بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده فنی امام صادق (ع) بابل

جزوه درس کنترل خطی

استاد :جناب مهندس نبی پور

سال تحصیلی 99-98

کنترل

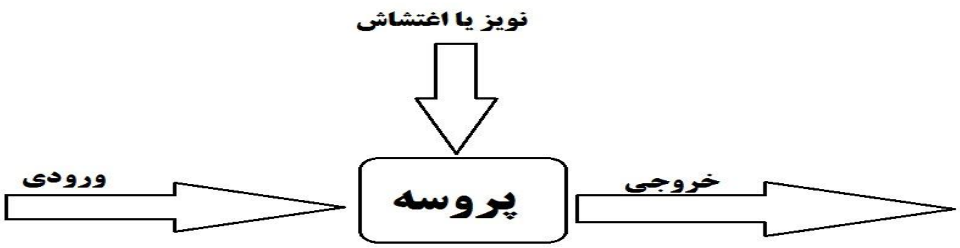
در زندگی روزمره اصطلاحاتی نظیر کنترل ترافیک ، کنترل اتومبیل ، کنترل دمای آب ، کنترل ورود خروج افراد و ... بسیاری دیگر شنیده می شود . کنترل علمی است که در مورد چگونگی تحت اختیار درآوردن و هدایت رفتار پروسه ها صحبت می کند.

پروسه : فرایندی یا پدیده ای که مایل به در اختیار درآوردن آن هستیم .

ورودی : فرمانی که برای هدایت پروسه به آن اعمال می شود را ورودی پروسه می نامند.

خروجی : رفتاری که مورد توجه ما هستند و مایل به در اختیار درآوردن آن هستیم را خروجی پروسه می گویند.

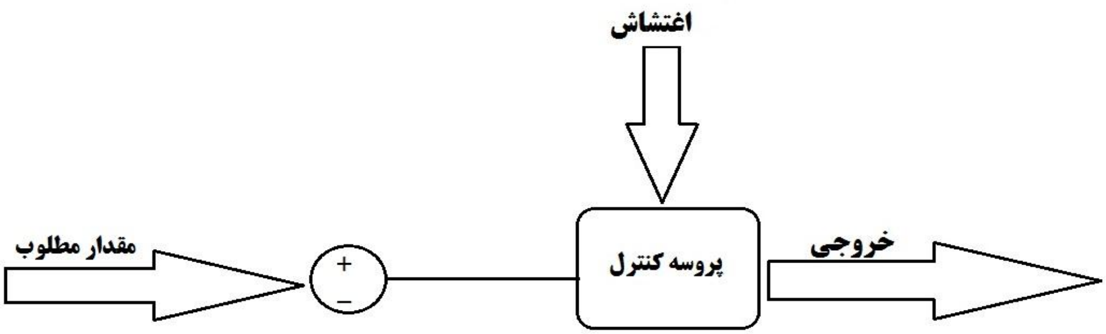
اغتشاش : ورودی های مزاحم و ناخواسته ای که باعث انحراف خروجی از مقدار مطلوب می گردند ودر امر کنترل اختلال ایجاد می کنند را نویز یا اغتشاش می گویند.



سیستم : مجموعه ای از عناصر ، اجزاء و قطعات که با همکاری و ارتباط با یکدیگر هدف مشترکی را دنبال می کنند.

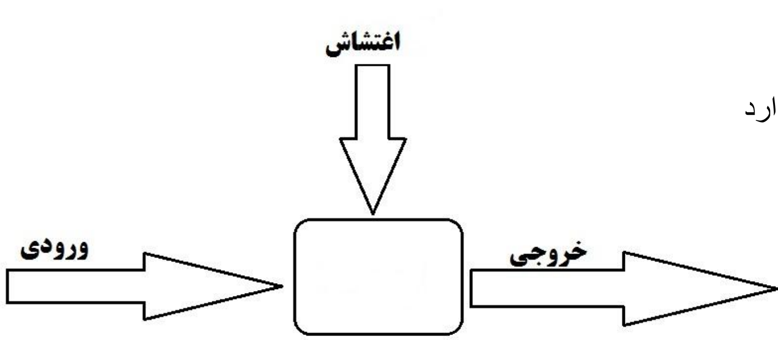
انواع سیستم کنترل

1- سیستم حلقه های بسته با فیدبک

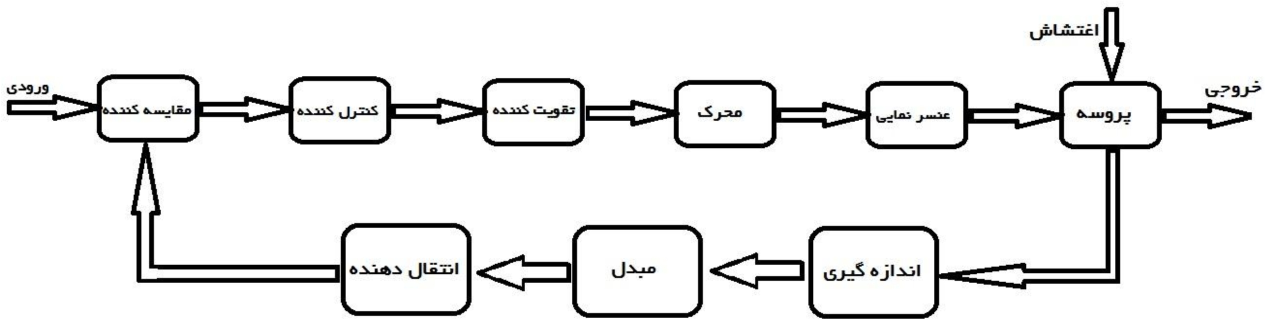


2- سیستم حلقه باز

فیدبک از خروجی به ورودی وجود ندارد



نمایش یک حلقه کنترل صنعتی در حالت کلی:



اندازه گیری مبدل انتقال دهنده

اندازه گیری خروجی را با سنسورهای مختلف اندازه گیری کرده و به واحد مبدل برای انتقال به ورودی با واحد انتقال دهنده ارسال می کند.

مقایسه کننده : خروجی اندازه گیری شده با مقدار مطلوب در این بلوک (مقایسه کننده) مورد مقایسه قرار گرفته و خروجی آن به واحد کنترل کننده ارسال می شود.

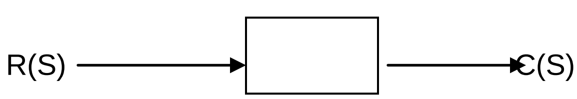
کنترل کننده : با توجه مقدار ورودی کنترل کننده واحدکنترل کننده فرمان لازم برای پروسه تحت کنترل ارسال می کند.

تقویت کننده : فرمان ارسالی از کنترل کننده آن قدر قوی نیست که بتواند واحد محرک را به حرکت درآورد بنابراین قبلا باید تقویت گردد.

محرک : عنصرنهایی را به حرکت وا می دارد.

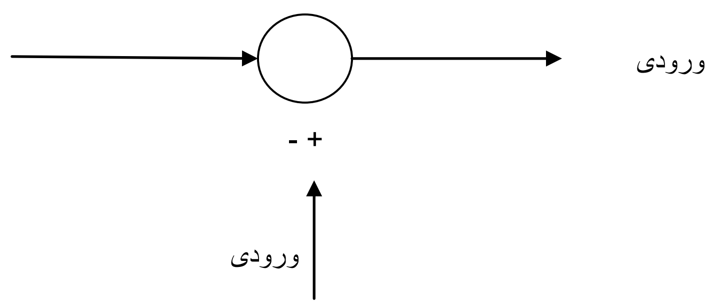
عنصرنهایی : همانطور که از نامش پیداست آخرین قسمت سیستم کنترل می باشد و ورودی از این طریق به پروسه اعمال می شود.

مثال : کنترل بخار در یک پروسه می باشد.

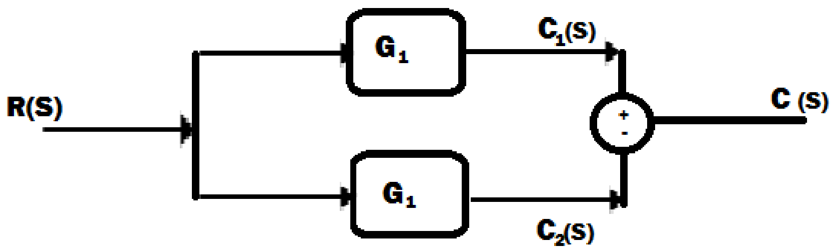


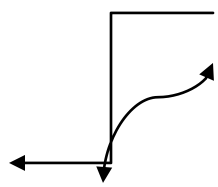
$$T(s) = \frac{C(s)}{R((S)}$$

نقطه جمع



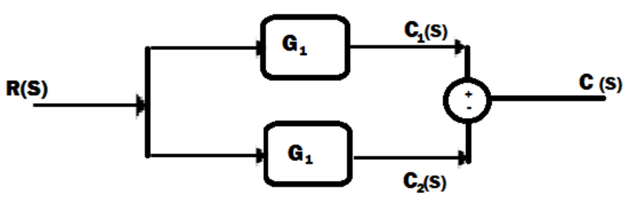
اتصال موازی بلوک دیاگرام





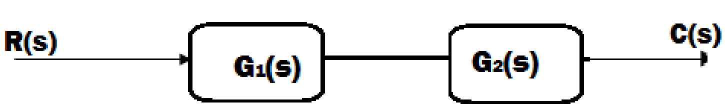
$$C(s)=+C_1(s)+C_2(s) \Longrightarrow C(s)=R(s)[G_1(s)+G_2(s)]$$

تمرین



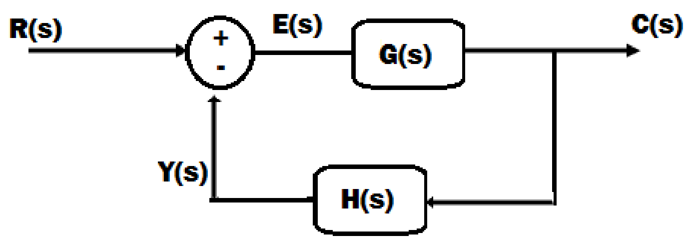
$$\left. \begin{array}{l} C_1(\mathrm{s})=\mathrm{G}_1(\mathrm{s}).\mathrm{R}(\mathrm{s}) \\ C_2(\mathrm{s})=\mathrm{G}_2(\mathrm{s}).\mathrm{R}(\mathrm{s}) \end{array} \right| \quad C(s)=C_1(s)-C_2(s) \Longrightarrow C(s)=R(s)[G_1(s)+G_2(s)]$$

اتصال بلوک سری



$$C(s)=Rs[G_1(s).G_2(s)]$$

اتصال یک فیدبک حلقه



$E(s) = R(s) - Y(s)$

$Y(s) = C(s) - H(s)$

$C(s) = E(s) - G(s)$

$C(s) = E(s).G(s)$

$C(s) = [R(s) - Y(s)].G(s)$

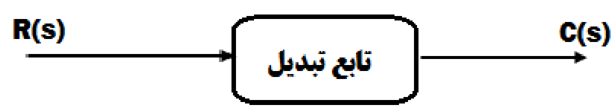
$C(s) = \big[R(s) - \big(C(s).H(s)\big)\big].G(s)$

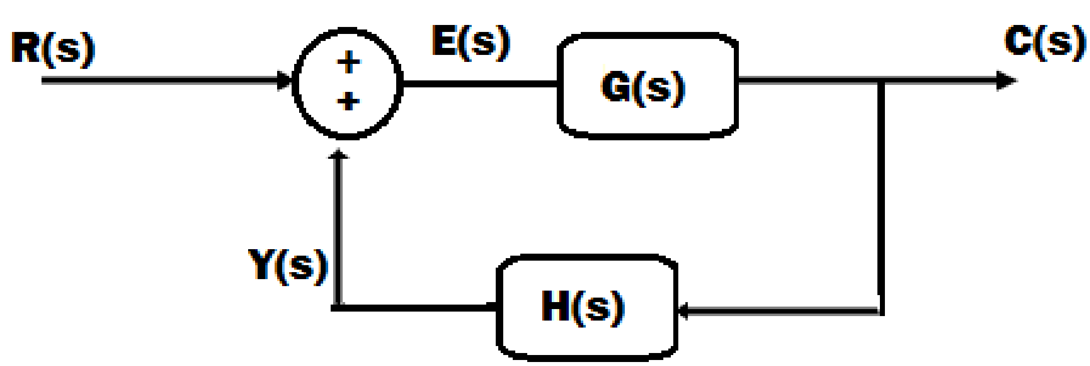
$C(s) = [R(s).G(s) - C(s)H(s).G(s)]$

$C(s) + C(s)H(s).G(s) = R(s).G(s) \Rightarrow \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1+G(s).H(s)}$

$C(s)\big(1 + H(s).G(s)\big) = R(s)G(s)$

$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + H(s).G(s)}$





$E(s) = R(s) + Y(s)$

$$Y(s) = C(s).H(s)$$

$$C(s) = E(s).G(s)$$

$$C(s) = R(s) + Y(s).G(s)$$

$$C(s) = R(s) + \big(C(s).H(s)\big).G(s)$$

$$C(s) = \big(R(s).G(s)\big) + (C(s).H(s).G(s))$$

$$C(s) - \big(C(s).H(s).G(s)\big) = R(s).G(s)$$

$$C(s)\big(1 - H(s).G(s)\big) = R(s).G(s) \Rightarrow \frac{C(s)\big(1 - H(s).G(s)\big)}{R(s)} =$$

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 - H(s).G(s)}$$

زمان مرده : گاهی اوقات وقتی فرمانی ارسال می شود مدت زمان زیادی طول می کشد تا پروسه شروع به پاسخ دادن به آن فرمان کند که به این زمان ، زمان مرده گویند.

اندازه گیر ها:

سنسور : عنصری است که به کمیت خاصی حساس باشد و یا در برابر آن کمیت خاص از خود عکس العمل نشان می دهد مثلاً ترموکوبل یک سنسور دما است چرا که با تغییرات دما خروجی آن که ولتاژ باشد تغییر می کند.

ترانس دیوسر : عنصری است که یک نوع انرژی را به نوع دیگر انرژی تبدیل می کند. ترانس دیوسر را می توان مبدل انرژی یا به طور خلاصه مبدل نامید. یک سنسور هم می تواند ترانس دیوسر باشد مثلاً سنسور فشار ، فشار را به ولتاژ الکتریکی تبدیل می کند.

ترانسمیتر : اکثر وسایل یا تجهیزاتی که برای کنترل یک پروسه به کار می رودمعمولاً در اتاق فرمان و در فاصله دور از پروسه نصب می شوند بنابراین سیگنال ناشی از کمیت اندازه گیری شده باید به گونه ای مطمئن به اتاق فرمان ارسال گردد این کار توسط ترانسمیتر انجام می شود.

برای بدست آوردن بهره ی یک مدار کنترل پیچیده از روش میسون برای سادگی کار استفاده می شود .

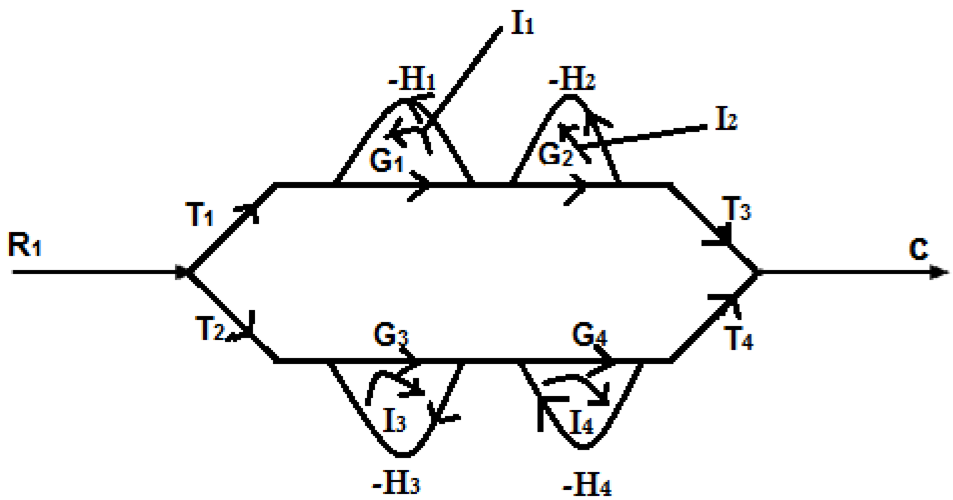
$$T(s) = \frac{C(s)}{R(s)} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i \Delta_i}{\Delta}$$

n = تعداد مسیرهای اصلی   p = بهره مسیر اصلی

Δ = 1- (بهره حلقه های مجزا)+ (بهره دو حلقه مجزا)

Δ_i= همان مقدار Δ در سیستمی که مسیر اصلی i ام آن حذف شده

تمرین



بهره مسیر اصلی : برای نوشتن بهره مسیر اصلی از ورودی شروع به حرکت کرده و در جهت فلش حرکت می کنیم کلیه بهره مسیر را به صورت ضرب می نویسیم.

بهره مسیر اصلی $P_2 = T_2.G_3.G_4.T_4$

بهره مسیر اصلی $P_1 = T_1.G_1.G_2.T_3$

$L_1 = -G_1.H_1$

$L_2 = -G_2.H_2$

$L_3 = -G_3.H_3$

$L_4 = -G_4.H_4$

$\Delta = 1 - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4) + (L_1 * L_3 + L_1 * L_4 + L_2 * L_3 + L_2 * L_4)$

$$\Delta = 1 - (G_1H_1 - G_2H_2 - G_3H_3 - G_4H_4) + (G_2H_1 * G_3H_3) + (G_1H_1 * G_4H_4) + (G_2H_2 * G_3H_3) + (G_2H_2 * G_4H_4)$$

$$T(s) = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i \, \Delta_i}{\Delta} = \frac{P_1 \, \Delta_1 + P_2 \, \Delta_2}{\Delta}$$

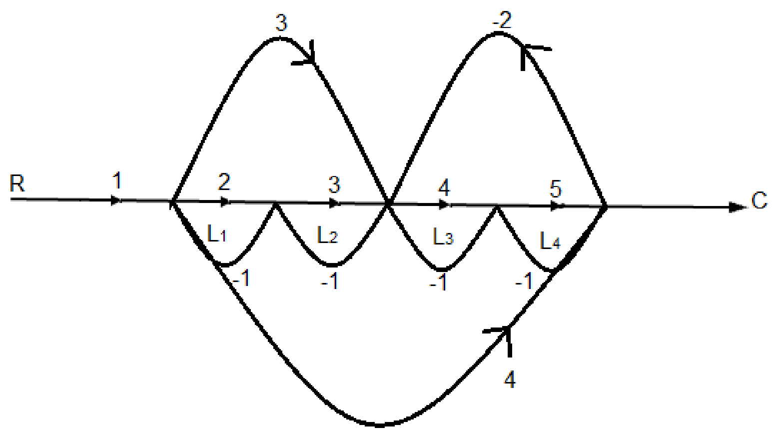
$\Delta_1 =$ همان Δ با حذف مسیر i

$\Delta_1 = 1 - (L_3 + L_4) \Rightarrow 1 - (G_3H_3 - G_4H_4)$

$\Delta_2 = 1 - (L_1 + L_2) \Rightarrow 1 - (-G_1H_1 - G_2H_2)$

با حذف مسیر دوم هر چه ماند را می نویسیم.

$$T(s) = 1 - T_1G_1G_2T_2(1 + G_3H_3 + G_4H_4) \quad (T_3G_3G_4T_4)1 + (G_1H_1 + G_2H_2)$$



$$P_1 = 1 * 2 * 3 * 4 * 5 = 120$$

$$P_2 = 1 * 6 = 6$$

$$P_3 = 1 * 3 * 4 * 5 = 60$$

$L_1 = (2)(-1)$ $\qquad$ $L_2 = 3(-1)$

$L_3 = 4(-1)$ $\qquad$ $L_4 = 5(-1)$

$L_5 = -2(4)(5)$ $\qquad$ $L_6 = 3(-1)(-1)$

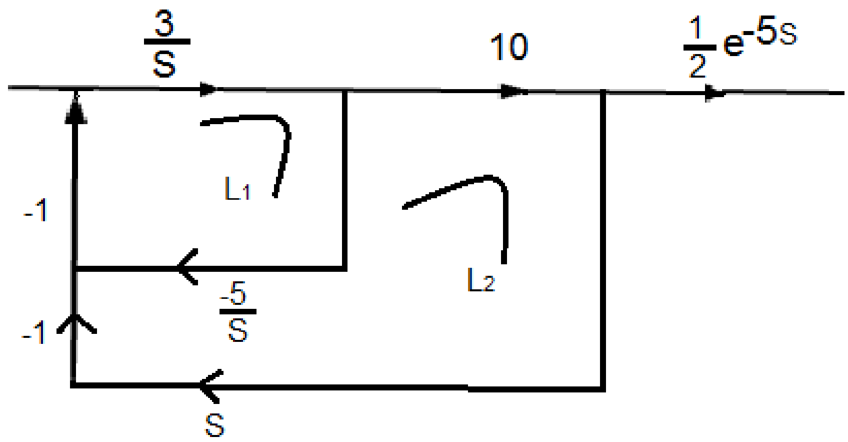
$L_7 = 6(-2)(-1)(-1)$ $\qquad$ $L_8 = 9(-1)(-1)(-1)(-1)$

$$\Delta = 1 - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7 + L_8) + (L_1L_3 + L_1L_4 + L_1L_5 + L_2L_4 + L_1L_5 + L_4L_6)$$

$$\Delta_1 = 1$$

$\Delta_2 = 1 - L_2 - L_3$ $\qquad$ $T_1 = \dfrac{\Delta_1P_1 + \Delta_2P_2 + \Delta_3P_3}{\Delta}$

تمرين



$$P_1 = 1 * \frac{2}{S} * 10 * \frac{1}{2} e^{-5S}$$

$$L_1 = \frac{3}{S} * \frac{-5}{S} * -1 = \frac{-15}{S^2}$$

$$L_2 = \frac{3}{S} * 10 * S * -1 * -1 = 30$$

$$T = \frac{P_1 \Delta_1 + P_2 \Delta_2 + \cdots}{\Delta}$$

$$T = \frac{15}{S} e^{\frac{-5}{S}}$$

$$\Delta_1 = 1 - (0)$$

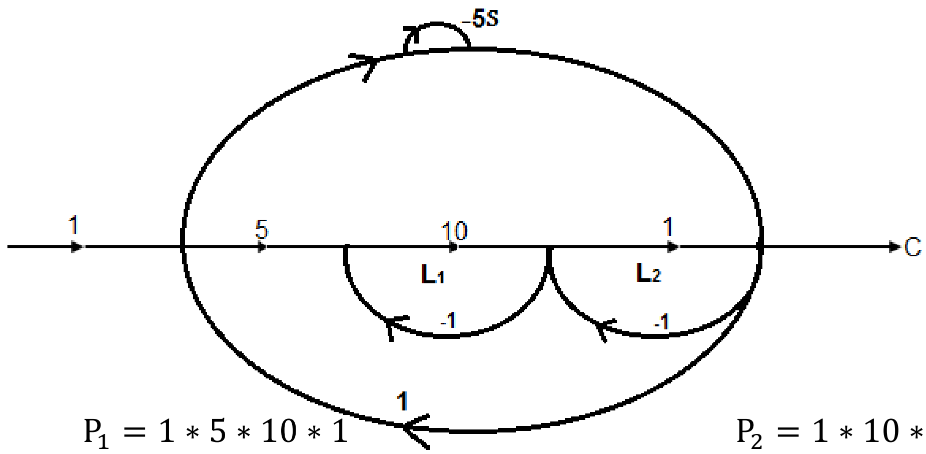
$$\Delta_2 = 1 - (L_2 + L_3) = 1 - \left(\left(\frac{3}{S} * \frac{-5}{S} * -1\right) + 30\right)$$

$$\Delta_2 = 1 - \left(\frac{15}{S^2} + 30\right)$$

$$T = \frac{\frac{15}{S} e^{\frac{-5}{S}} * 1}{1 - \left(\frac{15}{S^2} + 30\right)} = \frac{15e^{-5S}}{\frac{-15}{S^2} - 29}$$

$$1 - \left(\frac{15}{S^2} + 30\right) \Rightarrow 1 - \left(\frac{15}{S^2} + 29\right)$$

مثال : با روش میسون حل گردد



$P_1 = 1 * 5 * 10 * 1$ $\qquad\qquad$ $P_2 = 1 * 10 * 2$

باحذف مسیر اصلی 1 هرچه ماند می نویسیم $\Delta_1 = 1 — 4 = 1 + \frac{0}{5} = 1/5$

$L_1 = 10 * -1$ $\qquad\qquad$ $L_2 = 1 * -2$

با حذف مسیر دوم هرچه ماند می نویسیم $\Delta_2 = 1 - (L_1) = 1 + 10 = 11$

$L_3 = 5 * 10 * 1 * -1$ $\qquad\qquad$ $L_4 = 0.5$ $\qquad\qquad$ $L_5 = 10 * 2 * 1$

$$\Delta = 1 - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5) + (L_1L_4 + L_1L_5 + L_2L_4 + L_3L_4)$$

$$T = \frac{P_1\Delta_1 + P_2\Delta_2}{\Delta}$$

$$= \frac{50 * (1 + 0.5) + 1 * 10 * 2(1 + 10)}{1 - (-10 - 2 + 5 - 0.5 + 20) + (-10 * -0.5 + (-10) * -20 \pm 2 * 0.5)}$$

$f(t)$		$f(s)$
$\propto$	$\Rightarrow$	1
$U(t)$	$\Rightarrow$	$\frac{1}{s}$
$tf(t)$	$\Rightarrow$	$\frac{d}{ds}Fs$

$$\frac{t^n}{n!}U(t) \qquad \Rightarrow \qquad \frac{1}{s^{n+1}}$$

$$e^{at}\frac{t^n}{n!}U(t) \qquad \Rightarrow \qquad \frac{1}{(s+\alpha)^{n+1}}$$

$$\cos Bt \qquad \Rightarrow \qquad \frac{s}{s^2+B^2}$$

$$\sin Bt \qquad \Rightarrow \qquad \frac{B}{s^2+B^2}$$

حساسیت : معیاری برای سنجش و اثر پذیری سیستم در مقابل تغییر دادن پارامترهای آن .

$$S_n^m = \frac{\frac{dm}{M}}{\frac{dk}{k}} \Rightarrow \frac{dm}{dk}.\frac{k}{m}$$

$$\mathrm{s_p^m} = s_a^m . s_P^A$$

$M\,\frac{A}{1+AB} \Rightarrow$مشتق بگیریم

نکته: $\frac{V}{\mathrm{U}} = \frac{\mathrm{UV}' . UV''}{U^2}$

$$S_a^m = \frac{A}{M}.\frac{dm}{da} = \frac{A}{\frac{A}{HAB}}.\frac{1(1+AB)-B(A)}{(1+AB)^2}$$

$$\frac{1(1+AB)-B(A)}{(1+AB)^2} \Rightarrow \frac{A(1+AB)}{A(1+AB)^2} = \frac{1}{(AB+1)}$$

مثال:

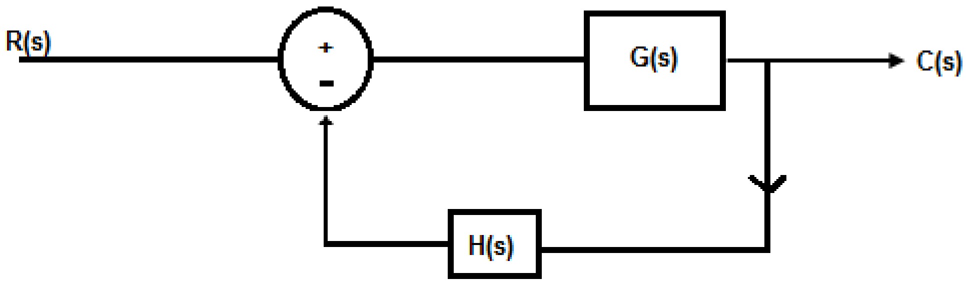
$$\mathrm{s}_q^{\mathrm{m}} = s_B^m . s_q^B$$

$M\,\frac{A}{1+AB} \Rightarrow$مشتق بگیریم

$$S_B^m = \frac{B}{M}.\frac{dm}{dB} = \frac{B}{\frac{A}{1+AB}}.\frac{-AA}{(1+BA)^2}$$

$$\frac{\mathrm{B(1+AB).-A^2}}{A(1+AB)^2} \Rightarrow \mathrm{s}_q^{\mathrm{m}} = \frac{\mathrm{-BA}}{\mathrm{1+AB}}\ . s_q^B$$

مثال : حساسیت سیستم حلقه بسته نسبت به پارامتر Pدر G



$$S_P^T = \frac{dT}{dG} \cdot \frac{dG}{dP} \cdot \frac{P}{T}$$

$$P_1 = G(s)$$

$$L_1 = -G(s) = G(s)$$

مسیر اول $\Delta_1 = 1 - (0)$ حلقه با حذف

$$\Delta = 1 - (L_1) \Rightarrow 1 + G(s)H(s)$$

$$T = \frac{P_1\ \Delta_1}{\Delta} = \frac{G(s)}{1 + G(s).H(s)}$$

$$S_P^T = \frac{1 + G(s)H(s) * 1 - H(s).G(s)}{1 + G(s)H(s)} * \frac{dG}{dP} * \frac{P}{\frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)}}$$

$$\frac{P(1 + G(s)H(s)}{G(s)} * \frac{1 + G(s)H(s) * 1 - H(s)G(s)}{\left(1 + G(s)H(s)\right)^2}$$

$$\frac{1}{G(H) + 1} * \frac{P}{G} * \frac{dG}{dP}$$

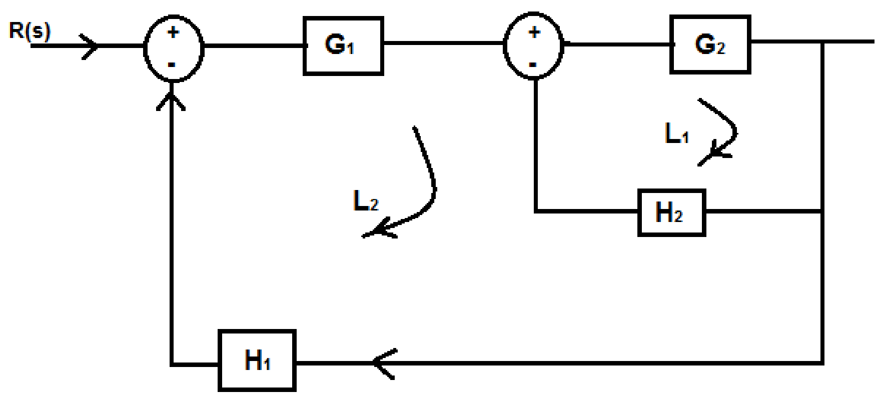
Pدر H باشد .

$$S_P^T = \frac{dT}{dH} \cdot \frac{dH}{dP} \cdot \frac{P}{T}$$

$$S_P^T = \frac{1+G.H)*0-GG}{(1+G.H)^2} \cdot \frac{P}{\frac{G}{1+G.H}} \Rightarrow \frac{P(1+GH)}{G} = \frac{PG}{1+GH}\ \frac{dH}{dP}$$

$$S_P^T = \frac{-G*(H)}{1+GH*(H)} * \frac{P}{H} \cdot \frac{\mathrm{dH}}{dP} \Rightarrow S_P^T = \frac{-GH}{1+GH}\ .S_P^H$$

مثال : حساسیت حلقه بسته نسبت به پارامتر *H* را بدست آورید.



با در نظر گرفتن *S*

$$\mathrm{p}_1 = G_1 G_2$$

$$\mathrm{L}_1 = -G_2 H_2$$

$$\mathrm{L}_2 = -G_1 G_2 .\mathrm{H}$$

$$\Delta_1 = 1 - (0)$$

$$\Delta = 1 - (L_1 + L_2)$$

$$\Delta = 1 + \mathrm{G_2 H_2} + \mathrm{G_1 G_2 H_1}$$

$$\mathrm{T} = \frac{\mathrm{P_1}\ \Delta_1}{\Delta} = \frac{\mathrm{G_2 G_2}}{1 + \mathrm{G_2 H_2} + \mathrm{G_1 G_2 H_1}}$$

$$\mathrm{S_P^T} = \frac{\mathrm{dT}}{dP}\ .\frac{P}{T} = \frac{\mathrm{dT}}{dH_2} .\frac{\mathrm{d}H_2}{dP} .\ \frac{P}{T}$$

$$S_P^T = \frac{(1+G_2H_2+G_1G_2H_1)*0 - G_2G_1G_2}{(1+G_2H_2+G_1G_2H_1)^2} * \frac{dH_2}{dP} \frac{P_1}{\frac{G_1G_2}{1+G_2H_2+G_1G_2H_1}}$$

$$\Rightarrow \frac{P(1+G_2H_2+G_1G_2H_1)}{G_1G_2}$$

$$\frac{(-G_2P)*H_2}{(1+G_2H_2+G_1G_2H_1)H_1} * \frac{dH_2}{dP} \Rightarrow S_P^{H_2} \Rightarrow \frac{G_2H_2}{1+G_2H_2+G_1G_2H_1}$$

مسیر$P1 = 5 \times 10 \times 1 \times 1$, مسیر$P2 = 1 \times 10 \times 2$

حلقه $L1 = 10 * -1$, حلقه$L2 = 1 * -2$, حلقه $= 5 * 10 * 1 * 1$

حلقه$L4 = -0.5$, حلقه$L5 = 10 * 2 * 1$

$\Delta1 = 1 - (L4)$, $\Delta2 = 1 - (L1)$

$\Delta = 1 - (L1 + L2 + L3 + L4 + L5) + (L1.L4 + L1.L5 + L2.L4 + L3.L4)$

$$T = \frac{P1.\Delta1 + P2.\Delta2}{\Delta}$$

$$= \frac{50*(1+0.5) + 1*10*2(1+10)}{1-(-10-2+50-0.5+20)+(-10*-0.5)+(-10*-20)+(-2*-0.5)+(50*-0.5)}$$

$$T = \frac{50*1.5+20*11}{}$$

خواص و ویژگی های اندازه گیری:

ویژگی های یک اندازه گیر به شرح زیر می باشد:

1-حوزه اندازه گیری 2- صفر اندازه گیری 3- انحراف صفر 4- حساسیت 5- حد تفکیک 6- پاسخ دهی

7- خطی بودن 8- پسماند 9-دقت 10- تکرار پذیری

1-حوزه اندازه گیری: محدوده از تغییرات کمیت مورد اندازه گیری که عنصر اندازه گیر قادر به اندازه گیزی آن می باشد.

2-صفر اندازه گیری : معمولا نقطه مشخصی را در حوزه اندازه گیری به عنوان نقطه صفردر نظر می گیرند مثلا در اندازه گیری حرارت نقطه صفر نقطه ای است که آب یخ می زند.

3-**انحراف صفر**: معمولا اندازه گیر را به گونه ای تنظیم می کنند که خروجی آن در نقطه صفر مساوی صفر باشد . اما ممکن است در اثر زمان تغییر کند که به آن پدیده انحراف صفر گویند . انحراف صفر دو دسته سطحی و ذاتی دارد .

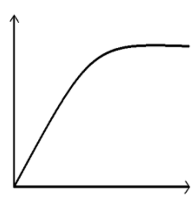
انحراف سطحی : انحرافی است که ناشی از عوامل خارجی و محیطی مثل دما ، تغییرات تغذیه است.

انحراف ذاتی : انحرافی است که ناشی از فرسودگی و یا تغییرات خواص عنصر اندازه گیر با گذشت زمان است.

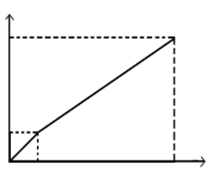
4- حساسیت: عبارت است از نسبت تغییرات خروجی اندازه گیر به واحد تغییرات در کمیت مورد اندازه گیری .

5-حد تفکیک : عبارت است از کوچک ترین اندازه تغییرات مورد نظر که می تواند توسط عنصر اندازه گیری شود .

6- پاسخ دهی: یک اندازه گیر خوب باید کمیت مورد اندازه گیری را به سرعت اندازه گیری نماید مدت زمانی که طول می کشد که خروجی اندازه گیر به مقدار نهایی و پایدار خود برسد زمان پاسخ دهی می گویند .



7- خطی بودن : خطی بودن اندازه گیر به معنی ثابت بودن شیب مشخصه ورودی و خروجی آن می باشد.



9- دقت : دقت به معنی تطابق مقدار اندازه گیری شده با مقدار واقعی کمیت مورد اندازه گیری می باشد . تلرانس همان دقت می باشد.

10- تکرار پذیری : به معنی نتیجه یکسان در اندازه گیری یک کمیت در شرایط ثابت می باشد.

مقاومت الکتریکی PTC: با افزایش دما ، افزایش و با کاهش دما ، کاهش می یابد .

مقاومت الکتریکیNTC: با افزایش دما، کاهش و با کاهش دما ، افزایش می یابد.

F(t)	F(s)
S	1
$S^{(n)}(t)$	S^{n}
$u(t)$	$\frac{1}{S}$
$tf(t)$	$-\frac{\partial}{\partial S}F(s)$
$\frac{t^n}{n!}u(t)$	$\frac{1}{S^n+1}$
$e^{-\alpha t}\frac{t^n}{n!}u(t)$	$\frac{1}{(S+\propto)^{n+1}}$
$\cos\beta t$	$\frac{S}{S^2+\beta^2}$
$\sin\beta t$	$\frac{\beta}{S^2+\beta^2}$

حساسیت: معیاری برای سنجش اثر پذیری سیستم در مقابل تغییر دادن پارامترهای آن می باشد .

$$\int_K^M = \frac{\frac{\partial m}{M}}{\frac{\partial K}{k}} \qquad\qquad \int_K^M = \frac{\partial m}{\partial k} \times \frac{K}{M}$$

$$\int_P^m = \int_A^m . \int_P^A \qquad\qquad M = \frac{A}{1+AB}$$

$$\int_A^M = \frac{A}{M} \times \frac{\partial M}{\partial A} \qquad\qquad \frac{v}{u} = \frac{uv' - u'v}{u^2}$$

$$\int_A^M = \frac{A}{\frac{A}{1+AB}} \times \frac{1+AB-BA}{(1+AB)^2}$$

$$\int_A^M = \frac{A(1+AB)}{A(1+AB)^2} = \frac{1}{1+AB}$$

$$\int_{A}^{M} = \frac{1}{1+AB}$$

حساسیت m نسبت به q

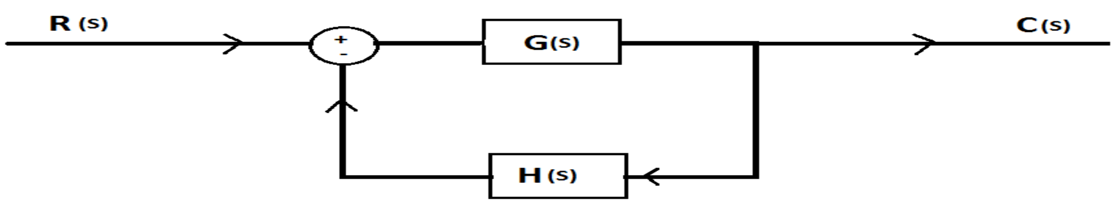
$$\int_{q}^{M} = \int_{B}^{M} \times \int_{q}^{B}$$

$$\int_{B}^{M} = \frac{B}{M} \times \frac{\partial m}{\partial B} = \frac{B}{\frac{A}{1+AB}} \times \frac{-A^2}{(1+AB)^2}$$

$$\frac{\partial m}{\partial B} = \frac{(1+AB) \times 0 - A \times A}{(1+AB)^2}$$

$$\int_{q}^{M} = \frac{-AB}{1+AB} \int_{q}^{B}$$

حساسیت سیستم حلقه بسته به پارامتر *P*:



$$\int_{P}^{T} = \frac{\partial T}{\partial G} . \frac{\partial G}{\partial P} . \frac{P}{T}$$

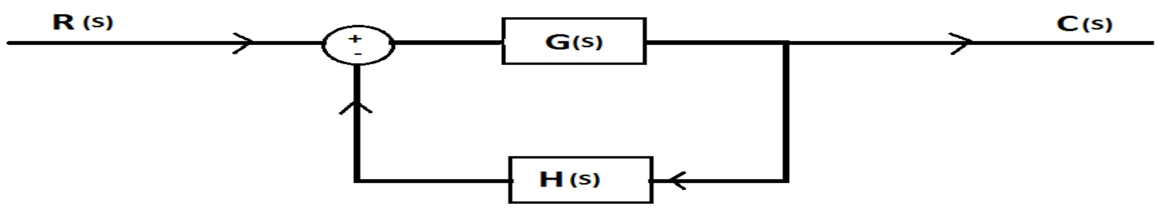
$P1 = G1(s)$, $L1 = -G(s).H(s)$ $\Delta 1 = 1 -$ (حلقه با حذف مسیر Iام 0)

$\Delta = 1 - (L1)$ $\Delta = 1 + G(s).H(s)$

$$T(s) = \frac{P1.\Delta 1}{\Delta} = \frac{G1(s)}{1+G(s).H(s)}$$

$$\int_{P}^{T} = \frac{1 + G(s).H(s) \times 1 - H(s).G1(s)}{\left(1+G(s).H(s)\right)^2} \times \frac{\partial G}{\partial P} . \frac{\frac{P}{1}}{\frac{G(s)}{1+G(s).H(s)}} =$$

$$= \frac{P\left(1 + G(s).H(s)\right)}{G(s)} \cdot \frac{1}{1 + G(s).H(s)} \cdot \frac{P}{G} \cdot \frac{\partial G}{\partial P}$$



$$\int_{P}^{T} = \frac{\partial T}{\partial H} \cdot \frac{\partial H}{\partial P} \cdot \frac{P}{T}$$

$P1 = G1(s)$, $L1 = -G(s).H(s)$ $\Delta1 = 1 -$ (حلقه با حذف مسیر Iام 0)

$\Delta = 1 - (L1)$ $\Delta = 1 + G(s).H(s)$

$$T(s) = \frac{P1.\Delta1}{\Delta} = \frac{G1(s)}{1 + G(s).H(s)}$$

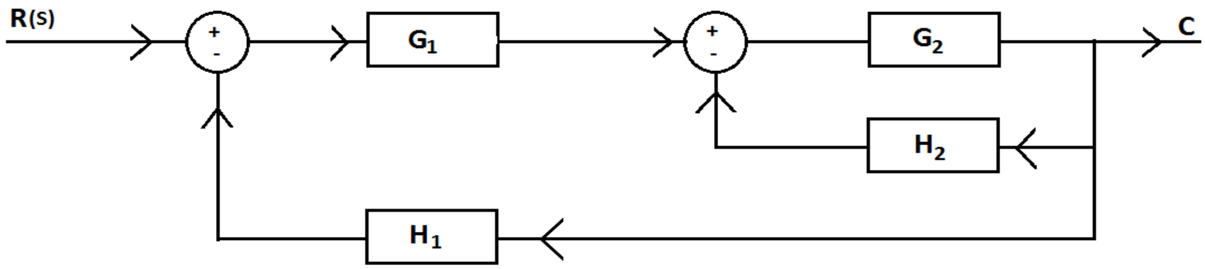
$$\int_{P}^{T} = \frac{(1 + G(s).H(s) \times 0 - G(s).G(s)}{\left(1 + G(s).H(s)\right)^{2}} \cdot \frac{\frac{P}{1}}{\frac{G(s)}{1 + G(s).H(s)}} =$$

$$= \frac{P\left(1 + G(s).H(s)\right)}{G(s)} = \frac{-P.G(s)}{(1 + G(s).H(s)} \cdot \frac{\partial H}{\partial P}$$

$$\int_{P}^{T} = \frac{-G(s) \times H(S)}{1 + G(s).H(s)} \cdot \frac{P}{H} \cdot \frac{\partial H}{\partial P} = \frac{-G(s).H(s)}{1 + G(s).H(s)} \cdot \int_{P}^{H}$$

$\int_{P}^{T} = \int_{H}^{T} \cdot \int_{P}^{H}$ $\int_{P}^{T} =$ ضریب $\int_{P}^{H}$

حساسیت حلقه بسته نسبت به پارامتر H_2 را بدست آورید؟



$$P1 = G1G2 \quad , \quad L1 = -G2H2 \quad , \quad L2 = G1G2H1$$

$$\Delta 1 = 1 - (0) \quad , \quad \Delta = 1 - (L1 + L2) \quad \quad \Delta = 1 + G2.H2 + G1.G2.H1$$

تابع تبدیل $T = \dfrac{P1\Delta 1}{\Delta} = \dfrac{G1.G2}{1 + \mathrm{G2.H2} + \mathrm{G1.G2.H1}}$

$$\int_P^T = \frac{\partial T}{\partial P}.\frac{P}{\mathrm{T}} = \frac{\partial \mathrm{T}}{\partial \mathrm{H2}}.\frac{\partial \mathrm{H2}}{\partial \mathrm{P}}.\frac{\mathrm{P}}{\mathrm{T}}$$

$$\int_p^{\mathrm{t}} = \frac{(1 + \mathrm{G2.H2} + \mathrm{G1.G2.H1}) \times 0 - \mathrm{G2.G1.G2}}{(1 + \mathrm{G2.H2} + \mathrm{G1.G2.H1})^2} \times \frac{\partial \mathrm{H2}}{\partial \mathrm{P}} \times \frac{\frac{P}{1}}{\frac{\mathrm{G1.G2}}{1 + \mathrm{G2.H2} + \mathrm{G1.G2.H1}}}$$

$$\int_P^{\mathrm{T}} = \frac{\mathrm{P}(1 + \mathrm{G2.H2} + \mathrm{G1.G2.H1})}{\mathrm{G1.G2}} \times \frac{-\mathrm{G2.P.H2}}{(1 + \mathrm{G2.H2} + \mathrm{G1.G2.H1})} \times \frac{\partial \mathrm{H2}}{\partial \mathrm{P}}$$

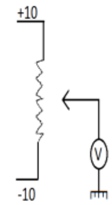
ضریب $\int_P^{\mathrm{H2}} = \dfrac{-\mathrm{G2.H2}}{1 + \mathrm{G2.H2} + \mathrm{G1.G2.H1}}.\int_{\mathrm{P}}^{\mathrm{H2}}$

طراحی و ساخت اندازه گیرها:

1- اندازه گیر مقاومتی: مثلا اندازه گیری طول یک جسم در این طرح با جابجایی سر وسط پتانسیومتر ولتاژ متناسب با تغییر ایجاد می شود که با آن اندازه گیر مقاومتی می گویند.

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

L:طول جسم ، A:سطح مقطع ، ρ:مقاومت مخصوص



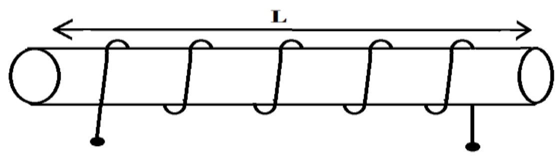
از مزایای مقاومت اندازه گیر می توان به سادگی ، ارزانی و سهولت کاربرد آن اشاره کرد و از معایب آن اصطحلاک مکانیکی ، محدود بودن اندازه گیری و ایزولاسیون ضعیف ورودی و خروجی میباشد.

2- اندازه گیر سلفی :

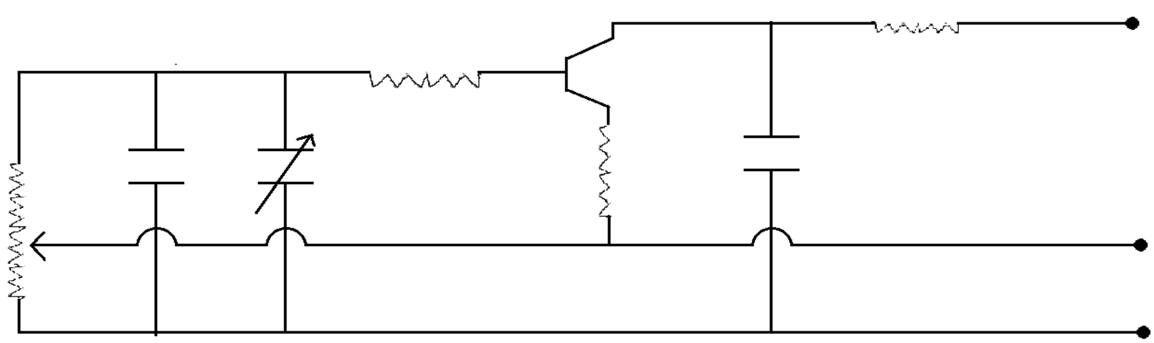
$L = \mu \frac{N^2.A}{L}$

μ : ضریب نفوذ مغناطیسی ، N: تعداد دور سیم ، A: سطح مقطع

L: طول



اگر جابه جایی داخل هسته سلف انجام گیرد . ضریب خود القایی سلف متناسب با تغییر هسته ، تغییر می کند.



تغییرات L موجب تغییرات فرکانس اسیلاتور می گردد . بنابراین در این نوع اندازه گیرها جابه جایی معمولا به فرکانس تبدیل می شود در نتیجه ایمنی اندازه گیری نسبت به نویز نیز بیشتر می شود .
از مزایای اندازه گیر سلفی می توتن به کمی اصطحلاک ، ایزولاسیون ورودی و خروجی ، عدم حساسیت به دما و گرد و غبار اشاره نمود از معایب آن به محدود بودن حوزه اندازه گیر و گرانی قیمت و پیچیدگی مدارات جانبی اشاره کرد .

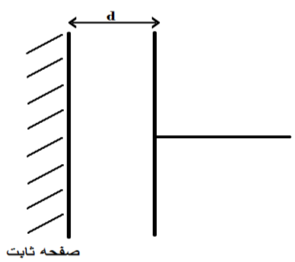
اندازه گیر خازنی :

$$C = \in \frac{A}{d}$$

$\in$: ضریب دی الکتریک A : سطح جوش

d : فاصله جوش های خازن

ε و A ثابت باشند ظرفیت خازن با d متناسب خواهد بود . یک صفحه ثابت و صفحه دیگر را به جا به جایی مورد نظر متصل می کنیم جا به جایی صفحه مورد نظر موجب تغییر dو در نتیجه c یا ظرفیت خازن می شود . در نتیجه ظرفیت خازن با تغییر فاصله بین دو صفحه تغییر می کند اندازه گیر خازنی در اندازه گیری های کوچک و دقت و حساسیت بالایی دارد و میدان مغناطیسی تاثیری در کار آنها ندارد.



سیستم های مرتبه اول : سیستمی را که رابطه ورودی و خارجی آن با معادله دیفرانسیل خطی مرتبه اول توصیف می شود مرتبه اول گویند .

$$\propto_1 = \frac{\partial C(t)}{\partial t} + \propto_0 . C(t) = b_0 . r(t)$$

$$\propto_1 . S . C(t) + \propto_0 = b_0 . R(s)$$

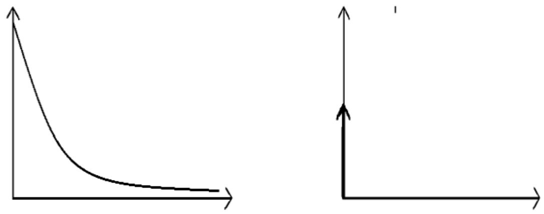
$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{b_0}{\propto_1 \ (s) + \propto_0}$$

$$G(s) = \frac{\frac{b_0}{\propto_0}}{1 + \frac{\propto_1}{\propto_0} S} \qquad G(s) = \frac{K}{1 + \tau_s}$$

پاسخ ضربه سیستم مرتبه اول :

$$R(s) = 1 \qquad C(s) = H(s) . R(s)$$

$$C(s) = \frac{K}{1 + \tau_s} \times 1 = \text{تبدیل لاپلاس} = C(t) = \frac{k}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}}$$



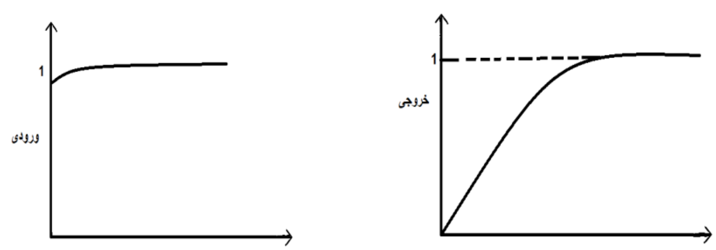
پاسخ پله ای مرتبه اول :

$$C(s) = H(s).R(S)$$

$$R(s) = \frac{1}{S}$$

$$C(s) = \frac{K}{1+\tau_s}$$

$$\frac{K}{\mathrm{S}} - \frac{\mathrm{K}}{\mathrm{S}+\frac{1}{\mathrm{\tau}}} = \text{تبدیل لاپلاس} = K\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$



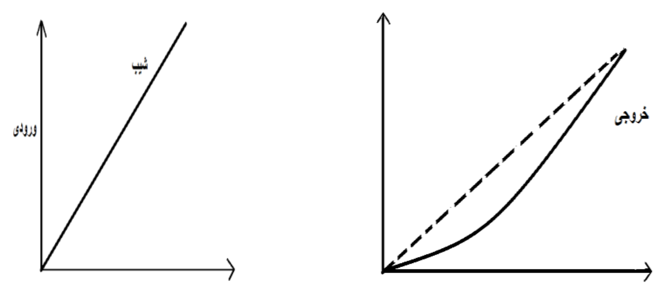
پاسخ شیب سیستم مرتبه اول:

$$C(s) = H(s).R(s)$$

$$R(s) = \frac{1}{S^2}$$

$$C(s) = \frac{K}{1+\tau_S} \times \frac{1}{S^2} = \frac{K}{S^2} - \frac{K\tau}{S} + \frac{K\tau^2}{1+\tau_S}$$

$C(t) = \frac{Kt'}{1!} - \frac{k\tau t^0}{0!} + K\tau e^{-\frac{1}{\tau}} + K\left(t - \tau + \tau e^{\frac{-t}{\tau}}\right)$ تبدیل لاپلاس



کنترل کننده ها از نظر نیرو و انرژی محرکه:

1-کنترل کننده های الکتریکی و الکترونیکی

2-کنترل کننده های پنوماتیکی(بادی)

3-کنترل کننده های هیرولیکی(روغنی)

کنترل کننده ها از نظر قانون کنترل:

1-کنترل کننده دو وضعیتیONوOFF

2-کنترل کننده تناسبی

3-کنترل کننده انتگرالی

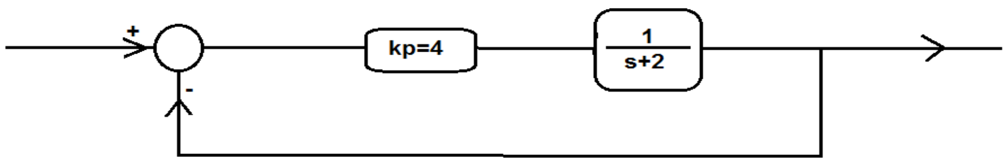
4-کنترل کننده مشتقی

5-کنترل کننده های تناسبی و انتگرالی

6- کنترل کننده های مشتقی و انتگرالی

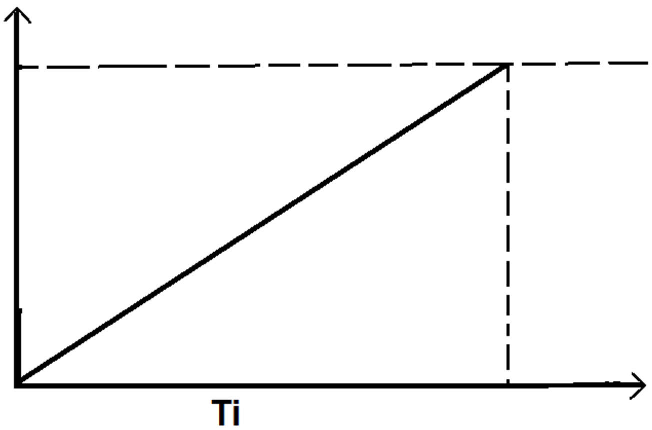
7-کنترل کننده های تناسبی و انتگرالی و مشتقی

1- **کنترل کننده دو وضعیتی** : خروجی این کنترل کننده به صورت روشن یا خاموش می باشد مثل المنت سماور
2- **کنترل کننده تناسبی** : در این کنترل کننده خروجی ضریبی است از خطای سیستم که به آن ضریب تناسب می گوییم و با Kp نمایش می دهیم و گین آن و بهره آن قابل تنظیم می باشد.



کنترل یک فرآیند با کنترل کننده تناسبی

3- **کنترل کننده انتگرالی** : خروجی این کنترل کننده انتگرال خطای ورودی می باشد کنترل کننده انتگرالی یک کنترل کننده حافظه دار است یعنی خروجی آن در هر لحظه تحت تاثیر خطای سیستم در زمان های گذشته می باشد. Ti مدت زمانی که طول می کشد خروجی از صفر به مقدار واحد 1 برسد و به آن زمان اتگرالی می گوییم.



مزیت این کنترل کننده کاهش خطای دائم و عیب آن کند بودن و ایجاد تاخیر در پاسخ دهی که احتمال ناپایداری را به دنبال دارد.

4- **کنترل کننده مشتقی گیر** : به تغییرات خطا حساس است و نه به مقدار آن . مشتق گیری دیدی آینده نگر و پیش بین دارد. استفاده از عمل مشتق گیری در یک حلقه کنترل را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

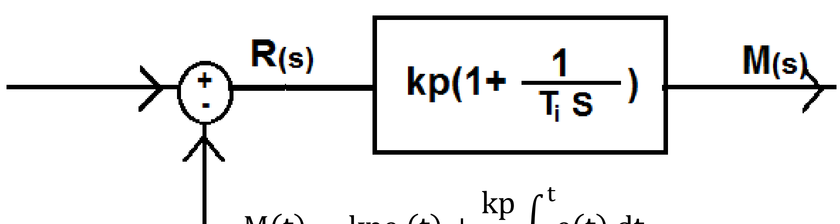
الف- تنظیم عمل مشتق گیری بعد از تنظیم سایر عملیات انجام می شود .

ب – در پروسه کند به عمل مشتق گیری بیشتری نیاز است

ج – در پروسه های با گین کم (بهره) و تغییرات نادر مقدار مطلوب معمولا از عمل مشتق گیری در کنترل کننده استفاده می شود.

د – در حلقه ی غیر خود تنظیم استفاده از عمل مشتق گیری مطلوب است به این علت که مشتق گیری اساسا پایداری حلقه کنترل را افزایش می دهند.

5- **کنترل کننده تناسبی – انتگرالی** (pi) : همنطور که از ناشی پیداست شامل عملیات تناسب و انتگرال می باشد.

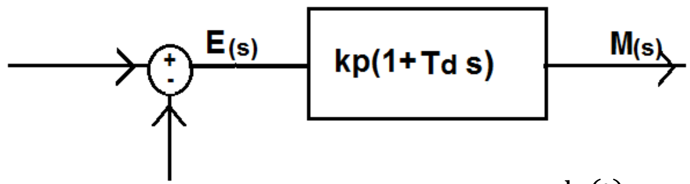


$$M(t) = kpe\ (t) + \frac{kp}{Ti}\int_0^t e(t)\,dt$$

$$\frac{M(s)}{E(s)} = KP(T + \frac{1}{TiS})$$

در یک کنترل کننده Pi ضرایب kp و Ti قابل تنظیم می باشد با توجه به روابط فوق تنظیم Ti قسمت انتگرال و تنظیم KP قسمت تناسبی و انتگرالی را تنظیم می کند.

6- **کنترل کننده تناسبی – مشتق گیر** (PD) : عملیات این کنترل کننده بر روی سیگنال خطا شامل تناسب و مشتق است.



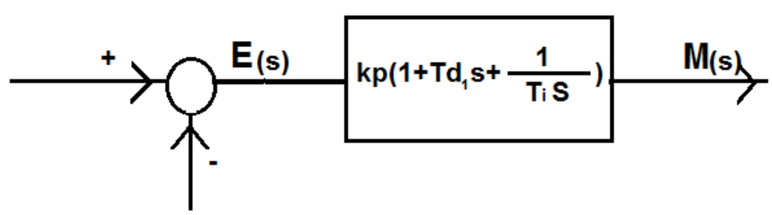
$$M(t) = kKPe(t) + KP\,Td\,\frac{de(t)}{dt}$$

$$\frac{M(s)}{E(s)} = KP\,(1 + TdS)$$

در یک کنترل کننده *Pd* ضرایب *Kp*و *Td* قابل تنظیم می باشند *Td* بر روی عمل مشتق و *Kp* بر روی عملیات تناسب و مشتق تاثیر دارد .

7- **کنترل کننده تناسبی – انتگرالی – مشتق گیری** (*PID*):

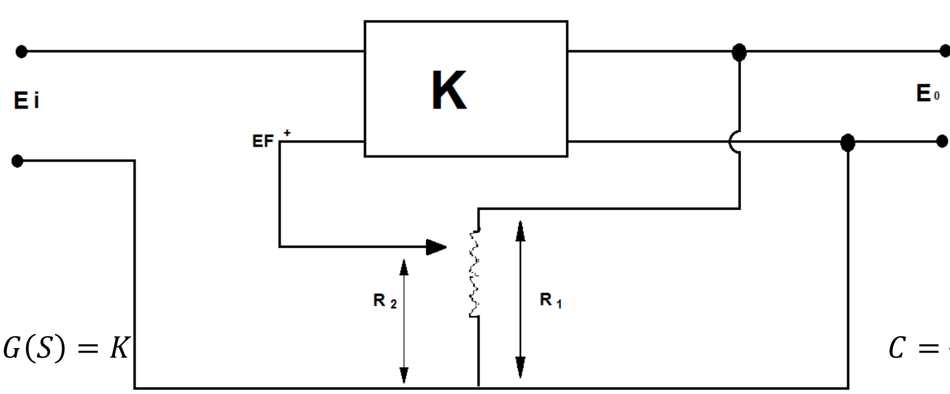
این کنترل کننده عملیات تناسب و انتگرال و مشتق را بر روی سیگنال خطا انجام می دهد.



$$M(t) = KPe(t) + KPTd\,\frac{de(t)}{dt} + \frac{KP}{Ti}\int_0^t e(t)dt$$

$$\frac{M(s)}{E(s)} = KP\,(1 + TdS + \frac{1}{TiS})$$

کنترل کننده تناسبی- شکل مداری :



$$G(S) = K$$

$$C = \frac{G(S)}{1+G(S).H(S)}$$

$$G(S).H(S) \gg 1$$

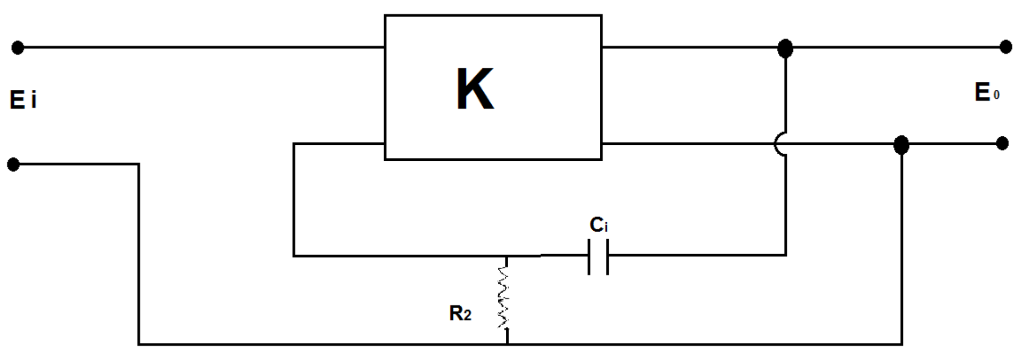
$$H(S) = \frac{R_2}{R_1}$$

$$Kp = \frac{R_1}{R_2}$$

با تنظیم نسبت R_1 به R_2 می توان به KP را تنظیم کرد .

$$C = \frac{G(S)}{G(S).H(S)} \Rightarrow \frac{\frac{R_1}{R_2}}{\frac{R_1}{R_2}\cdot\frac{R_2}{R_1}} \Rightarrow C = \frac{R_1}{R_2}$$

کنترل کننده تناسبی – انتگرالی (شکل مداری یا الکتریکی) :

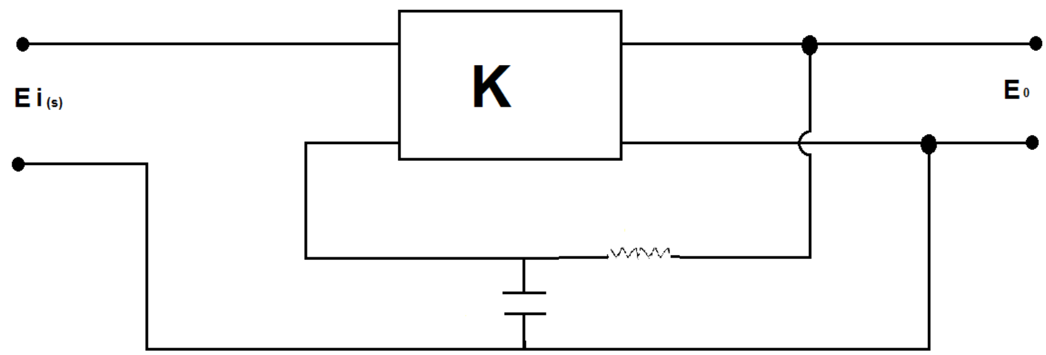


$$G(S) = K \text{ ، } H(s) = \frac{R_i}{R_i + \frac{1}{CiS}}$$

$$C = \frac{G(s)}{1 + G(s).H(s)} \Rightarrow$$ جاگذاری

$$C = \frac{K}{1 + K.\frac{R_i}{R_i + \frac{1}{CiS}}}$$

کنترل کننده تناسبی-مشتق گیر :الکتریکی:

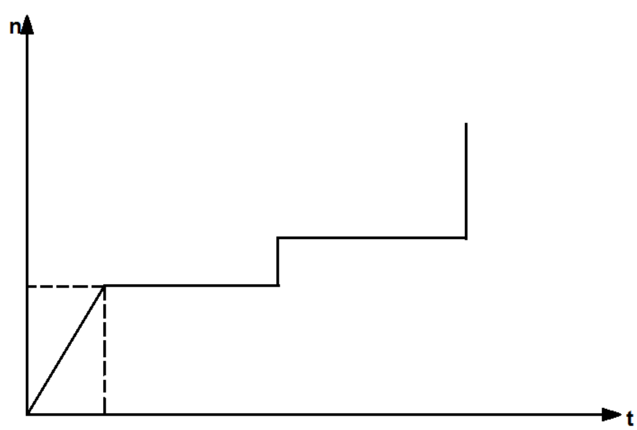


$$G(S) = K \text{،} H(s) = \frac{\frac{1}{CdS}}{R_d + \frac{1}{CdS}} \qquad C = \frac{G(s)}{1 + G(s).H(s)} = \frac{K}{1 + K.\frac{\frac{1}{CdS}}{R_d + \frac{1}{CdS}}}$$

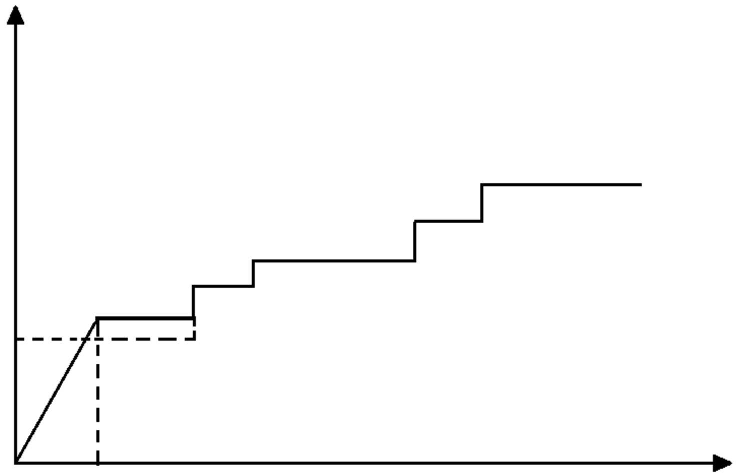
ساده میکنیم: $C = \frac{K}{1+Rd.CdS}$

انتخاب کنترل کننده مناسب :

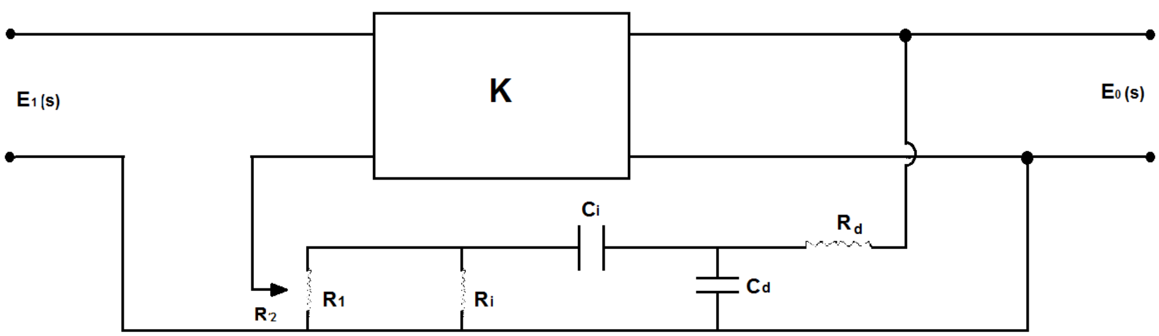
در جایی که اصلاح خطای ماندگار در اولویت باشد باید از کنترل کننده ی Pi استفاده نمود . در جایی که با افزایش سرعت پاسخ سیستم علاقه مند باشیم از کنترل کننده Pd استفاده می شود.



در جایی که هم سرعت پاسخ دهی و هم اصلاح خطای ماندگار مورد نظر باشد باید از کنترل کننده PID استفاده کرد.



کنترل کننده تناسبی – انتگرا لی – مشتق گیر الکتریکی :



$$H(S)=\frac{\mathrm{R}_2}{\mathrm{R}_1}\cdot\frac{R_i}{R_i+\frac{1}{CiS}}\cdot\frac{\frac{1}{CdS}}{R_d+\frac{1}{CdS}}$$

با تنظیم مقادیر Ri و Rd و R2 می توان کنترل کننده را به دلخواه تنظیم کرد.

$$H(S)=\frac{\mathrm{R}_2}{\mathrm{R}_1}\cdot\frac{R_iCiS}{R_iC_1S}\cdot\frac{1}{R+CdS+1}$$

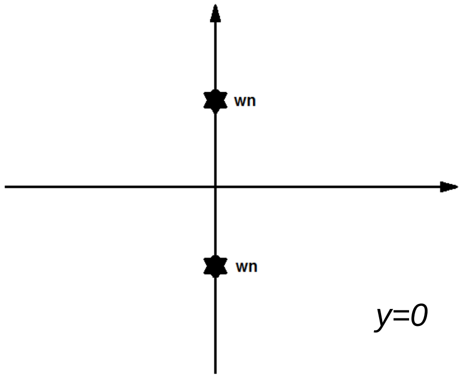
تابع تبدیل یک سیستم مرتبه دوم:

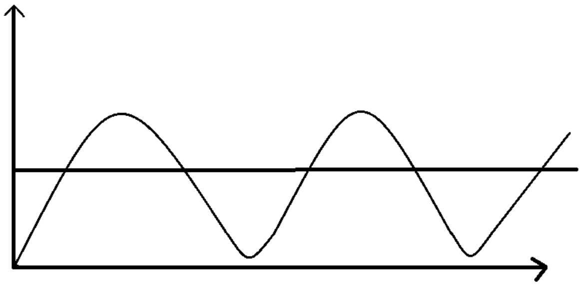
$$\mathrm{H(S)}=\frac{\mathrm{C(S)}}{\mathrm{R(S)}}=\frac{\mathrm{wn}^2}{\mathrm{s}^2+2_{\mathrm{y}}^{\mathrm{s}}\mathrm{wns}+\mathrm{wn}^2}$$

$$\mathrm{s}^2+2_{\mathrm{y}}^{\mathrm{s}}\mathrm{wns}+\mathrm{wn}^2=0$$

$$\mathrm{S}_{1\,\text{و}2}=-swn\ \pm wn\sqrt{y^2-1}$$

Wn=فرکانس نوسانات نامیرا ، y= ضریب میرایی



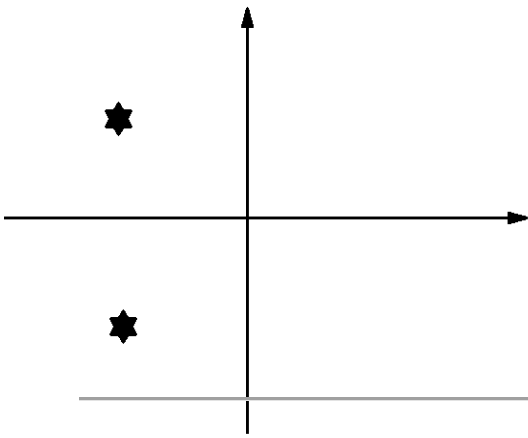


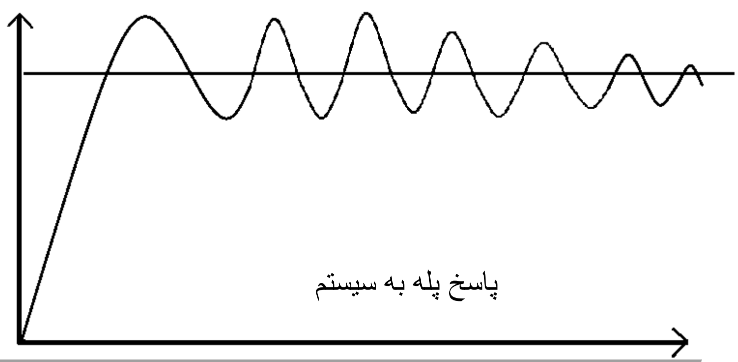
$y=0$, $S_{1\text{و}2} = \pm jwn$

پاسخ به خروجی پله

میرایی ضعیف

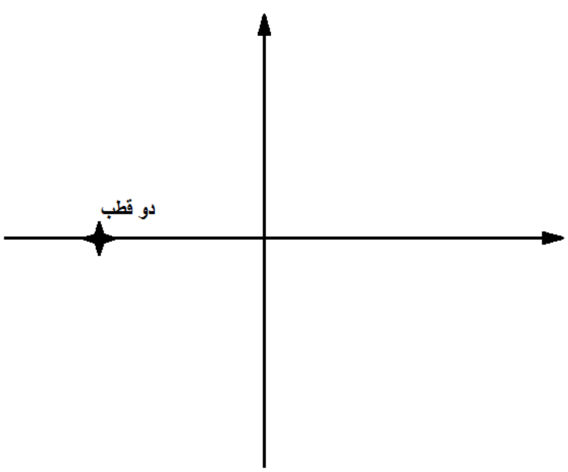
$0 < y < 1$ $\qquad$ $S_{1\text{و}2} = -ywn \pm jwn\sqrt{1-y^2}$

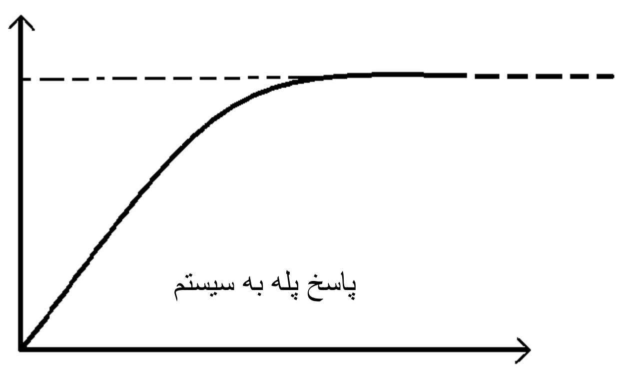




میرایی بحرانی

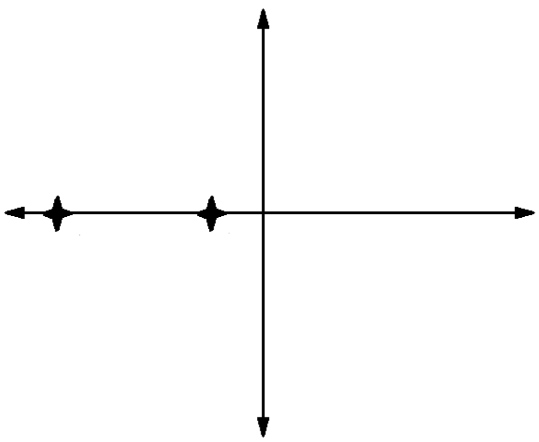
$Y=1$ $\qquad$ $S_{1\text{و}2} = -wn$

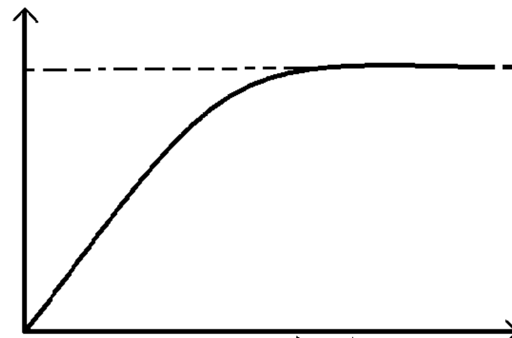




میرایی شدید

$S_{1\,\text{و}\,2} = -ywn \pm wn\sqrt{y^2 - 1}$ $\qquad$ $y > 1$





پاسخ پله به سیستم

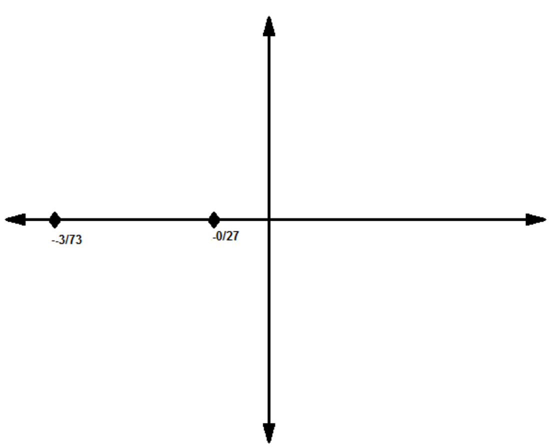
مثال1= پاسخ پله سیستمی که تابع حلقه بسیته *G(s)*آن به صورت زیر است را بدست آورید.

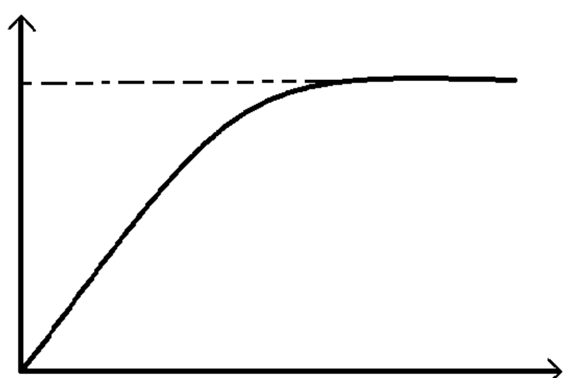
$$G(s) = \frac{1}{S^2 + 4S + 1}$$

$$S_{1\,\text{و}\,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{\mathbf{2a}} \Rightarrow -\mathbf{2} \pm \sqrt{3} \begin{cases} -\dfrac{3}{73} \\ -\dfrac{0}{27} \end{cases}$$ فاصله دو قطب

$$2y \times 1 = 4 \qquad\qquad y = \frac{4}{2} \Rightarrow y = 2$$

تابع درجه 2 $\quad G(s) \Leftarrow \frac{wn^2}{s^2+2ywns+wn^2}$





میرایی شدید بخاطر اینکه y بزرگتر از یک شده است

مثال 2 :سیستم مرتبه دوم زیر مفروض است پاسخ بله را بدست آورید ؟

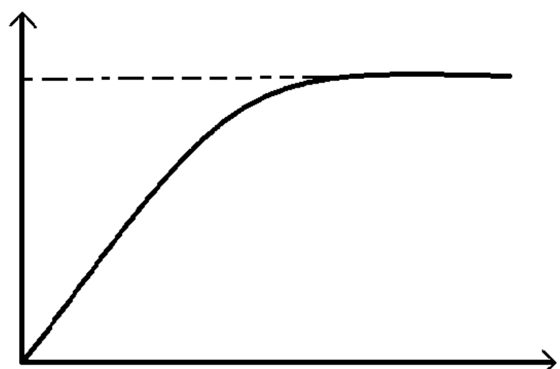
$wn = \sqrt{10}$ $\qquad$ $G(s) = \dfrac{10}{S^2 + 11S + 10}$

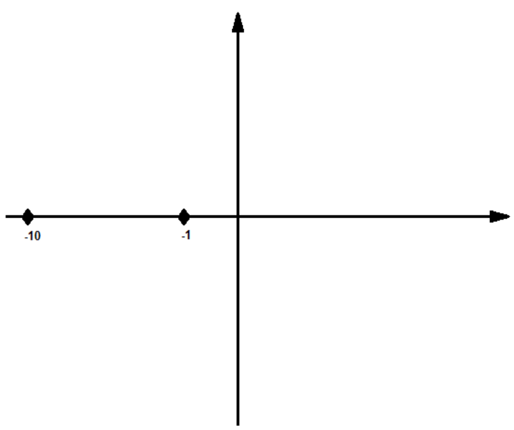
2ywn=11 $\qquad$ $\dfrac{wn^2}{s^2+2ywns+wn^2} \Rightarrow \mathrm{G(s)}$ تابع درجه 2

$y = \dfrac{1}{8}$ $\qquad$ $2y\sqrt{10} = 11$

$\Delta = \dfrac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{\boldsymbol{2a}}$ $\qquad$ $S^2 + 11S + 10 = 0$

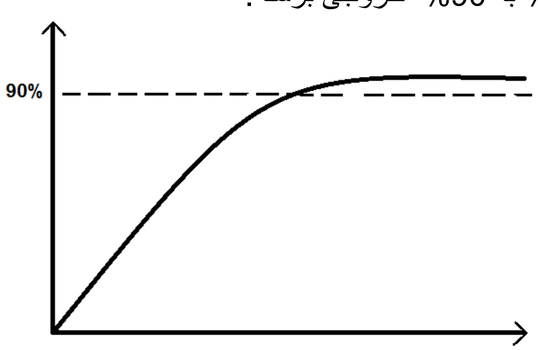
$$\Delta = \frac{-11 \pm \sqrt{11b^2 - 4 \times 10}}{\mathbf{2}} \Rightarrow \begin{cases} \boldsymbol{s_1 = -1} \\ \boldsymbol{s_2 = -10} \end{cases}$$



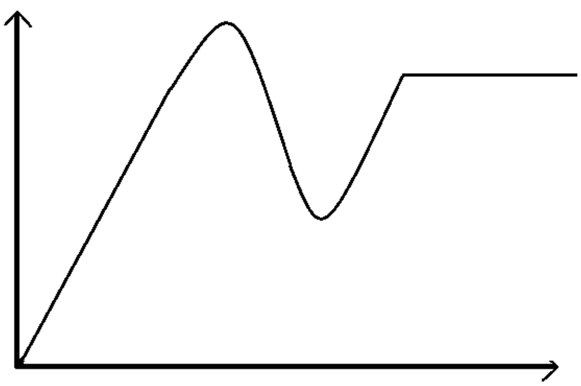


زمان تاخیر : مدت زمانی است که طول می کشد تا خروجی برای اولین بار به نصف ورودی برسد.

زمان صعود : مدت زمانی است که طول می کشد خروجی از 10% به 90% خروجی برسد .



زمان اوج : مدت زمانی است که طول می کشد تا پاسخ برای اولین بار به بیشترین مقدار خود برسد.



نحوه محاسبه پایداری یک معادله سیستم : $C(s) = \frac{\text{صورت کسر}}{\text{مخرج کسر}}$

معادله مشخصه یک سیستم درجه 2 به بالا : $a3S^3 + a2S^2 + a1S + a_0 = 0$

s^3	$a3$	$a1$	0
s^2	$a2$	$a0$	0
s^1	$\frac{a2 \times a1 - a3 \times a0}{a2}$		0
s^0			$a0$

معادله مشسخص سیستمی به فرم زیر می باشد پایداری سیستم را بررسی کنید.

$$H(s) = \frac{s - 1}{s^4 + 3s^3 + s^2 + 6s + 2}$$

$$s^4 + 3s^3 + s^2 + 6s + 2 = 0$$

s^4	+ 1 1 2 0
s^3	+ 3 6 0 0
s^2	- 1 2 0
s^1	+ 12 0
s^0	+ 2

دو قطب ناپایدار به تعداد تغییر علامت داریم

معادله مشسخص سیستمی به فرم زیر می باشد پایداری سیستم را بررسی کنید.

$$H(s) = \frac{1}{s^3 - 4s^2 + 5s - 1}$$

s^3	$+$ $\mathbf{1}$ $\mathbf{5}$ $\mathbf{0}$
s^2	$-$ $\mathbf{4}$ $-\mathbf{1}$ $\mathbf{0}$
s^1	$+$ $\frac{\mathbf{19}}{\mathbf{4}}$ $\mathbf{0}$
s^0	$\mathbf{-1}$

3 قطب ناپایدار دارد

به ازای چه مقدار از K سیستم پایدار است.

$$2s^3 + 2s^2 + 2s + K = 0$$

$K > 0$

s^3	**2**	**2**	**0**
s^2	**2**	$\boldsymbol{K}$	
s^1	$\frac{\mathbf{4-2}\boldsymbol{K}}{\mathbf{2}}$	**0**	
s^0	$\boldsymbol{K}$		

$$4 - 2K > 0 \quad \Rightarrow \quad 4 > 2K \quad \Rightarrow \quad 2 > K \quad \Rightarrow \quad 0 < K < 0$$