \frac{Kw_0}{\sqrt{K^2w_0^2 + w_0^2 - K^2w_0^2}} \Rightarrow \cos q = K$$

1/2/2006

17



در تقویت کننده های دو قطبی

- مقدار فیدبکی که قطب ها را تحت زاویه معلوم b قرار می دهد.

$$\cos b = k \Rightarrow Q = \frac{1}{2K} \Rightarrow w_0 = Q(w_1 + w_2)$$

$$b = 45 \Rightarrow K = Q = \frac{\sqrt{2}}{2} \quad b \rightarrow \frac{p}{2} \Rightarrow Q \rightarrow \infty \Rightarrow K \rightarrow 0$$

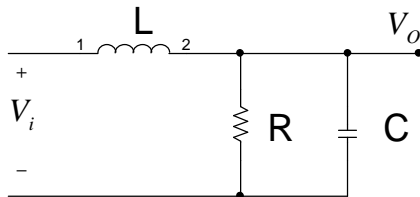
- به ازاء مقادیر محدود b تقویت کننده پایدار است.
- از نظر تئوری در بی نهایت (به ازاء فیدبک بی نهایت) تقویت کننده اسیلاتور می گردد. (در عمل اتفاق نمی افتد).

1/2/2006

18



مدل برای تقویت کننده های دو قطبی



$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{1}{s^2 LC + s\left(\frac{L}{R}\right) + 1}$$

$$w_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad Q = \frac{R}{Lw_0}$$

$$\frac{V_o}{A_{f_0} V_i} = \frac{1}{\left(\frac{s}{w_0}\right)^2 + \frac{1}{Q}\left(\frac{s}{w_0}\right) + 1} = \frac{1}{\left(\frac{s}{w_0}\right)^2 + 2K\left(\frac{s}{w_0}\right) + 1}$$

- مدار فوق یک مدل برای تقویت کننده دو قطبی با فیدبک است.
- با توجه به این مدل مفهوم فیزیکی w_0 , K , Q معلوم می شود.



پاسخ فرکانسی مدار

- به جای $S = JW$ قرار می دهیم و قدر مطلق می گیریم خواهیم داشت:

$$\left| \frac{A_f(JW)}{A_{f_0}} \right| = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{W}{w_0}\right)^2\right]^2 + 4K^2\left(\frac{W}{w_0}\right)}} \quad (1)$$

- برای رسم منحنی پاسخ فرکانسی مقدار تابع را به ازای فرکانس های صفر، بی نهایت و فرکانس هایی که منحنی ماکزیمم یا مینیمم می شود، محاسبه کنیم.



پاسخ فرکانسی مدار

$$w = 0 \Rightarrow \left| \frac{A_f(0)}{A_{f_0}} \right| = 1 \quad w = \infty \Rightarrow \left| \frac{A_f(0)}{A_{f_0}} \right| = 0$$

- برای اینکه مقدار تابع (۱) ماکزیمم یا مینیمم باشد باید مقدار زیر رادیکال مینیمم یا ماکزیمم باشد.

$$\text{مشتق زیر رادیکال} = 2\left(-\frac{2w}{w_0^2}\right)\left[1 - \left(\frac{w}{w_0}\right)^2\right] + 8K^2\left(\frac{w}{w_0^2}\right) = 0$$

$$w = w_p = w_0 \sqrt{1 - 2K^2}$$

$$\left| \frac{A_f(0)}{A_{f_0}} \right|_{\max} = \frac{1}{2K\sqrt{1 - K^2}} \quad \begin{cases} K = 0 \\ Q = \infty \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} w_p = w_0 \\ \left| \frac{A_f}{A_{f_0}} \right| = \infty \end{cases}$$

1/2/2006

21



پاسخ فرکانسی مدار

1. منحنی Peak ندارد. $2K^2 > 1 \Rightarrow K > \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow Q < \frac{\sqrt{2}}{2}$
2. با افزایش مقدار فیدبک مقدار Q زیاد و مقدار K کم می شود.

$$2K^2 = 1 \Rightarrow K = Q = \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow \begin{cases} w_p = 0 \\ \left| \frac{A_f}{A_{f_0}} \right|_{\max} = 1 \end{cases}$$

3. منحنی در $w = w_p$ دارای مقدار ماکزیمم یا Peak است.

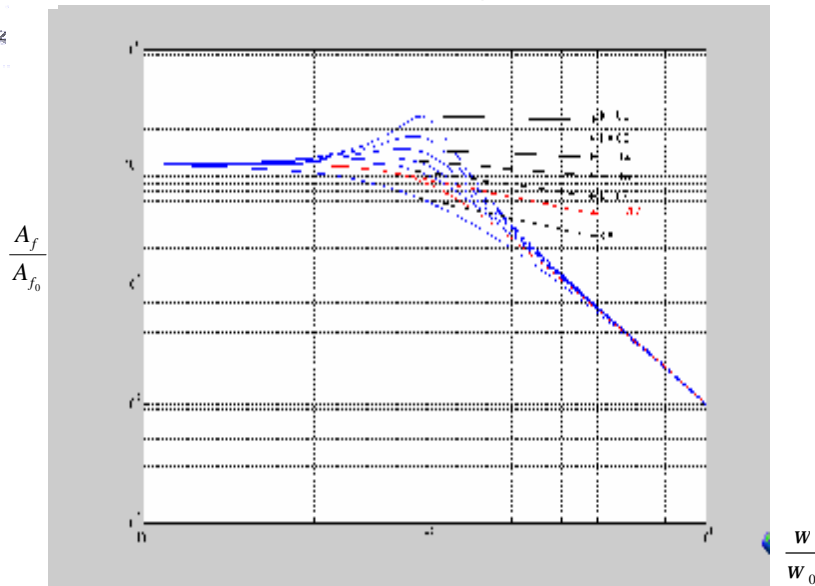
$$2K^2 < 1 \Rightarrow K < \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow Q > \frac{\sqrt{2}}{2}$$

1/2/2006

22



پاسخ فرکانسی مدار



Normalized plot of the frequency response of a two-pole amplifier with feedback



پاسخ فرکانسی مدار

- با توجه به شکل و توضیحات داده شده در حالت $Q = \frac{\sqrt{2}}{2}$ منحنی پاسخ فرکانسی دارای مسطح ترین حالت است.

$$S_{1,2} = -\frac{(w_1 + w_2)}{2} \pm \frac{(w_1 + w_2)}{2} \sqrt{1 - 4Q^2}$$

$$S_{1,2} = -\frac{(w_1 + w_2)}{2} \pm j \frac{(w_1 + w_2)}{2}$$

- مقدار موهومی و حقیقی ریشه های تابع تبدیل با هم برابر هستند.



پاسخ تقویت کننده دو قطبی به ورودی پله در حوزه زمان

$$A_f(s) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{A_{f_0}}{\left(\frac{s}{w_0}\right)^2 + 2K\left(\frac{s}{w_0}\right) + 1}$$

$$V_i(t) = V_i u(t) \Rightarrow V_i(s) = \frac{V_i}{s}$$

$$V_o(s) = V_i(s) A_f(s) = \frac{V_i A_{f_0}}{s \left[\left(\frac{s}{w_0}\right)^2 + 2K\left(\frac{s}{w_0}\right) + 1 \right]}$$

- برای بدست آوردن $v_o(t)$ باید از رابطه فوق عکس تبدیل لاپلاس بگیریم.

1/2/2006

25



پاسخ تقویت کننده دو قطبی به ورودی پله در حوزه زمان

$$S_{1,2} = -Kw_0 \pm w_0 \sqrt{K^2 - 1} \quad \text{ریشه های کرشه}$$

- بر حسب مقادیر مختلف K ریشه ها می توانند حقیقی، مضاعف یا مختلط باشند.

$$1. \text{ حالت اول } K=1 \quad \text{or} \quad Q=0.5 \Rightarrow s_1 = s_2 = -w_0$$

$$\frac{V_o(s)}{V_i A_{f_0}} = y(s) = \frac{1}{s \left[\frac{s}{w_0} + 1 \right]^2} = \frac{w_0^2}{s(s+w_0)^2}$$

$$y(s) = \frac{A}{s} + \frac{B}{(s+w_0)^2} + \frac{C}{(s+w_0)} \Rightarrow \begin{cases} A=1 \\ B=-w_0 \\ C=-1 \end{cases}$$

$$\frac{1}{(s+a)^n} \Leftrightarrow \frac{t^{n-1} e^{-at}}{(n-1)!} \quad y(t) = \frac{v_o(t)}{v_i A_{f_0}} = [1 - (1 + w_0 t) e^{-w_0 t}] u(t)$$

1/2/2006

حالت میرایی بحرانی (Critical damping) ²⁶



پاسخ تقویت کننده دو قطبی به ورودی پله در حوزه زمان

2. حالت دوم:

s_1 و s_2 حقیقی هستند. $K > 1$ or $Q < 0.5 \Rightarrow$

$$s_1 = -K_1 w_0 \quad s_2 = -K_2 w_0 \quad K_1 = K - \sqrt{K^2 - 1} \quad K_2 = K + \sqrt{K^2 - 1}$$

$$\frac{V_o(s)}{V_i A_{f_0}} = y(s) = \frac{A}{s} + \frac{B}{(s + K_1 w_0)} + \frac{C}{(s + K_2 w_0)}$$

$$A = 1 \quad B = \frac{-1}{2K_1 \sqrt{K^2 - 1}} \quad C = \frac{1}{2K_2 \sqrt{K^2 - 1}}$$

$$y(t) = 1 - \frac{1}{2\sqrt{K^2 - 1}} \left(\frac{1}{K_1} e^{-K_1 w_0 t} - \frac{1}{K_2} e^{-K_2 w_0 t} \right) \quad \text{حالت فوق میرا (Over damping)}$$

1/2/2006



پاسخ تقویت کننده دو قطبی به ورودی پله در حوزه زمان

3. حالت سوم: دوریشه مختلط $K < 1$ or $Q > 0.5 \Rightarrow$

$$s_{1,2} = -a \pm jw_d \quad a = Kw_0 \quad w_d = w_0 \sqrt{1 - K^2}$$

$$y(s) = \frac{A}{s} + \frac{B(s+a) + Cw_d}{(s+a)^2 + w_d^2} \quad \begin{cases} A=1 \\ B=-1 \\ C=\frac{a}{w_d} \end{cases}$$

$$w_d t = w_0 t \sqrt{1 - K^2} = \frac{2p t}{T_0} \sqrt{1 - K^2} = 2p \sqrt{1 - K^2} \frac{t}{T_0} = 2p \sqrt{1 - K^2} x$$

$$y(t) = \frac{v_o(t)}{v_i A_{v_{f_0}}} = 1 - \left(\frac{Kw_0}{w_d} \sin w_d t + \cos w_d t \right) e^{-Kw_0 t} \quad (2)$$

حالت زیر میرا Under damping

$$y(t) = \frac{v_o(t)}{v_i A_{v_{f_0}}} = 1 - \left(\frac{Kw_0}{w_d} \sin 2p \sqrt{1 - K^2} x + \cos 2p \sqrt{1 - K^2} x \right) e^{-2Kp x}$$

1/2/2006

28



پاسخ تقویت کننده دو قطبی به ورودی پله در حوزه زمان

$$K = 0 \Rightarrow \begin{cases} a = 0 \\ w_d = w_0 \end{cases} \Rightarrow y(t) = 1 - \cos w_0 t$$

اگر از رابطه $y(x)$ مشتق بگیریم، می توانیم مختصات نقاط ماکزیمم و مینیمم را محاسبه کنیم

$$x_m = \frac{w_0 t_m}{2p} = \frac{m}{2\sqrt{1-K^2}} \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

$$y_m = \frac{v_0(t_m)}{v_1 A_{f_0}} = 1 - (-1)^m e^{-\frac{Kp}{\sqrt{1-K^2}} x_m}$$

m های فرد ماکزیمم و m های زوج مینیمم را بدست می دهند

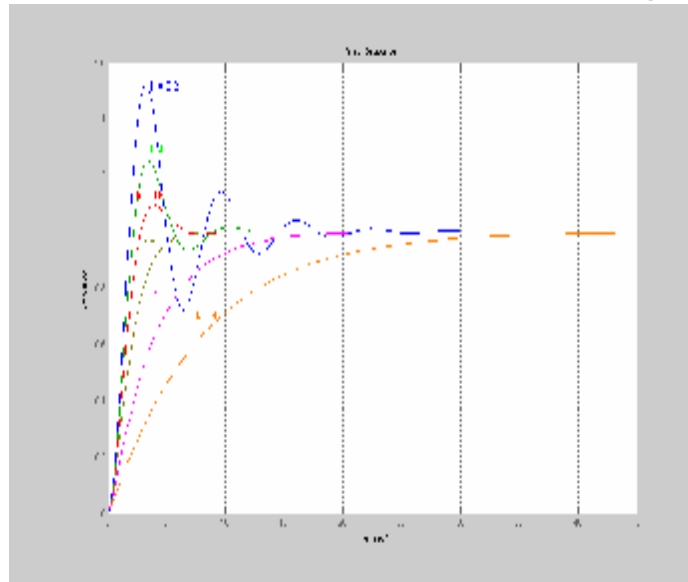
$$m = 1 \Rightarrow y_1 = 1 + e^{\frac{-Kp}{\sqrt{1-K^2}} \frac{1}{0.5}}$$

1/2/2006

29



پاسخ تقویت کننده دو قطبی به ورودی پله در حوزه زمان



1/2/2006

The response of a two-pole feedback amplifier to an input step

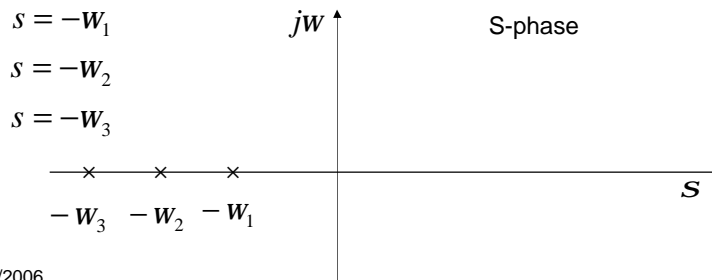
30



تقویت کننده های سه قطبی

$$A(s) = \frac{A_0}{(1 - \frac{s}{s_a})(1 - \frac{s}{s_b})(1 - \frac{s}{s_c})}$$

- فرض بر این است که تابع تبدیل صفر ندارد.
- قبل از اعمال فیدبک تقویت کننده پایدار است.



1/2/2006

31



(۱) تقویت کننده سه ریشه حقیقی دارد:

$$A(s) = \frac{A_0 w_1 w_2 w_3}{S^3 + (w_1 + w_2 + w_3)S^2 + (w_1 w_2 + w_2 w_3 + w_1 w_3)S + w_1 w_2 w_3}$$

$$A_f(s) = \frac{A(s)}{1 + b_0 A(s)}$$

$$A_f(s) = \frac{A_0 w_1 w_2 w_3}{S^3 + (w_1 + w_2 + w_3)S^2 + (w_1 w_2 + w_2 w_3 + w_1 w_3)S + \frac{A_0 w_1 w_2 w_3 (1 + b_0 A_0)}{w_0^3}}$$

- مجموع ریشه ها با اعمال فیدبک مقاومتی ثابت مانده است.

1/2/2006

32



$$A_f(0) = \frac{A_0}{1 + b_0 A_0}$$

$$A_f(s) = \frac{A_{f_0}}{\left(\frac{s}{w_0}\right)^3 + a_2 \left(\frac{s}{w_0}\right)^2 + a_1 \left(\frac{s}{w_0}\right) + 1}$$

$$a_1 = \frac{w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3}{w_0^2}$$

$$a_2 = \frac{w_1 + w_2 + w_3}{w_0}$$

- از آنجا که تابع تبدیل سه قطب دارد، مکان هندسی سه شاخه دارد.
- از آنجا که تابع تبدیل سه قطب دارد و صفر ندارد مکان هندسی سه مجانب دارد.

$$\text{زاویه مجانب} = \frac{(2k+1)p}{n-m} = \begin{cases} \frac{p}{3} \\ \frac{p}{3} \\ \frac{5p}{3} \end{cases}$$

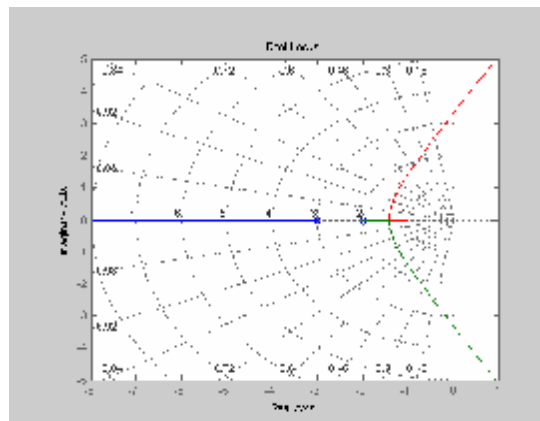
$$\text{محل تقاطع مجانب ها} = \frac{\text{مجموع صفرها} - \text{مجموع قطب ها}}{n-m} = -\frac{w_1 + w_2 + w_3}{3}$$

1/2/2006

33



S-Phse



$$A(s) = \frac{A_0}{(s+1)(s+2)(s+3)}$$

1/2/2006

34



تقویت کننده های سه قطبی

- با اعمال فیدبک دو قطب به یکدیگر نزدیک می شوند.
- حرکت w_3 به اندازه حرکت مجموع w_1, w_2 است.
- مقدار فیدبک و نقطه ای که به ازای آن قطب ها محور حقیقی را ترک می کنند.

$$-(2a + g) = -(w_1 + w_2 + w_3)$$

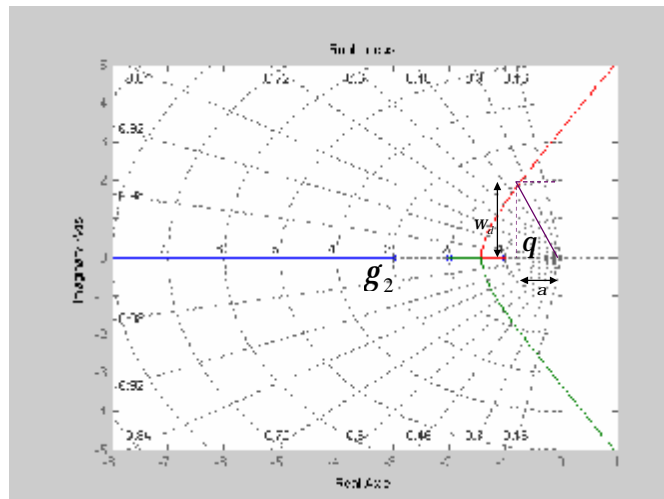
- اگر مقدار فیدبک از حدی بیشتر شود سیستم ناپایدار می گردد. به ازاء مقداری از فیدبک که ریشه ها روی محور موهومی قرار گیرند تقویت کننده آسیلاتور می شود.
- در نقاطی که ریشه روی محور موهومی قرار می گیرد ریشه سوم از رابطه $g_1 = (w_1 + w_2 + w_3)$ بدست می آید. در این حالت تقویت کننده به نوسان در می آید

1/2/2006

35



مقدار فیدبکی که ریشه را تحت زاویه q قرار می دهد



$$tgq = \frac{w_d}{a} \quad -(2a + g_2) = w_1 + w_2 + w_3$$

تعریف K, Q_g برای تقویت کننده های دو قطبی و سه قطبی متفاوت است.

1/2/2006

$$Cosq = K$$



تقویت کننده های سه قطبی

ریشه ها روی محور jW $K=0 \Rightarrow q=90 \Rightarrow$

در این حالت تقویت کننده اسیلاتور می شود.

تمرین:

- برای تقویت کننده دو قطبی با دو ریشه حقیقی با شرط زیر ماکزیمم مقدار Q را بیابید.

$$\left| \frac{s_b}{s_a} \right| > 4$$

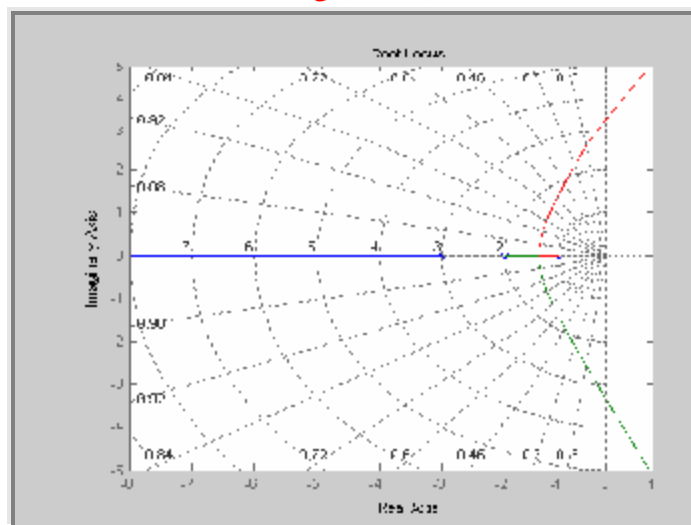
1/2/2006

37



حالات مختلف ریشه ها نسبت به هم در تقویت کننده سه قطبی

سه ریشه حقیقی ساده

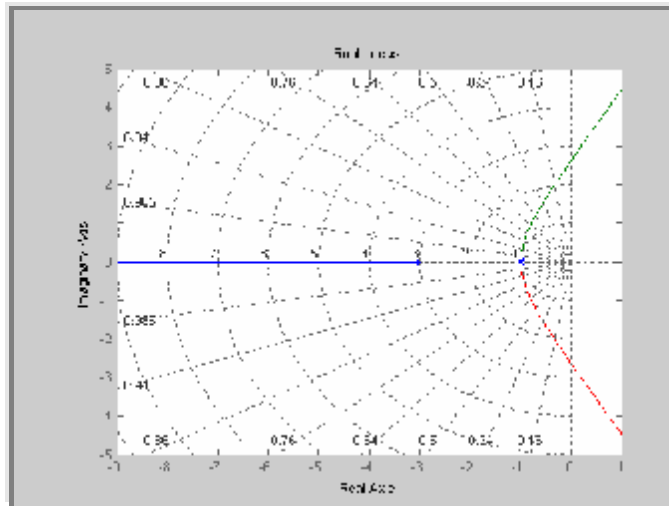


1/2/2006

38



حالات مختلف ریشه ها نسبت به هم در تقویت کننده سه قطبی
دو ریشه حقیقی مضاعف یک ریشه حقیقی ساده
|ریشه مضاعف| > |ریشه ساده|

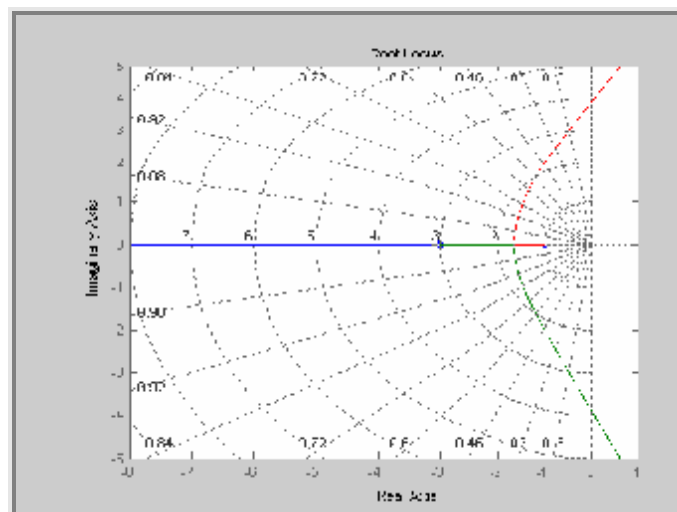


1/2/2006

39



حالات مختلف ریشه ها نسبت به هم در تقویت کننده سه قطبی
دو ریشه حقیقی مضاعف یک ریشه حقیقی ساده
|ریشه ساده| > |ریشه مضاعف|

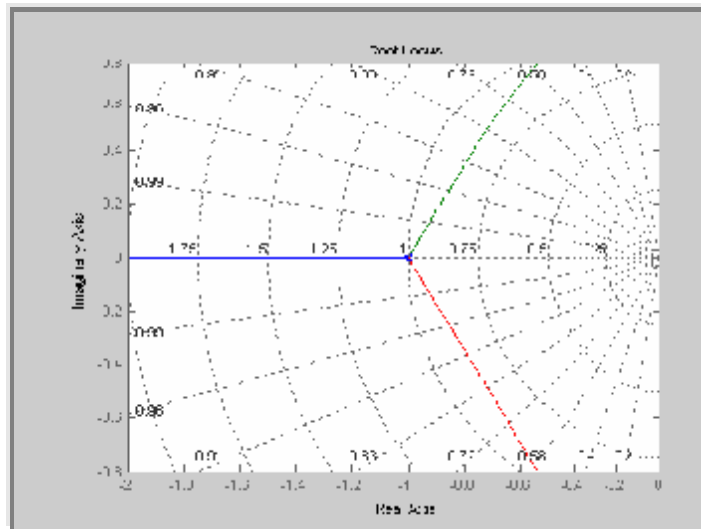


1/2/2006

40



حالات مختلف ریشه ها نسبت به هم در تقویت کننده سه قطبی سه ریشه حقیقی مساوی

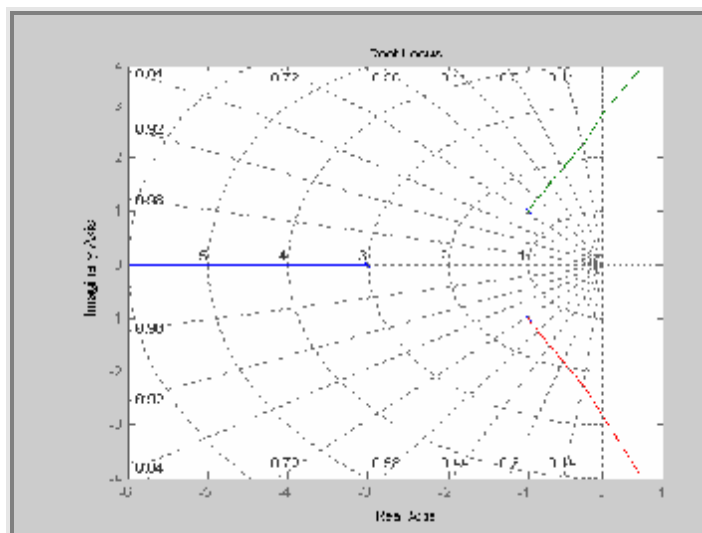


1/2/2006

41



حالات مختلف ریشه ها نسبت به هم در تقویت کننده سه قطبی دو ریشه مختلط و یک ریشه حقیقی

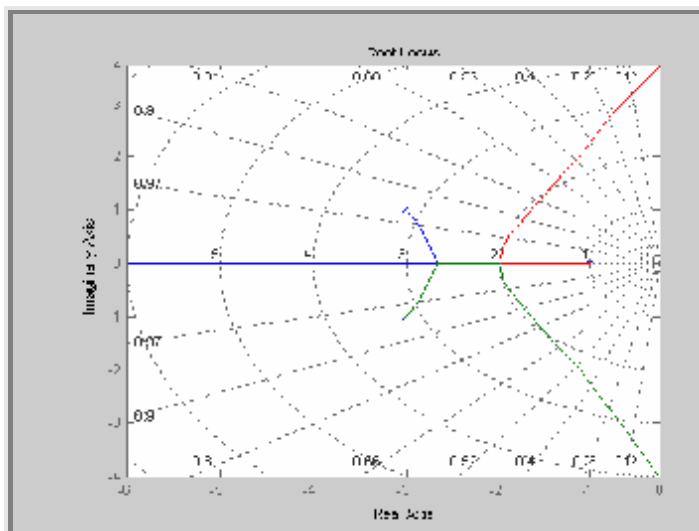


1/2/2006

42



حالات مختلف ریشه ها نسبت به هم در تقویت کننده سه قطبی
دو ریشه مختلط و یک ریشه حقیقی



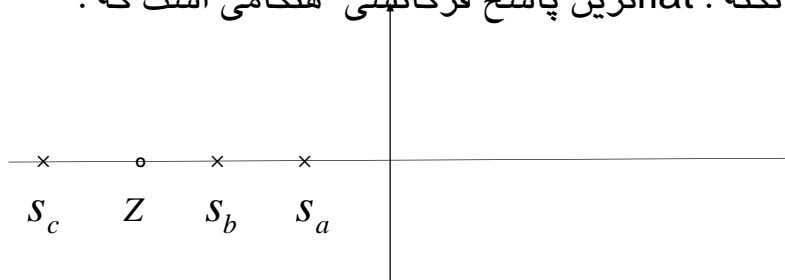
1/2/2006

43



تمرین:

- برای حالتی که سه قطب حقیقی و مجزا هستند محل های مختلف برای صفر در نظر بگیرید و مکان هندسی ریشه ها را رسم کنید.
- نکته : flat ترین پاسخ فرکانسی هنگامی است که :



1/2/2006

44



• تجزیه و تحلیل تقویت کننده های چند قطبی

• به طور کلی پاسخ سیستم های با فیدبک که دارای بیش از سه قطب هستند چنان پیچیده است که باید از کامپیوتر استفاده شود.

• اگر قطب های تقویت کننده بدون فیدبک از هم زیاد دور باشند، می توان از روش تقریبی ساده برای تجزیه و تحلیل استفاده کرد.

• قطب غالب در تقویت کننده دو قطبی

• در یک تقویت کننده دو قطبی، اگر قطب های بدون فیدبک از هم زیاد دور باشند، پس از اعمال فیدبک محدود ممکن است قطب ها هنوز بیش از دو اکتاو از هم فاصله داشته باشند. در این صورت برای تجزیه و تحلیل پاسخ مدار از تئوری مدارات تک قطبی (قطب غالب) استفاده کرد.

• حد اکثر Q را که برای آن قطب قالب وجود دارد را محاسبه کنید.

1/2/2006

45



$$S_{1,2} = -\frac{(w_1 + w_2)}{2} \pm \frac{(w_1 + w_2)}{2} \sqrt{1 - 4Q^2}$$

$$n = \frac{w_2}{w_1} > 1$$

$$S_1 = -w_1 \frac{(n+1)}{2} (1 - \sqrt{1 - 4Q^2})$$

$$S_2 = -w_1 \frac{(n+1)}{2} (1 + \sqrt{1 - 4Q^2})$$

$$\left| \frac{S_2}{S_1} \right| > 4 \quad \text{برای داشتن قطب قالب باید}$$

1/2/2006

46



$$\frac{(1 + \sqrt{1 - 4Q^2})}{(1 - \sqrt{1 - 4Q^2})} > 4 \Rightarrow Q < 0.4$$

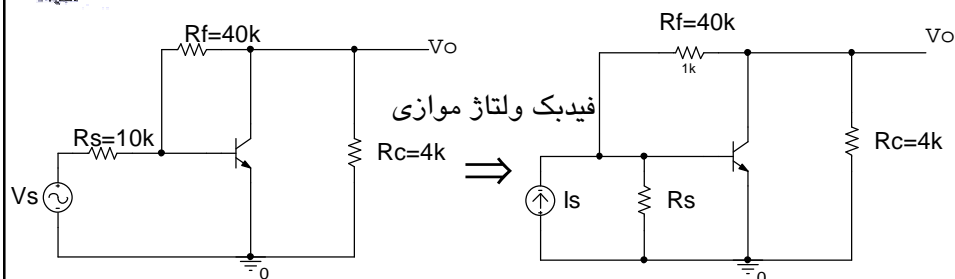
- لازم به یادآوریست که در $Q = 1/2$ مقدار ریشه ها با هم مساوی می شوند.
- اگر $Q_{min} \leq 0.4$ باشد، تقویت کننده دارای قطب غالب است.

1/2/2006

47



مثال:



$$g_m = 50 \text{ mA/V}$$

$$r_p = 1 \text{ K}$$

$$r_m, r_{ce} = \text{صرف نظر}$$

$$r_x = 100$$

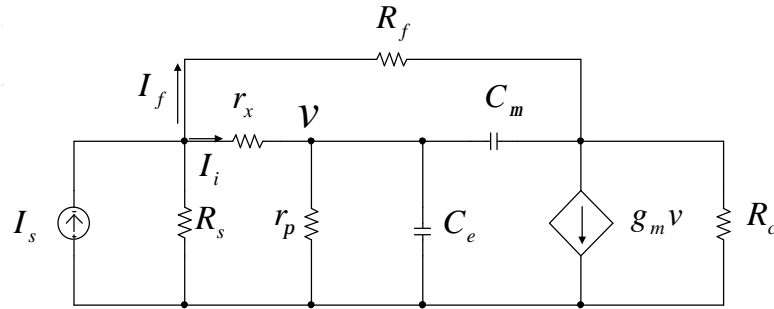
$$C_m = 3 \text{ pf}$$

$$C_e = 100 \text{ pf}$$

$$R_M = A = \frac{V_o}{I_s} \Rightarrow \begin{cases} s_z = 15 \times 10^9 \\ s_1 = -8.6 \times 10^6 \\ s_2 = -5.95 \times 10^8 \end{cases}$$

1/2/2006

48



$$x_i = x_s - x_f \quad I_i = I_s - I_f \quad b = -\frac{x_i}{x_o} \Big|_{x_s=0} = -\frac{I_f}{v_o}$$

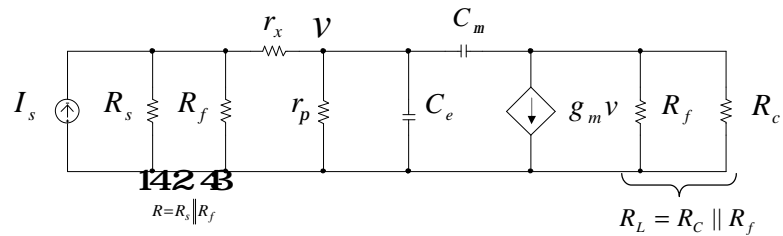
چون تقویت کننده امیتر مشترک است.

$$I_f = \frac{v_i - v_o}{R_f} \cong \frac{-v_o}{R_f}$$

$$b = -\frac{I_f}{v_o} = \frac{-1}{R_f} = -2.5 \times 10^{-5} \text{ A/v}$$

1/2/2006

49



$$R_M = \frac{-R_L R G_1 (g_m - s C_m)}{s^2 C_e C_m R_L + s [C_e + C_m + C_m R_L (g_m + g_p + G_1)] + G_1 + g_p}$$

$$R_1 = R + R_x$$

$$R_M = \frac{9.85 \times 10^9 (s - 16.6 \times 10^9)}{(s + 600 \times 10^6)(s + 1.7 \times 10^6)}$$

1/2/2006

50



- صفرها و قطب هایی که به مبدا نزدیک ترند تحت فیدبک بیشتر جابه جا می شوند.

$$R_{M0} = -1.6 \times 10^5 \Omega$$

$$Q_f = \frac{\sqrt{w_1 w_2 (1 + b_0 A_0)}}{w_1 + w_2} = 0.014 < 0.5$$

- پس از اعمال فیدبک تقویت کننده دارای قطب غالب می شود.



چون تقویت کننده دارای قطب غالب است

$$f_h \cong \frac{|s_a|}{2p} \Rightarrow f_h = \frac{w_1}{2p} = \frac{1.7 \times 10^6}{2p} = 271 \text{ kHz}$$

فرکانس ۳ dB برای تقویت کننده بدون فیدبک

$$f_{hf} \cong \frac{|s_1|}{2p} \quad S_1 = -\frac{(w_1 + w_2)}{2} + \frac{(w_1 + w_2)}{2} \sqrt{1 - 4Q^2}$$

$$f_{hf} \cong \frac{|s_1|}{2p} \Rightarrow f_{hf} = 1.36 \text{ MHz}$$

فرکانس ۳ dB برای تقویت کننده با فیدبک

مقدار دقیق این فرکانس 1,37 مگاهرتز است



$$R_{Mf_0} = \frac{R_{M_0}}{1 + b_0 R_{M_0}} = -3.2 \times 10^4 \Omega$$

بنا بر این اگر فقط قطب غالب را در نظر بگیریم، تابع تبدیل تقویت کننده به صورت زیر است.

$$R_{Mf} = -\frac{3.2 \times 10^4}{1 + j\left(\frac{f}{1.36}\right)} \Omega \quad \text{فرکانس بر حسب مگا هرتز}$$

$$A_{vf} = \frac{V_o}{I_s R_s} = \frac{R_{Mf}}{R_s} \quad A_{vf} = -\frac{3.2}{1 + j\left(\frac{f}{1.36}\right)}$$

نکته: بطوری که دیده میشود R_{Mf} و A_{vf} دارای یک فرکانس 3 dB هستند.



پایان