

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ BİR
YUMUŞAK ANAHTARLAMALI DA-DA YÜKSELTİCİ
DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN SİMÜLASYONU VE UYGULAMA
DEVRESİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

SEZEN UYGUR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK MAKİNALARI VE GÜÇ ELEKTRONİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. A. HÜLYA OBDAN

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ BİR
YUMUŞAK ANAHTARLAMALI DA-DA YÜKSELTİCİ
DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN SİMÜLASYONU VE UYGULAMA
DEVRESİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Sezen UYGUR tarafından hazırlanan tez çalışması 21.10.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. A. Hülya OBDAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. A. Hülya OBDAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. A. İsmail AKSOY
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. A. Zehra YUMURTACI
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimimin tez kısmını teşkil eden bu çalışmada, bir Yumuşak Anahtarlama DA-DA Yükseltici Dönüştürücü devresini inceledim. Hazırladığım tezin daha sonra bu konuda yapılacak çalışmalar için iyi bir referans olmasını umarım.

Çalışmalarım sırasında büyük bir anlayış ve sabır gösteren, beni yönlendiren ve destekleyen tez danışmanım ve değerli hocam Yrd. Doç. Dr. A. Hülya OBDAN'a, göstermiş oldukları iyi niyetlerinden ve ilgilerinden dolayı Prof. Dr. Hacı BODUR başta olmak üzere Güç Elektroniği Laboratuvarı'nda bulunan tüm hocalarıma ve araştırma görevlilerine, tez çalışmamda yoğun çalışma temposuna rağmen büyük bir fedakarlık göstererek bana yardımcı olan Araştırma Görevlisi Gürcan YANIK'a en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca, bu uzun çalışma boyunca beni her zaman maddi ve manevi olarak destekleyen aileme de şükranlarımı sunuyorum.

Ağustos, 2011

Sezen UYGUR

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	Vi
KISALTMA LİSTESİ	Vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	Viii
ÇİZELGE LİSTESİ	X
ÖZET	Xi
ABSTRACT.....	Xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	3
1.3 Bulgular	3
BÖLÜM 2	
GELENEKSEL SERT ANAHTARLAMALI YÜKSELTİCİ DÖNÜŞTÜRÜCÜ	4
2.1 Geleneksel Sert Anahtarlama Yükseltici Dönüştürücünün Çalışma Prensibi	4
2.2 Geleneksel Yükseltici Dönüştürücüde Karşılaşılan Problemler	8
BÖLÜM 3	
YUMUŞAK ANAHTARLAMA TEKNİKLERİ	12
3.1 Yumuşak Anahtarlama ve Bastırma Hücresi Kavramı	12
3.2 Yumuşak Anahtarlama Teknikleri.....	14
3.2.1 Sıfır Akımda Anahtarlama (ZCS).....	15
3.2.2 Sıfır Gerilimde Anahtarlama (ZVS)	16
3.2.3 Sıfır Akımda Geçiş (ZCT).....	16
3.2.4 Sıfır Gerilimde Geçiş (ZVT)	16

BÖLÜM 4

YUMUŞAK ANAHTARLAMALI DA-DA YÜKSELTİCİ DÖNÜŞTÜRÜCÜ ÖRNEKLERİ.....	18
4.1 Geleneksel ZVT-PWM Yükseltici Dönüştürücü.....	18
4.2 Geliştirilmiş Bir ZVT-PWM Yükseltici Dönüştürücü.....	19
4.2.1 Çalışma Aralıkları	20
4.3 Bir Fotovoltaik Güç Sistemi için Yumuşak Anahtarlamaalı Yükseltici Dönüştürücü.....	23
4.3.1 Çalışma Aralıkları	23
4.4 Bir Hibrit veya Yakıt Hücreli Elektrikli Araç İçin Yeni Bir ZVZCT Kırıyıcı Devresi	27
4.4.1 Çalışma Aralıkları	28

BÖLÜM 5

BİR PV SİSTEM İÇİN BASİT BİR YARDIMCI REZONANS DEVRELİ (SARC) YUMUŞAK ANAHTARLAMALI YÜKSELTİCİ DÖNÜŞTÜRÜCÜ	31
5.1 Güneş Hücresinin ve Modülünün Karakteristikleri	31
5.2 Basit Bir Yardımcı Rezonans Devreli Yumuşak Anahtarlamaalı Yükseltici Dönüştürücü.....	34
5.2.1 Çalışma Aralıkları	35
5.3 Rezonanslı Yardımcı Devrenin Rezonans Kapasitesi ve Endüktansının Tasarım Prosedürü	40
5.3.1 Anahtarın ZVS Durumu	40
5.3.2 Rezonans Endüktansı.....	42
5.3.3 Rezonans Kapasitesi	42
5.4 Simülasyon.....	43
5.4.1 Geleneksel Sert Anahtarlamaalı Yükseltici Dönüştürücü Simülasyonu .	43
5.4.2 Yumuşak Anahtarlamaalı Yükseltici Dönüştürücü Simülasyonu	45
5.5 Uygulama.....	50
5.5.1 Geleneksel Sert Anahtarlamaalı Yükseltici Dönüştürücü Uygulaması...	50
5.5.2 Yumuşak Anahtarlamaalı Yükseltici Dönüştürücü Uygulaması.....	54
5.5.3 Uygulama Sonuçları	58
5.6 Verim	62

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	69

SİMGE LİSTESİ

C_o	Çıkış kapasitesi
D_o	Çıkış diyodu
D_1	Birinci serbest dolaşım diyodu
D_2	İkinci serbest dolaşım diyodu
f_s	Anahtarlama frekansı
I_d	Çıkış diyodu akımı
I_L	Ana endüktans akımı
I_{Lr}	Rezonans endüktansı akımı
I_{S1}	Ana anahtar akımı
I_{S2}	Yardımcı anahtar akımı
I_{rr}	Ters toparlanma akımı
P_o	Çıkış gücü
P_{omax}	Maksimum çıkış gücü
R_s	Güneş hücresinin seri iç direnci
R_{sh}	Güneş hücresinin diyodunun şönt direnci
S_1	Ana anahtar
S_2	Yardımcı anahtar
V_o	Çıkış gerilimi
V_{Cr}	Rezonans kapasitesi gerilimi
V_{in}	Giriş gerilimi
V_{S1}	Ana anahtar gerilimi
V_{S2}	Yardımcı anahtar gerilimi
Z_r	Rezonans empedansı

KISALTMA LİSTESİ

DA	Doğru Akım
EMI	Electro Magnetic Interference (Elektro Manyetik Girişim)
HS	Hard Switching (Sert Anahtarlama)
KGK	Kesintisiz Güç Kaynakları
MGTS	Maksimum Güç Takip Sistemi
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (Metal Oksit Yarı İletken Alan Etkili Transistör)
PV	Photovoltaic (Fotovoltaik)
PWM	Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
RFI	Radio-frequency Interference (Radyo Frekans Girişimi)
SARC	Simple Auxillary Resonance Circuit (Basit Bir Yardımcı Rezonans Devresi)
SS	Soft Switching (Yumuşak Anahtarlama)
ZCS	Zero Current Switching (Sıfır Akımda Anahtarlama)
ZCT	Zero Current Transition (Sıfır Akımda Geçiş)
ZVS	Zero Voltage Switching (Sıfır Gerilimde Anahtarlama)
ZVT	Zero Voltage Transition (Sıfır Gerilimde Geçiş)
ZVZCT	Zero Voltage Zero Current Transition (Sıfır Gerilim ve Sıfır Akımda Geçiş)

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Geleneksel sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün devre şeması [14] .	4
Şekil 2.2	Geleneksel sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün temel dalga şekilleri [14]	5
Şekil 2.3	Kesintisiz iletim modunda çalışmakta olan bir yükseltici dönüştürücüye ait endüktans akımı, diyot akımı ve anahtar akımı	6
Şekil 2.4	Geleneksel yükseltici dönüştürücünün kesintili iletim moduna ait dalga şekilleri.....	7
Şekil 2.5	Geleneksel sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün diyodu D'nin I_{rr} akımı	9
Şekil 2.6	Geleneksel sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün anahtarı S'in kesime girmesi esnasındaki parazitik salınımlar.....	10
Şekil 3.1	(a) Bir anahtarlama elemanının kontrol sinyali ile (b) HS (c) ZCS ile ZVS ve (d) ZCT ile ZVT çalışmalarıyla ilgili temel dalga şekilleri [15].....	15
Şekil 4.1	Geleneksel ZVT–PWM yükseltici dönüştürücü	18
Şekil 4.2	Geliştirilmiş ZVT–PWM yükseltici dönüştürücü	19
Şekil 4.3	Geliştirilmiş ZVT–PWM yükseltici dönüştürücünün çalışma aralıkları	21
Şekil 4.4	Geliştirilmiş ZVT–PWM yükseltici dönüştürücünün teorik dalga şekilleri [16].....	22
Şekil 4.5	Bir solar güç sistemi için yeni bir yumuşak anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücü [17]	23
Şekil 4.6	Bir solar güç sistemi için yeni bir yükseltici dönüştürücü devresinin çalışma aralıkları [17]	24
Şekil 4.7	Bir solar güç sistemi için geliştirilmiş yeni bir yumuşak anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücü devresinin dalga şekilleri [17]	26
Şekil 4.8	Yüksek güçlü DA kıyıcı için yeni bir devre tipi [18]	27
Şekil 4.9	Yeni ZVZCT DA kıyıcı devresinin dalga şekilleri [18]	28
Şekil 4.10	Yeni ZVZCT DA kıyıcı devresinin çalışma aralıkları [18]	29
Şekil 5.1	Bir güneş hücresinin eşdeğer devresi [2]	32
Şekil 5.2	Solarsim-10k'nın simule edilmiş I-V karakteristikleri (a) Solarsim-10k PV simülâtörünün I-V eğrileri (çalışma sıcaklığı 25°C'de sabitken değişen aydınlık seviyesinden etkilenir) (b) Solarsim-10k PV simülâtörünün I-V eğrileri (aydınlık seviyesi 0,9kW/m ² 'de sabitken değişen çalışma sıcaklığından etkilenir) [2]	33

Şekil 5.3	Yumuşak anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün devre şeması	34
Şekil 5.4	Sunulan yumuşak anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün çalışma aralıkları [2]	35
Şekil 5.5	Sunulan dönüştürücünün çalışma aralıklarının teorik dalga şekilleri [2]	39
Şekil 5.6	ZVS durumu [2]	41
Şekil 5.7	Geleneksel sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün simülasyon devresi	43
Şekil 5.8	Geleneksel sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün anahtarı S'in iletme ve kesime girme anlarında anahtar akımı I_s ve anahtar gerilimi V_s . 44	
Şekil 5.9	Yardımcı rezonans devreli yumuşak anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün simülasyon devre şeması	45
Şekil 5.10	Kapı sinyalinin ve ana endüktans akımının simüle edilmiş dalga şekilleri .	46
Şekil 5.11	Çıkış diyodunun gerilim ve akımının simüle edilmiş dalga şekilleri	47
Şekil 5.12	Rezonans kapasitesi gerilimi V_{CR} ve rezonans endüktansı akımı I_{LR} 'nin simüle edilmiş dalga şekilleri	47
Şekil 5.13	D_1 diyot gerilimi V_{D1} ve akımı I_{D1} 'in simüle edilmiş dalga şekilleri	48
Şekil 5.14	Ana anahtar gerilimi V_s ve akımı I_{S1} 'in simüle edilmiş dalga şekilleri	49
Şekil 5.15	S anahtarı kesime girerken I_s akımı ve V_s gerilimi (100 V/kare, 2A/kare)	51
Şekil 5.16	Sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün anahtarı S iletme girerken S akımı I_s ve gerilimi V_s (100 V/kare, 5A/kare)	52
Şekil 5.17	Sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün diyonu iletme girerken diyot akımı I_D ve diyot gerilimi V_D (100 V/kare, 5A/kare)	53
Şekil 5.18	Sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün diyonu kesime girerken diyot akımı I_D ve diyot gerilimi V_D (100 V/kare, 5A/kare)	53
Şekil 5.19	Sunulan devrenin deney düzeneği	55
Şekil 5.20	Yumuşak anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücü uygulamasının kontrol devresi	56
Şekil 5.21	Yumuşak anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücü uygulamasının sürme devresi	57
Şekil 5.22	PWM sinyali ve ana anahtar akımının deneysel dalga şekilleri (10V/kare, 2A/kare)	58
Şekil 5.23	D_1 diyonunun akım ve gerilimi (100V/kare, 5A/kare)	59
Şekil 5.24	Çıkış diyonunun akım ve gerilimi (100V/kare, 5A/kare)	59
Şekil 5.25	Rezonans endüktansı akımı I_{Lr} ve rezonans kapasitesi gerilimi V_{Cr} (100V/kare, 2A/kare)	60
Şekil 5.26	Ana anahtar gerilimi V_{S1} ve ana anahtar akımı I_{S1} (100V/kare, 5A/kare) ...	60
Şekil 5.27	S_1 Anahtarının iletme girme anında anahtar akımı I_{S1} ve anahtar gerilimi V_{S1} 'in dalga şekilleri (100V/kare, 5A/kare)	61
Şekil 5.28	S_1 Anahtarının kesime girme anında anahtar akımı I_{S1} ve anahtar gerilimi V_{S1} 'in dalga şekilleri (100V/kare, 5A/kare)	62
Şekil 5.29	Yumuşak anahtarlamaalı ve sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücü için verim eğrileri	64

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1	Geleneksel sert anahtarlamalı dönüştürücünün özellikleri ve uygulama detayları.....	50
Çizelge 5.2	Sunulan dönüştürücünün özellikleri ve uygulama detayları	54
Çizelge 5.3	Yumuşak anahtarlamalı yükseltici dönüştürücü için yük, giriş gücü, giriş akımı, giriş gerilimi, çıkış akımı, çıkış gerilimi, çıkış gücü ve verim.....	63
Çizelge 5.4	Sert anahtarlamalı yükseltici dönüştürücü için yük, giriş gücü giriş akımı, giriş gerilimi, çıkış akımı, çıkış gerilimi, çıkış gücü ve verim.....	63

FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ BİR YUMUŞAK ANAHTARLAMALI DA-DA YÜKSELTİCİ DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN SİMÜLASYONU VE UYGULAMA DEVRESİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Sezen UYGUR

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. A. Hülya OBDAN

Yüksek güç yoğunluğu, hızlı geçiş cevabı ve kontrol kolaylığı nedeniyle, darbe genişlik modülasyonlu (PWM) DA-DA dönüştürücüler, endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Anahtarlama frekansının artırılmasıyla daha yüksek güç yoğunluğu ve daha hızlı geçiş cevabı elde etmek mümkündür. Ancak, anahtarlama frekansı arttıkça, anahtarlama kayıpları ve elektromanyetik girişim (EMI) gürültüsü de artar.

Sert anahtarlamaadaki bu problemlerin çözülmesi ihtiyacıyla “Yumuşak anahtarlama” kavramı ortaya çıkmıştır. Genel olarak yumuşak anahtarlama teknikleri, sıfır akımda anahtarlama (ZCS), sıfır gerilimde anahtarlama (ZVS), sıfır akımda geçiş (ZCT) ve sıfır gerilimde geçiş (ZVT) ile anahtarlama şeklinde sıralanabilir.

Bu tezde genel olarak yumuşak anahtarlama teknikleri incelenmiş ve literatürden örnekler sunulmuştur. Literatürdeki yumuşak anahtarlama örneklerinden biri olan “Bir PV Sistem İçin Basit Bir Yardımcı Rezonans Devreli (SARC) Yumuşak Anahtarlama Yükseltici Dönüştürücü” devresi detaylı olarak incelenerek devrenin simülasyonu sunulmuştur. Simülasyon sonuçları, 70 kHz çalışma frekanslı ve 1000 W çıkış güçlü yüksek çıkışlı bir yükseltici deney düzeneği ile doğrulanmıştır. Ayrıca, aynı çalışma frekansı ve yük koşullarında sert anahtarlama devresi de gerçekleştirilerek devrenin

verimindeki artış gösterilmiştir. Dönüştürücünün veriminin yaklaşık olarak %97,6 değerine ulaştığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yumuşak anahtarlama, sıfır gerilimde anahtarlama, sıfır akımda anahtarlama, sıfır gerilimde geçiş, sıfır akımda geçiş.

ABSTRACT

SIMULATION AND APPLICATION OF A DC–DC SOFT SWITCHING BOOST CONVERTER CIRCUIT FOR PV SYSTEMS

Sezen UYGUR

Department of Electrical Engineering

MSc Thesis

Advisor: Asst. Prof. Dr. A. Hülya OBDAN

Due to their high power density, fast transient response and ease of control; pulse width modulated (PWM) DC–DC converters have been widely used in industry. By increasing switching frequency; higher power density and faster transient response can be achieved but in that case electromagnetic interference (EMI) and radio frequency interference (RFI) noises and switching losses increase as well.

In need of solving these problems of hard switching, the “Soft Switching” concept has been presented. Generally SS techniques can be classified as zero voltage switching (ZVS), zero current switching (ZCS), zero voltage transition (ZVT) and zero current transition (ZCT) techniques.

In this thesis, SS techniques are generally examined and some examples in literature are presented. “Design and Application for PV Generation System Using a Soft-Switching Boost Converter With SARC”, which is one of the literature examples, is analyzed in detail and simulated. The results of the simulation is verified by a prototype of a 70 kHz switching frequency and 1000W output power boost converter. In addition, a HS boost circuit prototype in same switching frequency and same load conditions is implemented to analyze the increase of the proposed circuits efficiency. The overall efficiency of the converter reached a value of % 97,6 at nominal output power.

Keywords: Soft switching, zero voltage switching, zero current switching, zero voltage transition, zero current transition.

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

İnsanoğlunun yaşam standartlarını yükseltme çabası sonucu ortaya çıkan ihtiyaçlar ve buna paralel olarak gelişen endüstrileşme, yük profilinin çeşitlenmesine ve yük seviyesinin artmasına neden olmuştur. Artan bu yük talebi, elektrik enerjisine olan ihtiyacı da artırmıştır. Tarihsel gelişim içerisinde elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak üzere ilk olarak fosil yakıtları kullanan sistemler kullanılmıştır [1]. Fakat artık çevresel problemler ve sınırlı rezervler yüzünden fosil yakıtların tükenmeye başlamasıyla beraber, yenilenebilir enerjinin gelişimi ve bu enerji türüne olan talep artmıştır. Yakıt hücreleri, su, rüzgar ve güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynaklarıdır ve güneş enerjisi bunların en temiz ve sınırsızıdır [2].

Güneş enerjisi çok eski tarihlerden bu yana ısıtma ve sıcak su elde etmek amacıyla birçok uygulamada kullanılmış olmasına rağmen güneş enerjisini direkt elektrik enerjisine dönüştüren sistemler oldukça yenidir. Güneş pilleri adıyla anılan bu dönüştürücü sistemler ilk olarak uzay çalışmaları için geliştirilmiş; daha sonra şebekeden bağımsız, yani, güç üretim merkezine uzak olan deniz fenerleri, orman gözetleme kuleleri, telekomünikasyon istasyonları, dağ evleri gibi yerlerde enerji ihtiyacını karşılamak üzere kullanılmaya başlanmıştır [1].

Güneş pilleri doğru akım üreten yapılar olup pillerin seri veya paralel bağlanması ile verebilecekleri akım-gerilim seviyeleri değiştirilebilir. Bu şekilde birden çok güneş pilinin birbirleriyle seri veya paralel bağlanmasıyla oluşturulmuş tümleşik yapıya güneş paneli denilmektedir. Güneş panellerinden güneş ışınımının olmadığı zaman dilimlerinde enerji elde edilemediğinden ve bu zaman dilimlerinde sistemin enerji devamlılığının sağlanması için gün içerisinde üretilen ihtiyaç fazlası enerjinin

depolanması gerekmektedir. Elektrik enerjisinin depolanmasında yaygın olarak akümülatörler kullanılmaktadır. İhtiyaç fazlası enerjinin depolanması esnasında akümülatör, yük ile çalışırken güneş panelleri yük gerilimlerinde çalışmaya zorlandığından genelde güneş panellerinden maksimum güç aktarımı yapılamamaktadır. Güneş panellerinden maksimum güç aktarımı yapabilmek için ise kontrol edilebilir bir DA-DA dönüştürücü olan maksimum güç takip sistemleri (MGTS) kullanılabilmektedir [3]. Güneş hücreleri; çalışma sıcaklığı, hücrenin yük durumu ve aydınlık seviyesine göre değişen, lineer olmayan V-I ve P-V karakteristiklerine sahiptirler. Bu yüzden bir PV sistemin DA-DA dönüştürücüsü, güneş hücresinin çıkışındaki maksimum güç noktasının değişimini kontrol etmek zorundadır [2].

Yüksek güç yoğunluğu, hızlı geçiş cevabı ve kontrol kolaylığı nedeniyle, darbe genişlik modülasyonlu (PWM) DA-DA dönüştürücüler, endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Daha yüksek güç yoğunluğu ve daha hızlı geçiş cevabı, anahtarlama frekansı artırılarak elde edilebilir. Ancak, anahtarlama frekansı arttıkça, anahtarlama kayıpları ve elektromanyetik girişim (EMI) gürültüsü de artar. Bu nedenle, bastırma hücreleri denilen devreler vasıtasıyla anahtarlama kayıpları azaltılarak, anahtarlama frekansı yükseltilebilir [4]. Kutuplu-kutupsuz, rezonanslı-rezonanssız ve aktif-pasif hücreler gibi, literatürde sunulan çok sayıda bastırma hücresi vardır [5].

Temel olarak anahtarlama kayıpları, anahtarlama esnasındaki akım ve gerilimin üst üste binme enerji kaybı, diyodun ters toparlanma enerji kaybı ile parazitik kondansatörün deşarj enerji kaybından oluşur. Genel olarak SS (yumuşak anahtarlama) teknikleri, sıfır akımda anahtarlama (ZCS), sıfır gerilimde anahtarlama (ZVS), sıfır akımda geçiş (ZCT) ve sıfır gerilimde geçiş (ZVT) şeklinde sıralanabilir [6], [7].

Komütasyonların sıfır gerilimde anahtarlama (ZVS) veya sıfır akımda anahtarlama (ZCS) ile gerçekleştirilmesi sayesinde, rezonanslı dönüştürücülerde anahtarlama kayıpları önemli ölçüde azalır. Fakat, bu tür dönüştürücülerde, aşırı gerilim ve akım stresleri oluşur, normal PWM dönüştürücülere göre güç yoğunluğu daha düşük ve kontrolü daha zordur [7], [8], [9], [10], [11], [12].

Son yıllarda, rezonanslı ve normal PWM tekniklerinin istenen özelliklerini birleştirmek için, normal PWM dönüştürücülere rezonanslı aktif bastırıcılar eklenerek, çok sayıda sıfır gerilim geçişli (ZVT) ve sıfır akım geçişli (ZCT) PWM dönüştürücü sunulmuştur [4], [13], [8], [10]. Bu dönüştürücülerde, iletme ve kesime girme işlemleri, bir rezonans

tarafından sağlanan çok kısa bir ZVT veya ZCT süresinde ZVS ve/veya ZCS altında gerçekleşir. Böylece, rezonanslar çok kısa zaman aralıklarında oluştuğu için, dönüştürücü zamanın çoğunda normal bir PWM dönüştürücü olarak davranır. Ancak, bastırma elemanlarının çalışma özellikleri sebebiyle, PWM çalışmanın iletim ve kesim durumları bir minimum süreye sahiptir [4], [13], [11].

1.2 Tezin Amacı

Bu tezde, bir fotovoltaik sistemdeki enerji dönüşümünün verimini arttırmak için literatürde sunulmuş olan [2]; bir yardımcı anahtar, iki diyot, bir rezonans endüktansı ve bir rezonans kapasitesinden oluşan bir yardımcı rezonans devresine sahip bir yumuşak anahtarlama yükseltici dönüştürücü incelenmiştir. Geleneksel yükseltici dönüştürücünün verimi, anahtarlar iletime ve kesime girerken kayıplara sebep olan sert anahtarlama sebebiyle düşüktür. Sunulan devrede ise tüm anahtarların, iletime girerken rezonans endüktansı sayesinde sıfır akımda ve kesime girerken rezonans kapasitesi sayesinde sıfır gerilimde anahtarlama hedeflenmiştir. Bu tezin amacı, sunulan bu yeni anahtarlama düzeninin incelenerek anahtarlama elemanı üzerindeki akım ve gerilim streslerinin ve anahtarlama kayıplarının azaltıldığının simülasyon ve uygulama ile doğrulanarak sunulan devrenin avantaj ve dezavantajlarını belirlemektir.

Tezde ayrıca geleneksel HS DA-DA yükseltici dönüştürücü incelenmiş, dezavantajları belirtilmiş ve sunulan devre ile karşılaştırılması amacıyla uygulaması gerçekleştirilerek verim ölçümü yapılmıştır. Bununla beraber, yumuşak anahtarlama teknikleri de ayrıntılı olarak açıklanmış ve sunulan devre ile karşılaştırmak amacıyla literatürdeki çeşitli yumuşak anahtarlama DA-DA dönüştürücü topolojileri incelenmiştir.

1.3 Bulgular

Bu tezde incelenen dönüştürücü, güneş hücresinin düşük çıkış gerilimini yük için gerekli gerilime yükseltmektedir. Dönüştürücünün anahtarlama elemanlarının tamamı, içeriğinde bulunan yardımcı rezonans devresi sayesinde, sıfır gerilimde ve akımda anahtarlana baktadır. Bu sayede iletime ve kesime girmede oluşan periyodik kayıplar azaltılmıştır. İncelenen yumuşak anahtarlama yükseltici dönüştürücü 1 kW'lık bir fotovoltaik modül için tasarlanmıştır. İncelenen dönüştürücü PSIM programı ile simüle edilmiştir ve performansı 1 kW'lık ve 70 kHz'lik yükseltici dönüştürücü deney düzeneğiyle doğrulanmıştır.

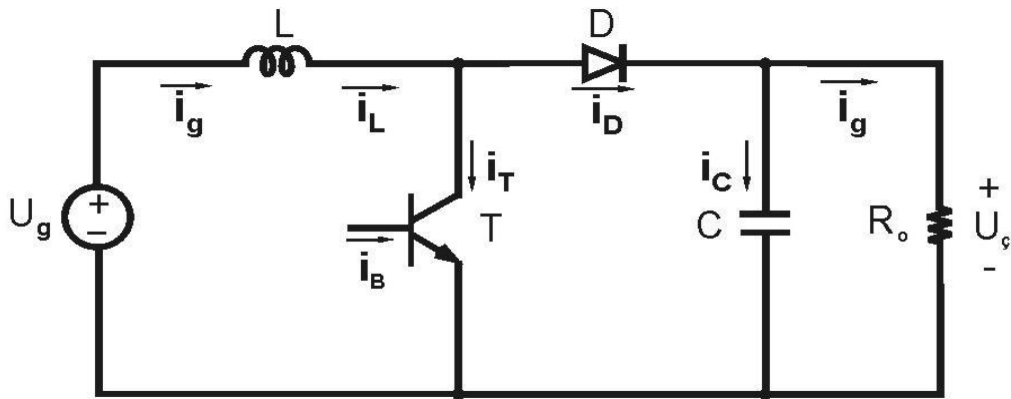
GELENEKSEL SERT ANAHTARLAMALI YÜKSELTİCİ DÖNÜŞTÜRÜCÜ

Geleneksel yükseltici tip DA-DA dönüştürücü, KGK sistemlerinde, güneş pili uygulamalarında ve güç faktörü düzeltme devrelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.1 Geleneksel Sert Anahtarlamalı Yükseltici Dönüştürücünün Çalışma Prensibi

Bu bölümde, geleneksel yükseltici tip dönüştürücünün devre şeması, temel dalga şekilleri ve çalışma prensibi verilmiştir.

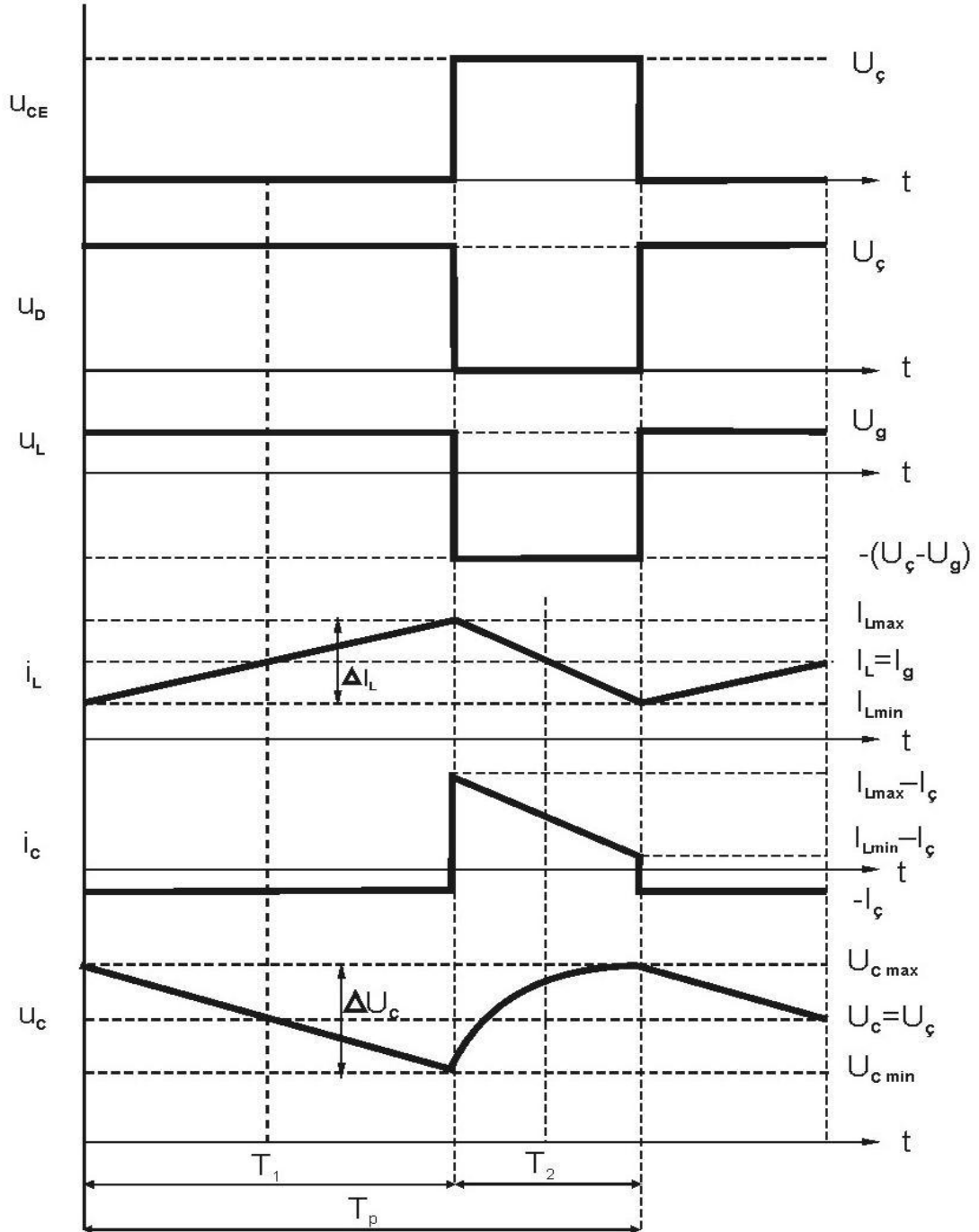
Bu dönüştürücüde temel olarak, güç anahtarı iletimde iken giriş gerilim kaynağı sadece endüktansa ilave bir enerji enjekte eder ve aynı esnada yükü kondansatör besler. Güç diyodu iletimde iken ise, hem giriş gerilim kaynağı çıkışı besler hem de endüktanstaki ilave enerji çıkışa aktarılır [14].



Şekil 2.1 Geleneksel sert anahtarlamalı yükseltici dönüştürücünün devre şeması [14]

Şekil 2.1’de geleneksel sert anahtarlamalı yükseltici dönüştürücünün devre şeması görülmektedir. Kararlı rejimde çalışan bu dönüştürücüde, DC çıkış gerilimi, giriş gerilimi ve belirlenen bir maksimum gerilim arasında kontrol edilir. Güç elemanları

çıkış gerilimine maruz kalır. Endüktans girişi seri bağlı olduğundan, endüktans akımı giriş akımına eşittir ve giriş akımındaki dalgalanma çok düşüktür. Fakat, çıkış akımındaki dalgalanma ve gerekli kondansatör değeri yüksektir. Ayrıca, bu dönüştürücü boşa çalıştırılmaz [14].



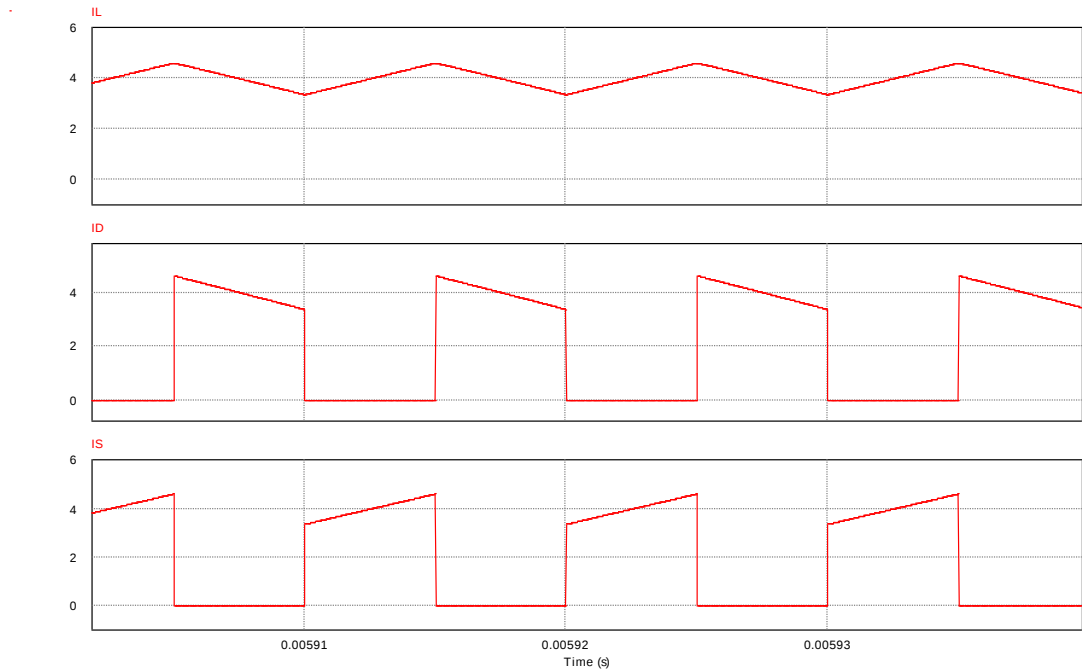
Şekil 2.2 Geleneksel sert anahtarlama yükseltici dönüştürücünün temel dalga şekilleri [14]

Şekil 2.2’de $\Lambda=2/3$ geleneksel sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün temel dalga şekilleri görülmektedir.

Yükseltici dönüştürücü, elemanların iletim durumlarına göre kesintili ve kesintisiz iletim modları adı verilen iki farklı durumda çalışır. Dönüştürücünün şu ana kadar yapılan analizi kesintisiz iletim modu için yapılmıştır.

Kesintisiz iletim modunda, anahtara sinyal verildiği anda diyot üzerinden bir akım geçmektedir. Anahtar iletme girerken diyot da kesime girer ve içinden geçen akım sıfıra düşer. Bir önceki aralıkta diyodun geçirmekte olduğu akım endüktans akımı olduğundan diyodun kesime girmesi ile birlikte endüktans akımı bir anda sıfıra düşmez ve anahtardan geçmeye başlar. Daha sonra anahtarın sinyalinin kesilmesi ile endüktans akımını tekrar diyot iletmeye başlar.

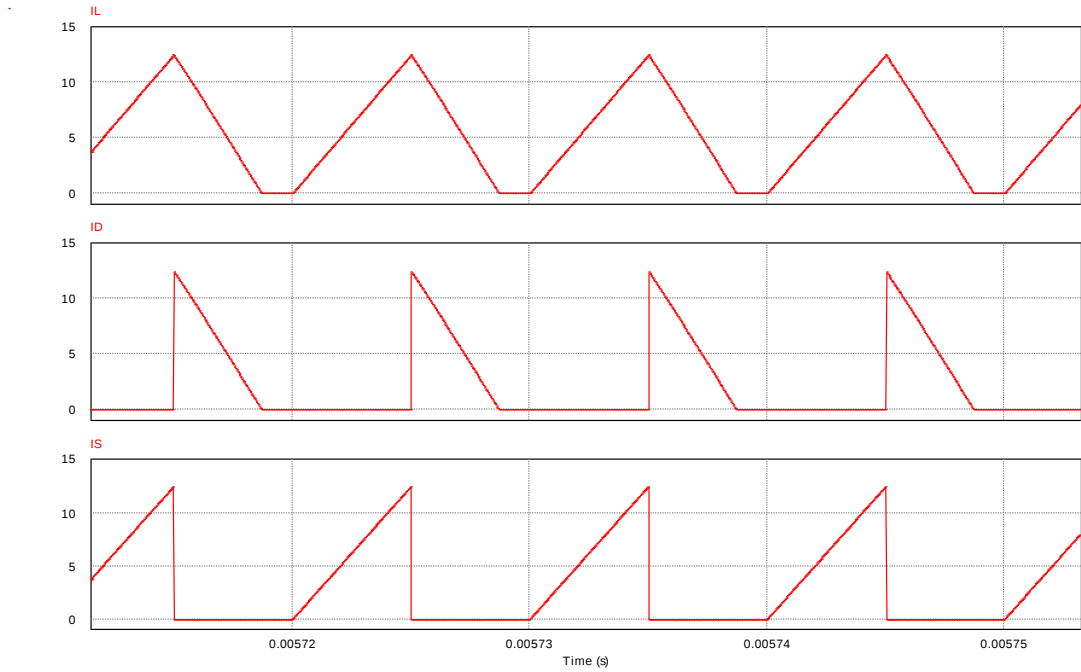
Kesintisiz iletim modunda endüktans akımı hiçbir zaman sıfıra düşmez. Anahtarlamaalı güç kaynaklarının tümünde olduğu gibi yükseltici dönüştürücüde de endüktans akımı; yük, endüktans ve anahtarlama frekansı değerlerine bağlı olarak bir salınım gösterir. Bu salınım yine bu parametrelere göre az ya da çok olabilir.



Şekil 2.3 Kesintisiz iletim modunda çalışmakta olan bir yükseltici dönüştürücüye ait endüktans akımı, diyot akımı ve anahtar akımı

Şekil 2.3’de, kesintisiz iletim modunda çalışmakta olan bir yükseltici dönüştürücüye ait sırasıyla endüktans akımı, diyot akımı ve anahtar akımı gösterilmiştir. Görüldüğü gibi endüktans akımı hiçbir zaman sıfıra düşmemektedir ve anahtar ile diyot akımlarının zaman eksenindeki toplamı endüktans akımını oluşturmaktadır. Kısaca, dönüştürücü çalıştığı sürece endüktansın içerisinde bir akım geçer ve bu akımı ya anahtar ya da diyot taşımaktadır.

Eğer endüktans değeri ya da anahtarlama frekansı biraz küçültülür veya yük akımı biraz artarsa, endüktans akımındaki dalgalanma miktarı artar. Endüktans akımındaki dalgalanma çok artarsa, diyodun iletim aralığında azalmakta olan endüktans akımı sıfıra iner. Böylece anahtar iletime girene kadar endüktanstan bir daha akım geçmemiş olur. Bu şekilde çalışmaya kesintili iletim modu adı verilir.



Şekil 2.4 Geleneksel yükseltici dönüştürücünün kesintili iletim moduna ait dalga şekilleri

Şekil 2.4’te kesintili iletim moduna ait dalga şekilleri görülmektedir. Görüldüğü gibi anahtar iletime girdiği anda endüktans akımı sıfırdan itibaren artmaya başlamaktadır. Anahtarın kesime girmesi ile endüktans akımını diyot devralır ve akım azalmaya başlar. Akım sıfıra indiğinde tekrar anahtara sinyal verilinceye kadar hiçbir elemandan akım geçmez.

Kesintili ve kesintisiz iletim modlarının birbirlerine göre çeşitli avantajları vardır. Kesintili iletim modunda anahtar akımı sıfırdan başlar. Böylece kendiliğinden ZCS (ZCS, bölüm 3.2.1’de detaylı olarak anlatılacaktır) gerçekleşmiş olur. Aynı şekilde diyot da sıfır akım altında kesime girer. Böylece anahtarlama kayıpları oluşmaz. Ancak aynı gücü aktarmak için oluşan endüktans akımının tepe değeri daha yüksek olur. Bu akım anahtar ve diyottan geçtiği için anahtar ve diyodun akım stresleri yükselir, elemanları bu akım değerine göre seçmek gerekir.

Bu iki iletim modu haricinde bir de sınırdaki çalışma modu vardır. Sınırdaki çalışmada endüktans akımı sıfıra indiği anda anahtar tekrar ilettime girer, endüktans akımı tekrar yükselmeye başlar. Sınırdaki çalışmada kesintili modda olduğu gibi anahtarlama kayıpları oluşmaz. Bu özelliğine rağmen tasarım kriterleri daha zordur ve yaygın olarak tercih edilmemektedir.

2.2 Geleneksel Yükseltici Dönüştürücüde Karşılaşılan Problemler

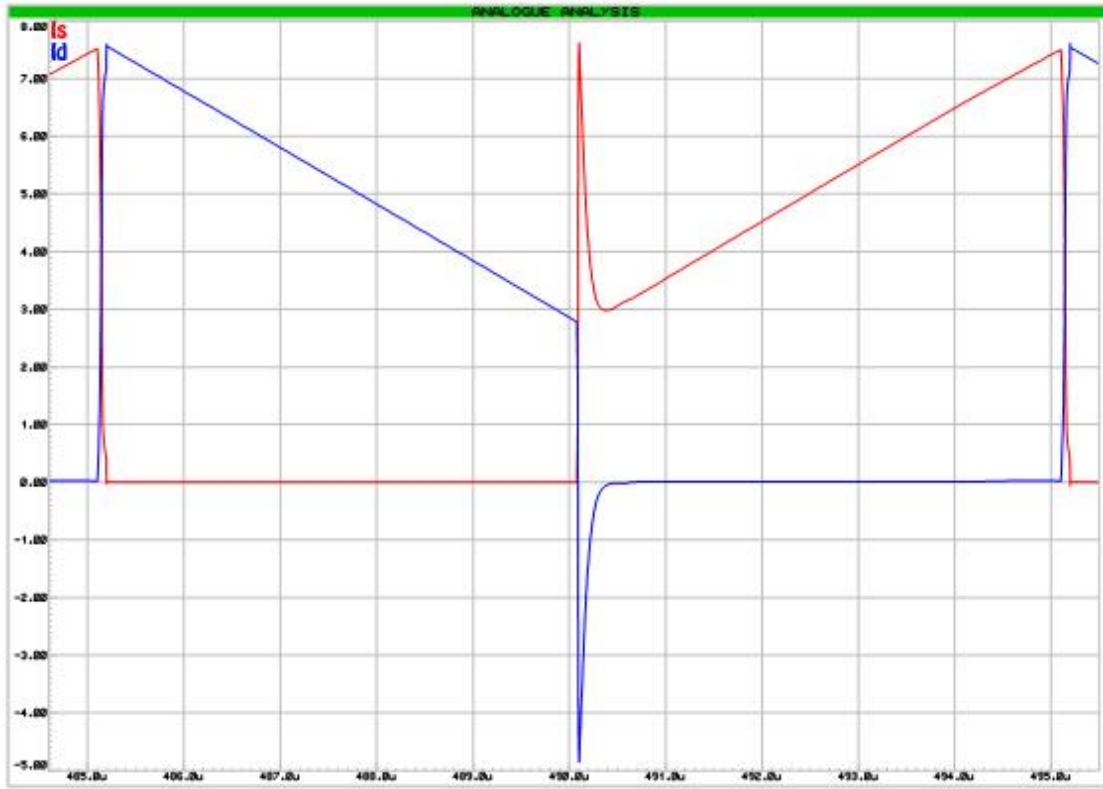
Çok geniş bir güç aralığında yükseltici dönüştürücüler üretilebilir. Güç yükseldikçe, boyutları küçülterek güç yoğunluğunu arttırmak, maliyeti azaltmak gibi amaçlarla dönüştürücünün çalışma frekansı yükseltilmeye çalışılır.

Anahtarlama frekansı yükseldikçe güç yoğunluğu artar ancak anahtarlama kayıpları da yükselerek verimi düşürür. Bu kayıpları engelleyerek daha yüksek frekanslarda çalışabilmek amacıyla yumuşak anahtarlama teknikleri kullanılmaktadır.

Anahtarlama kayıpları haricinde, geleneksel yükseltici dönüştürücünün bir takım kronik problemleri vardır.

Bu problemlerden ilki, kesintisiz modda çalışmada, anahtarın ilettime girmesi esnasında, diyotun kesim karakteristiği itibarıyla oluşturduğu ters toparlanma akımı I_{rr} ’nin, anahtar üzerinde normal anahtar akımına ek olarak bir akım stresi oluşturmasıdır. Şekil 2.5’te bu duruma ait simülasyon sonucu görülmektedir.

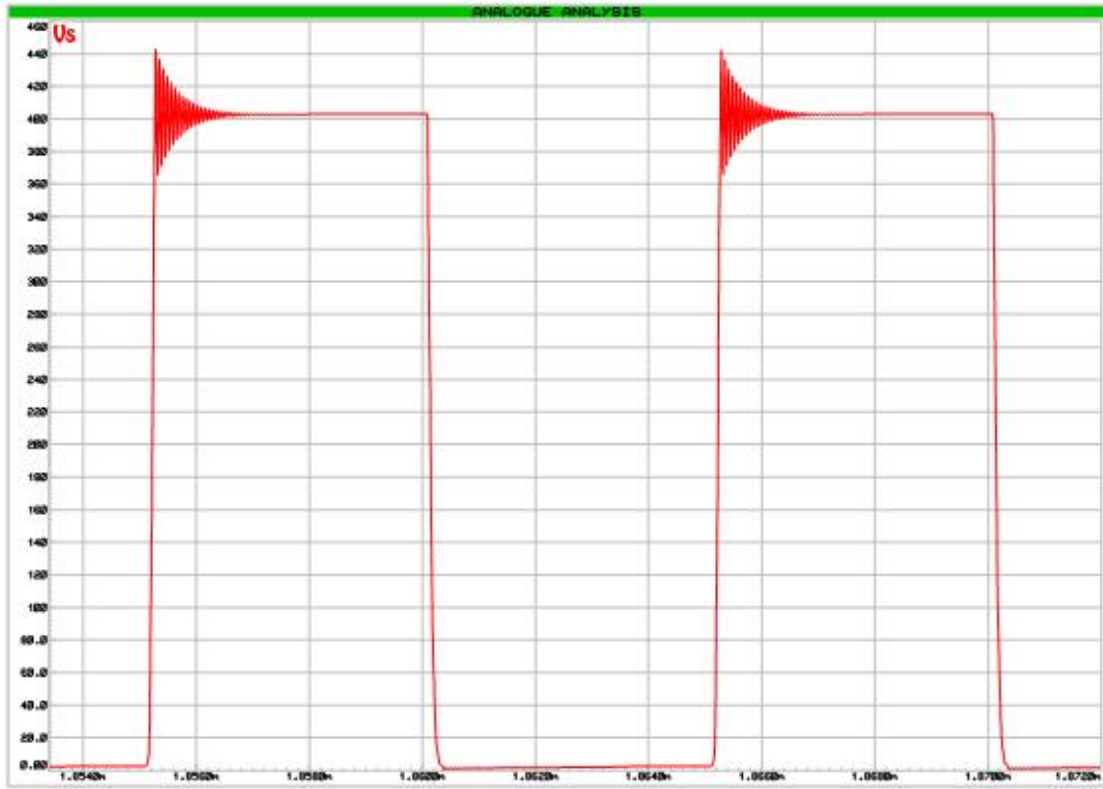
I_{rr} akımının değeri; anahtarlama frekansı, bastırma hücresi, diyodun karakteristiği gibi parametrelere bağlı olarak değişir. Sert anahtarlama bu akımın tepe değeri, diyodun içinden geçen nominal akımın beş-on katına ulaşabilir. Kısa süreli bu akım darbesi, anahtar üzerinde fazladan bir kayba yol açarak verimi düşürür.



Şekil 2.5 Geleneksel sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün diyodu D'nin I_{rr} akımı

I_{rr} akımının tepe değeri, diyodun kesime girmesi esnasında maruz kaldığı di/dt oranına bağlıdır. Yani iletim yönündeki akım ne kadar kısa sürede, ne kadar büyük bir değerden sıfıra inerse, tepe değeri o kadar büyük bir ters akım geçecektir. Güç yoğunluğunun artırılması, endüktans ve kapasite gibi pasif elemanların maliyetlerinin azalması amacıyla yükseltile anahtarlama frekansı diyodun kesime girme süresini kısaltacaktır. Böylece diyot üzerinde tepe değeri daha yüksek bir ters toparlanma akımına sebep olarak kayıpları artıracaktır.

Devre elemanlarının ve iletim yollarının üzerinde istenmeyen parazitik endüktanslar mevcuttur. Devre ne kadar iyi tasarlanmış olsa da, anahtarlama elemanlarının, bağlantı noktaları ve iletkenlerin sahip olduğu bu endüktif etkinin, anahtarlama frekansının artırılması ile birlikte etkinliği artacaktır. Bu endüktanslar, kesime girme işlemi sırasında içlerinden geçen akımın aniden azalması sebebiyle istenmeyen gerilim pikleri oluşturur. Bu gerilim pikleri fazladan kayıplara sebep oldukları gibi, iyi tasarlanmamış bir devrede aşırı değerler alarak elemanların tahrip olmalarına da sebep olabilir. Şekil 2.6'da anahtarın kesime girmesi esnasında bu endüktansların oluşturduğu parazitik salınımlar görülmektedir. Çok yüksek frekanslı bu salınımlara çınlama ismi verilir.



Şekil 2.6 Geleneksel sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün anahtarı S'in kesime girmesi esnasındaki parazitik salınımlar

Bu salınımları söndürmek ve kesim esnasında anahtar üzerinde oluşabilecek fazladan gerilimin önüne geçmek amacıyla anahtara paralel bir kondansatör bağlanabilir. Ancak bu bastırma kapasitesi, iletim anında anahtar üzerinden aniden deşarj olarak anahtarın ilk andaki akımına ek bir stres oluşturur. Bastırma amacıyla fazladan bir kondansatör bağlanmasa bile, yüksek frekansta çalışmaya daha elverişli olan MOSFET'in kaçak kapasite değeri oldukça fazladır. Bu kondansatör tek başına bile iletme girme esnasında fazladan kayıplara sebep olur.

Yukarıda açıklanan bütün bu istenmeyen durumların sebep olduğu bir olumsuzluk daha vardır. Anahtarlama frekansının yükselmesi ile birlikte devredeki akım ve gerilimlerin komütasyon esnasındaki değişim hızları artar ve sertleşir. Bu sert değişimler ve yukarıda açıklanan salınımlar, istenmeyen manyetik gürültülere sebep olurlar. Elektromanyetik girişim (Electromagnetic interference, EMI) ismi verilen bu gürültüler, elektronik cihazların çalışmalarında bozulmalara yol açarlar. Bu durum istenmeyen bir durumdur ve uluslararası standartlarla cihazların sebep olabilecekleri EMI miktarı sınırlandırılır. Geleneksel dönüştürücünün, yüksek frekanslarda yol açacağı bu manyetik gürültüleri sert anahtarlama durumunda engellemenin bir yolu yoktur.

Yukarıda sayılan bütün olumsuz durumları gidermek amacıyla yumuşak anahtarlama teknikleri geliştirilmiştir. Yumuşak anahtarlama teknikleri hem anahtarlama kayıplarını azaltarak verimi yükseltir, böylece daha yüksek frekanslara ve daha yüksek güç yoğunluklarına imkan verir; hem de elektromanyetik gürültülerin oluşmasını azaltır ve hatta yok ederler. Yumuşak anahtarlama teknikleri, Bölüm 3'te detaylı olarak incelenmiştir.

YUMUŞAK ANAHTARLAMA TEKNİKLERİ

3.1 Yumuşak Anahtarlama ve Bastırma Hücresi Kavramı

Anahtarlama, temel olarak bir güç elemanının iletim ve kesime girme işlemidir. Anahtarlama işlemlerinde, güç anahtarının akım ve geriliminin üst üste binmesiyle oluşan anahtarlama kayıplarının yanı sıra, güç diyodunun ters toparlanma kaybı ve güç anahtarının parazitik kondansatörünün deşarj kaybı da oluşmaktadır. Bütün bu anahtarlama kayıpları, anahtarlama frekansı ile doğru orantılıdır. Ek bir düzen kullanılmadan doğal olarak gerçekleşen anahtarlamalara “Sert anahtarlama” (HS) denilmektedir [15].

Sert anahtarlama ile çalışan devrelerde, anahtarlama kayıpları arttıkça, kullanılan güç elemanlarının nominal değerleri ile soğutucu ve soğutma sisteminin boyutları; yani devrenin hacmi artar. Sonuç olarak, devrenin maliyeti artar ve güç yoğunluğu düşer. Bununla beraber, anahtarlama işlemleri sırasında büyük değerli olan akım ve gerilimin yükselme hızları, yüksek değerli elektromanyetik girişim (EMI) ile radyo frekans girişim (RFI) gürültülerine neden olur ve bu gürültüler kontrol ve haberleşme sinyallerini bozar [15].

Sert anahtarlama'daki bu problemlerin çözülmesi ihtiyacıyla “Yumuşak Anahtarlama” (SS) kavramı ortaya çıkmıştır. Yumuşak anahtarlama, temel olarak, anahtarlama kayıpları ile EMI gürültüsünün özel düzenlerle yok edilmesi veya en aza indirilmesi şeklinde tanımlanır. Yayınlarda stres azaltma, bastırma, yük hattını şekillendirme gibi terimlerle de ifade edilen yumuşak anahtarlama; anahtarlama esnasında elemanın maruz kaldığı akım ve gerilim değerleri ile akım ve gerilim yükselme hızlarının bastırılması, akım ve gerilim değişimlerinin şekillendirilmesi, anahtarlama kayıpları ile EMI

gürültüsünün azaltılması ve anahtarlama enerjisinin yüke veya kaynağa transfer edilmesi fonksiyonlarını kapsar.

Yumuşak anahtarlama amacıyla geliştirilen ve dönüştürücülerin temel bir parçası olmayan ilave düzen ve devrelere ise bastırma hücreleri denilmektedir. Bastırma hücreleri, klasik ve modern olarak iki gruba ayrılır. Bu hücreler arasındaki temel fark, modern hücrelerin bir kısmı rezonansa sahip olmalarıdır. Bu rezonans, sadece anahtarlama işlemleri sırasında etkili olan geçici, periyodun tümüne yayılmayan ve yük akımından bağımsız bir rezonanstır. Kısmi rezonans, temel olarak, bastırma işleminin kısa süreli ve mükemmel olması ile bastırma enerjisinin geri kazanılmasını sağlar [15].

Bastırma hücreleri, dönüştürücünün ana anahtar ve ana diyodu üzerinde ilave akım ve gerilim streslerinin veya ek kayıpların oluşmasına neden olabilir. Bu ek kayıplar yok edilmeli veya en düşük seviyelerde tutulmalıdır. Ayrıca, bu hücrelerin çalışması güç anahtarının iletim ve kesime girme sürelerinin dışına taşabilir. Bu taşmalar minimum seviyelerde kalmalı, böylece bastırma hücresi PWM kontrolüne mani olmamalı ve dönüştürücü, değişken veya hafif yüklerde de çalışabilmelidir. İlave olarak, bastırma hücreleri dönüştürücünün karmaşıklık ve fiyatını artırabilir. Bu artışlar da düşük seviyelerde kalmalıdır [15].

Yumuşak anahtarlama veya bastırma hücrelerinde nihai amacın devrenin güç yoğunluğunun artırılması olduğu daima göz önünde tutulmalıdır. Bir bastırma hücresinin seçilme kararı, bu hücrenin sağladığı bütün yumuşak anahtarlama yararları ile bu hücrenin neden olduğu ek külfetler iyice karşılaştırılarak verilmelidir [15].

Yumuşak anahtarlama istenen fonksiyonlar, genel olarak aşağıda sıralanmıştır. Bu fonksiyonların çoğu birbirine bağlı veya birbirinin tamamlayıcısı niteliğindedir.

- Anahtarlama geçişleri esnasında akım ve gerilimin üst üste binmesini azaltmak.
- Akım ve gerilimin yükselme hızlarını sınırlamak.
- Yük hattı akım ve gerilim değişimlerini düzenlemek.
- Anahtarlama enerji kayıplarını bastırmak.
- EMI ve RFI gürültülerini bastırmak.
- Anahtarlama enerjilerini geri kazanmak.
- Çalışma frekansını yükseltmek.

- Periyodun büyük bir kısmında PWM çalışmayı korumak.
- Hafif yüklerde de yumuşak anahtarlamaı sürdürmek.
- Devrenin boyut ve maliyetini düşürmek.
- Devrenin verim ve güç yoğunluğunu arttırmak [15].

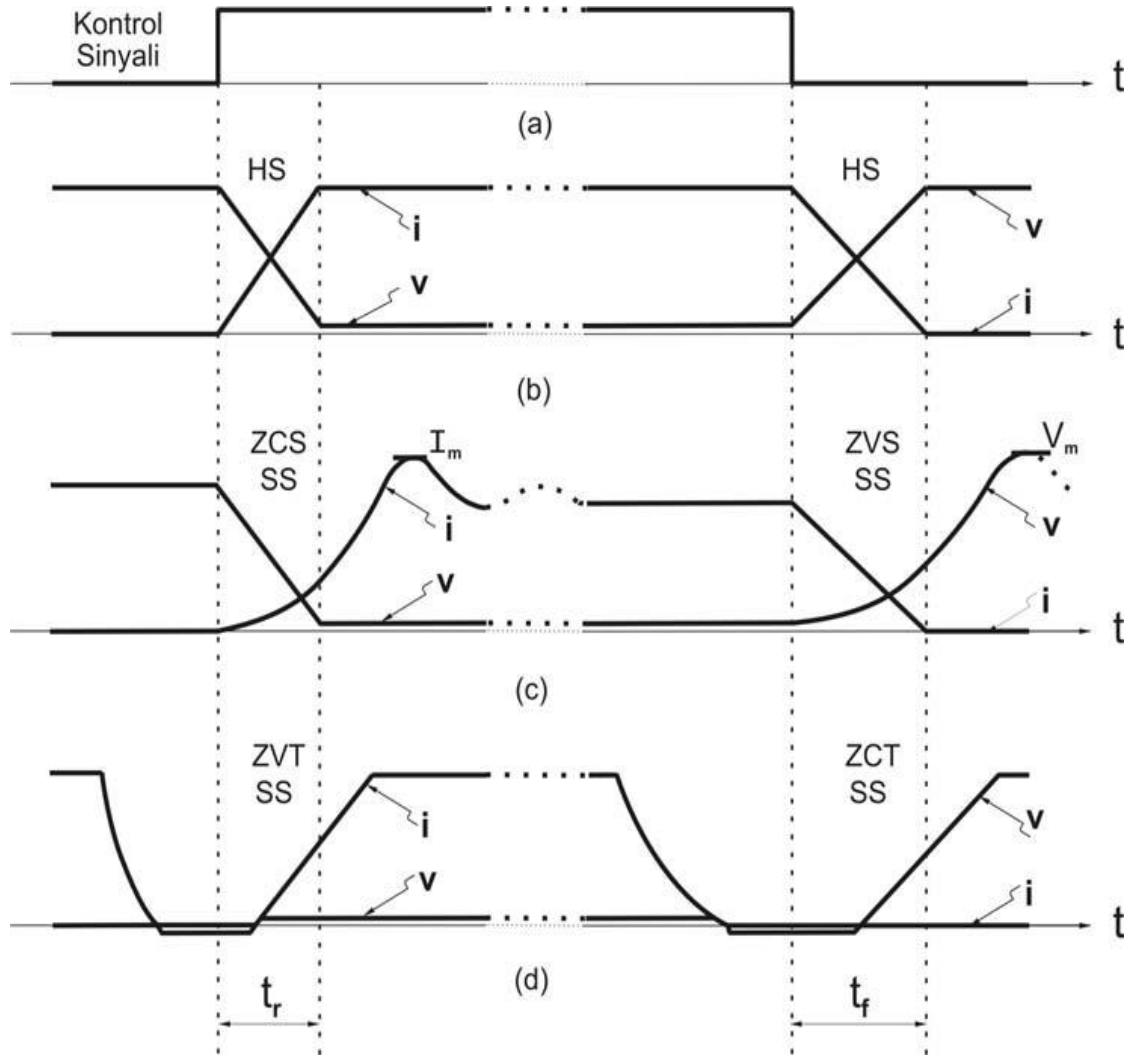
DA-DA dönüştürücülerde, iletim ve kesim durumlarındaki akım ve gerilim değişimlerinde dalgalanmalar olmadığından, sirkülasyon enerjisi veya reaktif enerjinin de olmadığı söylenebilir. Bu durum ise, anahtarlama işlemleri dikkate alınmadığında, bu devredeki güç yoğunluğunun çok yüksek olduğunu gösterir. Ayrıca, anahtarlama frekansı yükseldikçe, endüktans ile kondansatör değerleri orantılı olarak düşer ve güç yoğunluğu daha da artar. Ancak, frekans yükseldiğinde, anahtarlamaadaki enerji kayıpları ve EMI gürültü de artmaktadır. Bu nedenle, endüstride yaygın olarak kullanılan PWM DA-DA dönüştürücülerin gelişimi, anahtarlama problemlerinin çözümüne dayalıdır. Bu yüzden yumuşak anahtarlama teknikleri, anahtarlama kayıplarını düşürerek, çalışma frekansının arttırılmasına olanak sağladığı için PWM DA-DA dönüştürücülerin gelişiminde çok önemli bir role sahiptir ve akademik ve endüstriyel çalışmalarda her geçen gün artan bir şekilde cazibesini sürdürmektedir [15].

3.2 Yumuşak Anahtarlama Teknikleri

Yumuşak anahtarlama teknikleri, genel olarak,

- Sıfır Akımda Anahtarlama (ZCS)
- Sıfır Gerilimde Anahtarlama (ZVS)
- Sıfır Akımda Geçiş (ZCT)
- Sıfır Gerilimde Geçiş (ZVT)

şeklinde dört genel gruba ayrılır. Şekil 3.1’de, bir anahtarlama elemanın kontrol sinyali ile sert anahtarlama (HS) ve yumuşak anahtarlama (SS) teknikleriyle ilgili temel dalga şekilleri görülmektedir. ZCS ile ZVS temel ve ZCT ile ZVT ileri yumuşak anahtarlama teknikleridir [15].



Şekil 3.1 (a) Bir anahtarlama elemanın kontrol sinyali ile (b) HS (c) ZCS ile ZVS ve (d) ZCT ile ZVT çalışmalarıyla ilgili temel dalga şekilleri [15]

3.2.1 Sıfır Akımda Anahtarlama (ZCS)

Sıfır Akımda Anahtarlama (Zero Current Switching, ZCS), iletme girme işleminde gerçekleştirilen bir SS tekniğidir. Bu teknikte, temel olarak güç anahtarına küçük değerli bir endüktans seri bağlanarak, iletme girme işleminde elemandan geçen akımın yükselme hızı sınırlanır. Böylece, akım ile gerilimin üst üste binmesi ve anahtarlama enerji kaybı azaltılır. Aslında, iletme girme işlemindeki anahtarlama enerjisi endüktansa aktarılır. Endüktanstaki bu enerji, klasik hücrelerde bir dirençte harcanır, fakat modern hücrelerde kısa süreli bir kısmi rezonans ile gerilim kaynağı veya yük aktarılarak geri kazanılır [15].

3.2.2 Sıfır Gerilimde Anahtarlama (ZVS)

Sıfır Gerilimde Anahtarlama (Zero Voltage Switching, ZVS), kesime girme işleminde gerçekleştirilen bir SS tekniğidir. Bu teknikte, temel olarak güç anahtarına küçük değerli bir kondansatör paralel bağlanarak, iletimden çıkma işleminde elemanın uçlarında oluşan gerilimin yükselme hızı sınırlanır. Böylece, iletimden çıkma işleminde, anahtarlama enerji kaybı azaltılır ve anahtarlama enerjisi kondansatöre aktarılır. Kondansatördeki bu enerji, modern hücrelerde geri kazanılır [15].

ZCS ve ZVS tekniklerinde anahtarlama enerji kaybı tamamen yok edilememektedir. Bu nedenle, bu tekniklere yaklaşık ZCS ve yaklaşık ZVS teknikleri de denilmektedir. Genel olarak, ZCS’de kullanılan endüktans seri bastırma elemanı, ZVS’de kullanılan kondansatöre ise paralel bastırma elemanı denilir. Normal olarak, seri endüktans güç elemanı üzerinde ilave bir gerilim stresine ve paralel kondansatör ilave bir akım stresine neden olur. Seri endüktansın neden olduğu ek gerilim stresinin önlenemediği kabul edilmektedir [15].

3.2.3 Sıfır Akımda Geçiş (ZCT)

Sıfır Akımda Geçiş (Zero Current Transition, ZCT), kesime girme işleminde gerçekleştirilen ileri bir SS tekniğidir. Bu teknikte, güç anahtarından geçen akım kısa süreli bir kısmi rezonansla sıfıra düşürülür ve akım sıfırda tutulurken kontrol sinyali kesilir. Böylece, akım ile gerilimin üst üste binmesi ve anahtarlama enerji kaybı tamamen yok edilir. Mükemmel bir kesime girme işlemi sağlanır. Burada hem ZCS hem de ZVS’nin sağlandığı söylenebilir. Akımın sıfıra düşmesi ileri alınarak gerçekleştirilen bir SS tekniğidir. Anahtarlama enerjisinin geri kazanıldığı bu teknik, ancak modern hücrelerle sağlanabilir ve bir yardımcı veya ilave yarı iletken anahtar gerektirir [15].

3.2.4 Sıfır Gerilimde Geçiş (ZVT)

Sıfır Gerilimde Geçiş (Zero Voltage Transition, ZVT), iletme girme işleminde uygulanan ileri bir SS tekniğidir. Bu teknikte, güç anahtarı uçlarındaki gerilim kısa süreli bir kısmi rezonansla sıfıra düşürülür ve bu gerilim sıfırda tutulurken kontrol sinyali uygulanır. Böylece, anahtarlama enerji kaybı tamamen yok edilir ve mükemmel bir iletme girme işlemi sağlanır. Gerilimin sıfıra düşmesi ileri alınarak gerçekleştirilen bu teknikte de hem ZVS hem de ZCS’nin sağlandığı söylenebilir. Anahtarlama

enerjisinin geri kazanıldığı bu teknik de modern hücrelerle elde edilir ve ilave bir anahtar gerektirir [15].

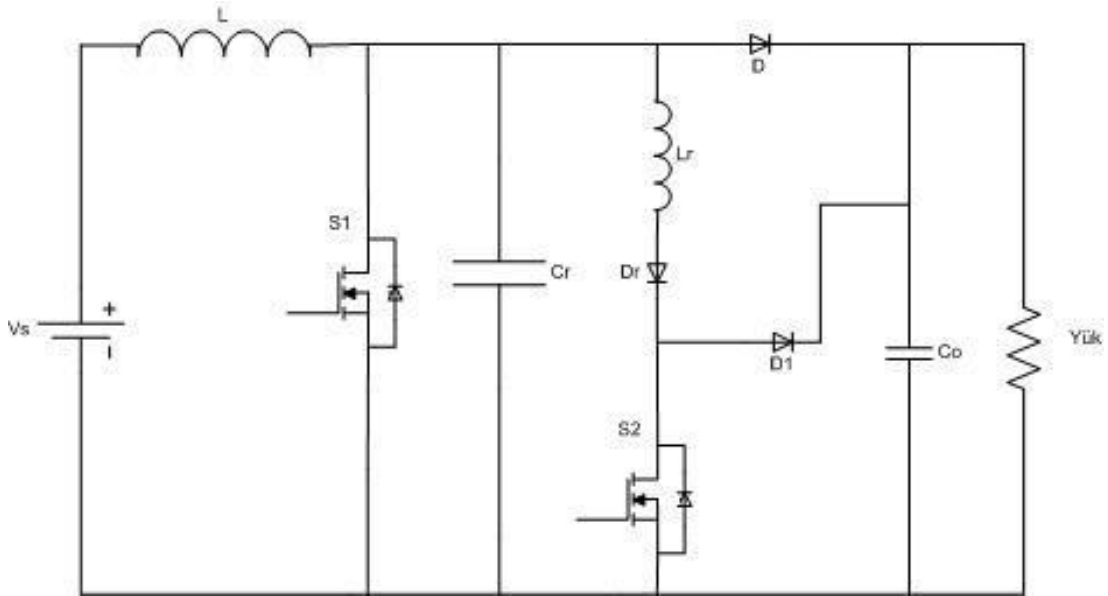
Burada hemen şunun belirtilmesi gerekir ki, sadece bu teknikte güç anahtarının parazitik kondansatörünün deşarj enerji kaybı yok edilir ve bu enerji geri kazanılır. Yüksek değerlerde parazitik kondansatörlere sahip olan MOSFET güç elemanlarında bu SS tekniği büyük önem taşır [15].

YUMUŞAK ANAHTARLAMALI DA-DA YÜKSELTİCİ DÖNÜŞTÜRÜCÜ ÖRNEKLERİ

Bu bölümde, geleneksel ZVT-PWM yükseltici dönüştürücü ve tezde incelenen yumuşak anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücü ile karşılaştırma amacıyla üç farklı tipte yumuşak anahtarlamaalı dönüştürücü incelenmiştir. Dönüştürücülerin teorik dalga şekilleri, çalışma aralıkları, avantaj ve dezavantajları anlatılmıştır.

4.1 Geleneksel ZVT-PWM Yükseltici Dönüştürücü

Şekil 4.1’de geleneksel ZVT-PWM yükseltici dönüştürücü görülmektedir.



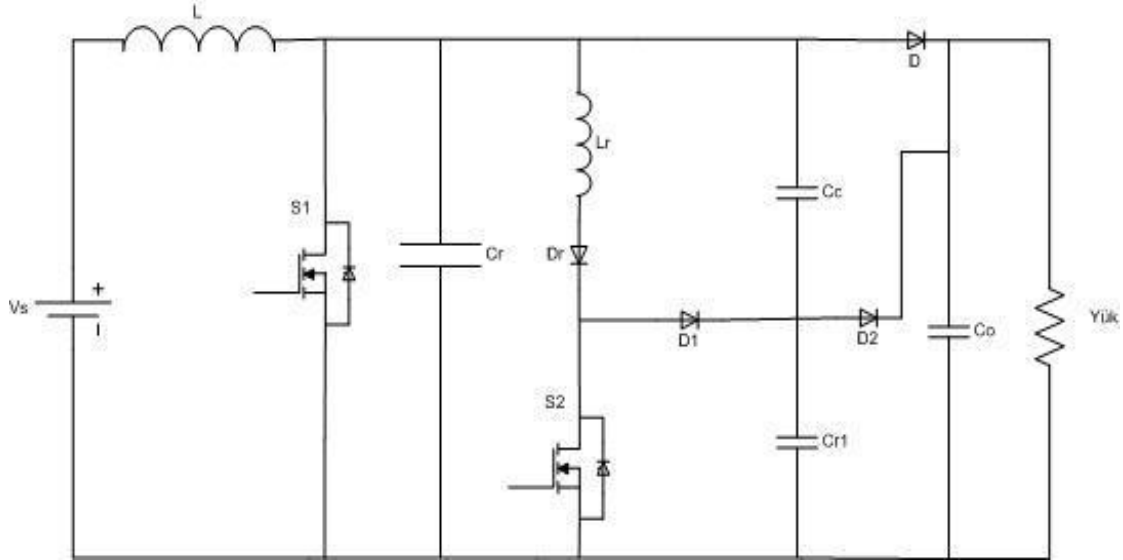
Şekil 4.1 Geleneksel ZVT-PWM yükseltici dönüştürücü

Bu dönüştürücüde, ana anahtar iletme ve kesime girerken ve D diyodu iletme ve kesime girerken daima yumuşak anahtarlamaalı olarak çalışır. Yardımcı anahtar ise yalnızca iletme girerken yumuşak anahtarlanır. Yardımcı anahtarın kesime girmesi

oldukça serttir. Ana anahtar mükemmel bir şekilde iletme girer. Ancak kesime girmesi paralel bir kondansatör vasıtasıyla ZVS ile sağlanır. Kondansatörün değerine bağlı olarak kesime girme işlemi sert gerçekleşebilir.

4.2 Geliştirilmiş Bir ZVT-PWM Yükseltici Dönüştürücü

Bu çalışmada geliştirilmiş bir ZVT-PWM yükseltici dönüştürücü sunulmuştur [16]. Geleneksel ZVT-PWM dönüştürücünün ana anahtarı daima sıfır gerilimde anahtarlanır fakat yardımcı anahtarda sert anahtarlardan dolayı anahtarlama kayıpları oluşur. Geliştirilmiş ZVT-PWM yükseltici dönüştürücüde, ekstra bir yardımcı devre kullanılarak yardımcı anahtarda kesime girme işlemi esnasında oluşan anahtarlama kayıpları azaltılmıştır. Tüm anahtar kayıpları minimize edilerek yüksek güç yoğunluklu bir sistem gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.2 Geliştirilmiş ZVT-PWM yükseltici dönüştürücü

Şekil 4.2’de, geliştirilmiş ZVT-PWM yükseltici dönüştürücü görülmektedir. Bu dönüştürücüde geleneksel ZVT-PWM dönüştürücüye iki kapasite ve bir diyot eklenmiştir. Dönüştürücü PWM ile kontrol edilen sabit bir frekansta çalışmaktadır. Eklenen devre ile, yardımcı anahtar dahil bütün anahtarlar sıfır gerilimde iletme ve sıfır akımda kesime girerler.

4.2.1 Çalışma Aralıkları

Geliştirilmiş ZVT–PWM yükseltici dönüştürücünün çalışma aralıklarının eşdeğer devreleri Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Devrenin temel dalga şekilleri şekil 4.4'te verilmiştir. S_2 anahtarı ilettime girmeden önce, D diyodu üzerinden kararlı haldeki giriş akımı I_s geçer ve bastırma kapasitesi gerilimi V_{cr}, V_o 'ya eşittir. S_2 'nin ilettime girmesiyle aralık 1 başlar.

Aralık 1

Yardımcı anahtar S_2 ilettime girdikten sonra, rezonans endüktansı akımı I_{Lr} lineer olarak artarak I_s değerine yükselir.

Aralık 2

I_{Lr} I_s 'e ulaştığında; I_s, L_r ile $(C_r + C_{r1})$ arasındaki rezonans sebebiyle artmaya devam eder. Rezonans sonunda $(C_r + C_{r1})$ gerilimi sıfıra deşarj olur.

Aralık 3

V_{cr} ve V_{cr1} sıfıra ulaştığında, S_1 'in iç diyodu sıfır gerilimde yumuşak anahtarlama ile ilettime girer.

Aralık 4

Yardımcı anahtar S_2 kesime girdiğinde, C_{r1} ve C_c, I_{Lr} akımıyla lineer olarak şarj olur.

Aralık 5

Devrenin bu aralıktaki çalışması PWM yükseltici dönüştürücü ile aynıdır.

Aralık 6

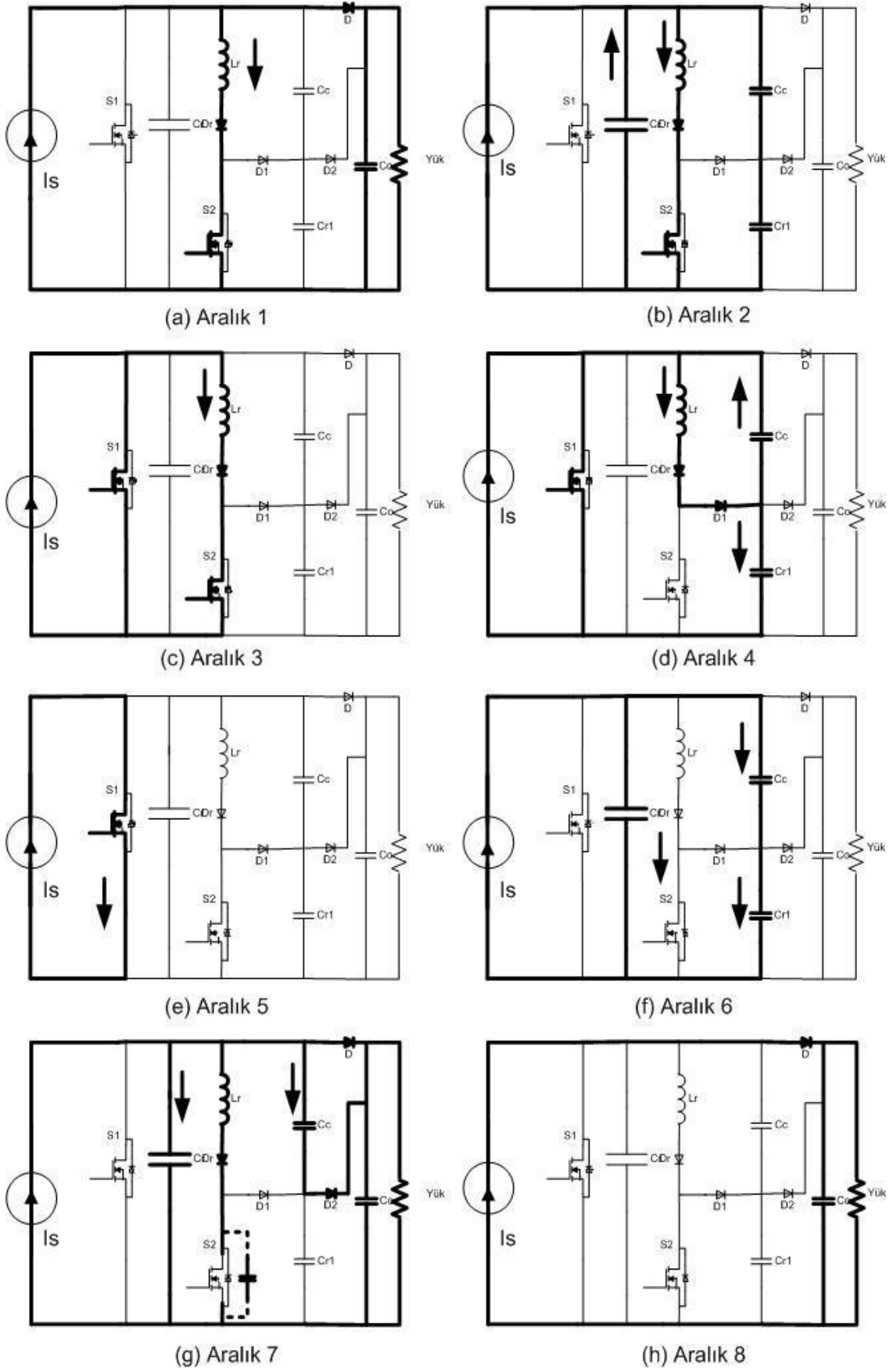
S_1 anahtarı kesime girdiğinde, C_r, I_L akımıyla V_{cr1} gerilimine lineer olarak şarj olur.

Aralık 7

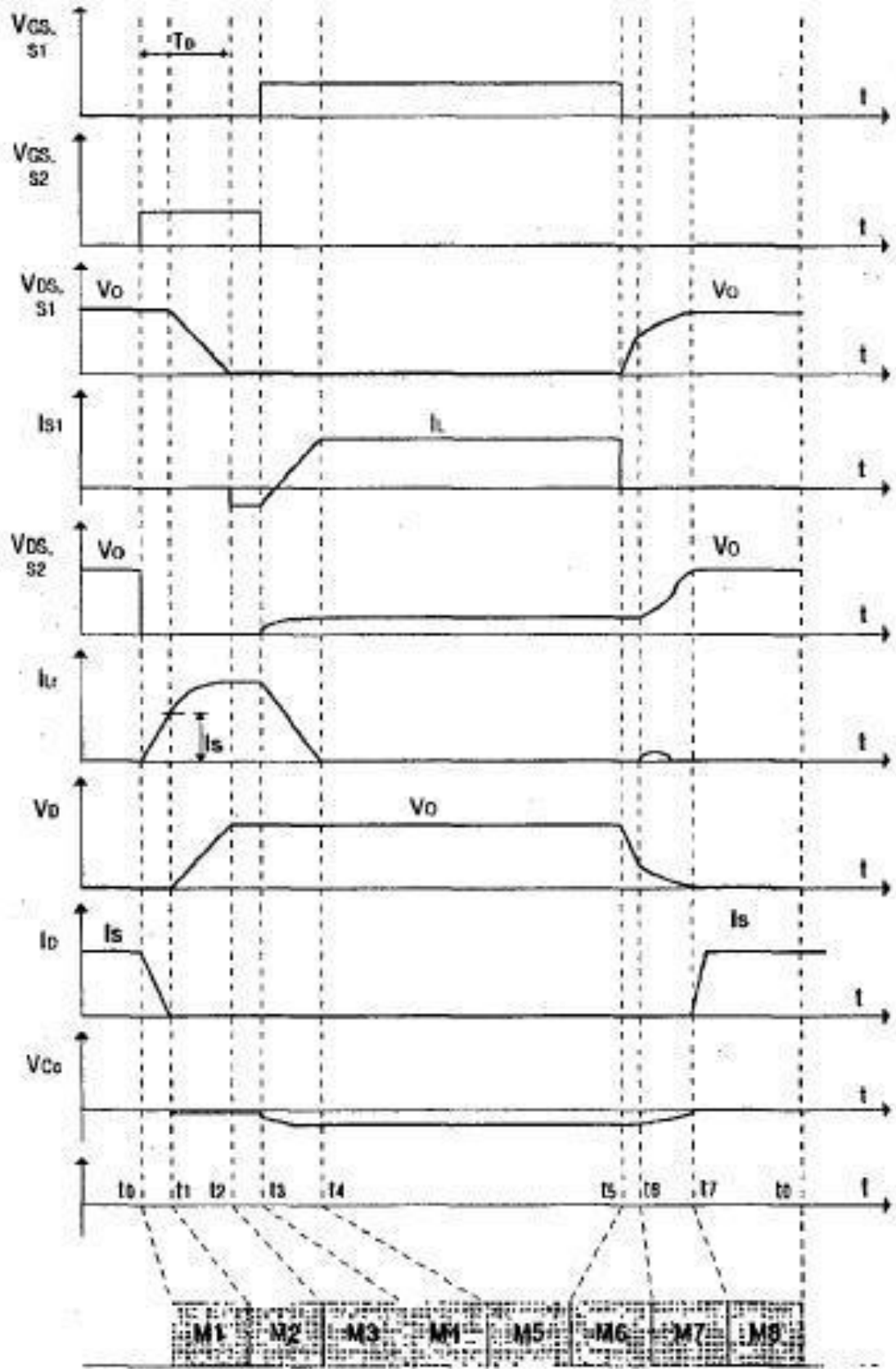
Bu aralıkta, yardımcı anahtar S_2 'nin çıkış kapasitesi ($=C_{ss}$) hesaba katılmıştır. V_{cr}, I_s akımıyla dolup V_{cr1} 'e eşit olduğunda C_{ss}, I_{Lr} akımıyla deşarj olur ve C_c, I_s ile lineer olarak şarj olur.

Aralık 8

Bu aralık PWM yükseltici dönüştürücünün serbest dolaşım aralığıyla aynıdır. PWM çalışmasının bir anahtarlama periyodu aralık 1 – aralık 8 arasında tamamlandıktan sonra periyot aynı şekilde tekrarlanır.



Şekil 4.3 Geliştirilmiş ZVT–PWM yükseltici dönüştürücünün çalışma aralıkları

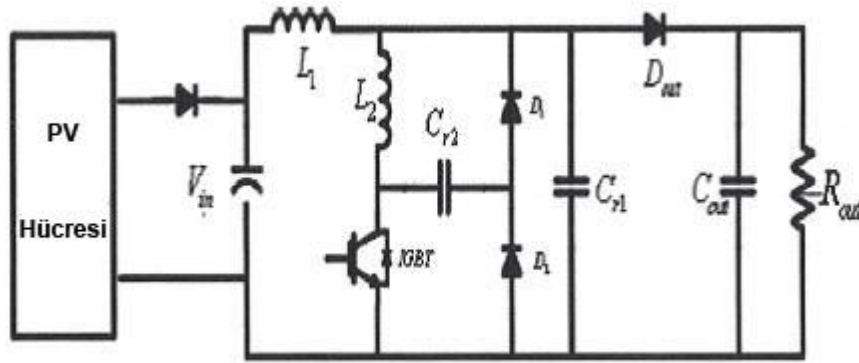


Şekil 4.4 Geliştirilmiş ZVT-PWM yükseltici dönüştürücünün teorik dalga şekilleri [16]

4.3 Bir Fotovoltaik Güç Sistemi için Yumuşak Anahtarlama Yükseltici Dönüştürücü

Bu makalede, bir solar güç sistemi için yeni bir yükseltici dönüştürücü topolojisi sunulmuştur [17]. Bu topoloji, bir fotovoltaik sistemdeki DA-DA dönüştürücüsünün verimini artırmaktadır ve rezonanslı yumuşak anahtarlama metoduyla anahtarlama kayıplarını minimize etmektedir. Sistemin yüksek anahtarlama frekansı sayesinde pasif elemanların boyutları küçültülerek yüksek verim ve küçük boyut sağlanmıştır.

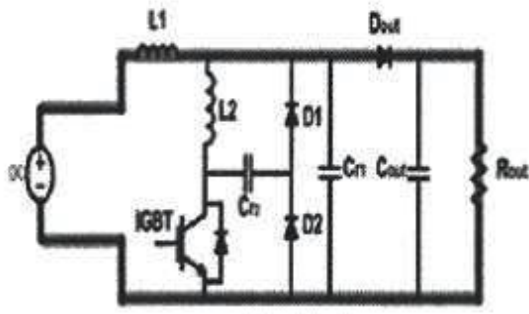
Şekil 4.5'te, [17]'da sunulan yumuşak anahtarlama yükseltici dönüştürücü devresi görülmektedir. Geleneksel yükseltici dönüştürücüye bir endüktans, iki kapasite ve iki diyot eklenmiştir. Açma/Kapama kontrolü tek bir anahtar ile sağlanmıştır ve C_2 ve L_{r2} 'nin rezonansı ile sağlanan sıfır akımda ve sıfır gerilimde anahtarlama kayıpları azaltılmıştır. Ancak anahtarın gerilim stresi ve diodun akım stresi nominal değerlerine göre yükselmiştir.



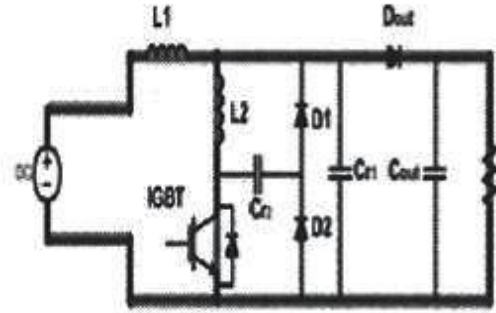
Şekil 4.5 Bir solar güç sistemi için yeni bir yumuşak anahtarlama yükseltici dönüştürücü [17]

4.3.1 Çalışma Aralıkları

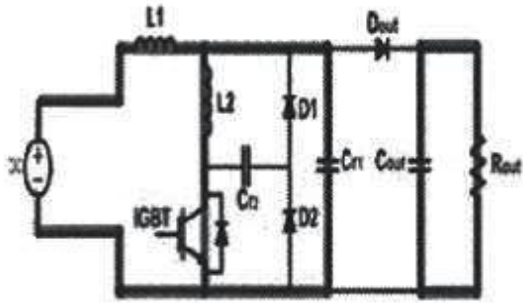
Bir solar güç sistemi için yeni bir yumuşak anahtarlama yükseltici dönüştürücü devresinin çalışması yedi aralıkta incelenmiştir. Şekil 4.6'da dönüştürücünün çalışma aralıkları gösterilmiştir.



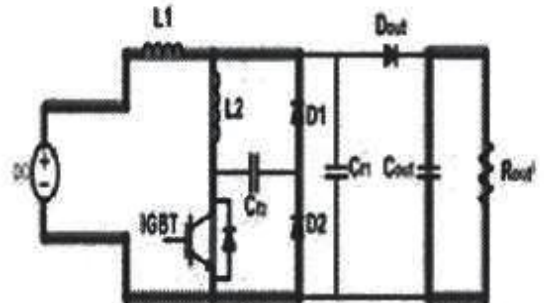
Aralık 1



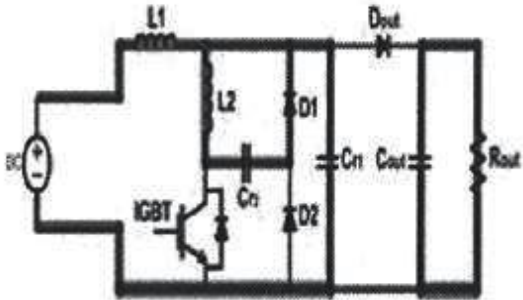
Aralık 2



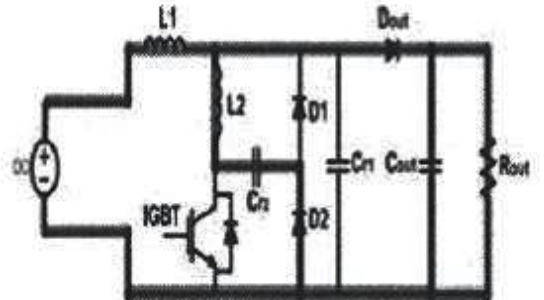
Aralık 3



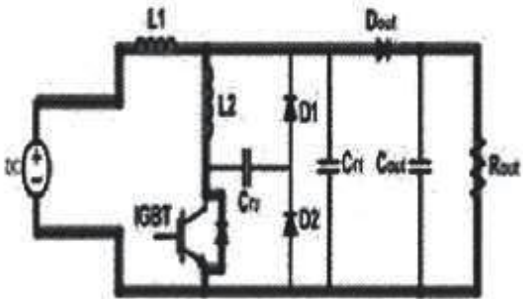
Aralık 4



Aralık 5



Aralık 6



Aralık 7

Şekil 4.6 Bir solar güç sistemi için yeni bir yükseltici dönüştürücü devresinin çalışma aralıkları [17]

Aralık 1 ($t_0 \leq t < t_1$)

Anahtar kapalı konumdadır ve güneş hücresinin DA çıkışı L_1 ve D_{out} (D_o) vasıtasıyla doğrudan yüke bağlıdır. Bu aralıkta, ana endüktans gerilimi $-(V_o - V_{in})$ olur. Böylece ana endüktans akımı lineer olarak azalır.

Aralık 2 ($t_1 \leq t < t_2$)

Anahtar ZCS ile ilettime girdiğinde aralık 2 başlar. Bu durumda, çıkış gerilimi rezonans endüktansı L_2 'yi beslediği için akım lineer olarak artar. Bu akım ana endüktans L_1 'in akımına eşit olduğunda, çıkış diyodu D_{out} 'ın akımı sıfır olur.

Aralık 3 ($t_2 \leq t < t_3$)

Çıkış diyodu D_{out} 'un akımı sıfır olduğunda ve kesime girdiğinde rezonans modu başlar. Bu modda, yardımcı rezonans endüktansı L_2 ve yardımcı kapasite C_{r1} rezonansa girer ve C_{r1} 'nin gerilimi çıkış geriliminden sıfıra düşer. Bu durumda, ana endüktans L_1 'in akımı, L_2 ve anahtar üzerinden akar. Bu esnada C_{out} yükü besler ve deşarj olur.

Aralık 4 ($t_3 \leq t < t_4$)

Yardımcı rezonans kapasitesi gerilimi sıfır olduğunda, D_1 ve D_2 yardımcı diyotları ilettime girerler ve aralık başlar. Bu aralıktayken, yardımcı rezonans endüktansı akımı; biri ana endüktans akımı L_1 ve diğeri iki yardımcı diyot üzerinden dönen akım olmak üzere ikiye bölünür. Bu aralık yükseltici dönüştürücü aralığıdır ve ana endüktans akımı lineer olarak artar.

Aralık 5 ($t_4 \leq t < t_5$)

Anahtar sıfır gerilimde kesime girer. Bu esnada iki tane akım döngüsü vardır. Bir tanesi L_1 - C_{r1} - V_{in} döngüsüdür ve yardımcı rezonans kapasitesi C_{r1} 'in gerilimi sıfırdan çıkış gerilimi V_{out} 'a kadar lineer olarak artar. Diğer akım döngüsü L_2 - C_{r2} - D_1 döngüsüdür ve böylece ikinci rezonans oluşur. L_2 'de biriken enerji C_{r2} 'ye aktarılır. Enerji aktarımı tamamlandığında, L_2 akımı sıfıra düşer ve C_{r2} gerilimi maksimum değerine ulaşır.

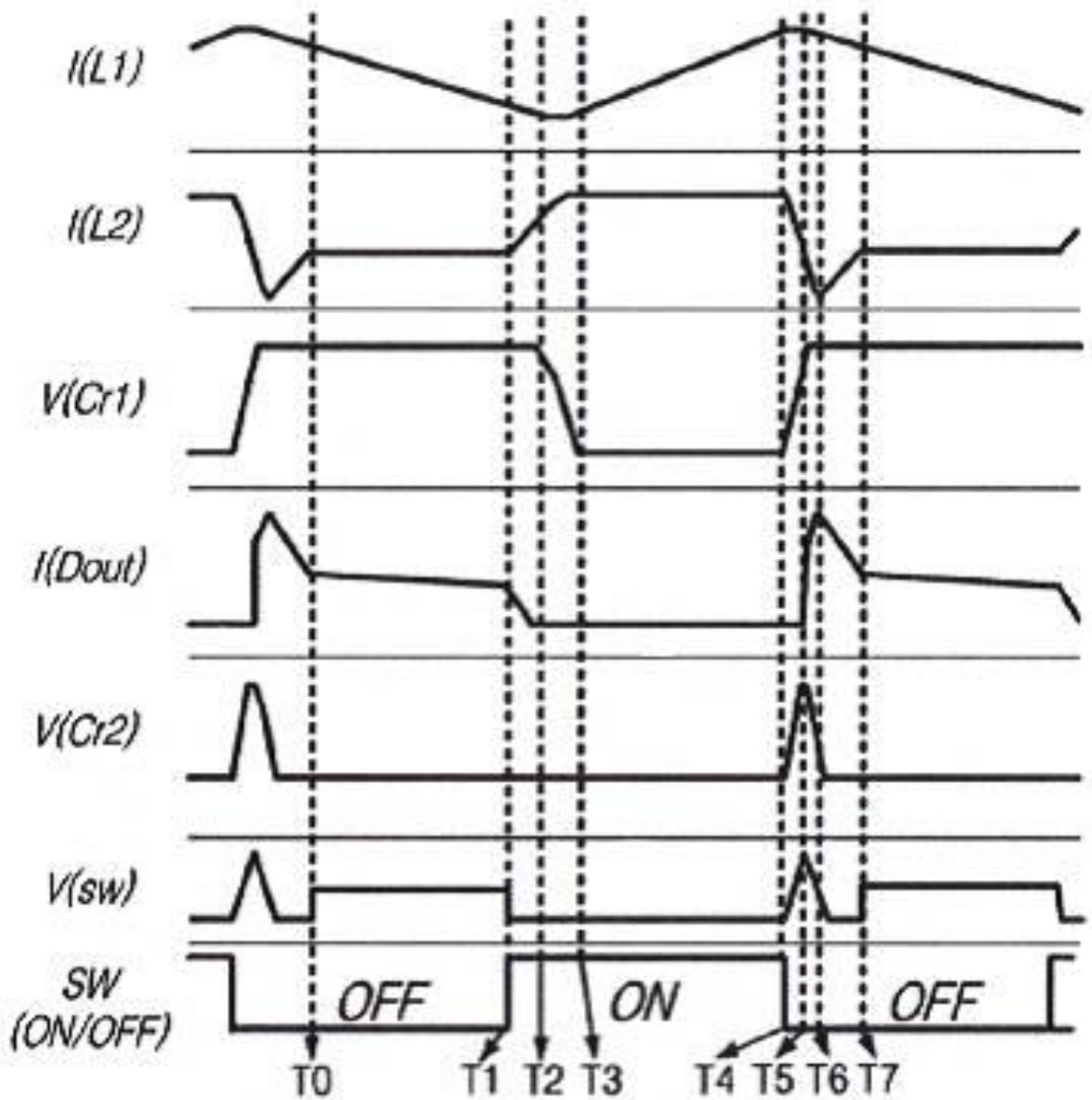
Aralık 6 ($t_5 \leq t < t_6$)

Aralık 6'da C_{r2} 'nin gerilimi azalır, D_2 - C_{r2} - L_2 - D_{out} - C_{out} çevresinde rezonans devam eder ve C_{r2} 'deki enerji L_2 'ye aktarılır. C_{r2} 'nin gerilimi sıfır olduğunda, L_2 'nin akımı aralık 5'teki akım yönüne ters olacak şekilde akar, anahtarın ters paralel diyodu ilettime girer ve bir sonraki aralığa kadar iletimde kalır.

Aralık 7 ($t_6 \leq t < t_7$)

Aralık 7’de de iki akım çevresi vardır. Ana endüktans L_1 ’in akımı D_{out} vasıtasıyla çıkışa aktarılır ve lineer olarak azalır. Yardımcı rezonans endüktansı L_2 ’nin akımı D_{out} vasıtasıyla yüke aktarılır ve anahtarın ters paralel diyodu üzerinden geçer. Yardımcı rezonans endüktansı L_2 ’nin akımı sıfır olduğunda aralık 7 sona erer.

Şekil 4.7’de, [17]’da sunulan yumuşak anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün tüm elemanları ideal kabul edilerek normal şartlar altında tüm aralıklardaki dalga şekilleri görülmektedir.

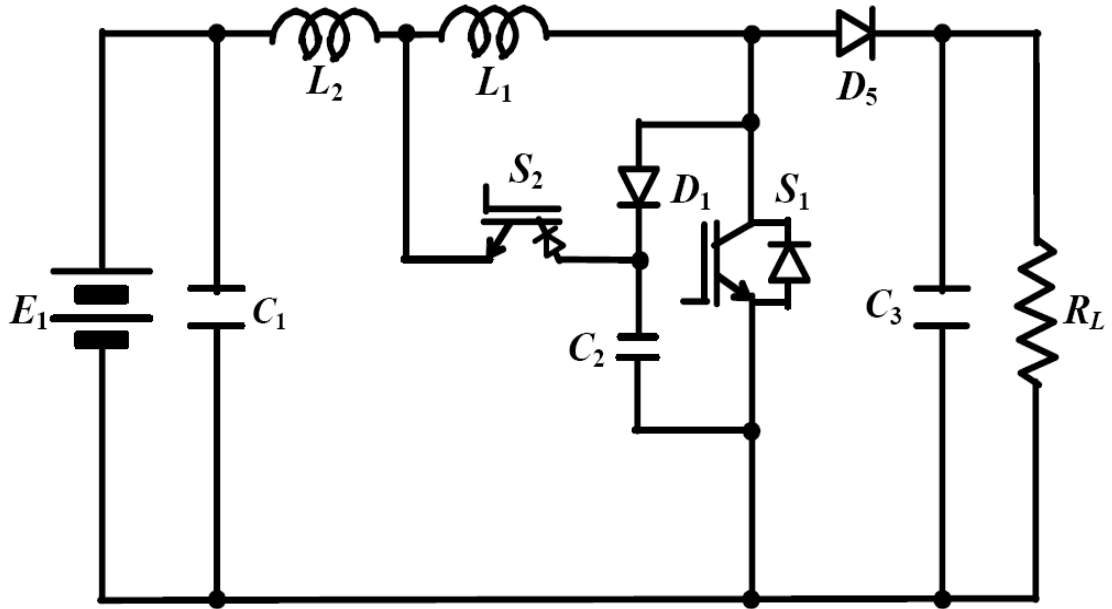


Şekil 4.7 Bir solar güç sistemi için geliştirilmiş yeni bir yumuşak anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücü devresinin dalga şekilleri [17]

4.4 Bir Hibrit veya Yakıt Hücresi Elektrikli Araç İçin Yeni Bir ZVZCT Kırıyıcı Devresi

[18]'de sunulan yeni yardımcı bastırma devreli ZVZCT kırıyıcı devre topolojisi, basit bir yumuşak anahtarlama tekniği ile düşük kayıplı ve kompakt bir güç dönüştürücüsü sağlar. Dahası bu devre, çıkış diyodunda ters toparlanma süresince gerilim pikleri oluşmaksızın çalışır. Ancak yardımcı anahtarın emiteri, geleneksel ZVT-PWM dönüştürücüden farklı olarak devrenin sıfırına bağlı değildir [18]. Bu durum fazladan bir izoleli sürme devresi ve gerilim kaynağı gerektirir.

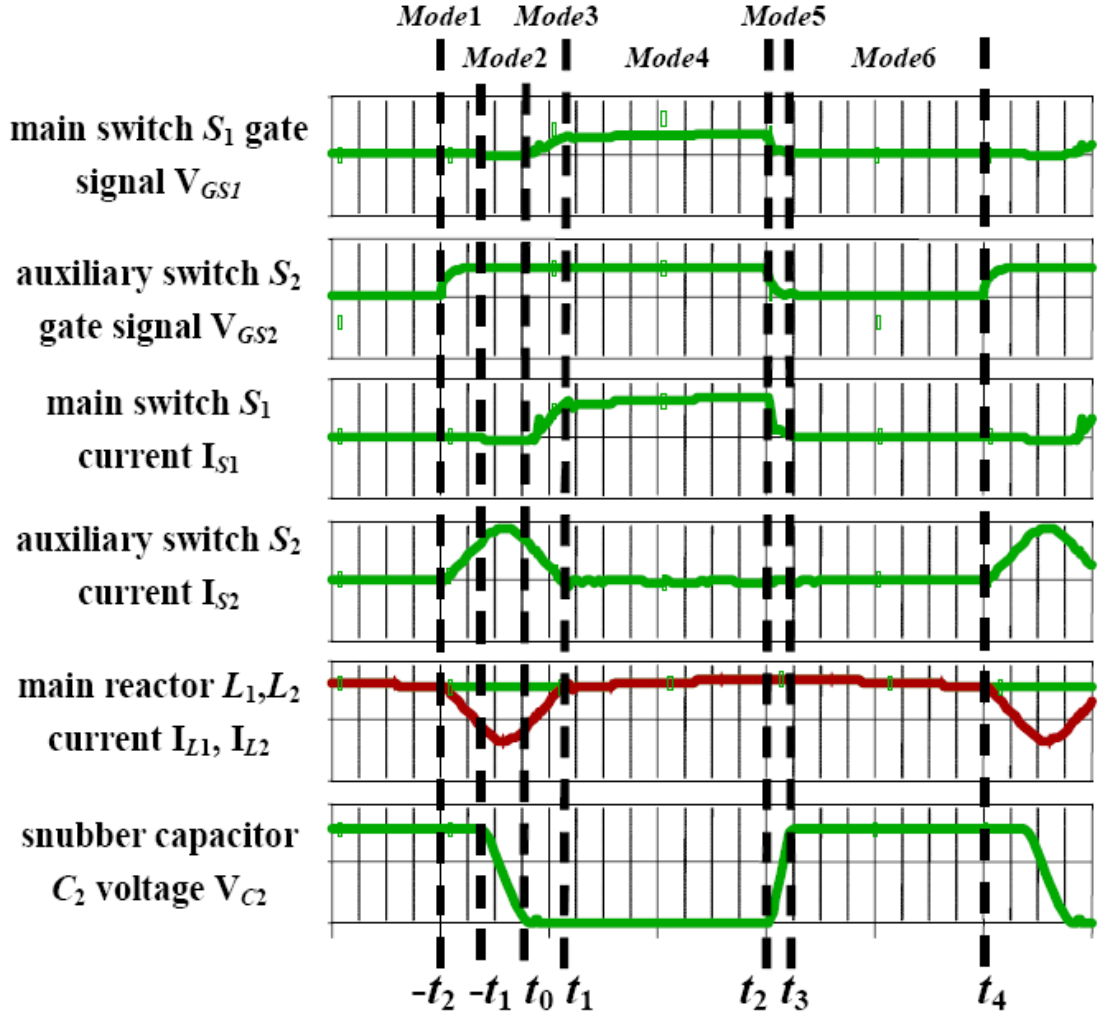
Şekil 4.8'de, yeni bir ZVZCT DA kırıyıcı devresinin devre şeması görülmektedir.



Şekil 4.8 Yüksek güçlü DA kırıyıcı için yeni bir devre tipi [18]

Yeni ZVZCT topolojisinin ana kısmı iki anahtar (S_1 ve S_2), iki diyot (D_1 ve D_5) ve bir kapasiteden (C_2) oluşan basit bir yapıdadır. Bu yapı; iletme girerken ZVZCT'nin ve kesime girerken ZVS'nin istenen özelliklerinin muhafaza edilmesini sağlar. İletime girmeden öne ana anahtar S_1 'de; C_2 kapasitesi yardımcı anahtar S_2 üzerinden deşarj olduğu için, yardımcı anahtar S_2 'nin ters rezonans akımıyla sıfır gerilim ve sıfır akım sağlanır. S_1 anahtarı kesime girdiğinde, S_1 anahtarının gerilimi sıfırdan C_2 kapasitesinin gerilimine kadar artar.

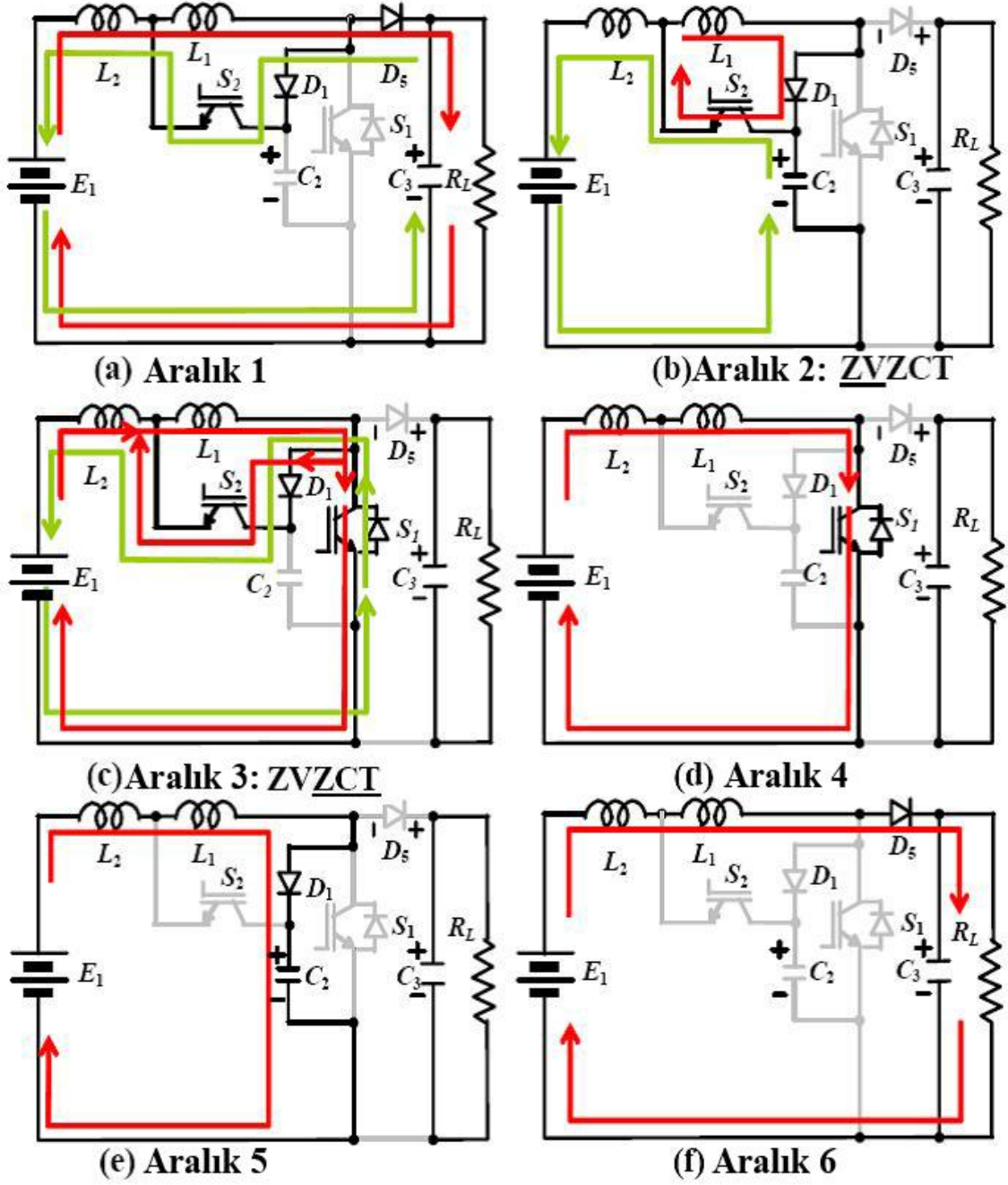
Şekil 4.9'da, [18]'de sunulan ZVZCT DA kırıyıcı devresinin tipik dalga şekilleri görülmektedir.



Şekil 4.9 Yeni ZVZCT DA kıyıcı devresinin dalga şekilleri [18]

4.4.1 Çalışma Aralıkları

Sunulan devrenin çalışması altı aralıkta incelenmiştir. Şekil 4.10’da sunulan devrenin çalışma aralıkları görülmektedir.



Şekil 4.10 Yeni ZVZCT DA kıyıcı devresinin çalışma aralıkları [18]

Aralık 1

$t = -t_2$ iken, S_2 anahtarı iletimdedir ve önceden çıkış diyodu D_5 üzerinden akan yük akımı, S_2 anahtarından geçen akımın artmasına bağlı olarak azalmaya başlar. S_2 anahtarının akımının artışı, L_2 endüktansı tarafından sınırlandırılmıştır. Aralık 1 boyunca bastırma kapasitesi C_2 'nin gerilimi V_{C2} , V_{out} çıkış gerilimine eşit ve sabittir. $t = -t_1$ olduğunda çıkış diyodu D_5 kesime girer ve bastırma kapasitesi C_2 , aralık 1'in sonlanmasıyla deşarj olmaya başlar.

Aralık 2

$t = -t_1$ olduğunda, çıkış diyodu D_5 kesimdedir ve bastırma kapasitesi C_2 deşarj olmaya başlar. C_2 'de depolanan enerji $t = t_0$ anına kadar giriş güç kaynağı E_1 'e aktarılır. $t = t_0$ olduğunda aralık 2 biter.

Aralık 3

$t = t_0$ anında, bastırma kapasitesi C_2 sıfır olur ve bu da S_1 anahtarının ters paralel diyodunun pozitif yönde kutuplanmasını sağlar ve S_2 anahtarı iletime girer. Böylece $(+)E_1-L_2-L_1-S_1-(-)E_1$ ve $(-)E_1-S_1-D_1-S_2-L_2-(+)E_1$ şeklinde iki çevre oluşur. S_2 anahtarından geçen akım E_1 'e aktarılarak lineer olarak azalır, S_1 'den geçen akım ise buna bağlı olarak artar. Böylece S_1 anahtarı sıfır gerilimde ve akımda iletime girer (ZVZCT). S_2 akımı $t = t_0$ anında sıfıra indiğinde aralık 3 biter.

Aralık 4

$(+)E_1-L_2-L_1-S_1-(-)E_1$ çevresinde L_1 ve L_2 endüktanslarında enerji depolanır. $t = t_2$ anında, S_1 ve S_2 anahtarları kesime girer ve aralık 4 biter.

Aralık 5

$t = t_2$ anında S_1 ve S_2 anahtarları kesime girdiklerinde, bastırma kapasitesi C_2 , D_1 diyodundan geçen akımla şarj olur. $t = t_3$ anında, $V_{C2(t3)} = V_{out}$ olur ve aralık 5 biter.

Aralık 6

Bütün anahtarlar kesimdedir.

BİR PV SİSTEM İÇİN BASİT BİR YARDIMCI REZONANS DEVRELİ (SARC) YUMUŞAK ANAHTARLAMALI YÜKSELTİCİ DÖNÜŞTÜRÜCÜ

Bu bölümde; [2]'de sunulan; bir PV sistemdeki enerji dönüşümünün verimini arttırmak için, bir yardımcı anahtar, iki diyot, bir rezonans endüktansı ve bir rezonans kapasitesinden oluşan bir yardımcı rezonans devresi ile yapılan bir yumuşak anahtarlama yükseletici dönüştürücü detaylı olarak incelenmiştir.

Geleneksel yükseletici dönüştürücünün verimi, anahtarlar iletme ve kesime girerken kayıplara sebep olan sert anahtarlama sebebiyle düşüktür. Bu anlarda, sunulan devredeki tüm anahtarlar, iletme girerken rezonans endüktansı sayesinde sıfır akımda anahtarlama ve kesime girerken rezonans kapasitesi sayesinde sıfır gerilimde anahtarlama sağlarlar. Bu anahtarlama düzeni anahtarlama elemanı üzerindeki akım ve gerilim streslerini ve anahtarlama kayıplarını azaltabilir. Güneş hücresinin düşük çıkış gerilimini yük için gerekli gerilime yükselten bu dönüştürücünün kontrolü çok kolaydır [2].

[2]'de sunulan yumuşak anahtarlama yükseletici dönüştürücü 700 W'lık bir PV modül için tasarlanmıştır ve 30 kHz çalışma frekanslı bir deney düzeneğiyle test edilmiştir. Tezde ise, sunulan dönüştürücü PSIM programı ile simüle edilmiştir ve 1 kW ve 70 kHz'lık bir yükseletici dönüştürücü prototipi ile doğrulanmıştır.

5.1 Güneş Hücresinin ve Modülünün Karakteristikleri

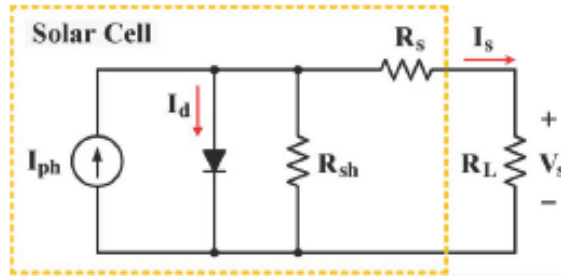
Bir güneş hücresi, bir çeşit p-n jonksiyonlu yarıiletken cihazdır. Işık enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür.

Genellikle, Şekil 5.1’de de gösterildiği gibi, güneş hücresinin eşdeğer devresi seri bir iç dirençten (R_s) ve diyodun şönt direncinden (R_{sh}) oluşur. Güneş hücresinin çıkış karakteristikleri, aydınlık seviyesine ve hücrenin çalışma sıcaklığına bağlı olarak değişir [2].

$$I_s = I_{ph} - I_{sat} \left[\exp \left(\frac{q(V_s + I_s R_s)}{AKT} \right) - 1 \right] - \frac{V_s + I_s R_s}{R_{sh}} \quad (5.1)$$

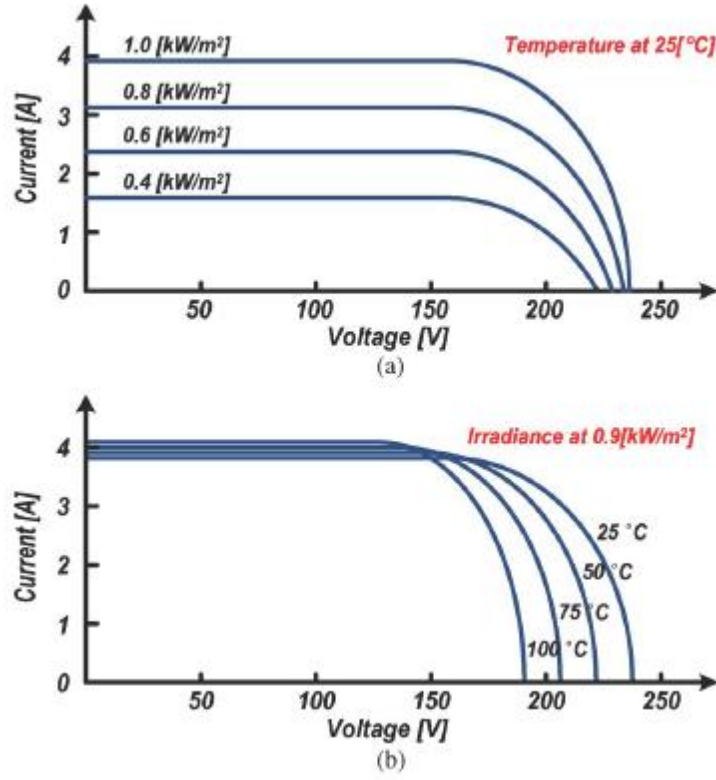
(5.1)’de, R_s sıfır ve R_{sh} sonsuz kabul edilmiştir, böylece eşitlik şu hale gelir:

$$I_s = I_{ph} - I_{sat} \left[\exp \left(\frac{qV_s}{AKT} \right) - 1 \right] \quad (5.2)$$



Şekil 5.1 Bir güneş hücresinin eşdeğer devresi [2]

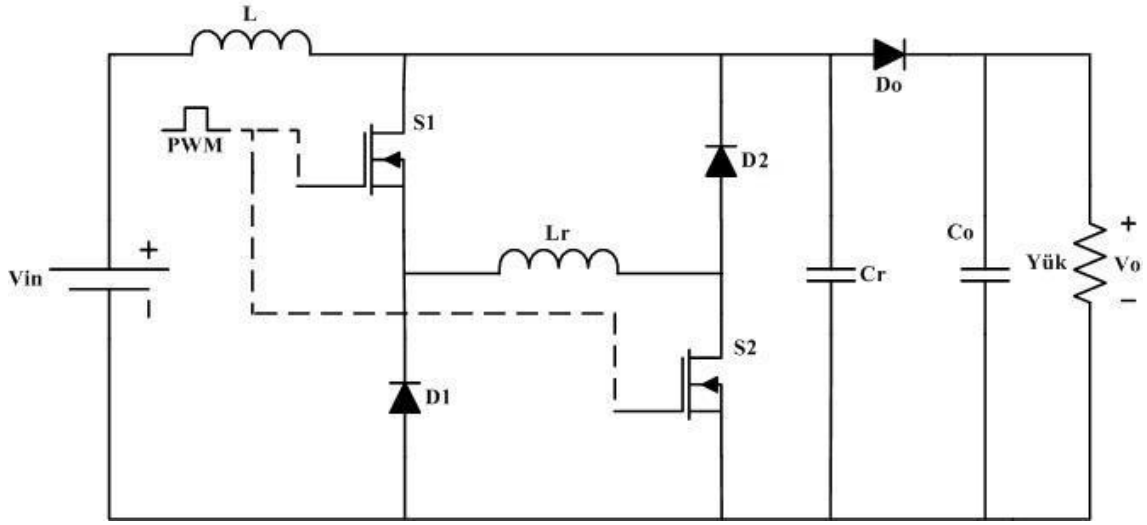
Aydınlık seviyesi ve çalışma sıcaklığı, güneş hücresinin karakteristiklerini etkileyen önemli faktörlerdir. Şekil 5.2’de PV modülün I-V eğrileri görülmektedir. Aydınlık seviyesi arttıkça, açık devre gerilimindeki dalgalanma azalır. Kısa devre akımında ise aydınlık seviyesine bağlı olarak keskin dalgalanmalar olur. Yükselen çalışma sıcaklığıyla, kısa devre akımındaki değişkenlik azalır, açık devre gerilimi de lineer olmayan şekilde azalır [2].



Şekil 5.2 Solarsim-10k'nın simule edilmiş I-V karakteristikleri (a) Solarsim-10k PV simülâtörü'nün I-V eğrileri (çalışma sıcaklığı 25°C'de sabitken değişen aydınlık seviyesinden etkilenir) (b) Solarsim-10k PV simülâtörü'nün I-V eğrileri (aydınlık seviyesi 0,9kW/m²'de sabitken değişen çalışma sıcaklığından etkilenir) [2]

Şekil 5.2'de gösterildiği gibi, PV modülün çıkış gerilim aralığı değişkendir. Bu karakteristik sayesinde, sunulan dönüştürücü, PV modülün çıkış gerilim aralığına dayanan yumuşak anahtarlama için tasarlanmalıdır [2].

5.2 Basit Bir Yardımcı Rezonans Devreli Yumuşak Anahtarlama Yükseltici Dönüştürücü

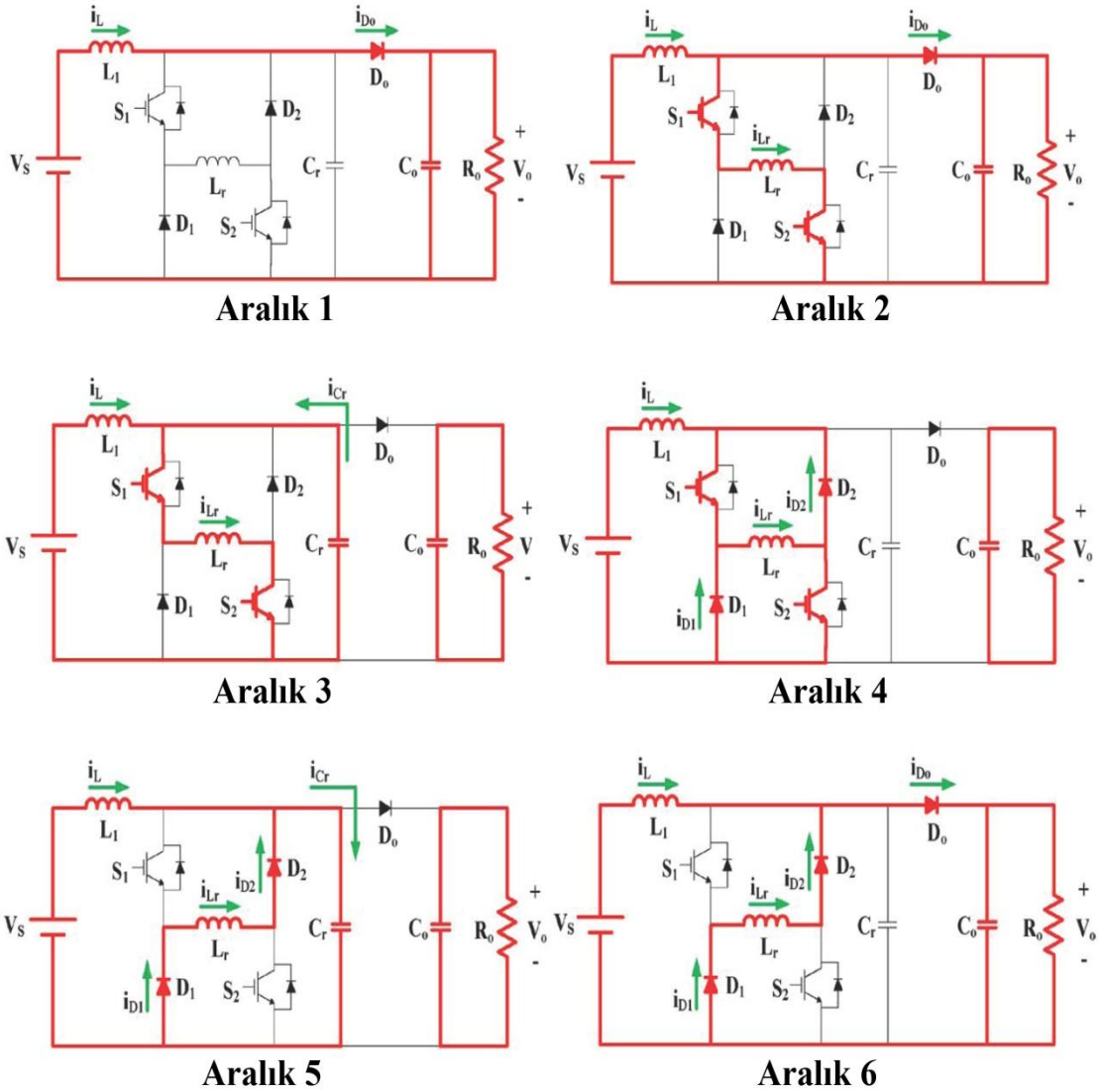


Şekil 5.3 Yumuşak anahtarlama yükseltici dönüştürücünün devre şeması

Şekil 5.3'te, incelenen yumuşak anahtarlama yükseltici dönüştürücünün devre şeması görülmektedir. Sunulmuş olan devrede geleneksel yükseltici dönüştürücüye göre fazladan iki diyot (D_1 ve D_2), bir yardımcı anahtar (S_2), bir rezonans endüktansı (L_r) ve bir rezonans kapasitesi (C_r) vardır. Bununla birlikte literatürde sunulmuş olan birçok yumuşak anahtarlama yükseltici dönüştürücü de fazladan benzer elemanlar içermektedir.

Topolojinin bir avantajı, kontrolünün diğer yumuşak anahtarlama devrelere göre çok daha kolay olmasıdır. Geleneksel yükseltici dönüştürücü gibi tek bir kontrol sinyali ve darbe genişlik modülasyonu ile kontrol edilebilir. Her iki anahtara da aynı sinyal uygulanır, iki anahtar da aynı anda iletme ve kesime girerler. Yumuşak anahtarlama yükseltici tip dönüştürücülerin çoğunda ise yardımcı anahtarın sinyali ana anahtar sinyalinin başında ya da sonunda verilmektedir.

5.2.1 Çalışma Aralıkları



Şekil 5.4 Sunulan yumuşak anahtarlmalı yükseltici dönüştürücünün çalışma aralıkları [2]

Şekil 5.4'te, sunulan yumuşak anahtarlmalı yükseltici dönüştürücünün çalışma aralıkları verilmiştir. Bu şekle göre, bu dönüştürücünün çalışma prensibinin altı aralığa bölünebileceği görülmektedir. Dönüştürücünün her aralığını kolayca analiz etmek için aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır.

- 1) Tüm anahtarlama cihazları ve pasif elemanlar idealdir.
- 2) Tüm anahtarlama cihazlarının ve elemanlarının parazitik bileşenleri ihmal edilebilir.
- 3) Giriş gerilimi (V_s) 150-230 V aralığındadır.
- 4) Dönüştürücü, bütün aralıklarda kesintisiz iletim modunda çalışır.

Aralık 1 ($t_0 \leq t < t_1$)

S_1 ve S_2 anahtarları kapalıdır ve üzerlerinden akım geçmez, ana endüktansta biriken enerji yüke aktarılır.

Bu aralıkta, ana endüktans akımı lineer olarak azalır. Bu esnada, rezonans endüktansından akım geçmez ve rezonans kapasitesi çıkış gerilimiyle doludur.

Anahtarlar ilettime girince aralık 1 biter. Bu durumda denklemler aşağıdaki gibidir:

$$v_L(t) = V_s - V_o \quad (5.3)$$

$$i_L(t) = i_L(t_0) - \frac{V_o - V_s}{L} t \quad (5.4)$$

$$i_{D_o}(t) = i_L(t) \quad (5.5)$$

$$i_{L_r}(t) = 0 \quad (5.6)$$

$$V_{C_r}(t) = V_o \quad (5.7)$$

Aralık 2 ($t_1 \leq t < t_2$)

S_1 ve S_2 anahtarları ilettime girdikten sonra, akım rezonans endüktansına doğru akar. Anahtarların ikisi de sıfır akım altında ilettime girmiştir. Buna, sıfır akımda anahtarlama (ZCS) denir.

Yardımcı ve ana anahtarlar ZCS'yi sağladığı için, bu dönüştürücünün anahtar kayıpları geleneksel sert anahtarlama dönüştürücülerden düşüktür.

Rezonans akımı lineer olarak artarken, yük akımı giderek düşer. t_2 anında, ana endüktans akımı rezonans endüktansının akımına eşittir ve çıkış diyodunun akımı sıfırdır.

$$i_{L_r}(t_1) = 0 \quad v_{L_r}(t) = V_o \quad (5.8)$$

$$i_{L_r}(t) = \frac{V_o}{L_r} t \quad (5.9)$$

$$i_L(t) = i_L(t_1) - \frac{V_o - V_s}{L} t \quad (5.10)$$

$$i_L(t_2) = i_{L_r}(t_2) \quad (5.11)$$

$$i_{D_o}(t_2) = 0 \quad (5.12)$$

Aralık 3 ($t_2 \leq t < t_3$)

t_2 'den sonra yüke D_o çıkış diyodu aracılığıyla akan akım artık akmaz ve rezonans kapasitesi C_r ile rezonans endüktansı L_r bir rezonans başlatırlar.

Rezonans endüktansına akan akım, ana endüktans akımı ve rezonans kapasitesi akımının kombinasyonudur. Rezonans akımının miktarı (5.14)'te açıklanmıştır.

$$i_L(t) \cong I_{\min} \quad (5.13)$$

$$i_{L_r}(t) = I_{\min} + \frac{V_o}{Z_r} \sin \omega_r t \quad (5.14)$$

Rezonans periyodu boyunca, rezonans kapasitesi C_r , V_o 'dan sıfıra deşarj olur. Bu, (5.15)'te açıklanmıştır. Rezonans frekansı ve empedans (5.17)'de açıklanmıştır. Rezonans kapasitesinin gerilimi sıfır olduğunda, aralık 3 biter.

$$v_{C_r}(t) = V_o \cos \omega_r t \quad (5.15)$$

$$v_{C_r}(t_2) = V_o \quad v_{C_r}(t_3) = 0 \quad (5.16)$$

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}}, \quad Z_r = \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} \quad (5.17)$$

Aralık 4 ($t_3 \leq t < t_4$)

Aralık 3'teki rezonans periyodundan sonra, rezonans kapasitesinin gerilimi sıfıra düşünce, aralık 4 başlar.

Bu aralıkta, serbest dolaşım diyotları D_1 ve D_2 iletme girer ve rezonans endüktansının akımı maksimum değerine ulaşır. Rezonans endüktansının akımı S_1 - L_r - D_2 yolu ve S_2 - L_r - D_1 yollarıyla serbest dolaşım diyotlarının üzerinden geçer.

$$i_{L_r}(t) = i_L(t) + i_{D_1}(t) + i_{D_2}(t) \quad (5.18)$$

$$i_{L_r}(t_3) = i_{L_r}(t_4) = I_{L_{r_{\max}}} \quad (5.19)$$

Bu esnada, ana endüktans akımı giriş akımına eşit olur ve içinde biriken enerji lineer olarak artar.

$$v_L(t) = V_s \quad (5.20)$$

$$i_L(t) = I_{\min} + \frac{V_s}{L}t \quad (5.21)$$

Aralık 5 ($t_4 \leq t < t_5$)

Aralık 5'te, tüm anahtarlar rezonans kapasitesi sayesinde sıfır gerilimde kesime girerler.

Bu aralıkta, rezonans endüktansının akımının ve rezonans kapasitesinin geriliminin başlangıç şartları aşağıdaki gibidir:

$$i_{L_r}(t_4) = I_{L_{\eta \max}} \quad (5.22)$$

$$v_{C_r}(t_4) = 0 \quad (5.23)$$

Tüm anahtarlar kesime girdiğinde, rezonans kapasitesi C_r , her iki endüktansın akımıyla çıkış gerilimine şarj olur. Rezonans kapasitesi çıkış gerilimi V_o 'ya şarj olana kadar, çıkış diyodu kesimdedir.

$$i_L(t) \cong I_{\max} \quad (5.24)$$

$$i_{L_r}(t) = I_{\max} - (I_{\max} + I_{L_{\eta \max}}) \cos \omega_r t \quad (5.25)$$

$$v_{C_r}(t) = Z_r (I_{\max} + I_{L_{\eta \max}}) \sin \omega_r t \quad (5.26)$$

$$v_{C_r}(t_5) = V_o \quad (5.27)$$

Aralık 6 ($t_5 \leq t < t_6$)

Rezonans kapasitesi gerilimi çıkış gerilimine eşit olduğunda ve çıkış diyodu sıfır gerilim altında ilettime girdiğinde aralık 6 başlar.

Bu aralıkta, ana endüktans akımı i_L ve rezonans endüktansı akımı i_{L_r} , çıkış diyodu D_o üzerinden çıkışa doğru akar.

$$i_{D_o}(t) = i_L(t) + i_{L_r}(t) \quad (5.28)$$

$$i_{L_r}(t_5) = (I_{\max} + I_{L_{\eta \max}}) \cos \omega_r (t_5 - t_4) \quad (5.29)$$

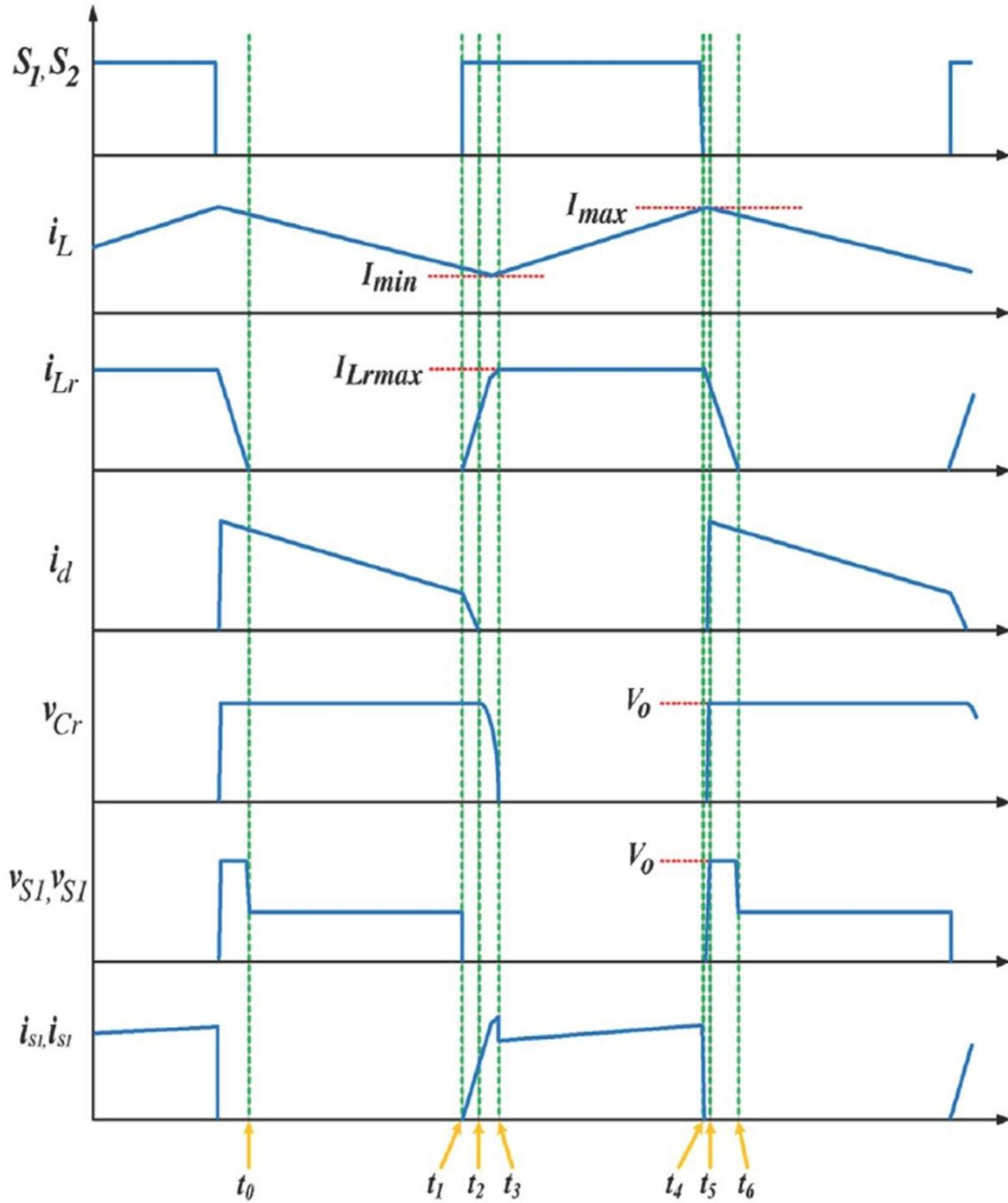
$$v_{C_r}(t) = V_o \quad (5.30)$$

Bu sürede, endüktans akımları lineer olarak azalır ve rezonans endüktansının enerjisi tamamen yüke aktarılır ve aralık 6 biter.

$$i_L(t) = I_{\max} - \frac{V_o - V_s}{L_r} t \quad (5.31)$$

$$i_{L_r}(t) = i_{L_r}(t_6) - \frac{V_o}{L_r} t \quad (5.32)$$

$$i_{L_r}(t_6) = 0 \quad (5.33)$$



Şekil 5.5 Sunulan dönüştürücünün çalışma aralıklarının teorik dalga şekilleri [2]

Şekil 5.5'te, sunulan dönüştürücünün çalışma aralıklarının teorik dalga şekilleri görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, anahtarlama anlarındaki değişimlerin çoğu sinüzoidal formda gerçekleşmektedir. Sinüzoidal formda olmayan değişimler ise rezonans endüktansı ve rezonans kapasitesi sayesinde yumuşatılmış ve eğimleri dolayısıyla di/dt ve dV/dt değişimleri azaltılmıştır. Şekil 5.5'ten, anahtarlar iletime girerken akım ile gerilimleri arasında hiçbir kesişme olmadığı, kesimde ise ZVS'nin başarılı bir şekilde sağlandığı rahatlıkla görülmektedir.

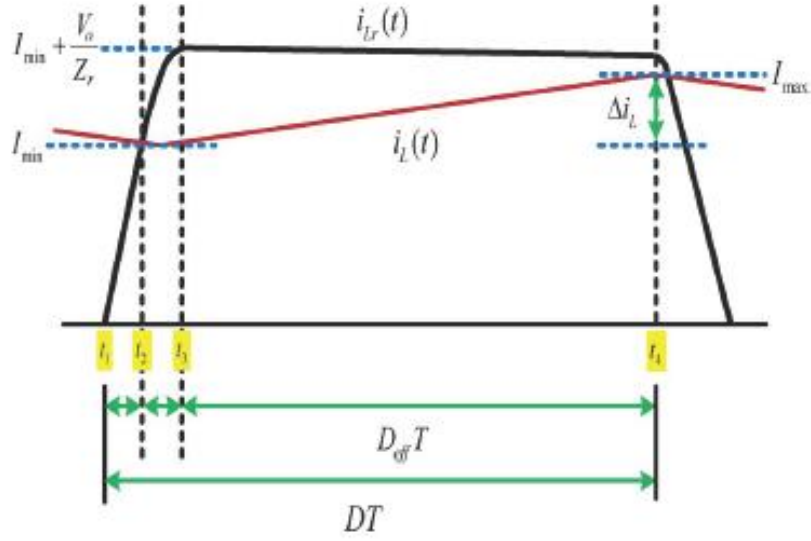
Yine Şekil 5.5'te görüldüğü gibi anahtarlar üzerinde fazladan bir akım stresi oluşmaktadır. Bu fazladan akım stresi genellikle yumuşak anahtarlama devrelerinde yardımcı eleman üzerinde gözükür. Fazladan oluşan bu akıma, iletime girme işlemini yumuşatması için anahtarlara seri bağlanan endüktans üzerinde biriken enerji sebep olur. Burada ise ana elemanlar üzerinde gözükmesine rağmen, akımın tepe değeri rezonans endüktansının boyutu ile ayarlanabilir.

Anahtarlar üzerinde oluşan fazladan akım stresi aynı zamanda ana diyot üzerinde de görülmektedir. Fazladan oluşan bu akım, rezonans endüktansının değeri ile ayarlanabilir. Bu akım stresleri haricinde devrede hiçbir eleman üzerinde fazladan bir gerilim stresi yoktur. Bütün elemanlar geleneksel yükseltici dönüştürücüde de olduğu gibi çıkış gerilimine maruz kalmaktadır.

5.3 Rezonanslı Yardımcı Devrenin Rezonans Kapasitesi ve Endüktansının Tasarım Prosedürü

5.3.1 Anahtarın ZVS Durumu

Şekil 5.5'te, sunulan yumuşak anahtarlama yükseltici dönüştürücünün temel dalga şekilleri görülmektedir. ZVS durumunun gerçekleşmesi için, 4. aralıktaki serbest dolaşım esnasında rezonans endüktansının akımı ana endüktansın akımından yüksek olmalıdır. Şekil 5.6'da aralık 4 ayrıntılı olarak görülmektedir.



Şekil 5.6 ZVS durumu [2]

Rezonans endüktansının aralık 4'teki gerilimi ve akımı, (5.36) ve (5.37)'de sırasıyla verilmiştir.

Bu dönüştürücünün ZVS durumu (5.38)'de açıklanmıştır.

$$D_{\min} = \frac{V_o - V_{s1 \max}}{V_o} \quad (5.34)$$

$$D_{\max} = \frac{V_o V_{s1 \min}}{V_o} \quad (5.35)$$

$$v_{L_r}(t) = V_{ce, sat} + V_F = V_{FW} \quad (5.36)$$

$$i_{L_r}(t) = -\frac{V_{FW}}{L_r} t + I_{\min} + \frac{V_o}{Z_r} \quad (5.37)$$

$$-\frac{V_{FW}}{L_r} D_{\max} T + I_{\min} + \frac{V_o}{Z_r} > I_{\max} \quad (5.38)$$

$$I_{\max} = I_{\min} + \Delta i_L \quad (5.39)$$

$$-\frac{V_{FW}}{L_r} D_{\max} T + \frac{V_o}{Z_r} > \Delta i_L \quad (5.40)$$

5.3.2 Rezonans Endüktansı

Şekil 5.6'da görülen rezonans endüktansı akımının yükseldiği aralık 2, (5.41)'de açıklanmıştır. Maksimum rezonans akımı için, rezonans endüktansı ve kapasitesinin rezonans zamanı aralık 3, rezonans periyodunun dörtte biri olarak tanımlanır. Pratikte, rezonans endüktansı akımının yükselme süresi (aralık 2-3), minimum iletim süresinin %10'u olarak ayarlanabilir. Bu, (5.43)'te açıklanmıştır.

$$t_3 - t_2 = \frac{L_r}{V_o} I_{\min} \quad (5.41)$$

$$t_4 - t_3 = \frac{T_r}{4} \quad (5.42)$$

$$\frac{L_r}{V_o} I_{\min} + \frac{T_r}{4} = 0.1 D_{\min} T \quad (5.43)$$

(5.40) ve (5.43)'ten, rezonans endüktansı aşağıdaki şekilde bulunur:

$$L_r < \left(\frac{2}{\pi} D_{\min} T V_o - V_{FW} D_{\max} T \right) / \left(\Delta i_L + \frac{2}{\pi} I_{\min} \right) \quad (5.44)$$

5.3.3 Rezonans Kapasitesi

Rezonans kapasitesi anahtara paralel bağlanır. Böylece, rezonans kapasitesi geriliminin ve anahtar geriliminin dalga şekilleri kesimde eşdeğerdir. ZVS koşulunu sağlamak için, rezonans kapasitesi, anahtarın çıkış kapasitesinin on katından fazla olacak şekilde seçilebilir. Buna rağmen kapasite, kesimde ana endüktansın ve rezonans endüktansının akımıyla şarj olur. Bu yüzden kapasite, anahtar çıkış kapasitesinin yirmi katından fazla olacak şekilde seçilebilir. (5.43) eşitliği şu şekilde basitleştirilebilir:

$$C_r = \frac{0.04 D_{\min}^2 T^2}{\pi^2 L_r} + \frac{4 I_{\min}^2 L_r}{\pi^2 V_o^2} - \frac{0.8 I_{\min} D_{\min} T}{\pi^2 V_o} \quad (5.45)$$

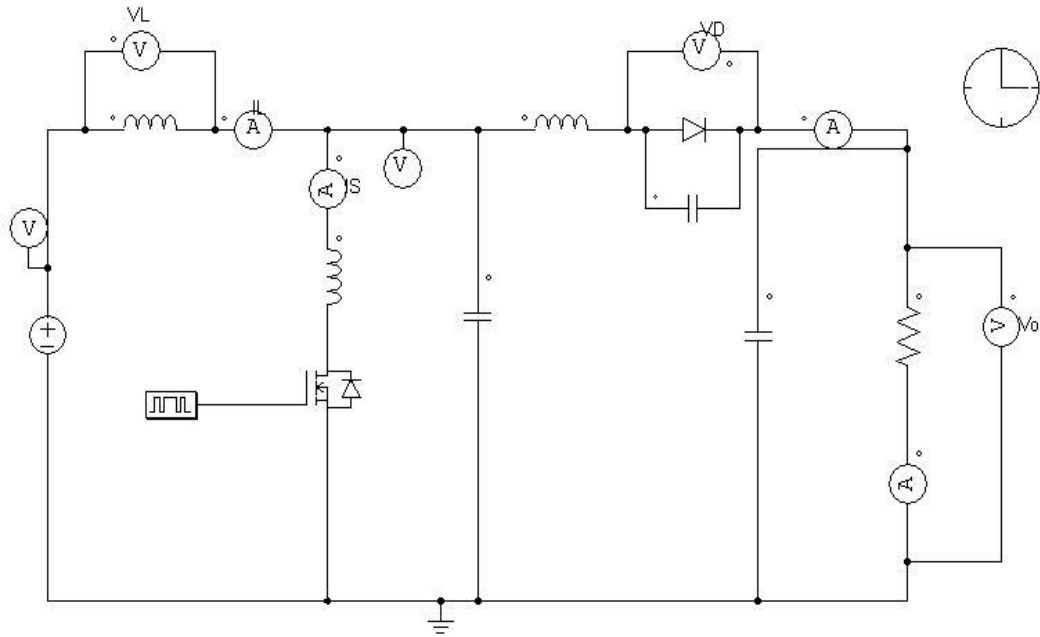
Rezonans endüktansının ve kapasitesinin seçimi (5.44) ve (5.45)'e göre yapılır.

5.4 Simülasyon

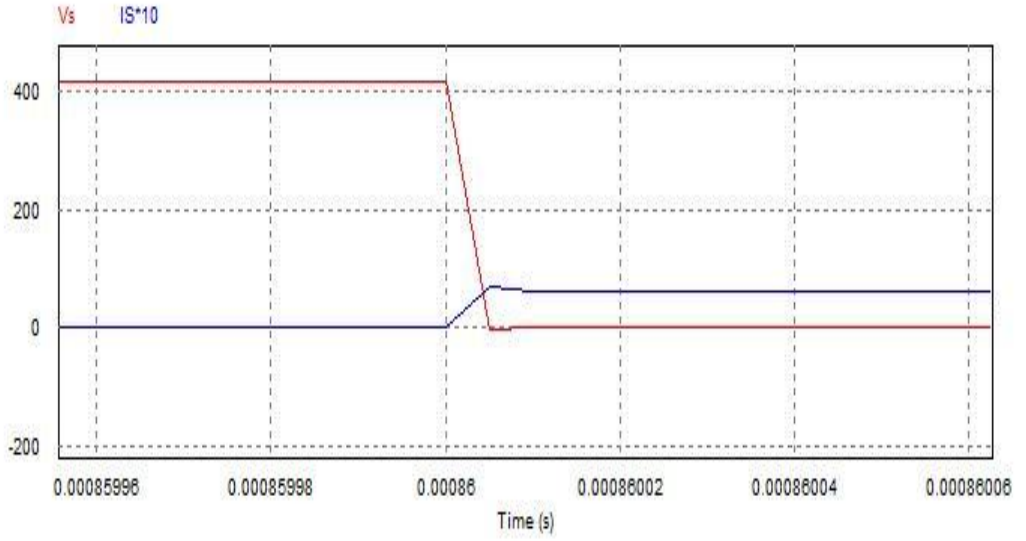
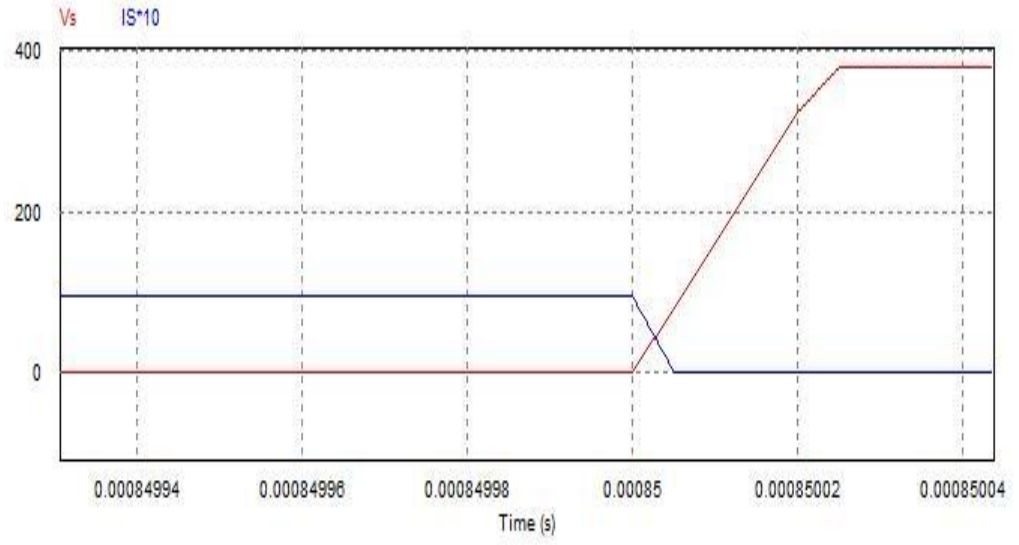
5.4.1 Geleneksel Sert Anahtarlamaalı Yükseltici Dönüştürücü Simülasyonu

Bu tezde incelenen yumuşak anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücü ile karşılaştırma amacıyla geleneksel sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücü PSIM programı ile simüle edilmiştir. Simülasyon devresi Şekil 5.7’de görülmektedir.

Dönüştürücünün anahtarı S iletime ve kesime sert anahtarlama ile girmiştir. S anahtarının iletime ve kesime girme anları Şekil 5.8’de görülmektedir.



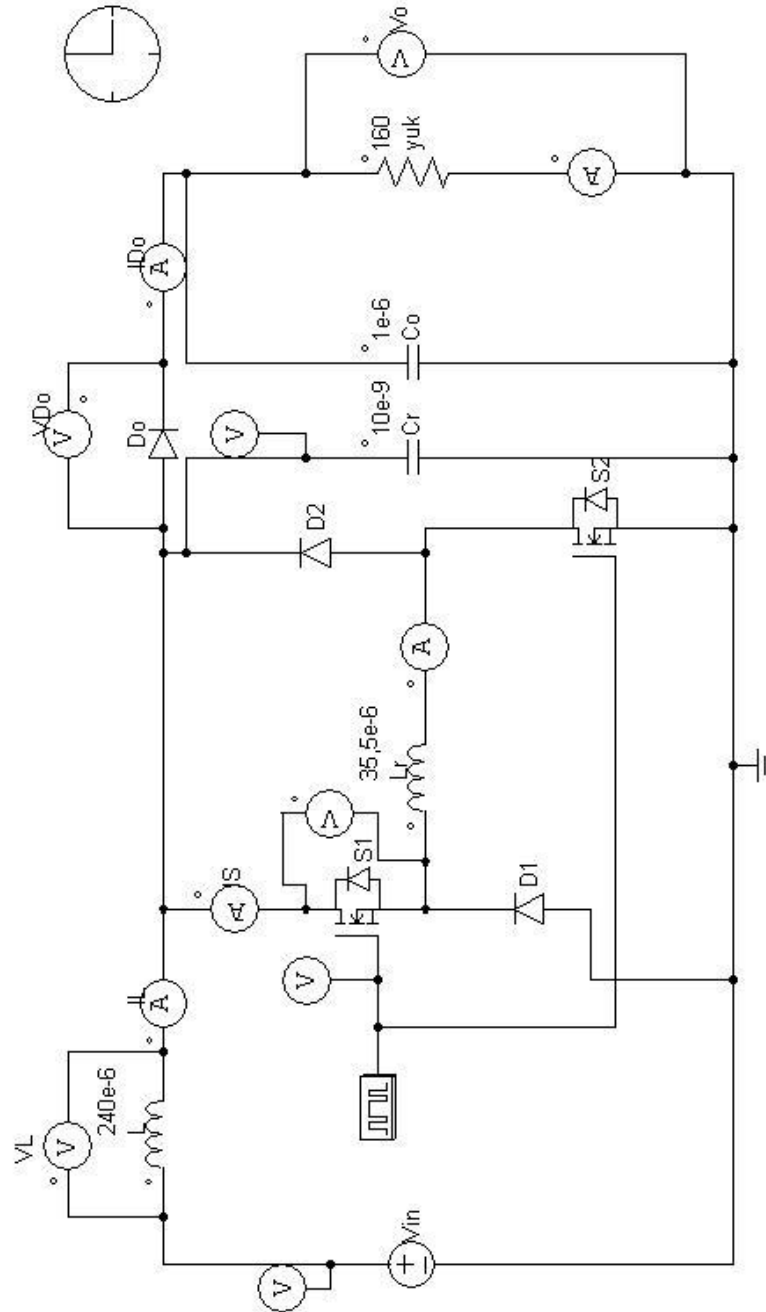
Şekil 5.7 Geleneksel sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün simülasyon devresi



Şekil 5.8 Geleneksel sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün anahtarı S'in iletme ve kesime girme anlarında anahtar akımı I_s ve anahtar gerilimi V_s

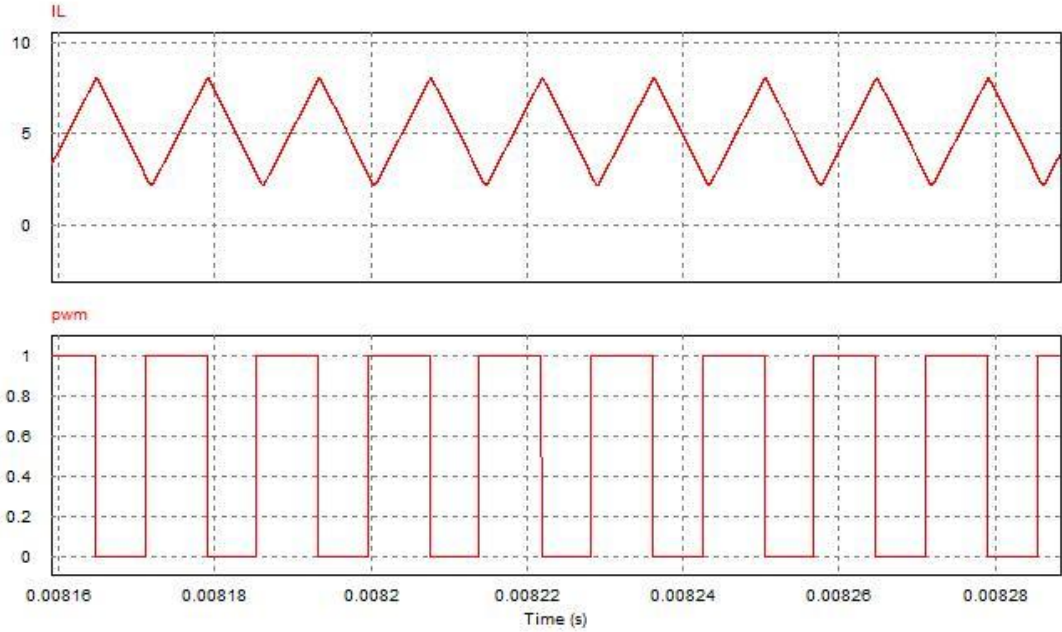
5.4.2 Yumuşak Anahtarlamaalı Yükseltici Dönüştürücü Simülasyonu

Bu tezde sunulan devre PSIM programı ile simüle edilmiştir. Şekil 5.9’da, yardımcı rezonans devreli yumuşak anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün simülasyon devre şeması görülmektedir.



Şekil 5.9 Yardımcı rezonans devreli yumuşak anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün simülasyon devre şeması

Giriş gerilimi 200 V ve çıkış gerilimi 400 V iken aşağıdaki dalga şekilleri elde edilmiştir.



Şekil 5.10 Kapı sinyalinin ve ana endüktans akımı I_L 'nin simüle edilmiş dalga şekilleri

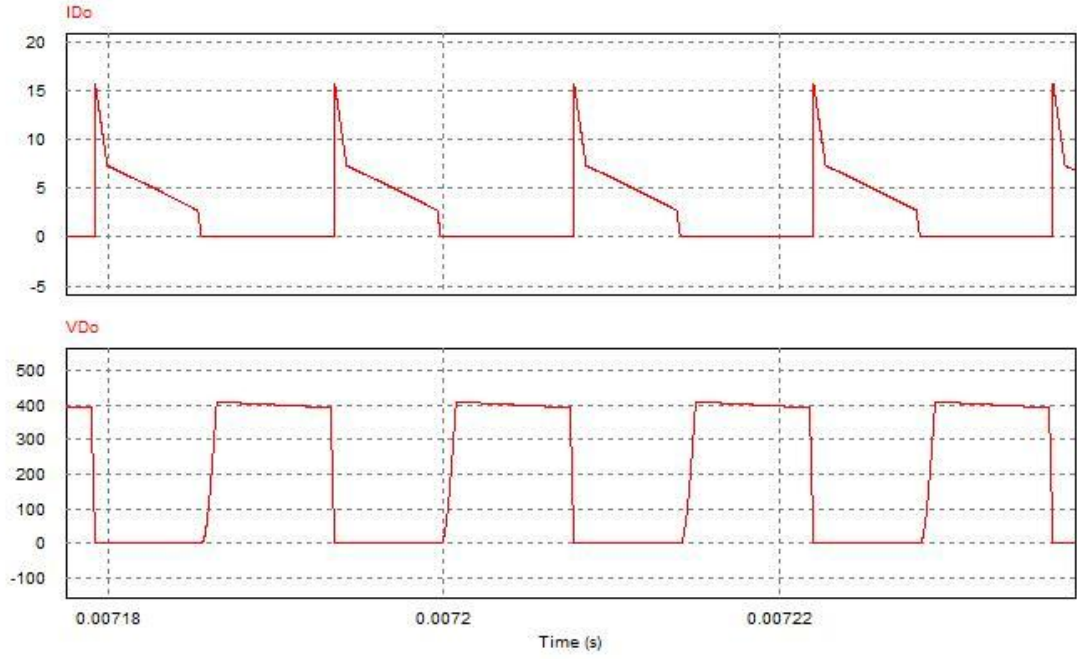
Şekil 5.10'da kapı sinyalinin ve ana endüktans akımının simüle edilmiş dalga şekilleri görülmektedir. Ana anahtar iletme girdiğinde, endüktansta enerji birikir. Kesime girdiğinde, endüktans içinde biriken enerji, giriş kaynağından aktarılan enerji ile birlikte çıkışa aktarılır. Geleneksel yükseltici dönüştürücüde olduğu gibi, burada da anahtar iletimdeyken endüktans akımı sabit eğim ile yükselir, anahtar kesime girdiğinde ise sabit eğim ile düşer.

Şekil 5.11'de çıkış diyodunun gerilim ve akımının simüle edilmiş dalga şekilleri görülmektedir. Çıkış diyonu üzerinde fazladan hiçbir gerilim stresi yoktur. Ancak iletme girme anında, rezonans endüktansının içerisinde biriken enerjinin de çıkışa aktarılması sırasında, kısa süreli bir akım darbesi görülür. Bu akım darbesinin boyutu rezonans endüktansının değerine bağlıdır.

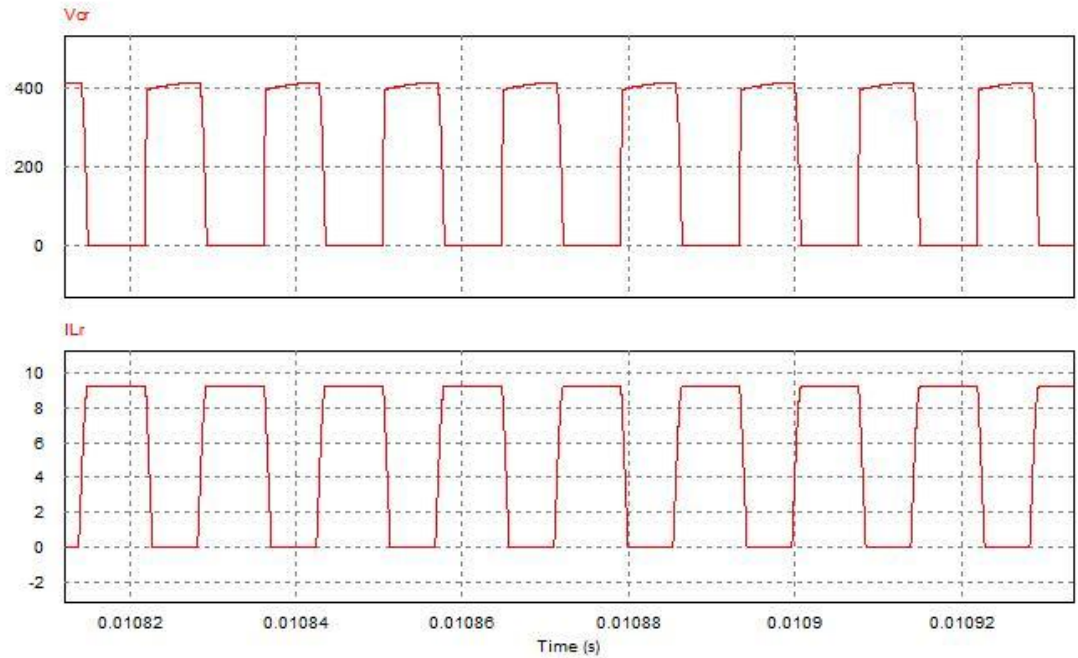
Şekil 5.12'de rezonans kapasitesi gerilimi ve rezonans endüktansı akımının simüle edilmiş dalga şekilleri görülmektedir. Her iki değişim de di/dt ve dV/dt düşük olacak şekilde rezonans ile oluşmaktadır.

Şekil 5.13'te D_1 diyodunun gerilim ve akımının simüle edilmiş dalga şekilleri görülmektedir. Burada D_1 diyodunun akım ve gerilim dalga şekilleri, D_2 diyonu ile

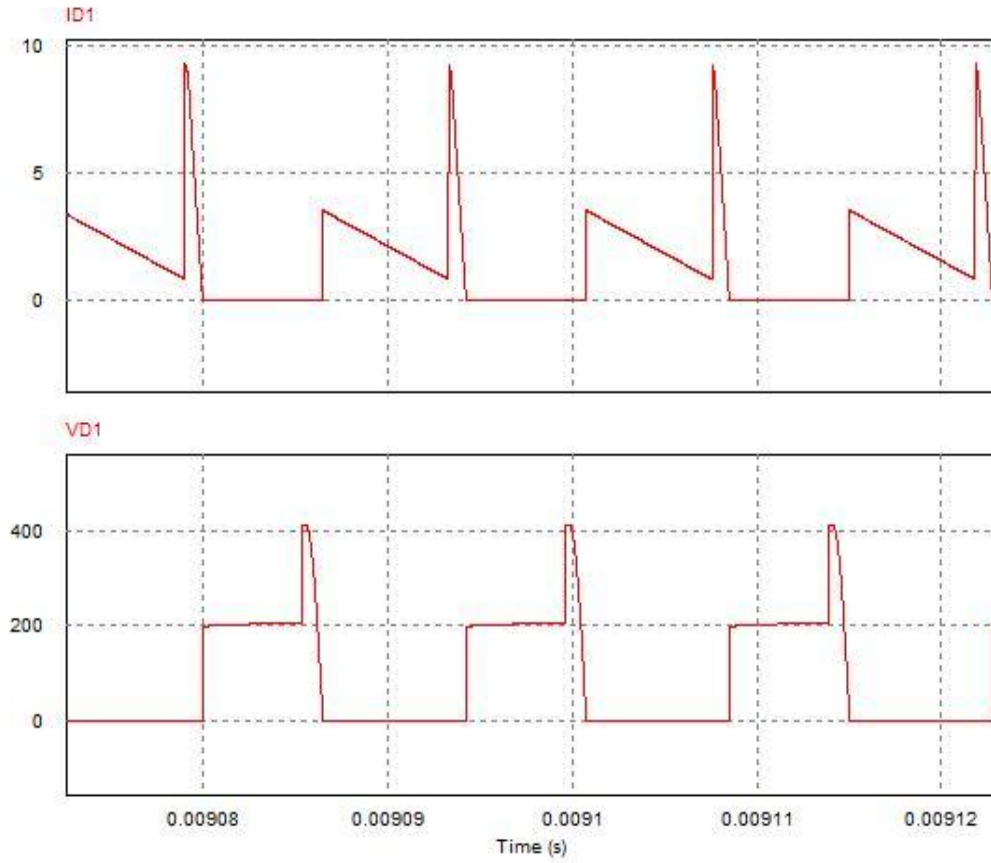
tamamen aynıdır. Her iki diyot üzerinde de fazladan hiçbir gerilim stresi yoktur ancak kesime girmeden hemen önce, L_r rezonans endüktansından kaynaklanan bir fazladan akım stresi oluşur.



Şekil 5.11 Çıkış diyodu D_o 'nun gerilim ve akımının simüle edilmiş dalga şekilleri



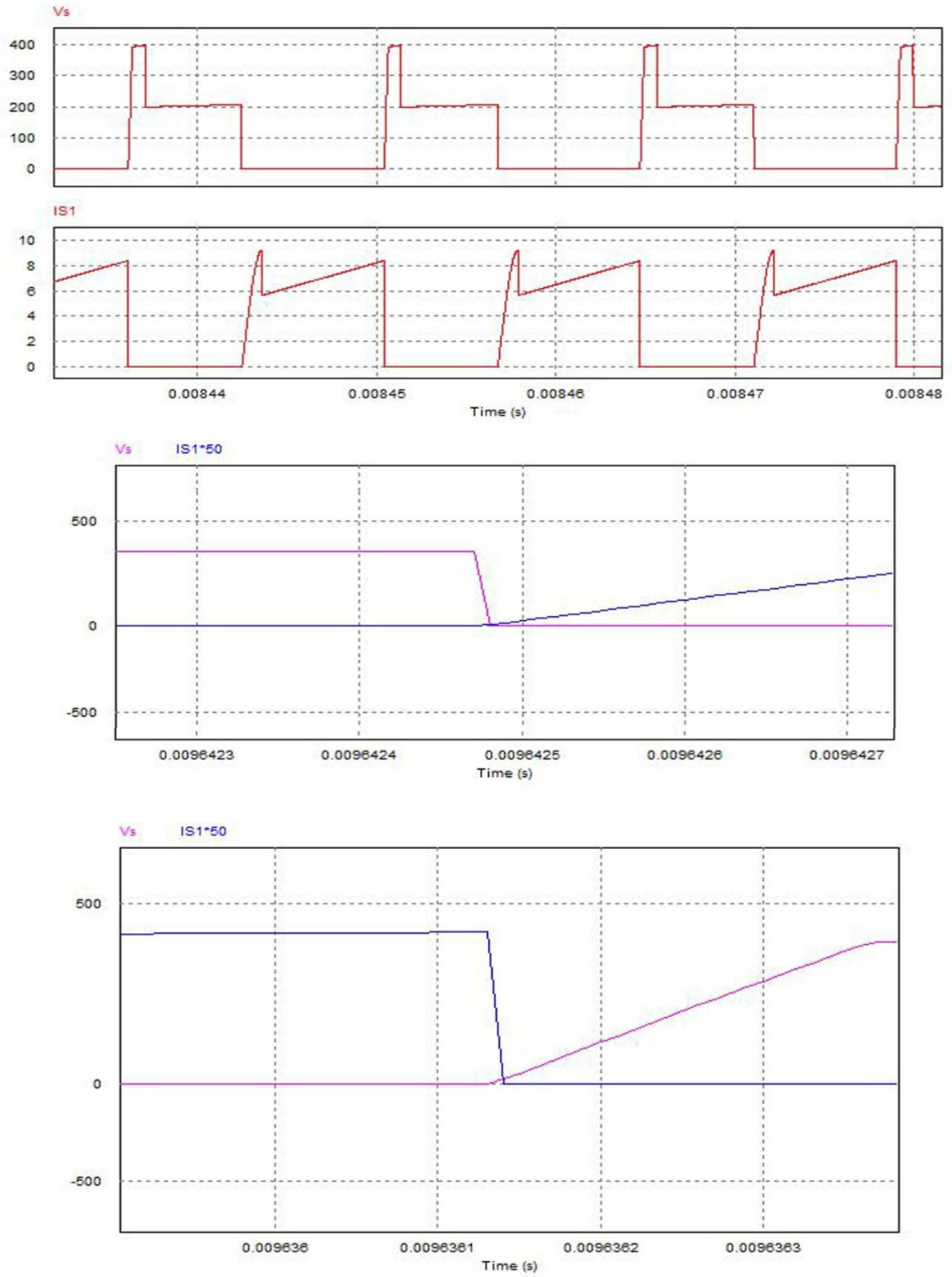
Şekil 5.12 Rezonans kapasitesi gerilimi V_{cr} ve rezonans endüktansı akımı I_{Lr} 'nin simüle edilmiş dalga şekilleri



Şekil 5.13 D_1 diyot gerilimi V_{D1} ve akımı I_{D1} 'in simüle edilmiş dalga şekilleri

Şekil 5.14'te ana anahtar gerilimi ve akımının simüle edilmiş dalga şekilleri görülmektedir. Rezonans endüktansı ve kapasitesinin rezonansıya, iletme ve kesime girmede sırasıyla ZCS ve ZVS sağlanır. S_1 anahtarı dalga şekilleri, diyotlarda da olduğu gibi, S_2 anahtarının dalga şekilleri ile tamamen aynıdır. Anahtarlar üzerinde fazladan bir gerilim stresi yoktur. İletime girme esnasında L_r rezonans endüktansı üzerinde biriken enerjiden kaynaklanarak kısa süreli bir akım darbesi oluşur.

Şekil 5.14'te ayrıca anahtarın iletme ve kesime girme esnasındaki akım ve gerilim dalga şekillerinin açılmış hali görülmektedir. Akım dalga şeklinin gerilim ile benzer bir ölçekte görülebilmesi açısından akım değeri simülasyon ortamında 50 ile çarpılmıştır. İletime girme esnasında anahtar akım ve gerilimi hiç çakışmamakta, mükemmel bir şekilde ZCS sağlanmaktadır. Anahtar kesime girerken de paralel bastırma kondansatörü C_r sayesinde gerilim geciktirilmiştir ve akım ile kesişen kısmı çok büyük oranda engellenerek çok iyi bir şekilde ZVS sağlanmıştır.



Şekil 5.14 Ana anahtar gerilimi V_s ve akımı I_{S1} 'in simüle edilmiş dalga şekilleri

5.5 Uygulama

5.5.1 Geleneksel Sert Anahtarlamaalı Yükseltici Dönüştürücü Uygulaması

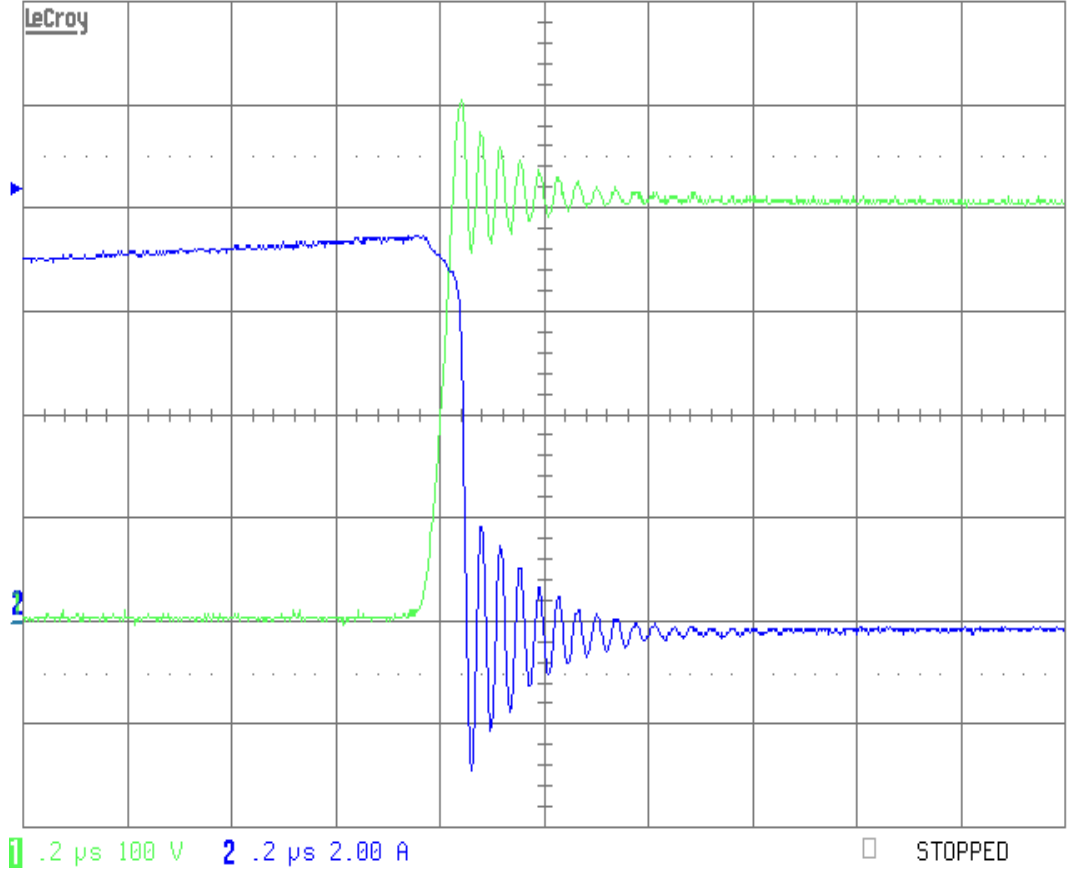
Geleneksel sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün uygulaması, bu tezde incelenen yumuşak anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücü ile karşılaştırma amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.1’de, sert anahtarlamaalı dönüştürücünün özellikleri ve uygulama detayları görülmektedir.

Şekil 5.15’te sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün anahtarı S kesime girerken S’in akımı I_s ve gerilimi V_s ’nin dalga şekilleri görülmektedir. Akım henüz azalmaya başlamadan gerilim yükselmiştir ve akım ile gerilimin kesiştiği bu kısa aralıkta bir güç kaybına sebep olmaktadır. Daha önceki kısımda incelendiği gibi, sert anahtarlama durumunda kesime girme işlemi esnasında anahtar gerilimi kaçak endüktansların etkisi ile bir salınımın ardından nominal gerilime oturur.

Çizelge 5.1 Geleneksel sert anahtarlamaalı dönüştürücünün özellikleri ve uygulama detayları

Maximum Güç	P_{omax}	1000W
Anahtarlama Frekansı	f_s	70 kHz
Giriş Gerilimi	V_{in}	200 V
Çıkış Gerilimi	V_o	400 V
Giriş Endüktansı	L	260 uH
Çıkış kapasitesi	C_o	4,7 uF
Ana Anahtar	S_1	IXFK34N80
Çıkış Diyodu	D_o	DSEP15-06B

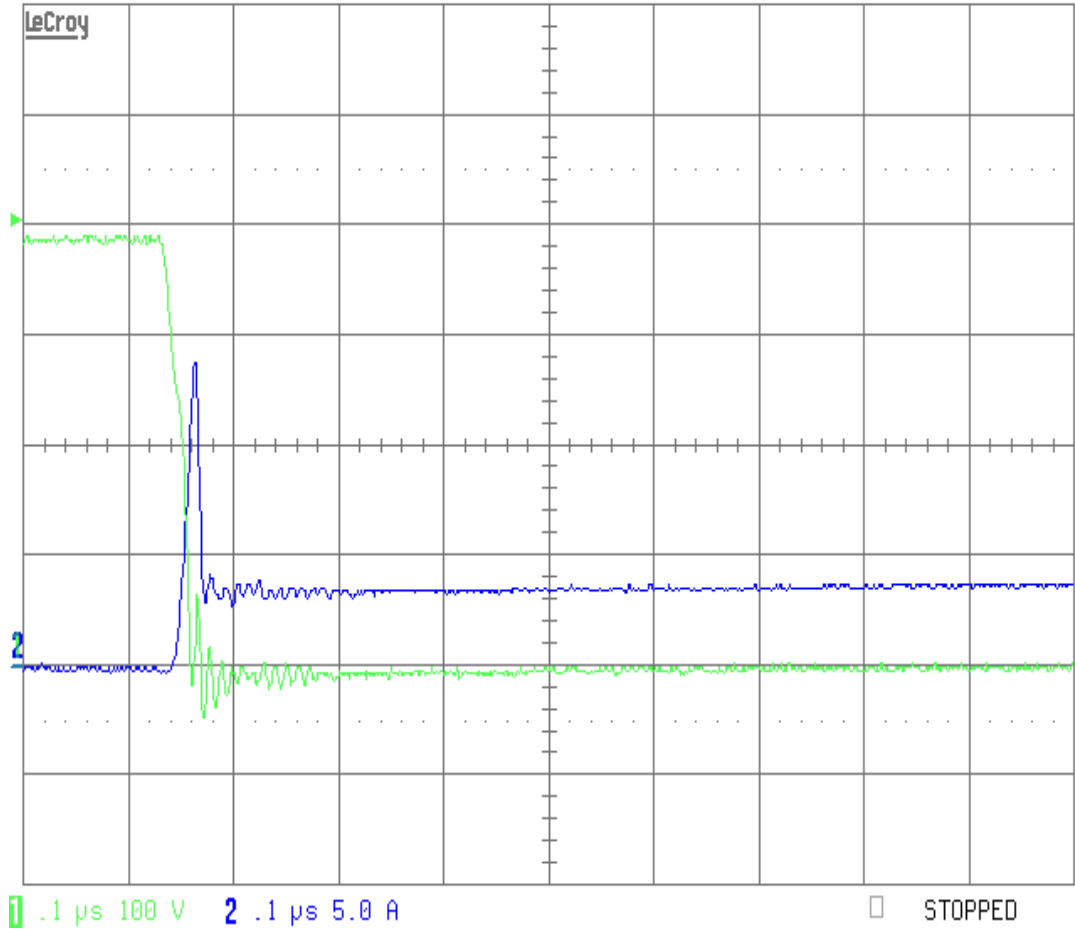


Şekil 5.15 S anahtarı kesime girerken I_s akımı ve V_s gerilimi (100 V/kare, 2A/kare)

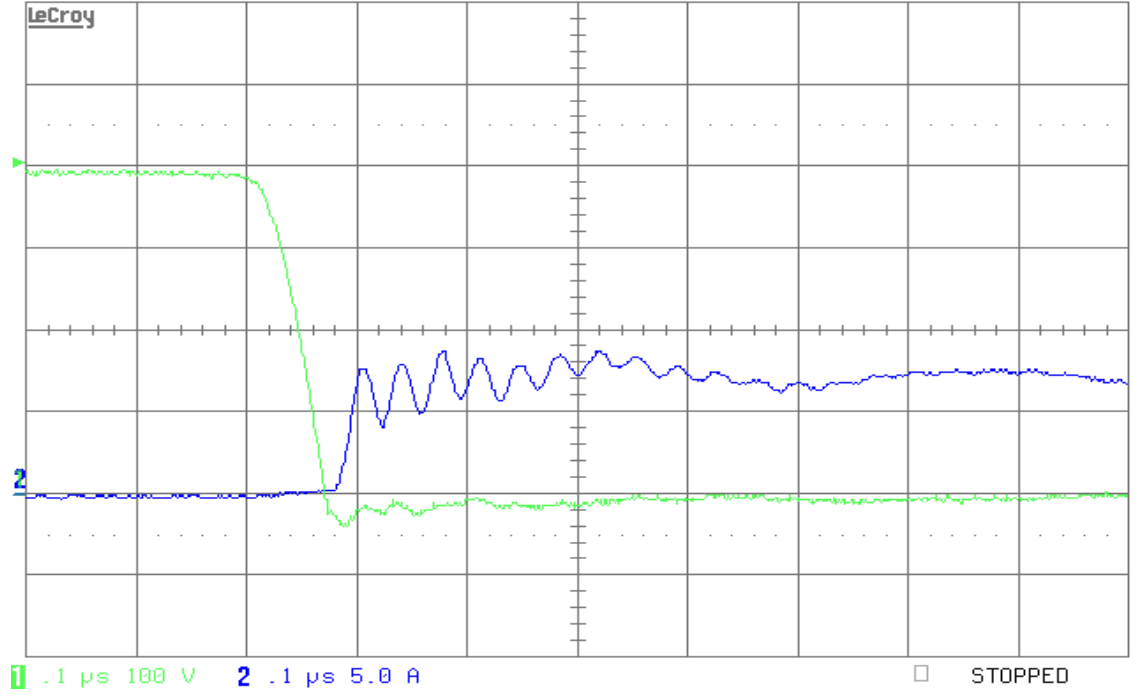
Şekil 5.16’da sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün anahtarı S ilettime girerken S’in akımı I_s ve gerilimi V_s ’nin dalga şekilleri görülmektedir. Diyodun kesime girdiği esnada ilettime giren anahtar, diyodun ters toparlanma akımına maruz kalmaktadır. Bu sebeple anahtar, normalde anahtar içinden geçecek akımın üç katı kadar bir darbe akımı altında ilettime girme işlemini tamamlamaktadır. Bu esnada anahtar gerilimi de henüz sıfıra düşmediğinden ilettime girme esnasında da bir kayıp oluşur.

Şekil 5.17’de sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün diyodunun akımı I_D ’nin ve gerilimi V_D ’nin ilettime girerkenki dalga şekilleri görülmektedir.

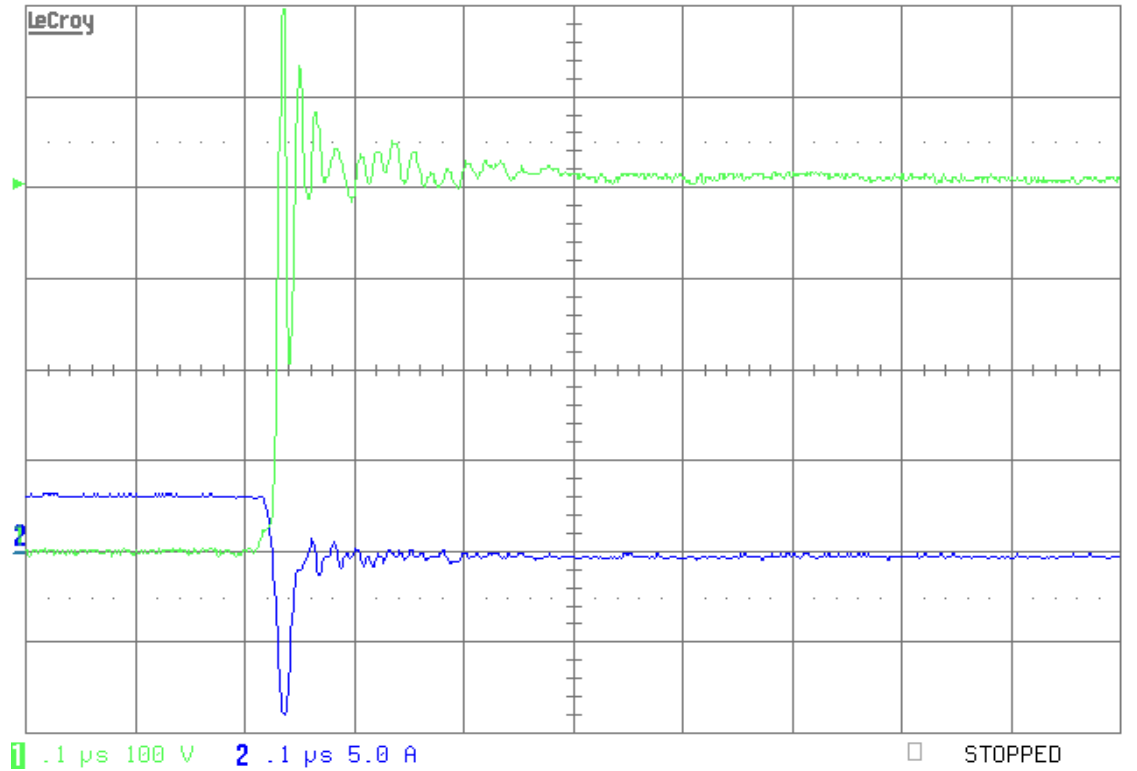
Şekil 5.18’de sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün diyodunun akımı I_D ’nin ve gerilimi V_D ’nin kesime girerkenki dalga şekilleri görülmektedir. Diyodun kesime girme esnasında oluşan I_{rr} akımı şekilde açıkça görülmektedir.



Şekil 5.16 Sert anahtarlamalı yükseltici dönüştürücünün anahtarı S ilettime girerken S akımı I_s ve gerilimi V_s (100 V/kare, 5A/kare)



Şekil 5.17 Sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün diyodu ilettime girerken diyot akımı I_D ve diyot gerilimi V_D (100 V/kare, 5A/kare)



Şekil 5.18 Sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün diyodu kesime girerken diyot akımı I_D ve diyot gerilimi V_D (100 V/kare, 5A/kare)

5.5.2 Yumuşak Anahtarlama Yüksek Güç Dönüştürücü Uygulaması

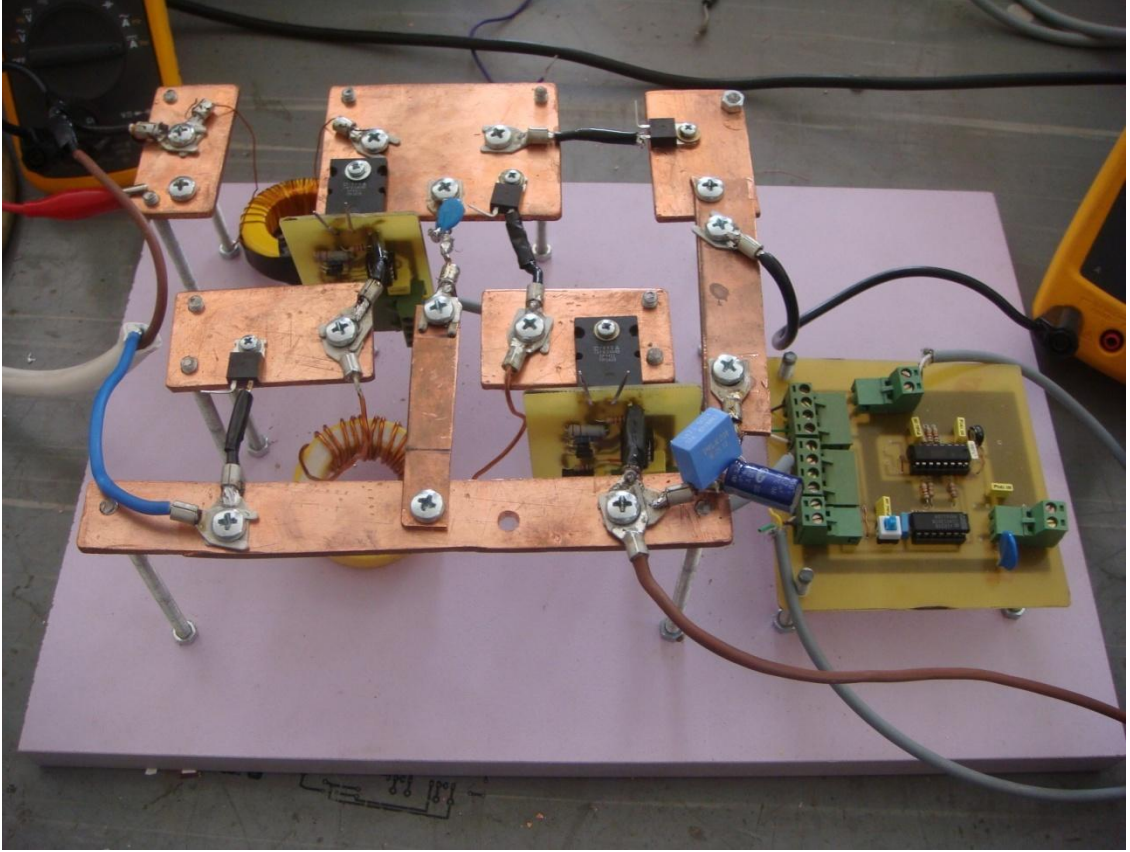
Bu tezde sunulan çalışmaları doğrulamak için, sunulan yumuşak anahtarlama yüksek güç dönüştürücünün uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.2’de, sunulan dönüştürücünün özellikleri ve uygulama detayları görülmektedir. Çizelge 5.2’de özellikleri verilen dönüştürücünün deney düzeneği Şekil 5.19’da görülmektedir.

Çizelge 5.2 Sunulan dönüştürücünün özellikleri ve uygulama detayları

Maximum Güç	Pomax	1000W
Anahtarlama Frekansı	fs	70 kHz
Giriş Gerilimi	Vin	200 V
Çıkış Gerilimi	Vo	400 V
Giriş Endüktansı	L	260 uH
Rezonans Endüktansı	Lr	35,5 uH
Rezonans Kapasitesi	Cr	10 nF
Çıkış kapasitesi	Co	4,7 uF
Ana Anahtar	S1	IXFK34N80
Yardımcı Anahtar	S2	IXFK34N80
Yardımcı Diyotlar	D1, D2	DSEP15-06B
Çıkış Diyodu	Do	DSEP15-06B

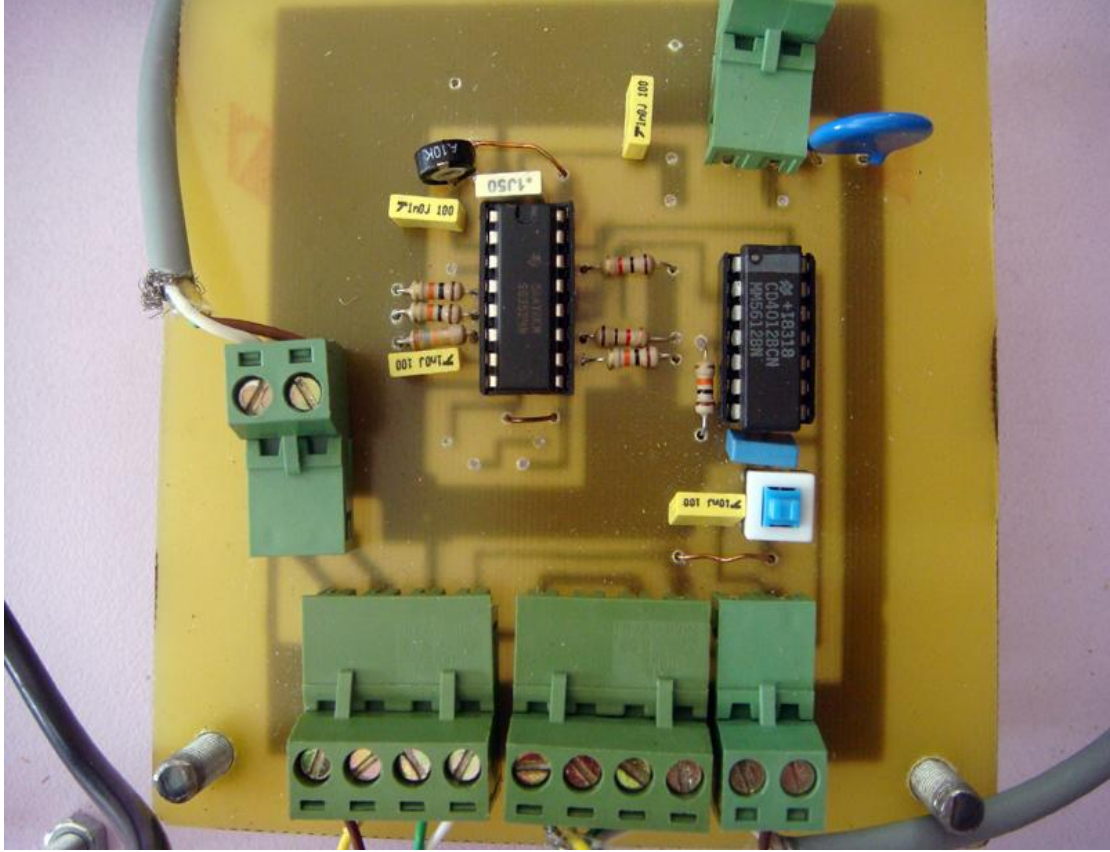
Şekil 5.19’da görüldüğü gibi, iletken yolları oluşturmak amacıyla bakır baralar kullanılmıştır. Buradaki amaç, yollar üzerinde oluşabilecek parazitik etkileri ortadan kaldırarak topolojinin çalışmasını daha sade bir şekilde gözlemleyebilmektir.



Şekil 5.19 Sunulan devrenin deney düzeneği

Şekil 5.19’da da görüldüğü gibi rezonans kondansatörü C_r için seramik kondansatör kullanılmıştır. Yine çıkış kondansatörü olarak elektrolitik, seramik ve polyester kondansatörler birlikte kullanılmıştır. Böylece farklı karakteristiklere ve cevap verme hızlarına sahip kondansatörler bir arada kullanılarak her birinin faydalı yanlarından yararlanılmıştır.

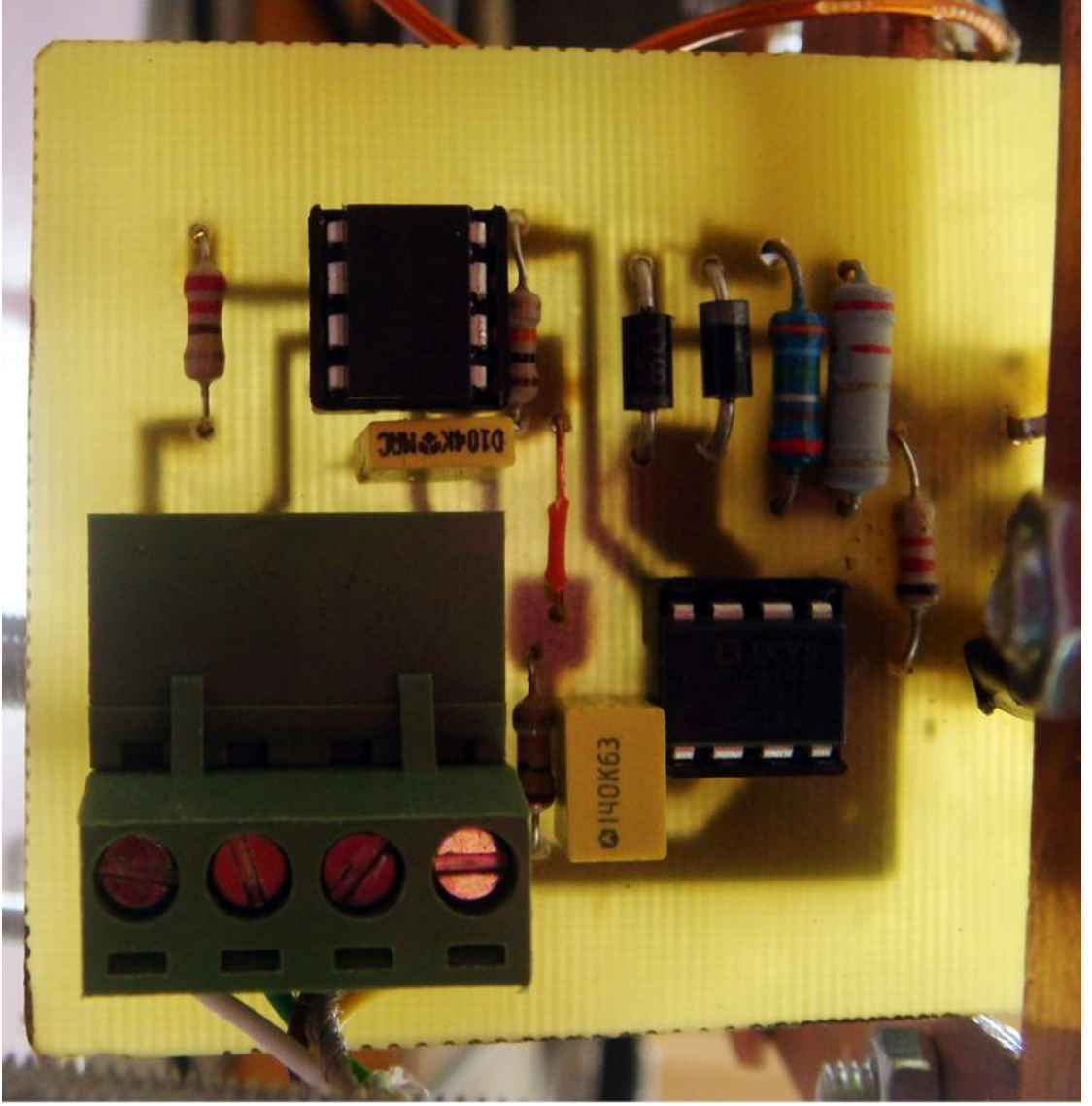
Şekil 5.20’de görülen kontrol devresi, devredeki anahtarların sürülmesi amacıyla kullanılmıştır. Kontrol entegresi olarak SG3524 kullanılmıştır. SG3524’ten çıkan kontrol sinyalleri her iki elemana da aynı anda uygulanmıştır. Sürme devresinde kullanılan HCPL4503 isimli optokuplör, devre yapısı itibariyle sinyallerin tersini aldığından sinyaller öncelikle bir NAND kapısı ile terslenmiştir. Daha sonra bu NAND kapısından çıkan sinyaller sürme devrelerine uygulanmıştır.



Şekil 5.20 Yumuşak anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücü uygulamasının kontrol devresi

Şekil 5.21’de görülen sürme devresi her iki anahtar için de kullanılmıştır. Emiter (Source) bacağı devrenin nötr hattına bağlı olmayan S_1 anahtarının sinyalleri izole edilerek elemana verilmelidir. Bu amaçla HCPL4503 isimli optokuplör kullanılmıştır. HCPL4503’ün çıkış gücü, elemanı sürmeye yetmediğinden optokuplör çıkışında sürme entegresi kullanılmıştır. Sürme entegresi olarak IXDD414 seçilmiştir.

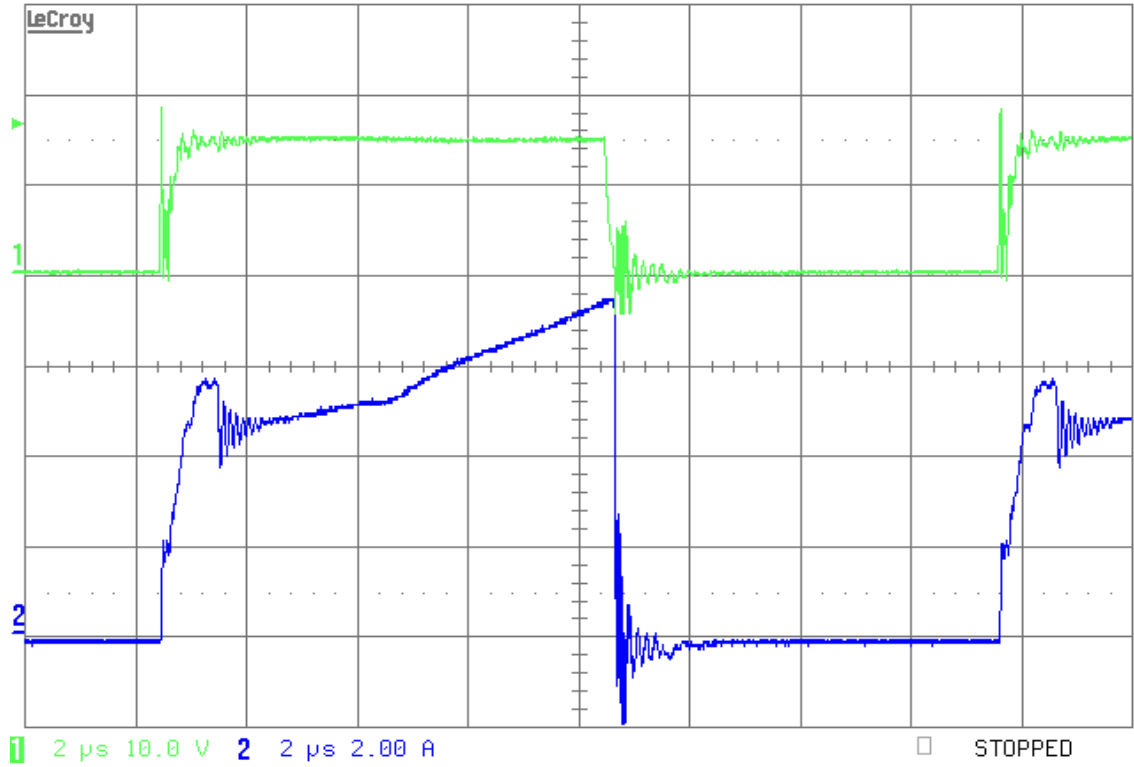
Emiteri nötre bağlı olan S_2 anahtarının sinyalinin izole edilmesine gerek yoktur. Ancak optokuplörün sebep olacağı gecikme, iki anahtarın sinyalleri arasındaki senkronizasyonu bozacağından aynı optokuplör S_2 anahtarı için de kullanılmıştır. Böylece iki sinyal arasında oluşabilecek bir gecikme farkı ortadan kalkmıştır.



Şekil 5.21 Yumuşak anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücü uygulamasının sürme devresi

5.5.3 Uygulama Sonuçları

Şekil 5.22’de PWM sinyali ve ana anahtar akımının kurulan deney düzeneği ile elde edilmiş dalga şekilleri görülmektedir.



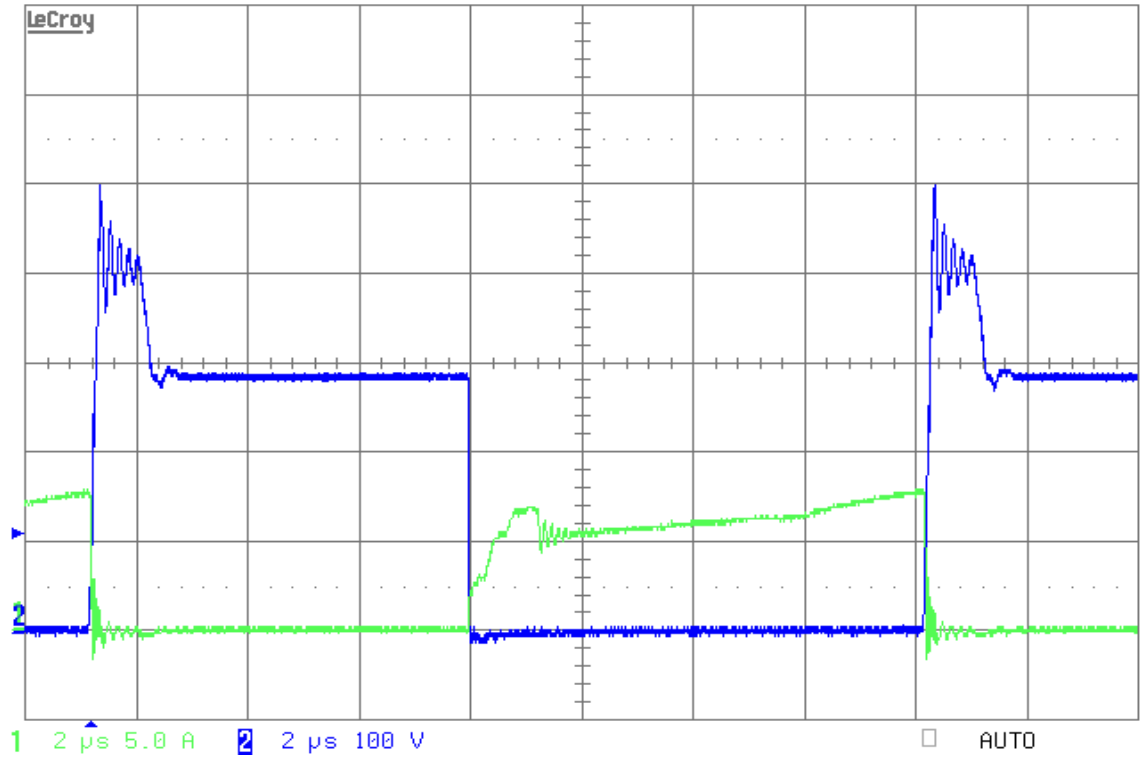
Şekil 5.22 PWM sinyali ve ana anahtar akımının deneysel dalga şekilleri (10V/kare, 2A/kare)

Şekil 5.23’te D_1 diyodunun akım ve gerilimi görülmektedir.

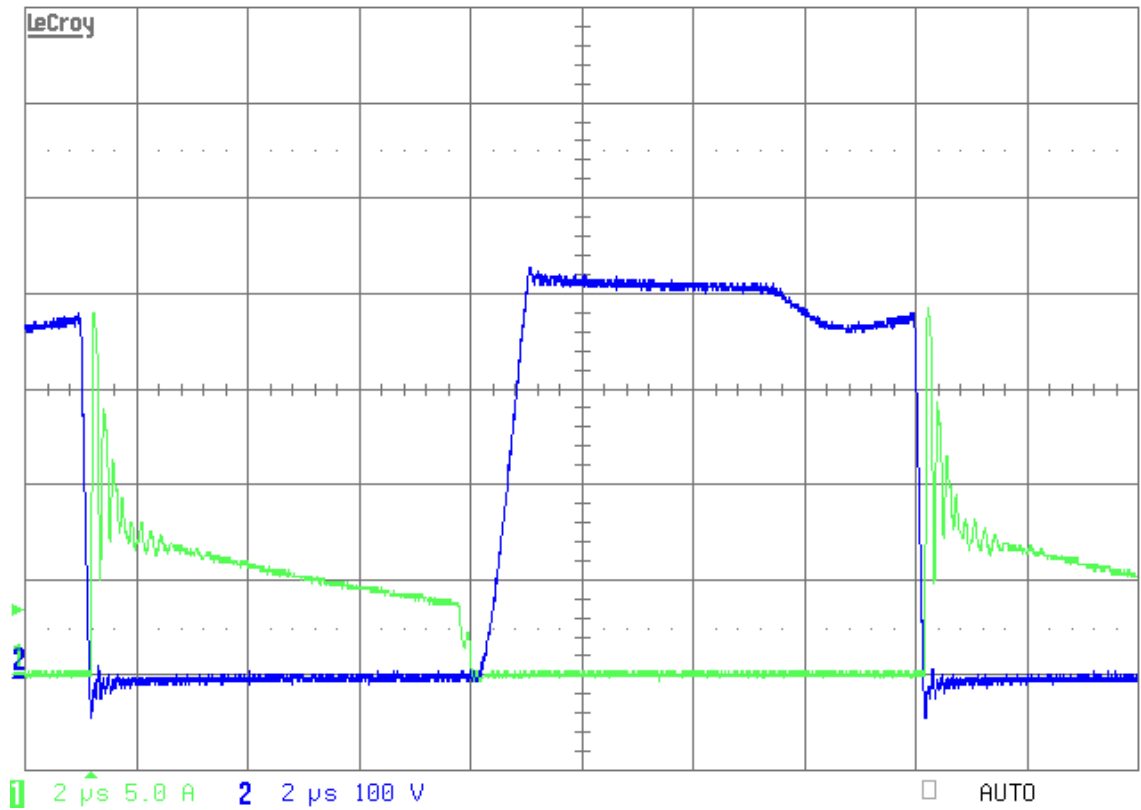
Şekil 5.24’te çıkış diyodunun akım ve gerilimi görülmektedir.

Şekil 5.25’de rezonans endüktansı akımı I_{Lr} ve rezonans kapasitesi gerilimi V_{Cr} görülmektedir.

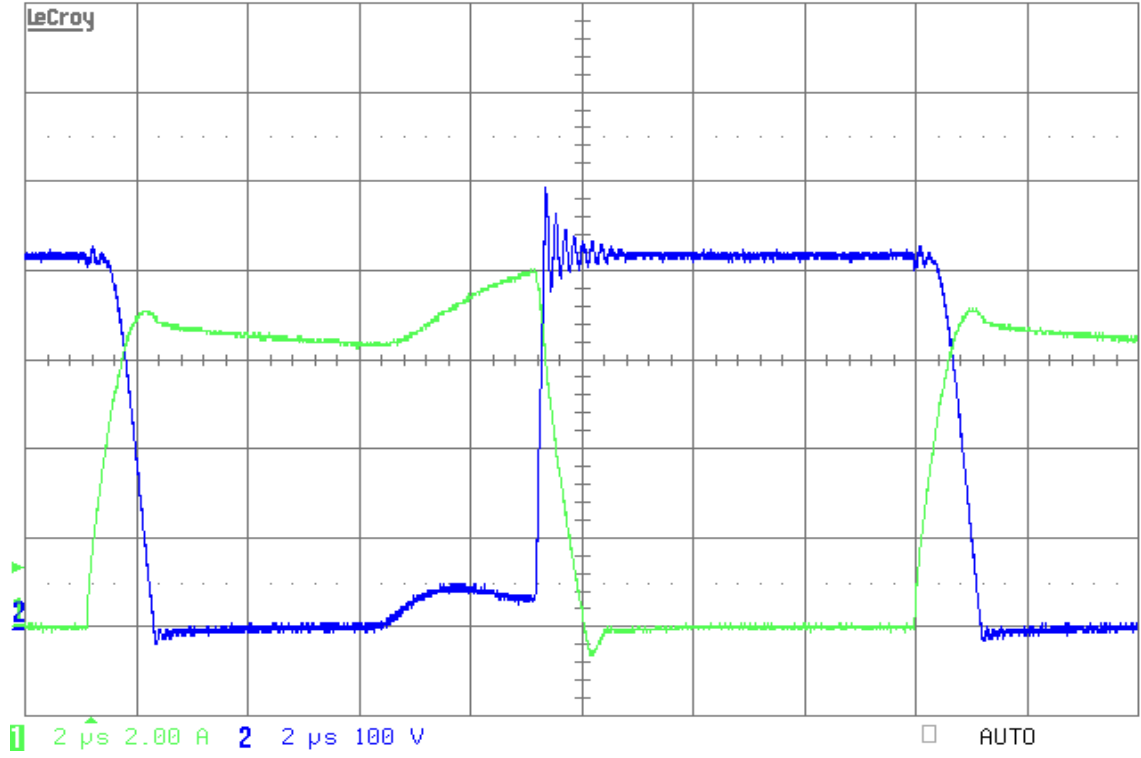
Şekil 5.26’da ana anahtar gerilimi V_{S1} ve ana anahtar akımı I_{S1} görülmektedir.



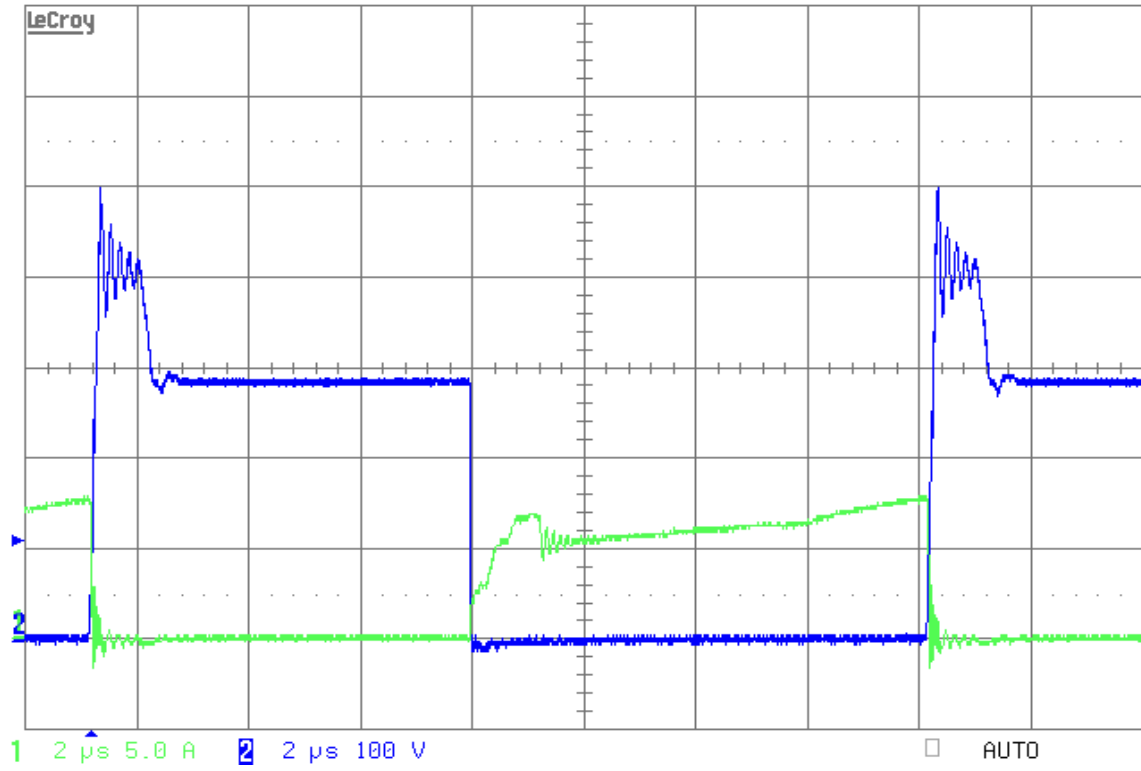
Şekil 5.23 D₁ diyodunun akım ve gerilimi (100V/kare, 5A/kare)



Şekil 5.24 Çıkış diyodunun akım ve gerilimi (100V/kare, 5A/kare)

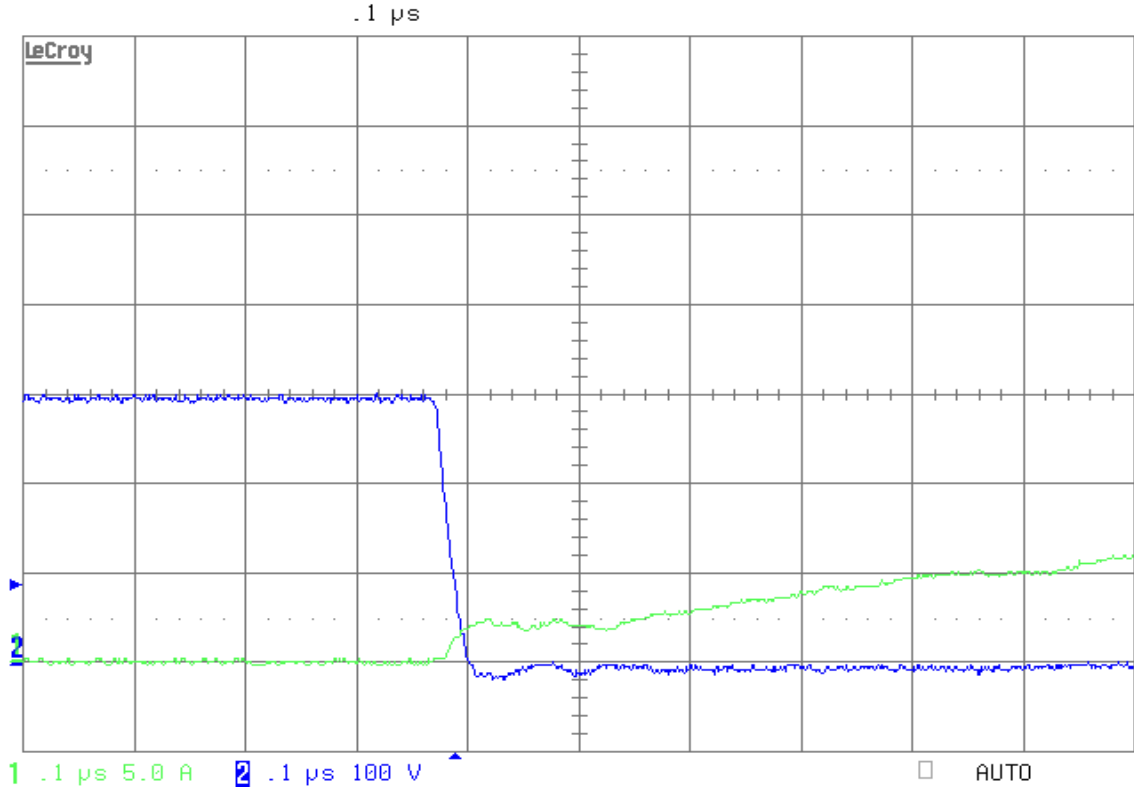


Şekil 5.25 Rezonans endüktansı akımı I_{Lr} ve rezonans kapasitesi gerilimi V_{C_r} (100V/kare, 2A/kare)



Şekil 5.26 Ana anahtar gerilimi V_{S1} ve ana anahtar akımı I_{S1} (100V/kare, 5A/kare)

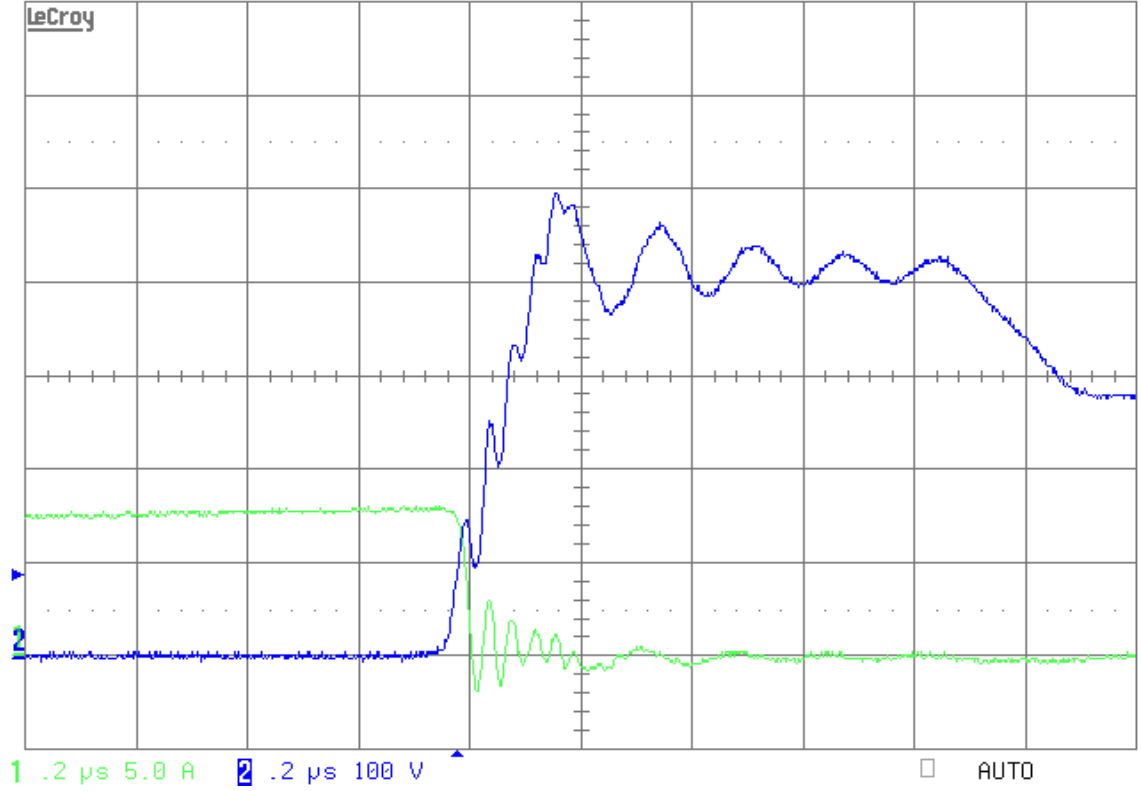
S_1 anahtarının iletme ve kesime girerkenki anları detaylı olarak incelendiğinde, anahtarın yumuşak olarak iletme ve kesime girdiği gözlenmiştir. Anahtarın iletme girme anı Şekil 5.27’de, kesime girme anı Şekil 5.28’de gösterilmiştir.



Şekil 5.27 S_1 Anahtarının iletme girme anında anahtar akımı I_{S1} ve anahtar gerilimi V_{S1} ’in dalga şekilleri (100V/kare, 5A/kare)

Şekil 5.27’de görüldüğü gibi, anahtarın iletme girme anında rezonans endüktansı L_r sayesinde anahtarın akımının yükselişi çok büyük ölçüde yavaşlatılmıştır. Böylece anahtar gerilimi sıfıra indikten sonra anahtar akımı yükselmeye başlamış ve akım ile gerilim çakışmamıştır. ZCS ile iletim sağlanmış ve anahtarlama anında oluşacak kayıp engellenmiştir.

Şekil 5.28’de görüldüğü gibi, anahtarın kesime girme işlemi anahtarlara paralel bağlı rezonans kondansatörü sayesinde gerilimin yavaşça artması sağlanarak ZVS ile gerçekleştirilmiştir. Bu dalga şekli her iki anahtar için de aynı olmaktadır. Akım ile gerilim arasındaki kesişme yalnızca 50 ns gibi kısa bir süre oluşmaktadır ve bu esnada anahtar gerilimi nominalin henüz dörtte biri seviyesindedir. Böylece oluşacak anahtarlama kaybı engellenmiştir.



Şekil 5.28 S_1 Anahtarının kesime girme anında anahtar akımı I_{S1} ve anahtar gerilimi V_{S1} 'in dalga şekilleri (100V/kare, 5A/kare)

5.6 Verim

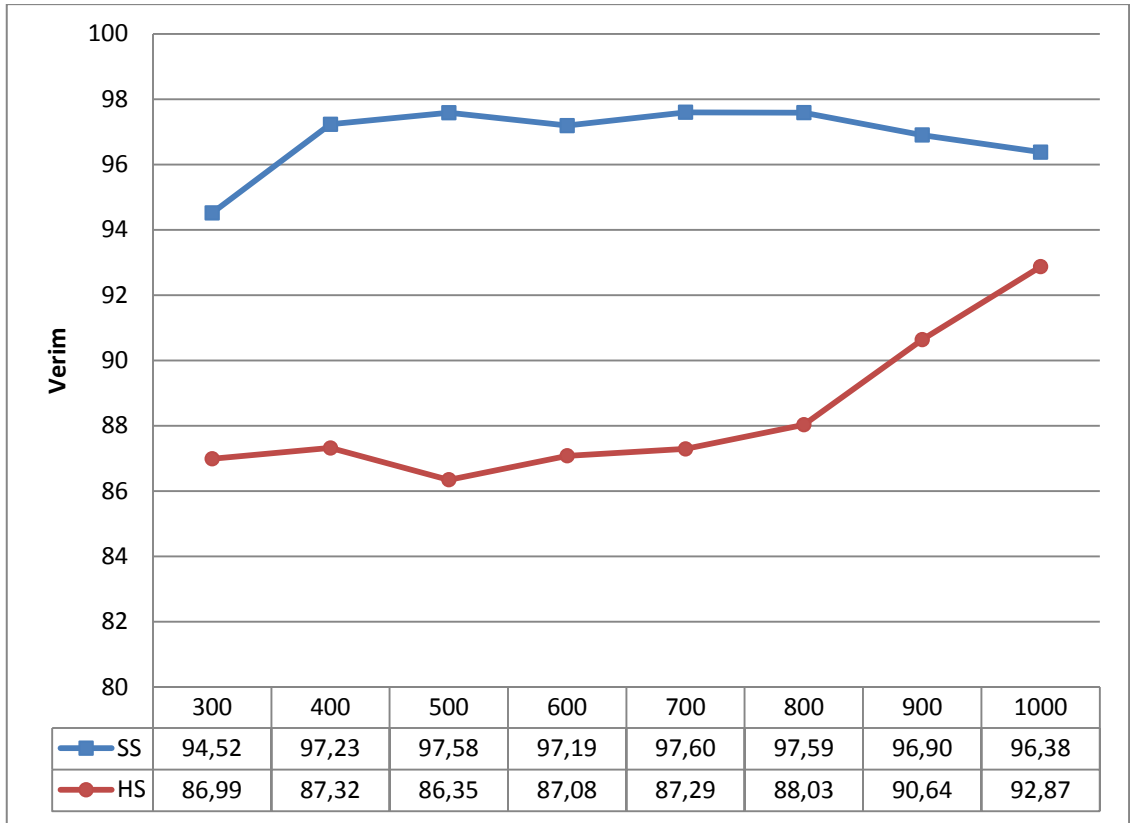
Bu tezde incelenen yumuşak anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün verimi ölçülmüştür. Verimin, geleneksel sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücü verimine göre artışını görebilmek için, iki dönüştürücü için de aynı yük değerleriyle ölçüm yapılmıştır. Çizelge 5.3'de yumuşak anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücü için yük, giriş gücü, giriş akımı, giriş gerilimi, çıkış akımı, çıkış gerilimi, çıkış gücü ve verim değerleri görülmektedir. Çizelge 5.4'te sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücü için yük, giriş gücü giriş akımı, giriş gerilimi, çıkış akımı, çıkış gerilimi, çıkış gücü ve verim değerleri görülmektedir. Şekil 5.29'da yumuşak anahtarlamaalı ve sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücü için verim eğrileri görülmektedir.

Çizelge 5.3 Yumuşak anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücü için yük, giriş gücü, giriş akımı, giriş gerilimi, çıkış akımı, çıkış gerilimi, çıkış gücü ve verim

Ryük (Ω)	Iin (A)	Vin (V)	Pin (W)	Io (A)	Vo (V)	Po (W)	η (%)
533	1,65	199,40	329,01	0,78	399,34	310,97	94,52
400	2,01	205,00	411,44	1,00	400,03	400,03	97,23
320	2,53	208,00	525,62	1,27	404,63	512,91	97,58
267	2,99	208,70	623,39	1,51	402,00	605,85	97,19
229	3,40	211,80	720,12	1,75	400,65	702,82	97,60
200	3,83	215,90	827,33	2,01	401,89	807,36	97,59
178	4,30	216,60	932,25	2,25	400,73	903,37	96,90
160	4,78	219,00	1047,26	2,51	401,87	1009,30	96,38

Çizelge 5.4 Sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücü için yük, giriş gücü giriş akımı, giriş gerilimi, çıkış akımı, çıkış gerilimi, çıkış gücü ve verim

Ryük (Ω)	Iin (A)	Vin (V)	Pin (W)	Io (A)	Vo (V)	Po (W)	η (%)
533	1,75	202,40	353,19	0,77	399,00	307,23	86,99
400	2,25	203,60	458,10	1,00	400,00	400,00	87,32
320	2,72	204,30	555,90	1,20	400,00	480,00	86,35
267	3,35	204,00	683,40	1,49	399,40	595,11	87,08
229	3,80	205,20	780,58	1,70	400,80	681,36	87,29
200	4,21	204,70	861,17	1,90	399,00	758,10	88,03
178	4,73	206,00	973,35	2,20	401,00	882,20	90,64
160	5,23	206,00	1076,76	2,50	400,00	1000,00	92,87



Şekil 5.29 Yumuşak anahtarlama ve sert anahtarlama yükseltici dönüştürücü için verim eğrileri

Görüldüğü gibi sert anahtarlama koşullarında %86 ile %93 arasında değişen verim, yumuşak anahtarlama %94 ile %97,6 arasında değişmiştir. Tam yükte yaklaşık %4 verim artışı sağlanmıştır. 700W civarında ise yaklaşık %10 verim artışı sağlanmıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yumuşak anahtarlama, temel olarak, anahtarlama kayıpları ile EMI gürültüsünün özel düzeneklerle yok edilmesi veya en aza indirilmesi şeklinde tanımlanır ve anahtarlama esnasında elemanın maruz kaldığı akım ve gerilim değerleri ile akım ve gerilim yükselme hızlarının bastırılması, akım ve gerilim değişimlerinin şekillendirilmesi, anahtarlama kayıpları ile EMI gürültüsünün azaltılması ve anahtarlama enerjisinin yüke veya kaynağa transfer edilmesi fonksiyonlarını kapsar.

Yumuşak anahtarlama amacıyla geliştirilen ve dönüştürücülerin temel bir parçası olmayan ilave düzen ve devrelere ise bastırma hücreleri denilmektedir. Yumuşak anahtarlama veya bastırma hücrelerinde nihai amacın devrenin güç yoğunluğunun artırılması olduğu daima göz önünde tutulmalıdır. Bu nedenle, endüstride yaygın olarak kullanılan PWM DA-DA dönüştürücülerin gelişimi, anahtarlama problemlerinin çözümüne dayalıdır.

Geleneksel yükseltici dönüştürücünün verimi, anahtarlar iletme ve kesime girerken kayıplara sebep olan sert anahtarlama sebebiyle düşüktür. Bu tezde, literatürdeki çeşitli yumuşak anahtarlama yükseltici dönüştürücü örnekleri sunulmuş ve “Bir PV Sistem İçin Basit Bir Yardımcı Rezonans Devreli (SARC) Yumuşak Anahtarlama Yükseltici Dönüştürücü” devresi detaylı olarak incelenmiş, simülasyonu ve uygulaması gerçekleştirilmiştir.

İncelenen devredeki anahtarlar üzerinde, genellikle yumuşak anahtarlama yükseltici dönüştürücülerdeki yardımcı elemanlarda görülen fazladan bir akım stresi oluşmaktadır ancak bu akımın tepe değeri rezonans endüktansının boyutu ile ayarlanabilir. Anahtarlar üzerinde oluşan fazladan akım stresi aynı zamanda diyot üzerinde de görülmektedir. Fazladan oluşan bu akım, rezonans endüktansının değeri ile ayarlanabilir. Bu akım stresleri haricinde devrede hiçbir eleman üzerinde fazladan bir gerilim stresi yoktur.

Bütün elemanlar geleneksel yükseltici dönüştürücüde de olduğu gibi çıkış gerilimine maruz kalmaktadır.

İncelenen topolojinin avantajlarından biri, kontrolünün literatürdeki diğer topolojilere kıyasla çok daha kolay olmasıdır. Anahtarlar, geleneksel yükseltici dönüştürücü gibi tek bir kontrol sinyali ve darbe genişlik modülasyonu ile kontrol edilmektedir. Anahtarların iletme girmesi esnasında rezonans endüktansı L_r sayesinde anahtarın akımının yükselişi çok büyük ölçüde yavaşlatılmıştır. Anahtar akım ve gerilimi hiç çakışmamış, mükemmel bir şekilde ZCS sağlanarak anahtarlama esnasında oluşacak güç kaybı engellenmiştir. Anahtar kesime girerken de paralel bastırma kondansatörü C_r sayesinde gerilim geciktirilmiş ve akım ile kesişen kısmı çok büyük oranda engellenerek çok iyi bir şekilde ZVS sağlanmıştır.

Devrenin uygulaması, 70 kHz çalışma frekanslı ve 1000 W'lık yüksek çıkışlı bir deney düzeneği ile gerçekleştirilmiştir. Aynı çalışma frekansı ve yük koşullarında sert anahtarlama devresi de gerçekleştirilerek devrenin verimindeki artış gözlenmiştir. Dönüştürücünün verimi yaklaşık olarak %97,6 değerine ulaşmıştır.

İncelenen DA-DA dönüştürücünün yüksek güç ve yüksek frekans uygulamalarında kullanılmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Fahrenbruch, A.L. ve Bube, R.T., (1983), "Fundamentals of Solar Cells", Academic Press, New York.
- [2] Park, S., Cha, G. ve Jung, Y., (2010). "Design and Application for PV Generation System Using a Soft-Switching Boost Converter With SARC", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 57:515-527.
- [3] Nakir, İ., (2007), Fotovoltaik Güneş Panellerinde GTS ve MGTS Kullanılarak Verimliliğin Artırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Hua, G., Leu, C.S., Jiang, Y., ve Lee, F.C.Y., (1994), "Novel Zero-Voltage-Transition PWM Converters", IEEE Trans. on Power Electron., 9, 2:213-219.
- [5] Ferraro, A., (1982), "An Overview Of Low-Loss Snubber Technology For Transistor Converters", IEEE Power Electron. Spec. Conf., 466-477.
- [6] Smith, K.M., ve Smedley, K.M., (1999), "Properties and Synthesis of Passive Lossless Soft-Switching PWM Converters", IEEE Trans. on Power Electron., 14,5:890-899.
- [7] Bodur, H., ve Bakan, A.F., (2002), "A New ZVT-PWM DC-DC Converter," IEEE Trans. On Power Electron., 17:40-47.
- [8] Mao, H., Lee, F.C.Y., Zhou, X., Dai, H., Cosan, M., ve Boroyevich, D., (1997), "Improved Zero-Current-Transition Converters for High-Power Applications", IEEE Trans. on Ind. Applcat., 33, 5:1220-1232.
- [9] Smith, K.M., ve Smedley, K.M., (1997), "A Comparison of Voltage-Mode Soft-Switching Methods for PWM Converters," IEEE Trans. on Power Electron., 12:376-386.
- [10] Tseng, C.J., ve Chen, C.L., (1998), "Novel ZVT-PWM Converters with Active Snubbers," IEEE Trans. on Power Electron., 13:861-869.
- [11] Grigore, V., ve Kyra, J., (1998), "A New Zero-Voltage-Transition PWM Buck Converter," in Proc. 9th Mediterranean Electrotechnical Conf. (MELECON' 98), Tel Aviv, Israel, 2:1241-1245.
- [12] Menegaz, J.M.P., Co, M.A., Simonetti, D.S.L., ve Vieira, L.F., (1999), "Improving the operation of ZVT DC-DC Converters," in Proc. 30th Power Electron. Spec. Conf. (PESC' 99), Charleston, 1:293-297.

- [13] Hua, G., Yang, E.X., Jiang, Y., ve Lee, F.C.Y., (1994), “Novel Zero-Current-Transition PWM Converters”, IEEE Trans. on Power Electron., 9, 6:601-606.
- [14] Bodur, H., “Güç elektroniğinin endüstriyel uygulamaları 1”, YTÜ Ders Notları, YTÜ, İstanbul
- [15] Bodur, H., (2003), “DC-DC Dönüştürücülerde Yumuşak Anahtarlama Teknikleri”, YTÜ Ders Notları, 2003, YTÜ, İstanbul.
- [16] Kim; T., Kim; H., Ahn, H., (2000), “An Improved ZVT-PWM Boost Converter”, Power Electronics Specialists Conference, 2000. PESC 00. 2000 IEEE 31st Annual, 18-23 Haziran 2000, Galway, Ireland.
- [17] Jung, D., Ji, Y., Kim, J., Won, C. ve Jung, Y., (2008), “Soft switching boost converter for photovoltaic power generation system”, Power Electronics and Motion Control Conference, 2008. EPE-PEMC 2008. 13th, 1-3 Eylül 2008, Poznan, Polonya.
- [18] Tsuruta, Y., Ito, Y. ve Kawamura, A., (2005), “A New Zero-Voltage-Zero-Current-Transition Chopper SAZZ for a FCEV Drive”, Industrial Electronics Society, 2005. IECON 2005. 31st Annual Conference of IEEE, 6-10 Kasım 2005, Raleigh, North Carolina, ABD.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sezen UYGUR

Doğum Tarihi ve Yeri : 20.08.1984, Isparta

Yabancı Dili : İngilizce (Çok iyi), Almanca (Orta), Japonca (Başlangıç)

E-posta : sezenuygur@yahoo.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Elektrik Mak. ve Güç Elektroniği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2008 -
Lisans	Elektrik Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2002 - 2007
Lise	Fen - Matematik	Üsküdar Anadolu Lisesi	1997 - 2002

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2007 -2008	Doruk Elektrik A.Ş.	Teklif Mühendisliği