



**YÜKSEK FREKANS TRANSFORMATÖRLÜ ÇİFT YÖNLÜ DA/DA
DÖNÜŞTÜRÜCÜ YARDIMI İLE BATARYA ŞARJ SİSTEMİ TASARIMI**

Oğuz ALKUL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2019

Oğuz ALKUL tarafından hazırlanan “YÜKSEK FREKANS TRANSFORMATÖRLÜ ÇİFT YÖNLÜ DA/DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ YARDIMI İLE BATARYA ŞARJ SİSTEMİ TASARIMI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Şevki DEMİRBAŞ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi Emre ÇELİK

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Düzce Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Nihat ÖZTÜRK

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 27/09/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Oğuz ALKUL

27/09/2019

YÜKSEK FREKANS TRANSFORMATÖRLÜ ÇİFT YÖNLÜ DA/DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ YARDIMI İLE BATARYA ŞARJ SİSTEMİ TASARIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Oğuz ALKUL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2019

ÖZET

Bataryalar; elektrikli araçlar, mikroşebekeler, kesintisiz güç kaynakları ve kablosuz elektrikli cihazlar gibi birçok alanda elektrik enerjisini depolamak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bataryaların gerek verimli, sağlıklı ve güvenilir bir şekilde çalışmalarının sağlanması, gerekse ömürlerinin artırılmasında şarj/deşarj kontrolü büyük önem taşımaktadır. Bu tezde batarya şarj sistemleri için güç elektroniği elemanlarından ve yüksek frekanslı transformatörden meydana gelen ve çift yönlü enerji akışı sağlayan bir DA/DA dönüştürücü tasarımı yapılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada üç giriş, üç çıkışlı transformatör kullanılmış olup, böylece farklı gerilim seviyelerinde kullanıma imkân sağlanmıştır. Tasarımı yapılan sistemin Matlab-Simulink programı yardımı ile benzetimi yapılarak, laboratuvar ortamında kurşun asit batarya ünitelerine uygulanmak suretiyle çalışması test edilmiştir. Kontrol birimi olarak PI kontrol ve Ziegler-Nichols parametre ayarlama yöntemi kullanılmıştır. Benzetim ve uygulama sonuçları gerçekleştirilen dönüştürücünün farklı gerilim aralıklarında her iki yönde de çalışmaya imkân verdiği ve farklı sayıda batarya üniteleri ile kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca tek bir denetleyici yardımıyla batarya şarj/deşarj kontrolü yapılabilmektedir. Çalışmada galvanik yalıtım sağlayan yüksek frekanslı transformatör kullanıldığından transformatör boyut ve çıkış filtre boyutlarında küçülme ve toplam ağırlıkta azalma sağlanmıştır. Tasarımı yapılan dönüştürücü topolojisi, elektrikli araçlarda, mikroşebekelerde, kesintisiz güç kaynaklarında batarya şarj/deşarjında kullanılabileceği gibi fotovoltaik sistemler veya yakıt hücreleri gibi dağıtık üretim birimlerinin şebeke bağlantılarında da kullanılabilecektir.

Bilim Kodu : 90544
Anahtar Kelimeler : Yüksek Frekans Transformatörü, PI Kontrol, Çift Yönlü DA/DA Dönüştürücü, Batarya Şarj Sistemi.
Sayfa Adedi : 95
Danışman : Prof. Dr. Şevki DEMİRBAŞ

DESIGN OF BATTERY CHARGING SYSTEM WITH HIGH-FREQUENCY
TRANSFORMER BI-DIRECTIONAL DC/DC CONVERTER

(M. Sc. Thesis)

Oğuz ALKUL

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2019

ABSTRACT

Batteries have been used for electrical energy storage purposes in many areas such as electrical vehicle, microgrids, uninterruptable power supplies and wireless electrical devices. Either to ensure efficient, safe and reliable operations of batteries or improve lifecycles, charge/discharge control has crucial importance. In this thesis, a DC/DC converter having power electronic devices and high frequency transformer and providing bi-directional energy flow has been designed for battery charging systems. Transformer having three inputs and three outputs have been used in the study, in such a way usage at different voltage levels has been allowed. The designed system has been simulated with the help of the Matlab-Simulink program and tested by applying the lead acid battery units in the laboratory environment. PI control and Ziegler-Nichols parameter adjustment method has been used as control unit. The simulation and experimental results show that designed converter is able to operate in both directions at different voltage ranges and can be used with a different number of battery units. In addition, the battery charge/discharge can be controlled with a single controller. Since the high frequency transformer which provides galvanic isolation is used in the study, the dimension of the transformer size and output filter has decreased and the total weight reduction has been achieved. The converter topology designed can be used for battery charging/discharging in electric vehicles, micro grids, in uninterruptible power supplies as well as grid connections of distributed generation units such as photovoltaic systems or fuel cells

Science Code : 90544

Key Words : High Frequency Transformer, PI Control, Bi-directional DC/DC Converter, Battery Charge System

Page Number : 95

Supervisor : Prof. Dr. Şevki DEMİRBAŞ

TEŞEKKÜR

07/2018-08 kod ve “Yüksek Frekans Transformatörlü Çift Yönlü DC-DC Konvertör Yardımı ile Batarya Şarj Sistemi Tasarımı” konulu projemi desteklediği için Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi’ne teşekkürlerimi sunuyorum. Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam sayın Prof. Dr. Şevki DEMİRBAŞ’a, tezimin her aşamasında engin bilgi ve tecrübesinden yararlandığım benden yardımlarını hiç esirgemeyen hocalarım Sayın Öğr. Gör. Hikmet FİDANBOY ve Sayın Dr. Öğr. Gör. Naki GÜLER’e hazırlanan bu tez çalışmasının nihai şeklini almasında kıymetli fikir ve önerileriyle beni yönlendiren sayın Prof. Dr. Ramazan BAYINDIR hocama teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. BATARYALAR VE YÖNETİM SİSTEMLERİ.....	7
2.1. Batarya Çeşitleri.....	7
2.1.1. Birincil bataryalar.....	7
2.1.2. İkincil bataryalar	7
2.1.3. Yakıt hücreli bataryalar.....	11
2.2. Bataryaların Modellenmesi	12
2.3. Batarya Enerji Yönetim Sistemi.....	17
2.3.1. Batarya şarj yönetim sistemleri	18
2.3.2. Batarya deşarj yönetim sistemleri	19
2.3.3. Batarya şarj-deşarj yönetim sistemleri	19
3. YÜKSEK FREKANS TRANSFORMATÖRÜ TABANLI BİR BATARYA ŞARJ SİSTEMİNİN TASARIMI.....	21
3.1. İzoleli Tip DA/DA Dönüştürücü Tasarımı	21
3.1.1. Yüksek frekanslı transformatör tasarımı	26
3.1.2. Tam köprü dönüştürücü	31

	Sayfa
3.1.3. İnterleaved dönüştürücü	33
3.1.4. Kontrol birimi.....	40
3.2. İzoleli Tip DA/DA Dönüştürücünün Modellenmesi.....	45
3.3. İzoleli Tip DA/DA Dönüştürücü Prototipinin Gerçekleştirilmesi	51
3.4. İzoleli Tip DA/DA Dönüştürücü ile Batarya Şarj Devresinin Analizi	54
4. BENZETİM VE UYGULAMA SONUÇLARI.....	61
4.1. Benzetim Sonuçları	61
4.1.1. Şarj durumunun incelenmesi.....	61
4.1.2. Deşarj durumunun incelenmesi.....	67
4.2. Uygulama Sonuçları.....	71
4.2.1. YFT'nin uyumluluk analizi.....	72
4.2.2. Şarj durumunun incelenmesi.....	78
4.2.3. Deşarj durumunun incelenmesi.....	82
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	87
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	95

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Enerji depolama sistemlerinin önemli parametrelerinin karşılaştırılması ..	8
Çizelge 2.2. Geleneksel batarya teknolojilerinin kıyaslanması	9
Çizelge 3.1. Hedef transformatör parametreleri	27
Çizelge 3.2. Transformatör çekirdeğinin parametreleri	28
Çizelge 3.3. Transformatör ölçülen ve hesaplanan indüktans değerleri	31
Çizelge 3.4. Komponentler ve çalışma değerleri	35
Çizelge 3.5. Kapalı çevrim Ziegler-Nichols P, PI ve PID parametrelerinin ayarlama kuralları.....	42
Çizelge 3.6. Benzetim PI çalışma parametreleri	43
Çizelge 3.7. STM32F072VBT6 kontrolörün genel özellikleri	52
Çizelge 4.1. Farklı yüklerde sistem verimi benzetim sonuçları	66
Çizelge 4.2. Farklı gerilimlerde sistem verimi benzetim sonuçları	66
Çizelge 4.3. Farklı gerilim değerlerinde alınan benzetim test sonuçları.....	70
Çizelge 4.4. Farklı yüklerde deşarj verimi benzetim sonuçları	70

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kurşun-asit bataryaların eşdeğer devre şeması.....	13
Şekil 2.2. Batarya iç direncinin akım ve şarj durumuna göre değişim grafiği.....	14
Şekil 2.3. R_1 direncinin R_{10} ve DOC durumuna göre grafiği.....	14
Şekil 2.4. Kurşun-asit batarya modeli.....	17
Şekil 2.5. Tek yönlü batarya şarj sistemi	19
Şekil 2.6. Tek yönlü batarya deşarj sistemi	19
Şekil 2.7. İki yönlü batarya şarj sistemi.....	20
Şekil 3.1. YFT tabanlı çift yönlü bir batarya şarj sisteminin basitleştirilmiş blok diyagramı.....	21
Şekil 3.2. YFT tabanlı çift yönlü bir batarya şarj sisteminin basitleştirilmiş devre şeması	21
Şekil 3.3. Devrenin basitleştirilmiş şarj işlemi uygulaması.....	22
Şekil 3.4. Devrenin basitleştirilmiş deşarj işlemi uygulaması	22
Şekil 3.5. Tek hücreli dönüştürücünün iki hücreli dönüştürücüye dönüştürülmesi.....	23
Şekil 3.6. DA/DA dönüştürücü blok şeması.....	24
Şekil 3.7. DA/DA dönüştürücünün devre şeması	25
Şekil 3.8. Transformatörün farklı dönüştürme oranlarında çalışması (a)1:2, b) 2:1, c) 1:3, d) 3:1, e) 2:3, f) 3:2, g)1:1).....	29
Şekil 3.9. EE65/65/27 transformatör çerçevesinin 3D görüntüsü.....	30
Şekil 3.10. Transformatör sargı uçları PCB bağlantısı	30
Şekil 3.11. AA/DA–DA/AA dönüştürücü devre şeması	32
Şekil 3.12. AA/DA–DA/AA dönüştürücü çalışma yöntemleri (a) evirici, b) doğrultucu).....	32
Şekil 3.13. IRS2453 bağlantı şeması.	33
Şekil 3.14. İki yönlü iki hücreli dönüştürücü.....	36

Şekil	Sayfa
Şekil 3.15. İki yönlü iki hücreli dönüştürücünün azaltan metodu ile çalıştırılması.....	36
Şekil 3.16. İki yönlü iki hücreli dönüştürücünün yükselten metodu ile çalıştırılması....	36
Şekil 3.17. İki hücreli dönüştürücü çıkışı	38
Şekil 3.18. Asenkron mosfet sürücü devre şeması	39
Şekil 3.19. PI kontrol bileşenleri.....	40
Şekil 3.20.Kapalı çevrim sistemi	42
Şekil 3.21. Şarj-deşarj karar verme algoritması.....	44
Şekil 3.22. PI değerlerinin kullanıldığı kontrol yapısı.....	45
Şekil 3.23. Transformatörün genel uygulama modeli.....	46
Şekil 3.24. Transformatörün elektrik devresi	46
Şekil 3.25. Transformatörün yaklaşık eşdeğerinin birincil sargı tarafına yansıtılması...	46
Şekil 3.26. Transformatör eşdeğer devre yapıları (a) düşük frekanslar, b) orta frekanslar, c) yüksek frekanslar)	47
Şekil 3.27. Devrenin 100V, 200V ve 300V uygulamalarında sistem tepkisi	48
Şekil 3.28. PI denetim yöntemiyle kapalı çevrim denetimi	49
Şekil 3.29. Şarj blok diyagramı.....	51
Şekil 3.30. Deşarj blok diyagramı.....	51
Şekil 3.31. Şarj işlemi	56
Şekil 3.32. Deşarj işlemi	58
Şekil 4.1. İki hücreli dönüştürücünün gerilimi düşürten yöntemi ile çalıştırılması.....	61
Şekil 4.2. İki hücreli dönüştürücü anahtarlama sinyalleri.....	62
Şekil 4.3. İki hücreli dönüştürücü 10 Ω yük altında benzetim bobin akım sinyalleri (a) I_{L1} ve I_{L2} akımları, b) I_{BAT} akımı)	62
Şekil 4.4. Transformatör gerilim ölçüm noktaları	63
Şekil 4.5. Transformatör benzetimi (a) giriş sinyali b) çıkış sinyali)	63
Şekil 4.6. Batarya akım ve gerilimi	64

Şekil	Sayfa
Şekil 4.7. Farklı yüklerde gerilim 100V-200V geçiş grafiği	65
Şekil 4.8. Farklı yüklerde 150V-100V gerilim geçiş grafiği	65
Şekil 4.9. İki hücreli dönüştürücünün gerilimi yükselten yöntemi ile çalıştırılması	67
Şekil 4.10. İki hücreli dönüştürücü anahtarlama sinyalleri.....	67
Şekil 4.11. Yükselten tip dönüştürücü benzetim ortamında bobin akımlarının gözlenmesi (a) I_{L1} ve I_{L1} akımları, b) I_{BAT} akımı)	68
Şekil 4.12. Farklı yüklerde 200V-250V gerilim geçiş grafiği	69
Şekil 4.13. Farklı yüklerde 150V-100V gerilim geçiş grafiği	69
Şekil 4.14. Deşarj durumunda batarya deşarj akımı ve çıkış gerilimi	71
Şekil 4.15. Transformatör test düzeneği devre şeması	72

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Transformatörün üstten ve perspektif görüntüsü	31
Resim 3.2. Tercih edilen bobinlerin görüntüsü.....	40
Resim 3.3. STM CubeMX programı ile pin bağlantılarının belirlenmesi	52
Resim 3.4. DA/DA dönüştürücünün bilgisayar ortamında 3D devre görüntüsü	53
Resim 3.5. DA/DA dönüştürücünün devre görüntüsü	54
Resim 3.6. Laboratuvar çalışma alanı görüntüsü.....	54
Resim 4.1. Evirici anahtarlama sinyalleri	73
Resim 4.2. Yüksüz çalışmada 1:1 çalışma sonuçları	73
Resim 4.3. Transformatör yüksüz giriş-çıkış sonuçları	74
Resim 4.4. Yüklü çalışmada 1:1 çalışma sonuçları	75
Resim 4.5. Transformatör yüklü giriş-çıkış sonuçları	76
Resim 4.6. 500W güç değeri için YFT'nin 15 dakikalık sıcaklık değişimi.....	77
Resim 4.7. Farklı görev oranları ile iki hücreli dönüştürücü mosfet tetikleme sinyalleri.....	79
Resim 4.8. İki hücreli dönüştürücünün gerilimi azaltan metodunda bobin giriş akımlarının gözlenmesi	80
Resim 4.9. İki hücreli dönüştürücünün gerilimi azaltan metodunda toplam bobin çıkış akımının ölçülmesi.....	81
Resim 4.10. Yükselten tip dönüştürücü laboratuvar ortamında toplam bobin akımının gözlenmesi.....	83
Resim 4.11. Yükselten tip dönüştürücü laboratuvar ortamında bobin akımlarının gözlenmesi.....	84

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A_C	Çekirdeğin Etkin Kesiti
A_L	Elektrik Endüktans Faktörü
B	Manyetik Akı Yoğunluğu (Tesla)
ΔB	Transformatör Manyetik Alan Yoğunluğu
D	Görev Oranı
d_{max}	Maksimum Görev Oranı
e^-	Elektron
f_s	Anahtarlama Frekansı
f	Frekans (Hz)
H	Hidrojen
HSO_4^-	Hidrojen Sülfat
H_2O	Hidrojen Monoksit
ΔI_L	İndüktör Salınım Akımı
$I_{o,max}$	Maksimum Çıkış Akımı
I_i	Giriş Akımı
I_o	Çıkış Akımı
$I_{o,c}$	Kondansatör Çıkış Akımı
I_{L1}	Birinci Bobin Çıkış Akımı
I_{L2}	İkinci Bobin Çıkış Akımı
J	Akım Yoğunluğu (A/m^2)
K	Doldurma Katsayısı
$Li-ion$	Lityum İyon
$MnZn$	Mangan-Çinko
N_p	Primer Sarım Sayısı
$Na-S$	Sodyum-Sülfür
$Na-NiCl_2$	Sodyum-Nikel Klorit

Simgeler**Açıklamalar****Ni– Cd**

Nikel-Kadmiyum

Ni– Mh

Nikel-Metal Hidrür

Ni– Fe

Nikel-Demir

PbSO₄

Kurşun-Sülfat

Pb

Kurşun

P₀

Çıkış Gücü (W)

η

Verim

ρ

İletken Öz Direnci

δ

Bakır İletkenin Deri Kalınlığı

W_aA_c

Güç Hacmi

V_{i,min}

Uygulanan Minimum Voltaj Değeri

V_o

Çıkış Gerilimi

V_i

Giriş Gerilimi

Zn– Br₂

Çinko-Bromit

Kısaltmalar**Açıklamalar****AA**

Alternatif Akım

DA

Doğru Akım

DOC

Şarj Derinliği (Depth of Charge)

EMC

Elektromanyetik Uyum (Elect. Mag. Compatibility)

L

İndüktans

P

Oransal (Proportional)

PV

Fotovoltaik

RMS

Ortalama Karakök Değeri (Root Mean Square)

PWM

Darbe Genişlik Modülasyonu (Pulse With Mod.)

SOH

Şarj Durumu (State of Charge)

SMD

Yüzey Montaj Elemanı (Surface Mount Device)

I

İntegral (Integral)

PHS

Depolanmış Enerji Hidroelektriği

CAES

Basınçlı Hava Enerji Deposu

Kısaltmalar**Açıklamalar****VRB**

Vanadyum Redoks Batarya

RFC

Redoks Akış Hücreleri

1. GİRİŞ

Enerji depolama sistemleri, elektrik enerjisini depolayarak daha sonra kullanıma sunan sistemler olup, bu sistemleri elektrik üretiminden tüketimine kadar çok geniş bir alanda görmek mümkündür. Enerji depolama birimleri, elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtımında arz güvenliğinin sağlanması, sistem kararlılığının iyileştirilmesi, enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması gibi amaçlar için kullanılırken endüstride enerji kesilmelerinde devreye giren kesintisiz güç kaynaklarında yedek enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Diğer taraftan elektrik enerjisine ihtiyaç gösteren her türlü kara, deniz, hava taşıtlarında, kablosuz el aletleri ile ev cihazlarında ve mobil telefon, diz üstü bilgisayar gibi kişisel kullanım araçlarında güç kaynağı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bataryalar yüksek enerji yoğunluğu/hacim oranına sahip olmaları, şarj/deşarj tepkilerinin hızlı olması gibi nedenlerle, uzun süre enerji ihtiyacı gerektiren uygulamalarda en çok tercih edilen enerji depolama elemanıdır. Bataryalar üretim tekniklerine bağlı olarak farklı enerji yoğunluklarına sahip olabildikleri gibi, kullanım ömürleri de farklılık göstermektedir. Bataryaların ömürlerini, kimyasal içeriği, çevresel koşullar, üretim yılı gibi faktörler belirlemekle birlikte bataryaların şarjdeşarj çevrimi de kullanım ömrü üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu çevrim şarjdeşarj işleminin uygulanma süresine, karakteristiğine ve bataryaların bulunduğu ortamın çevre koşullarına göre farklılık göstermektedir. Bu nedenle çevre koşullarının da göz önünde bulundurularak en uygun yöntemin belirlenerek uygulanması, sağlıklı bir şarjdeşarj uygulaması için önem arz etmektedir. Bir batarya şarj ünitesinin verimli ve güvenilir olmasının yanında, güç yoğunluğunun yüksek olması, ağırlık, hacim ve maliyetlerinin düşük olması gerekmektedir. Bu özellikler devrede kullanılan malzemelere, anahtarlama ve kontrol yöntemlerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Batarya şarj sistemleri enerji akış yönüne bağlı olarak tek yönlü ve çift yönlü şarj sistemleri olarak sınıflandırılmaktadır. Tek yönlü şarj sistemlerinin yapısı basit olup daha az eleman gerektirmekte ve karmaşık kontrol sistemlerine ihtiyaç duymamaktadır. Bu tür sistemler genellikle çift yönlü enerji akışına ihtiyaç duyulmayan kişisel kullanım araçlarında kullanılmaktadır. Mikroşebekeler, elektrikli araçlar, kesintisiz güç kaynakları çift yönlü enerji akışının sağlandığı sistemler olup, bu tür sistemlerde batarya enerjisinin azalması durumunda şebekeden bataryalara doğru enerji akışı gerçekleşmektedir. Diğer taraftan şebeke gücünün azalması veya kaybolması durumunda da bataryalardan şebekeye doğru bir güç akışı meydana gelmektedir.

Günümüzde elektrikli araçların gelişmesi, doğrusal olmayan yüklerin artışına bağlı olarak şebeke kalitesinin düşmesi, mikroşebeke yapılarının artış göstermesi enerji depolama birimlerine olan ihtiyacı da artırmaktadır. Bu nedenle son zamanlarda batarya üretim teknolojilerinin yanında batarya şarj üniteleri ve batarya yönetim sistemleri üzerine yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Tashakor ve arkadaşlarının çalışmalarında birden fazla batarya bulunduğu elektrikli araçlarda bataryaların ayrı ayrı şarj edilmesine imkân veren modüler bir çift yönlü şarj sistemi geliştirilmiştir [1]. Geliştirilen sistem, her bir bataryanın ayrı ayrı şarj edilmesine imkân vermesine karşılık, her batarya için ayrı anahtarlama elemanına ihtiyaç duyulduğundan sistem boyutları büyümekte, ağırlığı artmakta ve kontrol yapısı karmaşık olmaktadır. Diğer taraftan şebeke ile bataryalar arasında manyetik yalıtım olmaması sistemin güvenilirliğini azaltmaktadır [2]. Manyetik yalıtımın olması şebeke ile batarya arasında filtre görevi görürken, şebeke harmoniklerinin batarya tarafına iletilmesini en aza indirmektedir. Ayrıca aşırı besleme gibi arıza durumunda güç akışı transformatörün kapasitesi oranında artmakta, devre elemanlarının ısınma miktarları limitler çevresinde kalarak devre elemanları ve bağlı olduğu yapı korunmaktadır [3]. Bataryanın karakteristiğine bağlı olarak uygun şarj yöntemlerinin seçilmesi batarya ömrünü, ulaşılabilir enerji miktarını ve verimini artırmaktadır. Kullanıcı güvenliğini sağlayarak, patlama, zehirli gaz çıkışı ve aşırı ısınma durumlarının önüne geçilmektedir. Bakım gerektiren bataryaların bakım sürelerini uzatarak maddi kayıpları en aza indirmektedir. Bu nedenle batarya şarj işlemlerinde bataryalara uygulanan enerji akışının kontrol edilmesi gerekmektedir [4]. Batarya yapılarına bağlı olarak farklı şarj uygulamaları gerçekleştirilmekle birlikte, çoğunlukla sabit akım ile şarj, sabit gerilim ile şarj ve dalgalı şarj şeklinde uygulamalar ağırlık kazanmaktadır. Batarya ömrünü uzatabilmesi amacıyla daha verimli ve uygun şarj algoritmalarını içeren iki veya daha fazla metodun kullanıldığı şarj uygulamaları da bulunmaktadır. Bu sayede batarya tipine ve özelliğine göre daha uygun şarj uygulamaları yapılabilmektedir. Uygulanan algoritmalar yardımıyla bataryalar için sağlıklı, verimli ve güvenilir bir şarj işlemi gerçekleştirilirken, kritik öneme sahip batarya ömründe de belirli oranda iyileştirme sağlanabilmektedir [5, 6].

Elektrik enerjisinin üretiminden tüketimine kadar geçen süreçte AA kullanılmasının en önemli gerekçesi transformatörler yardımıyla farklı gerilim seviyelerine kolaylıkla dönüştürülebilmeleridir [7]. Güç sistemlerinde genellikle düşük frekanslı transformatörler AA gerilim seviyesini değiştirmek ve giriş çıkış gerilimi arasında izolasyon sağlamak amacıyla ana dönüştürücü olarak kullanılmaktadır. [8]. Bu transformatörlerin yapıları basit,

verimleri yüksek, güvenilir ve sık bakım gerektirmezler [9, 10]. Fakat, transformatör çekirdeği ve sargılarında yüksek miktarda metal kullanımından kaynaklanan taşıma, ilk kurulum ve üretim zorluğunun yanında son zamanlarda gelişim gösteren dağıtık üretim kaynakları, akıllı şebekeler ve DA şebekeler gibi yeni nesil güç sistemlerinde kullanılamaması gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bu tür sistemlerde güç akışının ve güç kalitesinin kontrol edilebilmesi için yarı iletken devre elemanlarından faydalanılmaktadır. Günümüzde DA transformatörleri olarak ta tanımlanan güç elektroniği transformatörleri (GET) yardımıyla giriş ve çıkış birimleri arasında galvanik izolasyon sağlanırken, güç akışı ve kalitesi de kontrol edilebilmekte, DA şebekelerde farklı gerilim seviyelerinde batarya şarj/deşarjı ve dağıtık üretim birimlerinin şebeke bağlantıları gibi işlemler gerçekleştirilebilmektedir. GET'ler yarı iletken devre elemanları ve yüksek hızlı transformatörden meydana gelen bir dönüştürücü yapısıdır [11]. GET'ler, klasik transformatörler gibi güç dönüştürücü olarak kullanılmasının yanında çok portlu yapısı sayesinde birden fazla dağıtım, üretim birimi, enerji depolama elemanı ve yükler arasında enerji akışına imkân vermektedir. Ayrıca yapısında bulunan güç elektroniği elemanlarının uygun şekilde kontrol edilmesiyle geniş bir aralıkta güvenli ve verimli güç kontrolü sağlanmaktadır. Çalışma frekansının artırılabilmesi ile filtre elemanlarının daha küçük seçilebilmesini ve düşük hacimlerden yüksek enerji dönüşümleri yapılabilmesine olanak tanımaktadır [12]. Literatürde GET'ler üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, transformatörler giriş çıkış yalıtımının yanı sıra [13-15], gerilimin yükseltilmesinde [16], gerilimin azaltılmasında [17] ve birden çok bağlantılı hibrit sistemler oluşturulmasında [13] kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca transformatör içeren uygulamalarda paralel bağlantı ile enerji dönüşüm miktarının artırılması [15, 18] bazı çalışmalarda ise seri bağlantı gerçekleştirilerek yüksek gerilim taşıyan enerji hatlarında kullanılabilmesini sağlamıştır [14]. Güç sistemlerinin temel parçası olan iletim-dağıtım aşamalarının yanı sıra GET'lerin kullanımı, yenilenebilir enerji kaynaklarında da gittikçe yaygınlaşmaktadır [19]. Ayrıca çift yönlü GET'ler enerji depolama birimi barındıran sistemlerde de tercih edilmektedir [20]. Çift yönlü güç akışına ek olarak, GET'lerin galvanik izolasyon sağlaması, bağımsız üreteç gerektiren uygulamalar için büyük bir avantaj olarak ortaya çıkmaktadır. Bunlara ek olarak çoklu giriş/çıkış uçlarına sahip GET'ler yardımıyla değişik dağıtık üretim kaynakları ve yükler aynı şebekeye bağlanabilmektedir [9].

Yarı iletken teknolojilerindeki gelişmeler, enerji depolama avantajları, DA ile çalışan cihazların yaygın olarak kullanılması, enerji iletim dağıtımında sağladığı avantajlar gibi

çeşitli nedenlerden dolayı enerji iletim/dağıtımında DA enerji kullanımı yaygınlaşmaktadır. Çağımızda DA enerjisinin kullanımı mikroşebekelerden, kara, hava ve deniz ulaşım araçlarına kadar oldukça geniş bir alana yayılmıştır. Fotovoltaik sistemler gibi DA dağıtık üretim kaynaklarının, bataryalar gibi enerji depolama elemanlarının veya DA yüklerin DA şebeke ile bağlantıları genellikle DA/DA dönüştürücüler yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Bu dönüştürücüler girişlerindeki DA gerilimi yükün ihtiyaç duyduğu DA gerilime dönüştürmektedirler. DA/DA dönüştürücüler açık deniz rüzgâr türbinlerinde [21], otomobillerde [22, 23], orta ve yüksek güç sistemlerinde [24, 25], haberleşme güç sistemlerinde [13], gemi güç sistemlerinde [26], yakıt hücresi güç sistemlerinde [27] ve elektrikli sürücüler gibi [28] birçok alanda yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. DA/DA dönüştürücülerin temel görevi kaynak ile yük/şebeke arasında kaynak ve yükün ihtiyaçları doğrultusunda gerekli enerji akışını verimli ve ekonomik bir şekilde sağlamaktır. Bu dönüştürücüler yardımıyla kaynak ve yük arasındaki enerji kalitesi kontrol edilebildiği gibi, kaynaktan maksimum enerji çekmek için gerekli tasarımlarda mümkün olmaktadır. Bataryaların DA şebeke bağlantılarında genel olarak DA/DA dönüştürücülerden faydalanılmaktadır. [29]'da üç girişli bir DA/DA dönüştürücü modeli önerilmiştir. Bu dönüştürücü yapısı batarya ve güneş panelleri için yapılmış ve giriş gerilimini yükseltme özelliğine sahiptir. Şebeke uygulamalarında az sayıda batarya veya güneş panelleri ile kullanımı uygun bir yapıdır. [23]'de yakıt hücresi ve bataryaya dayalı ve tramvay için tek bir DA/DA dönüştürücüyü entegre eden hibrit elektrik sistemi sunulmuştur. Bu dönüştürücü; yükselten dönüştürücü, motor sürücüsü, yakıt hücresi sistemi, yardımcı sistemler ile enerji yönetim sistemi bölümlerinden oluşmaktadır. Yüksek güçlü uygulamalarda enerji yönetim sistemi gerek sistemin sağlıklı çalışması gerek batarya sağlığı açısından önem arz etmektedir. [30]'da kullanılan DA/DA yükselten tip dönüştürücü, güç kapasitesi veya voltaj seviyesi farklı olan çeşitli enerji kaynaklarını birleştirmek için kullanılmıştır. [31]'te, amacı küçük bir otonom yük beslemek olan hibrit yakıt hücresi/batarya sistemi için üç kapılı izole edilmiş tam köprü topolojisi önerilmiştir. Bu topoloji, her bir hücrede aktif tam köprüyle çift yönlü güç akışının avantajı kazandırılmıştır. Tan ve arkadaşlarının çalışmalarında tek fazlı tam köprü izoleli dönüştürücü modeli sunulmuştur. İki yönlü dönüştürücülerde toplam verim şarj ve deşarj performansı ile orantılı olduğu ve gerilim dönüşümünün gerçekleştiği her bir basamağın verimi düşürdüğü değerlendirilmiştir [32]. Devrede kullanılan transformatörler yük bozulmalarına karşı yük dinamikleri ve geçici akımlar altında anlık gerilimlerin düzenlenmesinde aktif rol oynamaktadır. Diğer taraftan reaktif yük koşulları için giriş güç faktörünü stabil tutarken, doğrusal olmayan yük koşullarında saf sinüzoidal giriş akımı temin

etmektedirler. Çalışma dengesiz yük durumuna karşı aşırı yük ve çıkış kısa devresine karşı korurlar. Ayrıca kaynak bozulmaları durumları için ise gerilim düşümü telafisi, enerji kesintisi telafisi ve kondansatör anahtarlama koruması sağlamaktadır [33].

Bu tezde çift yönlü enerji akışı gerektiren depolama elemanlarının kullanıldığı elektrikli araçlar, kesintisiz güç kaynakları ve mikroşebeke gibi sistemler için yeni çift yönlü bir DA/DA dönüştürücü topolojisi önerilmiş ve uygulanmıştır. Gerçekleştirilen sistem, birbirine yüksek frekans transformatörü (YFT) aracılığı ile bağlı, iki adet çift yönlü AA/DA ve DA/AA modlarında çalışabilen tam köprü dönüştürücü ve aynı şekilde çift yönlü çalışabilen iki hücreli DA/DA alçaltan/yükselten dönüştürücünün kaskad bağlantısından meydana gelmektedir. Dönüştürücünün farklı gerilim seviyelerinde çalışmasını sağlamak amacıyla transformatörün birincil ve ikincil sargıları üçer sargılı olarak tasarlanmıştır. Uygulama devre düzeneğinde tercih edilen transformatör tipi, galvanik yalıtım ve farklı gerilim seviyelerinde dönüşümü sağlamanın yanında, normal transformatörlere kıyasla yüksek frekanslarda çalışabilmesi küçük boyutlardan daha yüksek enerji dönüşümüne olanak vermesi gibi avantajlara sahiptir. Tasarımı yapılan sistemde batarya tarafına bağlı kontrol edilebilir çift yönlü iki hücreli dönüştürücü, transformatörde ayarı yapılamayan ara voltaj değerlerinin ayarında kullanılmış, iki hücreli yapısı sayesinde batarya şarj-deşarj gerilim ve akım kalitesi artırılmıştır. Tez sonucunda 100V-300V gerilim aralığında çalışabilen 2kVA gücünde iki yönlü bir dönüştürücünün benzetim ve prototip üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın 2.bölümünde bataryalar hakkında genel bilgilere yer verilmiştir. Şarj edilebilen ve şarj edilemeyen bataryalar ile yakıt hücreleri anlatılmıştır. Daha sonra benzetim ve uygulamada tercih edilen batarya tipi olan kurşun asit bataryanın özellikleri ile bataryanın matematik modeli verilmiş ve batarya enerji yönetim sistemleri açıklanmıştır. 3. bölümünde YFT'li bir batarya şarj sistemi tasarımı anlatılmıştır. Bu kapsamda prototipte kullanılan YFT için güç hacmi, çekirdek seçimi, iletken seçimi ile iletken sarım sayısı hesaplamalarına yer verilmiştir. Transformatörler, DA/DA dönüştürücüler, PI denetleyici sistemleri anlatılarak PI kontrol metodu ve kontrol parametrelerinin elde edilmesi detaylı şekilde ele alınmış ve matematiksel denklemler ile ifade edilmiştir. 4.bölümde benzetim ve uygulama sonuçları şarj vedeşarj olarak iki ana bölümde ele alınarak elde edilen şarj vedeşarj grafikleri verilmiştir. Sistemin çalışması, bileşenleri ve kontrol yöntemi incelenmiş çalışmadan elde edilen grafik ve analiz çalışmalarına yer verilmiştir. Sonuç ve değerlendirme bölümünde ise simülasyon ve uygulamadan elde edilen genel sonuçlar ve tezden elde edilen çıkarımlar anlatılmıştır. Prototip cihazın batarya şarj/deşarj özelliği ile programlanabilir yapısı ile batarya dışında kullanılabilecek kullanım alanlarından bahsedilerek tamamlanmıştır.

2. BATARYALAR VE YÖNETİM SİSTEMLERİ

Fosil enerji kaynaklarının tükenmesi ve günden güne artan enerji talebi, dağıtık üretim kaynaklarının, özellikle de yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygın kullanımında etkin rol oynamıştır. Fakat gerek bu kaynaklardaki süreksiz üretim nedeniyle meydana gelen enerjideki kesintiler, gerekse mevcut kaynaklardan maksimum derecede faydalanabilmek amacıyla bu tür sistemler depolama ünitelerine ihtiyaç göstermektedir. Bataryalar hacimsel enerji yoğunluğu bakımından kapasitesinin yüksek olması ve diğer enerji depolama yöntemlerine oranla maliyetinin daha düşük olması nedeniyle geniş bir kullanım alanına sahiptirler.

2.1. Batarya Çeşitleri

Bataryalar, kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren cihazlar olup bu cihazlardan kimyasal enerji bir kap içinde depo edilmekte ve ihtiyaç doğrultusunda elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanılmaktadır. Üretim ve kullanım şekillerine bağlı olarak bataryaları 3 grupta tanımlamak mümkündür: Birincil (tek kullanımlık) bataryalar, ikincil (şarj edilebilir) bataryalar ve yakıt hücreli bataryalar.

2.1.1. Birincil bataryalar

Tekrar şarj edilemeyen bataryalara birincil bataryalar adı verilir. Elektrik bataryada potansiyel kimyasal bağ şeklinde; bataryanın aktif malzemeleri arasında depolanır. Batarya deşarj edildikçe, kimyasal bileşimlerinde değişimler olur. Fakat birincil bataryalarda kimyasal reaksiyon tersinir değildir. Tersinir olmaması nedeniyle enerji akışı tek yönlüdür ve tekrar şarj edilemezler. Birincil bataryaların maliyetleri düşüktür, fakat kullanım ömürleri tek sefere mahsustur. Örnek olarak bu batarya tiplerine, ışıltak lambalar, radyolar, oyuncak arabalarda kullanılan lityum, alkalin ve çinko piller örnek olarak gösterilebilir.

2.1.2. İkincil bataryalar

İkincil bataryalar şarj edilebilir batarya tipidir. Yaygın olarak tercih edilen tipleri sulu bataryalardır. İçten yanmalı taşıtlarda, motor çalışmadığı durumlarda elektrik ihtiyacının karşılanması, motora ilk hareketin vermesi için kullanılan sulu kurşun-asit bataryalar ve

elektrikli aletler gibi mobil cihazlarda kullanılan sulu nikel-kadmiyum bataryalar örnek gösterilebilir. Genellikle katı elektrolitler sulu sıvı elektrolit içeren bir kaptaki bir veya birden çok hücre şeklinde bulunurlar. İstisna olarak bu batarya tipine susuz olan, lityum iyon bataryalar örnek olarak gösterilebilir. Lityum iyon bataryalar yaygın olarak dizüstü bilgisayarlarda ve mobil telefonlar gibi ileri teknolojilerde kullanılmakta ve hızla yaygınlaşmaktadır. Kurşun-asit ve lityum-iyon bataryaların yanı sıra günlük hayatta daha az kullanıma sahip batarya teknolojilerine ise nikel-kadmiyum, nikel-metal hidrür ve lityum-polimer bataryalar örnek olarak söylenebilir.

Şarj edilebilir bataryalar içlerindeki kimyasal yapılarına göre farklı özellikler göstermektedir. Bu özelliklerin en önemlileri birim hacim başına enerji depolama miktarları, bekleme ömürleri, şarj-deşarj çevrim ömürleri ve ilk kurulum maliyetleridir. Tablo halinde belirtilen önemli özelliklerine göre geleneksel batarya teknolojilerinin kıyaslanması Çizelge 2.1’de verilmiştir [34].

Çizelge 2.1. Enerji depolama sistemlerinin önemli parametrelerinin karşılaştırılması

Sistem	Ömür, Yıl	Çevrim	Enerji Verimi, %	İlk Kurulum Maliyeti, \$/kWh
PSH	50	20 000	80	250-350
CAES	25	10 000	65	200-250
Kurşun-asit	15	2 000	85	400-600
Ni-Cd	20	2 000	85	1 200-1 500
Li-ion	15	2 500	90	1 250-1 500
Na-S	10	4 000	75	600-800
Na-NiCl ₂	10	4 000	75	750-1 000
VRB	15	10 000	70	750-850
Zn-Br ₂	7	3 000	70	600-800

Geleneksel batarya teknolojileri arasında kurşun asit bataryaların enerji yoğunluğu Çizelge 2.2’ye göre diğer batarya teknolojilerine kıyasla azdır [35]. Fakat Çizelge 2.1’de önemli özelliklerine göre kıyaslaması verilen batarya tipleri arasında kurşun asit bataryalar yapısında kurşun metalinin bulunması ve bu metalin kolay ulaşılabilir ucuz bir malzeme olması nedeniyle tercih edilen bir batarya tipidir.

Çizelge 2.2. Geleneksel batarya teknolojilerinin kıyaslanması

Batarya Tipi	Hücre Voltajı	Enerji Yoğunluğu
Kurşun-Asit	2,0V	25
Ni-Cd	1,2V	27
VRLA	2,0V	54
Ni-MH	1,2V	135
Lityum-polimer	2,5V	117
Li-ion	3,6V	230

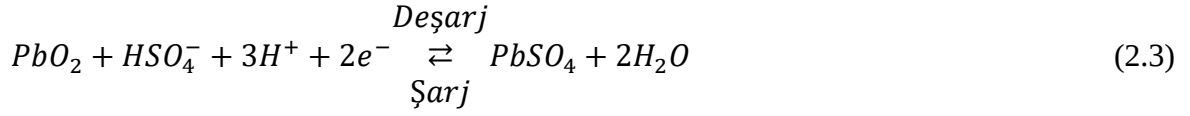
Kurşun asit bataryalar yüksek oranda geri dönüşüme kazandırılabilir ve hammadde tedariki kolaydır. Bu nedenle kolay ulaşılabilir bir batarya tipidir. Yeni üretim teknikleriyle kurşun asit sulu bataryaların jel tipi bataryalara geçilmesi ile birlikte verim, çevrim ve bekleme ömürlerinde artış olmaktadır. Ayrıca jel tipi bataryalar sulu bataryalara göre bakım gerektirmemesi, %85 gibi yüksek bir enerji verime sahip olması, şarj-deşarj durumlarında tehlike yaratmaması ve ilk kurulum maliyetinin düşük olması nedeniyle depolama birimi olarak kullanımına yaygın olarak devam edilmesi öngörülmektedir. Bu avantajları nedeniyle tez çalışmasında jel tipi bakım gerektirmeyen kurşun asit bataryalar seçilmiştir.

Kurşun asit bataryalar pozitif ve negatif tabakaların bir ayırıcı ile ayrılması ile oluşturulur. Bir kap içerisine yerleştirilerek içerisine sülfürik asit içeren batarya sıvısı eklenir. Bu şekilde kurşun asit bataryalar oluşturulmuş olur. Kurşun asit bataryalarda başlıca iki tepkime gerçekleşmektedir. Bu tepkimeler suyun elektrolizi (Denklem 2.1) ve $PbSO_4$ (Kurşun Sülfat) oluşum (Denklem 2.2) tepkimeleridir.



Kurşun asit bataryalar kurşundan oluşan elektrotlar ile kurşun dioksitten oluşan elektrolitler arasında kimyasal tepkime meydana gelmesi ile enerji dönüşümü gerçekleştirilir. Kurşun asit bataryaların elektrotlarında meydana gelen şarj/deşarj reaksiyonları Denklem 2.3 ve Denklem 2.4’de verilmiştir [34].

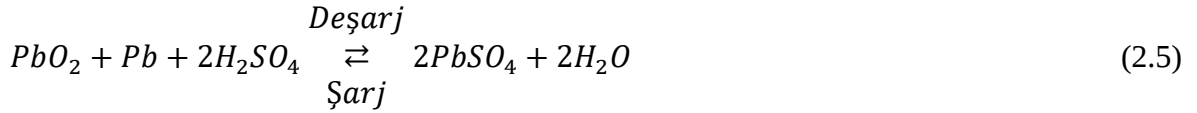
PbO_2 elektrot:



Pb elektrot:



Genel tepkimeyi ise şu şekilde oluşturabiliriz:



Kurşun asit bataryaların enerji yoğunluğu 35-40Wh/kg (80-90Wh/l) güç yoğunluğu 250W/kg (500W/l) dir. -30 °C ile 40 °C arasında iyi performans gösterir. %85 değerinde şarj kabulü yapabilirler. 1 500-5 000 çevrime kadar kullanılabilen bu bataryaların güvenilirliği kanıtlanmış olup batarya maliyetleri kWh başına 150\$-200\$ arasındadır. Şarj üniteleri ile beraber 400 \$-600 \$ arasında bir ilk kurulum maliyeti bulunmaktadır [34].

Diğer bir ikincil batarya örneği olan indirgenme reaksiyonlu (redox) veya rejeneratif (yenileyici) batarya olarak tanımlanan bataryalar ise harici olarak depolanmış bir elektrolitin bir sıvı akış pompası yardımı ile enerji üretiminin gerçekleştiği bir bölmeye gönderen ve bu bölmede elektrolitik malzemenin indirgenme reaksiyonu ile elektrik üretildiği sistemlerdir [36]. İndirgenebilir bataryalar harici olarak depolanmış bir yakıtın tedarik edilmesini ve iyon seçici zar ile ayrılmakta ve elektrotlardaki indirgeme reaksiyonlarına maruz kalırlar. Bu nedenle elektrik enerjisi üreten iki çözünür indirgenebilir elektrolitik içerdikleri için elektrokimyasal olarak yenilenebilir batarya olarak da adlandırılırlar. Elektrokimyasal işlemler için elektrotların bulunduğu bölmede bir iyon değişim zarı bulunması nedeniyle indirgenme reaksiyonlu bataryalar, yakıt hücrelerinden ayırt edilir. Ancak, söz konusu elektrokimyasal reaksiyonların geri dönüşümlü olması, yani genel olarak ikincil batarya tipindedirler ve bu nedenle elektro aktif madde değiştirilmeden şarj edilebilirler. Muhtemel elektrokimyasal depolama cihazları olarak kabul edildikleri için çok düşük gidiş-dönüş etkinlikleri (indirgenme reaksiyonu olan akışkan bataryalarda %70-85'e kıyasla %40'dan

az), bu bataryaları büyük ölçekli enerji depolama uygulamaları için kullanışlı bir batarya olarak gösterilebilir.

Hidrojen enerjili elektrikli araç uygulamaları uzun vadede hala göz önünde bulundurulmasına rağmen, pratik uygulamalarında hala hidrojenin üretilmesi, depolanması ve taşınması için teknik çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Japonya'da redoks akış hücresi kavramı, uzun yıllardan beri araştırılmıştır. Redoks akış bataryası, 1980'lerde ve 1990'larda, özellikle Japonya'da, çeşitli NEDO projeleri kapsamında, küçük ve orta ölçekli saha testlerine ve gösterilerine yol açan önemli gelişmeler görmüştür. Tamamen çözülebilir pozitif-negatif elektrolit tankları ve kimyasal reaksiyona girmeyen elektrotlar kullanıldığından, ikincil batarya sistemlerine kıyasla istenmeyen elektrot işlemleri ortadan kalkar. Sistem enerji depolama kapasitesi, reaktiflerin konsantrasyonları ve depolama tanklarının büyüklüğü ile belirlenirken, sistem gücü, bir batarya yığını içindeki ayrı hücrelerin sayısı ve elektrot alanları ile belirlenir. Sonuç olarak, akış hücresinin depolama kapasitesini ve güç çıkışını bağımsız olarak optimize etmek mümkündür. Bu özellik, pozitif ve negatif depolama tankı barındıran pillerini, her uygulama için özel güç ve enerji gereksinimi sağlama yetenekleri bakımından benzersiz kılar. Depolama kapasitesi sadece daha fazla elektrolit eklenerek arttırılabilir, bu nedenle her bir ek enerji depolama kapasitesi biriminin artan maliyeti diğer batarya teknolojilerinden daha düşüktür. Bu nedenle, sistemin kWh başına maliyeti, artan depolama kapasitesiyle önemli ölçüde azalır, bu da akış pilini 4-6 saatten daha fazla depolama süresi gerektiren uygulamalar için çekici kılar [36].

2.1.3. Yakıt hücreli bataryalar

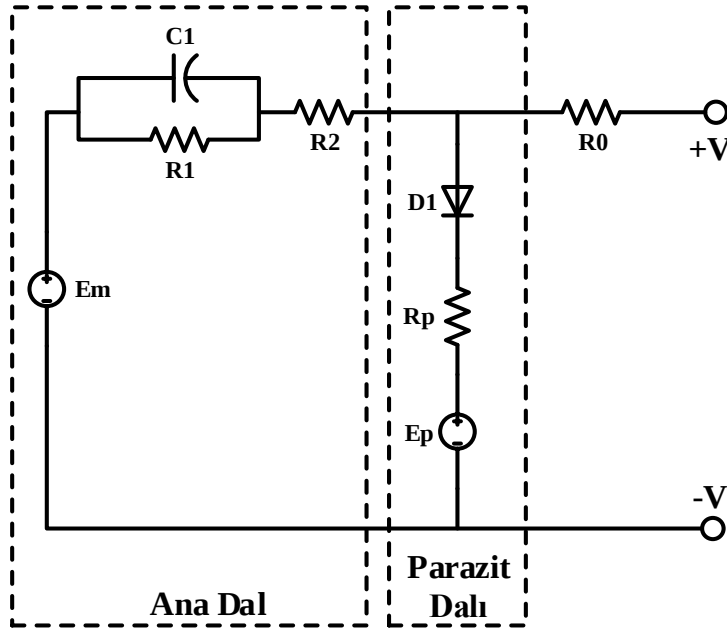
Yakıt hücresi kimyasal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Verimleri yüksek, düşük emisyon değerine sahip doğa dostu bir teknolojidir [37]. Birden fazla yakıt hücresinin seri ve paralel bağlantılar ile oluşturulduğu batarya tipine yakıt hücresi bataryası adı verilir. Yaygın olarak ana güç tesislerinde, elektrikli ve hibrit araçlarda, yedek güç ünitelerinde, şebeke dışı güç kaynaklarında kullanılırlar. Hücre verimleri yüksektir. Ancak hücre verimliliği çekilen güç ile doğru orantılıdır. Diğer bir deyişle yakıt hücresinin yüke düşük güç sağlandığı durumlarda verim fazla, yüksek güç sağlandığı durumlarda ise verimleri azdır. Yakıt hücrelerinin hücre voltajları düşüktür. Kullanılabilir seviyelere çıkarmak için seri bağlantı yapıları kullanılır. Yakıt hücreleri batarya olarak optimize edildiklerinde harici DA/DA dönüştürücülere ihtiyaç duyarlar. Bu dönüştürücüler yakıt

hücrelerinin çıkışına bağlanır ve çıkış voltajı ile çıkış gücünün kontrol edilmesini sağlar [38]. Bu nedenle alınan gerilim değerinin kullanılabilir seviyelere yükseltilebilmesi DA/DA dönüştürücü tiplerinden biri olan yükselten tip dönüştürücüler ile gerçekleştirilir [39]. İhtiyaç duyulan güç, ağırlık, kullanım yeri gibi birçok faktöre bağlı olarak kimyasal içeriği ve yapısı farklı yakıt hücresi tipi bulunmaktadır. Uzay araçlarında alkalın yakıt hücresi, taşıt ve mobil uygulamalarda proton değişim zarlı yakıt hücresi, düşük güç gerektiren taşınabilir elektronik cihazlarda kullanımı uygun olan direk metanol yakıt hücresi, yüksek güçlü uygulamalarda fosforik asitli yakıt hücresi, orta ve yüksek güçlü uygulamalarda erimiş karbonatlı yakıt hücresi, orta güçlü ve yüksek sıcaklıklarda ise kullanımı uygun olan katı oksitli yakıt hücreleri kullanılmaktadır [40].

2.2. Bataryaların Modellenmesi

Bataryaların bağlı olduğu devrede gösterebilecekleri tepkiler ve bataryanın bulunabileceği değişken koşullara göre uzun yıllar kullanılabilmesi için batarya karakteristiklerinin bilinmesi ve kolay analiz edilebilmesi amacıyla modellenmesi önemlidir. Her batarya tipi farklı özellikler gösterir. Bu nedenle bataryalar üretim ve içerdikleri kimyasal yapılarına göre farklı matematiksel denklemler ile ifade edilirler. Modellemede kaynak gerilimleri, direnç elemanları ve kondansatör devre elemanlarından yararlanılır ve eşdeğer devre modeli çıkarılır. Eş değer devre modelinde değişken kaynak gerilimi, kapasite, elektrolitik malzeme, sıcaklık, çekilen veya depolanmak istenen akım miktarı ile batarya karakteristiklerine göre batarya modelini analiz edilir. Her batarya modeli, batarya tipine ve üretim biçimine göre değişiklik gösterir.

Yaygın olarak kullanılan ve uygulaması gerçekleştirilen tezde tercih edilen kurşun asit bataryanın matematiksel modeli verilmiştir. Bu bölümde kullanılan kurşun asit batarya modeli verilmiştir. Kurşun asit bataryaların elektriksel karakteristiğinin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla eşdeğer devreler ile gösterilebilir. Bu amaçla oluşturulan kurşun asit bataryaların eşdeğer devre şeması Şekil 2.1’de görülmektedir [41].



Şekil 2.1. Kurşun-asit bataryaların eşdeğer devre şeması

Bataryaların gösterdikleri karakteristikler birçok değere göre değişiklik gösterebilir. Bu özelliklerin başında bataryanın sıcaklık, deşarj derinliği (DOC), şarj durumu (SOC) ve bataryanın üzerinden geçen akım değerleridir. Bu değerlerdeki farklılıklar eşdeğer devrede belirtilen kaynak gerilimini, direnç elemanlarını ve kondansatör değerleri etkilemektedir. Etkilenen bu değerler kullanıcıya sunulan akım ve gerilim değerlerini belirler.

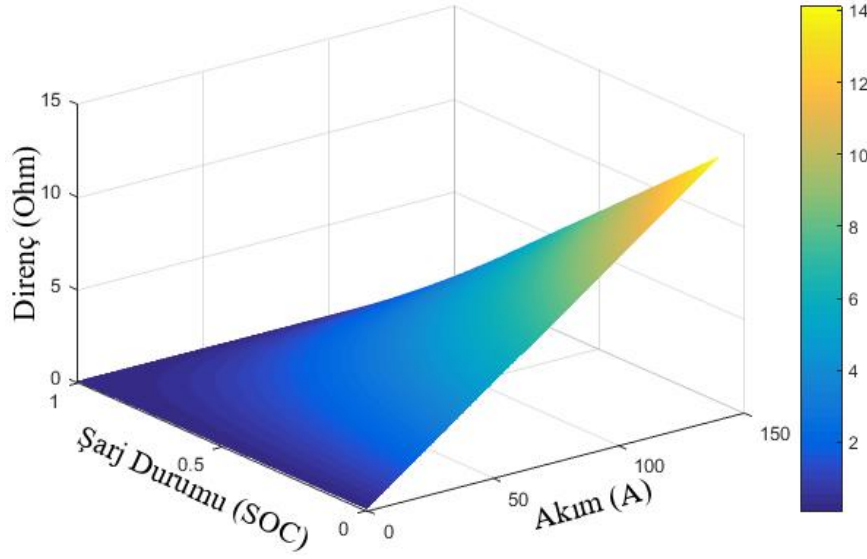
Açık devre gerilimini ifade eden E_m 'yi tam şarj açık devre gerilimi (E_{m0}), sıcaklığa bağlı değişim sabiti (K_E), elektrolit sıcaklığı (θ) ve bataryaların şarj durumunu belirlemektedir (Denklem 2.6).

$$E_m = E_{m0} - K_E(273 + \theta)(1 - SOC) \quad (2.6)$$

R_0 direnci bataryadan çekilen akıma göre kullanıcıya yansıtılan gerilimin ana belirleyicilerinden biridir. Bataryanın şarj durumu ile tam şarj durumunda iken ölçülen R_{00} direnç değerine göre belirlenmektedir (Denklem 2.7).

$$R_0 = R_{00}[1 + A_0(1 - SOC)] \quad (2.7)$$

14 Ah'lık 10 C değerine sahip bir kurşun asit bataryanın R_0 direncinin akım ve şarj durumuna göre çizilen grafik Şekil 2.2' de görülmektedir (R_{00} 0,1 Ω için).



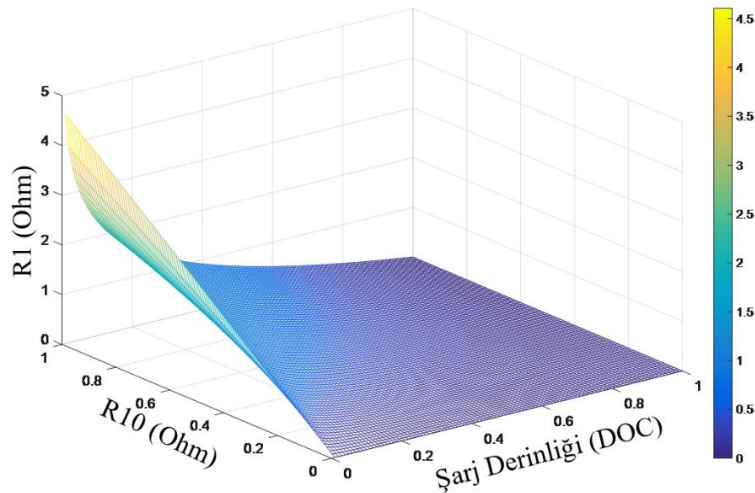
Şekil 2.2. Batarya iç direncinin akım ve şarj durumuna göre değişim grafiği

R_0 değeri akım değeri ile doğru, şarj durumuna göre ters orantılı olarak değişim göstermektedir. Şarj durumumuz (SOC) ne kadar yüksekse bataryanın iç direnci R_0 o kadar düşüktür.

R_1 değeri R_{10} sabitine ve şarj derinliğine (DOC) bağlı olarak değişir (Denklem 2.8).

$$R_1 = -R_{10} \ln(DOC) \quad (2.8)$$

Batarya özelliklerine göre değişebilen R_{10} sabiti ve şarj derinliği (DOC) durumuna göre elde edilen R_1 direncindeki değişim grafiği Şekil 2.3’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. R_1 direncinin R_{10} ve DOC durumuna göre grafiği

Burada R_1 direnci R_0 direnci gibi kullanıcıya sunulan gerilimi belirlemektedir. Aynı zamanda omik bir yük olması nedeniyle kayıp enerji olarak da ifade edilebilir. R_1 ne kadar yüksekse verim düşük ne kadar az ise verim o kadar yüksek olacaktır. R_1 direnci aynı zamanda C_1 kapasitesinin belirlenmesindeki ana faktördür. C_1 ana dal sabitinin (τ_1) R_1 direncine bölünmesi ile elde edilir (Denklem 2.9).

$$C_1 = \tau_1 / R_1 \quad (2.9)$$

C_1 ' deki değişimin batarya özelliklerine göre değişen τ_1 direnç değerinin, formüle edilen (Denklem 2.8) R_1 direncine göre değişimi doğrusaldır. Burada görüldüğü üzere bataryanın sahip olduğu özelliklere göre belirlenen sabit değerler ve hesaplama katılan değişken durumlara göre belirlenen SOC, DOC, θ gibi değerler eşdeğer devre şemasındaki devre elemanlarının değerlerini belirlemektedir. Buna göre hesaplama katılan denklemler yardımıyla genel olarak değerlendirilmesi daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

Kullanıcıya sunulan gerilim değerini, akıma bağlı olarak değiştiren R_0 direncinin yanı sıra R_2 direnci de etkilemektedir. R_2 direnci ana devre direnci olarak da ifade edilebilir. Bu değer şarj durumu arttıkça üstel olarak artar, şarj durumu azaldıkça üstel olarak azalır. Ana daldan akan akım ile de değişim gösteren R_2 direnci Denklem 2.10 ile ifade edilebilir. Burada belirtilen R_{20} , A_{21} ve A_{22} değerleri batarya tipine ve üretim teknolojisine bağlı olarak değişkenlik gösteren sabitlerdir. I^* ise amper cinsinden nominal şarj akımını belirten değerdir.

$$R_2 = R_{20} \frac{\exp[A_{21}(1-SOC)]}{1 + \exp(A_{22}I_m/I^*)} \quad (2.10)$$

Batarya şarj işlemi sırasında parazitik ek bir akım meydana gelir. I_p olarak ifade edilebilen bu değer birçok değişkene bağlıdır. Yaklaşık olarak Denklem 2.11 ile formülize edilebilir. Burada belirtilen V_{PN} parazitik dal akımını, G_{P0} saniye cinsinden sabiti, τ_p parazitik dal zaman sabitini, A_p batarya özelliğine göre sabiti, θ derece cinsinden elektrolit sıcaklığını ve θ_f elektrolitik sıvının donma sıcaklığını belirten değer olarak ifade edilebilir.

$$I_p = V_{PN} G_{P0} \exp\left(\frac{V_{PN}/\tau_p S + 1}{V_{P0}} + A_p \left(1 - \frac{\theta}{\theta_f}\right)\right) \quad (2.11)$$

$Q_e(t)$ (Denklem 2.12) bataryadan alınabilecek şarj akımını zamana bağlı olarak takip eder. Amper-saniye cinsinden ifade edilir. Q_{e_init} başlangıçta alınabilecek şarj akımını, I_m amper cinsinden ana dal akımını ve τ integral zaman sabitini belirtir.

$$Q_e(t) = Q_{e_init} + \int_0^t -I_m(\tau) d\tau \quad (2.12)$$

$C(I, \theta)$ (Denklem 2.13) batarya kapasitesinin sıcaklığa bağımlılığını deneysel olarak modellemek için kullanmıştır. Denklemde bulunan θ elektrolitik sıvı sıcaklığı, I batarya deşarj akımını, I^* amper cinsinden nominal batarya akımını belirtir. C_0 sıfır derece amper/saniye olarak yüksüz kapasiteyi ifade eder. K_c ve δ ise batarya özelliğine göre belirlenen sabit değerlerini tebarüz etmektedir.

$$C(I, \theta) = \frac{K_c C_0 K_t}{1 + (K_c - 1)(I/I^*)^\delta}, K_t = LUT(\theta) \quad (2.13)$$

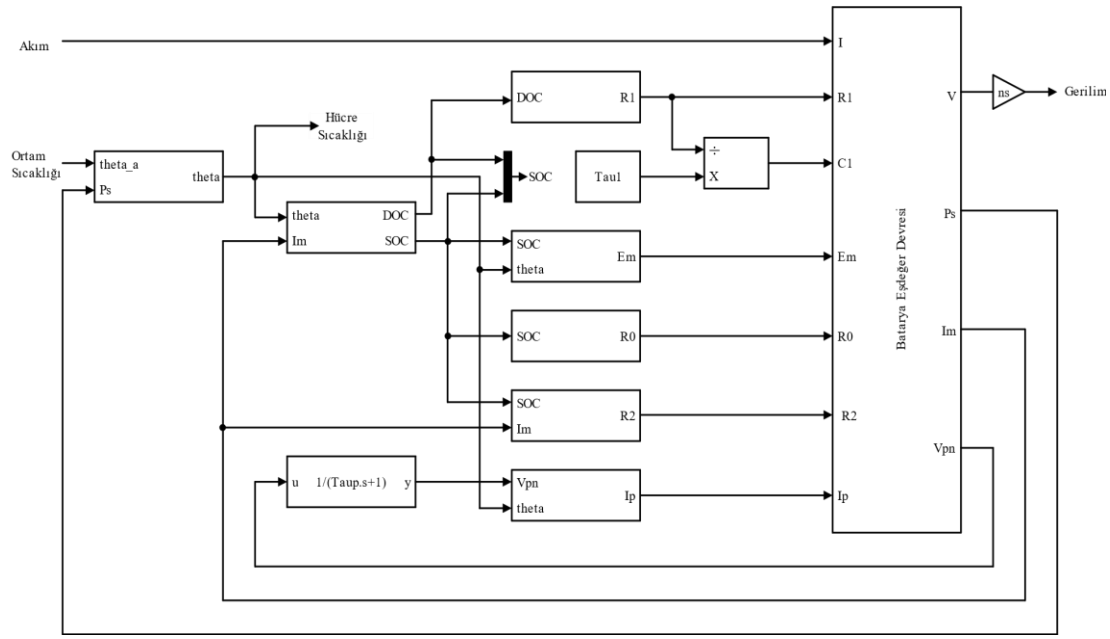
SOC genel olarak bataryanın şarj durumunu gösteren değerdir ve diğer değişkenler ile bağlantılı olarak değişmektedir. Benzer şekilde DOC ise bataryanın akıma bağlı olarak maksimum deşarj oranını gösteren değerdir. Bu değerler Denklem 2.14, 2.15 ve 2.16'da verilmiştir.

$$SOC = 1 - \frac{Q_e}{C(0, \theta)}, DOC = 1 - \frac{Q_e}{C(I_{avg}, \theta)} \quad (2.14)$$

$$I_{avg} = \frac{I_m}{(\tau_1 s + 1)} \quad (2.15)$$

$$\theta(t) = Q_{init} + \int_0^t \frac{\left(P_s - \frac{(\theta - \theta_a)}{R_\theta} \right)}{C_\theta} d\tau \quad (2.16)$$

Elektrolit sıcaklığı, şarj durumu, batarya sabitleri ve batarya akımı değişkenlerine göre elde edilen formüllerin birbiri arasındaki bağlantı şema halinde gösterilebilir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Kurşun-asit batarya modeli

Burada batarya parametrelerinin tamamının birbirine bağlı olduğu görülmektedir. Elektrolitik sıvı sıcaklığının aşırı artması veya azalması batarya kapasitesini olumsuz yönde etkiler. Şekil 2.1 tekrar incelendiğinde sıcak ortamlarda çalıştırılan bataryanın bataryalardan çekilen veya bataryalara uygulanan akımın değerinin elektrolitik sıvı sıcaklığına doğrudan etki ettiği ve bataryanın herhangi bir deformasyona uğramadan uygun çalışma sıcaklığında tutulması gerektiği görülmektedir.

2.3. Batarya Enerji Yönetim Sistemi

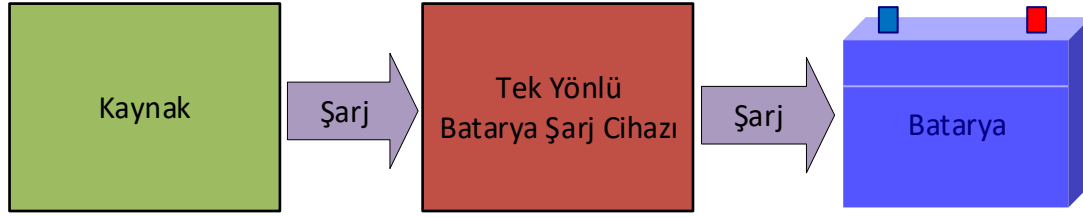
Batarya yönetim sistemleri batarya hücre ve modüllerin koruyan, uygun gerilim ve sıcaklık aralığında çalıştırılmasını temin ederek batarya ömrünü ve verimini artıran sistemlerdir [20, 42]. Bataryanın şarj ve deşarj uygulama yöntemlerini içerir. Şarj-deşarj işlemleri bataryanın karakteristiğine bağlı olarak gerçekleştirilir. Batarya özelliklerine uygun şarj-deşarj yöntemlerinin seçilmesi batarya ömrünü ve verimini artırır. Kullanıcı güvenliğini sağlayarak, patlama, zehirli gaz çıkışı ve aşırı ısınma durumlarının önüne geçer. Bakım gerektiren bataryanın bakım sürelerini uzatarak maddi kayıpları en aza indirir. Bu yüzden, batarya şarj uygulamalarında şarj işleminde bataryalara uygulanan gerilim değeri kontrol edilerek, akım kaynağı uygulamaları, sabit gerilim uygulamaları ve dalgalı şarj uygulamaları yapılır. Batarya ömrünü uzatabilmesi amacıyla daha verimli ve uygun şarj algoritmalarını içeren iki veya daha fazla metodun kullanıldığı şarj uygulamaları da bulunmaktadır. Bu

sayede batarya tipine ve özelliğine göre daha uygun şarj uygulamaları yapılabilmektedir. Uygulanan algoritmalar yardımıyla bataryalar için kritik öneme sahip batarya ömrü, şarj metotları, şarj metotlarının algoritmaları ve bataryanın bulunduğu çevre koşulları ile birlikte artırılabilir [5, 41]. Bu işlemler genellikle üreticiye sunulan parametrelerde belirtilen değerlere göre yapılır. Bu parametreler bataryanın herhangi bir deformasyona uğramadan verebileceği akım değeri, başlangıç maksimum şarj akımı değeri, kullanım ve saklama koşulları ile tercih edilen şarj eğrileridir. Bu şarj eğrileri yardımıyla o anki şarj, çevre koşulları gibi değerlere göre belirlenerek batarya ömrü artırılabilir. Şarj işleminde enerji akışı kaynaktan batarya yönüne tek yönlü olarak gerçekleştirir. Depolanan enerjinin kullanılması gerektiği durumlarda başka bir devre veya şarj/deşarj işlemlerine olanak tanıyan çift yönlü dönüştürücüler kullanılır [43]. İki yönlü dönüştürücülerin kullanımı tek bir kontrolcü tarafından kontrol edilmesine olanak tanıyarak kontrol karmaşıklığını azaltır. Daha az devre elemanı kullanılabilmesini sağlayarak maliyetlerde ciddi bir düşme gerçekleşir. Gerilim farkının ve giriş çıkış izolasyonun bulunduğu uygulamalarda ise transformatörlerin kullanımı maliyetleri artırsa da kullanımı önemli bir yere sahiptir.

Farklı şarj vedeşarj akımlarında zaman içerisinde kimyasal özelliklerini kaybetmekte ve bataryaların şarj-deşarj ömürlerini belirlemektedir. Batarya özelliklerine sıcaklık, şarj-deşarj akımı, SOC, DOC, gibi birçok değişken etki edebilmektedir. Bu nedenle batarya için en uygun sıcaklıkta, en iyi şarj-deşarj karakteristiği ile şarj edilmesi bataryaların kullanım ömrünü ciddi oranda artırmaktadır. Batarya yönetim sistemleri şarj veyadeşarj yapabilen ihtiyaca göre spesifikleşmiş sistemler bulunmaktadır. Ayrıca her iki işlemi de yapabilen daha komplike çift yönlü sistemlerde bulunmaktadır.

2.3.1. Batarya şarj yönetim sistemleri

Batarya şarj yönetim sistemleri, bataryaları sadece şarj etmek için kullanılır (Şekil 2.5). Tek yönlü batarya şarj sistemi şarj işlemi sırasında bataryalarda depolanan enerjinin kullanılmasına olanak vermez. Bataryalarda depolanan enerji kullanılacak ise, direkt olarak kullanılır ya da ek bir devre yardımı ile kullanılır.



Şekil 2.5. Tek yönlü batarya şarj sistemi

Bataryalarda depolanan enerjinin kullanılması ise ayrı bir cihaz yardımı ile veya batarya deşarj yönetim sistemi uygulaması yapan bir sistem aracılığı ile gerçekleştirilir.

2.3.2. Batarya deşarj yönetim sistemleri

Batarya deşarj yönetim sistemleri, bataryaları sadece deşarj etmek için kullanılır. Enerji akış yönü bataryadan yük tarafına doğrudur. Batarya deformasyona uğramadan gerilim ve akım değerlerinde tutmaya yararlar. Şarj yönetim sistemleri ile entegre çalışabildikleri gibi ayrı ayrı da çalışabilmektedir. Koruyucu eleman olarak görev yapan bu sistemler batarya akımını sınırlar ve bağlı olduğu yapının korunmasını sağlar. Aynı zamanda yük tarafında yük tarafında meydana gelebilecek herhangi bir arıza durumunda bağlı olduğu yükün enerjisinin kesilmesini ve/veya bağlı olduğu koruyucu elemanlar ile bataryanın korumasını gerçekleştirirler.



Şekil 2.6. Tek yönlü batarya deşarj sistemi

2.3.3. Batarya şarj-deşarj yönetim sistemleri

Tek yönlü batarya şarj sistemlerinin sabit bir gerilim şarj uygulamalarının yanı sıra, sabit akım kaynağı ile şarj veya her iki değer de uygulandığı şarj sistemleri mevcuttur [44]. Ayrıca farklı algoritmalar ile farklı şarj uygulamaları da gerçekleştirilebilmektedir. Bu algoritmalar telefon batarya şarj cihazlarında ve mobil elektrikli ev aletlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tek yönlü batarya şarj sistemlerinde enerji akışı tek yönlü olup sadece

enerjinin depolanması amacıyla kullanılır. İki yönlü batarya şarj sistemlerinde ise enerji akışı her iki yönde de olup hem şarj hem de deşarj işleminde kullanılır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. İki yönlü batarya şarj sistemi

İki yönlü batarya şarj sistemlerinde tek yönlü batarya şarj sistemlerine nazaran daha çok elektronik malzeme kullanılır. Kontrol yapıları daha karmaşık olup maliyetleri daha yüksektir. Elektrikli araçlarda, kesintisiz güç kaynaklarında (UPS) ve mikroşebeke uygulamalarında yaygın olarak kullanılırlar.

Batarya şarj cihazları üzerine elektrikli araçlar için literatür çalışması yapılmıştır [2]. Bu çalışmada iyi bir batarya şarj cihazından istenen özellikler anlatılarak verim, koruma, kaliteli enerji, maliyet, geniş şarj akım ve gerilim aralığı, elektriksel izolasyon, tüm elektromanyetik uyum (EMC), düşük boyut, hafiflik, kolay kullanım, acil durumlarda diğer kaynaklarla bağlantı kurabilme, az gürültü, düşük bakım-onarım, uygun olmayan şarj durumlarında otomatik kapanma, AA ve DA giriş gerilimlerinde şarj yapabilme, üretici ve güç-enerji oranı ayrımı yapmaksızın, tüm batarya tiplerine uygunluk, hızla gelişen elektrikli araçlar teknolojisine ve standartlarına uygun olma ve tüm hava koşullarında şarj edebilme gibi özelliklerinden bahsetmiştir. Yani genel olarak bu özelliklerin ne kadar fazlasını bir şarj cihazı içeriyor ise cihaz o kadar iyidir yorumu yapılabilir.

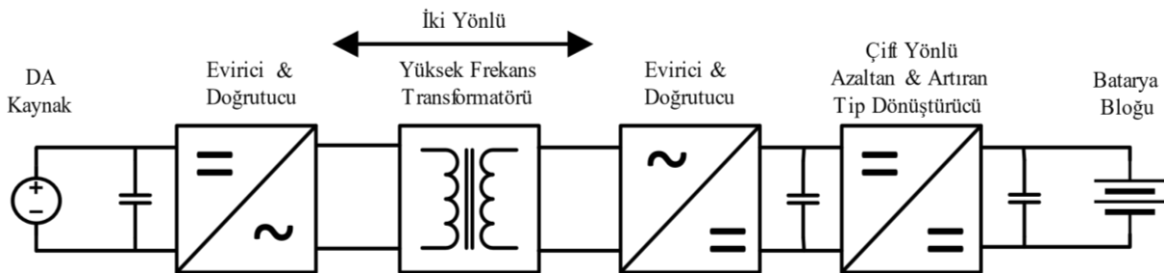
Elektriksel izolasyonun sağlanması için transformatörden faydalanılır ve istenilen gerilim değerlerinin dönüştürülmesi sağlar. Fakat geleneksel transformatörler ağır ve üretimi maliyetlidir. Batarya şarj sistemi için istenmeyen özellik olarak gösterilen bu durum YFT seçilerek boyut ve ağırlıkta sorununa çözüm sunar. Bu tezde YFT kullanılarak yukarıda belirtilen durumlar dikkate alınarak, mümkün olduğu mertebede istenilen özellikleri karşılayan nitelikli bir şarj cihazı tasarımı yapılmıştır.

3. YÜKSEK FREKANS TRANSFORMATÖRÜ TABANLI BİR BATARYA ŞARJ SİSTEMİNİN TASARIMI

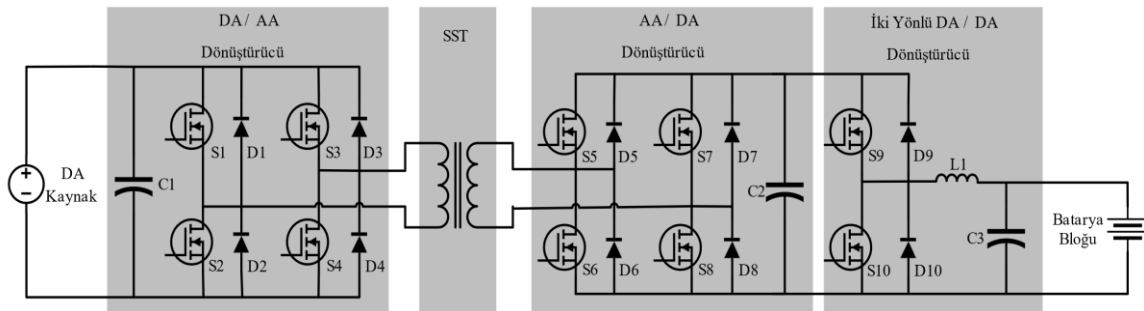
Bu tezde YFT tabanlı çift yönlü bir batarya şarj sistemi tasarımı yapılmıştır. Her iki yönde de kaynaktan bataryaya veya bataryadan yüke çalışabilen bu sistem, farklı kaynak gerilimleri ile farklı depolama birimleri arasında çalışabilmektedir. Esnek ve programlanabilir yapısı sayesinde farklı DA gerilimlerini karşılayabilmektedir. Ayarlanabilir DA farklı şarj algoritmalarını desteklemekte ve farklı batarya tipleri ile uygun şekilde çalışabilmektedir. Bu özellikleri sağlayabilen yüksek frekans transformatörü tabanlı bir batarya şarj sistemi tasarımı bu bölümde izoleli tip DA/DA dönüştürücü tasarımı, modellemesi, prototiplemesi ve batarya şarj deşarj durumunun incelenmesi şeklinde ayrı ayrı başlıklar halinde verilmiştir.

3.1. İzoleli Tip DA/DA Dönüştürücü Tasarımı

İzoleli tip DA/DA dönüştürücü, izolasyonun sağlandığı YFT ve çalışma gerilimlerinin elde edildiği evirici/doğrultucu ile çift yönlü artıran/azaltan dönüştürücü bölümlerinden oluşmaktadır. Kurulan sistemin en basit hali ile blok diyagramı Şekil 3.1’de ve devre şeması Şekil 3.2’de verilmiştir.

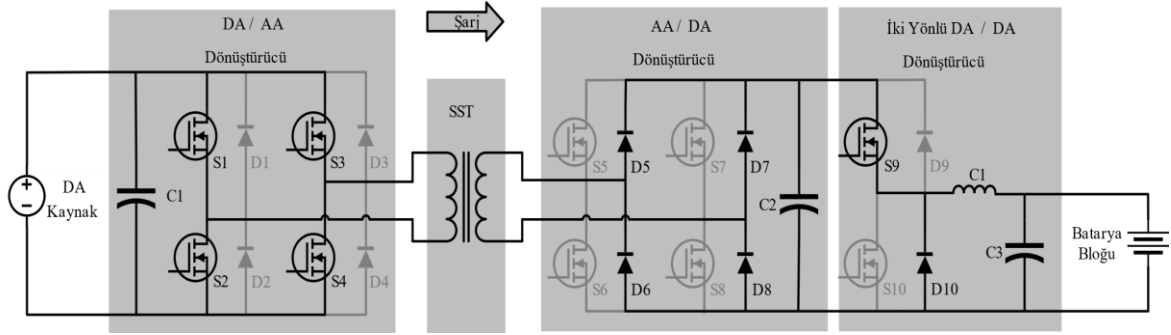


Şekil 3.1. YFT tabanlı çift yönlü bir batarya şarj sisteminin basitleştirilmiş blok diyagramı



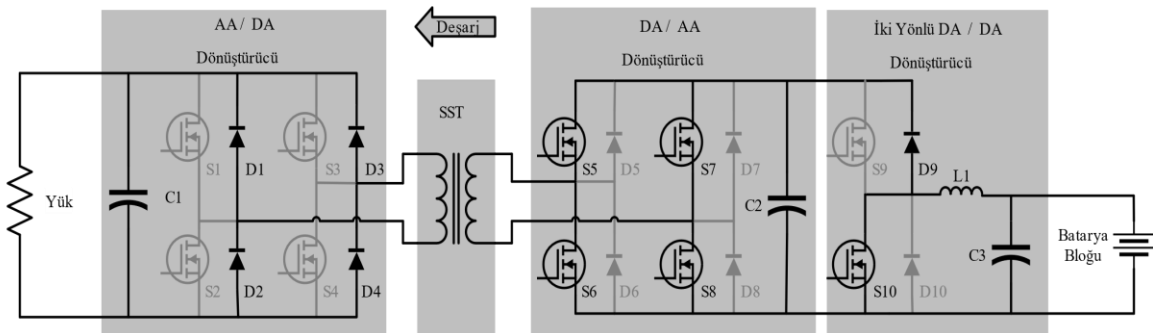
Şekil 3.2. YFT tabanlı çift yönlü bir batarya şarj sisteminin basitleştirilmiş devre şeması

Şarj işleminde DA kaynak gerilimi tam köprü dönüştürücü yardımı ile yüksek frekans kare dalgaya dönüştürülerek YFT'e uygulanmaktadır. YFT girişindeki yüksek frekanslı kare dalga sinyali manyetik enerji dönüşümü tekniği ile aynı frekanslı farklı genlikte AA kare dalga sinyale dönüştürmektedir. YFT çıkışından elde edilen yüksek frekanslı AA sinyali, dört adet tam köprü diyot aracılığıyla doğrultularak iki yönlü DA/DA dönüştürücüye uygulanmaktadır. Daha sonra bu gerilim bir adet anahtar yardımı ile PWM (Darbe genişlik modülasyonu) tekniği uygulanarak ayarlanabilir bir DA gerilim elde edilir. Bu gerilim bir filtre elemanından geçirilir ve uygun bir gerilim ile şarj işlemi gerçekleştirilir. En basit hali ile şarj yapısını içeren devre şeması Şekil 3.3'de verilmiştir.



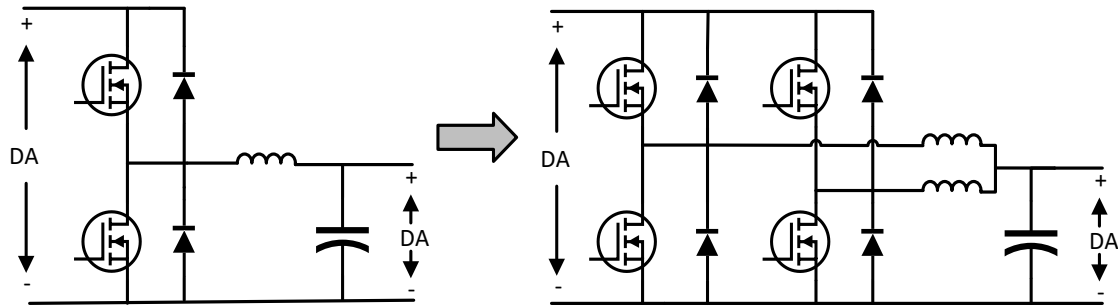
Şekil 3.3. Devrenin basitleştirilmiş şarj işlemi uygulaması

Deşarj işleminde bataryalarda depolanan enerji bir anahtar yardımı ile PWM tekniği uygulanarak gerilim yükseltmesi yapılır. Gerilimi artan DA sinyal dört anahtar yardımıyla yüksek frekans kare dalgaya dönüştürülür. Transformatörden geçirilen bu sinyal transformatörün sarım sayısına göre gerilim seviyesi artırılır veya azaltılır. Bu işlemin ardından dört diyot yardımı ile tam köprü doğrultma gerçekleştirilir. Elde edilen gerilim ile DA şebeke beslemesi gerçekleştirilir. Deşarj yapısını içeren devre şeması Şekil 3.4'de verilmiştir.



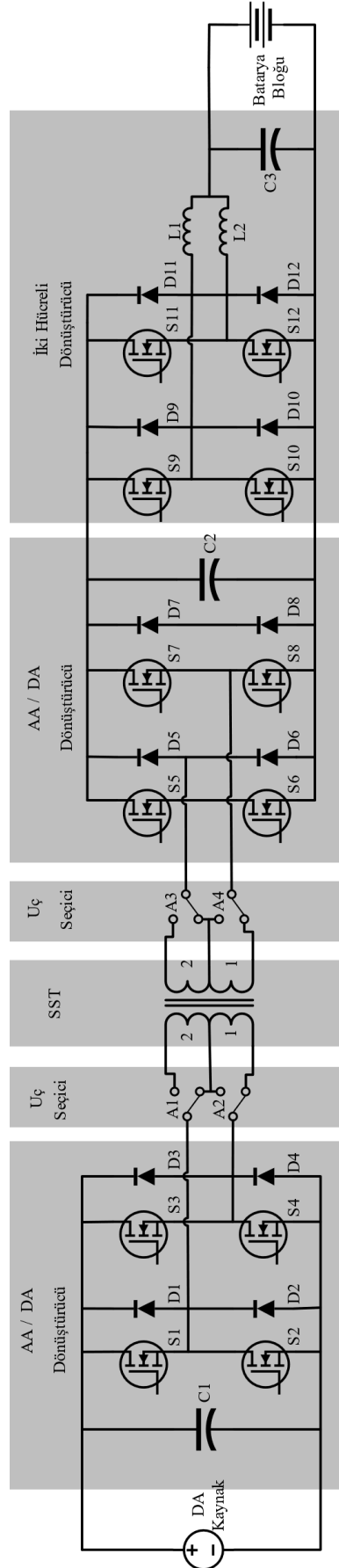
Şekil 3.4. Devrenin basitleştirilmiş deşarj işlemi uygulaması

Tasarıma hedef güce göre belirlenen transformatör özellikleri göz önünde bulundurularak başlanmıştır. Transformatör, farklı oranlarda dönüşüm işlemi yapabilmek amacıyla farklı sarım sayılarına sahip olmak üzere üçer bağlantılı olarak düzenlenmiştir. Bu sayede seçiciler yardımı ile farklı uçlar seçilerek her iki yönde de olmak üzere 1:1, 1:2, 1:3 ve 2:3'lük gerilim dönüştürme işlemleri yapılabilmektedir. Transformatörün her iki ucuna da evirici ve doğrultucu olarak çalışabilen tam köprü dönüştürücü eklenmiştir. Tam köprü dönüştürücülerden biri kaynak ile transformatör arasında bağlı iken, diğer dönüştürücü transformatörü bir çift yönlü alçaltan yükselten DA/DA dönüştürücü yardımıyla bataryaya bağlamaktadır. Çift yönlü alçaltan yükselten DA/DA dönüştürücü, iki hücreli olarak düzenlenmiş olup, gerilim dönüşüm işlemlerinin batarya şarj işlemi sırasında ara değerlerinin ulaşılabilir olması amacıyla batarya kısmına bağlantılı olacak şekilde kullanılmaktadır (Şekil 3.5). Bu sayede daha kararlı ve düzenli bir şarj gerilimi elde edilmiş olacaktır.



Şekil 3.5. Tek hücreli dönüştürücünün iki hücreli dönüştürücüye dönüştürülmesi

Seçilen iki hücreli dönüştürücü şarj kısmında azaltan, deşarj kısmında ise artıran tip dönüştürücü olarak çalıştırılarak istenilen diğer çevrim oranları, PI kontrol metodu ile elde edilmiştir. Bu kapsamda benzetim işlemi gerçekleştirilen devrenin blok şeması Şekil 3.6'de ve devre şeması Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7. DA/DA dönüştürücünün devre şeması

İstenilen giriş ve çıkış gerilimlerine göre belirlenen bu çeviricide transformatörün ayarlanabilir yalıtımlı çevrim oranlarından ve iki hücreli dönüştürücünün her iki yönde ayarlanabilir bir çevirici olması özelliğinden faydalanılmıştır. Bu amaçla oluşturulan tasarım sırasıyla transformatör seçimi ve sarım sayılarının elde edilmesi ile başlanmıştır. Daha sonra tam köprü dönüştürücü tasarımı, iki hücreli çift yönlü dönüştürücü tasarımı ve kontrol birimi ve kontrolde kullanılan PI parametrelerinin elde edilmesi verilmiştir.

3.1.1. Yüksek frekanslı transformatör tasarımı

Transformatörler filtre, yalıtım, akım ölçümü, gerilim seviyesinin ayarlanması gibi farklı uygulamalarda kullanılan bir makinedir. Sabit elektrik makinaları sınıfına giren transformatörlerde hareket eden mekanik parçalar bulunmaz. Sürtünme kayıpları yoktur ve verimleri çok yüksektir. Bu nedenle yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu makinalarda birincil sargısına zamana bağlı olarak değişen bir gerilim uygulandığında ikincil sargısında gerilim indüklenir. Bu değişim ne kadar hızlı ve uygulanan gerilim ne kadar çok olursa enerji indüklemesi o kadar fazla olur. Bu özelliğinden faydalanarak malzeme bilimindeki gelişmelerle beraber farklı manyetik malzemelerin üretilmesi, yüksek frekansta çalışabilen çeşitlerinin üretilmesini sağlamıştır. Frekansın artırılabilmesi, yapılan enerji dönüşüm miktarını artırmakta ve boyutlarda küçülme sağlamaktadır. Fakat frekans transformatörde meydana gelen kayıpların artmasına neden olur. Bu kayıplar fuko (eddy), histerisiz ve bakır kayıpları olarak üç ana grupta açıklanabilir. Fuko kayıpları trafo çekirdeği üzerine sarılmış bir bobinden zamana bağlı değişken bir akım geçirildiğinde transformatör çekirdeği üzerinde gerilim oluşur. Oluşan gerilim kapalı çevrimler halinde çok sayıda akım yollarının oluşmasına neden olur. Kapalı minik halkalar şeklinde meydana gelen bu akımlara fuko akımları denir. Manyetik malzemeler harici manyetik alana maruz kaldıklarında geçici veya kalıcı olarak manyetiklik sergilemeye başlar. Manyetik özellik gösteren transformatörün üzerine uygulanan manyetik alan, var olan manyetik alana ters yöndedir. Manyetik yönelimin sağlanması için enerji harcanır ve transformatör çekirdeği molekülleri arasında etkileşime neden olarak ısı kaybı oluşturur. Bu kayıp histerisiz kaybı olarak adlandırılır. Bakır kayıplarında ise iletken sargıların gösterdiği iletken direncinden kaynaklı meydana gelen kayba verilen isimdir.

Çalışma frekansının artırılabilmesi ile filtre elemanlarının daha küçük seçilebilmesini ve düşük hacimlerden yüksek enerji dönüşümleri yapılabilmesine olanak tanır. Yüksek frekans

transformatörü üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde transformatörler giriş çıkış yalıtımının [13, 15] yanı sıra, gerilimin yükseltilmesinde [16], gerilimin azaltılmasında [17] ve birden çok bağlantılı hibrit sistemler oluşturulmasında [13] kullanılmıştır. Ayrıca transformatör içeren uygulamalarda paralel bağlantı ile enerji dönüşüm miktarının artırılması [15, 18], bazı çalışmalarda ise [14] seri bağlantı gerçekleştirilerek yüksek gerilim taşıyan enerji hatlarında kullanılabilmesini sağlamıştır.

Transformatör seçimi ve tasarım işleminde, transformatörün çıkış gücü, çalışma frekansı ve elde edilmesi beklenen hedef verim göz önünde bulundurulmuştur. Bu amaçla seçilen transformatör tasarım parametreleri Çizelge 3.1’ de verilmiştir:

Çizelge 3.1. Hedef transformatör parametreleri

Çıkış gücü (P_o)	2 000W
Doğru Akım Bara Gerilimi	100 V-300 V
Çalışma Frekansı (f_s)	22 kHz
Çıkış Gerilimi	100 V-300 V
Çıkış Akımı (V_{min} değerinde)	10 A (I_{max})
Hedef Verim (η)	%95
Regülasyon	%0,5
Doluluk Oranı	%40

22 kHz’de ve 20 °C’de ($\rho = 1.70 \times 10^{-6} \Omega \text{ cm}$) [45] bakır iletkenlerin deri kalınlığı $\delta = 66/\sqrt{22000} \cong 0.445 \text{ mm}$ ’dir. Alternatif akımın deri ve yaklaşım etkisine bağlı olarak kayıplarını azaltabilmek ve belirtilen akımları taşıyabilmesi amacıyla 2δ kalınlığında litz teli kullanılabilirdi. Ancak yüksek frekans nedeniyle deri ve yaklaşım etkisini en aza indirmek ve dönüşüm işlemleri sırasında önemi kritik olan verimin üst düzeye çıkarılabilmesi amacıyla bakır folyo iletkenler tercih edilmiştir.

Transformatör nüve malzemesi olarak TDG firması tarafından üretilen MnZn (Mangan-Çinko) alaşımlı ferrit TP4 seçilmiştir. Çekirdek boyutlarının belirlenebilmesi amacıyla, hedeflenen güç çevrim miktarı, iletken ve transformatöre uygulanması düşünülen frekansa göre çekirdek güç hacmi hesaplaması yapılmıştır. Burada çekirdek boyutu seçimi için şu bağlantı kullanılmıştır [46].

$$W_a A_c = \frac{P_o}{\Delta B f_{JK}} \quad (3.1)$$

İstenilen değerler ve malzeme özellikleri yerine koyulduğunda;

$$W_a A_c = \frac{2\,000}{0,27 \times 22\,000 \times 3 \times 10^6 \times 0,40} = 28 \text{ cm}^4 \quad (3.2)$$

Olarak bulunmuştur. Verimin çok önemli olduğu şarj sistemlerinde verimi artırabilmek amacıyla güç hacmi çok daha yüksek olan EE 65/65/27 boyutlarındaki ferrit çekirdek seçilmiştir. Seçilen transformatör çekirdeğinin parametreleri Çizelge 3.2' de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Transformatör çekirdeğinin parametreleri

Manyetik Malzeme	TDG MnZn TP4
AL	9 080 nH
Manyetik Yol Uzunluğu	147 mm
Pencere Kesiti	5,54 cm ²
Çekirdek Kesiti	5,35 cm ²
Güç Hacmi ($W_a A_c$)	29,6 cm ⁴
Hacim	78,6 cm ³
Ortalama Tur Uzunluğu	14 cm

Bu veriler yardımıyla hesaplanan birincil sarım sayısı Denklem 3.3 yardımıyla [18],

$$N_P = \frac{V_{i,min} d_{max}}{f A_c \Delta B} \quad (3.3)$$

$$N_P = \frac{100 \times 0,40}{22\,000 \times 5,35 \times 10^{-4} \times 0,27} = 12,58 \text{ tur}, \quad (3.4)$$

olarak bulunmuştur. Transformatörümüz 3:1'lik dönüşümlere imkân verdiğinden dolayı ($\frac{N_P}{3} = \frac{12,58}{3}$ den $N = 4,194$) İstenilen güç değerlerinin karşılanabilmesi amacıyla bir üst değer olan 5 sarım olarak belirlenmiştir. Bu değerlerden yaklaşık sargı indüktansı Denklem 3.5 ile hesaplanabilir [18].

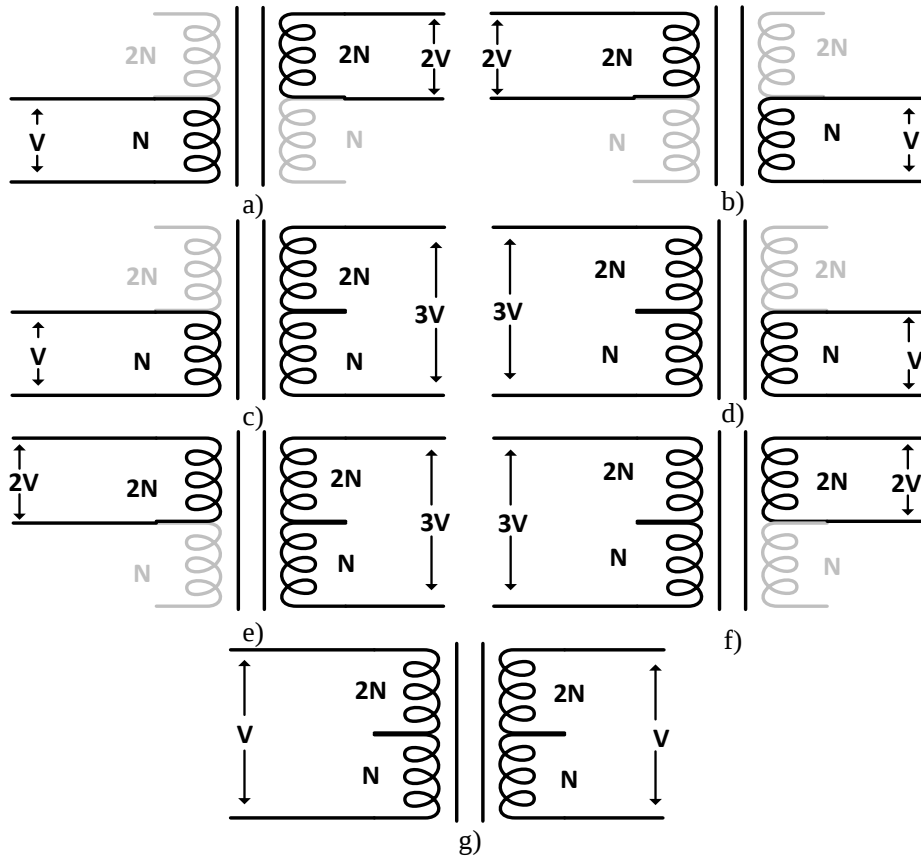
$$L = N^2 \times A_L \quad (3.5)$$

$$L_{1N} = 5^2 \times 9\,080 \times 10^{-9} = 227 \mu H \quad (3.6)$$

$$L_{2N} = 10^2 \times 9\,080 \times 10^{-9} = 908 \mu H \quad (3.7)$$

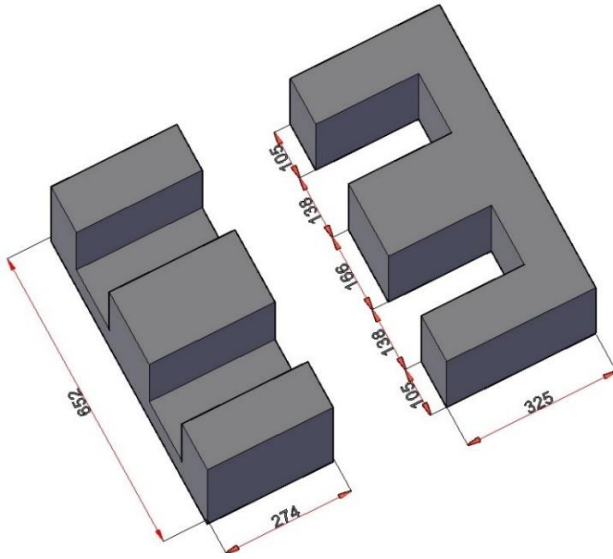
$$L_{3N} = 15^2 \times 9\,080 \times 10^{-9} = 2043 \mu H \quad (3.8)$$

Transformatör uç seçici roleler yardımı ile farklı çalışma yöntemlerini sağlamaktadır. Bu sayede kullanıcı isteğine göre transformatör artıran tip veya azaltan tip olacak şekilde çalıştırılabilmektedir. Giriş ile çıkış arasındaki fark yakın ise transformatör 1:1 olacak şekilde seçilir. Çıkış gerilimi girişe göre yüksekse 1:2, 1:3 ve 2:3'lük transformatör çevrim oranı ile uçlar seçilir. Eğer çıkış gerilimi girişe göre düşükse 2:1, 3:1 veya 3:2'lük çevrim oranları seçilir. Bu sayede istenilen gerilimler algoritma yardımı ile elde edilebilmektedir (Şekil 3.8).



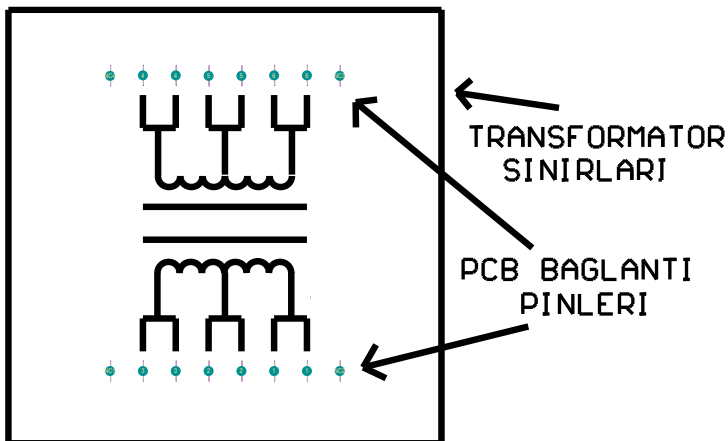
Şekil 3.8. Transformatörün farklı dönüştürme oranlarında çalışması (a) 1:2, b) 2:1, c) 1:3, d) 3:1, e) 2:3, f) 3:2, g) 1:1)

Transformatörün uygulama sarım sayılarının seçilebilmesi dönüştürücünün çıkış gerilimini belirgin oranda değiştirmektedir. Şekil 3.8 de belirtilen a, c ve e uygulamalarında çıkış gerilimi giriş gerilimine göre 3 katına kadar artırabilmektedir. b, d ve f uygulamalarında ise çıkış gerilimi giriş gerilimine göre üçte bir oranına kadar azaltılabilmektedir. Benzer sarım sayılarının seçilmesi ise çıkış gerilimini değiştirmemekte, sadece galvanik izolasyon sağlamaktadır.



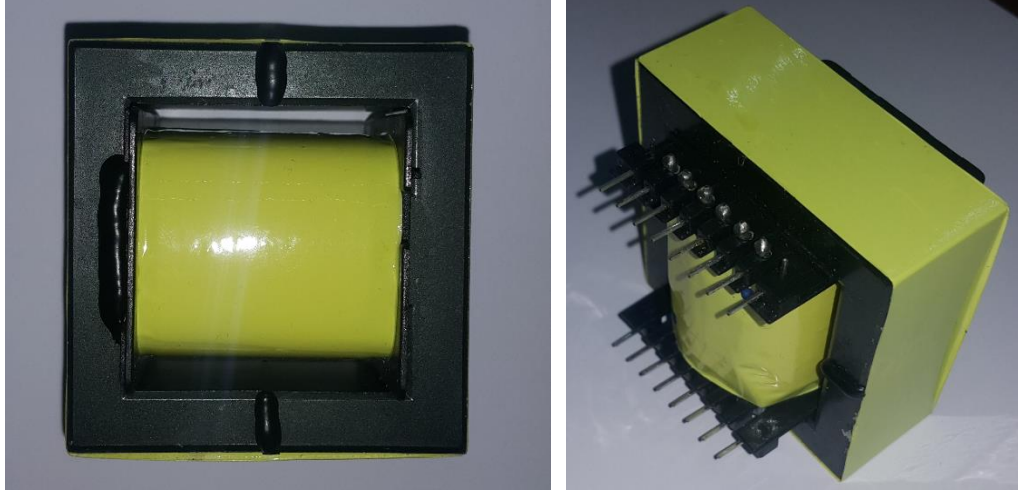
Şekil 3.9. EE65/65/27 transformatör çerçevesinin 3D görüntüsü

Sarım işlemi sırasında transformatörün PCB pin bağlantısı 10 A akımın karşılanabilmesi amacıyla ikişerli pin olarak bağlantı gerçekleştirilmiştir. Bu işlem, transformatör pinleri yardımıyla PCB üzerine montajı mümkün hale getirmiştir. Transformatör sargı uçlarının bağlantı biçimi Şekil 3.10’ de verilmiştir.



Şekil 3.10. Transformatör sargı uçları PCB bağlantısı

Tasarımı ve üretimi tamamlanan transformatörün üstten ve perspektif görüntüsü Resim 3.1’de verilmiştir.



Resim 3.1. Transformatörün üstten ve perspektif görüntüsü

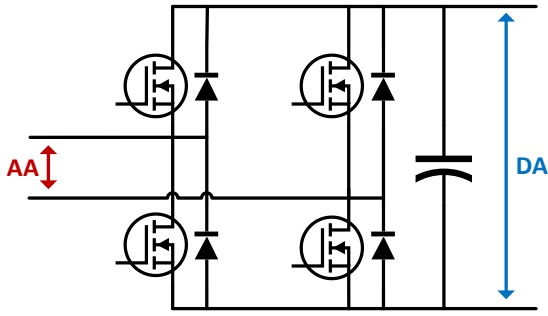
Manyetik geçirgenlik hava aralığının artması ile azalmaktadır. Bu nedenle hesaplanan indüktans ile gerçek koşullarda ölçülen indüktans arasında farklılık olmaktadır. TT-TECHNIC marka VC6243+ model RLC metre ile ölçülen ve Denklem 3.5’ e göre hesaplanan değerler Çizelge 3.3’ de gösterilmektedir.

Çizelge 3.3. Transformatör ölçülen ve hesaplanan indüktans değerleri

	Ölçülen	Hesaplanan	Fark
L_{1N}	205 μH	227 μH	%9,3
L_{2N}	820 μH	908 μH	%9,3
L_{3N}	1845 μH	2043 μH	%9,3

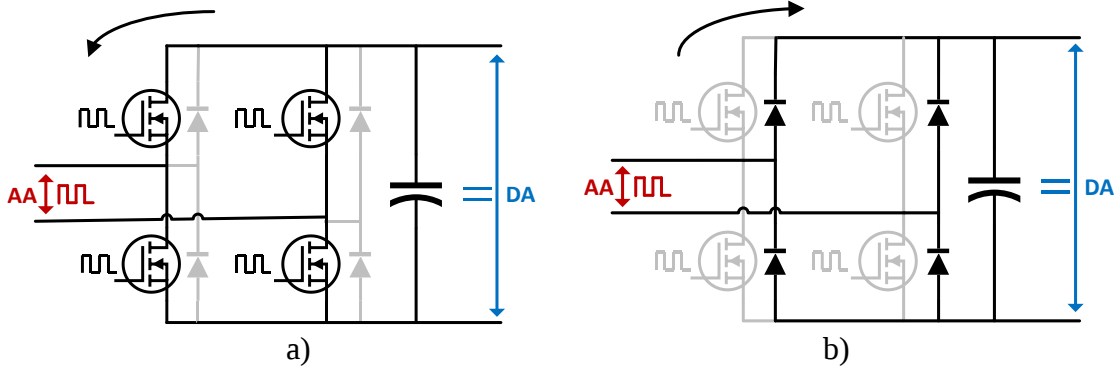
3.1.2. Tam köprü dönüştürücü

Doğru akımı anahtarlar yardımıyla alternatif akıma, alternatif akımı doğrultma diyotları yardımıyla doğru akıma çeviren dönüştürücülerdir. Oluşturulan devrede AA/DA, DA/AA dönüşümler için 4 anahtar, 4 diyot kullanılmıştır. Dönüştürücünün genel devre şeması Şekil 3.11’ de verilmiştir.



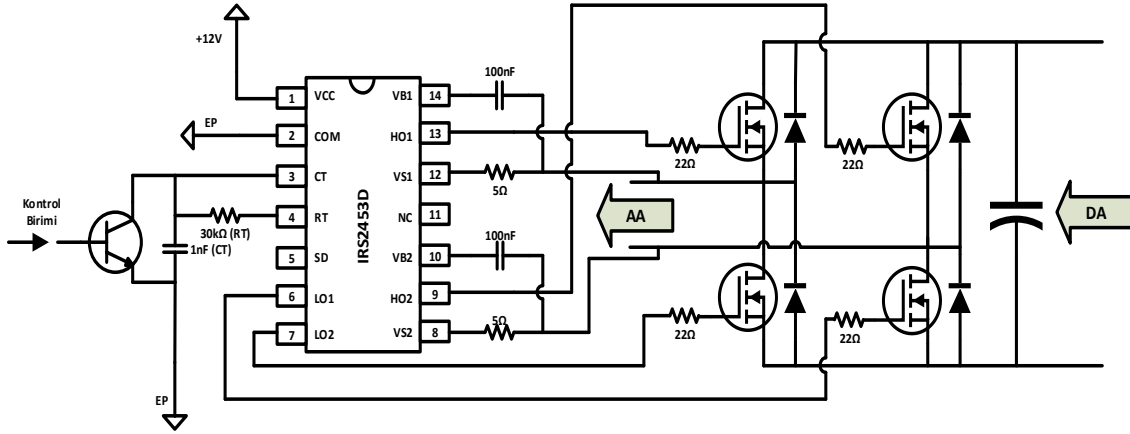
Şekil 3.11. AA/DA-DA/AA dönüştürücü devre şeması

Şarj ve deşarj durumuna göre 4 anahtar DA sinyalin AA sinyale dönüştürülmesi için kullanılır (Şekil 3.12.a). Eğer transformatör tarafından AA sinyal geliyor ise 4 diyot gelen AA sinyalin DA sinyale dönüştürülmesi için kullanılır (Şekil 3.12.b). Bu işlem için yüksek frekans tam köprü sinyal doğrultması yapılmaktadır. Yüksek frekansta gerçekleştirilen bu işlem için diyot tipi olarak 20A'ye kadar çalışabilen STMicroelectronics firmasına ait STB20NM60 model mosfet içerisinde bulunan hızlı diyot kullanılmıştır.



Şekil 3.12. AA/DA-DA/AA dönüştürücü çalışma yöntemleri (a) evirici, b) doğrultucu)

Tasarım sürecinde anahtarlama devre elemanı olarak IRS2453D entegresi kullanılmıştır. Tercih edilen devre elemanı 600 volt tam köprü mosfet kapı sürücüsü ile 4 anahtar tetiklemesi yapabilmektedir. Ayarlanabilir osilatör sayesinde 60 Hz-100 kHz frekans bant aralığında kullanılabilir. Devrenin referans dosyası yardımıyla besleme olanakları göz önüne bulundurularak oluşturulan bağlantı şeması Şekil 3.13' de gösterilmiştir.



Şekil 3.13. IRS2453 bağlantı şeması.

Burada frekans, RT direnci ve CT kondansatörü ile ayarlanmaktadır. Bu değer matematiksel olarak Denklem 3.9 ile ifade edilmiştir.

$$f \approx \frac{1}{1.453 \times RT \times CT} \quad (3.9)$$

Tasarımda RT direnci 30 kΩ ve CT kondansatör değeri 1nF olarak seçilmiştir. Bu işleme göre elde edilmesi beklenen frekans değeri Denklem 3.9'da yerine koyulursa;

$$f \approx \frac{1}{1.453 \times 30000 \times 1 \times 10^{-9}} \approx 22\,941 \text{ Hz} \quad (3.10)$$

olarak bulunur. Bu değer ve gerçek koşullarda gözlemlenen sinyaller arasında farklılıklar olacaktır. Frekanslardaki farklılıklar salınım frekansının ayarlanmasında kullanılan kondansatör ve direnç değerlerinin belli bir tolerans değerine sahip olmasıdır. Bu değer %10'luk toleransa sahip devre elemanları ile 18,6-27,8 kHz arasında bir frekansta anahtar tetiklemesi gerçekleşecektir.

3.1.3. İnterleaved dönüştürücü

İnterleaved dönüştürücü her iki yönde çalışabilen ikişer grup ikişerli anahtardan meydana gelen dönüştürücü tipidir. Çift yönlü iki hücreli dönüştürücü olarak da kullanılan dönüştürücüde kullanılan birden çok hücre, çıkış akımı hücre sayısı oranınca bölünerek çıkışa verilmesini sağlar. Bu işlem daha iyi çıkış gerilimi ve çıkış akımı elde edilmesini mümkün hale getirir .

Enerji kaynağının yük, yükün enerji kaynağı olarak çalıştırılabilen sistemlerde akımın her iki yönde de iletilebilmesini sağlar. İhtiyaç durumuna göre belirlenen algoritmalar yardımıyla enerji akışı her iki yönde de gerçekleştirilir. Depolama birimlerine sahip sistemlerde ihtiyaç durumuna göre kaynaktan depolama birimlerine veya depolama birimlerinden kaynağın beslenmesi amacıyla kullanılmıştır. Tasarlanan çift yönlü dönüştürücü şarj durumunda azaltan, deşarj durumunda ise yükselten tip dönüştürücü olarak çalıştırılmıştır. Bu kapsamda devrenin yapısı ve devre elemanlarının elde edilmesi anlatılmıştır. Hauke'nin yaptığı çalışmalar sonucunda elde edilen formüllerden yararlanılmıştır [47].

Artıran tip dönüştürücü tasarımı sırasında giriş voltajının minimum ve maksimum değerleri, istenilen çıkış değeri, buna bağlı olarak istenilen güce göre maksimum çıkış akımı belirlenmesi gerekmektedir. Tasarım sırasında kullanılması düşünülen anahtar, çıkış akımına ve anahtarın maruz kalacağı maksimum akıma göre belirlenir. Tasarımın ilk aşamasında bobin değeri belli olmadığından dolayı Denklem 3.11' e göre tahmini bir maksimum akım belirlenmiş ve bu akıma göre Denklem 3.12 kullanılarak bobin değeri bulunmuştur.

$$\Delta I_L = (0.2 \sim 0.4) \times I_{o,max} \times \frac{V_o}{V_i} \quad (3.11)$$

$$L = \frac{V_i \times (V_o - V_i)}{\Delta I_L \times f_s \times V_o} \quad (3.12)$$

Yapılan bu işlem tahmini olsa da istenilen en uygun değere yakın bu değerler yardımıyla belirlenen maksimum bobin akımı ile seçilen anahtar özellikleri kullanılır. İhtiyaç duyulan anahtar görev oranı (D) Denklem 3.13 ile hesaplanır. Bu hesaplanan değer ve seçilen anahtarın özellikleri yardımıyla gerçekçi bir maksimum bobin akımı Denklem 3.14 ve bobin değeri Denklem 3.12 ile elde edilmiştir.

$$D = 1 - \frac{V_{i,min} \times \eta}{V_o} \quad (3.13)$$

$$\Delta I_L = \frac{V_{i,min} \times D}{f_s \times L} \quad (3.14)$$

Elde edilen bu sabit değerlerle tasarımımda ihtiyaç duyduğumuz değişken çıkış gerilimi D 'ye göre ayarlanabilir. Burada anahtar tetikleme oranı yükseldikçe bobinde depolanan enerjinin bir kısmı kayba uğrar. Bu oran yükseldikçe kayıp artar ve verim düşer.

İki hücreli dönüştürücüde kullanılan diğer bir pasif devre elemanı olan kondansatörün belirlenmesinde kapasite ve gerilim değerleri esas alınmıştır. Gerilim değeri devrenin çalışma koşullarına bağlı iken, kapasite değeri belirlenmesinde Denklem 3.15 kullanılmıştır. Bu denkleme göre kullanılması gereken minimum kapasite değeri:

$$C_{o,min} = \frac{I_{o,max} \times D}{f_s \times \Delta V_o} \quad (3.15)$$

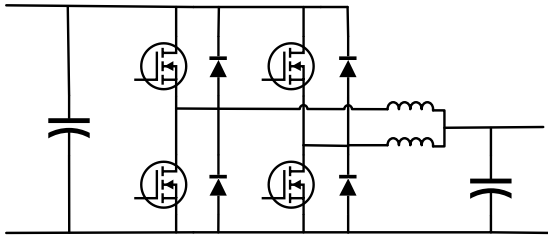
ile bulunmuştur. Burada ΔV_o istenilen çıkış gerilimi dalgalanması, dönüştürücünün kalitesini belirlemektedir. Kapasite değerinin yüksek seçilmesi kaliteyi artırdığı gibi maliyetlerde de artışa neden olur. Bu nedenle birim maliyet ve temin edilebilirlik değerlendirilerek net kapasite ve voltaj değerlerine ulaşılmıştır.

Denklem 3.12' de bulunan indüktans değeri, tasarımda bir değişiklik olmayacağından dolayı azaltan tip dönüştürücü için de kullanılmıştır. Kapasite değeri çıkış akımının değişken olması, adet birim fiyatı ve gerilim göz önünde bulundurulmuş ve transformatör tarafında kullanılan kondansatör değeri ile aynı seçilmiştir. Bu kapsamda seçilen devre elemanları, özellikleri ile çalışma koşulları Çizelge 3.4' de tablo halinde verilmiştir.

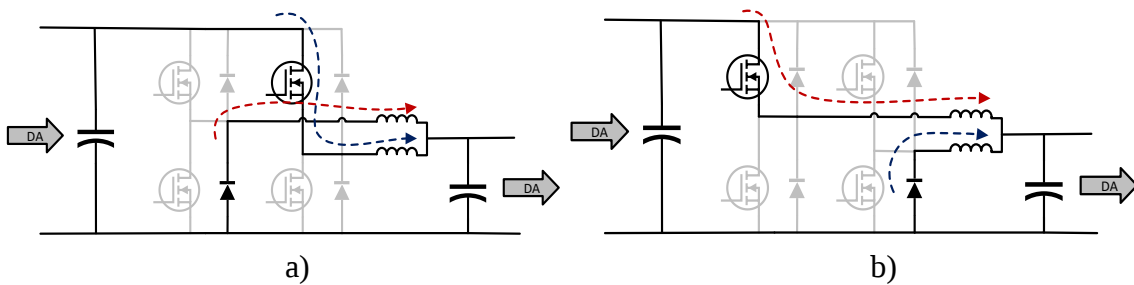
Çizelge 3.4. Komponentler ve çalışma değerleri

Referans Numarası	Değeri
$C_{1,2,3}$	220 μ F 400V
$D_{1,2,3...12}$	30A 600V
$L_{1,2}$	0,7mH
$Q_{1,2,3...12}$	20A 600V
F	10kHz
D_{SST}	%48 - %52
D_{Buck}	%0-%100
D_{Boost}	%0-%40

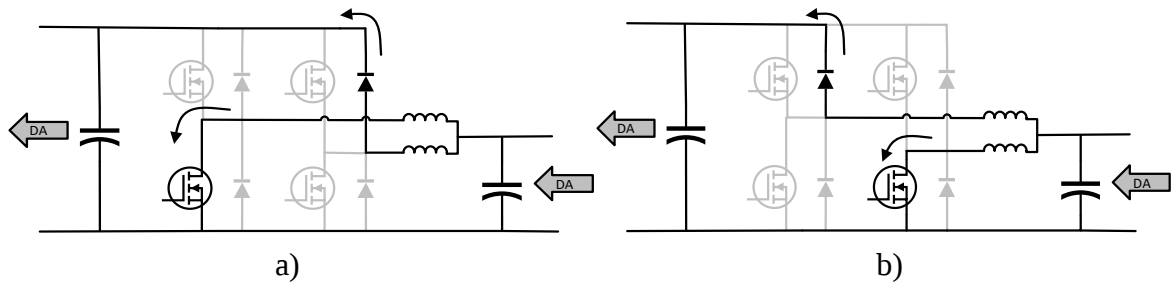
Gerilim yükseltme ve alçaltma transformatörlerin sargı oranlarının seçilmesi ile sağlanmaktadır. Bu gerilim değişkenleri her iki yönde de olmak üzere 3 katına kadar artırma veya üçte bir oranına kadar azaltma sağlamaktadır. Fakat gerilim değişimleri belli oranlarda sağlanmakta ayar yapılamamaktadır. Bu nedenle batarya tarafına çift yönlü bir adet iki hücreli dönüştürücü eklenmiştir. İki hücreli dönüştürücü eklenmesindeki ana neden istenilen direkt olarak transformatörde elde edilemeyen ara gerilim değerlerinin bu dönüştürücü sayesinde elde edilebilmesidir. İki hücreli olarak tercih edilmesindeki neden ise şarj ve deşarj işlemleri sırasında akım kalitesinin artırılmasıdır. Kullanılan iki hücreli çift yönlü dönüştürücünün devre şeması Şekil 3.14’da verilmiştir. Oluşturulan dönüştürücünün şarj/deşarj işlemine göre yön tayini yapılır. Yön tayinine göre şarj uygulamasına karar verilmiş ise çevirici azaltan tip metodu ile (Şekil 3.15), deşarj uygulamasına karar verilmiş ise çevirici, artıran tip metodu ile (Şekil 3.16) çalıştırılır. Bu sayede enerji akışı çift yönlü olarak sağlanmış olur.



Şekil 3.14. İki yönlü iki hücreli dönüştürücü



Şekil 3.15. İki yönlü iki hücreli dönüştürücünün azaltan metodu ile çalıştırılması

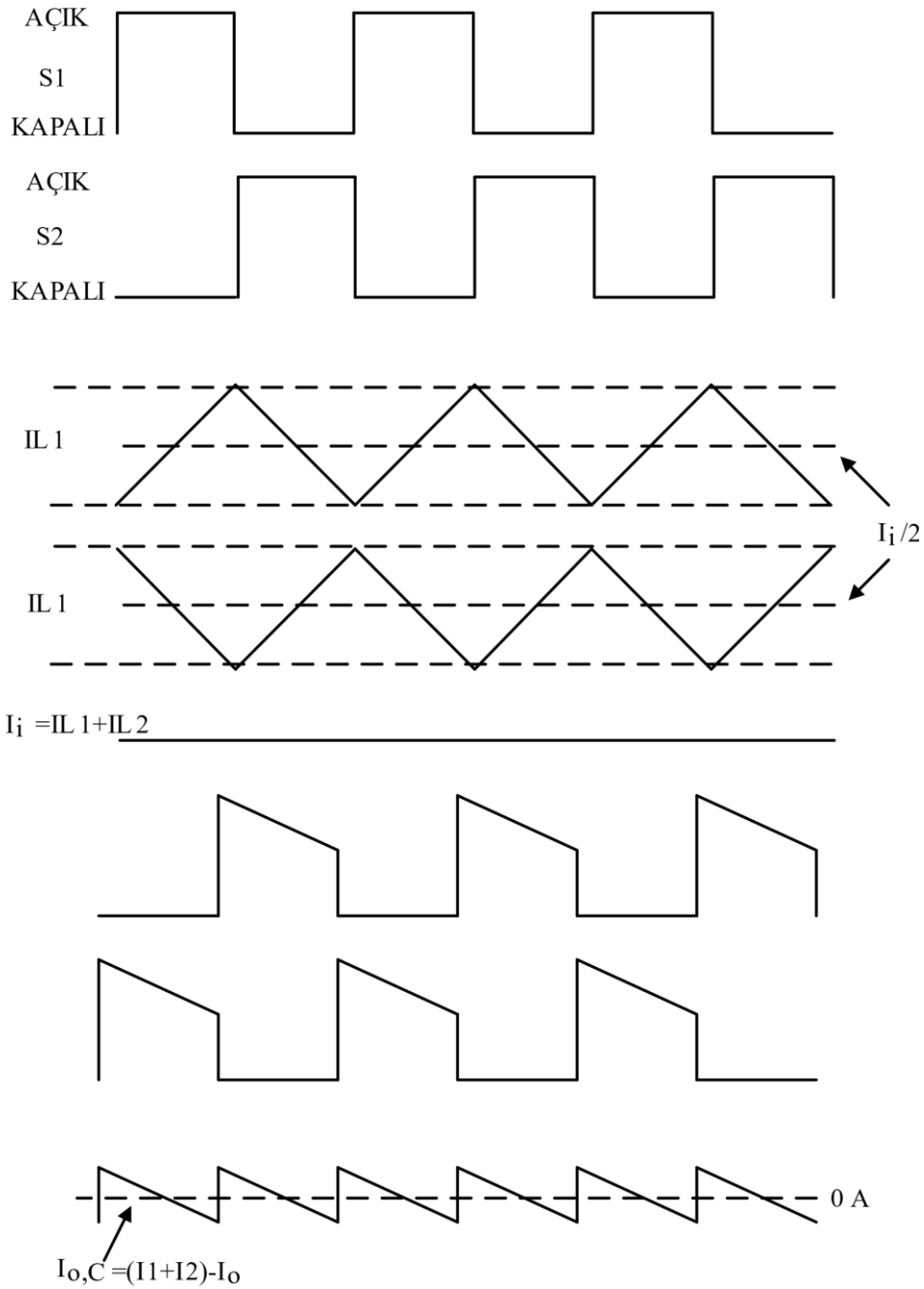


Şekil 3.16. İki yönlü iki hücreli dönüştürücünün yükselten metodu ile çalıştırılması

Azaltan tip dönüştürücülerde anahtar anahtarlama görev oranı %50 altında olduğu durumlarda dönüştürücü güç katının iki farklı durumu göze alınır. İlk olarak yarı iletken güç anahtarı iletimde iken diyot kesimdedir. Anahtar kesime girdiğinde ise diyot iletimdedir. Bu uygulama benzer şekilde iki hücreli dönüştürücü tiplerinde iki farklı durum olarak ifade edilebilir. Birinci durumda birinci anahtar ve ikinci anahtara bağlı diyot iletimdedir, ikinci durumda ise ikinci anahtar ve birinci anahtara bağlı diyot iletimdedir. Bu sayede aynı anda iki farklı hücredeki elektronik devre elemanları iletimde olur ve çıkış gerilim kalitesi iki katına çıkarılmış olur. Anahtar anahtarlama görev oranının %50 ve üzerinde olduğu durumlarda ise anahtarlar belli sürelerde aynı anda iletimde kalırlar. Görev oranına göre bu yapı ise üç ana kısımda incelenebilir. Birinci durumda birinci anahtarın ve diğer anahtara bağlı diyotun iletimde kalması, ikinci durumda her iki anahtarın da iletimde olması, üçüncü durumda ise ikinci anahtar ile birinci anahtara bağlı diyotun iletimde kalması şeklindedir.

Genel olarak yükselten tip dönüştürücü çalıştırılması altı ana bölümde incelenebilir (Şekil 3.16). Birinci durumda birinci anahtarın açık olduğu durumdur. Birinci anahtara seri bağlı bobin akımında azalma diğer bobinde ise bobin akım değeri artmaktadır. İkinci durum bir numaralı anahtarın kapalı olduğu, bobin akımlarına azalma meydana geldiği durumdur. Üçüncü durum birinci bobin akımında azalma ve ikinci bobin akımının değişmediği durumdur. Dördüncü durum birinci anahtar bağlı bobin akımının azaldığı, ikinci anahtarın iletime geçerek seri olarak bağlı bulunduğu bobin akımının arttığı durumdur. Beşinci durumda ikinci anahtarın açık ve bobin akımlarının azaldığı durumdur. Altıncı durum ise ikinci anahtar bağlı bobin akımında azalma, birinci bobine bağlı akımın değişmemesi şeklinde devam ettiği durumdur.

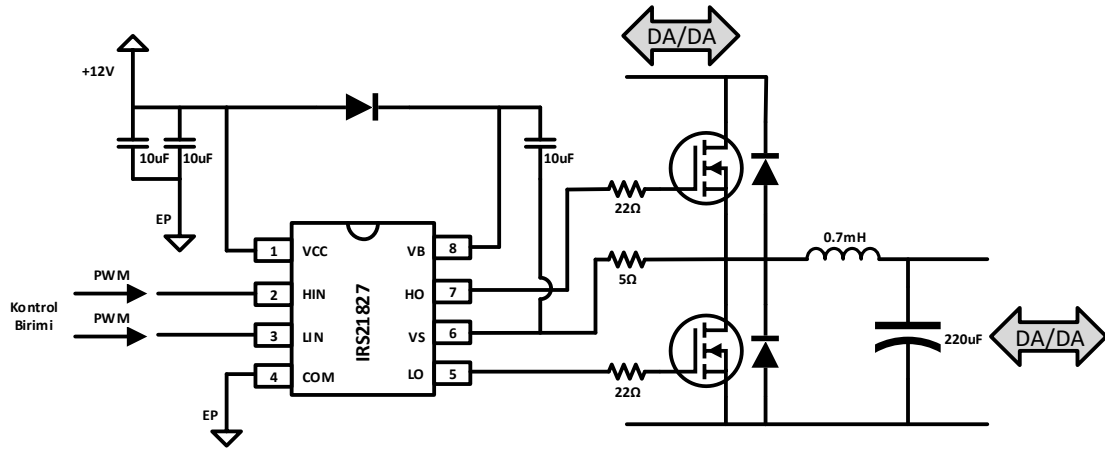
Birden çok hücreli dönüştürücülerde çıkışa uygulanan gerilim sinyalinin dalgalanma oranı, anahtar sayısının karesi ile ters orantılı olacak şekilde azalmaktadır [48]. Şarj akımında ve şebeke gerilimine yansıyan gerilimin daha iyi bir gerilim çıktısı sağlar. Tercih edilen bu uygulama ile sistemin kararlılığı artırılarak daha iyi bir şarj gerilimi sağlamaktadır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. İki hücreli dönüştürücü çıkışı

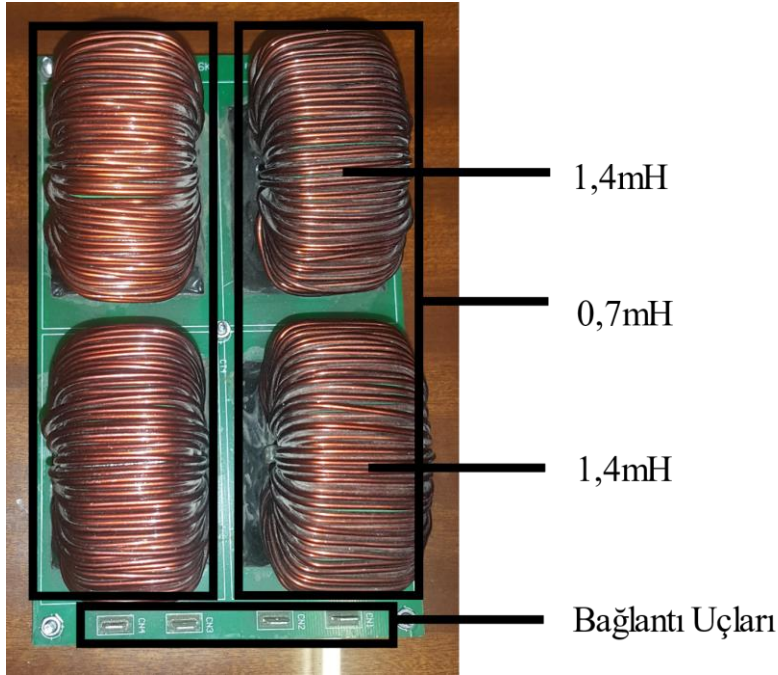
İki hücreli dönüştürücü kullanımı iletilmesi gereken gücün bölünerek gönderilmesini sağlar. Bu sayede devrede kullanılan malzeme boyutunda küçülme, çıkış gücünün iyileştirilmesi ve bu sayede daha küçük giriş ve çıkış filtre elemanlarının kullanımına imkân verir. Malzeme boyutlarının küçülmesi, güç dönüşümlerinde SMD (Yüzey Montaj Elemanı) malzeme kullanılabilirliğini artırır. Avantajlarının yanı sıra malzeme sayısında artma ve daha karmaşık kontrol yapılarının kullanım gereksinimi artar. Devre eleman sayısının artması maliyette genellikle düşme sağlamaz [49].

Sürücü seçiminde üç ana parametre üzerinde durulmuştur. Bu parametreler kartın besleme gerilim değeri, mikrokontrolör anahtarlama gerilimi ve şarj-deşarj uygulamalarında asenkron olarak tetiklenebilme özellikleridir. Bu özellikleri +12V besleme, +3,3V anahtarlama gerilimleri ile karşılayabilen ve asenkron tetikleme imkânı sunan IRS21867 entegresi kullanılmıştır. Anahtarlama devresine karar kılındıktan sonra ürünün kullanım kılavuzunda bulunan uygun referans tasarımı temel alınarak düzenlenmiştir (Şekil 3.18). Burada diğer malzemelerin seçiminde tercih edilen kılıf üründe tercih edilen malzemeler referans alınarak seçilmiştir. Çeşitliliğin az olması malzeme temininde kolaylık ve adetli alımlar ürünün maliyetlerinde düşme sağlayacaktır.



Şekil 3.18. Asenkron mosfet sürücü devre şeması

İki hücreli dönüştürücü olabilmesi amacıyla 2 adet IRS21827 kullanılmıştır. 0,7mH'lik bobin seçiminde yüksek akım değerlerini karşılayabilmesi amacıyla 2 şer adet paralel bağlı 1,4mH'lik hazır bobinler tercih edilmiştir (Resim 3.2).

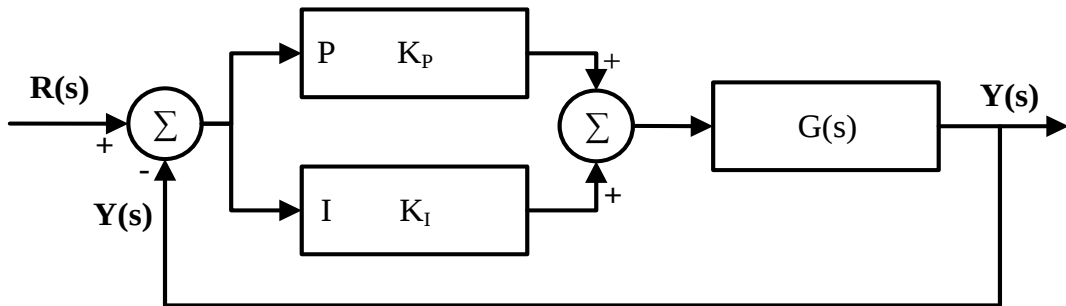


Resim 3.2. Tercih edilen bobinlerin görüntüsü

3.1.4. Kontrol birimi

Elektronik sistemleri kontrol etmek amacıyla farklı yapılar geliştirilmiştir. Bu yapılara, uygulaması basit olan P, I, PI, PD; bu sistemlere nazaran uygulaması daha zor olan PID, fuzzy logic ve hierarchical kontrol örnek olarak gösterilebilir. Sistemlerin ihtiyaçlarına göre oluşturulan bu kontroller sistemi istenilen değerde tutmak amacıyla kullanılır. Bu kontrol metotları arasında yaygın olarak tercih edilen PI kontrol uygulama kolaylığı ile ön plana çıkmaktadır. Oluşturulan sistemde uygun P ve I değerleri seçildiğinde, ihtiyaçları karşılayacağı görülmüş ve bu nedenle tercih edilmiştir.

Basit ve kararlı çalışabilen PI kontrol P ve I olarak iki bölümden oluşur (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. PI kontrol bileşenleri

Burada belirtilen P oransal, I integral fonksiyonlarını içermektedir.

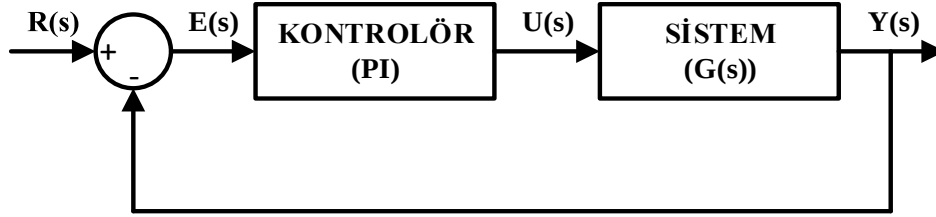
PI kontrolörün transfer fonksiyonu Denklem 3.16 ile ifade edilebilir;

$$G(s) = K_P + \frac{K_I}{s} \quad (3.16)$$

PI kontrol metodunda dönüştürücü azaltan tip çevirici özelliği ile çalıştırırken P ve I parametreleri önce P parametresinin bulunması ile başlanır. Burada karşılaşılan en büyük zorluk oluşturulan sistemin farklı değerlerde ve yüklerde çalışmasıdır. Hesaplama işlemi yapılırken K_P değeri verildiğinde işlemsel kuvvetlendirici kapasitesi çok büyümesi nedeniyle K_I değeri çok küçük olmamalıdır. Kapasite değeri K_I ile ters orantılıdır. Buna karşılık K_I/K_P oranı da çok küçük olmamalıdır. Bu durumda sistemin bant genişliği çok küçük, buna bağlı olarak da sistem yanıtında artış ve çıkışın yerleşme zamanının çok fazla olmasına neden olmaktadır. K_P değeri sistemin aşım ve yükselme açısını belirleyen ana etkendir. Buradaki K_I değeri ise salınım ve sistemin kararlılık süresini belirleyen ana etkendir. Her iki değer de birbiri ile bağlantılı olarak değişim göstermektedir. Bu nedenle uygun kontrol değişkenlerinin amacıyla farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu geliştirilen yöntemlere Ziegler-Nichols, Cohen-Coon, Chien-Hrones-Reswick, Wang-Juang-Chan gibi farklı parametre ayarlama yöntemleri gösterilebilir [50].

Ziegler-Nichols parametre ayarlama yöntemi deneme yanılma yolunun yönteme dökülmüş halidir. Diğer parametre ayarlama yöntemlerine göre uygulaması çok daha kolaydır. Bu nedenle çalışılması düşünülen uç değerlerde parametreler Ziegler-Nichols parametre ayarlama yöntemi tercih edilerek bulunmuştur. Farklı değer ve yüklere göre değerlerin ortalaması alınarak sabit bir değer ile sisteme uygulanmıştır.

Ziegler-Nichols metodunda açık çevrim ve kapalı çevrim olarak parametreler belirlenebilir. Açık çevrim hesaplamalarında sistem geri beslemesi bulunmazken, kapalı çevrim uygulamalarında çıkış verisi kullanılarak sistem geri beslemesi uygulanır. Kullanıcı ve sistem yeterliliklerine göre açık veya kapalı çevrim hesaplama yöntemi kullanılabilir.



Şekil 3.20.Kapalı çevrim sistemi

Negatif geri beslemeye sahip kontrol sistemlerinde basamak girişi uygulanarak sistemin devamlı olarak salınımının izlenmesine dayanır. Parametreler belirlenirken PI denetleyicide integral kazancı sıfır alınarak devre dışı bırakılır. Sistemin girişine bir K_p kazancı sıfırdan başlayarak, sistemin çıkışında sürekli ve aynı genlikte bir salınım elde edilinceye kadar artırılır [51]. Sürekli salınımı veren K_p kazancı K_u ve sürekli salınım periyodu saniye cinsinden P_u olarak tespit edilir. Çizelge 3.5’ de verilen kurallara bu değerler yerine konularak PID parametreleri bulunur.

Çizelge 3.5. Kapalı çevrim Ziegler-Nichols P, PI ve PID parametrelerinin ayarlama kuralları

Denetleyici Türü	K_p	$T_i(1/K_i)$	$K_d(T_d)$
P	$0,5 K_u$	∞	0
PI	$0,45 K_u$	$1/ 1,2 P_u$	0
PID	$0,6 K_u$	$0,5 P_u$	$0,125 P_u$

Parametre değerlerinin elde edilmesi sırasında PI kontrol parametrelerinden integral değişkeni devre dışı bırakılmıştır. K_p kazancı sıfırdan başlanarak sistemin çıkışı sürekli ve hedef referans ile aynı genlikte olacak şekilde artırılmıştır. Sürekli salınım veren K_p kazancı K_u cinsinden 600, sürekli salınım periyodu P_u ise saniye cinsinden 0,12 olarak bulunmuştur. Kapalı çevrim Ziegler-Nichols metodu ile elde edilen K_u ve P_u değerleri Çizelge 3.5’de yerine konulmuştur. Elde edilen PI parametreleri tablo halinde Çizelge 3.6’da sunulmuştur.

Çizelge 3.6. Benzetim PI çalışma parametreleri

Yöntem	Şarj	Deşarj
P	270	270
I	0,1	0,1
Referans Değer Aralığı	100V – 300V	100V- 300V

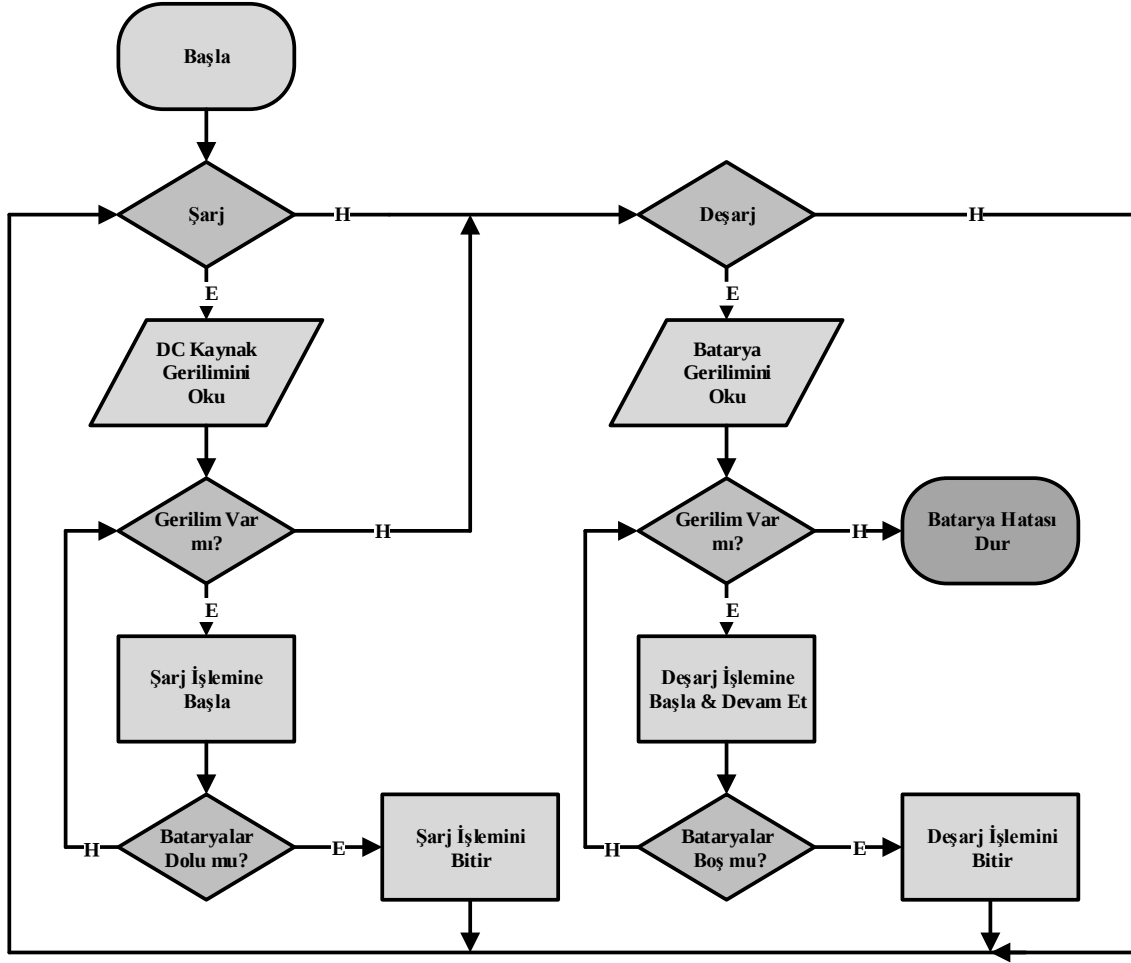
Birden çok hücreli dönüştürücülerde elde edilen değerler PWM yardımıyla anahtarlara görev oranınca uygulanmaktadır. Yükün paylaşılması ve çıkış kalitesinin artırılması anahtarlar arasındaki faz farkının değiştirilmesiyle sağlanır. Her anahtarlama sinyali için sinyal süresi ve hücre sayısına bağlı olarak hesaplanır. Bu değer anahtar sayısı ile ters orantılıdır. İfade edilen eşitliğe göre uygulamada kullanılan 10kHz anahtarlama sinyali sinyal süresi Denklem 3.17, hücreler arasındaki gecikme süresi ise Denklem 3.18 ile hesaplanmış ve uygulanmıştır.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10000} = 1 \times 10^{-4} sn \quad (3.17)$$

$$T_D = \frac{T}{\text{Hücre Sayısı}} = \frac{T}{2} = 5 \times 10^{-5} sn \quad (3.18)$$

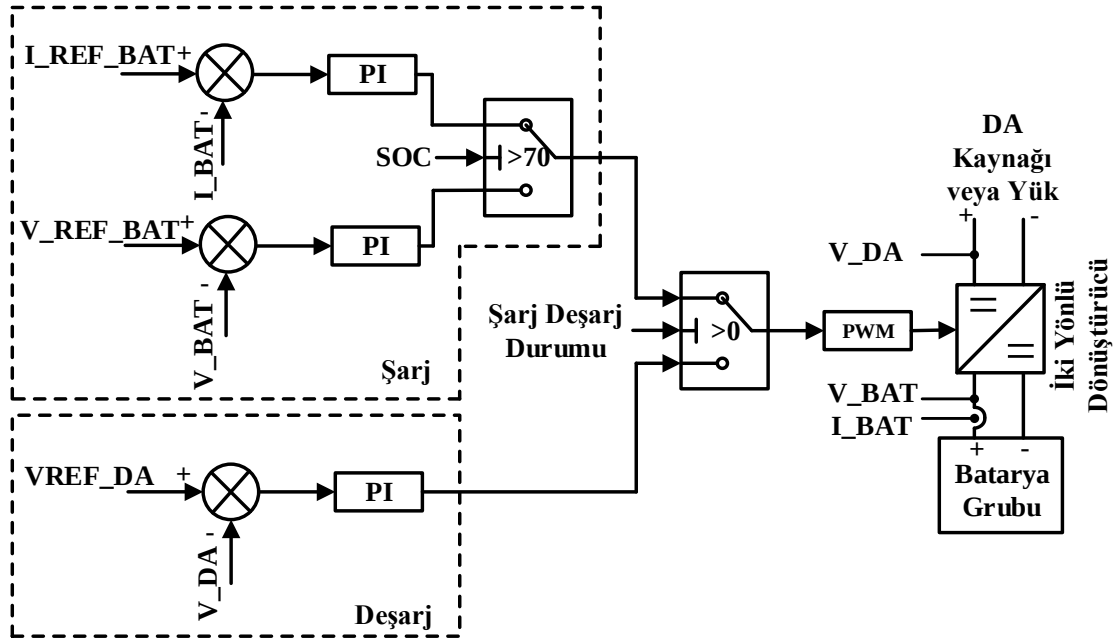
Bu sayede anahtarlar arasında yarım periyotluk bir gecikme olacak şekilde tetiklenir. Bu sayede iletilmek istenen güç iki anahtar üzerine paylaştırılmış olur.

Şarj işlemi, oluşturulan elektronik devrenin akım ve gerilim kaynağı olarak çalıştırılabilmesi özelliğinden faydalanılarak gerçek çalışma koşulları için basit bir algoritma ile uygulanmıştır. Gerilimin geniş bir aralıkta ayarlanabiliyor olması batarya grubuna direkt olarak bağlı olan sistem için akım ve gerilim kontrolünün sağlandığı farklı şarj algoritmalarına imkân vermiştir.



Şekil 3.21. Şarj-deşarj karar verme algoritması

Batarya şarj işlemine karar verildi ise kullanıcı ayarına göre farklı şarj metotları uygulanabilir. Program algoritması yavaş, normal ve hızlı şarj metotlarını desteklemektedir. Burada kullanılan kurşun asit batarya kullanım kılavuzu referans alınarak farklı şarj eğrileri uygulanmıştır. İdeal normal şarj uygulaması üç ana adımda gerçekleştirilir. Başlangıç akımı 3A'i geçmemek üzere sabit 1,5A – 2,0A şarj işlemidir. İkinci adımında sabit 14,7V – 14,9V şarj uygulaması ve son adımda 13,7V – 13,9V gerilim olmak üzere yüzer şarj uygulamasıdır. Her üç uygulamanın belirlenen sürelerde yapılması sonucunda batarya tam şarj işlemi gerçekleştirilmiş olur.



Şekil 3.22. PI değerlerinin kullanıldığı kontrol yapısı

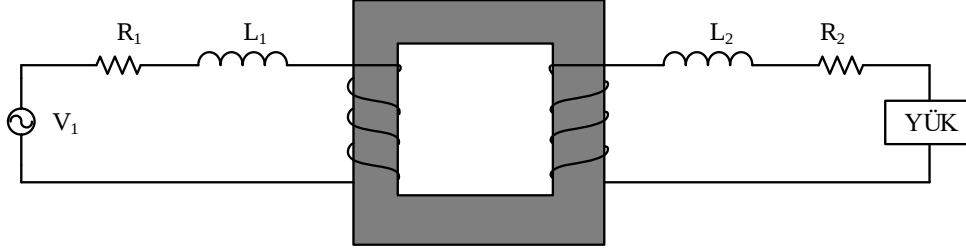
Kullanıcı girişi ile kurşun asit batarya adedi ve DA kaynak gerilimi girilir. Batarya şarj ve hesaplamalar batarya adedine göre belirlenir. Hesaplamalar kendi içerisinde yapılır. Şarj işlemi uygulamasında batarya doluluk oranı %70 ve altı durumlar için sabit akım kaynağı metodu uygulanır. %70 üzeri doluluk oranlarında ise şarj işlemi sabit voltaj uygulanarak tamamlanır. Şarj kararı deşarj durumuna geçtiği durumlarda ise batarya akımı ve devrenin taşıyabileceği 10A geçilmemek üzere deşarj işlemi gerçekleştirilir. Tüm bu işlemlerin yapılabilmesi amacıyla kontrol metodu olarak PI denetim tercih edilmiştir.

3.2. İzoleli Tip DA/DA Dönüştürücünün Modellenmesi

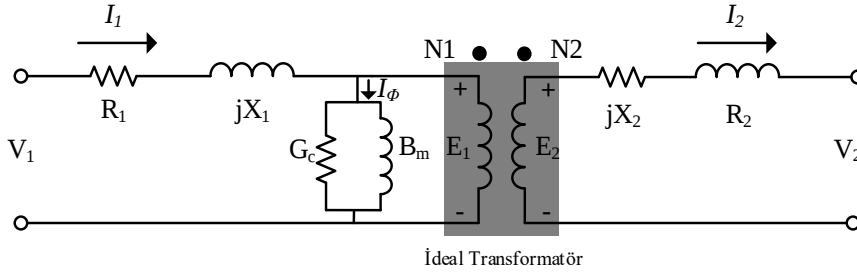
Oluşturulan devre yapısı bölümler halinde sırasıyla transformatör, doğrultucu, iki yönlü iki hücreli dönüştürücü ile devrede oluşabilecek gerilim/akım dengesizliklerinin sınırlandırılması amacıyla kullanılan RC bölümünün modellenmesi verilmiştir. Daha sonra tüm devrenin Matlab/Simulink modeli ile birleştirilerek anlatılmıştır.

Galvanik olarak izolasyona sahip transformatörlerde farklı matematiksel model çıkarma teknikleri bulunmaktadır [52-54]. En basit yöntem eş değer devre yapısı ile oluşturulan devre yapısıdır. Genel olarak bir transformatör testi ve gözlemlenebilmesi için kaynak, transformatör ve yük devre elemanı ile oluşturulan devre modelleri tercih edilir. Giriş gerilimi çıkış tarafına yansıtılması veya girişin çıkış tarafına yansıtılması ile oluşturulurlar.

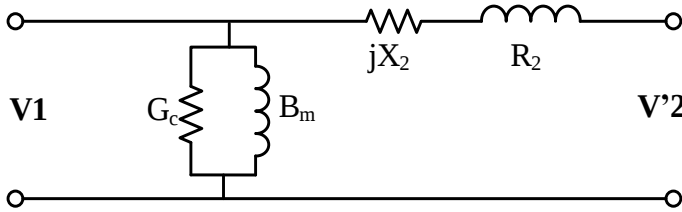
Geleneksel transformatörün uygulama modeli Şekil 3.23’de, eşdeğer elektrik devresi Şekil 3.24’de ve yaklaşık eşdeğerinin birincil sargıya yansıtılması Şekil 3.25’de verilmiştir.



Şekil 3.23. Transformatörün genel uygulama modeli

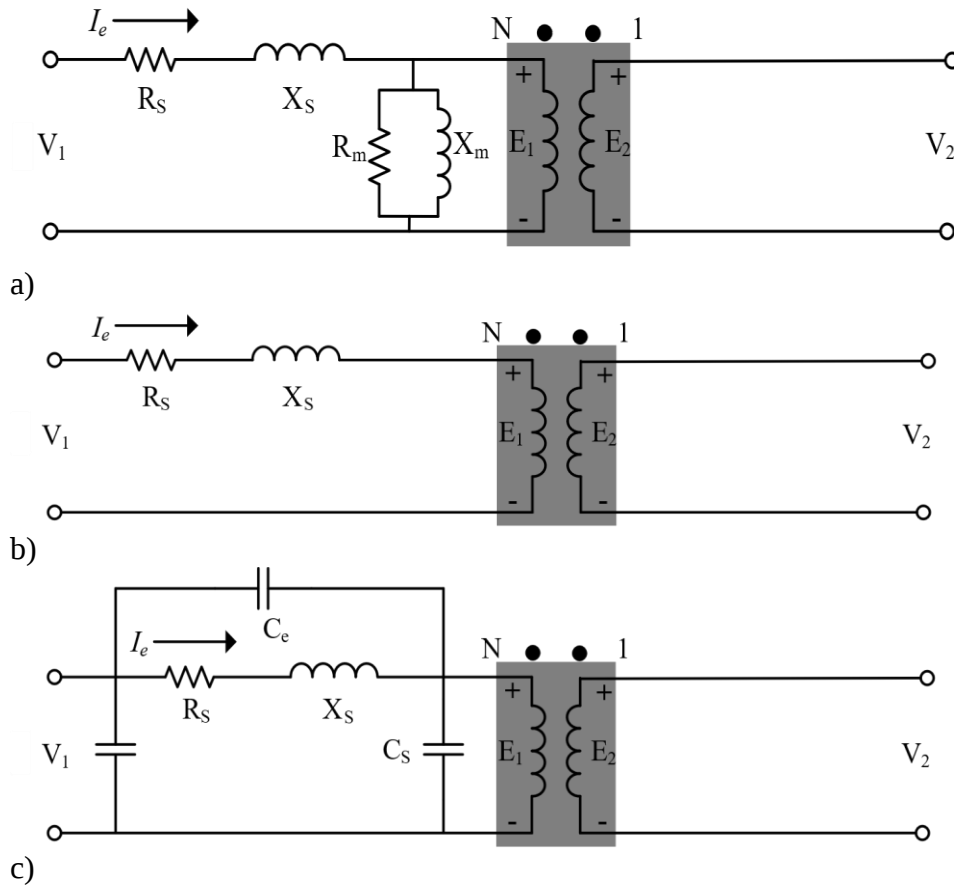


Şekil 3.24. Transformatörün elektrik devresi



Şekil 3.25. Transformatörün yaklaşık eşdeğerinin birincil sargı tarafına yansıtılması

Transformatörler matematiksel olarak daha kolay ifade edilebilmeleri amacıyla eşdeğer devre şemaları ile gösterilirler. Fakat transformatörler uygulama frekansına göre farklı devre karakteristikleri gösterir. Bu durum transformatörlerin aynı devre eşdeğerlilikleri ile gösterilmesini zor kılar. Çözüm için aynı devre yapısı yerine frekans durumu göz önüne alınarak düşük, normal ve yüksek frekans uygulama değerine göre üç farklı devre yapısı ile gösterilebilir. Bu devre yapıları Şekil 3.26’da verilmiştir [52].



Şekil 3.26. Transformatör eşdeğer devre yapıları (a) düşük frekanslar, b) orta frekanslar, c) yüksek frekanslar)

Transformatörün birincil sargısına uygulanan frekans değerlerine göre, bu frekans değerleri 50 ile 200Hz arası düşük, 200 ile 1 500Hz. arası normal, 1 500Hz. ve üzeri değerler ise yüksek frekans olarak belirtilmiştir Düşük frekans çalışma değerlerinde çekirdek aktif manyetik reaktans özelliği gösterir ve aktif çekirdek kayıpları baskındır. Orta frekans değerlerinde bu etki azalır. Yüksek frekans çalışma değerlerinde ise sargılar arasında ve toprak-çekirdek arasında kapasitif etkiler görülür [52].

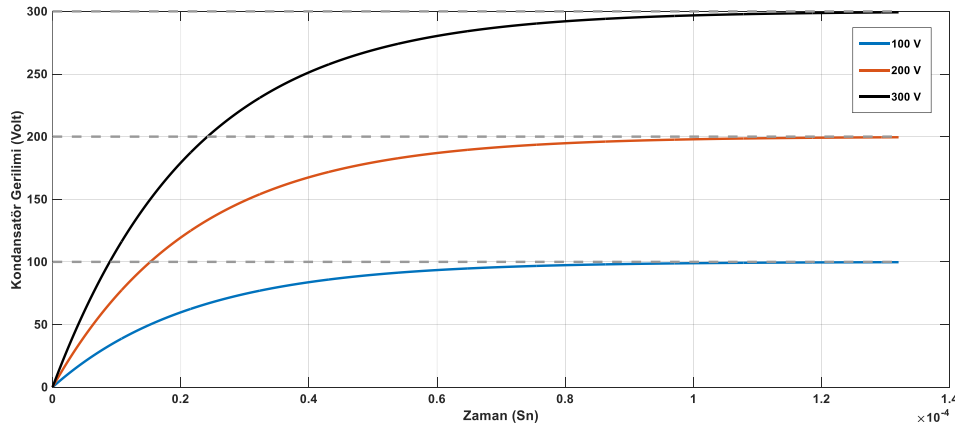
Ayrıca devre düzeneğinde giriş ve çıkışta simülasyonda ihmal edilebilecek düzeyde bir sınırlandırma direnci kullanılmıştır. Devre şarjdeşarj başlangıç durumlarında akım sınırlandırma görevi yapan bu direnç değerinin tepsinin gözlemlenmesi sağlıklı bir batarya şarjı için önemlidir. Bu nedenle sistem tepkisi direnç ve direnç ile paralel bağlı kondansatörün matematiksel denkleminde faydalanılmıştır. Matematiksel olarak çıkış gerilim tepkisi Denklem 3.19 ve Denklem 3.20 ile ifade edilebilir.

$$C \frac{dV_O(t)}{dt} + \frac{V_O(t) - V_S}{R} = 0 \quad (3.19)$$

Bu denklemde çıkış gerilimini yalnız bırakırsak;

$$V_O(t) = V_S(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (3.20)$$

Elde edilir. Burada devremizde giriş akımını ve transformatörün dolum anında yüksek akım çekmesinin önüne geçmek amacıyla R değeri $0,1 \, \Omega$ değerinde bir sınırlandırma direnci eklenmiştir. Sistemin kaynak gerilimine bağlantısının gerçekleştirildiğinde sistemin tepkisinin gözlemlenebilmesi amacıyla zamana bağlı değişim grafiği elde edilmiştir.



Şekil 3.27. Devrenin 100V, 200V ve 300V uygulamalarında sistem tepkisi

Denklem 3.20’de görüldüğü üzere başlangıç akımı durumunda teorik olarak sonsuz akım çekmektedir. Gerçek koşul durumlarında ise kapasite ve kapasite elemanının gerilim değeri farklılık göstermektedir. $0,1 \, \Omega$ direnç değeri ile bu durum uygun şekilde optimize edilmiştir. Bu sayede akım değeri limitler çerçevesinde tutulmuştur.

İki hücreli dönüştürücü matematik modelinin elde edilmesinde DA gerilimini kare ve üçgen dalga birleşiminden oluşan bir dalga formuna dönüştürülmüştür (Şekil 3.17). Giriş DA gerilimi iki hücreli dönüştürücü tarafından tetiklenmesiyle çıkışa gerilim yansıtır. Yansıtılan gerilim azaltan ve yükselten tip tek anahtarlı dönüştürücüler için s ortamında şu şekilde ifade edilebilir [55].

Azaltan tip uygulama yöntemi için:

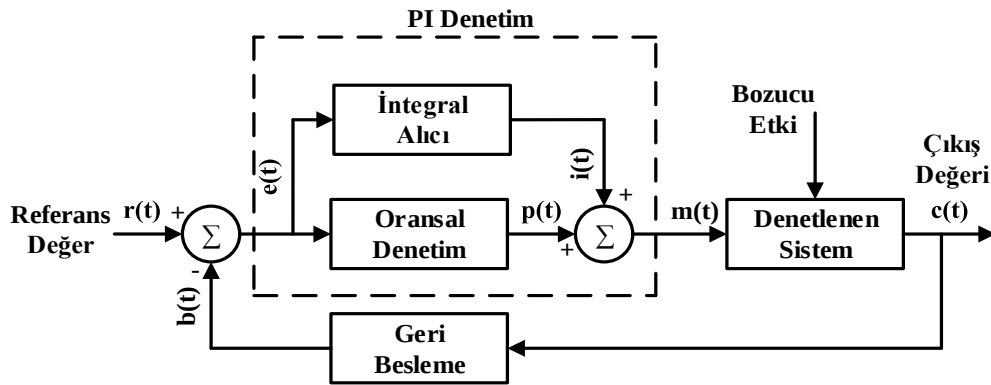
$$\frac{V_O(s)}{d(s)} = \frac{V_S/LC}{s^2 + \left(\frac{1}{RC}\right)s + \frac{1}{LC}} \quad (3.21)$$

Yükselten tip uygulama yöntemi için:

$$\frac{V_O(s)}{d(s)} = \frac{V_s}{(1-D)^2} \times \frac{\left[1 - s \frac{L}{R(1-D)^2}\right]}{\left[1 - s \frac{L}{R(1-D)^2} + s^2 \frac{LC}{(1-D)^2}\right]} \quad (3.22)$$

İle ifade edilebilir.

Mikrokontrolör kontrol yazılımında tercih edilen kontrol yöntemi olarak kapalı çevrim PI denetleyici yapısı kullanılmıştır. PI matematiksel denklemin oluşturulmasında zaman, integral çıkış denetim parametresi, oransal denetim çıkışı denklemlerinden yararlanılarak PI denetim çıkışı elde edilmiştir. PI kapalı çevrim denetim sistemi en basit hali ile Şekil 3.28 ile ifade edilebilir. [56].



Şekil 3.28. PI denetim yöntemiyle kapalı çevrim denetimi

P yerine K_p , I yerine K_i parametreleri kullanılmıştır. K_i kazancı T_i integral zaman sabitine bağlıdır ve ters orantılıdır. T_i Denklem 3.23 ile gösterilebilir. Bu değer yeniden ayar zamanı olarak da tanımlanabilir.

$$T_i = RC \quad (3.23)$$

İntegral denetleyicinin çıkış denetim parametresi;

$$i(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (3.24)$$

Oransal denetim çıkışı;

$$p(t) = K_p e(t) \quad (3.25)$$

PI denetim çıkışı;

$$m(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + v_o \quad (3.26)$$

PI denetim yöntemi bölgesine gerekli olan transfer fonksiyonu Laplace dönüşümleri ile zaman bölgesinden “s” tabanına çevrilerek bulunur. Mevcut yapının transfer fonksiyonu Denklem 3.27 veya Denklem 3.28 ile ifade edilebilir.

$$\frac{V}{E} = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (3.27)$$

$$TF = \frac{K_p s + K_i}{s} \quad (3.28)$$

Bu değer başlangıç durumu sıfır alınarak, giriş çıkış arasındaki dinamik ilişkiyi ifade eder.

Tam köprü dönüştürücü modelinde tam kare dalga uygulaması çıkışı referans alınarak modellenmiştir. DA gerilimi tam köprü dönüştürücü yardımıyla tam kare alternatif akıma dönüştürülerek kullanılmıştır. Bu nedenle giriş gerilimi çıkışa tepe değeri giriş gerilimi olacak şekilde yansıtılır. Matematiksel olarak RMS ve ortalama gerilim değeri giriş gerilimine eşittir.

$$V_o = V_i \quad (3.29)$$

Matematiksel olarak sistemin modellenmesi transformatör, tam köprü doğrultucu, tam köprü evirici, iki hücreli çift yönlü dönüştürücü ve PI kontrol bölümlerinden oluşmaktadır. Etkileşimli olarak birbirine bağlı çalışan sistem matematiksel olarak tek bir denklem üzerinde gösterilmesi zordur. Bu nedenle oluşturulan devre yapısı genel olarak Matlab/Simulink ortamında matematiksel olarak birleştirilmiştir.

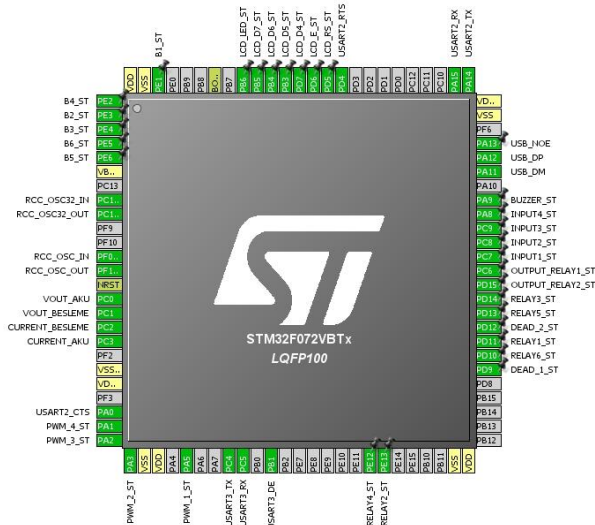
Şarj uygulamasında kaynak gerilimi istenen batarya şarj gerilimine göre uç seçiciler aracılığı ile transformatörde ayarlanır. Ayarlanamayan ara değerler azaltan dönüştürücü yardımı ile düşürülerek elde edilir. Burada uygulanan PI kontrol metodundaki referans değeri, batarya bloğuna uygulanan gerilimin değeridir (Şekil 3.29).

CubeMX, STMStudio gibi yardımcı eklentilerinin de kullanıcıya büyük kolaylık sağlamaktadır. İşlemcinin genel özellikleri tablo halinde Çizelge 3.7’ de verilmiştir.

Çizelge 3.7. STM32F072VBT6 kontrolörün genel özellikleri

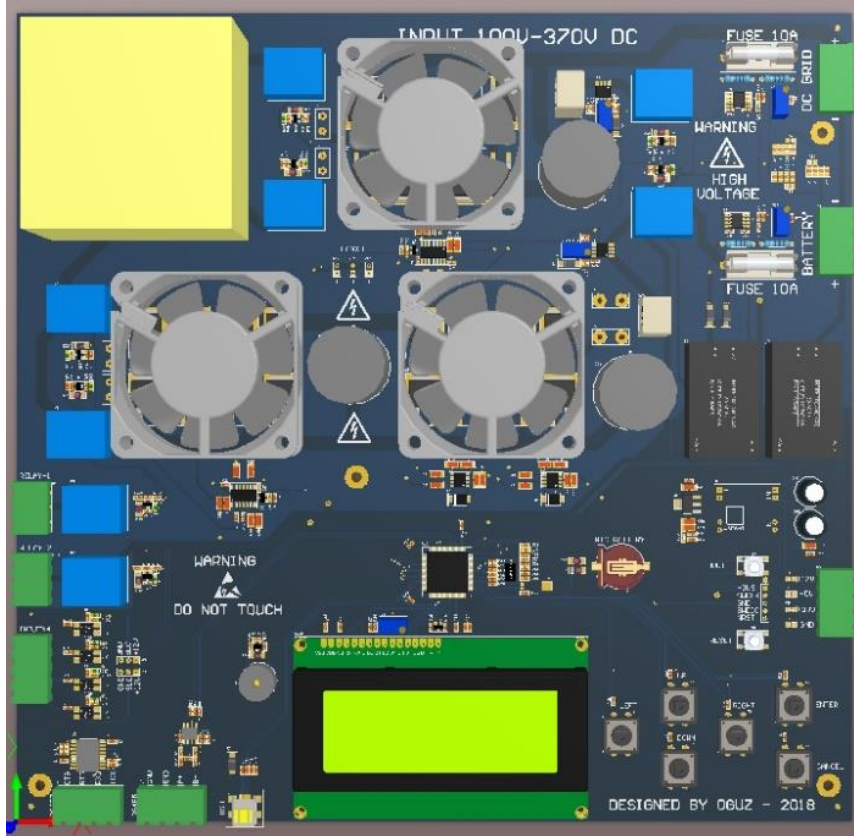
Kontrolör Birimi	Özelligi
Çekirdek	32 Bit Arm Cortex - M0 CPU
Hafıza (Flash)	128 Kbyte
SRAM	16 Kbyte
Besleme Voltajı	2,0V – 3,6V
Kristal	Dâhili 48Mhz
I/O	87 Adet
DMA	8 Kanal
ADC	12 Bit, 1µs, 16 Kanal
Sayıcı	12 Adet
İletişim Arayüzü	2 Adet I ² C, 4 Adet USART, 2 Adet SPI, CAN, 2.0 Yüksek Hızlı USB

Tasarım sırasında bacak bağlantılarının doğru seçilmesi çok önemlidir. İşlemcinin kullanıcı dosyasından faydalanabileceği gibi CubeMX dosyasından da faydalanabilir. Kullandığımız işlemci port ve pin seçimleri CubeMX programı aracılığı ile belirlenmiş ve belirlenen port ve pin durumları Resim 3.3’ de gösterilmiştir.



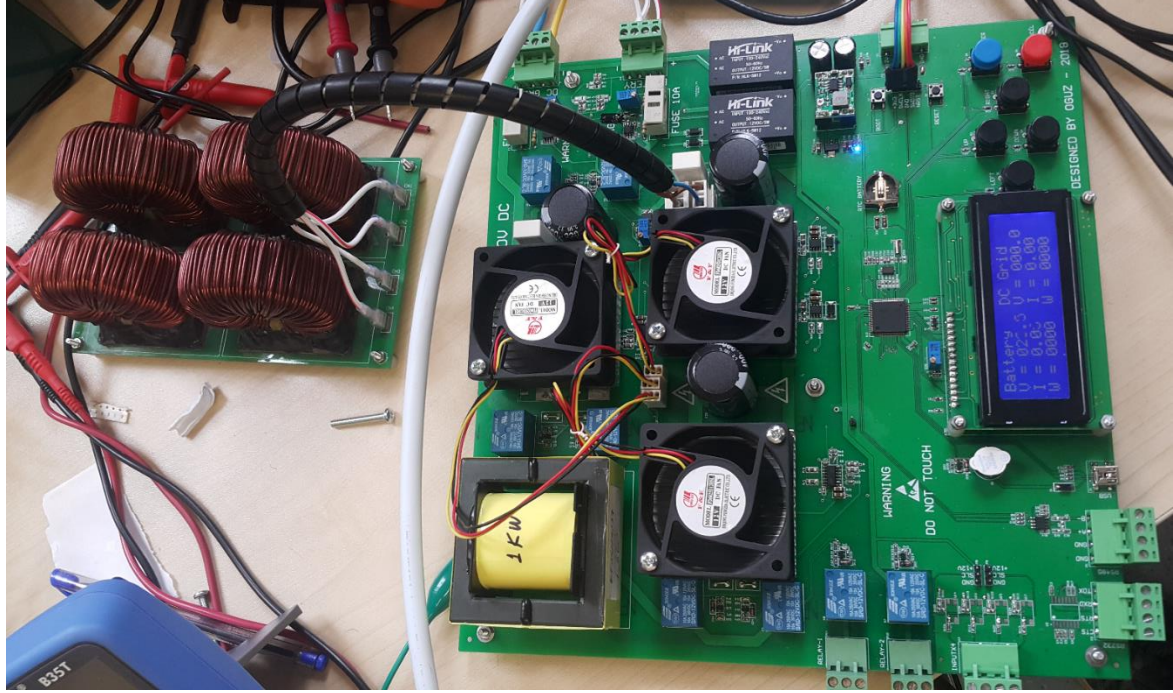
Resim 3.3. STM CubeMX programı ile pin bağlantılarının belirlenmesi

Tasarımda beklenmedik hataların önüne geçebilmek amacıyla malzeme paket çizimleri üzerine 3D çizim dosyaları eklenmiştir. Bu sayede tüm devre üretimi sonrasında hatalar minimize edilmiştir. Çizimi tamamlanmış 3D bilgisayar devre görüntüsü Resim 3.4’de verilmiştir.

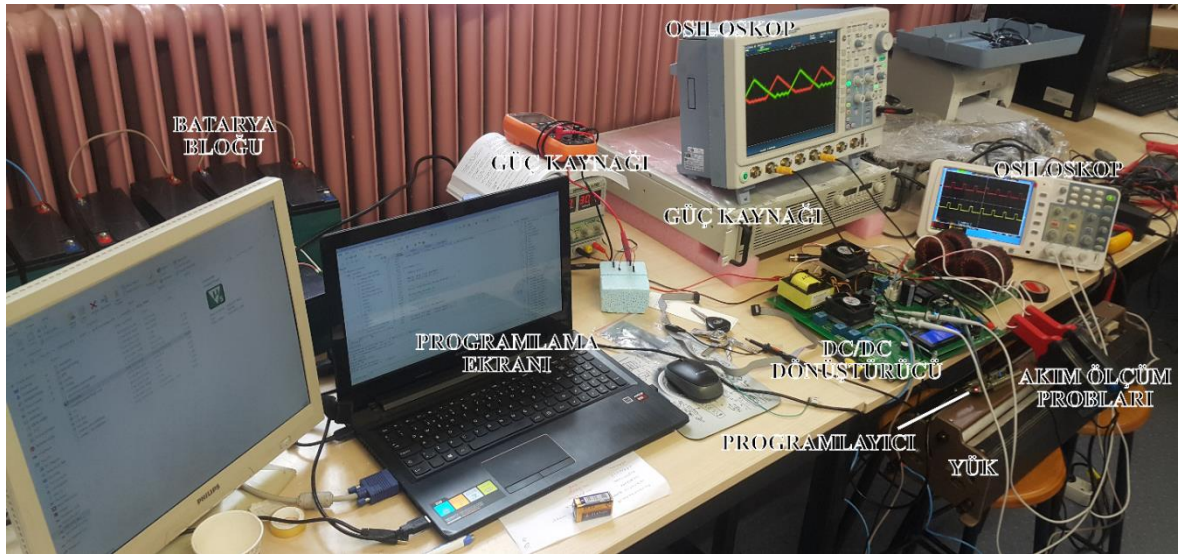


Resim 3.4. DA/DA dönüştürücünün bilgisayar ortamında 3D devre görüntüsü

Yazılımı ve üretimi sonucunda elde edilen transformatör ve gömülü yazılımı tamamlanarak elde edilen çift yönlü DA/DA dönüştürücü devresi Resim 3.5’de ve laboratuvar çalışma alanı Resim 3.6’da görülmektedir.



Resim 3.5. DA/DA dönüştürücünün devre görüntüsü



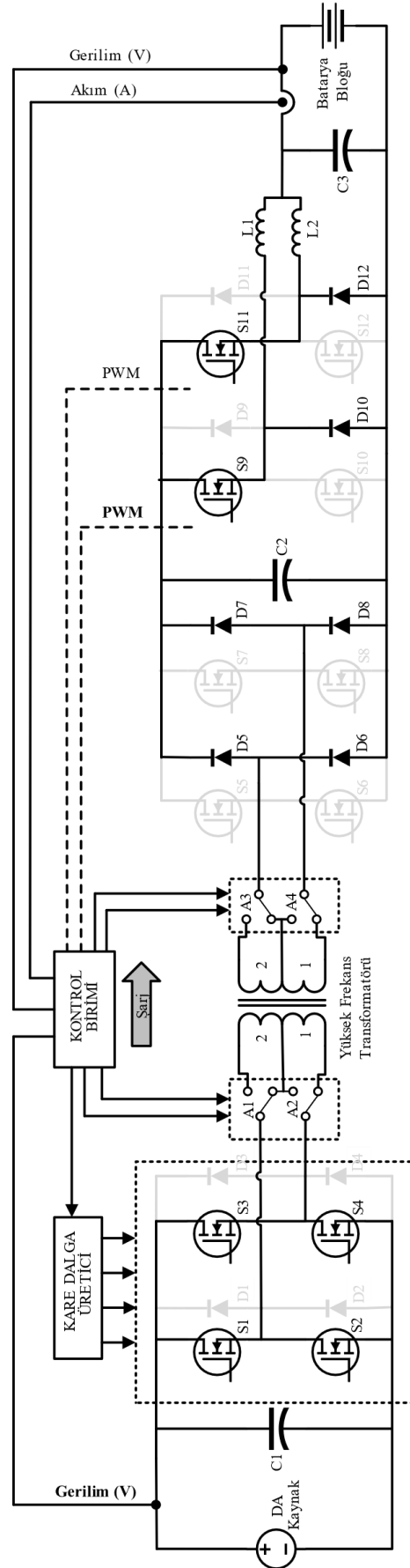
Resim 3.6. Laboratuvar çalışma alanı görüntüsü

3.4. İzoleli Tip DA/DA Dönüştürücü ile Batarya Şarj Devresinin Analizi

Şarj işlemi, oluşturulan elektronik devrenin akım ve gerilim kaynağı olarak çalıştırılabilmesi özelliğinden faydalanılarak gerçek çalışma koşulları için basit bir algoritma ile uygulanmıştır. Gerilimin geniş bir aralıkta ayarlanabiliyor olması batarya grubuna direkt olarak bağlı olan sistem için farklı şarj algoritmalarına imkân vermektedir.

Şarj-deşarj karar algoritması DA besleme gerilim durumuna ve batarya şarj durumuna göre belirlenir (Şekil 3.21). Eğer DA besleme hattında enerji var ise şarj uygulaması yapılabilir. Besleme bölümünde enerji yok ise deşarj işlemi yapılır ve besleme kısmı belirlenen gerilimde enerji verme işlemi gerçekleştirilir. Bu durum bataryaların belirlenen şarj durumuna kadar devam eder ve deşarj durumu sonlandırılır.

Şarj uygulaması sırasında kaynak gerilimi istenen batarya şarj gerilimine göre transformatörde ayarlanır. Ayarlanamayan ara değerler azaltan tip dönüştürücü yardımı ile elde edilir. Burada uygulanan PI kontrol metodundaki referans değer, batarya bloğuna uygulanan gerilimin değeridir (Şekil 3.31).

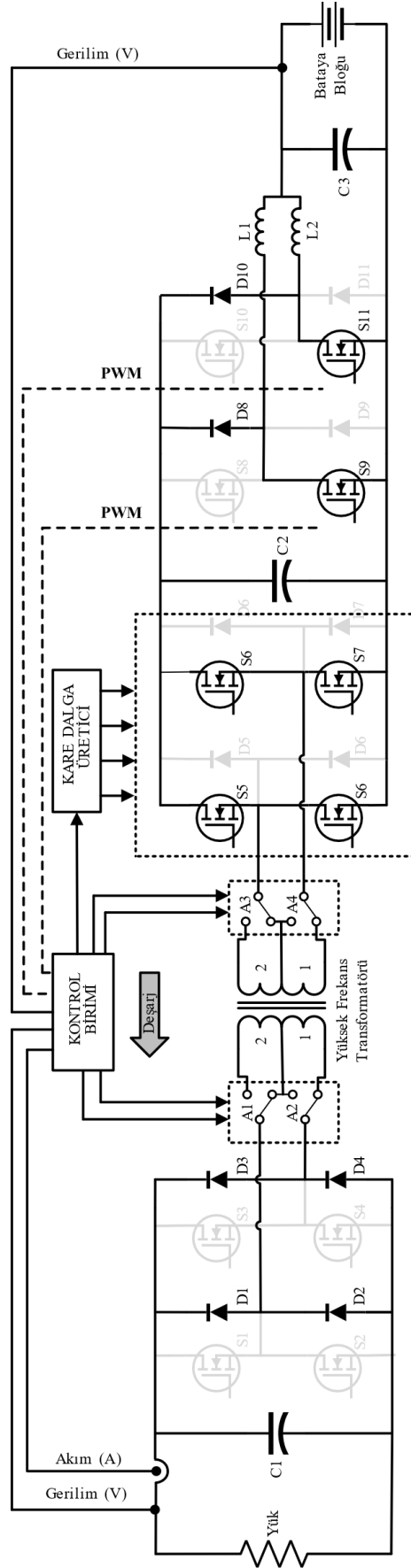


Şekil 3.31. Şarj işlemi

Uygulamada kaynak gerilimi kesilmiş ve bataryalarda gerekli enerji depolanmış ise deşarj uygulaması yapılır. Kontrol şartı sağlandığı durumda deşarj uygulaması, yükün beslenmesi gereken hedef gerilim değerine göre transformatör çevrim oranı belirlenir. Batarya gerilim değeri referans alınarak ve program algoritması aracılığıyla elde edilen ile transformatör dönüşüm oranıyla 3 katına kadar gerilim artırma ve azaltma işlemleri gerçekleştirilir. Bu değer gerilimi artırma ve gerilim azaltma durumu için her iki durumda da gerilimi sabit tutma haricinde 2:3, 1:2 ve 1:3'lük dönüşüm imkânı sunar. Bu değerler belli katsayılar oranı ile orantılıdır. Bu nedenle elde edilemeyen gerilim ara değerleri için çift yönlü iki hücreli dönüştürücünün gerilimi artırma özelliğinden faydalanılır. Daha sonra elde edilemeyen değerler için PI kontrol yardımı ile çift yönlü iki hücreli dönüştürücü artıran tip dönüştürücü metoduyla çalıştırılır. Burada elde edilmesi düşünülen çıkış gerilimi, yük uçlarına uygulanan gerilim referans alınarak elde edilir ve istenilen gerilim değerleri elde edilmiş olur.

Deşarj uygulaması batarya tarafına bağlı çift yönlü dönüştürücünün yükselten dip dönüştürücü özelliğinden faydalanılmıştır. Anahtarlama sadece düşük seviyeli anahtarlar kullanılmış ve anahtarlama görev oranının belirlenmesinde PI kontrol metodundan yararlanılmıştır. PI ile belirlenen görev oranı iki hücreye de eşit şekilde paylaştırılması gerçekleştirilmiştir. Bu işlem anahtarlar arasında 180 derece faz farkı ile anahtarlara uygulanmıştır. Çıkış görev oranı sağlıklı bir gerilim yükselte işleminin gerçekleştirilmesi ve kısa uzun süreli anahtarlama durumlarında verimin düşmemesi için anahtar görev oranı her iki hücrede de %50 olarak limitlenmiştir.

İki hücreli çift yönlü dönüştürücüden elde edilen DA çıkış gerilimi uç seçiciler aracılığıyla transformatöre uygulanmıştır. Burada transformatöre uygulanan sinyal tam köprü dönüştürücüden elde edilen tam kare dalga AA sinyali dir. Transformatörde uç seçiciler ile belirlenen sargı sayılarına göre gerilim dönüştürme ve galvanik yalıtım sağlanarak AA kare çıkış gerilimi elde edilmiştir. AA dalga köprü dönüştürücü aracılığı ile istenilen DA çıkış gerilimi elde edilmiştir. Devrenin çalışma devresi Şekil 3.32'de verilmiştir.



Şekil 3.32. Deşarj işlemi

Şarj uygulaması akım ve gerilim kontrolü sağlanarak gerçekleştirilmiştir. Batarya karakteristikleri göz önüne alınarak akımlar limitler çerçevesinde tutulmuştur. Ayrıca şarj ve deşarj işlemleri sırasında kurşun asit bataryalardan uzun süreler maksimum verimin sağlanması amacıyla aşağıda belirtilen durumlar göz önünde bulundurulmaya çalışılmıştır:

- Ani şarj, deşarj akımlarına maruz bırakılmamalıdır.
- Başlangıç şarj akımı ve hızlı şarj akımı üretici referans dosyasında belirtilen seviyeyi geçmemelidir.
- Uzun süreli şarj durumlarında bekletilmemelidir.

Durumlarını karşılamaktadır. Ayrıca yazılımın geliştirilmesi ile eklenebilecek kullanıcıyı bilgilendirme özelliği ile aşağıda belirtilen kurşun asit bataryalar için gerekli diğer uygulamalar maddeler halinde şu şekilde verilebilir:

- Kullanılmayan zamanla boşalan kurşun asit bataryalar 6 ayda bir düzenli olarak şarj edilmelidir.
- Bakımlı tiplerinde elektrolitik sıvı düzenli olarak kontrol edilmeli plaka altına düşürülmemelidir.
- Bataryalar bekleme, şarj veya deşarj durumlarında uygun sıcaklıklar arasında tutulmalıdır.

Belirtilen bu özellikler dikkat edildiği takdirde mevcut elektrolit yapısı bozulmayacak ve çevrim ömründe ciddi düşüşler gerçekleşmeyecektir.

Yüksek frekans transformatörü tabanlı bir batarya şarj sistemi tasarımı akabinde şarj ve deşarj uygulamaları ile elde edilen benzetim ve uygulamadan elde edilen bulgular ayrıntılı olarak benzetim ve uygulama sonuçları bölümünde verilmiştir.

4. BENZETİM VE UYGULAMA SONUÇLARI

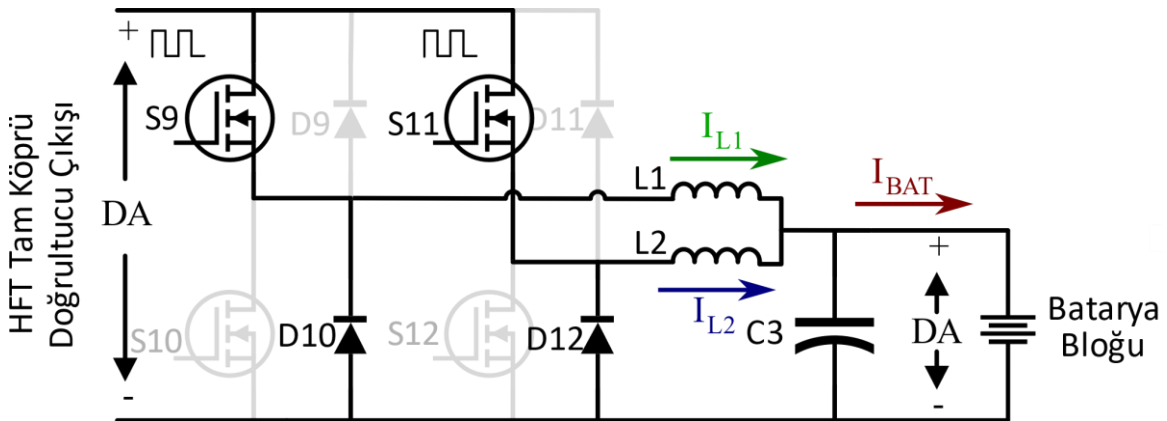
Bu bölümde benzetim ve uygulama çalışmalarından elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Tüm çalışma durumlarının incelenmesi için farklı doluluk oranlarında sonuçlar alınmıştır. Böylece uygulanan modelin olası çalışma durumlarındaki davranışları incelenmiştir. Öncelikle sistemin benzetim modelinden elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

4.1. Benzetim Sonuçları

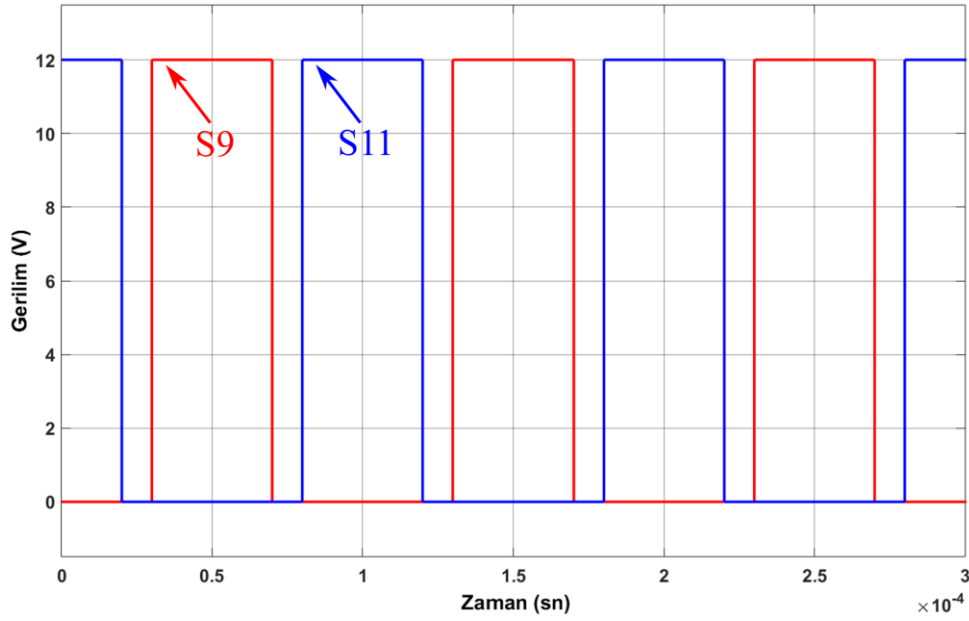
Yüksek frekans transformatörüyle oluşturulan batarya şarj sistemi ve kontrol yapısına ait benzetim çalışmaları yapılarak sistem tepkileri tartışılmıştır. Oluşturulan sistemin şarj ve deşarj durumlarına ait anahtarlama sinyalleri, güç akış analizleri, farklı yüklenme koşulları altındaki tepkileri, transformatör giriş-çıkış gerilimleri ve verim sonuçları bu bölümde sunulmuştur.

4.1.1. Şarj durumunun incelenmesi

İki hücreli çift yönlü dönüştürücünün yüksek seviyeli anahtarları tetiklenerek şarj durumu oluşturulmuştur. Şarj durumuna ait devre modeli Şekil 4.1’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, pozitif baraya bağlı anahtarların iletim süresine bağlı olarak bobinler şarj olacaktır. Bu nedenle, anahtarlama sinyallerinin doluluk oranları doğrudan güç seviyesini etkilemektedir.

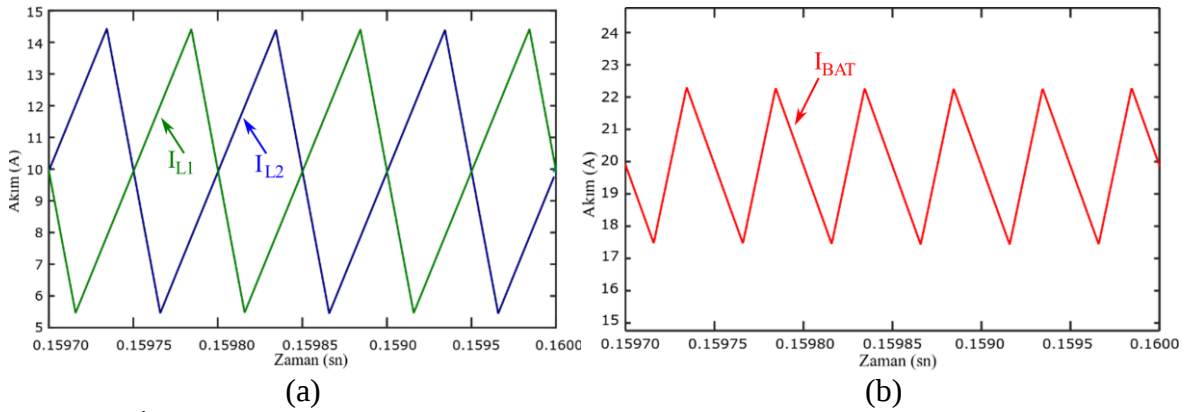


Şekil 4.1. İki hücreli dönüştürücünün gerilimi düşürten yöntemi ile çalıştırılması



Şekil 4.2. İki hücreli dönüştürücü anahtarlama sinyalleri

Şarj durumuna ait pozitif bara anahtarlarının tipik gösterimi Şekil 4.2’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, anahtarlama sinyalleri arasında 180 derece faz farkı bulunmaktadır. Böylece, toplam akım katman bobinleri ve anahtarlar arasında paylaştırılmıştır. Bu anahtarlama koşulları altında elde edilen bobin akımlarına ait sonuçlar Şekil 4.3(a)’da, bu akımların toplamaları ise Şekil 4.3(b)’de verilmiştir.

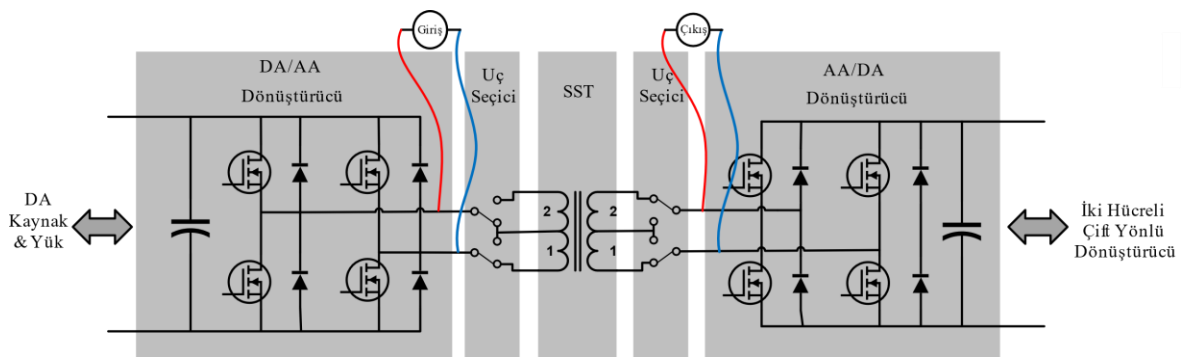


Şekil 4.3. İki hücreli dönüştürücü 10 Ω yük altında benzetim bobin akım sinyalleri (a) I_{L1} ve I_{L2} akımları, b) I_{BAT} akımı)

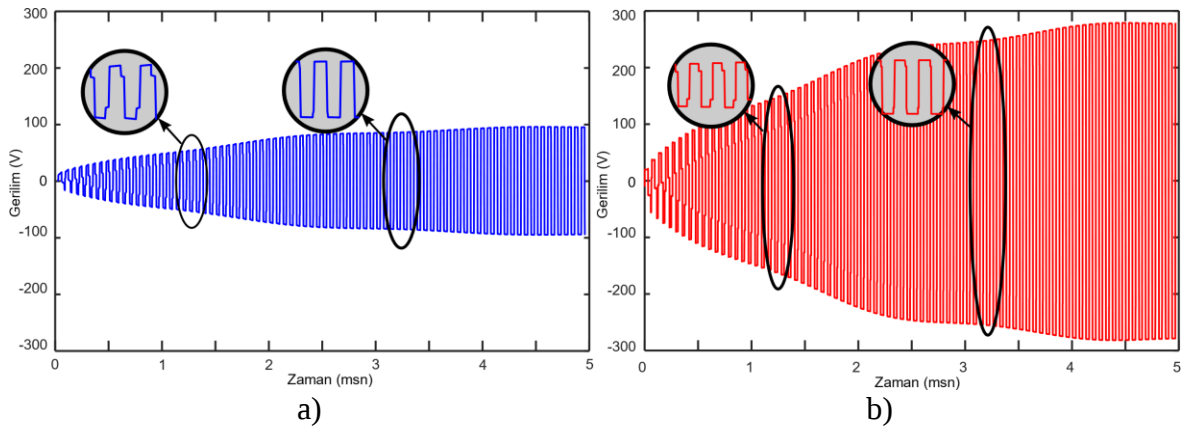
Şekil 4.2’de görüldüğü gibi, anahtarlar 180 derece faz kaydırmalı olarak iletim ve kesime götürülmüştür. Böylece, Şekil 4.3(a)’da görülen 180 derece faz farklı indüktör akımları üretilmiştir. Şekil 4.3(b)’de verilen çıkış akımı hem daha az salınıma hem de iki kat daha yüksek salınım frekansına sahip olduğundan küçük kapasiteli bir kondansatör ile çıkış

gerilimini filtre etmek mümkündür. Bu durum iki hücreli dönüştürücülerin en önemli avantajlarından biridir. Düşük salınım sayesinde bataryalarda büyük önem arz eden şarj akımı kalitesi artırılmıştır.

Çıkış tarafından bataryaya güç akışı sağlanırken, transformator tarafı için ölçüm sonuçları Şekil 4.4'te verilen “Giriş” ve “Çıkış” noktalarından alınmıştır. Transformator dönüştürme oranı 1:3 iken elde edilen gerilim sonuçları Şekil 4.5'te verilmiştir. Transformatorün giriş gerilimini 3 kat yükselterek çıkışa aktardığı şekilden açıkça görülmektedir.



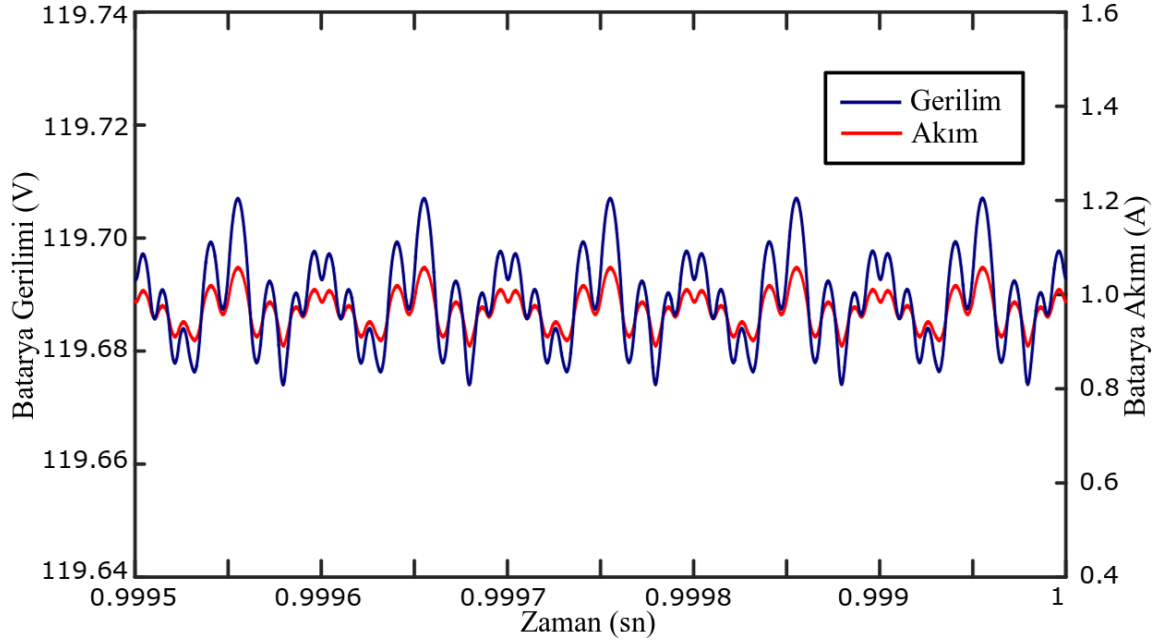
Şekil 4.4. Transformator gerilim ölçüm noktaları



Şekil 4.5. Transformator benzetimi (a) giriş sinyali b) çıkış sinyali

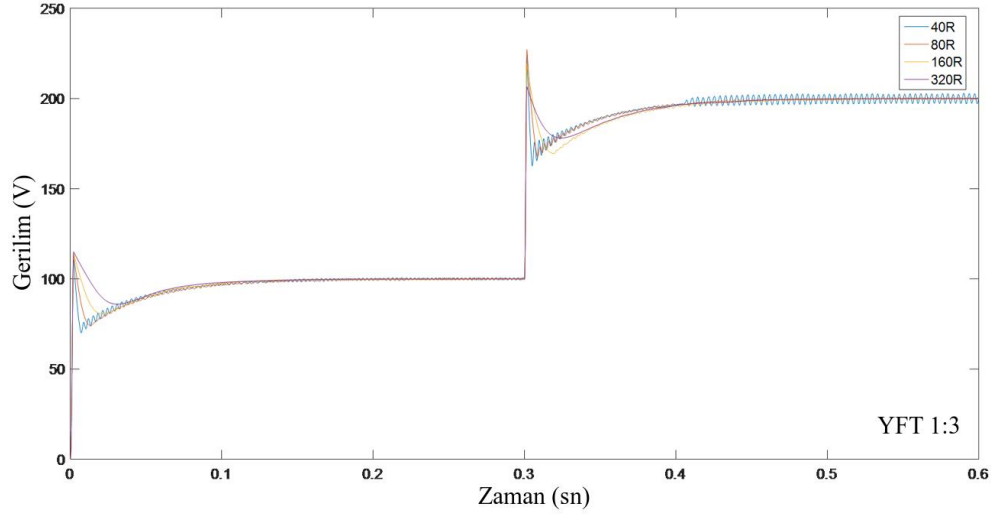
Şekil 4.5'in başlangıç kısmında meydana gelen bozulmalar kondansatörün yüksek başlangıç akımından kaynaklanmaktadır. 3-4 ms aralığı sonrasında kondansatör başlangıç durumu aşıldığından dolayı sinyalin kare dalga biçimine geldiği şekilde görülmektedir. Sinyaller üzerindeki bozulmalar batarya ömürlerini olumsuz etkilemektedir. Ancak transformator çıkışında iki hücreli çift yönlü dönüştürücü kullanıldığından, bataryaya uygulanan gerilim kalitesini dönüştürücü çıkışında analiz etmek daha gerçekçi bir yaklaşım olacaktır. Dönüştürücü çıkışından bataryaya uygulanan gerilim ve şarj akımına ait detaylı benzetim

sonuçları Şekil 4.6’da verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, gerilim ve akım sinyallerindeki salınım maksimum %0.034 seviyesindedir. Bu değer ev şarj cihazları için iyi olarak nitelendirilebilecek %5’lik salınım seviyesinin çok altında bir salınım oranıdır [57].



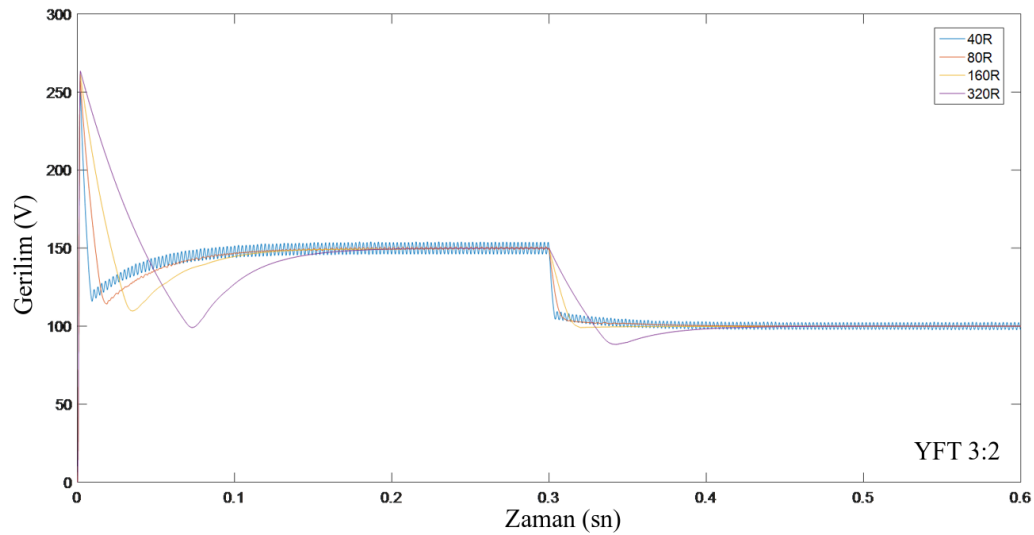
Şekil 4.6. Batarya akım ve gerilimi

Çevirici çalışma durumlarının incelenmesi neticesinde açık döngünün yanı sıra PI kontrolör kullanılarak da benzetim çalışmaları yapılmıştır. Benzetim çalışmalarında yük değişimleri ve gerilim basamak değişimleri gerçekleştirilmiştir. Öncelikle transformatör dönüştürme oranı 1:3 ve giriş gerilimi 100V iken referans değer değiştirilerek benzetim çalışması yapılmıştır. Referans değer 100V’tan 200V’a çıkarılması durumundaki sistem tepkisi 4 farklı yük değeri için Şekil 4.7’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, basamak değişiminden yaklaşık 0.1sn sonra kontrolör çıkış gerilimini tüm yükler için referans değere eşitlemiştir.



Şekil 4.7. Farklı yüklerde gerilim 100V-200V geçiş grafiği

Hem sistemi farklı bir dönüştürme oranı altında hem de PI kontrolörün basamak düşüş tepkisini analiz etmek için transformatör dönüştürme oranı 3:2 olarak belirlenmiş ve referans değer 150V'tan 100V'a azaltılmıştır. Bu durumda da 4 farklı yük değeri için gerilim grafikleri alınmış ve Şekil 4.8'de verilmiştir. Başlangıç için oturma süresi 0.2sn seviyelerindeyken, basamak değişimi esnasında gerilimin referans değere sabitlenmesi 0.1sn'de gerçekleşmiştir.



Şekil 4.8. Farklı yüklerde 150V-100V gerilim geçiş grafiği

Farklı dönüştürme oranları altında yapılan bu basamak değişim testleri, oluşturulan modelin referans gerilim değerini takip edebildiğini göstermektedir. Ayrıca, farklı yükler için elde edilen sonuçlar da 40Ω ile 320Ω gibi geniş bir yük değişimi aralığında sistemin çalışmasını

sürdürdüğünü göstermektedir. Kontrol sonuçlarının yanı sıra, girişten bataryaya kadar sistem verimleri de farklı yük değerleri için analiz edilmiş ve Çizelge 4.1’de verilmiştir. Çizelgede görüldüğü üzere, çevirici verimi güç değerinin azalması durumunda sabit kayıplar nedeniyle %47 seviyelerine kadar düşmektedir. Ancak, 250W ve 500W değerinde sabit kayıpların etkisi daha az olduğundan sistem verimi %88,7’ye kadar yükselmiştir.

Çizelge 4.1. Farklı yüklerde sistem verimi benzetim sonuçları

Farklı Yüklerde Şarj Verim	Tablosu	Kaynak Gerilimi	Hedef Gerilim	Trans. Dönüşüm Oranı	Yük	Alınan Güç	Verim η
		120V	100V	1:1	20 Ω	500W	%88,7
		120V	100V	1:1	40 Ω	250W	%84,0
		120V	100V	1:1	80 Ω	125W	%75,5
		120V	100V	1:1	160 Ω	62.5W	%64,4
		120V	100V	1:1	320 Ω	31.3W	%47,3

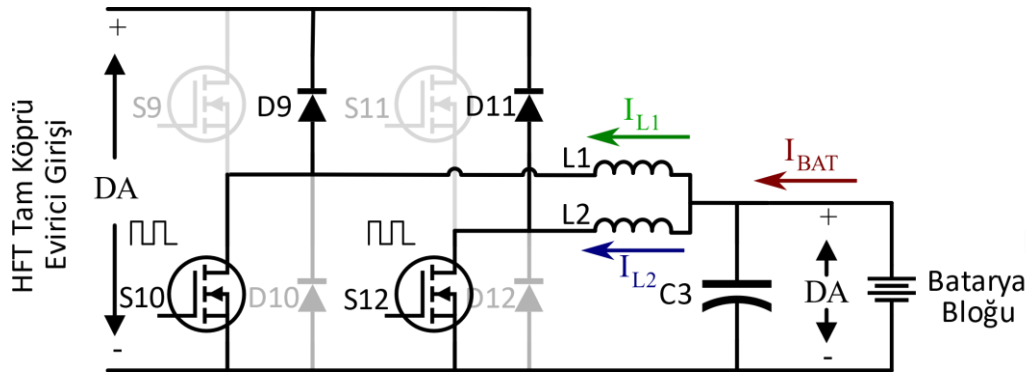
Çizelge 4.2. Farklı gerilimlerde sistem verimi benzetim sonuçları

Farklı Gerilimlerde Şarj Verim	Tablosu	Kaynak Gerilimi	Hedef Gerilim	Trans. Dönüşüm Oranı	Verilen Güç	Alınan Güç	Verim η
		320V	300V	1:1	2 000W	1 440 W	%72,0
		270V	250V	1:1	2 000W	1 562W	%78,1
		220V	200V	1:1	2 000W	1 666W	%83,3
		170V	150V	1:1	2 000 W	1 744W	%87,2
		120V	100V	1:1	2 000W	1 818W	%90,9

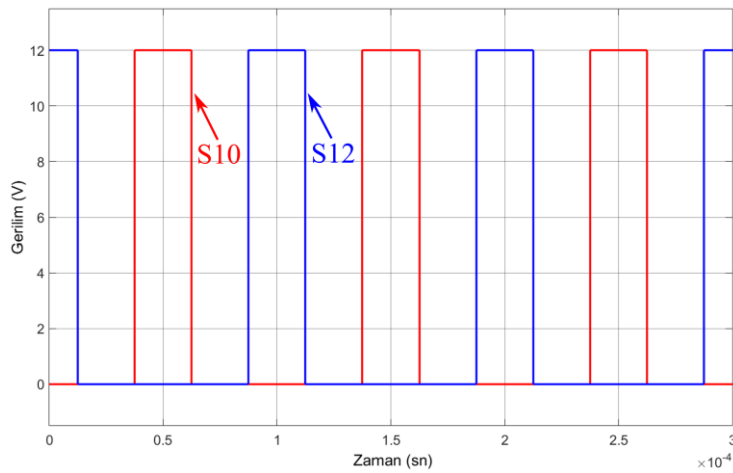
Transformatör dönüşüm oranı 1:1 iken sabit güç durumunda giriş gerilimi 120V’tan başlanarak kademeli olarak 320V’a artırılarak verimler karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.2’de görüldüğü üzere, 120V seviyesinde verim %90 iken 320V seviyesinde %72 olarak hesaplanmıştır. Giriş gerilimiyle ters orantılı olarak değişen bu verim, sabit güç durumundan kaynaklanmaktadır. Düşük gerilimlerde artan akım miktarı verimi olumlu yönde etkilerken, yüksek gerilimlerde meydana gelen akım düşüşü verimi olumsuz etkilemektedir.

4.1.2. Deşarj durumunun incelenmesi

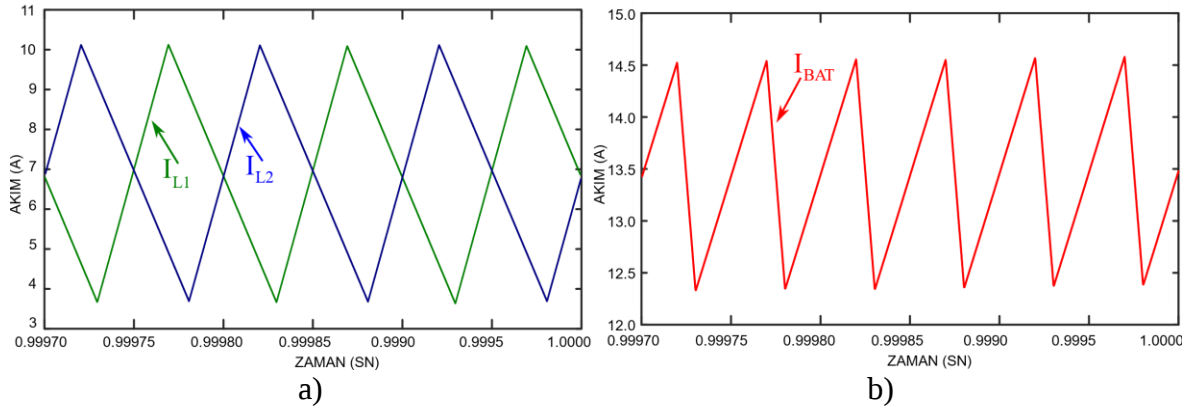
Deşarj durumundaki çalışma yapısının incelenmesi için, iki hücreli çift yönlü dönüştürücünün S10 ve S11 anahtarları tetiklenerek deşarj durumu oluşturulmuştur. Bu duruma ait devre modeli Şekil 4.9’da verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, negatif baraya bağlı S10 anahtarı kapalı konuma geldiğinde, L1 bobini bataryadan şarj olmaktadır. Anahtar açık duruma geldiğinde ise, bobin D9 diyotu üzerinden batarya tarafı eviricisine güç akışı sağlamaktadır. Benzer şekilde, S12 anahtarı ve D11 diyotu ile L2 bobininin şarj deşarj durumları sağlanmaktadır.



Şekil 4.9. İki hücreli dönüştürücünün gerilimi yükselten yöntemi ile çalıştırılması



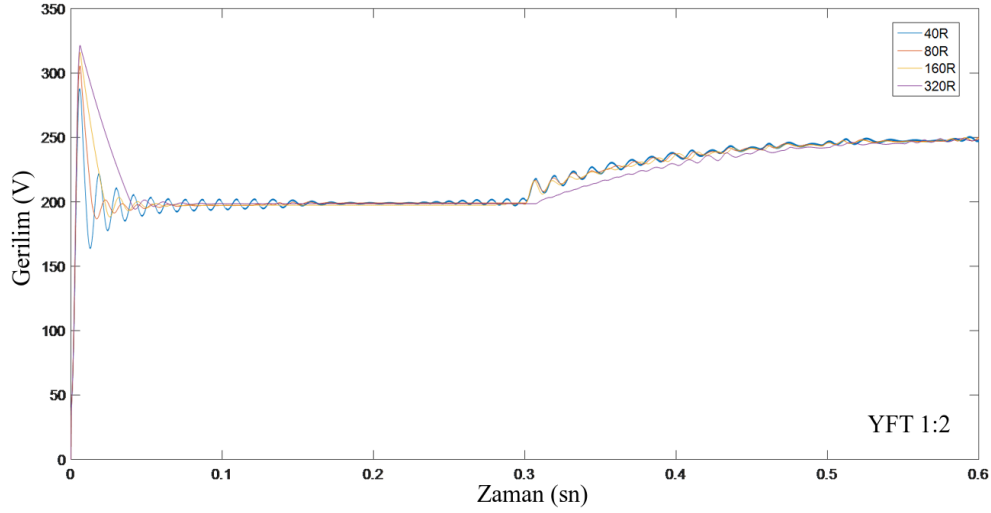
Şekil 4.10. İki hücreli dönüştürücü anahtarlama sinyalleri



Şekil 4.11. Yükselten tip dönüştürücü benzetim ortamında bobin akımlarının gözlenmesi (a) I_{L1} ve I_{L2} akımları, b) I_{BAT} akımı)

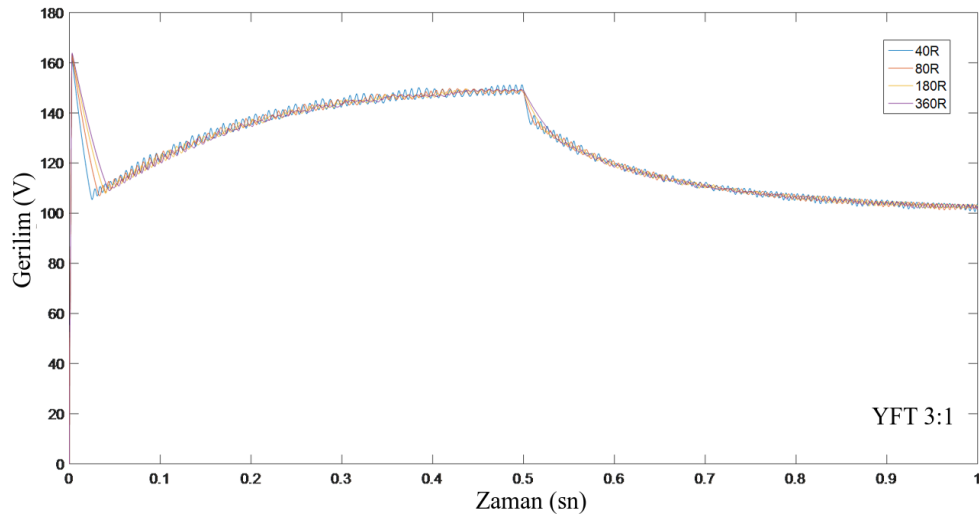
Ölçümler Şekil 4.9’da belirtilen L1 ve L2 bobinleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.10’da görüldüğü gibi, anahtarlar 180 derece faz kaydırmalı olarak iletim ve kesime götürülmüştür. Böylece, Şekil 4.11(a)’da görülen 180 derece faz farklı indüktör akımları üretilmiştir. Şekil 4.11(b)’de verilen çıkış akımı hem daha az salınıma hem de iki kat daha yüksek salınım frekansına sahip çıkış elde edilmiştir. Tek hücreli dönüştürücüye göre daha küçük kapasiteli bir kondansatör ile çıkış gerilimini filtre etmek mümkün hale getirmiştir. Bu uygulama iki hücreli dönüştürücülerin en önemli avantajlarından biridir. Çekilen akım kalitesinin daha düzenli hale getirilmesi, ani ve başlangıç deşarj akımlarının düzenlenmesi batarya ömrünü artırmaktadır. Ayrıca iki hücreli dönüştürücü sayesinde iletilen akım kalitesinin artırılması ile kaliteli bir çıkış gerilimi elde edilmiştir.

Şarj durumuna benzer olarak, deşarj durumunda da PI kontrolör kullanılarak sistem tepkileri analiz edilmiştir. Bu benzetim sonuçları elde edilirken, 1:2 ve 3:1 transformatör dönüştürme oranlarında farklı yük değerleri için referans değişim durumları incelenmiştir. İlk olarak 1:2 çevrim oranda 0,3’üncü saniyede referans gerilim değeri 200 volttan 250 volta değiştirilerek Şekil 4.12’deki ilk basamak tepkisi gerçekleştirilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, 40 Ω ile 320 Ω aralığındaki tüm yük değerleri için kontrol algoritması gerilimi 0.3s sonra referansa eşitlemeyi başarmıştır.



Şekil 4.12. Farklı yüklerde 200V-250V gerilim geçiş grafiği

Referans değerin azaltılması durumunda kontrol algoritmasının davranışının incelenmesi için benzer yük değerlerinde gerilim 150V'tan 100V'a düşürülmüştür. Şekil 4.13'de verilen sonuçlarda görüldüğü üzere, yaklaşık olarak 0.5sn sonra kontrol algoritması gerilimi 100V'a sabitlemeyi başarmıştır.



Şekil 4.13. Farklı yüklerde 150V-100V gerilim geçiş grafiği

Sistemin verimini incelemek amacıyla şarj uygulamasında benzer şekilde uygulanan güç sabit tutularak farklı gerilim değerlerinde tam yük verim değerleri hesaplanmıştır. Alınan sonuçlar Çizelge 4.3'te verilmiştir. Çizelgede görüldüğü üzere, şarj durumundakine benzer verim sonuçları elde edilmiştir. Minimum verim 300V giriş geriliminde %80 olarak hesaplanırken, maksimum verim 100V giriş geriliminde %93,8 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3. Farklı gerilim değerlerinde alınan benzetim test sonuçları

Farklı Gerilimlerde Deşarj Tablosu	Kaynak Gerilimi	Hedef Gerilim	Trans. Dönüşüm Oranı	Verilen Güç	Alınan Güç	Verim η
	300V	320V	1:1	2 000W	1 610W	%80,5
	250V	270V	1:1	2 000W	1 722W	%86,1
	200V	220V	1:1	2 000W	1 776W	%88,8
	150V	170V	1:1	2 000W	1 836W	%91,8
	100V	120V	1:1	2 000W	1 876W	%93,8

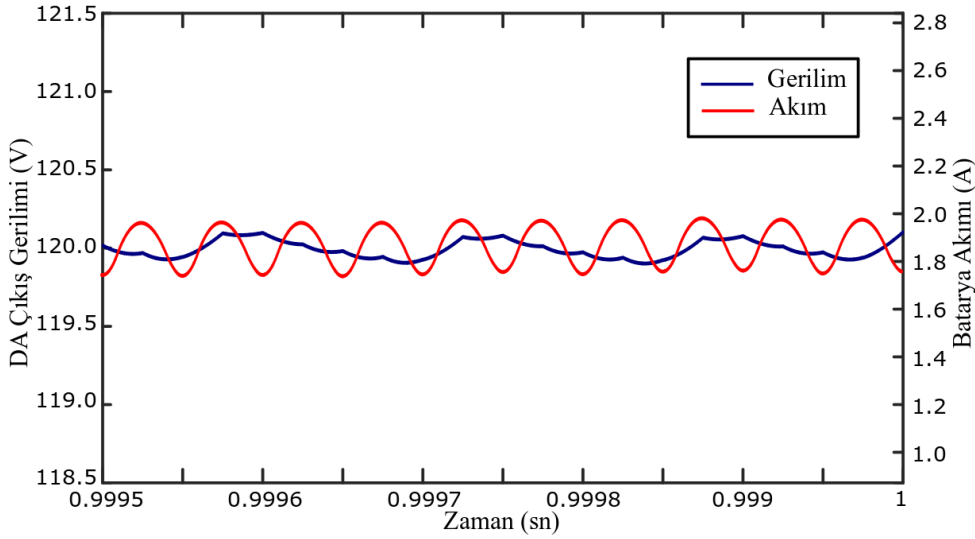
Şarj uygulamasında olduğu gibi kaynak gerilimi ile hedeflenen gerilimi yakın tuttuğumuz durumlarda, gerilimin artması anahtarlama kayıplarını artırır. Bu nedenle bu sistem için düşük gerilimlerde çalışmanın verimi arttıracacağı söylenebilir. Sistemin çalıştırılması düşünülen değer aralığının en alt seviyesi olan hedef 100V gerilim değerlerinde deşarj uygulamasıyla %93,8 bir verim elde edilebilmiştir.

Çizelge 4.4. Farklı yüklerde deşarj verimi benzetim sonuçları

Farklı Yüklerde Deşarj Verim Tablosu	Kaynak Gerilimi	Hedef Gerilim	Trans. Dönüşüm Oranı	Yük	Alınan Güç	Verim η
	100 V	120 V	1:1	20 Ω	720 W	%92,3
	100 V	120 V	1:1	40 Ω	360W	%90,0
	100 V	120 V	1:1	80 Ω	180W	%81,8
	100 V	120 V	1:1	160 Ω	90W	%73,0
	100 V	120 V	1:1	320 Ω	45W	%56,9

Çalışma tam yükte yapıldığında %90 üzerinde verimler elde edilebilmiştir. Aynı çalışma farklı yüklerde çalıştırıldığında yüke bağlı olarak, yük azaldıkça verimde azalma olduğu görülmüştür. Bataryalardan beslenen şebeke ne kadar az yük çekerse verim o kadar azalacak ve bataryalarda depolanan enerjinin kullanım verimi o kadar düşecektir. Çizelge 4.3 tekrar incelendiğinde gerilimin artması anahtarlama kayıplarını artmasına neden olur ve yüksek kaynak gerilimde çalışma dönüştürücü verimini olumsuz yönde etkilediği yorumu

yapılabilir. Ev kullanımları için tercih edilen şarj sistemlerinde %90 üzerinde bir verim ile şarj işlemlerinin uygulanması istenmiştir [57]. Aynı devre yapısı ile hem şarj ve hem de deşarj benzetim sonuçlarında bu değerin rahatlıkla sağlanabileceği görülmüştür.



Şekil 4.14. Deşarj durumunda batarya deşarj akımı ve çıkış gerilimi

Uygulanan topoloji iki aşamalı bir dönüştürücü yapısındadır. Her iki yönde enerji dönüşümü bir adet evirici ve bir adet iki hücreli çift yönlü dönüştürücü ile gerçekleştirilmiştir. Toplamda iki aşamalı bir yapı içermesi, analog okuma hassasiyeti, kontrol yapısı ve yüksek frekansta anahtarlama nedeniyle çıkış geriliminde salınım meydana getirmiştir. Benzetim sonuçlarına göre dönüştürücü ve eviricinin çıkışında bulunan kapasite elemanları ile bu değeri en uygun seviyede tutulsa da batarya çıkışında 0,04 V şebeke bağlantısı bölümünde ise 0,5 V değerinde bir voltaj salınımı gözlemlenmiştir. Aradaki şarj-deşarj çıkış gerilim kalitesi farklılığı, dönüştürücünün kontrol bölümünde gerçekleşen PI kontrol yöntemi ile hesaplanan ve doğrudan iki hücreli çift yönlü dönüştürücüye uygulanan PWM sinyali nedeniyle oluşmaktadır. Batarya bölümüne yakın olan kontrol yapısı ve iki hücreli dönüştürücü yapısı farkın az olmasına neden olmuştur. Diğer bölümde ise kontrol yapısının şebeke kısmına bir evirici ile bağlantısı çıkış gerilimi kalitesini etkileyerek fazla olarak gözlemlenmesine neden olmuştur.

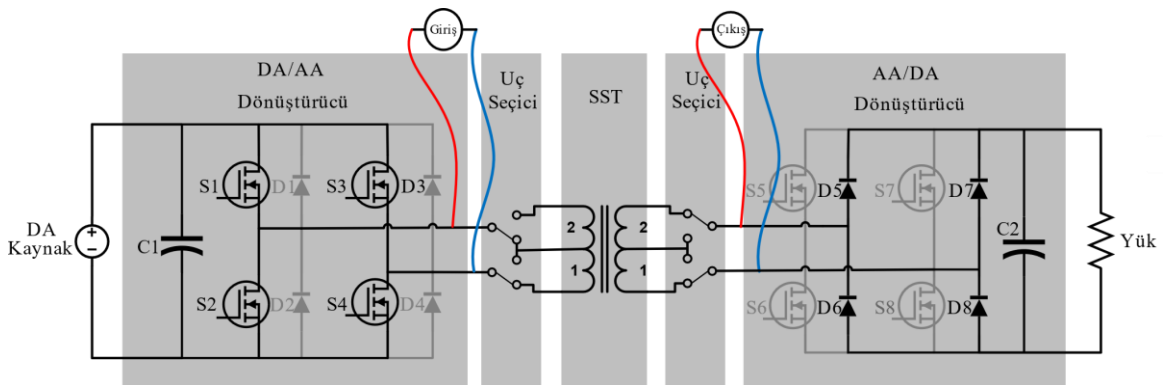
4.2. Uygulama Sonuçları

Benzetim çalışmaları ve teorik analizlerin doğrulanması için YFT'li çift yönlü batarya şarj sisteminin uygulama düzeneği oluşturularak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

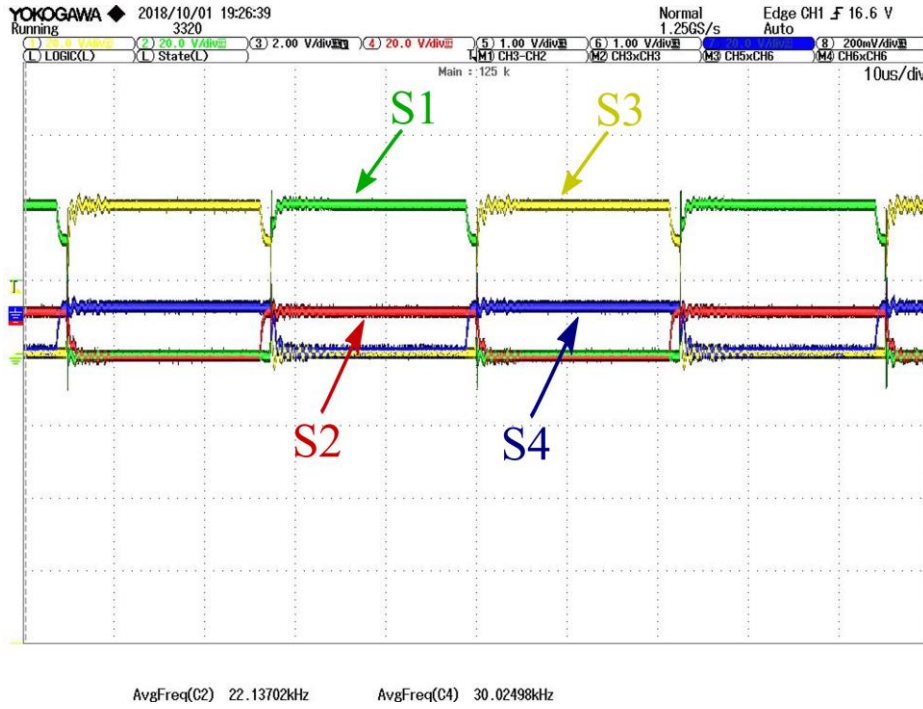
Detayları Bölüm 3.6’da anlatılan deneysel düzenek üzerinde öncelikle YFT’nin yüklü ve yüksüz çalışma koşullarındaki davranışları incelenmiştir. Böylece tasarlanan YFT’nin sistem ile uyumluluğu test edilmiştir. Bunlarla birlikte, çalışma süresi ve güç seviyesine bağlı bir parametre olan sıcaklık değişimi testleri de yapılarak sonuçlar sunulmuştur. Benzetim çalışmalarında gerçekleştirilen şarj ve deşarj durumlarını uygulama düzeneği üzerinde test etmek için de deneysel çalışmalar yapılmıştır.

4.2.1. YFT’nin uyumluluk analizi

Çift yönlü dönüştürücü yapısının merkezinde bulunan YFT’nin çalışma durumlarını incelemek için kullanılan uygulama düzeneğine ait devre şeması Şekil 4.15’ te verilmiştir. Bu devre yapısında YFT yüklü ve yüksüz çalıştırılarak dönüştürme oranları incelenmiştir. Bu amaçla DA/AA dönüştürücü girişine bir DA kaynak üzerinden 30V gerilim uygulanmıştır. Dönüştürücü anahtarlarına uygulanan sürme sinyalleri ise Resim 4.1’de verilmiştir. Aynı kolu süren sinyaller arasında 1 μ s gecikmeli olarak tetikleme yapılarak oluşabilecek kısa devreler engellenmiştir. İlgili sürücü sinyalleriyle tetiklenen anahtarlar sayesinde girişten uygulanan DA gerilim AA’ya dönüştürülerek transformatör girişine uygulanmıştır. Transformatör dönüştürme oranını ayarlı hâle getirmek için röleler kullanılmıştır. Yüksüz olarak yapılan deneysel çalışmada çıkış uçları açık bırakılmıştır. Yüklü deneysel çalışmalarda ise 50 Ω değerinde bir direnç kullanılmıştır.

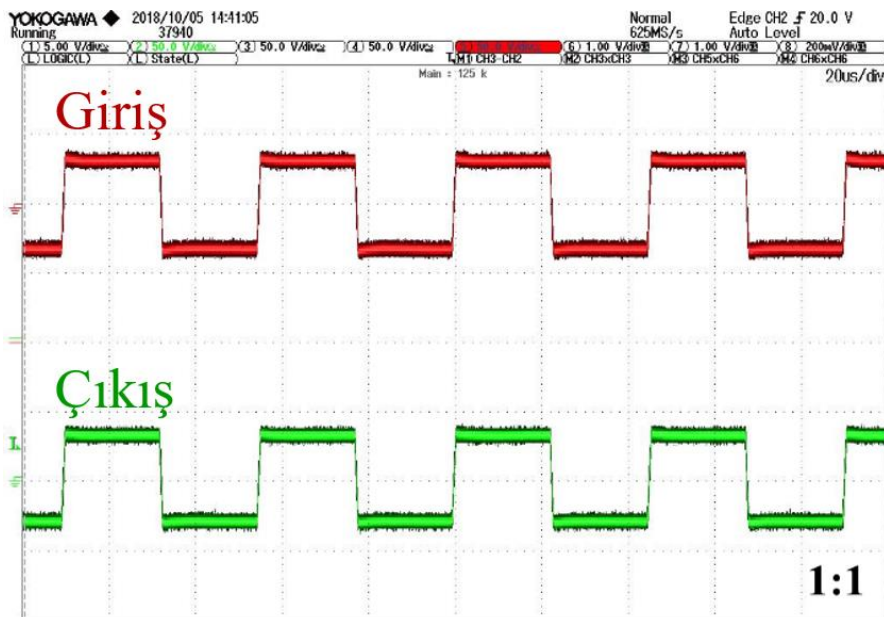


Şekil 4.15. Transformatör test düzeneği devre şeması



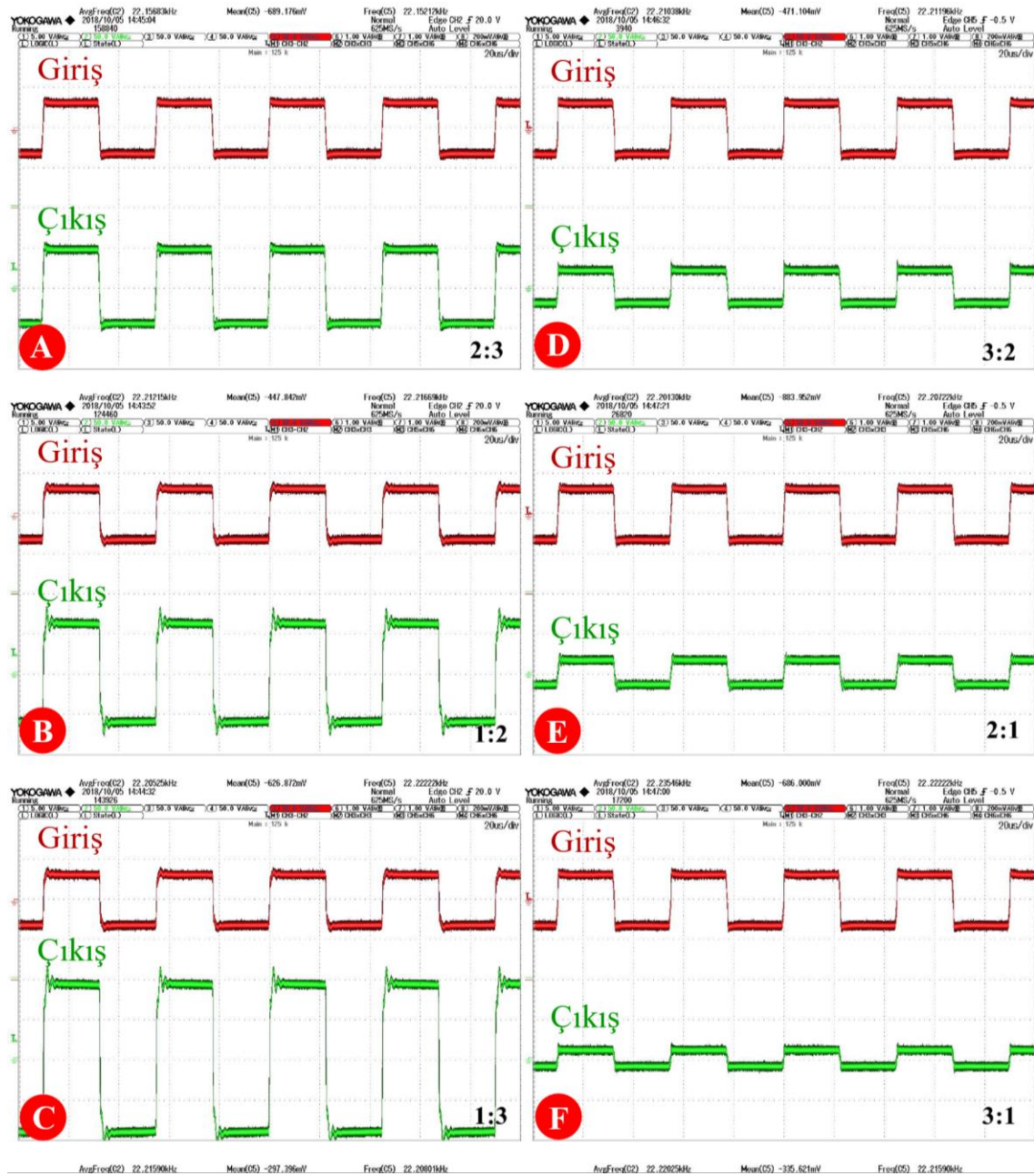
Resim 4.1. Evirici anahtarlama sinyalleri

YFT analizinde ilk olarak yüksüz deneysel çalışmalar yapılmıştır. Kullanılan yapıda transformatör temel olarak alçaltan, eşit ve yükselten olmak üzere 3 durumda çalışmaktadır. Yüksüz çalışma durumunda giriş ve çıkışın eşit olduğu 1:1 durumuna ait sonuçlar Resim 4.2’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere her iki gerilimde birbirinin aynısıdır. Bu durum transformatörün 1:1 oranında çalıştığını doğrulamaktadır.



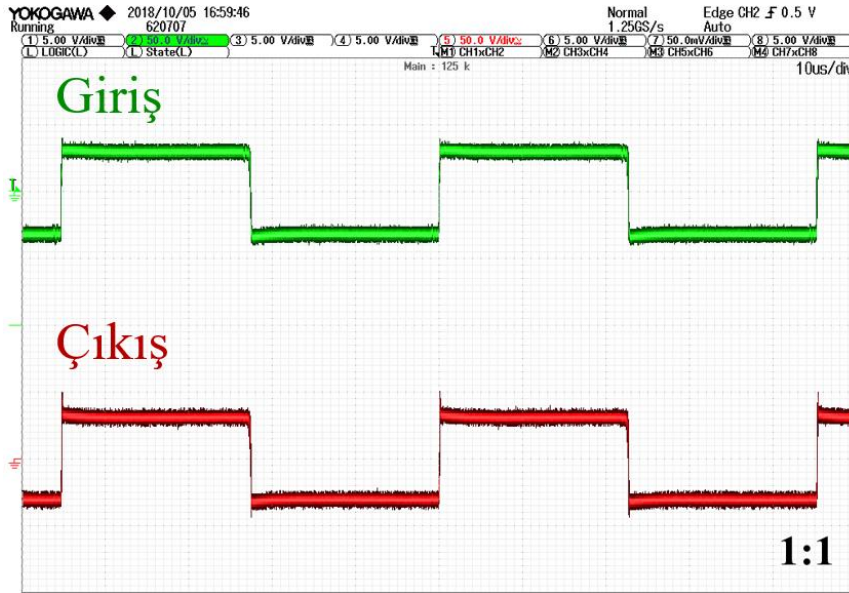
Resim 4.2. Yüksüz çalışmada 1:1 çalışma sonuçları

Transformatör yüksüz çalışırken diğer durumlarda da (alçaltan ve yükselten) sonuçlar alınarak Resim 4.3'te verilmiştir. Resimdeki A, B ve C bölümlerinde transformatörün yükselten durumlarına ait sonuçlar görülmektedir. A'daki 2:3 dönüştürme oranı incelendiğinde çıkış sinyalinin girişten daha yüksek olduğu görülecektir. Benzer olarak, B ve C bölümlerinde de çıkışlar girişten daha yüksektir. Bu üç duruma ait sonuç transformatörün yükselten durumda çalışabildiğini göstermektedir. Alçaltan çalışma durumuna ait sonuçlar ise Resim 4.3'ün D, E ve F bölümlerinde verilmiştir. Bu sonuçlar transformatör dönüştürme oranına bağlı olarak çıkış geriliminin azaldığını göstermektedir.



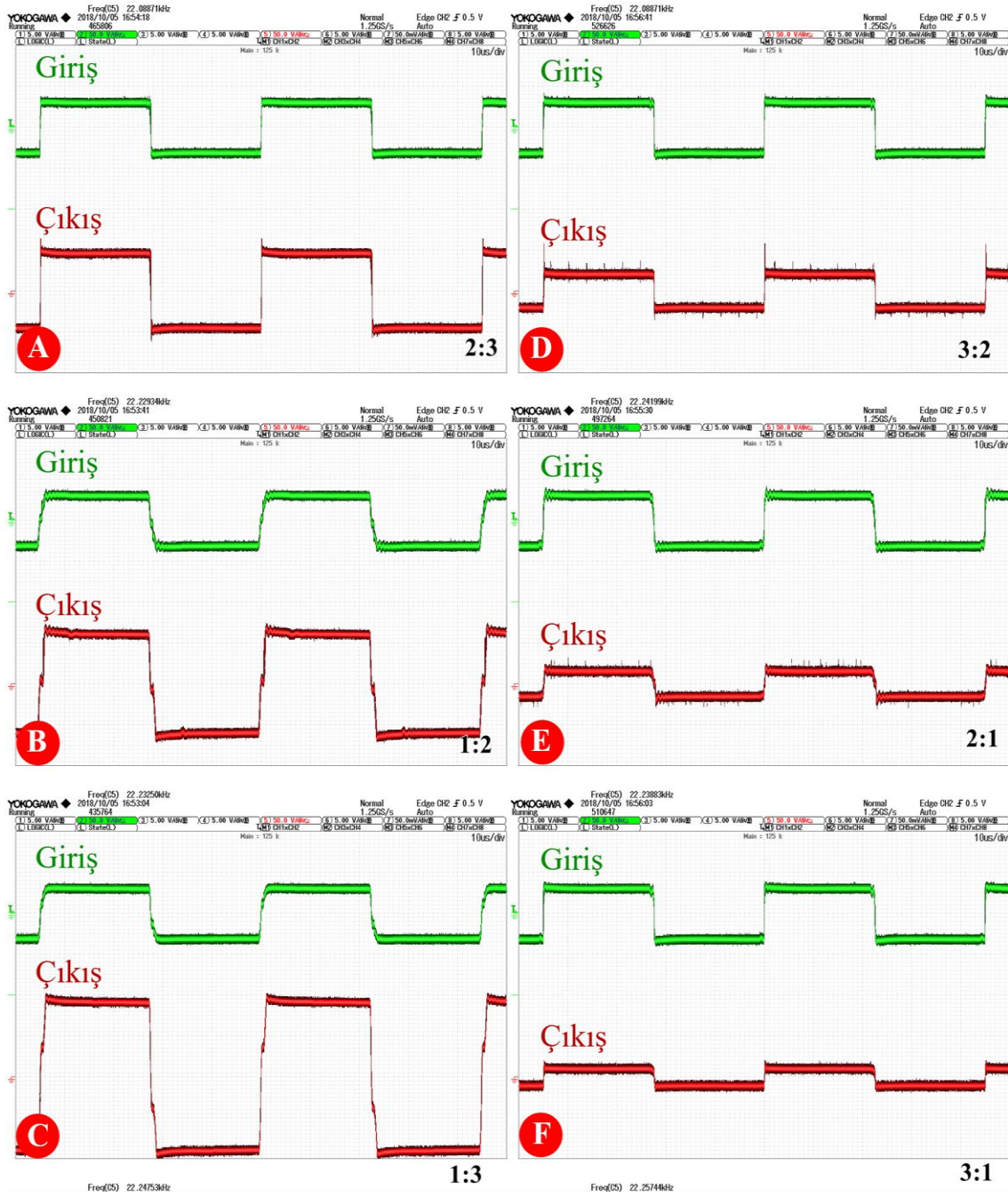
Resim 4.3. Transformatör yüksüz giriş-çıkış sonuçları

Yüksüz çalışma durumlarındaki testlere yüklü çalışma durumları için de aynı testler yapılmıştır. Giriş ve çıkışın eşit olduğu duruma ait Resim 4.4'teki sonuç yüklü durumda da giriş ve çıkışın eşit olduğunu göstermektedir.



Resim 4.4. Yüklü çalışmada 1:1 çalışma sonuçları

Yüklü çalışma durumundaki diğer sonuçlar ise Resim 4.5'te verilmiştir. A, B ve C grafiklerinde verilen sonuçlarda görüldüğü üzere transformatör girişine uygulanan gerilimi yükselterek çıkışa aktarmıştır. D, E ve F'de ise alçaltan durumlara ait sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlar ise dönüştürme oranının azalması ile çıkış geriliminin de azaldığını göstermektedir.

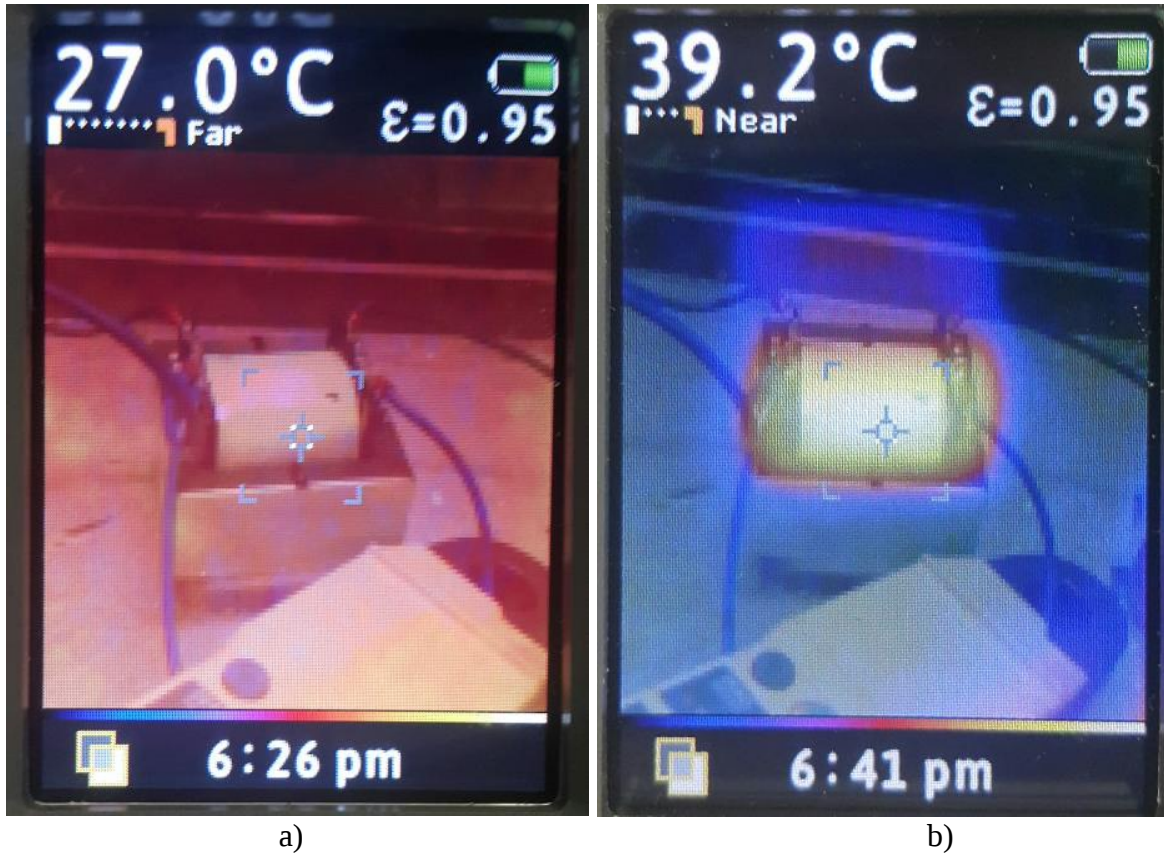


Resim 4.5. Transformatör yüklü giriş-çıkış sonuçları

Transformatör çalışma durumları yüklü ve yüksüz olarak test edilmiştir. Her iki koşulda da gerilim seviyesinin dönüştürme sonuçları benzerlik göstermiştir. Fakat transformatör yüklendikçe giriş ve çıkış tepe değerinde az seviyede azalmalar olmuştur. Bu değişim transformatörün çevrim oranı ile orantılıdır. Yüksüz durumlarda yükselme ve düşme anlarında çıkış geriliminde salınımlar oluşmuş, yüklü durumlarda ise çıkışta herhangi bir salınım gözlemlenmemiştir. Ayrıca yüklü durumda transformatör giriş ve çıkış AA sinyallerinin yükselme ve düşme eğrilerinde düzensizlikler görülmüştür. Çekilen akım

oranıyla bu eğrideki bozulma artmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda transformatörün aşırı yüklenmesinin doğrultucu çıkışını olumsuz etkileyeceği söylenebilir.

Yüklenme oranının transformatör üzerindeki diğer bir etkisi de sıcaklık artışıdır. Sıcaklıktaki aşırı artış transformatör veriminde düşmelere neden olmaktadır. Çok yüksek sıcaklıklar ise transformatörler üzerinde kalıcı zararlar bırakabilmektedir. Transformatör üzerindeki sıcaklık değişiminin incelenmesi için, YFT 500W yüklü iken başlangıç ve 15 dakika sonraki sıcaklık değişimi incelenmiştir. 1:3 dönüştürme oranında giriş gerilimi 100V, doğrultucu çıkış gerilimi 300V iken sıcaklık değişimleri bir termal kamera aracılığı ile gözlemlenmiştir.



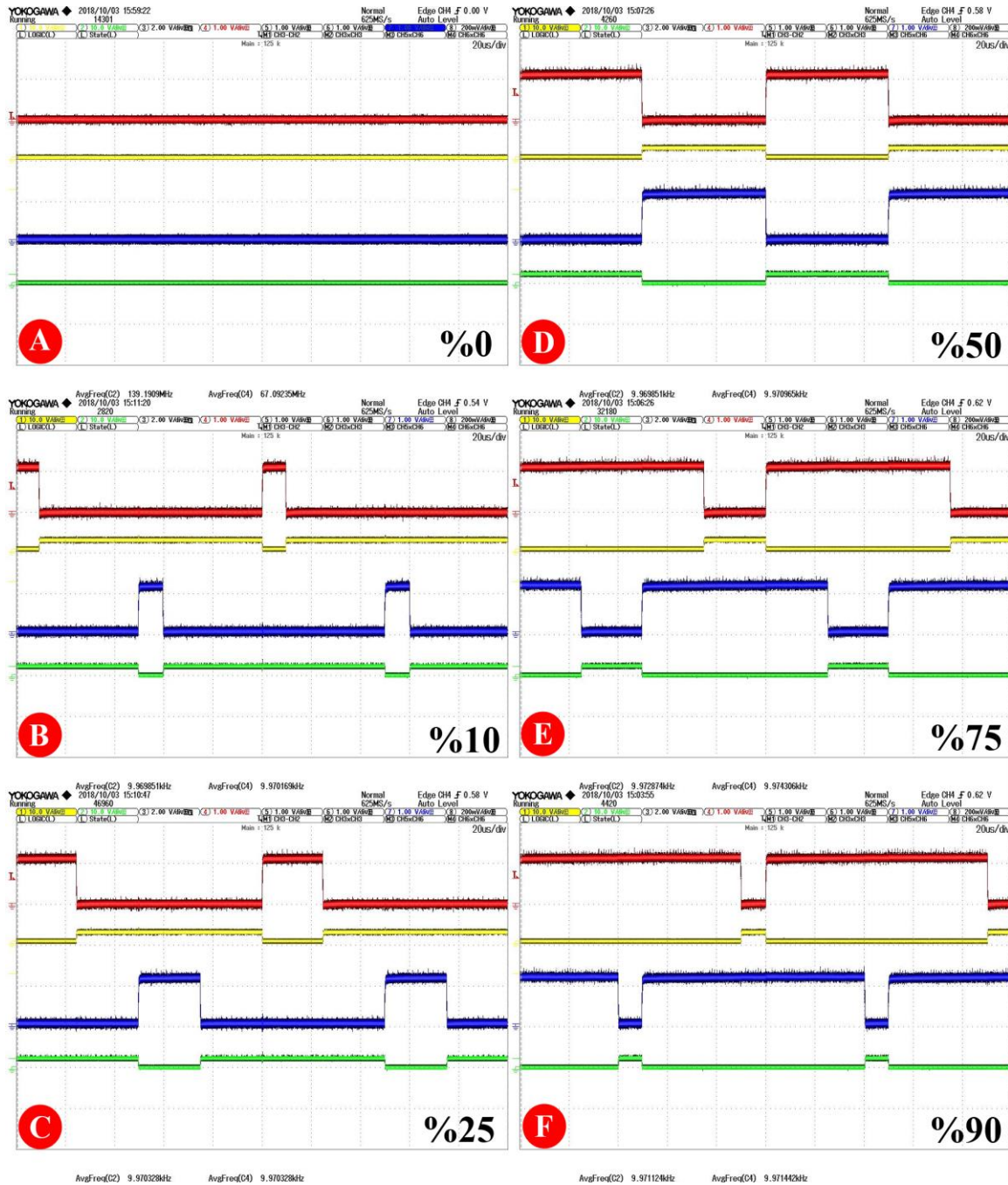
Resim 4.6. 500W güç değeri için YFT'nin 15 dakikalık sıcaklık değişimi

Resim 4.6(a)'daki başlangıç sonucundan görüldüğü üzere test 27°C oda sıcaklığı koşulunda başlatılmıştır. Resim 4.6(b)'de verilen sonuçtan görüldüğü üzere 15 dakika sonra sıcaklık 39,2°C'a ulaşmıştır. Isınma bakır folyo iletkenleri üzerinden başlamaktadır. Daha sonra transformatör çerçevesine yayılmaktadır. Genel durum değerlendirilmesi yapıldığında herhangi bir anormal sıcaklık değişiminin gözlemlenmediği ve 15 dakikalık test sonucunda

12,2 derecelik bir sıcaklık artışının gerçekleştiği görülmüştür. Sıcaklık analizlerinden sonra sistemin şarj ve deşarj durumlarındaki tepkileri analiz edilmiştir.

4.2.2. Şarj durumunun incelenmesi

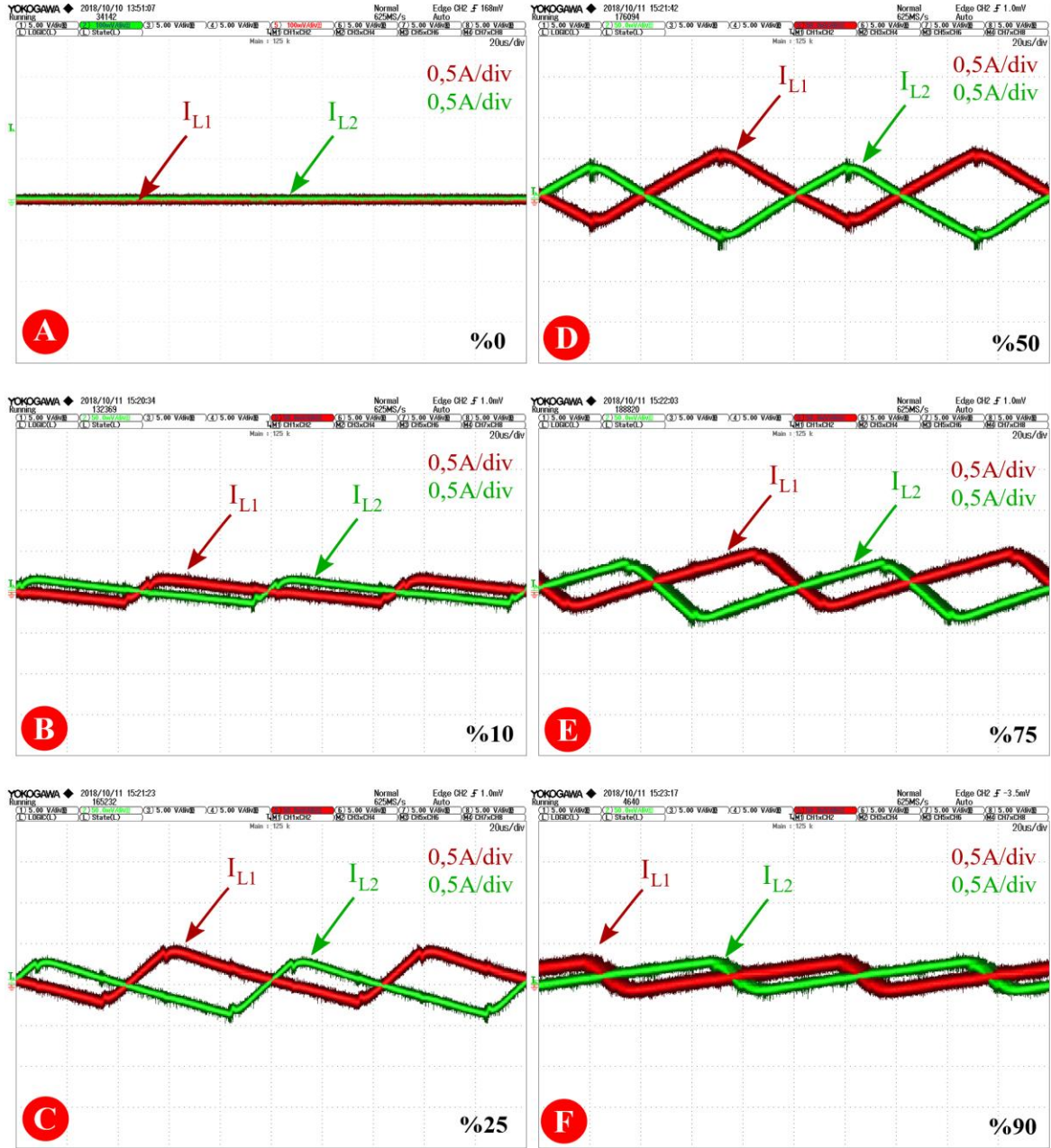
Çift yönlü çalışabilen devre yapısında ilk olarak şarj durumu analiz edilmiştir. Bu deneysel çalışmada iki hücreli dönüştürücü gerilimi azaltacak şekilde çalıştırılmıştır. Çıkışta ise 12V 22Ah bir batarya şarj edilmiştir. Bu deneysel çalışmada iki hücreli çift yönlü dönüştürücü bir DA kaynaktan beslenmiştir. Anahtarlar sırasıyla 0, 10, 25, 50, 75 ve 90 görev oranına getirilerek bobin akımları ölçülmüştür. Anahtarlama sinyali sonuçları Resim 4.7’de verilmiştir. Aynı koldaki anahtarlar arasında 180 derece faz (tetikleme açısı) farkı olduğu resimde görülmektedir. İki hücreli dönüştürücüler bu faz açılı tetikleme sayesinde daha az salınıma sahip bir gerilim üretmektedir. Bu durum da gerilim salınımlarının bataryalar üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmektedir.



Resim 4.7. Farklı görev oranları ile iki hücreli dönüştürücü mosfet tetikleme sinyalleri

Resim 4.7'deki anahtarlama sinyalleri uygulandığında elde edilen akım sonuçları Resim 4.8'de verilmiştir. Resimdeki A bölümünde görüldüğü üzere anahtarlar kesimde olduğundan herhangi bir akım geçişi söz konusu olmamaktadır. Resimdeki B bölümünde verilen sonuçlar her iki anahtarlama sinyali de %10 doluluk oranına sahip iken kaydedilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, her iki bobinden de yaklaşık eşit miktarda ve tepeden tepeye 0,3A salınım miktarına sahip akımlar geçmektedir. Doluluk oranı %25 iken akımların arttığı Resimdeki C bölümünde açıkça görülmektedir. Aynı zamanda, akımların 180 derece

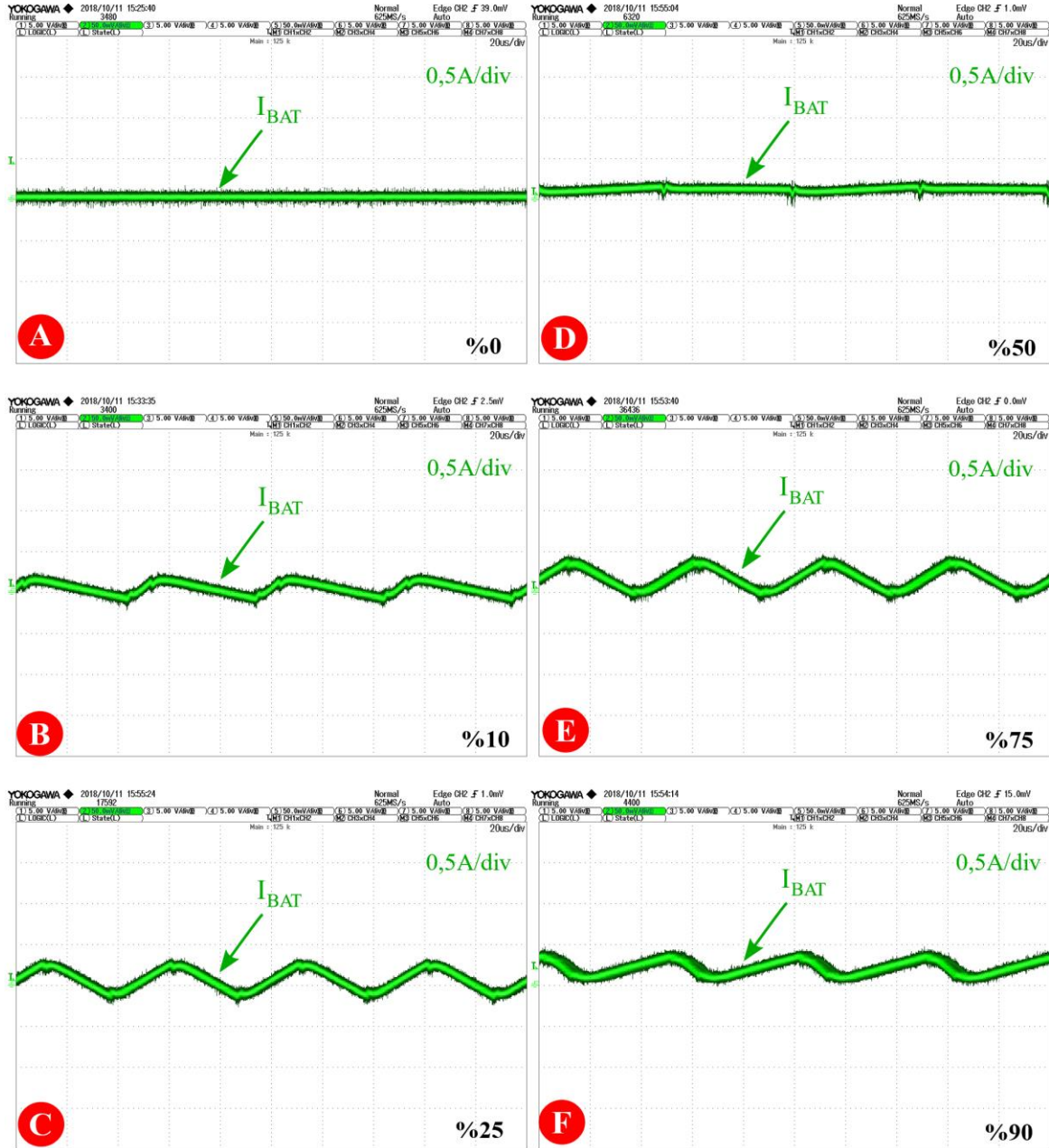
kaydırılmış seviyelerinin de eşit olduğu yine tüm sonuçlarda görülmektedir. Her iki anahtara da eşit olarak paylaştırılan akımlar sayesinde toplam sistem gücü artırılmaktadır. Görev oranının %50'den daha yüksek olduğu durumlarda hücrelerdeki anahtar tetiklemeleri üst üste gelmektedir. Bu nedenle deşarj süreleri kısaltmakta ve salınımlar azalmaktadır.



Resim 4.8. İki hücreli dönüştürücünün gerilimi azaltan metodunda bobin giriş akımlarının gözlenmesi

Bobin akımları çıkış tarafında birleşmekte ve yüke uygulanmaktadır. Yük akımı üzerindeki salınım miktarı çıkış gerilim kalitesi açısından büyük önem taşımaktadır. Aynı zamanda kondansatör kapasitesi de büyük oranda bu akıma bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu

nedenle yüke uygulanan çıkış akımları da incelenmiştir. Resim 4.8'deki tüm akım durumları için çıkış akımı sonuçları Resim 4.9'da verilmiştir.



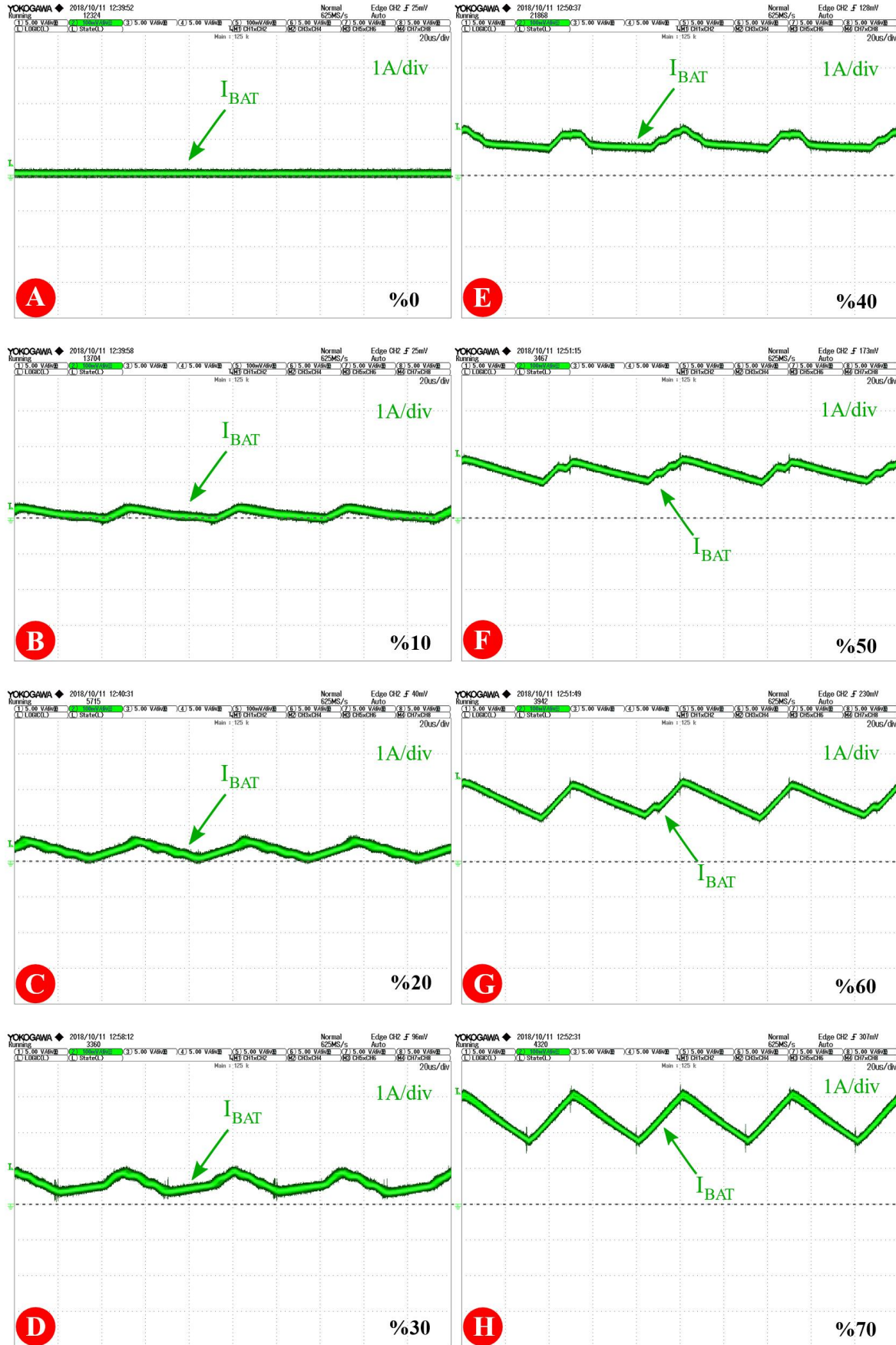
Resim 4.9. İki hücreli dönüştürücünün gerilimi azaltan metodunda toplam bobin çıkış akımının ölçülmesi

Resim 4.9'daki A grafiğindeki kesimden sonra, %10 doluluk oranında elde edilen akım sonucundan görüldüğü üzere, çıkış akımı üzerindeki salınım frekansı bobin giriş akımlarının 2 katıdır. Frekansın yanı sıra, salınım da yarıya düşmektedir. Bu durum çevirici çıkışında kullanılacak kapasite gereksiniminin daha az olduğunun bir göstergesidir. Aynı zamanda çıkış gerilimi kalitesinin de klasik çeviricilere göre daha iyi olacağı bu bölümde elde edilen

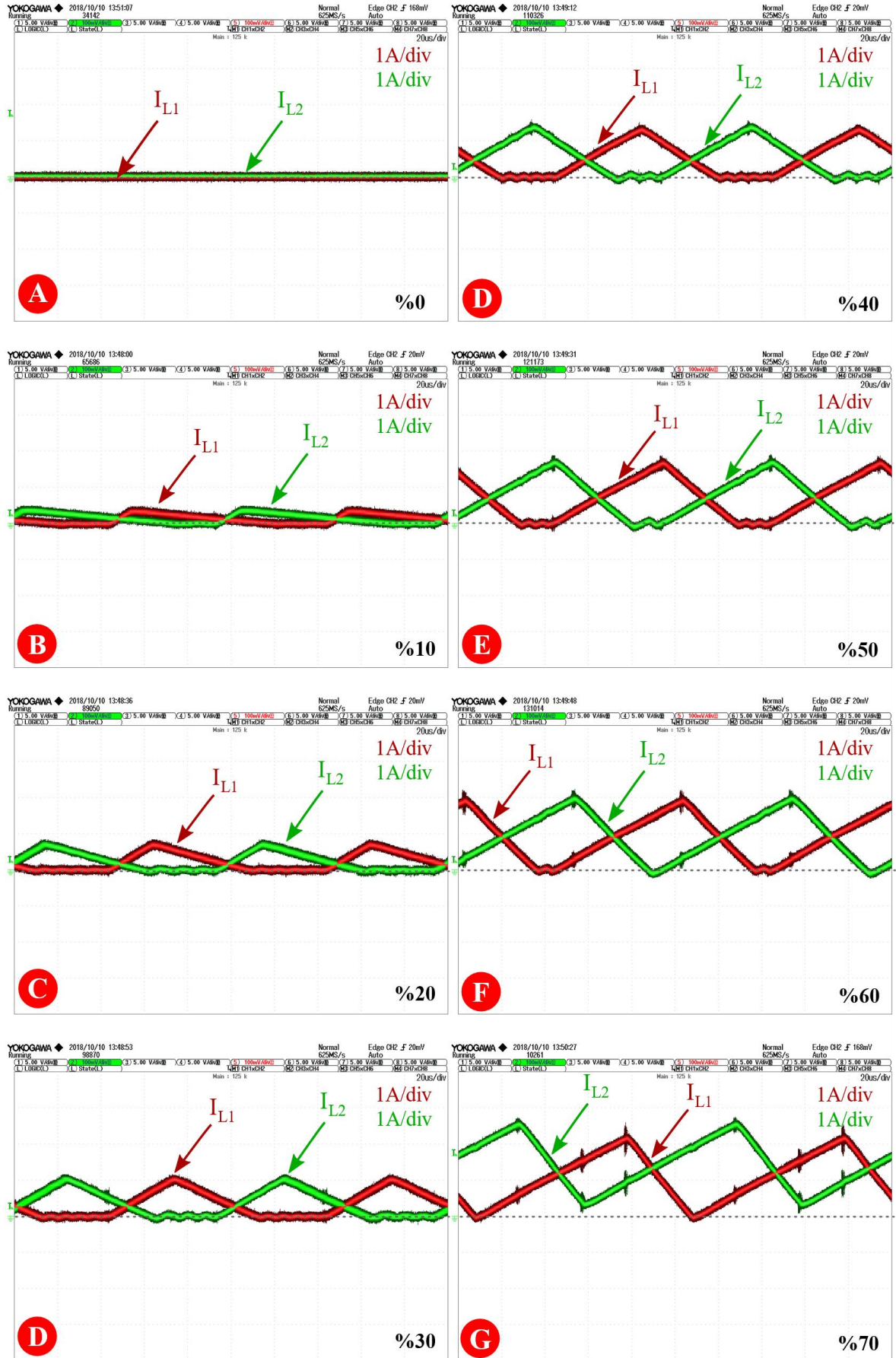
sonuçlar doğrultusunda söylenebilir. Aynı zamanda tersi yönde (deşarj) çalışma durumunda da akım salınımının az olması giriş kaynağı üzerindeki olumsuzların engellenmesini sağlamaktadır.

4.2.3. Deşarj durumunun incelenmesi

Şarj durumunun ardından dönüştürücünün ters yönde güç akışı sağlaması için deşarj durumuna geçilmiştir. Deşarj durumunda dönüştürücü yükselten durumda çalışmaktadır. Bu durumda da şarj analizi ile benzer deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Anahtarlama sinyalleri %0 - %70 aralığında değiştirilerek Resim 4.10'daki sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlardan görüldüğü üzere, doluluk oranının artması bobin akımının ortalama değerini ve salınım miktarını değiştirmektedir. Resmin A bölümündeki kesim durumundan sonra, doluluk oranı %10'a çıkarıldığında bataryadan geçen akımın artış gösterdiği B bölümünde görülmektedir. Doluluk oranının %20'e çıkmasıyla bataryadan çekilen akım salınımı 0,3A seviyesine yükselmiştir. %50 seviyesinde ise salınımda fazla bir değişim olmaz iken, ortalama akım değerinin 0.7A olduğu E grafiğinde görülmektedir. %50 doluluk oranından daha yüksek değerlerde anahtarlar aynı anda iletime geçtiğinden dolayı akım salınımı artış göstermektedir. Bu durum Resim 4.10'daki G ve H grafiğinde görülmektedir. Salınım miktarı artsa da bağımsız bobin akımlarındaki salınımın yarı miktarında etki bataryaya aktarılmaktadır. Bu durumu incelemek için benzer doluluk oranlarında bağımsız bobin akımları incelenmiştir. Bobin akımların ayrı ayrı yer aldığı sonuçlar Resim 4.11'de verilmiştir. %50 seviyesi ve altındaki doluluk oranlarında çevirici süresiz durumda çalışmaktadır. Ancak gerilim kazancının düşük olması ve batarya akımının akımların toplamına eşit olması toplam akımdaki salınımı azaltmaktadır. %60 seviyesi ve %70 seviyesindeki akımlar karşılaştırılacak olursa, her ikisinde de salınımlar yüksek seviyededir. Ancak, %60 seviyesinde bobin akımları neredeyse birbirinin tersi olacak şekilde ilerlemektedir. Bu nedenle toplam akım salınımı az çıkmaktadır. %70 doluluk oranında elde edilen sonuçlarda akımlardaki senkron ilerleyişin bozulduğu Resim 4.11'in H grafiğinde görülmektedir. Bu nedenle Resim 4.10'daki H grafiğindeki salınım oldukça artmıştır.



Resim 4.10. Yükselten tip dönüştürücü laboratuvar ortamında toplam bobin akımının gözlenmesi



Resim 4.11. Yükselten tip dönüştürücü laboratuvar ortamında bobin akımlarının gözlenmesi

Yapılan bu deneysel çalışmalar, tasarlanan YFT'nin iki hücreli ve iki yönlü dönüştürücüye uygun olduğunu göstermiştir. Ayrıca, şarj ve deşarj durumlarının incelenmesi için de deneysel çalışmalar yapılmıştır. Her iki deneysel çalışma da oluşturulan deneysel düzeneğin çift yönlü güç akışına olanak sağladığını göstermiştir. Bununla birlikte batarya tarafındaki akım üzerindeki salınımların incelenmesi için yapılan deneysel çalışmalar salınım seviyesinin bağımsız bobin akımlarının yarı seviyesinde olduğunu göstermiştir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışmasında, yeni bir DA/DA topolojisi önerilerek YFT'li çift yönlü bir batarya şarj sistemi tasarımı yapılmıştır. Önerilen topolojide bazı geliştirmeler yapılmış ve programlanabilir esnek bir şarj sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla önerilen topolojinin tasarımında kullanılan benzetim ve uygulamadan elde edilen ölçüm sonuçlarına yer verilmiştir. Uygulanan şarj metodu doğrultusunda istenilen gerilim aralıkları yüksek frekans transformatörü ve bir adet iki hücreli çift yönlü dönüştürücü yardımıyla elde edilmiştir. Transformatör kullanımı, yalıtımsız dönüştürücülere oranla çok daha yüksek voltaj çevrim oranlarının yakalanabilmesini sağlamıştır. Gerilim aralıklarının geniş olması şarj işlemine tabi tutulan batarya bloğunun esnekliğini artırmıştır. Bu sayede ihtiyaca göre farklı değerlerde bataryalar, sınırlar çerçevesinde sisteme dâhil edilebilmekte veya sistemden çıkarılabilmektedir. Bu da kullanıcı esnekliğini mevcut sistemlere oranla büyük ölçüde artırmaktadır. Şarj sisteminin giriş voltajının da geniş bir aralıkta olması yenilenebilir enerji kaynakları gibi enerji sistemlerinde kullanılabilmesini de sağlayacağı düşünülmektedir. Özellik olarak yüksek frekans transformatörü ve seri bağlı iki hücreli dönüştürücünün seçilmesi ile çıkış salınımı en aza indirgenmiştir. Bu sayede daha küçük filtre devre elemanları kullanılabilmesine imkân tanınmıştır. Uygulanan PI kontrol metodu yardımı ile sistem istenilen gerilim değerlerine hızlı ve kararlı bir biçimde ulaşmıştır. Bu işlem ile değişken yük koşullarında sistemin kararlılığı kısa süre içerisinde sağlanmıştır.

Tek yönlü şarj özelliği sağlayan sistemler, bataryalarda depolanan enerjiyi kullanacağı zaman ayrı birdeşarj sistemine ihtiyaç duyar. Bu işlem hem maliyetidir hem de birden çok devre elemanı gerektirir. Bu tez çalışmasında önerilen sistem ile karar ve enerji dönüşümü tek bir merkezden sağlanacağından dolayı, diğer tasarımlara göre maliyet ciddi oranda azalmaktadır. Yüksek frekans transformatöründe farklı uçlar seçilerek farklı gerilimler üretilmesi, ayarlı transformatörlere farklı bir yaklaşım getirmiştir. Bu sayede küçük boyutta bir çevirici ile hem yüksek güç alınabilmiş hem de istenilen gerilimler elde edilebilmiştir. Gelecek uygulamalarda ise kullanılan geleneksel normal mosfetler yerine silikon karbit tipi mosfetler seçilerek kayıpların azaltılması ve çalışma frekansının ciddi oranda artırılabilmesi planlanmaktadır. Çok yüksek frekanslarda anahtarlama ile transformatör ve filtre elemanlarında ciddi oranda küçültecek bu sayede hacmin ve ağırlığın az olduğu küçük ve kompakt bir batarya şarj sistemi geliştirilebilecektir.

KAYNAKLAR

1. Tashakor, N., Farjah, E. and Ghanbari, T. (2017). A Bidirectional Battery Charger with Modular Integrated Charge Equalization Circuit, *IEEE Trans. Power Electron.* 32(3), 2133-2145.
2. Satılmış, O. ve Meşe, E. (2011). Elektrikli ve Hibrit Elektrikli Araçlar İçin Batarya Şarj Cihazları, *Elektrik-Elektronik ve Bilgi Sempozyumu.* 137-142.
3. She X., Huang, A. Q., Lukic, S., and Baran, M. E. (2012). On Integration of Solid-State Transformer With Zonal DC Microgrid, *IEEE Transactions on Smart Grid*, 3(2), 975-985.
4. Chatzakis, J., Kalaitzakis, K., Voulgaris, N. C., and Manias, S. N. (2003). Designing a New Generalized Battery Management System, *IEEE Transactions Industrial Electronics*, 50(5), 990-999.
5. Schoch, J., Gaerttner, J., Schuller, A. and Setzer, T. (2018). Enhancing Electric Vehicle Sustainability Through Battery Life Optimal Charging, *Transportation Research Part B Methodological*, 112, 1-18.
6. Chu, Z. Feng, X. Ouyang, M. Wang, Z. Lu, L. Li, J. Han, X. (2017). Optimal Charge Current of Lithium ion Battery, *Energy Procedia*, 142(9), 1867-1873.
7. Adly, A. A. (2001). Computation of Inrush Current Forces on Transformer Windings, *IEEE Transactions on Magnetics*, 37(4), 2855-2857.
8. Biberoglu, M., Gücin, T. N. and Fincan B. (2016). *Analyzing the Influences of High Frequency Transformers Utilized in Parallel Resonant Converters*, 2016 IEEE International Conference Renewable Energy Research and Applications, ICRERA, 5, 983-988.
9. Rashidi, M., Nasiri, A. and Cuzner, R. (2016). Application of Multi-Port Solid State Transformers for Microgrid-Based Distribution Systems, *2016 IEEE International Conference Renewable Energy Research Applications*, ICRERA, 5, 605-610.
10. Sepahvand, H., Madhusoodhanan, S., Corzine, K., Bhattacharya, S. and Ferdowsi, M. (2014). *Topology Selection for Medium-Voltage Three-Phase SiC Solid-State Transformer*, 2014 International Conference Renewable Energy Research Applications, ICRERA, 3, 485-489.
11. Falcones, S., Mao, X. and Ayyanar, R. (2010). Topology Comparison for Solid State Transformer Implementation, *Power Energy Society General Meeting*, 1-8.
12. Lotfi, A. W. and Wilkowski, M. A. (2001). Issues and Advances in High-Frequency Magnetics for Switching Power Supplies, *Proceedings of the IEEE*, 89(6), 883-845.
13. Kishore, P. M. and Ravikumar, B. (2015). Refined Hybrid Microgrid Architecture for the Improvement of Voltage Profile, *Energy Procedia*, 90(5), 645-654.

14. Zhao, B., Song, Q. and Liu, W. (2015). A Practical Solution of High-Frequency-Link Bidirectional Solid-State Transformer Based on Advanced Components in Hybrid Microgrid, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(7), 4587-4597.
15. Mao, X., Falcones, S. and Ayyanar, R. (2010). Energy-Based Control Design for a Solid State Transformer, *IEEE PES General Meeting*, 1-7.
16. Lee J. Y., Jeong Y. S. and Han B. M. (2011). An Isolated DC/DC Converter Using High-Frequency Unregulated LLC Resonant Converter for Fuel Cell Applications, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58(7), 2926-2934.
17. Rivas, J. M., Leitemann O., Han Y. and Perreault D. J. (2011). A Very High Frequency DC-DC Converter Based on a Class Φ_2 Resonant Inverter, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 26(10), 2980-2992.
18. Koparan, A., Ayedemir, M. T. ve Şimşek, O. (2012). 200 Amper, Yüksek Frekans ve Anahtarlama DA Kaynak Makinesinin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, *EMO Bilimsel Dergi*, 2(3), 51-61.
19. Cuzner, R. M., Singh, V., Rashidi, M. and Nasiri, A. (2015). *Converter Topological and Solid State Protective Device Trade-Offs for Future Shipboard MVDC Systems*, IEEE Electric Ship Technologies Symposium, ESTS, 34-39.
20. Vasiladiotis, M. and Rufer, A. (2015). A Modular Multiport Power Electronic Transformer With Integrated Split Battery Energy Storage for Versatile Ultrafast EV Charging Stations, *IEEE Transactions Industrial Electronics*, 62(5), 3213-3222.
21. Chen, W., Huang, A. Q., Li C., Wang, G. and Gu, W. (2013). Analysis and Comparison of Medium Voltage High Power DC/DC Converters for Offshore Wind Energy Systems, *IEEE Trans. Power Electron.*, 28(4), 2014-2023.
22. Tie, S. F. and Tan, C. W. (2013). A Review of Energy Sources and Energy Management System in Electric Vehicles, *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 20, 82-102.
23. Fernandez, L. M., Garcia, P., Garcia, C. A. and Jurado, F. (2011). Hybrid Electric System Based on Fuel Cell and Battery and Integrating A Single DC/DC Converter for a Tramway, *Energy Conversion and Management Journal*, 52, 2183-2192.
24. Lüth, T., Merlin, M. M. C., Green, T. C., Hassan, F. and Barker, C. D. (2014). High-Frequency Operation of a DC/AC/DC System for HVDC Applications, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 29(8), 4107-4115.
25. Costa, L. F., Mussa, S. A. and Barbi, I. (2014). Multilevel Buck/Boost-Type DC-DC Converter for High-Power and High-Voltage Application, *IEEE Transactions Industry Applications*, 50(6), 3931-3942.
26. Sulligoi, G., Bosich, D., Giadrossi, G., Zhu, L., Cupelli, M. and Monti, A. (2014). Multiconverter Medium Voltage DC Power Systems On Ships: Constant-Power Loads Instability Solution Using Linearization Via State Feedback Control, *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(5), 2543-2552.

27. Tang, Y., Fu, D., Wang, T. and Xu, Z. (2015). Hybrid Switched-Inductor Converters for High Step-up Conversion, *IEEE Transactions Industrial Electronics*, 62(3), 1480-1490.
28. Finch, J. W. and Giaouris, D. (2008). Controlled AC Electrical Drives, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55(2), 481-491.
29. Chen, Y. M., Huang, A. Q. and Yu, X. (2013). A High Step-Up Three-Port DC-DC Converter for Stand-Alone PV/Battery Power Systems, *IEEE Transactions. Power Electronics*, 28(11), 5049-5062.
30. Solero, L., Lidozzi, A. and Pomilio, J. A. (2005). Design of Multiple-Input Power Converter for Hybrid Vehicles, *IEEE Transactions. Power Electronics*, 20(5), 1007-1016.
31. Duarte, J. L., Hendrix, M., Simões, M. G. and Member S. (2007). Three-Port Bidirectional Converter for Hybrid Fuel Cell Systems.pdf, *IEEE Transactions. Power Electronics*, 22(2), 480-487.
32. Nadia Mei Lin, T., Abe, T. and Akagi, H. (2012). Design and Performance of a Bidirectional Isolated DC – DC Converter for a Battery Energy Storage System, *IEEE Transactions. Power Electronics*, 27(3), 1237-1248.
33. Lai, J. S., Maitra, A., Mansoor, A. and Goodman, F. (2005). Multilevel Intelligent Universal Transformer for Medium Voltage Applications, *Conference Record - IAS Annual Meeting, IEEE Industry Applications Society*, 3, 1893-1899.
34. May, G. J., Davidson, A. and Monahov, B. (2018). Lead Batteries for Utility Energy Storage: A Review, *Journal Energy Storage*, 15, 145-157.
35. McDowall, J. (2000). Conventional Battery Technologies - Present & Future, *2000 Power Engineering Society Summer Meeting*, 3, 1538-1540.
36. Skyllas-Kazacos, M., Chakrabarti, M. H., Hajimolana, S. A., Mjalli, F. S. and Saleem M. (2011). Progress in Flow Battery Research and Development, *Journal of Electrochemical Society*, 158(8), 7-10.
37. Steele, B. C. H. and Heinzl, A. (2001). Materials for Fuel-Cell Technologies, *Materials For Sustainable Energy: A Collection of Peer-Reviewed Research and Review Articles from Nature Publishing Group*, 414(15), 345-352.
38. Jiang, Z. and Dougal, R. A. (2006). A Compact Digitally Controlled Fuel Cell/Battery Hybrid Power Source, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 53(4), 1094-1104.
39. Bauman, J. and Kazerani, M. (2008). A Comparative Study of Fuel-Cell – Battery , Fuel-Cell – Battery – Ultracapacitor Vehicles, *IEEE Transactions Vehicular Technology*, 57(2), 760-769.
40. Larminie, A. J. A. D. (2003). *Fuel Cell Systems Explained*. (Second edition). England: John Wiley, 14-16.

41. Jackey, R. A. (2007). A Simple, Effective Lead-Acid Battery Modeling Process for Electrical System Component Selection, *SAE Technical Papers*, 1-9.
42. Lu, L., Han, X., Li, J., Hua, J. and Ouyang, M. (2013). A Review on the Key Issues for Lithium-ion Battery Management in Electric Vehicles, *Journal of Power Sources*, 226, 272-288.
43. Sanchis, Kilders, E., Ferreres, A., Maset, E., Ejea, J. B., Esteve, V., Jordan, J., Garrigos, A. and Calvente, J. (2006). *Soft Switching Bidirectional Converter for Battery Discharging-Charging*, Twenty-First Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, APEC '06, 603-609.
44. Lee, C. H. (1999). *Battery Charging Apparatus and Method With Charging Mode Convertible Function*, United State Patent
45. Emanet, H. (2001). *Yüksek Frekanslı Manyetik Malzemelerde Deri ve Yaklaşım Etkisi Sonucu Oluşan İletken Kayıplarının Hesaplanması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-74
46. Sclocchi, M., *Switching Power Supply Design: LM5030 Push-Pull Converter*, 1-17
47. Hauke, B. (2009). *Basic Calculation of a Boost Converter's Power Stage*, Texas Instruments, Application Report November, 1-9.
48. Ozeri, S., Shmilovitz, D., Singer, S. and Martinez-Salamero, L. (2007). The Mathematical Foundation of Distributed Interleaved Systems, *IEEE Trans. Circuits Syst. I Regul. Pap.*, 54(3), 610-619.
49. García, O., Zumel, P., de Castro, A. and Cobos, J. A. (2006). Automotive DC-DC Bidirectional Converter Made with Many Interleaved Buck Stages, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 21(3), 578-586.
50. Gidemen, G. ve Furat, M. (2015). PID Parametrelerinin Ayarlama Yöntemleri : 2. Derece Sistem Modeline Uygulanması ve Karşılaştırmalı Olarak Değerlendirilmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(2), 355-362.
51. Skogestad, S. (2003). Simple Analytic Rules for Model Reduction and PID Controller Tuning, *Journal of Process Control*, 13(4), 85-120.
52. De Araújo, J. F. Florentino, M. T. B. Ferreira, T.V. Da C., E.G. Luciano, B. A. De Lira, G. R. S. Barros, R. M. R. (2015). Mathematical Modeling of Transformers Based on The Frequency Response of Magnetizing Parameters, *Ciencia & Engenharia (Science and Engineering Journal)*, 24(2), 59-64.
53. Mork, B. A., Gonzalez, F., Ishchenko, D., Stuehm, D. L. and Mitra, J. (2007). Hybrid Transformer Model for Transient Simulation — Part I : Development and Parameters, *Ieee Transactions on Power Delivery*, 22(1), 248-255.

- 54. Tziouvaras, D.A. McLaren, P. Alexander, G. Dawson, D. Esztergalyos, J. Fromen, C. Glinkowski, M. Hasenwinkle, I. Kezunovic, M. Kojovic, L. Kotheimer, B. Kuffel, R. Nordstrom, J. Zocholl, S. (2000). Mathematical Models for Current, Voltage, and Coupling Capacitor Voltage Transformers, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 15(1), 62-72.
- 55. Rajesh R. S. (2009). *Performance and Control of Multi Resonant Forward DC-DC Converters*, Master Thesis, DR. M. G. R. Educational and Research Institute University, Chennai, 59-65
- 56. Johnson, M. A. and Moradi M. H. (2007). *PID Control New Identification and Design Methods*, 863-866.
- 57. Lee, J., Jo, J., Choi, S. and Bin, Han, S. (2006). A 10-kW SOFC Low-Voltage Battery Hybrid Power Conditioning System for Residential Use, *IEEE Transactions on Energy Conversation*, 21(2), 575-585.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ALKUL, Oğuz
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 04.02.1992, Altındağ
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : +90 506 723 23 38
 E-posta : oalkul@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi/ Teknoloji Fakültesi/ Elektrik Elektronik Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Teknoloji Fakültesi/ Elektrik Elektronik Mühendisliği	2016
Lise	Öğretmen Necla Kızılbâğ Lisesi	2011

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2018-Devam Ediyor	Katar Texas A&M Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2016-2017	MTK Elektronik Bilgisayar Sanayi Ticaret Limited. Şirketi.	Gömülü Yazılım Müh.

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Alkul O., Demirbaş Ş.(2019), Güç Elektroniği Transformatörlerinin İncelenmesi ve Bir DA/DA Dönüştürücü Uygulaması, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 7(2), 450-471.



GAZİ GELECEKTİR..