

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



وزارت علوم و تحقیقات و فناوری
دانشگاه فنی و حرفه‌ای پسران بندرعباس

سیستم کنترل خطی

دکتر سید محسن محبی



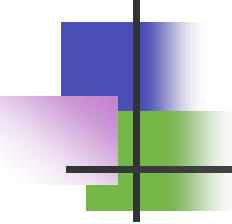
www.Mohebbii.ir



Mohebbii.ir@Yahoo.com



<https://t.me/Mohebbiir>



سیستم:

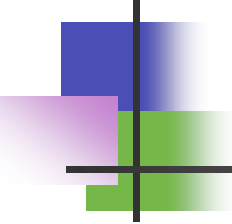
سیستم عبارت است از مجموعه ای از اجزای فیزیکی که با ترتیب خاصی به یکدیگر متصل یا مربوط شده اند و مجموعه مزبور به صورت یک واحد منسجم برای رسیدن به مقصود مشخص یا ارضا شرط ویژه ای عمل نماید.

سیستم مجموعه ای از اجزاست که در ارتباط با هم کار می کنند و هدف معینی را دنبال می کنند. سیستم توسط مرزهایی خیالی از محیط اطراف جدا می شود. متناظر با هر سیستم با متغیرهایی سروکار داریم.

متغیرهای حالت یا وضعیت برخی از متغیرهای داخلی سیستم در یک لحظه خاص بیانگر رفتار سیستم در آن لحظه است .

کنترل:

کلمه کنترل به معنی تنظیم، هدایت یا فرماندهی بکار میرود.



■ ورودی سیستم

آنچه که از محیط خارج ، خواسته یا ناخواسته بر سیستم اثر می کند و در متغیرهای حالت ایجاد تغییر می کند ورودی سیستم است.

■ خروجی سیستم

خروجی هر سیستم نیز به متغیری از آن اطلاق می شود که تغییراتش مورد توجه ما می باشد.

■ استاتیک یا پایا

در برخی از سیستم ها ، خروجی در یک لحظه خاص فقط به ورودی ها در همان لحظه وابسته هستند.بعبارتی سیستم بدون حافظه است و گذشته خود را به یاد ندارد. به چنین سیستم هایی استاتیک یا پایا می گویند.

■ دینامیکی یا پویا

در مقابل سیستم های دینامیک ، پویا یا حافظه دار قرار می گیرند که خروجی آنها در هر لحظه علاوه بر ورودی های قبلی نیز وابسته است.

- **سیستم غیر متغیر با زمان:**

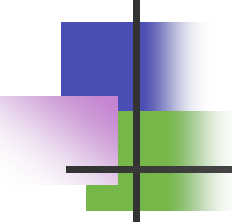
اگر رابطه ی بین خروجی و ورودی ها در طول زمان ثابت باشد ، سیستم را غیر متغیر با زمان می گویند.

- **سیستم متغیر با زمان :**

اگر این رابطه با گذشت زمان تغییر کند ، سیستم متغیر با زمان گفته می شود.

- **نکته :** باید دقت کرد که دینامیکی بودن سیستم و متغیر با زمان بودن دو مفهوم جداگانه می باشد.

- **نکته :** در سیستم های دینامیکی ، معمولاً اثر ورودی به طور آنی در خروجی ملاحظه نمی شود.



■ سیستم های کنترل اتوماتیک یا خودکار :

می خواهیم خروجی سیستم را به مقدار مطلوبی برسانیم ، عبارتی دیگر خروجی سیستم را کنترل کنیم.اهداف مورد نظر خودمان که همان مقدار مطلوب هستند را با عنوان ورودی مرجع یا به اختصار ورودی معرفی می کنیم.

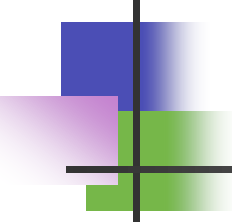
■ خروجی سیستم باید در هر لحظه ورودی مرجع را تعقیب کند.برای این کار باید هزینه یا تلاش های کنترلی انجام شود.عملکرد یک سیستم کنترل با مقایسه هدف کنترلی یا ورودی مرجع با خروجی سیستم در هر لحظه سنجیده می شود.

■ رگولاتور :

در بسیاری از موارد هدف از کنترل ، تنظیم خروجی در یک مقدار مطلوب و ثابت است.در این حالت سیستم کنترل را رگولاتور می نامند.

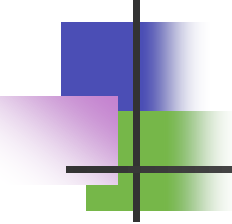
■ ردیاب یا سرومکانیسم :

در موارد دیگری هدف از کنترل ، دنبال کردن یک مقدار مطلوب متغیر با زمان است.در این حالت به سیستم کنترل ردیاب یا سرومکانیسم می گویند.



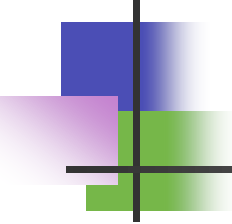
■ اکثر سیستم های کنترل فرایند رگولاتور هستند. خروجی چنین سیستم هایی معمولاً سطح مایع، غلظت، فشار، دما و ... است. تنظیم دمای اتاق با سیستم تهویه، تنظیم ارتفاع یا غلظت مایع درون یک مخزن، تنظیم دمای بدن انسان نزدیک به ۳۷ درجه سانتی گراد، تنظیم قند خون یا فشار خون در حد معینی نمونه ای از سیستم های رگولاتور است.

■ در مقابل در سیستم های ردیاب، خروجی معمولاً بصورت تعیین سرعت، دنبال کردن هواپیما توسط موشک، ردیابی یک ماهواره به کمک آنتن، جابجا کردن یک شی توسط بازوی ربات می باشد.



سیستم کنترل

- **سیستم کنترل :** مجموعه ای از اجزاء به هم پیوسته است که هدف آن فراهم کردن پاسخ مطلوب می باشد.
- منظور از کنترل یک سیستم این است که رفتار یک یا چند متغیر آن به صورت مطلوب در آید.
- **مثال :** در راندن خودرو ، کنترل به نحوی انجام می شود تا شخص با طی یک مسیر به مقصد مورد نظر برسد.

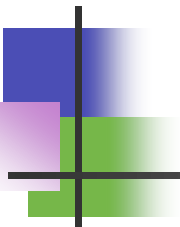


■ مثال چرخش موتور:

یک دور چرخش هست یا دو دور این موتور ۳ دور در زاویه.

سیستم را مانند موتور الکتریکی ساخته شود تا بتواند کارهای زیادی انجام دهد.

خوب می توانیم مواردی بگذاریم مانند : کنترل کننده ، هدف ما سرعت زاویه ایی اینقدر می باشد. عبارتی کنترل کننده هر کاری می خواهید انجام بده تا سیستم ما برسد به هدف مطلوب.



■ **سیستم - سامانه:** مجموعه ای از المانها(عناصر) می باشد که در کنار همدیگر یک رفتاری را نشان می دهد.

■ **هدف - مطلوب:** در هر مسئله یک هدف داریم که به چیزی که می خواهیم برسیم.مثلا(سرعت زاویه)

■ **وضعیت - کیفیت:** حالتی که الان سیستم دارد،بعد در سیستم نشان می دهیم که منظور از وضعیت چه می باشد.که دو مورد یکی نیست. سیستم دو تا وضعیت دارد : وضعیت مطلوب - وضعیتی که الان داخل آن وجود دارد.

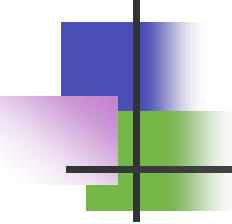
■ **متغیر کنترل - خروجی سیستم:** چیزی هست که ما روی آن هدف تعیین کرده ایم. مثلا:

■ **سیستم - سامانه:** موتور الکتریکی

■ **هدف - مطلوب:** رادیان چرخش α

■ **وضعیت - کیفیت:** مقدار فعلی متغیرهایی که داخل آ است (زاویه چرخش - با روی موتور - ولتاژ روی موتور)

■ **متغیر کنترل - خروجی سیستم:** میزان چرخش(من می خواهم میزان چرخش بشود α رادیان).



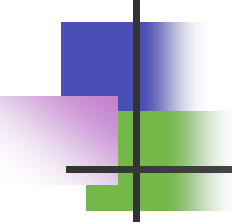
■ متغیر تاثیر پذیر:

متغیری است که از طریق آن می توانیم به هدف برسیم . مثلا در موتور الکتریکی بخواهیم α رادیان بچرخیم ، چون نمی شود شفت موتور را بگیریم و α رادیان بچرخانیم یعنی به خروجی مستقیما نمی توان دسترسی داشت حتی اگر هم داشته باشیم در حالتی هست که داریم بازی م یکنیم و برای ما کاربردی نخواهد بود.

■ اغتشاش :

اغتشاش یا نویز ماهیت خیلی فرق نمی کند اما هر چیزی که رفتار سیستم را ناخواسته تحت تاثیر قرار می دهد . ما خودمان داریم با متیرهای تاثیر پذیر رفتار سیستم را عوض می کنیم. اما یک چیزی که دست ما نیست . مثلا: یک بازوی روبات بچرخد ۹۰ درجه و برگردد و موتور را جوش بدهد و برگردد. سیگنالی است یا ناشناخته که بر رفتار سیستم تاثیر می گذارد و معمولا اندازه گیری نمی شود یا اگر اندازه گیری می شود ، اندازه گیری آن گران است.

نکته : تاثیر در خروجی ما می گذارد.



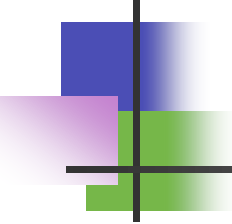
■ مثال : آسانسور

✓ موقعیت آسانسور : خروجی

✓ وزن و اصطحکام : اغتشاش

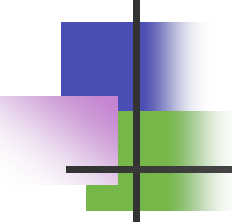
✓ موتور الکتریکی - سیستم هیدرولیک : تاثیر

✓ مشخص کردن طبقه بصورت ثابت : مطلوب



علامت یا سیگنال Signal:

- هر نوع محرکه ای است که برای انتقال اطلاعات بکار گرفته شود را علامت یا سیگنال گویند.
- در سیستم های فیزیکی محرکه هایی مثل جابجایی، فشار، ولتاژ، جریان و حرارت می توانند برای انتقال اطلاعات و به عنوان سیگنال مورد استفاده قرار گیرند.



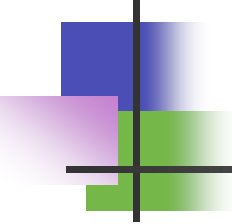
مدار برگشت یا پسخورد سیگنال خطا:

مدار برگشت یا پسخور **Feedback**:

انتقال مجدد علائم خروجی و اعمال آنها به سیستم به عنوان ورودی، از طریق مدار برگشت را پسخوراندن مینامند. در چنین حالتی جمع جبری ورودی و خروجی را ورودی ثانویه تلقی می کنند.

سیگنال خطا **Error signal**:

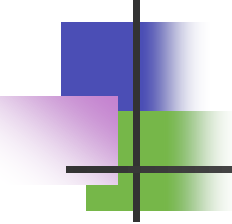
جمع جبری ورودی و خروجی مدار برگشت را خطا می نامند و گاهی آنرا به عنوان ورودی ثانویه به سیستم کنترل در نظر می گیرند.



اغتشاش :Disturbance

هر نوع علامت ناخواسته ای که به یک سیستم کنترل وارد شده و منشا تغییرات و واکنشهای نامطلوب در خروجی سیستم شود به عنوان اغتشاش شناخته میشود. اغتشاش می تواند اختلالات عمده ای در فرایند کنترل بوجود آورند و لذا حذف آن اهمیت ویژه ای دارد.

عملکرد سیستم ها معمولا تحت تاثیر ورودی های ناخواسته ای که آن ها را اغتشاش می نامیم، تضعیف می شود. بعنوان مثال ، فرض کنید هدف ، تنظیم دمای یک اتاق با سیستم تهویه ۲۵ درجه سانتی گراد باشد. حال اگر ناگهان در یا پنجره باز شود و هوا گرم تر از بیرون به اتاق بیاید، می گوییم به سیستم اغتشاش وارد شده است، بنابراین اغتشاش بر خروجی سیستم اثر نامطلوب می گذارد و کنترل را پیچیده تر می کند.



■ مبنا های متفاوت در طبقه بندی سیستم کنترل به کار رفته اند:

■ ۱- طبقه بندی بر اساس شرایط محیط :

سیستم های کنترل طبیعی ، سیستم کنترل دستی، سیستم کنترل اتوماتیک.

■ ۲- طبقه بندی بر اساس تعداد ورودی ها و خروجی ها:

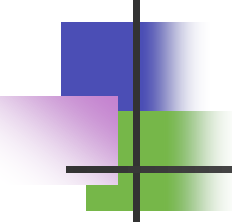
تک ورودی - تک خروجی (SISO) ، تک ورودی - چند خروجی (SIMO) ،
چند ورودی - تک خروجی (MISO) ، چند ورودی - چند خروجی (MIMO).

■ ۳- طبقه بندی بر اساس طبیعت حلقه کنترل :

کنترل حلقه باز ، کنترل حلقه بسته ، کنترل پیشخور ،

■ ۴- طبقه بندی بر اساس طبیعت کنترل کننده :

پیوسته / گسسته - آنالوگ / دیجیتال - عددی - نظارتی / سلسه مراتبی.



■ ۵- طبقه بندی بر اساس طبیعت سیستم تحت کنترل (فرآیند) :

زمان پیوسته یا زمان گسسته.

■ ۶- طبقه بندی بر اساس نوع متغیر تحت کنترل :

سرومکانیسم یا کنترل فرآیند.

■ ۷- طبقه بندی بر اساس طبیعت ورودی مرجع :

رگولاتور یا ردیاب.

■ ۸- طبقه بندی بر اساس نوع قانون کنترل :

حوزه زمان یا حوزه فرکانس ، کلاسیک یا مدرن.

■ مسلماً تمام این موارد را نمی توان در قالب کنترل خطی مورد بررسی قرار داد. بنابراین ضروری است که حدود مباحث پیش فرض و فرضیات اساسی مورد توجه قرار بگیرد.

■ خطی :

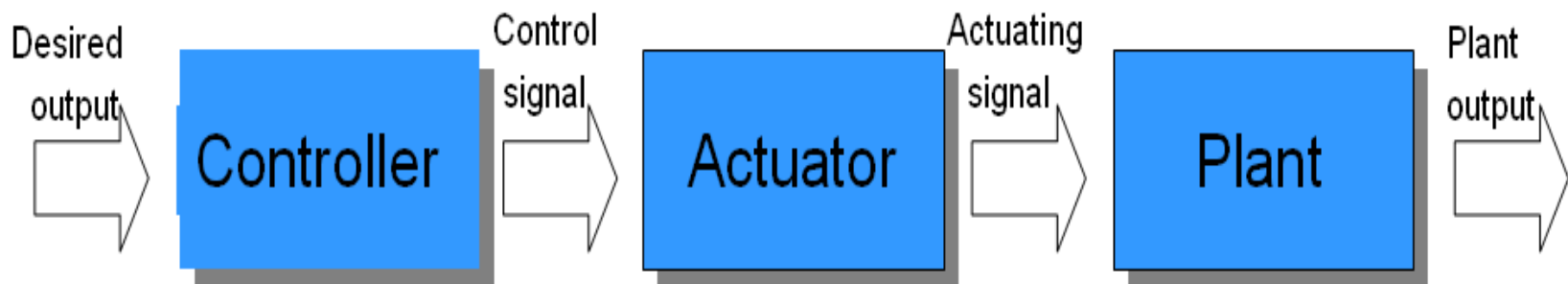
هر چیزی که ورودی در خروجی با یک تغییرات مشخصی دریافت کنیم.

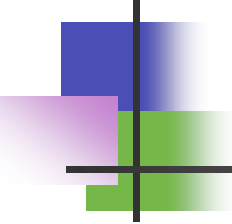
■ غیر خطی:

هر چیزی که ورودی بدهیم و در خروجی بصورت تساعدی دریافت کنیم و ثابت نباشد.

بلوک دیاگرام:

- برای سادگی اجزاء کنترل شونده و کنترل کننده با بلوک دیاگرام نشان داده می شوند. هر بلوک ارتباط میان ورودی و خروجی یا رابطه علت و معلولی فرایند را نشان می دهد.





ورودی و خروجی:

ورودی input:

تحریک یا فرمانی است که از سوی یک منبع انرژی خارجی به سیستم کنترل وارد شده موجب پیدایش واکنش از سوی سیستم میگردد. بدین ترتیب ورودی منشا تولید پاسخ از سوی سیستم کنترل میشود.

خروجی Output:

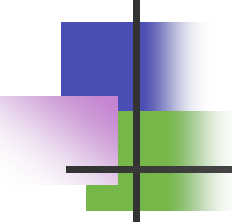
پاسخی است که از سیستم کنترل به عنوان عکس العمل در برابر ورودی، خارج میشود. ممکن است این پاسخ همان واکنشی که از سیستم انتظار میرود نباشد.

سیستم های کنترل خطی و غیر خطی

Linear and nonlinear control systems

■ وقتی مقدار سیگنالهای موجود در یک سیستم کنترل در حدی باشد که اجزا سیستم به طور غیر خطی عمل کنند (یعنی اصل جمع آثار بر رفتار آنها حاکم باشد) سیستم را خطی در نظر میگیرند.

■ اما وقتی که مقدار علائم از حد عملکرد خطی خارج شود سیستم به طور غیر خطی عمل خواهد کرد، مثل حد اشباع در آمپلی فایرها.



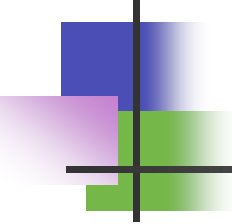
سیستم های کنترل زمان-ثابت و زمان-متغیر:

■ سیستم های کنترل زمان-ثابت و زمان-متغیر

Time-invariant and time-varying control systems

- هرگاه پارامترهای یک سیستم کنترل با گذشت زمان تغییر نکرده و به طور دائم ثابت باشد، سیستم را زمان ثابت یا **LTI** میخوانند.

- حال آنکه اگر پارامتری در سیستم موجود باشد که با زمان تغییر کند سیستم را زمان متغیر میخوانند

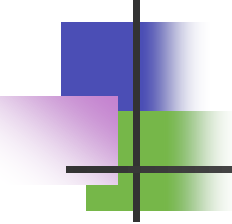


سیستم های خطی تغییر ناپذیر با زمان

■ همانطور که اشاره در کنترل خطی ، سیستم تحت کنترل و همچنین کنترل کننده ی آن خطی فرض می شوند. منظور از سیستم خطی ، سیستمی است که اصل برهم نهی یا جمع آثار در آن برقرار باشد. به عبارت دیگر در سیستم خطی با ضرب ورودی در یک ضریب ثابت ، خروجی هم به همان نسبت تغییر می کند. همچنین خروجی حاصل از جمع چند ورودی، برابر مجموع خروجی ها در حالتی است که هر یک از آن ورودی ها را به تنهایی اعمال کنیم. فرض مهم دیگر ، تغییر ناپذیری سیستم تحت کنترل در طول زمان است. لذا فرآیند تحت کنترل از این پس سیستمی خطی و تغییر ناپذیر با زمان (LTI) در نظر گرفته می شود.

■ پاسخ گذرا:

طبیعت دینامیکی سیستم و خطای حالت دائمی آن اشاره کردیم که سیستم های کنترل ، سیستم های دینامیکی هستند و طبیعت پاسخ چنین سیستم هایی لحظه ای نیست ، یعنی مدت زمان طول می کشد تا پس از اعمال ورودی به سیستم ، خروجی به حالت دائمی خود برسد ، که پاسخ سیستم در چنین بازه ای پاسخ گذرا نامیده می شوند.



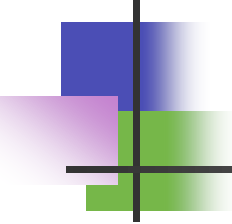
سیستم های پیوسته و گسسته زمانی:

■ سیستم های کنترل پیوسته و گسسته زمانی

Continuous-time and discrete-time control systems

❖ در سیستم های کنترل پیوسته زمانی کلیه سیگنالها در تمامی بخش های سیستم به صورت تابعی پیوسته از متغیر زمان هستند. (در هر لحظه مقدار داریم).

❖ در حالیکه در سیستم های گسسته حاوی علائمی به صورت پالسهای منفرد بوده و نقل و انتقال اطلاعات معمولاً از طریق کدهای رقمی انجام میشود. (بصورت تیکه تیکه ارسال کند).



متغیر مختلط و تابع مختلط:

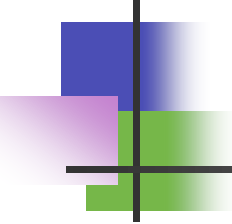
* متغیر مختلط:

یک متغیر مختلط مانند S فرض میشود که دارای دو مولفه است. یک مولفه حقیقی و یک مولفه مجازی یا موهومی.

* تابع مختلط:

تابع $G(S)$ را تابعی مختلط از متغیر مختلط S خوانند اگر برای هر S مقداری متناظر با آن مثل $G(S)$ وجود داشته باشد. از آنجا که S دارای قسمت حقیقی و موهومی است پس $G(S)$ نیز دارای بخش حقیقی و موهومی میباشد، یعنی:

✓
$$G(s) = \text{Re}(G) + j \text{Im}(G)$$



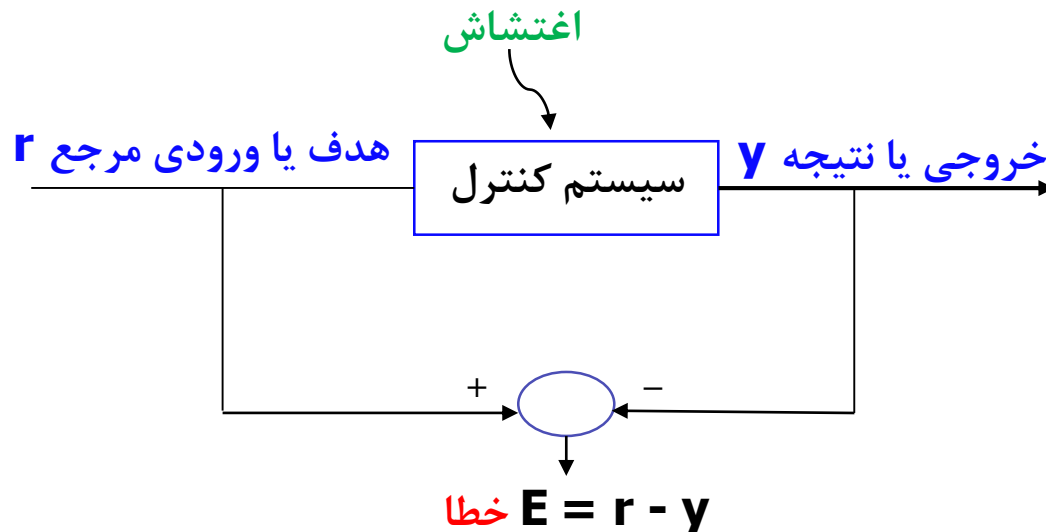
دسته بندی سیستم های کنترلی

✓ کنترل حلقه باز

✓ کنترل حلقه بسته

دسته بندی سیستم های کنترلی

- ❖ کنترل سیستم می تواند به دو صورت حلقه باز یا حلقه بسته ، صورت گیرد. اما در هر دو این روش ها و اساسا در کنترل ، مساله آن است که اختلاف بین هدف (که ورودی مرجع خوانده می شود) و خروجی (یا نتیجه سیستم) کاهش یابد.



open-loop control system

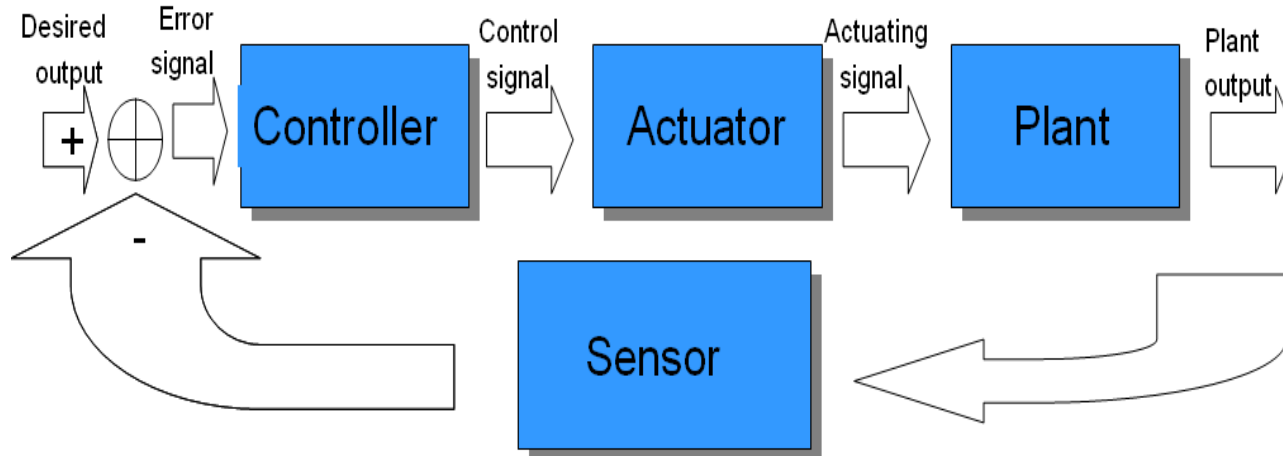
کنترل حلقه باز

❖ سیستم کنترل حلقه باز یک کنترل کننده و عملگر را به کار می برد تا پاسخ مطلوب را به دست آورد. فرمان های کنترلی توسط کنترل کننده صادر می شد و عملگر فرمانها را بر روی سیستم کنترل شونده اعمال می کند.



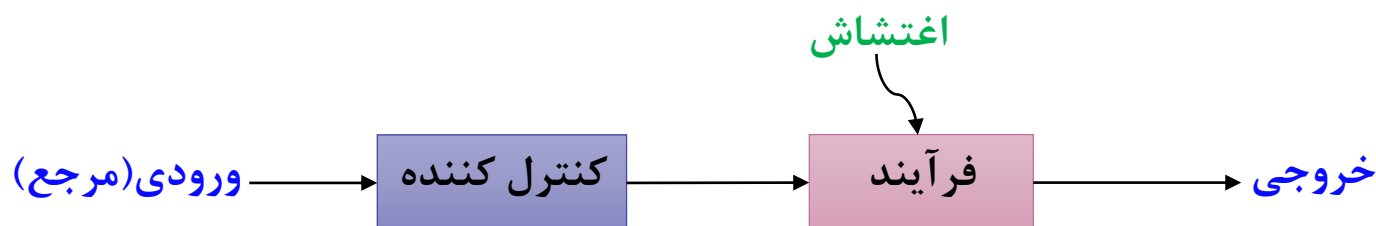
سیستم کنترل حلقه بسته (فیدبک)

- ❖ در سیستم کنترل حلقه بسته (فیدبک)، خروجی واقعی سیستم اندازه گیری می شود و مقدار آن با پاسخ مطلوب مقایسه می شود بر اساس میزان اختلاف موجود کنترل کننده فرمان مناسب را صادر می کند و عملگر این فرمان را بر روی سیستم اجرا می کند.



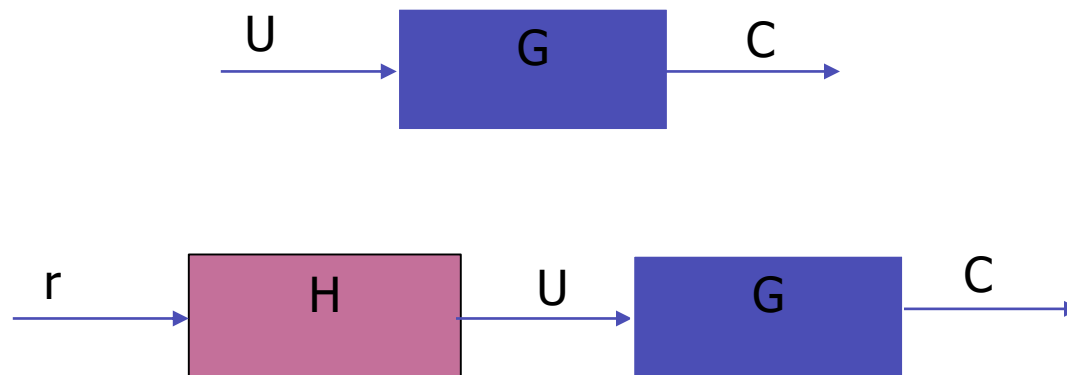
حلقه باز

- ❖ در کنترل حلقه باز که در شکل زیر نشان داده شده است، کنترل کننده و ورودی سیستم مستقل از خروجی عمل می کنند. سیستم های کنترل حلقه باز ساده هستند و به ویژه در مواردی که اندازه گیری خروجی سیستم مشکل باشد و یا مقرون به صرفه نباشند، استفاده از چنین سیستم های مناسب است.
- ❖ سیستم های کنترلی که بر مبنای زمان کار می کنند، اغلب حلقه باز هستند. به عنوان مثال در ماشین لباسشویی، شستن و آب کشیدن لباس ها بر مبنای زمان است. در ماشین لباسشویی، معمولاً سیگنال خروجی که تمیز کردن لباس ها است اندازه گیری نمی شود و با مقدار مطلوب که می تواند سطح مشخصی از میزان تمیزی لباس ها باشد نقایسه نمی گردد.
- ❖ سیستم های حلقه باز در کنار سادگی و ارزان بودن دارای معایبی هم هستند. پاسخ کند و خطای زیاد، تاثیرپذیری زیاد از اغتشاشات و تغییر پارامترهای فرآیند، استفاده از این سیستم ها را عملاً محدود می کند.



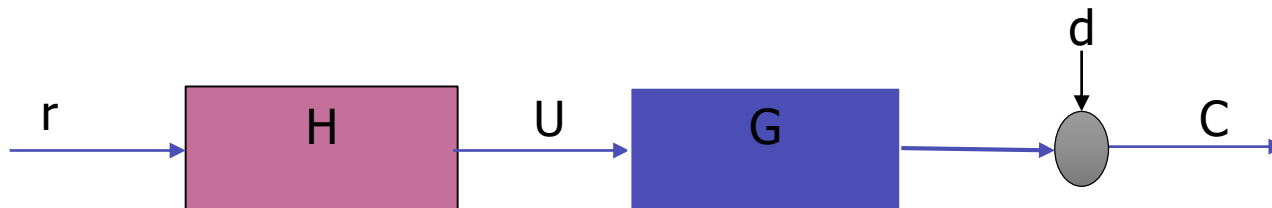
کنترل حلقه باز

- کنترل حلقه باز بصورت شماتیک به صورت زیر نمایش می دهیم ، که سیگنال U به سیستم G وارد می شود و خروجی C تولید می شود. پس در کنترل U با توجه به اینکه U دست ما هست پس می توانیم U را به نحوی تغییر دهیم که C برسد r . حالا فرض کنید که یک H قبل از سیستم G وجود دارد که H کنترل کننده من است، که H می آید در حلقه باز مقدار مطلوب را می گیرد و می گوید اگر مقدار مطلوب شما r است من سیگنال کنترلی را به نحوی درست می کنم که C برسد به r . اگر این کار را انجام دادیم یعنی کنترل کننده حلقه بازی را طراحی کرده ایم.



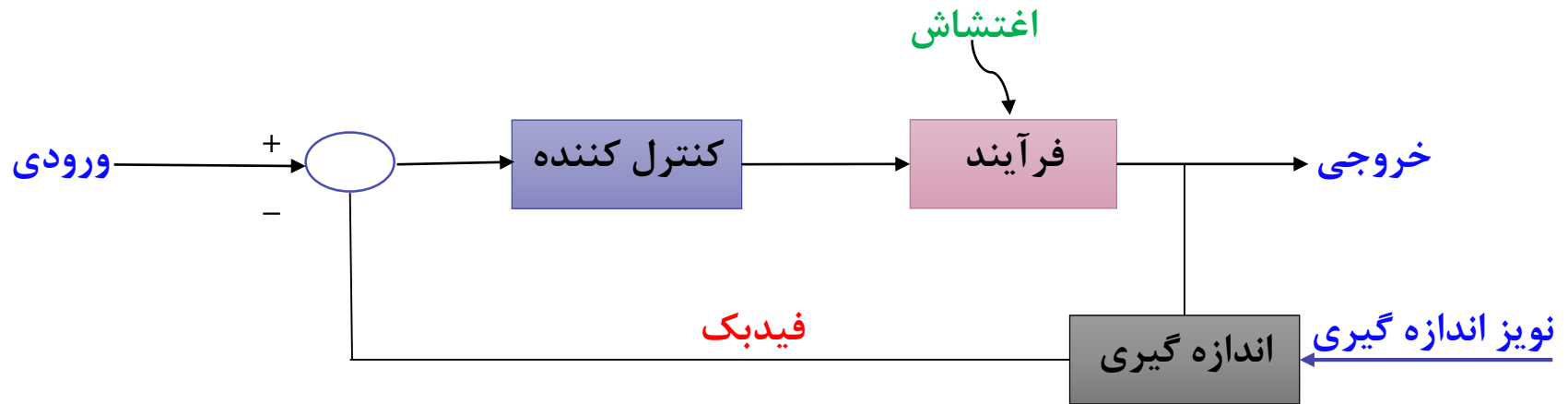
جای اغتشاش کجاست ؟

- می تواند هر جایی باشد ، می تواند به G وارد شود یا حتی در ورودی تاثیر بگذارد. حالا فرض کنید اغتشاش قبل از C دارد وارد می شود، در سیستم خطی جایش فرق نمی کند.



حلقه بسته

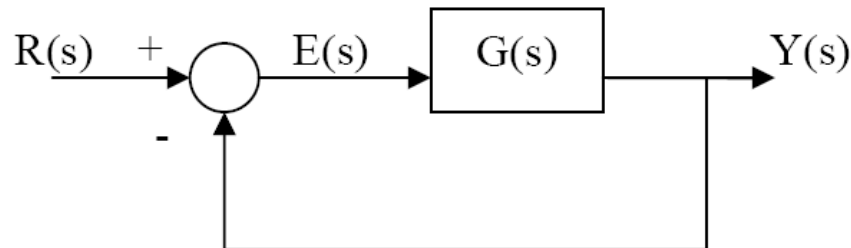
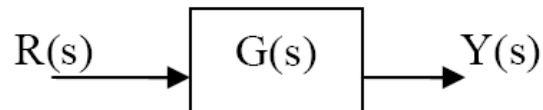
❖ شکل زیر شمای از یک سیستم حلقه بسته می باشد:

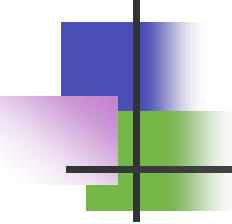


❖ در سیستم کنترل حلقه بسته ، معایب سیستم های حلقه باز با کمک فیدبک برطرف می شود. به کمک فیدبک در واقع نتیجه کنترل با هدف آن مقایسه می شود و تصمیم گیری بر اساس اختلاف آن دو صورت می گیرد. در این سیستم ها، کنترل کننده از خطای کنترل در هر لحظه آگاه است و لذا می تواند تصمیمات لازم را در جهت کاهش خطا اتخاذ کند.

سیستم های کنترل حلقه باز و حلقه بسته

❖ در شکل زیر بلوک دیاگرام سیستم حلقه باز و حلقه بسته نشان داده شده است. **تفاوت** عمده بین سیستم های حلقه باز و حلقه بسته تولید و استفاده از **سیگنال خطا** است. هدف سیستم حلقه بسته کاهش سیگنال خطا به حداقل مقدار ممکن است.



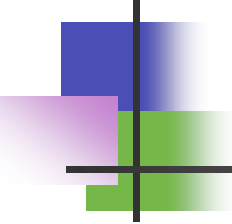


حساسیت سیستم های کنترل نسبت به تغییرات پارامترها

❖ فرآیندی که توسط تابع تبدیل $G(s)$ مشخص می شود صرفنظر از ماهیت آن تحت تاثیر تغییرات محیط، فرسودگی، عدم توانایی در محاسبه مقادیر دقیق پارامترهای فرآیند و سایر عوامل طبیعی قرار می گیرد .

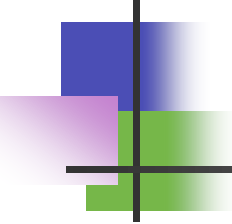
❖ در سیستم **حلقه باز** این تغییرات و خطاها به صورت مستقیم، خروجی را تحت تاثیر قرار می دهند.

❖ اما سیستم **حلقه بسته** تغییر خروجی ناشی از تغییرات فرایند را در می یابد و سعی در تصحیح آن می کند.



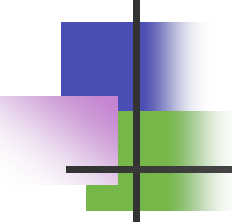
اغتشاش و نویز در سیستم کنترل حلقه بسته:

❖ اغلب سیستم های کنترل تحت تاثیر سیگنال های اغتشاش بیرونی قرار می گیرند که در نتیجه بر روی خروجی اثر نامطلوب می گذارد. برای مثال در سیستم کنترل جهت یک آنتن ماهواره ای وزش باد ، اغتشاش ناخواسته است. نویزی که در اکثر سیستم های کنترلی حلقه بسته به وجود می آید نویز ایجاد شده توسط سنسور اندازه گیری است. سیستم های حلقه بسته این قابلیت مهم را دارند که اثر اغتشاش و عوامل ناخواسته بیرونی را کاهش دهند.



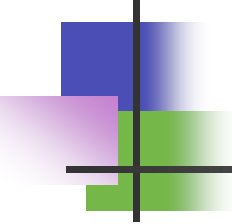
معایب سیستم حلقه بسته

- ❖ استفاده از فیدبک در سیستم کنترل باعث کاهش تاثیر تغییر پارامترهای سیستم می شود، اثر اغتشاشات و نویز را در خروجی سیستم کم می کند، می تواند پاسخ گذرای سیستم را بهبود بخشد و منجر به کاهش خطای حالت دائمی شود.
- ❖ با این وجود استفاده از مزایا سیستم حلقه بسته هزینه هایی را هم به همراه خواهد داشت. نخست اینکه تعداد اجزاء بکار رفته برای کنترل افزایش یافته و پیچیدگی روند کنترل بیشتر می شود. استفاده از سنسورها برای حالت حلقه بسته ضروری است که خود سنسور می تواند عامل نویز باشد. مهمترین موضوع در سیستم حلقه بسته، امکان پیدایش ناپایداری است.



نمونه هایی عملی از اجزای یک سیستم کنترل حلقه بسته

- فرآیند یا سیستم تحت کنترل : معمولا کنترل یک یا چند متغیر از متغیرهای فرآیند مد نظر است.
- دیسک گردان، موشک، هواپیما، موتور، شبکه کامپیوتر، آسانسور، تعلیق اتومبیل، آسیاب و کلیه فرآیندهای صنعتی.
- اندازه گیری (چشم کنترل): سرعت سنج، انکودر، LVDT، Strain Gauge، Gain، مبدل های دما نظیر ترموکوپل، ترمیستور،
- عملگر یا محرک (بازوی کنترل) : پمپ ، هیتر، سولنوئید، موتورهای الکتریکی، نیوماتیکی و یا هیدرولیکی و....
- کنترل کننده (مغز کنترل) : اپراتور، کامپیوتر دیجیتال، آنالوگ، کنترل کننده های مکانیکی یا الکترومکانیکی .
- اغتشاش (مزاحم کنترل) : باد ، لرزه ، ناهمواری سطح جاده ، ارتعاشات خارجی، تغییرات ماده تغذیه کننده سیستم.



مشخصه های عملکرد سیستم کنترل:

- ❖ توانایی تنظیم عملکرد گذرا و حالت دائمی یکی از مزایای عمده سیستم های کنترل حلقه بسته است. برای تحلیل و طرح سیستم های کنترل باید مشخصه های عملکرد سیستم کنترل را تعریف و آنها کمی کنیم. با توجه به اینکه سیستم های کنترل اغلب دینامیک هستند، عملکرد سیستم معمولاً بر حسب پاسخ زمانی و خطای حالت دائمی برای یک سیگنال ورودی خاص مشخص می شوند.
- ❖ با طراحی مناسب سیستم های حلقه بسته می توان کارایی سیستم را تا حد قابل قبولی افزایش داد. باید توجه داشت که مزیت اصلی سیستم های حلقه بسته در قابلیت تضعیف اثر اغتشاشات و تغییرات پارامترهای فرآیند و بطور کلی نامعین های موجود در فرآیند است، به طوری که در صورت در دست داشتن مدل کاملاً دقیق از سیستم تحت کنترل و عدم حضور سیگنال های اغتشاش نیازی به استفاده از فیدبک نبوده و پاسخ مطلوب از طریق کنترل حلقه باز قابل حصول می باشد. اما در عمل چنین فرض هایی هیچگاه صادق نیستند و ناگزیر به استفاده از فیدبک هستیم. در مقابل برخلاف سیستم های حلقه باز، سیستم های حلقه بسته گران تر و پیچیده تر و با خطر ناپایداری تهدید می شوند.

از طرفی مشخصات ذاتی سیستم و همچنین ورودی آن ممکن است سبب شوند تا خروجی حالت دائمی سیستم با خروجی مطلوب تفاوت داشته باشد که به این میزان اختلافات ، خطای حالت دائمی گفته می شود.

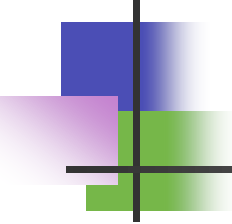
❖ اهداف اصلی از تحلیل و طراحی سیستم های کنترل را می توان در قالب موارد زیر بیان کرد :

- ۱- پایداری.

- ۲- بهبودی خطای حالت سیستم.

- ۳- بهبودی پاسخ گذرا.

- ۴- کاهش حساسیت سیستم در برابر تغییرات و عدم قطعیت.



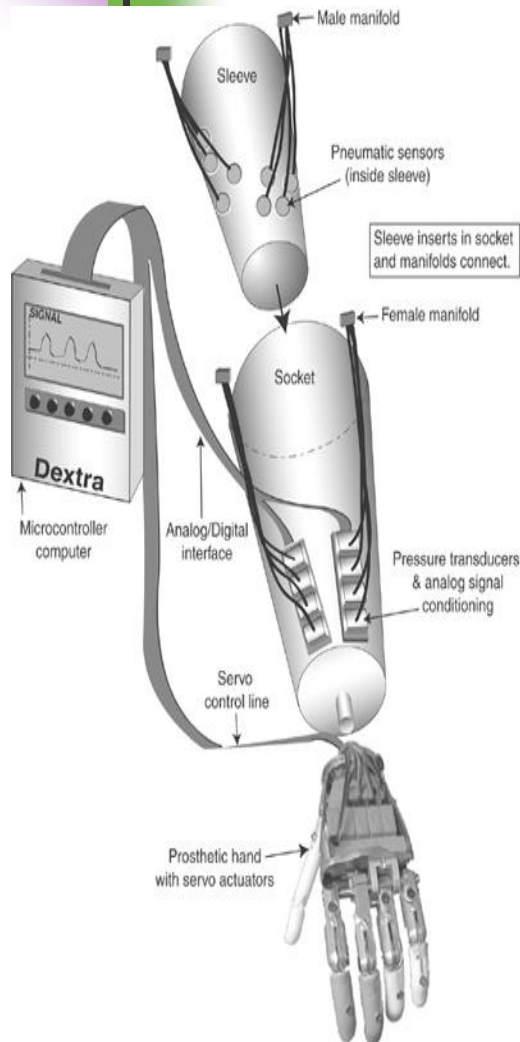
کاربرد های نظریه سیستم های کنترل

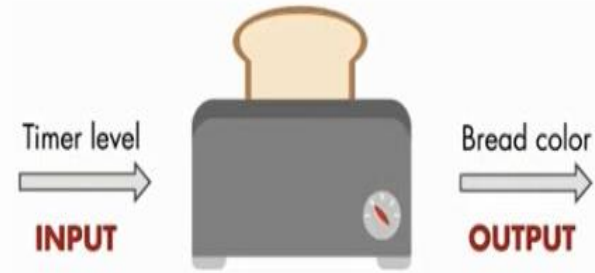
- کاربرد های بسیار زیادی در حوزه علوم بیولوژیکی
- در حوزه علوم پزشکی
- تولید تجهیزات تشخیص پزشکی
- اعضاء مصنوعی
- توصیف کمی سیستم های کنترل بیولوژیکی از جمله این کاربردهاست.

دامنه سیستم های کنترل

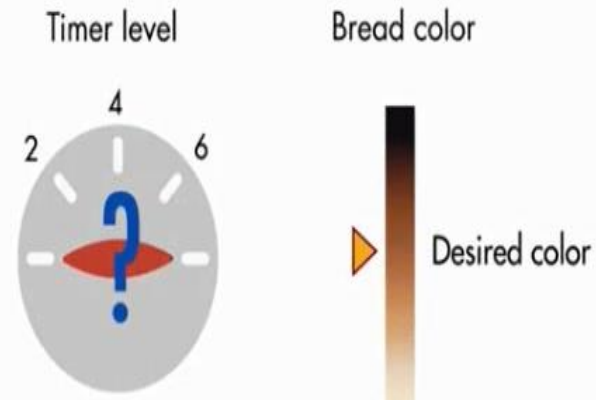
■ دامنه سیستم های کنترل مورد نظر از سطح سلولی تا سطح اعصاب مرکزی و سعت دارد از جمله شامل تنظیم دما، کنترل دستگاه تنفس و کنترل قلب است. بیشتر سیستم های کنترل فیزیولوژیکی حلقه بسته اند اما در اغلب این سیستم ها بیش از یک حلقه وجود دارد بدین ترتیب که حلقه های کنترلی متعدد در درون یکدیگر وجود دارند.

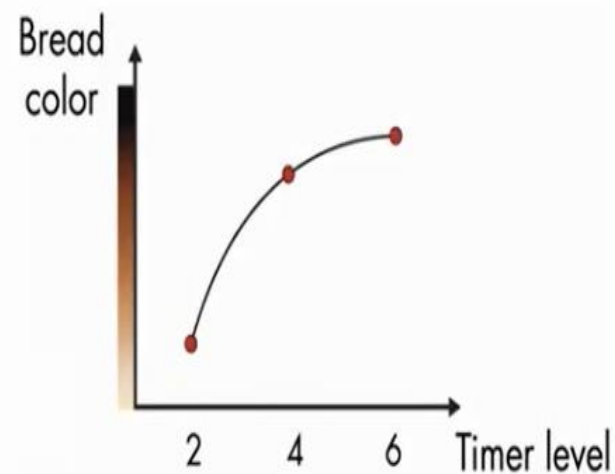
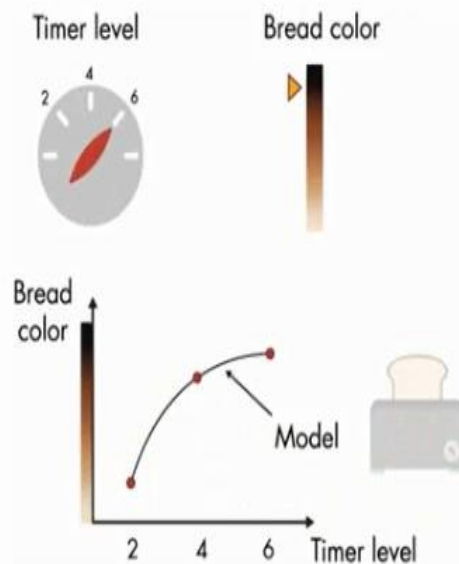
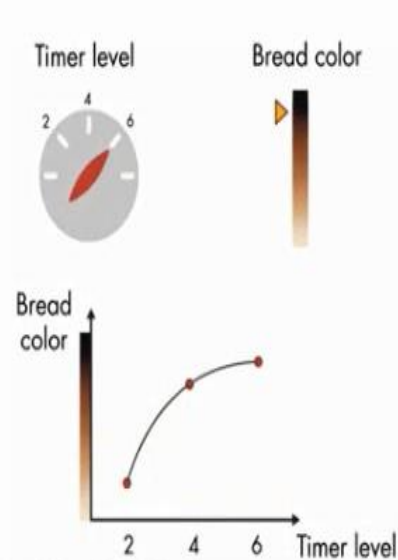
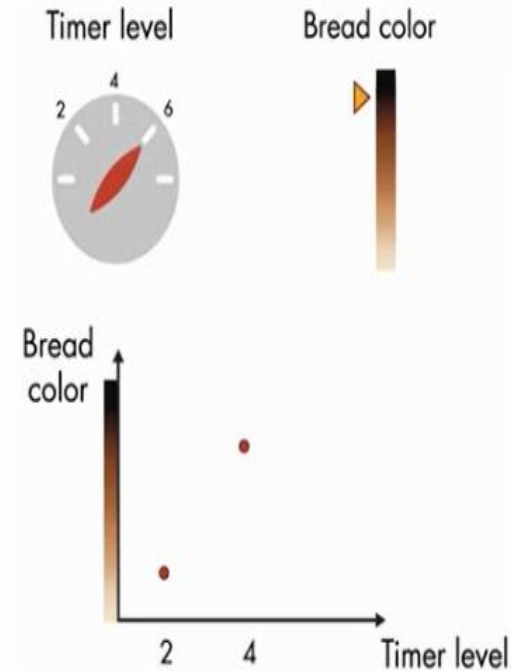
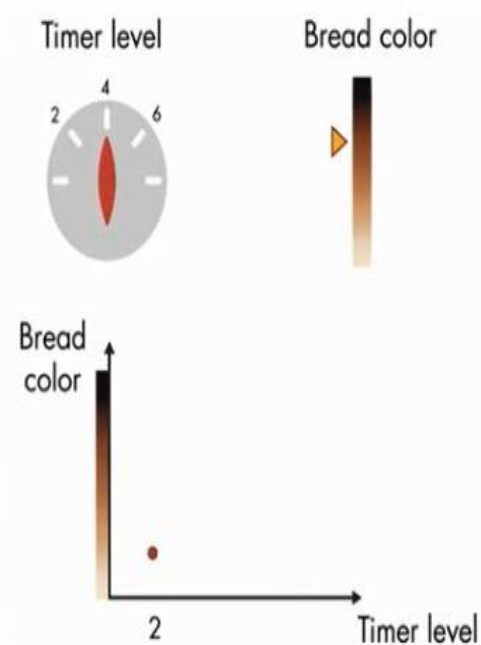
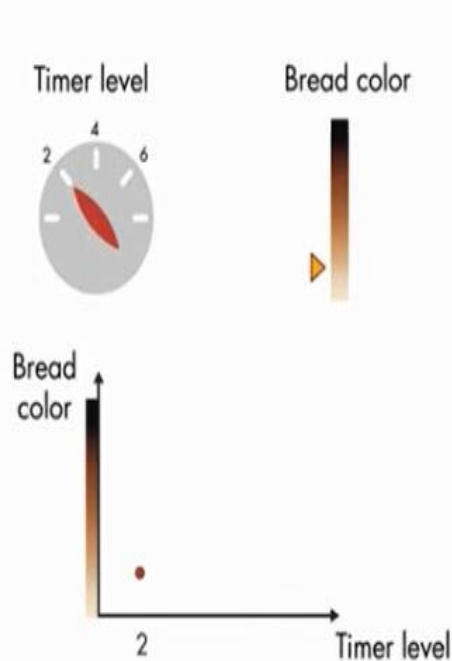
■ مثال : دست مصنوعی

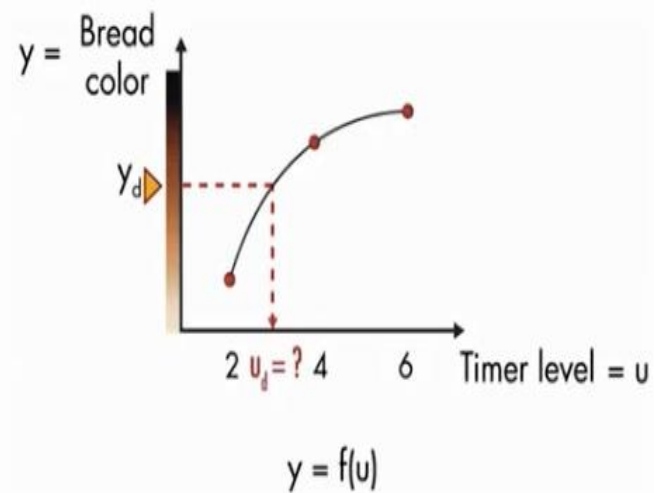
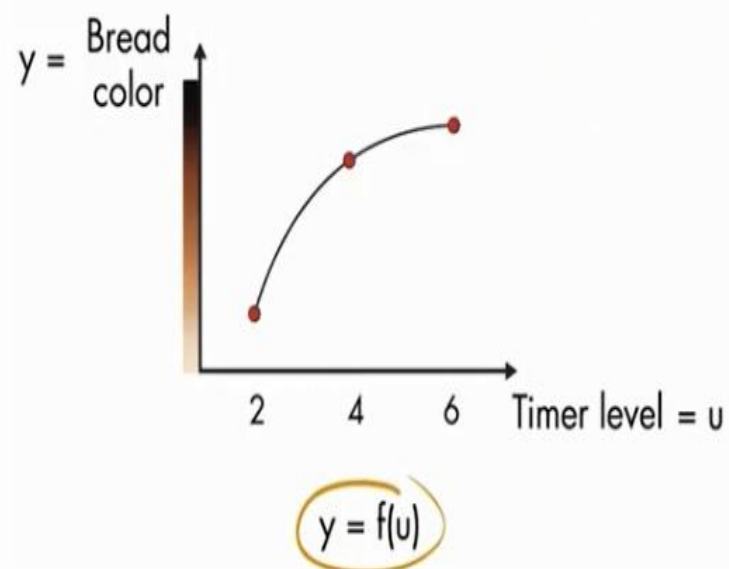
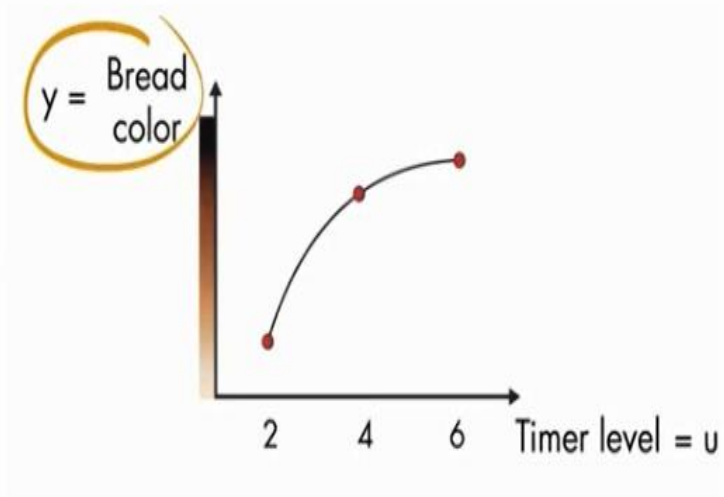
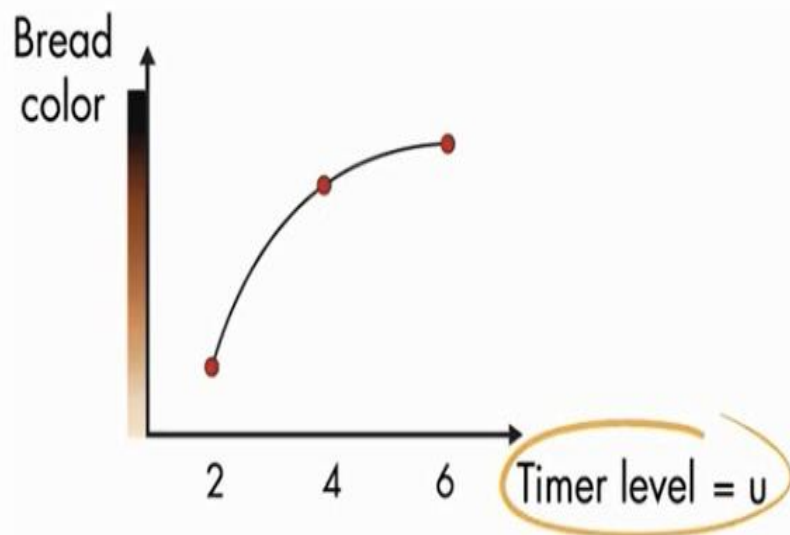


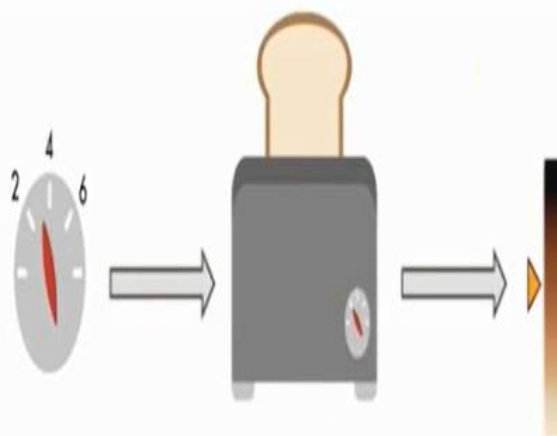
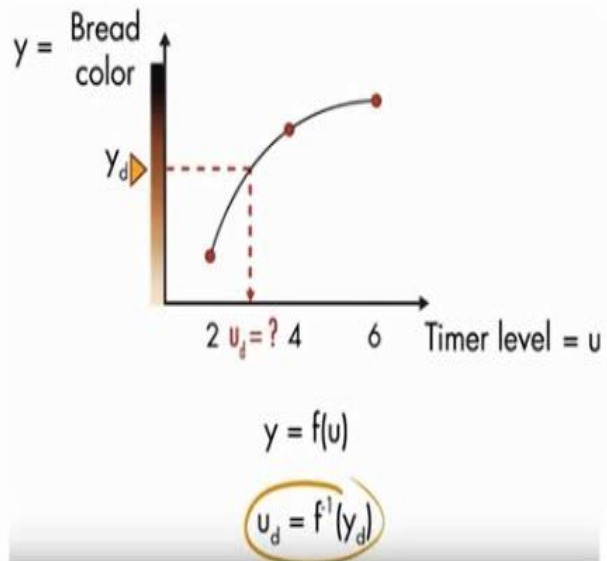


OPEN-LOOP SYSTEM

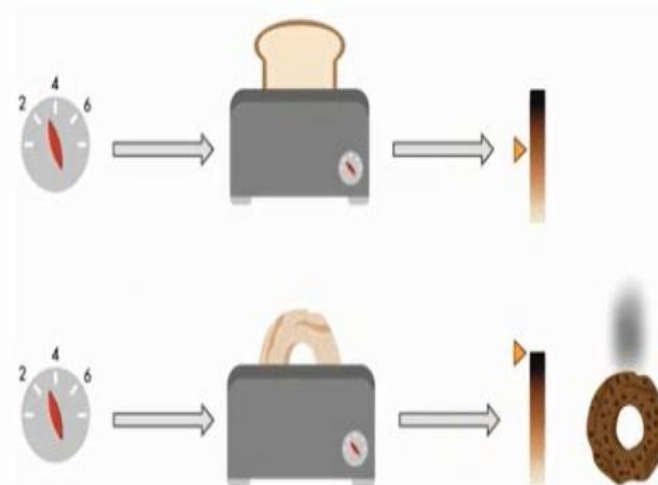


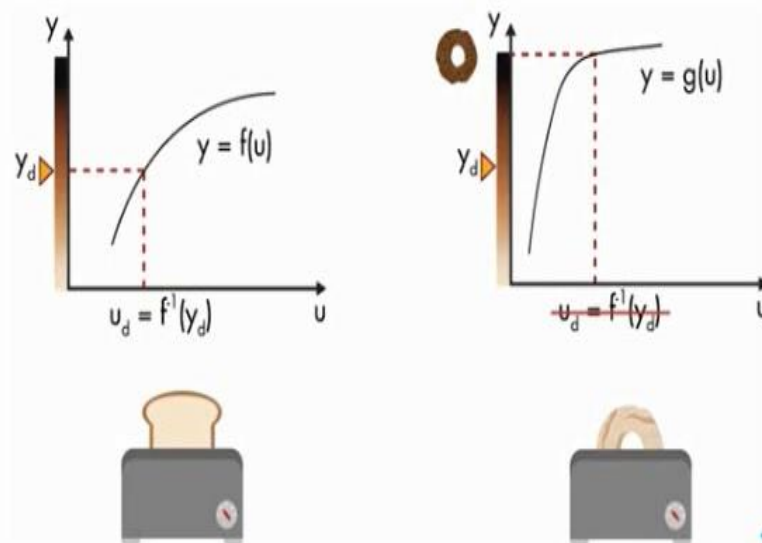
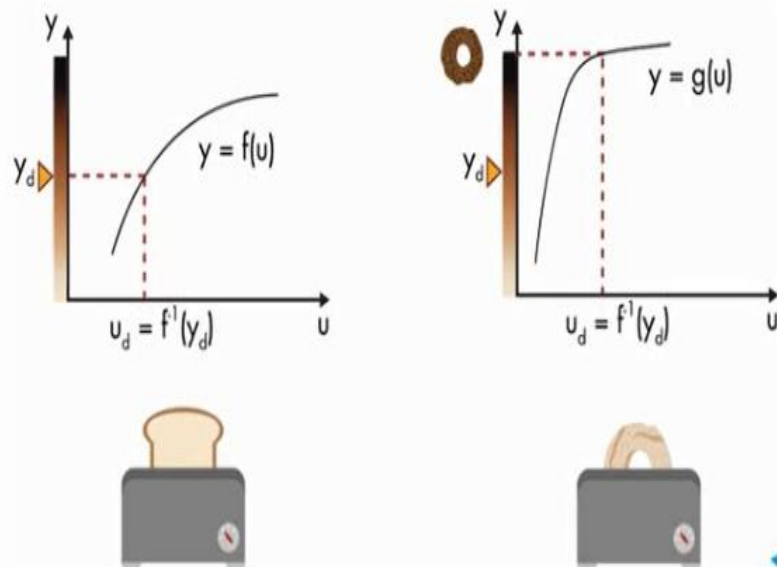
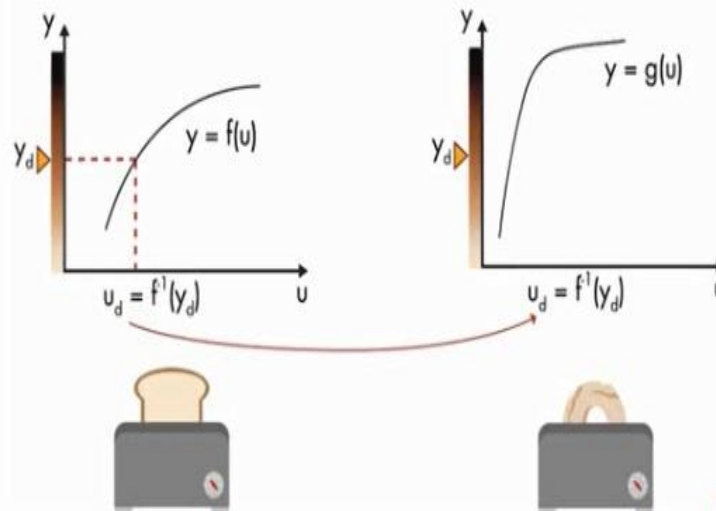
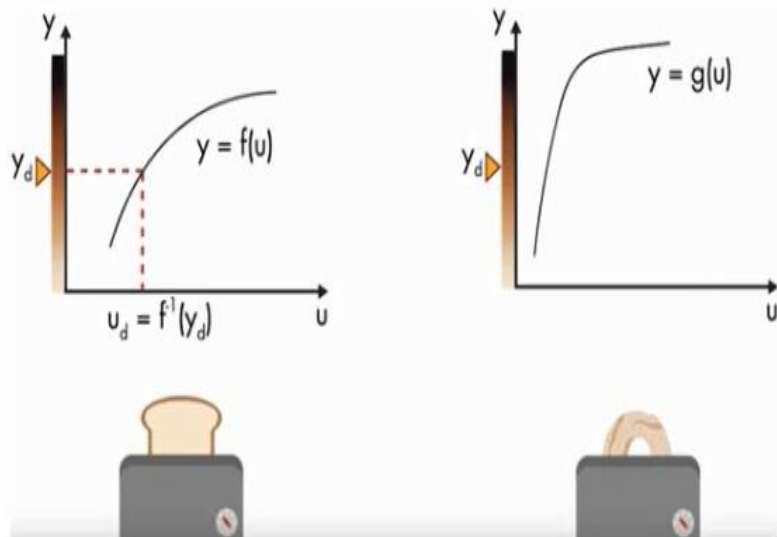






دکتر محسن محبی

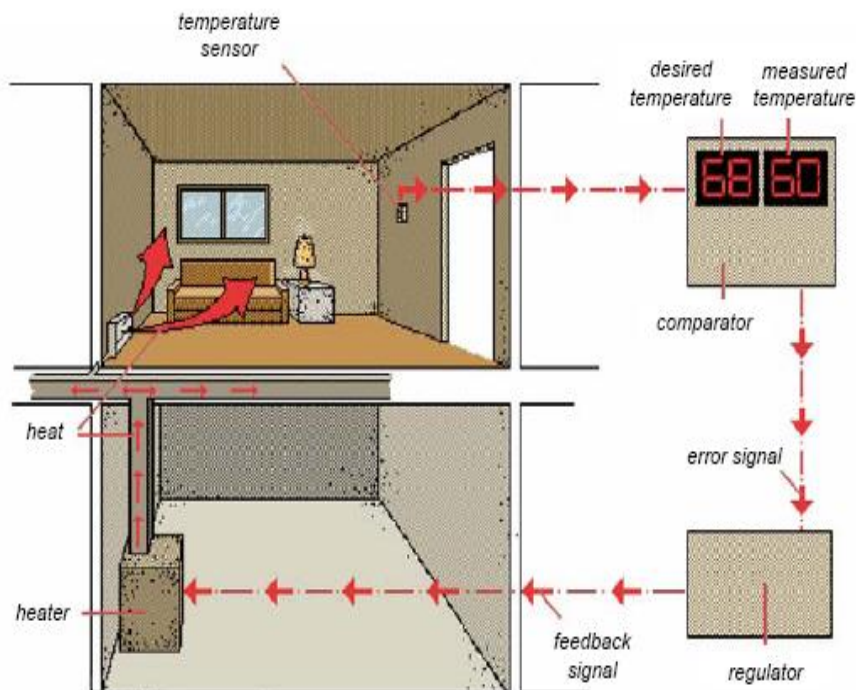




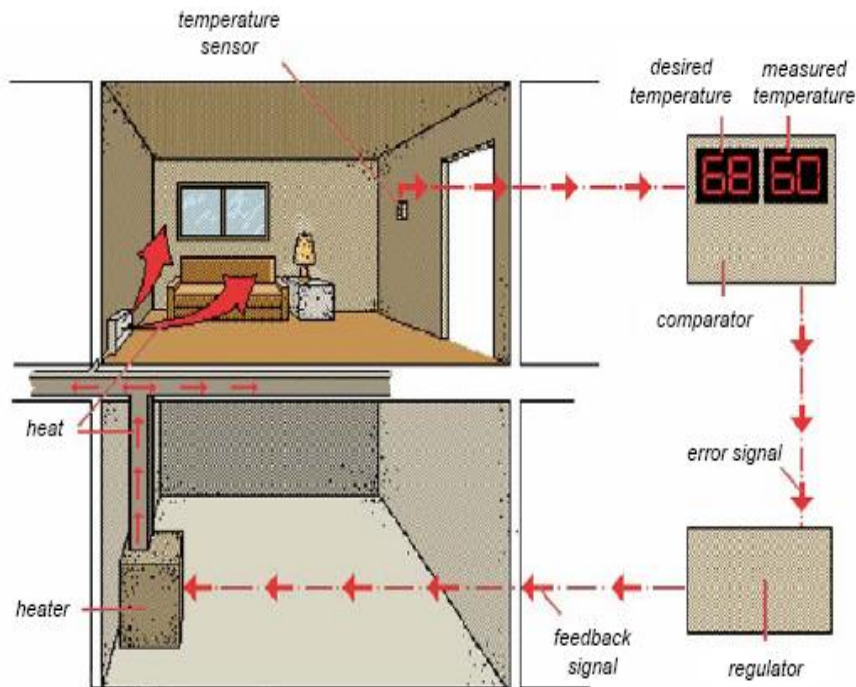
مثال کنترل حلقه بسته

دمای اتاق

■ سیستم تنظیم دمای اتاق را در نظر بگیرید. میزان دمای اتاق به طور پیوسته اندازه گیری می شود و مقدار آن با میزان دمای مطلوب که توسط کاربر به سیستم داده شده، مقایسه می شود.



مثال کنترل حلقه بسته

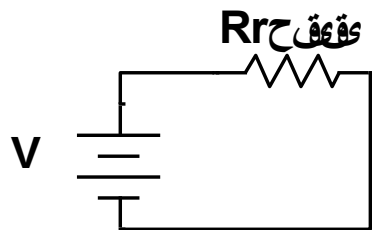


■ در صورتی که دمای اتاق از مقدار مطلوب کمتر باشد سیستم گرمایشی فعال تر می شود تا این اختلاف جبران شود. در صورتی که دمای اتاق از مقدار مطلوب بیشتر باشد فعالیت سیستم گرمایشی کم می شود تا دمای اتاق به مقدار مطلوب برسد.

مثال

■ مثلاً منبع جریانی بسازیم اما به شکل مدار الکترونیکی نگاهش نکنیم بصورت کنترلی نگاهش نکنیم. پس خروجی آن، آن مقدار مطلوبی هست که جریان به ما می دهد، پس یک پیچی دارد این منبع جریان ما که با تنظیم آن بگوئیم به این مقدار جریان می خواهیم که همان مقدار مطلوب است، همان I ما می باشد.

■ سیستم ما چی می باشد، خیلی ساده فرض کنیم: ورودی که می توان تصور کنیم (ورودی تاثیر پذیر) یک ولتاژ می باشد، پس مدار مقاومتی خیلی ساده ایی داریم که با اعمال ولتاژ به دوسر یک مقاومت R و جریانش می شود خروجی ما.



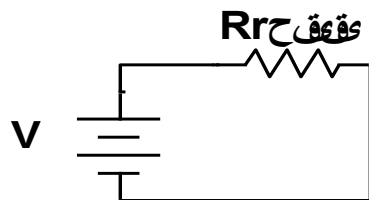
■ $C = I$ خروجی ما I است.

■ $U = V$ ولتاژی که دوسر مدار میندازیم.

■ R جریان مطلوب ← مساوی چیزی نیست

مثال

❖ سیستم ما مدار ساده ای زیر می باشد، پس رابطه سیستم یعنی چیزی که بین ورودی U و خروجی C ارتباط برقرار می کند، اما لزوماً همیشه نمی شود با یک رابطه ساده ریاضی بیانش کرد اما اینجا خروجی ما



I می باشد، پس: $I = \frac{V}{R}$

❖ پس سیستم را به C و U بنویسیم: $G:I = \frac{V}{R_r}$

❖ ما می خواهیم برسیم به یک مقدار مطلوب، خوب اگر در مدار زیر جریان که از مقاومت می گذرد $2A$ باشد اما ما جریان $1A$ را می خواهیم، چه کاری باید انجام دهیم: پس از رابطه $C = \frac{V}{R}$ استفاده می کنیم و ورودی موثر را جوری پیدا می کنیم که آن هدف مطلوب را برآورده کند اما اگر H بگذاریم پس H ما چه خواهد بود:

❖ H ورودیش مقدار مطلوب r است و خروجی آن باید یک چیزی باشد که C بشود r .

$$H:U = \frac{R}{n}r \quad \checkmark$$

کنترل کننده حلقه باز طراحی کردیم.

■ در یک نگاه ساده مشکل حداقل برطرف شده ، کجا ممکن است مشکل پیش بیاید ، پس R که داریم را **بصورت R_n می گوئیم که از مقدار نامی مقاومت** داریم استفاده می کنیم و R_r **بصورت مقدار واقعی مقاومت است.**

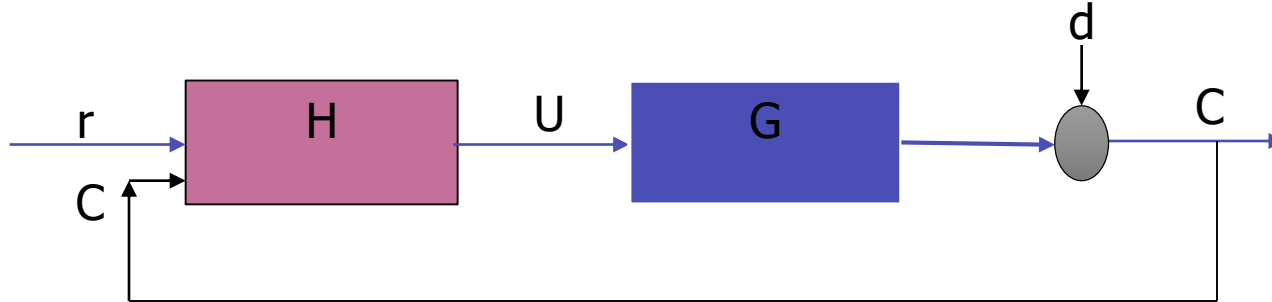
❖ که با اعمال این G و H هدف کنترلی برابر شده است یعنی $C=r$ شده است. $R_r = R_n \rightarrow$

❖ اما اگر $R_r \neq R_n$ باشد پس $C = \frac{R_n}{R_r}$ چون $R_r \neq R_n$ هم هستند. پس C مخالف r خواهد بود.

کنترل حلقه بسته

❖ ما سیستم قبل را اجرا کنیم اما با فیدبک . پس فیدبک گرفته می شود و وارد H میکنیم یعنی کنترل کننده من در هر لحظه دو تا اطلاعات دارد :

❖ ۱- مقدار مطلوب چه مقدار هست ؟ ۲- وضعیت فعلی چه می باشد ؟

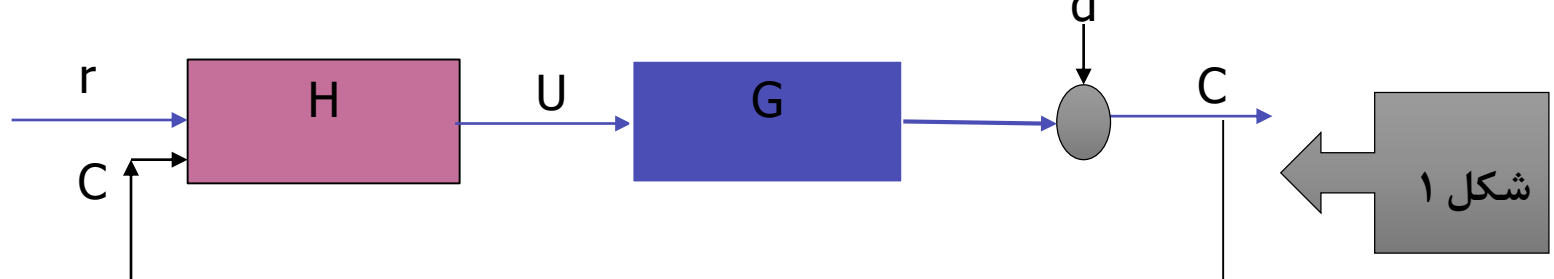


❖ پس ساختار بالا را می توان پیچیده تر کرد ، پس ما داریم اندازه گیری را به سنسور انجام می دهیم که خود سنسور هم یک سیستم می باشد چون دارای یک ورودی است و یک خروجی . می توان سنسور را در مسیر فیدبک پایین هم قرار داد که بگوئیم یک سنسور وجود دارد که دارد اندازه گیری می کند که امکان افتادن نویز بر رو سیستم وجود دارد ، اغتشاش یکطرف موضوع.

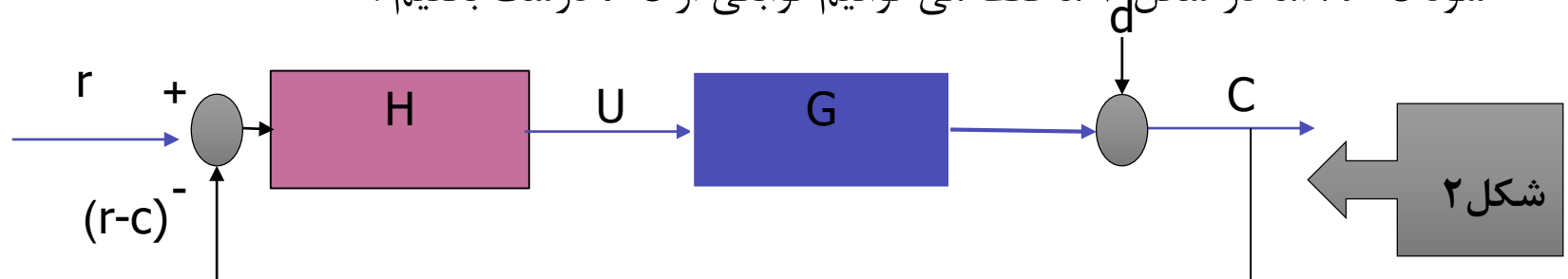
❖ فرض کنید یک سیستمی دارید که اغتشاش ندارد اما خود اندازه گیری باعث اختلال می شود یعنی خروجی اندازه گیری با مقدار واقعی یکسان نیست ، پس می شود ساختار را پیچیده تر کرد.

کنترل حلقه بسته

- در همین مثال H را چگونه طراحی کنیم :
- شکل ۱ از شکل ۲ خیلی کلی تر می باشد (یعنی یک مرحله خاص شده را دارد می گوید) ، اما در شکل ۲ دارد می گوید اون چیزی که وارد H می شود $r-c$ است .



- اما در شکل ۱ دارد می گوید یک r هست و یک C مثلاً ممکن است این H یا U حاصل آن شود $r * C$ ، اما در شکل ۲ ما فقط می توانیم توابعی از $r-c$ درست بکنیم .



مزایای فیدبک

۱- کاهش خطای سیستم

منظور این است $e=r-c$ یعنی فیدبک می تواند کاری کند که این اتفاق بیافتد. عبارتی ما

$$\frac{C}{r} = \frac{GH}{1+GH}$$

میخواهیم $e=0$ ، یعنی می خواهیم r بشه C در چه صورتی :

r می شود C ، در صورتی که H بزرگ شود ، هر چقدر H بزرگتر باشد C به r نزدیکتر

می شود ، این مورد داخل فیدبک اتفاق میافتد: $\frac{C}{r} \rightarrow 0$ یا عبارتی $e \rightarrow 0$ خطا

مزایای فیدبک

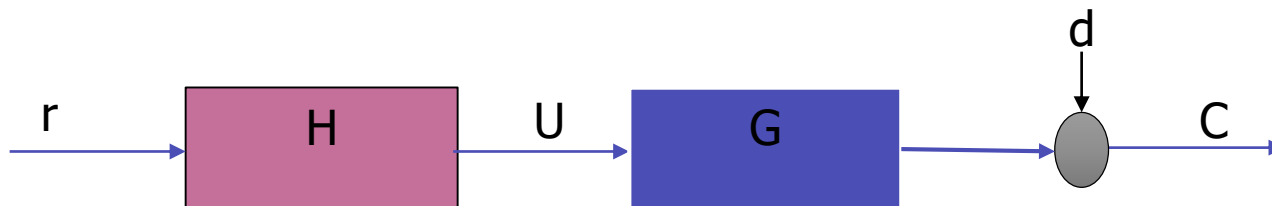
❖ ۲- فیدبک می تواند سیستم های ناپایدار را پایدار کند.

❖ ۳- تنظیم بهره سیستم.

❖ ۴- کاهش اثر اغتشاش :

فرض کنید یک سیستم خطی است و قانون جمع آثار هم در موردش برقرار است ، قانون جمع آثار می گوید اگر دو تا ورودی داشته باشیم می توانیم یکیشون صفر بگذاریم و خروجی را نسبت به یکی از ورودی ها پیدا کنیم و به اضافه آن یکی صفر بگذاریم و خروجی را نسبت به آن محاسبه کنیم.
همه را گین در نظر می گیرید یعنی خروجی را ضربدر هم می کنیم :

$$C = G \cdot H \cdot r + d$$



مزایای فیدبک

- ❖ چطور می توانیم با کنترل کننده اثر d را از بین ببریم ، پس در همان ساختار نگاه کنیم ، اگر H را کم کنیم C مساوی d می شود و نه تنها اثرش از بین نرفته است و باعث شده بطور مستقیم تاثیر خودش را در ورودی هم بگذارد.
- ❖ اما اگر H را زیاد کنیم باعث می شود d کمتر شود و اثرش کمتر هم بشود، ولی قرار بود $C=r$ شود : مثلا $H=1000$ باشد در اینجا می شود $1000r$ پس $C=r$ نشده است ولی اثر d کم رنگ شده است.
- ❖ پس هیچ کاری هم نمی توانیم بکنیم ، در حلقه باز اغتشاش مستقیم میافتد در خروجی و مستقیما اثر خودش را در خروجی می گذارد و هیچ کاری هم نمی توانیم برایش انجام دهیم.
- ❖ پس سیستم حلقه بسته را انجام می دهیم :
- ❖ هدف این است که C بشود r و اثر d کم شود پس H را بزرگ می کنیم.

$$C = \frac{GH}{GH+1} r + \frac{1}{GH+1} d$$

$d=0$ **$r=0$**

• یکبار d برابر
• یکبار r برابر

$\frac{GH}{GH+1}$	$\rightarrow$	1
$\frac{1}{GH+1}$	$\rightarrow$	0

مزایای فیدبک

❖ ۵- کاهش حساسیت

اگر ما در سیستم کاهش حساسیت داشته باشیم پس H را باید زیاد کنیم و هر چه H بزرگتر باشد حساسیت C (خروجی) نسبت به تغییرات G کمتر می شود پس خوب هست :

✓ کلا H را زیاد کنیم :

باعث کاهش حساسیت ، باعث کاهش اغتشاش .

پس رسیدیم به یک مطلوب خوب. یعنی فیدبک بگذاریم و بهره آن را بالا ببریم.

❖ یک فیدبک سیستم را کند می کند.

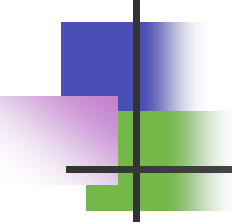
چون ما بیاد یک مرحله اندازه گیری کنیم و با نتیجه اندازه گیری خودمان تطبیق بدهیم و کنترل کننده باید یک چیزی جدید درست کند که اینها باعث کم شدن می شود حالا در Level که باشد.

➤ مثلا : طراحی یک روبات فوتبالت ، حالا ما می خواهیم پنالتی بزنیم . پس حریف داریم که یک روبات شوت میزند و یک روبات دروازه بان است .

✓ کنترل حلقه باز می گوید : من کاری ندارم دروازه بان کجا وایساده و من یک زاویه را در نظر می گیرم و شوت میزنم . کار خیلی سریع صورت می گیرد چون اگر دروازه بان باشد و نزدیک باشد احتمال گرفتن توپ زیاد است اما اگر نباشد گل می شود.

✓ کنترل حلقه بسته می گوید : ابتدا ایستاده و بعد نگاه به دروازه بان میکند ، حالا اگر شما اینطرف را نگاه کنید دروازه بان هم باعث می شود نگاه شما را دنبال کند پس مدت زمان باعث می شود ضربه پنالتی از دست برود و باعث کند بودن سیستم می شود.

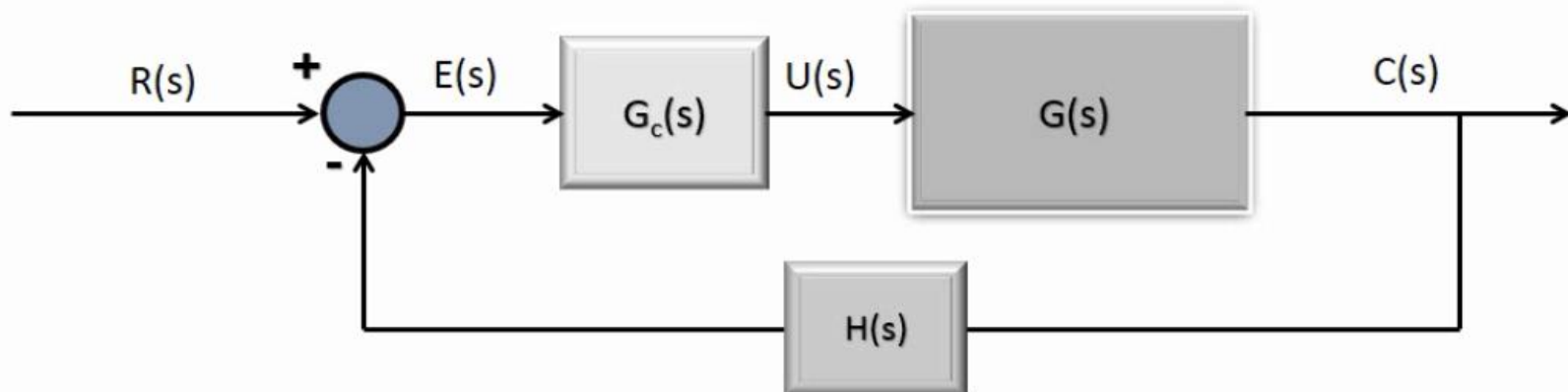
پس اگر هم حلقه باز و حلقه بسته استفاده کنیم باز بهتر خواهد بود.



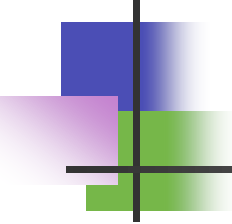
پس یک جمله که ما در کنترل می خواهیم چه کاری انجام دهیم :

- ❖ یعنی تعیین ساختار (حلقه باز یا حلقه بسته) انجام می دهیم که چینش آن چگونه است به این شکل که یک موقع H را از آنجا برداریم و بگذاریم در جای دیگر و الگوریتم ورودی تاثیر پذیر به نحوه ی که مطلوب حاصل شود و حالا مطلوب ما چه می باشد :
- یعنی C برسد به r .

اجزای یک سیستم کنترل



$R(S)$ ورودی مرجع
 $U(S)$ ورودی یا سیگنال کنترل
 $C(S)$ خروجی سیستم یا خروجی کنترل شده
 $E(S)$ خطای سیستم
 $G_C (S)$ کنترل کننده



عنصر فیدبک :

$H(S)=1$	فیدبک واحد
$H(S)\neq 1$	فیدبک غیر واحد

❖ مسیر پیشرو :

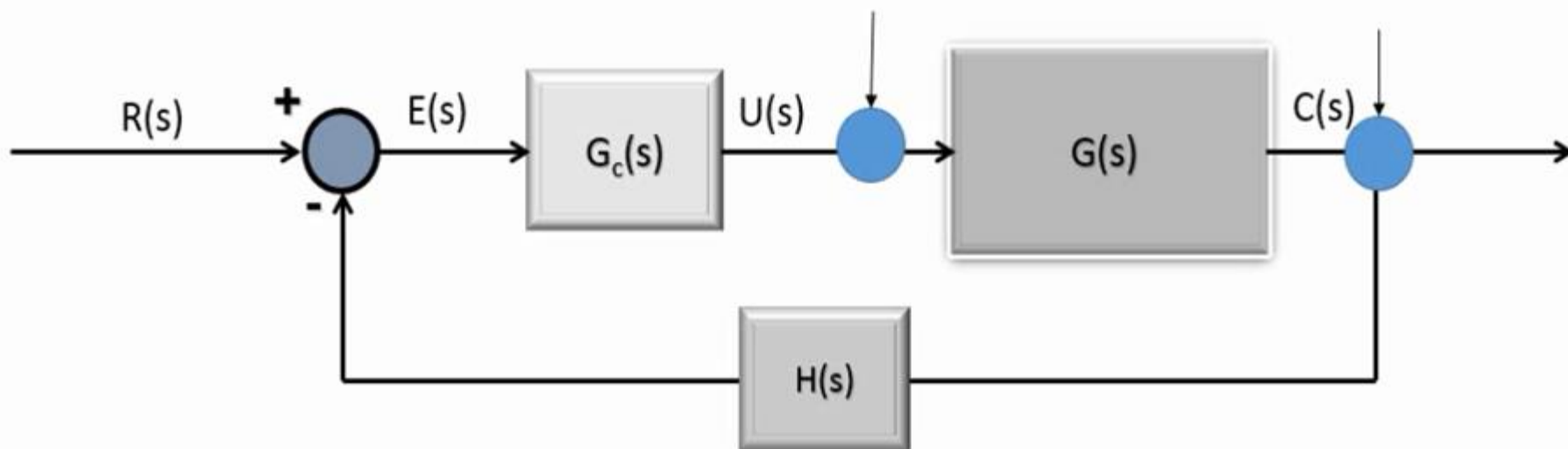
مسیر از ورودی کنترل کننده تا خروجی سیستم $C(S)$ را مسیر پیشرو می نامند و $G_C(S)$ و $G(S)$ را شامل می گردد. قطعه ی تجهیزات یا دسته ای از قطعه های ماشین که با هم کار می کنند و کار خاصی انجام می دهند.

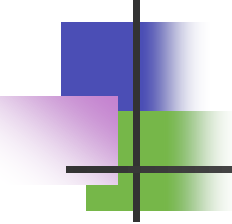
❖ مسیر فیدبک :

مسیری از خروجی که از $H(S)$ عبور می کند.

اغتشاش یا نویز

سیگنال اغتشاش یا نویز ، یک سیگنال ورودی به سیستم است که در هر نقطه ای به جز ورودی می تواند وارد سیستم گردد و اثر نا معلومی بر عملکرد طبیعی سیستم بگذارد.





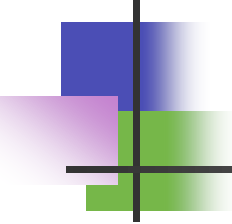
❖ برای دستیابی به این اهداف ، باید سیستم را تحلیل کنیم و برای آن کنترل کننده ای مناسب طراحی نماییم.تحلیل و طراحی را می توان شامل موارد زیر دانست :

■ مرحله اول : مدل سازی

- ۱- مدل سازی سیستم تحت کنترل و ساده سازی آن در حد قابل قبول
- ۲- تحلیل و شبیه سازی مدل به دست آمده (تحلیل سیستم جبران نشده)

■ مرحله دوم : طراحی

- ۱-انتخاب و جایابی حسگرها و مدل سازی آن ها
- ۲-تصمیم گیری در مورد معیارهای کارایی مناسب (شاخص عملکرد سیستم)
- ۳-انتخاب نوع کنترل کننده
- ۴-طراحی کنترل کننده (تعیین پارامترهای کنترل کننده)



■ مرحله سوم : ارزیابی

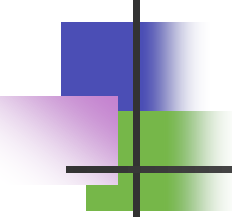
۱- شبیه سازی سیستم کنترل شده (تحلیل سیستم جبران شده)

■ مرحله چهارم : پیاده سازی

۱- انتخاب نرم افزار و سخت افزار، پیاده سازی و آزمون کنترل کننده

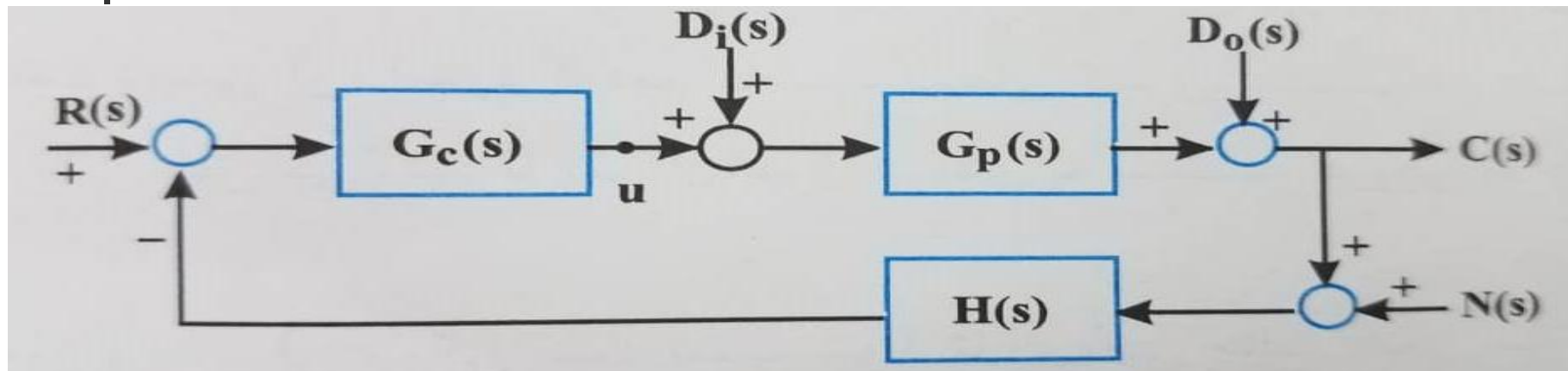
۲- تنظیم کنترل کننده و آموزش کاربر در صورت لزوم

لازم به ذکر است که مراحل یاد شده را می توان در واقع به شکل دیگر به دو قسمت مجزا تقسیم کرد. محصول نهایی در مرحله اول طراحی تعیین و توصیف اپراتور GC یا همان کنترل کننده است که با استفاده از خروجی های اندازه گیری شده مقادیر مطلوب خروجی ها ، سیگنال کنترل را تولید می کند. در مرحله دوم که مرحله عملی است انتخاب محرک ها ، حسگرها و دیگر عناصر کنترل صورت می گیرد و عناصر واسط و کاربر و ماشین طراحی می شوند. لازم به تاکید است که فرآیند طراحی به شکلی که اشاره شده فرآیند بازگشتی است به این معنی که برای بهبود طرح در صورت لزوم مجدداً به مرحله اول که طراحی کنترل کننده است باز خواهیم گشت.



❖ اما قدم اول در طراحی ، یافتن مدل ریاضی مناسب از سیستمی است که باید کنترل شود. این مدل سازی معمولاً به کمک قوانین شناخته شده ی علمی یا روش شناسایی یا ترکیبی از هر دو صورت می گیرد. قوانین فیزیکی ، شیمیایی و بیولوژیکی حاکم بر سیستم یا ترکیبی از آن ها ما راه به یک ساختار ریاضی می رسانند که شمانل متغیر های مستقل و وابسته به علاوه ی یکسری پارامترهاست. این مدل در حالت کلی ممکن است استاتیک یا دینامیک ، خطی یا غیر خطی ، ثابت با زمان یا متغیر با زمان ، زمان پیوسته یا گسسته و قطعی و تصادفی باشد.

❖ در این دنیای واقعی همه سیستم ها رفتار غیر خطی دارند و با گذشت زمان رفتارشان تغییر می کند یعنی متغیر با زمان هستند. اما در مدل سازی ، اغلب با تقریب ها و فرض هایی ، مدل خطی تغییر ناپذیر با زمان برای سیستم استخراج می کنیم. جالب آن است که در بسیاری از موارد مدل LTI تقریب خوبی از سیستم است و در منترل نیازهای ما را برطرف می کند. همچنین نمایش سیستم می تواند بر اساس رابطه ورودی - خروجی یا رفتار درونی سیستم باشد. مقادیر پارامترهای مدل از طریق شناسایی به دست می آیند. بعد از تعیین مدل سیستم تحت کنترل ، می توان آن را تحلیل کرده و یک روش ابتدایی را به کمک شبیه سازی کامپیوتری روی آن آزمود و مورد امتحان قرار داد.



$R(s)$ و $C(s)$ به ترتیب نشان دهنده ورودی مرجع و خروجی یا متغیر کنترل شونده هستند.

$G_p(s)$ مدل ریاضی فرآیند یا سیستم تحت کنترل است.

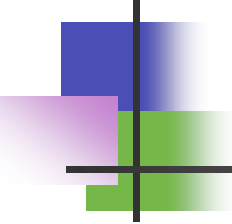
$G_c(s)$ مدل کنترل کننده یا جبران ساز طراحی شده است.

$H(s)$ سیستم اندازه گیری (سنسور) را مدل می کند.

$N(s)$ نویزی است که هنگام اندازه گیری مدل می شود.

$D_i(s)$ و $D_o(s)$ نیز به ترتیب اغتشاشات ورودی و خروجی هستند که در ورودی و خروجی فرآیند مدل می شود.

U معرف سیگنال یا قانون کنترل است که به فرمان کنترل نیز مشهور است.



پیاده سازی و شبیه سازی

■ پیاده سازی :

این است که عموماً یا سیستم را بسازیم یا روی سیستمی واقعی وجود دارد کنترل کننده اعمال کنیم.

■ شبیه سازی :

مواردی که لازم است شبیه سازی است ، برای اینکه ما برسیم به شبیه سازی :
باید یک مسئله خوب تعریف کنیم و لازم نیست مسئله خیلی پیچیده ای باشد. یک مسئله خوب یک جایی که یا از کنترل کننده استفاده می شود یا شما می خواهید از کنترل کننده استفاده کنیم ، پس دارای هدف می باشد، دارای سیستم می باشد.

در مرحله بعدی مدل در آوردن است برای سیستم است. مثلاً یک سیستمی که قالب هست دورنش یعنی مکانیکی می باشد یا اینکه ما در خصوص آن یک مدلی برای سیستم پیدا کنیم.

پیاده سازی و شبیه سازی

■ پس از آنجا متوجه می شویم یک سیستم غیر خطی بوده است یا خطی، یا اگر خطی را به غیر خطی بکنیم و بعد از آن چطور آن را تحلیل بکنیم و حتی پاسخ آن بدون کنترل کننده به چه شکلی است، یا چه اشکالی دارد که می خواهیم برای آن کنترل کننده طراحی کنیم و حتی بعد از آن به این برسیم که یک یا دو کنترل کننده طراحی بکنیم و پاسخ سیستم کنترل شده را هم ببینیم.

❖ مثلاً :

مترو، یک مسئله ای که مترو دارد این می باشد که در ایستگاه و در جای مناسب ایست کند که این کار می تواند توسط لوکوموتیوران انجام شود و یا می تواند توسط یک سیستم بطور خودکار انجام شود. یک معیارهای این وسط می باشد که مهم است :

- ✓ ۱- با سرعت حرکت کند و بعد ایست کند به علت ترمز و باعث فشار به سرنشینان نشود.
- ✓ ۲- شتاب منفی ترمز از حدی بیشتر بکنیم و بعد ایست کند یعنی اندازه آن با یک علامت کمتر بشود که باعث استرس نشود.

پروژه های دیگر : ۱- رشد غدد سرطانی (مدل زیستی می باشد که این مدل پیچیده بیام ساده تر کنیم). ۲- برج تقطیر پالایشگاه .

جایگاه فیدبک در کنترل

❖ کنترل دارد یک سیستم را بررسی می کند و اسم این سیستم را G صدایش بکنیم که حالا G چه می باشد بعد توضیح هات خواهیم داد).

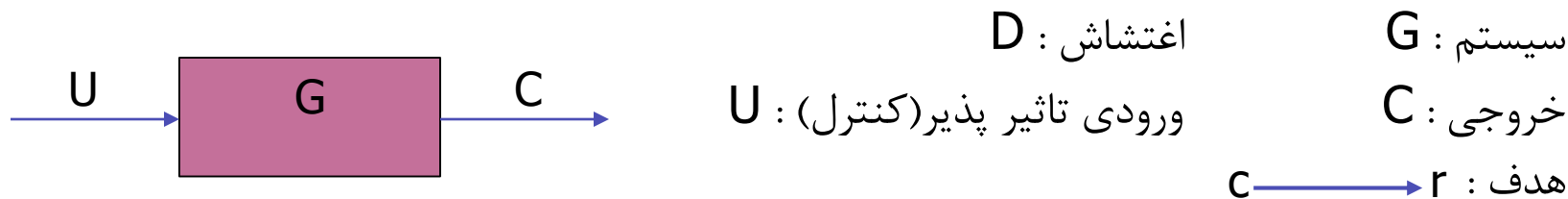
❖ خروجی آن چیزی است که مطلوب را با آن تعریف می کنیم و به اسم C صدایش می کنیم.

❖ هدف را هم هرطور هدفی را می توانیم کنیم اما در انتها همچنین تعریف باید بکنیم که خروجی برسد به r که r ما می گوئیم مقدار مطلوب یا Reference.

$C \longrightarrow r$

❖ ورودی تاثیر پذیر (ورودی کنترل) که با U نشان می دهیم.

پس سیستم به این شکل دارد بیان می شود که ورودی تاثیر پذیر وارد می شود به سیستم ما و متناسب با مشخصات G و مقدار ورودی U باعث تولید خروجی C می شود و هدف این بود که خروجی را برسانیم به مقدار مطلوب پس شمای یک سیستم بصورت زیر می باشد و هنوز سیستم کنترلی نیست.

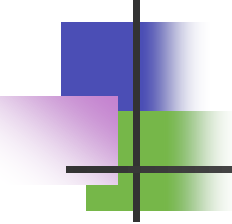


برای تحلیل و طراحی یک سیستم کنترل نیاز به مدل ریاضی داریم.

❖ این مدل معمولاً به طور کامل همه جزئیات را بیان نمی کند ، این ضعف به دو دلیل است :

✓ ۱- مدلی که خیلی پیچیده است طراحی کنترل کننده برای آن سخت تر است.

✓ ۲- مدل سازی خطی و حتی در بعضی موارد غیر خطی هم قادر به مدل کردن بعضی از ویژگی ها نیستند.

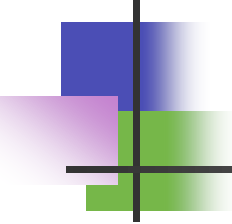


توصیف سیستم های خطی

❖ نمایش تابع تبدیل.

❖ نمایش فضای حالت.

❖ نمایش معادله دیفرانسیل.



نمایش تابع تبدیل سیستم های خطی

- ✓ در مدل سازی می توانیم از بررسی داده های ورودی - خروجی سیستم را شناسایی کنیم.
- ✓ می توانیم با استفاده از پاسخ پله و ضربه سیستم را توصیف کنیم.
- ✓ با استفاده معادله دیفرانسیلی که خواص فیزیکی سیستم را توصیف می کنند.

نمایش تابع تبدیل سیستم های خطی

معادله دیفرانسیل یک سیستم های خطی می تواند به صورت زیر باشد.

$$\frac{d^n}{dt^n} y(t) + \frac{d^{n-1}}{dt^{n-1}} a_{n-1} y(t) + \dots + \frac{d}{dt} a_1 y(t) + a_0 y(t) =$$

↓
خروجی

$$\frac{d^m}{dt^m} u(t) + \frac{d^{m-1}}{dt^{m-1}} b_{m-1} u(t) + \dots + \frac{d}{dt} b_1 u(t) + b_0 u(t)$$

↓

ورودی
مرتبه سیستم همان n است

نمایش تابع تبدیل سیستم های خطی

$$\left(\frac{d^n}{dt^n} y(t) + \frac{d^{n-1}}{dt^{n-1}} a_{n-1} y(t) + \dots + \frac{d}{dt} a_1 y(t) + a_0 y(t) = \right. \\ \left. s^n \right.$$



$$\frac{d^m}{dt^m} u(t) + \frac{d^{m-1}}{dt^{m-1}} b_{m-1} u(t) + \dots + \frac{d}{dt} b_1 u(t) + b_0 u(t)$$

$$s^n Y(s) + s^{n-1} a_{n-1} Y(s) + \dots + s a_1 Y(s) + a_0 Y(s) =$$

$$s^m U(s) + s^{m-1} b_{m-1} U(s) + \dots + s b_1 U(s) + b_0 U(s)$$

نمایش تابع تبدیل سیستم های خطی

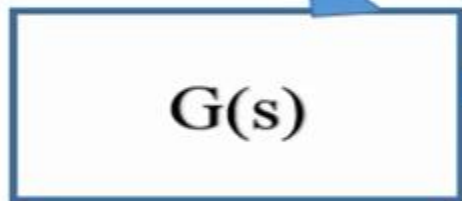
$$s^n Y(s) + s^{n-1} a_{n-1} Y(s) + \dots + s a_1 Y(s) + a_0 Y(s) =$$
$$s^m U(s) + s^{m-1} b_{m-1} U(s) + \dots + s b_1 U(s) + b_0 U(s)$$

$$(s^n + s^{n-1} a_{n-1} + \dots + s a_1 + a_0) Y(s) =$$
$$(s^m + s^{m-1} b_{m-1} + \dots + s b_1 + b_0) U(s)$$

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{(s^m + s^{m-1} b_{m-1} + \dots + s b_1 + b_0)}{(s^n + s^{n-1} a_{n-1} + \dots + s a_1 + a_0)}$$

نمایش تابع تبدیل سیستم های خطی

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{(s^m + s^{m-1}b_{m-1} + \dots + sb_1 + b_0)}{(s^n + s^{n-1}a_{n-1} + \dots + sa_1 + a_0)}$$



$$Y(s) = G(s)U(s)$$

Transfer function
tf

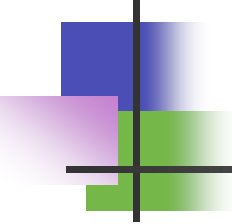
مفهوم تابع تبدیل

$$y(t) = g(t) * u(t)$$

ضرب

تبدیل لاپلاس کانولوشن

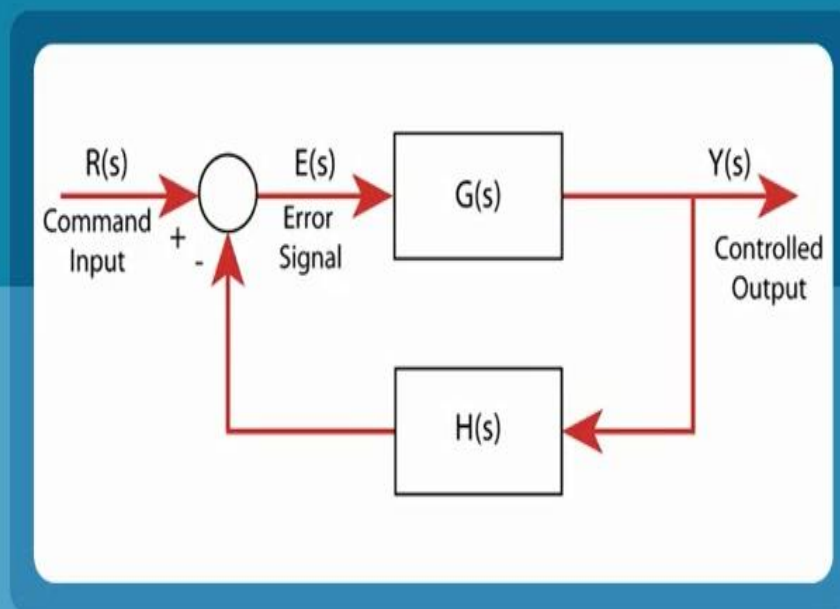
$$Y(S) = G(S) U(S)$$



مراحل به دست آوردن تابع تبدیل یک سیستم

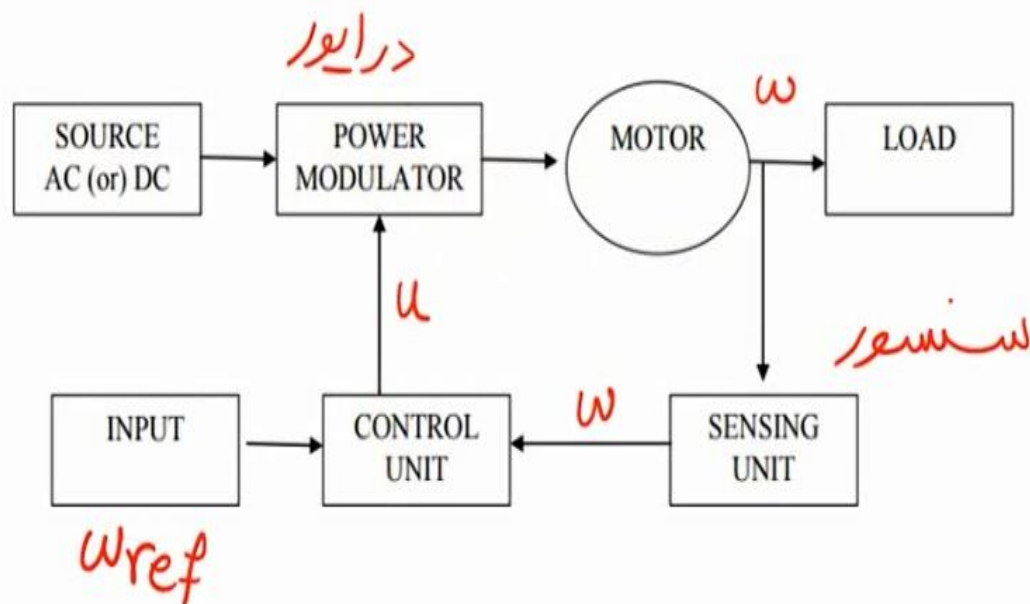
- ❖ نوشتن معادله دیفرانسیل سیستم.
- ❖ مجاسبه تبدیل لاپلاس معادله دیفرانسیل با فرض صفر بودن تمامی شرایط اولیه.
- ❖ نسبت خروجی $Y(S)$ به ورودی $U(S)$.

بلوک دیاگرام های پایه در مهندسی کنترل



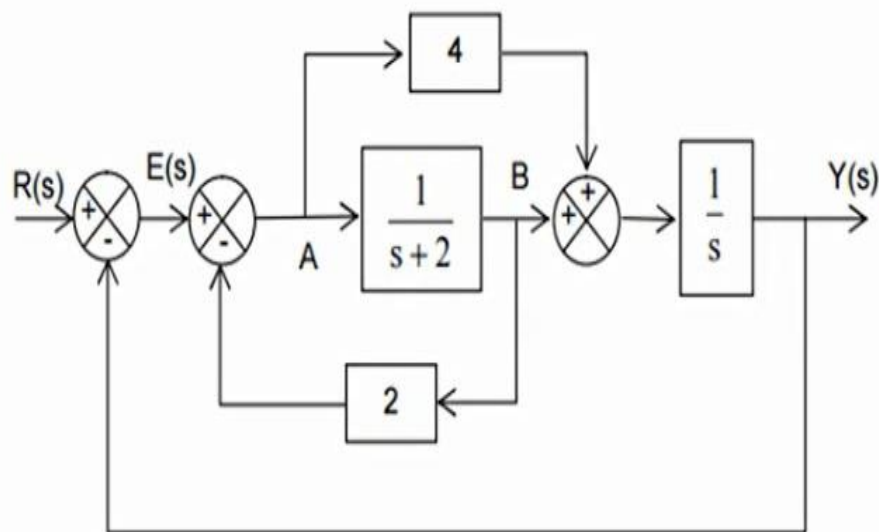
بلوک دیاگرام‌های پایه در مهندسی کنترل

- بلوک دیاگرام یکی از ابزارهای مفید برای نمایش تصویری سیستم‌های کنترل است.
- رابطه علت و معلولی بین ورودی‌ها و خروجی‌ها در بلوک دیاگرام مشخص و واضح است.
- آنالیز سیستم‌های پیچیده از طریق بلوک دیاگرام خیلی راحت‌تر خواهد شد.



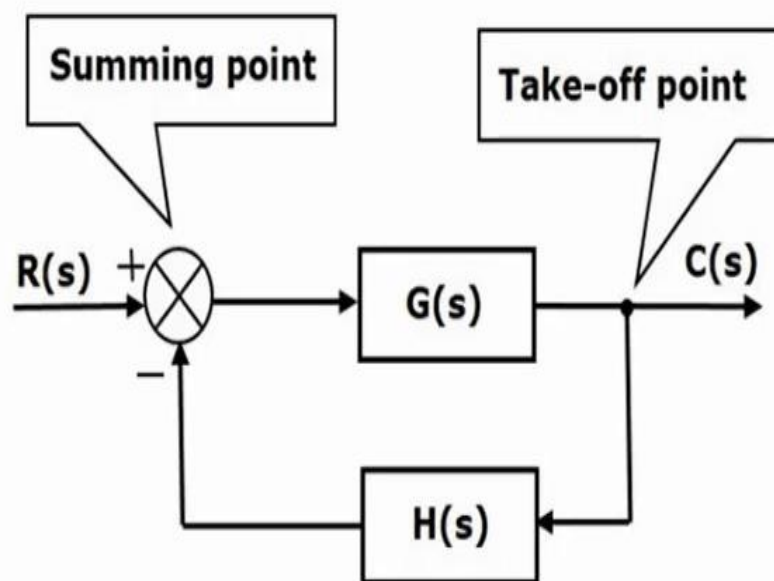
بلوک دیاگرام‌های پایه در مهندسی کنترل

- بلوک دیاگرام یکی از ابزارهای مفید برای نمایش تصویری سیستم‌های کنترل است.
- رابطه علت و معلولی بین ورودی‌ها و خروجی‌ها در بلوک دیاگرام مشخص و واضح است.
- آنالیز سیستم‌های پیچیده از طریق بلوک دیاگرام خیلی راحت‌تر خواهد شد.



بلوک دیاگرام‌های پایه در مهندسی کنترل

- اجزای اساسی یک نمودار بلوکی، **بلوک‌ها**، **نقاط جمع** و **نقاط انشعاب** هستند.



دیاگرام های بلوکی

✓ یکی از راه های توصیف سیستم ها استفاده دیاگرام های بلوکی است.

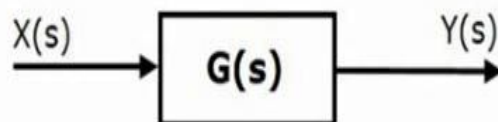
✓ دیاگرام بلوکی یک تابع تبدیل بصورت زیر است :



$$Y(S) = G(S) \cdot U(S)$$

بلوک دیاگرام‌های پایه در مهندسی کنترل

- **بلوک:** تابع تبدیل یک بخش از سیستم یا عملکرد ریاضی آن را نشان می‌دهد.
- بلوک‌ها می‌توان **تک‌ورودی-تک‌خروجی** یا **چندورودی-چندخروجی** باشند.



$$Y(s) = G(s) X(s)$$

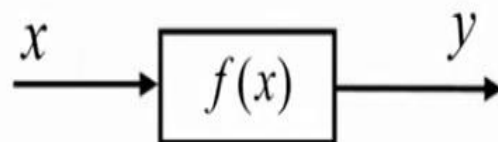
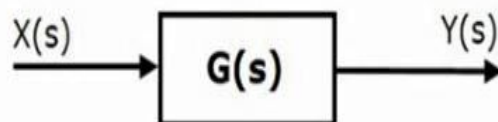
$n \times n$



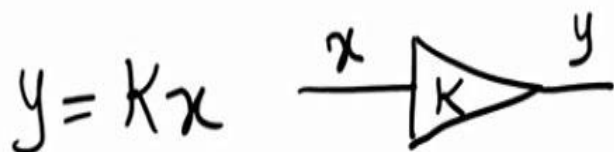
$$Y = M(s) U$$

بلوک دیاگرام‌های پایه در مهندسی کنترل

- **بلوک:** تابع تبدیل یک بخش از سیستم یا عملکرد ریاضی آن را نشان می‌دهد.
- بلوک‌ها می‌توان **تک‌ورودی-تک‌خروجی** یا **چندورودی-چندخروجی** باشند.



$$y = f(x)$$

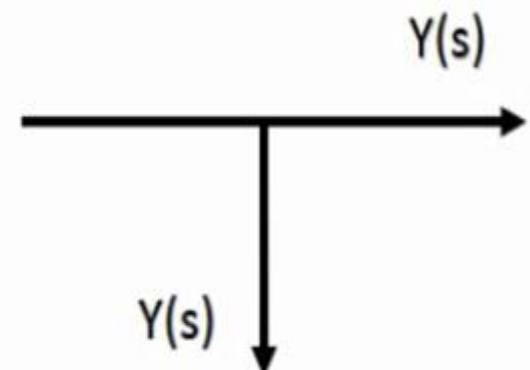
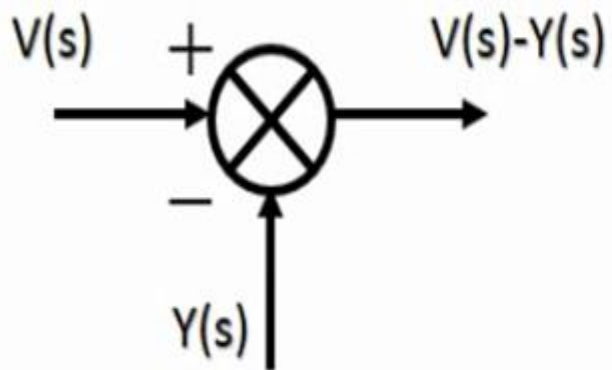


$$y = Kx$$



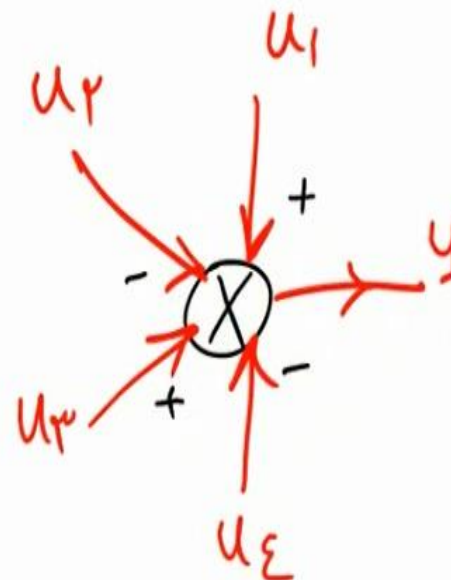
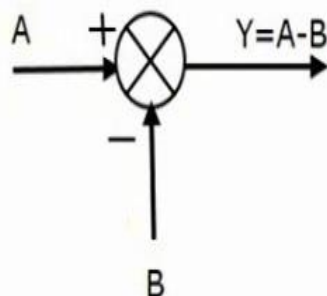
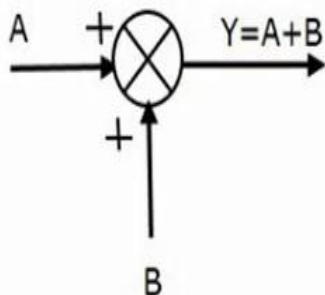
$$y = x^2$$

اجزای تشکیل دهنده دیاگرام های بلوکی

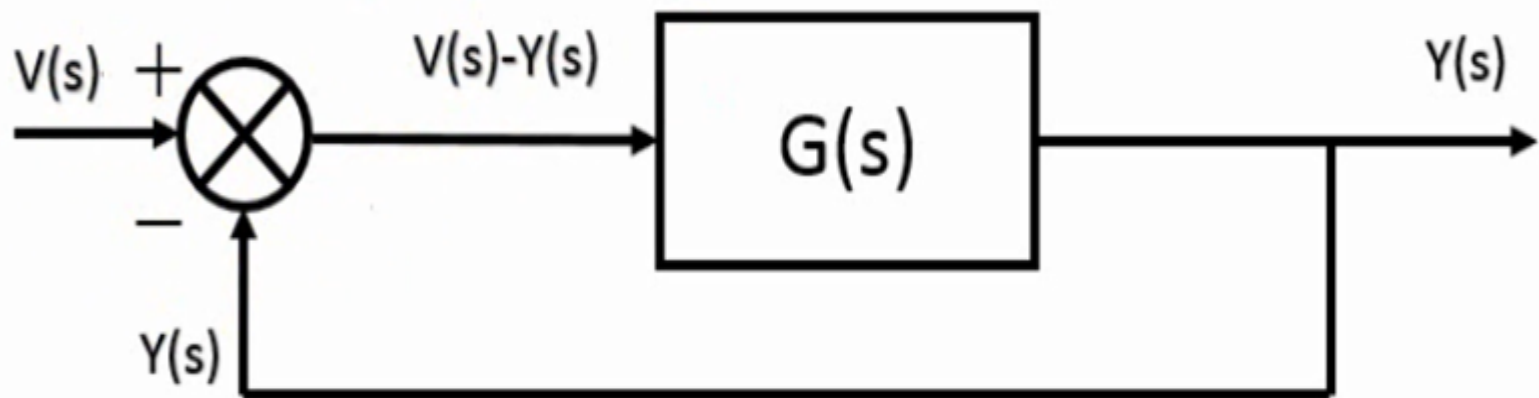


بلوک دیاگرام‌های پایه در مهندسی کنترل

• **نقطه جمع:** مجموع، تفریق یا ترکیب جمع و تفریق ورودی‌ها را نشان می‌دهد.



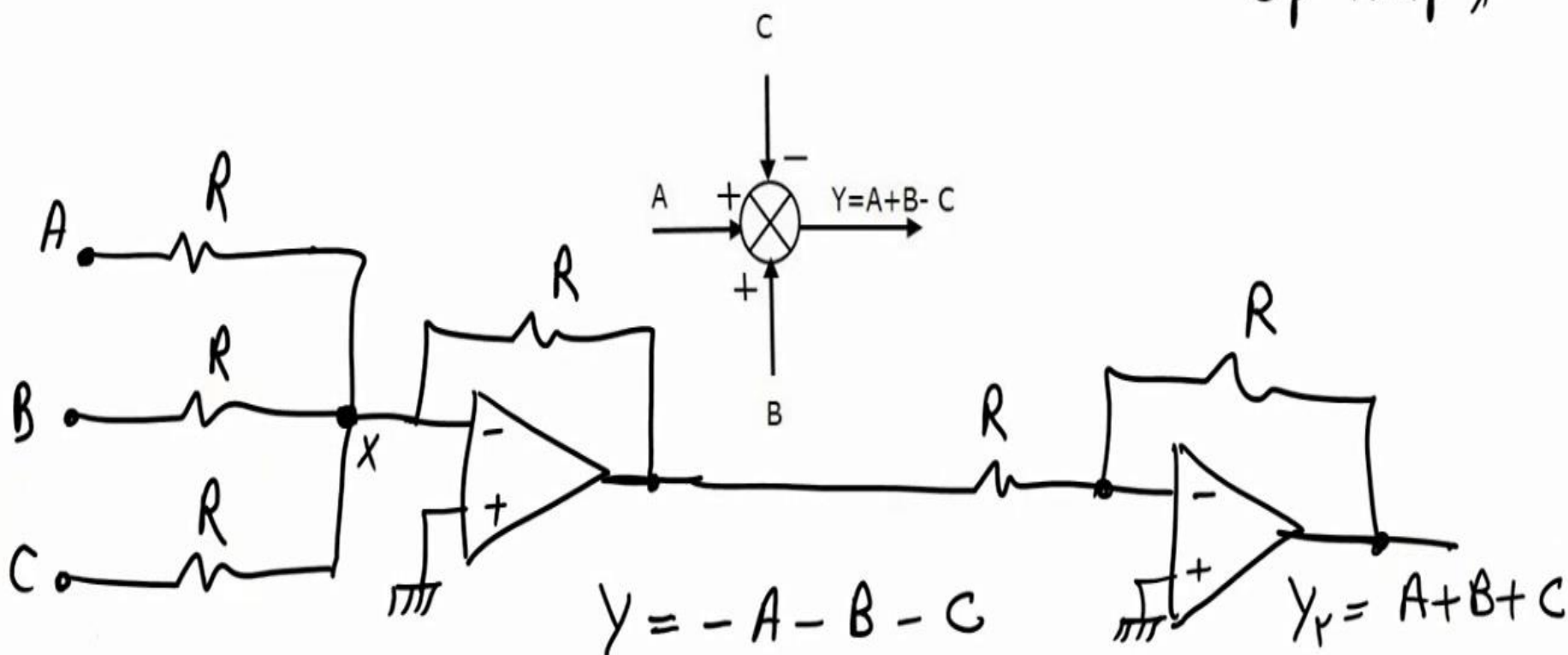
دیاگرام های بلوکی



بلوک دیاگرام‌های پایه در مهندسی کنترل

• **نقطه جمع:** مجموع، تفریق یا ترکیب جمع و تفریق ورودی‌ها را نشان می‌دهد.

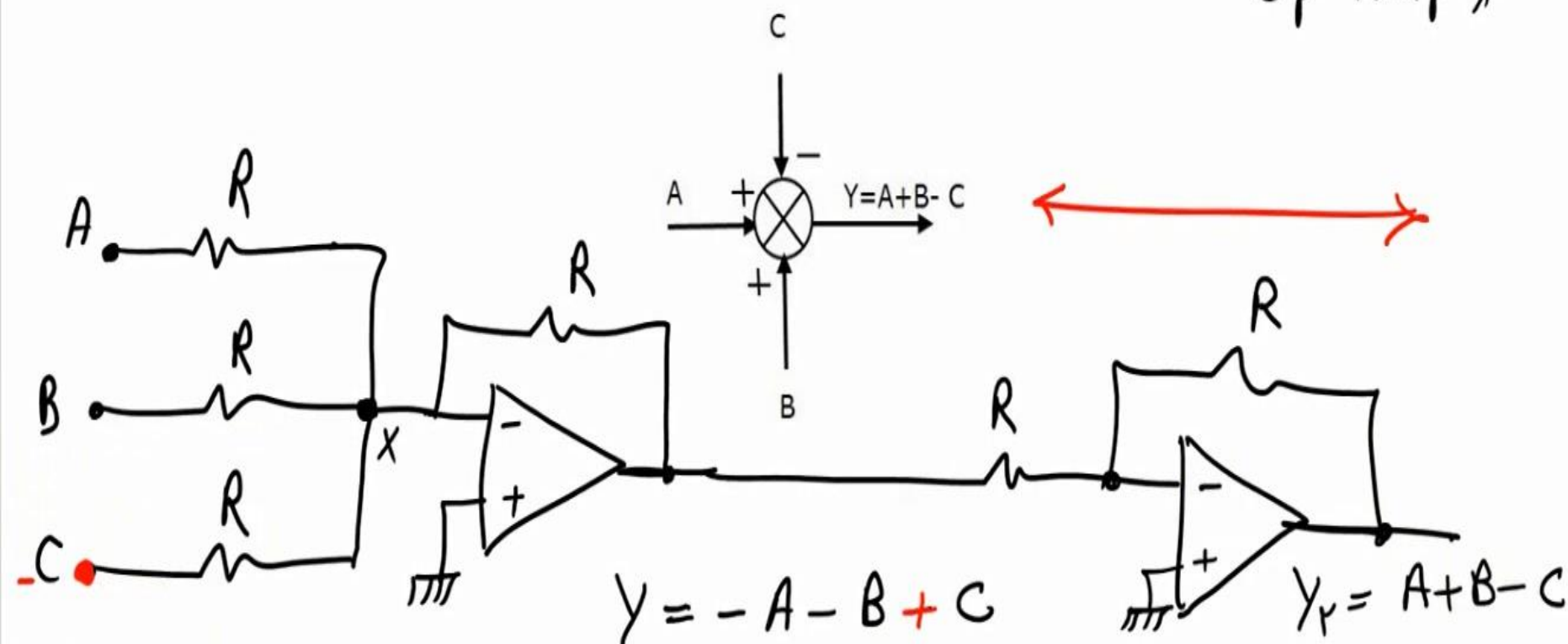
Op Amp *



بلوک دیاگرام‌های پایه در مهندسی کنترل

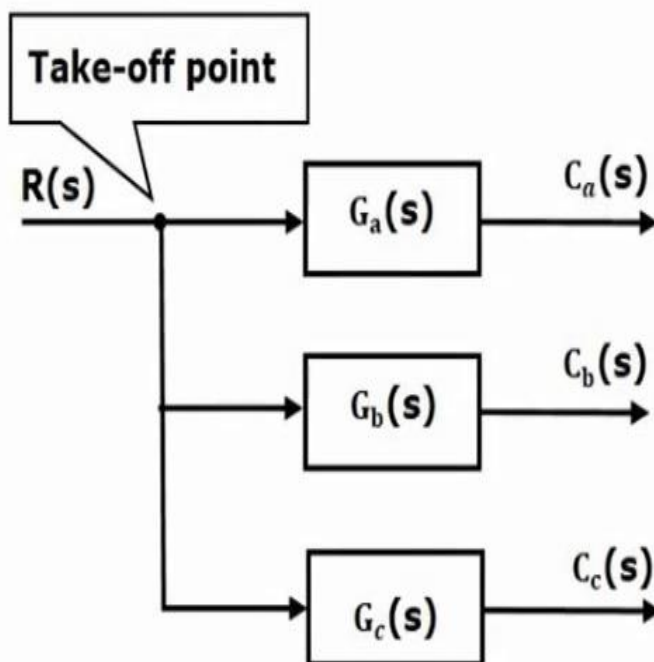
• **نقطه جمع:** مجموع، تفریق یا ترکیب جمع و تفریق ورودی‌ها را نشان می‌دهد.

Op Amp *



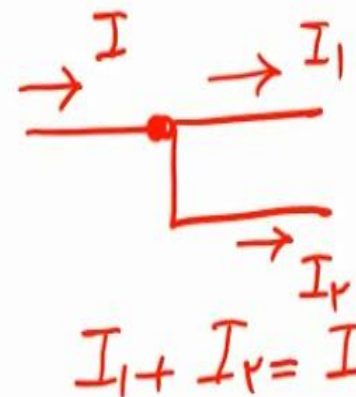
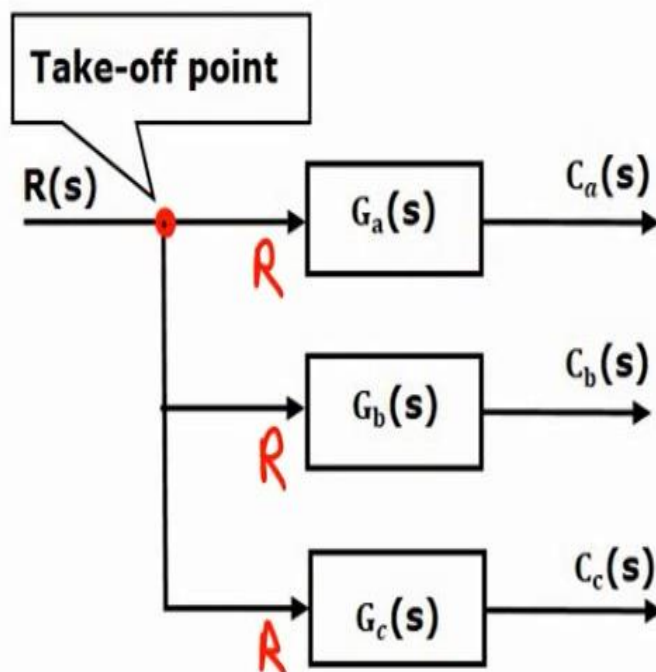
بلوک دیاگرام‌های پایه در مهندسی کنترل

- **نقطه انشعاب:** نقطه‌ای است که ورودی آن می‌تواند به چند شاخه تقسیم شود.
- سیگنال‌هایی که از یک انشعاب به نقاط مختلف ارسال می‌شوند، **یکسان** هستند.



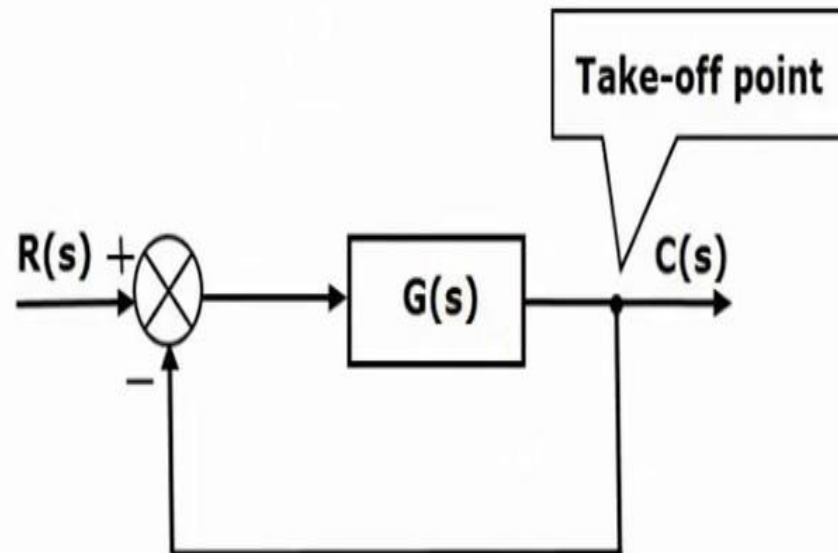
بلوک دیاگرام‌های پایه در مهندسی کنترل

- **نقطه انشعاب:** نقطه‌ای است که ورودی آن می‌تواند به چند شاخه تقسیم شود.
- سیگنال‌هایی که از یک انشعاب به نقاط مختلف ارسال می‌شوند، **یکسان** هستند.

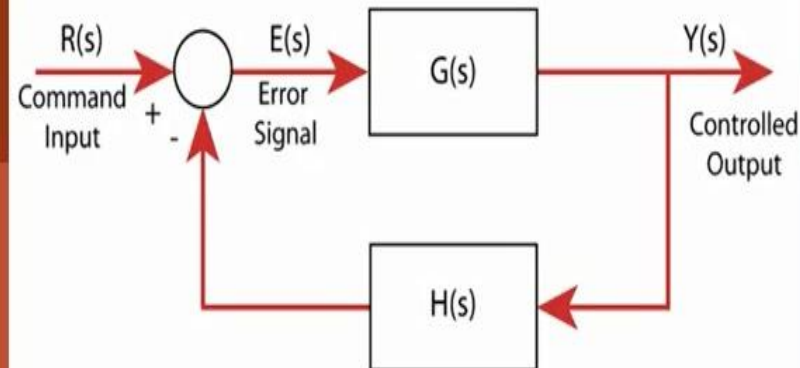


بلوک دیاگرام‌های پایه در مهندسی کنترل

- **نقطه انشعاب:** نقطه‌ای است که ورودی آن می‌تواند به چند شاخه تقسیم شود.
- سیگنال‌هایی که از یک انشعاب به نقاط مختلف ارسال می‌شوند، **یکسان** هستند.

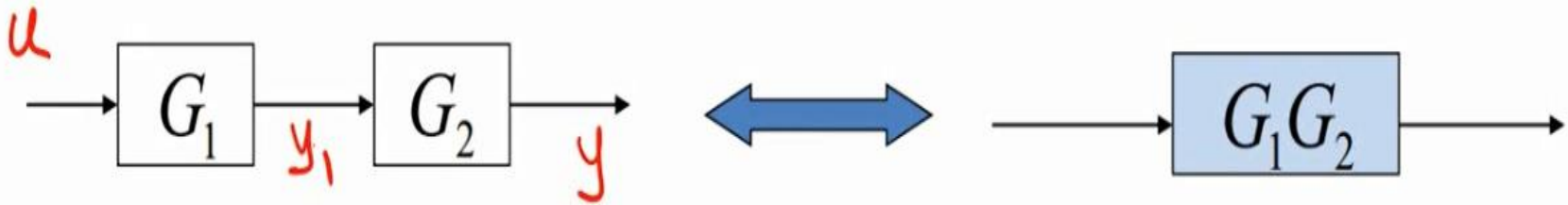


اتصالات بلوک دیاگرام ها



اتصالات بلوک دیاگرام‌ها

• اتصال سری: ورودی بلوک بعدی خروجی بلوک قبلی است.



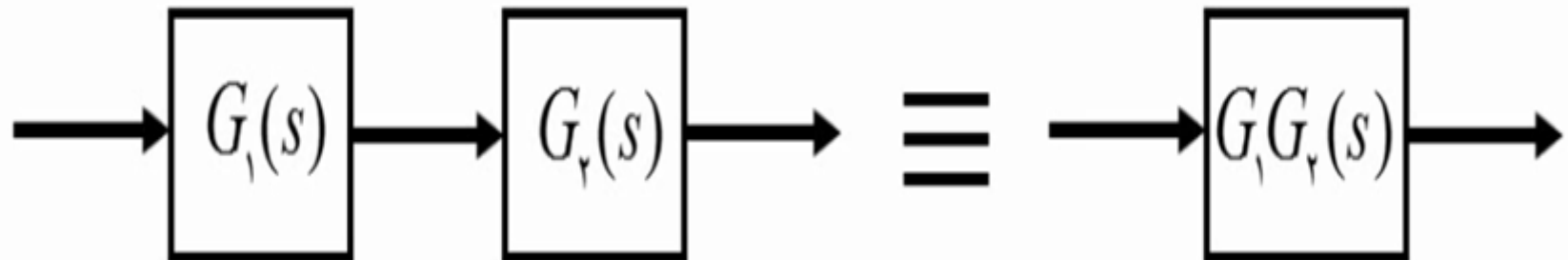
$$y_1 = G_1 u$$

$$y = G_2 y_1 = G_1 G_2 u$$



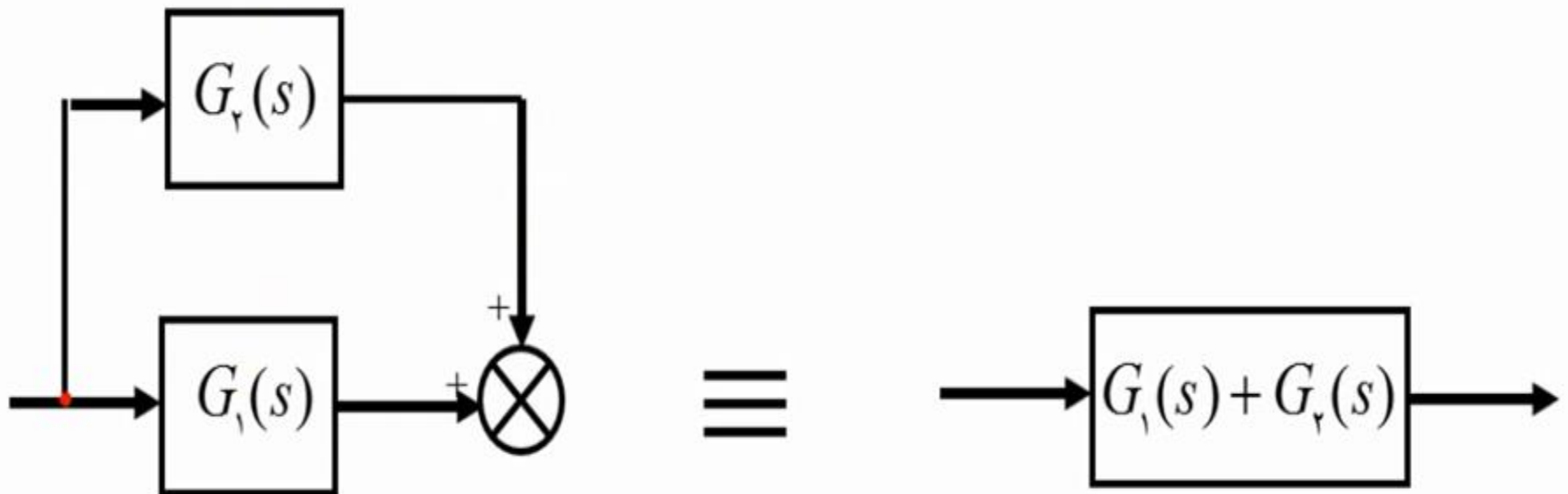
عملیات جبری روی دیاگرام های بلوکی

✓ سری کردن



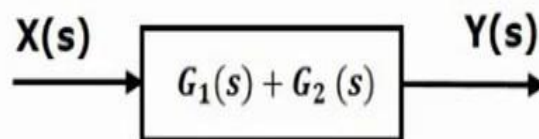
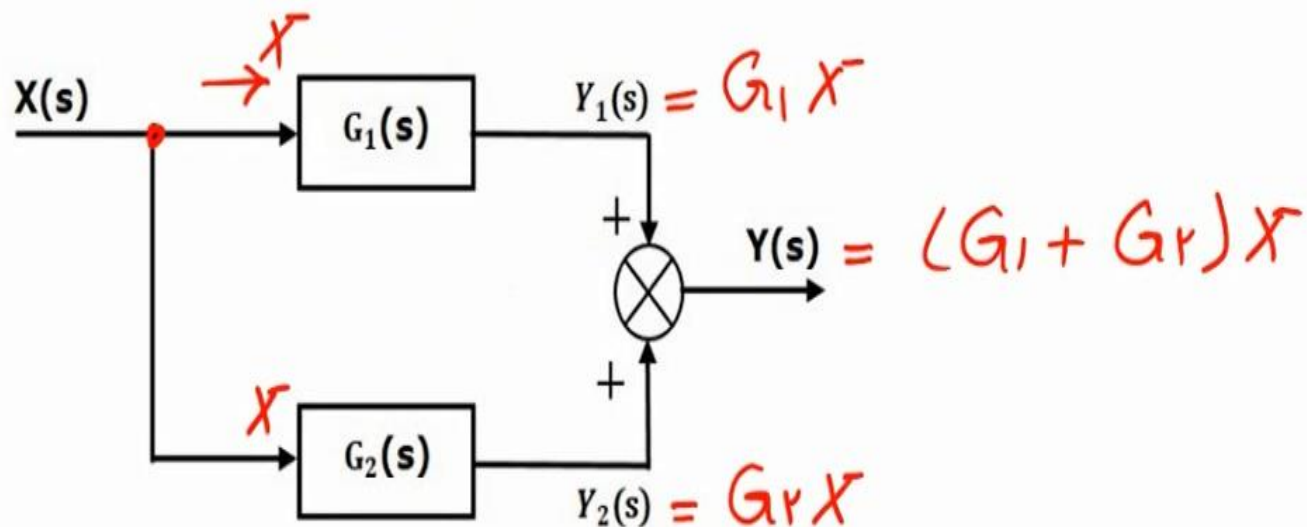
عملیات جبری روی دیاگرام های بلوکی

✓ موازی کردن



اتصالات بلوک دیاگرام‌ها

• اتصال موازی: یک ورودی یکسان به چند بلوک وارد و خروجی‌های آنها جمع می‌شوند.



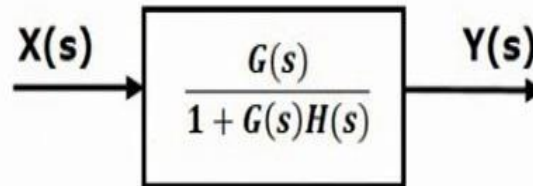
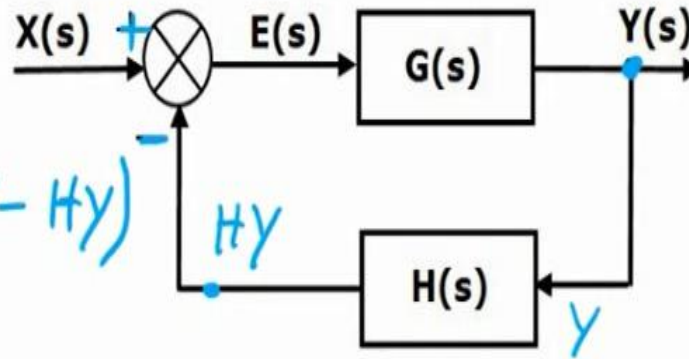
اتصالات بلوک دیاگرام‌ها

• اتصال فیدبک : خروجی یک بلوک به ورودی آن پسخور می‌شود.

$$E = X - Hy$$

$$Y = G E = G(X - Hy)$$

$$Y = \frac{G}{1 + GH} X(s)$$



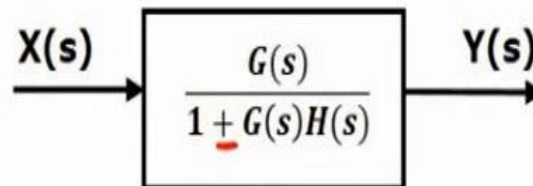
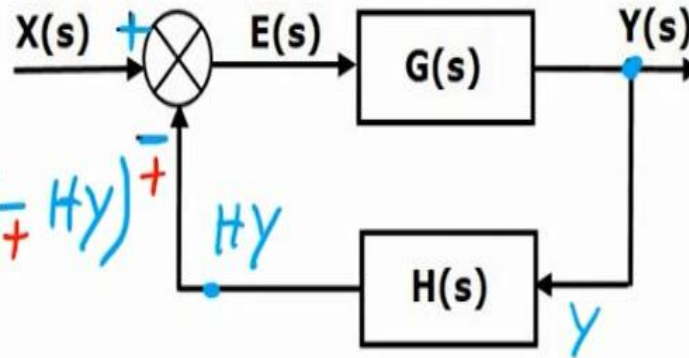
اتصالات بلوک دیاگرام‌ها

• اتصال فیدبک: خروجی یک بلوک به ورودی آن پس‌خور می‌شود.

$$E = X - H Y$$

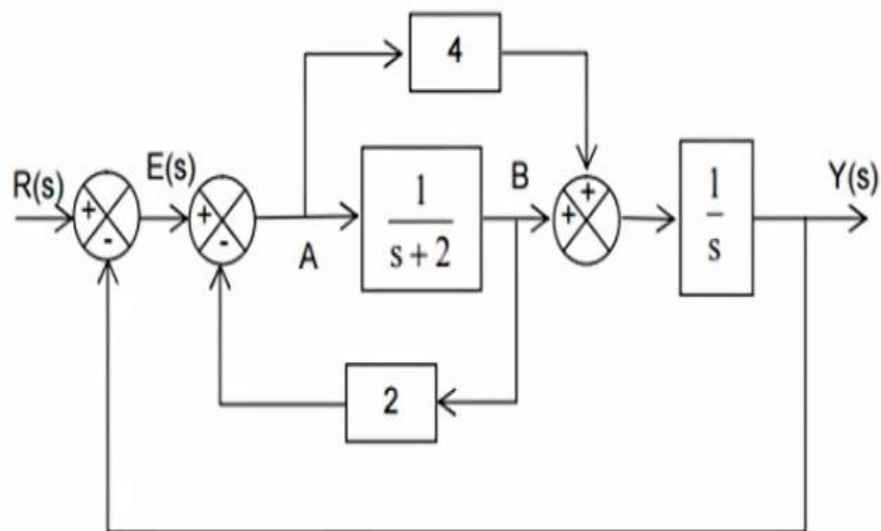
$$Y = G E = G (X - H Y)$$

$$Y = \frac{G}{1 + G H} X(s)$$



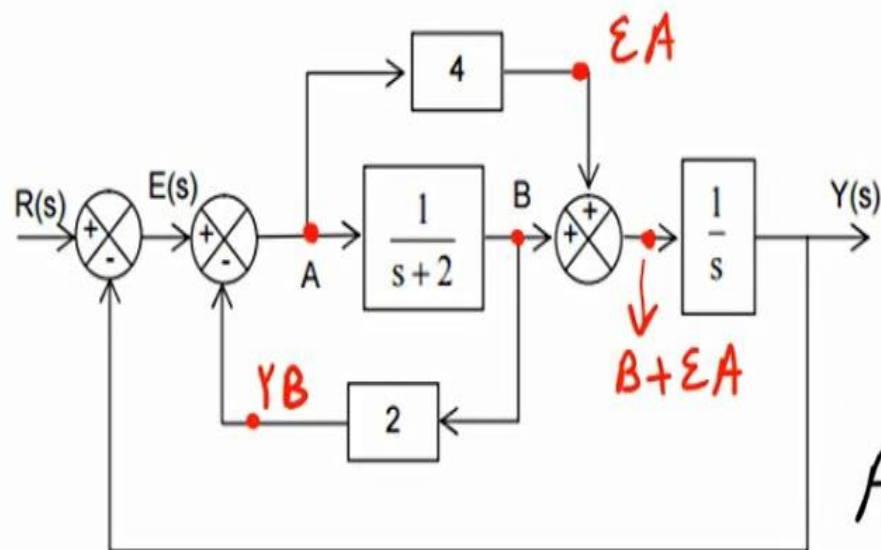
اتصالات بلوک دیاگرام‌ها

- مثال: تابع تبدیل ورودی به خروجی را برای بلوک دیاگرام زیر تعیین کنید.



اتصالات بلوک دیاگرام‌ها

• مثال: تابع تبدیل ورودی به خروجی را برای بلوک دیاگرام زیر تعیین کنید.



$$E = R - Y$$

$$A = E - 2B$$

$$B = \frac{1}{s+2} A$$

$$Y = \frac{1}{s} (B + 4A)$$

$$A = (s+2)B$$

$$(s+2)B = E - 2B \Rightarrow B = \frac{1}{s+4} E$$

$$A = \frac{s+2}{s+4} E$$

اتصالات بلوک دیاگرام‌ها

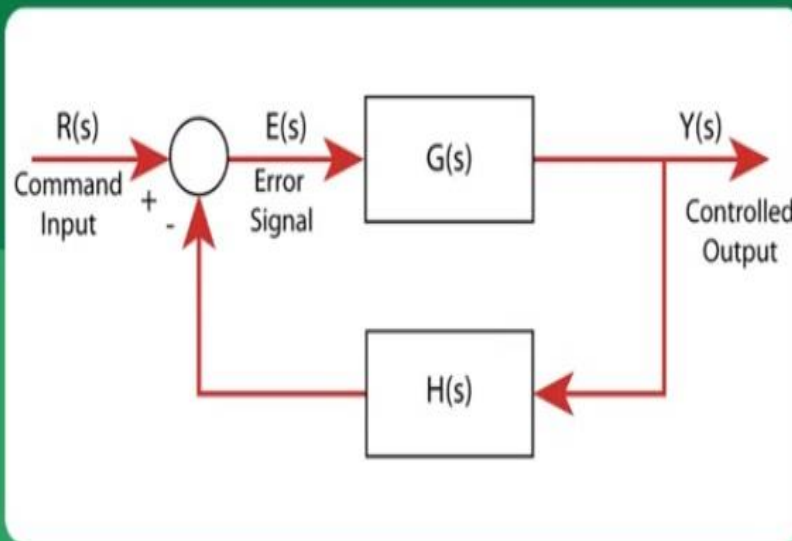
$$sY = \frac{1}{s+\varepsilon} E + \frac{\varepsilon s+1}{s+\varepsilon} E$$

$$sY = \frac{\varepsilon s+1}{s+\varepsilon} (R-Y)$$

$$\left(s + \frac{\varepsilon s+1}{s+\varepsilon}\right) Y = \frac{\varepsilon s+1}{s+\varepsilon} R$$

$$\frac{Y}{R} = \frac{\varepsilon s+1}{s^2 + 1s + \varepsilon}$$

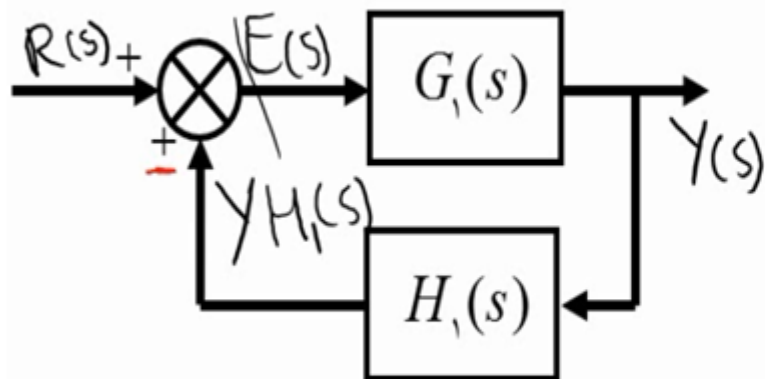
جبر نمودار بلوکی برای نقاط جمع و انشعاب



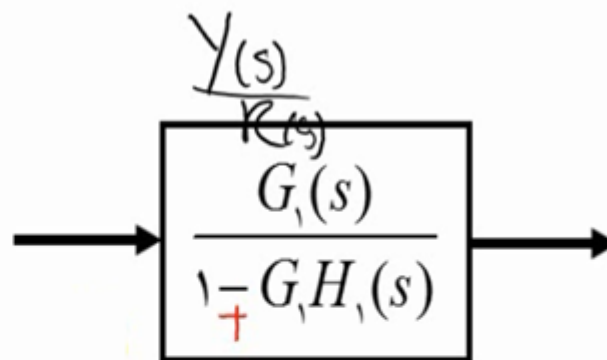
عملیات جبری روی دیاگرام های بلوکی

✓ فیدبک

$$E(s) = R(s) + Y(s) H_1(s)$$



$\equiv$



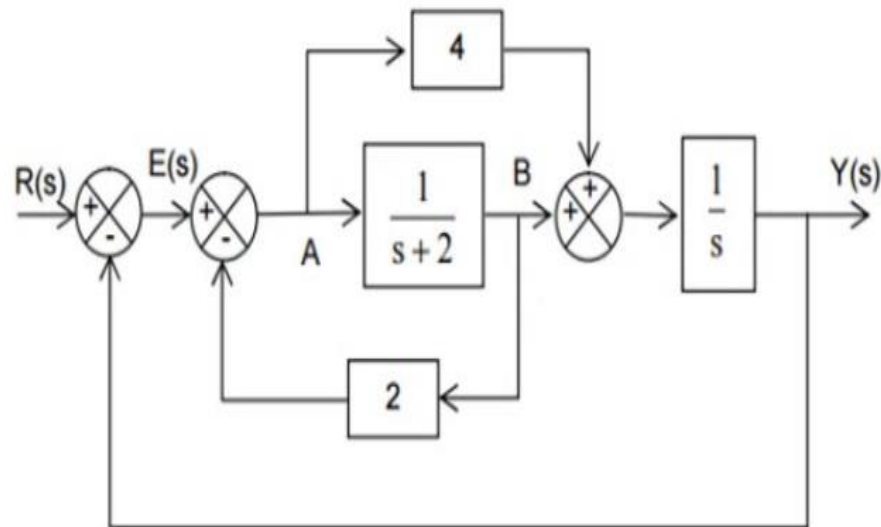
$$Y(s) = R(s) G_1(s) + Y(s) H_1(s) G_1(s)$$

$$Y(s) = E(s) G_1(s)$$

$$Y(s) (1 - G_1(s) H_1(s)) = R(s) G_1(s)$$

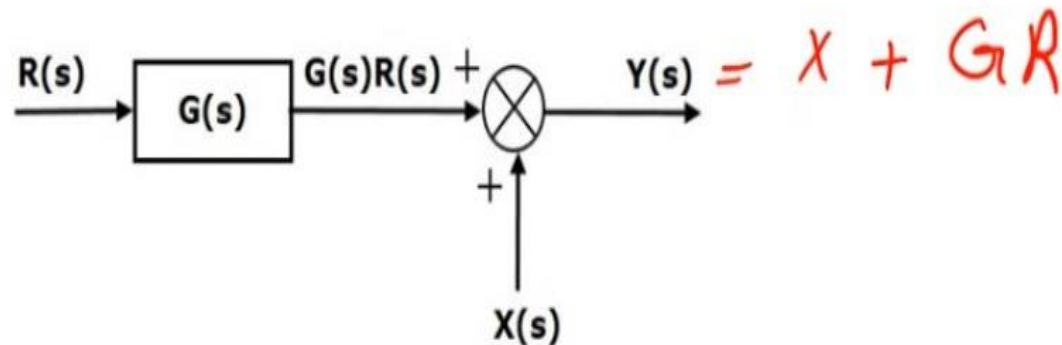
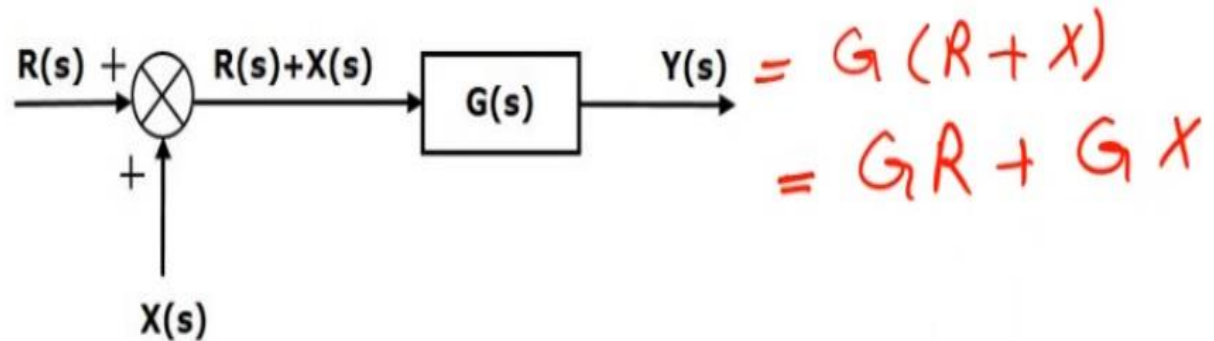
جبر نمودار بلوکی برای نقاط جمع و انشعاب

- با استفاده از جبر نمودار بلوکی، بلوک دیاگرام‌های پیچیده را می‌توان ساده‌سازی کرد.
- با جبر نمودار بلوکی می‌توان اتصالات را به اتصالات پایه (سری، موازی و فیدبک) تبدیل کرد.



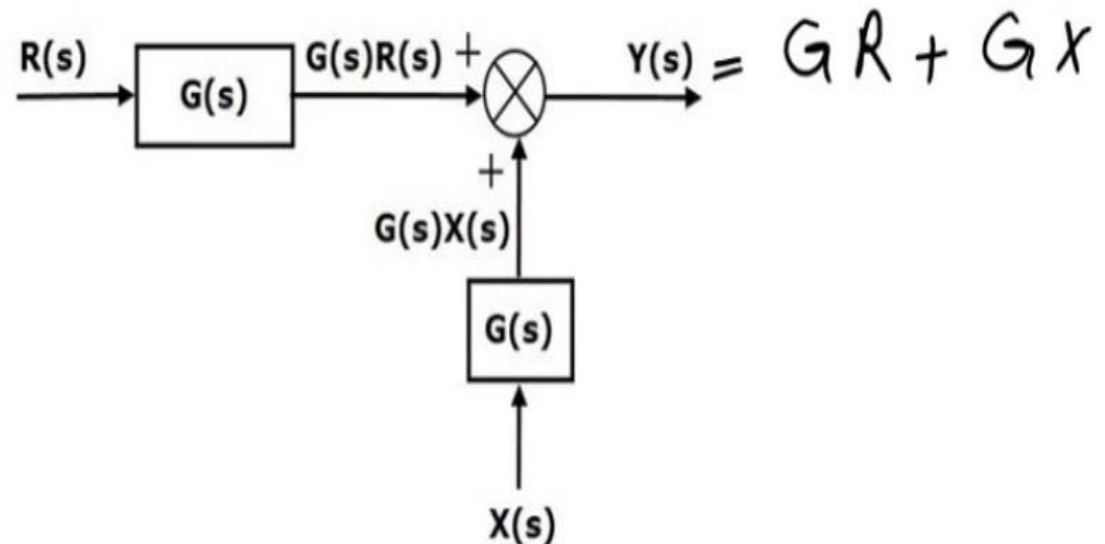
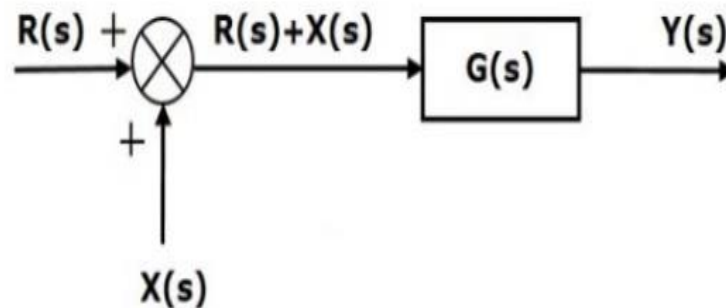
جبر نمودار بلوکی برای نقاط جمع و انشعاب

• جابه‌جایی نقطه جمع به بعد از بلوک



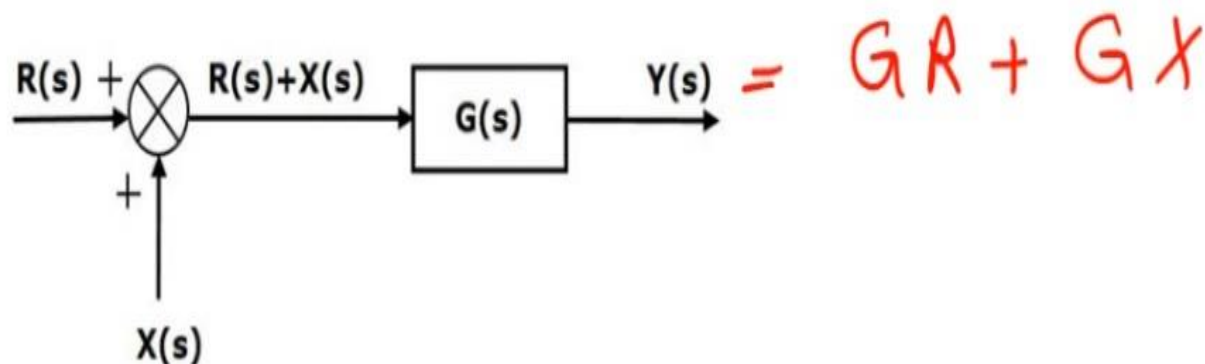
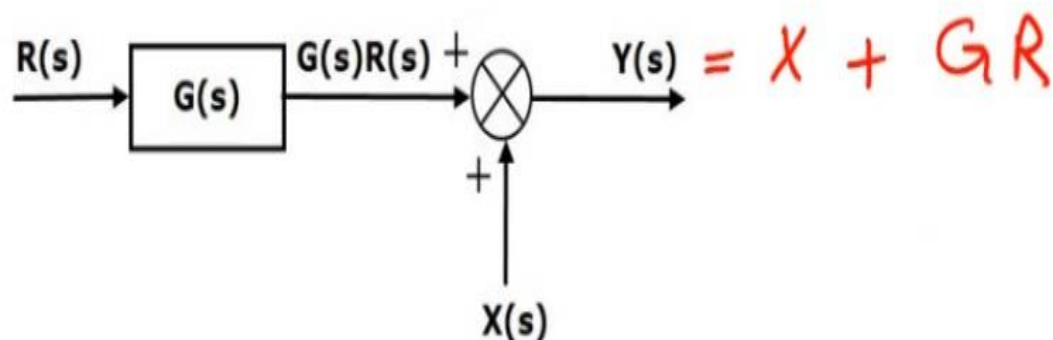
جبر نمودار بلوکی برای نقاط جمع و انشعاب

• جابه‌جایی نقطه جمع به بعد از بلوک



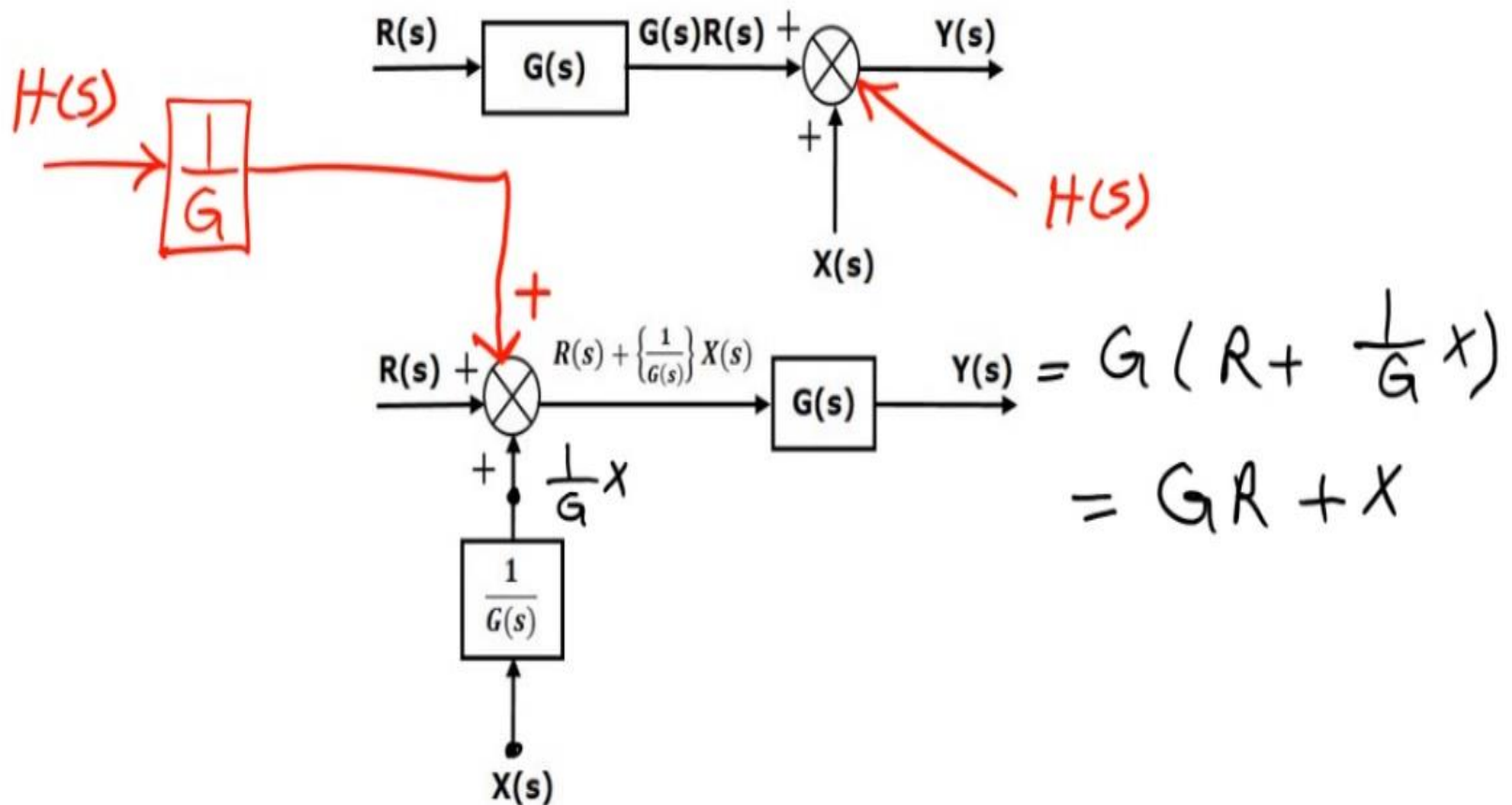
جبر نمودار بلوکی برای نقاط جمع و انشعاب

• جابه‌جایی نقطه جمع به قبل از بلوک



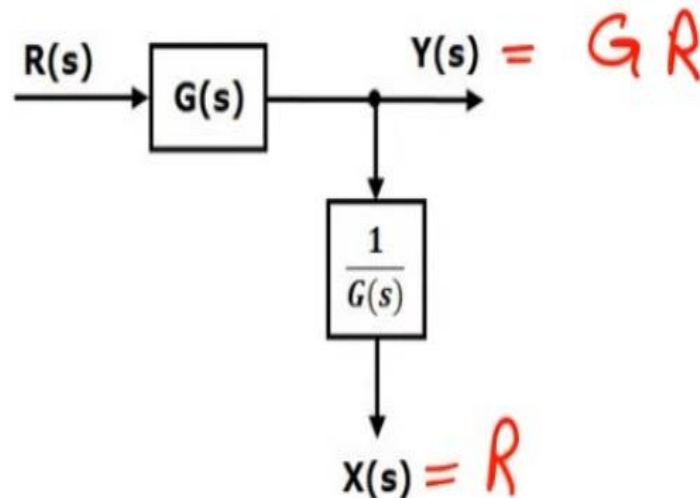
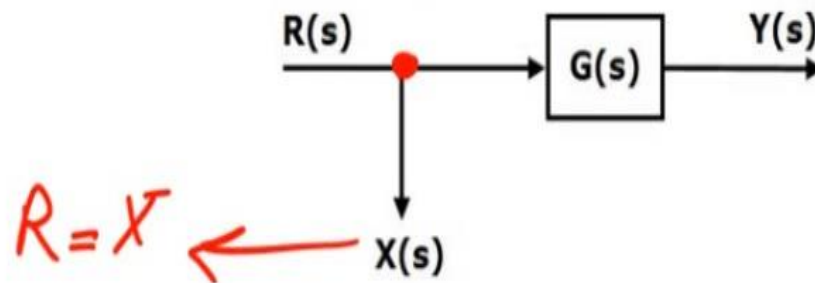
جبر نمودار بلوکی برای نقاط جمع و انشعاب

• جابه‌جایی نقطه جمع به قبل از بلوک



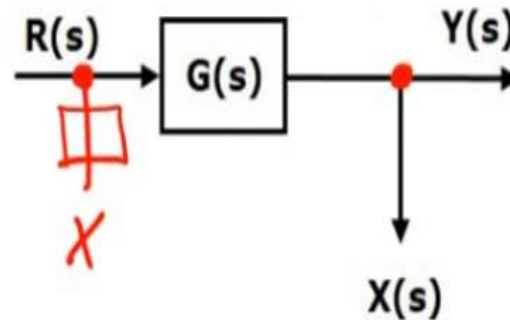
جبر نمودار بلوکی برای نقاط جمع و انشعاب

• جابه‌جایی نقطه انشعاب به بعد از بلوک

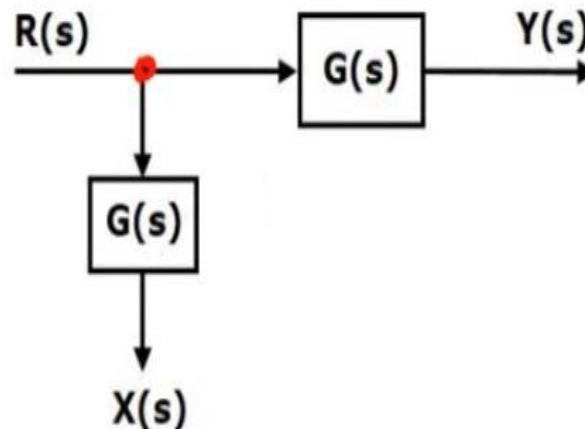


جبر نمودار بلوکی برای نقاط جمع و انشعاب

• جابه‌جایی نقطه انشعاب به قبل از بلوک



$$X = G R$$

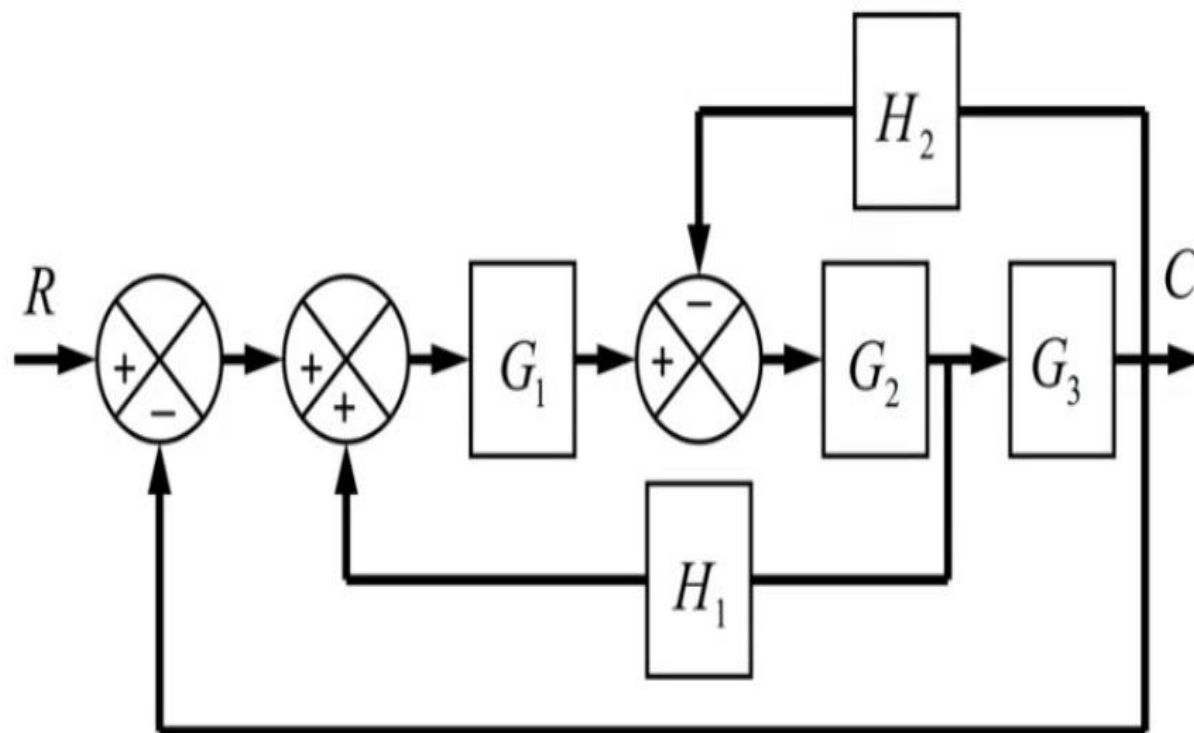


جبر نمودار بلوکی برای نقاط جمع و انشعاب

• قواعد ساده سازی بلوک دیاگرام‌ها

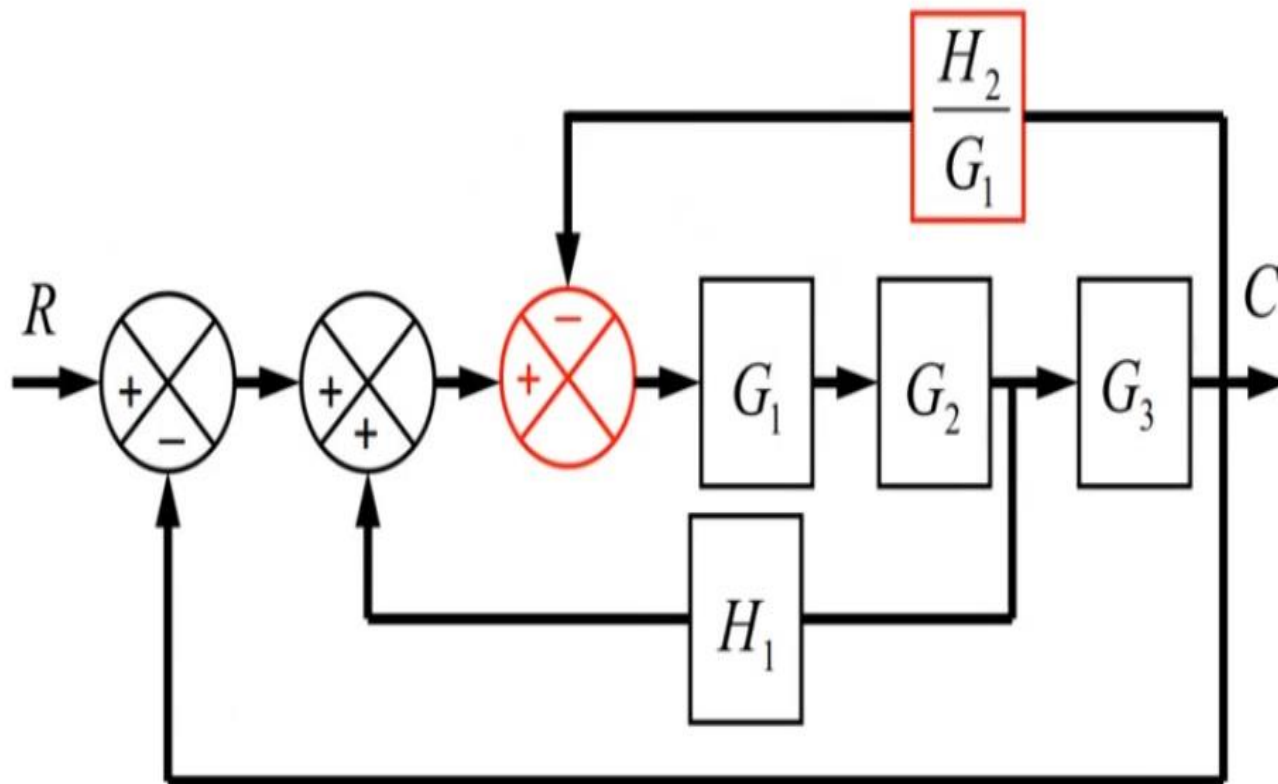
- ✓ **قاعده ۱:** بلوک‌های سری یا متوالی را با یک بلوک معادل جایگزین کنید.
- ✓ **قاعده ۲:** بلوک‌های موازی را با یک بلوک معادل جایگزین کنید.
- ✓ **قاعده ۳:** بلوک‌هایی با اتصال فیدبک را پیدا کرده و بلوک معادل آن‌ها را قرار دهید.
- ✓ **قاعده ۴:** در صورت لزوم، نقطه انشعاب را جابه‌جا کنید.
- ✓ **قاعده ۵:** در صورت لزوم، نقطه جمع را جابه‌جا کنید.
- ✓ **قاعده ۶:** قواعد بالا را تا جایی اعمال کنید که به ساده‌ترین حالت، یعنی یک بلوک برسید.

جبر نمودار بلوکی برای نقاط جمع و انشعاب



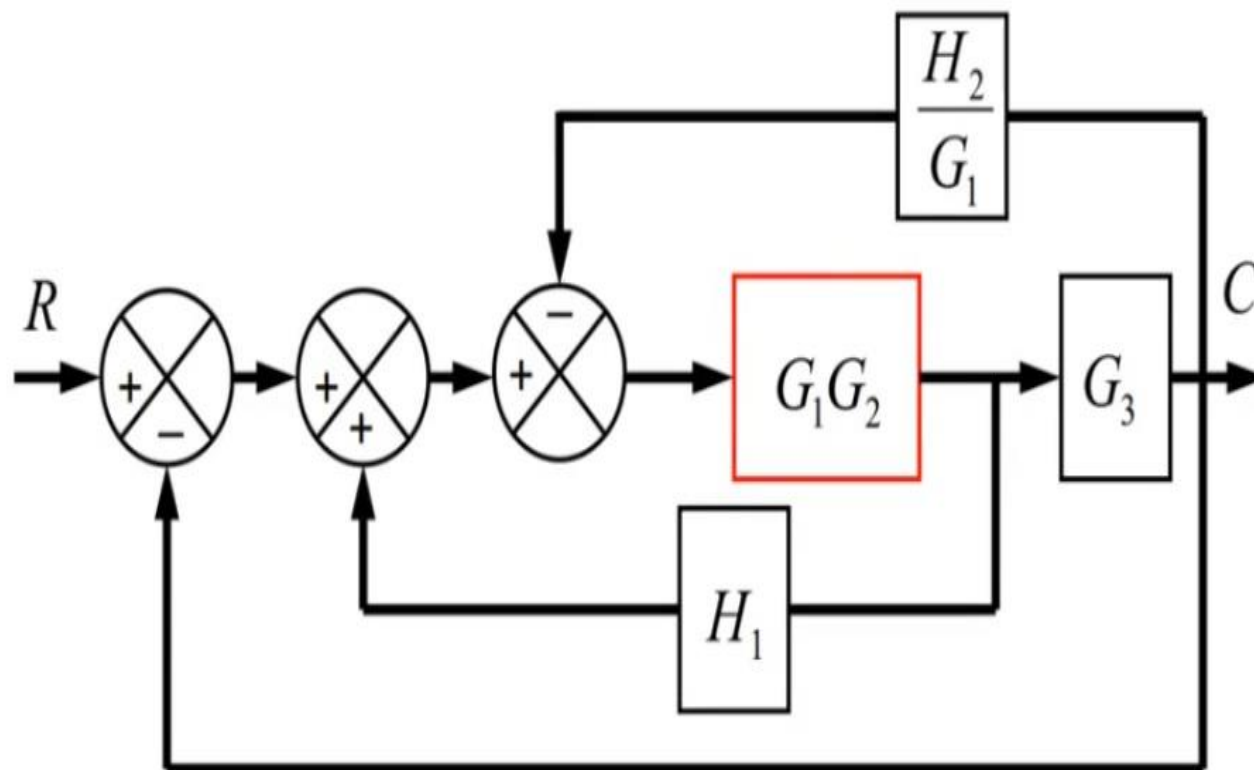
جبر نمودار بلوکی برای نقاط جمع و انشعاب

- جابجایی جمع‌کننده بعد از بلوک G_1 به قبل از آن



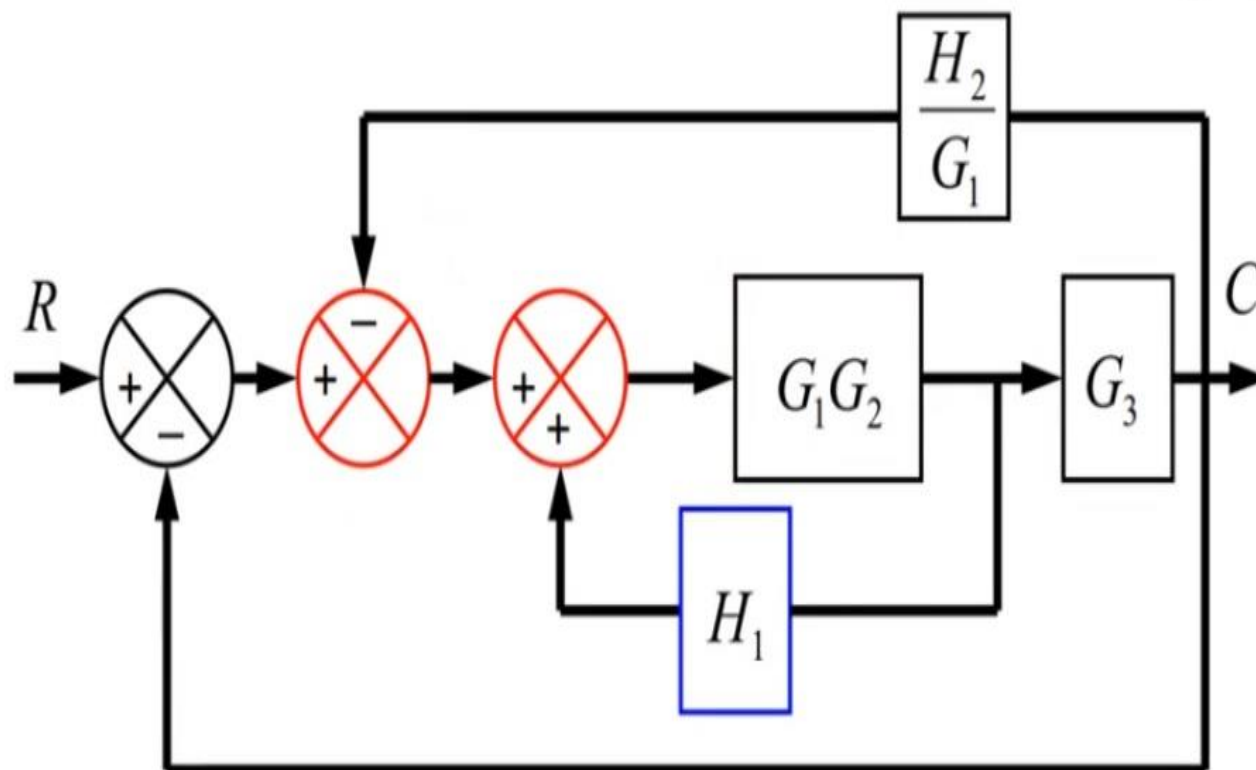
جبر نمودار بلوکی برای نقاط جمع و انشعاب

• ترکیب سری G_1 و G_2



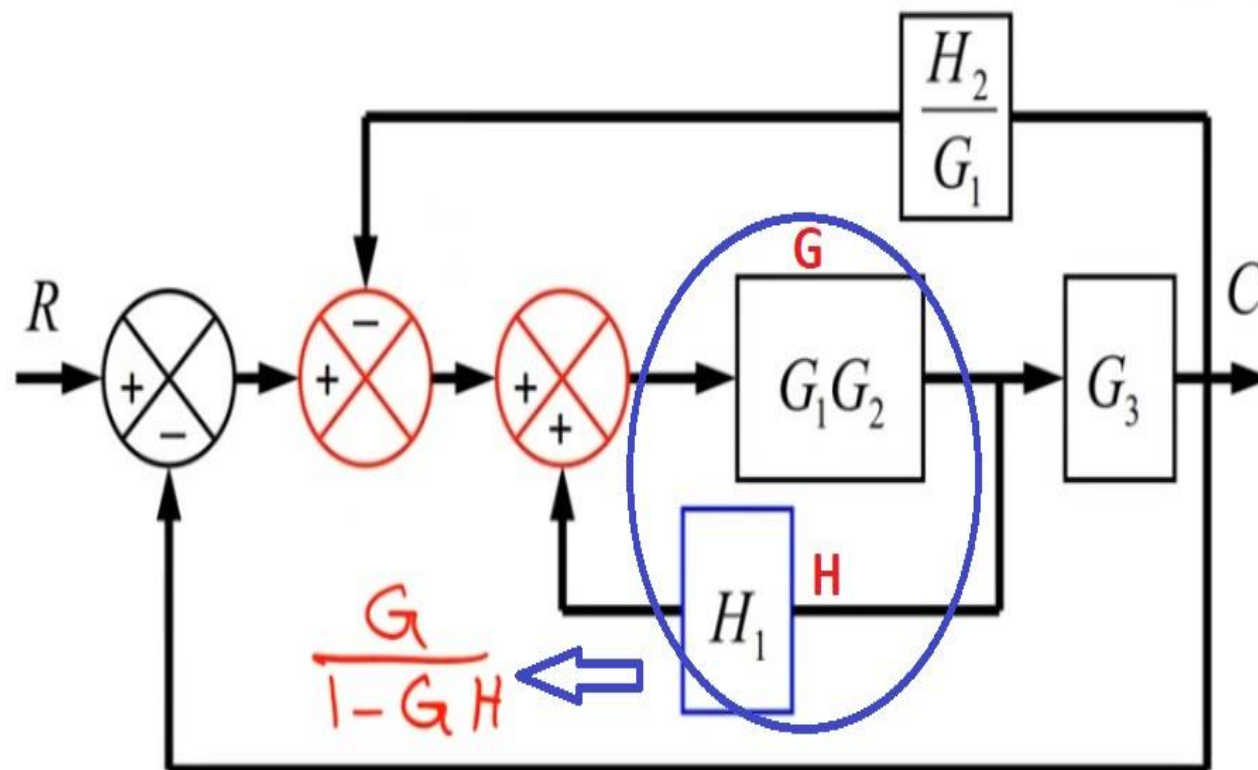
جبر نمودار بلوکی برای نقاط جمع و انشعاب

• جابجایی جمع‌کننده‌ها



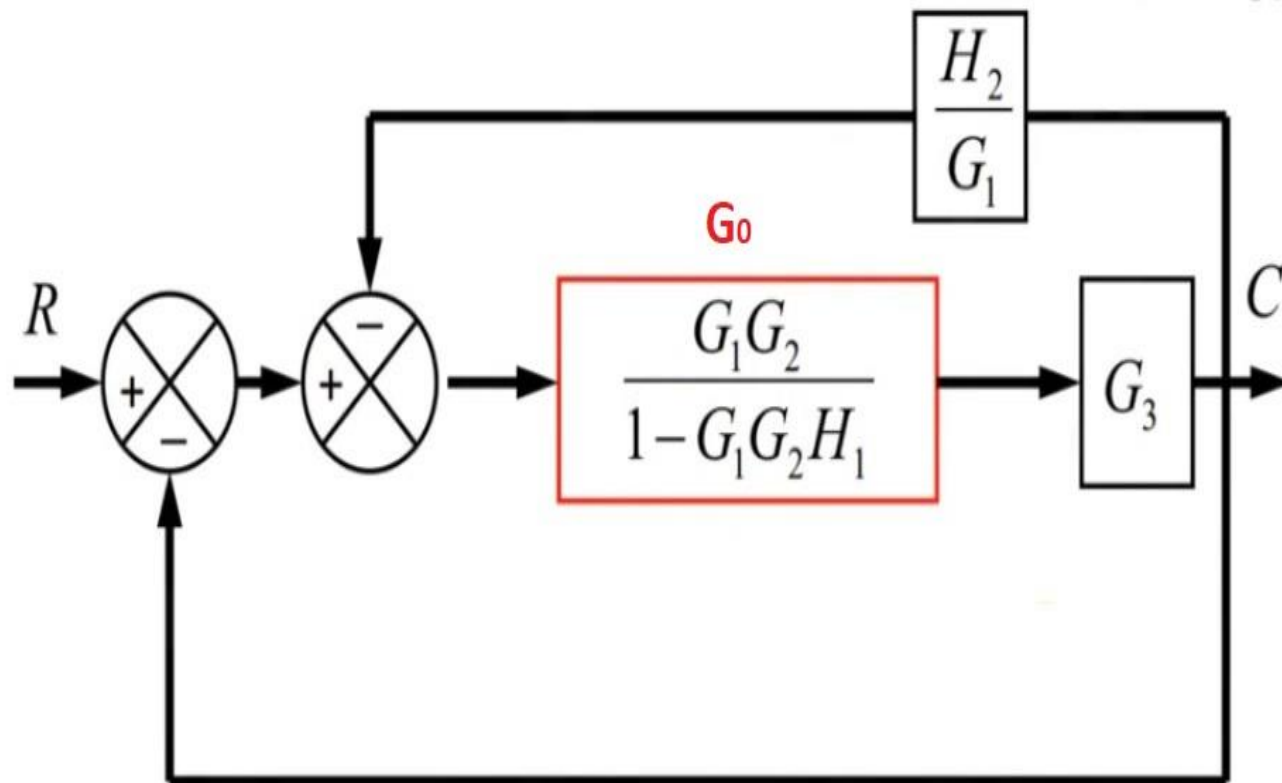
جبر نمودار بلوکی برای نقاط جمع و انشعاب

• جابجایی جمع‌کننده‌ها



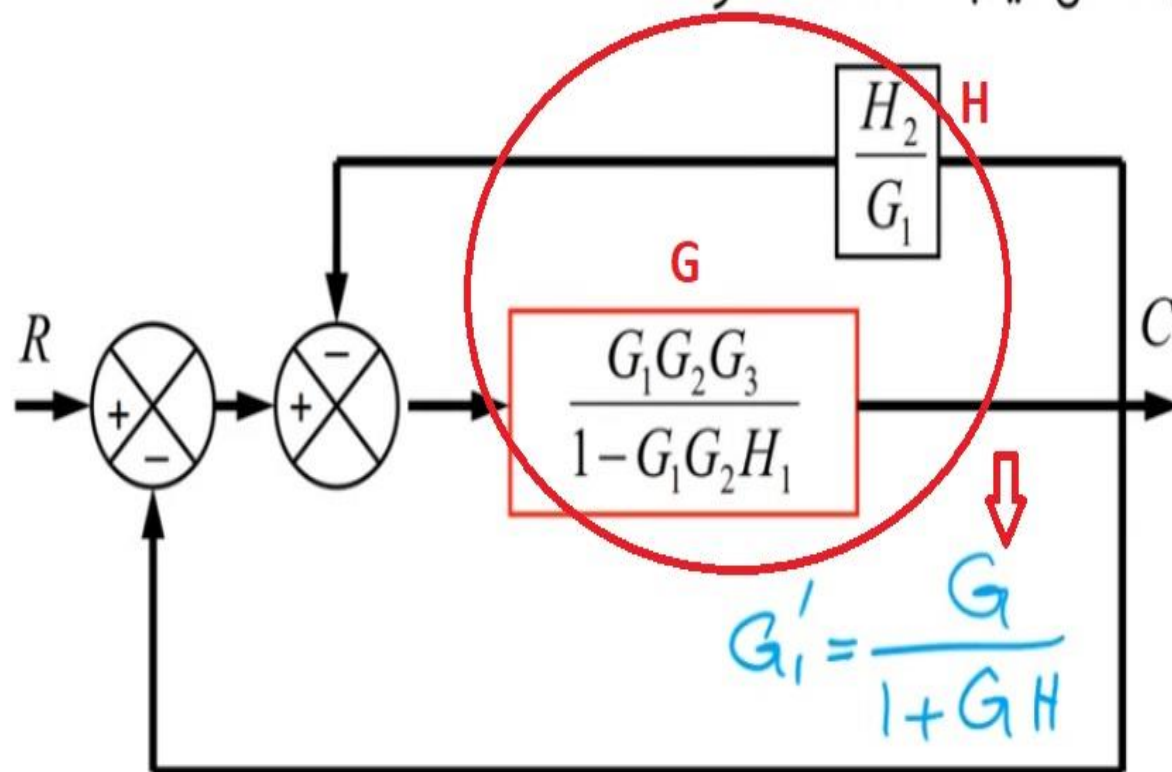
جبر نمودار بلوکی برای نقاط جمع و انشعاب

• ساده‌سازی اتصال فیدبک $G_1G_2H_1$



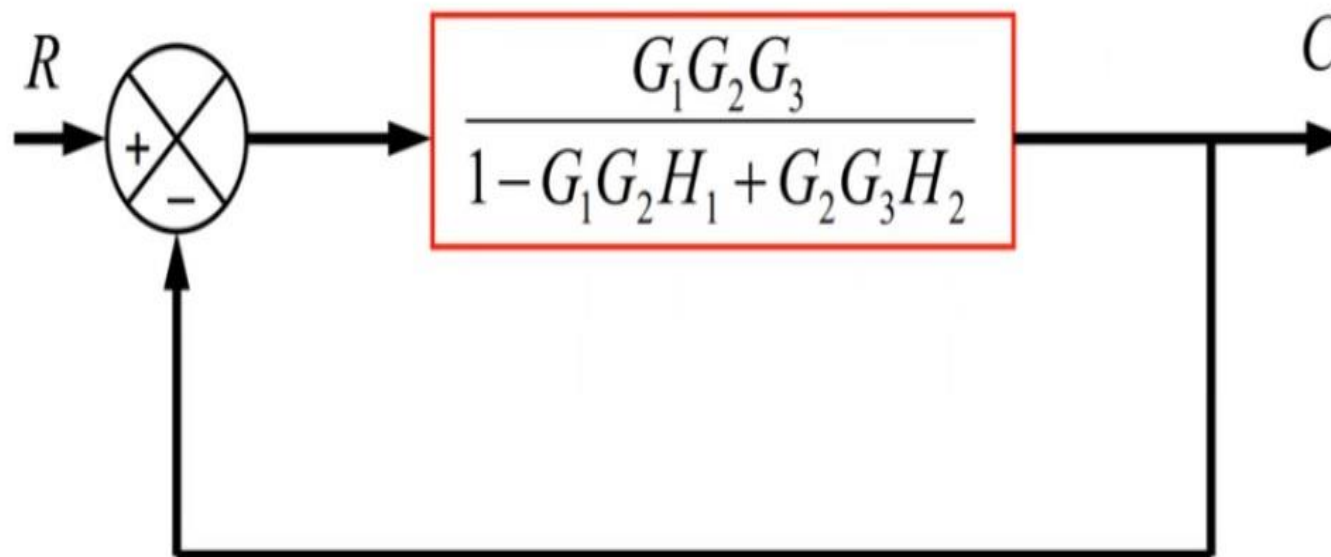
جبر نمودار بلوکی برای نقاط جمع و انشعاب

• ترکیب سری اتصال فیدبک $G_1G_2H_1$ و G_3



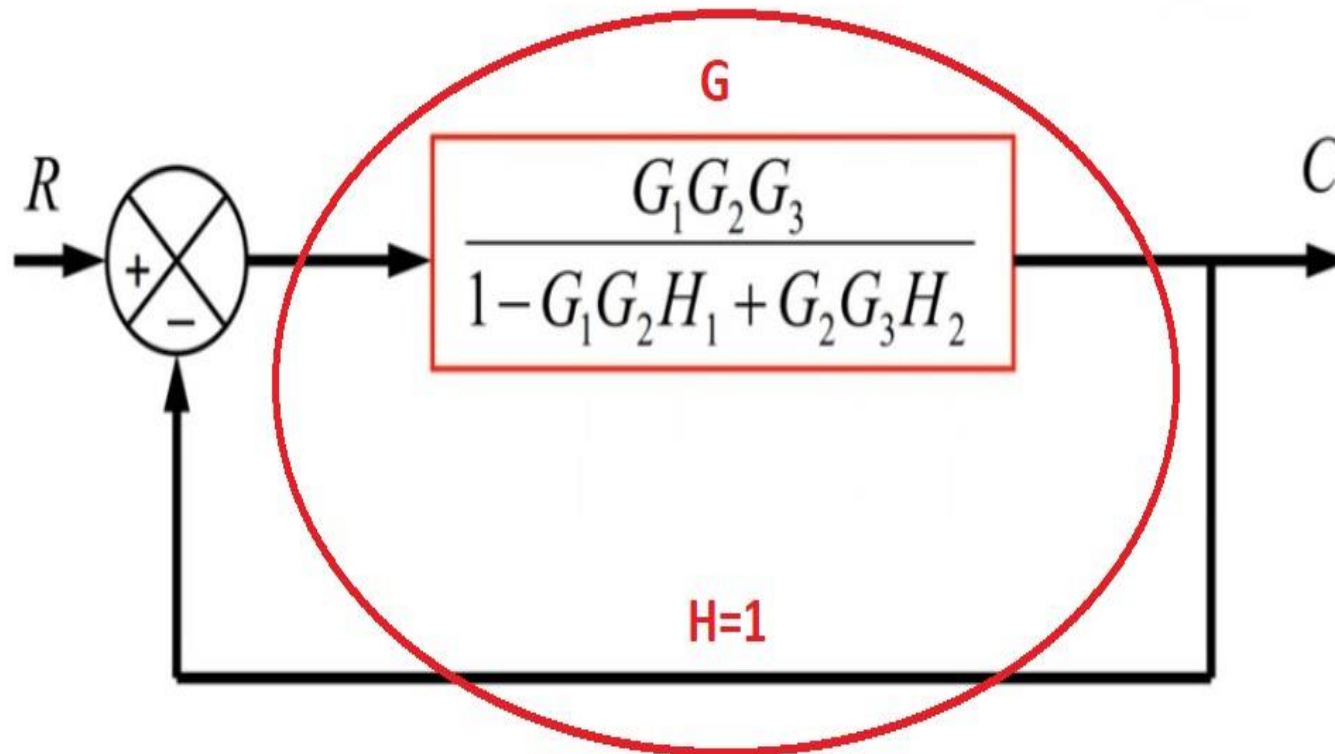
جبر نمودار بلوکی برای نقاط جمع و انشعاب

• ساده‌سازی اتصال فیدبک

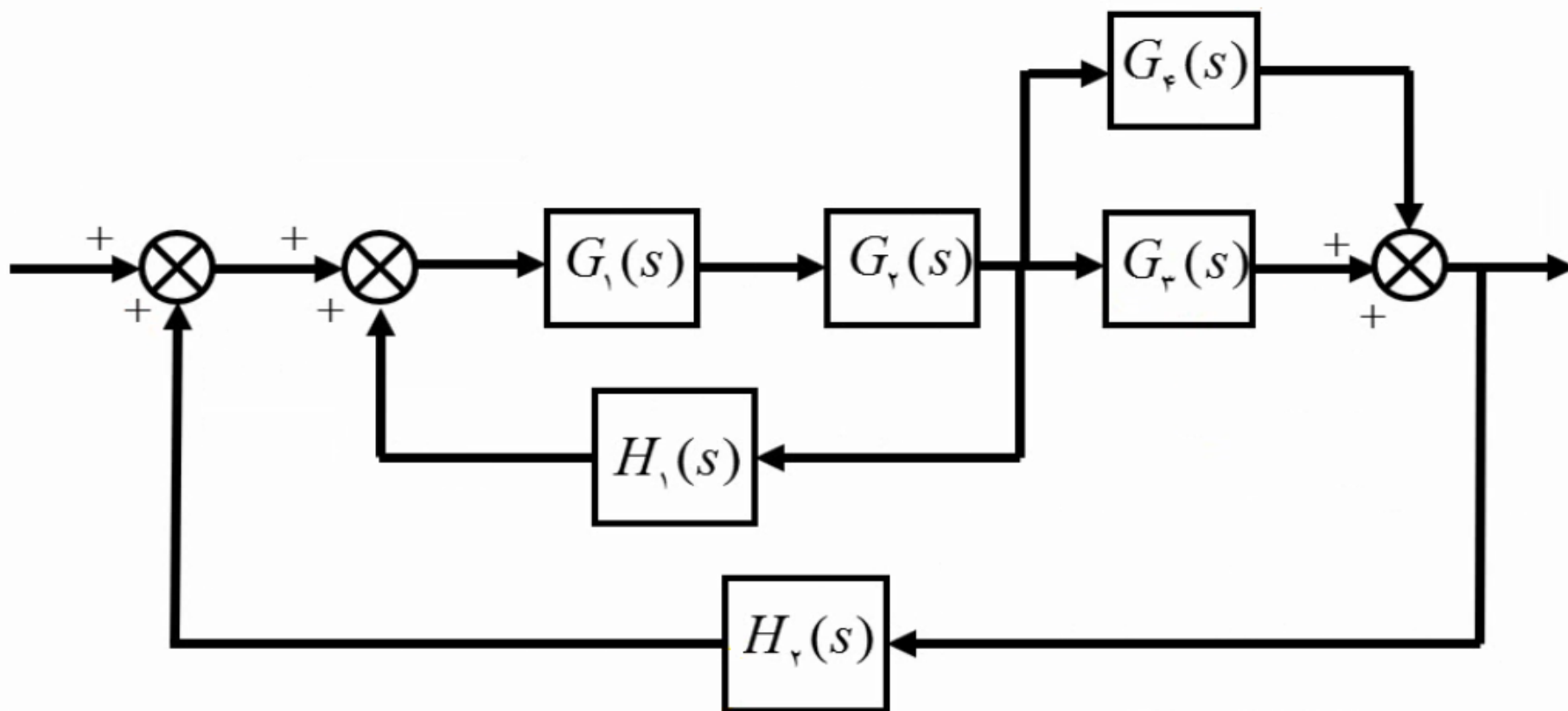


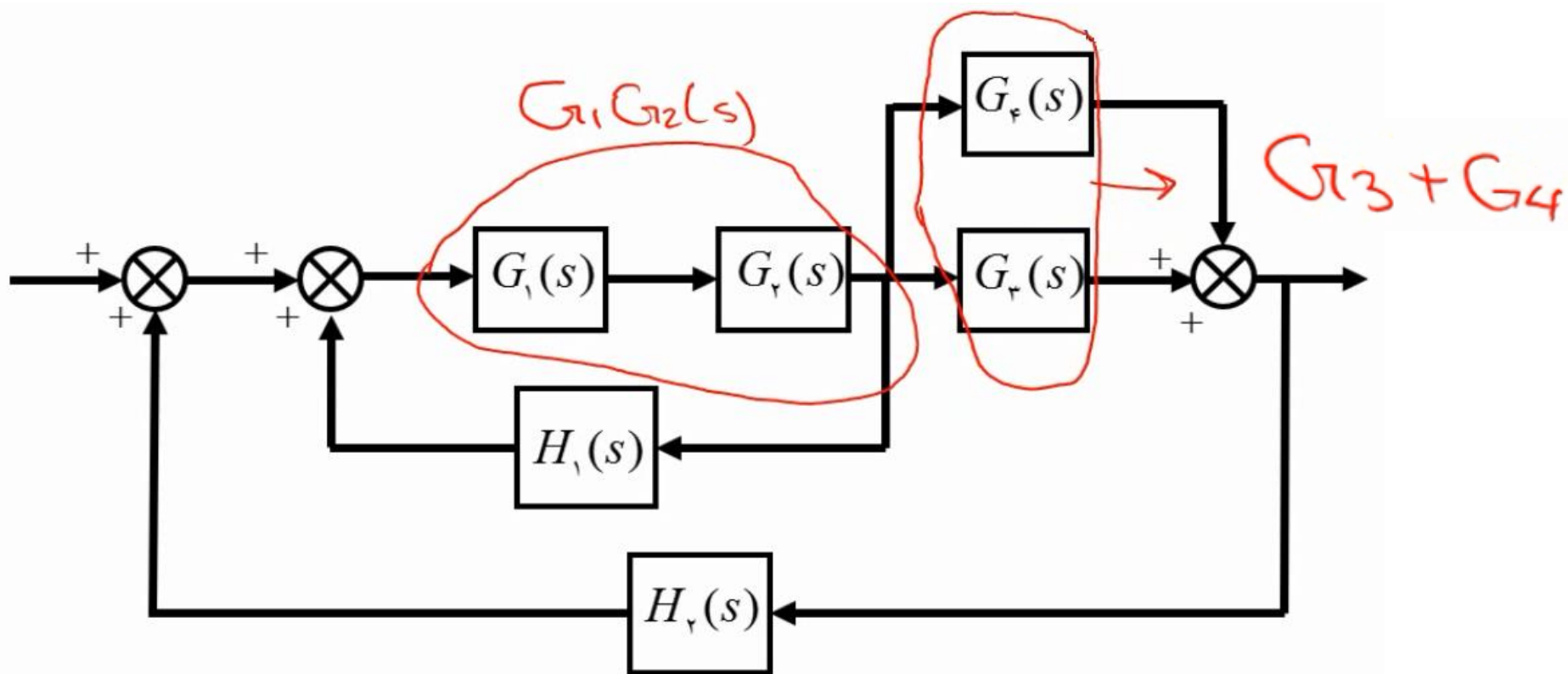
جبر نمودار بلوکی برای نقاط جمع و انشعاب

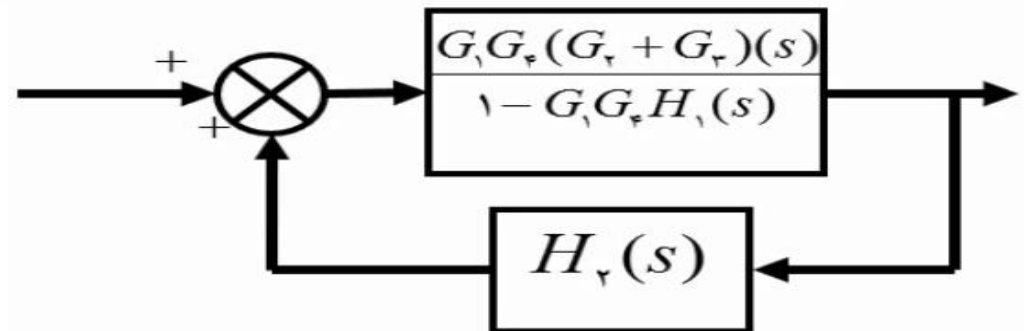
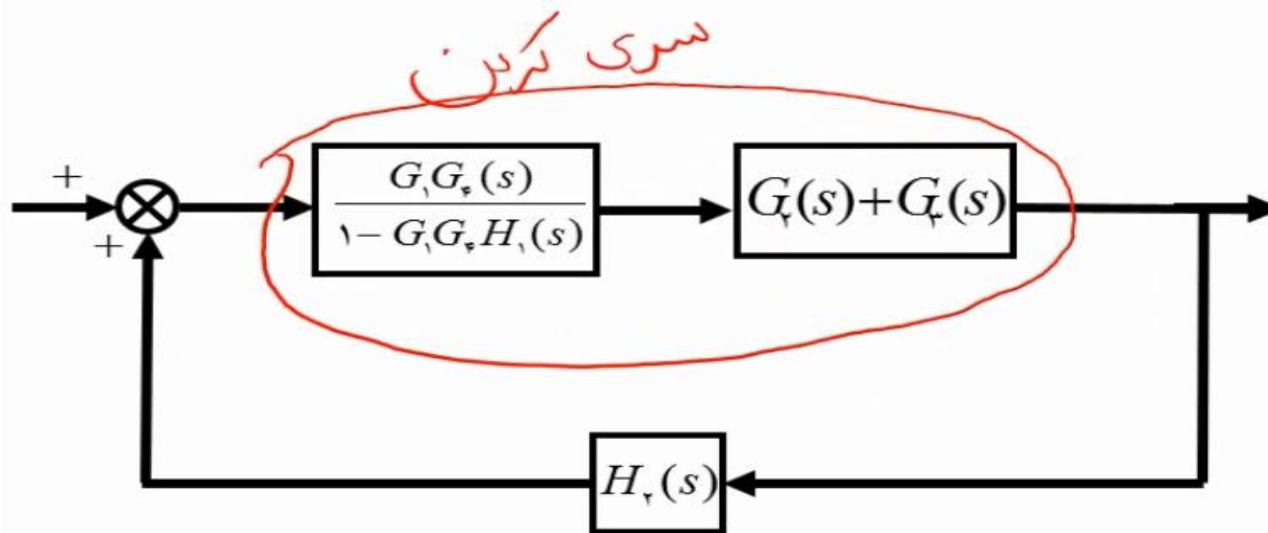
• ساده‌سازی اتصال فیدبک



$$\frac{C}{R} = \frac{G}{1+G}$$

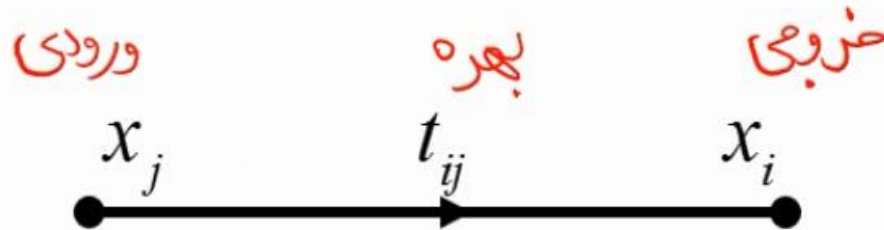






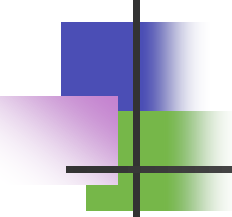
نمودارهای گذر سیگنال

نمودارهای گذر سیگنال برای توصیف ساده تر سیستم های استفاده می شوند. عبارتی که روی هر خط نوشته می شود، بهره است.



$$x_i = t_{ij} x_j$$





تعاریف مقدماتی

گره

انتقال

شاخه

گره ورودی یا منبع

گره خروجی یا سینک

گره مخلوط

مسیر

تعاریف مقدماتی

حلقه

بهره حلقه

حلقه‌های مجزا

مسیر پیشرو

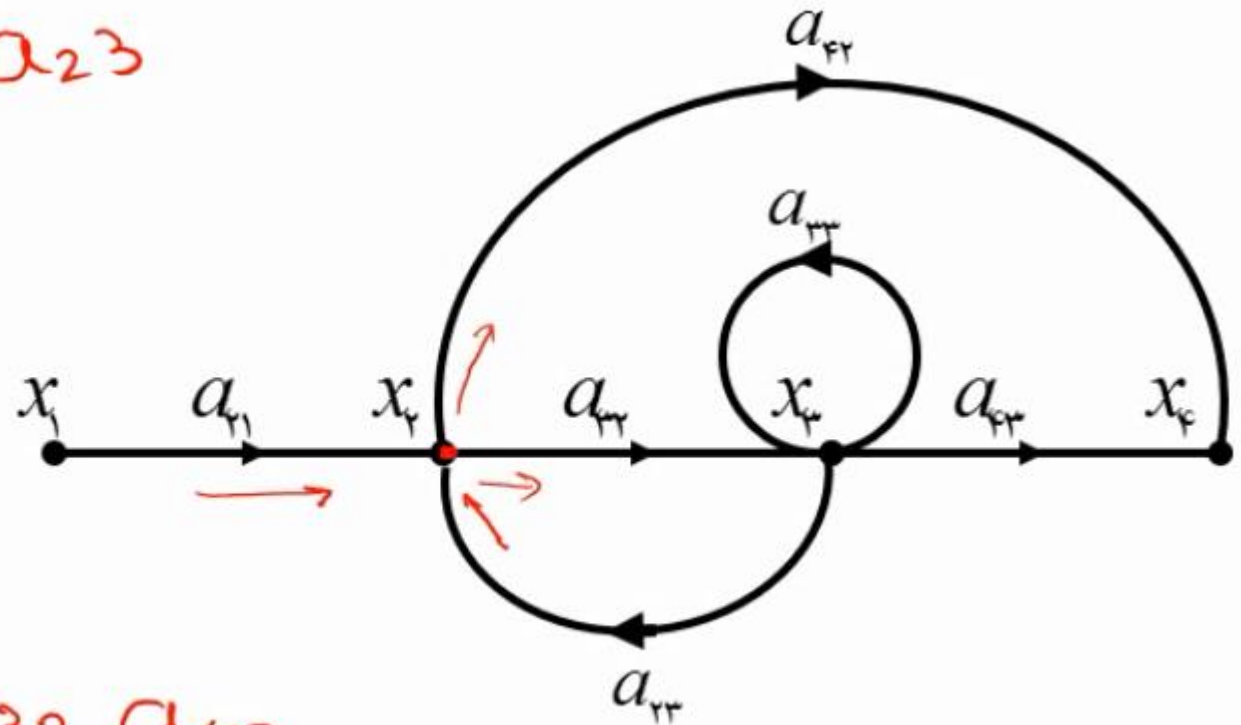
بهره مسیر پیشرو

مسیر باز ← گره ابتدایی مجزاً قطع شود

مسیر بسته ← مسیر در گره ابتدایی ختم یا بد

مسیر نه باز مانده بسته

$$L_1 = a_{32} a_{23}$$



$$\rho = a_{21} a_{32} a_{43}$$

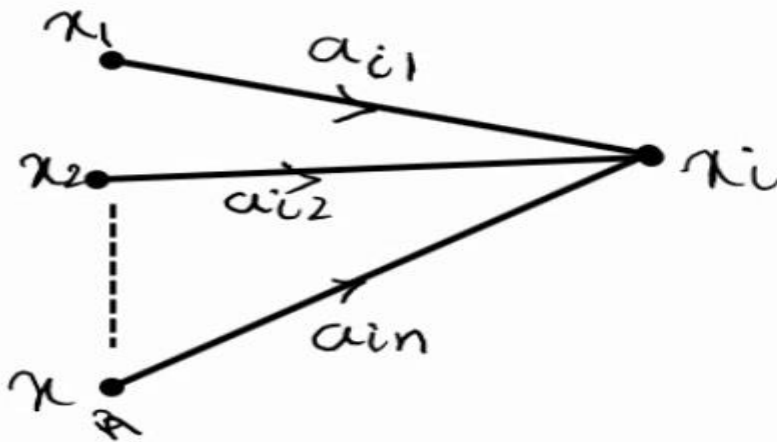
جبر نمودارهای گذر سیگنال

۱- قاعده جمع :

مقدار متغیر در گره برابر است با مجموع تمام سیگنال هایی که با آن وارد می شوند. به عبارت ، معادله زیر :

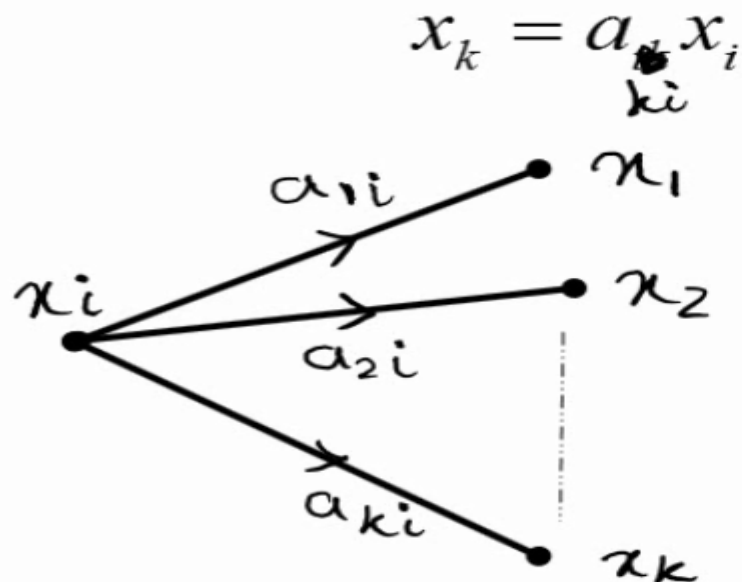
$$x_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j$$

$$x_i = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n$$



۲- قاعده انتقال :

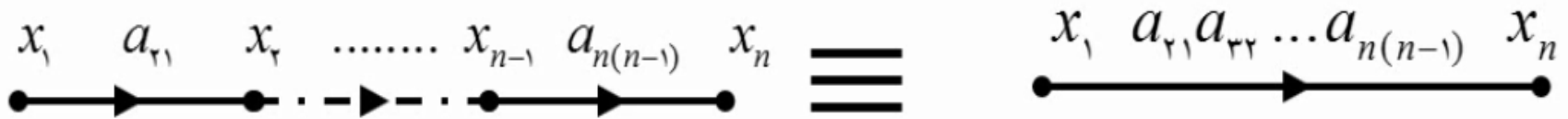
هنگامی که از گره ای شاخه هایی خارج شوند ، مقدار متغیر در آن گره با ضرب در بهره بین دو گره (تابع تبدیل یا انتقال) به گره و به بعد انتقال پیدا می کند.



$$\begin{aligned} x_1 &= a_{1i} x_i \\ x_2 &= a_{2i} x_i \\ &\vdots \\ x_k &= a_{ki} x_i \end{aligned}$$

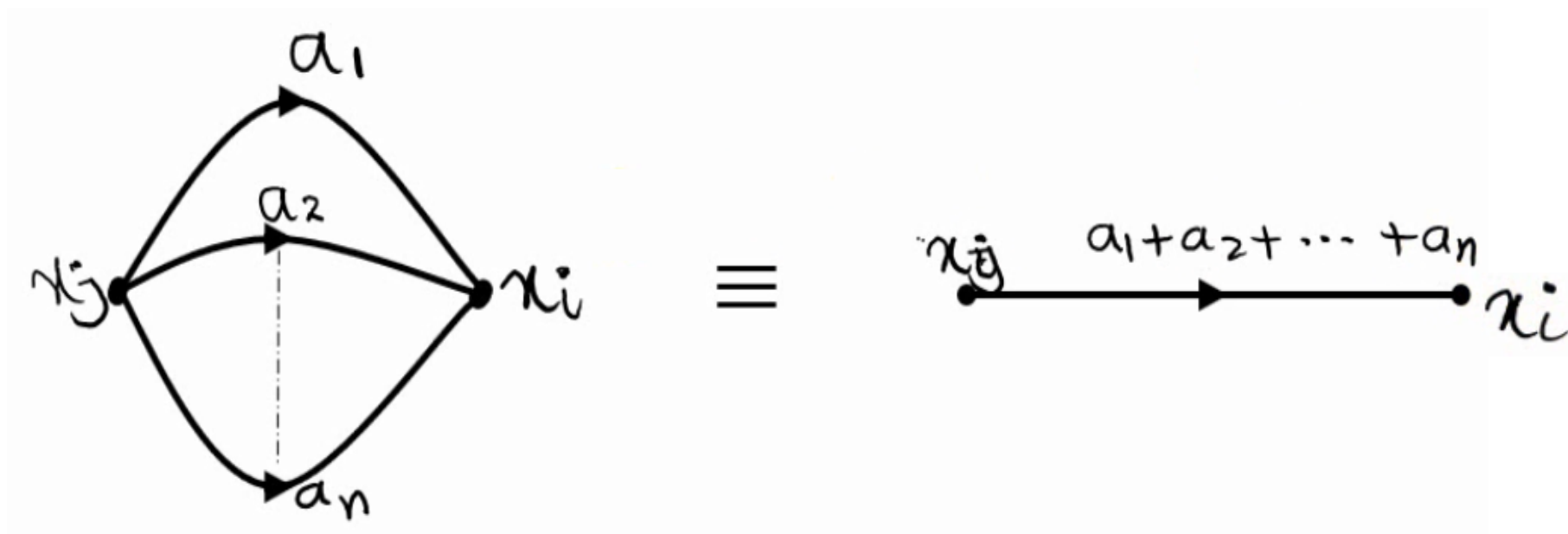
۳- قاعده ضرب :

اتصال سری از چند شاخه را می توان بصورت ضرب آنها در نظر گرفت.

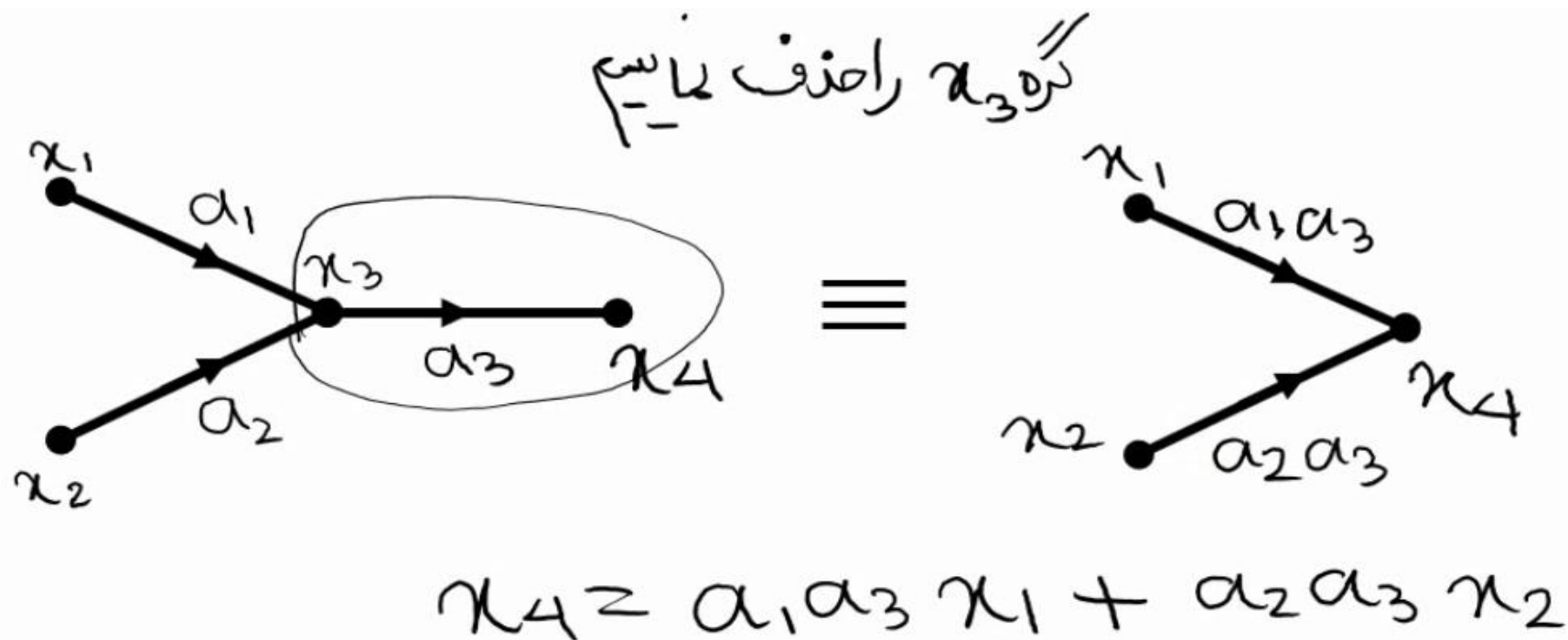


جبر نمودارهای گذر سیگنال

۴- قاعده شاخه های موازی :

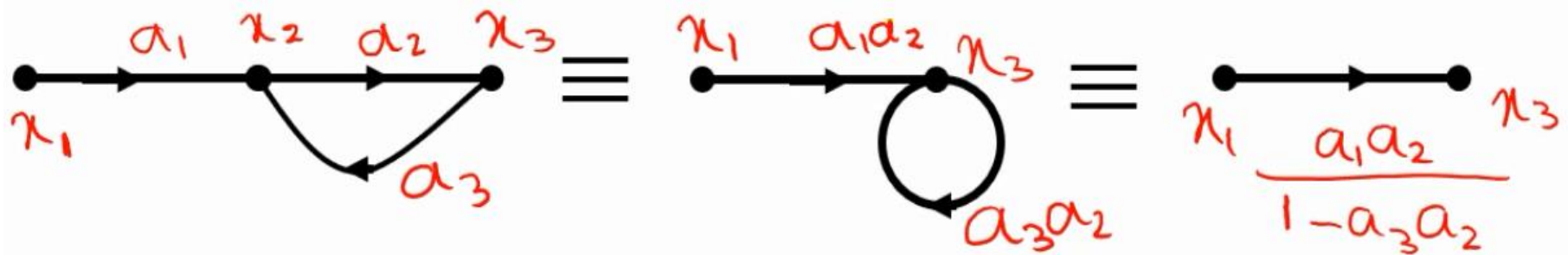


۵- قاعده حذف گره مخلوط:

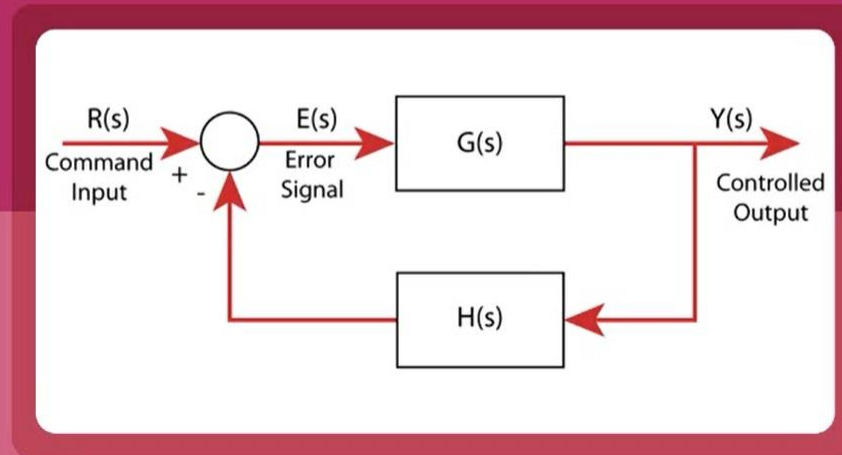


جبر نمودارهای گذر سیگنال

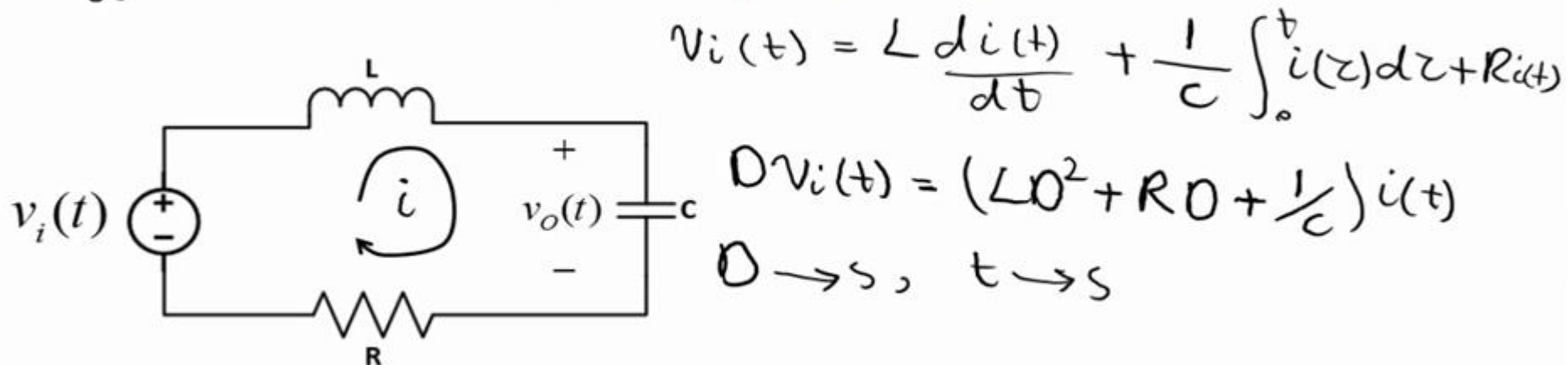
۶- قاعده حذف حلقه:



بلوک دیاگرام مدارهای الکتریکی



در مدار RLC شکل زیر تابع تبدیل بین منبع و ولتاژ خازن را بدست آورید. $\frac{d^n}{dt^n} = D^n$



$$CSV_i(s) = (LCs^2 + RCS + 1)I(s)$$

$$I(s) = \frac{CS}{LCs^2 + RCS + 1} V_i(s)$$

$$v_o(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(\tau) d\tau$$

$$D v_o(t) = \frac{1}{C} i(t)$$

$$D \rightarrow s, \quad t \rightarrow s \quad \rightarrow \quad \bar{V}_o(s) = \frac{1}{Cs} I(s)$$

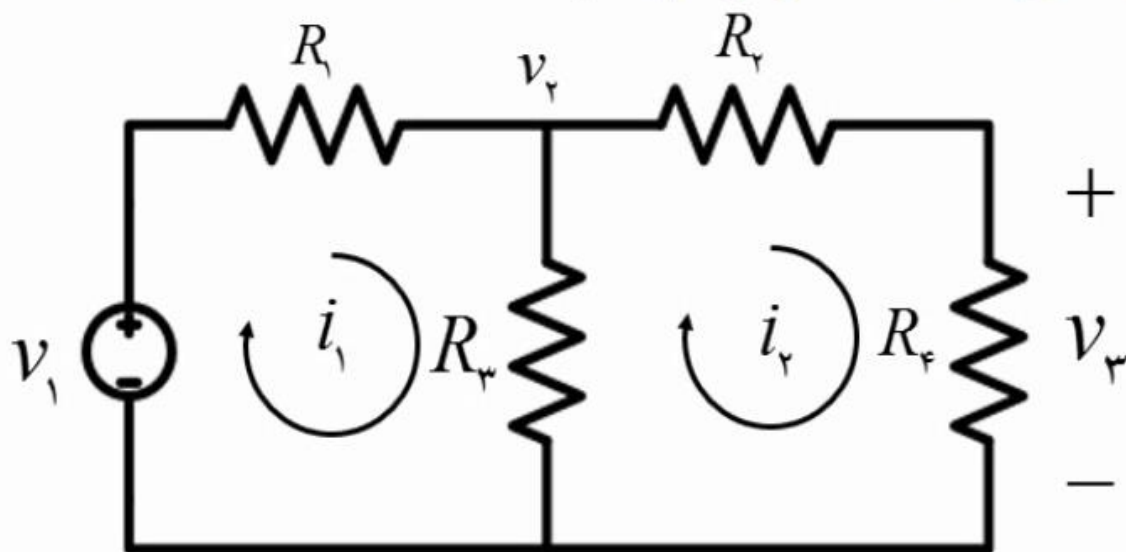
$$\downarrow$$

$$I(s) = Cs \bar{V}_o(s)$$

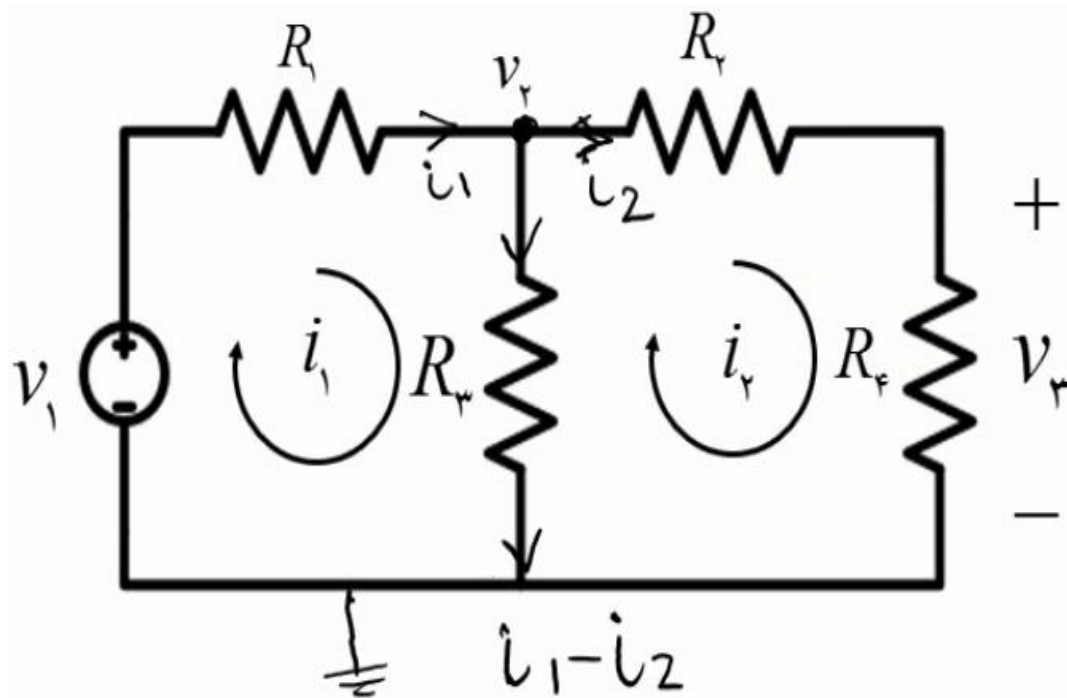
$$\frac{\bar{V}_o(s)}{\bar{V}_i(s)} = \frac{1}{Lcs^2 + RCs + 1}$$

مثال

نمودار گذر سیگنال مدار الکتریکی نشان داده شده را رسم کنید.



مثال



$$i_1 = \frac{1}{R_1} v_1 - \frac{1}{R_2} v_2$$

$$v_2 = R_3 i_1 - R_3 i_2$$

$$i_2 = \frac{v_2}{R_2} - \frac{v_3}{R_2}$$

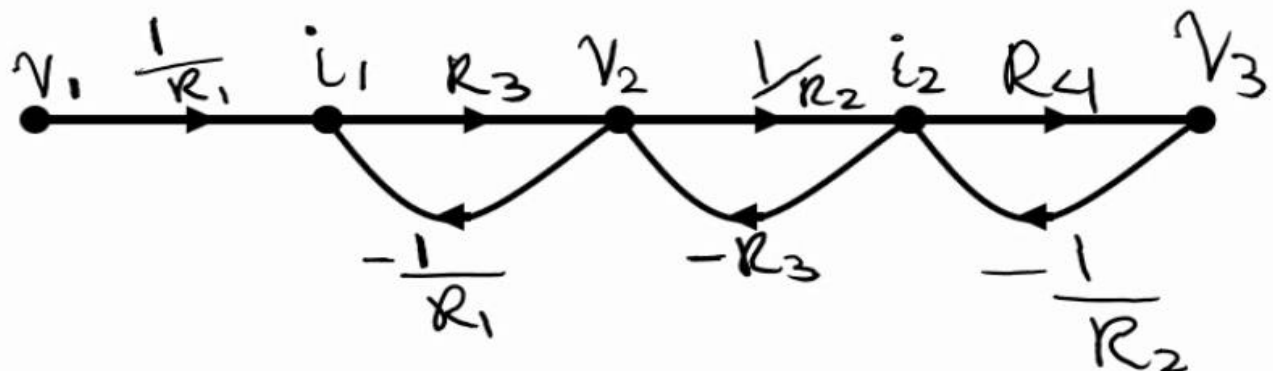
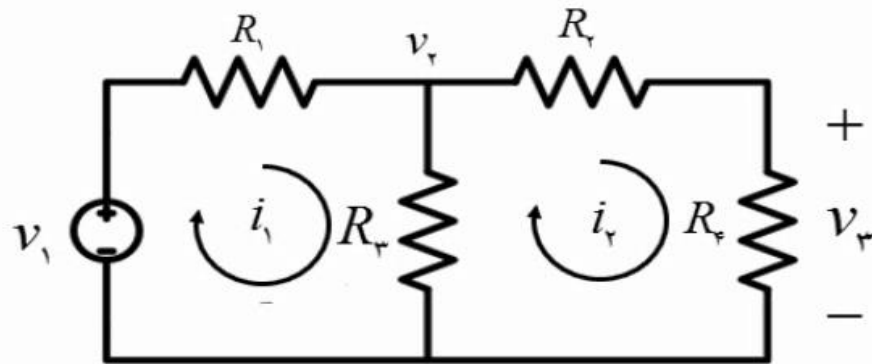
$$v_3 = R_4 i_2$$

$$i_1 = \frac{1}{R_1} v_1 - \frac{1}{R_1} v_r$$

$$v_r = R_r i_1 - R_r i_r$$

$$i_r = \frac{1}{R_r} v_r - \frac{1}{R_r} v_r$$

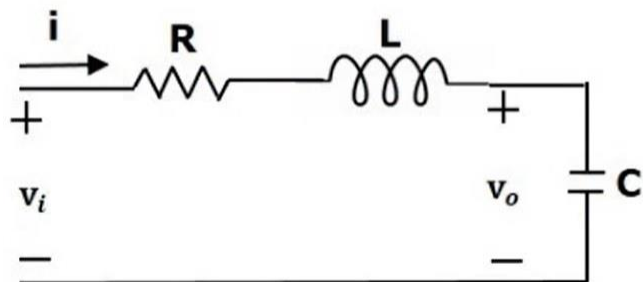
$$v_r = R_r i_r$$



بلوک دیاگرام مدارهای الکتریکی

• **گام اول:** مشخص کردن سیگنال‌هایی که می‌خواهیم در بلوک دیاگرام دیده شوند.

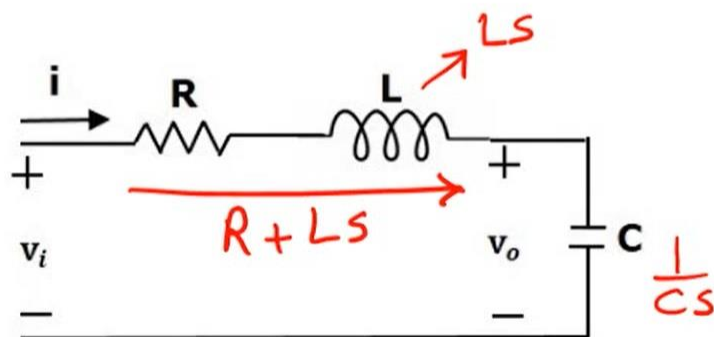
• **گام دوم:** تعیین ارتباط ریاضی بین سیگنال‌ها و سپس رسم زیربلوک‌ها



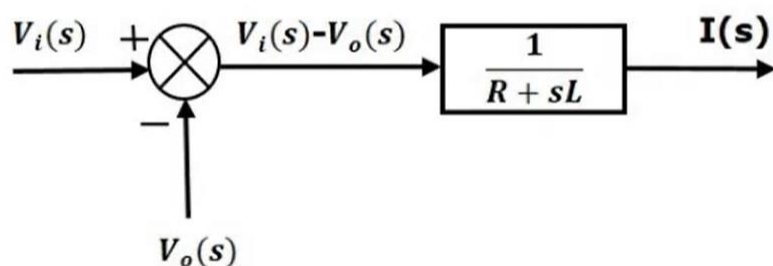
بلوک دیاگرام مدارهای الکتریکی

• **گام اول:** مشخص کردن سیگنال‌هایی که می‌خواهیم در بلوک دیاگرام دیده شوند.

• **گام دوم:** تعیین ارتباط ریاضی بین سیگنال‌ها و سپس رسم زیربلوک‌ها



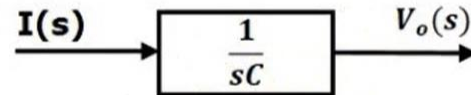
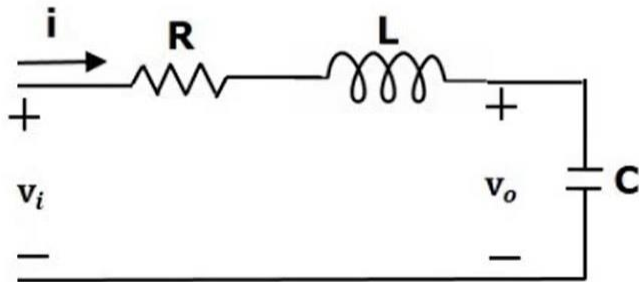
$$I = \frac{V_i - V_o}{R + Ls}$$



بلوک دیاگرام مدارهای الکتریکی

• **گام اول:** مشخص کردن سیگنال‌هایی که می‌خواهیم در بلوک دیاگرام دیده شوند.

• **گام دوم:** تعیین ارتباط ریاضی بین سیگنال‌ها و سپس رسم زیربلوک‌ها

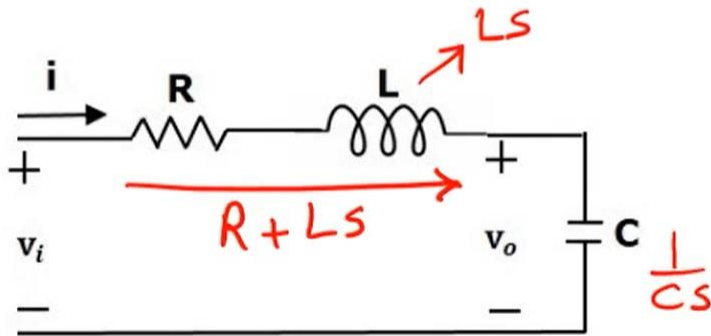


$$V_o = \frac{1}{Cs} I \Rightarrow \frac{V_o}{I} = \frac{1}{Cs}$$

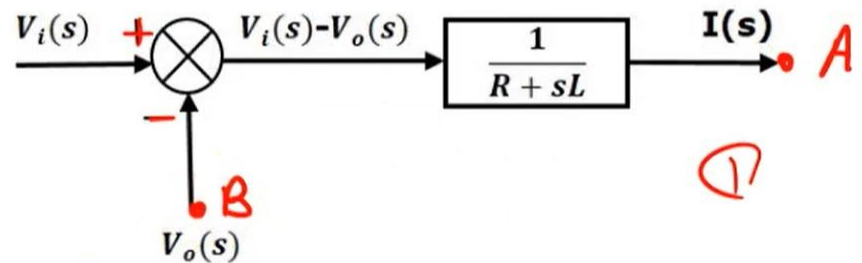
بلوک دیاگرام مدارهای الکتریکی

• **گام اول:** مشخص کردن سیگنال‌هایی که می‌خواهیم در بلوک دیاگرام دیده شوند.

• **گام دوم:** تعیین ارتباط ریاضی بین سیگنال‌ها و سپس رسم زیربلوک‌ها



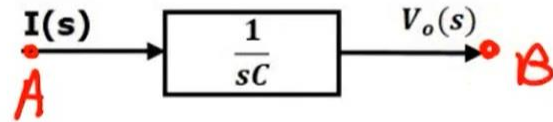
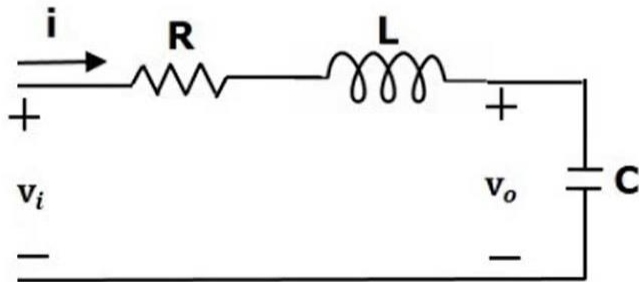
$$I = \frac{+V_i - V_o}{R + Ls}$$



بلوک دیاگرام مدارهای الکتریکی

• گام اول: مشخص کردن سیگنال‌هایی که می‌خواهیم در بلوک دیاگرام دیده شوند.

• گام دوم: تعیین ارتباط ریاضی بین سیگنال‌ها و سپس رسم زیربلوک‌ها

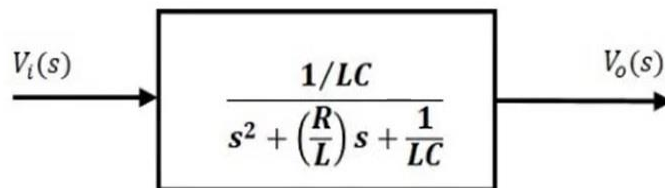


۲

$$V_o = \frac{1}{Cs} I \Rightarrow \frac{V_o}{I} = \frac{1}{Cs}$$

بلوک دیاگرام مدارهای الکتریکی

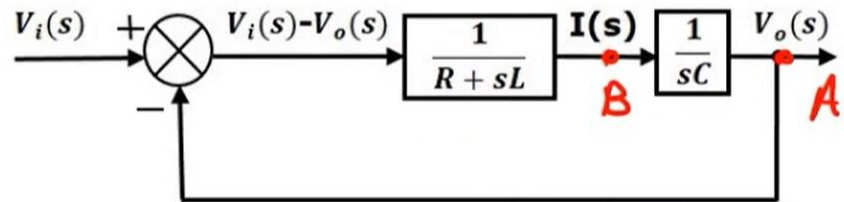
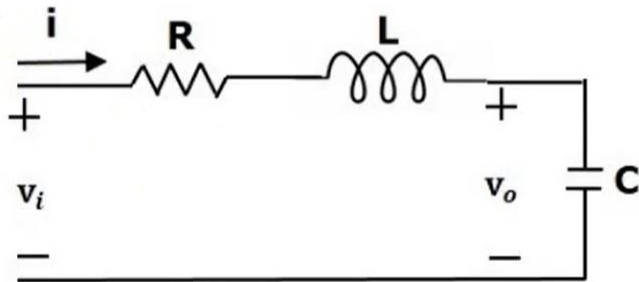
- **گام اول:** مشخص کردن سیگنال‌هایی که می‌خواهیم در بلوک دیاگرام دیده شوند.
- **گام دوم:** تعیین ارتباط ریاضی بین سیگنال‌ها و سپس رسم زیربلوک‌ها



$$V_i = (R + Ls + \frac{1}{Cs}) I$$

بلوک دیاگرام مدارهای الکتریکی

- **گام اول:** مشخص کردن سیگنال‌هایی که می‌خواهیم در بلوک دیاگرام دیده شوند.
- **گام دوم:** تعیین ارتباط ریاضی بین سیگنال‌ها و سپس رسم زیربلوک‌ها

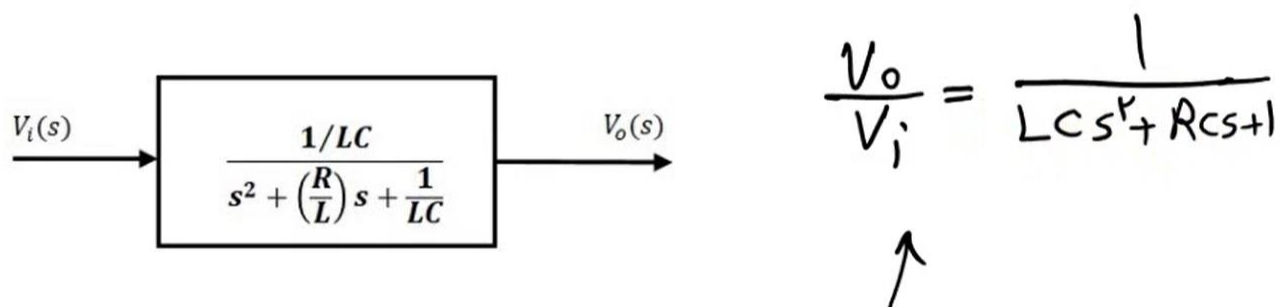


$$I = sC V_o$$

بلوک دیاگرام مدارهای الکتریکی

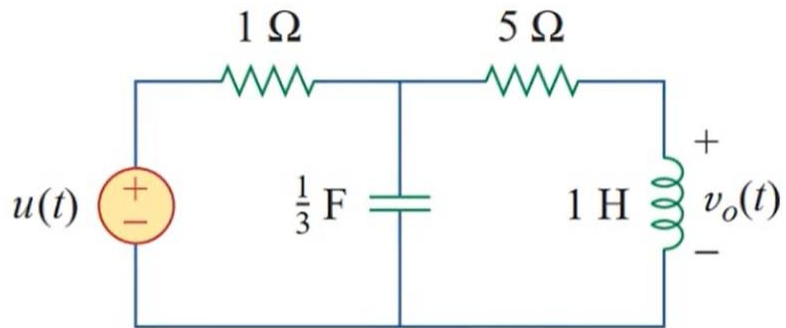
• **گام اول:** مشخص کردن سیگنال‌هایی که می‌خواهیم در بلوک دیاگرام دیده شوند.

• **گام دوم:** تعیین ارتباط ریاضی بین سیگنال‌ها و سپس رسم زیربلوک‌ها



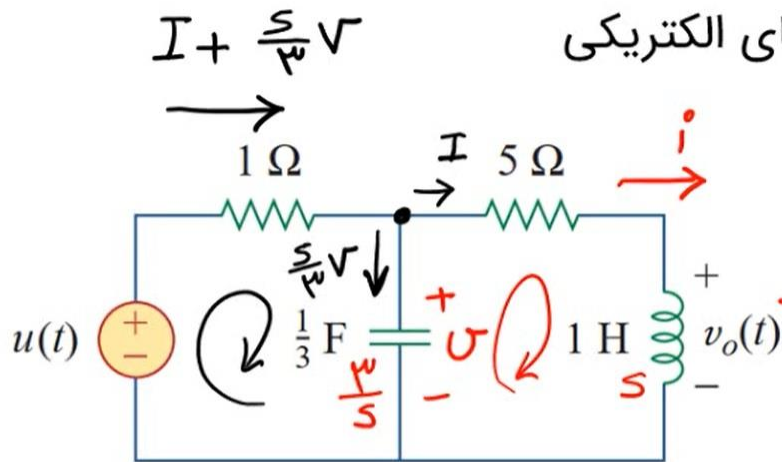
$$V_i = \left(R + Ls + \frac{1}{Cs} \right) Cs V_o = (LCs^2 + RCs + 1) V_o$$

بلوک دیاگرام مدارهای الکتریکی

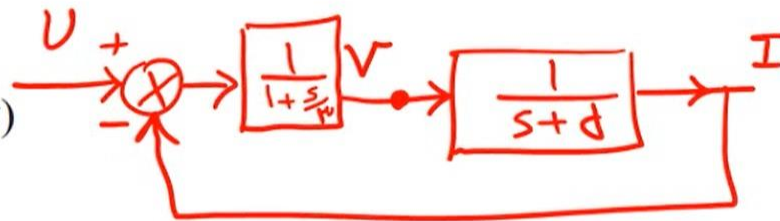


• مثال دوم:

بلوک دیاگرام مدارهای الکتریکی



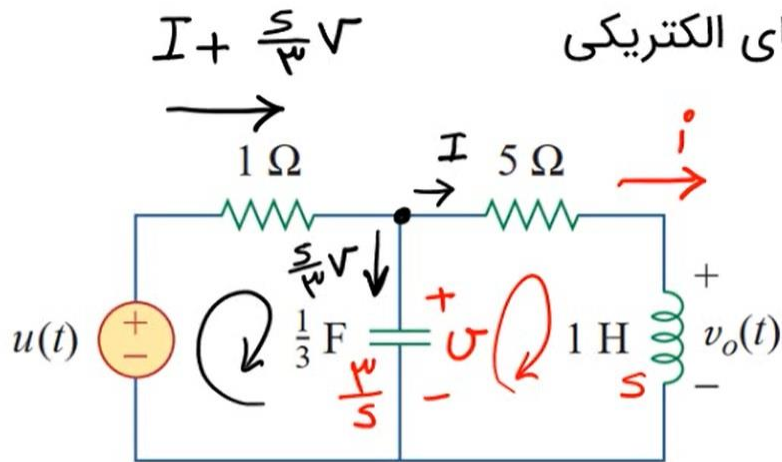
• مثال دوم:



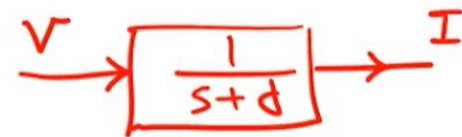
$$V = (\delta + s) I \Rightarrow I = \frac{V}{s + \delta}$$

$$U(s) = I + \frac{s}{\mu} V + V \Rightarrow V = \frac{U(s) - I(s)}{1 + \frac{s}{\mu}}$$

بلوک دیاگرام مدارهای الکتریکی



• مثال دوم:



$$V = (\delta + s) I \Rightarrow I = \frac{V}{s + \delta}$$

$$U(s) = I + \frac{s}{\mu} V + V \Rightarrow V =$$

$$\frac{U(s) - I(s)}{1 + \frac{s}{\mu}}$$