

T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK KAZANÇLI VE TEK ANAHTARLI YENİ BİR KARESEL DC-DC
DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN TASARIMI VE UYGULAMASI

Aslı Şeyda İPEK

Danışman: Prof. Dr. Naim Süleyman TİNÇ

TEZ JÜRİ ÜYELERİ
Prof. Dr. Naim Süleyman TİNÇ
Doç. Dr. Mehmet Cihat ÖZGENEL
Doç. Dr. Yakup ŞAHİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ERZİNCAN, 2025

© 2025 [Aslı Şeyda İPEK]. Tüm hakları saklıdır.

ÖZET

YÜKSEK KAZANÇLI VE TEK ANAHTARLI YENİ BİR KARESEL DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN TASARIMI VE UYGULAMASI

Aslı Şeyda İPEK

Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Naim Süleyman TING

2025, 81 sayfa

Bu tez çalışmasında yakıt hücreleri, güneş panelleri ve elektrikli araç şarj istasyonlarında çıkış geriliminin yükseltilmesi amacıyla kullanılan klasik DC-DC dönüştürücüye alternatif olarak daha yüksek gerilim kazancı sağlayabilen ve literatürde sunulan yüksek kazançlı dönüştürücülerin dezavantajlarını barındırmayan yeni bir tek anahtarlı yüksek gerilim kazançlı karesel DC-DC dönüştürücü sunulmaktadır. Güneş panelleri, yakıt hücreleri gibi yenilenebilir enerji kaynakları genellikle düşük gerilim sunarlar. Bu düşük gerilim bataryaların ve inverterlerin ihtiyaç duydukları gerilim seviyelerini karşılamak için yeterli olmayabilir. Bu tez çalışmasında sunulan yüksek kazançlı karesel DC-DC dönüştürücü düşük giriş gerilimlerini yüksek çıkış gerilimlerine etkin bir şekilde dönüştürebilmektedir. Ayrıca, temel DC-DC yükseltici, sarmaşık yükseltici, kaskat ve karesel yükseltici dönüştürücülerden daha fazla bir çıkış gerilim kazancı (%50 doluluk oranında giriş geriliminin 8 katı kadar çıkış gerilimi) sağlamaktadır. Dönüştürücü yapısında tek bir anahtarın bulunması ve bu anahtarın maruz kaldığı gerilimin çıkış geriliminin yarısı olması sunulan dönüştürücünün en önemli üstünlüklerinden biridir. Literatürde yer alan birçok topolojiye göre kullanılan eleman sayısının daha az olması, transformatör gibi tasarım zorluğu bulunan elemanların olmaması dönüştürücünün diğer olumlu özelliklerindendir. Tez çalışmasında sunulan dönüştürücünün deneysel prototipi yapılmış, simülasyon sonuçları deneysel olarak doğrulanmış ve böylece yenilenebilir enerji sektöründe kullanılmak üzere bilime ve teknolojiye katkı sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji sistemleri, Yüksek kazançlı Karesel DC-DC dönüştürücü, Tek anahtar, Düşük gerilim stresi.

ABSTRACT

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A NOVEL HIGH GAIN SINGLE-SWITCH QUADRATIC DC-DC CONVERTER

Aslı Şeyda İPEK

**Master's Thesis, Erzincan Binali Yıldırım University, Institute of Science and
Technology,**

Department of Electrical Electronics Engineering

Advisor: Prof. Dr. Naim Süleyman TINÇ

2025, 81 pages

In this thesis, a new single-switch high-voltage-gain quadratic DC–DC converter is presented as an alternative to the classical DC–DC converter commonly used to boost the output voltage of fuel cells, photovoltaic panels, and electric vehicle charging stations. Renewable energy sources such as photovoltaic panels and fuel cells typically provide low output voltages, which may be insufficient to meet the voltage levels required by batteries and inverters. The high-gain quadratic DC–DC converter proposed in this study can efficiently step up low input voltages to high output voltages. Moreover, it achieves a significantly higher voltage gain—up to eight times the input voltage at a 50% duty cycle—compared to conventional boost, cascade, quadratic, and ladder-type high-gain converters. One of the most important advantages of the proposed converter is its single-switch structure, where the voltage stress on the switch is only half of the output voltage. Additionally, the converter features fewer components than many topologies reported in the literature and eliminates the need for a transformer, thereby avoiding the design complexities associated with magnetic components. An experimental prototype of the proposed converter was developed, and the simulation results were experimentally validated. As a result, the study contributes to science and technology by offering a promising solution for applications in the renewable energy sector.

Keywords: Renewable energy systems, High gain Quadratic DC-DC converter, Single switch, Low voltage stress.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamın hazırlanma sürecinde akademik anlamda her zaman yol gösterici olan, bilgi ve tecrübesiyle bana rehberlik eden, sabrı ve desteğiyle motivasyonumu her daim yüksek tutmamı sağlayan değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Naim Süleyman TING' a en içten teşekkürlerimi sunarım. Kendisi, akademik bilgi birikimi ve yol gösterici tutumu ile çalışmamın şekillenmesinde önemli katkılar sağlamıştır. Aynı zamanda bilimsel bakış açımı geliştirmemde ve çalışma disipliniyi şekillendirmemdeki katkısı bu sürecin en kıymetli kazanımlarından biri olmuştur. Akademik dünyada karşılaştığım her sorunu yapıcı bir şekilde aşmamda gösterdiği anlayış ve sağladığı yönlendirme ile bana ilham kaynağı olmuştur. Kendisine duyduğum saygı ve minnet bu satırlarla ifade edebileceğimden çok daha fazladır.

Ayrıca bu tez çalışmasını 1002 Projesi kapsamında destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna (TÜBİTAK) teşekkür ederim.

Bu süreçte hayatım boyunca yanımda olan aileme bana sağladığı maddi ve manevi bütün destekleri için teşekkür ederim. Ayrıca, hayatımda varlığıyla bana huzur katan özel insana sonsuz teşekkür ediyorum.

Aslı Şeyda İPEK

Ekim, 2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
TABLolar DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	11
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE ve İLGİLİ ÇALIŞMALAR	17
3. YÖNTEM	31
3.1. Giriş	31
3.2. Klasik DC-DC Yükseltici Dönüştürücü	31
3.3. Klasik Karesel DC-DC Yükseltici Dönüştürücü	35
4. BULGULAR	42
4.1. Giriş	42
4.2. Örnek Dönüştürücü-1	42
4.2.1. Çalışma aralıkları	42
4.2.2. Simülasyon sonuçları	45
4.3. Örnek Dönüştürücü-2	48
4.3.1. Çalışma aralıkları	48
4.3.2. Simülasyon sonuçları	51
4.4. Araştırma Bulguları	54
4.4.1. Yeni karesel DC-DC dönüştürücünün çalışması, analizi ve tasarımı	55
4.4.1.1. Yeni karesel DC-DC dönüştürücünün CCM'de çalışma prensibi ve analizi	55
4.4.1.2. Gerilim kazancı ve gerilim-akım streslerinin analizi	58
4.4.1.3. Yeni karesel DC-DC dönüştürücünün DCM'de çalışma prensibi ve analizi	61
4.4.1.4. Yeni karesel DC-DC dönüştürücünün tasarım prosedürü	64
4.4.2. Yeni karesel DC-DC dönüştürücünün diğer karesel dönüştürücü topolojileriyle karşılaştırılması	65
4.4.3. Yeni karesel DC-DC dönüştürücünün deneysel uygulaması	69
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	74
KAYNAKÇA	76

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. KKYD'deki Bileşenlerin Tasarım Parametreleri.....	39
Tablo 2. MKYD-1'deki Bileşenlerin Tasarım Parametreleri.....	39
Tablo 3. MKYD-2'deki Bileşenlerin Tasarım Parametreleri.....	54
Tablo 4. Sunulan Yeni Dönüştürücünün Diğer Topolojilerle Karşılaştırılması.....	68
Tablo 5. Yeni Karesel DC-DC Dönüştürücünün Deneysel Devre Parametreleri.....	72



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Klasik DC-DC Yükseltici Dönüştürücünün Temel Devre Şeması	31
Şekil 2. Klasik DC-DC Yükseltici Dönüştürücünün (a) İletim Durumu (b) Kesim Durumu ..	32
Şekil 3. Klasik Karesel Yükseltici DC-DC Dönüştürücü Devre Şeması (Tattiwong ve Bunlaksananusom, 2014).....	36
Şekil 4. KKYD'nin (a) İletim durumu (b) Kesim durumu.....	37
Şekil 5. KKYD'nin Simülasyon Devre Şeması.....	38
Şekil 6. Anahtarın Kontrol Sinyali, Akım ve Gerilim Dalga Sonuçları	39
Şekil 7. Sırasıyla D_1 , D_2 ve D_3 Diyotlarının ve Çıkış Gerilim Sonuçları	40
Şekil 8. L_1 ve L_2 Endüktanslarının Akım ve Gerilim Dalga Sonuçları	40
Şekil 9. Çıkış ve C_1 Kondansatörünün Gerilimlerine Ait Sonuçlar.....	41
Şekil 10. MKYD-1'in Devre Topolojisi	43
Şekil 11. Yüksek Kazançlı MKYD-1'in Çalışma Modlarının Eşdeğer Devreleri (a) İletim Durumu (b) Kesim Durumu	45
Şekil 12. MKYD-1'in Simülasyon Devre Şeması	45
Şekil 13. Anahtarların Kontrol Sinyalleri; Sırasıyla S_1 ve S_2 Anahtarlarının Akım ve Gerilimlerinin Dalga Biçimleri	46
Şekil 14. Çıkış Geriliminin Dalga Formu ve Sırasıyla D_1 , D_2 ve D_0 Diyotlarının Gerilimleri	47
Şekil 15. Sırasıyla L_1 ve L_2 Endüktanslarının Akımlarının ve Gerilimlerinin Dalga Biçimleri.....	47
Şekil 16. Çıkış Gerilimlerinin Dalga Biçimleri; Sırasıyla C_1 ve C_2 Kondansatörlerinin Gerilimleri.....	48
Şekil 17. MKYD-2'nin Devre Topolojisi	49
Şekil 18. Yüksek Kazançlı MKYD-2'nin Çalışma Modlarının Eşdeğer Devreleri (a) İletim Durumu (b) Kesim Durumu	50
Şekil 19. MKYD-2'nin Simülasyon Devre Şeması.....	51
Şekil 20. Anahtarın Kontrol Sinyali, Sırasıyla S Anahtarının Akım ve Geriliminin Dalga Biçimleri.....	52
Şekil 21. Çıkış Geriliminin Dalga Biçimi ve Sırasıyla D_1 , D_2 ve D_3 Diyotlarının Gerilimleri	53
Şekil 22. Sırasıyla L_1 ve L_2 Endüktanslarının Akımlarının ve Gerilimlerinin Dalga Biçimleri.....	53

Şekil 23. Çıkış Geriliminin Dalga Biçimi ve Sırasıyla C_1 ve C_2 Kondansatörlerinin Gerilimleri	54
Şekil 24. Sunulan Yeni Dönüştürücünün Devre Şeması.....	55
Şekil 25. Sunulan Yeni Dönüştürücünün CCM'deki Çalışma Modlarının Eşdeğer Devreleri (a) Mod 1, (b) Mod 2.	56
Şekil 26. Sunulan Yeni Dönüştürücünün CCM'deki Temel Dalga Biçimleri	57
Şekil 27. Sunulan Yeni Dönüştürücünün DCM'deki Üçüncü Modunun Eşdeğer Devresi	61
Şekil 28. Sunulan Yeni Dönüştürücünün DCM Çalışmasında Endüktansların Temel Dalga Biçimleri.....	61
Şekil 29. Gerilim Kazancının Doluluk Oranına Göre Değişim Grafiği.....	67
Şekil 30. (a) Anahtar Sayısı Başına Düşen Gerilim Kazancının, (b) Diyot Sayısı Başına Düşen Gerilim Kazancının, (c) Endüktans Sayısı Başına Düşen Gerilim Kazancının, (d) Kondansatör Sayısı Başına Düşen Gerilim Kazancının, (e) Normalize Edilmiş Anahtar Gerilim Stresinin, (f) Normalize Edilmiş Diyot Gerilim Stresinin Doluluk Oranına Göre Değişim Grafikleri.	69
Şekil 31. Yeni Karesel DC-DC Dönüştürücünün Prototip Devre Fotoğrafı	70
Şekil 32. Güç Anahtarının Kontrol Sinyali, Gerilimi ve Akımı ile Çıkış Geriliminin Deneysel Sonuçları	71
Şekil 33. (a) Çıkış Gerilimi ve D_1 , D_2 Diyotlarının Gerilimlerinin, (b) D_3 , D_4 ve D_5 Diyotlarının Gerilimlerinin Deneysel Sonuçları.....	71
Şekil 34. Çıkış ve Giriş Gerilimleri ile Akımlarının Deneysel Sonuçları.....	72
Şekil 35. Endüktansların Gerilim ve Akımlarının Deneysel Sonuçları	73
Şekil 36. C_1 , C_2 , C_3 ve C_4 Kondansatörlerinin Gerilimlerinin Deneysel Sonuçları	73

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AC	Alternative Current (Alternatif Akım)
S	Anahtar
F_s	Anahtarlama Frekansı
BCM	Boundary Current Mode (Sınır Akım Modu)
CCM	Continuous Current Mode (Sürekli Akım Modu)
I_o	Çıkış Akımı
P_o	Çıkış Gücü
V_o	Çıkış Gerilimi
PWM	Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
DC	Direct Current (Doğru Akım)
DCM	Discontinuous Current Mode (Kesintili Akım Modu)
D	Doluluk Oranı
EV	Electrical Vehicle (Elektrikli Araç)
EMI	Elektromanyetic Interference (Elektromanyetik Girişim)
EMK	Elektromotor Kuvveti
L	Endüktans
I_L	Endüktans Akımı
ΔI_L	Endüktans Akımının Dalgalanma Miktarı
V_L	Endüktans Gerilimi
τ_L	Endüktansın Zaman Sabiti
PV	Photovoltaik (Fotovoltaik)
F	Frekans
I_i	Giriş Akımı
V_{in}	Giriş Gerilimi
P_{in}	Giriş Gücü
Hz	Hertz
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor (İzole Kapılı Bipolar Transistör)
T_d	İletim Süresi
G	Gain (Kazanç)
T_b	Kesim Süresi
UPS	Uninterruptible Power Supply (Kesintisiz Güç Kaynağı)

KKYD	Klasik Karesel Yükseltici Dönüştürücü
KCL	Kirchhoff's Current Law (Kirchhoff Akım Kanunu)
KVL	Kirchhoff's Voltage Law (Kirchhoff Gerilim Kanunu)
C	Kondansatör
I_C	Kondansatör Akımı
V_C	Kondansatör Gerilimi
ΔV_C	Kondansatör Geriliminin Dalgalanma Miktarı
MPPT	Maximum Power Point Tracking (Maksimum Güç Noktası İzleyici)
MKYD	Modifiye Edilmiş Karesel Yükseltici Dönüştürücü
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (Metak Oksit Yarıiletken Alan Etkili Transistör)
T_P	Periyot
PFC	Power Factor Correction (Güç Faktörü Düzeltme)
R_L	Rezistif Yük
V	Volt
W	Watt
R_O	Yük Direnci
%	Yüzde

1. GİRİŞ

İnsan yaşamının sürdürülebilmesi, ekonomik faaliyetlerin yürütülebilmesi ve teknolojik ilerlemelerin başarılabilmesi açısından hayati bir öneme sahip olan enerji, kısaca iş yapabilme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Tarih boyunca insanlar enerji kaynaklarını temel ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kullanmıştır. İlk dönemlerde sınırlı olan bu kullanım zamanla gelişen teknolojilerle birlikte çeşitlenmiş ve yaygınlaşmıştır. Sanayi devrimi ile birlikte enerji ihtiyacı büyük bir ivme kazanmış, fosil yakıtların keşfi ve kullanımıyla üretim süreçlerinde verimlilik artmış, şehirleşme hızlanmış ve modern yaşamın temelleri atılmıştır. Günümüzde ise enerji, yalnızca bireysel bir ihtiyaç olmanın ötesinde sanayi, ulaşım, tarım, sağlık ve iletişim gibi pek çok sektörde vazgeçilmez bir unsur haline gelmiştir. Artan nüfus ve gelişen teknolojiler enerji talebini her geçen gün daha da artırmaktadır. Bu bağlamda insanlığın uzun yıllar boyunca bağımlı olduğu yenilenemeyen enerji kaynakları önemli bir tartışma konusu haline gelmiştir. Petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar ile nükleer enerji doğada sınırlı miktarda bulunan ve yenilenmeleri uzun zaman alan kaynaklar arasında yer almaktadırlar. Bu tür kaynaklar, enerji ihtiyacını karşılamak açısından büyük bir öneme sahip olmakla birlikte çevreye verdikleri zararlar nedeniyle ciddi eleştirilere maruz kalmaktadırlar. Özellikle sera gazı emisyon artışı, küresel ısınma, iklim değişikliği ve hava kirliliği gibi çevresel problemler yenilenemeyen enerji kullanımının sürdürülebilirliğini sorgulatmaktadır. Ayrıca bu kaynakların tükenme riski ve dışa bağımlılık, enerji arz güvenliğini de tehdit etmektedir. Tüm bu nedenlerle yenilenemeyen enerji kaynaklarının mevcut kullanım durumu, gelecekteki rolü ve bu kaynaklara alternatif olarak geliştirilen yenilenebilir enerji çözümleri günümüzdeki enerji politikalarının merkezinde yer almaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları, doğal süreçlerle sürekli kendini yenileyebilen ve tükenme riski taşımayan enerji türleridir. Güneş, rüzgâr, hidroelektrik, biyokütle ve jeotermal enerji gibi kaynaklar bu gruba dâhil olup sürdürülebilir bir enerji üretimi için önemli alternatifler sunmaktadırlar. Bu kaynaklar, fosil yakıtların aksine çevreye minimum düzeyde zarar vermekte ve sera gazı salınımını önemli ölçüde azaltarak iklim değişikliği ile mücadelede kilit rol oynamaktadır. Ayrıca, yerli kaynaklardan elde edilebilmeleri nedeniyle enerji arz güvenliğini artırmaktadırlar. Aynı zamanda dışa bağımlılığı azaltmakta ve ekonomik anlamda yeni istihdam olanakları yaratmaktadırlar. Ancak yenilenebilir enerji kaynaklarının bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Örneğin; güneş ve rüzgâr gibi bazı yenilenebilir enerji kaynakları doğa koşullarına bağlı olarak kesintili ve düşük değerli enerji üretimi yapabilmektedir. Bu da enerji

depolama teknolojilerine olan ihtiyacı artırmaktadır. Ancak bu dezavantaja rağmen yine de avantajları daha ağır basmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirlik açısından büyük bir potansiyel taşıyan geleceğin enerji sistemlerinin temel yapı taşları arasında yer alan kaynaklar olarak öne çıkmaktadır.

Yenilenebilir enerji teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte elektrikli araç (EV) şarj istasyonları ve yakıt hücreleri enerji dönüşümünün ve sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin temel bileşenleri haline gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en yaygın kullanılanlarından biri olan güneş enerjisi santralleri, fotovoltaik (PV) paneller aracılığıyla güneş ışığını doğrudan elektriğe çeviren sistemlerdir. Güneş ışınları panellere ulaştığında yarı iletken malzemeler içerisindeki elektrik yükleri harekete geçer ve doğru akım (DC) elektrik üretilir. Bu elektrik inverterler yardımı ile alternatif akıma (AC) dönüştürülerek kullanıma sunulur. Rüzgâr enerji santralleri ise rüzgârın hareket enerjisini mekanik enerjiye, ardından generatörler aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürür. Rüzgâr türbinlerinin pervaneleri döndükçe şaft aracılığıyla generatör çalışır ve enerji üretilir. Bu ve diğer yenilenebilir enerji sistemlerinin temel avantajları; temiz, sessiz ve kaynak bakımından sınırsız olmalarıdır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımıyla doğrudan ilişkili olan EV'ler, fosil yakıtla çalışan geleneksel araçlara kıyasla çevreye çok daha az zarar vermekle birlikte enerji verimliliği açısından da oldukça üstündürler. EV'ler bataryalarında depolanan elektrik enerjisini elektrik motoru sayesinde harekete dönüştürerek çalışmaktadırlar. EV'lerin bataryalarının şarjı için EV araç şarj istasyonları günümüzde gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bu istasyonlar aracılığıyla araç bataryaları AC ve DC enerji kullanılarak farklı hız seviyelerinde şarj edilebilmektedir. Yaygın ve hızlı şarj altyapısı, EV'lerin toplumsal kabulü ve kullanım oranı açısından kritik öneme sahiptir. Yakıt hücreleri ise EV'lerde ve sabit enerji üretim sistemlerinde kullanılan hidrojen gibi yakıtları kimyasal olarak oksijenle reaksiyona sokarak doğrudan elektrik üreten cihazlardır. Bu sistemlerin en önemli avantajı su buharı dışında zararlı bir atık üretmemeleridir. Yakıt hücreleri verimli, sessiz ve çevre dostu olmalarına rağmen hidrojen üretimi, taşınması ve depolanması konularında henüz tam anlamıyla çözülmemiş bazı teknik ve ekonomik engellerle karşı karşıyadır. Ancak yukarıda bahsedilen bütün bu teknolojiler hem ulaşım hem de enerji sektöründe düşük karbonlu bir geleceğe geçişi mümkün kılmaktadır. Aynı zamanda sürdürülebilir kalkınmaya önemli katkılar sunmaktadır.

Güneş ve rüzgâr enerji santrallerinin çevre dostu ve sürdürülebilir yapısına rağmen bu kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisinin doğrudan kullanılabilir hale getirilmesi teknik bazı düzenlemeleri gerekli kılmaktadır. Özellikle bu santrallerin çıkışında üretilen DC gerilim genellikle düşük seviyelerde olup ve çoğu zaman EV şarj istasyonları veya enerji iletim hatlarında doğrudan kullanılamayacak kadar yetersizdir. Örneğin; bir güneş paneli genel olarak 24-48 V arasında değişen düşük gerilimli bir DC çıkış sağlamaktadır. Benzer şekilde rüzgâr türbinlerinden elde edilen enerji de özellikle düşük rüzgâr hızlarında benzer seviyelerde olabilmektedir. Ancak EV'lerin batarya sistemleri genellikle 400 V ve üzeri DC gerilim ile çalışmaktadır. Hatta bazı yeni nesil araçlar 800 V'a kadar çıkabilmektedir. Aynı şekilde EV şarj istasyonları da yüksek gerilim gerektirir. Araçlara kısa sürede yüksek enerji aktarımı yapılabilmesi için genellikle 500 ila 1000 V arası DC gerilime ihtiyaç duyulmaktadır. Tüm bu nedenlerle, güneş ve rüzgâr santrallerinden elde edilen düşük gerilimli elektrik enerjisinin güç elektroniği devreleri aracılığıyla yükseltilmesi gerekmektedir. Bu işlem DC-DC dönüştürücüler kullanılarak gerçekleştirilir. Bu dönüştürücüler, girişteki düşük seviyeli DC gerilimi alarak istenilen yüksek DC gerilim seviyesine çıkarmaktadır. EV şarj istasyonlarının alt yapısı ve araç bataryalarının gereksinim duyduğu güç seviyelerine ulaşılması bu dönüştürücüler ile sağlanmaktadır. Böylelikle bu dönüştürücüler sayesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının EV teknolojileriyle entegrasyonu mümkün hale gelmektedir. DC-DC dönüştürme işlemi sırasında enerji kayıplarının minimumda tutulması sistem verimliliği açısından kritik öneme sahiptir. Enerji dönüşümündeki bu teknik adım hem enerji sistemlerinin güvenli çalışması hem de EV'lerin şebekeyle etkili bir şekilde entegre olabilmesi açısından vazgeçilmezdir. Bu durum, yenilenebilir enerji üretimi ile ulaşım teknolojilerinin birbirini nasıl tamamladığını ve birlikte değerlendirildiğinde sürdürülebilir bir enerji ekosistemi oluşturduklarını açıkça ortaya koymaktadır.

DC-DC dönüştürücülerde elde edilen kazanç, yani çıkış geriliminin giriş gerilimine oranı, sistemin verimliliği ve uygulanabilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle güneş enerjisi ve rüzgâr türbini sistemleri ile entegre olan EV batarya şarj uygulamalarında yüksek gerilim kazancı gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Literatürde klasik yükseltici DC-DC dönüştürücülerin yanı sıra çok sayıda farklı topolojide yüksek kazanç sağlayabilen DC-DC dönüştürücü yer almaktadır. Bu topolojilerden en bilinenleri tam köprü, yarım köprü, geri dönüşlü, ileri yönlü, sarmaşık, kaskat ve karesel DC-DC dönüştürücülerdir. Her bir topolojinin kendine özgü avantajları ve uygulama alanları bulunmaktadır. Bu dönüştürücülerin

kullanımıyla yüksek gerilim kazancı elde edilebilirken aynı zamanda yüksek verim, yüksek güç yoğunluğu ve düşük harmonik bozulma gibi kriterlerin de sağlanması arzu edilmektedir.

Yüksek gerilim kazançlı DC-DC dönüştürücüler yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen düşük gerilimin istenilen seviyelere kadar yükseltilebilmesinde önemli avantajlar sunmaktadırlar. Örneğin; güneş ve rüzgâr enerji sistemleri ele alındığında bu sistemlerden elde edilen düşük seviye gerilim daha yüksek seviyelere çıkarılırken daha az sayıda panel ve türbin kullanılarak sistem boyutu ve maliyeti de düşürülebilir. Ayrıca, doğrudan yüksek gerilimli bataryalara enerji aktarımı yapılabildiği için ek dönüştürücülere olan ihtiyaç azalır ve sistemin karmaşık olmasının önüne geçilir. Yüksek verimli ve optimize edilmiş bir dönüştürücü, enerji kayıplarını minimize ederek şebeke ile daha kararlı bir etkileşim sağlar. Aynı zamanda hızlı dinamik tepkileri sayesinde değişken enerji kaynaklarıyla daha etkin uyum sağlayabilir. Bu yönüyle yüksek gerilim kazancı sağlayan dönüştürücüler sadece teknik olarak değil aynı zamanda ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik açısından da kritik bir bileşen haline gelmiştir. Özellikle yenilenebilir enerji sistemlerinden elde edilen düşük DC gerilimi kullanılabilir hale getirme ihtiyacı, bu geliştirilmiş dönüştürücü teknolojileri sayesinde verimli ve etkili bir biçimde karşılanabilmektedir.

Yüksek gerilim kazançlı DC-DC dönüştürücülere olan ihtiyaç doğrultusunda geliştirilen DC-DC dönüştürücü topolojileri arasında yer alan karesel DC-DC dönüştürücüler hem yapısal basitlikleri hem de sundukları yüksek gerilim kazancı ile son yıllarda öne çıkmaktadır. Klasik yükseltici DC-DC dönüştürücüler belirli bir doluluk oranı ile sınırlı bir kazanç elde edebilirken karesel DC-DC dönüştürücüler bu sınırı ötesine geçerek gerilim kazancını giriş geriliminin karesiyle orantılı olacak şekilde artırabilmektedir. Karesel DC-DC yükseltici dönüştürücünün bu özelliği sayesinde özellikle giriş geriliminin çok düşük olduğu (12-24 V) uygulamalarda çıkışta ihtiyaç duyulan 300-400 V gibi yüksek çıkış gerilimlerinin elde edilebilmesi mümkün olabilmektedir. Karesel DC-DC yükseltici dönüştürücüler klasik yükseltici DC-DC dönüştürücülere nazaran daha düşük doluluk oranları ile daha yüksek gerilim kazancı sağlayabilmektedir. Böylece hem anahtarlama elemanlarının ısınması azaltmakta, hem de verimlilik artmaktadır. Aynı zamanda gerilim dalgalanmaları azaltılarak çıkışta daha kararlı ve regüleli bir DC gerilim elde edilebilmektedir. Bu durum giriş enerji kaynağının dalgalı veya düşük seviyeli olduğu güneş panelleri ve yakıt hücreleri gibi uygulamalar açısından ekstra bir avantaj sunmaktadır. Ayrıca, EV'lerin batarya şarj uygulamalarında yüksek gerilim kazancına düşük kayıpla ulaşılması sağlanarak sistem verimliliği önemli ölçüde artırılmaktadır. Kompakt

tasarımı ve daha az bileşenle yüksek gerilim kazancı sağlaması gibi özellikler karesel DC-DC dönüştürücüleri ve bu dönüştürücüden türetilen topolojileri hem taşınabilir hem de sabit uygulamalarda tercih edilen unsurlar haline getirmektedir.

Bu tez çalışmasında, özellikle yakıt hücreleri, güneş panelleri ve EV şarj istasyonlarında çıkış geriliminin yükseltilmesi amacıyla kullanılan klasik yükseltici türü DC-DC dönüştürücülere alternatif olarak daha yüksek gerilim kazancı sağlayabilen ve tek anahtarlı yeni bir karesel DC-DC dönüştürücü sunulmuştur. Güneş panelleri ve yakıt hücreleri gibi yenilenebilir enerji kaynakları genellikle düşük çıkış gerilimi sağlarlar. Ancak EV şarj istasyonları ve enerji şebekeleri daha yüksek gerilim gerektirmektedir. Bu tez çalışmasında sunulan yüksek kazançlı yeni karesel DC-DC dönüştürücü düşük giriş gerilimlerini yüksek çıkış gerilimlerine etkin bir şekilde dönüştürerek sistem verimliliğini artırır. Bu dönüştürücü minimum enerji kaybı ile yüksek verim sağlayarak sistemin çalışma performansını artırır. Sunulan yeni dönüştürücü literatürde yer alan temel DC-DC yükseltici, sarmaşık yükseltici, kaskat ve klasik karesel yükseltici dönüştürücülerden (KKYD) daha fazla bir çıkış gerilim kazancı (%50 doluluk oranında giriş geriliminin 8 katı kadar çıkış gerilimi) sağlamaktadır. Dönüştürücü yapısında tek bir anahtarın bulunması ve bu anahtarın maruz kaldığı gerilimin çıkış geriliminin yarısı olması sunulan dönüştürücünün en önemli katma değer özelliklerinden biridir. Bu sayede dönüştürücü tasarımında eleman seçimi yapılırken daha düşük maliyetli bir güç elemanının kullanımına imkân sağlanmış olacaktır. Literatürde yer alan birçok topolojiye göre bu tez çalışmasında sunulan dönüştürücüde kullanılan eleman sayısının daha az olması, transformatör gibi tasarım zorluğu bulunan elemanların olmaması dönüştürücünün diğer olumlu özelliklerindendir.

Tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır. 1. Bölüm olan Giriş Bölümü'nde genel hatlarıyla enerji, enerjinin sürdürülebilirliği, enerji kaynakları, yenilenebilir enerji kaynakları ve EV şarj istasyonları ile entegrasyonu, DC-DC dönüştürücüler ve karesel DC-DC dönüştürücüler hakkında bilgi verilmiş ve son olarak tez çalışmasında sunulan yeni karesel DC-DC dönüştürücü kısaca tanıtılmıştır. 2. Bölüm olan Kavramsal Çerçeve ve İlgili Çalışmalar Bölümü'nde literatürde yer alan DC-DC yükseltici dönüştürücüler ile ilgili yapılan çalışmalar ele alınmıştır. Mevcut çalışmalar verimlilik, gerilim kazancı, devredeki eleman sayısı gibi temel kriterler doğrultusunda değerlendirilmiş, her bir devre topolojisinin avantajları ve dezavantajları analiz edilmiştir. Yapılan bu literatür taraması sonucunda karesel DC-DC dönüştürücülerin sağladığı girişin karesi oranında gerilim yükseltme yeteneği ve daha düşük doluluk oranında çalışabilme avantajı öne çıkmıştır. 3. Bölüm olan Yöntem Bölümü'nde klasik

yükseltici DC-DC dönüştürücünün devre şeması, devrenin çalışma prensibi ve denklemleri detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Devamında ise klasik karesel DC-DC yükseltici dönüştürücü tanıtılmış ve çalışma aralıkları detaylı olarak analiz edilmiştir. 4. Bölümde literatürde yer alan 2 adet modifiye edilmiş karesel DC-DC yükseltici dönüştürücü incelenmiştir. Aynı zamanda incelenen dönüştürücülerin simülasyon sonuçları detaylı bir şekilde sunulmuştur. Ayrıca bu bölümde tez çalışmasının konusu olan yüksek gerilim kazancı sağlayabilen ve tek anahtarlı yeni bir karesel DC-DC yükseltici dönüştürücü sunulmuştur. Dönüştürücünün topolojisi, çalışma prensipleri ve devre analizi ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. Ayrıca simülasyon ve deneysel sonuçlar ile elde edilen bulgular detaylı bir şekilde analiz edilmiş olup literatürde yer alan benzer çalışmalar ile de kıyaslanmıştır. 5. Bölümde ise elde edilen sonuçlar ile bu çalışmanın avantajları ve dezavantajları analiz edilmiştir. Sunulan dönüştürücünün düşük giriş gerilimlerinden yüksek çıkış gerilimlerine verimli bir şekilde enerji aktarabildiğini ve tek anahtarlı yapısı sayesinde kontrol basitliği sağladığını göstermiştir. Çalışma, yüksek gerilim dönüşümü gerektiren yenilenebilir enerji sistemleri, elektrikli araç güç üniteleri gibi uygulamalarda kullanılabilecek potansiyele sahiptir. Gelecek çalışmalarda tasarımın farklı anahtarlama stratejileri ile optimize edilmesi ve daha geniş güç seviyelerinde test edilmesi önerilmektedir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE ve İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Yükseltici DC-DC dönüştürücüler, hem güneş enerji santralleri hem de EV şarj istasyonları için kritik bir bileşendir. Son yıllarda popülerliği artan EV teknolojileri ve şarj istasyonlarında gerilimin yükseltilmesi ihtiyacı DC-DC yükseltici türü dönüştürücülerin önemini daha da artırmıştır (Alzahrani vd., 2019). Klasik yükseltici dönüştürücü ile %50 doluluk oranında çıkışta giriş geriliminin iki katı değerinde bir gerilim elde edilebilmektedir. Literatürde son yıllarda aynı doluluk oranında daha yüksek çıkış gerilim değerinin elde edilebildiği yüksek kazançlı DC-DC dönüştürücüler sunulmuştur. Özellikle güneş enerjisi ve EV sektörü gibi yüksek gerilime ihtiyaç duyulan uygulama alanlarında klasik yükseltici dönüştürücülerden daha yüksek gerilim kazancı elde etmek amacıyla izoleli ve izolesiz türlerde çeşitli DC-DC yükseltici dönüştürücü yapıları kullanılmaktadır. İzoleli türlerde tam köprü (full bridge), yarım köprü (half bridge), geri-dönüslü (flyback) ve ileri-yönlü (forward) gibi yapılar kullanılmakta ancak bu yapılar bulunduran transformatör veya kuplajlı endüktans gibi elemanlar yüksek hacim, ağırlık ve kayıpların yanı sıra yüksek maliyete neden olmaktadır (Veerabhadra ve Rao, 2024). Bu topolojilerin yanı sıra yaygın olarak kullanılan diğer topolojiler sarmaşık (interleaved), kaskat (cascaded) ve karesel (quadratic) DC-DC dönüştürücü türleridir.

Günümüzde yüksek güçlü uygulamalarda verimli enerji dönüşümünü sağlamak amacıyla geliştirilen topolojilerden biri olan sarmaşık DC-DC dönüştürücü topolojisi, aynı türden birden fazla DC-DC dönüştürücünün paralel çalıştırılması esasına dayanır. Bu topoloji genellikle giriş akım dalgalanmalarını azaltmak için tercih edilir ve dönüştürücünün gerilim kazancı geleneksel bir yükseltici dönüştürücü ile aynıdır (Ting vd., 2017). Bu yapı sayesinde hem giriş hem de çıkış filtre eleman boyutları küçültülebilirken, elektromanyetik girişim (EMI) de azaltılmış olur. Ayrıca, her bir dönüştürücünün yükü paylaşması sayesinde ısı dağılımı dengelenmekte ve iletim kayıpları azaltılmaktadır. Böylece sistemin genel verimliliği artırılmaktadır ancak dönüştürücünün fazlar arası senkronizasyonun sağlanması için karmaşık bir kontrol yapısı gerektirmesi, devre eleman sayısının artması ve olası yük paylaşım dengesizlikleri gibi zorluklar bu dönüştürücülerin dezavantajları arasındadır.

Yüksek gerilim kazancı istenen uygulamalarda sıklıkla tercih edilen bir diğer dönüştürücü ise kaskat DC-DC dönüştürücüdür. İki veya daha fazla yükseltici dönüştürücünün birleşimi olan kaskat dönüştürücü klasik yükseltici dönüştürücüden daha yüksek bir gerilim kazancı elde etmenin en basit yöntemidir. Bu topoloji, farklı veya aynı tipte birden fazla DC-DC

dönüştürücünün seri olarak birbirine bağlanması esasına dayanmaktadır. Her bir aşama önceki aşamanın çıkış gerilimini giriş gerilimi olarak alır ve bu sayede toplam gerilim kazancı artırılmış olur. Bu çalışma mantığı ile çok düşük giriş gerilimlerinden oldukça yüksek çıkış gerilimlerine ulaşmak mümkün hale gelmektedir. Ancak bu dönüştürücüde yüksek anahtarlama kayıplarının yanı sıra ek elemanların kullanımı ile düşük verim ve yüksek maliyet ortaya çıkmaktadır (Yu vd., 2019). Aşama sayısının artmasıyla birlikte kontrol yapısı karmaşıklaşır ve sistemin genel verimliliği her aşamadaki kayıplara bağlı olarak azalabilir. Devrenin fiziksel boyutunun da artması güç yoğunluğunu azaltırken yüksek maliyete sebep olmaktadır.

Gerilim yükseltme amacıyla kullanılan bir diğer dönüştürücü topolojisi olan karesel DC-DC dönüştürücülerden klasik yükseltici DC-DC dönüştürücülere kıyasla çok daha yüksek bir gerilim kazancı elde edilebilmektedir. Özellikle düşük gerilim sağlayan güneş panelleri veya yakıt hücreleri gibi kaynaklardan beslenen ve yüksek çıkış gerilimi ihtiyacı duyulan uygulamalarda karesel DC-DC dönüştürücü tercihi oldukça caziptir. Karesel DC-DC dönüştürücüler de çalışma prensibine göre, iki aşamalı enerji depolama ve aktarımı ile gerilim adım adım yükseltilir. Bu da düşük doluluk oranlarıyla daha yüksek kazanç anlamına gelmektedir. Bununla birlikte karesel DC-DC dönüştürücü yüksek kazanç, düşük EMI ve sistem verimliliği açısından avantajlı bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Özetle, sarmaşık, kaskat ve karesel DC-DC dönüştürücü topolojileri, yüksek gerilim kazancı ve verimli enerji dönüşümü ihtiyaçlarına cevap veren farklı avantajlar ve tasarım özelliklerine sahip yapılar olarak öne çıkmaktadır. Sarmaşık yapılar özellikle yüksek akım taşıma kapasitesi, düşük giriş akım dalgalanması ve ısı dağılımının dengeli olması gibi avantajlarıyla tercih edilirken, kaskat yapılar kademeli gerilim yükseltimi sayesinde çok düşük giriş gerilimlerinden yüksek çıkışlar elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Öte yandan karesel dönüştürücüler, sade bir devre yapısıyla oldukça yüksek kazanç sunabilmeleri sayesinde hem tasarım hem de kontrol açısından daha az karmaşıklık içermektedir. Temel karesel dönüştürücüde sarmaşık ve kaskat yapılardan farklı olarak %50 doluluk oranında çıkışta giriş geriliminin dört katı değerinde bir gerilim elde edilebilmektedir (Ahmad vd., 2021). Kısacası verimlilik, maliyet ve sistem karmaşıklığı birlikte değerlendirildiğinde, karesel DC-DC dönüştürücüler, sundukları yüksek gerilim kazancı ve sade topolojileriyle birçok yenilenebilir enerji sisteminde daha dengeli ve uygulanabilir bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Bu avantajlı yapısı sayesinde literatürde de karesel temelli dönüştürücülere olan ilginin giderek arttığı ve bu yapıların farklı varyasyonları üzerinde birçok çalışma yürütüldüğü görülmektedir. Özellikle yüksek kazanç elde etmeye yönelik olarak geliştirilen bu topolojiler, hem performans hem de verimlilik açısından önemli

kazanımlar sağlamaktadır. Bu tez çalışmasında da söz konusu eğilim doğrultusunda karesel DC-DC dönüştürücü yapısı temel alınarak özgün bir devre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan bu yeni yapı klasik karesel DC-DC dönüştürücülerde karşılaşılan bazı sınırlamaları aşmayı ve daha yüksek kazançla daha kararlı bir çıkış gerilimi elde etmeyi hedeflemektedir. Böylece literatürde yer alan farklı yüksek kazançlı topolojilerin analizinden elde edilen bilgiler ışığında oluşturulan bu devre yenilenebilir enerji sistemlerinde kullanılabilecek potansiyel bir çözüm olarak sunulmaktadır.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, düşük giriş geriliminden yüksek çıkış gerilimlerine ulaşabilmeyi mümkün kılan yüksek kazançlı DC-DC dönüştürücü topolojilerine olan ilgiyi ciddi ölçüde artırmıştır. Literatürde bu amaç doğrultusunda geliştirilen çok sayıda dönüştürücü yapısı; gerilim kazancı, devre elemanlarının sayısı, kontrol yapısının karmaşıklığı, maliyet, fiziksel hacim ve anahtarlama elemanları üzerindeki akım-gerilim stresi gibi kriterler açısından birbirlerinden önemli farklılıklar göstermektedir. Her bir topoloji belirli bir uygulama alanına veya teknik gereksinime göre optimize edilmiştir. Örneğin, bazı yapılar daha yüksek gerilim kazancı sağlarken bazıları daha düşük anahtarlama kayıpları ya da daha basit kontrol sistemleri sunar. Bu bağlamda, geliştirilen topolojilerin seçiminde sadece kazanç değeri değil aynı zamanda sistemin genel verimliliği, kararlılığı, maliyeti ve uygulama alanına uygunluğu da belirleyici rol oynamaktadır. Bu tez çalışmasında yer alan özgün devre tasarımı için literatürde yer alan çeşitli yüksek kazançlı dönüştürücü yapıları aşağıda özetlenerek sistematik bir değerlendirmeye tabi tutulmuştur.

Pires vd. (2019) yaptıkları çalışmada yakıt hücreli elektrikli araçlara yönelik iki yeni izolesiz DC-DC dönüştürücü topolojisi geliştirmişlerdir. Geliştirilen yapılar düşük gerilimli yakıt hücreleri ile enerji depolama elemanları (DC baralar, süper kapasitörler, bataryalar) arasında gerekli olan yüksek gerilim kazancını sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Sunulan dönüştürücüler karesel yükseltici ve CUK dönüştürücülerin temel özelliklerini birleştirerek yalnızca tek bir toprak referanslı aktif güç anahtarı kullanarak yüksek gerilim kazancı ve kontrol kolaylığı sağlamaktadır. Ancak sunulan dönüştürücüde üç endüktans kullanılması dönüştürücünün dezavantajı olarak vurgulanabilir.

Ghafour vd. (2022) yaptıkları çalışmada yükseltici bir DC-DC dönüştürücü için yeni bir topoloji sunmaktadırlar. Güneş panelleri ve yakıt hücreleri gibi düşük çıkış gerilimi sağlayan enerji kaynakları büyük ölçüde yükseltici bir DC-DC dönüştürücüye bağlıdır. Gerilim stresi

klasik yükseltici dönüştürücülerin en büyük dezavantajı olduğundan karesel gerilim kazancı sağlayan bir topoloji önerilmiştir. Sunulan topolojide yarı iletken elemanlar üzerindeki gerilim stresi azaltılmıştır. Devrede tek bir anahtarın bulunması kontrol kolaylığı olarak avantaj sağlamaktadır. Bileşen sayısının az olması ise maliyet ve hacim olarak üstün özellikleri arasında sayılabilmektedir.

Ye ve Cheng (2013) tarafından sunulan dönüştürücünün gerilim kazancı KKYD'nin gerilim kazancı ile aynıdır. KKYD'lere kıyasla en önemli avantajı kondansatör üzerindeki gerilim stresinin daha düşük seviyelerde olmasıdır. Bu özellik yüksek gerilimli uygulamalar açısından önemli bir avantaj sunmaktadır. Sunulan dönüştürücü tasarımında bir tane aktif güç anahtarı ve ikişer tane de endüktans ve kondansatör kullanılmıştır. Devrenin sürekli akım modu (CCM) ve kesintili akım modu (DCM) çalışma durumlarında detaylı analizleri yapılmıştır. Ayrıca dönüştürücüye ait devre modeli geliştirilmiş, devrenin prototipi üretilmiş ve yapılan deneysel çalışmalar sonucunda yüksek kazançlı bu dönüştürücünün uygulanabilirliği ve verimli çalıştığı doğrulanmıştır.

Naresh vd. (2025) tarafından yapılan çalışmada genişletilmiş kondansatör-diyot ağına dayalı beş yeni karesel yükseltici dönüştürücü ailesi önerilmiştir. Sunulan tüm dönüştürücüler sürekli giriş akımı ile geniş aralıklı gerilim kazancı üretebilme yeteneğine sahiptir. Çalışmadan mevcut dönüştürücülerle yapılan kıyaslamalar, sunulan yapıların yüksek gerilim kazancı, düşük gerilim stresi ve yüksek anahtarlama faktörü bakımından üstünlüğünü ortaya koymaktadır. Beş dönüştürücünün de kazanç denklemleri birbirinden farklı olup dönüştürücülerin gerilim kazançları KKYD'nin gerilim kazancından fazladır. Ancak dönüştürücülerin iki tane yarı iletken güç anahtarına sahip olması iletim kayıpları, anahtarlama kayıpları ve kontrol kolaylığı bakımından dezavantaj olarak sayılabilir.

Lin vd. (2024) sundukları çalışmada güç anahtarları üzerinde düşük gerilim stresi ve düşük doluluk oranlarında yüksek gerilim kazancı sunan izolesiz bir yüksek kazançlı DC-DC yükseltici dönüştürücü geliştirmişlerdir. Sunulan dönüştürücü PV veya yakıt hücreleri gibi üretim birimlerinden elde edilen düşük girişli DC gerilimini önemli ölçüde daha yüksek bir DC gerilimine yükseltmek için oldukça uygundur. Dönüştürücü iki anahtardan oluşmaktadır ve tek bir darbe genişlik modülasyonu (PWM) sinyali ile kontrol edilmektedir. Ancak devrenin iki anahtara sahip olması tek anahtarlı kontrol kolaylığı, maliyet ve anahtarlama kayıpları bakımından bir dezavantajdır.

Wu vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada yeni bir izolesiz DC-DC dönüştürücü topolojisi önerilmiştir. Sunulan yapı anahtarlamalı kondansatör ve anahtarlamalı endüktans temellerine dayanmaktadır. Bu topoloji sayesinde yüksek gerilim kazancı, geniş giriş gerilim aralığı, elemanlar üzerinde düşük gerilim stresi ve ortak toprak yapısı sunulmaktadır. Bunlarla birlikte dönüştürücünün çalışma prensibi, bileşen parametrelerinin tasarımı ve diğer yüksek kazançlı dönüştürücüler ile karşılaştırılmaları detaylı olarak analiz edilmiştir. Sunulan dönüştürücü %93,1 maksimum verimlilikle çalışmakta olup, yakıt hücreli araçlar için uygun bir çözüm sunmaktadır.

Wang vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada geniş giriş gerilim aralığına sahip girişi paralel çıkışı seri yapıda bir DC-DC yükseltici dönüştürücü önerilmektedir. Bu dönüştürücünün giriş tarafında giriş akım dalgalanmasını azaltmak amacıyla sarmaşık yapı kullanılmıştır. Yüksek gerilim kazancı elde edebilmek için çıkış tarafında iki kondansatör seri olarak bağlanmıştır. Devrede iki tane güç anahtarının kullanılmış olması kontrol karmaşıklığı, maliyet ve anahtarlama kayıpları bakımından bu topolojinin dezavantajlarından sayılabilir.

Zhang vd. (2018) tarafından sunulan çalışmada yakıt hücresi yığınları ile yakıt hücreli araçların DC bağlantı barası arasındaki gerilim dengesini sağlamak amacıyla diyot-kondansatör modülleri içeren tek anahtarlı bir yükseltici DC-DC dönüştürücü önerilmektedir. Kondansatörler paralel olarak şarj edilip seri olarak deşarj edilerek geniş bir gerilim kazancı aralığı elde edilmektedir.

Khan vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada PV uygulamaları için izolesiz yüksek kazançlı bir DC-DC dönüştürücü önerilmektedir. Sunulan yapı karesel gerilim kazancı ve düşük gerilim stresi sunmaktadır. Dönüştürücü, yüksek kazanç sağlayan gerilim yükseltici hücre ile klasik karesel yükseltici dönüştürücüden oluşmaktadır. Devrede öne çıkan topolojik avantaj ise daha az sayıda endüktans kullanımı ile birlikte tek bir güç anahtarının kullanımı sayesinde devre karmaşıklığının ve maliyetin azaltılmış olmasıdır.

Mohamed ve Fardoun (2016) tarafından yapılan çalışmada yüksek gerilim kazancına sahip ve yarı iletken elemanların maruz kaldıkları gerilim stresi azaltılmış yeni bir tek anahtarlı izolesiz DC-DC dönüştürücü önerilmiştir. Düşük gerilim stresi sayesinde daha düşük gerilimli bir MOSFET anahtarının kullanımı mümkün hale getirilerek maliyet ve iletim kayıpları azaltılmıştır. Ayrıca diyotlar üzerindeki düşük gerilim stresi, schottky diyot kullanımına olanak

tanımakta ve ters toparlanma akımının olumsuz etkilerini hafifleterek anahtarlama ve iletim kayıplarının daha da düşürülmesini sağlamaktadır. Ek olarak, dönüştürücüde kullanılan her iki endüktansın aynı nüve üzerine entegre edilmesiyle dönüştürücünün güç yoğunluğu artırılmıştır.

Lakshmi ve Hemamalini (2018) tarafından yapılan çalışmada gerilim katlayıcı hücre kullanılmadan izolesiz bir yüksek kazançlı DC-DC dönüştürücü önerilmiştir. Sunulan topoloji iki tane endüktans, üç tane yarı iletken güç anahtarı, iki tane diyot ve bir adet çıkış kondansatöründen oluşmaktadır. Dönüştürücünün üç anahtara sahip olması devre karmaşıklığı bakımından olumsuz bir durum olup aynı zamanda yüksek maliyet ve kayıp oluşturmaktadır.

Yang vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada aşırı yüksek doluluk oranına gerek kalmadan yüksek bir gerilim yükseltme oranı elde edebilen izolesiz DC-DC dönüştürücüler önerilmiştir. Sunulan topolojilerde aynı değere sahip iki endüktans anahtarın iletimde iken paralel olarak şarj edilirken kesimde iken seri olarak deşarj edilmektedir. Dönüştürücülerin iki tane güç anahtarına sahip olması tek anahtarlı devre topolojilerine kıyasla dezavantajdır.

Baba vd. (2024) tarafından yapılan çalışmada anahtarlama kondansatör temelli ultra yüksek kazançlı bir karesel yükseltici dönüştürücü önerilmiştir. Bu devre ile elde edilen ultra yüksek kazanç, düşük doluluk oranı ve geniş bir giriş gerilim aralığı ile sağlanmaktadır. Sunulan dönüştürücü önemli ölçüde azaltılmış gerilim stresi ve kaynak akım dalgalanması sunmaktadır. Topolojinin CCM ve DCM durumlarında çalışma analizleri yapılmıştır. Ayrıca, benzer karesel yükseltici DC-DC dönüştürücüler ile karşılaştırmalı performans analizi sunulmuştur.

Sadaf vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada anahtarlama endüktans tabanlı yüksek kazançlı bir yükseltici DC-DC dönüştürücü ele alınmaktadır. Devre topolojisinde daha az sayıda bileşen kullanarak küçük bir doluluk oranı değeriyle yüksek gerilim kazancı sağlanmaktadır. Dönüştürücü de iki güç anahtarı bulunması ilave maliyet ve anahtarlama kayıplarına neden olmaktadır. Ancak güç anahtarlarının maruz kaldığı gerilim stresi ve dolayısıyla iletim kayıpları azaltılmıştır.

Khan vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada ortak topraklı yapıya sahip ve dalgalı olmayan giriş akımı üreten yüksek kazançlı bir DC-DC yükseltici dönüştürücü önerilmiştir. Sunulan dönüştürücü KKYD'ye kıyasla iki kat daha yüksek gerilim dönüşüm oranı sunmaktadır. Dönüştürücü de iki güç anahtarı bulunması ilave maliyet ve anahtarlama kayıplarına neden

olmaktadır. Ancak tüm yarı iletken elemanlar üzerindeki gerilim stresi çıkış geriliminden düşük seviyededir.

Murad vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada yüksek gerilim kazancına sahip kaskat DC-DC dönüştürücülere yönelik kapsamlı bir inceleme yapılmıştır. Dönüştürücüler karakteristik özelliklerine göre sınıflandırılarak dört ana kategori altında ele alınmıştır. Bu kategoriler kaskat, karesel, hibrit ve klasik DC-DC yükseltici dönüştürücülerdir. Bu dönüştürücülerin avantajları ve dezavantajları ayrıntılı olarak tartışılmış ve özellikle yüksek gerilim kazancının gerekli olduğu güç elektroniği uygulamalarında kullanımlarına odaklanılmıştır.

Qin vd. (2021) transformatörsüz, tek anahtarlı, iki endüktanslı yüksek gerilim kazançlı yükseltici dönüştürücüler ailesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu yapıların düşük gerilim ve akım zorlanmalarıyla yüksek gerilim kazancı elde edebildiği vurgulanmıştır. Sunulan dönüştürücülerin gerilim kazancının, anahtarlamalı endüktans tabanlı yükseltici dönüştürücüye benzer olduğu ve bu nedenle yüksek gerilim gerektiren uygulamalara uygun bulunduğu ifade edilmiştir. Ayrıca bu dönüştürücü ailesinin daha az bileşen sayısına ve yarı iletken güç elemanlarının daha düşük gerilim streslerine sahip oldukları vurgulanmıştır. Çalışmada izolesiz, tek anahtarlı ve yüksek gerilim kazançlı üç temel dönüştürücü üzerinde durulmuştur. Bunlar anahtarlamalı endüktanslı, karesel ve Z-kaynaklı yükseltici dönüştürücülerdir. Bu topolojilerin, hem giriş hem de çıkış endüktanslarında daha düşük akım zorlanmalarına sahip olduğu ve dolayısıyla kayıpların da nispeten düşük seviyede gerçekleştiği belirtilmiştir. Ayrıca sunulan topolojilerin çalışma prensipleri, kararlı durum karakteristikleri ve CCM'de endüktans akım dalgalanmaları incelenmiştir.

Gholizadeh vd. (2024) tarafından sunulan izolesiz karesel dönüştürücüde ultra gerilim yükseltme tekniği kullanılmış ve düşük doluluk oranlarında dahi daha yüksek gerilim kazançlarının elde edilmesi sağlanmıştır. Yük ve kaynağın ortak topraklanması, giriş akımının sürekliliği ve yarı iletkenler üzerindeki düşük akım stresleri bu dönüştürücünün diğer özellikleri arasındadır. Sunulan topoloji tüm doluluk oranlarında sağladığı gerilim kazancı bakımından literatürde sunulan birçok topoloji ile karşılaştırılmıştır. Devrede iki adet güç anahtarının bulunması ve devre eleman sayısının çokluğu kontrol kolaylığı ve maliyet açısından bir dezavantajdır.

Mandal vd. (2024) tarafından yapılan çalışmada optimum verimlilik için tasarlanmış yeni bir izolesiz yüksek kazançlı bir DC-DC dönüştürücü sunulmaktadır. Bu dönüştürücü az sayıda bileşen içerdiği için oldukça basit bir yapıya sahiptir. Dönüştürücünün geniş bir doluluk oranı aralığında çalışabilmesi yenilenebilir enerji kaynakları sektöründe uygulanabilirlik açısından olumlu bir özelliktir. Ek olarak, bu dönüştürücü devreyi basitleştiren ve karmaşıklığı azaltan sadece bir anahtar kullanma avantajı sunmaktadır. Ayrıca anahtar üzerindeki gerilim stresi düşük seviyede tutularak güvenilirlik ve düşük maliyet sağlanmıştır.

Mahdizadeh vd. (2021) tarafından sunulan karesel DC-DC dönüştürücünün avantajları yüksek gerilim oranının yanı sıra az sayıda bileşene sahip olmasıdır. Ayrıca sürekli giriş akımı sunulan dönüştürücünün yenilenebilir enerji uygulamalarında kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Tanıtılan dönüştürücü CCM için tasarlanmıştır. Dönüştürücünün iki anahtara sahip olması en önemli dezavantajıdır.

Liu vd. (2024) KKYD'nin üç katı gerilim kazancına sahip olan izolesiz ve karesel yükseltici dönüştürücü sunmuşlardır. Burada KKYD'nin ikinci endüktansı bir gerilim çoğaltıcı hücre ile değiştirilmiş ve gerilim kazancını artırmak ve anahtar üzerindeki gerilim stresini azaltmak için bir anahtarlamalı kondansatör yapısı gerilim çoğaltıcı hücreye entegre edilmiştir. Aynı zamanda sunulan bu devre topolojisinin sürekli giriş akımı ve ortak toprak özelliği onu diğer izolesiz yüksek kazançlı yükseltici dönüştürücülere kıyasla avantajlı hale getirerek potansiyel uygulama alanını artırmıştır.

Subhani vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada anahtarlamalı kapasitör tabanlı bir yapı ile ultra yüksek seviyede bir gerilim kazancı sağlamak için karesel bir DC-DC yükseltici dönüştürücü sunulmaktadır. Sunulan dönüştürücü herhangi bir gerilim çoğaltıcı devresi olmadan çıkış gerilim kazancını ultra yüksek seviyeye çıkarabilme yeteneğine sahiptir. Dönüştürücü düşük doluluk oranları ile yüksek gerilim kazancı üretirken; kondansatör, diyot ve yarı iletken anahtarlar üzerindeki gerilim stresini de azaltmaktadır. Ayrıca, yenilenebilir enerji uygulamaları için sürekli kaynak akımına ve tek bir ortak toprak referans noktasına sahip olması ilave bir avantajıdır.

Zhu ve Ohyama (2025) tarafından yapılan çalışmada özellikle yakıt hücre sistemleri için daha düşük giriş akım dalgalanması elde etmek ve güç elemanlarının sayısını azaltmak amacıyla tasarlanmış bir karesel yükseltici dönüştürücü sunulmuştur. Sunulan dönüştürücü klasik bir

yükseltici dönüştürücü ile Z kaynak yükseltici dönüştürücünün birleşiminden oluşan kademeli bir devreden türetilmiştir. Bu topoloji az sayıda güç elemanı ile yüksek gerilim kazancı sağlarken aynı zamanda ani akım darbelerinin de ortadan kaldırılmasını sağlar. Dönüştürücüde 180° derece faz farkı ile çalışan iki anahtar kullanılmıştır. Bu durum ilave maliyet, anahtarlama kaybı ve kontrol zorluğuna sebep olmaktadır.

Kumar vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada klasik yükseltici ve sarmaşık yükseltici dönüştürücülerin analizi ve tasarımı yapılmıştır. Bu dönüştürücülerin performansları birbiriyle karşılaştırılmış ve sarmaşık yükseltici dönüştürücünün performansının PV sistemler için klasik yükseltici dönüştürücülere göre daha üstün olduğu sonucuna varılmıştır.

Leyva-Ramos vd. (2017) yaptıkları çalışmayla sürekli giriş ve çıkış akımlarına sahip yüksek gerilim kazançlı bir dönüştürücü sunmak için bir karesel yükseltici dönüştürücüyü, bir gerilim çoğaltıcı hücre ve bir çıkış filtresi ile birleştirmişlerdir.

Rajesh vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada yüksek gerilim dönüştürme oranına ulaşmak için yeni bir izolesiz yüksek kazançlı DC-DC dönüştürücü topolojisi önerilmiştir. Sunulan topolojide tek bir yarı iletken güç anahtarı kullanılmıştır. Dönüştürücü çalışma aralıkları CCM, DCM ve sınır akım modu (BCM) koşullarında incelenmiştir. Deneysel sonuçlar %60 doluluk oranıyla CCM altında alınmıştır. Dönüştürücü yapısında dört endüktansın bulunması ve diğer devre elemanlarının sayısı dönüştürücünün dezavantajlarıdır.

Naik vd. (2025) tarafından yapılan çalışmada PV ve yakıt hücreli uygulamalar için yeni bir tek anahtarlı, izolesiz yüksek kazançlı DC-DC dönüştürücü sunulmuştur. Bu dönüştürücü kaynaktan sürekli bir giriş akımı çeker ve yüke sürekli bir çıkış akımı sağlar. Dönüştürücünün performansı bir durum-uzay modeli geliştirilerek kapsamlı bir şekilde analiz edilmiş ve bazı dönüştürücülerle ayrıntılı karşılaştırması yapılmıştır.

Stephen vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada PV sistemi ve mikro şebeke uygulamalarında kullanılan yüksek kazançlı DC-DC dönüştürücülerin bir kısmı ele alınmış ve analiz edilmiştir. İncelenen topolojiler arasında bazı devrelerde iki veya daha fazla güç anahtarı bulunmaktadır. Bu durum ilave anahtarlama kayıplarına, maliyet artışına ve düşük verimliliğe sebep olmaktadır.

Gupta vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada yüksek kazançlı karesel bir izolesiz DC-DC dönüştürücü tanıtılmaktadır. Sunulan dönüştürücü genişletilmiş doluluk oranlı bir yükseltici dönüştürücü ile KKYD'nin bir birleşimidir. Karesel yükseltici dönüştürücüler daha az bileşen sayısı ile yüksek kazanç elde edebilirken, genişletilmiş doluluk oranlı yükseltici dönüştürücü düşük bileşen stresine sahiptir. Sunulan yeni karesel genişletilmiş doluluk oranlı yükseltici dönüştürücü orta düzeydeki doluluk oranlarında ultra yüksek kazanç elde etme yeteneğine sahip olup, farklı bileşenler üzerinde düşük gerilim ve akım stresi oluşturmaktadır. Sunulan topolojinin sarmaşık versiyonunun akım dalgalanmasını daha da azaltabildiği iki farklı konfigürasyonu sunulmuştur ve dönüştürücü her iki konfigürasyonda da M-fazlı olacak şekilde genişletilebilir.

Dehghan vd. (2025) tarafından yapılan çalışma izolesiz DC-DC dönüştürücü ailesinin sahip olduğu bir dezavantajı ortadan kaldırmaya yöneliktir. Luo dönüştürücüler, izolesiz DC-DC dönüştürücülerin en kapsamlı ailesini temsil etmektedir. Ancak bu topolojilerde yüksek gerilim kazancı elde etmek genellikle basitlikten ödün verilmesine neden olmaktadır. Sürekli giriş akımı, azaltılmış bileşen sayısı, yarı iletkenler üzerinde optimize edilmiş gerilim ve akım stresi, klasik tasarımlardan daha yüksek gerilim kazancı, geniş bir doluluk oranı aralığında yüksek verimlilik sağlanması sunulan dönüştürücünün sağladığı avantajlardır. Sunulan dönüştürücü yüksek kazançlı, izolesiz güç dönüştürme sistemlerindeki potansiyel uygulamalarıyla mevcut Luo dönüştürücülere kıyasla sadeleştirilmiş yüksek performanslı bir alternatif sunmaktadır.

Kumar ve Krishnasamy (2022) tarafından yapılan çalışmada sürekli giriş akımlı, tek anahtarlı ve düşük çıkış kondansatör gerilim stresine sahip yeni bir karesel yükseltici dönüştürücü sunulmuştur. Sunulan dönüştürücüde karesel dönüştürme oranı için iki endüktans ve kondansatör filtresi, üç diyot ve bir aktif anahtar kullanılmaktadır. CCM ve DCM çalışma analizleri yapılan dönüştürücü ek olarak giriş akım dalgalanması ve çıkış kondansatör gerilim stresi gibi hususlar bakımından benzer topolojilerle karşılaştırılmıştır.

Rao ve Sundaramoorthy (2023) yaptıkları çalışmada yeni bir kaskat yükseltici dönüştürücü önermişlerdir. Giriş akımının sürekli olması, iki endüktans kullanımı, iyileştirilmiş verimlilik ve giriş kaynağı ile yük arasında ortak toprak noktası sunulan bu dönüştürücünün temel avantajlarıdır.

Vighetti vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada yükseltici DC-DC dönüştürücü tabanlı yeni bir kaskat DC-DC dönüştürücü önerilmiştir. İlk olarak topolojinin avantajları ve dezavantajları gösterilmiştir. Devamında ise bu topolojinin verimliliğini en üst düzeye çıkarmak veya hacmi en aza indirmek için optimizasyon çalışması yapılmıştır. Bu optimizasyonun özgün yanı dönüştürücülerin parametrelerinin ve PV hücrelerinin düzenlenmesinin değişken parametreler olmasıdır. Optimizasyonda ardışık karesel programlama algoritması kullanılmıştır. Son olarak, optimize edilmiş topolojiler birkaç PV'ye bağlanarak tipik gölgeleme durumlarında değerlendirilmiştir.

Anuraag vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada PV uygulamalara yönelik maksimum güç noktası izleyicili (MPPT) karesel bir DC-DC dönüştürücü sunulmuştur. Dönüştürücü, klasik düşürücü ve düşürücü-yükseltici DC-DC dönüştürücülerin iki anahtarlı iki kademeli bağlantısına eşittir. Sunulan topolojide aynı gerilim oranını elde etmek için tek bir güç anahtarı kullanılması dönüştürücüyü üstün kılmaktadır.

Mizani vd. (2020) tarafından sunulan dönüştürücü yüksek gerilim kazancı, basit kontrol sistemi ve yüksek verimlilik gibi avantajlar sunmaktadır. Dönüştürücü izolesiz yapıda olup anahtarlar üzerinde düşük gerilim stresi meydana gelmektedir. Bu nedenle sunulan dönüştürücüde daha düşük gerilim dayanımlı güç anahtarı kullanılabilmektedir. Bu durum iletim kayıplarının ve maliyetin azalmasını sağlar. Bunun yanı sıra, giriş akımı sürekli ve dalgalanması düşüktür. Bu sebeple yenilenebilir enerji uygulamalarında kullanımı için uygundur.

Pop-Calimanuu vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada bir transistör ve üç diyot içeren yeni bir karesel yükseltici DC-DC dönüştürücü sunulmuştur. Dönüştürücü, giriş ve çıkış gerilimi arasında düşük bir yükseltici farkın istendiği uygulamalar için uygundur. Sunulan topolojinin diğer yükseltici dönüştürücülerle karşılaştırılması sonucunda yarı iletken elemanların akım streslerinin ve ayrıca her üç diyot için gerilim streslerinin daha düşük olduğu ortaya konmuştur.

Arvani vd. (2024) tarafından sunulan dönüştürücüde transformatörün olmaması ve giriş ile çıkış arasında ortak bir toprağın bulunması dönüştürücünün avantajları arasındadır. Ayrıca dönüştürücü sürekli bir giriş akımına sahiptir. Bu da onu PV uygulamaları için cazip hale getirmektedir.

Chakraborty ve Kumar (2022) tarafından yapılan çalışma gerilim yükseltmeli anahtarlamalı endüktans ve gerilim çoğaltıcı hücre kullanan karesel yükseltici tabanlı yüksek dönüştürme oranlı transformatörsüz bir DC-DC dönüştürücü sunmaktadır. Sunulan dönüştürücü klasik bir yükseltici dönüştürücüye kıyasla 0.5 doluluk oranında sekiz kat daha yüksek bir dönüştürme oranı sağlamaktadır. Aktif güç anahtarı üzerindeki gerilim stresi ise düşüktür. Endüktansın seri direnci de dikkate alınarak her bir çalışma modu için ayrıntılı bir matematiksel analiz sunulmuştur. Bu dönüştürücünün çıkış gerilimi bir PI denetleyici tabanlı çift döngülü bir kontrol sistemi uygulanarak istenen seviyede tutulmaktadır.

Laha (2020) tarafından yapılan çalışmada gerilim yükseltme tekniğine dayanan ve bir gerilim çoğaltıcı hücre kullanılan yeni bir yüksek gerilim kazançlı karesel yükseltici dönüştürücü önerilmiştir. Sunulan dönüştürücü kesintisiz güç kaynağı (UPS), PV sistemler, otomobil lambaları, yakıt hücreleri vb. alanlarda kullanılabilmektedir. KKYD'deki endüktanslar yerine kullanılan gerilim yükseltme hücreleri gerilim kazancını dört kat artırırken güç anahtarı üzerindeki gerilim stresi de çıkış geriliminin yarısına düşmektedir. Böylece iletim kayıpları azaltılmaktadır.

Chakraborty ve Mishra (2024) tarafından yapılan çalışmada sürekli giriş akımı ve azaltılmış anahtar gerilim stresine sahip izolesiz, modifiye edilmiş bir karesel DC-DC yükseltici dönüştürücü önerilmektedir. KKYD bir güç anahtarı, üç diyot, iki endüktans ve iki kondansatörden oluşmaktadır. Ancak anahtar ve çıkış kondansatörünün maruz kaldığı gerilimler çıkış gerilimi değerindedir. Sunulan dönüştürücünün KKYD'den farkı üç diyottan birinin bir aktif güç anahtarı ile değiştirilmesidir. Bu durum eleman sayısının azalmasına katkı sunarak maliyet düşüşü sağlanmıştır.

Maheshwari ve Arounassalame (2019) tarafından sunulan dönüştürücü karesel yükseltici ve SEPIC topolojilerinin bir kombinasyonu olup çok yüksek doluluk oranlarına çıkılmadan yüksek bir gerilim kazancı sağlamaktadır. Tek anahtarlı yapıya sahip olan bu dönüştürücü giriş akımındaki dalgalanmaları azaltır ve sabit bir DC çıkış gerilimi sunar, böylece genel verimlilik artar. Çalışmanın son kısmında sunulan dönüştürücünün performans analizi karesel yükseltici ve SEPIC dönüştürücüler ile karşılaştırılmıştır.

Porselvi ve Arounassalame (2018) tarafından yapılan çalışmada yüksek bir gerilim kazancına sahip tek anahtarlı izolesiz bir DC-DC dönüştürücünün yeni bir versiyonu önerilmiştir. Bu

dönüştürücü sürekli giriş akımı sayesinde minimize edilmiş giriş akım stresi sunmaktadır. Özellikle yüksek bir doluluk oranı gerektirmeden yaklaşık 10'a varan bir gerilim kazancı elde etme potansiyeline sahiptir. Tek bir güç anahtarı kullanılması dönüştürücüyü daha az karmaşık hale getirmektedir. Üç tane endüktansın kullanılması ve diğer devre elemanlarının çokluğu dezavantaj olarak görülebilir.

Anusha vd. (2025) tarafından yapılan çalışmada izolesiz, yüksek kazançlı, tek anahtarlı yeni bir karesel yükseltici dönüştürücü önerilmiştir. Dönüştürücü yapısında bir yarı iletken anahtar, beş diyot, üç endüktans ve iki kondansatör bulunmaktadır. Dönüştürücü düşük doluluk oranlarında dahi yüksek kazanç ve verimlilik elde eder. Dönüştürücünün avantajları arasında düşük anahtarlama stresi ve azaltılmış akım stresi bulunmaktadır.

Chakraborty ve Mishra (2024) tarafından yapılan çalışmada anahtarlama kondansatör tabanlı transformatörsüz bir karesel DC-DC yükseltici dönüştürücü önerilmiştir. Sunulan bu yeni dönüştürücü sürekli giriş akımı ve giriş ile çıkış arasında ortak toprak bağlantısı özelliklerine sahiptir. Ayrıca anahtarlar üzerindeki gerilim stresini KKYD'ye göre nispeten daha düşüktür. Dönüştürücünün CCM'de çalıştığı varsayılarak her çalışma modu için kapsamlı bir analiz yapılmıştır. Ayrıca mevcut dönüştürücülerle; giriş akımının sürekliliği, dönüştürme oranı, anahtar gerilim stresi ve toplam bileşen sayısı temel alınarak karşılaştırılmıştır. Devrenin iki adet güç anahtarına sahip olması dezavantaj olarak sayılabilir.

Chen vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada çeşitli mikro kaynaklar ile bir DC-AC evirici arasındaki DC bara gerilimini regüle etmek için tasarlanmış yeni bir yükseltici DC-DC dönüştürücü önerilmektedir. Dönüştürücü uygun doluluk oranı ile yüksek oranda bir gerilim kazancı elde eder ve güç anahtarı üzerinde düşük bir gerilim stresi oluşturur. Dönüştürücünün izoleli olması tasarım karmaşıklığı ve maliyet bakımından bir dezavantajdır.

Tadvi vd. (2024) tarafından yapılan çalışmada literatürdeki bazı dönüştürücülerin eksikliklerini ele almak için tek bir anahtara sahip anahtarlama kapasitör içeren yeni bir karesel yükseltici dönüştürücü önerilmiştir. Dönüştürücü yapısında iki endüktans, dört kondansatör ve beş diyot bulunmaktadır. Sunulan dönüştürücünün CCM ve DCM'deki çalışmaları ayrıntılı olarak analiz edilmiştir.

Shahanasmol vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada iki karesel DC-DC dönüştürücünün çalışma aralıkları, gerilim kazançları ve karakteristik özellikleri dikkate alınarak karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır. İki dönüştürücünün de iki adet güç anahtarına sahip olması kontrol kolaylığı ve maliyet bakımından bir dezavantajdır.

Pandey ve Pattnaik (2023) tarafından yapılan çalışmada yenilenebilir enerji uygulamaları için ultra yüksek kazançlı sürekli giriş akımına sahip ve tek anahtarlı modifiye edilmiş bir yükseltici DC-DC dönüştürücü sunulmuştur. Sunulan dönüştürücü üçer adet endüktans ve kondansatör, beş adet diyot ve ortak toprak yapısına sahip bir tek anahtardan oluşmakta ve kübik kazanç sağlayabilmektedir. Tasarlanan dönüştürücü KKYD'ye göre daha düşük bir doluluk oranında daha yüksek bir gerilim kazancı sağlar.

Rao vd. (2025) tarafından yapılan çalışmada geliştirilmiş bir kübik yükseltici dönüştürücü tanıtılmaktadır. Klasik yükseltici ve KKYD'de de gerekli çıkış geriliminin elde edilebilmesi yüksek bir doluluk oranı gerektirir. Bu dezavantajın üstesinden gelmek için geliştirilen bu dönüştürücü geniş bir gerilim kazancı aralığı elde edebilmektedir. Aynı zamanda güç elemanları üzerindeki gerilim stresi daha azdır. Dönüştürücü CCM ve DCM'de çalıştırılmış olup KKYD ile karşılaştırılmıştır.

3. YÖNTEM

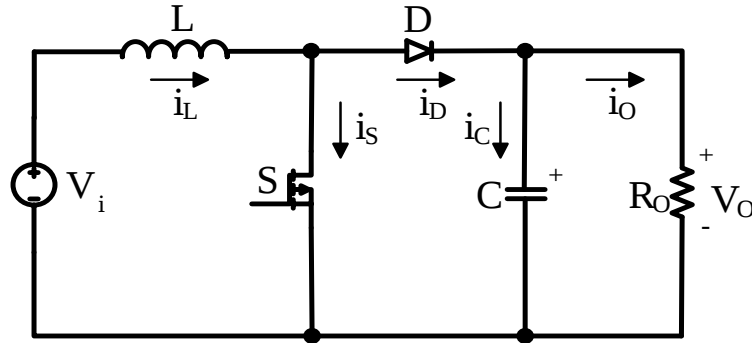
3.1. Giriş

Bu bölümde güneş enerjisi, yakıt hücreleri gibi gerilimin yükseltilmesi ihtiyacı bulunan yenilenebilir enerji kaynakları sektöründe çokça kullanılan klasik yükseltici DC-DC dönüştürücü ve bu dönüştürücüden daha fazla gerilim kazancı sağlayan KKYD tanıtılmaktadır.

3.2. Klasik DC-DC Yükseltici Dönüştürücü

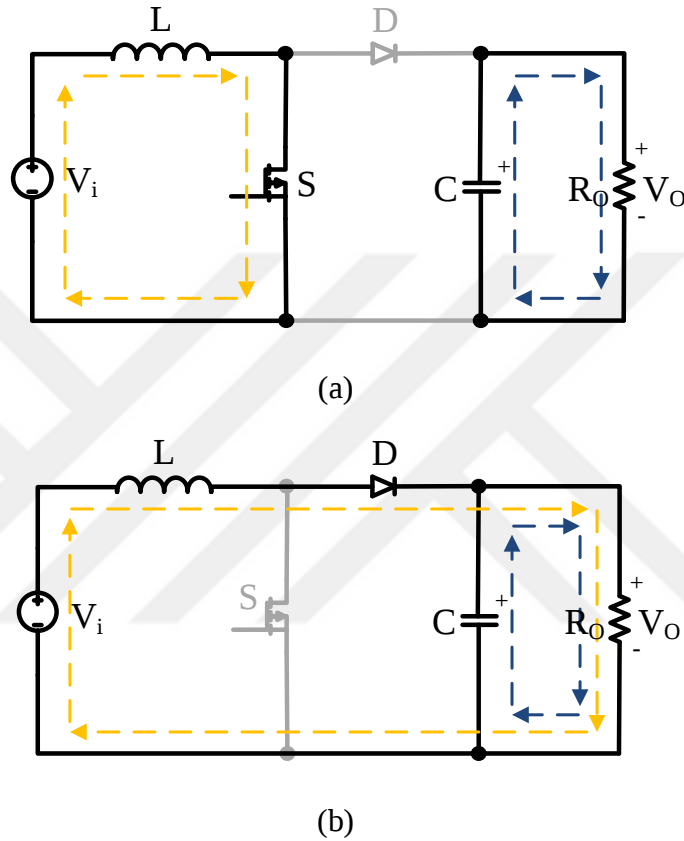
DC-DC dönüştürücüler, bir DC gerilim seviyesini başka bir DC gerilim seviyesine dönüştürmek için kullanılan anahtarlama güç devreleridir. Bu dönüştürücüler taşınabilir cihazlar, yenilenebilir enerji sistemleri, elektrikli araçlar ve endüstriyel uygulamalar gibi birçok alanda enerji dönüşümünün verimli bir şekilde sağlanmasına katkı sunmaktadır. Bu çerçevede klasik DC-DC yükseltici dönüştürücü düşük bir DC gerilimin daha yüksek bir DC gerilime dönüştürülmesi gereken uygulamalarda yaygın olarak tercih edilir. Yükseltici dönüştürücü, yüksek verimli enerji dönüşümü sağlayan, basit devre yapısıyla öne çıkan bir topolojidir. Bu topoloji, giriş gerilimi düşük olan batarya, PV panel, yakıt hücresi vb. kaynaklardan elde edilen enerjinin ihtiyaç duyulan yüksek gerilimli yüklere iletilmesi sürecinde kritik rol oynar. Yükseltici DC-DC dönüştürücüler aşağıdaki alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır:

- PV sistemlerde DC çıkışın yükseltilmesi,
- Elektrikli araçlarda batarya geriliminin motor sürücülerine uygun hale getirilmesi,
- Taşınabilir elektronik cihazlar,
- Yüksek verimli güç faktörü düzeltme (PFC) devreleri.



Şekil 1. Klasik DC-DC Yükseltici Dönüştürücünün Temel Devre Şeması

Şekil 1’de gösterilen klasik DC-DC yükseltici dönüştürücü devresi bir adet yarı iletken güç anahtarı (S), bir adet diyot (D), bir adet endüktans (L), bir adet kondansatör (C) ve yük direnci (R_O) olmak üzere beş temel elemandan oluşmaktadır. V_i giriş gerilimi, V_O ise çıkış gerilimidir. Devrenin çalışması anahtarlama elemanının periyodik olarak iletme ve kesime girmesiyle sağlanmaktadır. Şekil 2’de yükseltici dönüştürücünün iletim ve kesim aralıklarına ait eşdeğer devre şemaları verilmiştir.



Şekil 2. Klasik DC-DC Yükseltici Dönüştürücünün (a) İletim Durumu (b) Kesim Durumu

Bu devrede, birinci aralıkta güç anahtarı iletimdedir. V_i kaynağı tarafından endüktans beslenir ve endüktanstan geçen akım lineer olarak artar. Aynı zamanda endüktansın enerji seviyesi de yükselir. Bu aralıkta yükün beslenmesini kondansatör üstlenir. Güç anahtarının kesime girmesiyle enerjili olan endüktansın ürettiği zıt elektromotor kuvveti (EMK) ile D diyodu iletime girer. Bu aralıkta V_i kaynağı ve endüktansta biriken enerji tarafından yük beslenir. Bu sebeple endüktanstan geçen akım lineer olarak azalır ve endüktansın enerji seviyesi de düşer. Ayrıca bu dönüştürücüde güç elemanları V_O çıkış gerilimine maruz kalmaktadır.

Birinci aralıkta V_i gerilimi ile beslenen endüktans, ikinci aralıkta akımı sürdürebilmek üzere $V_o - V_i$ kadar bir EMK üretir. Endüktans geriliminin dalga şekline göre,

$$\Delta I_{L_p} = \frac{V_i}{L} T_d \rightarrow 0 < t < T_d \quad (3.1)$$

$$\Delta I_{L_n} = \frac{V_o - V_i}{L} T_b \rightarrow T_d < t < T_p \quad (3.2)$$

bağıntıları yazılabilir. Kararlı rejimde endüktans geriliminin pozitif ve negatif alanlarının eşitliğinden, ortalama DC çıkış gerilimi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$V_o = \frac{1}{(1-D)} V_i \quad (3.3)$$

Elde edilen bu bağlantı ile klasik DC-DC yükseltici dönüştürücünün gerilim kazancı aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$G = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{(1-D)} \quad (3.4)$$

Burada, DC çıkış gerilimi $V_i < V_o < V_{C_{\max}}$ aralığında kontrol edilir. $V_{C_{\max}}$ hedeflenen maksimum çıkış gerilimi değeridir. Elde edilen gerilim, giriş geriliminden büyük olduğundan bu dönüştürücüye yükseltici dönüştürücü denmektedir. Giriş ve çıkıştaki güçlerin eşitliğinden, giriş akımı için aşağıdaki bağlantı yazılabilir:

$$I_i = \frac{1}{(1-D)} I_o \quad (3.5)$$

Elde edilen bu bağlantı ile klasik DC-DC yükseltici dönüştürücünün kazancı giriş ve çıkış akımları cinsinden aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$G = \frac{I_i}{I_o} = \frac{1}{(1-D)} \quad (3.6)$$

Bu dönüştürücüde ortalama olarak giriş akımına eşit olan endüktans akımı için,

$$I_L = I_i \quad (3.7)$$

eşitliği yazılabilir. Aynı zamanda dönüştürücüde CCM, BCM ve DCM çalışma koşulları için aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

$$I_i \begin{cases} > \Delta I_L / 2 (\text{CCM}) \\ = \Delta I_L / 2 (\text{BCM}) \\ < \Delta I_L / 2 (\text{DCM}) \end{cases} \quad (3.8)$$

Genellikle yüksek güçlerde CCM ve bazen anahtarlama kayıplarının düşürülmesi için düşük güçlerde DCM ile çalışma tercih edilir.

Özetle, yükseltici bir dönüştürücüde, birinci aralıkta DC kaynak endüktansı; kondansatör ise yükü besler. İkinci aralıkta DC kaynak ve endüktans yükü besler. Giriş geriliminden daha yüksek bir çıkış gerilimi üretilir. Güç elemanları çıkış gerilimine maruz kalır. Ortalama endüktans akımı giriş akımına eşittir. Endüktansın giriş tarafında olması nedeniyle, giriş akımındaki dalgalanma düşüktür. Aynı zamanda çıkış kondansatörü akımındaki dalgalanma ise oldukça yüksektir. Bu devre boşa çalıştırılmaz, aksi halde çıkış gerilimi aşırı yükselir ve devreye hasar verir.

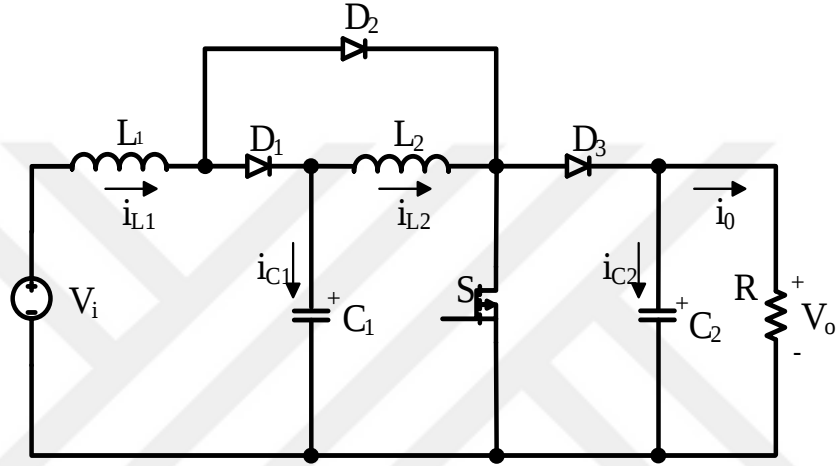
Sonuç olarak klasik DC-DC yükseltici dönüştürücü basit devre yapısı, düşük maliyetli bileşen gereksinimi ve yüksek verimliliği sayesinde birçok uygulamada tercih edilen temel bir topolojidir. Ancak bu dönüştürücü yapısı özellikle ultra yüksek gerilim kazancı gerektiren uygulamalarda sınırlı performans sergilemekte ve devre parametreleri belirli sınırları aşmaya başladığında etkinliğini yitirmektedir. Bu nedenle literatürde daha yüksek gerilim kazancı sağlayan, aynı zamanda anahtarlama elemanları üzerindeki gerilim stresini sınırlayan çeşitli gelişmiş topolojiler önerilmiştir. Bu topolojilerden biri olan karesel DC-DC yükseltici dönüştürücü klasik yapının ötesinde bir performans sunmaktadır.

3.3. Klasik Karesel DC-DC Yükseltici Dönüştürücü

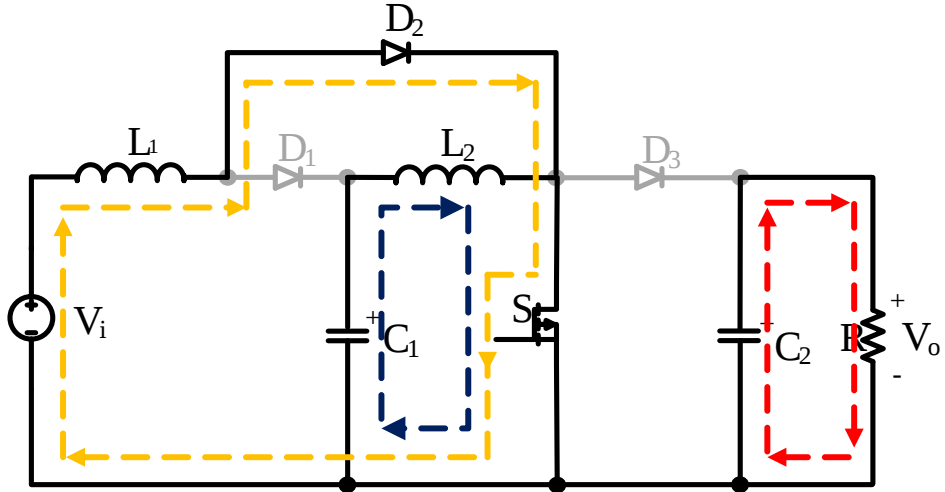
Klasik yükseltici ve düşürücü-yükseltici gibi temel dönüştürücü ailesi, PWM kontrolünde büyük doluluk oranlarının kullanımıyla teorik olarak ultra yüksek gerilim kazancı sağlayabilir. Ancak pratikte bu durum yüksek iletim kayıplarına, dönüştürücünün verimliliğinin düşmesine, devrede bulunan diyotların yüksek ters toparlanma kayıplarına ve elektromanyetik girişime neden olduğundan dolayı dönüştürücüden elde edilecek en yüksek gerilim kazancı sınırlanır. Bu dezavantajlar sebebiyle klasik yükseltici dönüştürücüler, sınırlı doluluk oranlarında DC gerilimi arttırabilirler. Daha yüksek çıkış gerilimine ihtiyaç duyulan uygulamalarda ise birden fazla klasik yükseltici DC-DC dönüştürücüler seri bağlanarak yüksek gerilim elde edilebilmektedir. Fakat bu kademeli teknik, daha fazla güç anahtarı gerektirdiğinden (her bir yükseltme kademesi için bir güç anahtarı) devre üzerinde daha fazla anahtarlama kaybı oluşacak ve devrenin toplam verimi düşecektir. Aynı zamanda seri eklenecek her bir devre için kontrol sinyali gerekmekte ve aynı oranda maliyet, karmaşıklık artmaktadır. IGBT ve MOSFET gibi yüksek frekanslarda çalışabilen güç anahtarlarının kullanıldığı dönüştürücülerde her anahtarın çalışması sırasında oluşturacağı elektromanyetik girişimin bu tür devreler için bir diğer dezavantaj olduğunu söylemek mümkündür.

Yenilenebilir enerji de dâhil olmak üzere farklı uygulamalar için klasik yükseltici dönüştürücülerden daha yüksek gerilim kazancı elde etmek amacıyla izoleli ve izolesiz çeşitli birçok DC-DC yükseltici dönüştürücü yapıları kullanılmaktadır. Bazı izoleli topolojiler yarım köprü, tam köprü, geri dönüşlü ve ileri yönlü DC-DC dönüştürücülerdir. Ancak bu topolojilerde transformatör kullanılması yüksek hacim ve kayıpların yanı sıra yüksek maliyete de neden olmaktadır. Bu sebeple yüksek gerilim kazançlı dönüştürücülerin geliştirilmesi oldukça popüler bir konu haline gelmiş ve bu konuda birçok yüksek kazançlı DC-DC dönüştürücü önerilmiştir. Bunlardan bir tanesi de aynı doluluk oranında birden fazla seri bağlı klasik yükseltici DC-DC dönüştürücüden daha yüksek gerilim kazancı sağlayan, daha az maliyetli ve daha yüksek verime sahip olan karesel yükseltici DC-DC dönüştürücülerdir. Şekil 3'te klasik karesel yükseltici dönüştürücünün devre şeması verilmiştir. Bu dönüştürücü klasik yükseltici dönüştürücüden farklı olarak ekstra bir endüktans, bir kondansatör ve iki diyota sahiptir. Bu dönüştürücü aynı gerilim seviyesinde iki adet seri bağlı yükseltici DC-DC dönüştürücüye göre daha uygun maliyete sahiptir.

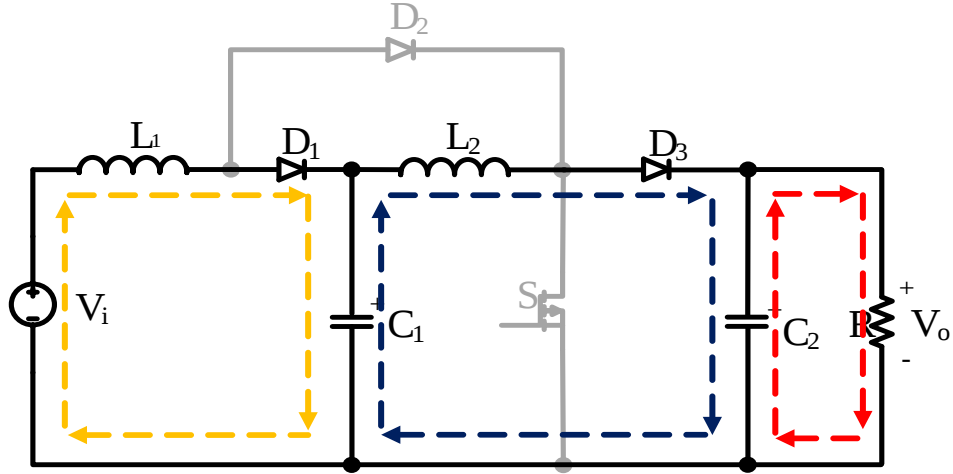
Şekil 3'teki devre şemasında; V_i giriş gerilimi, V_o çıkış gerilimi olarak sembolize edilmiştir. C_1 ve C_2 filtre kondansatörlerini; L_1 ve L_2 filtre endüktanslarını temsil eder. D_1 , D_2 ve D_3 yarı iletken güç diyotları; S yarı iletken güç anahtarıdır. Devrenin teorik analizinde, yarı iletken güç elemanlarının ideal olduğu, endüktans ve kondansatörlerin gerilim ve akım değerlerinin sabit olacak şekilde yeterince büyük olduğu varsayılmıştır. Dönüştürücünün CCM'de çalıştığı kabul edilerek, yarı iletken güç anahtarının iletim ve kesim durumlarına göre bir anahtarlama periyodunda iki çalışma modu olduğu söylenebilir. Şekil 4'te KKYD'nin çalışma modlarının devre şemaları verilmiştir.



Şekil 3. Klasik Karesel Yükseltici DC-DC Dönüştürücü Devre Şeması (Tattiwong ve Bunlaksananusom, 2014)



(a)



(b)

Şekil 4. KKYD'nin (a) İletim durumu (b) Kesim durumu

İletim Modu: Şekil 4 (a)'da görüldüğü gibi bu çalışma modunda S anahtarı iletimde olup giriş gerilim kaynağı anahtar üzerinden doğrudan L_1 endüktansına enerji aktarır. Eş zamanlı olarak C_1 kondansatörü de anahtar üzerinden deşarj olur ve enerjisini L_2 endüktansına aktarır. Böylece, hem L_1 hem de L_2 endüktansı enerji depolar ve belli bir süre sonra endüktanslar üzerinden geçen akım maksimum değerlere ulaşır. Bu aralıkta, D_1 ve D_3 diyotları ters polarlanarak kesim durumunda kalır. Çıkış tarafında ise, C_2 kondansatörü yükü besler. İletim modu, kesim modunda kullanılmak üzere endüktanslarda enerji birikiminin gerçekleştiği aşamadır. Anahtarın iletimde olduğu bu aralık için aşağıdaki eşitlikler geçerlidir.

$$V_{L_1} = V_i \quad (3.9)$$

$$V_{L_2} = V_{C_1} \quad (3.10)$$

Kesim Modu: Şekil 4 (b)'de görüldüğü gibi S anahtarı kesim durumuna geçtiğinde endüktasların enerji transferi başlar. Bu durumda, L_1 endüktansında depolanan enerjinin bir kısmı C_1 konsandasatörüne kalan kısmı da L_2 endüktansı ile birlikte D_1 ve D_3 diyotları aracılığıyla çıkış kondansatörü olan C_2 'ye ve yüke aktarılır. D_1 ve D_3 diyotları bu esnada iletimde olurken, D_2 diyotu ters polarlanır ve kesim durumunda kalır. Bu şekilde çıkış gerilimi, hem L_1 hem de L_2 endüktansının katkısıyla daha yüksek bir seviyeye ulaşır. Anahtarın kesimde olduğu bu aralık için aşağıdaki eşitlikler geçerlidir.

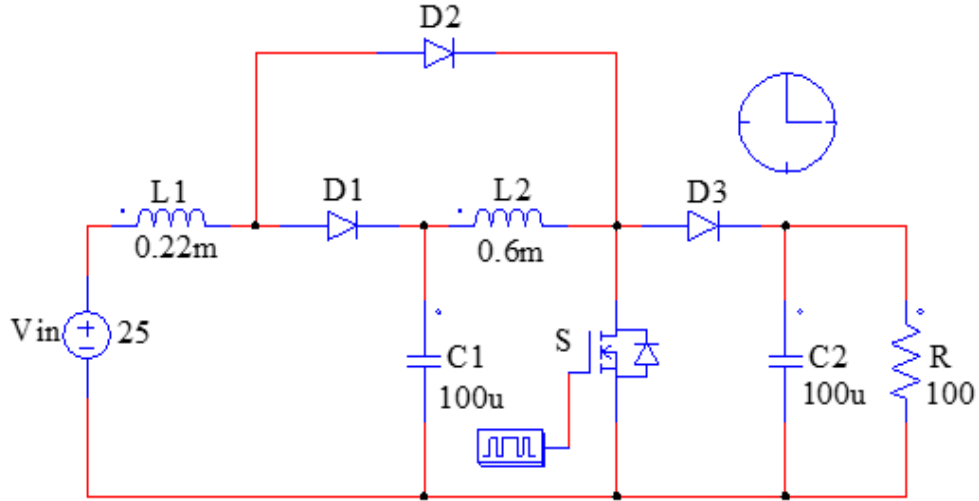
$$V_{L_1} = V_i - V_{C_1} \quad (3.11)$$

$$V_{L_2} = V_{C_1} - V_{C_2} \quad (3.12)$$

L_1 ve L_2 endüktanslarının gerilim denklemleri kullanılarak dönüştürücünün kazanç denklemi aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$G = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{(1-D)^2} \quad (3.13)$$

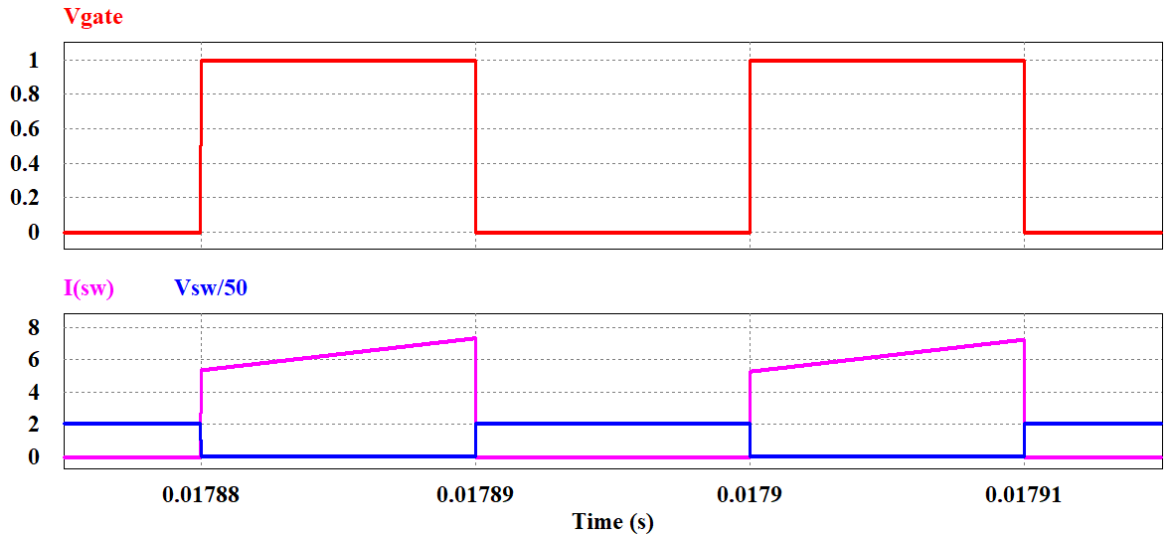
Bu teorik analizlerin doğruluğunu test etmek için, KKYD PSIM 9.1.1 programında simüle edilmiştir. Devre tasarımının performansını doğrulamak, olası hataları önceden tespit etmek ve sistemin kararlılığını değerlendirmek amacıyla sunulan simülasyon sonuçları önem arz etmektedir. KKYD'nin simülasyon devre şeması Şekil 5'te gösterilmiştir. Simülasyonda kullanılan elemanlara ait parametreler Tablo 1'de belirtilmiştir. Simülasyon sonuçları devrenin çalışma analizinin değerlendirilmesi için Şekil 6-9'da sunulmuştur.



Şekil 5. KKYD'nin Simülasyon Devre Şeması

Tablo 1. KKYD'deki Bileşenlerin Tasarım Parametreleri

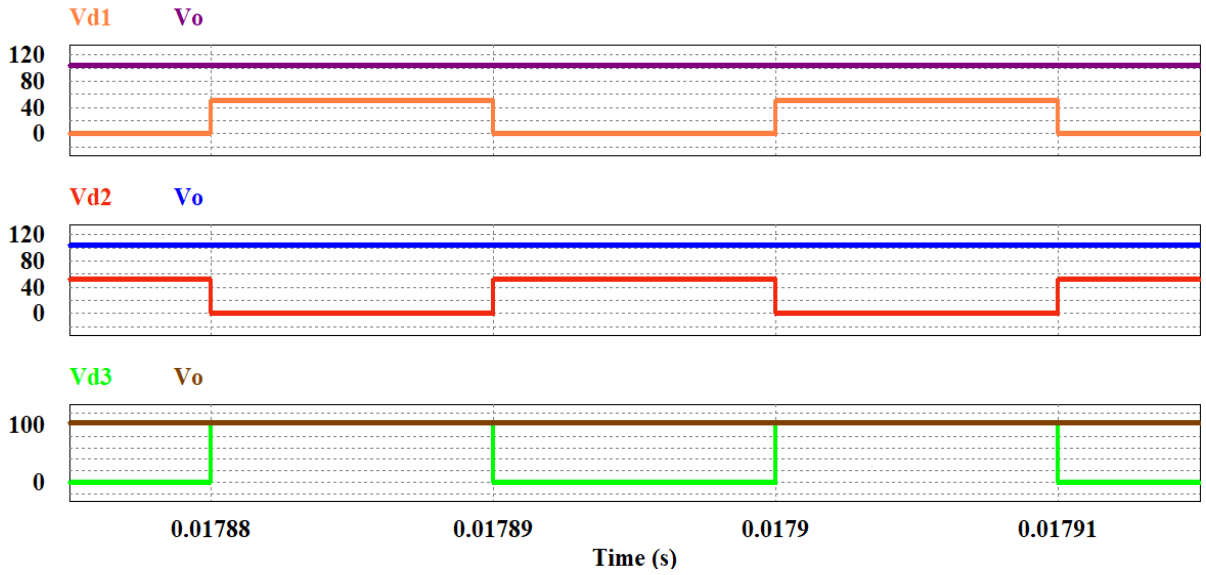
Parametre	Sembol	Değer
Giriş Gerilimi	V_{in}	25 V
Çıkış Gerilimi	V_o	100 V
Anahtarlama Frekansı	f	50 kHz
Çıkış Gücü	P_o	100 W
Endüktanslar	L_1, L_2	0,22 mH, 0,6 mH
Kondansatörler	C_1, C_2	100 μ F



Şekil 6. Anahtarın Kontrol Sinyali, Akım ve Gerilim Dalga Sonuçları

Şekil 6'da yarı iletken güç anahtarının kontrol sinyali, akım ve gerilim dalga formları verilmiştir. Gerilim ve akım dalga formlarının tek bir grafikte alınabilmesi amacıyla anahtarın gerilim değeri 50 ile bölünmüştür. Şekilde görüldüğü gibi, anahtarın kesim durumunda iken maruz kaldığı gerilim klasik bir yükseltici dönüştürücü yapısında olduğu gibi çıkış gerilimi ile aynı seviyededir.

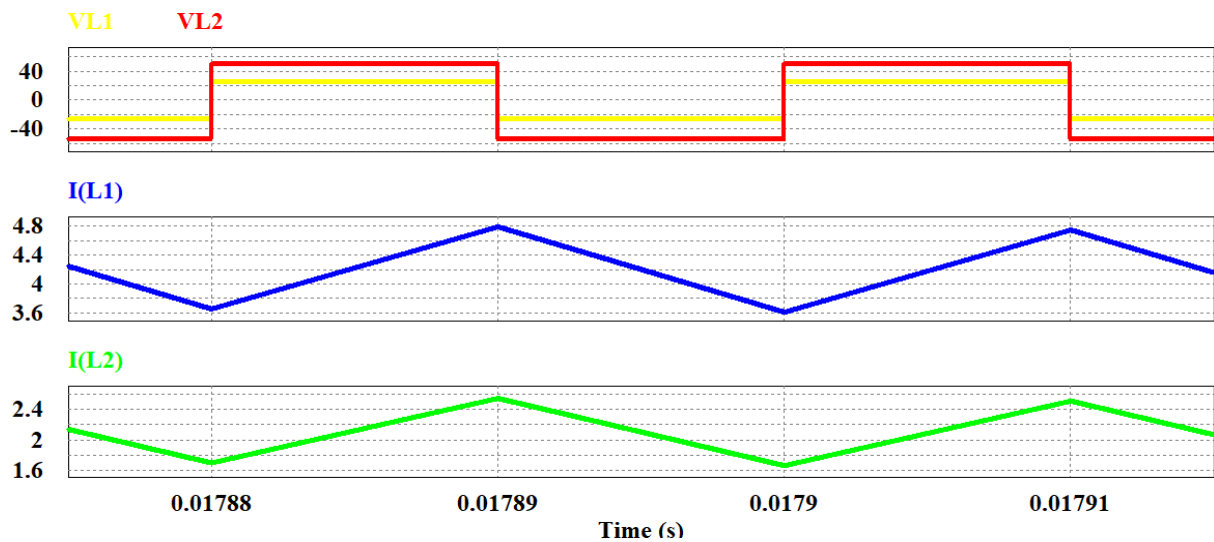
Şekil 7'de D_1 , D_2 ve D_3 diyotlarının sırasıyla gerilim dalga formları verilmiştir. Aynı zamanda çıkış gerilimi ile karşılaştırılmıştır. D_3 diyotunun kesim durumunda iken maruz kaldığı gerilim çıkış gerilimi ile aynıdır. Bunun yanı sıra D_1 ve D_2 diyotlarının maruz kaldığı gerilim ise çıkış geriliminin yarısı kadardır.



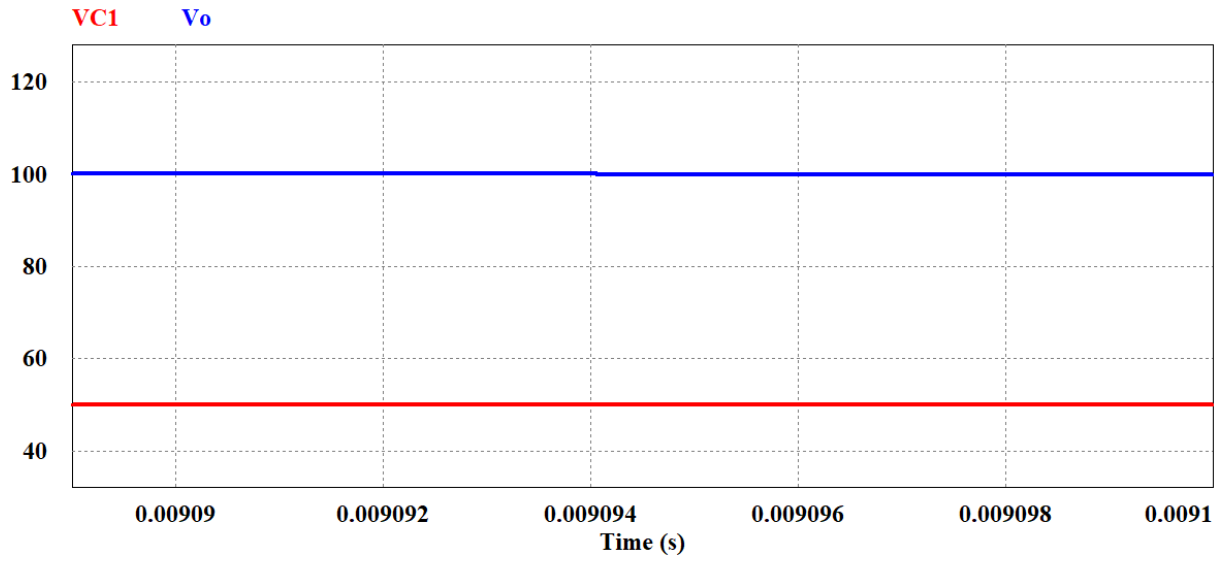
Şekil 7. Sırasıyla D_1 , D_2 ve D_3 Diyotlarının ve Çıkış Gerilim Sonuçları

Şekil 8’de L_1 ve L_2 endüktanslarının gerilim ve akım dalga formları verilmiştir. Simülasyon sonuçlarından da görüldüğü gibi, anahtar iletimdeyken L_1 ve L_2 endüktanslarının akımlarının arttığı ve maksimum değerlerine ulaştığı görülmektedir. Anahtar kesimde iken de endüktanslar negatif gerilime maruz kalmakta ve akımları azalmaktadır. Böylece endüktansların kararlı rejimde aldığı ve verdiği enerjiler eşit olmaktadır.

Şekil 9’da çıkış ve C_1 kondansatörünün gerilim dalga formları verilmiştir. C_2 kondansatörünün gerilimi aynı zamanda çıkış gerilimidir. Şekilden de görüldüğü gibi C_1 kondansatörünün maruz kaldığı gerilim çıkış geriliminin yarısına eşittir.



Şekil 8. L_1 ve L_2 Endüktanslarının Akım ve Gerilim Dalga Sonuçları



Şekil 9. Çıkış ve C_1 Kondansatörünün Gerilimlerine Ait Sonuçlar

4. BULGULAR

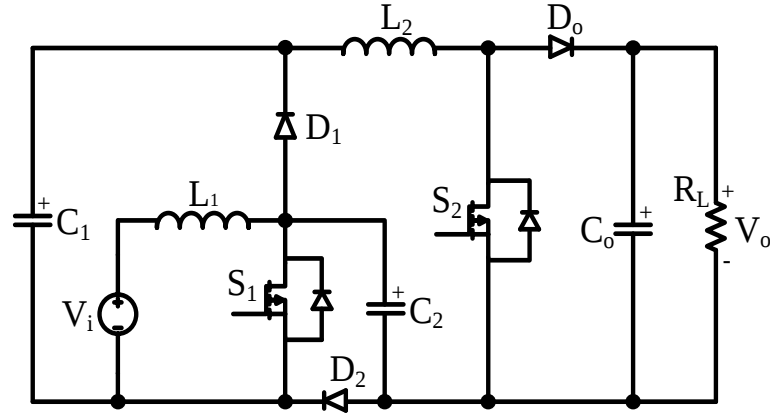
4.1. Giriş

Bu bölümde literatürde yer alan ve yüksek gerilim kazancı elde etmeye yönelik geliştirilen modifiye edilmiş iki farklı DC-DC dönüştürücü topolojisi incelenmiştir. Söz konusu dönüştürücülerden ilki, iki adet güç anahtarına sahip olup yüksek gerilim kazancı sağlarken anahtarlar üzerindeki gerilim streslerinin düşürülmesi hedeflenmiştir. İkinci dönüştürücü ise gerilim kazancı açısından KKYD ile benzerlik göstermektedir. Özellikle basit bir devre yapısına sahip olmasına rağmen yüksek gerilim kazancı elde edilebilmesi bu yapıyı literatürde dikkate değer bir alternatif haline getirmiştir. Her iki dönüştürücü de özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen düşük gerilim seviyelerinin yükseltilmesi veya elektrikli araçlarda yüksek gerilim gerektiren alt yapı sistemlerinin beslenmesi gibi uygulama alanlarında kullanıma uygundur. Bu iki topoloji ayrıntılı biçimde incelenmiş, performans kriterleri üzerinden değerlendirilmiştir.

4.2. Örnek Dönüştürücü-1

4.2.1. Çalışma aralıkları

KKYD'nin literatüre kazandırılması sonrasında bu dönüştürücünün geliştirilmiş ve modifiye edilmiş türleri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu dönüştürücülerin en güncellerinden biri olan ve Naresh vd. (2025) tarafından tasarlanan modifiye edilmiş karesel yükseltici dönüştürücü-1 (MKYD-1) KKYD'den farklı olarak eleman sayısı artırılmış ve kazancı yükseltilmiş bir dönüştürücüdür. Devre topolojisi Şekil 10'da sunulan bu dönüştürücüde, V_{in} giriş gerilimini, L_1 ve L_2 ise endüktansları temsil etmektedir. Devrede S_1 ve S_2 olmak üzere toplam iki adet yarı iletken güç anahtarı bulunmaktadır. Ayrıca; dönüştürücüde D_1 , D_2 , D_0 yarı iletken güç diyotlarını, C_1 , C_2 , C_0 ise kondansatörleri temsil etmektedir. Devrenin teorik analizinde, yarı iletken güç elemanlarının ideal olduğu, endüktans ve kondansatörlerin gerilim ve akım değerlerinin sabit olacak şekilde yeterince büyük olduğu varsayılmıştır. CCM'de yarı iletken güç anahtarlarının iletim ve kesim durumlarına göre bir anahtarlama periyodu için iki çalışma modu mevcuttur. Şekil 11'de MKYD-1'in çalışma modlarının devre şemaları verilmiştir. Bu dönüştürücünün sunduğu avantajları arasında, geniş aralıklı karesel gerilim kazancı, sürekli giriş akımı özellikleri ve azaltılmış gerilim stresi bulunmaktadır.



Şekil 10. MKYD-1'in Devre Topolojisi

Mod 1: Bu aralıkta, yarı iletken güç anahtarları S_1 ve S_2 'ye sinyal verilerek, anahtarlar iletime sokulur. Bu modun eşdeğer devre şeması ile akım yolları Şekil 11 (a)'da gösterildiği gibidir. Devrede L_1 endüktansı V_i giriş gerilimi ile enerjilenir. Bu sayede akımı giderek artar ve maksimum seviyeye ulaşır. Aynı zamanda, L_2 endüktansı ise C_1 ve C_2 kondansatörleri sayesinde enerjilenerek, üzerindeki akım lineer olarak artar. Bu çalışma modunda devrede bulunan tüm diyotlar kesimdedir. Çıkış kondansatörü olan C_o ise çıkışı besleyerek yüke gerekli olan enerjiyi sağlar. Anahtarların iletimde olduğu bu aralık için Kirchhoff gerilim ve akım kanunu kullanılarak elde edilen karakteristik denklemler aşağıda verilmiştir:

$$V_{L_1} = V_i \quad (4.1)$$

$$V_{L_2} = V_{C_1} + V_{C_2} \quad (4.2)$$

$$I_{C_1} = I_{C_2} = -I_{L_2} \quad (4.3)$$

$$I_{C_o} = I_o \quad (4.4)$$

Mod 2: Eş değer devre şeması Şekil 11 (b)'de gösterilen bu modda, iletim durumunda olan yarı iletken güç anahtarlarının sinyali kesilerek, anahtarlar kesim durumuna getirilir. Devrede bulunan tüm diyotlar ileri yönde polarlanarak iletim durumuna geçer. Bu aralıkta, giriş gerilimi ve bir önceki çalışma modunda enerjilenen L_1 endüktansı, C_1 ve C_2 kondansatörlerini şarj eder. Aynı zamanda giriş gerilimi V_i , L_1 ve L_2 endüktansları sahip oldukları enerjileri çıkış kondansatörü olan C_o ve yük direnci olan R_L 'ye aktarır. Bu sayede yükün ihtiyacı olan enerji

sağlanmaya devam eder. Anahtarların kesimde olduğu bu aralık için Kirchoff gerilim ve akım kanunu kullanılarak elde edilen karakteristik denklemler aşağıda verilmiştir:

$$V_{L_1} = V_i - V_{C_1} = V_i - V_{C_2} \quad (4.5)$$

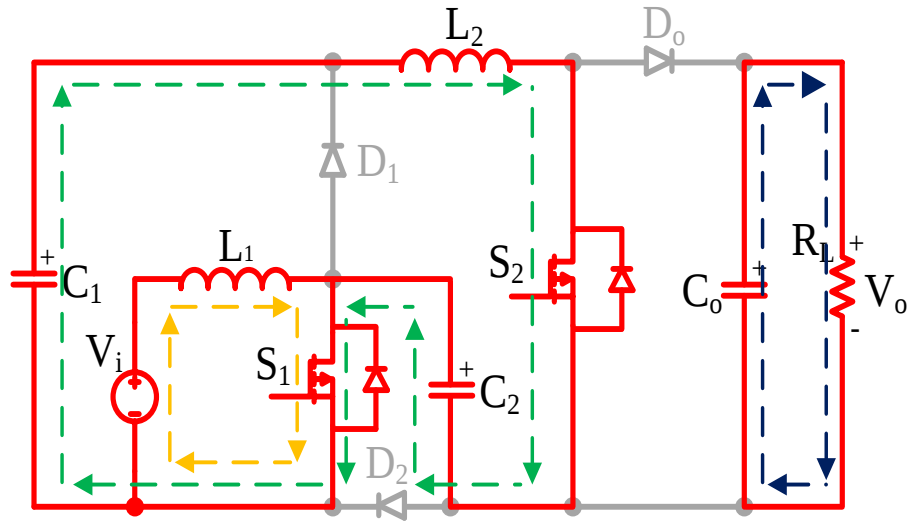
$$V_{L_2} = V_{C_1} - V_o \quad (4.6)$$

$$I_{C_1} = I_{C_2} = \frac{I_{L_1} - I_{L_2}}{2} \quad (4.7)$$

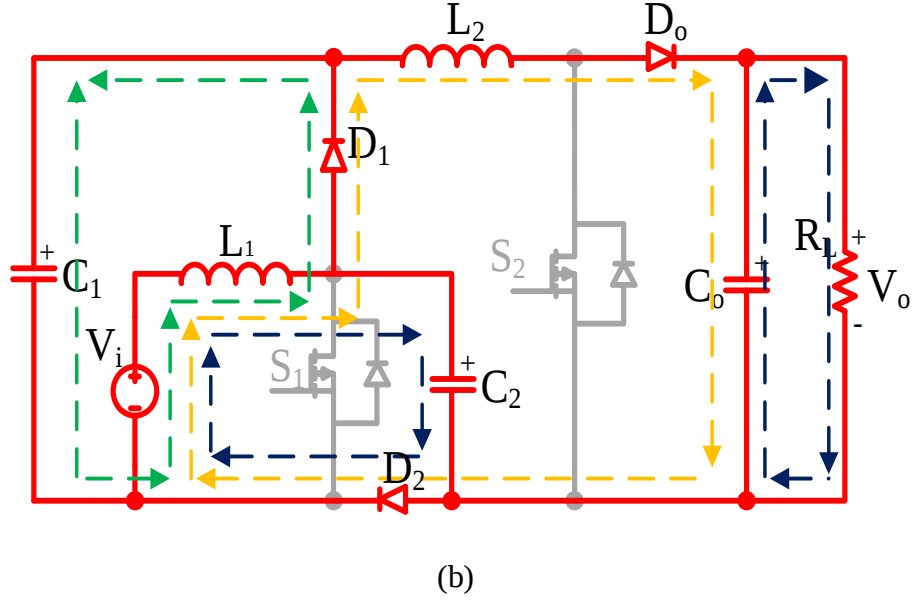
$$I_{C_o} = I_{L_2} - I_o \quad (4.8)$$

L_1 ve L_2 endüktanslarının gerilim denklemleri kullanılarak dönüştürücünün kazanç denklemi aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$G = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1+D}{(1-D)^2} \quad (4.9)$$



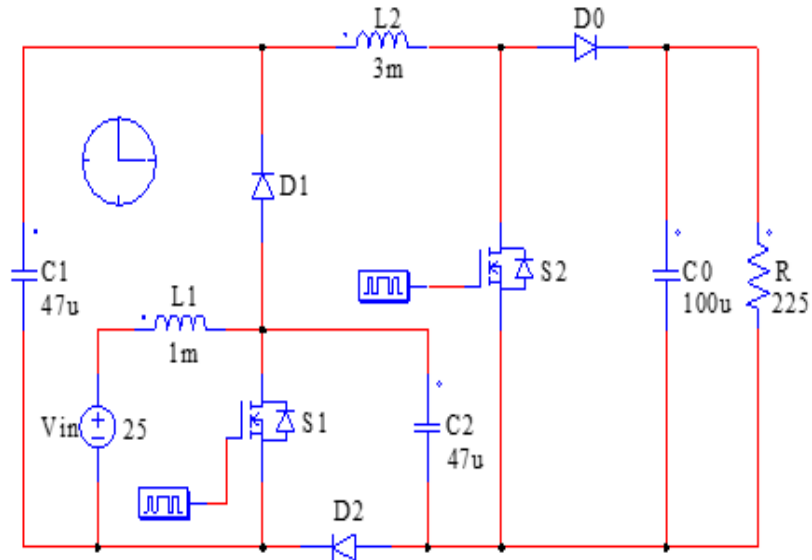
(a)



Şekil 11. Yüksek Kazançlı MKYD-1'in Çalışma Modlarının Eşdeğer Devreleri (a) İletim Durumu (b) Kesim Durumu

4.2.2. Simülasyon sonuçları

MKYD-1' ait simülasyon devre şeması Şekil 12'de verilmiştir. Simülasyonda kullanılan bileşenlerin parametreleri ise Tablo 2'de listelenmiştir. Simülasyon çalışmasına ait sonuçlar ise sırasıyla Şekil 13 – Şekil 16'da sunulmuştur.

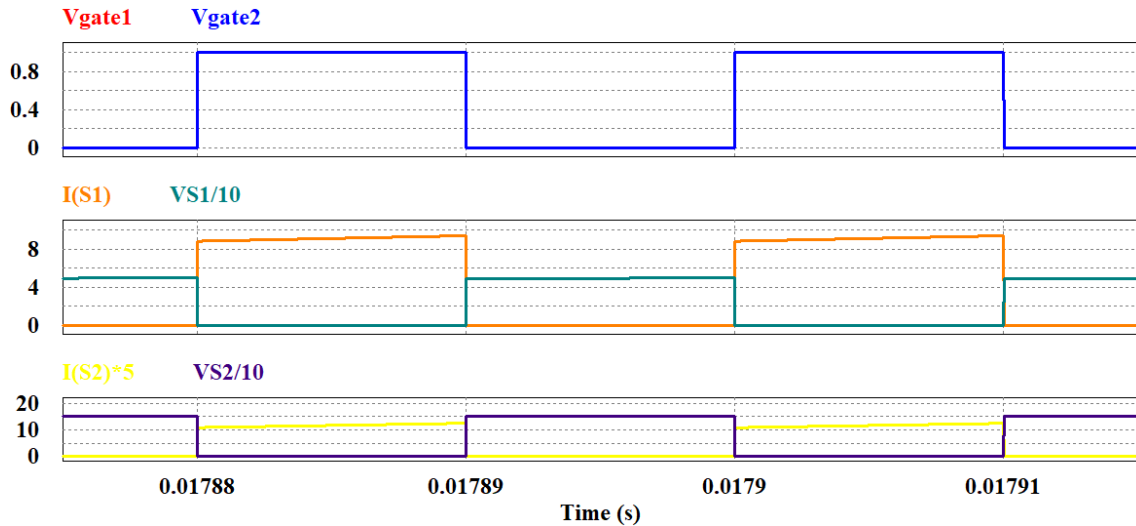


Şekil 12. MKYD-1'in Simülasyon Devre Şeması

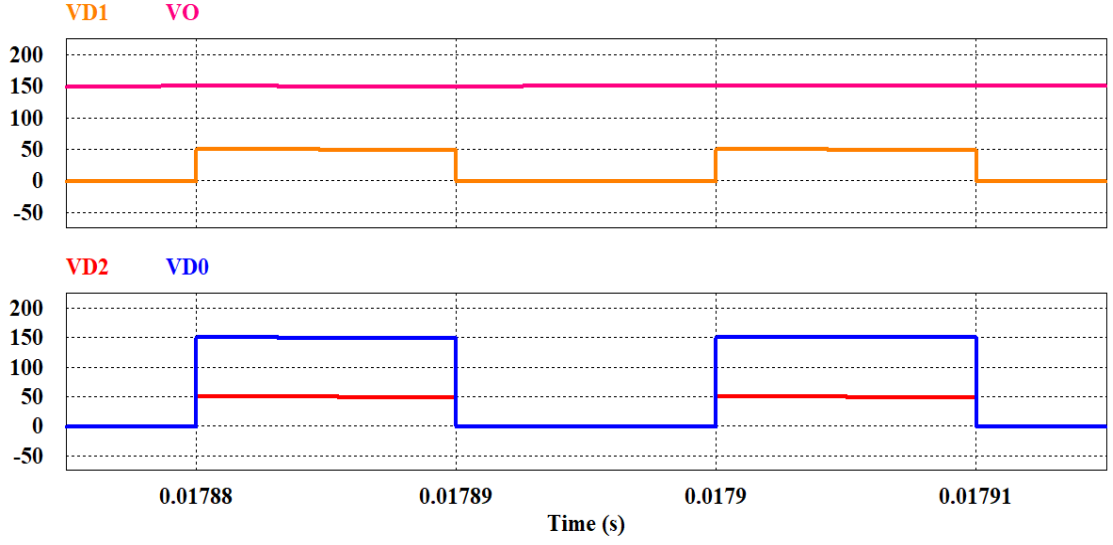
Tablo 2. MKYD-1'deki Bileşenlerin Tasarım Parametreleri

Parametre	Sembol	Değer
Giriş Voltajı	V_{in}	25 V
Çıkış Voltajı	V_o	150 V
Anahtarlama Frekansı	f	50 kHz
Çıkış Gücü	P_o	100 W
Endüktanslar	L_1, L_2	1 mH, 3 mH
Kondansatörler	C_1, C_2, C_o	47 μ F, 47 μ F, 100 μ F

Şekil 13'te yarı iletken güç anahtarları olan S_1 ve S_2 'nin kontrol sinyalleri ve anahtarların akım ve gerilim dalga formları verilmiştir. İki anahtar da eş zamanlı olarak ilettime ve kesime girmektedir. Akım ve gerilim değerlerinin aynı grafik üzerinde net biçimde karşılaştırılabilmesi için her iki anahtarın gerilim değerleri 10'a bölünerek ölçeklendirilmiştir. Böylece S_1 ve S_2 anahtarlarının akım ve gerilim dalga şekilleri aynı ekseninde sunulmuş ve dalga formlarının dinamik davranışlarının daha anlaşılır biçimde analiz edilmesi sağlanmıştır. Aynı şekilde S_2 anahtarının akım değeri 5 katı büyütülerek daha anlaşılır bir biçime getirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, S_1 anahtarının kesim durumundayken maruz kaldığı gerilim çıkış geriliminin yarısından daha az iken S_2 anahtarının kesim durumundayken maruz kaldığı gerilim çıkış gerilimi ile aynıdır. Bu durum, S_1 anahtarının iletim kayıplarının azaltılması açısından önemli bir avantaj sağlar.

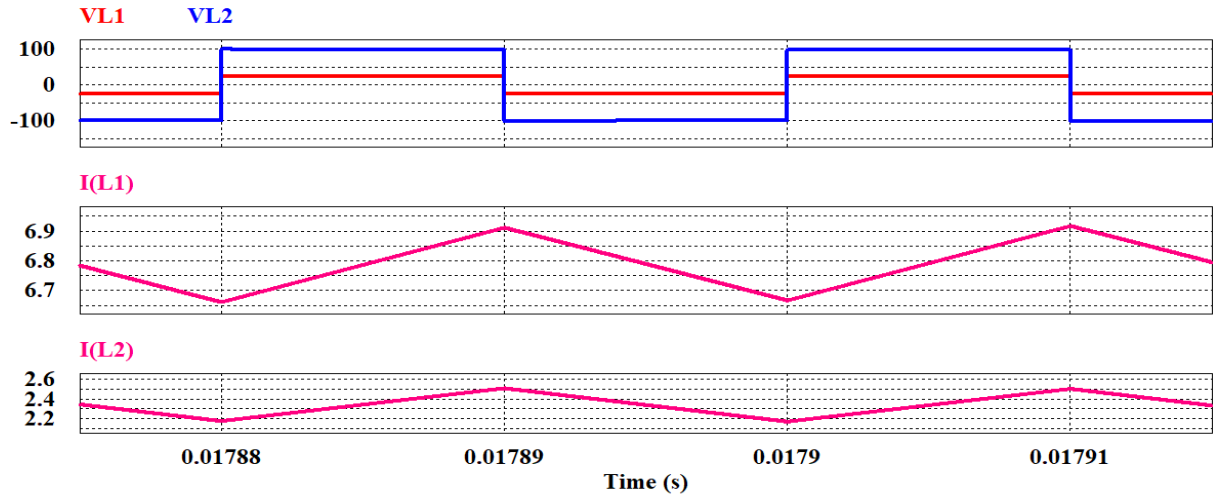


Şekil 13. Anahtarların Kontrol Sinyalleri; Sırasıyla S_1 ve S_2 Anahtarlarının Akım ve Gerilimlerinin Dalga Biçimleri



Şekil 14. Çıkış Geriliminin Dalga Formu ve Sırasıyla D₁, D₂ ve D₀ Diyotlarının Gerilimleri

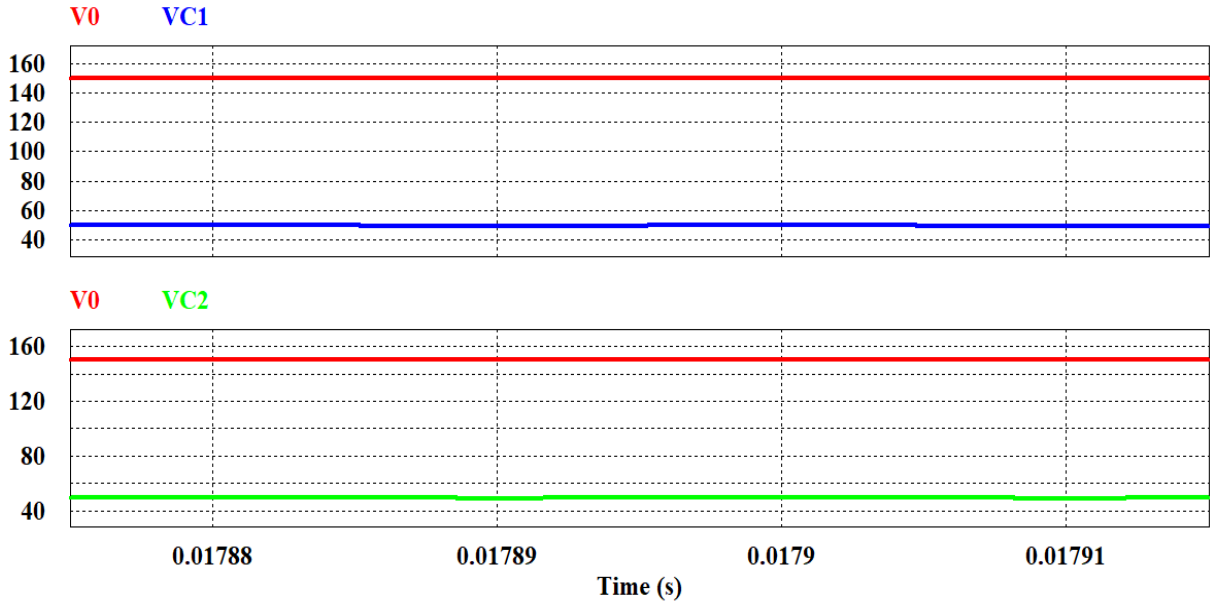
Şekil 14’te çıkış gerilimi ve yarı iletken güç diyotları olan D₁, D₂ ve D₀ diyotlarının gerilim dalga formları verilmiştir. D₀ diyotunun kesim durumunda iken maruz kaldığı gerilim çıkış gerilimi ile aynıdır. Bunun yanı sıra D₁ ve D₂ diyotlarının maruz kaldığı gerilim stresinin ise çıkış geriliminin yarısından daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 15. Sırasıyla L₁ ve L₂ Endüktanslarının Akımlarının ve Gerilimlerinin Dalga Biçimleri

Şekil 15’te sırasıyla L₁ ve L₂ endüktanslarının gerilim ve akım dalga formları verilmiştir. Simülasyon sonuçlarından da görüldüğü gibi, anahtarlar iletimdeyken L₁ ve L₂ endüktanslarının akımlarının arttığı ve maksimum değerlerine ulaştığı görülmektedir. Anahtar kesimde iken de

endüktanslar negatif gerilime maruz kalmakta ve akımları azalmaktadır. Böylece endüktansların kararlı rejimde aldığı ve verdiği enerjiler eşit olmaktadır.



Şekil 16. Çıkış Gerilimlerinin Dalga Biçimleri; Sırasıyla C_1 ve C_2 Kondansatörlerinin Gerilimleri

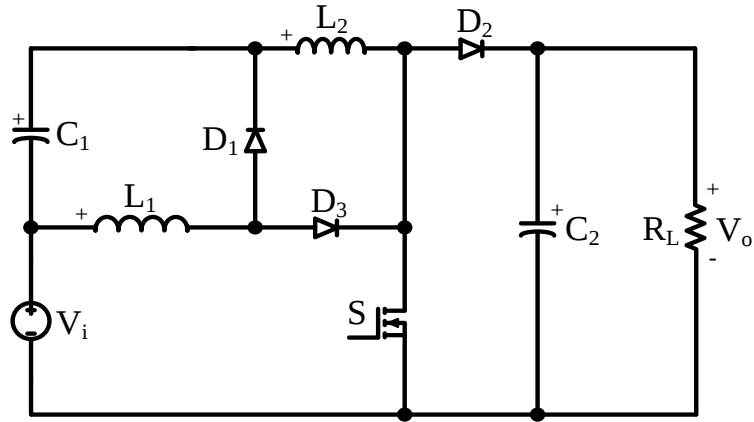
Şekil 16’da ise çıkış gerilimi ve devredeki kondansatörlerin gerilim dalga formları verilmiştir. Bu gerilim dalga formları çıkış gerilimi ile karşılaştırılmıştır. C_1 ve C_2 kondansatörlerinin maruz kaldığı gerilimin çıkış geriliminin yarısından daha az bir değerde olduğu görülmektedir.

4.3. Örnek Dönüştürücü-2

4.3.1. Çalışma aralıkları

Ye ve Cheng (2014) tarafından tasarlanan ve Şekil 17’de devre şeması verilen modifiye edilmiş karesel yükseltici dönüştürücü-2’nin (MKYD-2) KKYD’den farkı olarak devre elemanlarının üzerine gelen gerilim stresinin azaltılmış olmasıdır. Dönüştürücüde, V_i giriş gerilimini, L_1 ve L_2 ise endüktansları temsil etmektedir. Devrede bir adet yarı iletken güç anahtarı bulunmakta olup D_1 , D_2 , D_3 yarı iletken güç diyotlarını, C_1 , C_2 ise kondansatörleri temsil etmektedir. Devrenin teorik analizinde, yarı iletken güç elemanlarının ideal olduğu, endüktans ve kondansatörlerin gerilim ve akım değerlerinin sabit olacak şekilde yeterince büyük olduğu varsayılmıştır. CCM çalışmada yarı iletken güç anahtarlarının iletim ve kesim durumlarına göre

bir anahtarlama periyodu için iki çalışma modu mevcuttur. Şekil 18’de MKYD-2’nin çalışma modlarının devre şemaları verilmiştir.



Şekil 17. MKYD-2’nin Devre Topolojisi

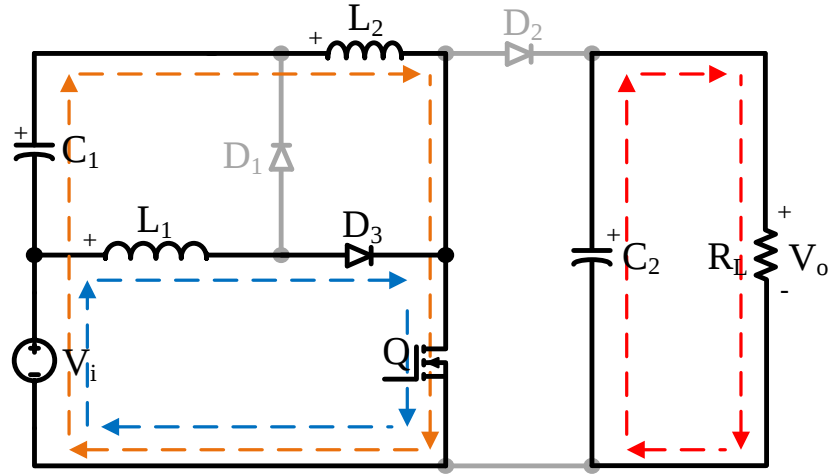
Mod 1: Bu aralıkta, yarı iletken güç anahtarları olan S’e sinyal verilerek, anahtar iletime sokulur. Bu modun eşdeğer devre şeması ile akım yolları Şekil 18 (a)’da gösterildiği gibidir. Devrede L_1 endüktansı V_i giriş gerilimi ile enerjilenir. Bu sayede I_{L1} akımı lineer olarak artar ve maksimum seviyeye ulaşır. Aynı zamanda V_i , C_1 , L_2 ve S’in oluşturduğu başka bir kapalı döngüde ise L_2 endüktansı ise giriş gerilimi ve C_1 kondansatörü sayesinde enerjilenerek, üzerindeki akımı lineer olarak artırır. Bu çalışma modunda devrede bulunan D_1 ve D_2 diyotları kesimdedir. Çıkış kondansatörü olan C_2 ise yüke gerekli olan enerjiyi sağlar. Anahtarın iletimde olduğu bu aralık için Kirchhoff gerilim ve akım kanunu kullanılarak elde edilen karakteristik denklemler aşağıda verilmiştir:

$$V_{L_1} = V_i \quad (4.10)$$

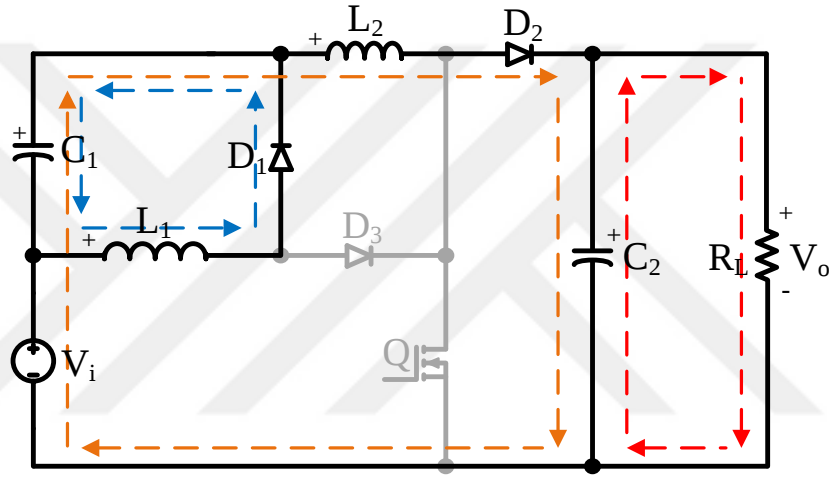
$$V_{L_2} = V_i + V_{C_1} \quad (4.11)$$

$$I_{C_1} = -I_{L_2} \quad (4.12)$$

$$I_{C_2} = -I_o \quad (4.13)$$



(a)



(b)

Şekil 18. Yüksek Kazançlı MKYD-2'nin Çalışma Modlarının Eşdeğer Devreleri (a) İletim Durumu (b) Kesim Durumu

Mod 2: Bu modda, iletim durumunda olan yarı iletken güç anahtarının sinyali kesilerek, anahtar kesim durumuna getirilir. Bu modun eşdeğer devre şeması ile akım yolları Şekil 18 (b)'de gösterildiği gibidir. Devrede bulunan D_1 ve D_2 diyotları ileri yönde polarlanarak iletim durumuna geçer. D_3 diyotu ise kesim durumundadır. Bu aralıkta, bir önceki çalışma modunda enerjilenen L_1 endüktansı, C_1 kondansatörünü şarj eder. Dolayısıyla akımı lineer olarak azalır. Aynı zamanda giriş gerilimi V_i ve L_2 endüktansı sahip oldukları enerjileri çıkış kondansatörü olan C_2 ve yük direnci olan R_L 'ye aktarır. Bu sayede yükün ihtiyacı olan enerji sağlanmaya devam eder. Anahtarların kesimde olduğu bu aralık için Kirchoff gerilim ve akım kanunu kullanılarak elde edilen karakteristik denklemler aşağıda verilmiştir:

$$V_{L_1} = -V_{C_1} \quad (4.14)$$

$$V_{L_2} = V_i + V_{C_1} - V_o \quad (4.15)$$

$$I_{C_1} = I_{L_1} - I_{L_2} \quad (4.16)$$

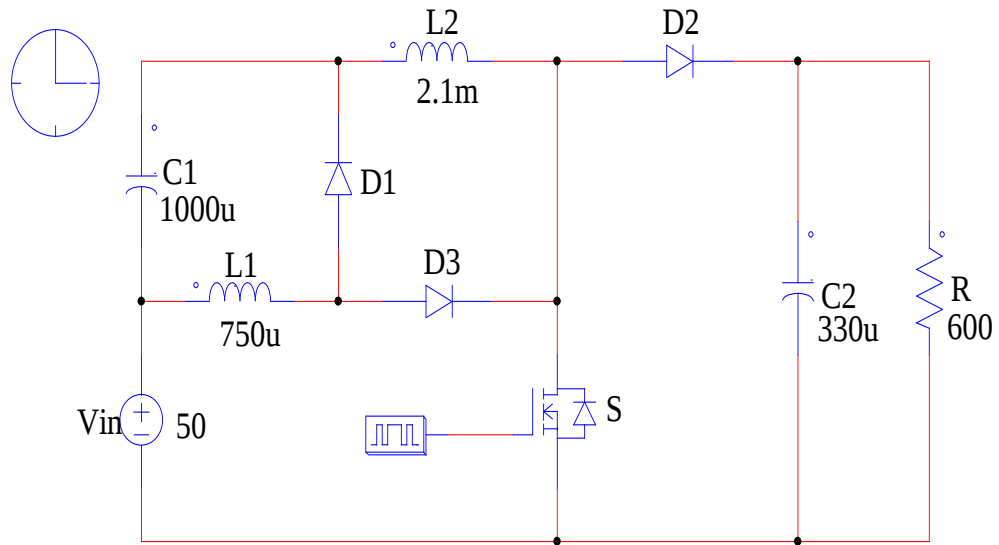
$$I_{C_2} = I_{L_2} - I_o \quad (4.17)$$

L_1 ve L_2 endüktanslarının gerilim denklemleri kullanılarak dönüştürücünün kazanç denklemi aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$G = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{(1-D)^2} \quad (4.18)$$

4.3.2. Simülasyon sonuçları

Bu bölümde MKYD-2'ye ait simülasyon sonuçları sunulmaktadır. Devreye ait simülasyon devre şeması Şekil 19'da verilmiştir. Simülasyonda kullanılan bileşenlerin parametreleri ise Tablo 3'te listelenmiştir. Simülasyon çalışmasına ait sonuçlar ise sırasıyla Şekil 20 – Şekil 4.14'te sunulmuştur.

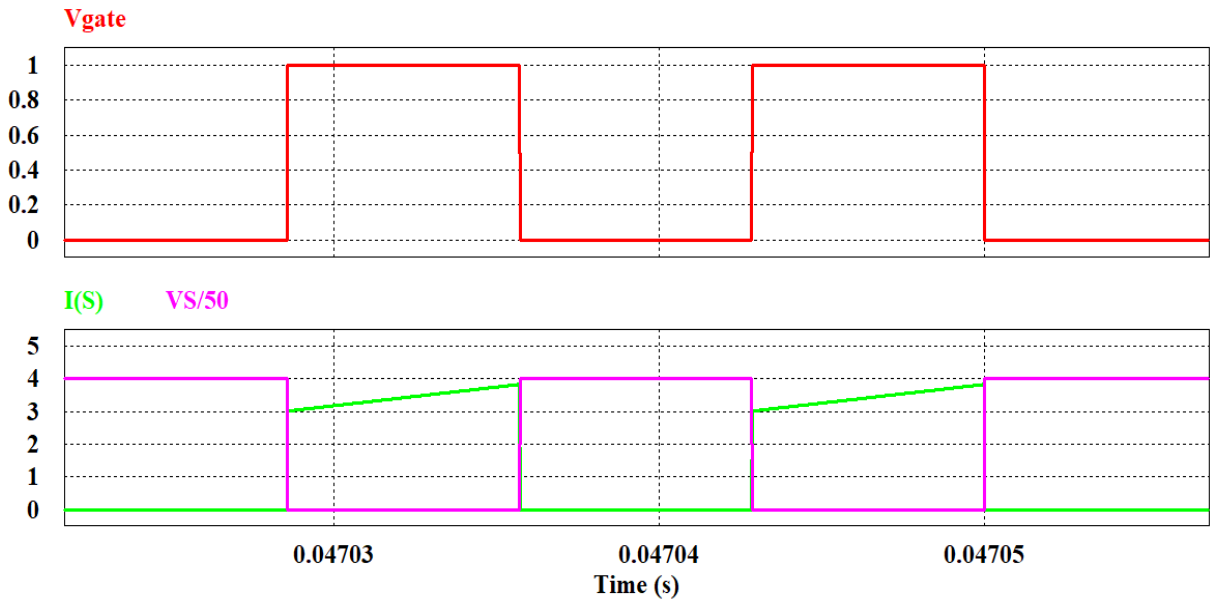


Şekil 19. MKYD-2'nin Simülasyon Devre Şeması

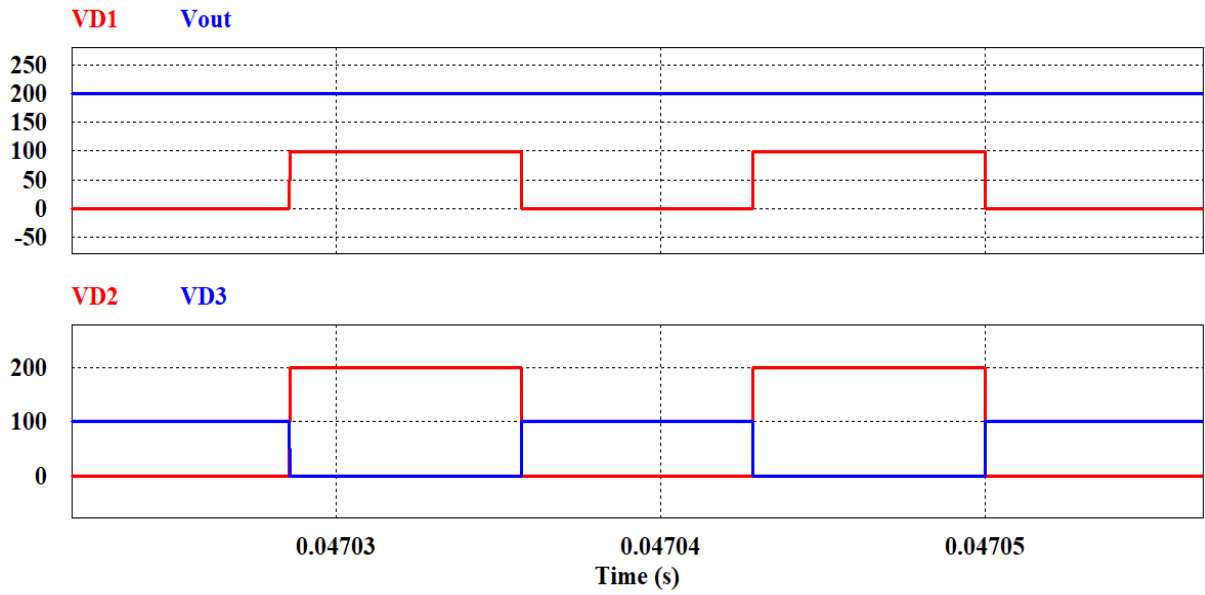
Tablo 3. MKYD-2'deki Bileşenlerin Tasarım Parametreleri

Parametre	Sembol	Değer
Giriş Voltajı	V_{in}	50 V
Çıkış Voltajı	V_o	200 V
Anahtarlama Frekansı	f	70 kHz
Çıkış Gücü	P_o	66.66 W
Endüktanslar	L_1, L_2	750 μ H, 2.1 mH
Kondansatörler	C_1, C_2	1000 μ F, 330 μ F

Şekil 20'de yarı iletken güç anahtarı olan S'in kontrol sinyali ve anahtarın akım ve gerilim dalga formları verilmiştir. Akım ve gerilim değerlerinin aynı grafikte daha anlaşılır biçimde sunulabilmesi için gerilim ölçeğinde uygun bir küçültme yapılmıştır. Bu kapsamda anahtarın gerilim değeri 50'ye bölünerek normalize edilmiş ve grafik üzerinde akım dalga şekli ile karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, S anahtarının kesim durumundayken maruz kaldığı gerilim çıkış gerilimi ile aynıdır.

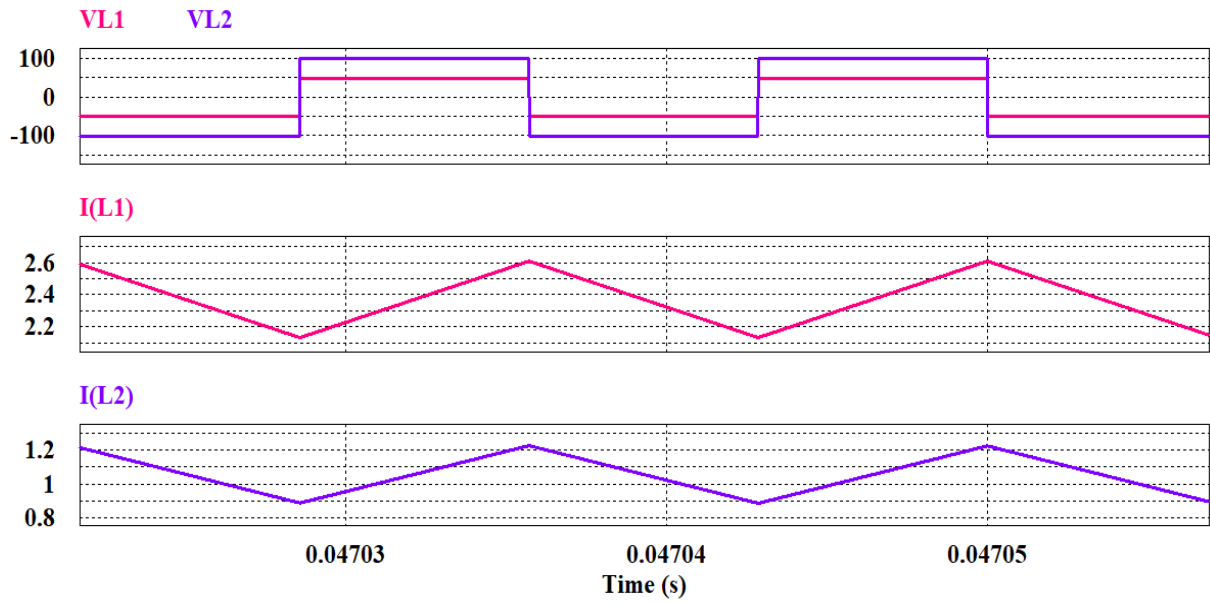


Şekil 20. Anahtarın Kontrol Sinyali, Sıra Sırayla S Anahtarının Akım ve Geriliminin Dalga Biçimleri



Şekil 21. Çıkış Geriliminin Dalga Biçimi ve Sırasıyla D_1 , D_2 ve D_3 Diyotlarının Gerilimleri

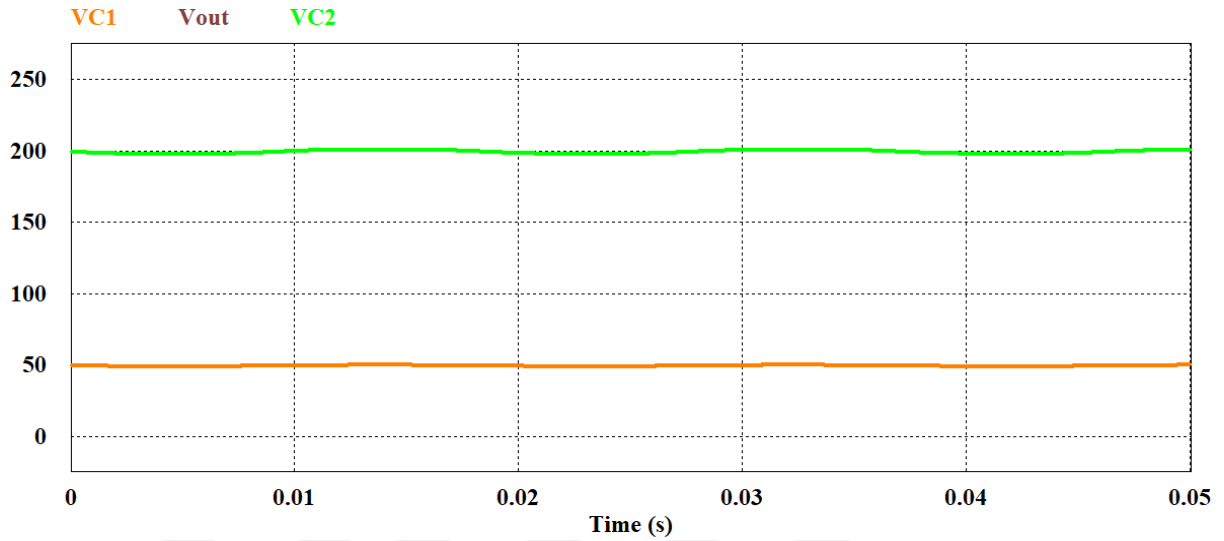
Şekil 21’de çıkış gerilimi ve yarı iletken güç diyotları olan D_1 , D_2 ve D_3 diyotlarının gerilim dalga formları verilmiştir. D_2 diyotunun kesim durumunda iken maruz kaldığı gerilim çıkış gerilimi ile aynıdır. Bunun yanı sıra D_1 ve D_3 diyotlarının maruz kaldığı gerilim stresinin ise çıkış geriliminin yarısı olduğu görülmektedir.



Şekil 22. Sırasıyla L_1 ve L_2 Endüktanslarının Akımlarının ve Gerilimlerinin Dalga Biçimleri

Şekil 22’de sırasıyla L_1 ve L_2 endüktanslarının gerilim ve akım dalga formları verilmiştir. Simülasyon sonuçlarından da görüldüğü gibi, anahtar iletimdeyken L_1 ve L_2 endüktanslarının

akımlarının arttığı ve maksimum değerlerine ulaştığı görülmektedir. Anahtar kesimde iken de endüktanslar negatif gerilime maruz kalmakta ve akımları azalmaktadır. Böylece endüktansların kararlı rejimde aldığı ve verdiği enerjiler eşit olmaktadır.



Şekil 23. Çıkış Geriliminin Dalga Biçimi ve Sırasıyla C_1 ve C_2 Kondansatörlerinin Gerilimleri

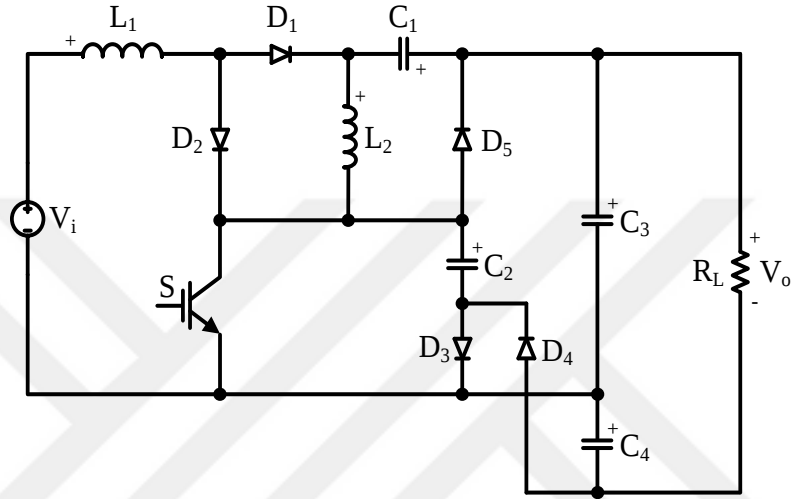
Şekil 23'te ise çıkış gerilimi ve devredeki kondansatörlerin gerilim dalga formları verilmiştir. Bu gerilim dalga formları çıkış gerilimi ile karşılaştırılmıştır. C_1 kondansatörünün maruz kaldığı gerilimin çıkış geriliminin yarısından daha az bir değerde olduğu gösterilmiştir. Aynı zamanda C_2 kondansatörünün maruz kaldığı gerilim ise çıkış gerilimi ile aynı seviyededir.

4.4. Araştırma Bulguları

Bu tez çalışmasında 0,5 doluluk oranında sekiz kat gerilim kazancına ulaşan yeni bir yüksek kazançlı tek anahtarlı karesel yükseltici dönüştürücü tanıtılmaktadır. Sunulan tasarım, KKYD ve literatürde yer alan bazı yüksek kazançlı DC-DC dönüştürücülerle karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha büyük bir gerilim kazancı sağlamaktadır. Dahası, sunulan topoloji yalnızca tek bir anahtar içermektedir ve bu devredeki gerilim stresi, çıkış geriliminin yarısına karşılık gelmektedir. Bu sayede, hem dönüştürücü tasarımında eleman seçilirken daha düşük maliyetli bir güç elemanının kullanılması mümkün olacak hem de iletim kayıpları azaltılmış olacaktır. Ayrıca, dönüştürücünün sürekli kaynak akımı özelliğine sahip olması da bir diğer avantajdır.

4.4.1. Yeni karesel DC-DC dönüştürücünün çalışması, analizi ve tasarımı

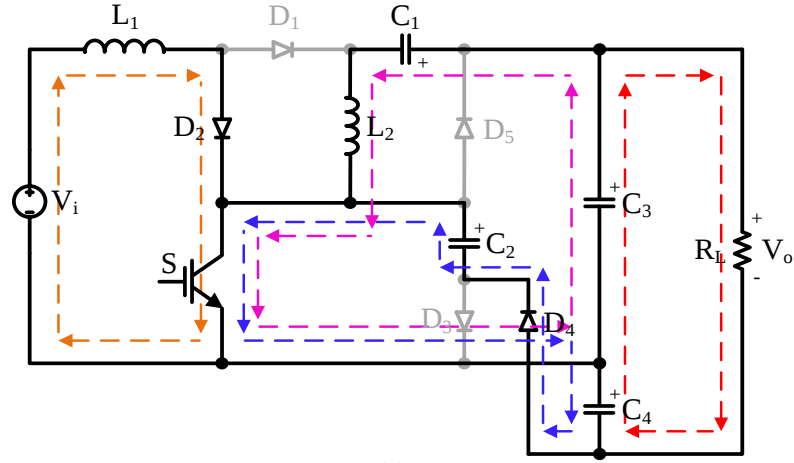
Sunulan yeni dönüştürücü, Şekil 24'te gösterilmiştir. Burada, V_i giriş kaynağı; S yarı iletken güç anahtarı; L_1 ve L_2 endüktanslar; C_1 , C_2 , C_3 ve C_4 kondansatörler; D_1 , D_2 , D_3 , D_4 ve D_5 diyotlar; R_L ise rezistif yüküdür. Sunulan dönüştürücünün, seçilen L_1 ve L_2 endüktans değerlerine göre CCM veya DCM'de çalışabileceği göz önüne alındığında, her mod için çalışma prensibi ve gerilim kazancı denklemi belirlenmiştir.



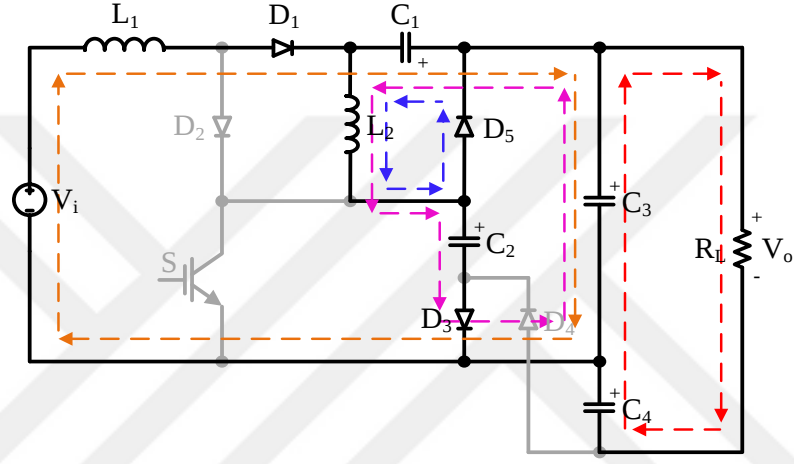
Şekil 24. Sunulan Yeni Dönüştürücünün Devre Şeması

4.4.1.1. Yeni karesel DC-DC dönüştürücünün CCM'de çalışma prensibi ve analizi

Sunulan bu topoloji CCM'de, her anahtarlama periyodunda anahtarın iletim ve kesim durumlarına göre belirlenen iki mod üzerinden çalışır. Bu modların eşdeğer devreleri Şekil 25'te, temel dalga formları ise Şekil 26'da gösterilmiştir. Çalışma ve kararlı durum analizi aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 25. Sunulan Yeni Dönüştürücünün CCM'deki Çalışma Modlarının Eşdeğer Devreleri
(a) Mod 1, (b) Mod 2.

Mod 1 ($t_0 < t < t_1$): Bu mod, yarı iletken güç anahtarına bir PWM kontrol sinyali uygulanarak başlatılır; böylece anahtar, D_2 ve D_4 diyotları iletime girer. Bu modda, L_1 endüktansı D_2 diyotu üzerinden V_i giriş gerilimi ile; L_2 endüktansı ise $V_{C3} - V_{C1}$ gerilimi ile enerjilendirilir. Bu mod sırasında, D_1 , D_3 ve D_5 diyotları kesimdedir ve C_2 kondansatörü, D_4 diyotu üzerinden C_4 kondansatörüne enerji aktarır ve böylece C_2 'nin gerilimi azalırken C_4 'ün gerilimi artar. Çıkış yükü C_3 ve C_4 kondansatörleri tarafından beslenir. Bu mod, güç anahtarı kesime girdiğinde sona erer. Bu mod için aşağıdaki denklemler yazılabilir:

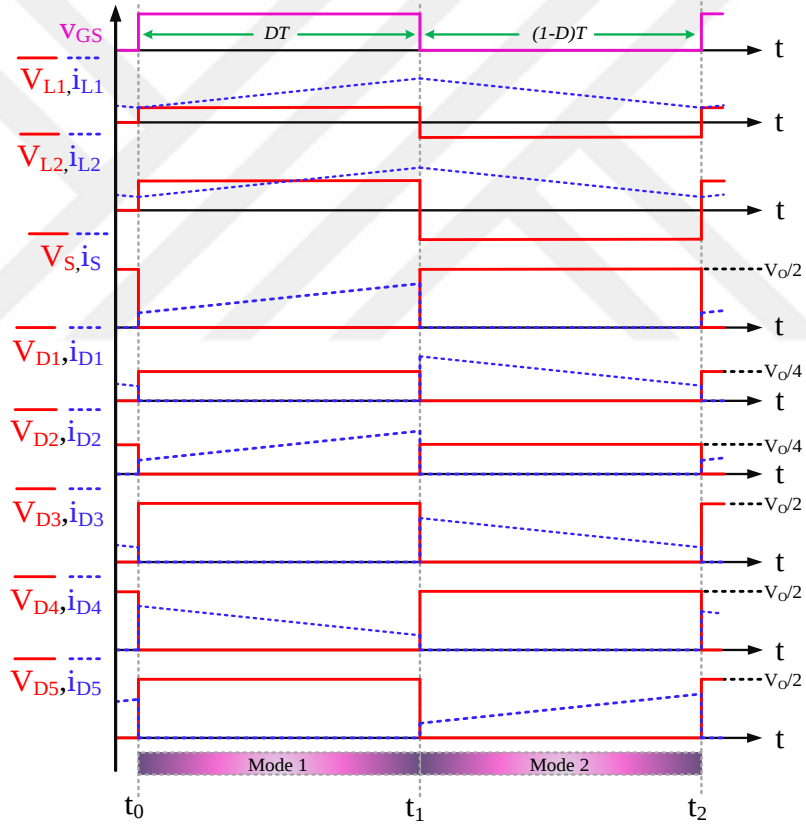
$$V_{L1} = V_i, \quad V_{L2} = V_{C3} - V_{C1} \quad (4.19)$$

$$V_{C2} = V_{C4}, \quad V_o = V_{C3} + V_{C4} \quad (4.20)$$

Mod 2 ($t_1 < t < t_2 = t_0$): Güç anahtarının kontrol sinyalinin kesilmesiyle başlıyana bu modda anahtar, D_2 ve D_4 diyotları kesime girerken, diğer diyotlar ilettime girer. Bu mod sırasında, L_1 'in enerjisi yüke aktarılır, L_2 ise enerjisini C_1 kondansatörüne aktarır. Ayrıca, çıkıştaki yük C_3 ve C_4 kondansatörleri tarafından beslenmeye devam eder. Kontrol sinyali güç anahtarına tekrar uygulandığında periyot tamamlanır ve bu mod sona erdiğinde başlangıç koşullarına geri dönülür. Bu modun temel denklemleri aşağıdaki gibidir:

$$V_{L1} = V_i + V_{C1} - V_{C3}, \quad V_{L2} = -V_{C1} \quad (4.21)$$

$$V_{C2} = V_{C3} = V_{C4} = \frac{V_o}{2} \quad (4.22)$$



Şekil 26. Sunulan Yeni Dönüştürücünün CCM'deki Temel Dalga Biçimleri

4.4.1.2. Gerilim kazancı ve gerilim-akım streslerinin analizi

CCM çalışma için sunulan yeni dönüştürücünün gerilim kazancı, tüm devre elemanlarının ideal olduğu varsayılarak; (4.23) ve (4.24) numaralı denklemlerin, volt-saniye denge ilkesinin L_1 ve L_2 endüktanslarına uygulanmasıyla aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

$$\begin{cases} \int_0^{T_{ON}} V_i d(t) + \int_{T_{ON}}^{T_p} (V_i + V_{C_1} - V_{C_3}) d(t) = 0 \\ V_i D + V_i + V_{C_1} - V_{C_3} - V_i D - V_{C_1} D + V_{C_3} D = 0 \\ V_{C_3} - V_{C_1} = \frac{V_i}{(1-D)} \end{cases} \quad (4.23)$$

$$\begin{cases} \int_0^{T_{ON}} (V_{C_3} - V_{C_1}) d(t) + \int_{T_{ON}}^{T_p} -V_{C_1} d(t) = 0 \\ (V_{C_3} - V_{C_1}) D - V_{C_1} + V_{C_1} D = 0 \\ V_{C_1} = V_{C_3} D = \frac{V_o}{2} D \end{cases} \quad (4.24)$$

C_1 kondansatörünün gerilimini ifade eden (4.23) ve (4.24) numaralı denklemler birbirine eşitlenirse, dönüştürücünün CCM'deki çıkış gerilim kazancı ifadesi aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$G_{CCM} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{2}{(1-D)^2} \quad (4.25)$$

Anahtar kesim durumundayken, anahtarın gerilimi V_{C_2} 'dir. Şekil 25 (b) ve Denklem (4.22)'ye bakıldığında, anahtarın gerilim stresi aşağıdaki denklem gibi yazılabilir:

$$V_s = V_{C_2} = V_{C_3} = \frac{V_o}{2} \quad (4.26)$$

Şekil 25 (a)'daki D_1 , D_3 ve D_5 diyotları ve Şekil 25 (b)'deki D_2 ve D_4 diyotları için Kirchhoff gerilim yasası (KVL) uygulanmış ve diyotların gerilimleri kondansatör gerilimleri cinsinden

yazılmıştır. Bu gerilimler ve (4.20), (4.22), (4.23) ve (4.24) denklemleri dikkate alındığında dönüştürücüdeki tüm diyotların gerilim stresleri aşağıdaki denklemlerle yazılabilir. Buradan tüm yarı iletken elemanlara uygulanan gerilim stresinin, çıkış geriliminin en fazla yarısı ile sınırlı olduğu açıktır. Bu özellik, sunulan dönüştürücünün en önemli avantajlarından biridir.

$$\begin{cases} V_{D_1} = V_{C_3} - V_{C_1} = \frac{V_o}{2}(1-D) \\ V_{D_2} = V_{C_1} = \frac{V_o}{2}D \\ V_{D_3} = V_{C_2} = V_{C_4} = \frac{V_o}{2} \\ V_{D_4} = V_{D_5} = V_{C_3} + V_{C_4} - V_{C_2} = \frac{V_o}{2} \end{cases} \quad (4.27)$$

Şekil 25 (a)'da görüldüğü gibi, S anahtarının akımı, L_1 , L_2 endüktansları ve C_2 kondansatörünün akımlarının toplamına eşittir. Dolayısıyla, yarı iletken elemanların akım gerilimleriyle ilgili denklemleri yazabilmek için öncelikle L_1 , L_2 endüktansları ve C_2 kondansatörünün akımlarını hesaplamak gerekir. İdeal (kayıpsız) çalışma varsayıldığında, giriş ve çıkış güçlerinin eşitliğinden aşağıdaki denklemler elde edilebilir:

$$\begin{cases} P_{in} = P_{out} \\ \frac{V_o}{V_i} = \frac{I_i}{I_o} = \frac{2}{(1-D)^2} \\ I_i = I_{L_1} = \frac{2I_o}{(1-D)^2} \end{cases} \quad (4.28)$$

Ayrıca, akım-saniye denge prensibini C_1 ve C_2 kondansatörlerine uygulayarak aşağıdaki denklemler yazılabilir:

$$\begin{cases} \int_0^{T_p} I_{C_1} d(t) = 0 \\ \int_0^{T_{on}} I_{L_2} d(t) + \int_{T_{on}}^{T_p} (I_{L_2} - I_{L_1}) d(t) = 0 \\ I_{L_2} = I_{L_1} (1 - D) = \frac{2I_o}{(1 - D)} \end{cases} \quad (4.29)$$

$$\begin{cases} \int_0^{T_p} I_{C_4} d(t) = 0 \\ \int_0^{T_{on}} (-I_{C_2} - I_o) d(t) + \int_{T_{on}}^{T_p} -I_o d(t) = 0 \\ I_{C_2} = \frac{-I_o}{D} \end{cases} \quad (4.30)$$

Şekil 25 (a) ve denklem (4.28), (4.29) ve (4.30) kullanılarak anahtarın akım stresi aşağıdaki gibi elde edilebilir:

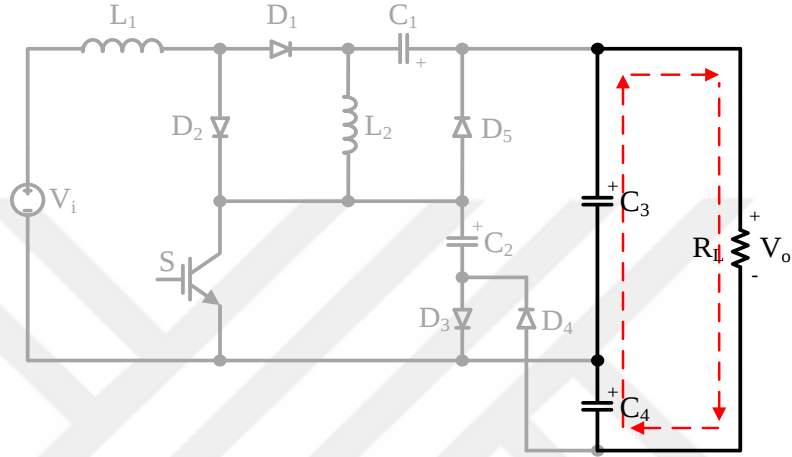
$$I_s = I_{L_1} + I_{L_2} - I_{C_2} = \frac{I_o(1+3D)}{D(1-D)} \quad (4.31)$$

Şekil 25 (a)'daki D_2 , D_4 diyotları ve Şekil 25 (b)'deki D_1 , D_3 ve D_5 diyotlarının akım değerleri için Kirchhoff akım yasası (KCL) uygulanmış ve diyot akımları kondansatör ve endüktans akımları cinsinden yazılmıştır. (4.28), (4.29) ve (4.30) denklemleri kullanılarak dönüştürücüdeki tüm diyotların akım stresleri aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

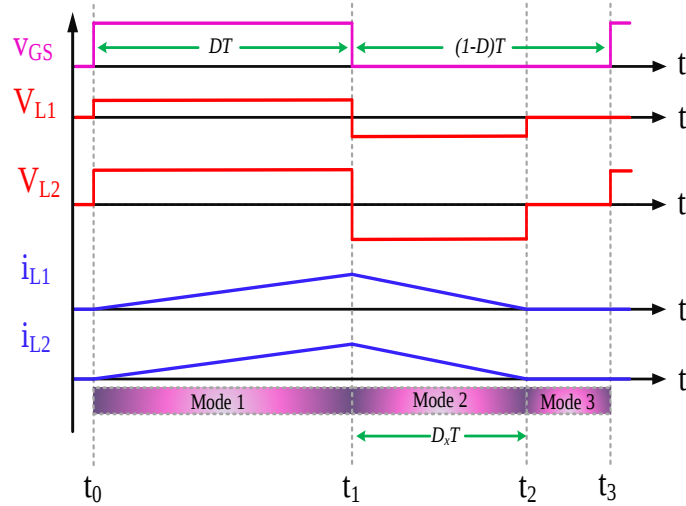
$$\begin{cases} I_{D_1} = I_{D_2} = I_{L_1} = \frac{2I_o}{(1-D)^2} \\ I_{D_3} = I_{D_4} = |I_{C_2}| = \frac{I_o}{D} \\ I_{D_5} = I_{L_2} - I_{C_2} = I_o \frac{D+1}{D(1-D)} \end{cases} \quad (4.32)$$

4.4.1.3. Yeni karesel DC-DC dönüştürücünün DCM'de çalışma prensibi ve analizi

DCM çalışması sırasında, dönüştürücü bir anahtarlama periyodunda üç farklı modda çalışır. CCM çalışmasındaki iki mod, DCM çalışmasının ilk iki moduyla aynıdır. DCM'de, Şekil 27'de gösterilen ek bir çalışma modu (üçüncü mod) daha vardır. Ayrıca, DCM çalışmasındaki endüktansların temel dalga formları Şekil 28'de gösterilmiştir. Çalışma ve kararlı durum analizlerinin kapsamlı bir açıklaması aşağıda verilmiştir.



Şekil 27. Sunulan Yeni Dönüştürücünün DCM'deki Üçüncü Modunun Eşdeğer Devresi



Şekil 28. Sunulan Yeni Dönüştürücünün DCM Çalışmasında Endüktansların Temel Dalga Biçimleri

Mod 1 ($t_0 < t < t_1$): S anahtarına uygulanan kontrol sinyaliyle başlayan bu mod, CCM'deki Mod 1 ile aynıdır. L_1 endüktansı V_i gerilimiyle, L_2 endüktansı ise $V_{C3} - V_{C1}$ gerilimiyle enerjilenir. Sıfırdan başlayarak, endüktans akımları $t = t_1$ anında tepe noktasına ulaşır. L_1 ve L_2 endüktanslarından geçen tepe akımları şu şekilde formüle edilir:

$$\begin{cases} I_{L_{1P}} = \frac{V_i}{L_1} DT \\ I_{L_{2P}} = \frac{V_{C3} - V_{C1}}{L_2} DT \end{cases} \quad (4.33)$$

Mod 2 ($t_1 < t < t_2$): S Anahtarının kontrol sinaylinin kesilmesiyle başlayan bu mod, CCM'deki Mod 2 ile aynıdır. Endüktans akımları doğrusal olarak azalır ve $t = t_2$ anında sıfıra düşer. Burada, her iki endüktans akımının da sıfıra düştüğü varsayıldığından, kazanç denklemi, Mod 1 ve Mod 2 akımlarından herhangi biri eşitlenerek elde edilebilir. Örneğin, L_2 endüktansının tepe akımı, $D_x T$ 'ye bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$I_{L_{2P}} = \frac{-V_{C1}}{L_2} D_x T \quad (4.34)$$

Mod 3 ($t_1 < t < t_3 = t_0$): Bu modda, anahtar hala kesim durumundadır ve endüktans akımları sıfırdır. Dolayısıyla, endüktans gerilimleri de sıfırdır. Mod 1 ve Mod 2'de verilen L_2 endüktansının tepe değerleri eşitlenirse;

$$(I_{L_{2P}})^{MODE-1} = (I_{L_{2P}})^{MODE-2} \quad (4.35)$$

Denklemler (4.33) ve (4.34)'ya dayanarak, D_x parametresi şu şekilde yazılabilir:

$$D_x = \frac{V_{C1} - V_{C3}}{V_{C1}} D \quad (4.36)$$

Mod 3 için I_{C3} , C_3 'ten geçen ortalama akım, aşağıdaki gibi formüle edilebilir:

$$I_{C_3} = \frac{1}{2} D_x I_{L_{2P}} - I_O \quad (4.37)$$

Denklem (4.33), Denklem (4.37)'da yerine yazılırsa, I_{C_3} 'ün aşağıdaki gibi ifade edilmesi sağlanır:

$$I_{C_3} = \frac{1}{2} D_x \frac{V_{C_3} - V_{C_1}}{L_2} DT - \frac{V_O}{R} \quad (4.38)$$

Kondansatörün ortalama akımının sıfıra eşit olduğu göz önüne alındığında, Denklem (4.38)'den şu sonuç çıkar:

$$D_x \frac{V_i D}{(1-D)} = \frac{2V_O L_2}{RT} \quad (4.39)$$

$\tau_L = \frac{L_2}{RT}$ yazılırsa;

$$D_x = 2 \frac{V_O}{V_i} \tau_L \frac{(1-D)}{D} \quad (4.40)$$

(4.36) ve (4.40) denklemleri birbirine eşitlendiğinde;

$$\left(\frac{V_O}{V_i} \right)^2 - 2 \frac{V_O}{V_i} \frac{1}{(1-D)} + \frac{D^2}{(1-D)^2 \tau_L} = 0 \quad (4.41)$$

İkinci dereceden Denklem (4.41) çözüldüğünde, DCM mod gerilim kazancı, G_{DCM} , şu şekilde elde edilir:

$$G_{DCM} = \frac{V_O}{V_i} = \frac{1}{(1-D)} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{D^2}{\tau_L}} \right] \quad (4.42)$$

4.4.1.4. Yeni karesel DC-DC dönüştürücünün tasarım prosedürü

Endüktansların belirlenmesi: Şekil 25 (a)'da gösterildiği gibi, anahtar iletimdeyken V_i giriş gerilimine maruz kalan L_1 endüktansının minimum akımı için aşağıdaki denklemler yazılabilir:

$$(\Delta i_{L_1})_{on} = \frac{V_i DT}{L_1} \quad (4.43)$$

$$I_{L_1, \min} = I_{L_1} - \frac{\Delta i_{L_1}}{2} \quad (4.44)$$

CCM'in çalışmayı sağlamak için L_1 'in minimum akım değerinin sıfırdan büyük olması gerekir. Bu durumda (4.28) ve (4.43) numaralı denklemler (4.44) numaralı denklemde yerine yazılarak L_1 endüktansının değeri için gerekli eşitlik çıkarılabilir.

$$L_1 \geq \frac{V_i D(1-D)^2}{4 f_s I_o} \quad (4.45)$$

Benzer şekilde, Şekil 25 (a)'da gösterildiği gibi anahtar iletimdeyken V_{C1} gerilimine maruz kalan L_2 endüktansının minimum akımı için aşağıdaki denklemler yazılabilir:

$$(\Delta i_{L_2})_{on} = \frac{(V_{C_3} - V_{C_1}) DT}{L_2} \quad (4.46)$$

$$I_{L_2, \min} = I_{L_2} - \frac{\Delta i_{L_2}}{2} \quad (4.47)$$

CCM'in çalışmayı sağlamak için L_2 'nin minimum akım değerinin sıfırdan büyük olması gerekir. Bu durumda (4.23), (4.29) ve (4.46) numaralı denklemler (4.47) numaralı denklemde yerine yazılarak L_2 endüktansının değeri için gerekli eşitlik çıkarılabilir.

$$L_2 \geq \frac{V_i D}{4 f_s I_o} \quad (4.48)$$

Burada f_s anahtarlama frekansını temsil etmektedir.

Kondansatörlerin belirlenmesi: Kondansatör değerleri genellikle kabul edilebilir bir gerilim dalgalanması sağlayacak şekilde seçilir. Bu amaçla, her bir kondansatöre temel formül uygulanabilir. Örneğin, C_1 akımı, Mod 1'deki L_2 akımına eşittir. Denklem (4.29)'deki L_2 akım değeri, denklem (4.49)'deki C_1 değerine yazılırsa, C_1 kondansatörü için denklem (4.50) elde edilir:

$$I_{C_1} = C_1 \frac{\Delta V_C}{\Delta T} = C_1 \frac{\Delta V_{C_1}}{DT} \quad (4.49)$$

$$C_1 = \frac{2I_o D}{\Delta V_{C_1} f_s (1-D)} \quad (4.50)$$

Benzer şekilde diğer kondansatörlerin değerini belirlemek için kullanılabilecek denklemler aşağıda verilmiştir:

$$\begin{cases} C_2 = \frac{I_o D}{\Delta V_{C_2} 2f_s} \\ C_3 = \frac{I_o D}{\Delta V_{C_3} f_s} \\ C_4 = \frac{I_o (1-D)}{\Delta V_{C_4} f_s} \end{cases} \quad (4.51)$$

4.4.2. Yeni karesel DC-DC dönüştürücünün diğer karesel dönüştürücü topolojileriyle karşılaştırılması

Sunulan yeni dönüştürücü, KKYD ile karşılaştırıldığında aynı doluluk oranı koşullarında daha yüksek bir gerilim kazancı sağlamaktadır. Bu yeni topoloji, yalnızca bir anahtara sahip olduğundan basit bir yapıya ve minimum anahtar kayıplarına sahiptir. Tablo 4'te gösterildiği gibi, eleman sayısı, gerilim kazancı, anahtarlar ve diyotlar üzerindeki gerilim ve akım stresleri ve giriş akımının sürekliliği açısından diğer dönüştürücülerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda da görüldüğü gibi bu tezde sunulan yeni dönüştürücü, eleman sayısına göre kazanç açısından diğer dönüştürücülerin çoğundan daha avantajlıdır. Tablodaki IV, V ve IX

numaralı dönüştürücüler kesintili bir giriş akımına sahiptir. Tasarlanan yeni dönüştürücünün ise giriş akımı sürekli ve bu özelliği bakımından sunulan yeni dönüştürücü kesintili giriş akımına sahip olan dönüştürücülere göre bir avantaj sağlar. Tezde sunulan yeni dönüştürücünün bir diğer avantajı ise I, VI, VII ve IX numaralı dönüştürücülere kıyasla tek bir anahtarla daha yüksek gerilim kazancı sunmasıdır.

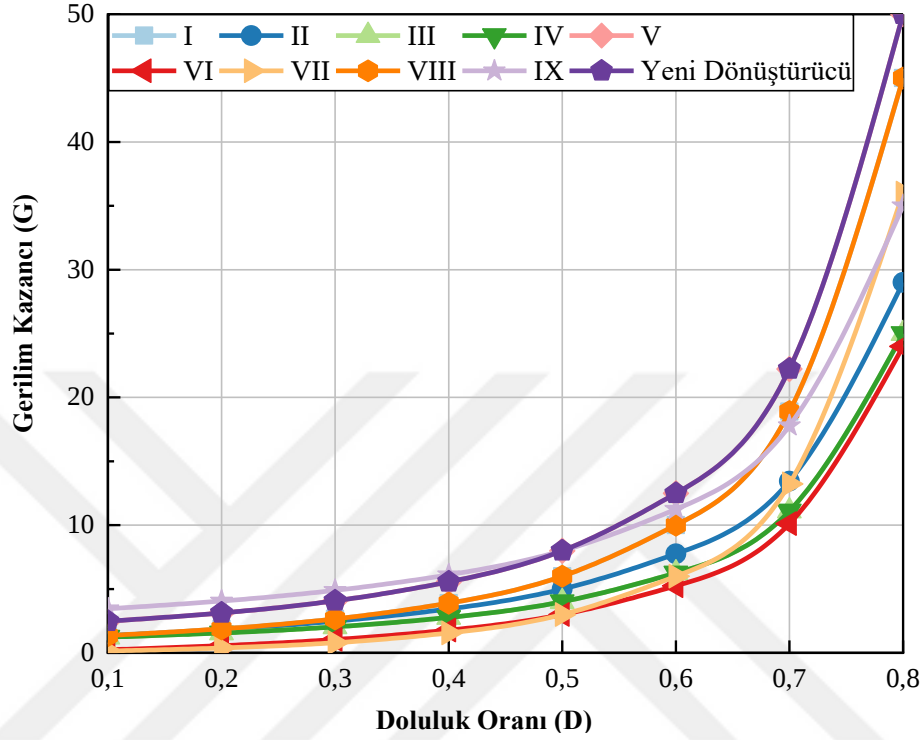
Tablo 4. Sunulan Yeni Dönüştürücünün Diğer Topolojilerle Karşılaştırılması

No	Referans	S/D/L/C/T	G	V _s	I _s	V _D	I _D	SC
I	Naresh vd. (2025)	2/3/2/3/10	$\frac{1+D}{(1-D)^2}$	V ₀	$\frac{2I_0}{(1-D)^2}$	V _O	$\frac{I_0}{(1-D)^2}$	NP
II	Pires vd. (2019)	1/4/3/4/12	$\frac{1+D(1-D)}{(1-D)^2}$	$\frac{V_0}{1+D(1-D)}$	$\frac{(3-2D)I_0}{(1-D)^2}$	$\frac{V_0}{1+D(1-D)}$	$\frac{(2-D)I_0}{(1-D)^2}$	NP
III	Rafiq vd. (2021)	1/3/2/2/8	$\frac{1}{(1-D)^2}$	V ₀	$\frac{(2-D)I_0}{(1-D)^2}$	V ₀	$\frac{I_0}{(1-D)^2}$	NP
IV	Ye ve Cheng (2014)	1/3/2/2/8	$\frac{1}{(1-D)^2}$	V ₀	$\frac{(2-D)I_0}{(1-D)^2}$	V _O	$\frac{I_0}{(1-D)}$	P
V	Jayenthi vd. (2024)	1/5/2/4/12	$\frac{2}{(1-D)^2}$	$\frac{V_0}{2}$	$\frac{(1+D)(5-3D)I_0}{(1-D)^2}$	$\frac{DV_0}{2}$	$\frac{2(1+D)I_0}{(1-D)}$	P
VI	Li vd. (2022)	2/2/3/3/10	$\frac{D(2-D)}{(1-D)^2}$	$\frac{V_0}{2-D}$	$\frac{(1+D-D^2)I_0}{(1-D)^2}$	$\frac{V_0}{2-D}$	$\frac{(1+D-D^2)I_0}{(1-D)^2}$	NP
VII	Garcia-Vite vd. (2019)	2/3/3/4/12	$\frac{D(1+D)}{(1-D)^2}$	$\frac{V_0}{1+D}$	$\frac{(1+D)I_0}{(1-D)^2}$	$\frac{V_0}{1+D}$	$\frac{(1+D)I_0}{(1-D)^2}$	NP
VIII	Leyva-Ramos vd. (2017)	1/4/3/4/12	$\frac{1+D}{(1-D)^2}$	$\frac{V_0}{1+D}$	$\frac{(3-D)I_0}{(1-D)^2}$	$\frac{V_0}{1+D}$	$\frac{(1+D)I_0}{(1-D)^2}$	NP
IX	Allehyani ve Alsalamı (2022)	2/4/2/4/12	$\frac{3-2D}{(1-D)^2}$	$\frac{V_0}{3-2D}$	$\frac{(1+D-D^2)I_0}{D(1-D)^2}$	$\frac{(2-D)V_0}{3-2D}$	$\frac{(2-D)I_0}{(1-D)^2}$	P
X	Yeni Dönüştürücü	1/5/2/4/12	$\frac{2}{(1-D)^2}$	$\frac{V_0}{2}$	$\frac{(1+3D)I_0}{D(1-D)}$	$\frac{V_0}{2}$	$\frac{2I_0}{(1-D)^2}$	NP

S: Anahtar Sayısı, L: Endüktans Sayısı, C: Kondansatör Sayısı, D: Diyot Sayısı, T: Toplam Bileşen Sayısı, G: Gerilim Kazancı, V_s: Anahtarın Gerilim Stresi, I_s: Anahtarın Akım Stresi, V_D: Çıkış Diyotunun Gerilim Stresi, I_D: Çıkış Diyotunun Akım Stresi, SC: Kaynak Akımı, NP: Kesintili Giriş Akımı, P: Sürekli Giriş Akımı

Tablo 4'teki karşılaştırma verileri Şekil 29 ve 30'da grafiklerle ifade edilmiş ve doluluk oranındaki değişime göre çeşitli parametreler gözlemlenmiştir. Farklı dönüştürücüler için gerilim kazancı ve doluluk oranı arasındaki ilişkilerin gösterildiği Şekil 29'daki eğrilerde sunulan dönüştürücünün ve karşılaştırılan dönüştürücülerin gerilim kazancı eğrileri sunulmuştur. Sunulan yeni dönüştürücünün gerilim kazancı yalnızca V numaralı dönüştürücü ile benzer olup 0,5 ve üzerindeki doluluk oranı değerlerinde diğer dönüştürücüleri açıkça geride bırakmaktadır. 0,5'in altındaki doluluk oranlarında ise IX numaralı dönüştürücüden yalnızca biraz daha düşüktür fakat IX numaralı dönüştürücünün iki anahtara sahip olduğu da unutulmamalıdır. Çünkü bu durum ilave anahtarlama kayıplarına ve maliyete neden olmaktadır. Sunulan yeni dönüştürücü V numaralı dönüştürücü ile aynı gerilim kazancını sağlamasına

rağmen, yeni dönüştürücünün sürekli giriş akımına sahip olması dönüştürücüyü V numaralı dönüştürücüden daha üstün kılmaktadır. Özellikle dalgasız giriş akımı istenen elektrikli araç şarj uygulamaları ve yenilenebilir enerji sistemleri gibi uygulamalarda bu özellik önemli avantaj sağlar.

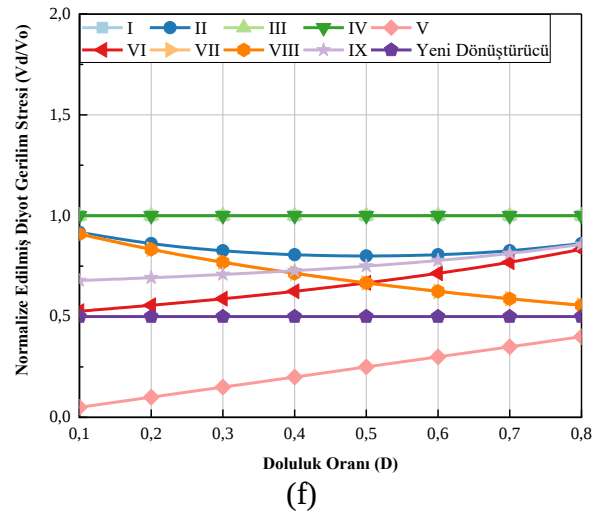
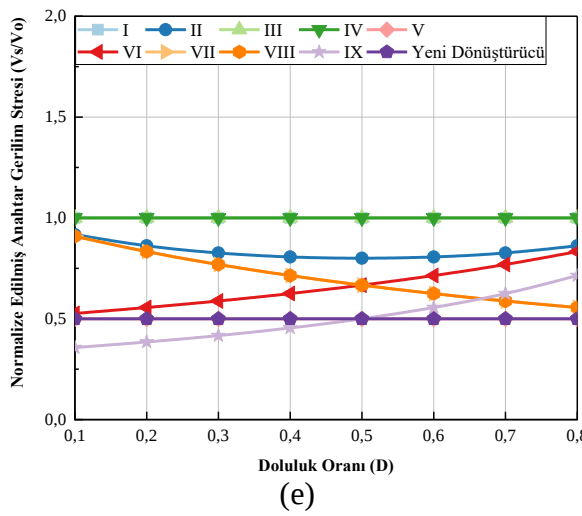
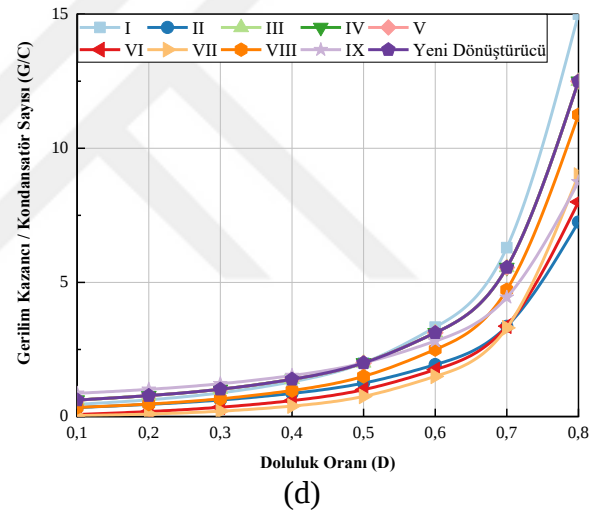
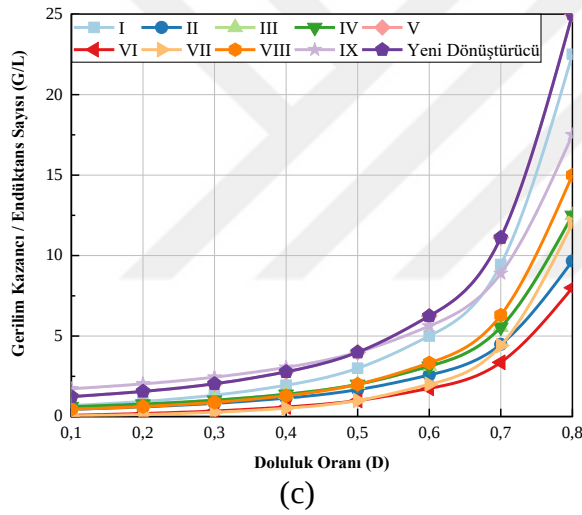
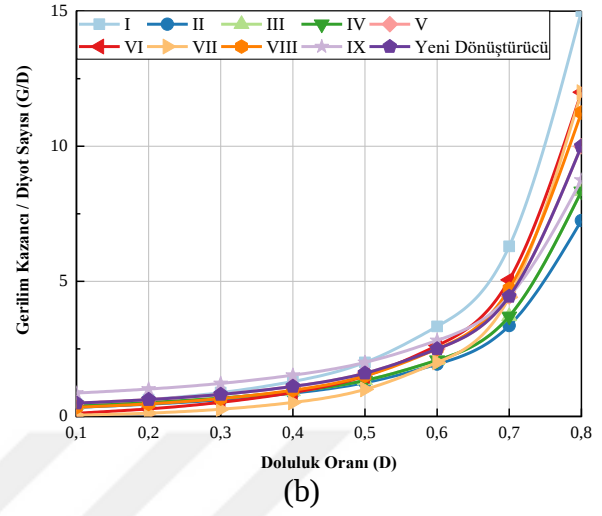
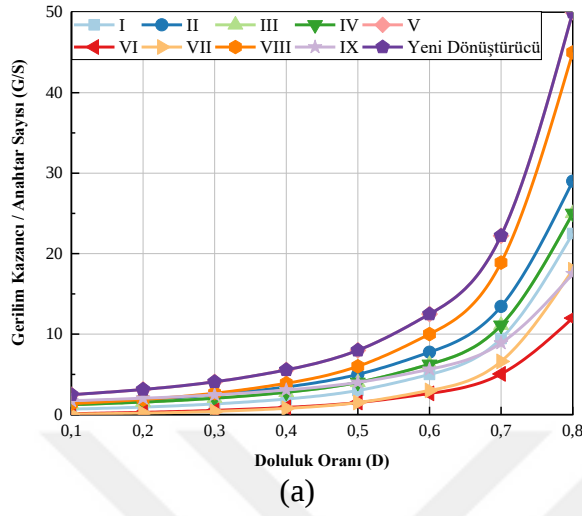


Şekil 29. Gerilim Kazancının Doluluk Oranına Göre Değişim Grafiği

Tablo 4'te karşılaştırılan dönüştürücüler için birçok parametrenin doluluk oranına göre değişim grafikleri Şekil 30'da gösterilmiştir. Şekil 30 (a)'da anahtar başına düşen gerilim kazancının doluluk oranına göre değişimi gösterilmiştir. Grafikten görülebileceği gibi, bu tezde sunulan yeni dönüştürücünün gerilim kazancı diğer dönüştürücülerle karşılaştırıldığında bütün doluluk oranı değerlerinde en yüksek değeri sağlamaktadır. I, VI, VII ve IX numaralı dönüştürücülerde iki anahtarla elde edilen gerilim kazancından daha fazlası tasarlanan yeni dönüştürücüde tek bir anahtarla elde edilebilmektedir. Böylece daha az eleman ile daha yüksek gerilim kazancı sağlanma başarı gösterilmektedir. Bu durum aynı gerilim kazancını elde etmenin hem daha düşük maliyetli hem de daha az kayıplı ve yüksek verimli bir yoldur.

Diyot, endüktans ve kondansatör sayısı başına düşen gerilim kazançları sırasıyla Şekil 30 (b) - 30 (d)'de sunulmaktadır. Diyot başına düşen gerilim kazancı grafiğinden görülebileceği gibi yeni dönüştürücü orta düzeyde bir kazanç sağlasa da, genel kazanç grafiği, gerilim stresi ve

dönüştürücünün anahtar sayısı ile birlikte değerlendirildiğinde ortalama olarak daha iyi sonuçlar vermektedir. Endüktans ve kondansatör başına düşen gerilim kazancı grafiklerinden, sunulan dönüştürücünün genel olarak yüksek bir gerilim kazancı sağladığı görülmektedir.



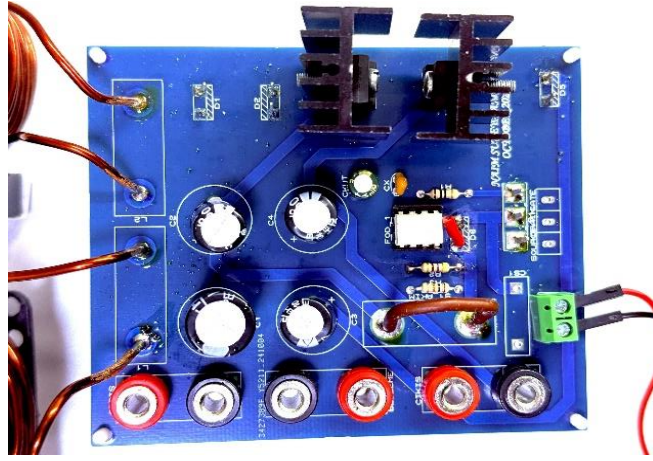
Şekil 30. (a) Anahtar Sayısı Başına Düşen Gerilim Kazancının, (b) Diyot Sayısı Başına Düşen Gerilim Kazancının, (c) Endüktans Sayısı Başına Düşen Gerilim Kazancının, (d) Kondansatör Sayısı Başına Düşen Gerilim Kazancının, (e) Normalize Edilmiş Anahtar Gerilim Stresinin, (f) Normalize Edilmiş Diyot Gerilim Stresinin Doluluk Oranına Göre Değişim Grafikleri.

Şekil 30 (e), normalize edilmiş (birim çıkış gerilimine göre) anahtar gerilimi stres değişim grafiğini göstermektedir. Yeni dönüştürücüde, anahtar üzerindeki normalize edilmiş gerilim stres değeri 0,5'tir; yani, anahtar üzerine düşen gerilim stresi çıkış geriliminin yarısıdır. Bu değer doluluk oranından bağımsızdır. Sunulan yeni dönüştürücünün en önemli özelliklerinden biri, doluluk oranından bağımsız olarak anahtar gerilimi stresinin çıkış geriliminin yarısı olmasıdır. Tabloda karşılaştırılan dönüştürücüler arasında yalnızca V numaralı dönüştürücü aynı özelliğe sahiptir, ancak bu dönüştürücünün de tezde sunulan yeni dönüştürücüye göre dezavantajı giriş akımının kesintili olmasıdır. Öte yandan, IX numaralı dönüştürücü, $D < 0,5$ için daha düşük bir gerilim stresi avantajı sunarken, $D > 0,5$ için gerilim stresi değere tezde sunulan yeni dönüştürücüye göre dezavantajlı hale gelmektedir.

Şekil 30 (f), normalize edilmiş diyot gerilim stres değişim grafiğini göstermektedir. Yeni dönüştürücüde, çıkış diyotundaki normalize gerilim stres değeri 0,5'tir ve bu değer tüm doluluk oranı değerleri boyunca değişmez. Sunulan dönüştürücünün bir diğer önemli özelliği, doluluk oranından bağımsız olarak maksimum diyot gerilim stresinin çıkış geriliminin yarısı olmasıdır. Tabloda karşılaştırılan dönüştürücüler arasında, yalnızca V numaralı dönüştürücü, Şekil 30 (f)'de gösterildiği gibi daha düşük bir gerilim stresi avantajı sunar, ancak bu dönüştürücünün dezavantajı giriş akımının kesintili olmasıdır. Sonuç olarak, tüm bu parametreler dikkate alındığında bu tezde sunulan yeni karesel DC-DC dönüştürücü, tabloda karşılaştırılan tüm dönüştürücülerden ortalama olarak daha üstün bir performans sağlamaktadır.

4.4.3. Yeni karesel DC-DC dönüştürücünün deneysel uygulaması

Tezde sunulan yeni dönüştürücünün 20 kHz anahtarlama frekansı ve 100 W çıkış gücünde deneysel olarak bir prototipi yapılmış ve deneysel sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 31 'de deneysel prototipe ait fotoğraf gösterilmiştir. Deneysel uygulamada kullanılan elemanların değerleri ve devre parametreleri Tablo 5'te listelenmiştir. Dönüştürücü, 0,5'lik bir doluluk oranında çalıştırılmış ve çıkışta giriş geriliminin 8 katı değerinde bir çıkış gerilimi elde edilmiştir.

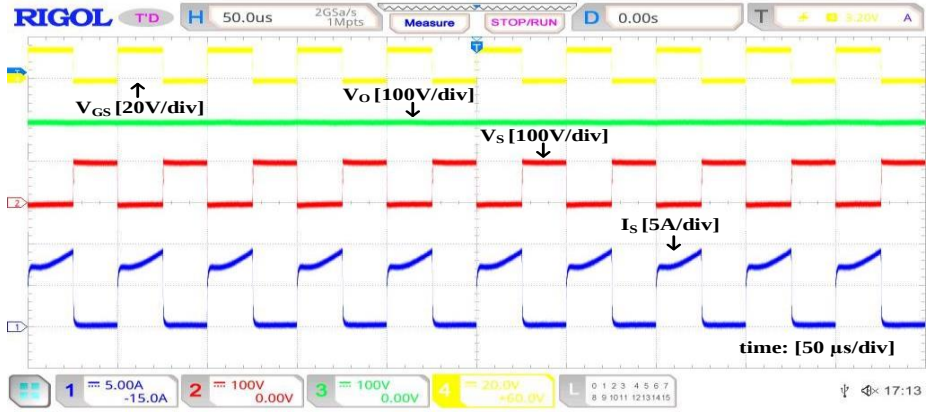


Şekil 31. Yeni Karesel DC-DC Dönüştürücünün Prototip Devre Fotoğrafı

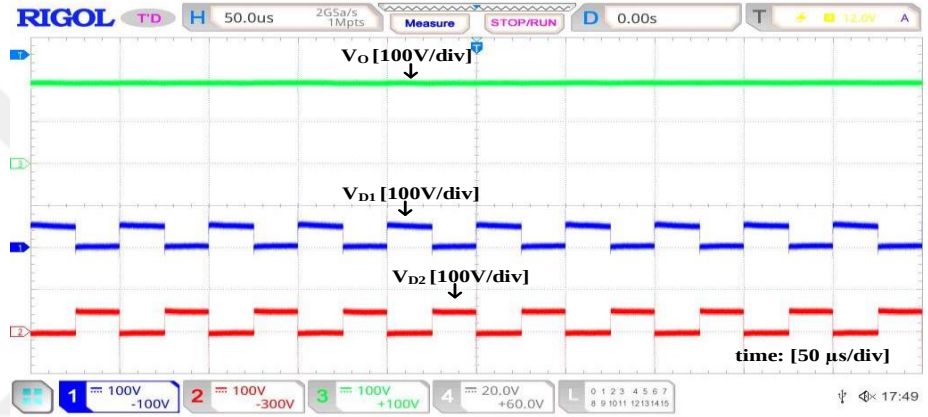
Tablo 5. Yeni Karesel DC-DC Dönüştürücünün Deneysel Devre Parametreleri

Parametre	Sembol	Değer
Giriş Gerilimi	V_i	25 V
Çıkış Gerilimi	V_o	200 V
Kazanç	G	8
Anahtarlama Frekansı	f	20 kHz
Çıkış Gücü	P_o	100 W
Endüktanslar	L_1, L_2	1.5 mH, 6 mH
Yük Direnci	R_L	400 Ω
Kondansatörler	C_1, C_2, C_3, C_4	33 μ F, 16 μ F, 16 μ F, 16 μ F

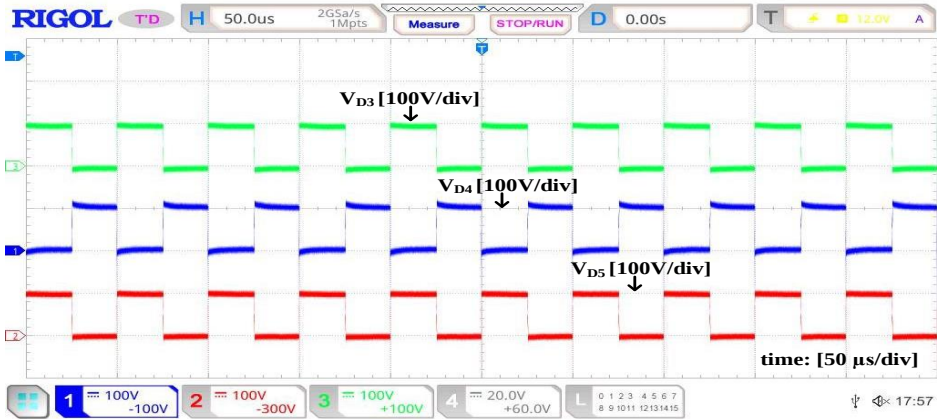
Şekil 32, güç anahtarının gerilim ve akım dalga formları ile kontrol sinyali ve çıkış gerilimi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekilden görüldüğü gibi anahtar üzerindeki gerilim çıkış geriliminin yarısına eşittir. Dönüştürücünün yüksek bir çıkış gerilimi elde etmesinin yanı sıra, anahtar geriliminin çıkış geriliminin yarısına eşit olması, KKYD ve literatürdeki birçok dönüştürücünün aksine hem kayıplar hem de maliyet açısından bir avantaj sağlamaktadır.



Şekil 32. Güç Anahtarının Kontrol Sinyali, Gerilimi ve Akımı ile Çıkış Geriliminin Deneysel Sonuçları



(a)



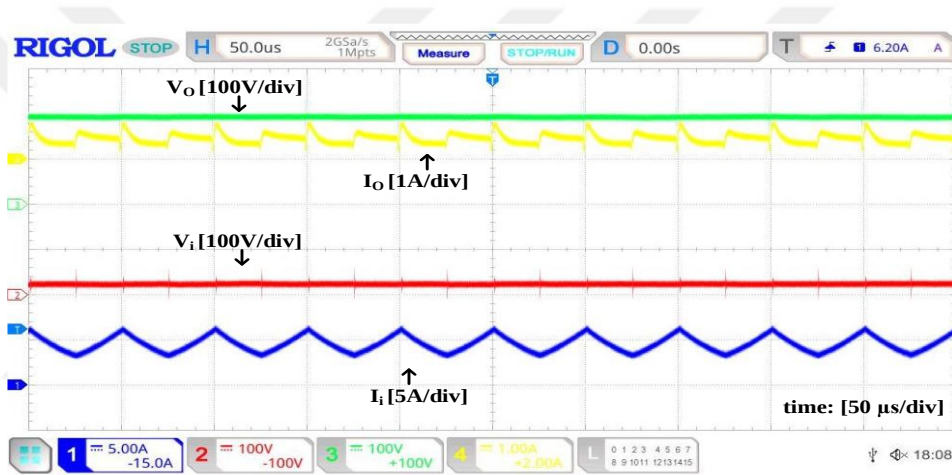
(b)

Şekil 33. (a) Çıkış Gerilimi ve D₁, D₂ Diyotlarının Gerilimlerinin, (b) D₃, D₄ ve D₅ Diyotlarının Gerilimlerinin Deneysel Sonuçları

Şekil 33’de dönüştürücüdeki diyotların gerilimleri ve çıkış gerilimine ait deneysel sonuçlar verilmiştir. D₃, D₄ ve D₅ diyotlarının gerilimleri çıkış geriliminin yarısına eşitken D₁ ve D₂

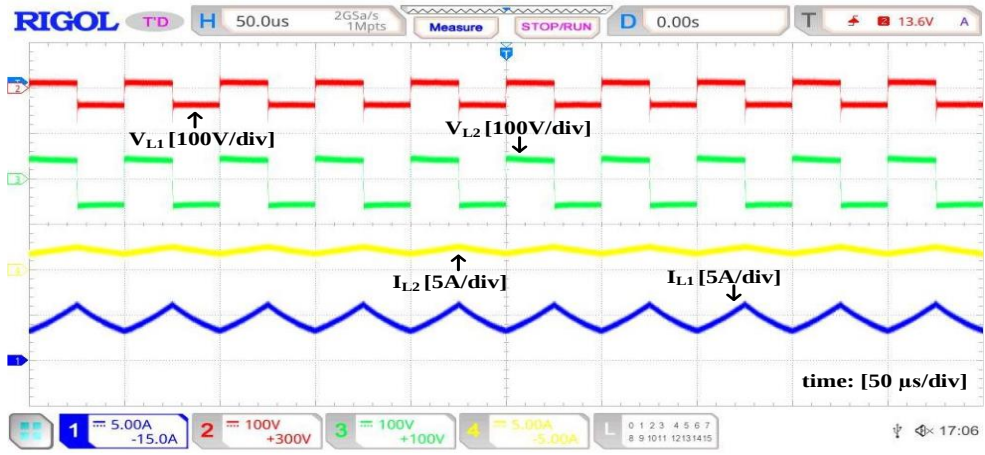
diyotlarının gerilimleri bu değerdan daha düşüktür. Gerilim seviyelerindeki bu önemli düşüş, tasarımın etkinliğini vurgulamakla kalmayıp aynı zamanda önemli bir maliyet avantajı da sağlamaktadır. Diyotlar arasındaki düşük gerilim seviyeleri dönüştürücünün genel maliyetini en aza indirmede önemli bir rol oynayarak dönüştürücünün ekonomik uygulanabilirliğini artırmaktadır.

Şekil 34’te çıkış ve giriş gerilimleri ile akımlarına ait deneysel sonuçları göstermektedir. Bu dalga formları incelenen dönüştürücünün dinamik davranışına dair fikirler sunmaktadır. Şekilde görüldüğü gibi giriş akımı sürekli olup çıkışta regüleli bir DC gerilim elde edilebilmektedir. 25 V’luk bir giriş gerilimine karşın 200 V’luk bir çıkış gerilimi elde edilmekte ve yüksek bir kazanç sağlanmaktadır.



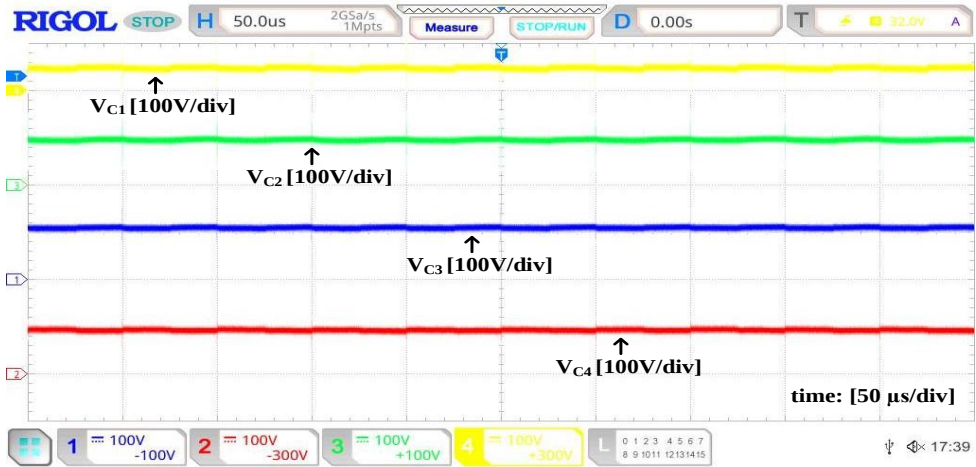
Şekil 34. Çıkış ve Giriş Gerilimleri ile Akımlarının Deneysel Sonuçları

Şekil 35’te L_1 ve L_2 endüktanslarının gerilim ve akımlarına ait deneysel sonuçlar verilmiştir. Endüktansların dönüştürücünün anahtarlama dinamiklerine benzersiz bir şekilde tepki verdiği, böylece enerji akışını modüle ettiği ve genel sistem verimliliğine katkıda bulunduğu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 35. Endüktansların Gerilim ve Akımlarının Deneysel Sonuçları

Şekil 36’da dönüştürücüdeki kondansatör gerilimlerine ait deneysel dalga formları gösterilmiştir. Sunulan dönüştürücüde kullanılan kondansatörler düşük gerilim seviyelerinde çalışarak, düşük maliyet ve artan güç yoğunluğu gibi iki avantaja sahiptir. C_2 , C_3 ve C_4 kondansatörlerinin gerilimleri çıkış geriliminin yarısına eşitken, C_1 kondansatörünün gerilimi bu değerden daha da düşüktür. KKYD’ye göre daha düşük gerilim değerlerine sahip olan kondansatörler kullanılarak sunulan dönüştürücü, maliyet etkinliği ve güç verimliliği arasında hassas bir denge kurmaktadır. Bu stratejik tasarım tercihi, onu klasik dönüştürücülerden ayırarak, maliyet ve güç yoğunluğunun kritik öneme sahip olduğu çeşitli uygulamalar için cazip bir çözüm haline getirmektedir.



Şekil 36. C_1 , C_2 , C_3 ve C_4 Kondansatörlerinin Gerilimlerinin Deneysel Sonuçları

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Yenilenebilir enerji sistemleri, yakıt hücreleri ve güneş panelleri gibi kaynaklar ve piller gibi diğer doğru akım kaynakları, şebekeye bağlı inverterlerin ihtiyaç duydukları nominal gerilim değerlerine göre genellikle düşük çıkış gerilim seviyelerine sahiptirler. Elektrikli araçlar, yenilenebilir enerji sistemlerinin şebekeye entegrasyonu ve taşınabilir elektronik cihazlar gibi alanlardaki uygulamalar son yıllarda yüksek gerilim kazançlı DC-DC dönüştürücülerine olan ihtiyacı arttırmıştır. Bu tezde güneş panelleri, yakıt hücreleri ve elektrikli araç şarj istasyonları gibi yenilenebilir enerji sektöründe yaygın olarak kullanılan DC-DC yükseltici türü dönüştürücülere alternatif olarak yeni bir yüksek kazançlı karesel DC-DC dönüştürücünün tasarımı, temel teorik analizleri ve simülasyonu yapılmıştır. Daha sonra dönüştürücünün deneysel prototipi yapılmış ve simülasyon sonuçları doğrulanmıştır. Sunulan dönüştürücünün yüksek kazanç sağlamasının yanı sıra; dönüştürücünün tek anahtara sahip olması, güç elemanlarının maruz kaldığı gerilim stresinin çıkış geriliminin yarısı kadar olması ve az eleman sayısı ile birlikte transformatör gibi karmaşık tasarıma sahip olan elemanları bulundurmaması yeni dönüştürücünün en temel özelliklerindendir. Böylece literatüre PV uygulamalar, elektrikli araç şarj istasyonları vb. alanlarda kullanımı mümkün olabilecek yeni bir yüksek gerilim kazançlı karesel DC-DC dönüştürücü topolojisi kazandırılmıştır.

Sunulan yeni topolojinin ilk olarak simülasyonu yapılmış ve simülasyon sonuçlarının teorik analiz ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Bu tez çalışması ile dönüştürücünün deneysel bir prototipi gerçekleştirilmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Klasik DC-DC yükseltici, sarmaşık yükseltici, kaskat ve karesel yükseltici dönüştürücülerden daha fazla bir çıkış gerilim kazancı (%50 doluluk oranında giriş geriliminin 8 katı kadar çıkış gerilimi) elde edilmiştir.
- Düşük giriş gerilimlerinden yüksek çıkış gerilimlerine etkin ve verimli bir dönüşüm sağlanmıştır.
- Literatürde yer alan bazı yüksek kazançlı dönüştürücüler ile mukayese edilerek daha az sayıda eleman ile yüksek gerilim kazancı sağlanmıştır.
- Başta güç anahtarı olmak üzere dönüştürücüde yer alan devre elemanlarının maruz kaldığı gerilim stresleri klasik topoloji yapılarına ve literatürde yer alan bazı dönüştürücülere göre yarıya indirilmiştir.

Tez çalışmasında ön tasarımı, teorik analizi, simülasyonu ve deneysel uygulaması yapılan yeni yüksek kazançlı tek anahtarlı karesel DC-DC dönüştürücünün klasik bir karesel ve klasik yükseltici DC-DC dönüştürücülerden beklenen özelliklerin hepsini sağladığı, bunun yanı sıra bu dönüştürücülere göre ve literatürde yer alan birçok diğer yüksek kazançlı DC-DC dönüştürücüye göre de üstünlük sağladığı görülmüştür. Sonuç olarak, yenilenebilir enerji sektöründe yaygın olarak kullanılan klasik DC-DC yükseltici türü dönüştürücülerden daha avantajlı bir devre tasarımı ile enerjinin kalite ve veriminin yükseltilmesi, devre maliyetinin azaltılması konularının hem akademik hem de endüstriyel olarak çok önemli ve güncel olması nedeniyle, bu tez çalışmasında sunulan yeni dönüştürücü ile birlikte bilim ve teknolojiye önemli bir katkı sağlanmıştır.



KAYNAKÇA

- Ahmad, J., Pervez, I., Sarwar, A., Tariq, M., Fahad, M., Chakraborty, R. K., & Ryan, M. J. (2021). Performance Analysis and Hardware-In-the-Loop (HIL) Validation of Single Switch High Voltage Gain DC-DC Converters for MPP Tracking in Solar PV System. *IEEE Access*, 9, 48811-48830.
- Ajami, A., Ardi, H., & Farakhori, A. (2015). A Novel High Step-up DC/DC Converter Based on Integrating Coupled Inductor and Switched-Capacitor Techniques for Renewable Energy Applications. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 30, 4255-4263.
- Allehyani, A., & Alsolami, M. (2022). Two Leg Dual Inductor Hybrid Step-Up DC/DC Power Converter for Renewable Energy Resources. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 17(5), 2857-2865.
- Alzahrani, A., Ferdowsi, M., & Shamsi, P. (2019). High-Voltage-Gain DC–DC Step-Up Converter With Bifold Dickson Voltage Multiplier Cells. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 34, 9732-9742.
- Anuraag, B. V., Mahalakshmi, R., Likhtih, S., Bhargavi, P., & Mohanty, A. (2021). Design and Comparative Study of DC-DC Quadratic Buck-Boost Converter and Cascaded Buck-Boost Converter. *2021 International Conference on Recent Trends on Electronics, Information, Communication & Technology (RTEICT)* (pp. 642-646), IEEE.
- Anusha, D., Youvaraj, S., Youvaraj, G., Bhanarkar, H., Marupatla, B., & Pradabane, S. (2025). A Single Switch Structured Improved Quadratic Boost Converter for Renewable Energy Applications. *2025 International Conference on Power Electronics Converters for Transportation and Energy Applications (PECTEA)*, IEEE.
- Arvani, H., Sajjadi, A., Afjei, E., & Hamzeh, M. (2024). A Modified Quadratic Boost Converter with Continuous Input Current for PV Applications. *The 11th Iranian Conference on Renewable Energy & Distributed Generation (ICREDG2024)*, IEEE.
- Baba, M. F., Giridhar, A. V., Narasimharaju, B. L., & Krishnamoorthy, H. S. (2024). An Ultra High Gain Switched-Capacitor Boost DC-DC Converter with Reduced Ripple Current. *IEEE Latin America Transactions*, 22(11), 920-932.
- Chakraborty, S., & Kumar, A. (2022). A High Step-Up Transformerless DC-DC Quadratic Boost Converter using Voltage-Lift Switched Inductor and Voltage Multiplier. *2022 IEEE IAS Global Conference on Emerging Technologies (GlobConET)* (pp. 170-175), IEEE.

- Chakraborty, S., & Mishra, P. (2024). A Non-Isolated Modified Quadratic DC-DC Boost Converter in a Stacked Configuration with Reduced Switch Voltage Stress. *IEEE International Communications Energy Conference (INTELEC)*, Bengaluru, India, pp. 1-6.
- Chakraborty, S., & Mishra, P. (2024). A Transformerless Quadratic DC-DC Boost Converter Based on Switched-Capacitor Structure with Reduced Switch Voltage Stress. *2024 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*, IEEE.
- Chen, S., Liang, T., Yang, L., & Chen, J. (2011). A Cascaded High Step-Up DC-DC Converter With Single Switch for Microsource Applications. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 26(4), 1146-1153.
- Dehghan, M., Gholizadeh, H., Shahrivar, R. S., Amini, S., & Vahedi, H. (2025). Quadratic Boost DC-DC Converters Capable of Being Extended to Improved Topologies. *IEEE Access*, 13, 129760-129786.
- Ghafour, Z. A., Ajel, A. R., & Yasin, N. M. (2022). A New High Gain Quadratic DC-DC Boost Converter for Photovoltaic Applications. *2022 10th International Conference on Smart Grid (icSmartGrid)* (pp. 137-144), IEEE.
- Gholizadeh, H., Dehghan, M., Shahrivar, R., Samimi, M., & Ghassemi, M. (2024). A Non-Isolated Quadratic DC-DC Converter Improved by Voltage-Lift Technique Suitable for High- Voltage Applications. *IEEE Access*, 12, 158292-158310.
- Gopinathan, S., Rao, V. S., & Sundaramoorthy, K. (2022). Family of Non-Isolated Quadratic High Gain DC-DC Converters Based on Extended Capacitor-Diode Network for Renewable Energy Source Integration. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 10, 6218-6230.
- Gupta, A., Korada, N., & Ayyanar, R. (2023). Quadratic-Extended-Duty-Ratio Boost Converters for Ultra High Gain Application With Low Input Current Ripple and Low Device Stress. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 59(1), 938-948.
- Khan, F., Zaid, M., Tariq, A., & Khan, M. M. A. (2023). A new non-isolated high-gain DC-DC converter for the PV application. *e-Prime Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*. 2, 1-20.
- Khan, S., Zaid, M., KHAN, M. M. A., & Sarwar, A. (2021). A Non-Pulsating Input Current Step-Up DC/DC Converter With Common Ground Structure for Photovoltaic Applications. *IEEE Access*, 9, 159432-159446.

- Kumar, M. A. B., & Krishnasamy, V. (2022). Quadratic Boost Converter With Less Input Current Ripple and Rear-End Capacitor Voltage Stress for Renewable Energy Applications. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 10(2), 2265-2275.
- Kumar, M., Panda, G., & Rao K, D. V. S. K. (2022). Analysis of Conventional and Interleaved Boost Converter with Solar Photovoltaic System. *2022 International Conference on Intelligent Controller and Computing for Smart Power (ICICCSP)*, IEEE.
- Laha, A. (2020). A High Voltage Gain Quadratic Boost Converter using a Voltage Doubler and Voltage-Lift Technique. *2020 IEEE International Conference on Power Electronics, Smart Grid and Renewable Energy (PESGRE2020)* (pp. 1-6), IEEE.
- Lakshmi, M., & Hemamalini, S. (2018). Nonisolated High Gain DC–DC Converter for DC Microgrids. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65(2), 1205-1212.
- Leyva-Ramos, J., Mota-Varona, R., Ortiz-Lopez, M. G., Diaz-Saldierna, L. H., & Langerica-Cordoba, D. (2017). Control Strategy of a Quadratic Boost Converter With Voltage Multiplier Cell for High-Voltage Gain. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 5(4), 1761-1770.
- Lin, C., Khan, M. S., Ahmad, J., Liu, H., & Hsiao, T. (2024). Design and Analysis of Novel High-Gain Boost Converter for Renewable Energy Systems (RES). *IEEE Access*, 12, 24262-24273.
- Liu, H., Jana, A., & Lin, C. (2024). An Improved High Gain Continuous Input Current Quadratic Boost Converter for Next–Generation Sustainable Energy Application. *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, 71(5), 2839-2843.
- Mahdizadeh, S., Sharivar, R., Gholizadeh, H., & Afjei, E. (2021). A Transformer less Quadratic Boost DC-DC Converter with Continuous Input Current and a Few Number of Components, Based on Classical Boost and Cuk Converter Suitable for Renewable Applications. *29th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)* (pp. 252-257), IEEE.
- Maheshwari, M., & Arounassalame, M. (2019). A Novel Integrated High Gain DC-DC Converter. *Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT)*, Coimbatore, India (pp. 1-6), IEEE.
- Mandal, S., Prajof, P., & Adib, M. (2024). A Non-isolated Step-up DC-DC Converter based on Modified Quadratic Boost and Cuk Converter. *2024 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*, IEEE.

- Mizani, A., Shoushtari, M., & Shoulaie, A. (2020). A Novel Quadratic High Step-up DC-DC converter. *2020 11th Power Electronics, Drive Systems and Technologies Conference (PEDSTC)* (pp. 368-373). Tehran, Iran. IEEE.
- Mohamed, H. E., & Fardoun, A. A. (2016). High Gain DC-DC Converter for PV Applications. *2016 IEEE 59th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)*, IEEE.
- Murad, Z., Anzi, F., & Ben-Brahim, L. (2022). A Comparative Study of High-gain Cascaded DC-DC Converter Topologies. *2022 3rd International Conference on Smart Grid and Renewable Energy (SGRE)*, IEEE.
- Naik, M. D., Vinatha, U., Naik, M. V., & Bonthagorla, P. K. (2025). Investigation and Performance Evaluation of Novel Single-Switch High-Gain DC–DC Converters for DC Microgrid Applications. *IEEE Access*, 13, 103798-103808.
- Naresh, S. V. K., Shareef, H., Kumar, B., & Peddapati, S. (2025). Family of Capacitor–Diode Network Extended High Gain Quadratic Boost Converters for Microgrid Applications. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 40(1), 1418-1430.
- Pandey, A., & Pattnaik, S. (2023). Ultra Gain Modified Quadratic DC-DC Converter with Single Switch and Common Ground Structure. *2023 Third International Conference on Advances in Electrical, Computing, Communication and Sustainable Technologies (ICAECT)*, IEEE.
- Pires, V. F., Cordeiro, A., Foito, D., & Silva, J. F. (2019). High Step-Up DC–DC Converter for Fuel Cell Vehicles Based on Merged Quadratic Boost–Cuk. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68(8), 7521-7530.
- Pop-Calimanuu, I., Jurca, L., Lascu, D., & Pop-Calimanu, M. (2021). A Novel Quadratic Step-Up DC-DC Converter. *19th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC)* (pp. 23-30), IEEE.
- Porselvi, T., & Arounassalame, M. (2018). A Novel Single Switch High Gain dc-dc Converter. *8th IEEE India International Conference on Power Electronics (IICPE)* (pp. 1-6), IEEE.
- Rajesh, R., Prabakaran, N., & Santhosh, T. K. (2023). Design and Analysis of a Non-Isolated DC-DC Converter With a High-Voltage Conversion Ratio. *IEEE Transactions on Circuits and systems*, 70(6), 2036-2041.
- Rao, V. S., Bhaskar, M. S., Elmorshedy, M. F., & Almakhlles, D. (2025). Wide Voltage Gain Range Enhanced Cubic Boost Converter With Reduced Components Voltage Stress. *IEEE Access*, 13, 8032-8041.

- Rao, V. S., & Sundaramoorthy K. (2023). Performance Analysis of Voltage Multiplier Coupled Cascaded Boost Converter With Solar PV Integration for DC Microgrid Application. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 59(1), 1013-1023.
- Qin, L., Zhou, L., Hassan, W., Soon, J., Tian, M., & Shen, J. (2021). A Family of Transformer-Less Single-Switch Dual-Inductor High Voltage Gain Boost Converters With Reduced Voltage and Current Stresses. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 36(5), 5674-5685.
- Sadaf, S., Al-Emadi, N., Maroti, P. K., & Iqbal, A. (2021). A New High Gain Active Switched Network-Based Boost Converter for DC Microgrid Application. *IEEE Access*, 9, 68253-68265.
- Shahanasmol, H., Sreeja, C., & Shinosh, M. (2020). Two Switch Non-Isolated Quadratic Gain DC-DC Converters. *Proceedings of the Third International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT 2020)* (pp. 424-429), IEEE.
- Stephen, A., Remya, K. P., & Gomathy S. (2022). Review on Non-isolated High Gain DC-DC Converters. *2022 Third International Conference on Intelligent Computing Instrumentation and Control Technologies (ICICICT)* (pp. 200-205), IEEE.
- Subhani, N., May, Z., Alam, K., Khan, I., Hossain, A., & Mamun, S. (2023). An Improved Non-Isolated Quadratic DC–DC Boost Converter With Ultra High Gain Ability. *IEEE Access*, 11, 11350-11363.
- Tadvi, T., Odedra, D., Panda, K., & Mishra, P. (2024). Quadratic Boost DC-DC Converter with High Step-Up Ability for Solar PV Application. *2024 International Conference on Smart Systems for applications in Electrical Sciences (ICSSES)*, IEEE.
- Ting, N. S., Sahin, Y., & Aksoy I. (2017). Analysis, Design, and Implementation of a Zero-Voltage-Transition Interleaved Boost Converter. *Journal of Power Electronics*, 17, 41-55.
- Veerabhadra, J., & Rao, S. N. (2024). Comparative assessment of high gain boost converters for renewable energy sources and electrical vehicle applications. *Energy Harvesting and Systems*, 11, 1-17.
- Vighetti, S., Ferrieux, J., & Lembeye, Y. (2012). Optimization and Design of a Cascaded DC/DC Converter Devoted to Grid-Connected Photovoltaic Systems. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 27(4), 2018-2027.
- Wang, P., Zhou, L., Zhang, Y., Li, J., & Sumner, M. (2017). Input-Parallel Output-Series DC-DC Boost Converter with A Wide Input Voltage Range, For Fuel Cell Vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 66(9), 7771-7781.

- Wu, X., Yang, M., Zhou, M., Zhang, Y., & Fu, J. (2020). A Novel High-Gain DC-DC Converter Applied in Fuel Cell Vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69(11), 12763-12774.
- Yang, L. S., Liang, T. J., & Chen J. F. (2009). Transformerless DC–DC Converters With High Step-Up Voltage Gain. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56(8), 3144-3152.
- Yang, J., Li, R., Ma, K. & Xu, J. (2023). A Distributed Multimode Control Strategy for the Cascaded DC–DC Converter Applied to MVAC Grid-Tied PV System. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 70(3), 2617-2627.
- Ye, Y., & Cheng, K. W. E. (2013). Quadratic Boost Converter with Low Buffer Capacitor Stress. *IET Power Electronics*, 7(5), 1162-1170.
- Yu, J., Liu, M., Song, D., Yang, J., & Su, M. (2019). A Soft-Switching Control for Cascaded Buck-Boost Converters Without Zero-Crossing Detection. *IEEE Access*, 7, 32522-32536.
- Zhang, Y., Zhou, L., Sumner, M., & Wang, P. (2018). Single-Switch, Wide Voltage-Gain Range, Boost DC-DC Converter For Fuel Cell Vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67(1), 134-145.
- Zhu, Y., & Ohyama, K. (2025). An Improved Quadratic Boost Converter With Lower Input Current Ripple and Reduced Power Components for Fuel Cell Systems. *IEEE Access*, 13, 138733-138744.