

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE KULLANILAN 220V, 50 HZ, SABİT ÇIKIŞ
GÜCÜNDE, TEK FAZLI BİR EVİRİCİ TASARIMI**

Kiyong A KIYONG ERİC

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2013**

Her hakkı saklıdır

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

Tarih

Kiyong A KIYONG ERİC

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE KULLANILAN 220V, 50 Hz, SABİT ÇIKIŞ GÜCÜNDE, TEK FAZLI BİR EVİRİCİ TASARIMI

A. Kiyong Eric KIYONG

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Cüneyt BARLAK

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümü fotovoltaik paneller vasıtası ile gerçekleşmektedir. Bir fotovoltaik sistem genel olarak fotovoltaik panel, batarya, evirici ve transformatörden meydana gelmektedir.

Bu tez çalışmasında, tek fazlı bir evirici tasarımı ve bunun simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Tek fazlı evirici ile sabit güçle çalışan tek fazlı bir AA motoru sürülmektedir.

Bu tez çalışmasında, eviricinin çıkışından 220 Vrms etkin değerinde, 50 Hz'lik bir gerilim elde edilerek gerilimin toplam harmonik bozunum değerinin %10'un altında olması planlanmış ve gerçekleştirilmiştir. 220 Vrms 50 Hz'lik bir gerilim elde edilmesi için, DA-AA evirici giriş geriliminin fotovoltaik sistemdeki batarya bloğunun çıkış geriliminden daha yüksek bir DA gerilim seviyesine çıkarılması gerekmektedir. Bunun için, DA-AA eviricinin girişine yükselten tipte DA-DA dönüştürücü eklenmiştir. Bu sayede, fotovoltaik sisteminin çıkışında transformatör kullanma gerek kalmayacağı için, böylece fotovoltaik sisteminin kurulum ve bakım maliyetleri azaltılmaktadır.

Ocak 2014, 65 sayfa

Anahtar Kelimeler : Fotovoltaik sistemler, tek fazlı evirici, yükselten tipte DA-DA dönüştürücü.

ABSTRACT

Master Thesis

**DESIGN OF A 220V, 50HZ, SINGLE-PHASE INVERTER WITH CONSTANT
OUTPUT POWER FOR FOTOVOLTAIC SYSTEMS.**

A Kiyong Eric KIYONG

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical-Electronics Engineering

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Cüneyt BARLAK

Solar energy is one of the sources of renewable energy which takes conversion of solar energy to electrical energy through photovoltaic systems. In general a photovoltaic system is made of photovoltaic panels, batteries, inverter, and a transformer.

In this thesis, design and simulation of a single-phase inverter is performed. This single-phase inverter drives a single-phase AC motor.

In this thesis, A 220Vrms, 50 Hz AC voltage with a total harmonic distortion less than 10% is generated at the output of the inverter as it is planned. To obtain this voltage, the battery voltages in the photovoltaic system must be boosted. Because of that, a DC-DC boost converter is inserted at the input of the DC-AC inverter. By means of this, there is no need to use a transformer, which causes a decrease in the establishment and maintenance costs.

January 2014, 66 pages

Key Words: Photovoltaic systems, single-phase inverter, DC-DC boost-converter,

TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanması sırasında desteğini esirgemeyen sayın hocam Yrd.Doç. Dr. Cüneyt BARLAK'a, (Ankara Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı), Meral ÖZARSLAN, Güven GÜNGÖR, Osman DİKMEN, Asiye NARİNE, Canan PERDAHLI, Hibrahim KEMAL, Yusuf KENANOĞLU, Beytullah KINABAŐ, Seyit NURETTİN ARTIKSUER, Nefise KEKÇE, değerli rahmetli babama, sevgili anneme, kardeŐlerime, arkadaşlarıma ve yakından veya uzaktan yardım, teŐvik, dua edenlere teŐekkürü borç bilirim.

Kiyong A KİYONG ERİC

Ankara, Ocak 2014

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABRSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
KISALTIMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. SİSTEM BİLEŞENLERİ.....	3
2.1 DA-DA Dönüştürücüler.....	3
2.1.1 İsolesiz dönüştürücüler.....	3
2.1.1.1 Azaltan dönüştürücüler.....	3
2.1.1.2 Artıran dönüştürücüler.....	5
2.1.1.3 Azaltan-Artıran dönüştürücüler.....	8
2.1.1.4 Sepic dönüştürücüler.....	10
2.1.1.5 Cuk dönüştürücüler.....	11
2.1.2 İzoleli Dönüştürücüler.....	12
2.1.2.1 Çapraz dönüştürücüler.....	12
2.1.2.2 İtme-çekme dönüştürücüler.....	13
2.1.2.3 Yarım köprü dönüştürücüler.....	14
2.1.2.4 Tam köprü dönüştürücüler.....	14
2.1.3 Diğer dönüştürücüler.....	15
2.1.4 Çevirilerin karşılaştırılması.....	15
2.1.4.1 İzoleli çevirilerin avantajları ve olumsuzlukları.....	16
2.1.4.2 Azaltan ve artıran dönüştürücülerin karşılaştırılması.....	16
2.1.4.3 Azaltan ve artıran dönüştürücüler.....	17
2.2 Eviriciler.....	18
2.2.1 Gerilim kaynaklı eviriciler.....	19
2.2.1.1 Tek fazlı iki seviyeli gerilim kaynaklı eviriciler.....	20

2.2.1.2 Tek fazlı üç seviyeli gerilim kaynaklı eviriciler.....	21
2.2.2 Akım kaynaklı eviriciler.....	22
2.2.3 Çok seviyeli eviriciler.....	23
2.2.3.1 Diyot kenetlemeli çok seviyeli eviriciler.....	25
2.2.3.2 Kondansatör kenetlemeli çok seviyeli evirici.....	28
2.2.3.3 İzoleli DC kaynaklı kaskat bağlı çok seviyeli evirici.....	31
2.2.4 Çok seviyeli evirici tiplerinin karşılaştırılması.....	35
2.3 Filtreler.....	36
2.3.1 Düşük geçiş filtresi.....	37
2.3.1.1 Birinci dereceden transfer fonksiyonu ve kesme frekansı.....	37
2.3.1.2 İkinci derecede Pasif Düşük Geçiş filtresi transfer fonksiyonu ve kesme frekansı.....	38
2.4 Toplam Harmonik Bozunum.....	40
3. SİSTEMİN PERFORMANS PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ.....	41
3.1 DA-DA Yükseltici Dönüştürücü.....	41
3.2 Tek Fazlı Evirici.....	44
3.3 DA-DA Yükseltici Dönüştürücü ile DA-AA Tek Fazlı Eviricinin Birlikte Çalıştırılması.....	45
3.4 DA-DA Yükseltici dönüştürücü ve DA-AA tek fazlı bir eviricinin farklı filtrelerle çalıştırılması.....	47
3.4.1 Birincil Derece RC filtresi ile çalıştırılması.....	47
3.4.2 İkinci Derece LRC filtresi ile çalıştırılması.....	48
4. FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE KULLANILAN 220 V, 50 Hz, SABİT ÇIKIŞ GÜCÜNDE , TEK FAZLI EVİRİCİNİN TASARIMI VE BENZETİM ÇALIŞMALARI.....	50
4.1 Simülasyon Çalışmalarında Kullanılan Araç: Simulink.....	50
4.2 DA-DA Yükseltici Dönüştürücünün Simülasyonu.....	51
4.3 DA-AA Tek Fazlı Eviricinin Simülasyonu.....	53
4.4 DA-DA Yükseltici dönüştürücü ile DA-AA tek fazlı bir evirici için Fourier dönüşümleri ve Toplam Harmonik Bozulmalarının Dalga Şekilleri....	54

4.5 DA-DA Yükseltici dönüştürücü, DA-AA tek fazlı evirici ve 1. Derece RC filtreli tüm sistemin Fourier dönüşümleri ve toplam harmoniklerinin bozulmalarının dalga şekli.....	56
4.6 DA-DA Yükseltici dönüştürücü, DA-AA tek fazlı evirici ve 2. Derece RC-filtreli tüm sistemin Fourier dönüşümleri ve toplam harmoniklerinin bozulmalarının dalga şekli.....	58
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	61
KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	65

KISALTMA LİSTESİ

DA-DA	doğru akım-doğru akım
DA-AA	doğru akım- alternatif akım
UPS	kesintisiz güç kaynakları
SFC	Static Frequency Converter
THB	Toplam harmonik bozunum
PWM	Pulse width modulation
MPPT	Maximum power point tracking
PV	fotovoltaik
EMI/RFI	Electromagnetic Interference
GUI	Graphical User Interface

ŞEKİLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Azaltan dönüştürücü temel yapısı, akım ve gerilim dalga şekilleri.....	4
Şekil 2.2 Azaltan dönüştürücü çıkış DA seviyesinin D'ye göre değişimi.....	5
Şekil 2.3 Artıran dönüştürücü temel yapısı, akım ve gerilim dalga şekilleri.....	6
Şekil 2.4 Artıran dönüştürücü çıkış DA seviyesinin D'ye göre değişimi.....	7
Şekil 2.5 Azaltan-Artıran dönüştürücü çıkış DA seviyesinin D'ye göre değişimi.....	8
Şekil 2.6 Azaltan-Artıran dönüştürücü yapısı, akım ve gerilim dalga şekilleri.....	8
Şekil 2.7 SEPIC dönüştürücü temel yapısı, akım ve gerilim dalga şekilleri.....	10
Şekil 2.8 CUK dönüştürücü temel yapısı, akım ve gerilim dalga şekilleri.....	11
Şekil 2.9 Fly-back dönüştürücü.....	12
Şekil 2.10 İtme-çekme dönüştürücü.....	13
Şekil 2.11 Yarım köprü dönüştürücü.....	14
Şekil 2.12 Tam köprü dönüştürücü.....	15
Şekil 2.13 PV uygulamaları için azaltan ve artıran dönüştürücülerin verimi.....	18
Şekil 2.14 Gerilim kaynaklı evirici.....	19
Şekil 2.15.a. yarım köprü eviricinin basit bir şeması,b. yarım köprü eviricinin devre yapısı,c. çıkış gerilim dalga grafiği.....	20
Şekil 2.16.a.Tam köprü Eviricinin Basit Bir Şeması,b.Tam Köprü Devre Yapısı,c. Çıkış Gerilim Dalga şekli.....	21
Şekil 2.17 Akım kaynaklı Evirici.....	22
Şekil 2.18 Tek fazlı üç seviyeli diyot kenetlemeli çok seviyeli evirici.....	25
Şekil 2.19 tek fazlı n seviyeli diyot kenetlemeli çok seviyeli evirici yapısı.....	26
Şekil 2.20 Üç fazlı üç seviyeli diyot kenetlemeli çok seviyeli evirici.....	27
Şekil 2.21 Kondansatör kenetli çok seviyeli evirici.....	28
Şekil 2.22 Üç seviyeli kondansatör kenetlemeli çok seviyeli evirici.....	29
Şekil 2.23 Beş seviyeli evirici için kondansatör gerilimleri.....	30
Şekil 2.24 Tek fazlı n seviyeli kondansatör kenetlemeli çok seviyeli evirici yapısı.....	31
Şekil 2.25 tek fazlı üç seviyeli izoleli DA kaynaklı kaskat bağlı çok seviyeli evirici devre yapısı.....	32

Şekil 2.26.a. İki seviyeli izoleli DA kaynaklı kaskat bağlı evirici devre yapısı,b. tek fazlı izoleli DA kaynaklı kaskat bağlı evirici devre yapısı,c. üç fazlı üç seviyeli izoleli DA kaynaklı kaskat bağlı evirici devre yapısı.....	33
Şekil 2.27 Tek fazlı n seviyeli İzoleli DA kaynaklı kaskat Bağlı çok seviyeli evirici yapısı.....	34
Şekil 2.28 .a. İkinci dereceden Pasif Düşük Geçiş , b. İkinci Dereceden Aktif düşük geçiş filtrelerin örnekleri.....	37
Şekil.2.29 Pasif RC düşük geçiş filtre.....	37
Şekil 2.30 Birinci derece düşük geçiş filtrenin eğrileri.....	38
Şekil 2.31 İkinci dereceden Pasif Düşük Geçiş Transfer fonksiyonu şu şekilde hesaplanmaktadır.....	39
Şekil 2.32 İkinci derece düşük geçiş filtrenin eğrileri.....	40
Şekil 3.1 Simulink'te yükseltici dönüştürücünün devresi.....	42
Şekil 3.2 Simulink'te tam köprü tek fazlı evirici devresi.....	44
Şekil 3.3 Simulink'te : a.çıkış gerilimin iki seviyeli dalga şekili, b. çıkış gerilimin üç seviyeli dalga şekil.....	45
Şekil 3.4 Simulink'te yükseltici dönüştürücü +tam köprü tek fazlı evirici devresi.....	45
Şekil 3.5 Simulink'te : a.çıkış gerilimin iki seviyeli dalga şekili,b. çıkış gerilimin üç seviyeli dalga şekili.....	46
Şekil 3.6 Simulink'te yükseltici dönüştürücü +tam köprü tek fazlı evirici+ RC filtresi devresi.....	47
Şekil 3.7 Simulink'te yükseltici dönüştürücü +tam köprü tek fazlı evirici+ RLC filtre devresi.....	48
Şekil 4.1 Matlab'ta yükseltici dönüştürücünün çıkış gerilimi.....	51
Şekil 4.2 Matlab'ta yükseltici dönüştürücünün çıkış akım.....	52
Şekil 4.3 Matlab'ta yükseltici dönüştürücünün giriş akımı.....	52
Şekil 4.4 Matlab'ta eviricinin iki seviyeli (a) ve üç seviyeli (b) sinyali çıkış gerilimi.....	53
Şekil 4.5 Matlab'ta eviricinin iki seviyeli (a) ve üç seviyeli (b) $\cong 480$ AC çıkış gerilimi.....	54

Şekil 4.6 Yükseltici dönüştürücü (48-480) DA + tek fazlı bir evirici DA-AA (480VAA) iki seviyeli ve üç seviyeli sinyalinin Fourier dönüşümleri.....	54
Şekil 4.7 Yükseltici dönüştürücü + tek fazlı bir evirici iki seviyeli (a) ve üç seviyeli (b) sinyalinin Toplam Harmonik Bozulmaları.....	55
Şekil 4.8 Matlab'ta 1. Derece RC düşük filtrenin iki seviyeli sinyali ile çıkış gerilim...	56
Şekil 4.9 Matlab'ta 1. derece RC düşük filtrenin üç seviyeli sinyali ile çıkış gerilim...	56
Şekil 4.10 Matlab'ta 1. derece RC düşük filtrenin iki seviyeli sinyali (a_1)(b_1) ve üç seviyeli sinyali (a_2)(b_2) ile çıkış geriliminin tüm sistemin toplam harmonik bozulmaları ve Fourier dönüşümleri.....	57
Şekil 4.11 Matlab'ta 2. derece LRC düşük filtrenin iki seviyeli sinyali ile çıkış gerilimi.....	58
Şekil 4.12 Matlab'ta 2. Derece LRC düşük filtrenin üç seviyeli sinyali ile çıkış gerilimi.....	58
Şekil 4.13 Matlab'ta 2. derece düşük filtrenin iki seviyeli sinyali (a_1 , a_2) ve üç seviyeli sinyali (b_1 b_2) ile çıkış geriliminin toplam harmonik bozulmaları ve Fourier dönüşümleri.....	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Dönüştürücü seçimi.....	17
Çizelge 2.2 Tam köprü eviricilere ait anahtarlama durumları.....	22
Çizelge 2.3 Tek fazlı üç seviyeli diyot kenetlemeli çok seviyeli eviricinin anahtarlama durumları.....	25
Çizelge 2.4 Üç fazlı üç seviyeli diyot kenetlemeli çok seviyeli eviricinin anahtarlama durumları.....	27
Çizelge 2.5 Tek fazlı üç seviyeli kondansatör kenetlemeli çok seviyeli eviricinin anahtarlama durumları.....	28
Çizelge 2.6 Üç fazlı Üç seviyeli kondansatör kenetlemeli çok seviyeli eviricinin anahtarlama durumları.....	30
Çizelge 2.7 İzoleli DA kaynaklı kaskat bağlı çok seviyeli eviricinin anahtarlama durumları.....	33
Çizelge 2.8 Üç tip çok seviyeli eviricide kullanılan elemanların Karşılaştırılması.....	36
Çizelge 3.1 İki seviyeli sinyali anahtarlama durumu.....	46
Çizelge 3.2 Üç seviyeli sinyali anahtarlama durumu.....	47

1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı her geçen yıl artmaktadır. Çevre ve enerji açısından bakılacak olursa, yenilebilir enerji kaynaklarının önemi gün geçtikçe kazanmıştır. Güneş enerjisinin kullanımı da bunların içinde önemli bir ilgi ve çalışma alanı oluşturmaktadır. Fotovoltaik hücreler direk elektrik enerjisine dönüştürebilen bir teknolojidir. Genel olarak fotovoltaik sistemler, fotovoltaik paneller, DA-DA dönüştürücü, bataryalar, DA-AA eviriciler ve uygulamaya göre farklı çeşit yüklerden oluşmaktadır.

Güç elektroniğinde kullanılan devre elemanlarının anahtarlama hızındaki ve güç kapasitölerindeki artış, fotovoltaik sistemlerin kullanımının yaygınlaşmasında etkili olmuştur. Eviriciler, doğru akımı alternatif akıma çeviren “DA-AA dönüştürücü”lerdir. DA-AA eviricinin görevi, girişindeki bir doğru gerilimi, çıkışında istenen genlik ve frekansta simetrik bir alternatif gerilime dönüştürmektir. Fotovoltaik sistemin bir parçası olan DA-AA evirici tasarımı, bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Tasarlanan eviricinin çıkışındaki gerilimin sabit olduğunu kabul edilerek sabit bir güç ile çalışan bir yük için yapılmıştır. Eviricinin çıkışından 220 Vrms etkin değerinde, 50 Hz’lik bir gerilim elde edilmekte ve bu geriliminin toplam harmonik bozunumun(THB) değerinin %10’un altında olması elde etmeyi hedeflenmektedir.

Tez, beş bölümden oluşmaktadır. Tezin giriş bölümünde, tez çalışmasının amacını belirtilerek fotovoltaik sistemler hakkında bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde dönüştürücüler, eviriciler, filtreler ve toplam harmonik bozunumun genel teorisini anlatılarak tasarlanan evirici devresinde hangi çeşitlerinin kullanılacağı açıklanmıştır. Tek fazlı tam köprü montajlı evirici için kullanılacak devre elemanları DA-DA yükseltici dönüştürücü ile birinci ve ikinci dereceden alçak geçiren filtreler açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, Matlab ortamına geçmeden önce bütün devre elemanlarının değerlerinin nasıl hesaplandığını ve bu değerlerin seçimi açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, Matlab ortamında yapılan simülasyonların sonuçları anlatılmıştır.

Son bölümde, Matlab ortamında elde edilmiş sonuçları sunulmuş ve karşılaştırma yapılmıştır.

2. SİSTEM BİLEŞENLERİ

2.1 DA-DA Dönüştürücüler

Girişindeki DA bir seviyeyi başka bir DA seviyeye dönüştüren sistemlerdir. İdealde pasif elemanlar bulundurup enerji dönüşüm işlemini kayıpsız olarak yaparlar. Gerçekte ise verimleri %70 ile %95 arasında değişir (Erickson 1999).

DA-DA dönüştürücüler yapısal olarak izoleli ve izolesiz olmak üzere iki ana grupta incelenebilir. Her iki grupta da değişik güçlerdeki azaltan (buck) ve artıran (boost) ya da her iki işlemi birlikte yapan azaltan-artıran (buck-boost) yapıları görmek mümkündür.

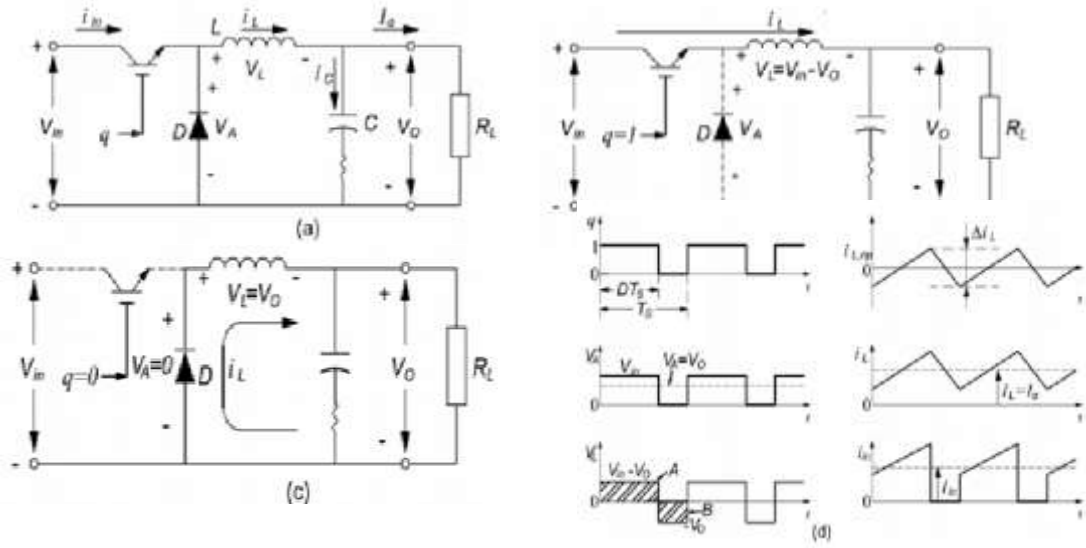
Çalışma koşullarına göre DA-DA dönüştürücüler sürekli kip (iki durumlu) ve kesintili kip (üç durumlu) olmak üzere iki çalışma kipinde çalışırlar. Azaltan, artıran ve azaltan-artıran dönüştürücünün endüktans değeri kritik değerden büyük olduğunda sürekli kip ve endüktans değeri kritik değerden küçük olduğunda kesintili kipte çalışırlar (Ho ve Lu 2000).

2.1.1 İzolesiz dönüştürücüler

İzolesiz dönüştürücüler grubunda temelde üç yapı vardır. Bunlar azaltan, artıran, azaltan-artıran olarak sıralanır. Ayrıca SEPIC ve CUK dönüştürücülerde azaltan artıran dönüştürücüler grubundadır.

2.1.1.1 Azaltan dönüştürücüler

Azaltan dönüştürücüler girişindeki gerilimden daha küçük gerilimi çıkışına aktarır. Şekil 2.1'de temel devre topolojisi ile anahtarın iletimde ve kesimde olduğu anlardaki devre değişkenlerine ait grafikler verilmiştir (Tadros vd. 1992).

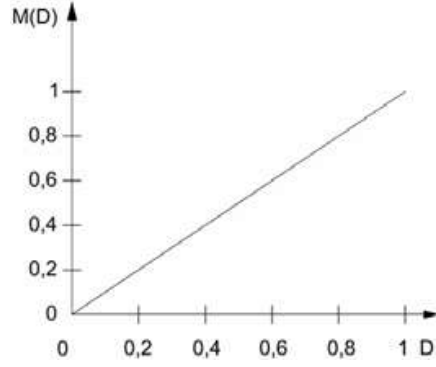


Şekil 2.1 Azaltan dönüştürücü temel yapısı, akım ve gerilim dalga şekilleri

a. Devre yapısı , b. Anahtar iletimde, c. Anahtar kesimde, d. Dalgaşekilleri

Azaltan dönüştürücüler izolesiz yapıdadırlar. Anahtarın iletimde olduğu anda i_L akımı L bobini üzerinden çıkışı besler. Ancak bu sırada geçen akımla orantılı olarak bobinde bir enerji depolanır. D diyotu ise ters polaritededir. Anahtar kesimde iken L bobini üzerindeki enerji yük ve D diyotu üzerinden devresini tamamlayacaktır. Böylece çıkışta enerji sürekliliği sağlanacaktır. Bobin depolama kondansatörüne göre çıkış akımı sürekli ya da süresiz formda olabilir. Devredeki C kondansatörü ise çıkış gerilimini süzme görevini üstlenir. Çıkış kondansatöründen çekilen akım küçüktür.

Ancak güç anahtarı bozulmalarında (kısa devre) girişteki yüksek gerilim seviyesi aynen çıkışta görülür. Bu da kritik yükler için tehlikeli olabilir. Kaynaktan darbeli akım çekerler. Çıkış gerilimi şekil 2.2’de gösterildiği gibi anahtarın iletimde ya da kesimde olma süresi ile doğrusal ilişkilidir (Erickson 1999).



Şekil 2.2 Azaltan dönüştürücü çıkış DA seviyesinin D'ye göre değişimi

D anahtar iletimde kalma süresinin periyot süresine oranı (duty cycle) olmak üzere Eş. 2.1- Eş. 2.6 yazılabilir(Tadros vd. 1992).

$$V_o = V_A = D \cdot V_{IN} \quad (2.1)$$

$$I_L = I_o = V_o / R \quad (2.2)$$

$$V_{IN} \cdot I_{IN} = V_o \cdot I_o \quad (2.3)$$

$$I_{IN} = D \cdot I_L = D \cdot I_o \quad (2.4)$$

$$i_c(t) = i_L \text{ Dalga}(t) \quad (2.5)$$

$$I_{L \text{ Kritik}} = \frac{V_{in}}{2 \cdot L \cdot f_s} D(1-D) \quad (2.6)$$

Verilen ifadelerde V_o : çıkış gerilim, V_{IN} : giriş gerilim, D: anahtar iletimde kalma süresinin periyot süresine oranı, I_L : bobin akımı, I_{IN} : giriş akımı, $i_c(t)$: kondansatörün zamana göre akımı, f_s : anahtarın frekansı, L: bobinin enduktansı, R : yük.

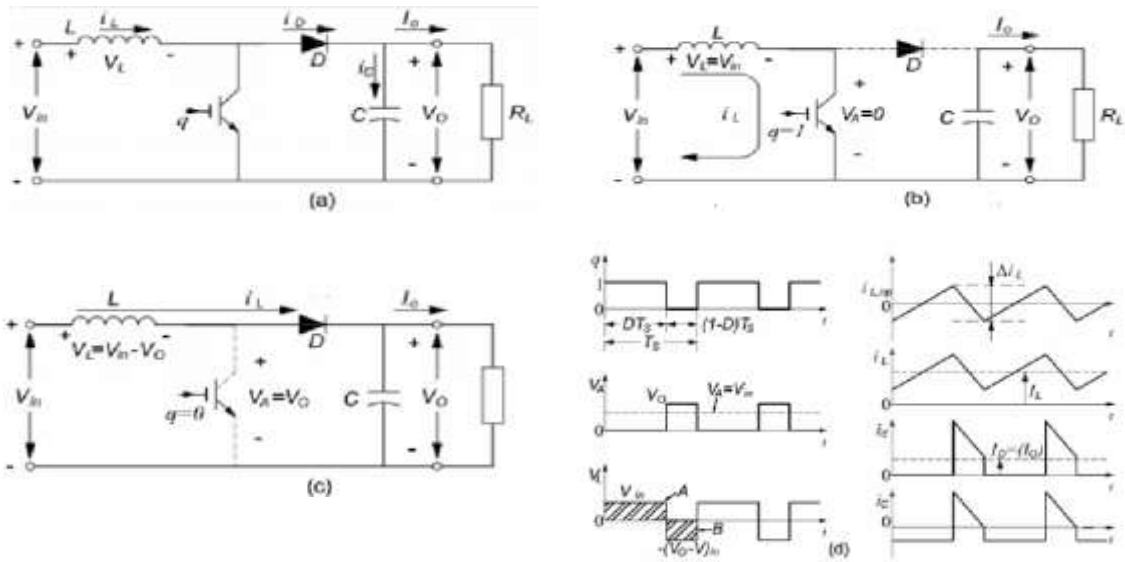
2.1.1.2 Artıran dönüştürücüler

Artıran dönüştürücüler giriş gerilimini çıkışa artırarak aktaran izolesiz yapılardır. Şekil 2.3'de temel devre topolojisi ile anahtarın iletimde ve kesimde olduğu anlardaki devre parametrelerine ait grafikler verilmiştir (Tadros vd. 1992). Anahtar iletime geçtiğinde

kaynak gerilimi bobin ve anahtar üzerinden devresini tamamlar. Bu sırada bobin üzerinde bir miktar enerji depolar.

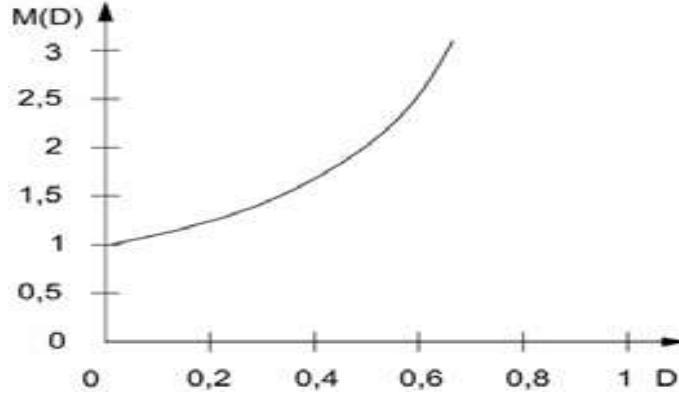
Bu sırada D diyotu ters polaritede olup, çıkıştaki yükü C kondansatörü besler. Kondansatörün akımı yüksek değerlerdedir. Anahtar kesime geçtiği anda kaynak gerilimi ile bobin üzerindeki gerilim toplamı bir gerilim çıkışta görülür.

Kaynaktan sürekli akım çekilir. Anahtar bozulmalarında (açık devre durumu) girişteki düşük gerilim seviyesi çıkışta görülür. Bu ise yükler için bir tehlike oluşturmaz.



Şekil 2.3 Artırıcı dönüştürücü temel yapısı, akım ve gerilim dalga şekilleri
a. Devre yapısı, b. Anahtar iletimde, c. Anahtar kesimde, d. Dalga şekilleri

Çıkış gerilimi ile giriş gerilimi arasındaki ilişkiyi gösteren grafik şekil 2.4'te verilmiştir (Erickson 1999).



Şekil 2.4 Artıran dönüştürücü çıkış DA seviyesinin D'ye göre değişimi

D anahtar iletimde kalma süresinin periyot süresine oranı olmak üzere Eş. 2.7- Eş. 2.12 yazılabilir (Tadros vd. 1992).

$$\frac{V_o}{V_{IN}} = \frac{1}{1-D} \quad (V_o > V_{IN}) \quad (2.7)$$

$$\Delta_{iL} = \frac{V_{IN}}{L} DT_s = \frac{V_o - V_{IN}}{L} (1 - D) T_s \quad (2.8)$$

$$V_{IN} \cdot I_{IN} = V_o \cdot I_o \quad (2.9)$$

$$I_L = I_{IN} = \frac{V_o}{V_{IN}} I_o = \frac{I_o}{1-D} = \frac{1}{1-D} \frac{V_o}{R} \quad (2.10)$$

$$i_c(t) = i_{D, Dalga}(t) = i_D - I_o \quad (2.11)$$

$$I_{L \text{ Kritik}} = \frac{V_{IN}}{2Lfs} D \quad (2.12)$$

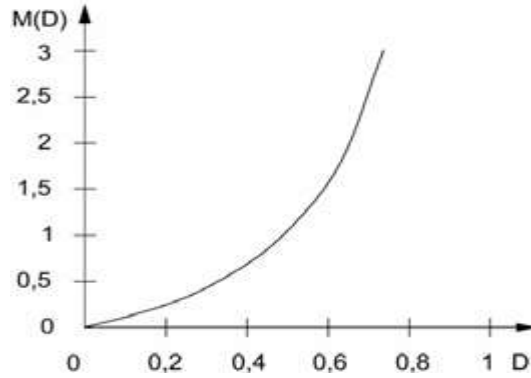
Verilen ifadelerde V_o : çıkış gerilim, V_{IN} : giriş gerilim, D : anahtar iletimde kalma süresinin periyot süresine oranı, I_L : bobin akımı, I_{IN} : giriş akımı, $i_c(t)$: kondansatörün zamana göre akımı, Δ_{iL} : çıkış ve giriş akımı arasındaki farkı, fs : anahtarın frekansı, L : bobinin enduktansı, R : yük .

Kaynaktan çekilen akımdaki dalgalanma bobinin değeri ile ilişkilidir. Arzu edilen küçüklükteki dalgacık uygun bobin değeri ile sağlanabilir.

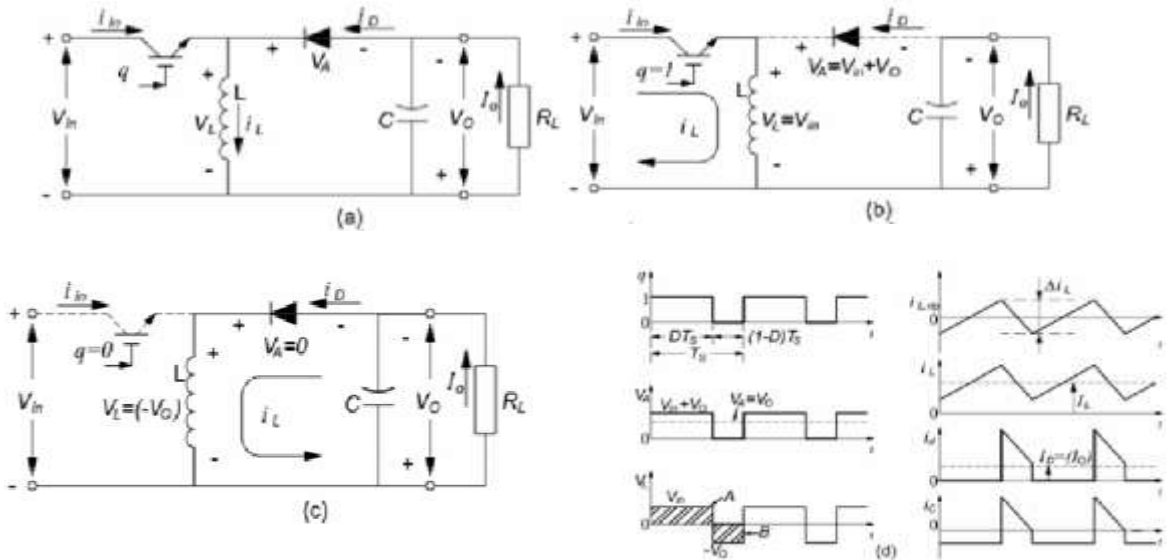
2.1.1.3 Azaltan-artıran dönüştürücüler

Azaltan ve artıran dönüştürücülerin işlevsel birlikteliğinden oluşur. Darbe genişlik oranının toplam periyoda oranı 0,5 değerinden küçük olduğu durumlarda azaltan dönüştürücü kipinde, 0,5 den büyük olduğu durumlarda ise artıran dönüştürücü kipinde çalışır.

Çıkış gerilimi ile giriş gerilimi arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 2.5’de verilmiştir (Erickson 1999).



Şekil 2.5 Azaltan-Artıran dönüştürücü çıkış DA seviyesinin D’ye göre değişimi



Şekil 2.6 Azaltan-Artıran dönüştürücü yapısı, akım ve gerilim dalga şekilleri
a. Devre yapısı b. Anahtar iletimde c. Anahtar kesimde c. Dalga şekilleri

Şekil 2.6’da temel devre topolojisi ile anahtarın iletimde ve kesimde olduğu anlardaki devre parametrelerine ait grafikler verilmiştir (Tadros vd. 1992). D anahtar iletimde kalma süresinin periyot süresine oranı D olmak üzere Eş. 2.13 – Eş. 2.20 yazılabilir (Tadros vd. 1992).

$$\frac{V_o}{V_{IN}} = \frac{D}{1-D} \quad (2.13)$$

$$\Delta_{iL} = \frac{V_{IN}}{L} DT_s = \frac{V_o - V_{IN}}{L} (1 - D) T_s \quad (2.14)$$

$$I_L = I_{IN} + I_o \quad (2.15)$$

$$V_{IN} \cdot I_{IN} = V_o \cdot I_o \quad (2.16)$$

$$I_{IN} = \frac{V_o}{V_{IN}} I_o = \frac{D}{1-D} I_o \quad (2.17)$$

$$I_L = I_{IN} + I_o = \frac{1}{1-D} I_o = \frac{1}{1-D} \frac{V_o}{R} \quad (2.18)$$

$$i_c(t) \cong i_{D,rip}(t) \quad (2.19)$$

$$I_{L \text{ Kritik}} = \frac{V_{IN}}{2Lf_s} D \quad (2.20)$$

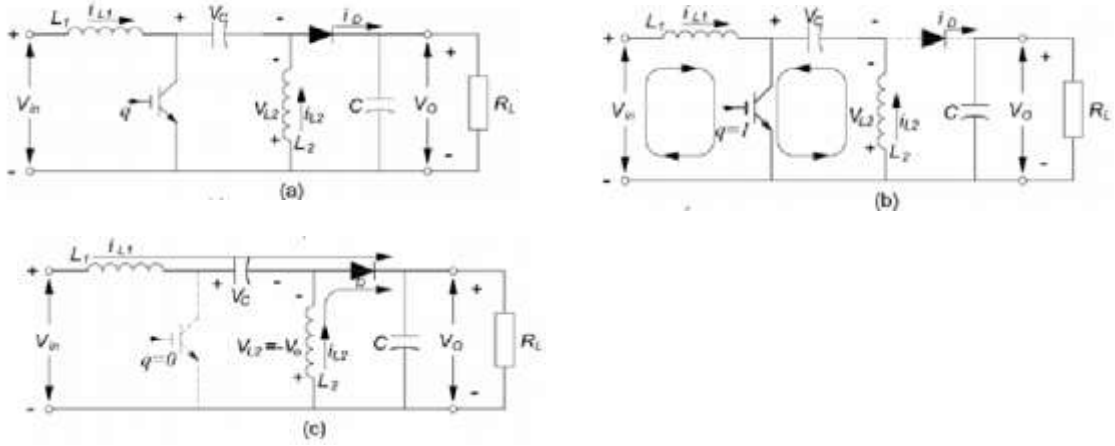
Verilen ifadelerde V_o : çıkış gerilim, V_{IN} : giriş gerilim, D: anahtar iletimde kalma süresinin periyot süresine oranı, I_L : bobin akımı, I_{IN} : giriş akımı, $i_c(t)$: kondansatörün zamana göre akımı, Δ_{iL} : çıkış ve giriş akımı arasındaki farkı, f_s : anahtarın frekansı, L: bobinin enduktansı, R: yük .

Azaltan artırıcı dönüştürücüler kaynaktan kesintili akım çeker. Ayrıca çıkış kondansatörü akımı yüksektir. Güç anahtarları bozulmalarında (kısa devre) girişteki yüksek gerilim seviyesi aynen çıkışta görülür. Buda kritik yükler için tehlikeli olabilmektedir.

2.1.1.4 SEPIC dönüştürücüler

Azaltan-artıran dönüştürücüler grubundadırlar. Darbe genişlik oranının toplam periyoda oranı 0,5 değerinden küçük olduğu durumlarda azaltan dönüştürücü kipinde, 0,5 den büyük olduğu durumlarda ise artıran dönüştürücü kipinde çalışır.

Şekil 2.7’de temel devre topolojisine ait grafikler verilmiştir (Tadros vd. 1992).



Şekil 2.7 SEPIC dönüştürücü temel yapısı, akım ve gerilim dalga şekilleri
a. Devre yapısı, b. Anahtar iletimde, c. Anahtar kesimde

Çıkış gerilimi ile giriş gerilimi arasındaki ilişki azaltan artıran dönüştürücüde olduğu gibidir. Giriş gerilimi ile çıkış gerilimi arasındaki ilişki Eş. 2.21- Eş. 2.22’de verilmiştir (Tadros vd. 1992).

$$D \cdot V_{IN} = (1-D) \cdot V_o \quad (2.21)$$

$$\frac{V_o}{V_{IN}} = \frac{D}{1-D} \quad (2.22)$$

Verilen ifadelerde V_o : çıkış gerilim, V_{IN} : giriş gerilim, D : anahtar iletimde kalma süresinin periyot süresine oranı,

2.1.1.5 Cuk dönüştürücüler

Azaltan-artıran dönüştürücüler grubundadırlar. Darbe genişlik oranının toplam periyoda oranı 0,5 değerinden küçük olduğu durumlarda azaltan dönüştürücü kipinde, 0,5 den büyük olduğu durumlarda ise artıran dönüştürücü kipinde çalışır.

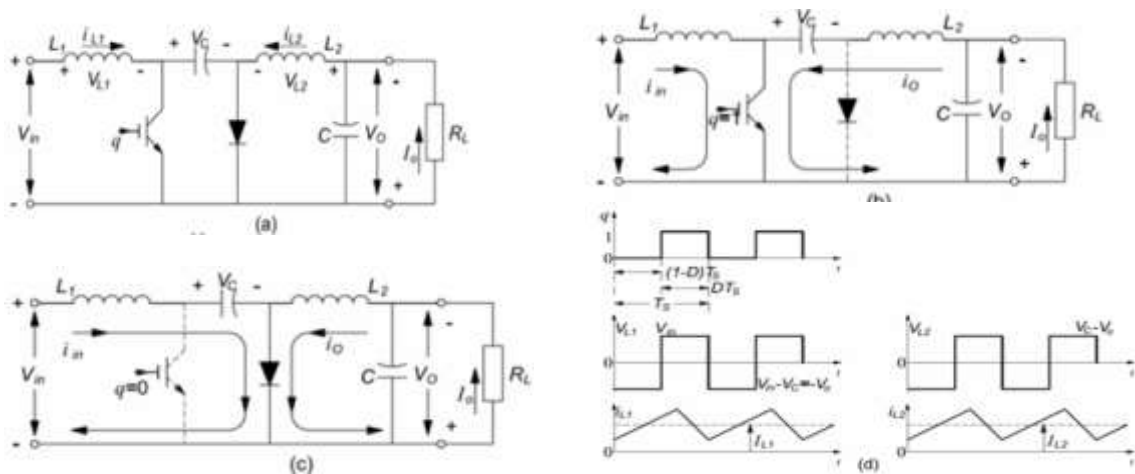
Şekil 2.8'de temel devre topolojisi ile anahtarın iletimde ve kesimde olduğu anlardaki devre parametrelerine ait grafikler verilmiştir. Çıkış gerilimi ile giriş gerilimi arasındaki ilişki azaltan-artıran dönüştürücüde olduğu gibidir. C1 kondansatörün yükü çıkışa aktarmada ana elemandır. Giriş gerilimi ile çıkış gerilimi arasındaki ilişki Eş. 2.23- Eş. 2.25 aşağıda verilmiştir (Tadros vd. 1992).

$$D \cdot I_o = (1-D) \cdot I_{IN} \quad (2.23)$$

$$\frac{I_{IN}}{I_o} = \frac{D}{1-D} \quad (2.24)$$

$$\frac{V_o}{V_{IN}} = \frac{D}{1-D} \quad (2.25)$$

Verilen ifadelerde V_o : çıkış gerilim, V_{IN} : giriş gerilim, D : anahtar iletimde kalma süresinin periyot süresine oranı, I_{IN} : giriş akımı, I_o : çıkış akımı.

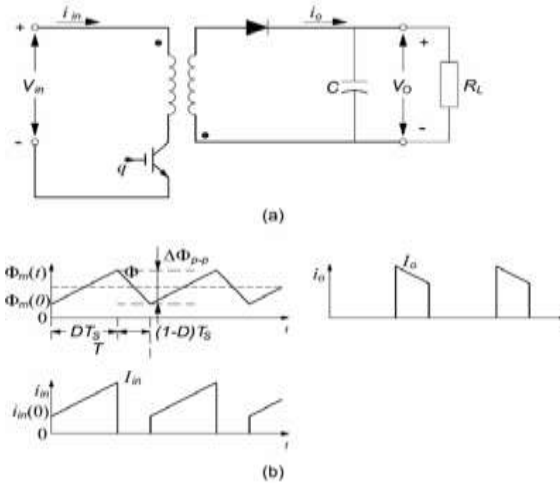


Şekil 2.8 Cuk dönüştürücü temelyapısı, akım ve gerilim dalga şekilleri
a . Devre yapısı, b. Anahtar iletimde, c. Anahtar kesimde, d. Dalga şekilleri

2.1.2 İzoleli dönüştürücüler

Elektriksel izolasyonun gerektiği ve/veya yüksek güçlerde giriş ile çıkış arasındaki dönüştürme oranının yüksek olduğu uygulamalar için kullanışlıdır. Ancak elektriksel izolasyon trafo gibi bir yapı gerektirdiğinden maliyet artışı nedeniyle elverişsizdir.

2.1.2.1 Çapraz (flyback) dönüştürücüler



Şekil 2.9 Fly-back dönüştürücü
a. devre yapısı b. dalga şekilleri

Şekil 2.9'da çapraz dönüştürücü devre topolojisi ile anahtarın iletimde ve kesimde olduğu anlardaki devre parametrelerine ait grafikler verilmiştir (Tadros vd. 1992). Bir veya birden çok izole çıkış gerektiğinde ve çıkışın kontrolü tek bir kanaldan yapılmak istendiğinde bu topoloji uygun bir seçimdir. Düşük güçlerde kullanışlıdır. Giriş gerilim bandı oldukça geniş olabilmektedir. Ancak güç anahtarı seçiminde giriş geriliminin 2 katından daha büyük gerilimde çalışabilen anahtar seçilmelidir. Çıkış sayısı isteğe bağlı olarak çoğaltılabilir. Bu durumda çıkışlardan bir tanesi kontrol devresinin geri besleme işareti olarak kullanılır.

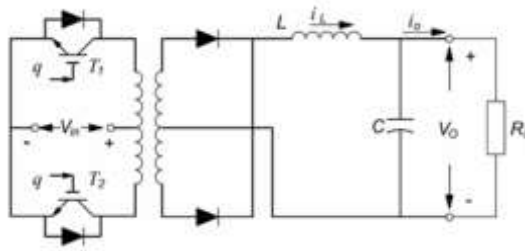
D, anahtarın iletimde kalma süresinin periyoda oranı olmak üzere giriş ve çıkış gerilimi için Eş. 2.26 yazılabilir (Tadros vd. 1992).

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{N_1}{N_2} * \frac{D}{1-D} \quad (2.26)$$

Verilen ifadelerde V_o : çıkış gerilim, V_{IN} : giriş gerilim, D : anahtar iletimde kalma süresinin periyot süresine oranı, N_2/N_1 katsayısı dışında azaltan-artıran dönüştürücülerle dönüştürme oranı ile aynıdır. Ayrıca çok kanallı yapılarda gerilim regülasyonu iyi değildir.

2.1.2.2 İtme-çekme (push/pull) dönüştürücüler

İzoleli dönüştürücüler grubundadırlar ve genellikle yüksek güçlerde kullanılırlar. Eş.2.20’de temel devre topolojisine ait grafikler verilmiştir (Peng vd. 1996).



Şekil 2.10 İtme-çekme dönüştürücü

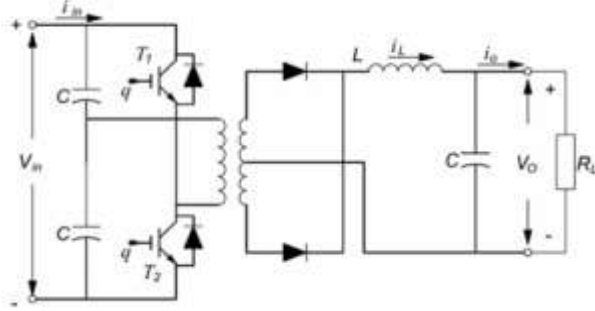
T1 ve T2 anahtarları sıralı olarak açılıp kapanır. Bu durumda sekonder tarafı anahtarlama frekansının iki katı bir çalışma frekansı ile çalışmış olur. İki anahtarın anahtarlama zamanları arasında ölü zaman bırakılmalıdır. Giriş ile çıkış arasındaki bağıntı Eş. 2.27 ile bulunabilir.

$$V_o = 2 \frac{D \cdot V_{in}}{N} \quad (2.27)$$

Simetri problemleri ile karşılaşılabilir. Uygun PWM denetimi ile bu sorun giderilebilir. Sürme devresi tasarımı güç anahtarları aynı referansı paylaştıklarından kolayca yapılabilir.

2.1.2.3 Yarım köprü (half bridge) dönüştürücüler

İtme/Çekme yapısıdır. T1 ve T2 anahtarları sıralı olarak açılıp kapanır. Kondansatörler giriş gerilimini ikiye böler. Eş. 2.11’de temel devre topolojisine ait şema verilmiştir (Tadros vd. 1992).



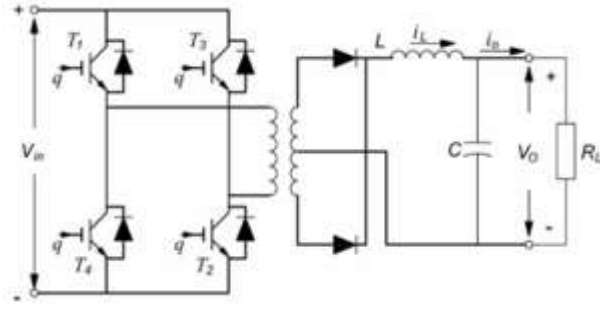
Şekil 2.11 Yarım köprü dönüştürücü

Anahtarların ortak referans noktaları yoktur. Bu yüzden sürme devresi için ayrı kaynaklara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca sürme esnasında kısa devreye mahal vermemek için asla iki anahtar aynı anda iletimde olmamalıdır. Giriş ile çıkış arasındaki bağıntı Eş. 2.28 ile bulunabilir.

$$V_o = \frac{D \cdot V_{in}}{N} \quad (2.28)$$

2.1.2.4 Tam köprü (full bridge) dönüştürücüler

İtme/Çekme yapısıdır. Birçok eleman içermesi sebebi ile küçük güçlerde kullanışlı değildir. T1, T2 ve T3, T4 anahtarları sıralı olarak açılıp kapanır. Şekil 2.12’de temel devre topolojisine ait şema verilmiştir (Tadros vd. 1992).



Şekil 2.12 Tam köprü dönüştürücü

Aynı koldaki anahtarlar aynı anda iletme sokulmamalıdır. Giriş ile çıkış arasındaki bağıntı Eş. 2.29 ile bulunabilir.

$$V_0 = \frac{2 \cdot D \cdot V_{in}}{N} \quad (2.29)$$

2.1.3 Diğer dönüştürücüler

DA-DA dönüştürücü topolojilerinden bazıları bölüm 2.1 ve 2.2’de açıklanmıştır.

Gerek yapısal farklılıklar gerekse anahtarlama tekniklerinin (sıfır akım ya da sıfır gerilim) farklılaşması ile birçok yapı ortaya çıkmaktadır. Bunlar;

- Tek ya da çift anahtarlı forward dönüştürücüler
- Çift anahtarlı Fly-back dönüştürücüler.
- Çiftli artırıcı (Double boost) dönüştürücüler.
- Sıfır akım ya da sıfır gerilim anahtarlama dönüştürücüler.

olarak sıralanabilir.

2.1.4 Dönüştürücülerin karşılaştırılması

Yukarıda birçok dönüştürücü topolojisine değinilmiştir. Güneş pillerinde kullanılacak topoloji seçiminde pil karakteristiği, kontrol kolaylığı, ebat, güvenilirlik ve sistem

maliyeti gibi parametreler sistem tipini belirleyen en önemli parametrelerdir. Ayrıca gerekli bileşenlerin düşük ebat, gerilim ve akımda olması kullanılabilirliğini artırmaktadır.

Çizelge 2.1’de dönüştürücü kiplerine ait özellikler verilmiştir (Tadros vd. 1992).

Ayrıca güvenli çalışabilme aralığının büyüklüğü, uygun elemanların temin edilebilme kolaylığı ve çevreye yaydıkları gürültü (EMI/RFI) seviyelerinin düşüklüğü dönüştürücülerin daha yaygın kullanılmasında çok önemli etkenlerdendir.

2.1.4.1 İzoleli dönüştürücülerin

İzoleli dönüştürücülerin avantajları

- Alıcı sistem açısından daha güvenilir yapılardır.
- Güç anahtarı bozulmalarında çıkışına enerji vermez.
- Yüksek güçlerde yapılabilirler.
- Dönüşürme oranları temelde transformatör yapısında olduğu gibi sarım

sayıları ile istenildiği gibi düzenlenebilir.

İzoleli dönüştürücülerin olumsuzlukları

- Aynı güç için ebatları dolayısı ile ağırlıkları daha fazladır.
- Kontrol devrelerinin daha fazla eleman içermesi ve trafo gerektirmesi sebebi ile daha pahalıdırlar.
- Verimleri daha düşüktür

2.1.4.2 İzolesiz dönüştürücüler

İzolesiz dönüştürücülerin avantajları

- Basit ve ucuzdurlar.
- Fazla eleman içermediklerinden kontrolleri kolaydır.
- Verimleri yüksektir.

İzolesiz dönüştürücülerin Olumsuzlukları

- Yüksek güçlerde kullanışlı değildir.
- Alıcı sistem ile arasında elektriksel yalıtım olmadığından güvenilirliği düşüktür.
- Teorik olarak istenilen dönüştürme oranlarında olabileceği düşünülse de çok yüksek dönüştürme oranlarında yapılamazlar.

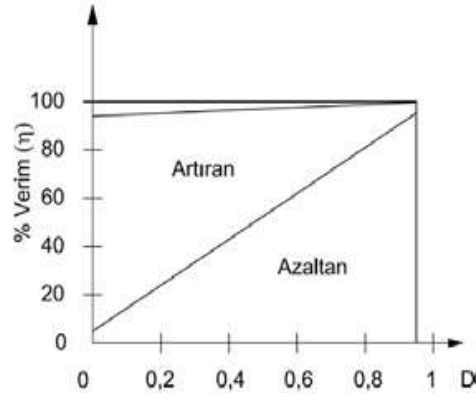
Çizelge 2.1 Dönüştürücü seçimi

Ölçüt	Azaltan	Arttıran	Azaltan-Arttıran
Anahtar gerilimi	V_{IN}	V_o	$(V_{IN}+ V_o)$
Anahtar akımı	I_o	I_{IN}	$(I_{IN}+ I_o)$
I_{RMS} Anahtar	$\bar{D}. I_o$	$\bar{D}. I_{IN}$	$\bar{D}(I_{IN}+ I_o)$
I_{AVG} Anahtar	$D. I_o$	$D. I_{IN}$	$D.(I_{IN}+ I_o)$
I_{AVG} Diyot	$(1-D) I_o$	$(1-D) I_{IN}$	$(1-D) (I_{IN}+ I_o)$
I_L	I_o	I_{IN}	$(I_{IN}+ I_o)$
L'nin C'ye etkisi	önemli	az	az
Darbeli akım	Giriş	Çıkış	Her ikisi

2.1.4.3 Azaltan ve arttıran dönüştürücüler

Azaltan ve arttıran izoleli veya izolesiz DA-DA dönüştürücülerinin tamamı PV enerji dönüşümünde kullanılabilir. Arttıran dönüştürücüler azaltan dönüştürücülere göre kaynaktan daha sürekli akım çekerler (Peng vd. 1996).

Sıradan güç kaynağı uygulamalarında azaltan dönüştürücüler yüksek verimli olsalar da, arttıran dönüştürücü sürekli akım kipinde çalışarak PV sistemlerden mümkün olan en fazla enerjiyi çekeceğinden, MPPT işlemi yapan dönüştürücüler dahil olmak üzere PV uygulamaları için daha elverişli ve azaltan dönüştürücülere göre daha verimlidirler (Mohan vd. 1989).



Şekil 2.13 PV uygulamaları için azaltan ve artırıcı dönüştürücülerin verimi

Şekil 2.13'de PV ile beslenen azaltan ve artırıcı dönüştürücülerin verim yönünden karşılaştırılmalarına ait benzetimi Pspice programında yapılmıştır. Azaltan dönüştürücü sadece darbe oranının %100'e yaklaştığı durumlarda daha verimli olabilmektedir. Bu bölgede ise darbe genişlik oranına bağlı olan denetlenebilir aralık oldukça kısıtlı kalmaktadır. Artırıcı dönüştürücülerin verim ve denetlenebilir aralık yönünden daha elverişli olduğu görülmektedir (Mohan vd. 1989).

2.2 Eviriciler

Eviriciler DA bir kaynaktan yüke değişken frekans ve AA kaynak sağlayan güç elektroniği devreleridir. Eviricilerin temelinde yatan istenen frekans ve genlikte alternatif gerilim sağlamak ve çıkışlarında düşük seviyeli harmonikler elde etmektir. Güç kalitesi için en büyük problem elektrik sistemlerindeki harmonik içerikleridir. Harmonikler genel olarak akım kaynaklı ve gerilim kaynaklı harmonikler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Bu harmonikler AC motor sürücü sistemlerinde güç kaybına, darbeli tork oluşumuna, mikroişlemcilerin hatalı çalışmasına, enerji iletim ve dağıtımında kayıplara, elektromanyetik sistemlerde titreşimlere sebep olur. Bu kayıpların önüne geçmek için eviriciler kullanılır. Bu harmonikler ya yüke bağlı ya kaynağa bağlı olarak meydana gelir.

Eviriciler endüstride endüksiyonla ısıtma sistemlerinde, AA gerilim regülatörlerinde, kesintisiz güç kaynaklarında (UPS), değişken hızlı asenkron motor sürücü devrelerinde kullanılmaktadır (Erickson 1999).

Eviricilerde; Transistor, Tristör, Mosfet, İGBT, GTO gibi anahtarlar kullanılır. Bu anahtarların Transistör ve Mosfet düşük ve orta güç uygulamalarında daha çok tercih edilir. Mosfet hızlı anahtarlama yapabildiğinden yüksek frekans uygulamalarında da kullanılır. Tristör ve GTO' lar büyük güçlerde kullanılır, bunlarında anahtarlama hızları oldukça düşüktür.

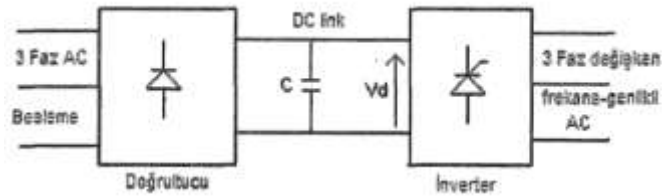
İGBT ise günümüzde en çok kullanılan anahtardır. Bu anahtar Mosfet ve Transistörün iyi karakteristik özelliklerini almıştır. Giriş kısmı Mosfet'e benzediği için gerilimle kontrol edilir. Bu nedenle Mosfet için kullanılan sürücü devresi bu eleman için de kullanılır.

Günümüzde ise neredeyse tüm eviricilerde İGBT anahtarı kullanılmaktadır. Evirici basitçe hem tek fazlı sistemlerde hem de üç fazlı sistemlerde kullanılabilirler ve bunlar besleme kaynaklarına göre ikiye ayrılırlar:

- Gerilim kaynaklı eviriciler (VSI);
- Akım kaynaklı Eviriciler(CSI).

2.2.1 Gerilim kaynaklı Eviriciler (VSI)

Eviricilerin %90 ı gerilim kaynaklı eviriciler oluştururlar. Gerilim kaynaklı eviricilerde kaynak, harmonik yüksek empedans gösteren bir özellik taşıyorsa bu büyük gerilim kaynaklı bir evirici ile sürmesi daha uygun olur. Şekil 14'de temel bir gerilim kaynaklı evirici devresi gösterilmektedir.

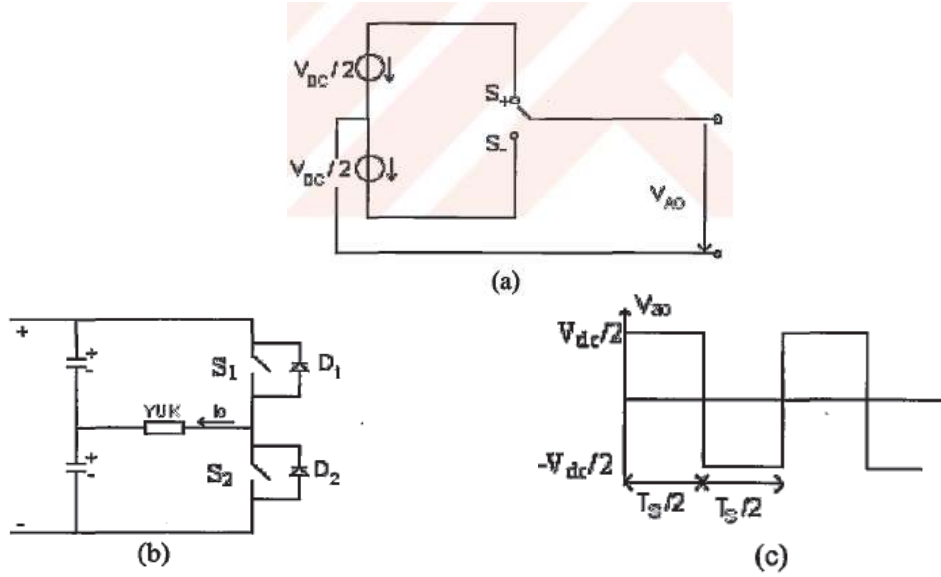


Şekil 2.14 Gerilim kaynaklı evirici

2.2.1.1 Tek fazlı iki seviyeli gerilim kaynaklı eviriciler

Tek fazlı yarım köprü topolojisi en basit evirici yapısıdır. Bu devre ile iki seviyeli kare dalga çıkışı üretilir. Bu tip bir topolojide orta uçlu gerilim kaynağı beslemesine ihtiyaç duyulur.

Orta ucu oluşturmak için basitçe seri yerleştirilmiş iki DC kaynak beraber kullanılır. İki seviyeli evirici devre şemaları ve çıkış gerilim dalga grafiği sırasıyla şekil 2.15.a,b,c'de gösterilmektedir (Tadros vd. 1992).



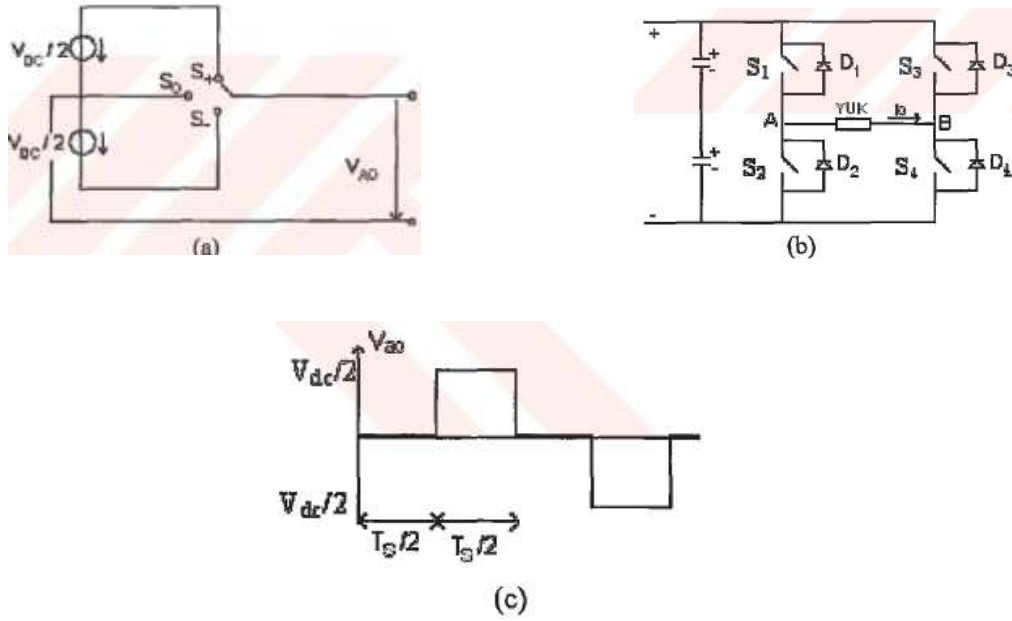
Şekil 2.15 a. yarım köprü eviriciin basit bir şeması, b. yarım köprü eviriciin devre yapısı, c. çıkış gerilim dalga grafiği

Tek fazlı yarım köprü eviricide yalnızca 2 anahtara ihtiyaç duyulur. Burada her iki anahtarın aynı anda kapatılmamasına dikkat edilmelidir.

S_1 kapalı – S_2 açık olduğu durumda yük gerilimi $V_{AO} = V_{DC}/2$, S_1 açık – S_2 kapalı olduğu durumda yük gerilimi $V_{AO} = -V_{DC}/2$ olur. Böylece bir periyotluk çalışma sağlanmış olur.

2.2.1.2 Tek fazlı üç seviyeli gerilim kaynaklı eviriciler

Tam köprü topolojisi, çıkışta üç seviyeli bir kara dalga çıkış gerilim dalga şeklini üretmede kullanılır. Bunu etmek için, iki seviyeli yapıya bir devre bacağı daha eklenir. Eviricinin devre şeması ve çıkış gerilim dalga grafiği şekil 2.16.a,b,c'de gösterilmektedir (Tadros vd. 1992).



Şekil 2.16 a. Tam köprü eviricinin basit bir şeması, b. Tam köprü devre yapısı, c. Çıkış gerilim dalga şekli

Tam köprü konfigürasyonda 4 anahtar ve diyot bulunmaktadır. Burada S_1 - S_4 kapalı, S_2 - S_3 açık iken A-B noktaları arasındaki gerilim $V_{AB}=+V_{DC}$, S_1 - S_4 açık, S_2 - S_3 kapalı iken $V_{AB}=-V_{DC}$ olur. Tam köprü eviricide 0 seviyesini üretmek için, S_1 - S_3 kapalı, S_2 - S_4 anahtarları açık konuma getirilir ya da bunun tam ters durum geçerli olur. Bu durum çizelge 2.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.2 Tam köprü eviricilere ait anahtarlama durumları

İletimdeki anahtarlar	Yük Gerilimi V_{AB}
S_1 - S_4 kapalı	$+V_{DC}$
S_2 - S_3 açık	$+V_{DC}$
S_1 - S_3 kapalı	0
S_2 - S_4 açık	0
S_1 - S_4 açık	$-V_{DC}$
S_2 - S_3 kapalı	$-V_{DC}$

Tek fazlı anahtarların iki tip kullanım alanı vardır

1. Statik Frekans Değiştiriciler (SFC)

Bunlar küçük iş yerlerinde, atölyelerde kullanılmaktadır.

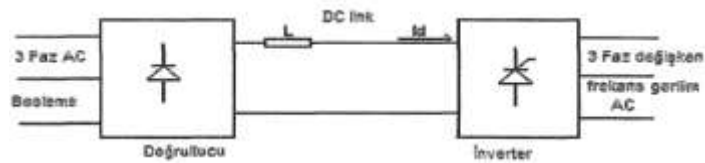
2. Kesintisiz Güç Kaynakları

Genellikle bilgisayarda kullanılmaktadır

n seviyeli bir evirici oluşturmak istiyorsak bu durumda kullanılan anahtar sayısı $2(n-1)$ tane, yardımcı anahtar sayısı $2(n-1)$ ve DC barada bulunan kondansatör sayısı $C=n-1$ tane olur.

2.2.2 Akım kaynaklı Eviriciler

Akım kaynaklı eviricide kaynak, akım kaynağıdır. Bunlar çok büyük güçlerde kullanılırlar. Eğer yükün harmonik akımlara düşük empedans gösteren bir özeliği varsa, bu yükün akım kaynaklı bir evirici ile sürülmesi daha uygun olacaktır. Temel bir akım kaynaklı evirici devre yapısı şekil.2.17’de gösterilmektedir.



Şekil 2.17 Akım kaynaklı evirici

2.2.3 Çok seviyeli eviriciler

Yarıiletken anahtarların anahtarlama problemleri ve bunların birbirlerine seri bağlanmalarıyla ortaya çıkan problemler nedeniyle yüksek güçlerde invertelerin kullanımını sınırlar. Ayrıca orta ve yüksek güç uygulamalarında büyük transformatörlerin kullanılmasıyla maliyet oldukça artmaktadır. Gerilim kaynaklı eviriciler için, çok seviyeli eviriciler yapısı geliştirilerek bu sınırlamaların önüne geçilmiştir. Literatürde ilk olarak, ayrı DC kaynaklı tam köprü yapılarını birbirlerine seri bağlayarak kaskat çok seviyeli evirici elde edilmiştir. Daha sonra diyot kenetlemeli çok seviyeli evirici yapısı 1983 yılında Bhagwat ve Stefanovic tarafından ortaya çıkarılmıştır (Wuidart 1992). Fakat gerilim seviye sayısı arttıkça bu evirici yapısı olan kondansatör kenetlemeli çok seviyeli evirici yapısı geliştirilmiştir. Böylece, günümüzde 3 çeşit seviyeli evirici yapısı kullanılmaktadır (Peng 1996)

1. Diyot kenetlemeli Çok Seviyeli Evirici (Neutral-Point Clamped Multilevel Evirici)
2. Kondansatör kenetlemeli Çok seviyeli Evirici (Flying-Capacitor Multilevel Evirici)
3. İzoleli DC kaynaklı kaskat bağlı çok seviyeli evirici (Multilevel Evirici Using Cascaded Eviricis with separated sourced).

Son zamanlarda, çok seviyeli eviricilerin kullanımında büyük bir artış gözlenmektedir. Çünkü, aynı anahtarlama frekansında birden fazla gerilim seviyesine ulaşıldığından çıkış gerilimindeki harmonikler oldukça azaltılabilmektedir (Ho ve Lu 2000).

Çok seviyeli eviriciler en büyük avantajı, anahtarlama frekansı artmadan yada evirici çıkış gerilmi azalmadan çıkış gerilim dalga şeklindeki harmonikler azalmasıdır. Çok seviyeli eviricilerde her bir seviye artışıyla beraber çıkış gerilim dalga şekli bir adım daha sinusoidal dalga şekline bezer .

Çok seviyeli eviriciler, minimum 3 seviyeden başlar ve seviye sonsuza ulaştığı zaman toplam harmonik bozulmaları sıfıra ulaşır. DC barada çok seviyenin kullanılmasıyla her bir anahtarlama elemanı üzerindeki stresde azalır. Aynı zamanda çok seviyeli dalga

şekli ile aynı anahtarlama frekansındaki iki seviyeli dalga şekli karşılaştırıldığında, çok seviyeli evirici dalga şeklinin daha az harmonik içerdiği görülür. Böylece istenilen çıkış gerilim dalga şekli;

- Daha az bozulma,
- Daha düşük anahtarlama frekansı,
- Yüksek verim,
- Az gerilim stresli elemanlarla çok seviyeli gerili olarak üretilebilir.

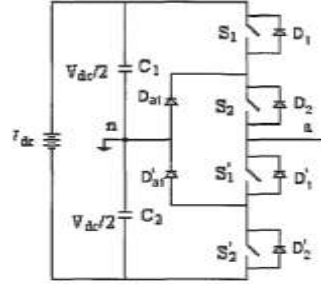
Seviye sayısına n denilirse; $n > 3$ için ve uygulamada aktif güç transferi olması durumunda,(örneğin motor sürücüleri) bu çok seviyeli eviriciler ya da izole edilmiş güç kaynağına yada karmaşık gerilim dengeli devreye ihtiyaç duyarlar. Ayrıca çok seviyeli eviriciler gerilim seviyesini kontrol eder ve korurlar.

Çok seviyeli eviricilerin özelliklerini birkaç başlık altında sıralayacak olursa;

- DC taraftaki yüksek gerilimler sadece bir anahtar tarafından tutulmak zorunda değildir. Gerilim, seçilen evirici tipine ve seviyesine göre bir grup anahtar tarafından tutulabilir. DC baranın seviye ye göre bölünmesiyle, anahtar tam köprü eviricideki anahtara göre daha küçük gerilim değerlerine maruz kalırlar.
- Seviye sayısı çok olduğu zaman harmonik içerikleri filtreye gereksinim olmayacak kadar küçük olur.
- Girişte çok küçük distorsiyonlu akımlar çekerler.
- Çok seviyeli eviricilerde hızlı dinamik cevap, çıkışta daha büyük gerilim seviyelerinde anahtarlama yapılarak elde edilebilir.
- Farklı DC gerilimler elde edilebileceğinden dolayı kontrol düzenekleri eviricinin uygulamasına bağlı olarak değişebilir.
- Çok seviyeli evirici; güç sistemleri, statik VAR düzenekleri, sürücü sistemleri, değirenler, pompalar, devre soğurtucuları vb uygulamalarda kullanım alanlarına sahiptirler.

2.2.3.1 Diyot kenetlemeli çok seviyeli eviriciler

İlk pratik diyot kenetlemeli evirici yapısı 1981 yılında Nabae tarafından gerçekleştirilmiştir ve günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Tek fazlı üç seviyeli diyot kenetlemeli eviricinin devre şeması şekil.18’te, anahtarlama durumları ise çizelge 2.3’de gösterilmiştir.



Şekil 2.18 Tek fazlı üç seviyeli diyot kenetlemeli çok seviyeli evirici

Kondansatörler DC gerilimi daha küçük gerilim seviyelerine böler. N seviyeli bir çıkış üretilebilmesi için DC bara üzerinde n-1 tane kondansatörün bulunması gerekmektedir.

Çizelge 2.3 Tek fazlı üç seviyeli diyot kenetlemeli çok seviyeli eviricinin anahtarlama durumları

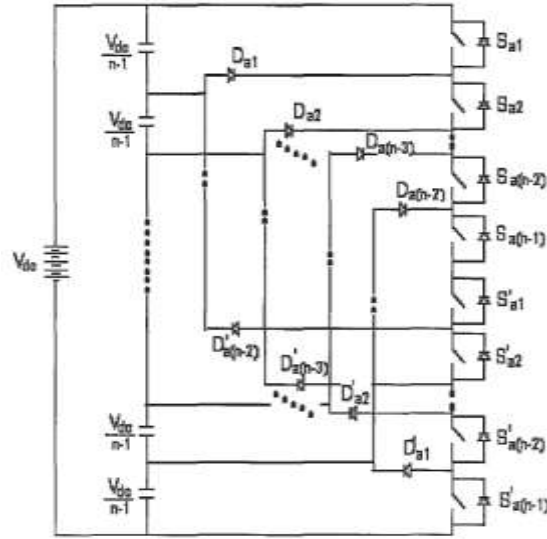
Çıkış gerilim	Anahtarlama durumları			
V_{ao}	S_1	S_2	S_1'	S_2'
$V_{dc}/2$	1	1	0	0
0	0	1	1	0
$-V_{dc}/2$	0	0	1	1

Çizelge 2.3’den görülebileceği gibi çıkışta $V_{dc}/2, 0$ ve $-V_{dc}/2$ gerilim seviyeleri elde edilmektedir. Burda S_1 ve S_2 iletimde olduğu durumda çıkış gerilimi $V_{dc}/2$, S_1' ve S_2 iletimde durmda çıkış gerilim 0 olur. Bu yapıyı klasik iki seviyeli eviriciden ayıran özellik kullanılan D_{a1} ve D_{a1}' diyotlarıdır (Mohan vd 1989). Bu diyotların görevi, anahtar gerilimini DC gerilimin yarısına ayarlamaktadır.

n seviyeli diyot kenetlemeli bir eviricinin tek bacağında şu özellikler gözlenebilir;

- Her çıkış gerilim seviyesi; anahtar durumlarının yalnızca bir kombinasyonu ile sağlanabilir, bu nedenle sabit durumda bazı anahtarların anahtarlama frekansları değerlerinden daha yüksek olabilir;
- Temelde her açık elektronik anahtar arasındaki gerilim $V_d/n-1$, ile sınırlar.
- Orta nokta üretimi için gereken kondansatör sayısı $N_{kap} = n-1$, anahtarlama diyotlarının sayısı da $N_{diyot} = 2(n-1)$ olarak hesaplanır.

Tek bir bacak için genel bir diyot kenetlemeli çok seviyeli evirici yapısı Şekil 2.19'da gösterilmiştir

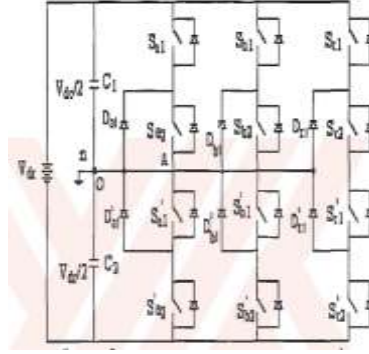


Şekil 2.19 tek fazlı n seviyeli diyot kenetlemeli çok seviyeli evirici yapısı

Burda $D_{a(n-2)}$ diyotu, (n-2) tane seri bağlı diyota ihtiyaç duyar. Çünkü bu diyot (n-2) tane kondansatör gerilimini tutar. Kondansatörler, seri kondansatörlerin gerilim dengesizliğinden oluşan aynı şarj ve deşarj akımını paylaşmazlar. Kondansatör gerilim dengesizliği, kondansatörlere paralel direnç bağlanmasıyla kontrol edilebilir.

Tek fazlı üç seviyeli evirici yapısına iki bacak daha eklenerek üç fazlı üç seviyeli diyot kenetlemeli çok seviyeli evirici yapısı Şekil 2.20 elde edilir. Merdiven şeklindeki gerilimi; 0 noktası çıkış gerilimi için frekans noktası olarak ele alınır. Şekil 2.20'de

gösterilen üç seviyeli evirici yapısı kullanılarak A ve O noktaları arasında 3 gerilim seviyesi üretilebilir. Çizelge 2.4'te faz gerilimleri ve bunlara ait anahtarlama durumları verilmektedir (Shen ve Maswood 2000).



Şekil 2.20 üç fazlı üç seviyeli diyot kenetlemeli çok seviyeli evirici

Çizelge 2.4 Üç fazlı üç seviyeli diyot kenetlemeli çok seviyeli eviricinin anahtarlama durumları

Çıkış gerilim	Anahtarlama durumları			
	S_{x1}	S_{x2}	S_{x1}'	S_{x2}'
V_{ao}				
$V_{dc}/2$	1	1	0	0
0	0	1	1	0
$-V_{dc}/2$	0	0	1	1

Her bir faz için gerekli olan kenetleme diyotların sayısı $(n-1).(n-2)$ olarak hesaplanabilir(Glasner ve Appelbaum 1996).

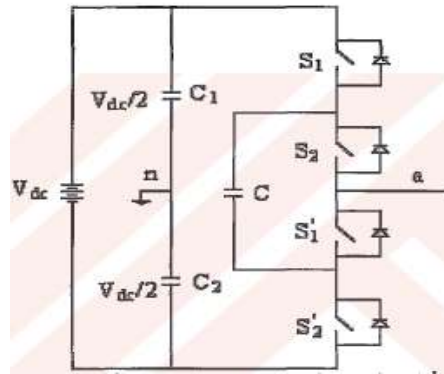
Klasik tam köprü eviricinin sadece iki seviyeli çıkış gerilimi olmasına rağmen, diyot kenetlemeli eviricinin çıkışları üç seviyelidir. Gerilim seviyesindeki artış aynı PWM anahtarlama frekansında çıkış gerilim harmoniklerini azaltır (Nakazawa ve Naitoh 1997). Bu devrede yapısı bazı dezavantajlara sahiptir. DC link geriliminde kondansatör bulunmasından bir gerilim dengesizliği problem görülür. Her faz için $(n-1).(n-2)$ tane kenetleme diyotunun kullanılması gerekir. Ayrıca aktif güç akışı kondansatörlerin dengesizliğinden dolayı zordur.

Bunun yanı sıra bu devrenin şu şekilde sıralayabiliriz; seviye arttıkça harmonik bozulma azalır, bütün fazlar aynı DC barayı paylaşır ve kontrol metodu daha sonra anlatılacak olan çok seviyeli evirici türlerine göre daha basittir, temel anahtarlama frekansında yüksek verime sahiptir.

2.2.3.2 Kondansatör kenetlemeli çok seviyeli evirici

Tek fazlı üç seviyeli eviricinin devre yapısı şekil. 2.21’de gösterilmektedir. İlk olarak 1992 yılında diyot kenetlemeli eviriciye bir alternatif olarak üretilmiştir. N seviyeli bir çıkış gerilimi üretebilmek için DC bara üzerinde n-1 tane kondansatörün bulunması gerekir.

Kondansatör kenetlemeli evirici yapısı; dalga şeklinin oluşmasında daha fazla esnekliğe ve kenetleme kondansatörleri tarafından gerilimin dengelenmesine izin verir (Rodriguez 2002).



Şekil 2.21 Kondansatör kenetli çok seviyeli evirici

Çizelge 2.5 Tek fazlı üç seviyeli kondansatör kenetlemeli çok seviyeli eviricinin anahtarlama durumları

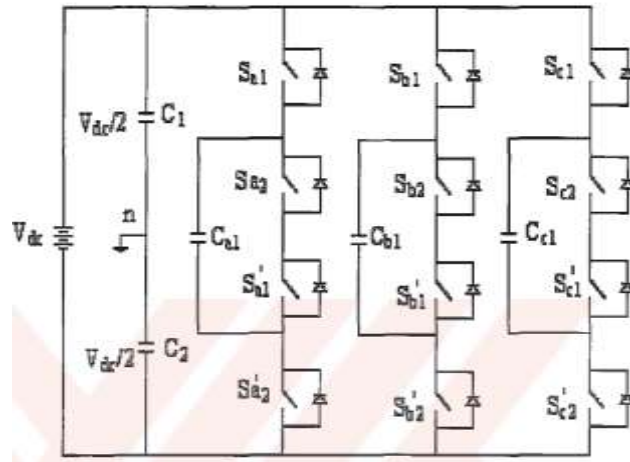
Çıkış gerilim	Anahtarlama durumları			
	S_1	S_2	S_1'	S_2'
$V_{dc}/2$	1	1	0	0
0	0	1	0	1
0	1	0	1	0
$-V_{dc}/2$	0	0	1	1

Burda S_1 ve S_2 iletimde olduğu durumda çıkış gerilimi $V_{dc}/2$, S_1' ve S_2' iletimde olduğu durumda çıkış gerilimi $-V_{dc}/2$, ($S_1 - S_1'$) veya ($S_2 - S_2'$) iletimde olduğu durumda ise çıkış gerilimi sıfır olur.

Kondansatör kenetlemeli çok seviyeli evirici de DC kısımdaki kondansatörlerin merdiven yapısını kullanılmaktadır. Bu kondansatörün gerilimleri bir sonraki kondansatör geriliminden farklıdır. İki kondansatör arasındaki gerilim artışının büyüklüğü çıkış gerilimindeki gerilim adımlarının büyüklüğünü tanımlar. Eviricinin her bir faz bacağı için aynı yapıda ayrı kondansatörler kullanılır (Divan vd 1994).

Bu çok seviyeli evirici tipi, bağımsız kondansatörlerin anahtar gerilimini bir kondansatör gerilimine kilitlemesinden dolayı “flying capacitor” olarak isimlendirilir. Şekil.9.'da yerleştirilen C_{a1} , C_{b1} , C_{c1} kondansatörleri devrenin denge kondansatörleridir. Bu denge/kenetleme kondansatörlerinin sayısı her bir faz başına $(n-1)*(n-2)/2$ ile tespit edilebilir.

Üç seviyeli kondansatör kenetlemeli evirici yapısı şekil 2.22'de ve anahtarlama durumları çizelge 2.6'da verilmektedir.



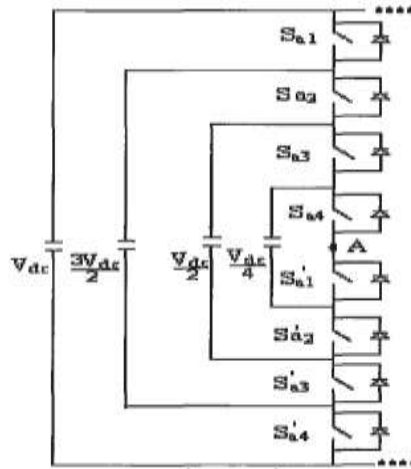
Şekil 2.22 Üç seviyeli kondansatör kenetlemeli çok seviyeli evirici

Çizelge 2.6 Üç fazlı Üç seviyeli kondansatör kenetlemeli çok seviyeli eviriciin anahtarlama durumları

Çıkış gerilim	Anahtarlama durumları			
	S_{x1}	S_{x2}	S_{x1}'	S_{x2}'
V_{ao}	S_{x1}	S_{x2}	S_{x1}'	S_{x2}'
$V_{dc}/2$	1	1	0	0
0	0	1	0	1
0	1	0	1	0
$-V_{dc}/2$	0	0	1	1

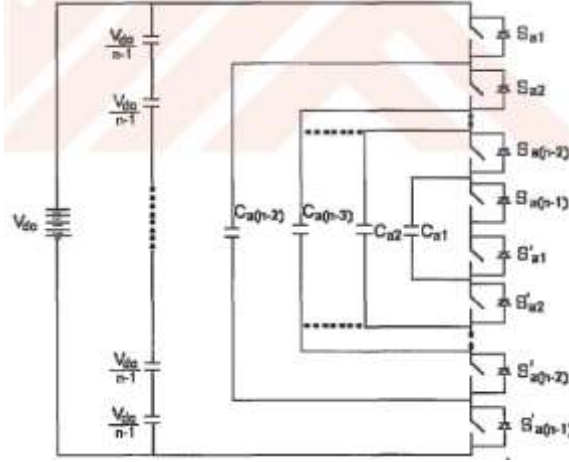
Kondansatör kenetlemeli evirici çıkış gerilimi iletme geçen anahtarların kombinasyonu ile üretilir. Böylece, kondansatör gerilimleri eklenerek ya da çıkarılarak çıkış gerilimi elde edilir (Divan vd. 1994).

Bunu kolay bir şekilde görebilmek için beş seviyeli eviricinin göz önüne alırsak, beş seviyeli evirici için her bir faz bacağında dört adet kondansatörün kullanılması gerekir. Bu kondansatörlerin gerimleri sırasıyla V_{dc} , $(3/4V_{dc})$, $(1/2V_{dc})$ ve $(1/4V_{dc})$ olur. Bu durum şekil.10'da gösterilmektedir. Beş seviyeli eviricide çıkış geriliminin oluşması diğer evirici tiplerine göre daha esneklik sağlar. Aynı gerilim seviyesini veren birkaç anahtarlama kombinasyonu vardır. Kondansatörlerin bazıları şarj olurken diğerleri deşarj olur. Doğru kondansatör kombinasyonları ile kondansatör şarjı dengelenir ve gerilimi kenetlemek için büyük hacimli kondansatörler gerekir. Beş seviyeli bir devrede çıkış geriliminin oluşturulması için 5 çeşit farklı anahtarlama kombinasyonu mevcuttur.



Şekil 2.23 Beş seviyeli evirici için kondansatör gerimleri

Kondansatör kenetlemeli çok seviyeli evirici için genel devre yapısı şekil.2.24'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.24 Tek fazlı n seviyeli kondansatör kenetlemeli çok seviyeli evirici yapısı

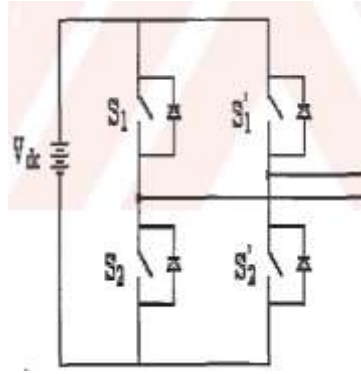
Bu devrenin en önemli avantajı, diyot kenetlemeli çok seviyeli eviricideki kenetleme diyot probleminin önüne geçmesidir. Ek olarak, bu topoloji ile elemanlar üzerindeki dv/dt stresleri azalır. n seviye sayısı arttıkça toplam harmonik bozulmaları azalır, aktif ve reaktif güç akışı kontrol edilebilir (Lai ve Peng 1996). Ayrıca farklı gerilim seviyelerini dengelemek için farklı anahtarlama kombinasyonları mevcuttur. Beş seviyeli kondansatör kenetlemeli evirici devresi göz önüne alındığında çıkış gerilimi oluşumunun kondansatör kenetlemeli eviriciye göre daha esnek olduğu. Gerilimi kenetlemek için büyük değerlikli kondansatörlere ihtiyaç duyulur. Bunun yanı sıra bu devre yapısının dezavantajlarını sıralayacak olursak; aktif güç iletimi için anahtar kullanımını ve verimi yetersizdir. Dc link kondansatörlerinin başlangıçtaki şarj kontrollü, tüm devrenin kontrolünü karmaşık hale getirir. Ayrıca diyot kenetlemeli eviriciye göre daha fazla kondansatör kullanıldığından daha hantal ve maliyeti daha yüksek olur.

2.2.3.3 İzoleli DC kaynaklı kaskat bağlı çok seviyeli evirici

İlk tek fazlı birbirine seri bağlı tam köprü evirici devre yapısı 1988 yılında gerçekleştirilmiştir. Bu devre yapısı üç fazlı sistemlere de uygulanmaya başlandı. Bu

evirici tipinin genel özellikleri daha önce anlatılan çok seviyeli evirici tipleriyle aynı olmasına rağmen bu yapıda fazladan kenetleme diyotları veya gerilim dengeleme kondansatörleri yoktur.

Bunların yerine gerilim seviyesine göre birbirinden bağımsız DC kaynaklar bulunur. Bu DC kaynaklar bataryalardan, güneş pillerinden ya da yakıt hücrelerinden elde edilir. Tek fazlı izoleli DC kaynaklı kaska bağlı çok seviyeli evirici yapısı Şekli.2.25’de gösterilmektedir.



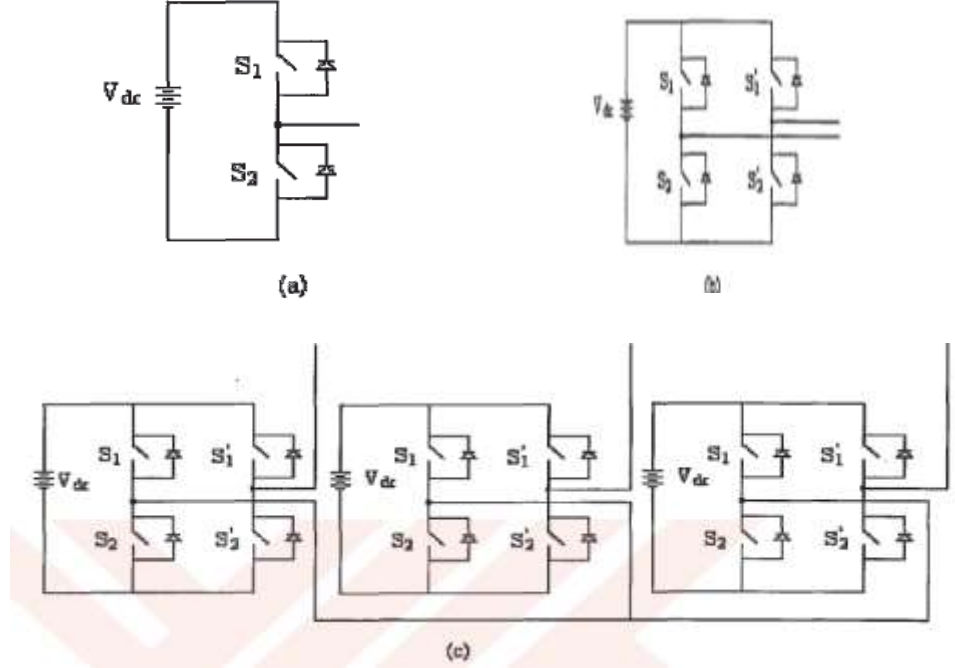
Şekil 2.25 Tek fazlı üç seviyeli izoleli DC kaynaklı kaska bağlı çok seviyeli evirici devre yapısı

H köprü devre yapısının en önemli avantajı, herhangi bir eleman eklenmeksizin çıkış gerilim seviyesinin artmasıdır. Tek gereken her bir H köprü yapısı için gereken izole edilmiş DA kaynaklardır. Diğer devrelerde olduğu gibi fazladan kenetleme diyotlarına ve kenetleme kondansatörlerine gerek olmadığından diğer devrelere göre daha avantajlıdır. Son zamanlarda bu yapı, AC güç kaynaklarında ve sürücü sistemlerinde sıkça kullanılmaktadır.

İzoleli DC kaynaklı kaska evirici için gerilim seviyesi en az 3 olabilir. Bunu elde etmek için de tam köprü evirici devresi kullanılır. Dört anahtarın farklı kombinasyonlarıyla ,her evirici üç farklı gerilim seviyesi üretebilir($+V_{dc}$, 0 , $-V_{dc}$).

Bu da S_1 , S_2 , S_1' ve S_2' anahtarlarının kombinasyonlarına bağlıdır. S_1 ve S_2 iletimde olduğu zaman $+V_{dc}$, S_1' ve S_2' iletimde olduğu zaman $-V_{dc}$ ve $(S_1$ ve $S_1')$ ya da $(S_2$ ve $S_2')$ iletimde olduğu zamanda 0 gerilim seviyesi elde edilir.

Üç fazlı üç seviyeli izoleli DC kaynaklı kaskat bağlı eviricinin yapısının gelişimi şekil.26.'da ve anahtarlama durumları çizelge 2.7'de verilmektedir.



Şekil 2.26.a. İki seviyeli izoleli DC kaynaklı kaskat bağlı evirici devre yapısı, b. tek fazlı izoleli DC kaynaklı kaskat bağlı evirici devre yapısı, c. üç fazlı üç seviyeli izoleli DC kaynaklı kaskat bağlı evirici devre yapısı

Çizelge 2.7 İzoleli DC kaynaklı kaskat bağlı çok seviyeli eviricinin anahtarlama durumları

Çıkış gerilim	Anahtarlama durumları			
	S_{x1}	S_{x2}	S_{x1}'	S_{x2}'
V_{ao}				
$V_{dc}/2$	1	0	0	1
0	1	0	1	0
0	0	1	0	1
$-V_{dc}/2$	0	1	1	0

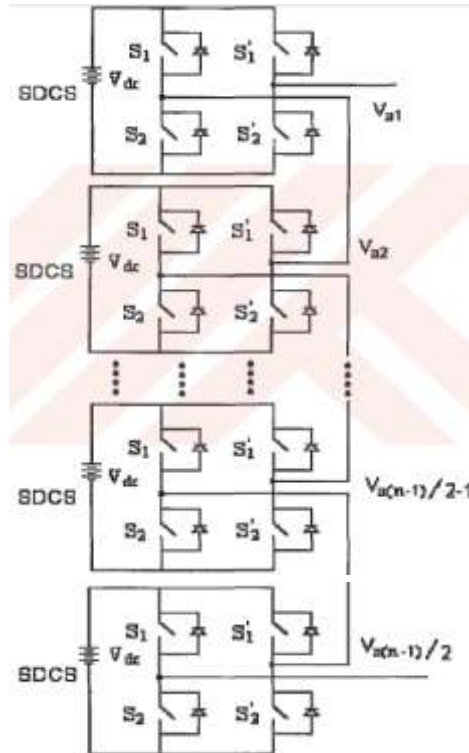
Bu devrenin en büyük dezavantajı izoleli DC kaynaklarının kullanılmasıdır. Bu durum devrenin uygulama alanını sınırlar. Ancak burada kenetleme diyotlarının ve gerilim dengeleme kondansatörlerinin olmaması ayrı bir avantajdır. Böylece devrede az sayıda eleman bulunur. Her bir fazın çıkış gerilimi o fazdaki köprü diyotların gerilimleri toplamı olduğundan iç gerilim seviyeleri için birden fazla anahtarlama durumu olabilir. Ayrıca

her bir tam köprü yapısı aynı olduğundan bu seri yapının tasarımı kolay ve kolayca paketlenip bir modül haline getirilebilir.

Aynı seviyeli değişik tam köprü evirici devrelerinin AC çıkışları seri bağlanır. Böylece sentezlenen çıkış gerilim dalga şekli evirici çıkışlarının toplamı olur. Bir n seviyeli kaskat bağlı evirici $N_h=(n-1)/2$ tane tek fazlı köprü eviriciden meydana gelir. Örneğin: 11 seviyeli istenirse, 5 tane SDCS (separated DC sources) ve 5 tane tam köprü eviricie gerek duyulur. Tek faz içinde çıkış gerilimi;

$$V_{an} = V_{a1} + V_{a2} + V_{a3} + V_{a4} + V_{a5} \text{ olur.}$$

3-fazlı sistem için çıkış gerilimi; faz çıkışları birbirine üçgen ya da yıldız bağlanarak elde edilebilir. Şekil 2.27’de çok seviyeli izoleleli DC kaynaklı kaskat bağlı eviriciin genel halı gösterilmektedir.



Şekil 2.27 Tek fazlı n seviyeli İzoleleli DC kaynaklı kaskat Bağlı çok seviyeli evirici yapısı

Bu devre yapısının avantajları; kenetleme diyotları ve dengeleme kondansatörleri olmadığından daha az eleman kullanılır. Her bir fazda çıkış gerilimi oluşturulurken H köprü hücreleri birbirine seri bağlandığından, farklı anahtarlama kombinasyonları gerçekleştirilebilir. Ayrıca her bir H köprü hücresi aynı yapıda olduğundan dolayı eviricinin dizaynı ve paketlenip modül haline getirilmesi oldukça basittir.

Devrenin dezavantajları ise; her bir H köprü hücresi için izoleli DA gerektiğinden sınırlı sayıda uygulama alanı vardır ve daha fazla anahtarın kullanılması gerekir.

2.2.4 Çok seviyeli evirici tiplerinin karşılaştırılması

Şimdiye kadar, Diyot kenetlemeli çok seviyeli evirici, kondansatör kenetlemeli çok seviyeli evirici ve izoleli DC kaynaklı Kaskat Bağlı Çok Seviyeli Evirici türlerin tek faz için genel devre yapıları ve üç seviyeli evirici devre yapılarından bahsedildi. Bu devre yapıları düşük gerilim elemanları kullanarak yüksek gerilim dalga şekilleri oluştururlar. Bu devre yapılarının her birinin her birinin gerilim seviyelerini oluşturmak için değişik mekanizmaları vardır. Ancak dikkat edilirse her devre yapısındaki temel anahtar sayısı eşittir.

Diyot kenetlemeli eviriciler, devre yapılarına göre en az kondansatöre sahiptir, ancak bunun yanında ek olarak kenetleme diyotları vardır.

Kondansatör kenetlemeli çok seviyeli evirici, en fazla kondansatör sayısına sahiptir, ancak kenetleme diyotları ihtiyacı duymazlar.

İzoleli DA kaynaklı kaskat eviricilerde ise, gerilim kaynağının izolasyonu için transformatörlere ihtiyaç duyulur. Ancak bunlar kondansatör kenetlemeli eviriciler gibi kenetleme diyotlarına ihtiyaç duymaz (Lai ve Peng 1996). Çizelge 2.8'de üç tip eviricinin tek bir bacaklarında elemanların sayısı verilmektedir. Burada n gerilim seviyesidir;

Çizelge 2.8 Üç tip çok seviyeli eviricide kullanılan elemanların karşılaştırılması

Evirici tipi	Diyot kenetlemeli	Kondansatör kenetlemeli	Kaskat evirici
Temel anahtarlar	$2(n-1)$	$2(n-1)$	$2(n-1)$
Temel diyotlar	$2(n-1)$	$2(n-1)$	$2(n-1)$
Kenetleme diyotları	$(n-1)(n-2)$	0	0
Dengeleme kondansatörleri	0	$(n-1)(n-2)/2$	0
DC baradaki kondansatörler	$(n-1)$	$(n-1)$	$(n-1)/2$

2.3 Filtreler

Bir filtre belirli frekanslarda veya başkalarının geçişini engelleyen frekans aralıklarında elektrik sinyalleri geçen bir cihazdır. Filtre devresi geniş bir çeşitli uygulama alanına sahip olmaktadır. Haberleşme alanında bant- geçişli filtreler modem ve ses işleme için ses frekans aralığı (0 KHz ile 20KHz arasında) kullanılmaktadır. Yüksek frekanslı bant geçiren filtreler (birkaç yüz MHz) telefon merkezi ofislerde kanal seçimi için kullanılır.

Yüksek frekanslarda (> 1 MHz), bu filtreleri her genellikle pasif elemanlardan oluşur endüktans (L), dirençleri (R) ve kondansatörler (C) gibi. Daha sonra filtreler LRC denir. Düşük bir frekans aralığında (1 Hz ile 1 MHz), ancak, indüktör değeri çok büyük olur ve bobin kendisi ekonomik üretim zorlaştırır, bu durumda aktif filtrelerin kullanılmakta çok büyük bir fayda var.

Aktif filtreler düşük frekanslarda bir LRC benzeri filtre performansı sağlamak için bazı direnç ve kondansatörler ile birlikte aktif aygıt olarak işlevsel kuvvetlendirici (op-amp) kullanımın devreleri şekil 2.28’de gösterilmektedir.



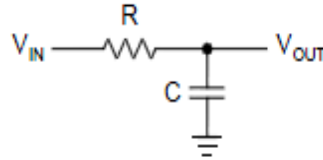
Şekil 2.28.a. İkinci dereceden Pasif Düşük Geçiş, b. İkinci Dereceden Aktif düşük geçiş filtrelerin örnekleri

Bu nokta birinci RC derece ve LRC ikinci derece pasif düşük filtrelerinden bahsedilecek çünkü çalışmada bunu kullanmayı tercih edilmiştir.

2.3.1 Düşük geçiş filtre temelleri

2.3.1.1 Birinci dereceden transfer fonksiyonu ve kesme frekansı (Guy ve Daniel 2006)

En basit, düşük geçiş filtresi Şekil.2.29 gösterilen Pasif RC düşük geçişli bir ağıdır.



Şekil 2.29 Pasif RC düşük geçiş filtre

Şekil 2.29 daki devrenin transfer fonksiyonu $A(s)$, ise

$$A(s) = \frac{1}{s + 1/RC} = \frac{1}{1 + s*RC}, \quad (2.30)$$

s karmaşık sıklık değişkeni, $s = j\omega + \sigma$, herhangi bir zamanda değişken sinyalleri sağlar. Saf sinüs dalgaları için, sönüm sabiti, σ , sıfır ve $s = j\omega$ olur. bir normalize edilmiş Transfer fonksiyonu için,

$$s = \frac{S}{\omega_0} = \frac{j\omega}{\omega_0} = \frac{jf}{f_0} = jx, \quad \omega = 2\pi * f$$

filtrenin kesme frekansı ile ,

$$f_0 = \frac{1}{2\pi * RC} \quad (2.31)$$

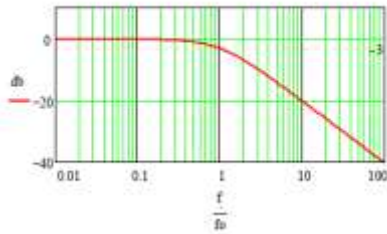
$s = s * RC$ ile tranfer foknsyonu ,

$$A(s) = \frac{1}{1+s} = A(s) = \frac{1}{1+j(\frac{f}{f_0})} \quad (2.32)$$

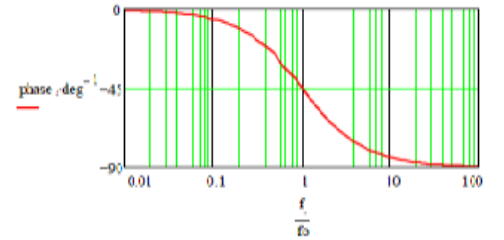
olmaktadır.

Kazanç büyüklüğünün değeri,

$$|A| = \frac{1}{1+x^2} \quad (2.33)$$



(a)



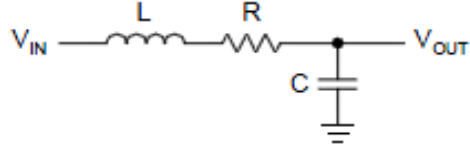
(b)

Şekil 2.30 birinci derece düşük geçiş filtrenin eğrileri

a. kazanç , b. Faz değişimi

2.3.1.2 İkinci derecede Pasif Düşük Geçiş filtresi transfer fonksyonu ve kesme frekansı

Şekil 2.31'de İkinci derecede Pasif Düşük Geçiş filtresi görülmektedir.



Şekil 2.31 İkinci dereceden pasif düşük geçiş

Transfer fonksyonu şu şekilde hesaplanmaktadır

$$A(s) = \frac{1}{1 + j^2 \left(\frac{f}{f_0}\right)^2 + j \frac{f}{f_0} * \frac{1}{Q}} \quad (2.34)$$

(2.34) denkleminde yeni parametreler f_0 (kutup frekansı) ve Q (kalite faktörü) ortaya çıkmıştır.

Belli bir frekansta kazancın değerinin maksimumsa, o ilişki gösteren denklemi şu

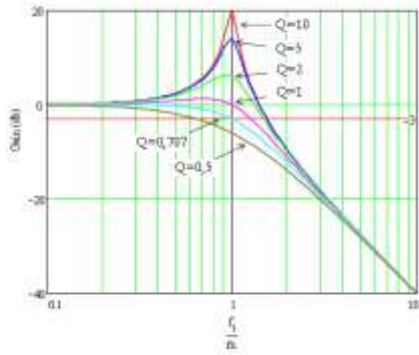
$$f_{gmax} = f_0 * \sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}} \quad , \quad (2.35)$$

$$G_{max} = \frac{Q}{1 - \frac{1}{4Q^2}} \quad (2.36)$$

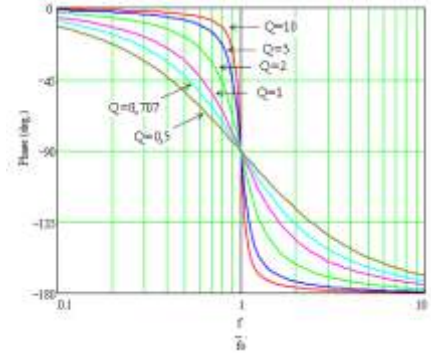
Filtrenin kesme frekansı f_0 ve kalite faktörü Q şekil 2.28 deki devresine göre şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$f_0 = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{LC}} \quad (2.37)$$

$$Q = \frac{1}{R} * \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.38)$$



(a)



(b)

Şekil 2.32 ikinci derece düşük geçiş filtrenin eğrileri

a. Kazanç, b. Faz değişimi

2.4 Toplam Harmonik Bozunum. (Muhammed 2004).

Toplam Harmonik Bozunum eviricinin çıkış gerilimin kalitesini ölçmek için bir performans parametresidir; bir referansa göre bir sinyalin değişimi temsil etmektedir.

$$THB = \frac{\overline{Q^2 - Q_1^2}}{Q_1} \quad (2.39)$$

Q: sinyalin toplam etkin değeri (gerilim veya akım)

Q₁: sinyalin birinci harmoniğinin etkin değeri

3. SİSTEMİN PERFORMANS PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Tek fazlı evirici tasarımı üç aşama gerçekleşmiştir.

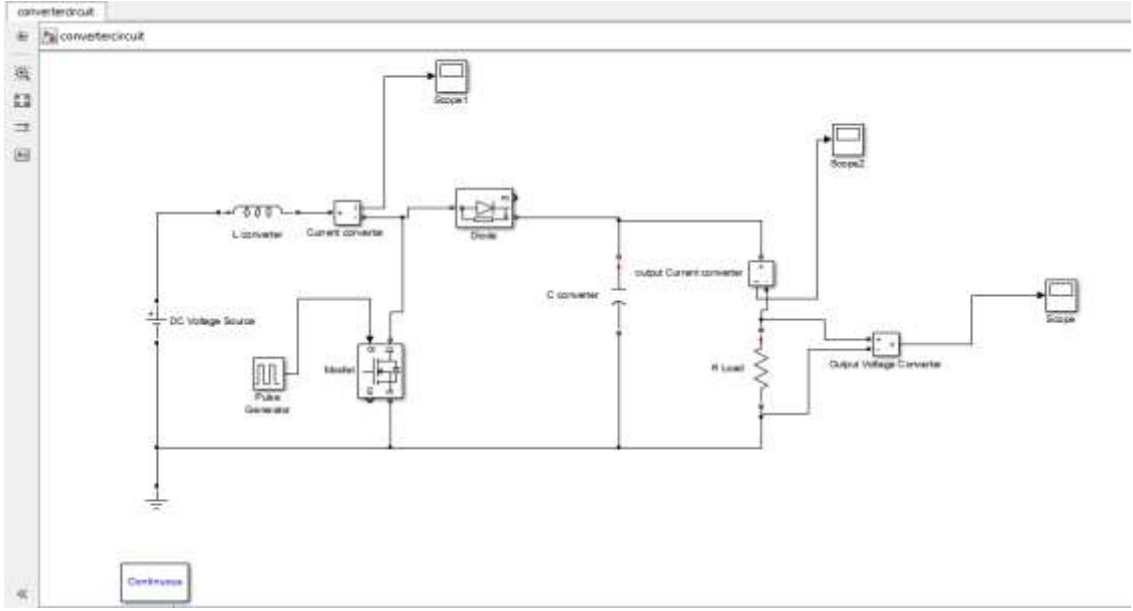
- DA-DA Yükselten tipte dönüştürücü (boost converter): 48 V-480 V
- DA-AA Tek fazlı evirici(three level single phase evirici): 480 V-250 V
- Düşük geçiş filtresi 50 Hz'lik(low pass filter) 250 V AA-220 Vrms 50 Hz.

Bu bölümde, tüm aşamalarda kurulan devreler, yapılan hesaplamalar detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

3.1 DA-DA Yükseltici Dönüştürücü

Yükseltici dönüştürücü devresi oluşturmak için kullanılan devre elemanları aşağıda yer almaktadır :

- Bir DA gerilim kaynağı,
- bir bobin **L**,
- bir diyot,
- bir anahtar MOSFET,
- bir kondansatör **C**,
- iki ampermetre: biri bobinin akımını ve diğer ise çıkış akımını ölçmek için kullanıldı,
- bir voltmetre dönüştürücünün çıkış gerilimi ölçmek için
- iki tane osiloskop dönüştürücünün çıkış akımını ve gerilimini görüntülemek için
- bir direnç **R** yük amaç yla kullanıldı



Şekil 3.1 Simulink'te yükseltici dönüştürücünün devresi

Devrenin girişinden çıkışına kadar tüm koşullarda ya da özel ölçütlerde çalışacak devrenin elemanlarından, tasarımdan önce bahsedilmelidir.

Devrede gerilim kaynağı giriş gerilimi $V_g = 48$ sabit olarak, çeviricinin anahtarı çalışma oranı $D = \%90$ olarak, en yüksek güç çıkışı $P_0 = 1\text{KW}$, çıkış gerilimindeki dalgalılık $\Delta V_o = \%1$, çeviricinin anahtarlama frekansı $f = 10\text{KHz}$ olarak belirlenmiştir. Dönüştürücünün sürekli akım durumunda çalışması gerekmektedir. Devre elemanlarının ideal olduğunu varsayarak hesaplamalar şu şekilde yapılır :

Dönüştürücüde, $V_g = 48\text{V}$, $f = 10\text{KHz}$, $D = \%90 = 0.90$, $P_0 = 1\text{kw}$.

Çıkış gerilimi $V_o = ?$ elde edelim,

$$\frac{V_o}{V_g} = \frac{1}{1-D} \quad (V_o \gg V_g); \quad (3.1)$$

$$V_o = \frac{V_g}{1-D} = \frac{48}{1-0.9} = 480\text{V}. \quad \text{Çıkış gerilimi, } V_o = 480\text{V}$$

Mosfet Anahtarlama frekansından periyodu bulunur,

$$T_s = \frac{1}{f} = \frac{1}{10^4} = 10^{-4} \text{ s.} \quad (3.2)$$

Mosfet Anahtarın periyodu, $T_s = 10^{-4}$ s.

Çıkış gerilimi elde etikten sonra, güç çıkışı bilindiğinden , çıkış akımını hesaplamak kolaydır ,

$$P_0 = U_o \cdot I_o \quad (3.3)$$

$$I_o = \frac{P_0}{U_o} = \frac{10000}{480} = 2.0833 \text{ A.} \quad (3.4)$$

çıkış akımı, $I_o = 2.0833 \text{ A}$.

Devrenin çıkışında yük olarak direnç kullanıldığı için, bunun değerinde hesaplanması gerekir:

$$R_o = \frac{U_o}{I_o} = \frac{480}{2.0833} = 230.40 \text{ ohms.} \quad (3.5)$$

Direnç ölçüsü $R_o = 230.40 \text{ ohms}$.

$$\frac{I_o}{I_g} = 1-D; I_g = \frac{I_o}{1-D} = \frac{2.0833}{1-0.9} = 20.833 \text{ A} \quad (3.6)$$

I_g giriş akımı $I_g = 20.833 \text{ A}$

Yukarıdaki hesaplanmış olan önemli elemanların değerlerine göre L_c ve C_c sınırdaki akım modunda kolayca elde edilir.

$$I_o = \frac{T_s \cdot V_o \cdot D(1-D)^2}{2 \cdot L_c}; \quad (3.7)$$

$$L_c = \frac{T_s \cdot V_o \cdot D(1-D)^2}{2 \cdot I_o} = \frac{10^{-4} \cdot 480 \cdot 0.9(1-0.9)^2}{2 \cdot 2.0833} = 0.10368 \text{ mH.} \quad \text{bobinin endüktansı } L_c = 0.10368 \text{ mH.}$$

$$L_c = 103.68 \cdot 10^{-6} \text{ H}$$

$$\Delta V_o = \frac{I_o \cdot D}{f \cdot C_c}; \quad \Delta V_o = \frac{48 \cdot 1}{100} = 0.48 \text{ V.} \quad (3.8)$$

$$C_c = \frac{I_o \cdot D}{f \cdot \Delta V_o} = \frac{2.0833 \cdot 0.9}{10^4 \cdot 0.48} = 390.61875 \text{ } \mu\text{F.} \quad (3.9)$$

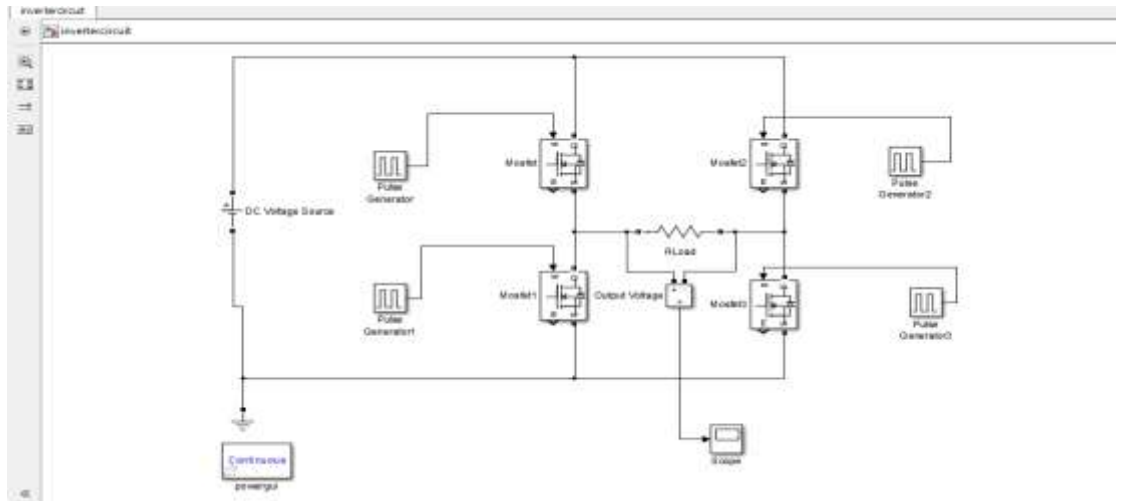
Dönüştürücünün kondansatörü $C_c = 390.61875 \text{ } \mu\text{F}$.

$L_c = 0.10368 \text{ mH}$ ve $C_c = 390.61875 \text{ } \mu\text{F}$ olarak kullanılırsa, dönüştürücünün çalışması sınırda akım modunda ve $V_g = 48 \text{ V}$ ve $P_0 = 1 \text{ kW}$ olacaktır. Sürekli akım modunda çalışmayı kesinleştirmek için endüktans 0.10368 mH 'den yüksek seçilebilir.

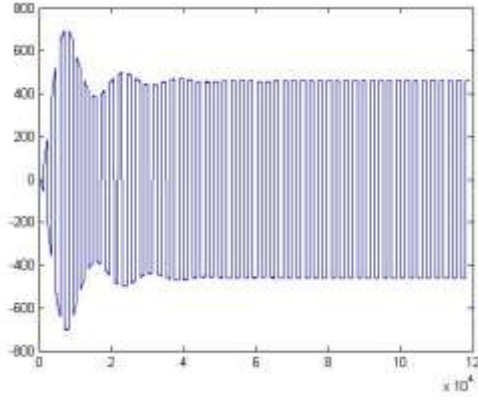
3.2 Tek Fazlı Evirici

Bu devrede , bir gerilim kaynağı, 4 MOSFET , votlmetre, bir osiloskop ve bir yük direnci kullanılmıştır.

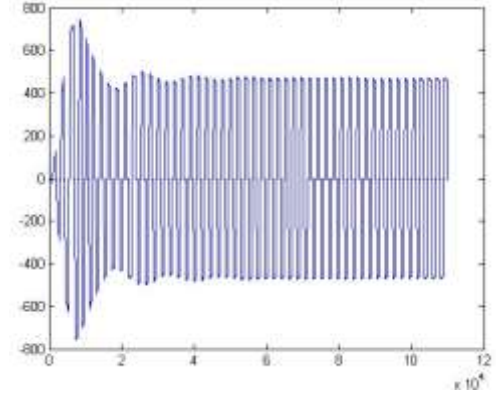
Gerilim kaynağından 480 V gelirse, iki seviyeli evirici çıkışından elde edilen gerilimin dalga şekli ve üç seviyeli evirici çıkışından elde edilen gerilimin dalga şekli bir dalga elde edilmektedir.



Şekil 3.2 Simulink'te tam köprü tek fazlı evirici devresi



(a)

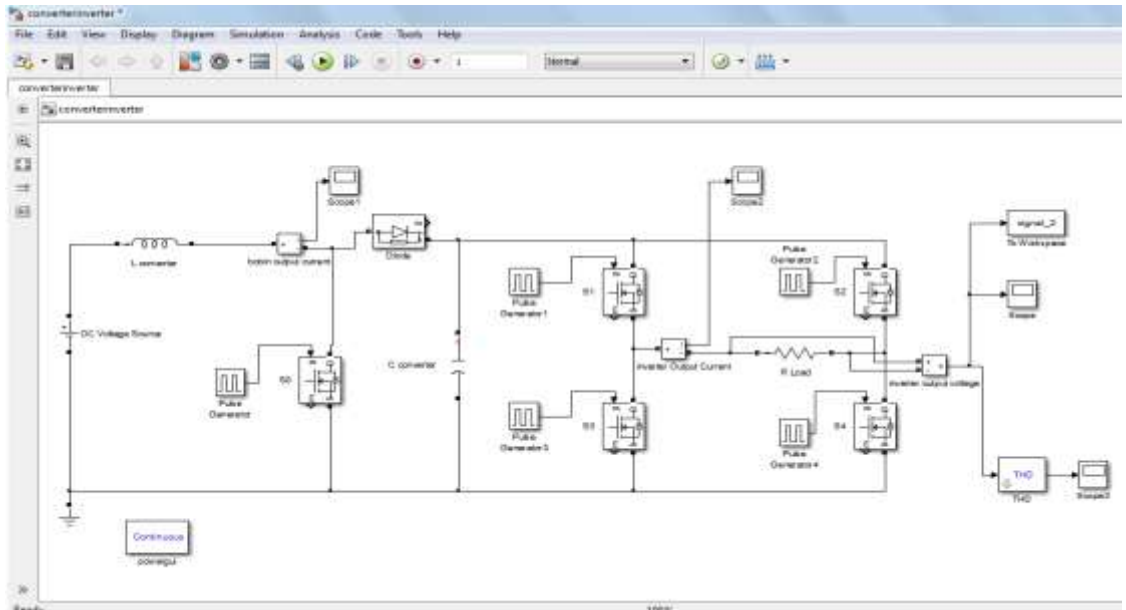


(b)

Şekil 3.3 Simulink'te : a. çıkış gerilimin iki seviyeli evirici çıkışından elde edilen gerilimin dalga şekli, b. çıkış gerilimin üç seviyeli evirici çıkışından elde edilen gerilimin dalga şekli

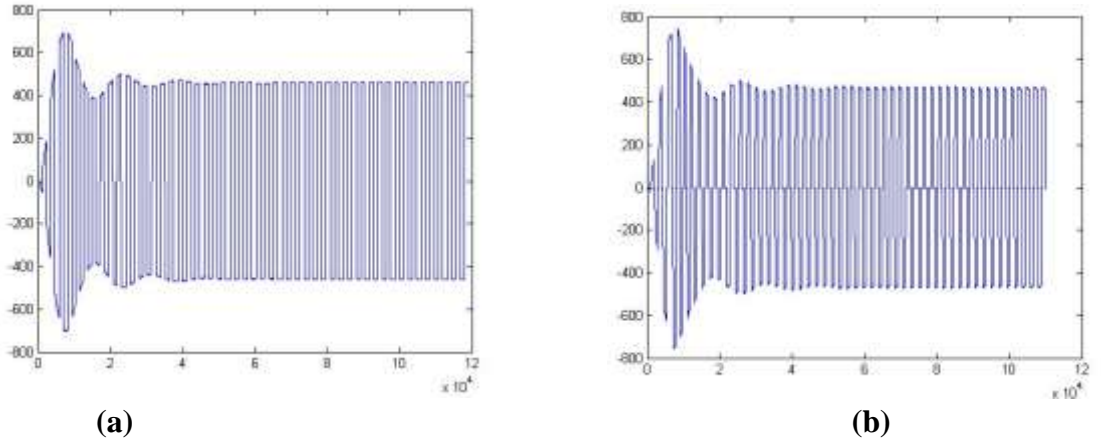
3.3 DA-DA Yükseltici Dönüştürücü İle DA-AA Tek Fazlı Eviricinin Birlikte Çalıştırması

İki seviyeli evirici çıkışından elde edilen gerilimin sinyali ve üç seviyeli evirici çıkışından elde edilen gerilimin sinyali elde ettikten sonra, birleştirilen devrelerdeki akım ve gerilimler incelenecektir.



Şekil 3.4 Simulink'te yükseltici dönüştürücü + tam köprü tek fazlı evirici devresi

Yukarıdaki devre, bu devre DA-DA yükseltici dönüştürücü (48-480V) ve DA-AA tek fazlı bir evirici (480V DA- 480 V AA) ile oluşmuştur. Burdaki amacı, iki seviyeli evirici çıkışından elde edilen gerilimin sinyali (+V,-V) ve üç seviyeli evirici çıkışından elde edilen gerilimin sinyali (+V,0,-V) ulaşmaktır. Bu iki farklı tane sinyali elde ettikten sonra, bir karşılaştırma işlemi gerçekleştirilecektir. $L_c = 104 \cdot 10^{-4}$ H, $C_c = 400 \cdot 10^{-5}$ F, $I_o \cong 2.0833$ A.; $V_o \cong 480$ V; $I_g \cong 20.833$ A. iki seviyeli evirici devresinden elde edilen sinyaller aynı yükseltici devre parametreleri kullanılarak şekil 3.5’de gösterilmektedir. Anahtar durumu ise çizelge 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.5 Simulink’te : a. çıkış gerilimin iki seviyeli dalga şekili, b. çıkış gerilimin üç seviyeli dalga şekili

İki seviyeli sinyali anahtarlama durumuna ulaşmak için, Duty-cycle: %50 ise, phase delay

Çizelge 3.1 İki seviyeli sinyali anahtarlama durumu

Çıkış gerilim	Anahtarlama durumları				Geçikme
	S_1	S_2	S_3	S_4	G
V_{ao}	1	0	0	1	S_1 ve S_4 kapalı ise $G_1 = G_4 = \frac{T}{2}$ ve S_2 ve S_3 açık $G_2 = G_3 = 0$
0	1	0	1	0	S_1 ve S_3 açık
0	0	1	0	1	S_2 ve S_4 kapalı
$-V_{dc}$	0	1	1	0	S_2 ve S_3 kapalı ise $G_2 = G_3 = \frac{T}{2}$ ve S_1 ve S_4 açık $G_1 = G_4 = 0$

Üç seviyeli sinyali anahtarlama durumuna ulaşmak için, Duty-cycle: **%30** ise, phase delay

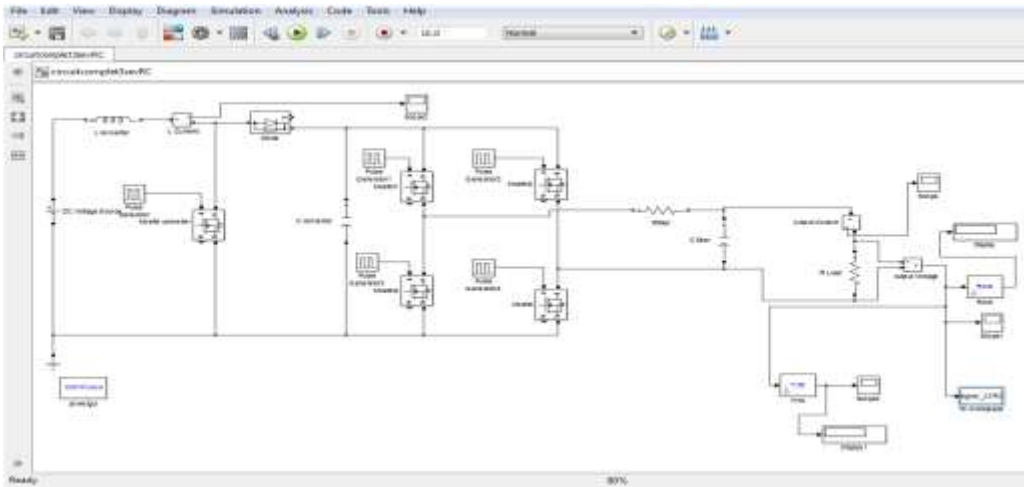
Çizelge 3.2 Üç seviyeli sinyali anahtarlama durum

Çıkış gerilim	Anahtarlama durumları				Geçikme
	S_1	S_2	S_3	S_4	
V_{ao}					G
$V_{dc}/2$	1	0	0	1	S_1 ve S_4 kapalı ise $G_1 = G_4 = \frac{T}{2}$ ve S_2 ve S_3 açık $G_2 = G_3 = 0$
0	1	0	1	0	S_1, S_3 kapalı, S_2 ve S_4 açık ise $G_1 = G_4 = G_2 = G_3 = 0$
	0	1	0	1	
$-V_{dc}/2$	0	1	1	0	S_2 ve S_3 kapalı ise $G_2 = G_3 = \frac{T}{2}$ ve S_1 ve S_4 açık $G_1 = G_4 = 0$

3.4 DA-DA Yükseltici dönüştürücü ve DA-AA tek fazlı bir eviricinin farklı filtrelerle çalıştırılması

Alçak geçiren filtreler, bu aşamada sinüs dalgala şekline yakın olan bir dalga elde etmek için kullanılmaktadır. Çalışmada, birinci derece RC ve ikinci derece LRC filtresi istenen sinyali ve frekansı elde etmek için kullanılmaktadır. İki filtre arasında istenen sonuçları veren yada yaklaşan filtre evirici tasarımı için seçilecektir.

3.4.1 Birinci Derece RC filtresi



Şekil 3.6 Simulink'te yükseltici dönüştürücü + tam köprü tek fazlı evirici + RC filtresi devresi

Bu devrede THB ve rms blokları devrenin çıkışında eklenmektedir, devrede yükseltici dönüştürücü, tek fazlı evirici ve RC filtresi bulunmaktadır. Bu aşamanın amacı 220Vrms çıkışta elde etmektir.

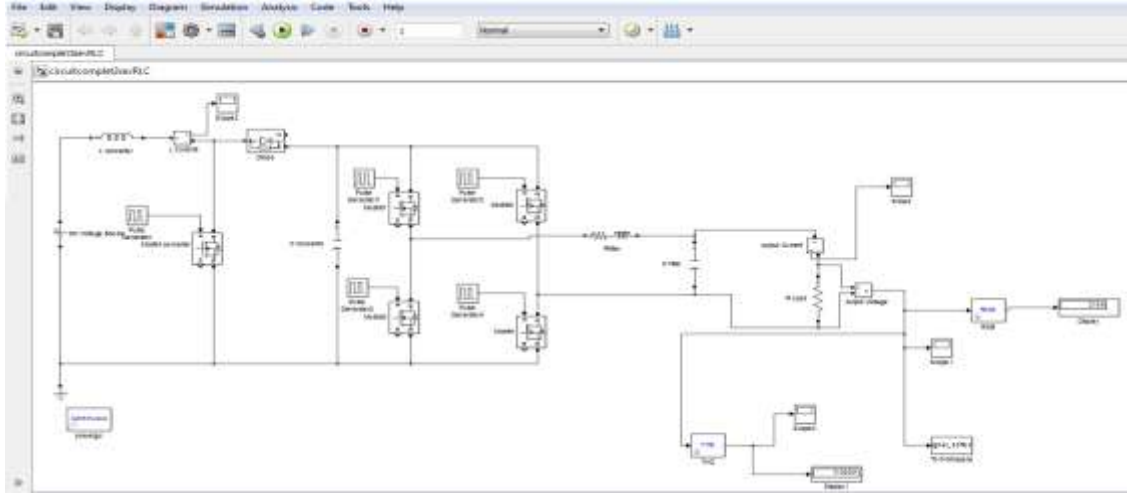
Filtrenin kesme frekansı $f_0 = 50\text{Hz}$ olduğu için direncin değerini verilerek kondansatörün değeri hesaplanmaktadır. $R = 50\text{ ohms}$ ise, $f_0 = 50\text{Hz}$

$$f_0 = \frac{1}{(2 * \pi * R * C)} \quad , \quad (3.10)$$

$$C = \frac{1}{2 * \pi * R * f_0} = \frac{1}{2 * \pi * 150 * 50} = 32.10^{-6}\text{F} = 32\mu\text{F}.$$

Çıkış sinyali 300V'a yaklaşarak istendiği değerin elde edildiği görülebilmektedir.

3.4.2 İkinci Derece LRC filtresi



Şekil 3.7 Simulink'te yükseltici dönüştürücü + tam köprü tek fazlı evirici + RLC filtre devresi

Bu devrede düşük geçiş filtresine yeni bir parametre eklenmiştir L. Kesme frekans değerini hesaplamak için kullanılır. $R = 50-100\text{ ohms}$ ise, $f_0 = 50\text{Hz}$, $C = 32\mu\text{F}$ ise

$$f_0 = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{LC}} \quad , \quad (3.11)$$

$$L = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot C} = \frac{1}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 50^2 \cdot 32 \cdot 10^{-6}} = 0,995 \text{ H.}$$

Çıkış sinyaline bakılacak olursa LRC filtresinin sinüs şekline daha yaklaştığını görülebilmektedir. L parametrenin etkisi olduğunu kabul edilir.

4. FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE KULLANILAN 220V, 50Hz, SABİT ÇIKIŞ GÜCÜNDE , TEK FAZLI EVİRİCİNİN TASARIMI VE BENZETİM ÇALIŞMALARI

Tasarlanan tek fazlı 220V 50Hz eviricinin tasarım bileşenler ve simulasyon sonuçları bu bölümde yer almaktadır.

4.1 Simulasyon Çalışmalarında Kullanılan Araç: Simulink

Simulink, dinamik sistem modellerinin kurulması, benzetimi ve çözümlemesinde kullanılan **MATLAB**'ın eklentisi bir paket programdır. Sürekli zaman, kesikli zaman veya her ikisinin melez biçiminde modeli kurulmuş doğrusal ve doğrusal olmayan sistemleri destekler. Ayrıca bu sistemler örneklenmiş veya farklı oranlarda güncelleştirilmiş farklı kısımlara sahip olabilirler.

Simulink, model kurmak için tıkla-ve-sürük fare işlemleri kullanan bir grafik kullanıcısı ara birimi (**GUI**) sağlar. Bu ara birim ile birlikte, modelleri sanki bir kağıt üzerine kalem ile çiziyormuşçasına kolaylıkla oluşturmak mümkündür. **Simulink**, kaynaklar, yutucular, doğrusal ve doğrusal olmayan elemanlar ve bağlantılardan ibaret geniş bir blok kütüphaneye sahiptir. Ayrıca kullanıcı kendi kütüphanesini de oluşturabilir.

Modeller sıradüzenli olup hem yukarıdan-aşağıya ve hem de aşağıdan-yukarıya yaklaşımlar kullanarak modeller kurmak mümkündür. Sistem yüksek seviyeden incelenebilir olmakla beraber ayrıca bloklar üzerine çift tıklamak suretiyle de model ayrıntılarının artan seviyelerini görmek mümkündür.

Bir model tanımlandıktan sonra, ya Simulink'ten ya da MATLAB komut penceresinden bir integral hesap yöntemi seçmek suretiyle modelin benzetimi yapılabilir. Menüler özellikli etkileşimli çalışmalarda uygun olurken, komut hattı yaklaşımı bir benzetim grubunun çalıştırılmasında da çok kullanışlı olmaktadır. Osilaskop ve diğer görüntü blokları kullanmak suretiyle, benzetim programı çalışırken benzetim sonuçlarını görmek mümkündür.

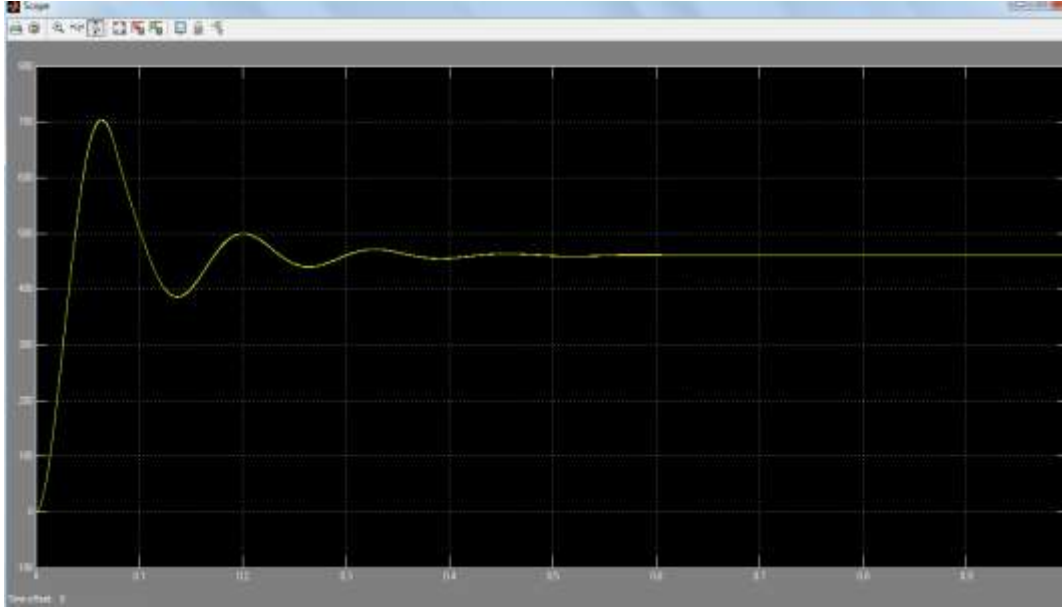
Benzetim sonuçları daha sonraki çalışmalarda kullanılmak üzere MATLAB çalışma ortamına da aktarılabilir. Simulink modellerinin benzetimi diferansiyel denklem takımlarının sayısal integrasyonu ile ilgilidir. Simulink içinde bu tür denklemlerin simulasyonunda kullanılan çeşitli integrasyon yordamları mevcuttur.

Çalışmamız Simulink'te yapıldığından ilk olarak Simulinkin genel olarak ne olmalı tanımlarına ihtiyaç duyulur . Sinyallerin (iki seviyeli çıkışından elde edilen gerilimin sinyali ve üç seviyeli çıkışından elde edilen gerilimin sinyali) kalitelerinden bahsetmek için toplam harmonik bozulmaları ve fourier dönüşümleri incelenerek karşılaştırma ölçütleri elde edilmektedir. Böylece hangi sinyalin daha uygun olacağını belirtilmektedir.

4.2 DA-DA Yükseltici Dönüştürücünün Simulasyonu

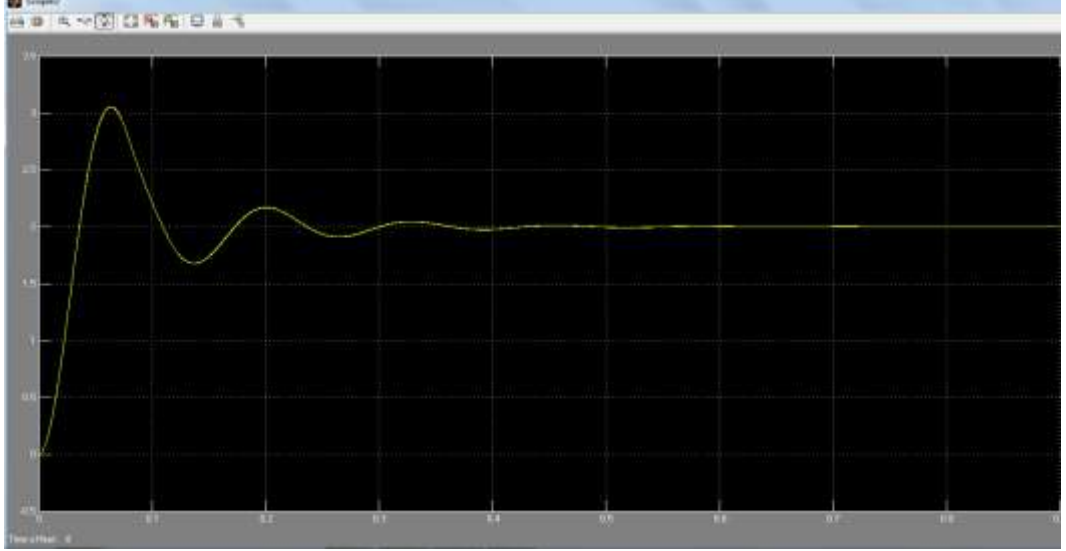
Dönüştürücüde , $V_g = 48V$, $f=10kHz$, $D= \%90= 0.90$, $P_0=1kw$ bu değerlere göre üçüncü bölümde hesaplama işlemi yaptıktan sonra elde edildiği sonuçları :

$$L_c = 104. 10^{-4} H, C_c = 400.10^{-5} F, I_o \cong 2.0833A.; V_o \cong 480V; I_g \cong 20.833A$$



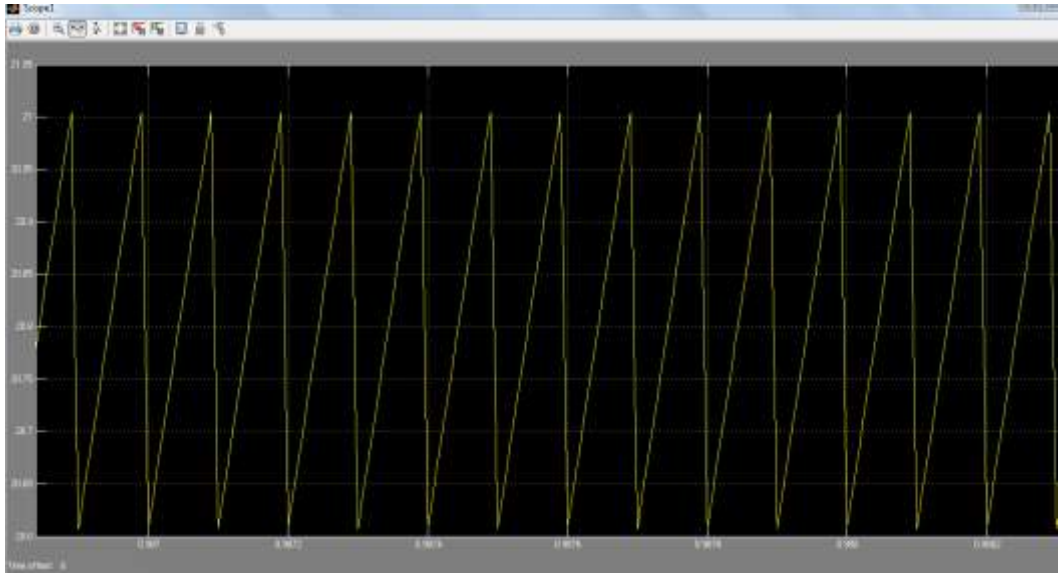
Şekil 4.1 Matlab'ta yükseltici dönüştürücünün çıkış gerilimi

DA-DA yükseltici ceviri sürekli akım modunda çalıştırmak için hesaplanmış L_c ve C_c daha yüksek değeri olarak seçilmelidir.



Şekil 4.2 Matlab'ta yükseltici dönüştürücünün çıkış akımı

Dönüştürücünün çıkış akımı istendiği gibi elde edilmiş, hesaplanmış değer le karşılaştırıldığında elde edilen değer bu değere oldukça yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 4.3 Matlab'ta yükseltici dönüştürücünün giriş akımı

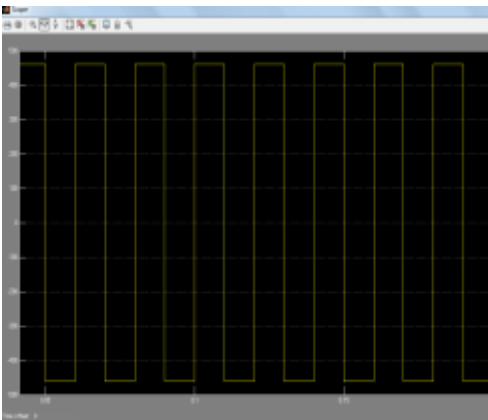
Dönüştürücü sürekli akım modunda çalıştığı için, akımın sıfıra hiç inmeyen ilerlemektedir. dalga şekline bakılacak olursak giriş akımı 20-21 A aralığında görülmektedir.

DA-DA yükseltici cevircinin devresinin diğer parametreleri ideal varsayıldığından elde edilen değerler hesaplanan değerlere oldukça yakın çıkmıştır.

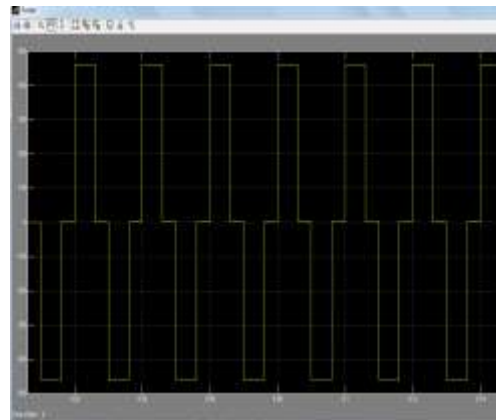
Dönüştürücüde üç önemli parametresi olan giriş akımı, çıkış gerilimi ve çıkış akımı simülasyonda istendiği gibi çalıştığı için bir sonraki aşamada, tek fazlı evirici ile birleştirme işlemi yapılmaktadır.

4.3 DA-AA Tek Fazlı Eviricinin Simulasyonu

Bu aşamada tek fazlı tam köprü bir evirici modeli oluşturulduktan sonra, anahtarların frekansına göre iki tane farklı sinyal çıkıştan elde edilmektedir. İki seviyeli eviricinin çıkış sinyalinin dalga şekline bakılırsa sinyalin sıfırdan direk geçtiği görülmektedir. Böylece -480 ve $+480V$ arasında değişmektedir. Üç seviyeli eviricinin çıkış sinyalinin dalga şekli sinyali ise $+ \cong 480,0$ ve $- \cong 480$ sıfırda çok kısa bir sürede kalıp sonra devam ettiği görülmektedir. Tasarlanacak tek fazlı evirici için hangi çeşidin kullanılacağı gerçekleriyle sonraki aşamalarda açıklanacaktır. Evircinin çıkışında elde edilen sinyalleri alternatif olduğu kabul edilmektedir.



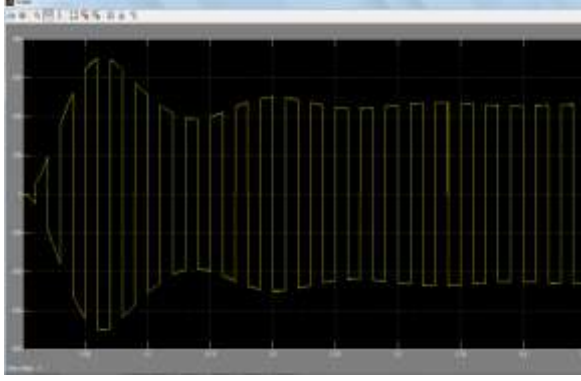
(a)



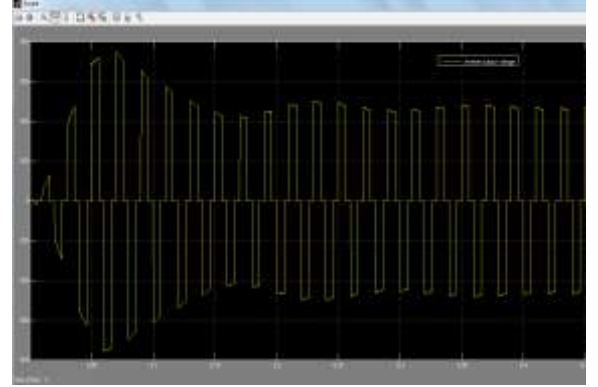
(b)

Şekil 4.4.a. Matlab'ta eviricinin iki seviyeli çıkış sinyalinin dalga şekli, b. üç seviyeli eviricinin çıkış sinyalinin dalga şekli.

4.4 DA-DA Yükseltici Dönüştürücü ile DA-AA Tek Fazlı Bir Evirici İçin Fourier Dönüşümleri ve Toplam Harmonik Bozulmalarının Dalga Şekilleri

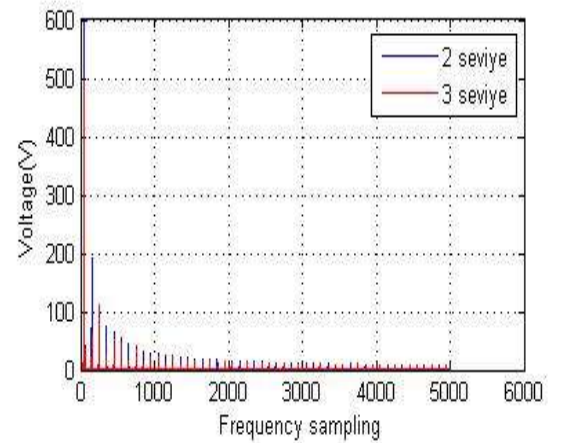
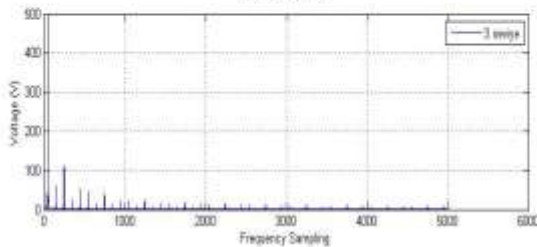
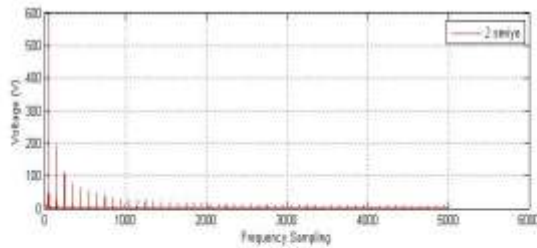
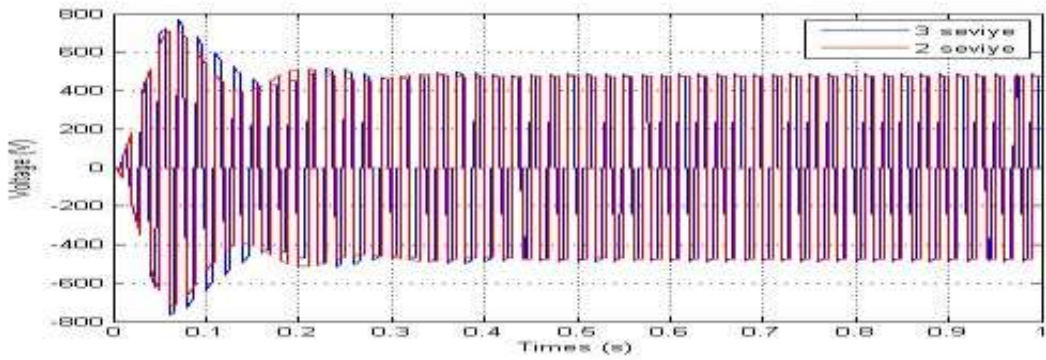


(a)

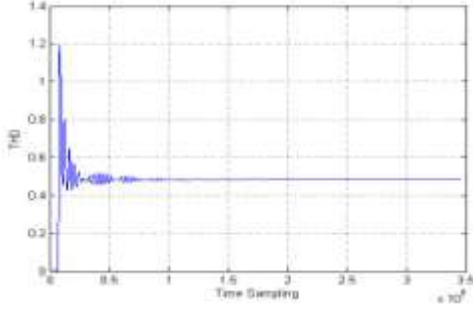


(b)

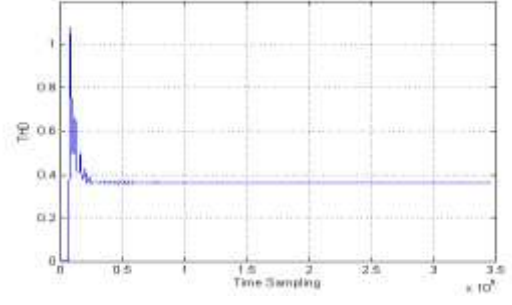
Şekil 4.5 .a. Matlab'ta eviricinin iki seviyeli çıkış sinyalinin dalga şekili, b. üç seviyeli eviricinin çıkış sinyalinin dalga şekili $\cong 480$ AC çıkış gerilimi



Şekil 4.6 Yükseltici dönüştürücü (48-480) DC + tek fazlı bir evirici DA-AA (480VAC) iki seviyeli eviricinin çıkış sinyalinin dalga şekli ve üç seviyeli eviricinin çıkış sinyalinin dalga şekli Fourier dönüşümleri



(a)



(b)

Şekil 4.7 Yükseltici dönüştürücü + tek fazlı bir evirici iki seviyeli: a. eviricinin çıkış sinyalinin dalga şekli ve üç seviyeli, b. eviricinin çıkış sinyalinin dalga şekli Toplam Harmonik bozulmaları

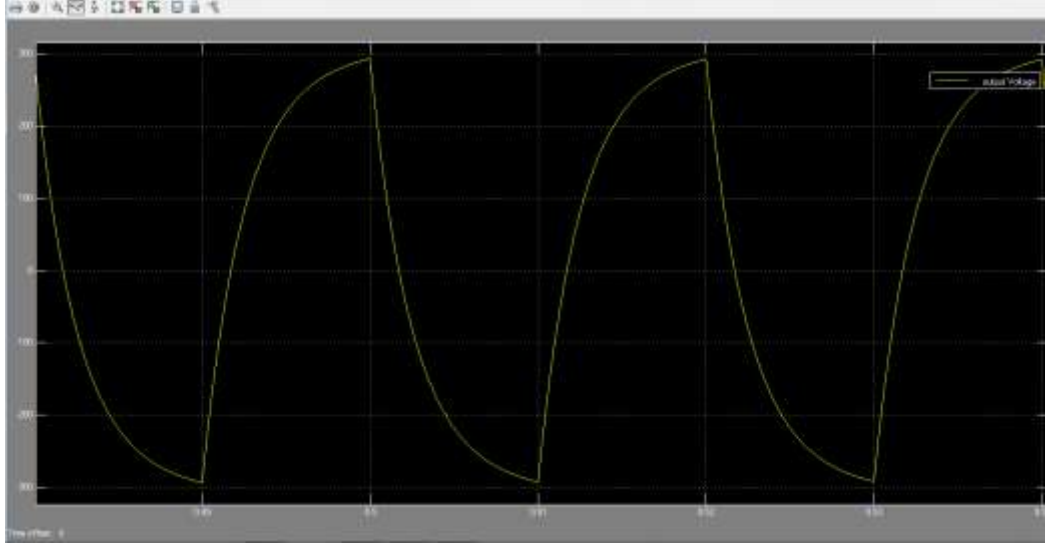
İki seviyeli eviricinin çıkış sinyalinin dalga şekli ve üç seviyeli eviricinin çıkış sinyalinin dalga şekli incelemesini gerçekleştirmek için iki parametre ölçüt olarak kabul edilmektedir. Sinyallerin Fourier dönüşümlerini ve toplam harmonik bozulmalarını inceleyerek elde edilen sinyallerin ne kadar harmoniklere sahip olduğu bulunabilmektedir.

İncelemeden sonra dikkat çeken noktalar :

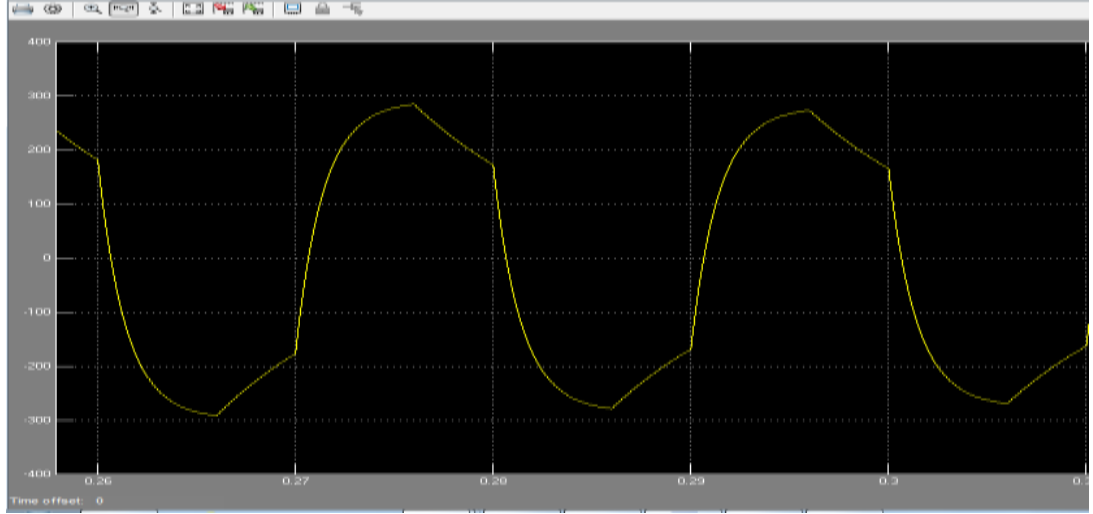
1. İki seviyeli eviricinin çıkış sinyali fazla harmonik ürettiği görülmektedir. Kırmızı sinyalin pikine bakılacak olursa 600V görülmektedir. Mavi sinyali ise 500V civarında.
2. Genlik açısından iki seviyeli eviricinin çıkış sinyali üç seviyelinden daha geniş genliğe sahip olduğu görülmektedir.
3. İki seviyeli eviricinin çıkış sinyali toplam harmonik bozulmaları 0.4-0.6 arasında değişip üç seviyeli eviricinin çıkış sinyali ise 0.2-0.4 arasında değişmektedir.

Tek fazlı tam köprü çıkışında iki tane farklı filtre 220 Vrms 50 Hz bir sinyal elde etmek için sonraki aşamada eklenecektir. Filtreler eklendikten sonra, aynı sinyaller kıyaslanarak ve iki filtre arasında herhangi biri seçilecektir.

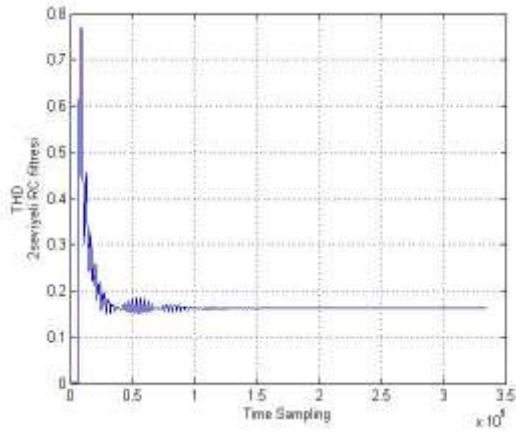
4.5 DA-DA Yükseltici Dönüştürücü, DA-AA Tek Fazlı Evirici ve 1. Derece Rcfiltreli Tümsistemin Fourier Dönüşümleri ve Toplam Harmoniklerinin Bozulmalarının Dalga Şekilleri



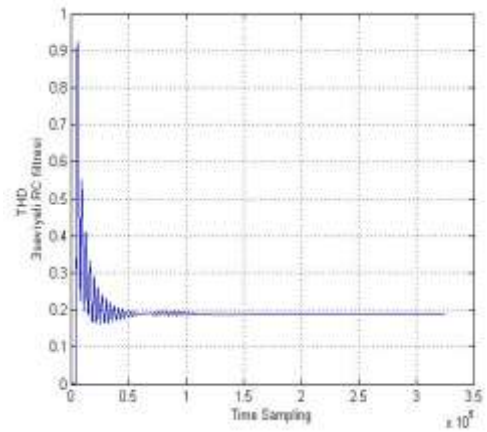
Şekil 4.8 Birinci Dereceden alçak geçiren RC filtrelili iki seviyeli sinyali çıkış gerilimi



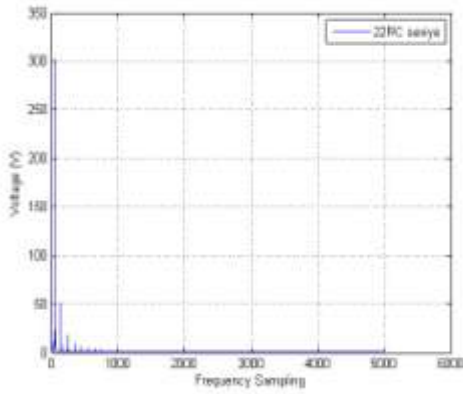
Şekil 4.9 Birinci Dereceden alçak geçiren RC filtrelili üç seviyeli sinyali ile çıkış gerilimi



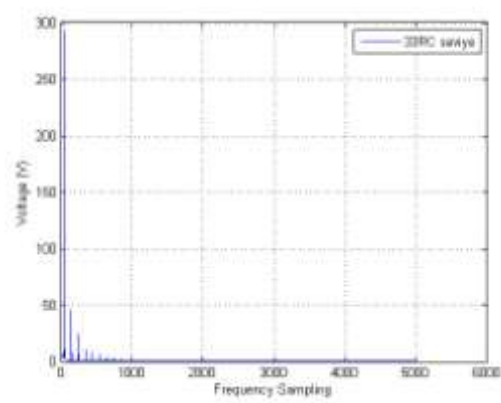
(a₁)



(a₂)



(b₁)



(b₂)

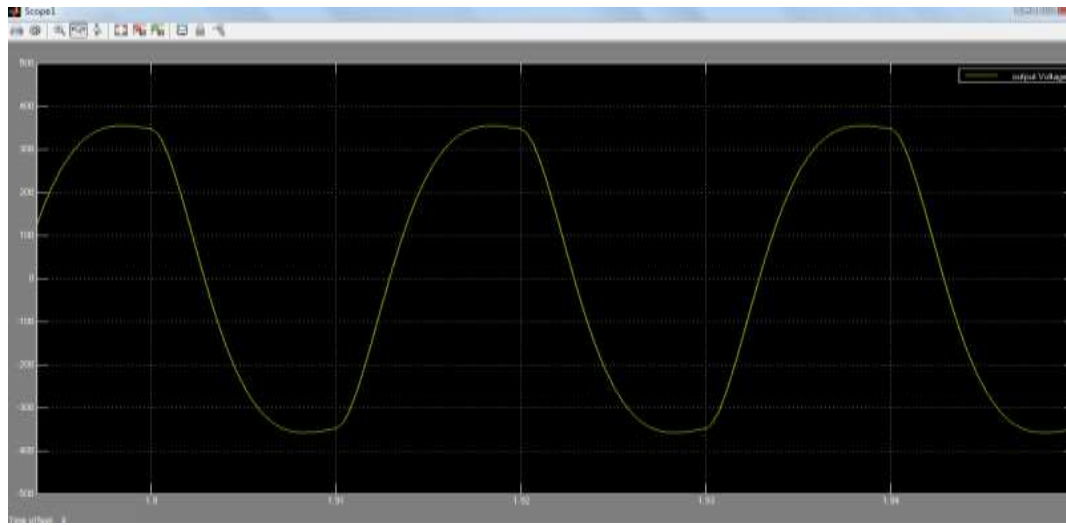
Şekil 4.10 Matlab'ta 1. derece düşük filtrenin iki seviyeli evirici çıkış sinyali (a₁)(b₁) ve üç seviyeli evirici çıkış sinyali (a₂)(b₂) ile çıkış geriliminin tüm sistemin toplam harmonik bozulmaları ve Fourier dönüşümleri

DA-DA Yuksetici ve tek fazlı evirici birleştirildikten sonra devreye ilk bağlanan filtre 1.derece RC filtresidir. Elde edilmiş sinyalinin Toplam harmonik bozulmaları ve Fourier dönüşümlerin incelendiğinde iki seviyeli evirici çıkış sinyalin üç seviyeli evirici çıkış sinyalinden fazla harmonik ürettiği görülmektedir. Şekilde iki seviyeli sinyalin 300 V'a ve üç seviyeli sinyalin 290V'a piklerini ulaştığını görülmektedir. İki sinyalinin dalga şekillerine bakılırsa ikisinde sinüs şekline yaklaşmadığı görülmektedir.

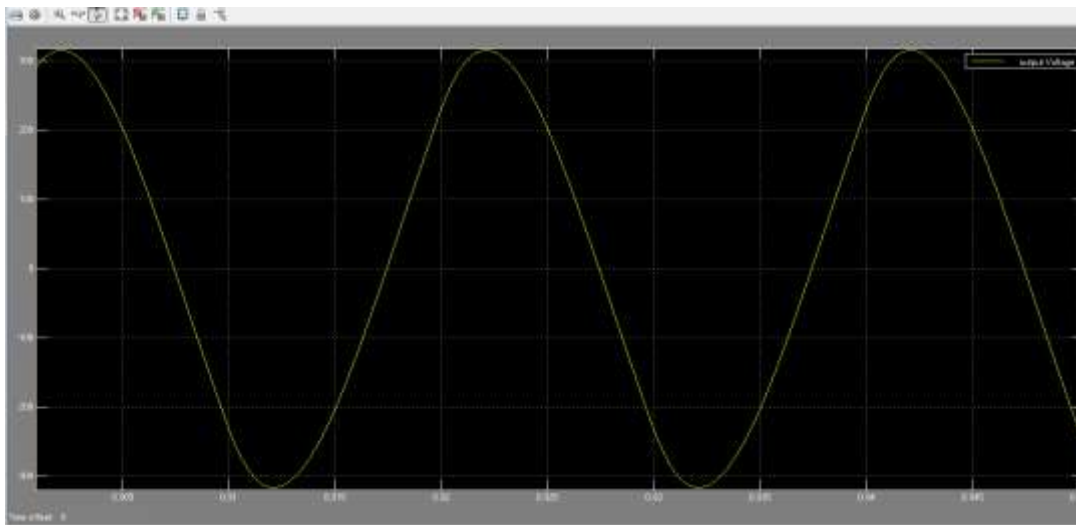
İki seviyeli evirici çıkış sinyalin **rms** ve **THB** değeri **219.6V- 0.1901**; üç seviyeli evirici çıkış sinyalin **rms** ve **THB** değeri ise **220.3V- 0.1891** olduğunu görülmektedir. Bu

yüksek THB evirici çıkış sinyalin kalitesi ve kullanıldığı düşük filtre RC den sebep olur. Elde etmek istenen sonuçlara yaklaşan ya da tam bir şekilde veren devre seçilmektedir. İkinci derece LRC filtresi bağlandıktan sonra, ana sinyalin dalga şekilleri, toplam harmonik bozulma ve Fourier dönüşümlerine bakıp kıyaslama için önemli unsur olmaktadır.

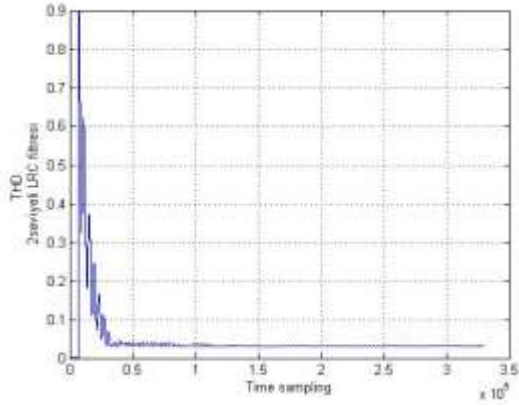
4.6 Matlab'ta DA-DA Yükseltici Dönüştürücü, DA-AA Tek Fazlı Evirici ve 2. Derece LRC Filtreli Tüm Sistemin Fourier Dönüşümleri ve Toplam Harmoniklerinin Bozulmalarının Dalga Şekilleri



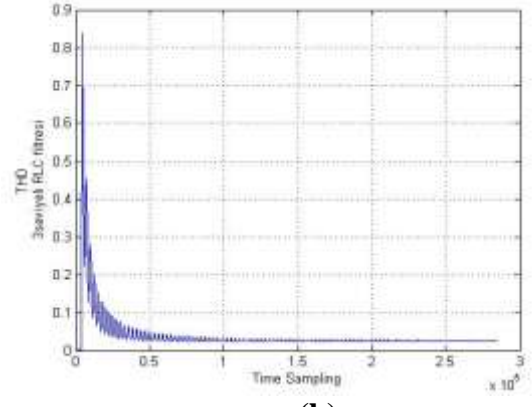
Şekil 4.11 ikinci derece LRC düşük filtrenin iki seviyeli sinyali ile çıkış gerilimi



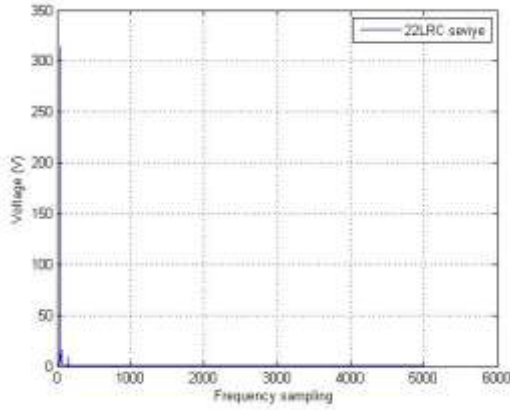
Şekil 4.12 İkinci derece LRC düşük filtrenin üç seviyeli sinyali ile çıkış gerilimi



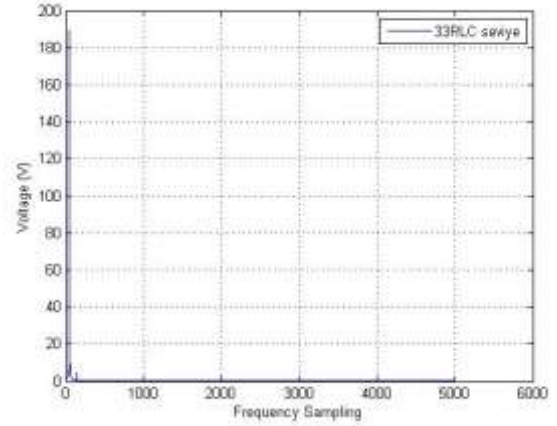
(a)



(b)



(a₁)



(b₁)

Şekil 4.13 Matlab'ta 2. derece düşük filtrenin iki seviyeli evirici çıkış sinyali (a₁, a₂)ve üç seviyeli evirici çıkış sinyali (b₁ b₂) ile çıkış geriliminin toplam harmonik bozulmaları ve Fourier dönüşümleri

DA-DA Yükseltici dönüştürücü ve DA-AA tek fazlı evirici devresine LRC filtresi eklendikten, sonra skoptan elde edilmiş olan dalga şekillerinin daha çok sinüs dalgasına çok bezediği şekilde gösterilmektedir.

İki seviyeli evirici çıkış sinyali üç seviyeli evirici çıkış sinyalinden daha çok harmonik ürettiğini bilinmektedir. İki sinyali Fourier dönüşümlerine bakıldığında üç seviyeli evirici çıkış sinyali 200 V'e iki seviyelinin 300 V'e yakın bir değere yaklaştığı

incelenmiştir. Üç seviyeli evirici çıkış sinaylı rms ve THB değerleri **219.2 V** ve **0.0238**; iki seviyeli evirici çıkış sinyalinin ise **rms** ve **THB** değerleri **219.9V - 0.0316'** a ulaştığını görülmektedir.

İki sinyali karşılaştırma yaptığımız zaman üç seviyeli evirici çıkış sinyali az harmonik üretip iyi sonuç verdiğini kabul edilmektedir.

Bu devrelerinin simulasyonu çalıştırılarak hangi sinyal ve hangi filtre kullanılması gerektiği belirlenmektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Güneş enerjisi temiz yenilebilir enerji olduğundan dolayı güneşi bol olan yerlerde kullanılması oldukça faydalıdır. Güç elektroniğinde kullanılan devre elemanlarının anahtarlama hızındaki ve güç kondansatörlerindeki artış, fotovoltaik sistemlerin kullanımının yaygınlaşmasında etkili olmuştur.

Bu tezde bir evirici tasarımının aşamaları, teker teker incelenmiştir. İki seviyeli evirici çıkış sinyalinin ile simülasyonu çalıştırılarak elde edilen sinyalin beklendiği gibi olmadığını görülmüştür. İki seviyeli evirici çıkış sinyalinin fazla harmonik üretmesinin çıkış sinyalinin dalga şeklini sinüse benzemediği ortaya çıkmıştır. Hedeflenen çıkış gerilimi ve çıkış frekansına iki seviyeli evirici çıkış sinyali ile yaklaşılmamıştır.

Üç seviyeli evirici çıkış sinyalini elde etmek için, eviricinin anahtarlama frekansını ayarlanmıştır. Sinyalin toplam harmonik bozulması ve Fourier dönüşümünden az harmonik ürettiği görülmüştür. Üç seviyeli evirici çıkış sinyalinin iki seviyeli evirici çıkış sinyalinden daha kaliteli ortaya çıkarılmıştır.

Çalışmada iki farklı filtre eviricinin çıkışında kullanılarak inceleme yapılmıştır. Birinci derece RC filtresi hem iki seviyeli evirici çıkış sinyali hem de üç seviyeli evirici çıkış sinyali için istenen sonuçlara çok fazla ulaşmamış ve çıkış sinyali sinüse benzememiştir. İkinci derece LRC filtresi kullanılarak, bu filtrenin içinde L parametresinin etkisi görülmüştür. İkinci dereceden filtrenin çıkışında elde edilen sonuçlar beklenen sinyale oldukça yaklaşmış ve sinyal sinüse benzemeye başlamıştır.

Tasarlanmış olan eviricinin çıkışında, 220 Vrms 50 Hz'lik bir sinyal elde etmek için ana devredeki eviriciyi üç seviyeli evirici çıkış sinyali olarak çalıştırmak ve evirici çıkışında ikinci dereceden LRC filtre eklemek tercih edilmektedir. Bu çalışmada ön çalışma olduğu için ana devredeki diğer kullanılan parametreler ideal olacak varsayılmıştır.

Eğer ana devrede üç seviyeli bir evirici montaji ve LRC filtresi ile çalıştırmaya karar verilirse dnüşürücüdeki anahtarın çalışma oranı ayarlanarak istendiği çıkış gerilimin değerine ulşılabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Bhagwat P.M. and Stefanovic V.R. 1983. Generalized Structure of Multilevel PWM Inverters. IEEE Trans. Industry Applications, Vol.IA-19, No .6, pages 1057-1069.
- Bose, B.K. 1983. Modern Power Electronics: Evolution, Technology and Applications. IEEE Press , New York.
- Celenovic, N. 2000. Space Vector Modulation and control of Multilevel Converter. Doctor of Philosophy, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Divan, D., Hochgraf, C., Lasseter, R. and Lipo, T.A. 1994. Comparison of Multilevel Inverters For Static Var Compensation. IEEE Industry Applications society Annual Meetings. Denver, 921-928.
- Erickson, R. W. 1999. DA-DA Power Converters. Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering, 5: 53-63.
- Glasner, I. and Appelbaum, J. 1996. Advantage Of Boost vs. Buck Topology For Maximum Power Point Tracker In Photovoltaic Systems, 19th IEEE Convention of Electrical and Electronics Engineers, Jerusalem, Israel, 355-358.
- González, R. Gubía, E. and Marroyo, L. 2008. Transformerless Single-Phase Multilevel-Based Photovoltaic Inverter. IEEE Trans. Industrial Electronics, 55(7), 2694-2702.
- Guy Chateigner, Daniel Bouix, Michel Boes, Jacques Vaillant et Daniel Verkindere. 2006 Manuel de Genie Electrique, Sciences SUP. Sayfa. 317-331, Dunod, Paris.
- Ho, H. and Lu, C. 2000. Study of Nonlinear Phenomena in Switching DC/DC Converters. Degree of Doctor, HongKong SAR, China, 1-166.
- Kjaer, S.B. Pedersen, J.K. and Blaabjerg, F. 2005. A Review of Single-Phase Grid-Connected Inverters for Photovoltaic Modules. IEEE Trans. Industrial Electronics, 41(5), 1292-1306.
- Lai ,J. S. and Peng, F. Z., 1996. Multilevel Converters-A New Breed of Power Converters. IEEE Transactions on Industry Applications, Sayfa. 509-517.

- Li, Q. and Wolfs, P. 2008. A Review of the Single Phase Photovoltaic Module Integrated Converter Topologies With Three Different DC Link Configurations. *IEEE Trans. Power Electronics*, 23(3), 1320-1333.
- McGrath B.P. and Holmes D.G. 2000. A comparison of Multicarrier PWM Strategies for Cascaded and Neutral Point Clamped Multilevel Inverters, *IEEE Trans. Power Electronics*.
- Mohan, N., Unlead, T.M. and Robbins, W. P. 1989. *Power Electronics, Converters, Applications and Design*. Joe Wiley and Sons Inc. London, 173-210, 323-370.
- Muhammed H. Rashid. 2004. *Power Electronics Circuits, Devices and Application*. Third Edition, Pearson Education Inc., USA, 230-231.
- Nakazawa, Y. and Naitoh, H. 1997. A new PWM Scheme for NPC Inverters Reduces Waveform Distortion Due to Pulsewidth Limitation and New Neutral Point Voltage Control. *Electrical Engineering in Japan*, Vol. 118, No. 1.
- Peng F.Z. and J-S Lai. 1996. Multilevel Converter-A New Breed of Power Converters. *IEEE Trans. On Industry Applications*, Vol. 32, No. 3, sayfa 509-517.
- Peng F.Z. 2000. A Generalized Multilevel Inverter Topology with Self Voltage Balancing. *IEEE/AS Annual Meeting*.
- Rodriguez, J. Lai, Jih-Sheng and Peng, F.Z. 2002. Multilevel Inverters: A Survey of Topologies, Controls and Applications. *IEEE Transactions and Industrial Electronics*.
- Shen, W. and Maswood, I. Ali, 2000 A novel Medium-voltage Drive System Adopting PWM-SHE Technology, *IEEE Applications*.
- Tadros, Y., Salama, S. and Höf, R. 1992. Three Level IGBT Inverters. *IEEE Applications*.
- Wuidart, L. 1992 *Topologies For Switched Mode Power Supplies*. ST Microelectronics, AN513/0393:1-18.

ÖZGEÇMİŞ

Adı : A KIYONG ERİC
Soyadı : Kiyong
Doğum Yeri : Kinshasa
Doğum Tarihi : 02. 01.1985
Medeni Durum : Bekar
Yabancı Dili : FRANSIZCA, İNGİLİZCE ve TÜRKÇE

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Kolej boboto (2005)
Lisans : Kinhsasa Yüksek Teknik ve Pedagojik Ensitüsü Genel Eletronik
Mühendisliği Anabilim Dalı (2009)
Tömer : Ankara Üniversitesi (2010)
Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik- Elektronik
Mühendisliği Anabilim Dalı (Eylül 2010-Şubat 2014)