

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Z KAYNAK EVİRİCİLERİN MODELLENMESİ VE BENZETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Volkan KAYA

(Enstitü No: 102131105)

Anabilim Dalı: Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi

Programı: Elektronik Eğitimi

Tez Danışman: Doç. Dr. Servet TUNCER

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 12 Ağustos 2014

AĞUSTOS-2014

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Z KAYNAK EVİRİCİLERİN MODELLENMESİ VE BENZETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Volkan KAYA

(Enstitü No: 102131105)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 12 Ağustos 2014

Tezin Savunulduğu tarih: 29 Ağustos 2014

Tez Danışman: Doç. Dr. Servet TUNCER (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Hanifi GÜLDEMİR (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Cafer BAL (F.Ü)

AĞUSTOS-2014

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması süresince yardımlarını esirgemeyen ve değerli fikirleriyle tecrübelerimin artmasını sağlayan saygı değer danışman hocam, Doç. Dr. Servet TUNCER'e teşekkür eder, şükranlarımı sunarım.

Ayrıca tez çalışması boyunca tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Volkan KAYA

Elazığ - 2014

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iv
SUMMARY	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	x
SEMBOLLER LİSTESİ	xi
KISALTMALAR LİSTESİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.2. Tezin Amacı.....	3
1.3. Tezin Organizasyonu	4
2. KARE DALGA EVİRİCİLER	5
2.1. Evirici Devreleri	7
2.1.1. Bir Fazlı Eviriciler	8
2.1.1.1. Yarım Köprü Eviriciler.....	8
2.1.1.2. Tam Köprü Eviriciler	9
2.1.1.3. Push Pull Evirici.....	10
2.1.2. Üç Fazlı Eviriciler.....	12
3. DARBE GENİŞLİK MODÜLASYONLU (DGM) EVİRİCİLER	13
3.1. Bir Fazlı Darbe Genişlik Modülasyonlu Evirici.....	13
3.1.1. Yarım Köprü Eviricide DGM Teknikleri.....	14
3.1.1.1. Sinüsoidal Darbe Genişlik Modülasyon (SDGM) Tekniği	15
3.1.1.2. Kare Dalga Modülasyon Tekniği	17
3.1.2. Tam Köprü Eviricide DGM Teknikleri	17
3.1.2.1. Çift Kutuplu DGM Tekniği	18
3.1.2.2. Tek Kutuplu DGM Tekniği	19
3.2. Üç Fazlı Darbe Genişlik Modülasyonlu Evirici.....	21
3.2.1. Sinüsoidal Darbe Genişlik Modülasyonu	23
4. Z KAYNAK EVİRİCİ	26

4.1. Z Kaynak Evirici Devre Yapısı.....	28
4.2. Eşdeğer Devre, Çalışma Prensibi ve Kontrol	30
4.3. Devrenin Analizi ve Çıkış Geriliminin Elde Edilmesi.....	33
4.4. Z Kaynak Ağındaki Endüktans ve Kapasitanslar	36
4.5. Z Kaynak Evirici Kontrol Metotları	37
4.5.1. Basit Yükseltici Kontrol Metodu.....	38
4.5.2. Maksimum Yükseltici Kontrol Metodu	40
4.5.3. Maksimum Sabit Yükseltici Kontrol Metodu	40
5. Z KAYNAK EVİRİCİ İLE GERİLİM KAYNAK EVİRİCİ TOPOLOJİSİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	42
5.1. Sistem Yapılandırması	42
5.2. Karşılaştırılacak Birimler, Koşullar, Denklemler ve Sonuçlar	42
5.2.1. Toplam Anahtarlama Elemanı Gücü Karşılaştırılması	42
5.2.1.1. Geleneksel DGM evirici	44
5.2.1.2. Z Kaynak Evirici	45
5.2.2. Pasif Bileşen Karşılaştırılması.....	48
5.2.2.1. Geleneksel DGM Evirici	48
5.2.2.2. Z Kaynak Evirici	49
6. BENZETİM ÇALIŞMASI VE SONUÇLARI.....	51
6.1. Üç Fazlı Sinüsoidal Darbe Genişlik Modülasyonlu Gerilim Kaynaklı Evirici Benzetimi	51
6.2. Üç Fazlı Sinüsoidal Darbe Genişlik Modülasyonlu Z Kaynak Evirici Benzetimi.	56
6.3. Üç Fazlı Sinüsoidal Darbe Genişlik Modülasyonlu Gerilim Kaynaklı Evirici ile Z Kaynak Eviricinin Karşılaştırılması	75
7. SONUÇ	80
KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ	85

ÖZET

Bu tez çalışmasında, eviricilerin, devre yapıları, çalışma prensipleri, darbe genişlik modülasyonu ve literatürde mevcut darbe genişlik modülasyon çeşitleri hakkında bilgi verilmiştir. Geleneksel akım ve gerilim kaynaklı eviricilerin neden olduğu sorunların üstesinden gelebilmek için, Z kaynak evirici olarak adlandırılan bir güç dönüştürücüsü ele alınmıştır. Bu nedenle Z kaynak eviricinin devre yapısı, çalışma prensibi, eşdeğer devresi, devre analizi, çıkış gerilimi ve kontrol metotları incelenmiştir.

Bu tezde, gerilim kaynaklı evirici ve Z kaynak eviricinin benzetim modelleri verilmiştir. Benzetimler Matlab/Simulink benzetim programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aynı çalışma koşulları altında sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Z kaynak evirici, sinüsoidal darbe genişlik modülasyonu, harmonik spektrumu, toplam harmonik bozulma.

SUMMARY

Modeling and Simulation of Z Source Inverters

In this study, circuit structures, principles of inverters, pulse width modulation and types of pulse width modulation in the literature is examined. A power converter known as Z source inverter is studied which is thought to overcome the problems originating from traditional current and voltage source inverters. Therefore the circuit structure, working principle, equivalent circuit, analysis, output voltage and control techniques of the Z source inverters are studied.

In this thesis, simulation models of voltage source inverter and Z source inverter are given. Simulations are made using Matlab/Simulink simulation program. The results are given and compared under the same working conditions.

Key words: Z source inverter, sinusoidal pulse width modulation, harmonic spectrum, total harmonic distortion.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. DC-AC evirici.....	6
Şekil 2.2. Bir fazlı evirici a) Blok diyagramı, b) Çıkış sinyalleri.....	8
Şekil 2.3. Bir fazlı yarım köprü evirici.	9
Şekil 2.4. Bir fazlı tam köprü evirici.	9
Şekil 2.5. a) Push pull evirici devre şeması b) Çıkış dalga şekli.....	11
Şekil 2.6. Temel üç fazlı evirici topolojisi.	12
Şekil 3.1. Yarım köprü evirici.	14
Şekil 3.2. Yarım köprü montajlı eviricide SDGM dalga şekilleri a) Taşıyıcı ve modülasyon sinyalleri b) S_1 anahtarının durumu c) S_2 anahtarının durumu d) AC çıkış gerilimi e) AC çıkış gerilimi spektrumu f) AC çıkış akımı g) DC akım h) DC akım spektrumu i) S_1 anahtarının akımı j) D_1 diyotunun akımı.	16
Şekil 3.3. Yarım köprü montajlı invertör kare dalga modülasyon tekniği için ideal dalga şekilleri a) AC çıkış gerilimi, b) AC çıkış gerilimi spektrumu.	17
Şekil 3.4. Tam köprü evirici.....	18
Şekil 3.5. Çift kutuplu DGM tekniği dalga şekilleri.....	19
Şekil 3.6. Tam köprü montajlı eviricide tek kutuplu SDGM dalga şekilleri a) Taşıyıcı ve modülasyon sinyalleri b) S_1 anahtarının durumu c) S_3 anahtarının durumu d) AC çıkış gerilimi e) AC çıkış gerilimi spektrumu, f) AC çıkış akımı g) DC akımı h) DC akım spektrumu i) S_1 anahtarının akımı j) D_1 diyotunun akımı.	20
Şekil 3.7. Üç fazlı evirici.	21
Şekil 3.8. Üç fazlı SDGM($M = 0.8$, $m_f = 9$): Eviriciler için ideal dalga şekilleri a) Taşıyıcı ve modülasyon sinyalleri b) S_1 anahtarının durumu c) S_3 anahtarının durumu d) AC çıkış gerilimi e) AC çıkış gerilimi spektrumu, f) AC çıkış akımı g) DC akımı h) DC akım spektrumu i) S_1 anahtarının akımı j) D_1 diyotunun akımı.....	23
Şekil 4.1. Geleneksel gerilim kaynaklı evirici.	26
Şekil 4.2. Geleneksel akım kaynaklı evirici.	27
Şekil 4.3. Z kaynak eviricinin genel devre yapısı	29

Şekil 4.4. Anahtarlama elemanlarında ters paralel bağlı diyot bulunduran Z kaynak evirici yapısı	29
Şekil 4.5. Anahtarlama elemanlarına seri bağlı diyot bulunduran Z kaynak evirici yapısı .	30
Şekil 4.6. Z kaynak eviriciye ait eşdeğer devre.....	31
Şekil 4.7. Kısa devre sıfır konumunda kaynak eviriciye ait eşdeğer devre	32
Şekil 4.8. Kısa devre sıfır olmayan konumlarda Z kaynak eviriciye ait eşdeğer devre	32
Şekil 4.9. Geleneksel DGM kontrolü.....	35
Şekil 4.10. Aktif vektörler değiştirilmeksizin kısa devre sıfır konumlarını içeren DGM kontrolü.....	36
Şekil 4.11. Geleneksel taşıyıcı tabanlı DGM kontrolü	38
Şekil 4.12. Basit boost kontrol yöntemi.....	39
Şekil 4.13. Maksimum yükseltici kontrol metodu.....	40
Şekil 4.14. Maksimum sabit boost kontrol metodu.....	41
Şekil 5.1. Karşılaştırma için iki evirici sistem yapılandırmaları.	43
Şekil 5.2. Kısa devre zaman aralığında evirici modeli	47
Şekil 6.1. Üç fazlı gerilim kaynaklı evirici benzetim modeli.....	51
Şekil 6.2. Gerilim kaynaklı evirici için SDGM anahtarlama sinyallerinin benzetim modeli	52
Şekil 6.3. Gerilim kaynaklı eviricinin bir fazına ait a) Filtresiz çıkış hat gerilimi b) Harmonik spektrumu	53
Şekil 6.4. Gerilim kaynaklı eviricinin bir fazına ait a) Filtreli çıkış hat gerilimi b) Harmonik Spektrumu.....	54
Şekil 6.5. Gerilim kaynaklı eviricinin bir fazına ait a) Filtresiz çıkış faz gerilimi b) Harmonik spektrumu	54
Şekil 6.6. Gerilim kaynaklı eviricinin bir fazına ait a) Filtreli çıkış faz gerilimi b) Harmonik spektrumu	55
Şekil 6.7. Gerilim kaynaklı eviricinin bir fazına ait a) Çıkış faz akımı b) Harmonik spektrumu	56
Şekil 6.8. Üç fazlı gerilim kaynaklı eviricinin filtreli çıkış hat gerilimi.....	56

Şekil 6.9. Üç fazlı Z kaynak evirici benzetim modeli	57
Şekil 6.10. Z kaynak evirici için SDGM anahtarlama sinyallerinin benzetim modeli	57
Şekil 6.11. Z kaynak eviricinin anahtarlarına uygulanan altı anahtarlama sinyali (DG=0,1)	58
Şekil 6.12. Z kaynak evirici DC giriş gerilimi	59
Şekil 6.13. Z kaynak eviriciye kısa devre durumlarının uygulanabilmesi için zaman süresi hesaplaması (DG=0,1)	59
Şekil 6.14. Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Filtresiz çıkış hat gerilimi b) Harmonik spektrumu (DG=0,1)	60
Şekil 6.15. Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Filtreli çıkış hat gerilimi b) Harmonik spektrumu (DG=0,1)	61
Şekil 6.16. Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Filtresiz çıkış faz gerilimi b) Harmonik spektrumu (DG=0,1)	62
Şekil 6.17. Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Filtreli çıkış faz gerilimi b) Harmonik spektrumu (DG=0,1)	62
Şekil 6.18. Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Çıkış faz akımı b) Harmonik spektrumu (DG=0,1)	63
Şekil 6.19. Üç fazlı Z kaynak eviricinin filtreli çıkış hat gerilimi (DG=0,1)	63
Şekil 6.20. Z kaynak eviricinin empedans ağı üzerindeki kapasitans gerilimi (DG= 0,1) ..	64
Şekil 6.21. Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Filtresiz çıkış hat gerilimi b) Harmonik spektrumu (DG=0,45)	65
Şekil 6.22. Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Filtreli çıkış hat gerilimi b) Harmonik spektrumu (DG=0,45)	65
Şekil 6.23. Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Filtresiz çıkış faz gerilimi b) Harmonik spektrumu (DG=0,45)	66
Şekil 6.24. Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Filtreli çıkış faz gerilimi b) Harmonik spektrumu (DG=0,45)	67
Şekil 6.25. Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Çıkış faz akımı b) Harmonik spektrumu (DG=0,45)	67
Şekil 6.26. Üç fazlı Z kaynak eviricinin filtreli çıkış hat gerilimi (DG=0,45)	68

- Şekil 6.27.** Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Filtresiz çıkış faz gerilimi b) Filtreli çıkış faz gerilimi c) Çıkış faz akımı ve harmonik spektrumu ($M=1$ ve $DG=0,1$)70
- Şekil 6.28.** Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Filtresiz çıkış faz gerilimi b) Filtreli çıkış faz gerilimi c) Çıkış faz akımı ve harmonik spektrumu ($M=0,7$ ve $DG=0,1$) .71
- Şekil 6.29.** Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Filtresiz çıkış faz gerilimi b) Filtreli çıkış faz gerilimi c) Çıkış faz akımı ve harmonik spektrumu ($M=1$ ve $DG=0,45$) ...72
- Şekil 6.30.** Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Filtresiz çıkış faz gerilimi b) Filtreli çıkış faz gerilimi c) Çıkış faz akımı ve harmonik spektrumu ($M=0,7$ ve $DG=0,45$) 73
- Şekil 6.31.** a) Z kaynak eviricinin filtreli çıkış hat gerilimi ve harmonik spektrumu b) Gerilim kaynaklı eviricinin filtreli çıkış hat gerilimi ve harmonik spektrumu ($f_s=1$ kHz, $DG=0,2$)76
- Şekil 6.32.** a) Z kaynak eviricinin filtreli çıkış faz gerilimi ve harmonik spektrumu b) Gerilim kaynaklı eviricinin filtreli çıkış faz gerilimi ve harmonik spektrumu ($f_s=1$ kHz, $DG=0,2$)76
- Şekil 6.33.** a) Z kaynak eviricinin çıkış faz akımı ve harmonik spektrumu b) Gerilim kaynaklı eviricinin çıkış faz akımı ve harmonik spektrumu ($f_s=1$ kHz, $DG=0,2$)77
- Şekil 6.34.** a) Z kaynak eviricinin filtreli çıkış hat gerilimi ve harmonik spektrumu b) Gerilim kaynaklı eviricinin filtreli çıkış hat gerilimi ve harmonik spektrumu ($f_s=10$ kHz, $DG=0,2$)77
- Şekil 6.35.** a) Z kaynak eviricinin filtreli çıkış faz gerilimi ve harmonik spektrumu b) Gerilim kaynaklı eviricinin filtreli çıkış faz gerilimi ve harmonik spektrumu ($f_s=10$ kHz, $DG=0,2$)78
- Şekil 6.36.** a) Z kaynak eviricinin çıkış faz akımı ve harmonik spektrumu b) Gerilim kaynaklı eviricinin çıkış faz akımı ve harmonik spektrumu ($f_s=10$ kHz, $DG=0,2$)78

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. H-köprüsünün anahtarlama durumları.	10
Tablo 3.1. Üç fazlı evirici için geçerli anahtar durumları	22
Tablo 4.1. Üç fazlı Z kaynak eviricinin anahtarlama durumları.	31
Tablo 5.1. Anahtarlama elemanı güçlerinin karşılaştırılması	48
Tablo 6.1. Gerilim kaynaklı evirici için kullanılan sistem parametreleri.....	52
Tablo 6.2. Z kaynak evirici için kullanılan sistem parametreleri.....	58
Tablo 6.3. Darbe genişliğinde yapılan değişiklik sayesinde filtreli çıkış hat gerilimi, faz gerilimi ve akım değerlerinin THB sonuçları	69
Tablo 6.4. Darbe genişlik ve modülasyon indeksinde yapılan değişiklik sayesinde çıkış faz gerilim ve akım değerlerinin THB sonuçları.....	74
Tablo 6.5. Gerilim kaynaklı evirici ile Z kaynak eviricinin karşılaştırma parametreleri	75
Tablo 6.6. Gerilim kaynaklı evirici ile Z kaynak evirici karşılaştırma sonuçları	79

SEMBOLLER LİSTESİ

i_i	: Giriş akımı
i_0	: Çıkış akımı
V_i	: Giriş gerilimi
V_0	: Çıkış gerilimi
n	: Trasformatörün primeri ile sekonderi sarım sayısı oranı
V_{ab}	: Eviricinin çıkış gerilimi
m_f	: Frekans modülasyon oranı
v_c	: Sinüsoidal modülasyon sinyali
v_{Δ}	: Taşıyıcı sinyal
f_h	: Normalleştirilmiş frekans
$\hat{v}_{01}, \hat{v}_{aN1}$	: AC çıkış gerilimin temel bileşenin genliği
$\hat{v}_{0h}$	: Harmoniklerin genliği
V_{CI}	: Kapasitans gerilimi
v_{LI}	: Endüktans gerilimi
I_L	: Endüktans akımı
T	: Anahtarlama periyodu
T_0	: Anahtarlama elemanlarının kısa devre çalışma süresi
T_0/T	: Kısa devre konumu bağlı iletim süresi
$\hat{v}_i$	: Tepe DC hat gerilimi
P_0	: Maksimum çıkış gücü
S	: Yarı iletken anahtar
V_{max}	: Maksimum çıkış gerilimi
$\cos\varphi$	: Yükün maksimum güç değerinde çalıştığı güç faktörü
I_{pk}	: Akım tepe değeri

KISALTMALAR LİSTESİ

DC	: Doğru akım
AC	: Alternatif akım
DGM	: Darbe genişlik modülasyonu
EMI	: Elektromanyetik etkileşim
UPS	: Kesintisiz güç kaynakları
BJT	: Bipolar jonksiyonlu transistör
IGBT	: Kapıdan izoleli iki kutuplu transistör
MOSFET	: Metal oksit yarı iletken alan etkili transistör
GTO	: Kapı sönmümlü tristör
SCR	: Silisyum kontrollü doğrultucu
SDGM	: Sinüsoidal darbe genişlik modülasyonu
IPM	: Akıllı güç modülleri
RMS	: Karesel ortalama değer
M	: Modülasyon indeksi
B	: Yükseltici faktörü
B _B	: Düşürme-yükseltme
THB	: Toplam harmonik bozulma
SDP	: Anahtarlama elemanı gücü
DG	: Darbe genişliği

1. GİRİŞ

Eviriciler doğru akımı alternatif akıma çeviren “DC-AC” dönüştürücülerdir. Bir eviricinin görevi girişindeki bir doğru gerilimi, çıkışında istenen genlik ve frekansta simetrik bir alternatif gerilime dönüştürmektir. Çıkışta elde edilen gerilim ve frekans değerleri sabit veya değişken olabilir. Girişteki DC gerilim değiştirilmek ve evirici kazancı sabit tutulmak suretiyle, değişken bir çıkış gerilimi elde edilebilir [1]. Evirici kazancı; çıkıştaki AC gerilimin girişteki DC gerilime oranı olarak tarif edilebilir.

Bir evirici devresi oluşturmak için kullanılan en temel yöntem, herhangi bir modülasyon tekniği ile kontrol edilen köprü tip evirici yapısıdır. Bu yöntemde girişte düşük bir DC gerilim kullanılması durumunda, eviricinin maliyetinin ve hacminin artması gibi bir dezavantajı vardır. Hâlbuki birçok uygulamada eviricinin küçük boyutlarda ve hafif olması önemlidir. Evirici devreler, güç gereksinimlerine ve çıkış gerilimlerine göre bir fazlı ya da üç fazlı olarak tasarlanırlar. Düşük güç gerektiren uygulamalarda tek fazlı eviriciler yeterli olurken, orta ve yüksek güç uygulamalarında üç fazlı eviriciler kullanılmaktadır [2].

Eviricilerin çıkışlarının, doğru akım bileşeni olmayan sinüsoidal akım ve gerilim olması istenir. Ancak, eviricilerde çıkış akım ve gerilimi sinüsoidal olmayabilir. Küçük ve orta güçlü uygulamalar için kare dalga çıkış kabul edilebilirken; büyük güçlü uygulamalarda sinüsoidal çıkış istenir. Eviricilerde sinüsoidal çıkış elde etmek için kullanılan yöntemlerden en önemlisi darbe genişlik modülasyonudur (DGM). DGM’de amaç, kare dalgada darbeler oluşturmak ve bu darbelerin genişliğini değiştirmek suretiyle çıkış ana dalgasının temel bileşenini değiştirmektir [3].

Güç çevriminde genel olarak gerilim kaynaklı ve akım kaynaklı olmak üzere 2 tip evirici topolojisi mevcuttur. Gerilim kaynaklı evirici devresinde altı adet anahtarlama elemanı kullanılmış olup, her biri bir güç transistörü ve ters paralel bağlı bir diyot elemanından oluşmaktadır. Böylelikle çift yönlü akım akışı ve tek yönlü gerilim tutma sağlanabilmektedir. Gerilim kaynaklı evirici yaygın olarak kullanılmakla birlikte, bu topolojinin aşağıda belirtilen kavramsal ve teorik yönlerden birtakım engel ve sınırlamaları mevcuttur [4].

Gerilim kaynaklı eviricilerde, AC çıkış gerilimi, DC hat (giriş) geriliminden düşük olmalı ve onu aşmamalıdır veya DC çıkış gerilimi, AC giriş gerilimi değerinden daha yüksek olmalıdır. Dolayısıyla gerilim kaynaklı evirici, DC-AC çevrim için düşürücü, AC-DC güç çevrimi için ise yükseltici karakteristiğindedir. DC giriş geriliminin yüksek olması gereken uygulamalarda, giriş DC gerilimi yeteri kadar yüksek değilse, istenilen AC çıkış gerilimine ulaşılması için devreye DC-DC yükseltici dönüştürücü eklenir. Bu eklenen dönüştürücü, güç çevrim basamağını arttırarak sistem maliyetini yükseltir ve verimi de düşürür [5].

Eviricinin her bir faz kolunda bulunan üst ve alt sıra güç elemanlarına gerek yanlışlıkla, gerekse Elektromanyetik etkileşim (EMI) gürültüsünden dolayı oluşabilecek bir anahtarlama (kapı) sinyali verilmemelidir. Aksi halde aynı faz kolunda kısa devre oluşarak elemanların tahrip olmasına yol açılır. Gerilim kaynaklı eviricilerde zorunlu olarak üst ve alt sıra elemanlarının anahtarlama sinyalleri arasına konulan ölü zaman ise, dalga şekillerinde bozulma gibi sorunlara neden olmaktadır. Akım kaynaklı eviricilerde ise, sinüsoidal çıkış elde etmek için çıkışa LC filtre eklemek gerekmektedir, bu da ek olarak güç kaybına ve kontrolde karmaşıklığa neden olmaktadır. Bununla birlikte akım kaynaklı eviriciye ait aşağıda değinilen kavramsal ve teorik yönden birtakım engel ve sınırlamalar mevcuttur.

Akım kaynaklı eviricilerde, AC çıkış gerilimi, DC endüktansı besleyen DC gerilimden daha yüksek olmalıdır veya üretilen DC gerilim her zaman AC giriş geriliminden daha düşük olmalıdır. Dolayısıyla akım kaynaklı evirici, DC-AC çevrimlerde yükseltici evirici, AC-DC çevrimlerde ise düşürücü doğrultucu işlevine sahiptir. Geniş bir gerilim aralığına ihtiyaç duyulan uygulamalarda sisteme bir DC-DC düşürücü (veya yükseltici) dönüştürücü eklenmesi gerekmektedir. Bu ek güç katı, sistemin maliyetini arttırıp, verimliliği düşürmektedir. Ancak bununla birlikte bu topolojide, üst ve alt sıra elemanları aynı anda ilettime girerek çalışmamalıdır. Aksi takdirde bir açık devre oluşabilir ve DC endüktans oluşarak elemanları tahrip edebilir. Akım kaynaklı eviricilerde, akım komütasyonunun güvenli olarak sağlanması için gerekli olan üst üste binme süresi (overlap time), aynı zamanda dalga seklinde bozulmaya da neden olmaktadır [4,5].

Son yıllarda, geleneksel akım ve gerilim kaynaklı eviricilerin neden olduğu sorunların üstesinden gelebilmek için, Z kaynak evirici olarak adlandırılan bir güç dönüştürücüsü ele alınacak ve bu dönüştürücünün DC-AC, AC-DC, AC-AC ve DC-DC

güç çevrimindeki kontrol yöntemleri anlatılacaktır [6]. Bu yapıda tek tip bir empedans ağı (veya devresi) mevcut olup, bu yapı ana devreyi güç kaynağına, yüke veya başka bir dönüştürücüye akuple eder. Böylelikle sırasıyla kapasitans ve endüktans kullanılan geleneksel eviricilerde gözlenemeyen özgün bir nitelik kazanılmıştır. Z kaynak evirici, geleneksel dönüştürücülerin sahip olduğu, yukarıda belirtilmiş kavramsal ve teorik engellemelerin üstesinden gelerek, yeni bir güç çevrim konsepti sunmaktadır [5,7]. Z kaynak evirici konsepti, tüm DC-AC, AC-DC, AC-AC ve DC-DC güç çevrim topolojilerine uygulanabilmektedir.

Geleneksel gerilim kaynaklı eviricilerde, enerji depolamak ve gerilimdeki dalgalanmayı bastırmak için filtreleme ve geçici depolama elemanı olarak kullanılan tek eleman DC kapasitansdır. Geleneksel akım kaynaklı eviricilerde ise, DC endüktans elemanı akımdaki dalgalanmayı bastırma ve geçici depolama elemanı olma amaçlı kullanılan yegâne enerji depolama ve filtre elemanıdır. Z kaynak ağı, iki adet endüktans ve iki adet kapasitansın bir kombinasyonu şeklindedir. Bu kombine devre yani Z kaynak ağı, Z kaynak eviricinin enerji depolama ve filtre elemanıdır. Z kaynak ağı, çift katlı bir filtre görevi görür, dolayısıyla gerilim ve akımdaki dalgalanma oranını bastırma hususunda, geleneksel eviricilerdeki yalnız kullanılan kapasitans ve endüktanslardan daha iyi görev görmektedirler [4,5]. Z kaynak eviricilerde geleneksel kontrol metotlarına dayalı olarak türetilmiş bazı DGM kontrol metotlarında kullanılmaktadır [23,24]. Ayrıca gerilim kaynaklı evirici ile Z kaynak evirici anahtarlama eleman güçleri ve pasif bileşen ihtiyaçları göz önüne alınarak karşılaştırılmaktadır [25,26].

1.2. Tezin Amacı

Bu tezde geleneksel akım ve gerilim kaynaklı eviricilerin neden olduğu sorunların üstesinden gelebilmek için, Z kaynak evirici olarak adlandırılan bir güç dönüştürücüsünün incelenmesi ve benzetim modelinin oluşturulması amaçlanmaktadır. Z kaynak eviricinin sağladığı avantajların gözlemlenebilmesi için sinüsoidal darbe genişlik modülasyonlu gerilim kaynaklı evirici ile Z kaynak evirici benzetim modelleri Matlab/Simulink programı kullanılmasıyla aynı çalışma koşulları altında karşılaştırmalarının yapılması ve sonuçlarının elde edilmesi amaçlanmaktadır.

1.3. Tezin Organizasyonu

Tezin ikinci bölümünde, eviricilerin devre yapıları ve çalışma prensipleri hakkında bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümünde, eviricilerde kullanılan darbe genişlik modülasyonu ve literatürde mevcut darbe genişlik modülasyon çeşitleri hakkında bilgi verilmiştir.

Dördüncü bölümde, Z kaynak eviricinin devre yapısı, çalışma prensibi, eşdeğer devresi, devre analizi ve çıkış gerilimi hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca Z kaynak eviricilerde geleneksel kontrol metotlarına dayalı olarak türetilmiş bazı darbe genişlik modülasyon kontrol metotları ve her bir kontrol metodundaki Z kaynak eviricisinin gerilim kazancı, modülasyon indeksi ve DC gerilim yükseltici faktörünü açıklayan denklemler verilmiştir.

Beşinci bölümde, gerilim kaynaklı evirici ile Z kaynak eviricinin anahtarlama eleman güçleri ve pasif bileşen ihtiyaçları göz önüne alınarak karşılaştırılmaktadır.

Altıncı bölümde, eviricilerin benzetim sonuçları yer almaktadır. Bunun için Matlab/Simulink programı kullanılarak benzetim modelleri oluşturulmuştur. Benzetim çalışmaları farklı kriterlere göre analizler yapılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Yedinci bölümde ise çalışmaya ilişkin sonuç ve değerlendirmeler verilmiştir. Ayrıca tezin sağladığı avantajlarla birlikte sürekli olarak geliştirilmeye açık, uygulanabilir olması ve gelecekte kullanım alanının yaygınlaşması hakkında önerilerde bulunulmuştur.

2. KARE DALGA EVİRİCİLER

Bu bölümde; öncelikle eviricilerin devre yapıları ve çalışma prensipleri, harmonikler ve bu harmoniklerin eliminasyonu ile kullanılan darbe genişlik modülasyonu hakkında bilgiler verilmiştir.

Eviriciler, bir veya üç fazlı alternatif gerilim ile beslenecek yük için doğru gerilim kaynağından yüke enerji transferi yapan, frekansı ve gerilimi birbirinden bağımsız olarak ayarlanabilen devrelerdir. Evirici devresi; anahtarlama elemanları ile endüktans, kapasitans, trafo ve direnç gibi elemanlardan oluşur. Eviricilerin girişlerindeki doğru gerilim ya DC-DC dönüştürücü yardımı ile yükseltilerek ya da doğrudan, güç elektroniği devre elemanlarının uygun bir biçimde anahtarlanması ile alternatif gerilime dönüştürülür. Ardından gerekli görüldüğü takdirde bir çıkış transformatörü yardımı ile alternatif gerilim istenen değere ayarlanır. Ayrıca giriş ve çıkışta kullanılacak alçak geçiren filtreler giriş ve çıkıştaki işaretlerin içindeki yüksek frekanslı bileşenlerin azalmasını sağlar [3]. Eviricinin fonksiyonu, bir DC giriş gerilimini; simetrik, istenilen genlikte ve frekansta bir AC gerilime dönüştürmektir. Çıkış gerilimi, ayarlı olabilirken, bu iş ya sabit, ya da değişken frekansta yapılmaktadır. Değişken bir çıkış gerilimi, değişken bir DC giriş gerilimi kullanılarak, eviricinin kazancının sabit tutulması ile elde edilebilir. Diğer bir yol olarak, eğer DC giriş gerilimi sabit ve ayarlanamaz ise, değişken bir çıkış gerilimi evirici kazancını değiştirerek elde edilebilir ki, bu genelde eviricinin darbe genişlik modülasyonu kontrolüyle sağlanır. Eviricinin kazancı, AC çıkış geriliminin DC giriş gerilimine oranı olarak tanımlanabilir.

İdeal eviricilerin çıkış gerilim dalga şekilleri sinüsoidal olmalıdır. Bununla beraber, pratik eviricilerin çıkış gerilimleri sinüsoidal değildir ve belli harmonikleri içerirler. Düşük ve orta güçlü uygulamalar için düşük bozulmalı sinüsoidal dalga şekilleri gereklidir. Yüksek hızlı yarı iletken güç elemanlarının uygunluğu doğrultusunda, çıkış gerilimindeki harmonik bileşenleri minimize edilebilir yada çeşitli anahtarlama teknikleri ile önemli bir miktarda azaltılabilir.

Eviriciler, değişken hızlı AC motor sürücüler, endüksiyonla ısıtma, AC gerilim regülatörleri, kesintisiz güç kaynakları (UPS) sistemleri gibi endüstriyel uygulamalarda

geniş olarak kullanılmaktadır. Giriş gerilimi bir akü, yakıt hücresi, güneş paneli yada daha farklı bir DC kaynak olabilmektedir.

Doğru gerilimi alternatif gerilime çeviren eviricilere ait prensip şema şekil 2.1’de görülmektedir [3,8].



Şekil 2.1. DC-AC evirici [3].

Ayrıca, alternatif besleme geriliminin bulunmadığı yerlerde de kaynak olarak akü kullanılır. Eviricilerin doğrultucu ile beslenmesine örnek olarak ise; kesintisiz güç kaynağı, rüzgâr veya güneş panelleri uygulamaları verilebilir [3]. Küçük güçteki eviriciler (10kVA’ya kadar) genellikle tek fazlı olarak kullanılırken, orta ve büyük güçlü eviriciler üç fazlı olarak kullanılırlar. Eviricilerin üreteceği dalga şekilleri ve frekansları kullanılan yarı iletken elemanların (Tristör, BJT, IGBT, MOSFET) karakteristiklerine, iletim ve tıkama sürelerine bağlıdır [3]. Son yıllardaki güç elektroniği yarı iletken elemanları teknolojisindeki gelişmeler sayesinde, güç elektroniği dönüştürücülerinde kullanılan anahtarlama elemanlarının anahtarlama frekansı yükselmiştir. Yüksek hızdaki anahtarlama elemanları sayesinde, çıkış gerilimindeki harmonikler anahtarlama tekniği değiştirilerek azaltılabilir [9].

DGM eviriciler, yüksek anahtarlama hızları gerektiğinden genellikle IGBT veya MOSFET kullanılır. Yüksek güçler için ise tristör veya GTO kullanabilir, fakat bu durumda yarı periyottaki darbe sayısı sınırlı kalmaktadır. Ayrıca, eviricilerde anahtarlama elemanı olarak tristör tercih edilmemesinin bir diğer nedeni, tristörler için sürme sinyalinden sonra tristörün kesime gitmesi içinde belirli bir süre beklemek gereklidir. MOSFET kullanılması durumunda ise üretilecek akım ve gerilim değerleri sınırlı olmaktadır. Ancak oldukça hızlı ve gerilim kaynaklı olan bu elemanlar küçük güçlü ve yüksek frekanslı uygulamalarda kullanılır. MOSFET’ler birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak daha yüksek güçlü evirici devreleri oluşturulabilir. BJT’ler ise tristörlere göre hızlı MOSFET’lere göre yavaştır. İletim için büyük baz akımına ihtiyaç duyarken kesim için bu akımın kesilmesi yeterlidir. Çıkış geriliminin frekansı ve genliği eviricideki

elemanların anahtarlama durumları ile ayarlandığından sistemin cevap verme süresi çok kısa olmaktadır [3].

Eviriciler, besleme kaynaklarına göre gerilim kaynaklı ve akım kaynaklı diye iki gruba ayrılır. Gerilim kaynaklı eviriciler; omik ve endüktif yükleri beslemek ile sabit moment isteyen alternatif akım motor uygulamalarında kullanılırlar. Akım kaynaklı eviriciler ise; büyük kapasitif yükleri beslemekte uygundur. Yük harmonik akımlara karşı yüksek empedans gösteriyorsa gerilim kaynaklı eviriciler, yük harmonik akımlara karşı düşük empedans gösteriyorsa akım kaynaklı eviriciler kullanılmalıdır [8].

2.1. Evirici Devreleri

Gerilim kaynaklı eviriciler sabit DC gerilimle beslendiği halde, akım kaynaklı eviriciler bir akım kaynağı tarafından beslenirler. Bir gerilim kaynağına seri endüktans bağlanmak suretiyle, bu kaynak bir akım kaynağına dönüştürülebilir. Bir geri besleme çevrimi yardımıyla gerilim değiştirilerek istenen akım elde edilebilir.

Bir gerilim kaynaklı evirici, akım kontrol modunda çalıştırılabilir. Benzer şekilde bir akım kaynaklı evirici, gerilim kaynak modunda çalıştırılmak üzere kontrol edilebilir. Aralarındaki tek fark, genellikle akım kaynaklı eviriciler çok güç gerektiren AC motor sürücülerinde tercih edilmektedir. Bir fazlı gerilim veya akım kaynaklı evirici genel olarak; yarım köprü, tam köprü veya orta uçlu transformatörle gerçekleştirilen push-pull bağlantıda olabilir. Bir fazlı eviriciler aralarında bağlanarak üç fazlı veya çok fazlı AC sistemler elde edilebilir [1,10].

Bir fazlı eviriciler, düşük güç ve gerilim sınıfında olmakla birlikte bir fazlı kesintisiz güç kaynağı uygulamalarında yaygın olarak kullanılır. Üç fazlı eviriciler, bir fazlı eviricilerin aksine orta ve yüksek güç/gerilim uygulamaları için daha uygun çözümler sunmaktadır. Her iki grup da çıkış geriliminin faz, genlik ve frekans değerlerinin kontrol edilmesinde etkili olan çeşitli topolojiler sonucunda geliştirilmiştir.

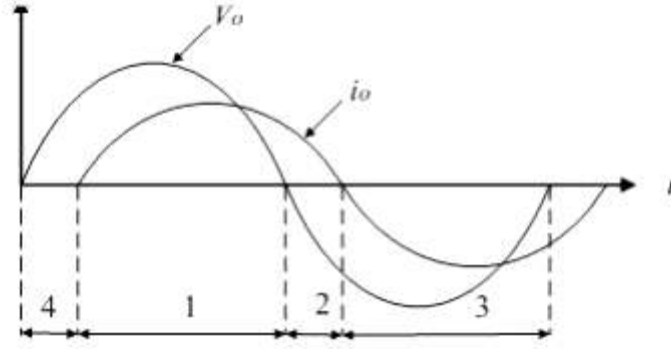
Çok seviyeli eviriciler, düşük EMI gürültüsüne sahip olmaları ve düşük frekanslardaki kontrollerinde yüksek etkinlik sağlamalarından dolayı güç elektroniği uygulamalarında geniş bir kullanım alanına sahiptir. Buna ek olarak, çok seviyeli eviriciler, diğer topolojilere göre çıkış geriliminde daha düşük dv/dt oranına sahiptir [2,11].

2.1.1. Bir Fazlı Eviriciler

Bir fazlı eviriciler, yarım köprü, tam köprü ve push pull olarak üç ayrı topolojiye sahiptir. Şekil 2.2’de, bir fazlı eviricinin genel blok yapısı ve çıkış sinyalleri görülmektedir.



a)



b)

Şekil 2.2. Bir fazlı evirici a) Blok diyagramı, b) Çıkış sinyalleri [2].

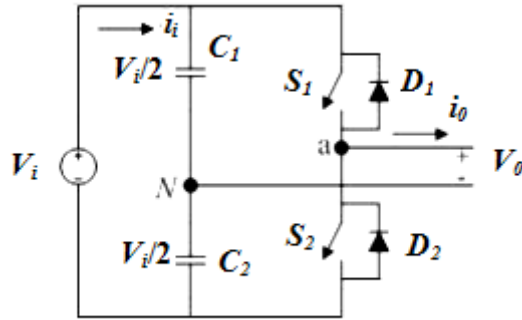
Eviricinin endüktif bir yük olarak bir AC motoru beslediği kabul edilirse, bu durumda çıkış akımının şekilde görüldüğü gibi gerilimden geride kalması doğaldır. Eviricinin çalışma modları, Şekil 2.2 b’deki 1 ve 3 aralıklarında güç akışı DC taraftan AC tarafa yani evirici modunda, 2 ve 4 aralıklarında ise AC taraftan DC tarafa yani doğrultucu modundadır [2].

2.1.1.1. Yarım Köprü Eviriciler

Bir fazlı evirici topolojilerinin temeli olan bir yarım köprü evirici şekil 2.3’de görülmektedir. Bu topolojide, her birisi sabit bir gerilim değerine ($V_i/2$) sahip iki kapasitans eviricinin nötr çıkışını oluşturmaktadır. Eviricinin çalışması esnasında oluşacak

harmoniklerin düşük dereceli olması için C_1 ve C_2 kapasitanslarının yüksek değerde seçilmesi gerekmektedir.

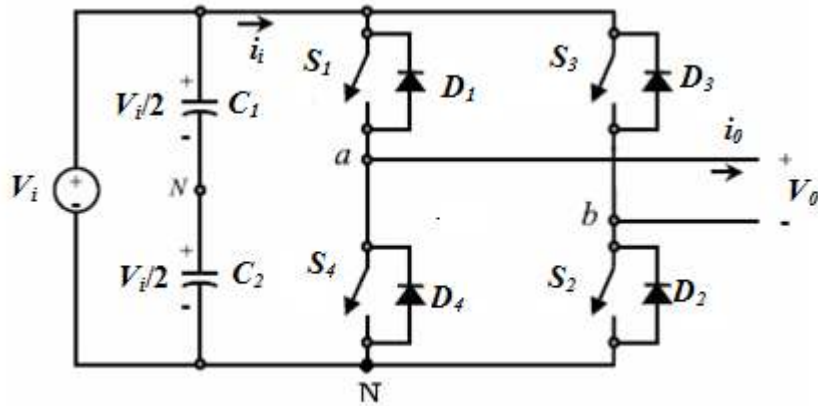
Evirici yapısından da anlaşılacağı üzere her bir anahtarlama süresinde S_1 ve S_2 anahtarlarından sadece bir tanesi iletim durumunda olmalıdır. Buna göre eviricide, her bir anahtarın ayrı ayrı iletimde olduğu 2 durum ve her ikisinin de kesimde olduğu durum olmak üzere 3 ayrı anahtarlama durumu söz konusudur [2,12,14,15].



Şekil 2.3. Bir fazlı yarım köprü evirici [2].

2.1.1.2. Tam Köprü Eviriciler

Tam köprü evirici, Şekil 2.4’de görüldüğü gibi iki ayrı yarım köprü evirici ile oluşturulmaktadır. Yarım köprü topoloji, iki seviyeli çıkış gerilimi üretmek için kullanılan temel topolojidir. Bu topolojide girişte orta uçlu bir gerilim kaynağının bulunması gereklidir. Öte yandan, tam-köprü topoloji iki seviyeli ve üç seviyeli çıkış dalga şekli üretmek için kullanılmaktadır.



Şekil 2.4. Bir fazlı tam köprü evirici [2].

Eviricinin ikinci anahtarlama hattı, yük için nötr noktasını belirler. H-köprüsü olarak da adlandırılan bu topolojide, çıkış gerilimini oluşturmak için 4 ayrı anahtarlama ve bir de belirsiz anahtarlama olmak üzere 5 durum söz konusudur [12,13,16].

Belirsiz durum, bütün anahtarların kesimde olduğu zaman aralığında gerçekleşir (Tablo 2.1). Belirsiz durumda çıkış geriliminin $-V_i$ ya da $+V_i$ potansiyellerinden hangisinde olacağı önceden kestirilemez.

Tablo 2.1. H-köprüsünün anahtarlama durumları [2].

Durum	Anahtarlama D.	V_a	V_b	V_o
1	S_1 ve S_2 iletimde	$V_i/2$	$-V_i/2$	V_i
2	S_3 ve S_4 iletimde	$-V_i/2$	$V_i/2$	$-V_i$
3	S_1 ve S_3 iletimde	$V_i/2$	$V_i/2$	0
4	S_2 ve S_4 iletimde	$-V_i/2$	$-V_i/2$	0
5	Bütün anahtarlar kesimde	$-V_i/2$ $V_i/2$	$V_i/2$ $-V_i/2$	$-V_i$ V_i

Tabloda 2.1’de görülen 1. ve 2. durumlar AC çıkış gerilimi üretmek için kullanılmaktadır [13,16,17].

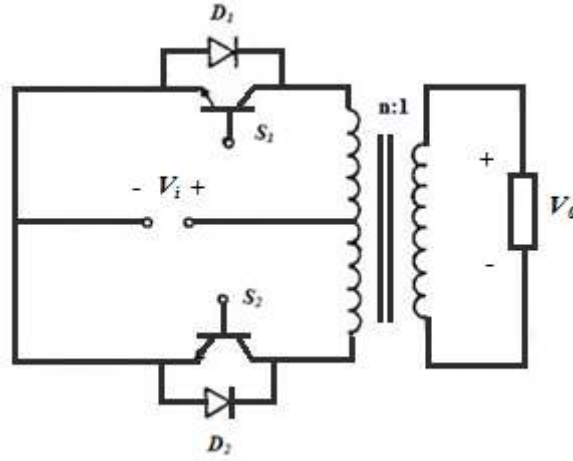
2.2.1.3. Push Pull Evirici

Bir push-pull evirici devresi şekil 2.5 a’da en basit şekilde gösterilmiştir. Primer tarafta orta ucu bulunan bir transformatöre ihtiyaç vardır. i_o çıkış akımının sürekli olduğu kabul edilir. S_1 anahtarı iletimde ve S_2 anahtarı kesimde iken, S_1 anahtarı i_o ’ın pozitif değerini taşıırken, D_1 diyodu ise i_o ’ın negatif değerini taşır. i_o ’ın yönü ne olursa olsun $V_o = V_i/n$ değerine eşittir. Burada “n” olarak gösterilen terim transformatörün primeri ile sekonderi sarım sayısı oranıdır.

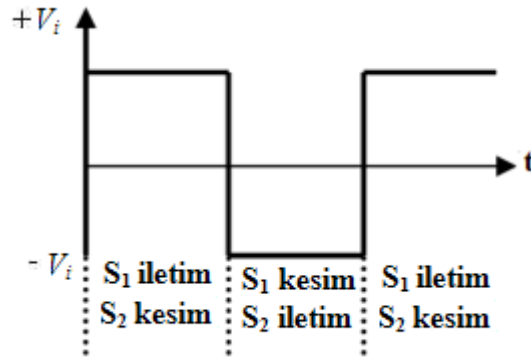
Benzer olarak S_2 anahtarı iletimde, S_1 anahtarı kesimde olduğunda $V_o = -V_i/n$ değerine eşit olur [1,10].

Bu devrenin önemli üstünlükleri şunlardır:

- i) Yalnızca iki anahtarlama elemanı ve iki diyot kullanılmaktadır.
- ii) Her yarı çevrimde akım yalnızca bir yarı iletken üzerinden akmakta ve bu nedenle yarı iletkenler üzerinde, iletim yönünde, daha az gerilim düşümü olmaktadır. Özellikle, düşük kaynak gerilimi kullanılan durumlarda bu, verimin yüksek olmasını sağlamaktadır.
- iii) Tek bir doğru akım kaynağı kullanılmaktadır.



a)



b)

Şekil 2.5. a) Push pull evirici devre şeması b) Çıkış dalga şekli [18].

Bu devrenin dezavantajları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- i) Yarı iletkenlerin üzerinde kesimde görülen gerilim, kaynak geriliminin iki katıdır. Bu nedenle, yüksek gerilim uygulamalarında bu yapı kullanılmaz.
- ii) Dönüştürme, özel sarılmış bir transformatör yardımıyla yapıldığından, devrede transformatör kullanılması kaçınılmazdır. Gerçekte, gerekli yalıtım ve gerilim uyuşmasını

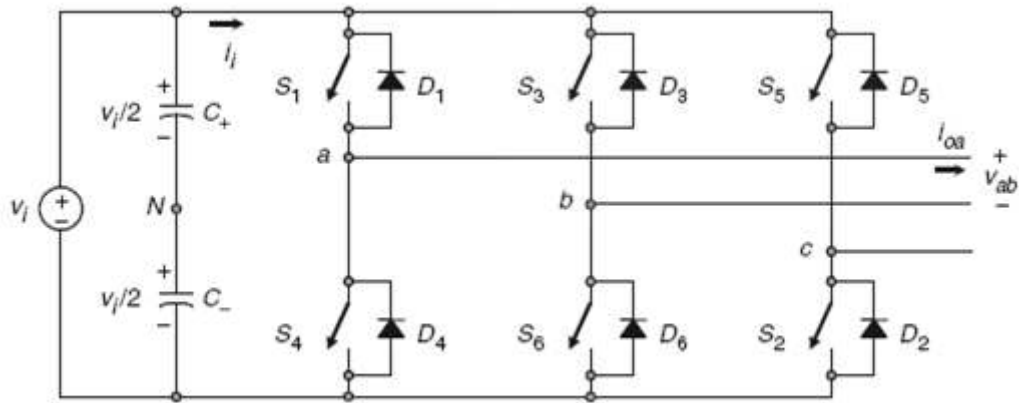
sağlamak amacıyla diğer devre yapılarında da transformatör kullanılmakla birlikte, bu uygulamada fazladan bir sargı bulunmaktadır.

iii) Bu devre yapısı ile sadece iki basamaklı gerilim dalga şekli elde edilebilir. Oysa üç basamaklı gerilim dalga şekillerinin harmonikleri daha az olduğundan, sinüs çıkış elde etmek için kullanılması gereken süzgeçler daha küçüktür. Bahsedilen bu özellikleri dolayısıyla Push-pull dönüştürücü düşük güç uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle, çıkış geriliminin sinüs olmasının arzulanmadığı DC-DC regülatörleri için çok uygundur [3,18].

2.1.2. Üç Fazlı Eviriciler

Üç fazlı eviriciler, bir fazlı topolojilerden farklı olarak orta ve yüksek güç uygulamaları ve AC motor sürücülerinde yaygın olarak kullanılır. Üç fazlı evirici tasarımında kullanılan temel yapı Şekil 2.6'da görülmektedir. Evirici devre, çıkışta üç faz gerilim dalgalarını elde etmek için karşılıklı olarak $2\pi/3$ derece faz farkı olan üç adet yarım köprüden oluşmaktadır.

Girişteki DC kaynağı ise genellikle tek faz ya da üç faz köprü doğrultuculardan elde edilebildiği gibi doğrudan bir batarya ile de sisteme enerji sağlayabilir [2,19].



Şekil 2.6. Temel üç fazlı evirici topolojisi [2].

3. DARBE GENİŞLİK MODÜLASYONLU (DGM) EVİRİCİLER

DGM tekniği kullanılan eviriciler güç devresi itibariyle klasik kare dalga eviricilerle aynı yapıya sahiptir. Bu eviricilerin kontrol devrelerinde yapılan değişikliklerle avantajlar sağlanmaktadır. DGM, temel elektronik devre elemanlarıyla gerçekleştirildiği gibi son yıllarda gelişme gösteren mikroişlemciler yardımıyla da gerçekleştirilmektedir.

Mikroişlemcilerin kullanılmaya başlandığı ilk yıllarda referans sinyali mikroişlemciden sağlanıp, operasyonel amplifikatörlü bir devreyle elde edilen taşıyıcı sinyali ile karşılaştırılarak DGM sinyali elde edilmiştir. Daha sonraki gelişmelerde DGM sinyalleri, daha önceden hesaplanıp bir hafıza elemanında toplanarak ve mikroişlemci yardımıyla elde edilmiştir. Mikroişlemcilerin hızlarının çok fazla artmasıyla bu hesaplama işlemi aynı anda yapılarak DGM sinyalleri elde edilmeye başlanmıştır [1].

DGM’de amaç, ana kare dalgada darbeler oluşturmak ve bu darbelerin genişliğini değiştirmek suretiyle çıkış ana dalgasının büyüklüğünü değiştirmektir. Darbelerin yarı periyottaki sayıların değiştirilmesiyle başlıca anahtarlama harmoniklerinin frekansını yükseltmek suretiyle, yük endüktansının harmonik akımlarının sınırlanması sağlanır. Anahtarlama frekansının yükselmesi anahtarlama kayıplarının artmasına da sebep olur [10].

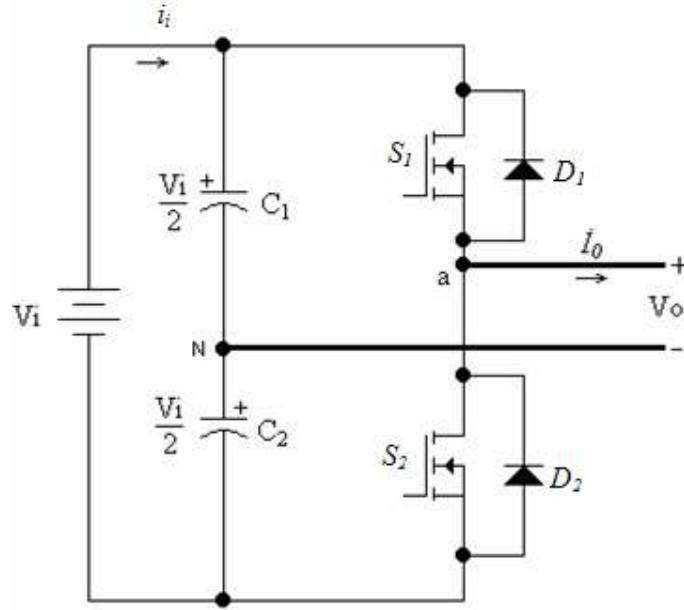
Üç fazlı eviricinin çıkış dalga şekillerinde ise birbirinden 120 derece faz farkı olmalıdır. Bu yüzden DGM sinyalleri arasında da 120 derece faz farkı bulunmalıdır. Genel olarak DGM sinyalleri yüksek frekanslı bir üçgen taşıyıcı dalga ile düşük frekanslı modülasyon dalgasının bir komparatörde karşılaştırılmasından elde edilir. Taşıyıcı dalga frekansının referans dalga frekansına oranına m_f denir. m_f üç fazlı sistemlerde üç ve üçün katları olmalıdır, böylece fazlar arası denge sağlanır. Sinüs dalgasının genliğinin taşıyıcı dalganın genliğine oranına modülasyon indeksi (M) denir. Modülasyon indeksinin değiştirilmesiyle çıkış geriliminin temel bileşeninin genliği ayarlanır [10].

3.1. Bir Fazlı Darbe Genişlik Modülasyonlu Evirici

Bir fazlı köprü montajında çapraz kolları gecikmeli olarak iletme sokularak, yarım periyoda ait kare dalganın genişliği ayarlanmaktadır. Bu gerilim ayar metoduna darbe

genişlik modülasyon adı verilir. Ancak burada tek darbe bulunduğundan DGM'nin tek darbe modülasyonu grubuna girmektedir. DGM genel olarak çıkış gerilimi dalga şeklinin harmonik içeriğini değiştirir [20].

3.1.1. Yarım Köprü Eviricide DGM Teknikleri



Şekil 3.1. Yarım köprü evirici [10].

Yarım köprü eviricide DGM tekniği, gerilim kaynaklı eviricilerin bir kolu üstündeki anahtarların daha önceden tanımlandığı şekilde iletim ve kesim durumlarını oluşturmakla sağlanabilir. Bunu da bir modülasyon işareti (istenen AC çıkış gerilimi) ve bir üçgen dalga formu (taşıyıcı sinyal) karşılaştırılarak elde edilir. Pratikte, modülasyon dalgaının taşıyıcı dalgadan büyük olduğunda S_1 anahtarı iletimde, S_2 anahtarı kesimde olur. Ters durumda ise, S_1 anahtarı kesimde ve S_2 anahtarı iletim durumunda olacaktır.

Şekil 3.1'de açıkça görüldüğü üzere, S_1 ve S_2 anahtarları eş zamanlı olarak çalışmamalıdır. Çünkü eş zamanlı çalıştığı takdirde DC hat geriliminde kısa devreye yol açacaktır. Bu topolojide tanımlı olan iki durum ve tanımlı olmayan bir durum söz konusudur. Kısa devreyi ve tanımlı olmayan (aynı anda her iki anahtarın kesimde olması durumu) AC çıkış gerilim durumunu önlemek için modülasyon tekniğinde herhangi bir anda evirici ayağına bağlı olan yukarıdaki ya da aşağıdaki anahtardan biri açık olmalıdır.

Durumlar:

- 1) S_1 iletimde, S_2 kesimde
- 2) S_2 iletimde, S_1 kesimde
- 3) S_1 ve S_2 anahtarlarının ikisi de kesimde - tanımlı olmayan durum [20].

3.1.1.1. Sinüsoidal Darbe Genişlik Modülasyon (SDGM) Tekniği

Daha önceden bahsedildiği üzere, AC çıkış geriliminin sürekli olarak düzgün çalışan anahtarlama güç sisteminde verilen dalga şeklini (örnek olarak sinüsoidal) takip etmesi istenir.

Taşıyıcı bazlı DGM tekniği, gerilim kaynaklı eviricilerin bir ayağının üstündeki anahtarların daha önceden tanımlandığı şekilde iletim ve kesim durumlarını oluşturmakla sağlanabilir. Bunu da bir modülasyon işareti v_c (istenilen AC çıkış gerilimi) ve bir üçgen dalga formu v_Δ (taşıyıcı sinyal) karşılaştırılarak elde edilir. Pratikte, $v_c > v_\Delta$ olduğunda S_1 anahtarı iletimde, S_2 anahtarı kesimde olur. Aynı şekilde $v_c < v_\Delta$ iken, S_1 anahtarı kesimde ve S_2 anahtarı iletimde olur.

v_c modülasyon sinyali, f_c frekansında $\hat{v}_c$ genliğinde bir sinüsoidal dalga iken ve üçgen dalga v_Δ ise f_Δ frekansında ve genliği $\hat{v}_\Delta$ olan bir sinyal iken bu duruma sinüsoidal darbe genişlik modülasyonu adı verilir.

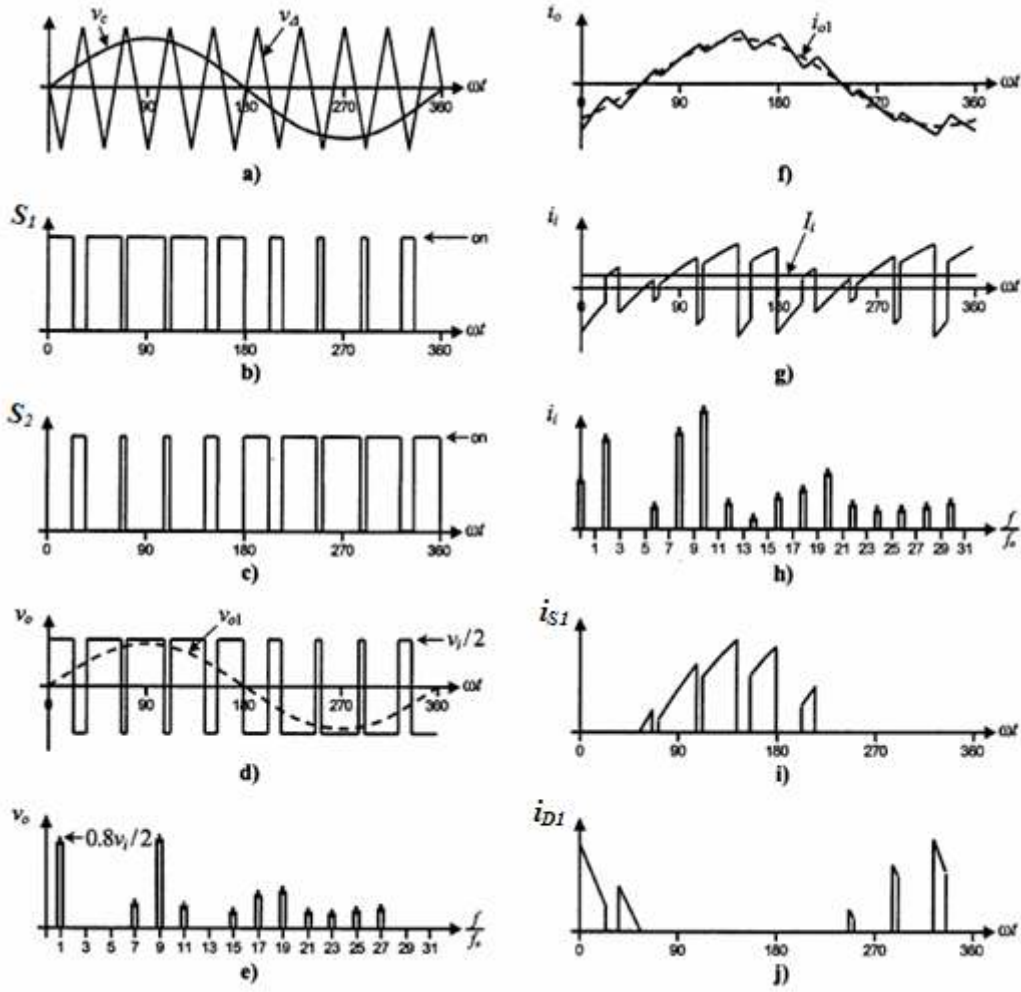
Bu durumda, M genellikle genlik modülasyon oranı olarak bilinir ve şöyle tanımlanır,

$$M = \frac{\hat{v}_c}{\hat{v}_\Delta} \quad (3.1)$$

Normalleştirilmiş taşıyıcı frekansı genellikle frekans modülasyon oranı olarak bilinir ve şöyle ifade edilir;

$$m_f = \frac{f_\Delta}{f_c} \quad (3.2)$$

Şekil 3.2’de açıkça gösterildiği üzere, harmonikleri ile temel sinüsoidal dalga şekli olan AC çıkış gerilimi için bazı dalga şekilleri verilmiştir.



Şekil 3.2. Yarım köprü montajlı eviricide SDGM dalga şekilleri a) Taşıyıcı ve modülasyon sinyalleri b) S_1 anahtarının durumu c) S_2 anahtarının durumu d) AC çıkış gerilimi e) AC çıkış gerilimi spektrumu f) AC çıkış akımı g) DC akım h) DC akım spektrumu i) S_1 anahtarının akımı j) D_1 diyotunun akımı [20].

$\hat{v}_{01}$ AC çıkış geriliminin temel bileşeninin genliği şöyle hesaplanır:

$$\hat{v}_{01} = \hat{v}_{an1} = \frac{v_i}{2} M \quad (3.3)$$

normalleştirilmiş taşıyıcı frekansın tek değerleri için AC çıkış gerilimindeki harmonikler, m_f ve katları etrafındaki normalleştirilmiş frekansın (f_h) merkezinde görülür.

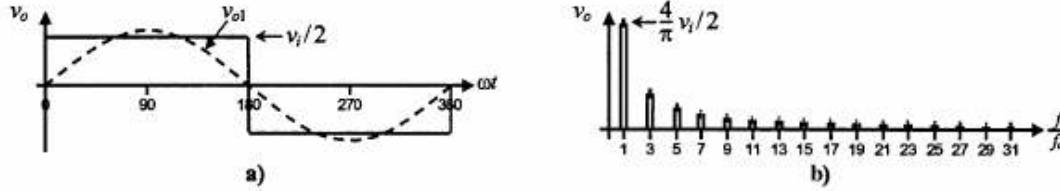
$$h = lm_f \pm k \quad l = 1, 2, 3, \dots, \quad (3.4)$$

$k=2, 4, 6, \dots$ için $l=1, 3, 5, \dots$ değerlerini

$k=1, 3, 5, \dots$ için $l=2, 4, 6, \dots$ değerlerini alır [20].

3.1.1.2. Kare Dalga Modülasyon Tekniği

S_1 ve S_2 anahtarlarının ikisi de periyodun tek yarı devri için iletimdedir. Bu durum, sınırsız M değerine sahip SDGM tekniğine eşdeğerdir.



Şekil 3.3. Yarım köprü montajlı invertör kare dalga modülasyon tekniği için ideal dalga şekilleri a) AC çıkış gerilimi, b) AC çıkış gerilimi spektrumu [20].

- a) AC çıkış geriliminin harmonikleri $h = 3, 5, 7, 9, \dots$ olduğu frekanslarda gözükmektedir.
- b) AC çıkış geriliminin temel bileşeninin genliği;

$$\hat{v}_{01} = \hat{v}_{aN1} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{v_i}{2} \quad (3.5)$$

olarak hesaplanmaktadır ve harmoniklerin genlikleri ise;

$$\hat{v}_{0h} = \frac{\hat{v}_{01}}{h} \quad (3.6)$$

olarak verilmektedir. AC çıkış geriliminin genliği evirici tarafından değiştirilemeyeceği görülebilmektedir. Bu ancak DC hat gerilimi değiştirilerek elde edilebilir [20].

3.1.2. Tam Köprü Eviricide DGM Teknikleri

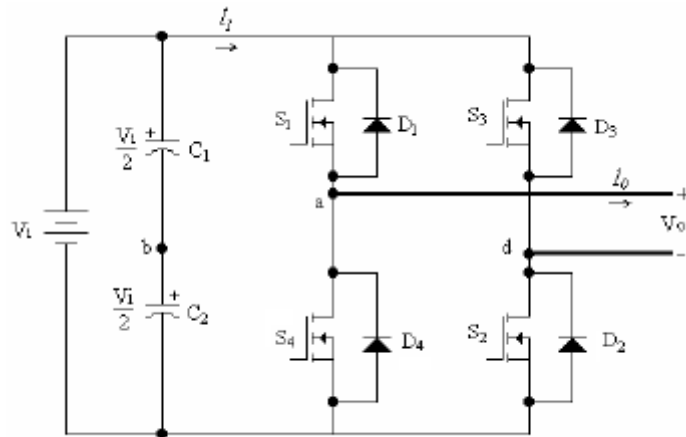
Şekil 3.4'de tam köprü evirici güç topolojisini gösterilmektedir. Bu evirici, yarı köprü montajlı eviriciye benzemekle beraber eviricinin ikinci bacağı yük için nötr bir nokta oluşturmaktadır. S_1 ve S_4 anahtarları (veya S_3 ve S_2) eş zamanlı olarak iletim durumunda olamazlar çünkü DC hat gerilim kaynağı kısa devre olmaktadır. Bu evirici topolojisinde

dört tane tanımlı ve bir tanımsız durum (tüm anahtarların kesimde olması durumu) söz konusudur.

Durumlar:

- 1) S_1 ve S_2 iletimde ve S_4 ve S_3 kesimde
- 2) S_4 ve S_3 iletimde ve S_1 ve S_2 kesimde
- 3) S_1 ve S_3 iletimde ve S_4 ve S_2 kesimde
- 4) S_4 ve S_2 iletimde ve S_1 ve S_3 kesimde
- 5) S_1, S_2, S_3 ve S_4 anahtarlarının hepsi kesimde - tanımlı olmayan durum

Kısa devreyi ve bu tanımlı olmayan durumunu engellemek için, modülasyon tekniğinde herhangi bir anda her bir bacağın üstteki veya alttaki anahtarlarından birisinin iletimde olduğundan emin olunması gerekir. Tam köprü eviriciye uygulanabilir çeşitli modülasyon teknikleri geliştirilmiştir. Bunlar Arasında Çift Kutuplu ve Tek Kutuplu DGM teknikleri de bulunmaktadır [20].



Şekil 3.4. Tam köprü evirici

3.1.2.1. Çift Kutuplu DGM Tekniği

Bu teknikte, AC çıkış gerilimi dalga şeklinde sadece iki değer görülür. Bunlar, v_i ve $-v_i$ değerleridir. Bu teknikte de daha önce yarım köprü montajında kullanılan taşıyıcı bazlı teknik kullanılmaktadır. Yarım köprü montajında S_1 anahtarının yaptığı görev, tam köprü konfigürasyonunda S_1 ve S_2 anahtarlarının her ikisinin beraber çalışması ile sağlanabilmektedir. Aynı şekilde, yarım köprü montajında S_2 anahtarının yaptığı görev de

tam köprü konfigürasyonunda S_4 ve S_3 anahtarlarının beraber çalışması ile sağlanabilmektedir. Buna Çift Kutuplu Taşıyıcı Bazlı Sinüsoidal DGM adı verilir.

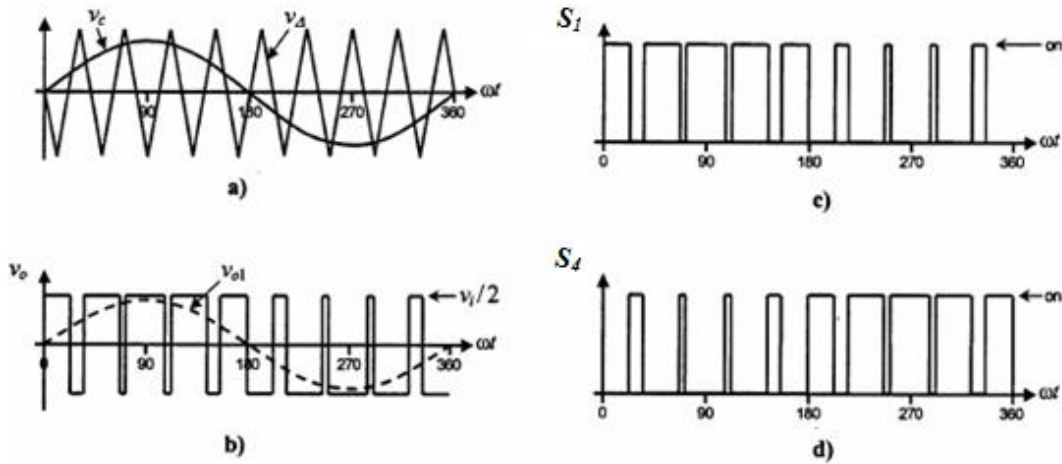
Tam köprü gerilim kaynaklı eviricide, AC çıkış gerilim dalga şekli aslında sinüsoidal bir dalga formudur ve modülasyon tekniğinin lineer çalışma bölgesinde yani $M \leq 1$ iken temel bileşenin genliğinin ($\hat{v}_{01}$) değeri yarım köprü montajında elde edilenin iki katıdır.

$$\hat{v}_{01} = \hat{v}_{ab1} = Mv_i \quad (3.7)$$

$M > 1$ iken AC çıkış geriliminin temel bileşenin genliği ($\hat{v}_{01}$)

$$v_i < \hat{v}_{01} = \hat{v}_{ab1} < \frac{4}{\pi} v_i \quad (3.8)$$

arasında bir değer alır.



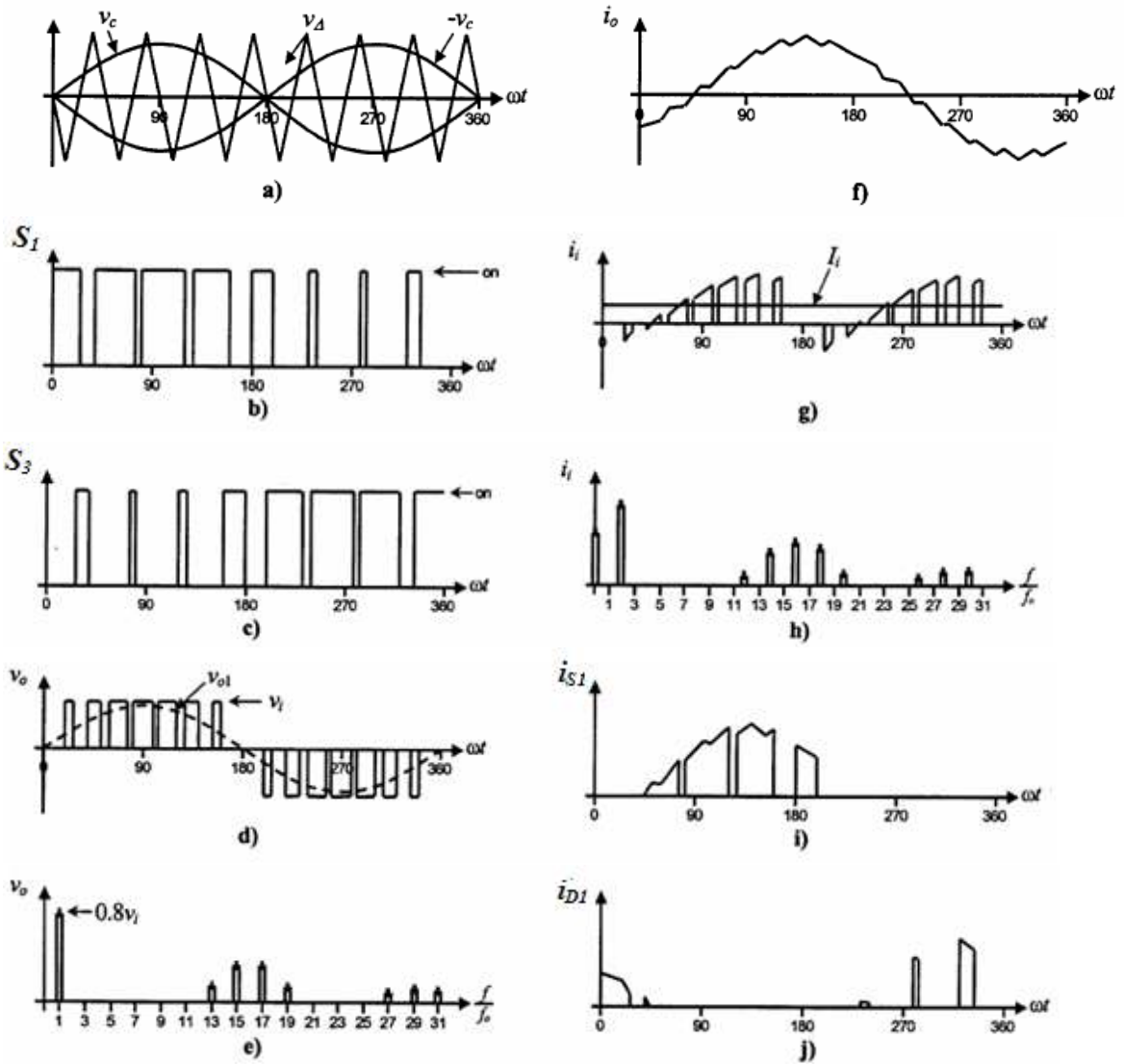
Şekil 3.5. Çift kutuplu DGM tekniği dalga şekilleri [20].

3.1.2.2. Tek Kutuplu DGM Tekniği

Çift Kutuplu yaklaşımının tersine, AC çıkış gerilimini elde etmek için kullanılan anahtarların dört farklı durumu vardır. AC çıkış dalga şeklinin alabileceği üç farklı değer vardır ki bunlar v_i , $-v_i$ ve 0'dır. Yine bu teknikte de anahtarların bu dört durumunu oluşturmak için taşıyıcı bazlı teknikten yararlanılmıştır. Bunun için iki sinüsoidal modülasyon sinyali (v_c ve $-v_c$) kullanılmıştır. v_c sinyali v_{aN} gerilimini oluşturmak için, $-v_c$

sinyali de v_{bN} gerilimini oluşturmak için kullanılmaktadır. Bu sonuçla $v_{bN1} = -v_{aN1}$ haline gelmiştir.

Öteki taraftan ise, $v_{01} = v_{aN1} - v_{bN1} = 2v_{aN1}$ olarak hesaplanır. Bu sonuçla $\hat{v}_{01} = 2\hat{v}_{aN1} = Mv_i$ ifadesi elde edilir. Bu çalışma şekline tek kutuplu taşıyıcı bazlı SDGM adı verilir. AC çıkış gerilimi ve DC hat akımındaki temel bileşen ve harmoniklerin genlikleri çift kutuplu SDGM ile elde edilenlerle hemen hemen aynıdır. Faz gerilimleri (v_{aN} ve v_{bN}) birbirinin aynı olmasına rağmen aralarında 180° faz farkından dolayı AC çıkış gerilimi; ($v_0 = v_{ab} = v_{aN} - v_{bN}$) çift harmonikler içermez.



Şekil 3.6. Tam köprü montajlı eviricide tek kutuplu SDGM dalga şekilleri a) Taşıyıcı ve modülasyon sinyalleri b) S_1 anahtarının durumu c) S_3 anahtarının durumu d) AC çıkış gerilimi e) AC çıkış gerilimi spektrumu, f) AC çıkış akımı g) DC akımı h) DC akım spektrumu i) S_1 anahtarının akımı j) D_1 diyotunun akımı [20].

Eğer m_f çift seçilecek olursa, AC çıkış gerilimindeki harmonikler, m_f ve katlarının iki katı çevresindeki tek frekansların (f_h) merkezinde görünmektedir.

$h=lm \pm k$ $l = 2,4,...$ ve $k = 1,3,5,...$ iken DC hat akımındaki harmonikler, m_f ve katlarının iki katı çevresindeki normalleştirilmiş frekansın (f_p) merkezinde gözükmemektedir.

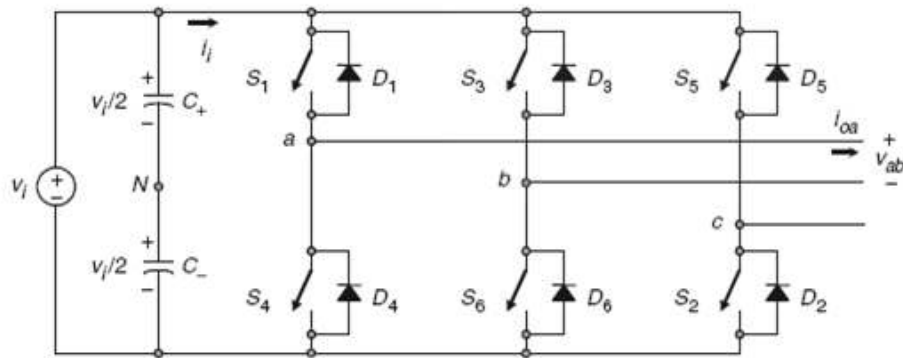
$p=lm_f \pm k \pm 1$ $k = 2,4,6,...$ için $l=1,3,5,...$ değerlerini alır.

Bu özellik, çift kutuplu yaklaşımı ile modüle edilmiş eviricide kullanılan anahtarlama frekansı aynısını kullanılırken yüksek kalitede gerilim ve akım dalga şekilleri elde etmek için daha küçük filtreleme elemanlarının kullanılmasına fırsat sağlaması açısından bir avantaj olarak görülebilir.

3.2. Üç Fazlı Darbe Genişlik Modülasyonlu Evirici

Tek fazlı gerilim kaynaklı eviriciler düşük güç uygulamalarında, üç fazlı gerilim kaynaklı eviriciler orta ve yüksek güç uygulamalarında kullanılır.

Bu topolojilerin temel amacı, genlik, faz ve frekans gerilimlerinin her zaman kontrol edilebilir olmasını sağlamaktır. Uygulamaların çoğu sinüsoidal gerilim dalga şekillerini gerektirmesine rağmen isteğe bağlı gerilimler aynı zamanda bazı uygulamaları da gerektirir. Standart üç fazlı evirici topolojisi şekil.3.7’de ve geçerli anahtar durumları da Tablo 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Üç fazlı evirici [21].

Tek fazlı gerilim kaynaklı eviricide olduğu gibi dönüştürücünün her bir ayağındaki anahtarlar (S_1 ve S_4 , S_3 ve S_6 , veya S_5 ve S_2) aynı anda devrede olamaz. Çünkü bu durum DC bağlantılı gerilim kaynağı üzerinden kısa devre olmasına neden olur. Benzer şekilde,

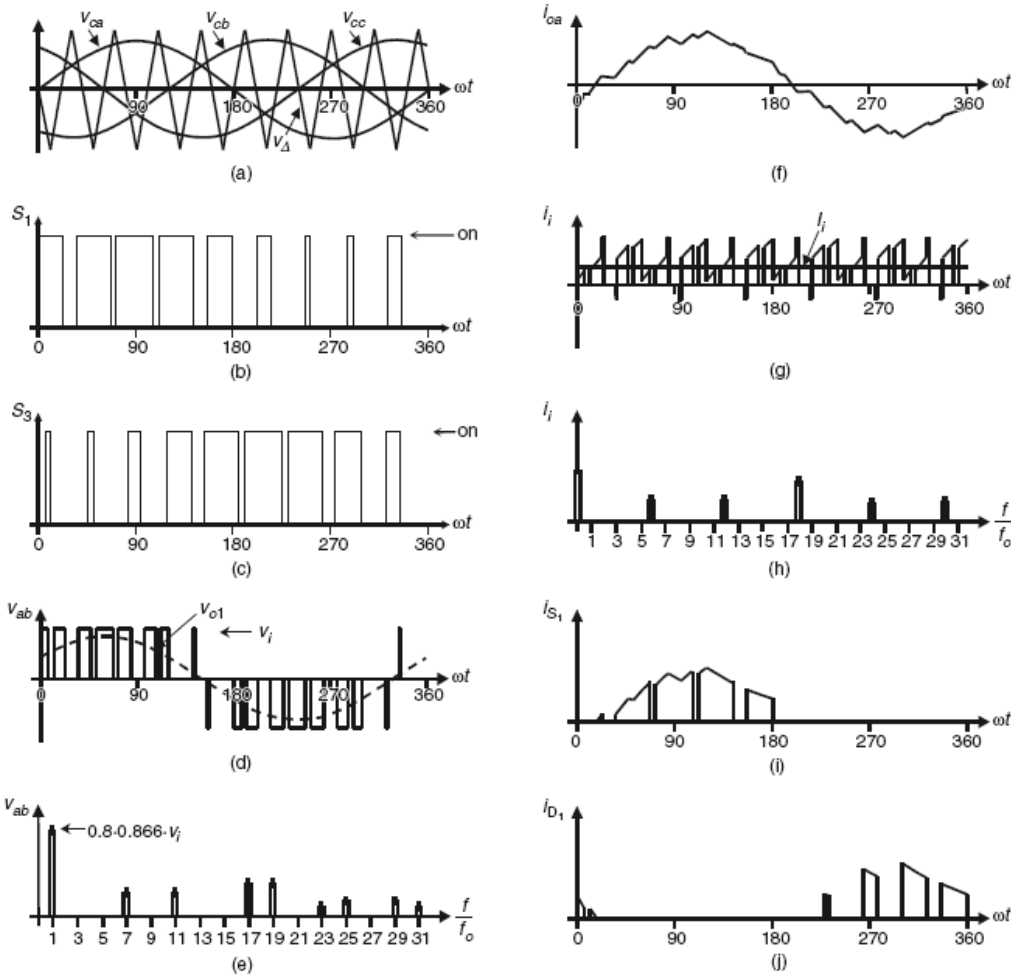
gerilim kaynaklı eviricideki tanımsız durumları ve AC çıkış hat gerilimlerini önlemek için eviricinin herhangi bir bacağındaki anahtarlar aynı anda devre dışı olamaz. Çünkü bu durum söz konusu hat akımı polaritesine bağlı olan gerilimler ile sonuçlanacaktır. Geçerli 8 durumdan 2 tanesi (7 ve 8 Tablo 3.1’de) AC hat geriliminde sıfırdır. Kalan durumların (Tablo 3.1’de 1 ile 6) AC çıkış gerilimleri sıfır değildir. Belirli bir gerilim dalga şekli oluşturmak için, evirici bir durumdan diğerine geçer. Böylece, AC çıkış hat gerilimleri v_i , 0 ve $-v_i$ değerleri alır. Bu da şekil 3.7’de gösterilmiştir. Verilen dalga şekillerini üretmek için, durum seçimleri sadece geçerli durumların kullanımını sağlayan modülasyon tekniğiyle yapılır [21].

Tablo 3.1. Üç fazlı evirici için geçerli anahtar durumları [21].

Durum	Anahtarlama D.	v_{ab}	v_{bc}	v_{ca}
1	S_1, S_2 ve S_6 iletimde S_4, S_5 ve S_3 kesimde	v_i	0	$-v_i$
2	S_2, S_3 ve S_1 iletimde S_5, S_6 ve S_4 kesimde	0	v_i	$-v_i$
3	S_3, S_4 ve S_2 iletimde S_6, S_1 ve S_5 kesimde	$-v_i$	v_i	0
4	S_4, S_5 ve S_3 iletimde S_1, S_2 ve S_6 kesimde	$-v_i$	0	v_i
5	S_5, S_6 ve S_4 iletimde S_2, S_3 ve S_1 kesimde	0	$-v_i$	v_i
6	S_6, S_1 ve S_5 iletimde S_3, S_4 ve S_2 kesimde	v_i	$-v_i$	0
7	S_1, S_3 ve S_5 iletimde S_4, S_6 ve S_2 kesimde	0	0	0
8	S_4, S_6 ve S_2 iletimde S_1, S_3 ve S_5 kesimde	0	0	0

3.2.1. Sinüsoidal Darbe Genişlik Modülasyonu

Tek fazlı eviriciler için geliştirilmiş bu durum 120° çıkış faz yük gerilimleri üretmek için 3 modülasyonlu sinyal kullanılır. Üç fazlı sinüsoidal DGM eviricinin ideal dalga şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Üç fazlı SDGM(M = 0.8, mf = 9): Eviriciler için ideal dalga şekilleri a) Taşıyıcı ve modülasyon sinyalleri b) S_1 anahtarının durumu c) S_3 anahtarının durumu d) AC çıkış gerilimi e) AC çıkış gerilimi spektrumu, f) AC çıkış akımı g) DC akımı h) DC akım spektrumu i) S_1 anahtarının akımı j) D_1 diyotunun akımı [21].

Tek taşıyıcı sinyal kullanımı ve DGM tekniğinin özelliklerini korumak için; normalize edilmiş taşıyıcı frekans üç ve üçün katları olmalıdır. Böylece tüm faz gerilimleri (v_{aN} , v_{bN} ve v_{cN}) aynıdır. Yani frekanslardaki harmonikler her aşamada aynı genliğe ve faza sahiptir. Örneğin, aN fazındaki 9. Harmonik formülü;

$$v_{aN9}(t) = \hat{v}_9 \sin(9\omega t) \quad (3.9)$$

ise; bN fazındaki 9. Harmonik;

$$\begin{aligned} v_{bN9}(t) &= \hat{v}_9 \sin[9(\omega t - 120^\circ)] \\ &= \hat{v}_9 \sin[9(\omega t - 1080^\circ)] = \hat{v}_9 \sin(9\omega t) \end{aligned} \quad (3.10)$$

olmalıdır. Böylece, AC çıkış hattındaki gerilim $v_{ab} = v_{aN} - v_{bN}$ dokuzuncu harmoniği içermeyecektir. Bu nedenle, normalleştirilmiş taşıyıcı frekansın üç katlı değerleri için için AC çıkış gerilimindeki harmonikler, m_f ve katları etrafındaki normalleştirilmiş frekansın f_h 'ın merkezinde görülür. Özel olarak;

$$h = lm_f \pm k \quad l = 1, 2, \dots \quad (3.11)$$

Burada $k = 2, 4, 6, \dots$ için $l = 1, 3, 5, \dots$ ve $k = 1, 5, 7, \dots$ için $l = 2, 4, \dots$ olacak şekilde h üç ve üçün katı değildir. Bu nedenle harmoniklerin yaklaşık sinüsoidal AC yük akımı $m_f \pm 2, m_f \pm 4, \dots, 2m_f \pm 1, 2m_f \pm 5, \dots, 3m_f \pm 2, 3m_f \pm 4, \dots, 4m_f \pm 1, 4m_f \pm 5, \dots$ olacaktır.

DC bağlantı akımındaki harmonikler verilen frekanslarda yer almaktadır.

$$h = lm_f \pm k \pm 1 \quad l = 1, 2, \dots \quad (3.12)$$

Burada $k = 1, 5, 7, \dots$ için $l = 0, 2, 4, \dots$ ve $k = 2, 4, 6, \dots$ için $l = 1, 3, 5, \dots$ olacak şekilde $h = lm_f \pm k$ pozitif ve 3 katı değildir. Örneğin Şekil 3.8h'da $h=1.9-2-1=6$ bağlı olan altıncı ($h=6$) harmoniği gösterir. Aynı sonuçlar tek fazlı yapılandırmalarında olduğu gibi m_f 'nin küçük ve büyük değerlerinde çalışması için çizilebilir. Doğrusal bölgede ($M \leq 1$) temel faz gerilimi en yüksek genliği $v_i/2$, temel AC çıkış hat geriliminin maksimum genliği $\sqrt{3}v_i/2$ 'dir.

$$\hat{v}_{ab1} = M\sqrt{3} \frac{v_i}{2} \quad 0 < M \leq 1 \quad (3.13)$$

Daha fazla Yük geriliminin genliği artırmak için, modülasyon sinyali $\hat{v}_c$ genliği taşıyıcı sinyalin $\hat{v}_\Delta$ genliğinde daha yüksek yapılabilir bu durum aşırı modülasyona yol açar.

Temel AC ıkış hat gerilimi ve DC bağlantı gerilimin genliği arasındaki ilişki tek fazlı eviricilerdeki gibi doğrusal olmayan hale gelir. Böylece aşırı modülasyon bölgesinde, hat gerilimi aralığı

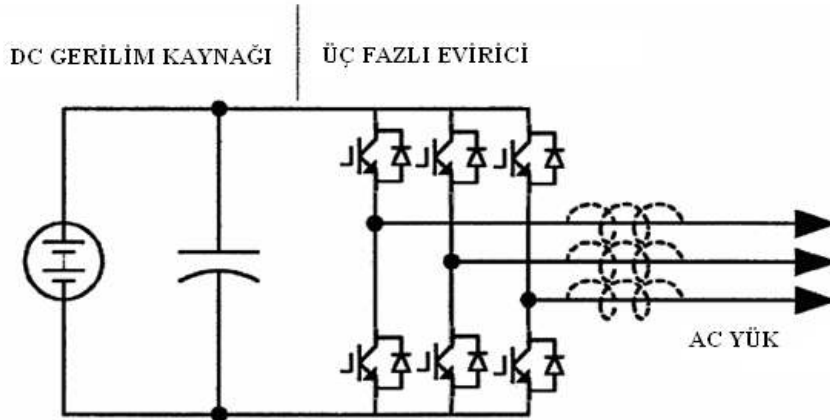
$$\sqrt{3} \frac{v_i}{2} < \hat{v}_{ab1} = \hat{v}_{bc1} = \hat{v}_{ca1} < \frac{4}{\pi} \sqrt{3} \frac{v_i}{2} \quad (3.14)$$

olur.

4. Z KAYNAK EVİRİCİ

Z kaynak eviriciler hem gerilim düşürücü hemde yükseltici özelliğiyle son yıllarda alternatif bir güç dönüşümü olarak öne sürülmüştür. Geleneksel gerilim ve akım kaynaklı eviriciler ile elde edilemeyen bu düşürücü ve yükseltici özellik, güç kaynağı ve evirici arasına yerleştirilmiş bir empedans ağı kullanılmasıyla sağlanmaktadır. Z kaynak evirici kısa devre durumu olarak adlandırılan özelliği ile aynı faz bacaktaki anahtarların aynı anda iletimde olmasını sağlar ve bu durum anahtarlama cihazlarına zarar vermeden eviricinin gerilimini artırma yeteneğine sahiptir [28].

Bölümde 2’de tanımlandığı gibi genel olarak gerilim kaynaklı ve akım kaynaklı olmak üzere 2 tip evirici topolojisi mevcuttur. Şekil 4.1’de, 3 fazlı bir gerilim kaynaklı evirici yapısı görülmektedir. Ana devrede altı adet anahtarlama elemanı kullanılmış olup, her biri bir güç transistörü ve ters paralel bağlı bir diyot elemanından oluşmaktadır. Böylelikle çift yönlü akım akışı ve tek yönlü gerilim tutma sağlanabilmektedir. Gerilim kaynaklı evirici yaygın olarak kullanılmakla birlikte, bu topolojinin aşağıda belirtilen kavramsal ve teorik yönlerden birtakım engel ve sınırlamaları mevcuttur [4,21].



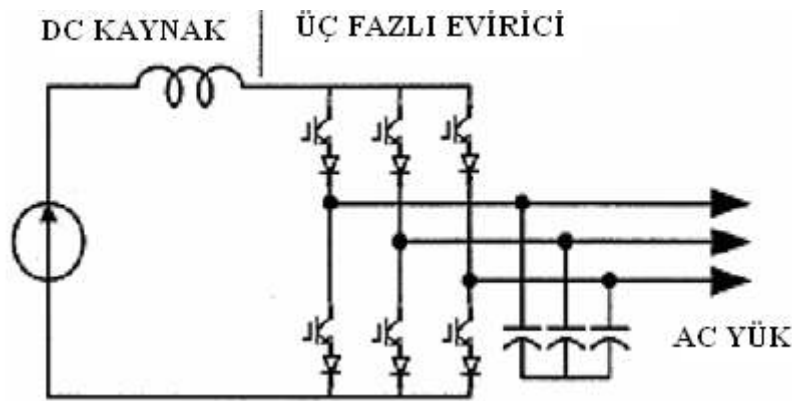
Şekil 4.1. Geleneksel gerilim kaynaklı evirici [4].

Gerilim kaynaklı eviricilerde, AC çıkış gerilimi, DC hat (giriş) geriliminden düşük olmalı ve onu aşmamalıdır veya DC çıkış gerilimi, AC giriş gerilimi değerinden daha yüksek olmalıdır. Dolayısıyla gerilim kaynaklı evirici, DC-AC çevrim için düşürücü, AC-DC güç çevrimi için ise yükseltici karakteristiğindedir. DC giriş geriliminin yüksek olması

gereken uygulamalarda, giriş DC gerilimi yeteri kadar yüksek değilse, istenilen AC çıkış gerilimine ulaşılması için devreye DC-DC yükseltici dönüştürücü eklenir. Bu eklenen dönüştürücü, güç çevrim basamağını arttırarak sistem maliyetini yükseltir ve verimi de düşürür.

Eviricinin her bir faz kolunda bulunan üst ve alt sıra güç elemanlarına gerek yanlışlıkla, gerekse EMI gürültüsünden dolayı oluşabilecek bir anahtarlama (kapı) sinyali verilmemelidir. Aksi halde aynı faz kolunda kısa devre oluşarak elemanların tahrip olmasına yol açılır. Gerilim kaynaklı eviricilerde zorunlu olarak üst ve alt sıra elemanlarının anahtarlama sinyalleri arasına konulan ölü zaman ise, dalga şekillerinde bozulma gibi sorunlara neden olmaktadır. Akım kaynaklı eviricilerde ise, sinüsoidal çıkış elde etmek için çıkışa LC filtre eklemek gerekmektedir, bu da ek olarak güç kaybına ve kontrolde karmaşıklığa neden olmaktadır.

Şekil 4.2’de, geleneksel üç fazlı akım kaynaklı evirici yapısı gösterilmektedir. Ana devrede altı adet anahtar kullanılmaktadır ve bunların her biri, ters yönde gerilim tutma özelliği olan GTO, SCR veya bir güç transistörü ile bunlara seri bağlı, tek yönlü akım akışını ve çift yönlü gerilim tutma özelliğini sağlayan diyotlardan oluşmaktadır. Bununla birlikte akım kaynaklı eviriciye ait aşağıda değinilen kavramsal ve teorik yönden birtakım engel ve sınırlamalar mevcuttur.



Şekil 4.2. Geleneksel akım kaynaklı evirici [4].

Akım kaynaklı eviricilerde, AC çıkış gerilimi, DC endüktansı besleyen DC gerilimden daha yüksek olmalıdır veya üretilen DC gerilim her zaman AC giriş geriliminden daha düşük olmalıdır. Dolayısıyla akım kaynaklı evirici, DC-AC çevrimlerde yükseltici evirici, AC-DC çevrimlerde ise düşürücü doğrultucu işlevine sahiptir. Geniş bir

gerilim aralığına ihtiyaç bulunan uygulamalarda sisteme bir DC-DC düşürücü (veya yükseltici) dönüştürücü eklenmesi gerekmektedir. Bu ek güç katı, sistemin maliyetini arttırıp, verimliliği düşürmektedir. Ancak bununla birlikte bu topolojide, üst ve alt sıra elemanları aynı anda ilettime girerek çalışmamalıdır. Aksi takdirde bir açık devre oluşabilir ve DC endüktans oluşarak elemanları tahrip edebilir. Akım kaynaklı eviricilerde, akım komütasyonunun güvenli olarak sağlanması için gerekli olan üst üste binme süresi (overlap time), aynı zamanda dalga seklinde bozulmaya da neden olmaktadır.

Akım kaynaklı eviricilerde, ters gerilimi önlemek için kullanılan diyotlar, yüksek hızlı ve performanslı olan IGBT elemanlarına seri bağlanmaktadır. Ancak bu durum, düşük fiyatlı ve yüksek performanslı IGBT modüllerinin ve IPM'lerin (Akıllı Güç Modülü – Intelligent Power Module) kullanımına engel olmaktadır.

Tüm bunlara ek olarak, hem gerilim kaynaklı hem akım kaynaklı eviriciler ortak olarak birtakım problemlere sahiptirler:

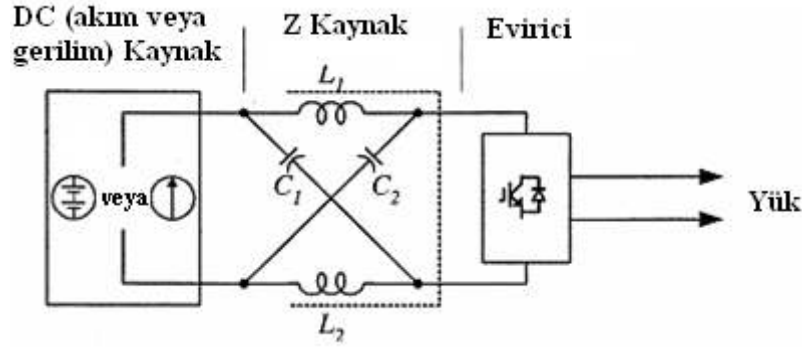
- Ya yükseltici ya da düşürücü olarak görev yapan bu dönüştürücüler, hem yükseltici hem düşürücü dönüştürücü olarak görev yapamazlar çünkü elde edilen çıkış güç aralığı, giriş geriliminden ya daha düşük ya da daha yüksek olmak durumundadır.
- Ana devre katmanları kendi aralarında yer değiştirmez, yani ne bir gerilim kaynaklı evirici, akım kaynaklı evirici olarak kullanılabilir, ne de bunun tersi bir durum söz konusudur.
- EMI gürültüsünün neden olabileceği kötü etkilere açıktırlar [4,5].

4.1. Z Kaynak Evirici Devre Yapısı

Burada geleneksel akım ve gerilim kaynaklı eviricilerin neden olduğu sorunların üstesinden gelebilmek için, Z kaynak evirici olarak adlandırılan bir güç dönüştürücüsü ele alınacak ve bu dönüştürücünün DC-AC, AC-DC, AC-AC ve DC-DC güç çevrimindeki kontrol yöntemleri anlatılacaktır. Şekil 4.3'te Z kaynak eviricinin genel yapısı gösterilmiştir [6].

Bu yapıda tek tip bir empedans ağı (veya devresi) mevcut olup, bu yapı ana devreyi güç kaynağına, yüke veya başka bir dönüştürücüye akuple eder. Böylelikle sırasıyla kapasitans ve endüktans kullanılan geleneksel eviricilerde gözlenemeyen özgün bir nitelik

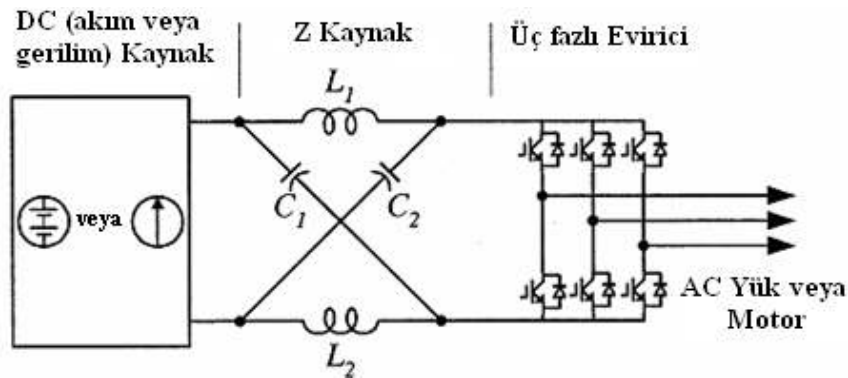
kazanılmıştır. Z kaynak evirici, geleneksel dönüştürücülerin sahip olduğu, önceki bölümde belirtilmiş kavramsal ve teorik engellemelerin üstesinden gelerek, yeni bir güç çevrim konsepti sunmaktadır [7].



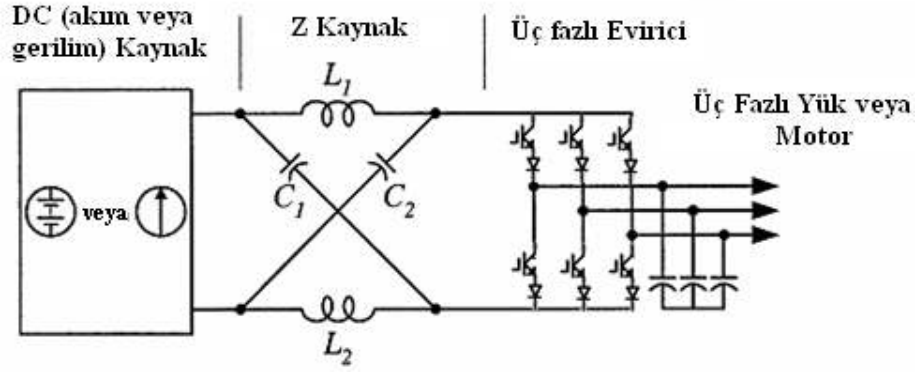
Şekil 4.3. Z kaynak eviricinin genel devre yapısı

Şekil 4.3'te "X" şeklinde bağlanmış ayrık L_1 , L_2 endüktansları ile C_1 , C_2 kapasitanslarının oluşturduğu Z kaynak ağının, eviriciyi DC kaynağa, yüke veya başka bir dönüştürücüye nasıl bağlanabileceğini gösterilmektedir. DC güç kaynağı veya yük, akım veya gerilim kaynağı ya da yükü olabilir. Dolayısıyla DC kaynak, bir batarya, diyotlu doğrultucu, tristörlü dönüştürücü, yakıt pili, bir endüktans, bir kapasitans veya tüm bu elemanların bir kombinasyonu olabilir. Eviricide kullanılan anahtarlar da, anahtarlama elemanları ve diyotların Şekil 4.1'de gösterildiği üzere ters paralel kombinasyonda veya Şekil 4.2'de gösterildiği üzere seri kombinasyonda olabilirler.

Şekil 4.4 ve 4.5'te, iki adet üç fazlı Z kaynak evirici kombinasyonu gösterilmektedir. L_1 ve L_2 endüktansları, aynı nüve üzerine sarılı iki ayrı endüktanstan oluşturulabileceği gibi, iki adet ayrı endüktansta olabilir.



Şekil 4.4. Anahtarlama elemanlarında ters paralel bağlı diyot bulunduran Z kaynak evirici yapısı



Şekil 4.5. Anahtarlama elemanlarına seri bağlı diyot bulunduran Z kaynak evirici yapısı

4.2. Eşdeğer Devre, Çalışma Prensibi ve Kontrol

Bir güç dönüştürücüsünde, AC çıkış geriliminin, giriş geriliminden bağımsız olarak “0” ile sonsuz arasında değişebilmesi, yalnızca Z kaynak eviricide sağlanabilen bir özelliktir. Böylelikle denilebilir ki, Z kaynak evirici, elde edilen gerilimin değer aralığının çok geniş olduğu bir yükseltici-düşürücü eviricidir. Geleneksel gerilim ve akım kaynaklı eviriciler bu özelliği sağlayamamaktadır.

Şekil 4.4’de görülen Z kaynak eviricinin çalışma prensibi ve kontrolünü açıklamadan önce, evirici yapısını incelemek gerekmektedir. Üç fazlı Z kaynak evirici köprüsünün 9 adet anahtarlama durumu (vektörü) vardır ki, bu durum geleneksel gerilim kaynaklı eviricilerde 8’dir. Geleneksel üç fazlı gerilim kaynaklı eviricilerde DC gerilim yüke uygulanırken 6 adet aktif vektör ve yük terminali kısa devre edildiğinde yani sırasıyla alttaki ve üstteki 3’er anahtarlama elemanı kısa devre edildiğinde de 2 adet sıfır durum vektörü bulunmaktadır. Bu durum yük terminalinin, aynı bir faz, iki faz veya tüm üç faz kollarındaki üst ve alt sıra elemanların aynı anda kapı sinyali verilerek kısa devre edilmesine tekabül etmektedir. Bu kısa devre sıfır konumu (veya vektörü), geleneksel gerilim kaynaklı eviricilerde kısa devreye neden olduğu için kullanılamaz. Bu üçüncü sıfır konum vektörü, kısa devre sıfır konum vektörü olarak adlandırılır ve yedi farklı yolla elde edilebilir. Yalnızca bir faz kolunun kısa devre edilmesiyle, iki faz kolunun kısa devre kombinasyonu ve tüm faz kollarının kısa devre edilmesi.

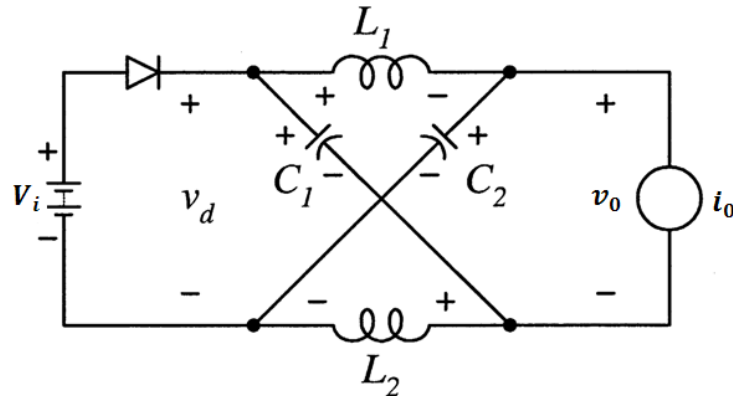
Z kaynak ağı, kısa devre sıfır konumunu mümkün kılmaktadır. Bu kısa devre sıfır konumu, eviricide hem düşürücü, hem yükseltici olarak çalışma özgünlüğünü

kazandırmaktadır [4,5]. Tablo 4.1’de üç fazlı Z kaynak eviriciye ait 15 anahtarlama durumu gösterilmiştir.

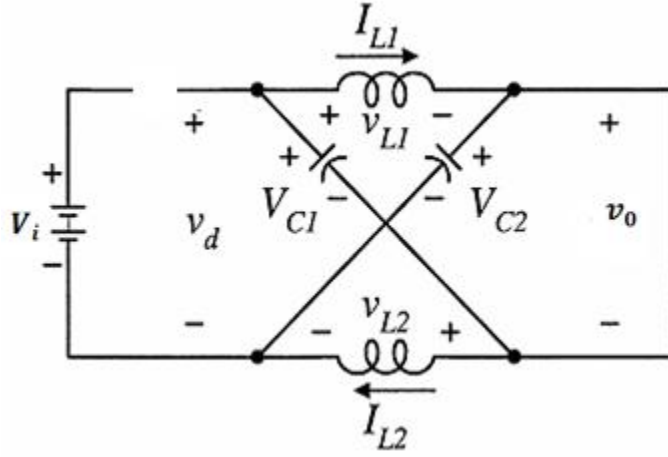
Tablo 4.1. Üç fazlı Z kaynak eviricinin anahtarlama durumları [28].
(!S_x, S_x’in tamamlayıcısını gösterir.)

Durum (çıkış gerilimi)	S ₁	S ₄	S ₃	S ₆	S ₅	S ₂
Aktif{100} (sınırlı)	1	0	0	1	0	1
Aktif{110} (sınırlı)	1	0	1	0	0	1
Aktif{010} (sınırlı)	0	1	1	0	0	1
Aktif{011} (sınırlı)	0	1	1	0	1	0
Aktif{001} (sınırlı)	0	1	0	1	1	0
Aktif{101} (sınırlı)	1	0	0	1	1	0
boş{000} (0V)	0	1	0	1	0	1
boş {111} (0V)	1	0	1	0	1	0
Kısa devre E1 (0V)	1	1	S ₃	! S ₃	S ₅	! S ₅
Kısa devre E2 (0V)	S ₁	! S ₁	1	1	S ₅	! S ₅
Kısa devre E3 (0V)	S ₁	! S ₁	S ₃	! S ₃	1	1
Kısa devre E4 (0V)	1	1	1	1	S ₅	! S ₅
Kısa devre E5 (0V)	1	1	S ₃	! S ₃	1	1
Kısa devre E6 (0V)	S ₁	! S ₁	1	1	1	1
Kısa devre E7 (0V)	1	1	1	1	1	1

Şekil 4.6’da Z kaynak eviriciye ait eşdeğer devre gösterilmektedir. Şekil 4.7’de ise evirici köprüsü kısa devre sıfır konumunda, kısa devre olarak gözükmemektedir. DC giriş gerilimi ile evirici arasına bağlanan diyot sayesinde DC giriş gerilimi üzerinden kapasitansın boşalması önlenmektedir [27].

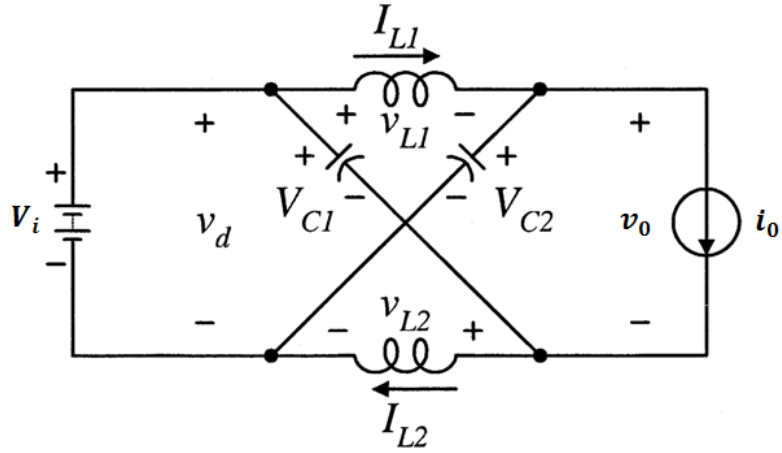


Şekil 4.6. Z kaynak eviriciye ait eşdeğer devre



Şekil 4.7. Kısa devre sıfır konumunda kaynak eviriciye ait eşdeğer devre

Diğer altı adet anahtarlama konumunda ise, Şekil 4.8’de görüldüğü üzere evirici köprüsü bir akım kaynağı olarak görülmektedir. Burada dikkate alınması gereken bir diğer husus da evirici köprüsünün 2 adet sıfır anahtarlama durumlarından herhangi birinde olduğunda da, sıfır değerine sahip bir akım kaynağı olarak gösterilmesidir. Dolayısıyla Şekil 4.8’de Z kaynak eviricinin sekiz adet kısa devre olmayan anahtarlama konumlarında herhangi birindeyken görülen eşdeğer devresini göstermektedir.



Şekil 4.8. Kısa devre sıfır olmayan konumlarda Z kaynak eviriciye ait eşdeğer devre

Tüm geleneksel darbe genişlik modülasyon teknikleri, Z kaynak evirici ve onun teorik giriş çıkış değerlerini kontrol altında tutmak için kullanılabilir.

4.3. Devrenin Analizi ve Çıkış Geriliminin Elde Edilmesi

Sırasıyla L_1 ve L_2 endüktanslarının ve C_1 , C_2 kapasitanslarının aynı endüktans (L) ve kapasitans (C) değerlerine sahip olduğunda, Z kaynak ağı simetrik bir hale gelir. Simetri ve eşdeğer devreden sırası ile kapasitans ve endüktans gerilimleri için:

$$V_{C1} = V_{C2} = V_C \quad v_{L1} = v_{L2} = v_L \quad (4.1)$$

ifadeleri yazılabilir. Anahtarlama periyodunu T ve kısa devre sıfır konum süresini T_0 olarak ifade edilip, şekil 4.7'deki eşdeğer devreden [4]

$$v_L = V_C \quad v_d = 2V_C \quad v_0 = 0 \quad (4.2)$$

ifadeleri yazılabilir. T anahtarlama periyodu boyunca evirici köprüsünün T_1 aralığı kadar, sekiz adet kısa devre olmayan anahtarlama konumlarından birinde olduğunu varsayalım. Şekil 4.8'deki eşdeğer devreden,

$$v_L = V_i - V_C \quad v_d = V_i \quad v_0 = V_C - v_L = 2V_C - V_i \quad (4.3)$$

elde edilir. Burada V_i , DC kaynak gerilimi olup, $T=T_0+T_1$ 'dir.

Sürekli halde, bir anahtarlama periyodu (T) boyunca endüktansların ortalama gerilimleri sıfır olmalıdır, (4.2) ve (4.3)'ten,

$$V_L = \overline{v_L} = \frac{T_0 \cdot V_C + T_1 \cdot (V_i - V_C)}{T} = 0 \quad (4.4)$$

veya

$$\frac{V_C}{V_i} = \frac{T_1}{T_1 - T_0} = 0 \quad (4.5)$$

ifadeleri yazılabilir.

Benzer bir şekilde, evirici köprüsü üzerindeki ortalama DC gerilim de,

$$V_0 = \bar{v}_0 = \frac{T_0 \cdot 0 + T_1 \cdot (2V_C - V_i)}{T} = \frac{T_1}{T_1 - T_0} V_i = V_C \quad (4.6)$$

şeklinde elde edilir. (4.3) nolu eşitlikte verilen, evirici köprüsü üzerindeki ortalama DC hat geriliminin tepe değeri,

$$\hat{v}_i = V_C - v_L = 2V_C - V_i = \frac{T}{T_1 - T_0} V_i = B \cdot V_i \quad (4.7)$$

$$B = \frac{T}{T_1 - T_0} = \frac{1}{1 - 2\frac{T_0}{T}} \geq 1 \quad (4.8)$$

şeklinde elde edilir. Burada B, kısa devre sıfır konumundan dolayı sonuçlanan yükseltme faktörüdür (Boost Factor). Tepe DC hat gerilimi $\hat{v}_i$, eviriciye ait eşdeğer DC hat gerilimidir. Öte yandan eviricinin tepe faz gerilimi,

$$\hat{v}_{ac} = M \cdot \frac{\hat{v}_i}{2} \quad (4.9)$$

şeklinde tanımlanır. (4.7) ve (4.9) nolu ifadeler kullanılarak, eviricinin tepe faz gerilimi,

$$\hat{v}_{ac} = M \cdot B \cdot \frac{V_i}{2} \quad (4.10)$$

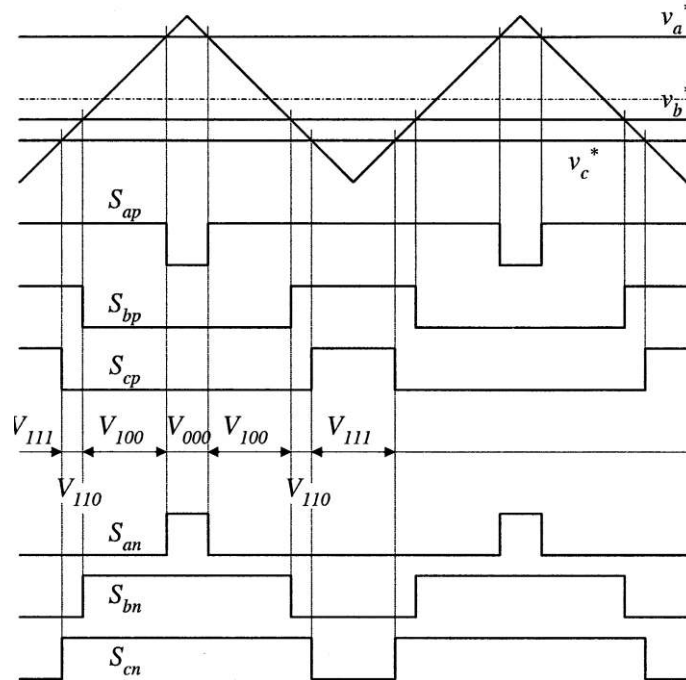
şeklinde elde edilir. Geleneksel gerilim kaynaklı DGM eviricilerden iyi derecede bilinen $\hat{v}_{ac} = M \cdot \frac{V_i}{2}$ eşitliği bulunmaktadır. (4.10) nolu eşitlik bize göstermektedir ki, çıkış gerilimi uygun bir B_B faktörü (Düşürme-Yükseltme, Buck-Boost Factor) kullanılarak yükseltilebilir veya düşürülebilir. B_B ,

$$B_B = M \cdot B = (0 \sim \infty) \quad (4.11)$$

şeklinde yazılabilir. Buck-Boost faktörü, modülasyon indeksi ve yükseltme faktörü (Boost Factor) B'den türetilmiş olup 0 ile sonsuz arasında değişebilmektedir. (4.8) nolu ifadeden de görülebileceği üzere B yükseltme faktörü, evirici DGM'nin kısa devre sıfır konumlarının, kısa devre olmayan konumlarına oranı olan bağıl iletim süresi ile kontrol edilmektedir. (4.1), (4.5) ve (4.8) nolu ifadelerden, kapasitans gerilimi aşağıdaki gibi yazılabilir.

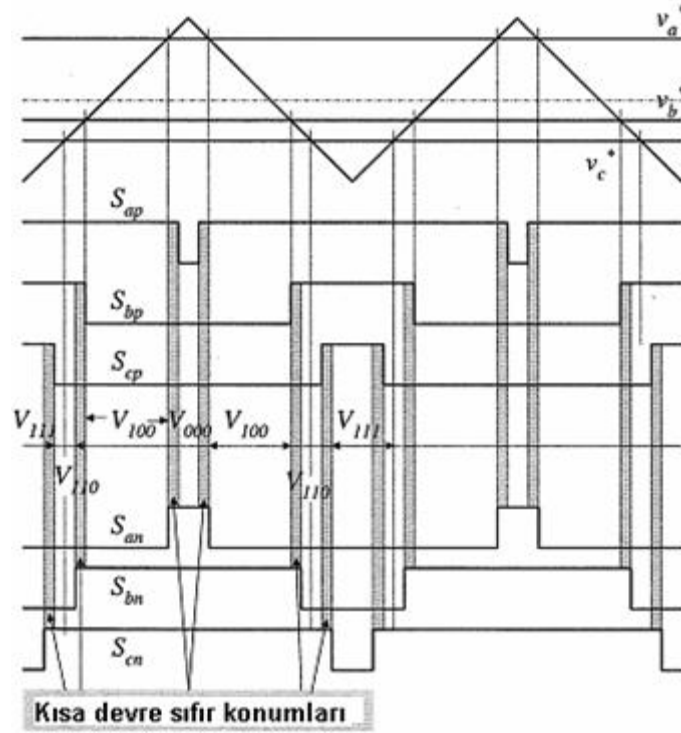
$$V_{C1} = V_{C2} = V_C = \frac{1 - \frac{T_0}{T}}{1 - 2\frac{T_0}{T}} V_i \quad (4.12)$$

Şekil 4.9'da, üçgen karşılaştırmalı geleneksel DGM anahtarlama sırası gösterilmiştir. Her bir anahtarlama döngüsünde, istenilen gerilimin elde edilmesi için iki kısa devre olmayan sıfır durumu, bir sonraki iki aktif durumla kullanılmıştır. Eğer DC gerilim, istenilen AC gerilimi üretebilecek kadar yüksek ise, Şekil 4.9'daki geleneksel DGM tekniği kullanılır.



Şekil 4.9. Geleneksel DGM kontrolü [4].

Eğer DC gerilim, istenen AC gerilimi üretmek için yeteri kadar yüksek değilse (gerilimi yükseltmek için) Şekil 4.10'da gösterilen modifiye edilmiş kısa devre sıfır konumlu DGM tekniği kullanılır. Burada dikkat edilmesi gereken bir hususta, her bir faz bacağındaki anahtarlar her bir anahtarlama döngüsü boyunca bir kez iletim ve kesim konumuna gelmesidir. Toplam sıfır durum anahtarlama aralığını değiştirmeksizin, kısa devre sıfır durumları her bir faz koluna yerleştirilmektedir. Böylelikle aktif durumlarda da değişmeden kalır. Bununla birlikte eviriciye giren DC giriş gerilimi de, kısa devre sıfır durumları nedeniyle yükseltilmiş olur. Bir sonraki bölümde, bunun hakkında detaylı analizlere yer verilecektir [4].



Şekil 4.10. Aktif vektörler değiştirilmeksizin kısa devre sıfır konumlarını içeren DGM kontrolü [5].

4.4. Z Kaynak Ağındaki Endüktans ve Kapasitanslar

Geleneksel gerilim kaynaklı eviricilerde, enerji depolamak ve gerilimdeki dalgalanmayı bastırmak için filtreleme ve geçici depolama elemanı olarak kullanılan tek eleman DC kapasitansdır. Geleneksel akım kaynaklı eviricilerde ise, DC endüktans elemanı

akımdaki dalgalanmayı bastırma ve geçici depolama elemanı olma amaçlı kullanılan yegane enerji depolama ve filtre elemanıdır.

Z kaynak ağı, iki adet endüktans ve iki adet kapasitansın bir kombinasyonu şeklindedir. Bu kombine devre yani Z kaynak ağı, Z kaynak eviricinin enerji depolama ve filtre elemanıdır. Z kaynak ağı, çift katlı bir filtre görevi görür, dolayısıyla gerilim ve akımdaki dalgalanma oranını bastırma hususunda, klasik eviricilerdeki yalnız kullanılan kapasitans ve endüktanslardan daha iyi görev görmektedirler. İki endüktans (L_1 ve L_2) küçük değerli olup, sıfır değerine eriştiklerinde Z kaynak ağı, iki adet paralel bağlı kapasitansa (C_1 ve C_2) indirgenir, böylelikle klasik bir gerilim kaynaklı evirici elde edilir. Bu nedenden ötürü, klasik gerilim kaynaklı eviricide kapasitans gereksinimi ve fiziksel büyüklüğü, Z kaynak ağı için en kötü durum ihtiyacıdır. Endüktanslar sayesinde gerçekleştirilen ek filtreleme ve enerji depolama gibi ihtiyaçlar göz önüne alındığında Z kaynak ağı, klasik gerilim kaynaklı eviriciye göre daha düşük değerli ve fiziksel olarak daha küçük kapasitanslara ihtiyaç duyar. Benzer bir şekilde, iki adet kapasitans (C_1 ve C_2) küçük değerli olup, sıfır değerine ulaştıkları takdirde Z kaynak ağı, seri bağlı iki adet endüktansa (L_1 ve L_2) indirgenir ve akım kaynaklı evirici oluşur.

Bu nedenle akım kaynaklı eviricideki endüktans ihtiyacı ve fiziksel büyüklüğü, Z kaynak ağı için en kötü durum ihtiyacıdır. Kapasitanslar tarafından sağlanan ek filtreleme ve enerji depolama durumu göz önüne alındığında, Z kaynak ağının klasik akım kaynaklı eviriciye oranla daha küçük değerli ve küçük boyutlu bir endüktansa ihtiyacı olduğu görülür [4,5].

4.5. Z Kaynak Evirici Kontrol Metotları

Z kaynak eviricilerde geleneksel kontrol metotlarına dayalı olarak türetilmiş bazı DGM kontrol metotları vardır. Bu bölümde Basit yükseltici, Maksimum yükseltici ve maksimum sabit yükseltici kontrol metotları sırasıyla verilmiştir. Ayrıca Z kaynak evirici eşitliği ve eşdeğer devresi üzerinden; her bir kontrol metodundaki Z kaynak eviricisinin gerilim kazancı, modülasyon indeksi ve DC gerilim yükseltici faktörünü açıklayan denklemler verilmiştir [23,24].

4.5.1. Basit Yükseltici Kontrol Metodu

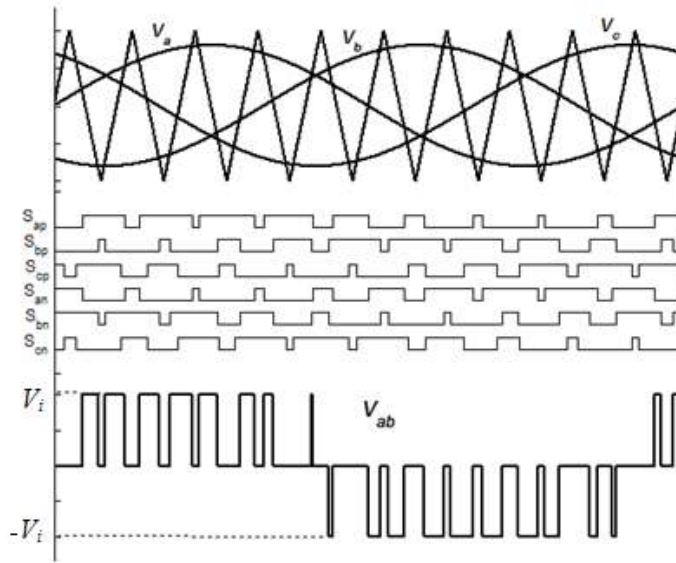
Aşağıdaki formülde tanımlandığı gibi, Z kaynak eviricisinin gerilim kazancı;

$$\frac{\hat{v}_{ac}}{V_i/2} = M.B \quad (4.13)$$

olarak ifade edilebilir [23].

$$B = \frac{1}{1 - (2T_0/T)} \geq 1 \quad (4.14)$$

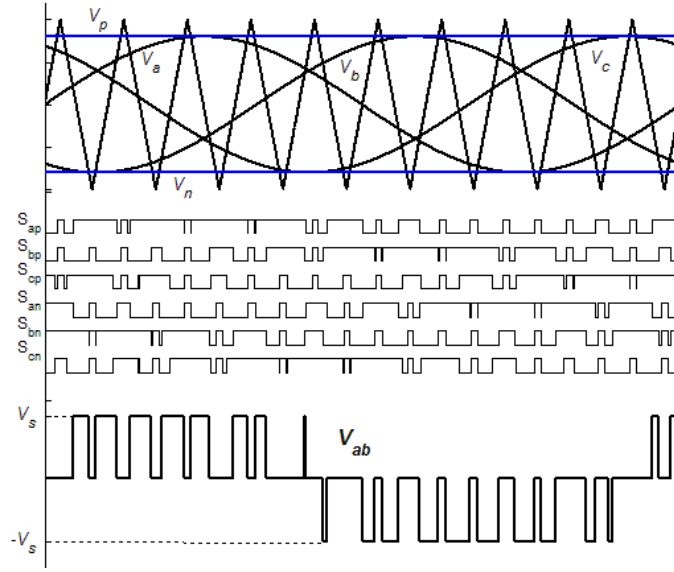
olarak tanımlanır. Burada, T_0 ; T anahtarlama periyodu içerisindeki kısa devre zaman aralığı, T_0/T ise kısa devre görev oranını vermektedir. Şekil 4.12’de basit yükseltici kontrol metodu gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Geleneksel taşıyıcı tabanlı DGM kontrolü

Bu yükseltici; geleneksel sinüsoidal DGM’lu kısa devre görev oranını kontrol etmek için üç fazlı referans tepe değerine eşit veya daha büyük bir kontrol yöntemini sunmaktadır.

Taşıyıcı üçgen dalga kısa devre zarfının V_p ’nin üstünde olduğu veya V_n ’den daha düşük olduğu zaman evirici ekstra sıfır durum vektörünü tanımlayan faza geçecektir [23].



Şekil 4.12. Basit boost kontrol yöntemi [23].

Basit yükseltici kontrolünün maksimum kısa devre görev oranı sınırlıdır ve yüksek bir gerilim kazancı gerektiren bir çıkış gerilimi üretmek için, küçük bir modülasyon indeksi kullanılmalıdır. Bu kontrol yöntemi yükseltici faktörü:

$$B = \frac{1}{2M - 1} \quad (4.15)$$

Böylece istenen herhangi bir yükseltici faktörü için modülasyon indeksi kullanılabilir.

$$M = \frac{B + 1}{2B} \quad (4.16)$$

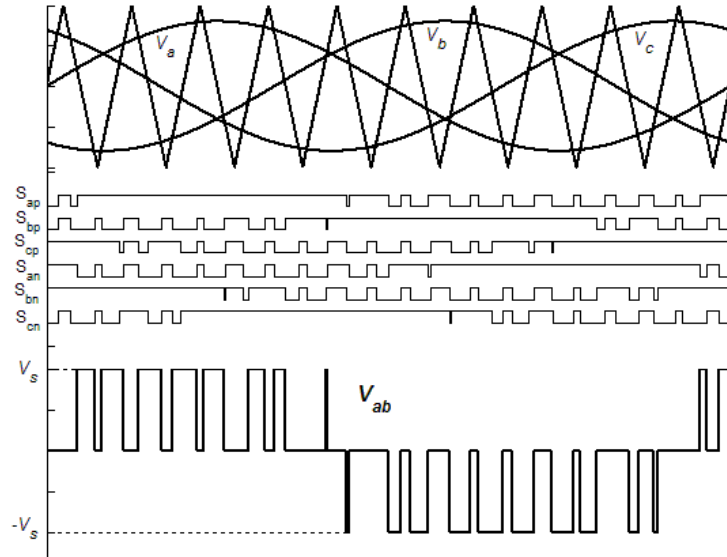
(4.15) ve (4.16) denklemlerine dayanarak basit ve yükseltici kontrol metodundaki Z kaynak evirici aşağıdaki denklem ile tanımlanabilir;

$$G = M \cdot B = \frac{V_{ac}}{\frac{V_i}{2}} = \frac{B + 1}{2} \quad (4.17)$$

4.5.2. Maksimum Yükseltici Kontrol Metodu

Şekil 4.13’de maksimum yükseltici kontrol metodu gösterilmiştir. Bu geleneksel taşıyıcı tabanlı DGM kontrol metoduna benzemektedir. Bu kontrol metodun da önemli olan; değişmeyen altı aktif durumu korunması ve kısa devre durum vektörü için tüm fazların sıfır fazlara dönüşmesidir. Böylece maksimum T_0 ve B çıkış dalga şekilleri bozulmadan modülasyon indeksi elde edilir.

Şekil 4.13’de görüldüğü gibi üçgen taşıyıcı dalga hem maksimum referans eğrilerinden (V_a, V_b, V_c) büyük olduğu zaman hem de minimum referans değerlerinden küçük olduğu zaman; devre kısa devre fazında olacaktır [23].

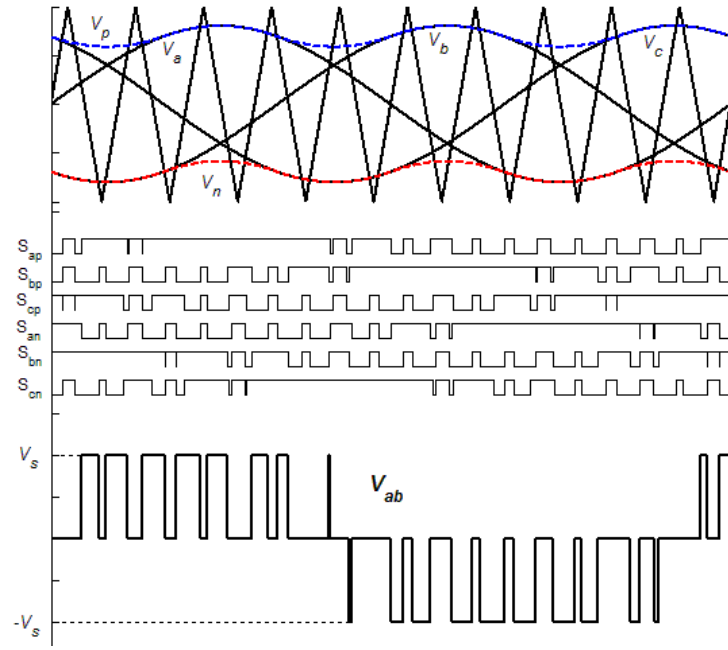


Şekil 4.13. Maksimum yükseltici kontrol metodu [23].

4.5.3. Maksimum Sabit Yükseltici Kontrol Metodu

Şekil 4.14’de kısa devre görev oranını daima sabit tutarak maksimum gerilim kazancını elde eden maksimum sabit yükseltici kontrol metodu gösterilmiştir.

Bu kontrol metodunda beş modülasyon eğrisi vardır. Bunların; üçü referans sinyalleri (V_a, V_b ve V_c), ikisi ise kısa devre zarf sinyalleri (V_p ve V_n)’ dir. Taşıyıcı üçgen dalga kısa devre zarfının üstünde olduğu zaman evirici kısa devre fazına geçecektir [24].



Şekil 4.14. Maksimum sabit boost kontrol metodu [24].

5. Z KAYNAK EVİRİCİ İLE GERİLİM KAYNAK EVİRİCİ TOPOLOJİSİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

DC-AC dönüştürücü topolojisi olarak önerilen Z kaynak evirici topolojisinde çıkış gerilimi evirici faz kollarında gerçekleştirilen kısa devre çalışma ile yükseltilebilmektedir. Bu çalışma şekli aslen klasik evirici yapılarında asla gerçekleştirilmemesi gereken bir durumdur. Bu yönüyle Z kaynak evirici, tek katlı güç çevrim yapısına sahip, daha az karmaşık ve düşük maliyetli bir devre yapısı olarak görülmelidir. Bunlara ek olarak, kısa devre çalışmanın da evirici yapısına zarar vermediği göz önüne alındığında daha güvenilir bir çalışma da söz konusudur [25]. Bu çalışmada, iki evirici çeşidi, anahtarlama eleman güçleri ve pasif bileşen ihtiyacı göz önüne alınarak karşılaştırılmaktadır.

5.1. Sistem Yapılandırması

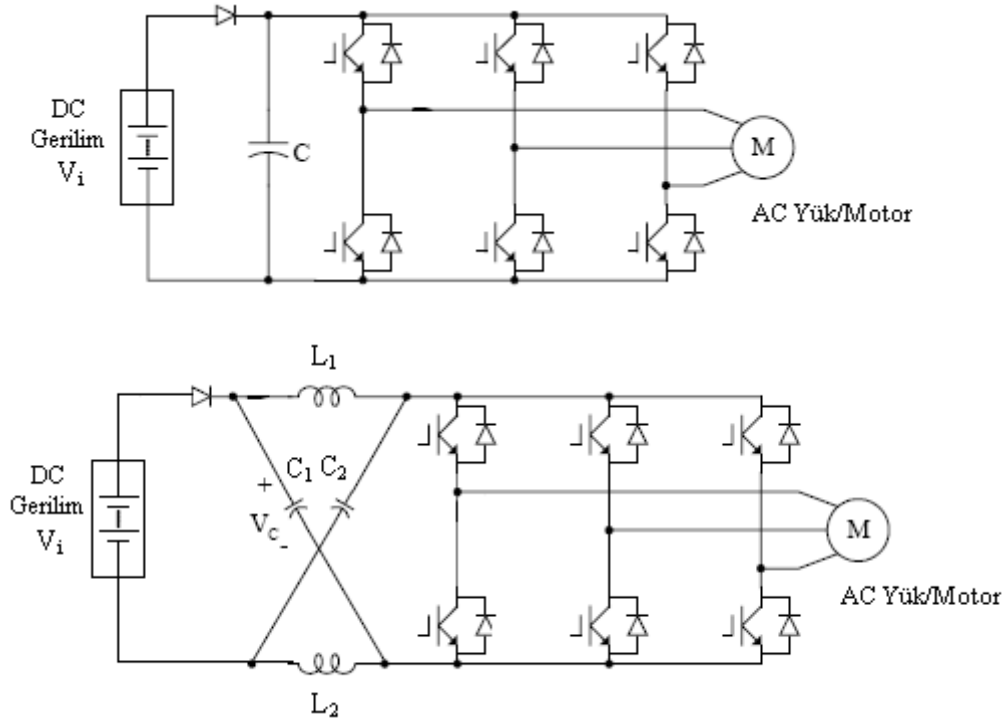
Bu bölümde iki farklı evirici sistemi yapılandırması üzerinde durulacaktır, bunlar: Klasik DGM evirici ve Z kaynak eviricidir. Geleneksel uygulamalarda kullanılan bu sistem yapılandırmaları Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Klasik DGM eviricide, DC giriş gerilimi, yük ile değişmektedir. Z kaynak evirici ise, kısa devre çalışma durumunun kontrol edilmesi ile anahtarlama elemanlarının gerilim kapasitelerini zorlamamak kaydı ile istenilen çıkış gerilimini sağlamaktadır [5].

5.2. Karşılaştırılacak Birimler, Koşullar, Denklemler ve Sonuçlar

5.2.1. Toplam Anahtarlama Elemanı Gücü Karşılaştırılması

Bir evirici sisteminde, her bir anahtarlama elemanı, maruz kalabileceği maksimum gerilim, tepe gerilimi ve ortalama akım değerleri göz önüne alınarak seçilmelidir. Bir evirici sistemine ait akım ve gerilim streslerini (veya ihtiyacını) sayısal olarak belirleyebilmek için öncelikle “Anahtarlama Elemanı Gücü”nü (Switching Device Power - SDP) açıklamak gereklidir. Bir anahtarlama elemanının anahtarlama elemanı gücü, gerilim

ve akım streslerinin oluşturduğu güç olarak tanımlanabilir. Bir evirici sistemine ait toplam anahtarlama elemanı gücü ise, o sistemdeki (devredeki) tüm anahtarlama elemanlarına ait toplam güçtür. Bu toplam anahtarlama elemanı gücü, ihtiyaç bulunan yarıiletken elemanlara ait önemli bir veri olup, evirici sistemine ait maliyeti belirleyen en önemli parametredir.



Şekil 5.1. Karşılaştırma için iki evirici sistem yapılandırmaları [25].

Gerekli tanımlamalar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

$$\text{Toplam Ortalama SDP} = (\text{SDP})_{\text{ort}} = \sum_{i=1}^N V_i I_{i-\text{ortalama}} \quad \text{ve}$$

$$\text{Toplam Ortalama SDP} = (\text{SDP})_{\text{pk}} = \sum_{i=1}^N V_i I_{i-\text{tepe}} \quad [26].$$

Burada N , anahtarlama elemanlarının sayısını ve V_i de elemanlar üzerinde endüklenen gerilimi göstermektedir. Değişik eviricilere ait anahtarlama elemanı güçlerini elde edebilmek için birtakım parametrelerin tanımlanması gereklidir. P_0 , maksimum çıkış gücü; V_{max} , maksimum çıkış gerilimi; $\cos\phi$, yükün maksimum güç değerinde çalıştığı durumdaki güç faktörü. Bu karşılaştırmada, girişteki diyot göz önünde bulundurulmamıştır.

Çünkü aynı güç değerindeki diyot ve anahtarların maliyet bakımından karşılaştırılmaları oldukça zordur [5,22,26]. Aşağıda geleneksel evirici ile Z kaynak evirici yapılarının güç bağıntıları elde edilmiştir.

5.2.1.1. Geleneksel DGM evirici

Geleneksel DGM eviriciler için, çıkış faz RMS geriliminin tepe gücündeki değeri,

$$V_p = \frac{V_i}{2\sqrt{2}} M \quad (5.1)$$

şeklinde yazılabilir [25]. Yük, $\cos\phi$ güç faktörü ile çalışırken çıkışa ait akımın RMS değeri,

$$I_p = \frac{P_0}{3\cos\phi V_p} \quad (5.2)$$

dir. Bir hat çevriminde hat akımı iki adet anahtar tarafından paylaşıldığı için, her bir anahtardan geçen ortalama akım,

$$I_{av} = \frac{P_0}{3\cos\phi V_i / (2\sqrt{2}) M} \sqrt{2} \frac{2}{2\pi} = \frac{4P_0}{3\cos\phi V_i \pi M} \quad (5.3)$$

şeklinde yazılabilir. Anahtarlar üzerindeki maksimum gerilim stresleri, çıkış gücü sıfır olduğunda meydana gelir ve giriş gerilimi de en yüksek değerine ulaşır. Bu durumda,

$$V_s = V_{max} \quad (5.4)$$

dır. Devreye ait toplam anahtarlama elemanı gücü,

$$(SDP)_{av} = 6V_s I_{av} = \frac{8V_{max} P_0}{\cos\phi V_i \pi M} \quad (5.5)$$

şeklinde yazılabilir. Anahtarlardan geçen en yüksek akım, hat tepe akımı olup,

$$I_{pk} = \sqrt{2}I_p = \frac{4P_0}{3\cos\varphi V_i M} \quad (5.6)$$

şeklinde yazılabilir. Geleneksel eviriciye ait toplam anahtarlama elemanı gücü ise,

$$(\text{SDP})_{pk} = 6V_s I_{pk} = \frac{8V_{max} P_0}{\cos\varphi V_i M} \quad (5.7)$$

şeklinde yazılabilir [5,26].

5.2.1.2. Z Kaynak Evirici

Z kaynak eviricide, evirici anahtarlama elemanları üzerindeki akım değeri iki bileşenden oluşur. Bunlardan ilki yük akımı, bir diğeri ise kısa devre çalışma durumunda üzerlerinden geçen akımdır. Eviricinin simetrik yapısından dolayı, kısa devre çalışma durumunda akım üç paralel kola ortalama eşit olarak dağılır. Kısa devre periyodunda her bir anahtar üzerindeki ortalama akım değeri [5,25],

$$I_{avss} = \frac{2}{3}I_L \quad (5.8)$$

şeklinde yazılabilir. Burada I_L endüktans akımıdır. Giriş kısmında, diyot üzerinden geçen ortalama akım, L_1 endüktansı ve C_1 kapasitansı üzerindeki toplam akıma eşittir. Kararlı halde, kapasitans üzerindeki ortalama akım sıfır olup, endüktans üzerindeki ortalama akım da diyot üzerindeki akıma eşittir. Maksimum güçte, giriş gerilimin çıkış gücü P_0 'dır. Böylece diyot üzerindeki ortalama akım endüktans üzerindeki akıma eşit olur ve değeri de,

$$\bar{I}_d = I_L = \frac{P_0}{V_i} \quad (5.9)$$

şeklinde yazılabilir.

Aktif konumlarda ortalama akım, klasik DGM eviricideki gibidir. Bu nedenle evirici anahtarlama elemanları üzerinden geçen toplam ortalama akım,

$$I_{avs} = \frac{2}{3} I_L \frac{T_0}{T_s} + \frac{\sqrt{2} P_0}{3 V_0 \cos \varphi \pi} \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) = \frac{2}{3} I_L \frac{T_0}{T} + \frac{4(\sqrt{3}M - 1)P_0}{3 V_i \cos \varphi \pi M} \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \quad (5.10)$$

şeklinde elde edilebilir. Burada T_0 , bir anahtarlama çevrimi T süresi içindeki kısa devre çalışma süresidir. V_0 ise faz geriliminin RMS değeridir. T_0 ve V_0 aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$T_0 = \left(1 - \frac{\sqrt{3}}{2} M \right) T \quad (5.11)$$

$$V_0 = \frac{M}{\sqrt{3}M - 1} \cdot \frac{V_i}{2\sqrt{2}} \quad (5.12)$$

evirici anahtarlarındaki gerilim stresi,

$$V_s = B V_i = \frac{V_i}{\sqrt{3}M - 1} \quad (5.13)$$

şeklinde elde edilir. Eviriciye ait ortalama anahtarlama elemanı gücü ise,

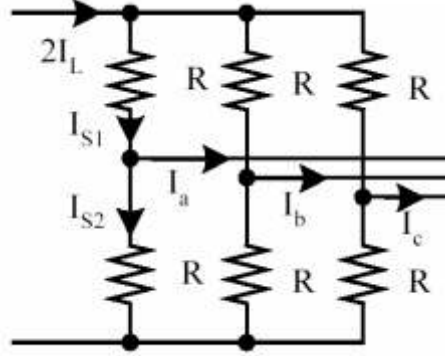
$$\begin{aligned} (SDP)_{av} &= 6 I_{avs} V_s = 4 I_L V_i \frac{T_0}{T_s(\sqrt{3}M - 1)} + 8 \frac{P_0}{\cos \varphi \pi M} \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \\ &= \frac{2 P_0 (2 - \sqrt{3}M)}{(\sqrt{3}M - 1)} + \frac{4 \sqrt{3} P_0}{\cos \varphi \pi} \end{aligned} \quad (5.14)$$

şeklinde elde edilebilir. Elemanlar üzerindeki tepe akımı, kısa devre çalışma durumunda oluşmaktadır. Anahtarlama elemanları üzerinden geçen tepe akımlarının hesaplanması için, elemanlar Şekil 5.2'den de görüleceği üzere saf direnç olarak modellenmiştir. Bu modele dayanarak, aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

$$I_{s2} + I_{s1} = \frac{4}{3}I_L \quad (5.15)$$

$$I_{s1} - I_{s2} = I_a \quad (5.16)$$

$$I_{s1} = \frac{1}{2}I_a + \frac{2}{3}I_L \quad (5.17)$$



Şekil 5.2. Kısa devre zaman aralığında evirici modeli

A fazı gerilimi tepe değerindeyken, S_1 anahtarı üzerinde oluşan tepe akımı ve anahtarlama gücüne ait ifadeler ise aşağıdaki gibi elde edilebilir [5,26].

$$I_{lpk} = \frac{\sqrt{2}P_0}{3\cos\varphi V_0} = \frac{4P_0}{3\cos\varphi MBV_i} \quad (5.18)$$

$$\begin{aligned} (SDP)_{pk} &= 6I_{pk}V_s = 6\frac{V_i}{\sqrt{3}M-1}\left(\frac{2}{3}\frac{P_0}{V_i} + \frac{1}{2}\frac{4P_0}{3\cos\varphi MBV_i}\right) \\ &= \frac{4P_0}{\sqrt{3}M-1} + \frac{4P_0}{\cos\varphi M} \end{aligned} \quad (5.19)$$

Tüm bu eşitliklere dayanarak, karşılaştırma amaçlı, aşağıdaki sistem özellikleri verilmiştir:

- Maksimum güçte giriş gerilimi: 250 V
- Maksimum güç: 50 kW
- Maksimum güçte yüke ait güç faktörü: 0,9
- Yükseltici dönüştürücüye ait çıkış gerilimi: 420 V
- Geleneksel DGM evirici ve yükseltici dönüştürücünün modülasyon indeksi:1

- Maksimum çıkış gücünde, Z kaynak eviriciye ait modülasyon indeksi 0,92'dir (Anahtarlar üzerindeki gerilim stresinin 420 V'tan daha yüksek bir değer almaması için) [26].

Tablo 5.1'den de görülebileceği üzere, iki evirici yapısı arasında ortalama anahtarlama elemanı gücü en düşük olan yapı, Z kaynak eviricidir. Geleneksel DGM evirici ise hem ortalama hem de tepe anahtarlama güçleri bakımından en yüksek değere sahiptir. Ortalama anahtarlama gücü, aynı zamanda sistemin termik ihtiyaçlarını belirleyen ve dönüştürme verimini de etkileyen bir kriterdir.

Tablo 5.1. Anahtarlama elemanı güçlerinin karşılaştırılması [26].

Evirici sistemi	Toplam ortalama anahtarlama elemanı gücü [kVA]	Toplam tepe anahtarlama elemanı gücü [kVA]
DGM evirici	238	747
Z kaynak evirici	191	557

5.2.2. Pasif Bileşen Karşılaştırılması

Burada, güç çevrim sistemlerine ait endüktans ve kapasitans ihtiyaçları karşılaştırılacaktır. Endüktanslar, akım dalgalanma limitine göre seçilmekte ve kapasitanslar da sistemin kapasite ihtiyacı ve akım dalgalanma kapasitesi ihtiyacına göre belirlenmektedir.

5.2.2.1. Geleneksel DGM Evirici

Giriş geliminin iç direncinden dolayı, çıkışında daima sabit bir DC gerilim üretilmektedir. Yüke ait güç faktörü çok yüksek değerlerde ve eviriciden kapasitansa doğru da herhangi bir akım beslemesi yoksa kapasitans üzerindeki pik gerilim dalgası maksimum güç değerinde oluşmaktadır.

Evirici sıfır konumundayken, kapasitans üzerinden geçen akım, giriş gerilimi çıkışındaki akım değerine eşit ise kapasitans üzerindeki gerilim artar. Bir faz çevriminde, kapasitans üzerindeki en yüksek değerdeki gerilim dalgası, en uzun sıfır konumunda oluşur. Bir çevrimdeki açık devre konumunun maksimum aralığı [5,25],

$$T_0 = T * \max \left(1 - \left(M \sin(\alpha) - M \sin \left(\alpha - \frac{2}{3} \pi \right) \right) \right) \bigg|_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}}$$

$$= \left(1 - \frac{3}{4} M \right) T \quad (5.20)$$

şeklinde yazılabilir. Bu aralıkta, kapasitans üzerindeki akım, giriş geriliminden çıkan akıma eşit olup,

$$I_f = \frac{P_0}{V_i} \quad (5.21)$$

dir. Dolayısıyla, kapasitans üzerindeki maksimum gerilim dalgalanması,

$$\Delta V_C = \frac{T_0 I_{DC}}{V_i C} = \left(1 - \frac{3}{4} M \right) \quad (5.22)$$

olarak elde edilir.

5.2.2.2. Z Kaynak Evirici

Z kaynak eviricide kısa devre zaman aralığında kapasitans, endüktansı şarj eder ve akım akmasına neden olur. Kapasitansdaki gerilim dalgalanması aşağıdaki gibi yazılabilir [26].

$$\Delta V_C = \frac{I_L T_0}{C} \quad (5.23)$$

Burada,

$$T_0 = \left(1 - \frac{\sqrt{3}}{2}M\right)T \quad (5.24)$$

ve

$$I_L = \frac{P_0}{V_i} \quad (5.25)$$

olup, bu değerler (5.23) ifadesinde yerine yazılırsa gerilim dalgalanması,

$$\Delta V_C = \frac{\frac{P_0}{V_i} \left(1 - \frac{\sqrt{3}}{2}M\right)T}{C} \quad (5.26)$$

şeklinde elde edilir. Evirici kısa devre durumunda iken endüktans gerilimi kapasitans gerilimine eşittir. Bu nedenle akımdaki dalgalanma aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\Delta I_L = \frac{V_C}{L} T_0 \quad (5.27)$$

Burada V_C , kapasitans üzerine düşen gerilimdir ve

$$V_C = \frac{V_i}{2} (1 + B) = \frac{V_i}{2} \frac{\sqrt{3}M}{\sqrt{3}M - 1} \quad (5.28)$$

şeklinde yazılabilir. V_C gerilimi (5.27)'de yerine koyduğumuzda, akımdaki dalgalanma,

$$\Delta I_L = \frac{V_i \sqrt{3}M}{2L(\sqrt{3}M - 1)} \left(1 - \frac{\sqrt{3}}{2}M\right)T \quad (5.29)$$

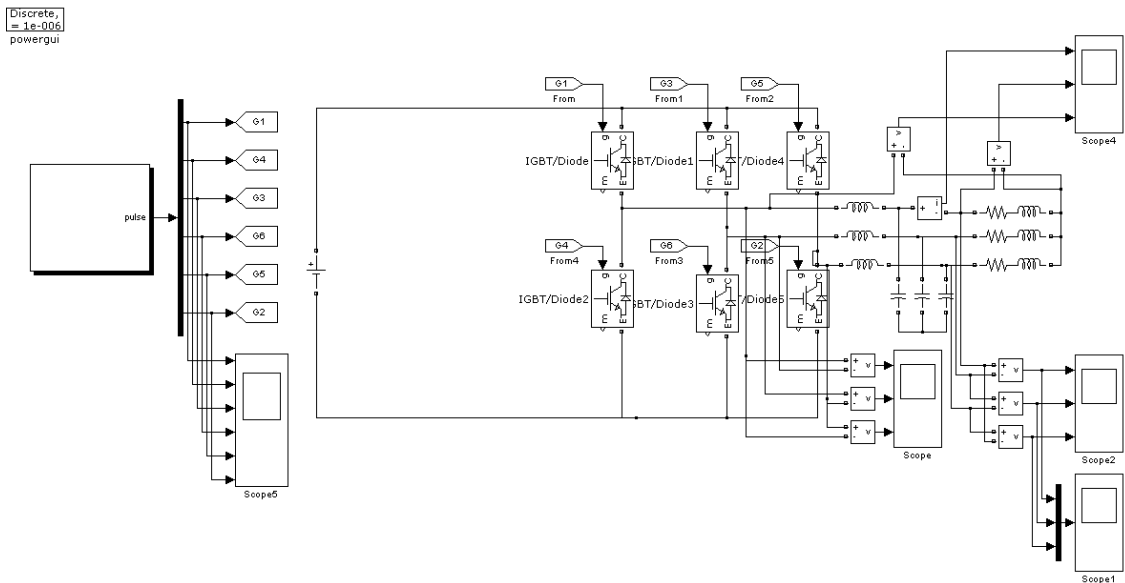
şeklinde elde edilir. Yukarıdaki eşitliği kullanarak istenen akım dalgalanmasına göre endüktans değeri hesaplanabilir [25,26].

6. BENZETİM ÇALIŞMASI VE SONUÇLARI

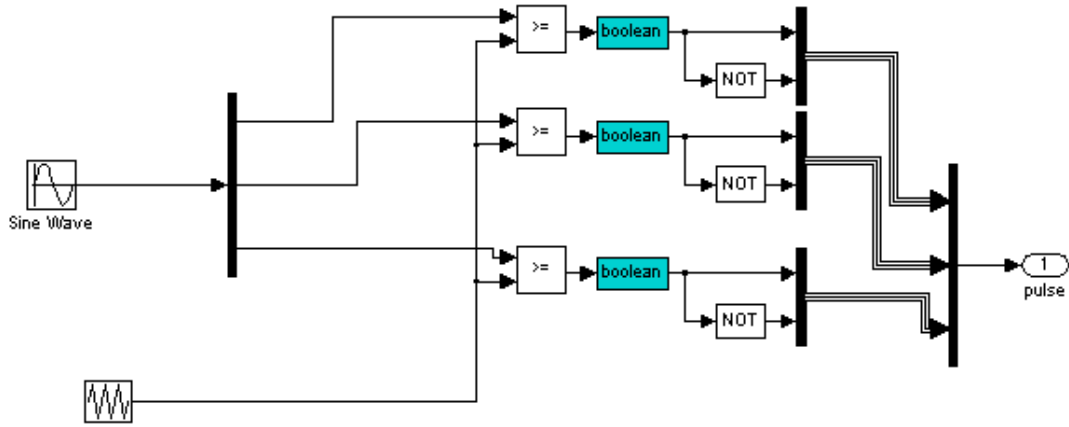
Bu bölümde, tez kapsamında anlatılan sinüsoidal darbe genişlik modülasyonlu gerilim kaynaklı evirici ile Z kaynak evirici benzetimi Matlab/Simulink programı kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Benzetimde modellenen üç fazlı evirici sistemlerinin analizinde RL yükü kullanılmıştır. Bu modellerde IGBT güç tranzistörleri, evirici giriş gerilimi, evirici çıkış yükü ve diğer bağlantılar gerçek evirici devresine uygun biçimde bağlanmıştır. Evirici devrelerinin eşdeğer yük durumuna göre çıkışta sağlamış olduğu filtreli ve filtresiz çıkış hat gerilimi, filtreli ve filtresiz çıkış faz gerilimi, çıkış faz akımları ve bunlara ait toplam harmonik bozulmalar aynı koşullarda karşılaştırmaları yapılarak, farklı darbe genişliği, modülasyon indeksi ve anahtarlama frekanslarında incelenmiştir.

6.1. Üç Fazlı Sinüsoidal Darbe Genişlik Modülasyonlu Gerilim Kaynaklı Evirici Benzetimi

Şekil 6.1’de üç fazlı sinüsoidal darbe genişlik modülasyonlu gerilim kaynaklı evirici modeli, şekil 6.2’de ise gerilim kaynaklı evirici için SDGM anahtarlama sinyallerinin benzetim modeli verilmiştir.



Şekil 6.1. Üç fazlı gerilim kaynaklı evirici benzetim modeli



Şekil 6.2. Gerilim kaynaklı evirici için SDGM anahtarlama sinyallerinin benzetim modeli

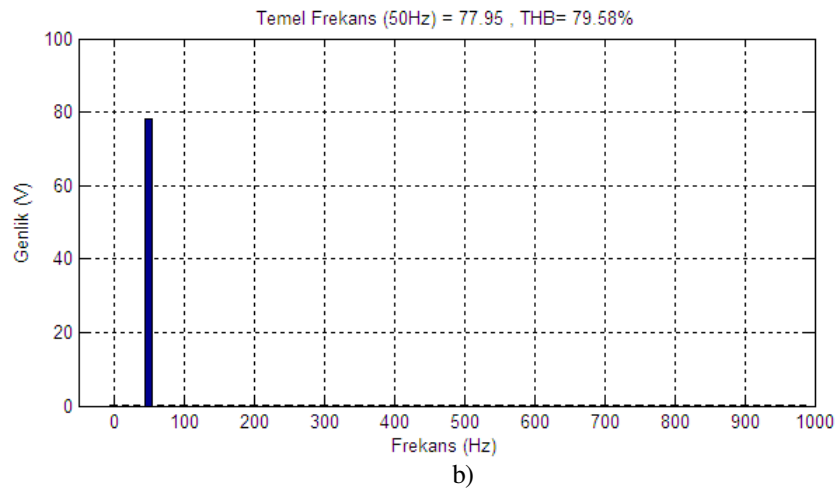
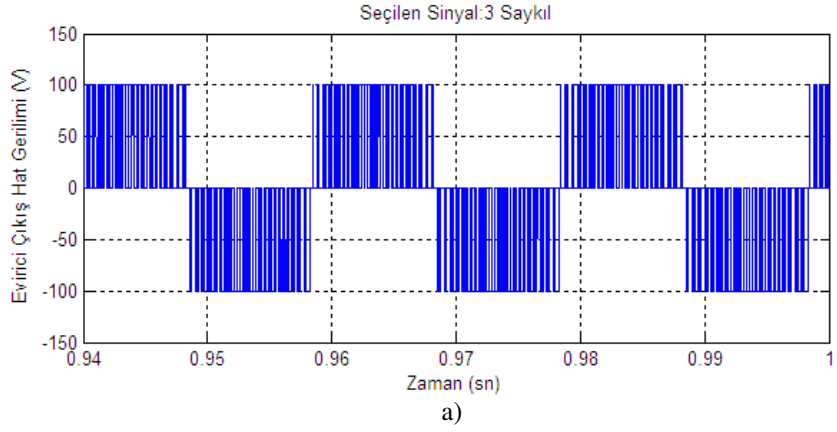
Benzetim amacıyla modellenen gerilim kaynaklı eviricinin sistem parametreleri tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1. Gerilim kaynaklı evirici için kullanılan sistem parametreleri

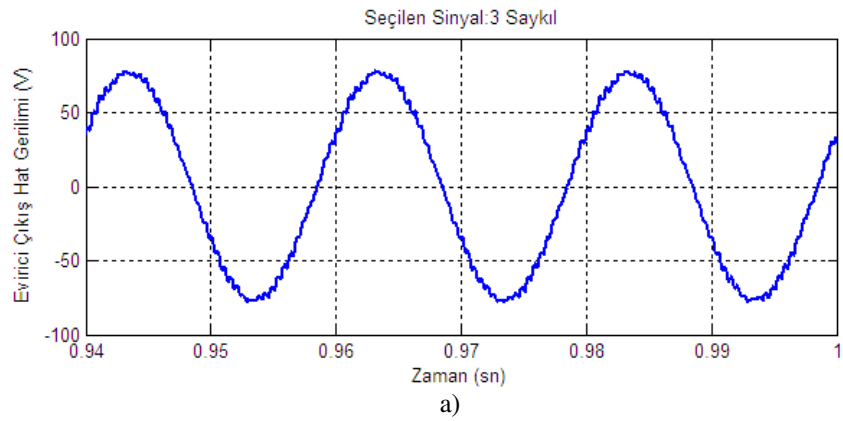
Parametre	Parametre değeri
DC giriş gerilimi	100 V
Modülasyon indeksi	0,9
Temel frekans	50 Hz
Anahtarlama frekansı	2 kHz
Örnekleme zamanı	1µs
Filtre endüktansı	1 mH
Filtre kapasitansı	100 µF
Yük direnci	5 Ω
Yük endüktansı	8 mH

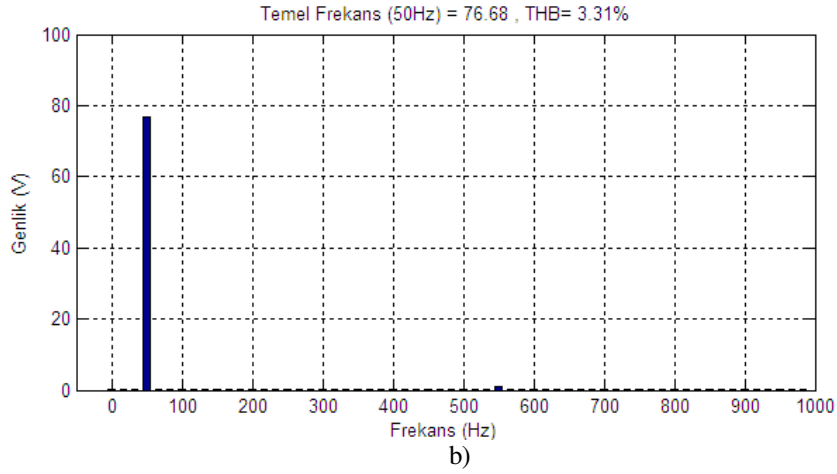
Şekil 6.3 ve şekil 6.4’de sırasıyla gerilim kaynaklı eviricinin bir fazına ait filtreli ve filtresiz çıkış hat gerilimleri ve harmonik spektrumları görülmektedir. Şekil 6.5 ve Şekil 6.6’da ise böyle bir gerilimin RL yüküne uygulanması durumundaki filtreli ve filtresiz faz

gerilimlerinin harmonik spektrumlarını, şekil 6.7’ de ise faz akımının harmonik spektrumu görülmektedir.

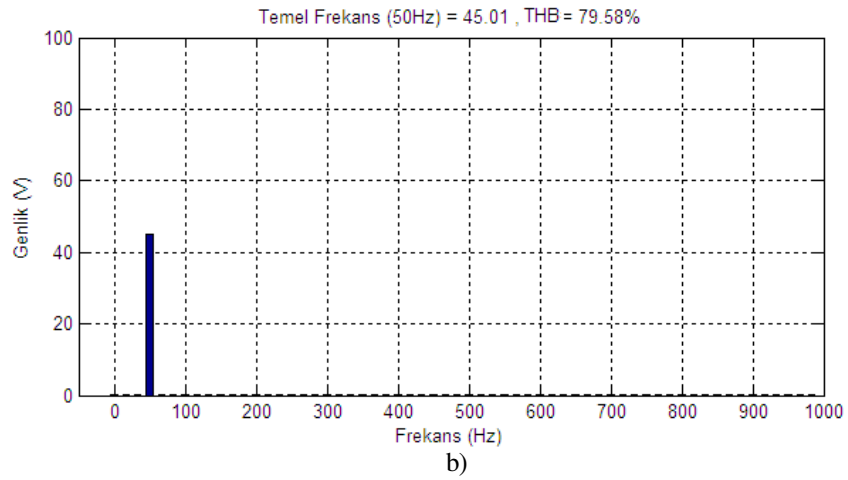
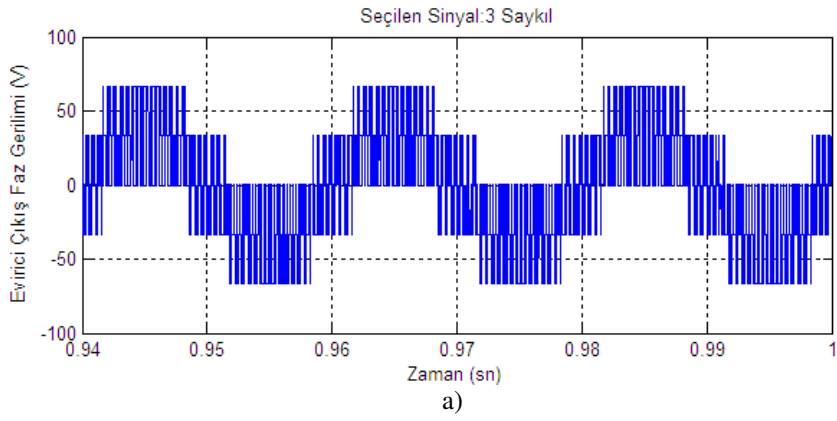


Şekil 6.3. Gerilim kaynaklı eviricinin bir fazına ait a) Filtresiz çıkış hat gerilimi b) Harmonik spektrumu

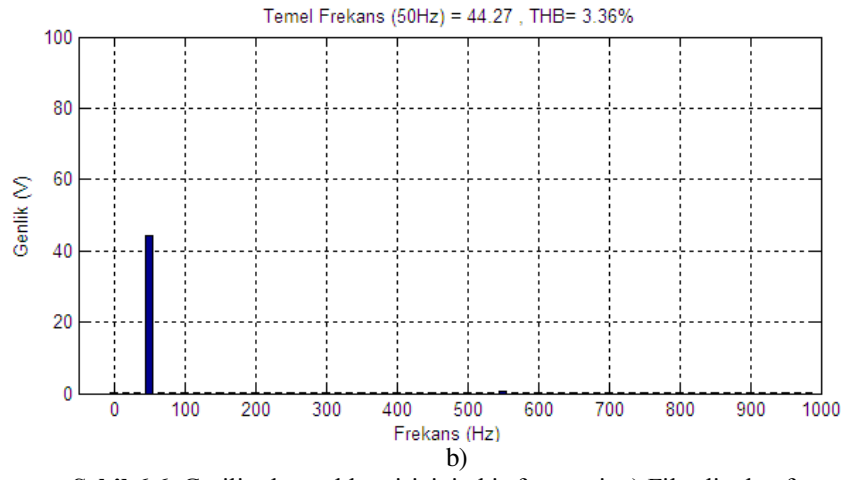
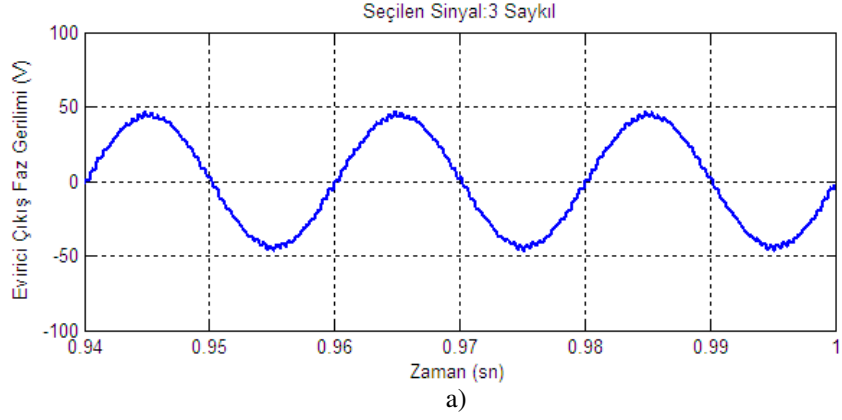




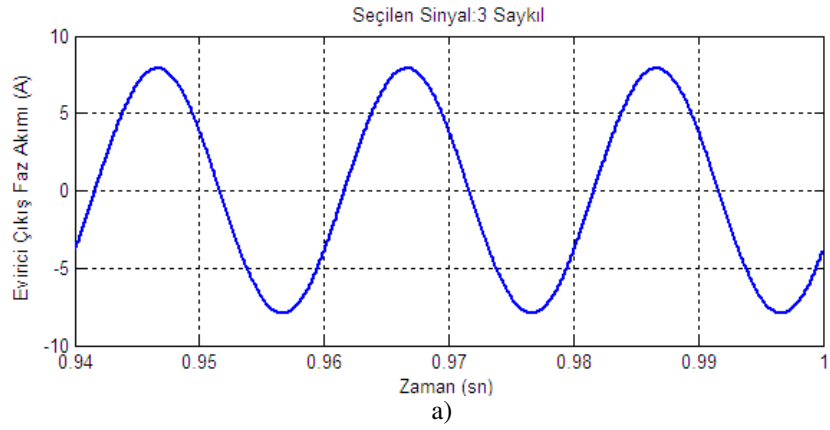
Şekil 6.4. Gerilim kaynaklı eviricinin bir fazına ait a) Filtreli çıkış hat gerilimi b) Harmonik Spektrumu

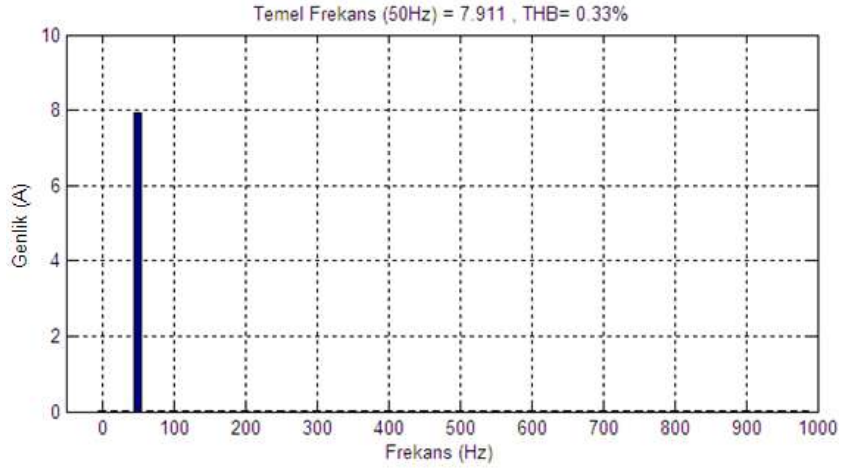


Şekil 6.5. Gerilim kaynaklı eviricinin bir fazına ait a) Filtresiz çıkış faz gerilimi b) Harmonik spektrumu



şekil 6.6. Gerilim kaynaklı eviricinin bir fazına ait a) Filtreli ıkış faz gerilimi b) Harmonik spektrumu

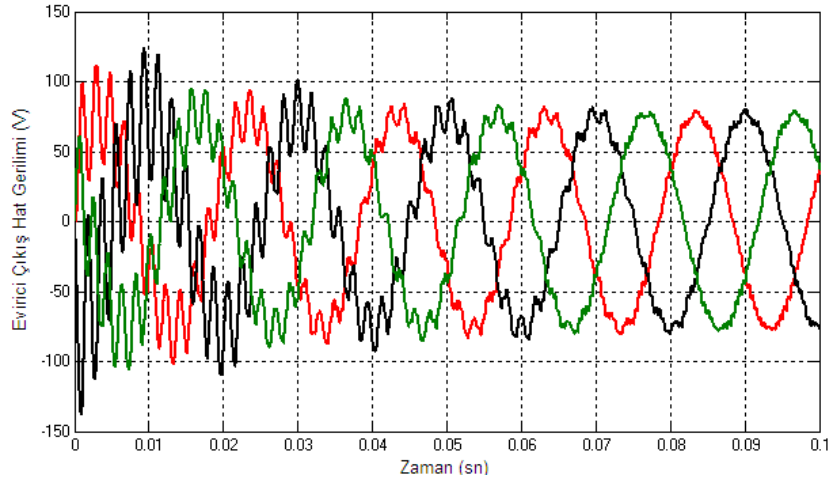




b)

Şekil 6.7. Gerilim kaynaklı eviricinin bir fazına ait a) Çıkış faz akımı b) Harmonik spektrumu

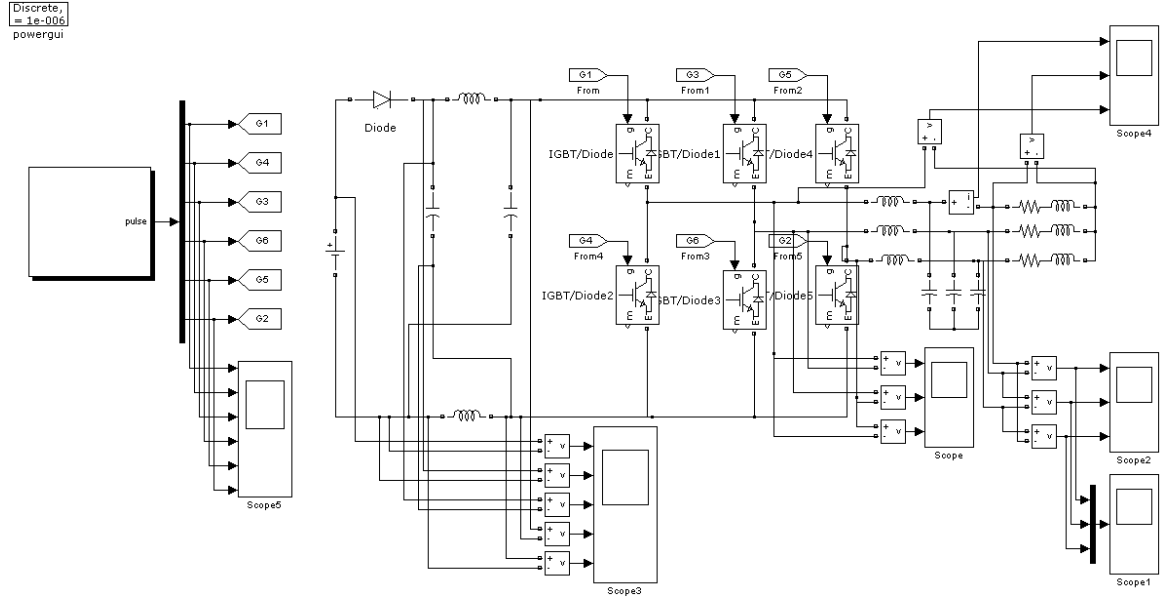
Şekil 6.8’de üç fazlı gerilim kaynaklı eviricinin filtreli çıkış hat gerilimi görülmektedir.



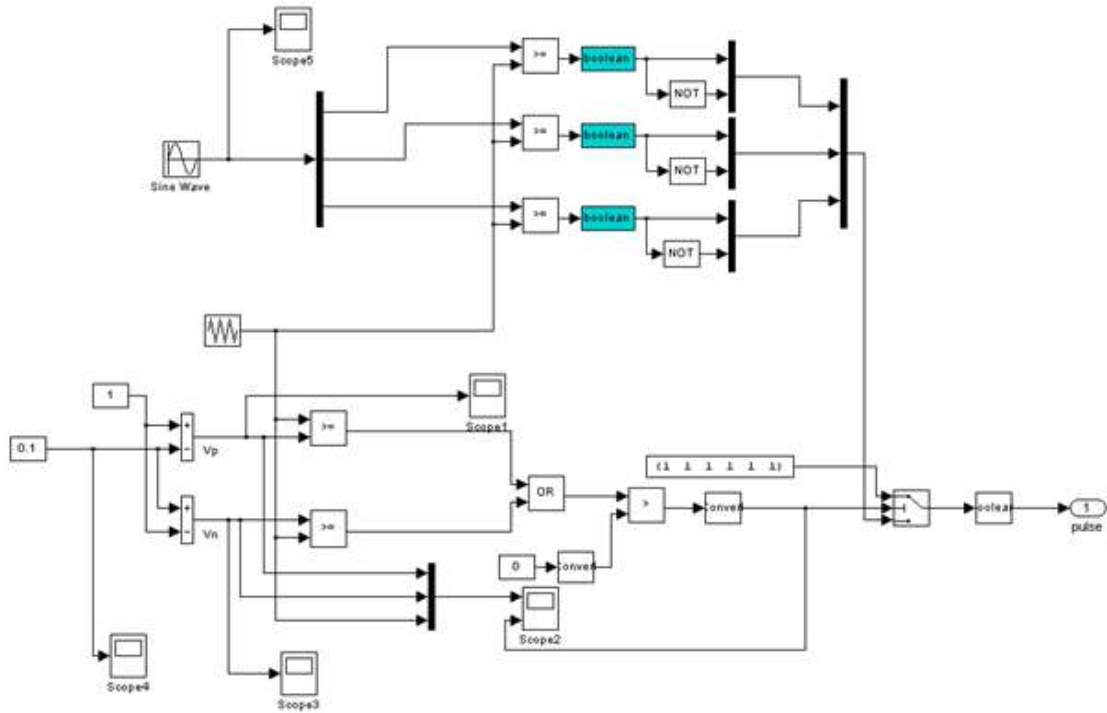
Şekil 6.8. Üç fazlı gerilim kaynaklı eviricinin filtreli çıkış hat gerilimi

6.2. Üç Fazlı Sinüsoidal Darbe Genişlik Modülasyonlu Z Kaynak Evirici Benzetimi

Şekil 6.9’da üç fazlı sinüsoidal darbe genişlik modülasyonlu Z kaynak evirici modeli, şekil 6.10’da Z kaynak eviricinin anahtarlama sinyallerinin hesaplanması için alt sistem modeli görülmektedir.

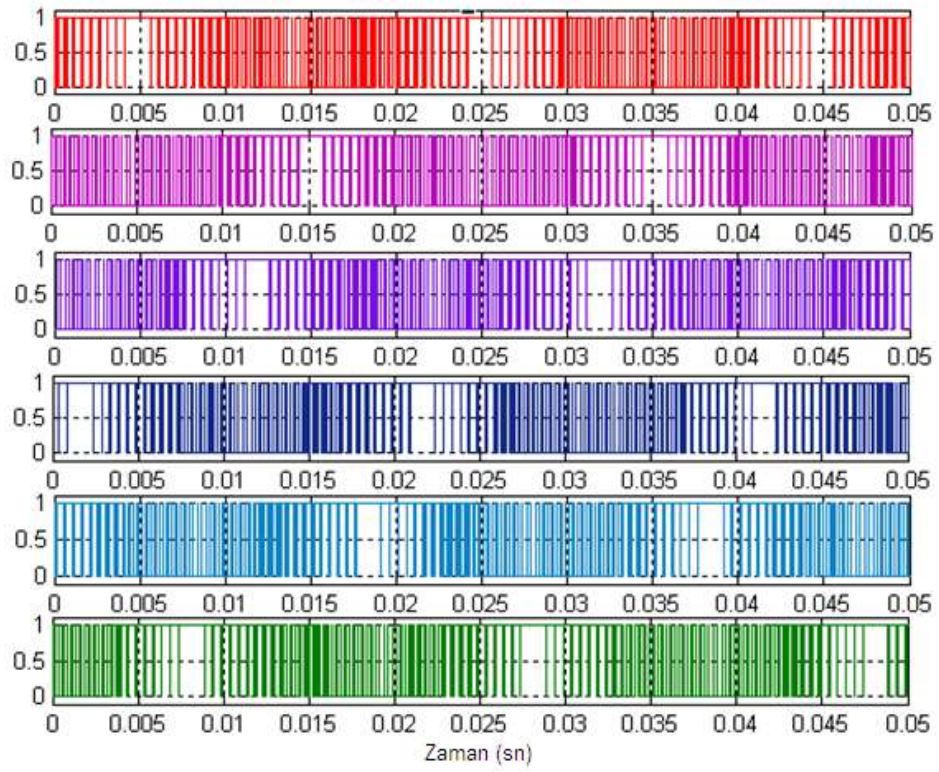


Şekil 6.9. Üç fazlı Z kaynak evirici benzetim modeli



Şekil 6.10. Z kaynak evirici için SDGM anahtarlama sinyallerinin benzetim modeli

Şekil 6.11’de Z kaynak eviricinin çıkış ihtiyacına göre, eviricinin altı anahtarına uygulanan anahtarlama sinyalleri verilmiştir. Benzetim amacıyla modellenen sistemin parametreleri tablo 6.2’de görülmektedir.



Şekil 6.11. Z kaynak eviricinin anahtarlarına uygulanan altı anahtarlama sinyali (DG=0,1)

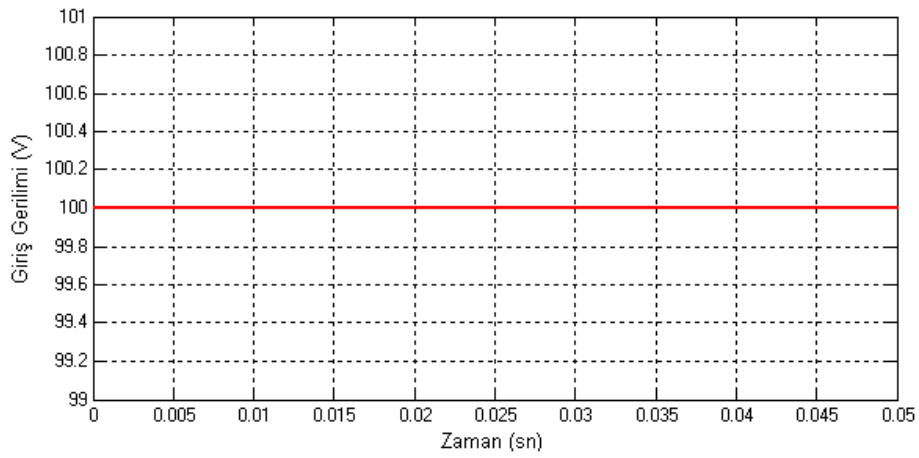
Tablo 6.2. Z kaynak evirici için kullanılan sistem parametreleri

Parametre	Parametre değeri
DC giriş gerilimi	100 V
Modülasyon indeksi	0,9
Temel Frekans	50 Hz
Anahtarlama frekansı (f_s)	2 kHz
Darbe genişliği (DG)	0,1-0,45
Örnekleme zamanı	1 μ s
Z kaynak ağı kapasitansı ($C1=C2$)	400 μ F
Z kaynak ağı endüktansı ($L1=L2$)	0,5 mH
Filtre endüktansı	1 mH
Filtre kapasitansı	100 μ F
Yük direnci	5 Ω
Yük endüktansı	8 mH

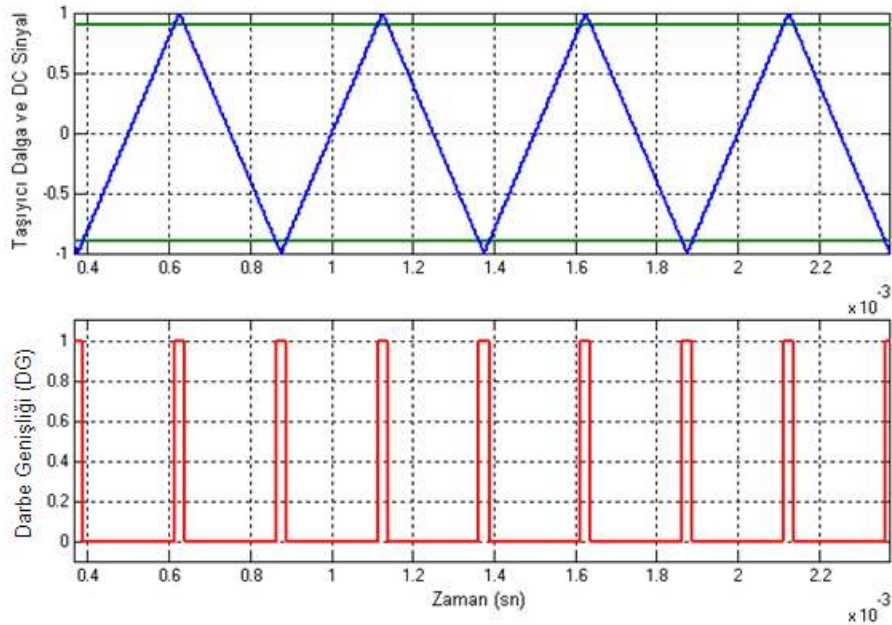
Şekil 6.12’de Z kaynak eviricinin giriş terminallerine uygulanan DC giriş gerilimini göstermektedir. Şekil 6.13’de ise Z kaynak eviriciye kısa devre durumlarının uygulanabilmesi için zaman süresi hesaplamasını ve taşıyıcı sinyal ile DC sinyalin karşılaştırılması görülmektedir.

Kısa devre durumları Z kaynak eviriciye uygulanabildiği için çıkan sinyallerin darbe zaman süresi denklem (6.1)’deki gibi tanımlanabilir.

$$\text{Darbe genişliği (DG)} = 1 - \text{DC sinyali büyüklüğü} \quad (6.1)$$



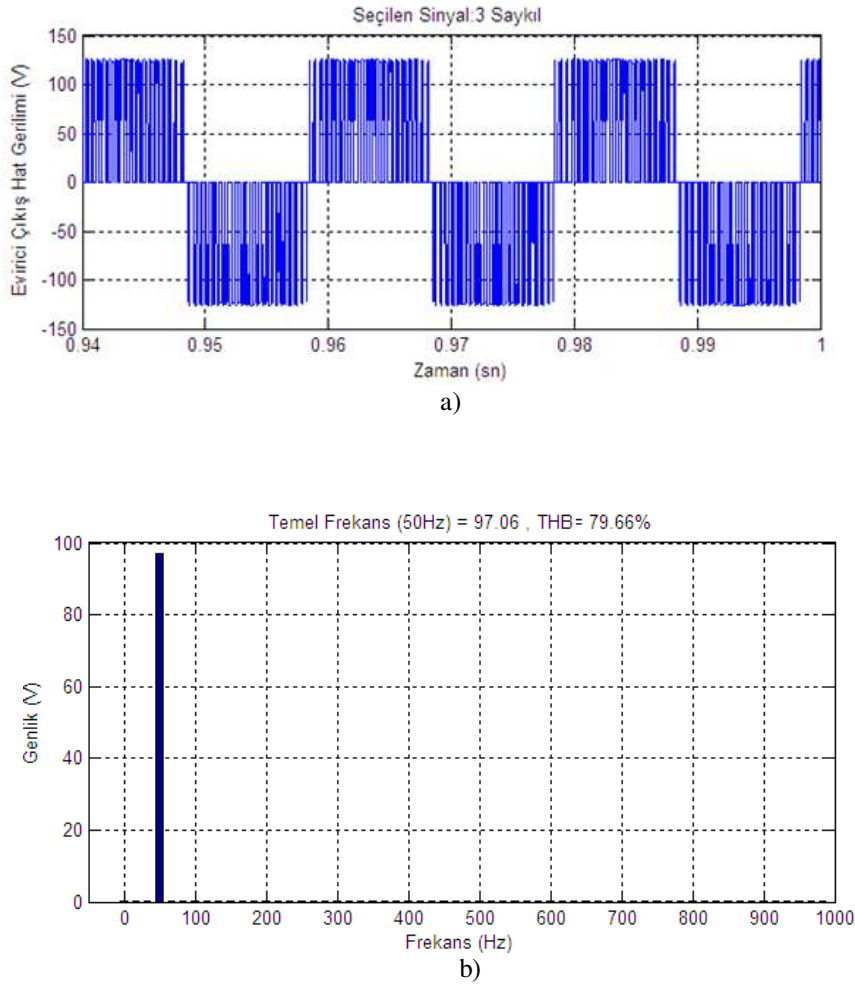
Şekil 6.12. Z kaynak evirici DC giriş gerilimi



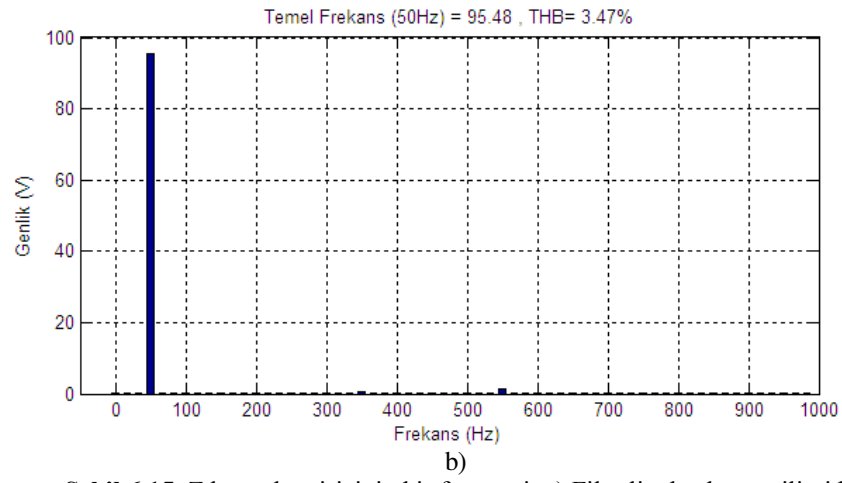
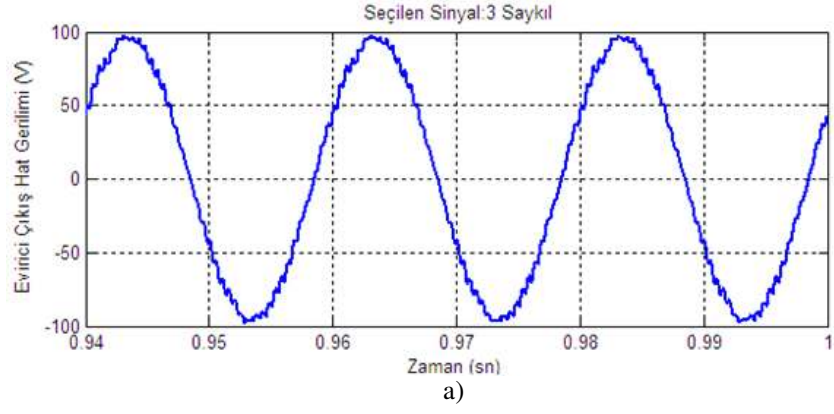
Şekil 6.13. Z kaynak eviriciye kısa devre durumlarının uygulanabilmesi için zaman süresi hesaplaması (DG=0,1)

0,1 darbe genişliğine sahip Z kaynak eviricinin bir fazına ait filtreli ve filtresiz çıkış hat gerilimleri ve harmonik spektrumları şekil 6.14 ve şekil 6.15’de sırasıyla görülmektedir. Şekil 6.16 ve Şekil 6.17’de ise böyle bir gerilimin RL yüküne uygulanması durumundaki filtreli ve filtresiz faz gerilimlerinin harmonik spektrumlarını, şekil 6.18’de ise faz akımının harmonik spektrumu görülmektedir.

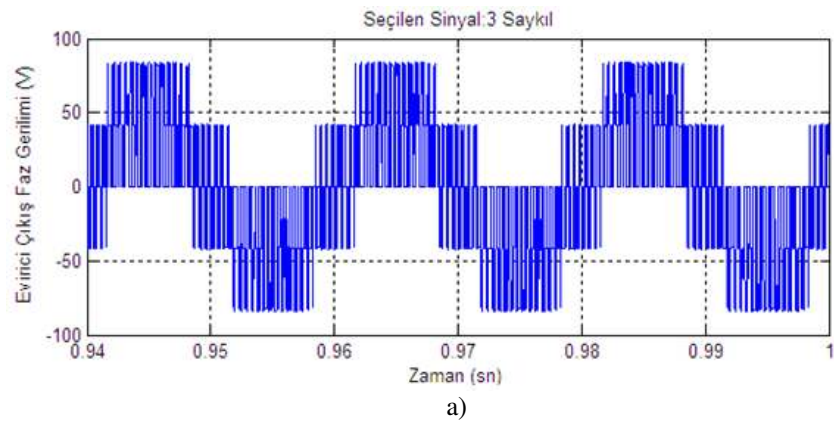
50 Hz’lik temel frekansın filtreli çıkış hattındaki gerilimin 95,48 V’a sahip olduğu harmonik spektrumda görülmektedir. Görüldüğü gibi faz gerilimi ve akımı sinüsoidal forma yakındır.

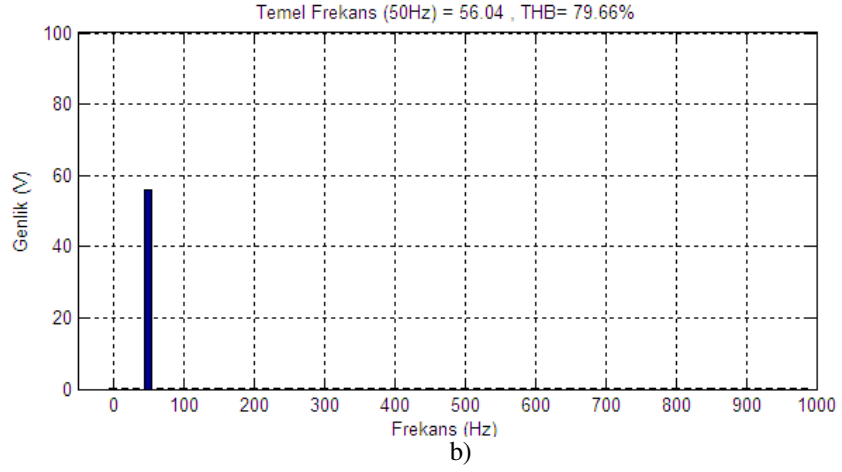


Şekil 6.14. Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Filtresiz çıkış hat gerilimi b) Harmonik spektrumu (DG=0,1)

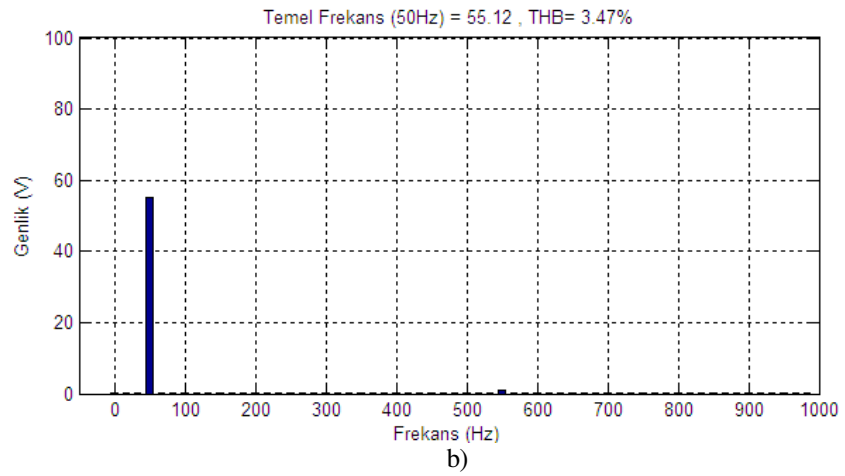
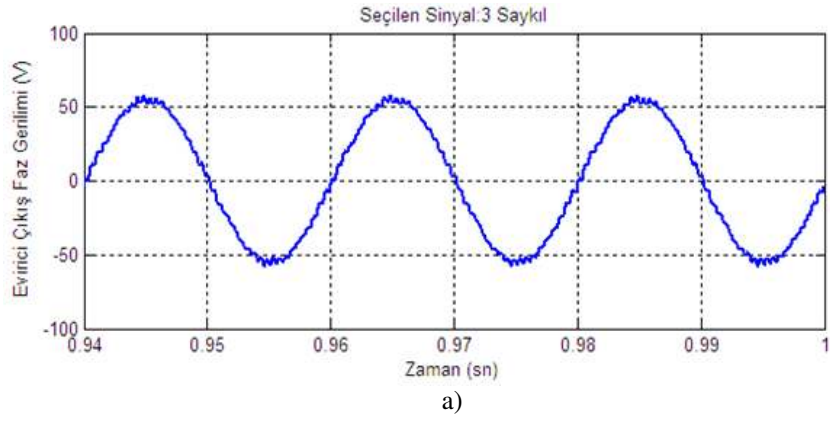


Şekil 6.15. Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Filtreli çıkış hat gerilimi b) Harmonik spektrumu (DG=0,1)

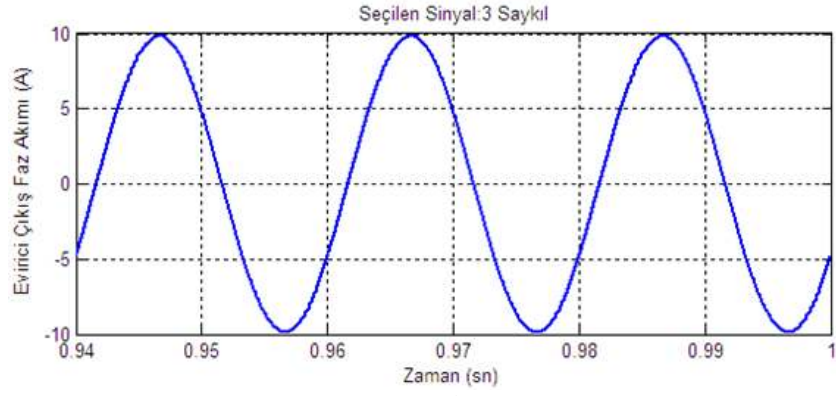




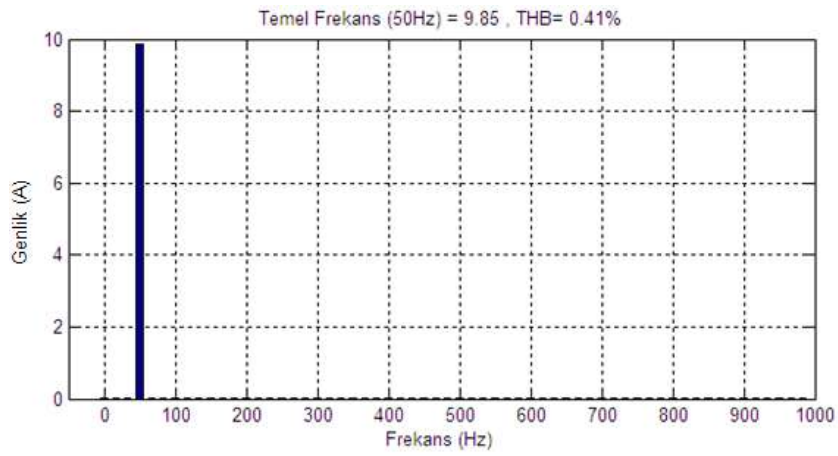
Şekil 6.16. Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Filtresiz çıkış faz gerilimi b) Harmonik spektrumu (DG=0,1)



Şekil 6.17. Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Filtreli çıkış faz gerilimi b) Harmonik spektrumu (DG=0,1)



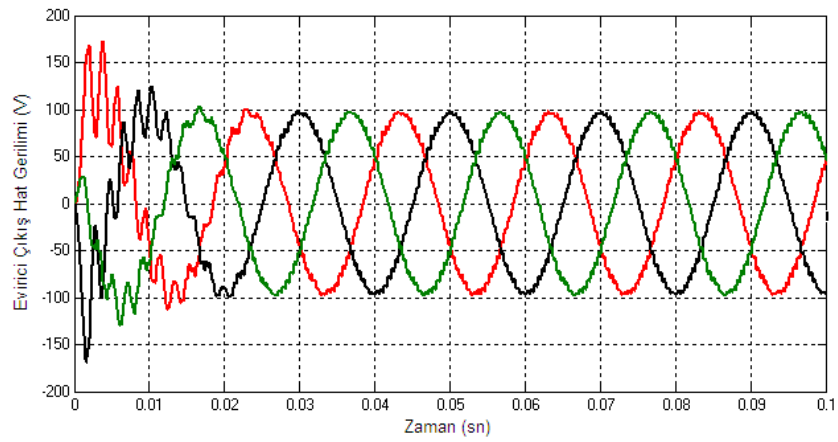
a)



b)

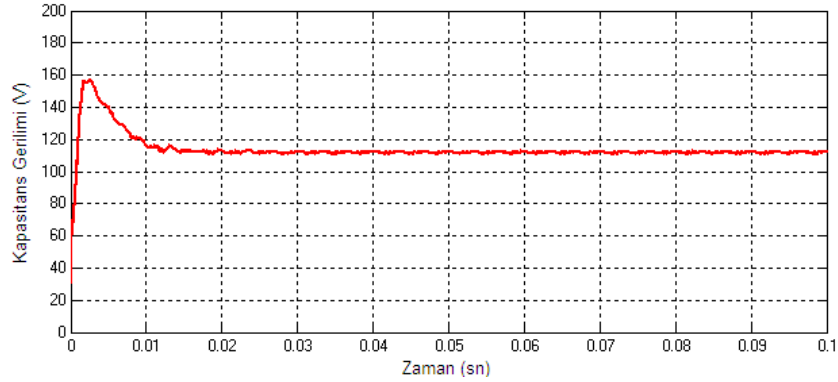
Şekil 6.18. Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Çıkış faz akımı b) Harmonik spektrumu (DG=0,1)

0,1 darbe genişliğine sahip üç fazlı Z kaynak eviricinin filtreli çıkış hat gerilimi şekil 6.19’da gösterilmiştir.



Şekil 6.19. Üç fazlı Z kaynak eviricinin filtreli çıkış hat gerilimi (DG=0,1)

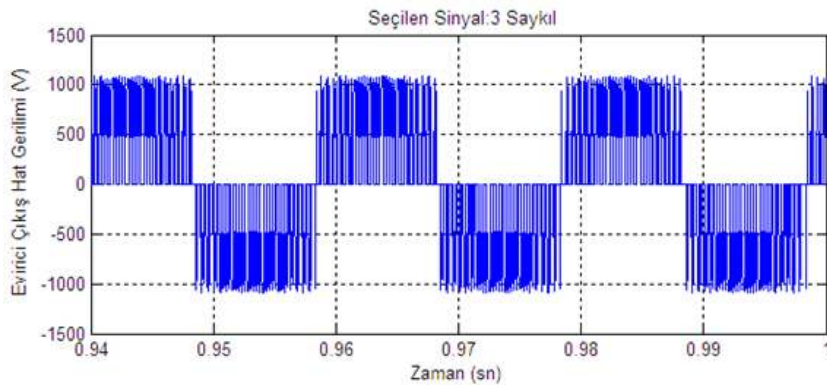
Şekil 6.20’de 0,1 darbe genişliğinde Z kaynak eviricinin empedans ağı parametresi olan kapasitans’ın üzerindeki gerilimi göstermektedir. Bunun üzerindeki gerilim önce 157 V tepe değerinde ve daha sonra 112 V değeri civarında olduğu görülmektedir. Bundan dolayı bileşenler arasındaki gerilime göre empedans ağındaki parametreleri tasarlayabiliriz.



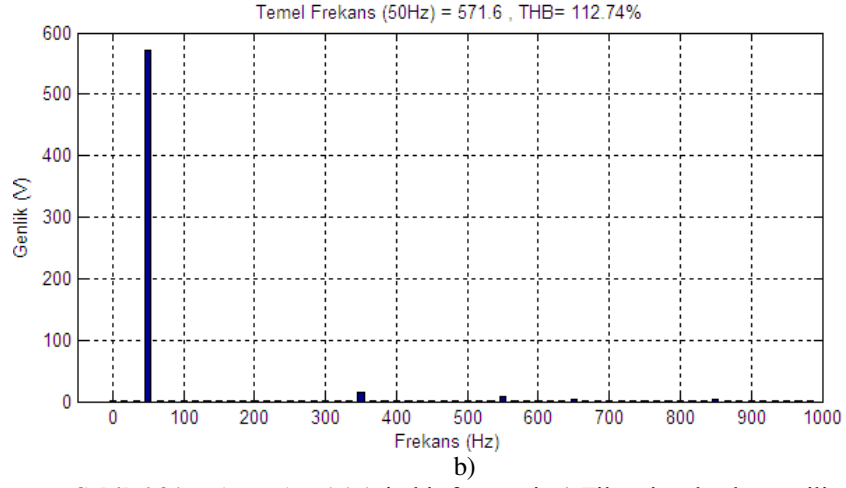
Şekil 6.20. Z kaynak eviricinin empedans ağı üzerindeki kapasitans gerilimi (DG= 0,1)

0,45 darbe genişliğine sahip Z kaynak eviricinin bir fazına ait filtreli ve filtresiz çıkış hat gerilimleri ve harmonik spektrumları şekil 6.21 ve şekil 6.22’de sırasıyla görülmektedir. Şekil 6.23 ve şekil 6.24’de ise böyle bir gerilimin RL yüküne uygulanması durumundaki filtreli ve filtresiz faz gerilimlerinin harmonik spektrumlarını, şekil 6.25’de ise faz akımının harmonik spektrumu görülmektedir.

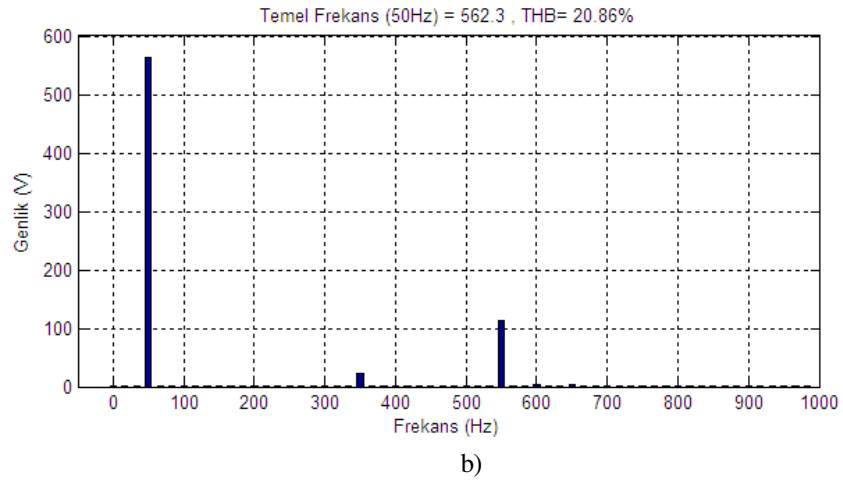
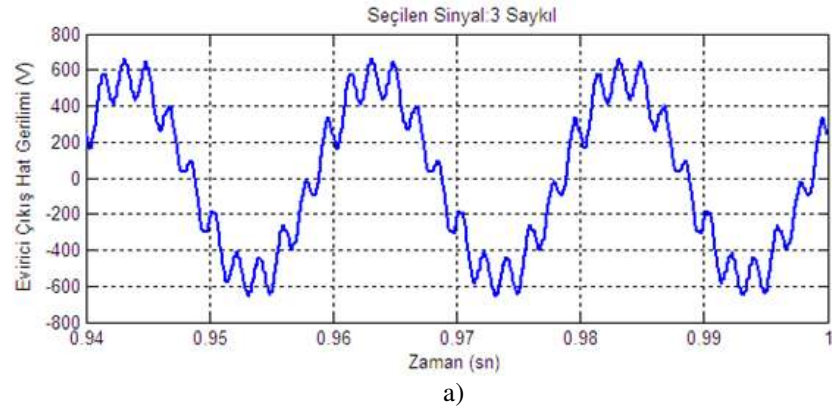
50 Hz’lik temel frekansın filtreli çıkış hattındaki gerilimin 562,3 V’a (tepe noktası) sahip olduğu harmonik spektrumda görülmektedir. Bu durum eviricinin yükseltici modunda çalıştığı anlamına gelmektedir. Evirici darbe genişlik oranına bağlı olarak uygulanan 100 V DC giriş gerilimi sayesinde 50 Hz frekansta 562,3 V AC çıkış gerilimi elde edilmiştir. Görüldüğü gibi faz gerilimi ve akımı sinüsoidal forma yakındır.



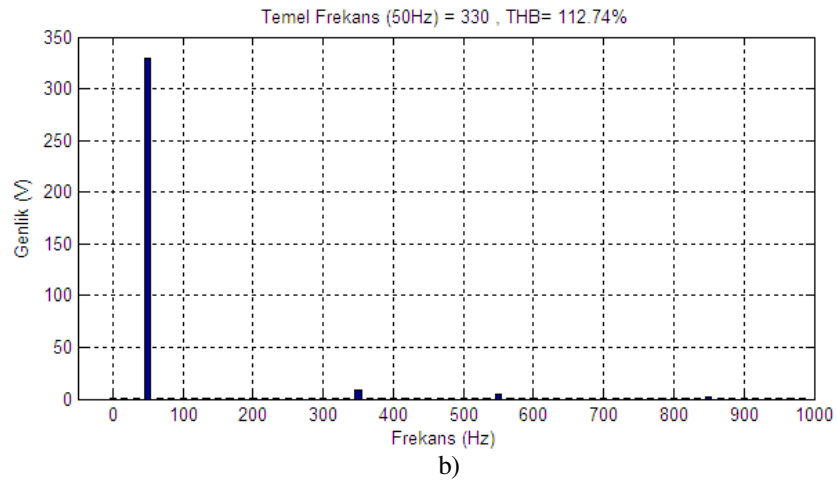
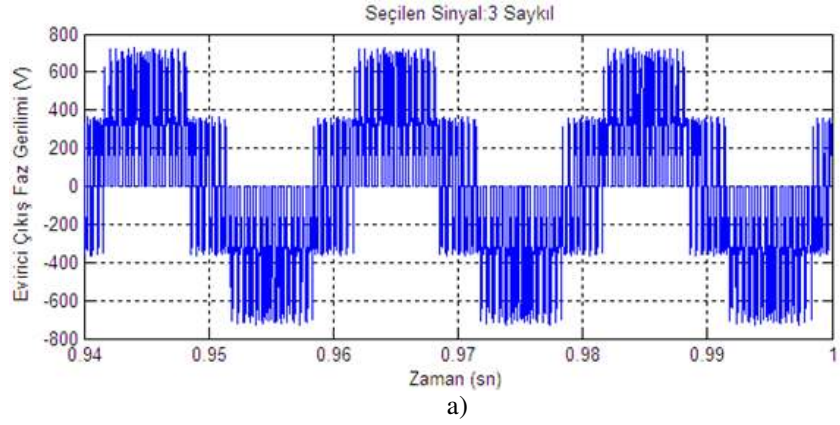
a)



Şekil 6.21. Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Filtresiz çıkış hat gerilimi b) Harmonik spektrumu (DG=0,45)

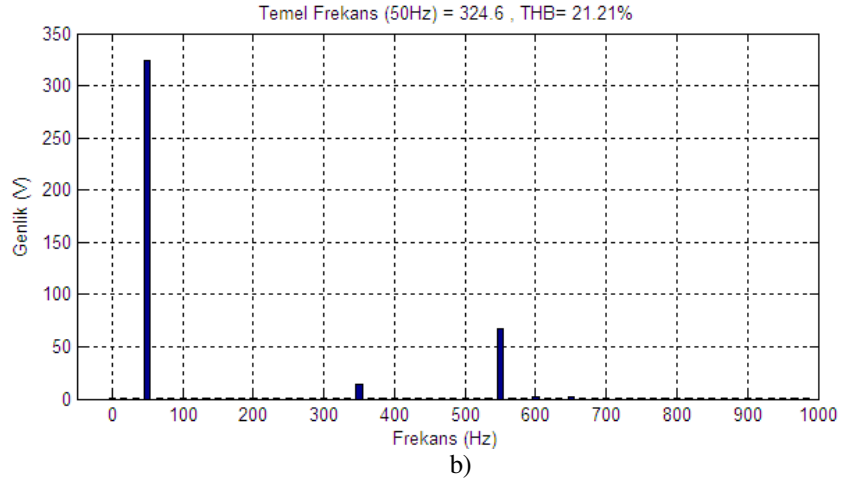


Şekil 6.22. Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Filtreli çıkış hat gerilimi b) Harmonik spektrumu (DG=0,45)



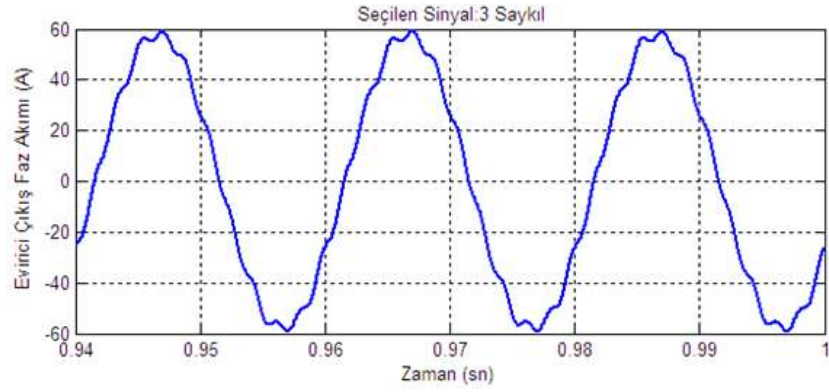
Şekil 6.23. Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Filtresiz çıkış faz gerilimi b) Harmonik spektrumu (DG=0,45)



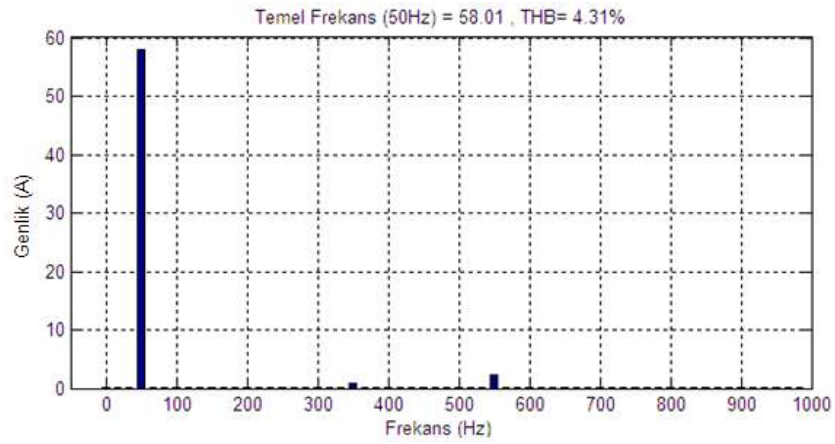


b)

Şekil 6.24. Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Filtreli çıkış faz gerilimi b) Harmonik spektrumu (DG=0,45)



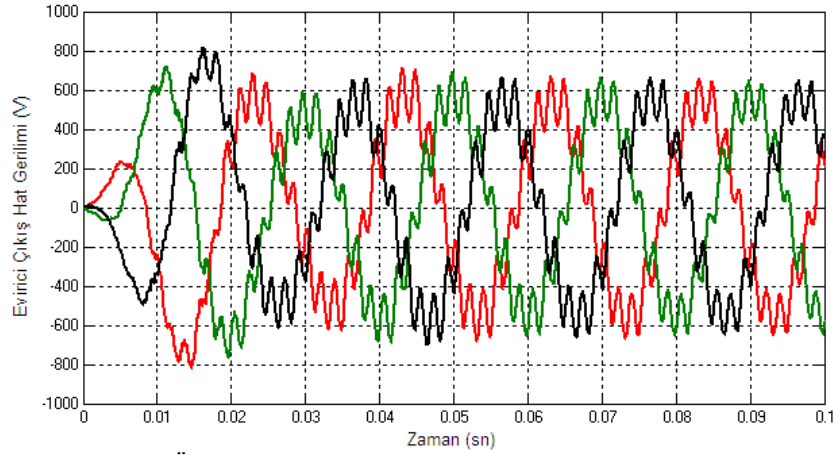
a)



b)

Şekil 6.25. Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Çıkış faz akımı b) Harmonik spektrumu (DG=0,45)

Şekil 6.26’da DC sinyalinin büyüklüğü 0,55 olduğunda, yani darbenin genişliği 0,45 olduğunu zaman Z kaynak eviricinin çıkış terminalleri arasında mevcut olan filtreli çıkış hat gerilimini göstermektedir.



Şekil 6.26. Üç fazlı Z kaynak eviricinin filtreli çıkış hat gerilimi (DG=0,45)

Tablo 6.3’de darbe genişliğindeki değişim nedeniyle Z kaynak eviriciye ait ilgili çıkış gerilim değerleri, akım değerleri ve bunlara ait toplam harmonik bozulma %’sindeki çıkış harmonikleri görülmektedir.

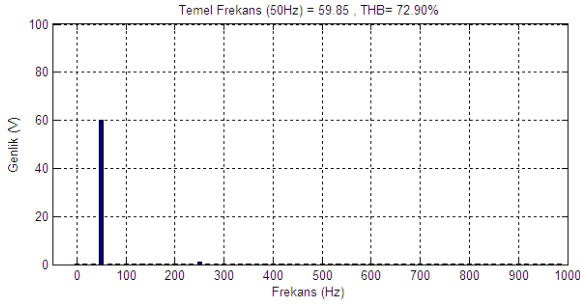
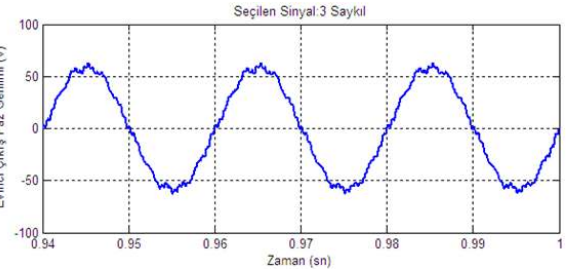
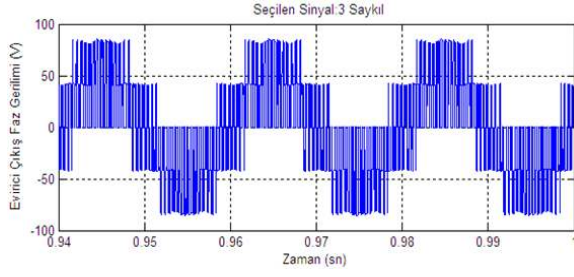
Z kaynak eviricinin 0,2 ile 0,499 darbe genişliği arasında yükseltici modunda çalıştığı, geriye kalan kısmında ise düşürücü modunda çalıştığı görülmektedir. Eviricinin çıkış gerilimindeki en büyük farklılaşmanın 0,4 ile 0,499 darbe genişliği arasında olduğu görülmektedir. Çıkış gerilim değişimi 0,4 ile 0,499 darbe genişliği arasında tekrardan incelenerek tablo 6.3’de gösterilmiştir.

Tablo 6.3’de görüldüğü üzere filtreli çıkış hat geriliminin maksimum tepe değeri 0,499 darbe genişliğinde 2949 V gerilime sahip olduğu ve bu çıkış gerilimi, 0,1 darbe genişliğinden 0,499 darbe genişliğine kadar artarak devam etmesi anlamına gelmektedir. Z kaynak eviricinin çıkış gerilimleri, Z kaynak eviricinin düşürücü ve yükseltici modunda çalıştığını göstermektedir.

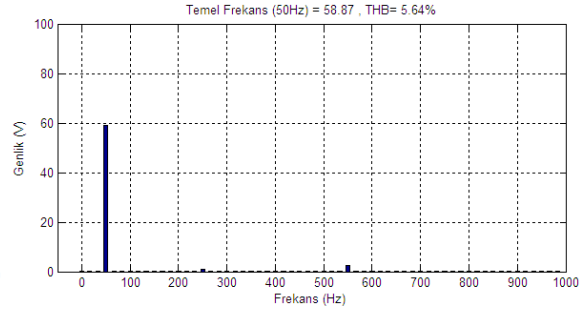
Tablo 6.3. Darbe genişliğinde yapılan değişiklik sayesinde filtreli çıkış hat gerilimi, faz gerilimi ve akım değerlerinin THB sonuçları

Darbe genişliği	Hat gerilimi / THB	Faz gerilimi / THB	Faz akımı / THB
0,1	95,48	55,12	9,85
	% 3,47	% 3,47	% 0,41
0,2	124	71,55	12,79
	% 5,35	% 5,25	% 1,65
0,3	167,4	96,6	17,26
	% 5,24	% 5,09	% 1,73
0,4	294,8	170,2	30,41
	% 29,04	% 29,53	% 5,97
0,41	328,4	189,6	33,88
	% 28,16	% 28,65	% 5,79
0,43	391,4	226	40,39
	% 26,34	% 26,92	% 5,44
0,45	562,3	324,6	58,01
	% 20,86	% 21,21	% 4,31
0,47	811,2	468,3	83,69
	% 16,09	% 16,36	% 3,38
0,49	2451	1415	252,9
	% 8,98	% 8,93	% 2,07
0,495	2451	1415	252,9
	% 8,98	% 8,93	% 2,07
0,499	2949	1703	304,3
	% 6,84	% 6,72	% 1,79

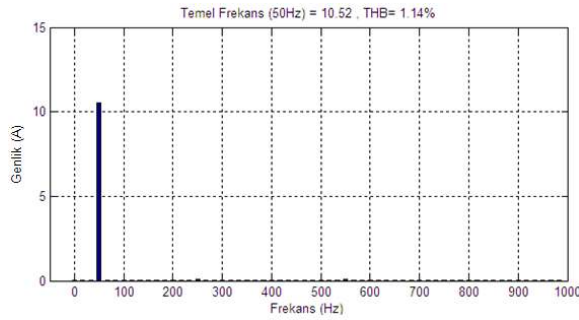
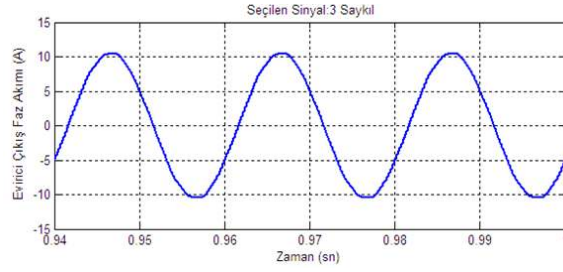
Şekil 6.27, şekil 6.28’de ve şekil 6.29, şekil 6.30’da sırasıyla darbe genişlik oranları 0,1 ve 0,45’de sabit tutulup, modülasyon indekslerindeki değişimler sayesinde Z kaynak eviricinin bir fazına ait filtreli ve filtresiz çıkış faz gerilim ile çıkış faz akım değerlerinin harmonik spektrumlarını göstermektedir. Bu durumlar için yapılan sonuçlar tablo 6.4’de görülmektedir.



a)

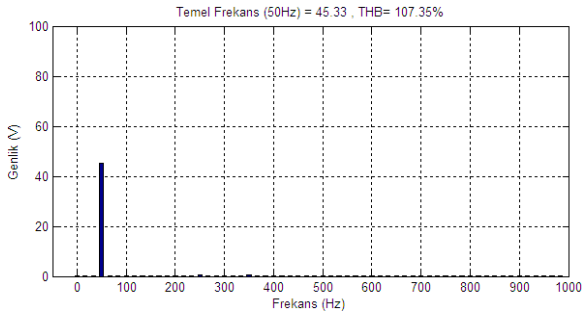
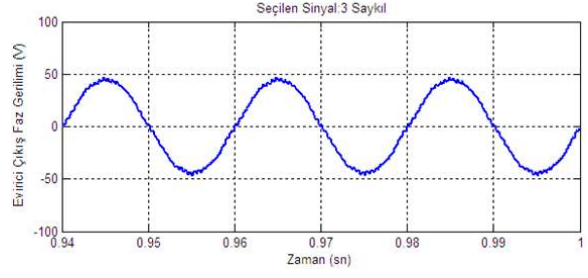
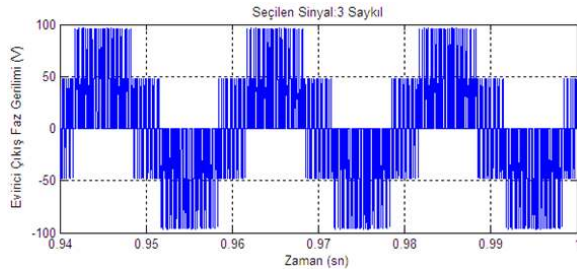


b)

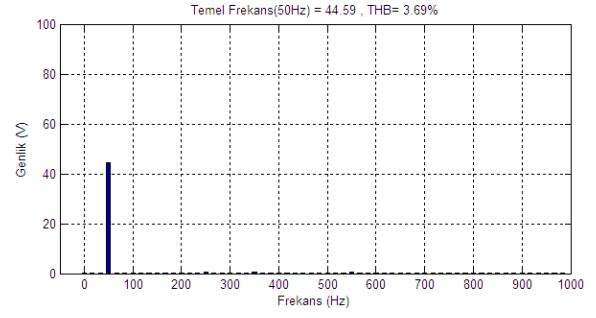


c)

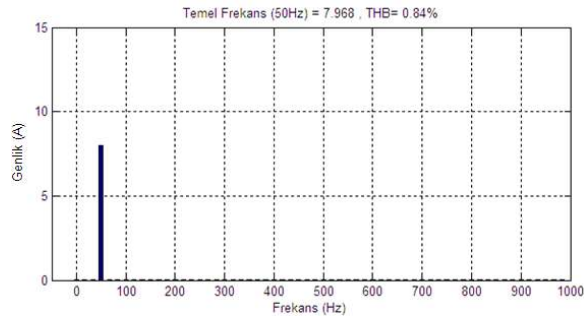
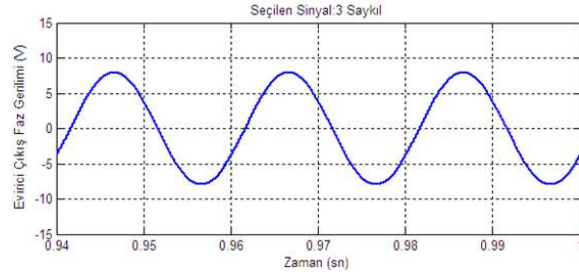
Şekil 6.27. Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Filtresiz çıkış faz gerilimi b) Filtreli çıkış faz gerilimi c) Çıkış faz akımı ve harmonik spektrumu ($M=1$ ve $DG=0,1$)



a)

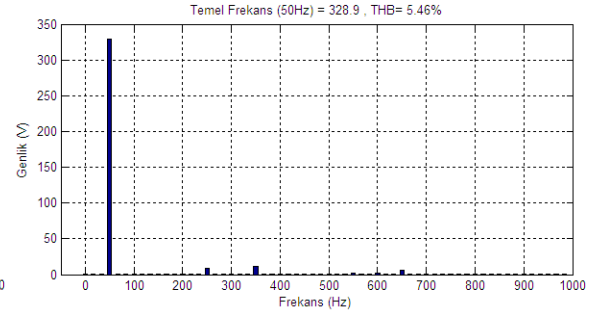
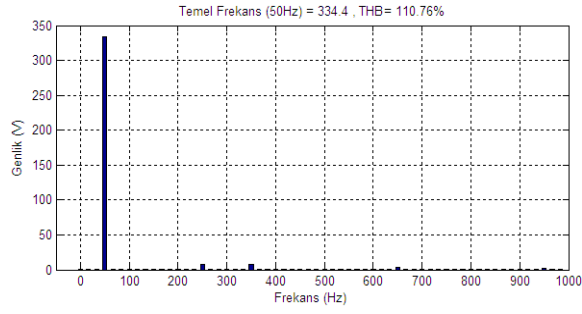
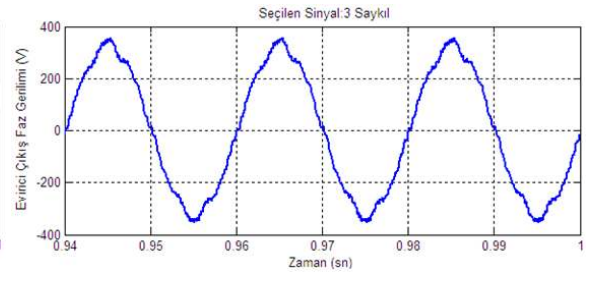
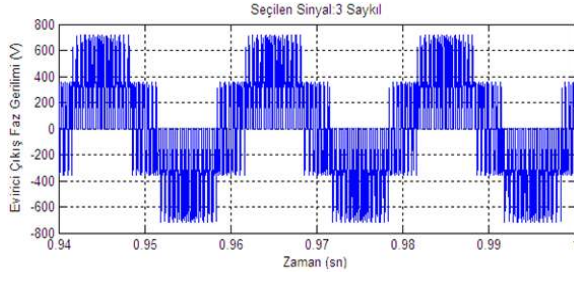


b)



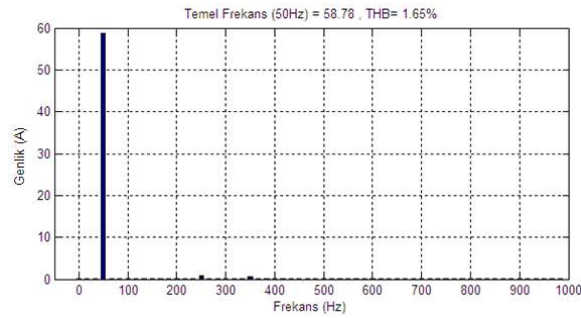
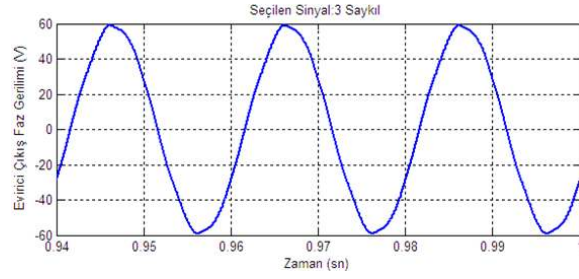
c)

Şekil 6.28. Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Filtresiz çıkış faz gerilimi b) Filtreli çıkış faz gerilimi c) Çıkış faz akımı ve harmonik spektrumu ($M=0,7$ ve $DG=0,1$)



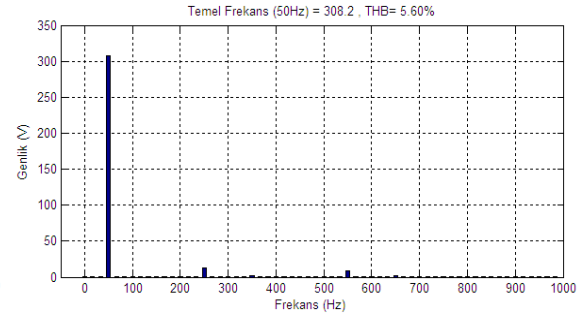
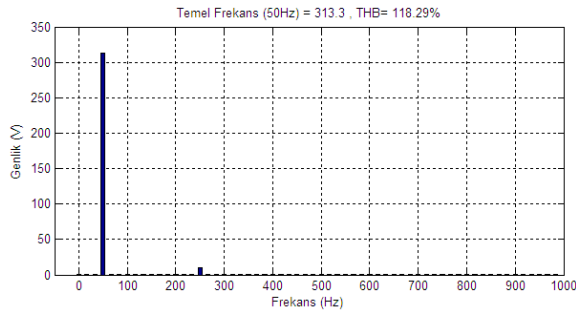
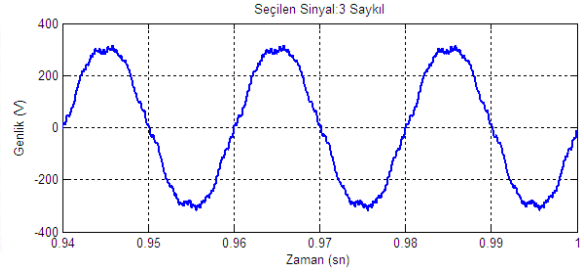
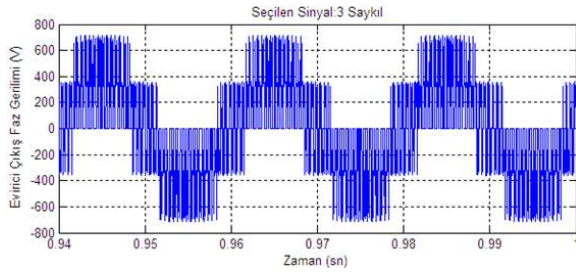
a)

b)



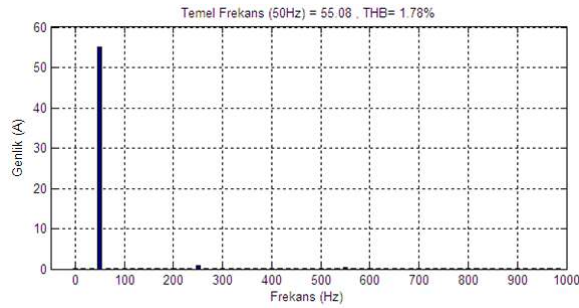
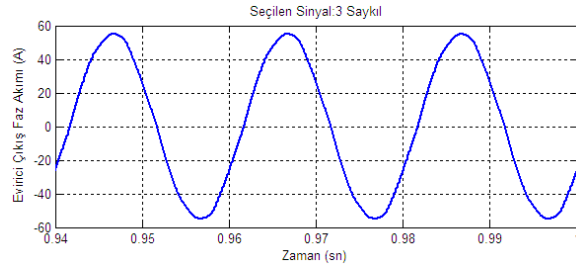
c)

Şekil 6.29. Z kaynağı evriticinin bir fazına ait a) Filtresiz çıkış faz gerilimi b) Filtreli çıkış faz gerilimi c) Çıkış faz akımı ve harmonik spektrumu ($M=1$ ve $DG=0,45$)



a)

b)



c)

Şekil 6.30. Z kaynak eviricinin bir fazına ait a) Filtresiz çıkış faz gerilimi b) Filtreli çıkış faz gerilimi c) Çıkış faz akımı ve harmonik spektrumu ($M=0,7$ ve $DG=0,45$)

Tablo 6.4’de darbe genişlik oranı 0,1 ve 0,45’de sabit tutularak sadece modülasyon indeksinin değişmesi durumunda Z kaynak eviriciye ait filtreli ve filtresiz çıkış faz gerilim değerleri, akım değerleri ve bunlara ait toplam harmonik bozulmalarının %’lik değerleri görülmektedir.

Darbe genişliğindeki oran ile modülasyon indeksinin ($M \leq 1$) değişmesi durumunda Z kaynak eviriciye ait 100 V DC giriş gerilimi sayesinde ilgili çıkış faz gerilimlerinin ve akım değerlerinin düşürücü ve yükseltici modunda çalıştığı açıkça görülmektedir.

Tablo 6.4. Darbe genişlik ve modülasyon indeksinde yapılan değişiklik sayesinde çıkış faz gerilim ve akım değerlerinin THB sonuçları

Darbe genişliği	Modülasyon indeksi	Filtresiz faz gerilimi / THB	Filtreli faz gerilimi / THB	Faz akımı / THB
0,1	1	59,85	58,87	10,52
		% 72,90	% 5,64	% 1,14
	0,9	56,04	55,12	9,85
		% 79,66	% 3,47	% 0,41
	0,7	45,33	44,59	7,968
		% 107,35	% 3,69	% 0,84
	0,55	36,19	35,6	6,362
		% 134,01	% 5,87	% 138
	0,4	31,43	30,92	5,525
		% 177,42	% 4,54	% 1,03
0,45	1	334,4	328,9	58,78
		% 110,76	% 5,46	% 1,65
	0,9	330	324,6	58,01
		% 112,74	% 21,21	% 4,31
	0,7	313,3	308,2	55,08
		% 118,29	% 5,60	% 1,78
	0,55	279,8	275,2	49,18
		% 129,50	% 2,66	% 0,23
	0,4	204,4	201,1	35,93
		% 163,77	% 2,65	% 0,25

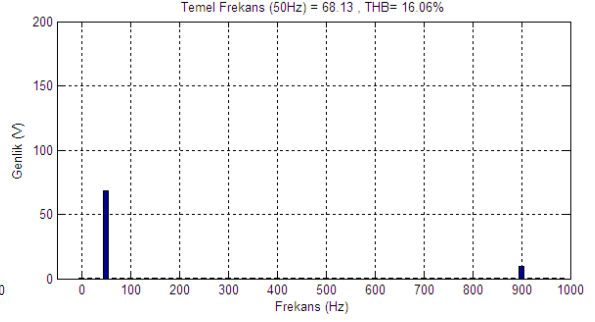
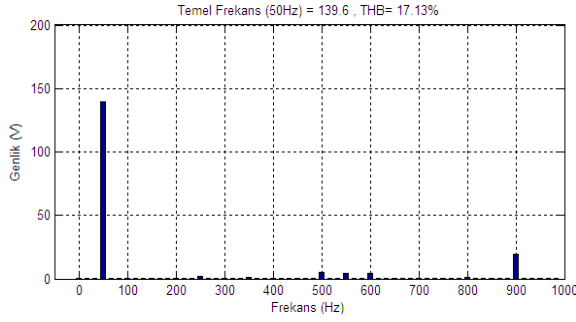
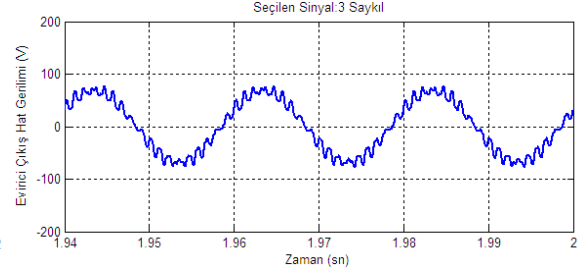
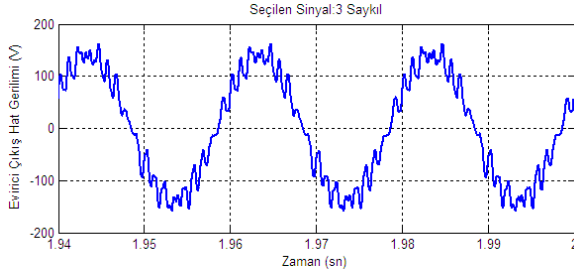
6.3. Üç Fazlı Sinüsoidal Darbe Genişlik Modülasyonlu Gerilim Kaynaklı Evirici ile Z Kaynak Eviricinin Karşılaştırılması

Bu bölümde sinüsoidal darbe genişlik modülasyonlu gerilim kaynaklı evirici ile Z kaynak evirici aynı koşullarda karşılaştırılmıştır. SDGM tekniği ile üretilen üç faz sinüs işareti taşıyıcı sinyal ile karşılaştırılarak eviricinin altı anahtarına uygulanmıştır. Gerilim kaynaklı eviricilerde her IGBT'nin (S_1 ve S_4 , S_3 ve S_6 veya S_5 ve S_2) aynı anda anahtarlanması DC hattında kısa devreye neden olduğundan bu eviricinin anahtarlama girişleri SDGM üretildiği sırayla her bir IGBT çiftinin bir zaman aralığında sadece birisi anahtarlanacak şekilde uygulanmıştır (şekil 6.1).

Z kaynak evirici de ise her IGBT'nin (S_1 ve S_4 , S_3 ve S_6 veya S_5 ve S_2) aynı anda anahtarlanması durumunda kısa devre oluşması evirici çıkışının düşürücü veya yükseltici modunda çalışmasını sağlayacak anahtarlama girişleri uygulanmıştır (şekil 6.9). Karşılaştırma amacıyla modellenen sistemlerin parametreleri tablo 6.5'de verilmiştir.

Tablo 6.5. Gerilim kaynaklı evirici ile Z kaynak eviricinin karşılaştırma parametreleri

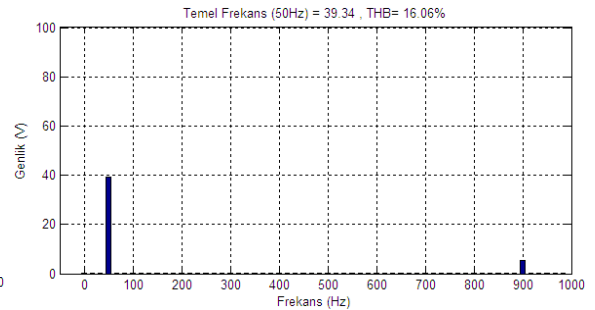
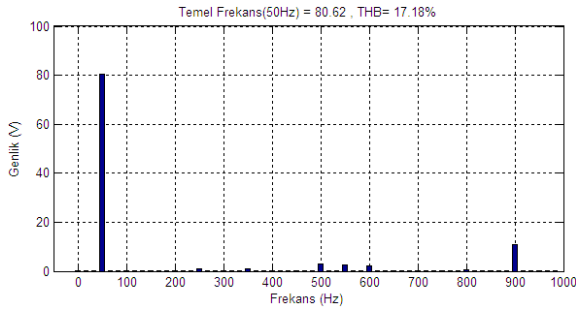
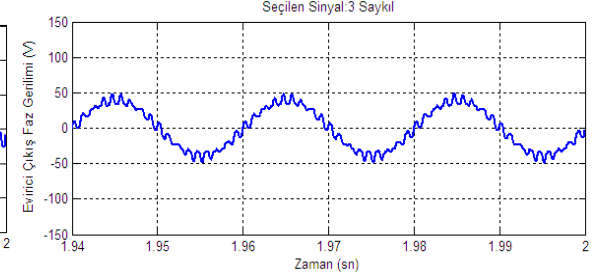
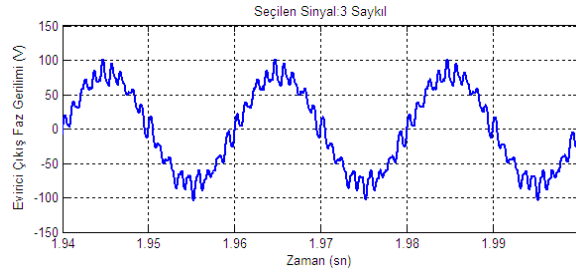
Parametre	Parametre değeri
DC giriş gerilimi	100 V
Modülasyon indeksi	0,8
Modülasyon frekansı	50 Hz
Anahtarlama frekansı	1 kHz, 2 kHz, 5 kHz, 10 kHz, 20 kHz
Darbe genişliği	0,1 - 0,2
Örnekleme zamanı	1 μ s
Z kaynak ağı kapasitansı ($C_1=C_2$)	400 μ F
Z kaynak ağı endüktansı ($L_1=L_2$)	0,5 mH
Filtre endüktansı	1 mH
Filtre kapasitansı	100 μ F
Yük direnci	5 Ω
Yük endüktansı	8 mH



a)

b)

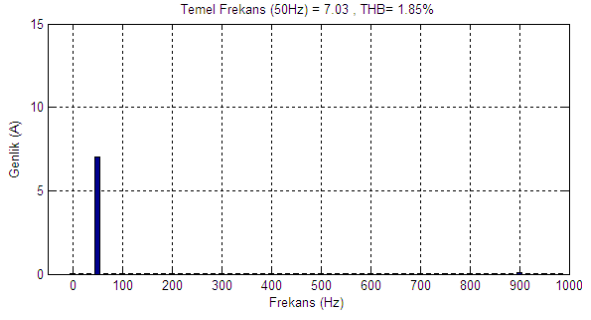
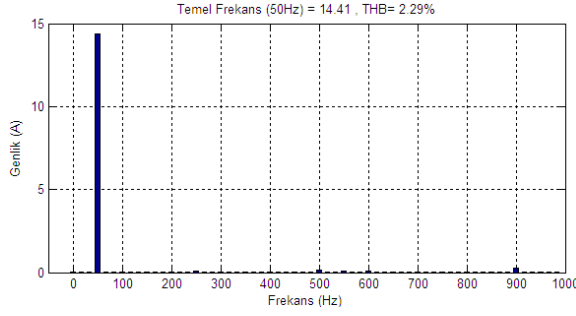
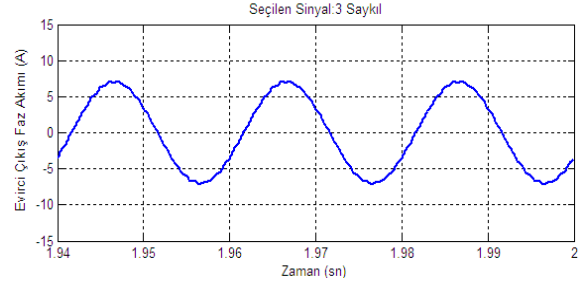
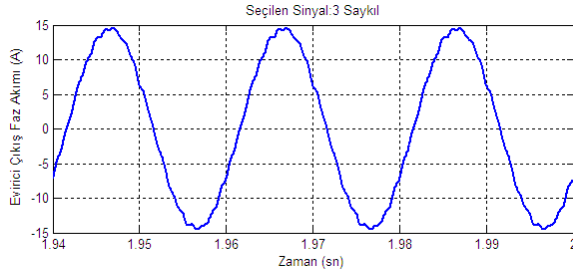
Şekil 6.31. a) Z kaynak eviricinin filtreli çıkış hat gerilimi ve harmonik spektrumu b) Gerilim kaynaklı eviricinin filtreli çıkış hat gerilimi ve harmonik spektrumu ($f_s=1$ kHz, $DG=0,2$)



a)

b)

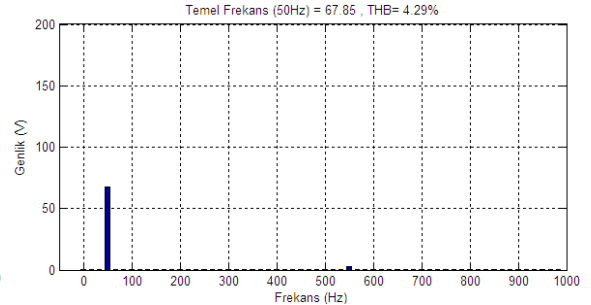
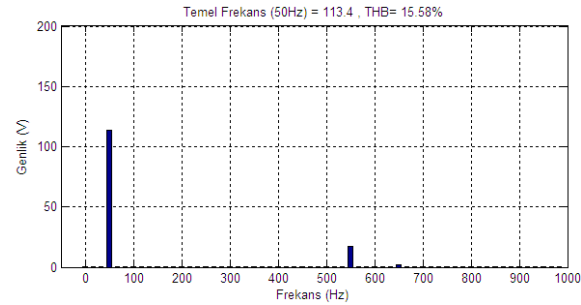
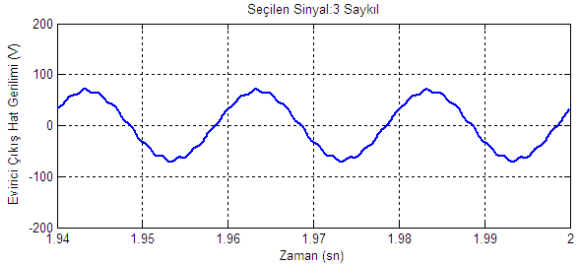
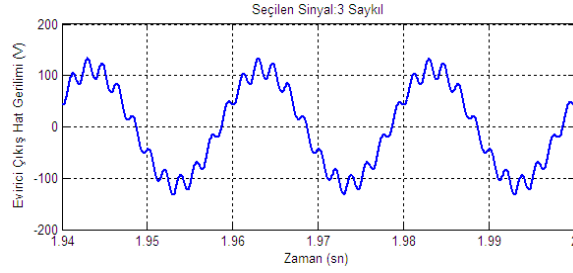
Şekil 6.32. a) Z kaynak eviricinin filtreli çıkış faz gerilimi ve harmonik spektrumu b) Gerilim kaynaklı eviricinin filtreli çıkış faz gerilimi ve harmonik spektrumu ($f_s=1$ kHz, $DG=0,2$)



a)

b)

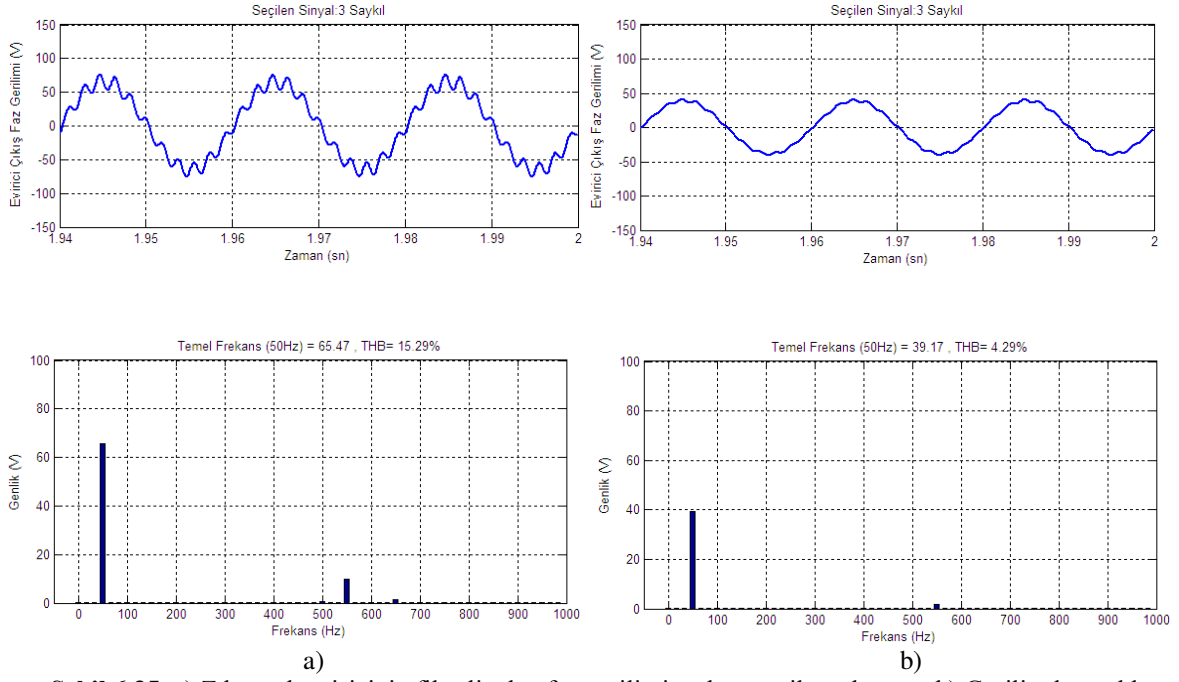
Şekil 6.33. a) Z kaynak eviricinin çıkış faz akımı ve harmonik spektrumu b) Gerilim kaynaklı eviricinin çıkış faz akımı ve harmonik spektrumu ($f_s=1$ kHz, $DG=0,2$)



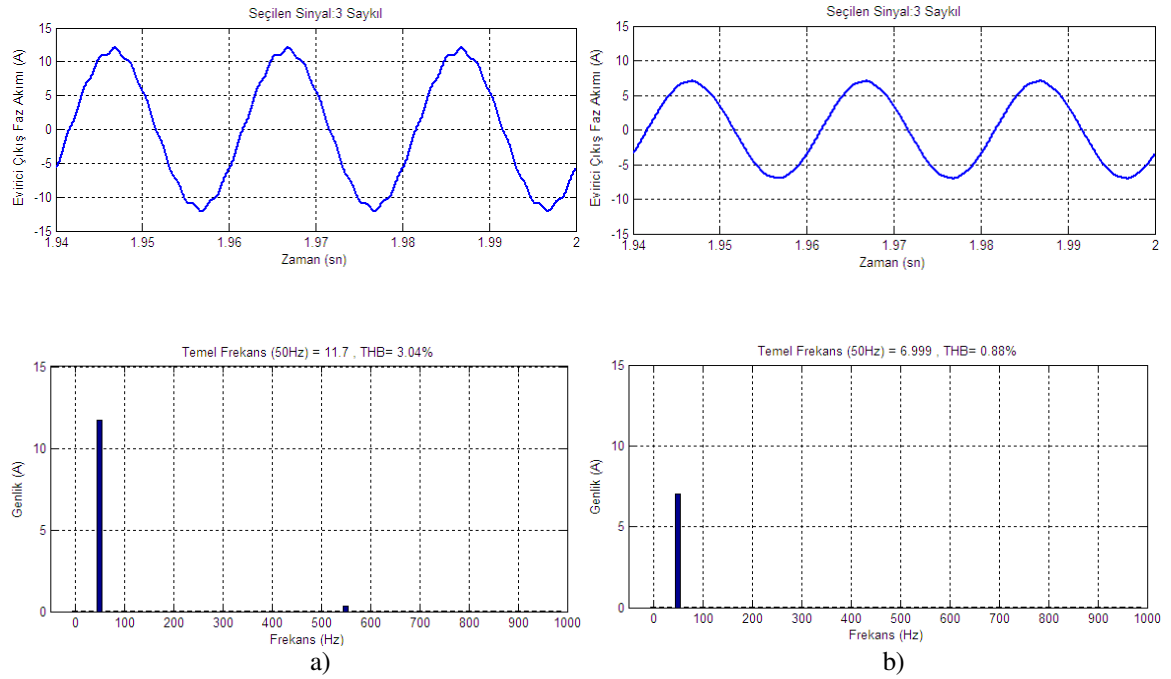
a)

b)

Şekil 6.34. a) Z kaynak eviricinin filtreli çıkış hat gerilimi ve harmonik spektrumu b) Gerilim kaynaklı eviricinin filtreli çıkış hat gerilimi ve harmonik spektrumu ($f_s=10$ kHz, $DG=0,2$)



Şekil 6.35. a) Z kaynak eviricinin filtreli çıkış faz gerilimi ve harmonik spektrumu b) Gerilim kaynaklı eviricinin filtreli çıkış faz gerilimi ve harmonik spektrumu ($f_s=10$ kHz, $DG=0,2$)



Şekil 6.36. a) Z kaynak eviricinin çıkış faz akımı ve harmonik spektrumu b) Gerilim kaynaklı eviricinin çıkış faz akımı ve harmonik spektrumu ($f_s=10$ kHz, $DG=0,2$)

Farklı anahtarlama frekanslarına göre yapılan analizlerde, filtreli çıkış hat gerilimi, filtreli çıkış faz gerilimi, faz akımı değerleri ve bunlara ait THB oranları üzerinde anahtarlama frekansının önemli bir etkisi vardır. Bu durum için yapılan testlerin sonuçları tablo 6.6’da görülmektedir. Elde edilen karşılaştırma sonucunda Z kaynak evirici de kullanılan kısa devre durumu sayesinde evirici çıkışı düşürücü veya yükseltici modunda çalıştığı, ancak gerilim kaynaklı eviricide ise sadece düşürücü modunda çalıştığı görülmektedir.

Tablo 6.6. Gerilim kaynaklı evirici ile Z kaynak evirici karşılaştırma sonuçları

DG	f_s	Filtreli hat gerilimi / THB		Filtreli faz gerilimi / THB		Faz Akımı / THB	
		Z kaynak	Gerilim kaynak	Z kaynak	Gerilim kaynak	Z kaynak	Gerilim kaynak
0,1	1KHz	92,26	68,13	53,27	39,34	9,518	7,03
		% 16,84	% 16,06	% 16,78	% 16,06	% 2,19	% 1,85
	2KHz	86,55	68,13	49,97	39,34	8,929	7,03
		% 3,97	% 3,06	% 3,99	% 3,01	% 0,66	% 0,24
	5KHz	84,73	68,05	48,91	39,27	8,74	7,017
		% 2,14	% 2,00	% 3,14	% 2,12	% 0,64	% 0,43
	10KHz	83,17	67,85	48,59	39,17	8,683	6,999
		% 10,32	% 4,29	% 10,11	% 4,29	% 2,04	% 0,88
	20KHz	79,57	67,33	45,94	38,87	8,209	6,946
		% 12,96	% 6,15	% 13,27	% 6,37	% 2,75	% 1,39
0,2	1KHz	139,6	68,13	80,62	39,34	14,41	7,03
		% 17,13	% 16,06	% 17,18	% 16,06	% 2,29	% 1,85
	2KHz	117,5	68,13	67,83	39,34	12,12	7,03
		% 3,49	% 3,06	% 3,44	% 3,01	% 0,57	% 0,24
	5KHz	112,5	68,05	64,91	39,27	11,6	7,017
		% 7,56	% 2,00	% 7,68	% 2,12	% 1,53	% 0,43
	10KHz	113,4	67,85	65,47	39,17	11,7	6,999
		% 15,58	% 4,29	% 15,29	% 4,29	% 3,04	% 0,88
	20KHz	111,3	67,33	64,25	38,87	11,48	6,946
		% 20,66	% 6,15	% 21,10	% 6,37	% 4,22	% 1,39

7. SONUÇ

Bu tez çalışmasında öncelikle eviricilerin, devre yapıları, çalışma prensipleri, darbe genişlik modülasyonu ve literatürde mevcut DGM çeşitleri hakkında bilgi verilmiştir. Bu çalışmada geleneksel akım ve gerilim kaynaklı eviricilerin neden olduğu sorunların üstesinden gelebilmek için, Z kaynak evirici olarak adlandırılan bir güç dönüştürücüsü ele alınarak, bu dönüştürücünün DC-AC güç dönüşümüne uygulanabilmektedir. Bu bilgilere dayanarak Z kaynak eviricinin devre yapısı, çalışma prensibi, eşdeğer devresi, devre analizi ve çıkış gerilimi elde edilmiştir.

Z kaynak evirici, geleneksel gerilim ve akım kaynaklı eviricilerde gözlemlenmeyen benzersiz özellikler sağlamaktadır. Bu yapıda tek tip bir empedans ağı mevcut olup, bu yapı ana devreyi güç kaynağına, yüke veya başka bir dönüştürücüye akuple etmektedir. Böylelikle sırasıyla kapasitans ve endüktans kullanılan geleneksel eviricilerde gözlenemeyen özgün bir nitelik kazanılmış olur. Z kaynak evirici, geleneksel dönüştürücülerin sahip olduğu, kavramsal ve teorik engellemelerin üstesinden gelerek, yeni bir güç çevrim konsepti sunmaktadır. Z kaynak eviricinin kontrolü geleneksel kontrol metodlarına dayalı olarak türetilmektedir.

Z kaynak evirici topolojisinde çıkış gerilimi evirici faz kollarında gerçekleştirilen kısa devre çalışma ile yükseltelebilmektedir. Bu çalışma şekli aslen geleneksel evirici yapılarında asla gerçekleştirilmemesi gereken bir durumdur. Bu yönüyle Z kaynak evirici, tek katlı güç çevrim yapısına sahip, daha az karmaşık ve düşük maliyetli bir devre yapısı olarak görülmelidir. Bunlara ek olarak, kısa devre çalışmanın da evirici yapısına zarar vermediği göz önüne alındığında daha güvenilir bir çalışma da söz konusudur. Geleneksel eviricilerde, DC giriş gerilimi yük ile değişmektedir. Z kaynak evirici ise, kısa devre çalışma durumunun kontrol edilmesi ile anahtarlama elemanlarının gerilim kapasitelerini zorlamamak kaydı ile istenilen çıkış gerilimini sağlanmaktadır.

Bir güç dönüştürücüsünde, AC çıkış geriliminin, giriş geriliminden bağımsız olarak “0” ile sonsuz arasında değişebilmesi, yalnızca Z kaynak eviricide sağlanabilen bir özelliktir. Böylelikle denilebilir ki, Z kaynak evirici, elde edilen gerilimin değer aralığının çok geniş olduğu bir yükseltici-düşürücü eviricidir. Geleneksel gerilim ve akım kaynaklı eviriciler bu özelliği sağlayamamaktadır.

Bu çalışmada, gerilim kaynaklı evirici ile Z kaynak evirici benzetimleri Matlab/Simulink programı kullanılmasıyla aynı çalışma koşulları altında karşılaştırmaları yapılarak sonuçları elde edilmiştir.

Benzetimde modellenen üç fazlı evirici sistemlerinin analizinde RL yükü kullanılmıştır. Evirici devrelerinin eşdeğer yük durumuna göre çıkışta sağlamış olduğu gerilim değerleri, akım değerleri ve bunlara ait toplam harmonik distordiyon farklı modülasyon indeksleri, anahtarlama frekansları ve darbe genişlik yönüyle incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda yapılan analizde modülasyon indeksleri, anahtarlama frekansları ve darbe genişliğinin evirici çıkış gerilim değerleri, akım değerleri ve bunlara ait toplam harmonik bozulma üzerinde önemli bir etki sağlamaktadır. Elde edilen karşılaştırma sonucunda Z kaynak evirici de kullanılan kısa devre durumu sayesinde evirici çıkışı düşürücü veya yükseltici modunda çalıştığı, ancak gerilim kaynaklı eviricide ise sadece düşürücü modunda çalıştığı görülmüştür.

Z kaynak eviricinin sağladığı avantajların yanı sıra, gerek çeşitli kontrol tekniklerinin denenebilmesine imkan vermesi, gerekse empedans ağında yapılabilecek tasarım değişikliklerine müsait olması nedeni ile sürekli olarak geliştirilmeye açık, uygulanabilir olması ve gelecekte kullanım alanının yaygınlaşması beklenen bir devre yapısı olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] **Elmas, B.**, 2006. Yüksek Frekans Anahtarlama Faz Kontrollü DC-AC İnvörtör, Elektronik ve Haberleşme Mühendisi, *Yüksek Lisans Tezi*.
- [2] **Çolak, İ., ve Kabalcı, E.**, 2008. Evirici Topolojileri ve Gelişimleri Üzerine Bir İnceleme, *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 26-30 Kasım, Bursa, 291-295.
- [3] **Küçük, N.**, 2007. Eviricilerin Harmonik Eliminasyonunda Optimum Anahtarlama Açılarının Genetik Algoritmalar İle Elde Edilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*.
- [4] **Peng, F. Z.**, 2003. Z-Source Inverter, *IEEE Trans. Ind. Applications*, **39**, 504- 510.
- [5] **Türk, B.E.**, 2008. Yakıt Pilleri İçin Empedans Kaynaklı İnvörter Tasarımı ve Bir Uygulama Devresinin Gerçekleştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*.
- [6] **Bharanikumar, R., Senthilkumar, R., Yazhini, A. C. and Nirmal K. A.**, 2008. Fpga Controller Based Z-Source Inverter For Wind Turbine Driven Permanent Magnet Generator, *Power System Technology and IEEE PowerIndia Conference*, 1-5.
- [7] **Shen, M., Wang, J., Joseph, A., Peng, F. Z., Tolbert, L. M. and Adams, D. J.**, 2006. Constant Boost Control of The Z-Source Inverter To Minimize Current Ripple And Voltage Stress, *IEEE Transactions Industrial Applications*, **42**, 770-778.
- [8] **Hart, D. W.**, 1997. Introduction to Power Electronics. Upper Saddle River, N.J., Prentice Hall.
- [9] **Rao, A., Lipo, T. A., and Julian, A.L.**, 1999. A Modified Single Phase Inverter Topology with Active Common Mode Voltage Cancellation, *Power Electronics Specialists Conference IEEE*.
- [10] **Gülgün, R.**, 1987. Güç Elektronikğine Giriş. Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları.
- [11] **Chatzakis, J., Kalaitzakis, K., and Voulgaris, N.C.**, 2001. A Bidirectional, Sinusoidal, High-Frequency Inverter Design, *IEEE Proc. Electr. Power Appl.*, **148**, 315-321.
- [12] **Bose, B. K.**, 2002. Modern Power Electronics and AC Drives. Prentice Hall Inc., USA.
- [13] **Rashid, M. H.**, 2001. Power Electronics Handbook. Academic Press, Florida USA.

- [14] **Nandhakumar, S., and Jeevananthan, S.,** 2007. Inverted Sine Carrier Pulse Width Modulation For Fundamental Fortification in DC-AC Converters, *IEEE Power Electronics and Drive- Systems*, 1028-1034.
- [15] **Naggar, K. and Abdelhamid, T. H.,** 2007. Selective Harmonic Elimination of New Family of Multilevel Inverters Using Genetic Algorithms, *Energy Conversion and Management, Elsevier*, **49**, 89-95.
- [16] **Azli, N. A. and Chong, Y. C.,** 2006. Analysis on the Performance of a Three- phase Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter, *IEEE 1st Intl. Power and Energy Conf. PE Con.*, 405-410.
- [17] **İsmail, B., Taib, S., and Isa, M.,** 2006. Development of a Single Phase SPWM Microcontroller-Based Inverter, *IEEE 1st Intl. Power and Energy Conf.*, 437-440.
- [18] **Ortaç, O.,** 2007. DA/AA Dönüştürücüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği, *Yüksek Lisans Tezi*.
- [19] **Chen, A., and He, X.,** 2006. Research on Hybrid-Clamped Multilevel- Inverter Topologies, *IEEE Trans. on Ind. Elec.*, **53**, 1898-1907.
- [20] **Başaran, Ç.,** 2007. Tek Fazlı Gerilim Kaynaklı İnvörtörlerin Çıkış Harmoniklerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*.
- [21] **Rashid, M.H.,** 2009. Power Electronics Handbook Devices, Circuits, and Applications. Third Edition.
- [22] **Peng, F. Z., Shen, M., and Kent, H.,** 2007. Application of Z-Source Inverter For Traction Drive of Fuel Cell, *IEEE Transactions Power Electronics*, **22**, 1054-1061.
- [23] **Peng, F. Z., Shen, M., and Qian, Z.,** 2005. Maximum Boost Control of The Z-Source Inverter, *IEEE Trans. Power Electron.*, **20**, 833–838.
- [24] **Shen, M., Wang, J., Joseph, A., Peng, F. Z., Tolbert, L. M., and Adams, D. J.,** 2004. Maximum ConstantBoost Control of The Z-Source Inveter, *IEEE/IAS*, Seattle, **1**, 142–147.
- [25] **Adams, D.J., Joseph A., Peng, F.Z., Shen, M., and Wang, J.,** 2005. Comparison of Traditional Inverters and Z Source Inverter, *Power Electronics Specialists, IEEE 36th Conference*, 1692-1698.
- [26] **Shen, M., Joseph, A., Wang, J., Peng, F.Z., and Adam, D.J.,** 2007. Comparison of Traditional Inverters and Z-Source Inverter for Fuel Cell Vehicles, *Power Electronics, IEEE Transactions on*, **22**, 1453-1463.

- [27] **Bakar, M.S., Rahim, N.A., and Ghazali, K.H.,** 2010. Analysis of Various PWM Controls on Single-Phase Z-Source Inverter, *Research and Development, IEEE Student Conference on*, 448-451.
- [28] **Loh, P.C., Vilathgamuwa, D. M., Lai, Y. S., Chua, G. T., and Li, Y.,** 2004. Pulse-Width Modulation of Z-Source Inverters, *Power Electronics, IEEE Transactions on*, **20**, 1346-1355.

ÖZGEÇMİŞ

Volkan KAYA

Erzincan Üniversitesi
Kemah Meslek Yüksekokulu
Bilgisayar Teknolojileri Bölümü
24100, Erzincan

Tel: 446 5112524-37016

vkaya@erzincan.edu.tr

- 1982** Erzincan’da doğdu.
- 1996-2001** Erzincan Fatih Anadolu Teknik Lisesinden mezun oldu.
- 2002-2007** Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümünden mezun oldu.
- 2009-** Erzincan Üniversitesi Kemah Meslek Yüksekokulunda Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.