

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EŞZAMANLI ÖRNEKLEMELİ
VERİ TOPLAMA KARTI TASARIMI

FERHAN ÖZTÜRK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2019

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EŞZAMANLI ÖRNEKLEMELİ
VERİ TOPLAMA KARTI TASARIMI

FERHAN ÖZTÜRK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. ERKAN ZERGEROĞLU

GEBZE
2019

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

SIMULTANEOUS SAMPLING
DATA ACQUISITION BOARD DESIGN

FERHAN ÖZTÜRK
A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ELECTRONIC ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. ERKAN ZERGEROĞLU

GEBZE
2019

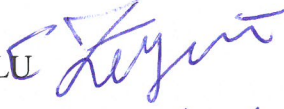
GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..30../05../2019 tarih ve ..2019../25..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından ..03../07../2019. tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ferhan.....ÖZTÜRK.....'ün tez çalışması ..Elektronik Mühendisliği.....Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

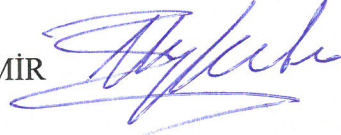
(TEZ DANIŞMANI)

: Prof. Dr. Erkan ZERGEROĞLU



ÜYE

: Doç. Dr. İlyas KANDEMİR



ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Janset DAŞDEMİR



ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

Bir veri toplama sistemi analog sinyalleri sayısal biçime dönüştürüp depolamak ya da işlemek amacıyla kullanılır. Bu çalışmada eşzamanlı örnekleme çok kanallı bir veri toplama sistemi tasarlanmıştır. Sistem çok kanallı giriş ve çıkış birimlerine sahiptir; bu nedenle yalnızca ölçüm ve görüntüleme araçlarında değil aynı şekilde kapalı çevrim kontrol sistemlerinde kullanılabilir. Giriş ve çıkışların sayısı uygulamanın gereksinimlerine göre bant genişliği kullanımını optimize etmek için ölçeklendirilebilir. Sistemin temel avantajları esneklik ve piyasadaki muadil ürünlere göre çok düşük maliyetli olmasıdır.

Tasarlanan sistem iki adet 32 bitlik mikrodenetleyici tabanlı olup bilgisayar bağlantısı için USB arayüzünü kullanmaktadır. Sistem 8'er adet analog giriş, analog çıkış, sayısal giriş, enkoder girişi ve PWM çıkışından oluşmaktadır. Kanal başı 10 kÖrnek/s'e kadar ve toplamda 1MB/s veri aktarımına standart konfigürasyonda ulaşılabilir. USB 1.1 Tam Hız arayüzü yerine USB 2.0 Yüksek Hız arayüzü kullanan genişletilmiş konfigürasyonla birlikte daha yüksek bant genişliği elde edilebilir. Simulink ortamında bu sistem Simulink modellerinden 1 kHz kapalı döngü örnekleme oranına kadar gerçek zamanlı uygulamalar oluşturmak için kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Eşzamanlı Örnekleme Veri Toplama Kartı (DAQ), USB.

SUMMARY

A data acquisition system is used to convert analog signals to digital form for storage and processing. In this work a simultaneous sampling multi-channel data acquisition system was designed. The system has multi-channel inputs and outputs; therefore this system can be used not only in measurement and monitoring tools as well as in closed loop control systems. The number of inputs and outputs can be scaled dependent on the application requirements in order to optimize bandwidth usage. The main advantages of the system are flexibility and ultra-low cost corresponding to the equivalent products in the market.

The designed system is based on two 32 bit microcontrollers and uses USB interface for PC connection. The system consists of 8 units of analog inputs, analog outputs, digital inputs, encoder inputs and PWM outputs. Up to 10 kSamples/s per channel and in total up to 1 MB/s data transfer is achievable in standard configuration. With extended configuration which uses USB 2.0 High Speed interface instead of USB 1.1 Full Speed interface, more bandwidth can be obtained. In the Simulink environment this system can be used to create real-time applications from Simulink models which support up to 1 kHz closed-loop sample rate.

Key Words: Simultaneous Sampling Data Acquisition Board (DAQ), USB.

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans çalışmasını öneren ve çalışmanın her aşamasında bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. Erkan ZERGEROĞLU'na ve göstermiş olduğu desteklerinden dolayı anne ve babama en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	1
2. VERİ TOPLAMA SİSTEMLERİ	3
2.1. Algılayıcılar	3
2.2. Veri Toplama Cihazı	4
2.2.1. İşaret Şekillendiriciler	4
2.2.2. Analog-Sayısal Çeviriciler	4
2.2.3. Veri Yolu	6
2.3. Bilgisayar Yazılımı	6
2.4. Çok Kanallı Veri Toplama Sistemleri	7
3. VERİ TOPLAMA KARTI TASARIMI	8
3.1. Devre Tasarımı	9
3.1.1. Güç Kaynağı Ünitesi	10
3.1.1.1. 12V Regüle Devresi	11
3.1.1.2. 5V Regüle Devresi	11
3.1.1.3. 3V3 Regüle Devresi	11
3.1.1.4. -12V Regüle Devresi	12
3.1.2. Analog Girişler	12
3.1.2.1. ADC Entegresi ile Haberleşme	13
3.1.3. Analog Çıkışlar	14
3.1.3.1. DAC Entegresi ile Haberleşme	14
3.1.4. Enkoder Girişleri	15

3.1.5. USB Arayüzü	16
3.1.6. Mikrodenetleyici	16
3.2. Yazılım Tasarımı	17
3.2.1. Bilgisayar Yazılımı	17
3.2.2. Mikrodenetleyici Yazılımı	19
3.2.2.1. Mikrodenetleyici ile Bilgisayar Haberleşmesi	19
3.2.2.2. Mikrodenetleyiciler Arası Haberleşme	20
4. DENEYSEL SONUÇLAR VE DOĞRULAMA	22
4.1. Analog Girişler	22
4.2. Analog Çıkışlar	24
4.3. PWM Çıkışları	25
4.4. Enkoder Girişleri	26
4.5. Sayısal Giriş-Çıkış Birimleri	26
4.6. Kontrol Sistemleri Uygulamaları	27
4.6.1. Matlab ile DC Motor Pozisyon Kontrol Uygulaması	27
4.6.2. Simulink ile DC Motor Pozisyon Kontrol Uygulaması	28
5. SONUÇLAR ve YORUMLAR	30
KAYNAKLAR	31
ÖZGEÇMİŞ	33
EKLER	34

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kisaltmalar</u>	
ADC	: Analog to Digital Converter
DAC	: Digital to Analog Converter
MCU	: Microcontroller Unit
SPI	: Serial Peripheral Interface
USB	: Universal Serial Bus
PWM	: Pulse Width Modulation
DAQ	: Data Acquisition
mV	: Millivolt
uV	: Microvolt
SAR	: Successive-Approximation
PCI	: Peripheral Component Interconnect
MB/s	: Mega bytes per second
PID	: Proportional-Integral-Derivative
TVS	: Transient Voltage Suppressor

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1:	Ardışıl örneklemeli sistem. 7
2.2:	Eşzamanlı örneklemeli sistem. 7
3.1:	Veri toplama sisteminin blok diyagramı. 8
3.2:	Veri toplama devresinin blok diyagramı. 10
3.3:	Analog giriş yapısı. 12
3.4:	ADC entegresinin zamanlama diyagramı. 13
3.5:	DAC entegresinin blok diyagramı. 14
3.6:	DAC entegresinin zamanlama diyagramı. 15
3.7:	Enkoder sayacının giriş darbelerine göre değişimi. 16
3.8:	Bilgisayar yazılımı arayüzü. 17
3.9:	Analog çıkışlar için işaret üretici. 18
4.1:	Analog girişler ve ölçüm değerleri. 22
4.2:	Analog giriş sapma yüzdeleri. 23
4.3:	Eşzamanlı örnekleme. 23
4.4:	Analog çıkışlar ve ölçüm değerleri. 24
4.5:	Analog çıkış sapma yüzdeleri. 25
4.6:	Matlab motor konum-zaman grafiği. 28
4.7:	Simulink kontrol algoritması blok diyagram. 29
4.8:	Simulink motor konum-zaman grafiği. 29
A1.1:	Mikrodenetleyici şeması. 34
A1.2:	±12V Güç kaynağı şeması. 34
A1.3:	5V Güç kaynağı şeması. 34
A1.4:	3V3 Güç kaynağı şeması. 35
A1.5:	Analog giriş şeması. 35
A1.6:	Enkoder girişi şeması. 35
A1.7:	Analog çıkış şeması. 36
A1.8:	USB şeması. 36
B1.1:	Üst katman baskı devre çizimi. 37
B1.2:	Alt katman baskı devre çizimi. 37

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Yaygın kullanılan algılayıcıların çıkış tipleri.	3
2.2: Bazı çevirici tipleri ve karakteristikleri.	5
2.3: Çeşitli veri yolları ve özellikleri.	6
3.1: Veri toplama kartına ait bazı kontrol komutları.	19
3.2: Veri paketi yapısı.	20
3.3: Yapılandırma ayarları için komut yapısı.	20
3.4: Ana mikrodenetleyici veri paketi.	21
3.5: Yardımcı mikrodenetleyici veri paketi.	21
4.1: Analog giriş karakteristikleri.	24
4.2: Analog çıkış karakteristikleri.	25
4.3: PWM çıkış karakteristikleri.	26
4.4: Enkoder giriş karakteristikleri.	26
4.5: Sayısal giriş-çıkış karakteristikleri.	27

1. GİRİŞ

Günümüzde çok kanallı örnekleme yapabilen veri toplama sistemleri başta kontrol sistemleri, bilimsel araştırmalar, endüstriyel uygulamalar ve görüntüleme sistemleri olmak üzere birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları algılayıcı kartları, medikal cihazlar ve ölçüm cihazlarıdır.

Veri toplama sistemleri uygulamanın ihtiyacına göre çok değişkenlik göstermektedir. Medikal cihazlarda manyetik rezonans görüntüleme amacıyla çok yüksek hızlı sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Buna karşın endüstriyel proseslerde sıcaklık izleme cihazları için nispeten yavaş sistemler yeterli olmaktadır. Elektrik şebekesi ya da kontrol uygulamalarında ise işaretlerin eşzamanlı örneklenmesi önem arz etmektedir. Bununla birlikte ölçülecek işaretlerin genliği, hassasiyeti ve bant genişliği oldukça değişkenlik göstermektedir. Piyasada farklı amaçlar için tasarlanmış çok sayıda çeşitli özelliklere sahip sistemler bulunmaktadır. Fakat bu sistemlerin maliyeti çoğunlukla oldukça yüksektir ve uygulamanın ihtiyacına göre özelleştirmek genellikle mümkün değildir.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Veri toplama sistemleri endüstriyel uygulamalarda, bilimsel ve teknolojik çalışmalarda çok geniş bir kullanım sahasına sahiptir. Bu alanlardaki uygulamaların çeşitliliği oldukça fazladır ve performans gereksinimleri farklıdır. Bu nedenle bir veri toplama sisteminin farklı ihtiyaçlara cevap verebilecek şekilde yapılandırılabilmesi oldukça önemlidir.

Bu çalışmada çeşitli uygulamaların ihtiyacını karşılayabilecek ölçeklenebilir, eşzamanlı örnekleme alabilen bir veri toplama sistemi tasarlanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda taşınabilir yapıda yüksek hızlı veri aktarımı ve kontrol olanağı sağlayan USB arayüzü tercih edilmiş; yüksek performans için de iki adet 32 bitlik mikrodenetleyici kullanılmıştır. Bununla birlikte yüksek çözünürlüklü işaret çeviriciler kullanılarak piyasadaki ürünlerle benzer nitelikte fakat isteğe göre özelleştirilebilir esneklikte bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Tasarımın diğer önemli bir kısıtı da düşük maliyettir. Bu bakımdan devre elemanları seçilirken performanslarıyla beraber maliyetleri de göz önüne alınmıştır.

Bu tez çalışmasında öncelikle ikinci bölümde veri toplama sistemlerinin bileşenleri açıklanmıştır. Aynı zamanda sistem karakteristiklerine ait temel tanımlamalara da yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde tasarlanan sistemin tüm bileşenleri etraflica açıklanmıştır. Sistem mimarisi, yazılım ve tasarım kıstasları hakkında bilgi verilmiştir.

Dördüncü bölümde önerilen sistemin performans ve doğrulama testleri gösterilmiştir. Bunlardan yola çıkarak sistem karakteristikleri belirlenmiştir.

Son bölümde ise bu çalışma hakkında genel bir değerlendirme yapılmış ve gelecekteki benzer çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. VERİ TOPLAMA SİSTEMLERİ

Veri toplama voltaj, akım, basınç, sıcaklık gibi elektriksel ya da fiziksel nitelikleri sayısal biçime dönüştürüp depolamak ya da işlemek amacıyla yapılan ölçme işlemidir. Bir veri toplama sisteminin temel bileşenleri şunlardır [1]:

- **Algılayıcılar:** Fiziksel nitelikleri elektriksel işaretlere dönüştürürler.
- **Veri Toplama Cihazı:** Veri toplama cihazının temel unsurları işaret şekillendiriciler, analog-sayısal çeviriciler ve bilgisayarla haberleşmeyi sağlayan veri yoludur. İşaret şekillendiriciler, algılayıcı çıkışındaki işaretleri sayısal biçime dönüştürmeden önce ölçeklendirmek ya da filtrelemek amacıyla kullanılır. Analog-sayısal çeviriciler ise analog işaretleri sayısal değerlere çevirirler.
- **Bilgisayar Sürücüsü ve Yazılımı:** C, C++, C#, Matlab, LabVIEW gibi dillerde geliştirilen donanımı kontrol etmek amacıyla kullanılan sürücü ve yazılımdan oluşur.

2.1. Algılayıcılar

Algılayıcılar fiziksel bir olguyu elektriksel bir işarete dönüştürürler. Bu bakımdan fiziksel dünya ile elektriksel cihazların dünyası arasındaki bağlantının bir parçasını oluştururlar. Bu nedenle veri toplama sistemlerinde önemli bir yere sahiptirler. Tablo 2.1’de yaygın kullanılan algılayıcılardan bazıları ve bunlara ait çıkış tipleri görülmektedir [2].

Tablo 2.1: Yaygın kullanılan algılayıcıların çıkış tipleri.

Fiziksel Özellik	Algılayıcı	Elektriksel Çıkış Tipi
Sıcaklık	RTD	Direnç
	Termistor	Direnç
	Termokupl	Voltaj
Kuvvet/Basınç	Piezoelektrik	Voltaj
Işık Şiddeti	Fotodiyot	Akım

2.2. Veri Toplama Cihazı

2.2.1. İşaret Şekillendiriciler

İşaret şekillendiriciler dış ortamdan ya da çeşitli algılayıcılardan gelen işaretlerin analog-sayısal çevirici girişleri için uygun hale getirilmesini sağlarlar [1]. Ölçülmek istenen işaretlerin genliği çevirici girişleri için izin verilen değerlerden büyük olması durumunda çeviriciye girilmeden önce işaret zayıflatma amacıyla ya da çok küçük genlikli işaretler ölçülmek istendiğinde kuvvetlendirme amacıyla kullanılabilirler. Böylece analog-sayısal çevirici giriş aralığı ile işaretlerin salınım genliğinin eşleşmesi sağlanarak azami çözünürlük ve hassasiyet elde edilebilir [3].

İşaretler çok gürültülü ya da ölçüm cihazı için tehlikeli olabilirler. Gürültülü işaretler işaret şekillendirici üzerindeki bir süzgeçten geçilerek istenmeyen kısımları ölçüme dahil edilmeyebilir. İşaret şekillendiricilerin diğer bir görevi de ihtiyaç duyulması halinde yalıtım sağlamasıdır. Transformatör, optik ya da kapasitif bağlantı teknikleri kullanılarak yüksek voltajlı işaretlerin ölçüm sistemine zarar vermesi önlenir. Yalıtımın diğer bir amacı da toprak hatları arasındaki farklardan kaynaklanan ölçüm hatalarını gidermektir [3].

2.2.2. Analog-Sayısal Çeviriciler

Analog işaretler, analog-sayısal çeviriciler ile belirli bir hızda periyodik olarak örneklenerek sayısal biçime dönüştürülür. Daha sonra bu örnekler bilgisayar gibi bir sayısal ortama aktarılıp birleştirilerek işaret tekrar oluşturulabilir [1]. Sayısal ortamda veriler kolayca işlenebilir ya da saklanabilir.

Analog-sayısal çeviricilere ilişkin temel parametreler azami örnekleme hızı, çözünürlük, giriş aralığı, kanal sayısı ve çevirici tipidir. Azami örnekleme hızı çeviricinin birim zamanda ürettiği örnek sayısını ifade eder [4]. Örneğin 10 kÖrnek/s hızındaki bir çevirici saniyede 10000 örnek alabilir. Daha yüksek örnekleme hızı işaretin sayısal ortamda daha iyi oluşturulmasını sağlar.

Analog-sayısal çevirici analog bir işaretin genliğini sayısal biçimde ifade etmek için ikilik tabanda bir karakter dizisine dönüştürür. Üretilen bit (karakter) sayısı çeviricinin teorik çözünürlüğünü gösterir. N bitlik bir çevirici 2^N kadar çıktı

üretebilir. Dolayısıyla karakter sayısı arttıkça işaretin gerçek değerine daha çok yaklaşılabılır. Çeviricinin çözünürlüğü giriş aralığının çıktı sayısına bölünmesiyle bulunur. Örneğin 0-10V giriş gerilimine sahip 12 bitlik bir çeviricinin çözünürlüğü 2.44mV'tur. Fakat çeviricinin sistem üzerindeki dinamik performansı etkin bit sayısı hesaplanarak belirlenmelidir. Bu değer gürültü etkenini içerdiğinden dikkate alınmalıdır [5].

Çeviricinin giriş aralığı çevirici girişine bağlanabilecek işaretin azami genliğini belirtir. Bu parametre uygulamaların ihtiyacına göre oldukça çeşitlilik göstermektedir. Bazı çeviricilerin girişine $\pm 10V$ uygulanabilirken bazılarına ise 0-5V uygulanmasına izin verilmektedir. Kimi uygulamalarda ise mV ya da uV seviyesinde işaretlerin çeviriciye uygulanması gerekmektedir. Bu nedenle daha doğru sonuçlar elde edebilmek için işaretin genliği çevirici girişi ile en iyi şekilde eşleşmelidir.

Çeviricinin kanal sayısı çeviriciye bağlanabilecek işaret sayısını ifade eder. Kanal sayısı tek uçlu ya da farksal işaretler için ayrı ayrı belirtilebilir. Tek uçlu işaretler ortak bir toprak noktasına göre ölçülür. Bu tür çevirici girişleri kısa mesafedeki nispeten daha yüksek genlikli işaretler için uygundur. Farksal işaret girişleri ise uzun mesafedeki düşük genlikli işaret kaynakları için kullanılır. İki nokta arasındaki fark ölçüldüğünden bu noktalara etki eden ortak gürültü ölçüme dahil edilmez [1], [5].

Çevirici mimarisi çeviricinin güç tüketimi, çözünürlüğü, performansı, azami çevrim hızı ve maliyeti üzerinde belirleyici etkiye sahiptir. Bu bakımdan uygulamanın ihtiyacına göre doğru çevirici tipinin seçilmesi büyük önem arz etmektedir. Tablo 2.2'de bazı çevirici tipleri ve genel karakteristikleri görülmektedir [5] – [7].

Tablo 2.2: Bazı çevirici tipleri ve karakteristikleri.

Çevirici Tipi	Örnekleme Hızı	Çözünürlük
Successive-Approximation (SAR)	< 5 MÖrnek/s	8-20 bit
Delta Sigma	< 192 kÖrnek/s	16-24 bit
Integrating	< 1 kÖrnek/s	12-24 bit
Pipelined	< 100 MÖrnek/s	8-16 bit
Flash	> 1 GÖrnek/s	6-10 bit

2.2.3. Veri Yolu

Bir veri toplama sisteminde işaretler sayısal biçime dönüştürüldükten sonra belirli bir veri yolu üzerinden bilgisayar ortamına aktarılır. Veri yolunun aktarım hızı, gecikmesi sistem performansı üzerinde önemli etkenlerdir. Bir veri yolunun birim zamanda iletilebileceği veri miktarı yani bant genişliği sınırlıdır. Tablo 2.3’de veri toplama sistemlerinde yaygın kullanılan çeşitli veri yollarına ait azami teorik hız, hat gecikmesi ve taşınabilirlik bilgileri yer almaktadır.

Veri toplama sistemlerinde birden fazla cihaz olabilir. Paylaşımlı veri yollarında aktif cihaz sayısı arttıkça bant genişliği cihazlar arasında dağıtılır. Bu da bir cihazın azami örnekleme hızında çalışamamasına neden olabilir. Bir uygulamada büyük miktarda veri aktarımına ihtiyaç varsa sistemin bant genişliği en önemli kısıtlardan biridir. Bazı uygulamalarda ise veri yolunun gecikme süresi dikkate alınmalıdır. Örneğin gerçek zamanlı bir kontrol uygulaması için veri yolu sabit ve önceden bilinen gecikmeye sahip olmalıdır. Bu tür uygulamalar için PCI ve PCI Express veri yolları daha uygundur. Kimi uygulamalarda ise taşınabilirlik en önemli etkendir. Bu tür uygulamalar için de USB, Ethernet gibi veri yolları daha kullanışlıdır [8].

Tablo 2.3: Çeşitli veri yolları ve özellikleri.

Veri yolu	Hız	Hat Gecikmesi	Taşınabilirlik
Ethernet	125 MB/s - paylaşımlı	Yüksek	Evet
PCI	132 MB/s - paylaşımlı	Düşük	Hayır
PCI Express	250 MB/s - kanal başına	Düşük	Hayır
USB	60 MB/s - paylaşımlı	Yüksek	Evet
Wireless(802.11)	6.75 MB/s – kanal başına	Yüksek	Evet

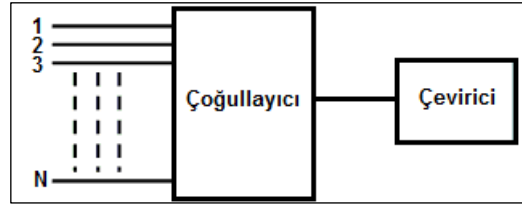
2.3. Bilgisayar Yazılımı

Bir veri toplama sisteminde ölçüm sonuçları bilgisayar ortamında kaydedilebilir ya da analiz edilebilir. Kullanıcı ile sistem arasındaki etkileşim bilgisayar yazılımı vasıtasıyla sağlanır.

2.4. Çok Kanallı Veri Toplama Sistemleri

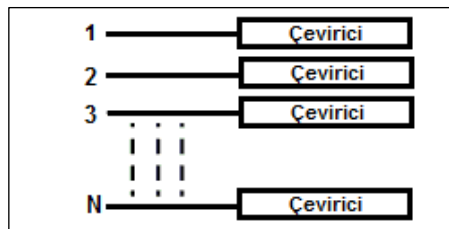
Bir veri toplama sistemi çoğunlukla birden fazla kanala sahiptir. Bu kanalların örneklenme şekli sistemler arasında farklılık göstermektedir. Bazı sistemlerde kanallar ardışıl olarak okunurken bazılarında ise eşzamanlı okunabilmektedir. Literatürde muhtelif örnekler yer almaktadır [9] - [13]. Burada seçim yapılırken uygulamanın ihtiyacı ve maliyet göz önüne alınmalıdır. Örneğin güç ölçümü yapılırken akım ve voltaj bilgisinin belirli bir andaki değeri eşzamanlı okunmalıdır.

Şekil 2.1’de ardışıl örneklemeli sistemlerin yapısı görülmektedir. Birden fazla kanal tek bir çevirici ile örneklenir. Tüm aktif kanallar bir çoğullayıcı yardımıyla çevirici tarafından sırasıyla taranır. Bu nedenle aktif kanal sayısı arttıkça örnekleme hızı düşer. Bunun yanında kanallar arası etkileşim ve faz farkı eşzamanlı örneklemeli sistemlere göre daha fazladır. Fakat bu sistemlerde bir çevirici kullanıldığından güç tüketimi daha düşük ve maliyet daha azdır.



Şekil 2.1: Ardışıl örneklemeli sistem.

Şekil 2.2’de ise eşzamanlı örneklemeli bir sistemin yapısı görülmektedir. Bu sistemlerde birden fazla çevirici olabileceği gibi tek bir çevirici birden fazla örnekleme ve tut devresi ile beraber kullanılabilir. Kanallar arası faz farkı az fakat bu sistemler her kanal için ayrı örnekleme devresi gerektirdiğinden daha maliyetlidirler [14].

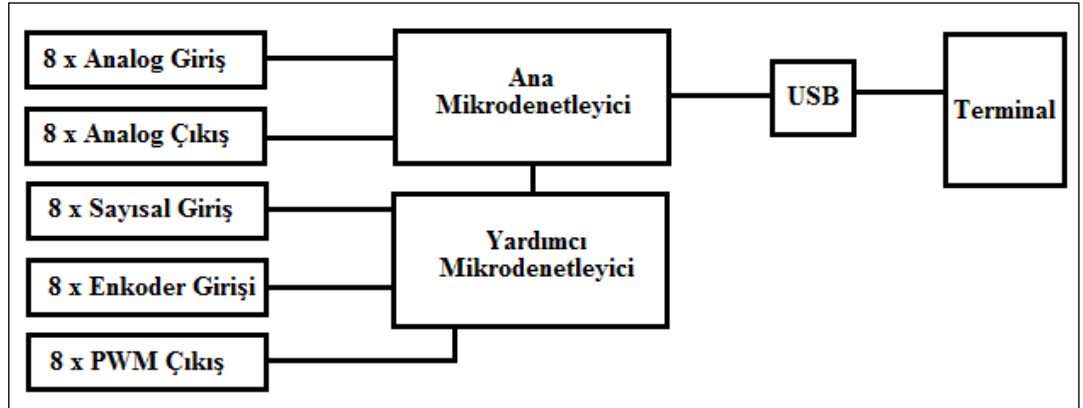


Şekil 2.2: Eşzamanlı örneklemeli sistem.

3. VERİ TOPLAMA SİSTEMİ TASARIMI

Bu bölümde veri toplama sisteminin tasarımı üzerinde durulmuştur. Sistemin genel yapısı hakkında bilgi verilerek sistemin bileşenleri açıklanmıştır. Öncelikle devre tasarımı aşamalarından bahsedilmiştir. Ardından bu çalışmada tercih edilen USB veri yolu protokolüne değinilmiştir. Son olarak da bilgisayar yazılımının özellikleri ele alınmıştır.

Şekil 3.1’de görülen veri toplama sistemi çeşitli algılayıcılardan okunan analog işaretleri sayısal değerlere dönüştüren 8 kanal analog girişe ve bilgisayar yazılımı üzerinden kontrol edilerek sayısal değerleri analog işaretlere dönüştüren 8 kanal analog çıkışa sahiptir. Bununla birlikte sistem üzerinde genellikle bir motorun şaftına bağlanarak hız, yön veya konum bilgisi elde etmeye yarayan enkoderlerin çıkış işaretlerini okuyan 8 kanal enkoder girişi, 8 kanal sayısal giriş ve 8 kanal Pulse Width Modulation (PWM) çıkışı mevcuttur.



Şekil 3.1: Veri toplama sisteminin blok diyagramı.

Tasarlanan sistemde çift mikrodenetleyici kullanılarak tüm giriş ve çıkışların eşzamanlı ve sürekli olarak takip edilmesi sağlanmıştır. Toplanan veriler USB veri yoluna aktarılmadan önce ana mikrodenetleyici bünyesindeki hafıza bölgesinde geçici süre saklanmaktadır. Daha sonra bu mikrodenetleyici aracılığıyla USB veri yolu üzerinden iletilmektedir. Bu bakımdan ana mikrodenetleyici tampon bellek olarak da önemli bir görev üstlenmektedir. Yardımcı mikrodenetleyici ise ana mikrodenetleyici ile eş güdümlü çalışarak sayısal girişlerin, enkoder girişlerinin ve PWM çıkışlarının kontrolünü yapmaktadır. Çift mikrodenetleyicili sistemin bir diğer

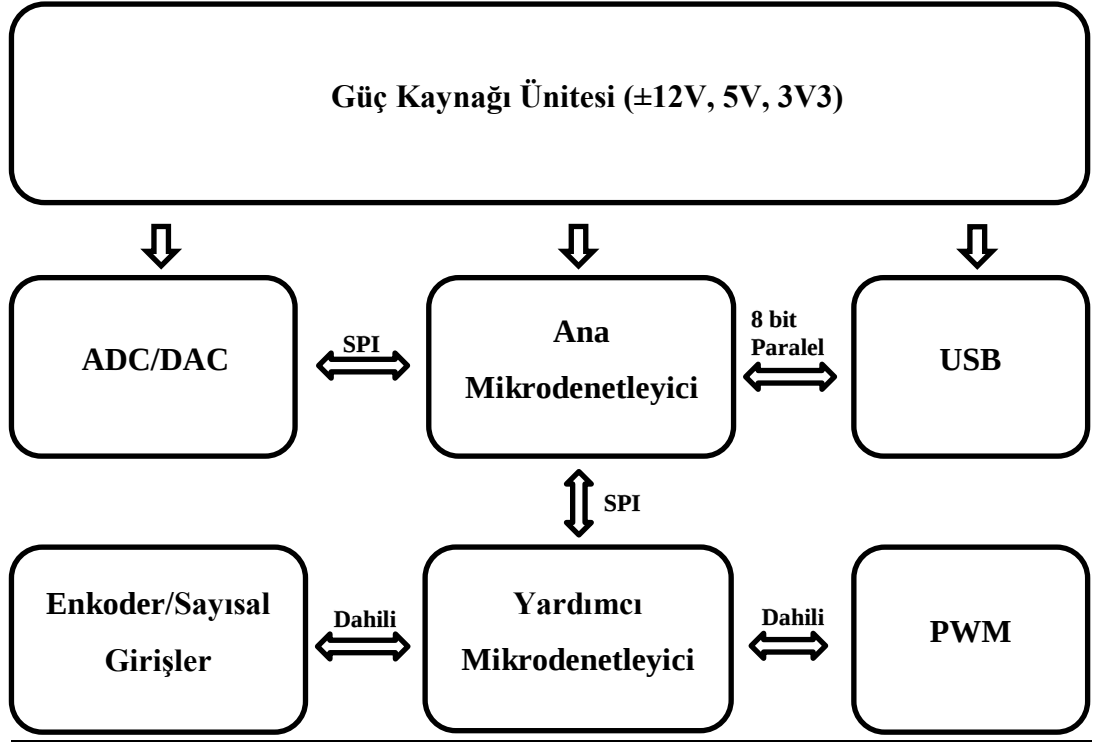
avantajı da mikrodenetleyiciler arasında görev paylaşımı yapılarak gerçek zamanlı görevlere daha fazla iş yükü ayrılabilmesidir. Örneğin ana mikrodenetleyici USB üzerinden veri aktarımı yaparken diğer mikrodenetleyici PID kontrol rutinlerini çalıştırabilir.

Bilgisayar yazılımı vasıtasıyla veri toplama kartı kontrol edilerek istenilen ünitelerin ve kanalların etkinleştirilmesi yapılabilir ve ölçüm sonuçları görüntülenip saklanabilir. Bu çalışmada veri toplama kartı ile bilgisayar arasındaki haberleşme için USB veri yolu tercih edilmiştir. Bunun nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

- 60 MB/s'e kadar veri aktarım hızı
- Taşınabilirlik
- Daha az karmaşık donanım ve düşük maliyet

3.1. Devre Tasarımı

Veri toplama devresini oluşturan donanımsal üniteler ve aralarındaki haberleşme sistemi Şekil 3.2'deki blok diyagramda gösterilmiştir. Güç kaynağı ünitesi sistemin ihtiyaç duyduğu tüm besleme gerilimlerini üretmektedir. Analog girişler eşzamanlı örnekleme 8 kanal bir Analog to Digital Converter (ADC) entegresi yardımıyla Serial Peripheral Interface (SPI) seri haberleşme arayüzü üzerinden mikrodenetleyici tarafından okunmaktadır. SPI haberleşme arayüzü ile yüksek hızlarda (> 10 MHz) çift yönlü veri aktarımı mümkündür. Benzer şekilde analog çıkışlar SPI arayüzü üzerinden kontrol edilebilen 4 kanal iki adet Digital to Analog Converter (DAC) entegresi yardımıyla oluşturulmuştur. Enkoder işaretlerini okuma işlemi mikrodenetleyiciler üzerinde bulunan donanımsal sayaçlar ile gerçekleştirilmektedir. PWM çıkışlarının tamamı ise yardımcı mikrodenetleyici üzerindeki donanımsal sayaçlar tarafından üretilmektedir. Ana ve yardımcı mikrodenetleyiciler SPI üzerinden birbirleriyle haberleşerek eş güdümlü çalışmaktadırlar. Tüm giriş ve çıkışlar donanımsal üniteler üzerinden gerçekleştirildiğinden mikrodenetleyiciler sadece bu ünitelerle belirtilen örnekleme hızında haberleşip verileri toplamakla yükümlüdür. Daha sonra bu veriler USB üzerinden bilgisayar yazılımına iletilerek bu arayüzde kullanıcıya sunulmaktadır.



Şekil 3.2: Veri toplama devresinin blok diyagramı.

Veri toplama kartı devresinin tamamında yüzey montaj malzemeler tercih edilmiştir. Bu sayede kart boyutu önemli ölçüde küçültülerek kart maliyeti azaltılmıştır.

3.1.1. Güç Kaynağı Ünitesi

Veri toplama devresi üzerinde bulunan ünitelerin çalışma gerilimleri ve güç gereksinimleri farklılık göstermektedir. Analog girişleri okumak için 5V besleme gerilimi yeterli iken analog çıkışlar için $\pm 12V$ besleme gerilimine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca mikrodenetleyiciler ve modüller arası haberleşme için 3.3V besleme kullanılmaktadır. Bu nedenle güç kaynağı ünitesi farklı gerilim seviyelerinde regüle devreleri içermektedir. Regüle devreleri giriş ve çıkışlarla aynı baskı devre üzerinde konumlandırılarak kompakt bir tasarım hedeflenmiştir. Bundan dolayı anahtarlamalı güç kaynakları yerine lineer regülatörler tercih edilmiştir. Regüle devreleri ardışıl bağlanarak yani birinin çıkışı diğerinin girişine bağlanarak güç kaynağı ünitesinin aşırı ısınma problemlerinin önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Aynı zamanda maliyet düşürülmüştür.

3.1.1.1. 12V Regüle Devresi

12V regüle devresi veri toplama kartının birincil besleme kaynağıdır. Diğer regüle devrelerinin güç gereksinimleri bu devre üzerinden sağlanmaktadır. Devrede kullanılan MC7812 entegresi, 1A akım çıkış kapasiteli, kısa devre ve yüksek sıcak korumalarına sahip lineer bir regülatördür. Veri toplama kartı bu sayede geniş bir besleme gerilimi aralığında çalışabilir. Giriş gerilimi 12V ile 24V arasında değişebilir. Besleme geriliminde meydana gelebilecek dalgalanmalar regüle edilerek belirli sınırlar içerisinde sistemin zarar görmesi önlenmiştir. Bu devre üzerinde ayrıca kartı elektrostatik boşalmalara veya kısa süreli yüksek genlikli elektriksel darbelere karşı korumak için Transient Voltage Suppressor (TVS) adı verilen özel bir diyot ile devreyi ters polarmaya karşı koruyan genel amaçlı bir diyot yer almaktadır. Regülatör üzerindeki tüm komponentlerin çalışma sıcaklığı -40°C ile $+85^{\circ}\text{C}$ arasında olup regülatör çıkış gerilimi bu aralıkta sadece azami %2 değişim gösterir [15].

3.1.1.2. 5V Regüle Devresi

5V regüle devresi regüle edilmiş 12V beslemeyi 5V'a düşürmek için kullanılmaktadır. Sistem üzerinde bu regülatörden iki adet mevcuttur. Bunlardan biri analog devre elemanlarının beslemesinde; diğeri ise lojik devrelerin beslemesinde kullanılmıştır. Regülatörde kullanılan LM7805 entegresi, 1A akım çıkış kapasiteli, içerisinde kısa devre koruması ve yüksek sıcaklık koruması bulunan bir devre elemanıdır. Çalışma sıcaklığı aralığında çıkış gerilimi sadece azami %2 değişim gösterir [16].

3.1.1.3. 3V3 Regüle Devresi

Bu regüle devresi 5V regüle devresinden beslenerek sistemin ihtiyaç duyduğu 3.3V besleme gerilimini üretmektedir. Regülatörde kullanılan AP2210 entegresi, 300mA akım çıkış kapasiteli; akım koruması, ters besleme koruması ve yüksek sıcaklık korumasına sahip bir devre elemanıdır. Çalışma sıcaklığı aralığında çıkış gerilimi sadece azami %2 değişim gösterir [17].

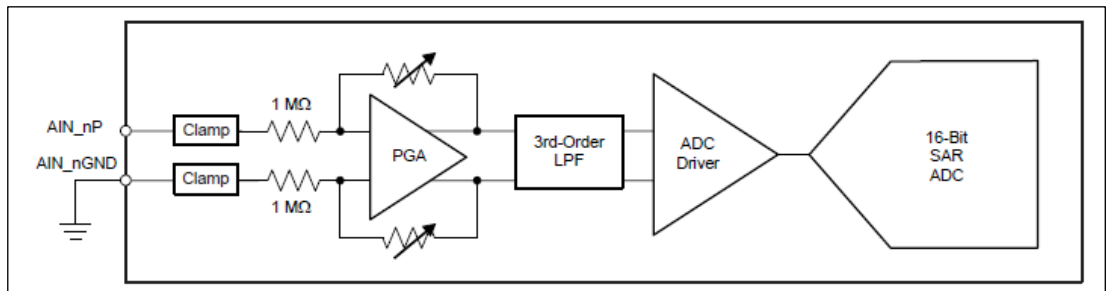
3.1.1.4. -12V Regüle Devresi

-12V besleme gerilimi sadece analog çıkışlar tarafından ihtiyaç duyulmaktadır. Eğer sadece pozitif polaritede çıkışlar yeterliyse bu durumda regülatör kullanılmayabilir. Regülatör devresinde kullanılan MC7912 entegresi, 1A akım çıkış kapasiteli, kısa devre ve yüksek sıcak korumalarına sahip bir devre elemanıdır. Giriş gerilimi -12V ile -24V arasında değişebilir. Çalışma sıcaklığı aralığında çıkış gerilimi sadece azami %2 değişim gösterir [18].

3.1.2. Analog Girişler

Bu çalışmada tasarlanan veri toplama sisteminin en önemli özelliklerinden biri de eşzamanlı olarak örnekleme yapabilmesidir. Bu amaçla analog girişler için aynı anda 8 kanal ölçüm yapabilen Texas Instruments firması tarafından üretilen ADS8588S entegresi tercih edilmiştir. Bu entegre 16 bit çözünürlüğe sahip olup azami çevrim hızı 200 kÖrnek/s'dir. Girişlere uygulanan analog işaretler bu entegre tarafından sayısal bilgilere dönüştürülüp mikrodenetleyici tarafından okunur.

Veri toplama sisteminin analog girişleri $\pm 10V$ aralığında ölçüm yapabilmektedir. Şekil 3.3'de bir analog girişin yapısı görülmekte olup tüm girişler özdeştir. İşaret şekillendirici ADC entegresi bünyesinde yer almaktadır. Bu durum devre elemanlarının sayısını azalttığından baskı devre kartı boyutunun küçülmesine ve maliyet düşmesine yardımcı olmaktadır. Her giriş kendine özgü bir programlanabilir yükselteç, alçak geçiren süzgece ve analog-sayısal çeviriciye sahiptir. Bu yapı eşzamanlı örnekleme yapılmasını mümkün kılmaktadır [19].



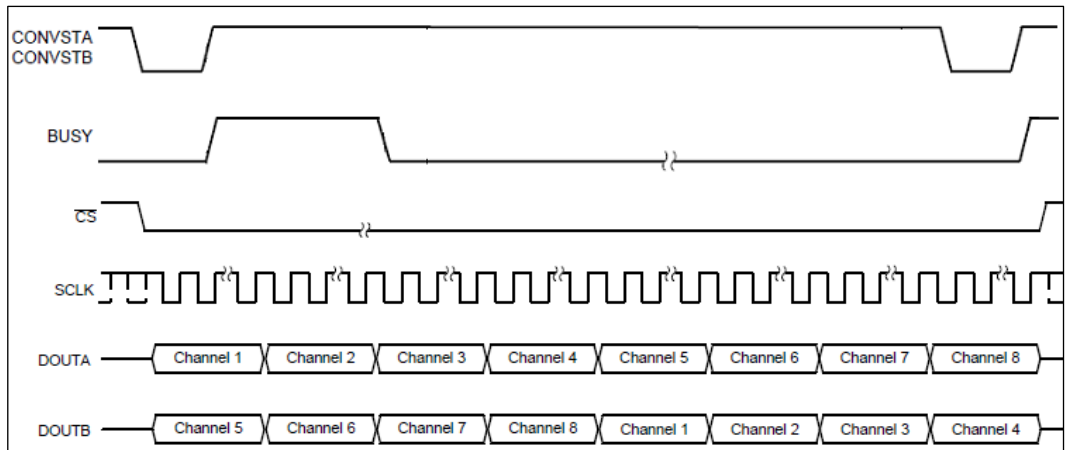
Şekil 3.3: Analog giriş yapısı.

3.1.2.1. ADC Entegresi ile Haberleşme

ADC entegresi ile haberleşme kontrol pinleri ve SPI seri haberleşme arayüzü ile gerçekleşir. Kontrol pinlerinden CONVST pini yeni bir çevrim başlatırken, BUSY pini ise çevrimin tamamlandığını gösterir. CS pini haberleşilecek entegreyi seçmek için kullanılır. Bu pin özellikle sistemde birden fazla entegre olduğunda aynı hat üzerinden haberleşmeyi mümkün kılar.

Şekil 3.4’de ADC entegresinin zamanlama diyagramı görülmektedir. Bu diyagram entegrenin bir çevrimi boyunca hangi sırayla ve kontrol pinlerinin durumlarının nasıl değiştiğini göstermektedir. Bu entegreden çevrim sonucunu okumak için aşağıdaki adımlar takip edilmelidir [19]:

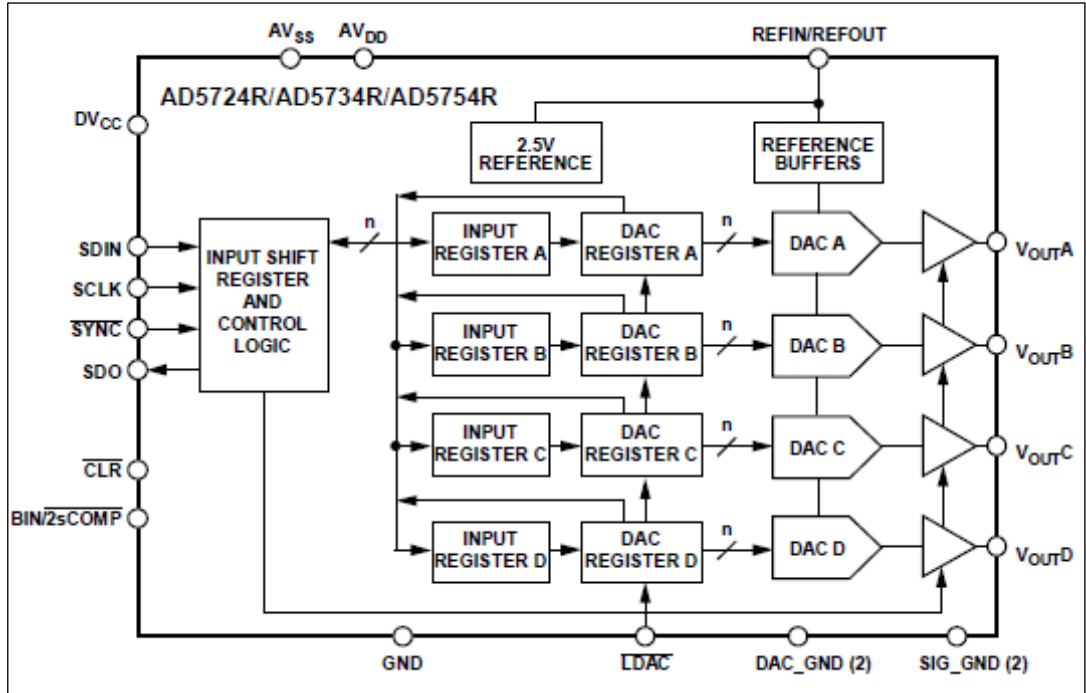
- CONVST pininin yükselen kenarında çevrim başlatılır. Çevrim esnasında okuma işlemi yapılabilir fakat bu durumda sonuç önceki çevrime ait olabilir. Bu nedenle çevrimin tamamlanması beklenmelidir.
- Çevrim süresince BUSY pini lojik 1 seviyesinde kalır (yaklaşık 3.8us). Bu pinin lojik 0 olması çevrim tamamlandığını göstermektedir.
- Daha sonra CS pin lojik 0 seviyesine çekilip entegre seçilir. SCLK pininin her düşen kenarında bir bit okunur. İlk 16 saat darbesi kanal 1’e ait ölçüm sonucunu verir. Daha sonraki kanalları okumak için de benzer şekilde 16’şar saat darbesi gönderilmelidir.
- Yeniden çevrim başlatmak için bu adımlar tekrarlanır.



Şekil 3.4: ADC entegresinin zamanlama diyagramı.

3.1.3. Analog Çıkışlar

Sistemde analog voltaj çıkışı sağlamak amacıyla iki adet 4 kanal DAC entegresi yer almaktadır. Bu entegreler özellikle kapalı çevrim kontrol sistemleri, otomatik test ve ölçüm sistemleri ile endüstriyel uygulamalarda çok sıklıkla kullanılırlar. Bazı uygulamalarda çıkışların aynı anda güncellenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar dikkate alınarak Analog Devices firmasının AD5734R kodlu ürünü tercih edilmiştir. Bu entegrenin iç yapısı Şekil 3.5’de görülmektedir. Bu entegre 14 bitlik çözünürlüğü sayesinde ilgili kanalın çıkış geriliminin istenilen seviyeye yüksek hassasiyetle ayarlanmasını sağlar. Çıkış gerilimi $\pm 10V$ aralığında ayarlanabilir [20].



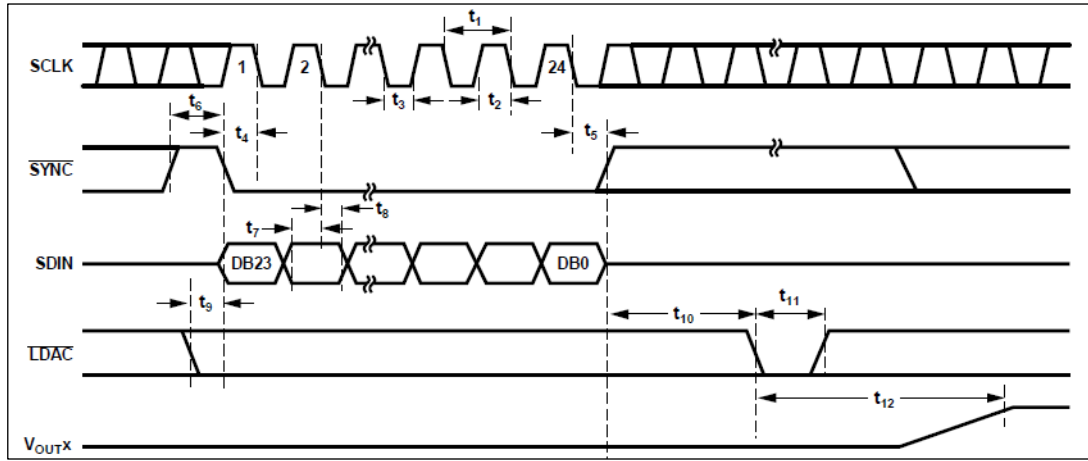
Şekil 3.5: DAC entegresinin blok diyagramı.

3.1.3.1. DAC Entegresi ile Haberleşme

Bu entegre ile haberleşme SPI üzerinden gerçekleştirilir. Azami haberleşme hızı 30 MHz’dir. Haberleşme işlem yapılacak yazmaç seçme bitleri ile 16 bitlik veriden oluşan 24 bitlik komut çerçevesi ile gerçekleştirilir. Veri bir saat darbesi ile

eşzamanlı olarak seri bir şekilde gönderilir. Saat darbesinin düşen kenarında veri biti örneklenir, yükselen kenarda ise bir sonraki bit hazırlanır.

Şekil 3.6’da DAC entegresinin zamanlama diyagramı görülmektedir. Bu diyagramda SYNC pini entegre seçme pini olup LDAC pini ise çıkışların eşzamanlı olarak güncellenmesine olanak sağlamaktadır. SCLK pinine mikrodenetleyici tarafından üretilen saat darbeleri uygulanır ve bu esnada SDIN pininden veri bitleri ardışıl olarak gönderilir [20].

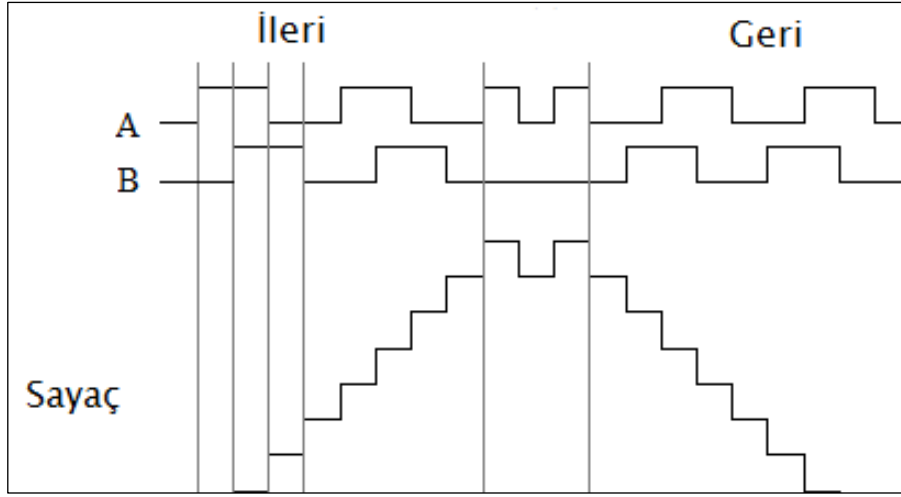


Şekil 3.6: DAC entegresinin zamanlama diyagramı.

3.1.4. Enkoder Girişleri

Enkoder girişleri kapalı çevrim kontrol sistemlerinde konum veya hız bilgisi elde etmek amacıyla çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca sayısal girişli sistemlerde darbe sayıcı olarak işlev üstlenebilirler. Bu çalışmada tasarlanan veri toplama sisteminde mikrodenetleyici bünyesindeki donanımsal sayaçlar enkoder okuma işlemini gerçekleştirmektedirler. Bu sayaçların bir kısmı 16 bitlik bir kısmı da 32 bitlik kaydediciye sahiptir.

Bir artımlı enkoder genellikle A ve B adı verilen iki işaret üretir. Bu işaretler arasında 90° faz farkı vardır. Bu faz farkı hareket yönünü tespit etmeyi sağlar. Konum bilgisi ise enkoderin bir devir başına ürettiği darbe sayısından hesaplanabilir. Şekil 3.7’de enkoder girişine uygulanan işaretleri bağlı olarak enkoder sayacının nasıl değiştiği görülmektedir. Eğer A işaretinin yükselen kenarı B işaretinden önce geliyorsa enkoder sayacının değeri artmakta; B işaretinin yükseken kenarı A işaretinden önce oluşuyorsa sayacın değeri azalmaktadır [21].



Şekil 3.7: Enkoder sayacının giriş darbelerine göre değişimi.

3.1.5. USB Arayüzü

Veri toplama kartı ile bilgisayar yazılımı arasındaki haberleşmeyi sağlamak amacıyla USB arayüzü tercih edilmiştir. Bu amaçla mikrodenetleyici bünyesindeki USB denetleyicisi tercih edilmiştir. Bu modülle veri aktarımı için USB 1.1 Tam Hız arayüzü ya da USB 2.0 Yüksek Hız arayüzü seçilebilir. Tasarlanan sistem için USB 1.1 arayüzü yeterli bant genişliğine sahiptir. Bu nedenle USB 2.0 Yüksek Hız konfigürasyonu gelecekteki uygulamalar için rezerve bırakılmıştır [22].

3.1.6. Mikrodenetleyici

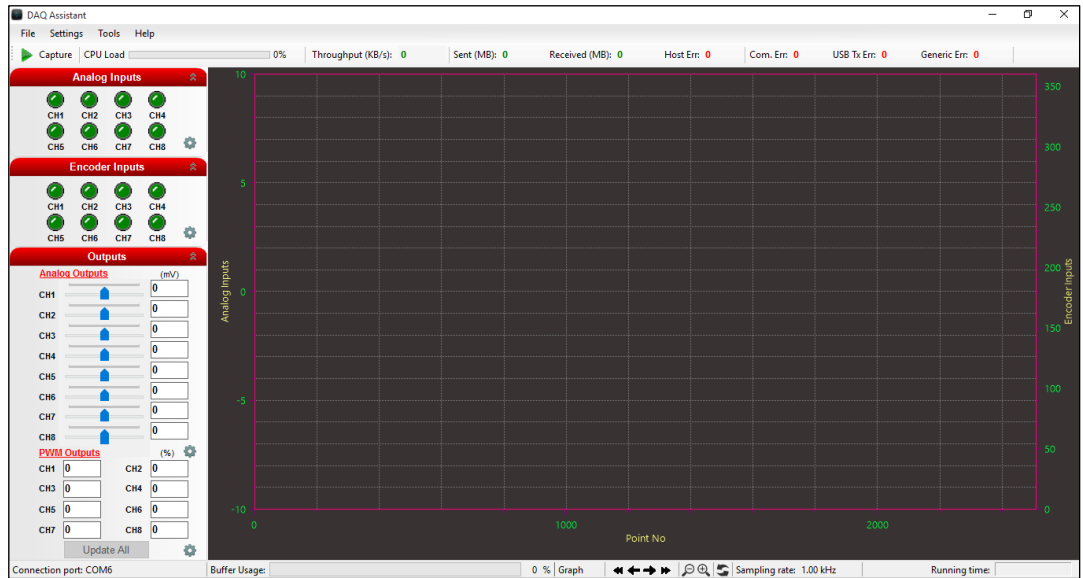
Mikrodenetleyici ünitesi sistemin kontrol ve haberleşme işlevlerini yerine getirmektedir. Bu işlevlerin eksiksiz ve zamanında gerçekleştirilebilmesi için maliyet kistası da göz önüne alınarak yüksek performanslı bir mikrodenetleyiciye ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla STMicroelectronics firmasının ARM Cortex M4 mimarili STM32F446RET6 kodlu ürünü tercih edilmiştir. Bu mikrodenetleyici azami 180 MHz saat darbesinde çalışabilmektedir. Ayrıca işaret işleme ve saat darbesi üretimi için özel üniteler ile kalıcı ve geçici hafıza bölgeleri içermektedir. Bununla birlikte enkoder girişleri için özel donanımsal sayaçlara sahiptir. Bu mikrodenetleyiciler düşük güç tüketimi ve maliyet avantajına sahiptirler. Bu nedenle çok yaygın olarak tercih edilmektedirler [23].

3.2. Yazılım Tasarımı

3.2.1. Bilgisayar Yazılımı

Veri toplama sistemlerinin önemli bir parçası da bilgisayar yazılımıdır. Ölçüm sonuçlarının görüntülenip saklanabilmesi büyük bir önem arz etmektedir. Bu amaçla basit ve kullanışlı bir kullanıcı arayüzü hazırlanmıştır. Bu arayüz yardımıyla veri toplama kartı kontrol ve test edilebilir.

Şekil 3.8’de görülen bilgisayar yazılımı tüm giriş ve çıkışlar için yapılandırma ayarları sunmaktadır. Bu sayede istenilen kanallar aktif edilip çalışma ayarları yapılabilir. Yazılımın diğer bir önemli özelliği de çeşitli performans göstergeleri içermesidir. Ana ekranda anlık veri aktarım hızı, alınan ve gönderilen verilerin boyutları ile anlık işlemci kullanımı yer almaktadır.

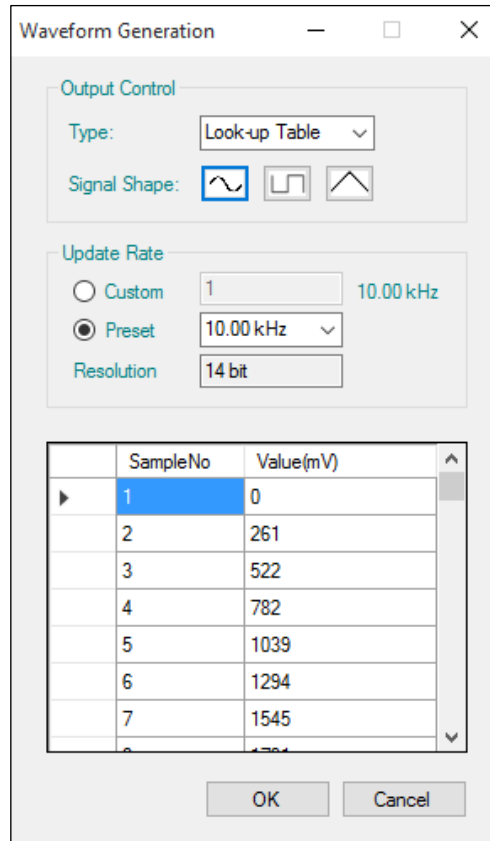


Şekil 3.8: Bilgisayar yazılımı arayüzü.

Tasarlanan bilgisayar yazılımı vasıtasıyla tüm girişlerin gerçek zamanlı olarak anlık değerleri görülebilmekte ve istenmesi durumunda girişler ana ekrandaki grafik bölmesi üzerinden takip edilebilmektedir. Grafik üzerinde giriş değerleri voltaj ya da sayaç değeri gibi ham veri olarak izlenebileceği gibi istenirse fiziksel bir birime dönüştürülmüş değerler de ekranda görüntülenebilir. Daha sonra ölçüm değerleri bir dosyaya kaydedilebilir.

Analog çıkışlar ve PWM çıkışları örnekleme esnasında yazılım üzerinden ayrı ayrı kontrol edilebilir. Eğer bunlardan biri bir sistemi kontrol etmekte kullanılmışsa ve bu sistemden bir giriş aracılığıyla geri dönüş alınabiliyorsa bu sistemin kapalı çevrim kontrolü yapılabilir. Örneğin veri toplama sistemine ait bir PWM çıkışı bir DC motorun hızını kontrol edebilir. Bu motorun şaftında bulunan enkoderden hız bilgisi bir enkoder girişi vasıtasıyla okunmaktadır. Böylelikle bu motorun hız kontrolü tasarlanan veri toplama sistemiyle yapılabilir.

Şekil 3.9’da analog çıkışlar için özel olarak hazırlanmış düşük frekanslı işaret üretici aracı görülmektedir. Analog çıkışlar bilgisayar üzerinden elle kontrol edilebileceği gibi veri toplama kartı üzerindeki mikrodenetleyici tarafından da gerçek zamanlı kontrol edilebilir. Bu amaçla mikrodenetleyici hafızasında her bir kanal için ayrı ayrı belirli sayıda çıkış değerini tutabilecek nitelikte yer ayrılmıştır. Mikrodenetleyici bu değerleri periyodik biçimde analog çıkışlara yazmakta ve istenilen dalga formunu oluşturabilmektedir. Bu özellik bazı uygulamalarda referans işareti üretmede kullanılabilir.



Şekil 3.9: Analog çıkışlar için işaret üretici.

3.2.2. Mikrodenetleyici Yazılımı

Tasarlanan sistemde iki adet mikrodenetleyici bulunmaktadır. Bunlardan biri ana mikrodenetleyici olup diğeri ana mikrodenetleyicinin kontrolünde çalışmaktadır. Bu sayede mikrodenetleyiciler arasında görev paylaşımı yapılmıştır. Ana mikrodenetleyici analog giriş ve analog çıkışları kontrol etmekte ve USB üzerinden bilgisayar yazılımı ile haberleşmektedir.

3.2.2.1. Mikrodenetleyici ile Bilgisayar Haberleşmesi

Tablo 3.1’de veri toplama kartının desteklediği bazı komutlar görülmektedir. Komut uzunluğu değişkendir. Bant genişliğini verimli kullanmak amacıyla komut yapısı oldukça basit tasarlanmış; herhangi bir veri bütünlüğünü doğrulama metodu tercih edilmemiştir. Bunun nedeni bu çalışmada USB Communication Device Class (USB CDC) protokolü seçilerek yığın transferi kullanılmış olmasıdır. Bu protokole göre aktarılan verinin bütünlüğü ve teslim edileceği yapısal olarak garanti edilmektedir [22].

Tablo 3.1: Veri toplama kartına ait bazı kontrol komutları.

Açıklama	Komut	1	2	3
Analog Girişi Aktif Et	0x01	Kanal		
PWM Çıkışını Güncelle	0x0F	Kanal	Çıkış Değeri (Alt 8 bit)	Çıkış Değeri (Üst 8 bit)

Tablo 3.2’de veri toplama kartının çalışma esnasındaki paket yapısı görülmektedir. Cihazdan okunan tüm veriler türüne bakılmaksızın 32 bit olarak cihaz tarafından gönderilir. İlk 8 bit verinin türünü ve hangi kanala ait olduğunu ifade eder. Kalan bitler ise ölçüm değerini gösterir. Her paketin başlangıcında donanımsal bir zamanlayıcı ünitesinden okunan zaman bilgisi yer almaktadır. Bu bilgi paket içerisindeki verinin ne zaman örneklendiği gösterir. Bu sayede veri yolu ya da başka nedenlerden kaynaklanan gecikmelerin sorun teşkil etmesi önlenir. Paket sonunda da paketin bitişini gösteren bir işaret bulunmaktadır. Paket içerisinde yer alan veriler

girişlere ait olabileceği gibi aynı zamanda veri toplama kartının hata ve durum göstergelerini de içermektedir.

Tablo 3.2: Veri paketi yapısı.

Zaman (32 bit)	Örnek 1 (32 bit)	...	Örnek N (32 bit)	Paket Bitiş İşareti (32 bit)
-------------------	---------------------	-----	---------------------	---------------------------------

3.2.2.2. Mikrodenetleyiciler Arası Haberleşme

Ana mikrodenetleyici ile yardımcı mikrodenetleyici veri toplama öncesinde ve esnasında birbirleriyle SPI üzerinden yüksek bir hızda (12 MHz) sürekli iletişim halindedirler. Veri toplama işlemine başlamadan önce bilgisayar tarafından gönderilen yardımcı mikrodenetleyiciye bağlı giriş ve çıkışlara ilişkin yapılandırma ayarları (PWM frekansı vb.) ana mikrodenetleyici tarafından yardımcı mikrodenetleyiciye aktarılır. Tablo 3.3’de bu komutlara ait paket yapısı görülmektedir. Paket uzunluğu sabit olup her pakette azami iki tane komut ve bu komutlara ait 3 adet parametre gönderilebilir.

Tablo 3.3: Yapılandırma ayarları için komut yapısı.

Veri No	Veri (16 bit)
1	Başlangıç İşareti
2	Komut 1
3	1. parametre
4	2. parametre
5	3. parametre
6	Komut 2
7	1. parametre
8	2. parametre
9	3. parametre
10	Bitiş İşareti

Veri toplama esnasında ana mikrodnetleyici yardımcı mikrodnetleyici üzerindeki çıkışlara yazılacak değerleri iletir. Yardımcı mikrodnetleyici ise kendi üzerindeki girişlerden okunan değerleri ana mikrodnetleyiciye bildirir. SPI seri haberleşme arayüzü çift yönlü iletişime olanak sağladığından bu aktarımlar aynı anda gerçekleşmektedir. Tablo 3.4’de ana mikrodnetleyici, Tablo 3.5’de ise yardımcı mikrodnetleyici tarafından gönderilen veriler görülmektedir.

Tablo 3.4: Ana mikrodnetleyici veri paketi.

Veri No	Veri (16 bit)
1	Başlangıç İşareti
2	PWM Kanal 1 Değeri
3	PWM Kanal 2 Değeri
4	PWM Kanal 3 Değeri
5	PWM Kanal 4 Değeri
6	PWM Kanal 5 Değeri
7	PWM Kanal 6 Değeri
8	PWM Kanal 7 Değeri
9	PWM Kanal 8 Değeri
10	Bitiş İşareti

Tablo 3.5: Yardımcı mikrodnetleyici veri paketi.

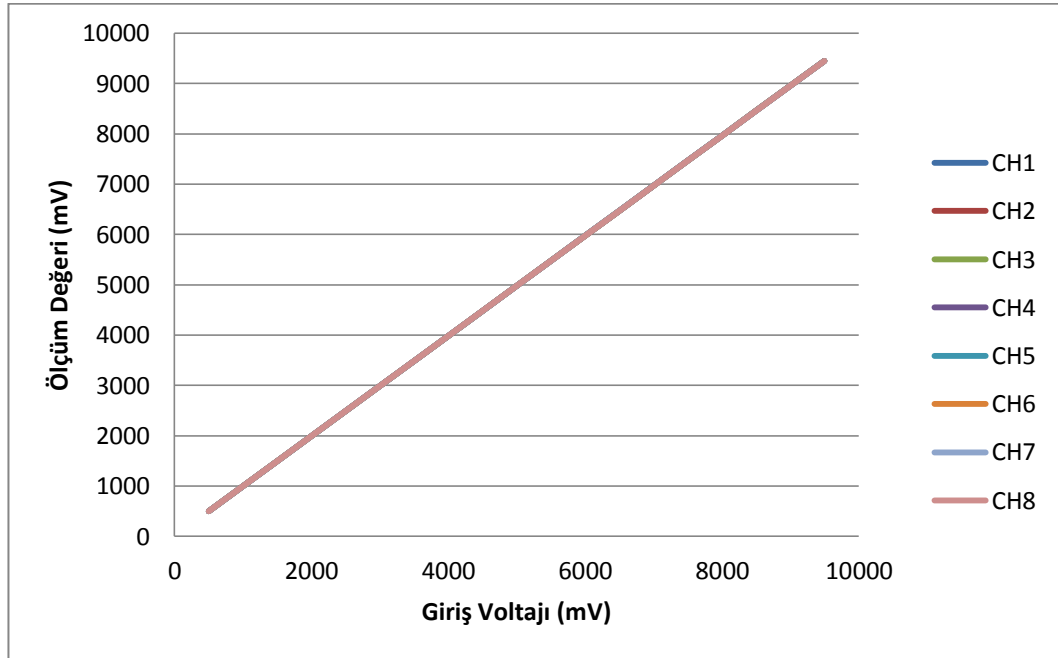
Veri No	Veri (16 bit)
1	Başlangıç İşareti
2	Enkoder Kanal 5 Değeri
3	Enkoder Kanal 6 Değeri
4	Enkoder Kanal 7 Değeri
5	Enkoder Kanal 8 Değeri
6	Enkoder 5/6 Üst Değer
7	Enkoder 7/8 Üst Değer
8	Sayısal Giriş Değeri
9	Hata Göstergeleri
10	Bitiş İşareti

4. DENEYSEL SONUÇLAR VE DOĞRULAMA

Bu çalışmada eşzamanlı örneklemeli çok kanallı bir veri toplama kartı tasarlanması hedeflenmiştir. Bu amaçla donanım ve yazılım tasarımı yapılmış ve başarıyla gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde tasarımı doğrulamak için yapılan testlere yer verilmiştir.

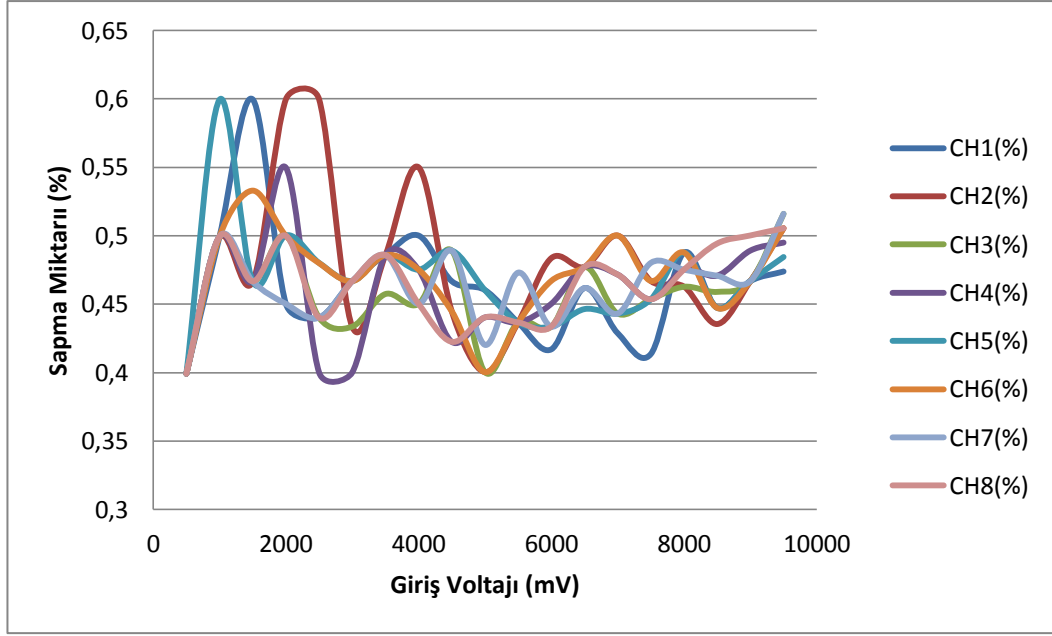
4.1. Analog Girişler

Analog girişlerin hata miktarını belirlemek için girişlere bilinen voltaj seviyeleri uygulanmış ve okunan değerler kaydedilmiştir. Şekil 4.1’de giriş ve ölçüm değerleri grafik olarak gösterilmektedir.



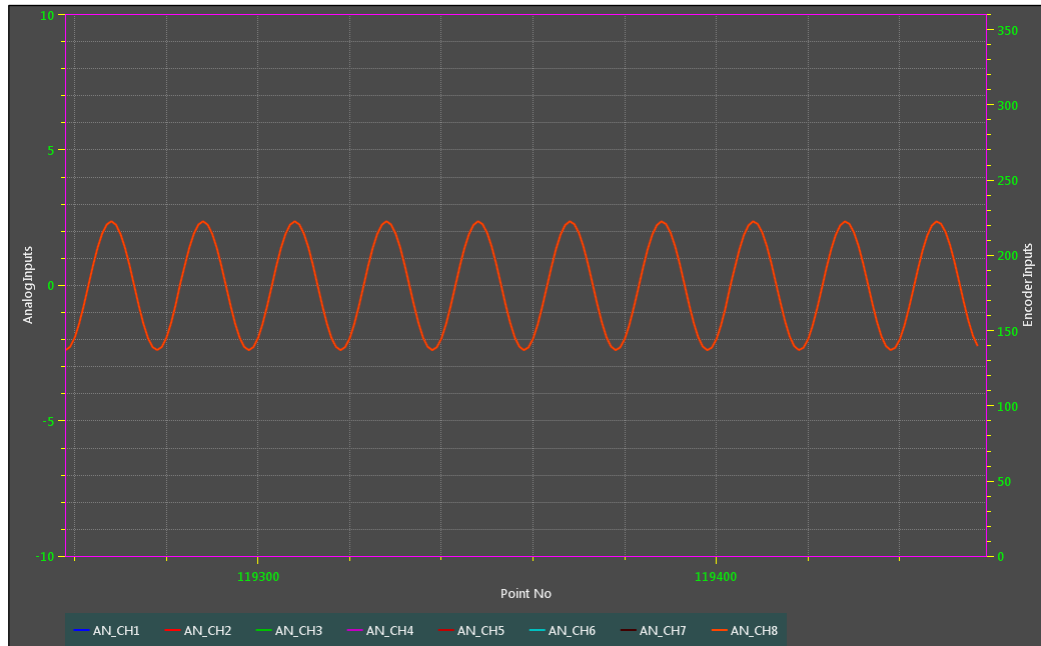
Şekil 4.1: Analog girişler ve ölçüm değerleri.

Şekil 4.2’de analog girişlere ait noktasal sapma değerleri yüzdesel olarak görülmektedir. Grafik incelendiğinde azami hata oranının 0.7%’den küçük olduğu tespit edilmiştir. Girişler için kalibrasyon yapılırsa bu oran ciddi miktarda azaltılabilir.



Şekil 4.2: Analog giriş sapma yüzdeleri.

Şekil 4.3’de tüm girişler aktif iken girişlere aynı işaret uygulanması anındaki örnekleme sonucu görülmektedir. Grafikten de anlaşıldığı üzere tüm kanalların işaretleri üst üste oturmuş; kanallar arası faz farkı örnekleme hızına göre ihmal edilebilecek seviyededir. Bu da sistemin eşzamanlı örneklemeye sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.3: Eşzamanlı örnekleme.

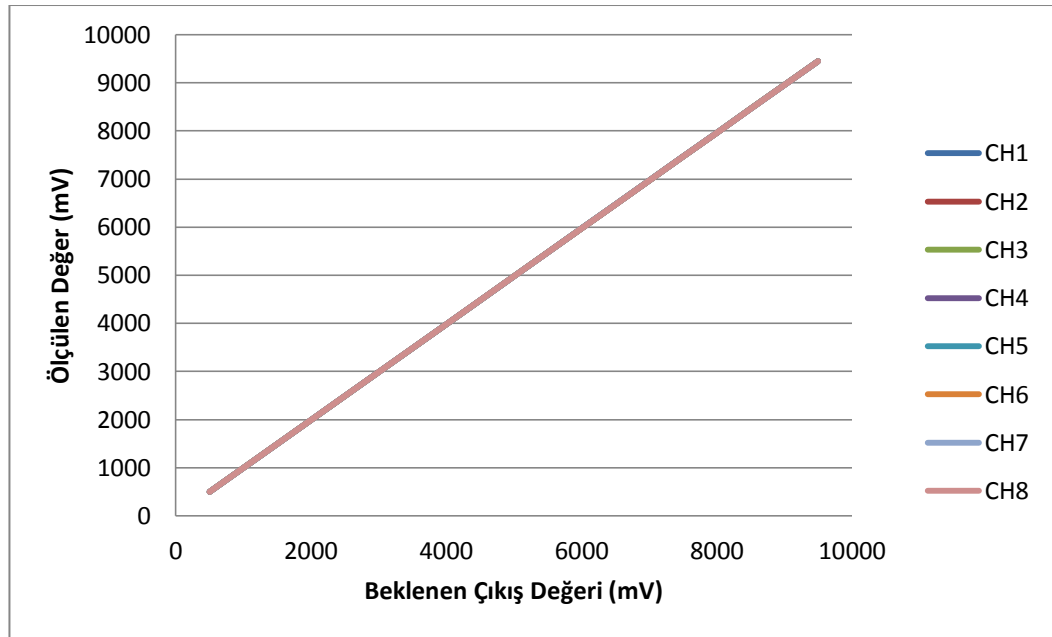
Tablo 4.1’de analog girişlerin genel karakteristikleri görülmektedir.

Tablo 4.1: Analog giriş karakteristikleri.

Karakteristik	Değer
Kanal sayısı	8
Çözünürlük	16 bit
Giriş aralığı	$\pm 10V$
Analog bant genişliği	24 kHz
Azami hata (kalibre edilmemiş)	0.7%
Çevrim süresi	4 us
Örnekleme hızı	5 kÖrnek/s
Giriş empedansı	1 M Ω

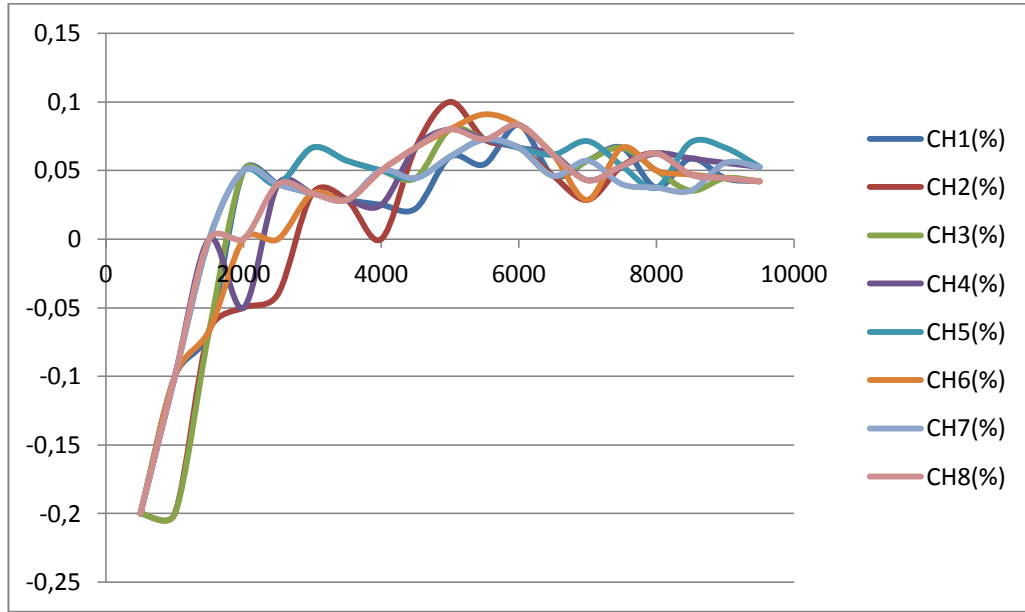
4.2. Analog Çıkışlar

Analog çıkışların hata miktarını belirlemek için çıkışlar belirli voltaj seviyelerine ayarlanmış ve okunan değerler kaydedilmiştir. Şekil 4.4’de çıkış ve ölçüm değerleri grafik olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.4: Analog çıkışlar ve ölçüm değerleri.

Şekil 4.5’de analog çıkışlara ait yüzdesel sapma miktarı görülmektedir. Azami hata 0.2% civarındadır.



Şekil 4.5: Analog çıkış sapma yüzdeleri.

Tablo 4.2’de analog çıkışların genel karakteristikleri görülmektedir.

Tablo 4.2: Analog çıkış karakteristikleri.

Karakteristik	Değer
Kanal sayısı	8
Çözünürlük	14 bit
Çıkış aralığı	$\pm 10V$
Çıkış akımı	1 mA
Azami hata (kalibre edilmemiş)	0.2%
Çevrim süresi	10 us
Çıkış empedansı	0.5 Ω

4.3. PWM Çıkışları

PWM çıkışları motor hız, konum kontrolü ya da oransal valflerin kullanıldığı hidrolik sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Tablo 4.3’de PWM çıkışların genel karakteristikleri görülmektedir. PWM çözünürlüğü frekansa bağlı olarak değişmektedir. İstenilirse cihaz yazılımında değişiklik yapılarak PWM frekansı farklı seviyelerde ayarlanabilir.

Tablo 4.3: PWM çıkış karakteristikleri.

Karakteristik	Değer
Kanal sayısı	8
Çözünürlük	16 bit’e kadar
Düşük seviye çıkış voltajı (azami)	0.5V
Yüksek seviye çıkış voltajı (asgari)	3V
Çıkış akımı	1 mA
PWM frekansı	100 Hz-10 kHz

4.4. Enkoder Girişleri

Tablo 4.4’de enkoder girişlerinin genel karakteristikleri görülmektedir. Cihaz üzerinde 8 adet enkoder girişi bulunmaktadır. Bunlardan yarısı 24 bitlik sayıcı içermekte; diğer yarısı ise 16 bitlik sayıcılardan oluşmaktadır.

Tablo 4.4: Enkoder giriş karakteristikleri.

Karakteristik	Değer
Kanal sayısı	8
Sayaç boyutu	24 / 16 bit
Düşük seviye giriş voltajı	0.5V
Yüksek seviye giriş voltajı	2.4V
Azami giriş işareti frekansı	1 MHz

4.5. Sayısal Giriş-Çıkış Birimleri

Tablo 4.5’de sayısal giriş-çıkış birimlerinin genel karakteristikleri görülmektedir. Her bir birim sayısal giriş ya da çıkış olarak yazılım üzerinden ayarlanabilmektedir. Bu sayede çeşitli uygulamaların ihtiyaçları karşılanabilir.

Tablo 4.5: Sayısal giriş-çıkış karakteristikleri.

Karakteristik	Değer
Kanal sayısı	8
Düşük seviye giriş voltajı	0.5V
Yüksek seviye giriş voltajı	2.4V

4.6. Kontrol Sistemleri Uygulamaları

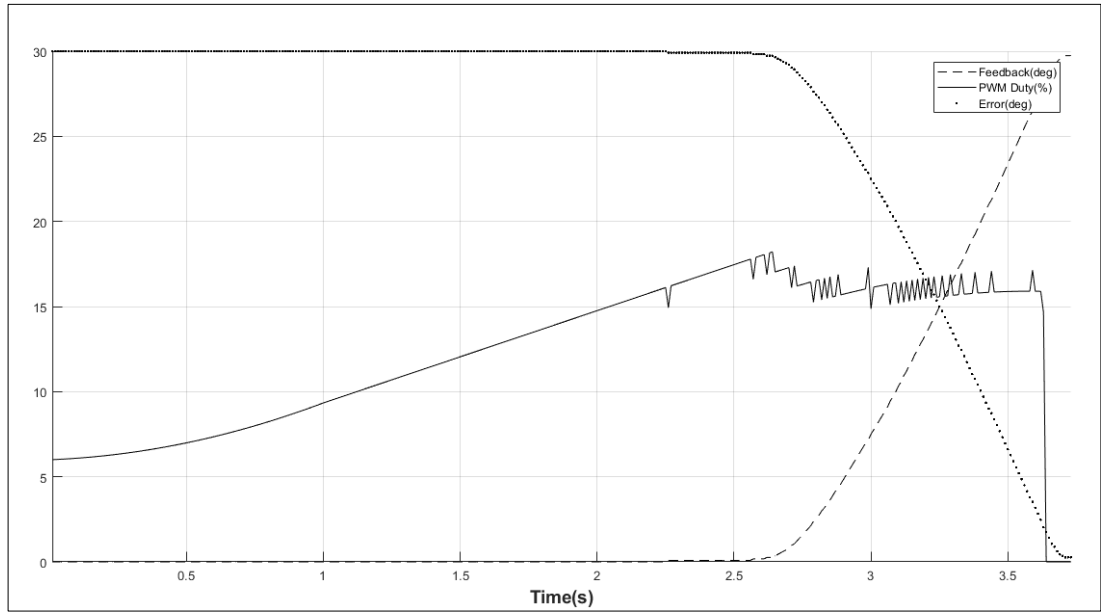
PWM çıkışları, enkoder girişleri ve sayısal girişleri doğrulamak ve tasarlanan cihazın temel bir kullanım alanı olan kapalı çevrim kontrol sistemlerindeki performansını ölçmek amacıyla bir DC motor PID pozisyon kontrol uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bunun için Matlab ve Simulink ortamları tercih edilmiştir.

4.6.1. Matlab ile DC Motor Pozisyon Kontrol Uygulaması

Matlab yazılımı mühendislik uygulamalarında oldukça yaygın kullanılan bir araçtır. Yalnızca bünyesinde bulundurduğu birçok algoritmayı kullanmayı değil; aynı zamanda kullanıcının kendi algoritmalarını da oluşturmasına izin veren bu yazılım esnek, güvenilir ve hızlı bir geliştirme ortamı deneyimi sunmaktadır [24]. Bu nedenle bu uygulamada Matlab yazılımı tercih edilmiştir.

Bu uygulamadaki sistem tasarlanan veri toplama cihazı, bir adet DC motor ile bu motorun şaftına bağlanmış enkoder modülünden ve Matlab yazılımından oluşmaktadır. Matlab yazılımı periyodik olarak enkoder modülünden motora ait pozisyon bilgisini okumaktadır. Pozisyon kontrolü için endüstriyel sistemlerde çok sık kullanılan PID algoritması tercih edilmiştir. Bu algoritmaya girdi olarak enkoderden elde edilen konum bilgisi verilmekte olup algoritmadan çıktı olarak hesaplanan PWM değeri ile motorun konumu kontrol edilebilmektedir. Bu noktada gerek enkoder sinyallerinin okunup bilgisayar ortamına aktarılması gerekse de hesaplanan PWM değerleri ile bilgisayar üzerinden motorun sürülmesini bu çalışmada tasarlanan veri toplama cihazı sağlamaktadır. Bu uygulama aynı zamanda cihaz için tasarlanan yalın komut setinin kolay, hızlı ve kullanışlı yapısını göstermektedir. Matlab ortamında cihaz ile 150 Hz'e kadar kapalı çevrim kontrolü sağlanmıştır.

Şekil 4.6’da geliştirilen Matlab algoritmasının girdi ve çıktıları ile motor konumunun zamana göre değişimi görülmektedir. Bu grafikten anlaşılacağı üzere motorun 30 dereceye gitmesi hedeflenmiştir. PID algoritması ilk olarak PWM doluluk oranını arttırarak motoru hareket ettirmeye çalışmış daha sonra ise konumlandırma hatasını azaltmak için motoru yavaşlatarak istenilen konuma gitmesini sağlamıştır. Hedef konuma ulaşıldıktan sonra PWM sinyali kesilerek motorun durması sağlanmıştır.



Şekil 4.6: Matlab motor konum-zaman grafiği.

4.6.2. Simulink ile DC Motor Pozisyon Kontrol Uygulaması

Simulink yazılımı Matlab paket yazılımı içerisinde yer almaktadır. Matlab yazılımından farklı olarak grafiksel olarak algoritma tasarımı yapılmaktadır. Geliştirilen algoritmaların bilgisayar ortamında benzetimi yapılabileceği gibi cihaz üzerinde çalıştırılması da mümkündür. Bu uygulamada kontrol algoritması bilgisayar üzerinde çalıştırılmış olup giriş ve çıkış birimleri veri toplama cihazı üzerindedir.

Şekil 4.7’de pozisyon kontrolü için oluşturulan algoritmanın blok diyagramı görülmektedir. Öncelikle cihaza hangi giriş ve çıkışların kullanılacağını belirten yapılandırma ayarları gönderilir. Ardından örnekleme başlatılarak USB üzerinden periyodik olarak belirtilen enkoder girişi okunur. Cihazdan gelen ham veriler önce anlamlı bilgilere (motor konumu vb.) dönüştürülmektedir. Ardından bu bilgi PID

5. SONUÇLAR VE YORUMLAR

Bu çalışmada eşzamanlı örneklemeli çok kanallı bir veri toplama kartı tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem çeşitli uygulamaların ihtiyacını karşılayabilecek nitelikte olup düşük maliyetlidir. Gerçekleştirilen Matlab ve Simulink uygulamaları cihazın esneklik ve giriş-çıkış özelliklerini göstermektedir. Yalın komut seti yapısı nedeniyle cihaz başka bir geliştirme ortamında da (LabVIEW vb.) kolaylıkla kullanılabilir.

Tasarlanan devrede maliyet nedeniyle 2 katman PCB kullanılmıştır. Benzer çalışmalarda 4 katman veya üzeri PCB kullanılması gürültü açısından daha iyi sonuç verecektir. Ayrıca analog ve sayısal devreler arasında maliyet nedeniyle yalıtım yapılmamıştır; ortak toprak hattına sahiptirler. Yalıtım yapılması durumunda toprak döngüsü oluşumunun önüne geçilebilir ve daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Bununla birlikte devrede analog kısımlar için çok düşük gürültülü regülatörler tercih edilirse gürültü oranı daha da azaltılabilir.

Devrede kullanılan mikrodenetleyiciler geniş hafıza ve yüksek çalışma hızına sahiptir. Mevcut yazılıma eklemeler yapılarak yeni işlevler kazandırılabilir. Örneğin PID algoritması cihaz üzerinde çalıştırılarak daha yüksek hızlarda kapalı çevrim kontrolü yapılabilir. Bu da özellikle zaman kritik uygulamalar için önemli bir husustur. Buna rağmen daha fazla performans gerektiren uygulamalar için benzer yapıda birkaç kat daha yüksek çalışma frekansına sahip mikrodenetleyiciler de (STM32H7 serisi gibi) kullanılabilir. Bu şekilde bir tasarım değişikliği mevcut kod yapısı korunacağından kolaylıkla ve hızlıca gerçekleştirilebilir.

Veri toplama sisteminin bant genişliği daha yüksek hızlarda örnekleme yapabilmek için elverişlidir. Fakat kullanılan analog sayısal çeviricinin bant genişliği nispeten düşüktür. Bu nedenle yüksek frekanslı işaretler için daha yüksek bant genişliğine ve daha kısa çevrim süresine sahip bir çevirici kullanılması durumunda örnekleme hızı artırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Web 1, (2018), <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/>, (Eriřim Tarihi: 10/12/2018).
- [2] Wilson J., (2004), “Sensor Technology Handbook”, 1st Edition, Newness.
- [3] Web 2, (2019), www.rdmag.com/article/2004/07/how-improve-accuracy-daq-system, (Eriřim Tarihi: 12/12/2018).
- [4] Gupta S., Phatak A.V., (2012), “ADC Guide, Part 2 – Sample Rate”, Cypress Semiconductor.
- [5] Web 3, (2018), www.mccdaq.com/pdfs/anpdf/data-acquisition-handbook.pdf, (Eriřim Tarihi: 14/12/2018).
- [6] Web 4, (2018), <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/the-right-adc-architecture.html>, (Eriřim Tarihi: 14/12/2018).
- [7] Web 5, (2018), www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/2094, (Eriřim Tarihi: 14/12/2018).
- [8] Web 6, (2018), <http://www.ni.com/white-paper/9401/en/>, (Eriřim Tarihi: 15/12/2018).
- [9] Branchini P., Budano A., Balla A., Beretta M., Ciambrone P., De Lucia E., (2011), “A FPGA Based General Purpose DAQ Module for the KLOE-2 Experiment”, IEEE Transactions on Nuclear Science, 58 (4), 1544-1546.
- [10] Imrek J., Novák D., Hegyesi Gy., Kalinka G., Molnár J., Végh J., Balkay L., Emri M., (2011), “The HADES DAQ System: Trigger and Readout Board Network”, IEEE Transactions on Nuclear Science, 58 (4), 1745-1750.
- [11] Bogdan M., Genat J. F., Wah Y., (2009), “Custom DAQ Module for Timing and Energy Measurements for J-Parc E14”, 16th IEEE-NPSS Real Time Conference, 443-445, Beijing, China, 10-15 May.
- [12] Hu W., Choi Y., Jung J. H., Kang J. H., Min B. J., Huh Y. S., Shin S. H., Lim H. K., Chung Y. H., (2009), “A FPGA Based High Speed Multi Channel Simultaneous Signal Acquisition Method for PET”, IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, 2870-2872, Orlando, FL, USA, 24 October-1 November.
- [13] Bogdan M., Samtleben D., Vanderlinde K., (2005), “Simultaneous Sampling ADC Data Acquisition System for the QUIET Experiment”, IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, 1077-1079, Fajardo, Puerto Rico, 23-29 October.

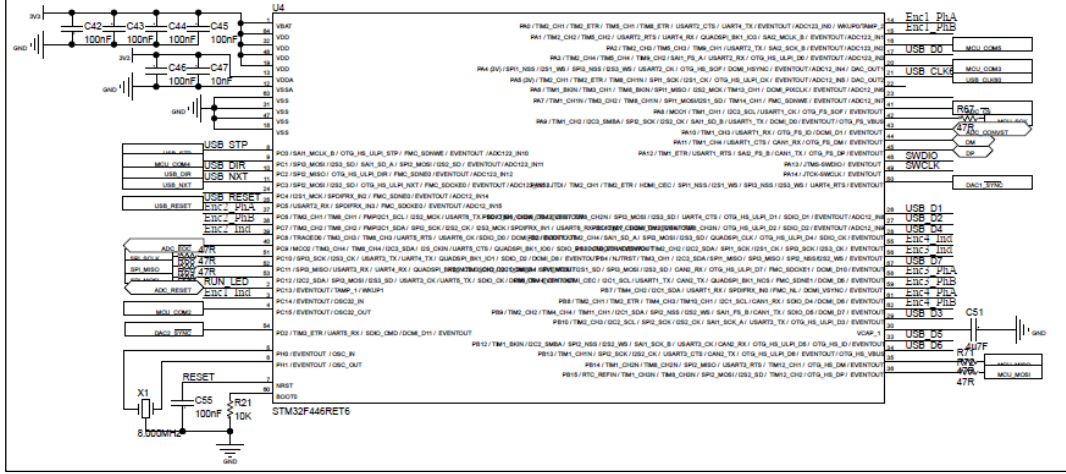
- [14] Web 7, (2018), <http://www.ni.com/white-paper/4105/en/>, (Eriřim Tarihi: 15/12/2018).
- [15] Web 8, (2018), <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MC7800-D.PDF>, (Eriřim Tarihi: 05/09/2018).
- [16] Web 9, (2018), <https://www.fairchildsemi.com/datasheets/LM/LM7805.pdf>, (Eriřim Tarihi: 13/09/2018).
- [17] Web 10, (2018), <http://www.diodes.com/datasheets/AP2210.pdf>, (Eriřim Tarihi: 12/09/2018).
- [18] Web 11, (2018), <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MC7900-D.PDF>, (Eriřim Tarihi: 05/09/2018).
- [19] Web 12, (2018), www.ti.com/lit/ds/symlink/ads8588h.pdf, (Eriřim Tarihi: 12/08/2018).
- [20] Web 13, (2018), http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD5724R_5734R_5754R.pdf, (Eriřim Tarihi: 15/06/2018).
- [21] Web 14, (2018), <https://www.posital.com/en/products/communication-interface/incremental/incremental-encoders.php>, (Eriřim Tarihi: 15/06/2018).
- [22] Web 15, (2018), <https://www.beyondlogic.org/usbnutshell/usb4.shtml#Bulk>, (Eriřim Tarihi: 22/12/2018).
- [23] Web 16, (2018), <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f446re.pdf>, (Eriřim Tarihi: 05/09/2018).
- [24] Web 17, (2019), <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>, (Eriřim Tarihi: 10/05/2019).

ÖZGEÇMİŞ

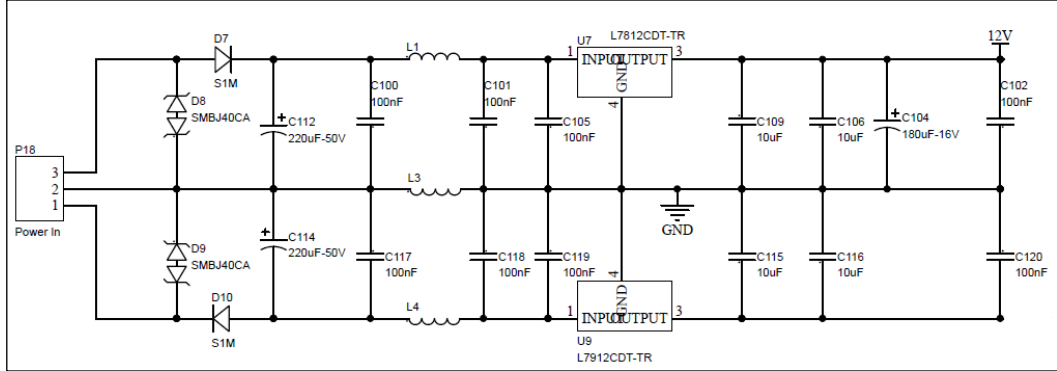
Ferhan ÖZTÜRK 1988 yılında Bulgaristan’da doğdu. 2006 yılında başladığı Gebze Teknik Üniversitesi (GTÜ) Mühendislik Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümünü 2010 yılında başarıyla tamamladı. 2013 yılında yüksek lisans eğitimine GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında başladı. 2011 yılından bu yana özel bir şirkette arge mühendisi olarak çalışmaktadır.

EKLER

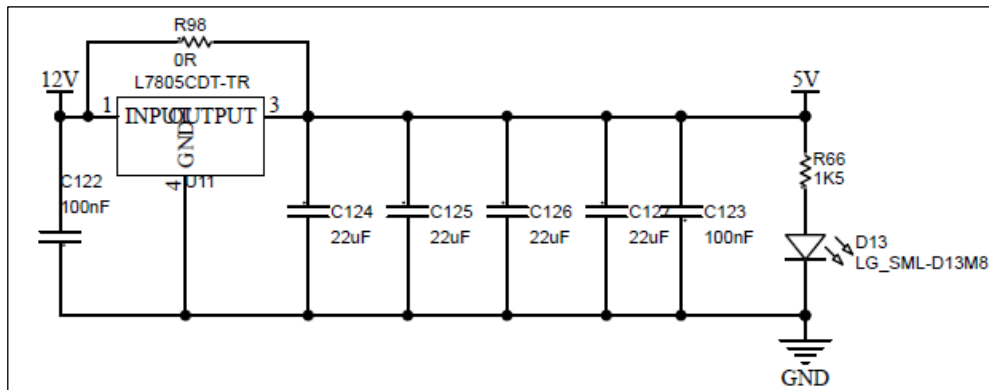
Ek A: Veri Toplama Kartı Şeması



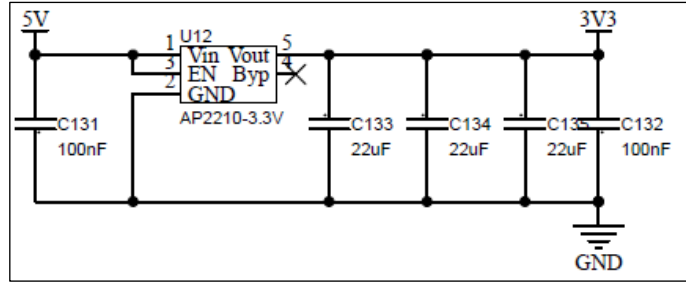
Şekil A1.1: Mikrodenetleyici şeması.



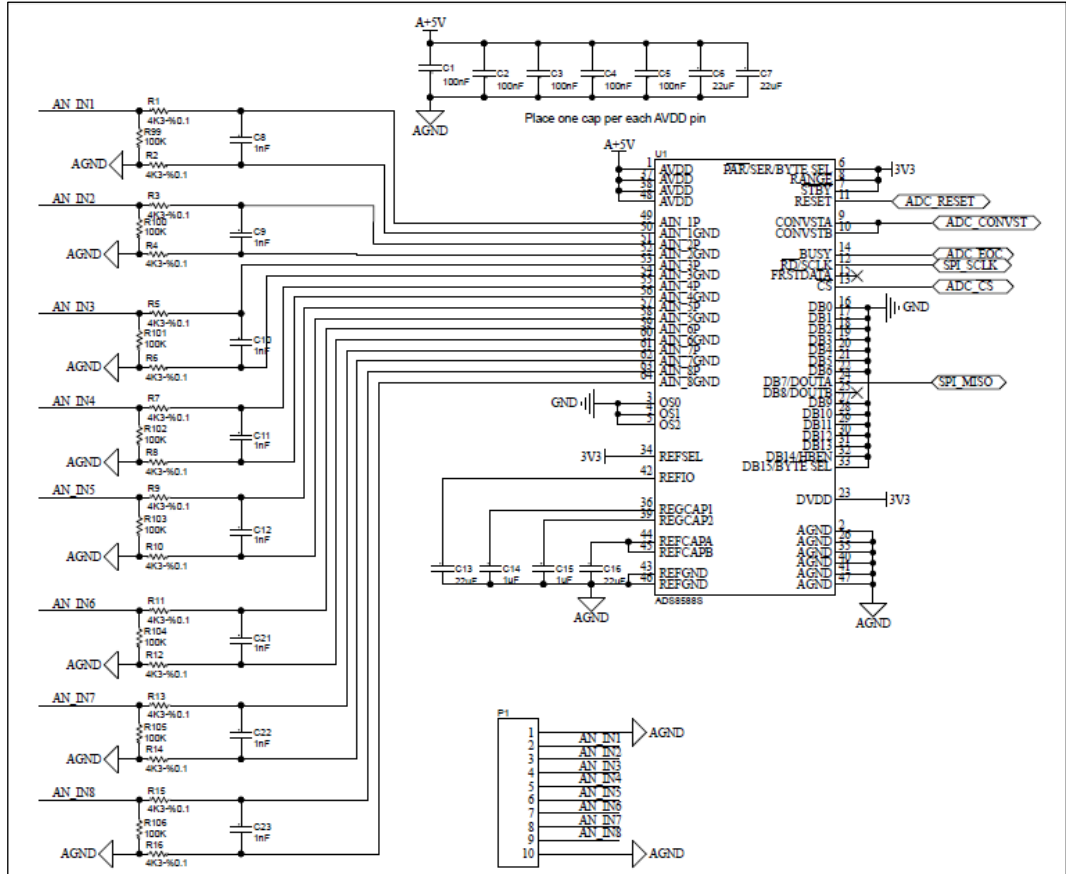
Şekil A1.2: ±12V Güç kaynağı şeması.



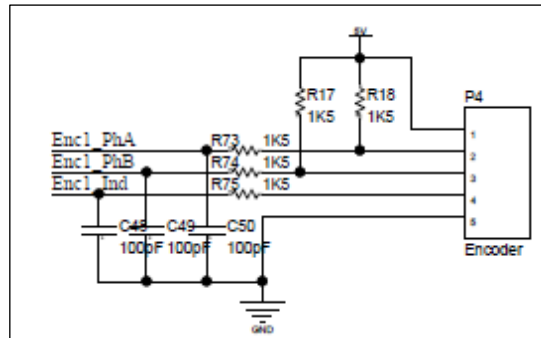
Şekil A1.3: 5V Güç kaynağı şeması.



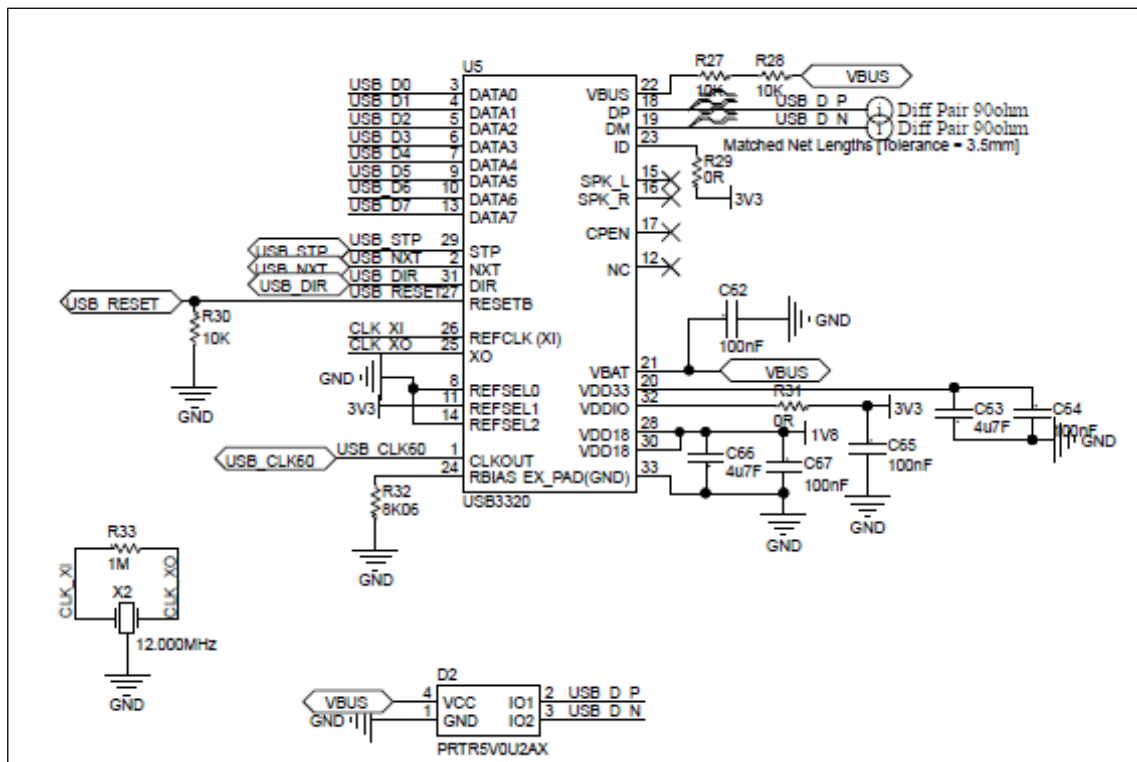
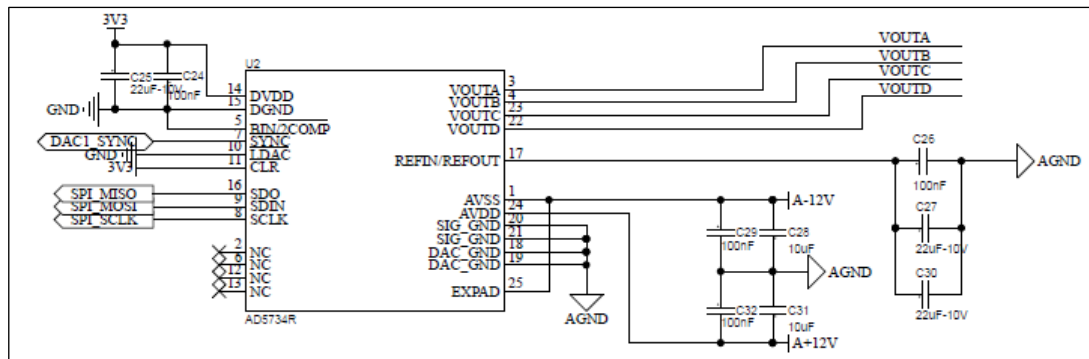
Şekil A1.4: 3V3 Güç kaynağı şeması.



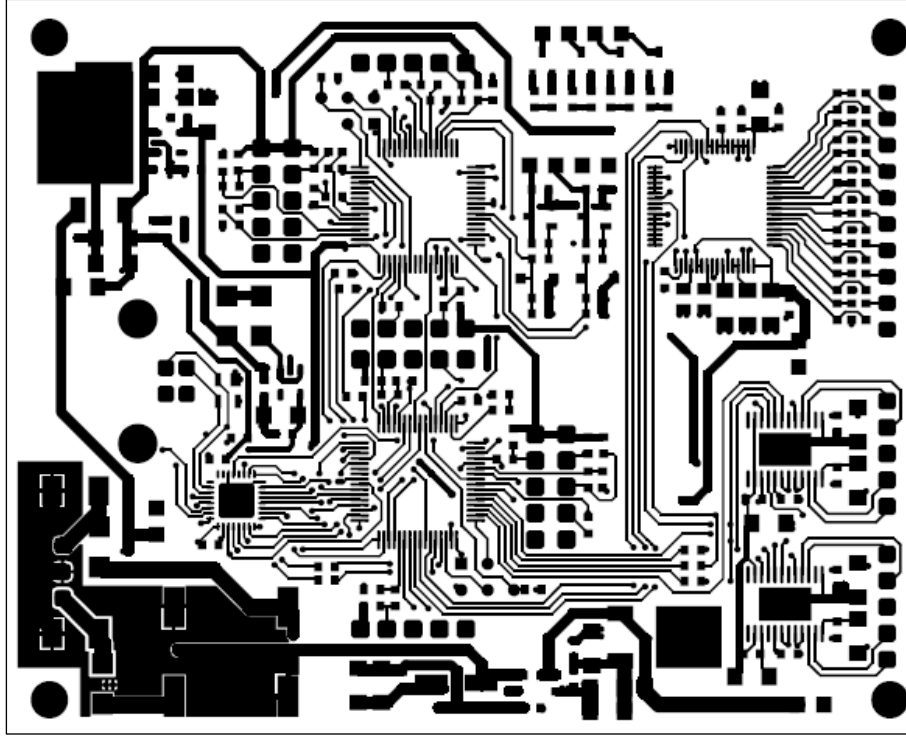
Şekil A1.5: Analog giriş şeması.



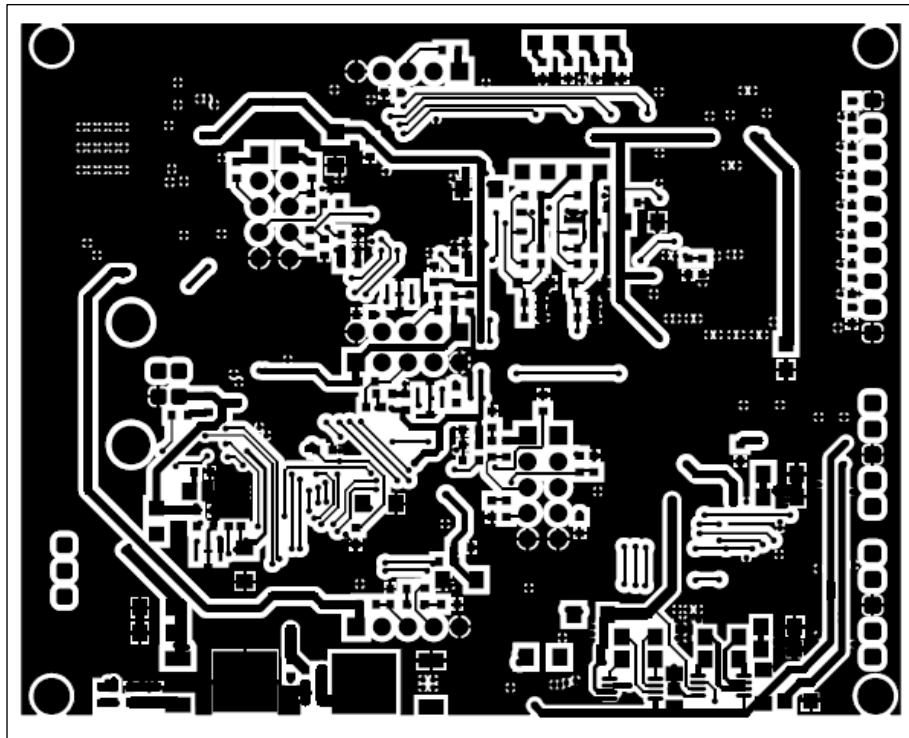
Şekil A1.6: Enkoder girişi şeması.



Ek B: Baskı Devre Çizimi



Şekil B1.1: Üst katman baskı devre çizimi.



Şekil B1.2: Alt katman baskı devre çizimi.

Ek C: Diğer Ekler

Veri toplama kartı mikroişlemci yazılımı ve bilgisayar yazılımı (CD).