

T.C.  
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI



# MEGEP

(MESLEKİ EĞİTİM VE ÖĞRETİM SİSTEMİNİN  
GÜÇLENDİRİLMESİ PROJESİ)

ENDÜSTRİYEL OTOMASYON  
TEKNOLOJİLERİ

KAPALI ÇEVİRİM KONTROLÜ

ANKARA, 2009

Milli Eğitim Bakanlığı tarafından geliştirilen modüller;

- Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığının 02.06.2006 tarih ve 269 sayılı Kararı ile onaylanan, Mesleki ve Teknik Eğitim Okul ve Kurumlarında kademeli olarak yaygınlaştırılan 42 alan ve 192 dala ait çerçeve öğretim programlarında amaçlanan mesleki yeterlikleri kazandırmaya yönelik geliştirilmiş öğretim materyalleridir (Ders Notlarıdır).
- Modüller, bireylere mesleki yeterlik kazandırmak ve bireysel öğrenmeye rehberlik etmek amacıyla öğrenme materyali olarak hazırlanmış, denenmek ve geliştirilmek üzere Mesleki ve Teknik Eğitim Okul ve Kurumlarında uygulanmaya başlanmıştır.
- Modüller teknolojik gelişmelere paralel olarak, amaçlanan yeterliği kazandırmak koşulu ile eğitim öğretim sırasında geliştirilebilir ve yapılması önerilen değişiklikler Bakanlıkta ilgili birime bildirilir.
- Örgün ve yaygın eğitim kurumları, işletmeler ve kendi kendine mesleki yeterlik kazanmak isteyen bireyler modüllere internet üzerinden ulaşılabilirler.
- Basılmış modüller, eğitim kurumlarında öğrencilere ücretsiz olarak dağıtılır.
- Modüller hiçbir şekilde ticari amaçla kullanılamaz ve ücret karşılığında satılamaz.

# İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR .....	ii
GİRİŞ .....	1
ÖĞRENME FAALİYETİ-1 .....	3
1. KAPALI ÇEVİRİM DENETİMİNE GİRİŞ.....	3
1.1. Kapalı Çevrimli Denetim Nedir? .....	3
1.2. Kapalı Çevrim Denetim Türleri .....	10
1.3. Geri Besleme Elemanları .....	12
1.3.1. Geri Besleme Temel Özellikleri .....	12
1.3.2. Geri Besleme Elemanı Seçimi .....	14
1.3.3. Geri Besleme Elemanında Algılama Özellikleri .....	18
UYGULAMA FAALİYETİ .....	19
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....	22
ÖĞRENME FAALİYETİ-2 .....	24
2. DENETİM MODLARINA GİRİŞ .....	24
2.1. Basit Matematiksel Modelleme .....	24
2.2. Aç-Kapa Denetim Modu .....	31
UYGULAMA FAALİYETİ .....	43
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....	48
MODÜL DEĞERLENDİRME .....	50
CEVAP ANAHTARLARI .....	53
KAYNAKÇA .....	54

# AÇIKLAMALAR

<b>KOD</b>	<b>523EO0350</b>
<b>ALAN</b>	<b>Endüstriyel Otomasyon Teknolojileri</b>
<b>DAL/MESLEK</b>	<b>Endüstriyel Kontrol Teknisyenliği</b>
<b>MODÜLÜN ADI</b>	<b>Kapalı Çevrim Kontrolü</b>
<b>MODÜLÜN TANIMI</b>	Endüstride kullanılan kapalı çevrim denetim sistemleri ile ilgili konuların verildiği öğrenme materyalidir.
<b>SÜRE</b>	40/32
<b>ÖN KOŞUL</b>	Açık Çevrim Kontrolü modülünü almış olmak.
<b>YETERLİK</b>	Kapalı çevrim kontrolü yapmak
<b>MODÜLÜN AMACI</b>	<b>Genel Amaç</b> Bu modül ile gerekli ortam sağlandığında kapalı çevrim kontrolü yapabileceksiniz. <b>Amaçlar</b> <b>1.</b> Kapalı çevrim sistem hazırlığını, ihtiyaçlara göre, yapabileceksiniz. <b>2.</b> Kapalı çevrim denetim sistemini, devre şemasına göre, kurabileceksiniz.
<b>EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI</b>	Uygulamalar için Ardışık Kontrol atölyesi,  Elektronik devre elamanları, osilaskop, multimetre, el aletleri, deney bordu
<b>ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME</b>	Her faaliyetin sonunda ölçme soruları ile öğrenme düzeyinizi ölçeceksiniz. Araştırmalar, grup çalışmaları ve bireysel çalışmalar sonunda öğretmen rehberliğinde kendinizi değerlendirme olanağı bulacaksınız.

# GİRİŞ

## Sevgili Öğrenci,

Son 20-30 yıl içinde ölçme ve denetim (kontrol) sistemleri uygarlığın gelişmesinde çok önemli bir rol oynamıştır. Çevremizde kullanılan teknolojileri incelediğimizde hemen hemen her yerde çok sayıda denetim uygulamasıyla karşılaşırız. Ev ve iş yerlerinde herkesin kullandığı ısıtma ve havalandırma sistemleri, ısıyı ve ortamın nemini ayarlar. Küçük ve büyük ölçekli sanayide otomatik denetim sistemlerinin sayısız uygulamaları vardır. Bunlara örnek olarak ürün denetimi, üretim süreç denetimi, üretim ortamı güvenlik denetimi, uçakların otomatik pilot ile denetimi, arabalardaki fren ve denge denetim sistemi; modern gerilim regülâtörleri(düzenleyicileri), bilgisayarla etkileşimli denetim uygulamaları, robotlar ve robot kolları uygulamaları verilebilir.

Kapalı Çevrim Kontrolü modülü ile kapalı çevrim denetimi temel bilgilerini öğrenecek; geri besleme elemanları, kapalı çevrim denetimi için matematiksel modelleme ve aç-kapa denetim yöntemi başlıkları ile ilgili temel yeterlikleri kazanacaksınız. Açık Çevrim Denetim Sistemleri modülü ile denetim mantığı elde edildiğinden, bu modüle başlamadan daha önce öğrendiğiniz bilgileri tekrarlamanızda fayda vardır. Böylece kapalı çevrim denetiminde ne gibi üstünlüklerin olduğunu daha iyi kavrayacaksınız. Denetim devrelerinde kullanılacak elektronik elemanların çalışmalarını, yeri geldikçe, tekrarlamanızda da fayda vardır.

Kapalı çevrim denetim sistemleri için endüstriyel otomasyon teknolojilerinin kalbi denilebilir. Denetim sistemlerini, otomasyonun olduğu her yerde, değişik tekniklerle ve farklı enerji kullanımlarıyla görebilirsiniz. Bu modül ile kapalı çevrim denetimini öğrenerek ve çeşitli denetim uygulamaları gerçekleştirerek daha üst düzey uygulamalar için sağlam bir temel elde edebileceksiniz. Tüm öğrenme faaliyetleri sonunda uygulama faaliyetlerine gereken önemi vermeniz ve uygulama devrelerini geliştirmeniz size değişik bakış açıları kazandıracaktır. Bu modülde verilen konuları öğrenirken internetten ve ilgili diğer elektronik kitaplarından da faydalanmanız sizi denetim sistemleriyle beraber sağlam bir teknoloji yolculuğuna sevk edecektir.



# ÖĞRENME FAALİYETİ-1

## AMAÇ

Kapalı çevrim sistem hazırlığını ihtiyaçlara göre yapabileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

- Kapalı çevrim denetimi ile ilgili yerli ve yabancı kaynaklardan ön araştırma yapınız.

## 1. KAPALI ÇEVİRİM DENETİMİNE GİRİŞ

Bu bölümde kapalı çevrim kontrolünün ana hatlarını ve kullanım alanları ile ilgili örnekler verilecektir.

### 1.1. Kapalı Çevrimli Denetim Nedir?

Bir kapalı çevrim denetim sisteminde çıkış değişkeni, ölçme elemanı ile ölçülür ve ölçme büyüklüğü girişe geri beslendikten sonra referans bir değer ile karşılaştırılır. Karşılaştırma sonucunda hata sinyali elde edilir, hata sinyalinin yapısına ve denetlenen çıkış değişkenine uygun bir denetim sinyali üretilir. Kapalı çevrim denetim sistemine “geri beslemeli denetim sistemi” de denilebilir.

Geri beslemeli denetim sisteminde üç işlem gerçekleşir. Bunlar;

- Ölçme,
- Karar,
- Uygulama olarak verilebilir.

Ölçme aşamasında, denetlenen çıkış değişkeni ölçülür. Karar aşamasında ölçülen değer, istenen değerden ne kadar farklı olduğu hesaplanır; diğer bir ifade ile hata hesaplanır. Denetim uygulaması için bu hata değeri kullanılır. Uygulama aşamasında hatayı azaltıcı yönde, değişkenler üzerinde, etkili olan bir denetim sinyali uygulanır.

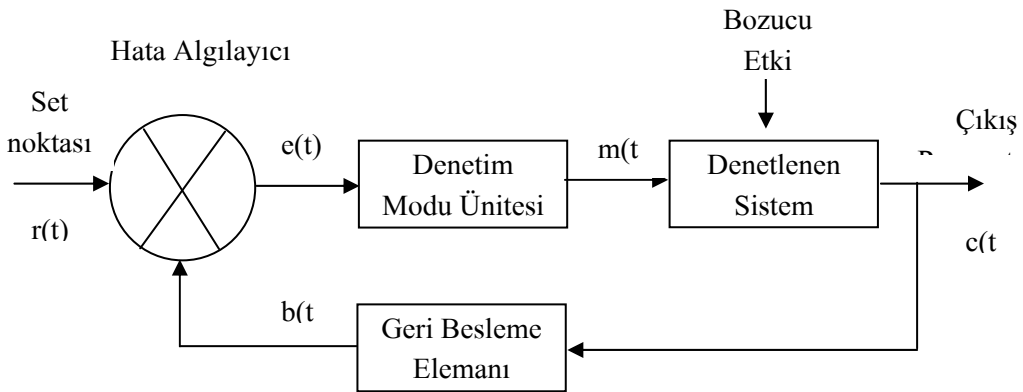
Kapalı çevrim denetiminde en önemli alt uygulama geri beslemedir. Yukarıdaki açıklamadan da anlaşıldığı üzere geri besleme çıkış büyüklüğünün anlamlı bir kısmının girişe tekrar uygulanmasıdır. Negatif ve pozitif olmak üzere iki türlü geri besleme vardır. Negatif geri beslemede çıkıştaki değişimler, giriş büyüklüğüne ters yönde etki eder. Böyle

bir sistemde çıkış arzu edilen değere göre bir artış gösterecek olursa denetim etkisinin azaltılarak çıkışın istenilen değere geri dönmesi sağlanır. Tersine bir durumda eğer çıkış arzu edilen değere göre bir azalma gösterirse denetim etkisi artırılarak çıkışın istenilen değere yükselmesi sağlanır. Negatif geri beslemede daima çıkış ile girişin farkı alınır. Kontrol elemanına hata girişi olarak iletilen bu fark, çıkışın istenilen değere getirilmesini ve bu değerinde sabit tutulmasını sağlar. Negatif geri besleme, endüstriyel sistemlerin en önemli özelliğidir. Hatayı daima en küçük değerinde tutmaya veya sıfır yapmaya çalışır. Pozitif geri beslemede çıkış girişe aynı yönde etki eder. Buna göre çıkışta herhangi bir artış meydana gelecek olursa girişteki hatayı da arttırıcı bir etki meydana gelir ve sistem osilasyona girer. Bu nedenle, pozitif geri besleme kapalı çevrim denetimi için uygun değildir.

Şekil 1.1’de kapalı çevrim denetim sistemi blok şeması görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi denetlenen sistem üzerinde iç devrelerle ve çevresel koşullarla ilgili istenmeyen bozucu etkiler bulunmaktadır. Bu bozucu etkiler sonucunda çıkış parametresi istenen değerden sapar. Çıkış parametresinin belirli bir oranı, hata algılayıcıya geri beslenir. Hata algılayıcı girişine, çıkış parametresinin olması istenen değeri uygulanır. Hata algılayıcı geri besleme değerinin ayar (set) değerinden ne kadar saptığı ile ilgili bir fark gerilimi üretir. Fark gerilim değeri, denetim modu ünitesine uygulanır.

Denetim modu ünitesi, kapalı çevrim denetim sisteminin en önemli katıdır. Burada, denetlenen sisteme uygun bir denetim sinyali üretilir. Çeşitli kaynaklarda hata algılayıcı ile denetim modu ünitesine birlikte “Kontrolör”, “Kontrol Ünitesi” ya da “Denetim Ünitesi” denilebilmektedir. Denetim ünitesi; pnömatis, hidrolik, analog veya dijital elektronik devrelerle gerçekleştirilebilir. Denetim hareketini gerçekleştirmek için, pnömatis tip denetim üniteleri hata algılayıcının ve işlemsel yükseltecin pnömatis eşdeğerini kullanırken, hidrolik tip denetim üniteleri de hidrolik eşdeğerini kullanırlar.

Analog elektronik denetim üniteleri, elektronik bir devre yardımıyla hatayı hesaplayıp işlemsel yükselteç ile de denetim sinyalini üretir. Dijital denetim üniteleri de bir mikroişlemci ve bu işlemciye ait denetim algoritması ile denetim sinyali üretir.



Şekil 1.1: Kapalı çevrim denetim sistemi genel blok



Hata algılayıcıdan gelen hata gerilimine göre denetim modu ünitesi, hatayı azaltacak yönde bir sinyal üretir. Böylece denetlenen sistemde, hatayı küçültecek şekilde, bir değişim meydana gelir. Böyle bir sistemde dikkat edilmesi gereken bazı özellikler vardır. Bu özellikleri şunlardır:

- Hata algılayıcı set noktası büyüklüğü ile sistemin geri besleme çıkış büyüklüğünün aynı tür büyüklük olmaları gerekir.
- Geri besleme yolu üzerinde bulunan ölçme elemanı çıkış büyüklüğünü hem ölçen hem de uygun bir sinyale dönüştüren bir eleman olduğundan çok önemlidir.

Ölçme elemanı ya bir sensördür(duyar) ya da kendi içinde algılayıcı, yükseltici ve sinyal üretici bulunan bir devredir. Denetim modu ünitesi ile denetlenen sistem arasında zorunlu hallerde sürücü katı kullanılabilir. Sürücü katında bulunan elemana çeşitli kaynaklarda son kontrol elemanı, manipülasyon elemanı ya da son sürücü elemanı denilebilmektedir.

Bir kapalı çevrim denetim sisteminde denetim modu ünitesi, hata değerinin yapısına ve kullandığı denetim moduna bağlı olarak uygun bir denetim sinyali üretir. Günümüzde denetim modu ünitelerinde kullanılan belli başlı dört temel yöntem vardır. Kullanılan bu yöntemler; “denetim modu”, “kontrol modu”, “denetim etkisi” gibi adlarla ifade edilmektedir. Denetim modları temel olarak;

- Aç-kapa denetim modu,
- Oransal denetim modu,
- İntegral denetim modu,
- Türev denetim modu başlıkları ile verilebilir.

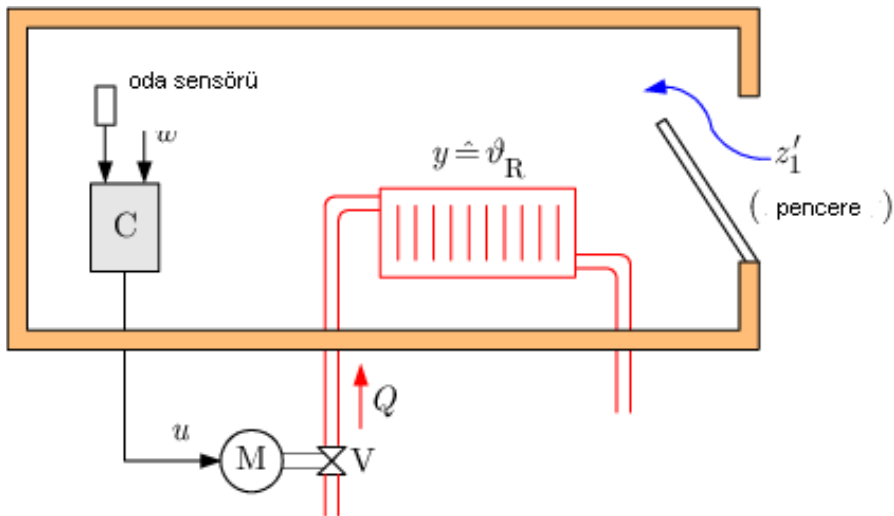
Yukarıda bahsedilen denetim modlarının birbirleri ile bütünleşmesi sonucunda daha üst düzey denetim modları elde edilir. (Üst düzey denetim modları ile ilgili bir sonraki modülde bilgi verilecektir. Bu modülde yalnızca aç-kapa denetim modunu kullanan denetim modu ünitesi işlenecektir.)

Açık çevrim denetim sistemi ile kapalı çevrim denetim sisteminin farkı, geri beslemedir. Aradaki farkı ortaya koymak adına motor kontrolü ile ilgili basit bir örnek verilebilir; bir motoru doğrudan mekanik bir anahtarla kontrol edersek motor dönme hareketi gerçekleştirir. Burada motorun devir sayısını aşağı yukarı aklımızda belirlediğimiz bir gerilimi doğrudan uygulayarak belirleyebiliriz. Fakat motor gerilimi acaba gerçekten bizim istediğimiz gibi mi? Bunu anlayamayabiliriz. Motor sıcaklığı, mekanik sürtünmeler, yük değişimi gibi fiziksel faktörler devir sayısını değiştirebilir. Böyle bir kontrolde güvenlik ve güvenilirlik çok zayıftır. Motorun dönüş sayısını bir sensör düzeneği yardımıyla ölçebiliriz.

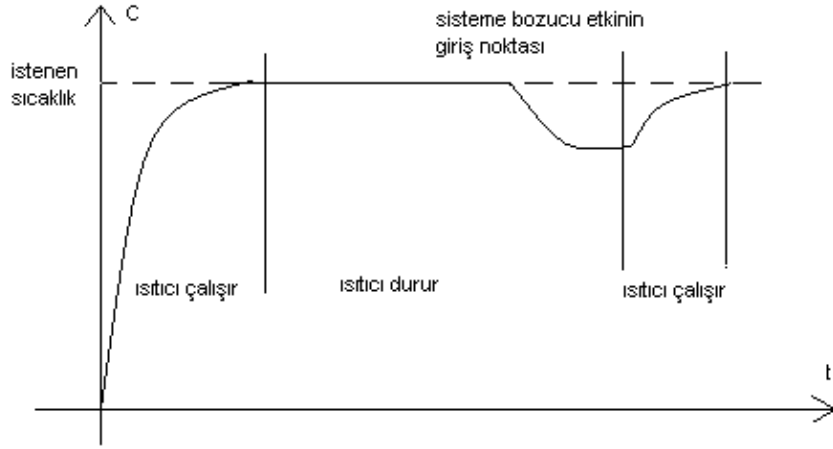
Ölçüm verimizi belirli bir büyüklük ile karşılaştırıp istediğimiz değerde mi değil mi anlayabiliriz. Motor devir sayısı düştüğünde daha çok güç gönderip, motor devir sayısı arttığında motora daha az güç gönderebiliriz. Bu şekilde daha güvenli bir çalışma elde ederiz.

Sanayi uygulamalarında motor devir sayısı çok önemlidir. Bu tür bir denetim için kesinlikle kapalı çevrim denetimi kullanılmalıdır. Açık çevrim ve kapalı çevrim farkına diğer bir örnek olarak mağazalardaki otomatik kapıları verebiliriz. Eğer kapı herkese açılsa burada yapılan açık çevrim denetim sistemidir. Ancak içeriye giren ve çıkan kişiler algılanır ve mağazanın yoğun olduğu tespit edilirse kapı belirli bir süre otomatik olarak kapalı tutulabilir. Bu tür bir çalışma kapalı çevrim sistemi ile gerçekleşir.

Kapalı çevrim denetimine en basit örnek, insan vücudu ile ilgili verilebilir. Bir musluğun olduğu yere 10 adet bidonu doldurmak üzere gittiğimizi varsayalım. Musluğun altının boş olduğu bilgisini gözümüz algıladıktan sonra gerekli sinyali beynimize geri besler. Boş bir bidonu beynimizin emri ile aktüatör olarak kullandığımız kol ve ellerimizle musluğun altına koyarız ve musluğu açarız. Bidona su doluyorken bidonun boş olduğu bilgisini sürekli olarak gözlerimizle takip ederiz, bu arada geri besleme sinyali biz farkında olmadan arka planda beynimize iletilmektedir. Su doluyorken başka bir iş ile ilgilenebilir ya da hareketsiz olarak bekleyebiliriz. Bidon dolmaya başlayınca musluğu kapatmak için hamle yaparız. Dolu olan bidonu olduğu yerden alıp, onun yerine boş bidonu koyarız ve işlemlere, tüm bidonlar doluncaya kadar, bu şekilde devam ederiz. İşte burada yapılan işlem bir kapalı çevrim denetimi sayesinde gerçekleşmiştir. Bu yapılan işlemlerde geri besleme, hata algılama ve denetim sinyali oluşturma işlemleri yapılmıştır.



Şekil 1.2: Kapalı çevrim denetim sistemi örneği



**Şekil 1.3: Isıtıcı denetim sistemi çalışma grafiği**

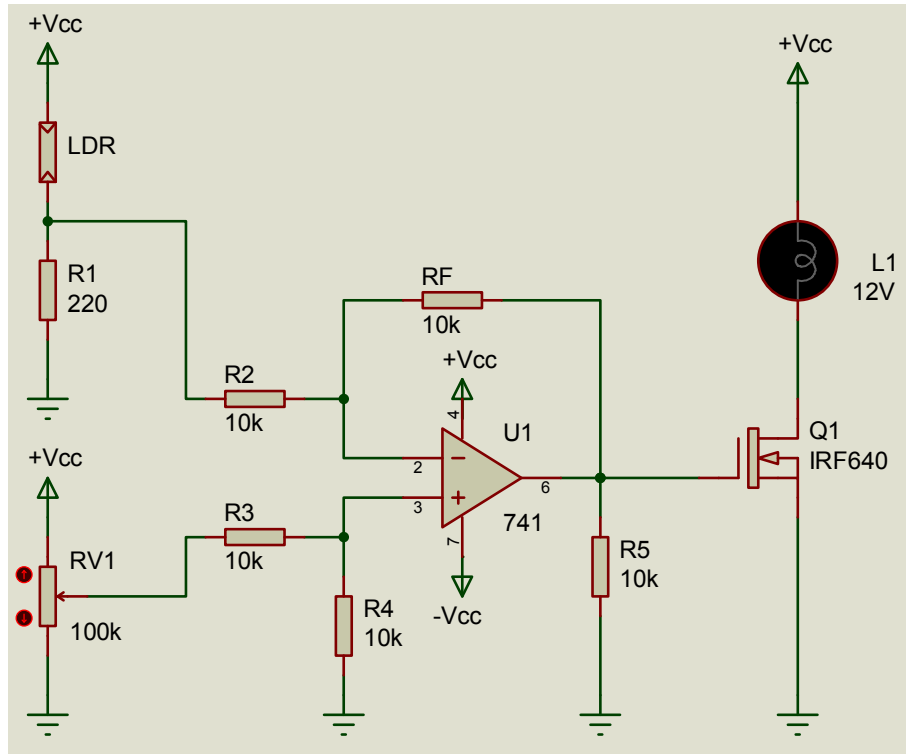
Şekil 1.2’de verilen sistemde kapalı bir odanın sıcaklık kontrolü yapılmaktadır. Sıcaklığın verilen referans değeri ( $\omega$ ) seviyesinde tutulması için öncelikle, oda sensöründen alınan ortam sıcaklığı bilgisi ile referans değer denetleyici (C) tarafından karşılaştırılması gerekir. Bunun sonucunda üretilen kontrol işareti (u), motoru kumanda eder. Motora bağlı olan valf (V), ısıtıcıyı kontrol etmektedir. Böylelikle ısıtıcının ortam sıcaklığına göre çalıştırılması ya da durdurulması sağlanır.

Odada bulunan pencere vasıtasıyla bozucu bir giriş (soğuk hava sirkülasyonu), sistemi etkileyecektir. Şekil 1,3’te bu sisteme ait çıkış grafiği gösterilmektedir. Aslında grafikte istenen sıcaklık değeri etrafında bir salınım oluşur. (Bu durum hakkında ileride bilgi verilecektir.)

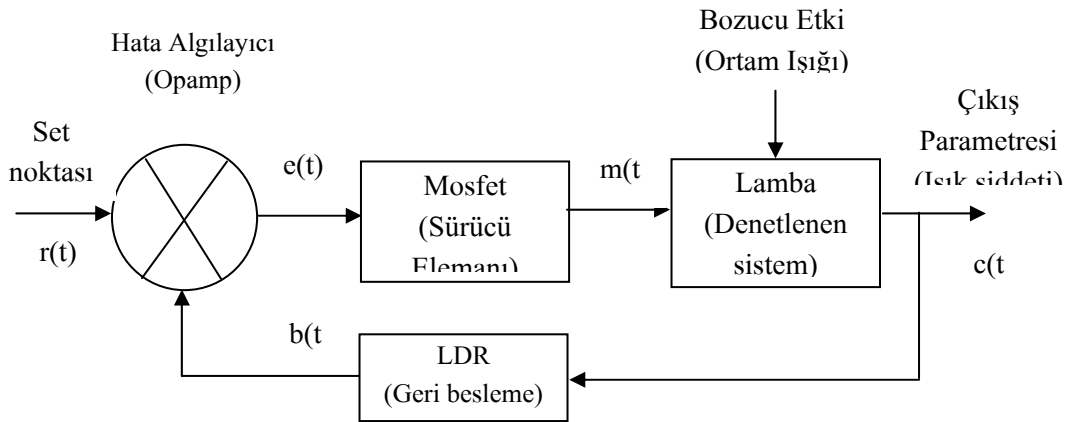
Şekil 1.4’te, kapalı çevrim denetimi sistemine daha pratik nitelikte örnek olabilecek bir devre görülmektedir. Bu, kapalı çevrim denetim sistemi için verilebilecek en basit devrelerden biridir. Devrede kullanılan 741 opampı, hata algılayıcı olarak kullanılmıştır. Opamp, girişe gelen gerilimlerin farkını alır. Çıkış gerilimi aşağıdaki formüle göre bulunur.

$$V_o = -\frac{R_f}{R_2} V^- + \left(1 + \frac{R_f}{R_2}\right) \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right) V^+$$

Örnek devrede  $R_f = R_2 = R_3 = R_4$  olduğundan  $V_o = V^+ - V^-$  formülüne göre bulunur. Devrede  $V^-$  gerilimi LDR-R1 birleşiminden opampın negatif girişine gelmektedir ve çıkış parametresi olan, ışık şiddetine göre belirlenen, geri besleme değeridir.  $V^+$  gerilimi ise RV1 potansiyometresinden gelmektedir ve ışık şiddetinin set noktasını ya da diğer bir deyişle, referans noktasını ayarlamak için kullanılır.



Şekil 1.4: Kapalı çevrim denetimi örnek devresi



Şekil 1.5: Kapalı çevrim denetim devresi blok şeması

Şekil 1.5'e göre hata algılayıcı,  $e(t)=r(t)-b(t)$  işlemini gerçekleştirir.  $b(t)$  işareti sensör devresi gerilimi,  $r(t)$  işareti set değeri gerilimi ve  $e(t)$  işareti ise hata algılayıcı çıkış gerilimidir.  $e(t)$  aynı zamanda Şekil 1.4'teki devre için denetim sinylidir. Bu devrede opamp

hem hatayı bulmakta hem de denetim modu ünitesi görevi görmektedir. Diğer bir ifade ile opamp kontrolör görevi yapmaktadır. Bu devrede, kontrolör çıkış sinyali  $e(t)$  ile temsil edilmektedir. Bu sinyal ile mosfet kontrol edilir. Mosfet, bu devrede sürücü elemandır. Mosfet kapı girişine gelen  $e(t)$  gerilimi arttıkça mosfet  $I_D$  akımı da artar. Şekil 1.5'te görülen  $m(t)$  işareti  $I_D$  akımıdır. Bu akım şiddetinin değişimiyle lambanın parlaklığı da değişmektedir.  $c(t)$  işareti, ışık şiddetidir. Işık şiddetini, LDR algılar ve ayrıca LDR'li sensör devresi  $b(t)$  işaretini üretir.  $b(t)$  işareti, bir gerilim değeridir. Lambanın parlaklığını, mosfetin  $I_D$  akımı etkiler. Bu akım, aşağıdaki formül ile bulunur.

$$I_D = k(V_{GS} - V_T)^2$$

Bu formülde tipik olarak  $k=0,3 \text{ mA/V}^2$  alınır.  $V_{GS}$  ise opamp çıkışında üretilen fark gerilimidir, diğer bir ifadeyle mosfetin kapı(gate) ve kaynak(source) arası gerilimidir.  $V_T$  ise, akaç akımını( $I_D$ ) başlatan  $V_{GS}$  eşik gerilim değeridir. Kataloglarda  $V_T$  ile ilgili veri bulunabilir. IRF640 için  $V_T$  eşik değeri tipik olarak 3V civarındadır.  $V_{GS}$  değeri, 20V'u aşmamalıdır. Yukarıdaki formüle göre,  $k$  ve  $V_T$  sabit olduğundan  $V_{GS}$  geriliminin değişimi  $I_D$  akımını, dolayısıyla da lambanın parlaklığını değiştirecektir.

Şekil 1.4'te açık devre şeması ve Şekil 1.5'te ise blok şeması görülen kapalı çevrim denetim sisteminde, lamba ile sensör karşılıklı konulduğunda, lamba parlaklığı ilk olarak RV1 potansiyometresi ile ayarlanır. Ayarlanan bu değer, set değeridir. Diğer bir deyişle, referans noktasıdır. LDR üzerine hem deney yapılan ortam ışığı hem de lambanın ışığı gelmektedir fakat lamba LDR'ye yakın yerleştirildiğinden ortam ışığının bozucu etkisi çok düşük düzeydedir. LDR üzerinde oluşan toplam ışık şiddeti ile LDR-R1 arasında  $V^- [b(t)]$  ile ifade edebileceğimiz bir gerilim elde edilir. RV1 potansiyometresinin orta ucundan ise  $V^+ [r(t)]$  set gerilim değeri gelmektedir. Opamp daha önce ifade edildiği gibi bu iki gerilim arasındaki farkı bularak çıkışında bir kontrol gerilimi oluşturur  $[e(t)]$ . Bu gerilim ile mosfet belirli bir  $I_D$  akımı geçirerek lambanın set değerinde parlaklık vermesini sağlar. Sistem set değerinde dengeye gelir. Eğer lamba uzaklaşırsa LDR lambanın parlaklığını algılayamayacağı için geri besleme ortadan kalkar ve lambanın çok parlak yanmaya başladığı görülür. Bunun sebebi; LDR'nin sadece ortam ışığını algılamaya başlaması ve direnç değerinin artmasıdır. LDR direnci artınca  $V^-$  gerilim değeri azalır. Bu gerilim azalınca  $e(t)$  kontrol gerilimi artar ve bu yüzden de lambanın parlaklığı artar. Lamba tekrar eski pozisyonuna, LDR'nin karşısına, yeniden alındığında parlaklığı set değerine geri döner. LDR direnci azalır,  $V^-$  gerilimi artar ve kontrol gerilimi yeniden parlaklığı istenilen düzeye getirir. Bu devre ile geri besleme mantığı açıkça anlaşılmaktadır.

Günümüzün karmaşık denetim sistemlerinde birden fazla parametre denetlenerek çok sayıda sistem kontrol edilmektedir. Bu tür denetim sistemlerinde, birden fazla giriş ve çıkış vardır ve kontrolör içyapısında genellikle mikroişlemci tabanlı bir devre yer alır.

## 1.2. Kapalı Çevrim Denetim Türleri

Kapalı çevrim denetim sistemlerini, yapılarını göz önüne alarak, değişik bakış açılarıyla inceleyebiliriz. Yapılarına göre kapalı çevrim denetim sistemleri;

- Bilgisayarlı denetim sistemi
- Elektromekanik denetim sistemi
- Hidrolik denetim sistemi
- Pnömatik denetim sistemi olarak incelenebilir.

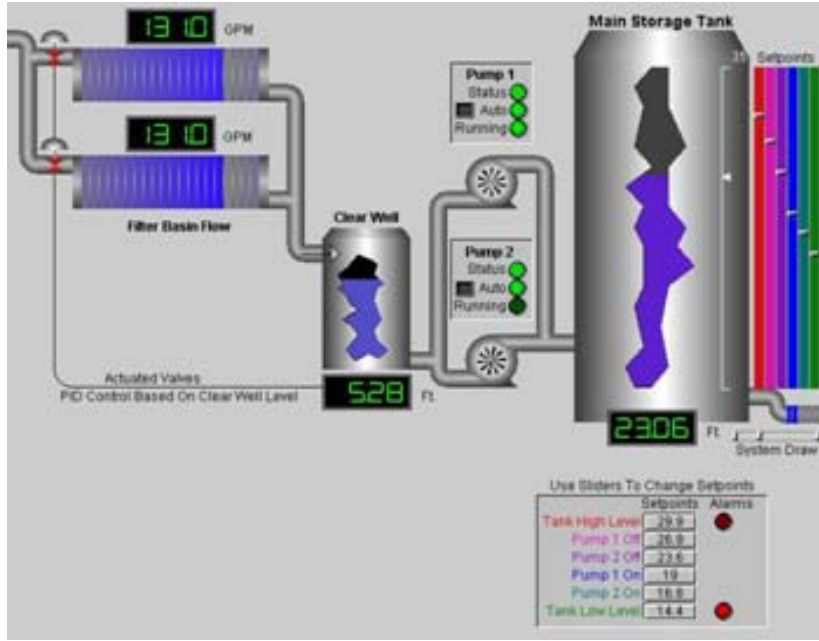
Yukarıdaki sistemlerde kullanılan enerji türleri farklıdır. Elektromekanik denetim sisteminde; elektrik, potansiyel ve kinetik enerjilerinin kombinasyonu vardır. Bilgisayarlı denetim sistemi, elektrik enerjisini; hidrolik denetim sistemi, yağ basıncını; pnömatik denetim sistemi de hava basıncını kullanmaktadır. Kullanılan enerji kaynağına göre bu şekilde bir ayırım yapılabilir.

Kapalı çevrim denetim sistemleri; kullanım amaçlarına ve parametre türlerine göre de aşağıdaki başlıklarla incelenebilir:

- Düzenleyici denetim sistemi (Regülâtör control)
- Servomekanizma (Servo mechanism)
- Süreç denetim sistemi (Process Control)
- Nümerik denetim sistemi (Numerical Control)
- Doğrudan sayısal denetim sistemi (Direct Digital Control)
- Uyarlamalı denetim Sistemi (Adaptive Control)
- Öğrenmeli denetim (Learning Control)
- Düzey denetim sistemi (Level Control)
- **Düzenleyici denetim sistemi:** Çıkış parametresinin, istenen değerde uzun süre sabit tutulduğu, geri beslemeli kontrol türüdür. Düzenleyici denetim sisteminde, bozucu çevre koşullarına rağmen, sistem çıkışının istenen değerde tutulması önemli bir kuraldır.
- **Servo mekanizma:** Çıkışında mekaniksel konumlama, hız veya ivme parametreleri üreten geri beslemeli denetim sistemidir. Diğer bir tanımla, servo mekanizma; çıkış büyüklüğü, konum, hız ya da ivme olan geri beslemeli denetim sistemidir. Örneğin; bir kaynak robotunun eklem motorlarında çoğunlukla servo denetim kullanılmaktadır. Programlanmış komutlarla birlikte

- makinenin tamamen otomatik olarak çalışması servo sistemlerin kullanımıyla gerçekleştirilebilir. Diğer bir ifadeyle, önceden belirlenmiş bir yolu takip etmesi gereken türde çıkışa sahip denetim sistemine servo mekanizma adı verilir.
- **Süreç denetim sistemi:** Çıkış parametre değerleri sürekli olarak değişebilen; sıcaklık, basınç, akış, seviye ve pH gibi fiziksel ya da kimyasal değişkenleri denetleyen bir tür düzenleyici denetim sistemidir. Örneğin; kimyasal bir hammaddenin ardışık şekilde belirli işlemlerden geçirilmesiyle ürün elde edilmesi, süreç denetim sistemi ile gerçekleştirilir.
  - **Nümerik denetim sistemi:** Eski tip bir denetim türüdür. Eski tip takım tezgâhlarında, sayısal konum denetimi amacıyla kullanılan bir denetim türüdür. Denetim delikli kartlar ve mıknatıslı teypler ile yapılmaktadır.
  - **Doğrudan sayısal denetim sistemi:** Yüksek kapasite ve hızda çalışan bir tek bilgisayarla karmaşık kontrol algoritmaları geliştirilir. Scada uygulamalarının temelini oluşturan kontrol çeşididir.
  - **Uyarlamalı denetim sistemi:** Kendi işlemlerini en iyi olası işlem tarzında gerçekleştirebilen bir sistemdir. Tanımlama, karar verme ve düzeltme gibi üç temel ilkesi vardır.
  - **Öğrenmeli denetim sistemi:** Belirli bir yere kadar hesaplama yeteneğine sahip, denetlenen parametrenin matematiksel modelleme tanımlarını geliştirebilen ve işlemlerini bu yeni bilgiler doğrultusunda düzenleyebilen denetim sistemidir.
  - **Düze denetim sistemi:** Bir üretim tesisindeki tüm denetim durumlarının bilgisayar kontrolü yoluyla elde edilen sistemdir. En üst düzeyden en alt düzeye kadar her türlü denetim etkinliği bir bütün olarak değerlendirilir. Gelişmiş bilgisayarlara gereksinim duyar.

SCADA Sistemleri “Supervisory Control And Data Acquisition” kelimelerinin baş harflerinden oluşan SCADA, merkezi yönetim, denetleme ve bilgi toplama sistemidir. Özel bir yazılım yüklenmiş merkezi bir bilgisayar ekranından, sistemle ilgili tüm süreç ve sistem parametreleri, gözlenebilir ve denetimi sağlanabilir. Üretim sürecinin belirli bir aşamasını ya da tamamını kapsar. SCADA sistemleri belediyelerin su ve doğalgaz dağıtım şebekelerinde, elektrik üretim ve dağıtım kurumlarında, içme ve sulama suyu üretim ve dağıtım tesislerinde, barajlarda, elektrik santrallerinde ve büyük ölçekli üretim yapan fabrikalarda tercih edilmektedir. Şekil 1.6’da örnek bir scada yazılımı kullanıcı-operatör ara yüzünün görüntüsü görülmektedir.



**Şekil 1.6: Örnek bir scada ara yüzü**

Burada bahsedilen denetim türlerinin temelinde, geri beslemeli kontrol yer almaktadır. Aslında hepsinin temel yapısı aynıdır. Yukarıda bahsedilen sistemler, gelişen teknoloji ile birlikte oluşan yeni kavramların bir sonucu olarak ortaya çıkan denetim türleridir.

### 1.3. Geri Besleme Elemanları

Geri besleme elemanları kapalı çevrim denetim sisteminin en önemli öğlerinden biridir. Bu kısımda Geri besleme elemanlarının temel özelliklerinden bahsedilecektir.

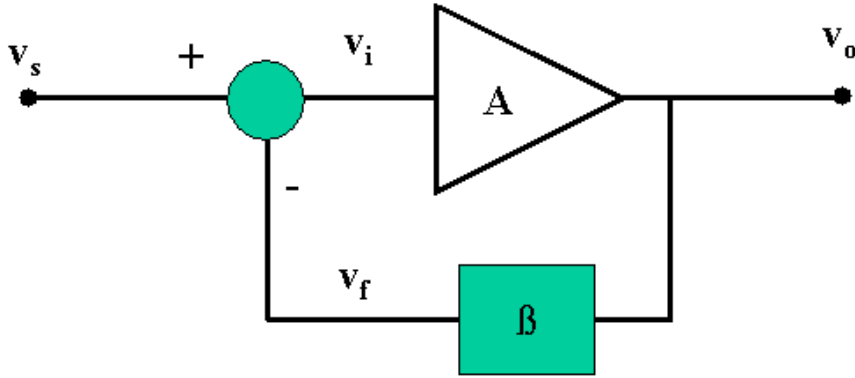
#### 1.3.1. Geri Besleme Temel Özellikleri

Geri besleme, kapalı çevrim denetim sisteminin en önemli uygulamasıdır çünkü çıkışın istenen değerde olup olmadığı ancak geri besleme sayesinde anlaşılabilir. Kapalı bir denetim sisteminde geri besleme işini sensörler ve transduserler gerçekleştirir. Genellikle, transduser bir enerjiden başka bir enerjiye dönüşüm yapan eleman olarak tanımlanır; sensör ise çevredeki fiziksel büyüklükleri elektriksel büyüklüğe çeviren eleman olarak tanımlanmaktadır. Endüstride; sensör, transduser, transmitter, detektör, prob terimleri birbirinin yerine kullanılabilir. Transmitter petrokimya gibi süreç endüstrilerinde (örneğin basınç transmitteri) transduser yerine kullanılan bir terimdir. Detektör terimi, özellikle optik sensörler için kullanılmaktadır (IR detektörü). Prob terimi, bir akışkan içine daldırılabilen sensörler için kullanılmaktadır (örneğin sıcaklık probu). Metre eki, ölçülen bazı büyüklüklerin sonuna eklenebilmektedir (örneğin takometre). 1969 yılında ISA



(Instrument Society of America) sensör ve transdüser terimlerini eş anlamlı olarak kabul etmiş ve ölçülen fiziksel özelliğin, miktarın ve koşulların kullanılabilir elektriksel miktara dönüştüren bir araç olarak tanımlamıştır. Bu modülde sensör kavramı tercih edilecektir.

Sensörlerle; uzunluk, alan, miktar, kütsel akış, kuvvet, tork, basınç, hız, ivme, pozisyon, ses dalga boyu ve yoğunluğu, sıcaklık, voltaj, akım, direnç, indüktans, kapasitans, di-elektrik katsayısı, polarizasyon, elektrik alanı ve frekans, alan yoğunluğu, akı yoğunluğu, manyetik moment geçirgenlik, yoğunluk, dalga boyu, polarizasyon, faz, yansıtma, oksidasyon/redaksiyon, reaksiyon hızı, pH miktarı vb ölçümleri yapılır. Ayrıca birçok uygulama da gerçekleştirilebilir.



Şekil 1.7: Geri besleme blok şeması

Daha önce belirtildiği gibi, kapalı çevrim denetim sistemlerinde negatif geri besleme kullanılır. Şekil 1.7’de negatif geri beslemenin gerçekleştirildiği bir örnek devre görülmektedir. Negatif geri beslemede, yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi çıkışta oluşan  $V_o$  sinyalinin belirli bir oranı karar devresine verilir. Geri besleme sinyaline  $V_f$  dersek;

$$V_f = \beta V_o$$

bağıntısını yazabiliriz. Karar devresinde ise çıkışta olması istenen gerilim değeri ( $V_s$ ) ile geri besleme değeri ( $V_f$ ) karşılaştırılır. Karşılaştırma sonucunda hata sinyali ( $V_i$ ) elde edilir.  $V_i$  hata sinyali için de;

$$V_i = K(V_s - V_f)$$

formülünü yazabiliriz. Burada  $K$  hata algılayıcının kazancıdır.  $K=1$  olarak ayarlandığında bu formül aşağıdaki gibi olur:

$$V_i = V_s - V_f$$

Hata algılayıcı, geri besleme elemanının algıladığı sinyal ile istenen set değeri arasındaki farkı, diğer bir ifadeyle iki sinyal arasında ne kadar hata olduğunu, bulur. Negatif geri besleme sayesinde çıkıştaki hatayı azaltıcı bir etki oluşur.

### 1.3.2. Geri Besleme Elemanı Seçimi

Geri besleme elemanı seçiminde en önemli husus; ölçülen büyüklüğün fiziksel niteliğidir. Geri besleme elemanı tek bir sensörden meydana gelebileceği gibi sensörle birlikte elektronik bir devreden de meydana gelebilir.

Hata yükseltecinin kullandığı enerji de önemlidir çünkü hata yükseltici için elektrik enerjisi kullanılıyorsa geri besleme elemanının da elektriksel bir sinyal üretmesi gerekir. Ayrıca hata yükseltici analog değerleri karşılaştırırsa, geri besleme elemanı analog çıkışlı dijital değerleri karşılaştırırsa geri besleme elemanı dijital çıkışlı olmalıdır.

Bir geri besleme elemanı kapalı çevrim denetim sisteminde kullanılırken genel olarak aşağıdaki soruların cevapları aranmalıdır.

- Ölçümün temel amacı nedir?
- Ölçülen büyüklük nedir?
- Ölçüm aralığı nedir?
- Ölçüm giriş değerlerine göre çıkışta hangi değerler elde edilmektedir?
- Ölçümün doğruluk seviyesi hangi sınırlarda olmalıdır?
- Sensörün maruz kalacağı çevresel etkiler nelerdir?
- Karşılaştırıcı elemanı analog mu yoksa dijital midir?
- Sensör çıkışının hata algılayıcıya uygulanması için ara devre gerekli midir?

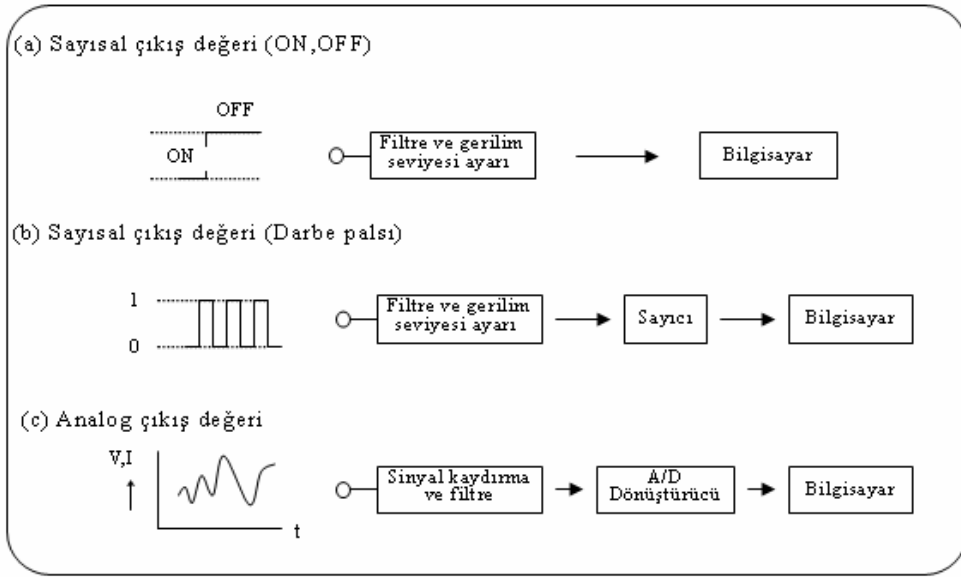
Dijital devrelerin olduğu denetim sistemlerinde sensörden alınan çıkış sinyali, hiçbir şekilde, doğrudan kontrolöre uygulanmamalıdır. Sensör sinyali analog bir değer olabileceğinden kontrolör içerisindeki hata algılayıcı, dijital mantık ile çalışıyorsa, sensör sinyalinin dijitale çevrilmesi gerekir.

Şekil 1.8’de günümüzde en çok kullanılan sensörlerin bir özet tablosu görülmektedir.

Fiziksel değerler	Sensör
Konum, konum değişimi	Fotoelektrik anahtar, yaklaşım anahtarı, sınır anahtarı, mikro anahtar, hall elemanı, manyetik sensör, doğrusal kodlayıcı , indüktif sensör, diferansiyel transformatör, potansiyometre, kapasitif sensör
Basınç, gerilme, zorlama, tork, ağırlık	Gerilim sayacı(strengçeç), yük hücresi, basınca duyarlı diyod, basınca duyarlı transistör, kapasitif basınç sensörü
Açısal hız	Dönel kodlayıcı, potansiyometre, pozisyon sensörü, açı kontrol sensörü
Hız, mesafe	Ultrasonik sensör, dönel kodlayıcı, devir sayacı dinamosu, laser doppler sayacı
Hızlanma, mekanik titreşim	Piezoelektrik eleman, salınım sensörü
Devir sayısı	Dönel kodlayıcı , foto diyod, foto transistör

**Şekil 1.8: Çeşitli fiziksel değerleri ölçen sensörler**

Bir sensörün çıkış sinyalleri akım ve gerilimden ibarettir. Bu sinyaller sayısal ve analog olabilir. Sensör ve sensör çıkış sinyalini işleyen elektronik devre beraber kullanılabilir. Bu devreye, sensör devresi adı verilir. Sensör ve sensör devresi çıkışını dijital sistemlere uygulamak için arayüz devreleri gerekebilmektedir. Şekil 1.9’da bilgisayar için algılama sinyallerini uygunlaştıran ara yüz devreleri görülmektedir.

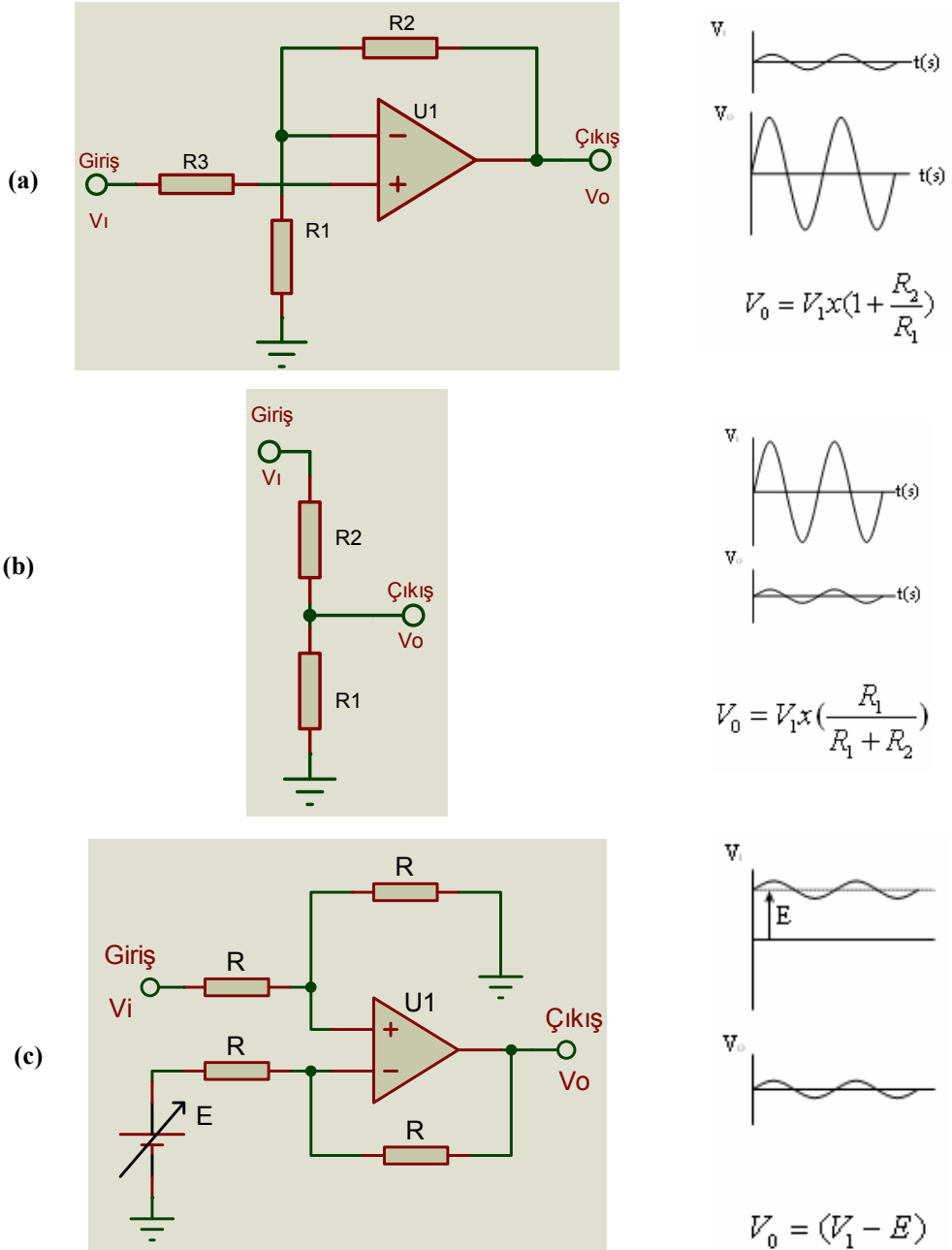


**Şekil 1.9: Sensörler için arayüz devreleri ve çıkış sinyal formları**

- **Sayısal çıkışlı sensörler (ON-OFF)** :ON-OFF (0,1) sayısal sinyallerini mikroişlemci tabanlı sisteme doğrudan giriş olarak verebilmemize rağmen bu sinyallerden gürültüyü kaldırmak ve gerekli gerilim seviyesine yükseltmek gerekmektedir.
- **Sayısal çıkışlı sensörler (Darbe palsı)**: Bu tür sensörlerin çıkış sinyalleri darbe palsı şeklindedir. Palslerin sayısı sensör devresinin çıkış bilgisini oluşturur. Bu sinyallerden gürültü kaldırılmalı ve mikroişlemci tabanlı sisteme gönderilmelidir. Gerekli ise gerilim seviyesi yükseltilmeli ve sayıcı devresi kullanılmalıdır.
- **Analog çıkışlı sensörler**: Kapalı çevrim denetim sisteminde hata algılayıcı eleman, analog bir değer hata bilgisini işleyecekse analog çıkışlı bir sensör kullanılmalıdır. Sensör çıkış bilgisi dijital ise hata algılayıcı için bu bilginin analoga çevrilmesi gerekir. Eğer kontrol ünitesinde bir mikroişlemci tabanlı devre varsa hata bilgisinin de dijitala çevrilmesi gereklidir. Örneğin; skada yazılımlarında sensör sinyalleri kullanılarak hata bulunduğundan sonra dijitala çevrilip bilgisayara uygulanmaktadır. Analog gerilim seviyelerinin de A/D dönüştürücü giriş sinyali seviyesine getirilmesi gerekir. Eğer A/D dönüştürücü giriş gerilimi düşük ise yükseltilmeli, yüksek ise gerilim bölücü devre yardımıyla düşürülmelidir.

Kapalı denetim sisteminde analog sinyal üzerinde dc gerilim seviye kayması var ise sabit bir E gerilimi uygulanarak sinyalin kaydırılması sağlanmalıdır. Bunun nedeni; A/D çevirici için gerekli gerilim seviyesini ayarlamaktır. Ayrıca, filtreleme işlemi ile sensör

devresinden alınan gereksiz gürültüler ortadan kaldırılır. Bu işlemlerin tümü sayesinde A/D çevirici için gerekli sinyal meydana gelir. A/D çeviriciden alınan sinyal ise bilgisayara gönderilir. Şekil 1.10'da yükseltme, gerilim bölme ve kaydırma işlemlerine örnek olabilecek devreler, giriş çıkış dalga formları ile matematiksel formüller görülmektedir.



Şekil 1.10: Gerilim ayarı devreleri

Şekil 1.10(a)'da fark yükseltici kullanılan bir yükseltme devresi görülmektedir. Sensör devresinin çıkış gerilimi A/D dönüştürücü için çok küçük olduğunda yükseltir çünkü bu gerilimin A/D dönüştürücü giriş değer aralığı içinde olması gerekir. Şekil 1.10(b)'deki gerilim bölme işlemi sensör devresinden alınan çıkış geriliminin değeri A/D dönüştürücünün giriş değer aralığından yüksek ise uygulanır. R1 ve R2 dirençleri gerilimi böler ve düşürür. Çıkış gerilimi( $V_o$ ) R1 ve R2 dirençlerinin oranına göre belirlenir. Şekil 1.10(c)'de fark yükseltcinin girişine E kaynağı bağlanmıştır. Devreye giriş sinyali ile beraber E gerilimi uygulandığında sinyal bu gerilim değeri kadar kaydırılır. Böylece kaliteli ve güvenilir bir A/D çevrim gerçekleştirilir.

### 1.3.3. Geri Besleme Elemanında Algılama Özellikleri

Geri besleme elemanı seçiminde birtakım ölçütler bulunmaktadır. Bu ölçütler; kataloglara göre sensör seçiminde karakteristik özelliklere dikkat etmek, algılanacak fiziksel değişim aralığını sensör kaliteli bir şekilde algılamak ve kararlı bir çıkış vermektir. Bu ölçütlerde geçen ifadeler ve açıklamaları aşağıdaki gibidir:

- **Algılama Aralığı:** Ölçülen bir giriş veya çıkış değerinin aralığı, o değer maksimum ve minimum değerleri ile belirtilir. Örneğin bir basınç sensörünün giriş aralığı 0-200 kPa, çıkış aralığı ise 4-20 mA verilebilir.
- **Algılama Açıklığı:** Açıklık ise azami ve asgari değerler arasındaki farktır. Yukarıdaki örnekte basınç sensörünün giriş açıklığı 200 kPa, çıkış açıklığı ise 16 mA'dır.
- **Hassaslık:** Aynı büyüklük için yapılan ölçümlerde ölçüm sonuçları arası farkların küçük olması istenir eğer ölçüm sonuçları birbirine yakın ise ölçüm hassasiyeti yüksek demektir.
- **Hata:** Ölçülen değer ile ölçülmesi gereken değer arasındaki farktır. Hata genellikle mutlak değer ile ifade edilir. Örneğin sıcaklık ölçümündeki hata  $\pm 2$  derece verilebilir.
- **Çözünürlük:** Hassasiyet değerlerinin yüzde olarak ifadesidir. Hassasiyeti yüksek olan ölçümler kararlıdır.
- **Kararlılık:** Sensör karakteristiklerinin sinyal bozulmalarına neden olmaması ve çevresel etkilere karşı güvenilir olması özelliğidir.
- **Tepki:** Algılanan değişkenin değişimine karşı sensörün uygun bir karşılık vermesidir.
- **Duyarlık:** Algılanan değişkendeki çok küçük değişimlere karşı sensörün çalışma özelliğidir.
- **Doğrusallık:** Analog ölçümlerde giriş ve çıkışın birbiri ile orantılı olması durumudur.

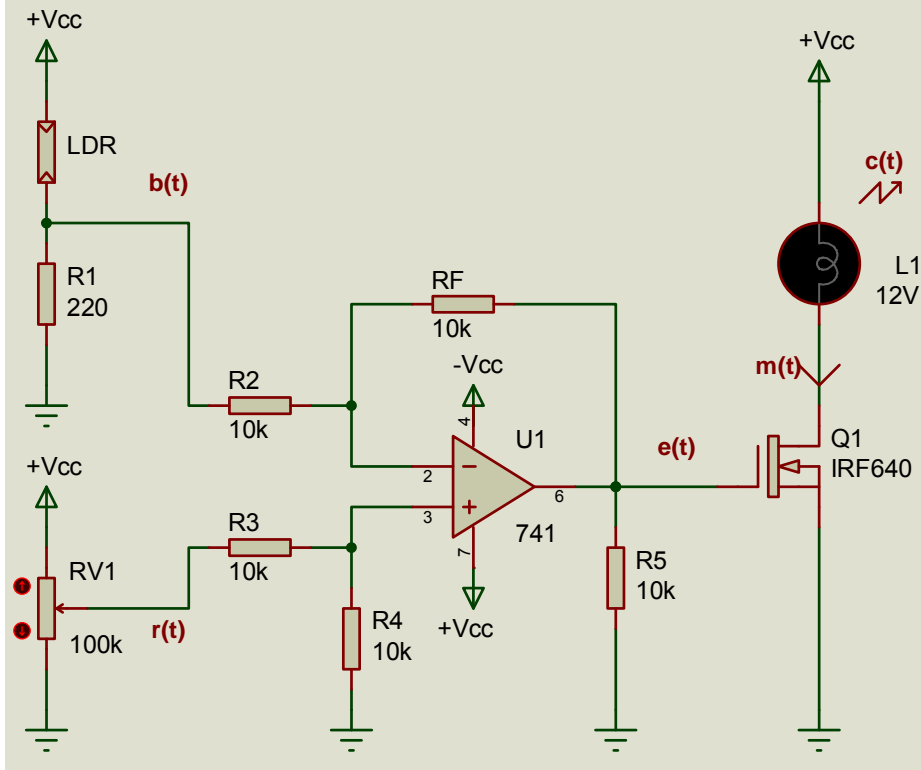
## UYGULAMA FAALİYETİ

Aşağıda devre şeması verilen kapalı çevrim denetim sistemi uygulamasını yapınız.

### Kullanılacak Malzeme ve Araç Gereç

- 1 adet 741 Opamp
- 1 adet 8'li entegre soketi
- 1 adet LDR
- 5x10KOhm ve 220 Ohm dirençler
- 1 adet 100KOhm potansiyometre
- 1 adet 12V 500mA akkor lamba
- 1 adet IRF640 Mosfet
- $\pm 12$  V simetrik güç kaynağı
- 1 adet deney bordu
- Yeterli sayıda zil teli
- Yankeski ve kargaburun

### Uygulama Devresi



Şekil 1.11: Öğrenme faaliyeti-1 uygulama devresi

İşlem Basamakları	Öneriler
➤ Şekil 1.11'deki devre için gereken malzemeleri ve araç gereci hazırlayınız.	➤ Özellikle dc gerilim kaynağı en az 1A akım verebilecek kapasitede olabilecek şekilde hazırlayabilirsiniz.
➤ 741 Opamp ve IRF640 mosfetin katalog bilgilerini inceleyiniz.	➤ Özellikle devreye bağlantı şekillerini, maksimum akım ve gerilim değerlerini kontrol edebilirsiniz.
➤ Devreyi kurunuz.	➤ Hemen enerji vermeyiniz. Devrenizi önce öğretmeninize kontrol ettirebilirsiniz.
➤ Devrede $b(t)$ , $r(t)$ , $e(t)$ , $m(t)$ ve $c(t)$ işaretleri için matematiksel bağıntıları çıkartınız.	➤ Devre analizi konularına ve daha önce anlatılan bilgilere başvurabilirsiniz.
➤ LDR'nin tam karanlık ve tam aydınlık ortamdaki direnç değerlerini ve bu direnç değerlerindeki $b(t)$ gerilim değerlerini ölçünüz.	➤ Tam aydınlıktaki gerilim değeri ölçümü için geri beslemeyi kaldırabilirsiniz.
➤ Potansiyometre ile oynayarak $r(t)$ geriliminin maksimum ve minimum değerlerini ölçünüz.	
➤ Lamba ile LDR'yi aralarında 5mm olacak şekilde karşılıklı olarak yerleştiriniz.	➤ Her ikisini de deney borduna sabitleyebilirsiniz.
➤ Lambaya, seri olacak şekilde, bir ampermetre bağlayınız.	➤ Ampermetrenin + ucunu lambaya, şase ucunu da mosfet akaç ucuna bağlayabilirsiniz.
➤ Potansiyometre ile oynayarak $m(t)$ akımının 350 mA olmasını sağlayınız.	➤ Bu akım değerinde elde edilen ışık şiddeti, set değeridir.
➤ Set değerindeki $b(t)$ , $r(t)$ ve $e(t)$ değerlerini hesaplayınız ve ölçünüz.	
➤ Lambayı sensörden uzaklaştırınız ve $m(t)$ akımının ve ışık şiddetinin değişimini gözleyiniz.	
➤ Lambayı tekrar 5 mm mesafeye getiriniz, $m(t)$ akımını ve ışık şiddetini tekrar gözleyiniz.	➤ Işık şiddetinin ve akımın dengeye gelmesini yorumlayabilirsiniz.
➤ Lamba ile LDR arasına bir cisim yerleştiriniz ve lambayı gözlemleyiniz.	



➤ Tüm işlemler ışığında geri besleme elemanının kapalı çevrim denetimindeki rolünü ve sistemin çalışmasını yorumlayınız ve çalışmalarınızı raporlaştırınız.

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyarak doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Kapalı çevrim ve açık çevrim denetim sistemi arasındaki en önemli farklılık aşağıdakilerden hangisidir?  
A) Besleme gerilimlerindeki farklılık  
B) Denetlenmek istenen sistem özellikleri  
C) Kapalı çevrimdeki geri besleme işlemi  
D) Denetim işareti büyüklükleri
2. Kapalı çevrim denetim sisteminde ölçme elemanı hangi büyüklüğü ölçer?  
A) Giriş değişkenini  
B) Hata değişkenini  
C) Çıkış değişkenini  
D) Referans büyüklüğünü
3. Çıkış değişkenine ait anlamlı büyüklüğün girişe uygulanmasına ne ad verilir?  
A) Hata uygulama  
B) Ölçme  
C) Karşılaştırma  
D) Geri besleme
4. Çıkış değişkeni için oluşan hatayı azaltıcı yönde uygulanan geri besleme türü aşağıdakilerden hangisidir?  
A) Pozitif  
B) Negatif  
C) Artan  
D) Azalan
5. Çıkış değişkeninin istenen değerde olmasını sağlayan parametre aşağıdakilerden hangisidir?  
A) Geri besleme büyüklüğü  
B) Bozucu etki  
C) Set noktası  
D) Denetim büyüklüğü
6. Kapalı çevrim denetim sisteminde denetim sinyali üreten birim aşağıdakilerden hangisidir?  
A) Denetim modu ünitesi  
B) Hata yükseltici  
C) Geri besleme elemanı  
D) Sürücü devre
7. Çıkış değişkeninin istenen değerde uzun süre sabit tutulduğu kapalı çevrim denetim sistemi türüne ne ad verilir?  
A) Servo mekanizma  
B) Nümerik denetim sistemi  
C) Düzenleyici denetim sistemi  
D) Düzey denetim sistemi

8. Merkezi yönetim, bilgi toplama ve denetleme işlemlerin tümünü içeren bilgisayar kontrollü kapalı çevrim denetim sistemi aşağıdakilerden hangisidir?  
A) Uyarlamalı denetim sistemi                      B) SCADA sistemi  
C) Düzey denetim sistemi                              D) Nümerik denetim sistemi
9. Aşağıdaki sensörlerden hangisi ile konum değişimi **ölçülemez**?  
A) Potansiyometre                                      B) İndüktif sensör  
C) Fotoelektrik anahtar                                D) Piezoelektrik eleman
10. Bir sensörle aynı büyüklük için yapılan ölçümler arasındaki farkların küçük olması aşağıdaki sensör özelliklerinden hangisi ile tanımlanır?  
A) Hassaslık    B) Hata  
C) Algılama açıklığı                                    D) Algılama aralığı

## DEĞERLENDİRME

Soruların tamamını doğru olarak çözebildiyseniz bir sonraki faaliyete geçiniz. Çözümlerinizi yanlış ya da eksik ise ilgili bilgiyi tekrar ediniz.

# ÖĞRENME FAALİYETİ-2

## AMAÇ

Kapalı çevrim denetim sistemini devre şemasına göre kurabileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

- Kapalı çevrim denetim sisteminde aç-kapa kontrol modu ile ilgili yerli ve yabancı kaynaklardan ön araştırma yapınız.

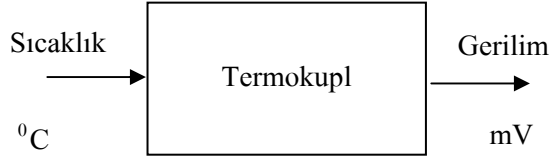
## 2. DENETİM MODLARINA GİRİŞ

Bir kapalı çevrim denetim sisteminde kontrolör yapısı içerisinde yer alan denetim modu ünitesi ile denetlenen değişkene uygun bir denetleme sinyali üretilir. Denetim modu ünitesi bu işlemi sistem çıkış değişkenine uygun bir yöntem ile gerçekleştirir. Bu kısımda öncelikle denetim yöntemlerini, diğer bir ifadeyle denetim modlarını, üreten sistemler verilecektir. Genel anlamda kapalı çevrim denetim sistemlerini daha iyi kavramak için basit matematiksel ilişkiler ortaya konacak, daha sonra da aç-kapa denetim modundan bahsedilecektir.

### 2.1. Basit Matematiksel Modelleme

Denetim sistemleri analizinde, matematiksel eşitlikler elde etmek ve denetim işlevlerini matematiksel olarak ortaya koymak çok önemlidir. Değişik türde denetim problemleri aynı matematiksel mantıkla analiz edilebilir. Blok diyagram oluşturma, matematiksel analize başlamada iyi bir giriş noktasıdır. Blok diyagramda her eleman, sistemdeki başka bir elemandan giriş sinyali alır ve yine sistemdeki başka bir eleman için çıkış sinyali üretir. Üretilen sinyaller; elektrik akımı, gerilimi, hava basıncı, sıvı akışı, sıvı basıncı, sıcaklık, hız, ivmelenme, pozisyon ve yön olabilir. Tüm bu sinyaller matematiksel fonksiyonlarla ifade edilebilir. Sinyallerin dolaştığı yollar da elektrik kabloları, pnomatik yollar, hidrolik hatlar, mekanik zincirler ya da bir sinyali bir elemandan başka bir elemana aktaran herhangi bir düzenek olabilir. Sistemdeki elemanlar, çıkış sinyalinin gücünü yükseltmek için enerji kaynağından faydalanır.

Bir elemanın en önemli karakteristik özelliği; giriş ve çıkış sinyalleri arasındaki ilişkidir. Bu ilişki, o elemanın transfer fonksiyonu ile belirtilir. Transfer fonksiyonu, çıkış sinyalinin giriş sinyaline oranıdır ve bu fonksiyon için ileri seviyelerde laplas dönüşümleri kullanılır. Transfer fonksiyonu ileri matematiksel bir tanımla; çıkış sinyali laplas dönüşümünün giriş sinyali laplas dönüşümüne oranı olarak tanımlanabilir.



**Şekil 2.1: Termokupl sıcaklık sensörü transfer blok şeması**

Şekil 2.1’de giriş değişkeni olan sıcaklık “T” ile, çıkış değişkeni olan gerilim değeri “V” ile ve transfer fonksiyonu da “H” ile ifade edilirse  $H=V/T$  eşitliği yazılabilir. Transfer fonksiyonu üzerinden çıkış gerilim değeri için  $V=HT$  formülü elde edilebilir. Bu formülden yola çıkarak, giriş sinyali ve transfer fonksiyonu biliniyorsa, çıkış sinyali değeri; giriş ile transfer fonksiyonu çarpılarak hesaplanabilir.

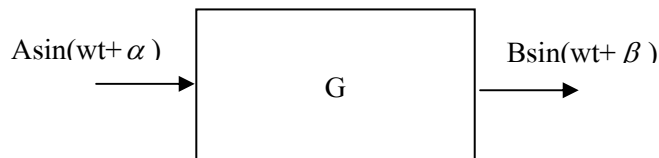
Transfer fonksiyonu iki kısımdan oluşur. Birinci kısım; giriş ve çıkış arasındaki büyüklük ilişkisi, diğeri de giriş ve çıkış arasındaki zamanlama ilişkisidir. Örneğin; büyüklük ilişkisi bakımından çıkış, girişin iki katı ya da yarısı olarak ifade edilebilir. Zamanlama ilişkisi de giriş ile çıkış arasında 2 saniyelik bir gecikmeyle ifade edilebilir.

Eğer bir eleman doğrusal karakteristiğe sahipse ve giriş sinyali sinüzoidal bir yapıdaysa, büyüklük ilişkisi kazanç tarafından belirlenirken, zamanlama faz farkı tarafından belirlenir. Böylesi bir elemanın kazancı, çıkış sinyal genliğinin giriş sinyal genliğine oranıdır. Bu tür bir sinyal için aşağıdaki eşitlikler yazılabilir:

$$\text{Kazanç} = \frac{\text{Çıkış genliği}}{\text{Giriş genliği}}$$

$$\text{Faz farkı} = \text{Çıkış faz açısı} - \text{Giriş faz açısı}$$

Bu tür bir sistem, blok şema ile aşağıdaki gibi gösterilebilir.



**Şekil 2.2: Lineer bir elemanın kazancı ve faz farkı**

$$G = \frac{B}{A} \quad \theta = \beta - \alpha$$

Yukarıdaki formüller sembolik isimlendirmeler ile tekrar yazılmıştır. Kapalı denetim sistemlerindeki büyüklükler, bu şekilde, sembolik isimlendirmeler ile ifade edilebilir.

Giriş, çıkış ve transfer fonksiyonu değerlerini göstermek için kutupsal formattaki karmaşık sayıları kullanmak çok daha uygundur. Giriş sinyali  $A|\underline{\alpha}$ , çıkış sinyali  $B|\underline{\beta}$  ve kazanç  $(B/A)|\underline{\beta - \alpha}$  ile temsil edilebilir.

Kazanç; sıklıkla, çıkış genliğindeki değişimin, giriş genliğindeki değişme oranı olarak da ifade edilmektedir. Değişik kataloglarda kazanç için “ölçek çarpanı” (scale factor) ifadesi yer almaktadır. Bir elemanın kazancı, çıkış birimi ve giriş birimi ile ifade edilen bir bağıntıyla ele alınabilir. Girişteki 1V'luk değişimlere karşı, çıkışta 10V'luk bir değişim üreten bir yükselticinin kazancı 10 volt/volt'tur(V/V). Girişteki her 1 V'luk değişimlere karşın dakikada 1000 rpm'lik bir hız değişimi üreten bir doğru akım motorunun 1000 rpm/V'luk bir kazancı vardır. Sıcaklıktaki her 1 °C 'lik değişim için 0,06 mV değerinde bir çıkış değişimi üreten bir termokupl 0,06mV/°C 'lik bir kazançta, ya da diğer bir ifadeyle 0,06mV/°C 'lik bir ölçek çarpanına, sahiptir.

Bir elemanın verilen bir frekans değeri için oluşan kazancı ve faz farkı, elemanın o frekanstaki frekans tepkisi olarak tanımlanır. Değişik frekanslarda kazanç ve faz farkı değişebilir.

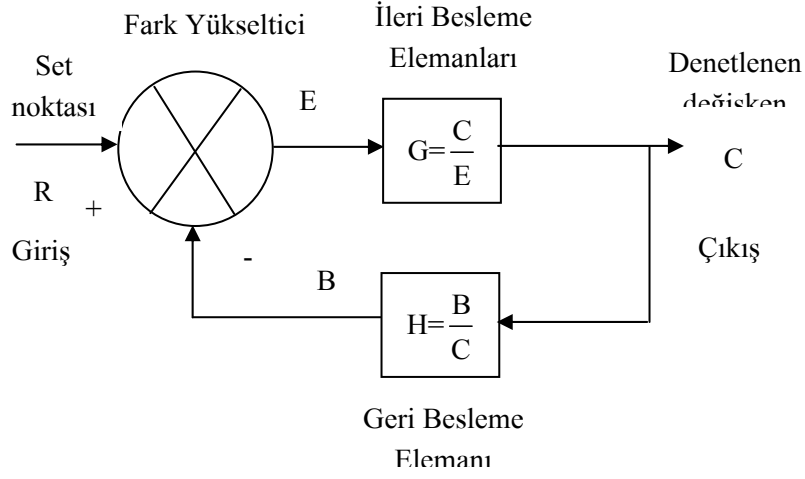
- **Örnek:** Bir lineer denetim sistemi elemanın girişine 0,5 Hz frekanslı, 5,3V genlikli sinüzoidal bir sinyal 30 derece faz açısıyla uygulanmıştır. Elemanın çıkış akımı tepe değeri 14 mA ve faz açısı da 25 derecedir. Verilenlere göre kazancı, faz farkını ve transfer fonksiyonunu tanımlayınız.

$$\text{Kazanç} = \frac{14 \text{ mA}}{5,3 \text{ V}} = 2,64 \text{ mA/V}$$

$$\text{Faz farkı} = 25 - 30 = -5^\circ$$

$$\text{Transfer fonksiyonu} = 2,64|\underline{-5^\circ} \text{ mA/V}$$

Şekil 2.3'de servo mekanizma türünde bir kapalı çevrim denetim sisteminin blok şeması görülmektedir. Büyüklükler zamana bağımlı olmayan ifadelerle gösterilmiştir.



**Şekil 2.3: Kapalı çevrim servo denetim sistemi**

Şekil 2.3'te R referans değeri servo denetim sisteminin girişi iken, kontrol edilen değişken olan C ise çıkışıdır. İlk bakışta blok şemadan transfer fonksiyonunu elde edebiliriz. Transfer fonksiyonu C/R oranı ile elde edilir. Blok şemadan aşağıdaki eşitlikler türetilebilir.

$$\text{Hata} = \text{Set değeri} - \text{Ölçülen değer}$$

$$E = R - B$$

Denetlenen değişken = Hata x İleri besleme transfer fonksiyonu

$$C = EG$$

Ölçülen değer = Denetlenen değişken x Geri besleme transfer fonksiyonu

$$B = CH$$

Aşağıdaki (a) formülü aşağıdaki işlemlerle elde edilir.

$$C = (R-B)G$$

$$C = (R-CH)G$$

$$C + CGH = RG$$

$$C(1+GH) = RG$$

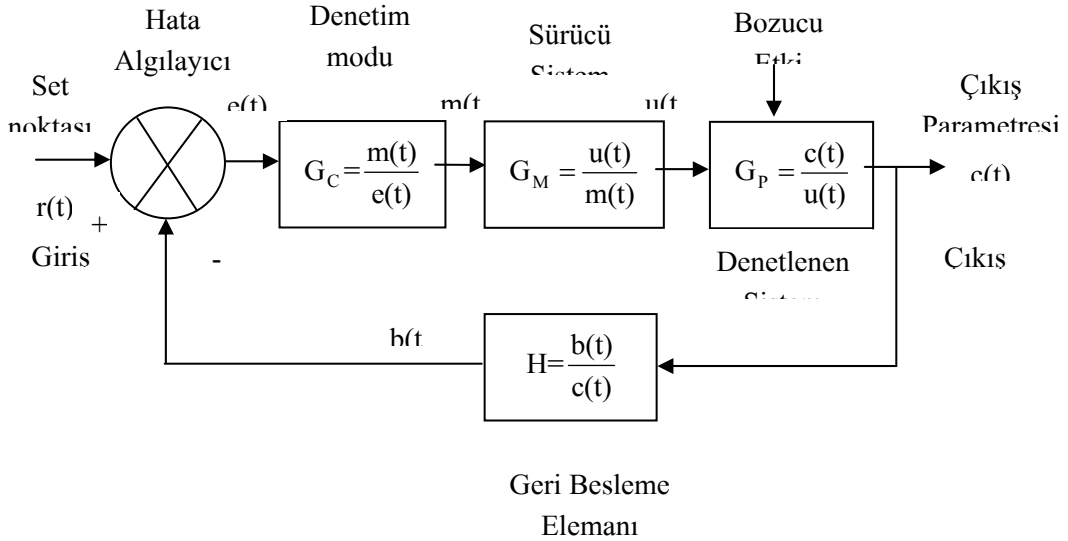
$$\boxed{\frac{C}{R} = \frac{G}{1+GH}} \quad (a)$$

Sonuçta elde edilen bu eşitlik, kapalı çevrim servo denetim sisteminin (servomekanizma) transfer fonksiyonudur. İleri besleme transfer fonksiyonu (G), motor, üreteç, dişli kutuları, yükseltici gibi tüm elemanlar için toplam bir transfer fonksiyonu olarak ele alınmıştır. H geri besleme transfer fonksiyonudur.

Eğer blok şemada geri besleme sinyali terslenirse, terslenmiş sinyal hatayı arttırıcı yönde etki gösterir. Geri besleme sinyali hata algılayıcısının + girişine uygulanırsa pozitif geri besleme oluşur. Pozitif geri besleme oluşursa transfer eşitliği aşağıdaki gibi olur.

$$\frac{C}{R} = \frac{G}{1-GH} \quad (b)$$

Şekil 2.4'te görülen kapalı çevrim süreç denetim sistemi üzerinden matematiksel fonksiyonlar elde edebiliriz. Şekilde denetim modu ünitesi ile denetlenen sistem arasında sürücü sistem eklenmiştir. Sürücü sistemi -denetlenen sistem için eğer yüksek akım ve gerilimler gerekiyorsa- bir sürücü devresi şeklinde ya da çıkış parametresine uygun bir mekanik sürücü elemanı şeklindedir.



**Şekil 2.4: Kapalı çevrim süreç denetim sistemi**

Şekil 2.4'te set noktası değeri olarak girilen  $r(t)$  değişkeni süreç denetim sisteminin girişi, denetlenen değişken olan  $c(t)$  ise çıkışıdır. Sistemde  $c(t)$  parametresini etkileyen başka sistem değişkenleri de vardır. Denetim sisteminde değişkenlerin birbirini etkilemesi ile çıkış parametresi kontrol altında tutulur. Çıkış parametresi için son denetim hareketi elde edilen



değişkene “sürücü değişkeni”, “son denetim değişkeni” veya “manipülasyon değişkeni” gibi isimler verilebilmektedir.

Mekanik yapıların olduğu denetim sistemlerinde manipülasyon elemanı iki kısımdan meydana gelir. İlk kısmı bir aktüatördür, diğer kısmı da son kontrol elemanıdır. Aktüatör kontrolör çıkışını, son kontrol elemanını etkileyen bir harekete çevirir. Son kontrol elemanı da doğrudan çıkış parametresi üzerinde istenen etkiyi yaratır. Örneğin; pnömatik bir valf manipülasyon elemanı olarak kullanılabilir.

Geri besleme yolunda geri besleme elemanı bulunur; ileri besleme yolunda ise, denetim modunu üreten denetim modu ünitesi, sürücü elemanı ve denetlenen sistem elemanı bulunmaktadır. İleri besleme transfer fonksiyonları ise sırasıyla  $G_C, G_M, G_P$  'dir. Toplam ileri besleme transfer fonksiyonu aşağıdaki formülle bulunur.

$$G=G_C G_M G_P$$

$$G=\frac{c(t)}{e(t)}$$

Aşağıdaki (c) transfer fonksiyonu alttaki işlemlerle elde edilebilir.

$$e(t)=r(t)-b(t)$$

$$c(t)=e(t)G$$

$$b(t)=c(t)H$$

$$b(t)=c(t)GH$$

$$b(t)=[r(t)-b(t)]GH$$

$$b(t)+b(t)GH=r(t)GH$$

$$b(t)(1+GH)=r(t)GH$$

$$\frac{b(t)}{r(t)}=\frac{GH}{(1+GH)}$$

$b(t)=c(t)H$  yerine konulursa

$$\boxed{\frac{c(t)}{r(t)}=\frac{G}{(1+GH)}} \quad (c)$$

Yukarıda elde edilen sonuç eşitliği, tüm sistemin transfer fonksiyonunu bize gösterir. Görüldüğü gibi çıkış parametresi değeri ileri besleme ve geri besleme transfer fonksiyonlarına bağlıdır. Set noktasındaki bir değişikliğin, çıkışı nasıl etkilediğini daha iyi kavramak için aşağıdaki eşitlik türetilebilir.

$$c(t) = \frac{G}{(1+GH)} r(t)$$

Yukarıdaki eşitlikte görüldüğü gibi set noktasındaki artma ve azalma ile çıkış parametresi değişmektedir. Dışarıdan bozucu etkiler gerçekleştiğinde ise  $\frac{G}{1+GH}$  oranı, sistemi set değerinde dengeler.

Kapalı çevrim denetim sisteminde, hata sinyalinin set değerine oranı da önemlidir. Bu değeri aşağıdaki yaklaşımlarla bulabiliriz.

$$\frac{\text{Hata}}{\text{Giriş}} = \frac{c(t)}{r(t)}$$

formülünde  $c(t)=r(t)-b(t)$  ifadesini kullanalım.

$$\frac{\text{Hata}}{\text{Giriş}} = \frac{r(t)-b(t)}{r(t)}$$

$$\frac{r(t)}{r(t)} - \frac{b(t)}{r(t)}$$

$$1 - \frac{b(t)}{r(t)}$$

$\frac{b(t)}{r(t)} = \frac{GH}{(1+GH)}$  ifadesi yukarıdaki işlem ile bulunmuştur. Yukarıdaki formülde, bu değer yerine konulursa, aşağıdaki eşitliğe ulaşılır.

$$\frac{1 - \frac{GH}{1+GH}}{1+GH-GH}$$

$$\frac{1+GH-GH}{1+GH}$$

$$\boxed{\frac{\text{Hata}}{\text{Giriş}} = \frac{1}{1+GH}} \quad (d)$$

Şekil 2.4'teki kapalı çevrim denetim sistemi, geri beslemesiz olarak kullanılırsa,  $b(t)$  ve  $H$  sıfır olduğundan transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi bulunur.

$$\frac{c(t)}{r(t)} = \frac{G}{(1+GH)} \text{ eşitliğinde } H=0 \text{ alınır}$$

$$\frac{c(t)}{r(t)} = G$$

formülü elde edilir.

(c)'deki bağıntıda görüldüğü gibi, ileri besleme kazancı  $1+GH$  faktörü ile bölünmektedir.  $1+GH$  teriminde  $GH$  değeri arttıkça kazanç küçülür. Buna karşılık  $GH$  değeri azaldıkça kazanç büyür.

Diğer taraftan (c) ifadesinin paydasını sıfır yapan  $GH$  değerleri düşünüldüğünde;

$GH = -1$  (negatif geri besleme için)

$GH = +1$  (pozitif geri besleme için)

olduğu bulunur. Paydanın sıfır olması ise (çıkış/giriş) oranının  $\infty$  olması anlamına gelir, Başka bir deyimle, denetim sistemine sınırlı bir  $r(t)$  girişi verildiği halde, çıkışında sınırlı kalmayan bir çıkış büyüklüğü elde edilebilmektedir. Bu sonuç, sistemin kararlı olmaması ve osilasyona girmesi anlamına gelir. Zaten kapalı çevrim denetim sisteminin açık çevrim denetim sistemine göre en büyük dezavantajı da budur. Bu durum, sistem tasarımlarında dikkate alınmalıdır.

## 2.2. Aç-Kapa Denetim Modu

Kapalı çevrim denetim sistemlerinde yer alan denetim üniteleri genel olarak zamana bağlı olup olmamalarına göre incelenebilir. Denetim sistemi parametreleri zamana göre değişiyorsa bu sistemde kullanılan denetim ünitelerine, zamanla değişen denetim ünitesi ya da diğer bir deyişle sürekli denetim ünitesi; parametreler zamanla değişmiyorsa zamanla değişmeyen denetim sistemi ya da sürekli olmayan denetim ünitesi denilebilir.

Sürekli olmayan denetim üniteleri birden fazla işi bağımsız olarak gerçekleştirirler. Bu tür ünitelerin olduğu sistemlere, ardışık kontrol sistemleri denir. PLC ve röleli kontrol uygulamaları bu grup altında incelenir. Zamana bağlı ve duruma bağlı denetim üniteleri olmak üzere iki kısımda incelenir.(Daha önceki röleli kontrol ve plc modüllerinde bu konulardan bahsedilmiştir.)

Sürekli denetim üniteleri **regülatör ve servo sistemler** olarak iki kategoride incelenir. Set değerinin çok uzun zaman dilimleri boyunca sabit kaldığı sistemlere genel olarak **regülatör sistemleri** adı verilirken, set değerinin düzenli olarak değiştirildiği sistemlere de genel anlamda **servo sistemler** adı verilir.

Sürekli olarak gerçekleşen bir denetim sürecinde kesintisiz giriş ve çıkışlar vardır. Bu tür bir süreçte, denetlenen değişkenin set değerinde kalmasını sağlayacak şekilde değişiklikler yapılır. Sürekli süreç denetim ünitesinin çıkış değeri, bir veya daha fazla denetim modu tarafından belirlenebilir.

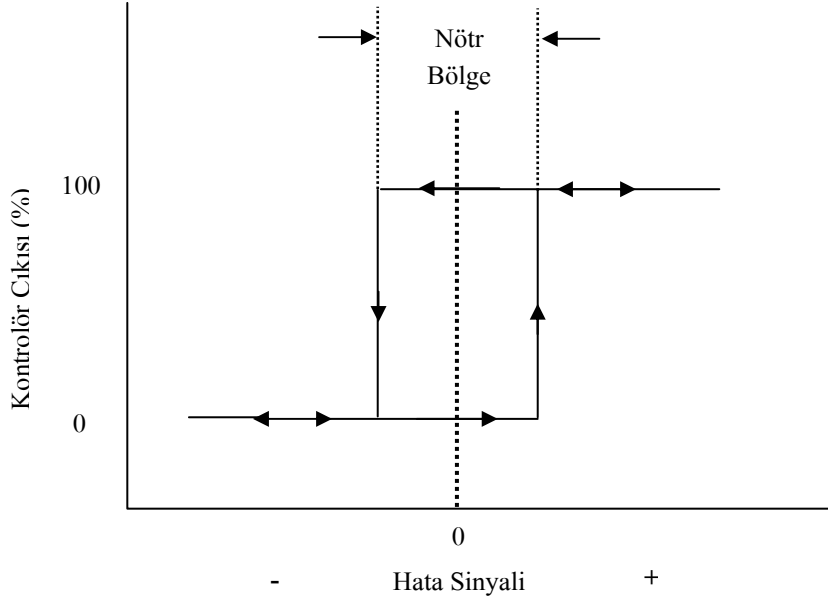
Bu modülde, ilk olarak, denetim ünitelerinde kullanılan en basit yöntem olan aç-kapa denetim yönteminden bahsedilecektir. Aç-kapa denetim modu ünitesi, aslında sürekli çalışan bir ünite değil gibi görünmesine rağmen, sürekli olarak aç-kapa işlemleriyle çıkış değişkeninin set değeri civarında kalmasını sağlamaktadır. Ayrıca, sürekli denetim sistemleri mantığını anlamada iyi bir giriş olacağı kabul edilmektedir. (Diğer sürekli denetim modları ise bir sonraki modülde ele alınacaktır.)

Aç-kapa denetim modu, ya da diğer bir ifadeyle iki konumlu denetim modu, kullanan denetim üniteleri oldukça basit yapıda ve ucuz olmaları nedeniyle evlerde ve endüstride yaygın olarak kullanılır. İki konumlu denetim modu ünitesi, sadece iki belirli duruma sahiptir. Hata değerine bağlı olarak denetim modu ünitesi ve buna bağlı olarak sürücü eleman, ya devrededir ya da devrede değildir. Bu nedenle tam anlamıyla sürekli denetim üniteleri kapsamında düşünülmemektedir. Eğer bir denetim sisteminde iki durum tamamıyla açık ve tamamıyla kapalı olarak tanımlanmış ise bu tür denetim sistemindeki denetim ünitesi de aç-kapa (on-off) denetim ünitesi (kontrolör) olarak adlandırılır.

Aç-kapa yöntemi kullanılan vasat tasarımlarda, ilk bakışta set değerine yakın hata sinyali değerlerinde istenmeyen titreşimler meydana gelir. Bu titreşimlerin tepe değerleri arası fark çok düşük olduğundan sistemdeki elemanlar olumsuz yönde etkilenir. Örneğin; röle kontakları açılıp kapatılıyorsa arklar meydana gelebilir. Daha kaliteli aç-kapa sistem yaklaşımlarında ise hata sinyali set değeri etrafında -ya da diğer bir deyişle hatanın olmadığı sıfır noktası etrafında- kararsız bir duruma girdiğinde çıkış değişkeni iki değer arasında daha geniş genlikte osilasyona girer. Kaliteli aç-kapa denetim üniteleri osilasyon(titreşim) önleyici nötr çalışma bölgesine sahiptir. Bu bölgeye histerisiz bölgesi, diferansiyel aralık gibi isimler verilebilmektedir. Nötr bölge hiçbir denetim hareketinin gerçekleşmediği, sıfır noktası etrafındaki değer aralığı olarak tanımlanabilir. Herhangi bir denetim hareketinden önce, hata sinyali, bu nötr bölgeyi açma yönünde ya da kapama yönünde geçmelidir. Böylece açma anındaki hata gerilimi ile kapama anındaki hata gerilimi arasında fark oluşur ve sistem elemanları için daha güvenilir bir çalışma gerçekleşir.

Diğer önemli bir nokta, histerisiz farkının değeridir. Denetlenen değişken için uygun bir histerisiz farkı ayarlanmalıdır. Örneğin; bir balık havuzunda su sıcaklığının 16 derece olması gerekiyorsa ve balıkların yaşama sıcaklığı  $\pm 1$  derecelik bir toleransa sahipse havuz sıcaklığının maksimum değeri 17 derece, minimum değeri de 15 derece olmak zorundadır. Bu durumda histerisiz farkının maksimum değeri 2V olarak ayarlanmalıdır. Ya da histerisiz farkı 2V'dan küçük bir aç-kapa kontrolör kullanılmalıdır.

Şekil 2.5 aç-kapa denetim ünitesinin giriş-çıkış ilişkisini göstermektedir.



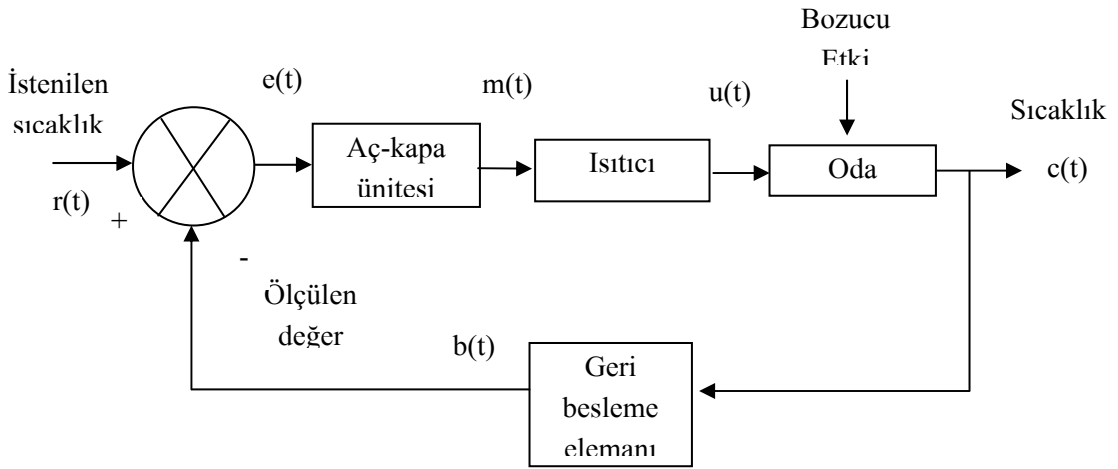
Şekil 2.5: Aç-kapa giriş-çıkış ilişkisi

Aç-kapa denetim modunda, kontrol edilen değişkenin nötr bölgede saykıl yapmasına sebep olan enerji darbeleri üretilir. Saykılların genliği üç faktöre bağlıdır. Bunlar;

- Süreç kapasitesi,
- Sürecin ölü zaman gecikmesi,
- Sürecin kaldırabileceği yük değişimidir.

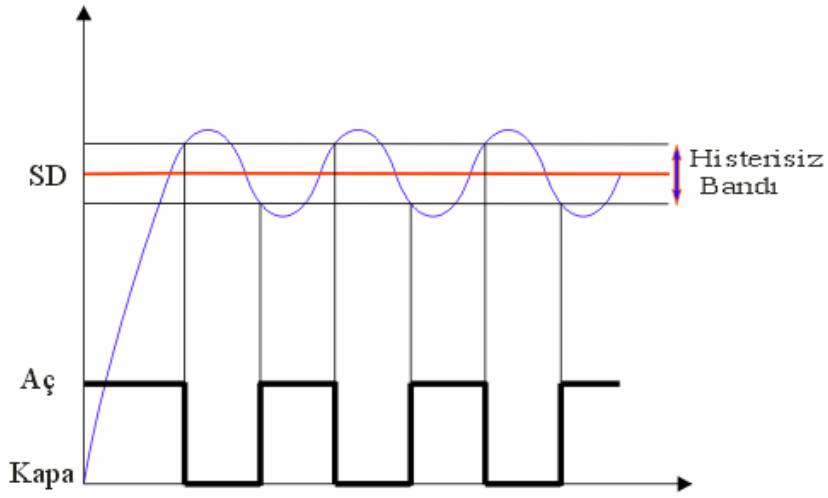
Nötr bölgede, denetlenen değişkenin son durumunu etkilemeyen bir zaman gecikmesi oluşur, bu gecikmeye; ölü zaman gecikmesi adı verilir. Bu zaman gecikmesinden sonra denetlenen değişken konum değiştirir. Kapasiteyi arttırarak, ölü zaman gecikmesini azaltarak veya sürecin kaldırabileceği yük değişimini azaltarak bu türden bir osilasyonun genliği azaltılabilir. Aç-kapa denetimi sadece; ölü zaman gecikmesi ve sürecin yük değişim kapasitesinin birleşik etkisini önlemek için yeteri kadar geniş bir kapasiteye sahip denetim süreçleri için uygundur. Aç-kapa denetimi, nötr bölge etrafındaki saykıl kabul edilebilir bir seviyeye indirilebilirse tercih edilir.

Evlerde kullanılan ısıtma sistemi aç-kapa denetimine bir örnek olarak verilebilir. Evdeki hava oldukça geniş bir termal kapasiteye sahiptir ve ölü zaman gecikmesi küçüktür. Isıtıcıdan yayılan ısı miktarı, sert kış gününde evi ısıtmak için güç de olsa yeterliyken oda kapasitesi ile kıyaslandığında düşük değerdedir. Oda sıcaklığı, bir insanın konforu için kabul edilebilir sınırlar içerisindeki bir genlikte salınım yapar. Bu tür bir örnek aç-kapa denetimine iyi bir örnektir. Aç ve kapa durumları en soğuk günde bile iyi bir ısı yönetimi için yeterli denetimi sağlar. Bu tür bir süreçte en kötü olabilecek örneklerden biri de gerekenden 10 kat daha büyük bir ısıtıcı kullanmaktır. Büyük boyutlu bir ısıtıcıdan yayılan yüksek ısı dalgaları, yüksek osilasyon genliklerine neden olur.



Şekil 2.6: Aç-kapa modlu sıcaklık denetim sistemi

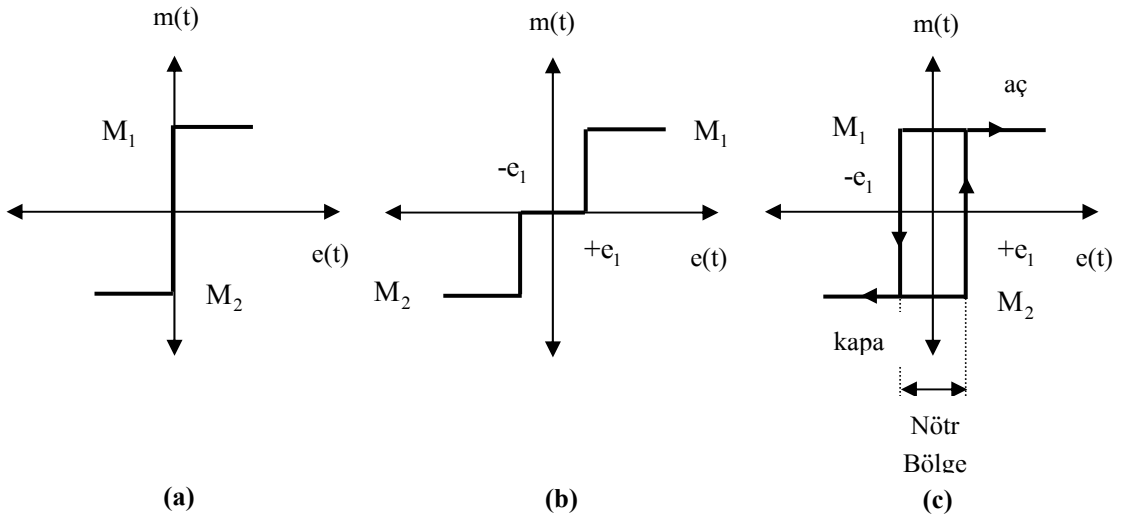
Şekil 2.6’da oda sıcaklığı denetim sisteminin blok şeması görülmektedir. Ölçülen sıcaklık değeri, set değerinin üzerine çıktığında çıkış sinyali kapanır. Sistemlerin ataleti nedeniyle, kontrol gücü (çıkış) kesildiği halde bir süre ölçülen değer yükselmeye devam eder. Ölçülen değer set değerinin altına indiğinde ise çıkış sinyali açılır. Set değeri üzerinde sürekli bir dalgalanma oluşur. Dalgalanmanın tepeden tepeye değişim ve sıklığı, kontrol edilen sürecin durumuna bağlıdır. Bu tür bir sistemde set değeri etrafında histerisiz bandı bulunmaktadır, ölçülen değer, set değerini geçer geçmez kontrolör çıkışı “Kapalı” sinyali üretmez, ancak bant aşıldıktan sonra çıkış kapatılır. Aynı şekilde, ölçülen değer düşerken, set değerinin altına düşünce değil, histerisiz bandının dışına çıkınca “Açık” sinyali üretilir.



Şekil 2.7: Sıcaklık denetim sistemi grafiği

Örnekten de anlaşılacağı gibi iki durumlu denetim modu, diğer bir ifadeyle aç-kapa denetim modu, salınımları kabul edilebilir bir seviyeye indirmek için yeteri kadar geniş bir kapasiteye sahip süreçlerde kullanılır.

İki konumlu denetim organının çalışması, farklı bir açıdan, matematiksel olarak açıklanabilir. Şekil 2.4'te verilen denetim modu ünitesi çıkış sinyali  $m(t)$  hata sinyalinin  $[e(t)]$  pozitif veya negatif olmasına bağlı olarak ya  $M_1$  maksimum değerde ya da  $M_2$  minimum değerde kalır.



Şekil 2.8: Aç-kapa modunda  $m(t)$ - $e(t)$  ilişkisi

Buna göre;

$$e(t)>0 \text{ için } m(t)=M_1$$

$$e(t)<0 \text{ için } m(t)=M_2$$

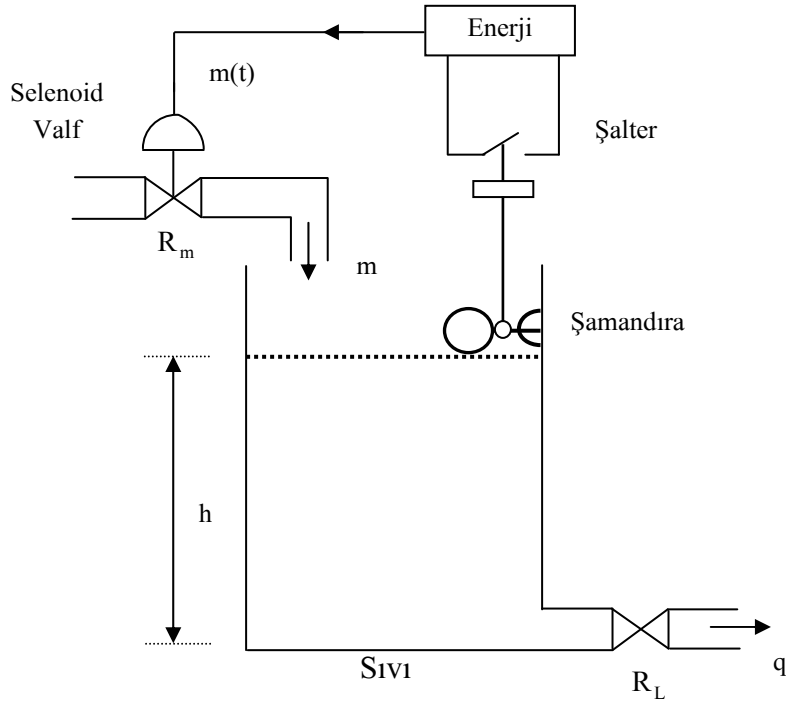
bağıntıları elde edilir. Bu bağıntılara ait çalışma biçimi Şekil 2.8’de görülmektedir.

Burada  $M_1$  ve  $M_2$  birer sabittir. İki-konumlu denetim Şekil 2.8(b)’de gösterildiği gibi bir ölü bölge içerir. Hata sinyali değişimi ile denetim modu ünitesinin tepkisi arasında değişik nedenlerle gecikme oluşur. Bu durumda, hata sinyali değerleri ölü bölge içinde kaldığı müddetçe denetim modu ünitesi sıfır kumanda yapar. Ancak hata sinyali değeri, eşik değerini aştığında pozitif veya negatif yönde bir kumanda sağlanır. Titreşim olduğundan dolayı şekil 2.8(a) ve 2.8(b)’deki çalışma grafikleri istenmeyen durumları ifade etmektedir.

Düzenleyici denetim biçiminde çalışan süreç, denetim sistemlerinde aç-kapa ünitesi ya maksimum kumanda(açma) ya da minimum kumanda(kapama) verir. Denetlenen çıkış büyüklüğü değeri ayar değerini(set değerini) aştığında denetim modu ünitesi kapama; buna karşılık çıkış büyüklüğü ayar değerinin altına düştüğünde ise denetim modu ünitesi açma sinyali verir. Denetim sisteminde sürtünme kuvveti gibi kuvvetlere maruz aletlerin fiziksel sınırlamalarından dolayı denetim modu ünitesi, set değerinin civarındaki değerler aralığında açma veya kapamaya zorlanabilir. Şekil 2.8(c)’de gösterilen diferansiyel aralık(histerisiz bandı), diğer bir deyişle nötr bölge, sistemde sürtünme kuvvetlerinden meydana gelebileceği gibi sisteme bilinçli olarak da sokulabilir. Bu aralık ne kadar geniş tutulursa açma-kapamaya maruz kalan kontak, valf gibi elemanlar birim zaman içinde daha seyrek açma-kapamaya maruz kalır ve bunun sonucu olarak eleman daha az yıpranmış olur. Fakat buna karşılık sistemin denetim hassasiyeti de azalacaktır. Bu nedenlerle bu aralığın, sistemin çalışma koşullarına bağlı olarak optimum değerlerde tutulması gerekir.

Şekil 2.9’da aç-kapa denetimine iyi bir örnek olabilecek sıvı seviye denetim süreci görülmektedir. Sıvı üzerindeki bir şamandıra yardımıyla sıvı seviyesi bilgisi algılanıp şamandıraya bağlı bir şalter kontrol edilmektedir. Bu şalterin açılıp kapanması ile de sıvı kabına sıvı akışı gerçekleşmektedir.





Şekil 2.9: Sıvı seviye denetim süreci

**Örnek:** Şekil 2.9'da sıvı girişi selenoid valf açılıp kapatılarak gerçekleştirilmektedir. Giriş akış hızı(m) valf kapatıldığında sıfırdır. Valf açıldığında giriş akış hızı  $0,004 \text{ m}^3/\text{s}$  olarak verilmektedir. Osilasyonlar çıkış akış hızını(q)  $0,002 \text{ m}^3/\text{s}$ 'de sabit tutacak kadar küçüktür. Sıvı tankı yüzey alanı  $2 \text{ m}^2$  ve süreç ölü zaman gecikmesi de  $10 \text{ s}$ 'dir. Kontrolörün nötr bölgesi seviyedeki  $\pm 0,005 \text{ m}$ 'lik bir değişime eşittir. Bu süreç için h seviyesindeki osilasyon genliğini ve periyodunu belirleyelim.

- Tanktaki sıvı birikme hızı (v) giriş akış hızının çıkış akış hızına olan farkıdır.

$$v = m - q$$

Seviye değişim hızı (dh/dt), sıvı birikim hızının tank alanına (A) bölümüne eşittir.

$$\frac{dh}{dt} = \frac{v}{A} = \frac{m - q}{2,0} \text{ m/s}$$

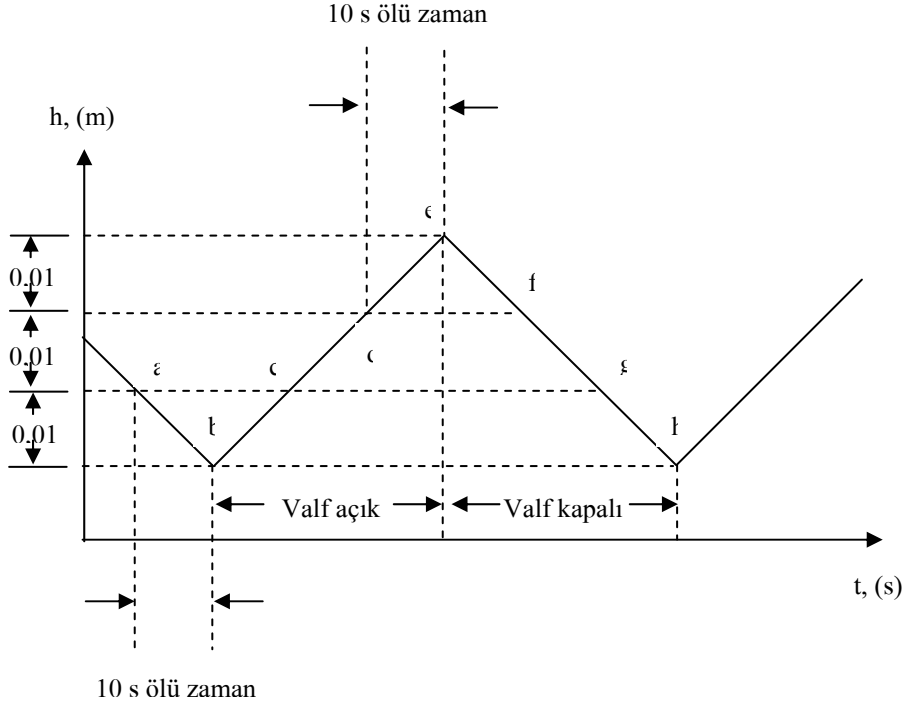
Bu eşitlik giriş valfinin açık ve kapalı olma durumunda farklı sonuçlar verir. Valf açıkken;

$$\frac{dh}{dt} = \frac{0,004 - 0,002}{2,0} = 0,001 \text{ m/s}$$

Valf kapandığında;

$$\frac{dh}{dt} = \frac{0-0,002}{2,0} = -0,001 \text{ m/s}$$

Bu negatif değerin anlamı Şekil 2.10'daki grafikten anlaşılabilir.



Şekil 2.10: Sıvı tankındaki seviye osilasyonu

- Şekil 2.10'da bir osilasyon grafiği örneklenmiştir. a noktasında valf kapalıdır. Seviye  $-0,001 \text{ m/s}$ 'lik bir hızla değişmekte -diğer bir değişle azalmaktadır- ve seviye nötr bölgenin düşük değerli noktası olan a noktasına ulaşmıştır. 10 saniyelik bir ölü zaman gecikmesinden sonra, kontrolör b noktasında valfi açar. Seviye  $(10\text{s}) \times (-0,001 \text{ m/s}) = -0,01 \text{ m}$ 'lik ilave bir düşüş gerçekleştirmiş olur.

$$t_b - t_a = 10 \text{ s}$$

$$h_b - h_a = -0,01 \text{ m}$$

- Valf b noktasından e noktasına kadar açık durumdadır ve seviye  $0,001 \text{ m/s}$ 'lik hızla artmaktadır. c noktasına ulaşmak 10s sürer.

$$t_c - t_b = 10 \text{ s}$$

$$h_c - h_b = 0,01 \text{ m}$$

c noktasından d noktasına hareket etmek için gereken zaman seviyedeki değişimin(0,01m) seviye değişim hızına(0,001m/s) bölümüne eşittir.

$$t_d - t_c = \frac{0,01}{0,001} = 10 \text{ s}$$

$$h_d - h_c = 0,01 \text{ m}$$

d noktasında, seviye nötr bölgenin yüksek seviyesine ulaşır. 10 saniyelik bir ölü zaman gecikmesinden sonra kontrolör e noktasında valfi kapatır.

$$t_e - t_d = 10 \text{ s}$$

$$h_e - h_d = 0,01 \text{ m}$$

- Sıvı seviyesinin yükselme hızı ve düşme hızı eşit olduğundan, e noktasından h noktasına kadar geçen zaman, b noktasından e noktasına kadar geçen zamanla aynı değerdedir.

$$t_h - t_e = t_e - t_b = 30 \text{ s}$$

- Osilasyon genliği  $h_c - h_b$  değerine, ve periyot da  $t_h - t_b$  değerine eşittir.

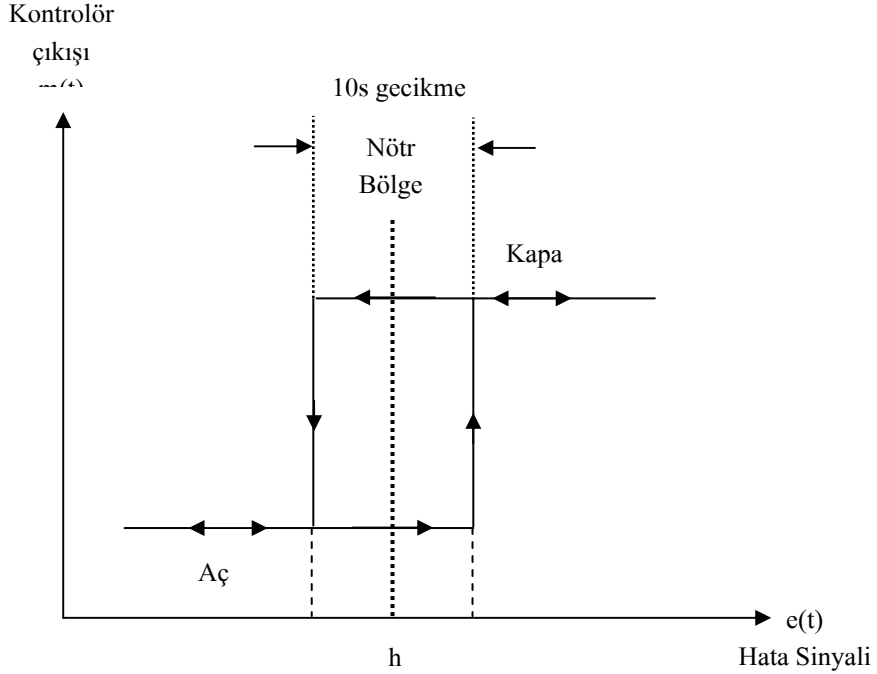
$$\text{Genlik} = (h_c - h_b) + (h_d - h_c) + (h_e - h_d)$$

$$\text{Genlik} = 0,01 + 0,01 + 0,01 = 0,03 \text{ m}$$

$$\text{Periyot} = (t_e - t_b) + (t_h - t_e)$$

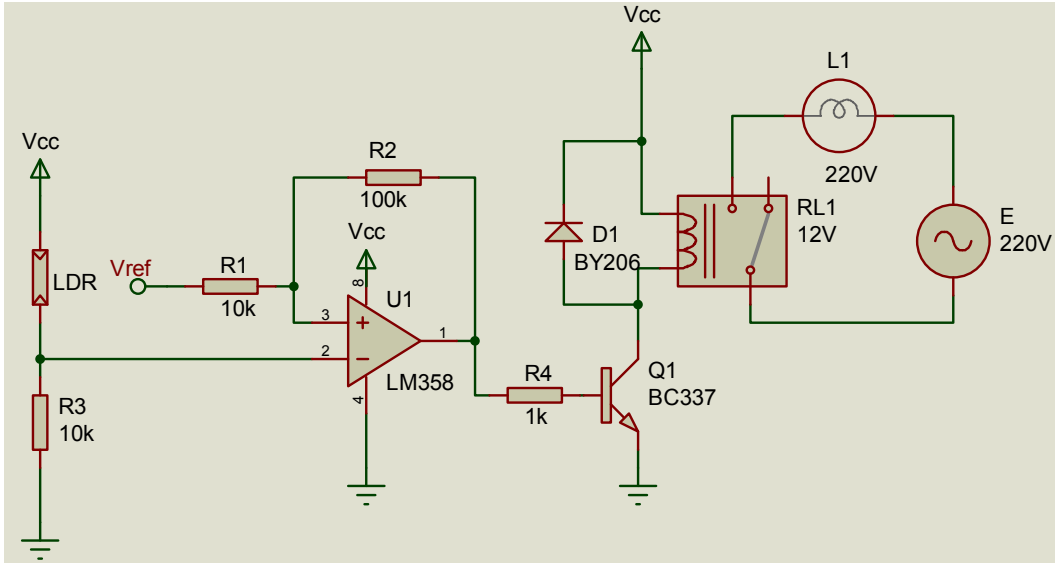
$$\text{Periyot} = 30 + 30 = 60 \text{ s}$$

Sıvı tankındaki seviye osilasyonu şekil 2.11’deki kontrolör çıkış grafiğiyle farklı bakış açısıyla ele alınabilir.

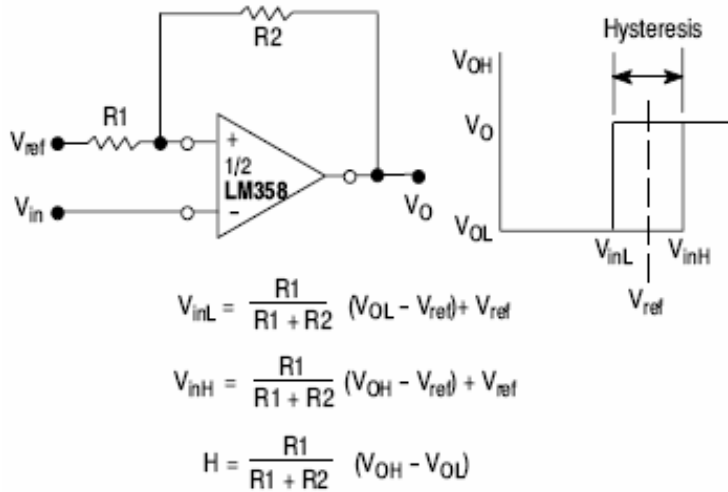


Şekil 2.11: Sıvı tankı kontrolör çıkış grafiği

Şekil 2.11’de görülen grafikte sıfır noktası  $h$  yüksekliğindedir. Sistem  $h$  yüksekliği etrafında osilasyon yapar. Sıvı tankından birim zamanda çıkan sıvı miktarına ya da debiye “süreç (proses) yükü” adı verilebilir. Süreç yükü az ise -ya da diğer bir ifadeyle çıkış debisi düşükse- giriş vanasının açık veya kapalı kalma süreleri uzar. Süreç yükü artarsa vananın açılıp kapanma süreleri çok kısalmış ve vana çok hızlı bir şekilde su geçişini kontrol eder ve bu da vananın ömrünü kısaltıp sürecin denetiminde sıkıntı oluşturur. Ölü zaman gecikmesi ile aslında bir set aralığı oluşmuştur. Şekil 2.9’deki şamandıranın mekanik özelliği bu tür bir sistem için uygun olmalıdır.  $h$  yüksekliği etrafında iki ayrı set değeri meydana gelmiş ve sistemde tek bir set değeri etrafındaki istenmeyen ani titreşimler böylece engellenmiştir. Genellikle, çok özel uygulamaların dışında sıvı seviyesi denetim sistemlerinde belirli bir düzeyde doğal ya da doğal olmayan bir set aralığı oluşturulur. Böylece, denetim sistemi çok daha uzun ömürlü olur.



Şekil 2.12: Aç-kapa modu kullanılan otomatik lamba yakma devresi



Şekil 2.13: LM358 Karşılaştırıcı katalog bilgisi

Şekil 2.12'de aç-kapa denetim modu kullanılarak gerçekleştirilen bir kapalı çevrim denetim sistemi görülmektedir. Bu devre, sokak lambalarının çalışma prensibini temsil eden bir devredir. Gündüz ışıklı ortamda LDR direnci düşük olduğu için LM358 opamp'ının negatif girişine gelen gerilim, pozitif girişine gelen gerilimden büyüktür. Bu durumda çıkış 0 V'dur ve transistör iletime geçmez ve lamba yanmaz. Hava karardığı zaman ise tam tersi bir durum oluşur, opamp çıkışı yaklaşık 11V olur ve transistör iletime geçer, röle enerjilenir ve lamba yanar. Şekil 2.13'te LM358 opamp'ının katalog bilgisinin bir bölümü görülmektedir. LM358 çıkışı, geri besleme ile pozitif girişe uygulanırsa  $V_{inL}$  ve  $V_{inH}$  eşik değerleri arasında bir histerisiz bandı meydana gelir. Böylece, açık durumdan kapalı duruma ve kapalı

durumdan açık duruma geçişlerde yapay bir ölü zaman gecikmesi oluşur ve istenmeyen röle ve lamba titreşimleri engellenir. Histerisiz bandı ile ilgili aşağıdaki örnek daha somut bir sonuç ortaya çıkaracaktır.

**Örnek:** Şekil 2.12'deki devrede hava karardığında lambanın yanması istenen andaki LDR direnci 4,3 kohm ve bu direnç değerindeki  $V_-$  gerilimi 8,4V, gündüz aydınlığındaki direnci ise yaklaşık 500 ohm ve bu direnç değerindeki  $V_-$  gerilimi de 11,4V olarak ölçülüyor.  $V_{cc}$  besleme gerilimi 12V ve opampın pozitif girişine uygulanan set değeri gerilimi 8,4V,  $V_{OL}=0V$  ve  $V_{OH}=11,3V$  ise  $V_{inL}$ ,  $V_{inH}$  ve histerisiz (H) değerlerini bulalım.

$$V_{inL} = \frac{R1}{R1+R2}(V_{OL}-V_{ref})+V_{ref}$$

$$V_{inL} = \frac{10k}{10k+100k}(0V-8,4V)+8,4V=0,09(-8,4V)+8,4V$$

$$=8,4V-0,76V$$

$$=7,64V$$

$$V_{inH} = \frac{R1}{R1+R2}(V_{OH}-V_{ref})+V_{ref}$$

$$V_{inH} = \frac{10k}{10k+100k}(11,3V-8,4V)+8,4V=0,09(2,9V)+8,4V$$

$$=8,4V+0,26V$$

$$=8,66V$$

$$H = \frac{R1}{R1+R2}(V_{OH}-V_{OL})$$

$$H = \frac{10k}{10k+100k}(11,3V-0V)=0,09(11,3V)$$

$$=1,02 V \text{ bulunur.}$$

Histerisiz farkını bulmanın diğer bir yolu da  $V_{inH} - V_{inL}$  farkını bulmaktır. Dikkat edilirse bu fark yine 1,02 V'dur. Şekil 2.12'deki devrede R2 direnci değeri arttıkça histerisiz bandı daralırken, R2 direnci azaldıkça histerisiz bandı genişler. Bu direncin değeri ayarlanarak istenen bir bant yapısı elde edilebilir.

Örnekler irdelendiğinde aç-kapa denetim sisteminin birtakım sakıncalarının bulunduğu görülmektedir. Ölçülen çıkış değişkeninin hiçbir zaman set noktasına sabitlenememesi ve sürekli salınım oluşması en önemli sakıncasıdır. Ayrıca sistemde salınıma bağlı olarak aşırı enerji tüketimi oluşur ve hassas ya da hızlı süreç denetimlerinde yetersiz kalır. Bu tür sistemlerde farklı denetim modları kullanmak daha uygundur.

## UYGULAMA FAALİYETİ

Aşağıda devresi verilen ve aç kapa denetim yöntemiyle yapılan kapalı çevrim denetim sistemini yapınız.

### Kullanılan Malzeme ve Araç-Gereç

- 1 adet LM358 opamp entegresi
- 1 adet 8'li entegre soketi
- 1 adet LM35 sıcaklık sensörü
- 1 adet 12V fan
- 1 adet ısı kaynağı ve besleme gerilimi
- 1 adet 12V röle
- 75, 470, 2x4.7k, 10k ohm dirençler
- 100K ve 1M ohm potansiyometreler
- 1 adet 1uF kondansatör
- 1 adet IRF640 mosfet
- 1 adet led diyot
- 2 adet 1N4001 diyot
- 12 V güç kaynağı
- 1 adet deney bordu
- Yeterli sayıda zil teli
- Yankeski ve kargaburun





İşlem Basamakları	Öneriler
➤ Şekil 2.14'deki devre için gereken malzemeleri ve araç gereci hazırlayınız.	➤ Dc gerilim kaynağı en az 1A akım verebilecek kapasitede olmasına dikkat edebilirsiniz.
➤ LM358 Opamp ve LM35 sensörünün katalog bilgilerini inceleyiniz.	➤ Özellikle devreye bağlantı şekillerini ve maksimum akım ve gerilim değerlerini kontrol edebilirsiniz.
➤ Devreyi kurunuz. D2 diyodunu kısa devre ederek devreye etkisini ilk başta önleyiniz.	➤ Enerji vermeyiniz. Devrenizi önce öğretmeninize kontrol ettirebilirsiniz.
➤ Fanı soğutma amaçlı olarak kullanacağınızdan sensörün 1 cm uzağına yerleştiriniz. LM35 gövdesine tel sarıp ısı kaynağı olarak havya kullanabilirsiniz.	➤ Isı kaynağını ve fanı plastik bir kutuya monte edip sensörü kutu içine yerleştirerek temsili bir oda oluşturabilirsiniz.
➤ LM35 sensörünün doğruluğunu test etmek amacıyla dijital ya da analog bir termometre yardımıyla sensörün bulunduğu ortamın sıcaklığını ölçünüz.	➤ Kalibrasyonu yapılmış bir ölçü aleti ile yoksa da iki ayrı termometre ile ölçmeniz de fayda olabilir.
➤ Devreye 12V gerilim uygulayınız.	➤ Vref ucunu şimdilik şaseye bağlayabilirsiniz.
➤ LM35 ve U1A opampının çıkışını voltmetre ile ölçünüz.	➤ LM35 sensörü çıkışında sıcaklıktaki 1 derecelik değişime karşılık 10mV'luk bir değişim oluşturabilirsiniz.
➤ R4 potansiyometresi ile oynayarak U1A opamp kazancını 10 yapınız. Tekrar opamp çıkışını ölçünüz.	➤ Örneğin 22 derece sıcaklığa ve 220mV'luk LM35 çıkışına karşılık ➤ 2,2V okuyana kadar R4 ile oynayabilirsiniz.
➤ Ortam sıcaklığının 3 derece üstüne karşılık gelen U1A çıkış değerindeki bir set değeri gerilimini Vref ucundan U1B opampına uygulayınız.	➤ Örneğin 22 derece ortam sıcaklığı için set değerini 2,5V yapabilirsiniz. Böylece aç-kapa salınımı 2,5V etrafında oluşturabileceksiniz.
➤ 0,2V'luk histerisiz bandı oluşturacak şekilde U1B opampında $V_{inL}$ , $V_{inH}$ ve R2 değerini hesaplayınız.	
➤ R2'yi deney bordundan ayırıp ohmmetre ile ölçerek hesapladığımız değere getiriniz.	

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 220 V gerilimi L1 ısıtıcısına uygulayınız. LM35 sensörünün ısıtıcıyı algılamasını sağlayınız.</li> <li>➤ 220 V tehlikelidir. Gerekli güvenlik önlemlerini alınız. 220V olan hatları açıkta bırakmayınız.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Havya kullanılmışsa LM35 sensörüne tel sarılıp, havya telin üzerine koyabilirsiniz. U1A çıkışında gerilim değişimi ile sıcaklığın sensörü etkilediğini anlayabilirsiniz.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ M1 motoru(fanı) dönmeye başlamadan önce U1A çıkış gerilimini ölçünüz, motoru ve ledi gözlemleyiniz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Set değerindeki çalışmayı, özellikle histerisiz bandının varlığını ya da yokluğunu gözlemleyebilirsiniz.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Set değerindeki U1B opampı çıkış gerilimini ölçmeye çalışınız.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Analog ölçü aleti ile titreşimi daha rahat anlayabilirsiniz.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Motor dönmeye başlayınca U1A opampı çıkış gerilimini ölçünüz. Isıtıcıyı kapatınız ya da uzaklaştırınız.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Yanma tehlikesine karşı gerekli güvenlik önlemlerini aldığınıza emin olmalısınız.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 12V enerjiyi de kesiniz.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ R2'yi şemada gösterilen yerine bağlayınız. Sensör çıkışının oda sıcaklık değerine gelmesini bekleyiniz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ R2'nin daha önce hesapladığınız değerinde olduğuna emin olmalısınız.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tekrar 12V enerji verip ısıtıcı gerilimini de vererek motorun çalışmasını gözlemleyiniz.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ M1 motoru dönmeye başlamadan önce U1A çıkış gerilimini ölçünüz, motoru ve ledi gözlemleyiniz.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Set değerindeki U1B opampı çıkış gerilimini ölçmeye çalışınız.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ölçü aleti ile titreşim olmadığını iki değerden birine ulaştığını fark edebilmelisiniz.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Motor dönmeye başlayınca U1A opampı çıkış gerilimini ölçünüz. Isıtıcıyı kapatınız ya da uzaklaştırınız.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Yanma tehlikesine karşı gerekli güvenlik önlemlerini al aldığınıza emin olmalısınız.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sensör çıkış değerinin oda sıcaklığına gelmesini bekleyiniz ve 12 V'luk enerjiyi kesiniz.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Hesapladığımız histerisiz değeri ile gerçekte ölçtüğünüz histerisiz değeri aynı mı? Karşılaştırınız...</li> </ul>	

➤ D2 diyodunu devreye bağlayınız. Devreye ne tür bir etki yaptığını bulunuz...	➤ Histerisiz bandında değişiklik olup olmadığını gözlemleyebilirsiniz.
➤ R2'yi 1Mohm yapınız. Tekrar 12V enerji verip ısıtıcıyı açınız.	➤ Histerisiz bandında değişiklik olup olmadığını gözlemleyebilirsiniz.
➤ Çalışmalarınızı raporlaştırıp arkadaşlarınızla uygulama ile ilgili yorumlarınızı paylaşınız.	

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

1. Bir kapalı çevrim denetim sisteminde çıkış değişkenini iki farklı değerde tutan yonteme ne ad verilir?  
A) Geri besleme  
B) Aç-kapa  
C) PID  
D) Hata yükseltme
2. Bir elemanın giriş ve çıkışı arasındaki ilişkiyi aşağıdakilerden hangisi gösterir?  
A) Giriş değişkeni  
B) Geri besleme oranı  
C) Çıkış değişkeni  
D) Transfer fonksiyonu
3. Sıcaklıktaki her 1 °C 'lik değişimlere 10mV çıkış gerilimi değişimi üreten bir sıcaklık sensörünün kazancı aşağıdakilerden hangisidir?  
A) 10  
B) 1  
C) 10 mV/°C  
D) 10 °C/mV
4. Bir kapalı çevrim denetim sisteminde denetim hareketi için kullanılan bir aktüatör hangi denetim birimi üzerinde bulunur?  
A) Manipülasyon elemanında  
B) Hata yükselticide  
C) Geri besleme elemanında  
D) Denetim modu ünitesinde
5. Bir kapalı çevrim denetim sisteminde ileri besleme yolunda aşağıdakilerden hangisi **bulunmaz?**  
A) Aç-Kapa kontrolörü  
B) Dc motor  
C) Sıcaklık sensörü  
D) Sıcaklığı denetlenen oda
6. Denetim sistemi parametrelerinin zamanla değiştiği denetim sistemlerinde kullanılan denetim ünitelerine genel olarak ne ad verilir?  
A) Sürekli denetim ünitesi  
B) Sürekli olmayan denetim ünitesi  
C) Aç-kapa denetim ünitesi  
D) Nümerik denetim ünitesi
7. Aç-kapa denetim modunda set değeri etrafındaki kararsız duruma ne ad verilir?  
A) Aşırı genlik durumu  
B) Osilasyon  
C) Histerisiz  
D) Dengesizlik
8. Aç-kapa denetim modunda set değeri etrafındaki kararsız durumu önlemek için oluşturulan bölgeye ne ad verilir?  
A) Kararsız bölge  
B) Osilasyon bölgesi  
C) Sıfır bölgesi  
D) Nötr bölge

9. Nötr bölgede denetlenen değişkenin durumunu etkilemeyen zaman gecikmesine ne ad verilir?
- A) Etkisiz zaman gecikmesi  
B) Ölü zaman gecikmesi  
C) Değişken zaman gecikmesi  
D) Süreç zaman gecikmesi
10. Sıcaklığı denetlenen bir odanın termal kapasitesinin artması için ne yapılması gereklidir.
- A) Sıcaklık sensörü kazancı artırılmalıdır.  
B) Oda büyütülmelidir.  
C) Oda küçültülmelidir.  
D) Isıtıcı gücü artırılmalıdır.

## DEĞERLENDİRME

Soruların tamamını doğru olarak çözebildiyseniz bir sonraki faaliyete geçiniz. Çözümlerinizi yanlış ya da eksik ise ilgili bilgiyi tekrar ediniz.

# MODÜL DEĞERLENDİRME

- Aşağıdaki sistemlerden hangisi kapalı çevrim denetim sistemi olarak düşünülebilir?  
A) Bir lambanın anahtar üzerinden kontrol edildiği sistem  
B) Bir motoru 12V gerilim ile kontrol eden sistem  
C) Bir insanı görünce otomatik olarak açılan kapı sistemi  
D) Butona basınca çalışan asansör sistemi
- Kapalı çevrim denetim sisteminde çıkış değişkeni aşağıdakilerden hangisi ile ölçülebilir?  
A) Dc motor  
B) LDR  
C) Pnömatik valf  
D) Manipülasyon elemanı
- Çıkış değişkeninin istenen değerden sapsmasına neden olan parametre aşağıdakilerden hangisidir?  
A) Geri besleme kazancı  
B) Bozucu etki  
C) Set noktası  
D) Denetim modu
- Set değerinin düzenli olarak değiştirildiği sistemlere ne ad verilir?  
A) Servo sistemler  
B) Nümerik sistemler  
C) Regülatör sistemleri  
D) Düzey denetim sistemleri
- Aşağıdaki sensörlerden hangisi ile sıcaklık **ölçülemez**?  
A) NTC  
B) PTC  
C) LM35  
D) LDR
- Bir sensörle yapılan ölçümlerin belirli sınırlar içerisinde olması aşağıdaki sensör özelliklerinden hangisi ile ilgilidir?  
A) Hassaslık  
B) Hata  
C) Algılama açıklığı  
D) Algılama aralığı
- Girişi  $V_i$ , çıkışı  $V_o$  ve de kazancı A olan bir yükseltici, kazancı B ve çıkışı V olan diğer bir sisteme bağlanıyor. Buna göre toplam sistemin transfer fonksiyonu aşağıdakilerden hangisidir?  
A)  $A.V_i$       B)  $A.V_o$       C)  $B.V_o$       D) A.B
- Bir kapalı çevrim denetim sisteminde geri besleme yolunda aşağıdakilerden hangisi **bulunmaz**?  
A) Mikrofon  
B) Dc motor  
C) Sıcaklık sensörü  
D) LDR

9. Aç-kapa denetim modunda aç ve kapa değerlerinin değişimi aşağıdakilerden hangisini **değiştirmez?**

A) Histerisiz farkını

B) Osilasyon frekansını

C) Ölü zaman gecikmesini

D) Çıkış değişkeni değerini

10. Aç-kapa denetim modunun en önemli sakıncası aşağıdakilerden hangisidir?

A) Basit ve ucuz olması

B) Çıkış değişkeninin iki konumu olması

C) Çıkış değişkeninin set noktasına sabitlenememesi

D) Aşırı enerji tüketimi

## PERFORMANS TESTİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız becerileri “Evet” veya “Hayır” kutucuklarına (X) işareti koyarak kontrol ediniz.

DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ		Evet	Hayır
1.	Kapalı çevrim denetim sistemi için gerekli hazırlığı yaptınız mı?		
2.	Katalog bilgilerine göre elemanların bağlantılarını doğru olarak yapabildiniz mi?		
3.	Matematiksel denklemleri oluşturup, analiz edebildiniz mi?		
4.	Elektriksel büyüklükleri amaca uygun olarak ölçebildiniz mi?		
5.	Denetim sistemine uygun geri besleme oluşturabildiniz mi?		
6.	Ölçülmek istenen büyüklüğe uygun sensörü seçebildiniz mi?		
7.	Kapalı çevrim denetim sistemini matematiksel modelleme ile ifade edebildiniz mi?		
8.	Aç-kapa denetim sistemini kurabildiniz mi?		
9.	Aç-kapa denetim sisteminde histerisiz bandı oluşturabildiniz mi?		
10.	Aç-kapa denetim sisteminde parametreleri amaca uygun ayarlayabildiniz mi?		

## DEĞERLENDİRME

Sizden tüm öğrenme faaliyetlerindeki ve modül değerlendirmedeki ölçme sorularını çözebilmeniz ve performans testindeki yeterlikleri kazanmanız beklenmektedir. Eğer bu yeterliklerle ilgili kendinizde bir eksik görüyorsanız lütfen ilgili bölümü tekrar ediniz.



# CEVAP ANAHTARLARI

## ÖĞRENME FAALİYETİ-1'İN CEVAP ANAHTARI

1.	C
2.	C
3.	D
4.	B
5.	C
6.	A
7.	C
8.	B
9.	D
10.	A

## ÖĞRENME FAALİYETİ-2'NİN CEVAP ANAHTARI

1.	B
2.	D
3.	C
4.	A
5.	C
6.	A
7.	B
8.	D
9.	B
10.	B

## MODÜL DEĞERLENDİRMENİN CEVAP ANAHTARI

1.	C
2.	B
3.	B
4.	A
5.	D
6.	D
7.	D
8.	B
9.	D
10.	D

## KAYNAKÇA

- YUZAWA Shuichi, BILDIR Gürcan, **Mekatronik Atelyesi**, İzmir, 2005.
- ÖZDAŞ Nimet, DİNİBÜTÜN A.Talha, KUZUCU Ahmet, **Otomatik Kontrol Temelleri**, İTÜ, İstanbul, 1998.
- SARIOĞLU M.Kemal, **Otomatik Kontrol 1**, İTÜ, İstanbul, 1997.
- YÜKSEL İbrahim, **Otomatik Kontrol-Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri**, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 1997.
- UĞUR Naci, **Proses ve Tesis Kontrolü**, Ege Üniversitesi, İzmir, 1991.
- BATESAN Robert N.-P.E. **Introduction to Control System Technology**, **Prentice Hall**, New Jersey, 1996.