

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Mikrodenetleyicili, Genel Amaçlı Bir Endüstriyel
Otomatik Ölçüm Sisteminin Gerçekleştirilmesi Ve
Çıkış Birimlerinin Uygulaması**

Elektronik ve Haberleşme Müh. Emre OĞUZ

**FBE Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektronik Programında Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı:Yrd. Doç. Dr. Tuncay UZUN

İSTANBUL, 2009

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Mikrodenetleyicili, Genel Amaçlı Bir Endüstriyel
Otomatik Ölçüm Sisteminin Gerçekleştirilmesi Ve
Çıkış Birimlerinin Uygulaması**

Elektronik ve Haberleşme Müh. Emre OĞUZ

**FBE Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektronik Programında Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı:Yrd. Doç. Dr. Tuncay UZUN

İSTANBUL, 2009

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ SINAV SONUÇ TUTANAĞI

Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Aşağıda tez adı belirtilen 05504004 no'lu yüksek lisans öğrencisi Emre OĞUZ'un, 11/11/2009 tarihinde yapılan tez sınavında oybirliğiyle başarılı bulunmuştur.

Bilgilerinize saygılarımızla arz ederiz.

ANABİLİMDALI/PROGRAMI : Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği / Elektronik

TEZİN BAŞLIĞI* : Mikrodenetleyicili, Genel Amaçlı Bir Endüstriyel Otomatik Ölçüm Sisteminin Gerçekleştirilmesi Ve Çıkış Birimlerinin Uygulaması

TEZ SINAV JÜRÜSİ

ÖĞRETİM ÜYESİ

İmza

Danışman	: Yrd. Doç. Dr. Tuncay UZUN	
Üye	: Prof. Dr. A. Çoşkun SÖNMEZ	
Üye	: Prof. Dr. Herman SEDEF	

* İleride doğabilecek aksaklıkların engellenebilmesi için tezin başlığının yazılması gerekmektedir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖNSÖZ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ	1
2. BİLGİSAYAR TABANLI ENDÜSTRİYEL ÖLÇÜM SİSTEMLERİ	4
2.1 Tarihçe	4
2.2 Bilgisayar Tabanlı Endüstriyel Ölçüm Sistemleri Mimarisi	6
2.3 Endüstriyel Ölçüm Sistemlerinde Kullanılan Haberleşme Arayüzleri	9
2.3.1 Paralel Port	10
2.3.2 Seri Port (COM Port) ve RS232 Arayüzü	11
2.3.3 RS422 ve RS485 Veri Yolları	14
2.3.4 ISA Veri Yolu	17
2.3.5 PCI Veri Yolu	19
2.3.6 PCI-Express Veri Yolu	22
2.3.7 USB – Evrensel Seri Veri Yolu	23
2.4 Algılayıcılar ve Dönüştürücüler	28
2.4.1 Algılayıcılar ve Dönüştürücülerin Sınıflandırılması	30
2.5 İşaret Şartlandırıcılar	32
2.5.1 İşlemsel Yükselteçler ve Yükselteç Devreleri	32
2.5.1.1 Evirmeyen Yükselteç (Non-Inverting Amplifier)	36
2.5.1.2 Eviren Yükselteç (Inverting Amplifier)	36
2.5.1.3 Akım Yükselteci (Current Amplifier)	37
2.5.1.4 Gerilim-Akım Dönüştürücüsü (Voltage to Current Converter)	37
2.5.1.5 Akım-Gerilim Dönüştürücüsü (Current to Voltage Converter)	38
2.5.1.6 Gerilim Takipçisi (Voltage Follower)	38
2.5.1.7 Toplayıcı ve Çıkarıcı (Summing and Subtracting Amplifier)	39
2.5.1.8 Farksal Yükselteç (Differential Amlifier)	40
2.5.1.9 Integral Alıcı (Integrating Amlifier)	40
2.5.1.10 Türev Alıcı (Differentiating Amlifier)	41
2.5.1.11 Enstrumantasyon Yükselteci (Instrumentation Amlifier)	41
2.5.1.12 Karşılaştırıcı (Comparator)	42
2.5.2 Filtreler	43
2.5.3 Doğrusallaştırma	48
2.6 İşaret Çeviriciler	51
2.6.1 Örnekselel-Sayısal Çeviriciler	51

2.6.1.1	Flaş ADC	53
2.6.1.2	Yarı-Flaş ADC.....	54
2.6.1.3	Sayısal Rampa ADC	54
2.6.1.4	Ardışıl Yaklaşım (SAR) ADC	56
2.6.1.5	İzleyici (Tracking) ADC	57
2.6.1.6	İntegral Alıcı (Integrating) ADC	58
2.6.1.7	Sigma-Delta ($\Sigma\Delta$) ADC.....	59
2.6.2	Sayısal- Örneksele Çeviriciler.....	61
2.6.2.1	Op-Amp Toplayıcı DAC	62
2.6.2.2	Bit Ağırlıklı DAC	64
2.6.2.3	R-2R Merdiven Modeli DAC	65
2.6.2.4	Akım Anahtarı Modeli DAC	66
2.6.3	Gerilim-Frekans Çeviriciler.....	67
2.6.3.1	Yük Dengeleme Yöntemiyle Çalışan (İntegralli) V/F Çeviriciler.....	67
2.6.3.2	Geniş Bantlı Multivibratörler	68
2.6.4	Frekans-Gerilim Çeviriciler.....	69
2.7	Bilgisayar Tabanlı Genel Amaçlı Giriş Çıkış Birimleri	70
2.7.1	Ontrak Control Systems, ADR2100	71
2.7.2	RTD Embedded Technologies, DM6430	72
2.7.3	Measurement Computing Inc., PCI-2511	73
2.7.4	National Instruments, PCI-6221	74
2.7.5	National Instruments, PCIe-6251	75
2.7.6	Metehaus Electronics, RedLab-1208LS	76
2.7.7	Labjack Corp., LabJack-U6.....	77
2.7.8	Advantech USB-4751	78
2.7.9	National Instruments USB-6008/USB-6009	79
2.7.10	National Instruments USB-6210	80
3.	LABVIEW GÖRSEL PROGRAMLAMA ORTAMI	81
3.1	Görsel Yazılım ve LabVIEW	81
3.2	LabVIEW Temel Esasları.....	82
3.2.1	Veri Akışı (Dataflow) Programlaması.....	82
3.2.2	Sanal Aygıt (Virtual Instrument).....	82
3.2.3	Grafiksel Derleyici (Graphical Compiler)	83
3.2.4	Modülerite, Hiyerarşi ve Bağlanabilirlik.....	83
3.2.5	Aygıt Kontrolü, Veri Toplama ve Analizi.....	83
3.3	LabVIEW Programlama Ortamı.....	84
4.	MİKRODENETLEYİCİLİ GENEL AMAÇLI ENDÜSTRİYEL OTOMATİK ÖLÇÜM SİSTEMİNİN GERÇEKLENMESİ	87
4.1	Giriş	87
4.2	Freescale MC9S08JM60 Mikrodenetleyicisi	90
4.3	Donanım Özellikleri	91
4.3.1	Besleme Katı.....	93
4.3.2	MC9S08JM60 MCU Bağlantıları.....	95
4.3.3	Çıkış Birimleri	97
4.3.3.1	Sayısal Çıkış Birimleri.....	97
4.3.3.2	Örneksele Çıkış Birimleri.....	100
4.3.4	Giriş Birimleri.....	104
4.3.4.1	Sayısal Giriş Birimleri	104

4.3.4.2	Örneksel Giriş Birimleri	109
4.3.5	Harici EEPROM Bellek.....	112
4.4	Baskı Devre Üretimi ve Cihazın Kutulanması	113
4.5	Yazılım Özellikleri	114
4.5.1	MC9S08JM60 Mikrodenetleyici Yazılımı	116
4.5.2	LabVIEW Arayüzü ve Yazılımı	118
4.6	Tasarım Sınama ve Performans Testleri.....	121
5.	SONUÇLAR.....	129
KAYNAKLAR.....		130
İNTERNET KAYNAKLARI		131
EKLER		132
Ek 1 Mikrodenetleyicili genel amaçlı endüstriyel otomatik ölçüm sistemi devre şeması.....		133
Ek 2 Mikrodenetleyicili genel amaçlı endüstriyel otomatik ölçüm sistemi ürün resimleri....		137
Ek 3 MC9S08JM60 mikrodenetleyicisi teknik detayları		138
Ek 4 AT24C128 seri EEPROM tümdevresi teknik dökümanı		141
Ek 5 LM2940IMP-5.0 regülatör tümdevresi teknik dökümanı		142
Ek 6 TPS2041BD akım sınırlayıcı anahtar tümdevresi teknik dökümanı.....		143
Ek 7 USBLC6-2SC6 ESD koruma tümdevresi teknik dökümanı		144
Ek 8 SMAJ5.0A tek yönlü (unidirectional) TVS diyot teknik dökümanı		145
Ek 9 P6SMB6.8CA çift yönlü (bidirectional) TVS diyot teknik dökümanı		146
Ek 10 ULN2803A darlington transistör dizisi tümdevresi teknik dökümanı.....		147
Ek 11 DAC124S085C1MM sayısal-örneksel dönüştürücü tümdevresi teknik dökümanı.....		148
Ek 12 LM6144BIM işlemsel yükselteç tümdevresi teknik dökümanı		149
Ek 13 G1910 elektronik cihaz kutusu teknik çizimi.....		150
ÖZGEÇMİŞ.....		151

SİMGE LİSTESİ

A_{CM}	İşlemsel yükselteç ortak mod kazancı
A_D	İşlemsel yükselteç fark modu kazancı
V_{ICM}	İşlemsel yükselteç ortak mod giriş gerilimi
V_{OCM}	İşlemsel yükselteç ortak mod çıkış gerilimi
BW	Bant genişliği
C_E	Eşdeğer kapasite
CMRR	Ortak mod bastırma oranı
f_c	Filtre köşe kesim frekansı
GBW	Kazanç bant genişliği
P_R	Direnç gücü
R_E	Eşdeğer direnç
R_i	İşlemsel yükselteç giriş direnci
R_o	İşlemsel yükselteç çıkış direnci
T_R	İşlemsel yükselteç yükselme zamanı
R_L	Yük direnci
V_L	Yük gerilimi
I_L	Yük akımı

KISALTMA LİSTESİ

ADC	Analogue to Digital Converter (Örneksel-Sayısal Dönüştürücü)
BIOS	Basic Input Output System (Temel Giriş-Çıkış Sistemi)
CPU	Central Processing Unit (Merkezi İşlem Birimi)
MCU	Micro-Controller Unit (Merkezi İşlem Birimi)
CRC	Cyclic Redundancy Check (Çevrimsel Artıklık Kontrolü)
DAC	Digital to Analog Converter (Sayısal-Örneksel Dönüştürücü)
DAQ	Data Acquisition System (Veri Toplama Analiz Sistemi)
DLL	Dynamic Link Library (Dinamik Bağlantı Kütüphanesi)
DMA	Direct Memory Access (Doğrudan Bellek Erişimi)
DMI	Direct Memory Interface (Doğrudan Bellek Veri Yolu)
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read Only Memory (Elektriksel Olarak Silinebilen Programlanabilen Salt Okunur Bellek)
EIA	(Electronics Industry Association)
ESD	Electrostatic Discharge (Elektrostatik Boşalma)
F/V	Frequency to Voltage Converter (Frekans-Gerilim Dönüştürücü)
FBE	Fen Bilimleri Enstitüsü
FSB	Front Side Bus (Ön Veri Yolu)
GPL	Graphical Programming Language (Grafiksel Programlama Dili)
GUI	Graphical User Interface (Kullanıcı Grafik Arayüzü)
ID	Identifier (Tanımlayıcı)
ISA	Industry Standard Architecture (Endüstri Standardı Mimarisi)
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (Mühendislik Çalışmaları İçin Sanal Enstrüman Laboratuvarı)
LAN	Local Area Network (Yerel Alan Ağı)
LED	Light Emitting diode (Işık Yayan Diyot)
LSB	Least Significant Bit (En Düşük Ağırlıklı Bit)
MCH	Memory Controller Hub (Bellek Denetçi HUB)
MSB	Most Significant Bit (En Yüksek Ağırlıklı Bit)
NI	National Instruments (National Instruments Firması)
NRZ	Sıfır Dönüşsüz Kodlama (None-Return Zero Coding)
OP-AMP	Operational Amplifier (İşlemsel Yükselteç)
PC	Personal Computer (Kişisel Bilgisayar)

PCI	Peripheral Component Interconnect
PCIe	Peripheral Component Interconnect Express
PCI-SIG	PCI- Special Interest Group
PLC	Programmable Logic Controller (Programlanabilir Lojik Denetleyici)
PWM	Pulse Width Modulation
RAM	Random Access Memory (Rasgele Erişimli Bellek)
SAR	Successive Approximation Ratio (Ardıl Yaklaşım Kaydedicisi)
SRG	Shift Register (Kayan Yazmaç)
SOF	Start of Frame (Çerçeve Başlangıcı)
TVS	Transient Voltage Suppresor
USB	Universal Serial Bus (Evrensel Seri Veri Yolu / Evrensel Seri Arabirim)
VCO	Voltage Controlled Oscillator (Gerilim Kontrollü Osilatör)
VI	Virtual Instrument (Sanal Enstrüman)
VISA	Virtual Instrument Software Architecture (Sanal Enstrüman Yazılım Mimarisi)
V/F	Voltage to Frequency Converter (Gerilim-Frekans Dönüştürücü)
YTÜ	Yıldız Teknik Üniversitesi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Tasarlanan ölçme sisteminin genel yapısı.....	3
Şekil 2.1 PC tabanlı bir endüstriyel ölçme sisteminin genel yapısı.....	6
Şekil 2.2 Veri yolu kullanan PC tabanlı bir endüstriyel ölçme sistemi (Nawrocki,2005).	7
Şekil 2.3 Hiyerarşik yapılı PC tabanlı bir endüstriyel ölçüm sistemi (Nawrocki,2005).	8
Şekil 2.4 PC veriyolları ve PC'deki bağlantı noktaları (Nawrocki,2005).	9
Şekil 2.5 DB25 paralel port konnektörü.....	11
Şekil 2.6 RS232 Protokolü. (Küçük,2006).....	12
Şekil 2.7 D9 tipi konektör pin işlevleri.[8].....	12
Şekil 2.8 D25 tipi konektör pin işlevleri.[8].....	13
Şekil 2.9 D9 ve D25 tipi dişi ve erkek konektörler	13
Şekil 2.10 RS422 ve RS485 sürücü yapısı.	14
Şekil 2.11 RS422 ve RS485 işaretleri. (B&B Electronics, 2006)	14
Şekil 2.12 Dört telli RS422 bağlantısı. (B&B Electronics, 2006).....	15
Şekil 2.13 İki telli, çok noktalı RS485 bağlantısı. (B&B Electronics, 2006).....	16
Şekil 2.14 ISA 8 Bit XT Veri Yolu Bağlantısı.[9]	17
Şekil 2.15 ISA 16 Bit AT Veri Yolu Bağlantısı.[9]	18
Şekil 2.16 PC anakartı üzerindeki PCI yuvaları. [10]	19
Şekil 2.17 32 bitlik bir PCI kartı örneği. [10].....	19
Şekil 2.18 Standart 32-bit ve 64-bit PCI kartları ve yuvaları. [10]	20
Şekil 2.19 x1 ve x16 büyüklüğündeki PCIe yuvaları.[11].	22
Şekil 2.20 Uçnokta ve boru kavramları arasındaki ilişki.....	24
Şekil 2.21 USB Paketinin genel yapısı.....	26
Şekil 2.22 USB Paketleri.	26
Şekil 2.23 USB-A ve USB-B tipi konnektörler.....	27
Şekil 2.24 Mini ve Micro tipi konnektörler.[12]	27
Şekil 2.25 Yükselteç sembolü ve yükseltme.	32
Şekil 2.26 İşlemsel yükselteç ve iç yapısı.	33
Şekil 2.27 Evirmeyen yükselteç.	36
Şekil 2.28 Eviren yükselteç.	36
Şekil 2.29 Akım yükselteci.....	37
Şekil 2.30 Gerilim-akım dönüştürücüsü.....	37
Şekil 2.31 Akım-gerilim dönüştürücüsü.....	38
Şekil 2.32 Gerilim takipçisi.....	38

Şekil 2.33 Toplayıcı.....	39
Şekil 2.34 Toplayıcı ve Çıkarıcının Birlikte Kullanımı	39
Şekil 2.35 Farksal yükselteç.	40
Şekil 2.36 İntegratör.	40
Şekil 2.37 Türev alıcı.....	41
Şekil 2.38 Enstrumantasyon yükselteci.	41
Şekil 2.39 Karşılaştırmacı.	42
Şekil 2.40 İdeal ve ideal olmayan filtre karakteristikleri.....	43
Şekil 2.41 Filtrenin köşe frekansı.	44
Şekil 2.42 Alçak geçiren pasif filtre örnekleri.....	45
Şekil 2.43 Alçak geçiren aktif filtre örneği.	45
Şekil 2.44 Yüksek geçiren pasif filtre örnekleri.....	46
Şekil 2.45 Yüksek geçiren aktif filtre örneği.....	46
Şekil 2.46 Bant geçiren ve bant durduran filtre yapıları.....	47
Şekil 2.47 İdeal algılayıcı çıkışları.	48
Şekil 2.48 Doğrusallaştırıcı örneği.[15]	49
Şekil 2.49 Tek elemanı değişen köprü ile doğrusallaştırma – Yöntem1. (Wilson, 2005).....	49
Şekil 2.50 Tek elemanı değişen köprü ile doğrusallaştırma – Yöntem2. (Wilson, 2005).....	49
Şekil 2.51 İki elemanı değişen köprü ile doğrusallaştırma – Yöntem1. (Wilson, 2005).....	50
Şekil 2.52 İki elemanı değişen köprü ile doğrusallaştırma – Yöntem2. (Wilson, 2005).....	50
Şekil 2.53 Çevirici Tipleri	51
Şekil 2.54 3-bit Flaş ADC	53
Şekil 2.55 Flaş ADC çalışması	53
Şekil 2.56 Yarı-Flaş ADC yapısı.....	54
Şekil 2.57 Yarı-Flaş ADC yapısı.....	55
Şekil 2.58 Yarı-Flaş ADC çalışması	55
Şekil 2.59 SAR tipi ADC yapısı.....	56
Şekil 2.60 SAR tipi ADC çalışması	57
Şekil 2.61 İzleyici ADC yapısı.....	57
Şekil 2.62 İzleyici ADC çalışması.....	58
Şekil 2.63 Tek eğimli integral alıcı ADC yapısı ve çalışması.....	59
Şekil 2.64 Çift eğimli integral alıcı ADC çalışması.....	59
Şekil 2.65 Sigma-delta ADC ve 1.derece sigma-delta modülatör yapısı.	60
Şekil 2.66 Basit bir sigma-delta ADC devresi.....	60

Şekil 2.67 3-bit op-amp toplayıcı DAC yapısı.	63
Şekil 2.68 Op-amp toplayıcı DAC yapısı ve çalışma aralığı seçimi.	63
Şekil 2.69 Bit ağırlıklı DAC yapısı.	64
Şekil 2.70 R-2R merdiven modeli DAC yapısı.	65
Şekil 2.71 Akım anahtarı modeli DAC yapısı.	66
Şekil 2.72 Akım çıkışlı DAC'nin gerilim çıkışlı hale getirilmesi.	66
Şekil 2.73 İntegrallı V/F dönüştürücü genel yapısı (Uzun, 2007).....	67
Şekil 2.74 Geniş bantlı multivibratör örneği (AD537).	68
Şekil 2.75 F/V dönüştürücü örneği.....	69
Şekil 2.76 Seri portlu giriş-çıkış birimi örneği - ADR2100 (http://www.ontrak.net)	71
Şekil 2.77 AT veri yolu kullanan giriş-çıkış birimi örneği - DM6430 (http://www.rtd.com)..	72
Şekil 2.78 PCI yolu kullanan giriş-çıkış birimi örneği - PCI2511 (http://www.mccdaq.com)	73
Şekil 2.79 PCI yolu kullanan giriş-çıkış birimi örneği – PCI-6221 (www.ni.com)	74
Şekil 2.80 PCIe yolu kullanan giriş-çıkış birimi örneği - PCIe-6251 (www.ni.com)	75
Şekil 2.81 USB'li giriş-çıkış birimi örneği – RedLab-1208LS (http://www.metehaus.com) ..	76
Şekil 2.82 USB'li giriş-çıkış birimi örneği – LabJack-U6 (http://www.audon.co.uk).....	77
Şekil 2.83 USB'li giriş-çıkış birimi örneği – Advantech USB-4751 (http://www.advantech.com).....	78
Şekil 2.84 USB'li giriş-çıkış birimi örneği - USB-6008/6009 (http://www.ni.com)	79
Şekil 2.85 USB-6008/6009 test ve yapılandırma yazılımı örneği. (http://www.ni.com)	79
Şekil 2.86 USB kullanan giriş-çıkış birimi örneği - USB-6210 (http://www.ni.com)	80
Şekil 3.1 LabVIEW ön panel ve blok diyagramı örneği (www.datataker.com)	84
Şekil 3.2 LabVIEW kontrol paleti ve fonksiyon paleti	86
Şekil 4.1 Sistem blok diyagramı.....	87
Şekil 4.2 Donanım blok diyagramı.....	91
Şekil 4.3a Donanım bloklarının ve bağlantı noktalarının gösterimi.....	92
Şekil 4.3b Donanım bloklarının gösterimi.	92
Şekil 4.4 Besleme devresi açık şeması.	94
Şekil 4.5 MCU Bağlantıları	95
Şekil 4.6 BDM programlama ve debug bağlantısı	96
Şekil 4.7 USB Bağlantısı	96
Şekil 4.8 Sayısal çıkış devresi	97
Şekil 4.9 Tek bir sayısal çıkış devresinin ayrık gösterimi ve benzetim bağlantısı.....	98
Şekil 4.10 10k yük direnci ile giriş-çıkış değişimi	98

Şekil 4.11 20 Ω yük direnci ile giriş-çıkış değişimi	99
Şekil 4.12 Sayısal çıkış devresindeki filtrenin frekans cevabı	99
Şekil 4.13 Örnekse çıkış devresi, DAC beslemesi ve referans gerilimi devreleri.....	101
Şekil 4.14 Tek bir kanal için DAC çıkışları benzetim devresi.	102
Şekil 4.15 Örnekse çıkış devresindeki filtrenin frekans cevabı	102
Şekil 4.16 1M Ω yük direnci ile örnekse çıkışın değişimi	103
Şekil 4.17 10k Ω yük direnci ile örnekse çıkışın değişimi.....	103
Şekil 4.18 1k Ω yük direnci ile örnekse çıkışın değişimi.....	103
Şekil 4.19 Sayısal ve örnekse giriş blokları.....	104
Şekil 4.20 Simülasyon amacıyla oluşturulan sayısal giriş blokları	106
Şekil 4.21 Sayısal giriş bloklarının pSpice simülasyonunda zaman yanıtı	107
Şekil 4.22 SMAJ6.5A TVS diodu pSpice model parametreleri	108
Şekil 4.23 Sayısal giriş bloklarının pSpice simülasyonunda frekans yanıtı	109
Şekil 4.24 Simülasyon amacıyla oluşturulan örnekse giriş blokları.....	110
Şekil 4.25 Örnekse giriş bloklarının pSpice simülasyonunda zaman yanıtı	111
Şekil 4.26 Örnekse giriş bloklarının pSpice simülasyonunda frekans yanıtı	112
Şekil 4.27 Harici EEPROM bağlantısı	112
Şekil 4.28 Baskı devre tasarımı ekran görüntüsü	113
Şekil 4.29 Bilgisayardan uç birim yönüne veri aktarım protokolü.....	114
Şekil 4.30 Bilgisayardan uç birim yönüne veri aktarım protokolü detayları.....	115
Şekil 4.31 Uç birimden bilgisayar yönüne veri aktarım temel yapısı	115
Şekil 4.32 Mikrodenetleyici yazılımı akış diyagramı.....	116
Şekil 4.33 Mikrodenetleyici yazılımı kesme alt programı akış diyagramı.....	117
Şekil 4.34 NI VISA Driver Wizard ile sürücü bilgi dosyasının oluturulması.....	118
Şekil 4.35 Sürücü bilgi dosyası oluşturulabilmesi için Vendor ID ve PID	119
Şekil 4.36 Bilgisayar arayüzü ön panel görüntüsü	120
Şekil 4.37 Bilgisayar arayüzü blok diyagramından bir görünüm.....	120
Şekil 4.38 Örnekse girişlerin performans karşılaştırması - 1	122
Şekil 4.39 Örnekse girişlerin performans karşılaştırması – 2	123
Şekil 4.40 Örnekse girişlerin performans karşılaştırması – 3	124
Şekil 4.41 Sayısal girişlerin performans karşılaştırması	125
Şekil 4.42 Örnekse çıkışların performans karşılaştırması - 1	126
Şekil 4.43 Örnekse çıkışların performans karşılaştırması - 2.....	127

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Paralel port pinleri ve işlevleri	10
Çizelge 2.2 RS232 işaretleri ve işlevleri	13
Çizelge 2.3 RS232, RS422 ve RS485 karşılaştırması	15
Çizelge 2.4 Veri Gönderim Çeşitleri	25
Çizelge 2.5 USB konnektör pinleri	27
Çizelge 4.1 Şekil 4.3'teki blokların açıklaması	93
Çizelge 4.2 Devrenin Akım İhtiyacının Belirlenmesi	93

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, kendisinden aldığımız lisans ve lisansüstü derslerinde bizi güncel konulara yönlendirerek mühendislik anlamındaki yeteneklerimizi geliştirmemizde bize yol gösteren ve tez çalışmamızı yöneten Yrd.Doç.Dr Tuncay Uzun'a teşekkür ederim.

Tez çalışması içerisinde yaptığımız ortak çalışma sırasında fikirlerimizi, mesaimizi ve emeğimizi paylaştığımız Fatih Gerenli ve desteklerinden dolayı Fatma Gerenli'ye teşekkür ederim.

Bu yoğun çalışma sırasında fikirlerine danıştığım değerli mesai arkadaşım ve müdürüm O.Korhan Sayın'a, gösterdikleri anlayıştan ötürü tüm mesai arkadaşlarıma, yardımlarından ötürü kardeşim Cemalettin Oğuz'a, fikirlerini bizden esirgemeyen arkadaşlarım Volkan Atman ve Tankut Açar'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmada kullanılan elektronik elemanların numune tedarikinde değerli yardımlarını bizden esirgemeyen Sn. Sertaç Taşkın, Sn. Uğur Özkan ve Sn. Yıldız Dinç'e teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos 2009,

Emre Oğuz

ÖZET

Endüstriyel kontrol ve otomasyon sistemleri göz önüne alındığında, herhangi bir prosesin (işlemin) yürütülmesi esnasında insana bağımlılığın asgari seviyeye indirilmesi ve sistemin mümkün olduğu kadar kendi kendine çalışabilir hale gelmesi belirleyici bir özelliktir. Kontrol sisteminin, yürütülen işleme ait herhangi bir fiziksel büyüklüğü, özelliği ya da veriyi algılaması, işlemesi, elde edilen veriye uygun işlemleri gerçekleştirmesi ve algılama işlemini tekrarlayarak geri beslemeli kontrol işlemini tamamlaması beklenir. Bu sebeple kontrol sistemlerinde çeşitli özelliklerde ölçme ve giriş-çıkış birimlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Algılama çevriminde ölçme işlemi bir alt adım olarak karşımıza çıkmaktadır.

Donanım alanındaki gelişmeler, endüstriyel alanda veri toplama, ölçme ve test konularında kişisel bilgisayarları yaygın kullanılan ortam haline getirmiştir. Ancak bilgisayarların ölçme için özelleşmiş giriş-çıkış birimleri olmadığından ölçme işlemini yerine getirecek özel donanımlara ve giriş-çıkış birimlerine ihtiyaç duyarlar. Gelişmiş çevre birimlerine ve hızlara sahip mikrodenetleyiciler ve üstün hız ve esnekliğe sahip USB, ethernet gibi veri iletişim arabirimlerinin gelişimi de bu eğilimi desteklemiştir. Buna paralel olarak yazılım alanındaki gelişmeler de baş döndürücüdür. Nesnel ve grafiksel yazılım geliştirme araçları, endüstriyel kontrol ve otomasyon alanlarında özelleşmiş çözümler sunulmasına yardımcı olmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında bilgisayar kontrollü mikrodenetleyicili genel amaçlı endüstriyel bir otomatik ölçüm ve giriş-çıkış sistemi tasarlanması hedeflenmiştir. Bilgisayar arayüzünün oluşturulması için LabVIEW programı kullanılmış, arayüz ile mikrodenetleyicinin arasındaki veri iletimi USB arabirim üzerinden yapılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde sistemi tanıtan genel bir giriş yapılmış, ikinci bölümde bilgisayar tabanlı ölçme, veri toplama konularından ve bilgisayar tabanlı ölçüm sistemlerinin alt birimlerinden bahsedilmiştir. İkinci bölümün son kısmında endüstride kullanılan genel amaçlı ölçüm sistemleri hakkında bir araştırma yapılmıştır. Dördüncü bölüm, görsel programlama ve LabVIEW geliştirme ortamı ile ilgili temel bilgiler içermektedir. Daha sonraki bölümlerde tasarlanan sistemin donanım ve yazılım yapısı verilerek sonuç bölümünde kazanımlar ve sistemin geliştirmeye açık yönlerinden bahsedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel ölçüm sistemleri, Giriş-Çıkış birimi, LabVIEW, USB

REALIZATION OF A MICROCONTROLLER BASED GENERAL PURPOSE INDUSTRIAL AUTOMATED MEASUREMENT SYSTEM AND IMPLEMENTATION OF OUTPUT UNITS

ABSTRACT

When the industrial control and automation systems are considered, minimizing the dependence on humans while executing any process and making the system function on its own is the determinant characteristics. The control system is expected to sense any physical size, characteristics or data of the process, to realize the functions appropriate for the acquired data and to complete the feedback control function by repeating the sensing process. Therefore, measurement and input-output systems with various features are required in the control systems. In the sense and measurement process, the measurement function is a sub-routine.

The developments in the hardware field, personal computers have become widely used environments in data collection, measurement and testing in the industrial field. However, since the computers do not possess input-output systems specified for measurement, they require special hardware and input-output systems to realize the measurement. The microcontrollers with developed environment systems and speed, and the development of data communication interface with high speed and flexibility such as USB and Ethernet have supported this trend. In addition to this, the developments in the software technology are amazing. Object-oriented and graphical software development tools help to provide specified solutions in the industrial control and automation fields.

Within the framework of this thesis, it was aimed to design a computer-controlled microcontroller-based multi-purpose industrial automatic measurement and input-output system. In order to create the computer interface, the LabVIEW program was used, and the data transfer between the interface and the microcontroller was done using the USB interface.

In the first section of the study, a general introduction of the system has been provided, and in the second section computer-based measurement, data acquisition and the sub-modules of the computer-based measurement systems have been dwelled upon. In the last part of the second section, the industrial multi-purpose measurement systems have been searched. The fourth section provides basic information about visual programming and LabVIEW development environment. In the following sections, the hardware and software structure of the designed system are provided and in the conclusion part the achievements and some sides of the system which are open for development are dealt with.

1. GİRİŞ

C. Eisenhart, ölçmenin tanımını “maddesel büyüklüklere değer ya da sayı atayarak belirli diğer büyüklüklerle ilişkilerini ifade etmek” olarak yaptığında (1963) ölçme sürecinin sadece bundan ibaret kalmayacağını ne kadar farkındaydı bilinmez ama o günden bu yana yaşanan gelişmeler bu tanımın biraz daha genişletilmesi gerektiğini göstermiştir.

Özellikle endüstriyel ölçme sistemlerinde, ölçümün ne yöntemle yapılacağı , elde edilen değerlerin nasıl işlenebilir hale getirileceği, bu değerlerin ölçüm noktalarından nasıl toplanacağı, denetim ya da izleme noktasına nasıl taşınacağı ve kullanıcıya nasıl sunulacağı da önemli alt başlıklar haline gelmiştir.

Ölçme tekniği, evrende var olan olayları kontrol altına almanın ve yönetebilmenin temel bilimidir. Karşılaştırma yöntemlerine dayanır.[1] Endüstriyel ölçmeler de aynı şekilde, daha önceden yapılmış ve anlaşılır anlamlar yüklenmiş referans değerlerle karşılaştırmalar şeklinde yapılır.

Endüstriyel ölçmenin ilk adımı, ölçülecek fiziksel büyüklüklerin algılayıcı (sensör) ve dönüştürücüler (transdüser) aracılığıyla elektriksel işaretlere dönüştürülmesidir. Bu işaretler, genelde denetim biriminin doğrudan anlayabileceği yapıda olmadığından filtreleme, kuvvetlendirme gibi çeşitli işaret koşullandırma işlemlerinden, örneksel-sayısal dönüşümden ve gerekiyorsa sayısal işaret işlemeden geçirilerek denetim sisteminin yorumlayabileceği veriler haline getirilir.

Ölçüm sisteminin tasarlanmasında en önemli sorunlardan biri ölçme noktası ve denetim noktası arasındaki bilgi akış örgütlenmesinin belirlenmesidir. Bu konuda dikkat edilecek iki önemli nokta şunlardır:

- Bilgi aktarmak için kullanılacak haberleşme arayüzü.
- Bilgi aktarmak için kullanılacak haberleşme protokolü.

Haberleşme arayüzü kablolu ya da kablosuz uçtan uca çalışan bir haberleşme kanalı olabileceği gibi çok daha karmaşık bir ağ yapısı olabilir. Bu arayüz tasarlanırken ölçme noktalarının sayısı, ölçüm değerlerinin ne sıklıkla okunacağı, her bir okumada ne kadar veri elde edildiği, seçilen arayüzlerin kanal kapasiteleri gibi birçok parametreyi göz önünde bulundurmak gerekir. Ayrıca kullanılacak haberleşme protokolü de haberleşme arayüzü ile uyumlu ve yanlış veri aktarımına engel olabilecek teknikleri içerir özellikte olmalıdır.

Ölçüm sisteminin tasarımında dikkat edilecek diğer bir konu da denetim ve/veya sunum noktasının seçilmesidir. Bu nokta ihtiyaca göre basit bir mantıksal denetçi,

mikrodenetleyicili/mikroişlemcili bir denetim sistemi, programlanabilir mantıksal denetçi(PLC) ya da kişisel bilgisayar(PC) gibi işlem gücü yüksek bir denetim sistemi olabilir.

Donanım ve yazılım alanındaki gelişmeler, endüstriyel ölçme, veri toplama, test ve analiz konularında kişisel bilgisayarları yaygın kullanılan ortam haline getirmiştir. Hatta birçok denetim işlemi de PC'ler üzerinde gerçekleştirilebilmektedir.

PC'lerin tercih sebeplerinden en önemlisi ise işlem güçlerinin yüksek olmasıdır. Saniyede milyonlarca işlem yapabilmesine rağmen maliyetleri de nispeten ortalama bir denetim sistemine göre düşüktür. PC'ler, aynı zamanda veri izleme konusunda sunduğu grafik kabiliyetleri, çeşitli ağ yapılarına ve haberleşme arayüzlerine bağlanabilme özellikleri ile de oldukça yararlı ve kullanışlıdır.

PC'lerin hem endüstriyel alanda hem de bilimsel çalışmaların yapıldığı laboratuvarlarda yaygın biçimde kullanılması, ölçme işlemleri için vazgeçilmez araçlar olmalarını sağlamıştır. Özellikle, sürekli değişen ölçme ihtiyaçlarının ekonomik olarak karşılanabilmesinde PC'lerin yeri çok önemlidir.

Ama neredeyse hiçbir PC ölçme için özelleşmiş standart bir donanıma sahip değildir. Bunun yerine, ölçme için özelleşmiş, denetim ve veri işleme kabiliyeti PC'lere göre çok daha küçük giriş çıkış birimlerinden yararlanılır. Bu birimler, PC üzerindeki haberleşme arayüzlerinden bağlanarak, ölçülecek verinin sayısallaştırılarak PC'ye aktarılmasını, ölçme sırasında gerekebilecek çeşitli işaretlerin de ölçme noktasına aktarılmasını sağlayacak özelliktedir.

PC tarafından alınan ölçüm değerlerinin analizi, denetim sürecine katılması ve izlenmesi işlemleri PC üzerinde koştan yazılımlar tarafından yapılmaktadır. Genelde bu yazılımlar yapılacak ölçme ve denetim işine özel olarak tasarlanmaktadır. Ancak bu yazılımlar incelendiğinde grafik çıkışı, çeşitli denetim elemanları gibi komponentlerin benzerliği göze çarpmaktadır.

Yapılan tez çalışmasında da PC yazılımı geliştirme ortamı olarak, veri sunumu için kullanılan genel bileşenleri kolayca kullanabildiğimiz LabVIEW yazılımı tercih edilmiştir. National Instruments firması tarafından geliştirilen LabVIEW, görsel öğeler ve akış diyagramları ile karmaşık ölçüm, test ve kontrol sistemleri geliştirmek için kullanılan görsel bir yazılım platformudur. Modüler yapısı, diğer ortamlarla kolay bağlanabilirliği ve esnekliği nedeniyle veri toplama, analiz ve sunumu konusunda öne çıkmaktadır.

LabVIEW, PC üzerindeki haberleşme arayüzlerine yine National Instruments tarafından geliştirilen NI VISA yazılımı aracılığıyla bağlanır. NI VISA sürücü seviyesinde giriş ve çıkış

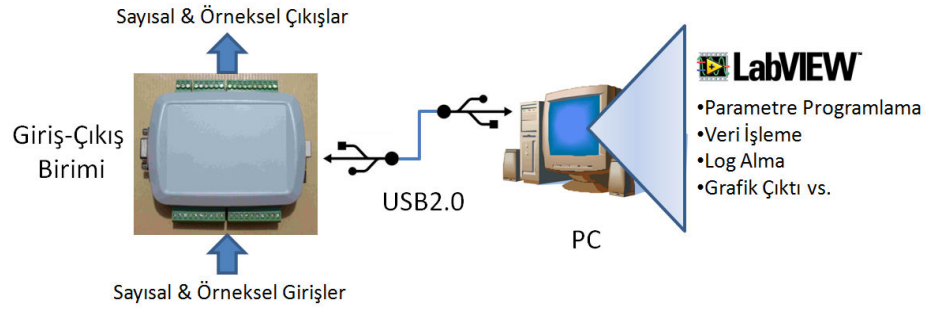
imkanı sağlayan ve birçok giriş çıkış birimiyle haberleşebilen bir yazılım aracıdır. Tez çalışması için tasarlanan giriş çıkış birimi ile PC arasındaki USB veri akışının denetimi de NI VISA üzerinden yapılmaktadır.

Yapılan tez çalışması için tasarlanan sistem de bilgisayar tabanlı bir ölçme sistemidir. Tasarlanan sistem USB üzerinden PC'ye bağlanan genel amaçlı bir giriş çıkış birimi ve PC üzerinde koşturan bir arayüz yazılımdan oluşur.

Haberleşme arayüzü olarak USB seçilmesinin nedeni, hızlı olması, tak çalıştır (plug&play) özelliği ve son yıllardaki yaygın kullanımıdır.

Sistem tasarımı, yine YTÜ FBE Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı Elektronik Yüksek Lisans Programı'nda tez çalışması yürüten Fatih Gerenli ile paralel bir çalışma yürütülerek yapılmıştır. Sistemin genel yapısı Emre Oğuz ve Fatih Gerenli tarafından ortak bir çalışmayla tasarlanmış, sistemin giriş birimlerinin gerçekleştirilmesi Fatih Gerenli tarafından, çıkış birimlerinin gerçekleştirilmesi de Emre OĞUZ tarafından yapılmıştır.

Tasarlanan sistemin genel yapısı şekilde gösterilmiştir:



Şekil 1.1 Tasarlanan ölçme sisteminin genel yapısı.

Tasarlanan sistemin sahip olduğu temel özellikler şu şekilde sıralanabilir:

- 8 sayısal giriş
- 8 örneksel giriş (12 bit çözünürlük)
- 8 sayısal çıkış
- 4 örneksel çıkış (12 bit çözünürlük)
- 1 USB arabirimi

2. BİLGİSAYAR TABANLI ENDÜSTRİYEL ÖLÇÜM SİSTEMLERİ

2.1 Tarihçe

Ölçme ile ilgili ilk bulgular M.Ö. 3000’li yıllarda Hindistan’ın güneyinde yaşamış İndus Vadisi Uygarlığı’na aittir. Asya’daki bilinen ilk kentsel yaşam örneğini oluşturan uygarlık tarım, ticaret ve inşaat gibi alanlarda kullandığı ölçme teknikleri ve standardizasyon örnekleriyle dikkat çekmektedir.

Otomatik kontrol amacıyla yapılmış ilk ölçme çalışmaları ise M.Ö. 300’lü yıllarda Arap ve Yunan uygarlıklarında karşımıza çıkan su saatleridir. Su saatleri bilinen ilk geri beslemeli sistemlerdir. Su saatlerinin daha ilkel örneklerinin M.Ö. 4000’li yıllarda Çin uygarlığında görüldüğü iddia edilse de bulunan kalıntılar kanıt için yeterli görülmemektedir.

Gerçek anlamda bilinen ilk geri beslemeli otomatik kontrol sistemi ise, I. Polzunov tarafından Rusya’da 1765 yılında geliştirilen su tanklarının su seviyesini kontrol ederek tankın dolması durumunda suyun geldiği vanayı otomatik olarak kapatan yüzer düzenleyicidir.

Endüstriyel ölçme ve otomatik kontrol açısından önemli mihenk taşlarından biri de Avrupa’da yaşanan sanayi devrimidir. Endüstriyel ölçme ve endüstriyel otomatik kontrol, sanayi devrimi ve beraberinde gelen teknolojik gelişmelerle paralel bir gelişim göstermiştir. Bu süreci şöyle özetleyebiliriz:

- a. 1769 , James Watt, Buhar motorunun hızını kontrol etmek için tasarlanan otomatik kontrol sistemi endüstride kullanılan ilk otomatik kontrol sistemidir.
- b. 1800, Eli Whitney, Seri üretimin başlangıcı.
- c. 1868, J.C. Maxwell, buhar makinesinin düzenleyicisi için matematiksel modeli çıkarıldı.
- d. 1913, Henry Ford, otomobil üretimi için montaj makinesi makineleştirildi.
- e. 1927, H. W. Bode, geri beslemeli yükselteçlerin analizi geliştirildi.
- f. 1932, H. Nyquist, sistemlerin kararlılığının analizi için yöntem geliştirildi.
- g. 1952, MIT, makine aracıyla eksen kontrolü için nümerik kontrol (ing. kısaltması NC) geliştirildi.
- h. 1954, George Devol, “programlanmış eşya taşıma” ilk endüstriyel robot tasarımı olarak sayıldı.
- i. 1960, Unimate, Devol tasarım temelli ilk robot geliştirildi.
- j. 1970, En iyi şekilde kontrol için durum değişkeni modelinin geliştirildi.
- k. 1980, Dayanıklı kontrol sistem tasarımı yaygın olarak çalışıldı.
- l. 1990, İhraç yönelimli üretim yapan şirketler otomasyona ağırlık verdi.
- m. 1994, Geri beslemeli kontrol otomobillerde yaygın olarak kullanıldı.

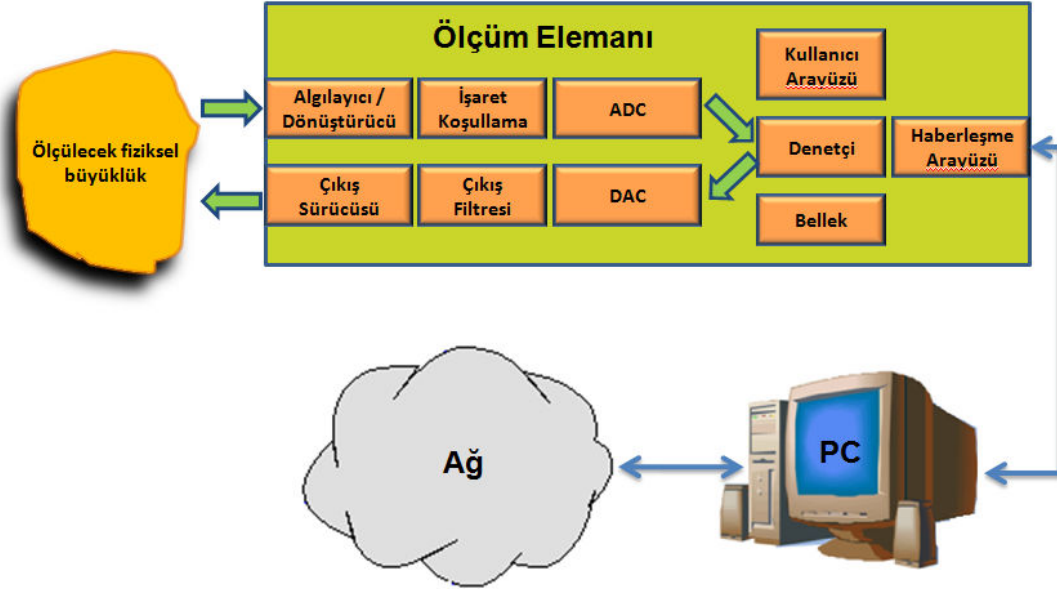
Sanayi devrimini takip eden yıllarda ortaya çıkan diğer önemli mihenk taşı da bilgisayar ve bilgisayar destekli sistemlerin endüstriyel alanlarda yaygınlaşmasıdır. Modern bilgisayarın kısa tarihçesi şöyledir:

- a. 1830, C. Babbage, Yazılım denetimi, hafıza ve sıçrama yetenekleri gibi modern bilgisayar prensiplerinin ilk defa ortaya konulması.
- b. 1946, Pensilvanya Üniversitesi, ABD Ordusu için ENIAC adlı yazılım yüklü(program stored) bilgisayarın yapılması.
- c. 1948, IBM tarafından SSEC adlı bilgisayarın yapılması.
- d. 1949, Maurices Wilkes, Neumann tarafından ortaya atılan fikirlere dayanarak EDSAC adlı yazılım yüklü(program stored) bilgisayarın yapılması.
- e. 1951, ENIAC ekibine Neumann'ın da katılmasının ardından EDVAC adlı bilgisayarın tamamen çalışır hale gelmesi.
- f. 1951, J. Presper Eckert ve John Mauchly, UNIVAC adlı ilk ticari bilgisayarın yapılması.
- g. 1952,IBM, IBM'in ilk ticari bilgisayarı IBM-701'in yapılması.
- h. 1965, Digital Equipment Corporation, İlk mini-bilgisayar PDP-8 üretildi.
- i. 1968, M.E.Hoff, Mikroişlemci icat edildi.
- j. 1971, Intel, ilk mikroişlemci 4004'ü piyasaya sürdü.
- k. 1977, Apple Computer, Apple II satışa sunuldu.
- l. 1981, IBM, IBM PC satışa sunuldu.
- m. 1984, Apple Machintosh satışa sunuldu
- n. 1984, IBM AT satışa sunuldu.

1980'lerde yoğunlaşan ve halen devam eden kişisel bilgisayar piyasasındaki rekabet nedeniyle, kişisel bilgisayarlar, günümüzde hayatın hemen her alanında olduğu gibi endüstriyel alanda da oldukça yaygın kullanılır hale gelmiştir.

2.2 Bilgisayar Tabanlı Endüstriyel Ölçüm Sistemleri Mimarisi

Endüstriyel ölçüm sistemlerinde denetim, veri akışı, veri saklama ve verinin kullanıcıya sunumu işlemlerinin bilgisayar tarafından yapıldığı, en az bir bilgisayar ve bir ölçüm ekipmanından oluşan sistemlere bilgisayar tabanlı endüstriyel ölçüm sistemi adı verilir. Bilgisayar tabanlı bir endüstriyel ölçüm sisteminin yapısı Şekil 2.1’de verilmiştir.

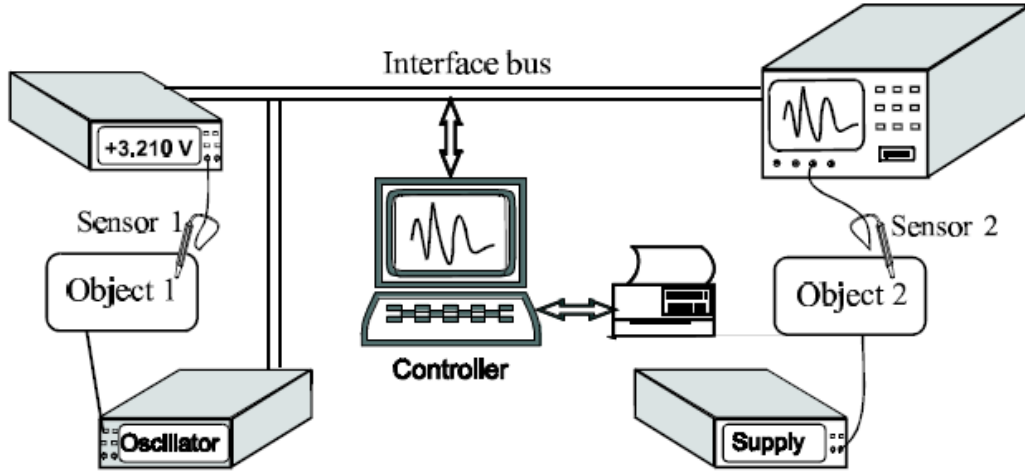


Şekil 2.1 PC tabanlı bir endüstriyel ölçme sisteminin genel yapısı.

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi, farklı özellikteki fiziksel büyüklükleri ölçmek için tasarlanmış bir endüstriyel ölçüm sistemi aşağıdaki işlevsel parçalardan oluşur:

- Ölçülecek fiziksel büyüklüğe uygun algılayıcı ya da algılayıcı kümeleri. Algılayıcı, belirli bir elektriksel parametrenin, ölçülen büyüklüğün değişiminin fonksiyonu olarak değişmesini sağlar.
- Çeviriciler. Algılayıcı tarafından elde edilen parametre değişikliğinin akım ya da gerilim işaretlerine çevrilmesini sağlarlar.
- İşaret koşullayıcılar. Çeviriciden alınan işaretin fitreleme, kuvvetlendirme gibi işlemler ile ADC girişinin sınırlarının içine sokulmasını sağlar.
- ADC’ler. Alınan örneksel işaretin sayısallaştırılarak denetçiye aktarılmasını sağlar.
- DAC’ler ya da işaret üreteçleri. Denetçiden alınan komutlarla çıkışta test ve analiz amaçlı işaretlerin üretilmesini sağlar.
- Çıkış filtresi ve sürücüsü. Üretilen çıkış işaretinin kullanılacağı ortama uygun şekilde koşullandırılmasını sağlar.
- Kullanıcı arayüzü. Bazı kullanıcı komutlarının ya da parametrelerinin sisteme girilmesini ve basit izleme işlerinin doğrudan üzerinden yapılabilmesini sağlar.
- PC. İşaret işleme, denetim, izleme(sunum), veri depolama, raporlama gibi işlemlerin yapılabilmesine olanak sağlar. Ayrıca sahip olduğu ağ bağlantıları sayesinde uzaktan izleme gibi daha geniş alanlı ölçüm yapma kabiliyeti kazandırır.
- Güç kaynağı. Ölçüm elemanı ve gerekiyorsa ölçülecek fiziksel büyüklük için enerji sağlar.

Endüstriyel ölçüm sistemleri çoğu zaman birden çok ölçüm elemanından oluşur. Bu da bilgisayar ile ölçüm elemanları arasında arayüz sistemi olarak veri yolu yapılarının kullanılmasını gerektirir. Şekilde veri yolu kullanan bir ölçüm sisteminin genel yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Veri yolu kullanan PC tabanlı bir endüstriyel ölçme sistemi (Nawrocki,2005).

Bu tip endüstriyel ölçüm sistemlerinde, denetçi veri yolu üzerinden doğrudan ölçüm elemanlarına bağlıdır. Ölçüm değerlerinin farklı ölçüm noktalarında ne sıklık ve ne sırayla alınacağı gibi olayları denetçi belirleyebilir. Ölçüm elemanının ölçüm değerlerini üç yolla almak mümkündür.

- Rastgele gönderme.
- Sorgu-cevap şeklinde gönderme.
- Zaman sıralı gönderme.

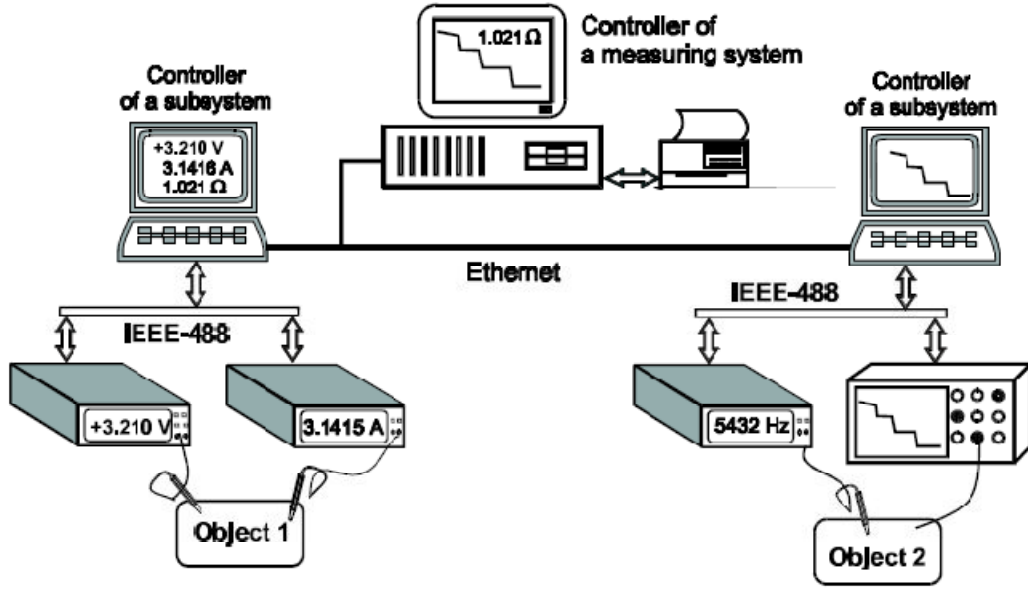
Rastgele göndermede, her ölçüm elemanı rastgele zamanlarda göndermeye başlayarak veri yolunu meşgul eder. Aynı anda veri yolunda birden fazla veri gönderimi olduğunda veriler kısmen ya da tamamen kaybolacağından bu yöntem en az tercih edilendir. Çeşitli tekniklerle aynı anda birden fazla ölçüm elemanının gönderme yapması büyük ölçüde engellense de çakışmalar kaçınılmazdır.

Sorgu-cevap yönteminde, ölçme sistemi denetçisi, ölçüm elemanlarını belirli bir sırayla sorgulayarak cevap bekler. Her sorgu, aslında gönderme yapması gereken ölçüm elemanının kimliğini içeren bir mesaj şeklindedir. Mesajı alan ölçüm elemanı daha önceden yapmış olduğu ya da hemen o anda yaptığı ölçüm değerlerini haberleşme protokolüne uygun bir şekilde veri yoluna gönderir. Bu yöntemin bir dezavantajı sistem denetçisinin her ölçüm için sisteme zaman kaybettirmesidir.

Zaman sıralı göndermede ise sistem denetçisi belirli aralıklarla veri yoluna başlangıç (beacon)

mesajı yollar. Bunu alan ölçüm elemanları da kimlik ya da adres bilgilerine göre belirli bir sırayla ölçüm değerlerini veri yoluna gönderir. Her ölçüm elemanı, kendinden bir önceki gönderimin tamamen bitmesini ve denetçinin bir sonraki gönderime hazırlanmasına imkan verecek kadar bir sürenin geçmesini bekledikten sonra gönderim yapar.

Daha karmaşık ölçüm sistemlerinde ise veri yolu yapılarına ek olarak hiyerarşik topolojiler de kullanılır. Böyle sistemlerde farklı görevler için özelleşmiş katmanlama yöntemleri kullanılır ve ara denetçiler mevcuttur. Şekil 2.3'te bir hiyerarşik yapı örneği görülmektedir.

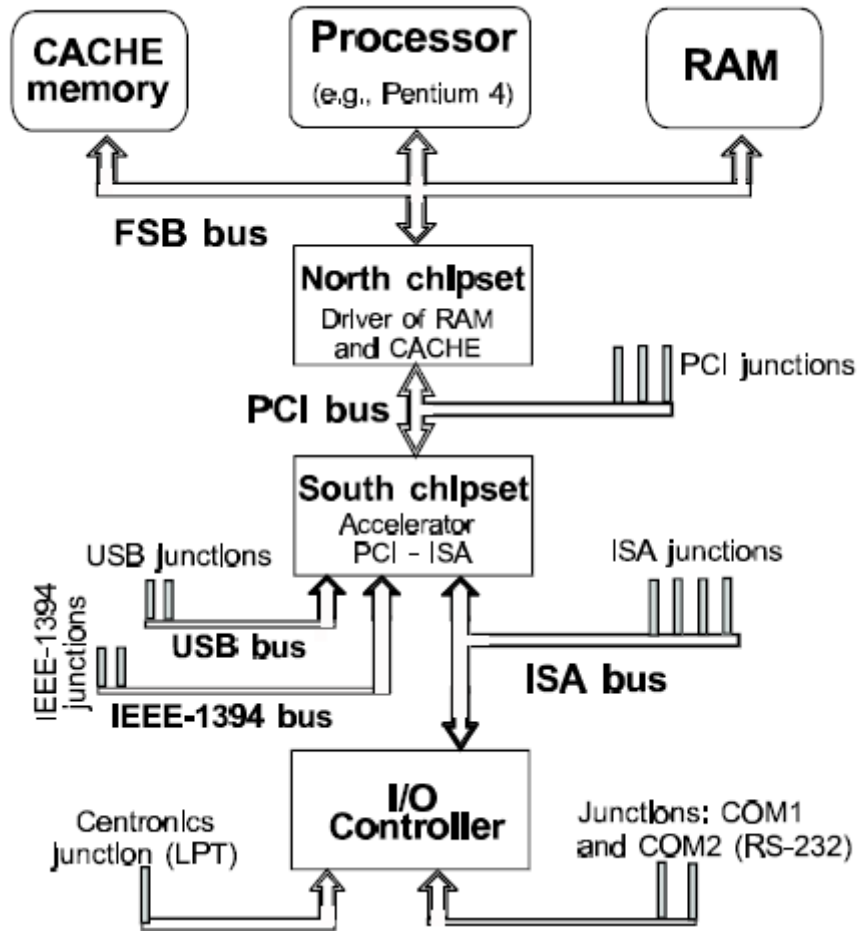


Şekil 2.3 Hiyerarşik yapıya sahip PC tabanlı bir endüstriyel ölçüm sistemi (Nawrocki,2005).

2.3 Endüstriyel Ölçüm Sistemlerinde Kullanılan Haberleşme Arayüzleri

Şekil 2.3'te verilen hiyerarşik yapı örneğinde, kendi içlerinde IEEE-488 paralel veri yolu kullanan farklı alt sistemler birbirlerine ve sistemin asıl denetçisine LAN üzerinden bağlanmıştır. Böyle bir uygulamanın gerçekleştirilebilmesi için alt sistemlerdeki denetçilerin hem IEEE-488 hem de Ethernet arayüz kartlarıyla donatılmış olması gerekmektedir. Profibus vb. bazı veri yolları tek bir arayüz kartıyla benzer hiyerarşik yapıları tasarlama imkanı sunar.

Bilgisayar tabanlı ölçüm sistemi tasarlariken, harici bir veri yolu kartı kullanmak yerine bilgisayarın kendi standart donanımında bulunan veri yollarını kullanmak daha ekonomik bir çözümdür. Böylece ölçüm ekipmanını arayüz kartı yerine doğrudan bilgisayarın veri yollarından birine bağlamak mümkün olacaktır. Şekil 2.4'te bir PC'nin sahip olduğu standart veri yolları ve PC yapısındaki bağlantı noktaları verilmiştir.



Şekil 2.4 PC veriyolları ve PC'deki bağlantı noktaları (Nawrocki,2005).

2.3.1 Paralel Port

Paralel port, ilk defa bilgisayara 1970 yılında Centronics Model 101 yazıcının bağlanabilmesi amacıyla eklenmiş ve o günden bu yana daha çok yazıcı portu olarak kullanılmıştır. Centronics portunun bir çeşidinin IBM tarafından kişisel bilgisayarlarda kullanılmaya başlamasıyla ve önceleri sadece tek yönlü olarak piyasaya sürülen, daha sonra da çift yönlü veri alışverişi özelliğinin eklendiği paralel port bir endüstri standardı olmuştur.

Yaygın kullanımı nedeniyle çeşitli ölçüm sistemlerinde kullanılan bir arayüz olarak da karşımıza çıkmaktadır.

Standart paralel port 25 pinli ve 36 pinli konektörlere sahiptir. Pin bağlantıları ve işlevleri Çizelge 2.1’de verilmiştir. Ayrıca 25 pinli standart paralel port konektörü de Şekil 2.5’te gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Paralel port pinleri ve işlevleri

Pin No (DB25)	Pin No (36 pin)	Signal name	Direction	Register - bit	Inverted
1	1	nStrobe	In/Out	Control-0	Yes
2	2	Data0	Out	Data-0	No
3	3	Data1	Out	Data-1	No
4	4	Data2	Out	Data-2	No
5	5	Data3	Out	Data-3	No
6	6	Data4	Out	Data-4	No
7	7	Data5	Out	Data-5	No
8	8	Data6	Out	Data-6	No
9	9	Data7	Out	Data-7	No
10	10	nAck	In	Status-6	No
11	11	Busy	In	Status-7	Yes
12	12	Paper-Out	In	Status-5	No
13	13	Select	In	Status-4	No
14	14	Linefeed	In/Out	Control-1	Yes
15	32	nError	In	Status-3	No
16	31	nInitialize	In/Out	Control-2	No
17	36	nSelect-Printer	In/Out	Control-3	Yes
18-25	19,30,33,17,16	Ground	-	-	-



Şekil 2.5 DB25 paralel port konnektörü

2.3.2 Seri Port (COM Port) ve RS232 Arayüzü

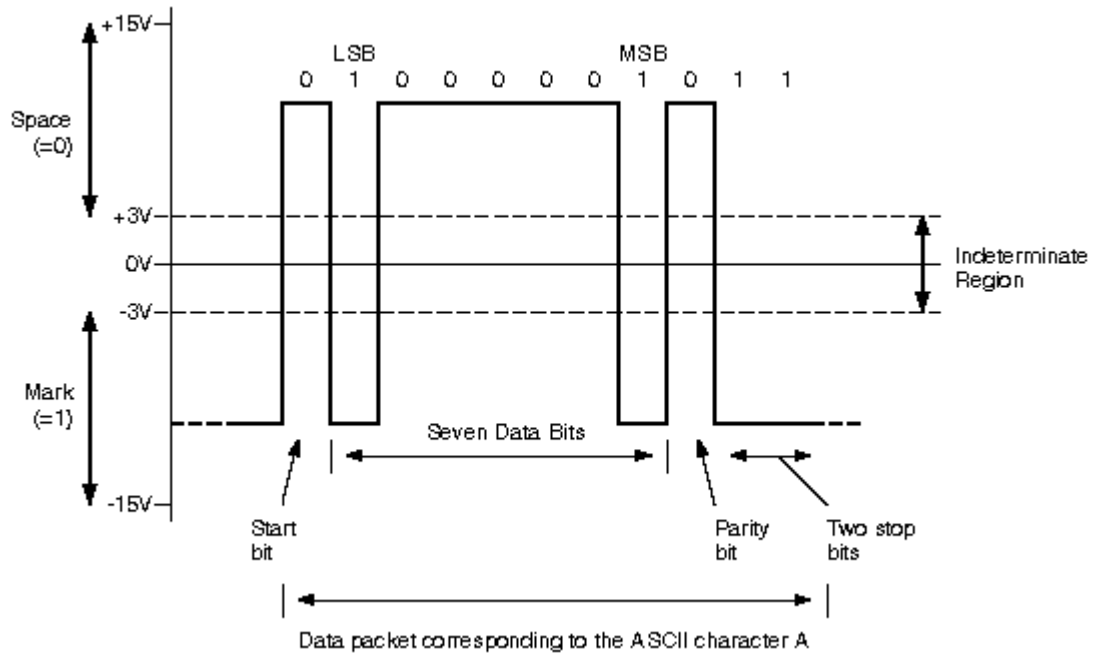
Bit dizilerinin bir pin üzerinden ardışıl olarak gönderildiği tüm haberleşme portları seri port olarak tanımlansa da “seri port” kavramı RS232 standardıyla özdeşleşmiştir. Yani bilgisayarın RS232 portu ya da COM portu seri port olarak adlandırılır. Saat işareti olmadığından veri iletimi asenkron olarak yapılır.

RS232 standardı basit bir NRZ hat kodlama tekniği ve 7-11 bitlik bir protokolden oluşur. EIA tarafından RS232C standardına göre mantıksal “0” seviyesi -3V ile -15V arasında bir gerilim değerine, “1” seviyesi ise 3V ile 15V arasında bir gerilim değerine denk gelir. -3V ile 3V aralığı ise tanımsız bölgedir. Açık devre durumunda herhangi bir uçtaki gerilim gnd ucuna göre $\pm 25V$ aralığında kalmalıdır. Kısa devre durumunda ise çekilen akım 500mA değerini geçmemeli ve kısa devre kalktığında RS232 sürücüsü zarar görmemiş olmalıdır. Veri paketleri 7, 8 ya da 9 bitlik parçalar halinde gönderilir. Her parçanın başında bir başlangıç biti, sonunda da bir ya da iki tane bitiş biti bulunur. İsteğe ya da ihtiyaca göre bitiş bitinden önce bir elde (Carry) biti gönderilir. Başlangıç bitinden hemen sonra gönderilen bit en az ağırlıklı bittir. Şekil 2.6’da RS232 protokolü anlatılmıştır.

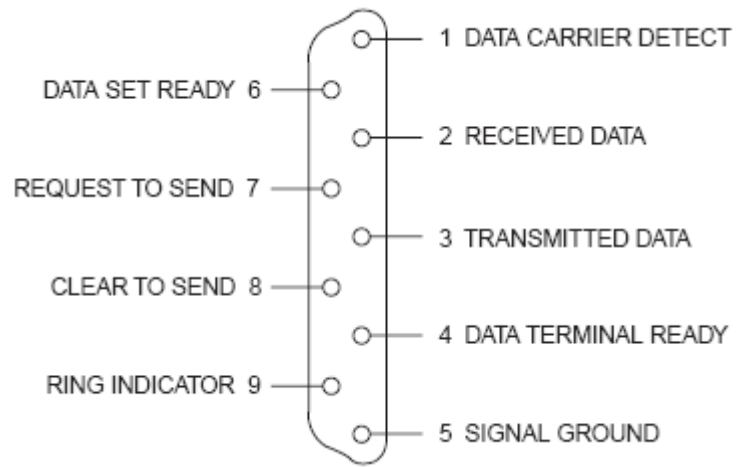
RS232 arayüzü önceleri modem haberleşmesi için kullanılmış bir standarttır. En son versiyonu olan EIA-232-F standardı ITU-T tarafından V.24 standardı olarak kabul edilerek uluslar arası bir standart haline getirilmiştir.

RS232 arayüzü kullanan cihazlar DTE (Data Terminal Equipment – Veri Terminal Ekipmanı) ve DCE (Data Communication Equipment – Veri Haberleşme Ekipmanı) olarak ikiye ayrılır. Bilgisayar tabanlı ölçme sistemlerindeki denetçi bilgisayarlar DTE, ölçüm elemanları da DCE kategorilerinde yer alır.

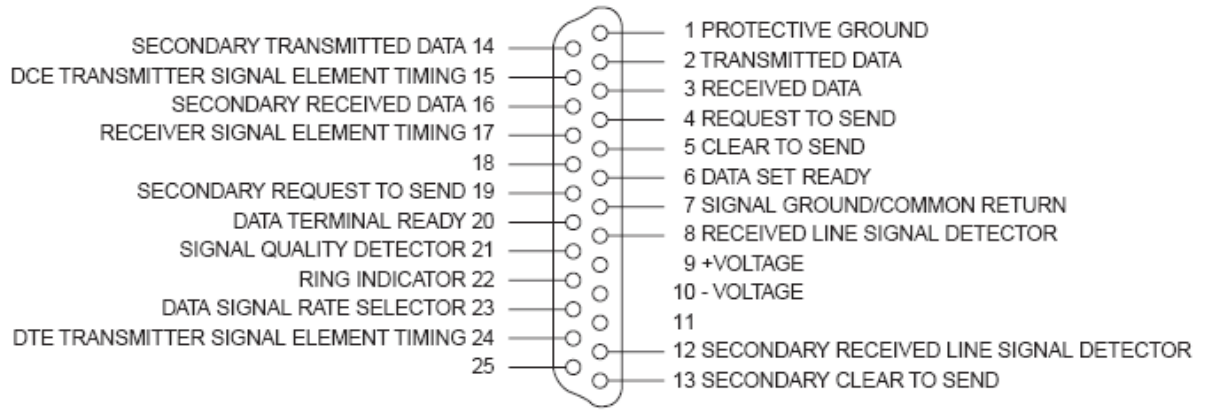
V.24’te yalnızca 25 pinli konektör tanımlanmasına karşın, RS232 için yaygın kullanılan 9 pinli ve 25 pinli olmak üzere iki çeşit konektör vardır. DCE kategorisindeki cihazlar için, Şekil 2.7’de D9 tipi ve Şekil 2.8’de D25 tipi konektörlerin pin işlevleri gösterilmiştir.



Şekil 2.6 RS232 Protokolü. (Küçük,2006)



Şekil 2.7 D9 tipi konektör pin işlevleri.[8]

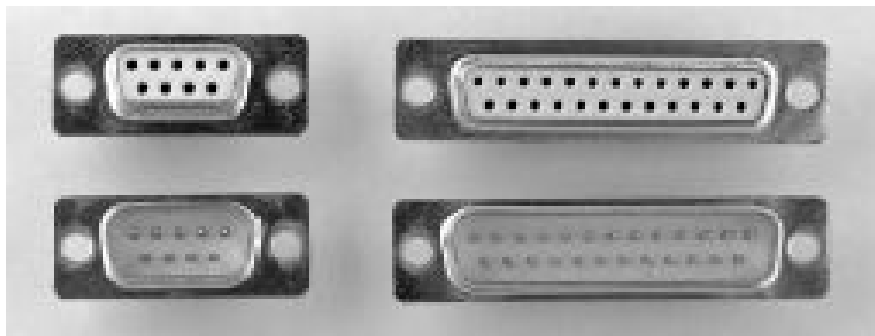


Şekil 2.8 D25 tipi konektör pin işlevleri.[8]

RS232 standardında kullanılan işaretlerin işlevleri Çizelge 2.2’de açıklanmıştır. Ayrıca kullanılan D9 ve D25 tip konektörler de Şekil 2.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 RS232 işaretleri ve işlevleri

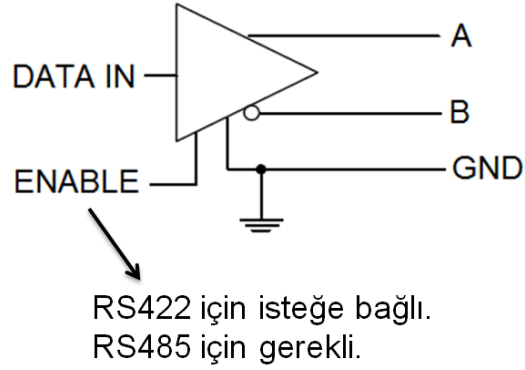
D25 Pin No.	D9 Pin No.	İşaretin İsmi	İşaretin İşlevi
2	3	Transmit Data	Seri veri çıkışı
3	2	Receive Data	Seri veri girişi
4	7	Request To Send	DTE cihazının veri alışıverişine hazır olduğu mesajını verir.
5	8	Clear To Send	DCE cihazının veri alışıverişine hazır olduğu mesajını verir.
6	6	Data Set Ready	DCE cihazının bir link kurmaya hazır olduğu mesajını verir
7	5	Signal Ground	İşaret toprağı.
8	1	Carrier Detect	Modem cihazının bağlı olduğu hatta taşıyıcı var olduğu mesajını verir.
20	4	Data Terminal Ready	DTE cihazının bir link kurmaya hazır olduğu mesajını verir
22	9	Ring Indicator	Modem cihazının bağlı olduğu hatta zil işaretinin var olduğu mesajını verir.



Şekil 2.9 D9 ve D25 tipi dişi ve erkek konektörler

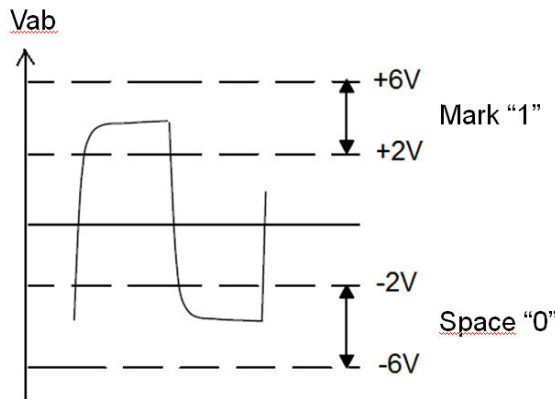
2.3.3 RS422 ve RS485 Veri Yolları

RS422 ve RS485 haberleşmesinde dengeli farksal hatlar kullanılır. Bu nedenle gürültü bağıışıklığı yüksek olduğundan RS422 ve RS485 arayüzleri uzun mesafeli haberleşme ihtiyacında kullanılır.



Şekil 2.10 RS422 ve RS485 sürücü yapısı.

RS422 ve RS485 sürücülerinin genel yapısı Şekil 2.10’da gösterilmiştir. Sürücü çıkışında, mantıksal “0” seviyesi için A çıkışında B çıkışına göre pozitif bir gerilim oluşurken, “1” seviyesi için bu gerilimin negatif olacaktır. Aslında A ve B işaretleri birbirlerinin tümleyeni gibi davranmaktadır. Şekil 2.11’de RS422 ve RS485 sürücü çıkışındaki işaretlerin yapısı görülmektedir.



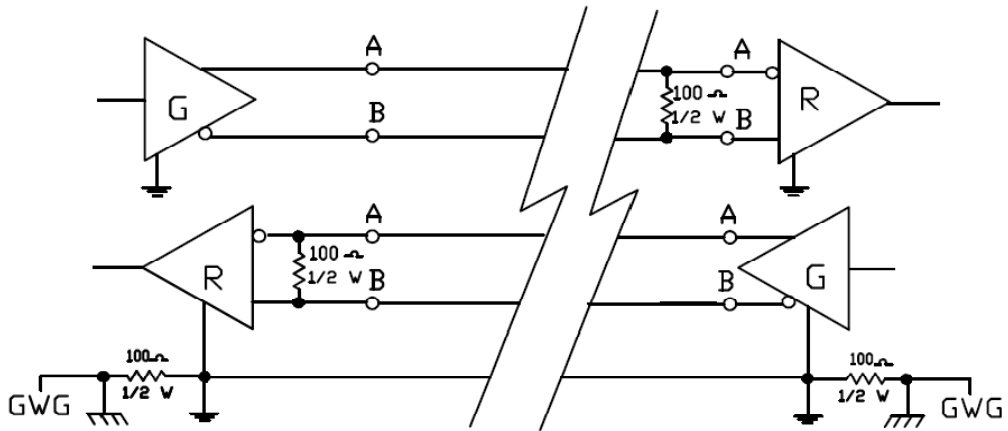
Şekil 2.11 RS422 ve RS485 işaretleri. (B&B Electronics, 2006)

RS422 ve RS485 veri yollarının RS232 ile basit bir karşılaştırması Çizelge 2.3'te verilmiştir.

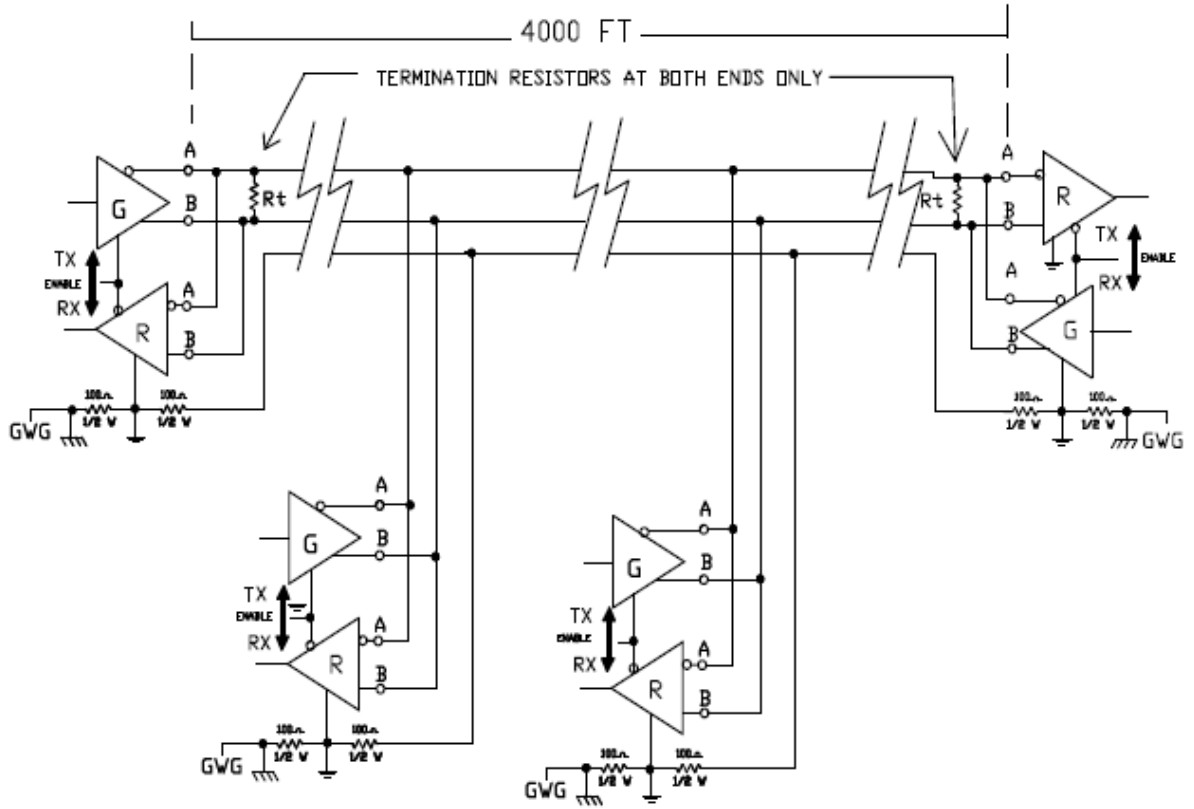
Çizelge 2.3 RS232, RS422 ve RS485 karşılaştırması

	RS232	RS422	RS485
Kablolama	single ended	single ended multi-drop	multi-drop
Hatta bağlanabilecek cihaz sayısı	1 verici 1 alıcı	5 verici 10 alıcı	32 verici 32 alıcı
Haberleşme Şekli	Çift yönlü	Çift yönlü Yarı çift yönlü	Yarı çift yönlü
Maksimum mesafe	19.2 Kbps hızında 15m	100 Kbps hızında 1.5km	100 Kbps hızında 1.5km
Maksimum veri hızı	15m'de 19.2Kbps	15m'de 10 Mbps	15m'de 10 Mbps
İşaretleşme şekli	dengelenmemiş	dengelenmiş	dengelenmiş
Mark (data 1)	-5 V min. -15 V maks.	2 V min. (B>A) 6 V maks. (B>A)	1.5 V min. (B>A) 5 V maks. (B>A)
Space (data 0)	5 V min. 15 V maks.	2 V min. (A>B) 6 V maks. (A>B)	1.5 V min. (A>B) 5 V maks. (A>B)
Alıcı hassasiyeti	+/- 3 V	0.2 V farksal	0.2 V farksal
Çıkış akımı	500 mA (PC'lerdeki çıkış sadece 10mA ile sınırlıdır.)	150 mA	250 mA

RS422 daha çok 4 telli, çift yönlü haberleşme için, RS485 de 2 telli yarı çift yönlü haberleşme için kullanılır.



Şekil 2.12 Dört telli RS422 bağlantısı. (B&B Electronics, 2006)



Şekil 2.13 İki telli, çok noktalı RS485 bağlantısı. (B&B Electronics, 2006)

Hem RS422 hem de RS485 arayüzünde, yansıyan dalga oranını düşürmek için hat sonlarında hattın empedansına uygun sonlandırma dirençleri eklenir. Böylece standartta verilen veri hızlarına ulaşmak mümkün olur.

RS422 ve RS485 veri yolu birkaç model hariç bilgisayar üzerinde standart olarak bulunmaz. Bu bağlantılar ancak basit çevirici devreler yardımıyla RS232 portları üzerinden yapılır. Buna karşın bu arayüzler birçok ölçüm elemanında ve endüstriyel cihazda standart olarak bulunur.

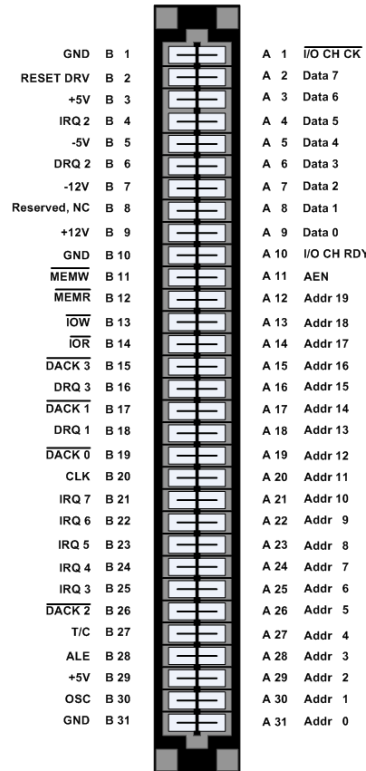
Endüstride kullanılan Modbus gibi birçok protokol RS485 veriyolu üzerinde kullanılmaktadır.

2.3.4 ISA Veri Yolu

“Industry Standart Architecture” ya da kısa ismiyle ISA veri yolu ilk defa IBM PC/XT ve PC/AT modellerinde kullanılmıştır. Bu nedenle ISA, XT ve AT veri yolu olarak da anılmaktadır. Bu arayüz uzun bir süre endüstri standardı olarak kabul görmüştür. Intel ve Microsoft, 1993 yılında ISA veri yoluna “tak çalıştır” özelliğini eklese de çoğu giriş çıkış kartı için yeterli veri hızı sağlanamadığı için ISA yerini PCI veri yoluna bırakmıştır.

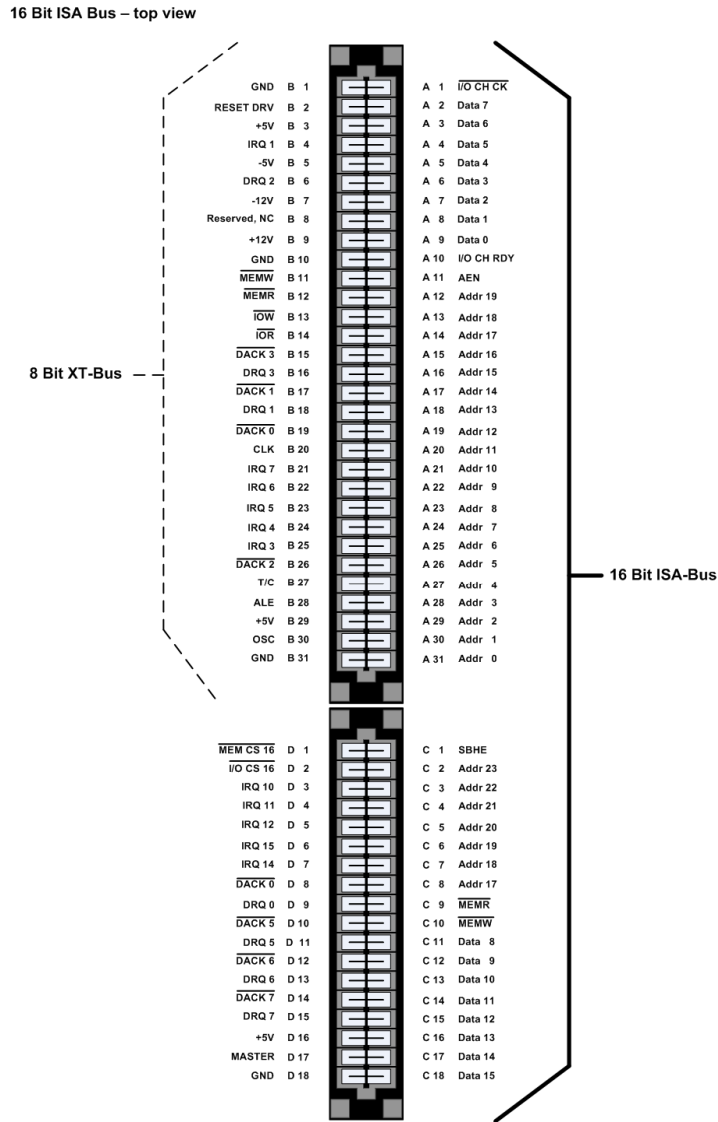
PC/XT, 1980’lerde yaygın olan 8086 ve 8088 çekirdekli mimarilerde kullanılmış 8-bit veri yolu ve 20-bit adres yolu bulunan bir arayüzdür. ISA arayüzü, çeşitli güç bağlantıları(5V,12V), yazma/okuma izin uçları, saat işaretleri gibi diğer uçlarla birlikte toplam 62 uçlu bir bağlayıcı kullanmaktadır. XT veri yolu mimarisi bünyesindeki 8259 programlanabilir kesme denetçisi sayesinde 8 adet öncelikli kesme vektörü kullanımına izin verir. Ayrıca mevcut dört DMA kanalından üçüne XT konektörü üzerinden ulaşmak mümkündür. Şekil 2.14’te XT veri yolu bağlantıları görülmektedir.

8 Bit XT Bus – top view



Şekil 2.14 ISA 8 Bit XT Veri Yolu Bağlantısı.[9]

PC/AT ise 80286 çekirdekli mimari için geliştirilmiş 16-bit veri yolu, 24-bit adres yolu bulunan bir arayüzdür. Aslında AT arayüzü XT arayüzüne 36 uçlu bir konektör ve ikinci bir 8259 çevresel kesme denetçisinin eklenmesiyle oluşturulmuştur. Bu sayede XT standardıyla uyumluluk sağlanmış, toplam kesme sayısı 16'ya çıkarılmış ve toplam 16 DMA kanalına erişim imkanı sunulmuştur. 8-bit ya da 16-bit çalışma seçimi, eklenen 36 uçlu konektördeki kontrol uçları sayesinde yapılabilmektedir. Şekil 2.15'te AT veri yolu bağlantıları görülmektedir.

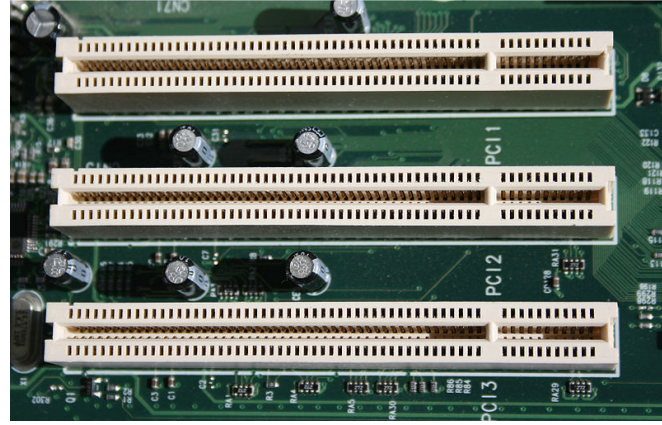


Şekil 2.15 ISA 16 Bit AT Veri Yolu Bağlantısı.[9]

2.3.5 PCI Veri Yolu

PCI 1990 yılında Intel tarafından geliştirilmeye başlamış ve o günden bu yana endüstri standardı olmuş bir veri yoludur. Oldukça hızlı olması nedeniyle grafik kartları, çeşitli giriş-çıkış kartları, veri toplama ve ölçüm kartları gibi çevre birimleri için tercih edilen bir arayüzdür.

PCI kullanan bilgisayar çevre birimleri, bilgisayarın anakartı üzerinde doğrudan PCI veri yoluna bağlanabileceği gibi hemen her PC’de standart haline gelen PCI genişletme yuvaları üzerinden de bağlanabilir. Ancak bu çevre birimleri genişletme yuvasına uygun şekilde tasarlanmış olmalıdır. Şekil 2.16 ve Şekil 2.17’de PCI kartlarının ve yuvalarının fiziksel örnekleri gösterilmiştir.

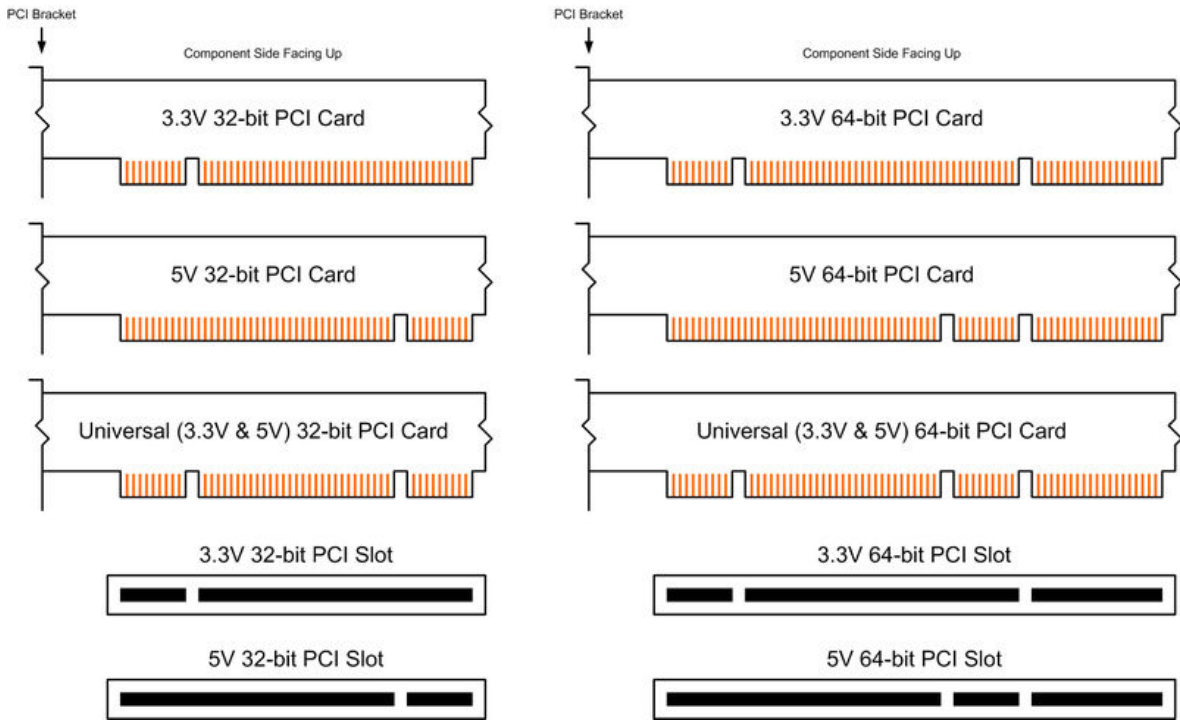


Şekil 2.16 PC anakartı üzerindeki PCI yuvaları. [10]



Şekil 2.17 32 bitlik bir PCI kartı örneği. [10]

Yaygın olarak kullanılan PCI kartları ve uygun soket standartları Şekil 2.18’de gösterilmiştir.



Şekil 2.18 Standart 32-bit ve 64-bit PCI kartları ve yuvaları. [10]

Yaygın kullanılan PCI arayüzlerinin genel özellikleri şöyle sıralanmıştır:

- 32-bit genişliğinde veriyolu.
- 33.33MHz frekanslı saat işareti ve senkron veri transferi.
- 32-bit veriyolu için 133MB/s veri transfer hızı. ($33.33 \text{ MHz} \times 32 \text{ bits} \div 8 \text{ bits/byte} = 133 \text{ MB/s}$).
- 32-bit ya da 64-bit bellek adresleme aralığı (4 gigabyte ya da 16 exabyte).
- 32-bit I/O portu aralığı.
- Her cihaz için 256 byte yapılandırma bellek aralık.
- 5V’luk işaretleşme.
- Yansıyan dalgı anahtarlama tekniğı*.

PCI spesifikasyonu ayrıca 64-bit modunu, 66MHz saat işaretleşmesini, 3.3V’luk işaretleşmeleri de tanımlar. PCI, 32-bit ve 64-bit X86 işlemci ailesi için ayrı bellek ve I/O adres yolları içerir. Üçüncü bir adres alanı ise 256 byte uzunluğundaki yapılandırma bellek aralığı için ayrılmıştır.

Ayrıca PCI arayüzü üzerinden çalışan kartlar tak-çalıştır uyumludur. Bilgisayara yeni bir PCI kartı takıldığı zaman, sistem resetlendikten sonra 256 byte’lık PCI yapılandırma bellek alanı

* Daha çok PCI veri yolunda kullanılan bir tekniktir. Baskı devre üzerindeki transmisyon hatlarının sonlandırılmaması ve zayıflayan işaretin sonlanmamış hattın yansıyan işaret tarafından kuvvetlendirilmesi sayesinde okunabilmesini sağlayan bir tekniktir.

okunarak eklenen PCI kartına sistem kaynaklarının ne kadarının ayrılacağı, yüklenecek sürücü yazılımının ismi ya da türü gibi bilgiler elde edilir. Hatta bazı PCI cihazları kendi üzerlerinde taşıdıkları ROM'lar üzerinde doğrudan çalıştırılabilir sürücü ve yazılımlar içerebilir.

PCI cihazlarının, PCI veriyoluna ayrılmış dört kesmeyi kullanabilmeleri için bir dizi protokol belirlenmiştir. Kesme isteği bu işlemler sonucunda oluşturulabilir. Mevcut dört kesme PCI yuvalarına rotasyonel bir yapıyla dağıtılmıştır. Yani bir PCI yuvasına ait INTA kesmesi bir sonraki yuvanın INTB'sidir. Tek görevli cihazlarda tek kesme çoğunlukla yeterli olduğundan bu dört kesme sayesinde her yuvaya bir kesme atanmış olur. Kesmelerin birden fazla cihaz tarafından paylaşılması durumunda karışıklığa sebep vermemek için kesme denetim yazılımlarına ihtiyaç duyulur. Bu yazılımlar daha çok BIOS üzerinde koşar ve platform bağımlı oldukları için pek tercih edilmezler. Hangi cihazın hangi kesmeleri oluşturabildiğiyle ilgili bilgi cihazın yapılandırma bellek alanında saklanır.

Bahsedilen sorun nedeniyle, PCI veri yolunda, kesme yapısını biraz daha sağlıklı hale getirmek için seviye tetiklemeli kesme kullanılır. Çünkü kenar tetiklemeli kesmenin kaçırılması çok kolaydır.

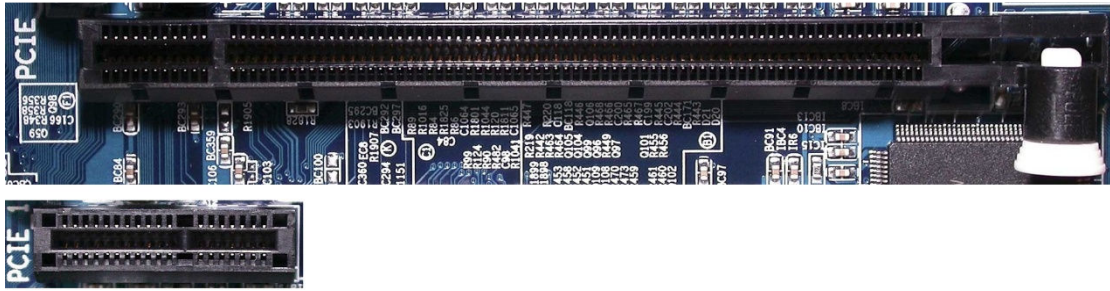
PCI-X standardı PCI veriyolunun daha genişletilmiş ve daha hızlı bir versiyonudur. 532MB/s ve 1064MB/s hızlarına çıkmak mümkündür. Ancak bu arayüz bant genişliğinin önemli olduğu sunucu bilgisayarlar için tasarlanmıştır ve ölçüm amaçlı uygulamalarda pek kullanılmamıştır.

2.3.6 PCI-Express Veri Yolu

PCI-Express ya da kısa adıyla PCIe, PCI ve PCI-X arayüzlerinin hızlarının yetersiz kalmasıyla birlikte Intel, Dell, HP ve IBM önderliğindeki PCI-SIG adı verilen bir çalışma grubu tarafından tasarlanmış ve yaygın kullanım alanı bulan bir arayüz standardıdır.

PCIe arayüzünü PCI'dan ayıran özellik, paralel haberleşme yerine uçtan uca hızlı seri linklerin kullanılmasıdır. Yani PCIe, PCI'nın daha hızlı ve seri yapıda olanıdır. Bu fark fiziksel ve veri aktarım (transaction) katmanlarında olduğu için yazılım katmanında PCIe, PCI ile uyumludur. Yani kullanılan uygulama yazılımı PCIe yoluna PCI yolu gibi erişebilir.

PCIe arayüzü kullanan cihazlar PC ile en az bir seri hattın oluşan linkler kullanır. Bu hatların sayısı ihtiyaç duyulan bant genişliğine göre 1, 2, 4, 8, 16 ya da 32 olarak seçilebilir. Örnek olarak Şekil 2.19'da x1 ve x16 büyüklüklerindeki iki PCIe yuvası gösterilmiştir.



Şekil 2.19 x1 ve x16 büyüklüğündeki PCIe yuvaları.[11].

Her yuvaya, en fazla kendi taşıdığı hat sayısı kadar hat taşıyabilen kartlar takılabilir. Örneğin x4 büyüklüğündeki bir PCIe yuvasına x1, x2 ve x4 büyüklüğündeki PCIe kartları takılabilir.

PCIe 1.x versiyonlarında her bir hattın taşıyabildiği veri hızı 250MB/s iken, PCIe 3.0 versiyonunda bu hız hat başına 1GB/s hızına çıkmıştır.

PCIe'nin bu kadar yüksek hızlara çıkabilmesinin nedeni düşük hızlı paralel hatlar yerine yüksek hızlı seri hatların kullanılmasıdır. Her bir hattaki alma ve gönderme uçlarının farksal çiftlerden oluşması nedeniyle yansıyan dalga anahtarlama tekniğine göre gecikmeler çok küçüktür. PCI arayüzünde paralel hatlar arasındaki çok küçük yol farklarının neden olduğu gecikmeler yüksek hızlarda bir bitin sürelerine yaklaştığı için veri i sırasında en yavaş hattın hızının üstüne çıkmak mümkün değildir. Ayrıca farklı hızlardaki paralel hatların kontrolü kolay değildir. Oysa tek ve hızlı bir hat üzerinden bir seferde gönderilen veri kelimelerinin transferinin kontrolü daha kolaydır.

2.3.7 USB – Evrensel Seri Veri Yolu

USB, İngilizce “Universal Serial Bus” yani “Evrensel Seri Veri Yolu” kelimelerinin kısaltılmışıdır. Host bilgisayarın seri bir arayüz üzerinden çeşitli çevresel aygıtlarla haberleşebilmesini sağlar.

İlk defa 1994 yılında, Intel, Compaq, Microsoft, Digital, IBM, ve Northern Telecom firmalarının işbirliğiyle üzerinde çalışılmaya başlanılan ve 1996 yılında 1.0 sürümü duyurulan USB’nin ilk resmi sürümü 1998 yılında duyurulan 1.1 olmuştur. 1.1 sürümü ve 1999 yılında çıkarılan 2.0 sürümü ile USB, hem kullanıcı elektroniği alanında hem de endüstriyel uygulamalarda bir standart halini almıştır.

USB’nin en büyük avantajlarından biri veri aktarım hızıdır. Şu ana kadar kullanılan standart hızların listesi şöyledir:

- Düşük Hız (Low Speed) – 1.5Mbit/s
- Tam Hız (Full Speed) – 12Mbit/s
- Yüksek Hız (High Speed) – 480Mbit/s

Bu hızların tümü USB 2.0’da desteklenmektedir. USB 1.1 ise 1.5Mbit/s ve 12Mbit/s hızlarını desteklemektedir. 2010 yılında tanıtılması beklenen 3.0 sürümüyle bu hızların 4.8Gbit/s değerine çıkması öngörülmektedir.

USB, host denetçili bir veri yoludur. Genelde her veri yolunda sadece bir host bulunur. On-The-Go* tanımlamasının eklenmesiyle 2.0 versiyonunda iki farklı cihazın host görevini paylaşabilmesi mümkün kılınmışsa da pratikte pek kullanılmamıştır. Host, tüm veri aktarımları, bant genişliği ve zamanlamaların ayarlanmasından sorumludur.

Her USB aygıtının bir üretici kimliği (Vendor ID) ve bir ürün kimliği (Product ID) olmak zorundadır. Bu kimlik numaraları USB Organizasyonu’ndan alınan lisansla elde edilir.

Bir USB aygıtı, host yuvasına takıldığında host ile arasında bir bilgi alışverişi yapılır. Buna listeleme ya da numaralandırma (enumeration) denir. Bu işlem sırasında host, aygıt tanımlamalarını (device descriptor) alır. Aygıt tanımlamaları Vendor ID, Product ID, sürüm sayısı ve aygıtın hangi USB sınıfına dahil olduğunu belirten kod gibi bilgileri içerir. Listeleme işleminden sonra host, kimlik numaralarına bakarak aygıtı uygun INF dosyasını yükler. INF dosyası USB aygıtının kullanacağı sürücü yazılımlarının isimlerinin tutulduğu bilgi dosyalarıdır.

* On-The-Go: Gömülü sistemlerin host işlevini yerine getirebilmesini sağlayan USB tanımlaması.

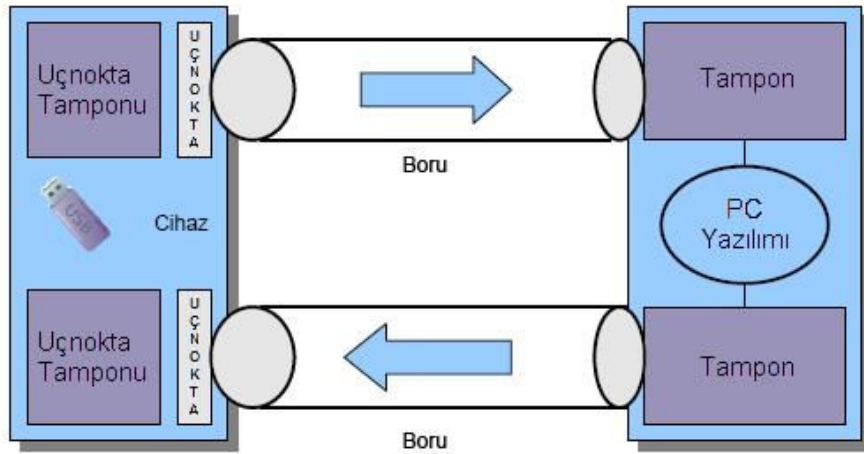
Bir hostun görevlerini şöyle sıralayabiliriz:

- Sistemin USB portlarına takılan her aygıtı algılamak ve numaralandırma işlemini yapmak.
- Bir aygıtın porttan çıkarılmasını algılamak.
- Takılan aygıtta belirli sınırlar içinde güç sağlamak.
- Veri akışını kontrol etmek.
- Veri akışı sırasında oluşan hataları algılamak.

USB aygıtının görevleri ise şöyledir:

- USB konektörü üzerindeki güç hattının varlığını algılayarak, aygıtın takıldığını anlamına gelen pull-up direncini anahtarlama.
- Aygıt tanımlamaları içerisinde de bulunan, aygıtın hangi güç sınıfında olduğunu belirten parametrelerini kontrol etmek ve bu güç sınırları içerisinde kalmak.
- Host tarafından gönderilen periyodik zaman işaretlerini algılamak.
- Host tarafından numaralandırmanın ardından gönderilen istek işaretlerine cevap vermek.
- Host ile veri alışverişini sağlamak.
- Uygulamaya yönelik diğer görevleri yerine getirmek. (Örneğin ölçme sistemlerinde örneksel girişlerin okunması gibi.)

USB bağlantısı fiziksel olarak tek bir kanaldan oluşsa da bu kanal üzerinde USB borusu (USB pipe) denilen zaman paylaşımli birden çok sanal kanal bulunur. Bu borular PC yazılımı ile USB aygıtı üzerindeki (End Point - EP) adı verilen bellek alanları arasında haberleşmeyi sağlar. Şekil 2.20’de USB haberleşmesindeki boru ve uçnokta kavramları arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 2.20 Uçnokta ve boru kavramları arasındaki ilişki

USB aygıtlarında 30’a kadar uçnokta bulunabilir. Her birine bir sayı ve yön bilgisi atanır. 0 numaralı (EP0) ise her aygıtta mevcuttur ve çift yönlüdür. Yani EP0 dışındaki tüm uçnoktalar

tek yönlüdür. Bilgisayara veri gönderen yönde kullanılan uç noktalar IN, bilgisayardan veri alan uç noktalar ise OUT şeklinde tanımlanır.

EP0'ın çift yönlü olmasının nedeni denetim amaçlı veri iletişiminin EP0 üzerinden yapılmasıdır. EP0 hariç diğer tüm uç noktaların bir tanımlayıcısı (EP descriptor) vardır. Bu tanımlayıcılar EP'ler için en büyük paket uzunluğu bilgisini taşır. Bu bilgi EP0 için ise aygıt tanımlayıcısında yer alır. Denetim gönderimleri, hostun aygıt tanımlayıcıları içerisindeki bilgileri okuması gibi daha çok yapılandırma işlemleri için kullanılır. Bu nedenle her aygıtın EP0 uç noktasının denetim gönderimlerini desteklemesi gerekir.

USB, dört çeşit veri gönderim yöntemi kullanır. Bu sayede çok çeşitli aygıtlarla haberleşme imkanı sağlanmıştır. Kullanılan veri gönderim çeşitleri Çizelge 2.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.4 Veri Gönderim Çeşitleri

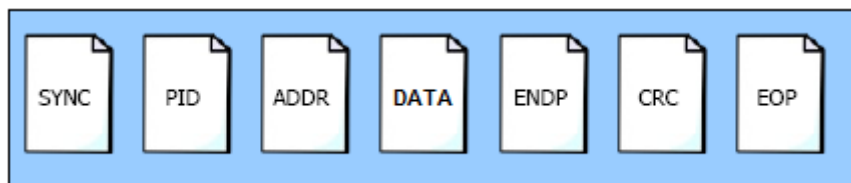
Veri Gönderim Yöntemi	Açıklama
Denetim (Control)	Listeleme, yapılandırma vb. denetimler için kullanılır.
Kesme(Interrupt)	PC'nin isteği sonunda aygıt kesmesi oluşturulur. En yavaş Gönderim yöntemidir.
Yığın(Bulk)	Büyük boyutlardaki verilerin yığınlar halinde gönderildiği yöntemdir.
Eşzamanlı(Isochronous)	Verilerin sabit hızda gönderildiği yöntemdir. Ancak hata denetimi yoktur.

USB haberleşmesi jeton tabanlı (token based) paket haberleşmesidir. Her veri gönderiminde üç çeşit paket kullanılır.

- Jeton paketi : Başlangıç paketidir. Ne tür gönderim olacağını belirler.
- Veri paketi : İsteğe bağlıdır. Veri gönderimi olacağı zaman kullanılır.
- Durum paketi : El sıkışma işaretlerini taşır.

Bunlar dışında bir de periyodik olarak gönderilen çerçeve başlangıcı (Start of Frame) vardır. Bu paket yapısı USB hattında haberleşme olmadığında, aygıt ile host arasındaki bağlantının aktif olup olmadığının kontrolü için kullanılır. Bu paket yüksek hızlı sistemlerde 125µs, tam hızlı sistemlerde ve düşük hızlı sistemlerde 1ms aralıklarla gönderilir.

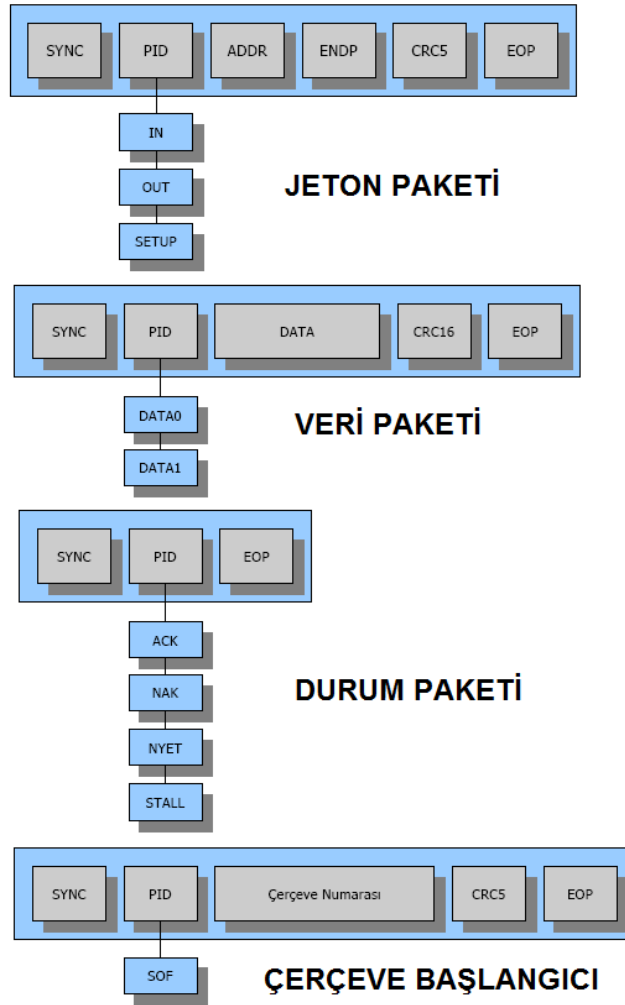
USB paketlerinin genel yapısı Şekil 2.21'de gösterilmiştir.



Şekil 2.21 USB Paketinin genel yapısı.

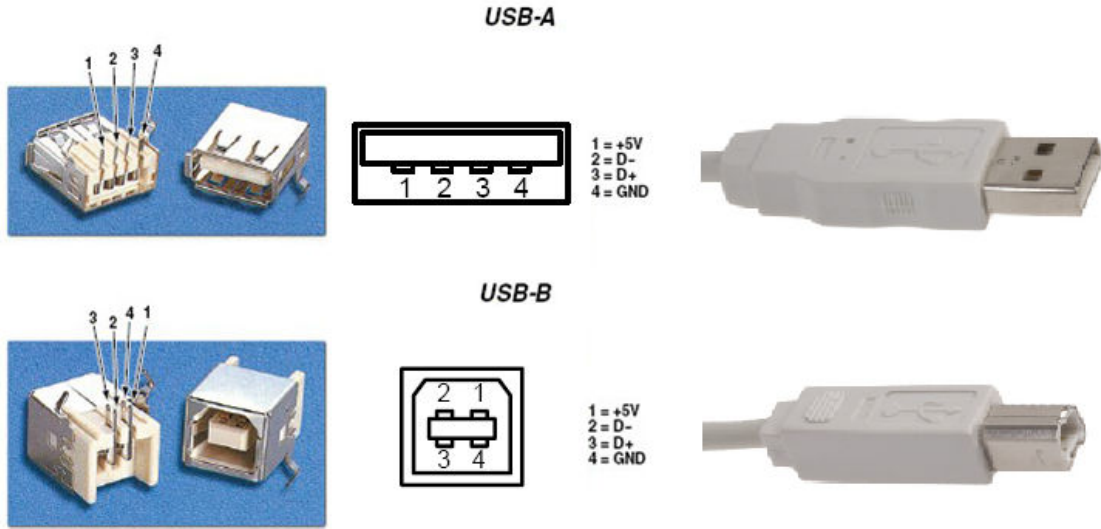
Tüm paketler SYNC ile başlar. SYNC alıcı ve verici senkronizasyonunu sağlamak için gönderilen bir karakter dizisidir. Ardından gönderilen PID (Packet ID), gönderilen paketin tipini tanımlar. ADDR aygıt adresini içerir. DATA gönderilen veriyi içerir. ENDP gönderimin hangi uçnoktadan yapıldığını belirtir. CRC alanı çevrimsel artıklık kontrolü (CRC) bitlerini içerir.

Kullanılan değişik paket yapıları Şekil 2.22’de gösterilmiştir.



Şekil 2.22 USB Paketleri.

USB bağlantısı için yaygın olarak kullanılan Type-A ve Type-B tipi konektörler Şekil 2.23’de gösterilmiştir. Bu konektörlerin pin işlevleri de Çizelge 2.5’te anlatılmıştır.



Şekil 2.23 USB-A ve USB-B tipi konektörler.

Çizelge 2.5 USB konektör pinleri

Pin No	Kablo Rengi	Açıklama
1	Kırmızı	Vbus (+5V)
2	Beyaz	D-
3	Yeşil	D+
4	Siyah	Gnd

Type-A ve Type-B konektörler dışında Mini-A, Mini-B, Micro-A ve Micro-B isimli dört konektör tipi daha kullanılmaktadır.



Şekil 2.24 Mini ve Micro tipi konektörler.[12]

USB konektörü üzerindeki Vbus ve GND pinleri arasında $5\text{ V} \pm 5\%$ değerinde bir gerilim vardır. Bu pinler, hosta bağlanan USB aygıtlarını beslemek amacıyla güç kaynağı olarak kullanılabilir. Ancak USB standardında belirtilen 500mA akım sınırını aşmamak gerekir.

2.4 Algılayıcılar ve Dönüştürücüler

Algılayıcı ve dönüştürücüler ölçüm işleminin başladığı ilk noktadır ve ölçüm sisteminin fiziksel dünyayı algılayabilmesini sağlayan duyu organları gibidir.

Algılayıcılar (sensor), fiziksel bir büyüklüğü ölçen ya da algılayan elemanlardır. Algılama işlemi, ölçülecek fiziksel büyüklüğün değişimiyle, algılayıcının elektriksel bir işaret üretmesi, algılayıcının ürettiği işaretin bazı parametrelerinin değişmesi ya da algılayıcının elektriksel yöntemlerle belirlenebilecek bir özelliğinin değişmesi şeklinde gerçekleşir. Dönüştürücüler (transducer) ise bir enerji biçimini diğer bir enerji biçimine çeviren elemanlardır.

Aslında algılayıcılar algılama işini bir dönüşüm işlemi ile yapar, dönüştürücülerin de çıkış büyüklükleri algılama amacıyla kullanılır. Bu nedenle algılayıcı ve dönüştürücü kavramları çoğu zaman birbirlerinin yerine kullanılan terimlerdir. Ancak bu kavramları birbirinden ayıran özellik dönüşüm işlemi sırasında enerji verimliliğinin ne ölçüde korunduğuyla alakalıdır. Algılayıcılarda bu verimliliğin çok önemi yoktur. %5 ile % 0.1 arasındaki bir verimlilik çoğu zaman ölçülebilir işaretlerin oluşmasına yeterlidir. Ancak dönüştürücülerde ise verimliliğin önemi çok daha büyüktür.

Algılayıcı seçiminde kullanılan ölçütler aşağıdaki şekilde sıralanabilir: (Uzun, 2007)

- Duyarlılık
- Doğrusallık
- Sınırlar
- Yanıt süresi
- Doğruluk
- Tekrarlanabilirlik
- Ayırıcılık
- Çıkışın tipi

Duyarlılık, algılayıcı ya da dönüştürücünün ölçülecek büyüklüğün değişimine ne oranda tepki ya da çıkış verdiğiyle alakalı bir parametredir. Duyarlılık şu şekilde ifade edilebilir:

Genellikle, ölçme işleminin hassas olması istenir. Ama ekonomik sınırlar ve ihtiyaçlar göz önüne alındığında hassas bir algılayıcı kullanmak her zaman olası değildir. Bu nedenle algılayıcı seçiminde öncelikle ihtiyaç duyulan duyarlılığın belirlenmesi gerekir.

Algılayıcı seçiminde dikkat edilecek diğer bir nokta ise doğrusallıktır. Doğrusal bir işaretin ölçüm sistemi tarafından algılanması ve yorumlanması doğrusal olmayan bir işarete göre her zaman daha kolaydır. Doğrusal olmayan bir işaret söz konusu olduğunda bir doğrusallaştırma işlemine ya da doğrusal olmayan işaretlerle hesaplama yapabilecek bir denetçiye ihtiyaç duyulur.

Algılayıcı ve dönüştürücülerin giriş ve çıkış sınırlarının bilinmesi bize ölçüm yapılabilecek aralığı verir. Bu nedenle algılayıcı seçiminde giriş sınırlarının ölçülecek büyüklüğün sınırlarıyla örtüşmemesi sağlanmalıdır.

Algılayıcı ve dönüştürücülerin belirli gecikmeleri vardır. Giriş işaretinin birim değişimine çıkış tarafından verilen tepkinin gözlemlenebilmesi için geçen süre yanıt süresi olarak tanımlanabilir. Hızlı örnekleme yapılması ihtiyacı varsa tepki süreleri küçük algılayıcı ve dönüştürücüler kullanılmalıdır.

Doğruluk kavramı, doğrusallık, frekans cevabı, işaret gürültü oranı gibi birçok parametrenin toplam sonuçlarının etki ettiği ölçüm değeri ile gerçek değerin ilişkisini ifade eder.

Zaman içinde, aynı algılayıcı ile aynı şartlar altında tekrarlanan ölçümlerin değerlerinin birbirine yakın sonuç vermesi istenir. Ancak algılayıcı ve dönüştürücülerin bazı özellikleri nedeniyle bu tekrarlanabilirlik özelliğinin bir sınırı vardır.

Endüstriyel ölçüm daha çok elektriksel işaretlerle ilgilendiği için, algılayıcı ya da dönüştürücünün çıkışı da elektriksel bir büyüklük olmalıdır. Ancak algılayıcı çıkışları her zaman elektriksel büyüklükler olmayabilir. Bu durumda algılayıcı çıkışına bağlanan bir dönüştürücü ile ölçülen büyüklüğü elektriksel bir işaret ya da parametreye çevirmek gerekir. Bu nedenle algılayıcı ve dönüştürücü seçiminde çıkışların özelliği dikkat edilmesi gereken bir konudur.

Mikroişlemci ve yarıiletken teknolojilerinin gelişmesiyle “akıllı algılayıcı” (“smart sensor” ya da “intelligent sensor”) adı verilen bir kavram ortaya çıkmıştır. Bir yarıiletken algılayıcının, mikroişlemci ile aynı silikon tabanda üretilmesiyle ortaya çıkan bu tip yapılar oldukça yetenekli olduğundan algılayıcı ağları gibi teknolojilerin gelişmesine yardımcı olmuştur. Ayrıca bu tip yapılar sayesinde algılayıcıların işaret-gürültü oranı, doğrusallık, frekans cevabı ve güvenilirliğinin iyileştirilmesi sağlanmıştır.

Günümüzde algılayıcı ve dönüştürücüler sadece endüstriyel uygulamalarda değil günlük hayatta da sıkça karşımıza çıkan elemanlar haline gelmişlerdir. Ev ve işyeri otomasyonunda, beyaz ve kahverengi eşyalarda, robot uygulamalarında, fabrika içi proseslerin takibinde, kuyu-pompa otomasyonunda, scada sistemlerinde, uzaktan izleme ve kontrol amaçlı telemetri sistemlerinde, AMR uygulamalarında, taşıtların ve birçok makinenin izlenmesinde ve kontrolünde, otomatik kantar sistemlerinde, hava durumu takibi gibi akla gelebilecek bir çok ölçme işinde, otomatik iklimlendirme sistemlerinde, yakıt istasyonlarında, aydınlatma sistemlerinde, güvenlik sistemlerinde, tarım ve hayvancılık otomasyonunda ve daha akla

gelebilecek her türlü otomatik kontrol sisteminde algılayıcılar ve dönüştürücülerle karşılaşmak mümkündür.

2.4.1 Algılayıcılar ve Dönüştürücülerin Sınıflandırılması

Algılayıcılar o kadar çok çeşitlilik gösterir ki tek bir parametreye bağlı olarak bir sınıflandırma yapmak imkansızdır. Kullanılan teknolojiye, uygulamanın türüne, çözünürlüğe, çıkış işaretinin özelliğine, besleme ihtiyacına ya da ölçülen büyüklüğün cinsine göre sınıflandırma yapmak mümkündür.

Yaygın bir sınıflandırma şekli, enerji ihtiyacına göre sınıflandırmadır. Bu sınıflandırma şöyle yapılabilir:

- **Aktif algılayıcı ve dönüştürücüler:** Harici bir güç kaynağına ihtiyaç duyan ya da enerji dönüşümü sonucu gerilim ya da akım kaynağı gibi davranan algılayıcı ve dönüştürücülerdir.
- **Pasif algılayıcı ve dönüştürücüler:** Kapasitif, rezistif ya da endüktif özellikteki algılayıcı ve dönüştürücülerdir.

Algılayıcıların sınıflandırılmasında dikkat edilen bir diğer parametre ise çözünürlük kavramıdır. Çözünürlüğe göre sınıflandırma şu şekilde yapılır:

- **Basamaklı (sonlu çözünürlüklü) çıkış veren algılayıcı ve dönüştürücüler:** Bu tipteki algılayıcılar genellikle bir cismin var olması ya da olmaması, seviyenin yüksek olması ya da olmaması gibi mantıksal “1” ve “0” değerleriyle ifade edilebilen özelliklerin izlenmesi için kullanılır. Bunlara sayısal algılayıcı ve dönüştürücüler de denebilir. Genellikle bu tip algılayıcı ve dönüştürücülerin çıkış birimi bir transistör ya da bir anahtardır. Transistörün iletim-tıkama durumları ya da anahtarın açık-kapalı konumları farklı seviyeleri belirtmek amacıyla kullanılır.
- **Sürekli (sonsuz çözünürlüklü) çıkış veren algılayıcı ve dönüştürücüler:** Bu tipteki dönüştürücülerde ise çıkış verisi ölçülen büyüklükle orantılı olarak ve süreklilik bozulmadan değişmektedir. Bu nedenle bunlara örneksel algılayıcı ve dönüştürücüler de denebilir. Bu tip algılayıcıların çıkış birimi ise genellikle, doğrusal davrandığı için, direç, kapasitans ve endüktans gibi pasif elemanlar ya da doğrusal bölgede çalıştırılan ve akım ya da gerilim kaynağı gibi davranan transistörlü aktif devrelerdir. Bu algılayıcı ve dönüştürücülerin çıkışları sayısal bir sisteme bağlanacağı zaman ADC ya da karşılaştırma devreleri yardımıyla basamaklı yapı elde edilebilir.

Başka bir sınıflandırma şekli ise şöyledir:

- **Temaslı algılayıcı ve dönüştürücüler:** Ölçülen fiziksel ortamın içinde ya da ortamla temas halinde kullanılan algılayıcı ve dönüştürücülerdir. Ölçülen büyüklüğün değişimi mekanik, termodinamik ya da kimyasal yöntemlerle algılanır.
- **Temassız algılayıcı ve dönüştürücüler:** Ölçülen fiziksel ortam ya da büyüklükle doğrudan temas halinde olmadan kullanılan algılayıcı ve dönüştürücülerdir. Algılama işlemi için elektromanyetik alan ve ışıktan faydalanılır. Bu tip algılayıcı ve dönüştürücüler

Örneğin sıcaklık ölçümü hem temaslı hem de temassız algılayıcılar ile yapılabilir. NTC, PTC ya da RTD tipi sıcaklık algılayıcıları temaslı algılayıcılardır. Bunları kullanarak yapılan sıcaklık ölçümünde algılayıcı, sıcaklığı ölçülecek cismin üzerine monte edilir. Kızılötesi ışık kullanarak sıcaklık ölçümü yapan algılayıcılar ise temassız algılayıcılardır. Bu yöntemde sıcaklığı ölçülecek cisimden ışıyarak gelen kızılötesi ışığın bir kızılötesi alıcı tarafından ne miktarda alındığına bakılarak ölçme yapılır.

Bu sınıflandırma şekilleri dışında, en doğru sınıflandırma yöntemi, algılayıcıları ölçtükleri ve algıladıkları büyüklük ya da özelliğe göre sınıflandırmaktır. Yaygın kullanılan algılayıcı ve dönüştürücüler şunlardır:

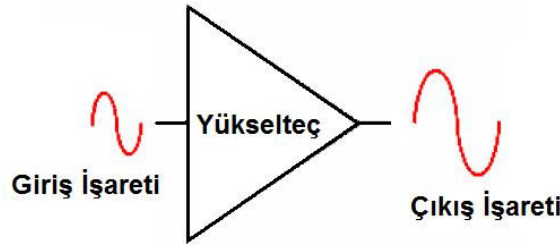
- Anahtarlar
- Manyetik algılayıcılar
- Sıcaklık algılayıcılar
- Işık algılayıcıları
- İvme ölçerler
- Hız ölçerler
- Eğim ölçerler
- Basınç ölçerler
- Nem algılayıcıları
- Akustik algılayıcılar
- Yer değişimi ve boyut algılayıcıları
- Akış algılayıcıları(sayaçları)
- Akım ve gerilim ölçerler
- Direnç, endüktans, kapasitans ve empedans ölçerler
- Seviye ölçerler
- Kuvvet ve tork algılayıcılar
- Zamanlayıcılar

2.5 İşaret Şartlandırıcılar

Algılayıcı ve dönüştürücü çıkışındaki işaretler çoğu zaman ölçüm elemanının giriş hassasiyeti, maksimum giriş gerilimi ya da akımı gibi özelliklerine uygun olmadığından algılayıcı ve dönüştürücülerden sonra işaret şartlandırıcı yapılar kullanılır. Giriş işaretini kuvvetlendirme-zayıflatma, filtreleme ve doğrusallaştırma gibi işlemler işaret şartlandırma ya da işaret koşullandırma (signal conditioning) olarak adlandırılır.

2.5.1 İşlemsel Yükselteçler ve Yükselteç Devreleri

Algılayıcı ve dönüştürücülerin çıkış işaretleri çoğunlukla düşük güçlüdür. Bu gibi durumlarda işareti güçlendirmek için yükselteç devreleri kullanılır.



Şekil 2.25 Yükselteç sembolü ve yükseltme.

Yükselteç deyince ilk akla gelen parametre kazanç olur. Yükseltecin girişine uygulanan sinyalin çıkışta ne kadar yükseltildiği “kazanç katsayısı” ile ifade edilir ve birimsizdir. Herhangi bir sistemin kazanç katsayısı aşağıdaki bağıntı ile ifade edilebilir.

$$Kazanc = \frac{\text{Çıkış_Değeri_Değisimi}}{\text{Giriş_Değeri_Değisimi}} \quad (2.1)$$

Endüstriyel ölçüm sistemlerinde kullanılan yükselteç devrelerinde kazanç deyince akla akım kazancı ya da gerilim kazancı gelir. Genelde giriş işaretleri düşük güçlü olduğu için yükselteç kazanç sayısının çok yüksek olması istenir.

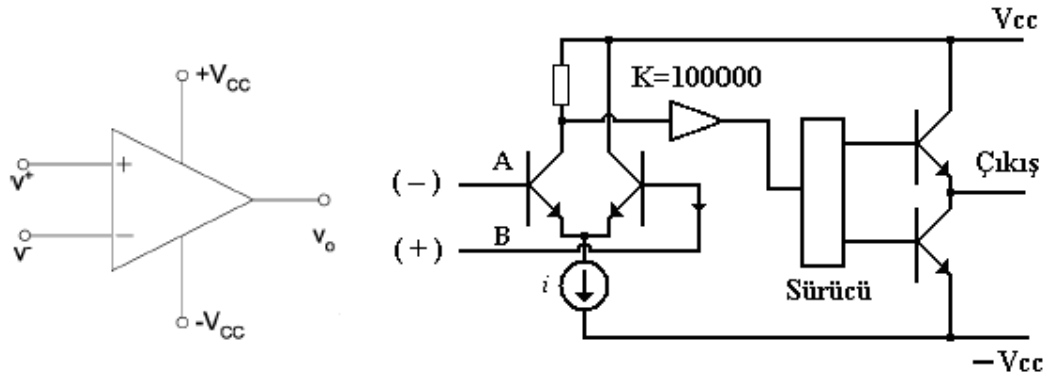
Yükselteçler için önemli diğer parametreler de giriş ve çıkış empedanslarıdır. Yükseltecin giriş empedansının yüksek olması beklenir, çünkü girişe bağlı algılayıcı ve dönüştürücülerin çıkışlarındaki değeri en az şekilde etkileyerek yükseltme işlemi yapılmalıdır. Çıkış empedansının da düşük olması beklenir. Bunun nedeni de yükselteç çıkışına bağlanacak ölçüm elemanının giriş empedansından en az etkilenmeyi sağlamaktır. Aksi takdirde yapılan ölçümün doğruluğundan söz edilemez.

Yükselteç devrelerinin temelini işlemsel yükselteçler oluşturur. İşlemsel yükselteç (Operational Amplifier, Op-Amp), kararlı bir gerilim kazancı sağlamak için gerilim geribeslemesi kullanan çok yüksek kazançlı bir fark yükseltecidir.

İşlemsel yükselteç, ayrık elemanlar ve özel amaçlı tümleşik devreler arasında kalan bir geçiş elemanıdır. Tümdevre teknolojisinin gelişmesiyle tek bir yonga şeklinde üretilmeleri ve ayrık modellerine oranla çok daha kararlı, verimli ve kullanışlı olmaları nedeniyle günümüzde elektronğin her alanında oldukça yaygın şekilde kullanılmaktadır.

İşlemsel yükselteç adı örneksel (analog) bilgisayarlarda toplama, çıkarma, tümeleme (integral alma) ve türev alma gibi matematiksel işlemleri yapan yükselteçleri isimlendirmek için uydurulmuştur.

İşlemsel yükseltecin sembolü ve iç yapısı şekilde verilmiştir.



Şekil 2.26 İşlemsel yükselteç ve iç yapısı.

İşlemsel yükseltecin eviren (inverting) ve evirmeyen (non-inverting) isimli iki giriş ucu bulunur. (+) işaretli uç evirmeyen uç, (-) işaretli uç ise eviren uçtur. Bu iki uç arasındaki fark işareti, işlemsel yükseltecin girişindeki bir fark yükselteci devresi tarafından belirli bir oranda yükseltilerek yüksel kazançlı bir kuvvetlendirme bloğunun girişine aktarılır. Girişteki fark alma devresinde emetörler ortak ve emetör akımları sabit akım kaynağından dolayı sabittir. Bu nedenle bir tansistörün emetör akımı artıyorsa diğeri düşecektir. Prensip şemada (-) giriş (+) girişe göre daha yüksek potansiyelde ise (-) girişe ait transistörün iletimi artarken (+) girişe ait transistörün iletkenliği azalacaktır. Sonuçta kollektör direncinde gerilim düşümü artacak buna karşı kollektör gerilimi düşecek, bu gerilim K kazancı ile çarpılacak ve çıkış transistörlerini süren devreye uygulanacaktır. (-) işaretli girişe sinyal uygulandığında yüksek kazançtan dolayı, çıkış $-V_{CC}$ tarafına doğru çekilir. Benzer şekilde (-) girişe sinyal uygulandığında çıkış $+V_{CC}$ tarafına doğru çekilecektir.

İdeal bir işlemsel yükseltecin özellikleri şöyle sıralanabilir:

- Kazancı sonsuzdur.
- Bant genişliği sonsuzdur.
- Çıkış empedansı sıfırdır ve çıkış empedansı sıfır olduğu için sonsuz akım verebilir.
- Giriş uçları arasındaki ve girişlerle toprak arasındaki empedans sonsuzdur.
- Gerilim ve akım sınırları sonsuzdur, yani her gerilim ve akımda çalışır.
- Yukarıdakilerin hepsi her sıcaklıkta doğrudur.

Pratikte ise bir işlemsel yükseltecin temel özellikleri şöyle sıralanabilir:

- Gerilim kazancı sınırlıdır ama çok yüksektir. ($\sim 1.5 \times 10^5$)
- Bant genişliği sınırlıdır.
- Çıkış direnci çok küçüktür. ($\sim 100\Omega$)
- Giriş direnci çok büyüktür. ($\sim 2M\Omega$)
- Kullanılan modeline göre akım ve gerilim sınırları vardır.
- Özellikleri sıcaklıktan etkilenir.

İşlemsel yükselteçlerin seçiminde dikkate edilmesi gereken önemli parametreler şunlardır:

- Giriş Kutup Akımı (Input Bias Current).
- Giriş Dengeleme Gerilimi (Input Offset Voltage).
- Bant Genişliği (Band With).
- Yükselme Zamanı ve Ani Yükselme Oranı (Rise Time ve Slew Rate).
- Ortak Mod Bastırma Oranı (Common Mode Rejection Rate).

Giriş Kutup Akımı (Input Bias Current): Pratikte kullanılan işlemsel yükselteçlerin giriş akımları μA -pA gibi çok küçük mertebelerdedir. Bu akım işlemsel yükseltecin sağlıklı çalışmasını sağlayabilmek için dış dünya ile yükseltecin iç devresini birbirine bağlayan transistörün bazından akan akımdır. Bu akım çok küçük olduğu için işlemsel yükseltecin analizi sırasında dikkate alınmaz. Ancak kazanç çok yüksek olduğunda, negatif geri beslemeli yükselteç devrelerinde bu akım fark edilebilir bir gerilim düşümüne neden olabilir. Böyle bir durumun oluşmaması için (+) giriş ucuna bir düzeltme direnci ile geri besleme yapılır.

Giriş Dengeleme Gerilimi (Input Offset Voltage): Düzeltme direnci yeterli olmadığında ya da çıkışta bir DC seviyeye ihtiyaç olduğunda bazı işlemsel yükselteçlerde giriş dengeleme gerilimi özelliği bulunur. Bunun için harici bağlantılar bırakılmıştır ve dengeleme gerilimi bir potansiyometre ile ayarlanmaktadır. Ancak idealde sıfır olan bu gerilim pratikte sıfır değildir. Giriş fark devresinin transistörlerinin V_{be} gerilimlerinin farkı kadar bir ofset vardır.

Bant Genişliği (Band With): İşlemsel ykselteğlerin çalışabildiği frekans bandı sınırlıdır. Bant genişliğine etki eden en önemli etken işlemsel yükseltecin kapalı çevrim kazancıdır. Bir işlemsel yükseltecin bant genişliği GBW(Kazanç X Bant Genişliği) parametresiyle belirlenir.

Yükselme Zamanı (Rise Time): Yükselme zamanı, işlemsel yükseltecin geçici bir işarete verdiği tepki sresinin ölçüsüdür. Yükselme zamanı (T_r) bant genişliğiyle (BW) ters orantılıdır. Bu ilişki (2.3) bağıntısıyla verilmektedir.

$$BW = \frac{0.35}{T_r} \quad (2.2)$$

Ani Yükselme Oranı (Slew Rate): Frekans bağımlı diğer bir parametredir. İşlemsel yükseltecin müsaade ettiği en büyük gerilim değişimi/zaman değişimi oranıdır. İdealde bu oranın (eğimin) ok büyük olması beklenir.

Ortak Mod Bastırma Oranı (Common Mode Rejection Ratio): Bir işaret, bir işlemsel yükseltecin her iki giriş ucuna da uygulandığında farksal çıkışın sıfır olması beklenir. Bu şekilde çalışma ortak mod (common mode) alışma şeklinde adlandırılır. Ancak gerçekte çıkışın tamamen sıfır olması beklenemez. Ortak mod çalışmada giriş gerilimi V_{cm} , kazanç A_{cm} ve çıkış gerilimi V_{ocm} olduğu kabul ile ortak mod kazancı aşağıdaki bağıntı ile bulunur.

$$A_{CM} = \frac{V_{OCM}}{V_{ICM}} \quad (2.3)$$

Fark modunda ise kazanç A_d olsun. Bu durumda A_d/A_{cm} oranı bize ortak mod zayıflatma oranını (Common Mode Rejection Rate) vermektedir.

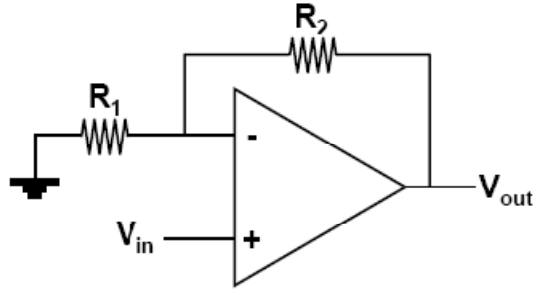
$$CMRR = \frac{A_d}{A_{CM}} \quad (2.4)$$

Ortak mod bastırma oranı da şöyle bulunur.

$$CMRR(dB) = 20 \log_{10} \left(\frac{A_d}{A_{CM}} \right) \quad (2.5)$$

2.5.1.1 Evirmeyen Yükselteç (Non-Inverting Amplifier)

Şekil 2.27’teki bağlantı, evirmeyen bir sabit kazanç katlayıcısı gibi çalışan bir işlemsel yükselteç devresini göstermektedir. (-) uç ile (+) ucun gerilimlerinin aynı olması ve (-) uçtan işlemsel yükseltece doğru bir akım akmadığından R_1 ve R_2 dirençlerinin akımlarının birbirine eşit olması nedeniyle aşağıdaki bağıntıları yazabiliriz.

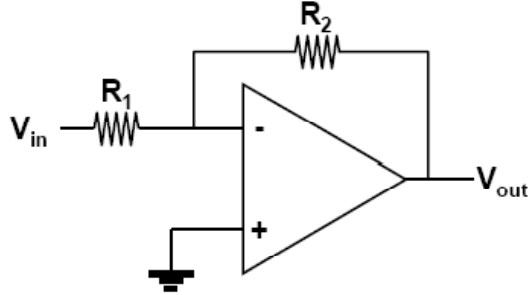


$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{in}$$

Şekil 2.27 Evirmeyen yükselteç.

2.5.1.2 Eviren Yükselteç (Inverting Amplifier)

Şekil 2.28’deki bağlantı ise sabit kazançlı, eviren bir yükselteç devresini göstermektedir. Benzer kabuller ile aşağıdaki eşitlikleri yazabiliriz.

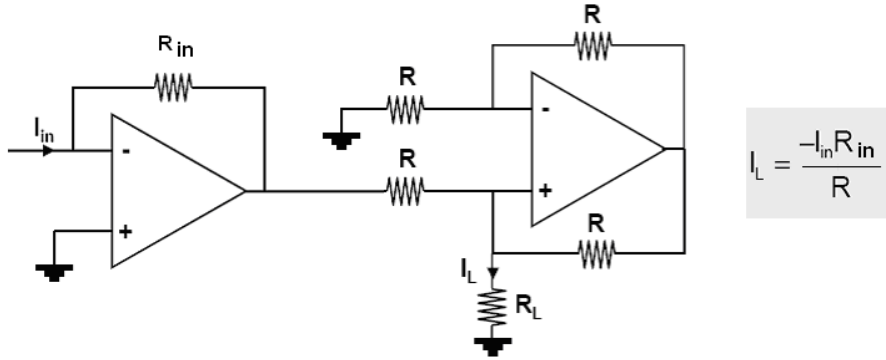


$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_{in}$$

Şekil 2.28 Eviren yükselteç.

2.5.1.3 Akım Yükselteci (Current Amplifier)

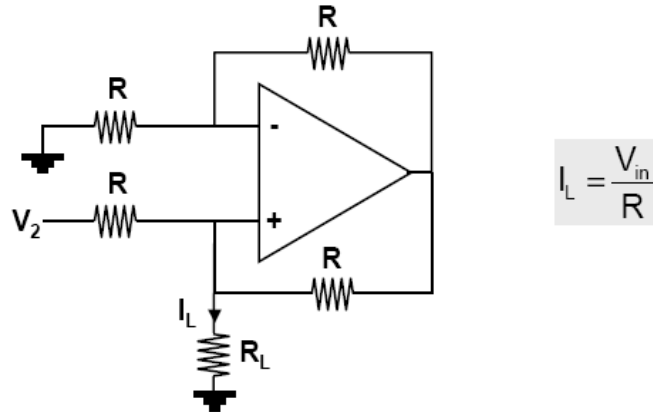
Bazen yüke uygulanması gereken akımın artırılması istenir. Böyle durumlarda, girişteki devreyi yüklememek için yüksek giriş empedanslı bir akım yükselteci kullanmak gerekir. Şekil 2.29’da işlemsel yükselteçlerle gerçekleştirilen bir akım yükselteci gösterilmiştir. Girişteki yükselteç aslında akım-gerilim dönüştürücüsü ve çıkıştaki yükselteç de gerilim-akım dönüştürücüsüdür. Böylece giriş akımı, gerilim seviyesi değişmeden yükselttilerek yüke aktarılmış olur.



Şekil 2.29 Akım yükselteci.

2.5.1.4 Gerilim-Akım Dönüştürücüsü (Voltage to Current Converter)

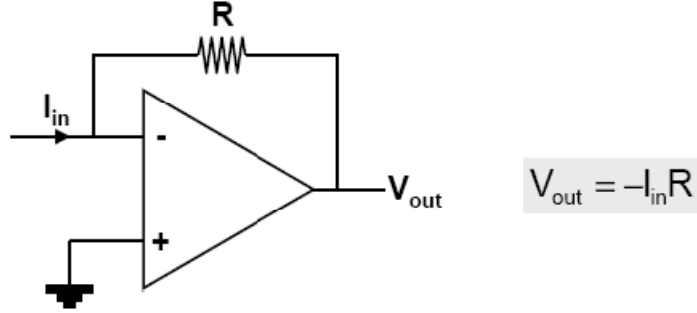
“Empedans Transfer Yükselteci” olarak da bilinen bu tip yükselteçlere basit bir örnek Şekil 2.30’daki devre şemasında verilmiştir. Devrenin girişine uygulanan gerilimdeki değişim yük direncine akan akımın (sadece lineer çalışma bölgesinde) bununla doğru orantılı olarak değişmesini sağlar.



Şekil 2.30 Gerilim-akım dönüştürücüsü.

2.5.1.5 Akım-Gerilim Dönüştürücüsü (Current to Voltage Converter)

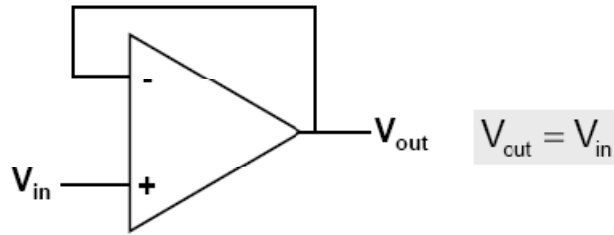
Şekil 2.31’de verilen ve “İletkenlik Transfer Yükseltici” olarak da bilinen bu giriş akımındaki değişimleri çıkış gerilimine yansıtır.



Şekil 2.31 Akım-gerilim dönüştürücüsü.

2.5.1.6 Gerilim Takipçisi (Voltage Follower)

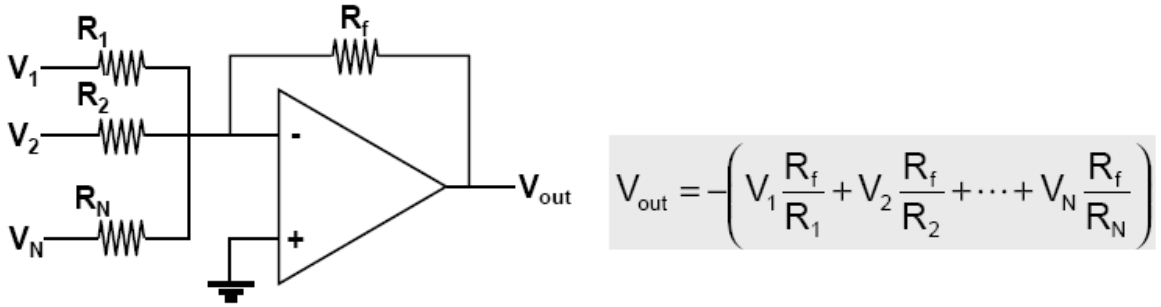
Bu devre sadece bir devrenin diğerine kuplajlanması için tampon (buffer) olarak kullanılır. Böylece yükseltecin yüksek giriş empedansı sayesinde girişteki devre yüklenmeden çıkıştaki devreye giriş gerilimini iletir. Yani bu devre kazancı 1 olan bir gerilim yükseltecidir.



Şekil 2.32 Gerilim takipçisi.

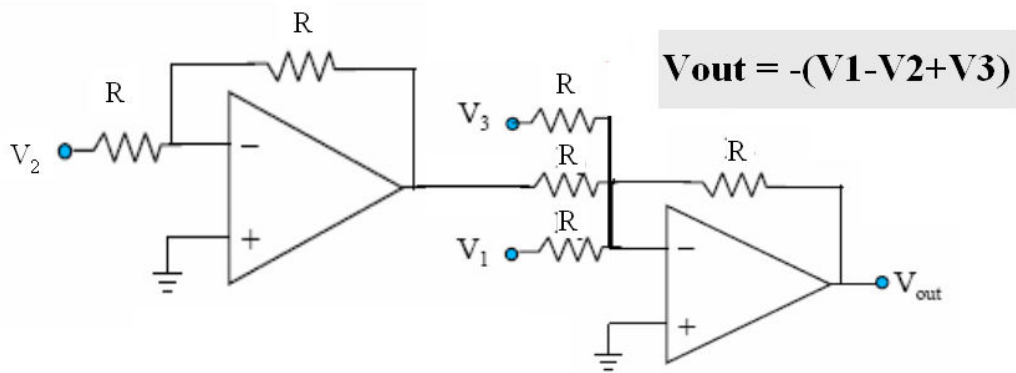
2.5.1.7 Toplayıcı ve Çıkarıcı (Summing and Subtracting Amplifier)

Örneksel bilgisayarlar için tasarlanmış olan bu devre aslında eviren yükselteç ile aynı şekilde çalışmaktadır. Tek fark girişteki dirençlerin ve girişlerin sayısıdır. R_f direncinden geçen akım giriş dirençlerinden geçen akımların toplamının negatiftir. Böylece devrenin çıkış gerilimi giriş gerilimlerinin toplamının negatifi olarak bulunur.



Şekil 2.33 Toplayıcı.

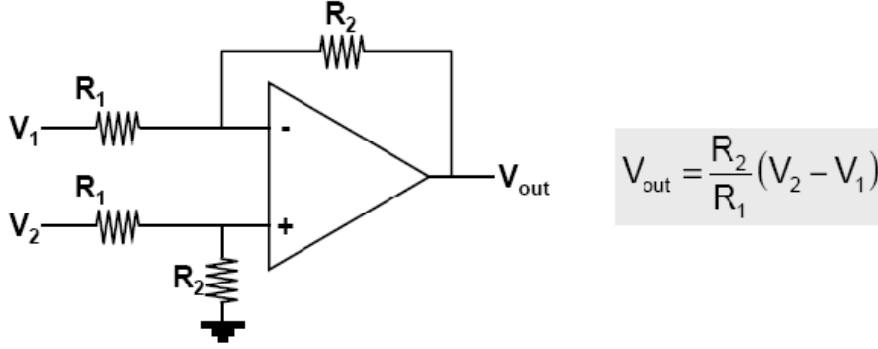
Toplayıcının girişlerinden bazılarını kazancı 1 olan eviren işlemsel yükselteç bağlanarak basit bir çıkarıcı elde edilmiş olur.



Şekil 2.34 Toplayıcı ve Çıkarıcının Birlikte Kullanımı

2.5.1.8 Farksal Yükselteç (Differential Amplifier)

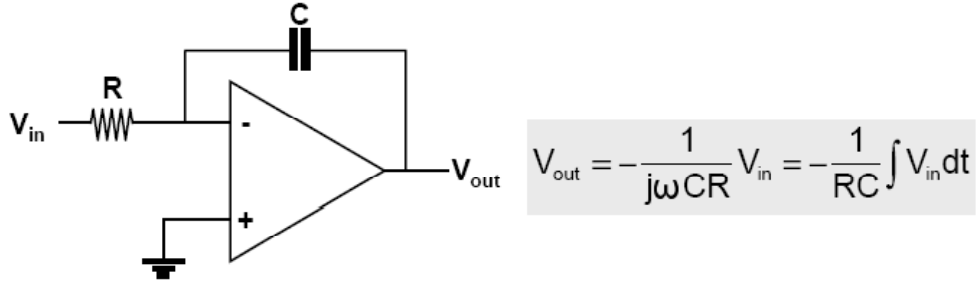
Farksal yükselteç de sabit kazançlı bir işlemsel yükselteç ve aslında bir çıkarıcıdır. Çıkış gerilimi giriş gerilimlerinin farkının sabit bir katıdır.



Şekil 2.35 Farksal yükselteç.

2.5.1.9 Integral Alıcı (Integrating Amplifier)

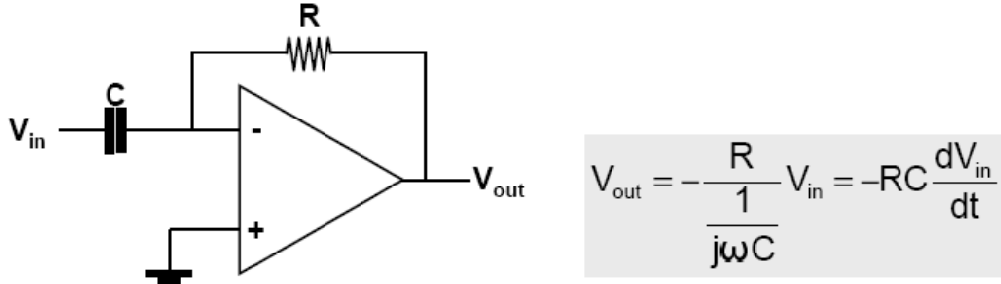
Eviren yükselteç devresinde R_2 yerine bir kondansatör bağlanması halinde devre bir integratör olarak davranır. Eviren yükselteç devresi için bulunan kazanç bağıntısında dirençler yerine empedanslar yazılarak elde edilen yeni bağıntı bize integratörün bağıntısını verir. Çıkıştaki gerilim giriştekinin integralidir.



Şekil 2.36 İntegratör.

2.5.1.10 Türev Alıcı (Differentiating Amplifier)

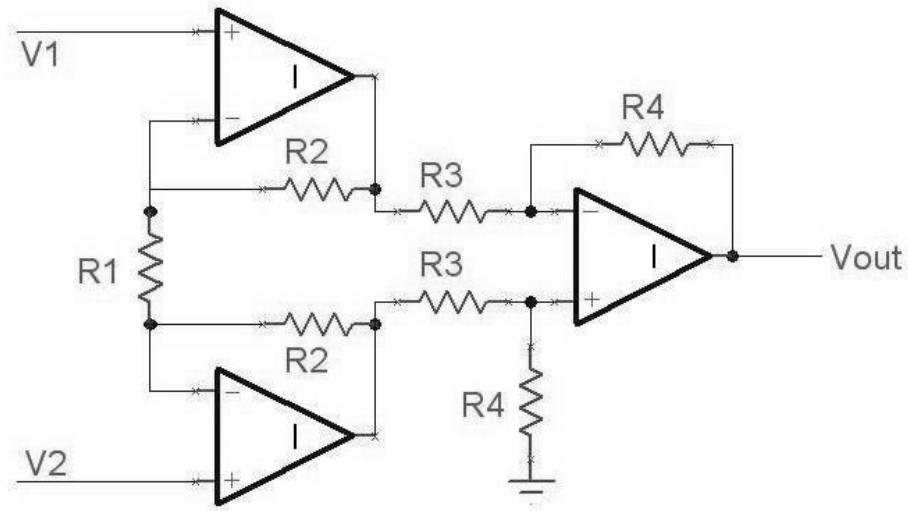
Eviren yükselteç devresinde R1 yerine bir kondansatör bağlanması halinde ise devre bir türev alıcı olarak davranır. Eviren yükselteç devresi için bulunan kazanç bağıntısında dirençler yerine empedanslar yazılarak elde edilen yeni bağıntı bize türev bağıntısını verir. Yani çıkıştaki gerilim giriştekinin türevidir.



Şekil 2.37 Türev alıcı.

2.5.1.11 Enstrumantasyon Yükselteci (Instrumentation Amplifier)

Endüstriyel otomatik kontrol sistemlerinde en çok kullanılan işlemsel yükselteç devresi enstrumantasyon yükseltecidir. Şekil 2.38’de 3 adet işlemsel yükselteç ile gerçekleştirilen çok yaygın kullanımı olan bir enstrumantasyon yükselteci görülmektedir.



$$V_{OUT} = -(V_1 - V_2)(1 + 2R_2/R_1)(R_4/R_3)$$

Şekil 2.38 Enstrumantasyon yükselteci.

Devrenin çıkışındaki işlemsel yükselteç aslında bir fark yükseltecidir. Devrenin girişindeki

işlemsel yükselteçler ise gerilim takipçileri gibi davranır. Ancak devrenin sıradan fark yükseltici ile farkı giriş empedansının çok yüksek olmasıdır.

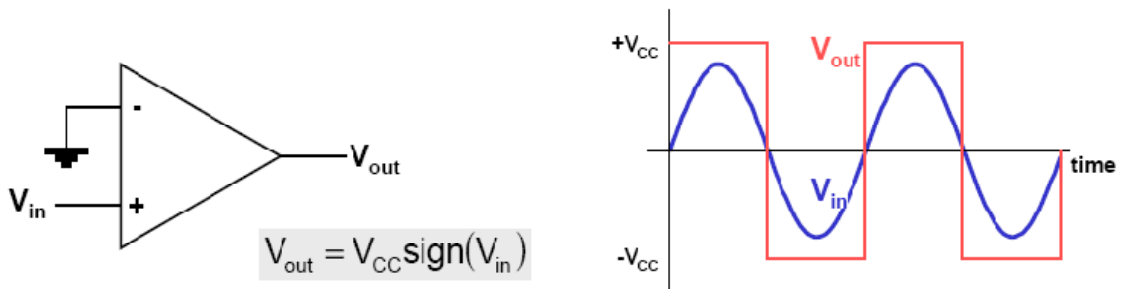
Enstrumantasyon yükseltecinin diğerlerine oranla daha çok tercih edilmelerinin sebebi şunlardır :

- Yüksek giriş empedansı
- Düşük kutuplama (bias) akımları
- Yüksek ortak mod zayıflatma
- Dengelenmiş farksal girişler
- Geniş aralıkta ayarlanabilen kazanç
- Kararlı karakteristik özelliklerinin iyileştirilmiş olması
- Tek uçlu çıkış

Çok yüksek empedanslı girişler, düşük kutup akımları ve yüksek kazanç sayesinde bu yükselteç, algılayıcılar ve dönüştürücüler gibi kuplajı zor elemanların devrelere kolayca bağlanabilmesine olanak sağlar. İyileştirilmiş karakteristik özelliklerindeki kararlılık sayesinde de farklı endüstriyel koşullarda sağlıklı çalışma sağlanmış olur. Ayrıca çıkıştaki farksal kuvvetlendirici sayesinde ortak mod zayıflatma oranı oldukça yüksektir. Bu sayede sistemlerin gürültü bağışıklığı da artar.

2.5.1.12 Karşılaştırıcı (Comparator)

Karşılaştırıcı, bir işlemsel yükseltecin çok yüksek kazançla çalıştırılması ile sağlanır. Bunun için kazancı ayarlayan dirençler bağlanmaz. Giriş geriliminin, (-) uca bağlanan referans geriliminden büyük olması durumunda çıkış gerilimi $+V_{CC}$ besleme gerilimine, küçük olması durumunda ise çıkış gerilimi $-V_{CC}$ besleme gerilimine çıkacaktır. Kazanç ne kadar yüksek olursa olsun besleme gerilimi aşılamayacağından çıkışta Şekil 2.39'daki gibi bir işaret görülecektir. Şekildeki devrede referans gerilimi 0V olarak verilmiştir. Bu nedenle devre signum (işaret) fonksiyonu alan bir karşılaştırıcı olarak çalışmaktadır.



Şekil 2.39 Karşılaştırıcı.

2.5.2 Filtreler

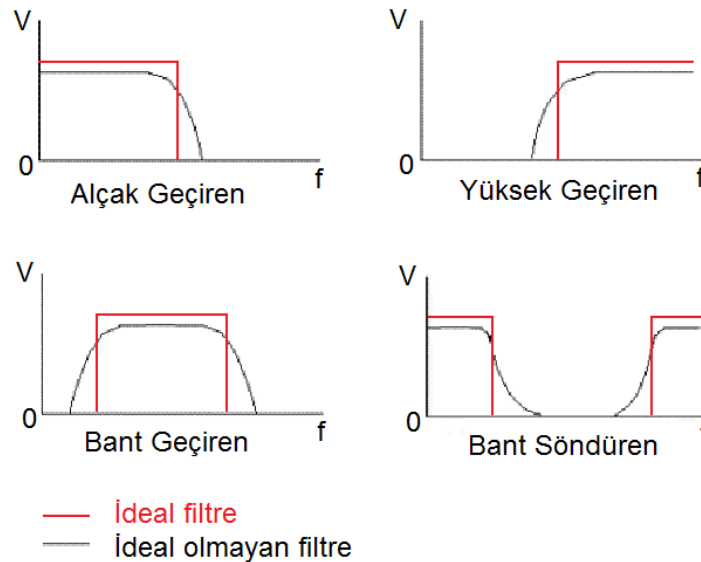
Elektronik devrelerin çoğunda olduğu gibi ölçme sistemlerinde de filtreler oldukça yoğun biçimde kullanılır. Özellikle algılayıcı ve dönüştürücü çıkışlarındaki ya da bu çıkışlardan alınan işaretleri belirli bir mesafeye taşıyan iletim hatlarındaki istenmeyen frekans bantlarını engellemek amacıyla filtreler kullanılır.

Filtreler, girişlerine uygulanan işaretin belirli bir frekans bandındaki harmoniklerini çıkışa doğrudan yansıtan, diğer istenmeyen frekanslı harmoniklerini ise söndüren ve çıkışa zayıflatarak aktaran devrelerdir. İdeal filtrenin izin verilen frekans bandındaki işaretleri kayıpsız olarak çıkışına aktarması, istenmeyen frekanslı işaret bileşenlerini ise tamamen söndürmesi beklenir. Ancak pratikte bunun gerçekleştirilmesi mümkün değildir.

Frekans cevabına göre dört ana filtre çeşidi vardır. Bunlar şunlardır:

- **Alçak geçiren filtre:** Belirli bir frekans değerinden daha küçük frekanslı işaretleri geçirir.
- **Yüksek geçiren filtre:** Belirli bir frekans değerinden daha büyük frekanslı işaretleri geçirir.
- **Bant geçiren filtre:** Frekansı, iki frekans değeri arasındaki frekans bandında bulunan işaretleri geçirir.
- **Bant söndüren filtre:** Frekansı, iki frekans değeri arasındaki frekans bandında bulunan işaretleri söndürür.

Bu filtrelerin ideal ve ideal olmayan karakteristikleri şekilde gösterilmiştir.

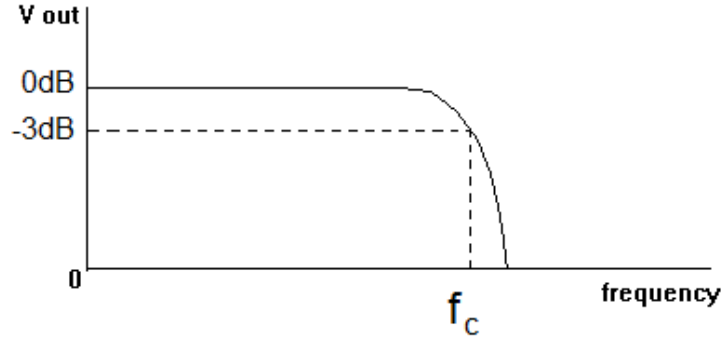


Şekil 2.40 İdeal ve ideal olmayan filtre karakteristikleri.

Enerji ihtiyacına göre ise filtreler ikiye ayrılır:

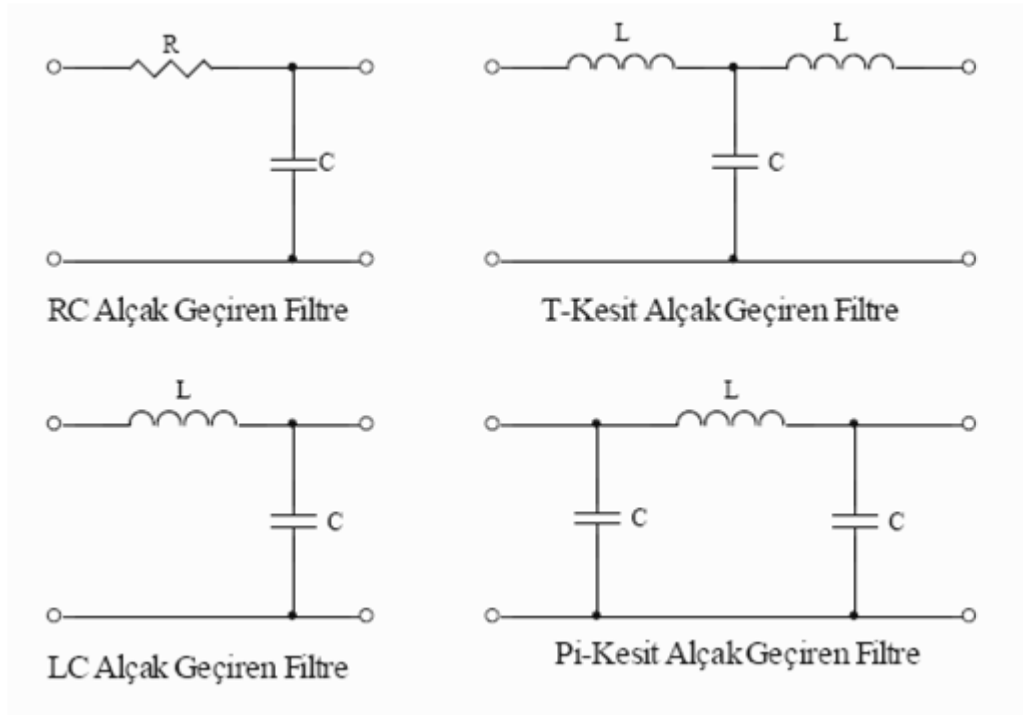
- **Pasif Filtreler:** Aktif eleman içermeyen, sadece direnç, endüktans ve kapasitör elemanlarından oluşan filtrelerdir.
- **Aktif Filtreler:** Transistör, opamp gibi aktif elemanlar ile direnç, endüktans ve kapasitör elemanlarından oluşan ve çalışabilmesi için besleme ihtiyacı olan filtre devreleridir.

İdeal filtreler izin verilen bandın içine düşen işaretleri zayıflatmadan ve faz kaydırmadan olduğu gibi dışarı çıkarır. Filtrenin işaretleri geçirdiği ve geçirmediği alanlar arası oldukça keskindir. Bu geçiş noktasının frekansı o filtrenin “**kesim frekansı**” ya da “**köşe frekansı**” olarak adlandırılır. Ancak gerçek hayatta kullanılan filtreler şekilden de görüldüğü gibi keskin değildir. Filtrenin kesim noktası daha yumuşak geçişlidir. Bu nedenle, işaretin genliğinin 3dB azaldığı nokta köşe frekansı olarak alınır. Şekilde alçak geçiren bir filtrenin köşe frekansı (f_c) gösterilmiştir.

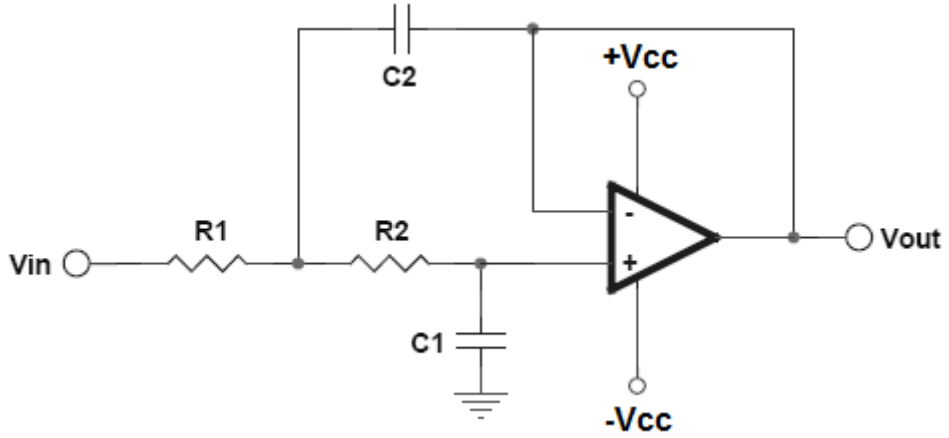


Şekil 2.41 Filtrenin köşe frekansı.

Alçak geçiren filtre örnekleri Şekil 2.42 ve 2.43’de verilmiştir.

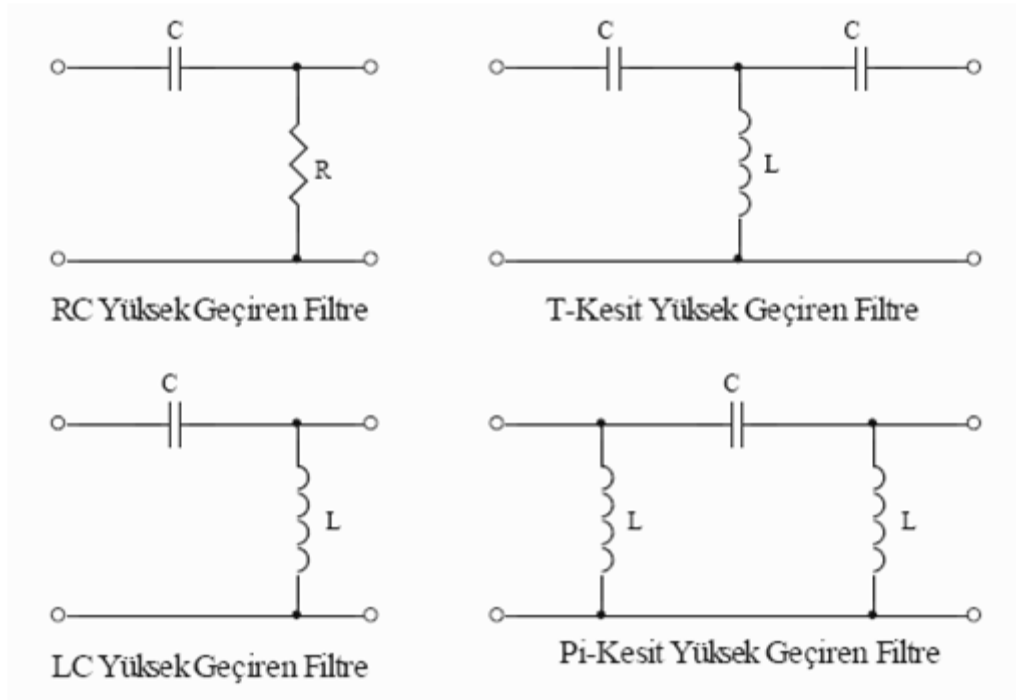


Şekil 2.42 Alçak geçiren pasif filtre örnekleri.

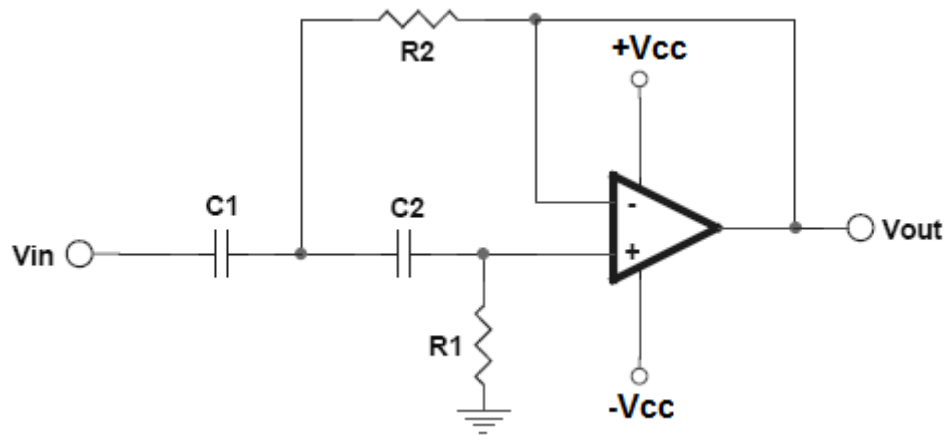


Şekil 2.43 Alçak geçiren aktif filtre örneği.

Yüksek geçiren filtre örnekleri Şekil 2.44 ve 2.45’de verilmiştir.

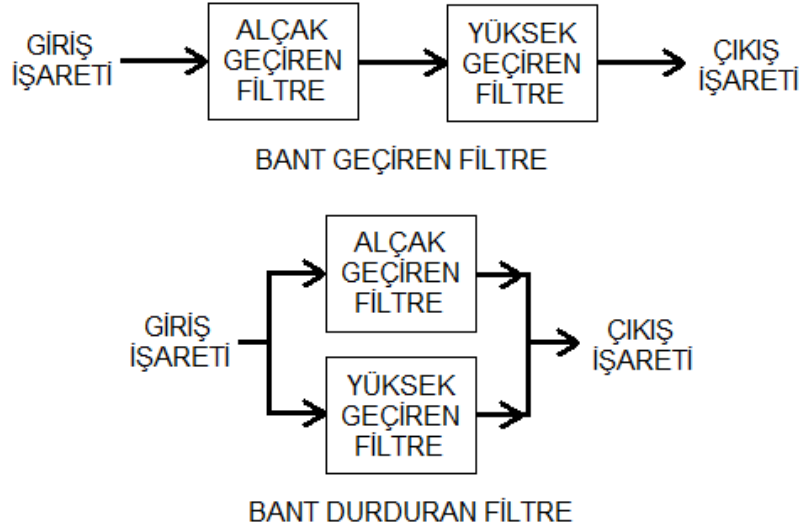


Şekil 2.44 Yüksek geçiren pasif filtre örnekleri.



Şekil 2.45 Yüksek geçiren aktif filtre örneği.

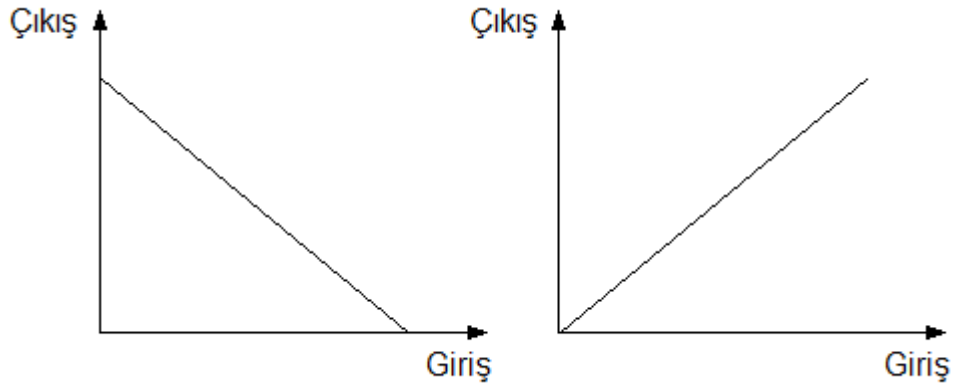
Bant geçiren filtre ve bant durduran filtreler, alçak geçiren filtre ve yüksek geçiren filtrelerin değişik şekillerde birleştirilmesiyle oluşturulur. En basit bağlantı şekilleri bir alçak geçiren ve bir yüksek geçiren filtrenin seri veya paralel bağlanmasıyla elde edilir. Şekil 2.46’da bu bağlantılar gösterilmiştir.



Şekil 2.46 Bant geçiren ve bant durduran filtre yapıları.

2.5.3 Doğrusallaştırma

İdeal algılayıcı çıkışı tüm çalışma aralığında giriş etkileriyle orantılı olarak değişir. Yani doğrusaldır. Ancak pratikte algılayıcı çıkışları her zaman doğrusal yapı göstermezler. Özellikle çalışma aralığının sınırlarına yaklaşıldıkça doğrusal yapı iyice bozulur. Böyle durumlarda ölçme sisteminin hatalarını azaltmak için algılayıcı çıkışındaki işaret doğrusallaştırma işleminden geçirilir.

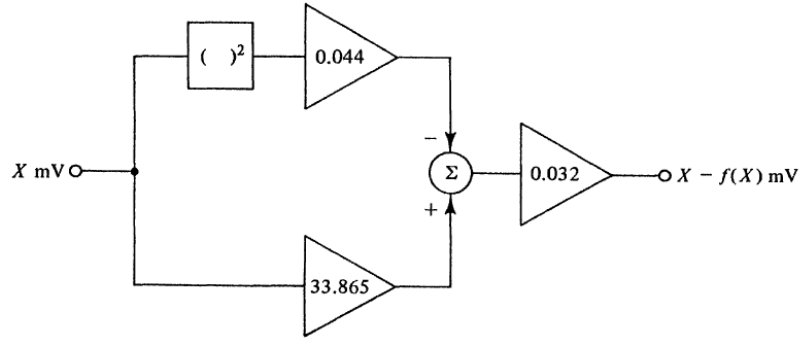


Şekil 2.47 İdeal algılayıcı çıkışları.

Aslında mikrodenetleyici tabanlı bir denetim/ölçüm sisteminde girişten alınan örneklerle doğrusal çıkış düşürecek doğrusal tablolar hazırlamak ve bu tabloya bakarak çıkış işaretini oluşturmak mümkündür. Ancak işlem kabiliyeti, giriş işaretinin hızlı ve sürekli değişimi, yüksek çözünürlüklü çıkış ihtiyacı gibi nedenler doğrusallaştırma için ayrık tabloların kullanılmasını zorlaştırır.

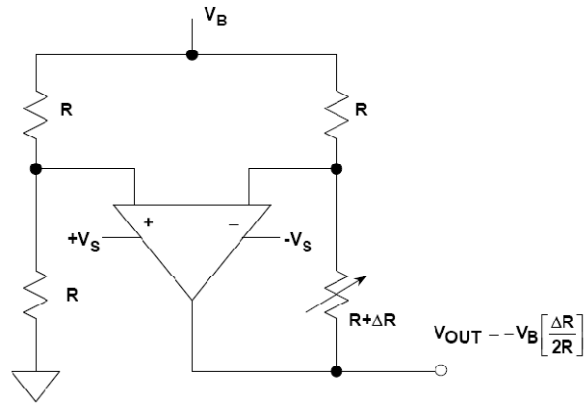
Bunun yerine algılayıcı karakteristiğine uygun $X-f(x)$ şeklindeki doğrusallaştırılmış çıkış fonksiyonları kullanmak en doğrusudur. $1/X$, X^m ve $\log X$ gibi fonksiyonlar ve çeşitli polinomlar kullanarak doğrusallaştırma yapılır.

Şekil 2.48’de bir termik çiftin doğrusallaştırılması için kullanılan bir işlem bloğu verilmiştir.

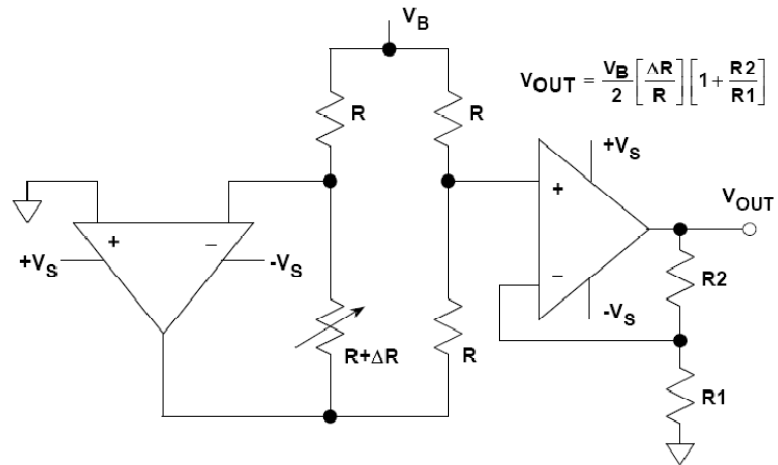


Şekil 2.48 Doğrusallaştırıcı örneği.[15]

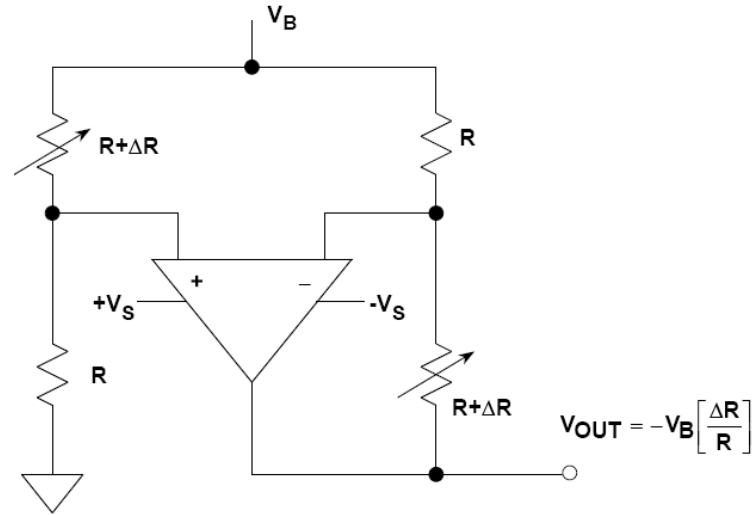
Algılayıcı çıkışlarının doğrusallaştırılması için kullanılan bazı yöntemler aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



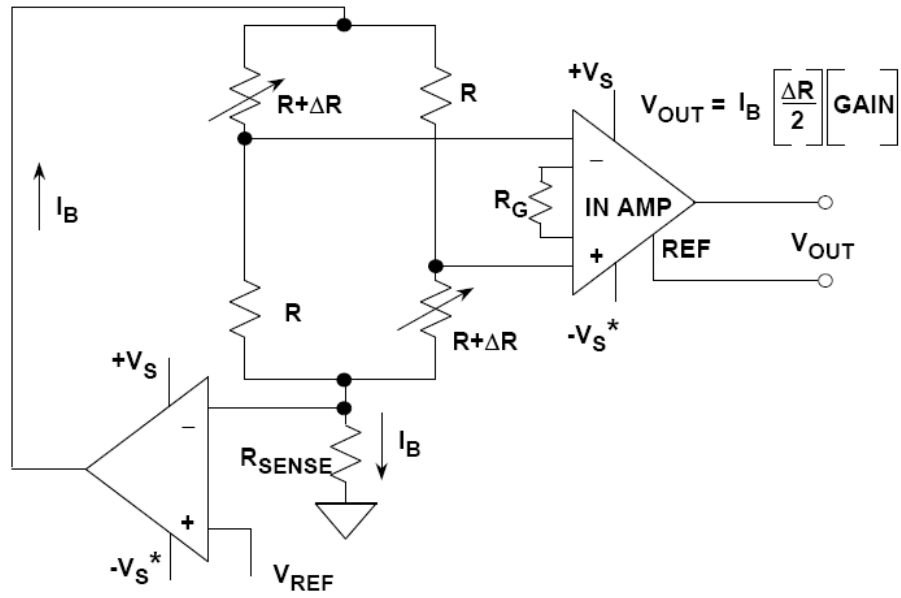
Şekil 2.49 Tek elemanı değişen köprü ile doğrusallaştırma – Yöntem1. (Wilson, 2005)



Şekil 2.50 Tek elemanı değişen köprü ile doğrusallaştırma – Yöntem2. (Wilson, 2005)



Şekil 2.51 İki elemanı değişen köprü ile doğrusallaştırma – Yöntem1. (Wilson, 2005)



Şekil 2.52 İki elemanı değişen köprü ile doğrusallaştırma – Yöntem2. (Wilson, 2005)

2.6 İşaret Çeviriciler

Birçok ölçme sisteminde gerçek hayat örneksel, ölçüm de denetim birimi ise sayısaldır. Ölçen ile ölçülen arasındaki bağlantılar çoğunlukla işaret çeviricileri içerir. Örneğin algılayıcı çıkışlarındaki örneksel işaretler, ölçüm sisteminin doğrudan anlayabileceği yapıda değildir. Denetleyici örneksel-sayısal çevirici (ADC) aracılığı ile ölçüm bilgisini alabilir. Zaman zaman da ölçme sistemi tarafından algılayıcıya test işaretleri uygulamak gerekir. Bu gibi durumlarda ise sayısal-örneksel dönüşüm yapılmalıdır. Benzer her dönüşüm için çevirici yapıları kullanılır. Şekil 2.53'te endüstriyel ölçüm ve denetim sistemlerinde kullanılan çevirici tipleri gösterilmiştir.



Şekil 2.53 Çevirici Tipleri

2.6.1 Örneksel-Sayısal Çeviriciler

Örneksel-sayısal çeviriciler (ADC) sürekli işaretleri ayrık işaretlere çeviren yapılardır. Bir ADC girişi gerilim veya akım olabilir. ADC çıkışında ise ikilik sayı sistemi ile ifade edilen sayısal işaretler bulunur.

ADC hassasiyeti ve hatası ADC'nin kaç ayrık seviye kullandığıyla ilişkilidir. Ayrık seviyelerin sayısı ADC'nin çözünürlüğünü gösterir. Ayrık seviyeler ikilik sistem ile ifade edildiğinden çözünürlük de 2'nin kuvveti şeklinde verilir. Örneğin bir ADC girişindeki örneksel işaretin büyüklüğünü 256 seviye ile gösteriyorsa $256=2^8$ olduğundan, bu ADC'nin çözünürlüğü 8-bit olarak ifade edilir.

ADC girişinin en alt ve en üst değerleri arası tam ölçek (full scale) olarak ifade edilir. ADC üzerindeki referans girişleri bu sınırların belirlenebilmesine olanak verir.

Tam ölçek değeri E_{FSR} , alt seviye gerilimi V_{REFL} , üst seviye gerilimi V_{REFH} ve çözünürlük bit sayısı m olarak ifade edildiğinde ADC çıkışındaki ayrık seviyelerin sayısı şöyle bulunur:

$$N = 2^m \quad (2.6)$$

Tam ölçek giriş gerilimi şöyledir:

$$E_{FSR} = V_{REFH} - V_{REFL} \quad (2.7)$$

Her bir seviyeye denk düşen gerilim çözünürlüğü ise aşağıdaki denklem ile bulunur:

$$Q = \frac{E_{FSR}}{2^m} \quad (2.8)$$

ADC girişindeki gerilimin ADC kodu ise şöyle hesaplanır:

$$ADC_{CODE} = ROUND \left(\left(\frac{2^m}{V_{REFH} - V_{REFL}} \right) * (V_{IN} - V_{REFL}) \right) \quad (2.9)$$

ADC çözünürlüğü ne kadar küçük olursa olsun (ayrık seviyelerin sayısı ne kadar çok olursa olsun) bir örneksel sayısal çevrimde önlenemeyen ve değeri $\pm 1/2Q$ (ya da $\frac{1}{2}$ LSB) olarak bulunan bir hata vardır. Buna kuantalama hatası (quantization error) adı verilir. Kullanılan bit sayısı (m) büyürse kuantalama hatası küçülecektir.

ADC girişine doğrusal işaret uygulanması halinde ADC çıkışından alınan ayrık değerler eğrisinin giriş eğrisinden ne kadar uzak olduğu doğrusallık olarak adlandırılır.

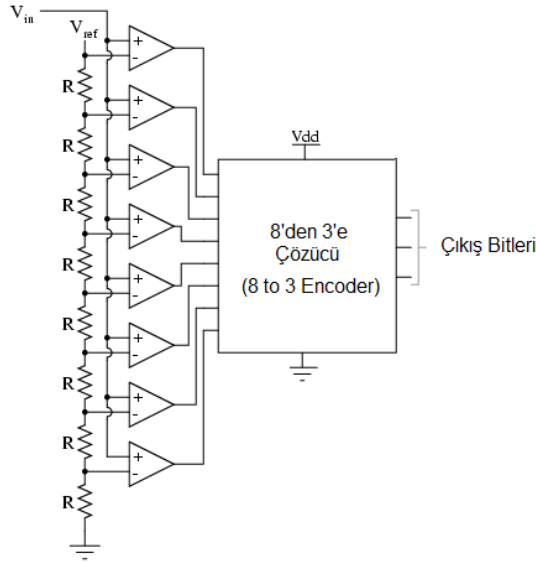
ADC'ler ile ilgili önemli diğer bir parametre de bir örneksel-sayısal çevrim süresidir (conversion time). Bu süre ADC'nin tasarımında kullanılan A/D çevrim tekniğine bağlıdır.

A/D çevrimler için farklı yöntemler kullanılabilir. Yaygın kullanılan ADC tipleri aşağıda listelenmiştir:

- Flaş
- Yarı Flaş (Half Flash)
- Sayısal Rampa (Digital Ramp) Tipi
- Ardışıl Yaklaşım Tipi (SAR - Successive Approximation)
- İzleyici (Tracking)
- Tek Eğimli İntegral Alıcı (Single Slope Integrating)
- Çift Eğimli İntegral Alıcı (Dual Slope Integrating)
- Sigma-Delta ($\Sigma\Delta$)

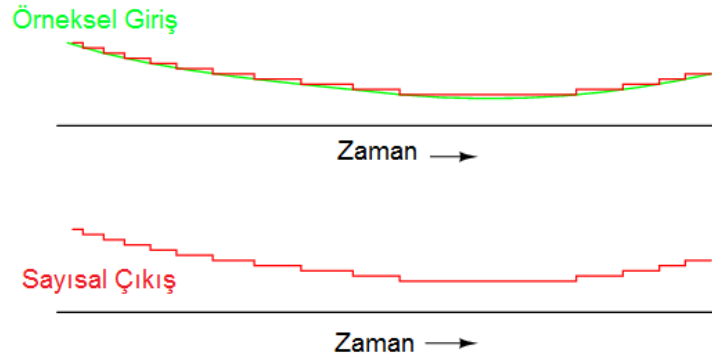
2.6.1.1 Flaş ADC

Paralel A/D Çevirici olarak da bilinirler ve anlaşılması en kolay olan yapıdır. Herbiri giriş işaretini tek bir referans gerilimi ile karşılaştıran seri dizilimli karşılaştırmıcılardan oluşmuştur. Karşılaştırmıcı çıkışları öncelik şifreleyen bir şifreleyicinin girişlerine bağlanır ve bu da ikili bir çıkış oluşturur.



Şekil 2.54 3-bit Flaş ADC

Örneksel giriş gerilimi V_{in} karşılaştırmıcıların referans gerilimini aştıkça , karşılaştırmıcı çıkışları da lojik “1” seviyesine geçecektir. Şifreleyici de en yüksek dereceli girişi baz alarak ve bütün diğer aktif girişlerini ihmal ederek ikili (0,1) bir çıkış üretir. Çalıştırıldığı zaman, Flaş ADC şekildeki gibi bir çıkış verir:

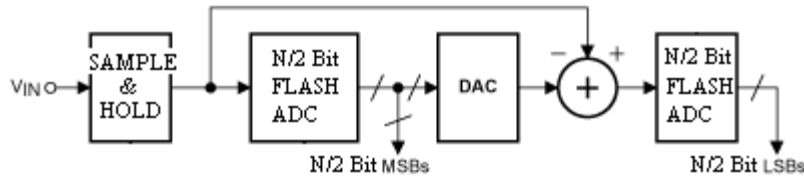


Şekil 2.55 Flaş ADC çalışması

Yapısı dolayısıyla basit ve hızlı olmasına rağmen yapısındaki karşılaştırıcı sayısı nedeniyle pek tercih edilen bir yöntem değildir. Flaş çeviricinin bir avantajı ise, doğrusal olmayan bir çıkış üretebilmesidir. Gerilim bölücü ağ üzerindeki eşit dirençler sayesinde, başarılı her ikili sayma, eşit örneksel işaret artışına tekabül eder , yani orantılı çıkış verir. Özel uygulamalarda direnç değerleri farklı seçilebilir. Bu ADC'nin örneksel giriş sinyaline dorusal olmayan cevap vermesine neden olur. Eleman değerini değiştirerek sinyal koşullama özelliği başka hiçbir ADC'de yoktur.

2.6.1.2 Yarı-Flaş ADC

Flaş ADC'lerdeki karşılaştırıcı sayısının fazla olması nedeniyle Yarı-Flaş ADC oluşturulmuştur.



Şekil 2.56 Yarı-Flaş ADC yapısı

Burada girişten gelen örneksel işaret önce örnekle-tut devresi ile tutulur. Daha sonra örneklenmiş işaret istenen bit sayısının yarısı kadar çıkışı olan bir Flaş-ADC ile sayısallaştırılır. Oluşan sayısal çıkışlar toplam çıkışın yüksek ağırlıklı bitlerini (MSB) oluşturur. Bu bitler aynı zamanda tekrar çok hızlı bir DAC kullanılarak örneksel işarete çevrilir ve toplam işarettten çıkarılır. Böylece işaretin kalan kısmının sayısallaştırılmasına çalışılır. Bunun için bir nevi ince ayar denilebilir. Bu işlem için de yine yarı sayıda çıkış biti olan Flaş-ADC kullanılır. Bu bitler de toplam çıkışın düşük ağırlıklı bitlerini(LSB) oluşturur. 8-bit'lik bir Flaş-ADC için $2^8 = 256$ adet karşılaştırıcı kullanılmalıdır. Yarı-Flaş tekniği ile bu $2 \times 2^4 = 32$ ye inmiştir.

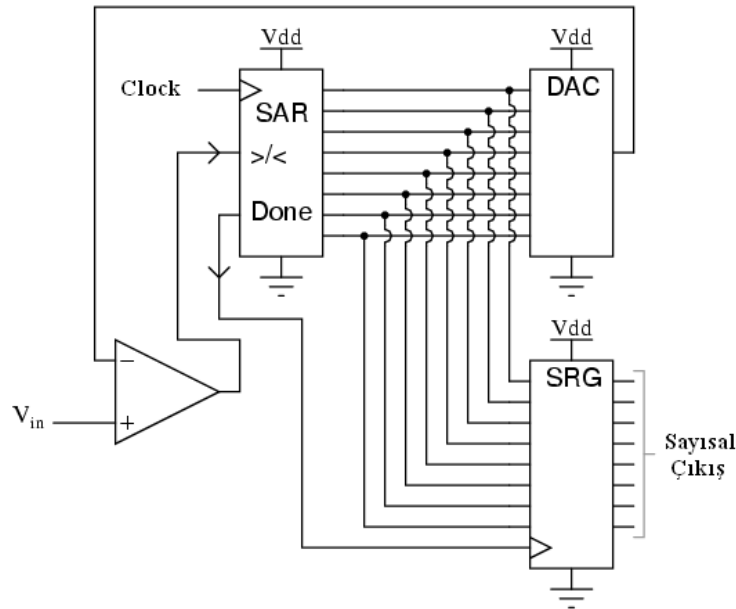
2.6.1.3 Sayısal Rampa ADC

Basit olarak “sayıcı ADC” olarak da bilinirler. Temel düşünce serbest olarak çalışan bir ikili sayıcının çıkışlarını bir DAC'nin girişlerine bağlayarak bu DAC'nin örneksel çıkışını sayısallaştırılacak olan örneksel işaret ile karşılaştırmak ve karşılaştırıcı çıkışını da sayıcının ne zaman resetleneceğine karar vermesini sağlayacak şekilde bağlamaktır.

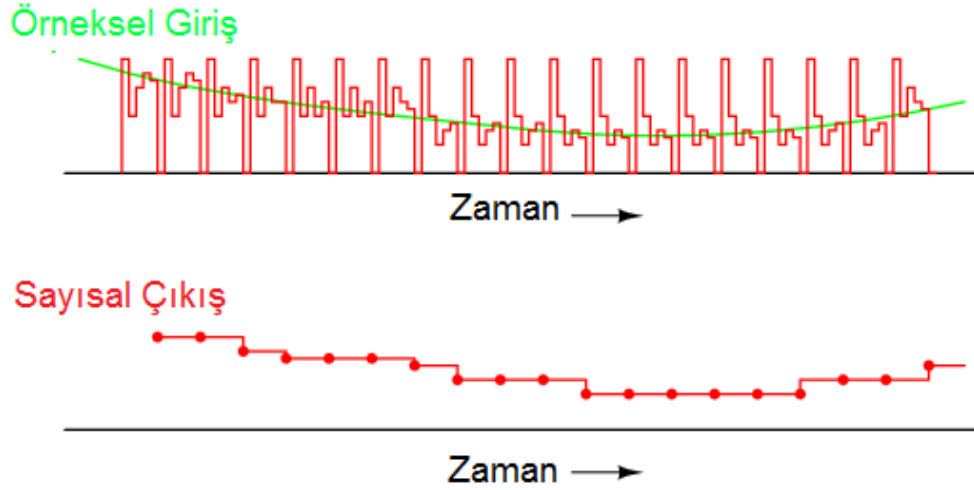
Burada güncellemeler arasında geçen zamanın giriş geriliminin genliğine göre nasıl değiştiğine dikkat edilmelidir. Düşük gerilim değerleri için, güncellemeler daha kısa sürelerde gerçekleşirken, yüksek gerilimler için daha uzun sürelerde gerçekleşirler. Birçok ADC uygulamasında, bu örnekleme frekansının (sample time) çeşitlilik göstermesi kabul edilemez. Bu ve sayıcının her bir döngüde sıfırdan saymaya yeniden başlaması nispeten yavaş bir örnekleme oluşturur.

2.6.1.4 Ardışıl Yaklaşım (SAR) ADC

Ardışıl yaklaşım tipi ADC'ler, rampa tipi ADC'lerin hatalarını azaltmak amacıyla tasarlanmış bir model olarak karşımıza çıkar. Yapılarındaki temel fark kullanılan sayıcı devresidir. Rampa tipinde kullanılan ikilik artan sayıcının yerine bu modeldeki sayıcı MSB'den LSB'ye kadar tüm değerleri sayar. Yani giriş değerinin yakalanması için önce yüksek ağırlıklı bitleri daha sonra hassasiyeti sağlamak için de daha az ağırlıklı bitleri değiştirir. Ve bu değerlere karşılık DAC'nin oluşturduğu örneksel çıkışlarla giriş geriliminin karşılaştırılmasını sağlar. SAR dönüştürücülerin en büyük avantajı hızlı bir şekilde sonuç verebilmeleridir. Şekil 2.59'da bu modele ilişkin devre görülmektedir. Şekil 2.60'ta ise çalışma prensibi anlatılmaktadır.



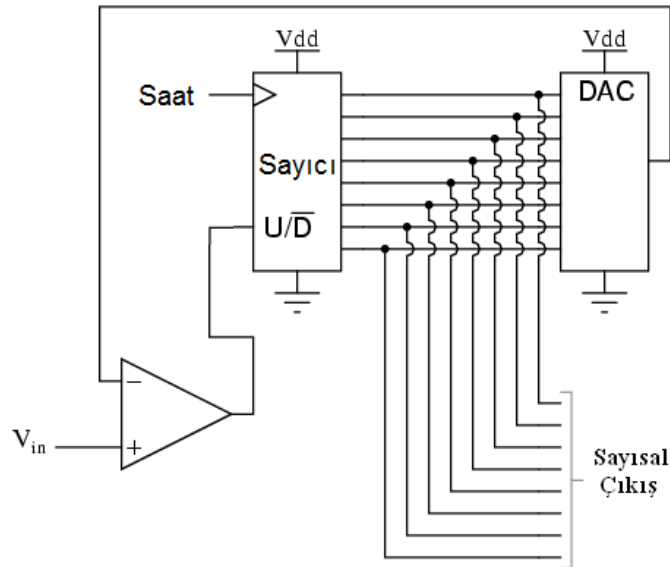
Şekil 2.59 SAR tipi ADC yapısı



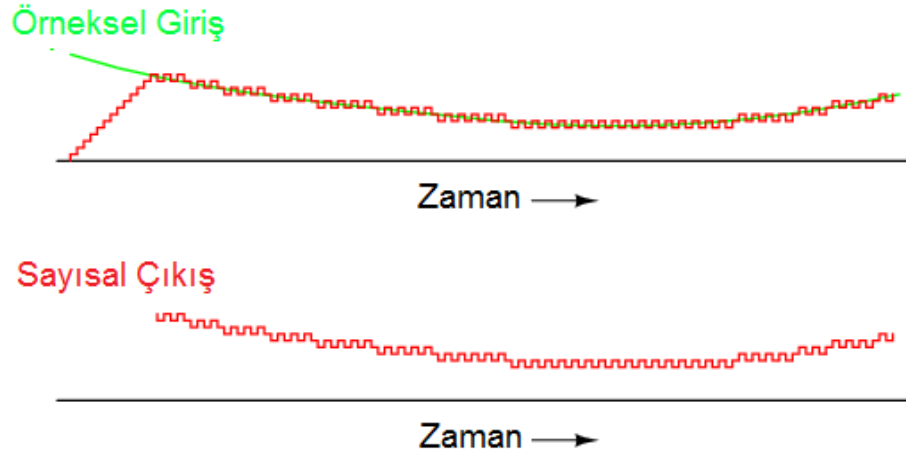
Şekil 2.60 SAR tipi ADC çalışması

2.6.1.5 İzleyici (Tracking) ADC

SAR'a benzer şekilde sayıcı kullanarak tasarlanmış bir ADC tipidir. Sıradan bir artan sayıcı yerine bu devrede artan-azalan bir sayıcı kullanılmıştır. Devre şu şekilde çalışır; karşılaştırıcı girişindeki gerilim DAC çıkışındaki örneksel gerilimi geçerse sayıcı artan, DAC çıkışı giriş gerilimini geçerse sayıcı azalan moda geçer. Bu devrenin avantajları olarak kayan yazmaç gerekmemesi ve hızlı bir dönüştürme olayının gerçekleşmesi gösterilebilir. Şekil 2.61'de izleyici ADC'ye ilişkin devre verilmiş ve Şekil 2.62'de çalışma şekli anlatılmıştır.



Şekil 2.61 İzleyici ADC yapısı



Şekil 2.62 İzleyici ADC çalışması

2.6.1.6 İntegral Alıcı (Integrating) ADC

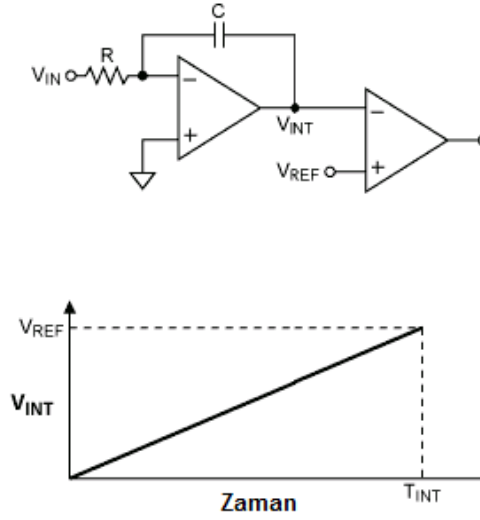
İntegral alıcı ADC'lerde A/D çevrim integratör ve karşılaştırıcı yapılarının birlikte kullanılmasıyla yapılır. İki yaygın şekli vardır.

- Tek Eğimli İntegral Alıcı (Single Slope Integrating) ADC
- Çift Eğimli İntegral Alıcı (Dual Slope Integrating) ADC

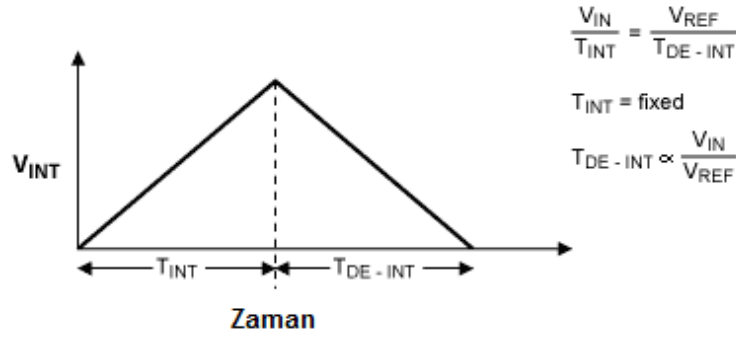
Tek eğimli integral alıcı ADC sayısal rampa ADC yapısına benzer. Ancak bu yapıda sayıcı yerine örneksel bir integral alıcı kullanılır. Bilinmeyen giriş gerilimi integrali alındıktan sonra önceden saptanan bir referans gerilimi ile karşılaştırılır. İntegratorün giriş gerilim seviyesine çıkmasıya kadar geçen süre yani kapasitenin şarj olma süresi girişe uygulanan bilinmeyen gerilimle doğru orantılıdır (Şekil 2.63'te T_{INT} / V_{IN}). Bu durumda, referans gerilimi sabit olmalı ve karşılaştırmanın doğruluğunu garanti etmelidir.

Bu tekniğin bir dezavantajı, R ve C değerlerinin toleranslı değerler olmasıdır. Üretim çerçevesinde bu değerlerin ufak değişimleri çevrim sonucunu etkiler. Eleman değerlerine duyarlılık probleminin üstesinden gelebilmek için çift eğimli integral alıcı ADC yapısı tasarlanmıştır. Bu yapıda çevrim sonucu R ve C eleman değerlerine duyarlı değildir.

Çift eğimli integral alıcı ADC V_{IN} giriş geriliminin sabit T_{INT} süresince integralini alır ve sonra T_{DEINT} değişken süresince de-integre eder. Böylece integral alma safhasında karşılaşılan herhangi bir eleman değeri hatası de-integrasyon safhasında yok edilecektir.



Şekil 2.63 Tek eğimli integral alıcı ADC yapısı ve çalışması.



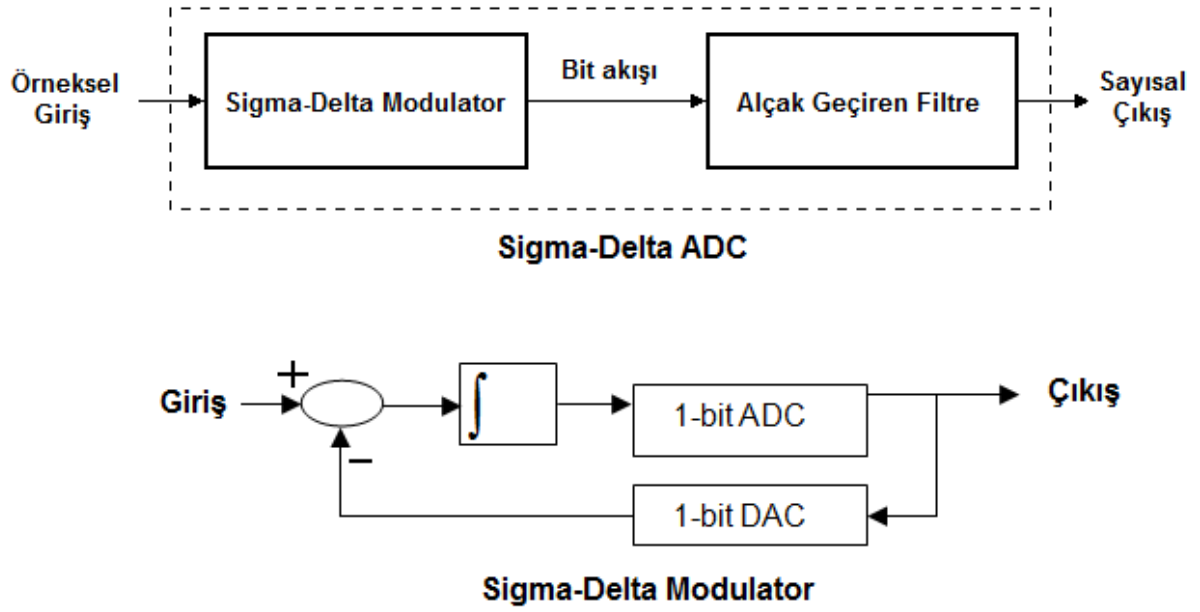
Şekil 2.64 Çift eğimli integral alıcı ADC çalışması.

2.6.1.7 Sigma-Delta ($\Sigma\Delta$) ADC

Sigma-delta çeviriciler yüksek çözünürlük, yüksek entegrasyon, düşük maliyet sunarlar. $\Sigma\Delta$ -ADC'nin örneksel kısmı (1Bit ADC) çok basittir. Sayısal kısmı ise, ki bu kısım $\Sigma\Delta$ -ADC'nin pahalı olmayan üretimini gerçekleştiren kısımdır, çok daha karmaşıktır. Filtreleme ve büyük kısmın yok edilmesi işlemleri bu kısımda yapılır.

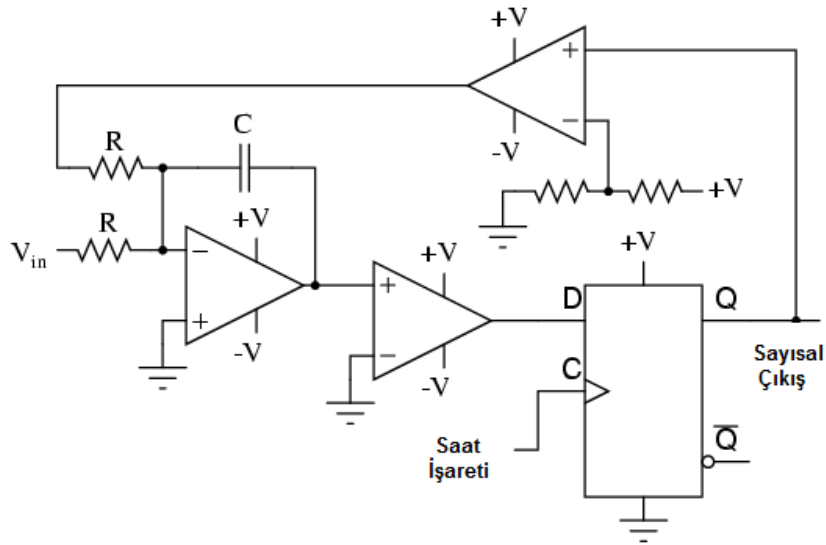
Bir $\Sigma\Delta$ A/D dönüştürücüde, örneksel giriş gerilimi bir integral alıcının girişine uygulanır. Integral alıcı çıkışında ise bir karşılaştırıcıdan geçirilerek 0V ile karşılaştırılması sağlanır. Buradaki karşılaştırıcı 1 bitlik A/D dönüştürme işlemi yapılmasını sağlayacak şekilde “1” veya “0” çıkışı verir. Karşılaştırıcı çıkışı yüksek frekansta çalışan bir D-tipi yazmaçta tutulur.

Şekil 2.65'te, $\Sigma\Delta$ ADC'nin yapısı ve $\Sigma\Delta$ modülatör devresi verilmiştir. Şekil 2.66'da ise basit bir $\Sigma\Delta$ ADC'nin devresi gösterilmiştir.



Şekil 2.65 Sigma-delta ADC ve 1.derece sigma-delta modülatör yapısı.

Devrede görüldüğü gibi iki tane karşılaştırıcı vardır. Bunlardan birincisi integrator ile 0V arasında bir fark (Δ) alma işlevi görür. İkincisinin çıkışı ise toplayıcı integrator'a gelerek giriş gerilimi ile toplanmasını (Σ) sağlar.



Şekil 2.66 Basit bir sigma-delta ADC devresi.

2.6.2 Sayısal- Örneksele Çeviriciler

Denetim sistemlerinde denetim işaretleri, ölçüm sistemlerinde test işaretleri genellikle mikroişlemci tabanlı denetçiler tarafından üretilir. Ancak herhangi bir sayısal denetçinin çıkışı 0 ve 1 bit dizilerinden oluşmaktadır. Mikroişlemci tarafından kontrol edilecek cihazların büyük çoğunluğu ise örneksel bir işaretle çalışmaktadır. Bu durumlarda ikili bit serisi sayısal-örneksele dönüştürücüler ile bir gerilim ya da akım seviyesine karşı düşürülür.

Sayısal-örneksele çeviriciler (DAC) ayrık işaretleri sürekli işaretlere çeviren yapılardır. Bir DAC çıkışı gerilim veya akım olabilir. DAC girişinde ise ikilik sayı sistemi ile ifade edilen sayısal işaretler bulunur.

DAC'ler ADC'lerin yaptığı işin tam tersini yapar. Bu nedenle çözünürlük kavramı DAC'ler için de önemli bir parametredir. Çözünürlüğü her bir seviye için DAC girişinden verilecek bit dizisinin uzunluğu (m) belirler. DAC girişinden verilebilecek ayrık seviyelerin sayısı şöyle bulunur:

$$N = 2^m \quad (2.10)$$

Tam ölçek değeri (E_{FSR}), DAC çıkışında görülebilecek en alt seviye (V_{REFL}) ve en üst seviye (V_{REFH}) değerleri arasındaki farkın büyüklüğüdür. Aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir:

$$E_{FSR} = V_{REFH} - V_{REFL} \quad (2.11)$$

Her bir seviyeye denk düşen gerilim çözünürlüğü ise aşağıdaki denklem ile bulunur:

$$Q = \frac{E_{FSR}}{2^m} \quad (2.12)$$

DAC'ye yazılan giriş kelimesi ile elde edilebilecek çıkış büyüklüğü ise aşağıdaki gibi bulunur:

$$V_{OUT} = V_{REFL} + DAC_{CODE} * \frac{(V_{REFH} - V_{REFL})}{2^m} \quad (2.13)$$

Mutlak doğruluk (absolute accuracy) gerçek DAC çıkışı ile ideal çıkış arasındaki farkın en yüksek örneksel çıkışa bölünmesi ile elde edilen bir parametredir. Ancak ADC'lerde olduğu gibi DAC çözünürlüğü de ne kadar küçük olursa olsun (ayrık seviyelerin sayısı ne kadar çok olursa olsun) bir sayısal örneksel çevrimde önlenemeyen ve değeri $\pm 1/2Q$ (ya da $1/2$ LSB) olarak bulunan kuantalama hatası (quantization error) vardır. Kullanılan bit sayısı (m) artarsa

kuantalama hatası küçülecektir.

Önemli bir diğer kavram doğrusallıktır. DAC girişine verilen, 0'dan 2^m değerine kadar artan doğrusal giriş DAC'nin verdiği cevabın da doğrusal olması beklenir. Bu iki doğrunun birbirinden uzaklığı doğrusallık olarak nitelendirilir. Doğrusallık genellikle akım kaynaklı yapılarda kullanılan direnç gibi elemanlardaki toleranslardan etkilenir. Yüksek toleranslı eleman kullanımı hatayı artırır ve doğrusallıktan uzaklaşmış olur. Diğer hata kaynağı da kullanılan yükselteç devrelerinin kazanç ve ofset hatalarıdır.

Bir DAC girişine verilen, 0'dan 2^m değerine kadar artan ve her adımı içeren doğrusal giriş DAC'nin adım atlamadan cevap vermesi monotonluk olarak ifade edilir. Bu tür DAC'lere de monotonik DAC denir.

DAC seçiminde önemli parametrelerden biri de çıkış yerleşim zamanı ya da çıkış güncelleme zamanıdır. Bu parametre DAC'nin giriş kelimesi değiştirildikten sonra çıkışın istenen değere oturması için geçen süredir.

D/A çevrimler için farklı yöntemler kullanılabilir. Yaygın kullanılan DAC tipleri aşağıda listelenmiştir:

- Op-Amp Toplayıcı DAC
- Bit Ağırlıklı DAC
- R-2R Merdiven Modeli DAC
- Akım Anahtarı Modeli DAC

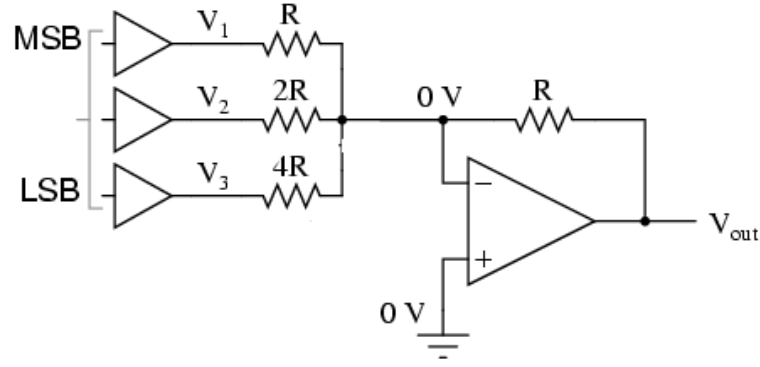
2.6.2.1 Op-Amp Toplayıcı DAC

Bu DAC tipi, eviren op-amp toplayıcı yapısındadır. Giriş dirençleri kendinden önceki direncin iki katı seçildiği için her girişin çıkışa etkisi bir önceki girişin etkisinin yarısı kadar olacaktır. Bu sayede bit ağırlıklandırılması yapılmış olur.

Şekil 2.67'de üç girişli bir op-amp toplayıcı DAC örneği gösterilmiştir. Giriş dirençleri R, 2R ve 4R şeklinde seçildiğinden toplayıcı çıkışı aşağıdaki bağıntıyla gösterilir:

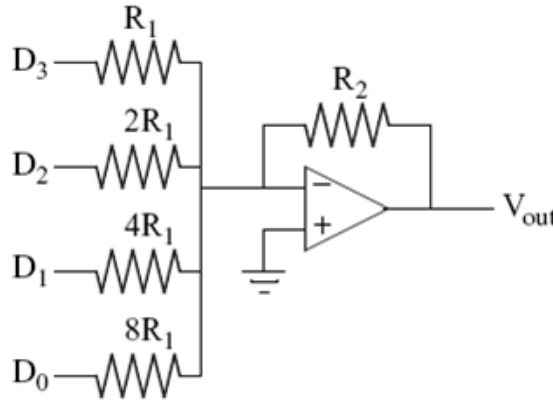
$$V_{out} = -\left(V_1 + \frac{V_2}{2} + \frac{V_3}{4}\right) \quad (2.14)$$

Bu devrede giriş olarak 000_2 ve 111_2 arası ikili sayılar uygulanabilir. Girişlerden "0" için 0V ve "1" için de 5V uygulanmalıdır. Örneğin 101_2 girişine karşılık örneksel çıkış, (2.14) eşitliğinden $V_{out} = -6,25V$ olarak hesaplanır. 000 için 0V, 111 için de $-8,75V$ örneksel çıkış alınacağından 3 bitlik DAC devresi 0 ile $-8,75V$ aralığında çalışır.



Şekil 2.67 3-bit op-amp toplayıcı DAC yapısı.

Devrenin çalışma aralığını değiştirmek için geri besleme direncini değiştirmek gerekir. Ayrıca çözünürlüğü daha yüksek bir DAC elde etmek için girişlerin arttırılması gerekir. Örneğin aşağıdaki şekilde bir önceki devreye göre iki kat çözünürlüğe sahip ve çalışma aralığı geri besleme direnci ile değiştirilebilen bir devre verilmiştir.



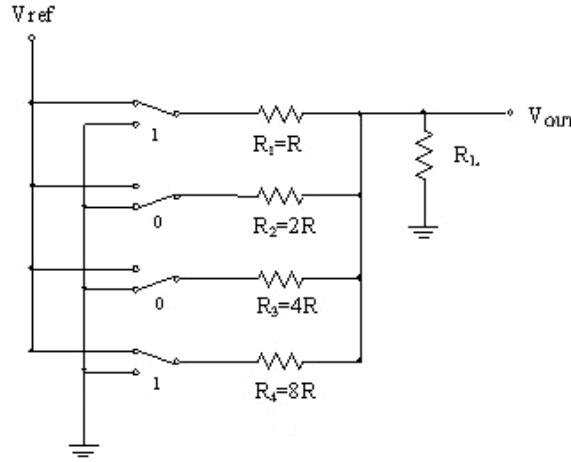
Şekil 2.68 Op-amp toplayıcı DAC yapısı ve çalışma aralığı seçimi.

Devrenin çıkış gerilimi şu bağıntıyla hesaplanır:

$$V_{out} = -V_{cc} * \frac{R2}{R1} \left(D_3 + \frac{D_2}{2} + \frac{D_1}{4} + \frac{D_0}{8} \right) \quad (2.15)$$

2.6.2.2 Bit Ağırlıklı DAC

Bit ağırlıklı DAC, toplayıcı gibi düzenlenmiş gerilim bölücülerden oluşur. 4-bitlik bir bit ağırlıklı DAC örneği aşağıda gösterilmiştir:



Şekil 2.69 Bit ağırlıklı DAC yapısı.

Şekilde verilen örnekte, 4 bitlik bir verinin örneksel işarete çevrilmesi için her anahtar bir bite denk düşürürsek aşağıdaki gibi bir DAC kelimesi elde edilmiş olur:

| bit3 | bit2 | bit1 | bit0 |

MSB <----->LSB

Bu şekildeki bir bit dizisini DAC'ye gönderdiğimiz zaman örneksel çıkışa en az katkıyı LSB, en çok katkıyı MSB sağlar. LSB ve MSB arasındaki her bit kendinden bir önceki bite göre 2 kat daha fazla ağırlıklıdır. Çünkü ardışıl bitler arasındaki oran 2 dir. LSB'nin çıkışa etkisi $V_{ref} \cdot R / (R + R_L)$ şeklinde bulunur. R_L değeri R olarak seçilirse MSB'nin etkisi ise bunun 8 katı olacaktır. Basamaklar arası ağırlıklandırma bu şekilde sağlanmıştır. Örneksel çıkış V_{ref} 'den beslenen bitlerin ağırlıklarının toplamıdır. Toprağa anahtarlanmış bitlerin çıkışa katkısı 0'dır.

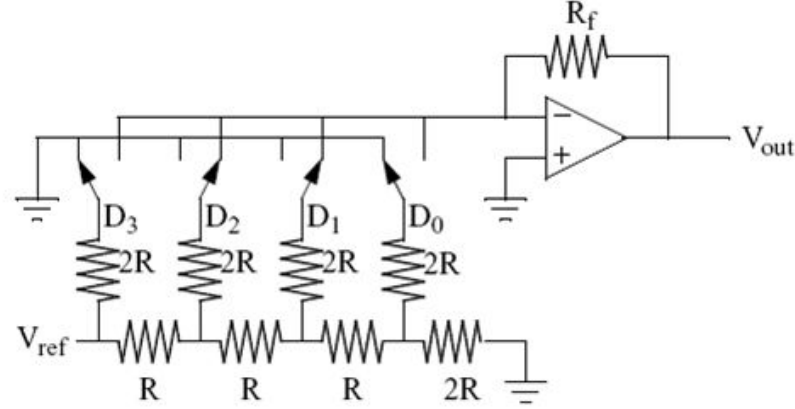
Çıkış geriliminin hesaplanması için aşağıdaki genel bağıntı kullanılabilir:

$$V_{out} = V_{ref} * (b_0 2^{-1} + b_1 2^{-2} + \dots + b_{n-1} 2^{-n}) \quad (2.16)$$

Bu model DAC tercih edilmez. Çünkü şekilden de anlaşılacağı gibi LSB'ye karşı düşen direnç DAC'ın bit sayısı arttıkça büyür. Örneğin 8 bitlik bir DAC için LSB'ye karşı düşen direnç 128R'dir. Ayrıca çıkış gerilimi yük direncinden etkileneceği için çalışma aralığı sabit değildir. Bu sakıncayı ortadan kaldırmak için R-2R modeli geliştirilmiştir.

2.6.2.3 R-2R Merdiven Modeli DAC

R-2R merdiven modeli DAC, R ve 2R değerindeki dirençlerden oluşan merdiven benzeri bir direnç ağı ile bir op-amp devresinden oluşur. DAC giriş kelimesinin bitlerine denk gelen anahtarların açılıp kapanmasıyla eviren kuvvetlendiricinin kazancının değiştirilmesi mantığıyla çalışır. Şekilde 4-bitlik bir R-2R merdiven modeli DAC'nin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.70 R-2R merdiven modeli DAC yapısı.

Bit ağırlıklı DAC gibi akım ölçeklemesi mantığı ile çalışmasına rağmen yükten etkilenmez çünkü akım ölçeklemesini gerçekleştiren direnç sırası, yüksek empedanslı girişi olan bir op-amp ile takip edildiği için yükteki değişim op-amp girişindeki akımlara fazla etki etmez.

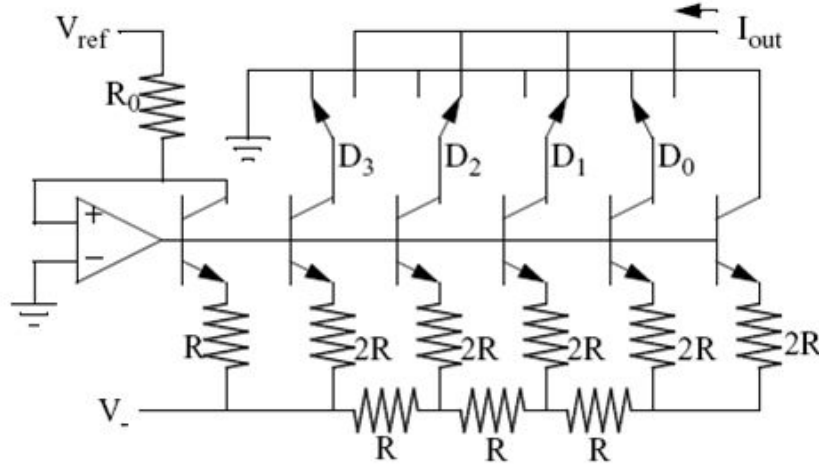
Bu modelde sadece iki çeşit direnç kullanılması bir avantajdır. Ancak sayısal girişe ait bitlerin akımı tetikleyebilmesi için anahtarlar kullanılmaktadır.

Devrede, V_{ref} referans gerilimi ile toprak arasında görünen eşdeğer direnç, anahtarlardan bağımsız olarak, R 'ye eşittir. Çünkü analog anahtarlar $2R$ dirençlerini toprağa anahtarlamasalar bile op-amp'ın eviren ucu bunları toprak seviyesine çeker.

V_{ref} kaynağından çekilen akımın yarısı D_3 ile anahtarlanan koldan, $1/4$ 'ü D_2 ile anahtarlanan koldan, $1/8$ 'i D_1 ile anahtarlanan koldan ve $1/16$ 'sı da D_0 ile anahtarlanan koldan akmaktadır.

2.6.2.4 Akım Anahtarı Modeli DAC

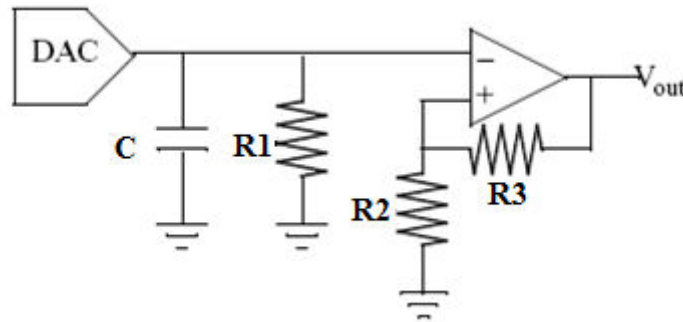
Aslında bu model R-2R modelinin temel alındığı ve doğrudan transistörlerin sürülmesi yoluyla sayısal girişle orantılı akım oluşturmaya amacıyla kullanılan bir modelidir.



Şekil 2.71 Akım anahtarı modeli DAC yapısı.

Şekildeki devrede görüldüğü gibi op-amp'ın eviren ucu toprakta olduğu için R_0 'dan akan referans akımı $I_{ref} = V_{ref} / R_0$ olarak bulunur. Soldaki transistör akımı $I_c = I_{ref}$ olarak bulunur. Op-amp transistörlerin bazlarını aynı seviyede tutacağından, V_e emetör gerilimi olmak üzere, $V_e - V = I_{ref} \cdot R$ eşitliği bulunur. Emetör gerilimlerinin hepsi aynı olacağından R-2R direnç sırası transistörlerden sayısal girişle orantılı akım akmasını sağlayacaktır. Bu şekilde bit ağırlıklandırılması sağlanmış olur.

Bu devre akım kaynağı gibi davranacağından çıkış gerilimi yük direncinden etkilenecektir. Ancak istenirse akım anahtarı modeli DAC bir yükselteç devresiyle gerilim çıkışlı hale getirilebilir. Şekilde evirmeyen kuvvetlendiricinin bu amaçlı bağlantısı gösterilmiştir:



Şekil 2.72 Akım çıkışlı DAC'nin gerilim çıkışlı hale getirilmesi.

2.6.3 Gerilim-Frekans Çeviriciler

Gerilim-frekans (V/F) çeviriciler, çıkış işaretlerinin frekansı girişlerine uygulanan gerilim değerleriyle doğru orantılı olarak değişen işaret üreteçleridir. F_{out} çıkış frekansı, K_v gerilim-frekans transfer oranı ve V_{in} de giriş gerilimi olmak üzere, bir V/F çeviricinin çıkış frekansı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$F_{out} = K_v \cdot V_{in} \quad (2.17)$$

Bu tip çeviriciler, daha çok algılayıcı ve dönüştürücülerdeki verilerin toplanması aşamasında kullanılan, iletim hatlarının gürültülü ve sağlıklı olması gibi durumlarda kullanılır. Veri iletim hatlarında darbe şeklindeki işaretlerin daha sorunsuz bir şekilde gönderilebilme ve algılanabilme özelliğinden yararlanılarak veri iletişimi sağlamak için kullanılırlar. Ayrıca V/F çeviriciler oransal ölçüm ve motor hız kontrolü gibi birçok endüstriyel uygulamada da kullanılır.

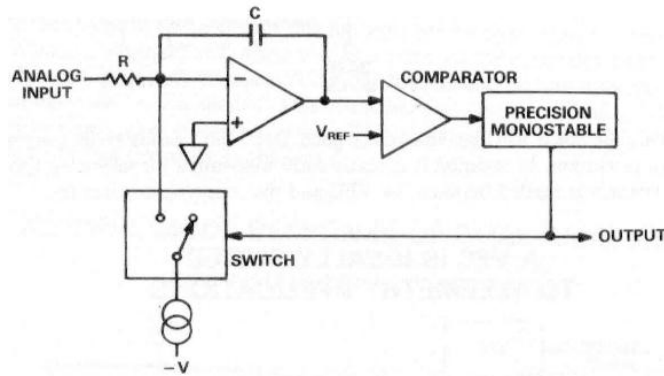
V/F dönüştürücüler gerilim kontrollü osilatörlere (VCOs) oranla daha geniş frekans aralıklarında çalışabilmeleri, kaynak gerilimi ve sıcaklıktan daha az etkilenmeleri ve daha düşük doğrusal hataya sahip olmaları nedeniyle tercih edilirler.

V/F dönüştürücüleri temel olarak iki gruba ayırabiliriz.

- Yük dengeleme yöntemiyle çalışan (İntegralli) V/F çeviriciler.
- Geniş bantlı multivibratörler.

2.6.3.1 Yük Dengeleme Yöntemiyle Çalışan (İntegralli) V/F Çeviriciler

Bu tip V/F çeviriciler, kapasitesinin dolup boşalma süresi giriş gerilimiyle orantılı olarak değişen yük pompalarından oluşmaktadır. Genel yapıları şekilde gösterilmiştir:



Şekil 2.73 İntegralli V/F dönüştürücü genel yapısı (Uzun, 2007)

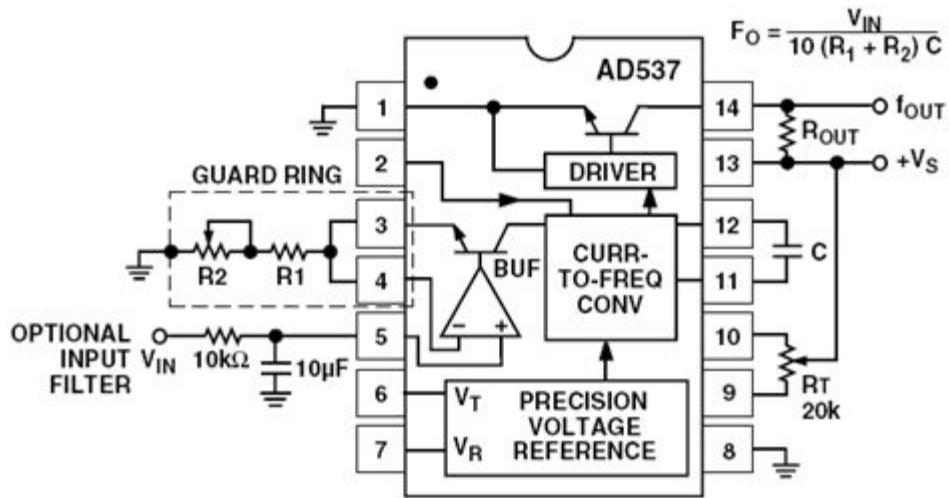
Şekilde görüldüğü gibi, bu tip V/F çeviricilerin yapısında girişte bir integral alıcı devre, ardından bir karşılaştırıcı ve çıkışta da tek darbe üretici (monostable multivibratör) bulunur.

Girişteki integral alıcı sayesinde C kapasitesi dolmaya başlar ve gerilim seviyesi karşılaştırıcının referansından büyük olduğu anda karşılaştırıcı tek darbe (monostable) üreticini çalıştırır ve çıkışa bir darbe verilmiş olur. Darbe üretici aynı esnada anahtarı tetikleyerek kapasitenin boşalmasını sağlar. Böylece giriş geriliminin büyüklüğüyle orantılı olarak çıkışta bir frekans değeri elde edilmiş olur. Giriş gerilimi ne kadar büyükse kapasite o kadar çabuk dolacağından frekans da o kadar büyük olacaktır.

2.6.3.2 Geniş Bantlı Multivibratörler

Geniş bantlı (wide sweep) multivibratörler, aslında performans özellikleri dikkate alınarak tasarlanmış gerilim kontrollü astable multivibratörlerdir. Oldukça karalıdır ve sıcaklıktan çok az etkilenirler.

Aşağıdaki şekilde, örnek olarak Analog Devices firması tarafından üretilen AD537 V/F çevirici tümdevresinin blok diyagramı ve bağlantı şekli verilmiştir.



Şekil 2.74 Geniş bantlı multivibratör örneği (AD537).

Devrenin girişindeki gerilim izleyici tampon giriş gerilimini istenen sınırlar içinde kalması şartı ile akım kontrollü osilatöre aktarır. Osilatör çıkışı sürücü devresi ile tümdevrenin dışına aktarılır.

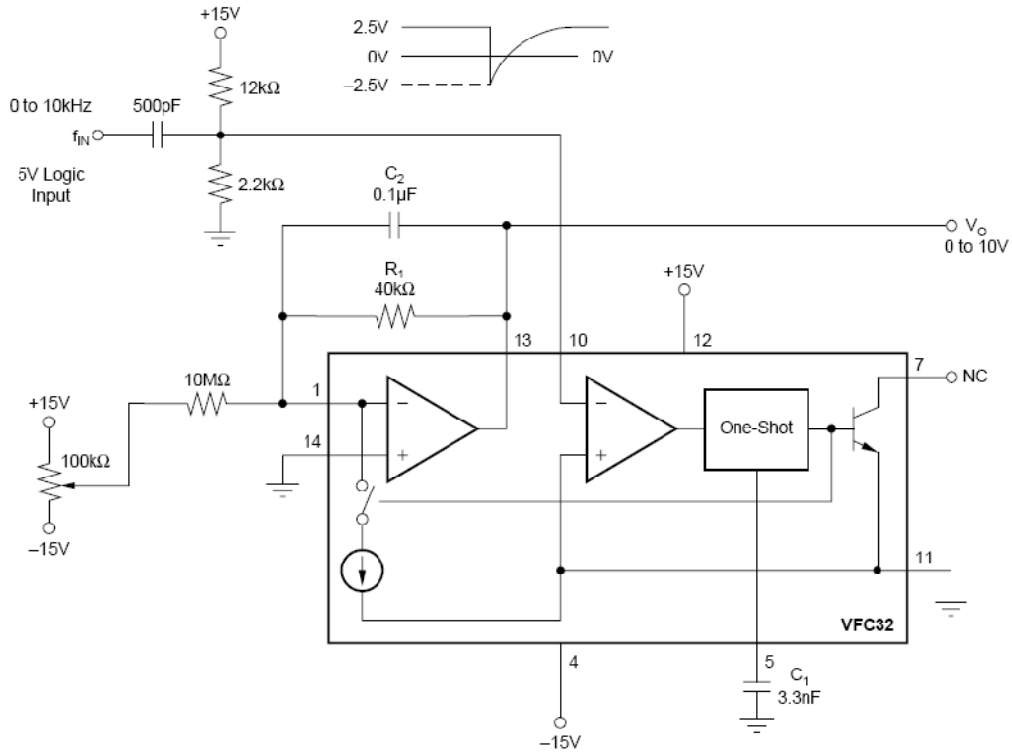
2.6.4 Frekans-Gerilim Çeviriciler

Frekans-gerilim çeviriciler, çıkış gerilimleri girişlerine uygulanan işaretin frekansı ile doğru orantılı olarak değişen işaret üreteçleridir. Yani V/F çeviricilerin tam tersi işi yaparlar. V_{out} çıkış gerilimi, K_f frekans-gerilim transfer oranı ve F_{in} de giriş işaretinin frekansı olmak üzere, bir F/V çeviricinin çıkış gerilimi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V_{out} = K_f \cdot F_{in} \quad (2.18)$$

Bu tip çeviricilerin temel kullanım amacı, gürültülü ve sağlıklı veri iletim hatlarında darbe şeklindeki işaretlerin daha sorunsuz bir şekilde gönderilebilme ve algılanabilme özelliğinden yararlanılarak veri iletişimi sağlamaktır. F/V çeviriciler iletim hattının algılama tarafında görev alırlar.

Yük dengeleyen V/F çevirici ufak bir değişiklik ile F/V çevirici haline getirilebilir. Örneğin VFC32 V/F çevirici tümdevresinin F/V dönüştürücü olarak koşullandırıldığı devre şekli aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.75 F/V dönüştürücü örneği

2.7 Bilgisayar Tabanlı Genel Amaçlı Giriş Çıkış Birimleri

Tez kapsamında tasarlanan genel amaçlı ölçüm sisteminin bir parçası olan genel amaçlı giriş çıkış biriminin tasarım hazırlık aşamasında, tasarlanacak sistemin isterlerinin belirlenmesi amacıyla endüstride kullanılan benzer özellikteki PC tabanlı ölçme sistemleri, genel amaçlı giriş çıkış birimleri ve bunlarla birlikte kullanılan yazılım ürünleri incelenmiştir.

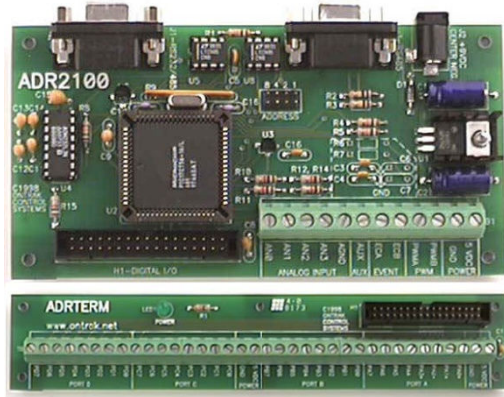
Yapılacak ölçüm, veri toplama, denetim ve veri sunumu konusundaki ihtiyaçlar göz önüne alındığında uygulamaya en uygun ürünü seçmek için aşağıdaki kriterler dikkate alınmalıdır:

- Giriş ve çıkışların elektriksel özellikleri (I/O türü, koruma sınıfı, yalıtım, sınırlar vb.)
- Çözünürlük, tepki süresi gibi hız kriterleri
- Ek çevresel birim bağlantılarıyla genişletilebilirlik
- PC ve diğer sistemlere entegrasyon için kullanılan haberleşme arayüzlerinin özellikleri
- Sürücü ve arayüz yazılımı desteği
- Açık komut kümesi veya standart protokol desteği
- Fiyat/performans

İlerleyen bölümde incelenen genel amaçlı giriş-çıkış birimi ürünleri ile ilgili bilgi verilmektedir.

2.7.1 Ontrak Control Systems, ADR2100

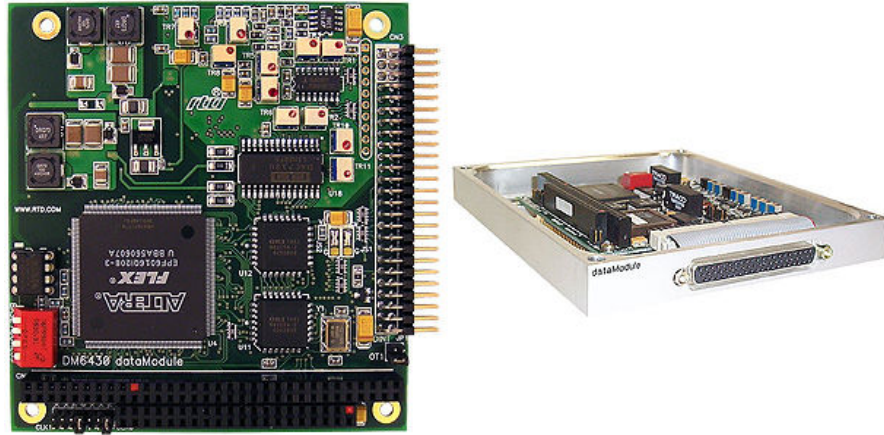
- RS232 ve RS485 haberleşme arayüzü ve açık komut kümesi
- 4 kanal 10-bit örneksel giriş (0 -5VDC)
- 2 kanal 10-bit PWM çıkışı
- 32 adet sayısal giriş/çıkış (20mA akım sürme kapasitesi)
- 4 kanal sayısal giriş (klavye girişi için kesme opsiyonu ve programlanabilir pull-up direnci)
- İki adet sayıcı girişi (kontak ya da TTL)
- Zincir bağlantı için ikinci RS232 Portu ve 10 karta kadar zincir bağlanabilme özelliği
- 9Vdc besleme gerilimi (7 -15 Vdc sınırlarında çalışabilir.)
- Sayısal girişler için bağlantı arakartı
- Satış fiyatı \$199



Şekil 2.76 Seri portlu giriş-çıkış birimi örneği - ADR2100 (<http://www.ontrak.net>)

2.7.2 RTD Embedded Technologies, DM6430

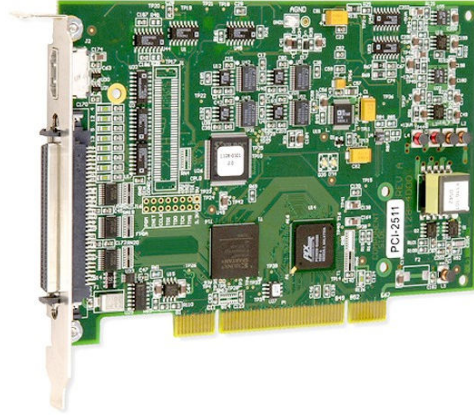
- IBM AT veriyolu ile bilgisayar bağlantısı
- 8 farksal ya da 16 tek uçlu örneksel giriş kanalı (16 bit, 10µs A/D çevrim süresi)
- ± 10 volt giriş aralığı
- Programlanabilir kazanç ayarı (1, 2, 4 & 8)
- Yazılım ya da harici girişten tetikleme özelliği
- 16-bit programlanabilir sayıcı
- 1024 örnek ADC tampon belleği
- 8 bit programlanabilir sayısal giriş/çıkış hattı ve kesme özellikleri
- 1024 örnek sayısal giriş tampon belleği
- 6 adet 16-bit zamanlayıcı/sayıcı (2 tanesi kullanıcıya bırakılmış)
- 2 kanal 16-bit sayısal-örneksel çevirici
- ± 10 volt çıkış aralığı
- Programlanabilir kesme kaynağı
- Windows ve DOS işletim sistemleriyle uyumluluk
- Yaklaşık fiyatı \$695



Şekil 2.77 AT veri yolu kullanan giriş-çıkış birimi örneği - DM6430 (<http://www.rtd.com>)

2.7.3 Measurement Computing Inc., PCI-2511

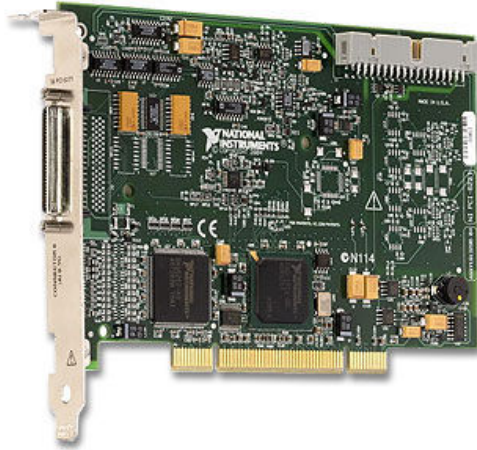
- PCI yolu üzerinden PC bağlantısı
- 16 kanal 1-MS/s, 16-bit örneksel giriş
- 24 kanal sayısal giriş/çıkış hattı
- 4 sayıcı girişi (Frekans, periyod, darbe genişliği ya da 20MS/s hızına kadar 4'lü enkoder girişi ölçme özelliği)
- 2 kanal zamanlayıcı çıkışı
- 4 kanal 32-bit sayıcı girişi
- Satış fiyatı \$649



Şekil 2.78 PCI yolu kullanan giriş-çıkış birimi örneği - PCI2511 (<http://www.mccdaq.com>)

2.7.4 National Instruments, PCI-6221

- PCI yolu üzerinden PC bağlantısı
- 24 kanal sayısal giriş/çıkış
- Sayısal girişlerle tetikleme özelliği
- 32 bit sayıcı ve programlanabilir giriş filtresi
- 16 kanal örneksel giriş (16 bit çözünürlük, $\pm 10V$ aralık, 250kS/s örnekleme frekansı)
- 2 kanal örneksel çıkış (16 bit çözünürlük, $\pm 10V$ aralık, 833kS/s güncelleme frekansı)
- 4095 örneklik tampon bellek alanı
- Windows, Linux, MacOS ve gerçek zamanlı işletim sistemleri için sürücü desteği
- Satış fiyatı €549 (çevresel birimleri ve LabVIEW yazılımı hariç)



Şekil 2.79 PCI yolu kullanan giriş-çıkış birimi örneği – PCI-6221 (www.ni.com)

2.7.5 National Instruments, PCIe-6251

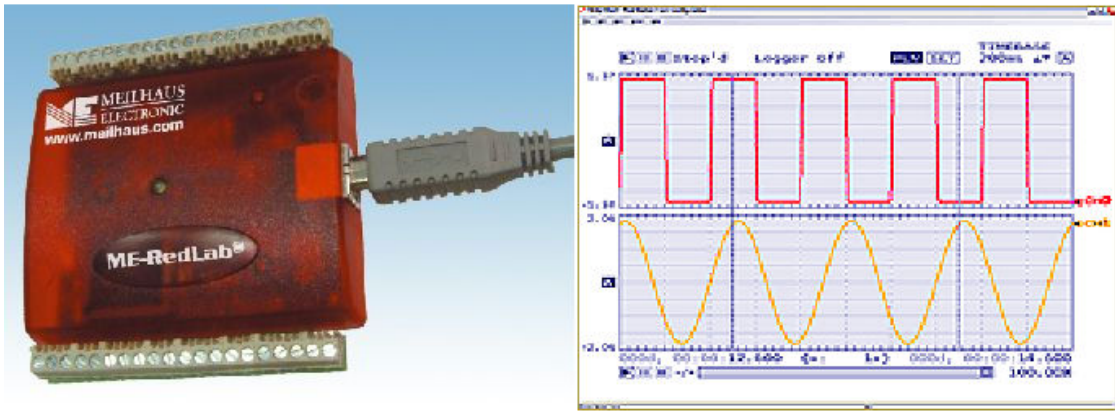
- PCIe yolu üzerinden PC bağlantısı
- 24 kanal sayısal giriş/çıkış
- Sayısal girişlerle tetikleme özelliği
- 32 bit sayıcı ve programlanabilir giriş filtresi
- 16 kanal örneksel giriş (16 bit çözünürlük, 1.25MS/s örnekleme frekansı)
- 2 kanal örneksel çıkış (16 bit çözünürlük, 2.86MS/s güncelleme frekansı)
- 4095 örneklik tampon bellek alanı
- Windows, Linux, MacOS ve gerçek zamanlı işletim sistemleri için sürücü desteği
- Satış fiyatı €979 (çevresel birimleri ve LabVIEW yazılımı hariç)



Şekil 2.80 PCIe yolu kullanan giriş-çıkış birimi örneği - PCIe-6251 (www.ni.com)

2.7.6 Metehaus Electronics, RedLab-1208LS

- USB 1.1 ve USB2.0 uyumlu bağlantı
- 8 tek uçlu ya da 4 farksal örneksel giriş
- ± 20 V, ± 10 V, ± 5 V, ± 4 V, ± 2.5 V, ± 2.0 V, ± 1.25 V ve ± 1.0 V giriş aralıkları
- 1.2 kS/s örnekleme frekansı (4000 örneğe kadar 8kS/s)
- 2 kanal örneksel çıkış (0-4.096V aralığında)
- 16 kanal sayısal giriş-çıkış
- 1 adet 32-bit sayıcı
- Microsoft Windows 98SE/ME/2000/XP desteği
- LabVIEW, SoftWIRE, ve .NET gibi Windows programlama ortamları için sürücü desteği
- RealView, Profilab, DAQFactory ve TracerDAQ sürücüler
- Satış fiyatı £115



Şekil 2.81 USB’li giriş-çıkış birimi örneği – RedLab-1208LS (<http://www.metehaus.com>)

2.7.7 Labjack Corp., LabJack-U6

- USB 1.1 ve USB 2.0 uyumlu bağlantı
- 14 kanal örneksel giriş (Hıza bağlı olarak 16-18 bit)
- Ayrıca 24-bit düşük hızlı ADC (22 bit etkin çözünürlük)
- Tek uçlu 14 ya da 7 uçlu farksal giriş
- Enstrumantasyon yükseltici girişi, programlanabilir kazanç (x1, x10, ve x100)
- ± 10 , ± 1 ve ± 0.1 volt çalışma aralığı
- Dahili sıcaklık algılayıcısı
- 2 kanal sabit akım çıkışı (200/10 μ A)
- 2 kanal örneksel çıkış (12-bit, 0-5 V)
- 20 Sayısal giriş/çıkış
- 2 adet sayıcı (32 bit) ve 4 adet zamanlayıcı (PWM çıkışı zamanlaması için)
- SPI, I2C ve UART protokol desteği
- En yüksek 50kHz giriş
- 1msden küçük komut tepki süresi
- Windows, Linux, Mac ve Pocket PC sürücü desteği
- C/C++, VB, LabVIEW, Python ve diğer bazı yazılımlar için örnek kod desteği
- Satış fiyatı \$299



Şekil 2.82 USB’li giriş-çıkış birimi örneği – LabJack-U6 (<http://www.audon.co.uk>)

2.7.8 Advantech USB-4751

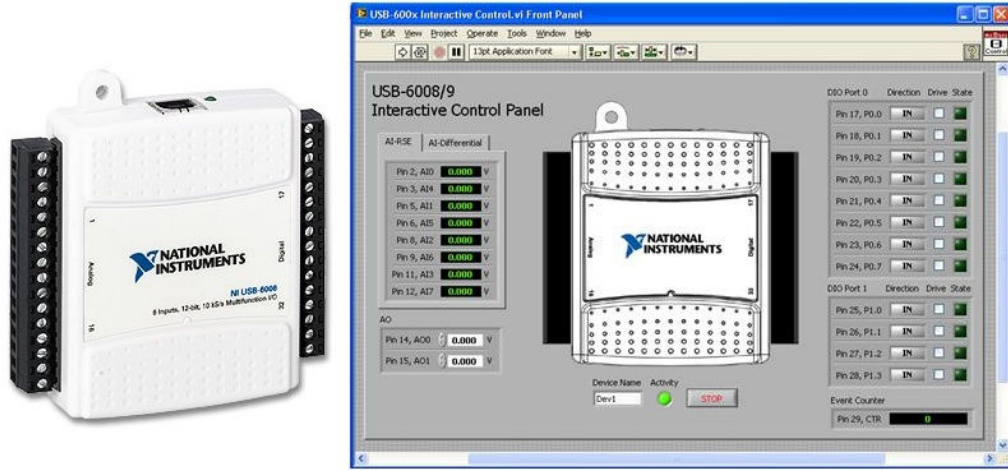
- USB 1.1 ve USB 2.0 uyumlu bağlantı
- 48 kanal TTL giriş-çıkış hattı
- 8255 PPI çevresel biriminin mod 0 için emülasyon özelliği
- 8255'e göre daha yüksek akım sürebilen çıkışlar
- Kesme yönetimi ve sayıcı/zamanlayıcı kesme özelliği
- Kuru ve ıslak kontak bağlantı imkanı
- DIN-rail montaj şekli uyumluluğu
- Satış fiyatı €135



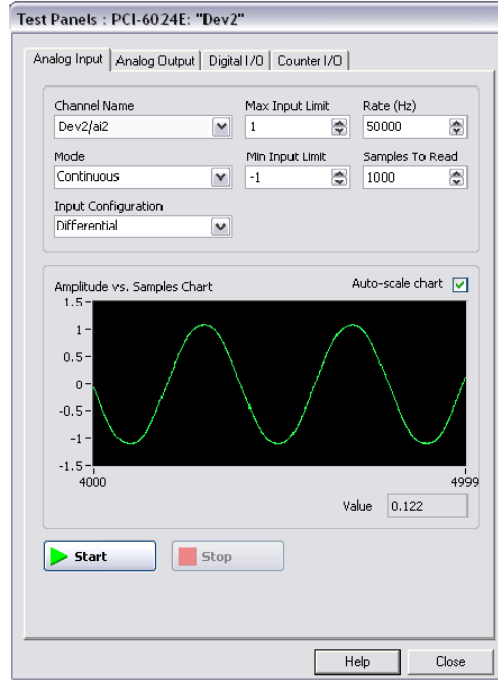
Şekil 2.83 USB'li giriş-çıkış birimi örneği – Advantech USB-4751
(<http://www.advantech.com>)

2.7.9 National Instruments USB-6008/USB-6009

- USB 1.1 ve USB2.0 uyumlu bağlantı
- 8 kanal örneksel giriş (12-bit veya 14-bit çözünürlük)
- 10kS/s veya 48kS/s örnekleme frekansı
- $\pm 20, \pm 10, \pm 5, \pm 4, \pm 2.5, \pm 2, \pm 1.25, \pm 1$ gerilim aralığı seçimi
- 2 kanal örneksel çıkış (12-bit, 150S/s)
- 12 kanal sayısal giriş-çıkış
- Windows, Mac OS X, Linux ve PDA için sürücü desteği
- 32-bit sayıcı



Şekil 2.84 USB'li giriş-çıkış birimi örneği - USB-6008/6009 (<http://www.ni.com>)



Şekil 2.85 USB-6008/6009 test ve yapılandırma yazılımı örneği. (<http://www.ni.com>)

2.7.10 National Instruments USB-6210

- USB 1.1 ve USB2.0 uyumlu bağlantı
- 16 kanal tek uçlu ya da 8 kanal farksal örneksel giriş (16-bit çözünürlük)
- 250kS/s örnekleme frekansı)
- $\pm 10, \pm 5, \pm 1, \pm 0.2$ gerilim aralığı seçimi
- 4 kanal sayısal giriş
- 4 kanal sayısal çıkış
- Windows, Mac OS X ve Linux için sürücü desteği
- X1, X2 ve X4 tipi enkoder (quadrature encoder) bağlantısıyla pozisyon ölçme



Şekil 2.86 USB kullanan giriş-çıkış birimi örneği - USB-6210 (<http://www.ni.com>)

3. LABVIEW GÖRSEL PROGRAMLAMA ORTAMI

3.1 Görsel Yazılım ve LabVIEW

Görsel yazılım dilleri (Visual Programming Language – VPL), yazılımın geliştirilmesi amacıyla kullanılan elemanların yazı tabanlı yöntemlerle işlenmesi yerine grafiksel yollarla işlenmesine olanak veren dillerdir. Bu nedenle görsel yazılım dilleri, grafiksel yazılım dilleri (Graphical Programming Language – GPL) olarak da adlandırılır.

80 ve 90’larda nesne tabanlı yazılım alanındaki gelişmeler sayesinde döngüler, koşullar, diziler gibi birçok yazılım elemanının nesneleşmesine paralel olarak görsel öğelerin de nesneleştirilmesi sayesinde hem metin tabanlı diller hem de grafik tabanlı diller yüksek grafiksel özelliklere kavuşmuştur. Ancak yazılımın geliştirilmesi amacıyla kullandıkları yöntemler nedeniyle metin tabanlı ve grafik tabanlı diller birbirlerinden ayrılırlar.

Metin tabanlı diller görsel nesneler barındırsa da bu nesnelerin özelliklerine ulaşabilmek ya da yazılımın akışını belirleyebilmek için metinler tabanlı komutlar kullanılırken, görsel tabanlı dillerde ise grafiksel yöntemlerle kullanıcıya sunulmuş elemanlar ve araçlar kullanılır. Çoğu görsel programlama dili, varlık(entity) adı verilen kutular ve bunları bağlayan ok ya da çizgilerden oluşan bir akış şeması yöntemi kullanır.

LabVIEW da yaygın kullanılan ve oldukça gelişmiş bir görsel yazılım geliştirme ortamıdır. LabVIEW (Laboratuary Virtual Instruments For Engineering Workbench), National Instruments firması tarafından geliştirilmiş ve kullanıcının “G-dili” diye adlandırılan grafiksel bir dille yazılım geliştirebilmesine olanak sağlayan bir geliştirme ortamıdır.

LabVIEW, seksenli yıllarda mühendis ve bilim adamlarının çalışmalarında kolaylık sağlamak amacıyla geliştirilmeye başlanmış, grafiksel yazılım geliştirme yetenekleriye özellikle ölçme ve enstrumantasyon alanında yeni bir dönem başlatmıştır. LabVIEW, diğer yapısal ve nesnel yazılım dillerinin hemen her yeteneğine sahiptir. Kütüphanelerindeki hazır nesneler ve fonksiyonlar sayesinde hızlı ve kolay yazılım geliştirme imkanı sunar. Ayrıca .NET platformu, C yazılım dili ve MATLAB gibi bilimsel amaçlı geliştirilmiş birçok yazılım ile uyumludur.

National Instrument firması tarafından üretilmiş ve LabVIEW ile entegre çalışabilen çeşitli donanımlar bir çok mühendislik uygulamalarında veri toplama, analizi ve sunumu aşamalarında çok hassas ölçümler yapmayı sağlar. Ayrıca birçok donanım üreticisi de LabVIEW sürücülerini ürünle birlikte vermektedir. [20]

Real-time, FPGA, Mobile, Embedded, Datalogging and Supervisory Control, Vision Development, Motion Control, Sound and Vibration, Statechart, Simulation gibi ek modülleri bulunan LabVIEW, genel amaçlı bir yazılım dili olmaktan çok ölçme, analiz, enstrumantasyon, kontrol, işaret işleme ve izleme gibi daha çok “Elektrik-Elektronik Mühendisliği” konularını hedef almaktadır. Ancak sahip olduğu özellikler sayesinde genel amaçlı yazılım geliştirebilme yeteneği de göz ardı edilemez.

3.2 LabVIEW Temel Esasları

3.2.1 Veri Akışı (Dataflow) Programlaması

LabVIEW ortamında kullanılan G-dili aslında veri akışı (data flow) programlama dilidir. Yazılımın akışı ikon adı verilen bloklar arasında veri akışı şeklinde yapılır. Paralel çoklu görev (parallel multi-tasking) özelliği sayesinde aynı anda birçok akış diyagramının çalışması, birbirleri arasında veri alışverişinde bulunmaları ya da aynı veri kaynaklarını paylaşmaları mümkündür.

3.2.2 Sanal Aygıt (Virtual Instrument)

LabVIEW yazılımları “Sanal Aygıt” (Virtual Instrument – VI) olarak adlandırılır. VI’lar görsel arayüzleri bulunan grafiksel yazılımlardır.

VI’ların görsel parçası LabVIEW ortamında Ön Panel (Front Panel) adı verilen ekranda tasarlanır. Kontrol panelinden seçilen göstergeler, ölçekler, metreler, çizelgeler, LED’ler ve butonlar VI’in ön paneline yerleştirilerek oluşturulan arayüzde bir butona basarak, bir sürgüyü hareket ettirerek, bir metin kutusuna bir şeyler yazarak yazılımın çalışmasına müdahale edebilir ya da grafikler, göstergeler ve LED’lerin durumuna bakarak koşan yazılımın sunduğu sonuçlar izlenebilir.

Yazılımı akışı ise Blok Diyagram (Block Diagram) adı verilen başka bir ekranda tasarlanır. Metin tabanlı dillerdeki kuralların detaylarıyla uğraşmak yerine fonksiyon paletinden seçilen nesneleri blok diyagrama yerleştirmek, bu nesneler arasında çizgisel bağlantılarla akış diyagramını oluşturmak, değişkenleri çok karmaşık analiz işlemlerine sokmak, ağ bağlantısı kurmak, verileri dosyalara kaydetmek gibi birçok işlemi basit bir grafik sintaks kullanarak basitçe kodlamak mümkündür.

3.2.3 Grafiksel Derleyici (Graphical Compiler)

LabVIEW ortamında hazırlanan VI'ları çalıştırabilmek için kullanılan G-dili kodlarının (blok diyagramı) derlenmesi gerekir. Bu işi yapmak için LabVIEW diğer görsel yazılım dillerinden çok daha hızlı, metin tabanlı dillerin derleyicileriyle kıyaslanabilecek hızda bir grafiksel derleyici kullanır. Paralel çoklu görev yapısındaki yazılımlarda zaman oldukça kritiktir. Grafik derleyici, hem işlem süresi, hem de oluşturulan koda ayırdığı bellek miktarı bakımından oldukça başarılıdır. Ayrıca “Profilер” adı verilen bir uygulama sayesinde, derlenmiş kodun zaman kritik bölümlerini optimize etmek de mümkündür.

3.2.4 Modülerite, Hiyerarşi ve Bağlanabilirlik

VI'lar oldukça modüler bir yapıya sahiptir. Bir VI, kontroller ve fonksiyonlar gibi ikonlardan oluşabileceği gibi bünyesinde başka VI'ları barındırabilir. Yani kendimize ait bir VI içinde başkaları tarafından tasarlanmış alt VI'lar (sub-VI) çalıştırılabilir, VI ve alt VI'lardan oluşan hiyerarşik bir yapı kurulabilir.

Ayrıca LabVIEW, diğer uygulamalarla bağlantı kurmak için çok sayıda VI kütüphanesine sahiptir. Herhangi bir DLL'yi veya paylaşılan bir kütüphaneyi LabVIEW içinden çağırmak, .NET tabanlı bir uygulama çalıştırmak, ActiveX kontrolü veya dökümanına ulaşip onu LabVIEW içinde programlamak mümkündür.

3.2.5 Aygıt Kontrolü, Veri Toplama ve Analizi

LabVIEW yazılımı National Instruments firması tarafından üretilmiş ya da çeşitli standart haberleşme arayüzlerini ve protokollerini kullanan ölçüm ve kontrol cihazlarına bağlanabilmek için VISA, GPIB, VXI ve bir seri VI kütüphanesi olan NI sürücü yazılımı gibi kütüphaneler kullanır. Bir National Instrument'ın ürünü bir VXI aygıtı ya da kendi yapacağımız RS232 portu kullanan bir aygıtı VISA (Virtual Instrument Software Architecture) yazılımı ile denetlemek mümkündür.

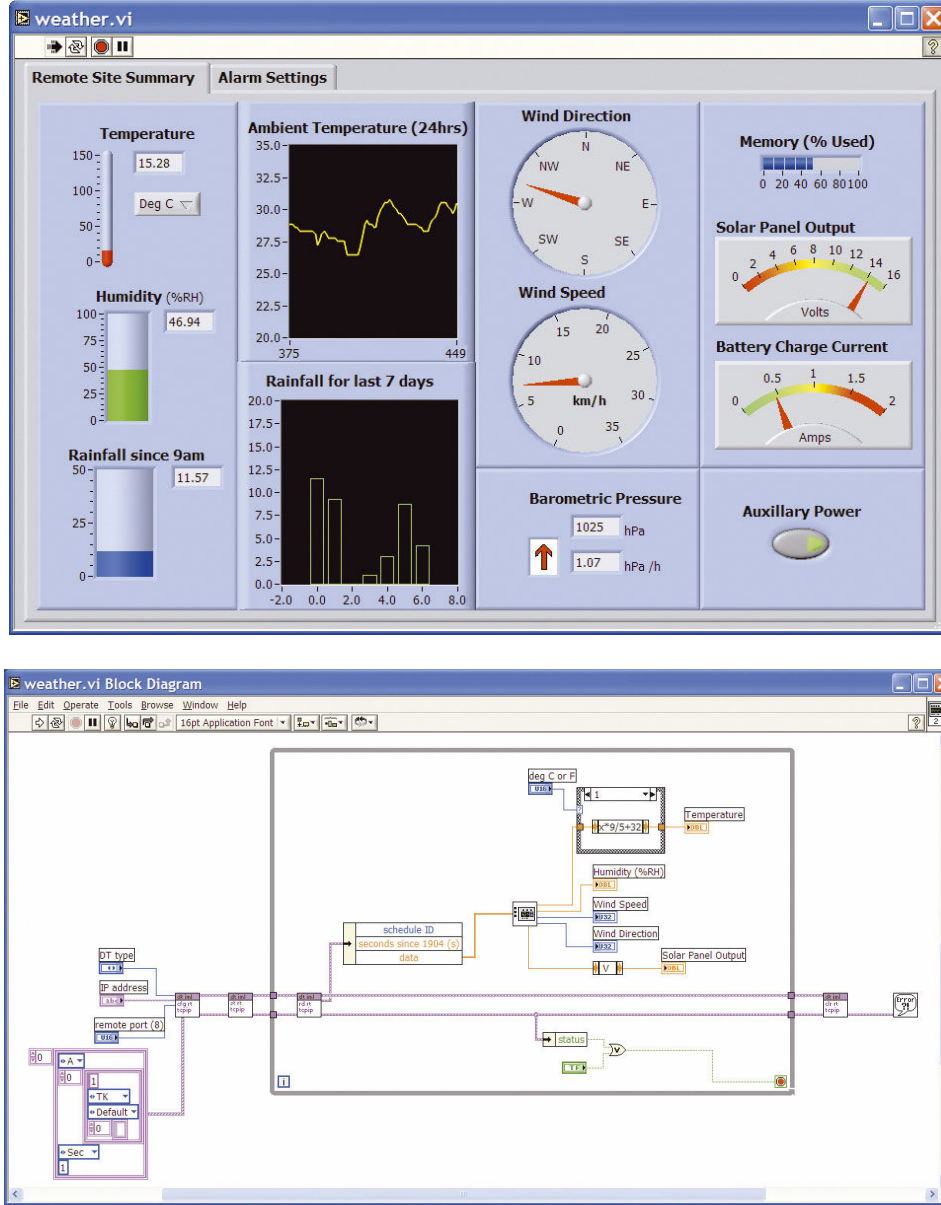
LabVIEW, Aygıt Sihirbazı ile GPIB, VXI, seri ve bilgisayar tabanlı aygıtlar da dahil olmak üzere, bilgisayara bağlı olan herhangi bir aygıtı anında bulur. Sihirbaz uygun aygıt sürücülerini yükler ve aygıtlarla birkaç dakika içinde iletişim kurmak mümkün olur.

DAQ VI kütüphanesi, National Instruments'ın bütün plug-in ve uzak veri (remote data) toplama ürünlerini kullanarak, veri toplama ve dağıtma fonksiyonlarına sahiptir. LabVIEW, sadece bu iş için yapılmış analiz paketleriyle rekabet edebilen, etkili ve geniş analiz kütüphanelerine sahip. Bu kütüphaneler, istatistikler, değerlendirmeler, regresyonlar, lineer

cebir, sinyal oluşturma algoritmaları, zaman ve frekans aralığı algoritmaları, pencereleme yöntemi ve dijital filtreler ile tamamlanmıştır.[21]

3.3 LabVIEW Programlama Ortamı

Daha önce bahsedildiği gibi LabVIEW geliştirme ortamı VI'ların görsel kısmını tasarlamak için ön panel, yazılımın akışını tasarlamak için de blok diyagram pencerelerine sahiptir. Şekil 3.1'de örnek bir VI'nın ön panel ve blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.1 LabVIEW ön panel ve blok diyagramı örneği (www.datataker.com)

Ön panel, VI'ların görsel parçalarıdır ve kullanıcı grafik arayüzü olarak görev yaparlar. VI'lara sanal aygıt denmesinin bir sebebi, ön panel görüntüsünün tasarımında kullanılan

butonlar, grafikler, göstergeler ve LED'ler gibi nesneler nedeniyle gerçek aygıtları andırmasıdır. Ön panel, VI'ların kontrol panosu görevini görür. Kullanıcı tuş takımı ve fare yardımıyla bilgileri ve denetim komutlarını girmekte ve sonuçları ekranda izlemektedir.

Blok diyagram VI'ların akış diyagramlarının çizildiği kaynak kodlarıdır. Burada kullanılan görsel sintaks G-dili olarak isimlendirilir. Blok diyagram, sabitler, değişkenler, fonksiyonlar, yazılım akışını denetleyen nesneler ve düşük seviyeli alt VI'lardan oluşan ve uygulamanın akışsal yöntemle kodlandığı kısımdır. Kullanılan nesneler, fonksiyonlar ve tüm araçlar arasındaki bağlantı elektrik devrelerinin ya da akış şemalarının çiziminde kullanılanlara benzer çizgisel bağlayıcılar ile kurulur.

Ön panelde kullanılan görsel nesneler ve yapılar ikiye ayrılır.

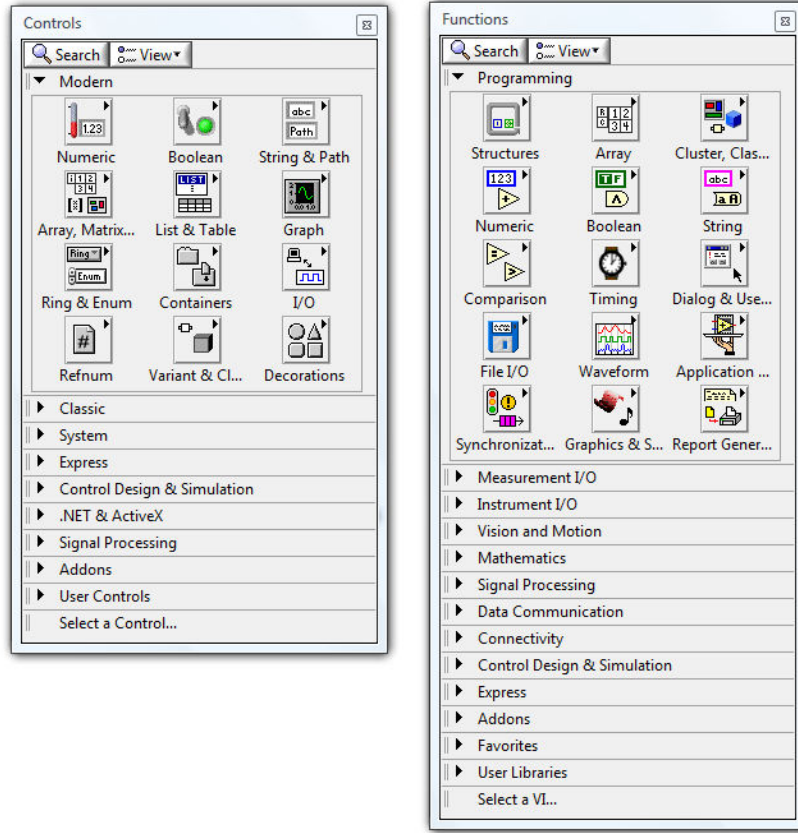
- Göstergeler(Indicators): İbreler, LED'ler, grafikler ve metreler gibi veri izleme amacıyla kullanılan nesne ve yapılardır.
- Kontroller(Controls)

Blok diyagramda bulunan elemanlar şunlardır ise şunlardır:

- Gösterge ikonları: Göstergelerin blok diyagramdaki sembolleridir.
- Kontrol ikonları: Kontrollerin blok diyagramdaki sembolleridir.
- Fonksiyonlar (Functions): Çeşitli aritmetik işlemler ya da çok daha karmaşık fonksiyonları gerçekleştirmek için kullanılan ikonlardır.
- Bağlayıcılar: İkonlar arasındaki ilişkileri belirleyen çizgilerdir.
- Alt VI'lar (sub-VIs): Özelleşmiş bir amaç için ya da hiyerarşik yapıya uygun olarak tasarlanmış VI'lardır.
- Yapılar (Structures): Yazılımın akışını belirleyen koşul ve döngü elemanlarıdır.
- İşlem Noktaları (Formula Nodes): Metin bazlı formüller girmek için kullanılır.
- İfade Noktaları (Expression Nodes):
- Özellik Noktaları (Property Nodes): Bir nesnenin özelliklerine ulaşmak için kullanılır.
- Çağırma Noktaları (Invoke Nodes): Bir sınıfın metotlarına ulaşmak için kullanılır.
- Kod Arayüz Noktaları (Code Interface Nodes - CINs): Metin tabanlı yazılım dillerinden kod çağırma için kullanılan yapılardır.
- Referansla Çağırma Noktası (Call by Referance Nodes) : Dinamik olarak yüklenen VI'ları çağırma için kullanılan yapılardır.
- Kütüphane Çağırma Noktası (Call Library Nodes): Standart kütüphaneleri, .NET ya da ActiveX fonksiyonlarını veya DLL'leri çağırma için kullanılan yapılardır.

Göstergeler ve kontroller, kontrol paleti (control palette) içerisinden seçilerek sürükle-bırak özelliğiyle ön panelde istenen yere yerleştirilir. Blok diyagramdaki elemanlara ise fonksiyon paleti (functions palette) üzerinden ulaşılabilir.

Şekil 3.2’de kontrol ve fonksiyon paletleri gösterilmiştir.



Şekil 3.2 LabVIEW kontrol paleti ve fonksiyon paleti

LabVIEW tarafından ön paneldeki gösterge ve kontrollere karşılık olarak blok diyagramda ikonlar oluşturulur. İkonlar, göstergeler, kontrollere, fonksiyonlar gibi elemanların blok diyagramdaki sembolleridir. İkonlar ait olduğu elemanın her giriş ve çıkışı için birer bağlantı noktasına (terminal) sahiptir. Programın akışı bu bağlantı noktalarına bağlanan çizgisel bağlayıcılar sayesinde yapılır. Bağlayıcılar bir girişi bir çıkışa bağlayan veri akış yollarıdır. Bir bağlayıcı aynı türleri birbirine bağlayabilir. Örneğin “string” türünden bir metin kutusunun girişi yine “string” türünden bir değişkene bağlanmalıdır.

LabVIEW, harici aygıtlara bağlanmak için kullandığı VISA vb. sürücüler için de ikonlara sahiptir. Örneğin bir VISA aygıtından veri okumak için VISA-read ya da aygıtı veri göndermek için VISA-write fonksiyonlarına ait ikonları blok diyagrama eklemek ve uygun koşullandırmaları yapmak yeterli olacaktır.

4. MİKRODENETLEYİCİLİ GENEL AMAÇLI ENDÜSTRİYEL OTOMATİK ÖLÇÜM SİSTEMİNİN GERÇEKLENMESİ

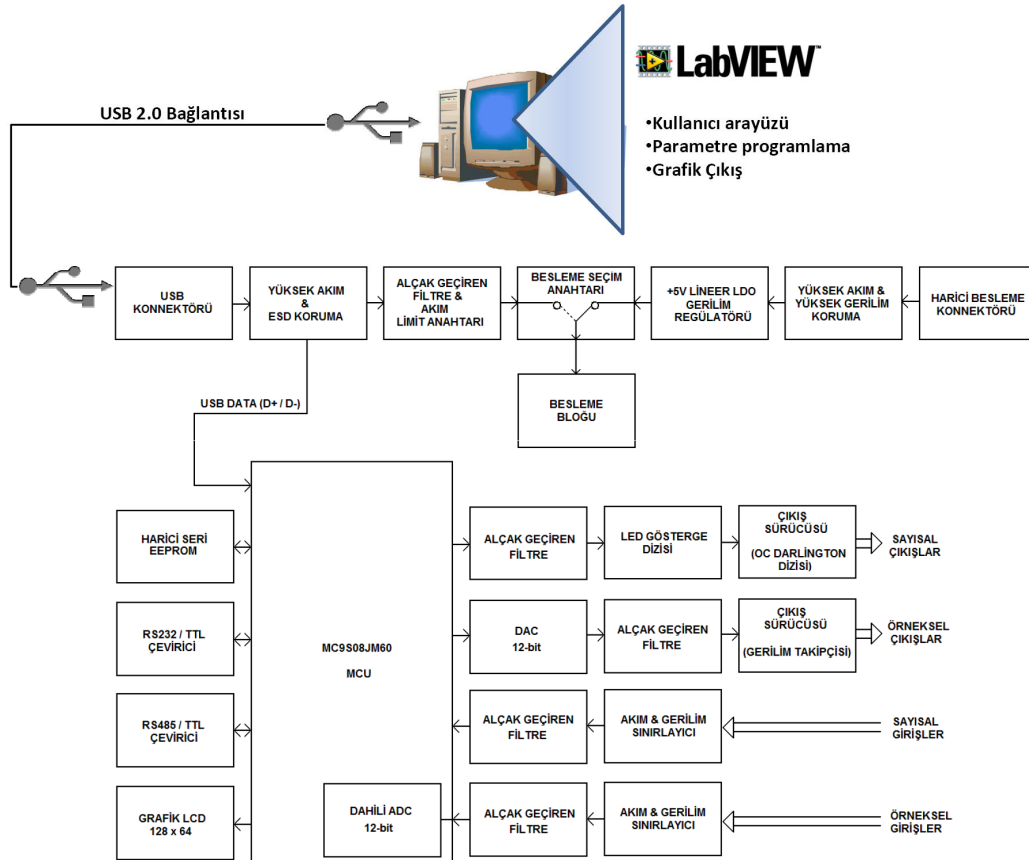
4.1 Giriş

Yapılan tez çalışması için tasarlanan mikrodnetleyicili genel amaçlı endüstriyel ölçüm sistemi aşağıdaki öğelerden oluşmaktadır.

- Mikrodnetleyicili genel amaçlı endüstriyel giriş-çıkış birimi donanımı
- Mikrodnetleyicili genel amaçlı endüstriyel giriş-çıkış birimi yazılımı
- Kişisel bilgisayar (PC)
- PC üzerinde koştan LabVIEW uygulama yazılımı

Sistemin genel yapısı Emre Oğuz ve Fatih Gerenli tarafından ortak bir çalışmayla tasarlanmış, sistemin giriş birimlerinin gerçekleştirilmesi ve performans analizi Fatih Gerenli tarafından, çıkış birimlerinin gerçekleştirilmesi ve performans analizi de Emre OĞUZ tarafından yapılmıştır.

Tasarlanan sistemin genel yapısı Şekil 4.1'deki blok diyagramda gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Sistem blok diyagramı

Sistemin donanım bileşeni olan mikrodenetleyicili genel amaçlı giriş-çıkış biriminin, tez kapsamında tasarlanmış genel özellikleri şunlardır:

- 8 kanal sayısal giriş (2 adet sayısal giriş 16-bit sayıcı olarak da kullanılabilir)
- 8 kanal örneksel giriş (12 bit çözünürlük, 0-10V)
- 8 kanal sayısal çıkış (30V Open Collector)
- 4 kanal örneksel çıkış (12 bit çözünürlük, 0-5V)
- 1 USB arabirimi (USB 2.0 Tam Hız – 12Mbit/s)

Ayrıca sistemde, donanım tasarımı yapılmış, ancak tez kapsamında yazılımı gerçekleştirilmeyen ve sistemin genişlemeye ve geliştirilmeye açık hale gelmesi amacıyla eklenmiş şu özellikleri vardır:

- RS232 haberleşme arayüzü
- RS485 haberleşme arayüzü
- 128x64 çözünürlükte grafik LCD

Genel amaçlı giriş-çıkış birimi sistemin gerçek dünyaya açılan donanım arayüzünü oluşturur. Sahip olduğu sayısal ve örneksel girişlerle çeşitli şekillerde koşullanmış algılayıcıların okunmasına imkan sunar. Örneksel ve sayısal çıkışlar ise çeşitli test amaçlı işaret çıkışı için kullanılabilir.

Örneksel ve sayısal tüm girişlerde bağlantının akım sınırlayıcı, alçak geçiren filtre ve gerilim sınırlayıcı ESD koruma elemanlarından geçirilmesine dikkat edilmiştir. Örneksel çıkışlarda 0-5V gerilim çıkışı endüstri standardı tercih edilmiş ve DAC çıkışına eklenen 0.005V ile 4.995V aralığında çalışabilen rail-to-rail gerilim izleyicisi ile her kanaldan 25mA akım çekilebilmesi sağlanmıştır. Gerilim takipçisi için seçilen işlemsel yükselteç 2500V insan modeli ESD korumalıdır. Sayısal çıkışlarda röle vb. endüstriyel yükleri sürebilecek özellikte ya da uygun koşullandığında TTL ve CMOS girişlere bağlanabilen bir darlington transistör serisi kullanılmıştır. Çıkış katı harici bir güç kaynağıyla beslendiğinde tek bir kanaldan 500mA ya da tüm kanallardan toplamda 2A yük sürebilme özelliği vardır.

Genel amaçlı giriş-çıkış biriminin PC'ye bağlantısı B-tipi bir USB konnektörü üzerinden USB2.0 arayüzü ile yapılmıştır. USB veriyolu, tak&çalıştır özelliği, veri yolu hızı ve yaygın kullanımı sebebiyle tercih edilmiştir. PC tarafındaki kullanıcı arayüzü LabVIEW geliştirme ortamında tasarlanmıştır. LabVIEW yazılımının tercih edilmesi modüler yapısı, kullanım kolaylığı yanı sıra USB vb. arayüzler aracılığıyla harici donanımlara bağlanmadaki kolaylığı nedeniyle. LabVIEW USB arayüzüne bağlanabilmek için VISA yazılımınca üretilen USB Raw sürücülerini kullanmaktadır.

Genel amaçlı mikrodeneleyicili endüstriyel giriş-çıkış biriminin denetçisi olarak Freescale firması tarafından üretilen MS9S08JM60 seçilmiştir. Tercih sebebi 8-bitlik bir mikrodeneleyiciye göre oldukça gelişmiş çevre birimlerine sahip olması ve üzerinde bulunan gömülü USB modülüdür. Aynı zamanda bu mikrodeneleyici yine Freescale tarafından üretilen 32-bitlik Coldfire çekirdekli MCF51JM128 mikrodeneleyicisi ile birebir pin uyumludur. Bu özelliği sayesinde istenildiğinde sistemin işlem gücünün artırılabilmesi mümkündür.

Genel amaçlı giriş-çıkış birimi USB konnektörü üzerinden beslenebileceği gibi üzerindeki seçim anahtarı ve gerilim regülatörü sayesinde harici bir adaptörle de beslenebilmektedir. Her iki girişte de yüksek akım koruma ve ESD bağımsızlığı konusunda önlemler alınmıştır.

Sistemin temel çalışması en genel haliyle mikrodeneleyici yazılımı tarafından denetlenen sistem saat döngüsünün belirli periyotlarında ($200\mu s$) girişlerin okunması, çıkış değerlerinin güncellenmesi, okunan değerlerin bilgisayarda koşturma olan LabVIEW insan makine arayüzüne USB arabirimi üzerinden aktarılması ve bu bilgilerin arayüzdeki grafik ve göstergelerde gösterilmesi şeklinde özetlenebilir. Girişlerin okunmasıyla ilgili parametreler ve çıkışlarda güncellenecek değerler ve bu değerlerle ilgili parametreler arayüzde oluşturulan yapılandırma dizisinin USB arabirimi üzerinden gönderilmesiyle mikrodeneleyiciye bildirilmektedir. Bilgisayar arayüzünden bir buton yardımıyla yeni bir yapılandırma dizisi gönderildiğinde mikrodeneleyici yazılımı ilgili yapılandırma dizisini uygulamaya başlar ve aynı zamanda bu yapılandırma bilgisini harici belleğe kaydeder. Harici belleğe kaydetmekteki temel amaç çıkışların bilgisayarsız çalışma modunda da en son gönderilmiş yapılandırmaya göre çalıştırılabilmesidir.*

* Bu paragraf Fatih Gerenli tarafından yürütülen paralel tez çalışmasından derlenmiştir.

4.2 Freescale MC9S08JM60 Mikrodenetleyicisi

Tez çalışması için tasarlanan donanımda denetim birimi olarak Freescale MC9S08JM60 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Bu bölümde bu mikrodenetleyicinin genel özellikleri anlatılmaktadır.

MC9S08JM60 mikrodenetleyicisi Freescale firması tarafından üretilen 8-bitlik HCS08 çekirdekli Flexis USB ailesi ürünlerinden biridir.

HCS08 ailesi, daha önceki ismiyle Motorola Semiconductors olarak bilinen Freescale firmasının von-Neumann mimarili HC05 temelli HC08 çekirdeğinin geliştirilmesiyle üretilmeye başlanmıştır. HC08 ailesinden en büyük ayırt edici özelliği daha düşük gerilimlerde çalışabilmesidir. HCS08 ailesi, yüksek kapasiteli program belleği, RAM belleği ve ayrıca gelişmiş çevre birimlerine sahiptir.

Flexis USB ailesi birebir pin uyumlu ve çevresel birimleri birbiriyle uyumlu biri 8-bitlik HCS08 çekirdekli biri de 32-bit Coldfire V1 çekirdekli farklı iki tip mikrodenetleyiciyi grubunu kapsar.

MC9S08JM60 mikrodenetleyicisinin temel özelliklerini şöyle sıralayabiliriz:

- 48-MHz HCS08 CPU 24-MHz dahili veri yolu frekansı
- 60 KB flaş dahili program belleği
- 4 kb dahili RAM
- Full-speed USB2.0 arayüzü ve 256 byte USB RAM
- MCG (Çok amaçlı saat üretici), FLL ve PLL
- BDM denetçisi ve arayüzü
- 12 kanallı 12 bit ADC ve dahili sıcaklık sensörü
- Örneksele karşılaştırıcı
- 2 adet seri haberleşme arayüzü (SCI)
- 2 adet seri çevresel arayüz (SPI)
- 100kbps hızında IIC veri yolu modülü
- Bir adet 8-bit ve bir adet 16-bit zamanlayıcı/PWM modülü (TPM)
- 8-pin klavye kesme birimi (KBI)
- Gerçek zamanlı sayıcı(RTC)
- 51 adet genel amaçlı giriş-çıkış pini
- 32 adet kesme/reset kaynağı
- MCF51JM128 Coldfire V1 çekirdekli mikrodenetleyici ile birebir pin uyumu

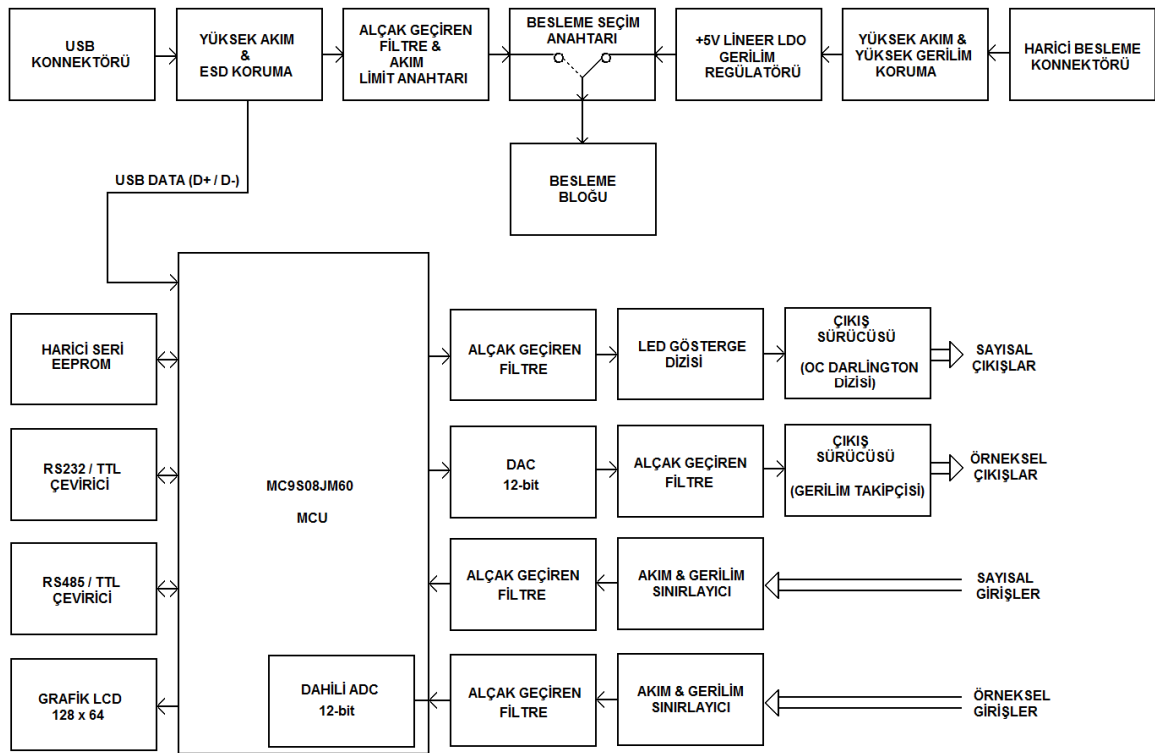
MC9S08JM60 mikrodenetleyicisiyle ilgili detaylı bilgi EK-3 bölümünde verilmiştir.

4.3 Donanım Özellikleri

Mikrodenetleyicili genel amaçlı endüstriyel otomatik ölçüm sisteminin donanımı temel iki kısımdan oluşur:

- Kişisel bilgisayar
- Mikrodenetleyicili genel amaçlı endüstriyel giriş-çıkış birimi

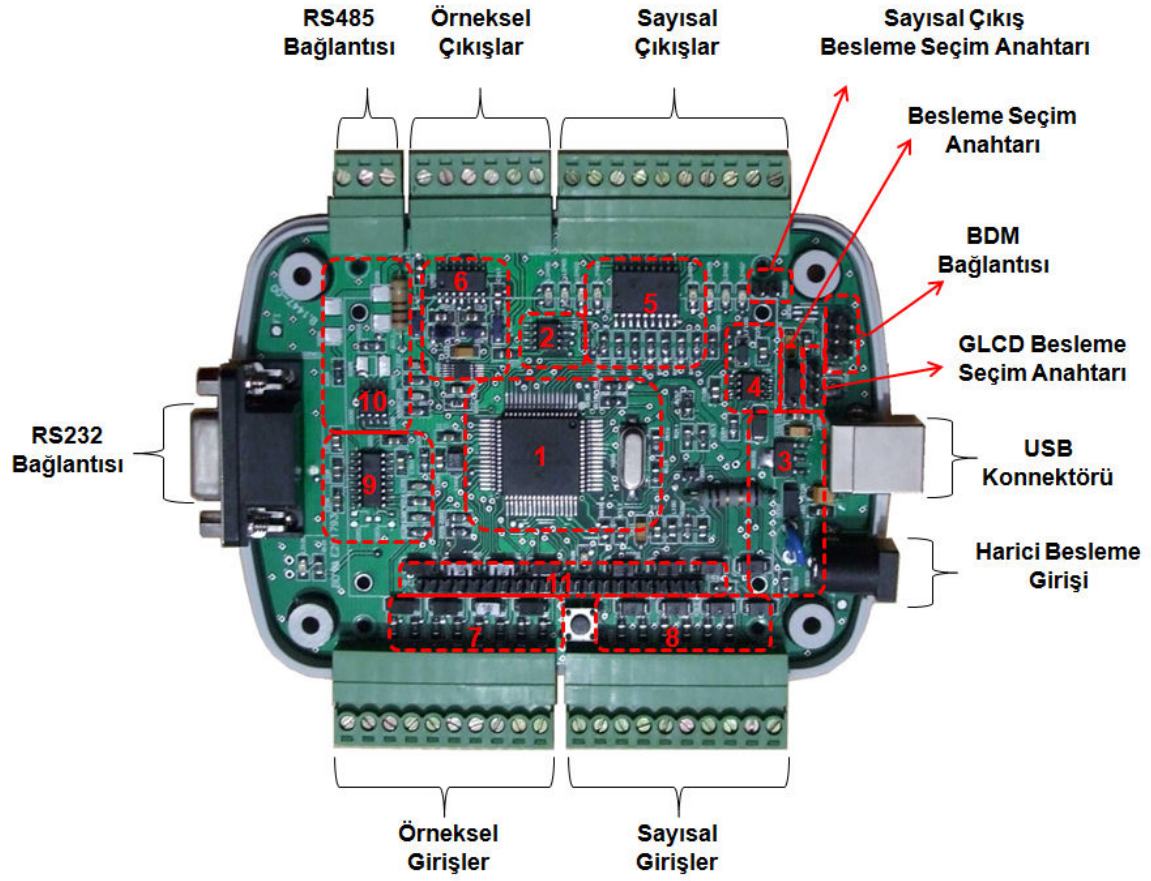
PC tarafında donanımsal anlamda bir tasarım yapılmamıştır. Yapılan donanım tasarım çalışması mikrodenetleyicili genel amaçlı endüstriyel giriş-çıkış biriminin donanım tasarımıdır. Giriş-çıkış biriminin donanım blok diyagramı Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



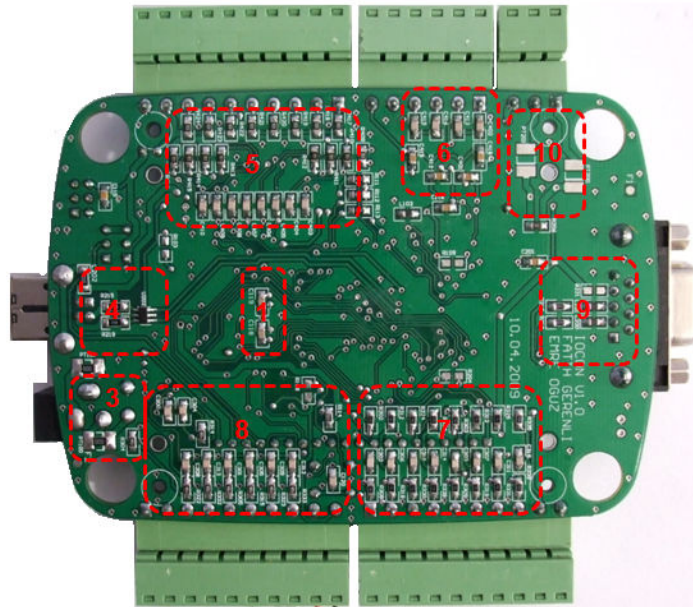
Şekil 4.2 Donanım blok diyagramı

Sistem donanımı, temel olarak mikrodenetleyici, harici seri EEPROM, güç katı, giriş devreleri, çıkış devreleri, haberleşme arayüzleri ve grafik LCD'den oluşur.

Şekil 4.3'te donanım bloklarının tasarlanan ve üretilen elektronik kart üzerindeki yerleşimi numaralandırılarak gösterilmiş ve Çizelge 4.1'de açıklanmıştır. Sistemin daha detaylı fotoğrafları EK2 bölümünde yer almaktadır.



Şekil 4.3a Donanım bloklarının ve bağlantı noktalarının gösterimi.



Şekil 4.3b Donanım bloklarının gösterimi.

Çizelge 4.1 Şekil 4.3'teki blokların açıklaması

Blok No	Blok Adı
1	Mikrodenetleyici birimi (MCU)
2	Seri EEPROM
3	5V Regülatör katı ve koruma devreleri
4	USB hattı için koruma devreleri
5	Sayısal çıkış devreleri
6	Örneksel çıkış devreleri
7	Örneksel giriş devreleri
8	Sayısal giriş devreleri
9	RS232/TTL çevirici
10	RS485/TTL çevirici
11	Grafik LCD bağlantısı

4.3.1 Besleme Katı

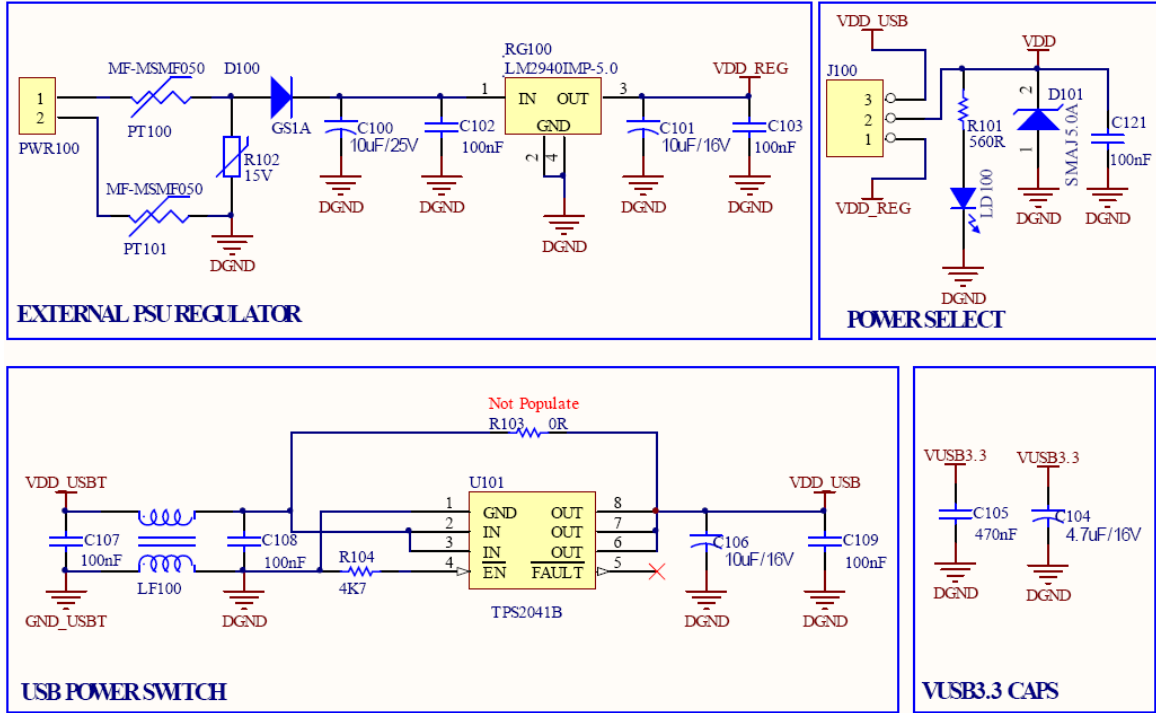
Genel amaçlı giriş-çıkış birimi devresinin tüm blokları +5Vdc gerilimle beslenmektedir. Devre USB hattı üzerinden ya da harici bir adaptör girişinden beslenen bir gerilim regülatörü katı üzerinden beslenebilir. Bu iki besleme katının çıkışlarını aynı noktaya bağlamak sakıncalı olduğundan 3 pinli bir strep besleme seçim anahtarı olarak kullanılmıştır.

Besleme katının tasarımında öncelikle devrenin güç ihtiyacı belirlenmiştir. Bunun için muhtemel tüm güç tüketimleri en kötü durum için hesaplandığında aşağıdaki çizelgede görülen akım değerlerine ulaşılır.

Çizelge 4.2 Devrenin Akım İhtiyacının Belirlenmesi

Blok/devre adı	Çekilen akım (mA)
Besleme katı ve besleme LED'i	5,6
MCU (besleme ucundan çekilebilecek en yüksek akım)	120
Reset devresi (Reset tuşuna basıldığında)	6,5
Seri EEPROM (yazma işlemi sırasında)	3
Sayısal Girişler (Girişlerin kısa devre olması durumunda)	0.2
Sayısal Çıkışlar (Sürücünün girişindeki devrelerde)	44
Örneksel Çıkışlar (her çıkışa 25mA verilmesi durumunda)	100
RS232/TTL Çevirici (Sürme modunda)	1
RS485/TTL Çevirici (Sürme modunda)	60
Grafik LCD	100
İhmal edilen akımlar için varsayım	1
TOPLAM	441,2

Bu akım değerine bakarak en az 500mA akım çıkışı sağlayabilecek bir kaynak ihtiyacı olduğu görülmüştür. USB'den çekilebilecek akım miktarı da 500mA olduğundan devre USB üzerinden beslenebilecek şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca yedek kaynak olarak seçilebilen gerilim regülatörü seçiminde de ısı faktörleri göz önüne alınarak 1A akım verebilecek bir LDO regülatör seçilmiştir.



Şekil 4.4 Besleme devresi açık şeması.

Regülatör katının girişinde yüksek gerilim koruma amaçlı 17V değerinde bir varistör ve akım koruması amaçlı giriş hattına seri bağlı iki adet PTC kullanılmıştır. GS1A diyotu sayesinde devrenin girişi negatif gerilimden korunmuştur. Besleme hattından gelebilecek yüksek frekanslı gürültülerin filtrelenmesi amacıyla regülatörün girişi ve çıkışına paralel tantal 10uF ve seramik X7R 100nF kapasiteleri bağlanmıştır.

Kullanılan regülatör National Semiconductors firmasının ürettiği LM2940'tır. Bu regülatör LDO olduğundan 5V çıkış verebilmek için giriş geriliminin 6.25V üzerinde olması yeterlidir. Girişine uygulanabilecek en yüksek gerilim ise 26V'tur. Girişteki koruma diyotunun üzerinde düşen 0.6-0.7V civarındaki gerilim ve varistörün müsaade ettiği gerilim dikkate alındığında devrenin harici besleme konektörüne uygulanabilecek gerilim yaklaşık 7Vdc ile 16Vdc aralığında olmalıdır.

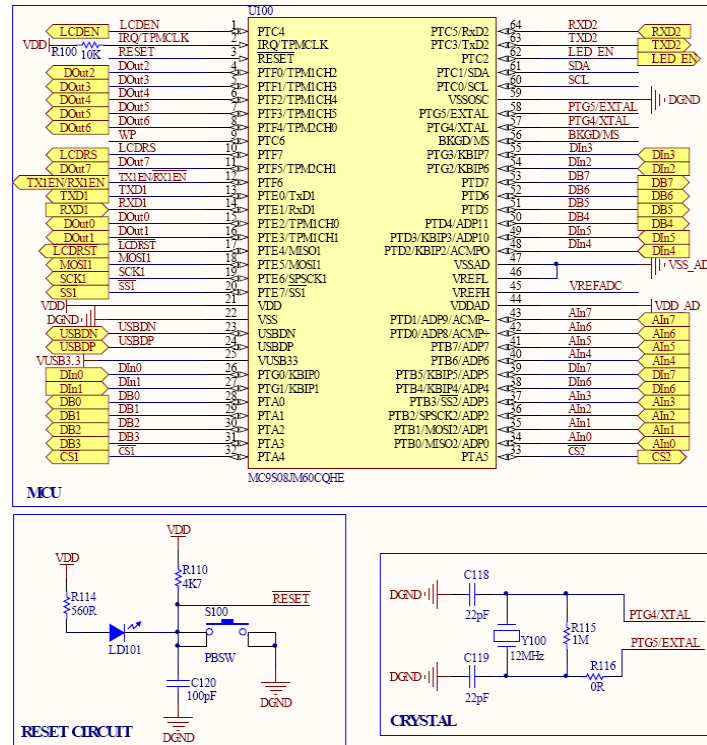
Devrenin USB hattı üzerinden beslenmesi durumunda ise PC beslemesinde oluşabilecek yüksek frekanslı işaretleri filtrelemek amacıyla ortak mod bastırmalı bir hat filtresi

kullanılmıştır. Filtrenin ardından, USB hattı üzerinden 500mA'den fazla akım çekmeyi engelleyen bir akım limit anahtarı kullanılmıştır. Bu anahtar Texas Instruments firması tarafından üretilen TPS2041B tümdevresidir. Alternatif olarak ST firmasının ürettiği STMP2141 tümdevresi de kullanılabilir. Besleme devresinde ayrıca MCU üzerindeki Vusb çıkışındaki gerilimi filtrelemek için uygun kapasiteler kullanılmıştır.

Tüm devre besleme seçim anahtarı çıkışındaki 5V hattından beslenmektedir. Bu hat kartın üzerindeki modüllere EMC kurallarına dikkat edilerek dağıtılmış ve modül besleme girişlerinde birer alçak geçiren filtre üzerinden verilmiştir. Ayrıca 5V hattındaki SMAJ5.0A diyodu ESD koruma amaçlı olup 5V hattına gelecek anlık yüksek gerilimleri söndürmek amacıyla kullanılmıştır. Ekler bölümünde SMAJ5.0A ile ilgili bilgi verilmiştir.

4.3.2 MC9S08JM60 MCU Bağlantıları

Kullanılan mikrodenetleyici MC9S08JM60'ın bağlantıları tasarlanırken, kristal osilatör devresi, programlama ve debug bağlantısı, reset devresi gibi çevresel birimlerin bağlantısı için EK3'te verilen asgari bağlantı şemasına sadık kalınmıştır.

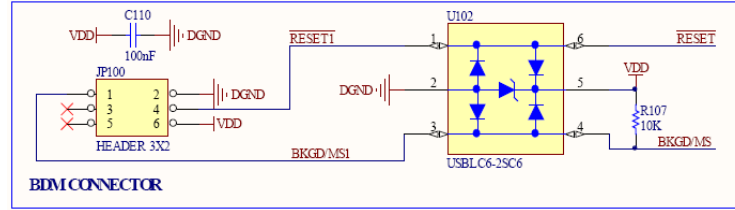


Şekil 4.5 MCU Bağlantıları

USB bağlantısı yapılacağı için Freescale tarafından frekans değeri 12MHz olarak önerilen bir kristal osilatör kullanılmıştır. Ayrıca geliştirme aşamasında kullanmak amacıyla önerilen reset devresine ek olarak bir reset butonu ve bir reset LED'i kullanılmıştır. Devrede enerji varken

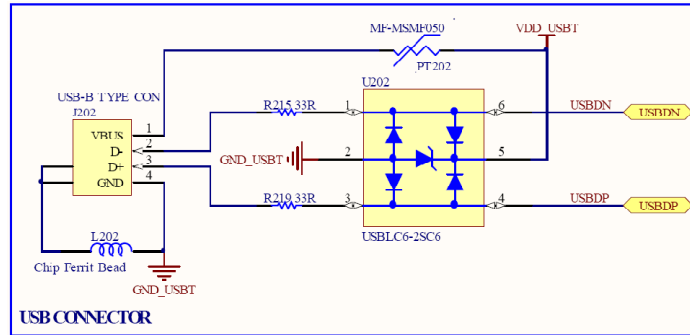
reset butonuna basıldığında MCU'nun reset pini "0" seviyesine düşer ve LED ışık vererek sistemin resetlendiğini gösterir.

MCU'nun programlanması ve yazılım geliştirme aşamasında debug işlemleri Şekil 4.6 'da gösterilen BDM konektörü üzerinden yapılmaktadır. Programlayıcı konektörünün takılıp çıkarılması sırasında ESD tehlikesine karşı ST firması tarafından üretilen USBLC6 kodlu bir ESD koruyucu eleman kullanılmıştır.



Şekil 4.6 BDM programlama ve debug bağlantısı

Aynı devre elemanı USB konektöründen gelen D+ ve D- veri yolu bağlantılarının da korunması amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 4.7 USB Bağlantısı

MCU bağlantıları yapılırken portların özellikleri ve paylaşımlı özel görevleri dikkate alınarak tasarım yapılmıştır. Örneğin IIC veriyolu EEPROM, SPI yolu DAC, UART'lar RS232 ve RS485 çeviriciler, tuş takımı kesme girişleri sayısal girişlere ayrılmıştır. Kalan diğer portlar genel amaçlı olduğu için mümkün olduğunca sistematik bir şekilde kalan giriş-çıkışlara dağıtılmıştır.

4.3.3 Çıkış Birimleri

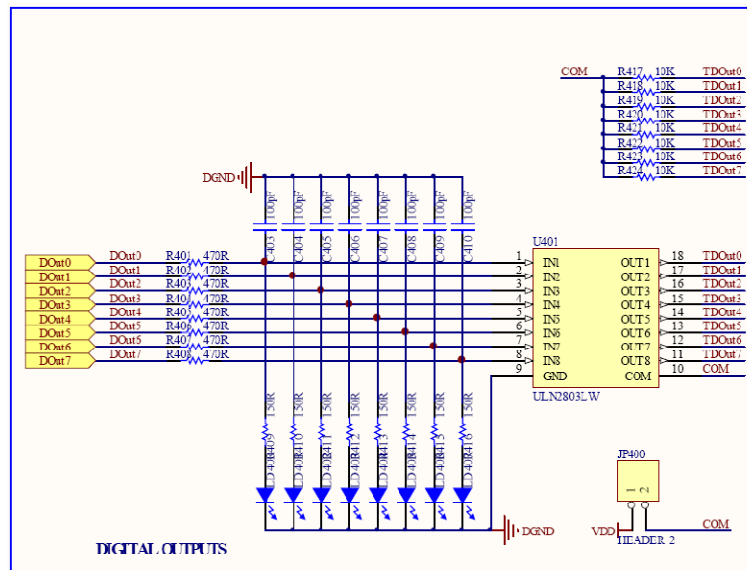
4.3.3.1 Sayısal Çıkış Birimleri

Sayısal çıkış devresinde sürücü olarak ULN2803 darlington transistör dizisi kullanılmıştır. Sürücünün hemen önünde, her çıkış için, geniş bantlı alçak geçiren filtreler bulunmaktadır. Bu filtrenin amacı MCU katındaki yüksek frekanslı işaretlerin sürücü katına aktarılmasını engellemektir. Aynı zamanda sürücü üzerinden beslenebilecek endüktif yüklerin anahtarlanmasından kaynaklanan yüksek frekanslı işaretlerin de MCU tarafına zayıflayarak gelmesini sağlar.

Ayrıca her alçak geçiren filtre çıkışına paralel paralel LED göstergeler bulunmaktadır. Bunlar aslında cihaz kutusu dışından görülmemektedir. Bunların kullanılmasının amacı kart üzerinde yazılım geliştirilmesi sırasında çeşitli işaretlerin tanı (diagnostic) amacıyla dışarıdan gözlemlenebilmesini sağlamaktır.

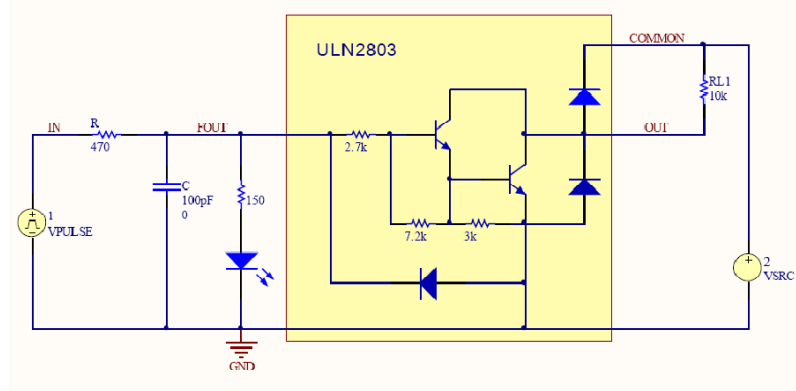
ULN2008 sürücüsü, röle ve DC motor gibi endüstriyel yüklerin sürülmesinde sıkça kullanılan ve akım sürme kapasitesi 8 kanalı için toplamda 2A değerini bulan, kanal başına ise 500mA değerine çıkabilen oldukça sağlam “Open Collector” özellikte bir darlington dizisidir.

Devrenin çıkışları, çıkış klemensi üzerindeki besleme girişinden sürülebileceği gibi JP400 anahtarı kısa devre edilerek sistemin 5V kaynağı üzerinden de beslenebilir. Ancak sayısal çıkış beslemesi olarak dahili 5V kullanılacaksa seçili güç kaynağının akım limitleri dikkate alınmalıdır.



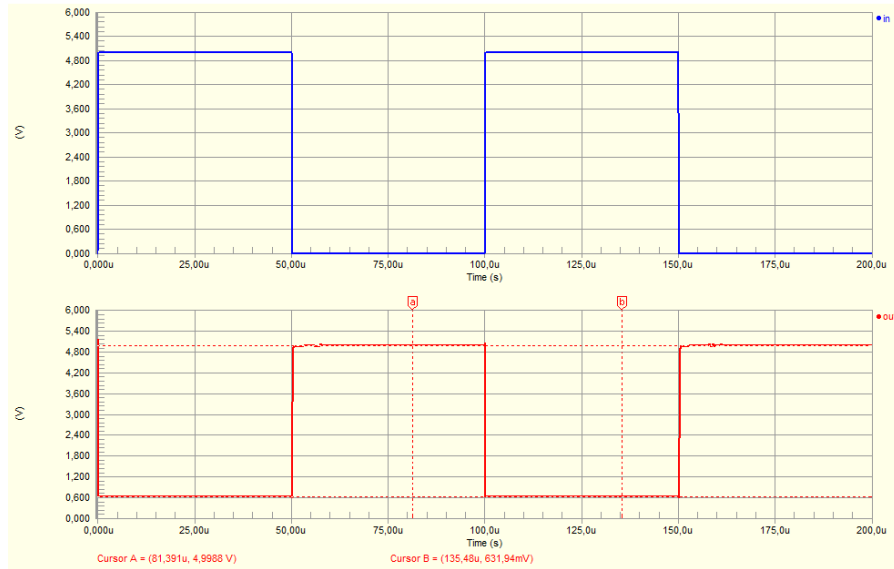
Şekil 4.8 Sayısal çıkış devresi

Şeması Şekil 4.9’da verilen sayısal çıkış devresi 8 kanaldan oluşmaktadır. ULN2803 tümdevresinin kataloğundan yararlanılarak tek bir kanalı için ayrık devre şeması çıkartılmış ve Altium Designer devre tasarımı yazılımı içerisinde benzetilerek incelenmiştir.

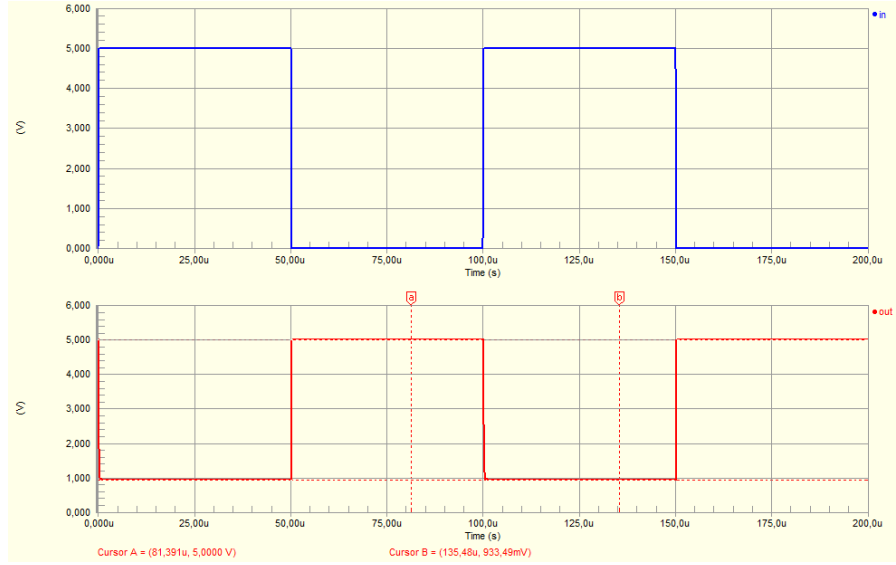


Şekil 4.9 Tek bir sayısal çıkış devresinin ayrık gösterimi ve benzetim bağlantısı

Benzetim sırasında öncelikle devrenin zaman eksenindeki çalışması incelenmiştir. MCU çıkışındaki işaret “1” yani +5Vdc değerine çekildiğinde darlington transistorün bazından yaklaşık 1mA değerinde bir akım akar ve transistörler iletim geçerek çıkış 0V’a yakın bir doyma gerilimine (saturation voltage) düşer. ULN2803 kataloğunda bu değer 200mA için 1V civarında bir değer olarak verilmiştir. 10kΩ ve 20Ω yük dirençleri için iki benzetim yapılmıştır. Girişe 10kHz frekanslı bir kare dalga uygulanarak çıkışın davranışı incelenmiştir.



Şekil 4.10 10k yük direnci ile giriş-çıkış değişimi



Şekil 4.11 20Ω yük direnci ile giriş-çıkış değişimi

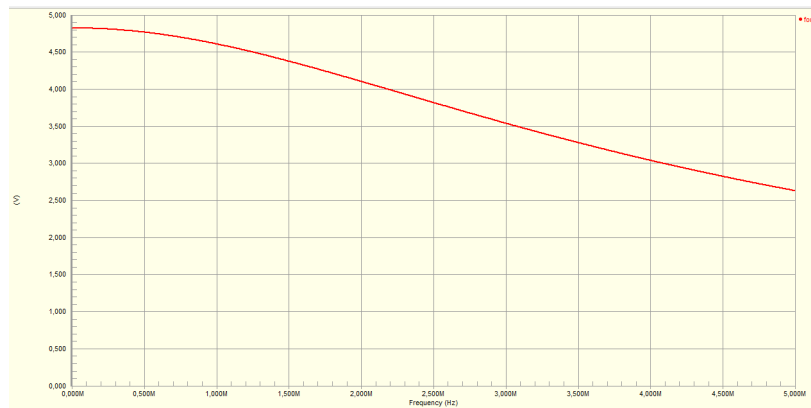
Benzetim sonunda, doyma gerilimi 10kΩ yük direnci için (yaklaşık 0.44mA) 631mV, 20Ω yük direnci için (yaklaşık 200mA) ise 933mV değerinde bulunmuştur.

Sürücü devrenin kesim frekansı aşağıdaki şekilde hesaplayabiliriz.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \text{ Hz} \quad (4.1)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot 470 \cdot 10^{-10}} \approx 3.386 \text{ MHz} \quad (4.2)$$

Yapılan benzetim sonucunda da, aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi yakın bir değer elde edilmiştir.



Şekil 4.12 Sayısal çıkış devresindeki filtrenin frekans cevabı

Darlington çıkışındaki “Common” ucu röle vb. endüktif yüklerin sürülmesi sırasında endüktansın boşaltılabilmesi için kullanılır. Bu diyotun bağlanmaması durumunda, endüktif yükü sürmekte olan darlington çifti tıkamaya girdiğinde endüktans akımı aniden kesildiği için uçlarında ani değişen yüksek bir gerilim oluşacaktır. Bu da sayısal devrelerin kararlılığını etkileyeceği gibi, sürücünün ömrünün kısalmasına hatta yanmasına neden olabilir.

Darlington çıkışındaki yük direnci 10k seçildiğinde doyma gerilimi 0.6V civarında, tıkama gerilimi ise 5V civarındadır. Bu gerilim seviyeleri TTL ve CMOS devrelerinin girişlerine bağlanabilmeyi sağlar. Ancak ULN2803’ün işareti evirdiği unutulmamalıdır. Yani MCU çıkışında “1” seviyesi varken ULN2803 çıkışında “0” seviyesi oluşur.

4.3.3.2 Örneksele Çıkış Birimleri

Genel amaçlı endüstriyel giriş-çıkış birimi örneksele çıkışları 0-5V aralığında çıkış veren 4 kanaldan oluşur. Örneksele gerilim MCU tarafından kontrol edilen DAC124S085 tümdevresi tarafından oluşturulur. National Semiconductors firması tarafından üretilen DAC124S085 12-bit çözünürlüğe sahiptir ve çıkışı rail-to-rail özelliği sayesinde 0V ile 5V arasında tam ölçekte çıkış verebilir.

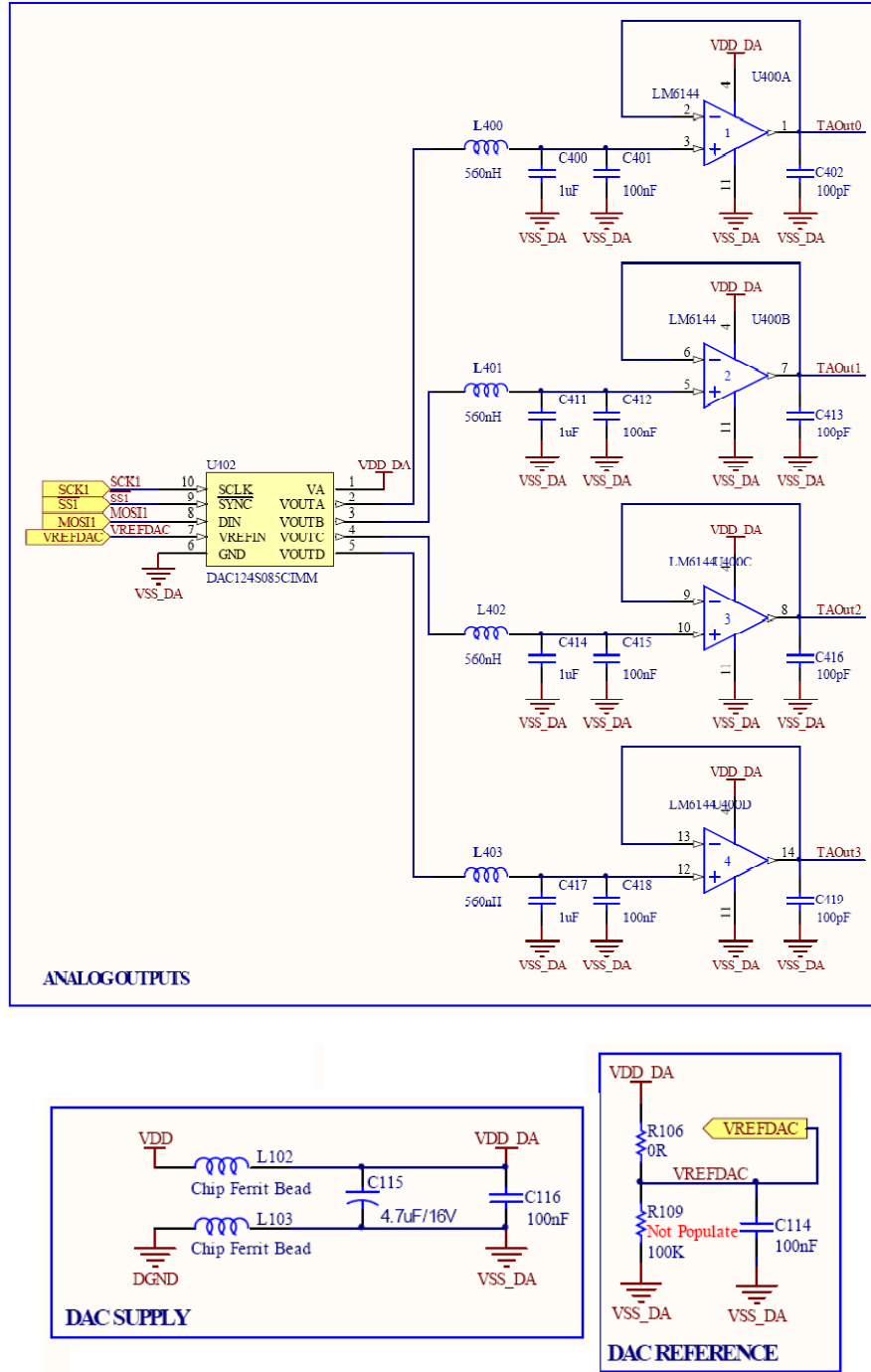
DAC kataloğunda, DAC 5V ile beslendiğinde, çıkışlarından 200 μ A akım çekilmesi durumunda en düşük gerilim seviyesi 7mV ve en yüksek gerilim seviyesi de 4.989 olarak verilmiştir. Çekilen akımın 1mA seviyesine çıkması durumunda bu gerilim aralığı 10mV ile 4.958V aralığına gelir. Bu nedenle, 0-5V aralığının doğrusallığını olabildiğince koruyabilmek ve DAC çıkışlarından fazla akım çekilmesini engellemek için amacıyla yüksek giriş empedanslı bir kuvvetlendirme bloğuna ihtiyaç duyulmuştur.

Kuvvetlendirme işlemi yine National Semiconductors firması tarafından üretilen rail-to-rail özellikteki LM6144 işlemsel yükselteç tümdevresiyle gerçekleştirilen gerilim takipçisi tarafından yapılır. LM6144, rail-to-rail özelliği sayesinde 5V besleme ile 5mV-4.995V aralığında, ve kanal başına 25mA çıkış verebilen bir işlemsel yükselteçtir.

DAC ve gerilim takipçisi bir LC alçak geçiren fitle ile birbirine bağlanmıştır. Bu filtre ile DAC tarafından yapılan sayısal-örneksele dönüşüm gürültülerinin yüksek frekanslı bileşenlerinin zayıflatılması amaçlanmıştır.

DAC, MCU devresine SPI veriyolu ile bağlanmıştır. Örneksele çıkışların güncellenmesi MCU’dan SPI aratüzüyle DAC’ye komutlar gönderilmesi sayesinde gerçekleşir.

Genel amaçlı endüstriyel giriş-çıkış biriminin örneksel çıkış devresi, DAC besleme devresi ve referansı da Şekil 4.13’de gösterilmiştir.



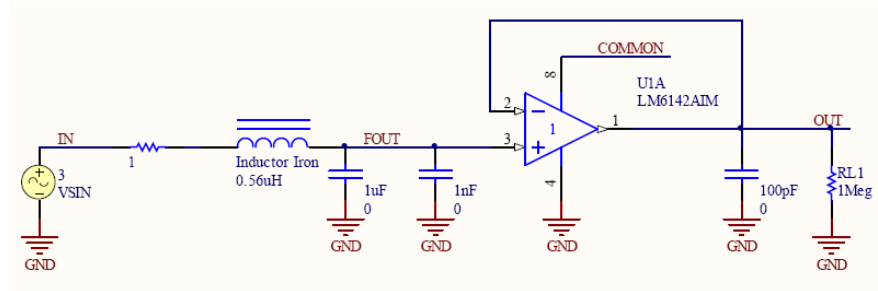
Şekil 4.13 Örneksel çıkış devresi, DAC beslemesi ve referans gerilimi devreleri

DAC çıkışında kullanılan alçak geçiren LC filtrenin köşe frekansı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ Hz} \quad (4.3)$$

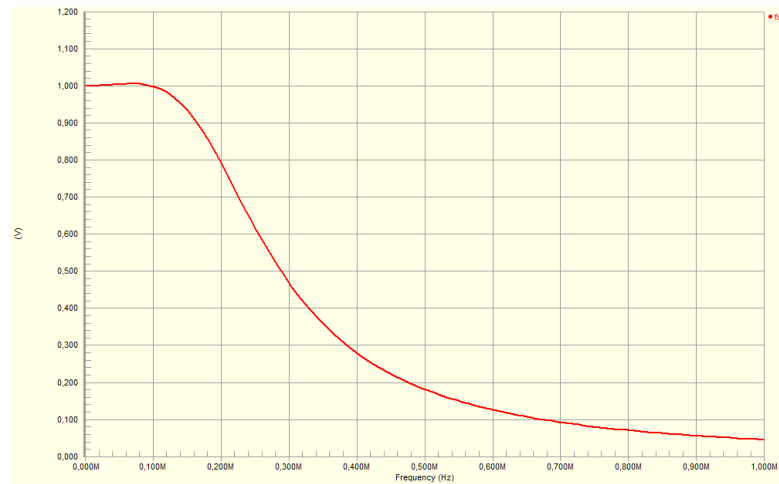
$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{560 \cdot 10^{-9} \cdot 1,1 \cdot 10^{-6}}} \approx 203 \text{ kHz} \quad (4.4)$$

Yapılan benzetim ile DAC çıkışlarından birinin benzetim ortamında gerçekleşmesi ve incelemesi yapılmıştır. Şekil 4.14'te Altium Designer ortamında kurulan benzetim devresi gösterilmektedir.



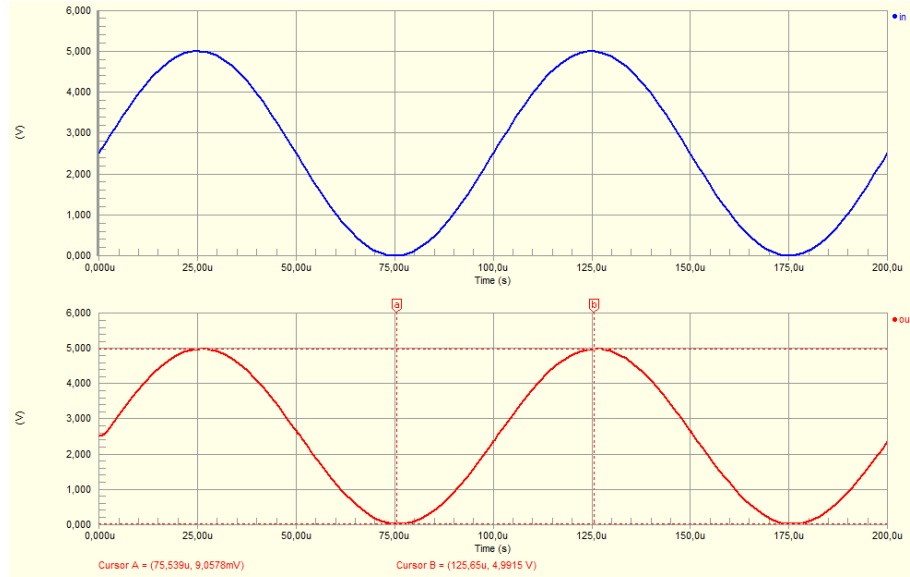
Şekil 4.14 Tek bir kanal için DAC çıkışları benzetim devresi.

Yapılan benzetim sonunda alçak geçiren filtrenin karakteristiği çıkarılmıştır. Aşağıdaki şekilde de görüldüğü gibi (4.4) bağıntısıyla hesaplanan köşe frekansı benzetim sonunda da yaklaşık aynı değerlerde bulunmuştur.

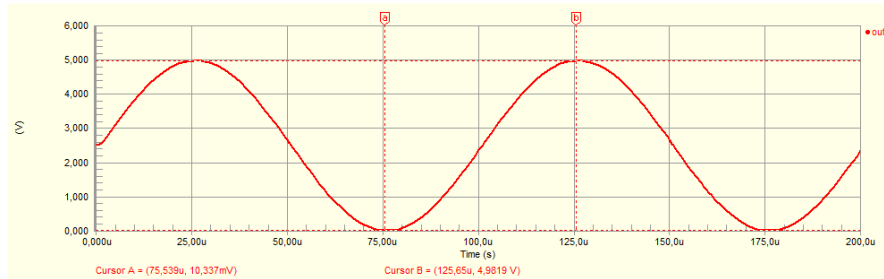


Şekil 4.15 Örneksel çıkış devresindeki filtrenin frekans cevabı

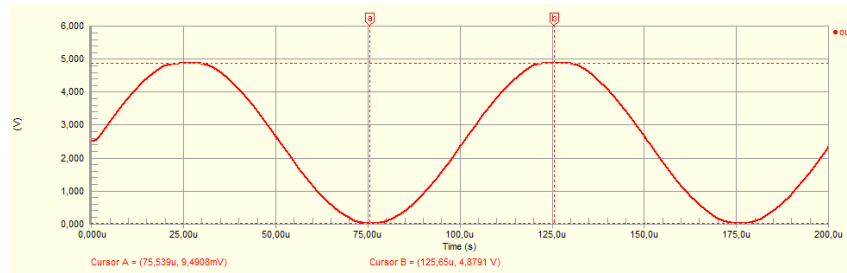
Devrenin çıkış geriliminin işlemsel yükselteç çıkışından çekilen akımla nasıl değiştiğini görmek amacıyla $1\text{M}\Omega$, $10\text{k}\Omega$ ve $1\text{k}\Omega$ yük dirençleriye benzetim yapılarak çıkış gerilimlerinin değişimi incelenmiştir. Sonuçlar aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4.16 $1\text{M}\Omega$ yük direnci ile örnek sel çıkışın değişimi



Şekil 4.17 $10\text{k}\Omega$ yük direnci ile örnek sel çıkışın değişimi

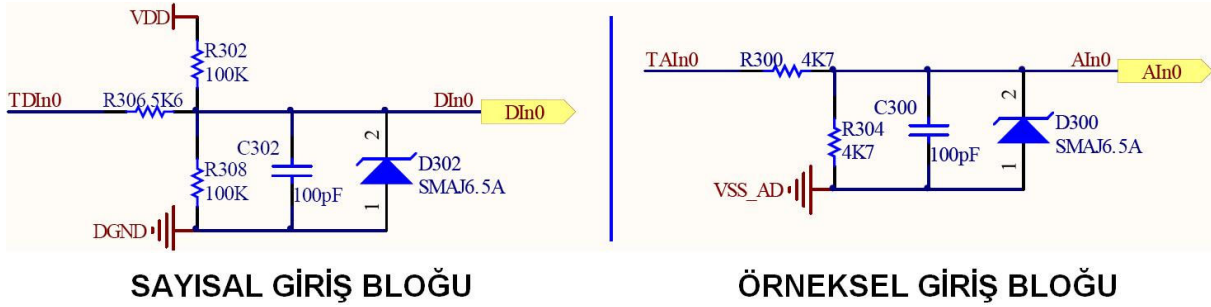


Şekil 4.18 $1\text{k}\Omega$ yük direnci ile örnek sel çıkışın değişimi

4.3.4 Giriş Birimleri*

Endüstriyel ölçüm sistemlerinde kullanılan algılayıcıların çıkış karakteristikleri incelendiğinde çoğu algılayıcının sayısal ve örneksel formda gerilim çıkışı verdiği görülmektedir. Gerçeklenen donanımın giriş birimleri bu tür çıkışların mümkün olduğunca geniş bir kümede uygulanabilmesini sağlayacak yapıda tasarlanmıştır. Sayısal çıkış üreten algılayıcıların ve sayıcı tarafından sayılması istenen işaret gibi diğer sayısal işaretlerin bağlanabileceği sayısal girişler TTL (0-5V) uyumludur. Gerilim çıkışlı birçok algılayıcının doğrudan bağlanabilmesi hedeflenerek örneksel girişler 0-10V aralığını destekleyecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Çıkış aralığı ya da türü desteklenen seviyeler dışında kalan algılayıcılar da basit işaret koşullandırıcı yapılar yardımıyla girişlere uygulanabilir. Örneğin yine endüstriyel uygulamalarda sıklıkla kullanılan 4-20mA akım çıkışlı algılayıcılar bir direnç ve koşullandırıcı yardımıyla örneksel girişlere uygulanabilir.

Giriş bağlantılarındaki işaretler koruma elemanları ve alçak geçiren filtre üzerinden geçirilerek sayısal girişler mikrodnetleyicinin sayısal giriş uçlarına, örneksel girişler de mikrodnetleyicinin dahili ADC modülüne uygulanmaktadır. Şekil 4.19'da örneksel ve sayısal giriş bloklarında yer alan devre yapıları birer giriş için gösterilmiştir, sistem detaylı özellikleri ilerleyen bölümlerde verilecek olan 8 adet örneksel girişi ve 8 adet sayısal girişi desteklemektedir.



Şekil 4.19 Sayısal ve örneksel giriş blokları

4.3.4.1 Sayısal Giriş Birimleri

Sayısal girişler ele alındığında bağlantı terminalinden girilen işaretin ilk önce akım sınırlayıcı bir dirençten geçirilerek alçak geçiren bir filtreye uygulandığı ve filtre çıkışının ani gerilim yükselmelerini baskılayacak bir TVS diyodu ile paralellenerek mikrodnetleyicinin sayısal giriş uçlarına uygulandığı görülmektedir.

* Bu bölüm Fatih Gerenli tarafından yürütülen paralel tez çalışmasından derlenmiştir.

Girişteki $5.6k\Omega$ 'luk seri direnç, aynı zamanda akım sınırlama görevini de görmektedir.

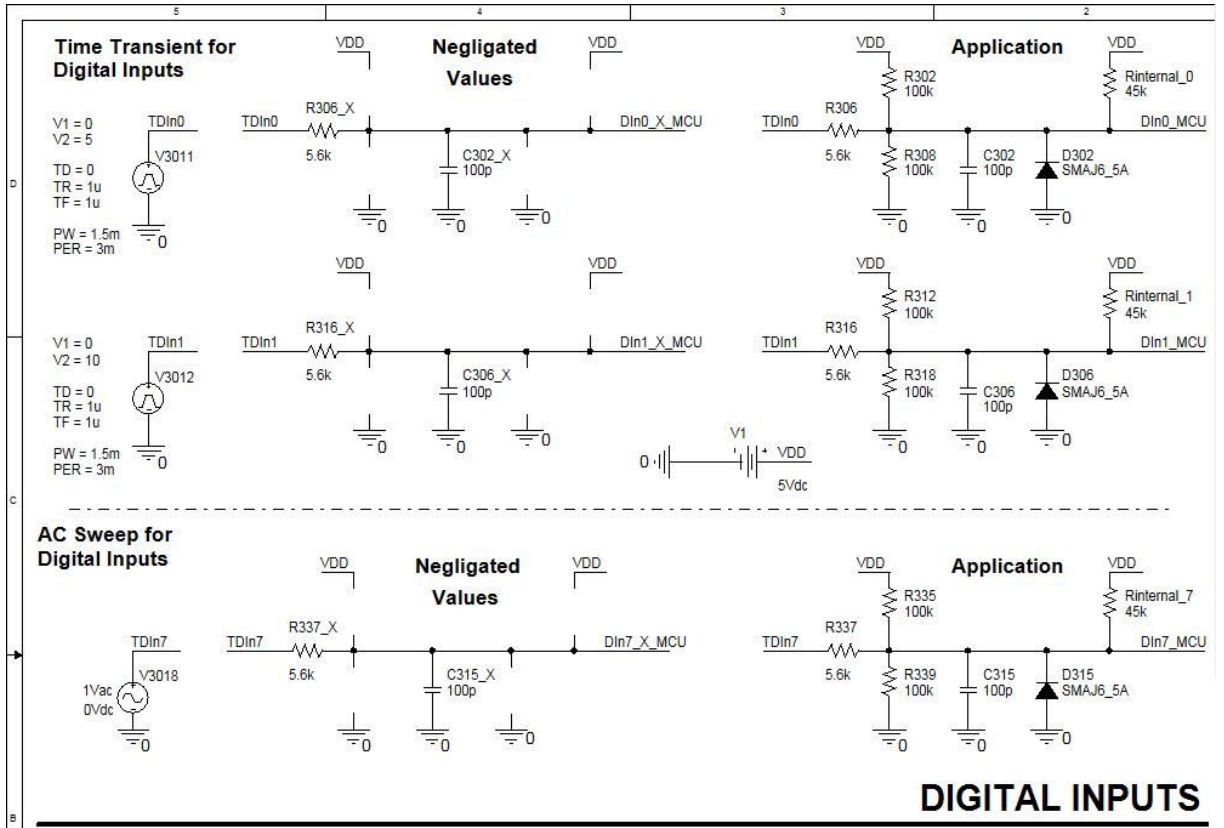
$$P_R = I^2 \cdot R \quad (4.5)$$

Gerçeklemede uygulanan direnç çeyrek watt ($0.125W$) gücünde karbon film direnç olarak seçilmiştir, dolayısıyla direnç güç hesabı bağıntısı (4.5) yardımıyla $5.6k\Omega$ 'luk direncin üzerinden akıtılacak akımın üst sınırının $I = 6.681mA$ olduğu hesaplanabilir. Bu sınırın üzerinde bir akım akıtmaya çalıştığımızda direnç ısınarak kendisi hasar görecektir ve karbon filmi dirençlerin yapısından dolayı açık devre halini alacaktır. Böylelikle mikrodenetleyicinin sayısal girişi yüksek akımdan korunacaktır. Direnç arızalansa bile değiştirilmesi kolay bir eleman olduğu için mikrodenetleyicinin giriş uçlarının hasar görmemesi tercih edilmiştir.

Akım sınırlayıcı dirençten sonra yer alan $100k\Omega$ 'luk pull-up ve pull-down dirençleri, MCU dahili pull-up direncinin kullanılmadığı durumda giriş ucunun bir seviyede tutulmasını sağlayarak salınımını engellemek amacıyla eklenmiştir. İsteğe bağlı olarak uygulanabilir.

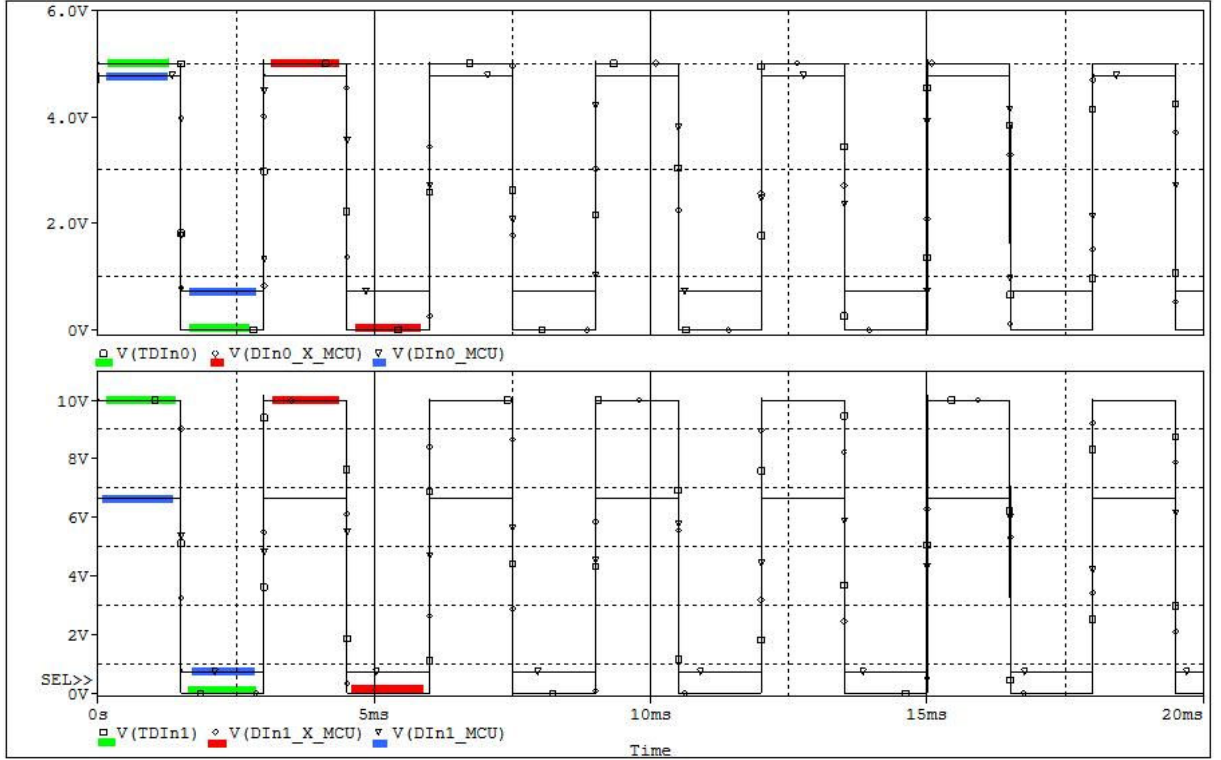
Bu blokta yer alan TVS diyodu, kırılma gerilimi aşıldığında çok hızlı bir şekilde ters yönde iletme geçerek akımı kendi üzerinden toprağa akıtması yoluyla ani gerilim dalgalanmalarını bastırması için kullanılan koruma elemanıdır.

Şekil 4.19'da devrenin zaman domeninde (Time-Transient) ve frekans domeninde (AC-Sweep) ORCAD pSpice AD programı ile simülasyonu yapılabilmesi için ORCAD CIS ortamında kurulmuş olan temsili sayısal giriş blokları verilmiştir. Temsili bloklar oluşturulurken harici pull-up ve pull-down dirençleri, MCU dahili pull-up direnci ve TVS diyodunun etkilerinin gözlenebilmesi için (özellikle TVS diyodunun girişleri nasıl koruduğunun anlaşılması), ilk önce bu elemanların olmadığı durum simüle edilmiş, daha sonra uygulamada gerçekleşen şekilde tüm elemanlarla sayısal giriş blokları oluşturularak simülasyon tekrarlanmıştır.



Şekil 4.20 Simülasyon amacıyla oluşturulan sayısal giriş blokları

Şekil 4.21’de zaman domen simülasyon sonuçları görülmektedir. İlk grafik, blok giriş gerilimini, sadece akım sınırlayıcı direnç ve kondansatörden oluşan durum için blok çıkış gerilimini (MCU sayısal girişi) ve yine tüm elemanlarla gerçekleştirme durumu için blok çıkış gerilimini (MCU sayısal girişi) göstermektedir. Giriş gerilimi 0-5V aralığında değişen bir TTL işaret olarak uygulanmıştır. İkinci grafik ise yine ilk grafikteki incelenen düğüm gerilimlerini girişi 0-10V arasında değiştiği durum için vermektedir, böylelikle TVS koruma diyodunun etkisinin gösterilmesi hedeflenmiştir.

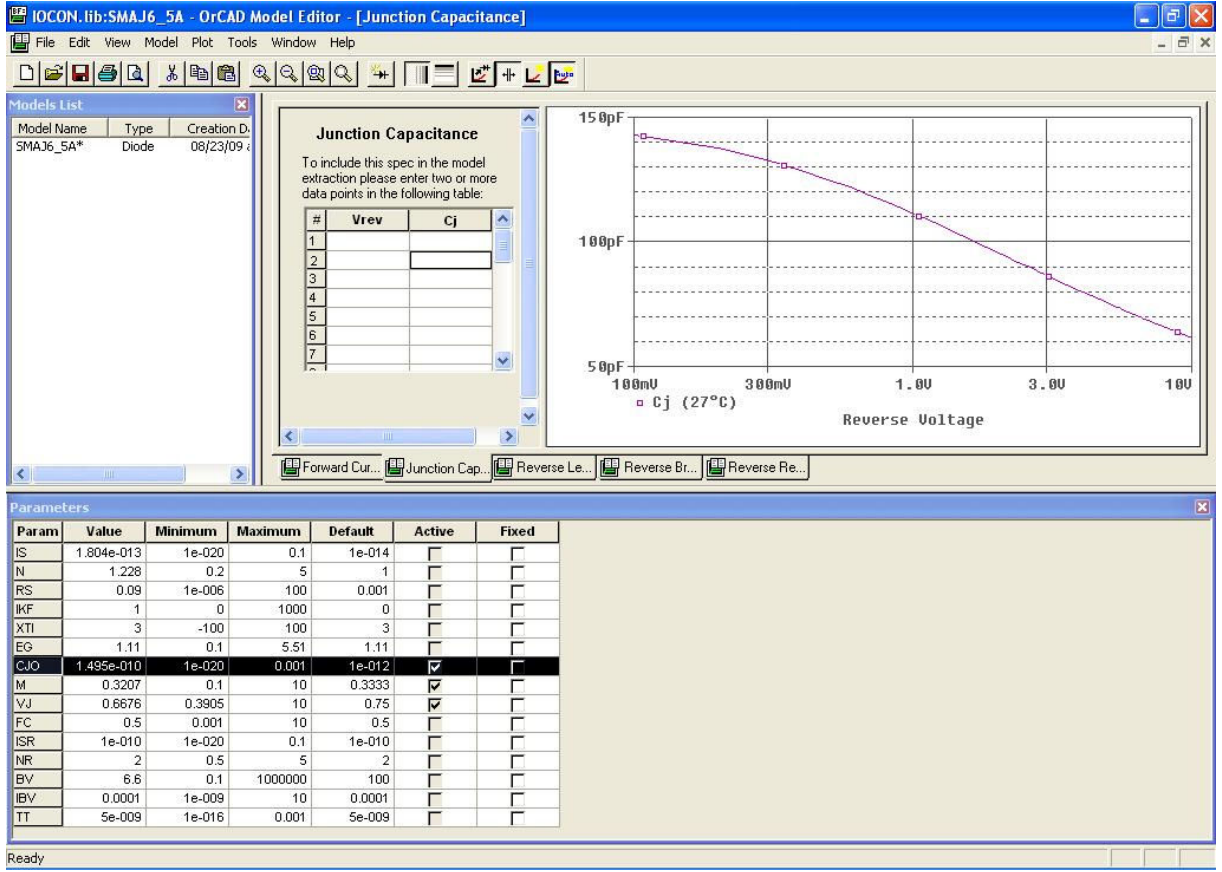


Şekil 4.21 Sayısal giriş bloklarının pSpice simülasyonunda zaman yanıtı

Alçak geçiren RC filtrenin köşe kesim frekansı (4.6) bağıntısı ile elde edilir.

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \quad (4.6)$$

Harici pull-up ve pull-down dirençleri, mikrodenetleyicinin dahili pull-up direnci ve TVS diyodunun jonksiyon kapasitesi ihmal edilerek $R = 5.6k\Omega$ ve $C = 100pF$ için köşe frekansı $f_c \approx 284.205kHz$ olarak hesaplanacaktır. Ancak ihmal edilen elemanların etkisini de değerlendirdiğimizde aslında bu elemanların, özellikle de TVS diyodunun etkisinin oldukça büyük olduğu görülmektedir çünkü TVS koruma diyonu ters yön gerilimiyle ters orantılı, 50-150pF arasında değişen bir jonksiyon kapasitesine sahiptir (Şekil 4.22).



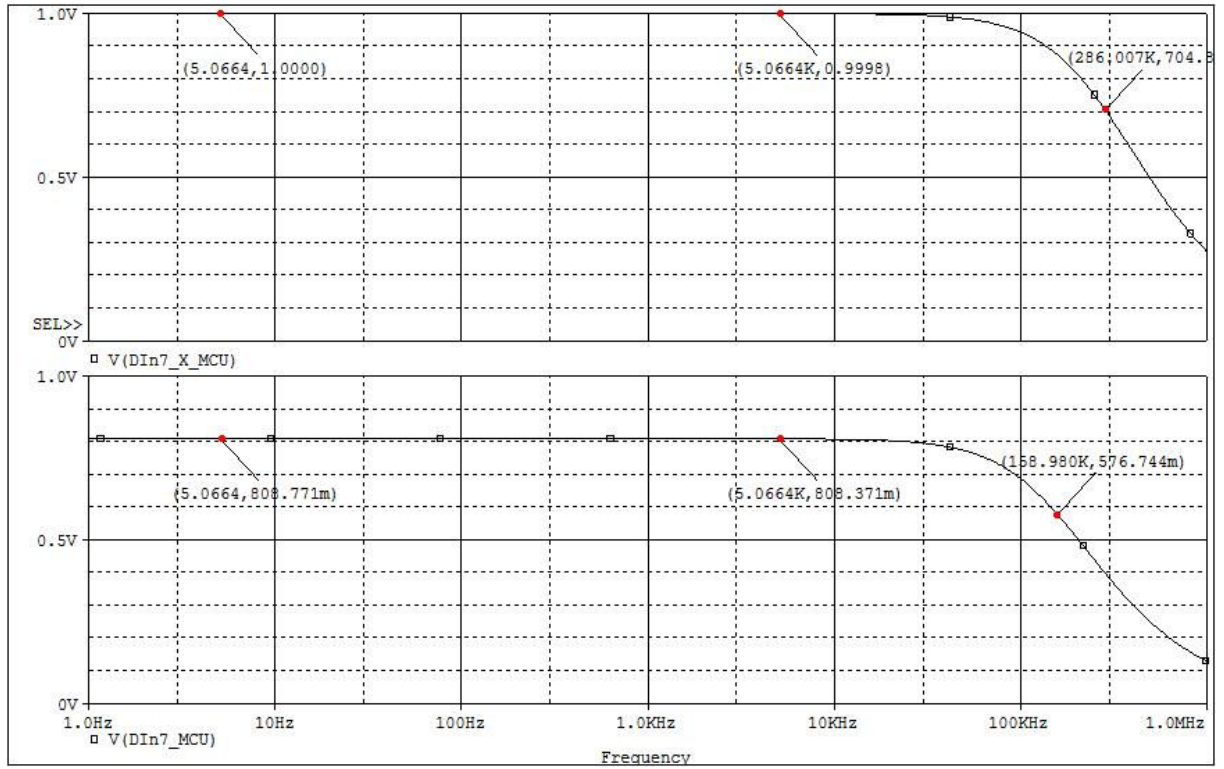
Şekil 4.22 SMAJ6.5A TVS diyodu pSpice model parametreleri

Dolayısıyla harici pull-up ($100k\Omega$) ve pull-down ($100k\Omega$) direnci, MCU dahili pull-up ($\sim 45k\Omega$) direnci ve TVS diyodu jonksiyon kapasitesi ($\sim 150pF$) de köşe kesim frekansında değerlendirilmelidir. Eşdeğer kapasite C_E , paralel olma durumu için (4.7) bağıntısı ile elde edilebilir.

$$C_E = \sum_{i=1}^n C_i \quad (4.7)$$

Eşdeğer kapasite $C_E = 250pF$ olarak hesaplanır. $R = 5.6k\Omega$ ve $C = C_E = 250pF$ için köşe kesim frekansı yine (4.6) bağıntısı yardımıyla $f_c \approx 113.682kHz$ olarak hesaplanır. Bu hesaplamada yine DC kaynaklara doğrudan bağlı elemanlar (pull-up ve pull-down dirençleri) dikkate alınmamıştır, bu elemanların sonuca etkisi simülasyon çıktılarında ele alınacaktır. Kapasite değeri 2.5 katına çıktığı için kesim frekansı oldukça etkilenmiştir. Sayısal girişlerin frekans yanıtı ve simülasyonu için Şekil 4.20’de verilen sadece akım sınırlayıcı direnç ve kondansatörden kurulu basitleştirilmiş sayısal giriş bloğu ve gerçek uygulamadakine eşdeğer kurulan giriş bloğuna dair pSpice AD frekans yanıtı Şekil 4.23’te verilmiştir. İlk grafik basitleştirilmiş giriş bloğuna, ikinci grafik ise gerçek uygulamadakine eşdeğer giriş bloğuna

aıttır.



Şekil 4.23 Sayısal giriş bloklarının pSpice simülasyonunda frekans yanıtı

Grafikler üzerindeki köşe frekansı (4.8) bağıntısı ışığında $-3dB$ fark oluşturan genlik seviyesinin elde edilmesiyle kestirilebilir.

$$A(dB) = 20 \cdot \log_{10} A \quad (4.8)$$

Basitleştirilmiş blok için $f = 0Hz$ için $A = 1000mV$ olduğundan $-3dB$ seviyesi $707.945mV$ seviyesine denk gelmektedir, bu seviye için frekans yaklaşık olarak $f \approx 286kHz$ olarak okunur ki bu da hesaplanan değere oldukça yakındır. Benzer şekilde tüm elemanların eklendiği gerçek durumun simülasyonunu gösteren grafikte $f = 0Hz$ için $A = 808.771mV$ olduğundan $-3dB$ seviyesi $572.566mV$ seviyesine denk gelmektedir, bu seviye için frekans yaklaşık olarak $f \approx 159kHz$ olarak okunur, bu değer hesaplanan $113.682kHz$ değerinden büyüktür, bu etki hesaplamada dikkate alınmamış pull-up ve pull-down dirençlerinden kaynaklanmaktadır.

4.3.4.2 Örneksele Giriş Birimleri

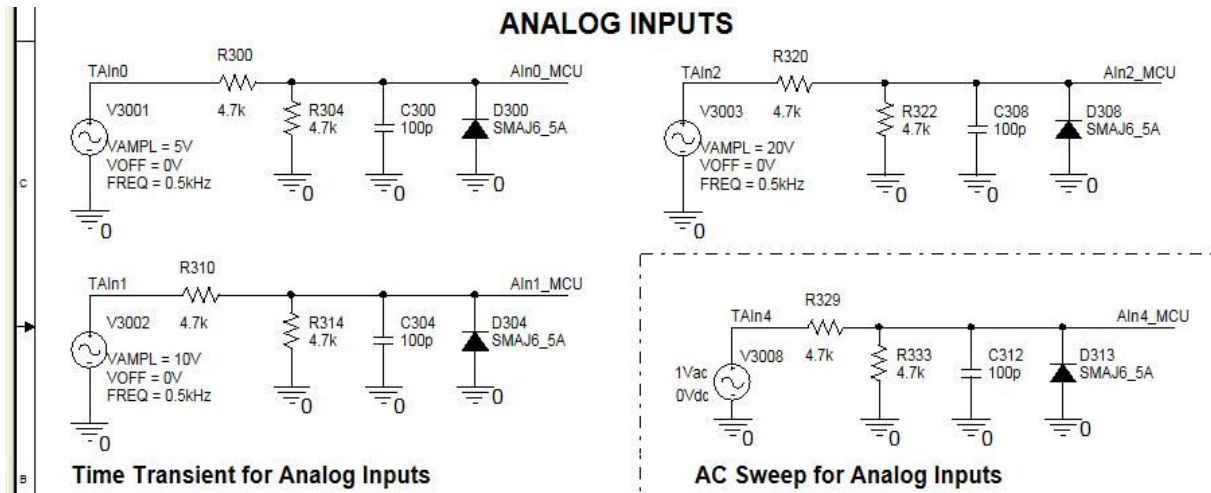
Bağlantı terminalinden girilen örneksele işaretler ilk önce akım sınırlayıcı bir dirençten geçirilerek bir gerilim bölücü devre yardımıyla ikiye bölündükten sonra alçak geçiren bir filtreye uygulanmakta ve filtre çıkışı, ani gerilim yükselmelerini baskılayacak bir TVS diyodu ile paralellenerek mikrodenetleyicinin örneksele-sayısal-dönüştürücü çevresel birimine

uygulanmaktadır.

Girişteki gerilim bölücüde yer alan ve giriş koluna seri bağlı $4.7k\Omega$ 'luk direnç, aynı zamanda akım sınırlama görevini de görmektedir. Gerçeklemede uygulanan direnç $1/8$ watt ($0.125W$) gücünde karbon film direnç olarak seçilmiştir, dolayısıyla direnç güç hesabı bağıntısı (5.1) yardımıyla $4.7k\Omega$ 'luk direncin üzerinden akıtılacak akımın üst sınırının $I = 5.157mA$ olduğu hesaplanabilir. Bu sınırın üzerinde bir akım akıtmaya çalıştığımızda direnç ısınarak kendisi hasar görecektir ve karbon filmi dirençlerin yapısından dolayı açık devre halini alacaktır. Böylelikle mikrodenetleyicinin ADC çevresel biriminin girişi yüksek akımdan korunacaktır.

Akım sınırlayıcı dirençten sonra yer alan paralel koldaki $4.7k\Omega$ 'luk direnç, giriş geriliminin ikiye bölünmesine olanak sağlamaktadır. Mikrodenetleyicinin ADC girişi $0-5V$ aralığındaki gerilimlerle çalışabilmektedir, ancak ardıl yaklaşım (SAR) tipi gömülü ADC modülü oldukça hızlı çalışmaktadır ve 12-bit gibi yüksek bir çözünürlüğe sahiptir. Dolayısıyla girişteki gerilimin ikiye bölünmesinin oluşturacağı örnekleme hatası, yüksek çözünürlük sayesinde ihmal edilebilir seviyelerde olacaktır. Gerilim bölücü yapı sayesinde $0-10V$ aralığındaki örneksel işaretlerin girişlerinin yapılmasına olanak tanınarak daha geniş tayfta bir algılayıcı kümesinin kapsanması hedeflenmiştir. Ancak dirençlerin tolerans farkından kaybolacak hataların minimize edilebilmesi için bu blokta yer alan dirençler düşük toleransı seçilmelidir.

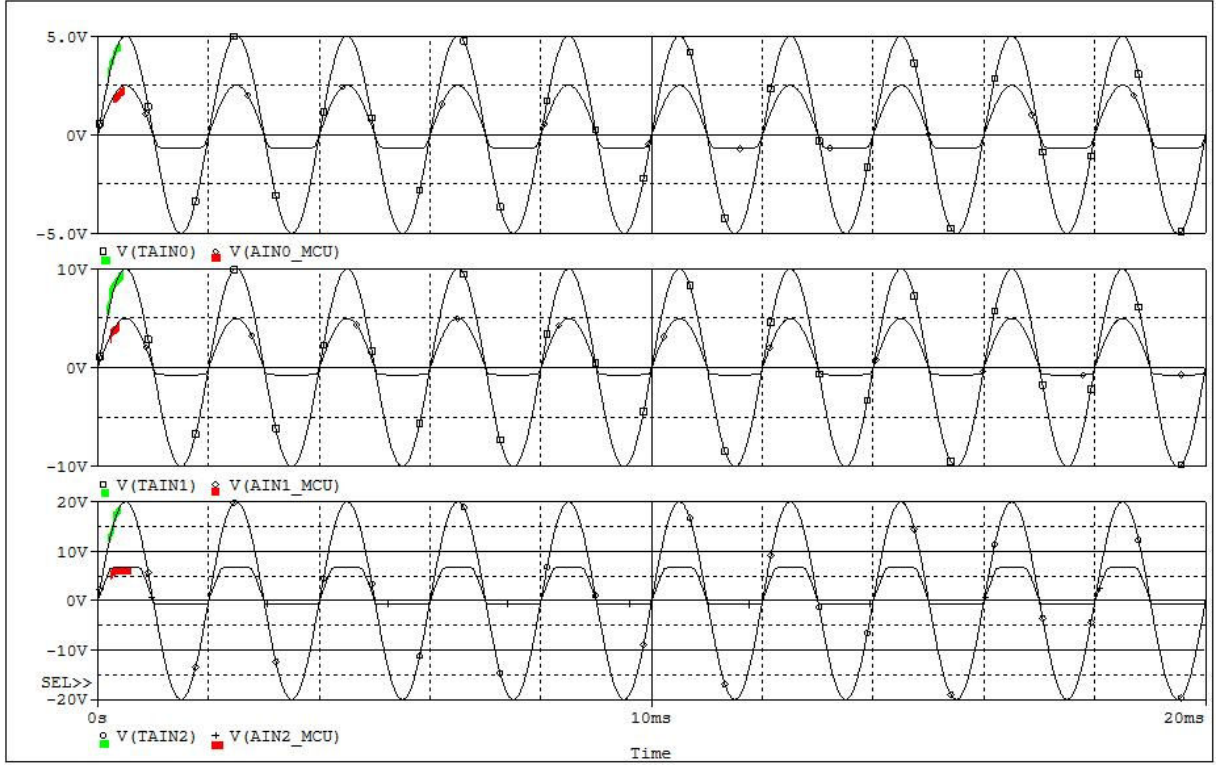
Bu blokta da koruma amaçlı yer alan TVS diyodu, gerilim bölücünün çıkışındadır ve bölünmüş işaretin üst seviyesini kontrol etmektedir.



Şekil 4.24 Simülasyon amacıyla oluşturulan örneksel giriş blokları

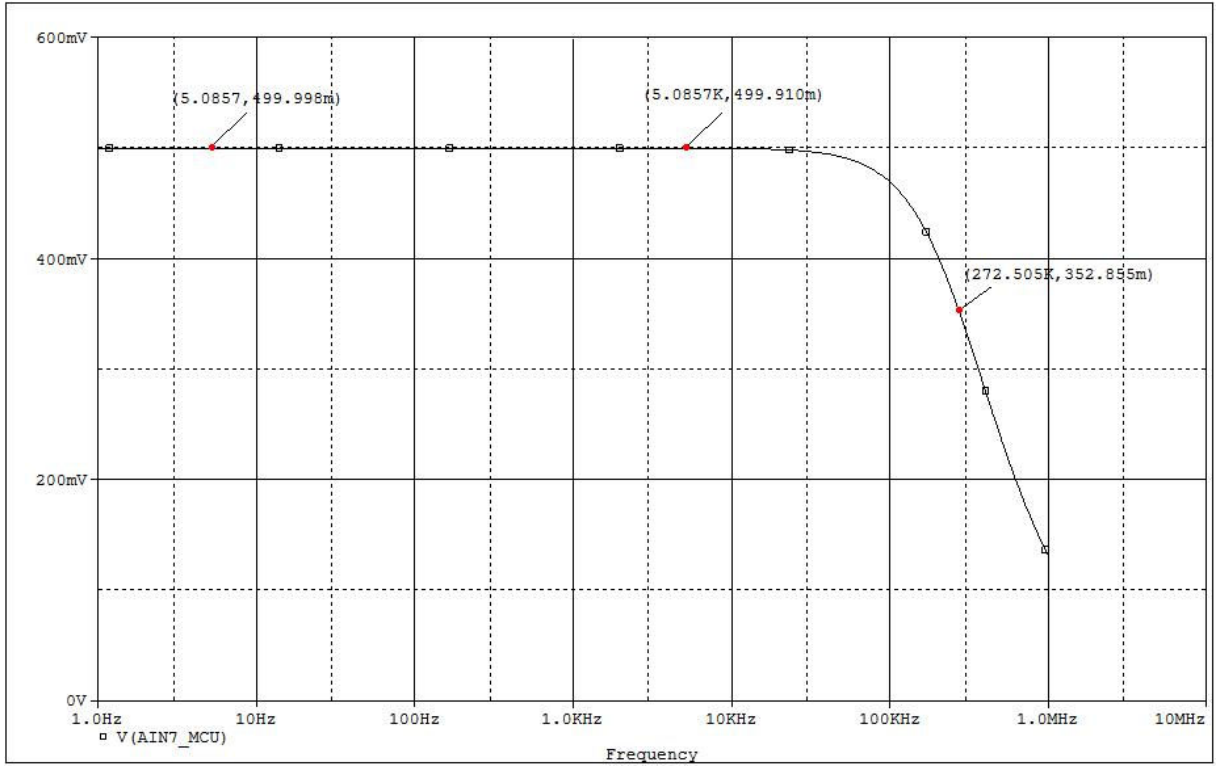
Şekil 4.23'te devrenin zaman domeninde (Time-Transient) ve frekans domeninde (AC-Sweep) ORCAD pSpice AD programı ile simülasyonu yapılabilmesi için ORCAD CIS ortamında kurulmuş olan temsili örneksel giriş blokları verilmiştir.

Şekil 4.24'te örneksel giriş bloklarının pSpice programı ile elde edilmiş zaman yanıtı farklı giriş gerilimleri için görülmektedir. Gerilim bölücü ile giriş aralığının yükseltildiği ikinci grafikten, TVS koruma diyodunun yerine getirdiği koruma fonksiyonu ve kazanımları da üçüncü grafikten incelenebilir. Bölünmüş giriş gerilimi TVS ters yön gerilimi civarında sabitlenmiştir.



Şekil 4.25 Örneksel giriş bloklarının pSpice simülasyonunda zaman yanıtı

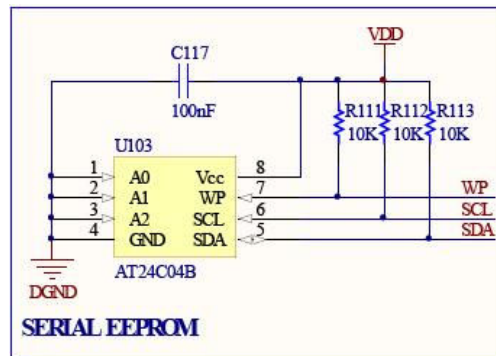
Örneksel giriş bloğuna dair pSpice AD frekans yanıtı Şekil 4.26'da verilmiştir. Grafik üzerindeki köşe frekansı (4.8) bağıntısı ışığında $-3dB$ fark oluşturan genlik seviyesinin elde edilmesiyle kestirilebilir. $f = 0Hz$ için $A = 500mV$ olduğundan $-3dB$ seviyesi $353.972mV$ seviyesine denk gelmektedir, bu seviye için frekans yaklaşık olarak $f \approx 272kHz$ olarak okunur.



Şekil 4.26 Örnekse giriş bloklarının pSpice simülasyonunda frekans yanıtı

4.3.5 Harici EEPROM Bellek

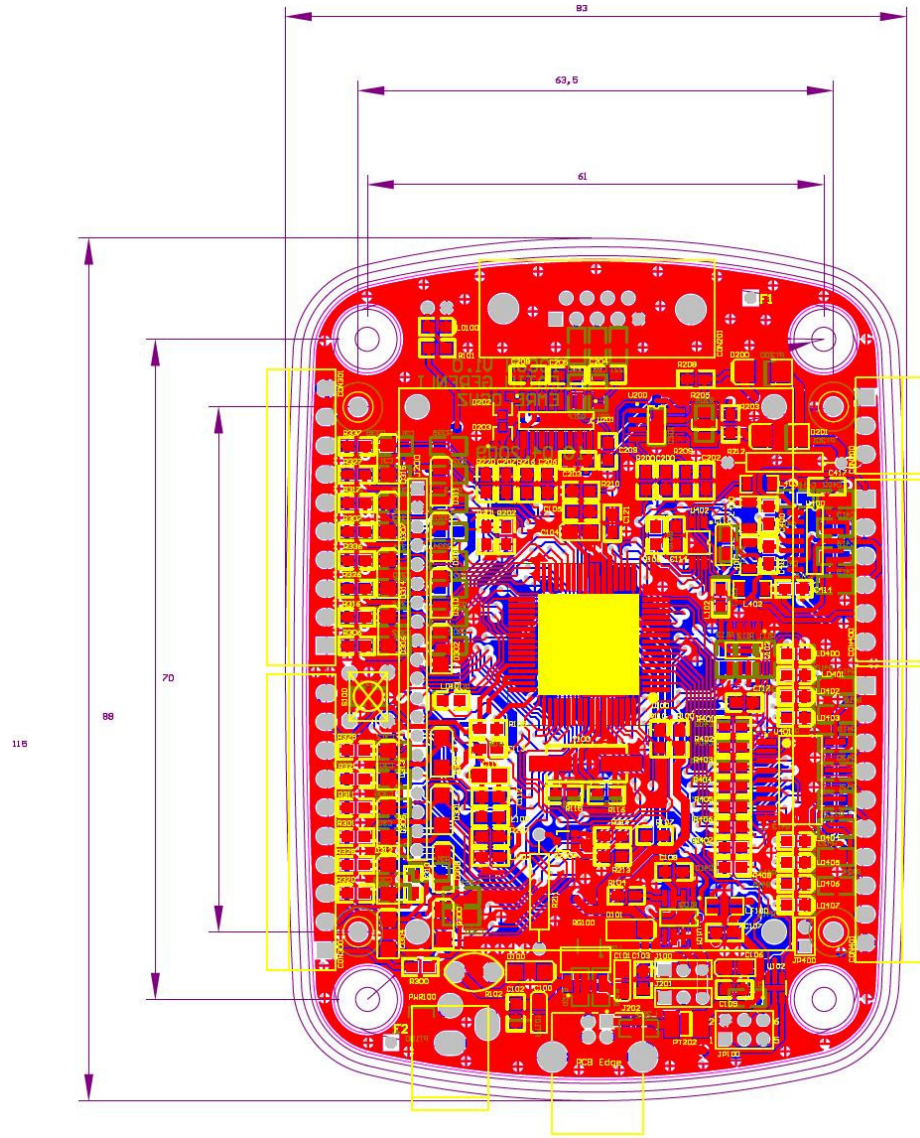
PC tarafından USB üzerinden gönderilen yapılandırma bilgilerinin kalıcı olarak saklanması için, Atmel firması tarafından üretilen AT24C128 EEPROM tümdevresi kullanılmıştır. EEPROM, MCU'ya IIC protokolu ile bağlanarak gerekli verileri indekslenmiş adreslere yazar bu verileri okur. EEPROM'un bağlantısı şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.27 Harici EEPROM bağlantısı

4.4 Baskı Devre Üretimi ve Cihazın Kutulanması

Donanım tasarımı adımında devre yapısı ve şematiği oluşturulduktan sonra arayüz hazırlanmasına paralel olarak baskı devre çizim adımına geçilmiştir. Baskı devre çiziminin ilk adımında uygun bir elektronik cihaz kutusu tedarik edilmiş ve devrenin dış sınırları buna göre belirlenmiştir. Baskı devre tasarımı Altium firması tarafından geliştirilen Altium Designer ortamında yapılmış ve üretim dosyaları elde edilerek “Baskı Devre AŞ” firmasında baskı devre ürettirilmiş, elemanlar kendimiz tarafından lehimlenmiştir. Şekil 4.28’de baskılı devre tasarım adımından bir ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.28 Baskı devre tasarımı ekran görüntüsü

4.5 Yazılım Özellikleri*

Sistemin yazılım akışı en genel haliyle uç birimdeki MC9S08JM60 mikrodenetleyici yazılımı tarafından denetlenen sistem saat döngüsünün belirli periyotlarında ($200\mu s$) girişlerin okunması, çıkış değerlerinin güncellenmesi, okunan değerlerin bilgisayarda koşturma olan LabVIEW insan makine arayüzüne USB arabirimi üzerinden aktarılması ve bu bilgilerin arayüzdeki grafik ve göstergelerde gösterilmesi şeklinde özetlenebilir. Girişlerin okunmasıyla ilgili parametreler ve çıkışlarda güncellenecek değerler ve bu değerlerle ilgili parametreler arayüzde oluşturulan yapılandırma dizisinin USB arabirimi üzerinden gönderilmesiyle mikrodenetleyiciye bildirilmektedir. Bilgisayar arayüzünden bir buton yardımıyla yeni bir yapılandırma dizisi gönderildiğinde mikrodenetleyici yazılımı ilgili yapılandırma dizisini uygulamaya başlar ve aynı zamanda bu yapılandırma bilgisini harici belleğe kaydeder.

Bilgisayar ile mikrodenetleyicinin haberleşebilmesi için bir veri paket yapısı oluşturulmuştur. Yapının bilgisayardan uç birim yönüne olan yapısı Şekil 4.28 ve Şekil 4.30’da görülmektedir.

	1 bit Mesaj Tipi	3 bit Kanal Tipi		4 bit Kanal No	
Byte0	0: Özellik Güncelleme	0 0 0: Sayısal Giriş	0 0 0 0:	0	
		0 0 1: Sayısal Çıkış	0 0 0 1:	1	
	1: Veri tablosu güncelleme	0 1 0: Analog Giriş	0 0 1 0:	2	
		0 1 1: Analog Çıkış	0 0 1 1:	3	
		1 0 0: RS232	0 1 0 0:	4	
		1 0 1: RS485	0 1 0 1:	5	
		1 1 0: LCD	0 1 1 0:	6	
		1 1 1: boş	0 1 1 1:	7	
			1 0 0 0:	boş	
			1 0 0 1:	boş	
			1 0 1 0:	boş	
			1 0 1 1:	boş	
			1 1 0 0:	boş	
			1 1 0 1:	boş	
			1 1 1 0:	boş	
			1 1 1 1:	boş	
Byte1	Özellik Güncelleme İse	Parametre 1			
	Veri Tablosu Güncellemesi İse	Paket No = n (0,...n)			
Byte2	Özellik Güncelleme İse	Parametre 2			
	Veri Tablosu Güncellemesi İse	Veri byte[(n*6)] // HIGH{Sample[(n*3)]}			
Byte3	Özellik Güncelleme İse	Parametre 3			
	Veri Tablosu Güncellemesi İse	Veri byte[(n*6)+1] // LOW{Sample[(n*3)]}			
Byte4	Özellik Güncelleme İse	Parametre 4			
	Veri Tablosu Güncellemesi İse	Veri byte[(n*6)+2] // HIGH{Sample[(n*3)+1]}			
Byte5	Özellik Güncelleme İse	Parametre 5			
	Veri Tablosu Güncellemesi İse	Veri byte[(n*6)+3] // LOW{Sample[(n*3)+1]}			
Byte6	Özellik Güncelleme İse	Parametre 6			
	Veri Tablosu Güncellemesi İse	Veri byte[(n*6)+4] // HIGH{Sample[(n*3)+2]}			
Byte7	Özellik Güncelleme İse	Parametre 7			
	Veri Tablosu Güncellemesi İse	Veri byte[(n*6)+5] // LOW{Sample[(n*3)+2]}			

Şekil 4.29 Bilgisayardan uç birim yönüne veri aktarım protokolü

* Bu bölüm Fatih Gerenli tarafından yürütülen paralel tez çalışmasından derlenmiştir.

	Örneksele Giriş	Sayısal Giriş
Parametre 1	Ekranda gösterilecek örnek sayısı / SAMPLES TO PLOT (AIN) (GUI için özellik / 4 farklı seçenek: 50 - 100 - 150 - 200)	Ekranda gösterilecek örnek sayısı / SAMPLES TO PLOT (DIN) (GUI için özellik / 4 farklı seçenek: 50 - 100 - 150 - 200)
Parametre 2	Örnekleme Çarpanı / SAMPLING FACTOR (AIN) (GUI için özellik / 1::50 ++)	Örnekleme Çarpanı / SAMPLING FACTOR (DIN) (GUI için özellik / 1::50 ++)
Parametre 3	5V/10 Seçimi (1: 5V - 2: 10V)	CNT CH.x EDGE SELECTON / Available only for CH.0 and CH.1 (0: Falling - 1: Rising)
Parametre 4	Boş	Boş
Parametre 5	Boş	Boş
Parametre 6	Boş	Boş
Parametre 7	Boş	Boş

	Örneksele Çıkış			Sayısal Çıkış
Parametre 1	1 bit Kaynak Seçimi (bit 7 - MSB) TPM/GUI (AOUT)	2 bit İşaret Dalga Şekli SIGNAL WAVEFORM	5bit Faz PHASE	1 bit Kaynak Seçimi (bit 7 - MSB) TPM/GUI (DOUT)
	0 :TPM	0 0 : Sinüs	nx15 derece	0 :TPM
		0 1 : Üçgen		
	1 :GUI	1 0 : Testere		1 :GUI
		1 1 : Kare		
Parametre 2	Genlik / AMPLITUDE			Darbe Zamanı / ON TIME FACTOR
Parametre 3	DC Bileşen / OFFSET			Boşluk Zamanı / OFF TIME FACTOR
Parametre 4	Çıkış Çevrim Sayısı (High) / CYCLES			Başlangıç Seviyesi Seçimi / START LEVEL
Parametre 5	Çıkış Çevrim Sayısı (Low)			Boş
Parametre 6	Güncelleme Çarpanı / REFRESH FACTOR			Boş
Parametre 7	Örnek Sayısı / SAMPLES			Boş

Şekil 4.30 Bilgisayardan uç birim yönüne veri aktarım protokolü detayları

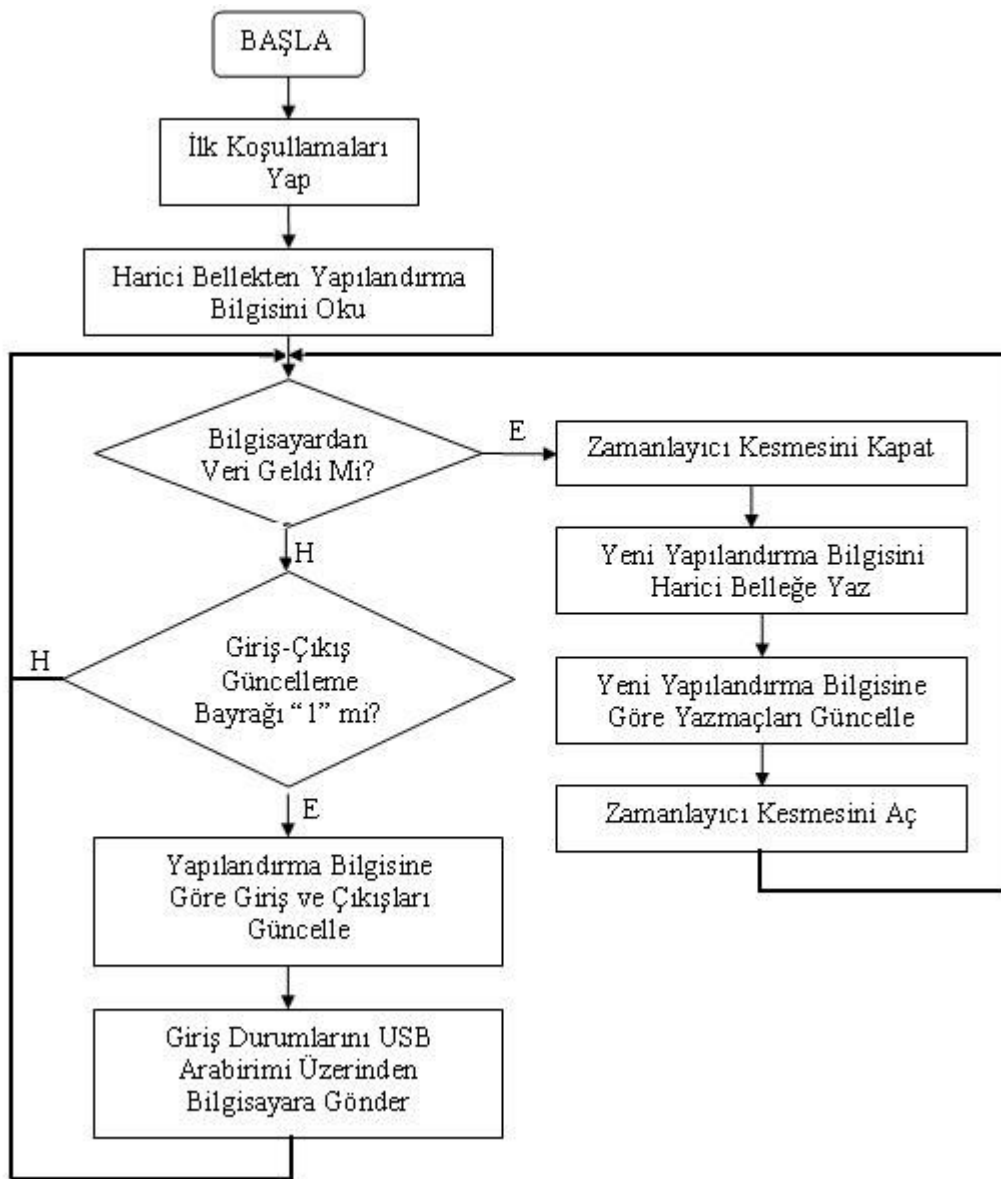
Mikrodenetleyicili sistem tarafında ise okunan giriş durumlarının bilgisayar arayüzüne bildirilebilmesi için Şekil 4.31'deki veri paket yapısı oluşturulmuştur.

Byte 0	HDR 0	Byte 16	AIN3 High
Byte 1	HDR 1	Byte 17	AIN3 Low
Byte 2	HDR 2	Byte 18	AIN4 High
Byte 3	CMD	Byte 19	AIN4 Low
Byte 4	CMD Parameter	Byte 20	AIN5 High
Byte 5	Sequence High	Byte 21	AIN5 Low
Byte 6	Sequence Low	Byte 22	AIN6 High
Byte 7	DIN	Byte 23	AIN6 Low
Byte 8	Core Temp High	Byte 24	AIN7 High
Byte 9	Core Temp Low	Byte 25	AIN7 Low
Byte 10	AIN0 High	Byte 26	CNT0 High
Byte 11	AIN0 Low	Byte 27	CNT0 Low
Byte 12	AIN1 High	Byte 28	CNT1 High
Byte 13	AIN1 Low	Byte 29	CNT1 Low
Byte 14	AIN2 High	Byte 30	FTR0
Byte 15	AIN2 Low	Byte 31	FTR1

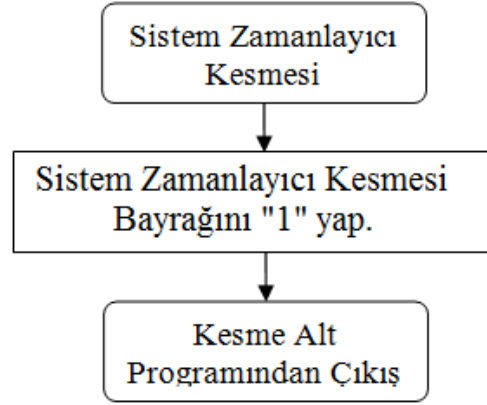
Şekil 4.31 Uç birimden bilgisayar yönüne veri aktarım temel yapısı

4.5.1 MC9S08JM60 Mikrodenetleyici Yazılımı

Mikrodenetleyici yazılımı, MC9S08JM60 mikronetleyicisinin üreticisi olan Freescale Semiconductor firması tarafından sağlanan CodeWarrior uygulama geliştirme ortamında C programlama dili kullanılarak hazırlanmıştır. Genel olarak iki parçadan oluşur. Birincisi sistemin reset sonrası koşullandırıldığı, kişisel bilgisayar ile USB bağlantısının kurulduğu ve kişisel bilgisayardan daha önceden gönderilen yapılandırma dizisinin harici bellekten okunduğu sistem ilklendirme bölümüdür. İkincisi ise içinde zamana bağlı örnekleme, güncelleme, haberleşme işlemlerinin yapıldığı sistem sonsuz döngü programıdır. Mikrodenetleyici yazılımı akış diyagramı Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'te verilmektedir.



Şekil 4.32 Mikrodenetleyici yazılımı akış diyagramı



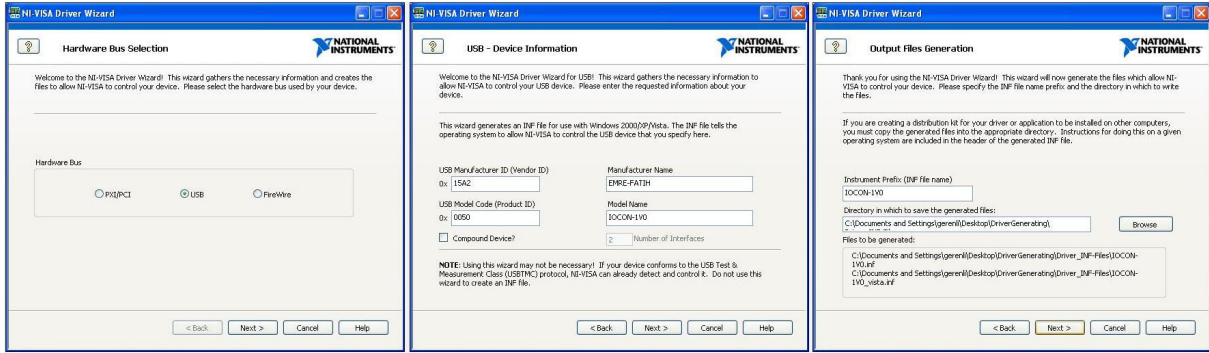
Şekil 4.33 Mikrodenetleyici yazılımı kesme alt programı akış diyagramı

İklendirme işlemleri tamamlandıktan sonra sistem saat döngüsü çalışmaya başlar ve zamanlayıcı kesmelerinde ($200\mu s$ periyot) bir bayrak “1” yapılarak bir sonraki giriş örnekleme işleminin yapılacağı ve çıkışların güncelleneceği sonsuz döngüye bildirilir. Sonsuz döngü programı o an için bilgisayardan bir veri alma işlemi yoksa ve girişlerin okunarak çıkışların güncelleneceğini bildiren bayrak “1” ise giriş-çıkış işlemlerini yapar. Sonsuz döngü esnasında bilgisayardan yeni bir yapılandırma dizisi geldiğinde bu yapılandırma dizisinin tamamının alınıp sağlıklı bir şekilde harici belleğe kaydedilmesine olanak sağlamak amacıyla sistem zamanlayıcı kesmesi deaktif edilir ve haberleşme ve kayıt işlemi tamamlandığında zamanlayıcı tekrar aynı periyoda kurularak yeni yapılandırma dizisine göre giriş-çıkış işlemleri yürütülür.

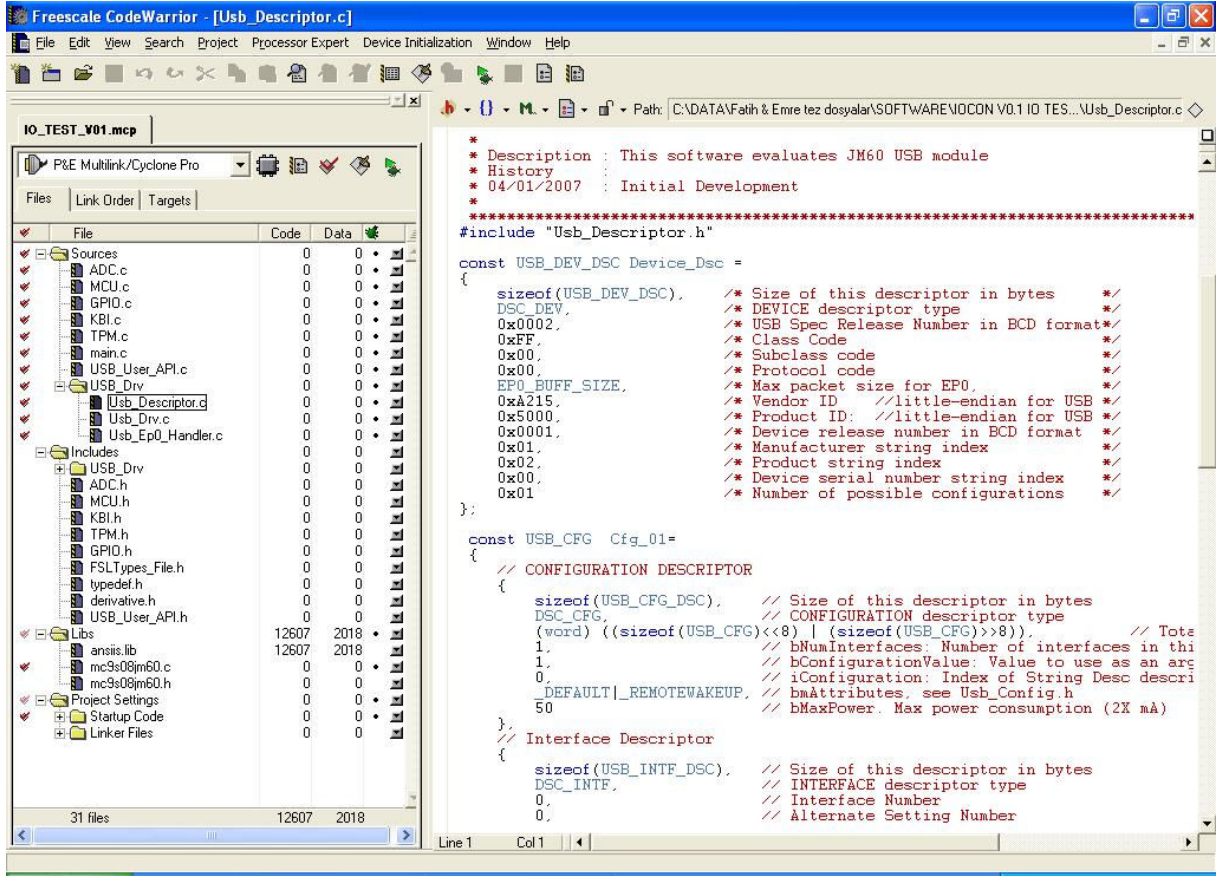
Mikrodenetleyici yazılımı kaynak kodları EKLER bölümünde verilmiştir.

4.5.2 LabVIEW Arayüzü ve Yazılımı

LabVIEW arayüzü girişlerin durumlarının sayısal ve grafiksel olarak izlendiği ve giriş ve çıkışlar için yapılandırma dizisi oluşturularak bunların uç birime gönderildiği sekmelerden oluşmaktadır. Uç birim ile USB arabirim üzerinden haberleşmenin sağlanması NI VISA sürücü yazılımları ile sağlanmaktadır. Mikrodenetleyicili endüstriyel otomatik ölüm sisteminin bu sürücü tarafından otomatik olarak tanınarak bilgisayar arayüzündeki cihaz listesinde görüntülenmesi için “NI VISA Driver Wizard” uygulaması ile bir bilgi dosyası (*.inf) oluşturulur (Şekil 4.34). Bu dosya oluşturulurken donanım birinde gömülü olarak kodlanmış üretici kimliği (Vendor ID) ve ürün kimliği (Product ID) gibi bilgiler de kullanılmaktadır (Şekil 4.35).



Şekil 4.34 NI VISA Driver Wizard ile sürücü bilgi dosyasının oluturulması

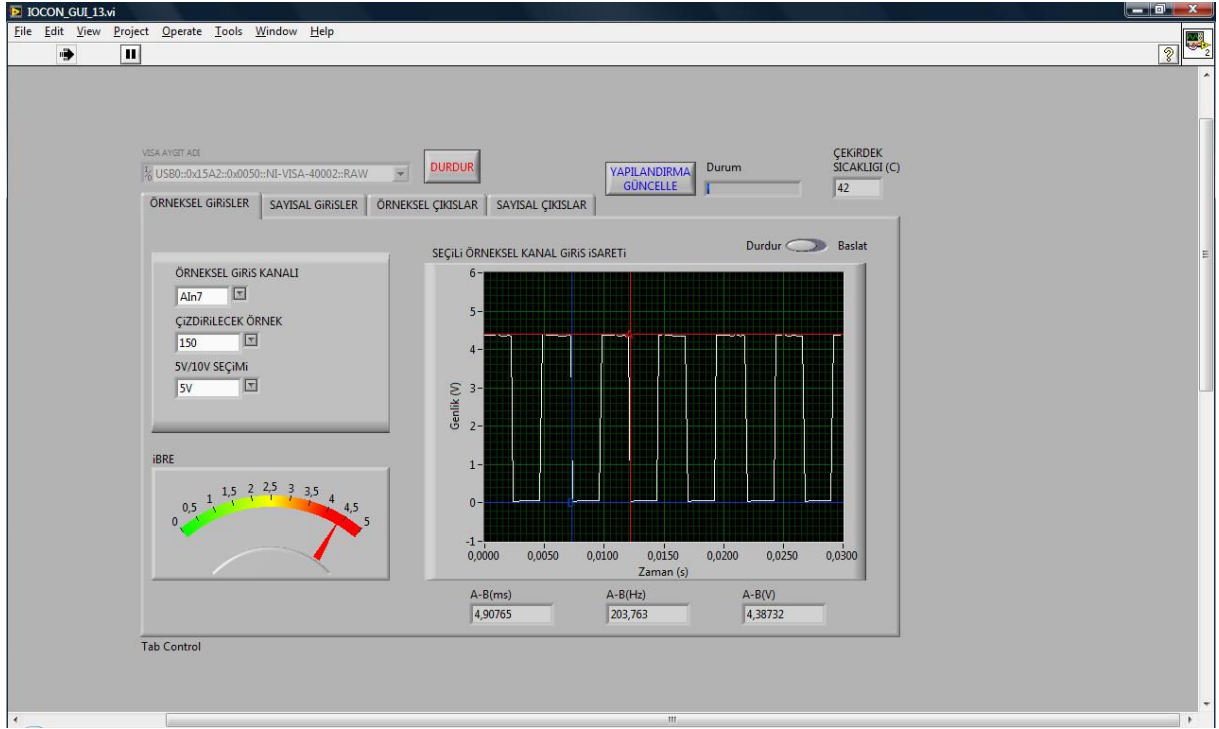


Şekil 4.35 Sürücü bilgi dosyası oluşturulabilmesi için Vendor ID ve PID

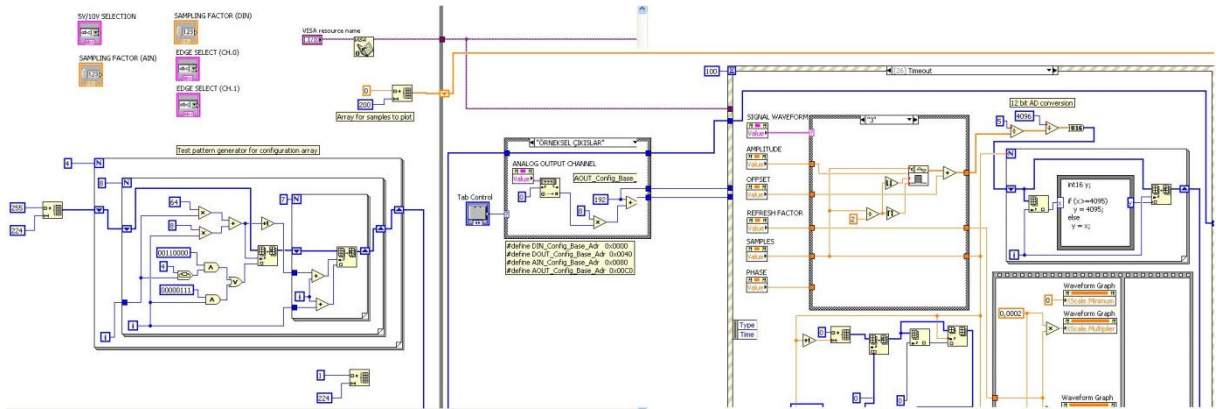
LabVIEW arayüzü tasarlanırken mümkün olduğunca kullanıcı dostu bir yapı oluşturulmaya çalışılmış, örnek girişler, sayısal girişler, örnek çıkışlar ve sayısal çıkışlar farklı sekmelerde ele alınmıştır. Arayüz yazılımı ön paneldeki nesnelerin değişiminden kaynaklı olayların ele alındığı ve buna göre yapılandırma dizilerinin oluşturulduğu ve gerektiğinde bu dizilerin USB arabirim üzerinden gönderildiği bir sonsuz çevrim ile, bu sonsuz çevrim içinde USB arabirimden veri okuma ve bu verilerin ekrandaki nesne ve grafiklerde gösterildiği paralel adımlardan oluşmaktadır.

Kullanıcı girişlerin durumlarını sekmelerin arasında gezerek ve her sekmede istediği kanalı seçerek anlık olarak inceleyebilmektedir. Yapılandırma bilgisinin oluşturulması ise sekmelerde yer alan parametrelerin nesneler yardımıyla kullanıcı tarafından seçilmesi üzerine bu bilgilerin bir yapılandırma dizisi içine kaydedilmesi ve gönderme butonu aracılığıyla kullanıcının istediği zamanda bunların USB arabirim üzerinden mikrodenetleyicili sisteme gönderilmesi temeline dayanır.

Arayüzün ön panel görüntüsü ve blok diyagramı sırasıyla Şekil 4.36 ve 4.37’de verilmiştir.



Şekil 4.36 Bilgisayar arayüzü ön panel görüntüsü



Şekil 4.37 Bilgisayar arayüzü blok diyagramından bir görünüm

LabVIEW ortamında geliştirilen bilgisayar arayüzü okumaya ve değiştirmeye açık sanal enstrüman olarak EKLER bölümünde verilmiştir.

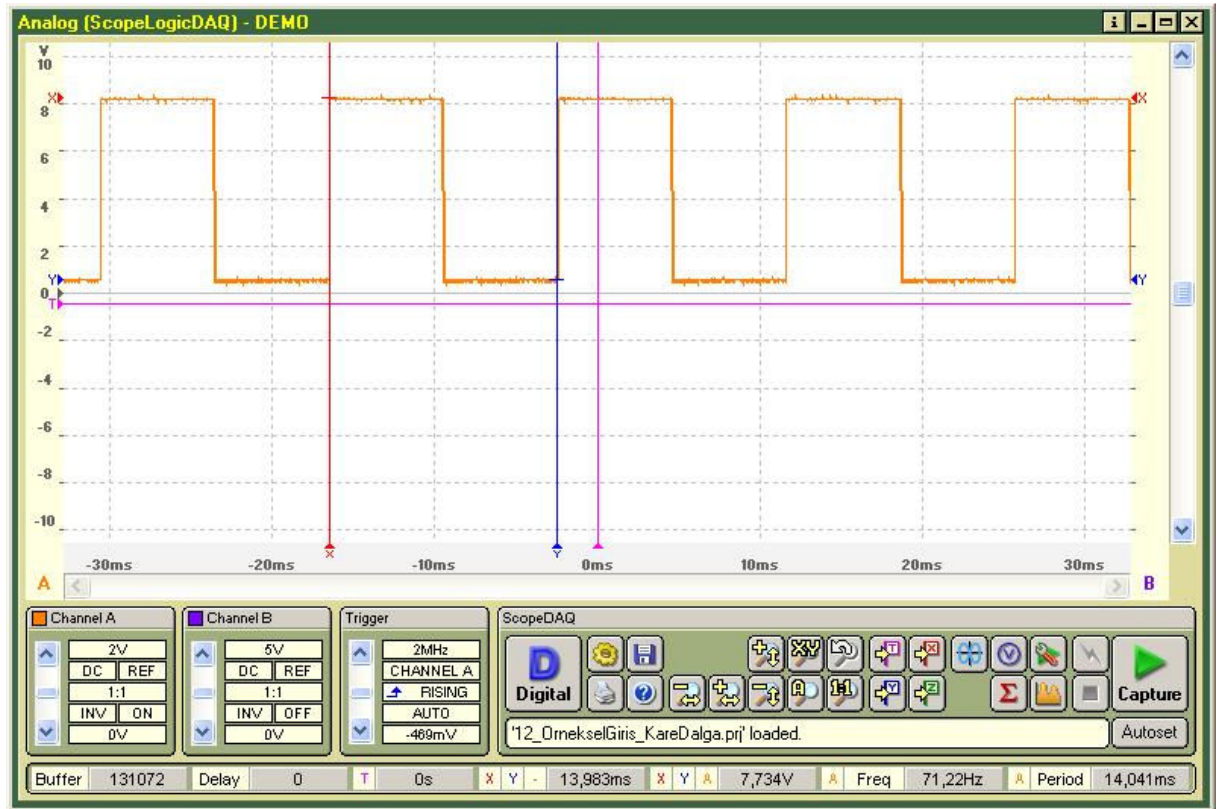
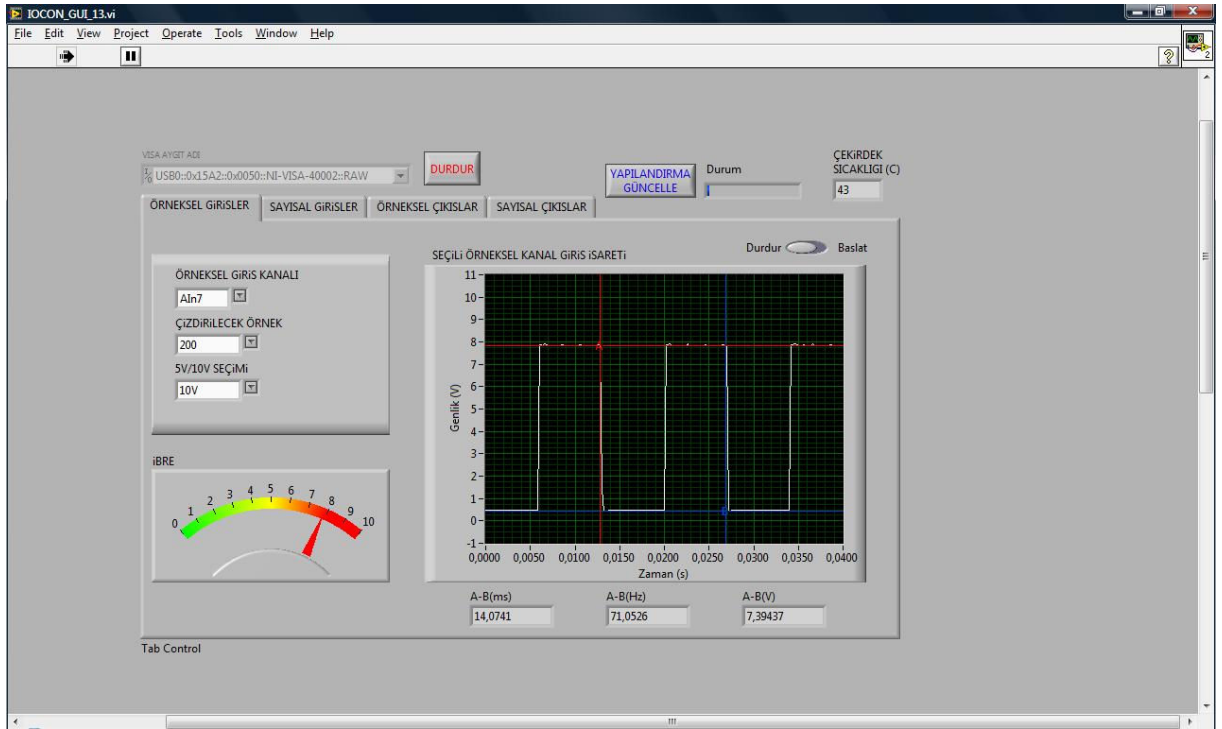
4.6 Tasarım Sınama ve Performans Testleri

Tasarlanan sistemin giriş ve çıkış birimlerine ait donanım ve yazılım alt birimlerinin sağlıklı çalışıp çalışmadığının anlaşılması, ne derece güvenilir ölçümler yaptığı ve ne derece güvenilir çıkışlar ürettiğinin analizi için yapılan testler sırasında bir osiloskoptan yararlanılmıştır. Girişten uygulanan işaretler osiloskop ile gözlenerek gerçek işaretin ekran çıktıları alınmış, paralel olarak LabVIEW arayüzünde çizdirilen işaretlerin de ekran görüntüleri alınarak işaretler karşılaştırılmıştır. Benzer şekilde çıkışta üretilen işaretler osiloskop ile kaydedilerek arayüzde öngörülen çıkış özelliklerini ve parametrelerini (dalga şekli, frekans, vb.) sağlayıp sağlamadığı yine ekran çıktıları yardımıyla karşılaştırılmıştır.

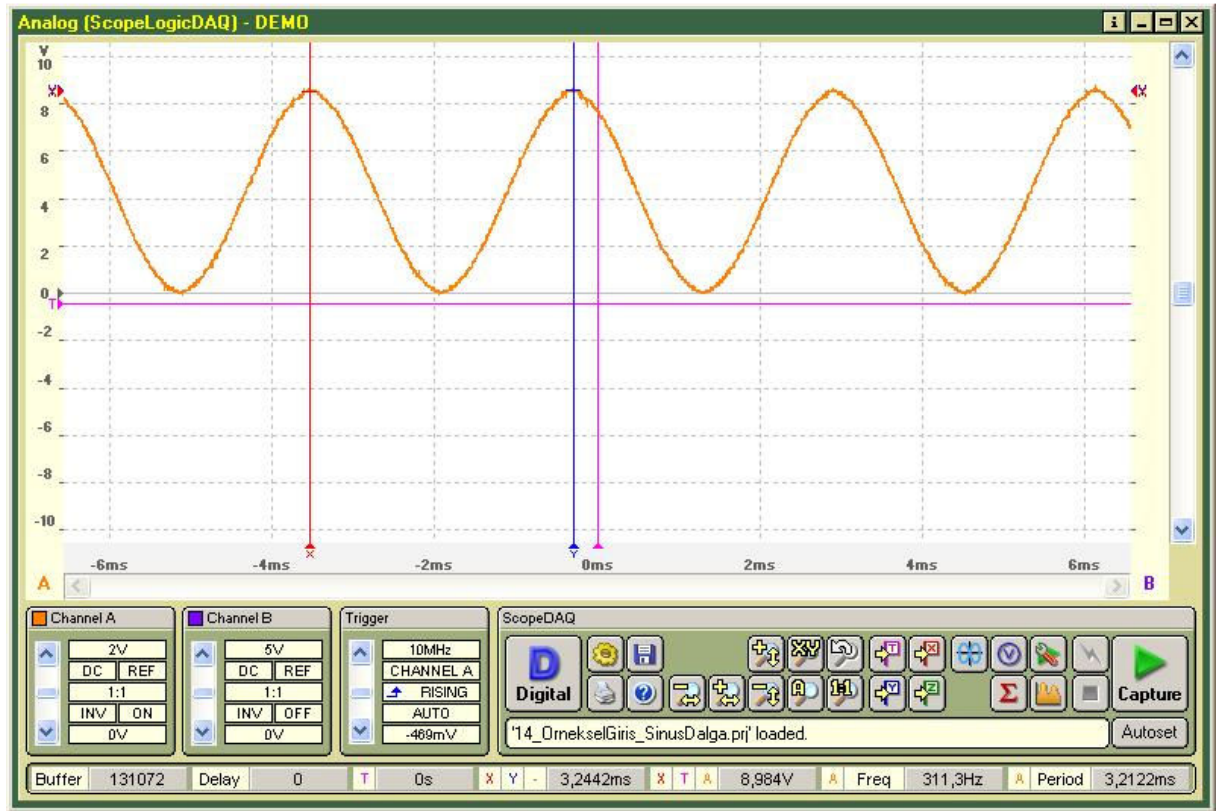
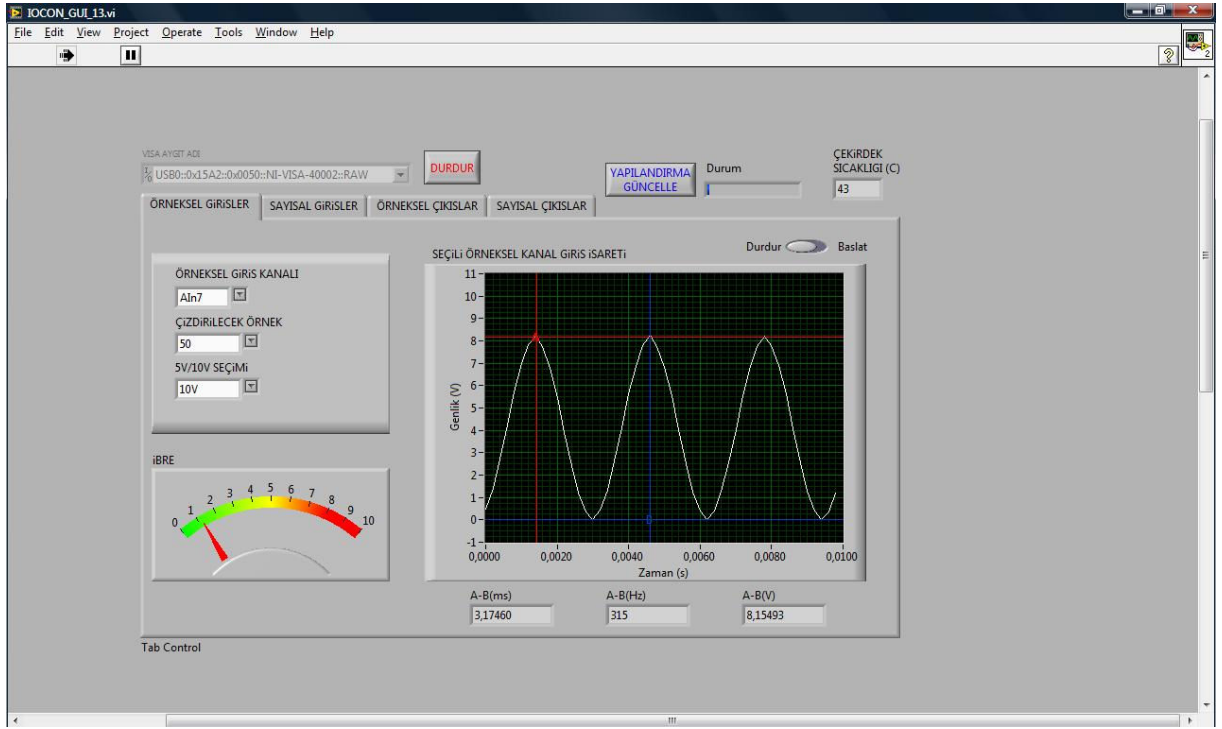
Yapılan incelemede sistemin gerçek işretilere yakı girişler görüntülediği ve çıkışlar ürettiği gözlenmiştir. Karşılaştırma sonuçları takip eden şekillerden incelenebilir.



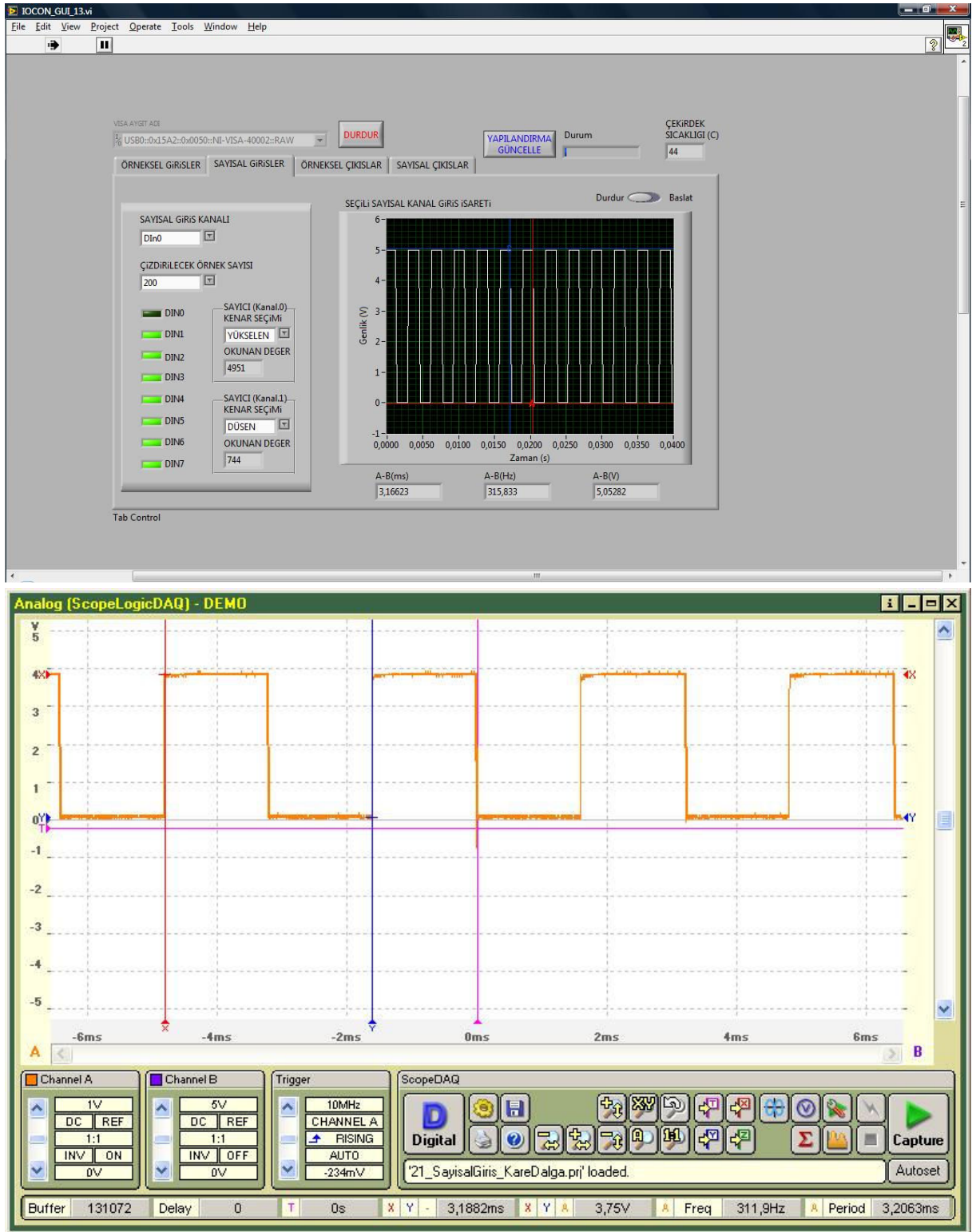
Şekil 4.38 Örnekse girişlerin performans karşılaştırması - 1



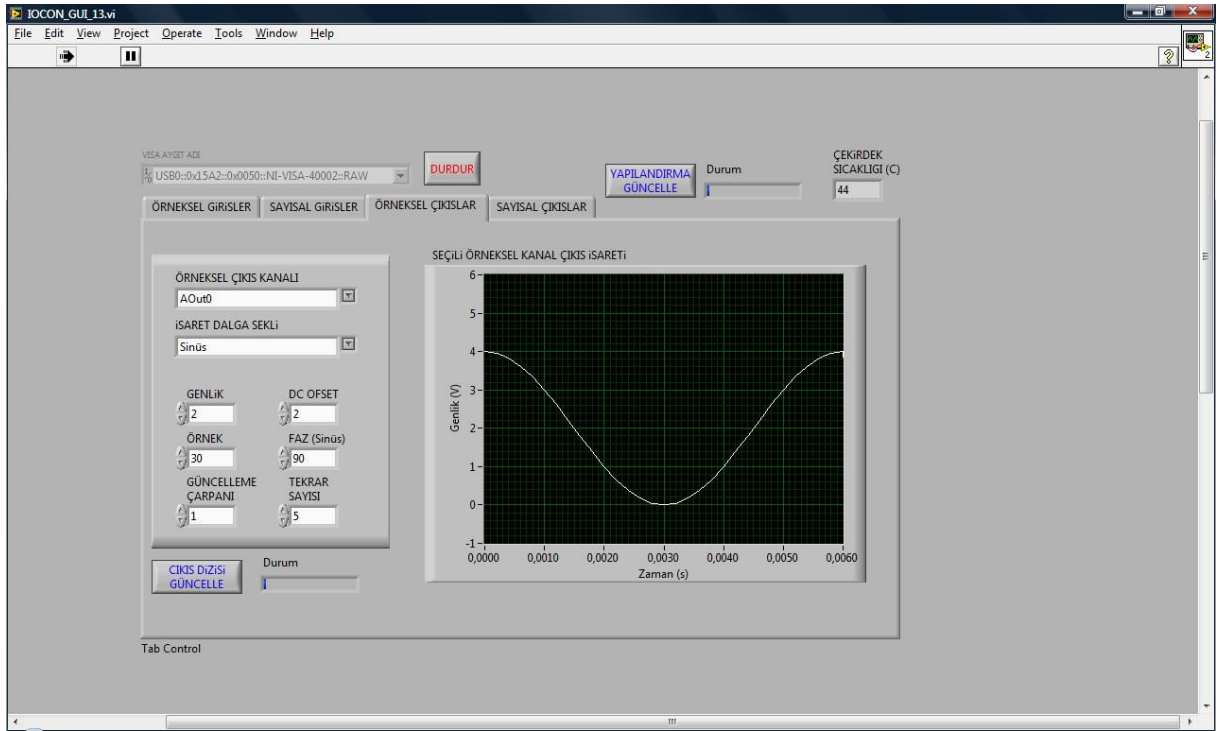
Şekil 4.39 Örnekse girişlerin performans karşılaştırması – 2



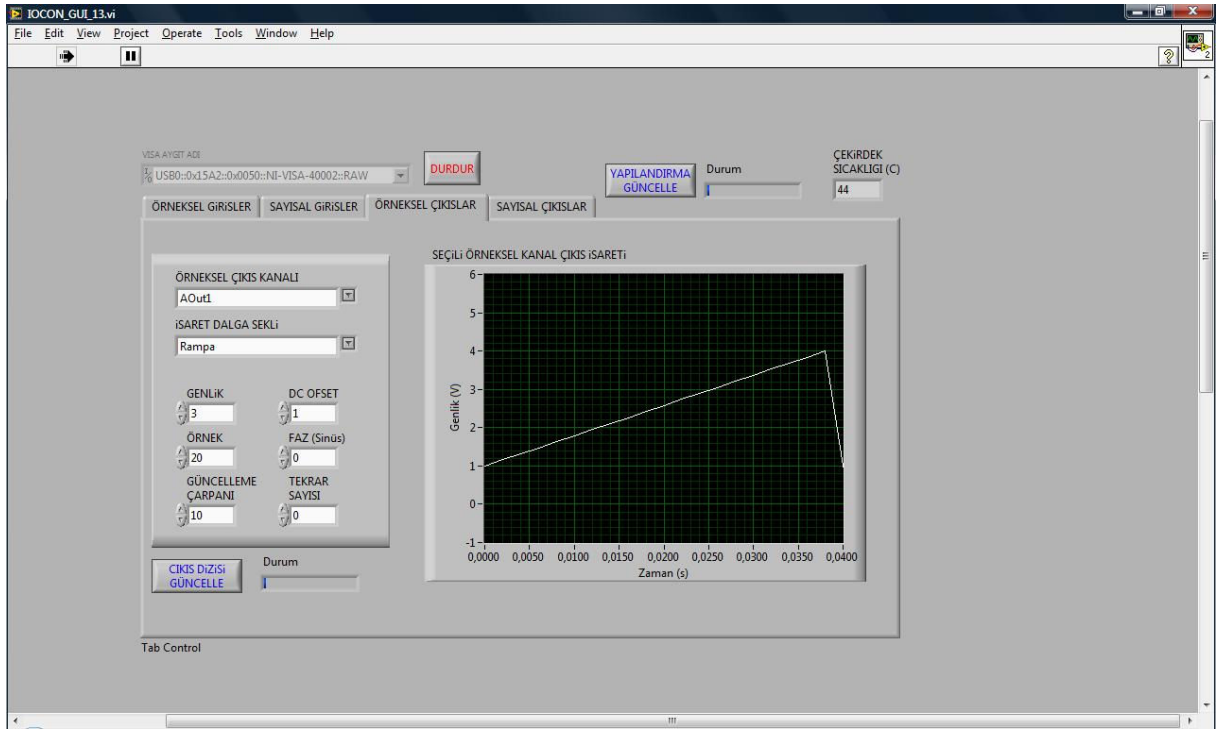
Şekil 4.40 Örnekse girişlerin performans karşılaştırması – 3



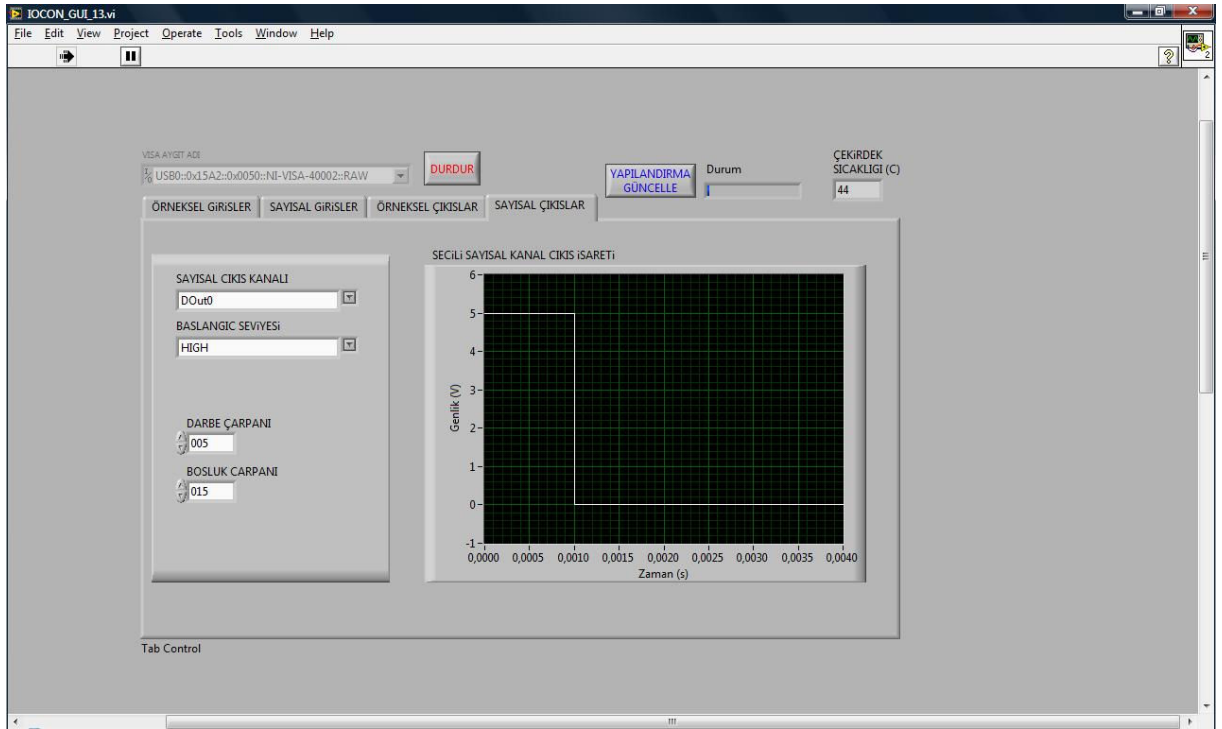
Şekil 4.41 Sayısal girişlerin performans karşılaştırması



Şekil 4.42 Örnekse çıkışların performans karşılaştırması - 1



Şekil 4.43 Örneksele çıkışların performans karşılaştırması - 2



Şekil 4.44 Sayısal çıkışların performans karşılaştırması

5. SONUÇLAR

Geliştirmeye açık bir genel amaçlı giriş-çıkış birimi tasarlanmış, gerçekleşmiş ve LabIEW ortamında hazırlanan kullanıcı arayüzü ile USB üzerinden yapılandırılması sağlanmıştır. Donanım bellekteki yapılandırma bilgisine göre otonom bir şekilde bilgisayardan bağımsız çalışabildiği gibi, girişlerin durumlarını bilgisayara ileterek bu verilerin LabVIEW arayüzü aracılığıyla toplanması ve analiz edilmesinde de kullanılabilir.

Tasarlanan donanımın, hafif endüstriyel ortamlardaki elektromanyetik gürültülere ve elektrostatik yük boşalmalarına bağışıklığı gerçekleştirilmiştir.

Sistem tasarımında geliştirilebilirlik ve modülerlik mümkün olduğunca ön planda tutulmuştur. Bu amaçla mikrodnetleyici seçiminde uçları uyumlu 8 bitlik ve 32 bitlik modelleri bulunan bir aile seçilmiştir. Gerçeklenen donanımda seçilen 8 bitlik mikrodnetleyicinin örnekleme hızının 5 KS/s düzeyinde olduğu ölçülmüştür. Gerçekleştirilen donanımda sadece mikrodnetleyiciyi 32 bitlik modelle değiştirerek ve mikrodnetleyici yazılımını uyarlayarak örnekleme hızını artırmak mümkündür. Ayrıca mikrodnetleyici yazılımı güncellemesi ile sistemin RS232 ve RS485 arayüzleri devreye alınarak ek donanımların kullanılması, donanım üzerinde yeri ayrılmış olan bağlantı uçlarına grafik LCD eklenmesi imkanı vardır.

KAYNAKLAR

- Eisenhart C., (1963) “Realistic Evaluation of the Precision and Accuracy of Instrument Calibration Systems”, Journal of Research of the National Bureau of Standards, Vol.67C No.2, (April-June 1963), C. Engineering and Instrumentation Department.
- Richard C.DORF, Robert H.BISHOP, (1998) “Modern Control Systems”, Addison Wesley.
- Nawrocki W., (2005) “Measurement Systems and Sensors”, Artech House, Norwood.
- Sinclair I.R., (2001) “Sensors and Transducers”, Newnes – Elsevier Inc., Oxford.
- Wilson J.S., (2005) “Sensor Technology Handbook”, Newnes – Elsevier Inc., Oxford.
- Alexon J., (2007) “Serial Port Complete”, Lakeview Research LLC, Madison.
- C. Peacock, (2002) “USB in a Nutshell, Beyondlogic”, 3rd Release
- B&B Electronics, (2006) “RS422 and RS485 Application Note”, Rev.2506, Ottawa.
- Boylestad R., Nashelsky L., (2000) “Elektronik Elemanlar ve Devre Teorisi”, MEB, İstanbul.
- National Semiconductor, (1969) “An Applications Guide for Op Amps”, App. Note,
- Freescale Semiconductor, (2008) “HCS08 Microcontrollers MC9S08JM60 Datasheet”, Rev.2.
- Freescale Semiconductor, (2008) “MCF51JM128 Coldfire Microcontroller Datasheet”, Rev.1.
- Freescale Semiconductor, (2008) “USB Device Development with the MC9S08JM60 Application Note”, Rev.1.
- Freescale Semiconductor, (2007) “Customize the USB Application Using the MC9S08JM Application Note”, Rev.0.
- Y. Güner, (2005) “LabVIEW Programı ile Veri Toplama, Veri İşleme ve Veri İzlemenin e-öğrenme Olarak Hazırlanması”, Yüksek Lisans Bitirme Tezi, Marmara Üniversitesi FBE, İstanbul.
- National Instruments, (2007) “LabVIEW Fundamentals”.
- National Instruments, “USB Instrument Control Tutorial”, Ver.9.
- Uzun, T., (2005), “Mikroişlemci Sistemleri”, YTÜ, İstanbul.
- Uzun, T., (2006), “Programlanabilir Denetleyiciler”, Ders Notu, YTÜ, İstanbul.
- Uzun, T., (2007), “Endüstriyel Otomatik Kontrol Sistemleri”, Ders Notu, YTÜ, İstanbul.
- Küçük Ü., (2006) “Veri Haberleşmesi”, Ders Notu, YTÜ, İstanbul.

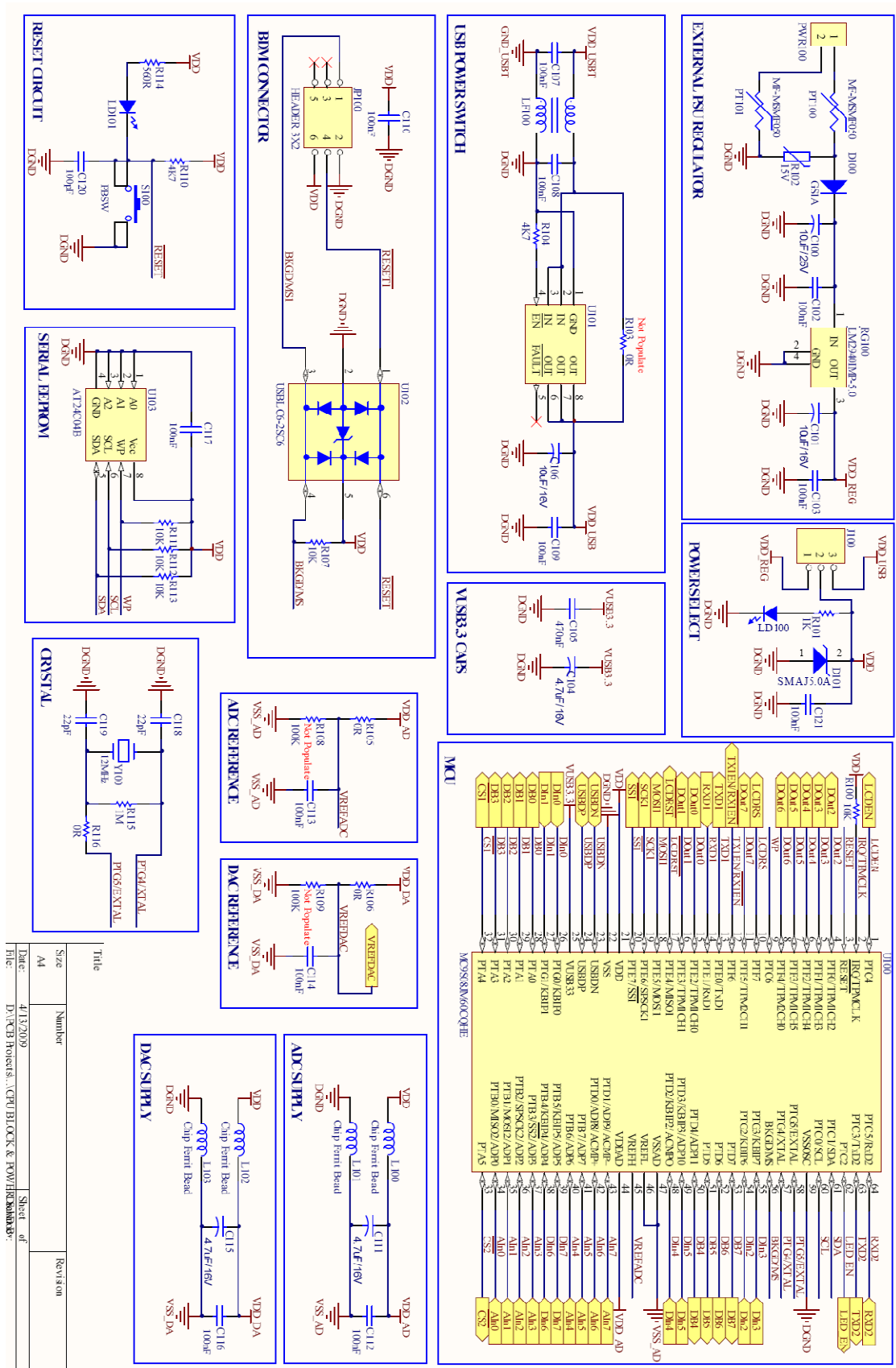
İNTERNET KAYNAKLARI

- [1] http://tr.wikipedia.org/wiki/Ölçme_tekniği
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_measurement
- [3] http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_computer_science
- [4] <http://arri.uta.edu/acs/history.htm>
- [5] <http://www.ni.com/labview>
- [6] <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3754>
- [7] <http://www.freescale.com>
- [8] <http://www.beyondlogic.org/serial/serial.htm>
- [9] http://en.wikipedia.org/wiki/Parallel_port
- [10] http://en.wikipedia.org/wiki/Serial_port
- [11] <http://www.omega.com/TechRef/pdf/RS-232.pdf>
- [12] http://en.wikipedia.org/wiki/Industry_Standard_Architecture
- [13] http://en.wikipedia.org/wiki/PCI_local_bus
- [14] http://en.wikipedia.org/wiki/PCI_Express
- [15] http://en.wikipedia.org/wiki/Universal_Serial_Bus
- [16] <http://www.elektronikmagazin.com/page.php?id=178>
- [17] <http://www.web-books.com/eLibrary/Engineering/Circuits/AC/index.htm>
- [18] <http://ieeexplore.ieee.org/book/0780360133.excerpt.pdf>
- [19] http://en.wikipedia.org/wiki/Analog-to-digital_converter
- [20] http://en.wikipedia.org/wiki/Digital-to-analog_converter
- [21] [http://en.wikipedia.org/wiki/G_\(programming_language\)](http://en.wikipedia.org/wiki/G_(programming_language))
- [22] <http://tr.wikipedia.org/wiki/Labview>
- [23] <http://www.labviewkitabi.com/>
- [24] <http://www.e3tam.com/temsilcilikler/ni/labview.htm>

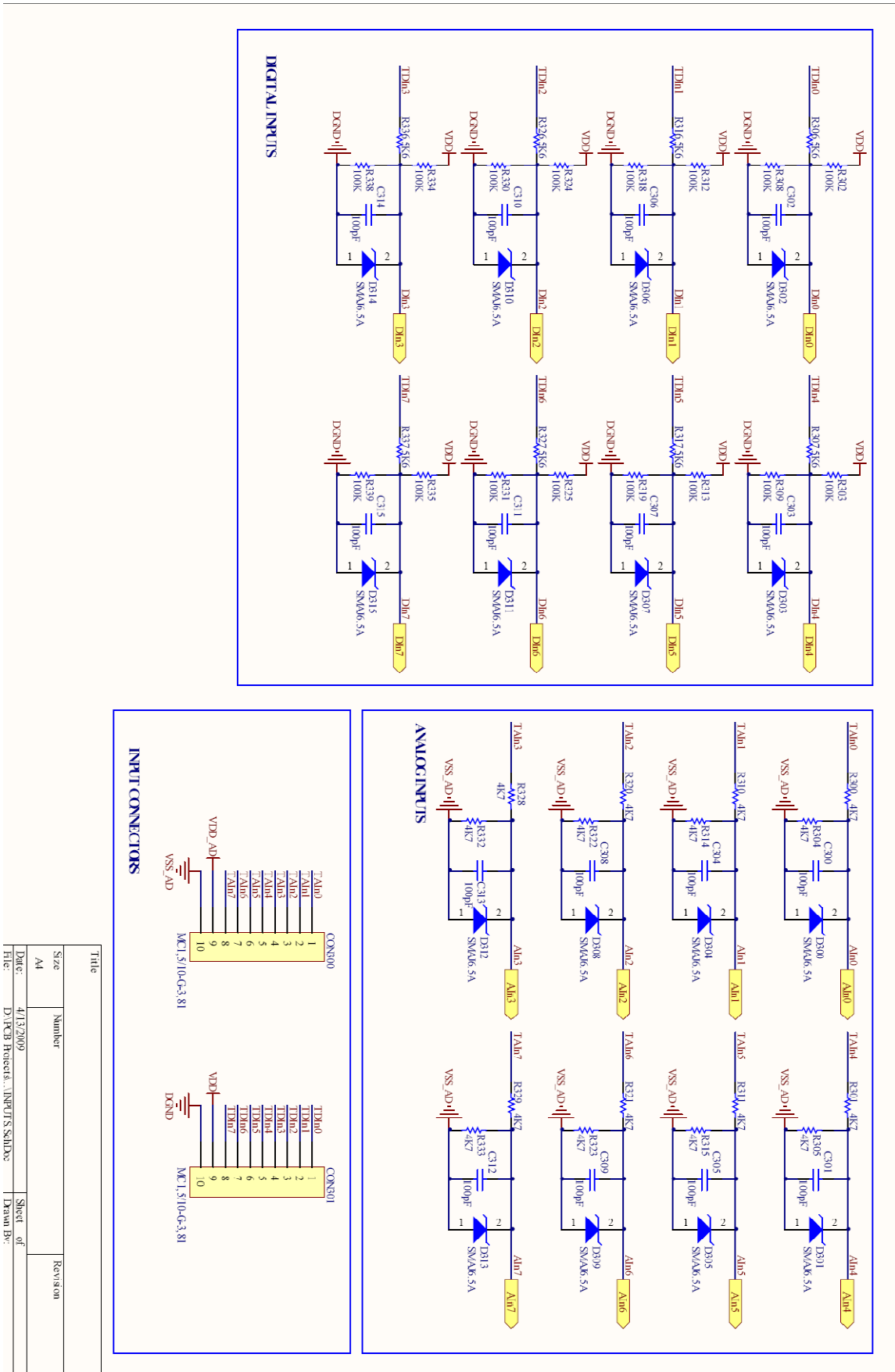
EKLER

Ek 1	Mikrodenetleyicili genel amaçlı endüstriyel otomatik ölçüm sistemi devre şeması
Ek 2	Mikrodenetleyicili genel amaçlı endüstriyel otomatik ölçüm sistemi ürün resimleri
Ek 3	MC9S08JM60 mikrodenetleyicisi teknik detayları
Ek 4	AT24C128 seri EEPROM tümdevresi teknik dökümanı
Ek 5	LM2940IMP-5.0 regülatör tümdevresi teknik dökümanı
Ek 6	TPS2041BD akım sınırlayıcı anahtar tümdevresi teknik dökümanı
Ek 7	USBL6-2SC6 ESD koruma tümdevresi teknik dökümanı
Ek 8	SMAJ5.0A tek yönlü (unidirectional) TVS diyot teknik dökümanı
Ek 9	P6SMB6.8CA çift yönlü (bidirectional) TVS diyot teknik dökümanı
Ek 10	ULN2803A darlington transistör dizisi tümdevresi teknik dökümanı
Ek 11	DAC124S085C1MM sayısal-örneksel dönüştürücü tümdevresi teknik dökümanı
Ek 12	LM6144BIM işlemsel yükselteç tümdevresi teknik dökümanı
Ek 13	G1910 elektronik cihaz kutusu teknik çizimi
Ek 14	CD içerisinde MC9S08JM60 mikrodenetleyici programı kaynak kodları
Ek 15	CD içerisinde LabVIEW grafik arayüz dosyaları

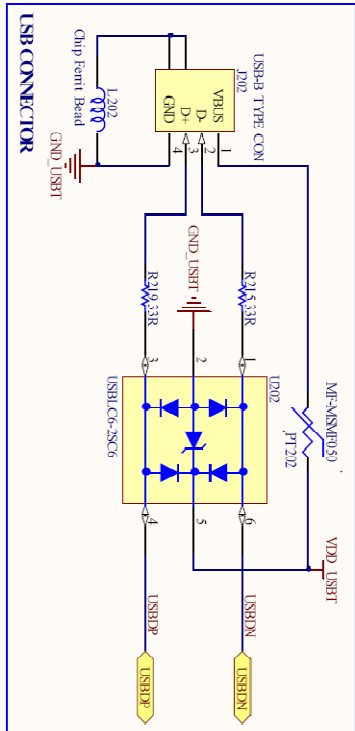
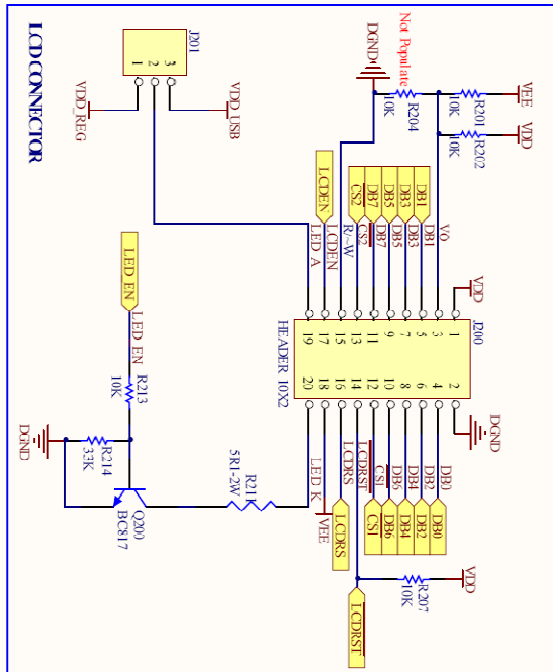
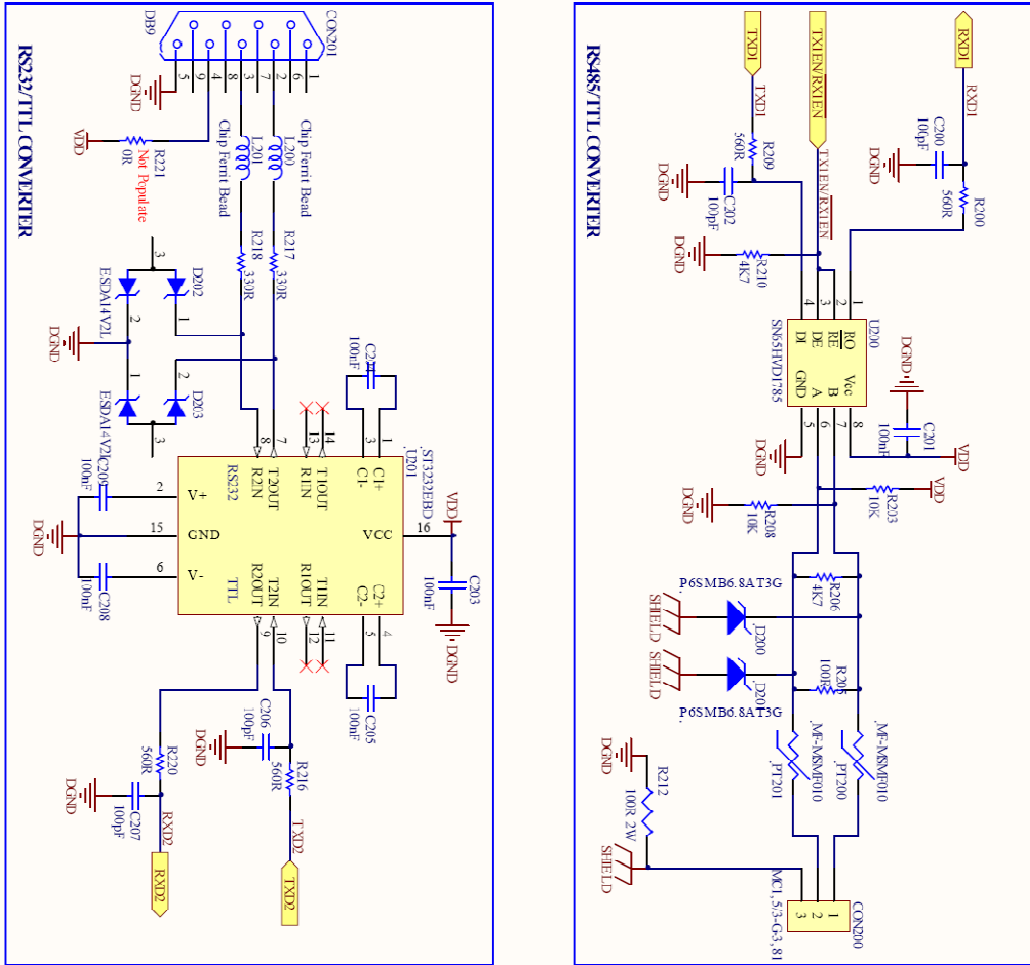
Ek 1 Mikrodenetleyicili genel amaçlı endüstriyel otomatik ölçüm sistemi devre şeması



Şekil Ek 1.1 Devre şeması – Sayfa1

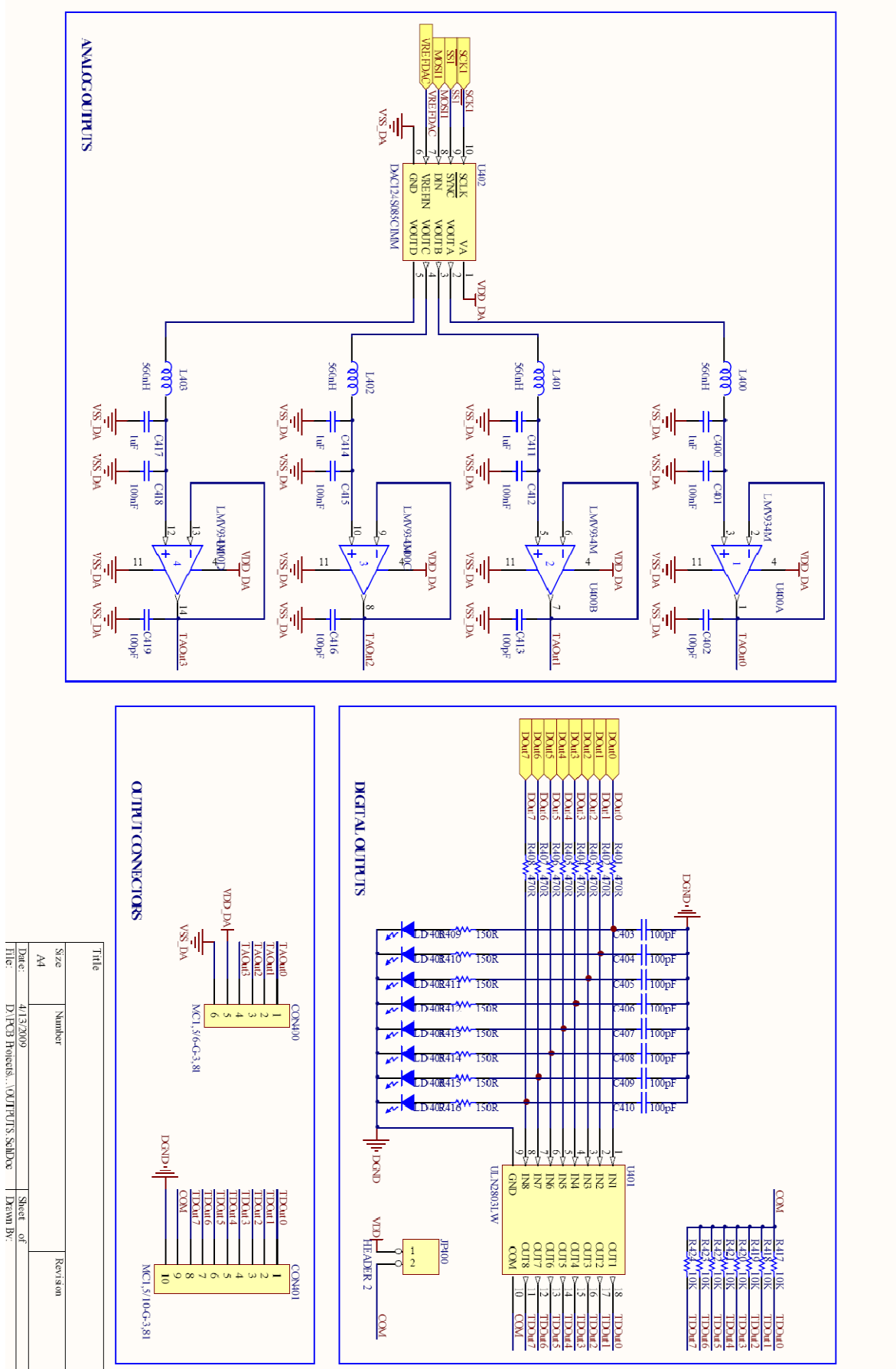


Şekil Ek 1.2 Devre şeması – Sayfa2

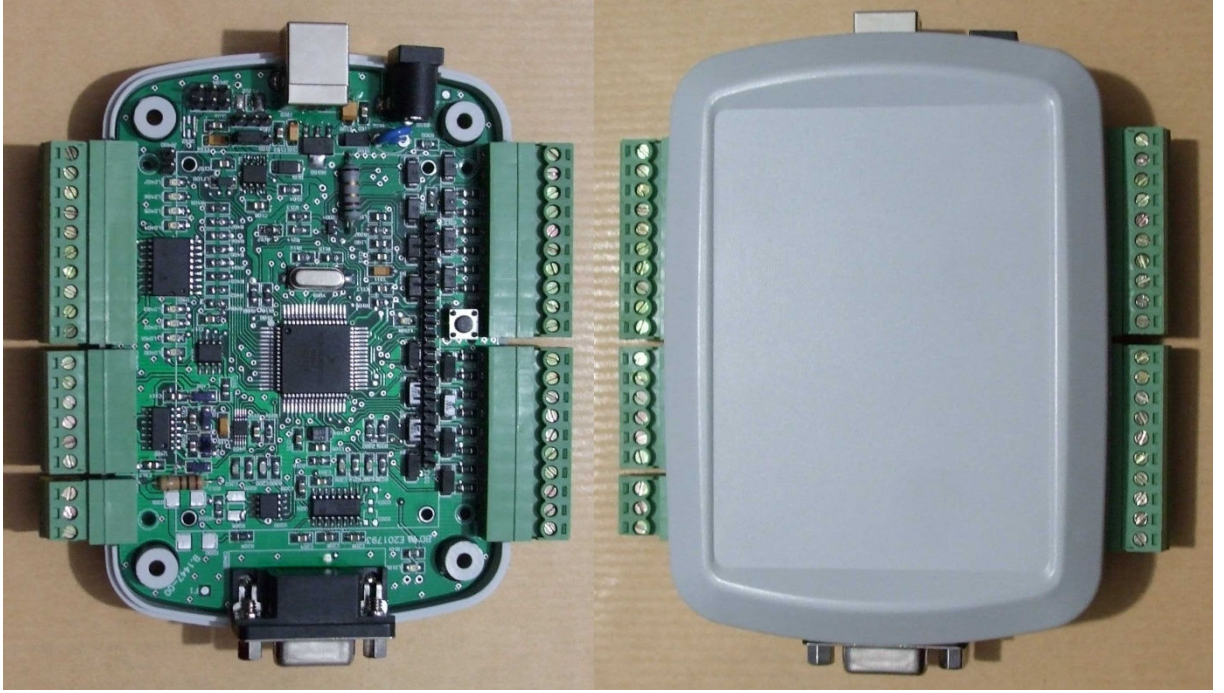


Title		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	4/13/2009	Sheet of
Title: D:\PC3 Projects - INTERFACES\SHDW\ Drawn by:		

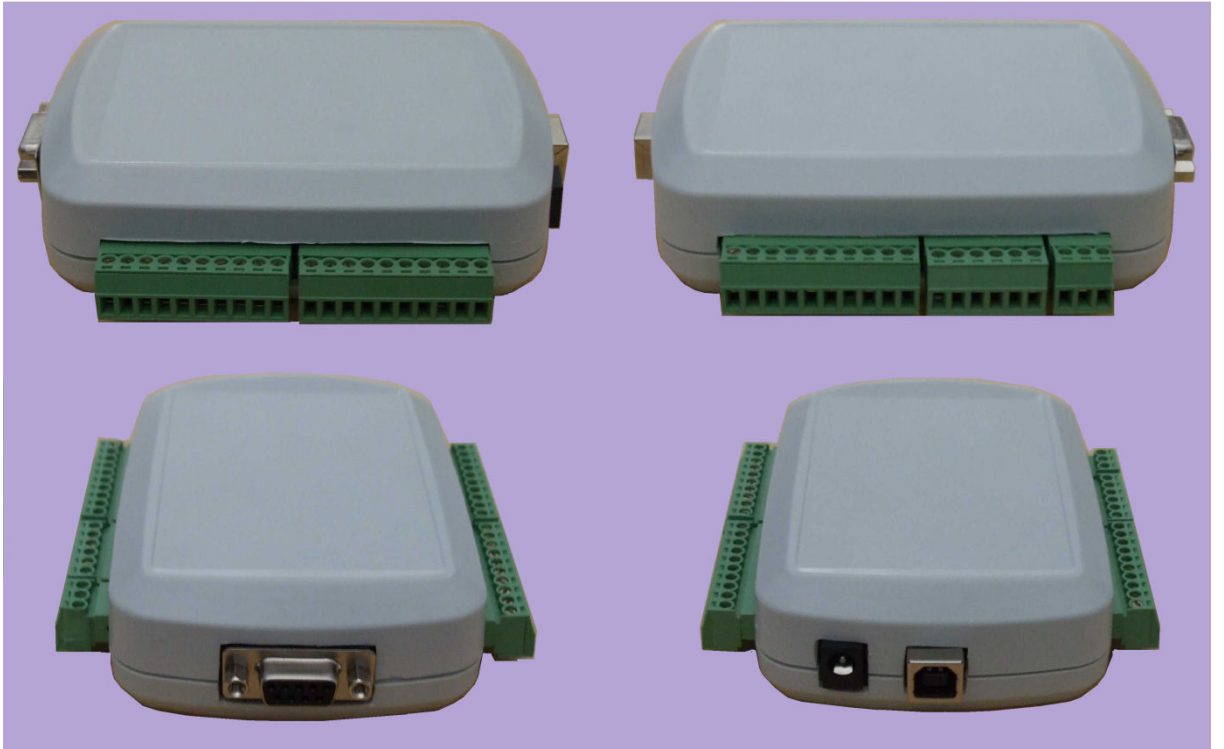
Şekil Ek 1.3 Devre şeması – Sayfa3



Şekil Ek 1.4 Devre şeması – Sayfa4

Ek 2 Mikrodenetleyicili genel amaçlı endüstriyel otomatik ölçüm sistemi ürün resimleri

Şekil Ek 2.1 Genel amaçlı giriş-çıkış biriminin üstten görünümü.



Şekil Ek 2.2 Genel amaçlı giriş-çıkış biriminin diğer açılardan görünümü.

Ek 3 MC9S08JM60 mikrodnetleyicisi teknik detayları

MC9S08JM60 Series Features

8-Bit HCS08 Central Processor Unit (CPU)

- 48-MHz HCS08 CPU (central processor unit)
- 24-MHz internal bus frequency
- HC08 instruction set with added BGND instruction
- Background debugging system
- Breakpoint capability to allow single breakpoint setting during in-circuit debugging (plus two more breakpoints in on-chip debug module)
- In-circuit emulator (ICE) debug module containing two comparators and nine trigger modes. Eight deep FIFO for storing change-of-flow addresses and event-only data. Debug module supports both tag and force breakpoints.
- Support for up to 32 interrupt/reset sources

Memory Options

- Up to 60 KB of on-chip in-circuit programmable flash memory with block protection and security options
- Up to 4 KB of on-chip RAM
- 256 bytes of USB RAM

Clock Source Options

- Clock source options include crystal, resonator, external clock
- MCG (multi-purpose clock generator) — PLL and FLL; internal reference clock with trim adjustment

System Protection

- Optional computer operating properly (COP) reset with option to run from independent 1-kHz internal clock source or the bus clock
- Low-voltage detection with reset or interrupt
- Illegal opcode detection with reset
- Illegal address detection with reset

Power-Saving Modes

- Wait plus two stops

Package Options

- 64-pin quad flat package (QFP)
- 64-pin low-profile quad flat package (LQFP)
- 48-pin quad flat no-lead (QFN)
- 44-pin low-profile quad flat package (LQFP)

Peripherals

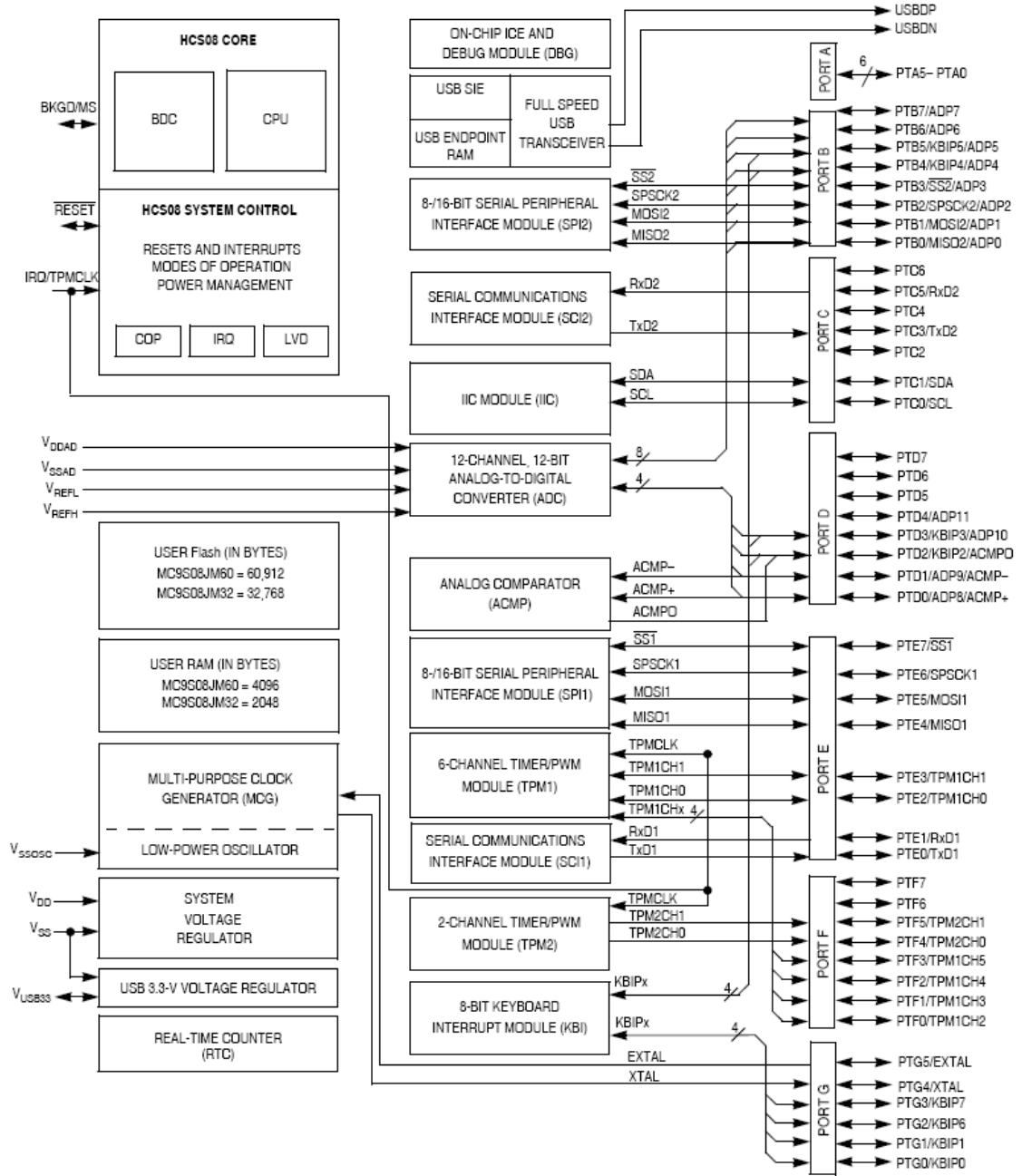
- **USB** — USB 2.0 full-speed (12 Mbps) device controller with dedicated on-chip USB transceiver, 3.3-V regulator and USB DP pull-up resistor; supports control, interrupt, isochronous, and bulk transfers; supports endpoint 0 and up to 6 additional endpoints; endpoints 5 and 6 can be combined to provide double buffering capability

- **ADC** — 12-channel, 12-bit analog-to-digital converter with automatic compare function; internal temperature sensor
- **ACMP** — Analog comparator with option to compare to internal reference; operation in stop3 mode
- **SCI** — Two serial communications interface modules with optional 13-bit break LIN extensions
- **SPI** — Two 8- or 16-bit selectable serial peripheral interface modules with a receive data buffer hardware match function
- **IIC** — Inter-integrated circuit bus module to operate at up to 100 kbps with maximum bus loading; multi-master operation; programmable slave address; interrupt-driven byte-by-byte data transfer; 10-bit addressing and broadcast modes support
- **Timers** — One 2-channel and one 6-channel 16-bit timer/pulse-width modulator (TPM) modules: Selectable input capture, output compare, and edge-aligned PWM capability on each channel. Each timer module may be configured for buffered, centered PWM (CPWM) on all channels
- **KBI** — 8-pin keyboard interrupt module
- **RTC** — Real-time counter with binary- or decimal-based prescaler

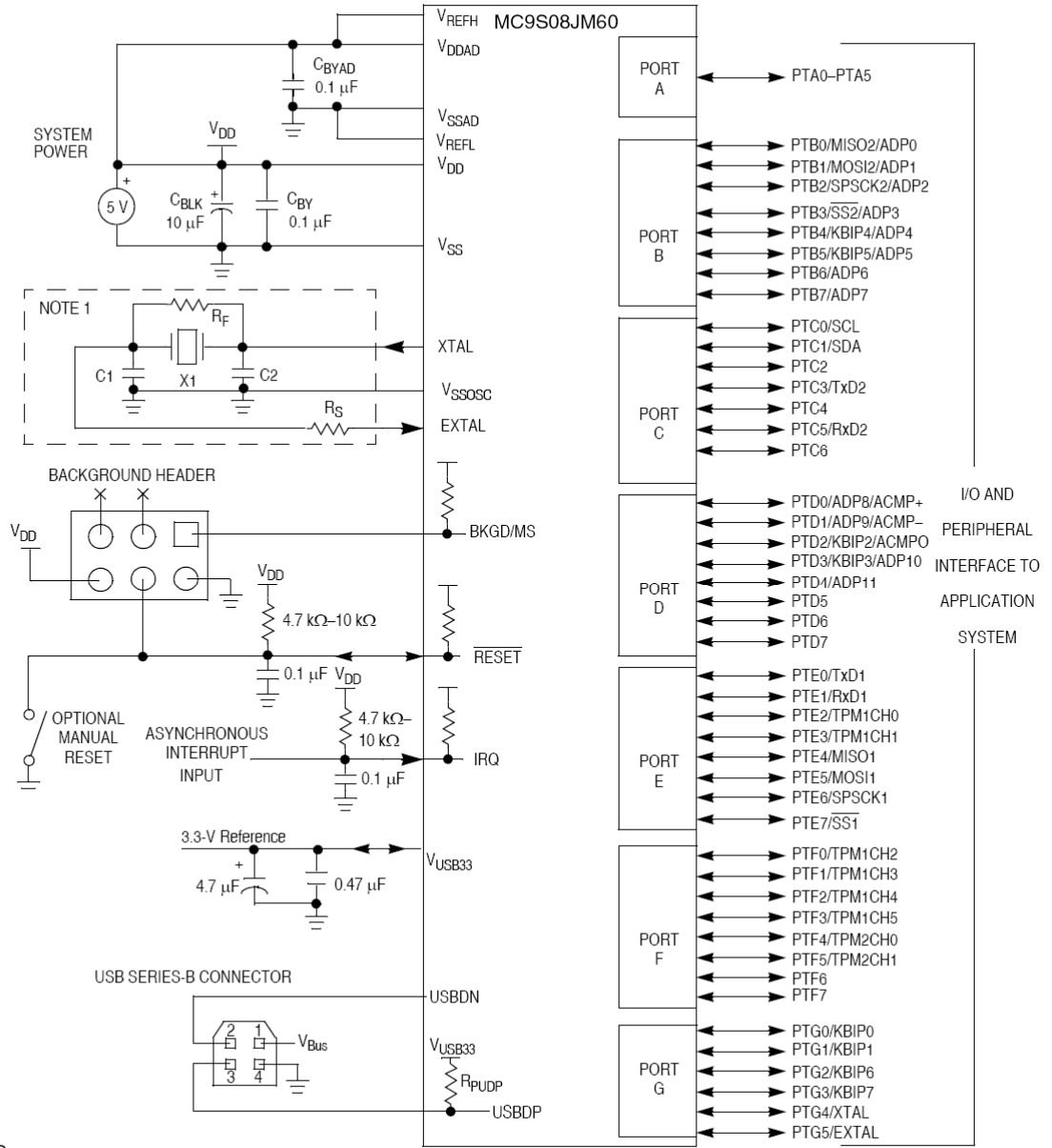
Input/Output

- Up to 51 general-purpose input/output pins
- Software selectable pullups on ports when used as inputs
- Software selectable slew rate control on ports when used as outputs
- Software selectable drive strength on ports when used as outputs
- Master reset pin and power-on reset (POR)
- Internal pullup on $\overline{\text{RESET}}$, IRQ, and BKGD/MS pins to reduce customer system cost

Şekil Ek 3.1 MC9S08JM60 mikrodnetleyicisi genel özellikleri.



Şekil Ek 3.2 MC9S08JM60 mikrodnetleyicisi blok diyagramı.



Şekil Ek 3.3 MC9S08JM60 mikrodnetleyicisi asgari bağlantı şeması.

Ek 4 AT24C128 seri EEPROM tümdevresi teknik dökümanı

Features

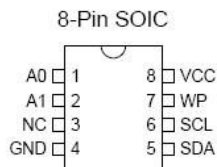
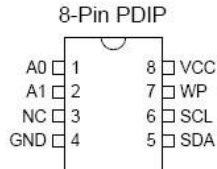
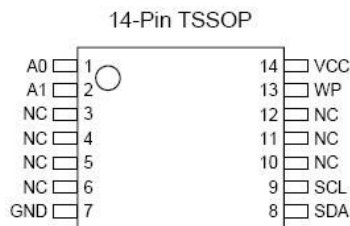
- Low Voltage and Standard Voltage Operation
 - 5.0 ($V_{CC} = 4.5V$ to $5.5V$)
 - 2.7 ($V_{CC} = 2.7V$ to $5.5V$)
 - 1.8 ($V_{CC} = 1.8V$ to $3.6V$)
- Internally Organized 16,384 x 8 and 32,768 x 8
- 2-Wire Serial Interface
- Schmitt Trigger, Filtered Inputs for Noise Suppression
- Bidirectional Data Transfer Protocol
- 1 MHz (5V), 400 kHz (2.7V) and 100 kHz (1.8V) Compatibility
- Write Protect Pin for Hardware and Software Data Protection
- 64-Byte Page Write Mode (Partial Page Writes Allowed)
- Self-Timed Write Cycle (5 ms typical)
- High Reliability
 - Endurance: 100,000 Write Cycles
 - Data Retention: 40 Years
 - ESD Protection: > 4000V
- Automotive Grade and Extended Temperature Devices Available
- 8-Pin JEDEC PDIP, 8-Pin JEDEC and EIAJ SOIC, 14-Pin TSSOP, and 8-Pin Leadless Array Packages

Description

The AT24C128/256 provides 131,072/262,144 bits of serial electrically erasable and programmable read only memory (EEPROM) organized as 16,384/32,768 words of 8 bits each. The device's cascadable feature allows up to 4 devices to share a common 2-wire bus. The device is optimized for use in many industrial and commercial applications where low power and low voltage operation are essential. The devices are available in space-saving 8-pin JEDEC PDIP, 8-pin EIAJ, 8-pin JEDEC SOIC, 14-pin TSSOP, and 8-pin LAP packages. In addition, the entire family is available in 5.0V (4.5V to 5.5V), 2.7V (2.7V to 5.5V) and 1.8V (1.8V to 3.6V) versions.

Pin Configurations

Pin Name	Function
A_0 to A_1	Address Inputs
SDA	Serial Data
SCL	Serial Clock Input
WP	Write Protect
NC	No Connect



Bottom View



2-Wire Serial EEPROMs

128K (16,384 x 8)

256K (32,768 x 8)

AT24C128 AT24C256

Rev. 0670C-08/98

Şekil Ek 4.1 AT24C128 seri EEPROM teknik dökümanı

Ek 5 LM2940IMP-5.0 regülatör tümdevresi teknik dökümanı



January 2007

LM2940/LM2940C 1A Low Dropout Regulator

General Description

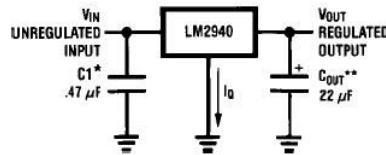
The LM2940/LM2940C positive voltage regulator features the ability to source 1A of output current with a dropout voltage of typically 0.5V and a maximum of 1V over the entire temperature range. Furthermore, a quiescent current reduction circuit has been included which reduces the ground current when the differential between the input voltage and the output voltage exceeds approximately 3V. The quiescent current with 1A of output current and an input-output differential of 5V is therefore only 30 mA. Higher quiescent currents only exist when the regulator is in the dropout mode ($V_{IN} - V_{OUT} \leq 3V$). Designed also for vehicular applications, the LM2940/LM2940C and all regulated circuitry are protected from reverse battery installations or 2-battery jumps. During line transients, such as load dump when the input voltage can momentarily exceed the specified maximum operating volt-

age, the regulator will automatically shut down to protect both the internal circuits and the load. The LM2940/LM2940C cannot be harmed by temporary mirror-image insertion. Familiar regulator features such as short circuit and thermal overload protection are also provided.

Features

- Dropout voltage typically 0.5V @ $I_O = 1A$
- Output current in excess of 1A
- Output voltage trimmed before assembly
- Reverse battery protection
- Internal short circuit current limit
- Mirror image insertion protection
- P+ Product Enhancement tested

Typical Application



882203

*Required if regulator is located far from power supply filter.

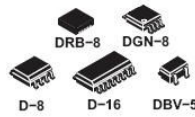
** C_{OUT} must be at least 22 μF to maintain stability. May be increased without bound to maintain regulation during transients. Locate as close as possible to the regulator. This capacitor must be rated over the same operating temperature range as the regulator and the ESR is critical; see curve.

Ordering Information

Temp Range	Output Voltage						Package
	5.0	8.0	9.0	10	12	15	
0°C $\leq T_J \leq$ 125°C	LM2940CT-5.0	—	LM2940CT-9.0	—	LM2940CT-12	LM2940CT-15	TO-220
	LM2940CS-5.0	—	LM2940CS-9.0	—	LM2940CS-12	LM2940CS-15	TO-263
	LM2940CSX-5.0	—	LM2940CSX-9.0	—	LM2940CSX-12	LM2940CSX-15	
-40°C $\leq T_J \leq$ 125°C	LM2940LD-5.0	LM2940LD-8.0	LM2940LD-9.0	LM2940LD-10	LM2940LD-12	LM2940LD-15	LLP 1k Units Tape and Reel
	LM2940LDX-5.0	LM2940LDX-8.0	LM2940LDX-9.0	LM2940LDX-10	LM2940LDX-12	LM2940LDX-15	LLP 4.5k Units Tape and Reel
-40°C $\leq T_J \leq$ 125°C	LM2940T-5.0	LM2940T-8.0	LM2940T-9.0	LM2940T-10	LM2940T-12	—	TO-220
	LM2940S-5.0	LM2940S-8.0	LM2940S-9.0	LM2940S-10	LM2940S-12	—	TO-263
	LM2940SX-5.0	LM2940SX-8.0	LM2940SX-9.0	LM2940SX-10	LM2940SX-12	—	

Şekil Ek 5.1 LM2940IMP-5.0 teknik dökümanı

Ek 6 TPS2041BD akım sınırlayıcı anahtar tümdevresi teknik dökümanı



TPS2041B, TPS2042B
TPS2043B, TPS2044B, TPS2051B
TPS2052B, TPS2053B, TPS2054B

www.ti.com

SLVS514J–APRIL 2004–REVISED DECEMBER 2008

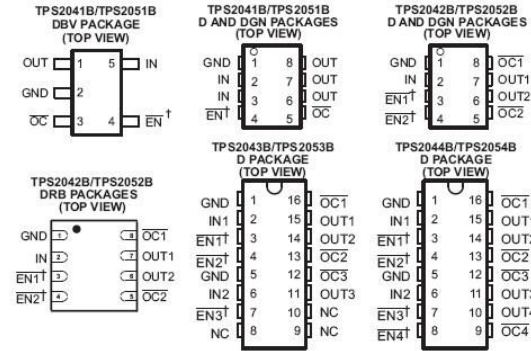
CURRENT-LIMITED, POWER-DISTRIBUTION SWITCHES

FEATURES

- 70-mΩ High-Side MOSFET
- 500-mA Continuous Current
- Thermal and Short-Circuit Protection
- Accurate Current Limit (0.75 A min, 1.25 A max)
- Operating Range: 2.7 V to 5.5 V
- 0.6-ms Typical Rise Time
- Undervoltage Lockout
- Deglitched Fault Report (OC)
- No OC Glitch During Power Up
- Maximum Standby Supply Current: 1-μA (Single, Dual) or 2-μA (Triple, Quad)
- Ambient Temperature Range: -40°C to 85°C
- UL Recognized, File Number E169910
- Additional UL Recognition for TPS2042B and TPS2052B for Ganged Configuration

APPLICATIONS

- Heavy Capacitive Loads
- Short-Circuit Protections



† All enable inputs are active high for the TPS205xB series.
NC – No connect

DESCRIPTION

The TPS204xB/TPS205xB power-distribution switches are intended for applications where heavy capacitive loads and short circuits are likely to be encountered. These devices incorporate 70-mΩ N-channel MOSFET power switches for power-distribution systems that require multiple power switches in a single package. Each switch is controlled by a logic enable input. Gate drive is provided by an internal charge pump designed to control the power-switch rise times and fall times to minimize current surges during switching. The charge pump requires no external components and allows operation from supplies as low as 2.7 V.

When the output load exceeds the current-limit threshold or a short is present, the device limits the output current to a safe level by switching into a constant-current mode, pulling the overcurrent (OCx) logic output low. When continuous heavy overloads and short-circuits increase the power dissipation in the switch, causing the junction temperature to rise, a thermal protection circuit shuts off the switch to prevent damage. Recovery from a thermal shutdown is automatic once the device has cooled sufficiently. Internal circuitry ensures that the switch remains off until valid input voltage is present. This power-distribution switch is designed to set current limit at 1 A typically.

GENERAL SWITCH CATALOG						
33 mΩ, Single	80 mΩ, Single	80 mΩ, Dual	80 mΩ, Dual	80 mΩ, Triple	80 mΩ, Quad	80 mΩ, Quad
 TPS201xA 0.2 A to 2 A TPS202x 0.2 A to 2 A TPS203x 0.2 A to 2 A	 TPS2014 600 mA TPS2015 1 A TPS2041B 500 mA TPS2051B 500 mA TPS2045A 250 mA TPS2049 100 mA TPS2055A 250 mA TPS2061 1 A TPS2065 1 A TPS2068 1.5 A TPS2069 1.5 A	 TPS2042B 500 mA TPS2052B 500 mA TPS2046B 250 mA TPS2056 250 mA TPS2062 1 A TPS2066 1 A TPS2060 1.5 A TPS2064 1.5 A	 TPS2080 500 mA TPS2081 500 mA TPS2082 500 mA TPS2090 250 mA TPS2091 250 mA TPS2092 250 mA	 TPS2043B 500 mA TPS2053B 500 mA TPS2047B 250 mA TPS2057A 250 mA TPS2063 1 A TPS2067 1 A	 TPS2044B 500 mA TPS2054B 500 mA TPS2048A 250 mA TPS2058 250 mA	 TPS2085 500 mA TPS2086 500 mA TPS2087 500 mA TPS2095 250 mA TPS2096 250 mA TPS2097 250 mA



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PowerPAD is a trademark of Texas Instruments.

UNLESS OTHERWISE NOTED this document contains PRODUCTION DATA information current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2004–2008, Texas Instruments Incorporated

Ek 7 USBLC6-2SC6 ESD koruma tümdevresi teknik dökümanı



USBLC6-2

Very low capacitance ESD protection

Features

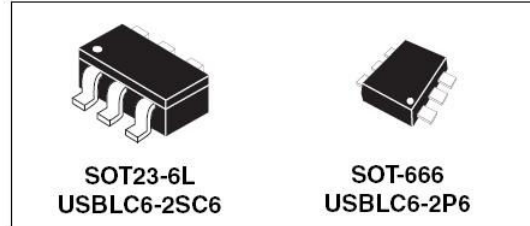
- 2 data lines protection
- Protects V_{BUS}
- Very low capacitance: 3.5 pF max.
- Very low leakage current: 150 nA max.
- SOT-666 and SOT23-6L packages
- RoHS compliant

Benefits

- Very low capacitance between lines to GND for optimized data integrity and speed
- Low PCB space consumption: 2.9 mm² max for SOT-666 and 9mm² max for SOT23-6L
- Enhanced ESD protection. IEC 61000-4-2 level 4 compliance guaranteed at device level, hence greater immunity at system level
- ESD protection of V_{BUS}
- High reliability offered by monolithic integration
- Low leakage current for longer operation of battery powered devices
- Fast response time
- Consistent D+ / D- signal balance:
 - Very low capacitance matching tolerance I/O to GND = 0.015 pF
 - Compliant with USB 2.0 requirements

Complies with the following standards

- IEC 61000-4-2 level 4:
 - 15 kV (air discharge)
 - 8 kV (contact discharge)



Applications

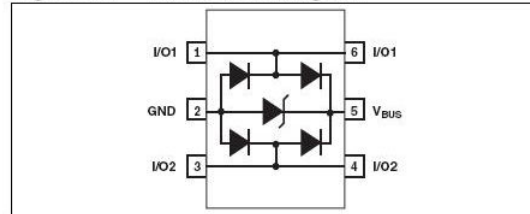
- USB 2.0 ports up to 480 Mb/s (high speed)
- Compatible with USB 1.1 low and full speed
- Ethernet port: 10/100 Mb/s
- SIM card protection
- Video line protection
- Portable electronics

Description

The **USBLC6-2SC6** and **USBLC6-2P6** are monolithic application specific devices dedicated to ESD protection of high speed interfaces, such as USB 2.0, Ethernet links and video lines.

The very low line capacitance secures a high level of signal integrity without compromising in protecting sensitive chips against the most stringent characterized ESD strikes.

Figure 1. Functional diagram



Ek 8 SMAJ5.0A tek yönlü (unidirectional) TVS diyot teknik dökümanı



SMAJ5.0(C)A - SMAJ170(C)A

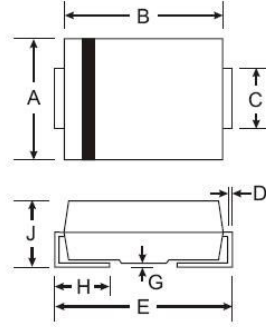
400W SURFACE MOUNT TRANSIENT VOLTAGE SUPPRESSOR

Features

- 400W Peak Pulse Power Dissipation
- Glass Passivated Die Construction
- Uni- and Bi-Directional Versions Available
- Excellent Clamping Capability
- Fast Response Time
- Available in Lead Free Finish/RoHS Compliant Version (Note 4)

Mechanical Data

- Case: SMA
- Case Material: Molded Plastic. UL Flammability Classification Rating 94V-0
- Moisture Sensitivity: Level 1 per J-STD-020C
- Terminals: Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Also Available in Lead Free Plating (Matte Tin Finish). Please see Ordering Information, Note 9, on Page 4
- Polarity Indicator: Cathode Band (Note: Bi-directional devices have no polarity indicator.)
- Marking: Date Code and Marking Code See Page 4
- Weight: 0.064 grams (approximate)



SMA		
Dim	Min	Max
A	2.29	2.92
B	4.00	4.60
C	1.27	1.63
D	0.15	0.31
E	4.80	5.59
G	0.10	0.20
H	0.76	1.52
J	2.01	2.30
All Dimensions in mm		

Maximum Ratings @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Peak Pulse Power Dissipation (Non repetitive current pulse derated above $T_A = 25^\circ\text{C}$) (Note 1)	P_{PK}	400	W
Peak Forward Surge Current, 8.3ms Single Half Sine Wave Superimposed on Rated Load (JEDEC Method) (Notes 1, 2, & 3)	I_{FSM}	40	A
Steady State Power Dissipation @ $T_L = 75^\circ\text{C}$	$PM_{(AV)}$	1.0	W
Instantaneous Forward Voltage @ $I_{PP} = 35\text{A}$ (Notes 1, 2, & 3)	V_F	3.5	V
Operating Temperature Range	T_J	-55 to +150	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{STG}	-55 to +175	$^\circ\text{C}$

- Notes:
1. Valid provided that terminals are kept at ambient temperature.
 2. Measured with 8.3ms single half sine-wave. Duty cycle = 4 pulses per minute maximum.
 3. Unidirectional units only.
 4. RoHS revision 13.2.2003. Glass and High Temperature Solder Exemptions Applied, see EU Directive Annex Notes 5 and 7.

Ek 9 P6SMB6.8CA çift yönlü (bidirectional) TVS diyot teknik dökümanı

P6SMB6.8AT3 Series

600 Watt Peak Power Zener Transient Voltage Suppressors

Unidirectional*

The SMB series is designed to protect voltage sensitive components from high voltage, high energy transients. They have excellent clamping capability, high surge capability, low zener impedance and fast response time. The SMB series is supplied in ON Semiconductor's exclusive, cost-effective, highly reliable Surmetic™ package and is ideally suited for use in communication systems, automotive, numerical controls, process controls, medical equipment, business machines, power supplies and many other industrial/consumer applications.

Specification Features:

- Working Peak Reverse Voltage Range – 5.8 to 171 V
- Standard Zener Breakdown Voltage Range – 6.8 to 200 V
- Peak Power – 600 W @ 1 ms
- ESD Rating of Class 3 (>16 KV) per Human Body Model
- Maximum Clamp Voltage @ Peak Pulse Current
- Low Leakage < 5 μ A Above 10 V
- UL 497B for Isolated Loop Circuit Protection
- Response Time is Typically < 1 ns
- Pb-Free Packages are Available

Mechanical Characteristics:

CASE: Void-free, transfer-molded, thermosetting plastic

FINISH: All external surfaces are corrosion resistant and leads are readily solderable

MAXIMUM CASE TEMPERATURE FOR SOLDERING PURPOSES:
260°C for 10 Seconds

LEADS: Modified L-Bend providing more contact area to bond pads

POLARITY: Cathode indicated by polarity band

MOUNTING POSITION: Any

MAXIMUM RATINGS

Please See the Table on the Following Page

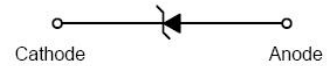
*Please see P6SMB11CAT3 to P6SMB91CAT3 for Bidirectional devices.



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

**PLASTIC SURFACE MOUNT
ZENER OVERVOLTAGE
TRANSIENT SUPPRESSORS
5.8–171 VOLTS
600 WATT PEAK POWER**



SMB
CASE 403A
PLASTIC

MARKING DIAGRAM



A = Assembly Location
Y = Year
WW = Work Week
xx = Device Code (Refer to page 3)
▪ = Pb-Free Package

(Note: Microdot may be in either location)

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping†
P6SMBxxxAT3	SMB	2500/Tape & Reel
P6SMBxxxAT3G	SMB (Pb-Free)	2500/Tape & Reel

†For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specifications Brochure, BRD8011/D.

Ek 10 ULN2803A darlington transistör dizisi tümdevresi teknik dökümanı

ULN2803A DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY

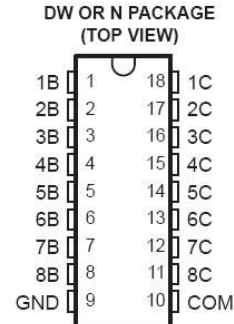
SLRS049E – FEBRUARY 1997 – REVISED JULY 2006

- 500-mA Rated Collector Current (Single Output)
- High-Voltage Outputs . . . 50 V
- Output Clamp Diodes
- Inputs Compatible With Various Types of Logic
- Relay Driver Applications
- Compatible with ULN2800A Series

description/ordering information

The ULN2803A is a high-voltage, high-current Darlington transistor array. The device consists of eight npn Darlington pairs that feature high-voltage outputs with common-cathode clamp diodes for switching inductive loads. The collector-current rating of each Darlington pair is 500 mA. The Darlington pairs may be connected in parallel for higher current capability.

Applications include relay drivers, hammer drivers, lamp drivers, display drivers (LED and gas discharge), line drivers, and logic buffers. The ULN2803A has a 2.7-k Ω series base resistor for each Darlington pair for operation directly with TTL or 5-V CMOS devices.



ORDERING INFORMATION

T _A	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
-40°C to 85°C	PDIP (N)	Tube of 20	ULN2803AN	ULN2803AN
	SOIC (DW)	Tube of 40	ULN2803ADW	ULN2803A
		Reel of 2000	ULN2803ADWR	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2006, Texas Instruments Incorporated

1

Şekil Ek 10.1 ULN2803A teknik dökümanı

Ek 11 DAC124S085C1MM sayısal-örneksel dönüştürücü tümdevresi teknik dökümanı



November 18, 2008

DAC124S085

12-Bit Micro Power QUAD Digital-to-Analog Converter with Rail-to-Rail Output

General Description

The DAC124S085 is a full-featured, general purpose QUAD 12-bit voltage-output digital-to-analog converter (DAC) that can operate from a single +2.7V to 5.5V supply and consumes 1.1 mW at 3V and 2.4 mW at 5V. The DAC124S085 is packaged in 10-lead LLP and MSOP packages. The 10-lead LLP package makes the DAC124S085 the smallest QUAD DAC in its class. The on-chip output amplifier allows rail-to-rail output swing and the three wire serial interface operates at clock rates up to 40 MHz over the entire supply voltage range. Competitive devices are limited to 25 MHz clock rates at supply voltages in the 2.7V to 3.6V range. The serial interface is compatible with standard SPI™, QSPI, MICROWIRE and DSP interfaces.

The reference for the DAC124S085 serves all four channels and can vary in voltage between 1V and V_A , providing the widest possible output dynamic range. The DAC124S085 has a 16-bit input shift register that controls the outputs to be updated, the mode of operation, the powerdown condition, and the binary input data. All four outputs can be updated simultaneously or individually depending on the setting of the two mode of operation bits.

A power-on reset circuit ensures that the DAC output powers up to zero volts and remains there until there is a valid write to the device. A power-down feature reduces power consumption to less than a microWatt with three different termination options.

The low power consumption and small packages of the DAC124S085 make it an excellent choice for use in battery operated equipment.

The DAC124S085 is one of a family of pin compatible DACs, including the 8-bit DAC084S085 and the 10-bit DAC104S085. The DAC124S085 operates over the extended industrial temperature range of -40°C to +105°C.

Features

- Guaranteed Monotonicity
- Low Power Operation
- Rail-to-Rail Voltage Output
- Power-on Reset to 0V
- Simultaneous Output Updating
- Wide power supply range (+2.7V to +5.5V)
- Industry's Smallest Package
- Power Down Modes

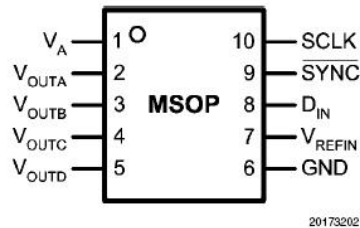
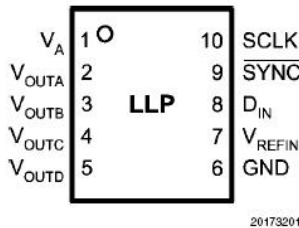
Key Specifications

■ Resolution	12 bits
■ INL	±8 LSB (max)
■ DNL	+0.7 / -0.5 LSB (max)
■ Settling Time	8.5 μ s (max)
■ Zero Code Error	+15 mV (max)
■ Full-Scale Error	-0.75 %FS (max)
■ Supply Power	
■ — Normal	1.1 mW (3V) / 2.4 mW (5V) typ
■ — Power Down	0.3 μ W (3V) / 0.8 μ W (5V) typ

Applications

- Battery-Powered Instruments
- Digital Gain and Offset Adjustment
- Programmable Voltage & Current Sources
- Programmable Attenuators

Pin Configuration



SPI™ is a trademark of Motorola, Inc.

Şekil Ek 11.1 DAC124S085 teknik dökümanı

Ek 12 LM6144BIM işlemsel yükselteç tümdevresi teknik dökümanı



November 2004

LM6142/LM6144

17 MHz Rail-to-Rail Input-Output Operational Amplifiers

General Description

Using patent pending new circuit topologies, the LM6142/LM6144 provides new levels of performance in applications where low voltage supplies or power limitations previously made compromise necessary. Operating on supplies of 1.8V to over 24V, the LM6142/LM6144 is an excellent choice for battery operated systems, portable instrumentation and others.

The greater than rail-to-rail input voltage range eliminates concern over exceeding the common-mode voltage range. The rail-to-rail output swing provides the maximum possible dynamic range at the output. This is particularly important when operating on low supply voltages.

High gain-bandwidth with 650 μ A/Amplifier supply current opens new battery powered applications where previous higher power consumption reduced battery life to unacceptable levels. The ability to drive large capacitive loads without oscillating functionally removes this common problem.

Features

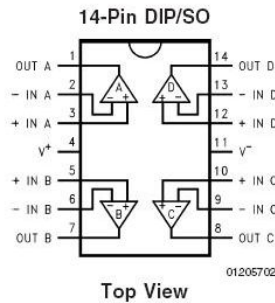
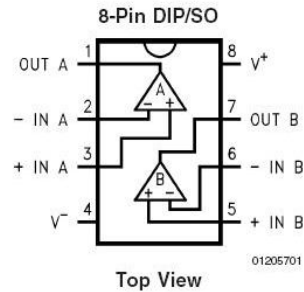
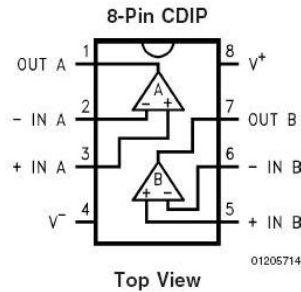
At $V_S = 5V$. Typ unless noted.

- Rail-to-rail input CMVR $-0.25V$ to $5.25V$
- Rail-to-rail output swing $0.005V$ to $4.995V$
- Wide gain-bandwidth: 17MHz at 50kHz (typ)
- Slew rate:
 - Small signal, 5V/ μ s
 - Large signal, 30V/ μ s
- Low supply current 650 μ A/Amplifier
- Wide supply range 1.8V to 24V
- CMRR 107dB
- Gain 108dB with $R_L = 10k$
- PSRR 87dB

Applications

- Battery operated instrumentation
- Depth sounders/fish finders
- Barcode scanners
- Wireless communications
- Rail-to-rail in-out instrumentation amps

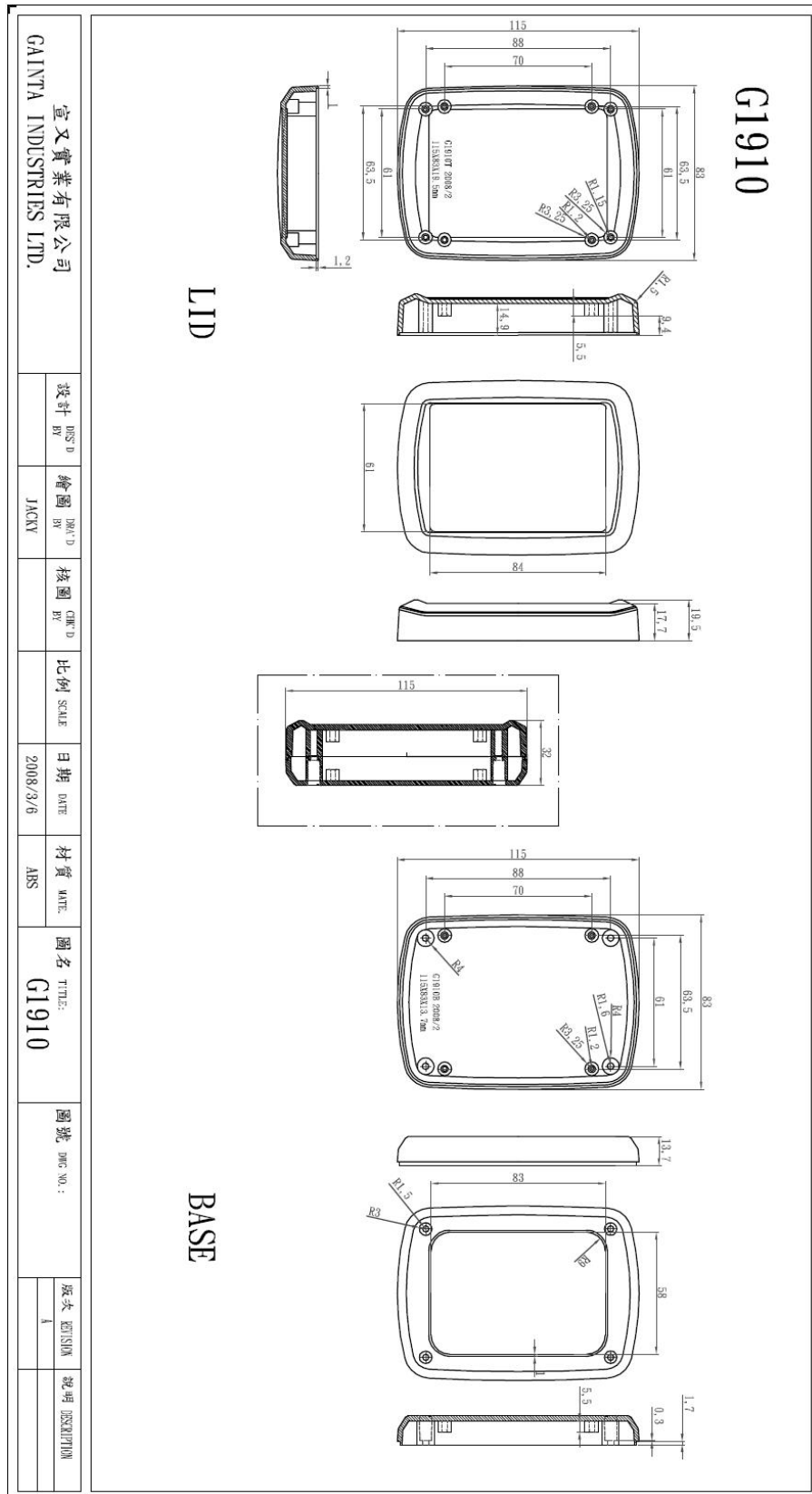
Connection Diagrams



LM6142/LM6144, 17 MHz Rail-to-Rail Input-Output Operational Amplifiers

Şekil Ek 12.1 LM6144 teknik dökümanı

Ek 13 G1910 elektronik cihaz kutusu teknik çizimi



Şekil Ek 13.1 G1910 teknik çizimi

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 04.04.1982

Doğum yeri Düzce

Lise 1993-2000 Düzce Arsal Anadolu Lisesi

Lisans 2000-2004 Yıldız Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurum(lar)

2003-2007 Telemetry Sistemleri San. ve Tic. A.Ş.
2008-Devam ediyor REM Elektronik Yatırım ve Tic. A.Ş.