

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK FREKANSLI YÜKSEK GERİLİM
DA/DA KONVERTER TASARIMI

UMUT ÖNDİN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI

GEBZE
2009

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK FREKANSLI YÜKSEK GERİLİM
DA/DA KONVERTER TASARIMI

UMUT ÖNDİN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir BALIKÇI

GEBZE
2009



YÜKSEK LİSANS TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 20/07/2009 tarih ve 2009/16 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 1/09/2009 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Umut ÖNDİN 'ın tez çalışması Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) :

YRD. DOÇ. DR Abdulkadir BAKIÇI

ÜYE

:

DOÇ DR. M. Hakan HOCAOĞLU

ÜYE

:

YRD. DOÇ. DR Erkan ZERGEROĞLU

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../20... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI : Yüksek Frekanslı Yüksek Gerilim DA-DA
Konverter Tasarımı

YAZAR ADI :Umut ÖNDİN

Son yıllarda yarı iletken teknolojisindeki gelişmeler sayesinde genel olarak yüksek gerilimli DA güç kaynaklarının elde edilmesinde yüksek frekanslı inveterler kullanılmaktadır. Yüksek gerilim uygulamalarında yüksek gerilim transformatörünün sarım oranlarının yüksek olması ile meydana gelen parazitik etkileri sistemin çalışma frekansının yükselmesini engellemekte ve verimini düşürmektedir. Yüksek gerilim transformatörünün çıkışında doğrultucu diyotlar yerine kullanılan çok katmanlı gerilim katlayıcıları sarım oranlarını azaltarak transformatörün bu prazitik etkilerini azaltmaktadır. Ayrıca transformatörün çalıştırılmasını sağlayan inverterlerde yumuşak anahtarlama topolojileri kullanılarak anahtarlama kayıpları azaltılmakta ve sistemin çalışma frekansı bu sayede arttırılabilmektedir.

Bu tez çalışmasında, yüksek gerilimli DA güç kaynağı tasarlanması amacı ile bir DA-DA konverter tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla; yüksek frekanslı yüksek gerilim transformatörü tasarlanmıştır. Bu transformatörün girişinde anahtarlama kayıplarını azaltmak için, yumuşak anahtarlama topolojileri kullanılarak tam köprü tipi inverter tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yüksek frekanslı yüksek gerilimli transformatörün sarım oranlarını azaltarak sistemin parazitik etkilerini azaltmak amacı ile transformatörün çıkışında çok katmanlı gerilim katlayıcısı tasarlanmıştır.

SUMMARY

TITLE : Design of High Frequency High Voltage DA-DA Converter

AUTHOR :Umut ÖNDİN

Recent years due to improvements on semi conductors' technology in general high frequency inverters have been used to development of High voltage DA power supply. On high voltage applications due to high turn ratio there are parasitic effects in the system and negative cause to increase of frequency and reduce system performance. There are multilevel voltage multipliers that have reduced turn ratio on the output of the high voltage transformer. Those have been replaced rectifier diode. This replacement has positive effect on transformers and reduced parasitic effect. Also soft switch topologies have been used on the inverters that are a starter of the transformers. This has been reduced switching loss and increased system working frequency.

In this thesis study, on this dissertation the aim was the design DA-DA converter that will assist to build up high voltage DA's. Due to reach our final aim we have design high voltage transformer. On that transformer input to reduce switch losses, there have been used soft switch topologies for establishing full bridge type inverters design. There have been also designed multilevel voltage multiplier to reduce parasitic effect of the system via reducing turn ratio of the high frequency high voltage transformers.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim de yardımlarından dolayı hocam Sayın YRD. DOÇ. DR. Abdulkadir BALIKÇI ya, eğitimim için fedakârlıkta bulunan aileme ,özellikle eşim FUNDA ÖNDİN ve kızım ERVA MERYEM ÖNDİN, babam İsmail ÖNDİN, annem Adile ÖNDİN ve yardımlarından dolayı Ahmet Çağdaş KARAKOÇ’a, tez aşamasında yardımlarında dolayı GYTE’deki arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLOLAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 TEZİN AMACI	3
1.3 TEZİN İÇERİĞİ	3
2. İNVERTER TASARIMI	5
2.1 PWM TAM DALGA ANAHTARLAMA TOPOLOJİLERİ	6
2.2 YUMUŞAK ANAHTARLAMA TOPOLOJİLERİ	10
2.2.1 SIFIR GERİLİM ANAHTARLAMA (SGA)	10
2.2.1 SIFIR AKIM ANAHTARLAMA (SAA)	14
3. YÜKSEK FREKANSLI YÜKSEK GERİLİM TRANSFORMATÖRÜ (YGHFT)	20
3.1.Giriş	20
3.2Yüksek Frekanslı Transformatörler	20
3.3Yüksek Gerilimli Transformatör Yalıtım Özellikleri	26
3.4.Sonuç	29
4. ÇOK KATMANLI GERİLİM KATLAYICISI	30
4.1 ÇOK KATMANLI GERİLİM KATLAYICILARI TOPOLOJİLERİ VE HESAPLARI	31
4.3 BİLGİSAYAR SİMİLASYONU	37
4.3 SONUÇ	42
5. UYGULAMA	43
5.1 ÇOK KATMANLI GERİLİM KATLAYICI UYGULAMASI	43
5.2 YÜKSEK FREKANSLI YÜKSEK GERİLİM TRANSFORMATÖRÜ UYGULAMASI	44
5.3 İNVERTER	45
5.4 Uygulama Sonuçları	46

6. SONUÇ	49
KAYNAKÇA	51
ÖZGEÇMİŞ	54
EK1	55
EK2	58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AGK	Anahtarlama Güç Kaynağı
YGDA	Yüksek Gerilim Doğru Akım
P	Gerçek Güç
S	Sanal Güç
GFD	Güç Faktörü Düzeltmesi
DFM	Darbe Frekans Modülasyonu
YGHFT	Yüksek Gerilimli Yüksek Frekanslı Transformatör
AA	Alternatif Akım
DA	Doğru Akım
f	Frekans
E_{pk}	Gerilim Tepe Değeri
V_{min}	Minimum gerilim
CW	CW Tip Gerilim Katlayıcı
IT	IT Tip Gerilim Katlayıcı
SCWT	Simetrik CW Tip Gerilim Katlayıcı
SIT	Simetrik IT Tip Gerilim Katlayıcı
kHz	Kilo Hertz
Hz	Hertz
MHz	Mega Hertz
Mohm	Mega Ohm
kV	Kilo Volt

V	Volt
N	Sipir Sayısı
YG	Yüksek Gerilim
DGM	Darbe Genişliği Modülasyonu
Eort	Ortalama Gerilim
F	Frekans
mm	Mili Metre
mSn	Mili Saniye
Watt	Watt
I	Akım
V	Volt
A	Amper
TR	Transformatör
FK-DGM	Faz Kaydırmalı Darbe Genişliği Modülasyonu
SGA	Sıfır Gerilim Anahtarlama
SAA	Sıfır Akım Anahtarlama
SG-SAA	Sıfır Akım- Sıfır Gerilim Anahtarlama

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 YG DA GÜÇ KAYNAĞI	1
2.1 TAM KÖPRÜ İNVERTER GÜÇ DEVRESİ ŞEMASI	6
2.2 TAM KÖPRÜ İNVERTER TEMEL ANAHTARLAMA ŞEMASI	6
2.3 TAM KÖPRÜ DGM İNVERTER İNVERTER SİMÜLASYON SONUCU	7
2.4 TAM KÖPRÜ FK-DGM İNVERTER ANAHTARLAMA ŞEMASI	8
2.5 TAM KÖPRÜ FK-DGM İNVERTER SİMÜLASYON SONUCU	9
2.6 SGA-DGM TAM KÖPRÜ İNVERTER GÜÇ DEVRESİ ŞEMASI	10
2.7 SGA-DGM İNVERTER ANAHTARLAMA ŞEKLİ	11
2.8 SGA TOPOLOJİSİNDE T1 ANAHTARLAMA ELEMANI ÜZERİNDEKİ GERİLİM VE AKIM DALGA ŞEKLİ	13
2.9 TAM KÖPRÜ SGA-DGM İNVERTER SİMÜLASYON SONUÇLARI	14
2.10 SAA-DGM TAM KÖPRÜ İNVERTER GÜÇ DEVRESİ ŞEMASI	15
2.11 SAA-DGM İNVERTER ANAHTARLAMA ŞEKLİ	15
2.12 SAA TOPOLOJİSİN T1 ANAHTARLAMA ELEMANI ÜZERİNDE OLUŞAN GERİLİM VE AKIM ŞEKLİ	16
2.13 TAM KÖPRÜ SAA-DGM İNVERTER SİMÜLASYON SONUÇLARI	16
2.14 SG-SAA-DGM TAM KÖPRÜ İNVERTER GÜÇ DEVRESİ ŞEMASI	17
2.15 SG-SAA-DGM İNVERTER ANAHTARLAMA ŞEKLİ	18
2.16 TAM KÖPRÜ SA-SGA DGM İNVERTER SİMÜLASYON SONUÇLARI	19
3.1 ALÇAK FREKANSLI TRANSFORMATÖR PARAMETRELERİ	21
3.2 YÜKSEK VE DÜŞÜK FREKANSLI TRANSFORMATÖR GERÇEKLENMİŞ ŞEKİLLERİ	23
3.3 YGHFT TRANSFORMATÖRLERİN PARAMETRELERİ	23
3.4 YÜKSEK FREKANSLI TRANSFORMATÖRLERİN ÇIKIŞ BAĞLANTI ŞEKİLLERİ	24
3.5 YG TRANSFORMATÖR SARIM ŞEKLİ	26
4.1 GERİLİM KATLAYICI TOPOLOJİLERİ BAĞLANTI ŞEKİLLERİ	32
4.2 CW TİP GERİLİM KATLAYICISININ ÇALIŞMA ŞEKLİ	34
4.3 GERİLİM KATLAYICI TOPOLOJİLERİNİN SİMÜLASYON TEST SONUÇLARI (A) CWT (B) IT (C) SIT (D) SCWT	38
4.4 SCWT ÇEŞİTLİ YÜK VE FREKANSLARDAKİ SİMÜLASYON SONUÇLARI	41

5.1 YÜKSEK FREKANSLI YÜKSEK GERİLİMLİ DA-DA KONVERTER AÇIK DEVRE	
ŞEMASI	43
5.2 ÇOK KATMANLI GERİLİM KATLAYICI DEVRESİ	43
5.3 ÇOK KATMANLI GERİLİM KATLAYICIDA KULLANILAN KONDANSATÖR YAPISI	44
5.4 YGHFT ÖZELLİKLERİ	44
5.5 YGHFT GERÇEKLENEN TRANSFORMATÖR	45
5.6 INVERTER UYGULAMA DEVRESİ	45
5.7 YÜKSEK GERİLİMLİ DA-DA KONVERTERDEKİ 0,5 mA ÇIKIŞ AKIMI İÇİN SİSTEM	
ÇIKIŞ GERİLİMİ OSİLASKOP SONUÇLARI	46
5.8 YÜKSEK GERİLİMLİ DA-DA KONVERTERDEKİ 1 mA ÇIKIŞ AKIMI İÇİN SİSTEM ÇIKIŞ	
GERİLİMİ OSİLASKOP SONUÇLARI	47
5.9 YÜKSEK GERİLİMLİ DA-DA KONVERTERDEKİ 4 mA ÇIKIŞ AKIMI İÇİN SİSTEM ÇIKIŞ	
GERİLİMİ OSİLASKOP SONUÇLARI	48

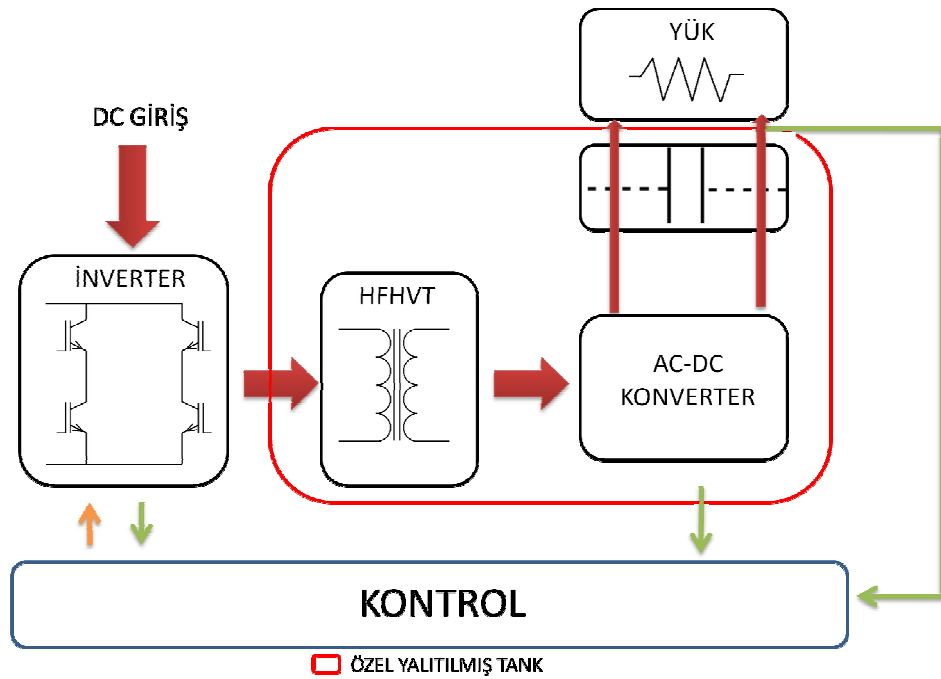
TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Alçak Frekanslı Transformatörlerin Sarım Hesapları İçin Parametreler	21
3.2 Düşük Frekanslı Transformatörlerin Frekans Sarım Hesapları Kıyaslama Tablosu	22
3.3 Yüksek Frekanslı Transformatörde Yapılan Hesaplama Sonuçları.	25
4.1 Gerilim Katlayıcı Topolojileri Matematiksel Hesapları	35
4.1 Gerilim Katlayıcı Topolojileri Matematiksel Hesapları	35
Ek 2.1 CW Tip Gerilim Katlayıcısı Kıyaslama Tablosu [15]	59

1. GİRİŞ

Doğru akım (DA) güç kaynakları, günümüzde birçok uygulama alanına sahip güç cihazlarıdır. DA güç kaynaklarının uygulama alanlarının genişliği ve farklı özellikleri sayesinde elde edilmesinde kullanılan birçok farklı yapı ve topolojiler bulunmaktadır. DA-DA konverterler bu yapılardan biridir. DA-DA konverterlerde kullanılan topolojiler, yarı iletken teknolojisinde gerçekleşen gelişmeler, daha hızlı iletme geçen yarı iletken üretimi sayesinde, geleneksel lineer güç kaynaklarının yerini anahtarlamalı güç kaynakları (AGK) almaktadır. Bazı AGK topolojileri step-up, step down, inverterdir. Anahtarlamalı güç kaynakları, anahtarlama frekansının yükselmesi ile daha verimli hale gelmişlerdir.

Yüksek Gerilim (>10 KV) DA güç kaynaklarının, doğru akım güç kaynakları uygulama alanlarından biridir. Yüksek gerilim (YG) özel uygulamalarda kullanılan DA güç kaynakları endüstride farklı sistemlerde havacılık sanayisinde, medikal görüntüleme teknolojilerinde vb. birçok uygulamada kullanılmaktadır. [1] YGDA kaynak genel olarak AGK topolojilerinden inverter topolojisini kullanmaktadır. Şekil 1-1'de YGDA kaynakların elde edilmesinde kullanılan katmanlar gösterilmiştir.



Şekil 1.1 YG DA Güç Kaynağı

Inverter;

DA gerilim seviyesinde çeşitli anahtarlama elemanları, çeşitli topolojiler kullanarak kontrollü bir şekilde AC gerilim seviyesi elde edilmesini sağlayan katmandır. Bu uygulamada inverterlerin; donanımsal olarak gerçekleştirilerek farklı topolojilerin çalışma prensipleri, anahtarlama algoritmaları, simülasyonları ve osiloskop sonuçları karşılaştırılmıştır. YG DA güç kaynaklarında yapılan uygulamalar yarı iletken teknolojisindeki gelişmelerle yüksek frekanslı anahtarlama elemanları kullanılarak elde edilmeye başlanmıştır. Anahtarlama frekansının yükselmesi ile birlikte güç devresinde kullanılan pasif elemanların, bobin, transformatör vb. boyutları küçülmüş, dolayısı ile ağırlıkları ve kayıpları azalmıştır [1]. Ayrıca yüksek frekanslı inverterlerde kullanılan DGM topolojilerinde, anahtarlama elemanları üzerinde oluşan gerilim ve akım stresini yumuşak anahtarlama topolojileri kullanarak azaltmak ve dolayısı ile anahtarlama kayıplarını azaltmaktır. Bu şekilde anahtarlama frekansı arttırılmaktadır [2], [3], [4]. Bu katmanda, yüksek gerilimli yüksek frekanslı transformatörün (YGHFT) sürümünü sağlayan güç devresi için seçilen tam köprü tipi çeşitli inverterlerin yapısı gerekli sürücü devreleri, ve sensör devreleri bulunmaktadır.

Yüksek frekanslı yüksek gerilimli transformatör (YGHFT)

Inverter katmanının çıkışında bulunan yüksek frekanslı transformatör YG' nin elde edilmesinde kullanılan ferrit nüveli transformatördür Transformatörlerin yapısından kaynaklanan bazı parazitik etkiler kontrol zorluklarına neden olmaktadır.

AC-DA konverter

YGHFT nin çıkışındaki AA sinyali DA seviyeye dönüştüren yapıdır. Yüksek frekanslarda yapılar doğrultucu diyotlarla yapılabileceği gibi düşük akımlarda çok katmanlı gerilim katlayıcıları da kullanılmaktadır.

Çok katmanlı yüksek gerilim katlayıcı;

Yüksek gerilim elde ediminde kullanılan darbe frekans modülasyonu (DFM) ile kontrol edilen invertörler ile sürülen yüksek frekanslı yüksek gerilim transformatörünün (YGHFT) çıkış kısmında bir çeşit AA-DA çevirici olan çok katmanlı gerilim katlayıcıları bulunmaktadır. Gerilim katlayıcıları adında

anlaşılacağı girişte sisteme gelen AA sinyalin tepe değerini katman sayısı kadar gerilime yükselten devredir.

1.1 TEZİN AMACI

Bu tez çalışmasında, YG DA kaynak uygulamasını gerçekleştirmek için ile;

- Yüksek frekanslı yüksek gerilimli DA/DA konverter uygulamasını gerçekleştirmek ve bunu elde etmek için
 - o Yüksek frekanslı yüksek gerilim transformatörünü gerçekleştirmek
 - o Yüksek frekansta çalışan bir adet inverter gerçekleştirmek
 - o Yüksek gerilimli çok katmanlı gerilim katlayıcı gerçekleştirmek
- Yüksek gerilimli DA seviyeyi en az dalgalanma oranı ile elde edebilmek
- Yüksek frekanslı transformatörün çalıştırılması için yüksek anahtarlama frekansına sahip elemanlar ve çeşitli topolojiler inceleyerek sisteme uygun topolojiyi belirlemek
- Yüksek gerilimi DA kaynağı akım ve gerilim sınırlamalı olarak çalıştırmak amaçlanmıştır.

1.3 TEZİN İÇERİĞİ

Bu tez çalışmasında yüksek frekansta çalışan inverter yapıları, yüksek frekanslı ve yüksek gerilimli transformatörler ve AA-DA konverterler kullanılarak YGDA geriliminin elde edilmesi üzerine çalışma yapılacaktır.

2. bölümde sistemde kullanılabilecek yüksek gerilimli yüksek frekanslı transformatörün (YGHFT) çalıştırılmasını sağlayan güç devresi için seçilen tam köprü tipi çeşitli inverterlerin yapısı ve topolojileri kıyaslanmıştır.

3. bölümde yüksek gerilimin yüksek frekansla elde edilmesinde kullanılan transformatör yapısı, hesapları, farklı özellikte transformatörlerin kıyaslanması ve transformatörün elde edilmesindeki yalıtım ve incelenmiştir.

4. bölümde yüksek gerilim elde ediminde kullanılan darbe frekans modülasyonu (DFM) ile kontrol edilen invertörler ile sürülen yüksek frekanslı yüksek gerilim transformatörünün (YGHFT) çıkış kısmında bir çeşit AA-DA çevirici olan çok

katmanlı gerilim katlayıcıların topolojileri matematiksel hesaplamaları, simülasyonları kıyaslanmıştır

5. bölümde bu çalışmada yapılan uygulamalar ve ölçüm sonuçları kıyaslanmıştır.

6. bölümde bu çalışmada elde edilen bilgiler ışığında ulaşılan sonuçlar kısaca özetlenmiştir.

2. İNVERTER TASARIMI

İnverterler, DA gerilim seviyesinde çeşitli anahtarlama elemanları, çeşitli topolojiler kullanarak kontrollü bir şekilde AA gerilim seviyeleri elde edilmesini sağlayan elektronik devrelerdir. İnverterlerin uygulama alanlarının genişliği ve bu alanların birbirinden farklı özellikleri sayesinde kullanılan birçok farklı topolojiler bulunmaktadır. Bu bölümde, yüksek gerilimli doğru akım (YGDA) gerilim seviyeleri elde edilmesi için kullanılan inverter yapıları karşılaştırılmıştır.

Yarı iletken teknolojisindeki gelişmeler sonucunda, anahtarlama frekansının yükseltmek güç elektroniğindeki önemli eğilimlerden biri haline gelmiştir [7]. Anahtarlama frekansındaki yükselme pasif elemanların (bobin vb) boyutlarının küçülmesine dolayısı ile hafiflemesine ve ucuzlamasına neden olmuştur.

Uygulamalarda anahtarlama frekansının yükselmesi ancak anahtarlama elemanlarının üzerinde oluşan gerilim ve akım streslerini azaltarak mümkün olmaktadır [2]. Güç elektroniğindeki eğilimlerden biri de yüksek frekanslı inverterlerde, kullanılan anahtarlama elemanlarının üzerinde oluşan gerilim ve akım stresini yumuşak anahtarlama topolojileri kullanarak, limitlemek ve anahtarlama kayıplarını azaltmaktır [2], [3], [4].

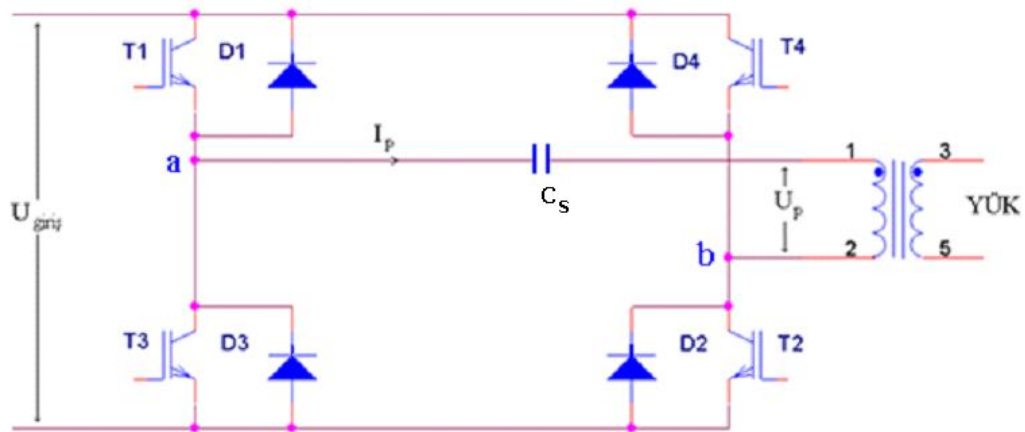
YGDA güç kaynakları elde etmek için anahtarlama elemanları üzerinde oluşan akım stresini azaltmak amacı ile genel olarak tam köprü inverterler kullanılmaktadır. Tam köprü inverterler darbe genişliği modülasyonu (DGM) ile kontrol edilmektedir.

Bu bölümde, yüksek gerilimli yüksek frekanslı transformatörün (YGHFT) sürümünü sağlayan güç devresi için seçilen tam köprü tipi çeşitli inverterlerin yapıları incelenmiştir. Bu topolojiler;

- Darbe genişliği modülasyonu (DGM)
- Faz kaydırmalı darbe genişliği modülasyonu (FK-DGM)
- Sıfır gerilim anahtarlama (SGA)
- Sıfır akım anahtarlama (SAA)
- Sıfır akım-sıfır gerilim anahtarlama topolojiler ,(SG-SAA)

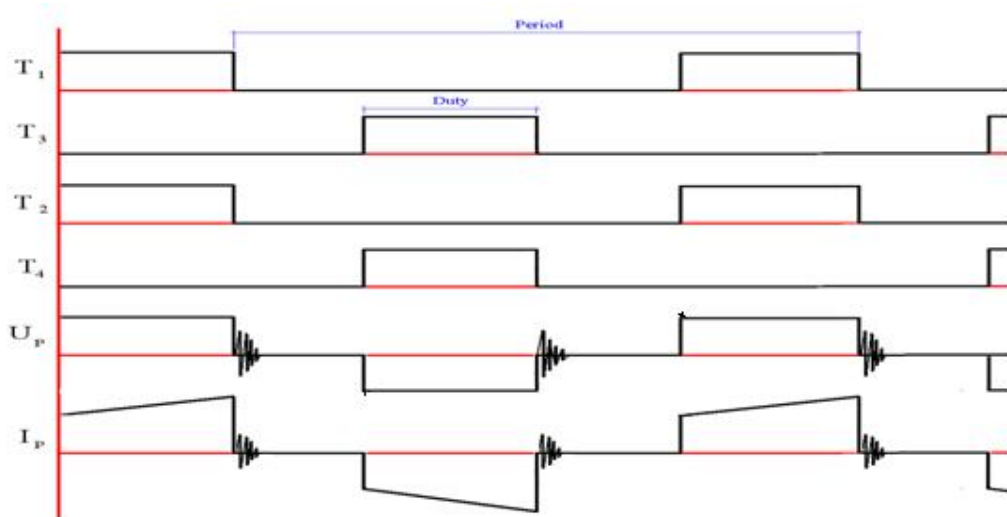
2.1 DGM TAM DALGA ANAHTARLAMA TOPOLOJİLERİ

Tam köprü DGM anahtarlama topolojilerinde kullanılan temel güç katı devresi Şekil 2-1 de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Tam Köprü İnverter Güç Devresi Şeması

Çıkış transformatörünün (TR) enerjilendirilmesi için $T_1 - T_2$ ve ya $T_3 - T_4$ anahtarlarının aynı anda iletimde olmaları gerekmektedir. Çıkış transformatörünün önünde çeşitli rezonans yapıları kullanılabilir. Şekil 2-1 deki inverter devre şemasında kullanılan en temel anahtarlama Şekil 2-2 de gösterilmiştir.

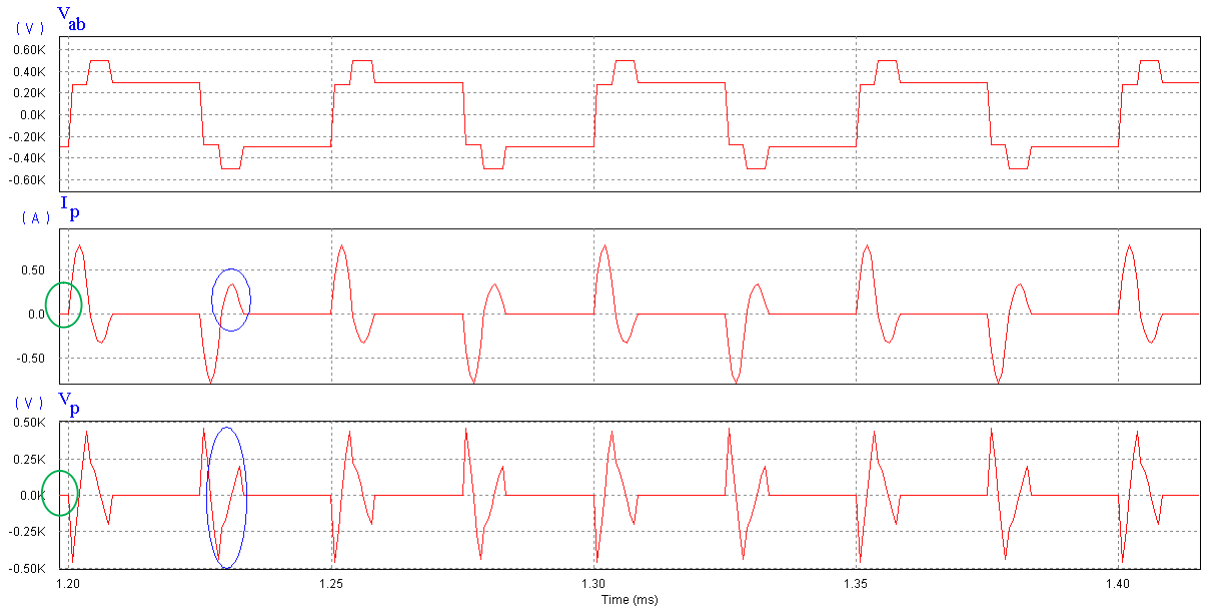


Şekil 2.2 Tam Köprü İnverter Temel Anahtarlama Şeması

Anahtarlama elemanları üzerinde oluşan gerilim ve akım stresinden kaynaklanan anahtarlama kayıpları anahtarlar konum değiştirdiği zamanlarda

gerçekleşmektedir. Özellikle anahtarlar iletim durumdan kesim durumuna geçtiği zaman oluşan stres bu kayıpları arttırmaktadır. Bu durumda anahtarlar iletimde iken transformatörün bobinleri üzerinde enerji depolanmış olacaktır. Depolanan bu enerji anahtarlar kesim durumuna geçtiği zaman boşalmak için anahtarlama elemanlarının kapasitansı ile salınım girerek sönümlenecektir. Bu durum anahtarlama kayıplarını büyük ölçüde arttırmakta ve darbe genişliğini kısıtlamaktadır.

Şekil 2-3 'te, Şekil2-2 kullanılan anahtarlama şekli ile anahtarlanan invertede oluşan, I_p akımı ve V_p gerilim şekli similasyon sonuçları gösterilmiştir. Şekil 2-3' de anahtarlama frekansı 20KHz, giriş gerilim 300V' tur.



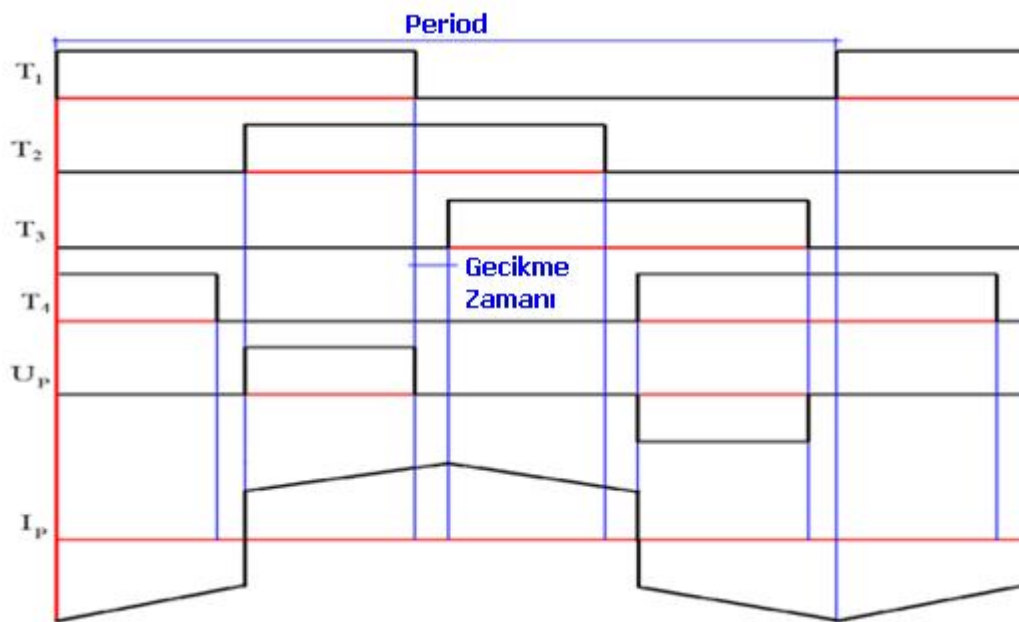
Şekil 2.3 Tam Köprü DGM İnverter İnverter Simülasyon Sonucu

Şekil 2-3 'te V_p gerilimi ve I_p akımı anahtarlama elemanları iletim durumundan kesime geçtiği anahtarlama elemanı kapasitansı ile salınım yapmaktadır. Bu salınım ile transformatörün üzerinde indüklenen enerji boşalmaktadır. Bu salınım Şekil2-3 'te mavi işaretler ile gösterilmiştir. Dikkat edilirse bu salınım oranı oldukça yüksektir, salınım süresi ile yaklaşık darbe genişliği kadardır. Bu sebeple eğer darbe oranı periyodun yarısını geçerse bu topoloji bu anahtarlama şekli ile kullanılmamaktadır. Ancak a ve b noktaları arasındaki gerilim sabit kalmaktadır. Bunun nedeni ise seri bağlanan kondansatörün enerjisini boşaltamamasıdır.

Sistem ilk çalıştırıldığı zaman yukarıda belirtilen akım ve gerilim stresi oluşmamaktadır. Bunun sebebi transformatörün primer tarafındaki bobinde daha önce hiçbir yükün indüklenmemiş olmasıdır. Bu durum Şekil 2-3'te yeşil olarak işaretlenmiştir.

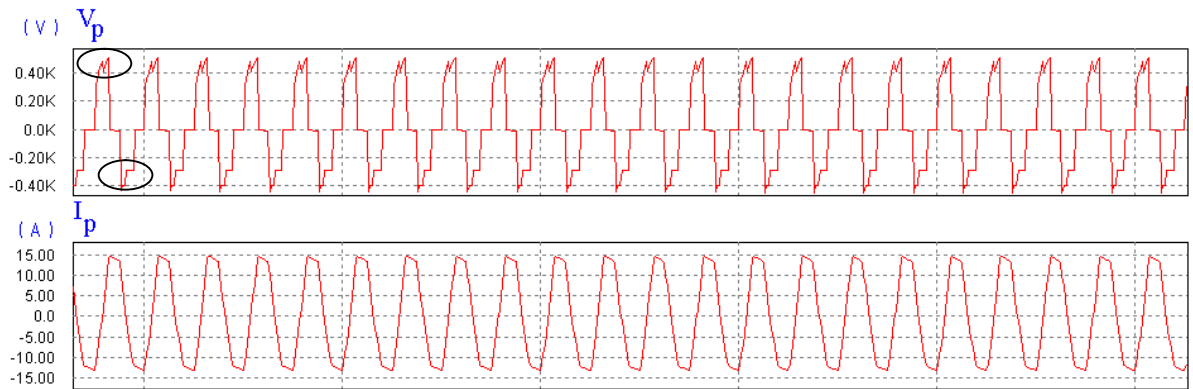
Darbe oranı %50 ve daha yüksek oranlarda çalışılacağı zaman farklı topolojiler kullanılmaktadır. Bu problemin azaltılmasında çeşitli anahtarlama topolojileri bulunmaktadır.

Bu anahtarlama topolojilerinin biri faz kaydırmalı DGM (FK-DGM) dir. FK-DGM' de anahtarlama elemanlarının fazları değiştirilerek TR transformatörü enerjilendirilmektedir. FK-DGM kontrol anahtarlama şekli Şekil 2-4 de gösterilmiştir. FK-DGM anahtarlama topolojisi $T_1 - T_3$ ve $T_2 - T_4$ olmak üzere iki koldan meydana gelmektedir. Bu kollardan bir tanesi ana kol olarak kabul edilir ve bu kol sabit fazda tutulur, diğer kol faz kontrollü olarak ana kola faz kaydırılarak anahtarlanır. Her anahtarın iletimde olduğu süre periyodun yarısıdır. Ancak darbe oranından ölü zaman eksiltilerek anahtarlama yapılır. Ölü (gecikme) zaman aynı kolda bulunan anahtarlama elemanlarının birinin iletimde olduğu durumlarda diğer anahtarlama elemanının iletime geçmemesini sağlamak için kullanılan bir gecikme süresidir. Şekil 2-4 te FK-DGM topolojisinin anahtarlama şekli gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Tam Köprü FK-DGM İnverter Anahtarlama Şeması

Bu anahtarlama topolojisinde, sistemin her anında en az iletimde olan bir anahtarlama elemanı bulunmaktadır. Bu topolojide çıkışta kullanılan transformatör enerjisi maksimum seviyesine ulaştıktan sonra, enerjisini boşaltmak için anahtarlama elemanlarının kapasitansı ile salınımına geçmeden, bir gecikme zamanı süresi sonra, transformatör üzerindeki enerji, $T_1 - T_4$ veya $T_2 - T_3$ aynı anda iletme geçirilerek boşaltılmaktadır. Şekil 2-5'te FK-DGM topolojisinin anahtarlama sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Tam Köprü FK-DGM İnverter Simülasyon Sonucu

Şekil 2-5 te FK-DGM inverter similasyon sonuçları; I_p akımı ve U_p gerilim şekli gösterilmiştir. FK-DGM in genel olarak dezavantajları; anahtarlar iletimden kesime ve kesimden iletme geçerken, sert anahtarlama nedeni ile oluşan kapama kayıpları her anahtar için meydana gelmekte ve anahtarlama elemanı üzerindeki akım stresi artmaktadır. Dolayısı ile anahtarlama kayıpları artmaktadır. Bu kayıplar Şekil2-5 'te işaretlenmiştir. Anahtarlama kayıplarını azaltmak için FK-DGM topolojisi kullanarak çeşitli yumuşak anahtarlama topolojileri gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçlarında dikkat edilmesi gereken nokta anahtarların konum değiştirdikleri noktalarda meydana gelen streslerdir. Bu stresler sebebi ile yüksek anahtarlama frekansında kontrol problemleri yaşanmakta ve anahtarlama elemanlarının ömürleri azalmaktadır. Anahtarlama frekansını yükseltmek ve MHz seviyesine doğru ilerletmek ancak bu streslerin ortadan kaldırılması ile mümkün olmaktadır. Bu stresler yumuşak anahtarlama topolojileri kullanılarak ortadan kaldırılmaktadır.

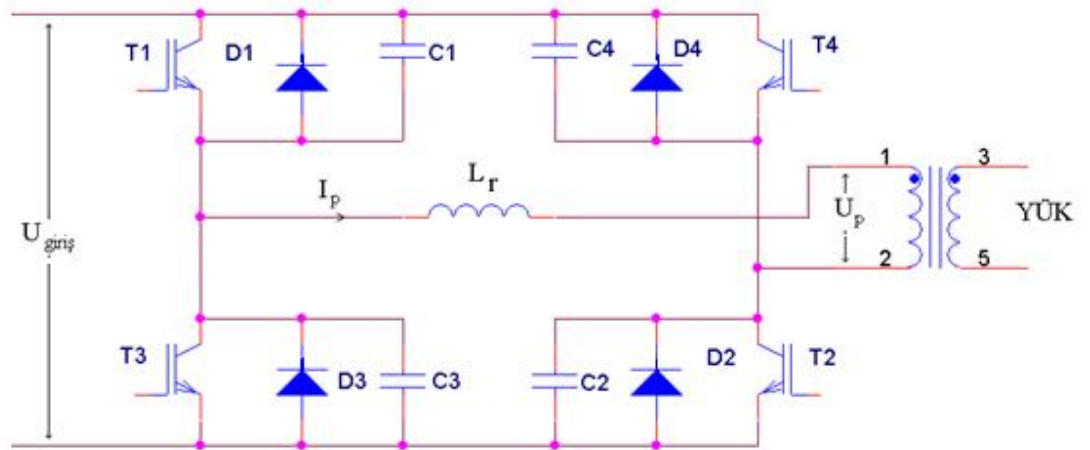
2.2 YUMUŞAK ANAHTARLAMA TOPOLOJİLERİ

Yumuşak anahtarlama topolojileri, FK-DGM topolojileri ve anahtarlama yöntemlerinin birleşimi olarak elde edilmektedir. Farklı kaynaklarda farklı isimlerle (psuede-resonans, quasi resonans vb..) anılmalarına rağmen genel olarak sıfır gerilim (ZV) ve ya sıfır akım (SA) olarak tanımlanmıştır[2]. Bu teknikler anahtarlama kayıplarının azaltılması amacı ile kullanılmaktadır[3]. Bu sayede yüksek frekanslarda anahtarlama yapılmakta ve anahtarlama kayıpları azaltılmaktadır. Bu kısımda incelenecek olan yumuşak anahtarlama topolojileri:

- Sıfır gerilim anahtarlaması (SGA)
- Sıfır akım anahtarlaması (SAA)
- Sıfır akım-sıfır gerilim anahtarlaması(SG-SAA)

2.2.1 SIFIR GERİLİM ANAHTARLAMA (SGA)

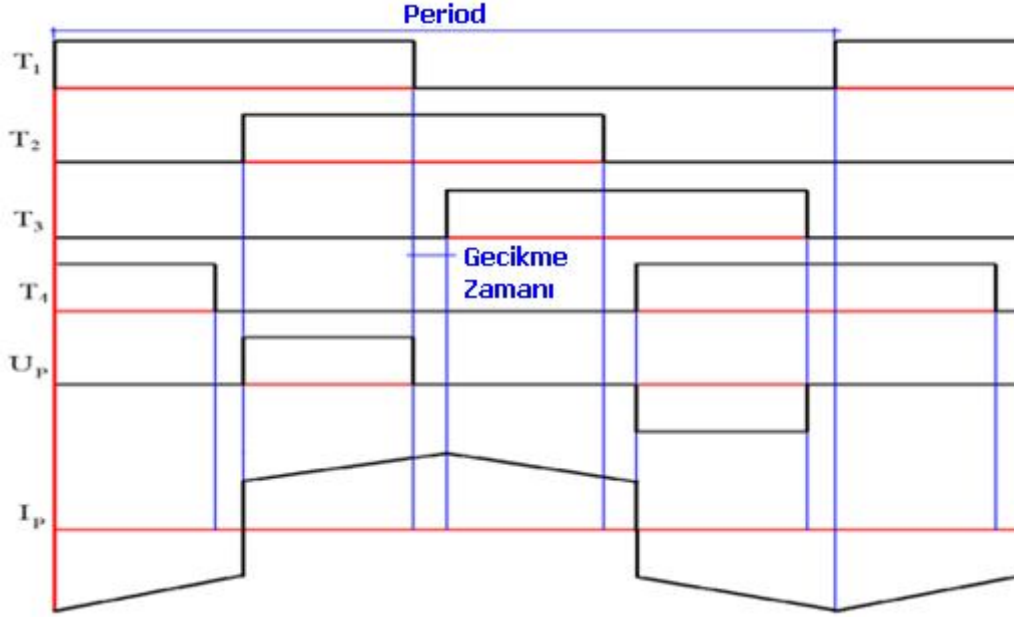
En basit yapıdaki SGA DGM tam köprü konverterlerin güç devresi Şekil 2-6 da gösterilmiştir. Şekil2-6 de temel anahtarlama şekli gösterilmiştir. FK-DGM inveter topolojisine ek olarak, SGA topolojisinde her anahtarlama elemanının geri kazanım diyotlarının her birine paralel kondansatör eklenmiştir. Uygulamada ise kondansatörlere ek olarak kondansatörlere seri olarak, kondansatörün şarj ve deşarj akımının sınırlandırılması için, direnç ve ya diyot yapısı eklenmelidir.



Şekil 2.6 SGA-DGM Tam Köprü İnverter Güç Devresi Şeması

Bu topolojide transformatörün primerine seri olarak bir bobin bağlanmaktadır. Bu bobin transformatörün sızıntı empedansından daha büyüktür.

Böylece sızıntı empedansının sisteme etkisi azaltılmaktadır, benzer şekilde anahtarlama elemanlarına paralel bağlanan kondansatörlerin sisteme kapasitif etkilerinin azaltılmaktadır. Bu sayede sistemim parazit etkilerini yerine sistem tasarımcısının belirlediği parametrelere yakın değerlerde sistem çalıştırılmaktadır. SGA topolojisinin anahtarlama şekli Şekil 2-7 gösterilmiştir.



Şekil 2.7 SGA-DGM İnverter Anahtarlama Şekli

Dikkat edilirse SGA tipi tam köprü inverter ile FK-DGM tipi inverterin çıkış dalga şekilleri aynıdır. SGA yapısının amacı çıkış dalga şeklinde bir optimizasyon yapmak değildir. SGA, adından da anlaşılacağı gibi anahtarlama elemanları üzerinde oluşan gerilim stresini azaltarak anahtarlama kayıplarını azaltmaktır. Anahtarlama elemanlarında gerçekleşen gerilim stresi anahtarlama elemanı iletim durumundan kesim durumuna geçerken inverterin çıkışında bulunan endüktif yapıdan kaynaklanan gerilim stresidir. Aşağıda SGA topolojisi için anahtarlama şekli bir periodluk zaman aralığı için ayrı ayrı anlatılmıştır.

t_2 - t_3 zaman aralığı;

T_2 anahtarı iletime geçtiği zaman transformatörün primer indüktansı (L_{lk}) üzerine kaynak gerilimi uygulanmış olur. I_p transformatörün çıkışındaki yükün çekeceği maksimum akım değerine ulaşıncaya kadar lineer olarak yükselir. C_3 şarj olur. C_2

deşarj olur. C4 kondansatörü tam şarj olmaya devam eder. C1 kondansatörüdeşarj olmuş durumdadır.

t3-t4 zaman aralığı;

T1 anahtarı kesime geçer. Bir önceki durumda C3 kondansatörü tamamen şarj olduğu için T1 anahtarı iletimden kesime geçtiği durumda gerilim stresi gerçekleşmez. Şarjlı olan C3 kondansatörüdeşarj olmaya başlar. Ip akımı azalmaya başlar. C4 ve C2 kondansatörleri bir önceki durumlarını korurlar.

t4-t5 zaman aralığı;

T3 anahtarının iletime geçirilmesi ile C3 kondansatörü tamamendeşarj olur. Ip akımı Llk (transformatörün yapısından meydana gelen , sekonder sargısının prmer sargısına etki eden indüktans) da depolanan enerjinin boşalması hızlı bir şekilde düşer.C1 şarj olmaya başlar.

t5-t6 zaman aralığı;

T2 anahtarı kesime geçer. Bir önceki durumda C4 kondansatörü tamamen şarj olduğu için T2 anahtarı iletimden kesime geçtiği durumda gerilim stresi gerçekleşmez.

T6-t7 zaman aralığı;

T4 anahtarı iletime geçtiği zaman Llk üzerine kaynak gerilimi uygulanmış olur. Ters yönlü Ip transformatörün çıkışındaki yükün çekeceği maksimum akım değerine ulaşınca kadar lineer olarak yükselir. C2 ve C1 şarj olur. C3deşarj olur.

t7-t8 zaman aralığı;

T3 anahtarı kesime geçer. Bir önceki durumda C1 kondansatörü tamamen şarj olduğu için T3 anahtarı iletimden kesime geçtiği durumda gerilim stresi gerçekleşmez. Şarjlı olan C1 kondansatörüdeşarj olmaya başlar. Ip akımı azalmaya başlar. C2 kondansatörü tamamen şarj olmuştur.

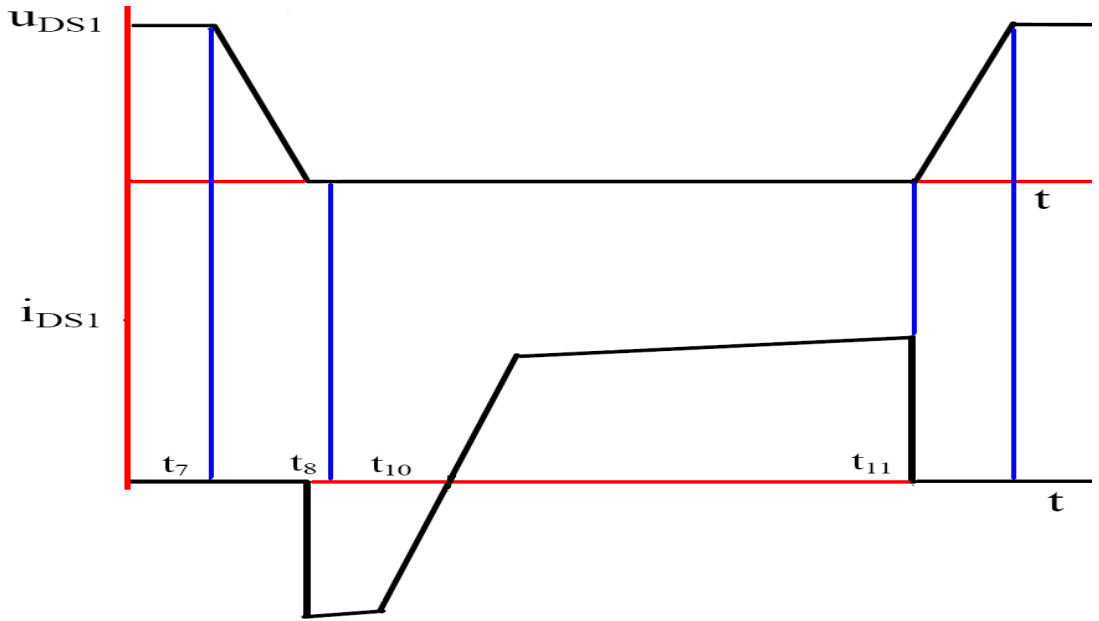
t8-t9 zaman aralığı;

T1 anahtarının iletime geçirilmesi ile C1 kondansatörü tamamendeşarj olur. Ip akımı Llk da depolanan enerjinin boşalması hızlı bir şekilde düşer. C3 şarj olur.

t_9 - t_{10} zaman aralığı;

T3 anahtarı kesime geçer. Bir önceki durumda C1 kondansatörü tamamen şarj olduğu için T3 anahtarı iletimden kesime geçtiği durumda gerilim stresi gerçekleşmez.

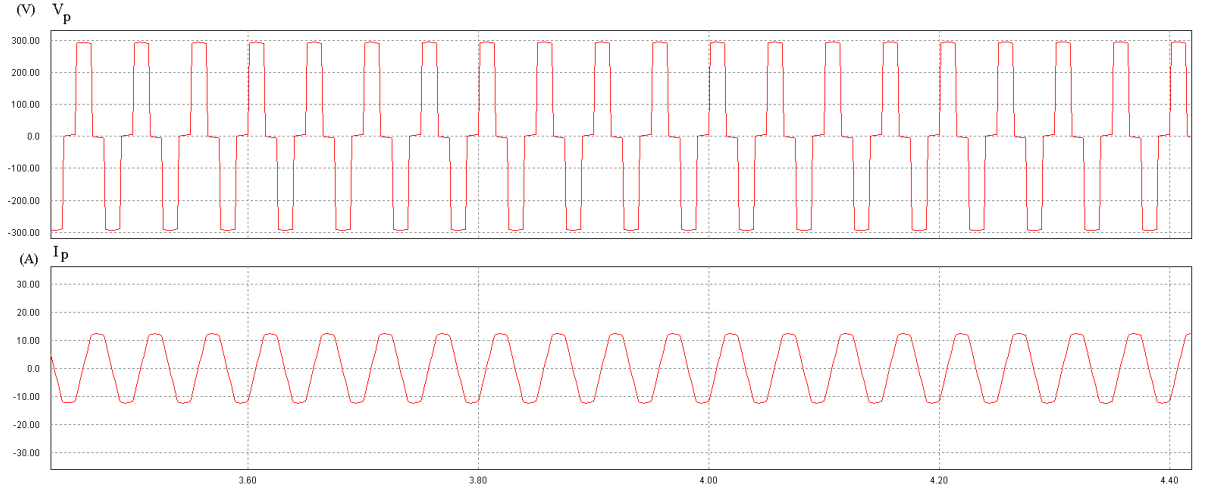
SGA anahtarlama topolojisi anahtarlama elemanlarının üzerinde bulunan gerilim stresinin azaltılması amacı ile kullanılmaktadır. Şekil 2-8 anahtarlama T1 anahtarlama elemanının üzerindeki akım ve gerilim stresi gösterilmiştir.



Şekil 2.8 SGA Topolojisiinde T1 Anahtarlama Elemanı Üzerindeki Gerilim ve Akım Dalga Şekli

Yukarıdaki şekilde anahtarlama elmanı üstünden t_8 anından itibaren ters akım ters kurtarma diyotları üzerinden geçerek anahtarlama elemanında kayıplara neden olmaktadır.

Tam köprü SGA-DGM inverterlerin elde edilen simülasyon sonuçları Şekil 2-9 gösterilmiştir.



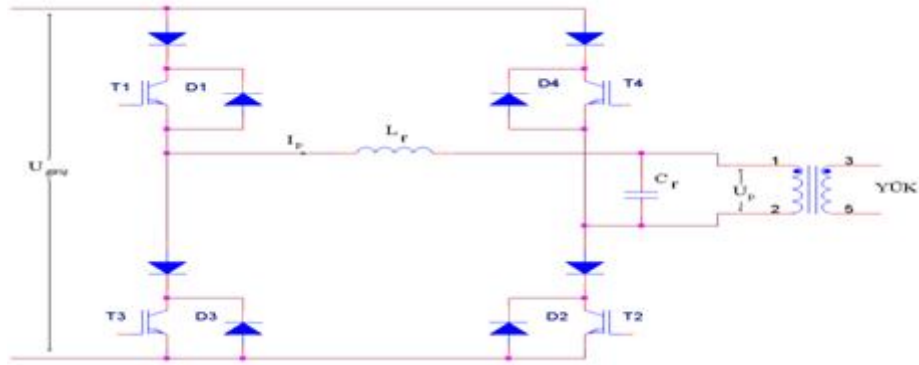
Şekil 2.9 Tam Köprü SGA-DGM İnverter Simülasyon Sonuçları

SGA inverter topolojisi düşük primer anahtarlama kayıpları ile birlikte elektromanyetik uyumluluk sağlamaktadır [2]. Buna karşılık anahtarları kesim durumundan iletim durumuna geçerken oluşan iletim kayıpları, anahtarlama elemanlarına paralel bağlanılan kondansatörlerin etkisi ile, FK-DGM topolojisine göre artmaktadır. Hızlı akım çeken yüklerde, transformatörde yeterli enerji hızlı bir şekilde indüklenememektedir. Bu durumlarda sıfır akım anahtarlama topolojisi (SAA) kullanılmaktadır. Diğer bir dezavantajı ise giriş geriliminin yükselmesi durumunda daha büyük kondansatörlere ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca anahtarlama zamanları hesaplanırken kondansatörün şarj ve deşarj zamanları da uygun olarak hesaplanmalıdır. Kondansatörlerin tam şarj durumları ve tam deşarj durumları anahtarlamalarda istenilen sonuçların elde edilememesine neden olmaktadır.

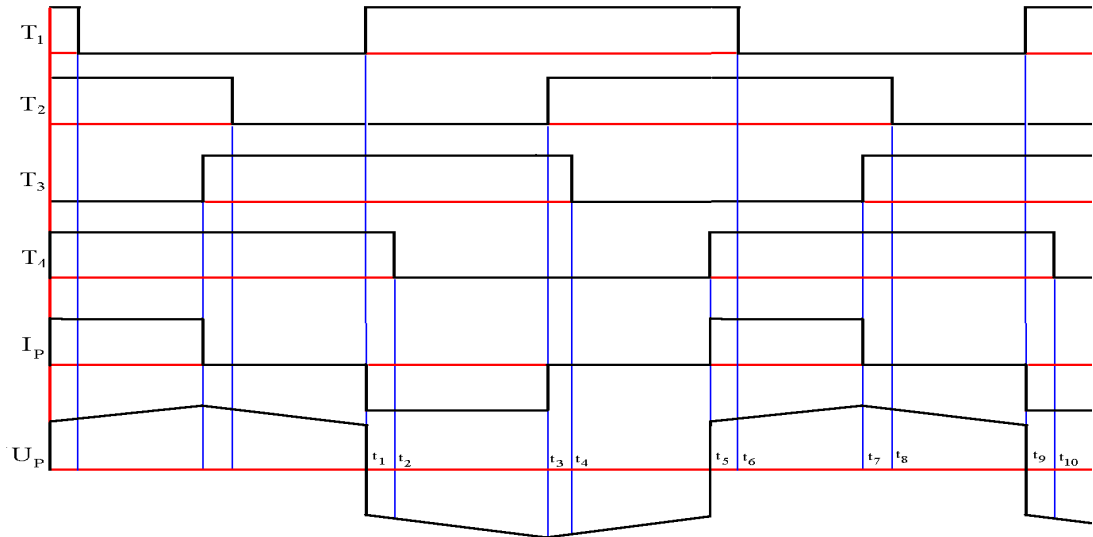
2.2.1 SIFIR AKIM ANAHTARLAMA (SAA)

SAA DGM inverterler, SGA inverterlerdeki prensibi kullanılarak oluşturulmuştur [3]. En basit yapıdaki SAA DGM tam köprü inverterin güç devresi Şekil 2-10 de gösterilmiştir. FK-DGM ve SGA topolojilerinde ters kurtarma diyotları anahtarlama kayıplarını arttırmakta ve gürültü oluşturmaktadır [3]. FK-DGM konverterlere ek olarak her anahtarlama elemanlarının ters kurtarma diyotlarının etkisi yok etmek için her bir anahtarlama elemanına seri diyot eklenir. Aynı şekilde rezonans kondansatörü (C_r) transformatör primer bobine paralel olarak bu sayede primer bobinin indüktans etkisi azalmaktadır. Eklenen rezonans bobini L_r transformatörün primer tarafındaki bobine seri olarak eklenmektedir. Bunun avantajı

ise L_{lk} nın indüktif etkisi C_r ile azaltıldığı zaman eklenen seri bobin ile sistemin parametreleri transformatörden bağımsız olarak belirlenmiş olacaktır. Yani transformatörün indüktansı kendisine paralel bağlanılan C_r kondansatörü ile kompanse edilmekte ve seri bağlanılan L_r bobini ile toplam indüktans istenilen seviyeye çekilmektedir. Devrenin önemli bir avantajı da seri diyotlar SGA ile düzenlendiğinden ters iyileşme (recovery reverse) diyotlarından kaynaklanan ters akım problemine maruz kalmazlar, böylece anahtarlama kayıpları azalmaktadır. Bu nedenle, bu yöntem yüksek gerilim uygulamaların ve güç düzeltme devrelerinde avantajlıdır [2]. Bunun yanında daha yüksek çıkış gücü istendiğinde ise idealden uzaklaşmaktadır [2]. En basit yapıdaki SAA DGM tam köprü inverterlerin anahtarlama şekli Şekil 2-11 da gösterilmiştir.

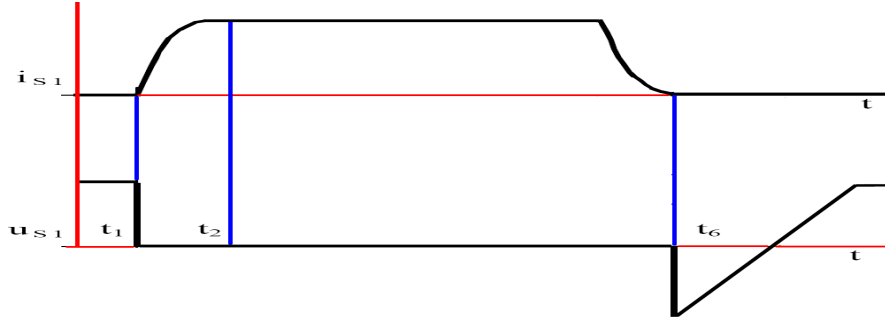


Şekil 2.10 SAA-DGM Tam köprü İnverter Güç Devresi Şeması



Şekil 2.11 SAA-DGM İnverter Anahtarlama Şekli

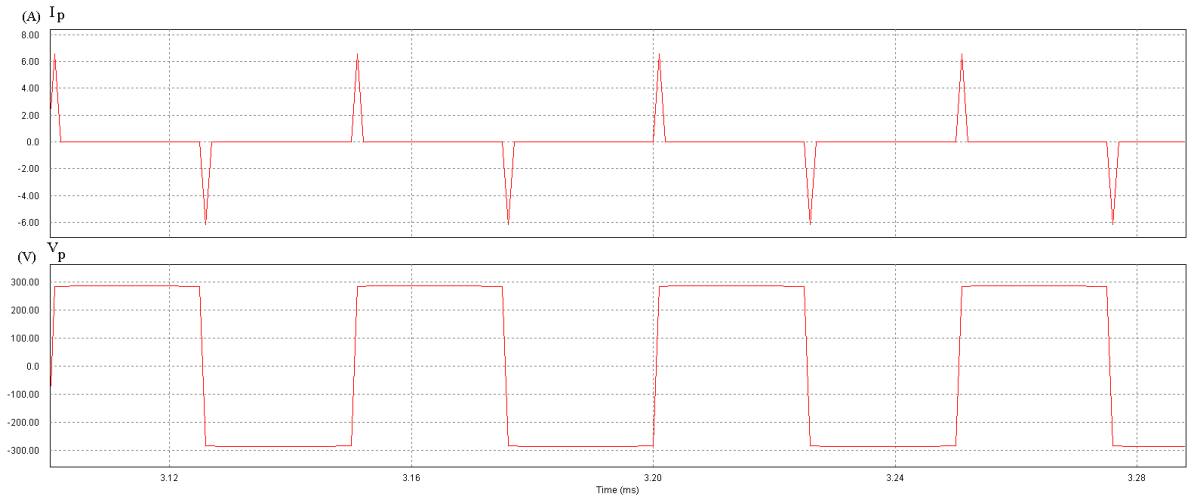
SAA anahtarlama topolojisi anahtarlama elamanlarının üzerinde bulunan gerilim stresinin azaltılması amacı ile kullanılmaktadır. Şekil 2-12 anahtarlama T1 anahtarlama elemanının üzerindeki akım ve gerilim stresi gösterilmiştir.



Şekil 2.12 SAA Topolojisinin T1 Anahtarlama Elemanı Üzerinde Oluşan Gerilim ve Akım Şekli

Şekil 2-11 ve Şekil 2-12 incelendiğinde SAA topolojisinin anahtarların kesim durumundan iletim durumuna geçerken gerçekleşen akım stresini azalttığı gözlemlenecektir. Bu durum ancak enerjilendirilen transformatöre paralel bağlanan C_r kondansatörü etkisi ve anlık olarak transformatörün anlık olarak kısa devre edilmesi sayesinde, transformatör üzerindeki enerjinin anlık olarak boşaltılmasıdır.

Tam köprü SAA-DGM inveterin elde edilen simülasyon sonuçları Şekil 2-13 gösterilmiştir.



Şekil 2.13 Tam köprü SAA-DGM İnverter Simülasyon Sonuçları

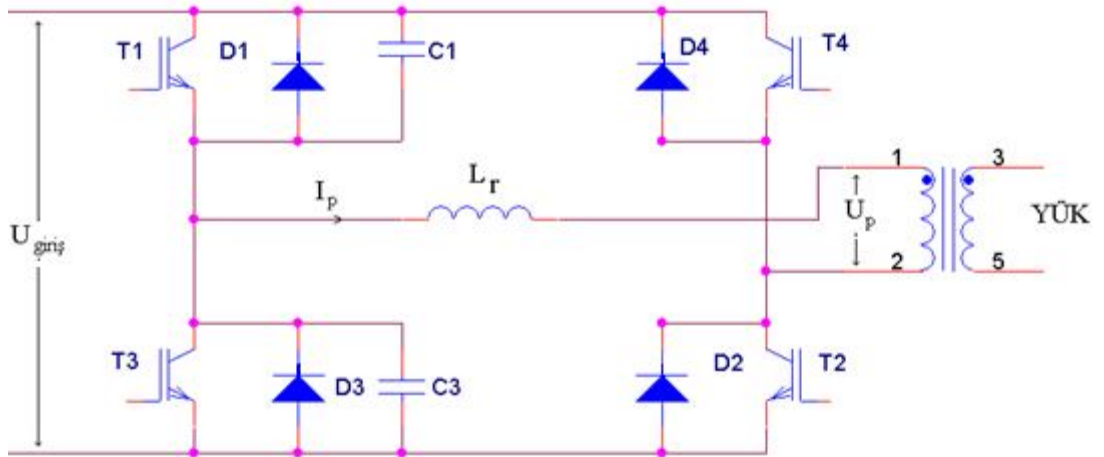
SAA topolojisi ters kurtarma diyotlarının etkisini ortadan kaldırdığı için hızlı yüklenen yüklerde avantajlıdır. Ancak anahtarlama şekli nedeni ile anahtarlama elemanının yarı gücünden daha güçlü yüklerde kullanılamamaktadır. SAA topolojisi

yüksek güç gerektiren durumlarda, SGA topolojisi hızlı yüklenmesi gereken yüklerde avantajlı değildir. Bu durumlarda sıfır akım- sıfır gerilim anahtarlama topolojisi kullanılmaktadır.

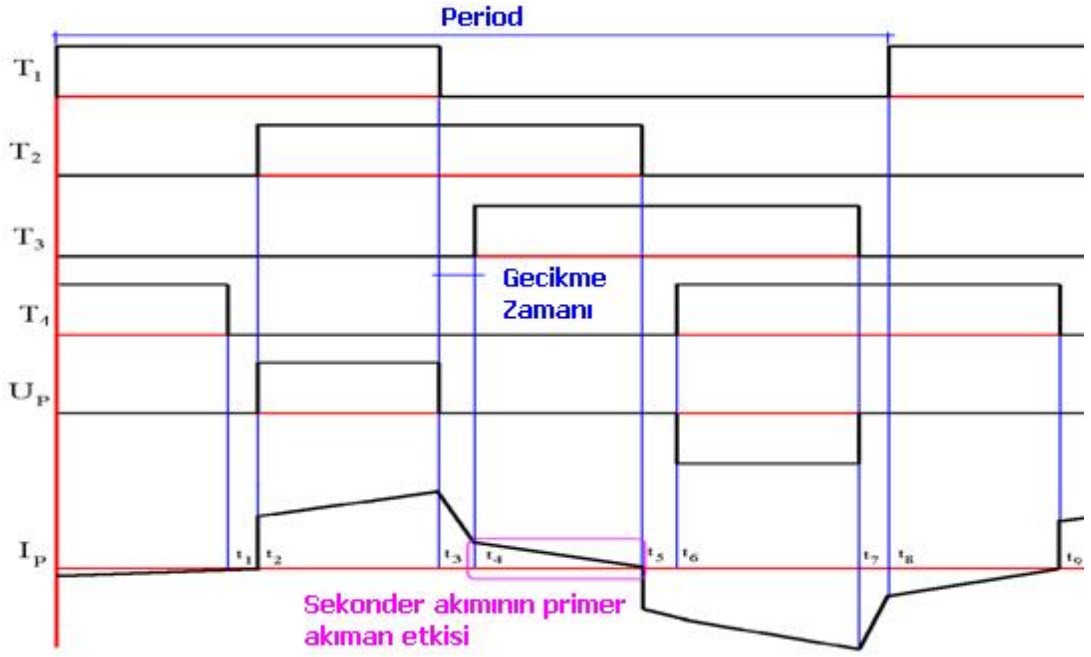
2.2.3 SIFIR GERİLİM-SIFIR AKIM ANAHTARLAMA (SG-SAA)

Daha önce incelenmiş olan SGA ve SAA topolojilerinin kıyaslandığında; SGA nin güçlü yükler için, SAA nin ise daha fazla hız gerektiren yükler ve yüksek gerilim elde edilmesi için kullanılmasının daha uygun olacağı görülmüştür [3]. İki topolojinin benzetiminden elde edilen SG-SAA hem yüksek güç hemde yüksek gerilim elde edilmesinde kullanımı daha verimlidir [3]. Ancak bu topolojide çıkış akımının girişe etkisi, yani sirkilasyon akımlarının etkisi, artmaktadır. Bu durum ise çıkış akımının kontrolünün sağlanması ile mümkündür. Kısaca anahtarlar kesim durumuna geçerken SGA nin sağlanması için transformatörün çıkışında yükten çekilen akımın sıfırlanması gerekmektedir.

En basit yapıdaki SG-SAC DGM tam köprü konverterlerin güç devresi Şekil 2-14 te gösterilmiştir. FK-DGM konverterlere ek olarak ana kol olarak seçilen anahtarlara paralel kondansatör eklenmiştir. Uygulamada paralel kondansatörlere ek olarak bu kondansatörlere seri olarak diyot ve direnç yapısı eklenmektedir. Şekil 2-15 de SG-SAA nin anahtarlama şekli gösterilmiştir.

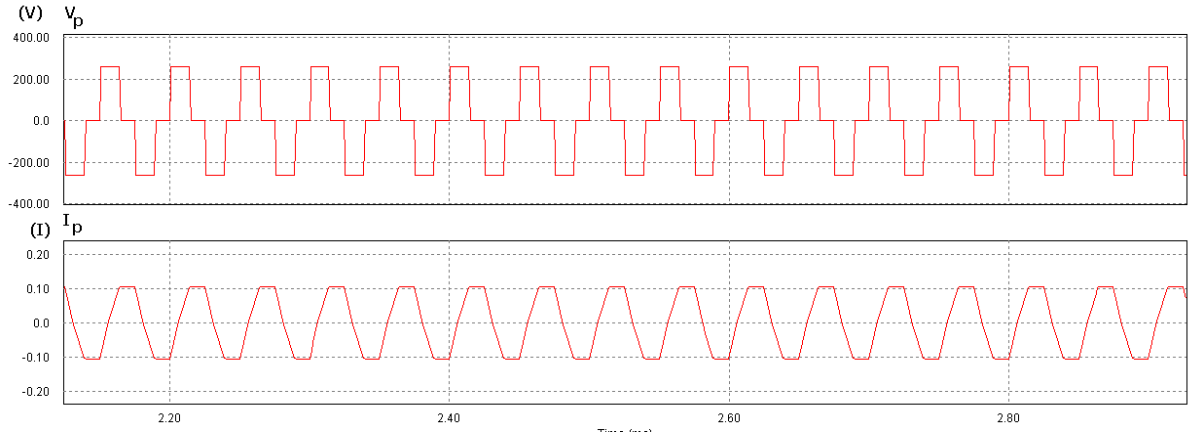


Şekil 2.14 SG-SAA-DGM Tam Köprü İnverter Güç Devresi Şeması



Şekil 2.15 SG-SAA-DGM İnverter Anahtarlama Şekli

Güç devrelerinde kullanılan güç elemanlarının, özellikle IGBT'lerin anahtarlama hızları iletme geçme kayıpları nedeni ile sınırlıdır. SGA paralel kondansatör ekleyerek anahtarlama elemanları üstündeki bu stresi azaltmaktadır. Anahtarlama elemanları sıfır akımda iletme geçecek. SG-SAA transformatörün parazitik değerlerini (primer bobini vb..) kullanarak her elemanın SGA de çalışmasını sağlamaktadır. [3] SG-SAA topolojinin ise en büyük dezavantajı sirkülasyon akımlarıdır. Sirkülasyon akımları ise daha çok devrenin sekonder kısmındaki akımın sürekliliğinden kaynaklanan akımlardır. Bunu engellemenin yöntemi ise çıkıştaki akımı snubber yapısı ile sınırlamaktır. [3] Şekil 2-16 Tam köprü ZV SAA inverter simülasyon sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 2.16 Tam köprü SA-SGA DGM İnverter Similasyon Sonuçları

Şekil 2-16 da sirkilasyon akımların etkisi azaltılmıştır. Bu durum sadece transformatörün çıkışına BÖLÜM 4 te anlatılan çok katmanlı gerilim katlayıcıları eklenerek gerçekleştirilmiştir.

2.3 SONUÇ

SGA anahtarlama topojsi güçlü yüklerde kullanılmaya uygundur ancak hız yüklenmesi gereken yüklerde kullanımı avantajlı değildir. SAA anahtarlama topolojsi güçlü yüklerde kullanılmaya uygun değildir ancak hız yüklenmesi gereken yüklerde kullanımı avantajlıdır.

SG-SAA topolojsi çıkış akımının etkisi ile sirkülasyon akımlarının kontrol edilebildiği durumlarda avantajlıdır.

YG uygulamalarında bu üç topolojide kullanılabilmektedir. Piyasada görülen uygulamalarda bu üç topolojininde farklı uygulamalarda kullanıldıkları görülmüştür. Bu çalışmada SGA ve SA-SGA uygulamasının istenen çıkış şartlarını sağlayacağı görülmüş ve uygulamalar SGA topolojsi kullanılarak yapılmıştır.

3. YÜKSEK FREKANSLI YÜKSEK GERİLİM TRANSFORMATÖRÜ (YGHFT)

3.1.Giriş

Transformatörler, alternatif akım (AA) sinyallerinin gerilim ve akım seviyelerinin farklı gerilim ve akım seviyelerine dönüştürülmesi için kullanılan güç elektroniğinde vazgeçilemeyen ve pahalı manyetik güç elemanlarıdır. Oldukça geniş kullanım alanlarına sahip olduklarından birçok farklı alanlarda kullanmak için çeşitli tiplerde üretimi bulunmaktadır.

Yüksek frekanslı transformatörler, yüksek frekanslı ($>5\text{kHz}$) AA sinyallerde verimli çalışabilen transformatörlerdir. Genel olarak bu özellik transformatörde kullanılan manyetik nüvenin özelliğidir. Yüksek frekans transformatörün maliyetini ve boyutlarının küçültülmesini sağlamaktadır.

Yüksek gerilim transformatörleri, ($>10\text{kV}$) AA gerilim tepe değerlerine ulaşan gerilimlerde çalışan transformatörlerdir. Yüksek gerilim temel olarak bazı yalıtım problemlerinin oluşmasına neden olmaktadır.

Bu bölümde yüksek frekanslı yüksek gerilim transformatörün genel yapısı, avantajları, özellikleri, yalıtım özellikleri incelenmiştir.

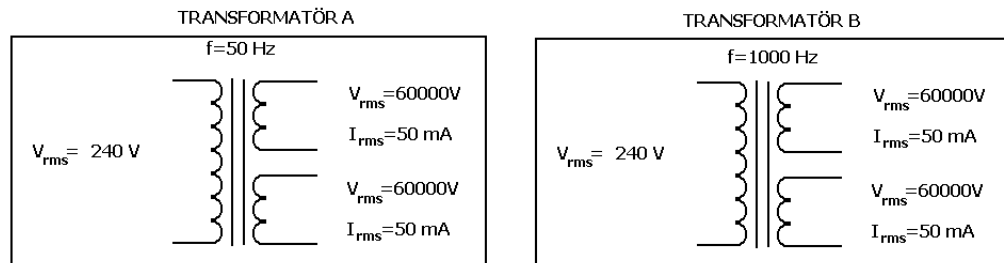
3.2Yüksek Frekanslı Transformatörler

Yarı iletken teknolojisindeki gelişmeler sonucunda, anahtarlama frekansının yükseltmek güç elektroniğindeki önemli eğilimlerden biri haline gelmiştir. Anahtarlama frekansını yükselterek güç elektroniğinde kullanılan pasif elemanların (bobin, transformatör vb..) boyutlarının küçülmesine dolayısı ile hafiflemesine neden olmuştur Bu bölümde transformatörlerin yüksek frekanslarda çalıştırılmasının meydana getirdiği avantajlar incelenmiştir.

Temel transformatör dizaynında yapılan hesaplamalar aşağıda belirtilmiştir. Bu hesaplamalarda 2 adet her özelliği aynı transformatör kullanılmıştır. Sadece çalışma frekansları ile sınırları karşılaştırılmıştır. Bu hesaplar için gerekli temel parametreler Tablo 3-1 de gösterilmiştir. Her iki transformatörün bağlantı şekli Şekil3-1 de gösterilmiştir.

Tablo 3.5 Alçak Frekanslı Transformatörlerin Sarım Hesapları İçin Parametreler

Genel özellikler			
U_p	Primer Gerilimi	240	V
U_{s1}	1.Sekonder Gerilimi	60000	V
U_{s2}	2.Sekonder Gerilimi	60000	V
I_{s1}	1.Sekonder Akımı	0,05	A
I_{s2}	2.Sekonder Akımı	0,05	A
η	Transformatör Verimi	95,3	%
S	Manyetik Nüve Kesiti	46,2	cm^2
B	Manyetik endüksiyon	12000	Gaus
f	Çalışma Frekansı A Transformatörü	50	Hz
	B Transformatörü	1000	Hz



Şekil 3.1 Alçak Frekanslı Transformatör Parametreleri

Genel olarak yukarıdaki Tablo 3-1’de verilen değerler ile transformatörün sarım hesabı yapılabilir. Transformatör hesabına önce manyetik akı (ϕ), aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$\phi = B \times S = 12000 \times 46,2 = 554400 \quad \text{Maxwell}$$

Manyetik akı hesaplandıktan sonra; Transformatörün primer ve sekonder katmanlarında belirlenen gerilim (U) değerlerine bağlı olarak tur (N) aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$N = \frac{U}{4,44 \cdot f \cdot \phi \cdot 10^{-8}}$$

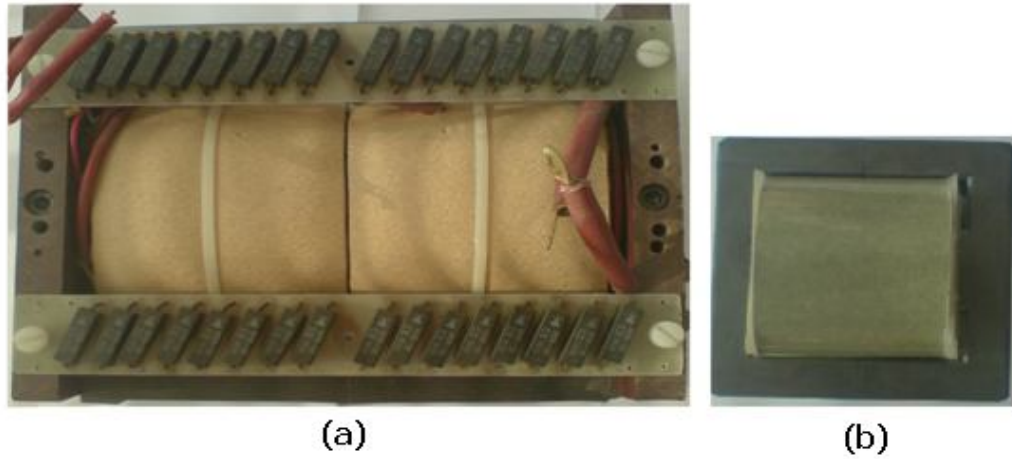
Tablo 3-2 'de Transformatör A ve Transformatör B için yapılan primer ve sekonder sarım hesabı için yapılan hesaplarının kıyaslamaları bulunmaktadır.

Tablo 3.6 Düşük Frekanslı Transformatörlerin Frekans Sarım Hesapları Kıyaslama Tablosu

Parametre	A Transformatörü	B Transformatörü
Primer Sarımı N_p (Tur)	$N_p = \frac{U_p}{4,44 \cdot f \cdot \phi \cdot 10^{-8}} = 188$	$N_p = \frac{U_p}{4,44 \cdot f \cdot \phi \cdot 10^{-8}} = 9$
Birinci Sekonder Sarımı N_{s1} (Tur)	$N_{s1} = \frac{U_s}{4,44 \cdot f \cdot \phi \cdot 10^{-8}} = 48750$	$N_{s1} = \frac{U_s}{4,44 \cdot f \cdot \phi \cdot 10^{-8}} = 2437$
İkinci Sekonder Sarımı N_{s2} (Tur)	$N_{s2} = \frac{U_s}{4,44 \cdot f \cdot \phi \cdot 10^{-8}} = 48750$	$N_{s2} = \frac{U_s}{4,44 \cdot f \cdot \phi \cdot 10^{-8}} = 2437$

Tablo 3-2'den anlaşılacağı gibi transformatör hesabında çalışma frekansı önemli bir parametredir. Sarım hesaplarına direkt etki etmektedir. Dolayısı ile frekansı yükselterek aynı çıkış gerilim ve akım değerlerine daha az sarım sayısı ile ulaşılabilir. Böylece transformatör ucuzlamakta, hafifletmekte ve boyutları küçülmektedir. Bunun yanı sıra transformatörün devreye olan parazitik etkileri azalmaktadır.

Yüksek frekanslarda klasik saç nüvelerin yerini alan ve daha yüksek manyetik akı yoğunluğuna sahip, ferrit nüveler kullanılmaktadır. Ferrit nüveler, farklı frekans (5 KHz-1 MHz) değerlerinde, farklı boyut ve ölçülerde çeşitleri bulunmaktadır. Böylece çalışma frekansları daha da yükseltilmekte ve boyutlar küçülmektedir. Şekil 3-2 de aynı akım ve gerilim değerlerine sahip olan 50 Hz frekansında çalışan transformatör ile 50 kHz frekansında çalışan transformatörün gerçekleşmiş şekilleri gösterilmiştir.

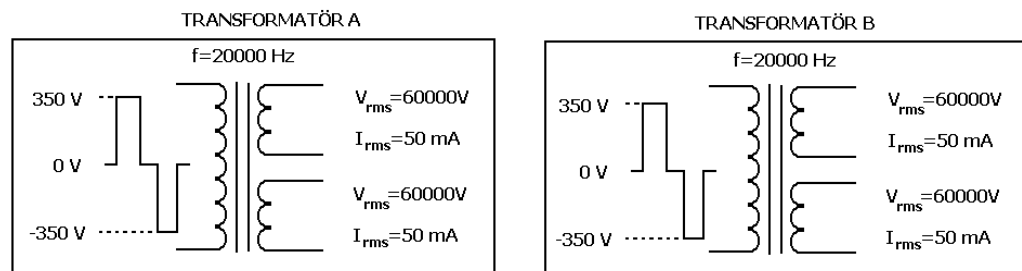


Şekil 3.2 Yüksek ve Düşük Frekanslı Transformator Gerçeklenmiş Şekilleri

(a) 50 Hz Frekansında Çalışan Transformator (b) 50 KHZ Frekansında Çalışan Transformator

Yüksek frekanslı transformator sarım hesaplarının tamamı Ek-1 de gösterilmiştir. Hesaplama işlemleri genel olarak ferrit nüve üretici firmaların kendilerinin ürettiği programlar tarafından yapılabilmektedir. Ancak YG uygulamaları için programlar yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle TITAN MAGIC gibi daha profesyonel programlar kullanılmaktadır.

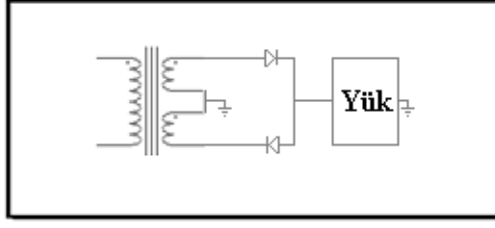
Yapılan 2 adet ortak uçlu yüksek frekanslı yüksek gerilim transformatorün (YGHFT) parametreleri Şekil 3-3 de gösterilmiştir. Bu iki transformator aynı doğru akım (DA) gerilim seviyesinde çıkış vermek için Şekil 3-4 gösterilen topolojiler kullanılarak elde edilmişlerdir.



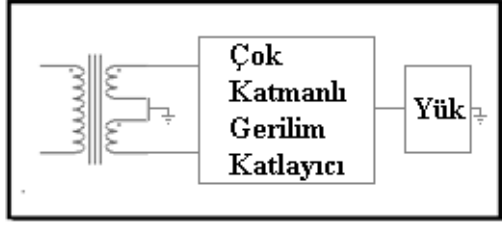
Şekil 3.3 YGHFT Transformatorlerin Parametreleri

Şekil 3-3 'de gösterildiği gibi transformatorlerin gerilim değerleri haricinde bütün parametreleri aynıdır. Şekil 3-4 de Transformator A ve Transformator B 'nin çıkış bağlantı şekilleri gösterilmiştir.

TRANSFORMATÖR A



TRANSFORMATÖR B



Şekil 3.4 Yüksek Frekanslı Transformatörlerin Çıkış Bağlantı Şekilleri

Transformatör A'nın sekonder katmanında doğrultucu diyotlar ile doğrultularak istenilen Yüksek Gerilimli Doğru Akım (YGDA) seviyeyi elde etmek için yapılmıştır. Transformatör B de ise aynı YGDA seviye çok katmanlı gerilim katlayıcılar kullanılarak elde edilmektedir. Çok katmanlı gerilim katlayıcıların avantajları ayrıntılı olarak Bölüm 4' te incelenmiştir. Yapılan hesaplamalar tamamen aynı parametreler de yukarıda belirtilen kullanım şekillerine göre belirlenmiştir. Hesaplanan transformatör özellikleri Tablo 3-3' de gösterilmiştir.

Tablo 3-3 'da görüleceği gibi Transformatör A ve Transformatör B'nin sekonder sarımlarındaki tur adetleri çıkışlarında kullanılan aynı gerilim seviyesindeki YGDA elde etmek için kullanılmaktadır. Transformatör A'nın sekonder katmanında doğrultucu diyotlar ile doğrultularak istenilen YGDA seviyeyi elde etmek için yapılmıştır. Transformatör B de ise aynı YGDA seviye çok katmanlı gerilim katlayıcılar kullanılarak elde edilmektedir. Temel olarak bu kıyaslama çok katmanlı gerilim katlayıcılarının yapısı nedeni ile yüksek frekanslarda yapılabilir. Sarım adetinin azalması hem maliyet açısından hem de YGHFT nin kontrolü açısından, pratik etkilerin azaltarak, birçok avantaj getirmektedir. Bu avantajlar, Bölüm: 4. ÇOK KATMANLI GERİLİM KATLAYICILARI bölümünde incelenmiştir.

Tablo 3.3 Yüksek Frekanslı Transformatörde Yapılan Hesaplama Sonuçları.

Paremetreler		A	B
Toplam pencere kullanım Oranı*		0,381	0,348
Primer Sarımı adedi	TUR	39	39
Primer iletken kesiti	mm	0,8189	0,8189
Primer İletken Adedi	Adet	1	1
Primer İletken kayıpları	watt	0,065	0,065
Primer direnci	Ω	0,01	0,01
Primer RMS akımı	Amper	17,493	2,566
Hesaplanan 1.Sekonder gerilimi	Volt	61196,2	22435,9
Hesaplanan 1.Sekonder Sarımı	TUR	6819	2500
Hesaplanan 1.Sekonder Kesiti	mm	0,3659	0,3659
Hesaplanan 1.Sekonder İletken Adedi	ADET	1	1
Hesaplanan 1.Sekonder Bakır kayıpları	watt	1,087	0,025
Hesaplanan 1.Sekonder direnci	Ω	434,731	63,451
Hesaplanan 1.Sekonder RMS akımı	Amper	0,05	0,05
Hesaplanan 2.Sekonder gerilimi	Volt	61196,2	22435,9
Hesaplanan 2.Sekonder Sarımı	TUR	6819	2500
Hesaplanan 2.Sekonder Kesiti	mm	0,3659	0,3659
Hesaplanan 2.Sekonder İletken Adedi	ADET	1	1
Hesaplanan 2.Sekonder Bakır kayıpları	watt	1,087	0,025
Hesaplanan 2.Sekonder direnci	Ω	434,731	63,451
Hesaplanan 2.Sekonder RMS akımı	Amper	0,05	0,05
Sarımının Turu Başına Gerilim	V	8,97	8,97

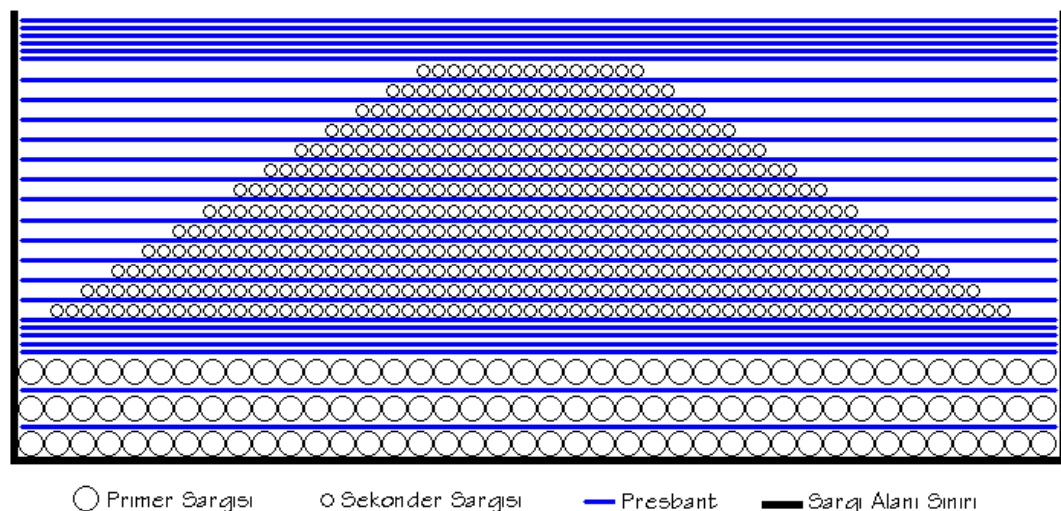
*Bu parametre alanda kullanılan iletken alanının toplam alana oranıdır.

3.3Yüksek Gerilimli Transformatör Yalıtım Özellikleri

Yüksek gerilim (YG) uygulamalarında gerilim seviyesi 10 kV ve üzerinde olması nedeni ile kullanılan transformatörlerin elektriksel olarak yalıtımı, transformatörün güvenli çalıştırılabilmesi için önemli bir parametredir. Yüksek frekans uygulamalarında, transformatör boyutunun küçülmesi ve kısa mesafelerde (birkaç milimetre) yüksek potansiyel farklarının bulunması nedeni ile kullanılacak olan yalıtım malzemeleri önem kazanmaktadır. Temel olarak yalıtım için kullanılan yalıtım kağıtlarının (presbant) yalıtım dayanımları 10 kV/1mm değerlerine ulaşmıştır. Yüksek frekanslı uygulamalarda küçük alanlarda yalıtımın yapılması zorunluluğu ve termal olarak soğutma etkisinden dolayı yüksek frekanslı yüksek gerilim transformatörü (YGHFT) lerde yalıtım yağları kullanılmaktadır.

Transformatörün yalıtımı temel olarak kullanılan bobin telinin yalıtım özelliklerine, kullanılan yalıtım kağıdına, yalıtım için kullanılan yağ parametrelerine bağlıdır. Ek2 de emaye bobin iletkenlerinin yalıtım tipleri ve bu yalıtım tiplerinin özellikleri belirtilmiştir. Transformatörlerde uygun yalıtım değeri ve elde edilebilir olması nedeni ile H tipi iletken kullanılmıştır.

YG transformatörlerinde kullanılan presbantlar birkaç kilo volt (kV) için yalıtım sağlayabilmektedir. Ancak pres bantlar YG uygulamalarında tek başına yeterli yalıtımı tek başlarına sağlayamamaktadırlar. YG uygulamalarında transformatör sarım şekli de önemi bir parametredir. YG uygulamalarda sarımı yapılan transformatörlerin sarım şekli Şekil3-5 gösterilmiştir.



Sekil 3.5 YG Transformatör Sarım Şekli

Şekil 3-5 te sarım kesiti gösterilmiştir. Her sarım katmanı arasına presbant kullanılmıştır. Bazı yerlerde ise presbantlar birkaç kat kullanılmıştır. Bunun amacı elektriksel yalıtımı kuvvetlendirmektedir. Diğer önemli bir uygulama şekli ise; sekonder sarımı kenarlardan her katta daralarak sarılmıştır. Bunun sebebi ise gerilimin maksimum noktasına ulaşan en dış katman ile gerilim çok düşük olduğu ilk katta mesafe arttırarak yalıtımı kuvvetlendirmektir. Ancak kullanılan bu yalıtım önlemleri YG uygulamalarında parazitik etkilere katkı sağlamaktadır.

Transformatörler, güç sistemlerinde önemli ve pahalı olan elemanlardır. Buna karşılık bu elemanlar eş zamanlı olarak mekanik, termal ve kimyasal streslere dayanmak zorundadır [12]. Transformatörün yaşam ömrü en temelde transformatörün çalışma süresine bağlı olarak sıcaklığa ve sıcaklıkla meydana gelen kimyasal reaksiyonlarla etkilenen yalıtım mekanizmasına bağlıdır [12]. Transformatörün sıcaklığı yükten çekilen akıma, sürekli çalışma süresine bağlı olarak artmaktadır[12]. Bu nedenle transformatörün ısınması zaman içerisinde transformatörde verimi ve yalıtım kalitesini etkileyecek, belli bir sıcaklık kademesine ulaşıldığında ise ısıl kırılma gerçekleşecektir. Isıl kırılma sıcaklığı HOTSPOT sıcaklığı olarak tanımlanmıştır. HOTSPOT sıcaklığı transformatörün tahmin edilen ömrünü hesaplamakta kullanılan en önemli parametrelerdendir[12]. Bu sıcaklık parametresine ulaşılması durumunda yalıtımda ani termal kırılmaya neden olur ve buna bağlı olarak, transformatörün termal çöküşüne neden olmaktadır. Bu sebeple kullanılan yalıtım yağı materyali önem kazanmaktadır. Yalıtım yağı kullanımı ile kılavuzları IEEE tarafından yayınlanan; doğal yalıtım yağları için: IEEE Std C57.147™-2008 ‘IEEE Guide for Acceptance and Maintenance of Natural Ester Fluids in Transformers’[13] ve mineral katkılı yalıtım yağları için: IEEE Std C57.91-1995 ‘IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers’[14] olarak tanımlanmıştır.

Şekil 3-5 de gösterilen transformatör sarım şekli ve A transformatörü hesabı ve belirlenen nüve yapısı incelendiğinde görülecek olan şudur ki yaklaşık 10 mm mesafede rms değer olarak 22500 V, aynı şekilde B transformatöründe 13 mm mesafede rms yaklaşık değer olarak 61000V yalıtılacaktır. Aynı şekilde primer sarımı ile sekonder sarımlarının da birbirinden elektriksel olarak yalıtılması gerekmektedir. Elektriksel yalıtım bu günkü teknolojiye mümkün olsa da uygulamadaki mekanik ve vakumda yaşanan problemler yalıtım sorunlarını

arttırmaktadır. YGHFT deki diğer önemli sorun, primer ile sekonder sarımı arasındaki elektriksel izolasyondan kaynaklanan sızıntı endüktansı ve parazitik kapasitedir [12].

Presbantların sürekli içinde bulunduğu yalıtım yağı ile girdiği kimyasal tepkimeler, tepkime hızına bağlı olarak, transformatörün elektriksel yalıtımına zarar vermekte ve ömrünü azaltmaktadır. Şekil-3-6 YGHFT kullanılan presbantların aynı ısıda iki çeşit izolasyon yağında gösterdiği tepkimeler gösterilmiştir.



Şekil 3- 6 YGHFT 40000 saat çalıştırılan presbant görüntüleri[12]

Transformatörlerde ısı sonucu gerçekleşen tepkimeler yüksek sıcaklık ve uzun sürelerde, mineral yağ bulundurulan kaplamaların yüzeylerinde birikinti ve karbon içerikli tortular meydana gelmiştir. Doğal ester bulunduran kaplar ise temiz kalır. Doğal ester dielektrik sıvısındaki pres bantın eskimesi transformatör yağ ile kıyaslanarak elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında doğal ester seçilir [12].

Kullanılan yalıtım yağı yalıtım, sızıntı empedansı, corona etkisi ve parasitamik kapasitanstan kaynaklanan problemlerin azaltmanın önemli bir yolu olmakla birlikte elektriksel olarak, YGHFT de bu etkileri en aza indirmenin yöntemi sekonder sarımının azaltılmasıdır. Bu nedenle DA gerilimlere ulaşmak için çok katmanlı gerilim katlayıcılar kullanılmaktadır. Bölüm 4'te bu konu ayrıntılı olarak incelenmiş avantajları ve dez avantajları belirtilmiştir. Gerilim katlayıcı da kullanılan YG diyot ve kondansatörlerin kayıpları göz önüne alınarak yapılan B transformatörü, A transformatörüne göre yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı daha avantajlıdır.

3.4.Sonuç

Transformatörler, güç elektroniğinde oldukça geniş uygulama alanını sahip devre elemanlarıdır. Yarı iletken teknolojisinde gerçekleşen gelişmeler sayesinde yüksek anahtarlama hızına sahip devre elemanları ile transformatörlerin yüksek frekanslarda kontrolü gerçekleştirilebilmektedir. Yüksek frekanslı transformatörlerin boyutları ve maliyetleri azaltmıştır.

YG transformatörlerde önemli bir parametre yalıttır. Kullanılan emaye iletkenin izolasyonu, katlar arasında kullanılan yalıtt kâğıtları (presbantlar) ve yalıtt yağları yalıttı etkileyen en önemli parametrelerdir. YG uygulamalarında, kullanılacak malzemelerin yanı sıra transformatörün sarım şeklide önemlidir. Bununla birlikte birlik YG transformatörlerde en önemli parametre kullanılan yalıtt yağlarıdır. Yalıtt yağları elektriksel yalıttın yanı sıra transformatörün soğumasında yardımcı olur. Yalıtt yağı kullanımı ile kılavuzları IEEE tarafından yayınlanan; IEEE Std C57.147™-2008 ‘IEEE Guide for Acceptance and Maintenance of Natural Ester Fluids in Transformers’ [13] ve IEEE Std C57.91-1995 ‘IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers’ [14] olarak tanımlanmıştır.

4. ÇOK KATMANLI GERİLİM KATLAYICISI

Çok katmanlı gerilim katlayıcıları, diyot ve kondansatör kullanılarak girişe uygulanan AA sinyalin genliğini katman sayısı kadar katlayarak DA çıkış genliği veren bir çeşit AA- DA konverterdir. Gerilim Katlayıcıları ilk olarak COCKROFT-WALTON (CW) tarafından 1932 yılında gerçekleştirilmiştir. İlk olarak CW tipi olarak yapılan gerilim katlayıcılar oldukça karmaşık ve DA gerilim regülasyonunun güvenilirliği oldukça düşüktür. Yarı iletken teknolojisindeki ilerleme ile hızlı iletme geçen diyotlar ve yüksek frekansta kullanılabilen kondansatörlerin üretilmesi sayesinde CW tip gerilim katlayıcı dahil olmak üzere gerilim katlayıcılar da DA yüksek gerilim elde edilmesinde daha güvenilir sonuçlar elde edilmiştir. Dolaysı ile endüstride kullanım alanları genişlemiştir. [1]

Bu bölümde, yüksek gerilim (>10 kV) elde ediminde kullanılan darbe frekans modülasyonu (DFM) ile kontrol edilen invertörler ile sürülen yüksek frekanslı yüksek gerilim transformatörünün (YGHFT) çıkış kısmında, YGHFT nin yapısından kaynaklanan problemleri azaltmak amacı ile kullanılan, bir çeşit AA-DA çevirici olan çok katmanlı gerilim katlayıcıları incelenmiştir. Bu incelemede gerilim katlayıcıların avantajları, topolojileri, bu topolojilerin matematiksel hesapları, bilgisayar simülasyonları, seçilmiş olan topolojinin farklı uygulamalar üzerindeki simülasyon sonuçları incelenmiştir.

Çok katmanlı gerilim katlayıcıların, literatürde birçok çalışma yapılmıştır [1], [5], [7], [8], [9]. Bu çalışmaların genelinde, çok katmanlı gerilim katlayıcıların, yüksek gerilim elde edilmesinde yapılan uygulamaları incelenmiştir. Özellikle aşağıda belirtilen avantajları sayesinde medikal görüntüleme sistemlerinde, havacılık endüstrisinde, emisyon kontrol sistemlerinde uygulama alanları bulmuştur [1]. Özellikle X-ışını elde etmek amacı ile yüksek gerilim (40 kV-150 kV) elde edilmesinde geniş bir uygulama alanı bulunmaktadır.

Çok katmanlı gerilim katlayıcılarının avantajları aşağıda belirtilmiştir.

1. Çıkışları seri ve paralel bağlanan yüksek frekanslı yüksek gerilim transformatörleri (YGHFT) çıkışlarında kullanılan gerilim katlayıcılar

sekonder sarım sayısını düşürerek ciddi kontrol problemleri ortadan kaldırmaktadır [5], [7].

2. YGHFT 'lerde sekonder sarımlarından meydana gelen yalıtım problemlerini ortadan kaldırmaktadır [1], [9].
3. YGHFT'deki parazitik kapasitenin etkisi azaltılmaktadır [1], [9].
4. Sızıntı empedansını azaltılmaktadır [9] .
5. YGHFT 'nın çıkışındaki AA sinyalin DA'ye çevirecek olan diyotların iletim gerilim seviyelerini azalmaktadır.
6. Çıkış geriliminde gerçekleşen gerilim dalgalanmalarının azaltılmaktadır [7], [9].

Çok katmanlı gerilim katlayıcılarının dez avantajları aşağıda belirtilmiştir.

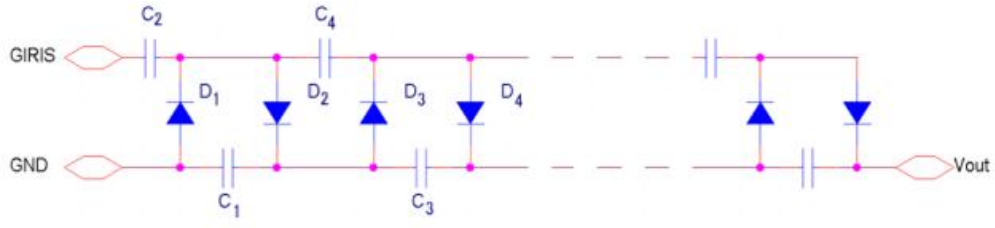
1. Çok katmanlı gerilim katlayıcılarının çıkış akımı değerleri tam köprü doğrultuculara kıyasla daha düşüktür.
2. DA çıkış gerilimindeki dalgalanmanın azaltılması ve istenilen gerilim değerinde çıkış alınabilmesi için çalışma frekansının yükseltilmesi bazı kontrol problemlerini beraberinde getirmektedir.
3. Bu çalışmaya uygun kondansatör ve diyot değerleri temini zordur.
4. Çok katmanlı gerilim katlayıcılarının maliyetleri yüksektir.

4.1 ÇOK KATMANLI GERİLİM KATLAYICILARI TOPOLOJİLERİ VE HESAPLARI

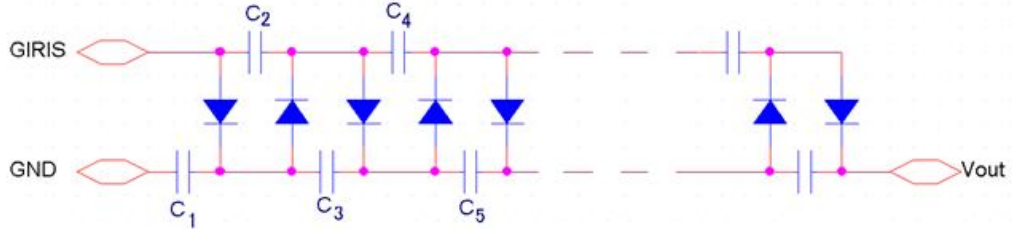
Çok katmanlı gerilim katlayıcıları, katlama sayısının çift veya tek olmasına, kullanılan transformatör tipine bağlı olarak, temelde dört topolojiye üzerinde çalışma yapılmıştır. Bunlar aşağıda belirtilmiştir:

- CW TİP (CW)
- TERS CW TİP (IT)
- SİMETRİK CW TİP (SCWT)
- TERS SİMETRİK TİP (SIT)

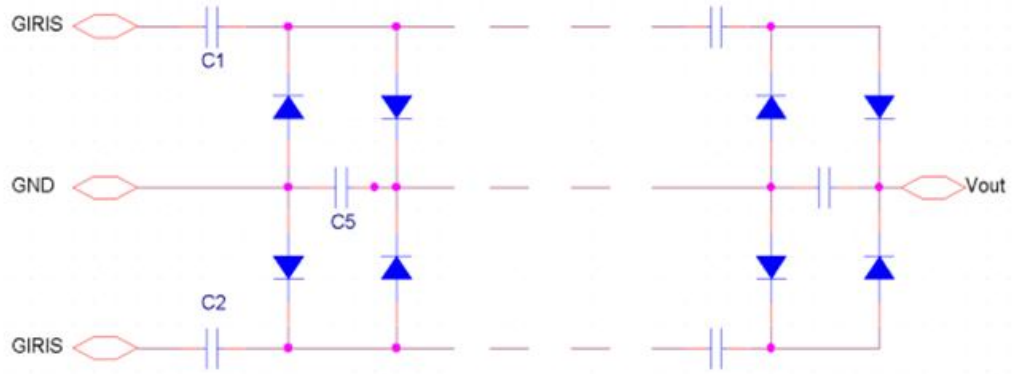
Çok katmanlı gerilim katlayıcıların temel devre şemaları Şekil 4-1 de gösterilmiştir.



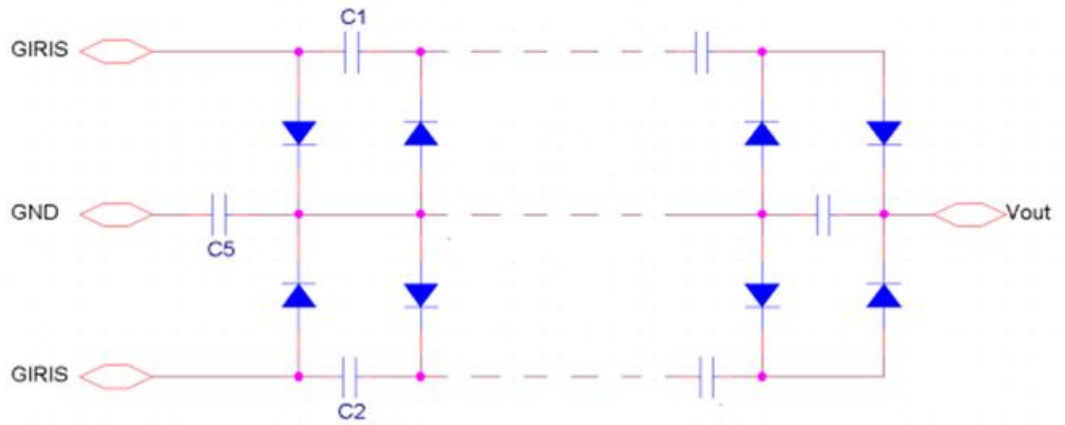
(a)



(b)



(c)



(d)

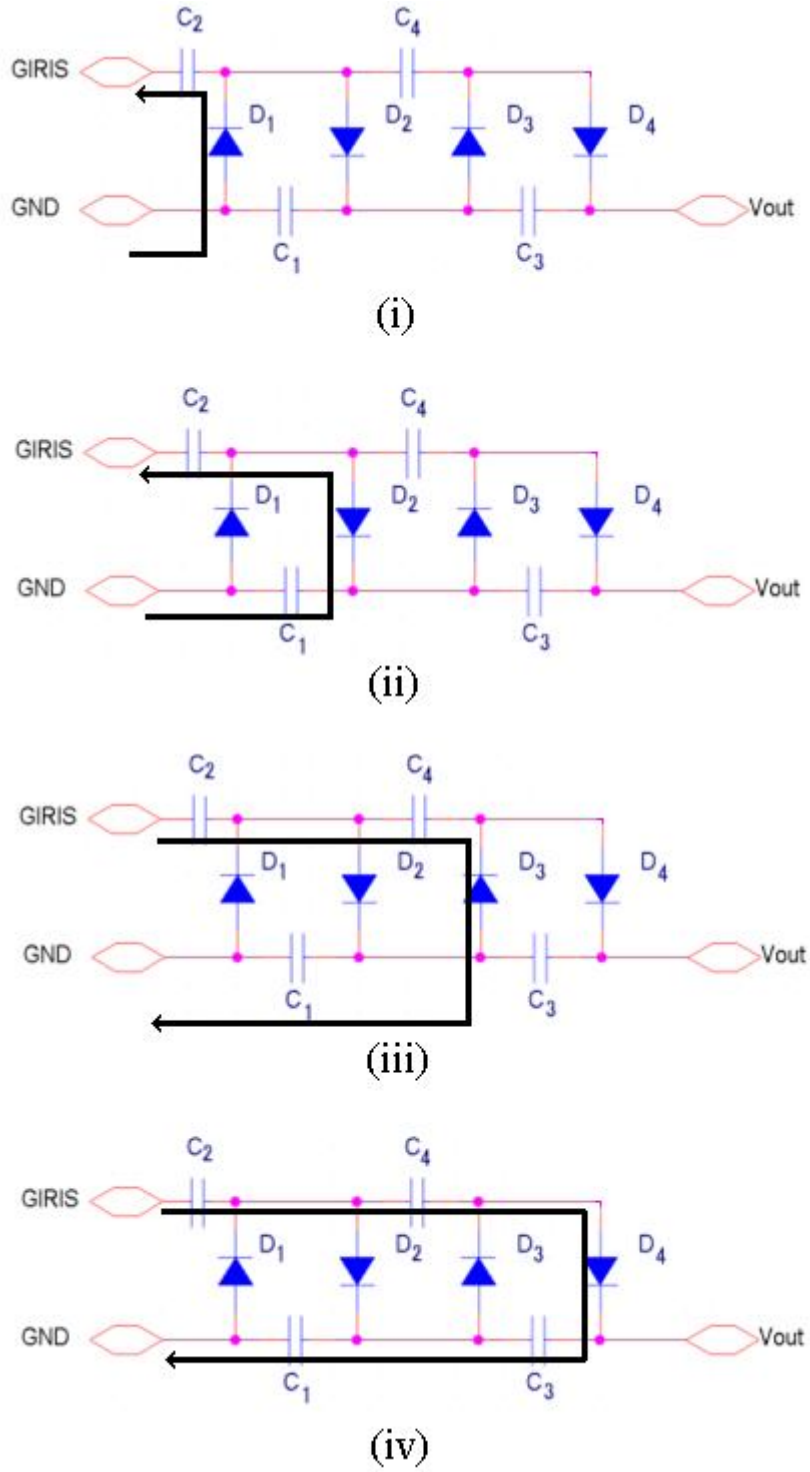
Şekil 4.1 Gerilim Katlayıcı Topolojileri Bağlantı Şekilleri

(a)CW Tip (b) (IT)Ters CW Tip (c) (SCWT) Simetrik CW Tip (d) (SIT) Ters Simetrik Tip

Çok katmanlı gerilim katlayıcılar temel olarak transformatörün çıkışında kullanılırlar. Dolayısı ile transformatörün ortak uçlu olup olmaması, gerilim katlayıcılarının temel olarak topolojilerini belirlemektedir. Şekil 4-1 gösterildiği gibi CW ve IT tip gerilim katlayıcılar ortak uçlu olmayan transformatörlerde kullanılmaktadır. SCWT ve SIT tip gerilim katlayıcılar ise ortak uçlu olan transformatörlerde kullanılırlar. CW ile IT tip gerilim katlayıcılar arasındaki fark ise katman sayılarının sırası ile çift ve ya tek olmasıdır. Benzer şekilde SCWT ve SIT tipi gerilim katlayıcılar arasındaki fark katlama sayılarının sırası ile çift ve ya tek olmasıdır.

Çok katmanlı gerilim katlayıcılar, temelde referans (GND) seviyesine diyotlar yardımı ile seri bağlanan kondansatörleri sırası ile şarj edilmesi ile oluşan DA gerilim seviyesini kullanan gerilim konverterlerdir. Temel olarak gerilim katlayıcıların çalışma şekillerinin bilinmesi, doğru diyot ve kondansatörlerin seçiminin yapılması açısından önemlidir. Çok katmanlı gerilim katlayıcılardan en temel olanı CW tip gerilim katlayıcının çalışma şekli Şekil 4-2 gösterilmiştir.

- (i) Giriş gerilimi negatif olduğu durumda C_2 kondansatörü D_1 diyotu üzerinden giriş tepe değerine şarj olur.
- (ii) Giriş gerilimi pozitif olduğu durumda, C_1 kondansatörü C_2 kondansatörü ve D_2 diyotu üzerinden giriş tepe değerinin iki katına şarj olur.
- (iii) Giriş gerilimi tekrar negatif olduğu durumda, C_4 kondansatörü D_3 diyonu üzerinden giriş tepe değerine şarj olur.
- (iv) Giriş gerilimi tekrar pozitif olduğu durumda, C_3 kondansatörü D_4 diyonu üzerinden giriş tepe değerine şarj olur.



Şekil 4.2 CW Tip Gerilim Katlayıcısının Çalışma Şekli

CW tip gerilim katlayıcısının çalışmasına bakıldığında, kondansatör deşarj zamanı yük değerine ve seri kondansatörlerin kapasitelerine bağlı olması nedeni ile çıkış geriliminde dalgalanma meydana gelmektedir. Bu dalgalanmayı azaltmanın

yöntemi giriş frekansını yükseltmek ve yük akımını düşürmektir. Bu nedenle gerilim katlayıcılar yüksek frekans uygulamalarında daha verimli olarak kullanılabilir. Tablo 4-1 de gerilim katlayıcılarının matematiksel hesapları gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Gerilim Katlayıcı Topolojileri Matematiksel Hesapları

	Çıkış Gerilimi (V_{out})	Gerilim Düşümü (ΔV)	Dalgalanma Gerilimi (&V)
CW tip	$2n.E_{pk}$	$\frac{i_L}{f.c} \cdot A(n)$	$\frac{i_L}{f.c} \cdot \frac{n(n+1)}{2}$
IT tip	$(2n-1).E_{pk}$	$\frac{i_L}{f.c} \cdot B(n)$	$\frac{i_L}{f.c} \cdot \frac{n(n+1)}{2}$
SCWT tip	$2n.E_{pk}$	$\frac{i_L}{f.c} \cdot C(n)$	$\frac{i_L}{f.c} \cdot \frac{n}{2}$
SIT tip	$(2n-1).E_{pk}$	$\frac{i_L}{f.c} \cdot D(n)$	$\frac{i_L}{f.c} \cdot \frac{n}{2}$
$A(n)=\frac{2}{3}n^3 + \frac{1}{2}n^2 + \frac{1}{3}n$	$B(n)=\frac{2}{3}n^3 - \frac{1}{2}n^2 + \frac{1}{3}n$	$C(n)=\frac{1}{6}n^3 + \frac{1}{4}n^2 + \frac{1}{3}n$	$D(n)=\frac{1}{6}n^3 - \frac{1}{4}n^2 + \frac{1}{3}n$
n =Katman adedi; E_{pk} = Giriş Gerili; f = Giriş Katmanının Frekansı ; i_L = Yük Akımı			

Tablo 4-1’de yapılan hesaplamalar ideal ortamda kayıplar göz önüne alınmadan yapılan hesaplamalardır. Bu hesaplara ek olarak kondansatörlerin iç dirençleri, diyot iletim gerilimleri, iletken kayıpları da hesaplanmalı ve buna göre yüksek frekanslı yüksek gerilim transformatörünün (YGHFT) sekonder sargısı bu değerler göz önüne alınarak tekrar değerlendirilmelidir.

Örnek olarak 20 kHz ‘de çalışan, ortak uçlu olmayan YGHFT’nin çıkış tepe gerilimi 10 kV ve ulaşılmak istenen gerilim 40 kV ve yük akımı 10 mA olarak belirlendiği durumda katlama adedinin çift olması nedeni ile CW tip gerilim katlayıcı kullanılacaktır. Bu durumda;

- A gerilim katlayıcısı için, çalışma frekansı 20 KHz ve 1nF kondansatör kullanıldığı durum;
- B gerilim katlayıcısı için, çalışma frekansı 20 kHz 10nF kondansatör kullanıldığı durum;
- C gerilim katlayıcısı için çalışma frekansı 200 kHz 1nF kondansatör kullanıldığı durumları kıyaslanırsa;

Gerilim katlama adedi 4 ve YGHFT ortak uçlu olmadığı için CW tipi gerilim katlayıcı kullanılmalıdır. Bunun için önce $A(n)$ değeri hesaplanmalıdır.

$$A(n) = \frac{2}{3} n^3 + \frac{1}{2} n^2 + \frac{1}{3} n = 8$$

Daha sonra, Tablo 4-1 deki formüller kullanılarak, ΔV ve $\&V$ değerleri hesaplanır. Tablo 4-2 de A, B ve C gerilim katlayıcıları için yapılan hesaplar bulunmaktadır.

Tablo 4.2 CW Tip Gerilim Katlayıcısı Kıyaslama Tablosu

	A	B	C
Gerilim	$\Delta V = 4000 \text{ V}$	$\Delta V = 400 \text{ V}$	$\Delta V = 400 \text{ V}$
Düşümü (ΔV) (V)			
Dalgalanma Gerilimi ($\&V$) (V)	$\&V = 1500 \text{ V}$	$\&V = 150 \text{ V}$	$\&V = 150 \text{ V}$

A gerilim katlayıcısı 40 KV için; 36000 V gerilim değerinde, 1500 V' luk bir gerilim dalgalanması ile DA çıkış verecektir.

B gerilim katlayıcısı 40 KV için; 39600 V gerilim değerinde, 150 V' luk bir gerilim dalgalanması ile DA çıkış verecektir.

C gerilim katlayıcısı 40 KV için; 39600 V gerilim değerinde, 150 V' luk bir gerilim dalgalanması ile DA çıkış verecektir.

Dikkat edilirse A transformatörü gerilim çıkışları istenilen değerden düşüktür. Eğer A gerilim katlayıcısının gerilim dalgalanması istenildiği gibi ise ; YGHFT nin sekonder sargısı arttırılır ve 40 KV gerilim değerine daha yakın bir gerilim seviyesinde çalıştırılabilecektir.

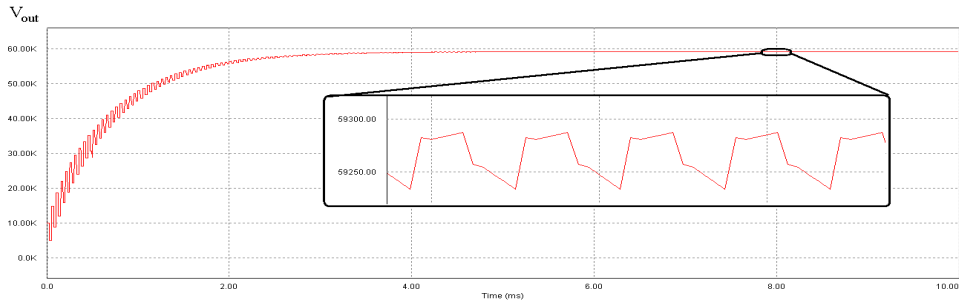
B ve C gerilim katlayıcılarının çıkışları aynıdır. Frekansları ve kullanılan YG kondansatörler farklıdır. C katlayıcısı, B katlayıcısına kıyasla fiyat olarak düşük, boyut olarak daha küçüktür ama kontrolü, devrenin parazitik etkileri nedeni ile, daha zordur. Ancak aynı çıkış dalgalanmasına sahiptirler. Piyasada yüksek kapasite

değerine sahip yüksek gerilim kondansatörü bulmak oldukça zordur. Bu durum kullanılacak hızlı diyotlar için geçerlidir. Bu durumda, diyotlar ve kondansatörler seri ve paralel bağlantılar yapılarak istenilen değerlere ulaşılmalı ve ya çalışma frekansı arttırılmalıdır. Bu durum çok katmanlı gerilim katlayıcılarının en önemli dezavantajıdır. Çıkış akımı ve katlama adetleri arttığı zaman istenilen çıkışa daha yüksek frekanslarda ve daha yüksek kapasitelere sahip kondansatörler kullanılarak ulaşılmaktadır. Bu durum beraberinde kontrol zorlukları getirmektedir. Bu kontrol zorlukları Bölüm 2 'de anlatılan inverter topolojileri azaltılmaktadır.

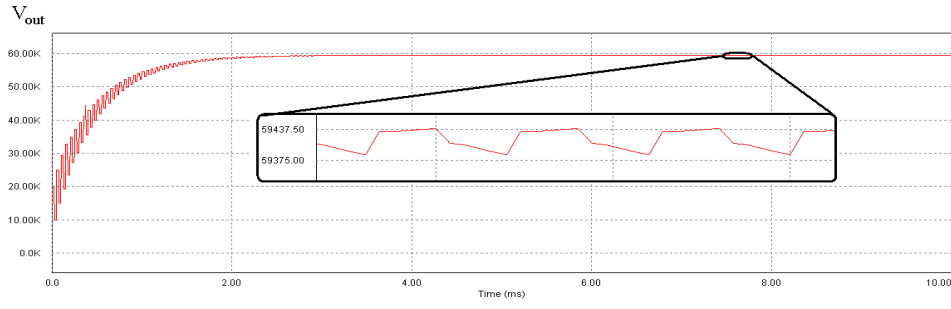
4.3 BİLGİSAYAR SİMÜLASYONU

ŞEKİL 4-3'te çeşitli topolojilerin sabit frekans, sabit giriş tepe gerilimi, sabit katlama katsayısı ve sabit yük altında izlenen çıkış gerilim simülasyonları gösterilmiştir. Çalışma frekansı (f): 20 kHz, Giriş Tepe gerilimi(V): 20 kV, Katlama adedi (n) : 3 Çıkış akımı (I); 1mA'dir.

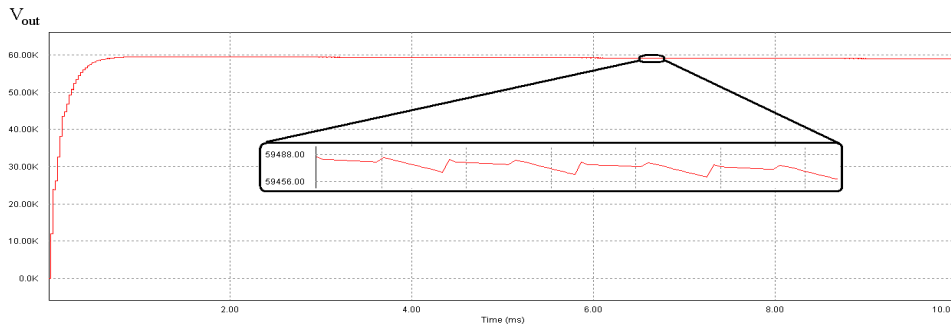
Sistemim çalışma frekansının 20 kHz seçilmesinin nedeni standart IGBT ler kullanılarak yapılan uygulamalarda ulaşılabilen anahtarlama frekansıdır. Akım ise düşük seçilmesi sistemin ideale yakın olarak çıkış dalgalanma şeklinin gösterilmesidir.



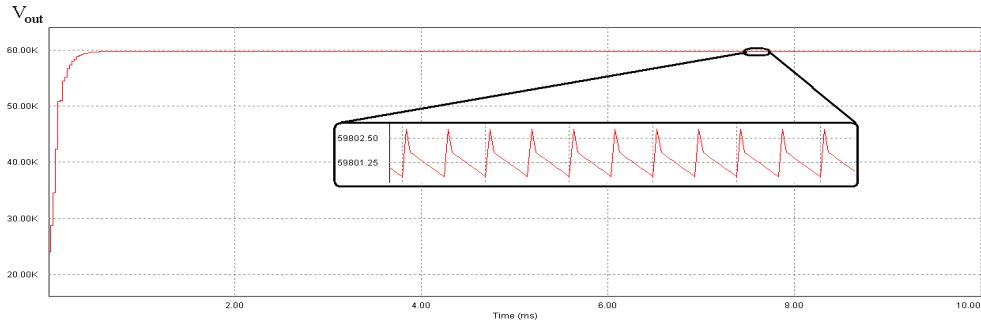
(a)



(b)



(c)



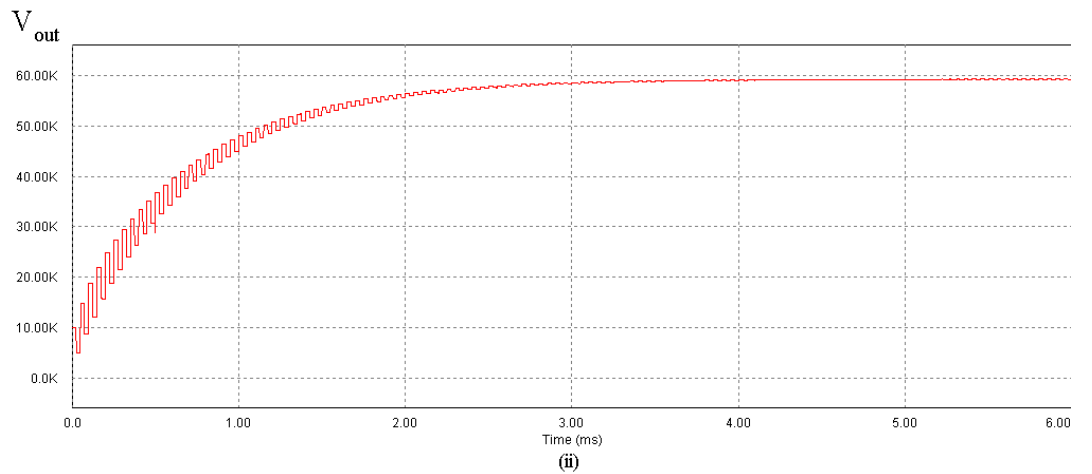
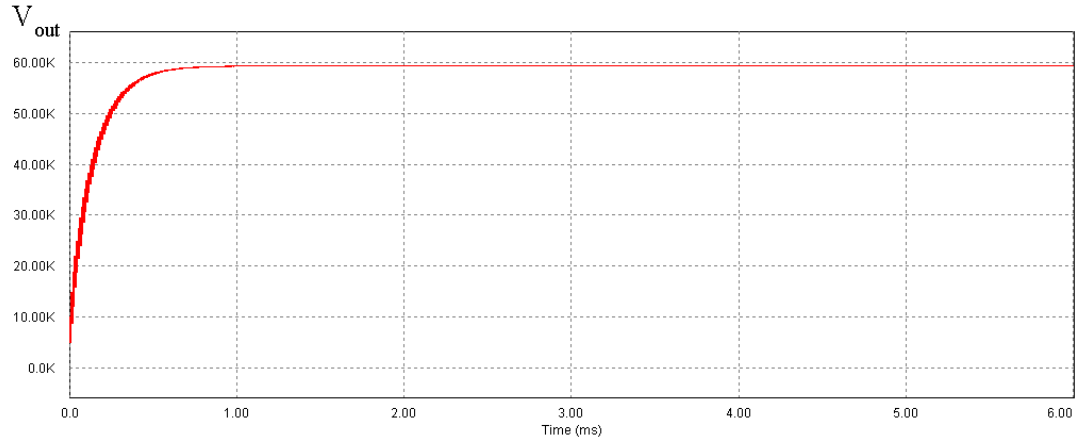
(d)

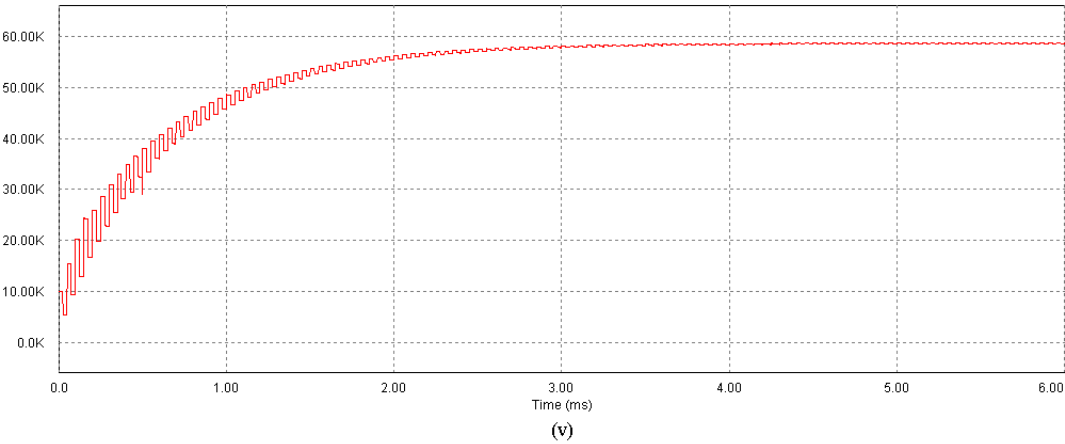
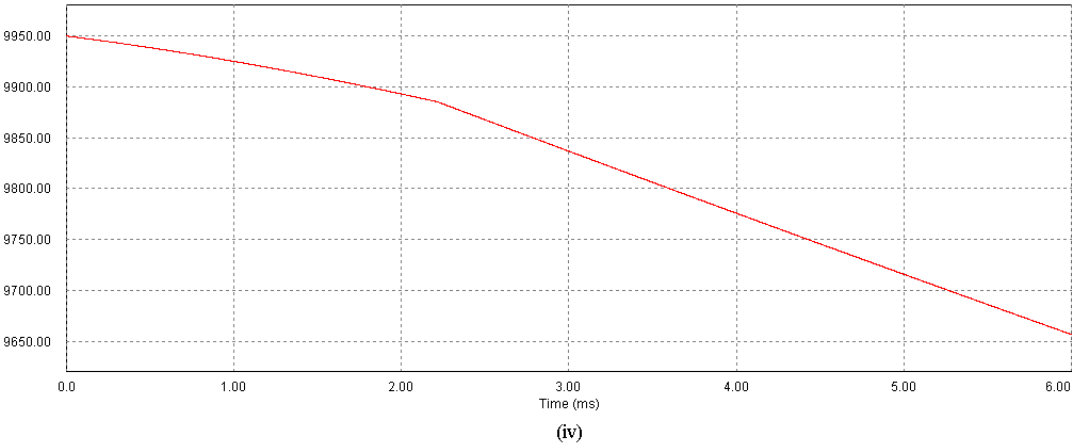
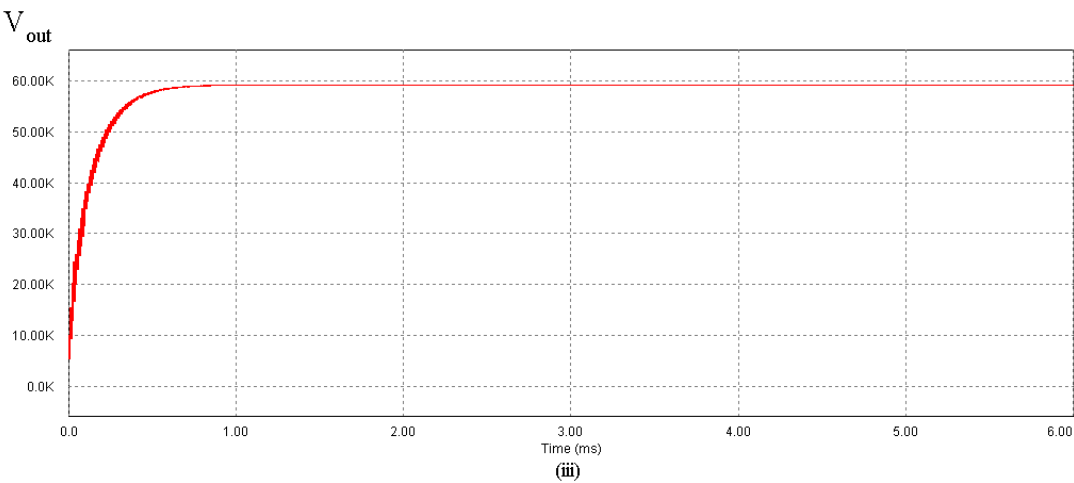
Şekil 4.3 Gerilim Katlayıcı Topolojilerinin Simülasyon Test Sonuçları (a) CWT
(b) IT (c) SIT (d) SCWT

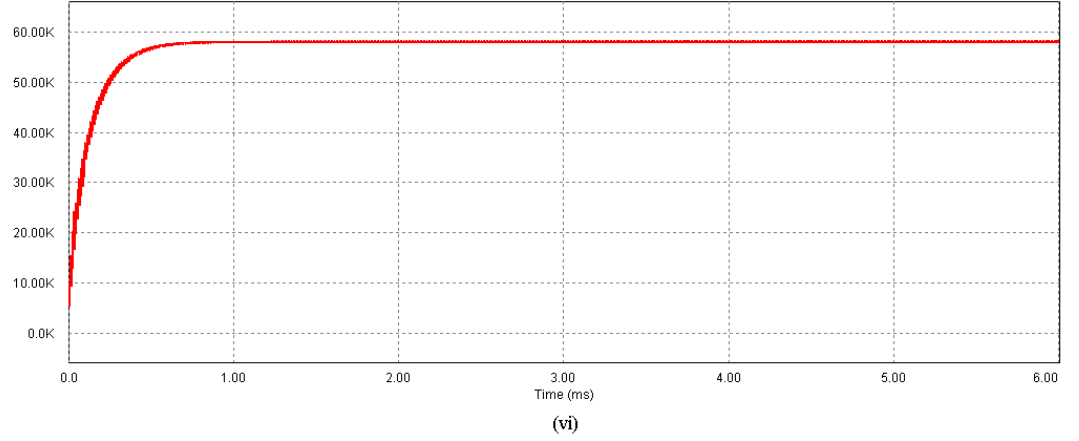
CW tip gerilim katlayıcı 3 ms'de(mili saniyede) kararlı duruma geçmektedir. Gerilim dalgalanması yaklaşık 50 V 'dur. IT tip gerilim katlayıcı 3 ms'de(mili saniyede) kararlı duruma geçmektedir. Gerilim dalgalanması yaklaşık 56 V dur. SIT tip gerilim katlayıcı 0,5 mSn'de kararlı duruma geçmektedir. Gerilim dalgalanması yaklaşık 30 V dur. SCVT tip gerilim katlayıcı 0,5 mSn'dekaralı duruma geçmektedir. Gerilim dalgalanması yaklaşık 10 V dur. CW ve IT tip gerilim katlayıcılarında

simülasyonların da kararlı duruma oturması SCWT ve SIT daha fazla, yaklaşık olarak 3 kat zaman almaktadır. Aynı şekilde salınım oranları da daha yüksektir. Bu nedenle CW tipi ve IT tip gerilim katlayıcılar kullanılmamıştır. Sonuç olarak SCWT tip gerilim katlayıcı uygulaması daha kolay olması nedeni ile seçilmiştir.

ŞEKİL 4-5 yukarıda bahsedilen şartlara göre seçilen SCWT tip gerilim katlayıcının; Bütün değerler sabit tutularak sadece frekans değeri değişken ($f = 20$ Khz, 100 Khz, 50 Hz) olarak simülasyonları, bütün değerler sabit tutularak yük değeri değişken (1Mohm, 10Mohm, 100 Mohm) olarak simülasyon yapılmıştır. Bu kombinasyonda 9 adet simülasyon sonucu elde edilecektir. Ancak yukarıdaki bilgiler ve hesaplamalar dikkate alındığı zaman sistemi analiz edebilmek için 6 adet simülasyon sonucu ile sistemin parametreleri incelenebilmektedir.







Şekil 4.4 SCWT Çeşitli Yük ve Frekanslardaki Simülasyon Sonuçları

- i. SCWT simülasyon sonucu ($f=100000\text{Hz}$ $R=100\text{Mohm}$ $E_t=20\text{KV}$ $n=3$)
- ii. SCWT simülasyon sonucu ($f=20000\text{Hz}$ $R=100\text{Mohm}$ $E_t=20\text{KV}$ $n=3$)
- iii. SCWT simülasyon sonucu ($f=100000\text{Hz}$ $R=10\text{Mohm}$ $E_t=10\text{KV}$ $n=3$)
- iv. SCWT simülasyon sonucu ($f=50\text{Hz}$ $R=100\text{Mohm}$ $E_t=10\text{KV}$ $n=3$)
- v. SCWT simülasyon sonucu ($f=20000\text{Hz}$ $R=10\text{Mohm}$ $E_t=10\text{KV}$ $n=3$)
- vi. SCWT simülasyon sonucu ($f=100000\text{Hz}$ $R=1\text{Mohm}$ $E_t=10\text{KV}$ $n=3$)

Şekil 4-4 (i), (ii), (iv) çıkış akımı sabit olacak şekilde sistemin frekans cevabı incelenmiştir. Simülasyon sonucu kullanılan gerilim katlayıcı frekans yükseldiği zaman kararlı duruma geçme süresi azalmakta, gerilim dalgalanması düşmektedir. Aynı şekilde kararlı duruma oturma zamanı da frekansla ters orantılı olarak değişmekte, frekans yükseldikçe oturma kararlı duruma oturma zamanı azalmaktadır. Bu sebeple çıkışta hesaplanan yük akımından daha fazla akım çekilmemelidir. Bu şekilde, ise devre tasarımı ve kontrolünde yüksek gerilimin alçalması nedeni ile kısa devre veya sıçrama anında transformatör korunmuş olacaktır. Frekans aşırı düştüğü zaman ise gerilim katlayıcı katmala özelliğini kaybederek çıkış gerilim seviyesi besleme geriliminin altına düşmektedir.

Şekil 4-4 (i), (iii) ve (iv) çalışma frekansı sabit tutularak, yük değerleri değiştirilmiş dolayısı ile çıkış akımı yükseltilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi çıkış akımı arttığı taktirde gerilim katlayıcının çıkış gerilimi istenmeyen şekilde düşmektedir. Gerilim dalgalanması artmaktadır. Kararlı duruma oturma zamanı artmaktadır.

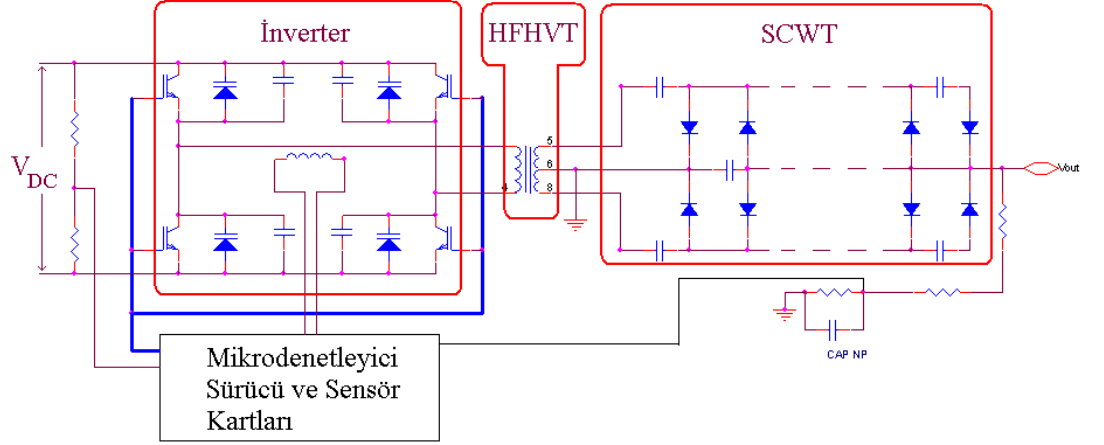
4.3 SONUÇ

Çok katmanlı gerilim katlayıcıları YGDA güç kaynağı uygulamalarında geniş bir kullanım alanına sahip olup avantaj ve dez avantajları aşağıda belirtilmiştir:

Yüksek gerilimler de kullanılan gerilim katlayıcılar, çıkış akımlarının düşük, giriş frekansının yüksek olduğu durumlarda, kullanımı güvenilir sonuçlar vermektedir. Bu tip gerilim katlayıcılar sayesinde yüksek gerilimli DA kaynaklar daha kolay elde edilebilir hale gelmiştir. Bu sistemlerin kullanımı yüksek frekans ve düşük yük akımı durumlarında oldukça avantajlı olup, aksi durumlarda ise sistem istenilen değerlerden uzaklaşmaktadır. Yüksek akım gereken uygulamalarda YGHFT ve gerilim katlayıcıları çıkışları paralel bağlanılarak gerekli olan akım değerlerin istenilen dalgalanmalarla ulaşmak mümkündür.

5. UYGULAMA

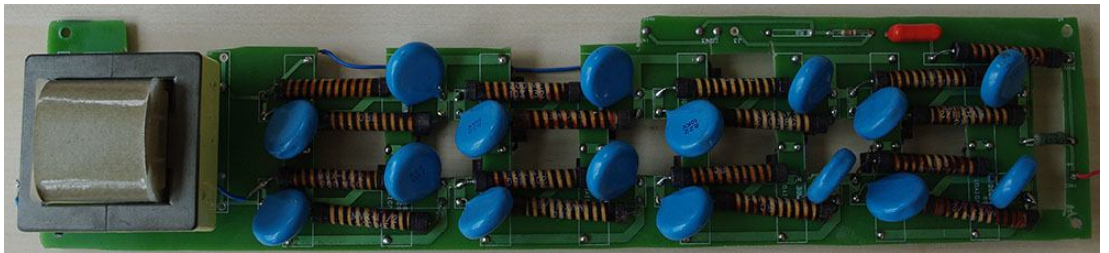
Çalışmanın 2. , 3. , 4. bölümlerinde yapılan teorik çalışmalar ve kıyaslamalar sonucunda edilen açık devre kontrol şeması Şekil 5-1’de gösterilmiştir.



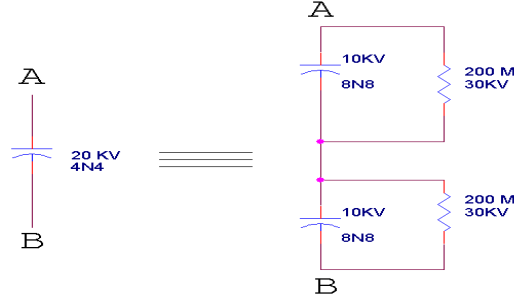
Şekil 5.1 Yüksek Frekanslı Yüksek Gerilimli DA-DA Konverter Açık Devre Şeması

5.1 ÇOK KATMANLI GERİLİM KATLAYICI UYGULAMASI

Çokkatmanlı gerilim katlayıcı için tasarlanan gerilim katlayıcı devresi Şekil 5-2 de gösterilmiştir. Uygulamanın bu kısmında en çok zorlanılan parametre malzeme temini olmuştur. Yüksek gerilimde yüksek kapasitede bulunabilen kondansatörler istenilen gerilim ve kapasite değerlerine sahip değildir. Bu nedenle şemada her bir kondansatör yerine Şekil 5-3 gösterilen yapı kullanılmıştır. SCWT tip gerilim katlayıcıları kullanılmıştır.



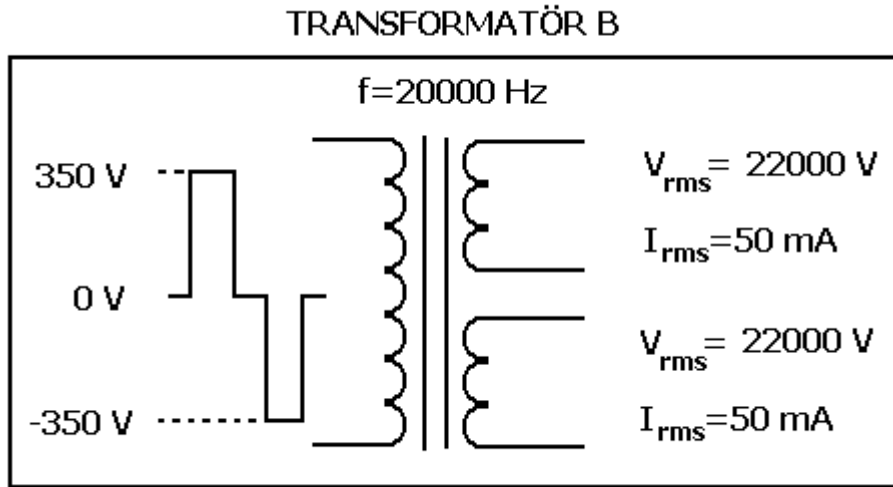
Şekil 5.2 Çok Katmanlı Gerilim Katlayıcı Devresi



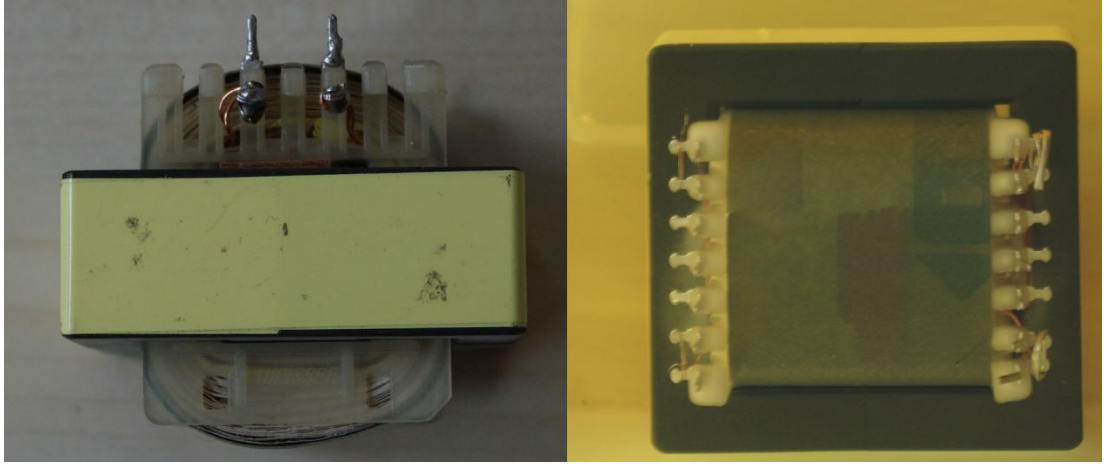
Şekil 5.3 Çok katmanlı Gerilim Katlayıcıda Kullanılan Kondansatör Yapısı

5.2 YÜKSEK FREKANSLI YÜKSEK GERİLİM TRANSFORMATÖRÜ UYGULAMASI

Yüksek frekanslı yüksek gerilim transformatörü (YGHFT) seçilen özellikleri Şekil 5-4 te gösterilmiştir. Seçilen transformatörün uygulama uygulanmı şekli Şekil 5-5 te gösterilmiştir.



Şekil 5.4 YGHFT Özellikleri

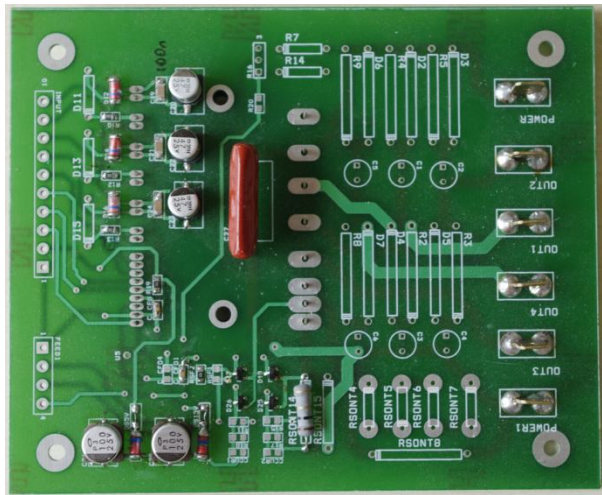


Şekil 5.5 YGHFT Gerçeklenen Transformatör

Uygulamanın bu bölümünde en çok zorlanılan parametreler hesaplamalar ve yalıttır. Hesaplama işlemleri genel olarak ferrit nüve üretici firmaların kendilerinin ürettiği programlar tarafından yapılabilmektedir. Ancak yüksek gerilim (YG) uygulamaları için programlar yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle daha profesyonel programlar (TITAN PRO) kullanılmaktadır.

5.3 İNVERTER

SG-SAA topolojisi ve SGA topolojisi uygulamaları yapılmıştır. Şekil 5-6 yapılan uygulama devresi gösterilmiştir.



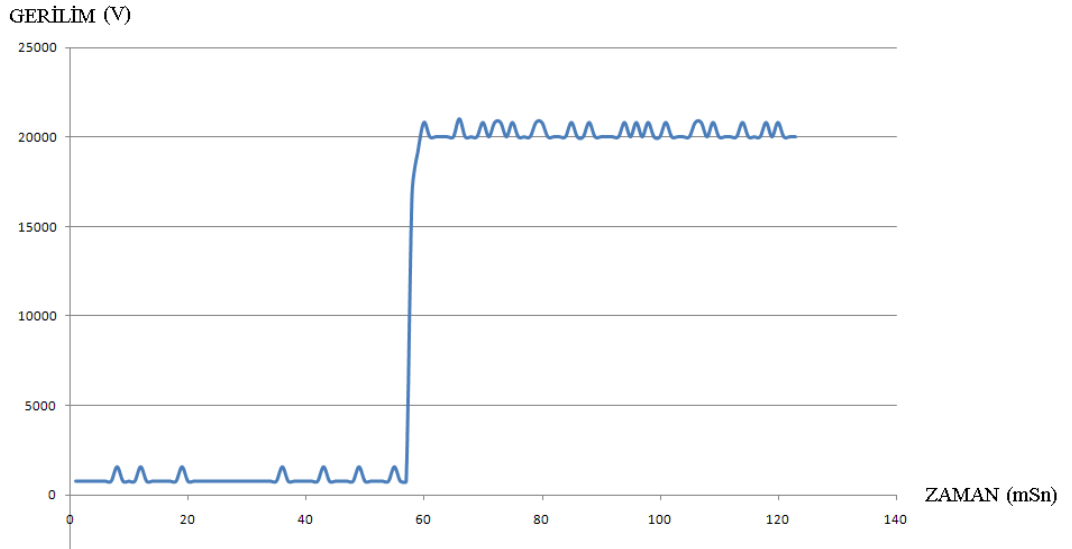
Şekil 5.6 Inverter Uygulama Devresi

Yapılan inverterde kolay uygulanması nedeni MITSUBISHI marka IPM IGBT ler kullanılmıştır. Bu tip elemanlar istenilen uygulamalarda maksimum 20A transformatör primer akımı için ve çalışma frekansı 20 kHz uygulamalarında kullanılabilen anahtarlama elemanlarıdır. Bu eleman, kullanımını kolay olması, akım koruması, mikro denetleyici direkt kullanılabildiği için seçilmiştir.

5.4 Uygulama Sonuçları

Yapılan uygulamada sistemin çalışma frekansı 20kHz olarak belirlenmiştir. Sistemin girişindeki DA gerilim ise 30 V olarak sabitlenmiştir. Ulaşılması hesaplanan yüksek gerilimli DA çıkış gerilimi ise 20 kV olarak belirlenmiştir. Inverter topolojisi olarak SGA kullanılmıştır.

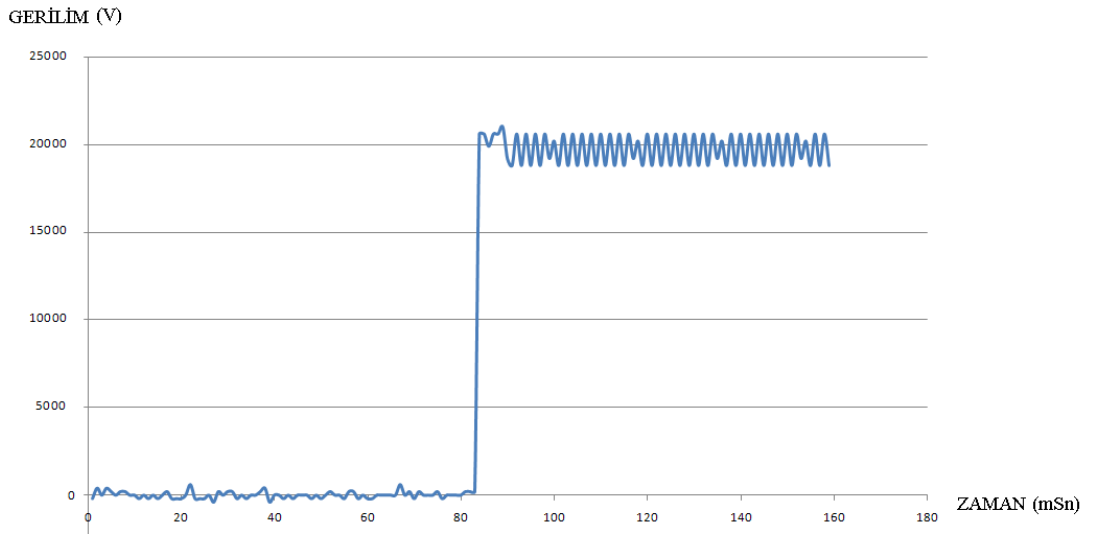
Şekil 5-7 ‘ de çıkış akımı 0,5 mA olacak şekilde sisteme yük bağlandığında osilaskop sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 5.7 Yüksek gerilimli DA-DA konverterdeki 0,5 mA Çıkış Akımı İçin Sistem Çıkış Gerilimi Osilaskop Sonuçları

Sistemin kararlı duruma yerleşme zamanı 1,2 milisaniye (mSn) olarak gerçekleştirilmiştir. Dalgalanma gerilimi tepe değeri (&V) 600V seviyesinde gerçekleşmiştir. Sistem, yüke 0,5 mA akım ile beslediği zaman sistem oldukça düşük sayılabilen bir gerilim dalgalanmasına sahiptir. Sistem kararlı durumda iken istenilen gerilim değerine yerleşmiştir.

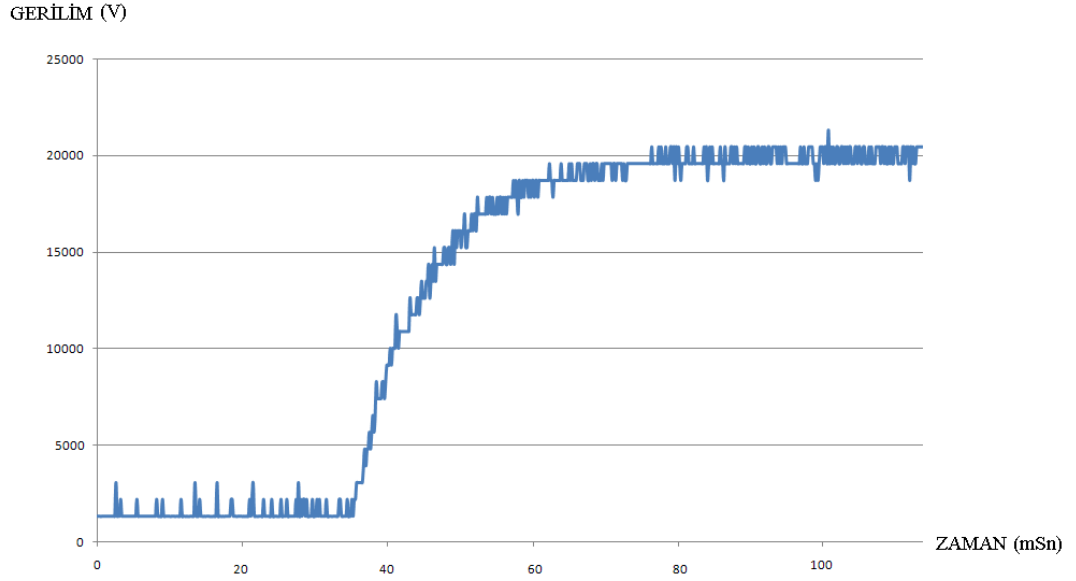
Şekil 5-8 ‘ de çıkış akımı 1 mA olacak şekilde sisteme yük bağlandığında osilaskop sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 0.1 Yüksek gerilimli DA-DA konverterdeki 1 mA Çıkış Akımı İçin Sistem Çıkış Gerilimi Osilaskop Sonuçları

Sistemin kararlı duruma yerleşme zamanı 2,6 milisaniye (mSn) olarak gerçekleştirilmiştir. Dalgalanma gerilimi tepe değeri (&V) 1300V seviyesinde gerçekleşmiştir. Sistem, yüke 1 mA akım ile beslediği zaman düşük akımlara göre dalgalanma seviyesi artmıştır. Bu dalgalanma seviyesinin azaltılması için gerilim katlayıcıda kullanılan kondansatör kapasiteleri arttırılarak veya sistemin çalışma frekansı arttırılarak bu dalgalanma azaltılabilir. Sistem kararlı durumda iken istenilen gerilim değerine dalgalanma gerilimi sabit tutularak yerleşmiştir.

Şekil 5-9 ‘ de çıkış akımı 4 mA olacak şekilde sisteme yük bağlandığında osilaskop sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 0.2 Yüksek gerilimli DA-DA konverterdeki 4 mA Çıkış Akımı İçin Sistem Çıkış Gerilimi Osilaskop Sonuçları

Sistemin kararlı duruma yerleşme zamanı 32 milisaniye (mSn) olarak gerçekleştirilmiştir. Dalgalanma gerilimi tepe değeri (&V) 1800V seviyesinde gerçekleştirilmiştir. Sistem, yüke 4 mA akım ile beslediği zaman düşük akımlara göre dalgalanma seviyesi artmıştır. Bu dalgalanma seviyesinin azaltılması için gerilim katlayıcıda kullanılan kondansatör kapasiteleri arttırılarak ve ya sistemin çalışma frekansı arttırılarak bu dalgalanma azaltılabilir. Sistem kararlı durumda iken istenilen gerilim değerine yerleşememiştir. Bunun sebebi çok katmanlı gerilim katlayıcısıdır. Yük akımı hesaplanan akım değerinin üstüne çıktığı zaman sistem gerilimi istenilen tepe gerilime yerleştirilememektedir.

6. SONUÇ

Bu tez de yüksek gerilimli (YG) doğru akım (DA) gerilim kaynaklarının elde yüksek frekansta gerçekleşmesi için kullanılan inverter, yüksek frekanslı yüksek gerilim transformatörü ve çok katmanlı gerilim katlayıcı topolojileri incelenmiş ve belirlenen parametrelerde uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

Yüksek gerilimli gerçekleşmesinde en önemli parametrelerden biri transformatördür. Yüksek frekans çalışabilen ferrit nüveli transformatörler ile yüksek gerilim uygulamaların oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun nedeni sistemin çalışma frekansı yükseldikçe transformatörlerin boyutları ve ağırlıkları azalmaktadır. Ancak frekans yükseldiği zaman transformatörün yapısından kaynaklanan parazitik etkiler, sızıntı empedansı vb.. etkiler bazı kontrol problemlerine yol açmaktadır. Bu etkiler anahtarlama elemanların kayıplarını arttırmaktadır. Bu etkileri azaltmak için yumuşak anahtarlama topolojili inverterler kullanılmaktadır.

Inverter topolojisi olarak seçilen SGA anahtarlama topolojisi güçlü yüklerde kullanılmaya uygundur ancak hız yüklenmesi gereken yüklerde kullanımı avantajlı değildir. SAA anahtarlama topolojisi güçlü yüklerde kullanılmaya uygun değildir ancak hız yüklenmesi gereken yüklerde kullanımı avantajlıdır. SG-SAA topolojisi çıkış akımının etkisi ile sirkülasyon akımlarının kontrol edilebildiği durumlarda avantajlıdır. Bu çalışmada SGA ve SA-SGA uygulamasının istenen çıkış şartlarını sağlayacağı görülmüştür. IPM IGBT için en uygun topoloji olması nedeni ile SGA topolojisi tercih edilerek uygulanmıştır.

YG DA kaynak uygulamalarında yaşanan kontrol probleminin azalmanın en verimli yöntemi ise YGHFT'nin parazitik etkilerini bir çeşit AA- DA konverter olan çok katmanlı gerilim katlayıcıları kullanarak azaltmaktır. Çok katmanlı gerilim katlayıcılarının düşük akımlarda oldukça verimlidirler.

YG transformatörlerde önemli bir parametre de yalıttır. Kullanılan emaye iletkenin izolasyonu, katlar arasında kullanılan yalıtım kâğıtları (presbantlar) ve yalıtım yağları yalıtımı etkileyen en önemli parametrelerdir. YG uygulamalarında, kullanılacak malzemelerin yanı sıra transformatörün sarım şeklide önemlidir. Bununla birlikte YG transformatörlerde en önemli parametre kullanılan yalıtım

yağlarıdır. Kullanılan yalıtım yağları sistemin ömrünü belirleyen en önemli parametredir.

Uygulama sonucunda; düşük akım seviyelerinde çok katmanlı gerilim katlayıcı ile gerçekleştirilen YG DA güç kaynağı uygulaması gerçekleştirilmiştir. Yapılan hesaplamalar ile uygulama sonuçlarının birbirine uyduğu gözlenlenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1]Filchev, T. Cook, D. Wheeler, P. Van den Bossche, A. Clare, J. Valchev, V. Univ. of Nottingham, Nottingham,” High power, high voltage, high frequency transformer / rectifier for YG industrial applications” Power Electronics and Motion Control Conference, 1-3 Sept. 2008,pages:1326-1331

- [2]Lee, D. Y., Lee, B., K., Hyun, D. S.: A Novel Full-Bridge Zero-Voltage-Transition PWM DC/DC Converter with Zero-Voltage/Zero-Current Switching of Auxiliary Switches. PESC’98, Fukuoka, Japan, pp. 961-968

- [3]Dudrik, J., Dzurko, P.: An Improved Soft-Switching Phase-Shifted PWM Full-Bridge DC-DC Converter. PEMC 2000, Košice, 2000, pp. 2/65-69

- [4]Dudrik, J., Dzurko, P.: Arc-Welding Using Soft-Switching Phase-Shifted PWM Full-Bridge DC-DC Converter. Proc. of the Int. Conf. on Electrical Drives and Power Electronics, 1999, High Tatras, pp. 392-396

- [5]Sun, J. Ding, X. Nakaoka, M. Takano, H., “Series resonant ZCS-PWM DC-DC converter with multistage rectified voltage multiplier and dual-mode PFM control scheme for medical-usehigh-voltage X-ray power generator”, Electric Power Applications, IEE Proceedings , Nov 2000, vol. 147(6), 527-534

- [6] Filchev, T. Cook, D. Wheeler, P. Clare, J., “Investigation of high voltage, high frequency transformers / voltage multipliers for industrial applications”, Power Electronics, Machines and Drives, 2008. PEMD 2008. 4th IET Conference, 2-4 April 2008, 209-213

- [7] Yong Ju Kim Hatakeyama, H. Nakaoka, M. Takano, “Comparative evaluations of phase-shifted PWM resonant inverter-fedDC-DC converter with high-voltage high-frequency transformer link”, Power Electronics and Drive Systems, 1995., Proceedings of 1995 International Conference,21-24 Feb 1995 .vol.2,657-664

[8]Junmine S.; Konishi, H.; Ogino, Y.; Nakaoka, M., “Series resonant high-voltage ZCS-PFM DC-DC converter for medical power electronics” ,Power Electronics Specialists Conference, 2000. PESC 00. 2000 IEEE 31st Annual, 18-23 June 2000, Vol. 3,1247 – 1252, Volume 1, 2-5 April 2002,110 – 114

[9]Ogura, K.; Chu, E.; Ishitobi, M.; Nakamura, M.; Nakaoka, M., “Inductor snubber-assisted series resonant ZCS-PFM high frequency inverter link DC-DC converter with voltage multiplier”, Power Conversion Conference, 2002. PCC Osaka 2002. Proceedings of the

[10] Hang-Seok Choi, J. H. Lee, J. W. Kim and B. H. Cho, “Analysis and Design Considerations of Zero-Voltage and Zero-Current-Switching (ZVZCS) Full-Bridge PWM Converters", June 2002,vol. 4, 1835-1840

[11] C. P. McShane, K. J. R. Jerry, L. Corkran, G. A. Gary,J. Luksich,” Aging of Paper Insulation in Natural Ester Dielectric Fluid”,2001 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition, Oct. 28 - Nov. 02, 2001,Pp.124-127

[12]C. Patrick McShane, Kevin J. Rapp, Jerry L. Corkran, Gary A. Gauger, John Luksich,” Aging of Paper Insulation in Natural Ester Dielectric Fluid”, IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition, Oct. 28 - Nov. 02, 2001

[13] IEEE Std C57.147™-2008,” IEEE Guide for Acceptance and Maintenance of Natural Ester Fluids in Transformers”

[14] IEEE Std C57.91-1995(Revision of IEEE Std C57.91-1981,IEEE Std C57.92-1981, andIEEE Std C57.115-1991) “IEEE Guide for Loading Mineral-Immersed Transformers”

[15] http://www.emtel.com.tr/index_tr.php?CatId=244&Urun=0 02.04.2009

[16]Harada, K.; Ishihara, Y.; Todaka, T.” Analysis and design of ZVS-PWM half-bridge converter with secondaryswitches”, Power Electronics Specialists Conference, 18-22 Jun 1995 Page(s):280 - 285 vol.1

[17]Junmine Sun; Konishi, H.; Ogino, Y.; Nakaoka, M,” Series resonant high-voltage ZCS-PFM DC-DC converter for medicalpower electronics”, Power Electronics Specialists Conference, 2000, Volume 3

[18]Sun, J.; Ding, X.; Nakaoka, M.; Takano, H.” Series resonant ZCS-PFM DC-DC converter with multistage rectified voltage multiplier and dual-mode PFM control scheme for medical-usehigh-voltage X-ray power generator”, Electric Power Applications, IEE Proceedings, Nov 2000, Volume 147

[19]TingTing Song Nianci Huang Ioinovici, A. Dept. of Electr. Eng., Sichuan Univ., Chengdu, China;,” A family of zero-voltage and zero-current-switching (ZVZCS) three-level DC-DC converters with secondary-assisted regenerative passive snubber”, IEEE Transactions on Regular Papers, Nov. 2005, Volume: 52

[20]Perez, M.A. Blanco, C. Rico, M. Linera, F.F. Dept. de Ingenieria Electr. y Electron., Oviedo Univ.,” A new topology for high voltage, high frequency transformers”, Applied Power Electronics Conference and Exposition, 5-9 Mar 1995, 554-559 vol.2

[21]Chen, R.Y. Lin, R.L. Liang, T.J. Chen, J.F. Tseng, K.C. Dept. of Electr. Eng., Nat. Cheng Kung Univ., Tainan, Taiwan;,” Current-fed full-bridge boost converter with zero current switching for high voltage applications”, ndustry Applications Conference, 2-6 Oct. 2005, Vol. 3

[22]Filchev, T. Cook, D. Wheeler, P. Clare, J. Sch. of Electr. & Electron. Eng., Univ. of Nottingham, Nottingham,” Investigation of high voltage, high frequency transformers / voltage multipliers for industrial applications”, Power Electronics, Machines and Drives, 2008. PEMD 2008. 4th IET Conference on ,2-4 April 2008

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Gölcük’de doğan UMUT ÖNDİN, lisans eğitimini Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik Haberleşme Eğitimi Bölümünde 2005 yılında tamamladı. 2006 yılından GYTE Elektronik Mühendisliği bölümde lisans üstü eğitimine başladı. 2006 yılında Kocaeli Sanayi Odası tarafından düzenlenen Buluş Yarışmasında Mansiyon Ödülü aldı. Güç Elektroniği, güneş enerjili sistemeler ve otomasyon sektöründe faaliyet gösteren firmaların Ar-Ge’sinde tasarım ve geliştirme faaliyetlerini yürüttü. Son olarak İbay Makina’de Ar-Ge Müdürü olarak yüksek gerilimli cihazların tasarımları gerçekleştirmektedir.

EK1

Transformatör hesabı program sonuçları aşağıda gösterilmiştir.

Input data

Program name----- =
 Circuit symbol----- =
 Input voltage----- = 350.000 volts
 The operating waveform----- = Square Wave
 The input circuit configuration----- = Single Winding
 Output nomenclature of the 1st secondary--- = 1
 Output voltage of the 1st secondary----- = 22000.000 volts
 Output current of the 1st secondary----- = 0.020 amps
 Output circuit of the 1st secondary----- = Single Winding
 Output nomenclature of the 2nd secondary--- = 2
 Output voltage of the 2nd secondary----- = 22000.000 volts
 Output current of the 2nd secondary----- = 0.020 amps
 Output circuit of the 2nd secondary----- = Single Winding
 Efficiency----- = 98.00 %
 Regulation----- = 2.00 %
 Frequency----- = 20000.0 hertz
 Flux density----- = 0.2500 tesla
 Total load power----- = 880.00 watts
 Total apparent power----- = 1777.96 watts
 Core geometry----- = 0.09579521 cm 5TH
 Magnetic material----- = Siemens N27-2000u

Core data

Core configuration----- = UU or UI Core
 Core or file number----- = B67345-3
 Magnetic path length----- = 35.4000 cm
 Window height----- = 9.6000 cm
 Core weight----- = 800.00 grams
 Copper weight ----- = 1781.22 grams
 Mean length turn----- = 15.0802 cm
 Iron area----- = 4.4800 cm sq

Window area----- = 33.2160 cm sq
 Area product----- = 148.807700000 cm 4TH
 Core geometry----- = 17.68301000 cm 5TH
 Surface area----- = 593.3553 cm sq
 Core permeability----- = 2000
 Millihenry per 1000 turns----- = 2900

Calculations

Transformer total window utilization KU---- = 0.348
 Transformer current density----- = 19 amps per cm sq
 Volts per turn----- = 8.97
 Turns per volt----- = 0.11
 Primary turns----- = 39 Single Winding
 Primary wire size----- = 20 AWG
 Primary wire diameter----- = 0.8189 millimeters
 Primary wire strands----- = 20
 Primary window utilization----- = 0.145
 Primary current density----- = 25 amps per cm sq
 Primary rms current----- = 2.566 amps
 Primary resistance----- = 0.010 ohms
 Primary copper loss----- = 0.065 watts
 Primary copper weight----- = 536.86 grams
 The 1st output nomenclature is----- = 1
 The 1st secondary voltage----- = 22435.9 volts
 The 1st secondary turns----- = 2500 Single Winding
 The 1st secondary wire size----- = 27 AWG
 The 1st secondary wire diameter----- = 0.3659 millimeters
 The 1st secondary no. of strands----- = 1
 The 1st secondary rms current----- = 0.020 amps
 The 1st secondary resistance----- = 63.451 ohms
 The 1st secondary copper loss----- = 0.025 watts
 The 1st secondary current density----- = 20 amps per cm sq
 The 1st sec window utilization----- = 0.101
 The 1st secondary copper weight----- = 343.33 grams
 The 2nd output nomenclature is----- = 2

The 2nd secondary voltage----- = 22435.9 volts
 The 2nd secondary turns----- = 2500 Single Winding
 The 2nd secondary wire size----- = 27 AWG
 The 2nd secondary wire diameter----- = 0.3659 millimeters
 The 2nd secondary no. of strands----- = 1
 The 2nd secondary rms current----- = 0.020 amps
 The 2nd secondary resistance----- = 63.451 ohms
 The 2nd secondary copper loss----- = 0.025 watts
 The 2nd secondary current density----- = 20 amps per cm sq
 The 2nd sec window utilization----- = 0.101
 The 2nd secondary copper weight----- = 343.33 grams
 Total secondary copper loss----- = 0.051 watts
 Watts per kilogram----- = 26.725
 Calculated flux density----- = 0.250 tesla
 Core loss----- = 21.380 watts
 Total copper loss----- = 0.116 watts
 Total loss----- = 21.496 watts
 Transformer efficiency----- = 97.616 %
 Transformer regulation----- = 0.013 %
 Watt density----- = 0.036 W/cm sq
 Temperature rise----- = 29.04 Degrees C
 Design goal temperature rise----- = 50.0 Degrees C

EK2

Emaye bobin telleri yalıtım verniği tablosu aşağıda gösterilmiştir.

Tablo Ek 2.1CW Tip Gerilim Katlayıcısı Kıyaslama Tablosu [15]

ti	B	F	B	H	B
SICAKLIK	130 °C	155 °C	130 °C - 222 °F	180 °C	130 °C
KİMYASAL BAZI	Polyurethan	Polyester	Polyuretha n Polyvinyle Butyral	THEIC	Polyurethan
ÖZELLİKLER İ	-Yüksek İzalasyon -Yüksek Elastikiyet -Düşük Isıda Lehimlenme -Sıfır Pinhole -Yumuşaklık	-Yüksek Termik Dayanıklılık -Yüksek Elastikiyet -Yüksek Isıda Lehimlenm e -Sıfır Pinhole - Yumuşaklık	-Alçak Isıda Lehimlenm e Kolaylığı -Yüksek Elastikiyet -Çözücü ve Sıcaklık Etkisiyle Kendi Kendine Yapışma Özelliği -Sıfır inhole - Yumuşaklık	-Yüksek Termik Dayanıklılık -Yüksek Mekanik Dayanıklılık -Soğutucu Gazlara Dayanıklılık -Aşırı Yüklenmeler e Dayanıklılık -Sıfır Pinhole -Yumuşaklık	-Yüksek Termik Dayanıklılık -Yüksek Mekanik Dayanıklılık -Solventlere Dayanıklılık -Aşırı Yüklenmeler e Dayanıklılık -Sıfır Pinhole -Yumuşaklık
TERMOPLAS TİK DENEYİ	220 °C	260 °C	210 °C	300 °C	300 °C
ISI ŞOKU	160 °C	180 °C		200 °C	200 °C
STANDARTL AR	TS 3551 DIN 46416/2 IEC 317/4 BS 4520/1	TS 3217 DIN 46416/4 IEC 317/3	TS 3216 DIN 46416/3 IEC 317/2 BS 4738	TS 3557 DIN 46416/5 IEC 317/8 - 317/10A	TS 3555 DIN 46416 IEC 317/8 - 317/10 BS 4665/1