

**YÜKSELTİCİ DA/DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ DEVRELERDE YUMUŞAK
ANAHTARLAMA ANALİZİ VE DENEYSEL ÇALIŞMALARI**

Milad GHASEMIKASHTIBAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ARALIK 2013
ANKARA**

Milad GHASEMIKASHTIBAN tarafından hazırlanan YÜKSELTİCİ DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ DEVRELERDE YUMUŞAK ANAHTARLAMA ANALİZİ VE DENEYSEL ÇALIŞMALARI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. İres.İSKENDER

.....

Tez Danışmanı Elektrik Elektronik Müh. Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. M. Timur AYDEMİR

.

Elektrik-Elektronik Müh., Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. İres İSKENDER

.....

Elektrik-Elektronik Müh., Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Hamit ERDEM

.....

Elektrik-Elektronik Müh., Başkent Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 05/12/2013

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Milad GHASEMIKASHTIBAN

**YÜKSELTİCİ DA/DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ DEVRELERDE YUMUŞAK
ANAHTARLAMA ANALİZİ VE DENEYSEL ÇALIŞMALARI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Milad GHASEMIKASHTIBAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Aralık 2013**

ÖZET

Yükseltici (boost) türü dc/dc dönüştürücüler, bir çok güç elektroniği devresinin giriş katında hem bara gerilimini yükseltmek hem de şebekeden çekilen akımı şebeke gerilimiyle aynı faza getirmek amacıyla sıklıkla kullanılırlar. 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) ve radyo frekans girişim (RFI) gürültüsü de artar. Sert anahtarlama bu problemlerin çözülmesi ihtiyacıyla “Yumuşak anahtarlama” kavramı ortaya çıkmıştır. Genel olarak yumuşak anahtarlama teknikleri, sıfır akımda anahtarlama (SAA), sıfır gerilimde anahtarlama (SGA), sıfır akımda geçiş (SAG) ve sıfır gerilimde geçiş (SGG) ile anahtarlama şeklinde sıralanabilir. Bu tezde genel olarak yumuşak anahtarlama teknikleri incelenmiş ve literatürden örnekler sunulmuştur. Önerilen Yumuşak Anahtarlama Yükseltici Dönüştürücü devresi detaylı olarak incelenerek devrenin simülasyonu sunulmuştur. Simülasyon sonuçları, 50 kHz çalışma frekanslı ve 80W, 100W ve 120W çıkış güçlü bir yükseltici deney düzeneği ile doğrulanmıştır.

Bilim Kodu	: 905.1.033
Anahtar kelimeler	: Yükselten dönüştürücü, yumuşak ve sert anahtarlama
Sayfa Adedi	: 71
Yönetici	: Prof.Dr.İres İSKENDER

SOFT SWITCHING ANALYSIS AND EXPERIMENTAL STUDIES IN DC/DC BOOST CONVERTER CIRCUITS

(M. Sc. Thesis)

Milad GHASEMIKASHTIBAN

**GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

December 2013

ABSTRACT

Boost type dc/dc converters are widely used at the front end of several power electronic systems to obtain a high dc bus voltage, and to bring the line current in the same phase with the line voltage. 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” (SS) concept has been presented. Generally 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. “Proposed Soft-Switching Boost Converter”, is analyzed in detail and simulated. The results of the simulation are verified by a prototype of a 50 kHz switching frequency and 80W, 100W and 120W output power boost converter.

Science Code	: 905.1.033
Keywords	: Boost converter, soft-switching, hard switching
Page Number	: 71
Supervisor	: Prof.Dr.İres İSKENDER

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve deneyimleriyle beni yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. İres İSKENDER, Ali MAMIZADEH, hayatım boyunca destekleyen Aileme, özellikle Ağabeyime teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
RESİM LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. YÜKSELTEN DÖNÜŞTÜRÜCÜ.....	4
2.1. Yükselten Dönüştürücü Çalışma Prensib.....	4
2.2. Yükselten Dönüştürücünün Kullanım Amaçları.....	6
3. YUMUŞAK ANAHTARLAMA TEKNİKLERİ	8
3.1. Yumuşak Anahtarlama.....	8
3.2. Yumuşak Anahtarlama Teknikleri	10
3.2.1. Sıfır akımda anahtarlama (SAA).....	11
3.2.2. Sıfır gerilimde anahtarlama (SGA).....	12
3.2.3. Sıfır akımda geçiş (SAG).....	12
3.2.4. Sıfır gerilimde geçiş (SGG)	12
4. YUMUŞAK ANAHTARLAMALI DA-DA YÜKSELTİCİ DÖNÜŞTÜRÜCÜ ÖRNEKLERİ	14
4.1. Birinci Yükselten Dönüştürücü.....	14
4.2. İkinci Yükselten Dönüştürücü	19
4.3. Üçüncü Yükselten Dönüştürücü	24
4.4. Dördüncü Yükselten Dönüştürücü.....	27
4.5. Beşinci Yükselten Dönüştürücü.....	31
5. İNCELENEN SGG YÜKSELTEN DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN BENZETİM VE PRATİK ÇALIŞMALARI	36
5.1. Kontrol Devresi Tasarımı.....	37

5.1.1. TMS320F2812 eZdsp kartı	37
5.1.2. ADC (Analog-to-Digital Converter)	40
5.1.3. PWM üretilmesi	41
5.1.4. Sürücü devresi	44
5.1.5 Kontrol parametrelerin hesaplanması	45
5.2. Benzetim Çalışmalar	46
5.2.1. İncelenen SGG yumuşak anahtarlamaalı yükselten dönüştürücü	46
5.2.2. İncelenen yükselten dönüştürücünün çalışma prensibi	47
5.2.3. Simülasyondan elde edilen sonuçlar	49
5.2.4. İncelenen yükselten dönüştürücünün deneysel çalışmalarının sonuçları	55
5.3 Verim	63
6. SONUÇ	67
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	71

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1. Yükselten devrenin elemanları ve değerleri	46
Çizelge 5.2. 50 volt giriş geriliminde yükselten dönüştürücünün verimi	63
Çizelge 5.3. 40 volt giriş geriliminde yükselten dönüştürücünün verimi	63
Çizelge 5.4. 30 volt giriş geriliminde yükselten dönüştürücünün verimi	64
Çizelge 5.5. 25 volt giriş geriliminde yükselten dönüştürücünün verimi	64

RESİM LİSTESİ**Resim****Sayfa**

Resim 5.1.Gerilim kontrollü yükselten dönüştürücü devresinin prototipi.....56

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Yükselten dönüştürücünün devre şeması.....	4
Şekil 2.2. Yükselten DA-DA devresinin eşdeğer devreleri; (a) M anahtarı kapalı (ON) iken, (b) M anahtarı açık (OFF) iken	5
Şekil 2.3. SİM durumunda yükselten devrenin gerilim-akım dalga şekilleri	5
Şekil 3.1. (a) kontrol sinyali (b) HS (c) SAA ile SGA (d) SAG ile SGG çalışmalarıyla ilgili temel dalga şekilleri.....	11
Şekil 4.1. Birinci yükselten dönüştürücü	14
Şekil 4.2. Birinci yükselten dönüştürücünün teorik dalga şekilleri	15
Şekil 4.3. Birinci yükselten dönüştürücünün çalışma aralıkları.....	16
Şekil 4.4. Ana anahtarın gerilim ve akımının dalga şekilleri.....	18
Şekil 4.5. Yardımcı anahtarın gerilim ve akımının dalga şekilleri	18
Şekil 4.6. İkinci yükselten dönüştürücünün	19
Şekil 4.7. İkinci yükselten dönüştürücünün teorik dalga şekilleri	20
Şekil 4.8. İkinci yükselten dönüştürücünün çalışma aralıkları	21
Şekil 4.9. Ana anahtarın gerilim ve akımının dalga şekilleri.....	23
Şekil 4.10. Yardımcı anahtarın gerilim ve akımının dalga şekilleri	24
Şekil 4.11. Üçüncü Yükselten Dönüştürücü	24
Şekil 4.12. Üçüncü Yükselten Dönüştürücünün teorik dalga şekilleri	25
Şekil 4.13. Üçüncü Yükselten Dönüştürücünün çalışma modları	25
Şekil 4.14. Ana anahtarın gerilim ve akımının dalga şekilleri.....	27
Şekil 4.15. Yardımcı anahtarın gerilim ve akımının dalga şekilleri	27
Şekil 4.16. Dördüncü yükselten dönüştürücünün	28
Şekil 4.17. Dördüncü yükselten dönüştürücünün teorik dalga şekilleri	28
Şekil 4.18. Dördüncü yükselten dönüştürücünün çalışma modları.....	29
Şekil 4.19. Ana anahtarın gerilim ve akımının dalga şekilleri.....	30
Şekil 4.20. Yardımcı anahtarın gerilim ve akımının dalga şekilleri	31
Şekil 4.21. Beşinci yükselten dönüştürücü	31
Şekil 4.22. Beşinci yükselten dönüştürücünün teorik dalga şekilleri	32
Şekil 4.23. Beşinci yükselten dönüştürücünün çalışma modları.....	33

Şekil	Sayfa
Şekil 4.24. Ana anahtarın gerilim ve akımının dalga şekilleri.....	35
Şekil 4.25. Yardımcı anahtarın gerilim ve akımının dalga şekilleri	35
Şekil 5.1. İncelenen yumuşak anahtarlamalı yükselten dönüştürücü devresi	36
Şekil 5.2. İncelenen çalışmanın kontrol devresi	37
Şekil 5.3. TMS320F2812 eZdsp kartı	39
Şekil 5.4. CCS program ara yüz görünümü	40
Şekil 5.5. Ana ve Yardımcı anahtarların darbe şekilleri	43
Şekil 5.6. Gerilim dönüştürücü devresi.....	44
Şekil 5.7. Sürücü devresi	45
Şekil 5.8. İncelenen yükselten dönüştürücünün çalışma modları	47
Şekil 5.9. Yükselten dönüştürücünün teorik dalga şekilleri.....	49
Şekil 5.10. Ana anahtarın gerilim ve akımının dalga şekilleri.....	50
Şekil 5.11. Ana anahtarın açma esnasındaki gerilim ve akımının dalga şekilleri.....	50
Şekil 5.12. Ana anahtarın kapanma esnasındaki gerilim ve akımının dalga şekilleri	51
Şekil 5.13. Yardımcı anahtarın gerilim ve akımının dalga şekilleri	51
Şekil 5.14. Yardımcı anahtarın iletme geçme esnasındaki gerilim ve akımının dalga şekilleri.....	52
Şekil 5.15. Yardımcı anahtarın kesime geçme esnasındaki gerilim ve akımının dalga şekilleri.....	52
Şekil 5.16. Ana diyotun gerilim ve akımının dalga şekilleri	53
Şekil 5.17. Ana diyotun kapanma esnasındaki gerilim ve akımının dalga şekilleri	53
Şekil 5.18. Çıkış akımının dalga şekli.....	54
Şekil 5.19. Çıkış gerilimin dalga şekli	54
Şekil 5.20. Ana bobinin akım dalga şekli	55
Şekil 5.21. Ana ve yardımcı anahtarın darbe sinyalleri	56
Şekil 5.22. Ana anahtarın gerilim ve akımının dalga şekli	57
Şekil 5.23. Ana anahtarın açma ve kapanma esnasındaki gerilim ve akımının dalga şekilleri (50V/kare, 2.5A/kare)	57
Şekil 5.24. Yardımcı anahtarın gerilim ve akımının dalga şekli.....	58

Şekil	Sayfa
Şekil 5.25. Yardımcı anahtarın açma ve kapanma esnasındaki gerilim ve akımının dalga şekilleri (50V/kare, 2.5A/kare).....	58
Şekil 5.26. Ana diyodun gerilim ve akımının dalga şekli.....	59
Şekil 5.27. Ana diyodun açma ve kapanma esnasındaki gerilim ve akımının dalga şekilleri (50V/kare, 2.5A/kare)	59
Şekil 5.28. İncelenen yükselten dönüştürücünün çıkış akımının dalga şekli (1A/kare).....	60
Şekil 5.29. İncelenen yükselten dönüştürücünün çıkış gerilimin dalga şekli (50V/kare)	60
Şekil 5.30. Sert anahtarlamaalı yükselten dönüştürücü anahtarın gerilim ve akımının dalga şekli	61
Şekil 5.31. Sert anahtarlamaalı yükselten dönüştürücü anahtarın açma ve kapanma esnasındaki gerilim ve akımının dalga şekilleri (50V/kare, 2.5A/kare) ..	61
Şekil 5.32. Sert anahtarlamaalı yükselten dönüştürücü diyodun gerilim ve akımının dalga şekilleri	62
Şekil 5.33. Sert anahtarlamaalı yükselten dönüştürücü diyodun açma ve kapanma esnasındaki gerilim ve akımının dalga şekilleri (50V/kare, 2.5A/kare) ..	62
Şekil 5.34. 25 volt giriş gerilimde yükselten dönüştürücünün verim grafiği.....	64
Şekil 5.35. 30 volt giriş gerilimde yükselten dönüştürücünün verim grafiği.....	65
Şekil 5.36. 40 volt giriş gerilimde yükselten dönüştürücünün verim grafiği.....	65
Şekil 5.37. 50 volt giriş gerilimde yükselten dönüştürücünün verim grafiği.....	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
V_g	Giriş gerilim
V_L	Endüktör gerilimi
Δi_L	Endüktör akım dalgalık oranı
T_s	Anahtarlama periyodu
D	Görev çarpanı
i_{Co}	Çıkış kondansatör akım değeri
V_o	Çıkış gerilim
R_o	Çıkış yük
i_L	Endüktör akımı
i_g	Giriş akım
I_{LR}	Rezonans endüktörün akımı
C_r	Rezonans kapasitör
C_{r2}	İkinci rezonans kapasitör
L_r	Rezonans endüktör
L_s	Ana endüktör
L_1	Birinci rezonans endüktör
L_2	İkinci rezonans endüktör
C_s	Snubber kapasitör
D_o	Ana diyot
S_1	Ana anahtar
S_2	Yardımcı anahtar
V_s	Anahtarın gerilimi
I_s	Anahtarın akımı
I_i	Giriş akım
T_d	Gecikme zaman
V_D	Diyodun gerilim

Simgeler	Açıklama
I_D	Diyodun akımı
I_{rr}	Ters toparlanma akımı
R_{mo}	Gerilim dönüştürücünün çıkış direnci

Kısaltmalar	Açıklama
AC	Alternative Current
ADC	Analog to Digital Converter
CAN	Controller Area Network
DA	Doğru Akım
DC	Doğru Akım
DSP	Digital Signal Processing
EMI	Electro Magnetic Interference (Elektro Manyetik Girişim)
EV	Olay yöneticisi (Event Manager)
HS	Hard Switching (Sert Anahtarlama)
KGK	Kesintisiz Güç Kaynakları
MAC	Media Access Control
MGTS	Maksimum Güç Takip Sistemi
MIPS	Millions of Instructions Per Second
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
PFC	Power Factor Correction
PV	Photovoltaic (Fotovoltaik)
PWM	Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
RFI	Radio-frequency Interference (Radyo Frekans Girişimi)
SAA	Sıfır Akımda Anahtarlama (ZCS)
SAG	Sıfır Akımda Geçiş (ZCT)
SGA	Sıfır Gerilimde Anahtarlama (ZVS)
SGG	Sıfır Gerilimde Geçiş (ZVT)
SİM	Sürekli İletim Modu
SS	Soft Switching (Yumuşak Anahtarlama)

1.GİRİŞ

Gerilim regülatörü bir güç elektronik devresi olarak, çıkış gerilimini, yük akımı veya hat geriliminden belli sınırlar içerisinde bağımsız olarak sabit tutuyor. Gerilim regülatörlerinde farklı kontrol yöntemleri kullanılır. Devre karmaşıklığının ve gelişen teknoloji ile beraber, doğru ve hızlı düzenleme ihtiyacı arzu edilir ve yeni DA/DA dönüştürücü tasarımına yol açar. DA/DA dönüştürücülerin girişi düzensiz DA gerilim ve çıkışı düzenli DA gerilimdir. Regülatörleri doğrusal ve anahtarlamalı regülatörleri olarak sınıflandırılabilir. Tüm düzenleyiciler güç aktarım bölümü ve kontrol devresinden oluşur ve bu kontrol devresi çıkış gerilimini algılar ve güç aktarımını denetleyerek çıkış gerilimini sabit tutmaktadır. Düzenlemeyi korumak amacıyla bir besleme döngüsüne ihtiyaç duyulduğu için bir tür kompanzasyon, döngü kararlılığını korumak amacıyla kullanılır.DA/DA dönüştürücüler güneş pilleri ve yakıt hücrelerinden üretilen düşük gerilimleri yükseltmek için kullanılır [19]. Güneş enerjisi çok eskiden ısıtma ve sıcak su elde etmek amacıyla kullanılmış olmasına rağmen, bu enerjiyi direkt elektrik enerjisine dönüştüren sistemler oldukça yenidir. Doğal çevrenin bozulması ve değişen iklim ile kaygılar artmaktadır. Yapılan çalışmalar, elektrik enerjisi üretimi ve sera gazlarının oluşması arasında doğrudan bir ilişki olduğunu göstermektedir. Güneş pilleri adıyla tanınan 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, 18]. 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 denetlenebilir bir DA/DA dönüştürücü olan maksimum güç takip sistemleri (MGTS) kullanılabilmektedir [2]. 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 [3]. Yükselten tip dönüştürücünün yumuşak anahtarlamaına yönelik literatürde bir çok çalışma olmasına rağmen, sarmaşık yükselten dönüştürücüye yumuşak anahtarlama uygulanmış çalışma sayısı oldukça azdır. Ayrıca, bu çalışmaların büyük bir bölümü DA/DA devrelerine uygulanmıştır. Yükselten dönüştürücüye pasif yumuşak anahtarlama uygulamış temel çalışmaları [7, 8]'den, aktif yumuşak anahtarlama uygulanmış temel çalışmaları da [9, 10]'den inceleyebiliriz. Yeşil kaynaklar arasında, yakıt hücreler diğerlerine göre daha popülerdir. Yakıt hücreler, yakıt besleme sürekliliği sağladığı sürece gün boyunca her mevsimde güç sağlayabilir. Yakıt hücreler dağıtım üretim sistemlerinde, geleneksel dizel motor kaynaklar ve mikro, mini türbinler üzerinde çok cazip geliyor. Yakıt hücrelerinde üretilen gerilim düşük seviyede, düzensiz ve yüke bağlı olduğundan dolayı yükselten dönüştürücüye ihtiyaç duymaktadır. Yükselten (boost) türü DA/DA dönüştürücüler, basitçe, girişlerindeki dc gerilimi, daha yüksek düzeyde bir dc gerilime dönüştüren devreler olarak tanımlanabilir. Bu devreler, çok çeşitli güç elektroniği devrelerinin giriş katında, AC/DC diyotlu doğrultucuların hemen ardından, hem bara gerilimini daha yüksek bir düzeye çıkartmak, hem de uygun anahtarlama yöntemleri ile giriş güç katsayısını iyileştirmek için kullanılırlar[17]. Ancak anahtarlama frekansı arttıkça, anahtarlama kayıpları ve elektromanyetik girişim (EMI) gürültüsü de artar. 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 yumuşak anahtarlama teknikleri, sıfır akımda anahtarlama (SAA), sıfır gerilimde anahtarlama (SGA), sıfır akımda geçiş (SAG) ve sıfır gerilimde geçiş (SGG) şeklinde sıralanabilir [4, 5]. Bu

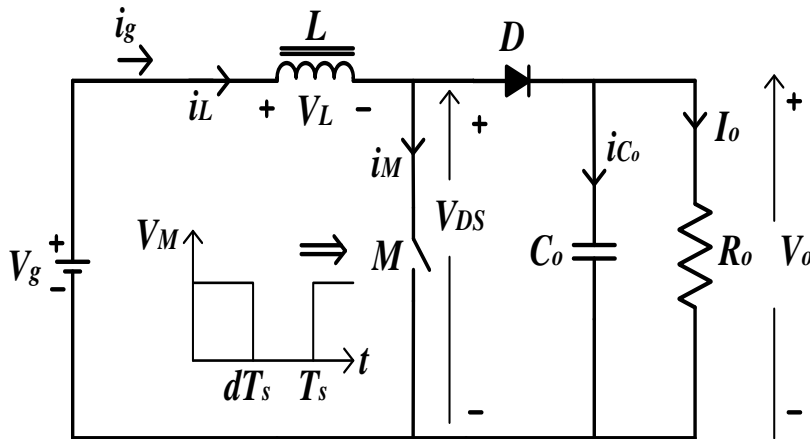
tezde, sistemdeki enerji dönüşümünün verimini arttırmak için bir yardımcı anahtar, iki diyot, bir rezonans endüktansı ve bir rezonans kapasitörden oluşan bir yardımcı rezonans devresine sahip bir yumuşak anahtarlama yükseltici dönüştürücü incelenmiştir. Geleneksel yükseltici dönüştürücünün verimi, anahtarlar iletime ve kesime girerken kayıplara sebep olan sert anahtarlama sebebiyle düşüktür. Sunulan devrede ise tüm anahtarların, iletime girerken rezonans endüktans ve rezonans kondansatör sayesinde sıfır gerilim geçiş ve sıfır akım anahtarlama ile açılırlar. Kesime girerken rezonans kapasitesi sayesinde sadece ana anahtarın sıfır gerilimde anahtarlama hedeflenmiştir. Bu devrenin yardımcı anahtarın sert anahtarlama ile kesime geçmesi tek dezavantajıdır. Bu tezin amacı, sunulan devrenin geliştirilmesidir ama istediğimiz amaca ulaşamadığımızdan dolayı bu devrenin anahtarlama düzenini inceleyerek anahtarlama elemanı üzerindeki akım ve gerilim streslerinin ve anahtarlama kayıplarının azaltıldığının simülasyon ve uygulama ile doğrulanarak sunulan devrenin avantaj ve dezavantajlarını belirlemektir. Bu araştırmanın yanında başka devrelerde incelenmiştir [20, 21]. Ayrıca bu çalışmada Simplorer, Pspice ve Proteus programları benzetim ve devre tasarlamak için kullanılmıştır. Simplorer ve Pspice programlar ile devrelerin benzetim çalışmaları yapıldı ancak Pspice programın sonuçları daha gerçek değerlere yakın olduğu için verim hesaplanmasında kullanıldı. Proteus programı da devrelerin kart tasarımı için kullanılmıştır.

2. YÜKSELTEN DÖNÜŞTÜRÜCÜ

Bu bölümde yükselten dönüştürücünün çalışma prensibi anlatılacaktır. Geleneksel yükseltici tip DA/DA dönüştürücü, KGK sistemlerde, güneş pili uygulamalarında ve güç faktörü düzeltme devrelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

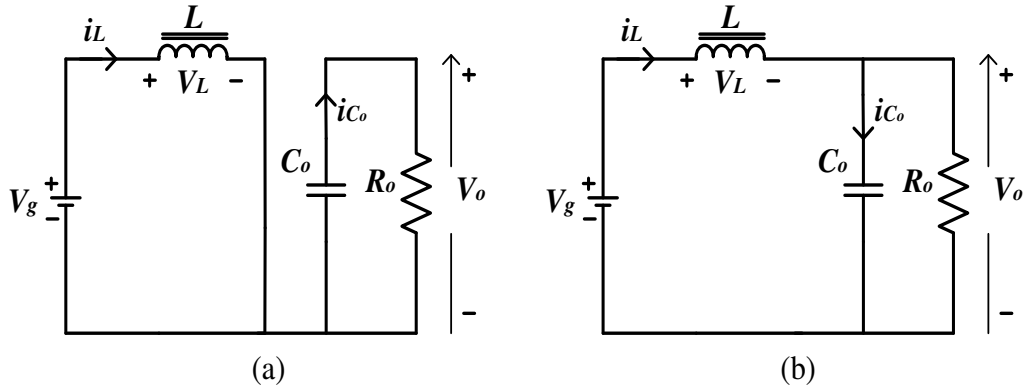
2.1. Yükselten Dönüştürücü Çalışma Prensibi

Yükselten dönüştürücüde temel olarak, güç anahtarı iletimde iken giriş gerilim kaynağı sadece endüktansa ilave bir enerji enjekte eder ve aynı zamanda yükü kondansatör besler. Güç diyodu iletimde iken ise, hem giriş gerilim kaynağı çıkışı besler hem de endüktanstaki ilave enerji çıkışa aktarılır [6].

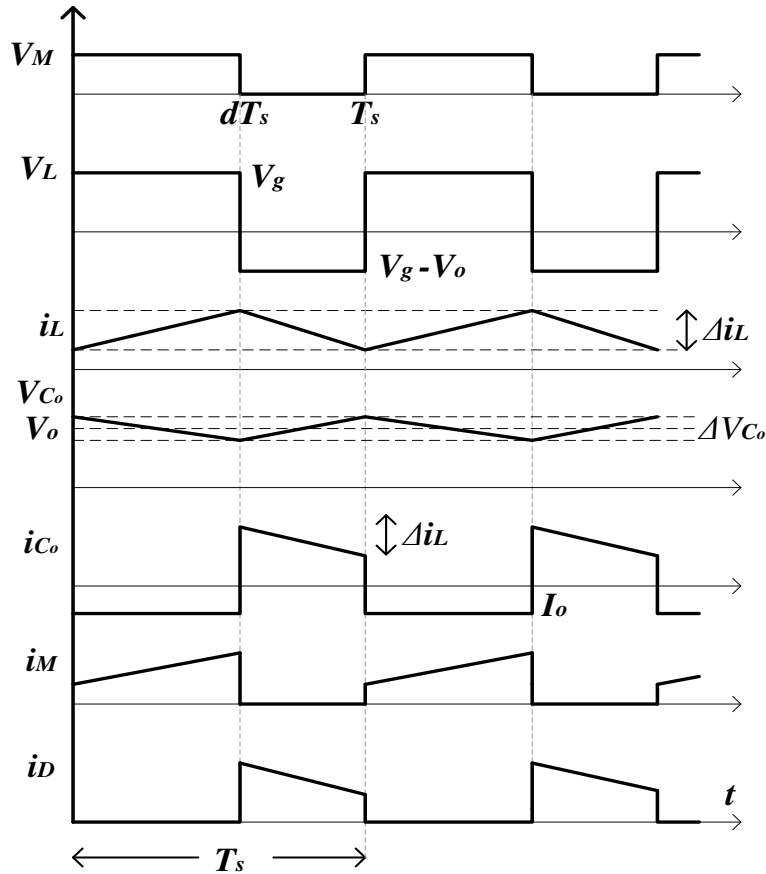


Şekil 2.1. Yükselten dönüştürücünün devre şeması

Yükselten DA/DA devresi anahtar içeren aktif bir devre olduğundan, devrenin analizi anahtarın açık ve kapalı olma durumuna göre incelenir. Devredeki aktif anahtarın açık ve kapalı olma durumuna göre yükselten devreye ait eşdeğer devre şekilleri şekil 2.2’de ve gerilim-akım dalga şekilleri ise şekil 2.3’te aktarılmıştır.



Şekil 2.2. Yükselten DA/DA devresinin eşdeğer devreleri; (a) M anahtarı kapalı (ON) iken, (b) M anahtarı açık (OFF) iken



Şekil 2.3. SİM durumunda yükselten devrenin gerilim-akım dalga şekilleri

M anahtarı kapalı konumda (ON) iken endüktör gerilimi ve kondansatör akımı,

$$V_g = V_L \quad (2.1)$$

$$V_L = L \frac{\Delta i_L}{d \cdot T_s} \quad (2.2)$$

$$i_{C_o} = -V_o / R_o \quad (2.3)$$

eşitlikleri ile ifade edilir. M anahtarı açık konumda (OFF) ise değerler,

$$V_L = V_g - V_o \quad (2.4)$$

$$V_o - V_g = L \frac{\Delta i_L}{(1-d) \cdot T_s} \quad (2.5)$$

$$i_{C_o} = i_L - (V_o / R_o) \quad (2.6)$$

eşitlikleri ile ifade edilir. Burada Δi_L , endüktör akımının dalgacık miktarını d , görev çarpanını; T_s ise anahtarlama periyodunu ifade eder.

M anahtarının her iki durumunda da endüktör akımının dalgacık miktarı eşit olacağından,

$$\Delta i_L = \frac{V_g \cdot d \cdot T_s}{L} = \frac{(V_o - V_g) \cdot (1-d) \cdot T_s}{L} \quad (2.7)$$

Eş. 2.7'den yükselten devreye ait giriş ve çıkış gerilim ilişkisi Eş. 2.8 ile ifade edilir.

$$V_o = \frac{V_g}{1-d} \quad (2.8)$$

devrenin kayıpsız olduğunu düşünürsek, giriş ve çıkış akım ilişkisi Eş. 2.9 ile ifade edilir.

$$i_g = i_L = \frac{I_o}{1-d} \quad (2.9)$$

2.2. Yükselten Dönüştürücünün Kullanım Amaçları

Yükseltici DC/DC dönüştürücü var olandan daha yüksek bir DC düzey elde etmek amacıyla çeşitli uygulamalarda kullanılır. Giriş gerilimi bazen bir batarya, bazen bir yenilenebilir enerji kaynağı (güneşpaneli, yakıt hücresi), bazen de doğrultulmuş şebeke gerilimidir. Yenilenebilir enerji kaynakları veya bataryalarla birlikte kullanıldıklarında genelde 12V civarında bir gerilimi 40-50V düzeylerine çıkartmaları amaçlanır. Şebeke gerilimini doğrultan devrelerin ardından kullanıldıklarında ise genelde yüksek bir dc bara gerilimi elde edilmesi ve bu

baradan beslenen yalıtımlı DC/DC dönüştürücünün çıkışında düşük bir gerilim elde edilirken, giriş anahtarlarından düşük akım akıtılması amaçlanır.

Bu devreler doğrultucularla birlikte kullanıldıklarında, aynı zamanda giriş güç katsayısının da düzelterek bir anahtarlama algoritmasından yararlanılması oldukça yaygın bir uygulama halini almıştır.

Bilindiği gibi, doğrultucuların çıkışında bulunan büyük kondansatörler, doğrultucu diyotlarının çok kısa sürelerle ilettime girmelerine, bu kısa sürelerde yüksek tepe değerli akımlar çekmelerine neden olurlar. Bu, sinüzoidal gerilimli şebekeden bozulmuş sinüs biçimli bir akım çekilmesi demektir. Bu akımın içerdiği düşük frekanslı harmonikler güç kalitesinin düşmesine neden olurlar. Avrupa ve ABD’de, şebekeden çekilen akımların harmonik içerikleri ile ilgili çeşitli kısıtlamalar bulunmaktadır. Bunun için, çekilen akımın şeklinin sinüs biçimli olmasını sağlamaya yönelik çeşitli uygulama devreleri (PFC) geliştirilmiştir.

Bazı üreticiler bu amaçla tümleşik devreler geliştirmiştir. Bu devreler genelde yükseltici DA/DA dönüştürücülerle birlikte kullanılırlar. Algoritma, çıkış gücünü ve giriş gücünü anlık olarak hesaplayarak akımla gerilim arasındaki faz farkını sıfır yapacak bir anahtarlama anı ve süresi hesaplama esasına dayanmaktadır. Böylece, tasarım yapılan güç aralığında giriş akımının güç katsayısının yaklaşık bir olması sağlanır [17].

3.YUMUŞAK ANAHTARLAMA TEKNİKLERİ

3.1. Yumuşak Anahtarlama

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, yani frekans arttıkça kayıplarda artmaktadır. Ek bir düzen kullanılmadan, gerçekleşen anahtarlamalara “Sert anahtarlama” denilmektedir.

Sert anahtarlamayla çalışan devrelerde, anahtarlama kayıpları arttıkça, kullanılan güç elemanlarının nominal değerleri ile soğutucu ve soğutma sisteminin boyutları; yani devrenin hacmi artmaktadır. 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 bozmaktadır.

Sert anahtarlamadaki bu problemlerin çözülmesi ihtiyacıyla “Yumuşak Anahtarlama” (SS) yöntemi ihtiyaç duyulmuştur. Yumuşak anahtarlama yöntemi, 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 kapsamaktadır. 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.

Bastırma hücreleri, dönüştürücünün ana anahtar ve ana diyodu üzerinde ilave akım ve gerilim streslerinin veya ek kayıpların oluşmasına neden olabilir. Bu ek kayıplar yok edilmelidir. Ayrıca, bu hücrelerin çalışması güç anahtarının iletim ve kesime girme sürelerinin dışına taşabilir. Bu taşmalar minimum seviyelerde kalmalı, böylece bastırma hücresi PWM kontrolüne engel olmamalı ve dönüştürücü, değişken veya hafif yüklerde de çalışabilmelidir. Ek olarak, bastırma hücreleri dönüştürücünün karmaşıklık ve fiyatını artırabilir. Bu artışlar da düşük seviyede kalması arzulanmaktadır [6].

Yumuşak anahtarlama veya bastırma hücrelerinde son amacın devrenin güç yoğunluğunun artırılması olduğu daima önem kazanmaktadır. Bir bastırma hücresinin seçilme kararı, bu hücrenin sağladığı bütün yumuşak anahtarlama yararları ile bu hücrenin neden olduğu ek külfetler iyice karşılaştırılarak verilmelidir [6].

Yumuşak anahtarlama beklenen fonksiyonlar, genel olarak aşağıda verilmiştir. Bu fonksiyonların çoğu birbirine bağlı veya birbirinin tamamlayıcısıdır.

- Anahtarlama geçişleri esnasında akım ve gerilimin üst üste binmesini azaltmak.
- Akım ve gerilimin yükselme hızlarını sınırlamak.
- Anahtarlama enerji kayıplarını bastırmak.
- EMI ve RFI gürültülerini bastırmak.
- Çalışma frekansını yükseltmek.
- Periyodun büyük bir kısmında PWM çalışmayı korumak.
- Hafif yüklerde de yumuşak anahtarlama sürdürmek.

- Devrenin boyut ve maliyetini düşürmek.
- Devrenin verim ve güç yoğunluğunu arttırmak [6].

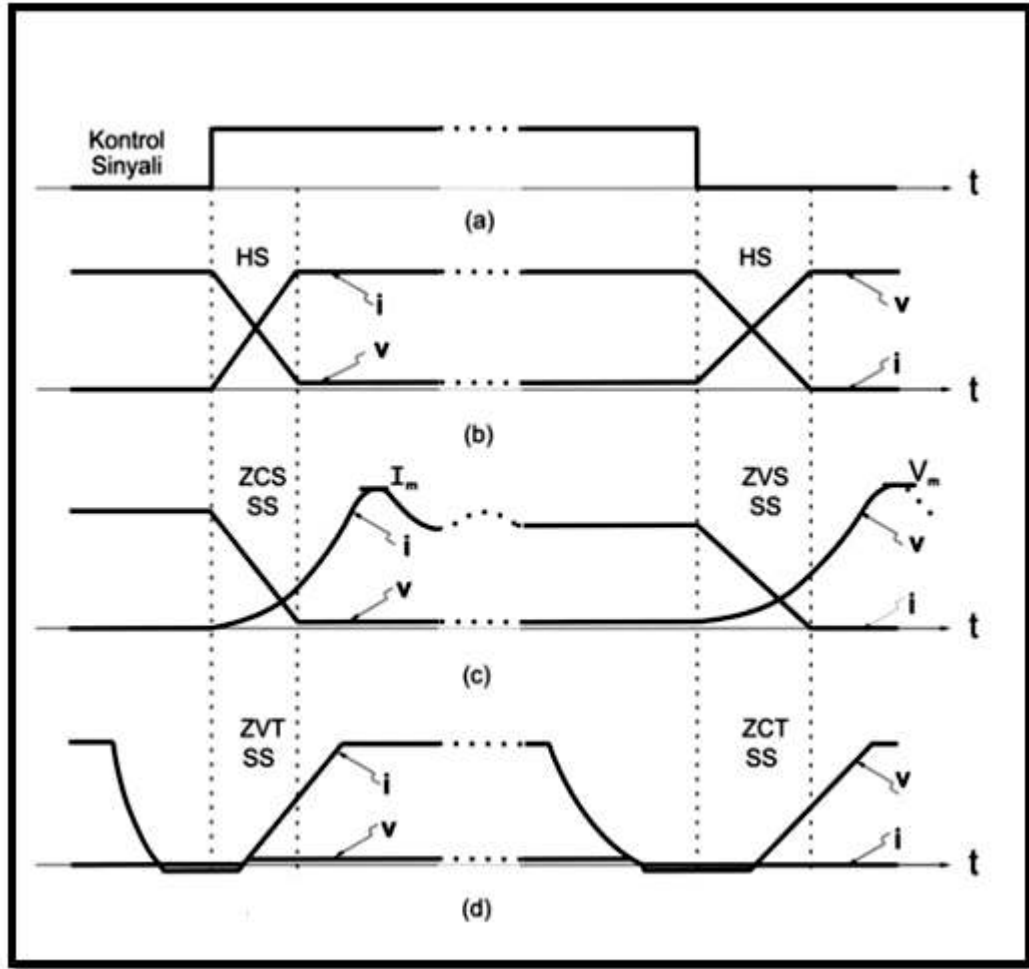
DA/DA dönüştürücülerde, iletim ve kesim durumlarındaki akım ve gerilim değişimlerinde dalgalanmalar olmadığından, sirkülasyon enerjisi veya reaktif enerjinin de olmadığı söylenebilir. Bu durum ise, anahtarlama işlemleri dikkate alınmadığında, bu devredeki güç yoğunluğunun çok yüksek olduğunu gösterir. Ayrıca, anahtarlama frekansı yükseldikçe, endüktans ile kondansatör değerleri orantılı olarak düşer ve güç yoğunluğu daha da artar. Ancak, frekans yükseldiğinde, anahtarlama enerjisi 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 artırılmasına 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 [6].

3.2. Yumuşak Anahtarlama Teknikleri

Yumuşak anahtarlama teknikleri, genel olarak,

- Sıfır Akımda Anahtarlama (SAA)
- Sıfır Gerilimde Anahtarlama (SGA)
- Sıfır Akımda Geçiş (SAG)
- Sıfır Gerilimde Geçiş (SGG)

Şeklinde dört genel gruba ayrılır. Şekil 3.1’de, bir anahtarlama elemanının kontrol sinyali ile sert anahtarlama (HS) ve yumuşak anahtarlama (SS) teknikleriyle ilgili temel dalga şekilleri görülmektedir. SAA ile SGA temel ve SAG ile SGG ileri yumuşak anahtarlama teknikleridir.



Şekil 3.1. (a) kontrol sinyali (b) HS (c) SAA ile SGA (d) SAG ile SGG çalışmalarıyla ilgili temel dalga şekilleri [15]

3.2.1. Sıfır akımda anahtarlama (SAA)

Sıfır Akımda Anahtarlama (SAA), 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 yüke aktarılarak geri kazanılır.

3.2.2. Sıfır gerilimde anahtarlama (SGA)

Sıfır Gerilimde Anahtarlama (SGA), 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.

SAA ve SGA tekniklerinde anahtarlama enerji kaybı tamamen yok edilememektedir. Bu nedenle, bu tekniklere yaklaşık SAA ve yaklaşık SGA teknikleri de denilmektedir. Genel olarak, SAA'da kullanılan endüktansa seri bastırma elemanı, SGA'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 [6].

3.2.3. Sıfır akımda geçiş (SAG)

Sıfır Akımda Geçiş (SAG), 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 SAA hem de SGA'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.

3.2.4. Sıfır gerilimde geçiş (SGG)

Sıfır Gerilimde Geçiş (SGG), iletime 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.

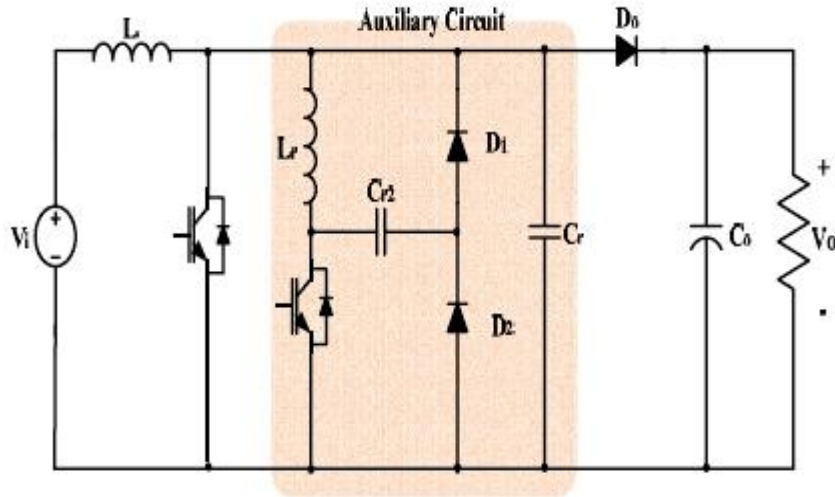
Böylece, anahtarlama enerji kaybı tamamen yok edilir ve mükemmel bir iletme girme işlemi sağlanır. Gerilimin sıfıra düşmesi ileri alınarak gerçekleştirilen bu teknikte de hem SGA hem de SAA'nin sağlandığı söylenebilir. Anahtarlama enerjisinin geri kazanıldığı bu teknik de modern hücrelerle elde edilir ve ilave bir anahtar gerekir.

4. YUMUŞAK ANAHTARLAMALI DA-DA YÜKSELTİCİ DÖNÜŞTÜRÜCÜ ÖRNEKLERİ

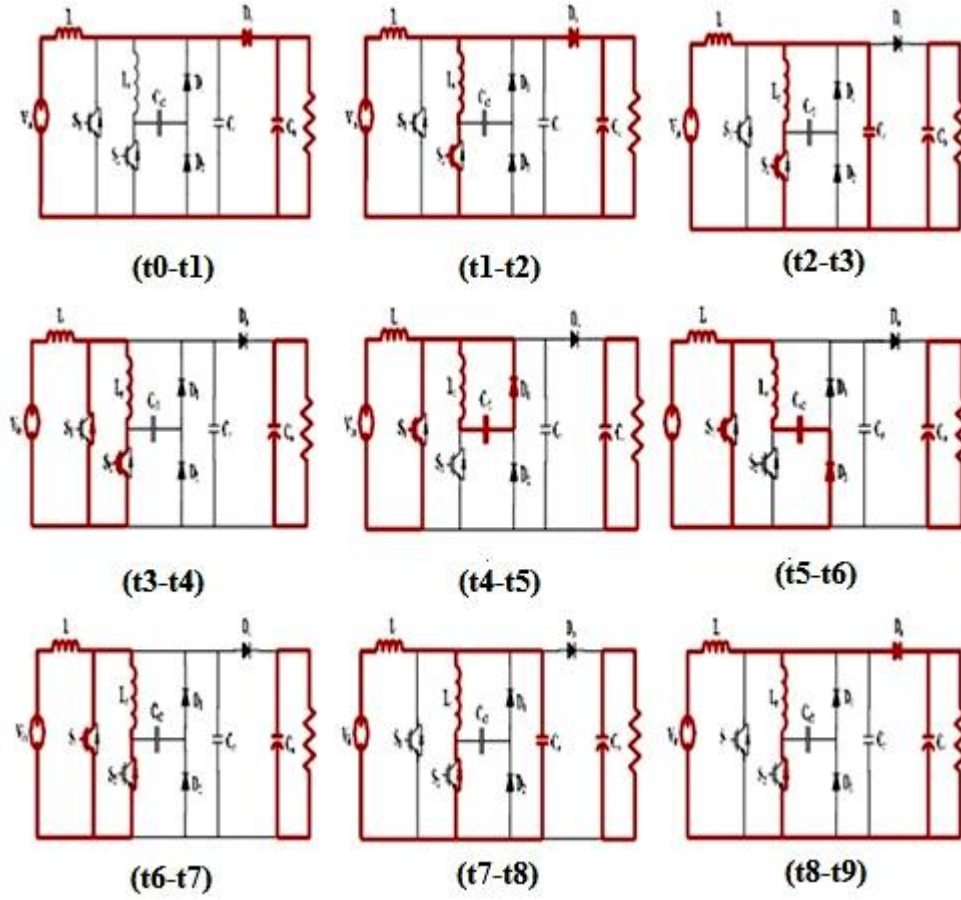
Bu bölümde incelenen 5 farklı tip yumuşak anahtarmalı yükseltici dönüştürücü aşağıda sunulmuştur. Aşağıda devrelerin benzetiminden elde edilmiş dalga şekilleri ve çalışma aralıkları verilmektedir. Birinci yükselten dönüştürücü So-Ri Park, ikincisi Shib Sankar Saha, üçüncüsü Sang-Hoon Park, dördüncüsü yükselten Jung-Gu Kim, beşincisi M. L. Martins'e aittir.

4.1. Birinci Yükselten Dönüştürücü

Şekil 4.1'de, yumuşak anahtarlama dönüştürücü gösterilmiştir. Rezonans devresi bir rezonans bobin, iki rezonans kapasitör, iki diyot ve bir yardımcı anahtardan oluşmaktadır. Yardımcı devre, ana anahtara rezonans yolu oluşturarak sıfır gerilim anahtarlama şartını sağlamaktadır [11]. Bu devre, fotovoltaik DA/DA dönüştürücüler ve güç faktörünü düzeltmek için uygundur.



Şekil 4.1. Birinci yükselten dönüştürücü



Şekil 4.3. Birinci yükselten dönüştürücünün çalışma aralıkları

Çalışma durumları:

Aralık 1 ($t_0 - t_1$): Ana ve yardımcı anahtarlar kapalı durumdadırlar. Ana bobinin enerjisi ana diyot üzerinden yüke aktarılmaktadır. Yardımcı anahtar açıldığında, evre 2 başlar [11].

Aralık 2 ($t_1 - t_2$): Yardımcı anahtar iletime geçip, rezonant bobinin akımı sıfırdan doğrusal artmaya başlar. Rezonant bobinin akımı I_{LR} , t_2 zamanında ana bobinin akımıyla eşit olur ve evre 2 sonlanır [11].

Aralık 3 ($t_2 - t_3$): En kısa sürede rezonant bobinin akımıyla ana bobinin akımı eşit olur ve ana diyot kesime geçer. Daha sonra rezonant kondansatörü C_r , C_r ve L_r yoluyla boşalmaya başlar. Rezonans bitince, rezonant kondansatörün gerilimi

sıfıra eşit olur. Evre 3, t_3 'de biter. t_2 'de rezonant kapasitör gerilimi çıkış gerilimine eşit olur [11].

Aralık 4 ($t_3 - t_4$): Rezonant kapasitör C_r gerilimi sıfıra eşit olunca, ana anahtarın gövde diyodu doğal olarak ilettime geçmektedir. Gövde diyot ilettime geçtiğinde, ana anahtarın gerilimi sıfıra eşit olur. Bu anda ana anahtarın açma sinyali sıfır gerilim durumunda verilmektedir [11].

Aralık 5 ($t_4 - t_5$): Evre 4'de ana anahtar sıfır gerilim durumunda (altında) açılır. Bu anda yardımcı anahtar aynı koşulda kesime geçmektedir. Bu aşamada rezonant bobin L_r ve rezonant kapasitör C_{r2} rezonansa başlar. L_r ve C_{r2} 'nin yarım rezonanstan sonra, L_r akımı sıfıra düşüyor. Daha sonra evre 5 tamamlanıyor ve C_{r2} rezonans ile şarj oluyor [11].

Aralık 6 ($t_5 - t_6$): Beşinci aşama bittikten sonra, rezonant bobin L_r akımı ters yönde geçmeye başlar ve beşinci aşama böylece sonlanır. Altıncı aşamada, L_r ve C_{r2} 'nin ters rezonansı ana anahtar ve D_2 ile olmaktadır. Bu süre içinde C_{r2} 'nin gerilimi rezonans ile sıfıra düşer. Sonra L_r ve C_{r2} rezonansı biter ve C_{r2} 'nin gerilimi sıfır olur. Altıncı aşamada, rezonant kapasitör gerilimi boşaltılır [11].

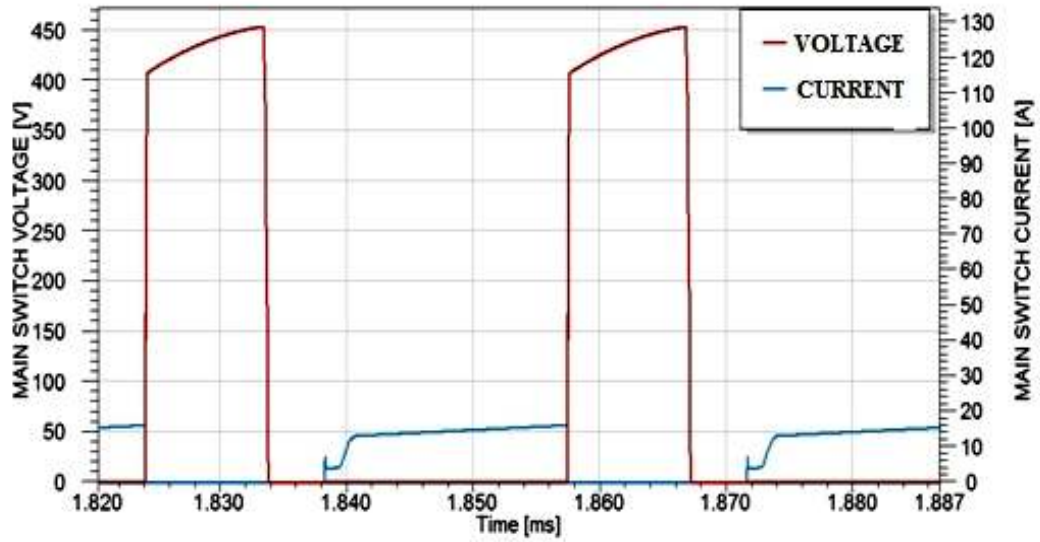
Aralık 7 ($t_6 - t_7$): C_{r2} gerilimi sıfıra geldikten sonra, yardımcı anahtarın gövde diyodu ilettime geçer. Akım; gövde diyot, rezonant bobin ve ana anahtar aracılığıyla geçmektedir. PWM algoritması olarak, ana anahtar kapanır ve 7. aşamada sona erer. Bu aralıkta rezonant bobinin akım miktarı t_3 deki değere eşittir. Ancak mevcut akım akışı ters yöne doğrudur [11].

Aralık 8 ($t_7 - t_8$): Bu iki bobinin akımlarının toplamı bu aşamada rezonant kapasitör C_r 'yi şarj eder. Rezonant kapasitör gerilimi çıkış gerilimine eşit olduğunda, bu aşamada biter [11].

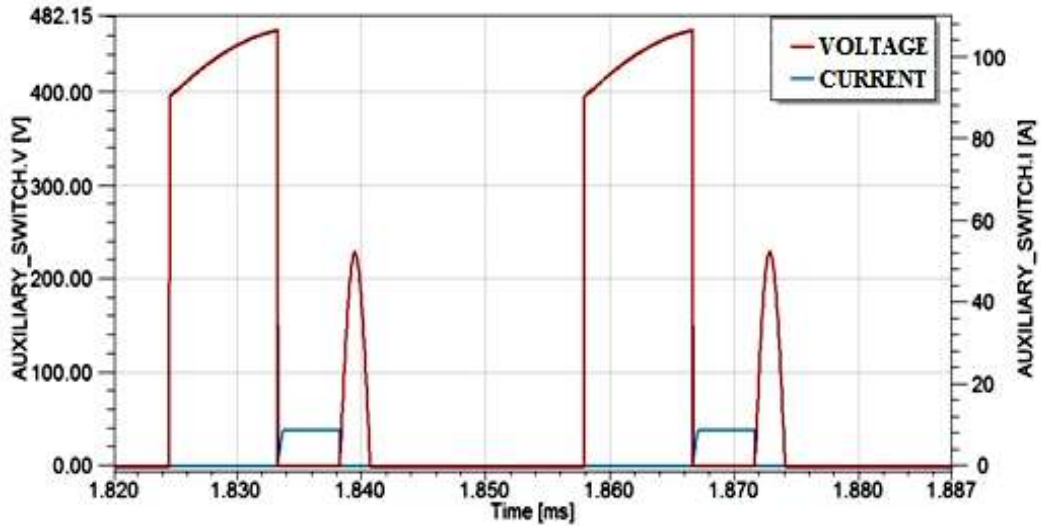
Aralık 9 ($t_8 - t_9$): T_8 'de rezonant kapasitörü şarj olur ve ana diyot gerilimi sıfırdadır. Bu nedenle, ana diyot açılır ve rezonant bobin akımı sıfıra doğru lineer olarak azalır.

Akım sıfıra eşit olduktan sonra, aşama 9 sona erer ve bir sonraki anahtarlama döngüsü başlar [11].

Aşağıdaki şekillerde bu devrenin ana ve yardımcı anahtarlarının, dalga şekilleri verilmektedir.



Şekil 4.4. Ana anahtarın gerilim ve akım dalga şekilleri

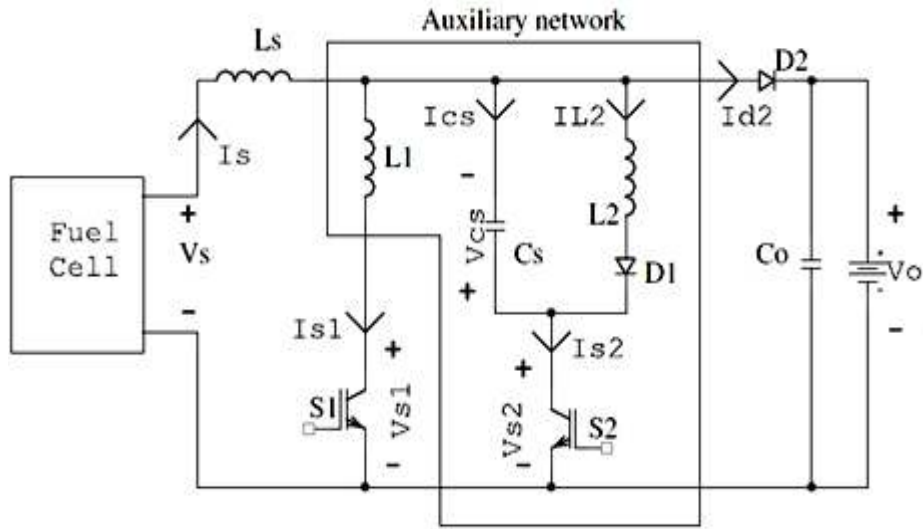


Şekil 4.5. Yardımcı anahtarın gerilim ve akım dalga şekilleri

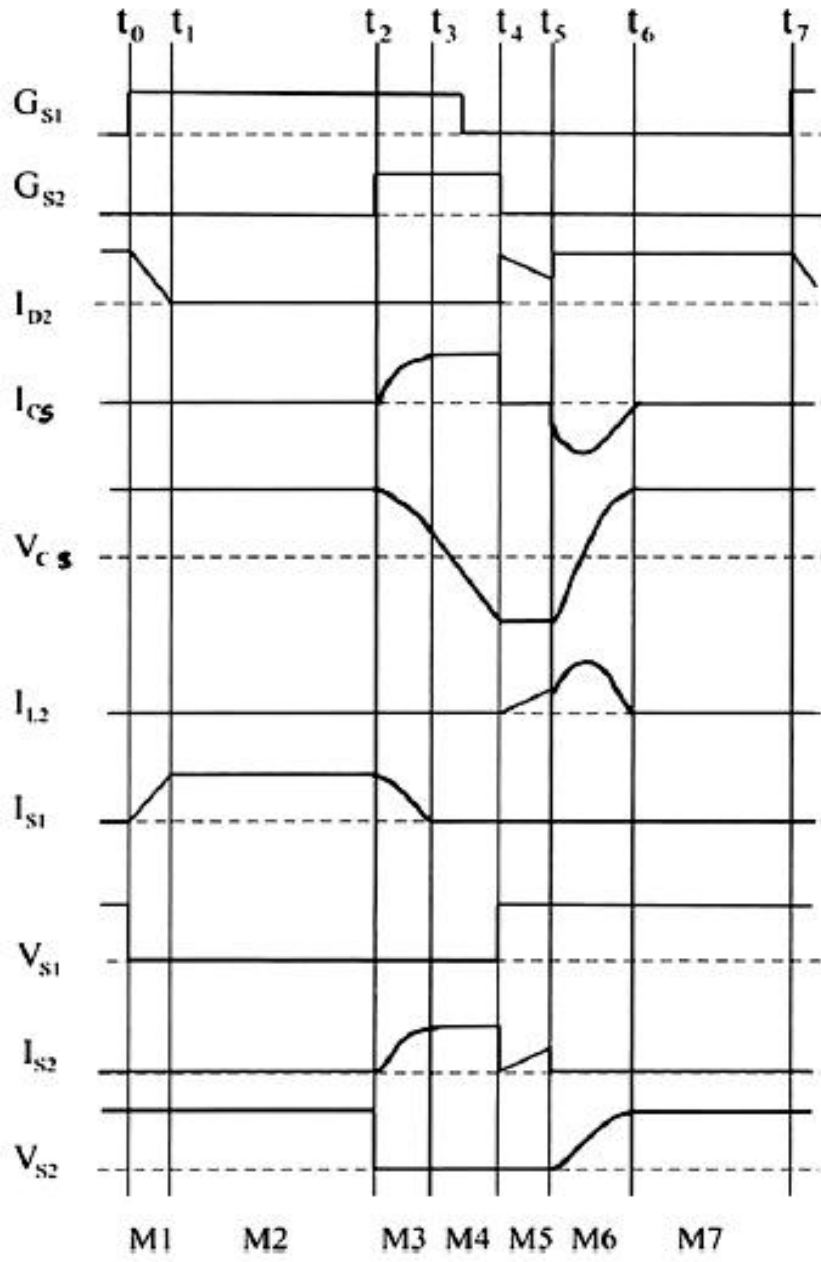
Ana anahtar SGG koşul ile iletme geçiyor ve kayıplar tamamen yok ediliyor. Yardımcı anahtar ise SAA ile iletme geçiyor, SGA ile kesime gidiyor.

4.2. İkinci Yükselten Dönüştürücü

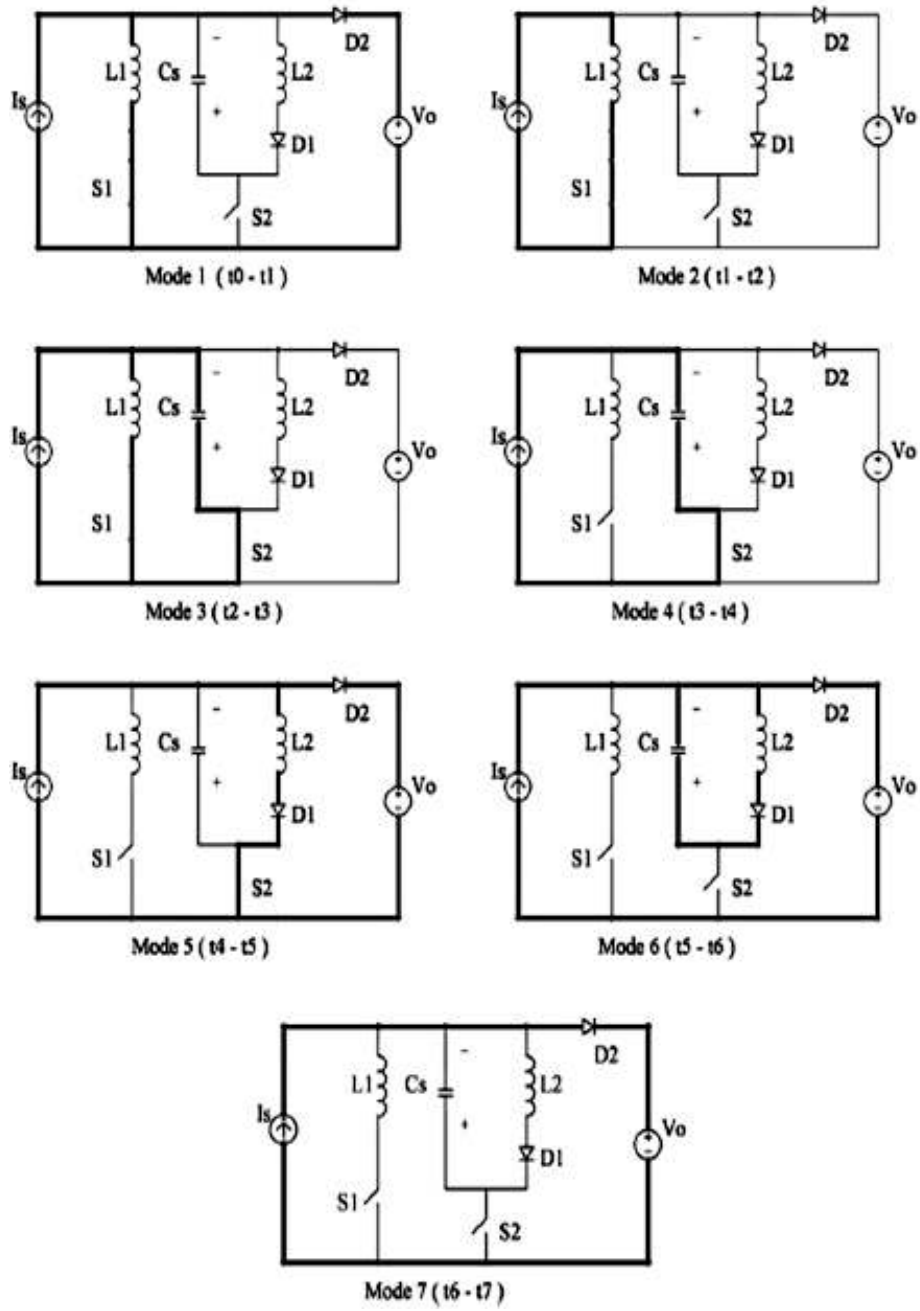
Bu çalışmada önerilen yeni yükselten yumuşak anahtarlama devrede ek olarak anahtar S_1 , diyot D_2 ve bobin L_s yanında yardımcı bir rezonant devre kullanılmaktadır. Yardımcı devre bir anahtar S_2 , bir diyot D_1 , iki bobin L_1 , L_2 ve snubber kondansatör C_s den oluşmaktadır. Çıkış gerilimi, ana anahtarın darbe genişliği değişmesi ile düzenlenir [12].



Şekil 4.6. İkinci yükselten dönüştürücü



Şekil 4.7. İkinci yükselten dönüştürücünün teorik dalga şekilleri



Şekil 4.8. İkinci yükselten dönüştürücünün çalışma aralıkları

Çalışma durumları:

Aralık 1 ($t_0 - t_1$): T_0 'den önce, anahtarlar kapalıyken, tüm giriş akımı I_s yükseltici diyot vasıtasıyla V_s kaynağından çıkışa aktarılır. Snubber kondansatör C_s başlangıçta V_O 'ın üzerinde bir gerilime ulaşır ($V_O + V'$). $T = t_0$ 'de yükseltici anahtarı S_1 açık olur ve bu yüzden çıkışta sabit gerilim V_O ana bobinin üzerine düşmektedir. Sonuç olarak, ana anahtarın akımı $\dot{I}_{S1}$ doğrusal olarak artar ve aynı oranda diyot akımı azalır. Bu nedenle, ana anahtar (S_1) SAA ile gerçekleşecek ve bobin (L_1) uygun seçim ile diyot D_2 'nin ters toparlanma kayıpları azalmaktadır. Bu mod, ana anahtarın akımı giriş akımının seviyesine ulaştığı an ve D_2 'nin susması ile sona erer [12].

Aralık 2 ($t_1 - t_2$): Bu mod sırasında tüm giriş akımı ana anahtardan geçiyor ve yükseltici diyot (D_2) kapalı kalıyor [12].

Aralık 3 ($t_2 - t_3$): Bu mod yardımcı anahtar iletime geçince başlar ($t = t_2$) ve snubber kapasitör (C_s) bobin L_1 ile rezonans ederek yardımcı anahtar üzerinden boşalmaya başlar. Böylece, rezonans ile yardımcı anahtarın akımı (S_2) yükselir ve ana anahtarın akımı (S_1) azalır. Bu nedenle yardımcı anahtar (S_2) SAA durumunda iletime geçer. Snubber kondansatörün boşaltma akımı I_s 'ye kadar yükseldikçe, ana anahtardan geçen akım sıfıra düşer [12].

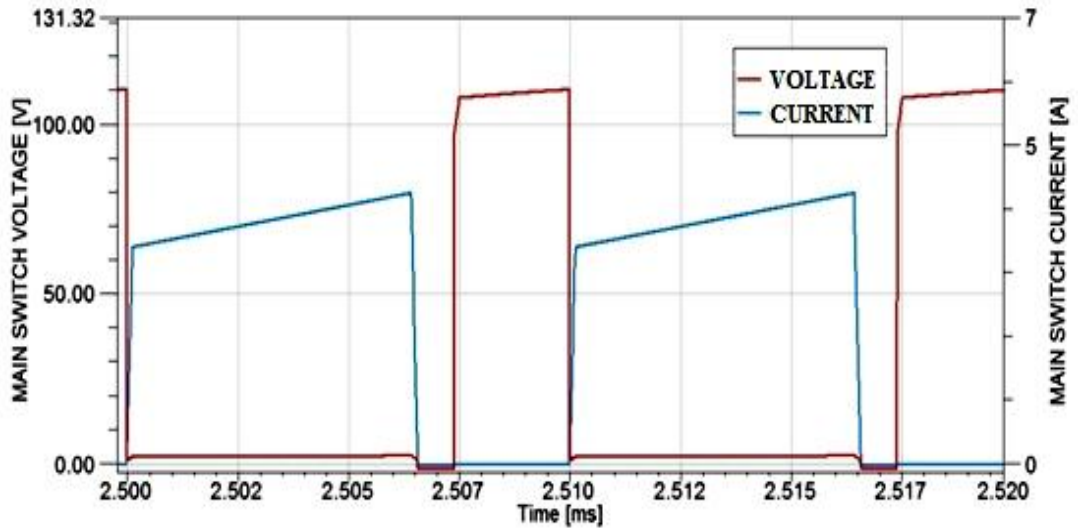
Aralık 4 ($t_3 - t_4$): Ana anahtardan akım geçmediği gibi, şimdi bu mod sırasında ana anahtar SAA,SGA ile kesime geçilebilir. Ancak snubber kondansatör hala sabit giriş akım ile sıfıra doğru düşüyor, ve sonra tekrar ters polariteyle şarj oluyor. Bu modda snubber kapasitör $-V_O$ kadar şarj olunca biter [12].

Aralık 5 ($t_4 - t_5$): Snubber kapasitör (C_s), $-V_O$ 'a kadar şarj olunca, daha fazla şarj olamaz ve giriş akımı yardımcı anahtar üzerinden diyot (D_2)'ye ve çıkışa kaydırılır, bu esnada yardımcı anahtarın akımı geçici olarak sıfıra düşer. Ana diyot iletimdeyken, çıkış gerilimi rezonant bobinin üzerine düşmektedir. Bu nedenle

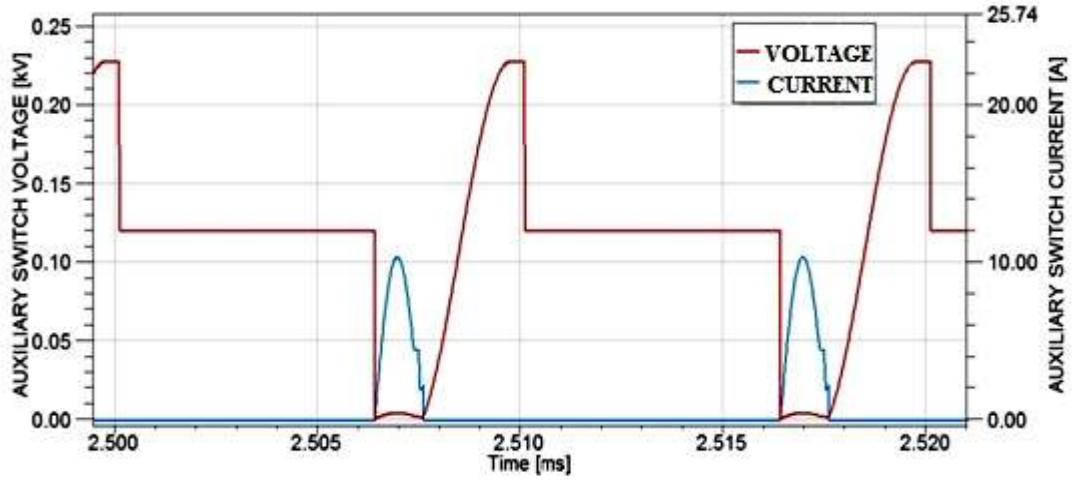
yardımcı anahtarın akımı lineer olarak rezonant bobin ve diyot (D_1) üzerinden artmaya başlar. Bu mod yardımcı anahtarın darbesi kaldırıldığında bitiyor [12].

Aralık 6 ($t_5 - t_6$): Yardımcı anahtar kapalı olunca, anahtar akımı sıfıra düşer ve giriş akımı tamamen ana diyot üzerinden geçer. Bu durumda, yardımcı anahtar snubber kapasitör ile seri olduğu için SGA ile kapanacaktır. Rezonant bobinin akımı snubber kapasitörden geçiyor dolayısıyla bobinde depolanan enerji kapasitöre aktarılır. Böylece ilk önce snubber kapasitör rezonans ile gerilimi sıfıra düşüp sonra yeniden orijinal gerilimine şarj olur. Bu mod rezonant bobinin akımı sıfıra düştüğünde biter [12].

Aralık 7 ($t_6 - t_7$): Giriş akım diyot üzerinden çıkışa geçtiği zaman ve tüm anahtarlar kapalı durumdayken yükseltici dönüştürücünün pasif modu olarak tanımlanır. Ana anahtar tekrar açıldığında, bir sonraki işlem döngüsü başlar [12].



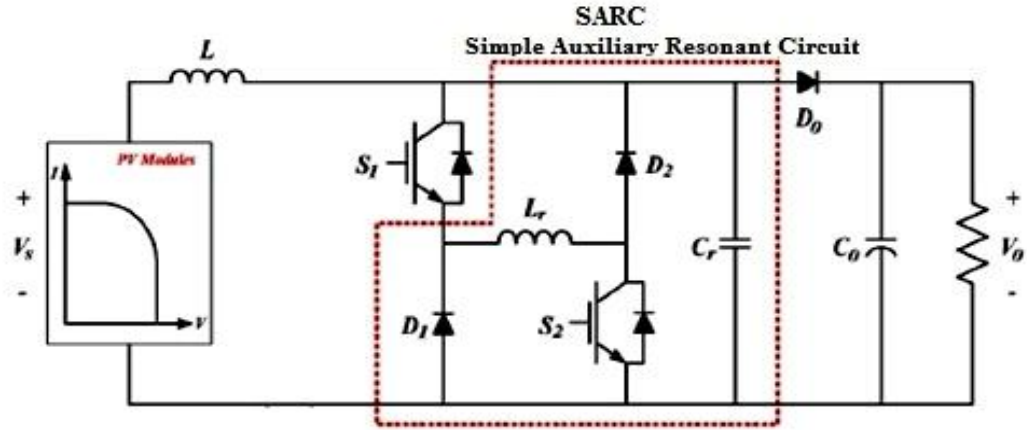
Şekil 4.9. Ana anahtarın gerilim ve akımının dalga şekilleri



Şekil 4.10. Yardımcı anahtarın gerilim ve akımının dalga şekilleri

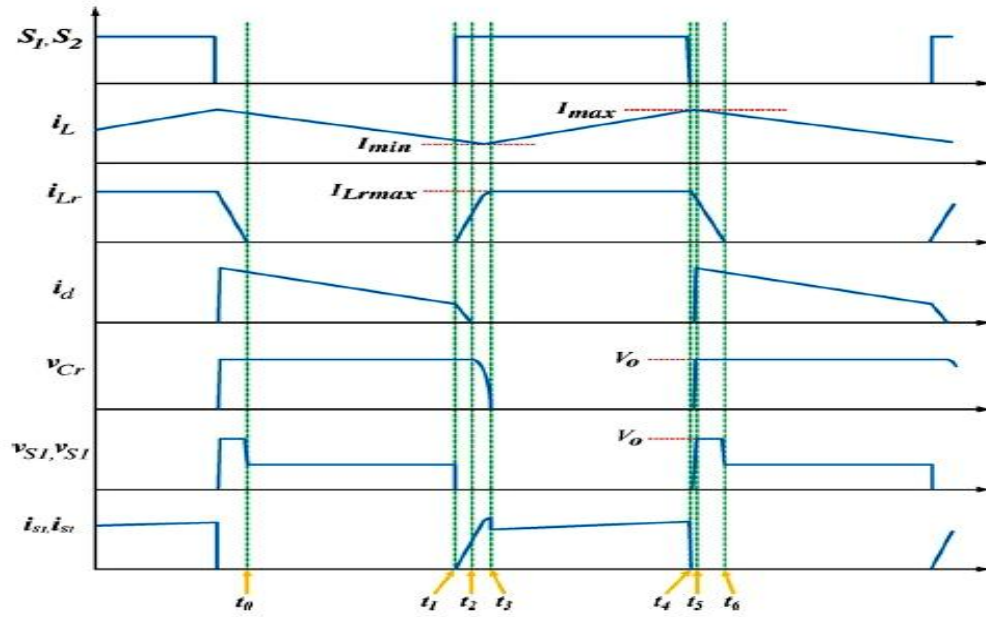
4.3. Üçüncü Yükselten Dönüştürücü

Bu yükselten dönüştürücü geleneksel yükselten dönüştürücüye göre daha verimlidir. Bunun nedeni de yükselten dönüştürücüde basit bir rezonans devre kullanılmış olmasıdır. Bu devre PV üretim sistemi için kullanılmaktadır.

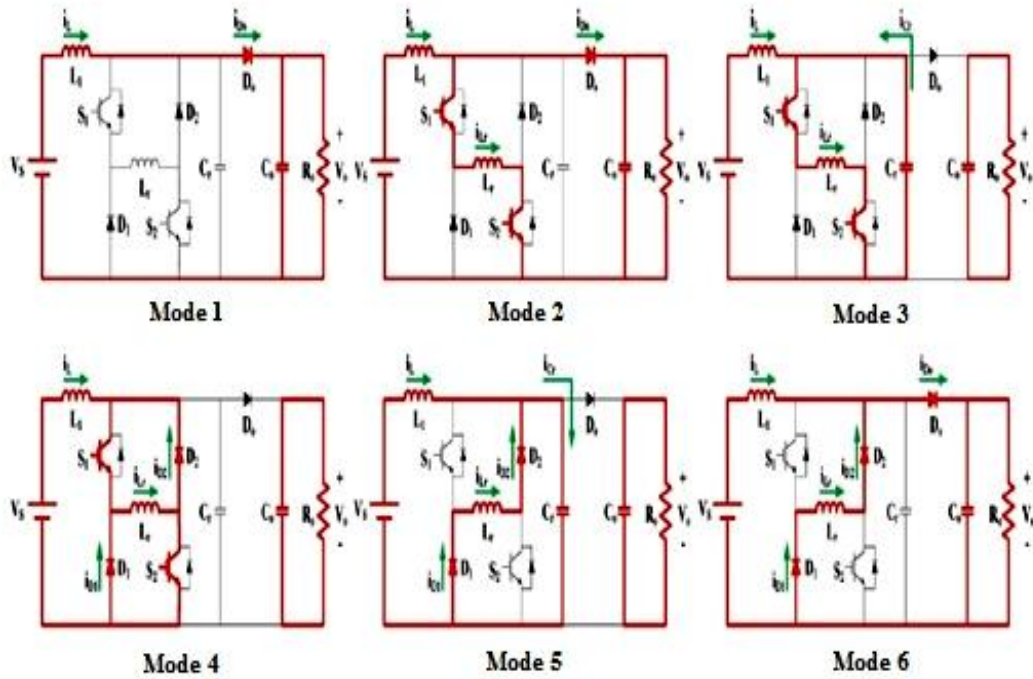


Şekil 4.11. Üçüncü yükselten dönüştürücü

Yardımcı devre; bir yardımcı anahtar (S_2), bir rezonant bobin (L_r), bir kapasitör (C_r) ve iki diyottan oluşmaktadır. Bu yükselten dönüştürücüde anahtarlar SAA ile iletme ve SGA ile kesime geçiyor. Aşağıda verilen şekillerde devrenin çalışma prensibi ve modları detayla sunulmuştur.



Şekil 4.12. Üçüncü yükselten dönüştürücünün teorik dalga şekilleri



Şekil 4.13. Üçüncü yükselten dönüştürücünün çalışma modları

Çalışma durumları:

Aralık 1 ($t_0 - t_1$): Hem ana anahtar hem yardımcı anahtar ikiside kapalı durumdadır, akım ne ana anahtardan ne de yardımcı anahtardan geçmektedir ve ana bobinde depolanan enerji yüke aktarılır. Bu aralıkta, ana bobin akımı doğrusal olarak azalmaktadır. Bu süre içinde, rezonant bobinden akım geçmemektedir ve rezonans kapasitör çıkış gerilimi ile eşittir [13].

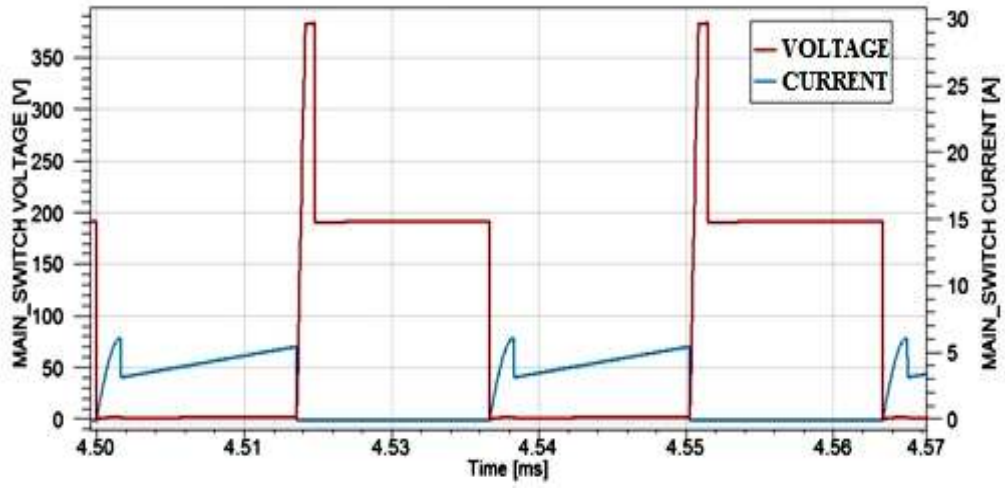
Aralık 2 ($t_1 - t_2$): Ana anahtar ve yardımcı anahtar açılır ve akım rezonant bobinden geçmektedir. Bu nedenle iki anahtar da SAA durumunda ilettime geçiyor [13].

Aralık 3 ($t_3 - t_4$): Çıkış diyot (D_0) üzerinden yüke giden akım artık geçmez, t_2 'de rezonant kapasitör (C_r) ve rezonant bobin (L_r) rezonansa başlar. Rezonant bobinden geçen akım, ana bobin ve rezonans kondansatör akımının kombinasyonudur. Bu rezonans süresince, rezonant kapasitör (C_r) V_o 'dan sıfıra deşarj edilmektedir [13].

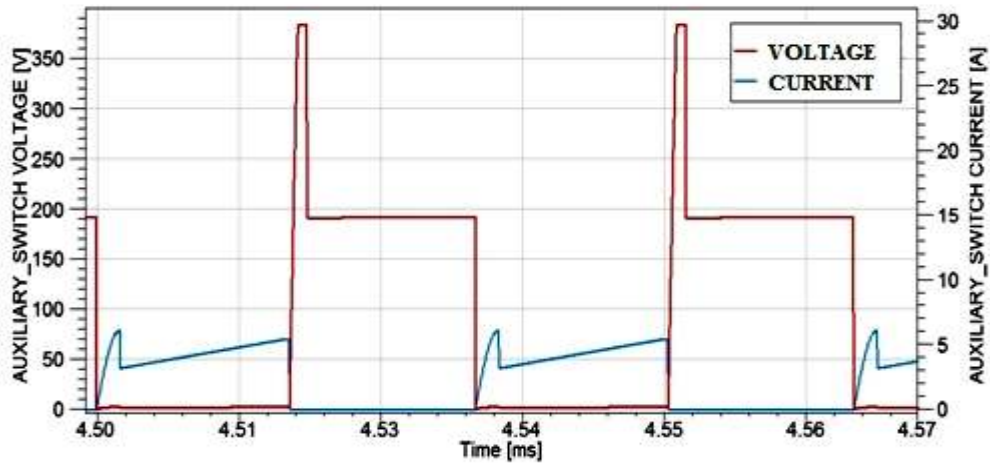
Aralık 4 ($t_4 - t_5$): 3'üncü aralıkta, rezonans periyottan sonra, rezonant kapasitörün voltajı sıfıra düştüğü an aralık 4 başlar. Serbest D_1 ve D_2 diyotlar açık durumdadır ve rezonans bobin akımı maksimum değerini alır. Rezonant bobin akımı serbest yoldan, serbest $S_1-L_r-D_2$ ve $S_2-L_r-D_1$ diyotların üzerinden geçmektedir. Bu süre boyunca, ana bobin gerilimi giriş gerilimine eşit olur ve ana bobin üzerindeki depolanan enerji doğru orantılı olarak artar [13].

Aralık 5 ($t_5 - t_6$): Aralık 5'de, anahtarların tümü rezonant kapasitör tarafından sıfır gerilim koşuluyla kapatılır (SGA). Tüm anahtarlar kapatıldığında, rezonant kapasitör C_r iki bobinin akımı tarafından çıkış gerilime kadar şarj oluyor. Rezonant kapasitör çıkış gerilimine kadar şarj olunca, çıkıştaki diyot kapalı durmunda kalır [13].

Aralık 6 ($t_6 - t_7$): Aralık 6, rezonant kapasitör çıkış gerilime eşit olduğunda başlar ve çıkıştaki diyot sıfır gerilim koşulu altında ilettime geçer. Bu süre zarfında, ana ve rezonant bobinin akımı ana diyot (D_0) üzerinden çıkışa aktarılır. Bu nedenle, iki indüktör akımı lineer olarak azalır ve rezonans indüktör enerjisi tamamen yüke aktarılır. Daha sonra, 6'ncı aralık biter [13].



Şekil 4.14. Ana anahtarın gerilim ve akımının dalga şekilleri

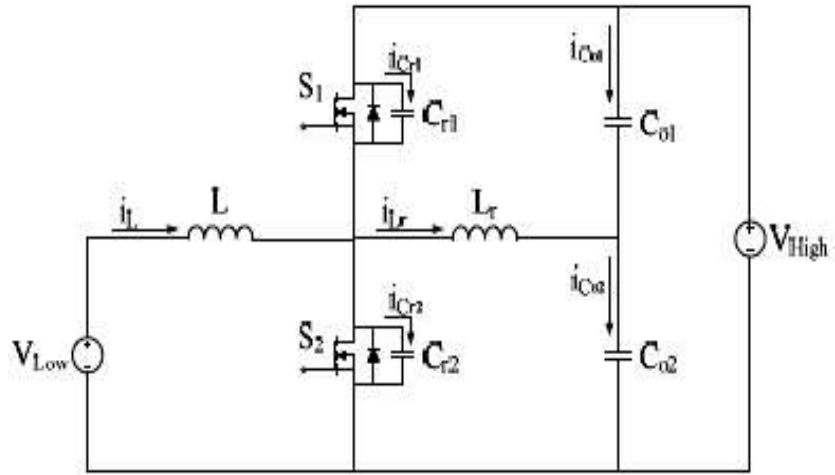


Şekil 4.15. Yardımcı anahtarın gerilim ve akımının dalga şekiller

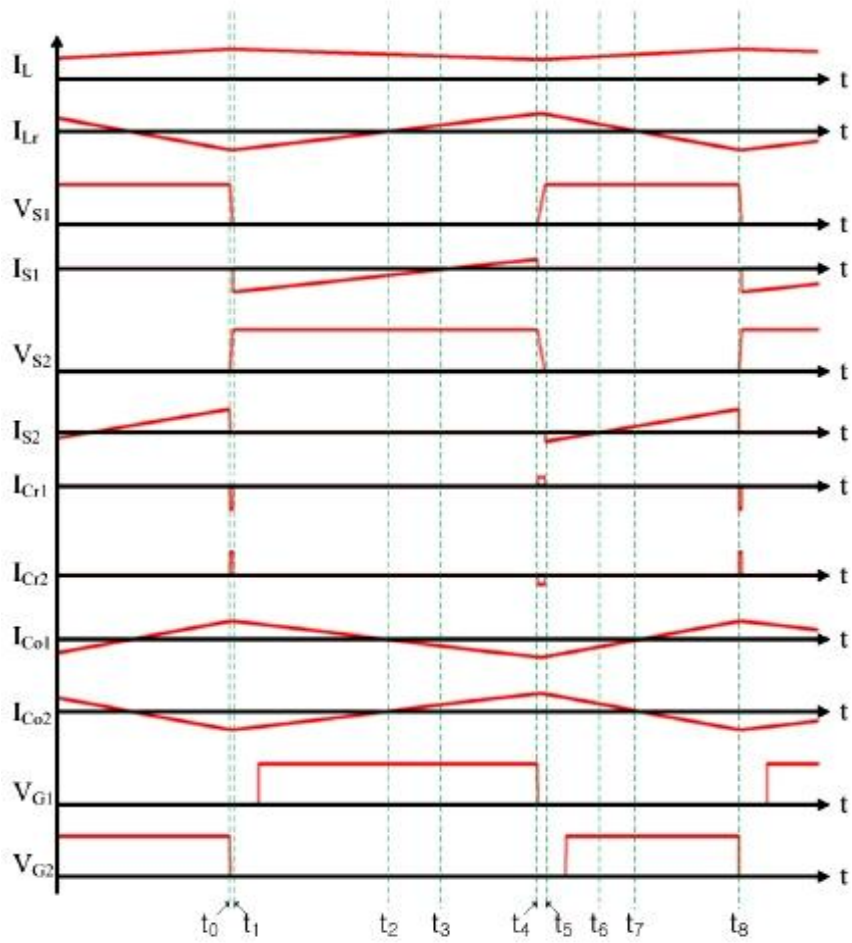
Bu devrede iki anahtar da aynı SAA açılır ve SGA koşulu altında kapanırlar. Bu devrenin en büyük dezavantajlarından yardımcı anahtarın fazla iletimde olmasıdır.

4.4. Dördüncü Yükselten Dönüştürücü

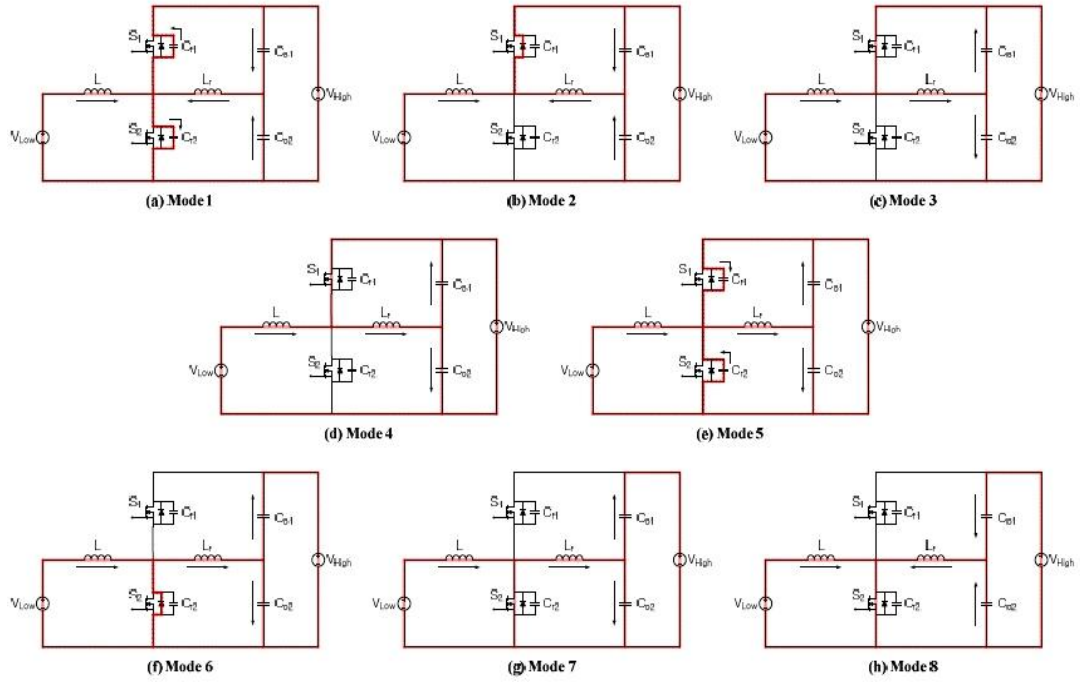
Yüksek verimli dönüştürücünün yardımcı rezonans devresinde bir rezonant bobin, iki rezonant kondansatör ve iki paralel kondansatör kullanılmıştır. Bu elemanları kullanarak iki anahtar da SGA durumlarda iletme ve kesime geçiyorlar.



Şekil 4.16. Dördüncü yükselten dönüştürücü



Şekil 4.17. Dördüncü yükselten dönüştürücünün teorik dalga şekilleri



Şekil 4.18. Dördüncü yükselten dönüştürücünün çalışma modları

Çalışma durumları:

Aralık 1 (t_0-t_1) : S_2 anahtarı kapı sinyali kapatıldığında, mod 1 etkinleştirilir. S_2 anahtarı kapalıyken anahtardan geçen akım, C_{r2} 'den geçmeye başlıyor ve S_2 SGA durumu ile kapanıyor. C_{r1} 'den geçen akım, S_1 anahtarın SGA durumuyla ilettime geçmesine sebep oluyor [23].

Aralık 2 (t_1-t_2) : C_{R2} gerilimi V_{High} ile eşit olduğunda, mod 2 başlatılır. Bobin akımı ve rezonant bobin akımı antiparalel diyot üzerinden geçmektedir. S_1 anahtarı kapı sinyali aldığı anda, rezonant indüktörden akan akım azaltılır. Akım sıfır olunca bu mod biter [23].

Aralık 3 (t_2-t_3) : Ana bobin üzerinden akan akım nedeniyle rezonant bobin akımının yönü değişir, mod 3 başlatılır. Mod 3'de ana bobin akımı azalmış olur. Öte yandan, rezonant bobinin akımı artırılır. i_L ve I_{LR} miktarı birbirine eşit olduğunda, bu mod biter.

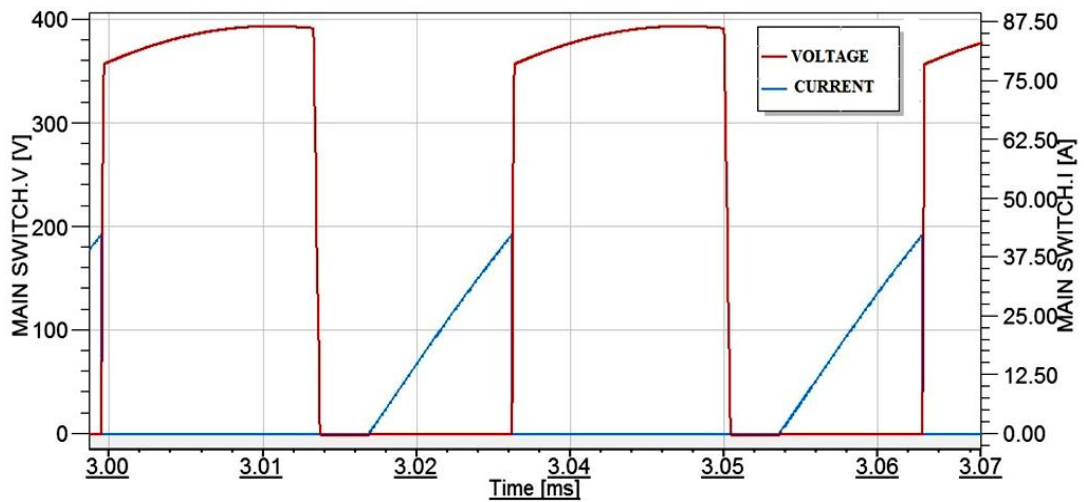
Aralık 4 (t_3-t_4) : Ana bobin ve rezonant bobinin akımı birbirine eşit olduğunda mod 4 başlar. S_1 kapı sinyali kapatılana kadar bu moda devam edilmektedir. Bu modda, akım antiparalel diyottan geçtiğinde, anahtar S_1 SGA koşullar altında açılır [23].

Aralık 5 (t_4-t_5) : Mod 5 ikinci rezonans modudur, ve anahtar S_1 kapalı olunca bu mod aktif hale gelir. S_1 'den geçen akım, S_1 kapalı olunca C_{r1} kondansatöründen geçer. Bu nedenle, anahtar S_1 sıfır gerilim koşulu ile kapatılır. Mod 1 ve mod 5 arasındaki fark rezonans döngüsünün ters yönde olmasından dolayıdır [23].

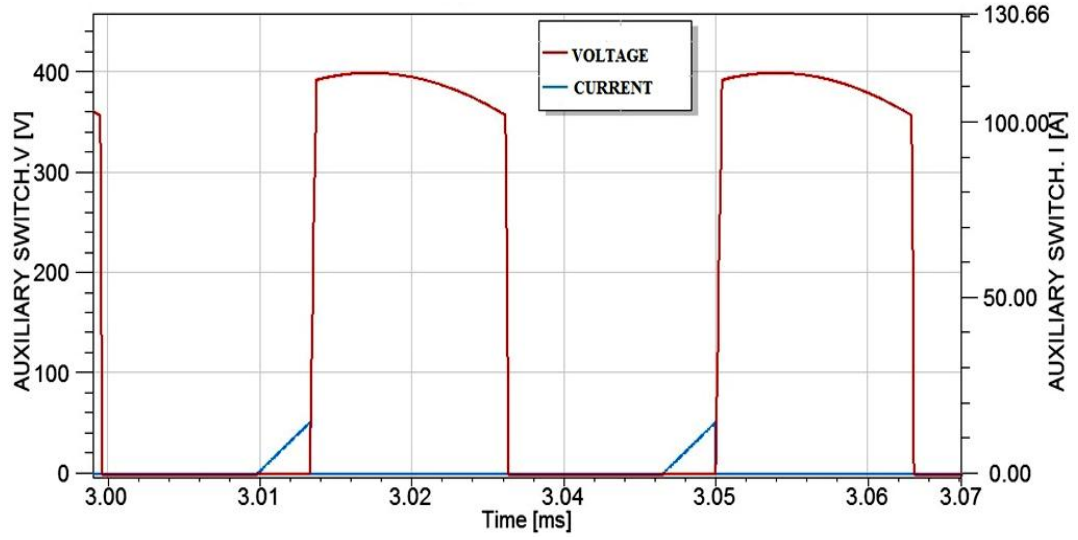
Aralık 6 (t_5-t_6) : C_{R1} gerilim düzeyi V_{High} ile eşit olduğu zaman bu mod başlar. Rezonant bobin akımın sürekliliği nedeniyle anti-paralel diyot üzerinden akım akmaktadır. S_2 geçiş sinyali uygulandığında, anahtar SGA koşulu altında açılır [23].

Aralık 7 (t_6-t_7) : Ana bobinin akım düzeyi rezonant bobin ile eşit olduğunda, mod 7 başlatılır. S_2 anahtarı açık olduğu için ana bobinin akımı artmaktadır [23].

Aralık 8 (t_7-t_8) : Mod 6 ve 8'den, ana bobinin akımı artmaktadır. Rezonant bobinin akımı daha önceki moda göre ters yönde artmaktadır. S_2 kesime geçince bu mod sona erer [23].



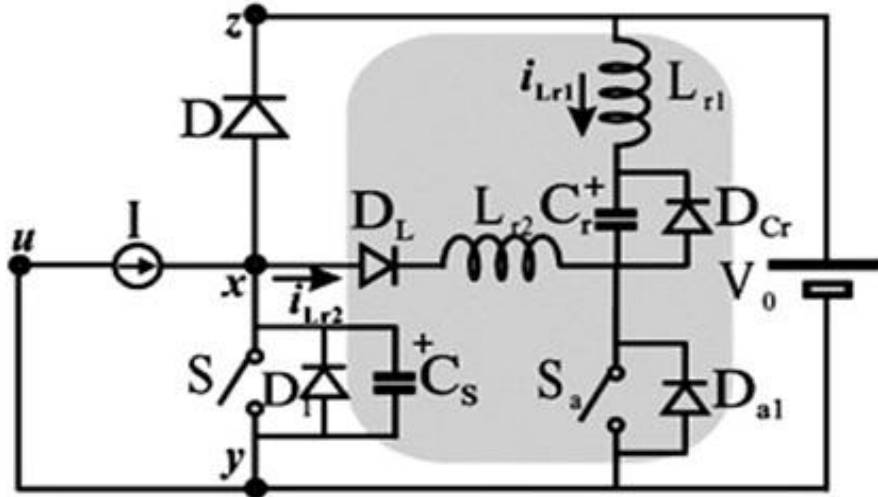
Şekil 4.19. Ana anahtarın gerilim ve akımının dalga şekilleri



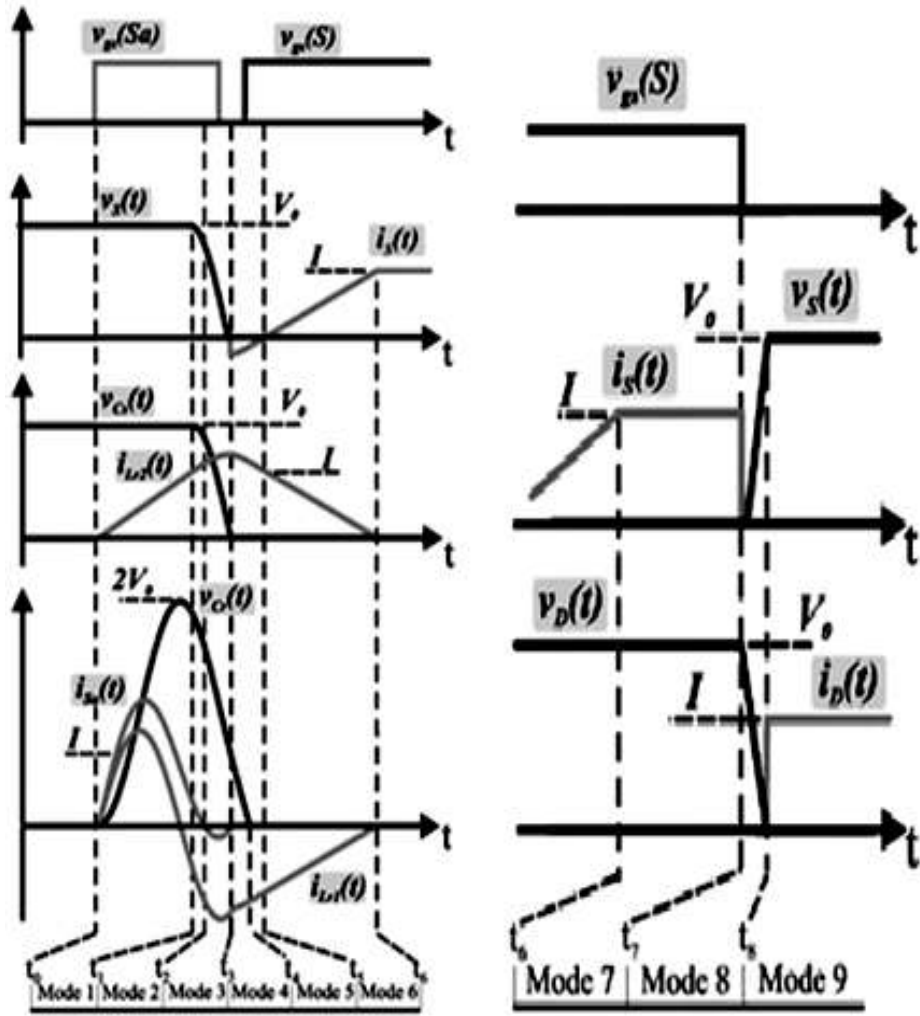
Şekil 4.20. Yardımcı anahtarın gerilim ve akımının dalga şekilleri

4.5. Beşinci Yükselten Dönüştürücü

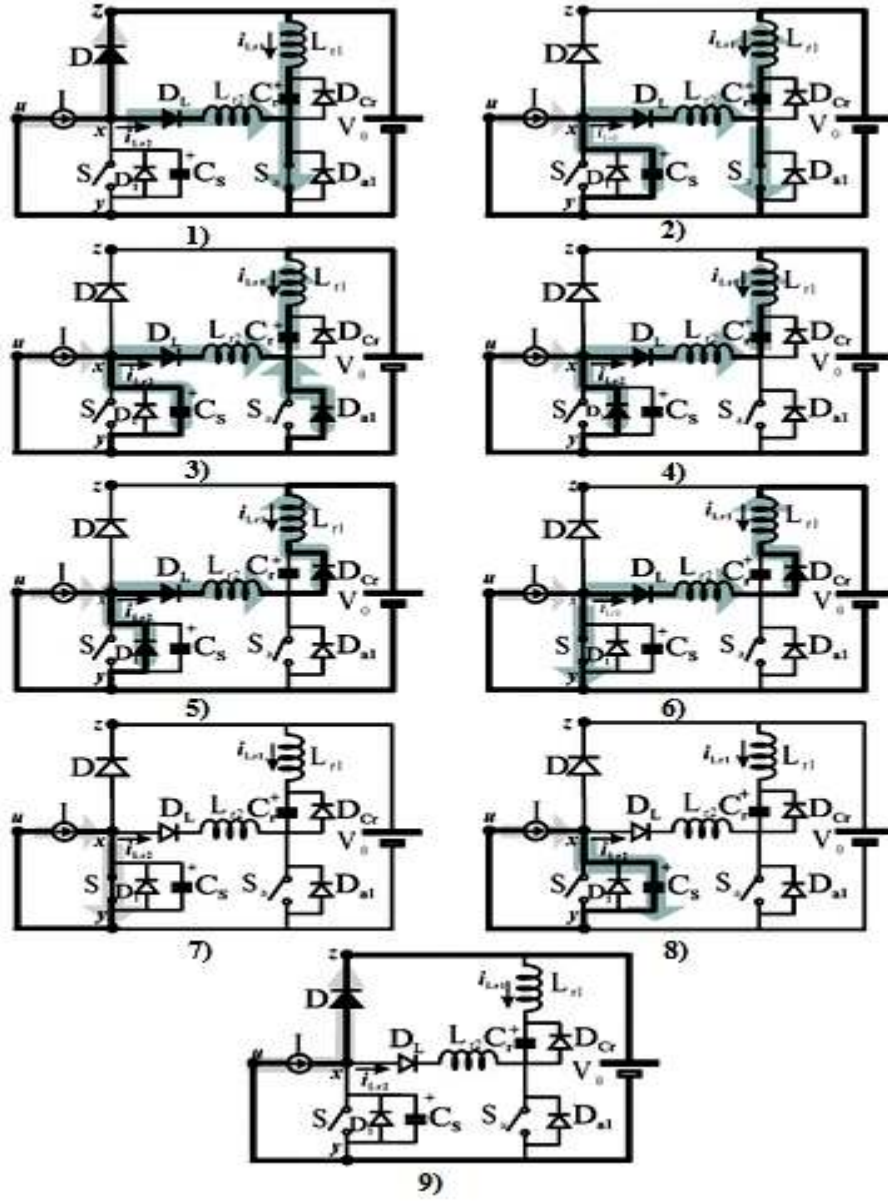
Gelişmiş yükselten dönüştürücünün rezonans devresindeki elemanlar bu devrenin anahtarların yumuşak anahtarlama ile iletme ve kesime girmesini sağlamaktadır. Rezonans devrede bir snubber kapasitör, iki rezonant bobin, iki diyot ve bir rezonant kapasitör kullanılmıştır.



Şekil 4.21. Beşinci yükselten dönüştürücü



Şekil 4.22. Beşinci yükselten dönüştürücünün teorik dalga şekilleri



Şekil 4.23. Beşinci yükselten dönüştürücünün çalışma modları

Çalışma durumları:

Aralık 1(t₀-t₁) : T₀'da, yardımcı anahtar iletime geçer, rezonans $i_{Lr1}(t)$ ve $V_{Cr}(t)$ arasında başlar. Aynı zamanda $i_{Lr2}(t)$ akımı lineer olarak giriş akımının değerine kadar yükselir [21].

Aralık 2 (t_1-t_2) : L_{r2} 'nin akımı giriş akım ile eşit olduğunda, ana diyot kapanır rezonans $i_{Lr2}(t)$ ve $V_{Cs}(t)$ arasında başlar. Bu süreç C_s 'de depolanan enerjiyi boşaltıyor. Bu mod yardımcı anahtarın akımı sıfıra düştüğünde biter [21].

Aralık 3 (t_2-t_3) : Bu mod sırasında yardımcı anahtarın gövde diyonu ilettime geçiyor ve bu durum yardımcı anahtarın kesime girme işlemini yumuşak anahtarlama yöntemiyle gerçekleştiriyor. Bu mod $v_{Cs}(t)$ gerilimi sıfıra düştüğünde biter [21].

Aralık 4 (t_3-t_4) : T_3 'de $v_{Cs}(t)$ gerilimi sıfıra düşer ve ana anahtarın gövde diyonu ilettime geçip yumuşak anahtarlama koşulunu sağlar (SGA). Aynı anda yardımcı anahtarın gövde diyonu kapanır, $i_{Lr}(t)$ akımı L_{r1} , L_{r2} ve C_r arasındaki rezonans ile azalır. Bu mod $V_{cr}(t)$ gerilimi sıfıra düştüğünde ve D_{r1} ilettime geçmesiyle biter [21].

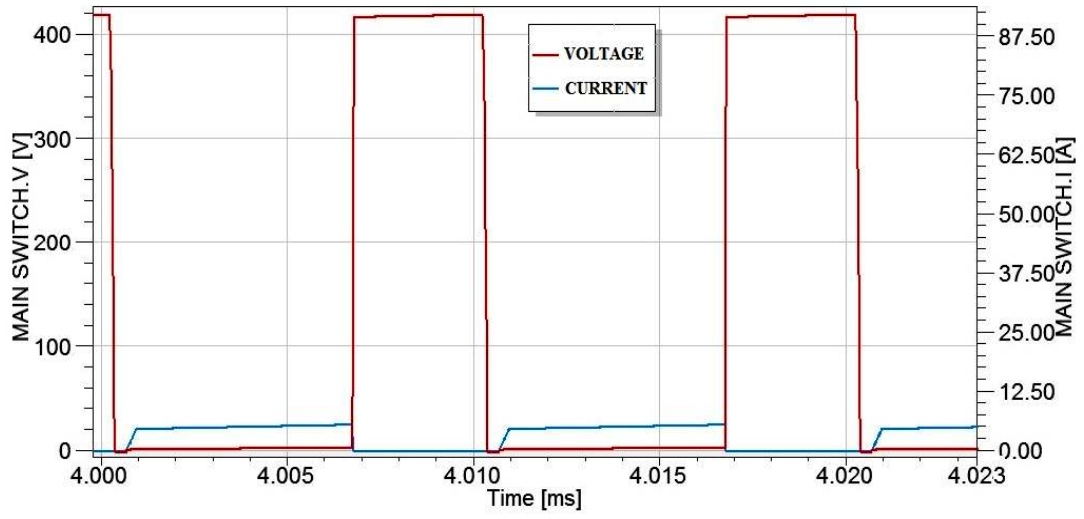
Aralık 5 (t_4-t_5) : T_4 'de $i_{Lr2}(t)$ ve $i_{Lr1}(t)$ 'den geçen akım lineer olarak giriş akım seviyesine kadar düşünce D_1 diyot kapanır [21].

Aralık 6 (t_5-t_6) : $i_{Lr2}(t)$ azalarak sıfıra düşer ve ana anahtarın akımı giriş akım ile eşit olur [22].

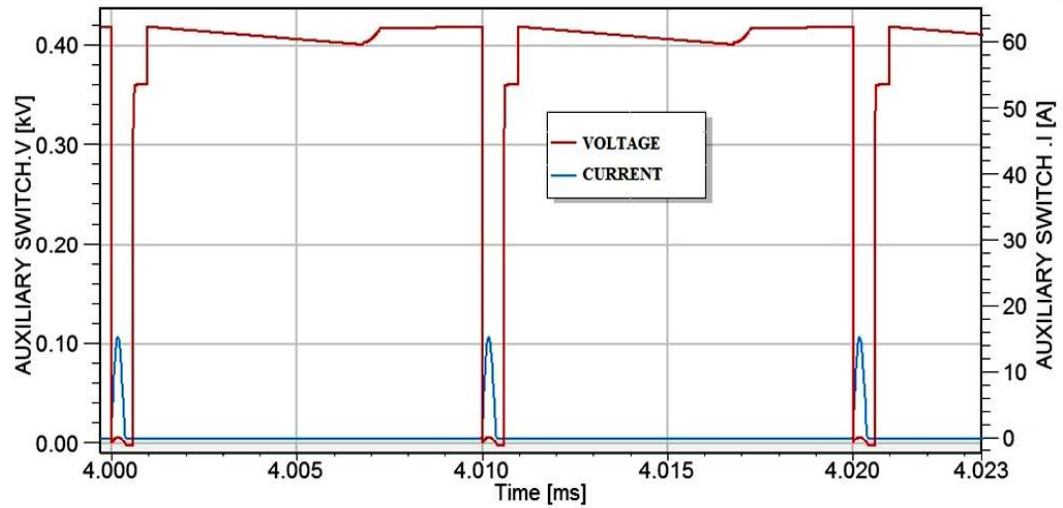
Aralık 7 (t_6-t_7) : Bu modda, devrenin işlemi, sert anahtarlama işlemine benziyor. Bu modun zamanı görev çarpanıyla eşittir [21].

Aralık 8 (t_7-t_8) : T_7 'de ana anahtar kapanıp giriş akımı snubber kapasitör üzerinden geçmektedir ve çıkış gerilime kadar şarj edilmektedir [21].

Aralık 9 (t_8-t_9) : $V_C(t)$ gerilim V_o 'ya ulaştığında, yükseltici diyot D ilettime geçer ve başka bir geçiş döngüsü başlar [21].



Şekil 4.24. Ana anahtarın gerilim ve akımının dalga şekilleri



Şekil 4.25. Yardımcı anahtarın gerilim ve akımının dalga şekilleri

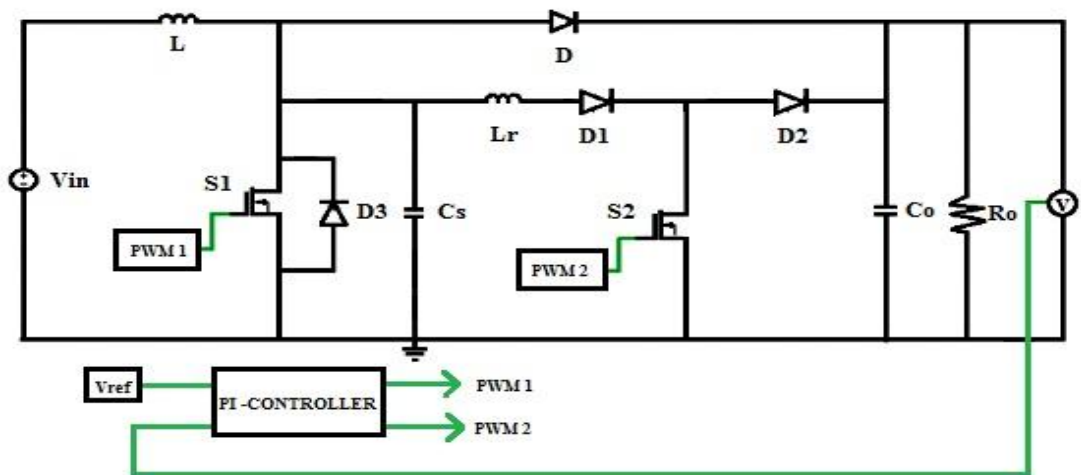
Bu devrede ana anahtar SGG durum da ve yardımcı anahtar SAA koşulu ile iletme geçiyor. Kapanma ise anahtarların ikisinde SGA koşulu ile kapanıyor.

Dördüncü devre verim açısından başka devrelere göre daha verimlidir, ayrıca birinci benzetim verim açısından diğer devrelere göre düşük verime sahiptir. Eleman sayısı açısından, devrede ne kadar eleman sayısı çok olursa devre bir o kadar karışık olur ve devrenin güç kaybıda bir o kadar artar, bununla birlikte dördüncü devre az elemana sahip olduğundan güç kaybı da düşük olur.

5. İNCELENEN SGG YÜKSELTEN DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN BENZETİM VE PRATİK ÇALIŞMALARI

Bu bölümde, enerji dönüşümünün verimini arttırmak için, bir yardımcı anahtar, iki diyot, bir rezonans bobini ve bir rezonans kapasitesinden oluşan bir yardımcı rezonans devresi ile yapılan bir yumuşak anahtarlama yükseltici dönüştürücü detaylı olarak incelenmektedir. Geleneksel yükseltici dönüştürücünün verimi, anahtarlar iletime ve kesime girerken kayıplara sebep olan sert anahtarlama sebebiyle düşüktür. Bu anlarda, sunulan devredeki ana anahtar, iletime girerken rezonant endüktans ve rezonans kapasitör sayesinde sıfır gerilim geçiş ile açılır ve kesime girerken rezonant kapasitesi sayesinde sıfır gerilimde anahtarlama sağlar. Yardımcı anahtarda sıfır akım anahtarlama ile iletime geçiyor fakat kesime girmesi sert anahtarlama ile gerçekleşiyor. 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.

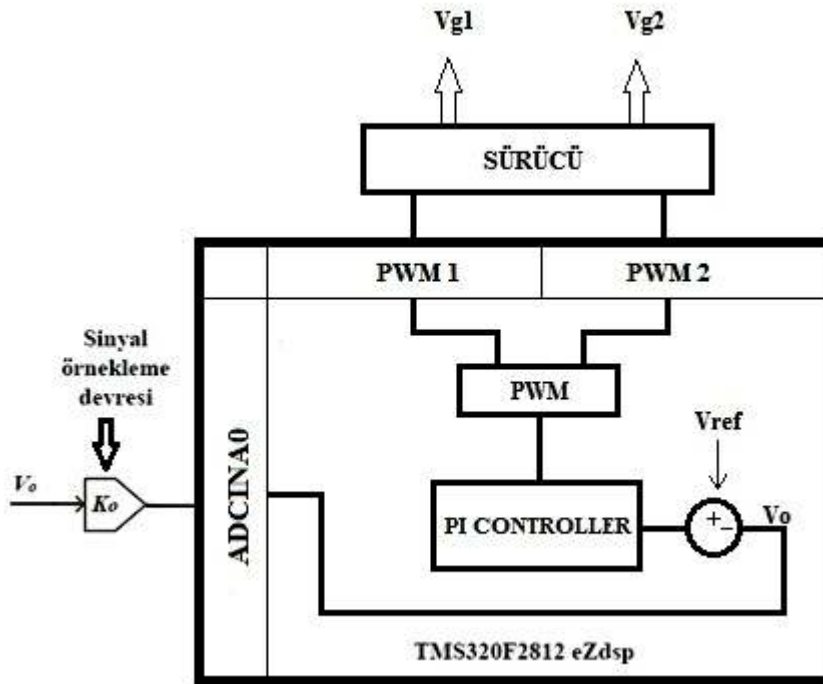
Bu çalışmada sunulan yumuşak anahtarlama yükseltici dönüştürücü 120 W'lık bir PV modül için tasarlanmıştır ve 50 kHz çalışma frekanslı bir deney düzeneğiyle test edilmiştir. Tezde ise, sunulan dönüştürücü Pspice programı ile simüle edilmiştir ve 120 W ve 50 kHz'lik bir yükseltici dönüştürücü prototipi ile doğrulanmıştır.



Şekil 5.1. İncelenen yumuşak anahtarlama yükselten dönüştürücü devresi

5.1. Kontrol Devresi Tasarımı

Şekilde görüldüğü gibi, kontrol devresi sinyal örnekleme devresi, kontrolcü (TMS320F28335 eZdsp) ve sürücü devresinden oluşmaktadır. Kontrolcü olarak TMS320F2812 eZdsp kartı kullanıldığından, işlenecek sinyallerin değerleri bu karta uygun düzeye (0-3 V seviyesine) çekilmesi gerekir. Ayrıca, DSP kartının PWM çıkışları 0-3 V seviyesinde olduğundan, güç devresindeki anahtarların sürülmesi için bu 0-3 V seviyesindeki sinyaller sürücü devresi vasıtasıyla yükseltilmesi gerekmektedir. Çalışmanın bu bölümünde, kontrol devresindeki birimler incelendikten sonra voltaj kontrol yöntemindeki kontrolcünün tasarlanması ele alınmıştır.



Şekil 5.2. İncelenen çalışmanın kontrol devresi

5.1.1. TMS320F2812 eZdsp kartı

1970'lerin sonlarından günümüze geniş bir uygulama alanı bulan DSP'ler, veri sıkıştırma, görüntüleme, radar, yer hareketleri kaydı ve analizi, simülasyon ve modelleme, süreç izleme ve kontrol, filtreleme, v.b. bir çok alanda kullanıldıkları

gibi güç elektroniği uygulamalarında da sıkça kullanılmaktadırlar. Güç elektroniği sürücü düzeneklerinde kullanılan yarı iletken anahtarların daha hızlı ve daha karmaşık denetimleri, sürekli gelişen mikroişlemci teknolojisiyle daha kolay yapılabilmektedir. Texas Instruments (TI) firmasının geliştirdiği DSP'ler endüstrinin yüksek performans ve kod verimli uygulamalarında sayısal kontrol imkanı sağlamaktadırlar. TMS320C2000 DSP denetleyici ailesi tümleşik çevresel yapı standardına sahip olup, flash bellek, çok hızlı A/D dönüştürücü modülleri, PWM modülleri, ve CAN (Controller Area Network) modülleri gibi bir çok çevresel birim içerir.

Spectrum Digital tarafından deneysel kullanımlar için geliştirilmiş TMS320F2812 eZdsp kartı, TMS320C28X DSP ailesinden TMS320F2812 işlemcisini içeren ve genellikle akademik çalışmalarda tercih edilen bir karttır. Bu kart TMS320F2812 işlemcisi haricinde işlemci arabirimlerine kolaylıkla ulaşımı sağlayan farklı çevresel birimleri de içerir. TMS320F2812 işlemcisi bir çok kontrol uygulamasında yüksek performanslı çözümler sunar. 32-bit DSP çekirdeği, 6,67 ns çevirimde (cycle) 32x32 bit MAC (Media Access Control) etkili ve bir flash işleminde 150 MIPS (Millions of Instructions Per Second) performans sağlar. TMS320F2812'nin en önemli özelliklerinden biri çok hızlı erişimli yonga (chip) üzerine yerleşik flash bellektir, böylece kod harici belleğe gerek olmaksızın yapı içerisinde çalıştırılabilir. şekil 5.8'de gösterilen TMS320F2812 eZdsp kartının özellikleri özetle aşağıda aktarılmıştır [15].

- Yüksek performanslı 32-bit CPU
- 150 MIPS işlem hızı
- 16 kanal 12-bit 12,5 MSPS işlem hızlı ADC
- 6 çift tümleyenli 4 bağımsız toplam 16 PWM
- Programlanabilir ölü zaman mantığı
- 4 adet genel amaçlı zamanlayıcı / sayıcı
- 56 bağımsız programlanabilir genel amaçlı giriş çıkış pini
- 18 K Word RAM ve 128 K Word dahili Flash EEROM

- IQ Math kütüphane desteği ile floating-point işlem kolaylığı
- C/C++ programlama desteği

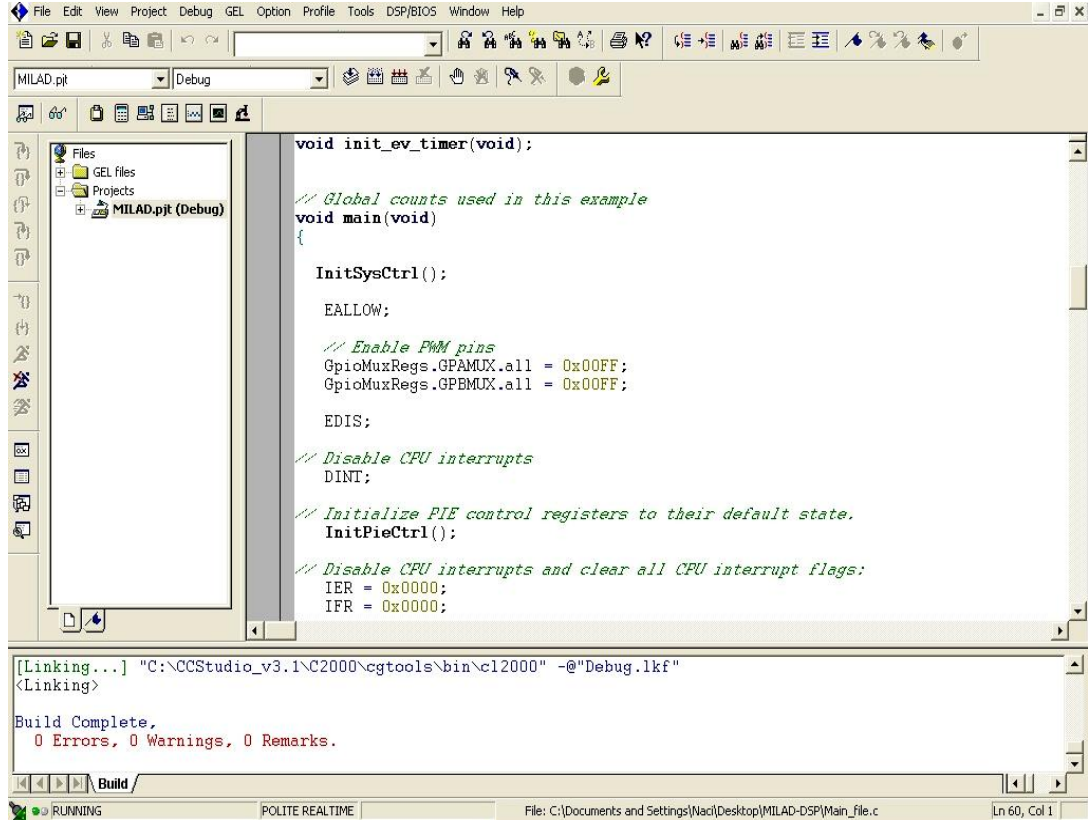


Şekil 5.3. TMS320F2812 eZdsp kartı

TMS320F2812 eZdsp kartı şekil 5.3’de aktarılan ve Texas Instruments firmasının ürettiği C/C++ destekli CCS (Code Composer Studio) programı ile programlanmaktadır. işlemcinin programlanmasında C++ ve ASM kullanılabildiği gibi, MATLAB Simulink gibi özel paket programlar da kullanılabilmektedir. Ancak oluşturulan program kodları yine CCS aracılığıyla işlemciye yüklenmektedir. Programlama penceresinin yanı sıra farklı pencerelere sahip CCS ara yüzü, kullanıcılara büyük kolaylık sağlamaktadır. Bellek ve CPU gözlem pencerelerinin yanı sıra, gözlem penceresi ile programda kullanılan verilerin değerleri izlenebilmektedir. CCS ara yüzünün en önemli özelliklerinden biri grafik penceresidir. Grafik menüsünde bulunan gerçek zaman gösterim (real time presentation) ayarlanarak DSP’de işlenen sinyaller gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir.

Güç elektroniği uygulamalarında ADC ve PWM modülleri DSP içerisindeki en önemli birimlerdir. TMS320F2812 yüksek performanslı ADC ve PWM üreteçleri sağlar ve bu yapı dönüştürücülerin yüksek gereksinimlerini karşılamaya olanak

sağlar. Aşağıda DSP'nin ADC ve PWM modülleri hakkında daha detaylı bilgi aktarılmıştır.



Şekil 5.4. CCS program ara yüz görünümü

5.1.2. ADC (Analog-to-Digital Converter)

TMS320F2812 işlemcisi 12-bit çözünürlüklü 16 adet (2x8) 0-3V DA analog girişli bir ADC'ye sahiptir. Programın işlemcide koşturulması sırasında okunacak analog girişlerin sayısı ve analog işaretin hangi bacağına bağlandığı, dönüştürme sırası ve biçimi ayarlanmalıdır. Örnekleme zamanı ve dönüştürülen işaretin sayısal değerinin ana program tarafından hangi sıklıkla alınacağı belirlenir. ADC'nin örnekleme hızı ise sistem saat hızına göre bağımsız olarak ayarlanabilmektedir. TMS320F2812'nin ADC modülünün özellikleri aşağıda verilmiştir.

- 12-bit çözünürlüklü ADC çekirdeği
- 16 giriş sinyali (0-3)
- 2 analog çoklayıcı
- 2örnekle/tut.(sample/hold)

- Ardışık ve simultane örnekleme modları
- 16 otomatik dönüştürme özelliği
- 16 bağımsız adreslenebilen sonuç kayıtcısı

TMS320F2812'nin ADC birimi; program, olay yöneticisi (Event Maneger, EV-A/B) veya harici pinler tarafından tetiklenebilir. ADC çalışma zamanı maksimum 25 MHz'e ayarlanabilmektedir. Sayısal değere dönüştürülen analog sinyaller ADCRESULTx kayıtcılarında tutulur. Bu kayıtcılar 16-bit olmasına rağmen ADC 12-bit olduğundan tutulan sayısal bilgi normal analog değerine dönüştürülmeden önce 4-bit sağa kaydırılarak (örneğin; $Ref_Vo_digital = AdcRegs.ADCRESULT0 \gg 4$ şeklinde) kullanılır. TMS320F2812'nin ADC girişine uygulanan analog sinyal ile içeride okunan dijital değer arasındaki bağıntı aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$V_{Analog} = \frac{3}{4095} V_{Digital} \quad (5-1)$$

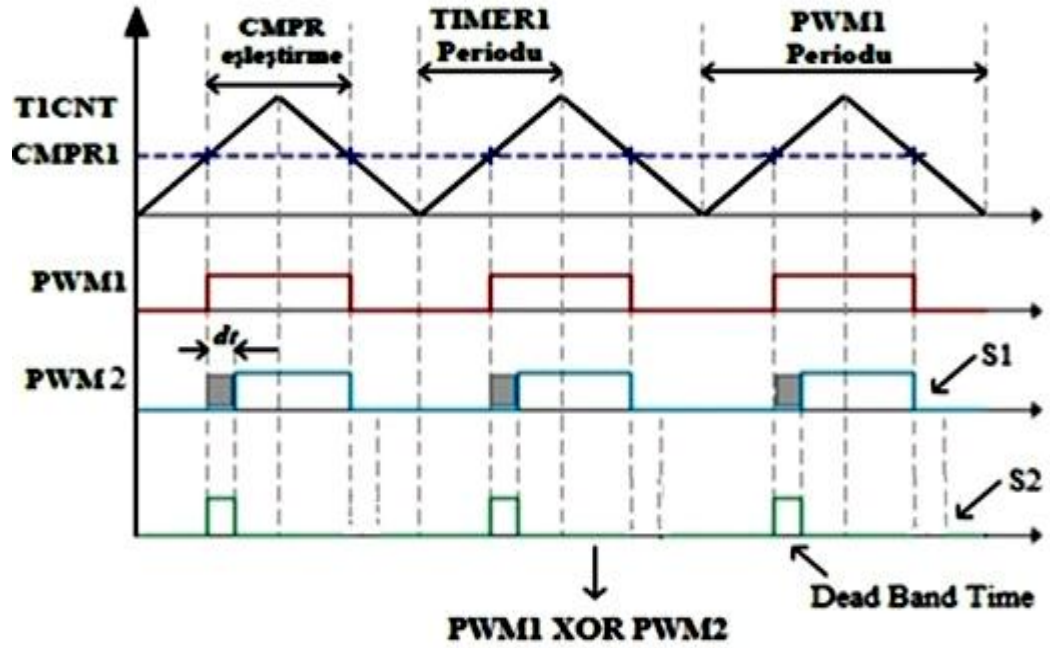
5.1.3. PWM üretilmesi

Genel amaçlı zamanlayıcı ile PWM çıkışını üretmek için, sürekli yukarı veya yukarı/aşağı sayım modu seçilebilir. Sürekli-yukarı sayım modu seçildiğinde, kenar tetiklemeli veya simetrik olmayan PWM dalga şekli üretilir. Devamlı-yukarı/-aşağı mod seçildiğinde ortalananmış veya simetrik PWM dalga şekli üretilir. PWM üretilirken temel olarak şu işlemler yapılır; istenen PWM periyodu için TxPR ayarlanır, başlangıç için ve saat kaynağı ve sayma modunu belirtmek için TxCON ayarlanır ve hesaplanmış PWM darbelerinin genişliklerine uygun olarak TxCMPR yüklenir. Bir PWM sinyalinin peryot değeri, istenen PWM periyodunun genel amaçlı zamanlayıcı giriş saat periyoduna bölünmesi ve sürekli yukarı sayım modunun simetrik olmayan PWM dalga şeklinin üretilmesi için seçili olduğu konumda sonuçlanan numaradan çıkarılması ile bulunur. Simetrik PWM dalga şeklinin üretilmesinde sürekli yukarı/aşağı sayım modu seçildiğinden, bu değer istenen PWM periyodunun iki katı genel amaçlı zamanlayıcı saat giriş periyoduna bölümü ile bulunur. TIMER1 ve EV-A olay yöneticisi kullanılarak yukarı/aşağı çalışma (Simetrik PWM dalga) kipinde bir PWM işareti üretilirse, bu PWM işaretinin frekansı

$$f_{PWM} = \frac{f_{CPU}}{2T1_{per} \cdot HISCP} \quad (5-2)$$

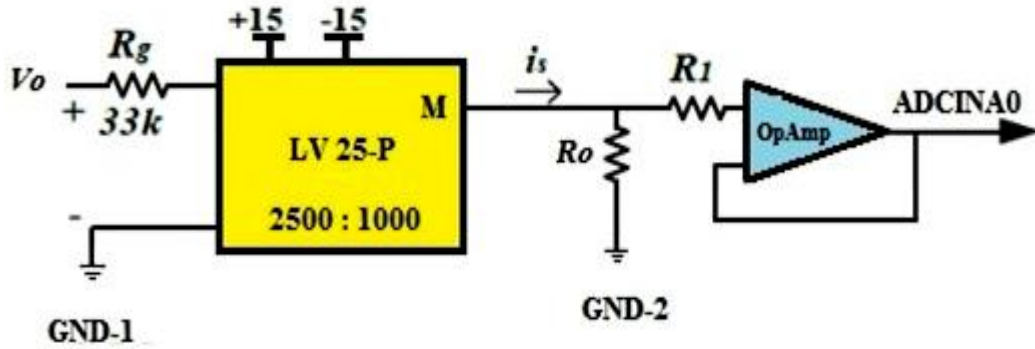
eşitliği ile bulunur. Örneğin TIMER1'in periyodu 1500 ise (f_{CPU} işlemci hızı olup değeri 150 MHz dir ve $HISCP$ 1 alınır), simetrik dalga kipindeki bu PWM sinyalinin frekansı 50 kHz olur. İşlemcinin zamanlayıcıları ve karşılaştırma mantık birimi kullanılarak üç-çift bağımsız tümleyenli PWM işaretleri üretilir. Aynı hat üzerindeki anahtarların kısa devre olmasını önlemek amacıyla ölü zaman mantık birimi de ayarlanır. PWM sinyal üretimi için, sayılan PWM periyodunun aynısını tekrar eden uygun bir zamanlayıcı gereklidir. Karşılaştırma kaydedicisinin değeri sürekli olarak zaman sayıcı ile karşılaştırılmaktadır. Değerler uyuştığında, atanan çıkışta iletim (yüksekten alçağa veya alçaktan yükseğe) gerçekleşir. Değerlerde ikinci uyum sağlandığında veya zamanlayıcının periyodunun sonuna ulaşıldığında başka bir iletim (yüksekten alçağa veya alçaktan yükseğe) atanan çıkışta gerçekleşmiş olur. Böylelikle, çıkış darbesi açık (kapalı) durma zamanı karşılaştırma kaydedicisi değerine oranlıdır. Bu süreç karşılaştırma kaydedicisindeki her bir zamanlayıcı periyot değeri için tekrar eder. Sonuç olarak, PWM sinyali ilişkilendirilmiş çıkışta üretilir. Ayrıca genel amaçlı zamanlayıcılarının da bağımsız olarak periyot ve karşılaştırma değerleri ayarlanarak, iki-çift tümleyenli PWM işareti daha üretilebilmektedir. Bunlar $T1PWM_T1CMP$ ve $T2PWM_T2CMP$ 'dir. PWM üretiminde kullanılan ölü bant üreteç devresi 4 bit sayıcı ve bir 16 bitlik karşılaştırma kaydedicisini içerir. İstenen ölü bant değerleri, üç karşılaştırma birimi çıkışı için karşılaştırma kaydedicisine programlanabilir. Ölü bant üretimi her bir karşılaştırma ünitesi için ayrı ayrı olarak aktif veya pasif edilebilir. Ölü bant üreteç devreleri her bir karşılaştırma ünitesi çıkış sinyali için iki çıkış (ölü bant alanı ile birlikte ya da birlikte değil) üretir. Ölü bant üreteçlerinin çıkış durumları çifte-tamponlanmış ACTRx kaydedicisin sayesinde düzenlenebilir ve değiştirilebilir. Güç elektroniği dönüştürücülerinde aynı hatta bağlı anahtarlar biri diğerinden tümleyenli üretilmiş PWM işareti ile sürülürse, sürücü işaretin düşen ve yükselen kenarlarında anahtar hızları yavaş kaldığı için üstteki anahtar henüz tıkamaya gitmeden alttaki anahtar tetiklenmiş ve ilettime sokulmaya zorlanmış olur. Bu durumda besleme hattı bu anahtar grubu tarafından kısa devre olur ve anahtarlar da kısa devre akımından

etkilenerek zarar görmektedir. Bu yüzden, ölü zaman üreteçli PWM çıkışı iki anahtarın uygun bir şekilde açma ve kapama yapmasını gerekli kılar. Ölü zaman anahtarın kesime giderken bir diğerinin ilettime geçmesi arasına eklenir. Bu gecikme bir transistorün diğeri açılmadan önce tamamı ile kapanmasına izin verir [16].



Şekil 5.5. Ana ve Yardımcı anahtarların darbe şekilleri

Güç devresinden alınan gerilim, izoleli eleman kullanılarak DSP ADC sinyal seviyesine indirgenmektedir. LEM firmasının üretmiş olduğu LV 25-P gerilim dönüştürücü elemanı kullanılarak örneklenmiştir. LV 25-P gerilim dönüştürücü elemanı ± 15 V ile beslenen ve güç devresi ile kontrol devresi arasında izolasyon sağlayan malzemedir. Bu malzemenin de, ± 15 V ile beslenmesi kontrol devresinin besleme kısmında kolaylık sağlar. Bu çalışma akademik bir çalışma olduğundan (ticari amaçlı değildir), güç devresi ile DSP arasında izolasyon sağlanarak DSP kartının olası kısa devre arızalarına karşı korunması amaçlanmıştır. Bu nedenle, güç devresi gerilimi dirençler üzerinden değil de izoleli dönüştürücüler üzerinden örneklenmiştir. Bilindiği gibi, gerilim bilgilerinin dirençler ile örneklenmesi çok basit bir yöntemdir.



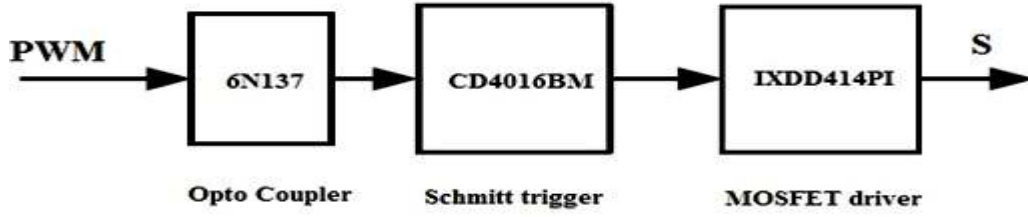
Şekil 5.6. Gerilim dönüştürücü devresi

LV 25-P gerilim dönüştürücü ise, primer tarafına uygulanan gerilimin akım sinyalini bir direnç üzerinden alır ve bunu çıkışa 2500:1000 oranında yansıtır. Görüldüğü üzere kullanılan malzeme de çıkışında akım bilgisi verir. Bu akım bilginin gerilime dönüştürülerek DSP'ye aktarılması gerektiğinden dönüştürücülere paralel dirençler kullanılır. Şekil 5.6'da aktarılan ve dönüştürücülere paralel kullanılan, R_m direnç değeri 220Ω , olup, örnekleme elemanın sağlamış olduğu akım sinyalinin gerilim bilgisine dönüştürülmesi için kullanılmaktadır. Devrelerde kullanılan Op-Amp ise örnekleme devreleri ile DSP arasında tampon (buffer) görevi yapar. Örnekleme devresinden elde edilerek DSP ADC uçlarına aktarılan sinyal devre parametreleri cinsinden eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$V_{ADCINA0} = \frac{V_o}{R_g} \cdot \frac{2500}{1000} \cdot R_{mo} \quad (5-3)$$

5.1.4. Sürücü devresi

DSP kartının PWM çıkışları 0-3 V seviyesinde olduğundan, güç devresindeki anahtarların sürülmesi için bu 0-3 V seviyesindeki sinyaller sürücü devresi vasıtasıyla yükseltilmesi gerekir. Şekil 5.7'de görüldüğü gibi, sürücü devresinde MOSFET sürücü entegrelerinin haricinde 6N137 entegreleri de kullanılmıştır. 6N137 entegrelerinin kullanım amacı DSP ile güç devresi arası izolasyonu sağlamaktır. MOSFET sürücüsü olarak IXDD414 PI entegresi kullanılmıştır [16].



Şekil 5.7. Sürücü devresi

5.1.5. Kontrol parametrelerin hesaplanması

Bu bölümde, kontrol blokün değerleri hesaplanmıştır. PI kontrolcüsü kullanarak iki parametrelerin belirlenmesi gerekir. Yükselten dönüştürücü transfer fonksiyonu için bir çok PI kontrol yöntemleri mevcuttur fakat bu durumda en iyi elde edilen parametrelerin değerleri verilmiştir.

$$K_p = \frac{T_1}{T_1 + T_4 + \tau_M} \cdot \frac{1}{K_M} \quad [22] \quad (5-4)$$

$$T_i = (1,5) \times T_1 \quad [22] \quad (5-5)$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} \quad (5-6)$$

$$G(s) = \frac{E_s}{U_s} = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (5-7)$$

T_1 ve T_4 yükselten dönüştürücü transfer fonksiyonun köken ve sıfırı olarak hesaplanır ve T_m ise devrenin gecikmesi süresi olarak tanımlanır. K_M yükselten dönüştürücünün sıfır frekansındaki kazancı olarak tanımlanır. Böylece K_p ve K_i değerlerimiz elde edilir $K_p = 0,01229$, $K_i = 1,4513$.

5.2. Benzetim Çalışmalar

5.2.1. İncelenen SGG yumuşak anahtarlama yükselten dönüştürücü

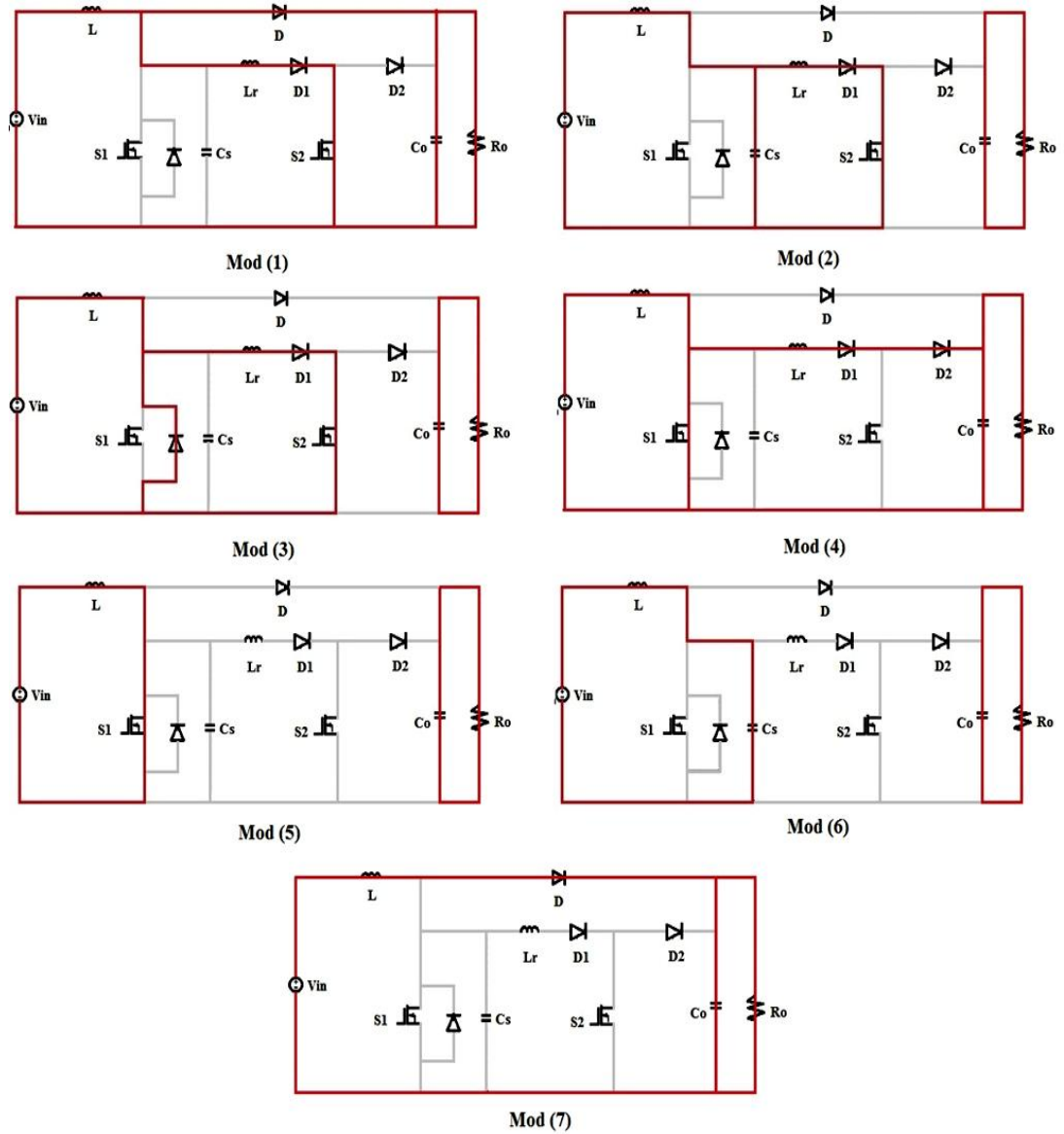
Bu bölümde, incelenen SGG yükselten dönüştürücü devresi Simplorer programı kullanılarak yapılan benzetim çalışmalarına ait sonuçlar aktarılmıştır. Ama Pspice programının sonuçları daha gereçeğe yakın olduğu için verim hesaplamalarında bu program göz önünde bulundurulmuş ve kullanılmıştır. Benzetim çalışmalarında, tasarım sonucu elde edilen ve uygulama devresinde de kullanılan değerler kullanılmıştır. Programda kullanılan MOSFET'ler ve diyotlar gerçek değerlerine yakın modellenmiştir. Endüktör, kondansatör ve direnç gibi pasif devre elemanları ise programda mevcut ideal devre elemanlarından seçilmiştir. Devrenin kontrol etmek için bir PI bloğu kullanılarak MOSFET'ler için darbe üretimi sağlanmıştır. Devrede kullanılan elemanların değerleri ve modelleri aşağıdaki çizelge 5.1'de verilmiştir. Ayrıca devrenin giriş ve çıkışının gerilim değerleri ve çalışma frekansı aşağıda aktarılmıştır. Simülasyonda kullanılan elemanların değerleri, pratikte kullanılan elemanların değerleri ile aynıdır.

Çizelge 5.1 Yükselten devrenin elemanları ve değerleri

Parametre	değeri
Input Voltage(V_i)	25-50[V]
Output Voltage(V_o)	120[V]
Power(P)	120[W]
Capacitor(C_o)	33[μ F]
Inductor(L)	400[μ H]
Resonant Inductor(L_r)	20[μ H]
Resonant Capacitor(C_s)	2.2[nF]
Frequency(f)	50[KHz]
Ana ve Yardımcı anahtarlar	IXFH 20N60Q
Ana diyot ve ana anahtarın antiparalel diyot	DSEI30-12A
Yardımcı devre diyotları	DSEP 8-06B

5.2.2. İncelenen yükselten dönüştürücünün çalışma prensibi

Aşağıda verilen şekilde yükselten dönüştürücünün çalışma modları verilmiştir. Yükselten dönüştürücü 7 değişik moddan oluşmaktadır ve her modun açıklamaları aşağıda şekil 5.8’de detaylı olarak açıklanmıştır.



Şekil 5.8. İncelenen yükselten dönüştürücünün çalışma modları

Çalışma durumları:

Mod 1 ($t_0 - t_1$): t_0 'dan önce ana anahtar (S_1) ve yardımcı anahtar (S_2) kapalı durumda ve ana diyot iletimdedir. $t = t_0$ yardımcı anahtar (S_2) iletime geçiyor. Rezonans akımı lineer olarak $t=t_1$ giriş akımına kadar yükseliyor ve ana diyot yumuşak anahtarlama ile kapalı duruma geliyor. t_{01} zaman aralığı aşağıdaki denklem ile ifade edilir[14].

$$\tau_{01} = \frac{I_i}{V_o / L_r} \quad (5-8)$$

Mod 2 ($t_1 - t_2$): Rezonant bobin (L_r) ve resonant kapasitör (C_s) arasındaki rezonans nedeniyle rezonant bobininin akımı artmaya devam ediyor. Rezonans kondansatörün gerilimini sıfıra getirene kadar $t=t_2$ deşarj ettirmektedir. $t=t_2$ ana anahtarın anti paralel diyot iletime geçiyor. Rezonans zamanı, aşağıdaki denklem ile hesaplanır [14].

$$\tau_{12} = \frac{\pi}{2} \sqrt{L_r C_r} \quad (5-9)$$

Mod 3 ($t_2 - t_3$): Ana anahtarın (S_1) anti paralel diyotu artık açıktır. SGA elde etmek antiparalel diyot iletimdeyken, ana anahtarın açma sinyali verilmelidir. Ayrıca, ana anahtar (S_1) ve yardımcı (S_2) arasındaki zaman gecikmesi (T_d) bu denklemi tatmin etmelidir [14].

$$T_d = \frac{I_i}{V_o / L_r} + \frac{\pi}{2} \sqrt{L_r C_r} \quad (5-10)$$

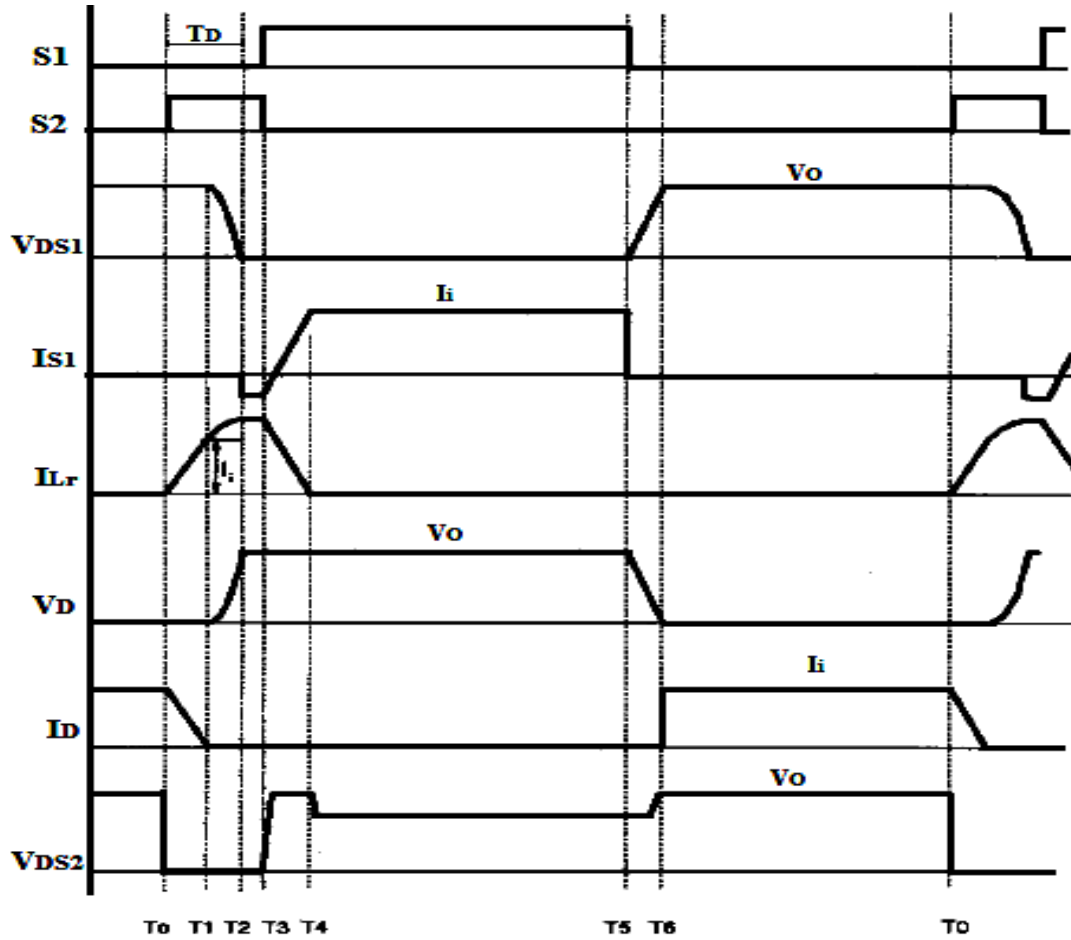
Mod 4 ($t_3 - t_4$): t_3 'de yardımcı anahtar (S_2) kapanır ve diyot (D_2) iletime geçmesi nedeniyle yardımcı anahtarın gerilimi V_o 'ya yükselir. Bu süre içinde, ana anahtar iletime geçiyor. Rezonant bobinde depolanan enerji bu süre içinde yüke aktarılır. Rezonant bobin akımı lineer olarak $t=t_4$ sıfıra düşer [14].

Mod 5 ($t_4 - t_5$): Diyot (D_2), $t=t_4$ kapanıyor. Bu aşamada devrenin çalışması genel yükselten dönüştürücüyle aynıdır [14].

Mod 6 ($t_5 - t_6$): t_5 'de ana anahtar kapanıyor. Snubber kapasitör lineer olarak giriş akımı ile V_o 'ı şarj ediyor [14].

Mod 7 ($t_6 - t_0$): Bu modda PWM yükselten dönüştürücü serbest aşamasıyla aynıdır. t_0 'de yardımcı anahtar tekrar açılır ve başka bir devir başlar [14].

Şekil 5.9'de devrenin teorik dalga şekilleri gösterilmiştir.

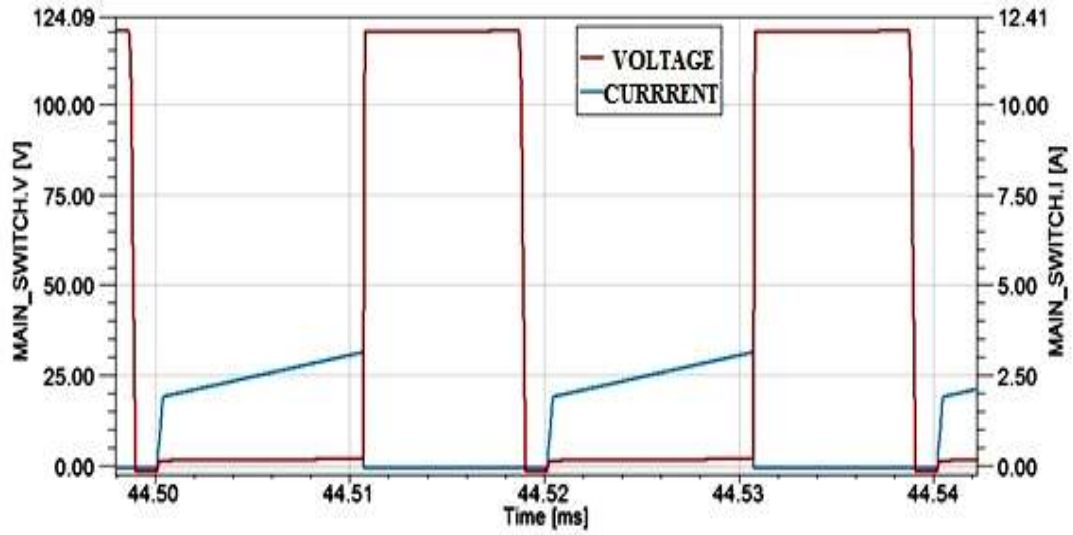


Şekil 5.9. Yükselten dönüştürücünün teorik dalga şekilleri

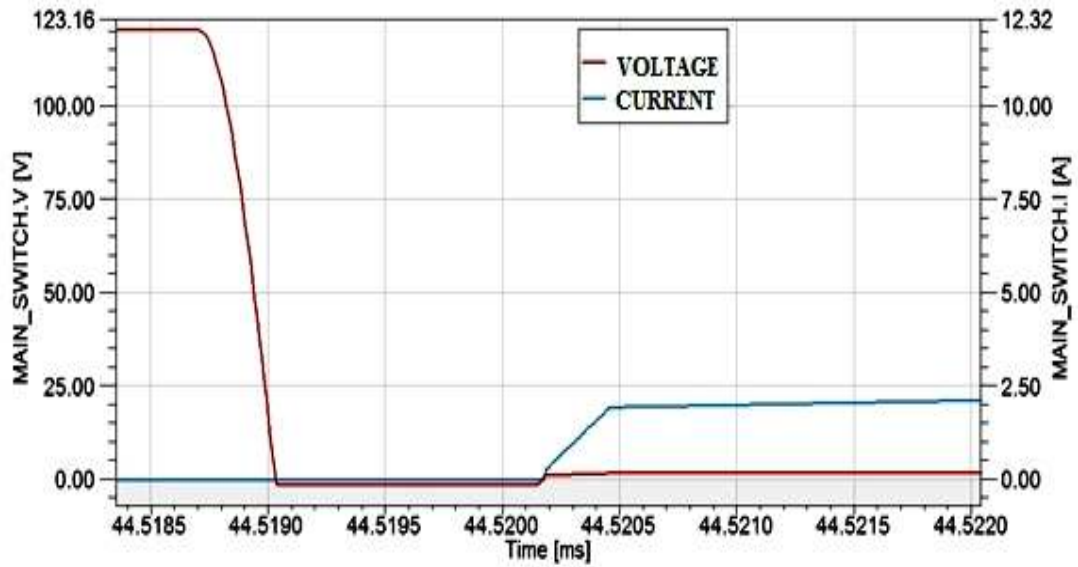
5.2.3. Simülasyondan elde edilen sonuçlar

Yükselten dönüştürücülerin daha verimli olması için bir çok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin teoride istenilen sonuçları almak için değişik pasif ve aktif devreler kullanılır. Pasif ve aktif elemanlar kullandığında meydana gelen anahtarlama güç kayıplarını azaltılır veya tamamen giderilir. Bu bölümde SGG

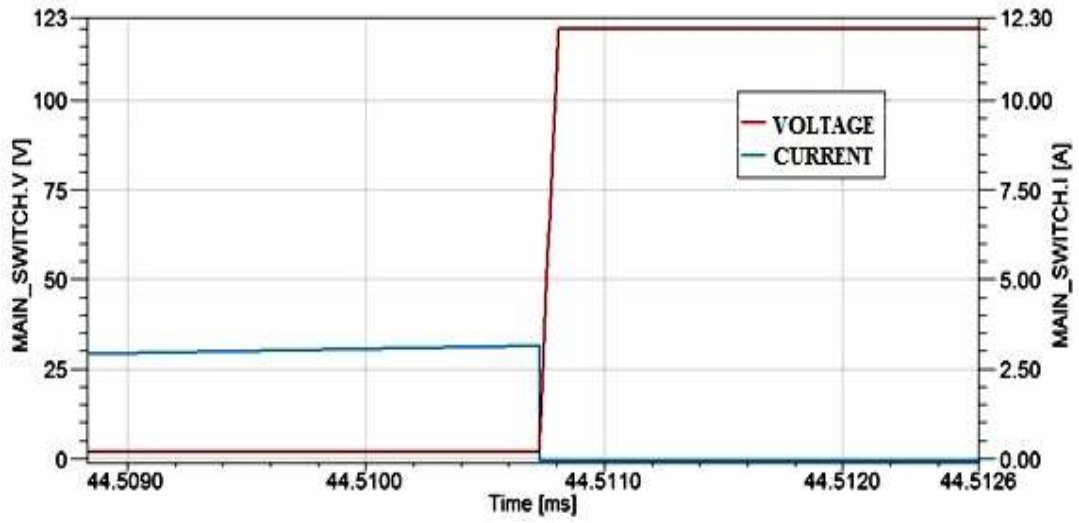
yükselten dönüştürücünün simülasyon sonuçları çıkarılmıştır. Bu bölümde amaç olarak, kullanılan pasif ve aktif elemanların nasıl güç kayıplarda etkisini görmek ve bu yöntemlerin istediğimiz şekilde elde etmektir. Aşağıda benzetim çalışmalarının sonuçları ve devresi verilmiştir.



Şekil 5.10. Ana anahtarın gerilim ve akımının dalga şekilleri

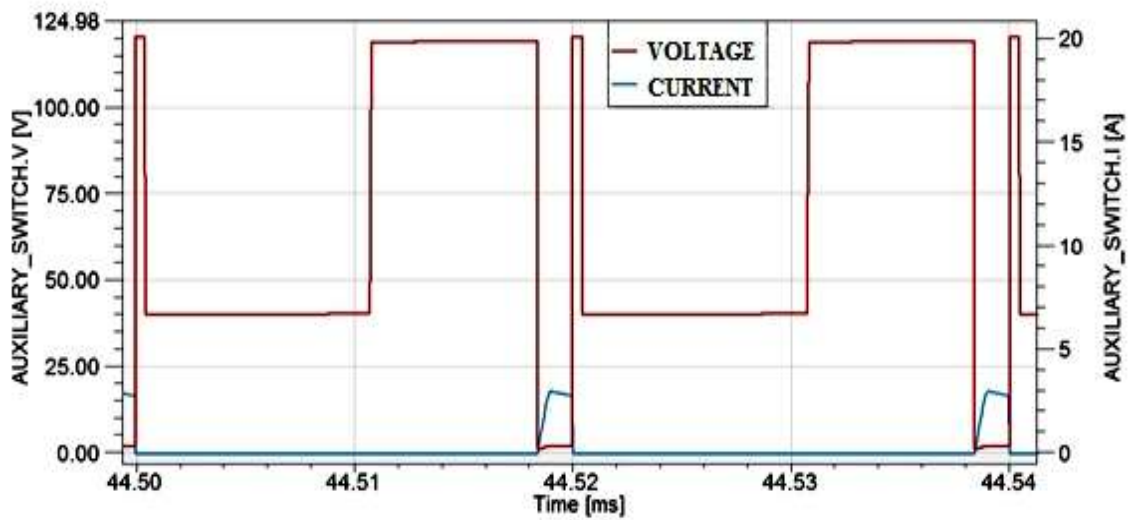


Şekil 5.11. Ana anahtarın açma esnasındaki gerilim ve akımının dalga şekilleri

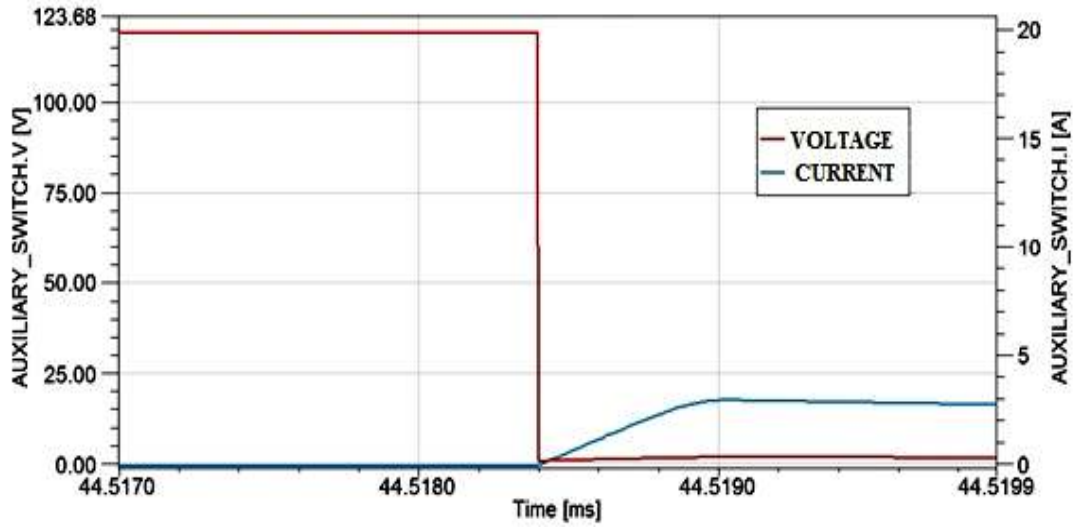


Şekil 5.12. Ana anahtarın kapanma esnasındaki gerilim ve akımının dalga şekilleri

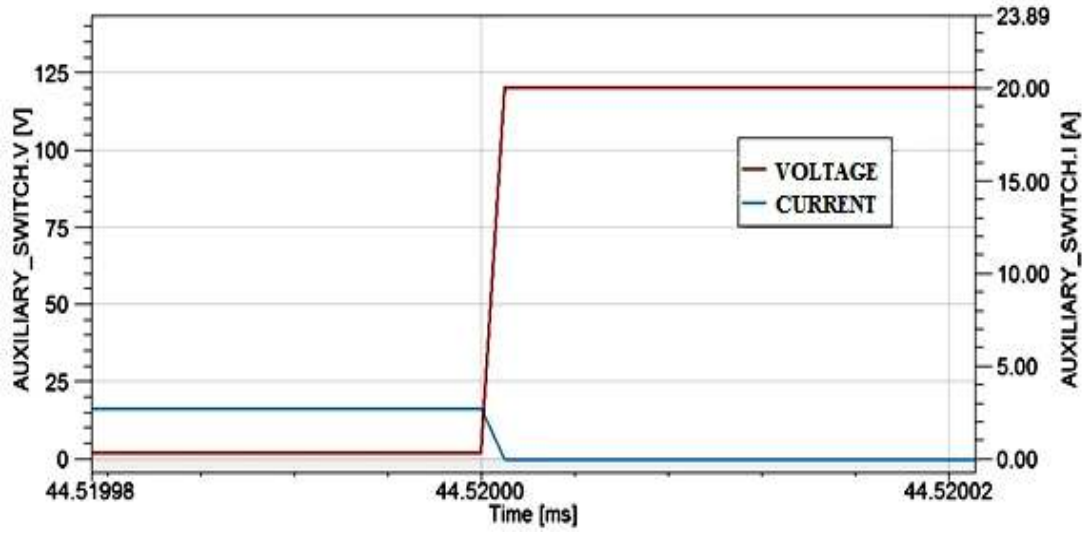
İncelenen yükselten dönüştürücünün ana anahtarının gerilim ve akımının dalga şekilleri şekil 5.10’de verilmiştir. Şekil 5.11’de görüldüğü gibi ana anahtar iletime girmeden önce üzerindeki gerilim sıfıra düşüyor ve sonra doğru zamanda anahtarın kapı bacağına sinyal uygularken ana anahtar, sıfır gerilim geçiş koşulunda (SGG) iletime geçiyor. Kapanma esnasında da ana anahtar snubber kapasitör nedeniyle doğal olarak SGA koşulunda kapanıyor (şekil 5.12).



Şekil 5.13. Yardımcı anahtarın gerilim ve akımının dalga şekilleri

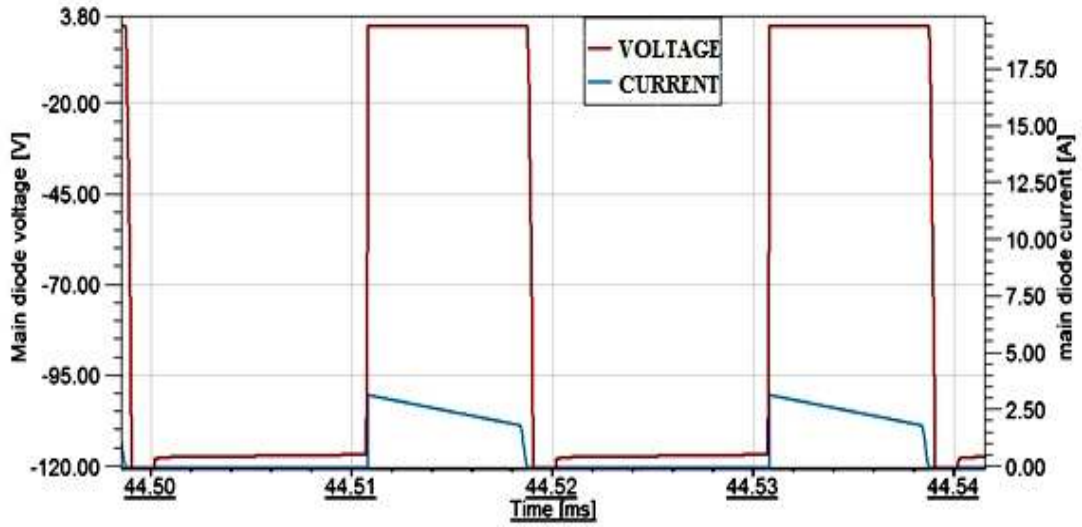


Şekil 5.14. Yardımcı anahtarın iletme geçme esnasındaki gerilim ve akımının dalga şekilleri

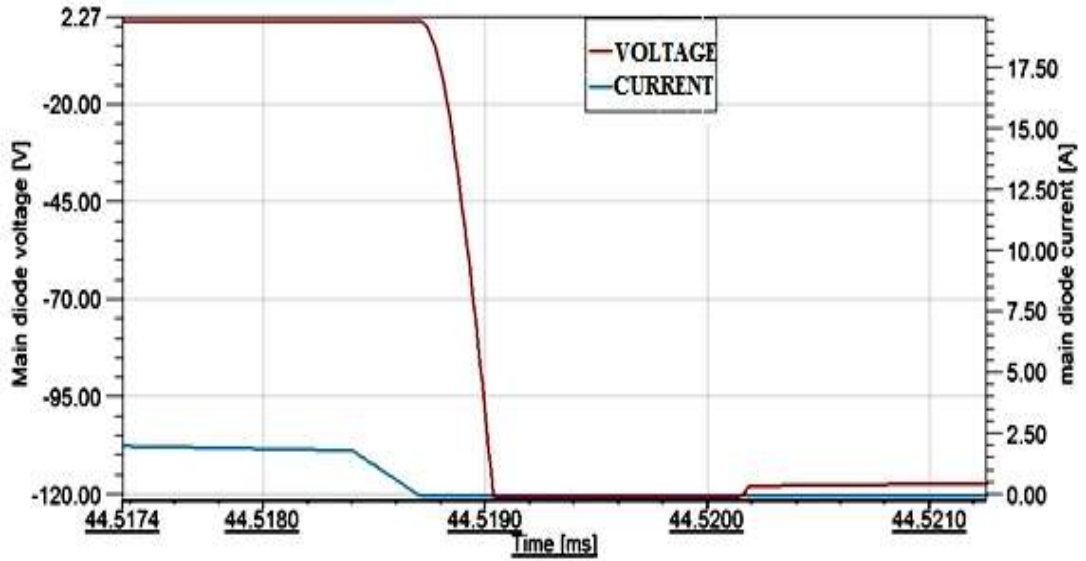


Şekil 5.15. Yardımcı anahtarın kesime geçme esnasındaki gerilim ve akımının dalga şekilleri

Şekil 5.13’da yardımcı anahtarın gerilim ve akımının dalga şekilleri verilmiştir. Şekil 5.14’te yardımcı anahtar açma esnasında sıfır akım anahtarlama koşulunda iletme geçiyor ama kapanma esnasında sert anahtarlama ile kesime geçiyor (şekil 5.15). Yardımcı anahtarın sert koşulda kesime geçmesi dezavantajdır ve güç kaybına sebep olur.

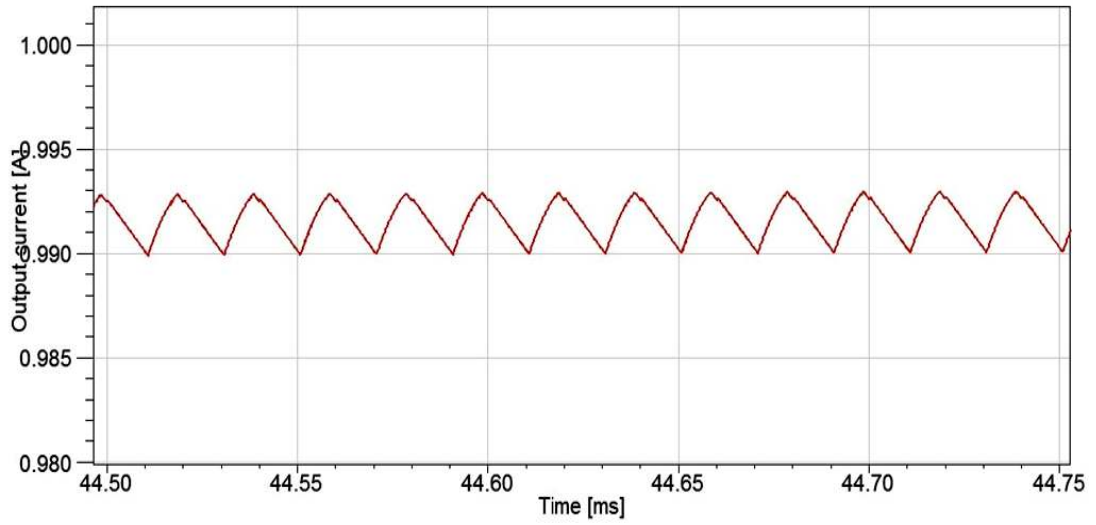


Şekil 5.16. Ana diyotun gerilim ve akımının dalga şekilleri

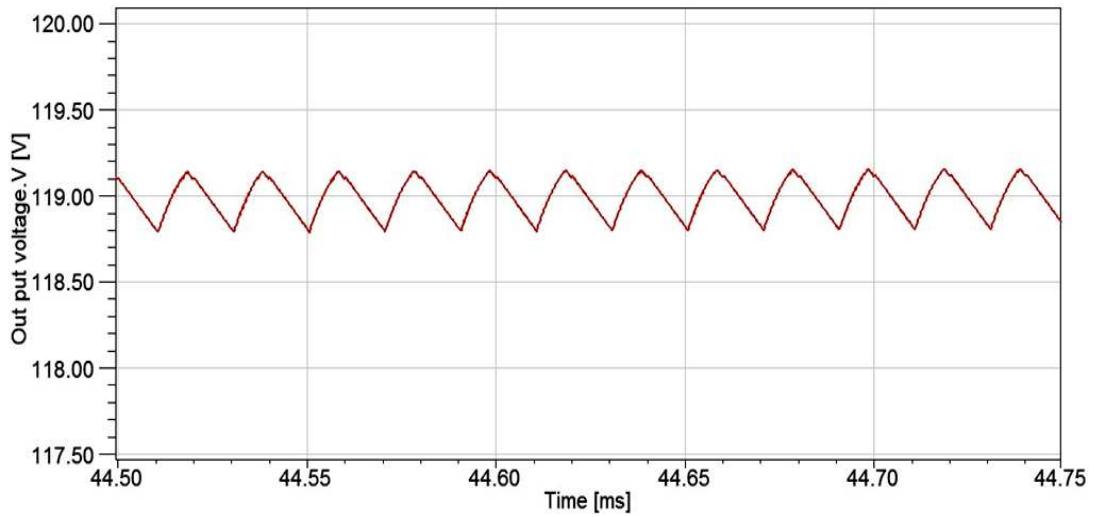


Şekil 5.17. Ana diyotun kapanma esnasındaki gerilim ve akımının dalga şekilleri

Geleneksel yükselten dönüştürücülerde büyük problemlerinden biri ana diyotun ters toparlanma akımdan dolayı güç kaybına neden olur hem kayıplar artıyordur hem de diyot ısınıyordur. Ama şekil 5.16 ve şekil 5.17’de görüldüğü gibi, diyot kesime kapalı olurken ilk önce akımı sıfıra düşüyor ve bu nedenle meydana gelen reverse recovery akımı tamamen yok ediliyor ve diyot sıfır akım anahtarlam ile (SAA) kesime geçiyor.

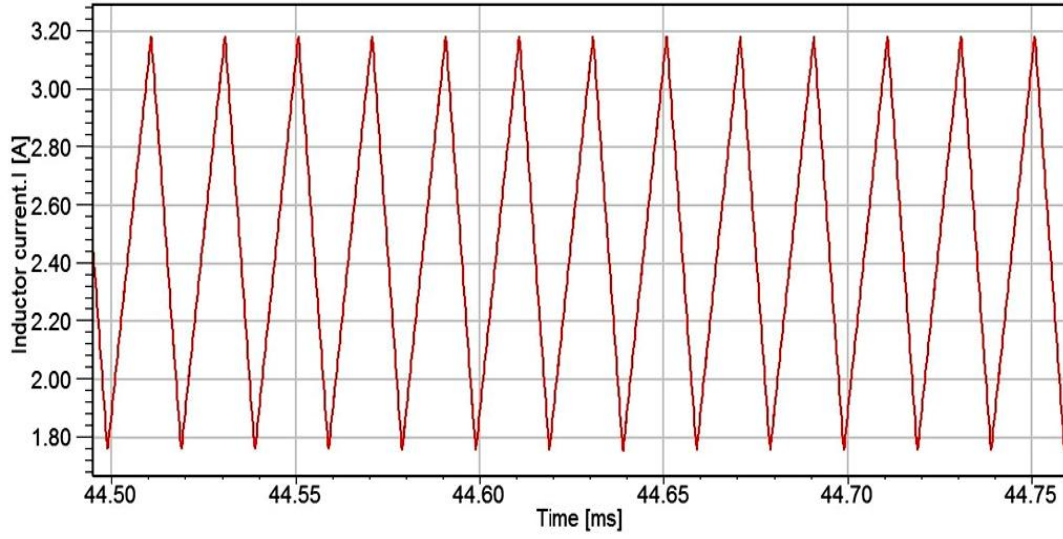


Şekil 5.18. Çıkış akımının dalga şekli



Şekil 5.19. Çıkış gerilimin dalga şekli

Şekil 5.18 ve 5.19’de çıkışın gerilim ve akımının dalga şekilleri gösterilmiştir. Dalgalanma oldukça azdır ve bunun nedeni ise çıkış kapasitörünün değerinden kaynaklanıyor. Kapasitörün değeri ne kadar büyük olursa dalgalanma oranı o kadar azalır. Şekillerde de görüldüğü gibi çıkış geriliminin dalgalanma oranı yaklaşık 0.4 voltdır ve çıkışta tam bir DC gerilim görüyoruz.

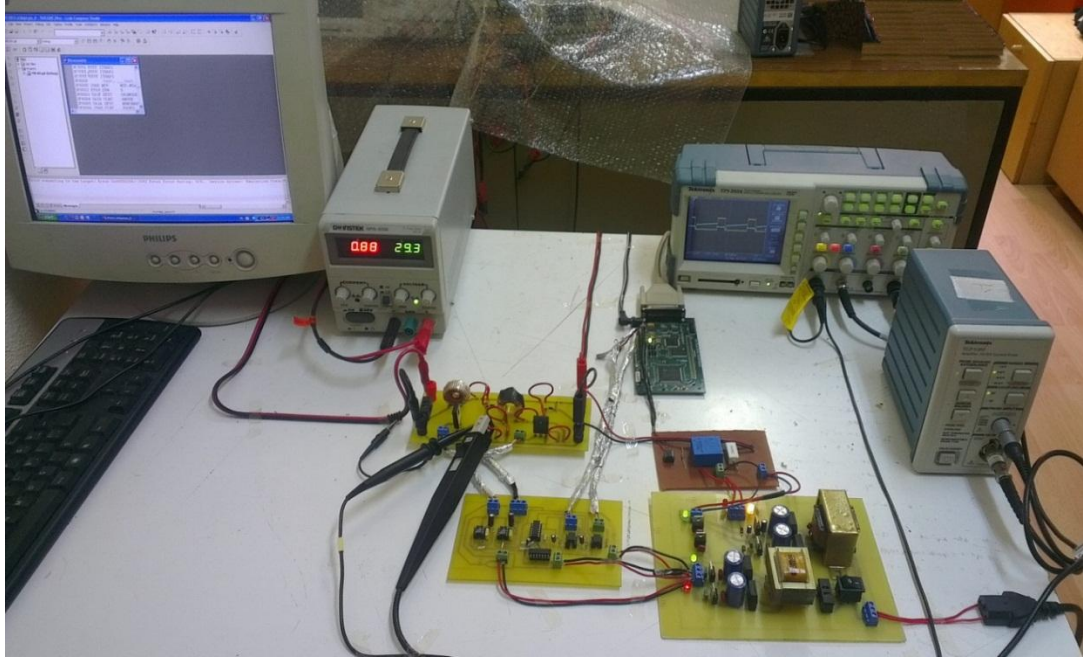


Şekil 5.20. Ana bobinin akımının dalga şekli

Şekil 5.20’de giriş akımının dalga şekli verilmiştir. Ana bobinin dalgalanma değeri yaklaşık 1.4 amper’dir.

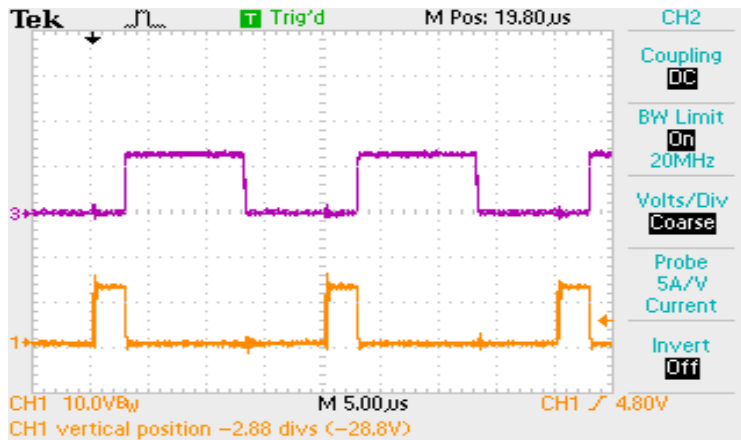
5.2.4. İncelenen yükselten dönüştürücünün deneysel çalışmalarının sonuçları

Bu bölümde, incelenen gerilim kontrollü yükselten devresinin prototipi tasarlanarak deneysel çalışmalar yapılmış ve ilgili sonuçlar aktarılmıştır. Deneysel çalışmalarda, tasarım sonucu elde edilen ve benzetim devresinde de kullanılan Çizelge 5.1’deki değerler kullanılmıştır. Şekil 5.21’de verilen prototip devrenin kontrolü DSP ile yapılmıştır. Benzetim çalışmalarında olduğu gibi deneysel çalışmalarda da farklı giriş gerilimleri kullanılmıştır.

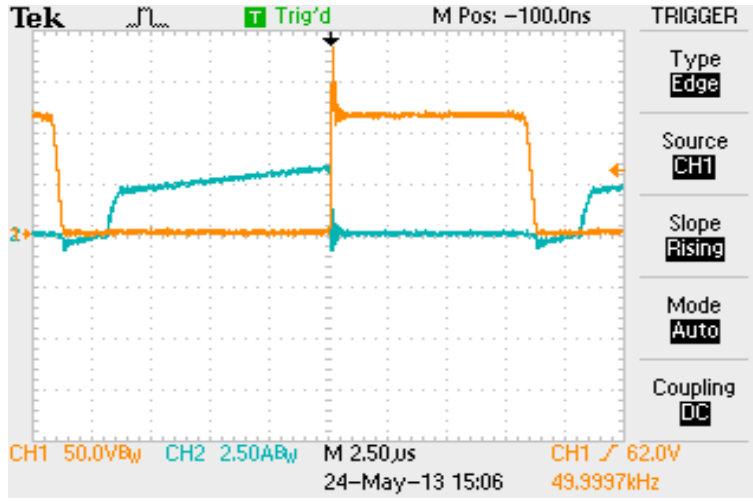


Resim 5.1. Gerilim kontrollü yükselten dönüştürücü devresinin prototipi

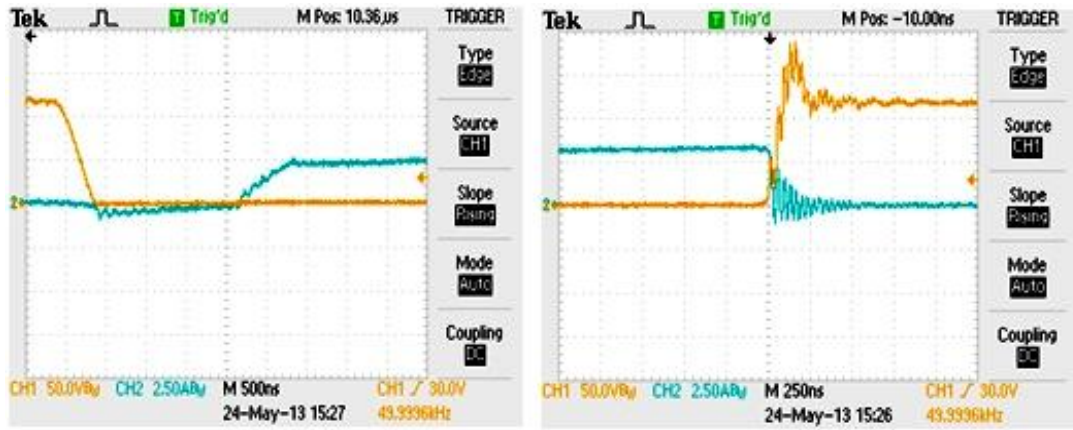
Aşağıdaki verilen şekillerde pratik çalışmaların sonuçları gösterilmiştir. Elde edilen deneysel çalışma sonuçları osiloskop ile kaydedilmiş ve güç verimini hesaplamak için osiloskobun yanında güç analizörü kullanılmıştır. Bu çalışmada giriş gerilimleri farklıdır, bunun nedeni güneş panellerinin değişik gerilim üretmelerinden kaynaklanır ve bu değerler 25 ile 50 volt arasında değişir. Osiloskoptan alınan sonuçlar bir RAM da kaydedilmiş ve aşağıda görüldüğü gibi sunulmuştur. Bütün sonuçlar d (görev çarpanı) = 0,58’de elde edilmiştir.



Şekil 5.21. Ana ve yardımcı anahtarın darbe sinyalleri

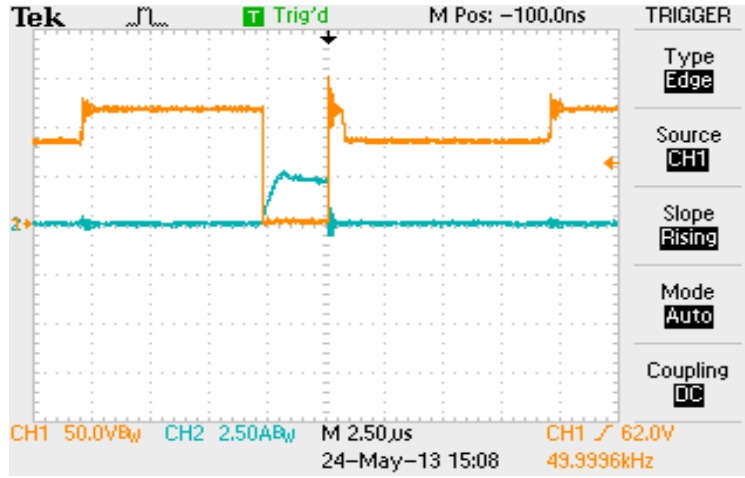


Şekil 5.22. Ana anahtarın gerilim ve akımının dalga şekli

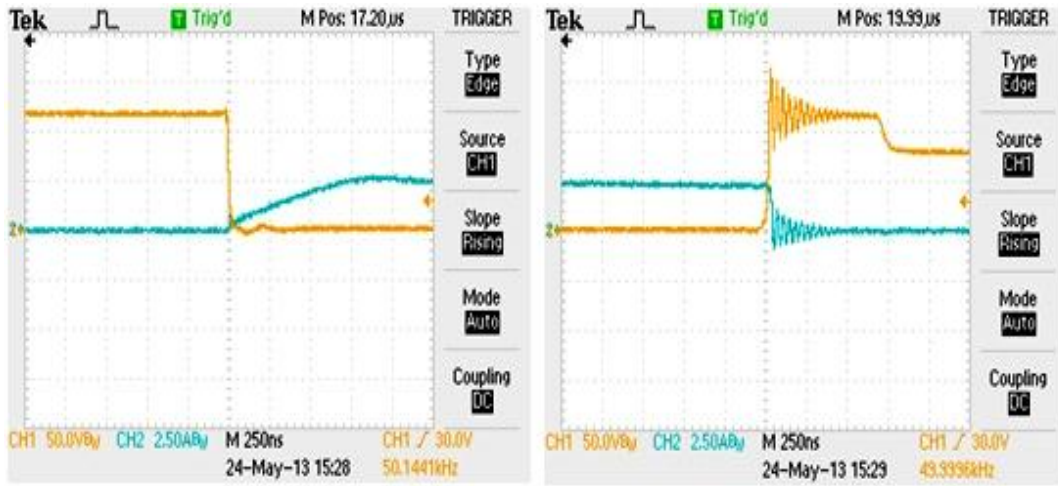


Şekil 5.23. Ana anahtarın açma ve kapanma esnasındaki gerilim ve akımının dalga şekilleri(50V/kare, 2.5A/kare)

Şekil 5.22’de ana anahtarın gerilim ve akımının dalga şekilleri bir periyot da verilmiştir. Şekil 5.23’te ana anahtar sıfır gerilim geçiş’de (SGG) ilettime geçmektedir. İletime girmeden önce akım antiparalel diyottan geçmektedir ve bunun için akım ölçerden geçen akım ters yönde olup ve negatif görülüyor. Sağ tarafta ana anahtarın kesime geçme esnasında kaydedilen gerilim ve akım dalga şekli verilmiştir. Ana anahtar sıfır gerilim anahtarlama (SGA) koşulunda kapanıyor. SGA koşulu sağlamak için anahtar ile paralel olarak bir kapasitör koyuldu ve bu kapasitör doğal olarak anahtar kapandığı zaman anahtarın üzerindeki gerilimin hızla yükselmesini engelliyip, yumuşak anahtarlama koşulunu anahtar için sağlamaktadır.

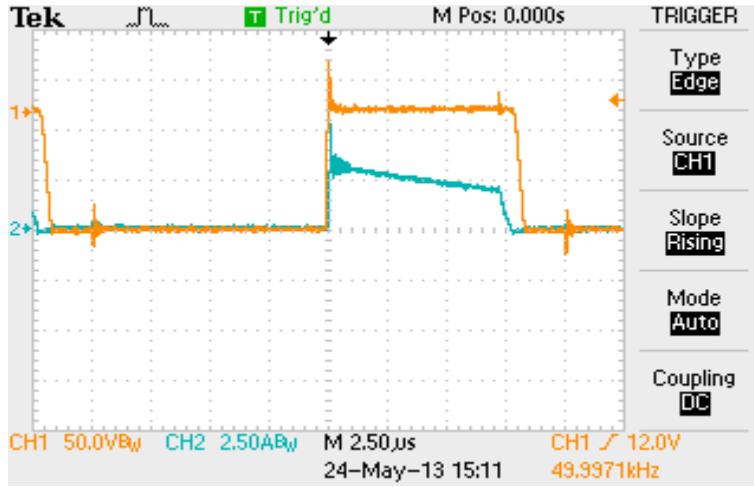


Şekil 5.24. Yardımcı anahtarın gerilim ve akımının dalga şekli

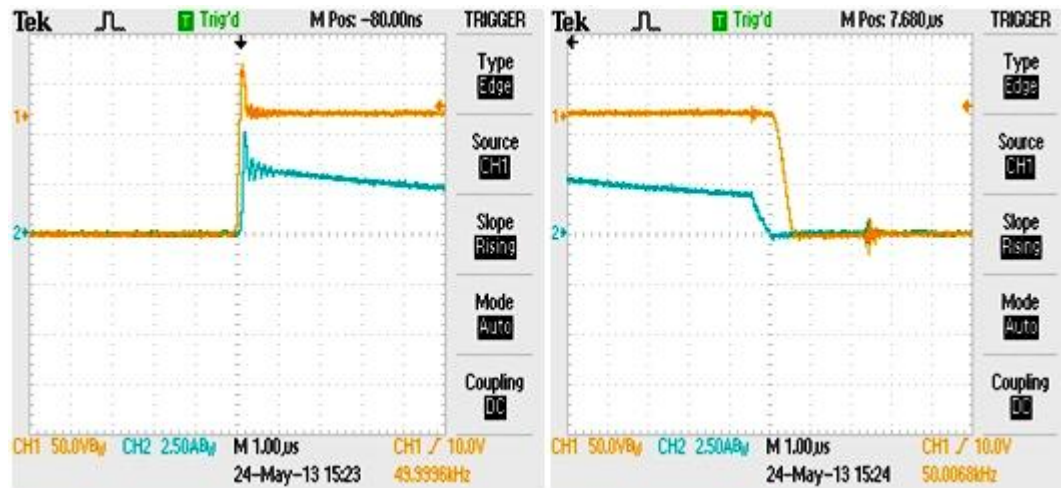


Şekil 5.25. Yardımcı anahtarın açma ve kapanma esnasındaki gerilim ve akımının dalga şekilleri (50V/kare, 2.5A/kare)

Şekil 5.24'te yardımcı anahtarın gerilim ve akımının dalga şekilleri verilmiştir. Şekil 5.25'te yardımcı anahtarın açma ve kapanma esnasında gerilim ve akım dalga şekilleri verilmiştir. Yardımcı anahtar sıfır akım anahtarlama koşulunda iletme geçiyor, ama kapanma esnasında sert anahtarlama ile kesime geçiyor.

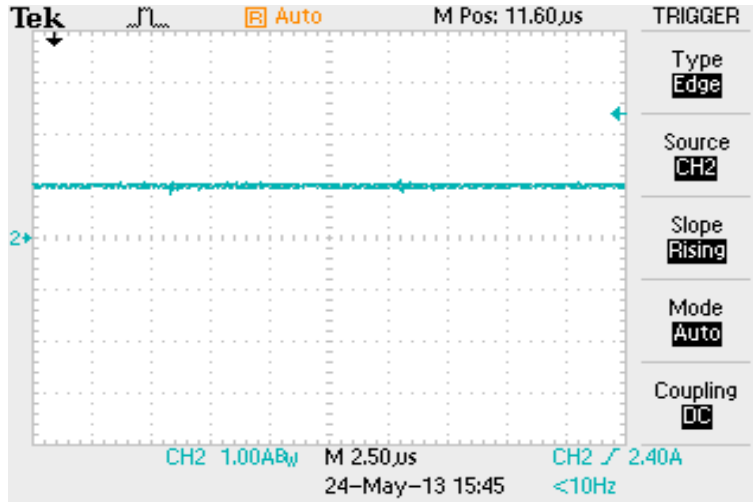


Şekil 5.26. Ana diyodun gerilim ve akımının dalga şekli



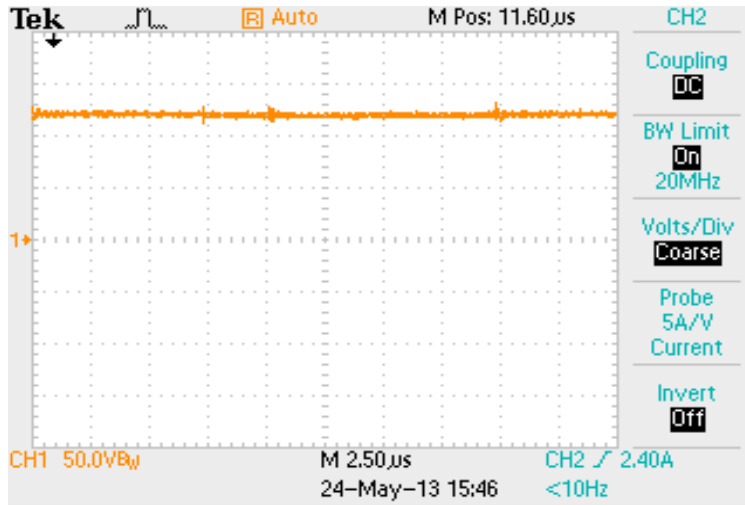
Şekil 5.27. Ana diyodun açma ve kapanma esnasındaki gerilim ve akımının dalga şekilleri(50V/kare, 2.5A/kare)

Şekil 5.26 ve Şekil 5.27’de verilen dalga şekillerinde, ana diyodun kesime geçme kavramı sıfır akım anahtarlama (SAA) ile gerçekleşiyor. Bu durumda güç kaybına neden olan ters toparlanma akımı tamamen yok ediliyor. Bunun nedeni ise, rezonant bobin, kesime geçme esnasında diyottan ters yönde geçen akımın düşüşünü yumuşatması ve meydana gelen zıplamayı yok etmesidir.



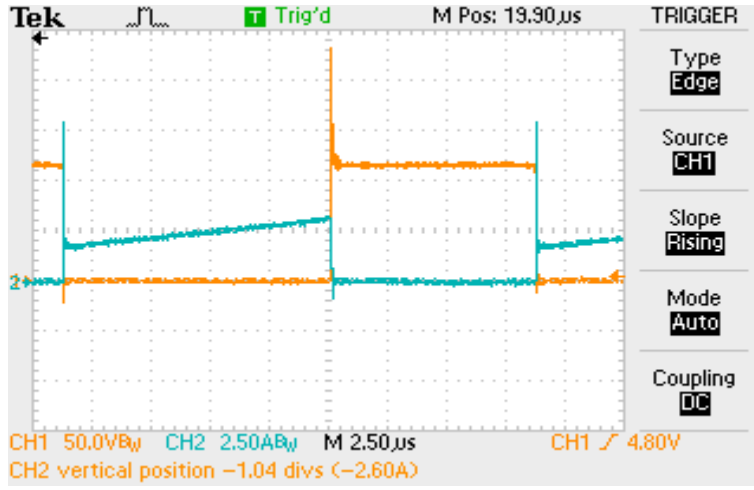
Şekil 5.28. İncelenen yükselten dönüştürücünün çıkış akımının dalga şekli(1A/kare)

Şekil 5.28’de yükselten dönüştürücünün çıkış akımının dalga şekli 120 watt çıkış güçtedir. Çıkış gerilimin değeri 120 volt olduğu için akım da şekilde görüldüğü gibi 1 amper’dir.

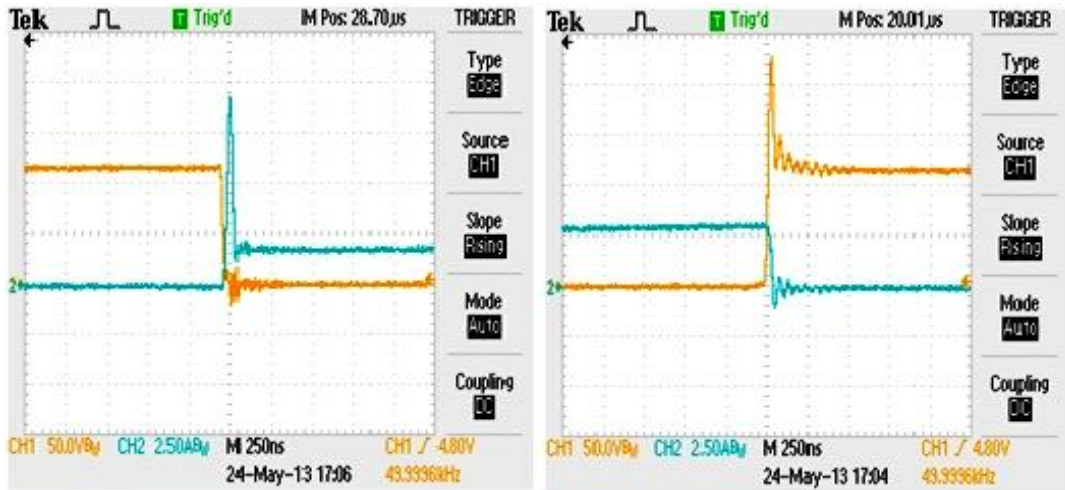


Şekil 5.29. İncelenen yükselten dönüştürücünün çıkış geriliminin dalga şekli(50V/kare)

Görüldüğü gibi şekil 5.29’da çıkış gerilim oranı 120’dir. Referans gerilimi 120 koyarak çıkış gerilimi 120’de sabitleyerek her zaman düzgün gerilim alabiliriz.

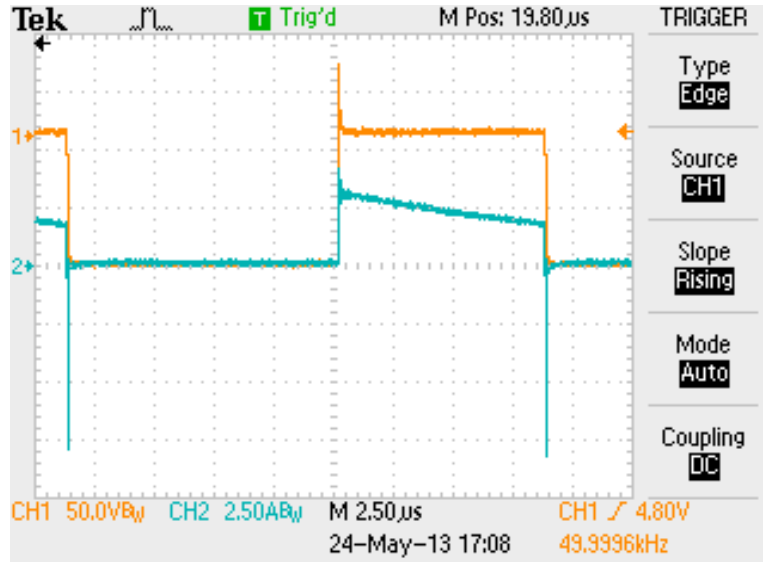


Şekil 5.30. Sert anahtarlamaalı yükselten dönüştürücü anahtarın gerilim ve akımının dalga şekli

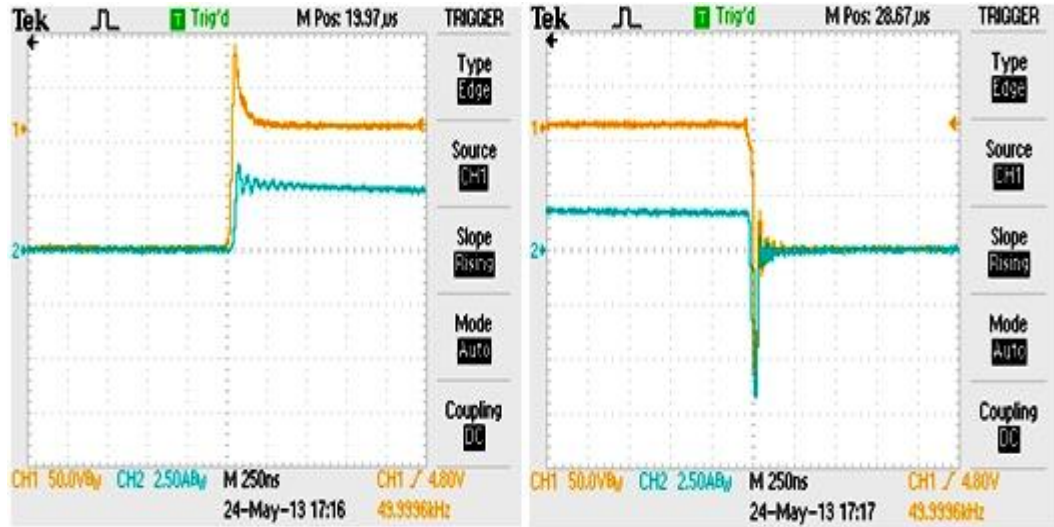


Şekil 5.31. Sert anahtarlamaalı yükselten dönüştürücü anahtarı açma ve kapanma esnasındaki gerilim ve akımının dalga şekilleri (50V/kare, 2.5A/kare)

Şekil 5.30’de sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücünün gerilim ve akımının dalga şekilleri verilmiştir. Şekil 5.31’de anahtar ilettime girerken sert anahtarın akımı I_s ve gerilimi V_s ’nin dalga şekilleri görülmüştür. 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 işlemine maruz kalmaktadır. Bu esnada anahtar gerilimi de henüz sıfıra düşmediğinden ilettime girme esnasında da bir güç kaybı oluşur.



Şekil 5.32. Sert anahtarlamaalı yükselten dönüştürücü diyodunun gerilim ve akımının dalga şekli



Şekil 5.33. Sert anahtarlamaalı yükselten dönüştürücü diyodunun açma ve kapanma esnasındaki gerilim ve akımının dalga şekilleri (50V/kare, 2.5A/kare)

Şekil 5.32’de sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücü diyodunun akımı (I_D) ve geriliminin (V_D) dalga şekilleri görülmektedir. Şekil 5.33’te sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücü diyodunun akımı (I_D) ve gerilimi (V_D) kesime ve ilettime girerken dalga şekilleri görülmektedir. Diyodun kesime girme esnasında oluşan I_{rr} akımı şekilde açıkça gösterilmiştir.

5.3. 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 5.2, çizelge 5.3, çizelge 5.4 ve çizelge 5.5’de yumuşak ve sert anahtarlamaalı yükseltici dönüştürücü için yük, giriş gücü, çıkış gücü ve verim değerleri görülmektedir. Bu çalışmada devrenin çıkış gerilimi 120 voltadır.

Çizelge 5.2. 50 volt giriş geriliminde yükselten dönüştürücünün verimi

Yük(Ω)	Anahtarlama modu	Pin(W)	Pout(W)	Eff %
180	HS	86,9	79,4	90,09
	SS	85,8	81,24	94,68
144	HS	111	100	91,36
	SS	109	103,85	95,27
120	HS	130	119	91,52
	SS	126	120,3	95,47

Çizelge 5.3. 40 volt giriş geriliminde yükselten dönüştürücünün verimi

Yük(Ω)	Anahtarlama modu	Pin(W)	Pout(W)	Eff %
180	HS	90,2	79	87,57
	SS	82,6	78	94,43
144	HS	112	100	89,28
	SS	105	99,4	94,66
120	HS	131,5	118,9	90,39
	SS	124	118	95,16

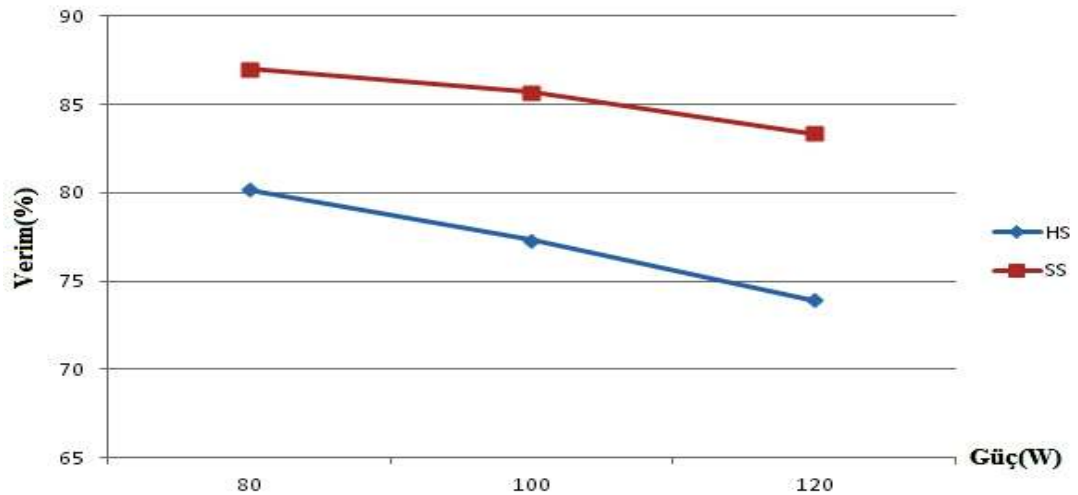
Çizelge 5.4. 30 volt giriş geriliminde yükselten dönüştürücünün verimi

Yük(Ω)	Anahtarlama modu	Pin(W)	Pout(W)	Eff %
180	HS	92,3	78	84,5
	SS	82,9	76,4	92,15
144	HS	120	100	83,33
	SS	111,5	100,7	90,31
120	HS	145	119	82,06
	SS	131	118,7	87,92

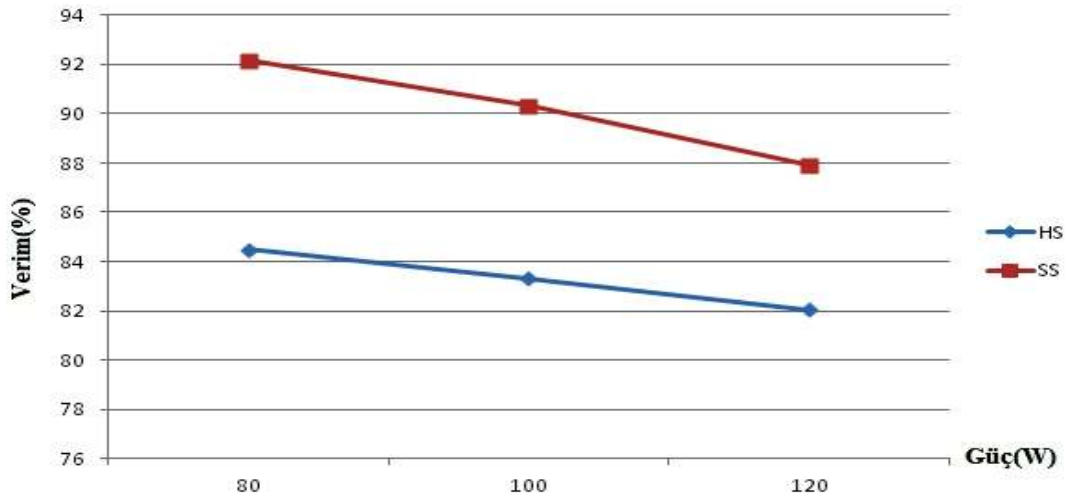
Çizelge 5.5. 25 volt giriş geriliminde yükselten dönüştürücünün verimi

Yük(Ω)	Anahtarlama modu	Pin(W)	Pout(W)	Eff %
180	HS	98,5	79	80,2
	SS	91,7	79,8	87,02
144	HS	128	99	77,34
	SS	121,5	104,1	85,67
120	HS	160,3	118,5	73,92
	SS	144,5	120,5	83,37

Çizelgelerde görüldüğü gibi güç verimi sert anahtarlama ile yumuşak anahtarlama arasında en fazla 10% fark var ve bu fark 25 volt giriş geriliminde oluyor. En az fark ta 3,34% 50 volt giriş geriliminde meydana geliyor. Ayrıca verim değerleri aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.

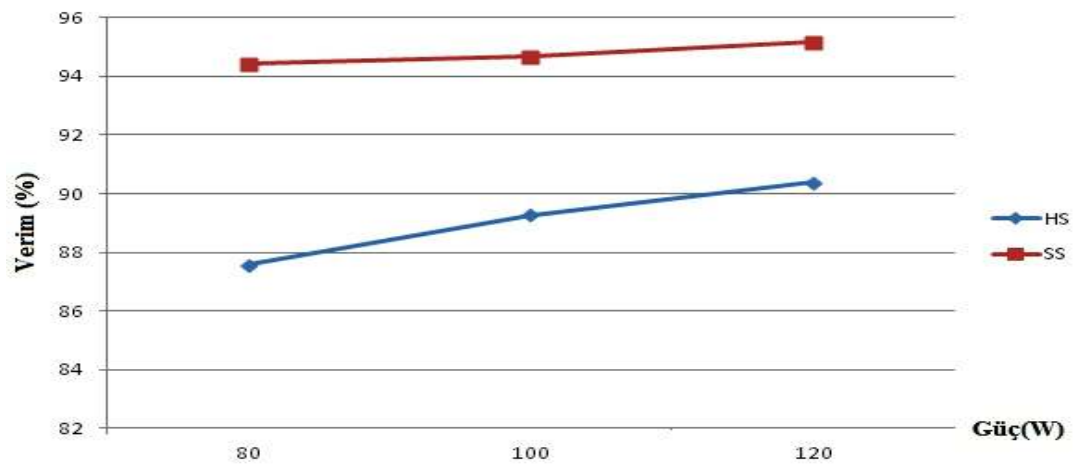


Şekil 5.34. 25 volt giriş gerilimde yükselten dönüştürücünün verim grafiği

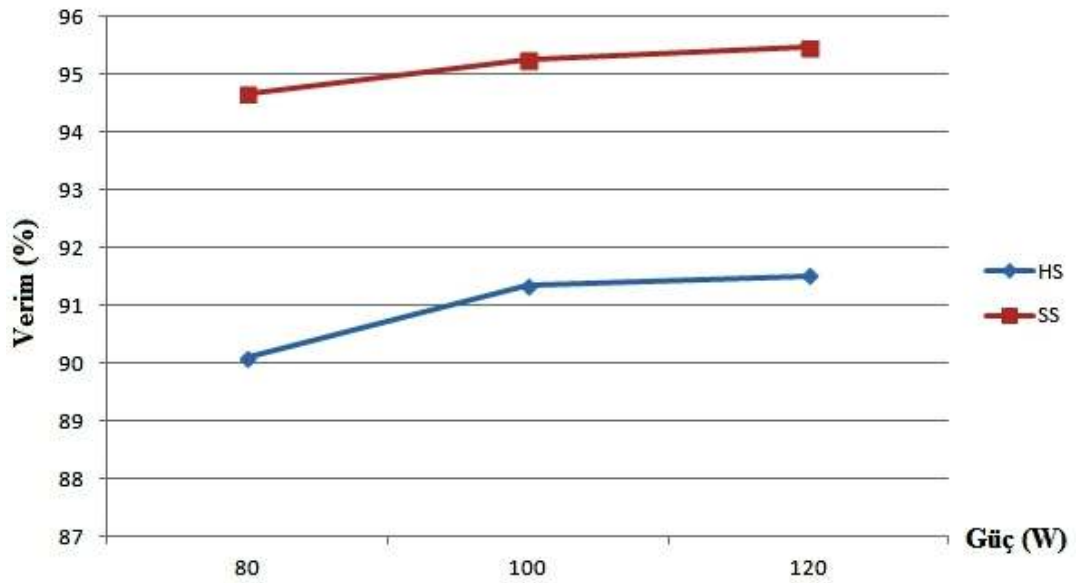


Şekil 5.35. 30 volt giriş gerilimde yükselten dönüştürücünün verim grafiği

30 ve 25 volt giriş gerilimde devrenin verimi düşüktür. Bunun en önemli sebeplerinden biri giriş akımının yüksek seviyesinden kaynaklanıyor. Ne kadar akım arttıkça devredeki ana diyot ve ana anahtardan geçen akımda o kadar artıyor ve fazla iletim kayıplarına sebep oluyor. Aynı zamanda anahtarlar diyotlar ve ana bobinin yüksek akımdan meydana gelen ısınma daha yüksek olduğunda güç kayıplarına sebep oluyor. Verim grafiğine bakarsak en yüksek performans 80 watt'ta dır, yani bu 80 watt seviyesinde düşük akımdan dolayı kayıplar ve ısınmalar da azalır. Sert anahtarlama ve yumuşak anahtarlama yöntemlerinde gözden geçirirsek, büyük verim farkı vardır ve bunun nedeni anahtarlar ve diyotların yumuşak anahtarlama koşullarında iletime ve kesime geçme etkilerinden dolayıdır.



Şekil 5.36. 40 volt giriş gerilimde yükselten dönüştürücünün verim grafiği



Şekil 5.37. 50 volt giriş gerilimde yükselten dönüştürücünün verim grafiği

50 ve 40 volt ise güç 80 w'dan arttıkça verim de artıyor. Yükselten dönüştürücünün en yüksek performansı 120 watt'tadır . Bu güç'te 50 volt giriş gerilimde verim 95,47 ve 40 volt giriş gerilimde 95,16 dır . Ayrıca benzetim çalışmada da elde edilen sonuçlara göre devrenin en yüksek performansı 40 ve 50 volt giriş gerilimde,120 watt gücünde meydana gelir ve ondan sonra verim düşmeye başlar.

6. SONUÇ

Yumuşak anahtarlama, anahtarlama kayıpları ile EMI gürültüsünün yok edilmesi veya en az indirilmesi şeklinde tanımlanır ve anahtarlama esnasında elemanın maruz kaldığı akım ve gerilim değerleri ile akım ve gerilim yükselme hızlarının azaltılması, akım ve gerilim değişimlerinin şekillendirilmesi, anahtarlama kayıpları ile EMI gürültüsünün azaltılması ve anahtarlama enerjisinin yüke veya kaynağa aktarılması fonksiyonlarını kapsamaktadır. Yumuşak anahtarlama amacıyla geliştirilen ve dönüştürücülerin temel bir parçası olmayan ilave devrelere ise bastırma hücreleri denilmektedir. Yumuşak anahtarlama en önemli amacı devrenin güç yoğunluğunun artırılması olduğu her zaman göz önünde tutulmalıdır.

Geleneksel yükseltici dönüştürücünün verimi, anahtarlar iletime ve kesime girerken kayıplara sebep olan sert anahtarlama sebebiyle düşüktür. Bu tezde, literatürdeki çeşitli yumuşak anahtarlama yükseltici dönüştürücü örnekleri sunulmuş ve “Bir SGG Yumuşak Anahtarlama Yükseltici Dönüştürücü” devresi detaylı olarak incelenmiş, benzetime ve uygulaması gerçekleştirilmiştir.

İncelenen geleneksel devrede, anahtar iletime geçerken diyodun ters toparlanma akım nedeniyle bir zıplama anahtarın akımında meydana geliyor ve büyük güç kaybına neden oluyor. Ayrıca kesime geçme esnasında da anahtarın üzerinde fazla gerilim yükselmesine maruz kalıyor ve güç kaybına neden oluyor. Ana diyotta ters toparlanma akım nedeniyle çok fazla sıcaklık meydana gelir ve diyodun hızlıca ısınmasına sebep olur. Ama incelenen yükselten dönüştürücüde, sert anahtarlama yükselten dönüştürücünün dezavantajları giderilmektedir. İncelenen yükselten dönüştürücünün ana anahtarı sıfır gerilim geçiş ile iletime geçiyor ve meydana gelen akım zıplaması tamamen yok edilir ve aynı anda ana diyodun ters toparlanma akımı bastırılır ve diyodun güç kaybı giderilir. Ama incelenen yumuşak anahtarlama yükselten dönüştürücünün yardımcı anahtarında kesime geçme koşulu sert anahtarlama ile gerçekleşiyor. Bu da bir dezavantaj olup ve EMI'ya neden olur. Yardımcı anahtarın sert anahtarlama ile kesime girme sorunu da literatürde önerilmiştir. Bu çalışmada amaç, başka bir yöntem ile devrenin daha verimli olması

ve yardımcı anahtarın sert anahtarlama dezavantajını gidemektir, ama bu hedefe ulaşamadığımdan dolayı sadece devrenin pratik ve teorik analizi yapılmıştır. İncelenen yükselten dönüştürücünün dezavantajı diğer devrelere göre önerilen devrede yardımcı anahtar kapanırken sert anahtarlama koşulunda kesime geçiyor, ama diğer devrelerde bu dezavantaj giderilmiştir. İncelenen devrenin en büyük avantajlarından biri yardımcı anahtarın kısa bir sürede iletimde olmasıdır. Diğer devrelerde de aynı avantaj var ama PV sistemde kullanılan yükselten devrede yardımcı anahtar ana anahtar ile aynı anda açılıp kapanır ve uzun süre iletimde kalarak fazla iletim kayıplarına sebep oluyor.

Verim açısından bakarsak çizelgelerde verilen sonuçlarda sert anahtarlama ile yumuşak anahtarlama arasında büyük verim farkı vardır. Bu fark da 10% kadar yükseliyor ve SGG yükselten dönüştürücünün daha verimli olduğunu göstermektedir. Sonuçta elde etmek istediğimiz amaca, yani yumuşak anahtarlamanın daha verimli olduğu sonucuna vardık.

KAYNAKLAR

- [1] Fahrenbruch, A.L. and Bube, R.T., “Fundamentals of Solar Cells”, *Academic Press, New York*, (1983).
- [2] Nakir, İ., “Fotovoltaik Güneş Panellerinde GTS ve MGTS Kullanılarak Verimliliğin Artırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*, (2007).
- [3] Park, S., Cha, G. and Jung, Y., “Design and Application for PV Generation System Using a Soft-Switching Boost Converter With SARC”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 57:515-527, (2000).
- [4] Smith, K.M., and Smedley, K.M., “Properties and Synthesis of Passive Lossless Soft-Switching PWM Converters”, *IEEE Trans. on Power Electronics.*, 14,5:890-899,(2002).
- [5] Bodur, H., and Bakan, A.F., “A New ZVT-PWM DC-DC Converter,” *IEEE Trans. On Power Electronics.*, 17:40-47, (2002).
- [6] UYGUR, S., “Fotovoltaik Sistemler İçin Geliştirilmiş Bir Yumuşak Anahtarlama DA-DA Yükseltici Dönüştürücünün Simülasyonu VE Uygulama Devresinin Gerçekleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*. (2011).
- [7] Hsieh, Y. C., Hsueh, T. C. and Yen, H. C, “An interleaved boost converter with zero-voltage transition”, *IEEE Transaction on Power Electronics*, 24(4): 973-978 (2009).
- [8] Liu, K. H. and Lee, F. C., “Zero-voltage switching technique in dc-dc converters”, *IEEE PESC Conf. Proc.*, 58-70 (1986).
- [9] Bodur, H. and Bakan, A. F., “A new ZVT-ZCT-PWM dc-dc converter”, *IEEE Transaction on Power Electronics*, 19(3): 676–684 (2004).
- [10] Lee, I. O., Lee, D. Y. and Cho, B. H. “High performance boost PFC pre-regulator with improved zero-voltage-transition (ZVT) converter”, *IEEE APEC-2001 Conf., California*, 337-342 (2001).
- [11] Park, S. R., Park, S. H., Won, C. Y. and Jung, Y.C. , “Low Loss Soft Switching Boost Converter”, *13th International Power Electronics and Motion Control Conference*, 181-186 (2008).
- [12] Saha, S. S, “Efficient soft-switched boost converter for fuel cell applications”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 1710-1719, (2011).

- [13] Park, S. H., Cha, G. R., Jung, Y. C., and Won C.Y., “Design and Application for PV Generation System Using a Soft-Switching Boost Converter With SARC”, *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, 515-522, (2010).
- [14] Hua, G., Leu, C. S., Jiang, Y., & Fred C.Y.Lee, “Novel Zero-Voltage-Transition PWM Converters”, *IEEE Transaction on power electronics*, 213-219, (1994).
- [15] Data Manual, “TMS320F2812 Digital Signal Processors”, *Texas Instruments SPRS1740*, (2007).
- [16] GENÇ, N., “Birim Güç Katsayılı ve Sifir-Gerilim-Geçişli Yeni Bir Sarmaşık Yükselten Dönüştürücünün Tasarımı ve Gerçeklenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2010).
- [17] ÇAKIR, G., “Yumuşak Anahtarlama DC-DC Boost Dönüştürücü Topolojisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2006).
- [18] R.N.A.L. Silva, G.A.L. Henn, P.P. Praça, R.A. da Câmara, L.H.S.C. and Barreto, D.S. Oliveira Jr., “Soft-Switching Interleaved Boost Converter with High Voltage Gain Applied to a Photovoltaic System”, *IEEE*, 1083-1087 (2010).
- [19] KASAT, S., “Analysis, Design and Modeling of DC-DC Converter Using Simulink” , Master of science, *Institute of Engineering and Technology Indore, Madhya Pradesh State, India*, (2004).
- [20] Jung, D. Y., Ji, Y. H., Kim, J. H., Won, C. Y., and Jung, Y. C., “Ripple Analysis of Interleaved Soft Switching Boost Converter for Photovoltaic Applications”, *The 2010 International Power Electronics Conference*, (2010).
- [21] **Internet:** Scientific Electronic Library Online, “ An Improved ZVT Boost Converter”, www.scielo.br (2013).
- [22] O’Dwyer, A., “Hand Book of PI and PID Controller Tuning Rules” **Dublin Institute of Technology, Ireland**, 278-279 (2003).
- [23] Kim, J. G., Park, S. W., Kim, Y. H., Jung, Y. C., and Won, C. Y. “High-Efficiency Bidirectional Soft Switching DC-DC Converter”, *The 2010 International Power Electronics Conference*, 2905-2911 (2010).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Milad GHASEMIKASHTIBAN
Uyruğu : İran
Doğum tarihi ve yeri : 01.04.1987 Urmia
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 507 414 6332
E-mail : milad.ghasemikashtiban@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Islamic Azad University of Urmia	2009
Lise	Andishe Borna Lisesi	2005

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Spor, müzik