



2.1.TRANSFER FONKSİYONLARI

Denetim kuramında, **transfer fonksiyonları (aktarım işlevleri)** olarak isimlendirilen fonksiyonlar çoğunlukla doğrusal sistemlerin (zaman değişmeyen sistemler) giriş-çıkış bağıntılarını karakterize etmek için kullanılırlar. Transfer fonksiyonu kavramı yalnızca doğrusal sistemlere uygulanabilir.

Transfer fonksiyonu; bir doğrusal sistemin transfer fonksiyonu, tüm başlangıç koşullarının sıfır olduğu varsayımı altında, çıkış fonksiyonu Laplace dönüşümünün giriş fonksiyonu Laplace dönüşümüne oranı olarak tanımlanır.

Aşağıdaki diferansiyel denklem ile tanımlanan doğrusal sistemi ele alalım;

$$a_n \frac{d^n x}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dx}{dt} + a_0 x = \quad (2.1.)$$

$$b_m \frac{d^m y}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} y}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{dy}{dt} + b_0 y \quad (n \geq m)$$



burada $y=y(t)$ sistemin çıkış veya cevap fonksiyonu ve $x = x(t)$ sistemin giriş veya uyarı fonksiyonudur. Bu sistemin transfer fonksiyonunu elde etmek için, sıfır başlangıç koşulları altında (2.1.) nolu denklemin her iki tarafının Laplace dönüşümünü aldıktan sonra çıkışı girişe oranlarsak;

$$TF = \frac{\text{Çıkış}}{\text{Giriş}} \text{ veya } TF = \frac{\text{Çıkış fonksiyonu L.D. (sıfır başlangıç koşullarında)}}{\text{Giriş fonksiyonu L.D. (sıfır başlangıç koşullarında)}}$$

veya

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0} \quad (2.2.)$$

2.2. TRANSFER FONKSİYONUNUN TEMEL ÖZELLİKLERİ

- a) Transfer fonksiyonu sistem parametreleri cinsinden bir doğrusal sistemin çıkış ve girişini oranlayan bir ifade ve sistemin bizzat kendisine ait bir özelliktir. Sisteme uygulanan giriş veya uyarı fonksiyonundan bağımsızdır. Transfer fonksiyonu sistemin çıkışını girişine oranlamak için gerekli birimleri içerir, fakat sistemin fiziksel yapısı ile ilgili hiçbir bilgi taşımaz. Bu nedenle farklı fiziksel yapılara sahip pek çok fiziksel sistemin transfer fonksiyonları birbirlerinin aynı olabilir.



- b) Bir sistemin transfer fonksiyonu o sistemin anidarbe giriş fonksiyonu cevabının Laplace dönüşümüdür. Buna göre, eğer transfer fonksiyonu $G(s)$ olan bir sisteme anidarbe giriş fonksiyonu uygulanacak olursa çıkış fonksiyonu da $G(s)$ 'e eşit olur.
- c) Sistem transfer fonksiyonu, tüm sıfır başlangıç koşulları altında, sisteme ait diferansiyel denklemin Laplace dönüşümünü almak suretiyle elde edilir. Eğer giriş fonksiyon $X(s)$ ve çıkış fonksiyonu $Y(s)$ ise, transfer fonksiyonu;

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} \quad (2.3.)$$

- d) Transfer fonksiyonunda 's', değişkeni yerine $D=d/dt$ ile tanımlanan 'D' diferansiyel operatörünü koymak sureti ile sistemin diferansiyel denklemi elde edilebilir.
- e) Bir doğrusal sistemin kararlılığı transfer fonksiyonun paydası olan özyapısal fonksiyondan saptanabilir. Transfer fonksiyonun paydası sıfıra eşitlenerek özyapısal denklem elde edilir ve bu denklemin kökleri de sistemin kutupları adını alır. Sonuç olarak eğer paydanın tüm kökleri negatif gerçekte kısımlara sahipse sistem kararlı olur. Aksi taktirde paydanın köklerinden (veya kutupları) bir tanesi dahi pozitif gerçekte kısıma sahip ise sistem kararsız olur.



Paydanın kökleri **transfer fonksiyonun kutupları** ve payın kökleri de **transfer fonksiyonunun sıfırları** adını alır. (2.2.) nolu denklemle verilen transfer fonksiyonun pay ve paydasını çarpanlarına ayırırsak;

$$G(s) = \frac{K(s+z_1)(s+z_2)\cdots(s+z_m)}{(s+p_1)(s+p_2)\cdots(s+p_n)} \quad (2.4.)$$

burada,

z_m = Transfer fonksiyonun sıfırları

p_n = Transfer fonksiyonun kutupları

Daha önce de belirtildiği gibi, özyapısal denklemin kökleri, yani transfer fonksiyonun kutupları gerçekte veya karmaşık eşlenik çiftler şeklinde ortaya çıkar. Ayrıca sistemin kararlı olabilmesi için tüm kutupların gerçekteki kısımları negatif değeri olmalı yani diğer bir deyişle tüm kutuplar karmaşık sayı, s düzleminin sol yarısında yer almalıdır.

Sıfırların karmaşık sayı düzlemi içindeki yeri doğal olarak sistemin dinamik davranışına etki edecek fakat sıfırların yerinin sistem kararlılığı üzerinde hiçbir etkisi olmayacaktır.

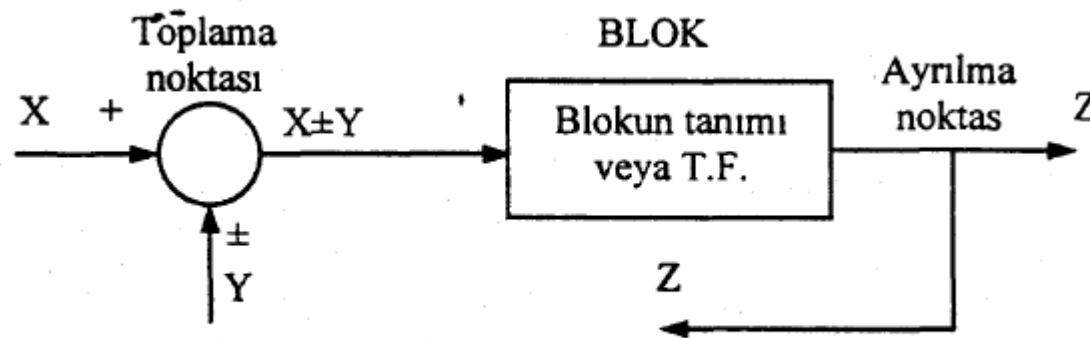


2.4. BLOK DİYAGRAMLARI (ÖBEK ŞEMALARI)

Bir denetim sistemi belli sayıda elemanlardan meydana gelmiştir. Bir sistemin blok diyagramı, sistemin her bir elemanı tarafından icra edilen fonksiyonlar ve sinyaller akışının grafiksel gösterimidir. Blok diyagramı çeşitli elemanlar arasında varolan karşılıklı bağıntıyı tanımlar. Tamamen soyut matematiksel gösterimden farklı olarak, bir blok diyagramı sistemin sinyal çıkışını daha gerçekçi bir şekilde gösterebilir.

2.4.1. BLOK DİYAGRAMIN ELEMANLARI

Bir blok diyagramı, bloklar, oklar, toplama noktaları ve ayrılma noktalarından (kol noktası) meydana gelmiştir. Blok diyagramında tüm sistem değişkenleri birbirine işlevsel bloklar boyunca bağlanır (Şekil 2-8).

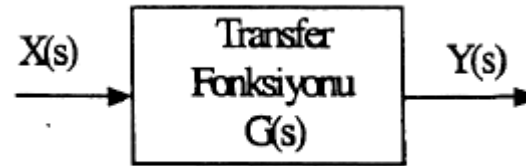


Şekil 2-8 Blok şema elemanları



a) İşlevsel Blok veya Blok: Sistem değişkenleri arasındaki giriş-çıkış bağıntısının belirli bir şeklini gösterir. Hi genellikle karşılık gelen sistem transfer fonksiyonu yazılır.Şekil

2-9'da bir blok diyagramının blok elemanı gösterilmiştir.Bir bloktan alınan çıkış işareti, giriş işareti kere transfer fonksiyonu olup, $[Y(s) = X(s)G(s)]$ çıkış işareti veya büyüklüğünün birimi, giriş büyüklüğü birimi kere transfer fonksiyonu biriminden ibarettir.Her bir blok kendisine yönelmiş ve giriş işaretini gösteren bir ok ile kendisini terk eden ve çıkış işaretini gösteren bir okla birlikte verilir. Bloklar birbirine bu oklarla bağlanır.



Şekil 2-9

b) Oklar: Bir blok diyagramının bloklarını ve diğer elemanlarını birbirine bağlayan ve sinyallerin akış yönünü gösteren elemanlardır. Bu elemanlar blok diyagramı içinde sinyaller veya işaretler olarak ele alınır. Okların yönü sinyallerin akış yönünü gösterir ve bir blok diyagramı içinde sinyaller yalnızca oklar yönünde akabilir.



c) Toplama Noktaları: Bir toplama noktası Şekil 2-8'de gösterildiği gibi toplama işlemini belirten içi boş veya içine çapraz konmuş bir çemberle gösterilir. Kendisine yönelmiş her bir okun ucunda yer alan artı veya eksi işareti bu sinyallerin birbirleri ile toplanacağını veya birbirlerinden çıkarılacağını belirtir. Toplama noktasında toplama ve çıkarma işlemi yapılan niceliklerin aynı boyutlara ve aynı birimlere sahip olması gerekir.

Toplama noktaları, bir blok diyagramı içinde yerine getirdikleri işlevlere göre mukayese noktası veya hata seçici ve toplayıcı olmak üzere iki şekilde bulunurlar.

Hata seçici bir denetim sistemi başvuru giriş sinyali ile geribesleme sinyali arasındaki farka eşit bir sinyal üretir. Hata seçici, kapalı-döngü denetim sistemi içinde arzu edilen giriş değeri ile denetlenen çıkış değerini sürekli olarak karşılaştıran bir mukayese elemanıdır. Bu karşılaştırma sonucu ortaya çıkan sinyal ise **hata sinyali** adını alır.

Toplama noktası ayrıca bir blok diyagramı içinde çeşitli noktalarda kendisine yönelmiş sinyallerin, örneğin bozucu giriş gibi toplanmasını da temsil eder.



d)Ayrılma Noktaları veya Kol Noktaları: Oklar ile temsil edilen sinyallerin kollara ayrıldığı ve bir bloktan ayrılan çıkış sinyalinin aynı zamanda diğer bloklara veya toplama noktalarına gittiği noktalardır.

2.4.2. BLOK DİYAGRAMIN TEMEL ÖZELLİKLERİ

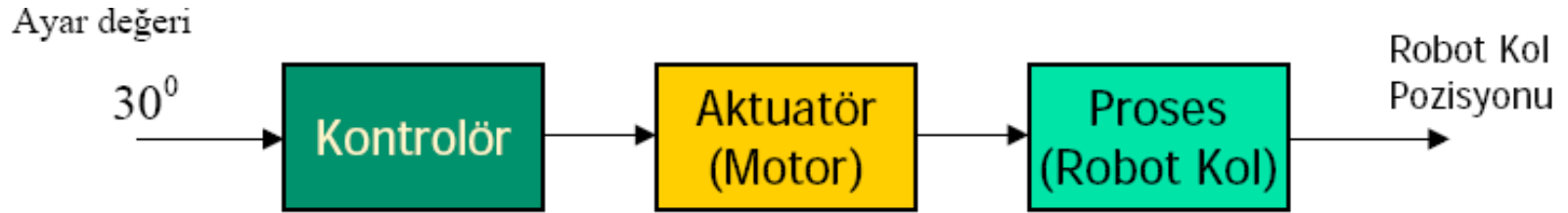
- a) Blok diyagramı gerçek sistemin sinyal akışlarını gösterir. Bu nedenle sistemin soyut matematiksel gösterimine göre sistemi daha gerçekçi bir şekilde temsil eder.
- b) Bir blok diyagramı sistemin dinamik davranışı ile ilgili bilgiyi içermekte olup sistemin fiziksel yapısı ile ilgili herhangi bilgi içermez. Bu nedenle birbirine benzemeyen ve birbiri ile hiçbir ilişkisi olmayan sistemler aynı blok diyagramı ile gösterilebilir.
- c) Blok diyagramı üzerinde enerjinin esas kaynağı açık bir şekilde gösterilmez.
- d) Verilen bir sistemin blok diyagramı tek değildir. Ele alınan çözümlerin bakış açısına bağlı olarak bir sistem için farklı sayıda blok diyagramları çizilebilir.



2.4.3. BLOK DİYAGRAMLARININ İNDİRGENMESİ

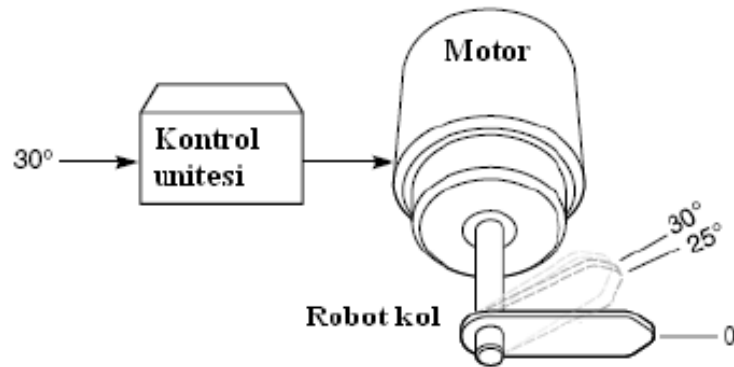
Çok sayıda elemanların oluşturduğu çeşitli sistemlerin blok diyagramları oldukça karmaşık bir yapıda ortaya çıkar. Karmaşık bir blok diyagramında ise sistemin temel girişi ile temel çıkışı arasındaki bağıntı açık bir şekilde görülemez. Çok sayıda geribesleme döngüsü içeren karmaşık bir blok diyagramı, blok diyagramı indirgeme kurallarını kullanarak adım- adım yeniden düzenleme yoluyla basitleştirilebilir. İndirgeme kurallarının en önemlileri Tablo 2-1'de verilmiştir. Bu kurallar aynı denklemi farklı yoldan yazarak elde edilmişlerdir.

Orjinal blok diyagramı ile indirgenmiş blok diyagramı denklemi aynı kalır. Blok diyagramı indirgenmesinde amaç tüm sisteme ait transfer fonksiyonu bir blok içinde gösterebilmek ve böylece tüm sisteme ait giriş-çıkış bağıntısını elde etmektir. Yeniden düzenlemeler ve yerine koymalar yoluyla blok diyagramının basitleştirilmesi ile daha sonraki matematiksel çözümleme için gerekli işlemler önemli oranda azaltılmış olur. Bununla beraber blok diyagramının indirgenmesi ile ortaya çıkan yeni kutuplar ve sıfırlar dolayısıyla yeni bloklar daha karmaşık hale gelebilir.



Açık çevrim kontrolde kontrolör aktuatör tarafından ihtiyaç duyulan voltajı veya akımı bağımsız şekilde hesaplar ve gönderir.

Geri besleme olmadığından dolayı kontrolör aktuatörün bekleneni yapıp yapmadığını bilmez.

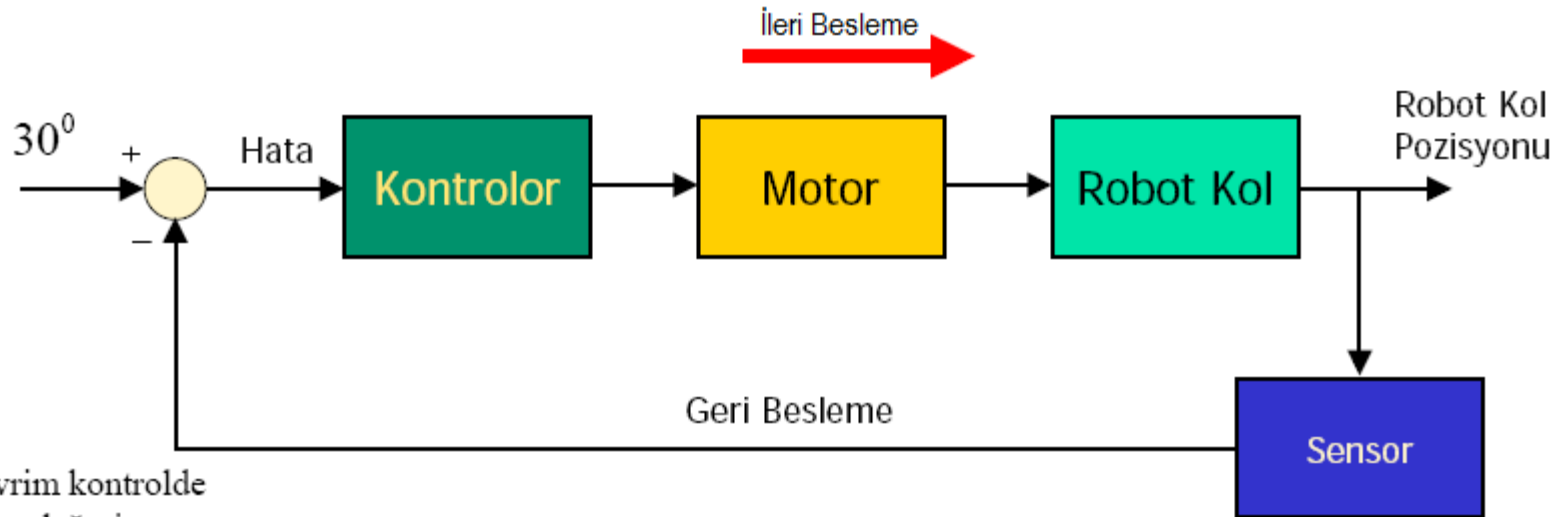


Açık çevrim sistemi aktuatörün proses üzerindeki eylemi çok tekrarlı ve güvenli olduğu uygulamalarda uygundur. Relay ve step motorlar bu işlemler için uygun.

Orantısal Voltaj değeri:
5 deg/s olsun.

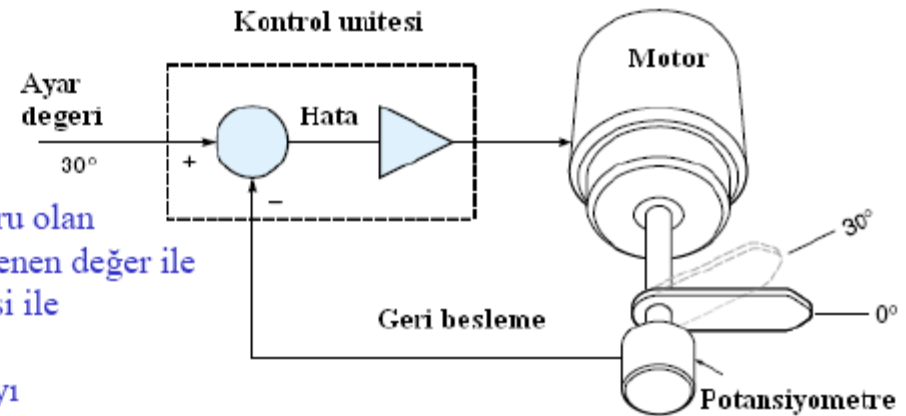
Normal sıcaklıkta:
5 deg/s x 6 s = 30 deg.

Soğuk şartlarda yataklardaki yağın viskozitesi artacağından (sürtünme artacağından)
6 s de 25 deg. yol alınmakta.
Hata 5 deg.



Kapalı çevrim kontrolde proses çıkış değeri (kontrol edilen değişken) sensör vasıtası ile sürekli gözlenir. Sensör çıkış değerini örnekler ve elektriksel sinyale dönüştürerek kontrolöre gönderir. Kontrolör sistemde ne yapıldığını bildiği için gerekli ayarlamayı yapar. Kontrolörden aktuatöre giden sinyal ileri beslemeyi oluşturur.

Sensörden kontrolöre doğru olan sinyal geri beslemedir. İstenen değer ile gerçek değerın çıkartılması ile hata elde edilir. Kontrolör her zaman hatayı en aza indirecek şekilde çalışır.





Fiziksel olarak kontrol sistemi bir fonksiyonu meydana getirmek için kontrol elemanlarından ve devrelerden oluşturulmuş bir bütündür. Herbir eleman enerjiyi bir şekilden başka bir şekle dönüştürür.

Örneğin sıcaklık sensörü, sıcaklığı gerilime çevirir, bir motor gerilim olarak gelen bir sinyali devir/dakikaya çevirir

Transfer fonksiyonu kontrol sisteminin giriş ve çıkış arasındaki matematiksel iliskidir.

$$TF = \frac{\text{Çıkış}}{\text{Giriş}}$$

$$TF_{\text{sabit rejim}} = \text{Kazanç} = \frac{\text{Çıkış}_{\text{sabit rejim}}}{\text{Giriş}_{\text{sabit rejim}}}$$



Robot Kol Örneği:

$$0^{\circ} \rightarrow 0V$$

$$300^{\circ} \rightarrow 10V$$

$$TF = \frac{10V}{300^{\circ}} = 0.0333 \text{ V/deg}$$

Potansiyometreden ölçülen volt değerinin 1.2 V olduğunu düşünelim. Bu durumda robot kol kaç derece açı yapmaktadır.

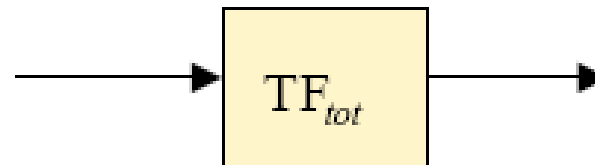
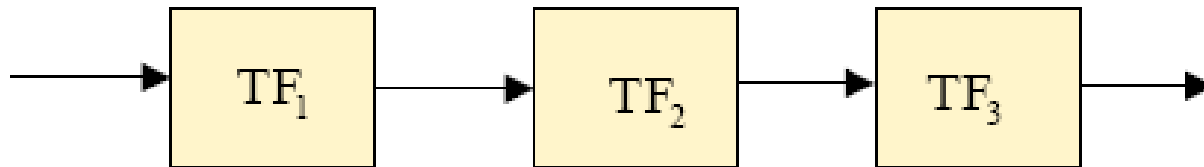
$$TF = \frac{\text{output}}{\text{input}}$$

$$\text{output} = \text{input} \times TF$$

$$1.2V = \text{input} \times 0.0333 \text{ V/deg} \rightarrow \text{input} = 1.2/0.0333 = 30.03 \text{ deg}$$



Toplam sistem transfer fonksiyonu: Açık Çevrim



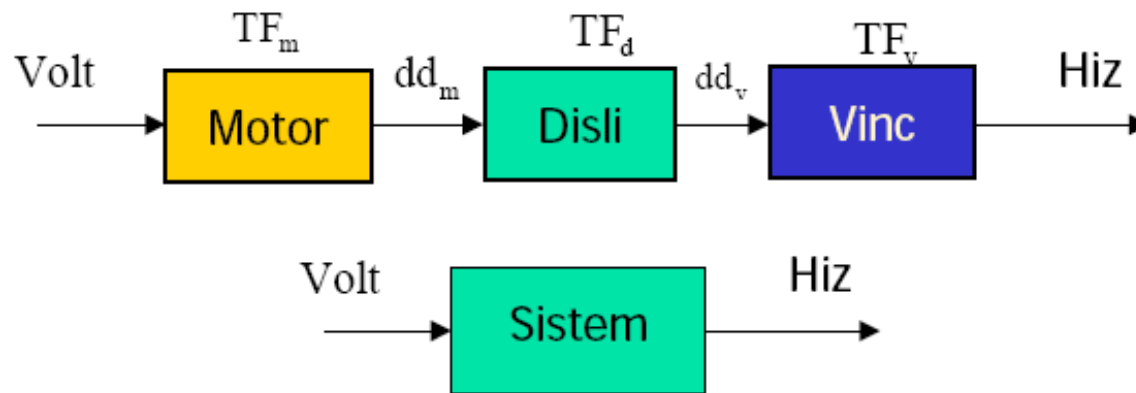
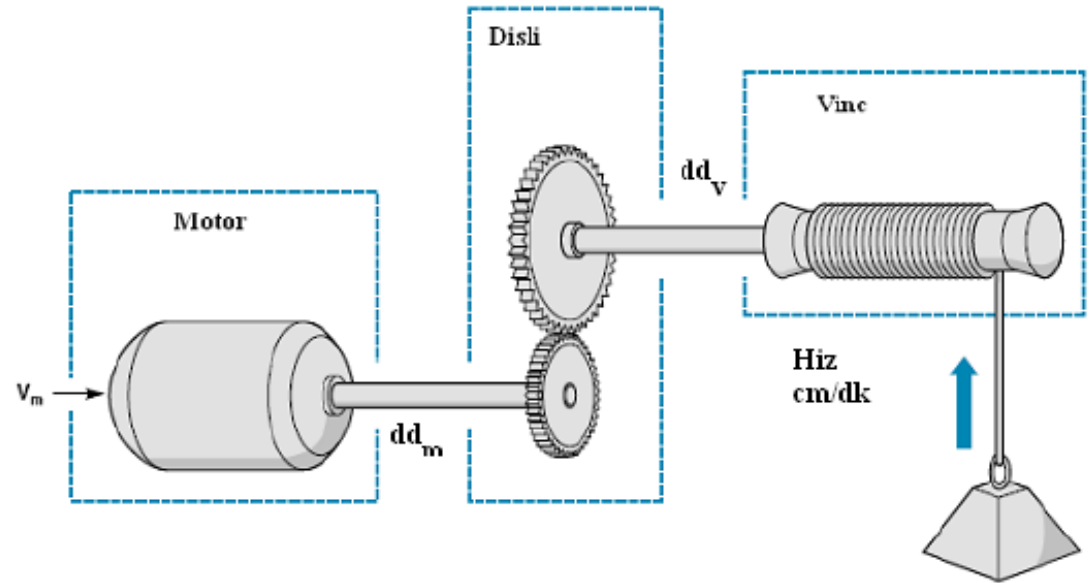
$$TF_{tot} = TF_1 \times TF_2 \times TF_3$$



Motor: $TF_m = \frac{100 \, dd_m}{1 \, V_m} = 100 \, dd_m / V$

Disli: $TF_d = \frac{1 \, dd_v}{2 \, dd_m} = 0.5 \, dd_v / dd_m$

Vinc: $TF_v = \frac{7.6 \, \text{cm/dk}}{2 \, dd_v} = 3.8 \, \text{cm/dk} / dd_v$

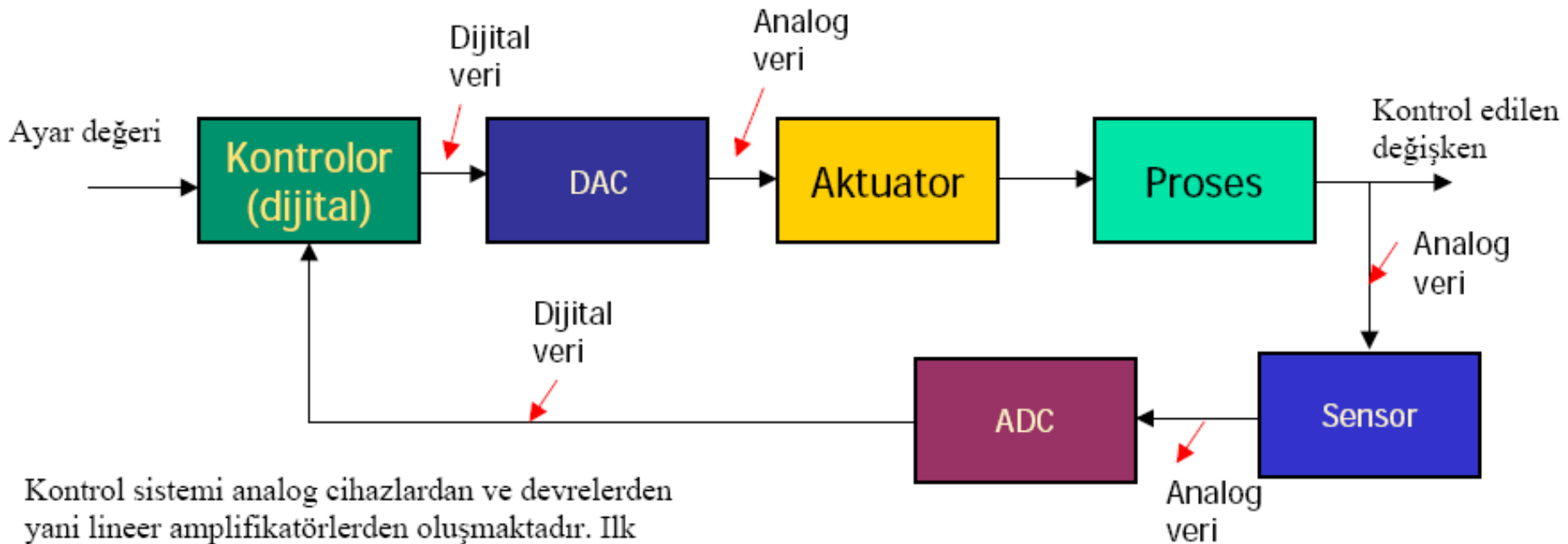




$$\begin{aligned}
 TF_{\text{tot}} &= TF_m \times TF_d \times TF_v \\
 &= \frac{100 \cancel{\text{dd}_m}}{1 \cancel{V_m}} \times \frac{0.5 \cancel{\text{dd}_v}}{1 \cancel{\text{dd}_m}} \times \frac{3.8 \text{ cm/dk}}{1 \cancel{\text{dd}_v}} \\
 &= 190 \text{ cm/dk/V}_m
 \end{aligned}$$

Herhangi bir sistem girişi için sistem çıkışı her durumda hesaplanabilir. Örneğin motora giriş 12 V ise, vincin çıkış hızı:

$$\text{output} = \text{input} \times TF = \frac{12 \text{ V} \times 190 \text{ cm/dk}}{1 \text{ V}_m} = 2280 \text{ cm/dk}$$



Kontrol sistemi analog cihazlardan ve devrelerden yani lineer amplifikatörlerden oluşmaktadır. İlk kontrol sistemleri tamamen analog olarak yapılabiliyordu.

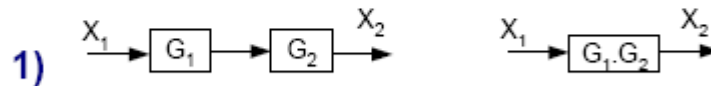
Dijital kontrol sistemlerinde, kontrolör dijital devrelerden oluşur. Çoğunlukla devre bir bilgisayardır genellikle mikroprosesördür veya mikrokontrolördür. Bilgisayar kontrolör olarak yüklü programı iterasyon içinde hesaplar. Kontrolörün hesaplanma zamanı 1 milisaniyeden azdır. Dijital sistemler ayrık zamanlıdır. Analog sistemler ise sürekli zamanlı.

ADC: Analog to Digital Converter
DAC: Digital to Analog Converter

Dijital esaslı çalışan aktuatörler step motor gibi DAC gerektirmez. Benzer şekilde dijital esaslı sensörler ADC gerektirmez.

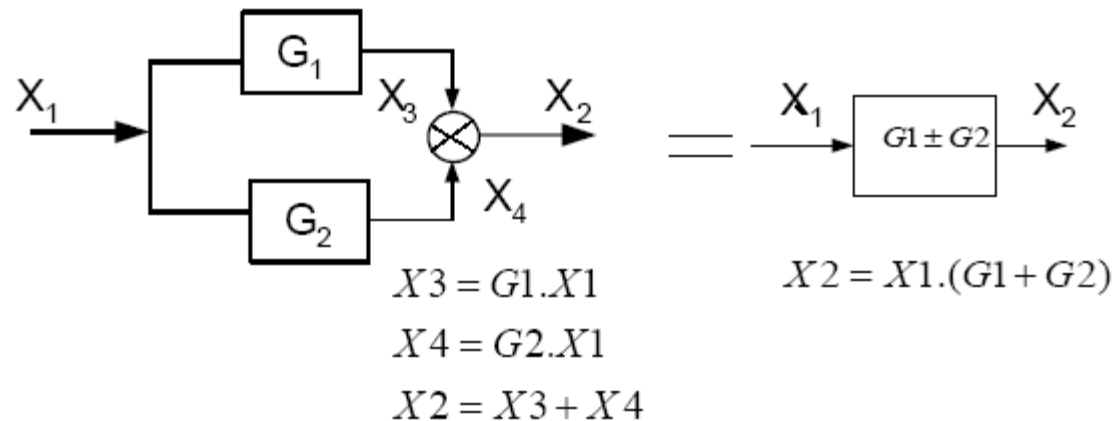


Karmaşık yapıdaki blok diyagramları aşağıda verilen basit indirgeme kuralları uygulanarak her giriş – çıkış arası tek bir blok'a indirgenebilir.

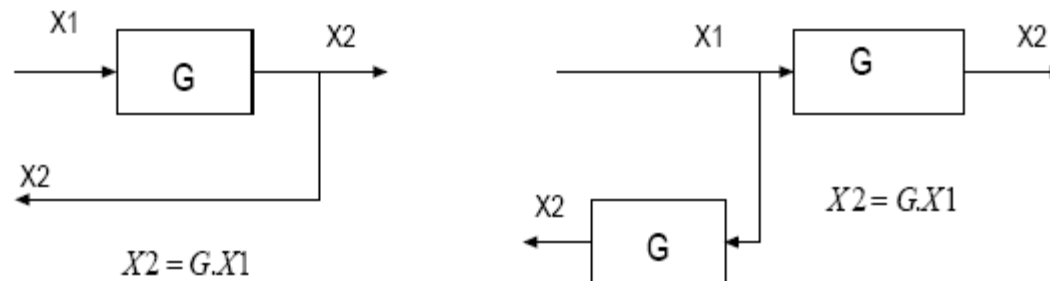


$$X2 = G1.G2.X1$$

2)

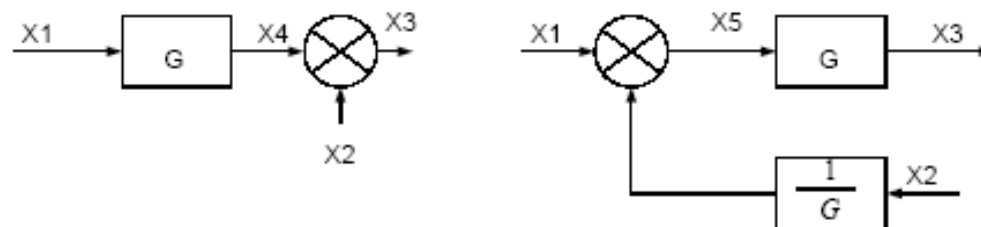


3)

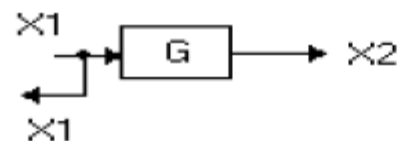




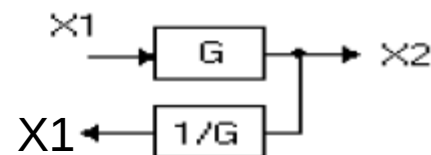
4)



5)



$$X2 = G.X1$$

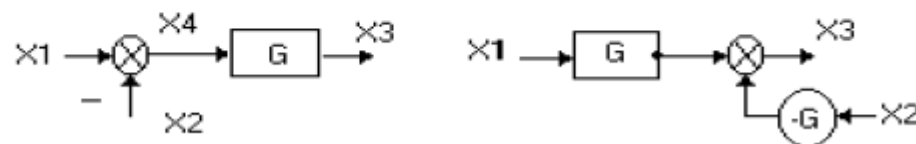


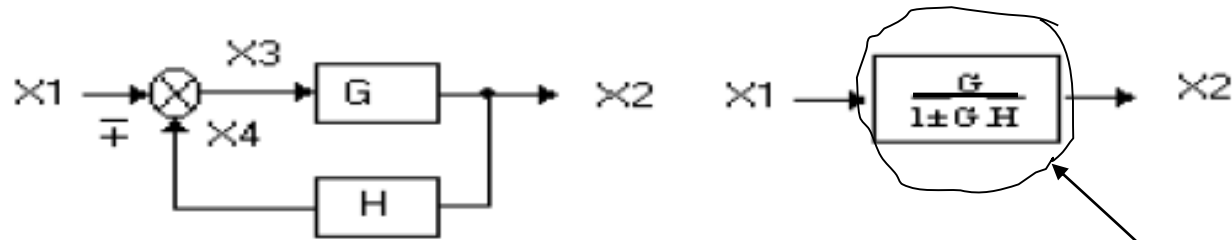
$$X2 = G.X1$$

6)

$$X4 = G.X1$$

$$X3 = X4 - X2$$





$$X3 = X1 - X4$$

$$X4 = H.X2$$

$$X2 = G.X3$$

$$X2 = G.X3 = G.(X1 - X4)$$

$$X2 = G(X1 - X4), \dots X4 = H.X2 \text{ idi}$$

$$X2 = G.(X1 - H.X2)$$

$$X2 = G.X1 - G.H.X2 \Rightarrow ..G.X1 - G.H.X2 - X2 = 0$$

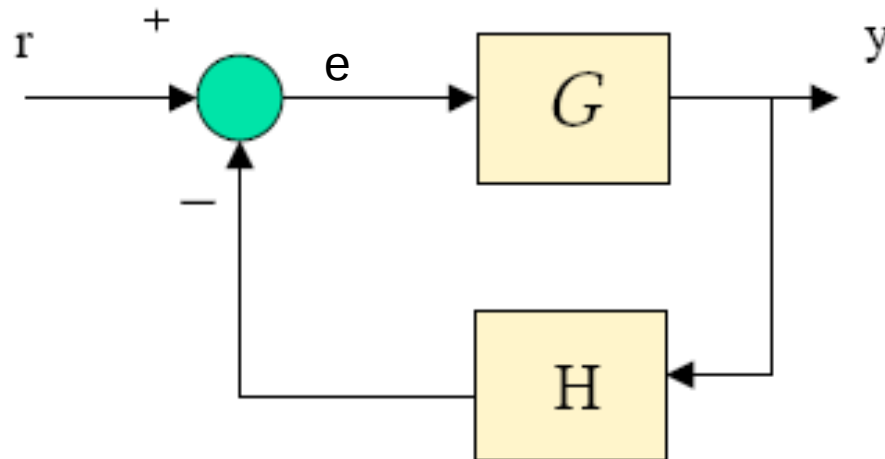
$$G.X1 - X2.(1 + G.H)) ..Buradanda.X2' yi. \text{ \u00e7e ker sek}$$

$$X2 = \left(\frac{G.X1}{1 + G.H} \right) = \frac{G}{1 + G.H} . X1 \text{ elde edilir.}$$

$$X2 = X1 \left(\frac{G}{1 + G.H} \right)$$



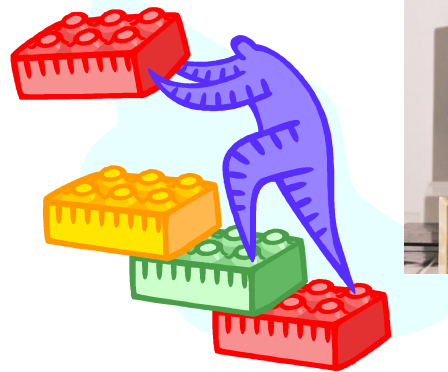
Toplam sistem transfer fonksiyonu: Kapalı Çevrim



$$e = r - Hy$$

$$y = Ge = G(r - Hy)$$

$$\frac{y}{r} = \frac{G}{1 + GH}$$

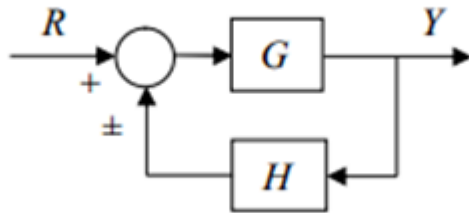
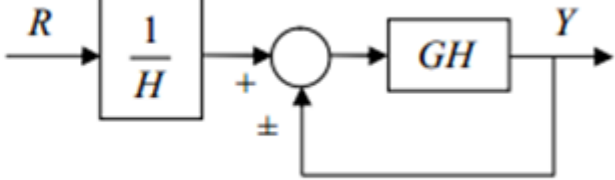
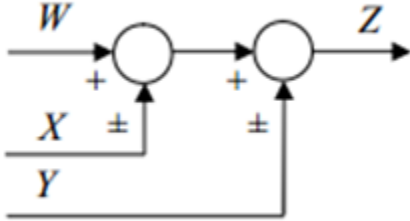
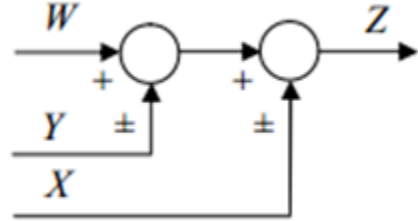
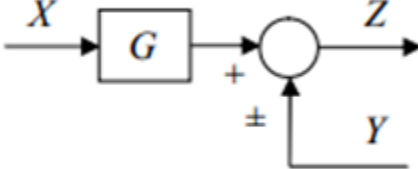
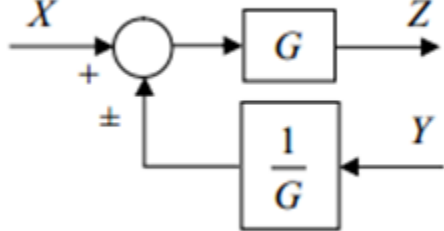


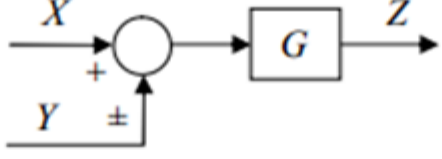
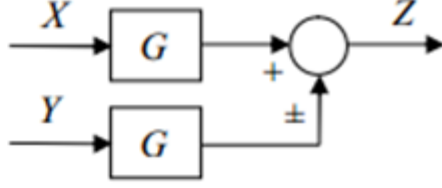
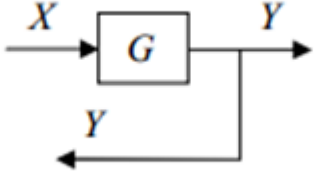
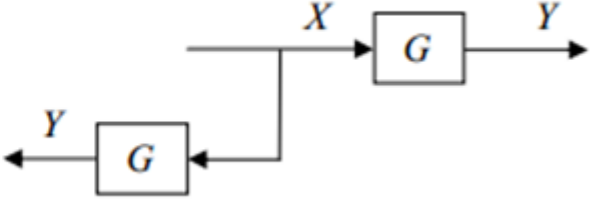
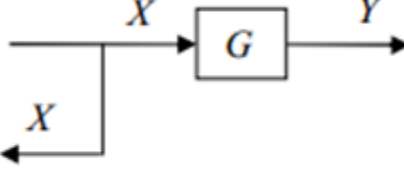
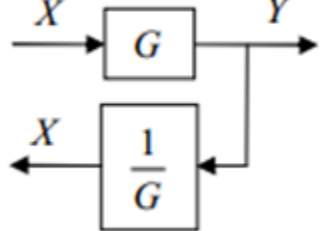
Özetle



Blok Diyagramı İndirgeme Kuralları

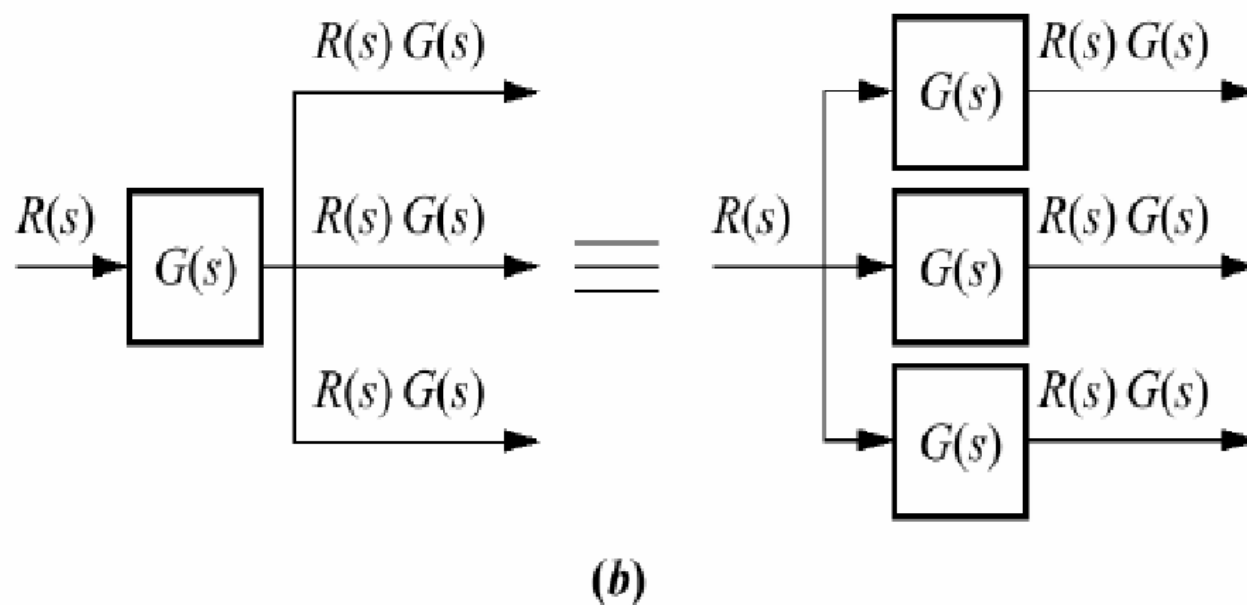
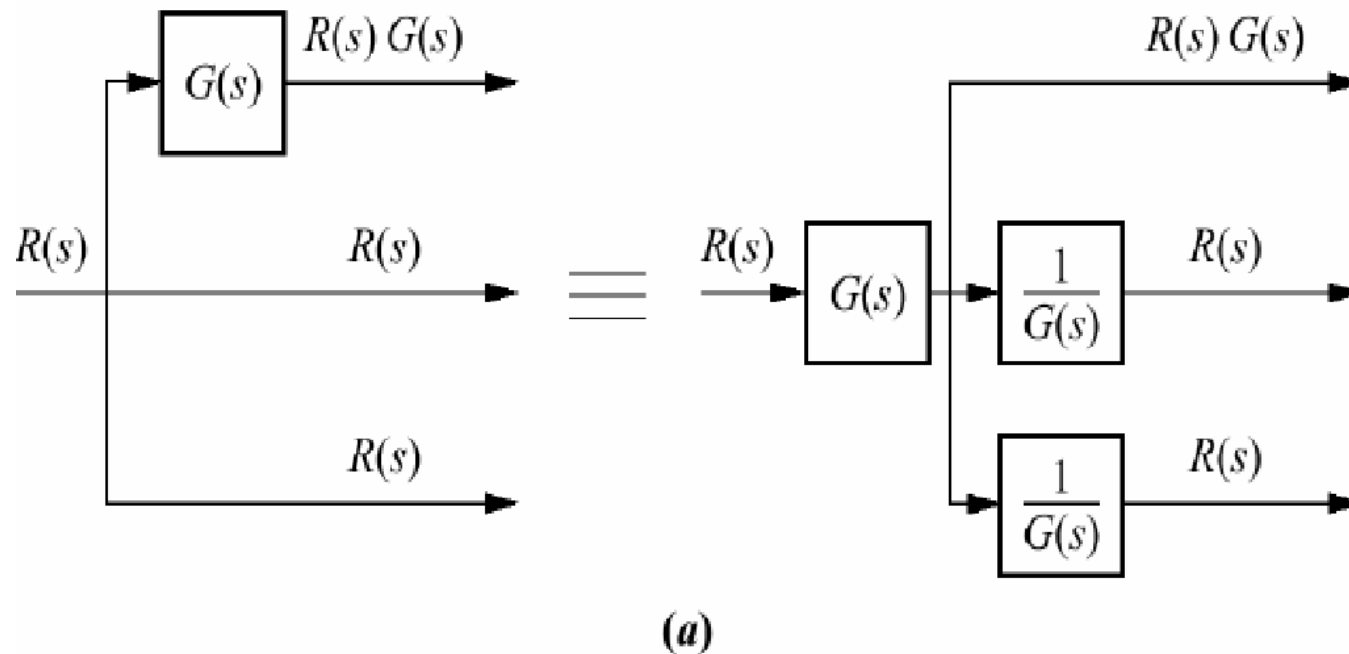
İŞLEMİN TANIMI	DENKLEM	BLOK DİYAGRAM	İNDİRGENMİŞ BLOK DİYAGRAM
1. Seri bağlı blokların indirgenmesi	$Y = (G_1 G_2) R$		
2. Paralel bağlı blokların indirgenmesi	$Y = G_1 R \pm G_2 R$		
3. İleribesleme yolu üzerinden bir bloğun kaldırılması	$Y = G_1 R \pm G_2 R$		
4. Geribesleme döngüsünün indirgenmesi			

5.	Geribesleme yolu üzerinden bir bloğun kaldırılması			
6.	Toplama noktalarının yeniden düzenlenmesi	$Z = W \pm X \pm Y$		
7.	Toplama noktasını bir bloğun önüne kaydırmak	$Z = GX \pm Y$		

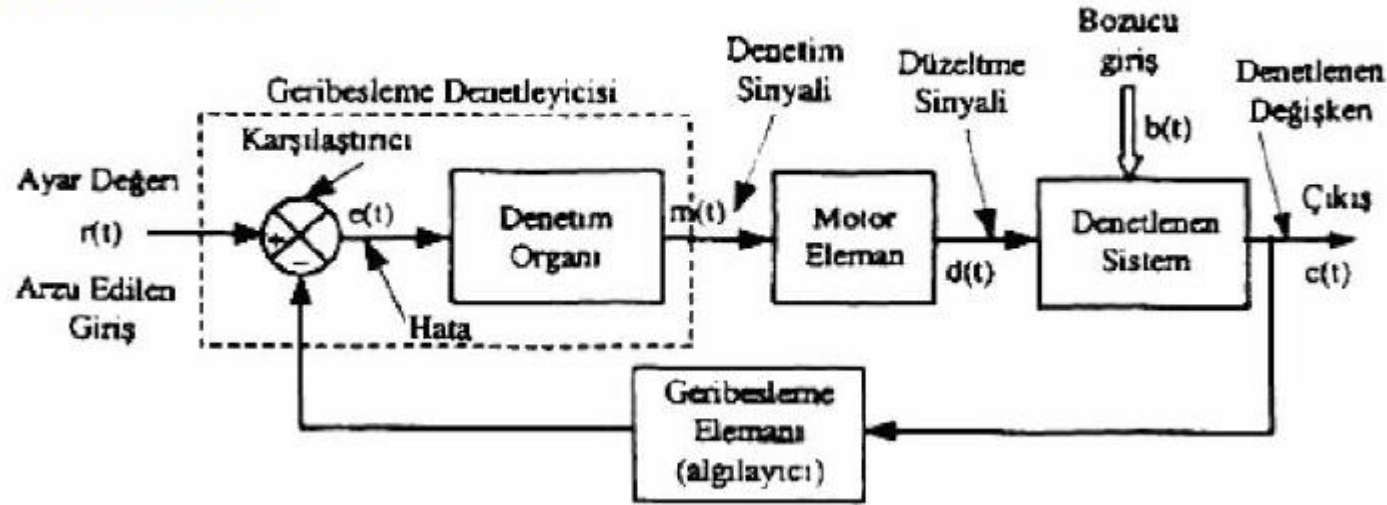
8.	Toplama noktasını bir bloğun arkasına kaydırmak	$Z = G(X \pm Y)$		
9.	Ayrılma noktasını bir bloğun önüne kaydırmak	$Y = GX$		
10.	Ayrılma noktasını bir bloğun arkasına kaydırmak	$Y = GX$		

Bir blok diyagramının indirgenmesinde aşağıdaki kurallara uyulması gerekir:

- İleribesleme yolu üzerinde transfer fonksiyonların çarpımı aynı kalmalı,
- Geribesleme döngüsü etrafındaki transfer fonksiyonları aynı kalmalı.



TEMEL DENETİM ETKİLERİ VE ENDÜSTRİYEL DENETİM ORGANLARI



Şekil 4-1 Kapalı-döngü denetim sistemi

4.2. TEMEL DENETİM TEKNİKLERİ VE DENETİM ORGANLARI

Bir kapalı-döngü denetim sistemi içinde denetim organının görevi ölçme elemanı üzerinden geribeslenen çıkış büyüklüğünü, başvuru giriş büyüklüğü ile karşılaştırmak ve karşılaştırmadan ortaya çıkabilecek hata değerinin yapısına ve kendi denetim etkisine bağlı olarak uygun bir kumanda veya denetim sinyali üretmektir. Denetim organlarında kullanılan belli başlı dört temel denetim etkisi vardır.



Bunlar;

- i. İkili veya aç-kapa (on-off) denetim etkisi
- ii. Orantı denetim etkisi (P etki)
- iii. İntegral (tümlev) denetim etkisi (I etki)
- iv. Türev (diferansiyel) denetim etkisi (D etki)

Denetim organlarını dinamik davranışına göre; kesikli çalışan ve sürekli çalışan denetim organları şeklinde de sınıflandırmak mümkündür. Aç-kapa tipi denetim organı kesikli çalışan ve orantı, integral ve türev etkileri ile çalışan denetim organları da sürekli çalışan denetim organları türündedir.

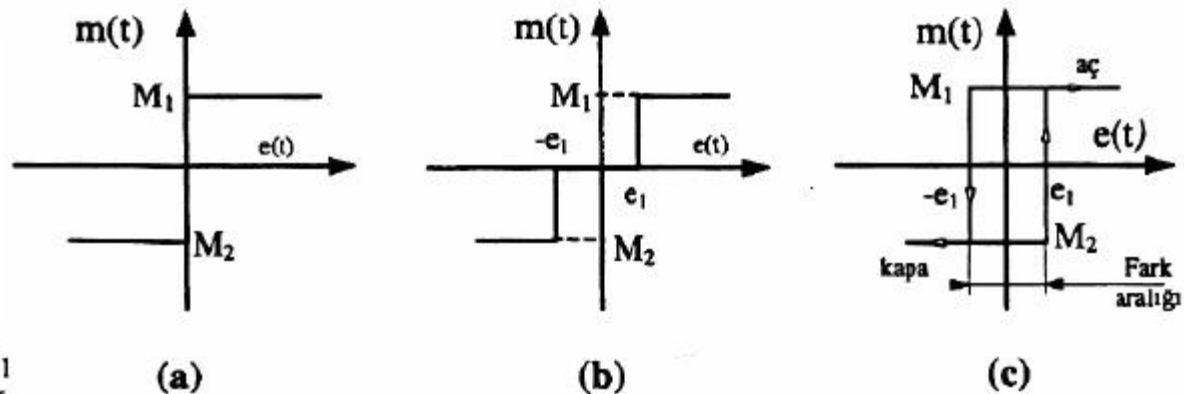
Endüstriyel denetim organların büyük bir çoğunluğu güç kaynağı olarak elektrik veya basınçlı hidrolik yağ veya hava (gaz) akışkanı kullanırlar. Çalışmalarında kullandıkları güç türüne göre denetim organları ayrıca pnömatik, hidrolik veya elektronik denetim organları olarak da sınıflandırılabilir. Kapalı-döngü denetim sisteminde hangi sınıftan bir denetim organın seçileceğini denetlenen sistemin yapısı, çalışma şartları, emniyet, ekonomiklik, güvenilirlik, hassasiyet, sağlama kolaylığı, ağırlık ve boyutlar gibi pek çok etken belirler.

4.3. İKİ KONUMLU VEYA AÇ-KAPA TİPİ DENETİM ORGANI

Aç-kapa (on-off) denetim etkisi kullanan kesikli çalışan denetim organları oldukça basit yapıda ve ucuz olması nedeniyle evlerde ve endüstride yaygın olarak kullanılırlar. İkili denetim organı sadece iki belirli konumda bulunur. Hata değerine bağlı olarak denetim organı ve buna bağlı olarak motor eleman ya devrede veya devrede değildir.

İki konumlu denetim organının çalışmasını açıklamak üzere Şekli 4-2a da verilen girişi hata sinyali $e(t)$ ve çıkışı kumanda sinyali $m(t)$ olan blok şemayı ele alalım. İki konumlu denetimde, kumanda sinyali $m(t)$ hata sinyalinin pozitif veya negatif olmasına bağlı olarak ya M_1 maksimum değerde ya da M_2 minimum değerde kalır.

Buna göre;



$$\begin{aligned} e(t) > 0 \text{ için } m(t) &= M_1 \\ e(t) < 0 \text{ için } m(t) &= M_2 \end{aligned}$$

bağıntıları elde edilir.

Şekil 4-2 İki-konumlu denetim sistemi



Histerezis, ölçülen değerin işlem değişkeninin daha önceki değerinin arttırılması ve azaltılması yoluyla geçerli değerine yaklaşıp yaklaşmadığına bağlı olduğunda meydana gelir. Bir cismi hareket ettirmek için belli bir minimum kuvvet gerektiren yapışma olayı da histerezisin yaygın bir sebebidir. Histerezisin etkisi, dikkatli bir sistem tasarlamak suretiyle azaltılabilir veya tamamen ortadan kaldırılabilir.

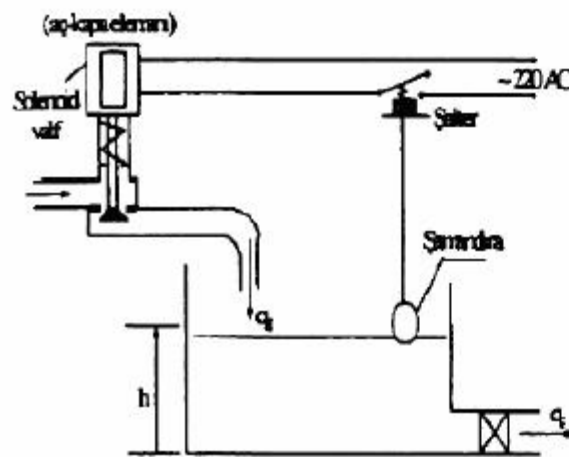
Aralık ve Açıklık: Bir değerin aralığı, o değerin maksimum ve minimum değerleri ile belirtilir. Örneğin; bir basınç transdüserinin giriş aralığı 0-100 kPa, çıkış aralığı ise 4-20 mA olabilir. Bir K tipi termokopl (ısıl çift) 200-500 $^{\circ}\text{C}$ 'lık bir giriş ve 8-20 mA'lık bir çıkış aralığına sahip olabilir.

Açıklık ise azami ve asgari değerler arasındaki farktır. Örneğin, yukarıda sözü edilen K tipi bir termokopl 300 $^{\circ}\text{C}$ 'lık bir giriş açıklığına ve 12 mA'lık çıkış açıklığına sahiptir.

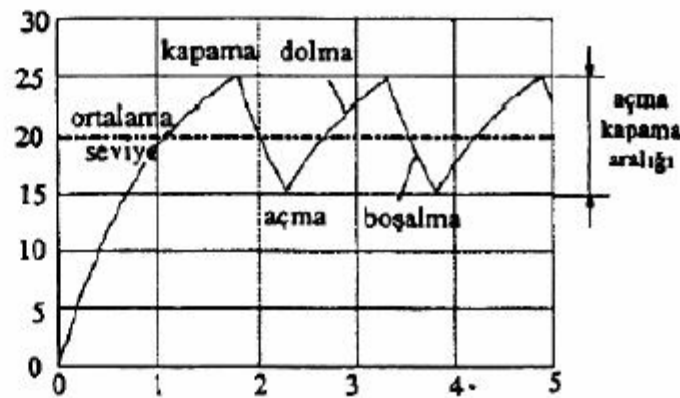
Hassaslık (Doğruluk) ve Hata: Bir elemanın hassalığı (doğruluğu) , ölçülen bir değerin işlem (süreç) değişkenine ne kadar yakın olduğunun ölçüsüdür. Hassaslık oldukça gelişigüzel bir terim olup, hata daha genel anlamda kullanılır. Bu terim, işlem değişkeni ile ölçülen değer arasındaki maksimum fark olarak tanımlanır.

Burada M_1 ve M_2 birer sabittir. Minimum değer M_2 , ya sıfır ya da $-M_2$ dir. Denetim sinyalinin iki farklı yönü veya işareti bulunan ($+M_1$ ve $-M_2$ gibi) iki-konumlu denetim organları **bang-bang** denetim olarak bilinir. Bunlar genellikle izleyici veya servomekanizma denetim biçimlerinde kullanılırlar. Örneğin ani ters harekete maruz

İki-konumlu denetim organı özellikle evlerde çok hassas denetim gerektirmeyen yerlerde yaygın olarak kullanılır. En yaygın uygulama alanları olarak ütü, buzdolabı, fırın, su ısıtıcısı gibi sıcaklık denetim sistemlerini sayabiliriz. Bir mutfak fırını sıcaklık denetiminde 2°C lik fark aralığı çok zor fark edilir ve kolaylıkla tolere edilebilir. sabit torklu bir motor bang bang denetim tipinde modellenenebilir.



(a) sistem

seviye, h (m)

(b) cevap eğrisi

zaman, s

Şekil 4-3 İki-konumlu seviye denetim sistemi



TRANSFER FONKSİYONLARININ YAPISINA GÖRE SİSTEMLER

1. Kazanç tipi: $G(s)=K$; temel parametresi kazanç K .

2. İntegral tipi: $G(s) = \frac{1}{T_i s}$; temel parametresi integral zaman sabiti T_i (s)

3. Zaman sabiti tipi: $G(s) = \frac{1}{Ts+1}$; temel parametresi zaman sabiti T (s)

4. Titreşim tipi: $G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$ ($0 < \zeta < 1$) ; temel parametreleri doğal frekans ω_n (rad/s) ve sönüm oranı ζ



4.4. ORANTI ETKİ VE ORANTI TİPİ DENETİM ORGANI (P-DENETİM)

Orantı etkide, denetim organı çıkışı bir oransal sabit yoluyla denetim organı girişine oranlanır. Denetim organı çıkışı $m(t)$ ile giriş hata sinyali $e(t)$ arasındaki bağıntı

$$m(t)=K_p e(t) \quad (4.2.)$$

şeklinde verilir. Burada K_p orantı kazancı olup bir etkinin transfer fonksiyonu

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \quad (4.3.)$$

şeklinde orantı kazancı olan bir sabite eşittir.

Orantı etkide, herhangi bir anda denetim organı çıkışı, $m(t)$ hatanın büyüklüğüne bağlıdır ve o anda hata ne kadar büyük olursa düzeltici denetim sinyali, $m(t)$ o oranda büyük olur. Hata çok küçük olduğunda ise denetim organı yeteri kadar etkili düzeltici sinyal üretemez. Bu nedenle orantı etki ile çalışan sistemler kalıcı-durum hatası verirler. Kazanç katsayısı K_p 'nin artırılması suretiyle kalıcı-durum hatasını azaltmak mümkündür. Orantı etkinin en önemli üstünlüğü, yapısının basitliğidir.



Orantı Bandı: Genel olarak, süreç denetim sistemlerinde; denetici kazancı, denetici orantı bandı PB veya denetici orantı bandının yüzdesi, % PB cinsinden ifade edilir. Orantı bandı denetim etkisinde % 100'lük değişim meydana getiren kısmi sapmayı (veya ölçülen değerdeki kısmi değişimi) gösterir.

Orantı bandının, PB denklemi aşağıda olduğu gibi verilebilir.

$$PB (\%) = \frac{1}{K_p} \frac{\text{Denetici çıkış aralığı}}{\text{Ölçüm aralığı}} \times 100$$

Genellikle, uygulamalarda orantı bandının en alt sınırı %10 ve en üst sınırı da %500 civarında alınır.

Örnek: Bir sıcaklık denetim organının orantı bandı % 60 olup girişine uygulanan 50°C ile 100°C sıcaklık değişimlerine karşılık çıkışından 4 mA ile 20 mA'lık bir sinyal değişimi elde edilmektedir. Denetim organı kazancını bulunuz.

Çözüm: (4.4.) nolu denklemi kullanarak K_p 'yi (denetim organı kazancını) bulabiliriz.

$$PB (\%) = \frac{1}{K_p} \frac{\text{denetici çıkış aralığı}}{\text{Ölçüm aralığı}} * 100 \quad 60 = \frac{1}{K_p} \frac{(20 - 4)}{(100 - 50)} * 100$$

Buradan $K_p = \frac{16 * 100}{60 * 50} = 0.53$ olarak bulunur.



4.5. İNTEGRAL ETKİ VE ORANTI ARTI İNTEGRAL TİPİ DENETİM ORGANI (PI-DENETİM)

Orantı etkide ortaya çıkan kalıcı-durum hatasını gidermenin yolu, denetim organına hatanın integrali ile orantılı bir denetim etkisi ilave etmektir. Integral denetim yasasının transfer fonksiyonu

$$\frac{M(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \text{ veya } \frac{M(s)}{E(s)} = \frac{1}{T_i s} \quad (4.5.)$$

şeklinde ifade edilir.

Burada K_i integral etki kazancı, T_i integral zaman sabiti adını alır. $K_i = 1/T_i$ olarak bilinir. Teorik olarak integral etki tipi bir denetim organın tek başına kullanılması mümkün ise de uygulamalarda integral etki daha çok orantı etki ile birlikte kullanılır.

Orantı artı integral (P1) tipi denetim organı, orantı ve integral denetim etkilerinin birleştirilmesinden meydana gelir.

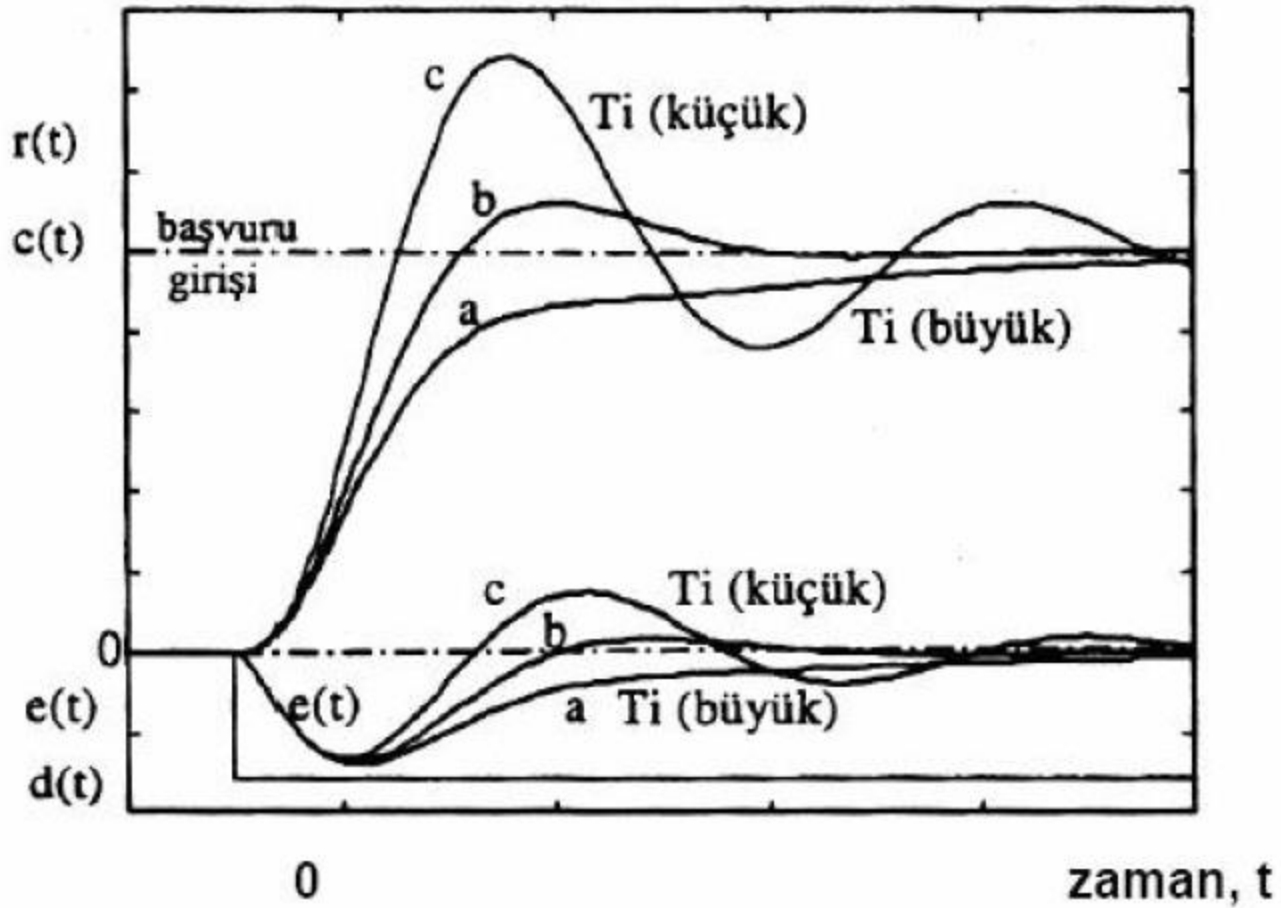


PI denetiminin transfer fonksiyonu

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (4.6.)$$

şeklinde ifade edilir. Burada $K_p/K_i = T_i$ integral etki zamanıdır.

Şekil 4-4'de çeşitli integral etki zamanı için, bir sistemin basamak giriş cevabı eğrileri verilmiştir. Integral etkinin kalıcı-durum hatasını ortadan kaldırıcı etkisi gayet açık bir biçimde görülmektedir. 'a' eğrisinde integral etki zamanı en yüksek değerde olup hatanın sıfırlama işlemi çok uzun zaman almaktadır.



Şekil 4-4 PI denetim dinamik özellikleri



4.6. TÜREV ETKİ VE ORANTI ARTI TÜREV TİPİ DENETİM ORGANI (PD-DENETİM)

Türev denetimin transfer fonksiyonu

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_d s \text{ veya } \frac{M(s)}{E(s)} = T_d s \quad (4.7.)$$

şeklinde elde edilir. Burada K_d türev denetim organı kazancı veya T_d türev etki zamanı adını alır. Türev etki aynı zamanda oran etki adını da alır.

Türev etkinin en önemli üstünlüğü; hatanın büyümesini önceden kestirmesi ve büyük bir hata ortaya çıkmadan bir düzeltme etkisi sağlamasıdır. Türev etki daha hata değişmeye başlar başlamaz harekete geçtiğinden “önceden seziş etkisi” olarak da bilinir. Bir sabitin türevi sıfır olduğundan türev etkinin zamanla değişmeyen sabit hata üzerinde etkisi yoktur.



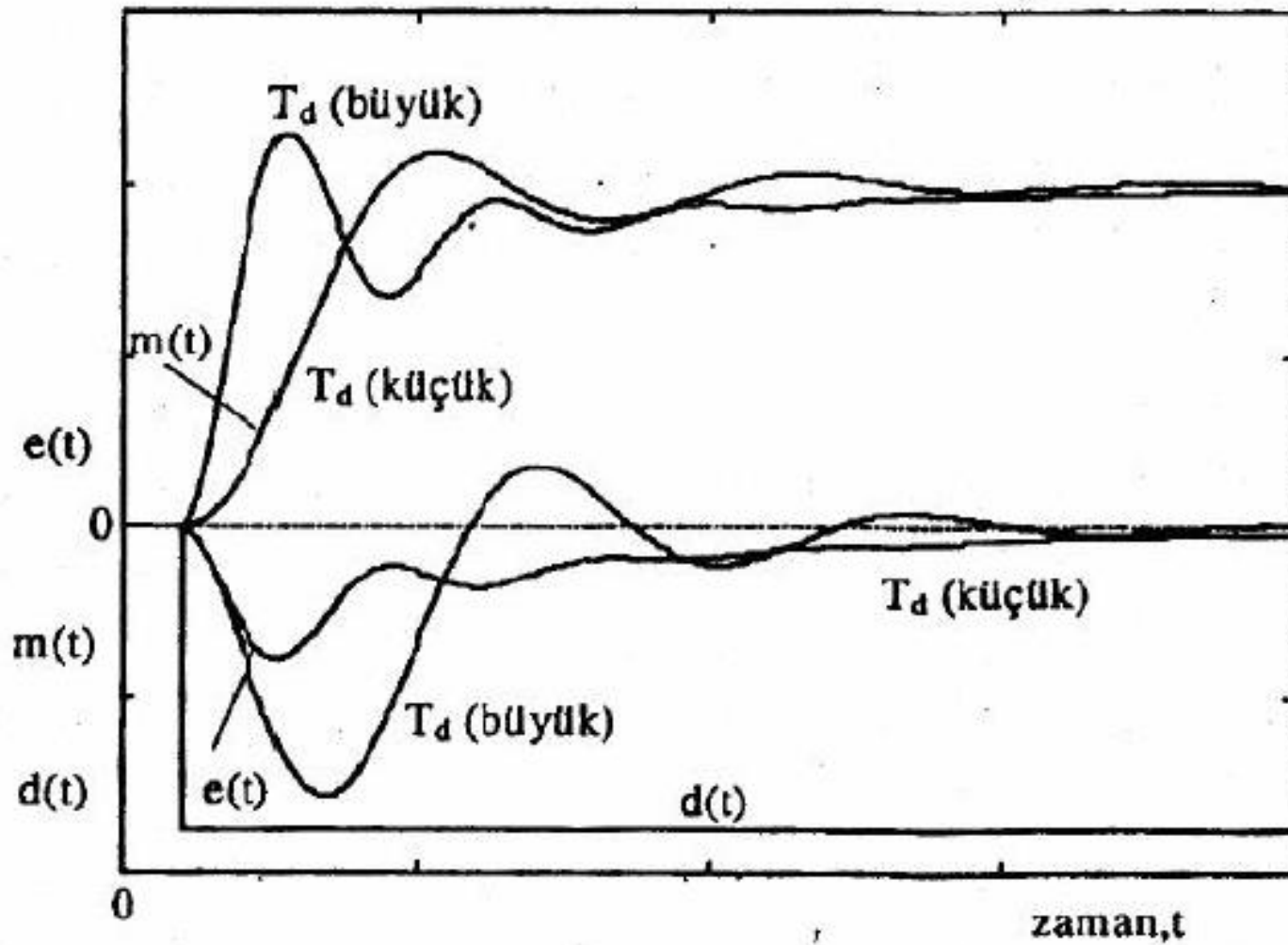
Türev etki yalnızca hatanın zamana göre değişimi karşısında etkili olduğundan denetim organlarında yalnız başına kullanılmaz ve ancak diğer denetim etkileri ile birleştirilerek kullanılabilir.

Orantı artı türev denetim organı, orantı ve türev denetim etkilerinin birleşiminden meydana gelmiş olup bu denetim

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_d s) \quad (4.8.)$$

olarak elde edilir.Burada, $T_d = K_d/K_p$ türev etki zamanıdır.

Orantı etki hatadaki değişimlere hızlı bir tepki göstermekle beraber hatanın değişim hızına duyarsızdır. Bu durumda hatanın değişim hızına duyarlı olan türev denetim etkisi ilavesi uygun olmaktadır.



Şekil 4-5 Türev etkinin sistem cevabına etkisi



4.7. ORANTI ARTI INTEGRAL ARTI TÜREV ETKİ VE DENETİM ORGANI (PID-DENETİM)

PID denetim, üç temel denetim etkisinin (P,I,D) birleşiminden meydana gelmiştir. PID denetiminin transfer fonksiyonu

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (4.9.)$$

olarak elde edilir.

PID denetim; üç temel denetim etkisinin üstünlüklerini tek bir birim içinde birleştiren bir denetim etkisidir. Integral etki sistemde ortaya çıkabilecek kalıcı-durum hatasını sıfırlarken türev etkide, yalnızca PI denetim etkisi kullanılması haline göre sistemin aynı bağıl kararlılığı için cevap hızını artırır. Buna göre PID denetim organı sistemde sıfır kalıcı-durum hatası olan hızlı bir cevap sağlar.



PID denetim organ diğerlerine göre daha karmaşık yapıda olup o oranda pahalıdır. Burada K_p , T_i ve T_d parametrelerinin uygun bir ayarı ile uygun bir denetim sağlanabilir. Eğer bu katsayılar uygun bir şekilde ayarlanmayacak olursa, PID denetimin sağlayacağı üstün özelliklerden yararlanılamaz.

4.8. PID DENETİMİN TEMEL ÖZELLİKLERİ

Denetlenecek sistemin dinamik yapısına bağlı olarak üç temel denetim etkisinin mümkün olan en basit bileşimleri kullanılır. Burada genelleştirilmiş bir PID tipi denetim organı içinde orantı etki ve buna integral ve türev etki ilavesinin sağlayacağı özellikler ve bunlara bağlı temel parametre özellikleri ele alınacaktır.

PID tipi denetim organının genel transfer fonksiyonunu tekrar ele alacak olursak,

$$G_d(s) = \frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (4.10.)$$



a) Orantı Etki, (P Denetim): $T_i \rightarrow \infty$ ve $T_d \rightarrow 0$ halinde denetim organı yalnızca orantı etki ile çalışır. Bunu da orantı kazancı K_p nin ayarı ile denetim organının denetim duyarlılığı artırılabilir. Pratikte genellikle orantı etki orantı bandı (PB) cinsinden ayarlanır.

b) PI Tipi Denetim: Orantı etkiye integral etki ilavesi ile elde edilen PI tipi denetim organı yapısı nispeten basit olup özellikle süreç denetim sistemlerinin %75-%90 arasında kullanılır. En yaygın kullanım alanları; basınç, seviye ve akış denetim sistemleridir. İntegral etki denetlenen çıkış büyüklüğünde meydana gelebilecek kalıcı-durum hatalarını ortadan kaldırır. İntegral etkinin kullanım amacı sistemin değişen talepleri üzerinde yeterli bir denetim etkisi sağlamaktır. Eğer sistemden gelen bir talep yalnız başına P etkisi ile karşılanabiliyorsa I etkinin kullanılması gereksizdir.

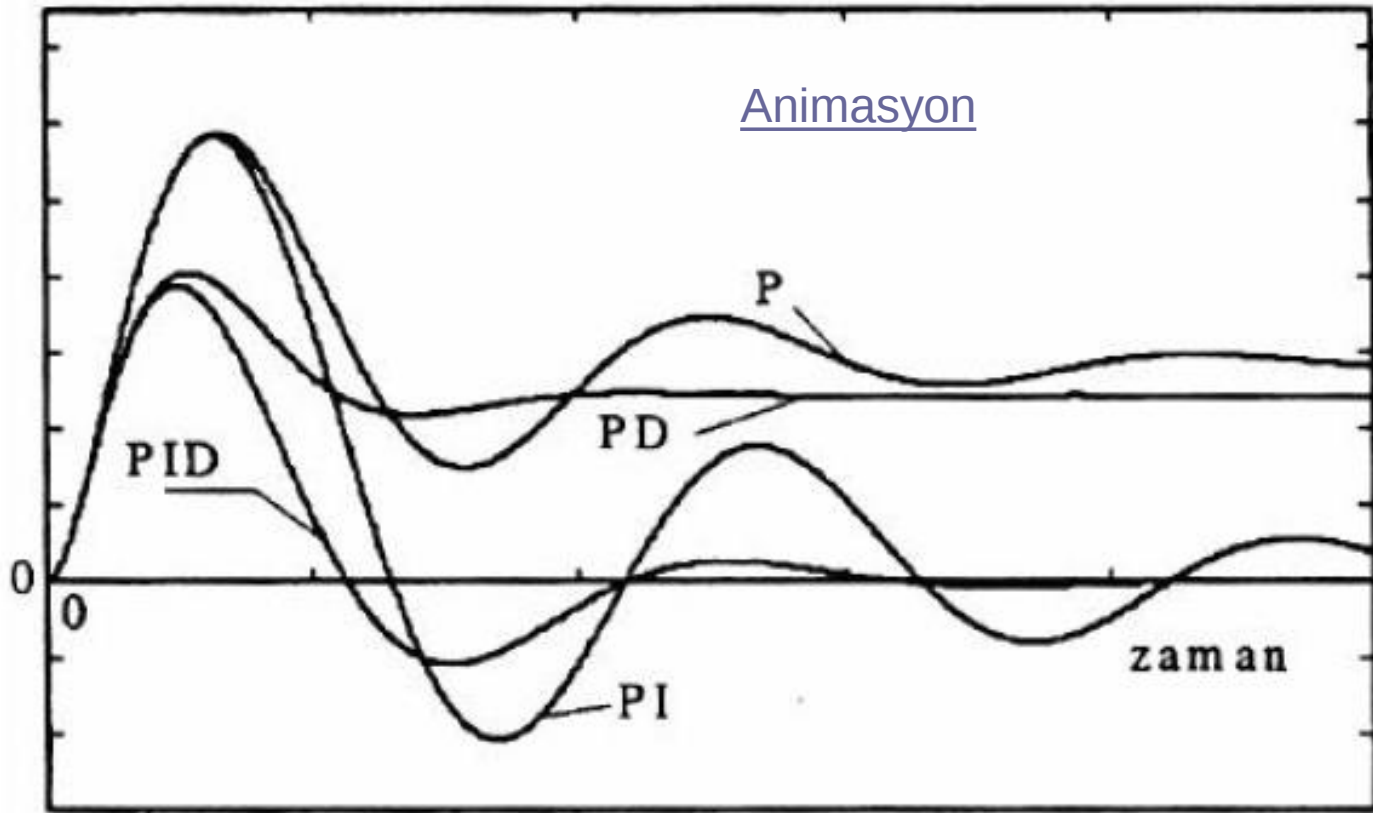
c) PD Denetim: Orantı etkiye türev etki ilavesi ile elde edilen PD denetim; kalıcı-durum hatasını sıfırlayamamakla beraber, bozucu girişten doğan kalıcı-durum hatasının fazla önemsenmediği, fakat buna karşılık orantı etkiye göre geçici-durum davranışının iyileştirilmesi istenen konum servomekanizmalarında tercih edilir. Türev etki ilavesi kararsız veya kararsızlığa yatkın bir sisteme sönüm ilave ederek sistemi daha kararlı hale getirebilir. Türev etki ilavesinin en önemli sakıncası denetim sinyalleri yanında sistemde ortaya çıkan gürültü (parazit) sinyallerini de kuvvetlendirmesidir. Bunun sonucu olarak son denetim organı (düzeltme elemanı) çıkışında salınımlı bir hareket meydana gelebilir.



e) PID Denetim: Uzun ölü zaman gecikmelerinin ortaya çıktığı süreç denetim sistemlerinde, PI denetimde integral etkinin tamamlayıcısı olarak türev etki kullanılır. Sıcaklık, pH, yoğunluk, karışım v.b. ölçümlerinde ortaya çıkan ölü zaman gecikmeleri PID tipi denetim organı kullanılarak telafi edilebilir. Bu denetim organı aynı zamanda **üç ifadelili denetim organı** adını da alır.

Düşük şiddetli bozucu girişlere maruz bir sistemin PI etki ile denetlenmesi halinde PB orantı bandı ayarının geniş ve türev etki kazancı ($K_i = 1/T_i$) ayarının düşük tutulması tercih edilir. Bu ayarlar altında, sisteme geniş zaman aralıkları içerisinde büyük şiddetli bozucu girişler etki edecek olursa, PI etki tek başına hatada meydana gelen değişimleri izlemeye ve düzeltmeye yeterli olamaz. Bu durumda bir türev etki ilavesi orantı kazancı ayarının daha yüksek tutulmasına (orantı bandının daralması) olarak tanıyarak denetim organı tepki süresini hızlandıracaktır. Çok küçük sönüm katsayısına sahip servomekanizmalarda PI denetim yeterli olmamaktadır. Bu durumda da türev etki ilavesi, sistemde fazla bir kararsızlık problemi yaratmadan K_p orantı kazancının yüksek tutulmasını sağlayarak sistemin kararsızlığa yatkınlığı önlenmiş olur. Böylece PID denetim etkisi ile bir taraftan kalıcı-durum hatası sıfırlanırken diğer taraftan da sistemin geçici-durum davranışı iyileştirilmiş olur.

Şekil 4-5'de sistemde bir basamak bozucu giriş etki etmesi halinde; hata sinyali ve denetim sinyalindeki değişimlerin durumu verilmiştir. Burada P, PI ve PID denetimin çeşitli parametre (K_p, T_i, T_d) değişimlerine bağlı olarak sistemin geçici-durum davranışındaki durumları gösterilmiştir.



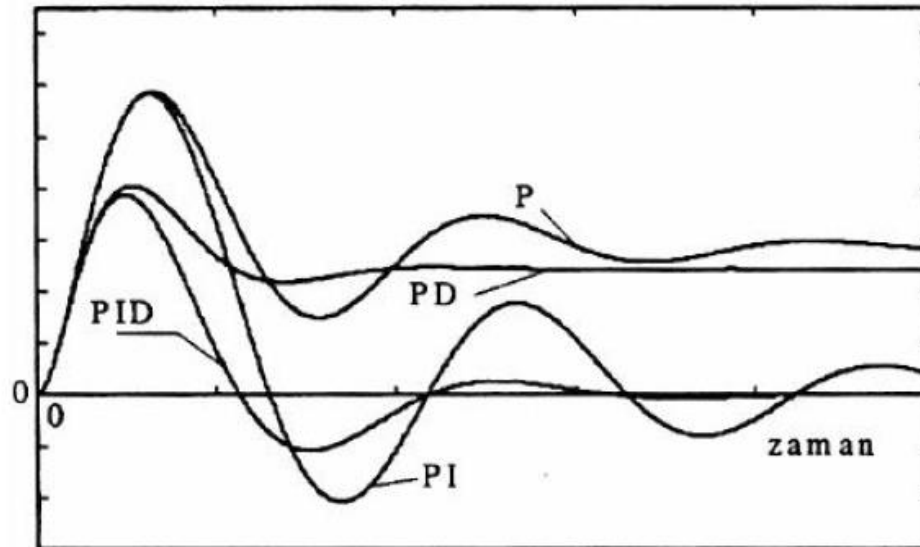
Şekil 4-6 Çeşitli denetim etkilerinin karşılaştırılması



Şekil 4-6'da denetim organı tipine bağlı olarak bir basamak bozucu girişi karşısında hata sinyalinde ortaya çıkan değişimler verilmiştir. Bu eğrilerin birbirleri ile karşılaştırılmasından;

- i. Yalnızca P denetim halinde, cevap eğrisi bir kaç salınım yaptıktan sonra kalıcı-durum halinde olması gerektiği noktadan belli bir sapma gösterir.
- ii. PI denetim halinde, benzer biçimde bir cevap eğrisi elde edilmekle beraber kalıcı-durum halinde bir sapma meydana gelmez. Bununla beraber orantı etkiye integral etki ilavesi sistemin kararsızlığa yatkınlığını artırır. Bu durumu denkleştirmek için orantı kazancı, yalnızca orantı etki uygulamasına göre azaltılmalıdır. Bu durumda da hatadaki düzeltme işlemi, yalnız orantı etkide olduğu kadar hızlı olmaz ve başlangıç hatası da daha yüksek olarak ortaya çıkar.

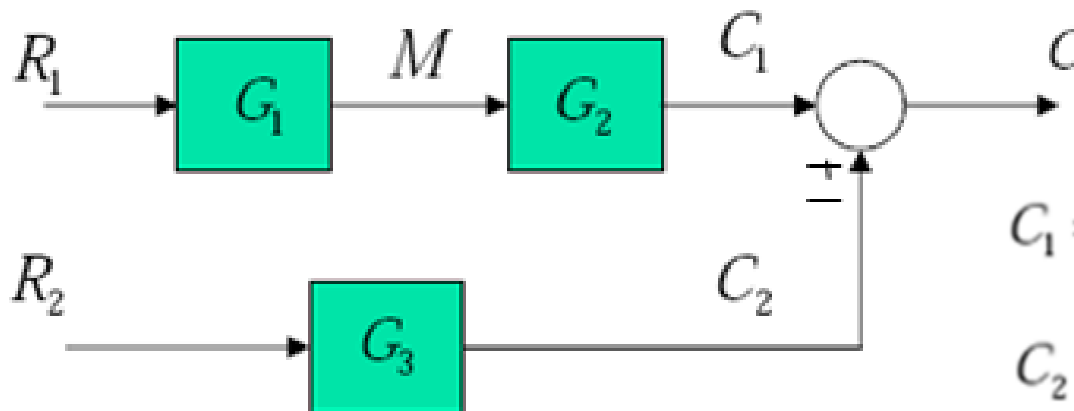
- iii. PD denetimde; hata ortaya çıkar çıkmaz hem orantı etki ve hem de türev etki hatayı azaltır ve dolayısıyla hatanın ilk en yüksek değeri daha küçük olur. Bu en yüksek değerden sonra orantı etki halen hatayı düşürmeye çalışır. Fakat buna karşılık hatanın değişim oranı ters yönde etki ederek değişimi önlemeye çalışır. Bu nedenle türev denetim sistem üzerinde kararlılık kazandırıcı bir etki yaratarak daha kuvvetli bir orantı etki kazancı kullanma olanağı sağlar. Eğriden de görüldüğü gibi PD denetim ile, P denetime göre, daha az başlangıç sapması ve daha az kalıcı-durum hatası ortaya çıkar.
- iv. PID denetimde daha büyük bir başlangıç hatası ortaya çıkmasına rağmen kalıcı-durum hatası tamamen sıfır olur.





KARMAŞIK BLOK DİYAGRAMLARININ İNDİRGENMESİ

Blok diyagramları bazen o kadar karmaşık bir hale gelir ki , sistemin tepkisini görebilmek veya inceleyebilmek açısından indirmek gerekebilir. Sistemin eş değer transfer fonksiyonu bulunarak sistemin geneli hakkında bir yorum yapılabilir duruma getirilir Aşağıdaki örnekte karmaşık bir blok diyagramın indirgenmesi adım adım yapılacaktır.

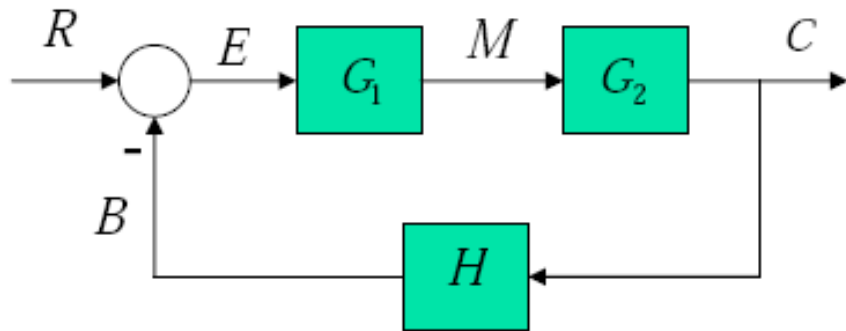


$$C_1 = G_2 M \quad M = G_1 R_1$$

$$C_2 = G_3 R_2$$

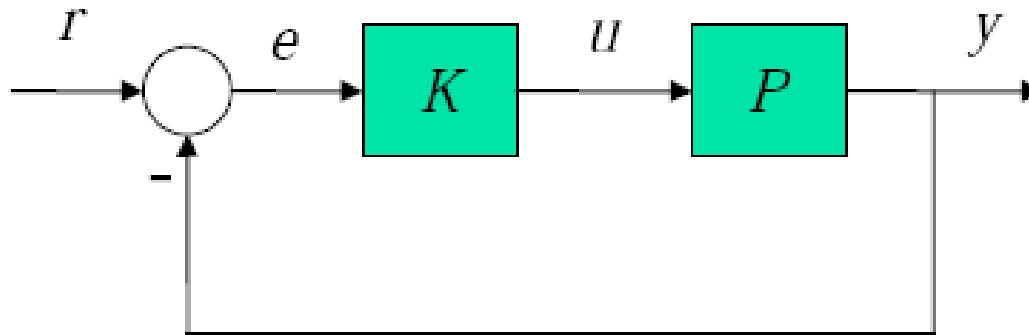
$$C = C_1 \pm C_2$$

$$= G_1 G_2 R_1 \pm G_3 R_2$$



$$\frac{C}{R} = ?$$





$$\frac{e}{r} = ?$$

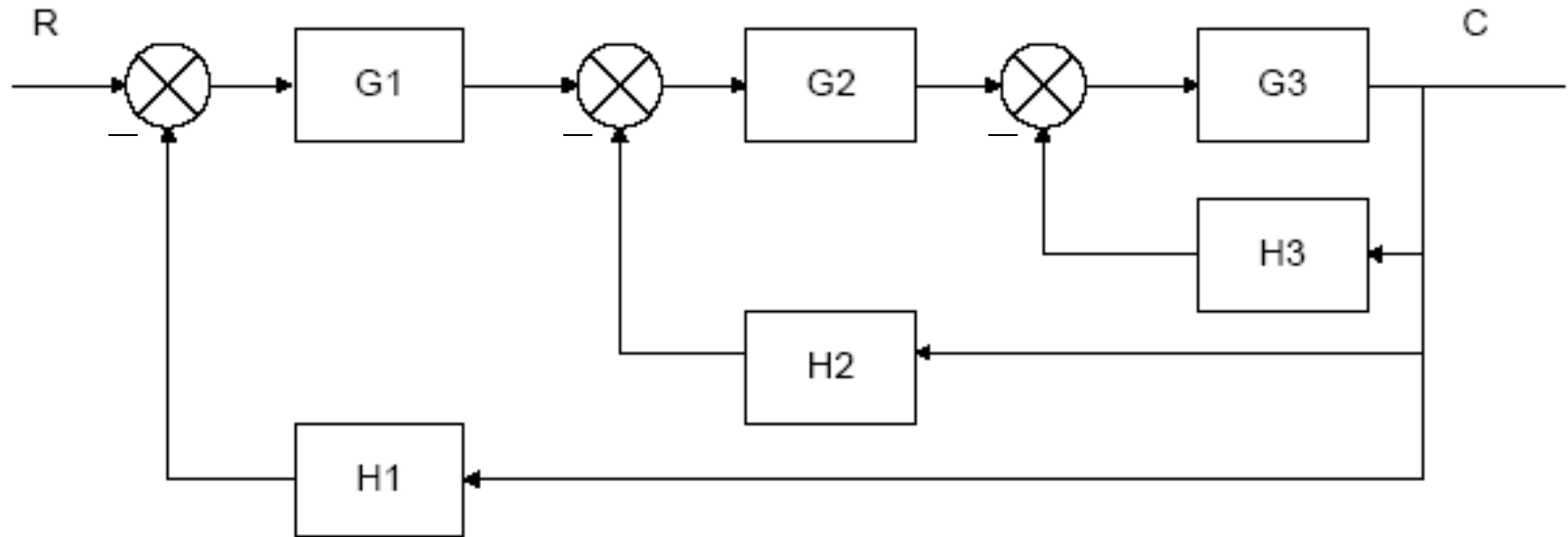
$$\frac{u}{r} = ?$$

$$\frac{y}{r} = ?$$



iö

Örnek verilen blok diyagramı indirgeyerek transfer fonksiyonunu bulunuz.

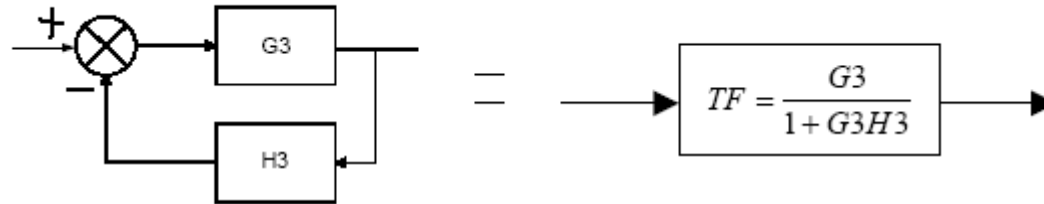


Şekil 3.7 Karmaşık bir blok diyagram örneği



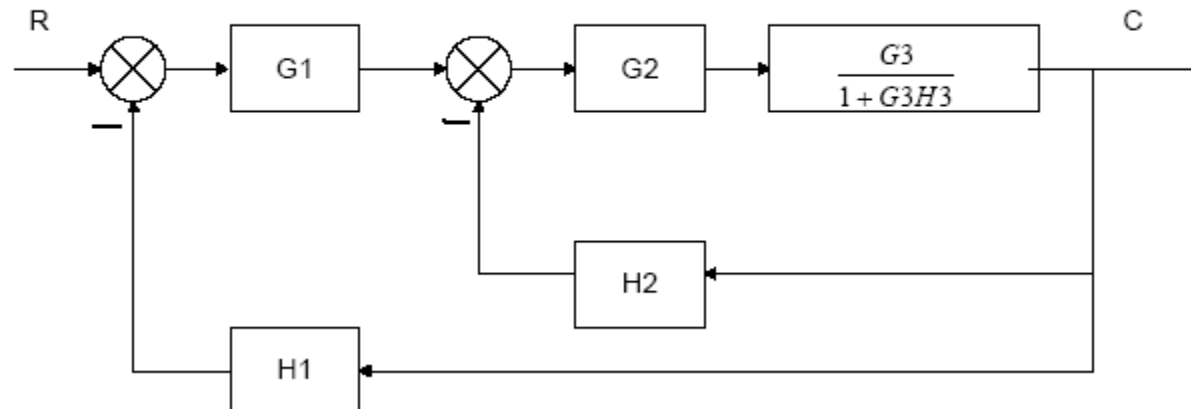
Çözüm için, blok diyagramında seri bağlı elemanlar, paralele elemanlar ve geri beslemeli bloklar aranır. Elektrik devrelerinde eşdeğer direncin bulunduğu gibi eşdeğer transfer fonksiyonun da bulunmasında işleme çıkış tarafında başlanarak geriye doğru ilerlenir.

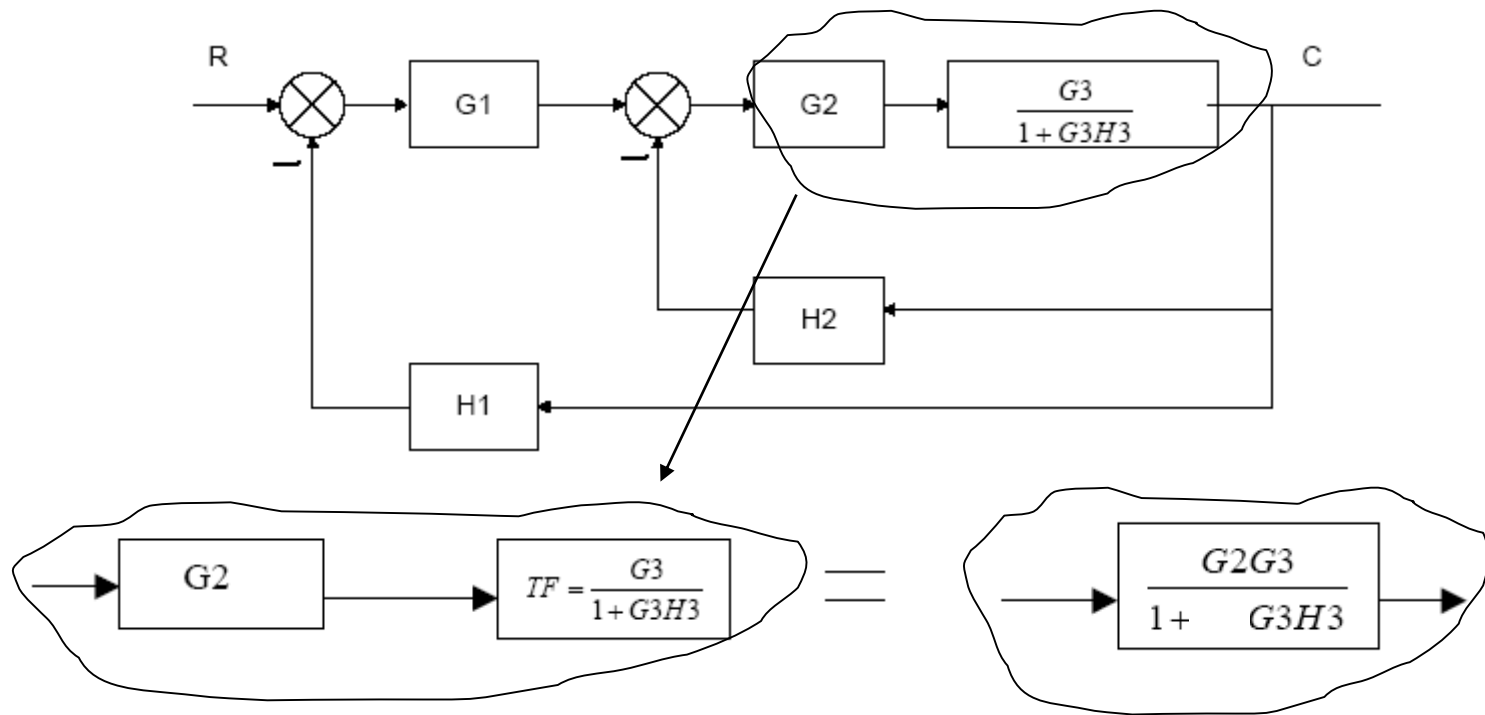
Adım 1:



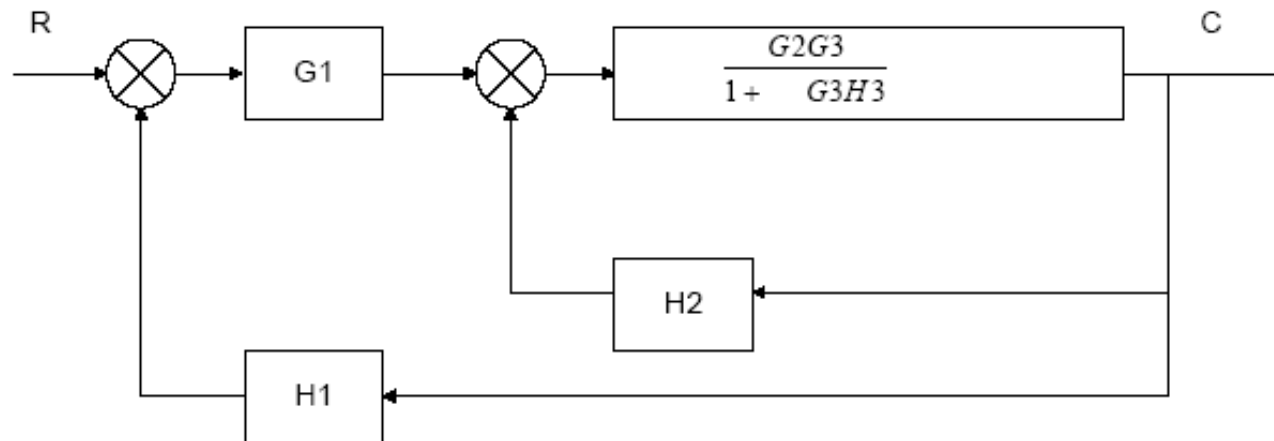
Bu tip geri beslemeli bir bloğun transfer fonksiyonu $TF = \frac{G3}{1 + G3H3}$ 'tür

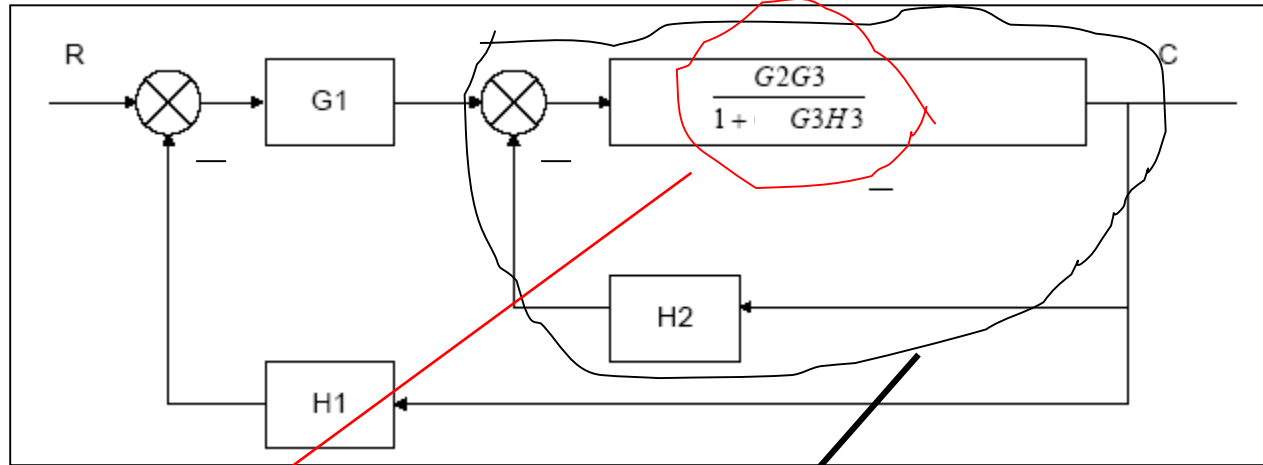
Blok diyagramımızı yeniden çizersek , blok diyagramı aşağıdaki gibi olur.



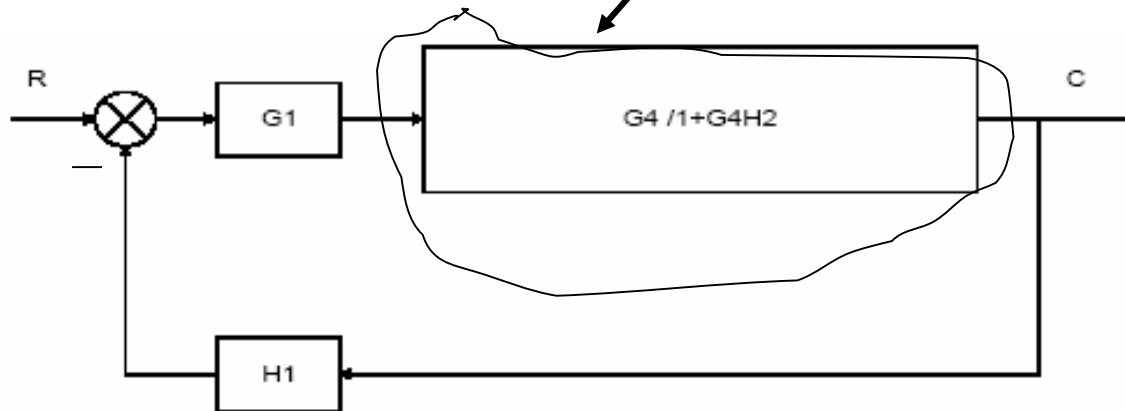


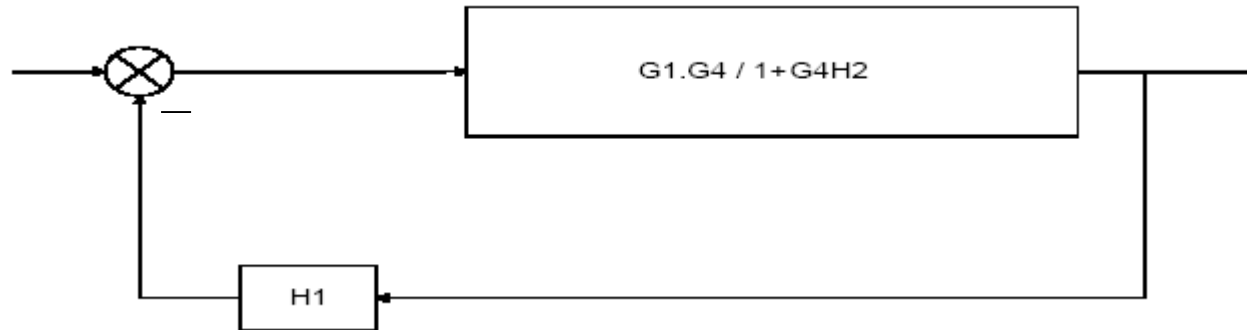
Seri hale gelen bloğun eşdeğeri alınır. Şimdi blok diyagramımızı yeniden çizelim.





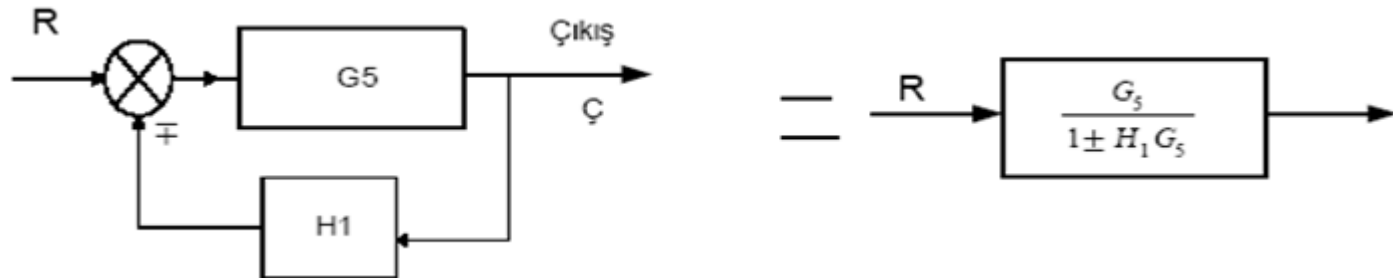
$$G_4 = \frac{G_2 G_3}{1 + G_3 H_3} \text{ dersek, } \frac{G_4}{1 + G_4 H_2}$$





$$G_5 = \frac{G_1 G_4}{1 + G_4 H_2}$$

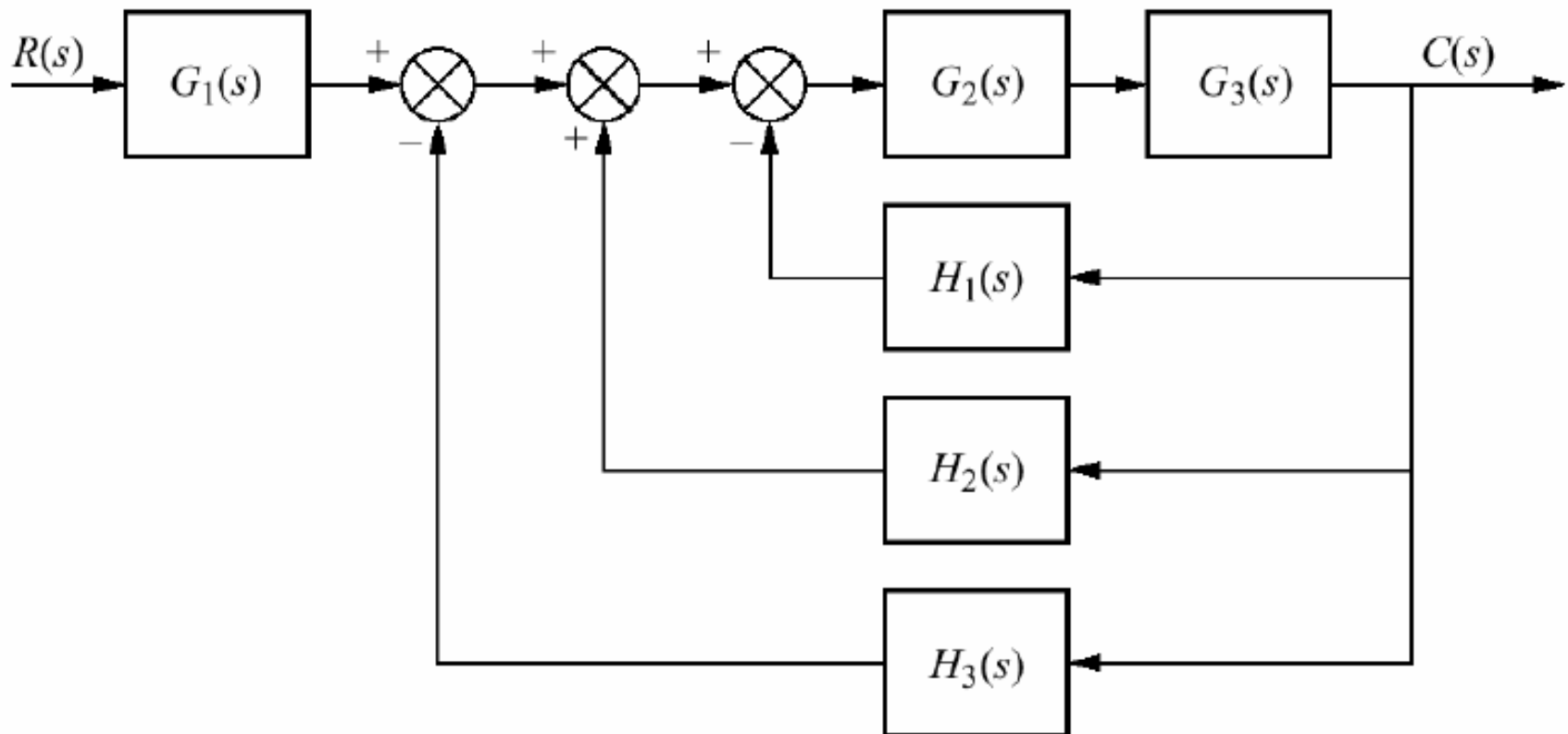
dersek, o zaman blok diyagramını yeniden çizelim.

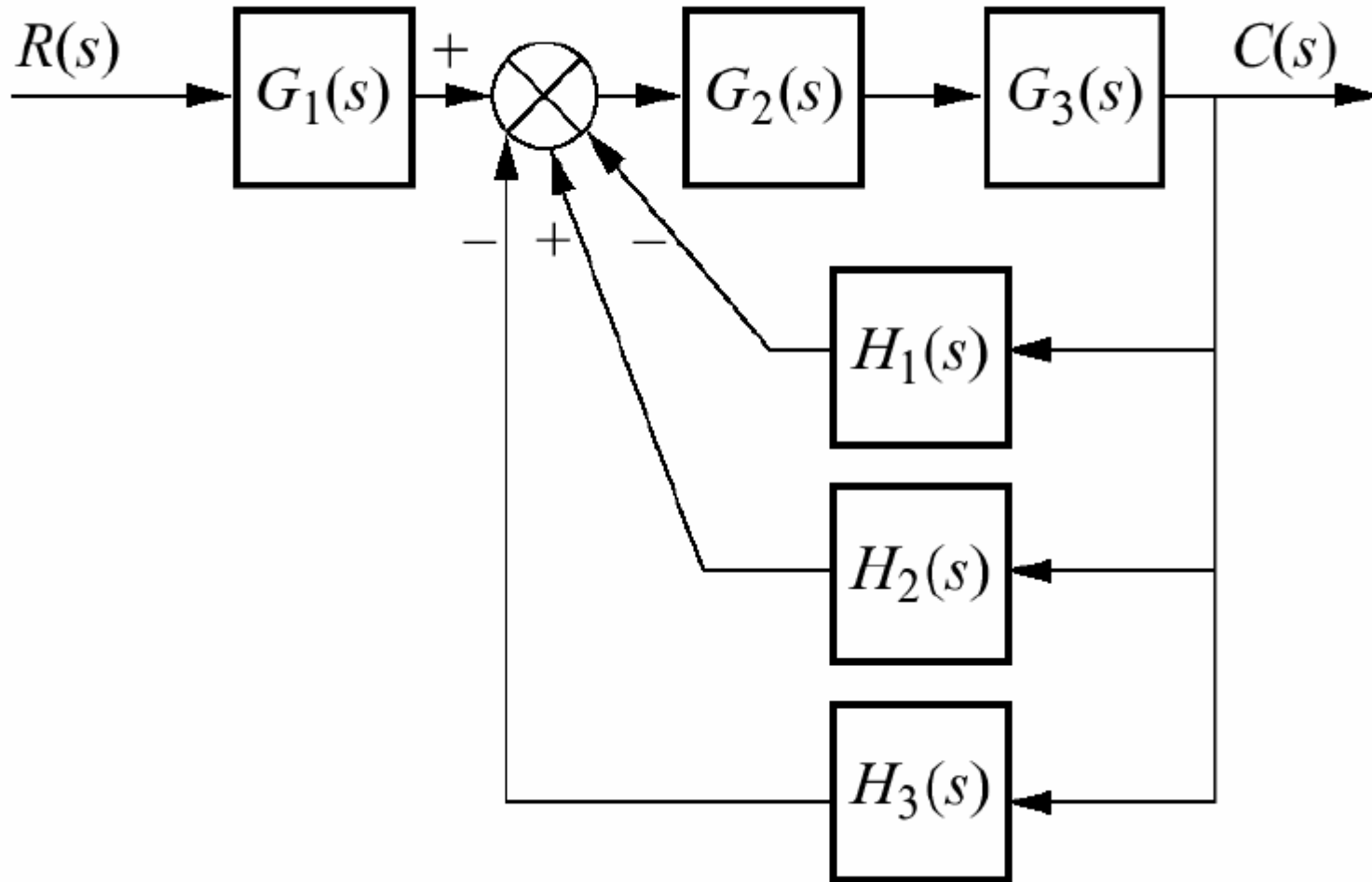


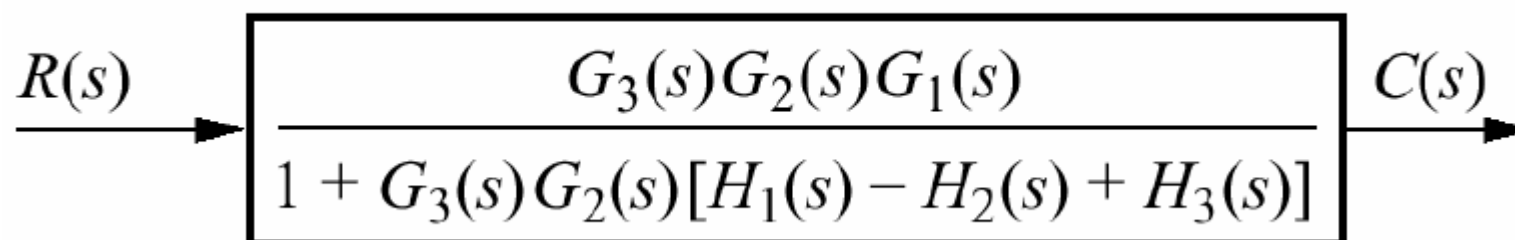
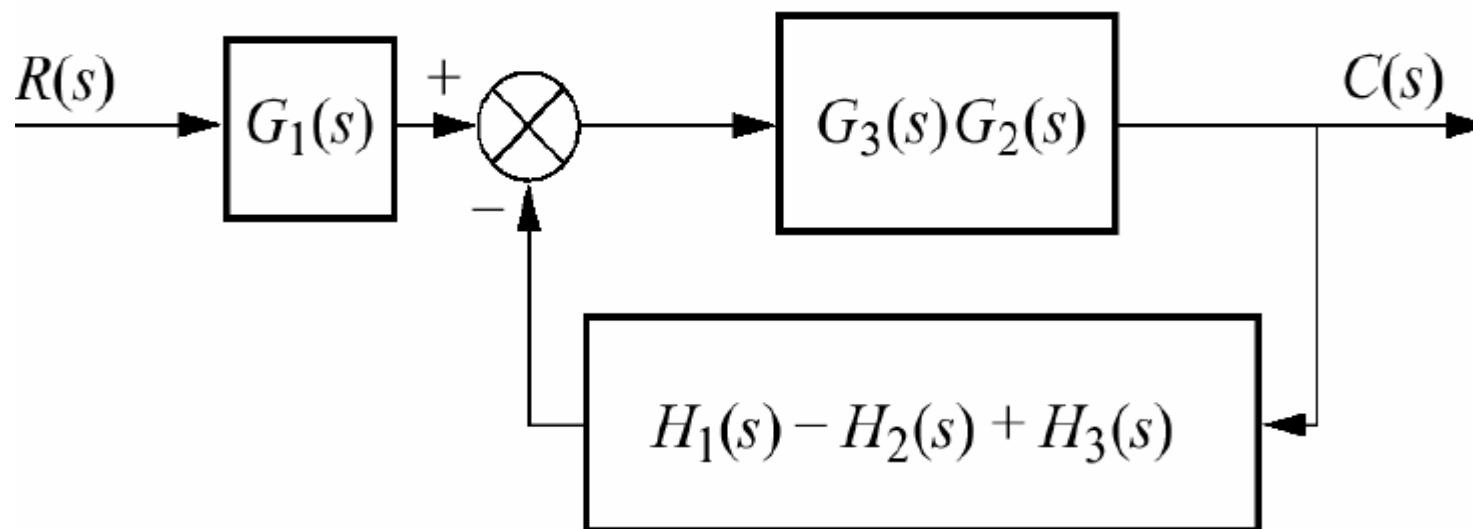
Devrenin eşdeğer transfer fonksiyonu $\frac{G_5}{1 + G_5 H_1}$ olur.

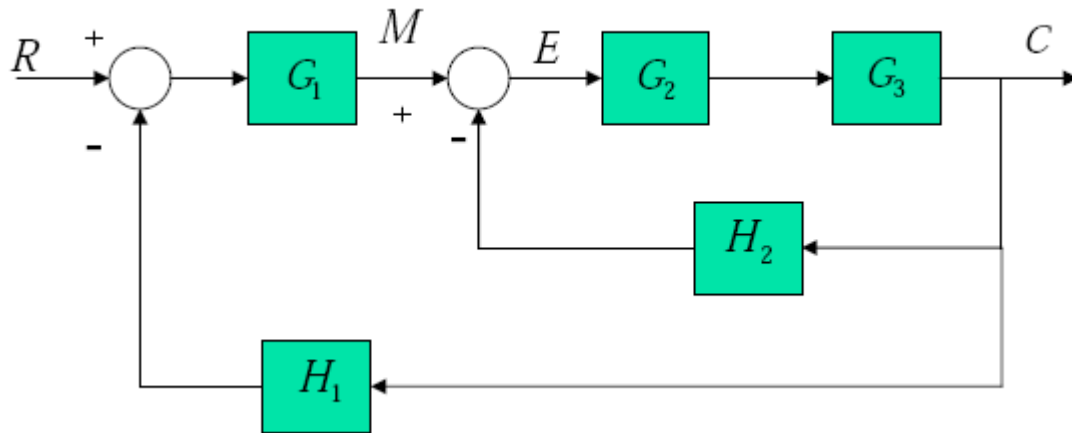


Aşağıdaki blok diyagramı tek bir giriş-çıkış a indirgeyin.







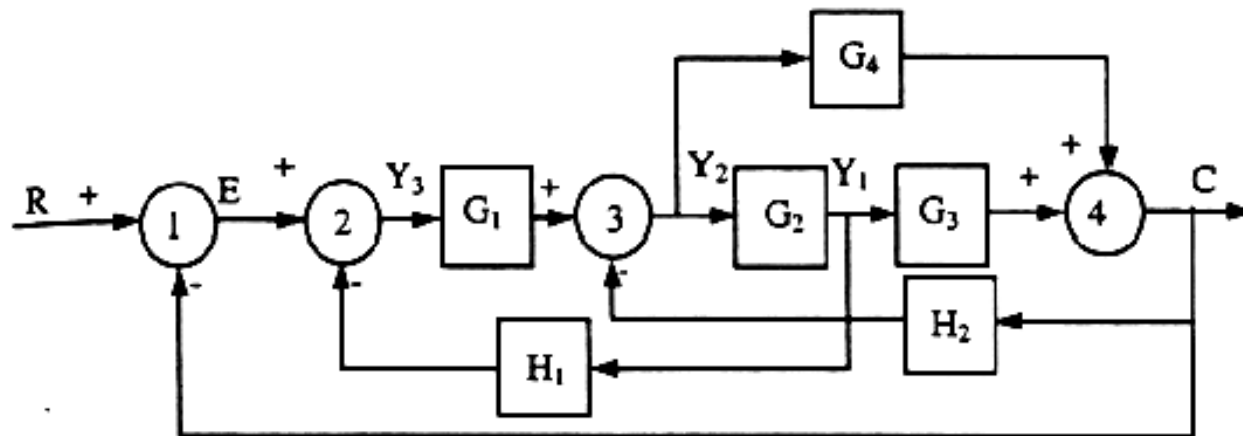


$$\frac{C}{R} = ?$$



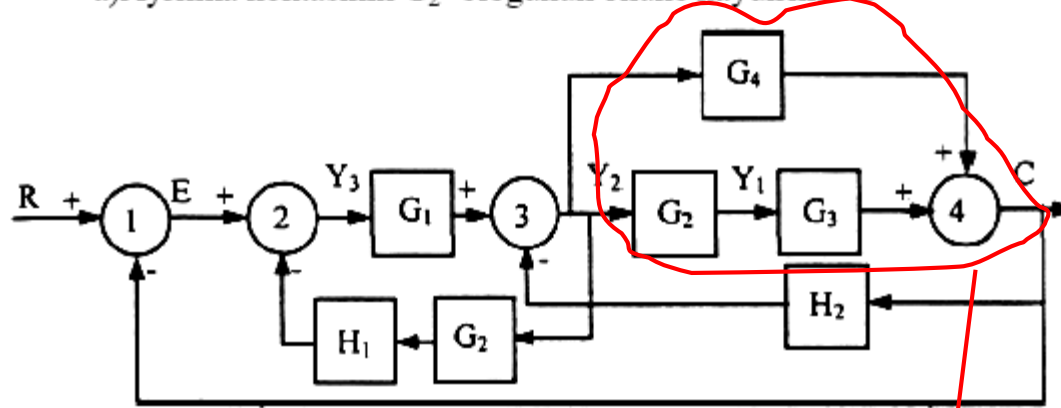


Bir blok diyagramının indirgenmesinde izlenecek yol, ilkönce döngü içinde yer alan ayrılma noktaları ve toplama noktaları uygun bir şekilde yeniden düzenlenerek sistem iç içe geçmiş döngüler haline dönüştürülür ve daha sonra en içteki geribesleme döngüsünden başlanarak içten dışa doğru indirgeme yapılır. İndirgemedeki son hedef tüm blok diyagramı tek bir bloka düşürerek sisteme ait transfer fonksiyonu bu blok içinde göstermektir. Tablo 2-1'deki kuralların kullanılmasına bir örnek olarak Şekil 2-10'da gösterilen sistemi ele alalım. Şekil 2-10'da görülen oldukça karmaşık yapıda bir blok diyagramının indirgenmesindeki hedef onu girişi R ve çıkışı C olan tek bir bloka düşürmektir.

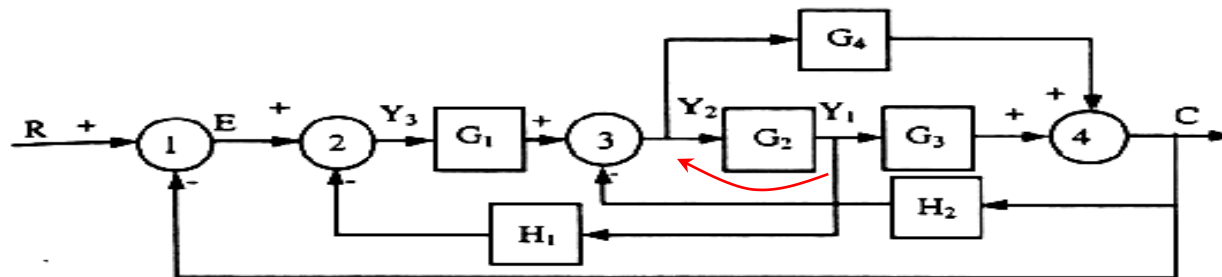
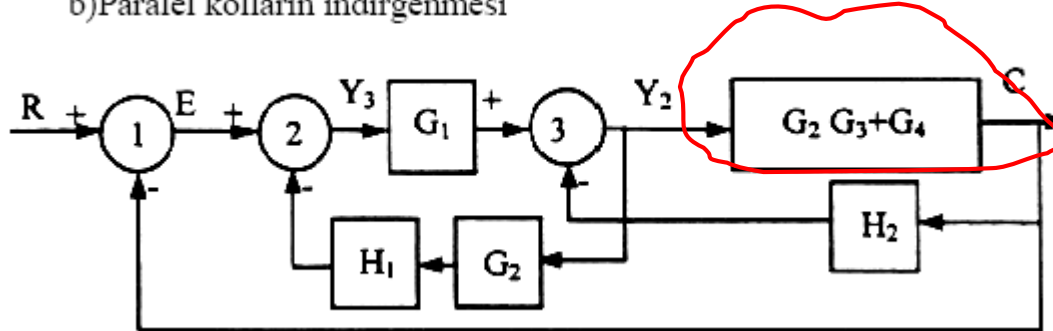


Şekil 2-10 Karmaşık blok şeması

a) Ayrılma noktasının G_2 bloğunun önüne kaydırılması



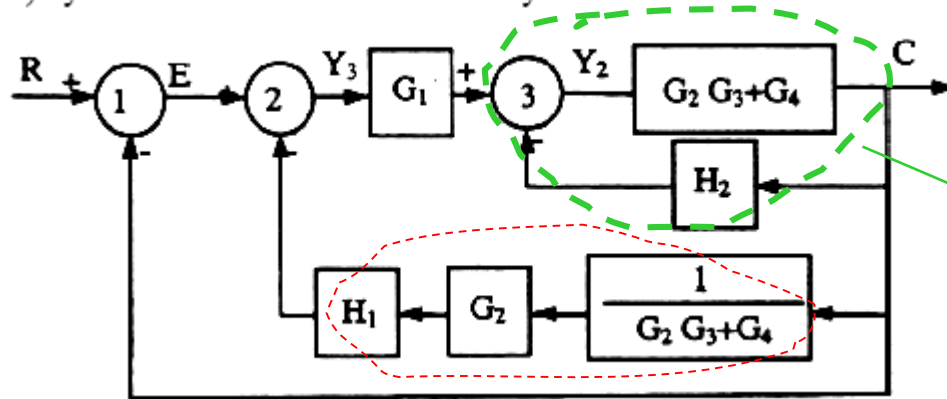
b) Paralel kolların indirgenmesi



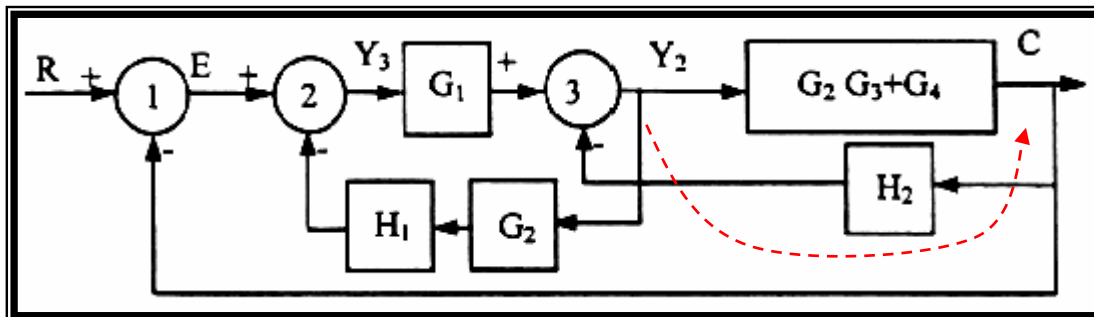
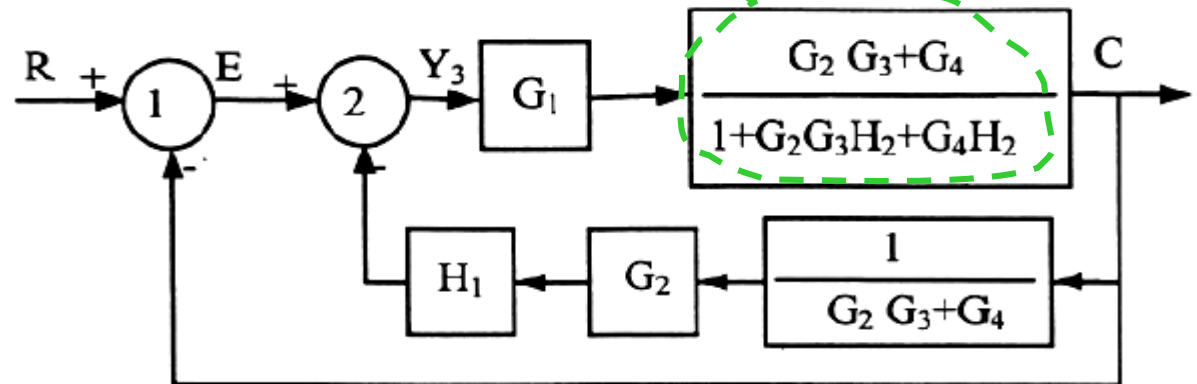
Şekil 2-10 Karmaşık blok şeması



c) Ayrılma noktasının blok ardına kaydırılması

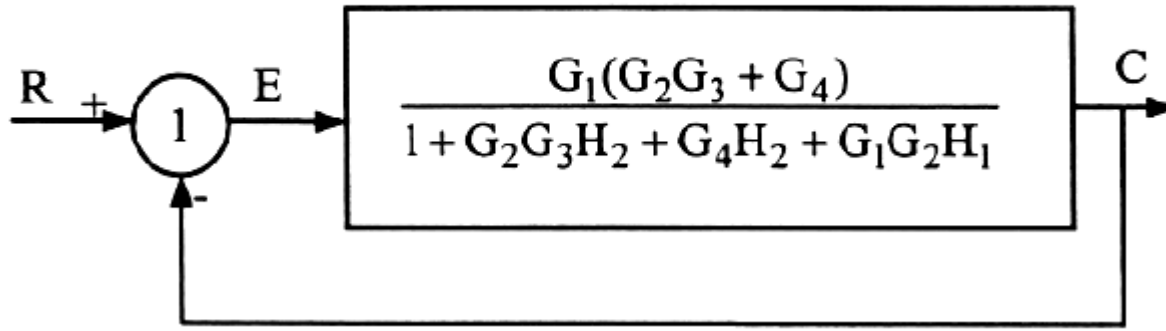


d) 3 nolu toplama noktası ile C arasında geribesleme döngüsünün indirgenmesi

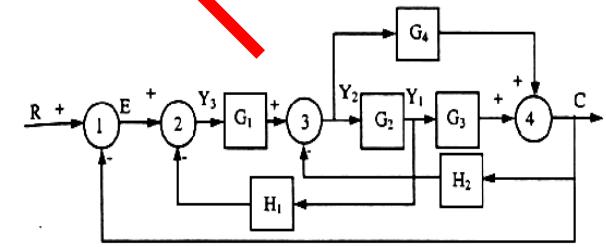
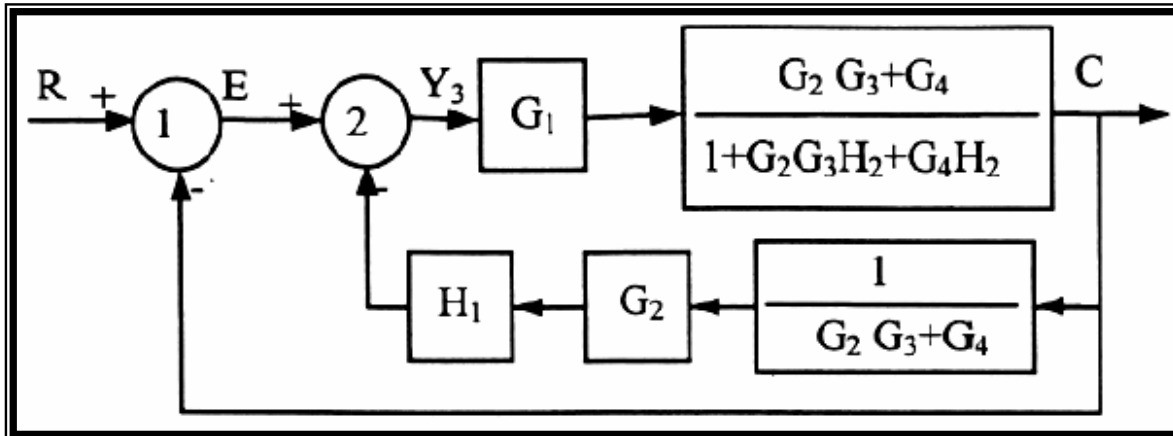
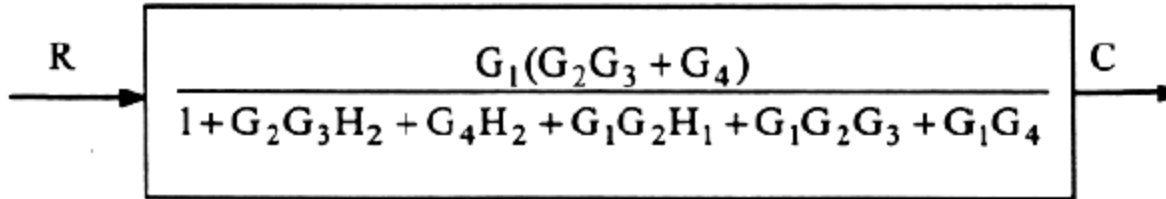




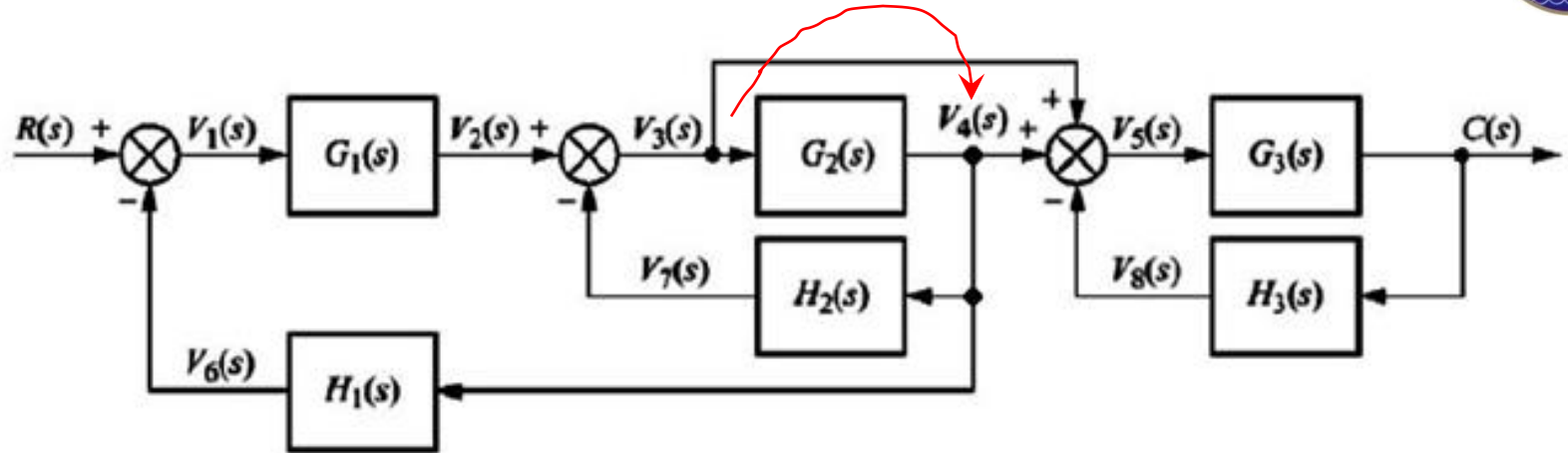
e) 2 nolu toplama noktası ile C arasında geribesleme döngüsünün indirgenmesi



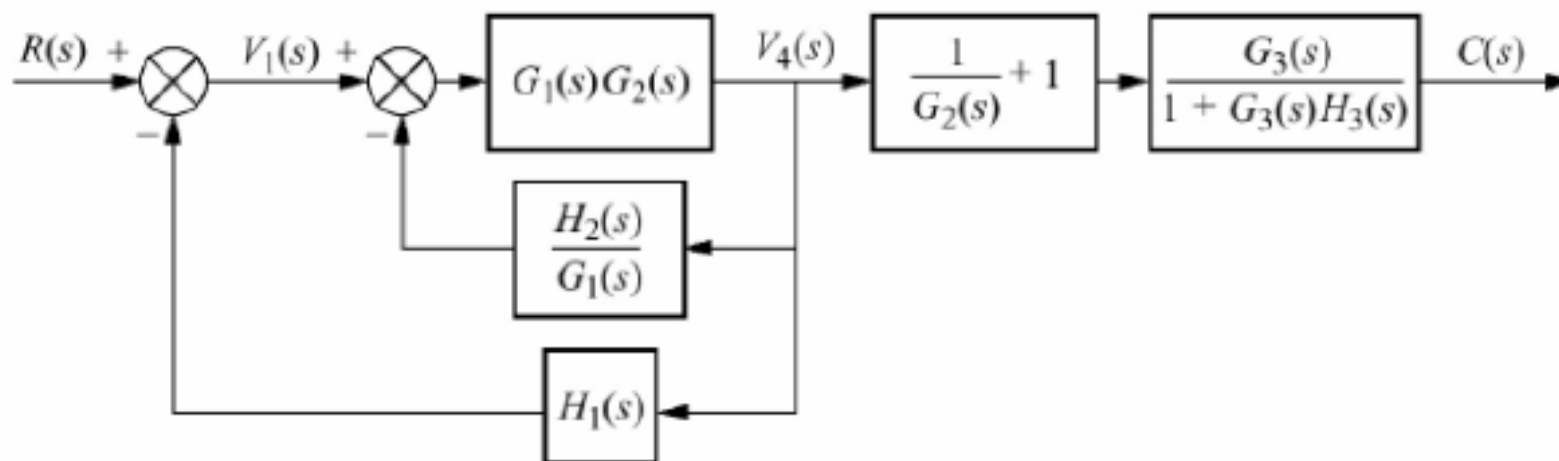
f) 1 nolu toplama noktası ile C arasında geribesleme döngüsünün indirgenmesi



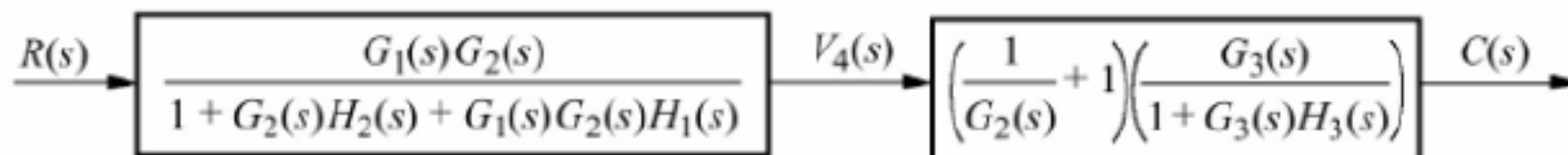
Şekil 2-10 Karmaşık blok şeması



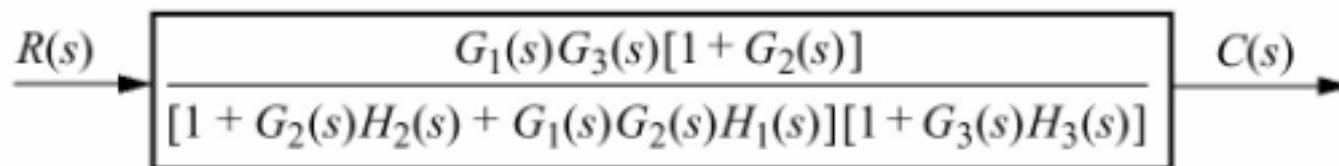
çözüm



(b)

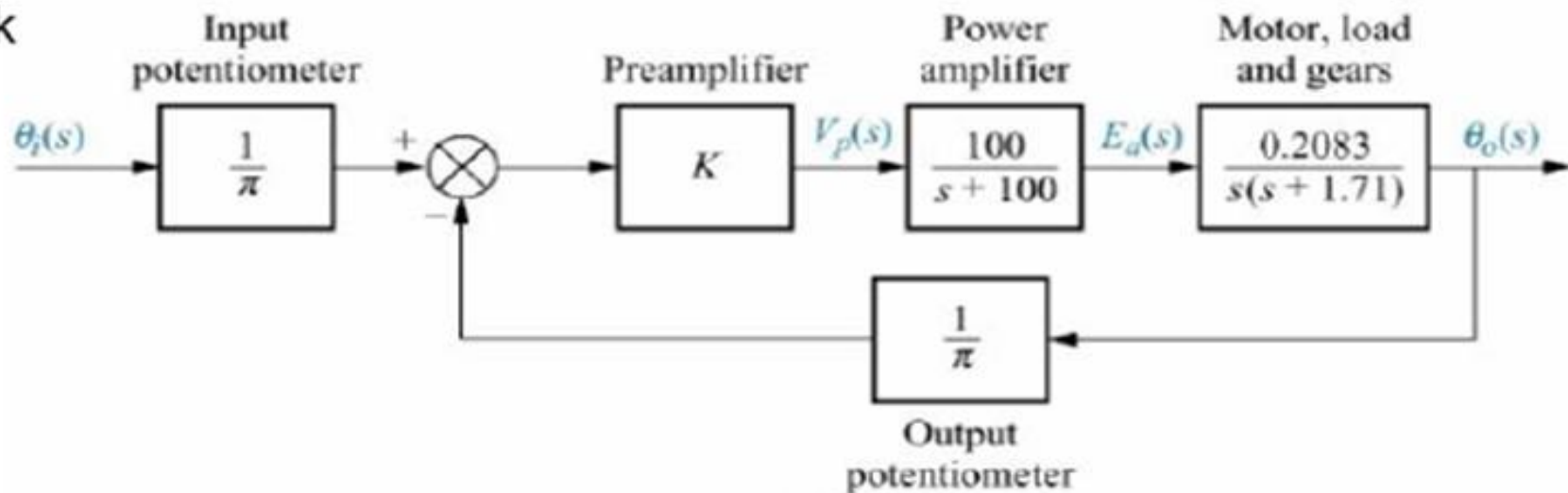


(d)

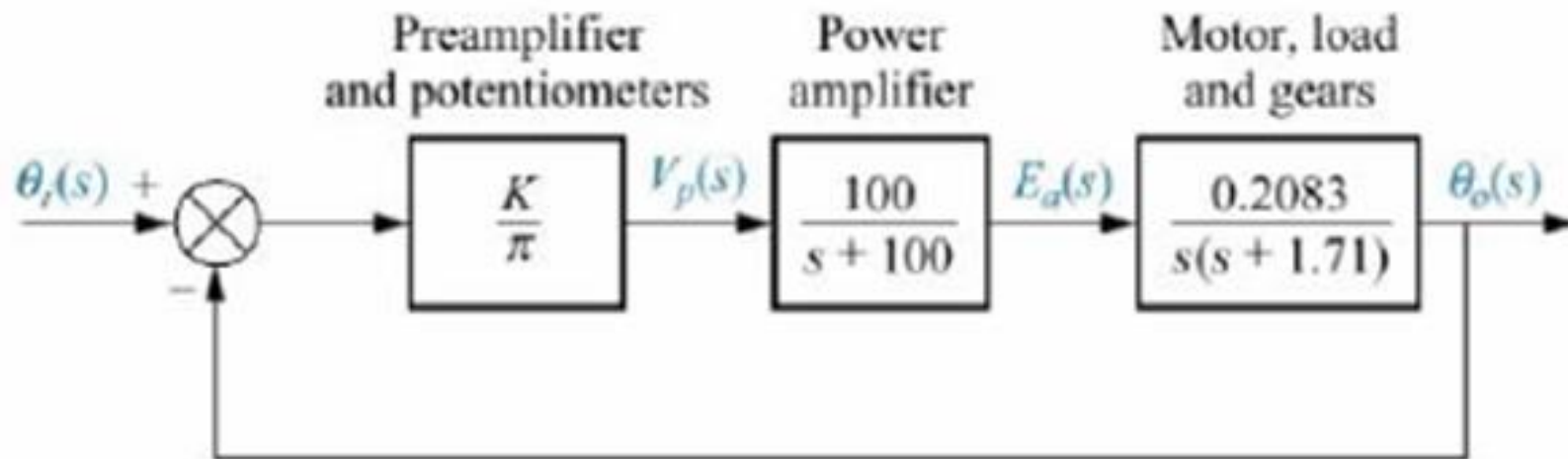


(e)

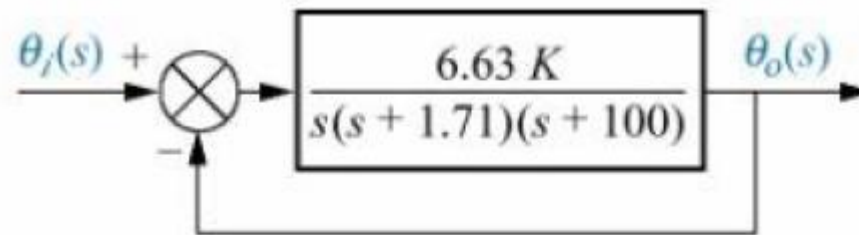
Örnek



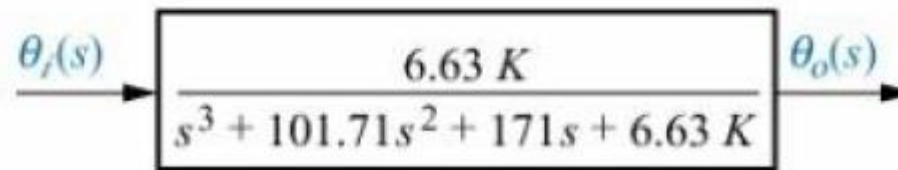
(a)



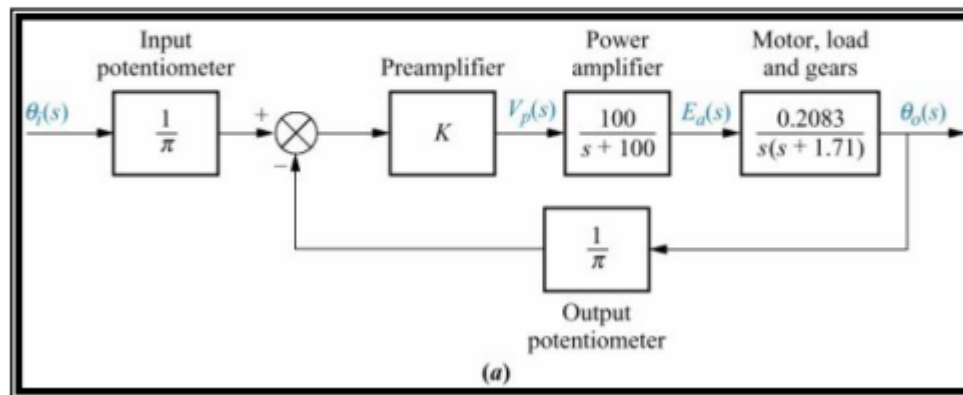
(b)



(c)



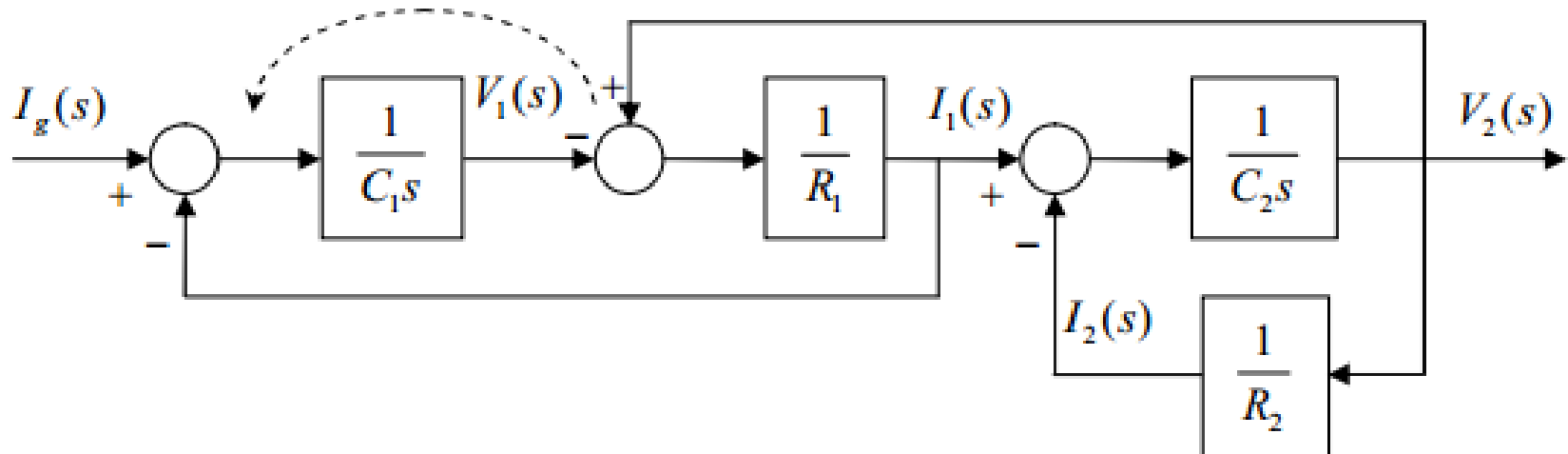
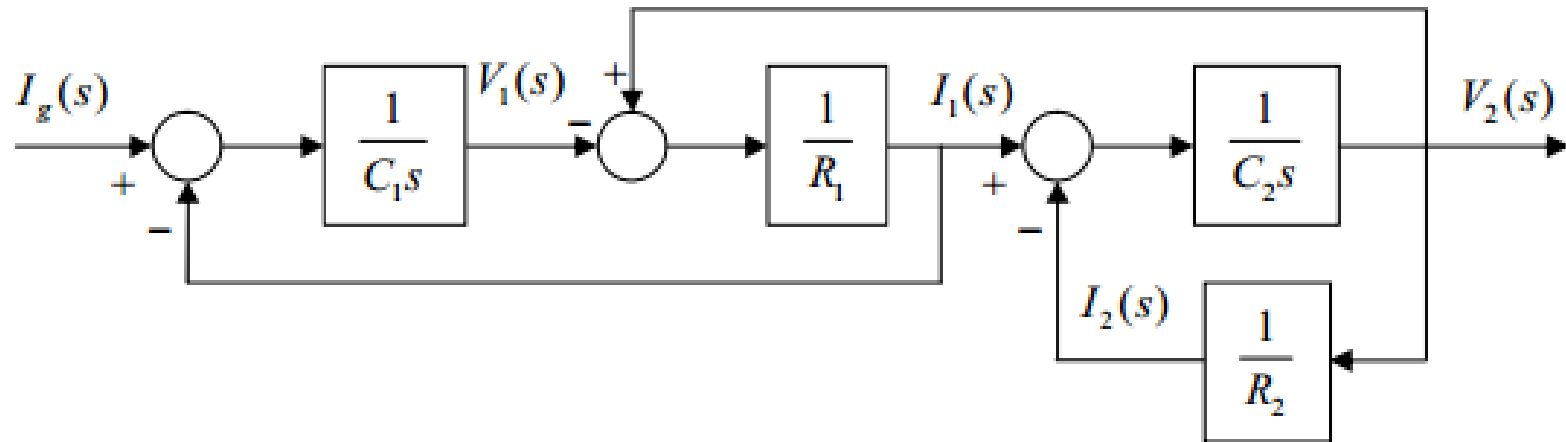
(d)

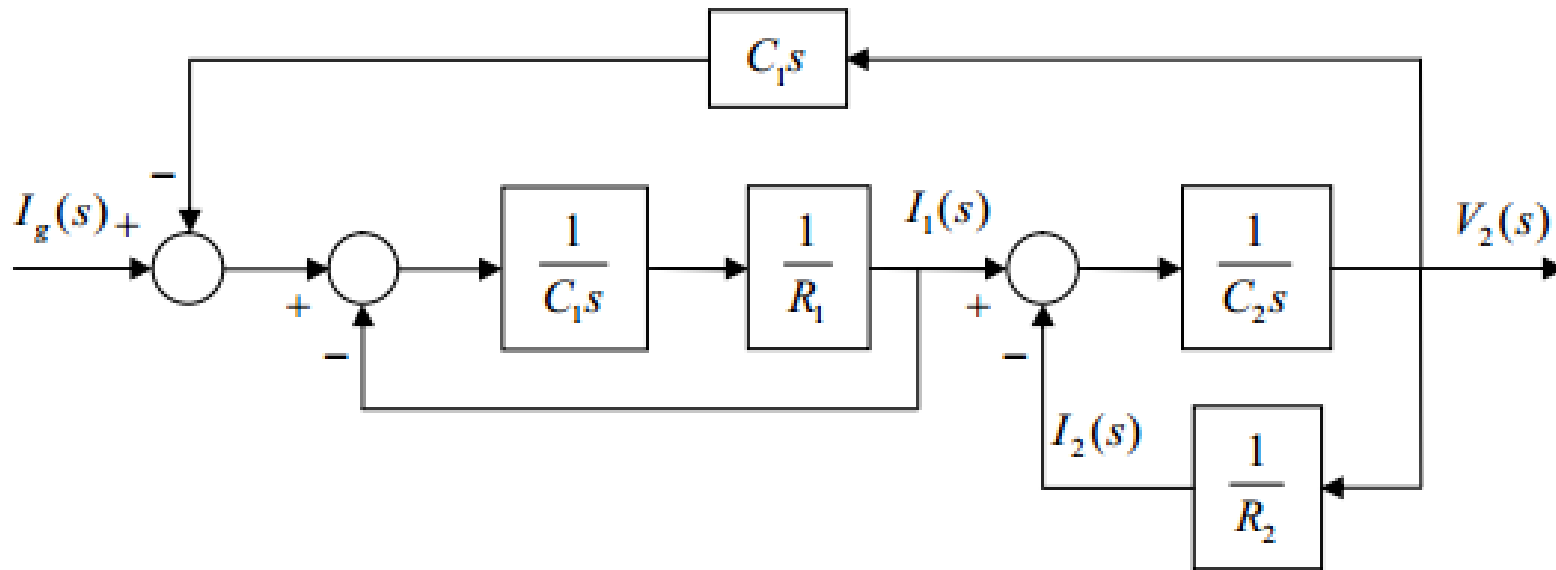


(a)

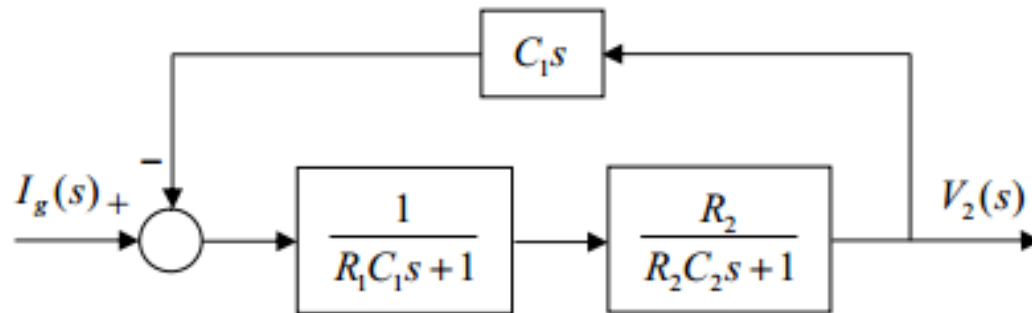


Blok diyagramını indirgeyiniz

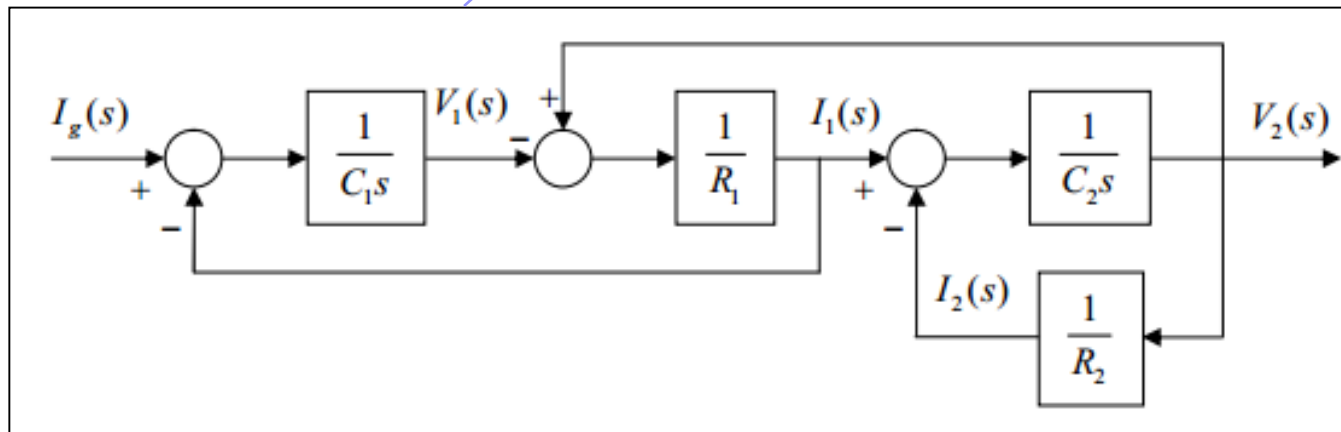
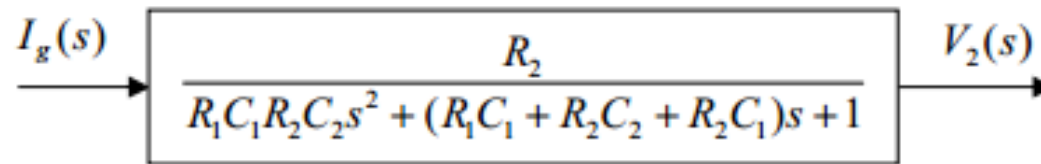




İleribesleme yolu üzerindeki 2 iç geribesleme döngüsü indirgenildiğinde aşağıdaki blok diyagramı elde edilir:



En dıştaki geribesleme döngüsü de indirgendiğinde giriş-çıkış arasındaki ilişki aşağıdaki gibi elde edilir:

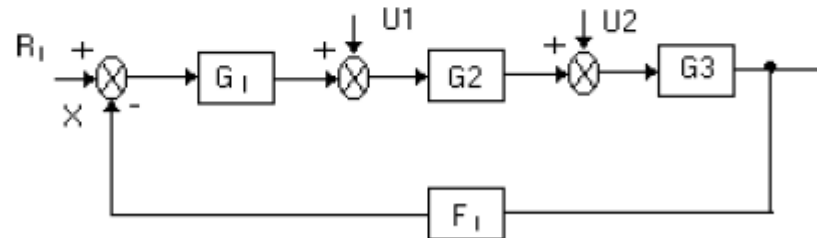




3.5.6 ÇOK GİRİŞLİ TEK ÇIKIŞLI KONTROL SİSTEMİNE ÖRNEKLER

Örnek :

Verilen lineer devrenin eşdeğer transfer fonksiyonunu bulunuz.



Şekil 3.8 Çok girişli blok diyagram

Çözüm:

Devremiz lineer verildiğinden bir giriş haricinde tüm girişleri sıfır kabul ederiz. Aktif olan giriş için transfer fonksiyonunu bulunuz. Her bir giriş için transfer için aynı işlemi tekrarlayacağız.

ADIM I- U_1, U_2 girişleri sıfır kabul edilerek R girişi için transfer fonksiyonunu

$$CR = \frac{G1.G2.G3}{1 + G1.G2.G3.F1}$$



ADIM II- $U_2 = R = 0$ kabul edilerek U_1 için transfer fonksiyonunu bulalım.

$$CU1 = \frac{G2.G3}{1 - G2.G3.F1} \cdot G1$$

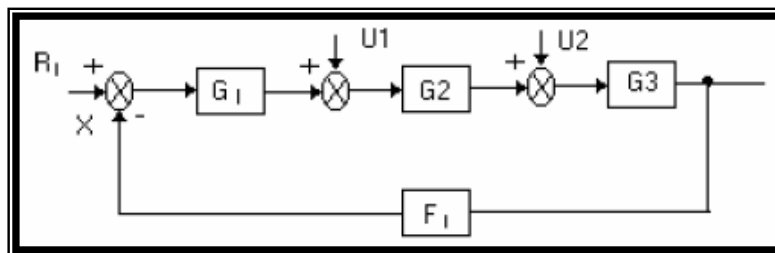
ADIM III- $U_1 = R = 0$ kabul edilerek U_2 için transfer fonksiyonunu bulalım.

$$CU2 = \frac{G3}{1 - G1.G2.G3.F1}$$

Eşdeğer transfer fonksiyonu hepsinin toplamına eşittir.

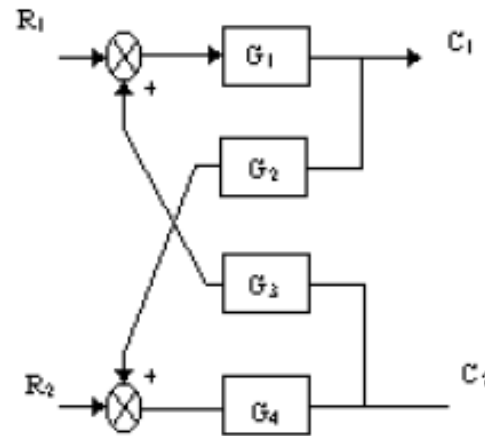
$$C = CR + CU1 + CU2$$

$$C = \frac{G1.G2.G3}{1 + G1.G2.G3.F1} + \frac{G2.G3}{1 - G1.G2.G3.F1} + \frac{G3}{1 - G1.G2.G3.F1} \text{ olarak bulunur.}$$



Örnek :

İki girişli iki çıkışlı kontrol sisteminin eşdeğer transfer fonksiyonunu bulunuz.

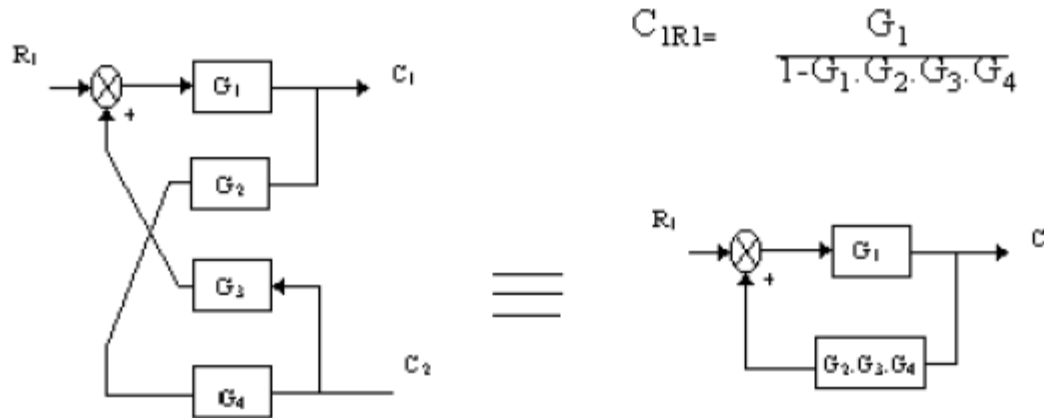


Şekil 3.9 İki giriş iki çıkışlı blok diyagram

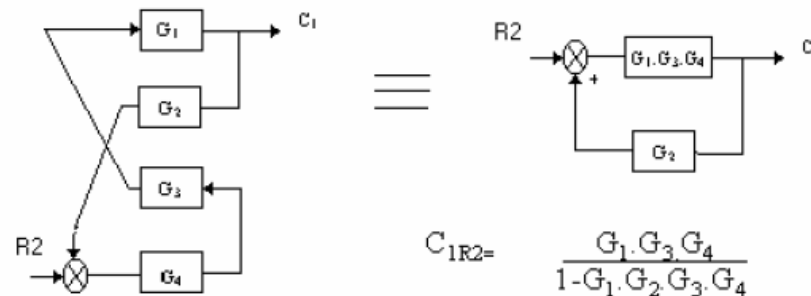
Bu tip blok diyagramların eşdeğer transfer fonksiyonunu bulmak için ,her bir adımda bir giriş ve bir çıkış haricinde tüm giriş ve çıkışlar sıfır kabul edilerek her girişin .her bir çıkışa göre transfer fonksiyonu bulunur.Örneğin bu devre de 4 adet transfer fonksiyonu bulunacak ,eşdeğer transfer fonksiyonu ise iki adet olacaktır.Her çıkışa göre transfer fonksiyonu olacak .burada iki çıkış olduğuna göre iki adet transfer fonksiyonumuz olur.



ADIM I: $R_2 = 0$ kabul edilerek R_1 'in C_1 çıkışına göre transfer fonksiyonunun bulunması devreyi R_2 ve C_2 göz ardı ederek yeniden çizersek;



ADIM II: C_1 çıkışını R_2 girişine bulursak

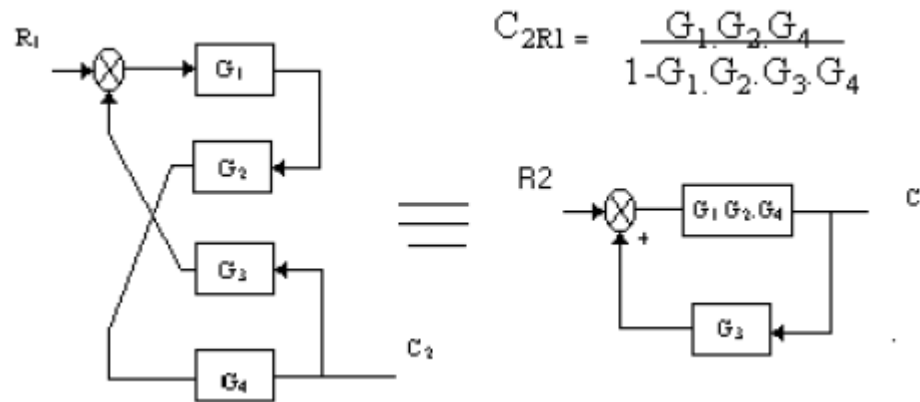


$$C_1 = C_{1R1} + C_{1R2} = \frac{G_1}{1 - G_1 \cdot G_2 \cdot G_3 \cdot G_4} + \frac{G_1 \cdot G_3 \cdot G_4}{1 - G_1 \cdot G_2 \cdot G_3 \cdot G_4}$$

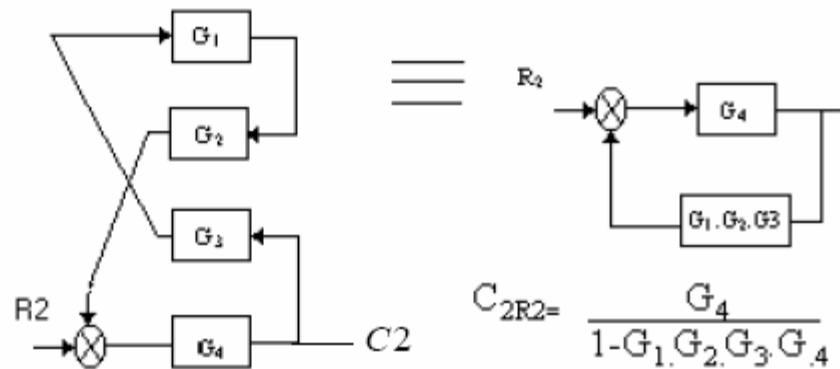
$$C_{1R1} \quad C_{1R2}$$



ADIM III; C2 çıkışına göre transfer fonksiyonunu bulalım.
Bu durumda ,C₁ göz ardı edilerek, R₂ = 0 kabul edilir.Blok diyagramını çizersek;



ADIM IV-; R₂ girişine göre C₂ çıkışını bulalım .



$$C2 = C2R1 + C2R2 = \frac{G1 \cdot G2 \cdot G3}{1 - G1 \cdot G2 \cdot G3 \cdot G4} + \frac{G4}{1 - G1 \cdot G2 \cdot G3 \cdot G4} \text{ olur..}$$



2.5. İŞARET AKIŞ GRAFİKLERİ

Blok diyagramı denetim sistemlerinin grafiksel gösterimi için çok faydalıdır. Bununla beraber çok karmaşık sistemlerde, blok diyagramı indirgeme işlemi çok zaman alıcı bir işlem haline gelir. Buna karşılık karmaşık denetim sisteminin sistem değişkenleri arasındaki bağıntıları bulmak için diğer bir yaklaşım olarak işaret akış grafikleri kullanılır. İşaret akış grafikleri, blok diyagramları gibi, sistemlerin neden-sonuç ilişkilerini göstermek için kullanılır. İşaret akış grafikleri blok diyagramlarına göre daha basit inceleme olanağı sağlayan bir yöntemdir.

Bir işaret akış grafiği doğrusal cebir denklemler takımını ve değişkenleri arasında neden-sonuç ilişkisini gösteren bir diyagramdır. Denetim sistemlerinin çözümlenmesinde işaret akış grafik yönteminin kullanılabilmesi için sisteme ait diferansiyel denklemlerin s'in polinomu olan cebir denklemlere dönüştürülmesi gerekir.

Bir işaret akış grafiği yönlendirilmiş kollar yoluyla bağlanmış düğümlerin teşkil ettiği bir ağdan ibarettir. Her bir düğüm noktası bir sistem değişkenini gösterir. İki düğümü birleştiren her bir kol, değişkenler arasındaki neden-sonuç ilişkisini belirler ve bir işaret çarpanı olarak etki eder. İşaretler yalnızca tek bir yönde, oklar yönünde akar. İşaret akış grafiği sistemin bir noktasından diğer noktasına giden işaretlerin akışını tanımlar ve işaretler arasındaki bağıntıları verir.



Bir işaret akış grafiği bir blok diyagramı ile aynı bilgiyi taşır. Bir denetim sistemi gösteriminde işaret akış grafiği kullanmanın üstünlüğü ise bir kazanç formülü (Mason kazanç formülü) yardımı ile grafiğin indirgenmesini gerektirmeden sistem değişkenleri arasındaki bağıntıyı doğrudan doğruya bulabilme olanağı sağlamasıdır.

2.5.1. İŞARET AKIŞ GRAFİĞİ TANIMLARI

Düğüm: Bir değişken veya işareti gösteren bir nokta.

Geçiş Fonksiyonu: İki düğüm arasındaki kazanç..

Kol:İki düğümü birleştiren yönlendirilmiş çizgi. Kola ait kazanç bu çizginin üzerine yazılır.

Giriş Düğümü veya Kaynak:Yalnızca kendisini terkeden kolları olan düğüm. Bu ise bir bağımsız değişkene karşılık gelir.

Çıkış Düğümü: Yalnızca kendisine gelen yönde kolları olan düğüm. Sistemin bağımlı değişkenini temsil eder.

Karmaşık Düğüm: Hem kendisine gelen ve hem de kendisini terkeden kollara sahip bir düğüm.

Yol: Oklar yönünde gidilerek geçilen kolların birbirine bağlı grubudur. Düğümlerinden bir defadan fazla geçilmeyen yol “açık yol” adını alır. Başladığı düğüme geri dönen ve diğer herhangi bir düğümden geçmeyen yol “kapalı yol” adını alır. Aynı düğümü birden fazla geçen ve başladığı düğüme göre farklı düğümden sona eren yol ne açık ve ne de kapalı yol tanımına girer.



Döngü: Kapalı bir yol.

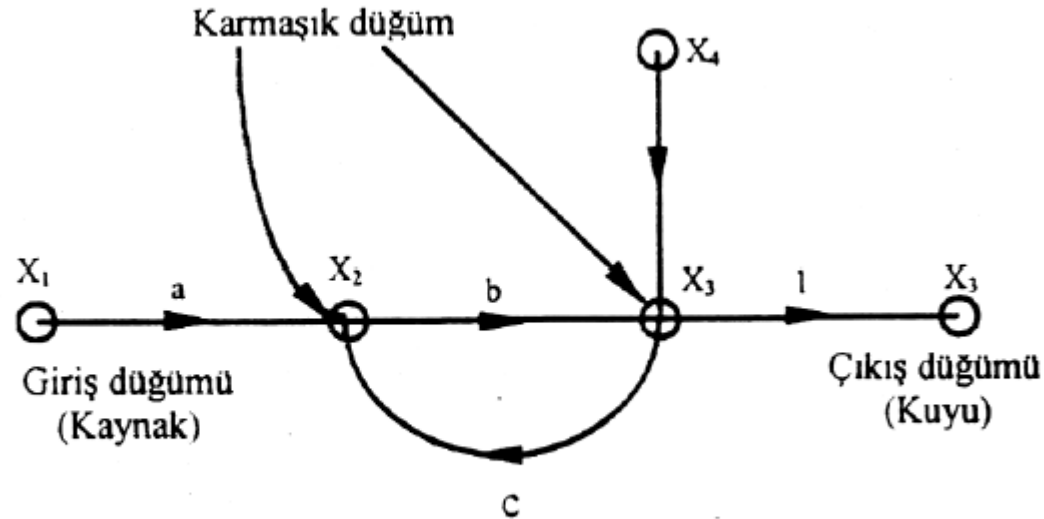
Döngü Kazancı: Döngü kol kazançlarının çarpımına eşittir.

Birbirine Dokunmayan Döngüler: Ortak düğümlere sahip olmayan döngüler.

İleri Giden Yol: Herhangi bir düğümü birden fazla geçmeden giriş düğümünden (kaynak) çıkıp, çıkış düğümüne giden yol.

İleri Giden Yol Kazancı: İleri giden yolun kol kazançları çarpımına eşittir.

Şekil 2-12'de düğümler, kollar kazançlar ile bir arada toplu olarak verilmiştir.



Şekil 2-12 İşaret Akış Grafiği



2.5.2. İŞARET AKIŞ GRAFİKLERİNİN ÖZELLİKLERİ

İşaret akış grafiklerinin bazı önemli özellikleri şunlardır;

- a) Bir kol işaretin diğeri üzerindeki işlevsel bağımlılığını gösterir. Bir işaret yalnızca kolun oku yoluyla belirlenen yönde geçer.
- b) Bir düğüm kendisine gelen tüm kolların işaretlerini toplar ve bu toplamı kendisinden ayrılan tüm kollara aktarır.
- c) Hem gelen hem de giden kollara sahip olan karmaşık bir düğüm birim kazançlı bir giden kolun ilavesi yoluyla bir çıkış düğümü gibi ele alınabilir. (Şekil 2-12'den, x_3 'ten diğeri düğüme yönlendirilmiş birim kazançlı bir kol da x_3 ile belirlenir). Bununla beraber karmaşık düğüm bu yöntemle bir kaynağa dönüştürülemez.
- d) Verilen bir sistem için işaret akış grafiği tek değildir. Verilen bir sisteme göre sistem denklemlerini farklı şeklide yazarak pek çok farklı işaret akış grafiği elde edilebilir.



2.5.3. İŞARET AKIŞ GRAFİĞİ İŞLEMLERİ

Doğrusal bir sistemin işaret akış grafiği yukarıda verilen tanımları kullanarak çizilebilir. İşaret akış grafiğinin çiziminde genellikle giriş düğümleri (kaynaklar) sol tarafa ve çıkış düğümleri de sağ tarafa yerleştirilir. Denklemlerin bağımsız değişkenleri giriş düğümleri, bağımlı değişkenleri de çıkış düğümleri olur. Kol kazançları ise denklemlerin katsayılarından elde edilir.

Giriş-çıkış bağıntılarını belirlemek için ya Mason formülü kullanılır ya da işaret akış grafiği yalnızca giriş ve çıkış düğümlerinden ibaret bir çizgi grafiğe indirgenir.

İndirgeme işlemi için aşağıdaki kurallar kullanılır:

- a) Kendisine yönelmiş yalnızca bir kolu olan düğümün değeri, Şekil 2-13a'da olduğu gibi, $x_2 = ax_1$ olarak verilir.
- b) Ardışık bağlı kolların toplam kazancı tüm kol kazançları çarpımına eşittir. Buna göre ardışık bağlı kollar, Şekil 2-13b'de olduğu gibi, kazançlar çarpılmak suretiyle bir tek kol içinde birleştirilebilir.
- c) Paralel bağlı kollar ise kazançları toplanarak bir tek kol haline indirgenebilir(Şekil 2-13c).

e) Bir döngü ise Şekil 2-13e'de gösterildiği gibi indirgenebilir.

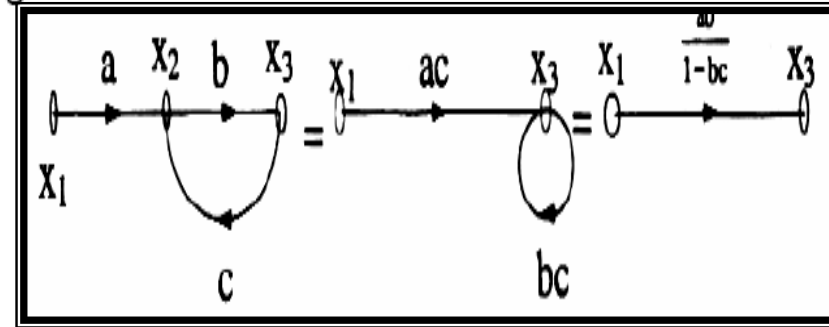
Şekil 2-13e'deki sonucu aşağıdaki şekilde gösterebiliriz.

$$x_3 = bx_2, \quad x_2 = ax_1 + cx_3$$

veya

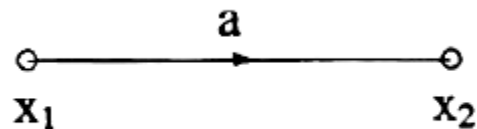
$$x_3 = abx_1 + bcx_3$$

$$x_3 = \frac{ab}{1-bc} x_1$$



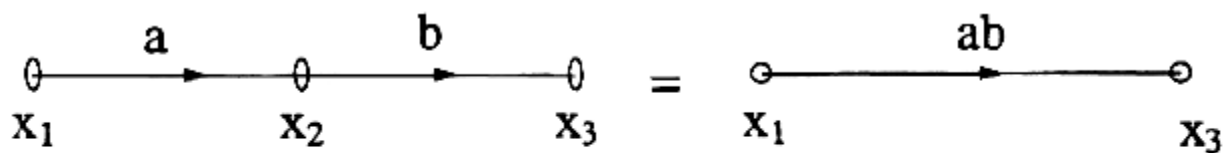
(2.19.)

Böylece döngülerin indirgenmesi ile tüm kazancı $ab/(1-bc)$ olan bir giriş ve bir de çıkış düğümünden ibaret bir kol elde edilir.

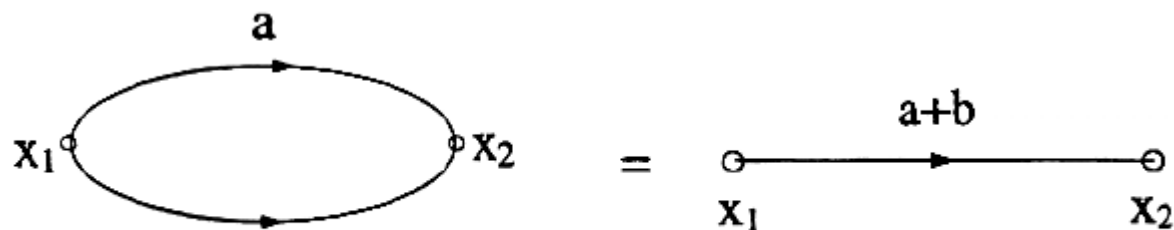


(a)

Şekil 2-13 İşaret akış grafiklerinin indirgenmesi

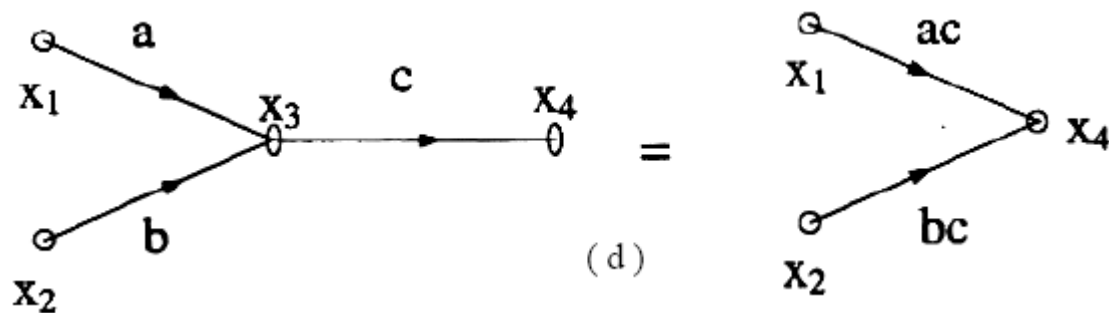


(b)



(c)

d) Bir karmaşık düğüm Şekil 2-13d'de olduğu gibi ortadan kaldırılabilir.



(d)

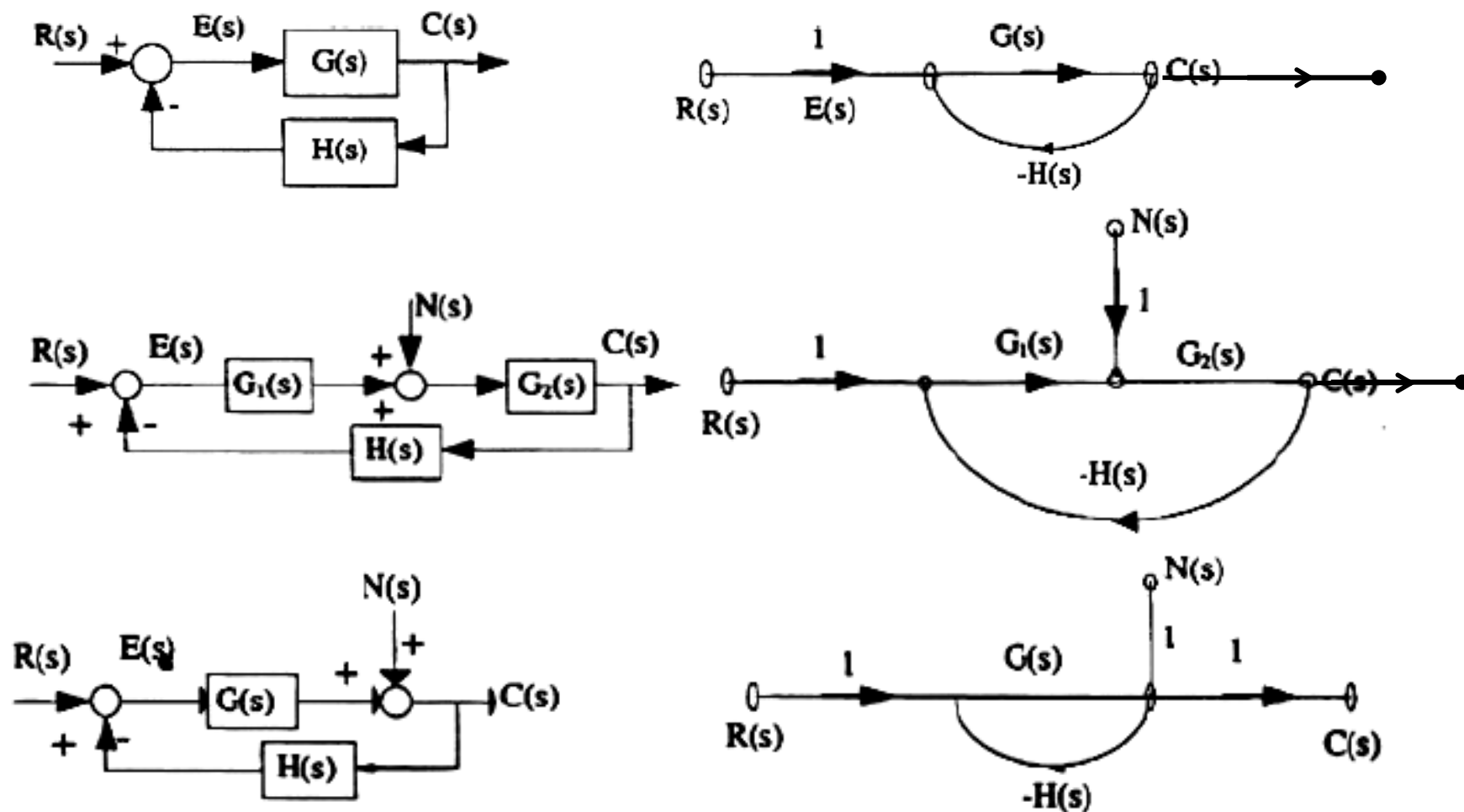
2.5.4. DENETİM SİSTEMLERİNİN İŞARET AKIŞ GRAFİKLERİ

Bazı basit denetim sistemlerine ait işaret akış grafikleri Şekil 2-14'de verilmiştir. Bu tür basit grafiklere göre, kapalı-döngü transfer fonksiyonu $C(s)/R(s)$ veya $C(s)/N(s)$ şeklinde incelenmesinden kolaylıkla elde edilebilir. Daha karmaşık işaret akış grafikleri için Mason formülü kullanılır.



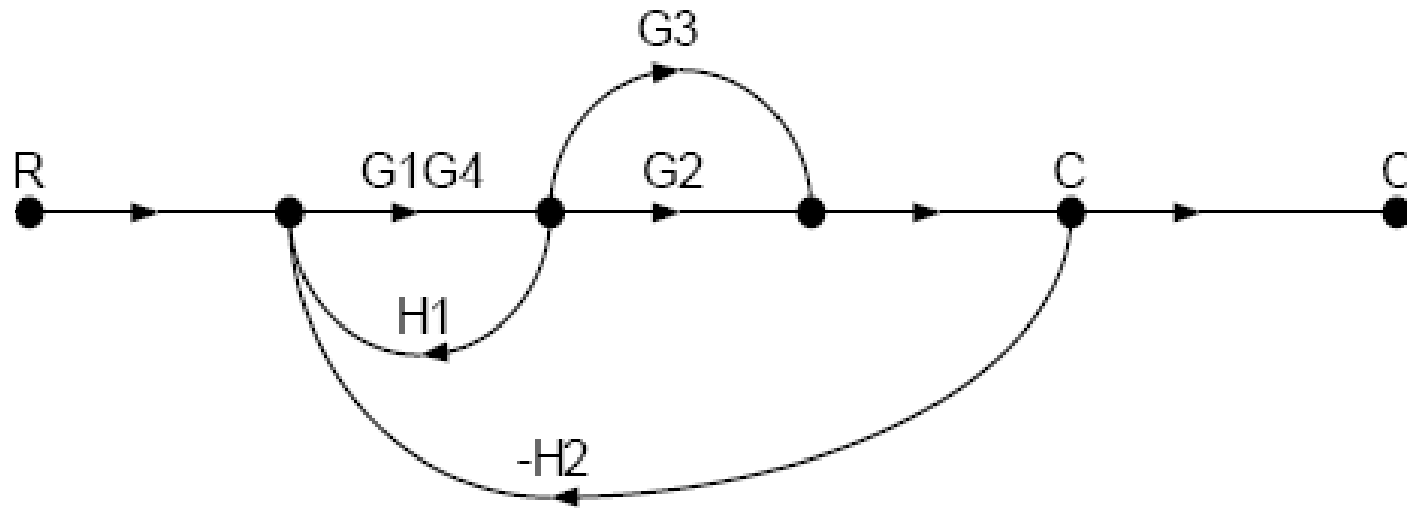
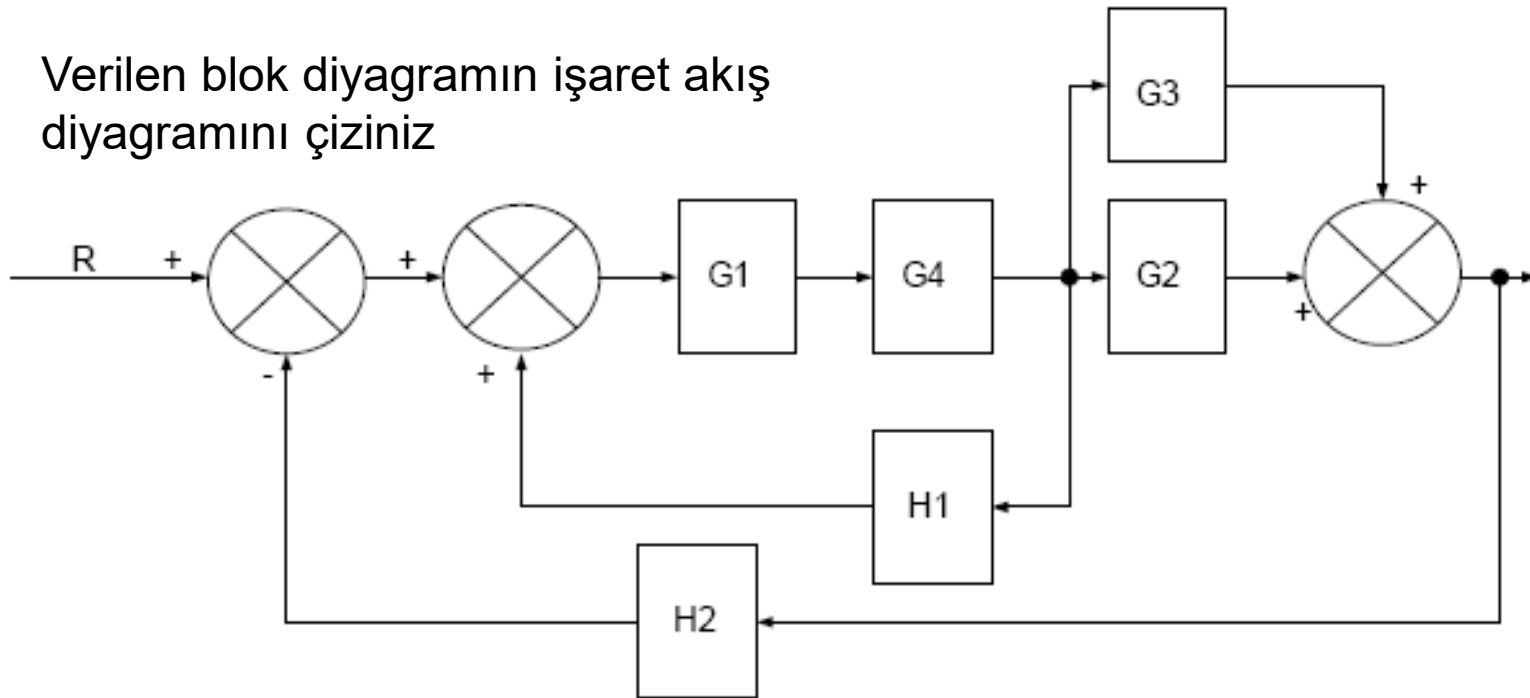
Şekil 2-14 Blok diyagramları ve karşılık gelen işaret akış grafikeri

Şekil 2-14 Blok diyagramları ve karşılık gelen işaret akış grafikeri





Verilen blok diyagramın işaret akış diyagramını çiziniz





2.5.5. İŞARET AKIŞ GRAFİKLERİ İÇİN MASON KAZANÇ FORMÜLÜ

Pek çok pratik durumlarda, işaret akış grafiğinin giriş değişkeni ile çıkış değişkeni arasındaki bağıntının belirlenmesi gerekir. Bir giriş düğümü ile biri çıkış düğümü arasındaki kazanç bu iki düğüm arasındaki toplam kazanç veya toplam geçiş fonksiyonudur.

Toplam kazanç için uygulanan Mason kazanç formülü aşağıdaki şekilde verilir:

$$P = \frac{x_c}{x_g} = \frac{1}{\Delta} \sum_{k=1}^n P_k \Delta_k \quad (2.20.)$$

Burada,

x_c : çıkış düğüm noktası değişkeni

x_g : giriş düğüm noktası değişkeni

P_k : yol kazancı veya k ncı ileri giden yol kazancı

Δ : grafiğin determinantı olup,

Δ : 1-(tüm farklı döngü kazançlarının toplamı) + (mümkün olabilen ikili temassız döngünün kazançları çarpımının toplamı) - (mümkün olabilen üçlü temassız döngünün kazançları çarpımının toplamı) +.....

$$\Delta = 1 - \sum_a L_a + \sum_{b,c} L_b L_c - \sum_{d,e,f} L_d L_e L_f + \dots \quad (2.21.)$$

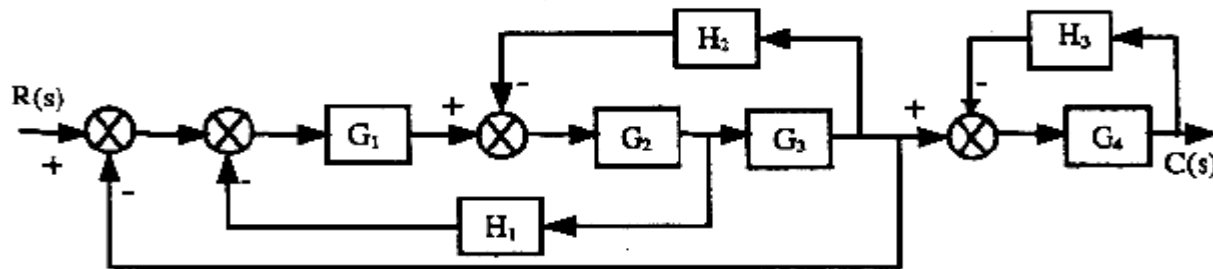
şeklinde formüle edilir.

Δ_K : çıkarılmış k 'nci ileri giden yola dokunan döngülere sahip grafiğin k 'nci ileri giden yol determinantının çarpanı Yani: Δ_K : k 'ninci ileri yol ile çakışmayan Δ .
 n : ileri giden yolların toplam sayısı

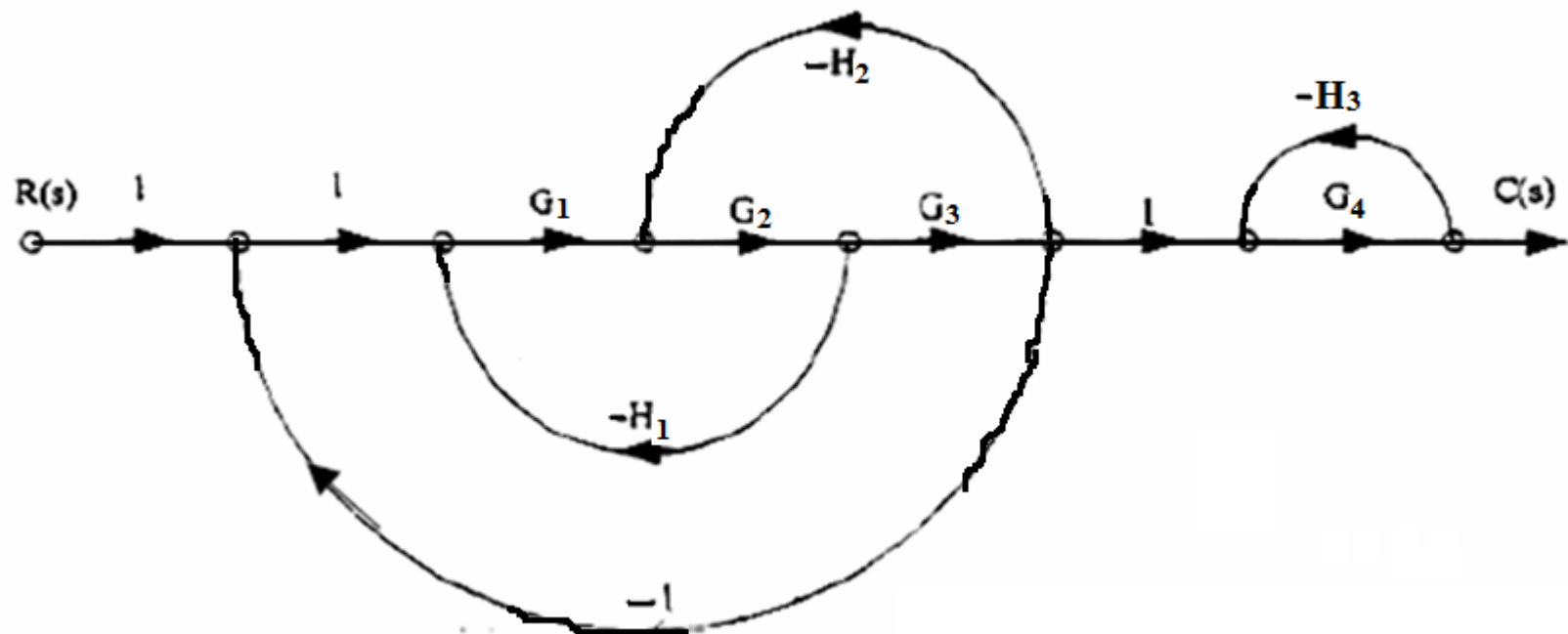
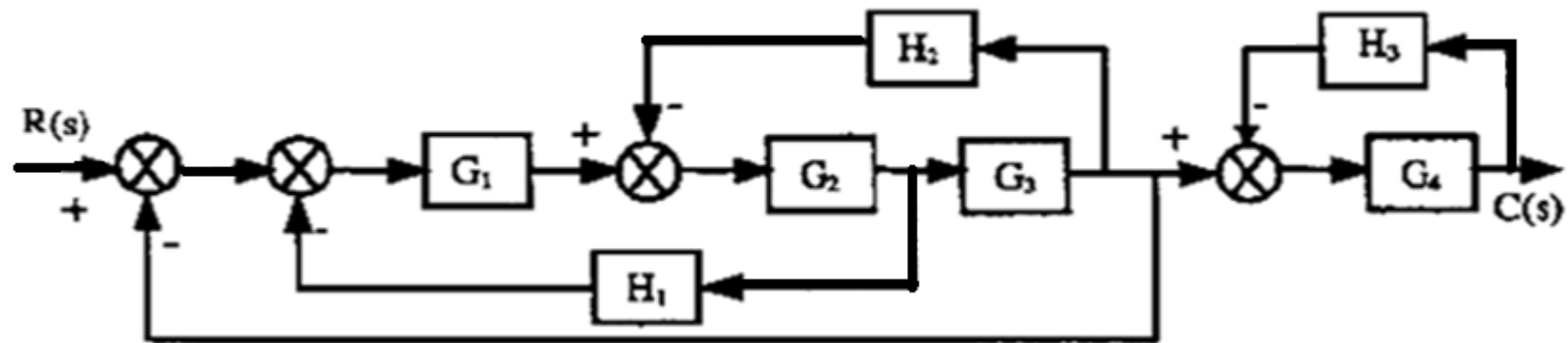
Mason formülü sadece bir giriş düğümü ile çıkış düğümü uygulanabilir. Bunun için aşağıdaki yol izlenir:

- İlk önce akış grafiği üzerinde sistemin giriş düğümü ile çıkış düğünü arasında ileri giden yollar bulunur ve yollara ait P_K yol kazançları elde edilir.
- Grafik üzerinde kapalı döngüler belirlenir ve bunlara ait L_i kazançları hesaplanır ve birbirine temas etmeyen kapalı döngüler tespit edilir.
- Grafiğin determinanı Δ bulunur.
- Δ_K çarpanları bulunur. e) Mason kazanç formülü (genel kazanç) uygulanır.

Örnek: Şekil 2-15'de blok diyagramı verilen denetim sisteminin işaret akış grafiğini çizerek, Mason formülü yardımı ile kapalı-döngü transfer fonksiyonunu elde ediniz.



Şekil 2-15 Blok diyagramı





Çözüm:İşaret akış grafiği kurallarına göre Şekil 2-15'deki sistemin işaret akış grafiğinin Şekil 2-12'de olduğu gibi elde edebiliriz.Sistemin girişinden $R(s)$, çıkışına $C(s)$ 'e kadar ileri giden yol bir adet olup bu yol kazanc aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$P_1=G_1G_2G_3G_4$$

dört adet döngü mevcut olup kazançları

$$L_1= - G_1G_2H_1 \quad L_2= - G_2G_3H_2 \quad L_3= - G_1G_2G_3 \quad L_4= - G_4H_3$$

olarak elde edilir. L_4 döngüsü ise L_1 , L_2 ve L_3 döngüleri ile temassızdır.Buna göre temassız döngü kazançları

$$L_1L_4=G_1G_2G_4H_1H_3 \quad L_2L_4=G_2G_3G_4H_2H_3 \quad L_3L_4=G_1G_2G_3G_4H_3$$

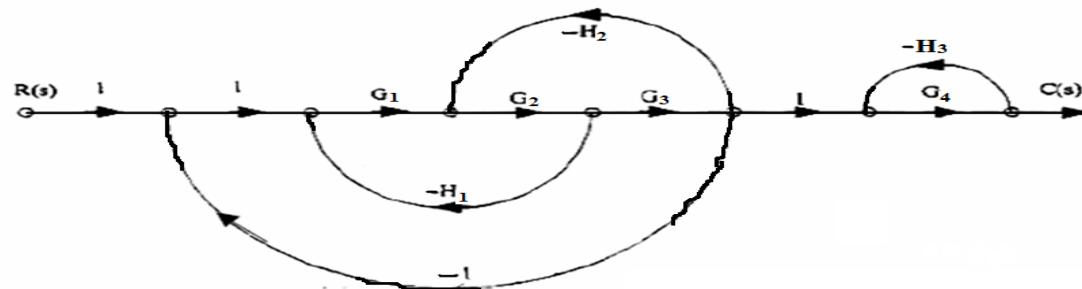
şeklinde elde edilir.Buna göre grafiğin determinanı

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

veya

$$\Delta=1+ G_1G_2H_1 + G_2G_3H_2+ G_1G_2G_3+ G_4H_3+ G_1G_2G_4H_1H_3 + G_2G_3G_4H_2H_3 + G_1G_2G_3G_4H_3$$

şeklinde yazılır.

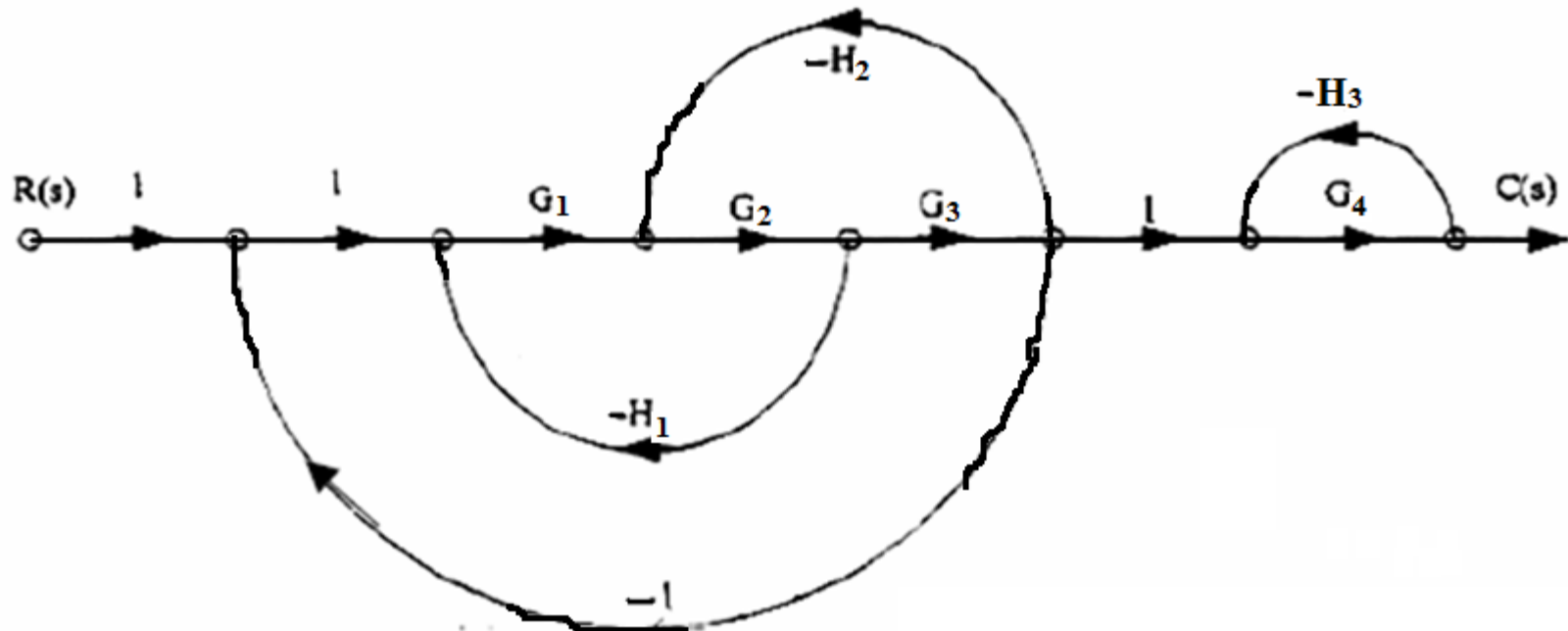




$\Delta_1=1$ olduğuna göre bu değerleri (2.20.) nolu denklemde yerine koyarsak tüm sistemin transfer fonksiyonunu aşağıdaki şekilde elde ederiz.

$$T(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G_1 G_2 G_3 G_4}{1 + G_1 G_2 H_1 + G_2 G_3 H_2 + G_1 G_2 G_3 + G_4 H_3 + G_1 G_2 G_4 H_1 H_3 + G_2 G_3 G_4 H_2 H_3 + G_1 G_2 G_3 G_4 H_3}$$

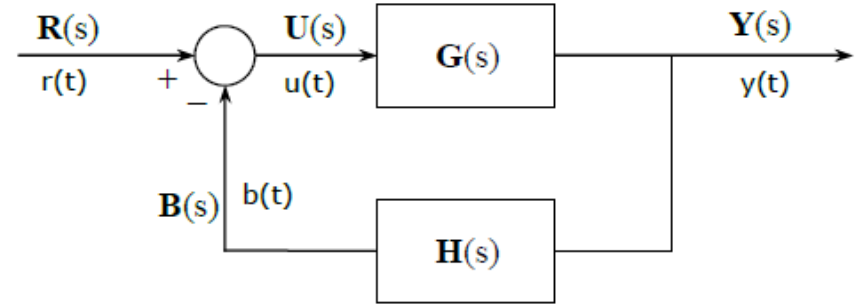
$$P = \frac{x_g}{x_g} = \frac{1}{\Delta} \sum_{k=1}^n P_k \Delta_k$$



**Örnek:**

Şekilde verilen İAD'den $Y(s)/R(s)$ kapalı çevrim transfer fonksiyonunu Mason Kazanç Formülü ile belirleyiniz.

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{x_g}{x_g} = \frac{1}{\Delta} \cdot \sum_{k=1}^n P_k \cdot \Delta_k$$

**Çözüm:**

1. $R(s)$ ile $Y(s)$ arasında sadece bir tek ileri yol vardır ve kazancı

$$P_1 = G(s)$$

2. Bir tek çevrim mevcuttur ve çevrimi kazancı

$$L_{11} = -G(s) \cdot H(s) \text{ olarak bulunur.}$$

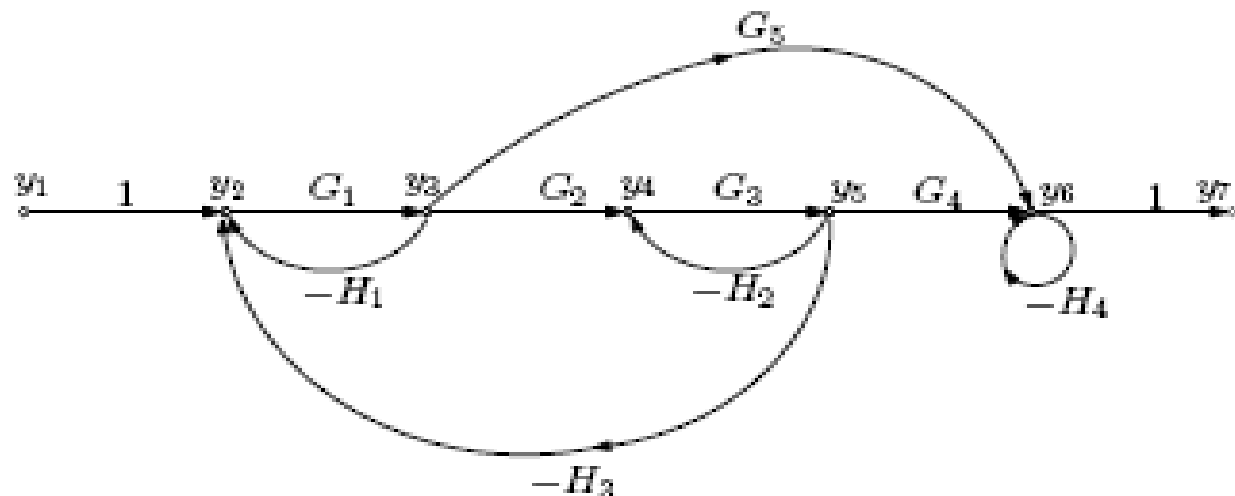
3. Tek çevrim nedeniyle temas etmeyen çevrim yoktur. Ayrıca mevcut tek yol tek çevrimle temas halinde olduğundan $\Delta_1 = 1$ ve

$$\Delta = 1 - L_{11} = 1 + G(s) \cdot H(s) \text{ geçerlidir. Değerler yerine konularak}$$

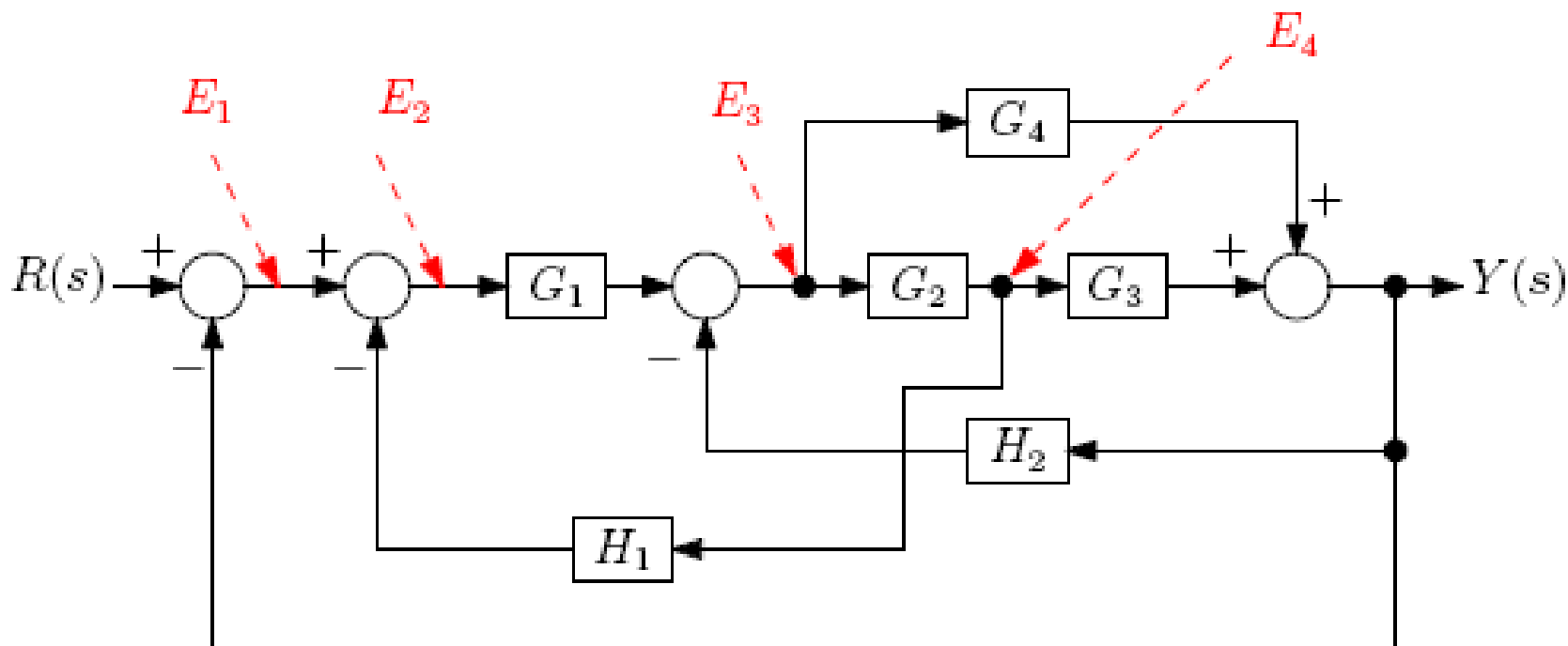
4. Kapalı çevrim transfer fonksiyonu elde edilir.

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{P_1 \cdot \Delta_1}{\Delta} = \frac{G(s)}{1 + G(s) \cdot H(s)}$$

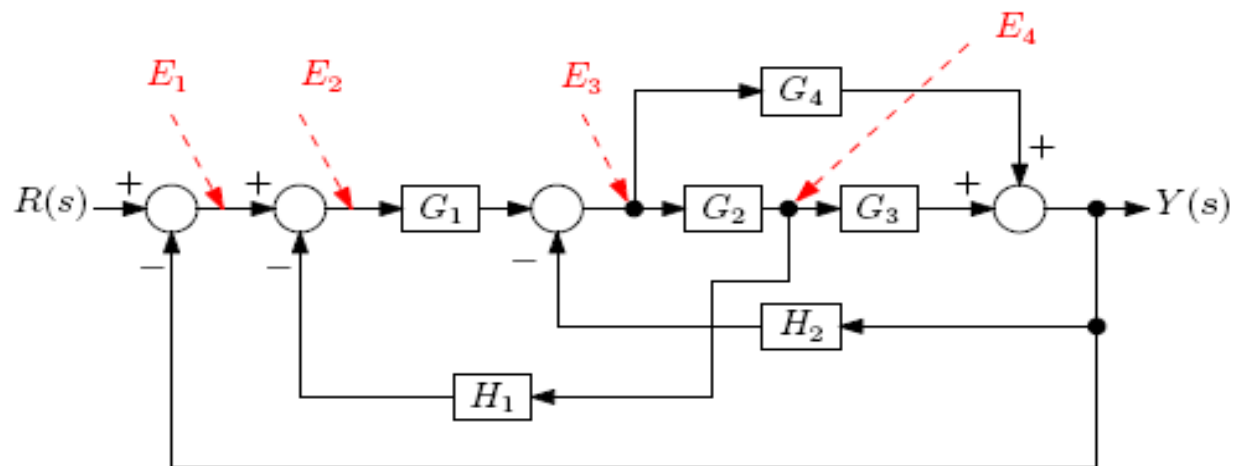
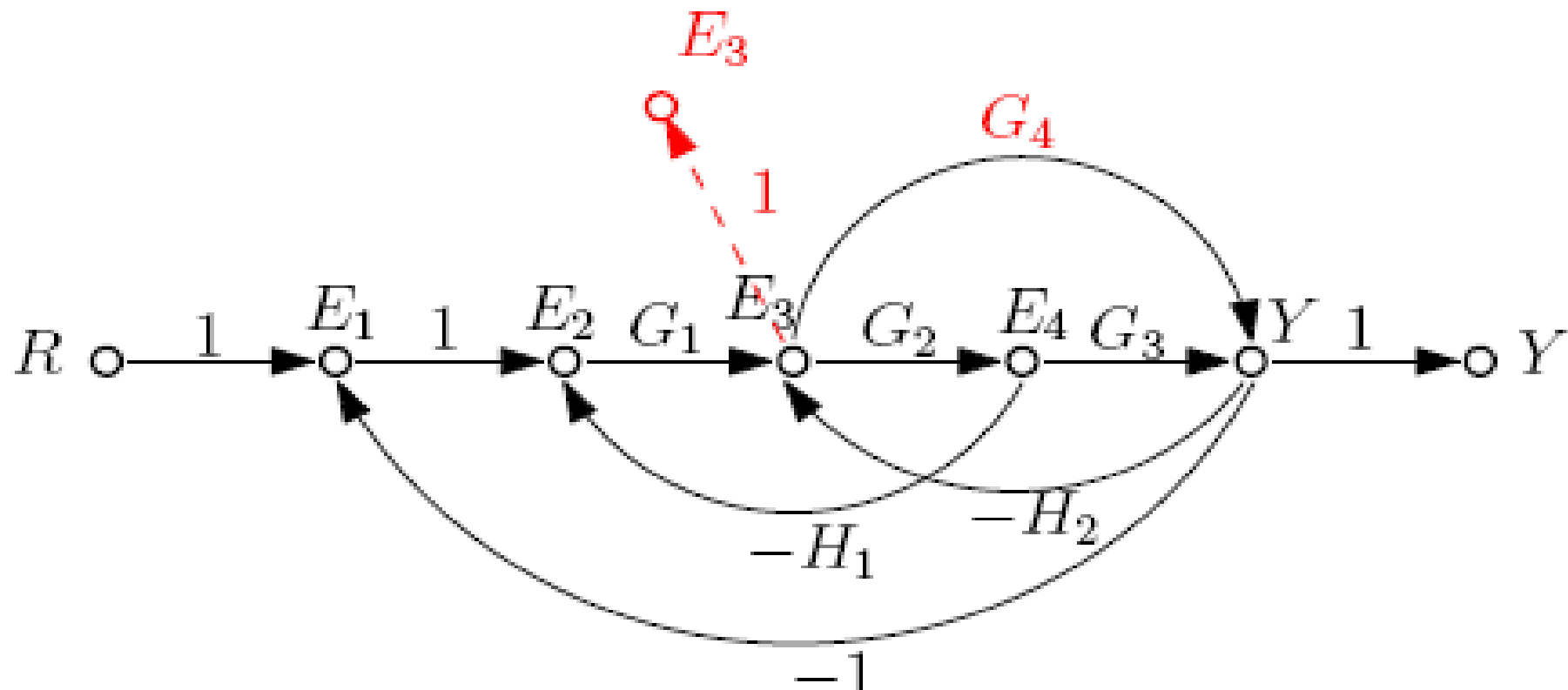
Örnek: Aşağıda işaret akış diyagramı verilmiş sistem için y_6/y_1 kazancını hesaplayalım.



Örnek:Aşağıda blok diyagramı verilmiş sistem için işaret akış diyagramını çizelim



Şimdi ilgili blok diyagram üzerinden $Y(s)/R(s)$ kazancını hesaplamaya çalışalım.





Açıktır ki örneğimiz için $N = 2$ dir. Bunlar için kazançlar

$$M_1 = G_1 G_2 G_3$$

$$M_2 = G_1 G_4$$

yazılabilir.

 Δ ise,

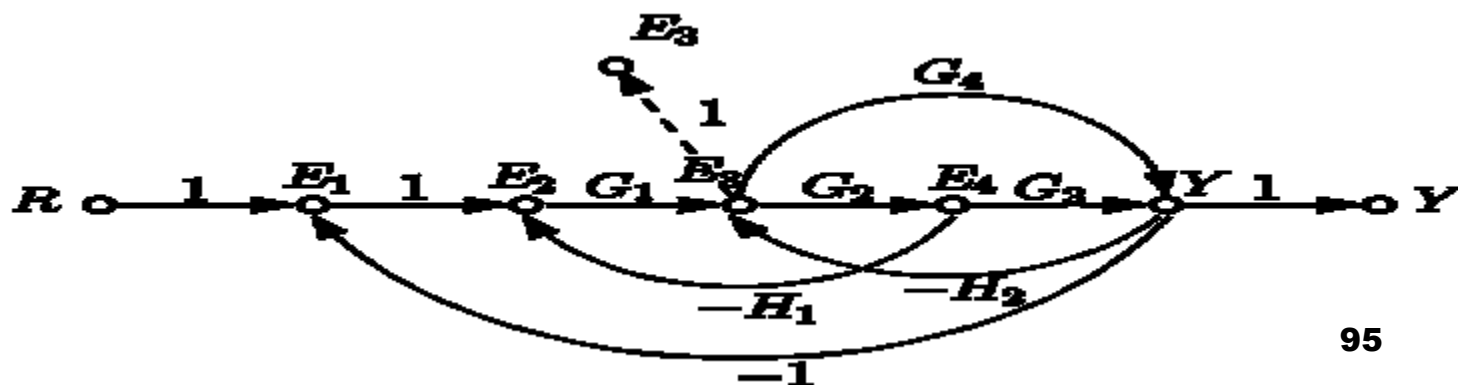
$$\Delta = 1 - [-G_1G_2H_1 - G_2G_3H_2 - G_4H_2 - G_1G_2G_3 - G_1G_4]$$

$$\Delta = 1 + G_1 G_2 H_1 + G_2 G_3 H_2 + G_4 H_2 + G_1 G_2 G_3 + G_1 G_4$$

yazılabilir. $\Delta_1 = \Delta_2 = 1$ olduğundan

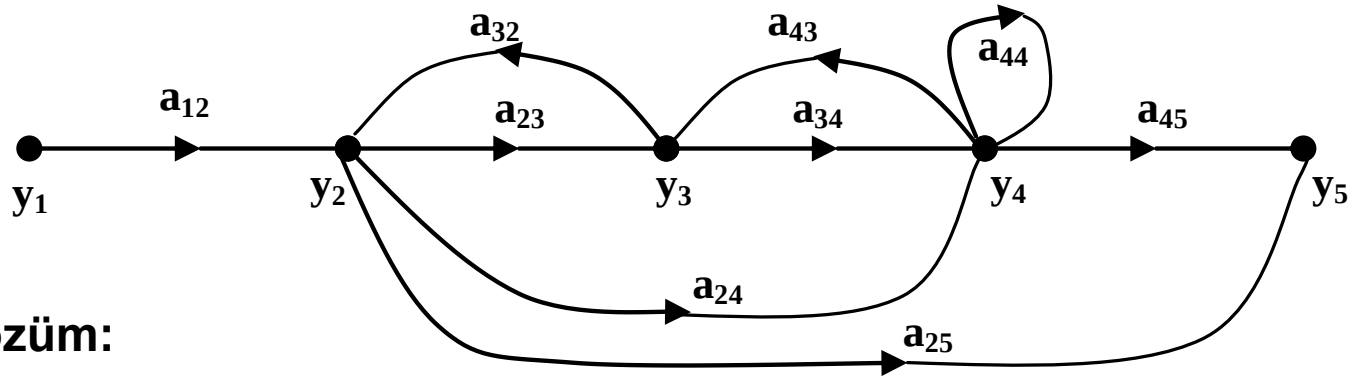
$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G_1 G_2 G_3 + G_1 G_4}{1 + G_1 G_2 H_1 + G_2 G_3 H_2 + G_4 H_2 + G_1 G_2 G_3 + G_1 G_4}$$

elde edilir.



Örnek:

Şekilde verilen işaret akış diyagramı için y_1 ile y_5 arasındaki kazancı Mason kazanç formülünü kullanarak bulunuz.

**Çözüm:**

1. İleri giden 3 yol vardır. Bunlar sırasıyla;

- a) Birinci yol : y_1 - y_2 - y_3 - y_4 - y_5 , Kazancı $P_1 = a_{12} \cdot a_{23} \cdot a_{34} \cdot a_{45}$
 b) İkinci yol : y_1 - y_2 - y_4 - y_5 , Kazancı $P_2 = a_{12} \cdot a_{24} \cdot a_{45}$
 c) Üçüncü yol : y_1 - y_2 - y_5 , Kazancı $P_3 = a_{12} \cdot a_{25}$

2. İAD'nin dört çevrimi vardır. Bu çevrim kazançları şunlardır;

$$L_{11} = a_{23} \cdot a_{32} \quad L_{12} = a_{34} \cdot a_{43} \quad L_{13} = a_{24} \cdot a_{32} \cdot a_{43} \quad L_{14} = a_{44}$$

3. Temas etmeyen sadece bir çift çevrim vardır; bu iki çevrim y_2 - y_3 - y_2 ve y_4 - y_4 . Buna göre temas etmeyen çevrimlerin çarpımı $L_{21} = a_{23} \cdot a_{32} \cdot a_{44}$



4. Tüm çevrimler P_1 ve P_2 ileri yolları ile temas halindedir. Buna göre $\Delta_1 = \Delta_2 = 1$ 'dir P_3 yolu iki çevrimle temas halindedir. Buna göre;

$$\Delta_3 = 1 - a_{34} \cdot a_{43} - a_{44}$$

yazılabilir. Bu değerler Kazanç denklemine uygulandığında;

$$\Delta = 1 - (L_{11} + L_{12} + L_{13} + L_{14}) + L_{21} \quad \text{L değerleri yerine konunca}$$

$$\Delta = 1 - (a_{23} \cdot a_{32} + a_{34} \cdot a_{43} + a_{24} \cdot a_{32} \cdot a_{43} + a_{44}) + a_{23} \cdot a_{32} \cdot a_{44} \quad \text{Delta elde edilir}$$

$$\frac{y_5}{y_1} = \frac{P_1 \cdot \Delta_1 + P_2 \cdot \Delta_2 + P_3 \cdot \Delta_3}{\Delta} = \frac{(a_{12} \cdot a_{23} \cdot a_{34} \cdot a_{45} + (a_{12} \cdot a_{24} \cdot a_{45}) + (a_{12} \cdot a_{25}) \cdot (1 - a_{34} \cdot a_{43} - a_{44}))}{1 - (a_{23} \cdot a_{32} + a_{34} \cdot a_{43} + a_{24} \cdot a_{32} \cdot a_{43} + a_{44}) + a_{23} \cdot a_{32} \cdot a_{44}}$$

elde edilir.

