

بسمه تعالی

سیستمهای کنترل خطی

University of Mohaghegh Ardabili (UMA)

Dr. K. Sabahi

ksabahi2005@gmail.com

عناوین

- مفاهیم اصلی کنترل اتوماتیک
- اجزای اصلی
- کنترل حلقه باز - حلقه بسته و پیشرو
- سیستم
- مدل ریاضی سیستم
- نمایش یک سیستم
- تابع تبدیل یک سیستم
- پایداری / ناپایداری / نوسانی

کنترل؟

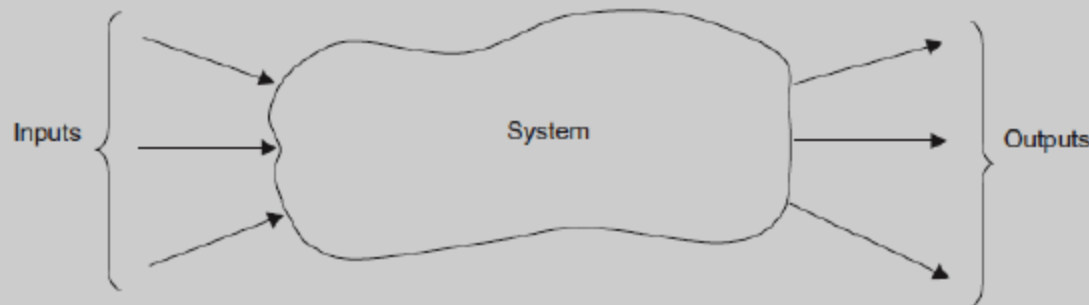
تئوری کنترل

- تئوری کنترل یک شاخه میانی از علم است مابین مهندسی و ریاضیات
- کنترل:
 - مجموعه ای از اجزا و سیستم ها که در کنار یکدیگر قرار می گیرند به منظور دست یافتن به رفتار مطلوب.
- سیستم:
 - سیستم برای افراد مختلف می تواند نماد یا تعریف های متفاوتی داشته باشد.
 - مانند: اتومبیل، ماشین لباسشویی، ماشین CNC و ...

سیستم

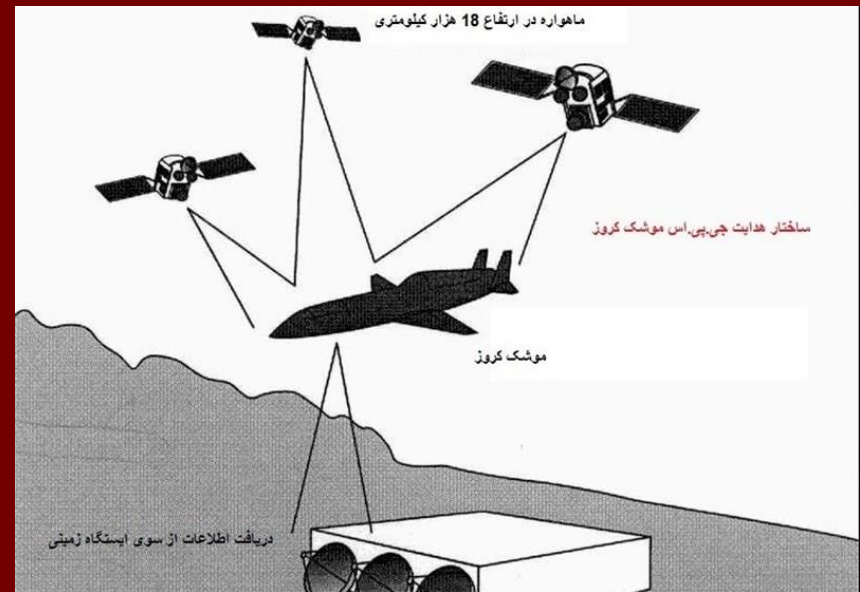
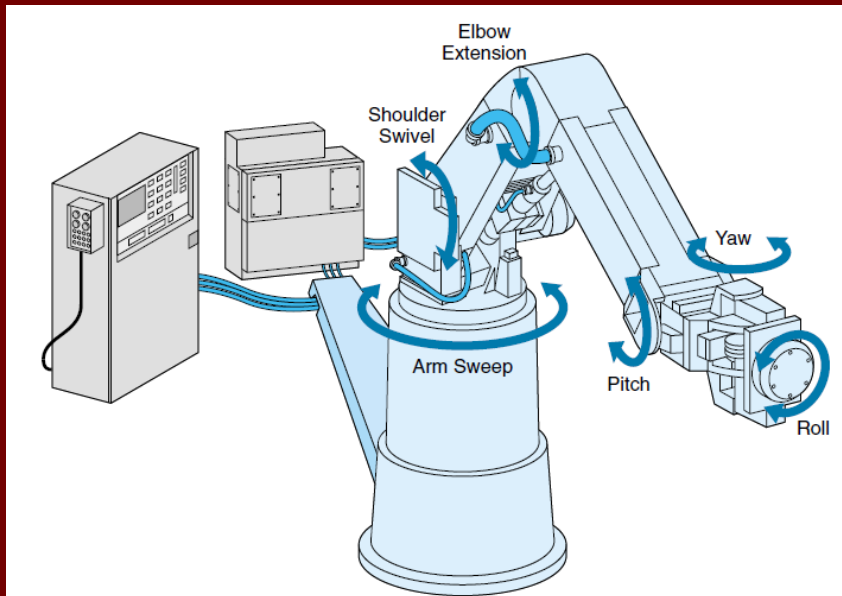
سیستم یا سامانه مجموعه ای از اجزا است که برای رسیدن به یک هدف مشترک با همدیگر تعامل دارند.

- سیستم ها دارای ورودی هستند
- سیستم ها دارای خروجی هستند که با تغییر در ورودی ها می توانند تغییر کنند.
- سیستم های میتوانند بیش از یک ورودی و/یا بیش از یک خروجی باشند.

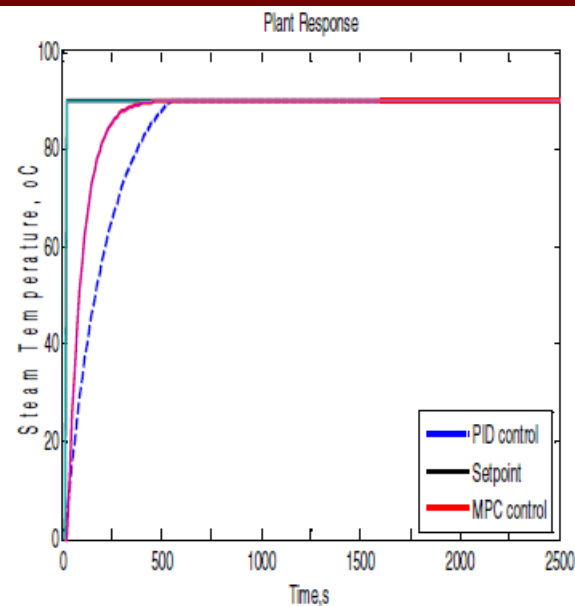
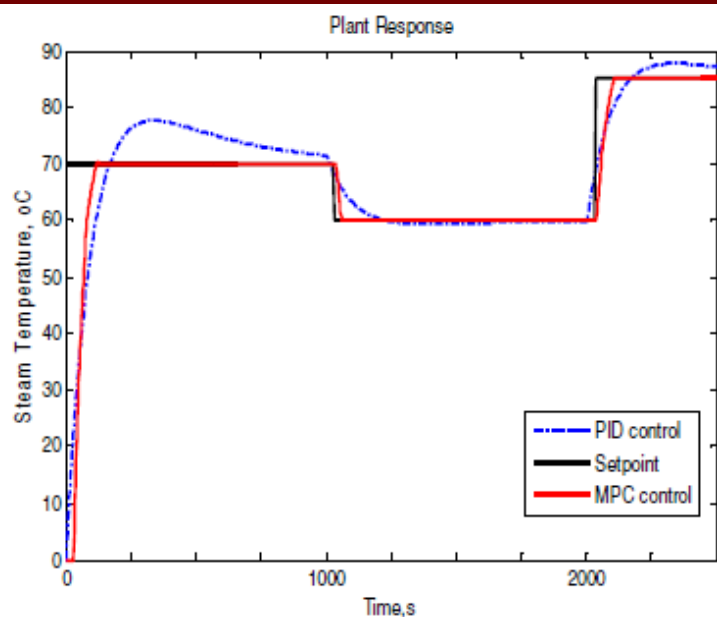
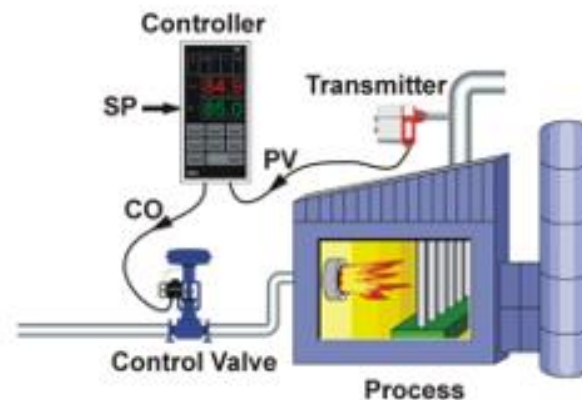
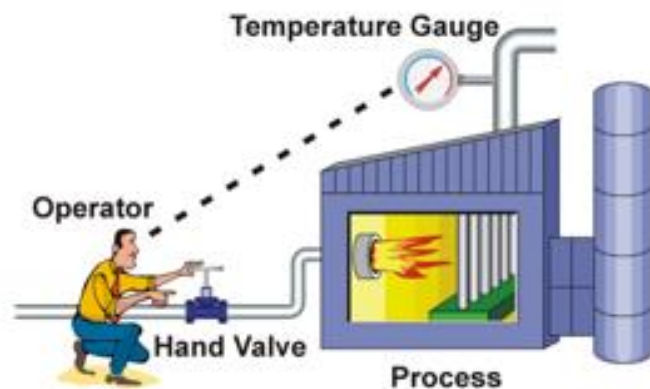


سیستم کنترل

سیستم کنترل یا سامانه کنترل به مجموعه ابزار و تمهیداتی اطلاق می شود که به منظور کنترل نمودن (هدایت) و تحت مدیریت قرار دادن رفتار فرایندها یا سیستمها مورد استفاده قرار می گیرد.

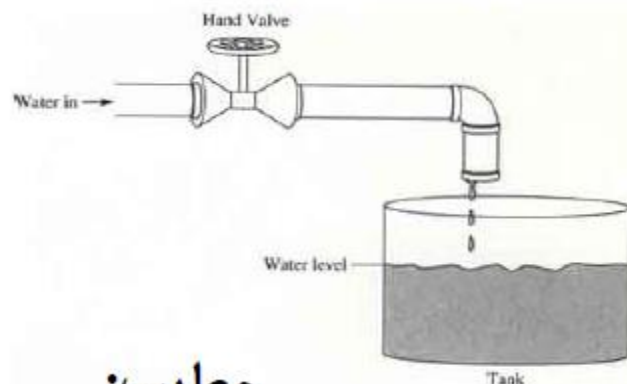


مثالهایی از سیستم های کنترل



انواع سیستم کنترل: کنترل حلقه باز، پیشرو و کنترل حلقه بسته

۱- کنترل حلقه باز (Open Loop Control)



مزایا:

- ۱- ساخت ساده تر و نگهداری آسان
- ۲- ارزان بودن نسبت به سیستم حلقه بسته
- ۳- نداشتن مشکل پایداری
- ۴- مناسب برای زمانی که اندازه گیری خروجی بقدری سخت است که توجه اقتصادی ندارد.

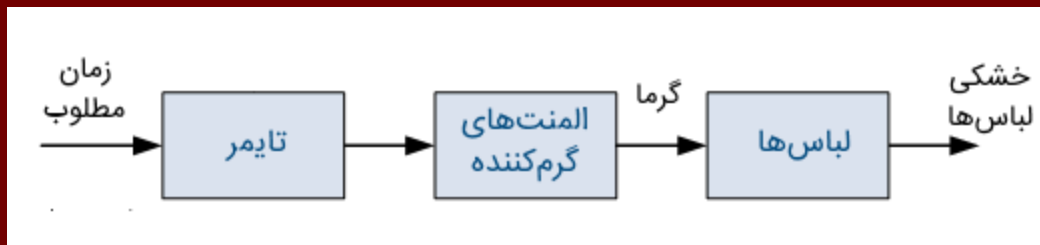
معایب:

- ۱- اغتشاش و تغییر کالیبراسیون خطا ایجاد می کند.
- ۲- برای دستیابی به کیفیت مطلوب در خروجی سیستم، کالیبراسیون مجدد لازم است.

کنترل حلقه باز

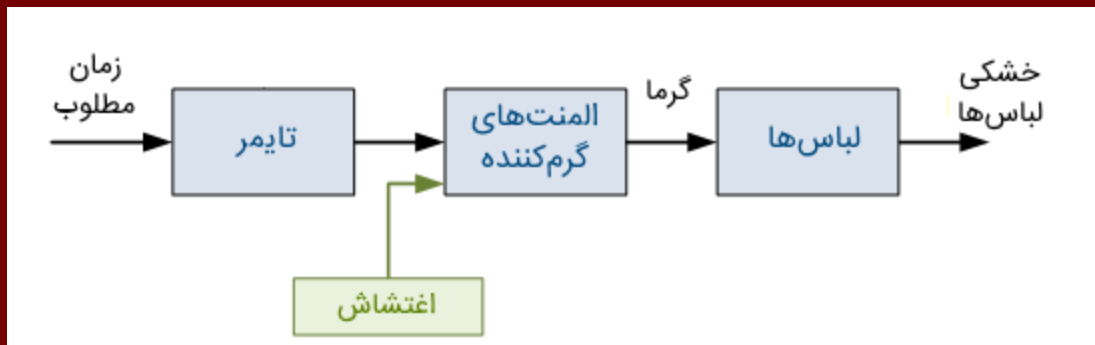
یک لباس خشک کن برقی را در نظر بگیرید. بسته به تعداد لباس‌ها یا میزان مرطوب بودن آن‌ها، کاربر باید یک تایمر (کنترل کننده) را روی ۳۰ دقیقه تنظیم کرده و در پایان این ۳۰ دقیقه، حتی اگر لباس‌ها خیس یا مرطوب باشند، خشک کن به صورت خودکار از کار باز می‌ایستد و خاموش می‌شود.

خشک کن لباس یک سیستم حلقه باز (Open-loop) است، زیرا سیگنال خروجی (میزان رطوبت و یا خشکی لباس‌ها) را پایش یا اندازه‌گیری نمی‌کند. در نتیجه، دقت فرایند خشک کردن لباس یا موفقیت در انجام آن، به تجربه کاربر یا شخصی که از دستگاه استفاده می‌کند بستگی خواهد داشت.



کنترل حلقه باز

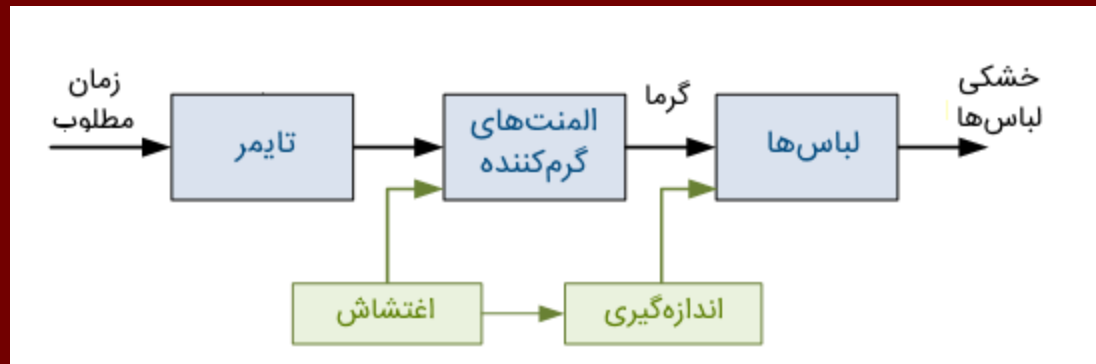
از معایب سیستم حلقه باز، عدم مدیریت و کنترل اغتشاش‌ها یا تغییرات شرایطی است که ممکن است توانایی کارکرد مطلوب سیستم را کاهش دهد. برای مثال، وقتی در خشک کن باز شود و گرما هدر برود، تایمر به طور پیوسته روی مقداری که تنظیم شده کار خواهد کرد و در زمان مقرر سیستم را خاموش می‌کند، اما لباس‌ها کاملاً خشک نمی‌شوند. دلیل این امر آن است که هیچ اطلاعاتی برای ثابت نگه داشتن دما فیدبک نمی‌شود.



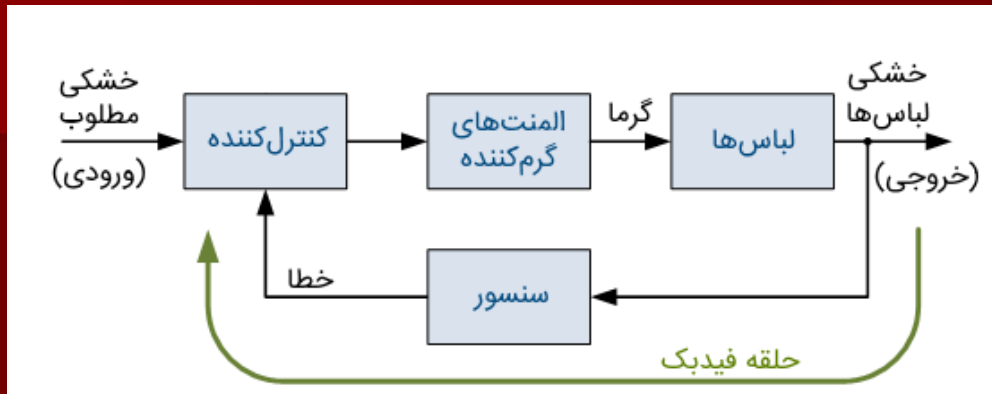
کنترل پیش‌رو

خطاهای سیستم کنترل حلقه باز می‌تواند تأثیرات نامطلوبی روی فرایند خشک کردن بگذارد، بنابراین لازم است یک کاربر بر آن نظارت کند. مشکل این رویکرد کنترل پیشگیرانه، آن است که کاربر باید دائماً دمای فرایند را بررسی کند و یک عمل کنترلی تصحیح‌کننده انجام دهد تا لباس‌ها به صورت مطلوب خشک شوند. این نوع کنترل حلقه باز دستی یا غیر خودکار که قبل از رخ دادن خطا اعمال می‌شود، «کنترل پیش‌خور» (Feedforward Control) نامیده می‌شود.

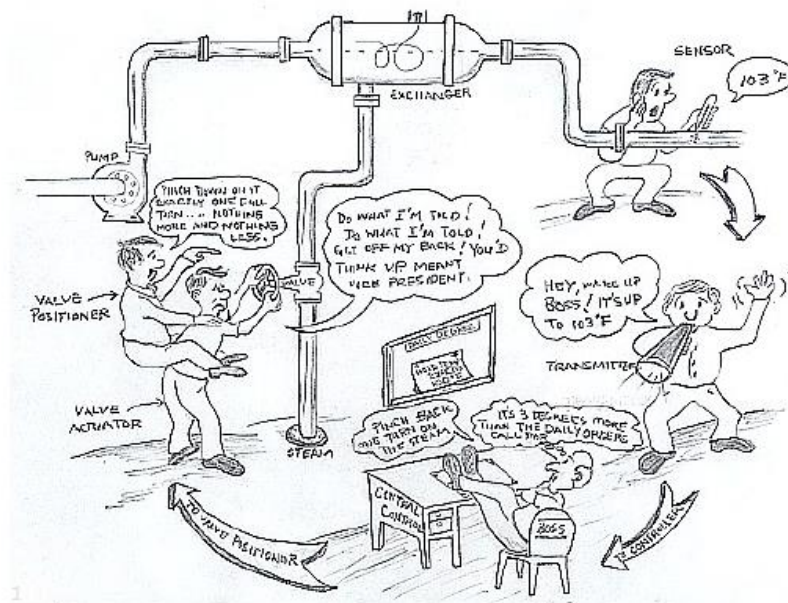
هدف کنترل پیش‌خور، اندازه‌گیری یا پیش‌بینی هرگونه اغتشاش حلقه باز بالقوه و جبران آن به صورت دستی یا غیر خودکار است،



کنترل حلقه بسته



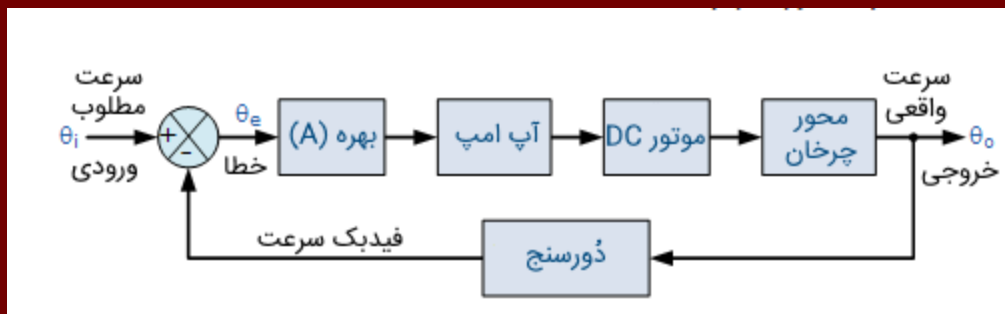
۲- کنترل فیدبک/حلقه بسته/پس خور (Feedback/Closed Loop Control)



کنترل حلقه بسته

مهم‌ترین ویژگی‌های کنترل حلقه بسته :

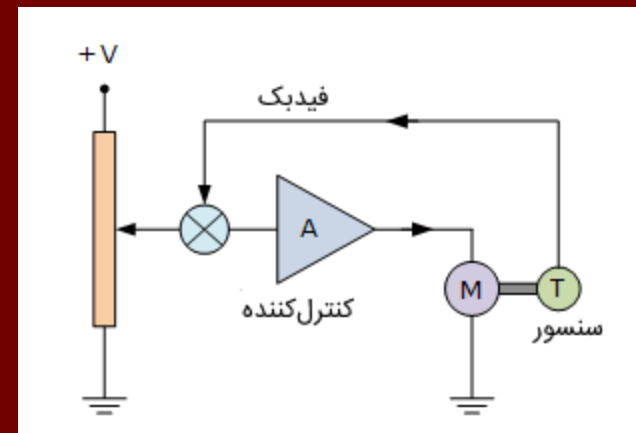
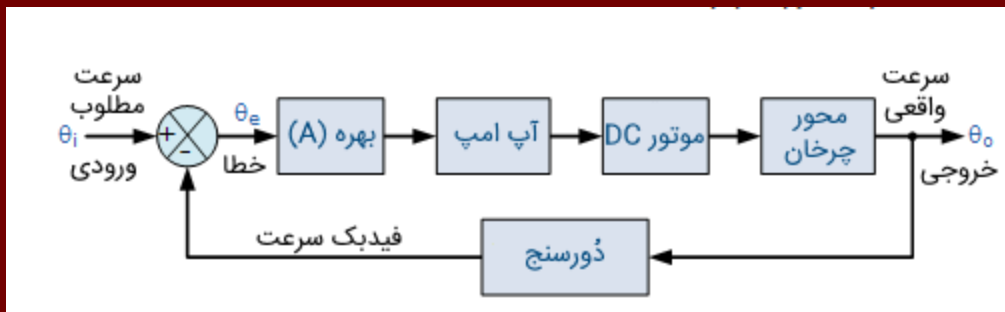
- کاهش خطا با تنظیم خودکار ورودی سیستم تحت کنترل
- بهبود پایداری سیستم ناپایدار
- کاهش حساسیت سیستم
- افزایش قوام در برابر اغتشاش‌های خارجی
- عملکرد قابل اطمینان و قابل تکرار



کنترل حلقه بسته

کنترل موتور

هر اغتشاش خارجی مانند افزایش بار که به سیستم کنترل حلقه بسته موتور وارد شود، سبب ایجاد اختلاف بین سرعت واقعی موتور و نقطه تنظیم ورودی پتانسیومتر می شود. این اختلاف، سیگنال خطایی را ایجاد می کند که کنترل کننده به صورت خودکار به آن پاسخ داده و سرعت موتور را تنظیم می کند. بنابراین، می توان گفت کنترل کننده سعی می کند خطا را کم کند و خطای صفر، به معنی برابر بودن سرعت واقعی با نقطه تنظیم است.



تعاریف

چند تعریف:

سیستم: مجموعه ای از چند عنصر که عمل مشخصی را انجام می دهند، به نحوی که انجام آن بدون حضور هر یک از عناصر انجام نخواهد گرفت.

دستگاه/فرآیند (Plant/Process): سیستم تحت کنترل $G(s)$ را دستگاه یا فرآیند نامند.

ورودی مرجع $R(s)$: نشان دهنده پاسخ مطلوب سیستم است. سیستم زمانی عملکرد مناسب دارد که خروجی سیستم برابر با ورودی مرجع باشد.

خروجی سیستم $C(s)$: خروجی سیستم سیگنالی است که از سیگنال تحت کنترل بدست می آید که مایل به اندازه گیری و کنترل آن هستیم.

خطای سیستم $E(s)$: سیگنال خطا تفاوت بین ورودی مرجع سیستم و خروجی واقعی آن می باشد.

کنترل کننده $G_C(s)$: عنصری است که برای تعیین سیگنال کنترلی مناسب جهت اعمال به سیستم بکار گرفته می شود.

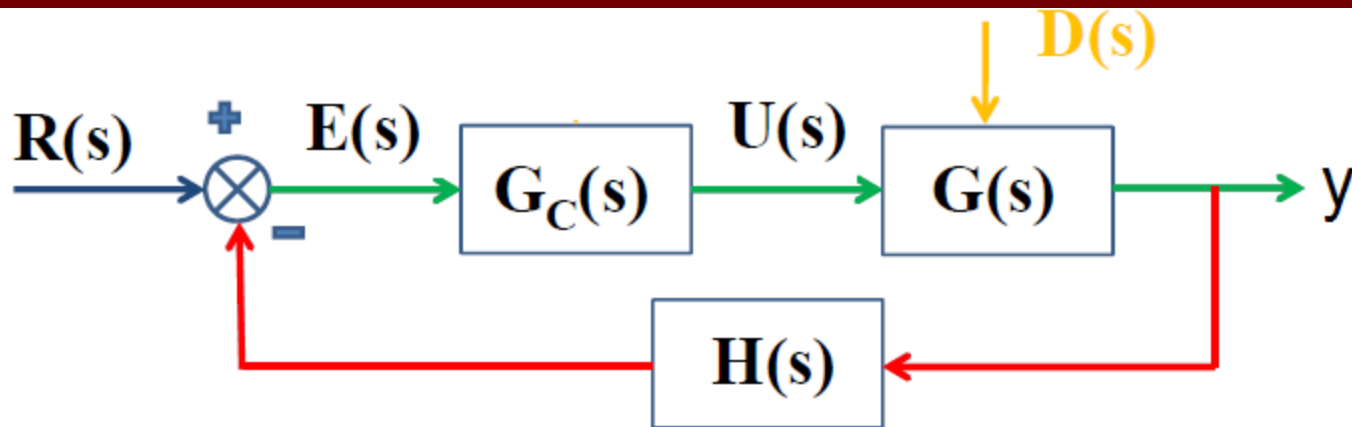
عنصر فیدبک $H(s)$: عنصری است که در مسیر خروجی به مقایسه کننده قرار دارد. اگر $H(s)=1$ باشد، سیستم را **حلقه بسته با فیدبک واحد** می نامند.

ورودی کنترل $U(s)$: عمل کنترلی یا سیگنال کنترلی می باشد که خروجی سیستم کنترل و ورودی اعمال شده به سیستم تحت کنترل می باشد.

مسیر پیشرو: مسیر از سیگنال خطا تا خروجی سیستم که شامل $G(s)$ و $G_C(s)$ می باشد.

مسیر فیدبک: مسیری از خروجی است که با ورودی مقایسه می شود و از $H(s)$ عبور می کند.

سیگنال اغتشاش / نویز $D(s)$ (Disturbance signal): یک سیگنال ورودی به سیستم است که در هر نقطه ای بجز ورودی مرجع می تواند وارد شود و اثر نامعینی بر عملکرد طبیعی سیستم بگذارد.



مثالی از سیستم کنترل حلقه بسته

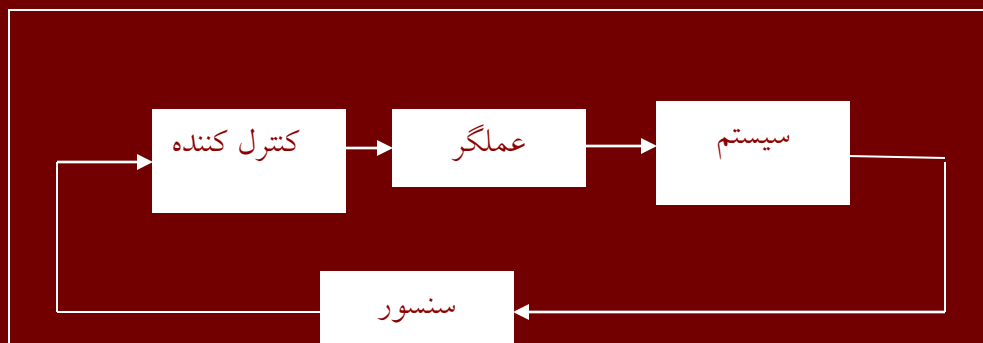
- راننده ای را در نظر بگیرید که برای راندن صحیح اتومبیلی در جاده، تلاش میکند.
- اقدامات او را بصورت زیر می توان تشریح کرد:
- وی وضعیت اتومبیل را می بیند، میزان انحراف اتومبیل از راه اصلی.
- در مغز خود میزان صحیح و انحراف اتومبیل را تشخیص می دهد و فرمان آنرا بر طبق ذهن خود با دستهای خود حرکت می دهد.
- تا زمانی که خطاست، فرمان و دستها حرکت می کند.

کنترل کننده به جای انسان؟!!

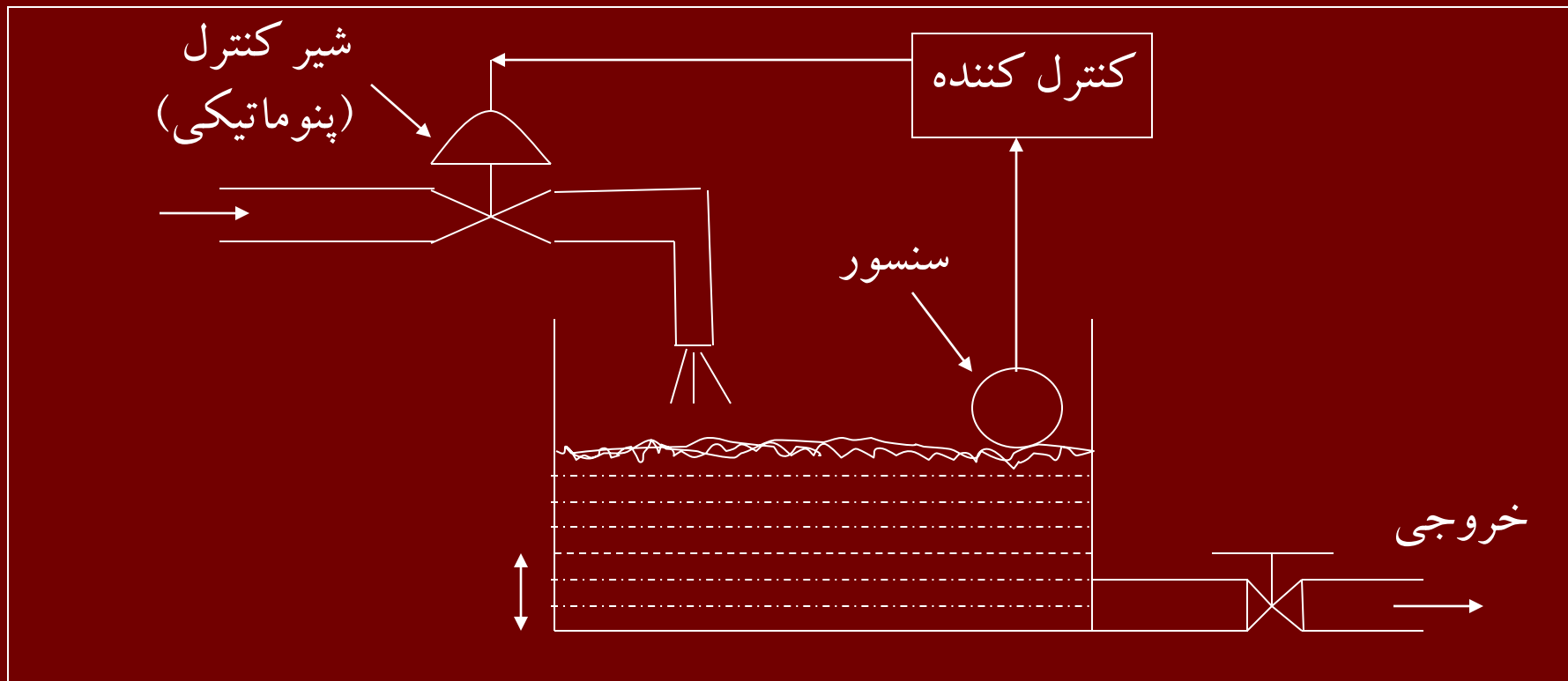
- کارهایی که انسان برای هدایت اتومبیل انجام می دهد.
- 1. جاده را می بیند و موقعیت اتومبیل را مشخص می کند.
- 2. با مقدار مطلوب مقایسه می کند (میزان خطا چقدر است)
- 3. مغز انسان یک فرمانی به دستها بر اساس مرحله ۲ صادر می کند.
- 4. دستها "فرمان" اتومبیل را به حرکت در می آورند.
- 5. تکرار از مرحله ۱

کنترل کننده به جای انسان!؟

1. اتومبیل. ۱- سیستم تحت کنترل (فرایند)
2. دیدن چشم ها. ۲- سنسور (وسیله اندازه گیری)
3. مغز انسان و فرمان به دستها ۳- کنترل کننده و یا یک وسیله فرمانده
4. دستها و فرمان اتومبیل ۴- عملگر ها



کنترل سطح مایع



مثالی از سیستم کنترل حلقه بسته

■ در کنترل سطح مایع:

کنترل کننده بایست بصورت زیر عمل کند:

۱- اگر سطح ارتفاع آب از مقدار مطلوب کم باشد، حکم به باز بودن شیر ورودی بدهد.

۲- اگر آب به حد مطلوب برسد شیر را ببندد.

۳- اما سریع پر شدن، سرریز نشدن نیز خیلی مهم است. یعنی اصلاً هدف اصلی کنترل اینست. پاسخ مناسب داشته باشیم.

کیفیت خوب داشته باشیم.

مراحل طراحی کنترل کننده

- پس کنترل کننده اگر فعلا بصورت یک جعبه سیاه فرض شود، و آن را داری پارامترهایی حساب کنیم، مورد انتظار است هدف با بهترین کیفیت بدست دهد. اما سوال اینجاست برای اینکه پارامترهای کنترل کننده را بهتر تنظیم کنیم و جواب مناسب بگیریم، مراحل کار به چه صورت است؟

مراحل کار

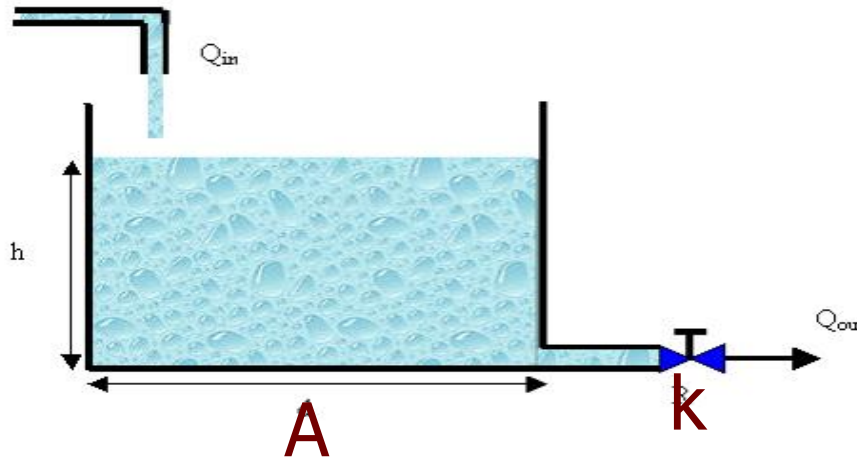
- ۱- تعیین مدل ریاضی سیستم (معادلات دینامیک حاکم بر سیستم)
- ۲- رسم بلوک دیاگرام و بدست آوردن تابع تبدیل یا فضای حالت
- ۳- تحلیل ویژگی سیستم (پایدار/ناپایدار/نوسانی) و تعیین نقاط ضعف و قوت سیستم (شبیه سازی هم صورت می گیرد)
- ۴- مشخص کردن اهداف مطلوب رفتاری سیستم
- ۵- طراحی کنترل کننده بر اساس اهداف مطلوب و ویژگی سیستم

اهمیت مدلسازی در سیستم کنترل

در مسایل عملی مهندسی کنترل، قبل از شروع تحلیل سیستم به منظور طراحی سیستم کنترل، در دست داشتن یک مدل دقیق ریاضی از سیستم الزامی است. در واقع اولین قدم در راه طراحی سیستم کنترل برای یک سیستم، مدلسازی آن سیستم توسط بیان مشخصه‌های آن با معادلات ریاضی است. لذا بدست آوردن مدل ریاضی سیستم که نمایانگر مشخصه‌های آن است، از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار می‌باشد.

بدون شک توصیف کامل عملکرد و عملیات سیستم فیزیکی برحسب معادلات ریاضی، یک مجموعه بسیار پیچیده از تعداد زیادی معادله و روابط ریاضی را به همراه خواهد داشت که به علت پیچیدگی بیش از اندازه برای تحلیل و طراحی سیستم مناسب نخواهد بود. از طرف دیگر، مدل ریاضی سیستم فیزیکی نباید بیش از اندازه ساده باشد، ساده سازی بیش از اندازه موجب میشود که مشخصه‌های مهم سیستم در مدل آن وارد نشود و تحلیل انجام شده بر اساس مدل، غلط یا غیرکافی باشد و هم‌چنین سیستم کنترل طراحی شده براساس این چنین مدلی نامناسب خواهد بود. بنابراین در تعیین مدل ریاضی یک سیستم فیزیکی، باید مشخصه‌های مهم و اساسی سیستم در مدلسازی در نظر گرفته شوند و در این انتخاب مقدار متناسبی تجربه و دید عملی لازم است.

مدلسازی سیستم تانک آب



خروجی سیستم:
کنترل ارتفاع مایع یعنی h

ورودی سیستم:
شیر ورودی Q_{in}

مدلسازی ریاضی: نوشتن روابط
ریاضی حاکم بر سیستم

$$Q_{in}(t) - Q_{out}(t) = \frac{d}{dt}(V(t))$$

$$Q_{out}(t) = k.h(t)$$

هدف:
نگه داشتن h در یک ارتفاع
مشخص

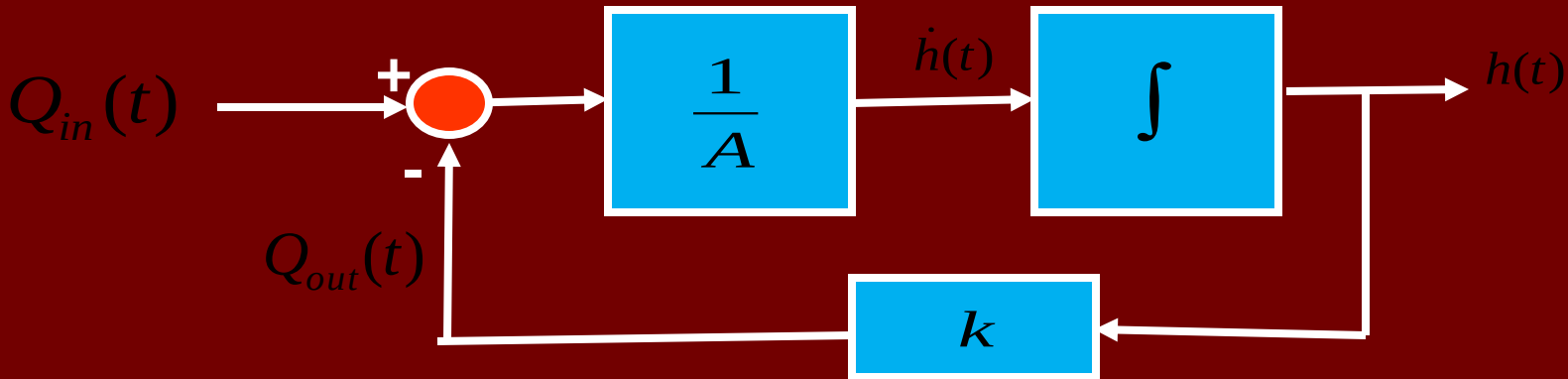
$$V(t) = A.h(t)$$

مدلسازی تانک آب

$$Q_{in}(t) - Q_{out}(t) = \frac{d}{dt}(A.h(t)) = A\dot{h}(t)$$

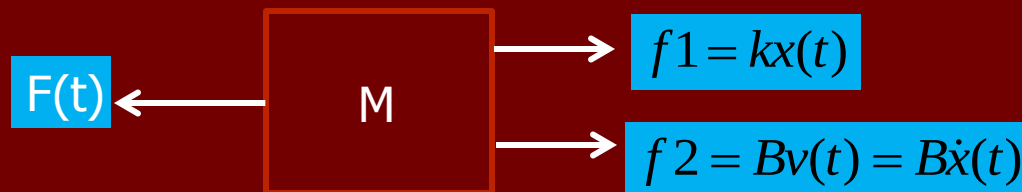
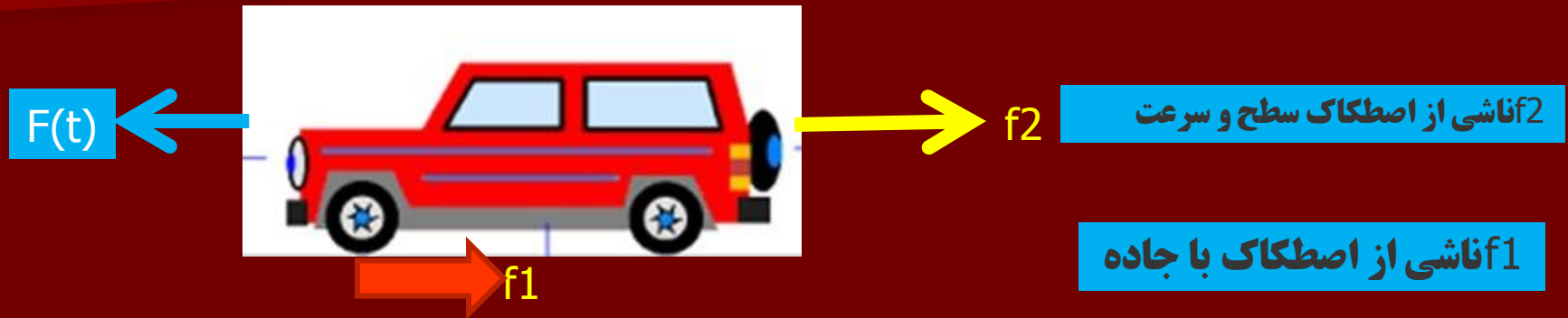
$$Q_{out}(t) = \frac{1}{R}.h(t) = kh(t)$$

$$V(t) = d.h(t)$$



بلوک دیاگرام سیستم تانک آب در حوزه زمان

مدلسازی سیستم خودرو



$$F(t) - kx(t) - B\dot{x}(t) = M\ddot{x}(t)$$

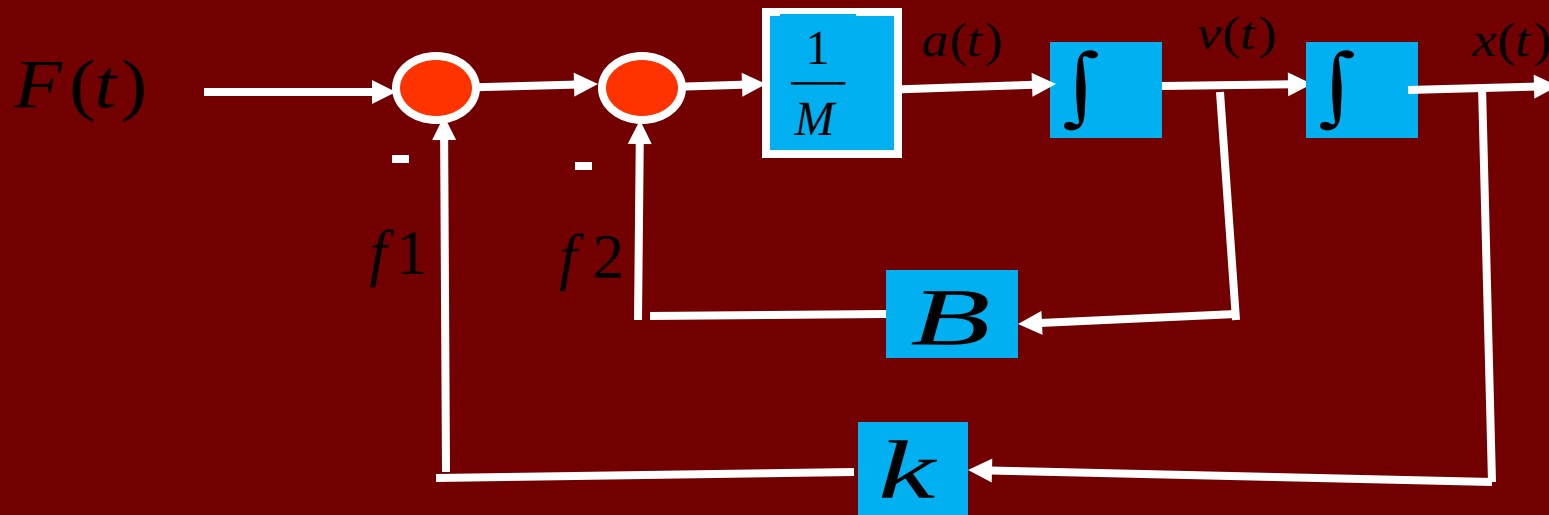
$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= v(t) \\ \ddot{x}(t) &= a(t)\end{aligned}$$

مدلسازی سیستم خودرو

$$F(t) - f_1 - f_2 = Ma$$

$$\dot{x}(t) = v(t)$$

$$\ddot{x}(t) = a(t)$$



بلوک دیاگرام سیستم خودرو در حوزه زمان

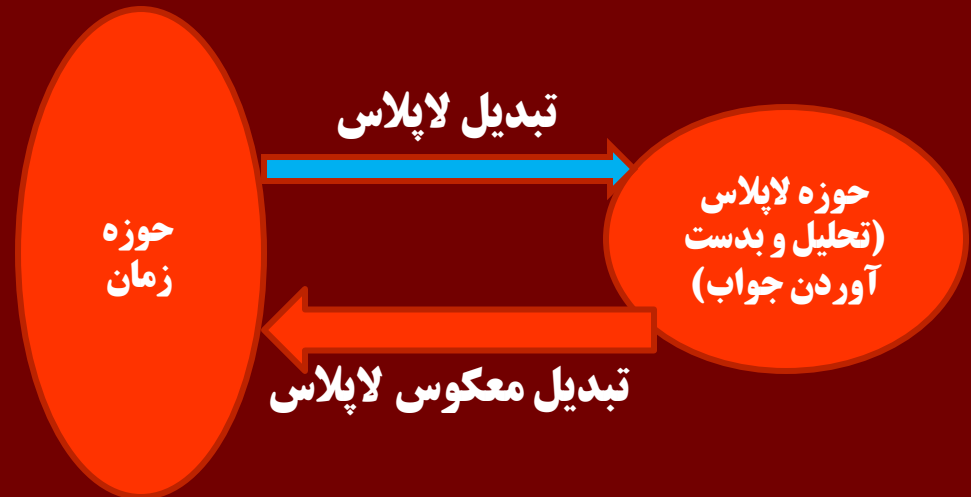
تبدیل لاپلاس

تبدیل لاپلاس یکی از پر کاربردترین تبدیلات ریاضی در دنیای علم کامپیوتر و مهندسی برق است که از جمله کاربردهای آن می توان به تحلیل سیستم های کنترل اشاره کرد. این تبدیل برای انتقال توابع از حوزه زمان به لاپلاس به کار می رود و هدف از استفاده از آن راحت تر کردن تحلیل هاست.

این تبدیل معادلات پیچیده مبتنی بر انتگرال و معادلات دیفرانسیل در حوزه زمان را به معادلات جبری ساده تر تبدیل می کند. بشرط LTI بودن سیستم

$$F(s) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st}dt$$

$$f(t) \longrightarrow F(s)$$



تبدیل لاپلاس

ورودی های استاندارد

$$\delta(t) = \begin{cases} 0 & t \neq 0 \\ 0^+ \\ \int_{0^-} \delta(t) dt = 1 \end{cases} \xrightarrow{L} \Delta(s) = 1$$

۱- تابع ضربه

$$u(t) = \begin{cases} 1 & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases} \xrightarrow{L} U(s) = \frac{1}{s}$$

۲- تابع پله

$$r(t) = \begin{cases} t & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases} \xrightarrow{L} R(s) = \frac{1}{s^2}$$

۳- تابع شیب

$$a(t) = \begin{cases} \frac{1}{2}t^2 & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases} \xrightarrow{L} R(s) = \frac{1}{s^3}$$

۴- تابع شتاب (سه‌موی)

$$\frac{d}{dt} \longrightarrow s$$

$$\dot{x}(t) = v(t) \longrightarrow sX(s) = v(s)$$

$$\int \longrightarrow \frac{1}{s}$$

$$\ddot{x}(t) = a(t) \longrightarrow s^2 X(s) = a(s)$$

تبدیل لاپلاس

تبدیل معکوس لاپلاس تابع F زیر را بدست آورید

$$F(s) = \frac{3}{s} - \frac{5}{s+1} + \frac{6}{s^2+4}$$



$$\begin{aligned} f(t) &= \mathcal{L}^{-1}[F(s)] = \mathcal{L}^{-1}\left(\frac{3}{s}\right) - \mathcal{L}^{-1}\left(\frac{5}{s+1}\right) + \mathcal{L}^{-1}\left(\frac{6}{s^2+4}\right) \\ &= (3 - 5e^{-t} + 3 \sin 2t)u(t), \quad t \geq 0 \end{aligned}$$

$$F(s) = 5 + \frac{6}{s+4} - \frac{7s}{s^2+25}$$



$$f(t) = 5\delta(t) + (6e^{-4t} - 7 \cos(5t))u(t)$$

جدول ۱-۱ جدول زوج تبدیلات لاپلاس

	$x(t)$	$X(s)$
۱	$\delta(t)$	1
۲	$u(t)$	$\frac{1}{s}$
۳	$t.u(t)$	$\frac{1}{s^2}$
۴	$t^n.u(t)$	$\frac{n!}{s^{n+1}}$
۵	$e^{-at}u(t)$	$\frac{1}{s+a}$
۶	$t^n.e^{-at}.u(t)$	$\frac{n!}{(s+a)^{n+1}}$
۷	$\sin(\omega_0 t)u(t)$	$\frac{\omega_0}{s^2+\omega_0^2}$
۸	$\cos(\omega_0 t)u(t)$	$\frac{s}{s^2+\omega_0^2}$
۹	$e^{-at} \cos(\omega_0 t)u(t)$	$\frac{s+a}{(s+a)^2+\omega_0^2}$
۱۰	$e^{-at} \sin(\omega_0 t)u(t)$	$\frac{\omega_0}{(s+a)^2+\omega_0^2}$

تبدیل لاپلاس

$$F(s) = \frac{s^2 + 12}{s(s + 2)(s + 3)}$$



$$\frac{s^2 + 12}{s(s + 2)(s + 3)} = \frac{A}{s} + \frac{B}{s + 2} + \frac{C}{s + 3}$$



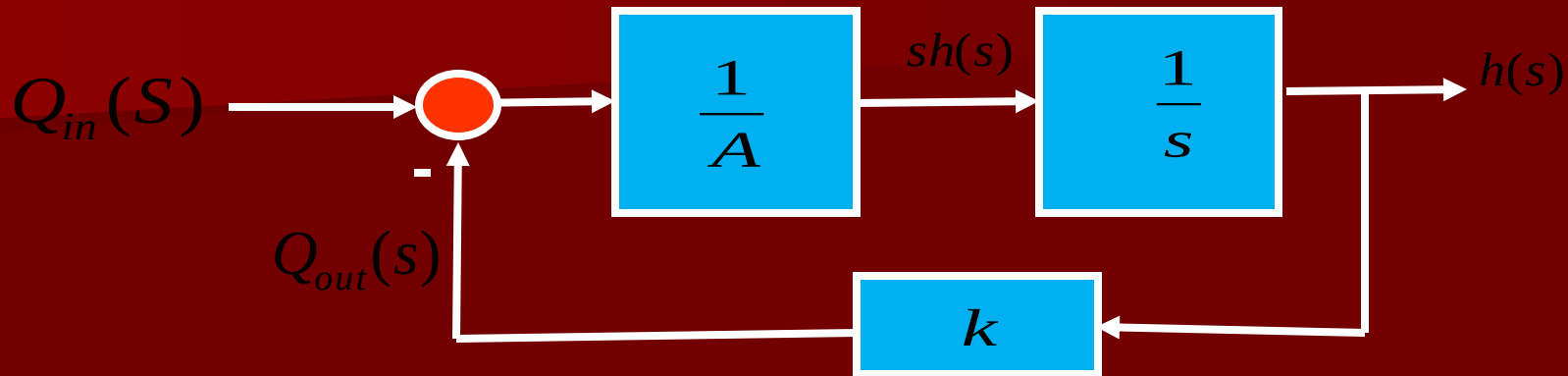
$$\begin{aligned} A &= sF(s) \big|_{s=0} = \frac{s^2 + 12}{(s + 2)(s + 3)} \bigg|_{s=0} = \frac{12}{(2)(3)} = 2 \\ B &= (s + 2)F(s) \big|_{s=-2} = \frac{s^2 + 12}{s(s + 3)} \bigg|_{s=-2} = \frac{4 + 12}{(-2)(1)} = -8 \\ C &= (s + 3)F(s) \big|_{s=-3} = \frac{s^2 + 12}{s(s + 2)} \bigg|_{s=-3} = \frac{9 + 12}{(-3)(-1)} = 7 \end{aligned}$$

$$F(s) = \frac{2}{s} - \frac{8}{s + 2} + \frac{7}{s + 3}$$

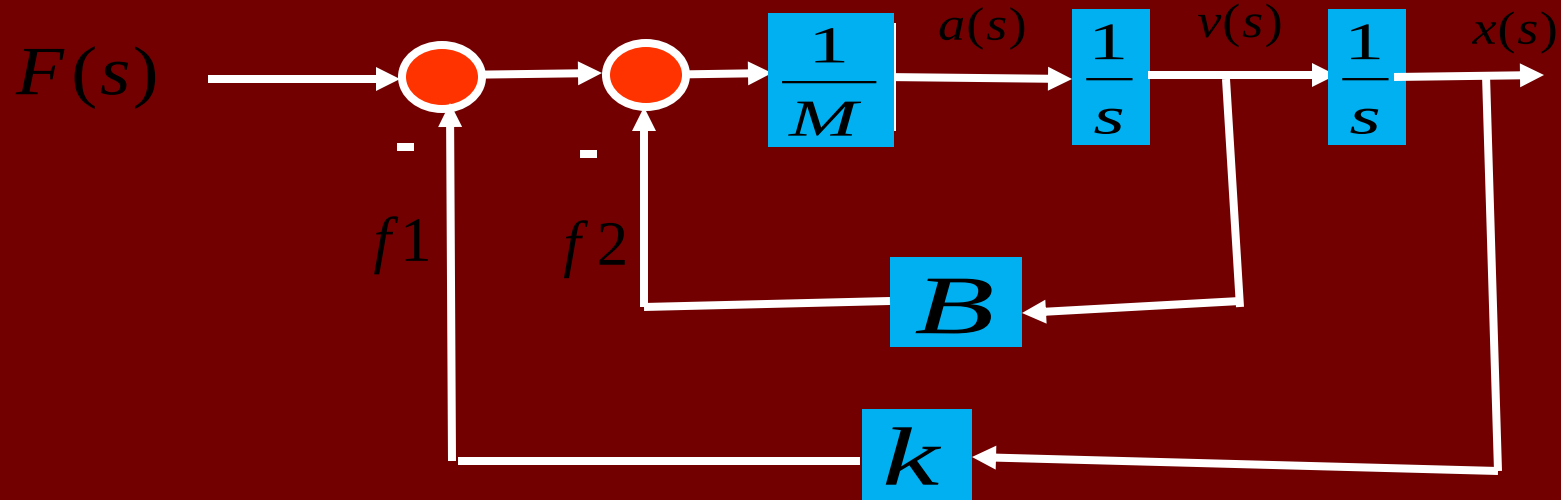


$$f(t) = (2 - 8e^{-2t} + 7e^{-3t})u(t)$$

مدلسازی



بلوک دیاگرام سیستم تانک آب در حوزه لاپلاس

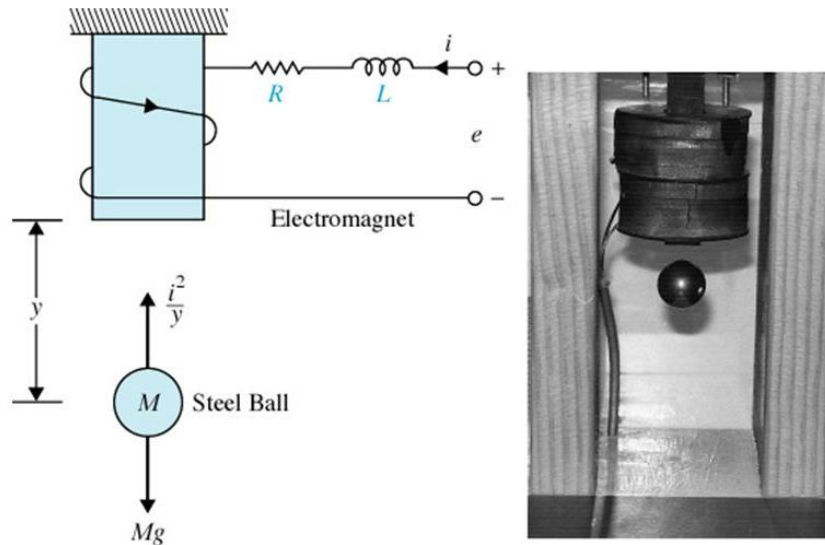


بلوک دیاگرام سیستم خودرو در حوزه لاپلاس

سیستم غیر خطی

Magnetic Ball Suspension(MBS) System

Magnetic-ball-suspension system.

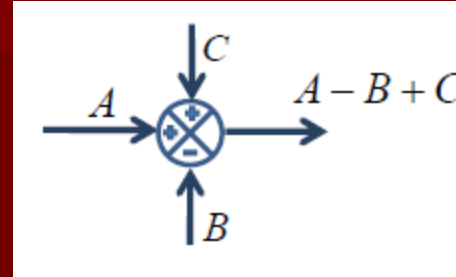
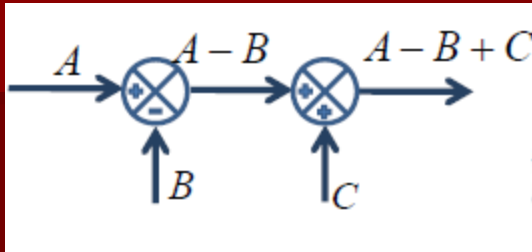


$$M \ddot{y}(t) = Mg - \frac{i^2(t)}{y(t)}$$

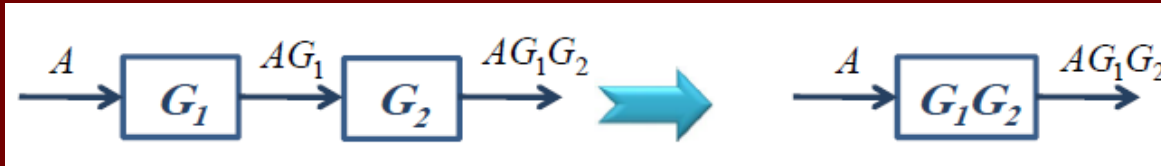
$$e(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt}$$

بدلیل غیر خطی بودن سیستم MBS تبدیل لاپلاس برای آن غیر قابل اعمال است و این سیستم صرفاً در حوزه زمان قابل تحلیل است.

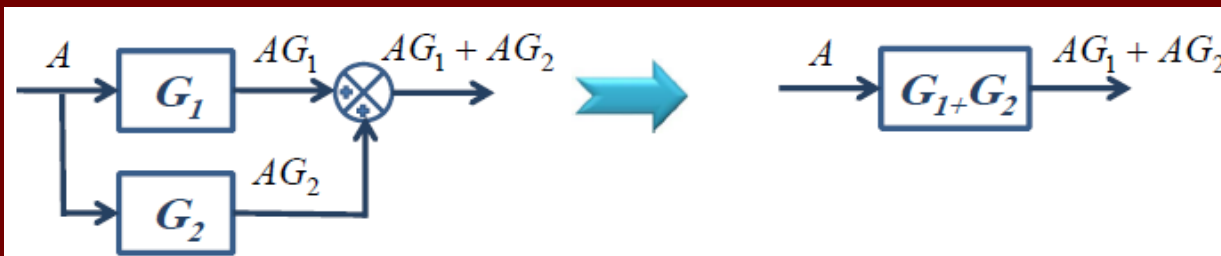
ساده سازی بلوک دیاگرام



عملیات جبری



حالت سری

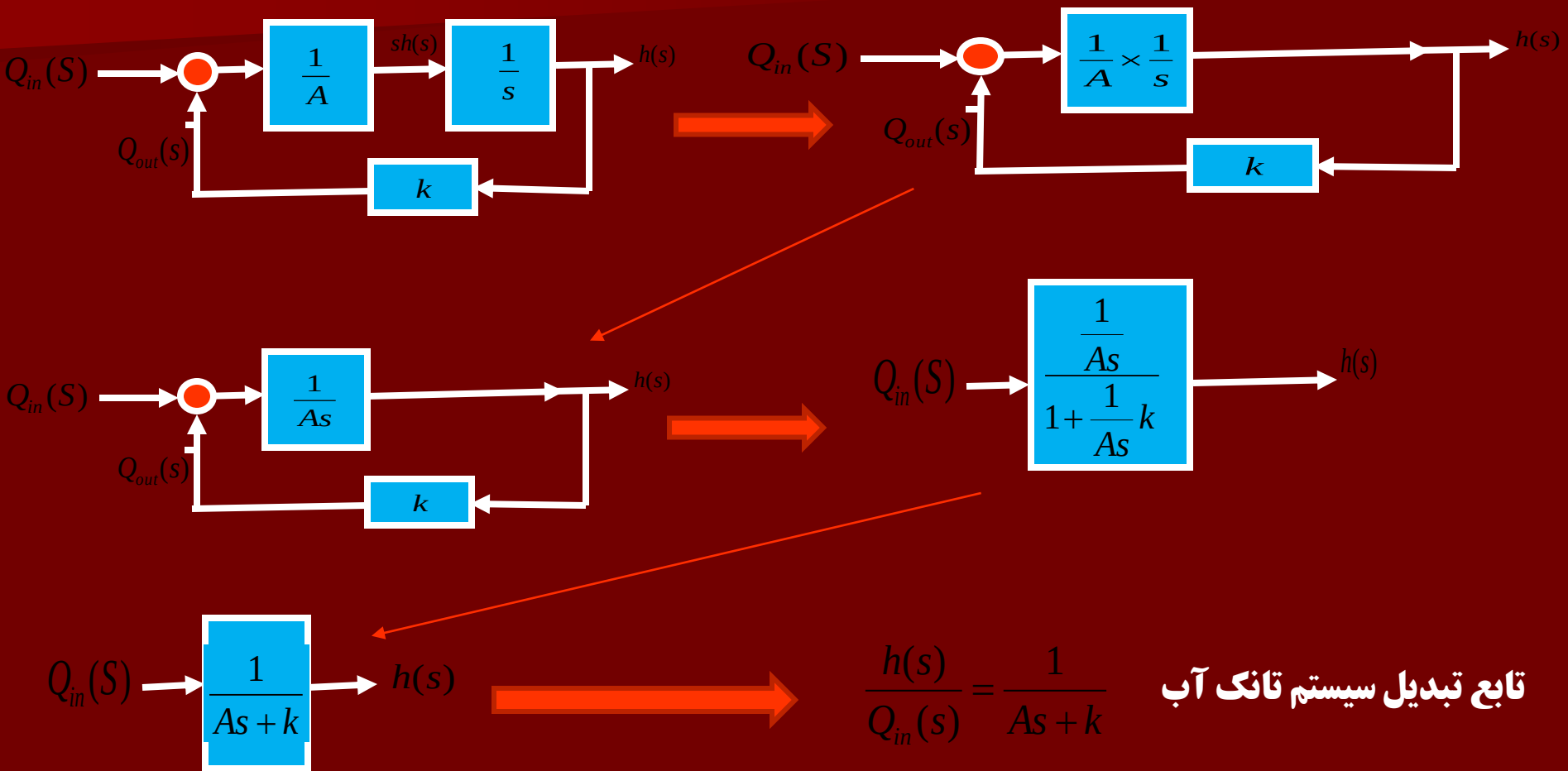


حالت موازی



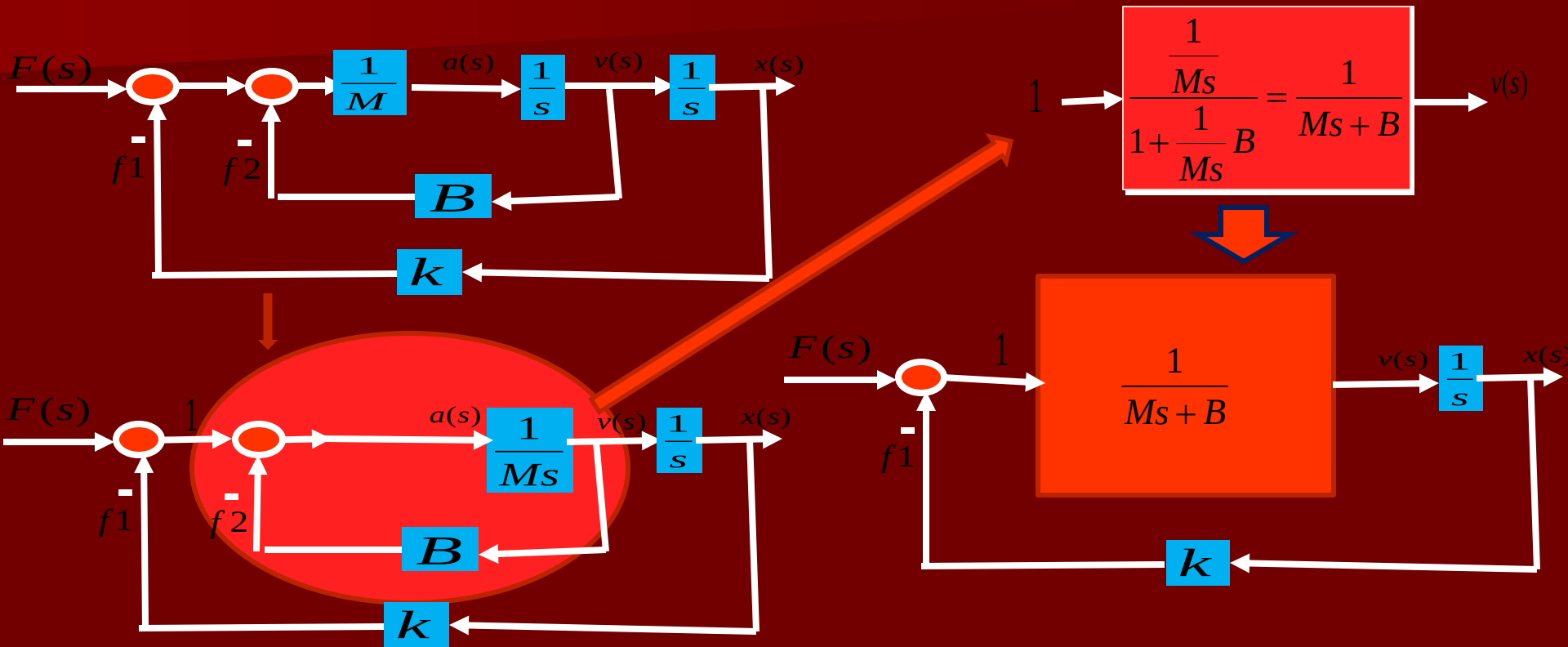
حالت فیدبک

ساده سازی بلوک دیاگرام

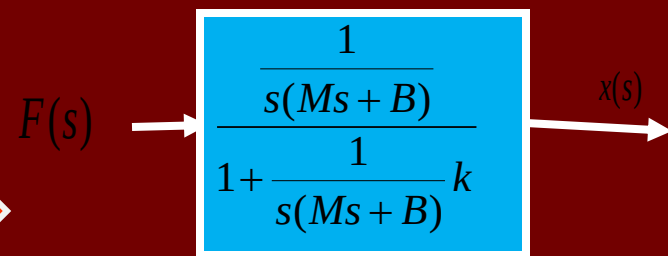
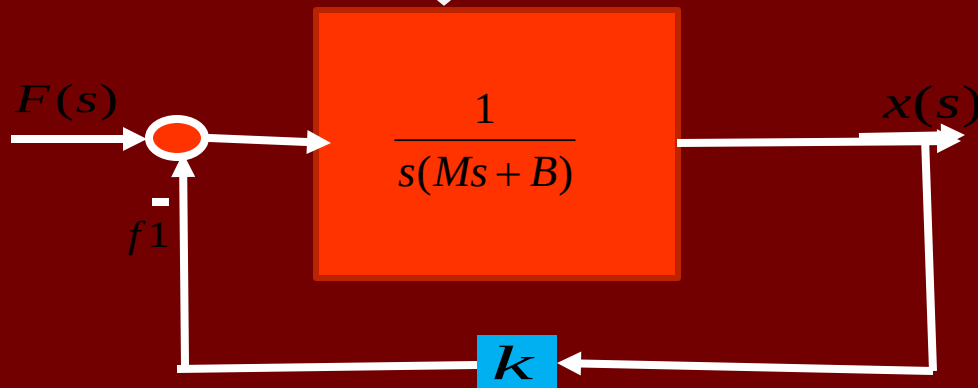
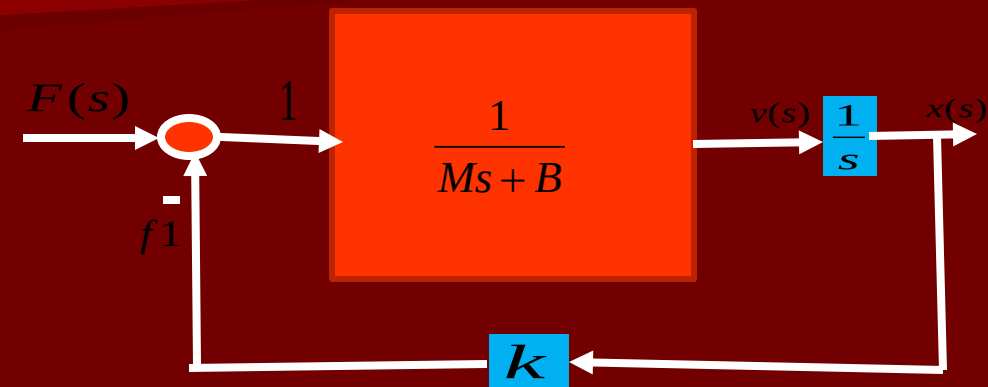


اعداد ثابتی هستند A , k

ساده سازی بلوک دیاگرام



ساده سازی بلوک دیاگرام



تابع تبدیل سیستم خودرو

$$\frac{x}{F} = \frac{1}{s(Ms + B) + k} = \frac{1}{Ms^2 + Bs + k}$$

تابع تبدیل سیستم

$$G(s) = \frac{h(s)}{Q_{in}(s)} = \frac{1}{As + k}$$

تابع تبدیل سیستم تانک آب



خروجی سیستم تانک آب

$$h(s) = Q_{in}(s) \frac{1}{As + k}$$

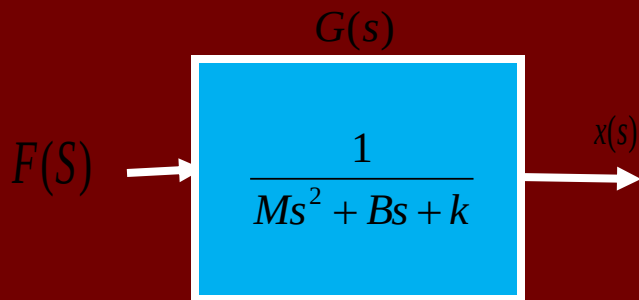
$$G(s) = \frac{x(s)}{F(s)} = \frac{1}{Ms^2 + Bs + k}$$

تابع تبدیل سیستم خودرو

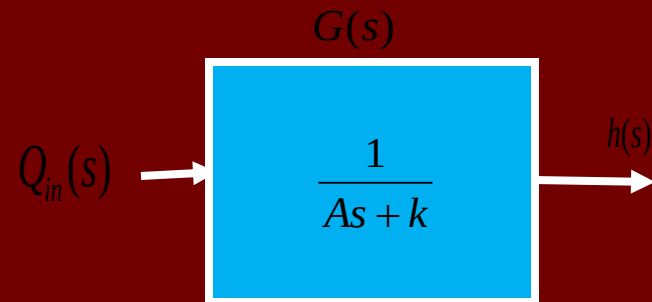


$$x(s) = F(s) \frac{1}{Ms^2 + Bs + k}$$

خروجی سیستم خودرو



تابع تبدیل سیستم خودرو



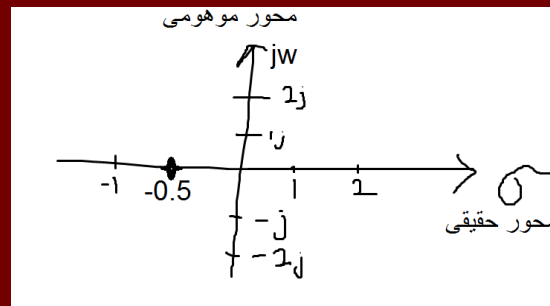
تابع تبدیل سیستم تانک آب

تابع تبدیل سیستم

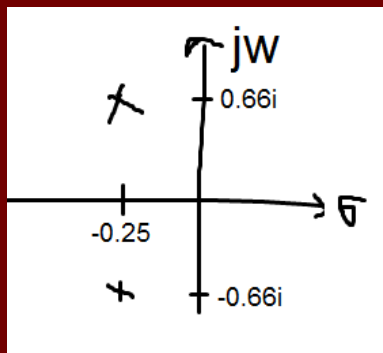
در تابع تبدیل سیستم ریشه های صورت را صفرهای سیستم و ریشه های مخرج را قطب های سیستم می گویند

$$G(s) = \frac{1}{As + k} \quad A=1, k=0.5 \quad G(s) = \frac{1}{s + 0.5} \quad \text{صفر نداریم و قطب سیستم برابر 0.5-}$$

آرایش صفر و قطب سیستم



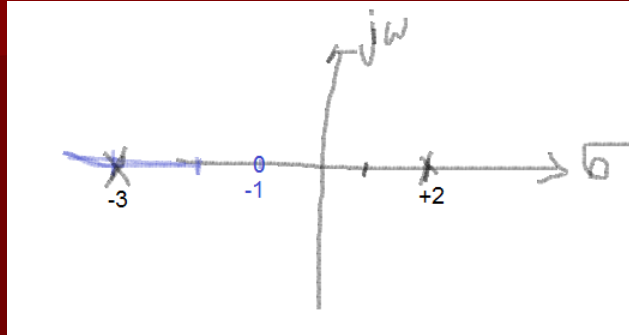
$$G(s) = \frac{1}{Ms^2 + Bs + k} \quad M=1, B=0.5, k=0.5 \quad \longrightarrow \quad G(s) = \frac{1}{s^2 + 0.5s + 0.5}$$



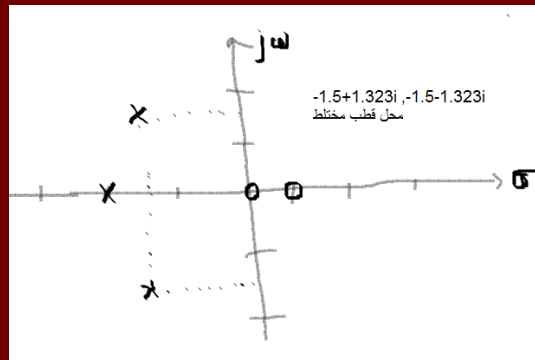
صفر نداریم و قطبهای سیستم برابر $-0.25 + 0.66i$, $-0.25 - 0.66i$

تابع تبدیل سیستم

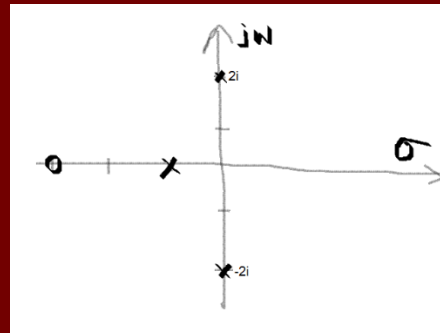
$$G0(s) = \frac{s+1}{(s+3)(s-2)}$$



$$G1(s) = \frac{s(s-1)}{(s^2+3s+4)(s+2)}$$



$$G2(s) = \frac{s+3}{(s+1)(s^2+4)}$$



سیستم پایدار، ناپایدار و نوسانی

یکی از مهمترین مشخصه‌های سیستم پایداری آن است. به سیستمی پایدار گویند که اگر ورودی یا اغتشاشات با دامنه محدود به آن اعمال گردد، پاسخ بدست آمده دامنه‌ای محدود داشته باشد.

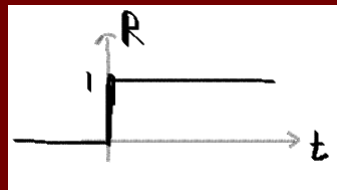
۱- اگر قطبهای تابع تبدیل در حوزه s در سمت چپ محور موهومی قرار گیرند، پاسخ گذرای سیستم میراشونده است و با گذشت زمان به صفر میل کرده و سیستم پایدار است.

۲- چنانچه یک یا چند زوج قطب (غیرتکراری) تابع تبدیل بر روی محور موهومی قرار گیرند و سایر قطبها در سمت چپ محور موهومی باشند، پاسخ سیستم به صورت نوسانات سینوسی میراننده خواهد بود.

۳- حتی اگر تنها یک قطب تابع تبدیل در سمت راست محور موهومی قرار گیرد، دامنه پاسخ سیستم نسبت به زمان افزایش خواهد یافت و سیستم ناپایدار است.

سیستم پایدار و ناپایدار

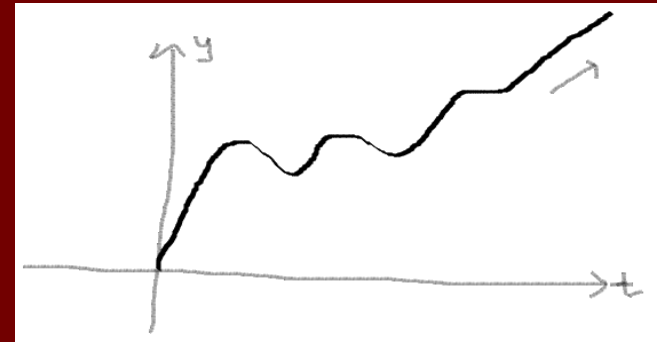
$G0(s)$



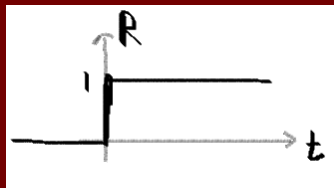
R

$$\frac{s+1}{(s+3)(s-2)}$$

y



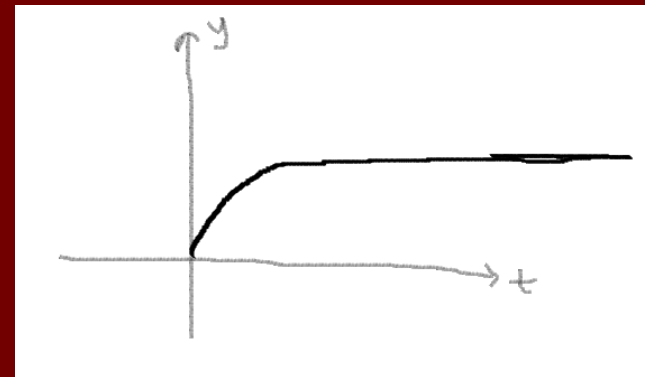
$G4(s)$



R

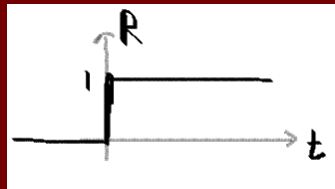
$$\frac{s+1}{(s+3)(s+2)}$$

y



$G0$ سیستم ناپایدار است و $G4$ سیستمی پایدار

سیستم نوسانی

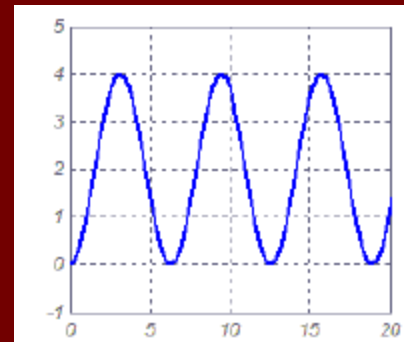


R

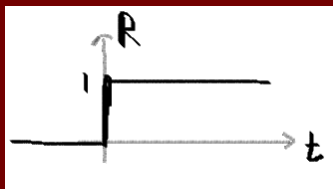
$G5(s)$

$$\frac{s+3}{(s^2+4)}$$

y



G5 سیستمی نوسانی است

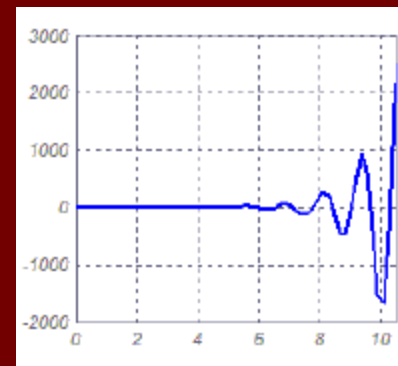


R

$G6(s)$

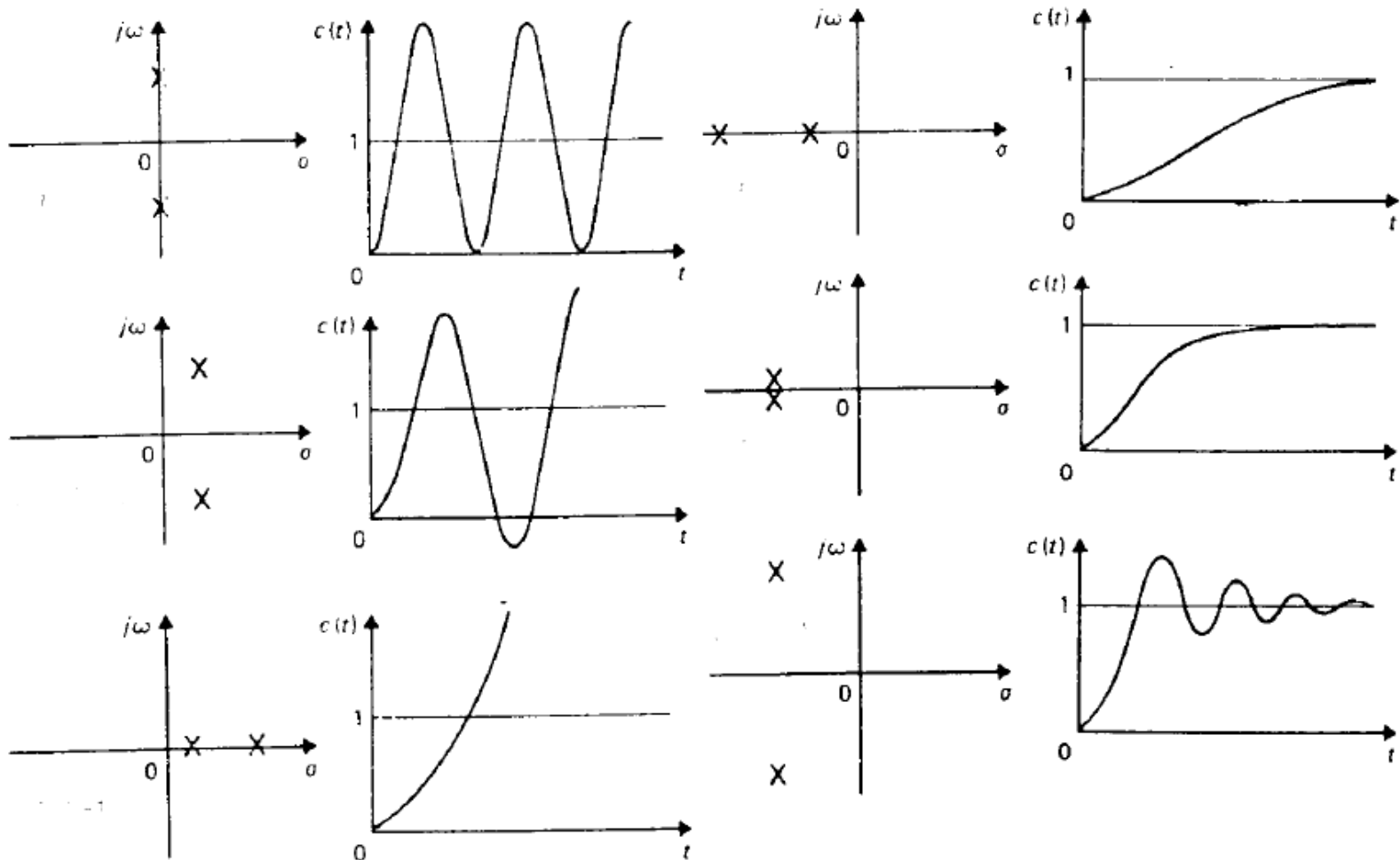
$$\frac{s+3}{(s-1)(s^2+4)}$$

y



G6 سیستمی ناپایدار است

آرایش قطب ها و پاسخ زمانی به پله



جمع بندی

❖ اهمیت و مفهوم کنترل بیان گردید.

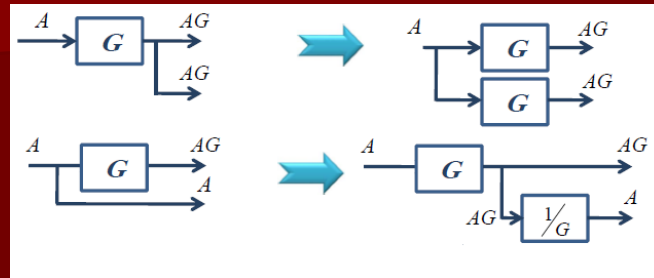
❖ نحوه تعیین مدل ریاضی یک سیستم توضیح داده شد.

❖ نحوه ترسیم بلوک دیاگرام سیستم و ساده سازی بیان شد.

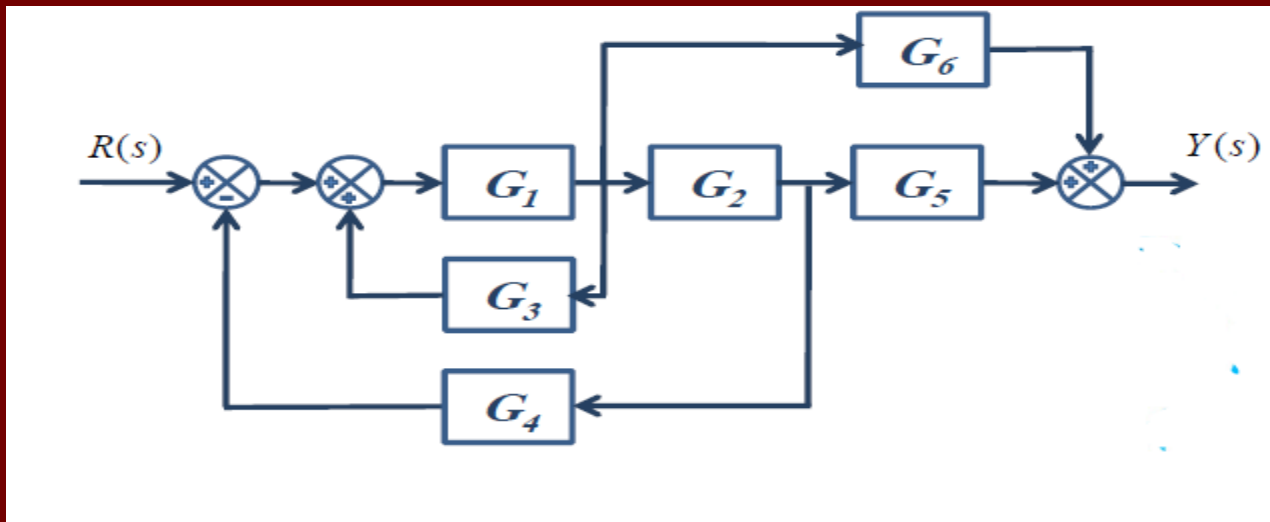
❖ تابع تبدیل سیستم تعریف گردید

❖ سیستم پایدار / ناپایدار / نوسانی تعریف شد.

تمرین



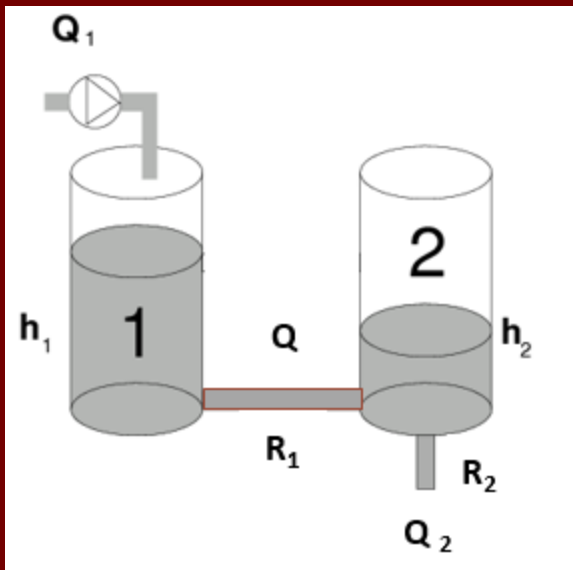
با استفاده از ویژگی بالا در ساده سازی بلوک دیاگرام، نمودار زیر را ساده کرده و تابع تبدیل را تعیین کنید



تمرین

بلوک دیاگرام سیستم زیر را رسم کرده و تابع تبدیل آن را بدست آورید خروجی سیستم را h_2 فرض کنید

$A_1=2$ ، $A_2=1.5$ ، $R_1=0.1$ و $R_2=0.2$ می باشد



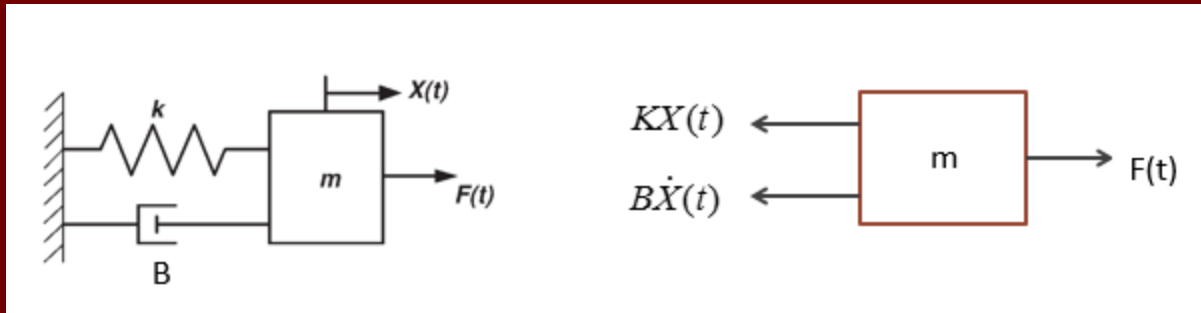
$$Q_1 - Q = A_1 \dot{h}_1$$

$$Q - Q_2 = A_2 \dot{h}_2$$

$$Q = \frac{h_1 - h_2}{R_1}, \quad Q_2 = \frac{h_2}{R_2}$$

تمرین

بلوک دیاگرام سیستم جرم و فنر زیر را رسم کرده و تابع تبدیل آن را بدست آورید خروجی سیستم را سرعت v فرض کنید



$$F(t) - Kx(t) - B\dot{x}(t) = M\ddot{x}(t)$$