

**YUMUŞAK ANAHTARLAMALI DC-DC BOOST DÖNÜŞTÜRÜCÜ
TOPOLOJİSİ**

Gökhan ÇAKIR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NİSAN 2006
ANKARA**

Gökhan ÇAKIR tarafından hazırlanan YUMUŞAK ANAHTARLAMALI DC-DC BOOST DÖNÜŞTÜRÜCÜ TOPOLOJİSİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Y.Doç.Dr. M. Timur AYDEMİR
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç.Dr. Osman GÜRDAL

Üye : Y.Doç.Dr. M. Timur AYDEMİR

Üye : Y.Doç.Dr. İres İSKENDER

Tarih : 24 / 04 / 2006

Bu tez Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

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

Gökhan ÇAKIR

**YUMUŞAK ANAHTARLAMALI DC-DC BOOST DÖNÜŞTÜRÜCÜ
TOPOLOJİSİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Gökhan ÇAKIR

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Nisan 2006**

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. Ancak, bu devrelerde özellikle diyot ters toparlanmasından kaynaklanan enerji kayıpları verimin düşük olmasına ve hatta dönüştürücünün ömrünün kısa olmasına neden olur. Bu çalışmada, bu sorunu çözmek amacıyla literatürde önerilmiş bulunan ancak gerçekleştirilmeyen bir devre incelenmiş ve denenmiştir. 400 W gücündeki bu devre, yapı olarak tipik devreye göre daha karmaşık olmakla birlikte, yumuşak anahtarlama olanağı sağladığından, daha verimlidir. Çalışmada, deneysel sonuçların yanında çeşitli benzetim sonuçları da sunulmaktadır.

Bilim Kodu :905.1.033
Anahtar Kelimeler :Boost, Dönüştürücü
Sayfa Adedi :72
Tez Yöneticisi :Yrd Doç.Dr.M.Timur AYDEMİR

SOFT SWITCHING DC-DC BOOST CONVERTER TOPOLOGY
(M.Sc. Thesis)

Gökhan ÇAKIR

GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
April 2006

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 phase with the line voltage. However, especially the reverse recovery of the diode causes high power losses, resulting in lower efficiency, and even reduces life time in these converters. A topology that has been suggested in the literature but left unrealized, has been analyzed, built and tested in this thesis. This 400-W converter is more complicated but more efficient with respect to the original converter as it utilizes soft switching. Also, simulation results have been presented in the thesis.

Science Code	:905.1.033
Key Words	:Boost, Converter
Page Number	:72
Adviser	:Assist.Prof.Dr.M.Timur AYDEMİR

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli Hocam Yrd.Doç.Dr.M.Timur AYDEMİR'e yine tecrübelerinden faydalandığım değerli Hocam Prof. Dr. Cengiz TAPLAMACIOĞLU'na, imkan ve olanaklarını esirgemeyen Elektronik Sistemler Destek Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi (ESDAŞ)'ne ayrıca TSK Shh.İkm.Bkm.Mrk.K.İğında bulunan amirim Hv.Dr.Müh.Kd.Alb.Osman YILDIRIM ile mesai arkadaşlarım Müh.Ütgm. Süleyman TAŞKIN, Elekt.Tekns. Adnan MURAT, Asım KUZU ve diğer tüm çalışma arkadaşlarıma, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli eşim Hatice ÇAKIR ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. YÜKSELTİCİ (BOOST) DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜ DEVRESİ.....	4
2.1. Klasik Yükseltici DC-DC Dönüştürücü.....	4
2.2. Sayısal Benzetim.....	6
2.3. Devrenin Kullanım Amaçları.....	7
3. YUMUŞAK ANAHTARLAMALI, YÜZEN KONDANSATÖRLÜ YÜKSELTEN DÖNÜŞTÜRÜCÜ DEVRESİ.....	10
3.1. Yüzen Kondansatörlü Devre.....	10
3.2 Tasarım denklemleri	15
4. SAYISAL BENZETİM ÇALIŞMALARI.....	18
4.1. Klasik Yükseltici DC/DC Dönüştürücü Devre Simülasyonları.....	18
4.2. Yumuşak Anahtarlama, Yüzen Kapasitörlü Boost Dönüştürücü Devre Simülasyonları	21
4.3. Devrenin Çalışmasına İlişkin Notlar.....	26

	Sayfa
5. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	29
5.1. Deney Devre Şeması.....	29
5.2. Deney Sonuçları	31
6. SONUÇ	37
KAYNAKLAR.....	38
EKLER.....	40
EK-1 Durum denklemlerinin değişik modlara göre elde edilmesi.....	41
EK-2 Dinamik denklemlerin çeşitli modlara göre elde edilişi.....	53
EK-3 Prototipe ait baskı devresi.....	68
EK-4 Deneyde kullanılan prototipin resimleri.....	69
ÖZGEÇMİŞ	72

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Değişik modlardaki devre şemaları	12
Çizelge 3.2. Çeşitli modlardaki akım ve gerilim durum denklemleri ve başlangıç değerleri.....	13
Çizelge 3.3. Çeşitli modlardaki akım ve gerilimlerin dinamik denklemleri.....	16
Çizelge 4.1. Endüktör değerindeki değişimin çalışma parametrelerine etkisi.....	28

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Boost (yükseltici) devresi.....	1
Şekil 2.1. Yükseltici (Boost) DC/DC dönüştürücü devresi.....	4
Şekil 2.2. Yükseltici tür dc-dc dönüştürücünün endüktör gerilim ve akım dalga biçimi.....	5
Şekil 2.3. Yükseltici tür dc-dc dönüştürücünün anahtar gerilimi (üst), diyot akımı (orta) ve endüktör akımı (alt).....	7
Şekil 3.1. Yumuşak anahtarlama, yüzen kapasitörlü boost dönüştürücü devre.....	10
Şekil 4.1. Klasik yükselten devre.....	18
Şekil 4.2. Klasik yükselten devrenin tipik çalışmasını gösterir dalga biçimleri.....	19
Şekil 4.3. IGBT elemanının anlık akım, gerilim ve güç değişimi.....	20
Şekil 4.4. Diyot elemanının anlık akım, gerilim ve güç değişimi.....	21
Şekil 4.5. Benzetim çalışmalarında kullanılan yükselten devre.....	22
Şekil 4.6. Yumuşak anahtarlama devrenin çalışması.....	23
Şekil 4.7. Anahtar akımı, gerilimi ve gücü (paralel anahtarlardan biri).....	24
Şekil 4.8. Ana diyot akım, gerilim ve güç kaybı (diyotlardan bir tanesinin güç kaybı).....	24
Şekil 4.9. Dc diyoduna ait akım, gerilim ve güç kaybı (diyotlardan birinin güç kaybı)	25
Şekil 4.10. Dr diyoduna ait akım, gerilim ve güç kaybı (diyotlardan birinin güç kaybı).....	25
Şekil 4.11. Endüktör akımları.....	26
Şekil 4.12.(a) rezonans kondansatörü değeri, (b) Db diyodunun gerilimi, (c) Dc diyodunun gerilimi, (d) Dr diyodunun gerilimi	27

Şekil	Sayfa
Şekil 5.1. Deney devre şeması.....	30
Şekil 5.2. Giriş gerilimi ve giriş akımı.....	31
Şekil 5.3. Giriş gerilimi, giriş akımı, giriş gücü.....	31
Şekil 5.4. Giriş gerilimi, giriş akımı, çıkış gerilimi	32
Şekil 5.5. Anahtar gerilimi, Lb akımı	33
Şekil 5.6. Anahtar gerilimi, Lr akımı	33
Şekil 5.7. Anahtar gerilimi, anahtar akımı	34
Şekil 5.8. Anahtar gerilimi, anahtar akımı	34
Şekil 5.9. Anahtar gerilimi, diyot gerilimi, diyot akımı	35
Şekil 5.10. Anahtar gerilimi, diyot gerilimi, diyot akımı	35
Şekil 5.11. Akım harmonikleri	36
Şekil 5.12. Akım harmonikleri (%)	36

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Baskı devre şeması.....	68
Resim 4.1. Deney devresinin üst görünümü.....	69
Resim 4.2. Prototipe ait baskı devre kartı.....	70
Resim 4.3. Deney devresinin yan görünümü.....	71

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklama

c	Kondansatör
l	İndüktans
r	Direnç
d	Diyot
q	Mosfet
u	Entegre
i	Akım
v	Voltaj
p	Güç

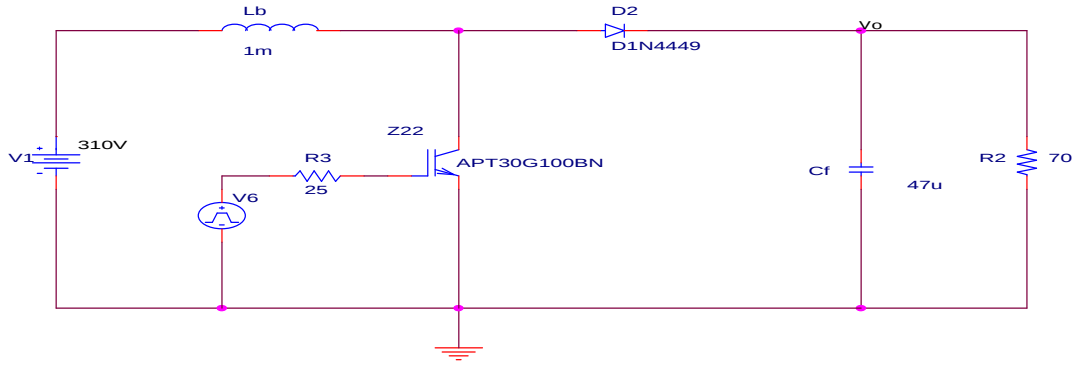
Kısaltmalar

Açıklama

ZVS	Sıfır Voltaj Anahtarlama
ZCS	Sıfır Akım Anahtarlama
HPFM	Yüksek Güç Hız Mosfet
PFC	Güç Faktörü Düzeltimi
APFC	Aktif Güç Faktörü Düzeltimi
EMC	Elektromanyetik Uyumluluk
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
AGF	Aktif Güç Filtresi
PAGF	Paralel Aktif Güç Filtresi
AC	Alternatif Akım
DC	Doğru Akım

1.GİRİŞ

Yükselten (boost) türü dc-dc 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. Bir yükselten dc-dc dönüştürücünün devre şeması Şekil 1.1’de gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Boost (yükseltici) devresi

Şekildeki yarıiletken anahtar iletme geçince diyot ters kutuplanır ve çıkış devresini girişten ayırır. Bu esnada girişten indüktansa enerji uygulanır. Anahtar kesime sokulunca, endüktansta depolanan enerji, diyot üzerinden çıkışa aktarılır.

Yükselten tür dc-dc dönüştürücülerin çıkış gerilimi her zaman giriş geriliminden büyük olup, endüktans akımının sürekli olmasının sağlandığı durumlarda, giriş-çıkış gerilimleri arasındaki ilişki

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-d} \quad (1.1)$$

eşitliği ile tanımlanır. Bu eşitlikte d , anahtara uygulanan kapı işaretinin doluluk oranını (duty cycle) gösterir. Her ne kadar bu eşitliğe göre, teorik olarak çıkış geriliminin istenildiği kadar büyük yapılması olası görünse de, özellikle süzücü endüktansın iç direncinden kaynaklanan kayıplar nedeniyle, doluluk oranının yüksek değerlerinde çıkış gerilimi artmak yerine düşüş gösterir.

Yükselten dönüştürücüler, uygun anahtarlama mantığı kullanılarak giriş güç katsayısının iyileştirilmesini de sağlarlar. Bunun için genellikle hazır tümleşik devreler kullanılır. Bu devreler, giriş ve çıkıştan aldıkları örneklerle uygun anahtarlama işaretlerini üreterek, giriş akımının giriş gerilimi ile aynı fazda olmasını sağlarlar.

Yükselten tür dc-dc dönüştürücülerde özellikle diyot ters toparlanmasından kaynaklanan kayıplar verim düşüklüğüne ve ömür kısılmasına neden olurlar [1-3]. Bu devrelerde, diyotların iletim kaybından çok ters toparlanma kayıpları önem kazanır. Ters toparlanma kayıpları, eklemde biriken yük, anahtarlama frekansı ve diyot tıkalı konumdayken üzerine gelen gerilimle orantılıdır. Bu devrede diyotun tıkadığı gerilim yüksek olduğundan kayıplar da yüksek olur, ve dolayısıyla, bu devrelerin yüksek güçlerde kullanımı sınırlıdır. Bu nedenle literatürde çeşitli devre önerileri yapılmıştır [1-11].

Güç akış seviyesi birkaç kW'ın üzerine çıkarıldığında, yumuşak anahtarlama yöntemleri ile elde edilen avantajlar, nihai performans artırılmasına dönüşümde başarısızlığa uğramaktadır [12-13]. İlave aktif anahtarlama cihazlarının kullanımı, ana güç cihazı üzerine etki eden ilave gerilim ve/veya akım yükü, kontrol mekanizmalarındaki ilave karmaşıklıklar ve sert anahtarlama topolojisine göre büyük değişiklikler içeren konfigürasyon yapısı, potansiyel performans artırımının önündeki büyük engeller olarak ortaya çıkmaktadır. Yüzen kapasitör ve kuplajlı bobinin beraber kullanımı ile yükselten tür dc-dc dönüştürücü üzerindeki anahtarlama yükünün azaltılması yaklaşımı [11]'de sunulmuştur. Bu yaklaşımın özelliklerinden elde edilen ilk

sonuçlar, bu yöntemin yukarıda bahsedilen dezavantajların hiçbirine maruz kalmayabileceğini göstermektedir. Bu sebeple, bu çalışmada söz konusu topoloji üzerine ayrıntılı analitik ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada, [11] numaralı referansta sözü edilen yüzen kapasitörlü ve yumuşak anahtarlama, tek faz yükselten tür dc-dc dönüştürücünün ayrıntılı bir analizi ve sayısal benzetimi yapılmış olup, 400 W gücünde bir örnek devre tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Bu devrede, tipik yükselten tür dc-dc dönüştürücü devrenin elemanlarına ek olarak, bir bağlaşımlı bobin, üç tane de diyot vardır. Devre daha karmaşık olmakla birlikte, verimi daha yüksektir. Ayrıca, denetim mantığında herhangi bir değişiklik gerekmemektedir. Bu çalışmanın;

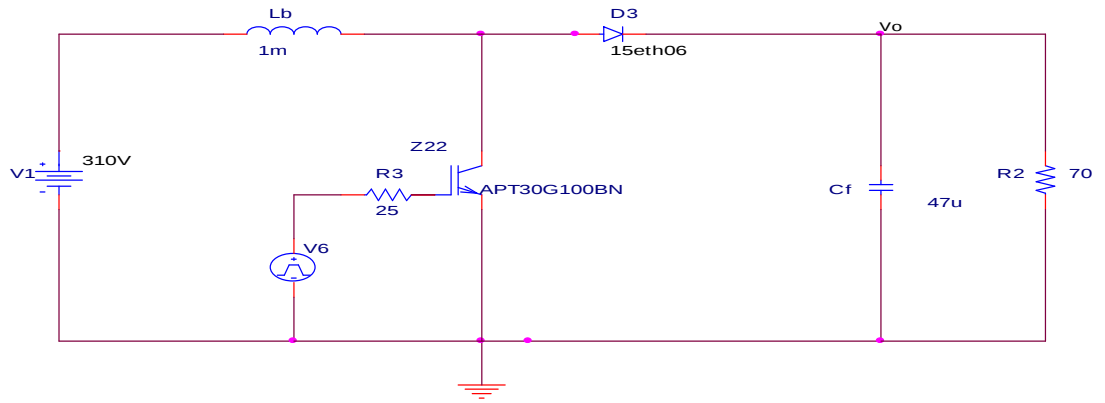
2. Bölümünde klasik yükselten dc-dc dönüştürücü devresi anlatılmıştır.
3. Bölüm’de, klasik devreye seçenek olarak önerilen yumuşak anahtarlama devre tanıtılmış, bu devrenin çalışması ayrıntılı olarak incelenmiştir.
4. Bölüm’de, önerilen devre ile ilgili sayısal benzetim çalışmasının sonuçları,
5. Bölüm’de ise deneysel çalışma sonuçları verilmiştir.
6. Bölüm’de bulgular tartışılmıştır.

2. YÜKSELTİCİ (BOOST) DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜ DEVRESİ

Bu bölümde, klasik yükseltici dc-dc dönüştürücü devrelerin genel yapısı ve çalışma ilkesi anlatılacak, bu yükselticilerin kullanım alanları ile ilgili genel bilgiler verilecektir.

2.1 Klasik Yükseltici DC-DC Dönüştürücü

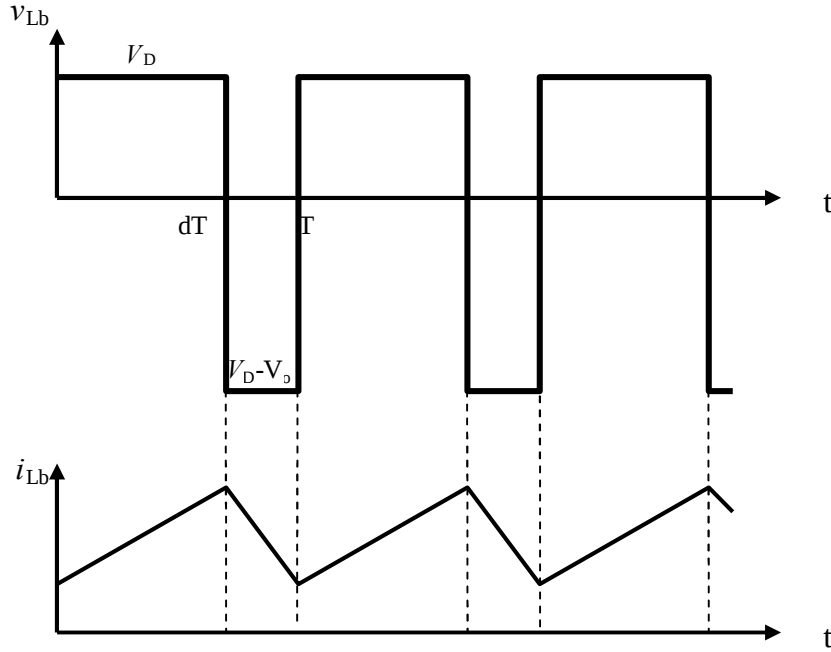
Şekil 2.1’de basit devre şeması görülen elektronik devre, yükseltici (boost) tipinde çalışan bir anahtarlama devresidir. Devrenin ana görevi, girişindeki düşük dc gerilimi daha yüksek düzeyde bir dc gerilime dönüştürmektir.



Şekil 2.1. Yükseltici (Boost) DC/DC dönüştürücü devresi

Devredeki anahtarın ilettime sokulmasıyla yüklenmeye başlanan endüktörde biriken enerji, anahtarın tıkamaya sokulmasıyla yüke doğru aktarılır. Devrenin girişindeki endüktans genelde yüksek değerli olup giriş akımının sürekli olmasına yardım eder. Giriş akımının sürekli olması nedeniyle bu tür devreler düşük akım dalgalanmasına izin veren kaynakların çıkış gerilimlerinin yükseltilmesinde tercih edilirler. Örneğin, yakıt hücrelerinden çekilen akımın dalgalı olması hücreye zarar verebileceğinden, bu hücrelerle birlikte kullanılacak dönüştürücü devrenin bu türden olması istenir.

Yükselten devrenin sürekli akımla çalışması durumunda endüktör üzerindeki akım ve gerilim değişimi Şekil 2.2'de verilmektedir.



Şekil 2.2. Yükseltici tür dc-dc dönüştürücünün endüktör gerilim ve akım dalga biçimi

Şekil 2.2'de gösterilen endüktör geriliminin ortalama değerinin sürekli durumda sıfır olacağı koşulundan hareketle dönüştürücünün giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki ilişki Eş.2.1 eşitliğindeki gibi hesaplanır:

$$V_o = \frac{1}{1-d} V_s \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte, V_o çıkış gerilimini, V_s giriş gerilimini, d anahtarın doluluk oranını (duty cycle) gösterir.

Görüldüğü gibi, d , 0 ile 1 arasında değişen bir değer olduğundan, çıkış gerilimi 0 ile sonsuz arasında değişir. Elbetteki bu kuramsal bir sonuç olup, gerçek devrelerde özellikle endüktörlerin sargı dirençlerindeki ve yarıiletkenlerdeki kayıplar nedeniyle pratikteki üst sınır giriş geriliminin

yalnızca birkaç katıdır.

Tüm dc-dc dönüştürücülerde olduğu gibi, yükselten tür dönüştürücülerde de anahtar kayıpları çok önemlidir. Sert anahtarlama yapılması durumunda, toplam anahtar kayıpları

$$P_{tot} = P_{sw} + P_{cond} = 0.5 f_{sw} V_o I_s (t_r + t_f) + d V_{on} I_s \quad (2.2)$$

eşitliği ile tanımlanır.

Bu devrelerde verimin düşük olmasının bir başka nedeni de diyot ters toparlanma kayıplarıdır. Diyot kayıpları Eş.2.3 eşitliği ile tanımlanır.

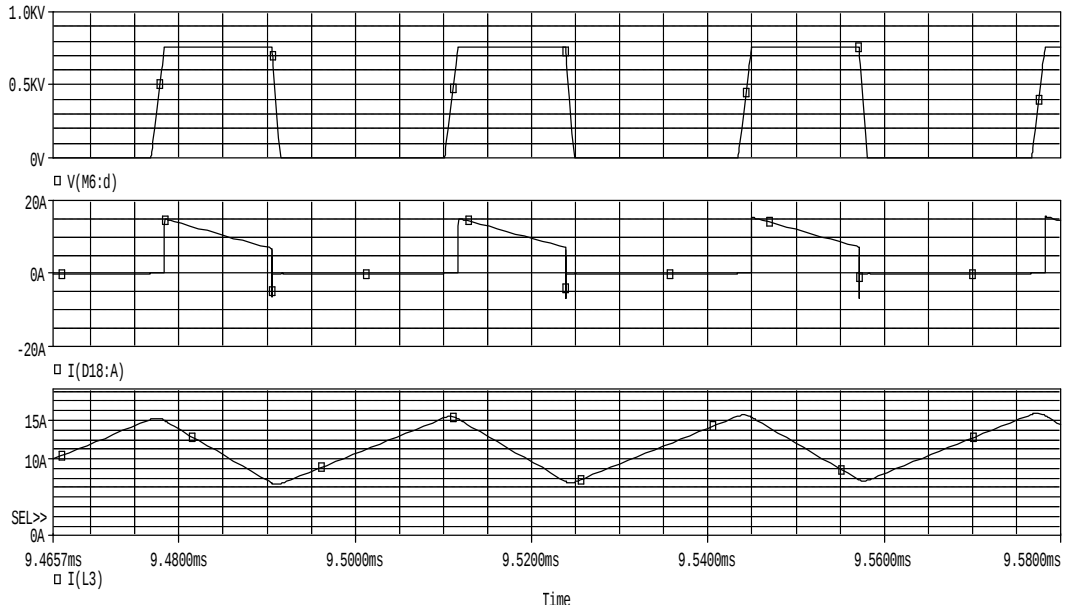
$$P_d = f_{sw} Q_{rr} V_o \quad (2.3)$$

Bu eşitlikte Q_{rr} diyodun ters toparlanma yükünü göstermektedir. Görüldüğü gibi, özellikle yüksek anahtarlama frekanslarında bu kayıplar çok artmakta ve diyotlar bu devrelerin zayıf noktası haline gelmektedirler. Literatürde bu sorunun önüne geçmek için çeşitli devre topolojileri önerilmiştir. Bu tezin kapsamında incelenen devre de bu topolojilerden biridir.

2.2 Sayısal Benzetim

Bu bölümde, yükselten dc-dc dönüştürücü devre ile ilgili sayısal benzetim sonuçları verilmektedir. Devre, Pspice yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Benzetimi yapılan devrenin giriş gerilimi doğrultulmuş 220 V, 50 Hz gerilimi göstermesi için 310 V dc olarak seçilmiştir. Anahtar uygun doluluk oranında çalıştırılarak çıkışta 750 V dc elde edilmiştir. Yük akımı 10 A olacak biçimde çıkışa 75 ohm değerinde bir direnç bağlanmıştır. Devrede süzgeç endüktansı olarak 670 μ H, çıkış kapasitesi için de 470 μ F kullanılmıştır. Anahtarlama frekansı olarak 33 kHz seçilmiştir.

Şekil 2.3'te endüktör akımı, diyot akımı ve anahtar gerilimi birlikte gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Yükseltici tür dc-dc dönüştürücünün anahtar gerilimi (üst), diyot akımı (orta) ve endüktör akımı (alt)

2.3. Devrenin 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 (güneş paneli, yakıt hücresi), bazen de doğrultulmuş şebeke gerilimidir. Yenilenebilir enerji kaynakları veya bataryalarla birlikte kullanıldıklarında genelde 12 V civarında bir gerilimi 40-50 V 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 katsayısını da düzeltecek 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 alçak 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; Güç Katsayısı İyileştirme devreleri) geliştirilmiştir. Bazı üreticiler bu amaçla tümleşik devreler geliştirmiştir. Bu devreler genelde yükseltici dc-dc 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.

Güç katsayısının düşük olması aşağıdaki sorunlara yol açar:

- Tesisatta kullanılan sigorta, kablo, sigorta vb. malzemeleri yüksek değerlikli seçmek gerekir.
- Trafolarda ısı kayıpları artar.
- Reaktif güç nedeniyle maliyetler artar.

Güç katsayısının yükseltilmesi ile,

- Kaynak enerjisi daha iyi kullanılır. Verim artar.
- Daha az enerji çekilmesi nedeniyle daha düşük kesitli bakır kablolar kullanılabilir.
- Tesisat girişine ortak filtre takılabilir.

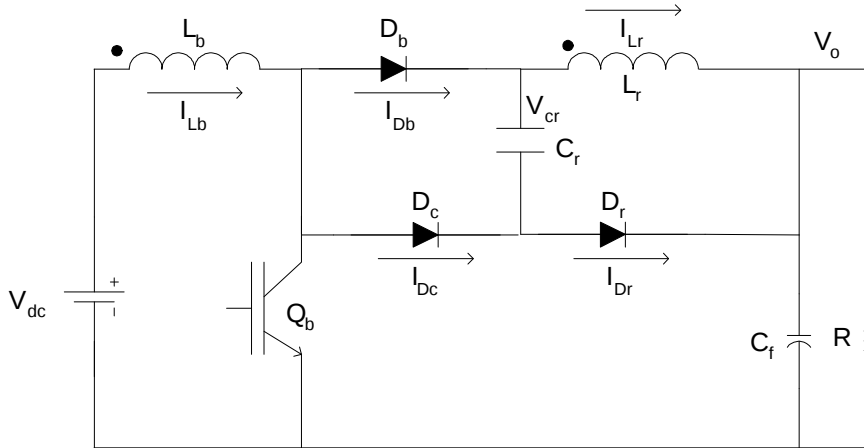
- Yüksek güç faktörünü sağlayan PFC devreleri iyi regüle edilmiş DC bara gerilimi sunarlar. Bu diğer çeviricilerin daha kararlı çalışmasını sağlar.
- Güç faktörünü yükselten PFC'lerin çalışma aralığı çok geniştir. Örneğin 85-280 VAC olabilir.
- Kaynak gerilimindeki bozulma engellenir.

3. YUMUŞAK ANAHTARLAMALI, YÜZEN KONDANSATÖRLÜ YÜKSELTEN DÖNÜŞTÜRÜCÜ DEVRESİ

Bir önceki bölümde tanıtılan klasik yükselten devre, sert anahtarlama yapılması nedeniyle düşük verimle çalışır. Özellikle diyot ters toparlanma akımları nedeniyle oluşan kayıplar hem verimin düşmesine hem de diyodun aşırı ısınması nedeniyle devrenin kısa ömürlü olmasına neden olur. [11] numaralı kaynakta, özellikle bu sorunu azaltabilecek bir devre önerisi yapılmıştır. Bu tezin de konusunu oluşturan bu devre bağlaşımlı bir endüktör, fazladan iki diyot ve bir kondansatör kullanımı yoluyla diyot ters toparlanma kayıplarının azalmasını sağlar. Bu bölümde, söz konusu devrenin çalışması anlatılacak ve benzetim sonuçları sunulacaktır.

3.1. Yüzen Kondansatörlü Devre

Yüzen kondansatörlü devre Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1.Yumuşak anahtarlama, yüzen kapasitörlü boost dönüştürücü devre

Şekil 3.1’te devre şeması gösterilen yumuşak anahtarlama devresi iki adet yardımcı diyot D_r ve D_c , rezonans kapasitör C_r ve boost bobini L_b ’ye kuplaj edilmiş olan yardımcı L_r bobininden oluşmaktadır. L_r bobini Q_b ’nin sıfır akım anahtarlama (ZCS) durumunda olmasını sağlar ve Q_b ’nin açılış di/dt oranını

sınırlayarak, ana diyot olan D_b 'nin ters toparlanma akım değerinin azalmasını sağlar. C_r kapasitörü öncelikli olarak Q_b 'nin ZVS (Sıfır Voltaj Anahtarlama) durumunda olmasını sağlar ve kapanış dv/dt oranını sınırlar. Ayrıca D_b diyotunun oluşturduğu sürekli ters toparlanma akımı yüzünden L_r bobini üzerinde yüklenen enerjinin soğurulması içinde kullanılır. Çalışma durumlarını analitik olarak tanımlayabilmek amacıyla çeşitli basitleştirici kabullenmeler yapılmıştır. Bu kabullenmeler şunlardır: anlık geçiş periyoduna sahip ideal anahtarlama cihazları, bağılaşımlı endüktörler arasında parazit endüktansın yokluğu, cihazlar içi parazit kapasitansın yokluğu, kapasitör ve bobinler için eşdeğer seri direnç değeri yokluğu, ideal gerilim kaynağı ve sabit çıkış gerilimi. Boost bobini ve rezonans bobin arasında bulunan değer olarak sabit olmayan(non-unity) kuplaj katsayısı ve diyot için sıfırdan farklı ters toparlanma akımı analiz içinde ideal olmayan koşullar olarak yer almışlardır. Tasarım yol haritasını belirlemek için bahsedilen kabullenmeleri kullanarak ana çalışma modları belirlendikten ve bileşen değerleri bilindikten sonra, modellenmeyen elementlerin oluşturduğu etkileri açıklamak amacıyla çeşitli ideal olmayan durumların içerildiği detaylı sayısal bilgisayar simülasyonları yapılmıştır.

Boost dönüştürücü, her bir anahtarlama döngüsü içinde, altı çalışma modundan geçmektedir. Akımın aktif hat üzerinden iletiminin her bir çalışma modundaki durumu Çizelge 3.1'de gösterilmiştir. Dönüştürücünün çalışması durum değişkenleri olarak L_r rezonans bobini üzerinden geçen i_{Lr} akımı, L_b boost bobini üzerinden geçen i_{Lb} akımı ve rezonans kapasitör üzerindeki v_{Cr} gerilimi ile tanımlanabilir. Çizelge 3.2'de durum değişkenlerinin her bir çalışma modundaki gelişimini tanımlamayan dinamik denklemleri, çalışma modları arası geçiş anlarındaki sınır durumları ile beraber verilmiştir.

Çizelge 3.1. Değişik modları gösteren devre şemaları

Mod	Tanımlama	Devredeki aktif yollar
1	Boost modu	
2	resonans geçiş kapama modu	
3 a/b	doğrusal geçiş kapama modu	
4	Enerji transfer modu	
5	doğrusal geçiş açma modu	
6	resonans geçiş açma modu	

Çizelge 3.2'de dinamik denklemlerin her bir çalışma modu için çözüm sonuçları verilmiştir. Yumuşak anahtarlama elemanlarının rezonans frekans ve karakteristik empedans değerleri tabloda sırasıyla $\omega=1/\sqrt{L_c C_r}$ ve $Z=\sqrt{L_c C_r}$ olarak verilmiştir. L_b ve L_r bobinlerinin sarım sayısı oranları N_2/N_1 'dir. Tüm anahtarlama döngüsü içinde ana dönüştürücü elementlerinin oluşturduğu tipik akım ve gerilim değerlerinin çeşitli çalışma modlarındaki durumları gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Çeşitli modlardaki akım ve gerilim durum denklemleri ve başlangıç değerleri

Modlar	i_{Lb}	i_{Lr}	v_{Cr}
6 → 1	I_o	0	$I_{RRM} Z$
1	$V_{dc} = L_b \frac{dI_{Lb}}{dt}$	-	-
1 → 2	I_p	0	$I_{RRM} Z$
2	-	$V_{Cr} - k \frac{N_2}{N_1} (V_{dc} - V_o) = L_r (1 - k) \frac{dI_{Lr}}{dt}$	$-I_{Lr} = C_r \frac{dV_{Cr}}{dt}$
2 → 3a/b	I_p	I_p I_{Lro}	V_{Cro} 0
3a 3b	-	$-k \frac{N_2}{N_1} (V_{dc} - V_o) = L_r (1 - k) \frac{dI_{Lr}}{dt}$	$-I_p = C_r \frac{dV_{Cr}}{dt}$ -
3 → 4	I_p	I_p	0
4	$V_{dc} - V_o = L_b \frac{dI_{Lb}}{dt}$	-	-
4 → 5	I_o	I_p	0
5	-	$-V_o - k \frac{N_2}{N_1} V_{dc} = L_r (1 - k) \frac{dI_{Lr}}{dt}$	-
5 → 6	I_o	$-I_{RRM}$	0
6	-	$-V_{Cr} - k \frac{N_2}{N_1} V_{dc} = L_r (1 - k) \frac{dI_{Lr}}{dt}$	$-I_{Lr} = C_r \frac{dV_{Cr}}{dt}$
6 → 1	I_o	0	$I_{RRM} Z$

Çeşitli modlardaki akım ve gerilim durum denklemlerinin nasıl elde edildiği EK-1 'de gösterilmiştir.

Her bir çalışma modundaki işlevler aşağıda tanımlanmıştır.

- a. Mod 1: Bu modda, boost bobin kaynağa bağlanır ve şarj olur. Bu durum transistörün ana boost dönüştürücü periyodunda olduğunu gösterir.
- b. Mod 3(a): Rezonans bobin akımı boost bobin akımını şarj etmeden önce kapasitör gerilimi boşalırsa, ağır yükleme durumunda doğrusal geçiş modu meydana gelir. Rezonans akım seviyesi, boost bobin akım seviyesine eriştiğinde bu mod sona erer.
- c. Mod 3(b): Kapasitör gerilimi tamamen boşalmadan önce rezonans bobin akımı boost bobin akımını şarj ettiğinde, hafif yükleme durumunda doğrusal geçiş modu meydana gelir. Rezonans kapasitör gerilimi sıfıra ulaştığında bu mod sona erer.
- d. Mod 2: ZVS'nin ilk aşaması Q_b 'yi kapattığında bu mod meydana gelir. Bu mod yükleme seviyesine göre 3(a) veya 3(b) modu ile devam eder.
- e. Mod 4: Enerjinin yüke transfer edildiği zamanki boost bobin boşalma modudur. Periyodu ana boost dönüştürücü transistörünün kapalı kaldığı süredir.
- f. Mod 5: Bu mod Q_b transistörünün ZCS açılışını başlatmak için aktive edildiği zaman oluşur. Mod, rezonans bobin akımı, D_b 'nin ters toparlanma akımı değerinin tersine eşit olana kadar devam eder.
- g. Mod 6: Rezonans bobinin üzerinde ters toparlanma akımı nedeni ile oluşan enerjinin C_r 'ye transferi sırasında oluşan rezonans moddur. Rezonans bobin akımı sıfıra ulaştığında bu mod sona erer.

Dinamik denklemlerin çeşitli modlar altındaki çözümleri Çizelge 3'te verilmiştir. Durum yüzenlerinin tüm çalışma modlarındaki ifade karşılıkları geliştirildiği için, bu ifadeler tasarım yol haritasının geliştirilmesinde kullanmak için dönüştürücülerin belirgin dalga şeklini oluşturmak amacıyla bir araya getirilebilirler.

3.2. Tasarım Denklemleri

Yumuşak anahtarlama dönüştürücülerin tasarım hesaplamaları içinde devre çalışma frekansı ve yumuşak anahtarlama sağlayan rezonans devre elemanlarının da bulunduğu karmaşık bir maliyet-performans analizi gerektirmektedir [14]. En iyi tasarıma ulaşmak genel yaklaşım olarak çeşitli devre elemanlarının üzerindeki gerilim ve akım seviyelerine karar vermek amacıyla model analizlerinden elde edilen analitik sonuçlar kullanılır. En iyi tasarım hesaplamaları, toplam kaybın indirgenmesi ve parça boyutlarının küçültülmesini içerir. Bu çalışmadaki tasarım hesaplamaları var olan sert anahtarlama dönüştürücü tasarımı tarafından etkilenmiş ve buna uydurma ihtiyacı doğmuştur. Bu yüzden anahtarlama frekans değeri ve güç devre elemanları önceden belli olduğu için, basit tasarım yaklaşımlarının yapılmasına olanak sağlamıştır. Yukarıda tanımlanan model analizinden elde edilen sonuçlar ışığında dönüştürücüde kullanılacak rezonans elementler olan L_r ve C_r seçilmiştir. Devre elemanlarının seçiminde iki ana kriter vardır; (a) rezonans kapasitör (dolayısıyla yardımcı diyot) üzerindeki $I_{RRM}Z$ olarak verilen tepe gerilim baskısı ve (b) boost transistörün açık olduğu durumda, boost diyotun üzerinde oluşan $(V_o + V_{dc}N_2/N_1)$ tepe gerilim baskısıdır.

Çizelge 3.3. Çeşitli modlardaki akım ve gerilimlerin dinamik denklemleri

Mod	I_{Lb}	I_{Lr}	V_{Cr}
1	$\frac{V_{dc}}{L_b}t$	-	$I_{RRM}Z$
2	I_p	$\frac{N_2}{N_1} \frac{(V_{dc} - V_o)}{Z} - I_{RRM} \sin \omega t$	$I_{RRM} Z \cos \omega t - k \frac{N_2}{N_1} (V_{dc} - V_o) [1 - \cos \omega t]$
3a	3b	I_p $I_{Lro} - k \frac{N_2}{N_1} \frac{V_{dc} - V_o}{L_r (1-k)} t$	$V_{Cro} - \frac{I_p}{C_r} t$ 0
4	$\frac{V_{dc} - V_o}{L_b} t$	I_p	0
5	I_o	$\frac{1}{L_r (1-k)} [-V_o - k \frac{N_2}{N_1} V_{dc}] t$	0
6	I_o	$[-k \frac{N_2}{N_1} \frac{V_{dc}}{Z} + I_{RRM}] \cos \omega t$	$I_{RRM} Z \sin \omega t$

Çeşitli modlardaki akım ve gerilimlerin dinamik denklemlerinin nasıl elde edildiği EK-2 'de gösterilmiştir.

230V tek faz giriş ve 400 V çıkış geriliminde, sarım oranı $N_2/N_1=1/6$ olduğunda yaklaşık 425 V'luk tepe boost diyot gerilimi oluşturmaktadır. Bu tasarım seçimi, D_b için 1200V'luk diyotların kullanımında yeterli marjı sağlamaktadır. Kuplajlanmış rezonans bobin için sarım oranı belirlendikten sonra, L_r değeri nominal kuplaj faktörü kabul edilerek $L_b(kN_2/N_1)^2$ olarak hesaplanır. $L_b=0.67$ mH ve $k=0.95$ için $L_r=16\mu H$ olarak bulunur.

Sınırlı di/dt oranı durumunda, 1200V PIV'lik tipik bir hızlı iyileştirme diyodu ile 1 A'lık ortalama akım değerinin 0.5-1 A'lık maksimum ters toparlanma akımı I_{RRM} sağlayacağı beklenmektedir. 400 ohmluk karakteristik Z empedansı yaklaşık 125-200V'luk tepe kapasitör gerilimi V_{Cr} 'yi oluşturur. Değeri 40-70nF arasında seçilecek C_r rezonans kapasitörü istenilen aralığı sağlayacaktır.

Çizelge 3.2-Çizelge 3.3'te çeşitli devre nicelikleri için verilen analitik ifadeler kullanılarak hesaplanabilir. Sarım sayısı ve kapasitörün son değeri devre içi parazit elemanları doğru şekilde modelleyebilen sayısal bilgisayar simülasyonu ile en iyi duruma getirilebilir.

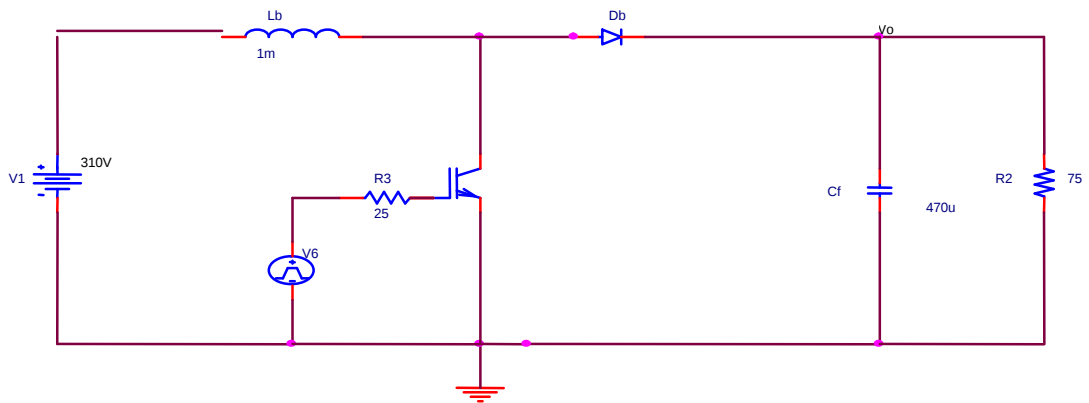
Şekil 3.1'de bulunan devrede diyotların ters toparlanma akımlarına rağmen sert anahtarlama ve yumuşak anahtarlama faaliyetlerinde olması gerekenden daha az enerji kaybını sağlayarak kullanılan malzemenin boyutunun küçülmesini ve uzun ömürlü olmasını sağlamıştır.

4. SAYISAL BENZETİM ÇALIŞMALARI

Bu bölümde hem sert anahtarlama klasik devrenin hem de yüzer kondansatörlü devrenin ORCAD programında yapılan benzetim çalışmaları verilecektir. Her iki devrenin benzetimlerinde de aynı yarıiletken elemanlar kullanılmıştır. Elemanlar yazılımın kütüphanesinden seçilmiştir. Anahtar olarak 1000 V, 12 A değerlerine sahip IGBT elemanı, iki tanesi paralel bağlanarak kullanılmıştır. Diyot için de 25 A, 600 V değerlerine sahip HFA25TB60 diyodu, iki tanesi seri bağlanarak kullanılmıştır.

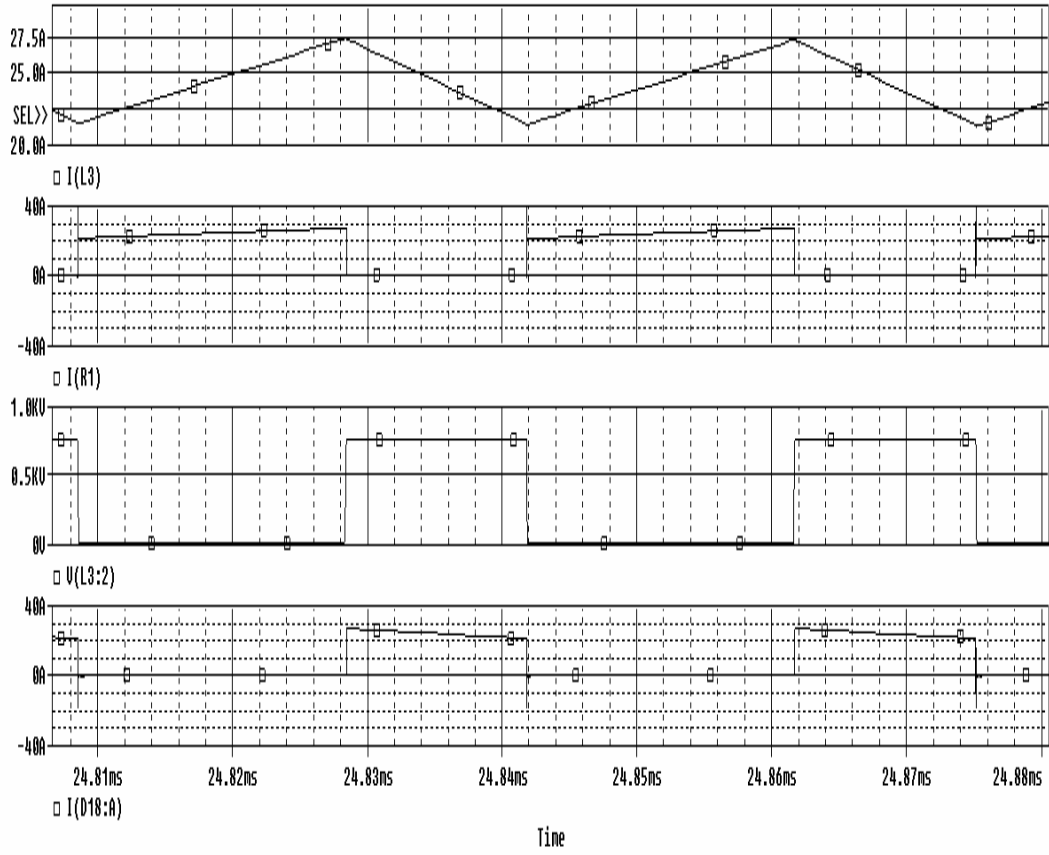
4.1. Klasik Yükseltici DC/DC Dönüştürücü Devre Simülasyonları

Benzetim çalışmalarında kullanılan klasik yükselten devre şeması Şekil 4.1'de verilmektedir.



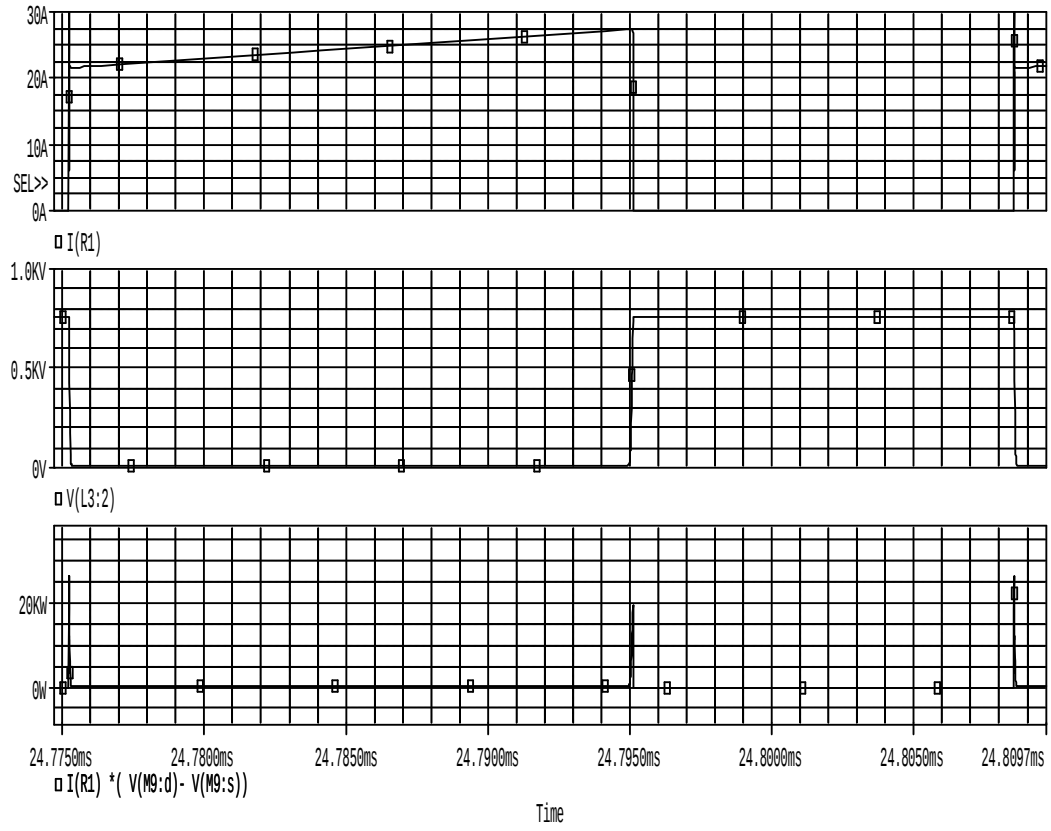
Şekil 4.1. Klasik yükselten devre

Klasik devrenin 750 V, 10 A çıkış koşullarındaki tipik çalışması Şekil 4.2'de gösterilmektedir.



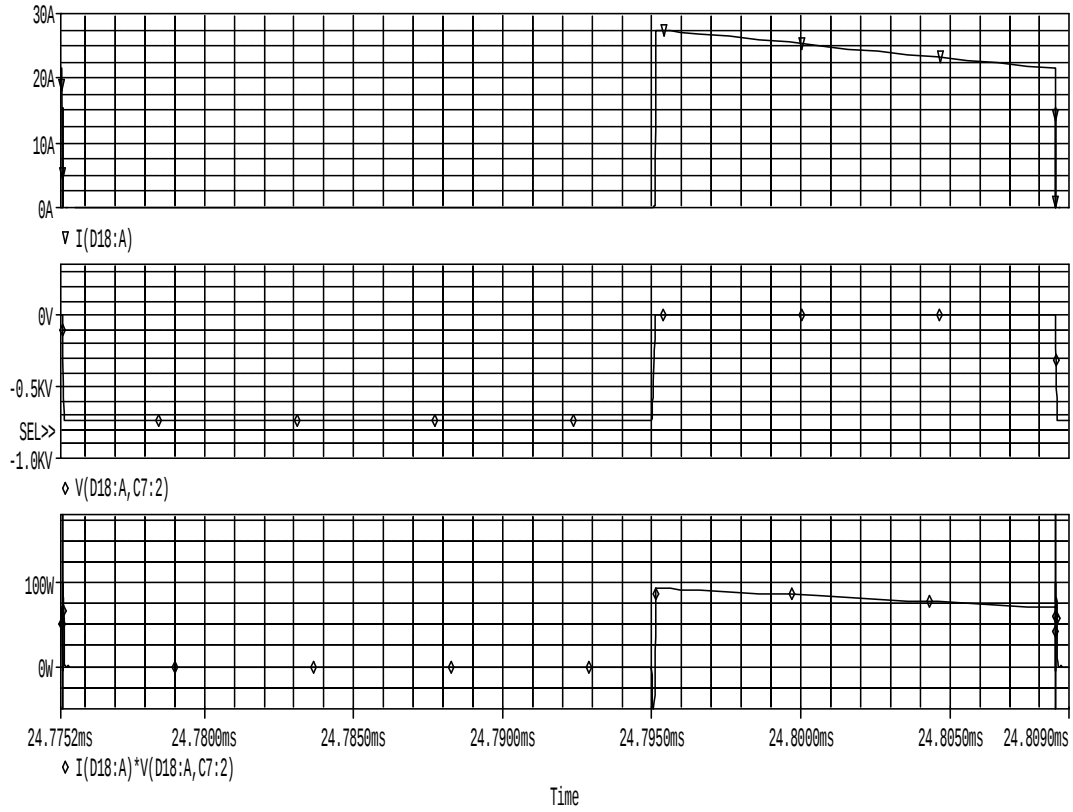
Şekil 4.2. Klasik yükselten devrenin tipik çalışmasını gösterir dalga biçimleri; (yukarıda aşağıya) (a) endüktör akımı, (b) anahtar akımı, (c) anahtar gerilimi, (d) diyot akımı

Şekil 4.3'de anahtar akımı, gerilimi ve bir periyot boyunca anahtarın anlık güç değişimi gösterilmektedir.



Şekil 4.3. IGBT elemanın anlık akım, gerilim ve güç değişimi

Şekil 4.4'de de diyot için akım, gerilim ve güç değişimi gösterilmektedir.

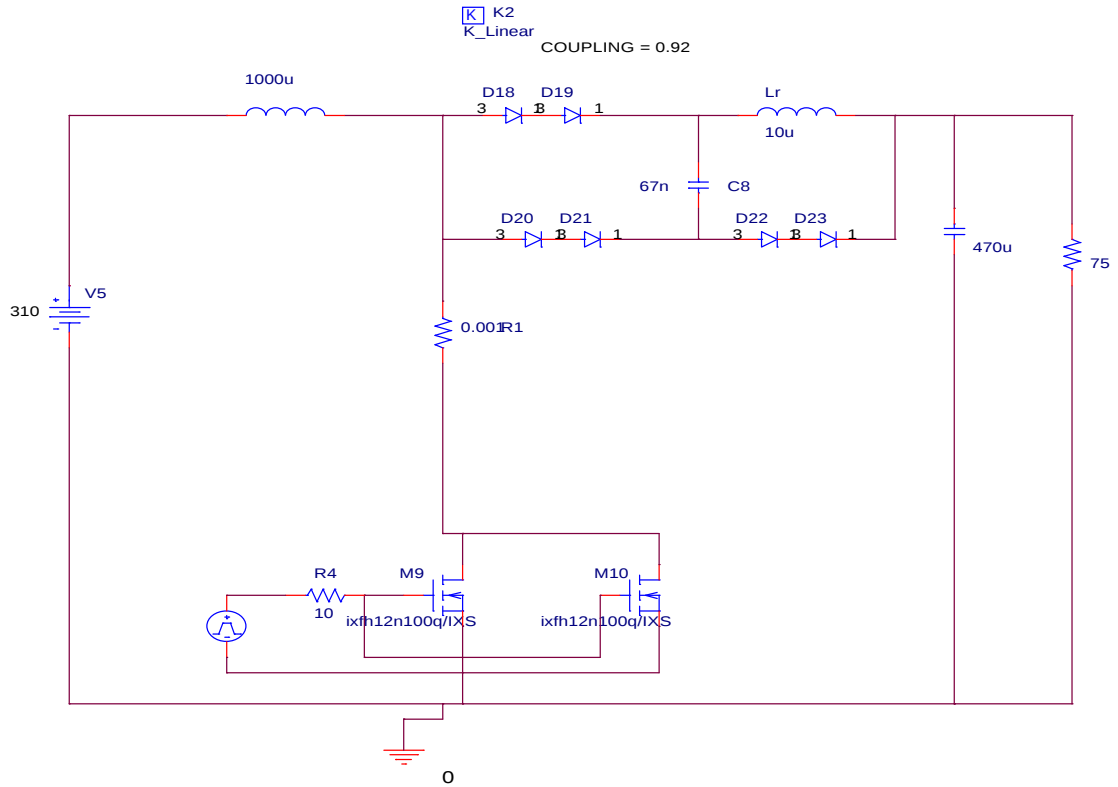


Şekil 4.4. Diyot elemanın anlık akım, gerilim ve güç değişimi

Yapılan benzetim çalışmasında anahtarın güç kaybı 240 W, diyot güç kaybı da 32.84 W olarak hesaplanmıştır. Simülatörde kullanılan diğer elemanlarda da kayıplı modelleme var olduğundan devrenin toplam kaybı daha yüksektir. Dolayısıyla devrenin verimini hesaplamak için giriş ve çıkış güçlerine bakmak gereklidir. Bu güçler ölçüldüğünde giriş gücü 8308 W, çıkış gücü 7496 W, devrenin verimi de %90.2 olarak bulunmuştur.

4.2. Yumuşak Anahtarlama, Yüzen Kapasitörlü Boost Dönüştürücü Devre Simülasyonları

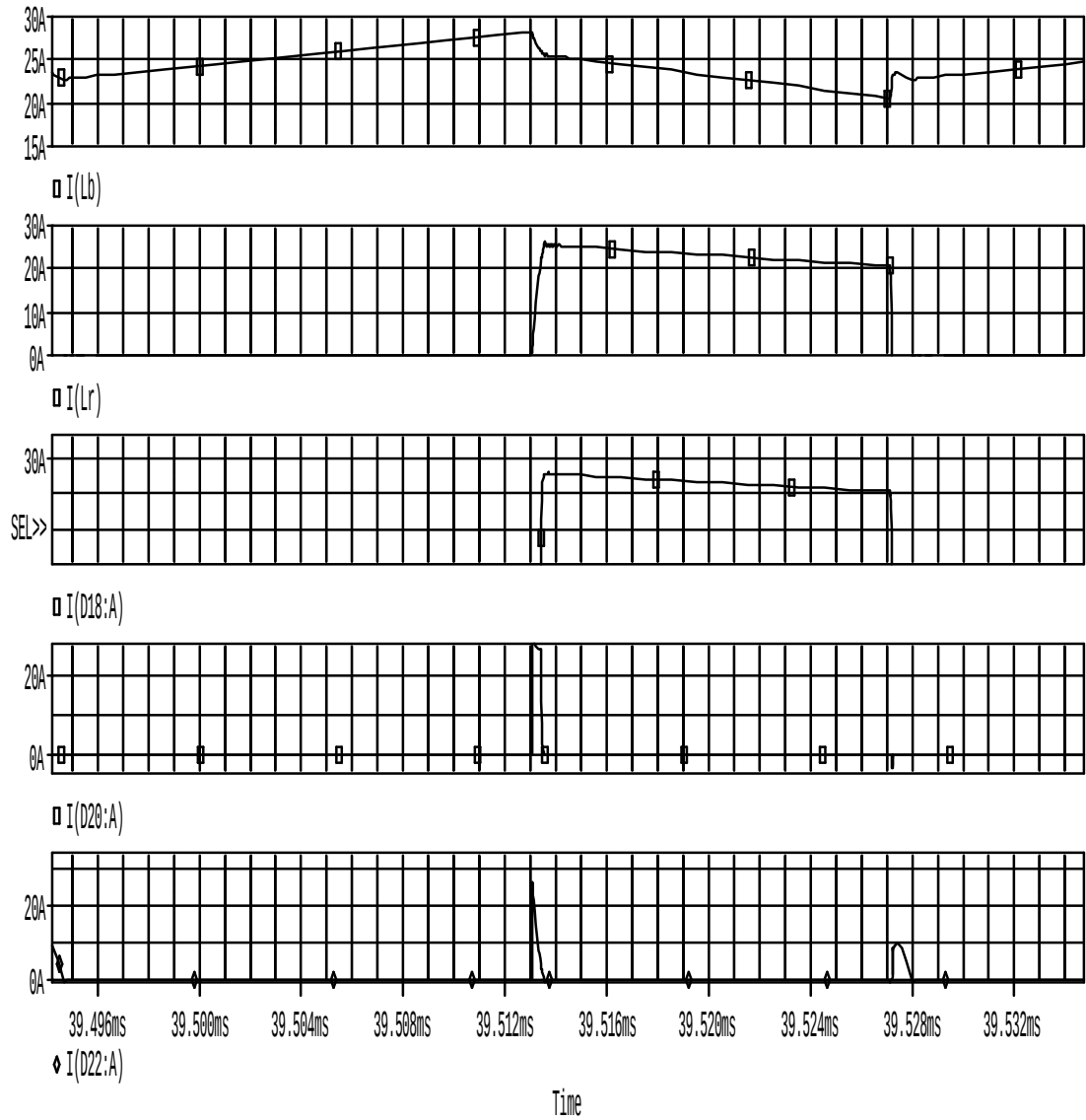
Önerilen yumuşak anahtarlama sistemi için benzetim çalışmalarında kullanılan devre Şekil 4.5’de gösterilmektedir.



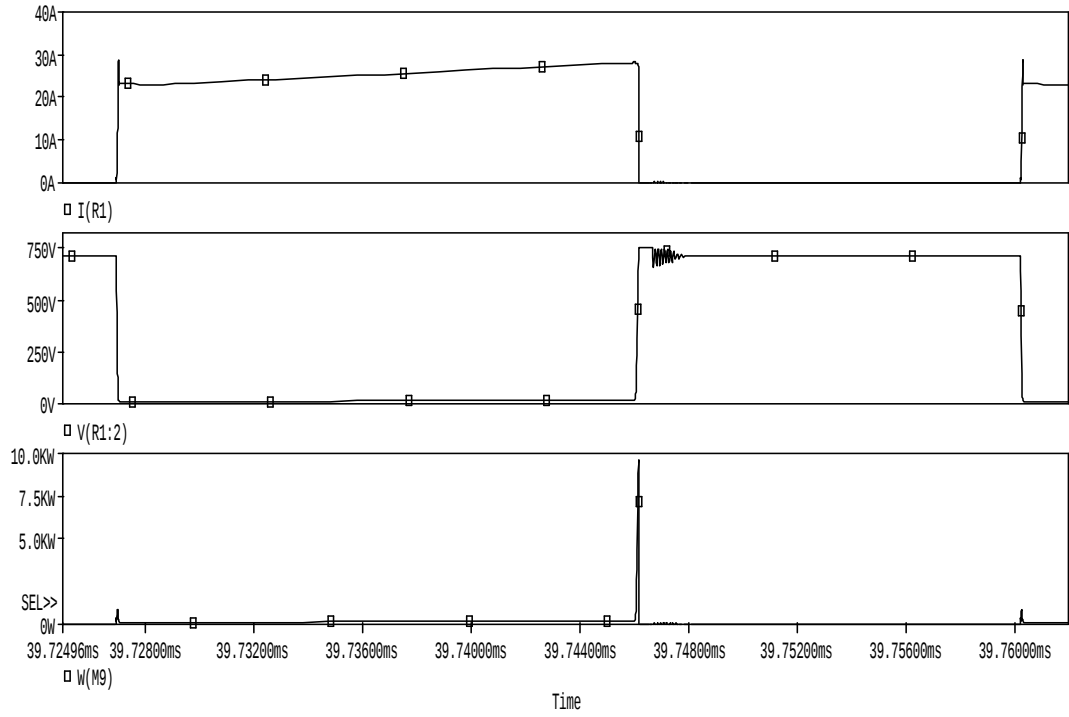
Şekil 4.5. Benzetim çalışmalarında kullanılan yükselten devre

Yumuşak anahtarlama devre de aynı elemanlar kullanılarak ORCAD programında simüle edilmiştir. Bu devrede ana endüktörle 0.92 katsayısıyla bağlaşımlı 10 μ H değerinde ikinci bir endüktör, ve 67 μ F değerinde bir kapasitör kullanılmıştır.

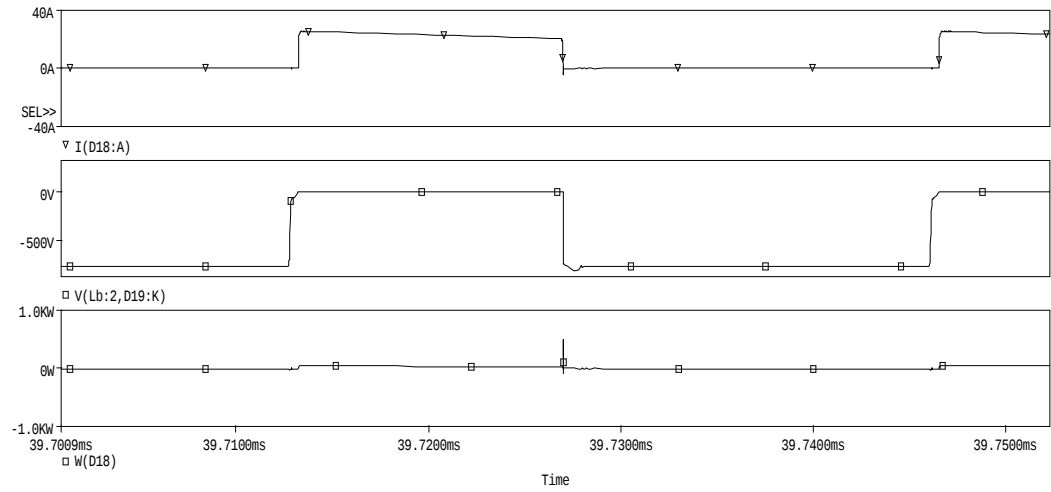
Şekil 4.6'da devrenin tipik çalışması gösterilmektedir. Bu dalga biçimlerinden diyot akımlarındaki ters toparlanmanın daha yumuşak bir hale geldiği görülmektedir. Şekil 4.7-Şekil 4.10 arasında devrenin çalışmasını göstermek amacıyla değişik dalga biçimleri sunulmaktadır.



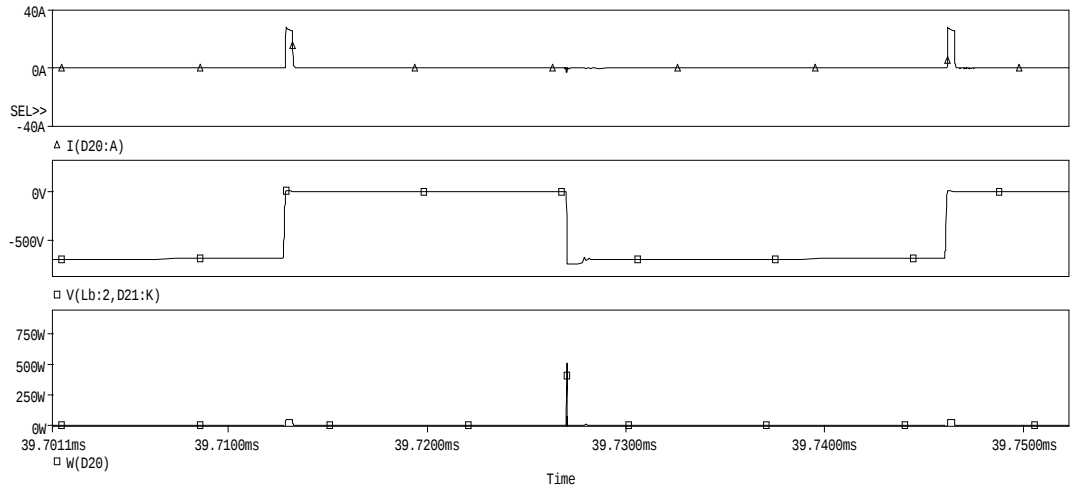
Şekil 4.6. Yumuşak anahtarlama devrenin çalışması: (yukarıdan aşağıya)
 (a) ana endüktör akımı, (b) bağlaşımlı endüktör akımı, (c) ana diyot akımı, (d) ek diyot akımı (Dc) (e) ek diyot akımı /Dr)



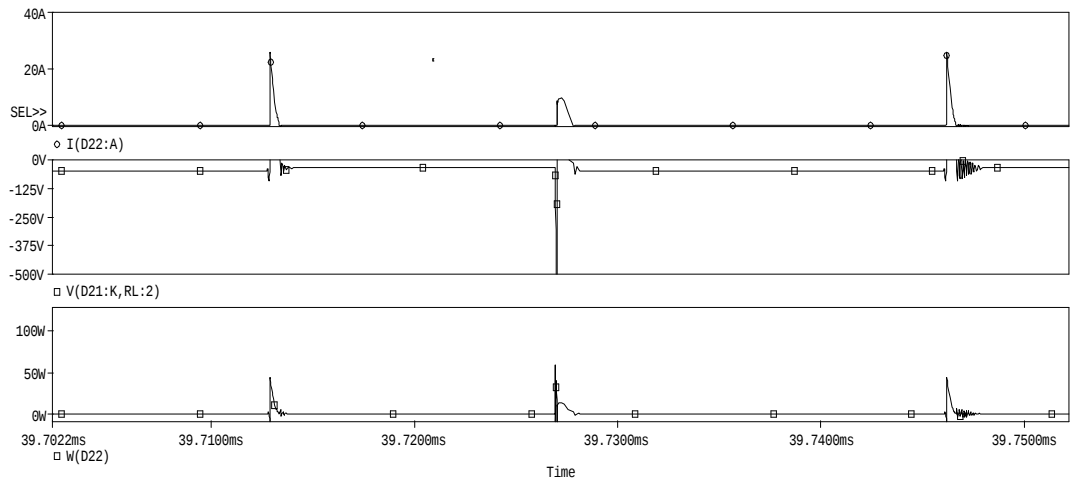
Şekil 4.7. Anahtar akımı, gerilimi ve gücü (paralel anahtarlardan biri)



Şekil 4.8. Ana diyot akım, gerilim ve güç kaybı (diyotlardan bir tanesinin güç kaybı)



Şekil 4.9. Dc diyoduna ait akım, gerilim ve güç kaybı (diyotlardan birinin güç kaybı)



Şekil 4.10. Dr diyoduna ait akım, gerilim ve güç kaybı (diyotlardan birinin güç kaybı)

Yapılan benzetim çalışmasında, yaklaşık 7500 W çıkış gücü için yarıiletken elemanlardaki kayıplar şu biçimde hesaplanmıştır:

Anahtarın güç kaybı: 219.17 W; D1: 31.41 W; Dc: 1.02 W; Dr: 1 W

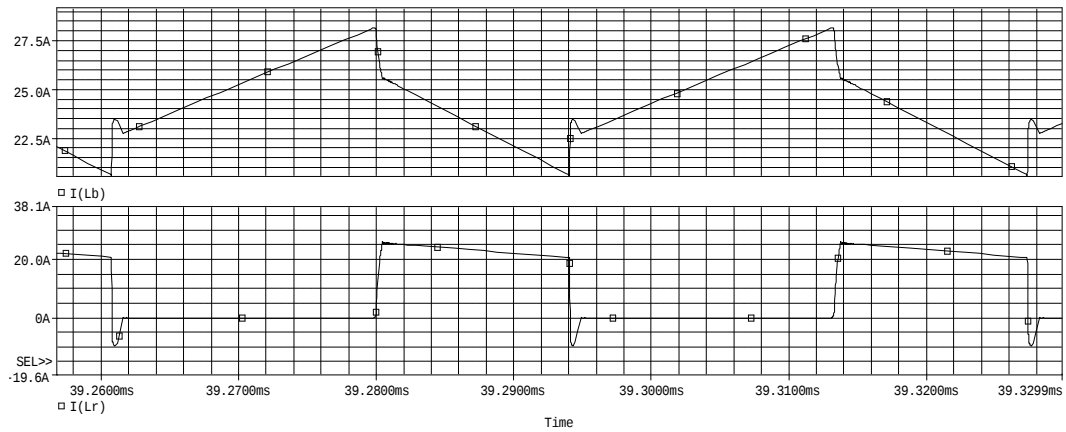
Toplam güç kaybı 252.29 W olmuştur. Bu değer, sert anahtarlama dönüştürücüde 272.84 W olarak hesaplanmıştır. Benzer biçimde devrenin giriş ve çıkış güçleri 7587 W ve 7423 W olarak ölçülmüştür ve bu %97 verime karşılık düşmektedir. Verimdeki artış miktarı ile yarıiletken kayıplarındaki

azalma miktarları aynı oranda bulunmamış olmakla birlikte, devrenin üstünlüğü yine de belirgindir.

4.3. Devrenin Çalışmasına İlişkin Notlar

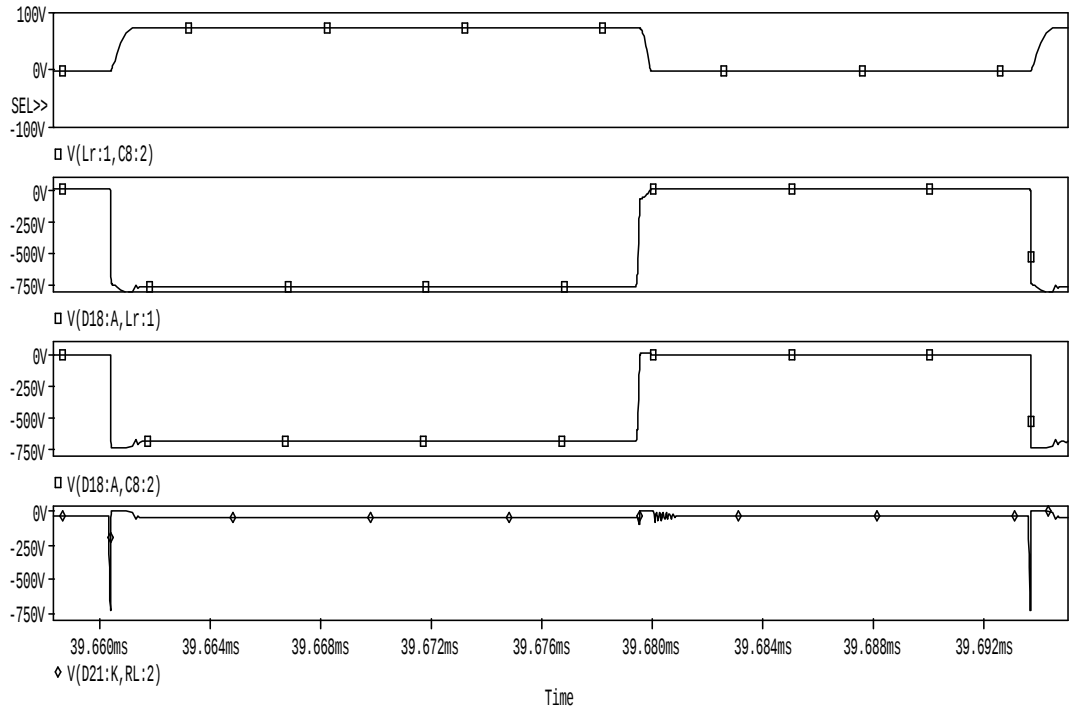
Bu alt bölümde yumuşak anahtarlama, yüzen kondansatörlü devrenin çalışmasına etki eden bazı etkenler üzerinde durulacak ve devrenin bazı özellikleri vurgulanacaktır.

Şekil 4.11'de, endüktör akımları görülmektedir. Bağlaşım nedeniyle endüktör akımındaki dalgalanmanın arttığı görülmektedir.



Şekil 4.11. Endüktör akımları

Şekil 4.12'de, yukarıda belirtilen koşullarda yapılan benzetim sonucunda elde edilen diyot gerilimleri verilmektedir. Her üç diyotta da, rezonans geçiş sırasında geçici aşırı gerilimler oluşmaktadır. Şekil 4.12'de ayrıca rezonans kondansatöründe oluşan gerilim değişimi de gösterilmektedir.



Şekil 4.12. (yukarıdan aşağıya) (a) rezonans kondansatörü değeri, (b) Db diyodunun gerilimi, (c) Dc diyodunun gerilimi, (d) Dr diyodunun gerilimi

Devrede kullanılan endüktörler arasındaki bağlaşım katsayısına ve endüktörlerin sarım sayılarının oranının çalışma etkilerini görmek için bazı çalışmalar yapılmıştır.

İlk olarak, endüktörlerin değerleri sabit tutularak, bağlaşım katsayısı 0.85 ile 0.95 arasında değiştirilerek diyot tepe gerilimleri ve akım dalgalanma değerleri ölçülmüş, bu değerlerde dikkate değer bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir.

İkinci olarak, ana endüktör değeri 1 mH değerinde sabit tutularak rezonans endüktörünün değeri 5-15 μ H arasında değiştirilmiştir. Benzetim çalışmaları sonucunda elde edilen değerler Çizelge 4.1'de gösterilmektedir. Sonuçlar, rezonans endüktörünün değerindeki artışın yarıiletken elemanlar üzerindeki gerilimi arttırdığını göstermektedir. Dolayısıyla, daha verimli bir çalışma elde edebilmek amacıyla bu endüktörün değerini yükseltmek uygun bir çözüm

olmayabilir; yarıiletken üzerindeki gerilimler, devredeki parazitik endüktörlerin de etkisiyle, kırılma değerinin üzerine çıkabilir.

Çizelge 4.1. Endüktör değerindeki değişimin çalışma parametrelerine etkisi

L_r (μH)	5	10	15
I_{pp} (Akım dalgalanması) (A)	6.98	7.51	7.82
V_c (Kondansatör tepe gerilimi) (V)	59.9	74.1	81
V_{Db} (Db tepe gerilimi) (V)	784	801	822
V_{Dc} (Dc tepe gerilimi) (V)	728	737	745
V_{Dr} (Dr tepe gerilimi) (V)	625	723	738

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Önceki bölümlerde tanıtılan ve benzetim çalışmalarının sonuçları verilen yumuşak anahtarlama, yüzen kondansatörlü yükselten dc-dc dönüştürücü, bir prototipi gerçekleştirilerek laboratuvar ortamında denenmiştir. Bu bölümde, deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Ancak, deneysel çalışmada karşılaşılan bazı zorluklar nedeniyle devre ancak 400 V, 1 A çıkış koşullarında gerçekleştirilebilmiştir.

5.1. Deney Devre Şeması

Deneysel çalışmalarda kullanılan devrenin yapısı, denetim ve güç elemanlarını da gösterecek biçimde, Şekil 5.1'de verilmektedir. Devre, giriş güç katsayısı iyileştirme (PFC) amacıyla kullanılan UC3854 entegresini de içerecek biçimde tasarlanmıştır. Tasarlanan devrenin baskı devresi ve devrede kullanılan yarıiletken malzemelere ilişkin bilgi kağıtları Ekler bölümünde verilmektedir.

Şekil 5.1. Deney devre şeması

5.2. Deney Sonuçları

Şekil 5.2'de devrenin giriş gerilimi ve giriş akımı gösterilmektedir. Bu çalışma sırasında alınan ölçümler şu biçimdedir:

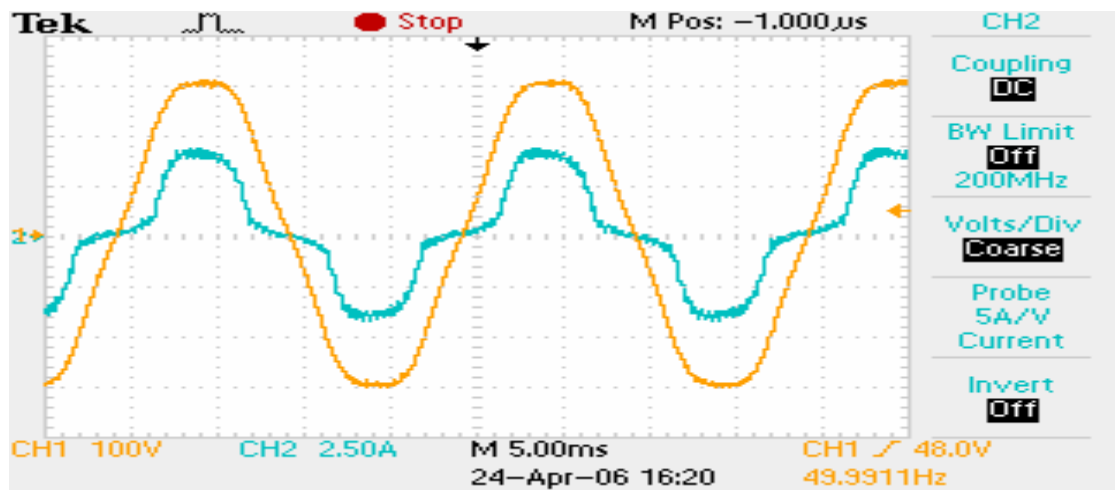
Giriş gücü: 523 W; 174 Var, güç katsayısı (pf) = 0.95, $\phi=18.37^\circ$

Çıkış gücü: 400 V x 1 A = 400 W

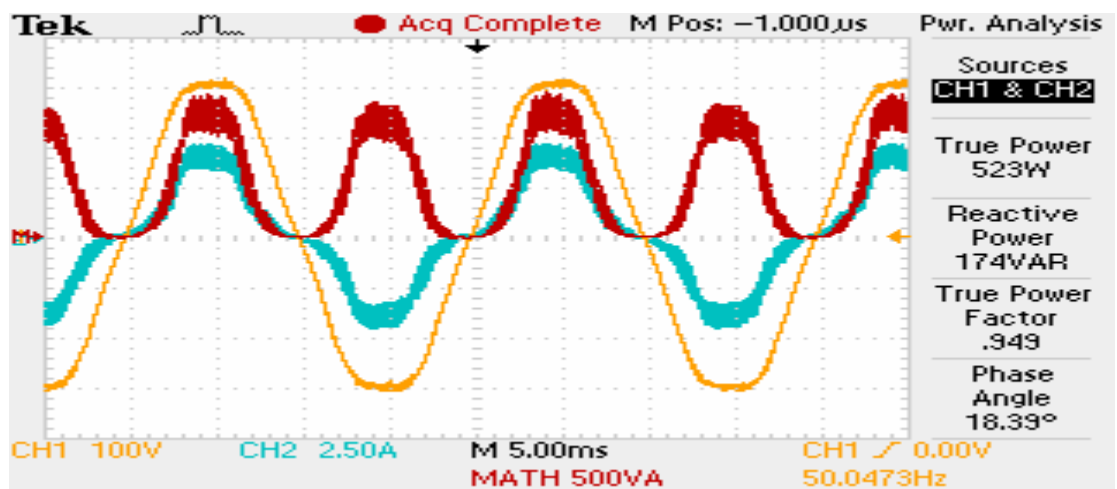
Giriş gerilimi: 225 V, CF (crest factor) = 1.37

Giriş akımı: 2.42 A, CF (crest factor)= 1.73

Verim = %76



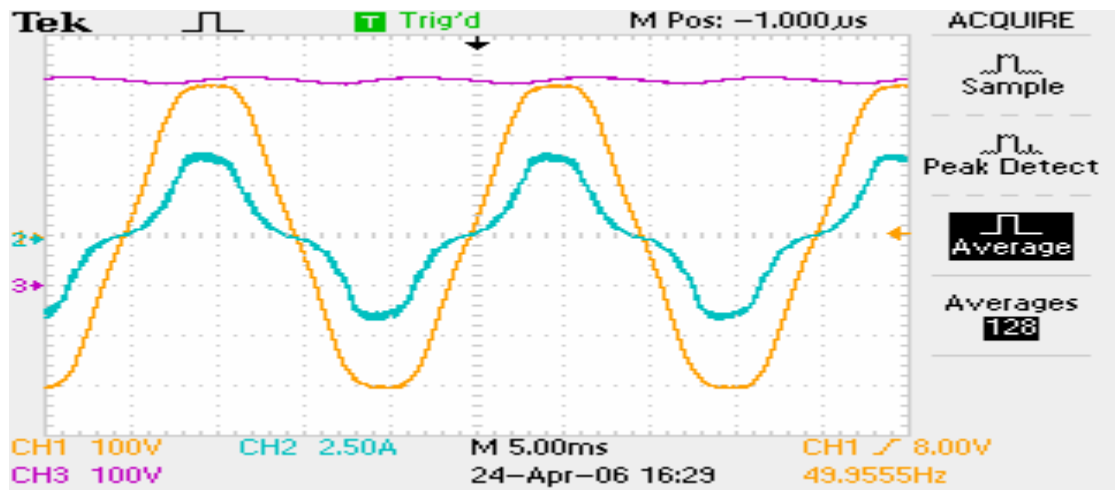
Şekil 5.2. Giriş gerilimi ve giriş akımı



Şekil 5.3. Giriş gerilimi, giriş akımı, giriş gücü

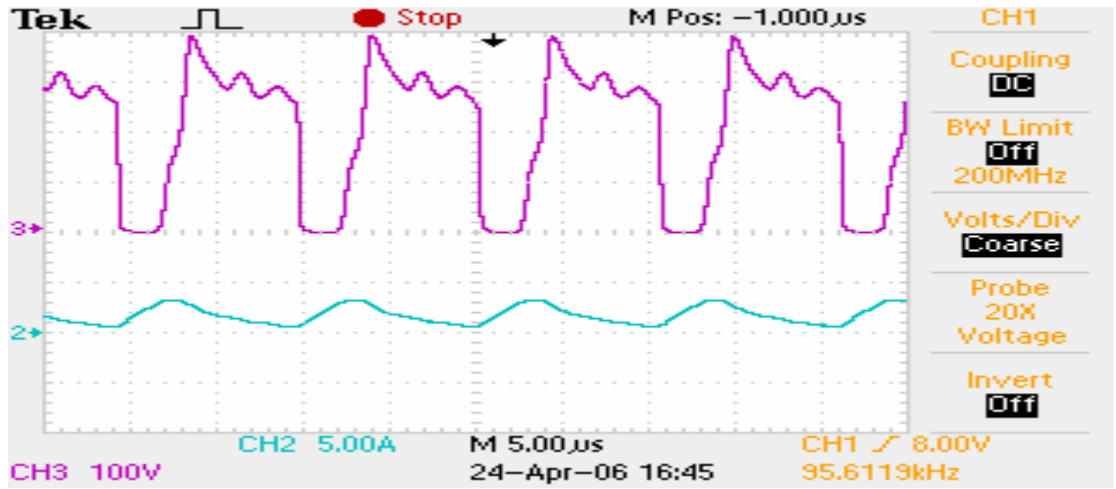
Verimin beklenenin altında kalmasının nedeni, özellikle akım ölçümlerini yapabilmek için uzun telli bağlantılarla yapılan devrede, kaçak endüktanslardan kaynaklanan aşırı gerilimler oluşması, ve manyetik malzemelerin tasarımında optimizasyon yapılmamış olmasıdır.

Şekil 5.3'de giriş akım ve gerilimlerinin yanında giriş gücü de çizdirilmiştir. Şekil 5.4'de giriş gerilimi yanında çıkış gerilimi de eklenmiştir. Çıkış geriliminin çok küçük bir dalgalanmayla 400 V değerinde sabit kaldığı görülmektedir.

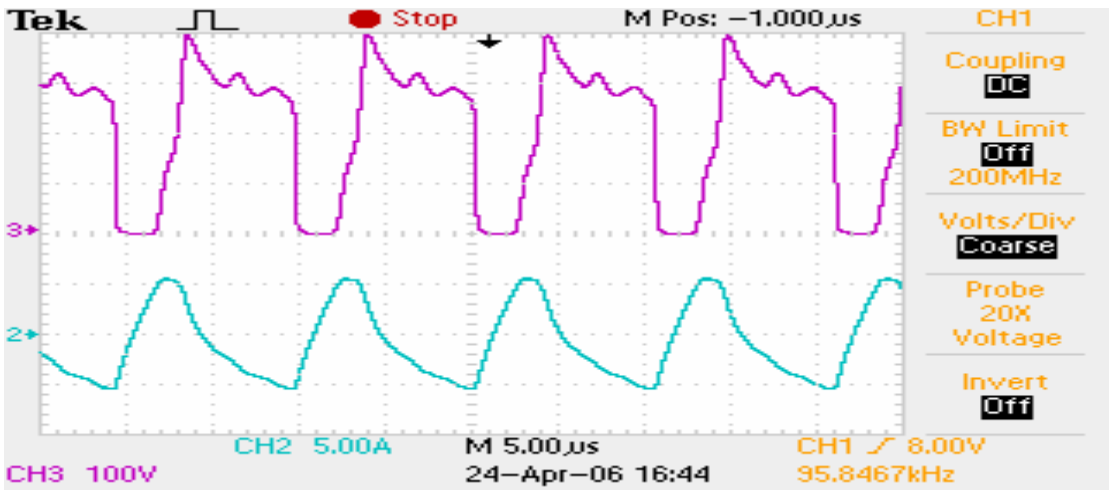


Şekil 5.4. Giriş gerilimi, giriş akımı, çıkış gerilimi

Şekil 5.5, anahtar üzerindeki gerilimi ve ana endüktörün akımını, Şekil 5.6 ise, yine anahtar gerilimi ile rezonans endüktörünün akımını göstermektedir.

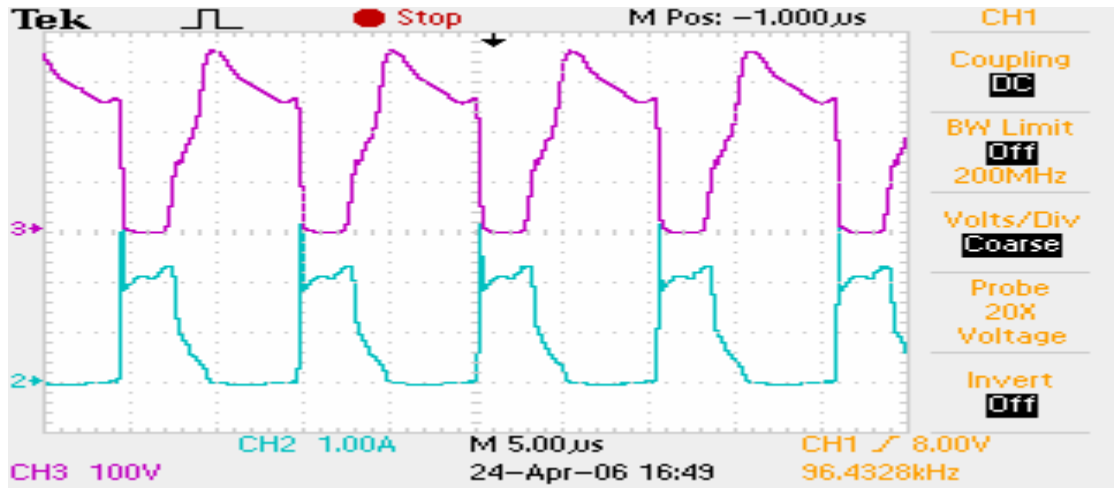


Şekil 5.5. Anahtar gerilimi, Lb akımı

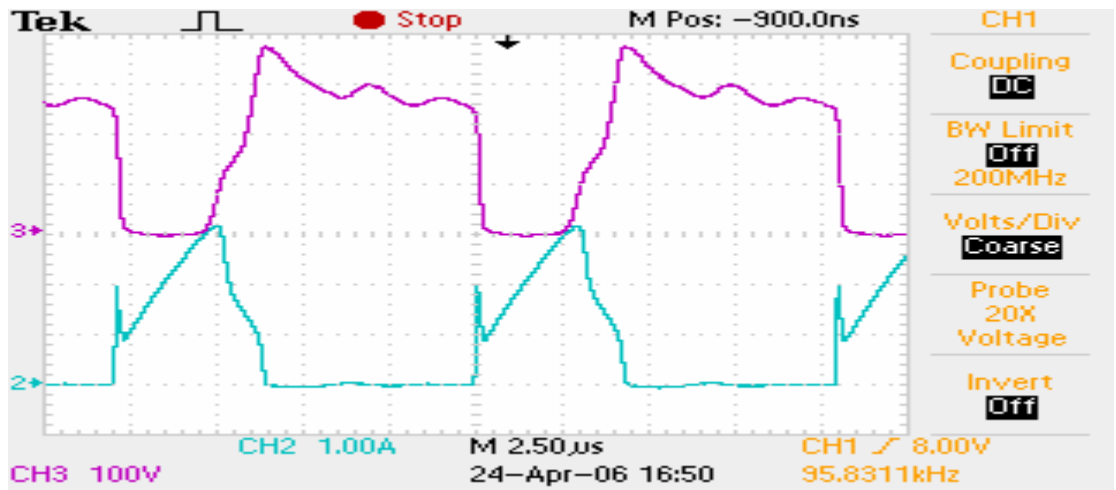


Şekil 5.6. Anahtar gerilimi, Lr akımı

Şekil 5.7 anahtar akım ve gerilimini göstermektedir. Şekil 5.8'de bu işaretler daha ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

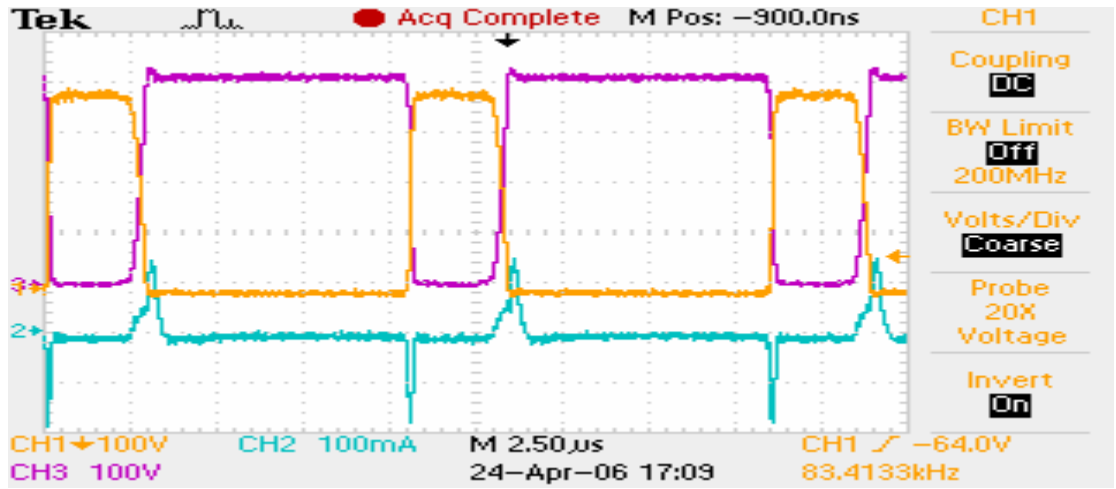


Şekil 5.7. Anahtar gerilimi, anahtar akımı

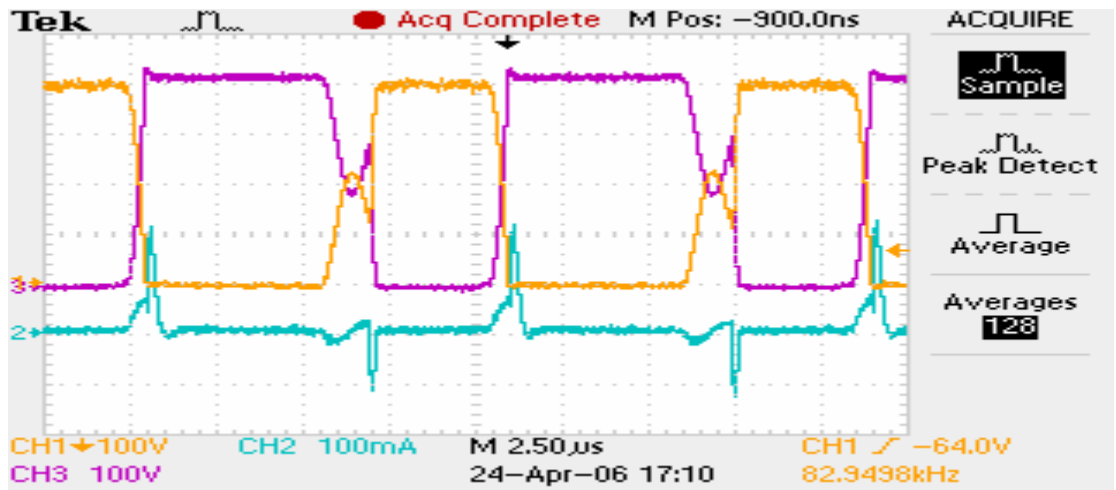


Şekil 5.8. Anahtar gerilimi, anahtar akımı

Şekil 5.9'da yine anahtar gerilimi ile birlikte, rezonans diyodunun akımı ve gerilimi gösterilmektedir. Şekil 5.10'da bu işaretler daha ayrıntılı gösterilmektedir.

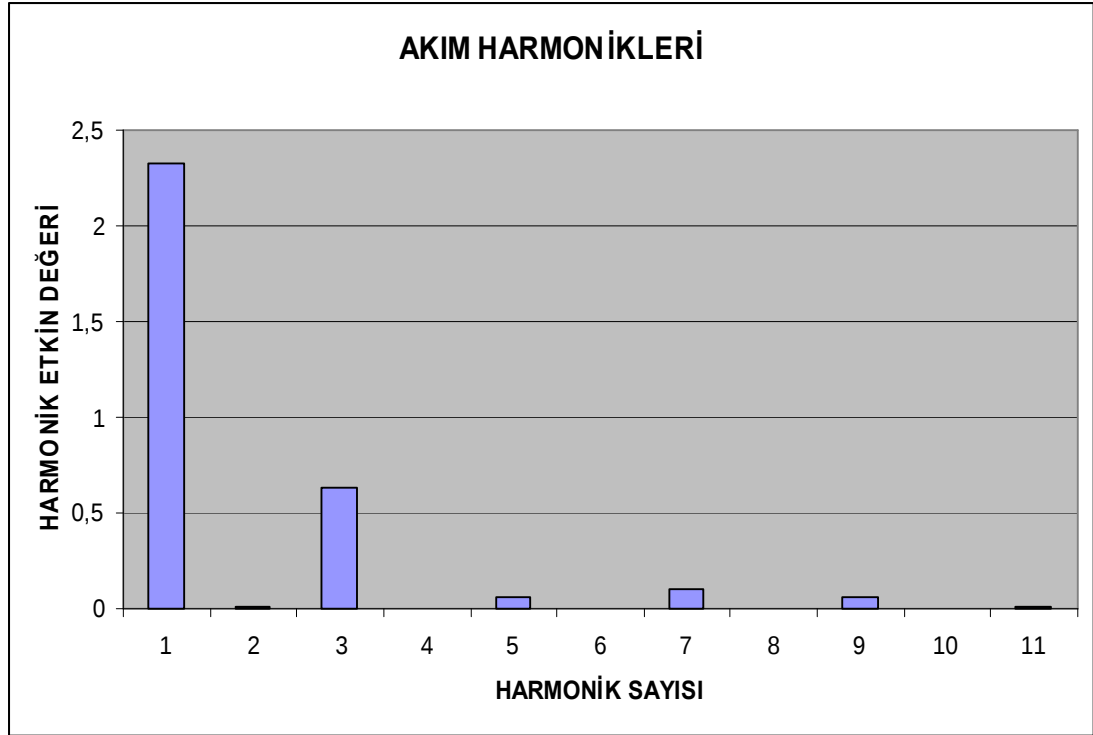


Şekil 5.9. Anahtar gerilimi, diyot gerilimi, diyot akımı

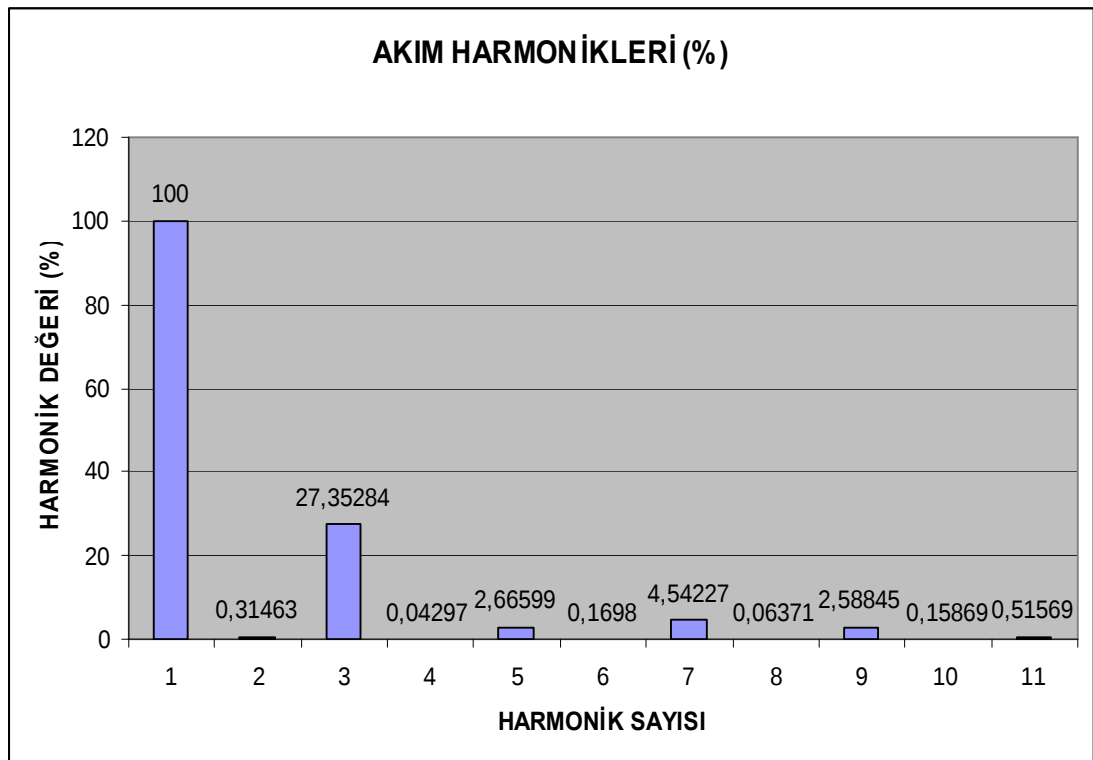


Şekil 5.10. Anahtar gerilimi, diyot gerilimi, diyot akımı

Şekil 5.11-Şekil 5.12’de, giriş akımının harmoniklerine ilişkin değerler verilmektedir. Bu çizimlerin ilkinde değerler amper cinsinden, ikincisinde ise ana harmoniğin yüzdesi cinsinden verilmiştir.



Şekil 5.11. Akım harmonikleri



Şekil 5.12. Akım harmonikleri (%)

6. SONUÇ

Bu çalışmada, yükselten tür dc-dc dönüştürücülerde oluşan kayıpları azaltmak için literatürde önerilmiş olan bir topoloji incelenmiş, hem klasik hem önerilen yumuşak anahtarlama devrenin benzetim çalışmaları yapılarak sonuçlar karşılaştırılmış, hem de önerilen devrenin bir prototipi gerçekleştirilerek devre denenmiştir.

Klasik yapıda özellikle diyot ters toparlanma akımları nedeniyle oluşan kayıpları azaltmak için önerilen yüzer kondansatörlü devrede daha fazla eleman bulunmakla birlikte denetim açısından iki devre arasında bir farklılık yoktur. Yeni devre, yumuşak geçişler nedeniyle daha verimli olmaktadır. Ancak, devrede kullanılan bağlaşımlı endüktörün büyüklüğü diyotlar üzerinde oluşan anlık gerilimi etkilemektedir. Bu nedenle, bu endüktörün değerinin seçimi önemlidir. Geçişleri daha da yumuşatmak için bu endüktörün değerinin arttırılması diyotların aşırı gerilim nedeniyle yanmasına yol açabilir.

Bağlaşımlı endüktörlerin bağlaşım katsayısının gerilimler üzerinde bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Ancak bağlaşımın kötü olması durumunda kayıplarda artış olması ve çevreye gürültü yayılması kaçınılmazdır.

Benzetim çalışmalarında önerilen devrenin verimi arttırdığı açık ve net olarak görülmüştür. Yeni devrede hem yarıiletken elemanların kayıpları hem de diğer devre elemanlarındaki kayıplarda azalma gözlemlenmiştir. Öte yandan, özellikle giriş akımındaki dalgalanmada artış da gözlemlenmiştir.

DeneySEL çalışma, bazı aksaklıklar nedeniyle düşük gerilim ve düşük güçte gerçekleştirilebilmiş, ancak yine de devrenin çalışma ilkeleri gözlemlenebilmiştir.

KAYNAKLAR

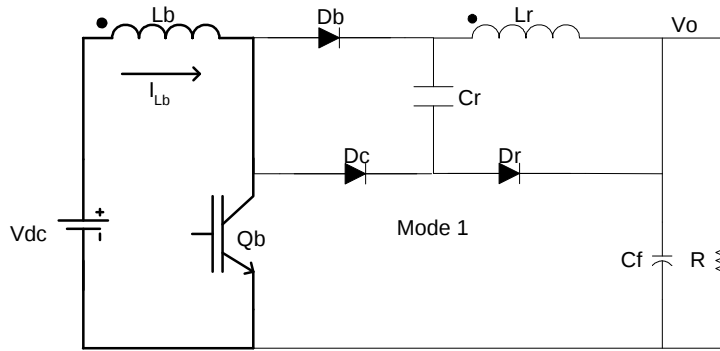
1. M. M. Jovanovic, "A technique for reducing rectifier reverse-recovery related losses in high-voltage, high-power boost converters," in *Proc. IEEE-APEC'97* Annu. Meeting, 1000–1007 (1997)
2. Qun Zhao, Fengfeng Tao, Fred C. Lee, Peng Xu, and Jia Wei, "A Simple and Effective Method to Alleviate the Rectifier Reverse-Recovery Problem in Continuous-Current-Mode Boost Converters," *IEEE Transactions On Power Electronics*, 16 (5): 649-657 (2001)
3. B. T. Irving, J. Yungtaek, and M. M. Jovanovic, "A comparative study of soft-switched CCM boost rectifiers and interleaved variable-frequency DCM boost rectifier," *In Proceedings of APEC 2000*, New Orleans, LA, 6 (10): 171–177 (2000)
4. J. He, "An improved energy recovery soft-switching turn-on/turn-off passive boost snubber with peak voltage clamp," in *Proc. IEEE APEC'00* Annu. Meeting, 699–706 (2000)
5. Jos Antonio Lambert, João Batista Vieira, Jr., Luiz Carlos de Freitas, Lúcio dos Reis Barbosa, and Valdeir José Farias, "A Boost PWM Soft-Single-Switched Converter with Low Voltage and Current Stresses," *IEEE Transactions On Power Electronics*, 13 (1): 26-35 (1998)
6. M. M. Jovanović and Y. Jang, "A new, soft-switching boost converter with isolated active snubber," in *Proc. IEEE-APEC'98* Annu. Meeting, 1084–1090. (1998)
7. C. M. C. Duarte and I. Barbi, "An improved family of ZVS-PWM active clamping DC-to-DC boost converters," in *Proc. IEEE-PESC'98* Annu.Meeting, 669–675 (1998)
8. J. Bassett, "New, zero voltage switching, high frequency boost converter topology for power factor correction," in *Proc. INTELEC'95* Annu. Meeting, 813–820 (1995)
9. G. Moschopoulos, P. Jain, and G. Goos, "Novel zero-voltage switched PWM boost converter," in *Proc. IEEE Annu. Power Electronics Specialists Conf.*, 2: 694–700 (1995)
10. R. Streit and D. Tollik, "High efficiency telecom rectifier using a novel soft-switched boost-based input current shaper," in *Proc. INTELEC'91* Annu.Meeting, 720–726 (1991)
11. I.D.Jitaru, "Soft transitions power factor correction circuit", *Proceedings of High Frequency Power Conversion Conference*, 202-208 (1993)

12. M. T. Aydemir, A. Bendre, G. Venkataramanan, "A Critical Evaluation of High Power Hard and Soft Switched Isolated DC-DC Converters", ***Conference Record of the IEEE Industrial Applications Society Annual Meeting, Pittsburgh***, (2002)
13. G. Venkataramanan, " An Examination of Radiated Electromagnetic Emissions for Soft and Hard Switched Power Converters", ***Conference record of the IEEE Industrial Applications Society Annual Meeting, New Orleans***, (1997)
14. D.M. Divan, G. Venkataramanan and R.W. DeDoncker, "Design Methodologies for Soft Switched Inverters", ***IEEE Transactions on Industry Applications***, 29 (1): 136-140 (1993)

EKLER

EK-1 Durum denklemlerinin değişik modlara göre elde edilmesi

Mod-1



$$V_{dc} = L_B \frac{di_{L_B}}{dt}$$

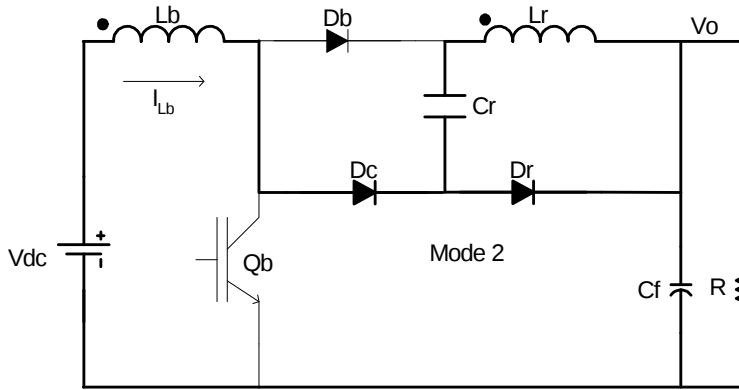
$$\frac{1}{L_B} V_{dc} = \frac{di_{L_B}}{dt}$$

$$\int \frac{1}{L_B} V_{dc} dt = \int di_{L_B}$$

$$\frac{1}{L_B} V_{dc} t_1 + I_0 = I_p$$

EK-1 (Devam) Durum denklemlerinin değişik modlara göre elde edilmesi

Mod-2



$$V_{dc} = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} + M \frac{di_{L_R}}{dt} + V_0 \quad (1.1)$$

$$V_{C_R} = L_R \frac{di_{L_R}}{dt} + M \frac{di_{L_B}}{dt} \quad (1.2)$$

$$V_{dc} = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} + M \frac{di_{L_R}}{dt} + V_0$$

$$\frac{V_{C_R}}{M} - \frac{L_R}{M} \frac{di_{L_R}}{dt} = \frac{di_{L_B}}{dt}$$

$$V_{dc} = L_B \left(\frac{V_{C_R}}{M} - \frac{L_R}{M} \frac{di_{L_R}}{dt} \right) + M \frac{di_{L_R}}{dt} + V_0$$

$$V_{dc} = \frac{L_B}{M} V_{C_R} - \frac{L_B L_R}{M} \frac{di_{L_R}}{dt} + M \frac{di_{L_R}}{dt} + V_0$$

$$V_{dc} - V_0 = \frac{L_B}{M} V_{C_R} + ((M^2 - L_B L_R) / M) \frac{di_{L_R}}{dt}$$

EK-1 (Devam) Durum denklemlerinin değişik modlara göre elde edilmesi

$$(M(V_{dc} - V_o) - L_B V_{C_R}) / (M^2 - L_B L_R) = \frac{di_{L_R}}{dt}$$

$$(k\sqrt{L_B L_R}(V_{dc} - V_o) - L_B V_{C_R}) / (k^2 L_B L_R - L_B L_R) = \frac{di_{L_R}}{dt}$$

$$(k\sqrt{\frac{L_R}{L_B}}(V_{dc} - V_o) - V_{C_R}) / (k^2 L_R - L_R) = \frac{di_{L_R}}{dt}$$

$$(kN_{21}(V_{dc} - V_o) - V_{C_R}) / ((k^2 - 1)L_R) = \frac{di_{L_R}}{dt}$$

$$V_{C_R} - k\frac{N_2}{N_1}(V_{dc} - V_o) = (1 - k^2)L_R \frac{di_{L_R}}{dt}$$

$$-i_{L_R} = C_R \frac{dV_{C_R}}{dt}$$

$$V_{C_R} = L_R \frac{di_{L_R}}{dt} + M \frac{di_{L_B}}{dt} \quad (1.2)$$

$$V_{C_R} = ((V_{C_R} - V_o)kN_{21} - V_{C_R}) / (k^2 - 1) + M \frac{di_{L_B}}{dt}$$

$$(k^2 - 1)V_{C_R} + V_{C_R} - kN_{21}(V_{dc} - V_o) = (k^2 - 1)M \frac{di_{L_B}}{dt}$$

$$k^2 V_{C_R} - k\frac{N_2}{N_1}(V_{dc} - V_o) = (k^2 - 1)k\sqrt{L_B L_R} \frac{di_{L_B}}{dt} \quad \frac{N_2}{N_1} = \sqrt{\frac{L_R}{L_B}}$$

EK-1 (Devam) Durum denklemlerinin değişik modlara göre elde edilmesi

$$k\sqrt{L_B}V_{CR} - \sqrt{L_R}(V_{dc} - V_0) = (k^2 - 1)L_B\sqrt{L_R}\frac{di_{L_B}}{dt}$$

$$k\sqrt{L_B}V_{CR} / ((k^2 - 1)L_B\sqrt{L_R}) - (V_{dc} - V_0)\sqrt{L_R} / ((k^2 - 1)L_B\sqrt{L_R}) = \frac{di_{L_B}}{dt}$$

$$\left[k \frac{N_1}{N_2} V_{CR} - V_{dc} + V_0 \right] / ((k^2 - 1)L_B) = \frac{di_{L_B}}{dt} \quad (1.3)$$

$$\left(k \frac{N_1}{N_2} V_{CR} - V_{dc} + V_0 \right) / ((k^2 - 1)L_B) \int dt = \int di_{L_B}$$

$$(kN_{12}V_{CR} - V_{dc} + V_0)(t_2 - t_1) / ((k^2 - 1)L_B) + I_p = i_{L_B}$$

$$V_{dc} = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} + k\sqrt{L_B L_R} \frac{di_{L_R}}{dt} + V_0$$

$$V_{dc} - V_0 = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} + k\sqrt{L_B L_R} \left[V_{CR} - k \frac{N_2}{N_1} (V_{dc} - V_0) \right] / ((1 - k^2)L_R)$$

$$V_{dc} - V_0 = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} + [k / (1 - k^2)] \sqrt{\frac{L_B}{L_R}} \left[V_{CR} - k \frac{N_2}{N_1} (V_{dc} - V_0) \right]$$

$$V_{dc} - V_0 = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} + [k / (1 - k^2)] \frac{N_1}{N_2} V_{CR} - [k^2 / (1 - k^2)] (V_{dc} - V_0)$$

$$(V_{dc} - V_0)[1 + (k^2 / (1 - k^2))] = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} + [k / (1 - k^2)] \frac{N_1}{N_2} V_{CR}$$

EK-1 (Devam) Durum denklemlerinin değişik modlara göre elde edilmesi

$$(V_{dc} - V_0)(1/(1-k^2)) = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} + [k/(1-k^2)] \frac{N_1}{N_2} V_{CR}$$

$$[(V_{dc} - V_0) - k \frac{N_1}{N_2} V_{CR}] / [L_B (1-k^2)] = \frac{di_{L_B}}{dt} \quad (1.3)$$

Mod-3 :

$$V_{dc} - V_0 = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} + M \frac{di_{L_R}}{dt} \quad (1.4)$$

$$V_0 - V_0 = 0 = L_R \frac{di_{L_R}}{dt} + M \frac{di_{L_B}}{dt} \quad (1.5)$$

$$\frac{di_{L_R}}{dt} = - \frac{M}{L_R} \frac{di_{L_B}}{dt}$$

$$V_{dc} - V_0 = (L_B - \frac{M}{L_R}) \frac{di_{L_B}}{dt} \quad (1.6)$$

$$\frac{di_{L_R}}{dt} = [(V_{dc} - V_0) L_R] (-\frac{M}{L_R}) / (L_B L_R - M) \quad (1.7)$$

$$\frac{di_{L_R}}{dt} = [(V_{dc} - V_0) L_R / ((\sqrt{L_B L_R})(\sqrt{L_B L_R} - k))] [(-k) \sqrt{L_B L_R} / L_R]$$

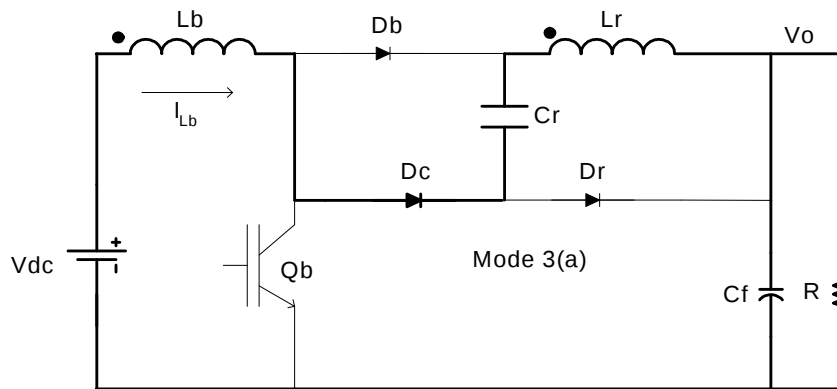
$$(\sqrt{L_B L_R} - k) \frac{di_{L_R}}{dt} = (V_{dc} - V_0)(-k)$$

$$L_R \frac{N_1}{N_2} (1 - \frac{k}{\sqrt{L_B L_R}}) \frac{di_{L_R}}{dt} = (V_{dc} - V_0)(-k)$$

EK-1 (Devam) Durum denklemlerinin değişik modlara göre elde edilmesi

$$L_R \left(1 - \frac{k^2}{M}\right) \frac{di_{L_R}}{dt} = (V_{dc} - V_0)(-k) \frac{N_2}{N_1}$$

Mod-3A



$$i_{L_B} = i_{L_R} = i_{C_R}$$

$$V_{dc} = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} + M \frac{di_{L_B}}{dt} - V_{CR} + L_R \frac{di_{L_B}}{dt} + M \frac{di_{L_B}}{dt} + V_0$$

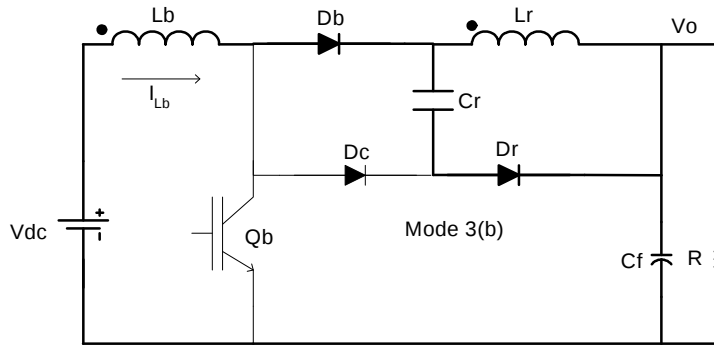
$$V_{dc} + V_{CR} - V_0 = (L_B + 2k \sqrt{L_B L_R} + L_R) \frac{di_{L_B}}{dt}$$

$$\frac{di_{L_B}}{dt} = \frac{di_{L_R}}{dt}$$

$$-i_{L_B} = C_R \frac{dV_{C_R}}{dt}$$

EK-1 (Devam) Durum denklemlerinin değişik modlara göre elde edilmesi

Mod-3B



$$V_{dc} = V_{L_B} + V_0 + V_{L_R} \quad (1.8)$$

$$V_{CR} = V_{L_R} \quad (1.9)$$

$$V_{dc} = V_0 + L_B \frac{di_{L_B}}{dt} + M \frac{di_{L_R}}{dt} + L_R \frac{di_{L_R}}{dt} + M \frac{di_{L_B}}{dt} \quad (1.10)$$

Eş.1.8 'den elde edildi

$$V_{CR} = L_R \frac{di_{L_R}}{dt} + M \frac{di_{L_B}}{dt} \quad \text{Eş.1.9'dan elde edildi} \quad (1.11)$$

Eş.1.11'den $\frac{di_{L_R}}{dt}$ 'yi çekip Eş.1.10'da yerine koyarsak;

$$\frac{di_{L_R}}{dt} = (V_{CR} - k \sqrt{L_B L_R} \frac{di_{L_B}}{dt}) / L_R$$

$$V_{dc} - V_0 = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} + k \sqrt{L_B L_R} \frac{di_{L_B}}{dt} + k \sqrt{L_B L_R} (V_{CR} - k \sqrt{L_B L_R} \frac{di_{L_B}}{dt}) / L_R + \frac{L_R}{L_R} (V_{CR} -$$

$$k \sqrt{L_B L_R} \frac{di_{L_B}}{dt})$$

EK-1 (Devam) Durum denklemlerinin değişik modlara göre elde edilmesi

$$V_{dc} - V_0 = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} + k \sqrt{L_B L_R} \frac{di_{L_B}}{dt} + k \frac{\sqrt{L_B}}{\sqrt{L_R}} V_{CR} - k^2 L_B \frac{di_{L_B}}{dt} + V_{CR} - k \sqrt{L_B L_R} \frac{di_{L_B}}{dt}$$

$$V_{dc} - V_0 - (\sqrt{L_R} + k \sqrt{L_B}) V_{CR} / \sqrt{L_R} = (L_B + k \sqrt{L_B L_R} - k \sqrt{L_B L_R} - k^2 L_B) \frac{di_{L_B}}{dt}$$

$$V_{dc} - V_0 - (\sqrt{L_R} + k \sqrt{L_B}) V_{CR} / \sqrt{L_R} = L_B (1 - k^2) \frac{di_{L_B}}{dt} \quad (1.12)$$

$$V_{CR} = L_R \frac{di_{L_R}}{dt} + k \sqrt{L_B L_R} [V_{dc} - V_0 - (\sqrt{L_R} + k \sqrt{L_B}) V_{CR} / \sqrt{L_R}] / (L_B (1 - k^2))$$

$$V_{CR} = L_R \frac{di_{L_R}}{dt} + [k / (1 - k^2)] \sqrt{\frac{L_R}{L_B}} [V_{dc} - V_0 - (\sqrt{L_R} + k \sqrt{L_B}) V_{CR} / \sqrt{L_R}]$$

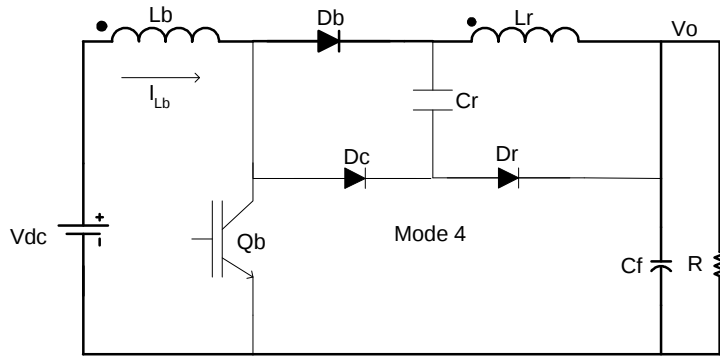
$$V_{CR} = L_R \frac{di_{L_R}}{dt} + [k N_{21} (V_{dc} - V_0) / (1 - k^2)] + [k / (1 - k^2)] [(\sqrt{L_R} + k \sqrt{L_B}) V_{CR} / \sqrt{L_B}]$$

$$L_R \frac{di_{L_R}}{dt} = V_{CR} [((1 - k^2) \sqrt{L_B} + k \sqrt{L_R} + k^2 \sqrt{L_B}) / ((1 - k^2) \sqrt{L_B})] - [k N_{21} (V_{dc} - V_0) / (1 - k^2)]$$

$$V_{CR} (1 + k N_{21}) - k N_{21} (V_{dc} - V_0) = L_R (1 - k^2) \frac{di_{L_R}}{dt} \quad (1.13)$$

EK-1 (Devam) Durum denklemlerinin değişik modlara göre elde edilmesi

Mod-4



$$V_{dc} = V_{L_B} + V_0 + V_{L_R} \quad (1.14)$$

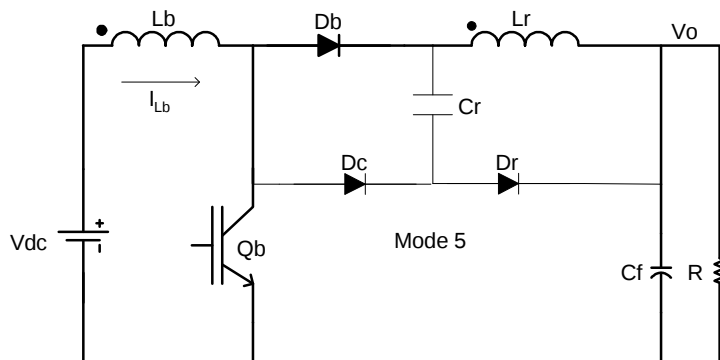
$$i_{L_B} = i_{L_R} \quad (1.15)$$

Eş.1.14 ve Eş.1.15'den

$$V_{dc} - V_0 = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} + M \frac{di_{L_R}}{dt} + L_R \frac{di_{L_B}}{dt} + M \frac{di_{L_B}}{dt}$$

$$V_{dc} - V_0 = [(L_B + 2k\sqrt{L_B L_R} + L_R) \frac{di_{L_B}}{dt}] \quad (1.16)$$

Mod-5



EK-1 (Devam) Durum denklemlerinin değişik modlara göre elde edilmesi

$$V_{dc} = V_{L_B} \quad (1.17)$$

$$V_{dc} = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} + M \frac{di_{L_R}}{dt}$$

$$V_{L_R} = -V_0 \quad (1.18)$$

$$L_R \frac{di_{L_R}}{dt} + M \frac{di_{L_B}}{dt} = -V_0$$

$$\frac{di_{L_R}}{dt} = (-V_0 - M \frac{di_{L_B}}{dt}) / L_R$$

$$V_{dc} = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} + [(k \sqrt{L_B L_R}) / L_R] [-V_0 - k \sqrt{L_B L_R} \frac{di_{L_B}}{dt}]$$

$$V_{dc} = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} + k (-V_0) \sqrt{\frac{L_B}{L_R}} - k^2 \sqrt{\frac{L_B}{L_R}} \sqrt{L_B L_R} \frac{di_{L_B}}{dt}$$

$$V_{dc} = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} (1 - k^2) + k (-V_0) \sqrt{\frac{L_B}{L_R}}$$

$$[(V_{dc} \sqrt{L_R} + k \sqrt{L_B} V_0) / \sqrt{L_R}] = (1 - k^2) L_B \frac{di_{L_B}}{dt}$$

$$V_{dc} + k \frac{V_0}{\sqrt{L_R}} = (1 - k^2) L_B \frac{di_{L_B}}{dt} \quad (1.19)$$

$$\frac{di_{L_B}}{dt} = (-V_0 / L_R) - [k \sqrt{L_B L_R} / ((1 - k^2) L_B L_R)] [V_{dc} + k \sqrt{\frac{L_B}{L_R}} V_0]$$

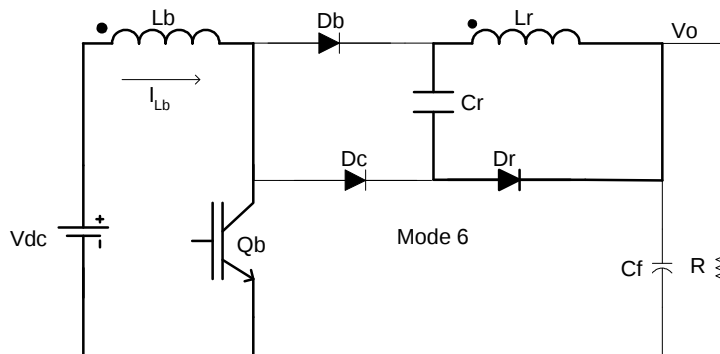
EK-1 (Devam) Durum denklemlerinin değişik modlara göre elde edilmesi

$$L_R \frac{di_{L_R}}{dt} = -V_0 - [k \sqrt{L_R} V_{dc} / ((1-k^2) \sqrt{L_B})] - [(k^2 \sqrt{L_R} \sqrt{L_B} V_0) / ((1-k^2) \sqrt{L_R} \sqrt{L_B})]$$

$$L_R \frac{di_{L_R}}{dt} = [(k^2 - 1 - k^2) V_0 / (1 - k^2)] - [k N_{21} V_{dc} / (1 - k^2)]$$

$$(1 - k^2) L_R \frac{di_{L_R}}{dt} = -V_0 - k \frac{N_2}{N_1} V_{dc} \quad (1.20)$$

Mod-6



$$V_{dc} = V_{L_B}$$

$$V_{dc} = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} + M \frac{di_{L_R}}{dt} \quad (1.21)$$

$$V_{CR} = V_{L_R}$$

$$V_{CR} = L_R \frac{di_{L_R}}{dt} + M \frac{di_{L_B}}{dt} \quad (1.22)$$

EK-1 (Devam) Durum denklemlerinin değişik modlara göre elde edilmesi

Eş.,1.22'de $\frac{di_{L_B}}{dt}$ 'yi çekerek Eş.1.21'de yerine koyarsak;

$$[(V_{CR} - L_R \frac{di_{L_R}}{dt}) / (k \sqrt{L_B L_R})] = \frac{di_{L_R}}{dt}$$

$$V_{dc} = [L_B / (k \sqrt{L_B L_R})] [V_{CR} - L_R \frac{di_{L_R}}{dt}] + (k \sqrt{L_B L_R}) \frac{di_{L_R}}{dt}$$

$$k \sqrt{L_B L_R} V_{dc} = L_B V_{CR} - L_B L_R \frac{di_{L_R}}{dt} + k^2 L_B L_R \frac{di_{L_R}}{dt}$$

$$(k \sqrt{L_B L_R} V_{dc} / L_B) - V_{CR} = [-L_B L_R (1 - k^2) / L_B] \frac{di_{L_R}}{dt}$$

$$V_{CR} - k \frac{N_2}{N_1} V_{dc} = L_R (1 - k^2) \frac{di_{L_R}}{dt} \quad (1.23)$$

$$-i_{L_R} = C_R \frac{dV_{C_R}}{dt} \quad (1.24)$$

EK-2 Dinamik denklemlerin çeşitli modlara göre elde edilişi

Mod-1

$$V_{dc} = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} \quad (2.1)$$

$$i_{L_R}(t) = 0 \quad (2.2)$$

$$V_{CR}(t) = V_{CR}(t_0) = 100V \quad (2.3)$$

$$\frac{V_{dc}}{L_B} \int dt = \int di_{L_B}$$

$$i_{L_B}(t) = i_{L_B}(0) + \frac{V_{dc}}{L_B} t$$

Eş.2.1 sonundaki akım ve voltaj değerleri;

$$i_{L_R}(t_1) = 0$$

$$V_{CR}(t_1) = V_{CR}(t_0) = 100V$$

$$i_{L_B}(t_1) = i_{L_B}(0) + \frac{V_{dc}}{L_B} t_1$$

Mod-2

$$V_{dc} = V_{LB} + V_0 \quad (2.4)$$

$$V_{C_R} = V_{L_R} \quad (2.5)$$

$$V_{L_B} = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} + M \frac{di_{L_R}}{dt} \quad (2.6)$$

$$V_{L_R} = L_R \frac{di_{L_R}}{dt} + M \frac{di_{L_B}}{dt} \quad (2.7)$$

EK-2 (Devam) Dinamik denklemlerin çeşitli modlara göre elde edilişi

$$-i_{L_R} = C_R \frac{dV_{C_R}}{dt} \quad (2.8)$$

Eş.2.4, Eş.2.6 ve Eş.2.8 no'lu eşitliklerden;

$$V_{dc} - V_0 = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} - M C_R \frac{d^2 V_{C_R}}{dt^2}$$

$$[(V_{dc} - V_0 + M C_R \frac{d^2 V_{C_R}}{dt^2}) / L_B] = \frac{di_{L_B}}{dt} \quad (2.9)$$

Eş.2.5, Eş.2.7, Eş.2.8 ve Eş.2.9 no'lu eşitliklerden;

$$V_{C_R} = -L_R C_R \frac{d^2 V_{C_R}}{dt^2} + \frac{M}{L_B} (V_{dc} - V_0 + M C_R \frac{d^2 V_{C_R}}{dt^2})$$

$$\frac{L_B}{M} V_{C_R} = -L_R \frac{L_B}{M} C_R \frac{d^2 V_{C_R}}{dt^2} + (V_{dc} - V_0 + M C_R \frac{d^2 V_{C_R}}{dt^2})$$

$$V_{dc} - V_0 = [(L_R C_R L_B - M^2 C_R) / M] \frac{d^2 V_{C_R}}{dt^2} + \frac{L_B}{M} V_{C_R}$$

$$\frac{d^2 V_{C_R}}{dt^2} + L_B V_{C_R} / [C_R (L_R L_B - M^2)] = (V_{dc} - V_0) M / [C_R (L_R L_B - M^2)]$$

$$\frac{d^2 V_{C_R}}{dt^2} + L_B V_{C_R} / [(L_R C_R L_B)(1 - k^2)] = (V_{dc} - V_0) M / [C_R (L_R L_B - M^2)]$$

$$\frac{d^2 V_{C_R}}{dt^2} + V_{C_R} / [L_R C_R (1 - k^2)] = (V_{dc} - V_0) k / [C_R \sqrt{L_B L_R} (1 - k^2)] \quad (2.10)$$

EK-2 (Devam) Dinamik denklemlerin çeşitli modlara göre elde edilişi

$$V_{CR} - k \frac{N_2}{N_1} (V_{dc} - V_0) = L_R (1 - k^2) \frac{di_{L_R}}{dt}$$

$$\frac{di_{L_R}}{dt} = i_{L_R} = -C \frac{dV_{CR}}{dt}$$

$$V_{CR} - k \frac{N_2}{N_1} (V_{dc} - V_0) + L_R (1 - k^2) C_R \frac{d^2 V_{CR}}{dt^2} = 0$$

$$\frac{d^2 V_{CR}}{dt^2} + [V_{CR} / (L_R (1 - k^2) C_R)] = [k \frac{N_2}{N_1} (V_{dc} - V_0) / (L_R (1 - k^2) C_R)] \quad (2.11)$$

Genel Çözüm

$$[\lambda^2 + w^2 / (1 - k^2)] e^{\lambda t} = 0 \quad (2.12)$$

$$\lambda = \mp jw / \sqrt{(1 - k^2)} \quad w_0 = 1 / (\sqrt{(1 - k^2)} \sqrt{L_R C_R})$$

$$V_{CRh} = A \cos w_0 t + B \sin w_0 t$$

Özel Çözüm

$V_{CRp} = K_0$ olsun.... $V_{CRp}' = V_{CRp}'' = 0$ ve bu değerleri Eş.2.11'de yerine koyarsak;

$$0 + K_0 / (L_R (1 - k^2) C_R) = k \frac{N_2}{N_1} (V_{dc} - V_0) / (L_R (1 - k^2) C_R)$$

EK-2 (Devam) Dinamik denklemlerin çeşitli modlara göre elde edilişi

$$K_0 = k \frac{N_2}{N_1} (V_{dc} - V_0) \quad (2.13)$$

Toplam Çözüm

$$V_{CR}(t) = V_{CRh} + V_{CRp} = A \cos w_0 t + B \sin w_0 t + k \frac{N_2}{N_1} (V_{dc} - V_0) \quad (2.14)$$

$$i_{LR}(t) = -C_R [-A w_0 \sin w_0 t + B w_0 \cos w_0 t] \quad (2.15)$$

Başlangıç değerleri ile A ve B'yi bulalım;

$i_{LR}(0) = 0$ Eş.2.15'de yerine koyarsak;

$$0 = -C_R (0 + B w_0) \quad B = 0 \quad (2.16)$$

$V_{CR}(0) = V_{CR}(t_0)$ Eş.2.14'de yerine koyarsak;

$$V_{CR}(t_0) = A + 0 + k \frac{N_2}{N_1} (V_{dc} - V_0)$$

$$A = V_{CR}(t_0) - k \frac{N_2}{N_1} (V_{dc} - V_0) \quad (2.17)$$

A ve B'yi Eş.2.14 ve Eş.2.15'lerde yerine koyarsak;

$$i_{LR}(t) = C_R [V_{CR}(t_0) - k \frac{N_2}{N_1} (V_{dc} - V_0)] w_0 \sin w_0 t \quad (2.18)$$

EK-2 (Devam) Dinamik denklemlerin çeşitli modlara göre elde edilişi

$$V_{CR}(t) = [V_{CR}(t_0) - k \frac{N_2}{N_1} (V_{dc} - V_0)] \cos w_0 t + k \frac{N_2}{N_1} (V_{dc} - V_0)$$

$$V_{CR}(t) = V_{CR}(t_0) + k \frac{N_2}{N_1} (V_{dc} - V_0) (1 - \cos w_0 t) \quad (2.19)$$

$$i_{L_R}(t_2) = C_R [V_{CR}(t_0) - k \frac{N_2}{N_1} (V_{dc} - V_0)] w_0 \sin w_0 t_2$$

$$V_{CR}(t_2) = V_{CR}(t_0) + k \frac{N_2}{N_1} (V_{dc} - V_0) (1 - \cos w_0 t_2)$$

i_{L_B} akımının bulunabilmesi için Eş.2.4 ve Eş.2.6 no'lu eşitliklerden;

$$V_{dc} - V_0 = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} + M \frac{di_{L_R}}{dt}$$

$$V_{dc} - V_0 - M \frac{di_{L_R}}{dt} = L_B \frac{di_{L_B}}{dt}$$

$$V_{dc} - V_0 - MC_R w_0^2 [V_{CR}(t_0) - k \frac{N_2}{N_1} (V_{dc} - V_0)] \cos w_0 t = L_B \frac{di_{L_B}}{dt}$$

$$V_{dc} - V_0 - MC_R w_0^2 [V_{CR}(t_0) - k \frac{N_2}{N_1} (V_{dc} - V_0)] = @ \text{ olsun.}$$

$$(@ / L_B) \int \cos w_0 t = \int di_{L_B}$$

$$[@ / (L_B w_0)] \sin w_0 t = i_{L_B}(t) - i_{L_B}(t_1)$$

EK-2 (Devam) Dinamik denklemlerin çeşitli modlara göre elde edilişi

$$i_{L_B}(t) = i_{L_B}(t_1) + [\Phi / (L_B \omega_0)] \sin \omega_0 t$$

$$i_{L_B}(t) = i_{L_B}(t_1) + [\Phi / (L_B \omega_0)] [\sin \omega_0 t - \sin \omega_0 t_1] \quad (2.20)$$

t_2 anındaki i_{L_B} değeri;

$$i_{L_B}(t_2) = i_{L_B}(t_1) [\Phi / (L_B \omega_0)] [\sin \omega_0 t_2 - \sin \omega_0 t_1]$$

Mod-3a

$$i_{L_R} = i_{L_B} \quad (2.21)$$

$$V_{dc} - V_0 = V_{LR} + V_{LB} - V_{CR} \quad (2.22)$$

$$V_{LR} = L_R \frac{di_{L_R}}{dt} + M \frac{di_{L_R}}{dt} \quad (2.23)$$

$$V_{LB} = L_B \frac{di_{L_R}}{dt} + M \frac{di_{L_R}}{dt} \quad (2.24)$$

$$i_{L_R} = -C_R \frac{dV_{CR}}{dt} \quad (2.25)$$

Eş.2.23 ve Eş.2.24 no'lu eşitlikleri Eş.2.22 no'lu eşitlikte yerine koyarsak;

$$V_{dc} - V_0 = L_R \frac{di_{L_R}}{dt} + M \frac{di_{L_R}}{dt} + L_B \frac{di_{L_R}}{dt} + M \frac{di_{L_R}}{dt} - V_{CR}$$

$$V_{dc} - V_0 = (L_R + L_B + 2M) \frac{di_{L_R}}{dt} - V_{CR}$$

EK-2 (Devam) Dinamik denklemlerin çeşitli modlara göre elde edilişi

$$V_{dc} - V_0 = (L_R + L_B + 2M)(-C_R) \frac{d^2 V_{C_R}}{dt^2} - V_{CR}$$

$$\frac{d^2 V_{C_R}}{dt^2} + V_{CR} / [C_R (L_R + L_B + 2M)] = (-V_{dc} + V_0) / [C_R (L_R + L_B + 2M)] \quad (2.26)$$

$$V_{CR} = e^{\lambda t} \text{ olsun.}$$

Doğal Çözüm

$$\lambda^2 e^{\lambda t} + \omega^2 e^{\lambda t} = 0$$

$$\lambda^2 + \omega^2 = 0$$

$$\lambda = \mp j\omega$$

$$V_{CRh} = A \cos \omega t + B \sin \omega t \quad (2.27)$$

Özel Çözüm

$$V_{CRp} = K_0 \text{ olsun.... } V_{CRp}' = V_{CRp}'' = 0 \text{ ve bu değerleri Eş.2.26'da yerine koyarsak;}$$

$$0 + K_0 / [C_R (L_R + L_B + 2M)] = (-V_{dc} + V_0) / [C_R (L_R + L_B + 2M)]$$

$$K_0 = V_0 - V_{dc} \quad (2.28)$$

EK-2 (Devam) Dinamik denklemlerin çeşitli modlara göre elde edilişi

Genel Çözüm

$$V_{CR}(t) = V_{CRh} + V_{CRp}$$

$$V_{CR}(t) = A \cos \omega t + B \sin \omega t + V_0 - V_{dc} \quad (2.29)$$

$$i_{LR}(t) = -C_R \frac{dV_{CR}(t)}{dt} = (-C_R)[-A\omega \sin \omega t + B\omega \cos \omega t] \quad (2.30)$$

Eş.2.29 ve Eş.2.30 no'lu eşitliklerdeki A ve B değerlerini $i_{LR}(0)$ ve $V_{CR}(0)$ değerlerini kullanarak bulalım:

$$i_{LR}(0) = I_p = -C_R(0 + B\omega)$$

$$B = -\frac{I_p}{C_R \omega}$$

$$V_{CR}(0) = A \cos \omega_0 + 0 + V_0 - V_{dc}$$

$$A = V_{CR}(0) + V_{dc} - V_0$$

$$i_{LR}(t) = C_R(V_{CR}(0) + V_{dc} - V_0) \sin \omega t + I_p \cos \omega t$$

$$V_{CR}(t) = (V_{CR}(0) + V_{dc} - V_0) \cos \omega t + \left(-\frac{I_p}{C_R \omega}\right) \sin \omega t + V_0 - V_{dc}$$

EK-2 (Devam) Dinamik denklemlerin çeşitli modlara göre elde edilişi

Mod-3

$$V_{dc} - V_0 = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} + M \frac{di_{L_R}}{dt} \quad (2.31)$$

$$V_0 - V_0 = L_R \frac{di_{L_R}}{dt} + M \frac{di_{L_B}}{dt} \quad (2.32)$$

$$\frac{di_{L_R}}{dt} = -\frac{M}{L_R} \frac{di_{L_B}}{dt} \quad (2.33)$$

Eş.2.33 no'lu eşitliği Eş.2.31 no'lu eşitlikte yerine koyarsak;

$$V_{dc} - V_0 = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} - \frac{M^2}{L_R} \frac{di_{L_B}}{dt}$$

$$[(V_{dc} - V_0)/(L_R L_B - M^2)] L_R \int dt = \int di_{L_B}$$

$$[(V_{dc} - V_0)/(L_R L_B - M^2)] L_R (t - t_2) = i_{L_B}(t) - i_{L_B}(t_2)$$

$$i_{L_B}(t) = i_{L_B}(t_2) + [(V_{dc} - V_0)/(L_R L_B - M^2)] L_R (t - t_2) \quad (2.34)$$

$$\frac{di_{L_R}}{dt} = -\frac{M}{L_R} \frac{di_{L_B}}{dt}$$

$$\int di_{L_R}(t) = -\frac{M}{L_R} \int di_{L_B}$$

$$i_{L_R}(t) - i_{L_R}(t_2) = -\frac{M}{L_R} (i_{L_B}(t) - i_{L_B}(t_2))$$

EK-2 (Devam) Dinamik denklemlerin çeşitli modlara göre elde edilişi

$$i_{L_R}(t) = i_{L_R}(t_2) + \left(-\frac{M}{L_R}\right) [(V_{dc} - V_0) / (L_R L_B - M^2)] L_R (t - t_2)$$

$$V_{C_R}(t)$$

Mod-4

$$(V_{dc} - V_0) = V_{L_B} + V_{L_R} \quad (2.35)$$

$$i_{L_B} = i_{L_R} \quad (2.36)$$

Eş.2.36 no'lu eşitliği Eş.2.35 no'lu eşitlikte yerine yazarsak;

$$V_{dc} - V_0 = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} + M \frac{di_{L_B}}{dt} + L_R \frac{di_{L_R}}{dt} + M \frac{di_{L_B}}{dt}$$

$$V_{dc} - V_0 = (L_R + L_B + 2M) \frac{di_{L_B}}{dt}$$

$$[(V_{dc} - V_0) / (L_R + L_B + 2M)] dt = di_{L_B}$$

$$i_{L_R}(t) = i_{L_B}(t) = i_{L_B}(t_3) + [(V_{dc} - V_0) / (L_R + L_B + 2M)] (t - t_3) \quad (2.37)$$

Mod-5

$$V_{dc} = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} + M \frac{di_{L_R}}{dt} \quad (2.38)$$

EK-2 (Devam) Dinamik denklemlerin çeşitli modlara göre elde edilişi

$$-V_0 = L_R \frac{di_{L_R}}{dt} + M \frac{di_{L_B}}{dt} \quad (2.39)$$

$$\frac{di_{L_B}}{dt} = (V_{dc} - M \frac{di_{L_R}}{dt}) / L_B \quad (2.40)$$

Eş.2.40 no'lu eşitliği Eş.2.39 no'lu eşitlikte yerine yazarsak;

$$-V_0 = L_R \frac{di_{L_R}}{dt} + \frac{M}{L_B} (V_{dc} - M \frac{di_{L_R}}{dt})$$

$$-V_0 = L_R \frac{di_{L_R}}{dt} - \frac{M^2}{L_B} \frac{di_{L_R}}{dt} + \frac{M}{L_B} V_{dc}$$

$$[(M^2 - L_B L_R) / L_B] \frac{di_{L_R}}{dt} = \frac{M}{L_B} V_{dc} + V_0$$

$$\int di_{L_R} = [(M V_{dc} + V_0 L_B) / (M^2 - L_B L_R)] \int dt$$

$$i_{L_R}(t) = i_{L_R}(t_4) + [(M V_{dc} + V_0 L_B) / (M^2 - L_B L_R)](t - t_4) \quad (2.41)$$

Eş.2.41 no'lu eşitliği Eş.2.40 no'lu eşitlikte yerine koyarsak;

$$\frac{di_{L_B}}{dt} = [V_{dc} - M (M V_{dc} + V_0 L_B) / (M^2 - L_B L_R)] / L_B$$

$$\int di_{L_B} = [V_{dc} - M (M V_{dc} + V_0 L_B) / (M^2 - L_B L_R)] / L_B \int dt$$

EK-2 (Devam) Dinamik denklemlerin çeşitli modlara göre elde edilişi

$$i_{L_B}(t_5) = i_{L_B}(t_4) + \{ [V_{dc} - M (M V_{dc} + V_0 L_B) / (M^2 - L_B L_R)] / L_B \} (t - t_4) \quad (2.42)$$

Mod-6

$$V_{dc} = L_B \frac{di_{L_B}}{dt} + M \frac{di_{L_R}}{dt} \quad (2.43)$$

$$i_{L_R}(t) = -C \frac{dV_{C_R}}{dt} \quad (2.44)$$

$$V_{C_R} = L_R \frac{di_{L_R}}{dt} + M \frac{di_{L_B}}{dt} \quad (2.45)$$

$$\frac{di_{L_B}}{dt} = (V_{C_R} - L_R \frac{di_{L_R}}{dt}) / M \quad \text{Bu eşitliği Eş.2.43'de yerine yazarsak;}$$

$$V_{dc} = L_B (V_{C_R} - L_R \frac{di_{L_R}}{dt}) / M + M \frac{di_{L_R}}{dt} \quad (2.46)$$

Eş.2.44 no'lu eşitlikteki $i_{L_R}(t)$ değerini de yazalım;

$$V_{dc} = \frac{L_B}{M} V_{C_R} + (L_B L_R C_R / M) \frac{d^2 V_{C_R}}{dt^2} - M C_R \frac{d^2 V_{C_R}}{dt^2}$$

$$\frac{d^2 V_{C_R}}{dt^2} [(L_B L_R C_R - M^2 C_R) / M] + \frac{L_B}{M} V_{C_R} = V_{dc}$$

$$\frac{d^2 V_{C_R}}{dt^2} + [(V_{C_R} L_B) / (L_B L_R C_R - M^2 C_R)] = V_{dc} M / (L_B L_R C_R - M^2 C_R)$$

EK-2 (Devam) Dinamik denklemlerin çeşitli modlara göre elde edilişi

$$L_B / (L_B L_R C_R - M^2 C_R) = \omega_0^2$$

Genel Çözüm

$$\lambda^2 + \omega_0^2 = 0$$

$$\lambda = \mp j\omega_0$$

$$V_{CRh} = A \cos \omega_0 t + B \sin \omega_0 t \quad (2.47)$$

Özel Çözüm

$V_{CRp} = K_0$ olsun.... $V_{CRp}' = V_{CRp}'' = 0$ ve bu değerleri Eş.2.46'da yerine koyarsak;

$$0 + L_B K_0 / (L_B L_R C_R - M^2 C_R) = V_{dc} M / (L_B L_R C_R - M^2 C_R)$$

$$K_0 = \frac{M}{L_B} V_{dc} \quad (2.48)$$

$$V_{CR}(t) = V_{CRh} + V_{CRp}$$

$$V_{CR}(t) = A \cos \omega_0 t + B \sin \omega_0 t + \frac{M}{L_B} V_{dc}$$

$$i_{L_R}(t) = -C_R \frac{dV_{CR}(t)}{dt} = [C_R A \omega_0 \sin \omega_0 t - C_R B \omega_0 \cos \omega_0 t]$$

EK-2 (Devam) Dinamik denklemlerin çeşitli modlara göre elde edilişi

Başlangıç değerlerinden A ve B değerlerini bulalım;

$$i_{L_R}(0) = 0 = 0 + (-C_R B \omega_0) \quad B = 0$$

$$V_{CR}(0) = -10 = A + 0 + \frac{M}{L_B} V_{dc}$$

$$A = -(10 + \frac{M}{L_B} V_{dc})$$

$$V_{CR}(t) = -(10 + \frac{M}{L_B} V_{dc}) \cos \omega_0 t + \frac{M}{L_B} V_{dc} \quad (2.49)$$

$$i_{L_R}(t) = -C_R \omega_0 (10 + \frac{M}{L_B} V_{dc}) \sin \omega_0 t \quad (2.50)$$

$i_{L_B}(t)$ değerini bulmak için Eş.2.50'deki $i_{L_R}(t)$ değerini Eş.2.43 no'lu eşitlikte yerine yazalım;

$$V_{dc} = -M C_R \omega_0^2 (10 + \frac{M}{L_B} V_{dc}) \cos \omega_0 t + L_B \frac{di_{L_B}}{dt}$$

$$\{[V_{dc} + M C_R \omega_0^2 (10 + \frac{M}{L_B} V_{dc})]/L_B\} \cos \omega_0 t dt = di_{L_B}$$

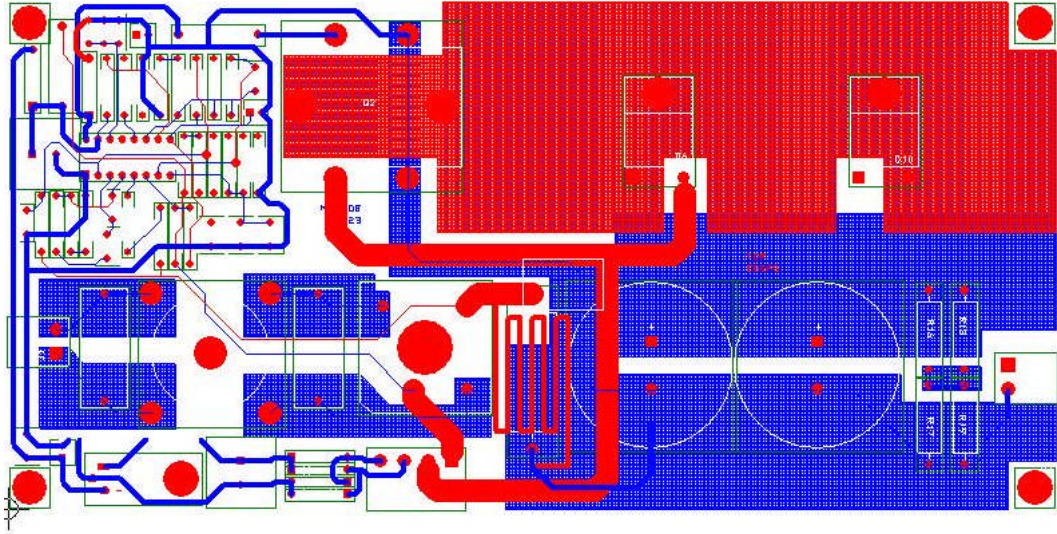
$$i_{L_B}(t) = i_{L_B}(t_4) + \{[V_{dc} + M C_R \omega_0^2 (10 + \frac{M}{L_B} V_{dc})]/(L_B \omega_0)\} \sin \omega_0 t$$

EK-2 (Devam) Dinamik denklemlerin çeşitli modlara göre elde edilişi

$$i_{L_B}(t_4) + \left\{ \left[V_{dc} + M C_R w_0^2 \left(10 + \frac{M}{L_B} V_{dc} \right) \right] / (L_B w_0) \right\} = @ \text{ olsun.}$$

$$i_{L_B}(t) = @ (\sin w_0 t - \sin w_0 t_4)$$

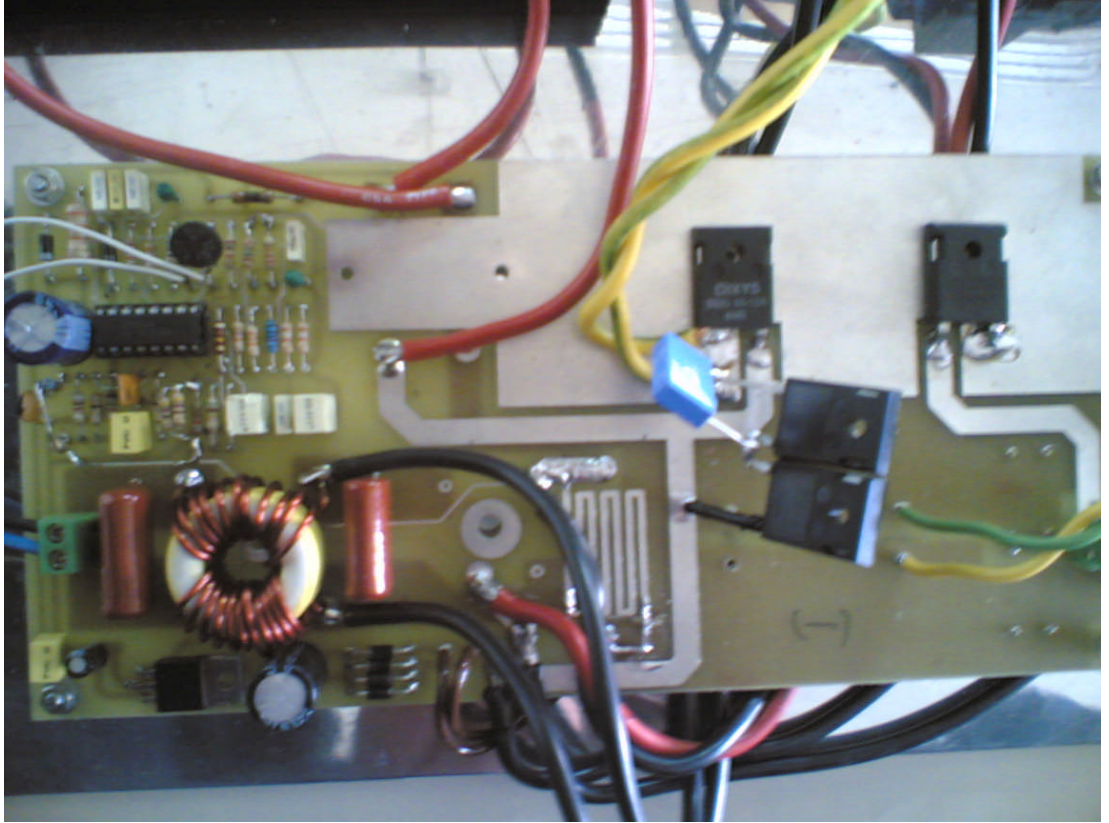
EK-3 Prototipe ait baskı devresi



Resim 3.1. Baskı devre şeması

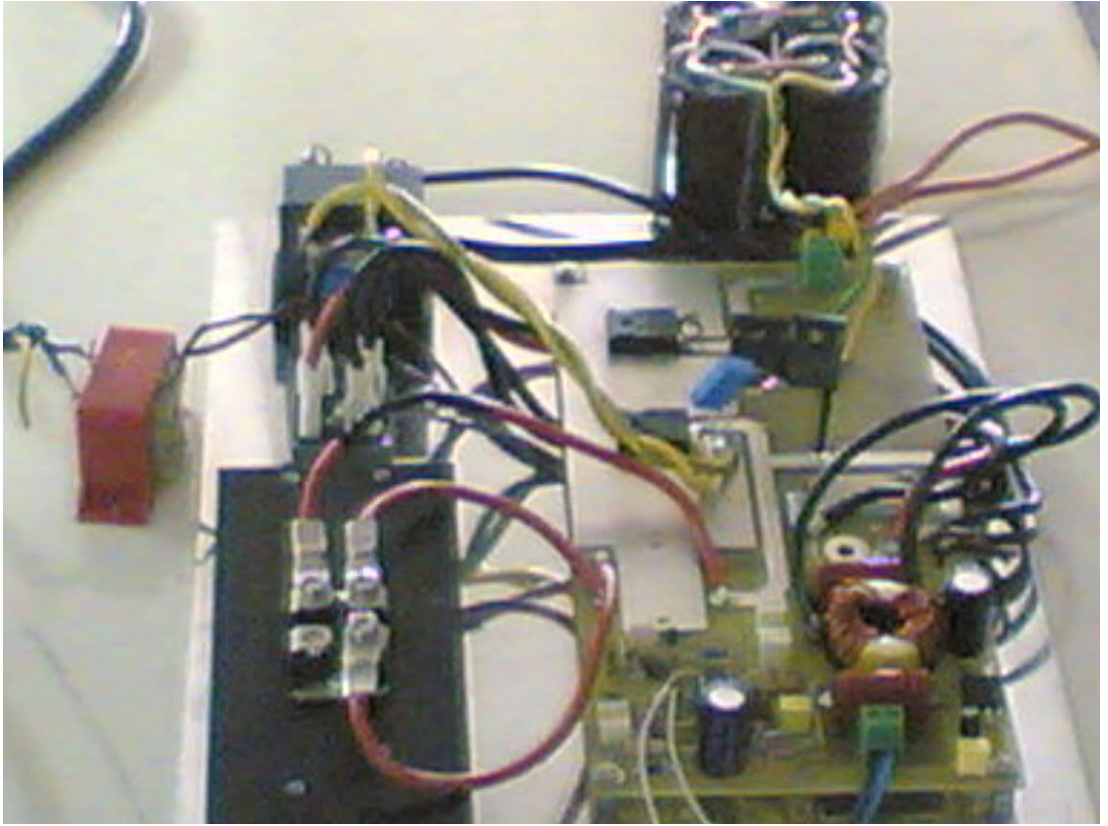
Resim 4.1. Deney devresinin üst görünümü

EK-4 (Devam) Deneyde kullanılan prototipin resimleri



Resim 4.2. Prototipe ait baskı devre kartı

EK-4 (Devam) Deneyde kullanılan prototipin resimleri



Resim 4.3. Deney devresinin yan görünümü

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇAKIR, Gökhan
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 24.03.1974 Balıkesir
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (312) 2431191
Faks : 0 (312) 2443276
e-mail : gokhancakir@ hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	İstanbul Üniversitesi/ Elektronik Müh.	1996
Lise	İ.Ö.Y.Fen Lisesi	1991

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1997-2006	Hava Kuvvetleri Komutanlığı	Subay

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Karate, Yüzme, Santraç