

77629

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİJİTAL MİKRO-VOLTMETRE TASARIMI

Mehmet GEDİKPINAR

77629

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Bu Tez,.....Tarihinde Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından
Oybirliği / Oyçokluğu İle Başarılı / Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.

(İmza)

(İmza)

(İmza)

Danışman;

Yrd.Doç.Dr. Muktim ERDOĞMUŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DİJİTAL MİKRO-VOLTMETRE TASARIMI

Mehmet GEDİKPINAR

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı

1998, Sayfa : 87

Bu tez çalışmasında, çok düşük voltajlar bir mikro-voltmetre yapılarak, ölçülmeye çalışılmıştır. Yapılan cihazın doğru, kararlı ve sihatli ölçme yapabilmesini sağlamak amacı ile, tasarlanan devrelerde bazı iyileştirmeler yapılmıştır. Duyum elemanlarından elde edilen sinyaller genellikle çok küçük değerlerde olduğundan, yüksek giriş dirençli ve offseti düşük Op-Amp'lar kullanılmıştır. Yapılan cihazla, 1-1000 mikrovolt arasındaki gerilim değerleri %1 hata ile ölçülebilmektedir. Devre elemanlarının ortam ısısına göre değişim etkisi incelenerek, ilk ölçümden önce offsetin sıfırlanmasını beklemenin gerekli olduğu görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELELER: Dijital Mikro-Voltmetre, Dijital Panelmetre, Amplifikatör, Tampon

SUMMARY

Masters Thesis

DESING OF DIGITAL MICRO-VOLTMETER

Mehmet GEDİKPINAR

Firat University

Graduate Scholl of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical Training

1998, Page: 87

In this study, very low voltages are measured, by making a micro-voltmeter. Some improvements are done for the designed device to measure accurate and precisely. Op-Amps with high input impedance and low offset are used. Because signals taken from sensors generally are very low. Voltages between 1 and 1000 micro volt can be measured by the designed device with % 1 error. Before the first measurement, it was seen that offset bias should be set to zero, detecting the effect of instability on environments temperature of circuit components.

KEY WORDS: Digital Micro-Voltmeter, Digital Panelmeter, Amplifier, Buffer Circuit

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Yrd.Doç.Dr. Muktim ERDOĞMUŞ' a, Yrd.Doç.Dr. Fikret ATA' ya, manevi desteğini esirgemeyen Prof. Dr. Ata ŞELÇUK' a, çalışmalarımı yakından ilgilenererek, bana her konuda destek olan bölüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	ii
SUMMARY	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xii
SİMGELER LİSTESİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. ÖLÇME VE ÖLÇÜM CİHAZLARI	2
2.1. Ölçme	2
2.2. Standartlar	2
2.2.1. Uluslararası standartlar	2
2.2.2. Birinci standartlar	2
2.2.3. İkinci standartlar	3
2.2.4. Çalışma standartları	3
2.3. Temel ve Türetilmiş Uluslararası Büyüklükler	3
2.4. Hatalar	5
2.5. Statik Karakteristikler	6
2.5.1. Doğruluk	6
2.5.2. Hassasiyet	7
2.5.3. Duyarlılık	7
2.5.4. Lineerlik ve lineersizlik	8
2.6. Dinamik Lineersizlik	9
2.7. Ölçü Hatalarının İstatistiksel Analizi	9
2.8. Ölçü Sisteminin Elemanları	10

2.9.	Cihaz Tasarım Kriterleri	12
2.9.1.	İşaret faktörü.....	12
2.9.2.	Çevre faktörü	12
2.9.3.	Ekonomik faktör	12
2.10.	Cihazın Etiket Özellikleri	13
2.10.1.	Giriş ve transdüser özellikleri	13
2.10.2.	İşaret işleme özellikleri	14
2.10.3.	Çıkış özellikleri	14
2.10.4.	Hata ve güvenilirlik	14
2.10.5.	Fiziksel ve diğer özellikler	15
3.	SENSÖR VE TRANSDÜSERLER.....	16
3.1.	Foto Dirençler	16
3.2.	Foto Diyotlar	17
3.3.	Foto Transistörler	18
3.4.	Foto Piller	20
3.5.	Led'ler	21
3.6.	Termik Sensörler Ve Transdüserler	22
3.5.1.	Termostatlar	22
3.6.	Termistörler	23
3.7.	Termokupllar	25
3.8.	Rezistif Isı Sensörleri (RTD)	27
3.9.	Yarı-iletken Isı Sensörleri	28
3.10.	Mekanik Sensör ve Transdüserler	29
3.10.1.	Solenoid valflar (Ventil)	29
3.10.2.	Mikrofonlar ve hoparlörler	30
3.11.	Yer Değişim Transdüserleri	31
3.11.1.	Kapasitif transdüserler	31
3.11.2.	Endüktif transdüserler	32
3.11.3.	Değişken endüktanslı transdüserler (LVDT)	34
3.11.4.	Piezoelektrik transdüserler	35
3.11.5.	Alan etkili transdüserler (Hall effect devices)	36

3.11.6.	Etki ölçerler (Strain gaugeler)	36
4.	İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİLER (Op-Amp' lar)	38
4.1.	Çalışma Alanları	38
4.2.	Tek Op-Amp'larda Ayaklar Ve Görevleri	39
4.3.	İdeal Op-Amp'ların Genel Özellikleri	40
4.4.	Op-Amp'ların Genel Yapıları	40
4.5.	Op-Amp'ların Pratik Karakteristikleri	41
4.5.1.	Açık devre transfer karakteristiği	41
4.5.2.	Offset etkisi	42
4.5.3.	Op-Amp'larda kayma (drif)	43
4.6.	Op-Amp'ların Uygulama Alanları	43
4.6.1.	Eviren (Inverting) yükselteç olarak kullanılması	43
4.6.2.	Evirmeyen (Noninverting) yükselteç olarak kullanılması	45
4.6.3.	Toplayıcı Devre (Summing Op-Amp) Olarak Kullanılması	46
4.6.4.	Gerilim izleyici (Voltage Follower) olarak kullanılması	47
4.6.5.	Fark alıcı devre (Difference Amplifier) olarak kullanılması	48
4.6.6.	Karşılaştırıcı (Comparator) olarak kullanılması	49
4.6.7.	Türev alıcı devre olarak kullanılması	50
4.6.8.	İntegral alıcı devre olarak kullanılması	52
5.	ANALOG-DİJİTAL VE DİJİTAL-ANALOG DÖNÜŞTÜRÜCÜLER	53
5.1.	Dijital-Analog Dönüştürücü' ler (DAC)	53
5.1.1.	Çalışma prensibi	54
5.1.2.	Kademeli tip DAC' lar	55
5.1.3.	Merdiven tipi DAC' lar	56
5.1.4.	DAC 08 entegresinin devre bağlantısı	57
5.2.	Analog-Dijital Dönüştürücüler (ADC)	58
5.2.1.	Tek eğimli ADC' ler (Single slope converters)	59
5.2.2.	Çift eğimli ADC' ler (Dual slope converters)	60
5.2.3.	Gerilim-frekans dönüştürücüler	62
5.2.4.	Ardışıl yaklaşımlı (Successive approximation) ADC' ler	63

5.3.	7107 Led Display Sürücü Entegresi	64
5.3.1.	Entegrenin bacak bağlantıları ve açıklanması	66
5.3.2.	Entegrenin özellikleri	68
6.	ELEKTRONİK VOLTMETRELER	69
6.1.	Analog Göstergeli DC Voltmetre	69
6.2.	Dijital Göstergeli Voltmetre	70
6.3.	AC-DC Dönüştürücü	70
6.4.	Gerilim Bölücü Direnç Grubu	71
6.5.	Besleme Devresi	72
6.6.	Dijital Voltmetre (Panelmetre)	73
6.7.	Baskı-Devreler	74
6.7.1.	Baskı-devrelerin yararları	75
6.7.2.	Baskı-devrelerin sakıncaları	75
6.7.3.	Montajı yapılacak şemanın baskı-devresinin hazırlanması	75
7.	DİJİTAL MİKRO-VOLTMETRE TASARIMI	79
7.1.	Mikro-Voltmetre'nin Yapısı	79
7.2.	Besleme Devresi	80
7.3.	Tampon Devre	81
7.4.	Amplifikatör Devresi	81
8.	SONUÇ VE TARTIŞMA	85
KAYNAKÇA		86

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Duyarlılık eğrisi ve duyarlılıktaki çeşitli kaymalar	7
Şekil 2.2 Temel lineersizlik eğrileri.....	8
Şekil 2.3 Elektronik ölçü sisteminin temel blokları	10
Şekil 2.4 Gelişmiş bir ölçü sisteminin blok diyagramı	11
Şekil 3.1 Foto dirençli devre, foto direncin kesit ve üst görünüşü	16
Şekil 3.2 (a) Foto diyotun sembolleri, (b) yapısı ve karakteristik eğrileri...	17
Şekil 3.3 (a) Foto diyotun devre uygulaması, (b) akım-ışık karakteristiği ...	18
Şekil 3.4 (a) Foto transistörün iç yapısı, (b) sembolü	18
Şekil 3.5 Foto-transistörlerin çıkış karakteristikleri ve normal transistörle karşılaştırılması	19
Şekil 3.6 Foto transistörlü kuplaj devresi	19
Şekil 3.7 (a) Foto diyot, (b) foto transistörlü opto kuplörler	20
Şekil 3.8 Foto diyotlardan oluşturulmuş bataryalar	20
Şekil 3.9 (a) Led'in görünüşü, (b) prensip yapısı	21
Şekil 3.10 Direk termostat kontrollü ısıtıcı devresi	22
Şekil 3.11 Gazlı tip termostat ve kontakların durumu	23
Şekil 3.12 Termistörlerin, (a) yapısı, (b) değişik tiplerde görünüşleri	24
Şekil 3.13 (a) PTC'nin, (b) NTC'nin ısı-direnç karakteristikleri	24
Şekil 3.14 PTC ve Op-Amp' lı ısı kontrol devresi	25
Şekil 3.15 Çeşitli termokupl sembolleri ve birleşimleri	25
Şekil 3.16 Referans termokupllu ölçüm veya uygulama devresi	26
Şekil 3.17 Çeşitli tipte termokuplların sıcaklık-gerilim değerleri	26
Şekil 3.18 RTD' nin yapısı ve direnç-sıcaklık karakteristiği	27
Şekil 3.19 Yarı-iletken gerilim sensörünün, (a) devre bağlantısı, (b) bağlantı ayakları	28
Şekil 3.20 Solenoid valfin prensip şeması	29
Şekil 3.21 (a) Dinamik Mikrofon, (b) hoparlörün iç yapısı	30
Şekil 3.22 Kapasitif transdüserler	32
Şekil 3.23 Takometrenin prensip şeması	32

Şekil 3.24	Endüktif akış-metrenin prensip şeması	33
Şekil 3.25	LVDT' nin prensip şeması ve elektriksel eşdeğeri	34
Şekil 3.26	Piezoelektrik elemanlara uygulanabilecek bazı kuvvet şekilleri..	35
Şekil 3.27	Alan etkili manyetik sensörün prensip yapısı	36
Şekil 3.28	Bakalit satırlı şerit tipi bir strain gauge' nin prensip yapısı	37
Şekil 4.1	Op-amp'ın sembolü ve çeşitli gövdelere göre ayak bağlantıları.....	38
Şekil 4.2	Op-Amp'ların simetrik bataryalarla beslenmesi	39
Şekil 4.3	Op-Amp'ların oluşum katları	40
Şekil 4.4	(a) Op-Amp'ların açık devre bağlantısı, (b) giriş-çıkış transfer ilişkisi	41
Şekil 4.5	Offseti içerden yapılabilen Op-Amp'ların offset ayarı	42
Şekil 4.6	Offseti dışarıdan yapılan Op-Amp'larda offset ayarı	42
Şekil 4.7	Op-Amp'larda kayma kararlılığının sağlandığı devre uygulamaları	43
Şekil 4.8	Eviren devre	44
Şekil 4.9	Evirmeyen yükselteç devresi	45
Şekil 4.10	Eviren üç girişli toplayıcı devre	46
Şekil 4.11	Gerilim izleyici devre	48
Şekil 4.12	Fark alıcı devre	48
Şekil 4.13	Karşılaştırmalı devre	49
Şekil 4.14	(a) Türev alma devresi, (b) Giriş-çıkış sinyalleri.....	50
Şekil 4.15	(a) İntegral alma devresi, (b) giriş-çıkış sinyalleri	52
Şekil 5.1	Analog bilginin işlenmesi	53
Şekil 5.2	Dijital ve Analog bilgilerin karşılaştırılması	54
Şekil 5.3	DAC devresinin blok diyagramı	54
Şekil 5.4	Kademeli tip DAC' ın devre bağlantı şeması	55
Şekil 5.5	Merdiven tip DAC' ın devre bağlantı şeması	56
Şekil 5.6	DAC 08 entegresinin devre bağlantısı	57
Şekil 5.7	Tek eğimli ADC' nin prensip devre şeması.....	59
Şekil 5.8	Tek eğimli ADC' nin eleman dalga şekilleri	59
Şekil 5.9	Çift eğimli ADC' nin blok diyagramı	60
Şekil 5.10	Çift eğimli ADC' nin dalga şekilleri.....	61
Şekil 5.11	Gerilim-frekans dönüştürücü	62

Şekil 5.12 Gerilim-frekans dönüştürücünün dalga şekilleri	62
Şekil 5.13 Ardışıl Yaklaşımlı ADC blok diyagramı	63
Şekil 5.14 Ardışıl yaklaşımli ADC' nin çıkışı	64
Şekil 5.15 7107 entegresi ile gerçekleştirilen standart uygulama devresi	65
Şekil 5.16 7107 entegresinin bacak bağlantıları	66
Şekil 6.1 Analog "FET" girişli elektronik DC voltmetre	69
Şekil 6.2 Dijital voltmetre blok şeması	70
Şekil 6.3 AC-DC dönüştürücü devresi	71
Şekil 6.4 Gerilim bölücü direnç	72
Şekil 6.5 Regüleli besleme devresi	73
Şekil 6.6 7107 ile oluşturulmuş dijital voltmetre devresi.....	74
Şekil 7.1 Mikro-Voltmetrelerin blok diyagramı.....	79
Şekil 7.2 Mikro-Voltmetre besleme devresi	80
Şekil 7.3 Mikro-Voltmetre tampon devresi	81
Şekil 7.4 Amplifikatör devresi	82
Şekil 7.5 Dijital voltmetre için, bakır-pertinaksa aktarılmış baskı-devre şeması	83
Şekil 7.6 Dijital voltmetre devresinin eleman yerleşim planı	83
Şekil 7.7 Tasarlanan cihazın giriş-çıkış eğrileri	84

TABLOLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Uluslararası kabul görmüş temel büyüklükler	3
Tablo 2.2 Bazı mekanik ve elektriksel büyüklükler	4
Tablo 2.3 Temel ve türemiş birimlerin alt ve üst katları	4
Tablo 2.4 Hataların sınıflandırılması	5
Tablo 3.1 Çeşitli foto dirençlerin bazı kritik değerleri	17
Tablo 3.2 Termokupl tipleri ve uç kutup bilgileri	27
Tablo 3.3 Bazı piezoelektrik malzemelerin “k” değerleri	35
Tablo 5.1 DAC 08 entegresinin analog çıkış değerleri	57
Tablo 6.1 Baskı-devre pertinakslarında “mm/V” değerleri	76
Tablo 7.1 Tasarlanan cihazın giriş-çıkış değerler	84

SİMGELER LİSTESİ

V_g	: Giriş gerilimi	(Volt)
V_o	: Çıkış gerilimi	(Volt)
V_x	: Ölçülecek gerilim	(Volt)
V_r	: Referans gerilim	(Volt)
V_c	: Kapasite gerilimi	(Volt)
V_{cc}	: Besleme gerilimi	(Volt)
I_c	: Kapasite akımı	(Amper)
I_r	: Referans akımı	(Amper)
I_i	: Giriş akımı	(Amper)
I_o	: Çıkış akımı	(Amper)
I	: Devre akımı	(Amper)
R_g	: Giriş direnci	(Ohm)
R_r	: Referans direnci	(Ohm)
R_a	: Ayar direnci	(Ohm)
R_s	: Şase direnci	(Ohm)
R_1	: Soğuk-direnç	(Ohm)
R_2	: Sıcak-direnç	(Ohm)
e	: Kaynak gerilimi	(Volt)
v_i	: İndükleme gerilimi	(Volt)
Δx	: Mutlak hata	
X_o	: Ölçmede ortalama değer	
x_o	: Ölçülen değer	
x_g	: Ölçmede gerçek değer	
x_m	: Maksimum değer	
$B.H$	: Bağıl Hata	
D	: Ölçmede sapma	
ϵ	: Dielektrik sabiti	(f/m)
S	: Ölçmede standart sapma	
C	: Kapasite değeri	(fara d)

L	: Malzeme boyu	(metre)
B	: Manyetik akı yoğunluğu	(W/m ² =T)
T	: Mutlak sıcaklık	(^o K)
α_o	: Sıcaklık katsayısı	
v	: Hız	(m/s)
f	: Frekans	(Hertz)
Tr	: Transistör	
Tr	: Fet transistör	
t	: Zaman	(saniye)
P	: Güç	(Watt)
Av	: Kazanç	



1. GİRİŞ

Endüstriyel elektrik ve elektronik uygulamalarında sıkça kullanılan sensor ve transdüser gibi devre elemanlarının giriş-çıkış değerlerini ölçebilmek için, çok küçük değerleri algılayabilen hassas, duyarlı ve doğru ölçüm yapabilen cihazlara ihtiyaç duyulmaktadır.

DC elektrik makinalarında fırça direnci, manyetik direnç ve sargı dirençleri gibi parametrelerin tespiti, yarı iletken malzemelerin sızıntı akımlarının ölçülmesi, çevre gürültüsü olarak isimlendirilen, manyetik alan, radyasyon ve diğer değişimlerin belirlenmesi, tıp elektronığında ve hat gerilim düşümü veya iletken direncinin bulunması gibi konularda mikro değerlikleri ölçebilen cihazlar kaçınılmaz olmuştur.

Sıradan cihazların küçük değerleri algılayamazlar ve iç-dirençlerinin küçük olması sonucu sistemi yükleyerek hatalı değer okunmasına sebep olur. Ölçmede kullanım zorluğu hatayı arttıracığından, mili ve mikro değerlerin ölçülmesinde kullanılamazlar. Eski kuşak elektronik teknolojisi ile tasarlanmış elektron lambalı eski tip mikro-cihazların fiziki boyutlarının büyüklüğü, ısınmadan dolayı ölçmede gecikme zamanı ve taşıma problemi kullanımlarını zorlaştırmıştır. Günümüz elektronik teknolojisinin gelişmesi, katı-hal elemanlarının da geliştirilmesini sağlamış, giriş dirençleri çok yüksek, fiziki boyutları küçük fakat performansları çok yüksek yarı-iletken malzemelerin üretilmesini sağlamıştır. "FET" ve "MOSFET" ve bunlardan oluşturulmuş komplike (entegre, Op-Amp gibi) devrelerle mikro-cihazların tasarlanmasına geçilmiştir.

2. ÖLÇME VE ÖLÇÜM CİHAZLARI

2.1. Ölçme

Ölçme; çeşitli fiziksel büyüklüklerin, bilinen standart büyüklüklerle karşılaştırılarak oranın, sayısal ifade edilmesi olayıdır. Ölçüm sonuç değerleri, sayısal veya dijital olarak kullanıcıya aktarılır. Ölçüm işlemi mekanik, elektriksel veya elektronik yöntem ve cihazlarla gerçekleştirilir. Ancak, ölçmede amaçların doğruluk, hassasiyet, saklanabilirlik ve iletim olduğu düşünülürse, elektronik cihazlar önem kazanır.

2.2. Standartlar

Doğruluk parametresi, ölçme veya ölçüm cihazları için önemlidir. Zaman aşımı, besleme değerleri ve çevre şartlarının doğruluğu etkilediği gerçeğinden hareketle, ölçme cihazının standart büyüklüklere göre periyodik aralıklarla kalibrasyonlarının yapılması gerekir. Bu işlem, uluslararası kabul görmüş (standartlaşmış) büyüklüklerle, karşılaştırma (kalibre) metodu yardımı ile yapılır.

2.2.1. Uluslararası standartlar

Uluslararası kabul edilmiş birim ve büyüklüklerdir (etalonlar). Paris'teki "Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçmeler Bürosu" nda muhafaza edilirler. Uluslararası bir heyet tarafından periyodik olarak kontrol edilen bu aletlerle yapılan karşılaştırma işlemine, uluslararası standartlar kalibrasyonu denir.

2.2.2. Birinci standartlar

İkinci standart kalibrasyonlarının yapıldığı standart büyüklüklerdir. Her ulusun kendi "milli standartlar laboratuvarı" nda bulundurulurlar.

2.2.3. İkinci standartlar

Bu standartlar, gelişmiş organize sanayi merkezlerinde veya bölgesel standartlar laboratuvarlarında bulundurulurlar. Periyodik aralıklarla milli standartlar laboratuvarlarına gönderilerek, kalibre edilirler. Kullanılan cihazların veya yeni üretilenlerin kalibrasyonu, bu standartlarla yapılır.

2.2.4. Çalışma standartları

Üniversite laboratuvarları veya işyerlerinin özel kalibrasyon standartları olup, yakın çevrenin ihtiyacını karşılamak veya imal edilen cihazların kontrol edilmesinde, karşılaştırma yapmak için kullanılan standartlardır.

2.3. Temel Ve Türetilmiş Uluslararası Büyüklükler

Yeryüzünde çok değişik fiziksel büyüklüklerin mevcudu, temel büyüklüklerin varlığı sayılmış ve uluslararası standartlarla ifade edilmiştir. Ancak temel sayılan bu büyüklüklerin, mevcut büyüklükleri ifade etmede sınırlı kalmaları, türetilmiş büyüklükler denilen ve temel büyüklüklerin çarpım veya bölümü ile elde edilmiş yeni büyüklüklerin türetilmesini gerekli kılmıştır. Türetilmiş büyüklüklerin de uluslararası standartlarla ifade edilmesi ile, mevcut büyüklüklerin standartları oluşturularak, kavram kargaşasına son verilmiştir.

Tablo 2.1 Uluslararası kabul görmüş temel büyüklükler.

Büyüklük	Gösterim	Açıklama	Simge
Uzunluk	L	metre	m
Kütle	m	kilogram	kg
Zaman	t	saniye	s
Sıcaklık	T	Kelvin derece	°K
Elektrik akımı	I	Amper	A
Işık şiddeti	B	Kandela	Cd
Madde miktarı	M	Mol	mol

Tablo 2.2 Bazı mekanik ve elektriksel büyüklükler.

Büyüklük	Birim Adı	Simge	Gösterim	Açıklama	Boyut Analizi
Enerji	joule	j	W	Watt. s	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
Man. Akı Yoğ.	tesla	T	B	Weber/ m^2	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$
Kuvvet	neuton	N	F	Joule / m^2	$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-3}$
Manyetik Akı	weber	Wb	ϕ	Joule / amper	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$
Güç	watt	W	P	joule / s	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$
Elektrik Yüğü	coulomb	C	Q	amper / s	A.S
Gerilim	volt	V	V	joule / coulomb	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$
Direnç	ohm	Ω	R	volt / amper	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-2}$
Kapasite	farad	F	C	coulomb / Volt	$\text{A}^2 \cdot \text{s}^4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$
Self	henry	H	L	volt. s / amper	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{A}^{-2}$
Frekans	hertz	Hz	f	1 / peryot	s^{-1}
Basınç	pascal	Pa	P	newton / m^2	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
İletkenlik	siemens	S	σ	1/ ohm	$\text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^2 \text{A}$
Man. Alan. Şid.	amp.sarım/m	A.S/m	H	amp.sar./ metre	$\text{A} \cdot \text{m}^{-1}$ oersted
Aydınlanma Akı.	lümen	lm	ϕ		Cd.sr
Aydınlanma	lüks	lx	E	Lümen / m^2	Cd.sr m^{-2}

Tablo 2.3 Temel ve türemiş birimlerin alt ve üst katları.

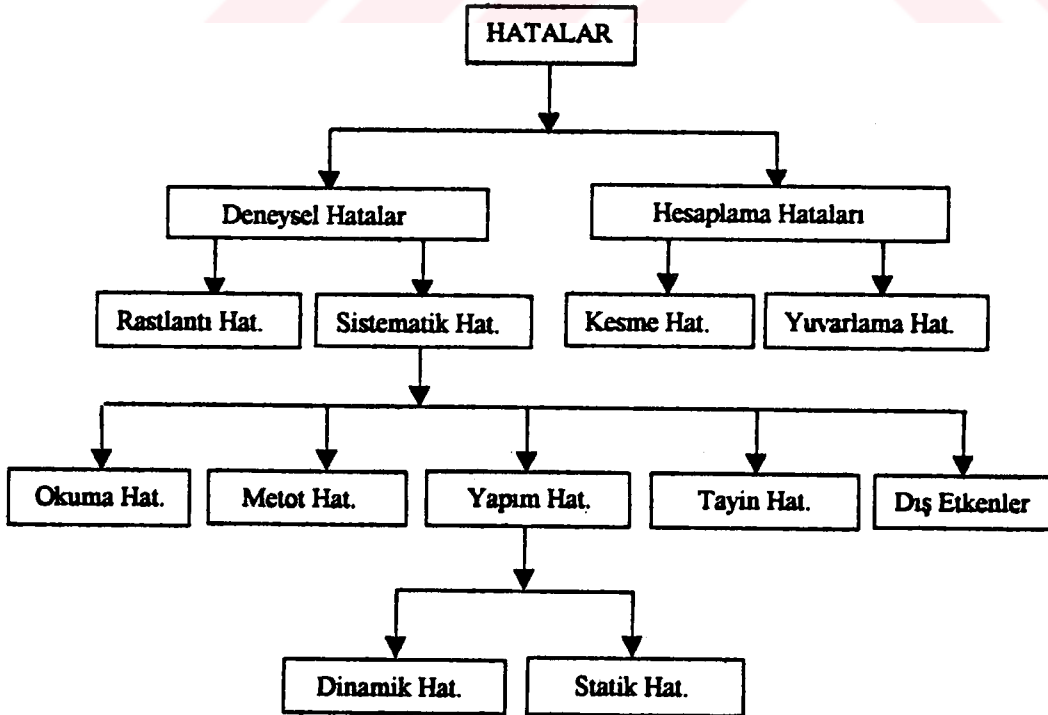
Birim takısı	Çarpan	Sembol
Exa	10^{18}	E
Peta	10^{15}	P
Tera	10^{12}	T
Giga	10^9	G
Mega	10^6	M
Kilo	10^3	K
mili	10^{-3}	m
mikro	10^{-6}	μ
nano	10^{-9}	n
piko	10^{-12}	p
femto	10^{-15}	f
atto	10^{-18}	a

2.4. Hatalar

Ölçüm cihazları ve ölçmelerdeki en önemli parametrenin sonuç değere güvenilirlik olduğunu kabul edilirken, hata gerçeği ile karşılaşılır. Ölçülen değer ile gerçek değer arasındaki fark değere, hata denir veya gerçek değer, daha doğru ölçme yapan cihazlar ile elde edilir. Cihazların hata sınıfı ile ölçülen değer doğruluğu arasında doğru bir ilişki bulunur.

Hatalar tablosunda (Tablo 2.4) verilen hatalardan, kullanıcı hataları, dikkatsizlik ve tecrübesizlikten kaynaklanan değişken hatalardır. Yöntem ve cihaz hataları, cihazın mekanik ve elektriksel karakteristiklerinden dolayı meydana gelen sabit hatalardır. Çevre şartlarından oluşan hatalar da yüksek sıcaklık, rutubet, elektrik ve manyetik alan gibi dış etkilere oluşurlar. Belirtilen hataların dışında kısa aralıklı zaman dilimlerinde yapılan tekrarlı ölçmelerde çevre şartlarının değişiminden dolayı ortaya çıkan farklılıklar da hata olarak değerlendirilir.

Tablo 2.4 Hataların sınıflandırılması.



Ölçülmek istenen gerçek değere “ x_g ”, ölçülen değere de, “ x_0 ” denilirse; fark değeri “ Δx ” Bağıntı (2.1) deki gibi ifade edilir.

$$\Delta x = x_g - x_0 \quad (2.1)$$

$$x_g = x_0 \pm \Delta x \quad (2.2)$$

Mutlak hata denilen fark değeri, + veya - çıkabilir. Bu özellikten dolayı, gerçek değeri, Bağı. (2.2) deki gibi yazılır. Mutlak hatayı yüzde ifade etmek için “bağıl hata” tanımı kullanılır ve Bağıntı (2.3)’ deki gibi ifade edilir.

$$BH = (\Delta x / x_0) \cdot 100 \quad (2.3)$$

2.5. Statik Karakteristikler

Ölçüm cihazlarının yapılışı veya zamanla deforme olmaları sonucu ortaya çıkan lineersizliklerdir. Cihaz izolasyonu, yayların esnekliklerini kaybetmeleri, elektronik parçaların özelliklerindeki bozulmalar veya metal malzemelerdeki manyetik özelliklerin doğuracağı lineersizlikleri (hataları) bu sınıfta toplayabiliriz.

2.5.1. Doğruluk

Doğruluk; ölçülen değeri ile gerçek değeri arasındaki fark değeridir. Fark değeri ifade etmek için, Bağı. (2.1) kullanılır. Ancak, cihazla ilgili hata ifadesi olarak bağıl hata, cihaz skalasının tam sapması için verilir ve cihazın bütün kademeleri için aynıdır. Bağıl hata, cihaz veya elemanın sınıfını ifade eder. Cihazın hata sınıfı (S) ile gösterilir ve Bağıntı (2.4) deki gibi ifade edilir.

$$S = (\Delta x / x_m) \cdot 100 \quad (2.4)$$

Herhangi bir ölçmede birden fazla cihaz veya eleman kullanılabilir. Ölçmedeki toplam hatayı hesaplarken, bütün cihaz ve elemanların etkilerini hesaba katmak gerekir. Bu işlem yapılırken, ölçülen büyüklüğün devre elemanları cinsinden analitik ifadesi yazılır.

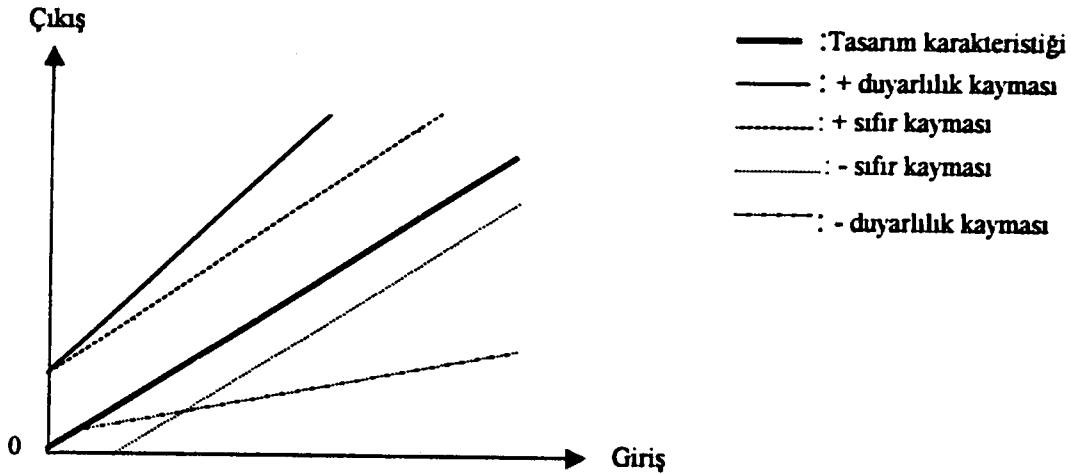
2.5.2. Hassasiyet

Hassasiyet; aletin küçük değerleri seçebilme özelliğidir. Bu özellik , mikro volt ölçen bir voltmetre mili volt ölçen bir voltmetreden daha hassastır, sonucunu doğurur.

2. 5.3. Duyarlılık

Duyarlılık; ölçü aletinin giriş ve çıkış değerleri arasındaki ilişkinin ifadelendirilmesidir. Çıkış değişikliğinin giriş değişikliğine oranı duyarlılık eğrisinin eğimini verir. Ölçüm aletinin duyarlılığı çeşitli dış ve iç etkilerle bozulabilir. Duyarlılık eğimi sabit iken, çıkışta oluşabilecek herhangi bir değişiklik, sıfır kaymayı oluşturur. Bu kayma pozitif veya negatif yönde olabilir. Eğer duyarlılık eğrisinin eğimi değişirse, duyarlılık kayması meydana gelir. Duyarlılıktaki kaymaya bağlı olarak çıkışta hata oluşur.

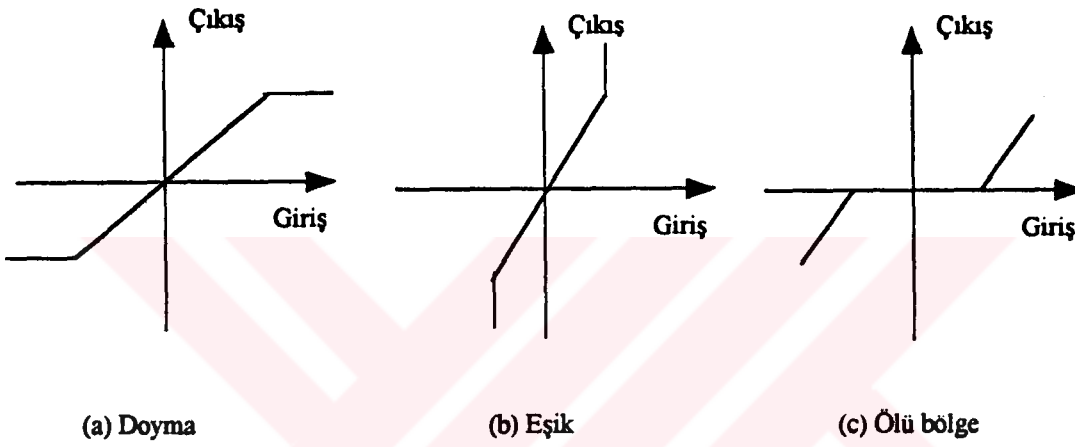
Ölçü aletlerinde küçük kademeler daha duyarlıdır. Voltmetrelerde duyarlılık “ohm/volt” şeklinde verilir. Bu oran yüksek olursa, paralel bağlandığı devreyi yükleme etkisi azalır. Voltmetrelerde duyarlılık ve kademenin çarpımı giriş direncini verir. Amperetreler devreye seri bağlandıkları için, iç-dirençlerinin mümkün olduğu kadar küçük olması gerekir.



Şekil 2.1 Duyarlılık eğrisi ve duyarlılıktaki çeşitli kaymalar.

2.5.4. Lineerlik ve lineersizlik

Bir sistem veya cihazın giriş ve çıkış büyüklükleri arasındaki bağıntı doğrusal olmalıdır. Çıkış değerlerinin değişiminin girişle doğrusal olmasına lineerlik, doğrusal olmaması durumuna da lineersizlik denir. Şekil 2.2 'de bazı temel karakteristiklerle lineerlik ve lineersizlikler belirtilmeye çalışılmıştır.



Şekil 2.2 Temel lineersizlik eğrileri.

Doyma; Şekil 2.2. a' da gösterilen doyma lineersizliği, giriş işaretinin büyük olması halinde bütün cihazlarda görülür. Giriş işaretinin belli bir değerine kadar karakteristik lineerdir. Kullanılan transdüser ve Op-Amp gibi elemanların üst çalışma değerlerinde doyma girmesi sistem veya cihazın lineersizliğini doğurur.

Eşik; Şekil 2.2. b' deki eşik tipi lineersizlik, giriş işaretinin belirli bir değerinden sonra çıkışın çok artması şeklinde tanımlanır. Yarı iletken diyotların kullanıldığı devreler, bu tip karakteristiğe sahiptirler.

Ölü bölge; Şekil 2.3. c' de ölü bölge lineersizliği verilmiştir. Bazı eleman veya cihazların çıkışındaki işaret, girişteki işaretin belirli bir değerine kadar başlayamaz. Ancak bu değerin üstünde lineer bir değişim elde edilir.

2. 6. Dinamik Lineersizlik

Bütün statik lineersizlikler, dinamik cevaplara etki ederler. Duyarlılık ve lineersizliklerin çoğu frekansa bağlıdır. Lineersizliği fazla olan cihazlar pek makbul cihazlar değildir. İstenmeyen lineersizliklerin kompanzasyonu her zaman mümkün değildir. Lineersizliğin kompanzasyonunda en çok kullanılan yöntem, lineer olmayan değişik tipteki elemanları uygun bir sıra ile bağlayarak ortalama lineer bir transfer fonksiyonu elde etme yöntemidir.

2.7. Ölçü Hatalarının İstatistiksel Analizi

Herhangi bir fiziksel büyüklük ölçülürken, çok değişik dış ve iç etkilerin mevcut olduğunu göz önünde bulundurulması gerekir. Örneğin; bir direncin değeri ölçülürken, değere etki eden çok değişik faktörler vardır. Bunların bir kısmı önemli, bir kısmı ise önemsiz olabilir. Bu etkenler; imalat tekniği, malzeme, iletkenin kesiti, boyu, ortam sıcaklığı, iletkendeki akım dağılımı ve uygulanan gerilim şeklinde özetlenebilir.

Ölçmenin doğruluğu, bu faktörlerin bilinmesine bağlıdır. Bu faktörlerden bir kısmının bilinmemesi veya sabit tutulamaması durumunda ard-arda yapılan aynı ölçmeler farklı sonuçlar verir. Etkenlerin değişimi belirsiz ve rasgele olduğundan, bunlardan kaynaklanan hataların analizi istatistik yöntemlerle yapılır. İstatistiksel analizde, ortalama değer, ortalama sapma ve standart sapma gibi büyüklükler tanımlanmıştır. Bu büyüklükler ile yukarıda bahsedilen hataların sayısal olarak değerlendirilmesi yapılır.

Ortalama değer; kısa aralıklı ölçmelerden alınan sonuçların matematiksel ortalamasıdır ve Bağıntı (2.5) veya (2.6) da ki gibi yazılır.

$$X_o = (x_1 + x_2 + \dots + x_n) / n \quad (2.5)$$

$$X_o = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2.6)$$

Sapma; ölçülen her bir değer ile ortalama değer arasındaki farktır. Bağntı (2.7).

$$D_1 = x_1 - X_0 \quad (2.7)$$

Sapmaların aritmetiksel (cebri) toplamaları sıfırdır.

Ortalama sapma; elde edilen sapmaların matematiksel ortalamasıdır. Bağın. (2.8).

$$D_0 = (D_1 + D_2 + \dots + D_n) / n \quad (2.8)$$

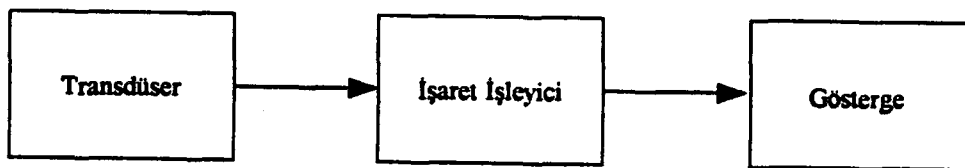
Standart sapma; ortalama değerinden daha hassas bir sonuç elde etmek için kullanılan bir istatistiği değerdir. Ortalama değer civarındaki değişimin miktarını gösterir. Bağntı (2.9).

$$S = \sqrt{(D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_n^2) / n} \quad (2.9)$$

Daha doğru bir sapma elde etmek için, “n<30” ise, paydadaki “n” yerine “n-1” kullanılır.

2.8. Ölçü Sisteminin Elemanları

Genel yapı olarak elektronik ölçü sisteminde, Şekil 2.3’ de gösterilen üç temel yapıya rastlanır. Bu temel yapıların dışında, özel amaçlar için, Şekil 2.4’ de verilen devredeki yardımcı blok devreler ilave edilir.

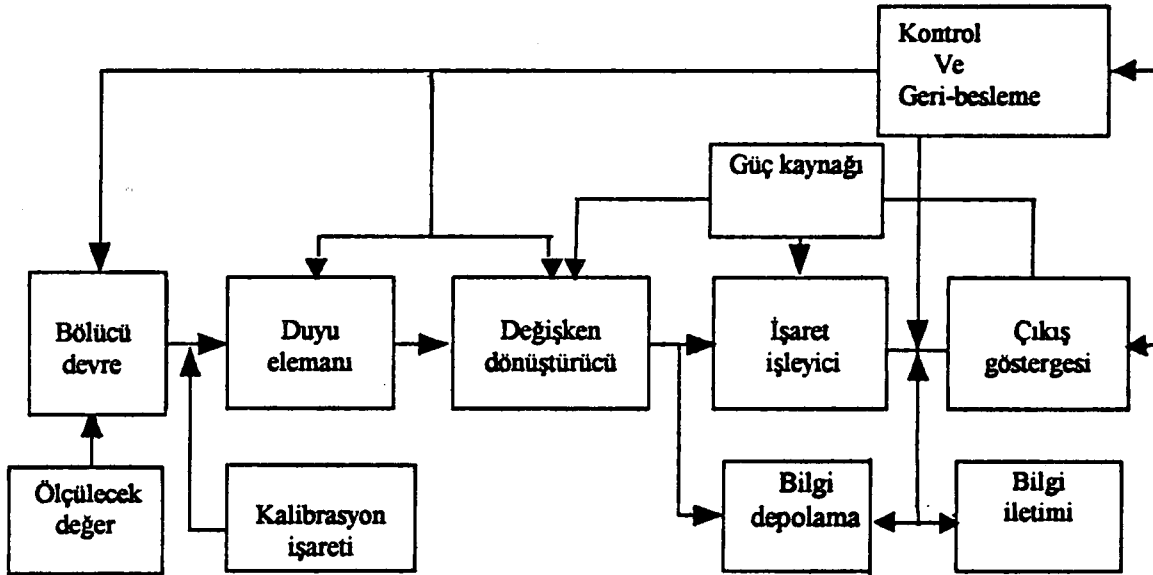


Şekil 2.3 Elektronik ölçü sisteminin temel blokları.

Transdüser; elektriksel olmayan (basınç, sıcaklık, yer değiştirme gibi) büyüklüklerin ölçülmesi, elektriksel sinyallere dönüştürmekle mümkündür. Dönüştürme işlemi, sisteme ve giriş değerine uyumlu bir transdüserle yapılır ve elde edilen küçük değerlikli sinyallerin okunabilmesi için, yükseltilmesi gerekir.

İşaret işleyiciler; amplifikatör, filtre veya empedans dengeleyicisi gibi elemanlardan oluşan bu devreler, giriş sinyalini göstergeye uygulanacak şekle dönüştürürler. Girişe uygulanan değer büyük ise, bir zayıflatıcıdan geçirilir. Analog sinyallerin dijital gösterge veya sayısal bilgisayarlara uygulanması mümkün olmayacağı için, analog-dijital dönüştürücüler (ADC) kullanılarak, sayısal şekle dönüştürülür. Çok hassas ölçü cihazlarında, gürültünün azaltılması için, bilgiyi frekans domenine dönüştüren işaret işleyiciler kullanılır.

Gösterge; işlenmiş olan işareti, kullanıcının anlayabileceği şekle dönüştüren kısımdır. Gelişmiş bir ölçü sisteminde, Şekil 2.4.'de verilen blok diyagramdaki ilave devreler bulunur. Aktif değerlerin ölçülmesinde, devre veya eleman enerjisinden faydalanılırken, pasif elemanlar üzerinde ölçme yapılabilmesi için, dışarıdan çeşitli enerjilere (elektrik akımı veya radyasyon gibi) ihtiyaç duyulur.



Şekil 2.4 Gelişmiş bir ölçü sisteminin blok diyagramı.

2. 9. Cihaz Tasarım Kriterleri

Cihazların tasarımına tesir eden faktörler çeşitli olmakla beraber, cihazlar arasında farklılıklar göstermektedir. Bu faktörler genel olarak aşağıda belirtildiği gibi üç gruba ayrılabilir.

2.9.1. İşaret faktörü

Duyarlılık, ölçülen büyüklüğün değeri, diferansiyel veya mutlak değerli giriş olup olmadığı, giriş empedansı ve frekans cevabı doğruluk, lineerlik, güvenilirlik gibi, parametrelerden oluşur.

2.9.2 Çevre faktörü

İşaret, gürültü, sıcaklık, rutubet, basınç, hız, titreşim, elektriksel emniyet ve radyasyon gibi, çevre şartlarına bağlı olarak, sistemin kararlılığı, elektriksel güç durumu, montaj durumu, cihazın dış şekli, boyutlar ve ağırlığı bu grupta sıralanabilir.

2.9.3 Ekonomik faktör

Maliyet, garanti durumu, tüketim durumu, mevcutlarla rekabet gibi faktörler ekonomik olarak tasarımı etkileyen faktörlerdir. Yukarıda belirtilen faktörlerden cihaz için önemli olanlar analizler sonucu tespit edilerek, imalatın gerçekleştirilmesinde, aşağıdaki işlem sırası takip edilir.

1. Cihazın tasarımı,
2. Deneme tipi imalatı ve testler,
3. Cihazın son tasarımı,
4. İmalat,
5. Kalibrasyon işlemi.

2.10. Cihazın Etiket Özellikleri

Tasarımcı veya imalatçı firmalar tarafından belirtilmesi gereken cihazla ilgili temel özellikler olup, çok genelleri aletin etiketine, diğer özellikleri de kullanım kılavuzuna işlenir. Bazı genel etiket değerleri, aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Giriş ve transdüser özellikleri,
2. İşaret işleme özellikleri,
3. Çıkış özellikleri,
4. Hatalar ve güvenilirlik,
5. Fiziksel ve diğer özellikler.

2.10.1. Giriş ve transdüser özellikleri

1. Ölçülen nesne,
2. Fark veya mutlak değer (giriş büyüklüğü, iki değer arasındaki farkı veya bir referansa göre mutlak değeri olabilir),
3. Giriş ortak mod elemesi (bu büyüklük, diferansiyel kazancının ortak mod kazanca olan oranı olup, frekansın fonksiyonu olarak belirtilmesi gerekir. Bu oran, diferansiyel girişli cihazlar için çok önemlidir),
4. Çalışma sınırları,
5. Aşırı yükleme sınırları,,
6. Aşırı yüklemeden normale dönüş zamanı,
7. Duyarlılığı,
8. Giriş empedansı,
9. Transdüser tipi ve çalışma prensibi,
10. Transient cevabı,
11. Frekans cevabı,
12. Modüleli transdüserin uyarımı (çalışma değerleri),
13. Elektriksel izolasyon,
14. Fiziksel boyutlar,

15. Taşınma ve kullanım şekli,
16. Koruma şekli, olarak sıralanabilir.

2.10.2. İşaret işleme özellikleri

İşlem Metodu; çalışma metot ve teorileri açıklanmalıdır. Elektronik devre veya dijital işlem analizi teferruatlı olacak açıklanmalı veya bir transfer fonksiyonu ile ifade edilmelidir.

Kompanzasyon; bazı transdüser karakteristiklerinin gerekli olan lineer olmama kompanzasyonu açıklanmalıdır.

Sıfır seviyesinin kararlılığı; DC amplifikatörlerde besleme kaynağının değişimlerine karşılık sıfır seviyesinin kararlılığı belirtilmelidir.

Filtre; işaret işleyicinin frekans cevabının sınırlarını ifade edilmelidir.

2.10.3. Çıkış özellikleri

1. Çıkışın analog veya dijital şekilde olduğu,
2. Çıkış değerleri,
3. Çıkış gücü,
4. Çıkış empedansı,
5. Yazma hızı,
6. Çıkış gecikmesi.

2.10.4. Hata ve güvenilirlik

1. Hata sınıfı,
2. Ölçme periyodu,
3. Lineersizliği,
4. Giriş işaretinin özellikleri,
5. Gürültü duyarlılığı,
6. Giriş işaretinin maksimum gürültü seviyesi,

7. ıkış işaretinin kararlılığı,
8. Aletin kullanım ömrü,
9. Sürekli çalışma zamanı,
10. Depolanma ömrü.

2.10.5. Fiziksel ve diğer özellikler

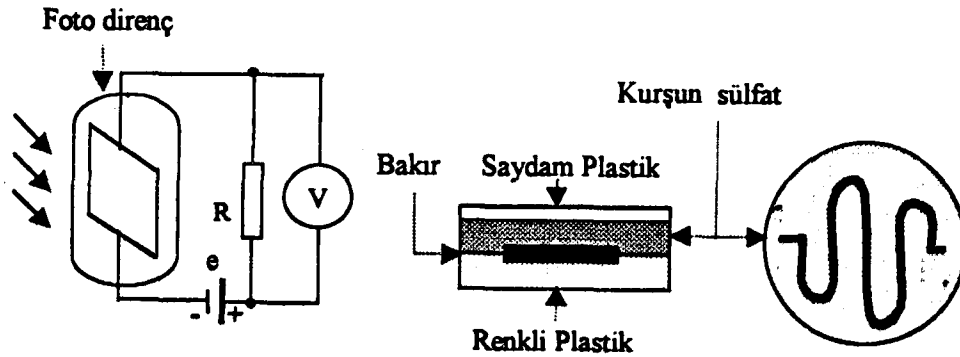
1. Güç tüketimi,
2. Mekanik ve elektriksel bilgiler,
3. Montaj şekli,
4. Boyutlar,
5. Üretim (yapım) malzemesi,
6. Aksesuarları ne olduğu ve nasıl kullanılacağı,
7. Tüketim malzemesi,
8. Garanti süresi,
9. Parça durumu ve bakım şekli belirtilmelidir.

3. SENSÖR VE TRANSDÜSERLER

Sensörler, bir değişikliği algılayan (hisseden), transdüserler ise değişimi bir enerji türüne çeviren elemanlardır. Bazı sensörler, aynı zamanda transdüser olarak da kullanılabilirler. Foto piller ışık enerjisini gerilime çevirirlerken, foto dirençler ışık enerjisine bağlı olarak değer değiştiren transdüserlerdir. Mikrofon veya hoparlör gibi elemanlar hem sensör, hem de transdüser olarak kullanılan devre elemanlarıdır .

3.1. Foto Dirençler

Işık şiddeti ile direnç değeri değişen elemanlardır. Yarı-iletken elemanların ışık şiddeti ile dirençlerinin değişimi prensibinden faydalanılmıştır. İki iletken arasına konulan yarı-iletkenlerden oluşan bu elemanların direnç değerleri, ışık şiddetine bağlı olmakla beraber, 100 ohm civarında aydınlık dirençleri, megaohmlar seviyesine varabilen karanlık dirençleri mevcuttur. Işık şiddetinin değişiminin eleman direncine etkisi, kullanım bölgesince lineerdir. Bu önemli özelliklerinden dolayı ışık, alev ve duman kontrol devrelerinde güvenle kullanılırlar.



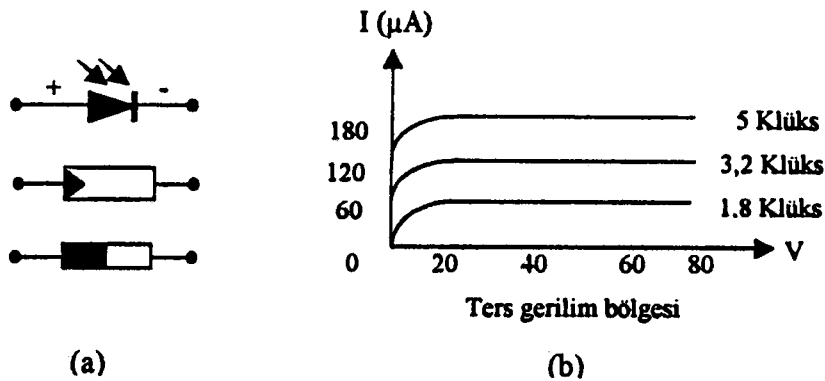
Şekil 3.1 Foto dirençli devre, foto direncin kesit ve üst görünüşü.

Tablo 3.1 Çeşitli foto dirençlerin bazı kritik değerleri.

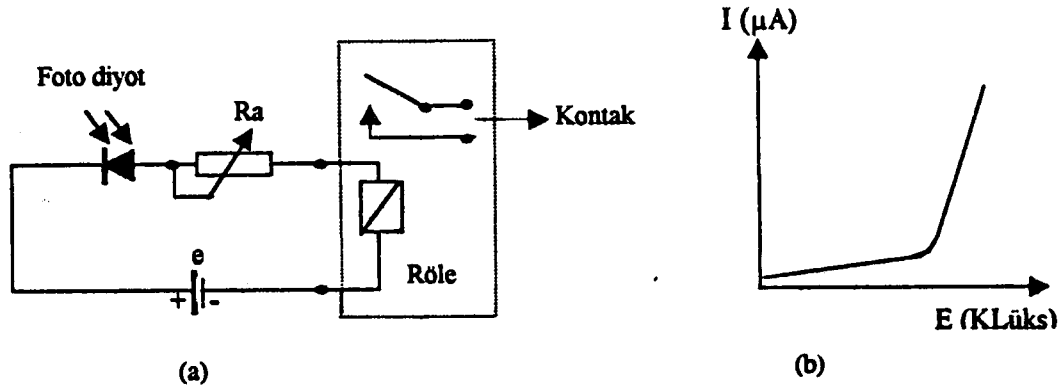
Malzemenin Adı	Max. Duyarlılık	Ortalama Duyarlılık
Selenyum	0,4 μV	1 mA/ lümen
Talyum sülfür	0,9 μV	10 mA/ lümen
Kadmiyum sülfür	0,52 μV	10 mA/ lümen
Kurşun sülfür	0,25 μV	3 mA/ lümen

3.2. Foto Diyotlar

P ve N yarı-iletken maddelerin birleşme yüzeyi (jonksiyon bölgesi) aydınlatılacak olursa, birleşme yüzeyi gerilim setti bölgesi küçülerek elemanın geçiş direnci azaltılmış (diyotun iletim hali) olur. Normal germanyum diyotun dış boyası silinecek olursa, foto diyot elde edilmiş olur. Foto diyotların uçları arasında yeterli ışıpta silisyum için yaklaşık olarak 0,6 Volt, germanyum için 0,4 Volt gibi bir gerilim değeri oluşur. Foto diyotlar, 5 Klüks' lük ışık şiddeti altında, 150 μA akım verebilirler. Şekil 3.2 (b)' de verilen karakteristik eğrilerinden anlaşılacağı üzere diyotun ters gerilimi sabit ışık şiddeti altında arttırıldıkça, akım değeri değişmemektedir.

**Şekil 3.2** (a) Foto diyotun sembolleri, (b) yapısı ve karakteristik eğrileri.

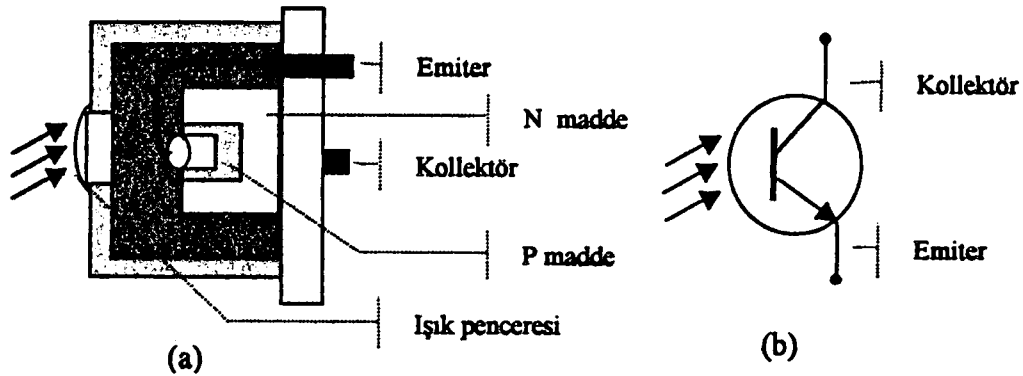
Şekil 3.3 (a)' da ki devre uygulamasında, röle akımının foto diyot elemanı ile kontrolü verilmiştir. Devrede kullanılan foto diyotun ışıqla ilişkili direncinin değişimi rölenin akımını kontrol edecektir. Akımı kontrol edilen röle, kontakları yardımı ile büyük değerdeki dış devre akımına kumanda edecektir.



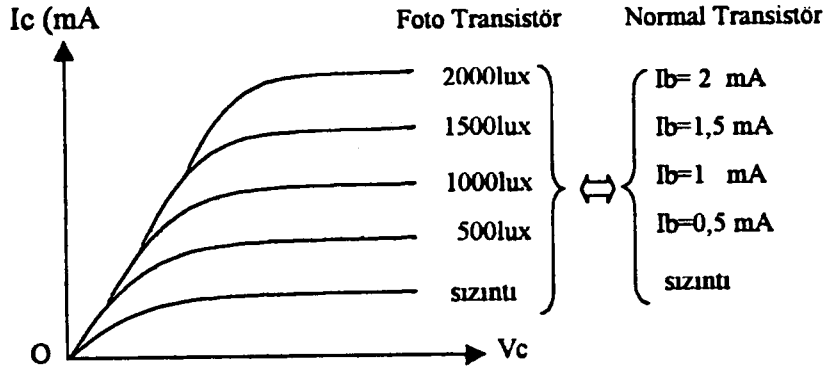
Şekil 3.3 (a) Foto diyotun devre uygulaması, (b) akım-ışık karakteristiği.

3.3. Foto Transistörler

Işık şiddeti ile sürülen duyarlı yarı-iletken elemanlardır. Beyz ucu olmayan transistörlerdir. Emiter-kolektör akım kontrolü ışığa bağlıdır. Beyz bölgesi çok ince ve ışığın odaklanabilmesi için ışık penceresi şeklinde hazırlanmıştır.



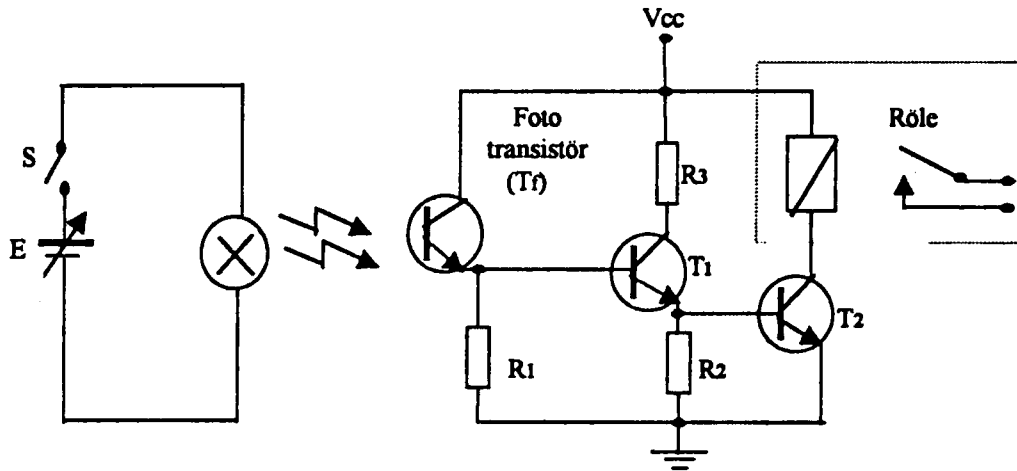
Şekil 3.4 (a) Foto transistörün iç yapısı, (b) sembolü.



Şekil 3.5 Foto-transistörlerin çıkış karakteristiği ve normal transistörle karşılaştırması.

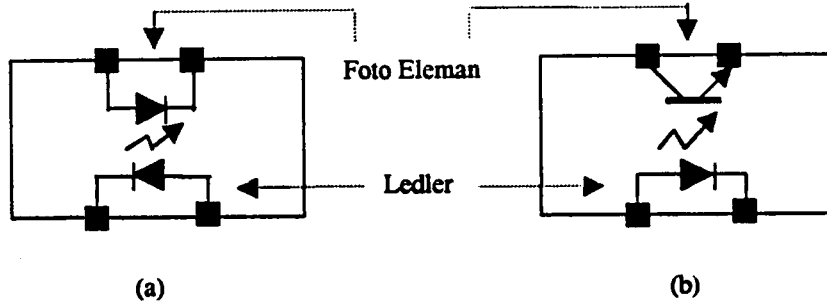
Foto transistörler, diğer foto elemanlara göre daha duyarlı elemanlardır. Bu elemanlar devre uygulamalarında foto direnç, anahtarlama, iki devreyi akım, gerilim ve frekanstan izole etmek amacı ile (opto kuplör olarak) sık kullanılırlar. Şekil 3.6' de, ışık şiddeti ile röle akımının kontrol edildiği, foto-kuplajlı bir devre tasarımı verilmiştir. Devre iki bağımsız bloktan oluşturulmuş olup, kuplaj işlemi foto transistörle sağlanmıştır.

Foto transistörler ısıya, neme ve aşırı ışığa duyarlı elemanlar olup, uygulamalarda katalog değerleri referans alınmalıdır.



Şekil 3.6 Foto transistörlü kuplaj devresi.

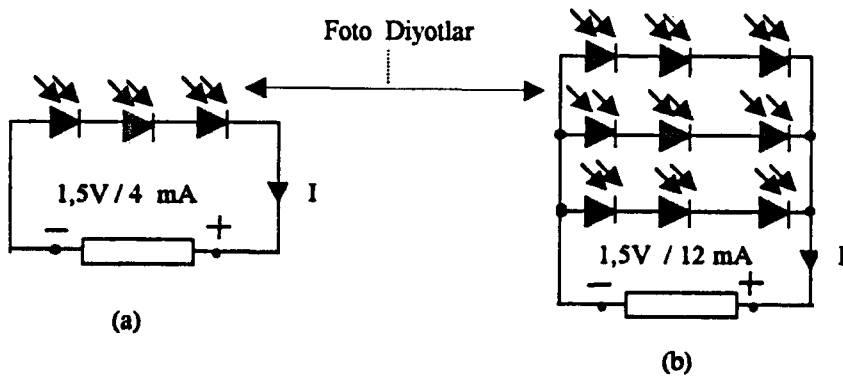
Açıklanan foto transistörlerin dışında, güç elektroniği elemanları olarak tanınan tristör, tiryak ve benzeri elemanların da, gelişen teknolojiye paralel olarak ışık duyarlıklı yapıda üretimleri yapılmaktadır. Şekil 3.7' de foto elemanlarla kuplaj işleminin gerçekleştirilmesi verilmiştir.



Şekil 3.7 (a) Foto diyot, (b) foto transistörlü opto kuplörler.

3.4. Foto Piller

Işık enerjisini elektrik enerjisine çeviren aktif elemanlardır. Yarı-iletken elemanların üzerlerine düşen ışık şiddeti sonucu elemanın iki ucu arasında potansiyel farkı meydana gelir. Fotosel veya foto pil olarak isimlendirilen bu elemanların birçoğunun seri veya paralel bağlanmaları ile foto pil bataryaları oluşturulur. Her bir hücreden, ışık altında yaklaşık olarak 510mV gerilim almak mümkündür.



Şekil 3.8 Foto diyotlardan oluşturulmuş bataryalar.

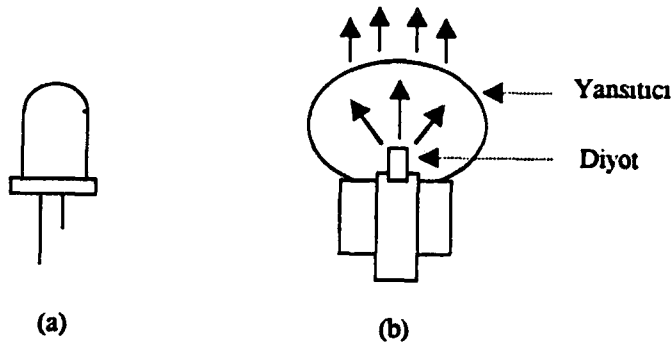
3.5. Led'ler

Led'ler (light-emmitting-diode) elektrik enerjisini ışık enerjisine çeviren bir çeşit diyottur. Bir diyot gibi ters polarmalı durumda akım akıtmazlar. Ancak normal polarmalandırmada dış çevreye ışık yayarlar.

Çeşitleri;

1. Galyum fosfit; 2,26 elektron volt enerji ile yeşil ışık verir,
2. Galyum arsenit; 1,4 elektron volt enerji ile kızıl ötesi ışık verir,
3. Oksijen ve çinko karışımı galyum fosfit; kırmızı ışık verir.

Yapı olarak, P ve N maddenin birleşmesi ile oluşmuştur. Elektron yönünden zengin olan N maddesinin yüzeyine sürülen ince P maddesindekideşiklerle (oyuklarla) elektronların birleşmesi sırasında ışık yayılır. Doğru yönde polarmalandırılan elemanın P-N birleşme yüzeyinin yan taraflarından ışık, dış ortama alınır. Işığın dalga boyu, uygulanan gerilime ve kullanılan malzemenin cinsine göre değişen ışık, yansıtıcılar ve toplayıcılar yardımı ile görünür duruma getirilir.



Şekil 3.9 (a) Led'in görünüşü, (b) prensip yapısı.

3.6. Termik Sensörler Ve Transdüserler

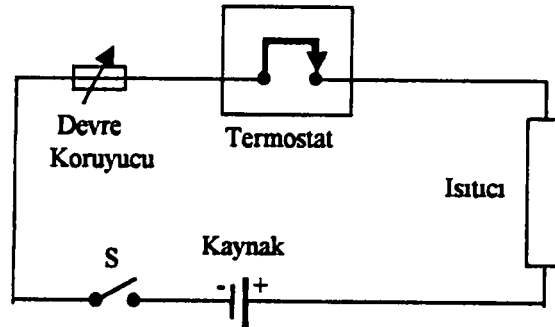
Isı enerjisini, farklı enerjilere çeviren elemanlardır. Çeşitli amaçlar için imal edilmiş farklı yapılarda termik transdüserlere rastlamak mümkündür. Fiziki büyüklüklerine göre direk anahtarlama elemanı olarak, akım kontrol devrelerinde kullanılabilinmeleri, kullanım alanlarını artırmıştır. Kullanıldıkları yer ve güce göre çok çeşitli tiplerde ve özelliklerde üretilirler.

3.5.1. Termostatlar

Isı değişimlerinden etkilenecek kontaklarının konumunu değiştiren ısı kontrol elemanlardır. Çalışma prensibi olarak, bimetallic tip ve gazlı tip olarak iki grupta incelenirler.

a) Bimetal tipli termostatlar

İki farklı metalin üst-üste birleşmesi ile elde edilirler. Birleştirilen metallerin uzama katsayıları farklı seçilerek ısı değişimlerinde bir bükülme veya eğilme elde edilerek bir kontağa açma veya kapama hareketi yaptırılır. Genellikle ısı kontrolü gerektiren develerde direk olarak veya bir ek devre yardımı ile endirek olarak akım kontrolü gerçekleştirilir. Bu elemanlarda ısı ayarı çok basit mekanik sıkıştırma düzenekleri ile gerçekleştirilir.

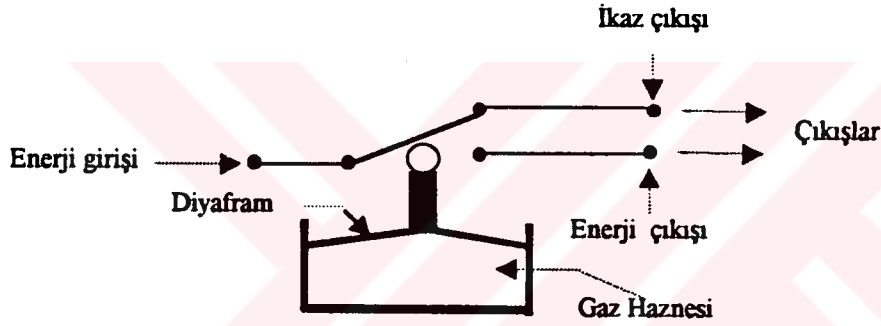


Şekil 3.10 Direk termostat kontrollü ısıtıcı devresi.

Şekil 3.10’ da ki devrede, ortam ısısı termostatin ısı ayarlama düzeneği ile sınırlandırılan ısı değerine gelince, ısınan termostat şekil değiştirmeye çalışacak ve eğilme sonucu devre açılarak akım kesilecektir. Bu tip termostatlarda kontak açma hareketinin ani olmamasının sonucu kontaklar arasında ark oluşacağından, açmayı hızlandırıcı yaylar kullanılır. Elemanın ısıyı iyi hissedebilmesi için ısıtıcının üzerine monte edilmesi önemlidir.

b) Gazlı Tip

Isınan gazların genleşmesi prensibinden hareket ederek yapılmış bir ısı kontrol elemanıdır.



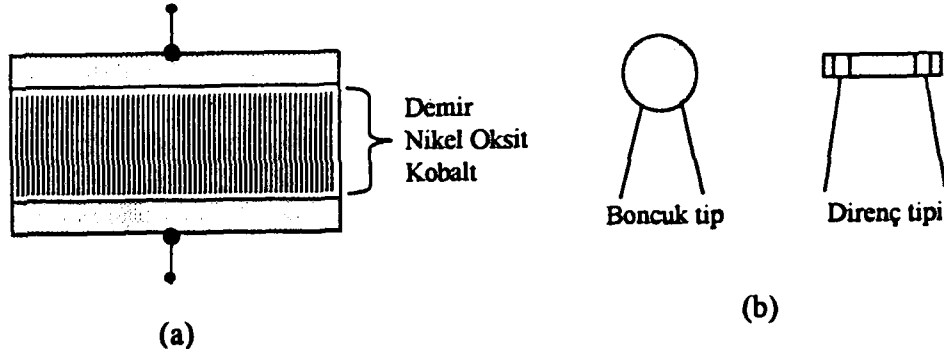
Şekil 3.11 Gazlı tip termostat ve kontakların durumu.

Şekil 3.11’ deki gazlı termostatın, gaz haznesindeki gazın ısı artışı ile genleşmesinin köprüye yapacağı basınç, kontaklara durum değiştirtmesini sağlayacak, böylece kapalı kontak açılarak, devre akımının kontrolü ve beraberinde ısı kontrolü sağlanacaktır. İkaz çıkışı bir pilot lambaya aktarılarak durum için bilgi verilmeye çalışılır.

3.6. Termistörler

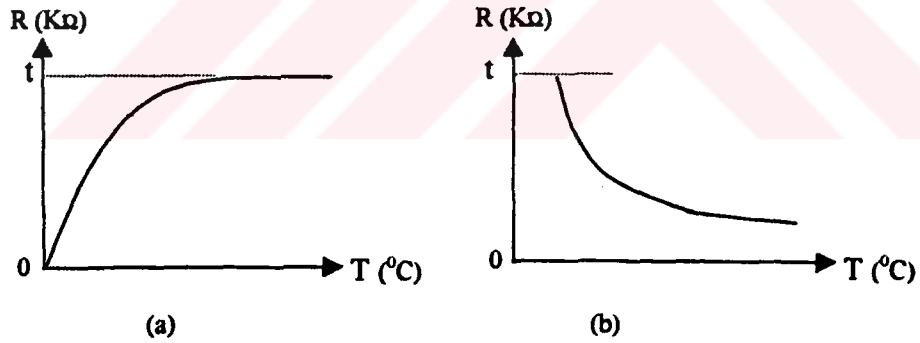
Isıya bağlı olarak direnç değerleri normal dirençlere oranla aşırı olarak değişen elemanlardır. Isı artışıyla direnci artan “pozitif katsayılı” termistörler

(PTC) ve ısı artışı ile direnci azalan “negatif katsayılı” termistörler (NTC) olarak iki tipte üretilirler.



Şekil 3.12 Termistör'lerin, (a) yapısı, (b) değişik tiplerde görünüşleri.

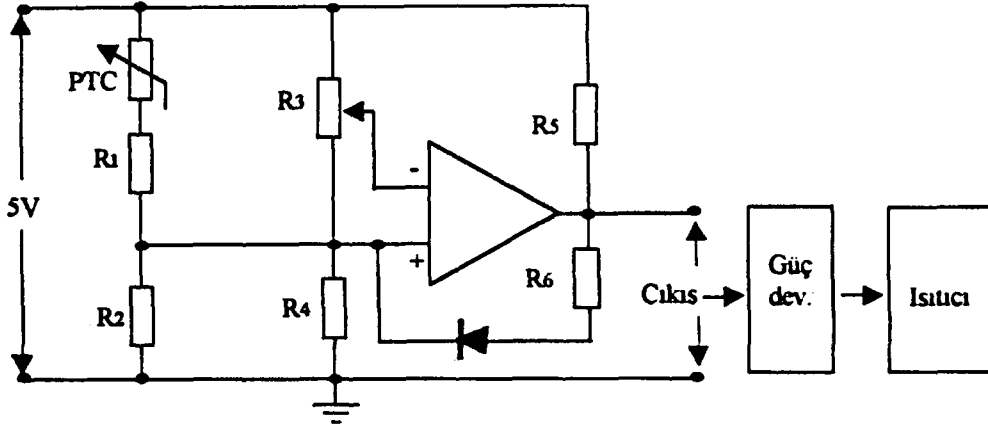
Termistörler, nikel oksit, demir ve kobalt gibi sert metallere yapılırlar. Isı dayanımları 1400 °C ye kadar çıkabilmektedir.



Şekil 3.13 (a) PTC'nin, (b) NTC'nin ısı-direnç karakteristikleri.

Bir PTC'nin ısı (t) değerinin hesabı; Bağntı (3.1)' deki gibidir.

$$t = P.R. \left[1 - e^{-\frac{1}{C.R}} \right] \text{ (} ^\circ\text{C)} \quad (3.1)$$

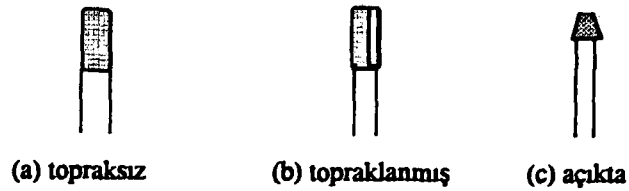


Şekil 3.14 PTC ve Op-Amp' lı ısı kontrol devresi .

Ortam ısından faydalanılarak çıkışı lojik "0 veya 1" olarak çalışan, Şekil 3.14' de bir ısıtıcı kontrol devresi verilmiştir. Isı değeri potansiyometre ile ayarlanan değerde sabit tutulur.

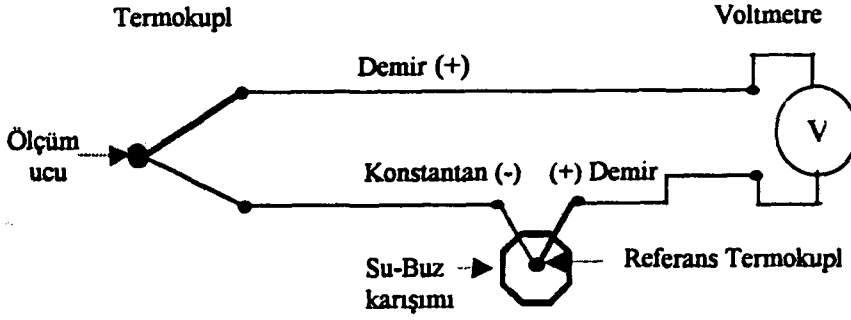
3.7. Termokuplar

Isı değişimlerini elektriksel değerlere çeviren devre elemanlarıdır. İki farklı metalin birer uçları birleştirilerek, birleşim noktası ısıtılacak olursa, boş uçlarda farklı potansiyeller oluşur. Oluşan potansiyel farkı metallerin cinsine ve ısı değerine bağlı olarak değişkendir. Birleşim şekilleri ve bağlantı tipleri Şekil 3.15' de verilmiştir



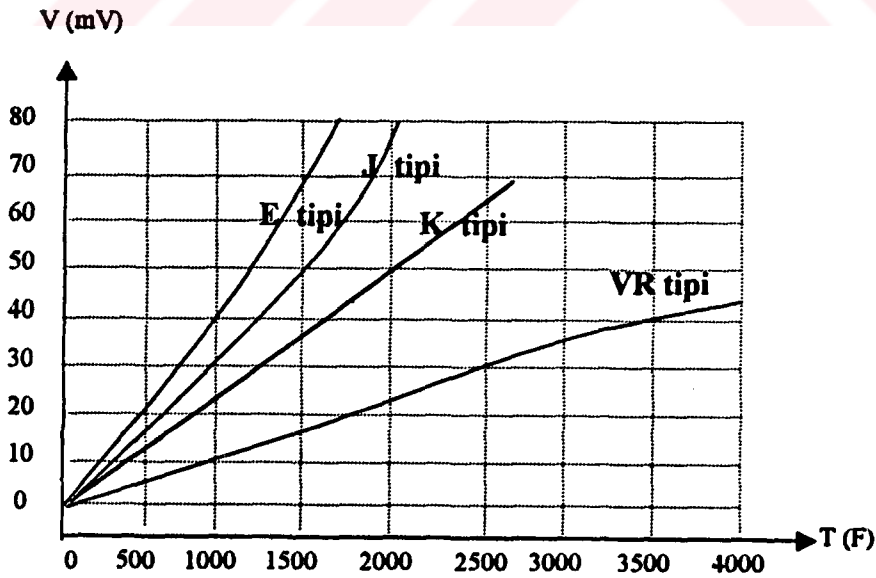
Şekil 3.15 Çeşitli termokupl sembolleri ve birleşimleri.

Termokupul elemanların uç potansiyellerinin sıcaklıkla lineer olmamasının yanında, bir diğer istenmeyen durum da, bir ucun referans olarak buz-su kabında tutulmasıdır. Aksi bir uygulamada hata yapılması kaçınılmazdır.



Şekil 3.16 Referans termokupl' lu ölçüm veya uygulama devresi.

Termokupl' ların uç değerlerinin okunması için, genellikle Şekil 3.16' deki devre denir. Referans termokupul , esas uç gerilimi ölçülecek termokup' la ters-seri bağlanır. Böylece okunacak gerilim değerinin referans gerilimle farkı alınarak, uç değerindeki hata giderilmeye çalışılır. Buz-su kabı kullanma metodunun dışında termistörlerden faydalanılarak hata değerini yoketme metotları da kullanılmaktadır.



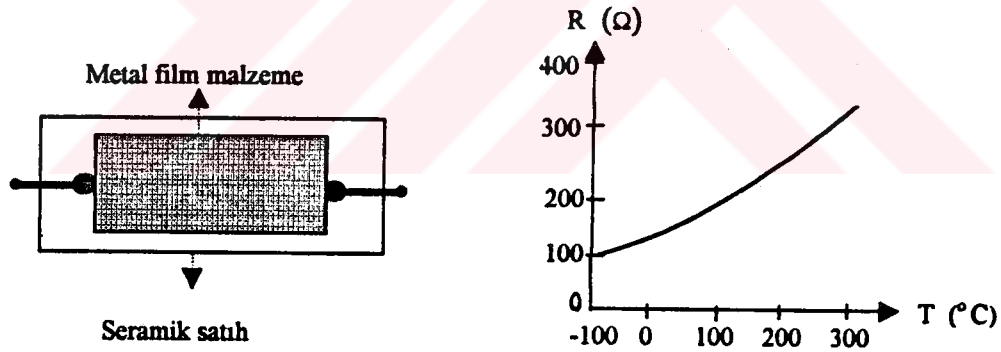
Şekil 3.17 Çeşitli tipte termokupların sıcaklık-gerilim değerleri.

Tablo 3.2 Termokupl tipleri ve uç kutup bilgileri.

Tipi	+ Uç	- Uç
J	Demir	Nikel-Alüminyum
K	Nikel-Krom	Nikel-Alüminyum
E	Krom	Konstantan
VR	Tungsten %5Renyum	Tungsten %26Renyum

3.8. Rezistif Isı Sensörleri (RTD)

Metallerin dirençleri ısı ile pozitif katsayılı olarak artar. Bu prensipten yararlanılarak oluşturulmuş devre elemanlarıdır. Platin, bakır, nikel gibi metallerin, ince film şeklinde seramik gibi ısıya dayanımlı satırlara yapıştırılarak elde edilirler.



Şekil 3.18 RTD' nin yapısı ve direnç-sıcaklık karakteristiği.

Bu elemanlar, 100 ohm değerinin altında üretilmezler. Isı-direnç eğrilerinin lineere çok yakın olması, bu elemanlara önemli bir üstünlük sağlar. Sıcak-direnç değerleri; Bağntı (3.2) ile bulunur.

$$R_2 = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

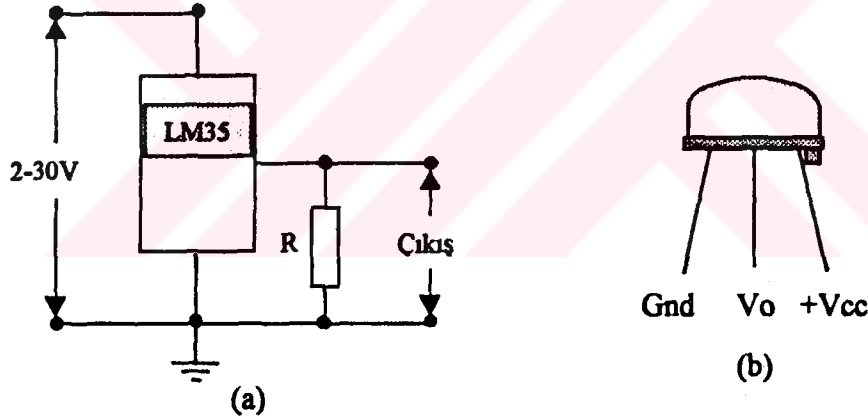
(3.2)

3.9 Yarı-iletken Isı Sensörleri

Germanyum ve silikon içerisine ilave edilen kristallerden meydana gelen oluşum, ısı sensörü olarak kullanılır. Geniş sınırlar içerisinde kullanılan bu elemanlar iki ayrı grupta incelenirler.

1. Isıya bağımlı olarak gerilim üreten tip,
2. Isıya bağımlı olarak akım üreten tip.

LM35 veya LM335 gibi elemanlar ısıya bağımlı olarak, 1°C lik artışta 10 mV luk gerilim üretir. Bu elemanlar, -55 ve 155°C ler arasında, ısı sensörü olarak kullanılır. Çıkış değerlerinin düşük olması, algılanma zorluğu doğuracağından, yükseltici amplifikatörlerle yükseltilerek uygulama devrelerinde kullanılırlar.



Şekil 3.19 Yarı-iletken gerilim sensörünün, (a) devre bağlantısı, (b) bağlantı ayakları

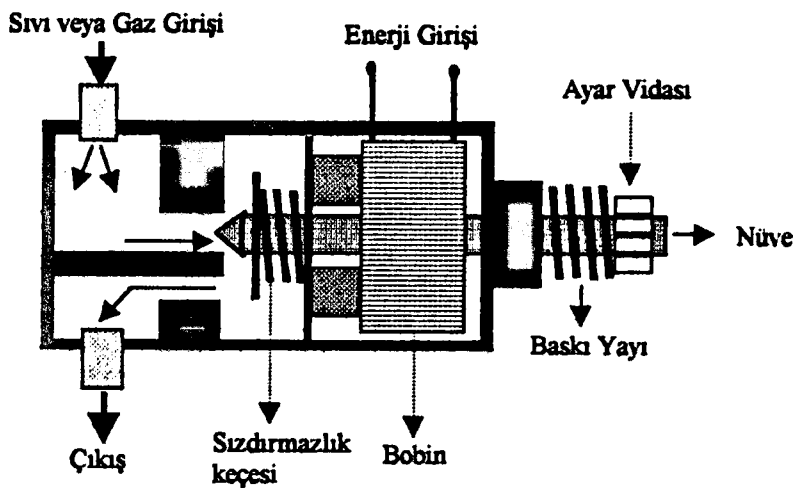
Isıya bağımlı akım üreten sensörler (AD590), her $^{\circ}\text{K}$ lik ısı artışına karşılık, $1\mu\text{A}$ lik akım artışı sağlarlar. Genellikle sensör ve esas devre arasında mesafe uzaksa, gerilim düşümüne sebep olmadıkları için akım sensörleri tercih edilirler. Ancak sensör çıkışı akım değeri, kullanılacağı yerde yeniden gerilime dönüştürerek kullanılır. Bu elemanlar, çok hassas elemanlar olduklarından, enstrümantasyon amplifikatörlerinde tercih edilirler.

3.10. Mekanik Sensör ve Transdüserler

Tabiattaki çeşitli değişken olayları, ses yoğunluk, akış, basınç, manyetik alan gibi diğer enerji türlerine çeviren veya kontrol sistemlerinin çalışabilmesi için, gerekli olan referans sinyalleri oluşturan devre elemanlarıdır. Algılayıp dönüştürdükleri büyüklüklere, kullandıkları alanlara ve özel yapılarına göre oldukça çeşitlilik gösteren bu devre elemanlarını, hidro-mekanik ve elektro-mekanik alanlarda sıkça kullanılmaktadır.

3.10.1 Solenoid valfler (Ventil)

Solenoid valflar elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren elemanlar diye tanımlanır. Endüstride sıvı veya gaz akışı kontrolü için tercih edilirler. Bobinden geçirilen akım sayesinde manyetik alan oluşturan elektro-mıknatıs bobin, yumuşak-demir çekirdeği hareket ettirerek, çalışma şekline göre girişin kapanmasını veya açılmasını sağlar. Elemanların en önemli problemleri, sızdırmazlıktır. Önlemek amacı ile sızdırmazlık keçesi kullanılır.



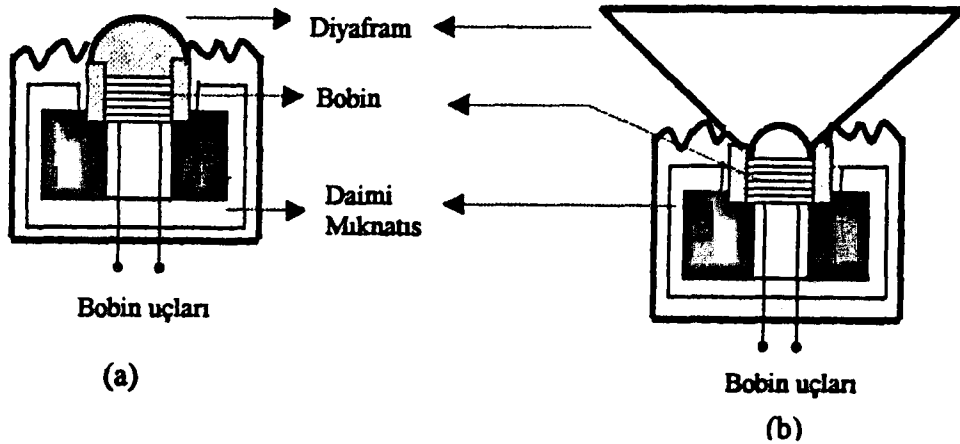
Şekil 3.20 Solenoid valfin prensip şeması.

3.10.2 Mikrofonlar ve hoparlörler

Mikrofonlar ses veya gürültü şiddetini elektrik sinyallerine, hoparlörler ise, tam tersine elektrik sinyallerini ses sinyallerine dönüştürürler. Mikrofon ve hoparlörleri yapı ve çalışma şekli olarak birbirlerine çok benzerler. Çeşitleri, aşağıdaki gibi sıralanırlar.

- 1- Kapasitif,
- 2- Elektromanyetik,
- 3- Dinamik,
- 4- Kristal,
- 5- İyonlu hoparlörler.

Şekil 3.21' de iç yapıları verilen dinamik mikrofon ve hoparlörler, sık kullanım alanı bulan elemanlardır. Bobin uçlarına uygulanan elektrik sinyallerinin oluşturacağı manyetik alan ile daimi mıknatıs alanının etkileşimi sonucu bobin ileri-geri hareket eder. Bobinin hareketi diyaframa yansıtıldığı için dış çevreye, uygulanan elektrik sinyalinin frekansında ses dalgaları yayılır. Bu metotla elde edilen enerji dönüşümü, hoparlörlerin çalışma prensibidir.



Şekil 3.21 (a) Dinamik Mikrofon, (b) hoparlörün iç yapısı.

Ses sinyallerinin çarptırıldığı diyaframın titreşimi, bobini hareket ettirerek, daimi mıknatısın kuvvet çizgilerinin kesilmesine ve bobin üzerinde ses sinyallerinin frekansında gerilim indüklenmesine sebep olacaktır. Bu metotla elde edilen enerji dönüşümü de, mikrofonların çalışma prensibi olarak değerlendirilir.

3.11. Yer Değişim Transdüserleri

Yer değişimine karşı hassas olan transdüserler endüstride lineer hareketlerin ölçülmesinde sık kullanılırlar. Bu amaçla çalışan transdüserler beş ana grupta toplanır.

- 1- Kapasitif,
- 2- Endüktif,
- 3- Piezoelektrik,
- 4- Manyetik alan etkili,
- 5- Etki lerler (Strain Gauge).

3.11.1. Kapasitif transdüserler

İki plaka arasındaki mesafenin değişimi kapasitenin değişimi prensibinden faydalanılarak oluşturulmuşlardır. Kapasite değeri aşağıdaki formülle bulunur.

$$C = (\epsilon_r \cdot S \cdot \epsilon_0) / L \quad (3.3)$$

Formüldeki;

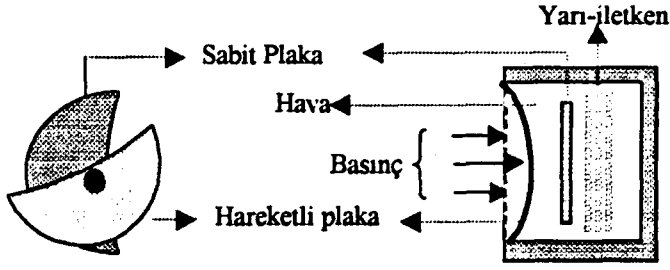
L : İki plaka arası mesafe (metre),

ϵ_0 : $8,85 \cdot 10^{-12}$ f/m (boşluğun dielektrik geçirgenliği),

ϵ_r : Dielektrik katsayısı,

A : Levha alanı (metre),

C : Kapasite değeri (farad).



Şekil 3.22 Kapasitif transdüserler.

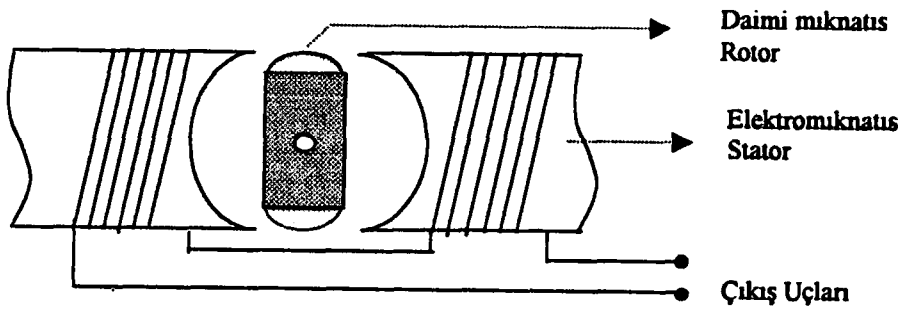
Hareketli plakanın değişimini, kapasitede lineer olmayan bir değişim oluşturur .

3.11.2 Endüktif transdüserler

Manyetik alan etkisinde bırakılan bobinlerde gerilim indüklemeye prensibinden faydalanarak, oluşturulmuş devre elemanlarıdır. Endüktif transdüserler, aşağıdaki gibi iki ana grupta toplanabilir.

- 1- Aktif transdüser,
- 2- Pasif transdüserler.

Takometreler aktif transdüserlere ilginç bir örnektir (Şekil 3.23). Dönen bir mile akuple edilmiş takometrede indüklenen gerilim, devir sayısına göre kalibre edilmiş bir ölçü aletine iletilirse, dönen milin dakikadaki devir sayısı okunur.



Şekil 3.23 Takometrenin prensip şeması.

Dönen bir mile akuple edilmiş takometrede indüklenen gerilim, devir sayısına göre kalibre edilmiş bir ölçü aletine iletilirse, milin dakikadaki devir sayısı okunur. Döndürülen daimi mıknatıs rotor, elektromıknatıs stator üzerinde gerilim indükler. İndüklenen gerilim değeri Bağıntı (3.4) ile hesaplanır.

$$V_i = B \cdot L \cdot v \quad (3.4)$$

V_i : İndüklenen gerilim, (volt)

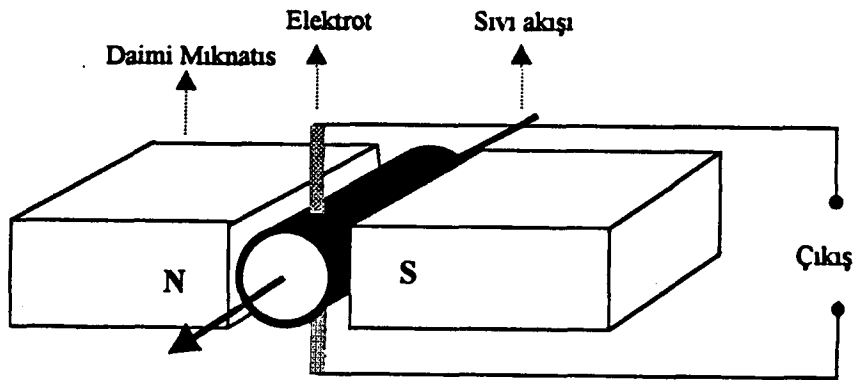
B: Manyetik alan şiddeti (tesla)

L: İletken uzunluğu (metre)

v: Hareket hızı (metre/saniye)

Sıvıların akış hızlarını ölçebilmek için, Şekil 3.24' deki manyetik transdüserlerden faydalanılır. Bu metotla atmosfere açılmayan kapalı devrelerdeki akış hızının ölçümü hedeflenir. Ancak sıvının elektriksel yönden iletken olması gereklidir. Boru içerisinde akan sıvının hızına ve elektrotların arasındaki mesafeye bağlı olarak indüklenen elektrotlar arası gerilim dış devreye alınır. Bobin uçlarında indüklenen gerilim, Bağıntı (3.4) ile bulunur.

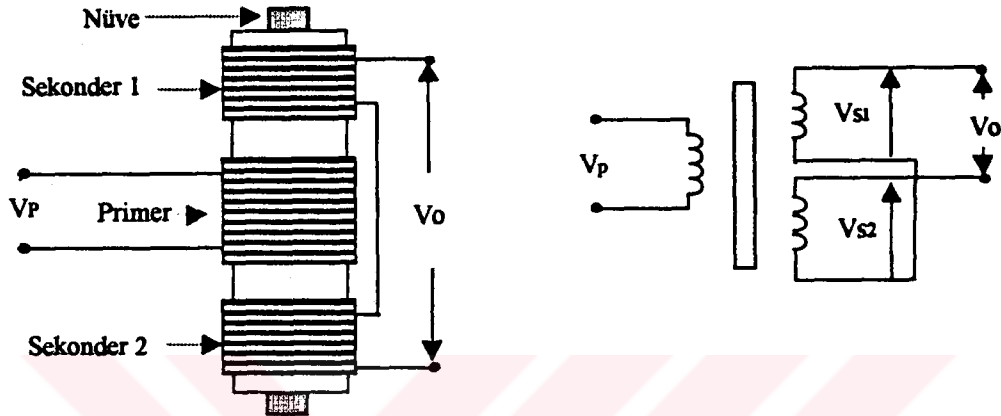
Bağantıdaki, "L" sıvının geçtiği borunun iç çapı (m) , "v" ise, sıvının akış hızı (m/s) dir.



Şekil 3.24 İndüktif akış metrenin prensip şeması.

3.11.3. Değişken endüktanslı transdüserler (LVDT)

Pasif Transdüserler sınıfına giren endüktif transdüserlerde, mutlaka bir dış kaynağa ihtiyaç duyulur. Bu elemanlar, lineer değişimli diferansiyel transformatörlerdir.



Şekil 3.25 LVDT'nin prensip şeması ve elektriksel eşdeğeri.

Şekil 3.24' deki prensip devrede, primere uygulanan değişken gerilim, sekonderlerde indükleme gerilimleri doğurur. Demir çekirdek, bobinler arasındaki manyetik kuplaj görevini yapar. Oluşan sekonder gerilimleri birbirlerine zıt oldukları için, çekirdek ortada ise; Vo gerilimi, Bağntı (3.5) deki gibi sıfır olur.

$$V_o = V_{s1} - V_{s2} = 0 \quad (3.5)$$

Çekirdeğin yer değiştirmesi durumunda, sekonder bobinlerindeki gerilimlerin değişmesi sonucu Vo gerilimi, sıfırdan farklı bir değer alır. Alınan değer değişimle lineer olup yönü çekirdeğin kaydırıldığı bobinin kutupları yönündedir. Bağntı (3.6).

$$V_o = V_{s1} - V_{s2} \neq 0 \quad (3.6)$$

Bu elemanların duyarlılıkları; 50mV/mm ile 300mV/mm arasındadır.

3.11.4. Piezo-elektrik transdüserler

Basınç veya bükülme gibi fiziksel enerjileri elektriksel enerjilere dönüştürürler. Kristal veya seramik malzemelerin yapılarının bozulmaya zorlanmaları sonucu uygulanan kuvvetin etkisi ile kristal elemanın uçları arasında potansiyel farkı doğar. Doğan bu değer, malzemenin cinsine, kalınlığına ve uygulanan kuvvete bağlıdır. Bir kristale yapılan basınç sonucu oluşacak gerilim Bağntı (3.7) deki gibidir.

$$v_i = F \cdot k \cdot d \quad (3.7)$$

F: Kuvvet (Nevton /m²)

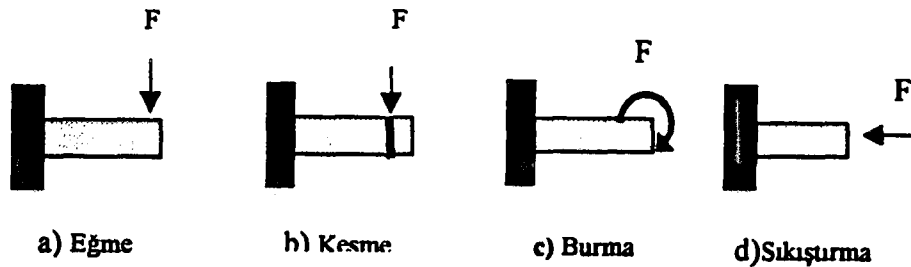
k: Katsayı (m/N)

d: Kristalin kalınlığı (metre)

Tablo 3.3 Bazı piezoelektrik malzemelerin “k” değerleri.

Kristal	“k” değerleri (Vm/N)
Quartz	0,055
Lityum Sülfat	0,165
Rachelle Tuzu	0,098

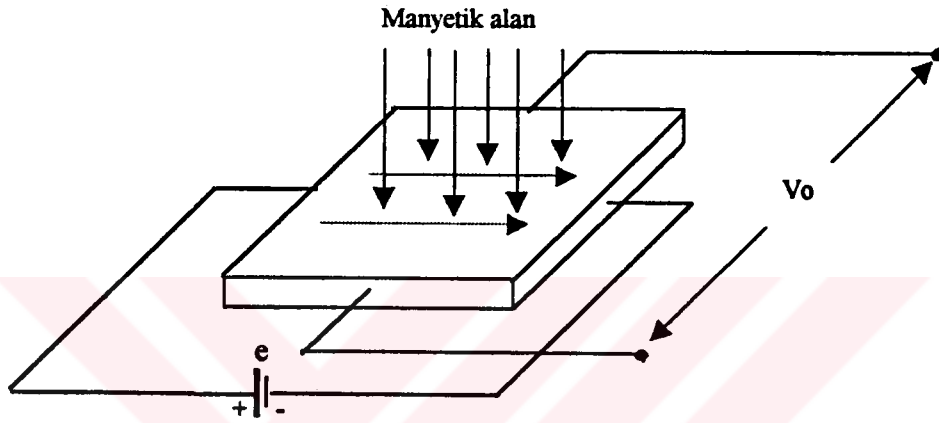
Piezo-elektrik kristallerine, Şekil 3.26’ da verilen çeşitli şekillerde kuvvet uygulanabilir.



Şekil 3.26 Piezoelektrik elemanlara uygulanabilecek bazı kuvvet şekilleri.

3.11.5. Alan etkili transdüserler (Hall effect devices)

Manyetik alan etkisinde gerilim üreten malzemelerdir. Genellikle indium veya diğer yarı-iletken malzemelerden yapılırlar. Günümüz teknolojisinde, fırçasız DC motorların mil pozisyonlarının algılanmasında, DC akım ölçüm problemleri ile çalışan devrelerde akımı kesmeden (algılama usulü) ölçüm için, gaussmetrelerde çok kullanılmaktadırlar.



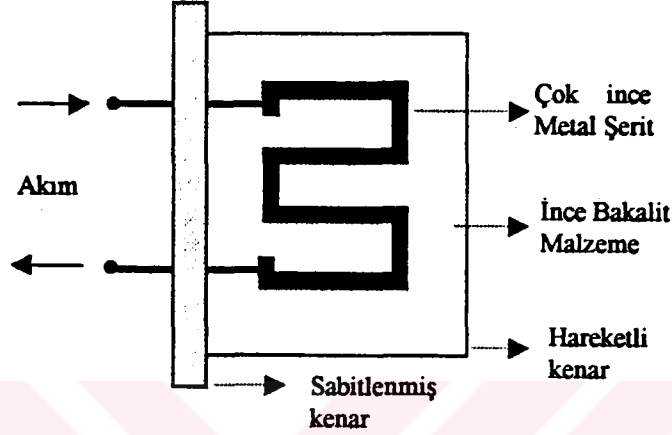
Şekil 3.27 Alan etkili manyetik sensörün prensip yapısı

Prensip şeması verilen alan etkili eleman, bataryanın eksi ucundan çıkan elektronlar, taşıyıcıların yüklenmesine sebep olurlar. Manyetik alanın etkisi ile taşıyıcılarda yük değişimi meydana gelir. Bu olayın sonucu olarak elemanın çıkış uçlarında potansiyel farkı oluşur. Çıkışın polaritesi, yaklaşımlan manyetik alanın kutbuyla ilişkilidir.

3.11.6. Etki ölçerler (Strain gauge)

Basınç, gerilme, çekilme gibi çeşitli kuvvetlerin etkisi altında bırakılan bazı metal veya yarı-iletken malzemelerin, uygulanan kuvvetin etkisine göre dirençleri değişir. Bu prensipten faydalanılarak oluşturulmuş devre elemanlarıdır. Bir kenarı hareket etme yeteneğine sahip etki ölçer yukarı veya aşağı hareket ettirildiğinde,

metal şeridin direnci değişecektir. Çünkü eğilme sırasında malzemenin kesitinin değişmesi söz konusudur. Malzemenin kesitinin azalması çok azda olsa direncinin artmasına sebep olacaktır. Dirençteki değişim “Op-Amp” lar yardımı ile yükselttilerek kontrol devrelerine, kontrol sinyali olarak gönderilir. Böylece değişen fiziki bir büyüklük elektriksel büyüklüğe çevrilmiş olur.



Şekil 3.28 Bakalit satırlı şerit tipi bir strain gauge' nin prensip yapısı.

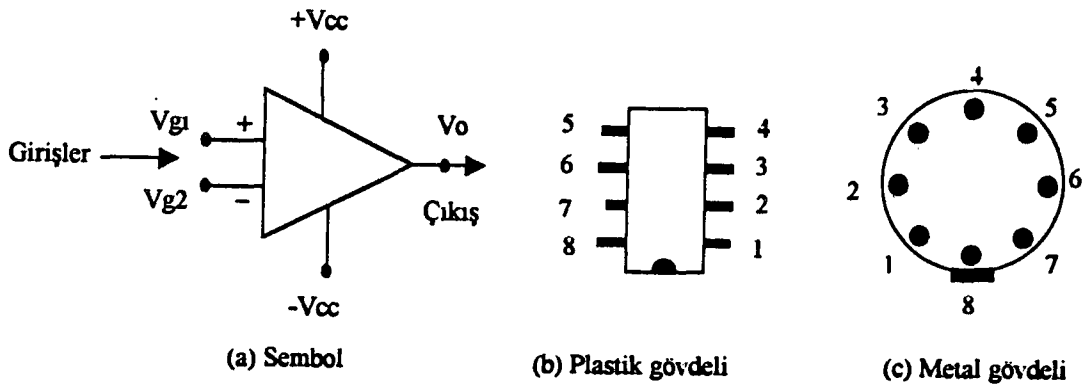
Bu tip elemanlar, elektronik ağırlık, bina ve köprü gibi yapıların salınımlarının ölçülmesinde sık kullanılırlar.

4. İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİLER (Op-Amp' lar)

Op-Amp' lar, çok sayıda devre elemanını tek gövde altında toplayan direk kuplajlı, yüksek kazançlı devre elemanlarıdır. Bu elemanlar ile düzenlenen entegreler analog devrelerde çok yaygın olarak kullanılırlar. Dışarıdan ilave edilecek bazı yardımcı elemanlar ile çalışma şekilleri kolayca değiştirilerek, kuvvetlendirici, kontrol elemanı, ve geniş frekans bandında çeşitli dalga şekilleri üretebilen, çok yetenekli tümleç-devreler haline getirilerek, yaygın kullanım alanı bulurlar.

4.1 Çalışma Alanları

1. Eviren ve evirmeyen amplifikatör,
2. Türev ve integral alıcılar,
3. Alçak ve yüksek bant geçiren filtreler,
4. Bant durduran filtreler,
5. Çeşitli sinyal üreteç devreleri,
6. Dijital-Analog ve Analog-Dijital çevirici devreler,
7. Tampon devreler,
8. Toplayıcı, fark alıcı ve karşılaştırıcı devreler.

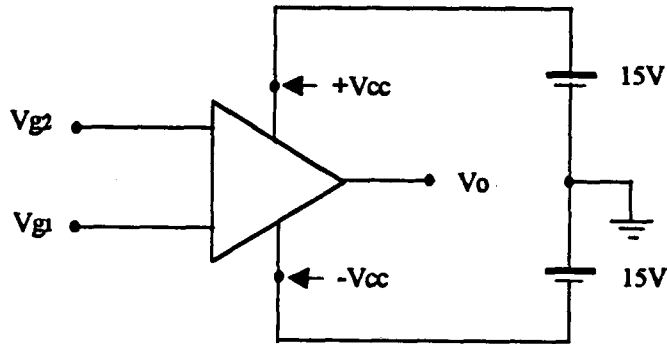


Şekil 4.1 Op-amp'ın sembolü ve çeşitli gövdelere göre ayak bağlantıları.

4.2. Tek Op-Amp'larda Ayakla Ve Görevleri

- 1 nolu ayak; offset (balans),
- 2 nolu ayak; eviren giriş,
- 3 nolu ayak; evirmeyen giriş,
- 4 nolu ayak; $-V_{cc}$ (besleme),
- 5 nolu ayak; offset (balans),
- 6 nolu ayak; çıkış,
- 7 nolu ayak; $+V_{cc}$ (besleme),
- 8 nolu ayak; frekans kompanzasyonu.

Ayak bağlantıları, Şekil 4.1' de verilen, tek Op-Amp'lı elemanların dışında, iki veya dört Op-Amp'ı aynı gövdede bulunduran komplike elemanlar bulunmakta olup, ayak bağlantılarının çeşitliliği, üretici firma kataloglarından faydalanmayı gerekli kılmıştır. Girişlerden birisi $+$, evirmeyen giriş (noninverting input), diğeri ise, $-$ eviren giriş (inverting input) olarak isimlendirilir. Bu iki giriş ucundan başka besleme uçları ve bir çıkış ucu bulunur. Besleme gerilimleri, 5-15 Volt arası tek veya simetrik kaynaklardan sağlanır (Genelde 15 Voltluk simetrik kaynaklar kullanılır). Bazı özel devrelerde, simetrik değerli iki bataryadan besleme yapılabilir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Op-Amp'ların simetrik bataryalarla beslenmesi.

4.3. İdeal Op-Amp'ların Genel Özellikleri

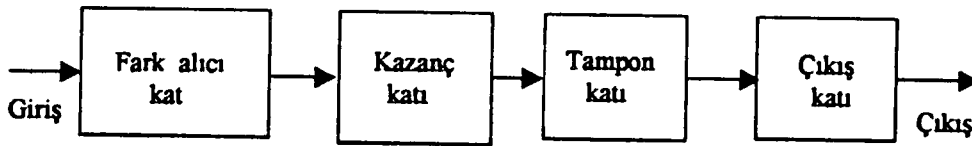
İdeal sayılan Op-Amp'larda, aşağıda sıralanan özellikler bulunur.

1. Giriş empedansları (R_i) çok yüksek veya sonsuz,
2. Çıkış empedansı (R_o) çok düşük veya sıfır,
3. Gerilimin kazancı (A_v), düşük frekanslarda çok yüksek veya sonsuz,
4. Bant genişliği çok yüksek,
5. Besleme gerilimleri tek veya simetrik çıkışlı kaynaktan temin edilebilir,
6. Çıkış dengesi (balans), " $V_{g1} = V_{g2}$ için, $V_o = 0$ " dır,
7. Karakteristik değerleri sıcaklıkla değişmez.

Bu elemanlara, giriş empedanslarının çok yüksek olması bağlı oldukları devreyi yüklememe, çıkış empedanslarının düşük olması da, yüksek akım çekilebilme özelliği kazandırır.

4.4. Op-Amp'ların Genel Yapıları

Op-Amp'lar genel olarak dört ana kattan oluşurlar (Şekil4.3).



Şekil 4.3 Op-Amp'ların oluşum katları.

Fark-alıcı kat; bu katta fark alıcı (diferansiyel) şekilde bağlanmış elektronik devre elemanları bulunur. Girişlerden uygulanan sinyallerinin farkı bu katta alınıp yükseltilerek, bir sonraki kat olan kazanç katına gönderilir.

Kazanç katı; fark alıcı kattan alınan sinyal bu katta çok sayıdaki yükselteç tarafından yükseltilerek tampon (buffer) katına gönderilir. Yükselteç sayısı faz kaymasına sebep olacağı düşünülerek, genellikle iki yükselteç tercih edilir.

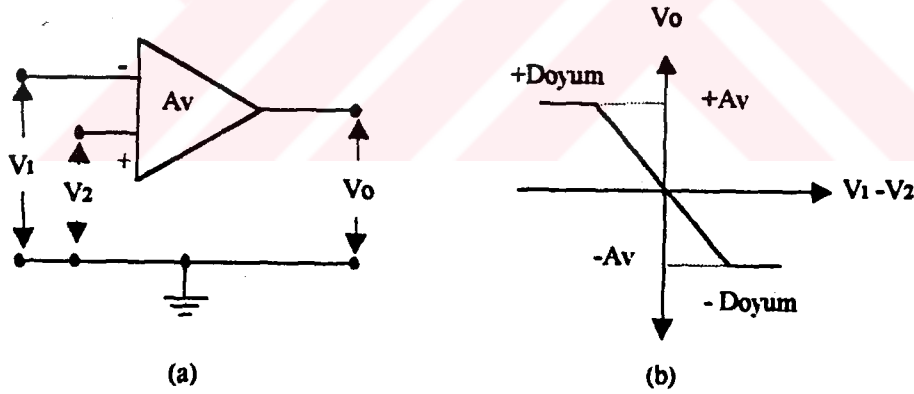
Tampon katı; katlar arasındaki iletişim direk kuplajlarla gerçekleştirilmiştir. Giriş direncinin büyük, çıkış direncinin de küçük olması hedeflendiği için, emiter takipçili tampon devreler kullanılır.

Çıkış katı; çıkış akımının büyük olabilmesi için, çıkış direncinin çok küçük olması gerekir. Bu şartları sağlayabilen "Push-Pul" güç amplifikatörleri kullanılmıştır.

4.5. Op-Amp' ların Pratik Karakteristikleri

4.5.1. Açık devre transfer karakteristiği

Geri beslemesiz yapıya açık çevrimli devre, geri beslemeli yapıya da kapalı çevrimli devre denir. Geri beslemesiz yapıya açık çevrimli devre, geri beslemeli yapıya da kapalı çevrimli devre denir.



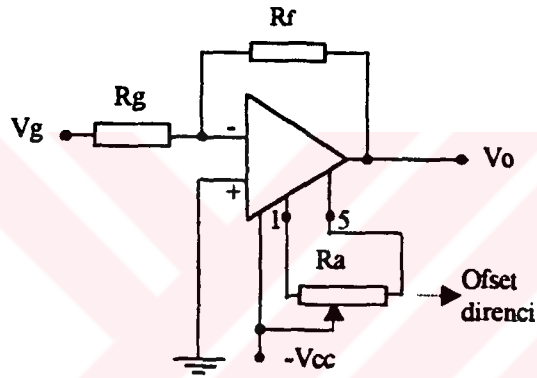
Şekil 4.4 (a) Op-Amp' ların açık devre bağlantısı, (b) giriş-çıkış transfer ilişkisi.

Şekil 4.4' de verilen açık devre transfer fonksiyonundan, açık devre kazancı dikey eksenindeki izdüşümden bulunur. Transfer eğrisinin yükselme oranı, giriş geriliminin genliği ve frekansına bağlıdır. Kapalı çevrimli devrelerde çıkış empedansı 1-10 ohm arasında iken, açık çevrimli devrelerde bu değer 10^3 ohm civarlarındadır.

4.5.2. Offset etkisi

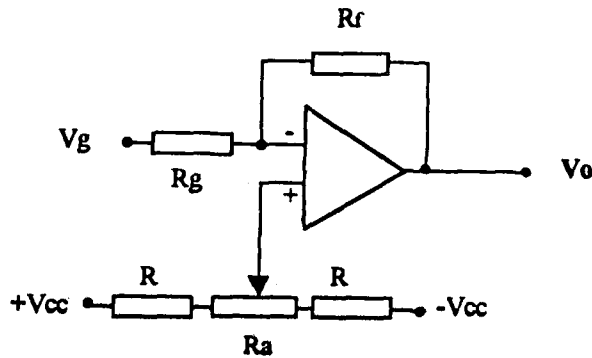
Giriş sinyalinin sıfır olması durumunda çıkışın da sıfır olması istenir. Giriş sinyali sıfır olduğu halde çıkışta gerilimin olması durumunda, Op-Amp' ta offset vardır denir.

Offseti içerden yapılan Op-Amp'lar; bazı Op-Amp'larda, offset ayakları aktif olup dışarıya çıkarılmıştır. Offset ayarı için, dışardan bir potansiyometrik direnç bağlanır. Çok duyarlı devrelerde, dışardan offset ayarı daha kullanışlıdır. Şekil 4.5' de çıkış offseti içerden yapılabilen devre bağlantısı verilmiştir.



Şekil 4.5 Offseti içerden yapılabilen Op-Amp'ların offset ayarı.

Offseti dışarıdan yapılan Op-Amp' lar; iç yapısında offset ayarı bulunmayan Op-Amp' lar için, Şekil 4.6' daki devre bağlantısı uygulanır.

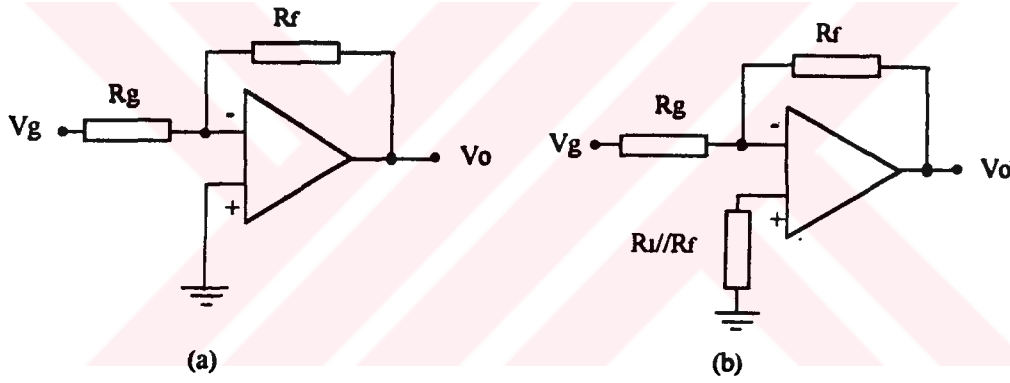


Şekil 4.6 Offseti dışarıdan yapılan Op-Amp'larda offset ayarı.

Ayar direnci “ R_a ”, mümkün olan en küçük değerlerde ve lineer seçilerek, hassas ayar imkanı sağlanmaya çalışılır. Devredeki “ R ” dirençleri gerilim bölücü dirençler olup, değerleri devrede kullanılan Op-Amp elemanına göre değişiklik gösterir.

4.5.3 Op-Amp’larda kayma (drift)

Girişteki besleme kaynağındaki değer değişikliği, devre elemanlarının zamanla değer değiştirmesi veya çevre şartlarının çıkışı etkilemesi olayıdır. Önlemek için, çevre sıcaklığının sabit tutulması, besleme kaynağının regüleli seçilmesi gibi tedbirler alınır ve Şekil 4.7’deki devre bağlantıları denenir.

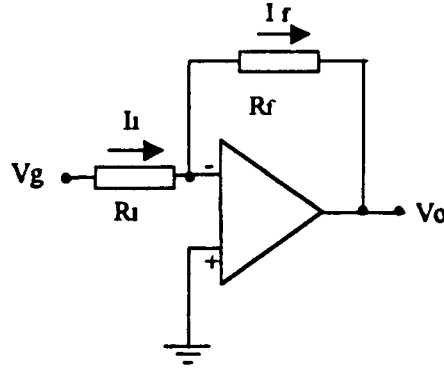


Şekil 4.7 Op-Amp’larda kayma kararlılığının sağlandığı devre uygulamaları.

4.6. OP-Amp’ların Uygulama Alanları

4.6.1. Eviren (Inverting) yükselteç olarak kullanılması

Eviren yükselteç devresinde (+) giriş topraklanır ve sinyal “-” girişten uygulanır. Bu bağlantı tipinde giriş ile çıkış arasında 180° faz-farkı sağlanır. Devredeki “ R_i ” giriş-direnci, “ R_f ” geri-besleme direncidir.



Şekil 4.8 Eviren devre.

Giriş uçları arasındaki gerilim “ V_1 ” ile gösterilirse I_1 akımı, Bağntı (4.1), çıkış gerilimi V_o ise, Bağntı (4.2)’ deki gibi olur.

$$I_1 = \frac{V_g - V_1}{R_1} \quad (4.1)$$

$$V_o = -A_v \cdot V_1 \quad (4.2)$$

Devrenin giriş empedansı çok büyük olduğundan “ V_1 ” geriliminin Op-Amp üzerinden akıtacağı akım ($I_1=0$ kabul edilir) çok küçük olur ve “ I_1 ”, “ I_f ” yanında ihmal edilebilir. Bu durumda $I_1=I_f$ olur. Kazancın çok yüksek olduğu düşünülürse, Bağntı (4.2)’ den uçlar arası V_1 gerilimi “0” kabul edilebilir. Buradan; Bağntı (4.3) eşitliği yazılır. Bağntı (4.3) düzenlenirse, Bağntı (4.4) elde edilir.

$$\frac{V_g - V_1}{R_1} = \frac{V_1 - V_o}{R_f} \quad (4.3)$$

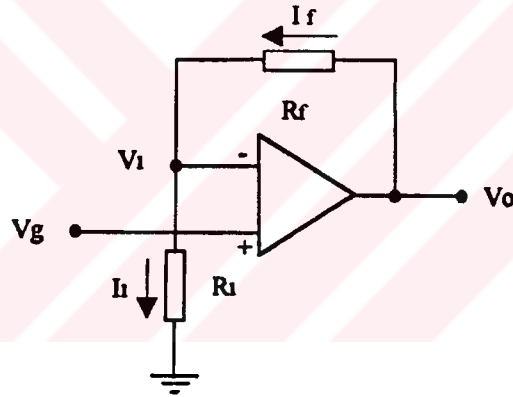
$$\frac{V_g}{R_1} = \frac{-V_o}{R_f} \Rightarrow A_v = \frac{V_o}{V_g} = -\frac{R_f}{R_1} \quad (4.4)$$

Bağntı (4.4)’ deki eşitlikten görüleceği gibi, geri-besleme direncinin giriş direncine oranı, yükseltme katsayısını (kazancı) verir. Eşitlikteki $-$ işareti, çıkış ile giriş arasında 180° faz farkı olduğunu gösterir. Eğer $R_1 = R_2$ seçilirse devrenin kazancı 1 olur. Bu uygulama, genelde bir işaretin polaritesini değiştirmek için kullanılır.

4.6.2. Evirmeyen (Noninverting) yükselteç olarak kullanılması

Evirmeyen yükselteç devresinde – giriş R_1 ile topraklanmış, V_g girişi de Op-Amp'ın + girişine uygulanmıştır. Böylece giriş ile çıkışın aynı fazda olması sağlanmıştır. Bu bağlantı şekli daha çok tampon devreler için tercih edilir. Eviren yükselteçlere göre kazanç 1 fazla ve sürekli olarak 1 den büyük olur. R_1 ve R_f geri besleme dirençlerinin – girişte oluşturduğu gerilime, V_1 denilirse; Bağntı (4.5) yazılır.

$$I_1 = \frac{-V_1}{R_1}, \quad I_f = \frac{V_o - V_1}{R_f} \quad (4.5)$$



Şekil 4.9 Evirmeyen yükselteç devresi.

Giriş empedansı yüksek olduğu için $I_1=0$ kabul edilirse; $I_1=I_f$ olur. Buradan Bağntı (4.6) yazılır.

$$\frac{-V_1}{R_1} = \frac{V_o - V_1}{R_f} \quad (4.6)$$

Girişten akım akmadığı için giriş gerilimleri eşittir ($V_1=V_g$). V_1 yerine V_g yazılırsa;

Bağıntı (4.7) elde edilir.

$$\frac{-V_g}{R_1} = \frac{V_o - V_g}{R_f} \quad (4.7)$$

$$-V_g \cdot R_f = R_1 \cdot (V_o - V_g) \Rightarrow R_1 \cdot (V_o - V_g) + V_g \cdot R_f = 0 \quad (4.8)$$

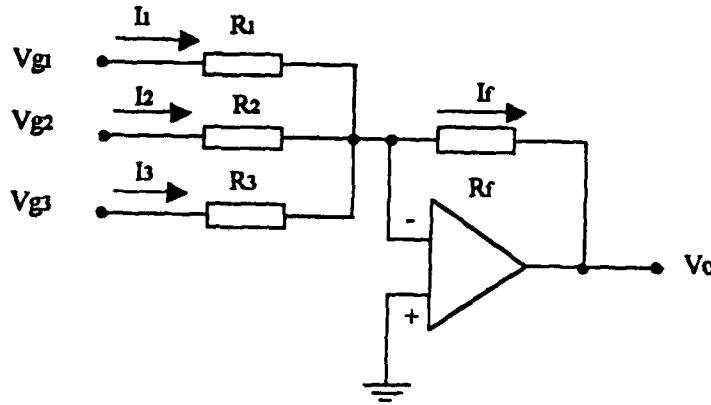
$$\frac{R_1 \cdot V_o}{R_1 \cdot V_g} = \frac{V_g(R_1 + R_f)}{R_1 \cdot V_g} \Rightarrow \frac{V_o}{V_g} = \frac{R_1 + R_f}{R_1} \Rightarrow \frac{V_o}{V_g} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad (4.9)$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_g} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad (4.10)$$

Sonuç olarak, Bağıntı (4.10) elde edilir. Bu bağlantıda kazanç oldukça yüksektir.

4.6.3 Toplayıcı devre (Summing Op-Amp) olarak kullanılması

Girişe uygulanan sinyalleri toplayarak kazanç değerine bağlı çıkış veren bu devre toplayıcı devre olarak isimlendirilir.



Şekil 4.10 Eviren üç girişli toplayıcı devre.

Şekil 4.10' da verilen devre, eviren yükselticiye benzer bir devredir. Giriş direncinin yüksek olmasından dolayı giriş akımı 0 kabul edilirse; $I_1 + I_2 + I_3 = I_f$ eşitliği yazılır. Bu ifadeden faydalanılarak; Bağntı (4.11) bulunur.

$$I_1 = \frac{V_{g1}}{R_1}, \quad I_2 = \frac{V_{g2}}{R_2}, \quad I_3 = \frac{V_{g3}}{R_3}, \quad I_f = \frac{V_o}{R_f} \quad (4.11)$$

$$\frac{V_{g1}}{R_1} + \frac{V_{g2}}{R_2} + \frac{V_{g3}}{R_3} = \frac{-V_o}{R_f} \quad (4.12)$$

$$V_o = -R_f \left(\frac{V_{g1}}{R_1} + \frac{V_{g2}}{R_2} + \frac{V_{g3}}{R_3} \right) \Rightarrow - \left(V_{g1} \frac{R_f}{R_1} + V_{g2} \frac{R_f}{R_2} + V_{g3} \frac{R_f}{R_3} \right) \quad (4.13)$$

Çıkış gerilimi, Bağntı (4.13)' deki gibi yazılır. Giriş-dirençleri ve geri-besleme direnci eşit seçilirse;

$$R_1=R_2=R_3=R_f \text{ ise, } V_o = - (V_{g1}+V_{g2}+V_{g3}) \quad (4.14)$$

$$R_1=R_2=R_3, \quad R_f = R_1/3, \quad V_o = -(V_{g1}+V_{g2}+V_{g3})/3 \quad (4.15)$$

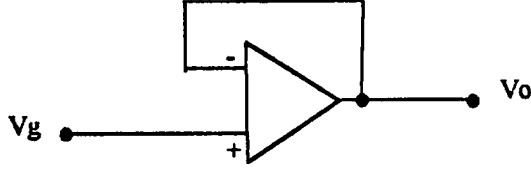
Bağntı (4.12) elde edilir. İki giriş direnci olan toplayıcı bir Op-Amp devresinde, $R_1=R_2$ seçilirse, (4.16) yazılır.

$$V_o = - (V_{g1}+V_{g2}).R_f/R_1 \quad (4.16)$$

4.6.4. Gerilim izleyici (Voltage follower) olarak kullanılması

Gerilim izleyici devre, kazancı 1 ve giriş işareti ile çıkış işareti aynı fazda olan devredir. Kazancı 1 olduğu için bant genişliği çok fazladır.

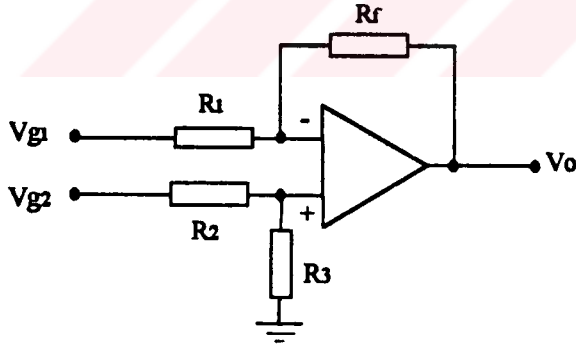
Giriş empedansı büyük ve çıkış empedansının sıfıra yakın olması, bu yapının hat sürücülerini kullanarak kullanımı sağlamıştır. Evirmeyen yükseltecin kazancı 1 yapılırsa ($R_1 = R_f$) gerilim izleyici devre elde edilir.



Şekil 4.11 Gerilim izleyici devre.

4.6.5. Fark alıcı devre (Difference amplifier) olarak kullanılması

Fark alıcı devre, iki giriş arasındaki değerlerin farkını kazançla bağlı olarak çıkışa aktaran devredir. Çıkış değeri, girişlerin polaritelerine ve büyüklüklerine bağlıdır.



Şekil 4.12 Fark alıcı devre bağlantısı.

Çıkış gerilimi ; Bağlantı (4.17)' deki gibi yazılır.

$$V_o = V_{g2} \cdot \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) \left(1 + \frac{R_f}{R_1} \right) - \left(V_{g1} \cdot \frac{R_f}{R_1} \right) \quad (4.17)$$

Devre dirençleri, $R_1=R_2=R_3=R_f$ olarak seçilirse, Bağntı (4.18) elde edilir.

$$V_o = V_{g2} - V_{g1} \quad (4.18)$$

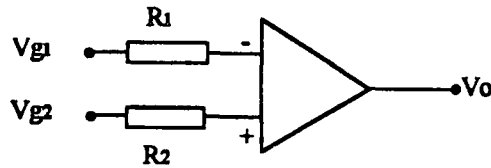
Eğer, devre dirençleri; $R_1=R_2$, $R_3=R_f$ olursa, Bağntı (4.19) yazılır.

$$V_o = \frac{R_f}{R_1} \cdot (V_{g2} - V_{g1}) \quad (4.19)$$

Bağntı (4.19)' dan anlaşılacağı gibi çıkış değeri, girişlerinin farkının kazanç değeri ile çarpımının sonucudur. Çıkış polaritesi de, büyük değere sahip girişin polaritesi olur.

4.6.6. Karşılaştırıcı (Comparator) olarak kullanılması

Geri beslemesiz Op-Amp'ların kazançları çok yüksektir. Bu önemli özellikten faydalanarak girişlere uygulanan sinyallerin aralarında küçük farklar olsa bile, çıkışta giriş değerlerine göre, $+V_{cc}$ veya $-V_{cc}$ olur.



Şekil 4.13 Karşılaştırıcı devre

Karşılaştırıcının giriş değerlerine göre durumu;

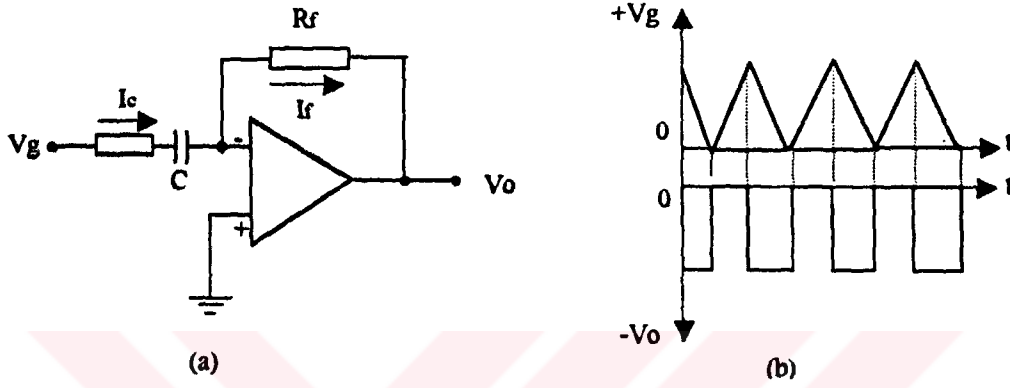
$V_{g1} > V_{g2}$ olduğunda; çıkış $-V_{cc}$,

$V_{g2} > V_{g1}$ olduğunda; çıkış $+V_{cc}$,

$V_{g1} = V_{g2}$ olursa; çıkış değeri 0 olur.

4.6.7. Türev alıcı devre olarak kullanılması

Girişe bağlanan kondansatörün şarj ve deşarj olayından faydalanılarak, girişe uygulanan üçgen dalgadan, çıkışta kare dalga elde etmek için kullanılan bir devre türüdür.



Şekil 4.14 a) Türev alma devresi, b) Giriş-çıkış sinyalleri.

Şekil 4.13' deki türev alıcı devrede, çıkış gerilimi; R_f geri besleme direncinin üzerindeki gerilimdir. Eviren yükselteç yapısındadır. Giriş empedansının yüksek oluşu nedeni ile $I_i = 0$ kabul edilebilir. Buradan; Bağntı (4.20) ve (4.21) yazılır.

$$I_i = C \cdot \frac{dV_{g1}}{dt} \quad (4.20)$$

$$C \cdot \frac{dV_{g1}}{dt} = -\frac{V_o}{R_f} \quad (4.21)$$

$$I_f = \frac{-V_o}{R_f} \quad (4.22)$$

olur ve $I_i = I_f$ den, çıkış eşitliği Bağntı (4.23) elde edilir.

$$V_o = -R_f \cdot C \cdot \frac{dV_{g1}}{dt} \quad (4.23)$$

Şekil 4.14' de verilen devrenin, bu haliyle yüksek frekanslarda kullanımı sakıncalıdır. Çünkü kondansatör kısa devre gibi davranacak ve devrenin kazancı artacaktır. Bu durumda, istenmeyen gürültüler artacaktır. İstenmeyen bu durumu giderebilmek için, kondansatörünün önüne seri olarak akım sınırlayıcı bir direnç bağlanır. Böylece devrenin maksimum kazancı “ R_f / R_1 ” ile sınırlandırılmış olur. Oluşacak yeni devrenin çıkış gerilim, Bağntı (4.24) 'deki gibi yazılır.

$$V_o = -\frac{R_f}{R_1} \cdot V_{g1} \cdot e^{-\frac{t}{R_1 \cdot C}} \quad (4.24)$$

Bu devrenin türevleyici olarak çalışabilmesi için giriş işaretinin frekansı; Bağntı (4.25) 'deki gibi olmalıdır.

$$f \leq \frac{1}{2\pi R_1 \cdot C_1} \quad (4.25)$$

Giriş işaretinin periyodu da; $R_1 \cdot C$ sabiti süresine yaklaşık eşit olmalıdır.

Bağntı (4.24)' de verilen bağıntıyı daha pratik duruma getirmek için çıkış gerilimi Bağntı (4.29) uygulanır.

$$Q = I_c \cdot t = C \cdot V_g \quad (4.26)$$

$$I_c = \frac{V_g}{t} \cdot C \quad (4.27)$$

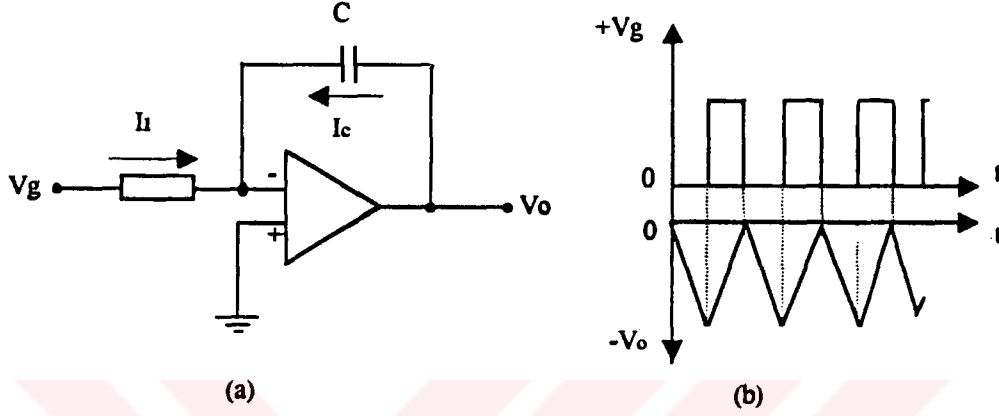
$$V_o = - I_c \cdot R_f \quad (4.28)$$

Bağntı (4.28)' de I_c yerine eşiti yazılırsa, Bağntı (4.29) elde edilir.

$$V_o = - R_f \cdot C \cdot \frac{V_g}{t} \quad (4.29)$$

4.6.8. İntegral alıcı devre olarak kullanılması

Türev alma devresinin tersi bir uygulama devresidir. Girişe uygulanan kare dalga, çıkıştan üçgen dalga olarak alınır. Oluşturulan devrede kullanılan kapasitenin şarj-deşarj olayı, elde edilecek üçgen dalganın oluşumunu sağlar.



Şekil 4.15 (a) İntegral alma devresi, (b) giriş-çıkış sinyalleri

Şekil 4.14' deki türev alıcı devredeki kondansatör ile geri besleme direnci yer değiştirilirse, integral alıcı devre elde edilir. İntegral alıcının yapısı da eviren yükselteç yapısındadır. İntegral alıcıda çıkış gerilimi, kondansatör uçlarındaki gerilime eşittir. $I_1=0$ kabul edilirse; Bağntı (4.30) yazılır.

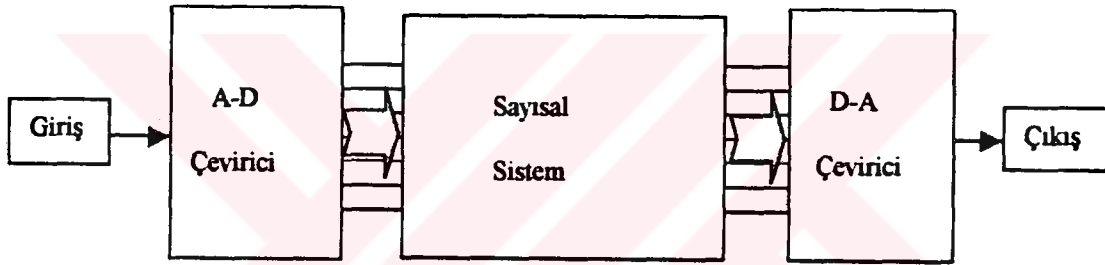
$$I_f = \frac{V_g}{R_1} \text{ dir. } V_o = -\frac{1}{R.C} \int V_g dt \quad (4.30)$$

Pratik çıkış gerilimi; Bağntı (4.31) daki gibi olur.

$$V_o = -\frac{1}{R.C} \cdot V_g \cdot t \quad (4.31)$$

5. ANOLOG-DİJİTAL VE DİJİTAL-ANOLOG DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

Dijital sistemler, dijital büyüklükler ile ilgilenirler, dolayısıyla alınan ve verilen bilgiler dijital olmak zorundadır. Dış dünya ise genellikle analog bilgidir. Özellikle sayısal bilgisayarların, dış dünya ile iletişim kurması bu dönüştürücüler sayesinde olmaktadır. Dış dünyadan, bilgisayarlara yapılacak bir veri girişi, analog olur. Analog bilgiler zaman domeninde iken, dijital bilgiler sürekli bir zaman domeninde olamazlar. Dönüştürücülerle, analog gerilim bilgileri, belirli zaman dilimlerinde örneklenerek, sayısal veri sözcükleri haline getirilirler.



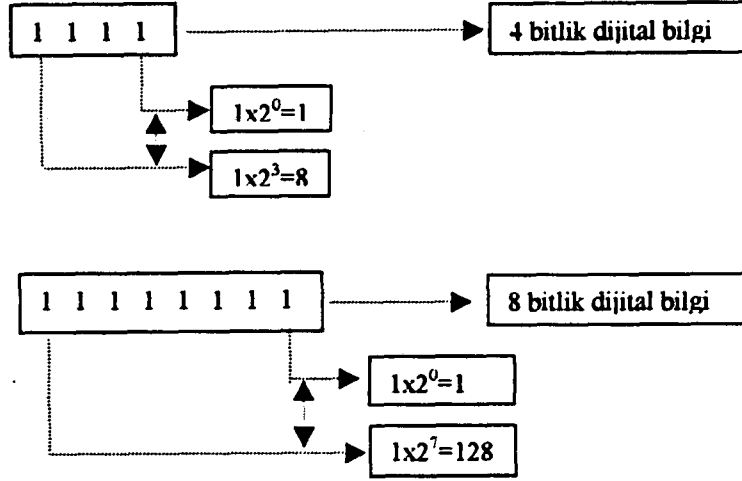
Şekil 5.1 Analog bilginin işlenmesi.

Dönüştürücülerde kararlı bir şekilde dijitalden analoğa yada analogtan dijitale dönüştürme yapılabilmesi için, genellikle Op-Amp' lı devreler kullanılır.

5.1. Dijital-Analog Dönüştürücüler (DAC)

Sayısal bilgiyi, analog bilgiye dönüştürmek için, sayısal bilgiyi oluşturan bitlerin ağırlıklarının karşılığını oluşturmak gerekir. Bu bitlerin ağırlıklarının toplamı istenilen analog bilginin büyüklüğünü verir. Bahsedilen bu büyüklük ise, dönüştürücünün türüne göre gerilim, akım ya da kazanç katsayısı olabilir.

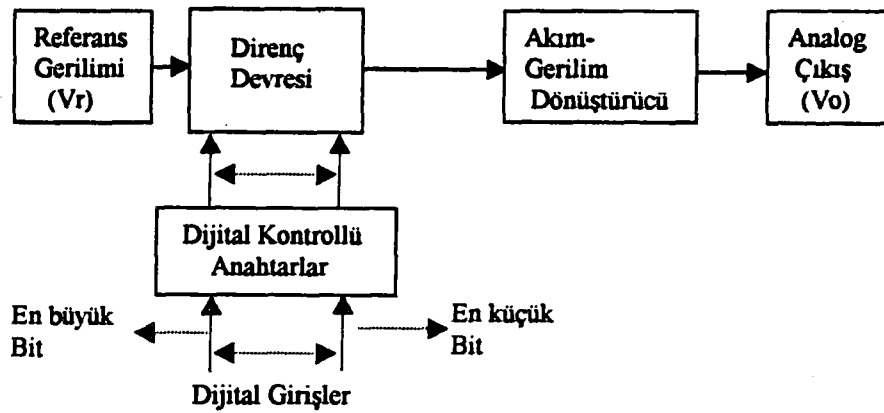
“0 1 0” dijital dizilimin desimal olarak karşılığı; “ $0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0$ ” bağıntısından yararlanılarak “2” olarak bulunur.



Şekil 5.2 Dijital ve analog bilgilerin karşılaştırılması.

5.1.1. Çalışma prensibi

Dijital bilgilerin, analog bilgiye dönüştürülmesi işleminde dört ayrı devreden oluşan, Şekil 5.3’ deki blok diyagramı kullanılır.



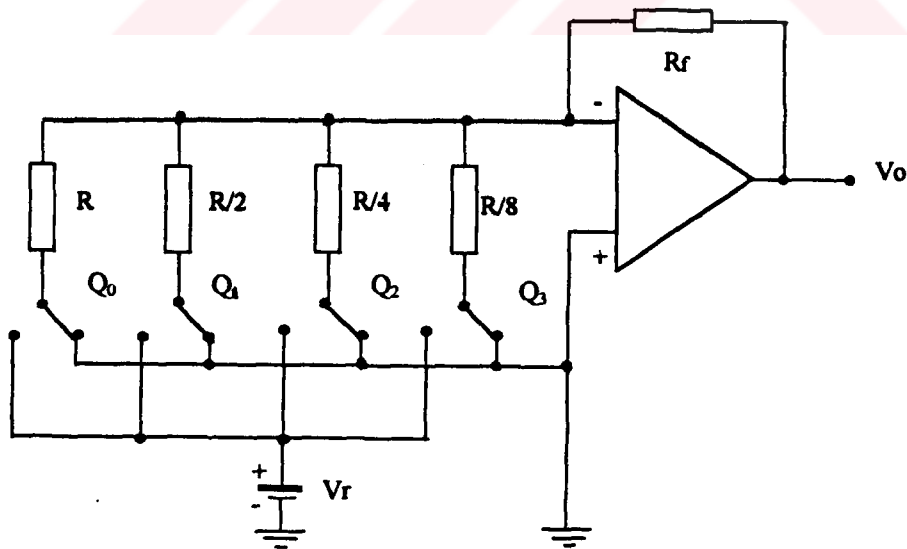
Şekil 5.3 DAC devresinin blok diyagramı.

Direnç devresinde referans değer ve anahtarlanmış dijital veriler değerlendirilerek tek bir akım veya gerilim değeri haline getirilir. Analog çıkışta gerilim değeri, akım-gerilim dönüştürücü kullanılarak, dış devreye gerilim olarak alınır. Dört bitlik bir DAC' a girilen 0-999 sayıları arası dijital bilgiler, çıkışta analog sinyallere dönüştürülebilir. İletkenlik $S=1/R$ ise, V_o eşitliği, Bağntı (5.1)' deki gibi olur.

$$\left. \begin{aligned} V_o &= -V_r \cdot R_f (G_3 \cdot Q_3 + G_2 \cdot Q_2 + G_1 \cdot Q_1 + G_0 \cdot Q_0) \\ V_o &= -V_r \cdot R_f \cdot G \cdot (2^3 \cdot Q_3 + 2^2 \cdot Q_2 + 2^1 \cdot Q_1 + 2^0 \cdot Q_0) \end{aligned} \right\} \quad (5.1)$$

5.1.2. Kademeli tip DAC' lar

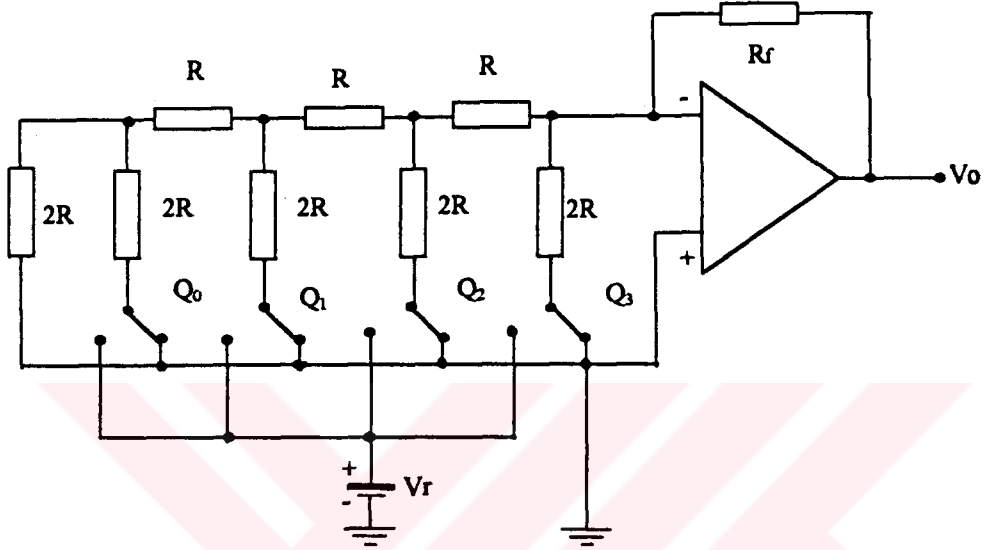
Kademeli direnç elemanlarından oluşturulmuş bir DAC devresinin direnç elemanlarının farklılığı, toleranslarının da farklılığını doğurur. Giriş bit sayısının arttırması durumunda, direnç değerlerinin bir kısmının çok büyük değerlere çıkması düşünülerek, genellikle dört bitlik girişler için tercih edilir. Kaynak iç-direncinin, $R/15$ olarak sabitliği, anahtarlamalarda kaynak akımının lineerliği sağlamaktadır.



Şekil 5.4 Kademeli tip DAC' ın devre bağlantı şeması.

5.1.3. Merdiven tipi DAC' lar

Kademeli direnç elemanlarından oluşturulmuş, Şekil 5.4' deki devrenin dirençlerle ilgili problemlerden dolayı merdiven tipi DAC devreleri (Şekil 5.5) geliştirilmiştir.



Şekil 5.5 Merdiven tip DAC' ın devre bağlantı şeması.

Şekil 5.5' de verilen merdiven tipi devrede de, kaynak iç-direnci anahtarlamalardan bağımsız ve sabittir. Devre basamak sayısının arttırılması için, R, 2R ve anahtar elemanları kolalıklı ilave edilebilir. Devrenin kararlılığı için, dirençlerin toleransları düşük olmalıdır. Devrenin çıkış gerilimi; Bağı. (5.2)' de verildiği gibidir.

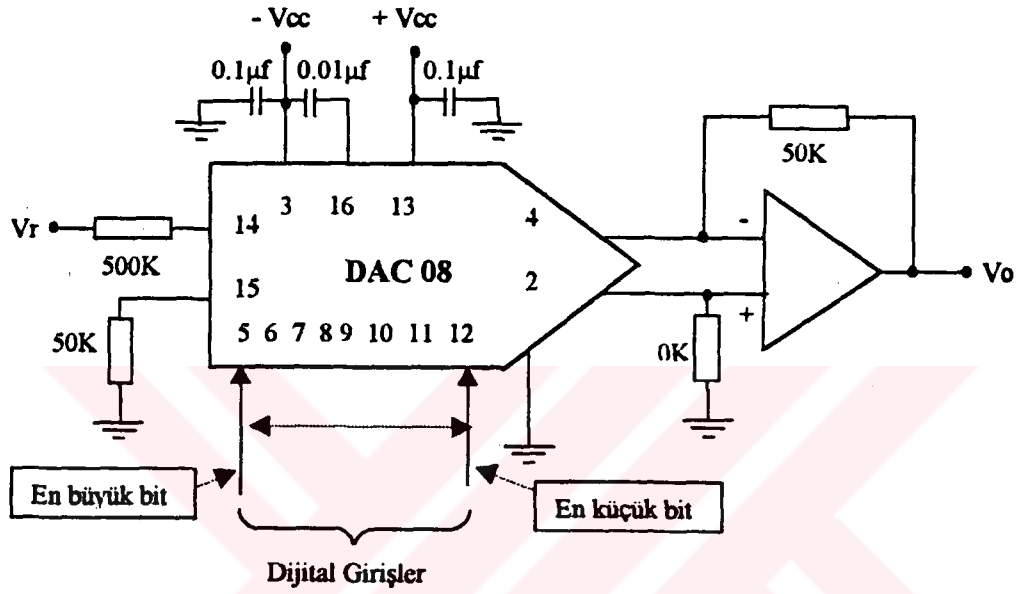
$$V_o = -V_r \cdot (R_f / 16R) \cdot (2^3 \cdot Q_3 + 2^2 \cdot Q_2 + 2^1 \cdot Q_1 + 2^0 \cdot Q_0) \quad (5.2)$$

$(2^3 \cdot Q_3 + 2^2 \cdot Q_2 + 2^1 \cdot Q_1 + 2^0 \cdot Q_0)$ elemanların sayısına "n" denilirse (bit sayısı); V_o aşağıdaki gibi olur.

$$V_o = -V_r \cdot (R_f / 16R) \cdot n \quad (5.3)$$

5.1.4. DAC 08 entegresinin devre bağlantısı

Tasarlanan DAC devrelerinin dirençlerle ilgili problemleri, devrenin kararlılığını azaltmaktadır. Şekil 5.6' da bağlantısı verilen entegre devrenin kararlılığı oldukça yüksektir.



Şekil 5.6 DAC 08 entegresinin devre bağlantısı.

Tablo 5.1 DAC 08 entegresinin Analog çıkış değerleri.

Bit'ler	Dijital girişler								Analog Çıkış	
	D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	D ₀	I ₀	V ₀
En küçük bit	0	0	0	0	0	0	0	1	7,81µA	39,5mV
En büyük bit	1	1	1	1	1	1	1	1	1,99 µA	9.95mV

Tablo 5.1' de analog çıkış değerleri verilen, DAC 08 entegresinin beslenmesi, 4,5-18 Voltluk simetrik kaynaklar ile yapılır. Giriş kararlılığının

sağlanması amacı ile $0,1\mu F$ lık kapasiteler bağlanır. Referans uçlarından (14 , 15), girilen gerilim değerleri 10-24 Volt olabilir. Referans akımı, mikro amperler seviyesindedir.

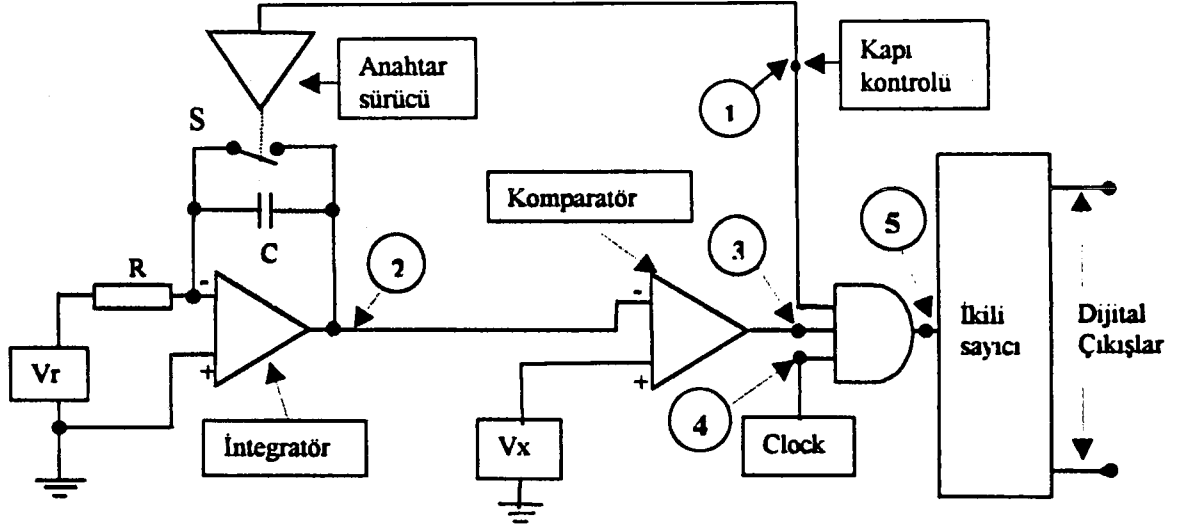
5.2. Analog-Dijital Dönüştürücüler (ADC)

Sayısal sistemlerin algılanabilmesi için, analog bilgilerin, dijitale dönüştürülmesi gerekir. Algılanmak istenen analog (fiziksel büyüklük) değer, ADC' lerle dijital değerlere dönüştürülür. Dönüştürme işleminde, analog bilginin belirli zaman dilimlerinde örneklenmesi yapılarak, dijital veri bilgisi elde edilir. Elde edilen bilgi sayıcıya aktarılarak, alınan basamak örnekleri saydırılır. Sonuçlar dijital göstergelerle dış ortama aktarılır. Bir ADC' de tek bir sayısal değere belli bir gerilim aralığı tanımlanır. Sabit gerilim veya değişken gerilimleri ölçmek için ayrı tiplerde tasarlanan bu elemanları, tasarım amacına göre kullanmak gerekir.

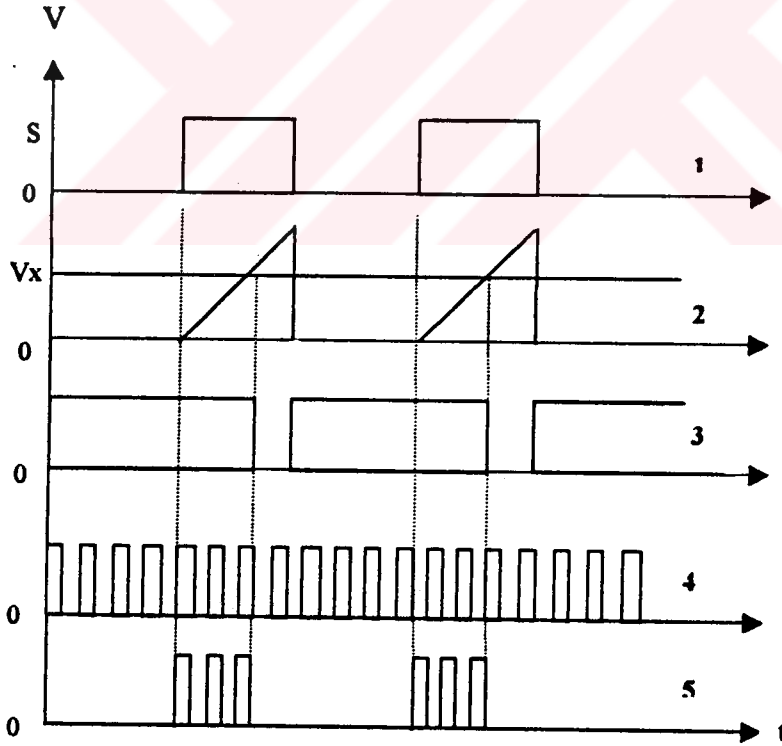
5.2.1. Tek eğimli ADC' ler (Single slope converters)

Tek yönlü sinyaller için tercih edilen bu basit yapının çalışması; integratörün ürettiği rampa fonksiyonun, V_x gerilimi ile karşılaştırılması işlemidir. Başlangıç için, sayıcı ve integratör sıfırlanır. İntegratöre sabit bir referans gerilim uygulanarak, rampa fonksiyonu elde edilir. İntegratör çıkışı ile V_x gerilimi, komparatörde karşılaştırılır. Komparatör çıkışı, V_x büyük olduğu sürece lojik 1 olur ve bu süre içerisinde saat darbelerini geçirir. Geçen saat darbeleri (clock) sayıcı tarafından sayılır. İntegratör çıkışının V_x gerilimini yakaladığı an komparatör çıkışı 0 olur ve sayıcı durur. Tek eğimli ADC' lerin doğruluk yüzdesi oldukça düşüktür. Doğru sonuç için;

1. Rampa çıkışı Lineer,
2. Ölçülecek gerilim gürültüsüz ve kararlı,
3. Saat darbe frekansı kararlı olmalıdır.



Şekil 5.7 Tek eğimli ADC' nin prensip devre şeması.

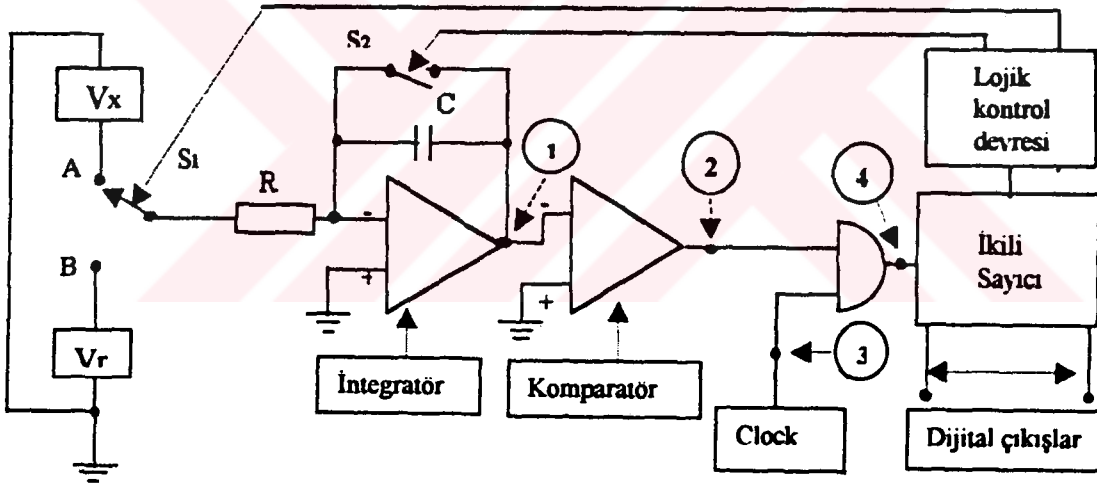


Şekil 5.8 Tek eğimli ADC' nin elemanlarının dalga şekilleri.

5.2.2 Çift eğimli ADC' ler (Dual slope converters)

İki eğimli ADC' lerin doğruluğu, tek eğimlere göre oldukça yüksektir. Genellikle tek eğimli yapının yetersiz kaldığı yerlerde, kullanılırlar. Devrenin çalışma prensibi, kapasitenin şarj ve deşarjından faydalanılarak, elde edilen iki eğimli integratör çıkışın saydırılmasıdır. Devrenin çalışmaya başlaması için, S2 anahtarı kapatılarak kapasite resetlenir. S1 anahtarı da, A duruma alınarak, kapasitenin şarj olması ile integratör çıkışının yükselmesi sağlanır. Giriş işareti, sabit bir zaman aralığı süresince integre edilir ve komparatör çıkışı 1 olacağı için saat darbeleri geçerek sayılır. Kapasitenin şarjı, Bağın. (5.4)'deki gibi yazılır.

$$V_c = -\frac{1}{RC} \cdot \int_0^t V_x dt \Rightarrow -\frac{V_x}{RC} \cdot t \quad (5.4)$$



Şekil 5.9 Çift eğimli AD C nin blok diyagramı.

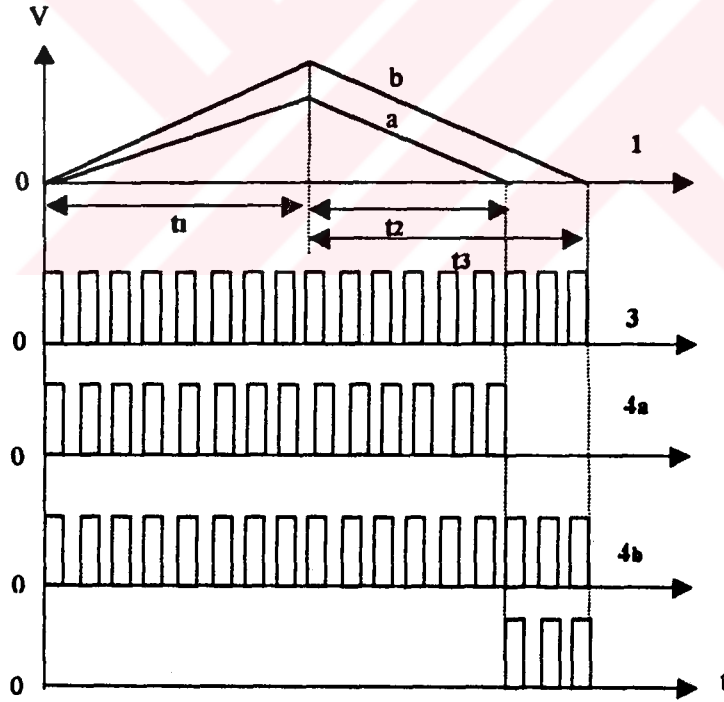
Bu süre içerisinde, saat darbeleri (clock) sayılır. Daha sonra, S1 anahtarı konum değiştirerek, zıt polariteye sahip sabit referans gerilimi integratöre iletilir. Bu duruma, kapasitenin deşarjı denilebilir ve Bağın. (5.5)'deki gibi yazılır.

$$V_c = -\frac{V_r}{RC} \cdot t_2 \quad (5.5)$$

İntegratör çıkışı sıfır seviyeye gelinceye kadar (kapı çıkışı 0 oluncaya kadar) saat darbelerinin sayılmasına devam edilir. Referans işaretinin integrasyon süresi (t_2), doğrudan doğruya giriş işaretinin genliğine bağlıdır. Genliğin değişimi, t_1 'in eğimini değiştirecek ve eğimin değişimi de, t_2 süresinin değişimine sebep olacaktır. Bilinmeyen girişler (V_x) için, deşarj sürecindeki değişimler, Bağntı. (5.6)' da verilmiştir.

$$V_{ca} = \frac{V_r}{RC} \cdot t_2 \quad (5.6)$$

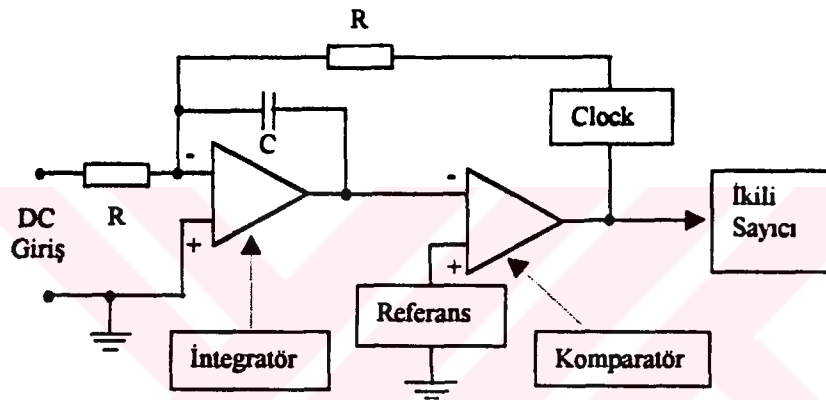
$$V_{cb} = \frac{V_r}{RC} \cdot t_3 \quad (5.7)$$



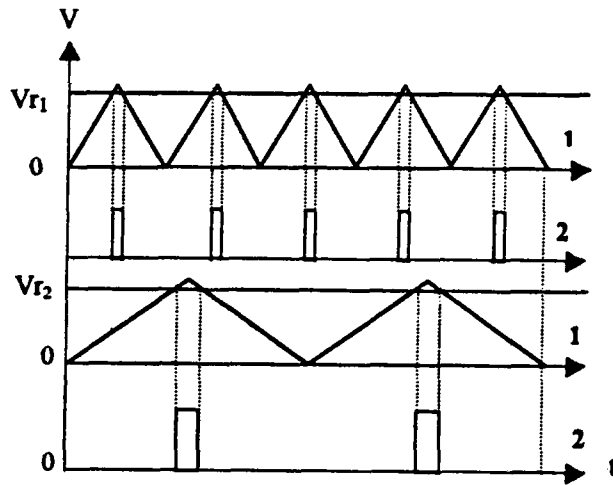
Şekil 5.10 Çift eğimli ADC nin dalga şekilleri.

5.2.3. Gerilim-frekans dönüştürücüler

Uygulanan gerilimi frekansa dönüştürüp, elde edilen sinyalin periyodu baz alınarak, gerilim değerinin hesaplanması hedeflenir. Çalışma prensibi; integratör çıkışı üçgen dalga ve uygulanan referans geriliminin karşılaştırılması sonucu elde edilen çıkış dalganın (kare dalga) birim zamandaki darbe sayısı sayıcı tarafından sayılır. Elde edilen değer, gerilime dönüştürme katsayısı ile oranlanarak gerilim değeri bulunur.



Şekil 5.11 Gerilim - frekans dönüştürücü.

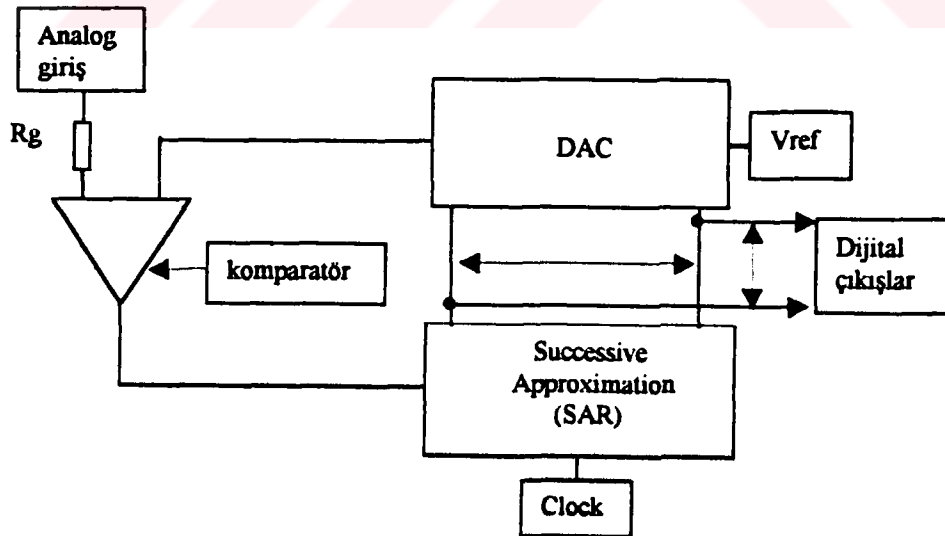


Şekil 5.12 Gerilim-frekans dönüştürücünün dalga şekilleri.

Devredeki integratörün rampa üretmesi kapasitenin şarjı ile ilgilidir. Ancak rampa inişi için kapasitenin deşarj edilmesi gerekir. Bu işlem darbe üretcinin (clock) çıkışının 0 olması ile gerçekleştirilir. Kısaca darbe üretcinin çıkışı 1 ise, kapasite şarj, çıkış 0 olursa kapasite direnç üzerinden deşarj olur. Devrede kullanılan dirençlerin birisi şarj, diğeri de deşarj için kullanılmıştır. İki direncin değerlerinin eşit olması durumunda oluşan rampa iniş-çıkış eğimleri eşit olur. Ölçülecek DC giriş geriliminin değerinin değişimi, rampa eğimini değiştirir. Böylece birim zamanda sayılacak darbe sayısı da değişmiş olur.

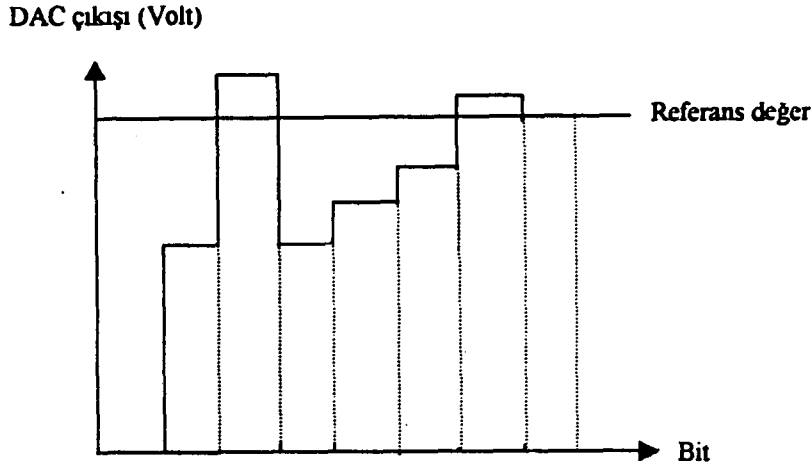
5.2.4. Ardışıl yaklaşımlı ADC' ler (Successive approximation ADC)

“SAR” (Successive Approximation Register) devre elemanı , DAC’ a her clock darbesinde en ağırlıklı bittten itibaren birer azaltarak bit yollar. DAC bu bilgiyi analog bilgiye çevirir. Komparatör ise DAC’ ın çıkışı ile giriş gerilimini test ederek bu bitin varlığına 1 veya yokluğuna 0 kararını verir. Clock devresi “SAR” ın zamanlanmasını kontrol eder. Yüksek çevrimler oldukça küçük (0 bitlik çevrim 1µs) zaman dilimlerinde yapılır.



Şekil 5.13 Ardışıl yaklaşımlı ADC' nin blok diyagramı.

Şekil 5.14’ da ki karakteristikte “SAR” dan sırası ile en büyük bittten başlanarak DAC’ a dijital bilgi gönderilir. DAC’ ın analog çıkışı komparatörde analog girişle karşılaştırılır.



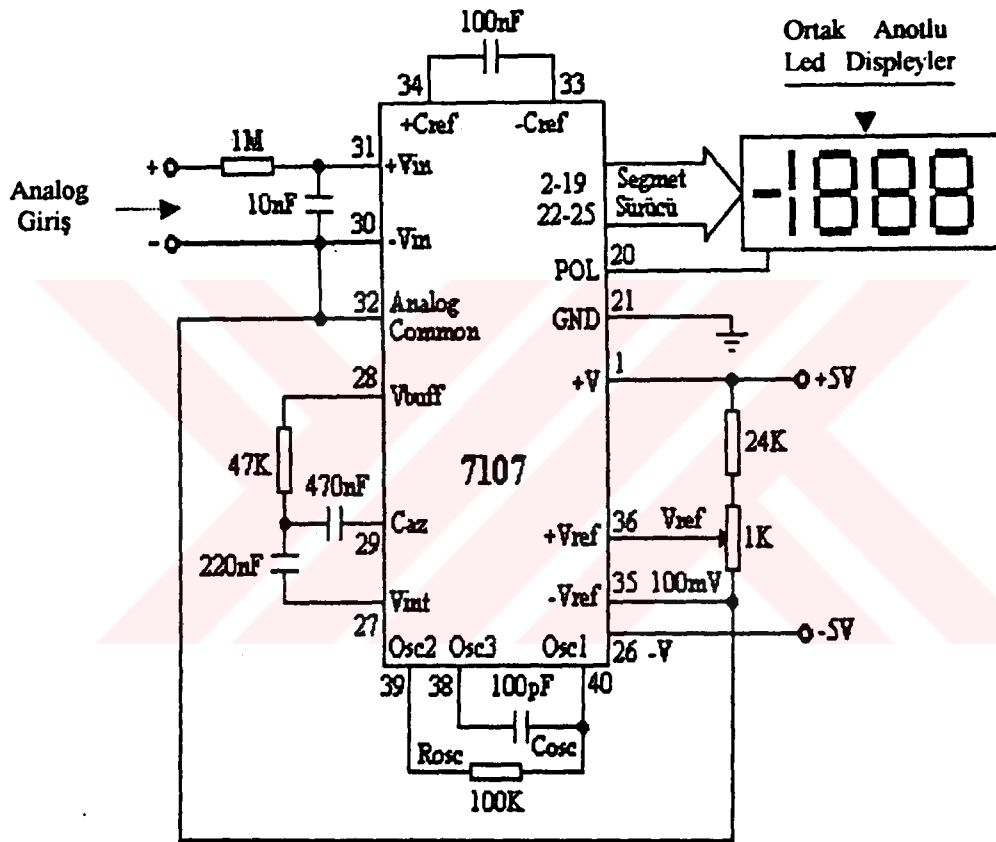
Şekil 5.14 Ardışıl yaklaşımlı ADC’ nin çıkışı.

Eğer gönderilen değer küçükse ikinci bit 1 yapılır ve tekrar gönderilir. Komparatörde karşılaştırılan değerlerden analog giriş küçük olursa, gönderilen dijital bilgiler değiştirilerek, girişe uygulanan analog değere en yakın değer elde edilinceye kadar bu işlem sırası devam eder.

5.3. 7107 Led Display Sürücü Entegresi

7107, 3.5 dijitalik direk sürücülü güncelleştirilebilir bir ADC’ dir. 20 °C sıcaklıkta hassas bir dahili referans gerilimi sağlar. Bu özellik, yer tutan harici referans elamanlarının devrede kullanılmama kolaylığı getirir. Dijit başına, 8 mA lik bir sürme akımı ile direk olarak ortak anot displayleri sürer.

Entegrenin girişine uygulanan DC gerilimi, çıkışta doğru olarak okumak için 35 ve 36 nolu ayaklara kalibrasyon trimpotu bağlanır. Bu trimpotun çok turlu olması, hassas ayar için önemlidir. Entegrenin 28 ve 29 nolu ayaklarına bağlanan elemanlar, girişe uygulanacak olan gerilim değerini saptarlar. Şekil 5.9' da çift eğimli ADC çevirme yöntemine göre çalışan standart uygulama devre şeması verilmiştir.

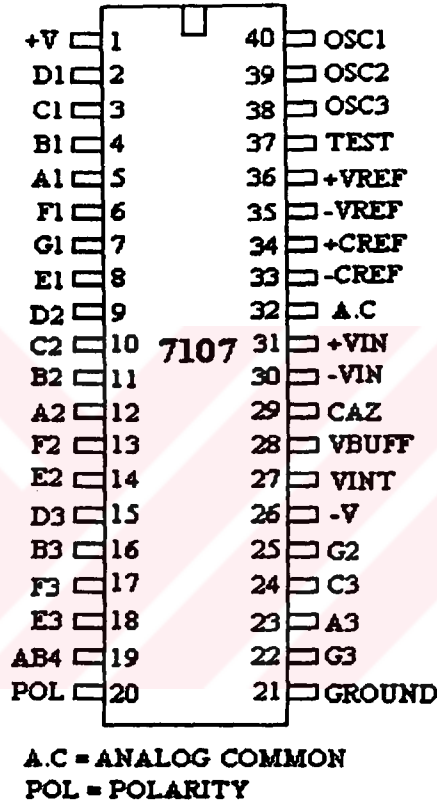


Şekil 5.15 7107 entegresi ile gerçekleştirilen standart uygulama devresi.

Bu entegre ile oluşturulan devrelerde lineersizlik oldukça alt değerlere çekilmiştir. Eşit genlikte fakat zıt polaritedeki giriş sinyallerini okumada ki fark değeri (Roll-over hatası) çok küçüktür. Yüksek empedanslı diferansiyel girişler,

1pA sızıntı akımı ve 10^6 M Ω giriş empedansına sahiptir. Diferansiyel referans girişi, oransal ölçmelere, omaj ölçümlerine veya köprü transdüser uygulamalarına uyumludur.

5.3.1. Entegrenin bacak bağlantıları ve açıklanması



Şekil 5.16 7107 entegresinin bacak bağlantıları

- 1 : Pozitif besleme gerilimi,
- 2 : Birler hanesinin D dijiti,
- 3 : Birler hanesinin C dijiti,
- 4 : Birler hanesinin B dijiti,
- 5 : Birler hanesinin A dijiti,
- 6 : Birler hanesinin F dijiti,
- 7 : Birler hanesinin G dijiti,

- 8 : Birler hanesinin E dijiti,
- 9 : Onlar hanesinin D dijiti,
- 10: Onlar hanesinin C dijiti,
- 11: Onlar hanesinin B dijiti,
- 12: Onlar hanesinin A dijiti,
- 13: Onlar hanesinin F dijiti,
- 14: Onlar hanesinin E dijiti,
- 15: Yüzler hanesinin D dijiti,
- 16 : Yüzler hanesinin B dijiti,
- 17 : Yüzler hanesinin F dijiti,
- 18 : Yüzler hanesinin E dijiti,
- 19 : Binler hanesindeki 1 rakamı,
- 20: Negatif ölçüm işareti (-),
- 21: Dijital şase,
- 22: Yüzler hanesinin G dijiti,
- 23: Yüzler hanesinin A dijiti,
- 24: Yüzler hanesinin C dijiti,
- 25: Onlar hanesinin G dijiti,
- 26: Negatif besleme gerilimi,
- 27: İntegral devresi çıkışı (Bu uca integrasyon kondansatörü bağlanır 220nf),
- 28 : İntegral alıcı direnç bağlantısı (Bu direnç 47K Ω ise, girişten max. 200mV, 470K Ω ise girişten max. 2V ölçülebilir),
- 29 : Otomatik sıfır kondansatörü (200mV tam skala için 470nf, 2V için 47nf),
- 30 : Eksi (-) ölçme girişi,
- 31 : Artı (+) ölçme girişi,
- 32 : Ortak analog bağlantı ucu,
- 33 : Referans kondansatörünün (-) ucu,
- 34 : Referans kondansatörünün (+) ucu,
- 35 : Referans geriliminin (-) ucu,
- 36 : Referans geriliminin (+) ucu (Referans gerilimi 200mV tam skala için 100mV, 2V tam skala için 1V olarak ayarlanmalıdır),

- 37 : Display test ucu (Dirençle + gerilime bağlanır ve displayde -1888 okunur),
- 38 : İç osilatör ayağı,
- 39 : İç osilatör ayağı,
- 40: İç osilatör ayağı, (Bu ayağa 100K Ω direnç ve 100pF kondansatör bağlanınca iç osilatör frekansı 48KHz olur).

5.3.2. Entegrenin özellikleri

Bu entegre aşağıda sıralanan özelliklere sahiptir.

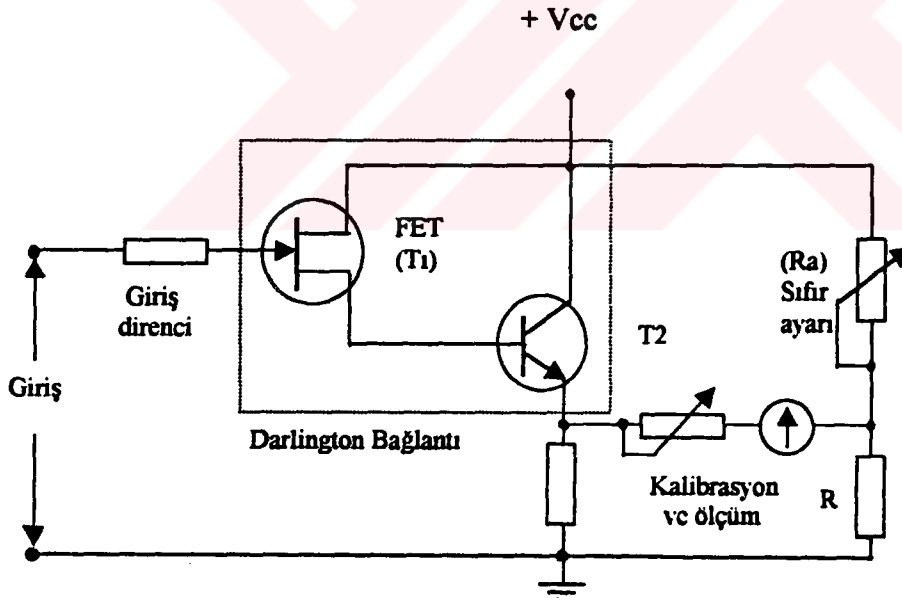
1. Displayleri direk olarak sürebilme,
2. Görüntü kararlılığı için düşük gürültü,
3. Simetrik 5 V' luk besleme,
4. Yüksek empedanslı girişler,
5. Düşük beslenme gücü (10 mW),
6. Otomatik sıfırlanma.

6. ELEKTRONİK VOLTMETRELER

Pasif ölçü aletleri olarak nitelendirilen, sıradan analog ölçü aletleri, giriş dirençlerinin küçük olması nedeni ile, ölçüm sırasında devreyi yükleyerek, yapılacak ölçmelerde hatalı sonuçların alınmasına sebep olurlar. Elektronik voltmetrelerin ise, giriş dirençleri çok yüksek ve özellikle her ölçüm kademesinde sabittir. Bu özelliklerinden dolayı elektronik ölçüm aletlerinin hata oranları kademeler arasında lineer ve çok düşüktür.

6.1. Analog Göstergeli DC Voltmetre

Elektronik ölçü aletleri gösterge tipilerine göre, analog ve dijital olmak üzere iki grupta toplanırlar. Analog aletlerin okuma ve saklama zorluğu ile devreyi yükleme etkileri düşünülürse, ölçmelerde dijital göstergeli aletler kullanıcıya büyük kolaylıklar sağlar.

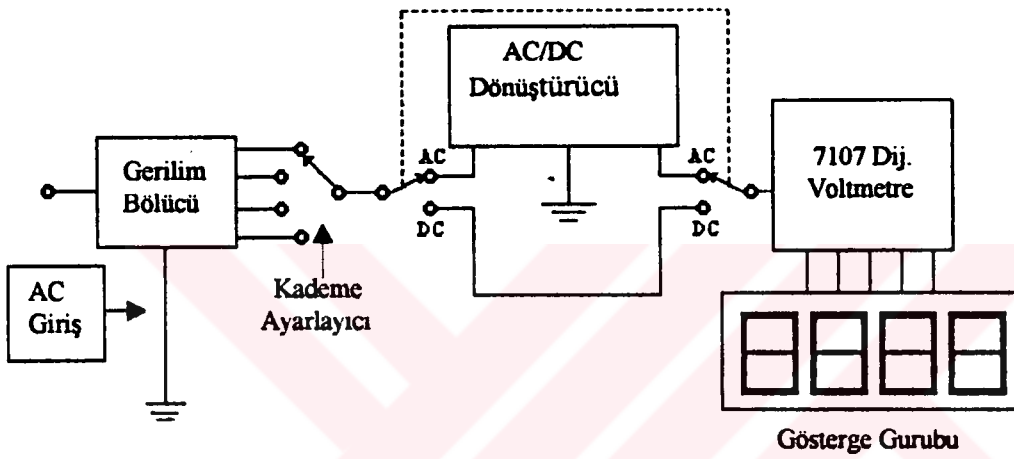


Şekil 6.1 Analog “FET” girişli elektronik DC voltmetre.

Yükleme etkisini azaltmak amacı ile sinyal girişine, giriş dirençleri çok yüksek olan “FET” elemanlar kullanılır (Şekil 6.1).

6.2. Dijital Göstergeli Voltmetre

Devre uygulamasında led göstergeler için 7107 ADC, LC göstergeler için de, 7106 ADC entegreler kullanılır. 7107 standart uygulama devresinin girişine, yapısına göre DC 200 mV veya 2 V arasındaki değerler uygulanabilir. Voltmetreye, daha büyük DC gerilim değerlerinin ölçülebilmesi için, gerilim bölücü direnç grupları, AC gerilimin ölçülebilmesi amacı ile de, AC-DC dönüştürücüler ilave edilir.

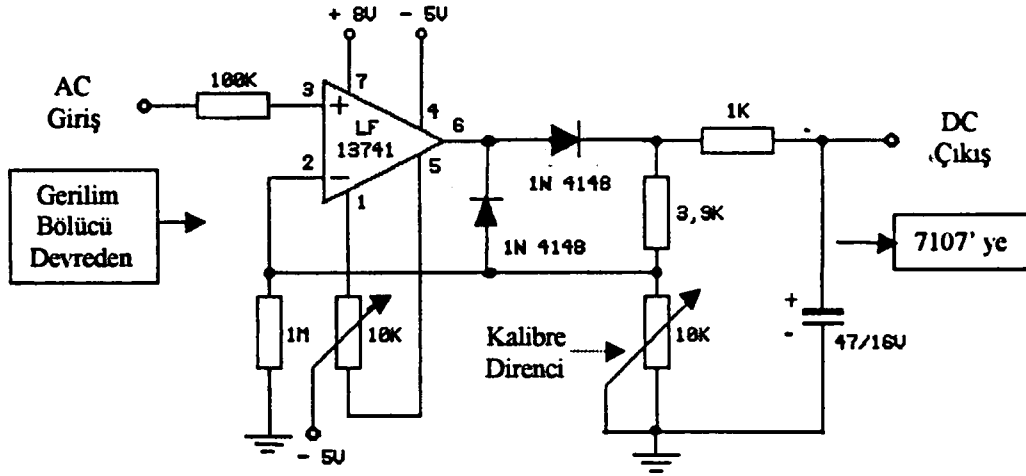


Şekil 6.2 Dijital voltmetre blok şeması.

6.3. AC-DC Dönüştürücü

Alternatif gerilimi doğru gerilime çevirerek dijital voltmetrenin (dijital panelmetre) girişine uygulayan kısımdır. Şekil 6.3’de verilen standart devrenin girişine yarım dalga Op-Amp’lı doğrultucu bağlanarak, AC girişlerin ölçülmesi amaçlanmıştır. Ölçülecek AC gerilim değeri, biçim faktörü ile orantılı olarak doğru gerilime dönüştürüldükten sonra Panelmetre’ye uygulanır. Offset trimpotu Op-Amp’ın iç dengesizliğinden dolayı çıkışında meydana gelebilecek gerilim değişimlerini sıfıra yaklaştırmak için kullanılır. Devre girişine bağlanan 100 K ve 1M Ω ’luk dirençlerle, cihazın giriş direnci artırılarak, çekilen akımın küçültülmesi ve böylece girişin daha küçük değerleri hissetmesi amaçlanmıştır.

Kalibre trimpotu, dijital voltmetrede okunan alternatif gerilim değerini ayarlamak için kullanılır (Tasarlanan devrede kullanılan dirençlerin toleranslarının çok küçük olması önemlidir).



Şekil 6.3 AC-DC dönüştürücü devresi.

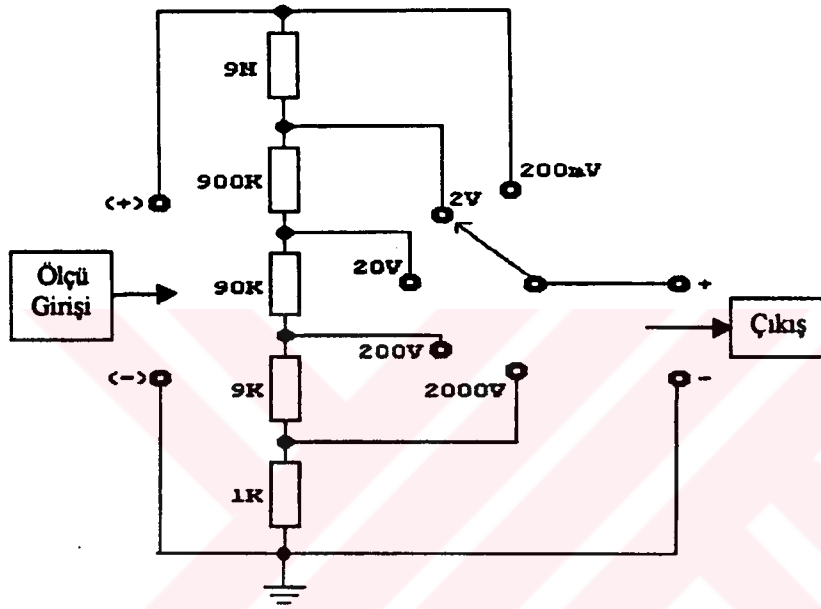
Tam veya yarım dalga doğrultuculu AC elektronik voltmetrede, gösterge olarak kullanılan döner bobinli galvanometre, ortalama değeri ölçer. Ancak, ölçü skalası efektif değere göre işaretlenir ve kalibre edilir (Tepe değerine göre kalibre edilen özel amaçlı voltmetreler de mevcuttur). Sinüzoidal olmayan işaretler bu yapıdaki cihazlarla, biçim faktörleri değişeceği için doğru ölçülemezler. Biçim faktöründen etkilenmeden, AC ölçüm için genellikle termik dönüştürücü cihazlar kullanılır. Biçim faktörü (BF), Bağntı (6.1)' deki gibidir.

$$BF = (V_{ef}/V_{ort}) \quad (6.1)$$

6.4. Gerilim Bölücü Direnç Grubu

Dijital göstergeye uygulanacak maksimum değerin üstündeki değerlerin ölçülebilmesi için küçültülmesi gerekir. Şekil 6.4' de görülen direnç grubu, girişlerine uygulanacak 0V-2000 V arasındaki DC veya AC gerilimi istenilen gerilim değerine dönüştürür. Seçilen bölücü direnç ile, uygulanacak gerilim

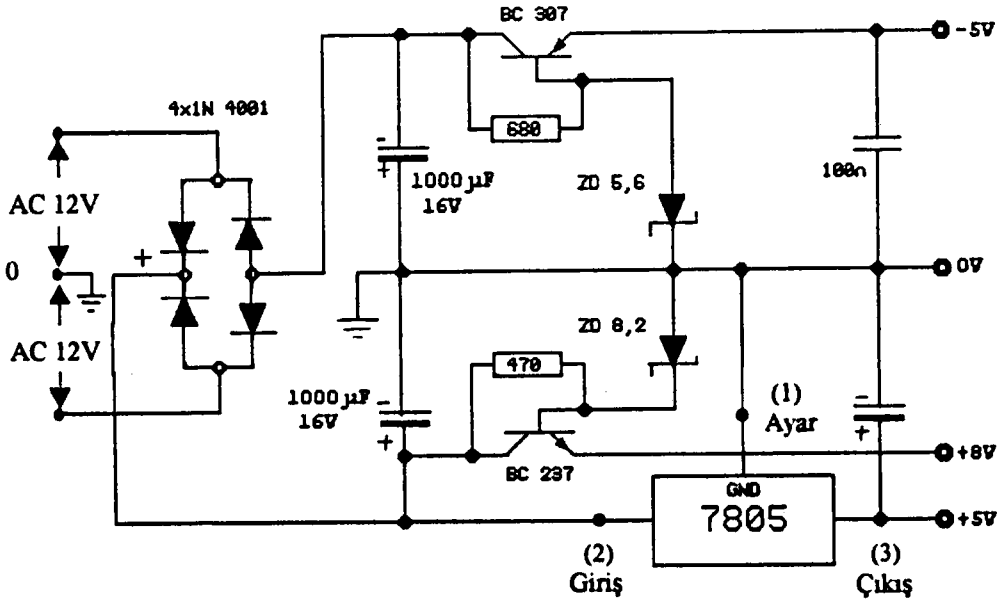
değeri küçültülerek cihaza uygulanır. Giriş değerinin büyüklüğü cihaz tarafından algılanamaz, ancak seçici anahtarın değeri okunan değere çarpan olarak katılarak doğru sonuç elde edilir. Bölücü devrelerde kullanılan dirençlerin toleranslarının çok düşük olması gerekir. Aksi halde kademeler arası ölçümlerde lineerlik bozulur. Uygun eleman olarak toleransları çok düşük, beş bantlı dirençler veya metal-film dirençler tercih edilir.



Şekil 6.4. Gerilim bölücü direnç grubu.

6.5. Besleme Devresi

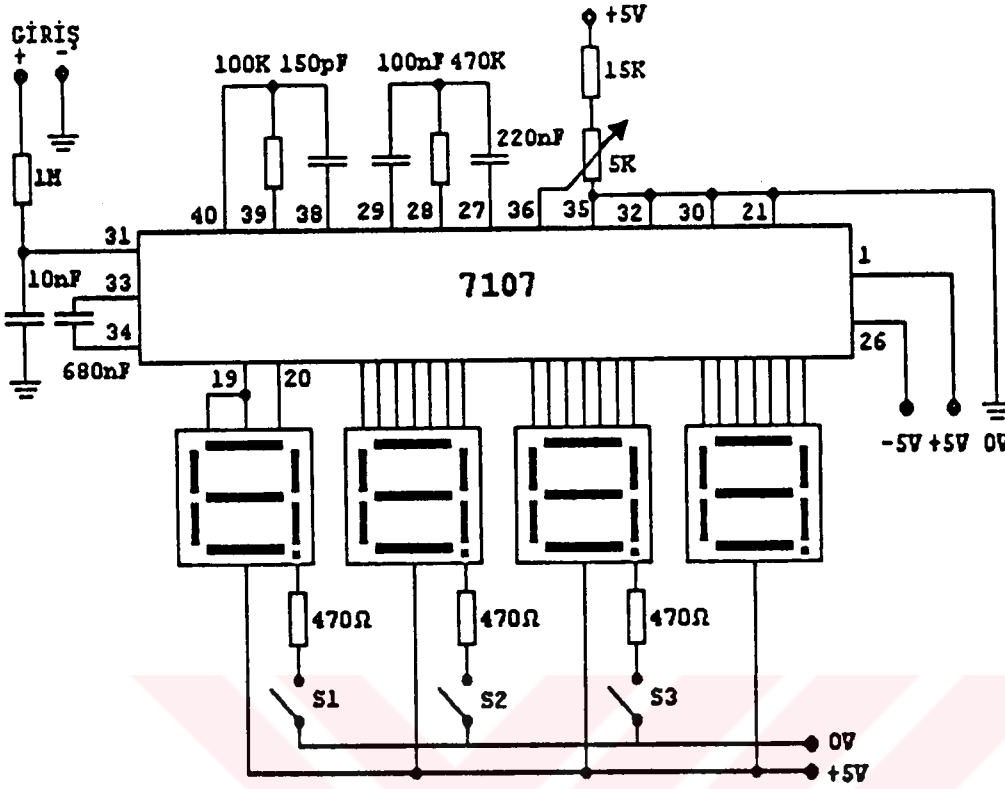
AC-DC dönüştürücü ve dijital voltmetre, amplifikatör gibi, ara-blok devrelerin beslenmesi gerekir. Besleme gerilimleri genellikle simetrik olup, gerilimler değerleri, 5, veya 8 voltur. Bu değerlerin, düzgün DC ve regüleleli olması, beslenen devrelerin kararlılıklarını arttıracakı düşünülürse, besleme devresinin çok dikkatli hazırlanmış bir yapıya sahip olması gerekir. Devredeki bütün şase bağlantıları, mutlaka besleme devrelerinin şaseleri ile birleştirilmelidir.



Şekil 6.5 Regüleli besleme devresi.

6.6. Dijital Voltmetre (Panelmetre)

Girişine uygulanan analog değerleri dijital değerlere çevirerek, dijital göstergeye aktaran blok devredir. Uygulanan gerilim değeri direk olarak 2 V olarak tasarlanmıştır. Daha büyük değerleri ölçebilmek için, Şekil 6.4' deki bölücü devre kullanılarak, giriş değerleri 0,2 Volt' a düşürülür. 35 ve 36 nolu uçlara bağlı ayarlı-direnç, uygulanan DC gerilimi değerinin doğru olarak okunması (kalibrasyon) için kullanılır (Bu elemanın hassas ayar yapabilmesi için turlu olmalıdır). 7107 Entegresi DC gerilim ölçerken, ölçme uçlarının yer değiştirmesi durumunda, giriş değeri çok az hata ile (% 0,3 hata) okunur. Bu ölçüm şeklinde, binler hanesini gösteren gösterge elemanında (display) okunan değer önünde “-” işareti görülür. Göstergelere bağlı S1, S2 ve S3 anahtarları ondalık noktalarını seçmek için kullanılır. Bu anahtarlar gerilim bölücüye bağlanan seçici komütatörle ilişkilendirilerek, her ölçüm kademesi için noktalarının değiştirilmesi sağlanır. Böylece, ölçüm kademesi değiştikçe, göstergelerdeki ondalık noktaları da kaymış olur.



Şekil 6.6 7107 ile oluşturulmuş dijital voltmetre devresi.

6.7. Baskı-Devre

Elektronikte kullanılan devre elamanlarının fiziki boyutları gün geçtikçe küçülmekte, daha küçük elemanlarla büyük iş yapabilmenin sağlanması amacı ile, sürekli yenilikler ortaya çıkarılmaktadır. Transistör ve entegre devrelerin gelişmesine bağlı olarak, uygun montaj şekli olarak, baskı-devre yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Tasarlanan devrelerin, yüzeyi ince bakır kaplı pertinakslar üzerine çeşitli metotlarla baskı-devre şemaları hazırlanır. Hazırlanan pertinaks üzerine elemanların montajı gerçekleştirilerek ayakları lehimlenir (Bakırlı pertinakslar, fiber yada epoksi denen yalıtkan plaklar üzerine ince bir bakır tabakası kaplanarak oluşturulur). Üzeri film tabakası ile kaplanmış bakırlı veya sadece bakır tabakalı pertinakslar mevcut olduğu gibi, tek veya çift taraflı olarak ta üretilmektedirler.

6.7.1. Baskı-devrelerin yararları

Montajda baskı-devre kullanma, montaj kolaylığı, elemanların kontrol ve düzenlerinin sağlanması, ağırlığın azaltılması, standart hale getirmeye müsait oluşu, karışık devre montajları için güvenilirliği artırması, otomasyona uygunluğu ile ekonomi sağlanması, arıza gidermede kolaylık sağlama ve elemanların kolay tanınabilmesi şeklinde avantajlar sağlar.

6.7.2. Baskı Devrelerin Sakıncaları

Bakırlı pertinaksız üzerindeki bakır tabakası çok incedir. Bu sebeple dikkatli lehimleme ile montaj gerektirir. Devre tamirinde, sökme-takma işlerinde dikkatli davranılmazsa, bakır tabaka kabırır ve kullanılamaz hale gelebilir. İletken yolların açıkta olması sonucu, kısa-devre ihtimali ile karşılaşılabilir. Pertinaksız birim yüzey direnci eleman direncinden fazla olabilir.

6.7.3. Montajı yapılacak şemanın baskı-devresi' nin hazırlanması

Tasarım devre dizaynında, çalışana büyük kolaylık sağlayan baskı-devre hazırlama olayı, devre montajında hataları azaltıp seri iş şansı sağlar. Hazırlık için öncelikle, tasarımının açık-devre şeması düzgün şekilde kağıt üzerine alınır. Daha sonra şemada, mevcut olan malzemelerin listesi çıkarılır ve malzemeler temin edilir. Malzemeler, şemadan yararlanarak delikli bir pertinaks veya sünger üzerine takılarak, yerleştirme planı hazırlanır. Bu planın hazırlanmasında, devrenin kaplayacağı fiziki alan, yüksek gerilim, yüksek empedans ve kritik sinyal bölgeleri tespit edilir. Tespitler sayesinde, uygun mesafelerin bırakılması, elektriksel bağlantıların doğruluğu, arıza bulma kolaylığı, dayanıklılık ve estetik görünüm gibi önemli olan şartlar gerçekleştirilir.

Ayrıntılı imalat resimleri genellikle kareli kağıt üzerine çizilir. Baskı-devre kareli kağıtları, çizgiler arası mesafeye göre 0.635 mm veya 2.54 mm (4x0.635) olarak standartlaştırılmıştır. İmalat resmi, gerçek boyutlara göre daha büyük

izilerek, esas baskı-devre' deki (master-şema) izim hataları azaltılmaya çalışılır. Çizilen resmin sol alt köşesine, delik çapları, hat genişliklerin ve terminallerin uzaklıkları gibi ayrıntılı bilgiler yazılır. Normal baskı-devre uygulamalarında hatlar arası en yakın mesafenin 1.25 mm olması hatlar arası güvenli izolasyon direncinin sağlanması açısından önemlidir. Gerilime göre hatlar arası mesafe, Tablo 6.1' de verilmiştir.

Tablo 6.1 Baskı-devre pertinakslarında "mm/V" değerleri.

Gerilim (volt)	Mesafe (mm)
0 - 240 V	1,25 mm
241-340 V	1,905 mm
341-420 V	2,45 mm
421-500 V	3,175 mm

Baskı-devre kağıdına çizilen tasarım şema, iletken hatlarını gösteren resim şekline çevrilir. Bu işlem, aydınge kağıdına yada düz beyaz bir kağıda genellikle rapido kalemi kullanılarak yapılır (Pratik bazı devre denemeleri için çizim işlemi, özel baskı-devre kalemi kullanılarak, doğrudan pertinaksın bakır yüzeyine 1/1 lğinde yapılabilir). Normal kağıt üzerine çizilen devre şemaları, karbon kağıt yardımı ile bakıra veya aydınge kağıdına geçirilir ve gerekli yerler boyanır. İletken hatlarının belirtilmesinde, keskin köşelerden mümkün olduğu kadar kaçınılır ve hatlar arasında mesafeye dikkat edilir. OrCAT, Board Marker, Eagle gibi bazı bilgisayar paket programları yardımı ile baskı-devre tasarımı veya iletken hatlarının belirlendiği master-şema hatasız olarak kolayca hazırlanarak, aydınge veya normal kağıda yazıcı veya iziciler yardımı ile alınabilir. Aydınge kağıdına alınan master-şema genellikle foto-baskı metodu kullanılarak bakır pertinaksa aktarılır. Bakır pertinaksa aktarılan şemada, iletken hatları arası bir kimyasal çözücü kullanılarak eritilir (Bu işlem, özel bilgisayar destekli freze makinaları yardımı ile çözücü kullanılmadan eritilecek yerlerin kazınması şeklinde yapılabilir).

Çıkarılmak istenen devrenin, master-şema' sının bakırlı pertinaks üzerine aktarılması metotları, aşağıdaki gibi sıralanır;

1. Baskı kalem metodu,
2. Pozitif-20 metodu,
3. Serigrafi baskı metodu,
4. Offset baskı metodu,
5. Foto baskı metodu,
6. Freze metodu.

Serigrafi Metodu; baskı-devre şeması ve hatları belirten master-şema çizilerek, aydıngeçer kağıdına aktarılır. Çizimden sonra ipek seçimi yapılır (İpekler, cm² deki gözenek sayısına göre seçilirler. İnce çizgi şeklindeki hatların çıkarılması için gözenek sayısı çok olan ipekler tercih edilir. Birim yüzeyinde 90, 120 ve 150 delik olan ipekler mevcuttur). Seçilen ipek ıslatılarak, bir çerçeveye düzgün olarak gerilir (İpek yerine naylon veya metal süzgeçler kullanılabilir). Çerçevelemiş ipek üzerine ışığa duyarlı alkoset yada kıvasal ile birlikte kullanılan kromat gibi kimyasal maddeler (Alkoset yada kıvasal % 90, kromat % 10 oranında), cam fanus içinde hava kabarcıkları kalmayacak şekilde iyice karıştırılarak, karanlıkta veya kırmızı ışıkta rahle ile homojen bir şekilde ipeğin üzerine sürülür ve hızlıca kurutulur. Kurutma işleminden sonra, içinde floresan lamba veya ultraviyole ışık yayan lambalardan oluşturulmuş, üzeri cam pozlandırma masası kullanılarak, pozlandırma işlemine gerçekleştirilir. Bu işlem için, aydıngeçer çizilen devre şeması ve pertinaks bakır yüzeyi ışık alacak şekilde üst-üste pozlandırma masasına yerleştirilerek, yaklaşık olarak 8-10 dakika beklenir. Daha sonra, ipek gerili çerçeve ışık görmeden tazyikli su altında tutularak, ipekte ışık alan yerler dışında kalan kimyasal maddeler suyun etkisi ile dökülür. Böylece aydıngeçer çizilen resim ipek üzerine aktarılmış olur. Kurutulan ipek, resim büyüklüğünde hazırlanarak temizlenmiş bakırlı-pertinaks' ın, üzerine yerleştirilerek, ipek üzerine rahle ile yağlıboya sürülür. Bu işlemden sonra resim pertinaksa aktarılmış olur. Boyalı pertinaks kurutularak, eritme işlemine geçilir.

Teorik olarak bakırı eritebilen bütün sıvı maddeler eritken olarak kullanılabilir (Pratikte demir üç klorür veya , amonyum persülfat- sülfürik asit karışımları eritici olarak tercih edilir). Katı haldeki demir üç klorür ılık suya atılarak eritilir. Önceden hazırlanan boyalı pertinaks eriyik içine bırakılarak, yüzeydeki boyasız kısımların bakır kaplamaları eritilir ve eriyikten çıkartılarak su ile yıkanır. Temizleyici kullanılarak boya ve asitler temizlenir. Bağlantı noktaları ayak çaplarına göre matkap uçları kullanılarak delinir. Artık pertinaks montaja hazır hale gelmiştir. Elektronik devre elamanları yerleştirilerek, lehimleme yapılır. Yukarıda açıklanan, serigrafi metodunun işlem sırasını, aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Baskı-devre ve mastar-devreler çizilir,
2. İpek hazırlanır,
3. Işığa duyarlı madde, karanlıkta yada kırmızı ışıktaki hazırlanır,
4. Karışım homojen olarak ipeğe sürülür ve kurutulur,
5. Pozlandırma masasına aydınlar ve ipek yerleştirilir,
6. Pozlandırma masası lambaları yakılır ve 8-10 dakika beklenir,
7. Işık görmeden ipek tazyikli suya tutulur,
8. Bakırlı pertinaks fiziksel olarak hazırlanır,
9. İpektaki mastar-şema bakır levhaya aktarılır,
10. Boyalı levha ipekten ayırarak kurutulur,
11. Bakır levha aside atılarak baskı-devre elde edilir ve temizlenir,
12. Matkap ile resimde belirtilen delikler delinir,
13. Devre elemanları seçilerek montaja başlanır,
14. Elamanların ayakları lehimlenir.

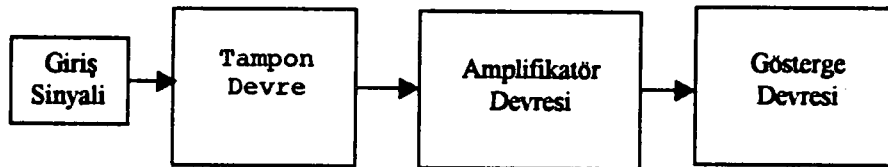
7. DİJİTAL MİKRO-VOLTMETRE TASARIMI

Küçük değerdeki gerilimlerin okunması işlemi, mikro elektronik için çok önemlidir. Genel olarak laboratuvar çalışmaları, karşılaştırma veya karar verme gibi kontrol ve kumanda devrelerinde çok küçük (mikro) değerler çok önemli rol üstlenirler. Mevcut sıradan laboratuvar ölçü aletleri ile çok küçük gerilim değerlerinin ölçülmesi mümkün değildir.

Dijital kontrol devrelerinde, algılama veya duyu elemanları olarak bilinen sensör ve transdüserlerin ürettikleri elektriksel büyüklüklerin küçük genliklerde olması, ölçüm problemi doğurmakta ve ancak mili veya mikro değerlikli ölçü aletleri kullanılarak ölçülebilmektedir.

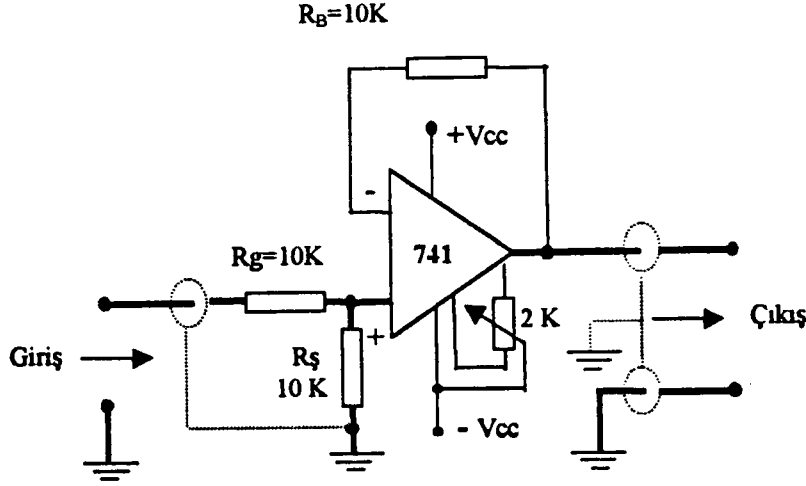
7.1 Mikro-Voltmetre'nin Yapısı

Tasarlanan cihaz, üç ana bloktan oluşturulmuştur (Şekil 7.1). Tampon devre ile aletin giriş direncini artırılarak, devreyi yükleme etkisinin azaltılması amaçlanmıştır. Cihaza girilen ölçüm sinyalinin yükseltilmesi için, bu kattan amlifikatör katına aktarılmıştır. Amplifikatör yardımı ile giriş sinyalinin yükseltilerek, okunabilir duruma getirilmesi sağlanmıştır. Gösterge devresi de, amlifikatörden aktarılan büyüklükleri sayısal değerlere dönüştürerek, okunması gerçekleştirilmiştir (Okuma kolaylığı için dijital yapı tercih edilmiştir).



Şekil 7.1 Mikro-Voltmetrelerin blok diyagramı.

7.3. Tampon Devre



Şekil 7.3 Mikro-Voltmetre tampon devresi.

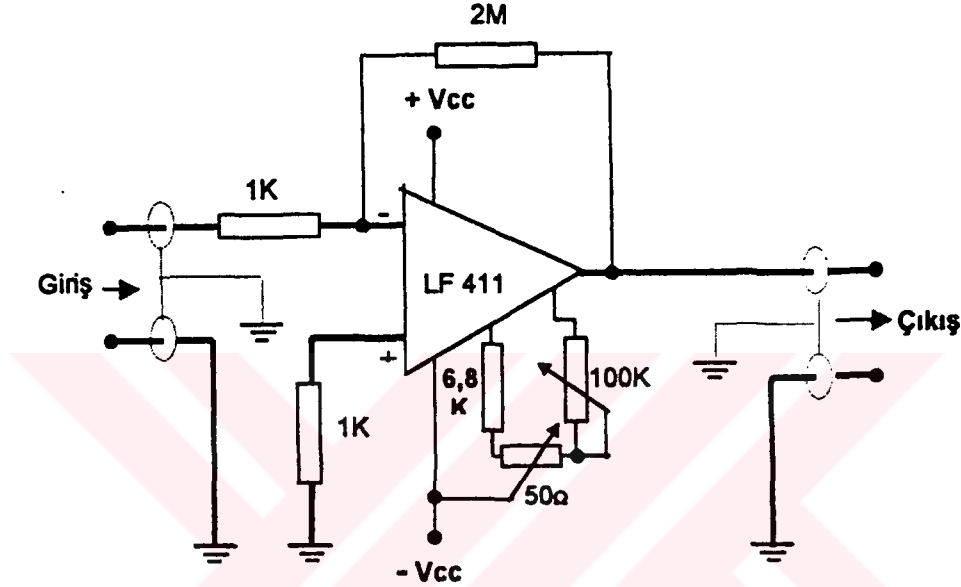
Giriş sinyali direk olarak amplifikatöre aktarılmadan önce, kazancı 1 olan gerilim izleyici (tampon) devrenin kullanılması, sistemin giriş direncinin çok yüksek tutulmasını sağlamıştır. Böylece cihazın yükleme etkisinin azaltılarak, hassasiyetinin artırılması amaçlanmıştır.

7.4. Amplifikatör Devresi

Ölçülecek sinyallerin çok küçük olması, devre dizaynı için kullanılacak elemanların çok dikkatli seçilmesini gerektirmiş ve kataloglardan en uygun eleman olarak fet girişli JFET LM411 Op-Amp' ı seçilerek, amplifikatör devresinde kullanılmıştır. Girişine uygulanan sinyal 10^3 kat yükseltilerek panel-metreye iletilmiştir. Yükselticinin dış gürültülerden etkilenecek, çıkışta hatalara sebep olmasını azaltmak için aşağıda sıralanan tedbirler alınmıştır.

1. Geçiş bağlantıları ve giriş-çıkış iletkenleri blandajlı iletkenlerle yapılmış,
2. Blandajlı iletkenlerin dış örgüleri, besleme trafosunun orta uçları ve bütün blokların şasesi birleştirilerek, cihazın şasesine bağlanmıştır.
3. Cihazın şasesi dış gövde ile şöntlenmiştir.

4. Tasarlanan cihazın dış gövdesi, alüminyum levhalardan oluşturularak, dış gürültülerden etkilenmesi asgariye indirgenmeye çalışılmıştır.
5. Baskı devrede kullanılan bazı direnç eleman değerlerinin çok yüksek olması göz önüne alınarak, baskı-devre için birim yüzey direnci çok yüksek olan pertinakslar denenmiştir ($10^9 \Omega/\text{mm}$).



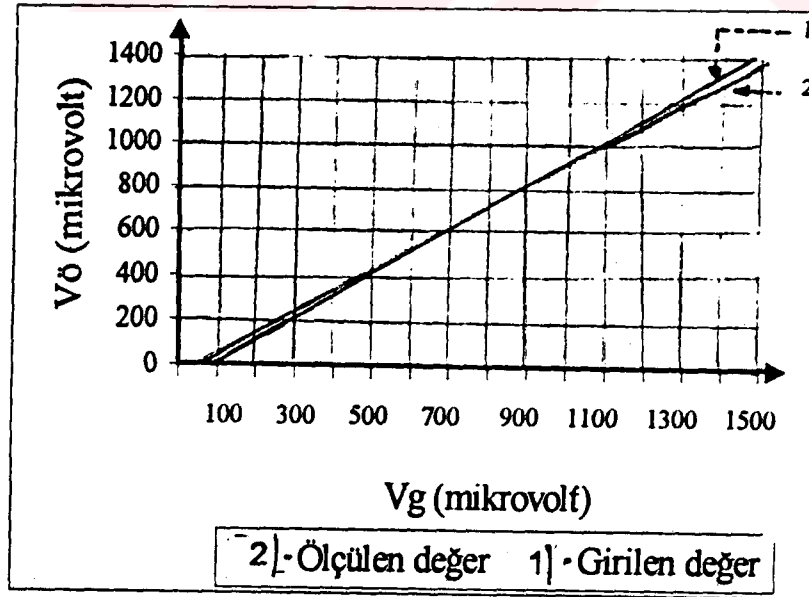
Şekil 7.5 Amplifikatör devresi

Tasarlanan cihazın, “EASYPC” baskı-devre programı yardımı ile Şekil 7.5’ de master şeması, Şekil 7.6’ da ise, eleman yerleşim planı hazırlanarak verilmiştir. Hazırlanan devre şemalarında, yardımcı bloklar ilave edilerek çok amaçlı tasarımlar için hazır devre şemalarının oluşturulması amaçlanmıştır. Tasarlanan blokların görevleri aşağıda sıralanmıştır.

1. blok : Besleme devresi,
2. blok : Panelmetre (gösterge) devresi,
3. blok : Ortak anotlu göstergeler,
4. blok : Gerilim bölücü devre,
5. blok : AC-DC dönüştürücü.

Tablo 7.1 Tasarlanan cihazın giriş-çıkış değerleri

Sıra	Girilen Değer (x_i)	Ölçülen Değer (X_o)	Hatalar	
			Δx	$(\Delta x/x_o) \cdot 100$
1	0	0		
2	95	103	+8	+7,7
3	190	196	+6	+3,06
4	285	290	+5	+1,72
5	380	384	+4	+1,04
6	475	480	+5	+1,04
7	570	574	+4	+0,69
8	665	671	+6	+0,89
9	760	769	+7	+0,91
10	855	859	+4	+0,46
11	950	954	+4	+0,48
12	1045	1040	-5	-0,44
13	1140	1145	-5	-0,71
14	1235	1226	-9	-0,74
15	1330	1320	-10	-0,75
16	1425	1418	-7	-0,49



Şekil 7.7 Tasarlanan cihazın giriş-çıkış eğrileri.

8. SONUÇ VE TARTIŞMA

Yapılan cihazda gösterge, standart 7107 entegresi kullanılarak oluşturulmuştur. Bu entegrenin standart devre uygulama şemasında kullanılan bazı kondansatör ve direnç elemanlarının değerlerinde değişiklikler yapılarak, sıfır ayarı gerçekleştirilmiştir. Amplifikatör devresinde ise, duyarlılığı çok yüksek “JFET 411” Op-Amp elemanı kullanılarak cihazın mikro değerleri algılayabilmesi sağlanmıştır.

Devrede kullanılan kondansatörlerin şarj-deşarj olaylarının elektronik cihazlarda sebep olduğu zaman gecikmesi, bu cihazda da görülmüş ve çok kısa aralıklarla yapılacak ölçmelerde her ölçüm arasında 4-5 saniye durulma zamanının beklenmesi gerektiği izlenmiştir.

Kullanılan devre elemanlarının ortam sıcaklığından dolayı sebep oldukları okuma hatalarını önlemek amacı ile, sayfa 81-82 de açıklanan tedbirler alınmıştır. Cihazın çok farklı değerlerde doğru ölçme yapabilmesi açısından, sıfır ayarına müdahale etmek amacı ile offset ayar düğmesi dışarıya alınarak ayarlama şansı sağlanmıştır.

Cihazın kalibre işlemi ikinci sınıf bir cihazla karşılaştırılarak yapılmış ve iki cihaz arasında ölçüm paralelliği görülmüştür. Ölçmede hata $((\Delta x/x_0) \cdot 100)$ değerleri ortalama %1 civarında olmuştur (Tablo 7.1). Deney için girilen gerilimlerin elde edildiği direnç kutusunun küçük değerdeki direnç toleranslarının çok etkili olması, 1-100 mikrovolt arası değerler ölçülürken, hataların artmasına sebep olduğu gözlenmiştir.

Yapılan cihazın doğru ve hızlı ölçüm yapabilmesi için alınacak harici tedbirler; cihazın topraklı bir prizden beslenmesi veya şasesinin topraklanması, dış ortam ısısının sabit ve çevre gürültüsünün çok az olması, ilk ölçümden önce durulma zamanının (yaklaşık 10 dakika) beklenmesi ve sonraki ölçümlere hazır olması amacı ile enerjisinin kesilmemesi olarak, yapılan denemelerde ortaya çıkmıştır.

KAYNAKÇA

BELL, D. A. , (1990). **“Operational Amplifiers Application, Troubleshooting and Design”** . Englewood Cliffs, New Jersey 07632

LARRY, D.J. , CHIN, A. F. , (1991). **“Electronic Instruments and Measurements”** . Second Edition, Englewood Cliffs, New Jersey 07632

BELL, D. A. , (1994). **“Electronic Instrumentation and Measurements”** . Second Edition, Paramount Communications Company, Englewood Cliffs, NJ07632

LANG, T. T. , (1987). **“Electronics of Measuring Systems”** . Jhon Wiley & Sons Ltd, New York.

AKTAŞ, Ç. , (1974). **“Elektrik ve Elektronik Ölçmelerine Giriş”** . Kurtuluş Matbaası, İstanbul.

BOLYLESTAD, R. , NAHELSKY, L. , (1994). **“Elektronik Devre Elemanları ve Devre Teorisi”** . (Endüstriyel okullar için çeviri) Evren Ofset, Ankara.

UÇAR, F. , (1981). **“Elektronik Ölçmeleri ve Entegre Devreleri”** . Kavukluoğlu Matbaası, Ataköy, İstanbul.

PASTACI, H. , (1988). **“Elektrik ve Elektronik Ölçmeleri”** . Metinler Yayıncılık İstanbul.

GREEN, D. , Çeviri; KURT, A. , (1993). **“DC Elektronik II”** . YÖK Matbaası, Ankara.

BAYRAM, H. , (1988). **“Dijital Elektronik”** . Mapa Matbaacılık, Bursa.

ALTINYÜZ, M. E. , TAŞÇI S. Z. , (1993). “Endüstriyel Kontrol” . Birinci Baskı, Kurtiş Matbaası, İstanbul.

ANASIZ, K. , (1977). “Elektrik Ölçü Aletleri ve Elektriksel Ölçmeler” . M.E.B İstanbul

ÇETİN, K. , (1991) “Endüstriyel Elektronik” : Yenyol Matbaası, İzmir.

ÇETİN, K. , (1985). “Elektronik Devreler” . Ankara.

BANNISTER, B. R. , (1985). “Fundamentals Of Digital Systems” .

KUNTMAN, H. H. , (1996). “Endüstriyel Elektronik” . Sistem Yayıncılık

SÜLÜN, E. E. , ASLAN, M. , (1997). “Elektronik Devre Uygulamaları I” .

(1985). “Teledyne Semiconductor, Data Acquisition IC Handbook” .

(1995). “Operational Amplifiers and Comparators, Data Book, Volume A” . Texas Instruments.