Dönem II Biyofizik

Biyolojik Kontrol

Barkın İlhan

October 22, 2019

N.E.Ü. Meram Tıp Fakültesi

http://icon.unrlabs.org/lecturenote/tr/biyolojik_kontrol.pdf

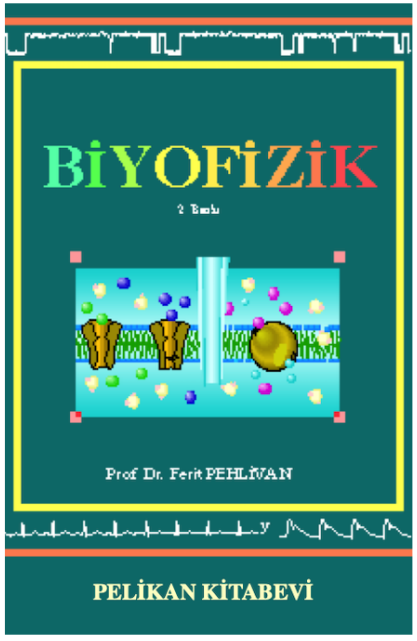
2. kurul ders başlıkları:

- Biyolojik kontrol
- Biyolojik sistemlerde enformasyon
- Nöronal entegrasyon
- İşitme biyofiziği
- Görme biyofiziği

Kaynaklar

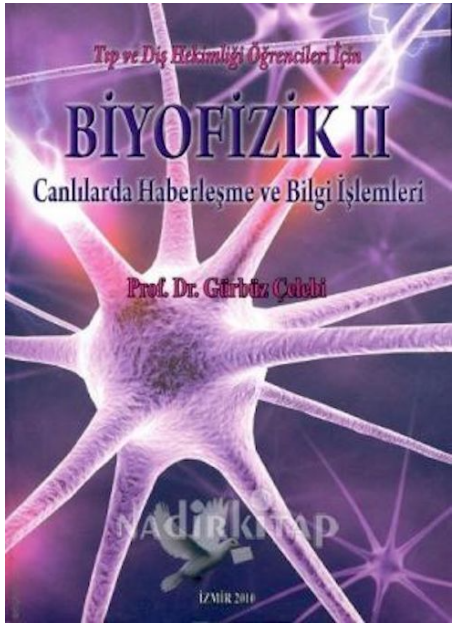
Pehlivan F.

Pelikan Kitabevi



Çelebi G.

Barış Yayınları



Kontrol teorisinin temel kavramları

1. **Homeostasis:** Homeo (benzer, özdeş, denk) + Stasis (inaktivite, denge durumu); iç ortamın sabit koşullarının sürdürülmesi
2. **Uyum:** Akomodasyon; değişen yeni koşullara göre düzenleme yapılması
3. **Sibernetik:** Norbert Wiener (1894–1964); İnsanlarda ve makinelerde kontrol ve iletişimin incelenmesi

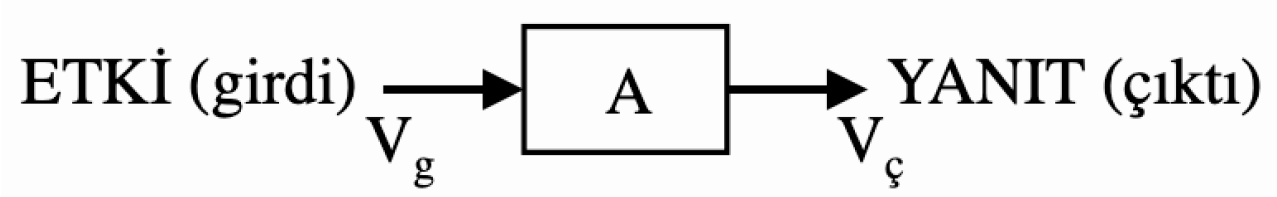


Biyonik: İnsanda sinir sisteminin işleyişi hakkındaki bilgiler ışığında, insan zihnini taklit eden makinaların (robotların) yapımı

Biyosibernetik: Elektronik sistemler ve makinaların işleyişi hakkındaki bilgilerin ışığında, özellikle sinir sisteminin işleyişinin açıklanması

Kontrol teorisinin temel kavramları

- Bir Kontrol Sistemi, birbiriyle bağlantılı **alt sistem**lerden meydana gelir.
- Alt sistemler arasındaki her bir bağlantı bilgi alışverişi ifade eder.
- Bir kontrol sisteminde **etki**lerle **yanıt**lar arasındaki fonksiyonel davranış denklemleri **transfer fonksiyonu** olarak adlandırılır.

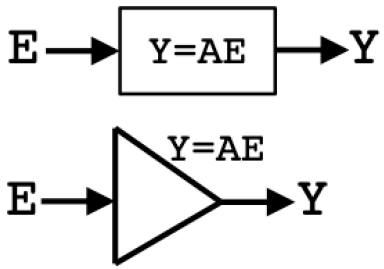


- Transfer fonksiyonu **sistem yanıtının uygulanan etkiye oranı**dır ve çoğu makinada **basit ve doğrusal**dır.
- **Canlı sistemlerde ise transfer fonksiyonları çoğunlukla doğrusal değildir, matematiksel açıdan oldukça karmaşıktır ve ifade edilmesi zordur.**

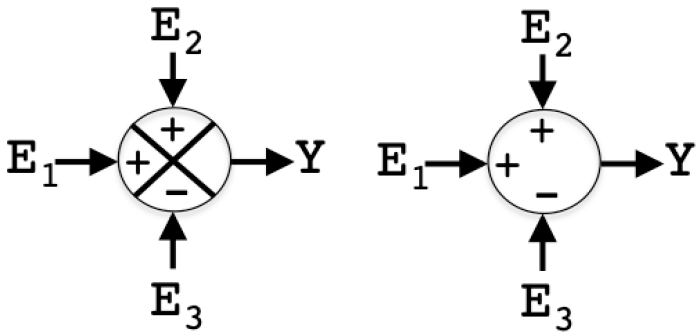
Kontrol teorisinin temel kavramları

Kontrol sistemi şemalarındaki alt sistemlerin simgeleri ve transfer fonksiyonları:

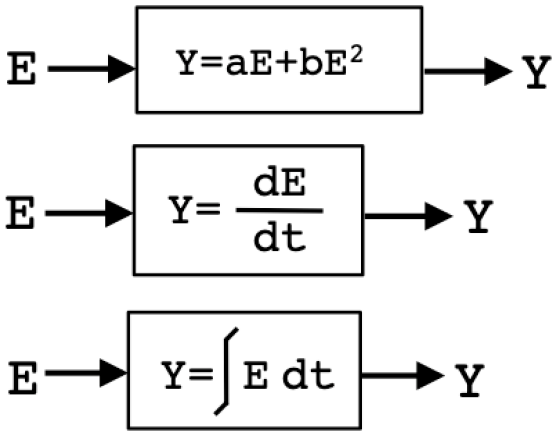
- Çarpma:



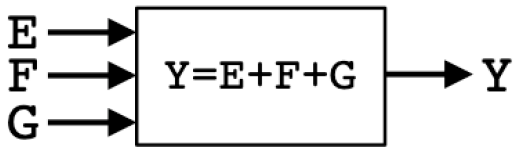
- Toplama:



- Cebirsel: Türev, integral vb.

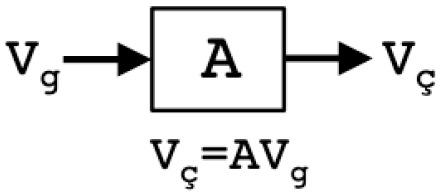


- Çok değişkenli:



Kontrol teorisinin temel kavramları

- Biyolojik organizmalarda kontrol sisteminin işleyişi **"amaca yönelik eylem (goal-directed activity)"** olarak düşünülür. **"İstenen bir durum"** vardır, kontrol sistemi bu duruma ulaşıp sürdürmeye çalışır.
- **Geribesleme (feedback):** Herhangi bir sistemin yanıtının bir kısmının sistemin girişine uygulanmasına geri besleme denir.

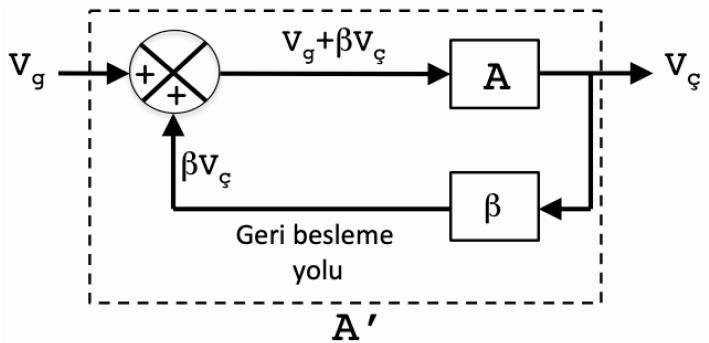


$$V_ç = AV_g$$

Geri-besleme oranı:

$\beta > 0$ için $A' > A$ olur $\rightarrow$ pozitif geribesleme

$\beta < 0$ için $A' < A$ olur $\rightarrow$ negatif geribesleme

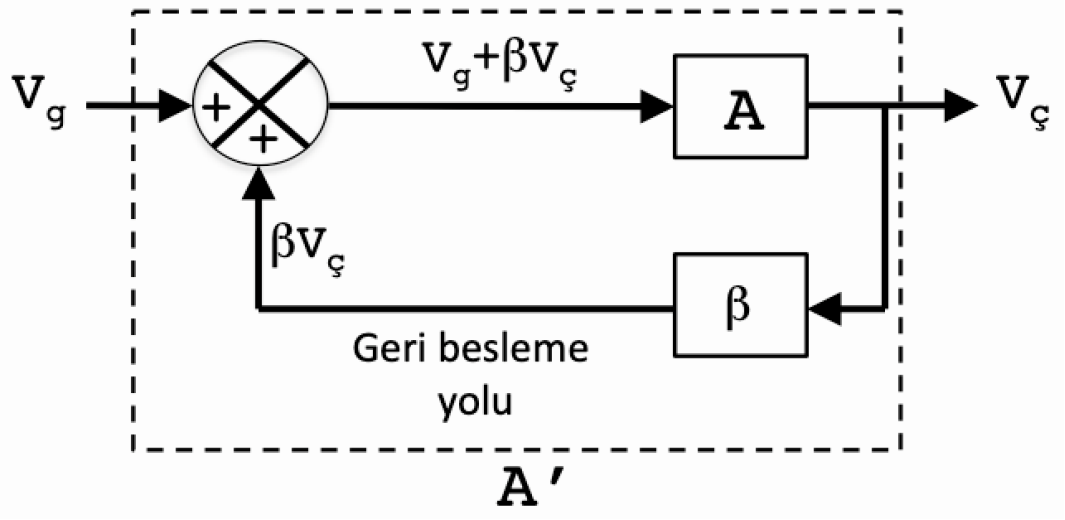


$$V_ç = A'V_g = \frac{A}{1-\beta A}V_g$$

Kontrol teorisinin temel kavramları

$$A = \frac{V_ç}{V_g + \beta V_ç}$$

$$V_ç = A(V_g + \beta V_ç)$$



$$A' = \frac{V_ç}{V_g} = \frac{A(V_g + \beta V_ç)}{V_g}$$

$$A = A' - A\beta A'$$

$$A' = A + A\beta\frac{V_ç}{V_g} = A + A\beta A'$$

$$A = A'(1 - \beta A) \rightarrow A' = \frac{A}{1 - \beta A}$$

Pozitif ve negatif geri-besleme kavramları

Açık Devre Kontrolü ve Geri-beslemeli Kontrol:

Kontrol Sistemleri iki ayrı şemaya göre işler:

(1) Açık devre kontrolü (kör kontrol)

(2) Kapalı devre kontrolü (geri beslemeli)

Açık devre kontrolü:

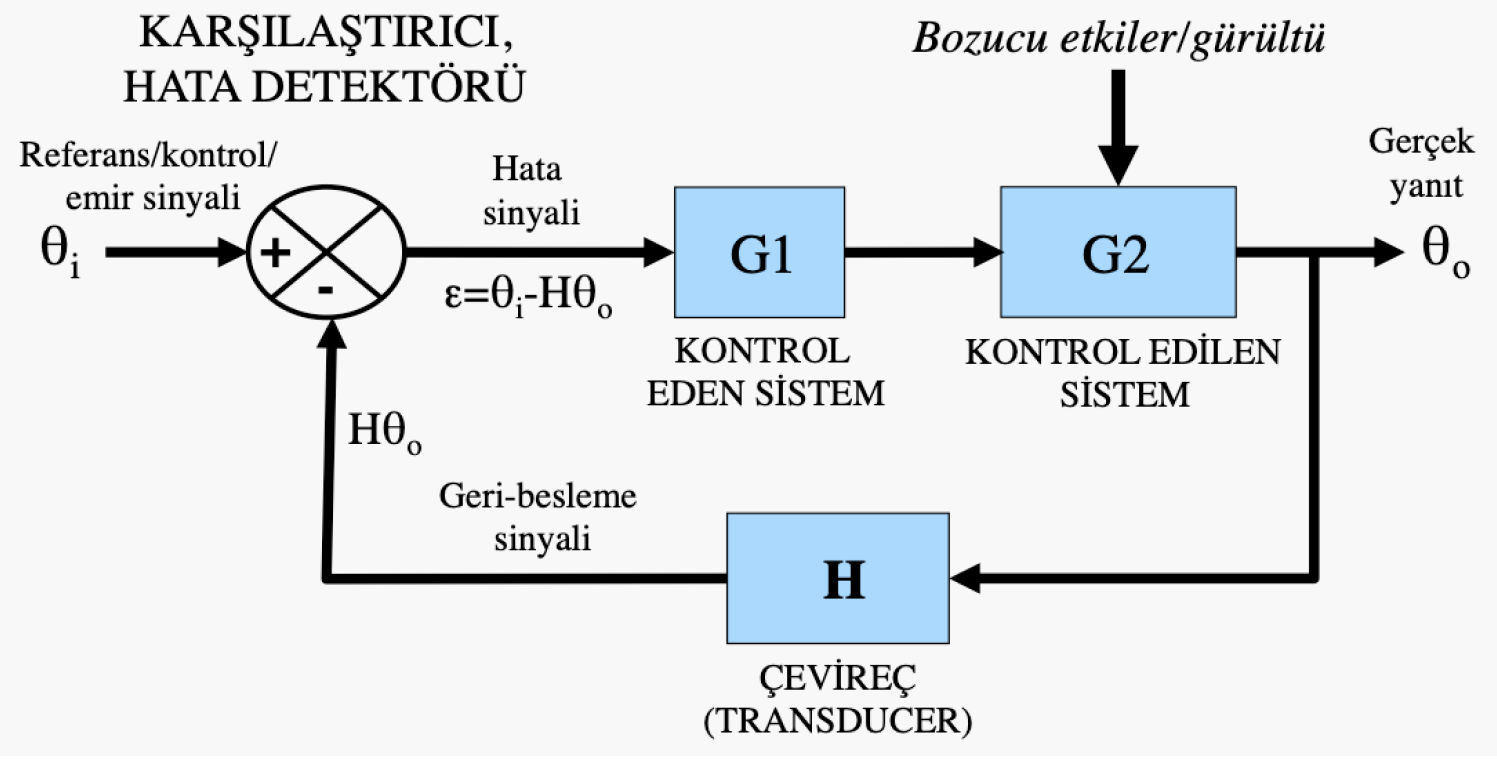
- Kontrol sistemi içinde bulunan tüm alt sistemlerin özelliklerinin, aktarım fonksiyonlarının önceden bilindiği varsayılan, yani önceden belirlenen programa göre işleyen bir kontrol işlemidir.
- Örneğin, (1) belirli bir hedefin top mermisi ile vurulması, (2) futbol, basketbolda vs. topun istenilen bir hedefe gönderilmesi
- Kör kontrol olarak da adlandırılan bu tür bir eylem sırasında, kontrol sürecinin herhangi bir aşamasında geriye doğru bir bilgi iletimi olmadığından, programda bir düzeltme olanağı yoktur ve hata payı oldukça yüksektir.

Pozitif ve negatif geri-besleme kavramları

Açık Devre Kontrolü ve Geri-beslemeli Kontrol:
Kontrol Sistemleri iki ayrı şemaya göre işler:
(1) Açık devre kontrolü (kör kontrol)
(2) Kapalı devre kontrolü (geri beslemeli)
Geri-beslemeli kontrol:

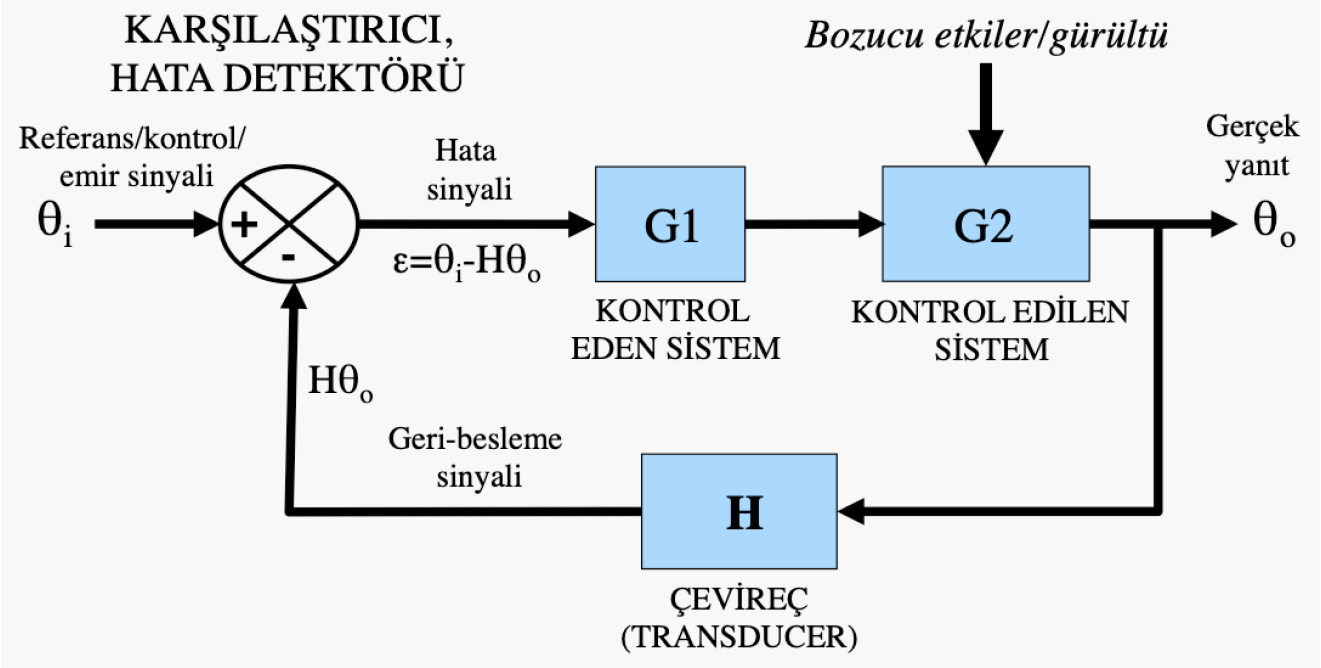
- Girişe, sistemin en son aşamasındaki gerçek yanıt bilgisi geri gönderilir. Sistem gerçek yanıt bilgisi ile istenen yanıt bilgisini karşılaştırır, fark varsa gidermeye çalışır.
- Örneğin, (1) belirli bir hedefin güdümlü füze ile vurulması, (2) bir cisme elimizle ulaşarak tutma işlemi; ulaşırken sürekli olarak gözümüz vs. aracılığıyla cismin konumuna ilişkin bilgi alır/günceller, her yeni bilgiye göre istenen konum (istenen yanıt) bilgisi karşılaştırılarak fark giderilmeye çalışılır.

Pozitif ve negatif geri-besleme kavramları



Negatif geri-beslemeli kontrol sistemi genel şeması

Pozitif ve negatif geri-besleme kavramları

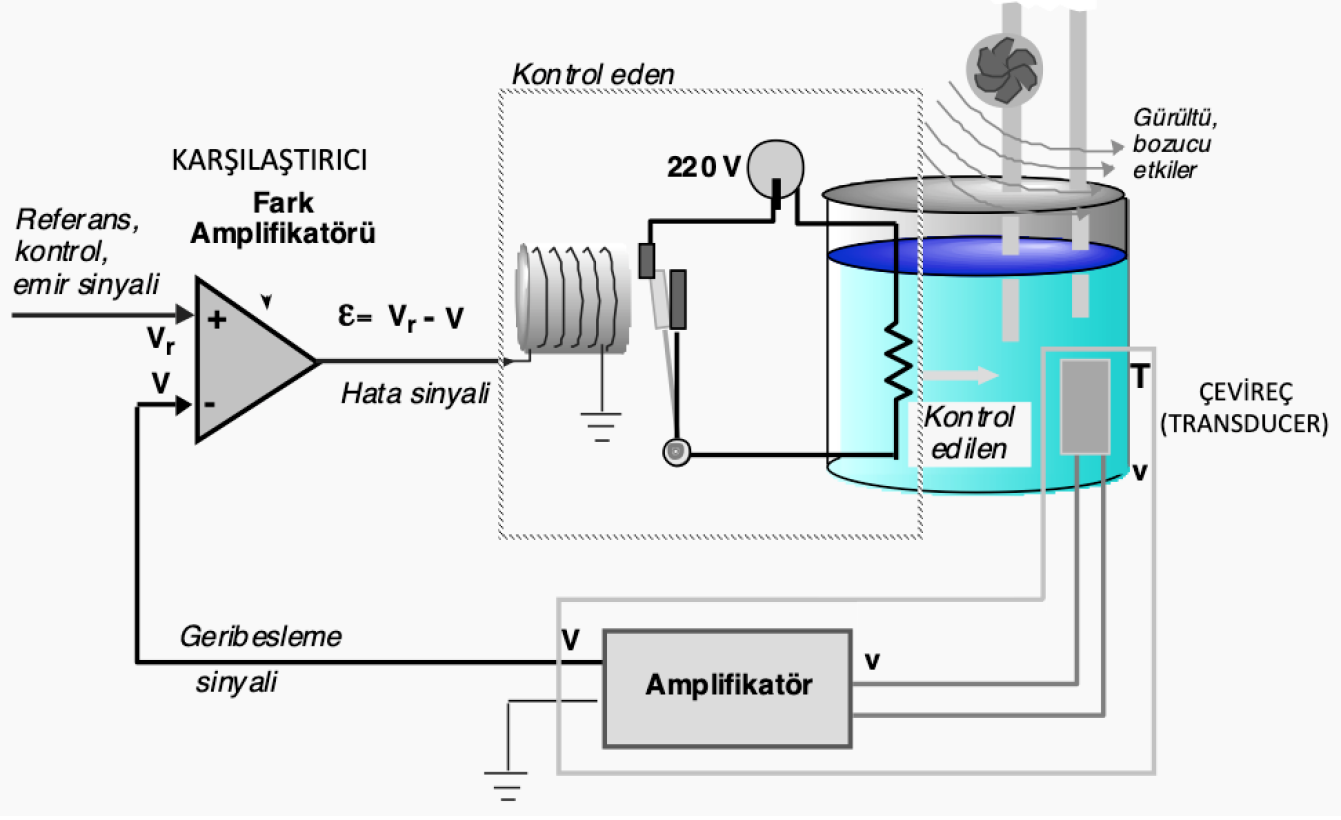


Kontrol sistemlerinin iki işleyiş biçimi/amacı:

- Düzenleme (istenen değerde sabit tutuma, homeostasisi sağlama)
- Servomekanizma (zamanla değişen amaçlara ulaşma eylemi)

Hem düzenleyici hem de servomekanik davranışlarda, istenen davranışa ilişkin bilginin kontrol eden sisteme verilmesi gerekir.

Pozitif ve negatif geri-besleme kavramları



Negatif geri-beslemeli kontrol sistemine örnek: termostatlı ısıtıcı

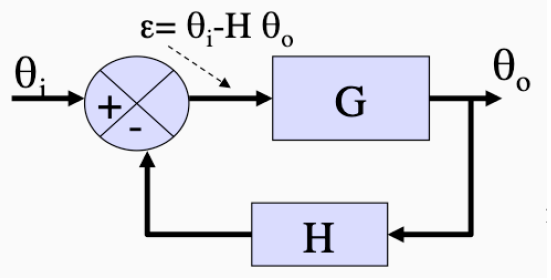
Pozitif ve negatif geri-besleme kavramları

Düzenleyici ve servo-mekanik işleyiş biçimlerinin her ikisi de aynı şemaya göre işler. Örnekler:

- Termostatlı ısıtıcıda; Oda sıcaklığı ayarlanan değerden saptığında (Ör: $20^{\circ}C$) kontrol sisteminin davranışı sıcaklığı tekrar istenen değere getirmeye yöneliktir (düzenleyici bir davranıştır). İstenen değer değiştiğinde (ör: $25^{\circ}C$) sistem bu yeni yanıta ulaşmaya çalışır (servo-mekanizma).
- Elimizdeki bir cismin yatay konumda tutulması (düzenleme)
- Cismin elimizle yukarı kaldırılması (servo-mekanizma)
- Gözde iki önemli düzenleme mekanizması;
- Bakılan bir cismin yerine göre göz lensinin odak uzaklığını değiştirmesi,
- Göze gelen ışık miktarına göre iris aralığının değiştirilmesi.

Transfer Fonksiyonu

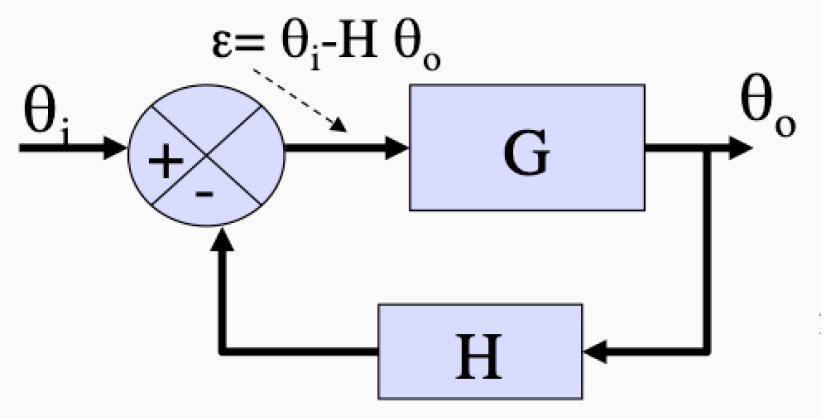
- Kontrol sisteminde geri-besleme bulunmaz ise, sistem açık-devre veya ileri-besleme ("feed-forward") olarak adlandırılır. Böyle bir sistemin aktarım fonksiyonu ("kazancı"): $\theta_o/\theta_i = G_1 G_2 = G$
- Geri-beslemeli bir sistemde, kontrol eden ve edilen sistem tek bir alt sistem altında birleştirilirse:



$$\frac{\theta_o}{\theta_i} = \frac{G}{1 + HG}$$

- Geri-beslemeli bir kontrol sisteminde aktarım (transfer) fonksiyonu. Kontrol eden ve edilen sistemler burada tek sistem olarak gösterilmiştir ve $G = G_1 G_2$ dir.
- Vücut sıcaklık düzenleme sistemi için ilmik kazancı 50 dolaylarındadır.

Transfer Fonksiyonu



$$G' = \frac{\theta_o}{\theta_i} \rightarrow G = \frac{\theta_o}{\theta_i - H\theta_o} \rightarrow \theta_o = G(\theta_i - H\theta_o)$$

$$G' = \frac{G(\theta_i - H\theta_o)}{\theta_i} \rightarrow G'(1 + HG) = G \rightarrow G' = \frac{\theta_o}{\theta_i} = \frac{G}{1 + HG}$$

İlmik kazancı

Sinir sisteminin işleyişinde negatif geri beslemenin telafi edici işlevi önemlidir. Örneğin, kararlı durumda ilmik kazancı $HG = 9$ olan sinirsel bir sistemde **kontrol eden sistemin kazancı**, $\theta_o/\theta_i = G/(1 + HG) = 0.1G$ olarak bulunur.
Kontrol eden sisteme ait **nöronların yarısının patolojik nedenle veya yorulmaya bağlı olarak etkisizleşmesi** durumunda:

- $G' = G/2$, ilmik kazancı ise $HG' = HG/2 = 4.5$ olur.
- Tüm sistemin kazancı, $\theta_o/\theta_i = \dfrac{G/2}{1 + \dfrac{HG}{2}} = \dfrac{G}{2 + HG} = G/11 \approx 0.09G$

  olarak hesaplanır.

Sonuç:

- Kontrol eden sistemin etkinliğindeki %50 gibi büyük miktarda bir azalma bile tüm sistemin etkinliğini ancak %10 azaltmaktadır.
- Bu negatif geri beslemenin çok önemli bir telafi mekanizmasıdır.

İlmik kazancı

İlmik kazancının:

- $HG > 0$ olması negatif geri-besleme,
- $HG < 0$ olması pozitif geri-besleme ifade eder.
- $-1 < HG < 0$ hali için **pozitif** geri-beslemeli sistemlerde kararlı bir durum oluşabilir.
- $HG < -1$ için sistem kararsızdır ve davranışı bir yönde sonsuza gider.

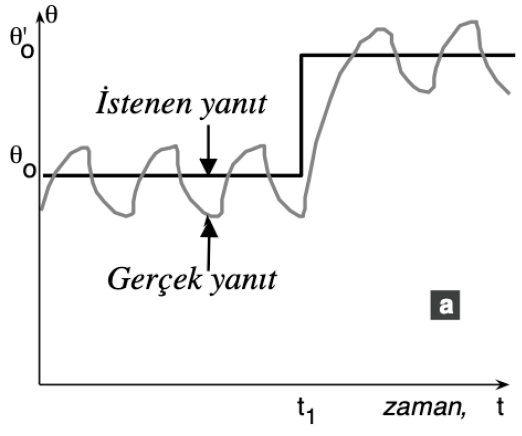
Örnek:
(1) Aksiyon potansiyeli oluşumundaki Hodgkin çevrimi, pozitif geri-beslemelidir; sistem bir süre kararlı durumdan uzaklaşır, ancak inaktivasyon süreci kararlı durumdan daha fazla ayrılmasını önler.
(2) Kalbi besleyen koroner damarlardaki bir yetersizlik sonucunda oluşacak pozitif geri-beslemeli süreç, telafi edici mekanizmalar gelişmezse kalbi tam zafiyete götürebilir.

Kontrol sistemlerinin zamana bağlı davranışı

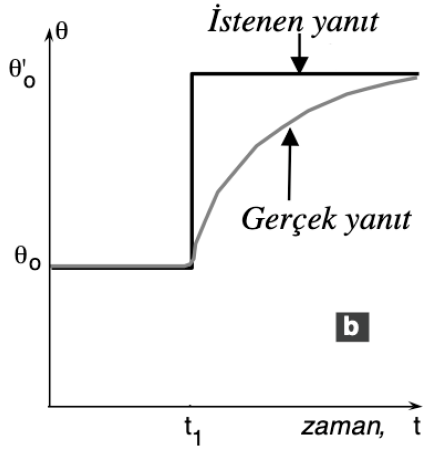
- Çoğu biyolojik ve teknik kontrol sisteminde, alt sistemler arasında bilgi iletiminde önemli zamansal gecikmeler ve faz farkları ile karşılaşılır.
- Diğer yandan biyolojik kontrol sistemlerinin davranışları çoğunlukla doğrusal değildir.
- Dolayısıyla, referans sinyali aniden değiştirildiğinde gerçek yanıt çabucak istenen değere ulaşmaz, yanıtın zamanla değişim deseni emrin zamanla değişiminden oldukça farklı olabilir.
- Hatta faz farkları, negatif olacağı umulan bir geri beslemeyi pozitif geri beslemeye dönüştürüp sistemi kararsız duruma sokabilir.

Kontrol sistemlerinin zamana bağlı davranışı

Kesikli ve orantılı çalışan kontrol sistemlerinde yanıtların zamanla değişimleri



Bir anahtarın açılması-kapanması şeklinde kesikli çalışan bir kontrol sisteminde düzenleyici eylem sırasında gerçek yanıtın zamanla değişimi ve t_1 anında emrin değişmesi sonucu (servo-mekanizma) yeni tanımlanmış istenen duruma geçiş süreci.



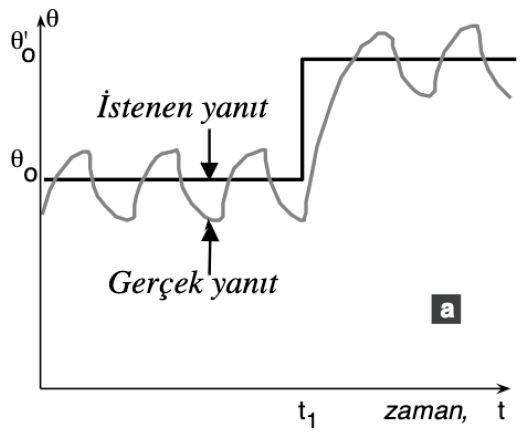
Orantılı bir kontrol sisteminde emrin değişimi sonucu yeni tanımlanmış istenen duruma geçiş süreci.

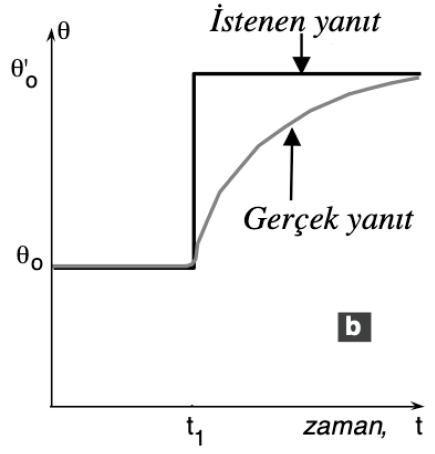
Kontrol sistemlerinin zamana bağlı davranışı



- Çoğu termostatlı sıcaklık düzenleyicisinde, bir anahtarın açılıp kapanması (var-yok; evet-hayır; on-off vb.) şeklinde çalışan kontrol sistemlerinde, gerçek yanıtın zamanla değişimi ilk şekildeki gibi adımlıdır.
- Isı kayıpları yüzünden oda veya kazan sıcaklığı üssel olarak azalırken, anahtar kapanınca sıcaklık yükselmekte, sıcaklık istenen değere ulaşınca, anahtar açılmasına rağmen ısıtıcı ile ortam arasında denge kuruluncaya kadar ortam sıcaklığı istenen değerin üstüne çıkabilmektedir. Şekil de t_1 anında referans değiştirilmiştir ve sistem yeni tanımlanan kararlı duruma ulaşmaya yönelmiştir.

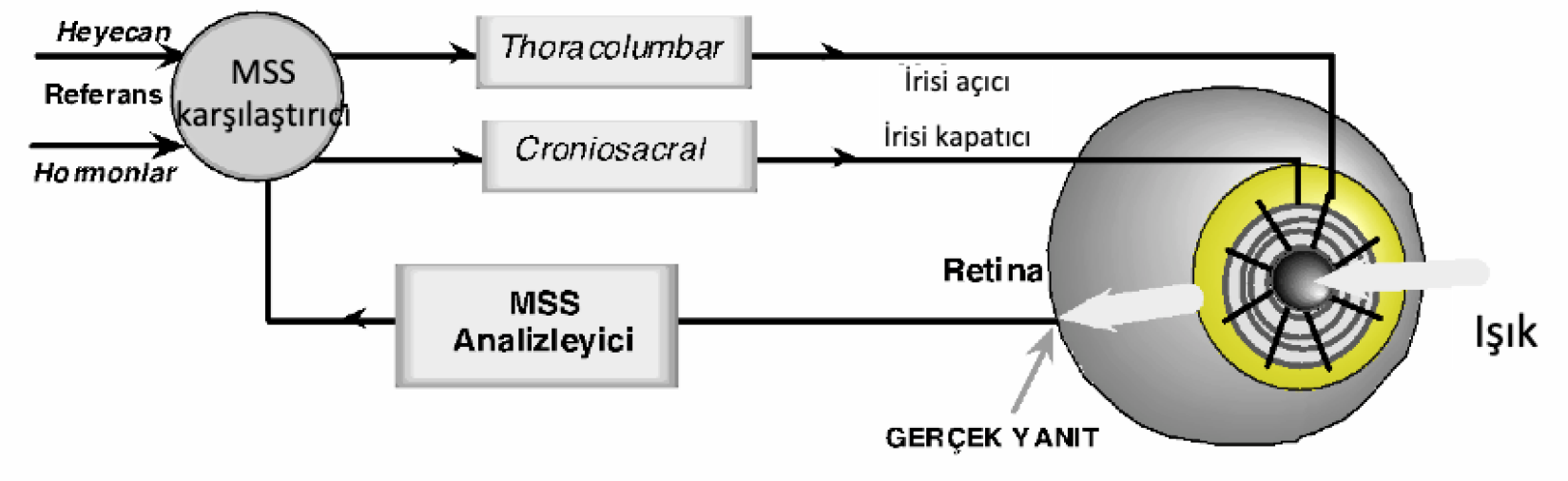
Kontrol sistemlerinin zamana bağlı davranışı





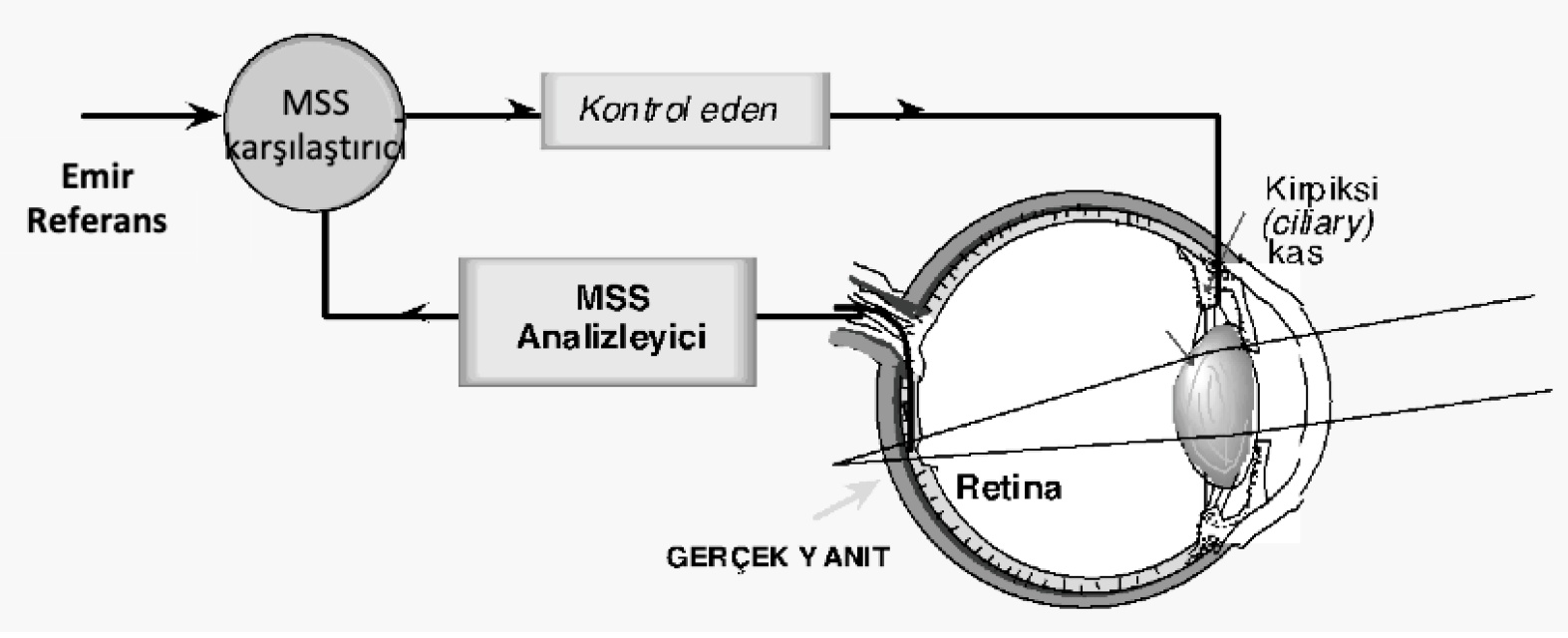
- Kontrol eden sistemin kontrol edilen sistem üzerine hata sinyali ile orantılı etkiler uygulaması'na dayalı işleyişe **orantılı kontrol** denir.
- Böyle bir sistemde referans sinyali değişince yeni kararlı duruma geçiş yanıtı ikinci şekildeki gibidir.

Biyolojik kontrol: göz



Pupilla açıklığının kontrolü

Biyolojik kontrol: göz



Lensin kırıcılığı değiştirilerek netliğin sağlanması

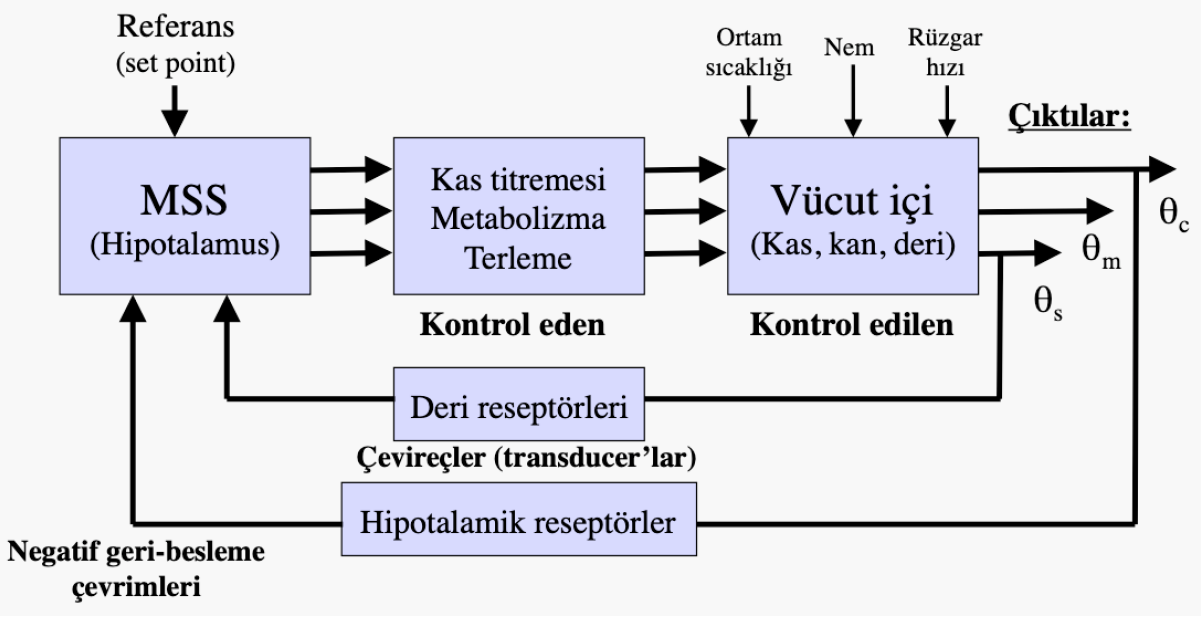
Biyolojik kontrol: vücut içi sıcaklık

- Sıcak kanlı canlılarda vücut içi sıcaklığın sabit tutulması gerekir.
- Vücut içi sıcaklığın birkaç derece yükselmesi (hipertermi) tersinmez anomalilere neden olurken, düşük sıcaklıklarda (hipotermi, $28^{\circ}C$'nin altına düşmesi) ise kalp durur.
- Vücut sıcaklık bilgisi derideki sıcaklık reseptörleri tarafından sağlanır ve MSS'de algılanarak değerlendirilir.
- Normal sınır değerlerin dışına çıkılması durumunda ısıtıcı veya soğutucu mekanizmalar devreye girer.
- Vücuttaki çoğu aktivite ısı üretir. Örneğin kas kasılması sırasında harcanan enerjinin %80'i ısıya dönüşür.
- Eğer bu aktiviteler sırasında açığa çıkan ısı vücuttan atılmaz ise vücut sıcaklığı $3^{\circ}C$/saat artar.

Biyolojik kontrol: vücut içi sıcaklık

- Vücutta üretilen ısının çoğu iç bölgelerde üretilir ve atılması için öncelikle vücut yüzeyine taşınması gerekir.
- Ancak, vücut çok kötü bir ısı iletkenidir (ısı iletim katsayısı $\lambda_c = 0.209 J/m.s.K$); ısının ancak %10'u iletim yolu ile taşınır.
- Bu yüzden ısı deri altına kadar kan tarafından konveksiyon yolu ile taşınır.
- **Konveksiyon:** Bir katı yüzey ile onunla temas halindeki bir akışkan arasında gerçekleşen ısı transferidir.
- Isı, deri altından deri yüzeyine yeniden iletim yolu ile taşınır.
- Deri yüzeyinden dışarıya ise:
  - Konveksiyon,
  - Terleme, buharlaşma,
  - Sıcak bölgelerin ışıma yapması (radyasyon) yolları ile atılır.

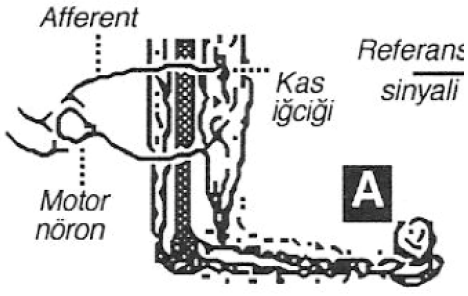
Biyolojik kontrol: vücut içi sıcaklık

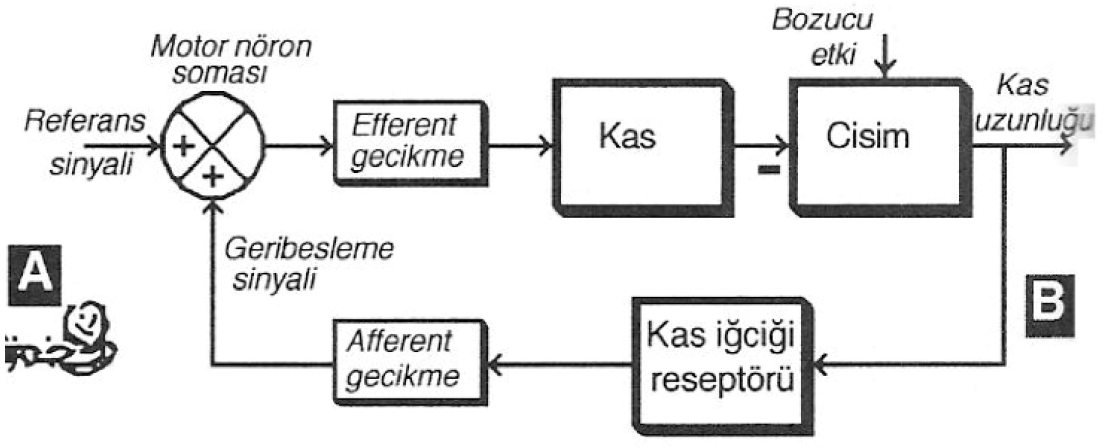


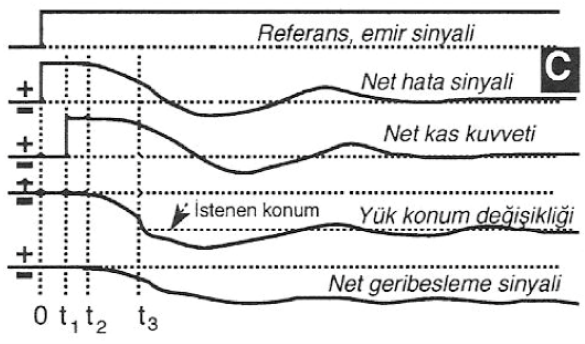
Vücut sıcaklığının düzenlenmesi (regülasyonu)

Kontrol edilen, eden, çıktılar ve geri-besleme yolları birden fazladır.

Biyolojik kontrol: kas uzunluğu







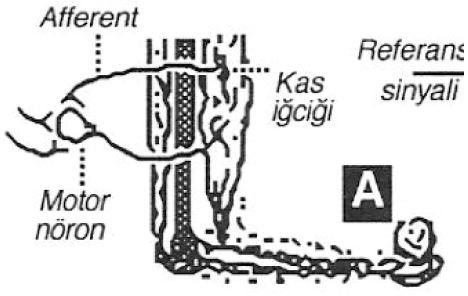
Kas uzunluğunun otomatik kontrolü:

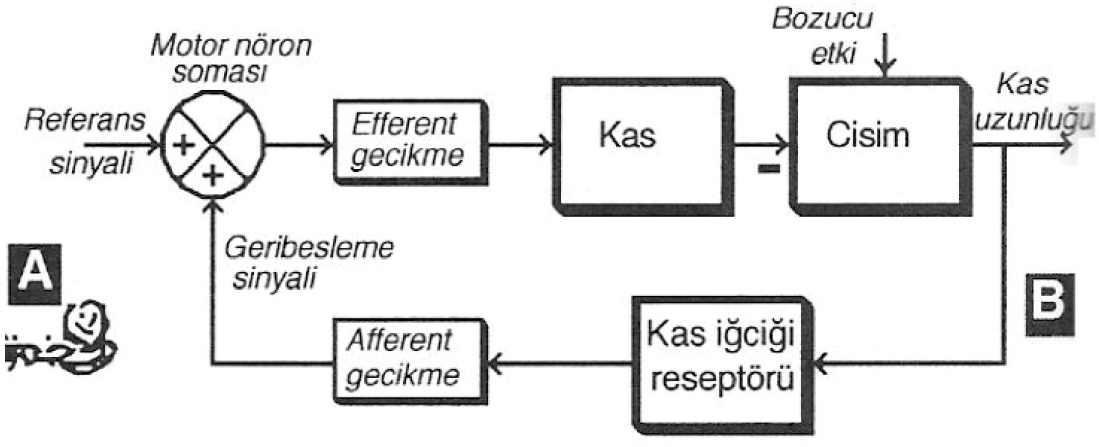
A: Myotatic reflex arkı

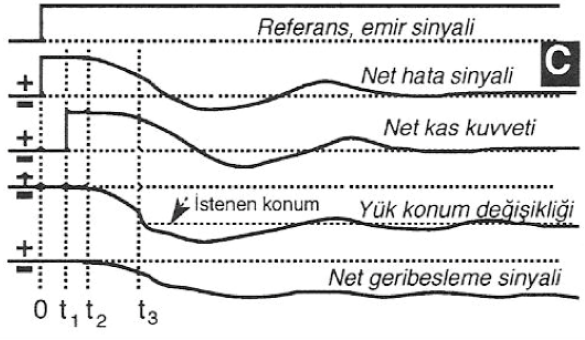
B: Kas uzunluğunun otomatik kontrolü ve kas servo-mekanizmasının basitleştirilmiş şeması

C: Kas uzunluğunun kontrolü sırasında enformasyon iletiminde gecikmeler

Biyolojik kontrol: kas uzunluğu







Kontrol edilen sistem: Eldeki cisim

Gerçek yanıt: Cismin yanıtı veya kas uzunluğu

Bozucu etki: Yerçekimi kuvveti

Karşılaştırıcı: Motor nöron soması, geri-besleme sinyali, referans sinyalinde uyarıcı/engelleyici sinaptik girişler

Geribesleme sinyali sayısal olarak (+), çevrimin geneli için negatif geribesleme sözkonusu

Özet

Aktarım fonksiyonu

