

$$G(s) = \frac{0.1s - 0.12}{s^3 + 0.19s^2 + 9s} \quad \text{سیستم حلقه باز}$$

$$GH(s) = \frac{G(s)}{1 + KG(s)} \rightarrow \Delta = 1 + KG(s) = s^3 + 0.19s^2 + 9s + 0.1Ks - 0.12K \Rightarrow$$

$$\Delta = s^3 + 0.19s^2 + (9 + 0.1K)s - 0.12K$$

$s^3$	1	$9 + 0.1K$
$s^2$	0.19	$-0.12K$
$s^1$	$\left  \begin{array}{cc} 0.19 & -0.12K \\ 1 & 9 + 0.1K \end{array} \right  = 9 + 0.122K$	
$s^0$	$\left  \begin{array}{cc} 9 + 0.122K & 0 \\ 0.19 & -0.12K \end{array} \right  = -0.12K$	

شرط پایداری:  $\begin{cases} 9 + \frac{0.12}{0.19}K > 0 \Rightarrow \frac{0.12}{0.19}K > -9 \Rightarrow K > -21.15 \\ -0.12K > 0 \Rightarrow K < 0 \end{cases}$

$$\Rightarrow \boxed{-21.15 < K < 0}$$



$$G(s) = \frac{0.15s - 0.2}{s^3 + 0.9s^2 + 95}$$

مرحله اول: یافتن نقاط انتاد و استاد  
if  $K=0$ :  $s(s^2 + 0.9s + 9) = 0 \rightarrow s=0, -0.45 \pm j2.97i$  نقاط ابتدا

if  $K \rightarrow \pm \infty$ :  $0.15s - 0.2 = 0 \rightarrow s = 2$  نقطه انتایی

مرحله دوم: تعداد شاخه ها:  $2 \text{ branch} \rightarrow \infty$

مرحله سوم: تقارن: تقارن تنها نسبت به محور حقیقی دارد.

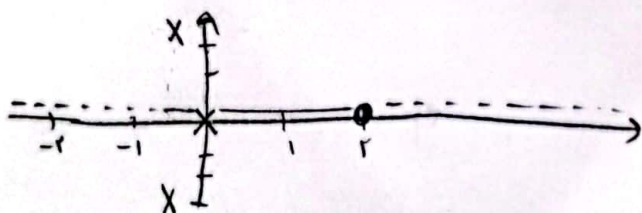
مرحله چهارم: جانب ها: 2 جانب RL و 2 جانب RL دارد.

زاویه محورهای جانب RL:  $\begin{cases} \frac{\pi}{2} \\ \frac{3\pi}{2} \end{cases}$

زاویه محورهای جانب RL:  $\begin{cases} 0 \\ \pi \end{cases}$

عمل تلافی: میانها بر روی محور حقیقی عبارت است از:

$$\sigma = \frac{\sum P_i - \sum Z_i}{n-m} = \frac{-0.9 - 2}{2} = -1.45$$



مرحله پنجم: مشخص کردن RL و CR:

مرحله ششم: نقاط جدایی شاخه ها  
 $\frac{\partial G(s)}{\partial s} = 0 \Rightarrow \frac{0.1(s^3 + 0.9s^2 + 95) - (0.15s - 0.2)(3s^2 + 1.8s + 9)}{(s^3 + 0.9s^2 + 95)^2} = 0$

$$-0.2s^3 + 0.151s^2 + 0.134s + 1.1 = 0 \quad \text{حله } s = 2.7 \text{ و } -0.157 \pm j1.45i$$

فقط  $s = 2.7$  قابل قبول است.

مرحله هفتم: یافتن رولای ورود و خروج:

$$\theta_{Z_1} - (\theta_{P_1} + \theta_{P_2} + \theta_{P_3}) = \pi \Rightarrow \pi - (\arctan(\frac{1.97}{-0.15}) + \arctan(\frac{1.97}{-0.15}) + \theta_{P_2}) = \pi \Rightarrow \theta_{P_2} = 0$$

نام خروج از قطب بی صدا ( $s=0$ )

$$\theta_{Z_1} - (\theta_{P_1} + \theta_{P_2} + \theta_{P_3}) = \pi \Rightarrow \theta_{Z_1} - (\theta_{P_1} + \theta_{P_2} + 0) = \pi \Rightarrow \theta_{Z_1} = \pi \rightarrow \text{رایه ورود به صفر}$$

$$\theta_{Z_1} - (\theta_{P_1} + \theta_{P_2} + \theta_{P_3}) = \pi \Rightarrow \arctan(\frac{1.97}{1.145}) - (\theta_{P_1} + \frac{\pi}{2} + \arctan(\frac{1.97}{-0.15})) = \pi \rightarrow$$

$$0.111 - (\theta_{P_1} + 1.107 + 1.142) = 3.14 \rightarrow \theta_{P_1} = 1.03 \text{ rad} = 59.02^\circ$$

برای  $P_2$  نیز به طور مشابه محاسبه می شود.



$$G(s) = \frac{0.15 - s^2}{s^3 + 0.95s^2 + 95}$$

$$\xrightarrow{\text{حذف } s} G_p(s) = 91 \frac{1}{s^2 + 0.95s + 9}$$

$$10 < \%MP < 15$$

$$t_s < 1.5$$

بررسی خواص  $G_p(s)$ :

$$\omega_n^2 = 1.14 \Rightarrow \omega_n = 1.07$$

$$2\zeta\omega_n = 0.9 \rightarrow \zeta = 0.152 \rightarrow PM = 15.1^\circ$$

$$\%MP = 100 e^{-\frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}} = 100 e^{-\frac{0.1157\pi}{\sqrt{1-0.1157^2}}} = 41.7\% \quad t_s = \frac{4}{2\omega_n} = 1.19$$

هیچکدام از موارد بالا مورد قبول نیست و باید با کنترلر روی بازه های دلخواه تنظیم شوند.

$$\%MP = 12 \rightarrow 100 e^{-\frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}} \Rightarrow \zeta = 0.152$$

$\%MP$  به بیت احتیاط برابر ۱۲ گرفته ایم.

$$\Rightarrow \zeta = \frac{PM}{100} \Rightarrow PM = 86$$

و بنابراین ضریب فاز مطلوب ۸۶ می باشد.

$$t_s = \frac{4}{2\omega_n} = 1.5 \Rightarrow \omega_n = \frac{4}{1.5 \times 2} = 1.33 \xrightarrow{\text{بند انتظاری}} \omega_n = 0.8$$

برای شروع طراحی، فرکانس گذر (جایی که نمودار صفر وسیل را قطع می کند) را برابر ۰.۸ در نظر می گیریم:

$$20 \log_{10} |G_p(0.8)| = -38.44 \text{ dB} \quad K = 10^{38.44/20} = 15.14$$

برای جبران مقدار و به  $K=15.14$  قرار می دهیم چرا که می دانیم به ازای  $K > 0$ ، فاز هیچ تغییری نمی کند اما می تواند از ۰ به قدر  $K$  و بالا انتقال می یابد.

$$\Rightarrow K = 15.14$$

حال نمودار بود  $G_p(s)$  را رسم کرده و مقادیر  $PM$  و  $GM$  آن را مورد بررسی قرار می دهیم. (یا متلب) مقدار  $GM$  همچنان  $\infty$  است چرا که گفتیم  $K$  نمودار فاز را تغییر نمی دهد.  $PM = 25.5^\circ @ \omega = 0.9$

می دانیم برای بهبود پاسخ گذرای سیستم، باید از جبران ساز  $lead$  استفاده کنیم پس در ادامه به طراحی جبران ساز

$lead$  می پردازیم:

$$(1) \text{ یافتن } K: K = 15.14$$

$$(2) \phi = PM - PM = 30.5^\circ$$

$$(3) \text{ پیدا کردن } \alpha: \alpha = 0.12$$

$$\phi_m = \phi + 10^\circ = 40.5^\circ$$

$$\alpha = \frac{1 - \sin \phi_m}{1 + \sin \phi_m} \Rightarrow \alpha = 0.12$$

(4) محاسبه  $T$ :

$$\omega_{cg} = \frac{1}{T\sqrt{\alpha}} \xrightarrow{\omega_{cg} = 0.9} T = \frac{1}{0.9 \sqrt{0.12}} = 0.44$$

$$C(s) = K \frac{Ts+1}{\alpha Ts+1} = 15.14 \frac{0.44s+1}{0.053s+1}$$

$$20 \log_{10} |C(j\omega)| = 20 \log_{10} \sqrt{\alpha} = -5.29 \text{ dB} @ \omega_{cg} = 0.9$$

وقتی به پاسخ به سیستم نگاه می کنیم، خواهیم دید که  $1.11P$  زیاد است. برای بهبود آن از یک جبران ساز پس فاز استفاده می کنیم.

$$K=1$$

مقدار  $K$  را باید کم تر می کنیم تا دوباره  $1.11P$  آن تغییر نکند.

$$\alpha = 0.928 \quad \omega_g = 3.11 = \omega_c$$

$$Z = \frac{1}{3.11} \sqrt{\left(\frac{0.6}{0.05}\right)^2 - 1} = 3.13$$

$$C = \frac{1.95S + 1}{3.13S + 1}$$

به باقیمانده جبران ساز روبرو، جواب خیلی بهتری شود اما همچنان اهداف سوال اقتناع نمی شود. در ادامه می توان با تغییر مقادیر گونای که قطب و صفر از مبدأ دور شوند (صفر را کمتر از صفر می کنیم) سیستم را به اهداف سوال رساند.

پرسش هفت

$$G(s) = \frac{0.15 - 0.2}{s^3 + 0.9s^2 + 95} \quad \text{سیستم تخمین زده شده}$$

$$\lim_{s \rightarrow 0} sG(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{0.15 - 0.2}{s^2 + 0.9s + 9} = \frac{-0.2}{9} \Rightarrow K_v = -\frac{2}{90}$$

$$\frac{1}{K_v} = 0.02 \rightarrow \frac{1}{K_v} < 0.02 \rightarrow K_v > 50$$

$$K = \frac{K_v}{K} = \frac{50}{-\frac{2}{90}} = -50 \times 45 = -2250$$

مقدار انداز  $K$  باید از  $2250$  بزرگتر باشد تا خطای ماندگار به ووری شیب کمتر از  $2$  درصد شود.