

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÜÇ FAZLI TRİSTÖR KONTROLLÜ BİR REDRESÖRÜN
GİRİŞ/ÇIKIŞ ELEKTRİKSEL ÖLÇÜMLERİ VE KONTROLÜ İÇİN
MİKROKONTROLÖR TABANLI DEVRE GERÇEKLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan YAHYAĞLU

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ**

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Şuayb Çağrı YENER

Ekim 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜÇ FAZLI TRİSTÖR KONTROLLÜ BİR REDRESÖRÜN
GİRİŞ/ÇIKIŞ ELEKTRİKSEL ÖLÇÜMLERİ VE KONTROLÜ İÇİN
MİKROKONTROLÖR TABANLI DEVRE GERÇEKLEMESİ

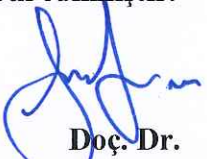
YÜKSEK LİSANS TEZİ

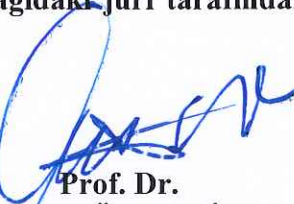
Hasan YAHYAOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK

Bu tez 28.10.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr.
Şuayb Çağrı YENER
Jüri Başkanı


Prof. Dr.
Ayhan ÖZDEMİR
Üye


Doç. Dr.
Reşat MUTLU
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Hasan YAHYAOĞLU

28.10.2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Şuayb Çağrı Yener'e teşekkürlerimi sunarım.

Benim bu günlere gelmemi sağlayan ve dualarını esirgemeyen başta Annem ve merhum Babam olmak üzere aileme, gece gündüz demeden her zaman yanımda olan ve manevi desteğini her zaman hissettiren değerli eşime, deneysel çalışmalarım boyunca laboratuvar ortamında yardımlarını esirgemeyen kıymetli Erkut Taş'a ve tez sürecim boyunca gerek değerli tecrübelerini benimle paylaşan, gerekse çalışmamın hazırlanmasına maddi manevi yardımcı olan Tense Elektrik Elektronik A.Ş.' de bulunan yönetici ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım. Çalışmam esnasında bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen Mersan Elektrik A.Ş. firmasının kıymetli yetkililerine teşekkürlerimi sunarım. Son olarak da dünyaya gelmesiyle birçok güzel duyguyu yaşamamıza vesile olan oğlumuz Yusuf Selman'a teşekkür ve sevgilerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ.....	i
ÖZET.....	x
SUMMARY	xi
 BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
 BÖLÜM 2.	
KULLANILAN REDRESÖR İLE TASARLANAN KONTROL VE ÖLÇÜM DEVRESİ ÖZELLİKLERİ	4
2.1. Redresörler Ve AC-DC Güç Kaynakları	4
2.2. Çalışmaya Temel Teşkil Eden Üç Fazlı Redresör Ve Sistemin Çalışma Özellikleri	8
2.3. Akım Ve Gerilim Ölçüm Teknikleri.....	12
2.3.1. Akım ölçüm devreleri	13
2.3.1.1. Akım algılayıcı direnç (şönt) yöntemi.....	14
2.3.1.2. Düşük taraf akım algılama yöntemi	15
2.3.1.3. Yüksek taraf akım algılama yöntemi.....	17
2.3.1.4. Akım transformatörü ile akım algılama yöntemi	18
2.3.2. Gerilim ölçüm devreleri.....	21
2.3.2.1. Gerilim bölücü yöntemi.....	21
2.3.2.2. Gerilim transformatörü yöntemi.....	21

2.4. Dengeli Üç Fazlı Sistemler İçin Matematiksel İfadeler.....	22
2.5. AC-DC Doğrultucu Devreler.....	23

BÖLÜM 3.

SİSTEMİN TASARIMI.....	25
3.1. Sistemin Ana Kontrol Ünitesi Ve Diğer Bileşenleri.....	25
3.1.1. Mikrodenetleyici.....	25
3.1.1.1. ADC (Analog to digital converter).....	28
3.1.1.2. DMA (Direct memory access)	29
3.1.1.3. USART (Universal synchronous asynchronous receiver transmitter)	30
3.1.1.4. DAC (Digital to analog converter)	30
3.1.2. Akım Ve Gerilim Değerlerinin Ölçümü	31
3.1.2.1. Sistemin giriş tarafına ait AC akım ölçümleri.....	31
3.1.2.2. Sistemin çıkış tarafına ait DC akım ölçümü.....	33
3.1.2.3. Sistemin giriş tarafına ait AC giriş gerilim ölçümleri.....	34
3.1.2.4. Sistemin çıkış tarafına ait DC gerilim ölçümleri.....	35
3.1.3. Gerçek ölçüm işaretlerinin mikrokontrolör tarafından algılanabilecek biçimde işlenmesi	36
3.1.3.1. Referans geriliminin elde edilmesi.....	36
3.1.3.2. Analog izolasyon.....	38
3.1.4. RMS gerilim ve akım değerlerinin hesabı	41
3.1.5. Gerilim ve akım değerlerinin işlenmesi.....	43
3.1.6. Akım ve gerilim kontrol işaretlerinin elde edilmesi	44
3.1.7. Gerilim ve akım ölçümlerinin SD karta kaydedilmesi	45
3.1.8. Güç kaynağı donanım tasarımı	48
3.1.9. Kullanıcı arayüzü ve ekran	49
3.1.9.1. Nextion TFT LCD ekran	49
3.1.9.1. Nextion Editor	52
3.1.10. Bluetooth modül bağlantısı.....	54
3.1.11. Baskı devre çizimleri	54

3.1.12. Sistemin algoritması ve akış diyagramları.....	56
3.2. Yazılım Çalışmalarında Kullanılan Diğer Yazılımlar	58
3.2.1. STM32CubeMX	58
3.2.2. Keil Uvision.....	59
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL SONUÇLAR	61
4.1. Giriş.....	61
BÖLÜM 5.	
SONUÇ	73
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	78

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AC	: Alternative Current
ADC	: Analog Digital Converter
DAC	: Digital Analog Converter
DMA	: Direct Memory Access
DC	: Direct Current
EMF	: Elektromotor Force
kV	: Kilo Volt
VA	: Volt Amper
RMS	: Root Mean Square
PWM	: Pulse Width Modulation

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Redresör temel blok şeması [11].....	4
Şekil 2.2. Endüstriyel uygulamalardaki tristör kontrollü doğrultucu şeması.....	6
Şekil 2.3. AC-DC dönüştürücülerin farklı açılara göre sınıflandırılması [11]	6
Şekil 2.4. AC-DC dönüştürücüler dalga sayısına göre karşılaştırılması [11].....	7
Şekil 2.5. AC-DC devrelerin temel şematik görüntüleri [11]	8
Şekil 2.6. Redresör sisteminin temel gösterimi [5].....	9
Şekil 2.7. 20V 3000A redresör bağlantı şeması	9
Şekil 2.8. Bu tez kapsamındaki sistemin elektriksel şeması	11
Şekil 2.9. Şönt direnci yöntemi	15
Şekil 2.10. Düşük taraf akım algılama yöntemi	16
Şekil 2.11. Yüksek taraf akım algılama yöntemi	17
Şekil 2.12. Akım trafosu ile akım algılama yöntemi.....	18
Şekil 2.13. Çeşitli akım trafoları 1	19
Şekil 2.14. Çeşitli akım trafoları 2	20
Şekil 2.15. 2 çıkışlı izoleli flyback güç kaynağı temel gösterimi	24
Şekil 3.1. STM32F4xx blok diyagram [18]	28
Şekil 3.2. X5 sınıfı 250/5 akım trafosu	31
Şekil 3.3. Pcb tipi akım trafoları	32
Şekil 3.4. AC akım ölçüm donanımsal yapısı	33
Şekil 3.5. İzoleli akım girişi için ön kuvvetlendiricisi	34
Şekil 3.6. Gerilim ölçüm donanım yapısı	35
Şekil 3.7. İzoleli dc giriş için gerilim bölücü	36
Şekil 3.8. LM258 temel blok gösterimi [21].....	36
Şekil 3.9. Referans gerilim devresi	37
Şekil 3.10. Gerilim veya akım işaretinin referans oturtulmuş hali	37
Şekil 3.11. MCP6022 temel blok gösterimi	38

Şekil 3.12. İzolasyon kuvvetlendirici blok gösterimi [23]	39
Şekil 3.13. Analog izolasyon devresi temel şematik yapısı [24]	39
Şekil 3.14. HCNR200 şematik gösterimi [24]	40
Şekil 3.15. HCNR200 temel blok gösterimi [24].....	40
Şekil 3.16. Analog izolasyon donanım yapısı	41
Şekil 3.17. Akımın RMS değerinin işlenmesi [27]	42
Şekil 3.18. ADE5166'nın RMS hesaplama yöntemi [27]	43
Şekil 3.19. Akım ve gerilim çıkış kontrolü donanım yapısı.....	45
Şekil 3.20. Kullanılan SD kart modülü [29]	46
Şekil 3.21. SD kart SDIO arayüz bağlantısı.....	46
Şekil 3.22. SD karta veri yazımı	47
Şekil 3.23. Besleme donanım yapısı 1	48
Şekil 3.24. Besleme donanım yapısı 2	48
Şekil 3.25. Akım ve gerilim çıkış kontrolü donanım yapısı.....	49
Şekil 3.26. Nextion HMI 2.8" enhanced model ön [31]	50
Şekil 3.27. Nextion HMI 2.8" enhanced model arka [31]	50
Şekil 3.28. Nextion HMI 2.8" enhanced model arayüz [31].....	51
Şekil 3.29. Nextion editor arayüz-1	52
Şekil 3.30. Nextion editor arayüz-2	52
Şekil 3.31. TFT ekran Uart çevrimi	53
Şekil 3.32. Bluetooth donanım yapısı	54
Şekil 3.33. HC-05 Bluetooth modül [32]	54
Şekil 3.34. PCB layout çizimi 1	55
Şekil 3.35. PCB layout çizimi 2	55
Şekil 3.36. Başlangıç akış diyagramı	57
Şekil 3.37. Analog değerlerin hesaplanması	58
Şekil 3.38. CubeMX programında oluşturulan yapı	59
Şekil 3.39. Keil yazılımı ana ekran görüntüsü	60
Şekil 4.1. Tasarlanan donanım kartları 1	61
Şekil 4.2. Redresör çıkış baralarının iç ve dış görünümü	62
Şekil 4.3. Redresör L1 fazına ait AC giriş gerilimi zamana bağlı değişimi.....	65
Şekil 4.4. Redresör L2 fazına ait AC giriş gerilimi zamana bağlı değişimi.....	65

Şekil 4.5. Redresör L3 fazına ait AC giriş gerilimi zamana bağlı değişimi.....	66
Şekil 4.6. Redresör L1 fazına ait AC giriş akımı zamana bağlı değişimi	67
Şekil 4.7. Redresör L2 fazına ait AC giriş akımı zamana bağlı değişimi	67
Şekil 4.8. Redresör L3 fazına ait AC giriş akımı zamana bağlı değişimi	68
Şekil 4.9. Numune üzerindeki gerilim düşümü - DC.....	69
Şekil 4.10. Çıkış gerilim düşümü - DC.....	70
Şekil 4.11. Çıkış akımı - DC	70
Şekil 4.12. Redresör baralarının gerilim düşümü dalga şekli	71
Şekil 4.13. Redresör çıkış gerilimi dalga şekli.....	71
Şekil 4.14. Redresör çıkış akımı dalga şekli	72
Şekil 4.15. Kaplanan malzeme üzerindeki sıcaklık değişimi.....	72

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 2.1. Doğrultucu devrelerinin kontrol açısından karşılaştırılması	7
Tablo 2.2. Ölçüm yöntemlerinin karşılaştırılması	20
Tablo 4.1. Akım ayarlı sabit gerilimlerde gönderilen ve okunan akım değerleri....	63
Tablo 4.2. Farklı zamanlarda ölçülen giriş ve çıkış parametreleri	64

ÖZET

Anahtar kelimeler: Gerilim ve akım ölçümü, Sistem kontrolü, Redresör, ARM mikrokontrolör

Bu çalışmada, malzeme sinterleme ve kaplaması amacı ile kullanılan üç fazlı bir redresör cihazının, üç faz giriş akım ve gerilim ölçümleri, çıkış gerilim ve akımlarının ölçümü yapılarak sistemin mikrokontrolör tabanlı açık çevrim kontrolü amaçlanmıştır. Bu sayede, üç fazlı redresör sistemi kullanım amacına yönelik olarak, gerekli elektriksel dinamikleri sağlayacak biçimde kontrol edilmiştir.

Sistemin giriş karakteristiğinin incelenmesinde, giriş gerilimlerinin ölçümleri gerilim bölücü yöntemi kullanılarak voltaj seviyesi mikrokontrolörün algılayacağı seviyelere düşürülerek hesaplanmıştır. Giriş akımlarının ölçümleri için akım trafolarının düşürme oranlarından yararlanılarak mikrokontrolörün algılayacağı seviyeye düşürülerek ölçüm yapılmıştır. Çıkış akım ve gerilimlerinin ayarlanması amacıyla cihazın üzerindeki elektronik devre kontrol pinlerine mikrokontrolörün Digital Analog Converter(DAC) pinlerinden alınan işaretler, gerekli kuvvetlendirici elemanlar yardımıyla kuvvetlendirilerek uygulanmış ve cihaz çıkışı için istenilen referans akım ve gerilimlerin üretilmesi sağlanmıştır. Redresör sisteminin çıkış akım ve gerilim işaretleri, tasarlanan kontrol kartı geri dönüş uçlarından izoleli olarak alınmış ve gerekli hesaplamalar yapılarak, sistemin kontrol edilebilirliği sağlanmıştır. Sistemin çalışması esnasında elde edilmiş olan veriler SD kart yardımıyla belirli aralıklarla kaydedilerek, istenirse sistemin karakteristiği incelenmesine olanak sağlanmıştır.

MICROCONTROLLER BASED CIRCUIT DESIGN IMPLEMENTATION FOR INPUT / OUTPUT ELECTRICAL MEASUREMENT AND CONTROL OF A THREE-PHASE THYRISTOR CONTROLLED RECTIFIER

SUMMARY

Keywords: Voltage and current measurement, System controlling, Rectifier, ARM microcontroller.

In this study, it's aimed to open loop control and measure three-phase input currents and voltages of three-phase rectifier device which is used for the purpose of material sintering and coating; Microcontroller based control of the system is done by measuring the output voltage and current. In this way, the system has been checked to provide the required electrical dynamics for the intended purpose.

In the analysis of the input characteristics of the system, voltage measurements were calculated by the voltage measurements were calculated by means of the voltage drop method and the voltage level was reduced to the levels that the microcontroller would detect and the reference voltage was calculated. The input currents are measured with current transformer's conversion ratio by the microcontroller. In order to adjust the output currents and voltages, the signals taken from the Digital Analog Converter (DAC) pins of the microcontroller are applied to the electronic circuit control pins on the device by applying the necessary amplifier elements and the desired reference currents and voltages are produced for the output of the device. The output current and voltage signals of rectifier system are isolated from the control card return ends and the necessary calculations are made and the controllability of the system is ensured. The datas obtained during the operation of the system can be recorded at regular intervals with the help of SD card, and if desired, the characteristics of the system can be examined.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Elektrik akım yardımcı sinterleme sistemleri yeni tip malzemelerin üretimini etkin, verimli ve sinterleme fırınlarına göre oldukça kısa zamanda yapmaktadır [1, 2, 3]. Bu sinterleme sistemlerinin termal ve elektriksel olarak modellenmesi oldukça önemlidir [1, 2, 4-7]. Böyle bir sinterleme sisteminin elektriksel verimi [4]'te incelenmiştir. Aynı sistemin termal modellenmesi [1, 5, 7]'de yapılmıştır. Bu sinterleme ve kaplama için kullanılabilen redresörün kapalı çevrim kontrolü oldukça önemlidir. Bu sistemin PID kontrolünün benzetimleri [7]'de yapılmıştır.

Enerjinin kalitesi; gerilimdeki ve akımdaki dalgalanmalar, elektrik kesintileri, şebeke frekansındaki anlık değişimlerin oluşturduğu etkiler ve güç faktörü değerine göre değişmektedir [8, 9]. Enerjinin kalitesininin sağlanması için, enerjinin sürekli olarak takip edilebilmesi gerekli olup bunun için enerji analizörleri/enerji takip cihazları geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. Bu özelliklere sahip bir ölçme sisteminin redresör sisteminin bir parçası olması onu daha iyi bir cihaz yapacaktır. Bu sistemin akım ve gerilimlerinin kaydının önemi [4, 6]'da vurgulanmıştır. Bu kayıtlarının bir veri tabanı oluşturmakta kullanılabileceği ve böyle bir sinterleme sisteminin önemi [6]'da vurgulanmıştır. Bu sinterlemede kullanılan redresörün ölçüm sisteminin otomatize edilmesi, bir güç analizörü gibi hem giriş hem de çıkıştaki akımların okunması bu sistemi daha kullanışlı yapacaktır ve [6]'da önerilen veri tabanının oluşturulmasına ve ileride sistemin kapalı çevrim olarak kontrol edilmesine yardım edecektir.

[1, 3, 4]'te kullanılan redresör sisteminin güç devresi antiparalel bağlı tristörlerden, bu tristörler tarafından beslenen primeri üçgen ve sekonderi yıldız bağlı ve sekonderinin her bir sargısı orta uçlu sargılara sahip üç fazlı bir transformatörden, orta uçlu sekonder sargılarına bağlanmış diyotlu bir tam dalga doğrultucu ve

doğrultucu çıkışına seri bağlanmış bir şok bobini ve bakırdan yapılma 3000 Amper taşıyabilen bakır baralardan ve bu baraları kısa devre eden hidrolik basınç uygulanan bakır elektrotlar arasına sıkıştırılmış çelikten yapılma sinterleme haznesinden oluşmaktadır [1, 3, 4].

Bu çalışmada, malzeme sinterleme ve kaplama amacı ile kullanılan üç fazlı bir redresör cihazının, üç faz AC giriş akım ve gerilim ölçümleri, DC çıkış gerilimleri ve akımının ölçümü yapılarak sistemin mikrokontrolör tabanlı açık çevrim kontrolü amaçlanmıştır. Ayrıca sistemdeki tüm akım ve gerilimler sinterleme sistemi için bilgiler elde etmek ve bir veri tabanı oluşturmak amacıyla bir SD karta kaydedilmiştir. Bu sayede sistemin kullanım amacına yönelik olarak, gerekli elektriksel dinamiklerinin elde edilmesine olanak sağlayacak biçimde çalışması sağlanmıştır.

Bu çalışmada, oluşturulan mikrodenetleyici temelli sistemle elektrik akım destekli malzeme sinterleme ve kaplama proseslerinde kullanılan üç faz girişli 20V/3000A çıkışlı tristör kontrollü redresörün girişindeki AC ve çıkışındaki DC gerilim ve akım değerlerinin ölçülmesi ve endüstriyel cihazlarda bulunan 0-10V ve 4-20mA kontrol uçlarından sistemin kontrol edilebilmesi amaçlanarak redresör sisteminin TFT dokunmatik ekran üzerinden kontrolünü sağlayarak sistemin kompakt bir yapı haline getirilmesi hedeflenmiştir. Cihazın sahip olduğu farklı ölçüm noktalarının birbirinden etkilenmemesi sistemde bulunan çıkış karakteristiği ve giriş karakteristiği birbirlerinden izole edilerek olası bir etkileşimin önüne geçilmeye çalışılmıştır. Cihazda bulunan akım ve gerilim ölçüm kısımları, AC üç faz akım ve gerilim ölçümü istenen herhangi bir sisteme uygulanabilir şekilde tasarlanarak farklı bir sistemin elektriksel ölçümlerini yapabilmesine olanak sağlamıştır.

Sistemin giriş karakteristiğinin incelenmesinde gerilim ölçümleri gerilim düşümü yöntemi kullanılarak voltaj seviyesi mikrokontrolörün algılayacağı seviyelere düşürülerek referans voltajı yardımıyla hesaplanmıştır. Giriş akımlarının ölçümleri akım trafolarının düşürme oranlarından yararlanılarak karşılaştırılıp mikrokontrolörün algılayacağı seviyeye düşürülerek ölçüm yapılacaktır.

Çıkış akım ve gerilimlerinin ayarlanması cihaz üzerindeki kontrol pinlerine mikrokontrolörün Dijital Analog Çevirici (Digital Analog Converter(DAC)) pinlerinden işaret uygulanarak ve gerekli kuvvetlendirici elemanlar yardımıyla istenilen akım ve gerilimlerin üretilmesi sağlanmıştır. Geri dönüş uçlarından izoleli olarak alınan işaret bilgileri gerekli dönüşümler sağlanarak, oluşturulan ölçüm ve kontrol kartı ve bunun var olan redresör sistemine uygulanması ile sistemin açık çevrim kontrolü sağlanmıştır. Sistemin çalışması esnasında elde edilmiş olan veriler SD kart yardımıyla belirli aralıklarla kaydedilerek, istenirse sistemin üretim prosesinin karakteristiklerinin incelenmesine olanak sağlanmıştır. Ayrıca sistem, sinterleme haznesi sıcaklığını ölçen IR sıcaklık ölçerin analog çıkış gerilimini kullanarak sıcaklığı ölçecek şekilde tasarlanmıştır.

Bu tez çalışmasında giriş bölümünden sonra ikinci bölümde kullanılan üç fazlı redresör sistemi tanıtılmış ve çalışma prensibi kısaca açıklanmıştır. Üçüncü bölümde Üç fazlı tristör kontrollü bir redresörün giriş/çıkış elektriksel ölçümleri ve kontrolü için tasarlanan mikrokontrolör tabanlı devrenin parçaları tanıtılmış ve devrenin nasıl çalıştığı ve bu mikrokontrolör tabanlı devrenin programı üzerine bilgi ve kullanılan algoritmaların akış diyagramları verilmiştir. Dördüncü bölümde gerçekleştirilen mikrokontrolör tabanlı devre ile yapılan deneylerin sonuçları verilmiştir. Teze sonuç bölümü ile son verilmiştir.

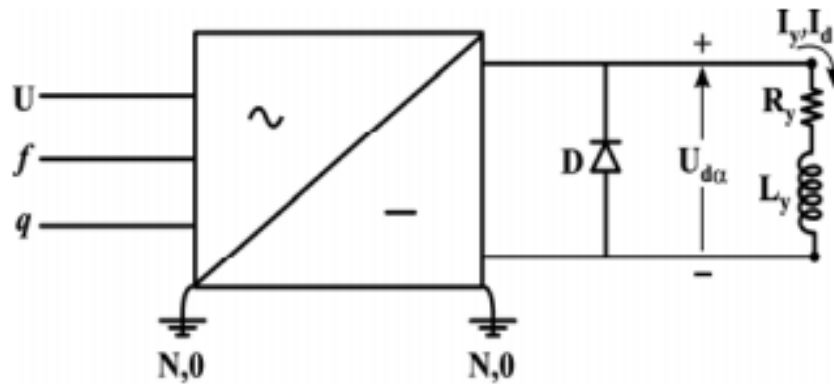
BÖLÜM 2. KULLANILAN REDRESÖR İLE TASARLANAN KONTROL VE ÖLÇÜM DEVRESİ ÖZELLİKLERİ

Bu kısımda önce redresörler ve AC-DC güç kaynakları ve ardından bu çalışmada kullanılan üç fazlı redresör üzerine kısaca bilgi verilecektir.

2.1. Redresörler Ve AC-DC Güç Kaynakları

Şebekeden gelen AC gerilimleri, DC gerilime çeviren birimler redresör (doğrultucu) olarak adlandırılmaktadır. Redresör bileşeni olarak bir çok yarıiletken elemanlardan yararlanılmaktadır. Redresörler, kullanılmış olan anahtarlama elemanına göre, kontrolsüz, yarı kontrollü ve tam kontrollü redresörler olarak sınıflandırılmışlardır. Genel olarak, doğrultma elemanı olarak diyot, tristör, GTO, IGBT gibi güç elektroniği elemanları kullanılmaktadır [10].

AC-DC dönüştürücülerin temel blok şeması aşağıdaki Şekil 2.1.'de gösterilmektedir [11].



Şekil 2.1. Redresör temel blok şeması [11]

AC-DC dönüştürücülerin başlıca uygulama alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- DC motor kontrolü
- Akümülatör şarjı
- Elektroliz ile kaplama
- DC kıyıcılar ve inverterlerin beslenmesi
- DC gerilim kaynakları ve regülatörler

AC-DC dönüştürücülerin temel özellikleri aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

- Doğal komütasyonludurlar.
- Diyot, tristör gibi elemanlarla uygulanırlar.
- Faz kontrol yöntemi ile kontrol edilirler.
- Çıkış gerilimi ortalama olarak ayarlanır.
- Şebeke kısmında yüksek değerlikli harmoniklerin oluşmasına neden olurlar.
- Çıkış kısmında yüksek dalgalanmalar meydana gelebilir.

Redresörler ihtiyaca göre tek fazlı ve üç fazlı olarak üretilmektedirler. Redresörlerin günümüzde en çok kullanıldığı tip tristörlü tam kontrollü doğrultuculardır. Çıkış geriliminin kontrolü ve yüksek güç değerlerinde kullanılabilmesi başlıca kullanım tercihleri arasında yer almaktadır. Genel olarak yüksek gerilim ve akım ihtiyacı olan sistemlerde tristörlü doğrultucular kullanılmaktadır. Tek fazlı ve üç fazlı girişli olmak üzere;

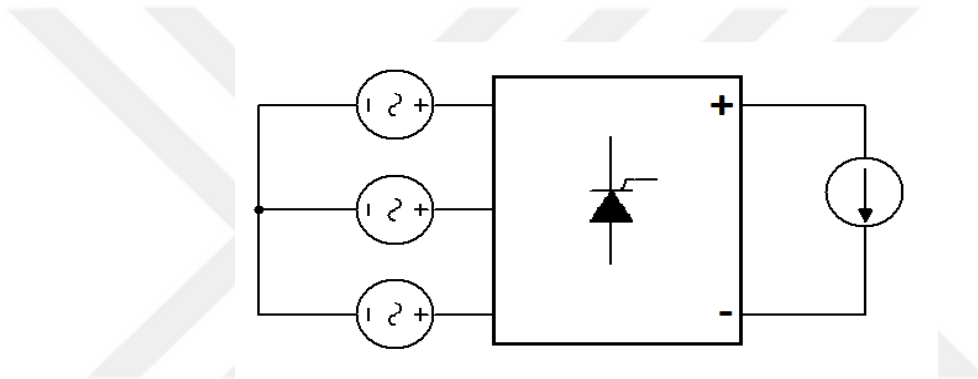
- 12V DC Redresörler
- 24V DC Redresörler
- 48V DC Redresörler

Şeklinde ihtiyaca göre tasarlanabilmektedir.

Akım kaplama uygulamalarında kullanılan tristör kontrollü redresörler genel olarak düşük gerilim ve büyük akım değerleri üretecek şekilde tasarlanır. Ancak bu tür tristör tabanlı sistemlerin giriş gücünün çıkış gücüne orana %40 ile %60 arasında bir verimlilikte çalışırlar. Sorunları daha da artırmaya neden olan diğer etkenler ise,

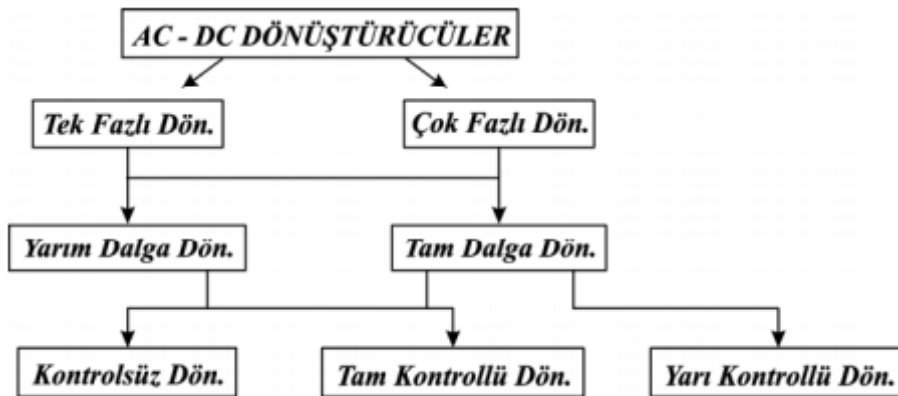
düşük frekanslı güç kaynağından kaynaklanan problemlerden dolayı büyük transformatörlerin kullanılması, büyük yumuşatıcı reaktörlerin kullanılmasıdır. Bu durum güç kaynağının bütünsel boyutundaki büyüklüğünden dolayı dezavantajlara neden olabilmektedir [12]. Tristör kontrollü redresörlerin çalışmasında meydana gelen hatalar (örneğin kapı işaretlerinin kaybına bağlı olarak) güç sistemi ekipmanı ve bunların çalışması üzerinde olumsuz etkiye sahip olabilecek dengesiz koşullar oluşturur [13].

Şekil 2.2.'de endüstriyel uygulamalarda kullanılan doğrultucuların temel şablonu verilmiştir.



Şekil 2.2. Endüstriyel uygulamalardaki tristör kontrollü doğrultucu şeması

AC-DC dönüştürücüler farklı açılara göre Şekil 2.3.'teki gibi sınıflandırılabilirler:



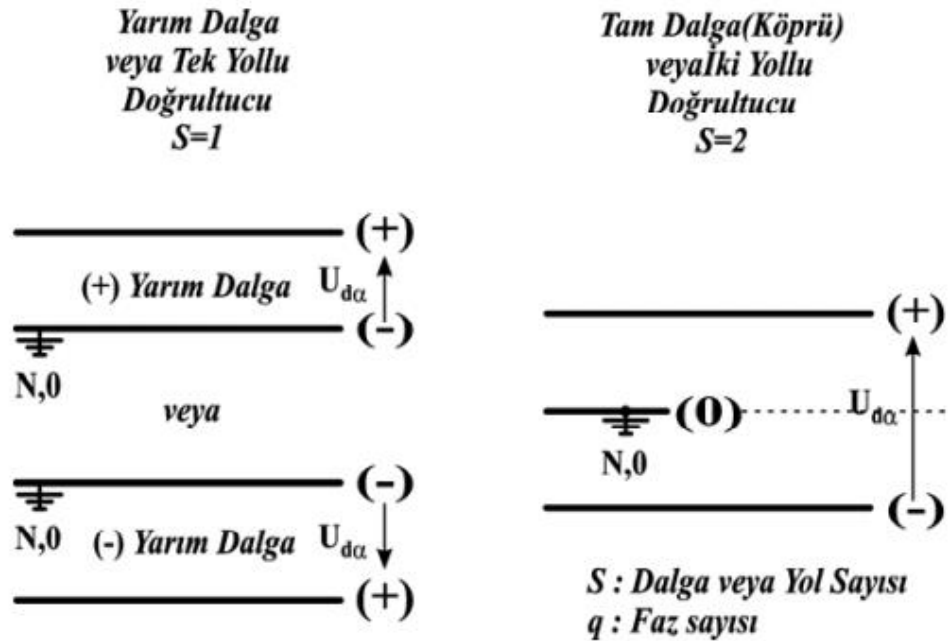
Şekil 2.3. AC-DC dönüştürücülerin farklı açılara göre sınıflandırılması [11]

Doğrultucu devrelerin kontrol açısından karşılaştırılması aşağıdaki Tablo 2.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Doğrultucu devrelerinin kontrol açısından karşılaştırılması

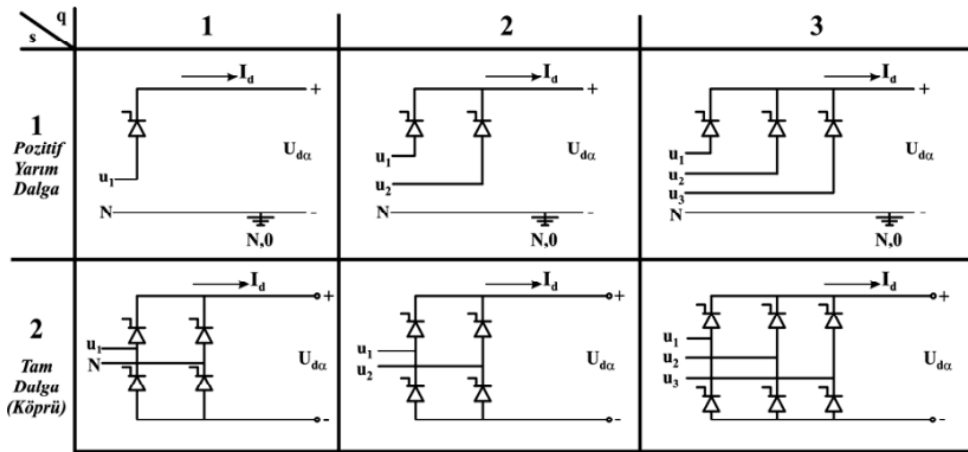
Kontrolsüz Doğrultucu	Tam Kontrollü Doğrultucu	Yarı Kontrollü Doğrultucu
Diyotlar ile yapılır	Tristörler ile yapılır	Tristör ve diyotlarla beraber yapılır.
Sadece doğrultucu olarak çalışabilir.	Hem doğrultucu olarak hem de inverter olarak çalışabilir.	Sadece doğrultucu olarak çalışabilir.
Genelde serbest geçiş diyodu yoktur.	Serbest geçiş diyodu konulmaz. Eğer varsa inverter modunda kullanılamaz.	Genelde serbest geçiş diyodu kullanılır.
$\alpha = 0$, $V_{dc} = \text{sabit}$	$0 < \alpha < \pi$, $V_{dc} = \text{değişken}$	$0 < \alpha < \pi$, $V_{dc} = \text{değişken}$

AC-DC dönüştürücüler dalga sayısına göre aşağıdaki gibi karşılaştırılabilir.



Şekil 2.4. AC-DC dönüştürücüler dalga sayısına göre karşılaştırılması [11]

Yarım Dalga Doğrultucularda, şebekenin nötrüne (N) bağlı olarak çıkışta bir gerilim meydana gelir. Yani çıkış DC gerilim uçlarından birisi şebekenin nötr'üne bağlanmıştır. Tam Dalga Doğrultucu da ise, artı (+) ve eksi (-) Yarım Dalga Doğrultucuların toplamına eşdeğerdir. Yani çıkışında nötr ucu kullanılmaz. Nötr ucu sadece potansiyel olarak çıkıştaki gerilimi ortalamaktadır. AC-DC devrelerin temel şematik görüntüleri Şekil 2.5.'te gösterilmiştir.

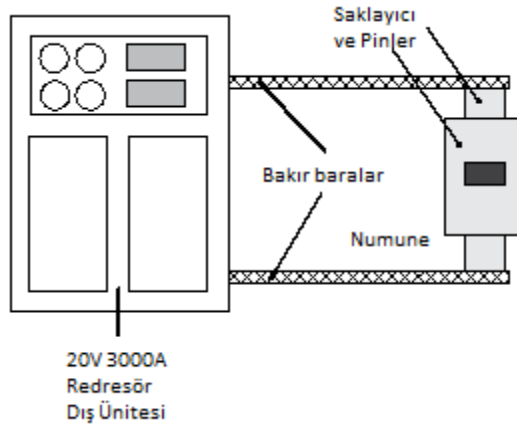


Şekil 2.5. AC-DC devrelerin temel şematik görüntüleri [11]

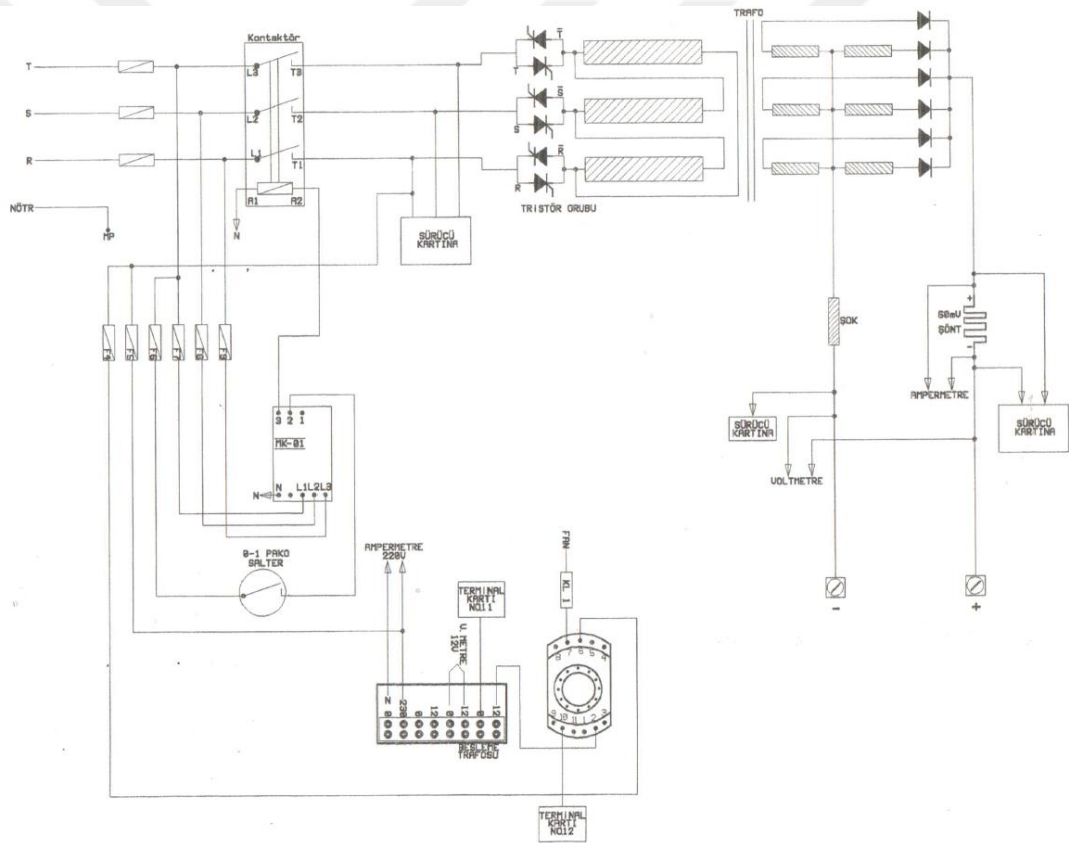
2.2. Çalışmaya Temel Teşkil Eden Üç Fazlı Redresör Ve Sistemin Çalışma Özellikleri

Bu bölümde önce çalışmaya temel teşkil eden üç fazlı redresör hakkında kısaca bilgi verilmiş ve bu redresörü kontrol etmek için tasarlanan kontrol ve ölçüm sisteminin özellikleri verilmiştir.

Mersan Elektrik firmasına ait olan redresör, 380V AC 3 faz gerilim ile beslemeli 20V dc ve 3000A dc çıkış veren tristörlü galvano redresörü olup, malzeme sinterleme kaplama amacıyla kullanılan bir cihazdır. Şekil 2.6.'da redresör yapısının temel görüntüsü ve çıkışındaki baraların temsili görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.6. Redresör sisteminin temel gösterimi [5]



Şekil 2.7. 20V 3000A redresör bağlantı şeması

Şekil 2.7.'de Mersan firmasına ait 20V 3000A çalışma gücüne sahip redresörün bağlantı şeması verilmiştir. Devre üzerinde bulunan elemanlar sırasıyla; redresör sisteminin elektriksel olarak açılıp kapanmasını sağlayan pako şalter, giriş gerilimlerinde olası herhangi bir faz eksikliğini kontrol eden faz kontrol rölesi, faz

kontrol rölesinde herhangi bir sorun mevcut değilse sistemin çıkış vermesini sağlayan başlangıç kontaktörü, anahtarlama elemanı olarak kullanılan tristör grubu, tristörlerin istenilen açılarda sürülmesini sağlayan sürücü kartı, tristör çıkışlarından sonra bulunan izolasyon trafosu, çıkış tarafında bulunan diyot grupları, çıkış akımındaki dalgalanmaları önleyen şok bobini, akım ölçümü için çıkıştaki bağlı bulunan 60mV maksimum gerilime sahip şönt direnci ve aşırı akım koruması için şönt direncin uçlarından alınan ve sürücü kartına giden bağlantı kabloları, gerilim ve akım değerlerinin ölçümü için bağlanan ve voltmetre ile ampermetre uçlarına giden kablo bağlantıları verilmiştir.

Redresörün kullanımı için gerekli talimatlar aşağıda ifade edilmiştir:

Redresörün temel elektriksel bağlantıları yapıldıktan sonra redresörün üzerinde bulunan pako şalteri açılır. Şalter açıldığında dijital ampermetre ve voltmetrede göstergeler 0 değerini göstermektedir. Bunlardan herhangi birinde görünmüyorsa; giriş elektrik hattındaki fazlardan biri veya bir kaç kesilmiş demektir. Öncelikli olarak bu sorunun düzeltilmesi gerekmektedir. Ardından redresörün içerisinde bulunan faz hatası ledinin yanıp yanmadığı kontrol edilmelidir. Faz hatası ledi yanıyor vaziyette ise giriş kısmındaki fazların yerlerinin doğru olduğu kontrol edilmelidir. Aksi halde bu hata bulunduğu taktirde sistemin start kontaktörü kapanmadığından dolayı redresör çalışmaya başlamayacaktır. Faz hatası ledi sönük durumdaysa Start butonuna basıldığında redresör çalışmaya başlamıştır. Bu işlemlerden sonra redresörün çalışma modlarından hangisiyle çalışılması isteniyorsa o yönde ayarlama yapılması gerekmektedir.

Redresör akım veya gerilim sabit mod olmak üzere 2 farklı modda çalışmaktadır. Akım sabit modda çalışılmak isteniyorsa voltmetre potu en son kademeye kadar getirilerek sistem istenilen akım değerlerinde redresör çalıştırılması yapılabilir. Yine aynı şekilde voltaj sabit modda çalışılmak istenildiğinde, akım potu son kademeye kadar getirilir ve istenilen volt değeri volt kademesiyle ayarlanarak redresörde çalışma yapılabilir. Redresör akım sınırlamalı olduğundan dolayı çalışma akımı olan 3000A'den fazla akım çekilmemesi tavsiye edilmektedir. Redresör yapılan kaplama

yapması için kullanılan şok bobini, çıkış akımının ölçüldüğü üzerinde maksimum akımda 60mV gerilim düşen şönt direnci ve çıkış baralarıyla birlikte kaplanacak olan numune malzeme ve saklama haznesi/kutusu gösterilmiştir.

Tasarlanmış olan elektronik devre içerisinde ise; üç faz AC akım ve gerilim değerlerinin ölçüldüğü giriş akım ve gerilim değerleri, çıkış DC akımı ölçümü için şönt direnci üzerinden alınan ve çıkıştaki çeşitli noktalardan gerilim ölçümlerini ifade eden kısımlar ve kullanıcı arayüzünün olduğu TFT dokunmatik ekran verilmiştir.

Bu çalışmada, yapılmış olan donanım tasarımıyla birlikte redresörün üzerinde bulunan dijital göstergeler ve potansiyometreler devre dışı bırakılarak sistemin Start butonuna basıldıktan sonraki kullanıcı arayüzü olarak TFT ekran kullanılacaktır. Bu sayede, sistemin ölçülen değerlerinin tek bir ekran üzerinden izlenebilmesi sağlanarak kullanıcı açısından kullanımı daha kolay bir sistem haline getirilecektir. Bu karttaki ölçme devreleri farklı şekillerde tasarlanabilecek olup, olası yöntemler için takip eden kısımda bilgi verilecektir.

2.3. Akım Ve Gerilim Ölçüm Teknikleri

Bu kısımda, tasarlanan sistemin istenilen özelliklerini elde etmek için akım ve gerilim ölçüm teknikleri taranmış ve içlerinden uygun olanlar seçilmiştir.

Piyasada akım, gerilim, görünür güç, frekans, güç faktörü, güç açısı, akım ve gerilim harmonikleri, demand değerleri gibi parametreleri kendi bünyesinde hesaplayan ATM90E36A, STMP01 gibi ölçüm için özel tasarlanmış çipler bulunmaktadır.

Bu özel ölçüm entegrelerinin yanında çeşitli analog devre elemanlarıyla da elektriksel parametrelerin ölçümleri yapılabilmektedir. Akım algılama ve ölçümüne yönelik olarak, akım algılayıcı direnç yöntemi, akım transformatörü yöntemi, hall etkisi sensör yöntemi, rogowski bobini yöntemi gibi başlıca yöntemler bulunmaktadır [14]. Güvenlik ve yalıtım açısından en uygun yöntem olarak akım

transformatörü akım ölçüm okumalarında önemli bir yer tutmaktadır. Bununla beraber ucuz ve ölçümdeki doğruluğu nedeniyle akım algılayıcı direnç yöntemi de sık olarak kullanılan bir yöntemdir.

Gerilim ölçümlerinde ise genellikle gerilim bölücü yöntemi kullanılmaktadır. Bununla beraber gerilim transformatörleri de tercih edilen yöntemler arasındadır. Frekans ölçümlerinde genel olarak sıfır geçişi devreleri kullanılmaktadır. Güç katsayısının hesaplanması işlemleri genel olarak ölçüm entegrelerinde yüksek doğrulukta hesaplanabilmektedir. Entegresiz çözüm olarak; hem gerilim hem de akım işaretlerinin 0 olduğu durumlar çevre birimi elemanları ve mikrodenetleyici ile algılanarak sıfır geçişi devreleri yardımıyla hesaplanabilmektedir. Bu bilgiler neticesinde elde edilen hesaplamalarla beraber mikrokontrolör tabanlı sistemler vasıtasıyla sistemlerin, aktif güç, reaktif güç, görünür güç değerleri hesaplanmaktadır.

Bu çalışmada, akım ölçüm yöntemi olarak akım trafosu kullanılmıştır. Gerilim ölçümleri ise gerilim bölücü dirençler yöntemiyle yapılmıştır.

Hesaplamalar neticesinde ölçülen değerlerin çeşitli iletişim protokolleri ve arayüzleri kullanılarak dış dünya ile haberleşmesi sağlanabilmektedir. Wifi modülü, bluetooth modülü, Zigbee modülü, RF modülü, RS485, RS232 protokolleri gibi çeşitli iletişim protokolleri tasarımın ihtiyacına göre tercih edilebilmektedir.

Bu çalışmada, kullanılan TFT ekran için UART haberleşmesiyle cihaz üzerinden seri iletişim sağlanmıştır.

2.3.1. Akım ölçüm devreleri

Akım ölçümlerinde kullanılan farklı yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler ölçüm yapılacak sistemin sınırlarına göre ve uygulamaya bağlı olarak doğruluk, hassasiyet, uygulama hızına bağlı olarak değişiklik gösterebilir.

2.3.1.1. Akım algılayıcı direnç (şönt) yöntemi

Çok sık kullanılan bir yöntemdir. Yöntemin uygulanışında, akımı ölçülecek hatta bir direnç konularak, Ohm kanunundan yararlanarak akımın lineer bir şekilde gerilime dönüştüren bir yöntemdir. Şönt direnç kullanımının avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yüksek ölçüm doğruluğu
- Düşük maliyet
- Düşük akımlar ile orta seviyedeki akımlar arasında ölçüm
- Hem DC hem de AC akım ölçüm imkanı

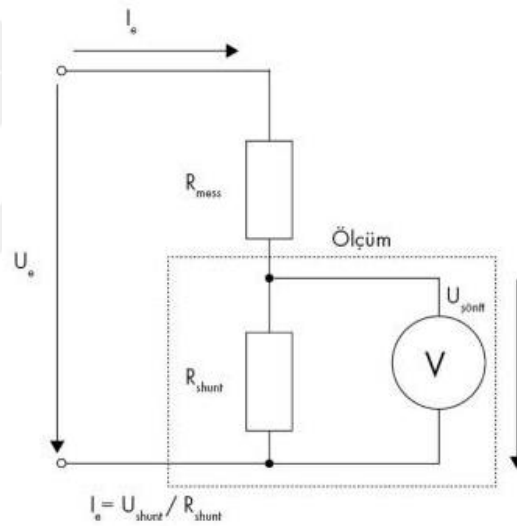
Dezavantajlar aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

- Kaynağın çıkış direncinin artması sistemde istenmeyen etkilere neden olabilir.
- Akımın karesiyle doğru orantılı olacak şekilde direnç üzerinden bir güç kaybı meydana gelir. Bu kayıp yüksek akımlarda şönt direncin az tercih edilmesinin nedeni olarak gösterilebilir.

Dezavantajları bertaraf edebilmek için düşük değerlerde şönt direnci kullanmak yararlı olabilir. Fakat bu sefer de şönt direnci üzerinde oluşan gerilim çok düşük seviyelerde olacağından dolayı düşük değerlerdeki ölçümlerde karşılaştırma yapılmasında sorunlar meydana gelebilecektir. Aynı zamanda, ölçülecek akımın yüksek değerli frekansları mevcut ise şönt direncinin iç endüktansının düşük olması gerekmektedir. Bunun nedeni, direncin sahip olduğu endüktans değerinin oluşturmuş olduğu Elektromotor kuvvet (EMF (Electromotive Force))'tir. Bunlarla beraber, direnç toleransı, sıcaklık katsayısı, termal EMF gibi değişken parametreler ölçümde olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Şönt direnci yönteminin temel metodu Şekil 2.9.'da verilmiştir.

Şönt direnç ile akım ölçümü yapılacaksa aşağıdaki kriterler dikkate alınarak seçim yapılmalıdır:

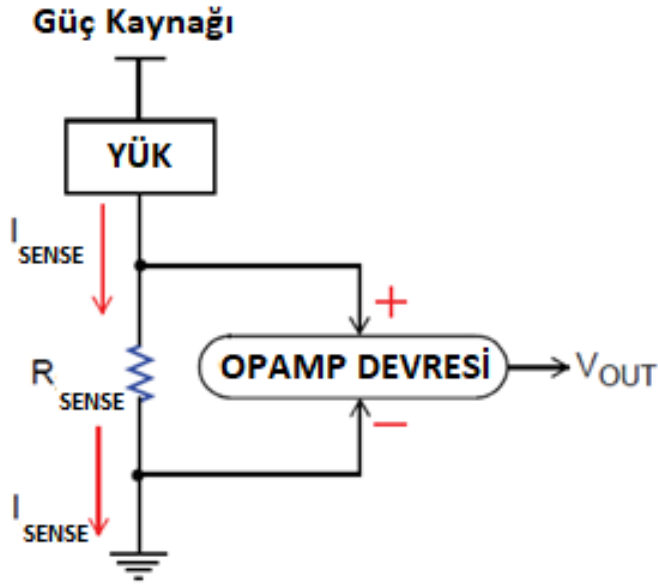
- Toleranslı ve değeri düşük direnç, hem güç tüketiminde hem de ölçümde olumlu yönde etki sağlar.
- Şönt direncinin yüksek watt değerlikli olmasına dikkat edilmesi gerekir.
- EMF'yi azaltmak için indüktans değerinin düşük değerlikli olmasına dikkat edilmelidir.
- Sıcaklık değerlerindeki değişim aralığı fazla ise, düşük sıcaklık katsayısı, yüksek sıcaklık kapasitesi ve düşük termal EMF'ye sahip olması gerekmektedir [15].



Şekil 2.9. Şönt direnci yöntemi

2.3.1.2. Düşük taraf akım algılama yöntemi

Düşük taraf (Low side) akım algılama yönteminde akım algılayıcısı yük ile toprak arasında konulmuştur. Algılanan gerilim değeri çok düşük bir değerdedir. Bu değer in ölçülüp anlamlandırılabilmesi için işaretin bir kuvvetlendirici (opamp) devresi yardımıyla yükseltilmesi gerekir. Şekil 2.10.'da düşük taraf akım algılama yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Düşük taraf akım algılama yöntemi

Avantajlar:

- Düşük giriş ortak mod gerilimi
- Düşük VDD gerilimi
- Toprak referanslı giriş ve çıkış
- Basitlik ve düşük maliyet

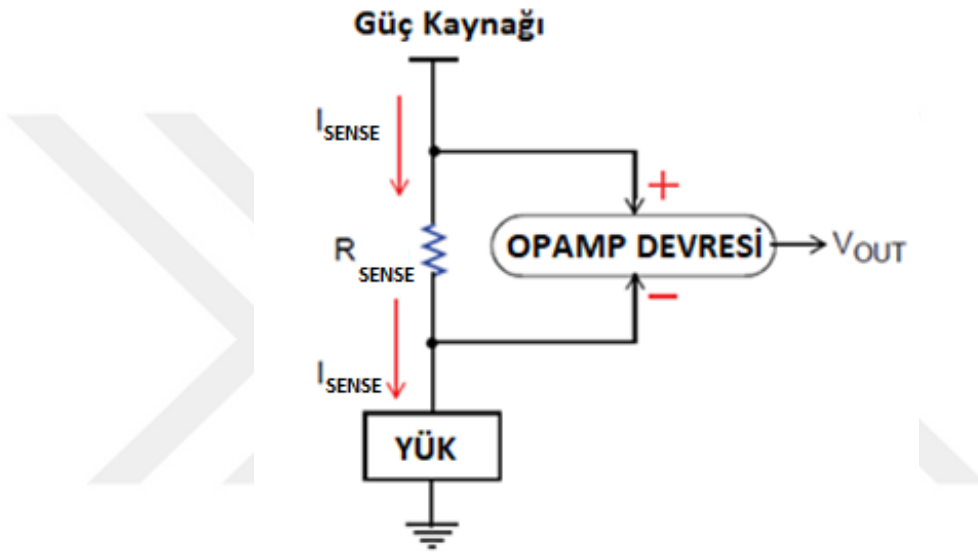
Dezavantajlar:

- Toprak hattı gürültüsü
- Yük Rsense direncinden dolayı sistem toprak hattından ayrılmıştır. Bu ise istenmeyen bir durumdur.
- Kazara oluşan kısa devre nedeniyle algılanamayan yüksek yük akımlarına sebep olur.

Avantajlı yanları göz önüne alınarak düşük taraf akım ölçüm yöntemi seçilebilir. Kısa devre algılamasının gerek duyulmadığı ve toprak hattı gürültüsünün ihmal edilebildiği sistemlerde bu yöntem uygulanabilir.

2.3.1.3. Yüksek taraf akım algılama yöntemi

Yüksek taraf (High side) akım algılama yönteminde akım algılayıcısı güç kaynağı ile yük arasında konulmuştur. Algılanan gerilim değeri çok düşük bir değerdedir. Bu değer ölçülüp anlamlandırılabilmesi için işaretinin bir kuvvetlendirici (opamp) devresi yardımıyla yükseltilmesi gerekir. Şekil 2.11.'de yüksek taraf akım algılama yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Yüksek taraf akım algılama yöntemi

Avantajlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Toprak hattı gürültüsünü önler
- Yük doğrudan sistemin toprağına bağlanmaktadır.
- Toprak referanslı giriş ve çıkış
- Kazara oluşan yüksek kısa devre akımları algılanabilir.

Dezavantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

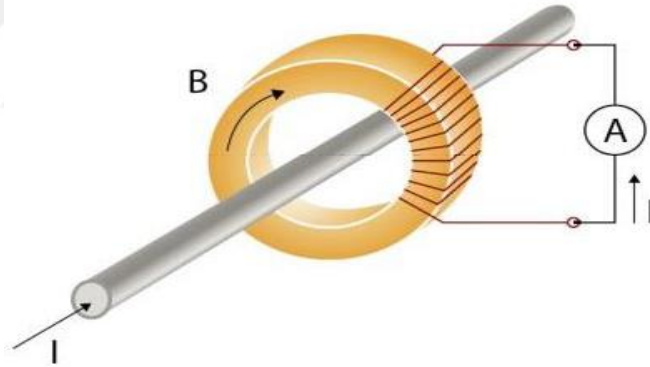
- Çok yüksek ve dinamik ortak mod giriş gerilimini işleyebilmeli.
- Kompleks ve daha yüksek maliyet
- Yüksek VDD gereksinimi

2.3.1.4. Akım transformatörü ile akım algılama yöntemi

Yüksek değerli akımların ölçümünde kullanılan bir yöntemdir. Genel olarak şönt ve transformatör prensibi birlikte kullanılır ve şönt çeviriciler de çözüme ilave edilir. Akım transformatörlerinin önemli avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Hat geriliminden izolasyon.
- Akımın kayıpsız bir şekilde ölçümü
- Gürültünün daha az etkili olması.

Akım transformatörlerinde bulunan etiket değerleri seçilecek akım transformatörlerinin kullanım alanına göre yardımcı olur. Şekil 2.12.'de akım trafosu ile akım algılama yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Akım trafosu ile akım algılama yöntemi

Klas sınıfı (cl, kl): Akım trafosunun girişi ile çıkışı arasında lineer olmasını ve giriş ile çıkış arasındaki açı sapmasını gösterir. Klas sınıfının yüksek olması ölçüm yapan cihazlar (sayaç, analizör ve reaktif röle vb.) arasında farklar oluşturur. Sayaç, analizör ve kompanzasyonda klas sınıfının en yüksek 0.5 olması tavsiye edilir.

Çıkış Gücü (VA): X5 (5Amper çıkışlı) olan 10VA çıkış gücüne sahip akım trafosunun çıkışında $10VA/5A=2V$ gerilim bulunmaktadır. Akım trafo çıkışlarında

kullanılan kablo kesiti ve mesafesine göre güç değerinde seçim yapılmalıdır. Çıkışta kullanılan kablo kesiti en düşük (1 metre vb.) mesafede 1.5mm^2 olmalıdır. Akım trafosu gücü düştükçe veya kablo mesafesi arttıkça daha sağlıklı ölçüm için kablo kesiti artmalıdır. Kablo kesiti arttıkça kablonun direnci düşer ve akım ve gerilim kaybı azalır. Çok damarlı bakır kablo, tek damar kabloya göre daha düşük empedansa sahip olur. Çok damarlı kablo kullanılması tavsiye edilir.

İzolasyon gerilimi (0.72kV / 3kV): İzolasyon, akım trafosunun girişi ile temas etmeyen çıkışı arasındaki dayanabileceği gerilimi belirler. 0.72kV(720V) maksimum çalışabileceği gerilimi belirler. Bu değer üzerindeki gerilim akım trafosuna zarar verebilir. 3kV(3000V) anlık dayanabileceği maksimum gerilimi belirtir.

Kablo: Akım trafo çıkışlarında kullanılacak kablolar, ölçümlerin daha doğru olabilmesi için empedansı düşük olmalıdır. Kabloların üzerinde genellikle kilometre başına direnç değerleri belirtilir. Genel itibariyle $75\ \Omega/\text{km}$, $13\ \Omega/\text{km}$, $7\ \Omega/\text{km}$ değerleri çoğunlukla kullanılan değerlerdir. Aynı kesite sahip tek damarlı kablo çok damarlı kablodan daha yüksek bir empendansa sahiptir. Bunun nedeni akımın, kesitin iç yüzeyinden çok dış yüzeyinden akımındanadır. Çok damarlı kabloda bu yüzey alanı daha geniştir.

Şekil 2.13.'te ve Şekil 2.14.'te çeşitli akım trafoları gösterilmiştir. Bu trafolar, kullanım amacı, çevrim oranı ve hassasiyet gibi çeşitli farklı özelliklere sahiptirler.



Şekil 2.13. Çeşitli akım trafoları 1



Şekil 2.14. Çeşitli akım trafoları 2

Bu çalışmada kullanılan 2 farklı akım ölçüm yönteminin yanında, Hall etkisi sensörü yöntemi ve Rogowski bobini yöntemleri de kullanılabilmektedir. Bu yöntemler kullanılmadığından dolayı detaylı olarak bilgisi verilmemiştir.

Yukarıda incelediğimiz akım ölçümlerinin karşılaştırılması aşağıdaki Tablo 2.2.'de verilmiştir.

Tablo 2. 2. Ölçüm yöntemlerinin karşılaştırılması

ÖlçümYöntemi	Doğruluk	İzolasyon	Boyut	Maliyet
Akım Algılayıcı Direnç(Şönt) Yöntemi	Yüksek	Yok	Küçük	Düşük
Akım Transformatörü Yöntemi	Yüksek	Var	Büyük	Orta
Hall Etkisi Sensör yöntemi	Yüksek	Var	Büyük	Orta
Rogowski Bobini Yöntemi	Yüksek	Var	Büyük	Yüksek

Yapılan bu karşılaştırmalar neticesinde maliyet, boyut ve kullanım alanı dikkate alınarak akım transformatörü ile akım algılama yöntemi kullanılmıştır. Sistemden çekilen akım dikkate alınarak her bir giriş fazı için 250/5A dönüştürme oranına sahip

içten kablo geçmeli tip akım trafoları kullanılmıştır. Giriş akımlarının tasarlanılan devre üzerinde bulunan mini akım trafoları ile ölçümü yapılmıştır.

2.3.2. Gerilim ölçüm devreleri

Bir mikrodnetleyici ile ölçüm yapılabilmesi için gelen işaretlerin mikrodnetleyicinin algılayacağı seviyelerde olması gerekmektedir. Bu nedenle yüksek değerlerde olan gerilim değerlerinin mikrodnetleyiciye uygun seviyeye dönüştürülmesi gerekmektedir. Gerilimin düşürülmesi için çeşitli yöntemler uygulanabilir.

2.3.2.1. Gerilim bölücü yöntemi

Temel olarak gerilim bölücü devreleri düşük maliyetinden dolayı gerilim ölçümlerinde sıkça kullanılan bir yöntemdir. Rezistif gerilim bölücü yöntemiyle AC ve DC gerilimler kullanılabilir. Bununla beraber devre üzerinden geçen akımın karesi oranında da bir güç kaybı meydana gelir. Aynı zamanda giriş ve çıkış arasında bir izolasyon mevcut olmadığından dolayı girişteki kısa devre çıkış işaretini etkileyebilmektedir. Bu durum güvenli bir hal sunmamaktadır.

2.3.2.2. Gerilim transformatörü yöntemi

Gerilim değerini düşürmek için kullanılan bir diğer yöntem de gerilim transformatörü yöntemidir. Bu yöntem sadece AC gerilimler için kullanılan bir yöntemdir. Gerilim bölücü yönteme nazaran daha fazla bir alan kaplamaktadır. Maliyet olarak gerilim trafosu içerdiği bakır nedeniyle gerilim bölücü dirençlere göre daha pahalı bir yöntemdir. Transformatör yöntemindeki en büyük avantaj giriş ve çıkışların arasındaki izolasyondur. Bu sayede giriş işaretinde yaşanabilecek kısa devre gibi bir olumsuzluk çıkışı olumsuz yönde etkilememektedir. Bu durum sistem açısından gerilim transformatörü yöntemini güvenli bir yöntem haline getirmektedir.

Yukarıda anlatılan iki yöntem arasından, devrenin tasarımındaki alan ve maliyet açısından değerlendirildiğinde gerilim bölücü direnç yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Devrenin tasarımı ve incelemesi çalışmanın devamında anlatılmıştır.

2.4. Dengeli Üç Fazlı Sistemler İçin Matematiksel İfadeler

Üç fazlı sistemlerde güç hesaplamaları, yüklerin çeşitliğinin artması, yarıiletken anahtarların kullanıldığı elektrik motor sürücüleri, kontrollü doğrultucular, ark kaynakları, elektronik balastlı lambalar gibi yüklerin kullanımının artması ve güç sistemine bağlanacak yüklerin fazlara eşit dağılımının yapılmaması gibi nedenlerden dolayı değişmektedir. Bu belirtilen faktörler göz önüne alınarak güç hesaplamaları uluslararası standartlar çerçevesinde aşağıda belirtilen hesaplamalarla yapılabilir [16].

Üç fazlı dengeli bir sistem için elektriksel akım ve gerilim ifadeleri IEEE 1459-2000 standardına göre aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır [17].

$$v_a = \sqrt{2} V_{ln} \sin(\omega t) \quad (3.1)$$

$$v_b = \sqrt{2} V_{ln} \sin(\omega - 120^\circ) \quad (3.2)$$

$$v_c = \sqrt{2} V_{ln} \sin(\omega + 120^\circ) \quad (3.3)$$

$$i_a = \sqrt{2} I \sin(\omega t - \theta) \quad (3.4)$$

$$i_b = \sqrt{2} I \sin(\omega t - \theta - 120^\circ) \quad (3.5)$$

$$i_c = \sqrt{2} I \sin(\omega t - \theta + 120^\circ) \quad (3.6)$$

Bu akım ve gerilimler kullanılarak dengeli üç fazlı sistemdeki anlık güç;

$$p = v_a i_a + v_b i_b + v_c i_c \quad (3.7)$$

Aktif güç ifadesi de,

$$P = \frac{1}{kT} \int_{\tau}^{\tau+kT} p \, dt \quad (3.8)$$

$$P = 3V_{ln}I \cos \theta = \sqrt{3}V_{ll}I \cos \theta \quad (3.9)$$

Şeklinde belirtilebilir. Buradaki; V_{ln} = Faz Nötr Gerilimini, V_{ll} = Faz-Faz Gerilimini belirtmektedir. $\cos\theta$ aktif gücün görünür güce oranını belirtmektedir. Dengeli üç fazlı sistemin reaktif ve görünür güç ifadeleri aşağıdaki denklemler ile elde edilir.

$$Q = 3V_{ln}I \sin \theta = \sqrt{3}V_{ll}I \sin \theta \quad (3.10)$$

$$|Q| = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (3.11)$$

$$S = 3V_{ln}I = \sqrt{3}V_{ll}I \quad (3.12)$$

Sistemin güç faktörü denklem 3.13'te belirtilmiştir.

$$PF = \frac{P}{S} \quad (3.13)$$

2.5. AC-DC Doğrultucu Devreler

Tasarlanacak cihaz için cihaz üzerinde bulunan çevre birimleri göz önünde bulundurularak en ideal tasarım yapılması gerekmektedir. Sistemde bulunan TFT LCD ekran 500mA civarında akıma ihtiyaç duyduğundan dolayı düşük güçlü güç devreleri de çözüm olarak sunulamamaktadır.

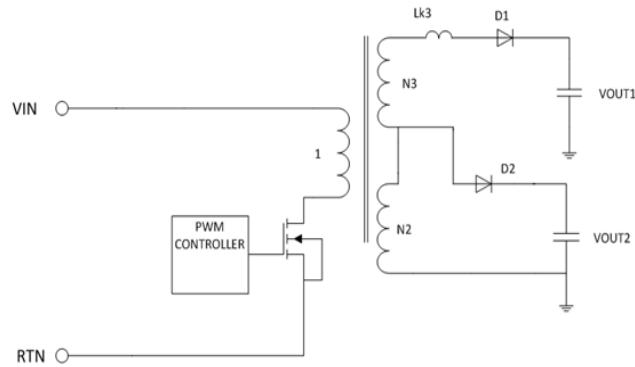
Sistemin harici bir DC kaynak(batarya) ile beslenmesi durumunda bataryanın bittiği durumlarda sistem devre dışı kalacaktır. Sistemin sürekli olarak şarj edebildiği bir tasarım çözüm olarak önerilebilir.

Şebekeden güç kaynağı sağlamak adına temel olarak 3 çeşit yöntemden bahsedilebilir. Bu yöntemleri sıralayacak olursak:

- Transformatörsüz güç kaynakları
- Transformatörlü güç kaynakları
- Anahtarlama güç kaynakları

Şeklinde sıralanabilir. Transformatörsüz güç kaynakları yeteri kadar güç sağlamadığından ve izolesiz olmasından dolayı tercih edilmemiştir. Transformatörlü güç kaynağı ise istenilen güçler için çok fazla alan gerektirmesi ve kullanılacak trafonun aynı zamanda ağırlık olarak diğer güç kaynaklarına göre çok daha ağır olmasından dolayı tercih edilmemiştir. Daha sonraki bölümde detaylı olarak devre şeması üzerinden çalışmadaki güç kaynağı açıklanmıştır.

Anlatılan modellerin dışında Anahtarlama güç kaynakları(AGK) olarak ifade edilen DC-DC dönüştürücü devre tasarımları da kullanılarak sistemin besleme kısmının tasarımı da mümkündür. Bu çalışmada İngilizce’de Flyback topolojisi denilen yapıya dahil izoleli bir güç kaynağı devremizde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Şekil 2.15.’te tasarlanan bu flyback güç kaynağının temel yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.15. 2 çıkışlı izoleli flyback güç kaynağı temel gösterimi

BÖLÜM 3. SİSTEMİN TASARIMI

Bu bölümde, sistemin bileşenleri tanıtılıp gerekli tasarım aşamaları sunulmuştur.

3.1. Sistemin Ana Kontrol Ünitesi Ve Diğer Bileşenleri

Bu bölümde 3 fazlı redresör sisteminin akım ve gerilimlerini ölçmek ve kaydetme işlemini ve açık çevrim kontrolünü yapacak olan kontrol ve ölçme devresinin önce parçaları tanıtılacak ve ardından da devrenin şeması verilerek nasıl çalıştığı açıklanacaktır.

3.1.1. Mikrodenetleyici

Bu çalışmada mikrodenetleyici birimi olarak ST Micro firmasına ait STM32F407VG mikrodenetleyicisi kullanılmıştır [18].

STM32F407VG mikrodenetleyicisi ARM® Cortex®-M4 32-bit işlemciye sahiptir. ARM'nin 32 bitlik mimarisi; yüksek hız, performans gerektiren uygulamalarda 8-bit mimarilere göre kıyaslanmayacak çok fazla üstünlüklere sahiptir. STM32F407 mikrodenetleyicisinin başlıca özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Üzerinde 32-bit ARM Cortex-M4F çekirdeğine sahip STM32F407VGT6 mikrodenetleyicisi barındırmaktadır.
- 1 MB Flash ve 192 KB RAM belleğe sahiptir.
- Dahili ST-LINK/V2 JTAG Debugger desteği.
- 1 Mbayta kadar Flash bellek
- 64 Kbyte CCM (çekirdek bağlı bellek) veri RAM'i dahil olmak üzere 192 + 4 Kbayta kadar SRAM.

- Compact Flash, SRAM, PSRAM, NOR ve NAND bellekleri destekleyen esnek statik bellek denetleyicisi
- LCD paralel arayüz, 8080/6800 modları
- Saat, sıfırlama ve tedarik yönetimi
- 1.8 V ila 3.6 V uygulama beslemesi ve I / O'lar
- POR, PDR, PVD ve BOR
- 4 - 26 MHz kristal osilatör
- Dahili 16 MHz Fabrikada Kesilmiş RC (% 1 doğruluk)
- RTC için kalibrasyonlu 32 kHz osilatör
- Dahili 32 kHz RC kalibrasyonlu
- Düşük güç işletimi
- Uyku, Durdurma ve Bekleme modları
- RTC için VBAT beslemesi, 20 × 32 bit yedekleme kaydı + isteğe bağlı 4 KB yedekleme SRAM
- 3 × 12 bit, 2,4 MSPS A / D dönüştürücüler: üçlü iç içe geçme modunda 24 kanala ve 7,2 MSPS
- 2 × 12 bit D / A dönüştürücüler
- Genel amaçlı DMA: FIFO'lara ve veri bloğu desteğine sahip 16 akışlı DMA denetleyicisi
- 17 taneye kadar zamanlayıcı: her biri 4 IC / OC / PWM veya darbe sayacı ve karesi ile her ikisi de on iki adet 16-bit'e ve iki adet 32-bitlik 168 MHz'e kadar (artan) enkoder girişi
- Hata ayıklama modu
- Seri kablo hata ayıklama (SWD) ve JTAG arayüzleri
- Cortex-M4 Gömülü İz Macrocell TM
- Kesme özelliğine sahip 140 I / O portu - 136 MHz'e kadar 136 hızlı G / Ç
- 138 5 V'a kadar toleranslı I / O'lar
- 15'e kadar iletişim arayüzü
- 3 × I2C arayüzüne kadar (SMBus / PMBus)
- 4 adede kadar USART / 2 UART (10.5 Mbit / s, ISO 7816 arayüz, LIN, IrDA, modem kontrolü)

- Dahili ses PLL veya harici üzerinden ses sınıfı doğruluğu sağlamak için 3 adete kadar SPI (42 Mbits / s), 2'sine tam çift yönlü I2S saat
- $2 \times$ CAN arayüzü (2.0B Aktif)
- SDIO arayüzü
- Gelişmiş bağlantı
- Çip üzerinde PHY bulunan USB 2.0 tam hızlı aygıt / ana bilgisayar / OTG denetleyicisi
- Özel 2.0, tam yonga tam hızlı PHY ve ULPI ile USB 2.0 yüksek hızlı / tam hızlı cihaz / ana bilgisayar / OTG denetleyicisi
- Özel DMA özellikli 10/100 Ethernet MAC: IEEE 1588v2 donanımını destekler, MII / RMII
- 8-14 bit paralel kamera arayüzü, 54 Mbayt / sn'ye kadar
- Gerçek rasgele sayı üretici
- CRC hesaplama birimi
- 96 bit benzersiz kimlik
- RTC: daha sonraki doğruluk, donanım takvimi

Şekil 3.1.'de STM32F407 mikrodenetleyicisine ait iç yapısının gösterildiği temel blok diyagramı verilmiştir [18].

gerekmektedir. Bu çevrim mikrodenetleyicideki ADC birimleriyle yapılmaktadır. STM32F40x ve STM32F41x işlemci ailelerinin sahip olduğu ADC özellikleri:

- 12 bit, 10 bit, 8 bit, 6 bit ayarlanabilir çözünürlük
- Dönüşüm bittikten sonra, enjeksiyon dönüşümünün sonunda ve analog watchdog veya aşırı çalıştırma olaylarında kesme üretimi
- Tek ve sürekli dönüşüm modları
- Kanal 0'ın kanal 'n' ye otomatik olarak dönüştürülmesi için tarama modu
- Dâhili veri tutarlılığı ile veri hizalama
- Kanal tarafında programlanabilir örnekleme zamanı
- Düzenli ve enjeksiyon için konfigüre edilebilir polariteye sahip harici tetik seçeneği
- Süreksiz mod
- Çift / Üçlü mod (2 ADC veya daha fazla cihaza sahip cihazlarda)
- Dual / Triple ADC modunda yapılandırılabilir DMA veri saklama
- Dual / Triple interleaved modunda dönüşümler arasında konfigüre edilebilir gecikme
- ADC besleme gereksinimleri: Tam hızda 2.4 V ila 3.6 V, daha yavaş hızla 1.8 V'ye kadar
- ADC giriş aralığı: $V_{REF-} \leq V_{IN} \leq V_{REF+}$
- Düzenli kanal dönüşümünde DMA isteği oluşturulması [18].

3.1.1.2. DMA (Direct memory access)

DMA, donanım ve hafıza arasında veya hafıza ile hafıza arasında yüksek hızda veri transferi sağlamak amacıyla kullanılır. Veri, DMA sayesinde herhangi bir işlemci aktivitesi olmadan hızlıca taşınabilir. Bu sayede işlemci yapılacak diğer işlemler için boşta kalmış olur [19]. DMA kullanılarak bir yönüyle birden fazla işlemci aktivitesinin bir arada yapılabilmesi olanağı sağlanmaktadır. Bu çalışmada ADC kanallarından akım ve gerilim ölçüm verileri DMA yoluyla okuyan işlem yükü hafifletilmiştir.

3.1.1.3. USART (Universal synchronous asynchronous receiver transmitter)

Okunan akım ve gerilim değerleri işlendikten sonra çeşitli elektrik parametreleri mikrodenetleyici üzerinden USART protokolüyle TFT ekran üzerine aktarılacaktır. Haberleşme protokolünün 2 pin (Rx, Tx) yardımıyla yapılması kullanılan donanımın efektif şekilde pin kullanıma yardımcı olmaktadır. Endüstriyel cihazlarda kullanımına halen devam edilmektedir.

3.1.1.4. DAC (Digital to analog converter)

Mikrodenetleyicimizde bulunan 2 adet DAC çıkışı gerilim kontrol gerilimlerini üretmek amacıyla kullanılmıştır. Kullanılan DAC kanalları işlemsel kuvvetlendiriciler yardımıyla birlikte kullanılmıştır. DAC modülünün özellikleri aşağıdaki şekilde sıralanmıştır [20]:

İki adet 12-bit tamponlanmış DAC kanalı, iki dijital işareti iki analog voltaj işaret çıkışına dönüştürmek için kullanılabilir. Bu çift dijital arabirim aşağıdaki özellikleri desteklemektedir:

- İki DAC dönüştürücü: her çıkış kanalı için bir tane
- 8 bit veya 12 bit monotonik çıktı
- 12 bit modunda sol veya sağ veri hizalama
- Senkronize güncelleme özelliği
- Gürültü dalgası oluşumu
- Üçgen dalga üretimi
- Çift DAC kanalı bağımsız veya eşzamanlı dönüşüm
- Her kanal için DMA özelliği
- Dönüşüm için harici tetikleyiciler
- Giriş gerilimi referansı $V_{REF} +$
- Cihazda sekiz adet DAC tetik girişi kullanılır. DAC kanalları, farklı DMA akışlarına da bağlı olan zamanlayıcı güncelleme çıkışları aracılığıyla tetiklenir [20].

3.1.2. Akım Ve Gerilim Değerlerinin Ölçümü

Bu bölümde, sistemin AC ve DC akım ve gerilimlerinin ölçümlerinin yapıldığı kısımlar sırasıyla anlatılmıştır.

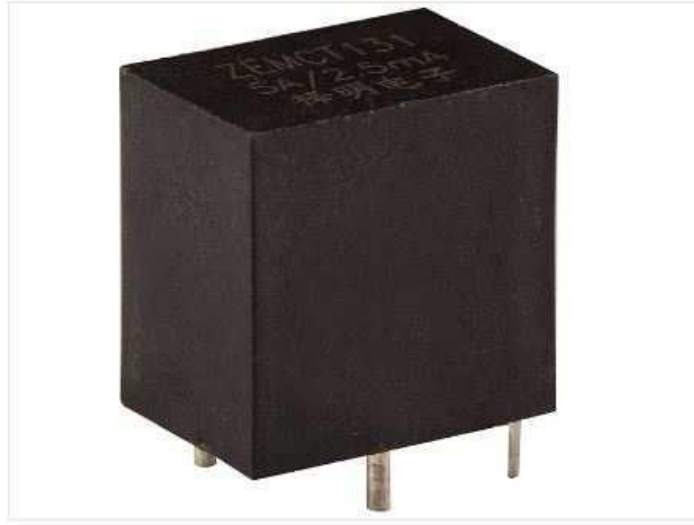
3.1.2.1. Sistemin giriş tarafına ait AC akım ölçümleri

Şebekeden çekilen 3 faz AC akım değerlerinin ölçülmesi için 2 farklı trafodan yararlanılmıştır. İlk olarak ana şebekeden gelen ve 100 Amper civarında değere sahip ana kol akımları için X5 sınıfından olan akım trafoları kullanılmıştır. Kullanılan bu akım trafoları Şekil 3.2.'de gösterilmiştir. Bu akım trafolarının kullanılmasındaki amaç pcb üzerinde bulunan akım trafolarının okuyacağı/algılayacağı akım değerlerine düşürmektir. Primer sargısına giren yüksek değer akımları sekonder sargının çıkışında maksimum 5A olacak şekilde çeviren alçak gerilim akım trafoları kullanılmıştır. Bu tip akım trafolarının X5 olarak nitelendirilmesinin nedeni de budur. Burada 250:5 çevirme oranına sahip akım trafoları kullanılmıştır. Kullanılan bu akım trafoları her bir faz için ayrı ayrı pano içerisinde bulunan sigortalardan hemen önce geçirilerek giriş akımlarının ölçülmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.2. X5 sınıfı 250/5 akım trafosu

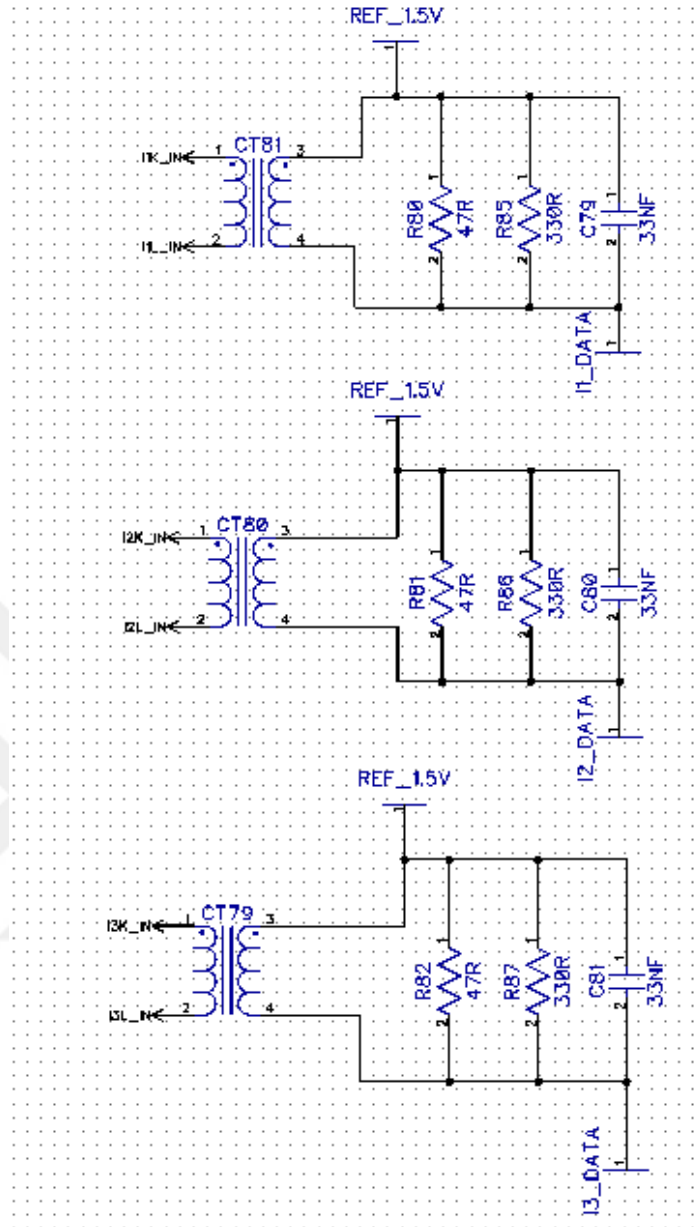
Kullanılan bir diğer akım trafosu ise pcb üzerine montajı mümkün olan, yüksek ölçüm doğruluğuna sahip pcb tipi akım trafolarıdır. Bu trafoların kullanılmasındaki amaç; mikrokontrolör için gerekli olan ölçüm seviyelerine akımın düşürülmesidir. Kullanılan akım trafosu Zeming-e markasına ait ESCT2131 akım trafolarıdır. Bu akım trafosu 2000:1 çevirme oranına sahiptir. Şekil 3.3.'te bu akım trafoları gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Pcb tipi akım trafoları

Sistemden geçen gerçek akımın hesaplanması esnasında ilgili akım trafolarının çevirme oranları dikkate alınmıştır.

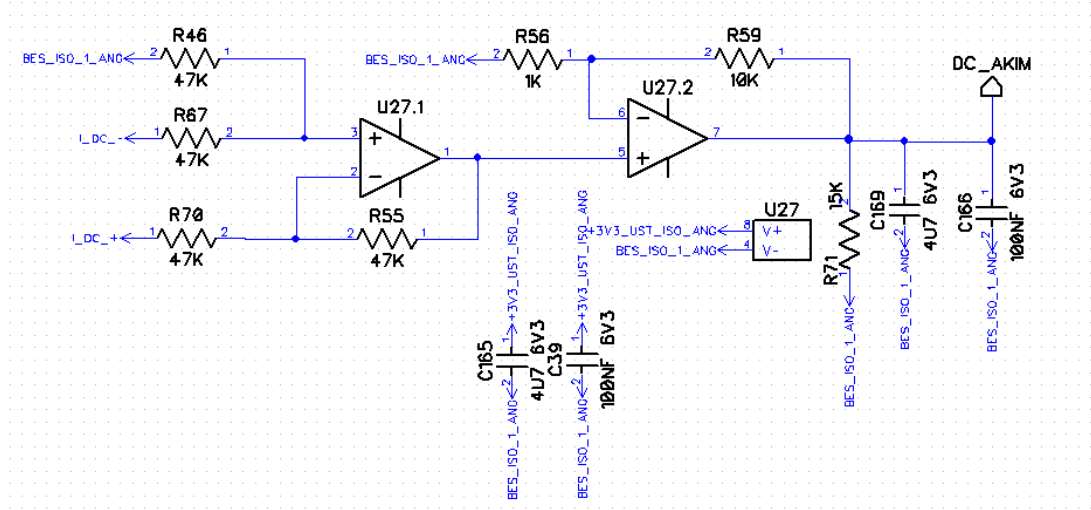
Üç fazlı şebekeden çekilen akımların okunması için akım trafoları kullanılmıştır. Akım ölçümü için her faza ait şebeke faz girişlerine 250/5A CL0.5 akım trafoları bağlanmıştır. Devre, anlık faz başına 250A çekilen akımı ölçebilecek şekilde tasarlanmıştır. Arzu edildiği takdirde akım trafosu değişimi yapılarak ve yazılımsal olarak ayarlanarak ölçüm aralığı değiştirilebilir. Akım trafolarından gelen akım değeri pcb tipi akım trafolarına geldikten sonra bir direnç vasıtasıyla gerilim değerine dönüştürülmüştür. Oluşan gerilim değeri bir referans gerilimine oturtularak mikrodenetleyicinin adc kanallarına girilmiştir. Akım kalibrasyonu 1Arms akım değerine göre yapılmıştır. Şekil 3.4.'te her bir faz için kullanılan akım trafolarının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.4. AC akım ölçüm donanımsal yapısı

3.1.2.2. Sistemin çıkış tarafına ait DC akım ölçümü

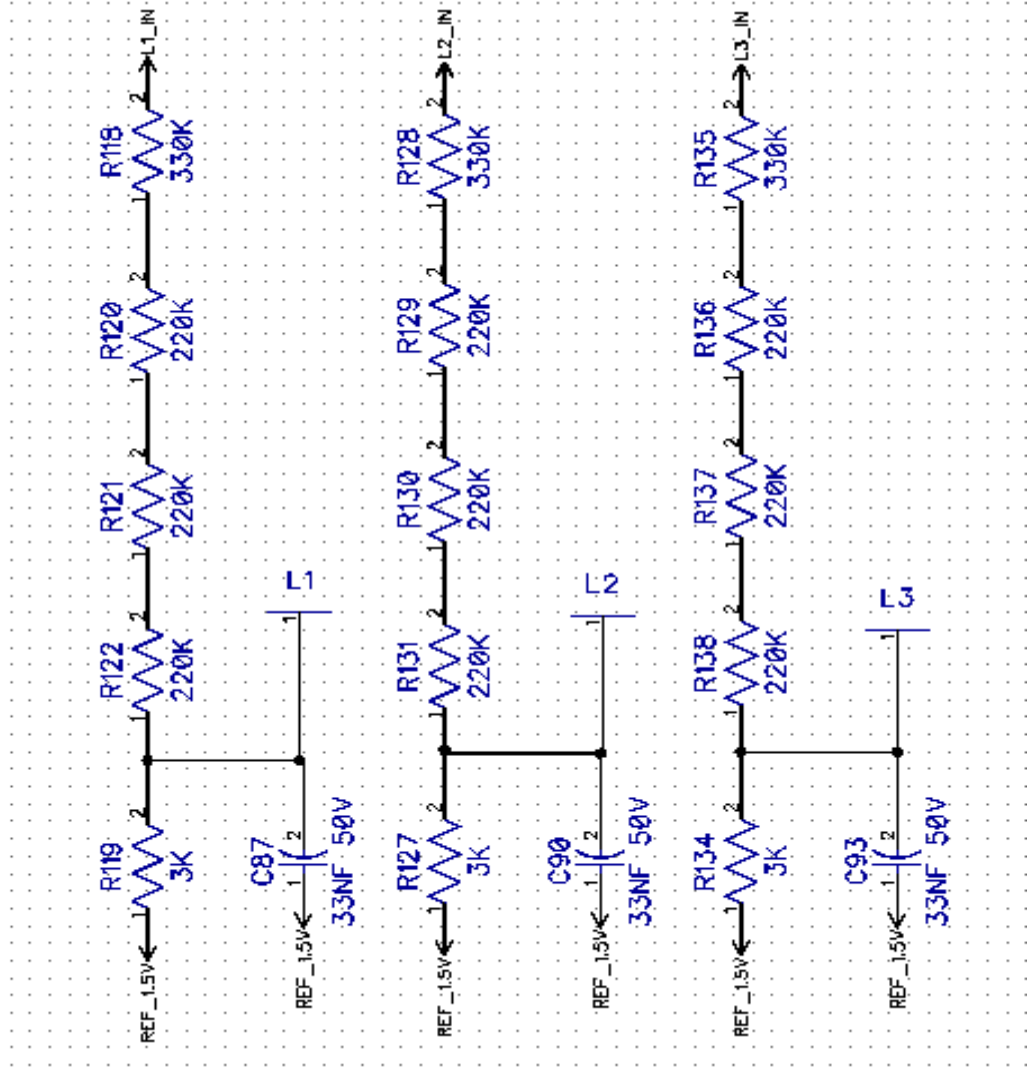
Redresörün çıkış tarafında bulunan izoleli dc akım ölçümlerinin yapıldığı donanım yapısı Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Akım uçlarının bağlandığı şönt direncinin geriliminin düşük seviyede olan gerilim değeri, dirençler yardımıyla 11 kat kuvvetlendirilerek girişteki 60mV şönt direncinin değerlerinin algılanmasını kolaylaştırmıştır. Şönt direncinden kuvvetlendirilmiş olarak gelen gerilim değeri izolasyon kuvvetlendiricisinin ardından ilgili ölçüm uçlarına bağlanmaktadır.



Şekil 3.5. İzoleli akım girişi için ön kuvvetlendiricisi

3.1.2.3. Sistemin giriş tarafına ait AC giriş gerilim ölçümleri

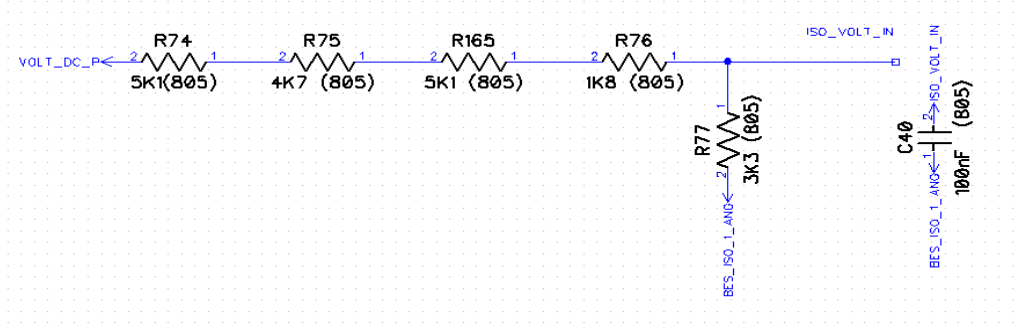
Gerilim ölçümü donanımı Şekil 3.6.'da gösterildiği gibidir. Şebekeden gelen giriş gerilimi gerilim bölücü kullanılarak 1/331 oranında düşürerek mikrodenetleyicinin algılayacağı seviyelere getirilmiştir. Ardından, şebeke gerilimi işlemsel kuvvetlendirici kullanılarak oluşturulan referans gerilim işaretine eklenerek gelen işaretin negatif alternansta kalan kısmının sıfırın üzerinde olması sağlanmıştır. Bu sayede gerilim işaretlerinin periyot boyunca doğru bir şekilde okunabilmesi sağlanmıştır. Gerilim kalibrasyonu 230Vrms değerine göre yapılmıştır. Gerilim işaretleri de akım işaretlerinde olduğu gibi referans gerilimine eklenerek ADC ile ölçülmüştür.



Şekil 3.6. Gerilim ölçüm donanım yapısı

3.1.2.4. Sistemin çıkış tarafına ait DC gerilim ölçümleri

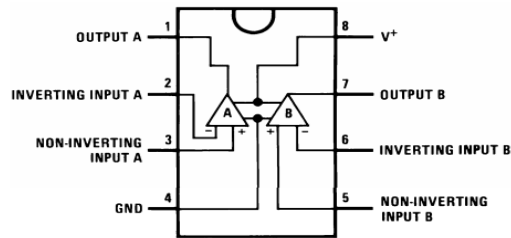
Şekil 3.7.'de, redresörün DC çıkış geriliminin ölçülmesi için kullanılan gerilim bölücü devresi verilmiştir. Buradaki gerilim bölücü dirençleri sayesinde gerilim seviyesi istenilen oranda düşürülmüş, ardından analog izolasyon entegresi kullanılarak çıkış geriliminin mikrodenetleyicinin ADC kanalından okunması sağlanmıştır.



Şekil 3.7. İzoleli dc giriş için gerilim bölücü

3.1.3. Gerçek ölçüm işaretlerinin mikrokontrolör tarafından algılanabilecek biçimde işlenmesi

Tasarlanan devrede 3 farklı işlemsel kuvvetlendirici kullanılmıştır. Bu kuvvetlendiricilerden bir tanesi referans geriliminin oluşturulması ve çıkış akım geriliminin üretilmesi için kullanılan LM258 işlemsel kuvvetlendiricisidir. Veri sayfasında belirtilen bilgiler doğrultusunda ihtiyaç olan yüksek giriş besleme gerilim seviyesine sahip olması, iki adet çıkışa sahip olması, yüksek kazançlı olması ve yaygın olarak kullanılması sebepleriyle tercih edilmiştir. Şekil 3.8.'de temel blok gösterimi verilmiştir [21].

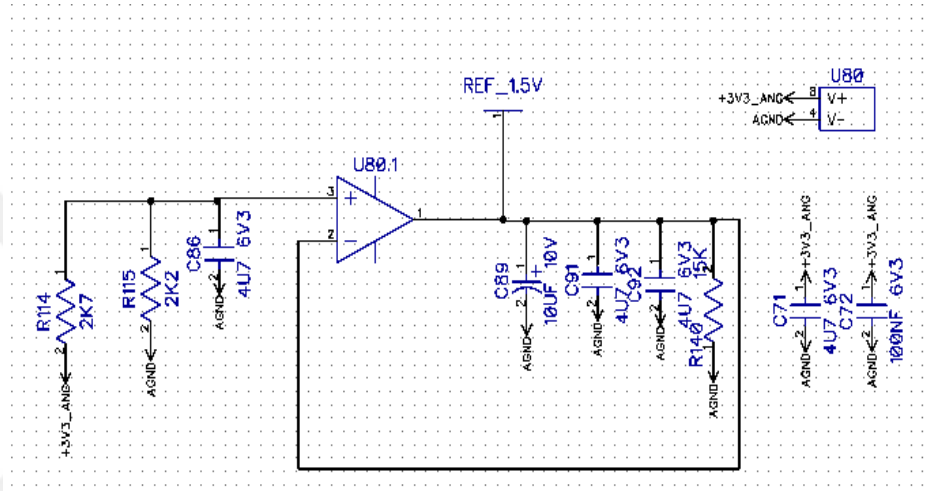


Şekil 3.8. LM258 temel blok gösterimi [21]

3.1.3.1. Referans geriliminin elde edilmesi

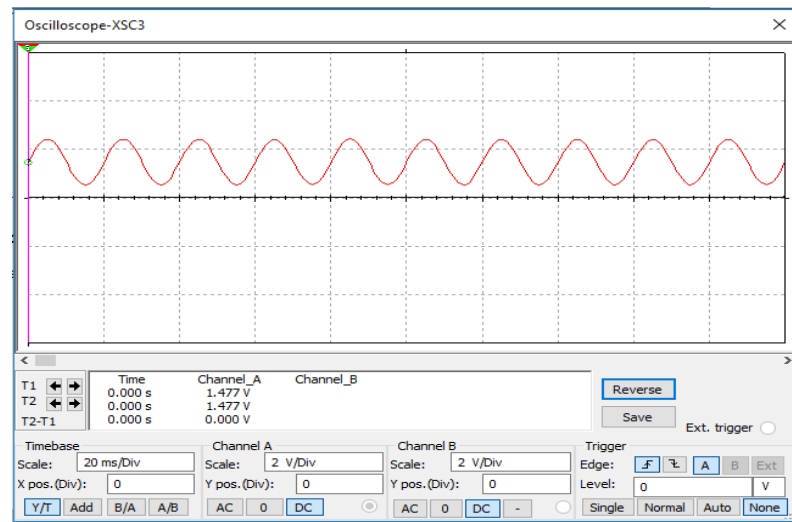
Sistemin giriş akım ve gerilimlerinin ölçümlerinde kullanılmasına ihtiyaç duyulan referans(offset) gerilimi LM258 opamp entegresiyle sağlanmıştır. İşaretlerin üzerine eklenmiş olarak 1.48V değerinde bir offset gerilimi üretilmiştir. Tasarlanan devre

şeması Şekil 3.9.'da verilmiştir. Referans geriliminin eklenmesinin nedeni; gelen işaretleri sinüsoidal olması ve mikrodenetleyici ADC'sinin negatif gerilimleri okuyamamasıdır. Sinüsoidal işaretler negatif alternansta negatif değer almaktadır. Bu nedenle sistemdeki ölçüm alınan noktalar (akım ve gerilim uçları) tüm alternanslarda pozitif değer alsınlar diye referans gerilimine eklenmektedir. Aksi taktirde işaretin negatif alternansı okunamayacak ve alınan örnekler ölçüm için yeterli ve doğru olmayacaktır.



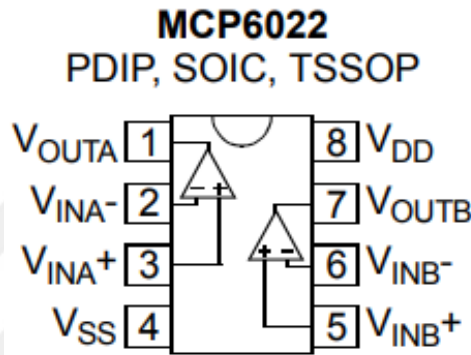
Şekil 3.9. Referans gerilim devresi

Şekil 3.10.'da referans gerilimine eklenmiş olan gerilim veya akım işaretinin Multisim programında elde edilen hali gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Gerilim veya akım işaretinin referans oturtulmuş hali

Kullanılan bir diğer işlemsel kuvvetlendirici ise giriş ve çıkış gerilimleri arasının çok yakın olması özelliğine sahip rail to rail olarak ifade edilen kuvvetlendiricilerden olan mcp6022 olarak belirlenmiştir. Buradaki kullanım amacı; yüksek band genişliğine (10 MHz) sahip olması, düşük gürültüye sahip olması nedeniyle çıkış gerilim ve akımlarının daha hassas bir şekilde ölçülmesini ve kuvvetlendirici çıkış uçlarından mikrodenetleyicinin ADC kanallarına aktarılmasını sağlamaktır [22]. Şekil 3.11.'de mcp6022 kuvvetlendiricisinin veri sayfasında bulunan temel blok gösterimi verilmiştir.

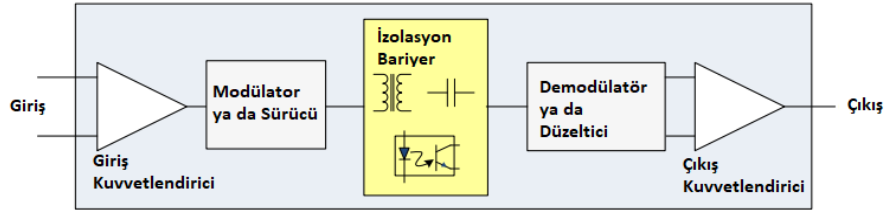


Şekil 3.11. MCP6022 temel blok gösterimi

3.1.3.2. Analog izolasyon

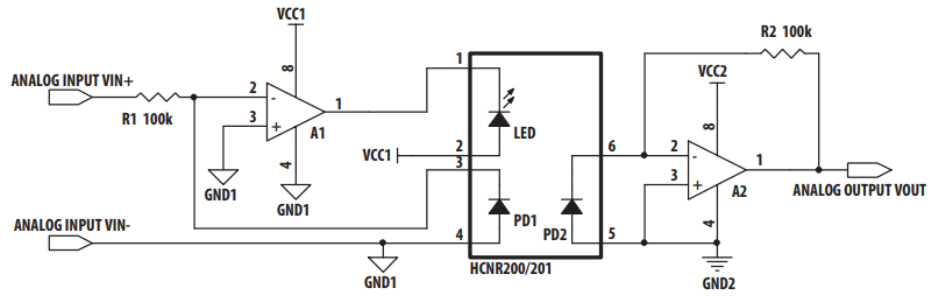
Analog devreler; bazen güvenlik, işaret seviyesi değişimi ve / veya toprak döngüsünü ortadan kaldırmak için doğrusal/lineer (analog) işaret yalıtımı/izolasyonu gerektirir. Doğrusal işaret izolasyonunun, uygulanması zor, maliyetlidir ve çoğu zaman vasat bir performans sergiler. Tasarımda bulunan çevresel malzemelerin seçimi ve çokluğu da bu tür devrelerin olumsuz yanlarına örnek olarak verilebilir.

Şekil 3.12.'de temel olarak analog izolasyon devresinin blok gösterimi verilmiştir. Bu sistemde temel olarak giriş ve çıkış işaretlerinin topraklama bağlantıları birbirlerinden izole edilmiştir. Giriş işareti öncelikli olarak bir kuvvetlendirmeye tabi tutularak işaretin seviyesi yükseltilmiştir. Ardından analog izolatöre giren işaret belirli dönüşüm oranı ile çeşitli optoelektronik elemanlar ve kuvvetlendiriciler sayesinde işaretin çıkış tarafına aktarılması sağlanmış olur.



Şekil 3.12. İzolasyon kuvvetlendirici blok gösterimi [23]

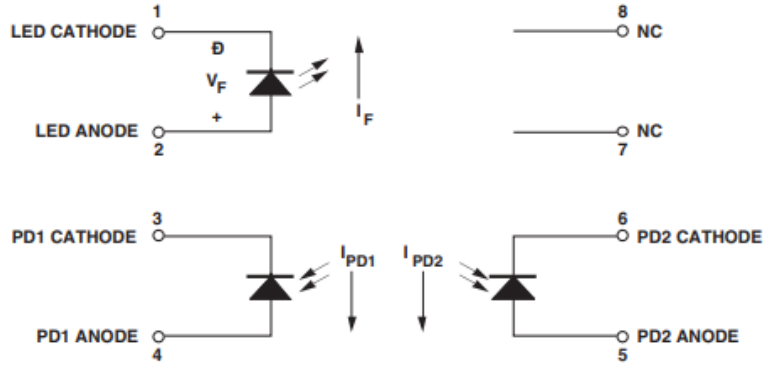
Şekil 3.13.'te ise kullanılan izolasyon entegresinin(HCNR200) veri sayfasında çevre elemanlarla oluşturulan referans şematik yapısı verilmiştir [24]. Bu entegreler kullanılarak redresör sisteminin çıkış uçlarındaki akım ve gerilim işaretleri izoleli bir şekilde ölçülmesi sağlanmıştır.



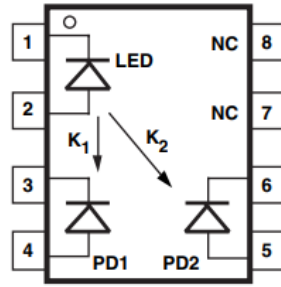
Şekil 3.13. Analog izolasyon devresi temel şematik yapısı [24]

Bu entegre; temel optokuplör bir led ve iki fotodiyottan oluşur. Led ve fotodiyotlardan (PD1) biri giriş ana karesinde ve diğer fotodiyot (PD2) çıkış ana karesinde. Optokuplör paketi her fotodiyotun ledten yaklaşık olarak aynı miktarda ışık almasını sağlayacak şekilde yapılmıştır. Harici bir geri besleme kuvvetlendiricisi, ledin ışık çıkışını izlemek ve ledin ışık çıkışındaki değişiklikleri dengelemek için led akımını otomatik olarak ayarlamak için PD1 ile kullanılabilir. Geri besleme kuvvetlendiricisi, ledin ışık çıkışını stabilize etmek ve doğrusallaştırmak için hareket eder. Çıkış fotodiyotu daha sonra ledin kararlı, doğrusal ışık çıkışını bir akıma dönüştürür, bu daha sonra başka bir kuvvetlendirici tarafından tekrar voltaja dönüştürülebilir.

HCNR200 entegresinin şematik ve temel blok gösterimi Şekil 3.14.'te ve Şekil 3.15.'te sırasıyla verilmiştir. Kullanılan redresör sisteminde birden fazla toprak hattının mevcut olmasından dolayı, tasarlanan donanım kartının etkilenmemesi adına DC ölçümler izoleli bir şekilde yapılmıştır.



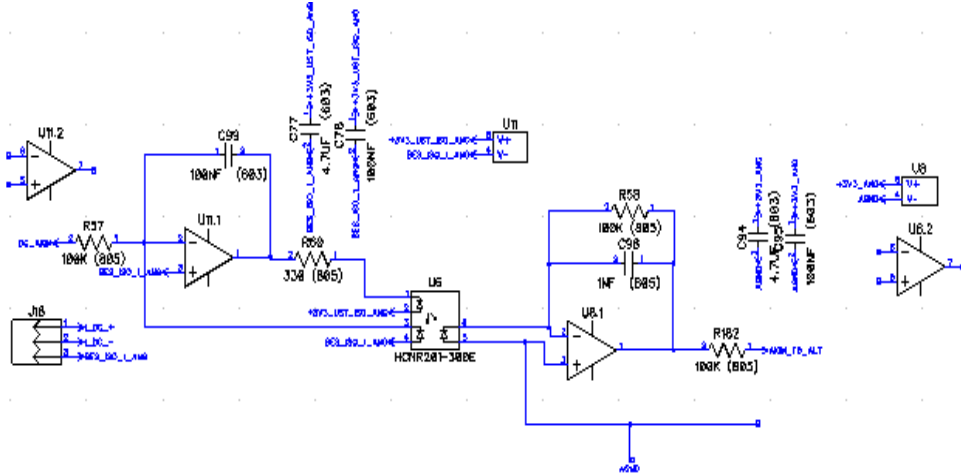
Şekil 3.14. HCNR200 şematik gösterimi [24]



Şekil 3.15. HCNR200 temel blok gösterimi [24]

Sistemin çok fazla parazite sahip olması ve farklı parametrelerin ölçümlerinin birlerinden etkilenmemesi adına çıkış karakteristiğinin ölçülmesi için analog izolasyon devresi kurulmuştur. Bu sayede kendi referansı ile ölçüm yapan entegre izoleli bir şekilde mikrodenetleyiciye işaretini iletmiş olmaktadır. Çıkış akım ve gerilimleri ve her bir izoleli ölçüm için bu devreler kullanılmıştır.

Şekil 3.16.'da Diptrace programında çizilmiş olan ve devrede kullanılan analog entegre ve çevre elemanlarının şeması verilmiştir.



Şekil 3.16. Analog izolasyon donanım yapısı

3.1.4. RMS gerilim ve akım değerlerinin hesabı

Doğrusal ve doğrusal olmayan dalga formlarının ölçülmesinde kullanılan iki ana yöntem vardır. Bunlar ortalama ve gerçek rms yöntemleridir. Bu iki yöntemi anlamak uygulamalar için doğru malzeme seçiminde etkili olur [25].

Karelerinin ortalamasının karekökü olarak ifade edilen RMS (Root Mean Square), alternatif bir işaretin büyüklüğünün temel ölçümüdür. Matematikte, standart sapma, ortalama değerden işaret sapmasını ölçmek için kullanılan istatistiksel bir ölçüdür; yani sapma, işaretin yalnızca AC bileşenini ölçer. Elektronikte yaygın olarak kullanılan diğer bir terim, işaretin hem AC hem de DC bileşenlerini ölçen RMS değeridir (karelerin ortalamasının karekökü). Bir işaretin RMS değeri standart sapma ile aynı olduğunda, işaret DC bileşenine sahip değildir [26].

Sürekli bir işaretin RMS değeri denklem 3.1'deki gibidir:

$$F_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt} \quad (3.1)$$

Belirtilen eşitlikte F_{RMS} , $f(t)$ fonksiyonunun RMS değerini ifade eder. T periyodu belirtmektedir. Örneklenmiş bir işaretin RMS değeri ise (3.2) eşitliğinde verilmiştir.

$$F_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N f[n]^2} \quad (3.2)$$

Örneklenmiş bir işaretin RMS değeri hesaplanırken bir çok enerji ölçüm entegresi aşağıda açıklaması verilen yöntemi kullanmaktadır. Örneğin ADE5166 enerji ölçüm entegresi de RMS akımını hesaplamak için aşağıdaki yöntemi kullanmaktadır [27].

Sinüsoidal bir akımın anlık işareti (3.3) denklemindeki gibidir.

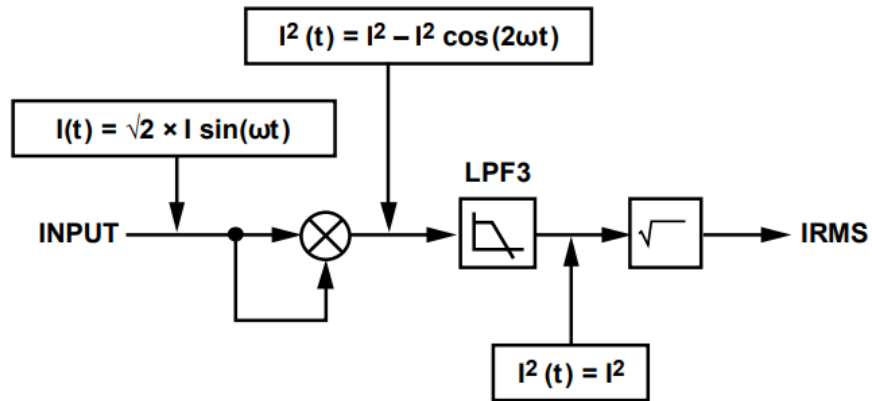
$$I(t) = \sqrt{2}I_{RMS}\sin(\omega t) \quad (3.3)$$

Belirtilen eşitlikte $I(t)$ akımın anlık değerini, ω açısal frekansını ve t de zamanı belirtmektedir. İki tarafın da karesini alıp trigonometrik fonksiyonlar kullanılırsa (3.5) eşitliğindeki ifade oluşur.

$$I^2(t) = 2I_{RMS}^2 \sin^2(\omega t) \quad (3.4)$$

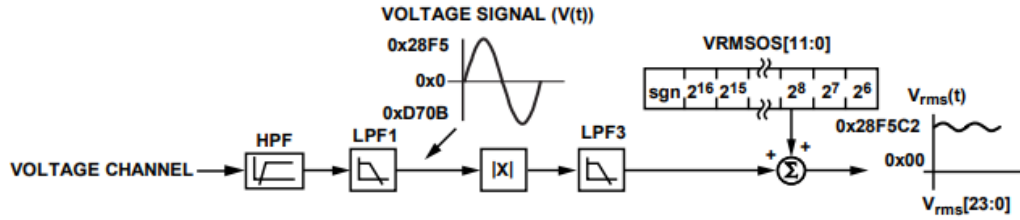
$$I^2(t) = I_{RMS}^2 - I_{RMS}^2 \cos(2\omega t) \quad (3.5)$$

RMS akımını elde edebilmek için ADC'ye gelen değerın karesi alınır, ardından ortalaması alınır, alçak geçiren filtreden geçer ve en sonunda da karekökü alınır.



Şekil 3.17. Akımın RMS değerinin işlenmesi [27]

ADE7758 ve ADE5166 vb. bazı ölçüm entegreleri ise RMS değerini hesaplariken ortalama mutlak değer hesaplama yöntemi kullanır. Bu yöntem harmonik içeren işaretlerde hatalı sonuçlar vermektedir [27]. ADE5166 ve ADE7758 entegrelerinin ortalama mutlak değer hesaplama yöntemi Şekil 3.18.'de gösterilmiştir [27].



Şekil 3.18. ADE5166'nın RMS hesaplama yöntemi [27]

Rms değeri hesaplanırken aşağıdaki metod yazılımsal olarak uygulanabilir [28].

- ADC'den okunan örneğin karesi alınır.
- Kare değeri örnek sayısına bölünür (sağa kaydırma işlemi kullanılabilir).
- 2. adımda elde edilen değeri bir öncekine eklenir. Toplam değişkeninde saklanır. Örnek: toplam = toplam + yeni örnek
- Tüm tampon içerikleri için yukarıdaki adımlar tekrarlanır.
- Nihai değerın karekökü hesaplanır.

3.1.5. Gerilim ve akım değerlerinin işlenmesi

Bu bölümde akım ve gerilim ölçümlerinin nasıl olacağını belirtip RMS hesabı yöntemleri anlatıldıktan sonra giriş ölçümlerinde asıl gaye olan akım ve gerilim değerlerinin hesaplanmasının nasıl yapıldığı açıklanmıştır.

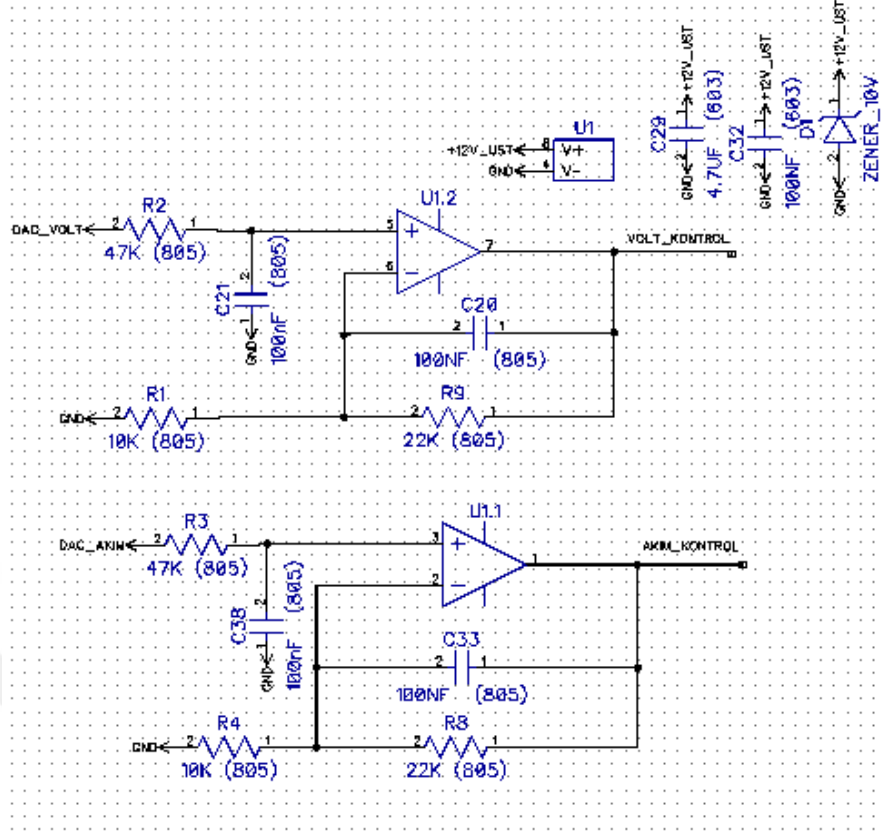
ADC'nin 9 adet kanalına gelen analog işaretler DMA ile bir dizi üzerinde saklanmıştır. Bir periyot boyunca 400 örnek alacak şekilde ayarlanmış olan Timer kesmesine gelen datalardan referans gerilimine ait olan data her seferinde gelen 3 faz akım ve 3 faz gerilim işaretlerinden çıkartılarak kareleri alınmak suretiyle kümülatif olarak 2 periyot boyunca toplanmıştır. Dizide saklanmış olan bu değerlerin (her bir

dizi elemanı için 800 adet) ortalaması alınıp karekökü alındıktan sonra daha önceden ayarlanmış kalibrasyon katsayılarıyla çarpılarak 3 faza ait akım ve gerilimin RMS değerleri hesaplanmış olur. Akım ölçümünde kullanılan akım trafosu değerine göre başlangıç ayarları yapılmıştır. Gerilim ölçümlerinde kullanılan gerilim bölücü çarpanı da hesaplamanın en sonunda işleme dahil edilmiştir.

DC çıkış parametlerine ait olan akım ve gerilim değerleri de ac parametreleriyle aynı anda örnek alındıktan sonra kümülatif olarak toplanmıştır. Her bir parametre için toplanan değerler alınan toplam örnek (800) sayısına bölünerek (ortalaması alınarak) hesaplama işlemi bitiminde hesaplanmıştır.

3.1.6. Akım ve gerilim kontrol işaretlerinin elde edilmesi

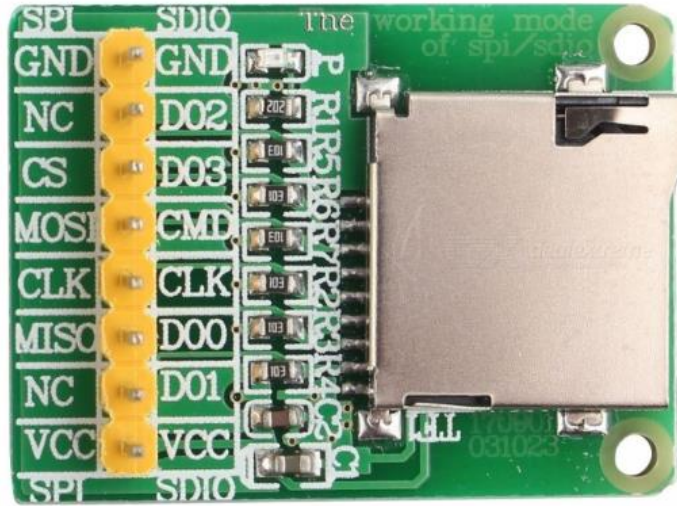
Redresör çıkış karakteristiğinin gereken akım ve gerilim değerlerinin üretilmesi için redresör üzerinde bulunan ve mevcut potansiyometreler aracılığıyla analog işaret giriş uçlarına uygulanan voltaj değerleri, tasarlanan devreden üretilen işaretler ile sağlanmıştır. Mikrodenetleyicide bulunan DAC çıkışlarında üretilen işaretler LM258 entegresi ile kuvvetlendirilerek çıkış karakteristiğine uygun 0-10V arasında gerilimler üretilmiştir. Şekil 3.19.'da tasarlanan sistemin donanımsal yapısı verilmiştir.



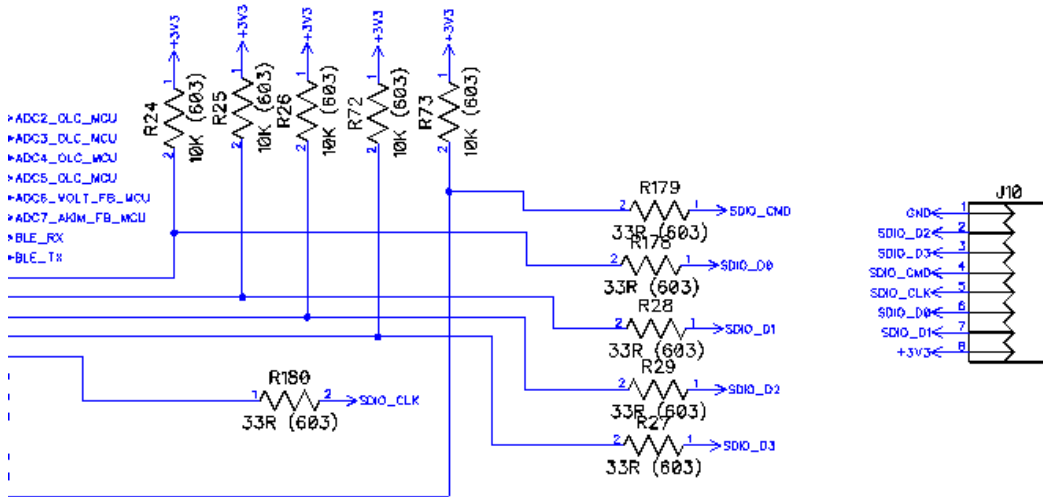
Şekil 3.19. Akım ve gerilim çıkış kontrolü donanım yapısı

3.1.7. Gerilim ve akım ölçümlerinin SD karta kaydedilmesi

Ölçülen dataların istenilen zaman aralıklarında kaydedilmesi amacıyla kullanılan SD kart Şekil 3.20.'de gösterilmiştir. SD kart SDIO arayüzü bağlantısı Şekil 3.21.'de gösterilmiştir. SD kart kayıt işlemi esnasında iki farklı dosya kaydı yapılmaktadır. Giriş ölçümleri için 20 ms'de alınan 1000 örnek ardından çıkış ölçümlerinin örnekleme işaretlerinden 1000 örnek alınır. Ardından iki adet dosya açılarak kayıt işlemi tamamlanır. Sistem kayıt işlemine başladıktan sonra her bir saniyede yapılan işlemler tekrarlanır.



Şekil 3.20. Kullanılan SD kart modülü [29]

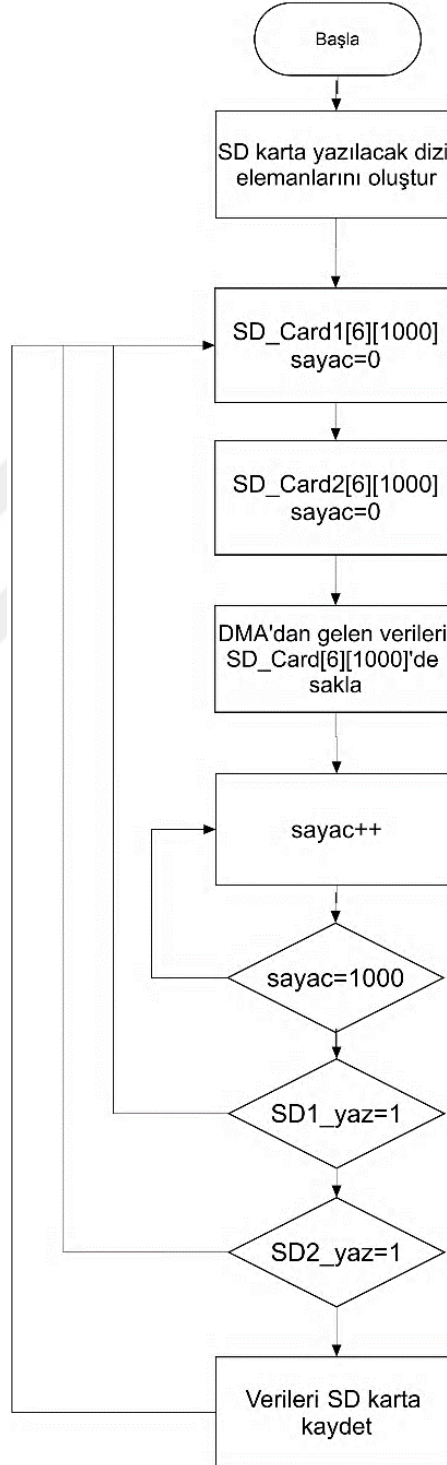


Şekil 3.21. SD kart SDIO arayüz bağlantısı

SD kart için dikkat edilmesi gereken en önemli husus pull-up dirençlerinin donanımsal olarak eklenmesidir. Mikrokontrolörün dahili pull-up dirençleriyle yapılan veri alma işlemleri sırasında gelen datalarda eksik veya hiç iletileneme sorunu gözlemlenebilir. Bu nedenle donanımsal tedbir olarak bu dirençlerin kullanılması uygun görülmektedir.

Şekil 3.22.'de SD karta yazılan verilerin akış diyagramı verilmiştir. SD karta yazdırmak için her 20ms'de 1000 örnek alınıp ardından sd karta yazma işlemi yapılmaktadır. Sd karta yazma işlemi eğer yaz komutu verildiyse yapılır. Eğer yaz

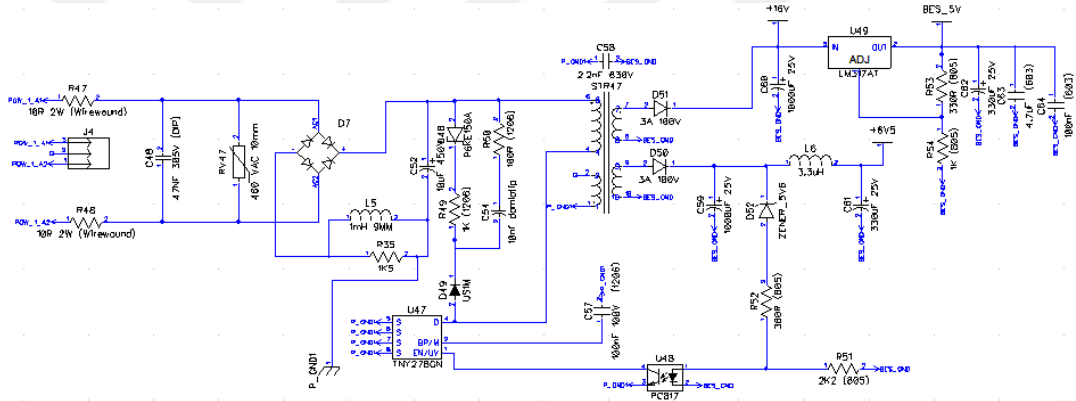
komutu verilmediyse döngü başına tekrardan dönerek veriler tekrardan doldurulur. Sd karta yazma işlemine son verilmesi için yazma işlemi sonlandırma butonuna basılır ve sd karta yazma işlemi sonlanmış olur.



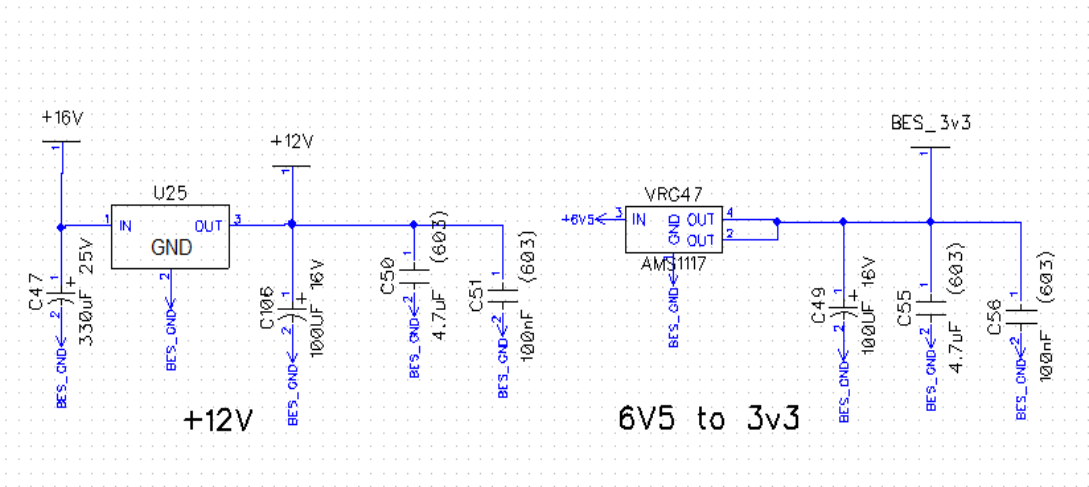
Şekil 3.22. SD karta veri yazımı

3.1.8. Güç kaynağı donanım tasarımı

Güç kaynağı tasarımı yapılırken flyback anahtarlamalı güç kaynağı topolojisine sahip besleme yapısı kullanılmıştır. Burada kullanılan trafoda 2 adet izoleli çıkış mevcuttur. Sistemde 3 farklı izoleli beslemeye ihtiyaç bulunduğu için, aynı besleme yapısından 2 adet tasarlanarak 4 adet izoleli besleme çıkışına sahip olunmuştur. Bu sayede farklı izoleli ölçümleri sistemin diğer bölümlerinden ayırarak korumalı bir sistem tasarlanmıştır. +3.3V, +5V, +12V değerlerinde ihtiyaç duyulan gerilim ihtiyaçları çeşitli voltaj regülatörleri sayesinde elde edilmiştir. Şekil 3.23. ve Şekil 3.24.'te tasarlanan besleme donanım yapısının ilk kısmı verilmiştir. Bahsedilen 4 farklı izoleli çıkış elde edilmesi için verilen donanım devre şemalarından aynı şekilde 2 adet tasarlanmıştır.



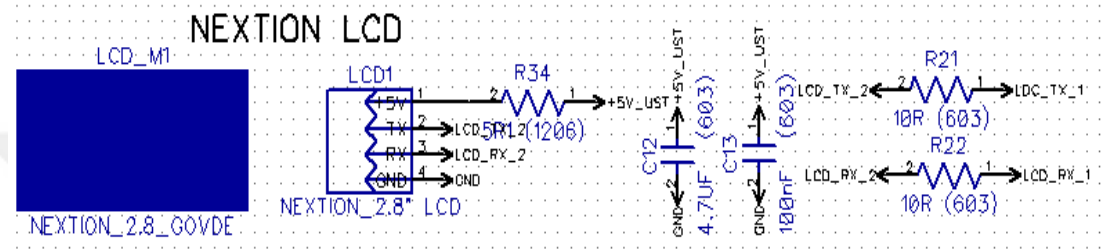
Şekil 3.23. Besleme donanım yapısı 1



Şekil 3.24. Besleme donanım yapısı 2

3.1.9. Kullanıcı arayüzü ve ekran

Şekil 3.25'te gösterilmiş olan TFT ekran bağlantısında 4 adet bağlantı kablosu mevcuttur. Bu kablolardan +5V besleme ve gnd kabloları dışında ekran haberleşmesini sağlayan Rx ve Tx bağlantıları ekran üzerinde çapraz bir şekilde bağlanarak(mikrokontrolördeki Tx pini ekrandaki Rx pinine, mikrokontrolördeki Rx pini ekrandaki Tx pinine) ekran bağlantı işlemi tamamlanmıştır.



Şekil 3.25. Akım ve gerilim çıkış kontrolü donanım yapısı

3.1.9.1. Nextion TFT LCD ekran

Nextion TFT LCD ekranı kolay kullanımı ve arayüzü sayesinde kullanımı kolay bir ekran olarak karşımıza çıkmaktadır. Nextion TFT LCD, insan ve bir proses, makine, uygulama veya cihaz arasında kontrol etme ve görsel hale getirme arabirimini yapan HMI (Human Machine Interface / İnsan Makine Arayüzü) ekranıdır [30].

Ekran olma özelliğinin yanında; dokunmatik özelliğe sahip bir cihazdır. Bu özelliğiyle birlikte verilerin girilmesini veya girilmiş olan verilerin işlenip sonuç vermesi, prosesleri başlatma vb. nedenlerle akıllı bir ekran olarak tanımlanabilir. Nextion HMI başta Arduino olmak üzere bir çok mikrokontrolör ile seri port üzerinden haberleşme sağlayarak kullanılan pin sayısının önemli olduğu uygulamalarda ciddi olarak fayda sağlamaktadır.

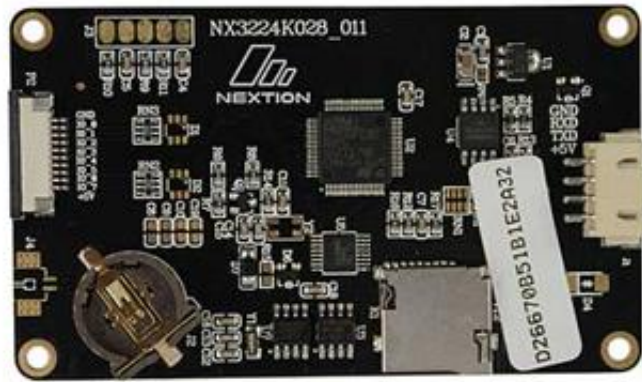
Nextion HMI, ekran donanımı yanında yazılım platform da sağlayarak tasarım kolaylığı sağlamaktadır. Nextion Editor programı tasarlanmak istenen arayüzün kolay bir şekilde tasarlanmasını sağlamaktadır. Program içerisindeki butonlar,

metinler, ilerleme çubuğu, kaydırma çubuğu gibi çeşitli nesneler eklenerek kullanıma ve ihtiyaca uygun detaylı tasarımlar yapılabilir [30].

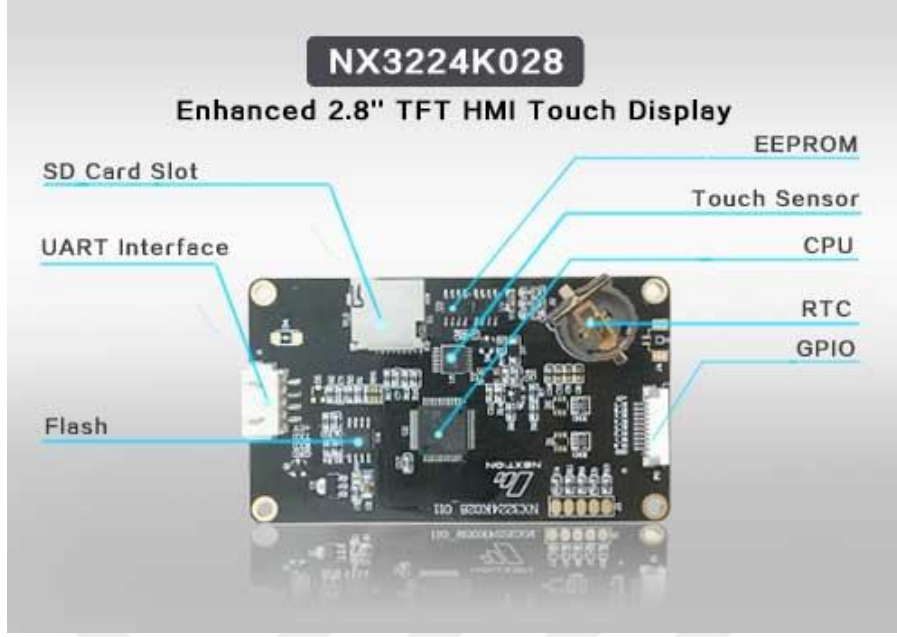
Bu çalışmada 2.8 Inch Nextion HMI Enhanced TFT LCD ekran (NX322K028) kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında bu ekranın özellikleri ve boyutu kullanılan kalıp için uygun yeterli olacağından dolayı seçilmiştir. Şekil 3.26.'da ve Şekil 3.27.'de 2.8 Inch Nextion HMI Enhanced TFT LCD ekranın görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Nextion HMI 2.8" enhanced model ön [31]



Şekil 3.27. Nextion HMI 2.8" enhanced model arka [31]



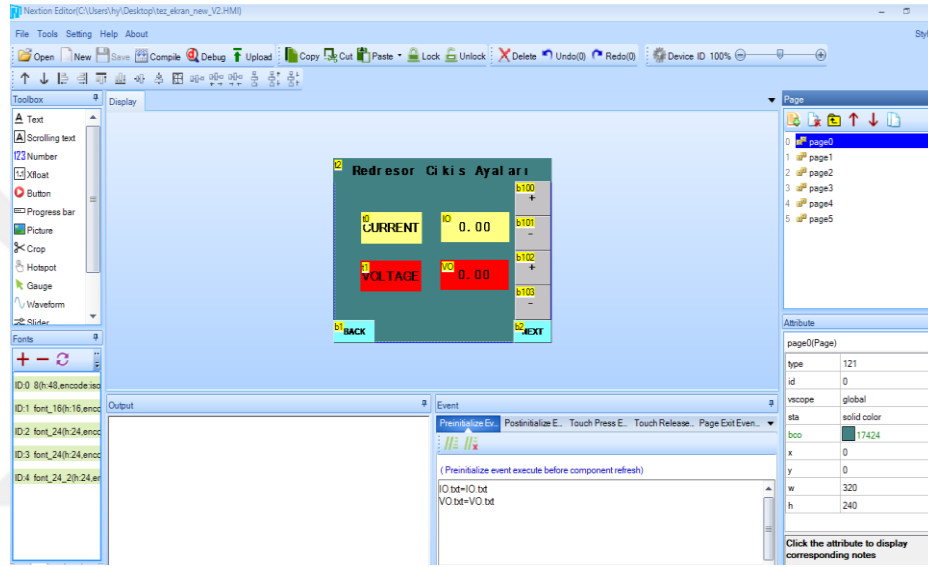
Şekil 3.28. Nextion HMI 2.8" enhanced model arayüz [31]

NX3224K028 Ekranın teknik özellikleri aşağıda verilmiştir:

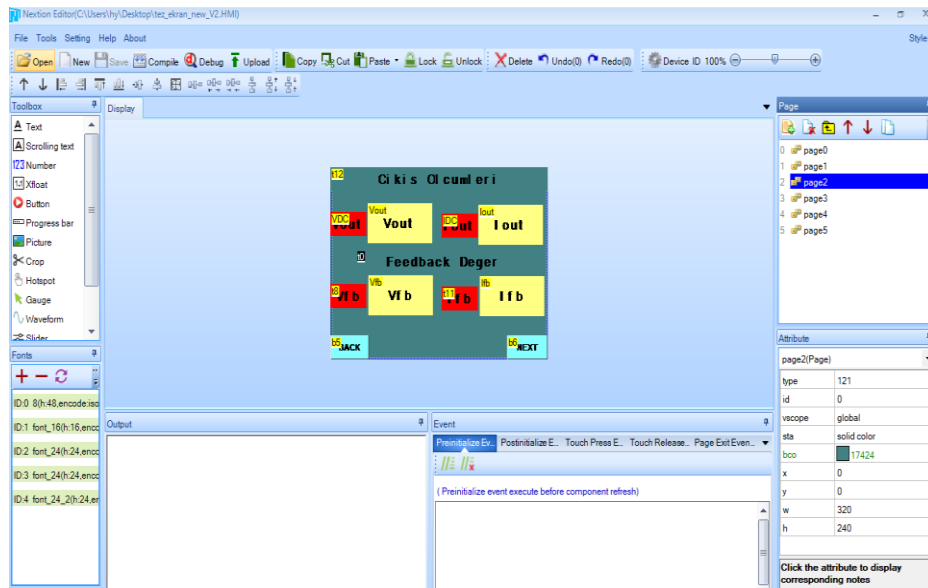
- Entegre 4 telli Dirençli Dokunmatik Panele sahip 2,8 inç TFT ekran
- 320 x 240 Çözünürlük
- RGB 65K, gerçek renklere sadık
- Herhangi bir TTL Seri Ana Bilgisayarına kolay 4 pin (+ 5V, TX, RX, GND) arayüzü
- Kullanıcı Uygulama Kodu ve Verileri için 16M Flash bellek
- EEPROM: 1024 Bayt
- Yerleşik RTC ve 8 GPIO
- Ayarlanabilir Parlaklık: 0 ~ 180 nit,% 1 aralık parlaklık ayarı
- Ürün yazılımı yükseltmesi için yerleşik micro-SD kart
- Modül Boyutu: 58.0mm (L) × 50.0mm (G) × 5.5mm (H) (Aşağıdaki gibi İlgili Belgeden daha fazla ayrıntıya bakın)
- Görme Alanı: 57,6 mm (L) × 43,2 mm (W)
- 5V 65mA güç tüketimi
- CE ve RoHS uyumlu [31].

3.1.9.2. Nextion Editor

Tasarlanan sistemin ekran arayüzünün kullanılması için ekran tasarımında Nextion Editor programını kullanılmıştır. Nextion Editor programı “sürükle bırak” şeklinde tasarıma ait gerekli komponentleri ekleyerek istenilen çıktıların bulunduğu ekran tasarımı hazır hale getirilmiştir. Şekil 3.29. ve Şekil 3.30.’da ekran tasarımının aşamalarının bir kısmı gösterilmiştir.

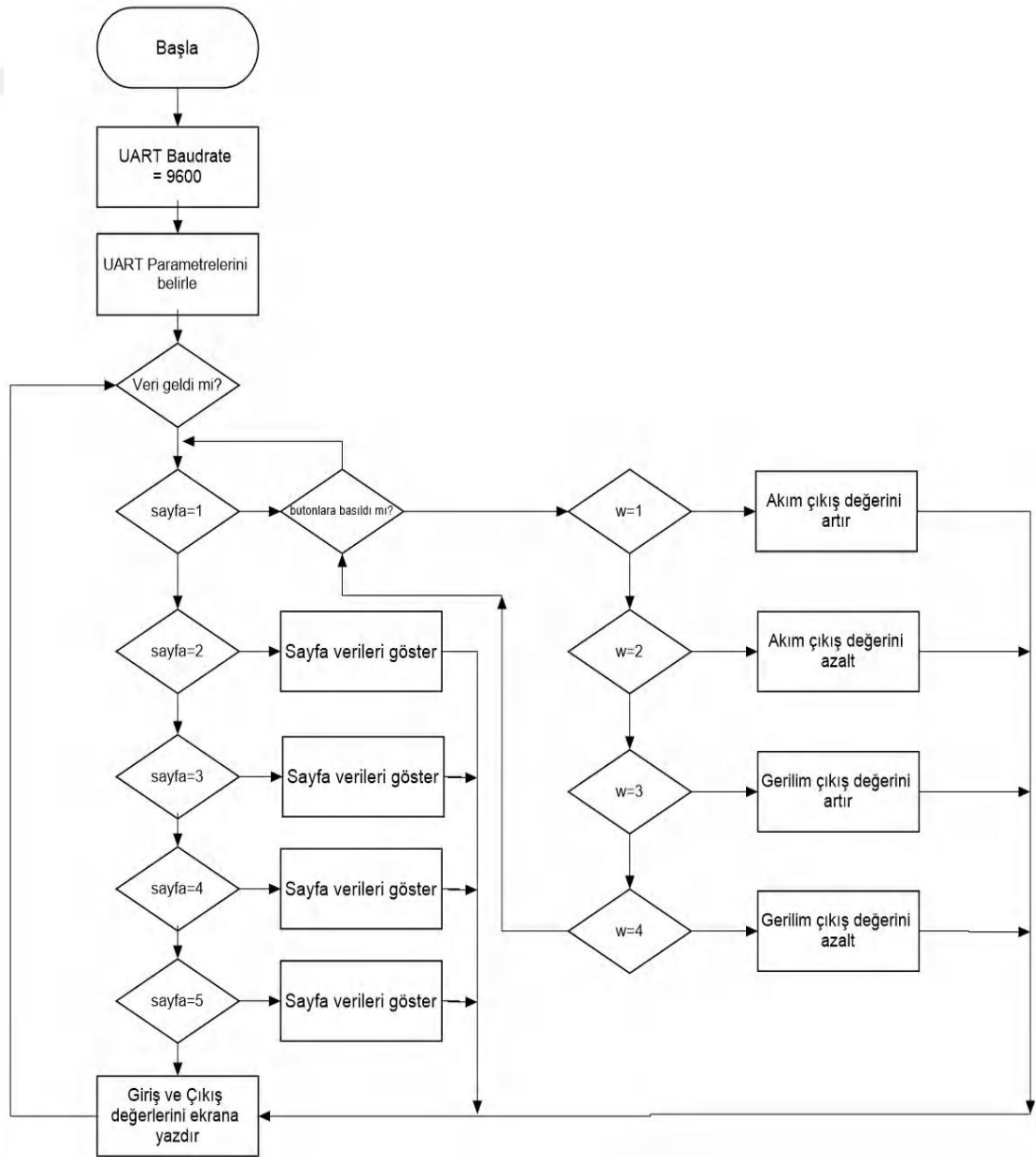


Şekil 3.29. Nextion editor arayüz-1



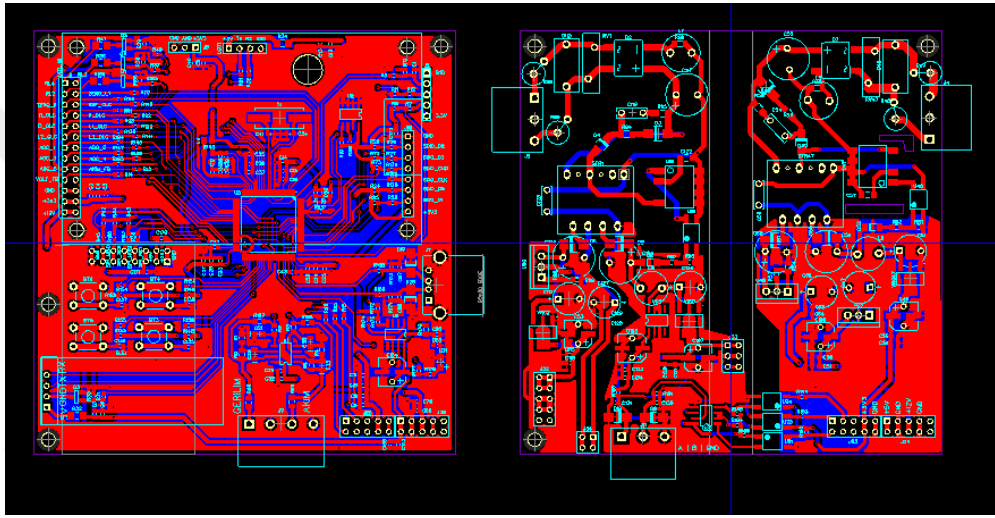
Şekil 3.30. Nextion editor arayüz-2

Şekil 3.31.'de ekran için kullanılan akış diyagramı verilmiştir. Ekran başlangıç ayarlarından sonra ekrana herhangi bir veri girişi olup olmadığı kontrol edilir. Eğer ekran sayfa 1'de ise referans çıkış değerlerinin ayarlandığı butonlara basılıp basılmadığı kontrol edilir. Eğer ilgili butonlardan birisine basılırsa referans akım veya gerilim değerlerinin artırılıp azaltılmasını sağlamış olur. Bu döngü her seferinde kontrol edilerek ekrandaki değerler güncellenir. Diğer sayfalara geçiş yapıldığı takdirde, sayfa içerisinde belirtilen ifadelerin değerleri ekrana üzerine yazdırılır. Döngü her 1 saniyede bir ekrandaki bilgileri günceller.

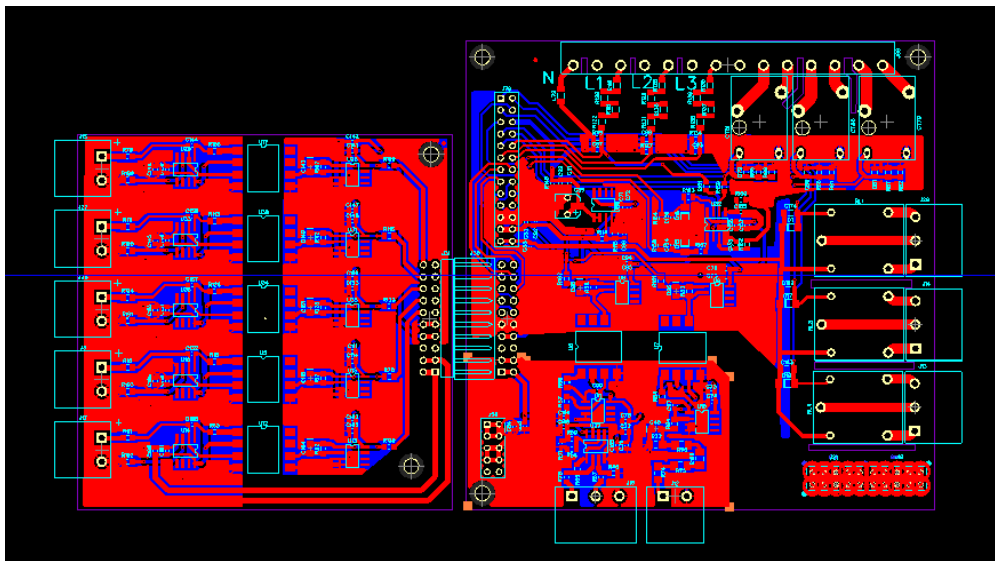


Şekil 3.31. TFT ekran Uart çevrimi

Gerekli donanımsal şemaları oluşturulduktan sonra sistemin baskı devre çizimine geçilmiştir. Baskı devre çizim programı olarak Diptrace yazılımı kullanılmıştır. Şematik, malzeme kılıfı ve şema oluşturulması ve son olarak baskı devre haline getirilecek şekilde kartlar tasarlanmıştır. Sistem 4 adet devre kartından oluşmaktadır. Besleme kartı ve mikrokontrolörün bulunduğu kart Şekil 3.34.'te verilmiştir. Şekil 3.35.'te ise sistemin giriş elektriksel ölçümlerinin yapıldığı ve aynı zamanda çıkış akım ve gerilim değerlerinin yapıldığı kart ile çıkışta bulunan bara uçlarının gerilim değerlerinin ölçüldüğü diğer analog ölçüm kartı verilmiştir.



Şekil 3.34. PCB layout çizimi 1



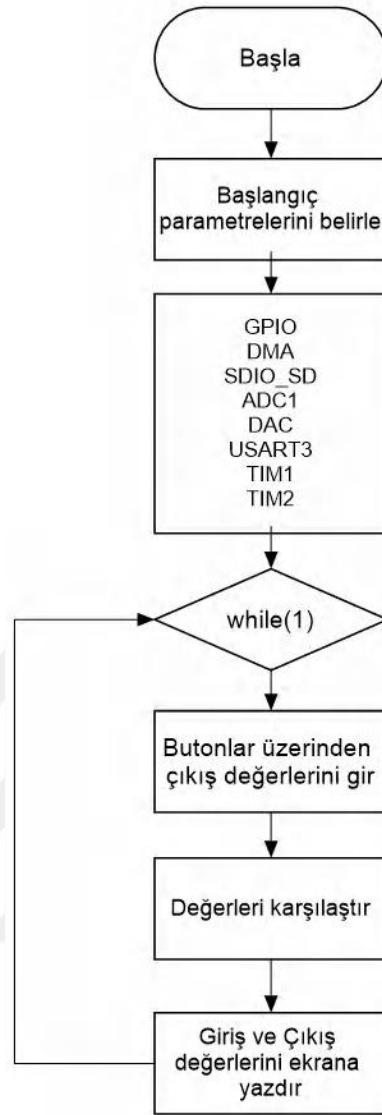
Şekil 3.35. PCB layout çizimi 2

3.1.12. Sistemin algoritması ve akış diyagramları

Sistemin çalışma algoritması sırasıyla aşağıda ifade edilmiştir:

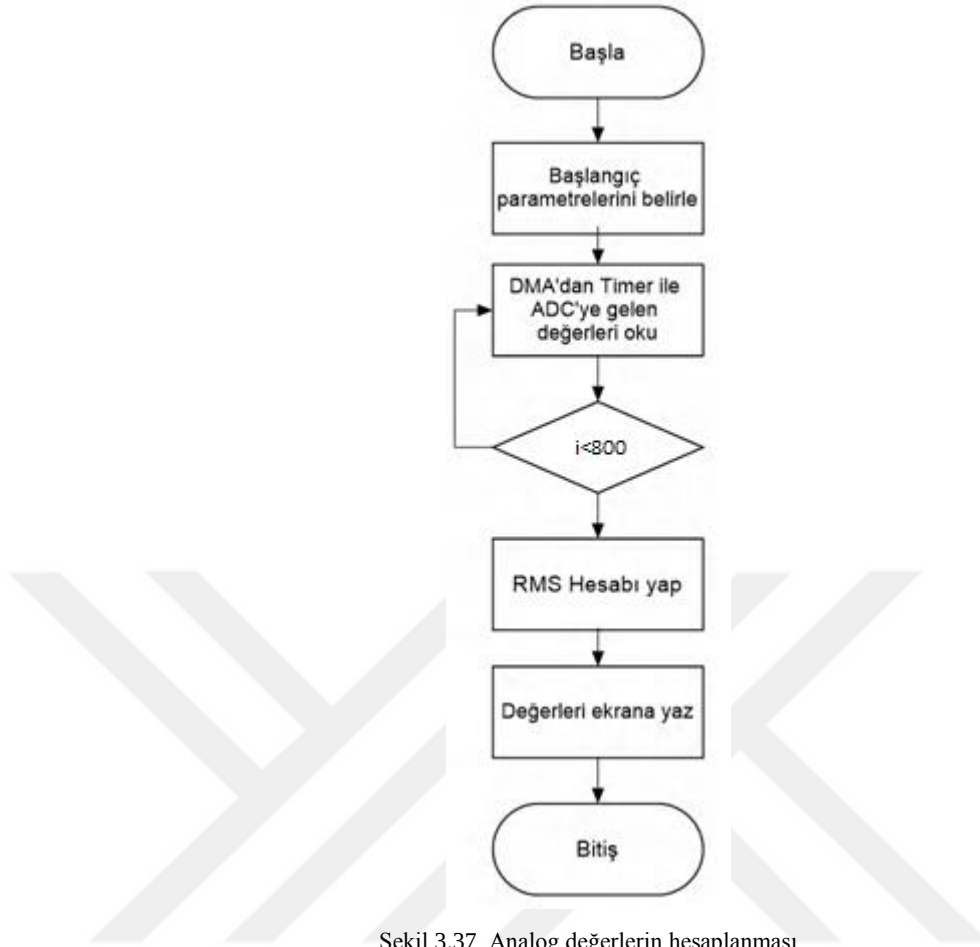
- Akım ve gerilimin okunması için örnekleme frekansının belirlenmesi.
- ADC kanalından giriş akım ve gerilimlerin değerlerinin okunması.
- Referans giriş geriliminden akım ve gerilim değerlerinin çıkarılarak karelerinin kümülatif olarak toplanması. Ardından RMS hesabının yapılması.
- DC akım ve gerilimlerinin üretilmesi.
- Çıkış akım ve gerilim değerlerinin ölçülmesi ve girişte üretilen değerlerle karşılaştırılması.
- SD karta istenilen parametrelerin kaydedilmesi.

Şekil 3.34.'te sistemin çalışma algoritması temel haliyle verilmiştir. Başlangıç ayarları yapıldıktan sonra ekranda gösterilen ilk sayfada akım ve gerilim çıkış parametreleri tuşlar vasıtasıyla girilebilir. Bu değerler girildikten sonra ekran üzerinde görülen değerler güncellenerek, yeni haliyle gösterilmiş olur. Sayfalar değiştirildiği takdirde elde edilen değerler 1 saniye aralıklarla yenilenerek tekrardan hesaplanan anlık değerler gösterilmiş olur.



Şekil 3.36. Başlangıç akış diyagramı

Şekil 3.35.'te ADC pinlerine gelen analog değerlerin okunması ve RMS hesaplamasının yapılmasının gösterildiği akış diyagramı verilmiştir. Yazılım ADC kanalı DMA üzerinden timer ile 50 us'de bir almış olduğu 800 adet değeri kümülatif olarak toplayıp, daha sonra kullanılan RMS hesabı ile hesapladıktan sonra değerleri ekran üzerinde göstermektedir.



Şekil 3.37. Analog değerlerin hesaplanması

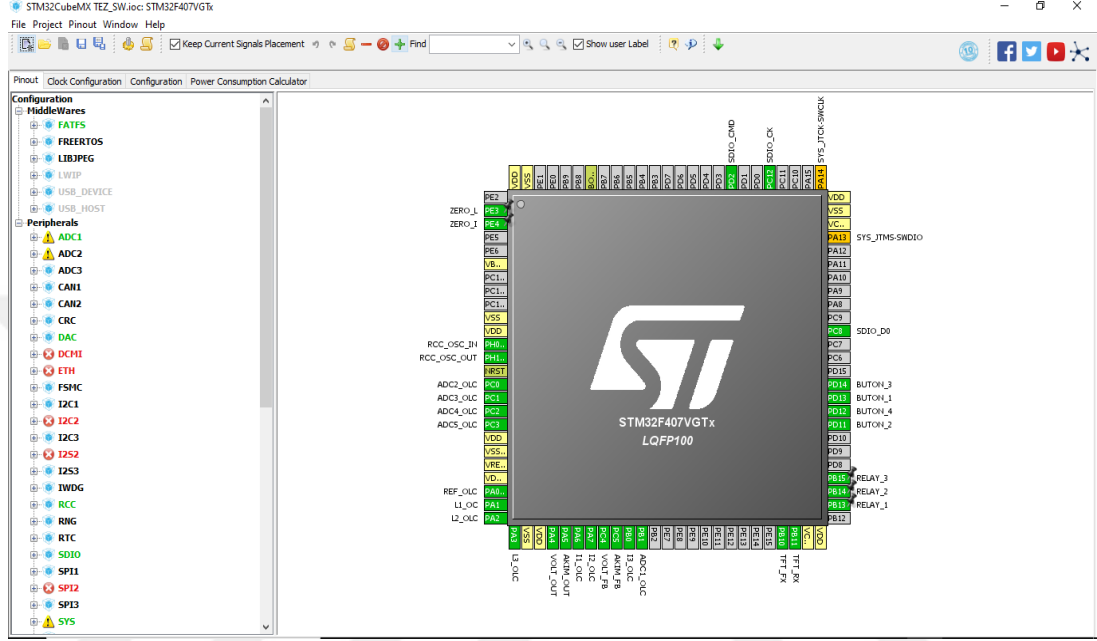
3.2. Yazılım Çalışmalarında Kullanılan Diğer Yazılımlar

Tasarlanan sistemin yazılım çalışmalarında farklı yazılım ortamlarından faydalanılmıştır.

3.2.1. STM32CubeMX

STMicroelectronic firmasına ait olan CubeMX [33] yazılımında, tasarlanmış olan sistemin bütün giriş çıkış pinlerinin ayarlanması ve yazılımsal altyapının oluşturulması için ilgili mikrodenetleyici seçilerek; sistemin başlangıç ayarlarının yapılması sağlanmıştır. Bu sayede sistemin algoritması dışında kalan ayarların kolayca yapılması sağlanmıştır. Şekil 3.36.'da yapılan bağlantılarda hangi pinlerin kullanıldığı gösterilmiştir. Pinout bölümünde kullanılan denetleyici seçildikten sonra

kullanılmak istenen pin çıkışlarının ayarlanabildiği kısım mevcuttur. Clock Configuration ve Configuration sekmelerinde ise sistemin çalışması istenilen saat ayarı ve GPIO, DAC, USART, DMA, ADC, Timer, SD kart vb. özel yapılandırma ayarlarının yapıldığı kısımları mevcuttur.



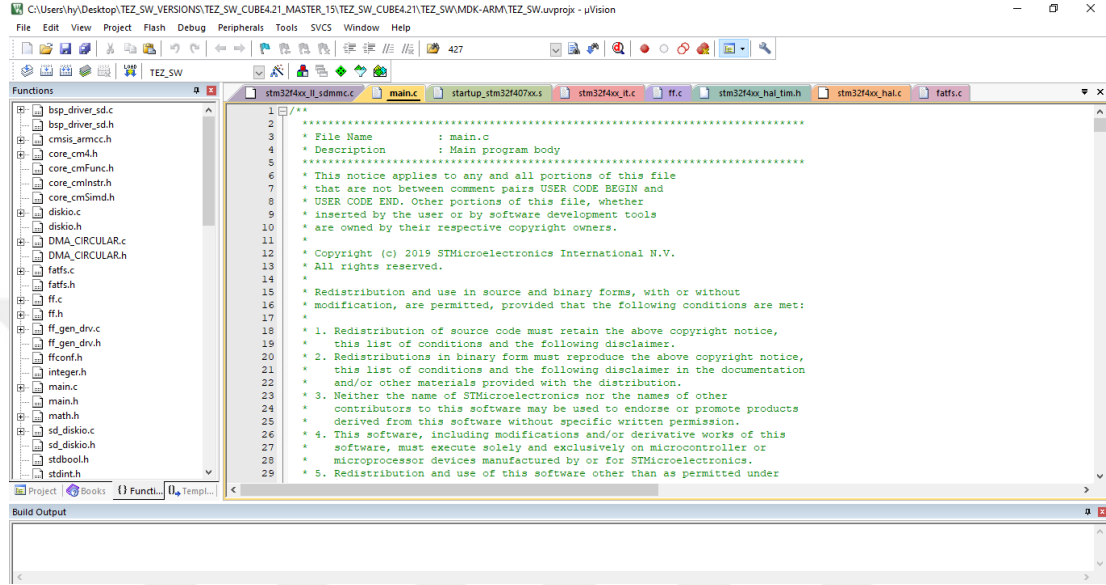
Şekil 3.38. CubeMX programında oluşturulan yapı

Tasarlanmış olan sistemde mikrokontrolörün sahip olduğu tüm ADC pinleri kullanılmıştır. Yalnızca DAC pinleriyle aynı girişe sahip olan PA4 ve PA5 pinleri DAC çıkışı olarak ayarlanmıştır. Analog ölçüm yapılması için hem AC hem de DC akım ve gerilim ölçümlerinin okunduğu pinler ADC1 kanalına bağlanmıştır. SD kart için kullanılan SDIO arayüzü bağlantıları PC8, PC12, PD2 pinlerine bağlanmıştır. PA13 ve PA14 pinleri yazılım programlama uçları olarak kullanılmıştır. TFT ekran ile Uart haberleşmesi için PB10 ve PB11 pinleri kullanılan haberleşme pinleri olarak belirlenmiştir.

3.2.2. Keil Uvision

Tasarlanmış sistemin gömülü yazılım çalışmaları keil uvision yazılımı vasıtasıyla yapılmıştır. Yazılım tasarımı C dili kullanılmıştır. Keil yazılımı, kullanılan

mikrodenetleyici ailesini desteklemesi ve bir önceki başlıkta bahsedilen CubeMX yazılımının hazırlamış olduğu temel kodları doğrudan arayüzüne aktararak kullanıcıya ciddi kolaylık sağlamış olmaktadır. Şekil 3.37.'de keil yazılımının ana ekran görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 3.39. Keil yazılımı ana ekran görüntüsü

BÖLÜM 4. DENEYSEL SONUÇLAR

4.1. Giriş

Şekil 4.1.'de tasarlanan donanım kartlarının ve kullanılan ekranın bulunduğu baskı devrenin dizilmiş son hali verilmiştir.



Şekil 4.1. Tasarlanan donanım kartları 1

Şekil 4.2.'de redresörün kaplama işlemini gerçekleştiren baralar gösterilmektedir. Baranın anot(+) ve katot(-) uçlarının iç kısmında bulunan ilave kablolar ve şönt direnci sistemin akım gerilimin değerlerinin ölçülmesini sağlamak amacıyla cihazın üretici firması tarafından monte edilmiştir.



Şekil 4.2. Redresör çıkış baralarının iç ve dış görünümü

Tablo 4.1.'de gerilim değerinin sabit olduğu durumlardaki ölçülen akım değerlerden bir kısmı gösterilmiştir.

Tablodaki verilerden de anlaşılabacağı üzere sistem düşük gerilim ve akım değerlerinde akım sınırlama moduna girdiğinden dolayı düşük akımlarda etkin olarak çalışmamaktadır. Bu nedenle akım değerlerindeki ölçüm verileri yapılan proseslerde yüksek değerlikli ölçümlerden elde edilmiştir.

Tablo 4.1. Akım ayarlı sabit gerilimlerde gönderilen ve okunan akım değerleri

Gönderilen Akım (Adc)	Okunan Akım (Adc)	Hata oranı %
700	694	0,8
750	746	0,5
800	801	0,1
850	854	0,4
950	961	1,1
1050	1069	1,1
1100	1125	2,2
1200	1233	2,7
1300	1341	3,1
1400	1437	2,6
1500	1560	4,0
1600	1668	4,2
1700	1772	4,2
1800	1880	4,4
1900	1990	4,7
2100	2200	4,7
2200	2310	5,0

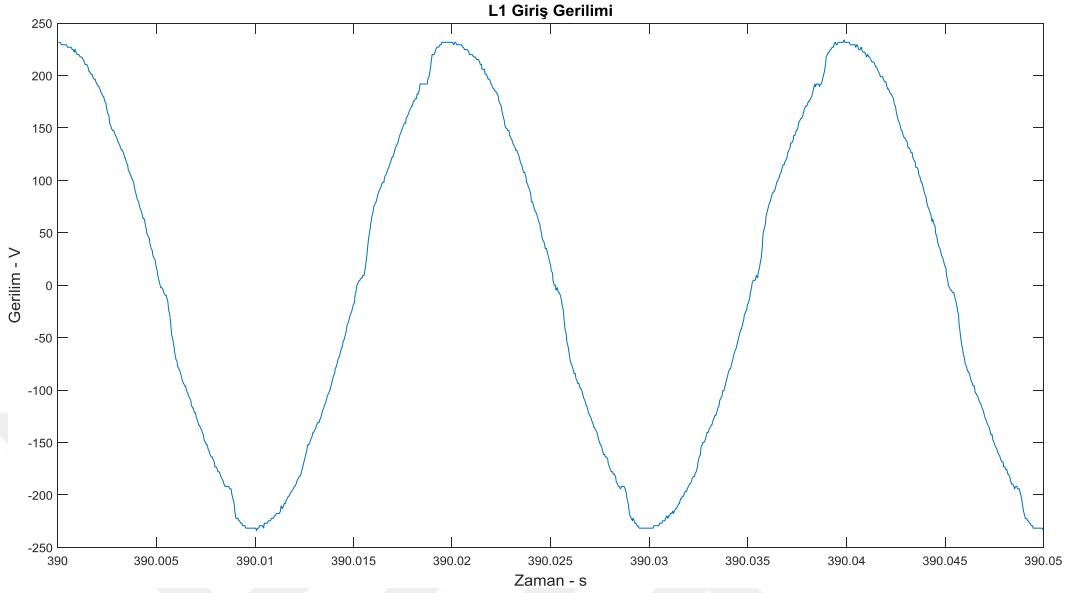
Tablo 4.2.'de farklı zaman aralıklarında şebekeden ölçülen farklı fazlara ait giriş gerilimleri ve giriş akımlarının değerleriyle birlikte çıkış gerilim, akım ve sıcaklık değerleri sonuçları verilmiştir. Ölçümlerde %1 hassasiyete sahip orana yakın ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümler esnasında redresörün giriş fazlarının en yüksek ulaştığı gerilimin RMS değeri 236,28Vac olurken, giriş fazlarından çekilen en yüksek akımın RMS değeri 78,85Aac olarak görülmüştür. Çıkış karakteristiğindeki ölçümlerde ise, malzeme kaplama esnasında bara üzerindeki oluşan gerilimin ortalama değeri 1,49Vdc, çıkış gerilim değeri 1,84Vdc olarak ölçülmüştür. Çıkış akımının ölçüldüğü en yüksek değer 2535Adc, malzeme üzerindeki en yüksek sıcaklık ise 643,16 °C olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.2. Farklı zamanlarda ölçülen giriş ve çıkış parametreleri

Geçen süre (s)	L1 (Vac)	L2 (Vac)	L3 (Vac)	I1 (Aac)	I2 (Aac)	I3 (Aac)	Vbara (Vdc)	Vout (Vdc)	Iout (Adc)	Tbara (°C)
1	230,58	232,09	228,80	13,16	13,19	13,14	0,45	0,58	453	67,67
8	230,16	231,71	228,48	13,09	13,12	13,19	0,44	0,58	449	71,91
32	230,33	231,98	228,58	21,41	21,40	21,53	0,76	0,95	719	87,50
34	230,07	231,69	228,42	23,88	23,90	24,00	0,78	0,97	808	90,10
37	230,10	231,56	228,42	27,61	27,60	27,66	0,97	1,18	911	97,95
41	230,21	231,88	228,47	28,89	28,88	29,05	0,95	1,17	967	109,93
44	229,99	231,41	228,19	28,96	28,95	29,08	0,97	1,18	963	118,01
55	229,99	231,48	228,19	28,95	28,93	29,05	0,98	1,19	963	149,87
56	230,14	231,71	228,40	28,96	28,94	29,18	1,02	1,23	959	154,36
59	230,23	231,68	228,47	29,12	29,12	29,17	1,04	1,26	959	168,50
62	230,14	231,57	228,34	29,84	29,83	29,98	1,06	1,28	982	177,83
63	230,23	231,62	228,38	32,51	32,48	32,61	1,20	1,44	1052	183,52
65	230,16	231,57	228,38	36,78	36,74	37,14	1,27	1,53	1192	192,84
69	236,28	223,13	229,55	39,39	39,33	39,36	1,25	1,51	1303	211,42
73	229,93	231,29	228,27	47,24	47,23	47,57	1,31	1,60	1540	242,12
158	229,47	231,22	227,91	46,69	46,67	46,98	1,19	1,48	1540	408,98
159	229,45	231,26	227,84	47,83	47,83	48,16	1,21	1,51	1573	410,13
170	228,62	230,10	227,19	62,70	62,70	63,23	1,42	1,78	2025	445,84
174	228,97	230,54	227,32	62,58	62,55	63,11	1,40	1,75	2028	458,37
300	229,40	230,97	227,82	61,27	61,23	61,81	1,09	1,46	2043	574,10
390	223,30	230,29	232,72	78,85	78,83	76,86	1,25	1,69	2524	636,83
394	228,50	231,52	226,43	77,35	77,34	78,76	1,25	1,70	2535	640,79
401	229,46	230,87	227,55	71,42	71,42	72,13	1,15	1,57	2365	641,48
403	229,32	230,78	227,43	69,49	69,46	70,20	1,11	1,52	2313	640,56
404	229,67	231,09	227,87	66,11	66,09	66,83	1,08	1,48	2213	637,75
408	229,59	231,16	228,11	61,14	61,13	61,59	1,07	1,44	2047	630,23
409	229,72	231,28	228,11	60,97	60,96	61,42	1,06	1,44	2043	627,74

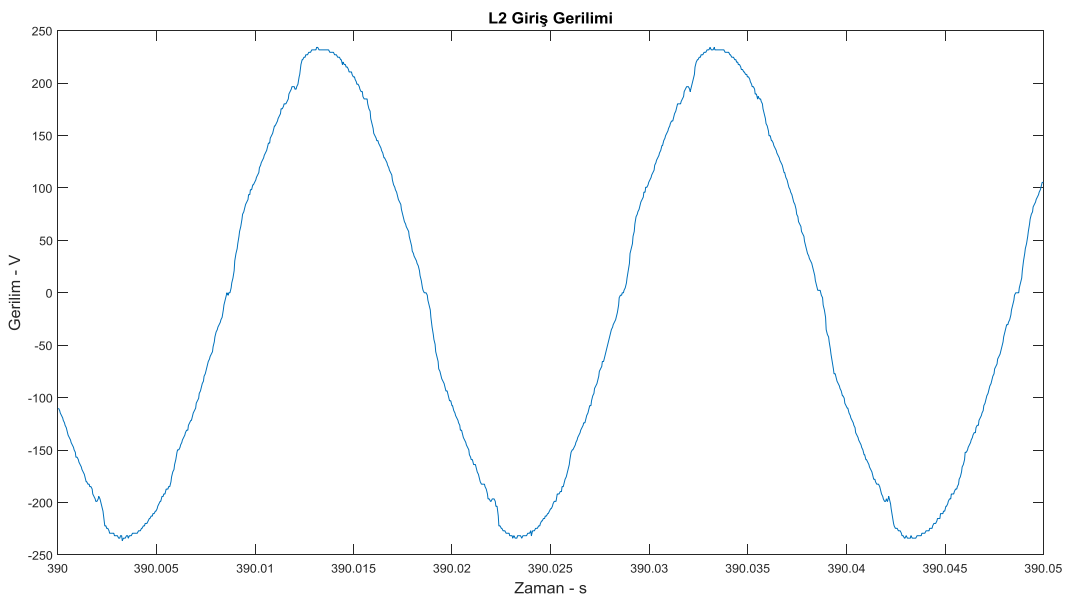
Şekil 4.3.'te L1 fazına ait giriş geriliminin 50ms boyunca alınan 1000 adetlik verilerin dalga şekli verilmiştir. Tristör kontrolü ile çekilen harmonikli sinusoidal

olmayan akımlardan dolayı L1 fazına ait giriş gerilimin distorsiyona sahip olduğu görülmektedir.



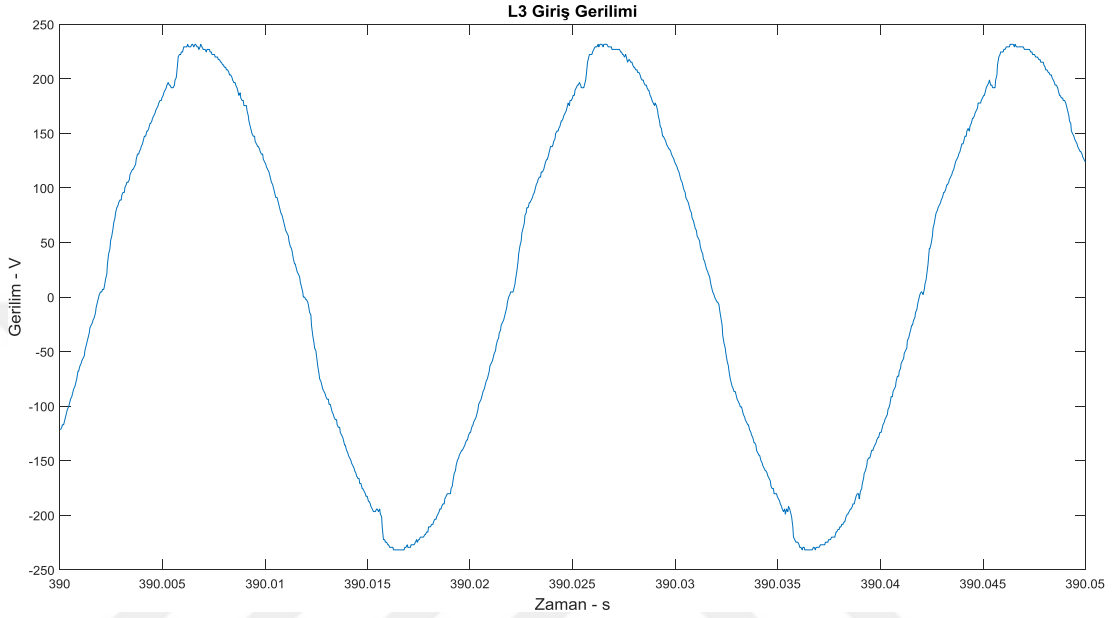
Şekil 4.3. Redresör L1 fazına ait AC giriş gerilimi zamana bağlı değişimi

Şekil 4.4.'te L2 fazına ait giriş geriliminin 50ms boyunca alınan 1000 adetlik verilerin dalga şekli verilmiştir. Tristör kontrolü ile çekilen harmonikli sinusoidal olmayan akımlardan dolayı L2 fazına ait giriş gerilimin distorsiyona sahip olduğu görülmektedir.



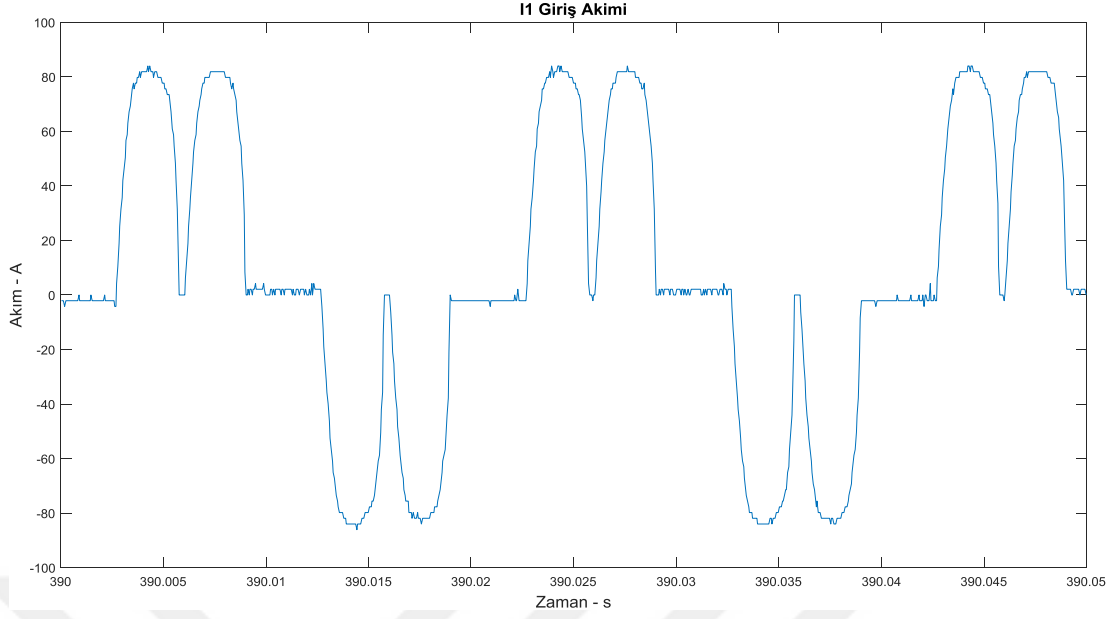
Şekil 4.4. Redresör L2 fazına ait AC giriş gerilimi zamana bağlı değişimi

Şekil 4.5.'te L3 fazına ait giriş geriliminin 50ms boyunca alınan 1000 adetlik verilerin dalga şekli verilmiştir. Tristör kontrolü ile çekilen harmonikli sinusoidal olmayan akımlardan dolayı L2 fazına ait giriş gerilimin distorsiyona sahip olduğu görülmektedir.



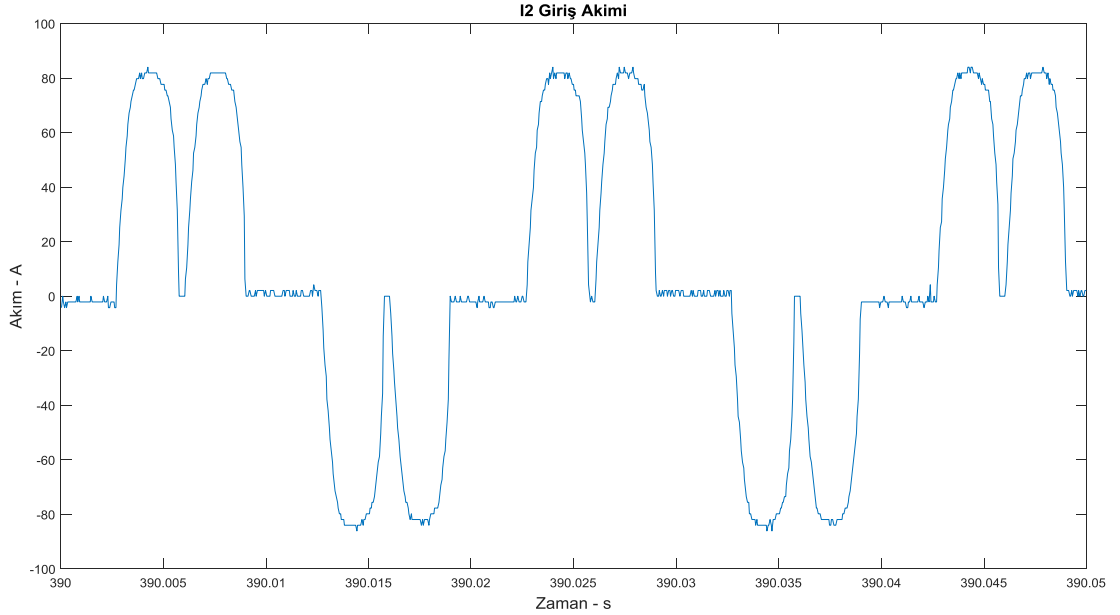
Şekil 4.5. Redresör L3 fazına ait AC giriş gerilimi zamana bağlı değişimi

Şekil 4.6.'da Tristör kontrolü ile çekilen L1 fazına ait harmonikli sinusoidal olmayan giriş akımının 50ms boyunca alınan 1000 adetlik verilerin dalga şekli verilmiştir. L1 fazına ait bu grafikten doğrultucunun süreksiz modda çalıştığı görülmektedir. Periyodun belirli aralıklarında akım değerinin 0 olduğu gözükmemektedir.



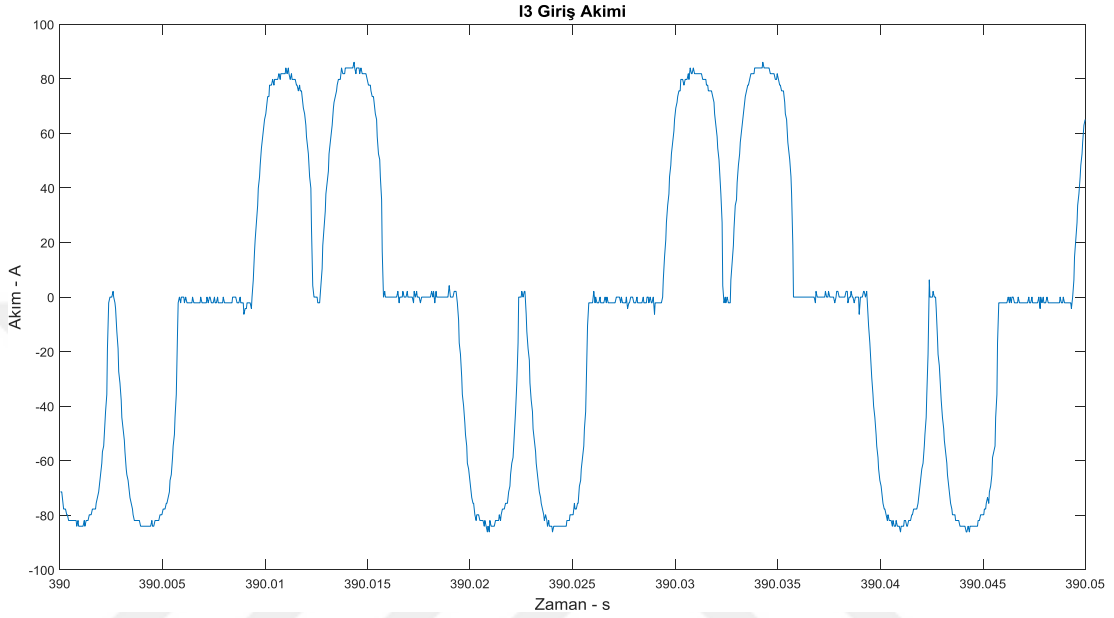
Şekil 4.6. Redresör L1 fazına ait AC giriş akımı zamana bağlı değişimi

Şekil 4.7.'de Tristör kontrolü ile çekilen L2 fazına ait harmonikli sinusoidal olmayan giriş akımının 50ms boyunca alınan 1000 adetlik verilerin dalga şekli verilmiştir. L2 fazına ait bu grafikten doğrultucunun süreksiz modda çalıştığı görülmektedir. Periyodun belirli aralıklarında akım değerinin 0 olduğu gözükmemektedir.



Şekil 4.7. Redresör L2 fazına ait AC giriş akımı zamana bağlı değişimi

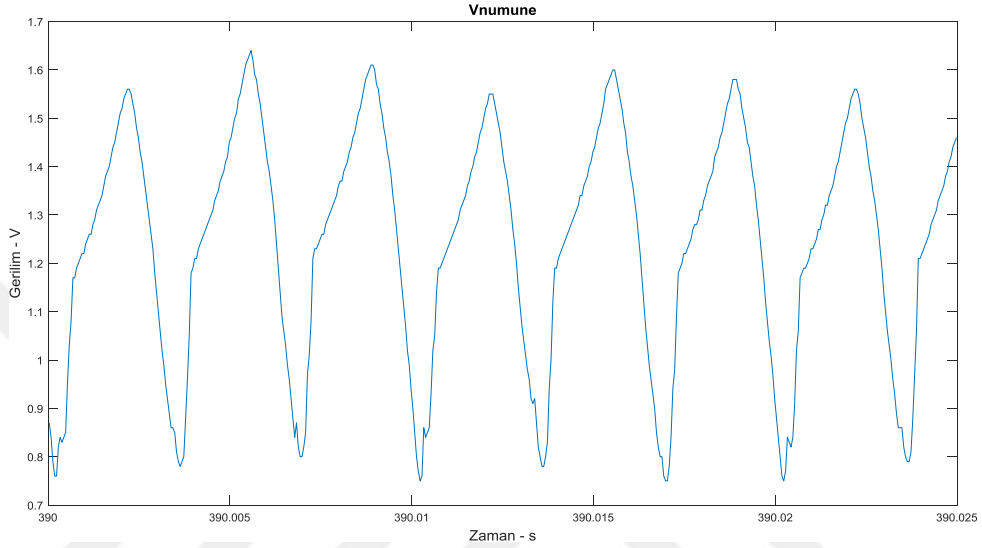
Şekil 4.8.'de Tristör kontrolü ile çekilen L3 fazına ait harmonikli sinusoidal olmayan giriş akımının 50ms boyunca alınan 1000 adetlik verilerin dalga şekli verilmiştir. L3 fazına ait bu grafikten doğrultucunun süreksiz modda çalıştığı görülmektedir. Periyodun belirli aralıklarında akım değerinin 0 olduğu gözükmemektedir.



Şekil 4.8. Redresör L3 fazına ait AC giriş akımı zamana bağlı değişimi

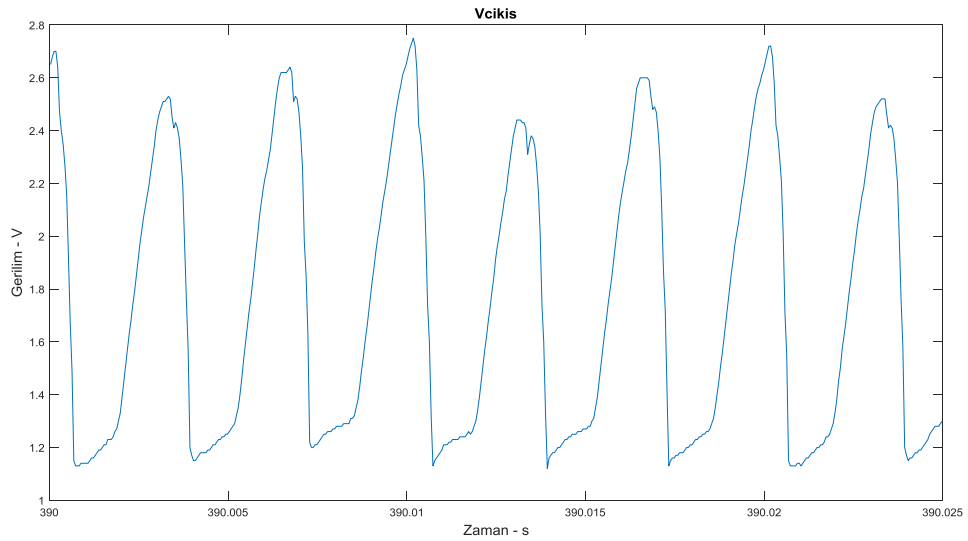
Şekil 4.9.'dan itibaren verilen ve çıkış parametrelerinin ölçülüp kaydedilmesi sonucunda elde edilen grafikler gösterilmiştir. Bu sonuçlarda dikkat edilmesi gereken nokta; sistemin boşa çalışmasında ve malzeme kaplama esnasındaki çalışmasındaki karakteristiğinin farklı olmasıdır. Sistemin kompleks değişkenlere sahip olması, ölçüm devresinin bulunduğu donanım yapısının aktif ve pasif elemanlarının farklı ölçüm frekanslarındaki davranışları, sistemin kaplama esnasında değişken empedans değerlerine sahip olabilmesi, sistemin incelenirken ölçüm alınan noktalarının farklı olabilmesi, farklı ölçü aletleriyle(osiloskop) yapılan çalışmalarda [1] işaretlerin sonuçları ve bu durumlara benzer diğer nedenlerden dolayı ölçülen değerlerde farklılıklar gözlemlenebilir. Sonraki çalışmalardan elde edilebilecek farklı sonuçlar göz önünde bulundurularak edilen işaretlerin bu doğrultuda incelenmesi daha uygun gözükmemektedir.

Şekil 4.9.'da kaplama esnasında numune üzerindeki gerilim işaretine ait 25ms boyunca alınan 500 adetlik verinin dalga şekli verilmiştir. Bara üzerindeki akım işaretinin PWM işareti olarak uygulanmasından dolayı bara üzerindeki gerilim işareti de PWM işaretine yakın bir işaret olmaktadır. İşaret bu süre boyunca yaklaşık 7 adet darbe işareti şeklinde bir karakter sergilemiştir.



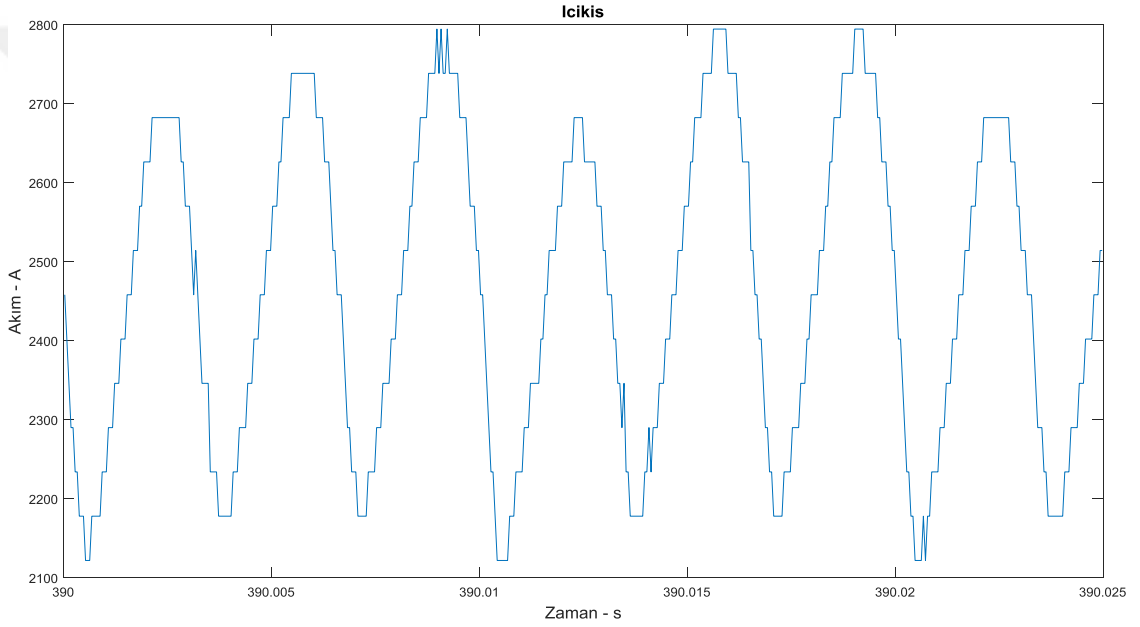
Şekil 4.9. Numune üzerindeki gerilim düşümü - DC

Şekil 4.10.'da çıkış üzerindeki gerilim işaretine ait 25ms boyunca alınan 500 adetlik verinin dalga şekli verilmiştir. İşaret bu süre boyunca yaklaşık 7 adet darbe işareti şeklinde bir karakter sergilemiştir.



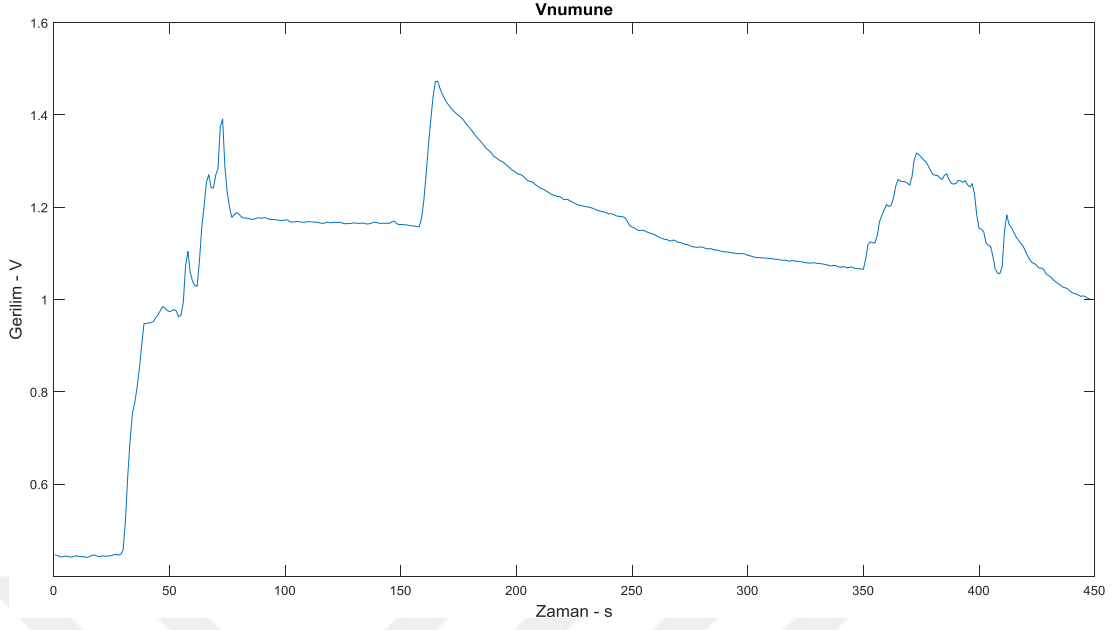
Şekil 4.10. Çıkış gerilim düşümü - DC

Şekil 4.11.'de çıkış akım işaretine ait 25ms boyunca alınan 500 adetlik verinin dalga şekli verilmiştir. Üretilen akım işaretinin pwm işaretine benzer bir işaret olduğu görülmektedir. İşaret bu süre boyunca yaklaşık 7 adet darbe işareti şeklinde bir karakter sergilemiştir. Çıkış akım sinyalinin [1]'de elde edilen işarettten farklı bir işaret olmasının nedeni ölçülen noktadan kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada akım ölçümü şönt direncin her iki ucundan alınan işaretlerin farkı şeklinde alındığından dolayı çıkış akımı ölçülen akım aralıklarında salınım yapan bir pwm işaretine benzemektedir. Ayrıca örnekleme hızı ve çevresel elemanlar nedeniyle okunan işaret belirli noktalarda basamak şeklinde gözükmektedir.



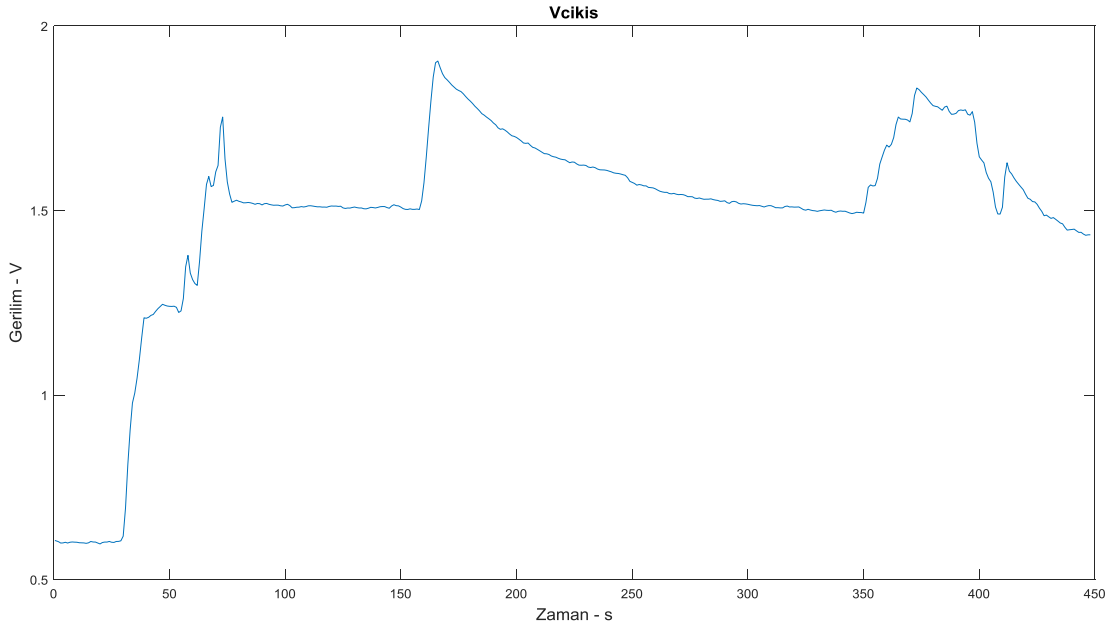
Şekil 4.11. Çıkış akımı - DC

Şekil 4.12.'de numune üzerinde bulunan gerilim düşümünün dalga şeklinin 449 saniye'lik işlem süresi boyunca sahip grafiği verilmiştir. Bu örnekler her bir saniye sonunda ortalama değeri alınarak hesaplanan değerlerden kaydedilerek oluşturulmuştur.



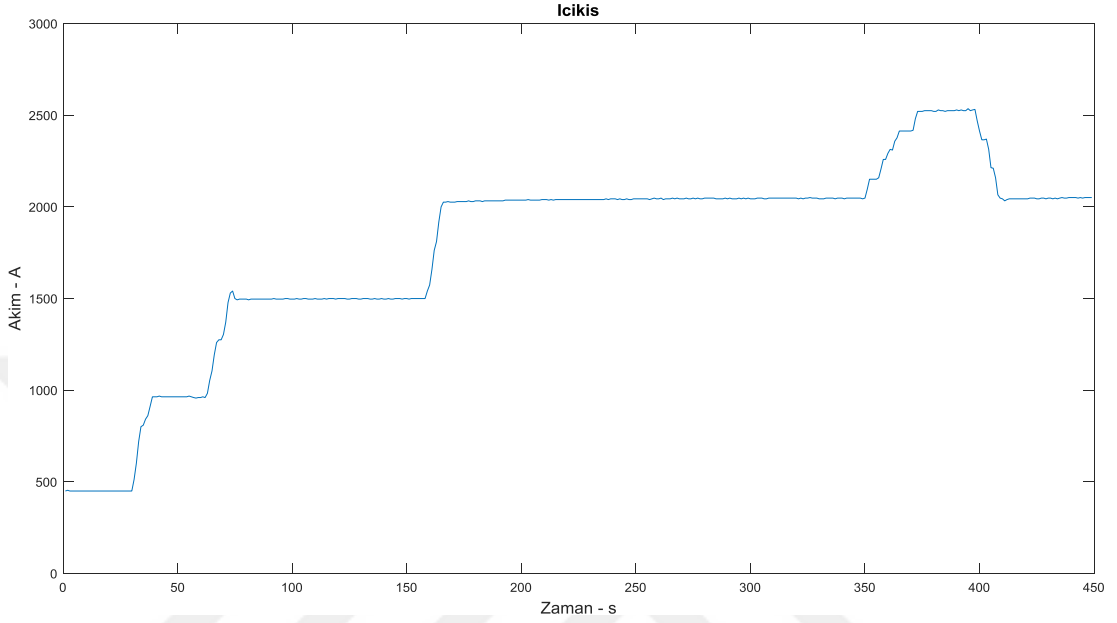
Şekil 4.12. Redresör baralarının gerilim düşümü dalga şekli

Şekil 4.13.'te çıkış geriliminin dalga şeklinin 449 saniye'lik işlem süresi boyunca sahip olduğu değerlerden oluşan grafiği verilmiştir. Bu örnekler her bir saniye sonunda ortalama değeri alınarak hesaplanan değerlerden kaydedilerek oluşturulmuştur.



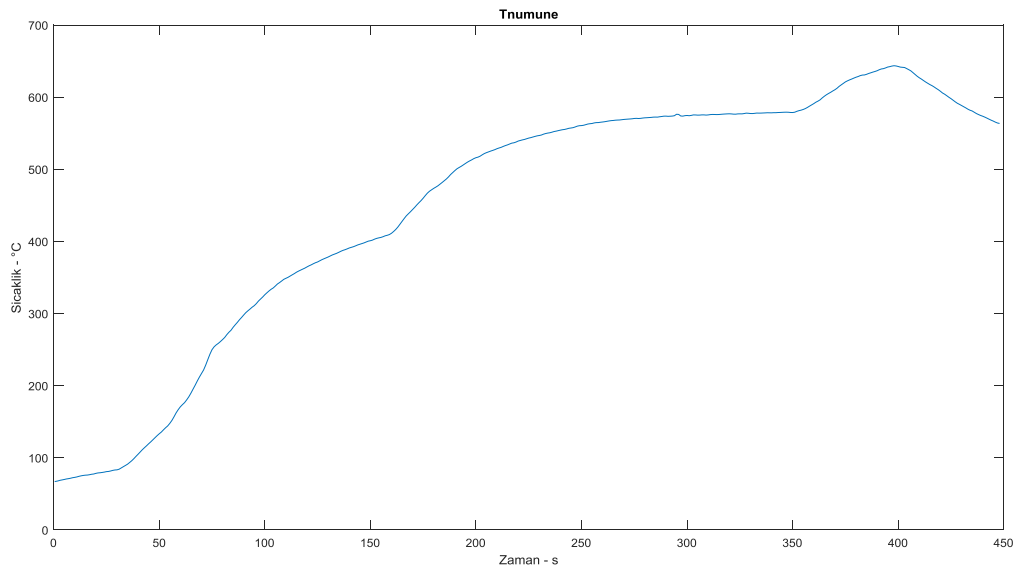
Şekil 4.13. Redresör çıkış gerilimi dalga şekli

Şekil 4.14.'te çıkış akımının dalga şeklinin 449 saniye'lik işlem süresi boyunca sahip olduğu değerlerden oluşan grafiği verilmiştir. Bu örnekler her bir saniye sonunda ortalama değeri alınarak hesaplanan değerlerden kaydedilerek oluşturulmuştur.



Şekil 4.14. Redresör çıkış akımı dalga şekli

Şekil 4.15.'te, infrared termometreden alınan işaret bilgisiyle okunan malzeme üzerindeki sıcaklığın zamana bağlı değişim grafiği verilmiştir. 449 saniyelik işlem süresince her bir saniyede ekrana yazdırılan sıcaklık değerlerinden elde edilmiştir.



Şekil 4.15. Kaplanan malzeme üzerindeki sıcaklık değişimi

BÖLÜM 5. SONUÇ

Bu çalışmada, kaplama ve sinterleme yapabilen üç fazlı bir redresörün giriş ve çıkış gerilimleri ile akımlarını ölçebilen ve açık çevrim kontrolünü yapabilen bir devre tasarımı amaçlanmıştır. Yapılan ölçümler ve karşılaştırmalar neticesinde, ölçüm değerlerinde uygun sonuçlara ulaşılmıştır.

Yapılan deneylerde, üç fazlı redresörün AC giriş gerilimleri ve giriş akımları hedeflenen değerlere yakın seviyelerde ölçülebilmektedir. Sistemin çıkış kontrolünü sağlamak amacıyla tasarlanan devre çeşitli referans akımları değerlerinde test edilerek, hem giriş karakteristiği hem de çıkış karakteristiğine ait sinyaller birlikte ölçülmüştür. Sistemin düşük gerilimlerde yeterince akım sağlayamadığı görülmüştür. Bunun nedeninin redresörün düşük gerilimlerde akım sınırlamasına sahip olmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Endüstriyel cihazlarda giriş veya çıkış seviyesi olarak kullanılan 0-10V ve 4-20mA giriş uçlarına 0-1V arasında mikrokotrolör üzerinde bulunan DAC pinleri ve opamplar yardımıyla gerilim üretilerek, çıkışı kontrol edebilmek için gerekli olan kontrol devresi/paneli tasarlanmıştır. Tasarlanan cihazdaki/devredeki çıkış işaretlerinin gerekli biçimde üretildiği gözlenmiştir. Çıkış ve giriş arasındaki bazı bölümlerde galvanik izolasyon olmamasından dolayı redresör sisteminde oluşabilecek ani yüksek gerilimlerin tasarlanan cihazda olumsuz etkiler oluşturabilmesi probleminin çözümü için analog izolasyon devrelerinden yararlanılmıştır. Redresör çıkış uçlarındaki gerilim ve akım değerleri de izoleli olarak ölçülmüştür. Bu şekilde üretilen referans ve ölçülen değerler karşılaştırılmıştır. Test yapılan cihaz üzerinde bulunan gerilim ve akım kontrolünü sağlayan potansiyometreler ve ölçüm değerlerini gösteren voltmetre ve ampermetrelerin yapmış olduğu fonksiyonlar tasarlanan cihaz tarafından yapılabilir hale getirilmiştir. Kompakt bir halde tasarlanması amaçlanan cihazda bulunan ekran üzerinde yapılan ölçümler görülebilmekte ve test cihazının kontrolü yapılabilmektedir. Cihaz belirli

aralıklarla (okuma frekansıyla) ölçüm değerleri almakta ve okuduğu değerleri içinde bulunan SD kart modülüne yazmaktadır.

Bu çalışmada gerçekleştirilen devre ile sistemin sürücü devresi için ihtiyaç duyulan sinyaller gerektiği gibi üretilmiştir. Sistemin giriş ve çıkış işaretleri elde edilmekle birlikte, osiloskop ile yapılan ve literatürde sunulan çalışmalar arasında farklar gözlenmiştir. Burada sistemin dinamiklerinin kompleks yapıda olması ve ölçüm devresindeki giriş ve çıkış bileşenlerinin etkisi bu farklara yol açabilmektedir.

Ayrıca, test edilen cihazın sinterleme prosesi esnasındaki analizi gerektiği gibi yapmak için, tasarlanan devreden daha hızlı çalışan bir ölçüm devresine ihtiyaç olup, tam doğruluk için birim zamanda bu devrede alınandan daha fazla veri alınması gerekmektedir.

Bu tez çalışması ile bu sistemin kontrolü ve analizlerine yönelik önceki yıllarda ortaya konan literatürden [1, 3, 5, 6] yararlanılarak daha gelişmiş kontrol ve ölçüm devreleri üzerinde çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Yener Ş. Ç. , Yener T. , Mutlu R. , A process control method for the electric current-activated/assisted sintering system based on the container-consumed power and temperature estimation, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2018.
- [2] R. Orrù, R. Licheri, A. M. Locci, A. Cincotti, and G. Cao, “Consolidation/synthesis of materials by electric current activated/assisted sintering,” Mater. Sci. Eng. R Reports, vol. 63, no. 4–6, pp. 127–287, 2009.
- [3] Yener, T. , Ecas Yöntemiyle Üretilmiş Ti-Al Esaslı İntermetalik Komoit Malzemelerin Geliştirilmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Doktora Tezi, 2015.
- [4] Yener T. , Yener Ş. Ç. , Mutlu R. , Determination of Efficiency of an Electric Current Activated Sintering System, International Conference on Science and Technology ICONST 2018 (05.09.2018-09.09.2018).
- [5] T Yener, S. C. Yener, R Mutlu, Thermal Circuit Model of the Pulse DC Sintering System Container During Cooling, Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi 7 (3), 398-402.
- [6] Tuba Yener, Şuayb Çağrı Yener, Reşat Mutlu, An IOTBased PDCS System, Uluslararası Bilişim ve Yazılım Mühendisliği Konferansı, 2019.
- [7] Tuba Yener, Şuayb Çağrı Yener, Reşat Mutlu, Computer Aided Design of PID Control of Pulse DC Sintering System, Uluslararası Bilişim ve Yazılım Mühendisliği Konferansı, 2019.
- [8] Mohan, N. (2011). Power electronics: a first course. Wiley.
- [9] Sankaran, C. (2001). Power quality. CRC press.
- [10] Keleş, F. , Mikrodenetleyici Kontrollü Redresör Tasarım Ve Gerçeklenmesi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2006.

- [11] Bodur, H. ,(2010) , Güç Elektroniği, Birsen Yayınevi
- [12] T. Noguchi, K. Nishiyama, Y. Asai, T. Matsubara(2005). Development of 13-V, 5000-ADC Power Supply with High-Frequency Transformer Coupling Applied to Electric Furnace, 2005 International Conference on Power Electronics and Drives Systems, (IEEE PEDS),1474-1479.
- [13] Seyyedmilad Ebrahimi, Navid Amiri, Liwei Wang, Juri Jatskevich(2019). Parametric Average-Value Modeling of Thyristor-Controlled Rectifiers With Internal Faults and Asymmetrical Operation, IEEE Transactions On Power Delivery, Vol.34, pp.773-776, 2 April 2019.
- [14] <http://blog.wago.com.tr/akim-olcumu-icin-gelistirilmis-4-etkin-yontem/>
Erişim Tarihi: 5.5.2019.
- [15] Yang Zhen, Microchip Technology Inc, AN1332 Current Sensing Circuit Concepts and Fundamentals,2010-2011.
- [16] Özsan, A. , “Dinamik Reaktif Güç Denetleyicisi Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, GAZİ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 4 (2013).
- [17] IEEE Std 1459-2000, “IEEE Trial-Use Standard Definitions For The Measurement Of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, Or Unbalanced Conditions”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.,44 (2000).
- [18] STMicroelectronics, UM1472 User Manual, STMicroelectronics, 2017.
- [19] STMicroelectronics, AN4031, Using the STM32F2, STM32F4 and STM32F7 Series DMA controller, 2017.
- [20] STMicroelectronics, RM0090 Reference manual, STMicroelectronics, 2016.
- [21] Texas Instruments, LMx58-N Low-Power, Dual-Operational Amplifiers, 2014.
- [22] Microchip Technology Inc, MCP6021/1R/2/3/4, Rail-to-Rail Input/Output, 10 MHz Op Amps, DS20001685E, 2017.
- [23] Silicon Labs, AN614, A simple Alternative to Analog Isolation Amplifiers, Silicon Laboratories, 2013.
- [24] Avago Technologies, Application Note 5394, 2008.

- [25] Eaton, AP05311002E Application Note, Measuring Linear and Non-Linear (Distorted) AC Waveforms with CurrentWatch, 2007.
- [26] Eski A. ,Zavalani O. , Komici D. , RMS Value Measurement Using a Meter Based on ARM Cortex-M0 Microprocessor. EJECE, European Journal of Electrical & Computer Engineering Vol. 1, No. 2, 1-3. November 2017.
- [27] ADE5166, https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADE5166_5169_5566_5569.pdf , Erişim Tarihi: 5.5.2019.
- [28] Zilog, AN021602-0508, Application Note, Using Z8 Encore! XP MCU for RMS Calculation, 2008.
- [29] <https://alexnld.com/product/3pcs-3-5v-5v-micro-sd-card-module-tf-card-reader-sdio-spi-interface-mini-tf-card-module/>, Erişim Tarihi: 5.10.2019.
- [30] Şengün, F. , Donanımsal Bulanık Mantık Modelleme Simülatörü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [31] <https://nextion.tech/product/nextion-nx3224k028-enhanced-tft-hmi-lcd-touch-display.> , Erişim Tarihi: 5.5.2019.
- [32] <https://www.reichelt.com/de/en/4duino-hc-05-4-pin-wireless-module-for-arduino-arduino-hc-05-4-p170173.html> , Erişim Tarihi: 5.10.2019.
- [33] <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubemx.html>, Erişim Tarihi: 5.10.2019.

ÖZGEÇMİŞ

Hasan Yahyaoğlu, 29.07.1991’de İstanbul’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul’da tamamladı. 2009 yılında Çemberlitaş Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. 2010 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü’nü 2014 yılında bitirdi. 2016 yılında Sakarya Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitimine başladı. Ocak 2015 – Ağustos 2017 yıllarında Sunny Elektronik firmasında Donanım Mühendisi olarak, sonrasında Köhler Elektrik Sayaçları ve Tense Elektronik firmalarında Arge Donanım Mühendisi olarak görev aldı. Mart 2018’den itibaren Tense Elektronik firmasında Arge Donanım Mühendisi olarak görev yapmaktadır.