

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇOK SEVİYELİ EVİRİCİLER VE KESİNTİSİZ GÜÇ
KAYNAKLARI

MEHMET ALİ AYGÜL

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇOK SEVİYELİ EVİRİCİLER VE KESİNTİSİZ GÜÇ
KAYNAKLARI

MEHMET ALİ AYGÜL

Prof.Dr.Nurettin ABUT
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Dr.Öğrt.Üyesi,E.Mustafa YEĞİN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Dr.Öğrt.Üyesi,M.Server FIRAT
Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi


.....


.....


.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 29.06.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Hazırladığım bu tez çalışmasında, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım başta Prof. Dr. Nurettin ABUT olmak üzere öğrenim hayatım boyunca emeği geçen tüm hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak makale ve tez çalışmalarında bana yardımcı olan ailem ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi borç bilirim

Haziran – 2018

Mehmet Ali AYGÜL



İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	vii
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER.....	4
1.1. Eviriciler	4
1.1.1. Çalışma prensibi	4
1.1.2. Tek faz için tam köprü eviriciler	5
1.1.3. Üç fazlı evirici yapıları	7
1.1.3.1. 120 derece iletim durumu.....	10
1.1.3.2. 180 derece iletim durumu.....	10
1.1.4. Performans parametreleri	10
1.1.4.1. Harmonik faktörü	10
1.1.4.2. Toplam harmonik distorsiyonu (THD)	11
1.1.4.3. Distorsiyon faktörü (DF).....	11
1.1.4.4. En düşük mertebeli harmonik	11
2. MALZEME VE YÖNTEM.....	12
2.1. Malzeme.....	12
2.1.1. Çok seviyeli eviriciler.....	12
2.1.1.1. Çok seviyeli eviricilerin genel yapısı	13
2.1.1.2. Çok seviyeli eviricilerin avantajları ve dezavantajları	15
2.1.2. Çok seviyeli eviricilerin çeşitleri.....	16
2.1.2.1. Diyot kenetlemeli çok seviyeli eviriciler	17
2.1.2.2. Diyot kenetlemeli eviricilerin avantajları ve dezavantajları.....	19
2.1.2.3. Kapasitör kenetlemeli çok seviyeli eviriciler	20
2.1.2.4. Kapasitör kenetlemeli çok seviyeli eviricinin yapısı	20
2.1.2.5. Kapasitör kenetlemeli eviricilerin avantajları ve dezavantajları.....	21
2.1.3. Kesintisiz güç kaynakları-KGK (Uninterrupted power supply-UPS)	22
2.1.3.1. KGK'a İhtiyaç Duyulmasının Sebepleri	23
2.1.3.2. KGK'da güç problemleri.....	25
2.1.3.3. KGK'da bulunması gereken özellikler.....	30
2.1.3.4. KGK çeşitleri	31
2.1.3.5. KGK sistemlerinin karşılaştırılması	34
2.1.3.6. Kesintisiz güç kaynaklarının yapısı	35
2.2. Yöntem.....	44
2.2.1. Kaskat çok seviyeli eviriciler	44
2.2.2. Kaskat çok seviyeli eviricinin avantajları ve dezavantajları	47
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	48

3.1. Seviye Modülü	48
3.2. H Köprüsü	49
3.3. Tasarlanan 7 Seviyeli Kaskat Evirici Tasarımı.....	50
3.4. Tasarlanan 11 Seviyeli Kaskat Evirici Tasarımı.....	51
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR	56
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	59
ÖZGEÇMİŞ	60



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Tek fazlı yarım köprü evirici.....	4
Şekil 1.2.	Tek fazlı tam köprü evirici.....	6
Şekil 1.3.	Üç fazlı evirici yapısı.....	7
Şekil 1.4.	Üçgen bağlı yük durumunda çıkış gerilimi dalga şekilleri.....	8
Şekil 1.5.	Üçgen bağlı bir yükün faz ve hat akımları.....	9
Şekil 1.6.	120 derece iletim durumu için devre şeması.....	10
Şekil 2.1.	Üç seviyeli evirici.....	14
Şekil 2.2.	Beş seviyeli evirici.....	14
Şekil 2.3.	Üç seviyeli diyot kenetlemeli evirici.....	18
Şekil 2.4.	Üç fazlı üç seviyeli diyot kenetlemeli evirici.....	19
Şekil 2.5.	Üç seviyeli kapasitör kenetlemeli evirici.....	21
Şekil 2.6.	Gerilim çukuru ve gerilim tümseği.....	25
Şekil 2.7.	Düşük gerilim ve aşırı gerilim.....	26
Şekil 2.8.	Enerji kesinti grafiği.....	27
Şekil 2.9.	Harmonik içerikli dalga şekli ve elektriksel gürültü.....	27
Şekil 2.10.	Gerilim dalgalanması.....	28
Şekil 2.11.	Darbe ve dalga şeklinde geçici rejimler.....	29
Şekil 2.12.	Frekans değişimi.....	29
Şekil 2.13.	Bir dinamik KGK sistemi.....	32
Şekil 2.14.	Off-line KGK.....	33
Şekil 2.15.	On-line KGK.....	34
Şekil 2.16.	Hat etkileşimli KGK.....	34
Şekil 2.17.	Değişik güç anahtarlarının frekans-güç eğrisi.....	36
Şekil 2.18.	Tek fazlı tam dalga kontrolsüz doğrultucu.....	37
Şekil 2.19.	Tam dalga kontrollü doğrultucu devre şeması.....	38
Şekil 2.20.	Güç faktörü düzeltme özellikli doğrultucu devre şeması.....	39
Şekil 2.21.	Transformatör devresel gösterimi.....	40
Şekil 2.22.	Sabit akımla şarj.....	43
Şekil 2.23.	Sabit gerilimle şarj.....	43
Şekil 2.24.	Statik transfer anahtarı yapısı.....	44
Şekil 2.25.	Tek fazlı üç seviyeli kaskat evirici devre yapısı.....	45
Şekil 2.26.	Tek fazlı 5 seviyeli kaskat evirici.....	46
Şekil 3.1.	Seviye modülünün devre şeması.....	49
Şekil 3.2.	H köprüsü yapısı.....	49
Şekil 3.3.	Kaskat 7 seviyeli evirici tasarımı.....	51
Şekil 3.4.	Kaskat 11 seviyeli evirici tasarımı.....	52
Şekil 4.1.	7 seviyeli evirici simülasyon sonucu.....	53
Şekil 4.2.	11 seviyeli evirici simülasyon sonucu.....	54
Şekil 4.3.	3 seviyeli evirici simülasyon sonucu.....	54
Şekil 4.4.	7 seviyeli evirici simülasyon sonucu.....	54
Şekil 4.5.	11 seviyeli evirici simülasyon sonucu.....	55
Şekil 4.6.	21 seviyeli evirici simülasyon sonucu.....	55
Şekil 4.7.	31 seviyeli evirici simülasyon sonucu.....	55

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

DC	: Direct Current (Doğru Akım)
DF	: Distorsiyon Faktörü
DSP	: Digital Signal Processor (Sayısal İşaret İşleme)
IGBT	: Insulated Gate Bipolar Transistor (İzole Edilmiş Kapılı, İki Kutuplu Transistör)
IPP	: Intelligent Integrated Pack (Akıllı Entegre Paket)
KGK	: Kesintisiz Güç Kaynağı
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genişliği Modülasyonu)
THD	: Total Harmonic Distortion (Toplam Harmonik Distorsiyon)
UPS	: Uninterruptible Power Supply (Kesintisiz Güç Kaynağı)

ÇOK SEVİYELİ EVİRİCİLER VE KESİNTİSİZ GÜÇ KAYNAKLARI

ÖZET

Son zamanlarda, güç elektroniği alanında ekipman geliştirmeye yönelik çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Evirici tasarımı, güç elektroniği alanındaki en önemli konulardan biridir. Bu çalışmalardan en önemlilerinden biri çok seviyeli evirici tasarımı olmuştur. Alternatif enerji kaynaklarında yüksek güç ve yüksek verimde çalışma kabiliyetleri nedeniyle çok seviyeli eviriciler oldukça sık bir şekilde tercih edilir. Çok seviyeli eviriciler, çıkış voltajı, düşük anahtarlama frekansı ve normal evirici tasarımlarına göre daha yüksek verimde daha düşük harmonik avantajlarına sahiptir. Bu çalışmada 7 ve 11 seviyeli evirici tasarımı yapılmıştır. Evirici yapısını oluşturan parçalar, anahtarlama metodu ve çalışma prensibi açıklanmıştır. Anahtarlama açısını ve elde edilen formülleri hesaplamak için kullanılan yöntem sunulmuştur. Deneysel çalışma olarak, çok seviyeli evirici tasarımı Matlab 2017b simülasyonunda gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan evirici, düşük harmonik çıkış voltajı üretir ve anahtarlama elemanlarındaki dv / dt stres stresini azaltır. Elde edilen sonuçlar gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Çok Seviyeli Evirici Tasarımı, Çok Seviyeli Eviriciler, Güç Elektroniği, H Köprüsü.

MULTILEVEL INVERTERS AND UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY

ABSTRACT

Recently, works on the development of equipment in the field of power electronics has been increasing day by day. Inverter design is one of the outstanding issues in the field of power electronics. One of the most important of these studies has been the multi-level inverter topology. Because of their working ability in high power and high efficiency in alternative energy sources, multi-level inverters are preferred. Multilevel inverters have the advantages of lower harmonic on output voltage, lower switching frequency and higher efficiency than conventional inverter designs. In this study, 7 and 11 level inverter design is given. The parts forming the inverter structure, the switching method and working principle are explained. The method used to calculate the switching angle and the resulting formulas are presented. Experimental studies were carried out in the Matlab 2017b simulation of multilevel inverter. The designed inverter produces low harmonic output voltage and reduces the dv / dt stress stress on the switching elements. The obtained results can be used in real time applications.

Keywords: Multi Level Inverter Design, Multi-level Inverter, Power Electronics, H Bridge.

GİRİŞ

Evirici tasarımı endüstriyel uygulamaların birçoğunda sıklıkla kullanılarak vazgeçilmez unsurlarından biri haline gelmiştir. Eviriciler farklı sürücü teknikleri ile denetlenen motorların kontrolünde, kesintisiz güç kaynaklarında ve güç elektroniği sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanımı mevcuttur. Piyasada en çok tasarım örneklerine rastlanan evirici tasarımları içerisinde, temel eviriciler ve çok seviyeli evirici topolojileri bulunmaktadır.

Evirici tasarımında aranan en temel özellik ise evirici çıkışında üretmiş olduğu gerilimdeki harmonik bileşenlerin olabildiğince düşük olmasıdır. Diğer bir ifadeyle anlatmak istenirse çıkış geriliminin olabildiğince sinüs dalgası biçiminde olmasıdır. Çok seviyeli evirici tasarımda elde edilen çıkış gerilimi merdiven biçimindedir. Çok seviyeli eviricilerde seviye derecesi artıkça çıkış dalga işareti sinüs dalga şeklini alır. Bu sayede çıkış geriliminin kalitesi artarak tam bir sinüs formunu almış olur. Orta güç seviyesi veya daha alt seviyelerdeki güçlerde evirici çıkış geriliminin merdiven biçiminde olması kabul edilebilir. Büyük güçleri talep edildiği sistemlerde ise evirici çıkış gerilim şeklinin sinüs dalga formuna yakın olması istenir. Çıkış geriliminde bulunan harmonikler, sistemin beslediği yük ve elektronik cihazlarda kayıplara ve arızalara yol açar. Ayrıca, iletim hattın gerilim düşümlerine, izolasyon malzeme delinmelerine, güç kalitesinin değişmesine, koruma elemanlarının arızalanmasına, sistemde reaktif yükün artmasına, elektronik cihazlarda ısınma ve bozulmalara, enerji tüketiminin artmasına ve parazitli gürültünün oluşmasına neden olur.

Literatürde evirici tasarımı üzerine birçok uygulama yapılmıştır.

Bowes ve arkadaşları gerçekleştirdikleri evirici tasarımı ile harmonikleri azaltmayı başarmışlardır [1].

Karshenas ve arkadaşları seçici harmonik azaltımı için bir teknik geliştirerek evirici yapısında uygulamışlardır [2].

Park ve arkadaşları çıkış akım ve gerilimlerindeki harmonikleri azaltabilmek amacıyla çok seviyeli evirici tasarımı gerçekleştirmişlerdir [3].

Lund ve arkadaşları 7 seviyeli evirici üzerinde hibrit bir modülasyon tekniği uygulamışlardır [4].

Rodriguez ve arkadaşları kaskat çok seviyeli evirici tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Darbe modülasyon tekniği ile beraber çıkış gerilimi üzerindeki harmonikleri azaltmışlardır [5].

Kouzou yapmış olduğu çalışmada çıkış geriliminin kalitesini artırmak amacıyla seçici darbe modülasyonu tekniği geliştirmiştir. Anahtarlama açısı değerlerini parçacık sürü optimizasyonu ile optimum hale getirmiştir [6].

Jeevabharathi ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada kaskat çok seviyeli evirici tasarımında harmoniklerin azaltılmasında parçacık sürü optimizasyonu tekniğini kullanmışlardır. Böylece düşük seviyede harmonik distorsiyona sahip çıkış gerilimi elde etmişlerdir [7].

Kouzou ve arkadaşları üç seviyeli evirici tasarımında parçacık sürü optimizasyonu tabanlı darbe modülasyon genliği tekniği kullanmışlardır. Harmoniklerin bastırılması için darbe modülasyon tekniğindeki doğrusal olmayan amaç fonksiyonun minimizasyonunu sağlamışlardır [8].

Baharuddin ve arkadaşları beş seviyeli kaskat evirici tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Çıkış gerilimindeki harmoniklerin darbe genlik modülasyonu tekniği ile azaltılması sağlanmıştır [9].

Kouzou ve arkadaşları H-köprülerine sahip çok seviyeli evirici tasarım çalışması yapmışlardır. Vektör çözümleri ile anahtar değerlerinin hesaplamalarını gerçekleştirmişlerdir [10].

Patel ve arkadaşları yaptıkları çalışmada evirici tasarımındaki çıkış gerilimindeki harmonikleri teorik bir şekilde modellemeye çalışmıştır. Harmoniklerin azaltılması için harmonik eliminasyon çözümleri gerçekleştirmiştir. Bu çözümleri elde edilmesi için bilgisayar ortamında numerik yöntemler kullanmışlardır [11].

Dahidah ve arkadaşları sabit bir frekansta kaskat çok seviyeli evirici tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Tek ve üç fazlı 5 ve 7 seviyeli eviricileri simülasyon ortamında modelleyerek sonuçlarını değerlendirmişlerdir [12].

Dargahi ve arkadaşlar tasarlamış oldukları kaskat bağlı çok seviyeli evirici için modülasyon indeksi dikkate alınarak anahtarlama açılarını hesaplamışlardır. Bu hesaplamalar Newton Raphson yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir [13].

Evirici çıkış gerilimindeki harmoniklerin sebep oldukları olumsuzlukları gidermek amacıyla harmonik birleşen analizinin yapılması gerekir. Harmonik analizde dalga şeklinin oluşturan sinüs ve kosinüs birleşenlerin genlik ve frekans bilgilerinin değerlendirilmesi ile gerçekleştirilir. Tez kapsamında harmonik etkileri azaltmak için H köprülü 11 seviyeli evirici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tasarım MATLAB ve SIMULINK ortamında modellenerek evirici çalışma prensiplerinin tam olarak benzetimi sağlanmıştır. Gerçekleştirilen 11 seviyeli evirici tasarımında H köprüsü ve seviye modülü kullanılmıştır. Geliştirilen yöntem ile anahtarlama açılara göre anahtarlama fonksiyonları elde edilmiştir. Bu çalışmadaki yöntem en az anahtarlama elemanı kullanan yöntemlerden biridir ve H-Köprü eviriciler ile aynı sınıftaki birçok eviriciye göre harmonik bileşenlerini oldukça azaltabilmektedir. Geliştirilen eviricinin, gerilim dalga şekilleri simülasyon yolu ve deneysel çalışmalar ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, geliştirilen evirici yapısının ve anahtarlama yönteminin kalitesini ortaya koymaktadır.

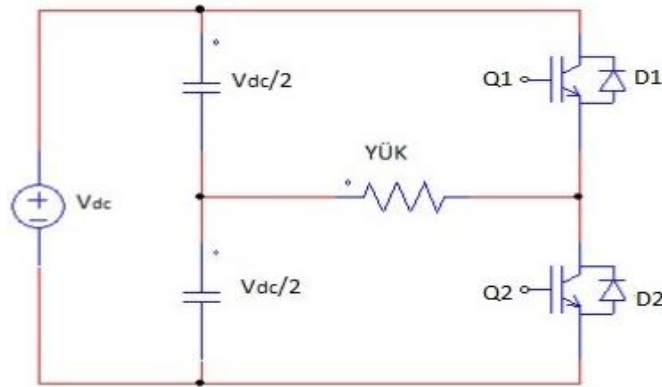
1. GENEL BİLGİLER

1.1. Eviriciler

1.1.1. Çalışma prensibi

Eviricilerin oluşturduğu devre şeması aşağıda Şekil 1.1'de verilmiştir. Eviricilerin oluşturduğu devre iki kıyıcıdan oluşmaktadır. Tek olarak ele alındığında Q_1 transistörü $T_0/2$ kapsamında etkileşimde bulunursa, yükün karşısında V_0 ani gerilimi $V_s/2$ oluşturur. Sadece Q_2 transistörü $T_0/2$ süresince iletimde bulunursa, yükün karşısında $-V_s/2$ oluşur. Lojik devrede ise, Q_1 ve Q_2 aynı zamanda çalıştırılırsa iletimde bulunmayacak şekilde oluşturulmalıdır. Şekil 1.1 gösterilmekte olan omik yük şeklinde bulunan transistör akımları ve son olarak çıkmış gerilimi dalgalar halinde gösterilir. Burada gerekli olan orta uçlu DC gerilim kaynağın bulunmasıdır. Transistör iletim kaynağından ayrıldıktan sonra transörde bulunması gereken gerilim $V_s/2$ yerine V_s olur. Bu eviriciye yarım köprü eviricisi olarak da bilinmektedir. Çıkış geriliminin efektif değeri aşağıda verilmektedir;

$$V_0 = \sqrt{\frac{2}{T_0} \int_0^{T_0/2} \frac{V_s^2}{4} dt} = \frac{V_s}{2} \quad (1.1)$$



Şekil 1.1. Tek fazlı yarım köprü evirici

Ani çıkış gerilimi Fourier serisinde şu şekilde aşağıda anlatılmaktadır;

$$V_0 = \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{2V_s}{n\pi} \sin(n\omega t) = 0 \quad n=(2,4,6,\dots) \quad (1.2)$$

Bu denklemde $w=2\pi$, f_0 çıkış geriliminin rad/sn adlandırılmakta olan frekansdır. $n=1$ için, Denklem (1.2) temel bileşenin efektif değerini verir;

$$V_1 = \frac{2V_s}{\sqrt{2\pi}} = 0,45V_s \quad (1.3)$$

Denklem (1.3)'de V_1 geriliminin V_s gerilimine bağlı olarak hesaplama formülü verilmiştir. Endüktif yük çıkışında gerilim durumuyla hemen değişim göstermez. Q_1 , $t=T_0/2$ 'de iletim ağından ayrıldıktan sonra yük akımı sıfırlanmaya kadar D_2 , yük ve alttaki yarı DC kaynak üzerinden geçmeyi sürdürmek ister. Q_2 , T_0 'da iletimden ayrıldığı zaman yük akımı D_1 , yük ve üstteki yarı DC kaynak üzerinden geçmeyi tamamlar. D_1 ve D_2 diyotları birbirleriyle iletim sağladıklarında, enerji DC kaynağa geri verilir ve bu diyotlar geri besleme diyotları olarak adlandırılır. İletim akımları Şekil 1.2 endüktif yük akımı halindeki aralıklarını göstermektedir. Endüktif yük şeklinde bir transistör sadece $T_0/4$ (veya 90°) süresince iletim halindedir. İletim periyodu yükün güç faktörüne bağlı olarak transistörün 90° 'den 180° 'ye değişmesini gösterir.

RL yükü halinde, ani yük akımı Denklem (1.4)'de gösterilmektedir;

$$i_0 = \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{2V_s}{n\pi\sqrt{R^2+(n\omega L)^2}} \sin(n\omega t - \theta_n) = 0 \quad n=(2,4,6,\dots) \quad (1.4)$$

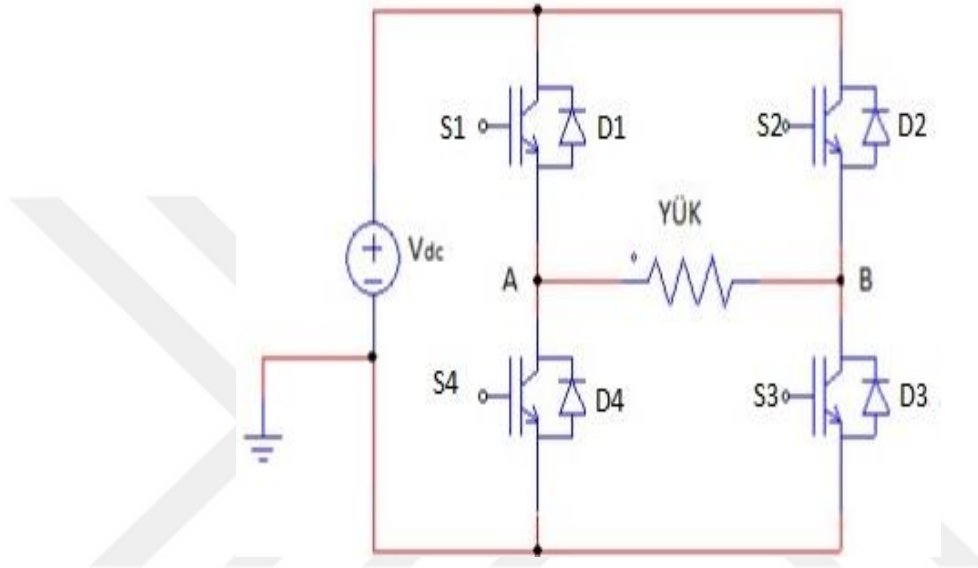
1.1.2. Tek faz için tam köprü eviriciler

Şekil 1.2'de tek fazlı köprü eviricisi verilmiştir. Bu evirici dört transistör den oluşmaktadır. Normal şartlar da TR1 ve TR2 transistörleri 180 derecelik aralıklar halinde anahtarlanarak yüklenen yükün A ucunun DC kaynağına artı, eksi olarak bağlanmasıyla sağlanır. TR3 ve TR4 transistörleri de aynı şekil B ucuna sırasıyla DC kaynağının bir artı bir eksi uca bağlanmasıyla oluşmaktadır. TR1 ve TR4 transistörleri birlikte ilettime girdiklerinde giriş gerilimi V_D yükünün üzerine uygulanmış olur. Benzer bir şekilde TR2 ve TR3 birlikte ilettime sokulduklarında yük $-V_d$ uygulanmaktadır. Normal şartlar altında uygulanmamasına rağmen sıfır noktası referans aralığında V_{AO} ve V_{BO} 'ın kare dalgası şeklinde ve genliğinde $V_d/2$ 'dir. Buradan da gerilime, kutup gerilimi ismi verilmektedir. Asıl yük kaynağı bu

gerilimden tamamen farklılık göstermektedir. Bu durum Denklem 1.5’de gösterilmektedir;

$$V_{AB}=V_{A0}-V_{B0} \quad (1.5)$$

Rezistif bir yük için akım şekli kare dalga şeklinde olmaktadır. Yüklenen yük akımı ani yön değişiminde geri besleme diyotları kullanılmaz.



Şekil 1.2. Tek fazlı tam köprü evirici

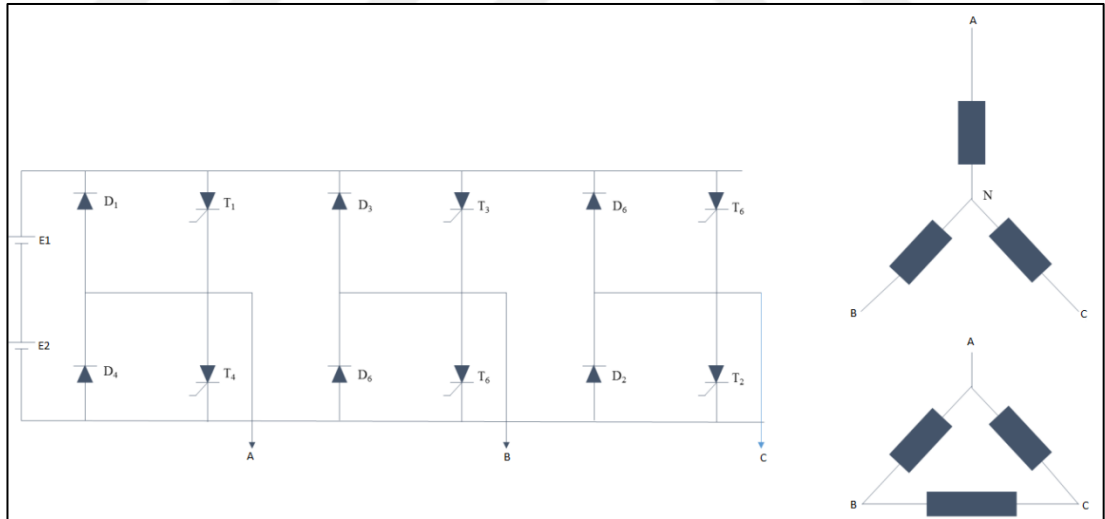
Eviriciye uygulanacak yük endüktif bir yük ise, akım uygulanan gerilimin arkasında kalır. Eviricideki yük akımı terse döndükten belli bir süre sonra yükteki ani güç düşmesi negatif olacaktır. Çünkü burada bahsedilen yük akımı ters yönlüdür. Buradan çıkartacak olursak endüktif yükü besleyen enerjinin geri beslenme diyotları üzerinden kaynağa geri aktarıldığı çıkarılır. Evirici sıfırlandığında TR2 ve TR3’ün enerjisi kesilerek yerine TR1 ve TR4 girer. Bu arada endüktif yükü besleyen akım ise bir süreliğine B akımından A akımına doğru negatif yönde akmaya devam etmektedir. D₁ ve D₄ akımı bu arada geri beslenen diyotlar üzerinden kaynağa geri verilmektedir. Bu periyodun devamında ise yük akımı sıfırlanıp yeniden döndüğünde ise artan pozitif akım TR1 ve TR4 transferlerinden geçerek periyodu tamamlar. Bu periyottaki ani akım dönüşü yüklenen yük ile ilgilidir ve yüklenen akım periyodun yarı boyutunda herhangi bir zaman dilimin de gerçekleşebilir. Bu oluşan akım sonucu TR1 ve TR4 sönüp onların yerine TR2 ve TR3 tetiklemektedir. Bu olaydan sonra pozitif yük akımı D₂ ve D₃ geri beslenme diyotları üzerinden tekrar kaynağa geri

iletilir. Bu periyotta eğer ki evirici güç kaynağı ileri zamanda (kapasitif) olan bir yükle kendini beslerse, yükten kaynağın kendisine doğru enerjinin geri beslenmesi sağlanacaktır. Bu sefer ise yük iletimi sinüzoidale yakın olur ve de bu şekilde yük geriliminden önce ters yöne dönüş gösterecektir.

Bu yüklerden kaynaklı olarak bu tür yük kaynaklarında kendinden sönümlü transistörleri kullanmak yerine zorlamalı komutasyona gerek duyulmadığı için onların yerine tristörler kullanılabilir. DC kaynak akımları yarı periyotta ki ters kutuplaşmasının dışında tamamen birbirine benzemektedir. DC kaynağının negatif olarak işlediği yerler geri beslenme diyotlarının iletim halinde olduğu yani yük kaynağının DC kaynağından beslendiği anlamına gelmektedir.

1.1.3. Üç fazlı evirici yapıları

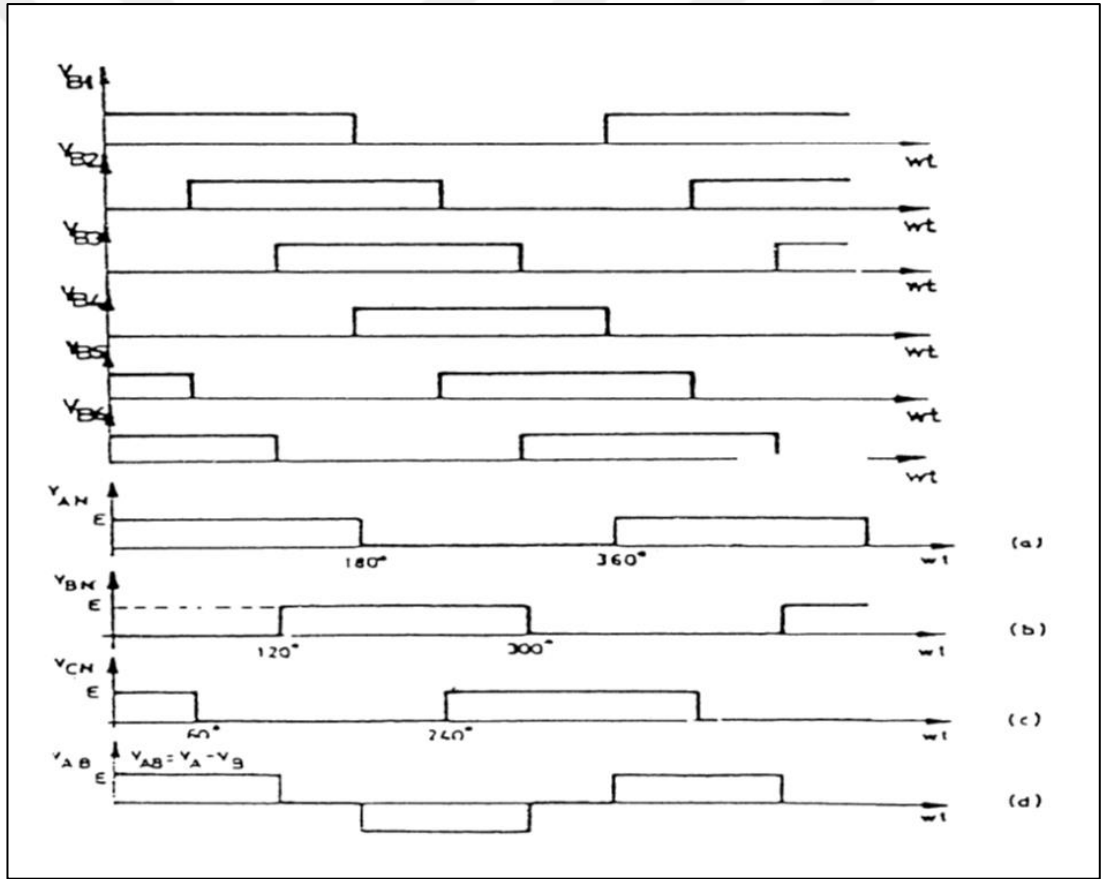
Transistörlü üç fazlı gerilim besleme köprü evirici devresi Şekil 1.3'de yer verilmiştir. Bir fazlı tam dalga köprü eviriciye bir paralel kol eklenerek, üç fazlı eviriciyi meydana getirmektedir.



Şekil 1.3. Üç fazlı evirici yapısı

Yukarıda verilen evirici devrelerinde güç transistörleri kullanılmıştır. Transistörlerden sırasıyla T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5 , T_6 'dan her biri için 120 derece veya 180 derecelik iletimde bulunacak şekilde bir anahtarlanma işlemi yapılmıştır. Bundan dolayıdır ki eviricilerin dalga çıkış dalgaları iletim biçimleri doğrultusuna göre değişme göstermektedirler. Transistörler öyle muntazam ayarlanmalıdır ki üç fazın

gerilimleri toplamı her zaman sıfır bulunmalıdır. Burada anlatılan altı transistorlerden birinin yanlış iletilme geçirilmesi ya da sürecin geciktirilmesi durumunda kendinden sonra iletime geçirilecek olan transistorün iletim devamlılığını engelleyerek istenmeyen kol kısa devresine yol açabilecektir. Kol kısa devresinden kaynaklı sıkıntıların çıkmaması için her bir kolun alt ve üst transistörlerin anahtarlanma işlemi sırasında her ikisinin birden tutulduğu bir zaman dilimi oluşturulmalıdır. Bu devreler tasarlanırken eviriciden kaynaklı sıkıntılar göz önüne alınmalıdır. Eviricide oluşan geri besleme diyotları yükten kaynaklanan enerji kaynağına geri iletmek için kullanılmalıdır. Transistörlerin anahtarlanma frekansı eviricinin çıkışı esnasında belirlenmelidir.

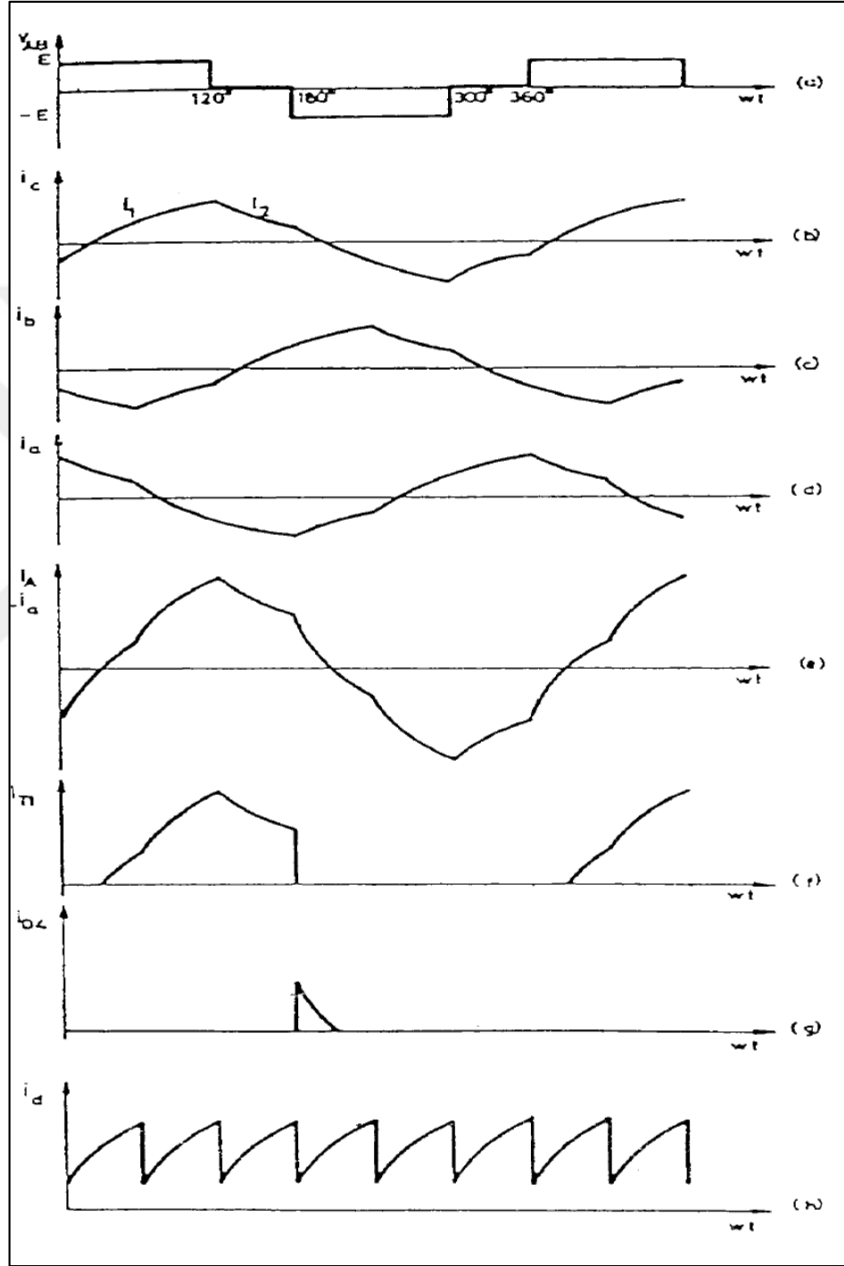


Şekil 1.4. Üçgen bağlı yük durumunda çıkış gerilimi dalga şekilleri

Yukarıda Şekil 1.4'de üçgen bağlı direnç- endüktasyon durumunda bulunan üç farklı eviricinin dalga çıkışı verilmektedir. Burada verilmek istenen V_{AN} , V_{BN} , V_{CN} faz gerilimleri ve V_{AB} , V_{BC} , V_{CA} ise faz gerilimlerinin birbirinden ayrılarak oluşturulan faz arası gerilimdir.

Faz akımlarının oluşum şekilleri ise fazlara uygulanan gerilim basamağı değişikçe oluşan bir dizi üstel akımdan kaynaklanarak oluşmaktadır.

Şekil 1.5'de ise üçgen bağlı bir direnç endüktans yükünün faz ve hat akımlarının dalga şekilleri verilmiştir.



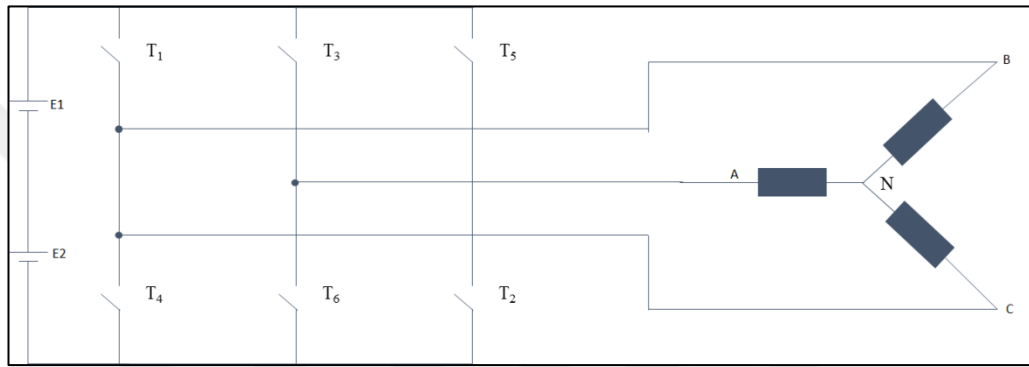
Şekil 1.5. Üçgen bağlı bir yükün faz ve hat akımları

Yukarıda Şekil 1.5'de üç fazlı eviricinin üçgen bağlı direnç-endüktans yüküne bağlanması durumu sonrası oluşan dalga akım şekli verilmiştir. Anahtar elemanlardan her birinin üç fazlı eviricide değerlerinin 120 derece veya 180 derece

iletimde bulunması durumunda eviricinin çıkış dalga biçiminde değişiklik görülmektedir.

1.1.3.1. 120 derece iletim durumu

120 derecelik iletim durumunda her bir anahtarlanma elemanı 120 derecelik periyotta iletim durumunda bulunmaktadır. Bu periyotta bir başka tümleşik anahtarlanma elemanı ile ise 60 derece iletimde bulunmaktadır. 120 derece iletim durumuna bağlı çalışan üç fazlı evirici devresi Şekil 1.6'da verilmiştir.



Şekil 1.6. 120 derece iletim durumu için devre şeması

1.1.3.2. 180 derece iletim durumu

Daha çok kullanılmakta olan evirici 180 derecelik iletim durumudur. Bu eviricinin çalışma evresi bir t anında bir kolda tek bir transistör öbür kolda ise bir transistör paralel olarak çalışmaktadır.

1.1.4. Performans parametreleri

Performans paralellerinde pratik durumda evirici çıkışları harmonikler içerir ve bu harmonikler evirici kalitesi normal olarak performansa göre değerlendirilirler.

1.1.4.1. Harmonik faktörü

n. dereceden bir harmoniğin, harmonik faktörü, tek tek harmoniklerin dağılımı Denklem (1.6)'da verilmiştir;

$$HF_n = \frac{V_n}{V_1} \quad (1.6)$$

ile ifade edilir ki, burada V_1 ; ana dalganın efektif değeri ve V_n ; n. dereceden dalganın efektif değeridir.

1.1.4.2. Toplam harmonik distorsiyonu (THD)

Toplam harmonik distorsiyonu, dalga şekli ile bu dalga şeklinin bileşenleri arasındaki şekil benzerliğinin bir ölçüsü olup Denklem (1.7)'de verilmiştir;

$$THD = \frac{1}{V_1} \sqrt{\sum_{n=2,3,\dots}^{\infty} V_n^2} \quad (1.7)$$

1.1.4.3. Distorsiyon faktörü (DF)

THD, harmonik mevcudiyetinin toplam değerini vermektedir; fakat THD tek tek harmoniğin seviyelerini belirtemez. Harmonikler daha çok zayıflaması isteniyorsa eviricilerin çıkışında bir filtre kullanılmalıdır. Burada da her dalganın frekans ve genliğinin bilinmesi son derece önemli bir husustur. Belirli bir dalga şeklinde gelen distorsiyon faktörü, ikinci bir seviyede hızının düşmesiyle oluşan harmonik distorsiyonu belirlemektedir. Buradan da DF, oluşabilecek istenmeyen harmoniklerin azalmasıyla etkinliğin bir garantisini, çıkıştaki oluşan ikinci seviyeden yük filtresine görme zorunluluğunu ortadan kaldırarak oluşan bir ifade şekli olup Denklem (1.8) ve (1.9) verilmiştir;

$$DF = \frac{1}{V_1} \sqrt{\sum_{n=2,3,\dots}^{\infty} \left(\frac{V_n}{n^2}\right)^2} \quad (1.8)$$

Şeklinde dir. Tek tek ya da n. Harmoniğe ait distorsiyon faktörü;

$$DF_n = V_n / V_1 \times n^2 \quad (1.9)$$

1.1.4.4. En düşük mertebeli harmonik

En küçük dereceli harmonik, frekansı temel dalga frekansına en yakın olan ve genliği temel dalga genliğinin en az 1/3'ne eşit ya da bu değerden daha büyük olan harmoniktir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzeme

2.1.1. Çok seviyeli eviriciler

İki seviyeli gerilim kaynaklı eviricilerde yükselen anahtarlama frekansının kalitesi daha yüksek dalgalanma şekli bulunduğu için geleneksel eviricilerde genelde yüksek anahtarlama frekansları ve çeşitli darbe genlik modülasyon stratejileri kullanılır. Lakin uygulanan yüksek ve orta güçteki geleneksel eviricilerde alınan verim düşüktür ve buna paralel olarak kullanılan büyük transformatörler harcamaların artması gibi olumsuzluklara yol açmaktadır. Yüksek güçte eviricilerin kullanımı yarı iletken anahtarların anahtarlama problemleri ve bunların birbirine seri bağlanmaları sonucu oluşan problemler bu eviricilerin kullanım alanlarını kısıtlamaktadır. Bundan dolayı da çok seviyeli eviriciler yüksek güç uygulamalarında daha çok tercih edilmektedir. Çok seviyeli eviricilere talep hem akademi de hem de endüstride artarak devam etmektedir. Endüstride akademiye göre yerini daha çok almıştır. Bugün endüstride çeşitli uygulamalar yapılarak başarılı sonuçlara ulaşılmaktadır. Kompresörler, ekstruder makinaları (gıda), fanlar, öğütme ve un değirmenleri, taşıma bantları, parçalayıcılar (çimento), yüksek fırın körükleri, gaz turbine starteri, çalkalama makineleri, maden ocaklarındaki vinçler, reaktif güç kompanzasyonu, deniz motorları çok seviyeli eviricilerin uygulandığı alanlardan sadece bir kısmıdır [14].

Çok seviyeli eviricilerin bu gibi alanlarda uygulanmasında büyümekte olan bir topluluk tarafından ticari anlamda uygulanması önerilmiştir [15].

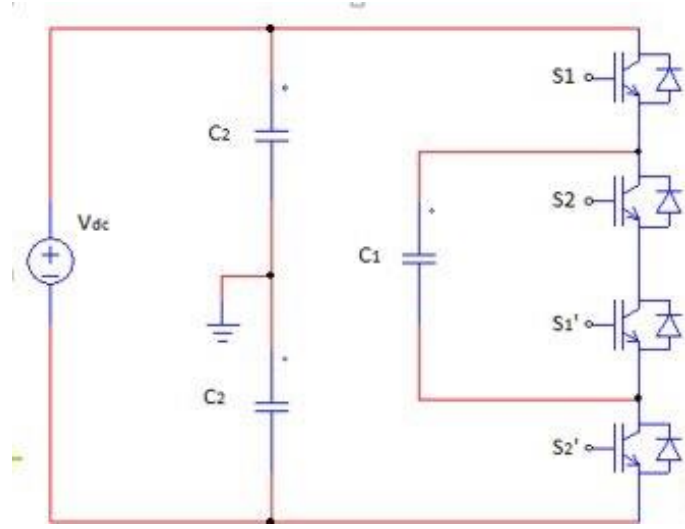
Çok seviyeli eviriciler kendini kanıtlaya da birçok alanda gelişime açıktır. Eviricilerin daha çok büyüyüp gelişmesi için araştırma ve geliştirmeye devam edilmektedir. Dünyadaki çeşitli araştırmacılar çok seviyeli eviricileri enerji verimliliği, güvenilirlik, güç yoğunluğu, basitlik bakımından geliştirmek, maliyeti bakımından azalma ve uygulama sahasını arttırmak için çeşitli çalışmalar yapmaya

devam etmektedirler. Bunun yanında klasik topolojilerin yanı sıra kendini klasik topolojilerden besleyen yeni topolojiler oluşmaktadır [16].

Fotovoltaik piller, yakıt hücreleri, rüzgar türbinleri, mikro türbinler gibi bir çok çeşitli farklı bataryalar çok seviyeli eviriciler sayesinde voltaj dengeleme sorunları olmadan bir yükü veya AC sistemin faydalanması sağlanabilir. Çok seviyeli eviricilerde kat sayılarındaki yükseliş dolaylı olarak çıkış dalga şekillerinde harmonik distorsiyon (HD) düşürmektedir. Oluşan kat sayı sonucu değerler sonsuzu gösterdikçe çıkış gerilimi toplam harmonik distorsiyonu (THD) sıfırı göstermektedir. Buradan kaynaklanan kat sayıdaki artış sebebiyle eviricinin kontrolünde karmaşıklık ve çıkış geriliminde dengesizlik yaşandığı görülecektir. Bununla birlikte çok seviyeli eviricilerde gerçekleştirilebilir kat sayısı; gerilim dengesizlik problemi, anahtarların gerilim tutma kapasitesi, devre tasarımı ve paketleme gibi faktörler ile sınırlanmaktadır.

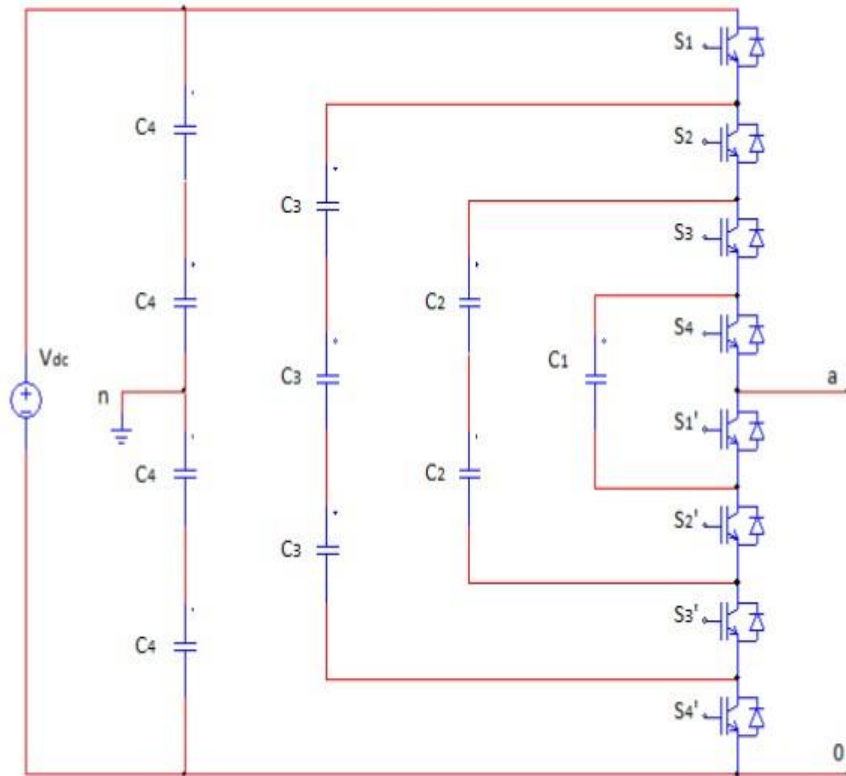
2.1.1.1. Çok seviyeli eviricilerin genel yapısı

Çok seviyeli eviriciler giriş kısımlarında uygulanmakta olan DC gerilimin birkaç seviyesinden anahtarlama sayesinde çıkışta minimum harmonik distorsiyonlu sinüzoidal dalga şekline benzeyen bir merdiven dalga şekli oluştururlar. Her bir ilave DC gerilim katı, AC çıkış geriliminin dalga şekline bir basamak ekleyerek devam etmektedir. Çok seviyeli eviricilerden oluşturdukları güç yarı iletkenleri ve çıkışları basamak dalga formunda gerilim üretmekte olan kapasitif gerilim kaynaklarını içermektedirler. Kapasitör gerilimlerinin toplamına izin vermek için oluşan belirli bir dayanma gerilimine sahip anahtarlanma elemanlarının komütasyonları çıkışta yüksek seviyede yer alır. Bu eviricinin en büyük avantajı ise düşük anahtarlama frekansında eviricinin çıkış gücünde bir azalma olmadan, çıkış dalga şekillerinde harmoniklerin az olmasıdır.



Şekil 2.1. Üç seviyeli evirici

Şekil 2.1’de güç yarı iletkenleri çok kademeli ideal bir anahtar ile temsil edilen farklı seviye sayılarına sahip çok seviyeli eviricilerin bir faz bacağına şematik diyagramı verilmiştir. Üç seviyeli bir evirici, gerilim kaynağının veya kapasitörün negatif terminaline bağlı olarak üç seviyeye ($+V_{dc}/2$, $-V_{dc}/2$, 0) sahip olan bir çıkış gerilimi üretir. Bu duruma benzer bir şekilde seviye sayısındaki değişime paralel olarak çıkış gerilimine ait seviyede de değişim gözlenir [17].



Şekil 2.2. Beş seviyeli evirici

Çok seviyeli evirici birçok farklı çıkış gerilim seviyesi üretirken n seviyeli evirici n farklı çıkış üretir. Şekil 2.2’de beş seviyeli evirici tasarımı verilmiştir. Çıkış gerilimi basamak değerinin, eviricinin negatif terminali ile bağlantılı olduğu düşünülerek; yükün iki fazı arasındaki gerilimin seviye sayısı hesaplanabilir. Faz geriliminin basamak sayısına “m”, yükün iki fazı arasındaki gerilimdeki basamaklara “k” ve yıldız bağlı üç fazlı bir yükün faz gerilimindeki basamakların sayısına “p” diyecek olursak Denklem (2.1) ve (2.2)’de hesaplamalar gerçekleştirilir.

$$K=2m+1 \quad (2.1)$$

$$P=2k-1 \quad (2.2)$$

2.1.1.2. Çok seviyeli eviricilerin avantajları ve dezavantajları

Çok seviyeli eviricilerle, klasik eviricileri karşılaştıracak olursak bu iki eviricinin avantajlı ve dezavantajlı yönlerini şu şekilde sıralayabiliriz: Modüler ve basit yapısından dolayısıyla sonsuz sayıda seviyeye kadar çıkarılabilir. Eğer ki evirici seviye sayısı ve DC gerilim seviyesi düşünüldüğü kadar yüksekse sadece temel anahtarlama frekansı ile sinüzoidale yakın olan çok seviyeli bir çıkış gerilim elde etmek mümkündür. Burada artmakta olan seviye sayısındaki kullanılması şart anahtarlama elemanlarının sayısında da bir artış olması gerekir. Bundan dolayı da seviye sayısındaki artışa paralel olarak kontrol yapmak zorlaşmaktadır. Temel anahtarlama frekansı anahtarlama kayıpları en aza indirmeye çalışır. Buradan kaynaklanan kayıplar çoğu zaman tolera edilebilir düzeyde ve oluşan harmonikler sayılamayacak kadar küçük olurlar. Anahtarlama kayıplarının az olması buna paralel olarak verimliliğin yükselmesini sağlamaktadır (yaklaşık olarak %98) [18]. Çok seviyeli eviriciler daha küçük ortak mod gerilimi üretmektedir. Böylelikle oluşan motorun davranışlarındaki stres en aza indirilmektedir.

Buna ek olarak oluşan ortak mod gerilimleri gelişmiş modülasyon metotlarıyla elimine edilir bu da motor gibi araçların rulmanlarındaki baskının azalmasını sağlamaktadır. Ayrıca eviricide gelişmiş modülasyon metotlarıyla ortak mod gerilimlerinde oluşacak kayıpları en aza indirecektir. Yüksek gerilimler sadece DC tarafından bir anahtarla tutulmak zorunda değildir. Çok seviyeli eviricinin türüne ve

seviyesine göre seçilen bir grup anahtara tarafından tutulmaktadır. DC de oluşan birkaç gerilim seviyesinden ötürü çok seviyeli eviricideki anahtarlar, tam köprü bir eviricideki anahtarlara uygulanan gerilime kıyasla daha küçük gerilim oranına sahip olur. Kaskat ve kapasitör kenetlemeli çok seviyeli evirici yapıları birden farklı anahtarlama kombinasyonu imkanı sağlarlar. Bu durum bir çok yönden avantajlıdır.

Örnek verecek olursak oluşabilecek farklı gerilim evrelerini eşitlemek, anahtarlama frekansını en aza indirerek anahtarların her birinin eşit olarak çalışması sağlanmaktadır. Seviye sayılarında oluşan artışla birlikte kullanılan izole edilmiş DC'den ötürü artış bir dezavantaj olarak değerlendirilmekte fotovoltaik pil veya yakıt hücresi gibi düşük gerilim seviyeli DC kaynaklar için kullanılan iyi bir ara yüz sayılmaktadır.

2.1.2. Çok seviyeli eviricilerin çeşitleri

Çok seviyeli eviriciler devre topolojileri açısından incelendiğinde 3 grupta ele alınır. Bunlar aşağıda verilmiştir:

- Diyot Kenetlemeli Çok Seviyeli Eviriciler (Diode Clamped-Neutral Point)
- Kapasitör Kenetlemeli Çok Seviyeli Eviriciler (Capacitor Clamped-Flying Capacitors)
- Kaskat Çok Seviyeli Eviricilerdir [19].

Birbirine seri bağlanmış tam köprü devreleri tarihte ilk olarak 1975 yılında kullanılarak çok seviyeli çıkış devreleri elde edilmiştir. Daha sonra bu devreler geliştirilerek kaynak gerilimini tutan kenetleme diyotları eklenmiş ve bu şekilde de Diyot Kenetlemeli Evirici topolojisi ortaya çıkmıştır [20-21]. Üç Seviyeli Diyot Kenetlemeli Eviricinin orta gerilim seviyesi “nötr noktası” olarak tanımlanmış ve bu topoloji ilk olarak “Nötr Nokta Kenetlemeli” evirici olarak adlandırılması uygun görülmüştür. Üç seriden oluşan eviricinin her faz ayağında seri olarak bağlanmış ikişer çift anahtarlama elemanı bulunmaktadır. Bu bağlantıda her çift birbirine bağlı diyotlar bulunmaktadır.

Üç seriden oluşan eviricinin çıkış anındaki dalga formu “quasisquare” (kısmi kare) olarak isimlendirilmiştir [22]. Üç seriden oluşan eviricide hassasiyeti göz önüne alınmadan anahtarların dayanma gerilim seviyesini iki katına çıkardığı için devre

topolojisi 1980'li yıllarda daha çok talep görmüş ve geliştirilmesi için daha çok önem verilmiştir. 1990'lı yıllarda kullanılmakta olan Kaskat Çok Seviyeli Eviricinin bulunması daha erken yıllara dayanmasına rağmen yenilenebilir enerji kaynakları alanında çalışmaların yoğunlaşmasına paralel olarak tekrardan talep görmeye başlamıştır [23]. Bunun sebebi yenilenebilir enerji kaynakları yapı itibariyle izole DC kaynakları (Seperated DC Sources) görevini üstlenmektedir.

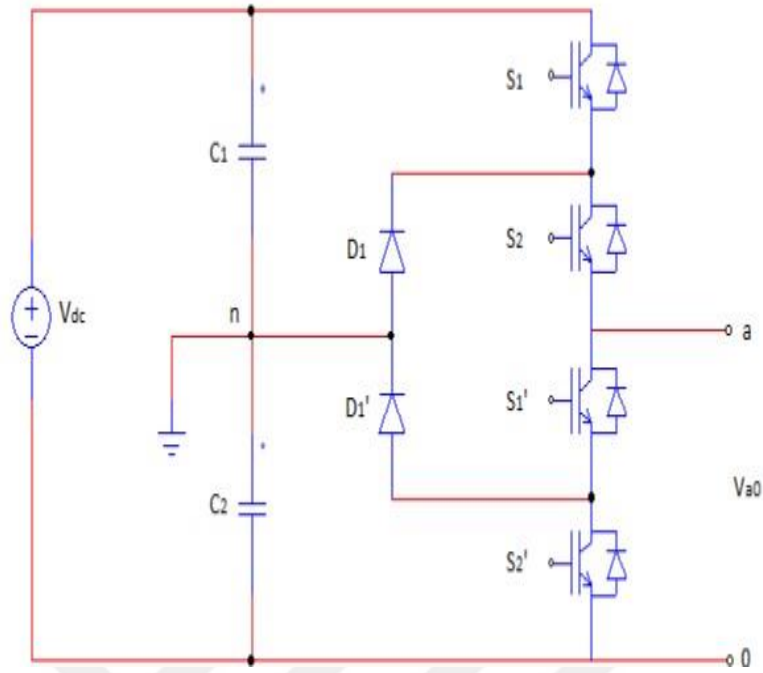
En son ortaya konulan evirici 1990'ların ortasında Kapasitör Kenetlemeli Çok Seviyeli Eviricisi olarak bilinir. Bu eviricilerin dışında ise Çok Seviyeli Eviricileri ilgilendiren çok çeşitli modülasyon ve kontrol stratejileri ortaya konulmuş ya da bilinen yöntemler bu alana adapte edilmiştir. Bu eviricilerden bazıları şu şekilde sıralayabiliriz: Darbe Genlik Modülasyonu, Çok Seviyeli Seçilimli Harmonik Eliminasyonu ve Uzay Vektör Modülasyonudur [24].

2.1.2.1. Diyot kenetlemeli çok seviyeli eviriciler

Bu eviricinin orijinal hali iki kapasitörün bir DC bara üzerinden ek bir seviye olarak bağlanması bakımından üç çıkış seviyesiyle sınırlandırmak mümkündür [25]. Bu eviricideki ek seviye DC baranın “nötr noktasından oluşmaktaydı. Buradan da topoloji terminolojide Nötr nokta kenetlemeli evirici olarak kullanılmıştı. Konsept, kapasitör sayılarını çoğaltarak istenilen düzeye kadar çıkarmak mümkündür. Pozitif negatif yani nötr noktasının kullanılmadığı durumlar da şu şekilde adlandırmak çoklu nokta kenetlemeli evirici daha doğru olacaktır. Diyot kenetlemeli evirici uygulamaların çoğunda üç seviyeye sınırlandırılmaktadır.

Geçmiş zamanlar da endüstrideki gelişmelere paralel olarak üç seviyeli evirici endüstriyel uygulamalarda yoğun talep görmüştür [26].

Diyot kenetlenmesinin en basit şekli çok seviyeli eviricinin içerik geriliminin m seviyede oluşması için DC barada (m-1) tane seri bağlı kondansatöre ihtiyaç duyulur. Seri kondansatörler için ana DC gerilimden çok seviyeli çıkış gerilimi bulmak için kullanılmaktadır. Seri kondansatörler için her faz da gerekli kenetleme diyotlarının sayısı $(m-1) \times (m-2)$ 'dir.



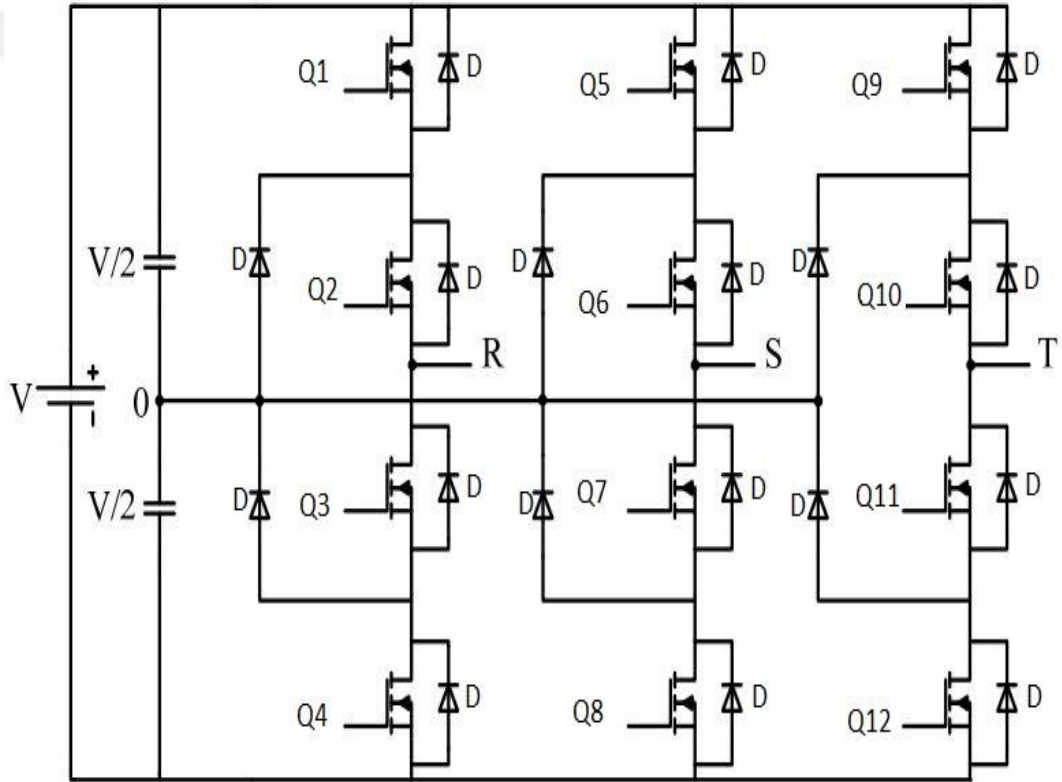
Şekil 2.3. Üç seviyeli diyot kenetlemeli evirici

Yukarıda bulunan Şekil 2.3’de üç seviyeli diyot kenetlemeli evirici verilmiştir. Devrede anlatılan DC bara gerilimi iki tane seri bağ kullanılarak bulk kapasitörü C_1 ve C_2 tarafından kademelendirilerek üç kısma ayrılmıştır. Buradaki nötr noktası iki kapasitörün arasında bulunan ‘n’ dir.

Çıkış gerilim noktası ‘ V_{an} ’nın üç durumda ele alınmaktadır: $V_{dc}/2$, 0, ve $-V_{dc}/2$. Gerilim seviyesini $V_{dc}/2$ yapmak için S_1 ve S_2 anahtarları iletimde olması gerekmektedir. Benzer bir durumda ise $-V_{dc}/2$ için S_1' ve S_2' anahtarları ve 0 için S_2 ve S_1' anahtarları iletime geçirilmelidir. S_1 - S_1' ve S_2 - S_2' anahtarları tümleyen anahtar oluşan çifttir. Bu bağlantı aralarında S_1 iletimde olduğu zaman S_1' kesimde veya S_1 kesimde olduğu zaman S_1' iletimi şeklinde oluşmalıdır. Bu bağlantının aynı S_2 , S_2' anahtar çifti için de geçerlidir. Bu topolojiyi geleneksel bir iki seviyeli eviriciden farklı kılan ise elemanlar D_1 ve D_1' diyotlarının olmasıdır. Devrede D_1 diyotunun anodu nötr noktasına, katodu ise S_1 - S_2 anahtar çiftinin orta noktasına, D_1' diyotunun ise katodu nötr noktasına, anodu ise S_1' - S_2' anahtar çiftinin orta noktasına bağlıdır. Bu iki diyot, anahtar gerilimini DC bara geriliminin yarı seviyesine ayarlar. S_1 ve S_2 anahtarlarının her ikisi de iletimde olduğu zaman a ve 0 noktaları arasındaki gerilim V_{dc} ’dir. Bu durumda D_1' diyotu C_1 üzerindeki gerilimi tutan S_1' anahtarı ile C_2 üzerindeki gerilimi tutan S_2' anahtarı arasında paylaşılan gerilimi dengeler. Bu

devrede çıkış gerilimi V_{an} AC ve V_{a0} DC gerilimdir. V_{an} ve V_{a0} arasındaki fark C_2 üzerinden geçen gerilimdir ve $V_{dc}/2$ kadardır. Eğer a ve 0 noktaları arasından çıkış 15 alınrsa devre V_{dc} , $V_{dc}/2$ ve sıfır (0) çıkış gerilim seviyelerine sahip DC/DC çevirici olur.

Tek fazlı üç seviyeli evirici yapısı iki faz bacağı daha eklenerek üç fazlı üç seviyeli yapı elde edilebilir. Üç fazlı üç seviyeli diyot kenetlemeli evirici yapısı Şekil 2.4'de görülmektedir. Devrede nötr noktası çıkış gerilimi için referans noktası olarak ele alınır. a, b, c noktaları üç fazın çıkış noktalarıdır. Devrenin anahtarlama durumları ise 3 fazlı bir tam köprü eviricinin anahtarlama durumuyla benzerlik göstermektedir.



Şekil 2.4. Üç fazlı üç seviyeli diyot kenetlemeli evirici

2.1.2.2. Diyot kenetlemeli eviricilerin avantajları ve dezavantajları

Avantajları:

- Seviye sayısını artması harmonik distorsiyonu azaltır.
- Bütün fazlar aynı DC barayı paylaşır.
- Temel anahtarlama frekansında yüksek verimlilik vardır.
- Kontrol metodu diğer topolojilere nazaran basittir.

Dezavantajları:

- Her faz $(m-1)$ tane DC bara kapasitörü ve $(m-1) \times (m-2)$ tane kenetleme diyotu gerektirir.
- Aktif güç akışı kondansatörlerin dengesizliğinden dolayı zordur.

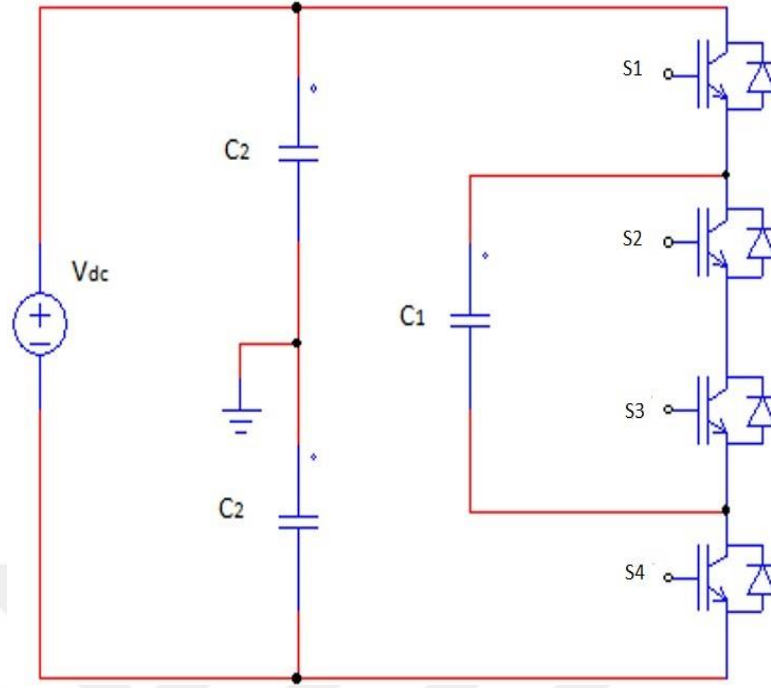
2.1.2.3. Kapasitör kenetlemeli çok seviyeli eviriciler

Kapasitör Kenetlemeli Çok Seviyeli Evirici topolojisi seri bağlanmış kapasitör kenetlenmiş anahtarlama hücrelerinden oluşması gerekmektedir [27]. Diyot Kenetlemeli Çok Seviyeli Evirici ile karşılaştırıldığı zaman kendine özgü ve daha gelişmiş özellikler karşımıza çıkmaktadır. Bu sayılan özelliklerden en fazla göze çarpan kenetlenme diyotlarına hiç ihtiyaç duyulmamasıdır. Kapasitör kenetlemeli evirici diyot kenetlemeli eviriciye benzemektedir.

Bu duruma paralel olarak kapasitör kenetlemeli evirici topolojisi çıkış dalga şeklinin oluşmasında daha az titizlik gösterilmektedir. Kenetleme kapasitörleri gerilimin denge oluşturmaya yardımcı olur. Bu evirici bağımsız kapasitörlerin anahtar gerilimini bir kapasitör gerilimine kenetlediği için “flying capacitor” evirici olarak da adlandırılır.

2.1.2.4. Kapasitör kenetlemeli çok seviyeli eviricinin yapısı

Üç seviyeli bir kapasitör kenetlemeli evirici'nin bir faz bacağına temel yapı bloğunu Şekil 2.5'de verilmiştir. “m” seviyeli çıkış gerilimi sağlamak için DC barada $(m-1)$ kapasitöre ihtiyaç vardır. C_1 kapasitörü kenetlenme şekli başka türlü isimlendirecek olursak denge kapasitörüdür. Kenetleme kapasitör sayısı faz başına $(m-1)(m-1)/2$ ile belirlenmektedir.



Şekil 2.5. Üç seviyeli kapasitör kenetlemeli evirici

Yukarıda şekilde verilen evirici devresinde üç seviyeli çıkış elde etmek mümkündür. Örnek verecek olursak $V_{an} = V_{dc}/2$, 0 ya da $-V_{dc}/2$ güzel bir örnektir. Gerilim seviyesini $V_{dc}/2$ yapmak için, S_1 ve S_2 anahtarları ilettime sokulmalıdır. Bu duruma bir benzeri de $-V_{dc}/2$ için S_3 ve S_4 anahtarları, 0 seviyesi için ise S_1 ve S_3 veya S_2 ve S_4 anahtar çiftlerinden biri iletimde halinde olmasıyla mümkündür. C_1 kenetleme kapasitörü S_1 ve S_3 anahtarları iletimde olduğunda dolar ve S_2 ve S_4 ilettime geçirildiğinde boşalır. C_1 doluluğu 0 seviyesi için seçilen uygun anahtar kombinasyonu ile denge sağlamak mümkündür.

2.1.2.5. Kapasitör kenetlemeli eviricilerin avantajları ve dezavantajları

Avantajlar;

- Kat sayısı büyüdükçe kapasitörler uzun deşarj süreleri sebebinden dolayı büyük oranda enerji barındırırlar.
- Farklı düzeyde gerilim seviyeleri oluşması için birçok anahtarlama kombinasyonu bulunmaktadır.
- Kat sayısı fazlalığından ötürü toplam harmonik distorsiyon sayısı azalır.

Dezavantajlar;

- Kapasitörlerin sayısındaki fazlalık maliyeti ve sistemin oluşturduğu kapsamın artmasına neden olur.
- Bara kapasitörlerinin başlangıç evresindeki şart denetimi tüm devrenin kontrolünde oluşacak karmaşaya neden olur.
- Kenetleme kapasitörleri arasında parazitik rezonans riski vardır.

2.1.3. Kesintisiz güç kaynakları-KGK (Uninterrupted power supply-UPS)

Son zamanlarda sayısal elektronik alanlardaki gelişmelerle birlikte, KGK'lar bir çok alanda kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu alanlarda özellikle kullanımı yaygınlaşan elektronik veri işleme ve veri iletim teknolojileri, başta bilgisayar olarak kendini geliştirmeye ve beraberinde ise sağlıklı enerji ihtiyacını da beraberinde sağlamıştır. Diğer ülkelerle kıyaslandığında alt yapı ihtiyaçları yeterince tamamlayamamış ülkelerde bu ihtiyaçlarda kendisini belirgin şekilde ortaya koymaktadır. Bu sorunlardan en başta kendini enerji üretimi ve dağıtımındaki sorunlar olmak üzere, farklı birçok olumsuzluk karşımıza çıkmaktadır buna paralel olarak da buralarda çalışan elektronik cihazlar büyük risk unsurları olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu risklerin kullanan kişiler tarafından hissedilmesinde en önemli kısmı enerji kesintileri oluşturur. Buna paralel olarak da kullanan kişiler için KGK ihtiyacı çoğu kez enerji kesintileriyle kendini göstermektedir.

KGK sistemlerinden kaynaklanan problemlerin en büyük sorunu ise habersizce yapılan enerji kesintileri, yapılan araştırmalarda dünya genelinde maddi zarara sebep olduğu ve iş gücü kaynaklarını olumsuz etkilediğini ortaya çıkarmıştır. 1991 yılında Business Week dergisinde yapılan bir araştırmaya göre sadece ABD ekonomisine elektrik şebekelerinden kaynaklanan zararın 26 milyar dolar olduğu görülmüştür. Bu enerji kesintilerinden hariç, elektronik donanımları tehdit edecek çok ciddi risk faktörleri içeren şebeke sorunlarına endüstriyi tehdit edecek çok ciddi sorunlara yol açtığı tespit edilmiştir.

Düşük ve aşırı gerilim, şebeke harmonikleri, gerilim sıçramaları, gerilim dalgalanmaları ve frekans değişimleri, ancak gerekli ölçüm cihazları ile tespit edilebildiklerinden, bu cihazları kullanan kullanıcılar için zamansız olarak kendini

hissettirmektedir ve de bu tür kaynaklanan teknik arızalar çok büyük miktarda üretim kayıplarına yol açmaktadır.

Teknolojik olarak yarı gelişmiş KGK'lar, bu bahsedilen sorunları ortadan kaldırmakta ve de beslendikleri teknikler sayesinde güvenceyi beraberinde getirmektedir. Günümüzde de geçerliliğini sürdürmekte olan çeşitli KGK teknolojilerinin gelişim aşamaları, öncelikle doğrultma ve dönüştürme tekniklerinde büyük aşamalar kaydedilmesini sağlamıştır. Son zamanlarda yaşanan olumlu IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) teknolojisindeki yeni gelişmeler, KGK da olumlu teknik atılımları paralelinde getirmiştir.

IGBT'lerin ve IIP (Intelligent Integrated Packs) IGBT modüllerinin akım güçleri daha fazla olduğu için buna paralel olarak geliştirilmesi daha güçlü, daha verimli evirici ve doğrultucuların daha küçük boyutlarda üretilebilmesi sağlanmıştır. KGK'ların kontrol sistemlerinde de, daha gelişmiş mikroişlemcilerin ve DSP'lerin kullanımının yaygınlaşması, basit LED göstergelerin yerini grafik tabanlı LCD ekranların ve gelişmiş denetim yazılımlarının alması, KGK kavramını oldukça farklı boyutlara taşımıştır. Bahsettiğimiz tüm bu farklı teknikleri hiçbir kesintiye uğramadan sağlayan KGK teknolojisi bu hizmeti iki şekilde uyguladığını söyleyebiliriz. Bunlardan dinamik KGK teknolojisi enerjinin kinetik olarak depolanmasını ve kesintiye uğradığı sırada dinamik bir düzenekle yükleri aktarılmasını sağlamaktadır. Dinamik KGK günümüzde de büyük yükler açısından cazip bir seçenek olup kullanılmaktadır. Dinamik KGK'ya göre kullanımı daha yaygın olan statik teknolojisinde ise elektrik kesintisi sırasında devreye girecek enerji, bu teknoloji sayesinde depolanır ve statik eviriciler yardımıyla yükleri aktarılmaktadır. Statik KGK teknolojisi düşük güçlerden yüksek güçlere kadar uygulama sahası olan KGK teknolojisi depolama ve bağlantı teknikleri bakımından farklı uygulama alanları içermektedir. Bu KGK teknolojisinde en güncel ve yaygın kullanım alanı "Hat Etkileşimli", "Off-line" (beklemeli) ve "On-line" (beklemesiz) sistemlerdir [28].

2.1.3.1. KGK'a İhtiyaç Duyulmasının Sebepleri

Elektrik enerji kullanım alanlarına duyulan ihtiyacın artmasına paralel olarak bu enerjinin üretim alanlarının güvenliği gündeme gelmiştir. AC şebekeden elektrik

oranının oranının büyük bir kısmı sağlanmakta olup, alınan güvenlik önlemlerine rağmen elektrik kesintileriyle karşılaşmakta bunun içinde kritik yük kaynağı olarak isimlendirilen cihaz ve sistemlerin Kesintisiz Güç Kaynakları (KKGK) üzerinden beslenmesi zorunlu kılınmaktadır.

Aşağıda AC şebekelerinin özelliklerini sağladığı düşünülen gerilim kaynakları verilmiştir:

- Sabit efektif değer ve sabit frekansta alternatif gerilim ağı sağlamaktadır.
- Gerilim dalga şekli sinüzoidaldir.
- Sağlanan enerji süreklidir.
- Sıralanan bu özellikler yükleme şekli ile değişmez.

Lakin yukarıda sayılan özelliklerini pratikte bulunmamaktadır. Şebekede bulunmakta olan bütün detaylar kuvvet santrallerinden tüketicinin bağlandığı panolara kadar bütün birimlerin oluşturduğu kavramlar sınırlı olarak sağlanmaktadır. Gerilimde oluşmakta olan efektif değerler ve dalga şekillerindeki değişim genel olarak yükselmeye bağlıdır. Gerilimdeki değişim olmaması genellikle kısa devre empedansının sıfır olmamasından kaynaklanmaktadır.

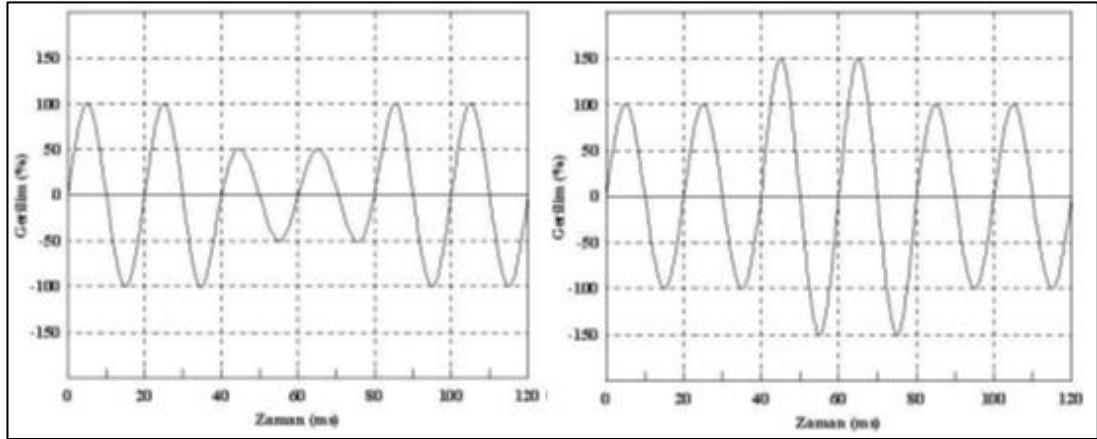
Şebekeden kaynaklanan aksaklıklarda tüketiciyi olumsuz etkilemektedir. Enerji nakil hattının kopması, aşırı yüklenmede kesicilerin devreyi açması, nakil hattına yıldırım düşmesi, indirici ve yükseltici trafoların devreye girip çıkması gibi aksaklıklar da; hatta geçici ya da kalıcı hasarlar görülmekte ve de tüketici bundan olumsuz etkilenmektedir. Bu gibi durumlarla karşılaşıldığında motor-jeneratör grupları gibi güç kaynaklarıyla beslenilebilmektedir. Bu gibi cihazlar elektro-mekanik dönüştürücüler olduğu için kesinti değeri belli bir sürenin altına indirmek zordur. Bu gibi kesinti anında jeneratörün otomatik olarak çalışması bile birkaç dakika sürmektedir. Jeneratörün sürekli çalışma durumu ve kesintiyle paralel yükün jeneratöre aktarımı bile birkaç yüz milisaniye sürebilmektedir. Bu yol ekonomik açıdan avantajlı bir yol değildir. Teknolojinin getirdiği avantajların yanında bunun en büyük dezavantajını bir takım cihaz ve sistemler de oluşabilecek elektrik kesintileri oluşturmaktadır. Bu kesintilerden en çok hastaneler, havaalanları ve haberleşme merkezleri gibi kuruluşlar etkilenmektedir. Bu duruma örnek verecek olursak bir

hastanede ameliyat sırasında yaşanacak elektrik kesintisi hastanın hayatını riske sokmaktadır.

2.1.3.2. KGK'da güç problemleri

KGK'larda güç kalitesi kaynak ile yükün uyumlu bir şekilde çalışmasına bağlıdır. Enerji kaynağında fazlaca bozulmalar, anlık ve yüksek miktarda gerilim çökme veya yükselmeleri gerilim dalgalanmaları ve anlık enerji kesintileri güç kalitesi problemlerine sebebiyet verir. Bozulma çeşitlerine bağlı olarak güç kalitesinde farklı problemler ortaya çıkar.

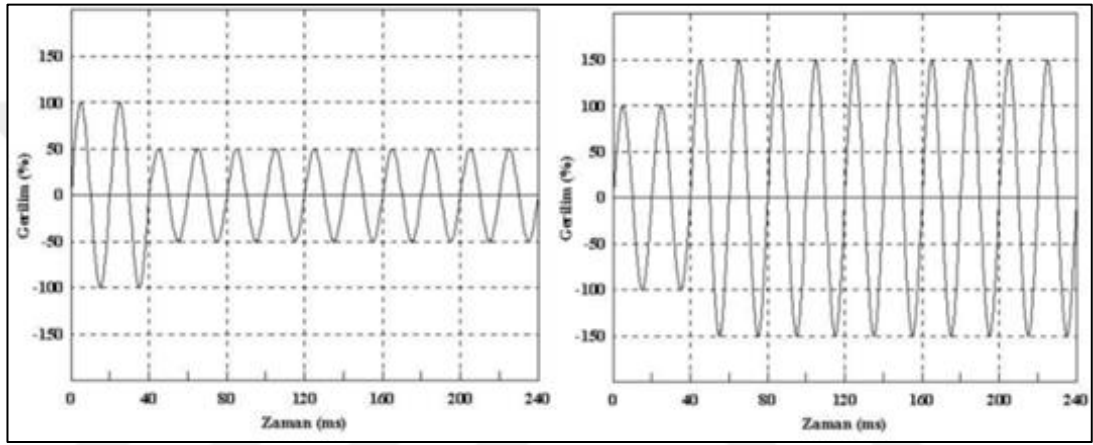
Kısa süreli gerilim yükselmeleri veya düşmeleri; Gerilim çökmeleri, gerilimin anlık düşmesi olarak tanımlanabilir. Bu çökmelerin süresi anlık ve yarım periyottan fazladır. Gerilim düşümünün seviyesi efektif gerilimin %10-90 oranı arasında değişmektedir. Şekilde gösterildiği gibi çökme durumundan normal gerilim seviyesine geçiş süresi 0,04 saniye civarlarında sürmektedir. Gerilim çökmeleri üretici veya kullanıcı tarafından meydana gelen arızalardan meydana gelmektedir. Trafo arızaları, motorlara yol verilmesi ve kısa devre durumları gerilim çökmelerine sebebiyet verebilir.



Şekil 2.6. Gerilim çukuru ve gerilim tümseği

Şekil 2.6'da görülen gerilim çökmeleri ve aşırı gerilimler anlık ve efektif gerilimin %110 aşmaktadır. Gerilim tümsekleri meydana gelmesi sonucunda cihazlar aşırı ısınır ve ömürleri kısalmır. Yıldırımlar ve değişen kapasitif yükler gerilim tümseklerine sebebiyet verebilir.

Uzun süreli gerilim seviyesi deęiřimi; Gerilim dūřümü 1 dakikadan daha uzun süre sūrmesi ve normal deęerinin %90 seviyesinde kalması dūřuk gerilim olarak tanımlanır. Gerilim dūřmeleri kullanıcı tarafından ışık řiddetinin zayıflaması veya motor akımında dūřme olarak algılanabilir. řekil 2.7’de dūřuk gerilim grafięi gōr÷lmektedir. Sisteme normalden daha fazla y÷klenilmesi veya iletim hatlarından birinin devre dıřı kalması gerilim dūřmelerine sebebiyet verir. Gerilimin dūřmesi bilgisayar aęların yanlıř veri aktarımına, motorların durması veya verimsiz bir řekilde çalıřmasına neden olur.



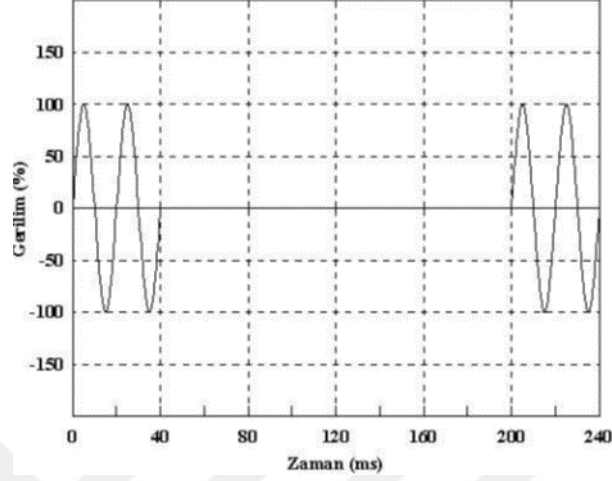
řekil 2.7. Dūřuk gerilim ve ařırı gerilim

Aşırı gerilimin oluşmasının ana sebebi kapasitōr y÷klerin sistemde devreye girmesidir. Kapasitif y÷k olan bir şarj cihazı devreye y÷k olarak bağlandığında sisteme gerilim eklemelerine neden olur. Aşırı gerilimlerin s÷rekli olması elektronik cihazların ōm÷rlerini kısaltır. şekil 2.7’de aşırı gerilimlerin zamana bağlı değişimleri gōsterilmektedir.

Enerji kesintileri; Fazların birinin veya birkaçının nominal gerilim değerinin %10’un altına dūřmesi ile kesinti meydana gelir. Enerji kesinti grafiği şekil 2.8’de verilmiştir. S÷reye bağlı olarak kesintiler; uzun s÷reli, geğici ve anlık olmak üzere üç gruba ayrılırlar.

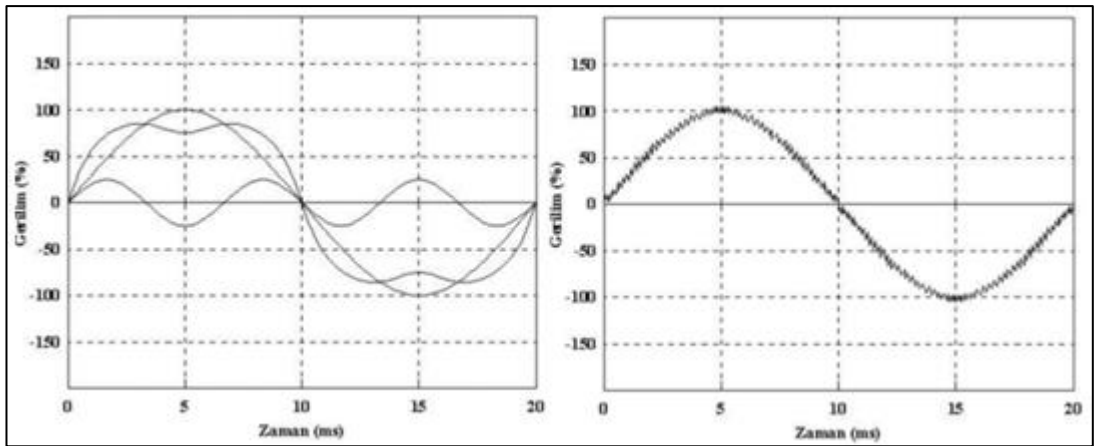
Anlık kesinti faz gerilimlerinin 3 saniye s÷re boyunca nominal deęerin % 10 deęerine dūřmesi ile geręekleřir. Geęici kesintilerde bu s÷re 1 dakikaya kadar bu s÷re artabilir. Kalıcı kesintilerde ise bu s÷re daha uzundur.

Gerçekleşen bu kesintiler sanayi bazlı üretim yapan işletmelerde kayıplara veya zararlara yol açar. Elektrik kesintisi ile sadece üretim kaybindan ziyade hizmet ve zaman kaybı da gerçekleşir.



Şekil 2.8. Enerji kesinti grafiği

Dalga Şeklinin Bozulması; Dalga üzerindeki harmonikler mevcut dalga şeklinin bozulmasında en önemli faktördür. Anahtarlamalı güç kaynakları, değişken yükteki motor sürücüler, tıbbi test cihazları farklı seviye ve frekanslarda akım çekerek dalga şeklinin bozulmasına sebep olurlar. Meydana gelen sinüs olmayan dalga şekli farklı frekanslarda harmonikler içerir. Şekil 2.9'da farklı harmonikler içeren bir sinüs dalgası bulunmaktadır.

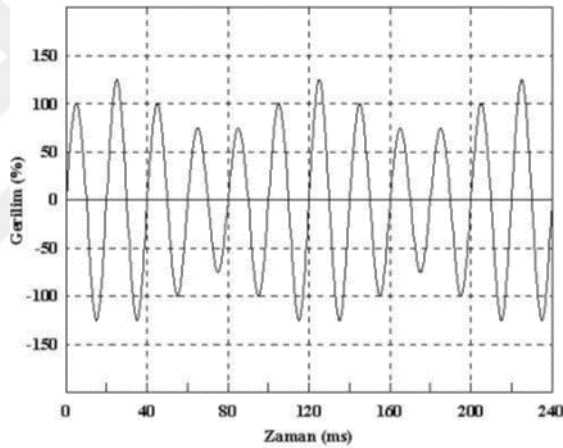


Şekil 2.9. Harmonik içerikli dalga şekli ve elektriksel gürültü

Besleme geriliminde meydana gelene harmonikler elektronik cihazlar ve elektrik iletim hatlarında kayıplara sebebiyet verirler. Ayrıca bu harmonikler güç

sistemlerinde bulunan elemanlara zarar vererek bozulmalarına sebep olabilirler. Harmonikler farklı frekanslara sahip olduklarından sistemleri rezonansa sokabilirler. Bunun sonucunda meydana gelen akım ve gerilimler sistemdeki yapılara zarar verebilir. Düşük akım ve gerilimde, yüksek frekansta elektriksel gürültüler oluşabilir. Harmonikler yüksek gerilim hatlarında ark oluşumu ve cihazlarda elektriksel gürültü kaynağıdır.

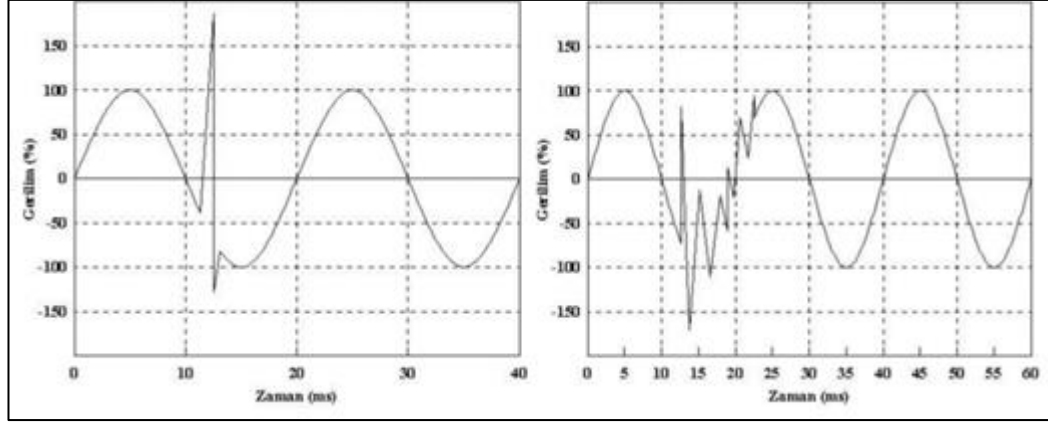
Gerilim dalgalanması; Gerilim seviyesi belirli tolerans aralıklarında (%95-%105) hızlı bir şekilde değişim göstermesine gerilim dalgalanmaları adı verilir. Yük akımlarında ani değişiklikler gösteren kaynak makinesi ve ark fırınları gerilim dalgalanmalarına sebebiyet verir. Şekil 2.10'da gerilim dalgalanması grafiği verilmiştir.



Şekil 2.10. Gerilim dalgalanması

Dalgalanma seviyeleri $\pm\%10$ 'u aşmadığı durumda cihaz bundan fazla etkilenmez. Gerilim dalgalanmalarının bariz olarak görüldüğü durumlar ise flüoresan lambalarda görülür. Dalgalanmada meydana gelen frekans kaymaları 6-8 Hz arasındadır. Bu değişimler insanlar üzerinde stres, baş ağrısı gibi etkilere neden olur.

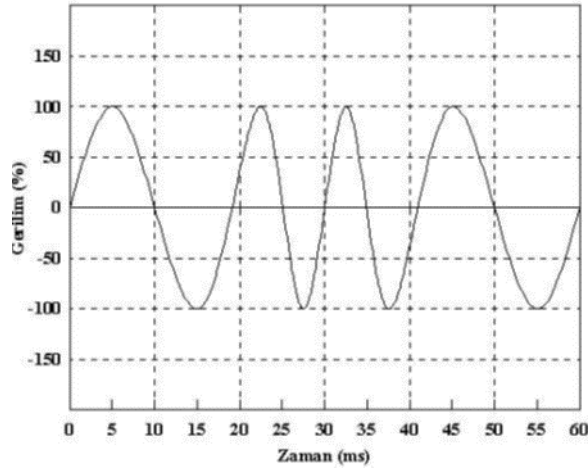
Geçici rejimler; Gerilim veya akım rejimlerinde tek yönlü olarak çok hızlı bir şekilde değişimin olması nedeniyle bozukluklar meydana gelebilir. Bozukluk frekansı 5 kHz ile 200 μ s süre civarlarında olabilir. Yıldırımlar geçici rejimlerin oluşmasının en önemli sebeplerindendir. Şekil 2.11'de görüldüğü gibi darbe şeklinde oluşan geçici rejimlerin önüne geçilmemesi durumunda sistemde kapasitif bileşen artar. Böylece sistemde rezonans durumu ortaya çıkar.



Şekil 2.11. Darbe ve dalga şeklinde geçici rejimler

Geçici rejimin sebep olduğu dalga şekilleri negatif ve pozitif alternanslar içerir. Anahtarlama durumlarında geçici durumlar ortaya çıkabilir. Meydana gelen geçici rejimler sürücülerin hatalı çalışması ve cihazlarda arızaların meydana gelmesine neden olurlar.

Frekans değişiklikleri; Frekans değişimleri frekansın anma değerlerinden sapmasıyla oluşur. Frekans değişiklikleri nedeni olarak güç sistemindeki hatalar ve büyük kapasiteli yüklerin devreden çıkması gösterilebilir. Şekil 2.12’de frekans değişikliği görünen grafik verilmiştir.



Şekil 2.12. Frekans değişimi

2.1.3.3. KGK'da bulunması gereken özellikler

Gerilim durumu; Günümüz şartlarında şebekeden gelen çıkış geriliminin değişimi $\pm\%20$ oranına kadar ulaşabilmektedir. Gelişmiş bir KGK'da bu değer $\pm\%1$ civarındadır.

Frekans durumu; KGK'ların gerilim parametresinin yansıra ikinci değişkeni frekanstır. Şebekeden gelen gerilim frekansında dalgalanmalar meydana gelebilir. Günümüzde kullanılan şehir şebekesinin frekans değeri 49,5 Hz ile 50,5 Hz arasındadır. Bu nedenle KGK şebekeyle senkron şekilde çalışmaktadır. Aynı zamanda çok az bir hata oranına sahip kararlı bir yapıda olması gerekir.

Ani enerji kesintisine cevap verebilme; KGK tarafından beslenen yükün ani olarak büyük miktarda değişmesi, şebekedeki ani enerji kesintileri ve enerjinin devreye girmesiyle çıkış gerilimindeki mevcut değişimler meydana gelebilir. Bu değişimler maksimum $\pm\%5$ seviyesinde olması gerekir.

Çıkış akım ve gerilim bozulmaları; Toplan harmonik distorsiyonu (THD) enerjideki bozulmaları gösteren bir ölçüttür. Bu bozulma miktarı yükün doğrusal olup olmaması ile yakın ilişkilidir. Günümüz KGK'larında bozulmalar $\%3$ seviyesindedir. Hattaki yükün çok büyük olması ve dinamik regülasyonun yeterince sağlanamaması nedeniyle yüksek frekanslı PWM teknikleri kullanılır. Bu sayede düşük frekanslı harmoniklerin azaltılması sağlanmış olur.

Doğrultucuların girişindeki sinüs gerilimlerin hemen hemen her bölgesinde gerilim çökmeleri görülebilir. Bunun asıl sebebi çökmelerin olduğu durumlarda aşırı akımın yük tarafından çekilmesidir. Böylece sinüs giriş geriliminde aşırı derece bozulmalar meydana gelir. Bu durumda yükler tam verimli olarak çalışamaz ve yüklerde aşırı ısınmalar meydana gelir. Bozulmalardan dolayı elde edilen toplam gücün güç faktörü 1'den düşük olmasından dolayı talep edilen gücü sağlayabilmek için şebekeden daha fazla akım çekilir. Bu sebeple güç faktörünün 1'e yakın seviyelere getirmek için PFC'li doğrultucuların kullanılması gerekir. Bu tip doğrultucuları kullanılması durumunda güç faktörü $\%99$ seviyesinde ve bozulmalar ise $\%5$ 'in altındadır.

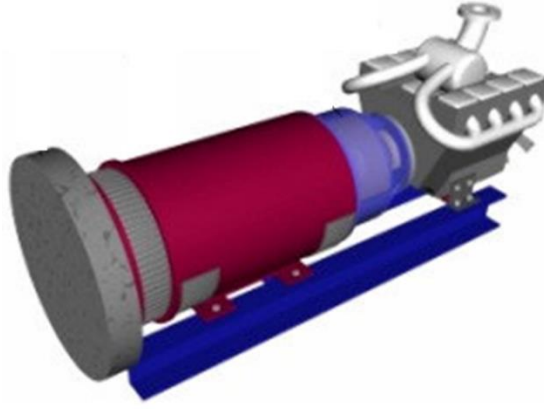
Kısa devre koruması ve aşırı yük durumu; Alınan bütün önlemlere karşın KGK'lar aşırı yüklenmelere ve kısa devre durumlarına uğraması mümkündür. Gelişmiş bir KGK'nın bu tarz sorunlara karşı herhangi bir arıza göstermemesi ve sisteme enerji vermeye devam etmesi gerekir. Aşırı yük durumunda gerilim regülasyon seviyeleri içerisinde kalması ve kısa devre durumu ortadan kaldırıldığında KGK'nın çalışmaya devam etmesi gerekir.

Verimin yüksek olması; KGK içerisinde birbirinden farklı özellikte çeşitli yapılar barındırır. Sistem azda olsa bir kayba uğrayacağından dolayı verim hiçbir zaman %100 olamaz. KGK'lar için kabul edilebilir verim seviyesi %85'in üstüdür.

2.1.3.4. KGK çeşitleri

Dinamik KGK; Enerji kesintileri gerçekleştiğinde dinamik KGK'lar enerji aktarımı dinamik bir şekilde gerçekleştirir. Tasarımcıların dinamik KGK tasarımında özgün bir yaklaşım sergilediklerinden dolayı dinamik KGK'ları kendi içerisinde kategorize etmek oldukça zordur. Şekil 2.13'de enerjinin kinetik bir şekilde depolanmasını sağlayan ve dinamik olarak yüke aktarımını sağlayan VOLAN mimarisi gösterilmektedir. Bu tarz mimariler büyük yükler ve kısa süreli kesintileri karşılayabilmesi için dizel motor yapıları ile desteklenmeleri gerekir. Genellikle dizel jeneratörler dinamik KGK ile bütünleşik olarak tasarlanır.

Dinamik KGK'larda enerjiyi depolama teknikleri kendi içerisinde farklılık gösterir. Yarı iletken teknolojisinde gerçekleşen ilerlemeler ile beraber statik depolama daha ön plana çıkmaktadır. Bazı tasarımcılar hibrit yöntemlere de başvurabilmektedir. Uygulamalarda enerji depolama işlemi aküler ile statik bir şekilde yapılırken alternatöre geçişlerin dinamik olarak gerçekleştirilir. Bu uygulamanın tersi bir yapıda ise enerji depolamasını volan üzerinde dinamik gerçekleştirilirken çıkışta ise statik doğrultucu ve eviriciler mevcuttur.



Şekil 2.13. Bir dinamik KGK sistemi

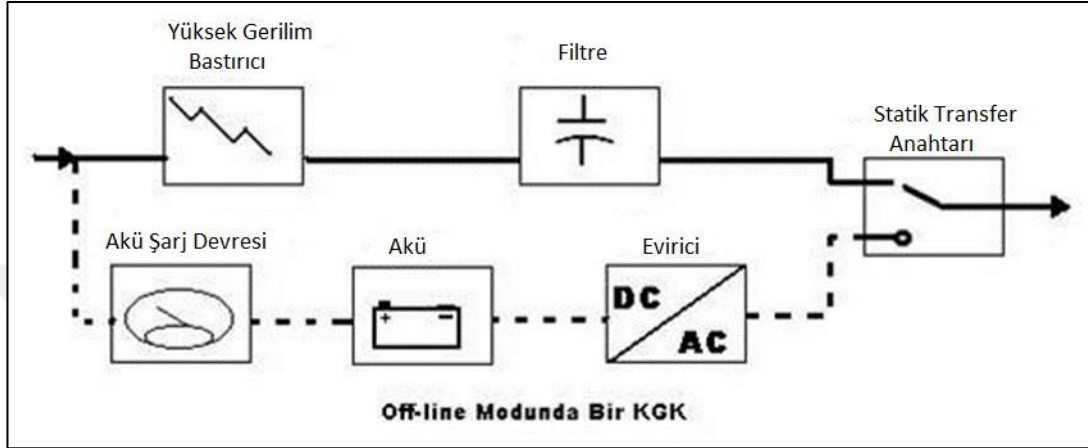
Statik KGK; Statik KGK'lar çalışma prensiplerine göre yapısında üç ana parça içerir. Bunlar, şebekeden çekilen AC enerjii aküyü beslemek için kullanılan doğrultucu, akü grubundan elde edilen DC enerjii yükü beslemek için ihtiyaç duyulan AC enerjiiye çeviren evirici, DC enerjiiyi KGK yapında depolamak için gereken aküdür.

Hat etkileşimli KGK'lar genel itibarıyla küçük yükleri beslemek için kullanılır. Şebekenin aktif olması durumunda sadece şebeke gerilimini regule ederler. Akü ile beraber evirici şebekedeki AC enerji kesildiğinde çalışmaya başlar. Akü sayesinde belirli bir zaman diliminde yükü besler. On-line KGK'lar ise sürekli aktif olarak çalışıp daha büyük yükler için kullanılırlar.

Statik KGK'ların dezavantajları arasında meydana getirdiği harmonik salımlar nedeniyle giriş güç faktörü düşmektedir. Yalnız son zamanlarda üretilen yeni nesil KGK'lar ile bu problem çözülmüştür. Yeni nesil KGK'ların yapısında çok darbeli doğrultucular, harmonik filtreler ve PFC devreleri bulunmaktadır.

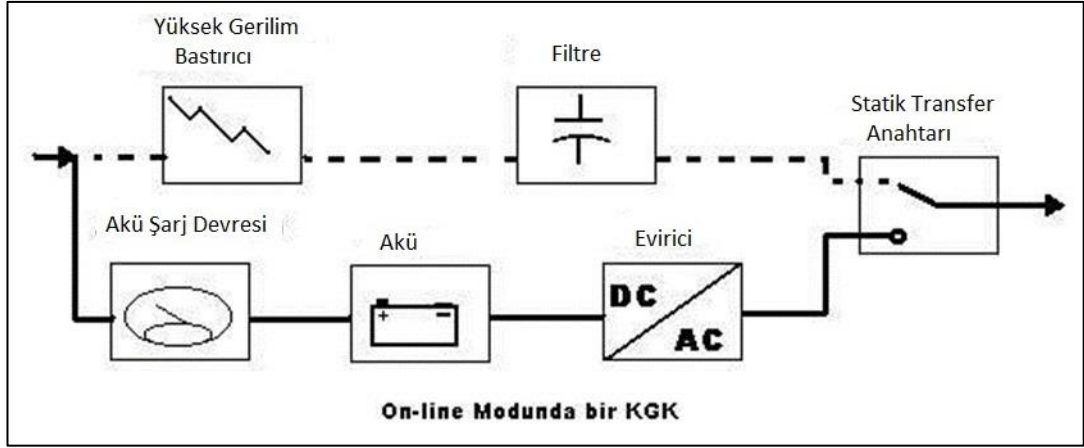
DC güç kaynağı olan akülerde şarj yönetimi DSP kartları sayesinde ortam parametreleri dikkate alınarak en uzun süre kullanımı sağlanır. Statik KGK'larda akülerin üretmiş olduğu DC enerjiiyi AC enerjiiye çevirmek için evirici yapıları ile statik olarak gerçekleştirilir. AC çıkışı elde edebilmek için genellikle PWM yöntemi kullanılır. Yeni nesil IGBT elemanları ile dengesiz yüklerde meydana gelen faz kaymaları ve gerilim dalgalanmaları en aza indirgenmektedir. Statik KGK'larda ise harici olarak kontrol paneli ve kontrol yazılımları da entegre edilmiştir.

Off-line KGK; Şebekenin herhangi bir enerji kesintisi olamaması durumunda off-line KGK'larda yük şebeke enerjisi ile beslenir. Enerji kesintisi olduğu durumlarda evirici devreye girerek yükü beslemeye başlar. Bu tip KGK'ların tercih edilmesinde enerji kesintisi olması durumunda en kısa sürede yükü beslemeye başlayan çeşitlerinin seçilmesi gerekir. Şekil 2.14'de Off-line KGK yapısı verilmiştir.



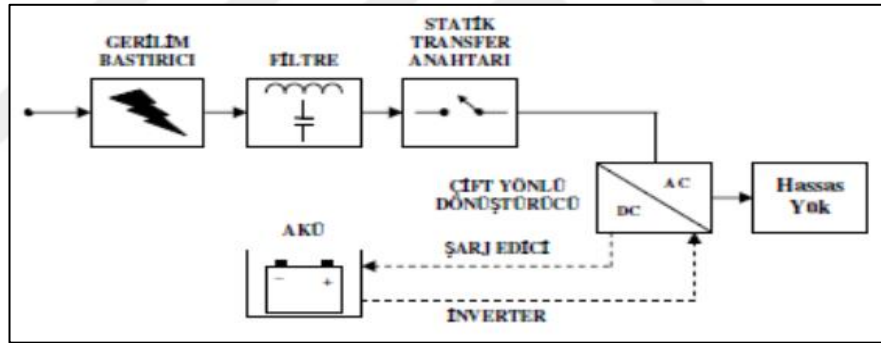
Şekil 2.14. Off-line KGK

On-line KGK; On-line KGK sistemlerinde şebeke enerjisinden bağımsız olarak yük evirici üzerinden beslenir. Şebekede enerji olmasında akünün şarjı ve yükün evirici ile beslenmesi sağlanır. Kesinti durumunda ise aküden üretilen DC enerji evirici üzerinden yüke aktarılır. Akü ile yükün beslenmesinde güç kalitesinden ve sürekliliğinde normalden farklı bir değişim olmaz. Aynı zamanda on-line sistemler frekans dengesizlikleri oluşturan motor ve jeneratör bütünleşik yapılarda da kullanılır. KGK üzerinde gerçekleşen arıza durumunda enerji statik anahtarlar üzerinden aktarımı sağlanır. On-line KGK tasarımı itibariyle en iyi AC gerilim çıkışı üretir. Şebekeye verilen enerji ilk olarak akülerde AC-DC'ye çevrilirken enerji kesintisi durumunda DC-AC enerji geçişi görülür. Bu nedenle çift dönüştümlü KGK adı ile de bilinmektedirler. Şekil 2.15'de on-line KGK sisteminin yapısı verilmiştir.



Şekil 2.15. On-line KVG

Hat etkileşimli KVG; Hat etkileşimli KVG'lar enerji varken eviricileri pasif durumdadır. Yalnızca şebekeden gelene AC enerjiyi doğrultarak akü grubunu şarj eder. Enerji kesintisi olması durumunda akü ve evirici sayesinde yükü beslemeye başlar. Hat etkileşimli KVG'ların blok şeması Şekil 2.16'da verilmiştir.



Şekil 2.16. Hat etkileşimli KVG

2.1.3.5. KVG sistemlerinin karşılaştırılması

KVG'larda enerji problemlerini gidermek için en optimum çözümün çift dönüşüm tekniği olduğu düşünülebilir. Fakat uygulamaya yönelik çalışmalarda görünen durum enerji problemlerini ortadan kaldırmak tek başına yeterli olmadığıdır. KVG'ların en çok kullanıldığı sistemler bilgisayar destekli sistemlerdir. Asıl amaç, bilgisayarın görevini uzun süre zarfı içerisinde yerine getirebilmesidir. AC enerji kalitesinin yeterli seviyede bilgisayarlara sağlanmadığı durumlarda bilgisayar donanımlarında arızalar meydana gelmektedir. Oluşan bu arızaları gidermek için KVG sistemleri için iki yöntem önerilmiştir. İlk olarak enerji problemlerini azaltabilmek için güç koruma yöntemlerinden olan KVG kullanımını gerçekleştirmektir. Bir diğeri ise KVG'da

meydana gelen arıza ve hataların bilgisayara göre daha az olmasını sağlamaktır. Tam anlamıyla önerilen çözüm az hata oranına sahip ve sistemden kaynaklanacak problemleri giderecek KGK modelidir. Ayrıca KGK yapısının sağladığı enerjinin de ekonomik olması önem arz etmektedir. Bu sebeple çift dönüşüm prensibine bağlı olarak çalışan on-line KGK'ların geliştirilmesi ve meydana gelen arızaların en aza indirilmesi gerekir.

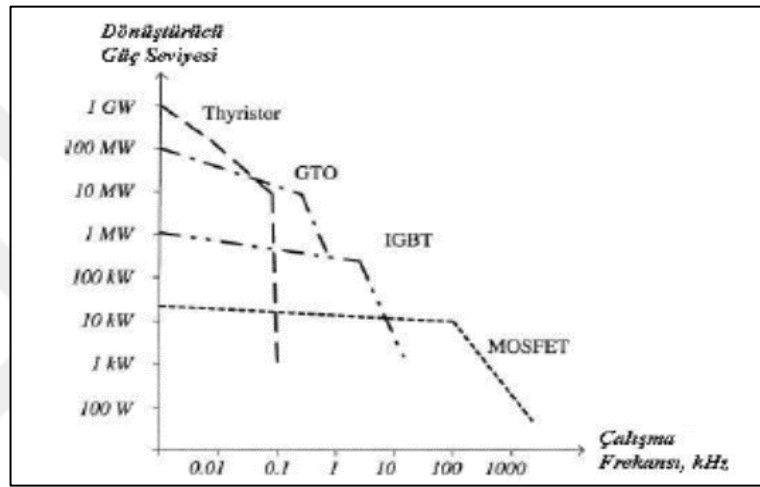
On-line KGK'lar çift dönüşüm prensibi ile 400-5000VA güç aralığı içerisinde çalışabilirler. Şartların zor olduğu durumlarda meydana getirdikleri hata oranları yüksek olabilir. Yapılan incelemeler on-line KGK'ların 30000-50000 saat arasında hata gösterebileceği görülmektedir. Hat etkileşimli KGK'larda ise 250000 saat civarında hata göstermesi beklenmektedir. Yıllık ortalama arıza oranı çift dönüşümlü KGK'larda %25 oranına kadar çıkabilirken hat etkileşimli KGK'larda ise bu oran %2 civarındadır. Sistemlerdeki arıza oranını artıran birkaç etmen mevcuttur. Bunlardan ilki normal modda çalışan çift dönüşümlü KGK'ların güç akışı içerisinde çoğu donanımı belirli bir stres altında çalışmaktadır. Hat etkileşime sahip KGK'larda normal çalışma şartlarında birkaç eleman stres altında çalışmaktadır. Yapıların stres altında çalışma süreleri hata oranını doğrudan etkilemektedir. Stresin bir önemli unsuru ise KGK'ların verimidir. KGK'ların verimi düştükçe içerisindeki yapılarda harcanan güç miktarı artmaktadır. Bu sebeple KGK ekipmanları daha fazla stres altında çalışmaktadırlar. Verimsizlikten dolayı ekipmanlar üzerinde harcanan enerji miktarı arttıkça KGK'nın içerisindeki ısı miktarı artar ve böylece KGK'nın performansı azalır. Bu sebeple harici havalandırma ekipmanları gerekir. Havalandırma için kullanılan fan KGK'nın iç yapısında tozlanmaya sebebiyet verir.

2.1.3.6. Kesintisiz güç kaynaklarının yapısı

KGK'ların iç yapısı kullanım amacı ve tasarıma göre değişse bile ana hatlarıyla dört ana bölümden oluşur. Bu bölümler aşağıdaki yapılar gibi sıralanabilir:

- 1- Doğrultucu
- 2- Evirici
- 3- Transformatör
- 4- Akü ve Statik transfer anahtarı

Evirici doğru akımı alternatif akıma çeviren güç elektroniği yapılarından biridir. KGK iç yapısındaki eviricinin görevi aküdeki DC gerilimi AC gerilime çevirmektir. Diğer bir yapı olan doğrultucu ise şebeke tarafından aküyü besleyen AC gerilim DC gerilime dönüştürür. KGK türlerinde dönüştürücüler hem evirici hem de doğrultucu olarak iki birimden oluşur. Yalnız, hat etkileşimi bulunan KGK'larda tek bir dönüştürücü iki işlevi de yerine getirir. Şekil 2.17'de gözlemlendiği gibi düşük güçlü ve frekansın yüksek olduğu uygulamalar için 1 MW güce ulaşabilen IGBT yapısı tercih edilmiştir. Düşük frekans uygulamalarında daha çok tristör tercih edilir.



Şekil 2.17. Değişik güç anahtarlarının frekans-güç eğrisi

Son zamanlarda KGK'ların içinde bulunan transformatörlerin nüvelerinde ferit kullanılmaktadır. Bu sayede frekans yükseldikçe kayıplar en aza indirilmiş olup ısınma problemi ortadan kaldırılmıştır. Bununla birlikte daha hafif ve portatif bir tasarım elde edilmiştir.

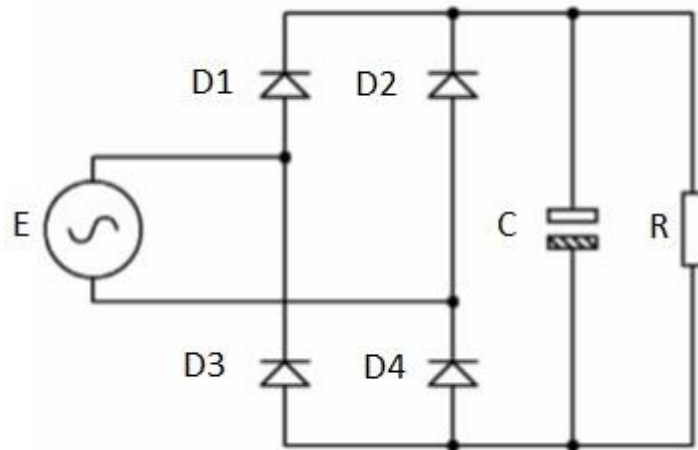
KGK yapısının önemli parçalarından biri olan akü yapısı, yükü besleme süresini belirler. Bu sebeple KGK tasarımı yaparken yükü ne kadar süre beslemesi gerektiği ön görülerek akü seçimi gerçekleştirilmelidir. Akü tipi seçiminde hem maliyet hem de bakım masrafı en düşük olan kuru tip kurşun aküler tercih edilir. Diğer bir yapı olan statik transfer anahtarı yük değişimi için önem arz etmektedir. KGK'larda yükün transfer işlemi çok hızlı bir şekilde yapılması gerekir. Tristörler ve triyaklar KGK yapısında statik transfer anahtarı olarak kullanılabilirler.

Eviriciler 1. Bölüm'de detaylı bir şekilde anlatıldığı için bu bölümde bahsedilmeyecektir.

Doğrultucu; Doğrultucular şebekeden aküyü besleme için gelen AC gerilimi DC gerilime çevirmek için kullanılırlar. Aynı zamanda KGK içyapısında bulunan eviricinin çalışması için gereken DC gerilim üretirler. Doğrultucular, akım ve gerilim seviyesini kontrol ederek akünün şarj olmasını sağlarlar. Tek fazlı KGK'larda kontrolsüz doğrultucu kullanılırken, üç fazlı KGK'larda kontrollü doğrultucular kullanılır.

KGK yapısında giriş akım harmoniklerin oluşturduğu distorsiyonu azaltarak güç faktörünü artırmak için birçok farklı yöntem kullanılabilir. Bu yöntemlerden biri olan güç faktörü düzeltme özellikli doğrultucular KGK yapılarında bulunabilir. Aynı zamanda KGK yapılarında harmonik filtreler kullanılarak kompanzasyon panoları devre dışı bırakılır. Bu durum iki yapının aynı anda çalışmasından meydana gelen rezonans harmoniklerini engellemek içindir. Oluşan rezonans harmoniklerini engellemek için çok darbeli doğrultucuların kullanılması gerekmektedir. Bu sayede oluşan toplam harmonik distorsiyonları %8 seviyelerine kadar azaltılabilmektedir.

Tam dalga kontrolsüz doğrultucu; Üç veya tek fazlı KGK'larda DC gerilim, tam dalga doğrultucusunun DC çıkışına kondansatör bağlanarak oluşur. DC çıkış gerilimi giriş gerilimi seviyesine bağlı olarak değişir. Şekil 2.18'de tek faz için tam dalga kontrolsüz doğrultucunun devresi verilmiştir.

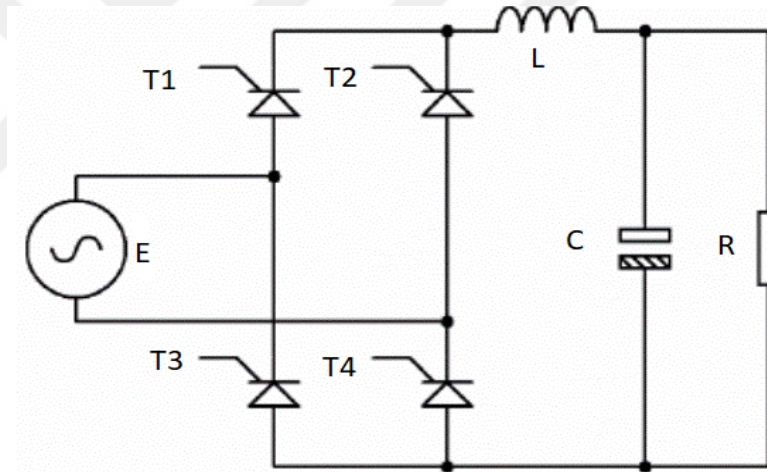


Şekil 2.18. Tek fazlı tam dalga kontrolsüz doğrultucu

Tam dalga kontrolsüz doğrultucu devre şemasının basit ve anlaşılır olması önemli bir avantajdır. Aynı zamanda herhangi bir kontrol devresi olmadığından arıza pek

göstermez. DC gerilim seviyesindeki dalgalanmalar oldukça azdır. Filtreleme için düşük değerli kondansatörler yeterli olur. Ayrıca devrenin boyutları küçük ve maliyeti oldukça düşüktür. Dezavantajları arasında kullanılan kondansatör oluşturduğu başlangıç akımının yüksek olması sebebiyle gerilim hızlı bir şekilde yükselir. Başlangıç akımına gerekli önlemlerin alınmaması durumunda devre elemanları zarar görebilir. Çıkış geriliminde herhangi bir kontrol olmamasından dolayı giriş geriliminin toleransı geniş olması gerekir. Gerilim ve akım kontrolünün olmamasından dolayı akü grubunu şarj edilmesi oldukça zordur.

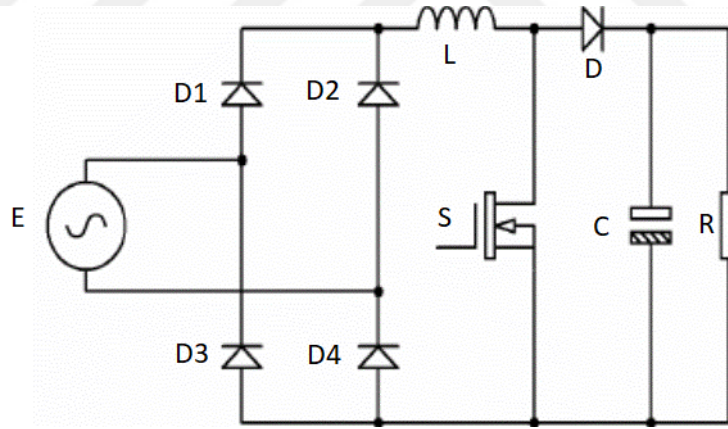
Tam dalga kontrollü doğrultucu; Tam dalga doğrultucuların çıkışındaki dalgalanmaları engellemek için köprü çıkışında seri bobin ve paralel kondansatör bağlanabilir. Kontrol devresi ile çıkış DC gerilimin kontrolü sağlanır. Tam dalga kontrollü doğrultucu devre yapısı Şekil 2.19’da verilmektedir.



Şekil 2.19. Tam dalga kontrollü doğrultucu devre şeması

Tam dalga kontrollü doğrultucu devresinde DC çıkış gerilimi seviyesi kontrol devresi ile ayarlanabilmektedir. Ayrıca devrenin çıkış geriliminin ani bir şekilde sıfırdan maksimuma yükselmesi kontrol devresi ile engellenmektedir. Bu sayede anlık yüksek akım çekilmesinin önüne geçilmiş olur. Akım ve gerilim değerlerinin kontrol devresi ile istenilen değerlerde olması ile akü grubu şarj edilebilir. Dezavantajları arasında devre boyutları daha büyük ve maliyeti fazladır. Çıkış gerilimindeki dalgalanmaları engellemek için yüksek değerli kondansatör kullanılması gerekir.

Güç faktörü düzeltme özellikli doğrultucu; Diyot ve tristörler ile tasarlanan doğrultucularda yük tarafından çekilen akım zamanlarında doğrudan şebekeden akım çekilmez. Özellikle gerilim maksimumlarında şebekeden akım çekilir. Bu gerilim maksimumlarında tasarımdaki kondansatör şarj akımı ve yük akımı şebekeden elde edilir. Diğer bölgelerde kondansatör ile yük akımı sağlanır. AC giriş geriliminde gerilim her an değiştiğinden ve akımlar maksimum voltaj anında çekildiği için gerilimlerde çökmeler gerçekleşir. Bu sebeple giriş AC geriliminde bozulmalar meydana gelir. Bozulmalara uğramış AC gerilimler yük beslemesinde verimsizliklere ve ısınmalara sebebiyet verir. Ayrıca bozulmuş AC gerilimlerin güç kalite faktörü 1'den küçük olduğu için mevcut gereken gücü elde edebilmek için şebekeden daha fazla akım çeker. Bu sebeple şebekeye gereksiz yüklenmelere neden olmayacak doğrultucuların tasarlanması gerekir. Tek veya üç fazlı KGK yapısında güç faktörü düzeltme özellikli doğrultucu rahatlıkla kullanılabilir. Şekil 2.20'de güç faktörü düzeltme özellikli doğrultucu devre yapısı verilmektedir. Giriş akımının AC olarak alınabilmesi için PWM tekniği ile anahtarlama yapılmaktadır.

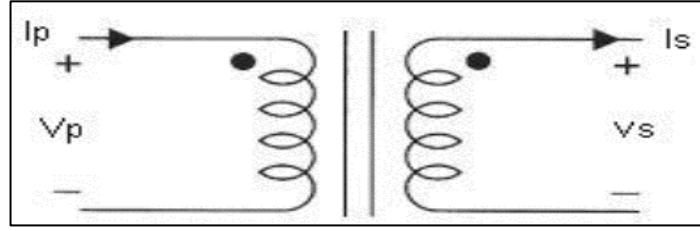


Şekil 2.20. Güç faktörü düzeltme özellikli doğrultucu devre şeması

Güç faktörü düzeltme özellikli doğrultucularda giriş geriliminde bozulmalar meydana gelmez. Giriş akım ve gerilimi kontrol devresi ile istenilen seviyelerde kalabilir. Ayrıca bu değerler ayarlanabildiği için akü grubunun şarj edilebilmesi söz konusudur. Dezavantajları arasında karmaşık devre yapısı ve yüksek maliyeti bulunmaktadır. Kayıpları fazla ve verimleri düşüktür.

Transformatör; Birbiriyle izole edilmiş yalnız manyetik olarak etkileşime girebilen bobinlerin birleştirilmesiyle transformatör yapısı elde edilir. Sargı miktarlarına göre

ortak manyetik akıyı paylaşırlar. Manyetik akı tüm sargılar ve bir sargı tarafından üretilebilir. Şekil 2.21’de transformatörün devresel gösterimi mevcuttur.



Şekil 2.21. Transformatör devresel gösterimi

Bu devresel gösterimde manyetik akı iki sargı tarafından üretilmektedir. Sargılar arasındaki çift çizgi manyetik nüveyi temsil eder. Sol kısımdaki sargı primer sargı olarak adlandırılırken diğer sargı ise sekonder sargı olarak adlandırılır. Devre gösterimindeki noktalar ise kutuplanmayı gösterir [29].

Herhangi bir kayıp bulunmadığı ideal durumda transformatörlerde faraday yasasına göre sarım sayılarına bağlı olarak sargılardaki gerilim ve akımlar değişmektedir. Aşağıda verilen Denklem (2.3) ve (2.4)’de sargılar arasındaki gerilim ve akımların hesabını göstermektedir;

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} = \frac{I_s}{I_p} \quad (2.3)$$

$$P_p = V_p \times I_p = V_s \times I_s = P_s \quad (2.4)$$

Transformatörler uygulamalara göre gerilim yükseltici ve düşürücü olarak kullanılırlar. Bazı uygulamalarda devreleri birbirinden izole etmek için kullanılır. Şebeke gerilimi elektronik cihaz kullanımı için düşürmek veya düşük kaynak gerilimlerini yükseltmek gibi farklı platformlarda uygulamaları mevcuttur. KGK’larda transformatörler giriş şebeke gerilimini aküyü şarj edebilmesi için gerilim seviyesini düşürmek ve evirici ile yükü beslemek akü çıkış gerilimini yükseltmek için kullanılır.

Sekonder sargının indüklenmesi, primer sargıdan geçen akımın oluşturduğu manyetik akıya bağlı olarak gerçekleşir. Manyetik akı ve manyetik akı yoğunluğu Denklem (2.5) ve (2.6)’daki hesaplanır;

$$Q=B \times S \quad (2.5)$$

$$B=\mu \times H \quad (\mu=\mu_0 \times \mu_r) \quad (2.6)$$

Manyetik alan şiddeti ve manyetik akı hesabı Denklem (2.7) ve (2.8) ile gerçekleştirilir;

$$H=\frac{N_1 I_1}{l} \quad (2.7)$$

$$\Phi=\mu_0 \mu_r \frac{N_1 I_1}{l} S \quad (2.8)$$

Son denklemler incelendiğinde manyetik akı ifadesi nüve olarak kullanılan malzemenin manyetik geçirgenliğine bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Kullanılan nüvenin manyetik geçirgenliğinin yüksek olması gereken kesit alanı ihtiyacını azaltmaktadır. Başka bir deyişle manyetik geçirgenliği yüksek olan nüve kullanımı transformatörün ağırlığını azaltmaktadır. Bu sebeple KGK yapısında kullanılan transformatörlerde manyetik geçirgenliği yüksek nüveler kullanılır. Son zamanlarda nüve seçiminde silisyumlu çeliklerin kullanımı tercih edilmektedir.

Akü ve statik transfer anahtarı; Aküler kimyasal olarak depolanan elektrik enerjisini sisteme DC gerilim olarak gönderir. Aküler elektrik enerjisini taşınabilir hale getirmektedir. Çoğu uygulamanın önemli bir unsuru olan aküler KGK'ler için vazgeçilmez bir kısımdır. KGK'nın beslediği yükleri aküler sayesinde birkaç saate kadar besleyebilir. Elektriğin kesilmesi durumunda KGK'lar yükü akünün kapasitesine göre besleyebilirler. Akünün şarj veya deşarj aşamasında depoladığı ve aktardığı enerji akünün kapasitesini temsil eder. Akü kapasitesinin birimi "Amper saat" olarak tanımlanır.

Akülerin uzun bir süre için kullanımı veya büyük yükleri besleyebilmesi için bazı gerekli özellikleri yapısında barındırması gerekir. Bu sebeple aküler uzun ömürlü ve dış etkilere karşı dayanıklı olması gerekir. Maliyetinin düşük olması ve çevre dostu olması akülerin tercih edilme nedenlerindedir. Ayrıca, aküler portatif olmalı ve az bakım gerektirmesi gerekir.

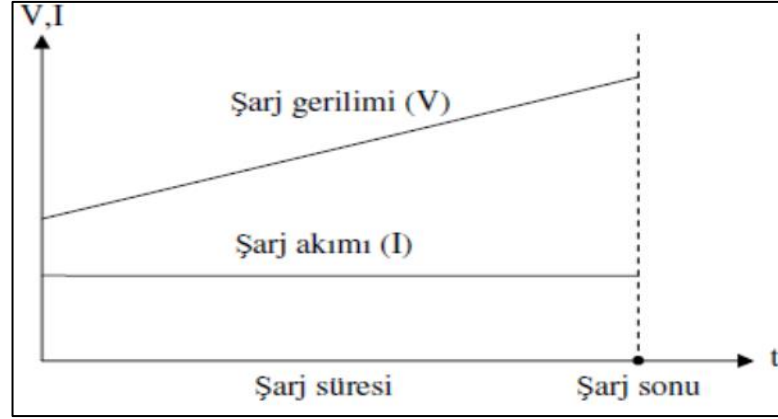
KGK yapılarında kullanılan mevcut aküler kurşun asit ve nikel kadmiyum içerisinde barındırır. Kuru tip kurşun asit aküler hem maliyetinin düşük olması hem de fazla bakım gerektirmemesi KGK üretici firmaların tercih nedenlerindedir.

Akünün yapısı; Kuru tip kurşun asit akülerde, sülfürik asit ve su karışımı elektrolit olarak kullanılırken içerisinde kurşun ve kurşun peroksit plakalar bulunur. Su çözümü içerisinde bulunan bu plakalar uçları elektrolitler ile akü dışına aktarılmıştır. Negatif plaka saf kurşundan oluşurken pozitif plaka ise kurşun peroksit ile kaplanır. Elektrolit ile temas edilen yüzeyi artırmak amacıyla pozitif plakayı negatif plakanın yaklaşık 12 katı büyüklüğünde imal edilir.

Akünün çalışma prensibi; Akülerin çalışma prensibi kurşun ve kurşun peroksit kaplı iki plaka arasında kimyasal reaksiyonlar sonucunda gerilim farkı meydana gelmesine dayanır. Akü uçlarına direnç bağlanması durumunda direnç üzerinden akünün deşarj olduğu gözlemlenir. Deşarj aşamasında kurşun kaplı plaka sülfürik asitle tepkimeye girerek kurşun sülfatı meydana getirir. Bu sayede negatif iyonlar açığa çıkar. Ayrıca ortaya çıkan pozitif hidrojen atomları kurşun peroksit ile tepkimeye girerek su moleküllerini oluşturur. Böylece, negatif plakadan pozitif plakaya doğru iyon akışı meydana gelir. Şarj durumunda ise akü uçlarına DC kaynak bağlanarak deşarj durumunda meydana gelen kimyasal reaksiyonların tersine tepkimeler oluşur. Bu sayede aküde sülfürik asit miktarı artarak akü şarj edilmiş olur.

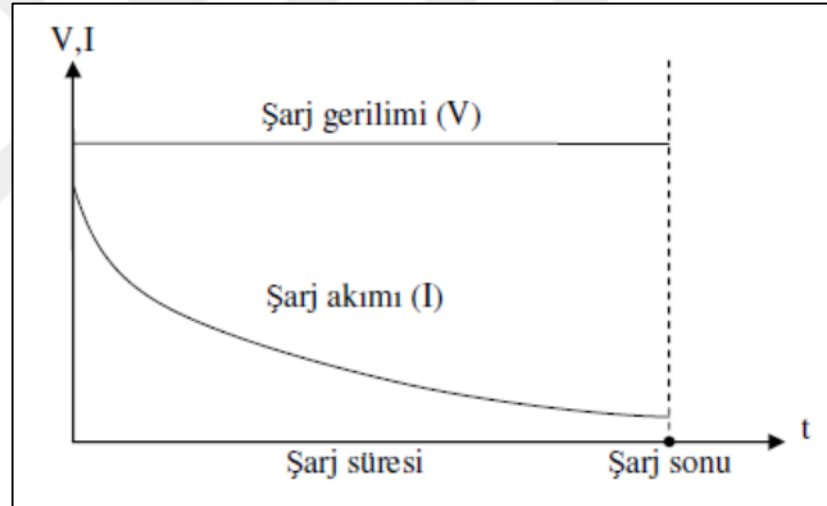
Kurşun asit aküler çok uzun yıllar kullanıma uygundur. Akü sistemlerinde asıl amaç aküyü tam kapasiteye ulaştırarak bu seviyede kalmasını sağlamaktır. Bu şekilde deşarj durumunda akünün tam verimde çalışması sağlanır. Aküler sabit akım veya sabit gerilimde şarj edilebilir. Diğer bir şarj etme tekniği ise sabit gerilim ve akımda gerçekleşir.

Sabit akımda şarj tekniğinde aküye sürekli olarak sabit değerde akım ile enerji aktarılır. Kontrol devresi ile akım seviyesi sürekli referans akım değerine göre ayarlanarak çıkış geriliminin kademeli olarak artırılması sağlanır. Şekil 2.22 sabit akım seviyesinde gerilimin aküde kademeli olarak artırılması görülmektedir.



Şekil 2.22. Sabit akımla şarj

Şekil 2.23’de sabit gerilim ile şarj tekniğinde ise sabit gerilim uygulanarak kontrol devresi ile akü referans voltaj değerinde tutulur. Bu süre zarfında akım yavaş bir şekilde azalma gösterir.

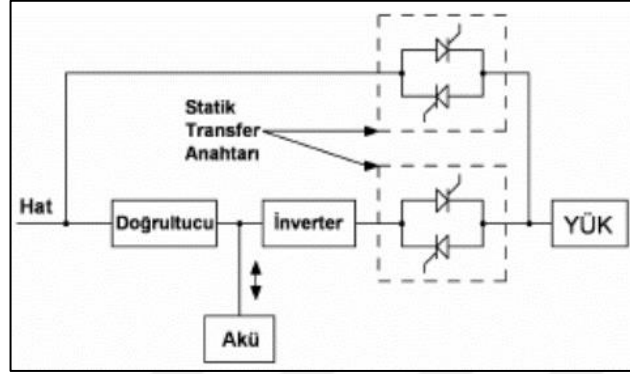


Şekil 2.23. Sabit gerilimle şarj

Sabit gerilim ve sabit akım ile akü şarjı, sıralı olarak sabit gerilim ile şarj ve sabit akım ile şarj kullanılır.

Statik transfer anahtarı; KGK’ların bakım veya arıza durumlarında yükü besleyen kaynağı değiştirmek amacıyla statik transfer anahtarı kullanılır. Anahtarlama durumunda bozulmaların önüne geçilmesi amacıyla KGK ve besleme gerilimleri arasında genlik-faz uyumlaması gerçekleştirilir. Aynı zamanda anahtarlar çok hızlı bir şekilde anahtarlama gerçekleştirebilmelidir. Bu sebeple arklara sebebiyet verebilecek röle ve kontaktörler yerine yarı iletken yapıları triyak ve tristörler

kullanılır. Mikro saniye süre zarfında anahtarlama yapabilen bu elemanlar kesici olarak da kullanılabilir. Statik anahtarlar yüksek anahtarlama hızı ve ark meydana getirmemesi ile önemli avantajlara sahiptir. Şekil 2.24’de statik transfer anahtar yapısı verilmiştir.



Şekil 2.24. Statik transfer anahtarı yapısı

2.2. Yöntem

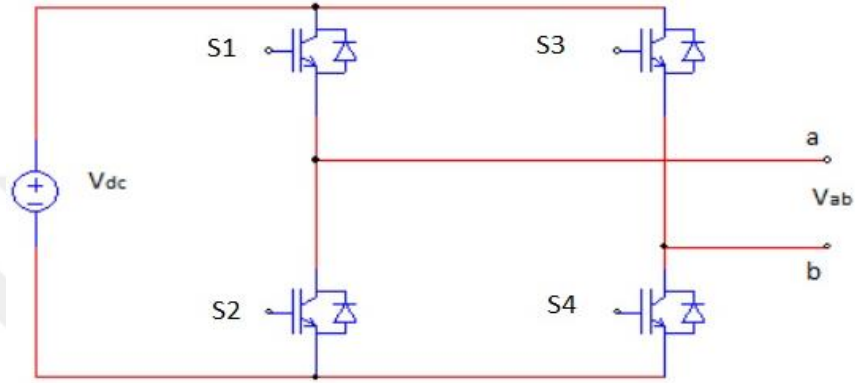
2.2.1. Kaskat çok seviyeli eviriciler

Kaskat çok seviyeli evirici topolojisi için farklı patentler olduğu bilinmesiyle birlikte, seri olarak bağlanmış tam köprü eviriciler ilk olarak 1975’te tanımlanmaktadır [30]. Kaskat çok seviyeli eviricilerin genel mantığını şu şekilde anlatmak mümkündür; tek fazlı tam köprü eviriciler’i izole DC gerilim kaynaklarıyla birleştirmesidir. Buradan doğan gereksinimler yakıt hücreleri, fotovoltaik piller gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını, Kaskat çok seviyeli evirici için ihtiyacı olan izole DC gerilim kaynaklarını karşımıza çıkarmaktadır. Bu topolojinin en büyük dezavantajı ise çok sayıda izole halde bulunan, ayrık gerilim kaynağına ihtiyacının olması maliyet açısından yüksek meblaların harcanmasına neden olmaktadır.

Günümüzde bu sistem AC güç kaynaklarında ve sürücü sistemlerinde sıkça karşımıza çıkmaktadır. Bu eviriciyi diğer eviricilerden ayıran en önemli özelliği kenetleme diyot ve kapasitörleri gerektirmemiş olmasıdır. Bu yapıdan oluşmakta olan, DC kaynak gerilimine eşit değerde AC çıkış gerilim seviyesi elde etmek mümkündür [31]. Bu yapıda ayrıca fazlardan gerilim katları bulunmaktadır. Bu yapıda oluşturulacak yedekleme ise yaşanacak evirici çıkışında bir seviye kaybı yaşanması durumunda yedeklemenin devreye girerek çalışmanın devamı sağlanır. Bu

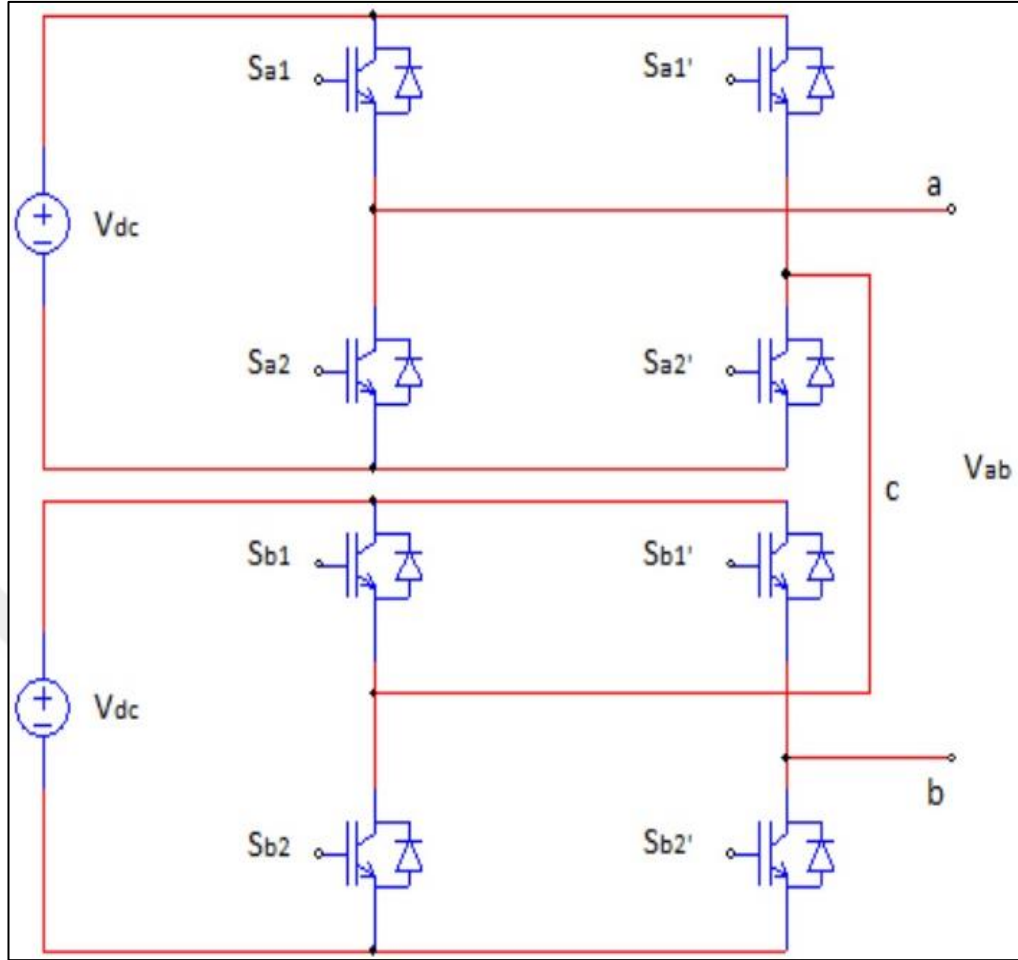
yedekleme sayesinde yaşanacak DC kaynakların veya tam köprü eviriciyi oluşturan anahtarlama elemanlarının birinde bir sorun olması durumunda bile çok seviyeli kaskat evirici'nin çalışmaya devam edebileceği anlaşılmaktadır [32].

Çok seviyeli kaskat evirici için seviye sayısı (≥ 3) en az üçtür. Üç seviyelide $+V_{dc}$, 0, $-V_{dc}$ seviyelerinden oluşan çıkış elde etmek için H- köprü hücre olarak da bilinen Tam Köprü Evirici kullanılmaktadır.



Şekil 2.25. Tek fazlı üç seviyeli kaskat evirici devre yapısı

Tek fazlı izoleli DC kaynaklı kaskat çok seviyeli evirici yapısı Şekil 2.25 ve Şekil 2.26'da gösterilmektedir. Daha önce belirtildiği gibi tam köprü devresi dört anahtarlama elemanı ve dört adet boşluk diyotundan meydana gelmektedir. Şu durumda S_1 ve S_4 anahtarları iletimde S_2 ve S_3 anahtarları kesimde iken çıkış gerilimi V_{ab} , V_{dc} 'ye eşitken tersi durumda yani S_3 ve S_2 anahtarları iletimde S_1 ve S_4 anahtarları kesimdeyken ise $V_{ab} -V_{dc}$ 'ye eşit olacaktır. S_1 ve S_3 anahtarları iletimde S_2 ve S_4 anahtarları kesimdeyken veya tersi durumda yani S_2 ve S_4 anahtarları iletimde diğer iki anahtar kesimdeyse çıkış 0'a eşit olacaktır.



Şekil 2.26. Tek fazlı 5 seviyeli kaskat evirici

Topolojide kenetleme diyot ve kapasitörlerine ihtiyaç duyulmamasından yola çıkarak diğer topolojilerle karşılaştıracak olursak bu topolojinin az sayıda eleman bulundurduğunu anlamış oluruz. Bu olaydan başka her bir tam köprü yapısı birbiriyle aynı olduğundan bu seri yapının tasarımı kolaydır ve kolayca paketlenilip bir modül haline getirebiliriz. Kaskat çok seviyeli eviriciler’de çok seviyeli çıkış gerilimi elde etmek için tam köprü eviricilerin AC çıkışlarının seri bağlanması sonucunda sentezlenen çıkış gerilim dalga şekli evirici çıkışlarının toplamı olur.

Her bir köprü devrenin çıkışında üç farklı gerilim seviyesi meydana getirebilmesi çıkışları seri bağlanmış iki tane üç seviyeli Kaskat Eviricinin toplam beş seviyeli bir AC çıkış geriliminin elde edilmesine neden olur. Formüle edecek olursak “s” DC kaynak sayısı olmak üzere bir Kaskat Çok Seviyeli Evirici’nin çıkış gerilimlerinin seviyesinin sayısı $m=2s+1$ olur.

2.2.2. Kaskat çok seviyeli eviricinin avantajları ve dezavantajları

Avantajlar;

- Her bir Tam Köprü Evirici devresi aynı yapıda olduğundan dolayı kaskat evirici devresinin dizaynı ve paketlenerek bir modül haline getirilmesi kolay olur.
- Çıkış gerilimi seviyeleri için birden fazla anahtarlama kombinasyonu mümkündür.
- Kenetleme diyotları ve gerilim dengeleme kondansatörlerinin olmadığı göz önüne alınırsa daha az sayıda eleman kullanılır.
- Kat sayısı fazla olduğunda toplam harmonik distorsiyon azalır.

Dezavantajlar;

- İzole DC kaynakların bulunduğu sınırlı sayıda uygulama alanı vardır.

Literatürde kullanılan çok seviyeli evirici yapılarından kaskat yapı kullanılarak 7 ve 11 seviyeli evirici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımda yük olarak kapasitif ve endüktif yükler kullanılarak harmonik bileşenlerin analizi yapılmıştır. Ayrıca tasarımdaki parametrelerin evirici basamak sayısı üzerindeki etkisi benzetim modeli ile incelenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez kapsamında gerçekleştirilmiş olan 7 ve 11 seviyeli eviricinin çalışma prensibini ve çıkış gerilimi dalga şeklinin incelenmesi için MATLAB ve SIMULINK programları ortamında tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Çok seviyeli evirici tasarımında tek faz için kaskat çok seviyeli evirici tasarımı temel alınmıştır.

Elde edilen benzetim sonuçlarının incelenmesinde çıkış dalga formundaki harmonik miktarı değerlendirme kriteri olarak seçilmiştir. Evirici tasarımındaki seviye ile meydana gelen toplam harmonik miktarı arasında yakın ilişki vardır. Tasarımımızda modülasyon indeksi olarak 0,86 katsayısı dikkate alınarak benzetim gerçekleştirilmiştir.

3.1. Seviye Modülü

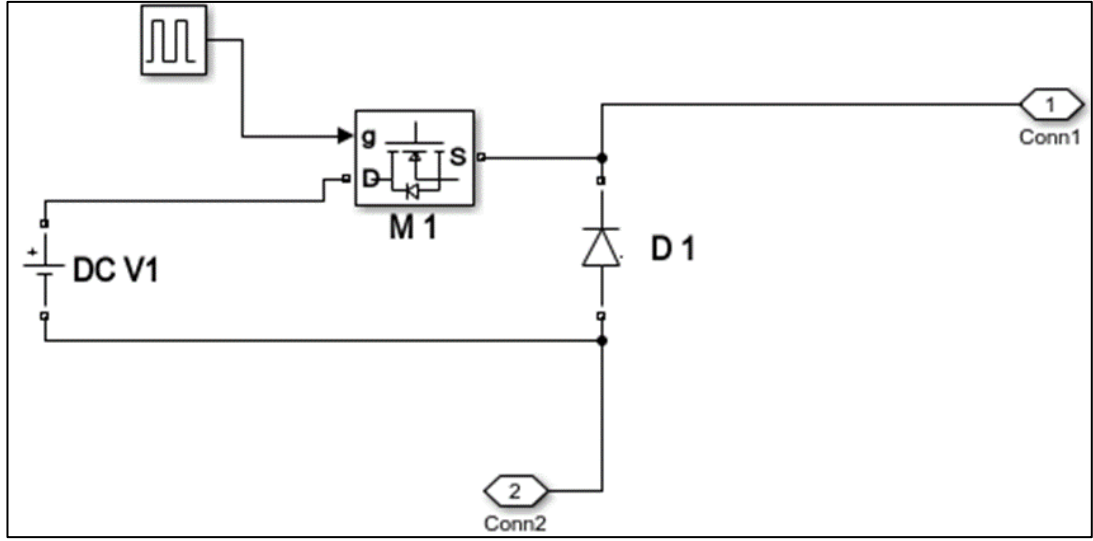
Seviye modülü 1 anahtarlama elemanı ve 1 doğru akım kaynağından oluşur. Her seviye modülündeki kaynağın voltajı Denklem (3.1)'deki gibi hesaplanır.

$$2^{(k-1)} \cdot V_d \quad (3.1)$$

Bu denklemde, k parametresi seviye sayısıdır ve 1'den m kadar değişir. Ayrıca, m, tek fazlı eviricilerde bulunan seviye modüllerinin sayısıdır ve V_d , birinci seviyenin voltajıdır. Denklem (3.2)'de V_d hesabı verilmiştir.

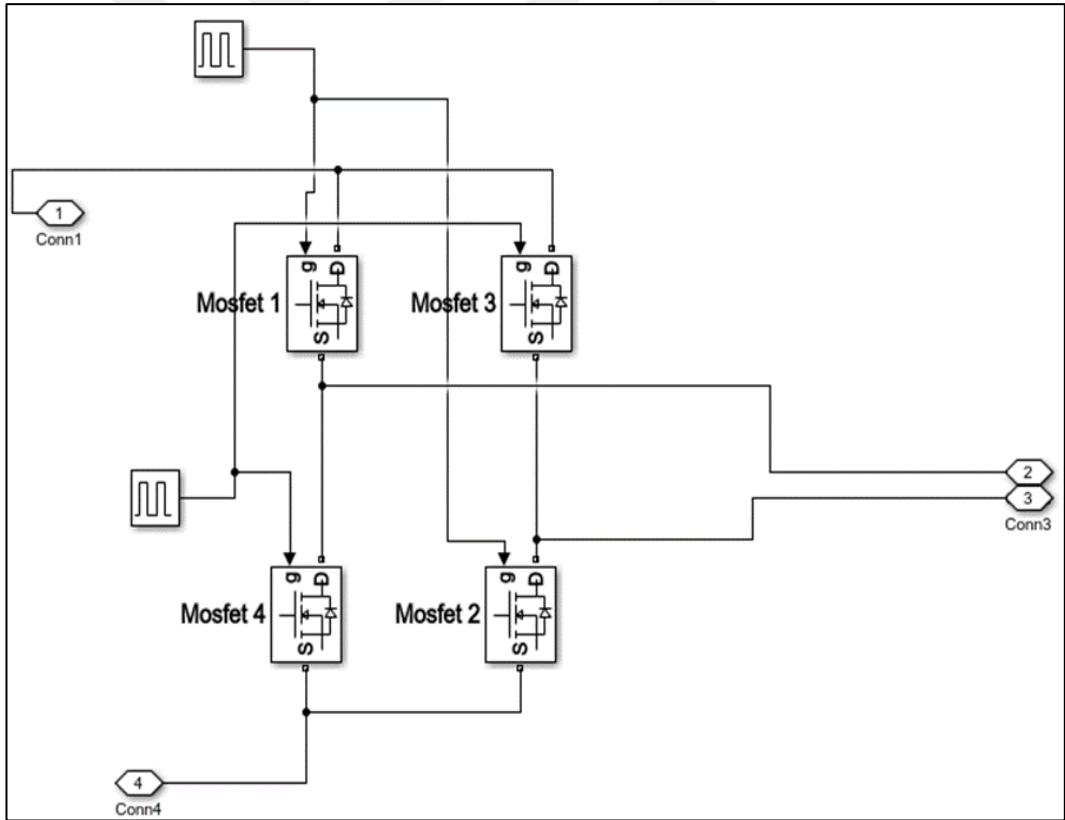
$$V_d = \frac{2 \cdot V_{\max}}{n_{fn} - 1} \quad (3.2)$$

V_{\max} , bir fazdaki voltaj değişiminin maksimum değeri değerini ve n_{fn} ise faz-nötr voltaj seviyelerinin sayısıdır. Şekil 3.1, seviye modülünün devre şeması şemasını gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Seviye modülünün devre şeması

3.2. H Köprüsü



Şekil 3.2. H köprüsü yapısı

H-Köprüsü modülünün yapısı, geleneksel H-Köprüsü eviricide bulunan ile aynıdır. H-Köprüsü modülü, evirici sistemindeki sabit parçadır ve Şekil 3.2'den anlaşılacağı

gibi, her fazda bir H-Köprüsü modülü vardır. H-Köprüsü modülünün prensip şeması Şekil 3.2'te gösterilmiştir.

Bu tez çalışmasında çok seviyeli evirici yapısı ikili dizilim olarak adlandırılacaktır. Çünkü voltaj kaynağı değerleri ikili sayı sisteminde olduğu gibi 2'nin katları olarak değişir. Bu yapı sayesinde, yardımcı anahtarlama elemanlarının ve kaynakların sayısı, sayıların kolayca artırılması olasıdır. Klasik çok kademeli eviricilerle karşılaştırıldığında, anahtarlama elemanlarının sayısındaki artış, seviye arttıkça daha azdır.

Seviye modüllerinin sayısı ile anahtarlama elemanlarının sayısı ve çıkış voltajı seviyelerinin sayısı arasında bir korelasyon vardır. Bu ilişkiler Denklem (3.3) ve (3.4)'de verilmiştir;

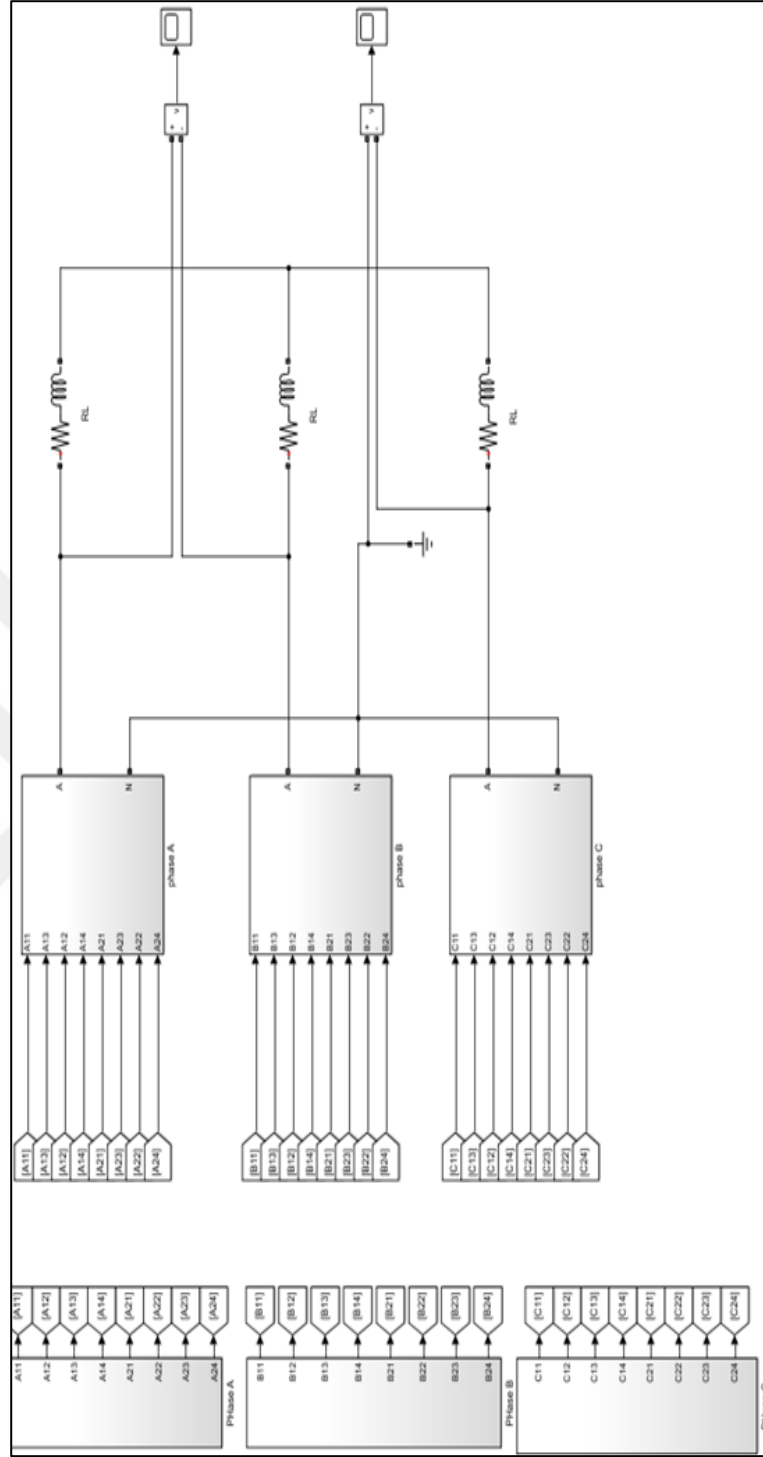
$$n_{fn}=2^{(m+1)}-1 \quad (3.3)$$

$$r_{1\phi}=2m+4 \quad (3.4)$$

n_{fn} , faz-nötr voltaj seviyelerinin sayısıdır. $r_{1\phi}$, 1 fazlı eviricinin anahtarlama elemanlarının sayısını gösterir.

3.3. Tasarlanan 7 Seviyeli Kaskat Evirici Tasarımı

Çok seviyeli evirici tasarımı kapsamında üç fazlı yedi seviyeli evirici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımda yük olarak $R=400 \Omega$ ve $L=0,05 \text{ H}$ olarak seçilmiştir. Üç fazlı yedi seviyeli evirici tasarımı Şekil 3.3'de verilmiştir.

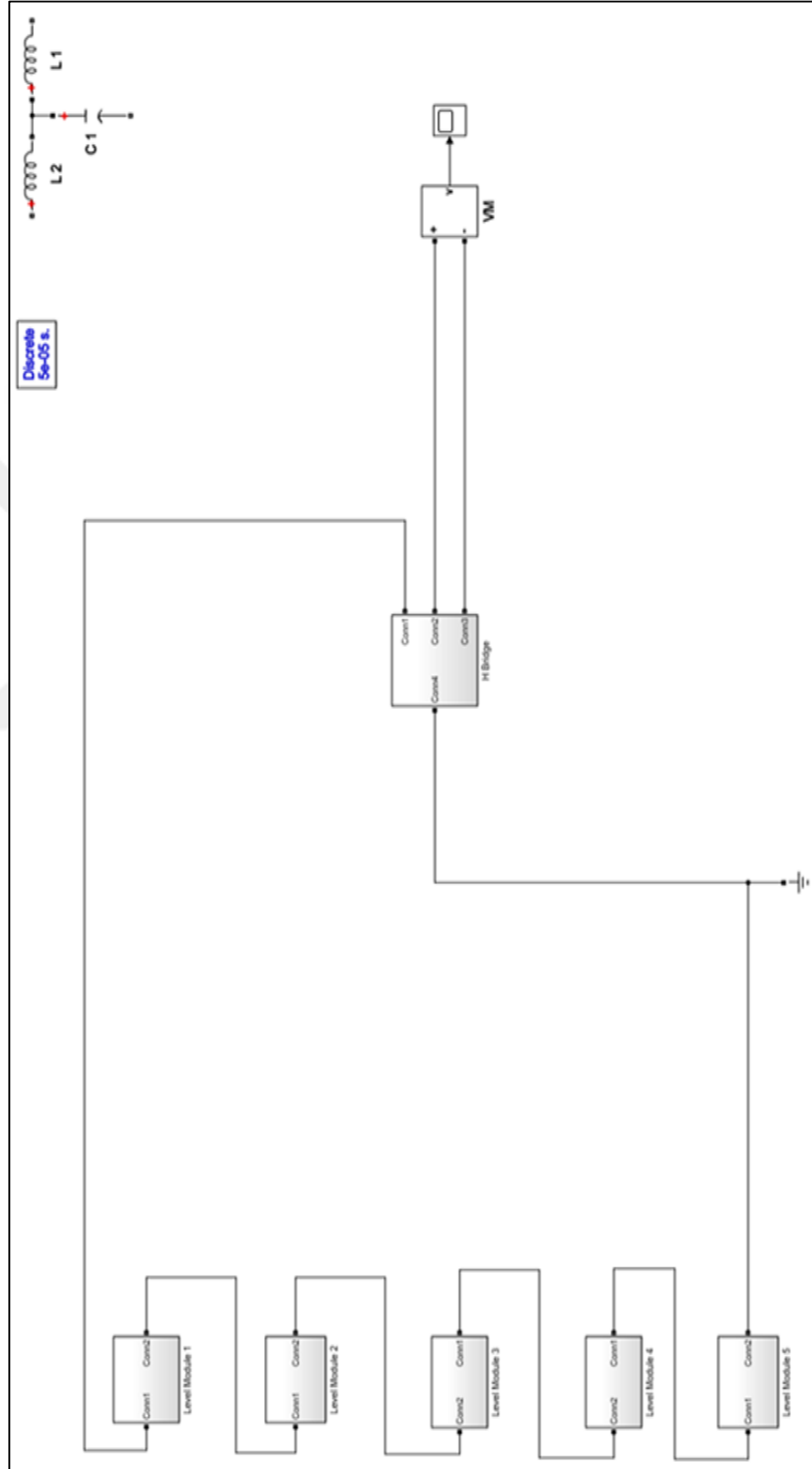


Şekil 3.3. Kaskat 7 seviyeli evirici tasarımı

3.4. Tasarlanan 11 Seviyeli Kaskat Evirici Tasarımı

Aynı anahtarlama frekansı, modülasyon indeksi, çıkış frekansı ve yük değerleri için onbir seviye evirici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Anahtarlama frekansı 20 kHz, $L =$

0,01 H ve $C = 2 \times 10^{-6}$ F olarak seçilmiştir. Onbir seviye eviricinin tasarımı Şekil 3.4'te verilmiştir.

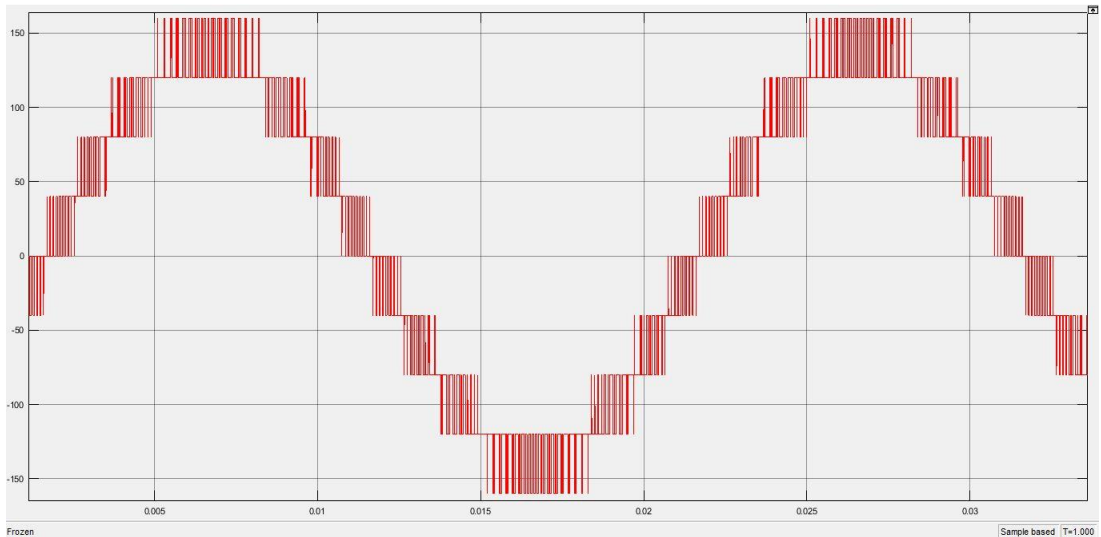


Şekil 3.4. Kaskat 11 seviyeli evirici tasarımı

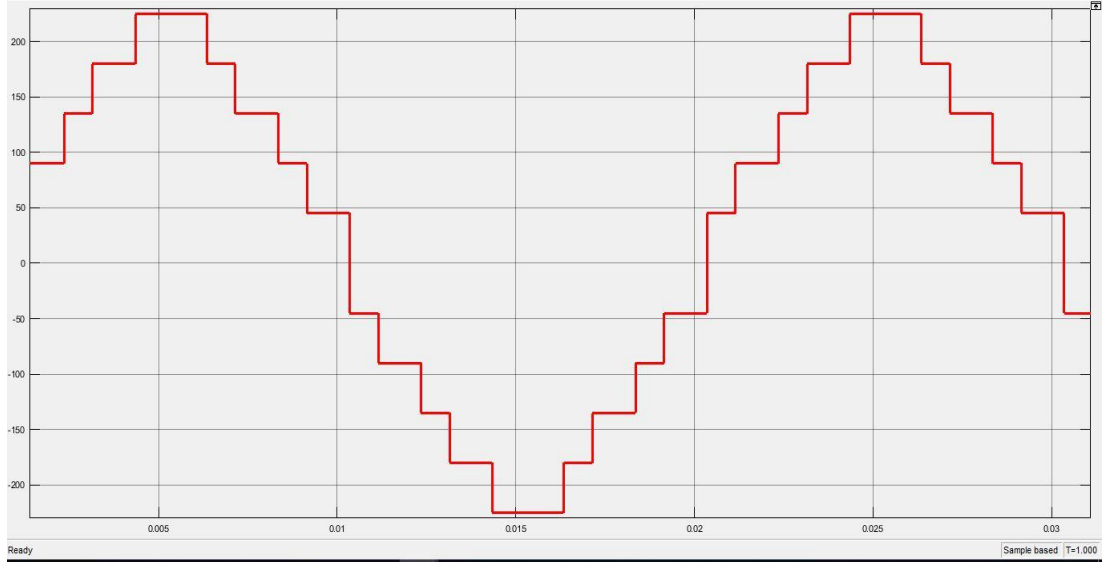
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında tasarlanan çok seviyeli eviricinin prototipleri ilk olarak simüle edildi. Daha sonra bir evirici tasarımı yapılarak bir dizi deneysel çalışma gerçekleştirildi. Yedi ve onbir seviyeli eviricinin simülasyon sonucu Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilmiştir.

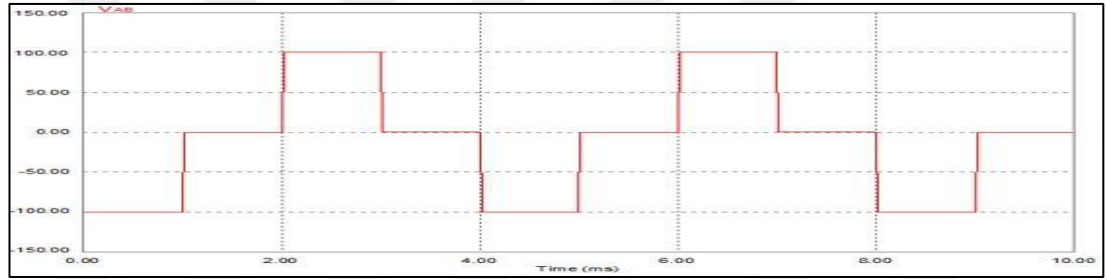
Bu tez çalışmada, literatürde mevcut olan yöntemler geliştirilerek yeni yapılar geliştirilmiştir. Anahtarlama açılarının hesaplanması için kullanılan yöntem ve sonuç olarak elde edilen formüller sunulmaktadır. Buna göre, anahtarlama açıları önerilen yöntemle kolayca hesaplanabilir. Tasarlanan eviricinin seviyesi artırılması ve geliştirmeye açık bir tasarımıdır. Eklenen seviye modulleri ile seviye sayısı katlanarak artar. Seviye sayısı arttıkça, toplam harmonik bozulma azalır. Bu harmonik bozulmaların azalması simülasyon sonuçlarında görülmektedir. Simülasyon sonuçlarına göre seviye sayısının artması ile çıkış dalga şeklinin sinüs formuna yaklaştığı görülmektedir. Tasarlanan evirici, anahtarlama elemanlarındaki dv/dt stresi önemli ölçüde azalmıştır ve bozulma olmayan çıkış voltajı üretebilmektedir.



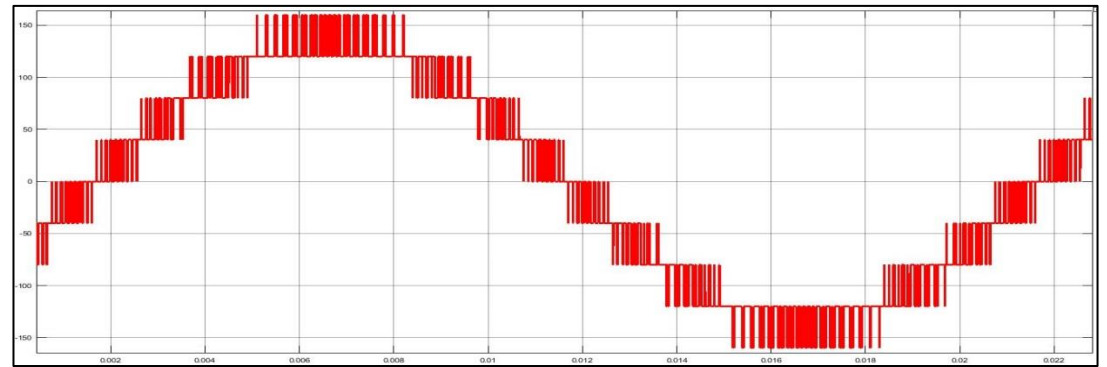
Şekil 4.1. 7 seviyeli evirici simülasyon sonucu



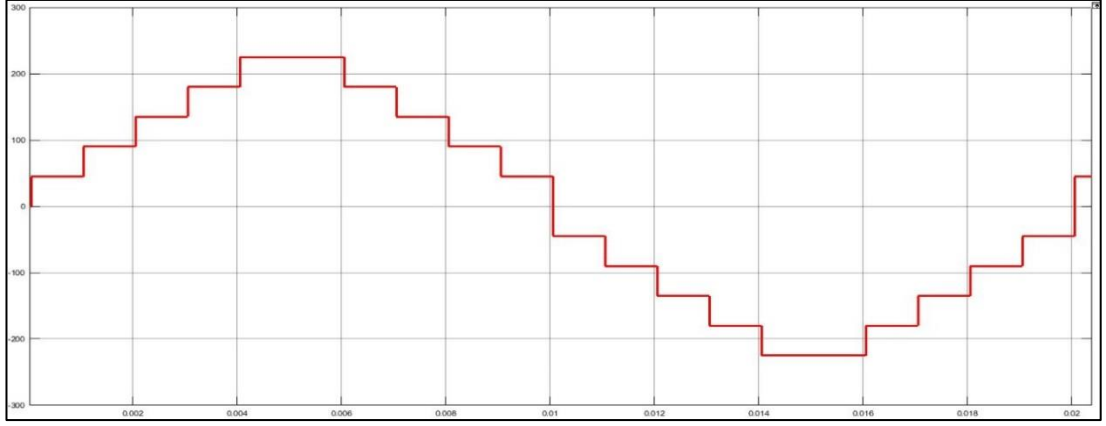
Şekil 4.2. 11 seviyeli evirici simülasyon sonucu



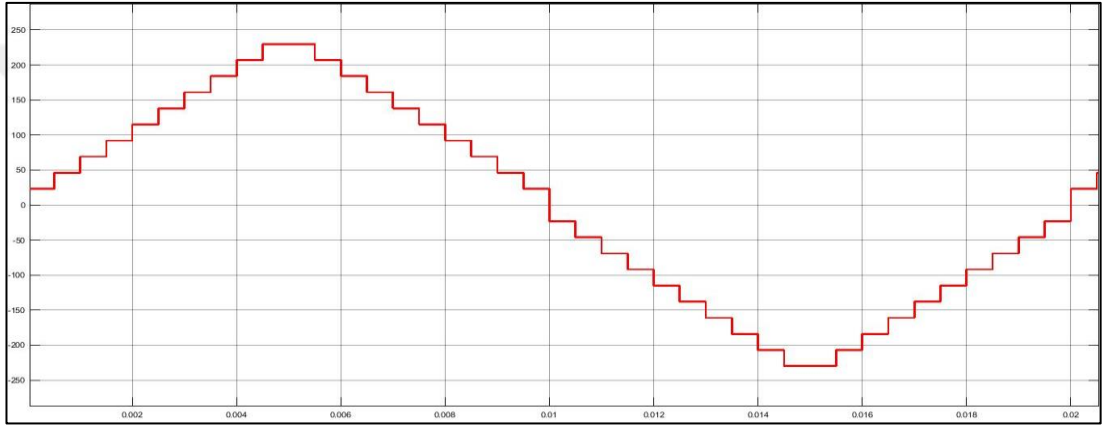
Şekil 4.3. 3 seviyeli evirici simülasyon sonucu



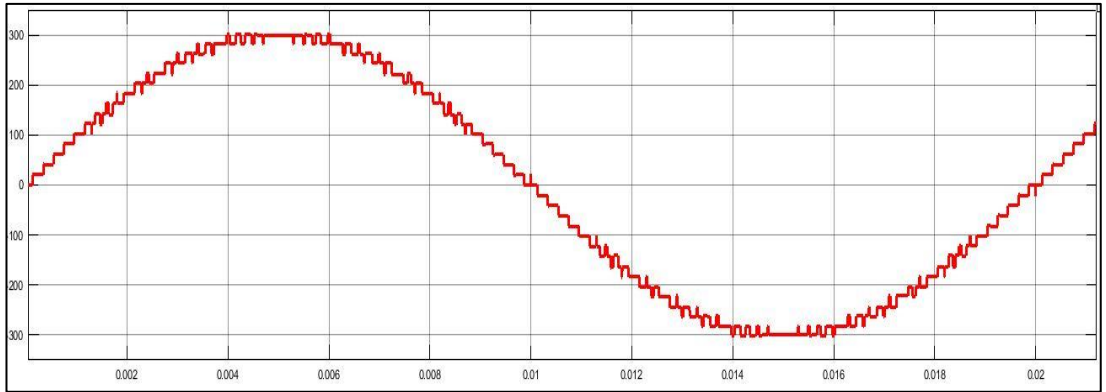
Şekil 4.4. 7 seviyeli evirici simülasyon sonucu



Şekil 4.5. 11 seviyeli evirici simülasyon sonucu



Şekil 4.6. 21 seviyeli evirici simülasyon sonucu



Şekil 4.7. 31 seviyeli evirici simülasyon sonucu

KAYNAKLAR

- [1] Bowes S. R., Clark P. R., Simple Microprocessor Implementation of New Regular-Sampled Harmonic Elimination Pwm Techniques, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 1992, **28**, 89–95.
- [2] Karshenas H. R., Kojori H. A., Dewan S. B., Generalized Techniques of Selective Harmonic Elimination and Current Control in Current Source Inverters/Converters, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 1995, **10**(5), 566-573.
- [3] Park S. J., Kang F. S., Lee M. H., Kim C. U., A New Single-Phase Five-Level PWM Inverter Employing A Deadbeat Control Scheme, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2003, **18**(3), 831–843.
- [4] Lund R., Manjrekar M. D., Steimer P., Lipo T. A., Control Strategies for A Hybrid Seven-Level Inverter, *EPE Switz '99*, Turgi, Switzerland, 7-9 September 1999.
- [5] Rodriguez J., Lai J. S., Peng F. Z., Multilevel Inverters: A Survey of Topologies, Controls, and Applications, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2002, **49**(4) 724-738.
- [6] Kouzou A., Mahmoudi M. O., Boucherit M. S., Application of SHE-PWM for Seven-Level Inverter Output Voltage Enhancement Based on Particle Swarm Optimization, *7th International Multi-Conference on Systems Signals and Devices (SSD)*, Amman, Jordan, 27-30 June 2010.
- [7] Jeevabharathi T., Padmathilagam V., Harmonic Elimination of Cascaded Multilevel Inverters Using Particle Swarm Optimization, *International Conference on Computing, Electronics and Electrical Technologies (ICCEET)*, Tamil Nadu, India, 21-22 March 2012.
- [8] Kouzou A., Stolze P., Mahmoudi M. O., Boucherit M. S., Kennel R., The Application of the SHE-PWM Based on Particle Swarm Optimization for the Improvement of the Cascaded H-Bridge Inverter Output Voltage, *14th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE)*, Birmingham, United Kingdom, 30 August-01 September 2011.
- [9] Ismail B., Hassan S. I. S., Ismail R. C., Haron A. R., Azmi A., Selective Harmonic Elimination of Five-level Cascaded Inverter Using Particle Swarm Optimization, *International Journal Engineering Technology*, 2014, **5**(6), 1-13.
- [10] Patel H. S., Hoft R. G., Generalized Techniques of Harmonic Elimination and Voltage Control in Thyristor Inverters: Part I--Harmonic Elimination, *IEEE Transactions Industry Applications*, 1973, **3**, 310–317.

- [11] Dahidah M. S. A., Agelidis V. G., Selective Harmonic Elimination PWM Control for Cascaded Multilevel Voltage Source Converters: A Generalized Formula, *Power Electronics IEEE Transactions*, 2008, **23**(4), 1620–1630.
- [12] Dargahi V., Sadigh A. K., Corzine K., Selective Harmonic Elimination for Extended Cascaded Multicell Multilevel Power Converters, *Power Systems Conference (PSC)*, Clemson, USA, 13-15 March 2015.
- [13] Kouro S., Malinowski M., Gopakumar K., Pou J., Franquelo L. G., Wu B., Rodriguez J., Pérez M. A., Leon J. I., Recent Advances and Industrial Applications of Multilevel Converters, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2010, **57**(8), 2553-2580.
- [14] Tolbert L. M., Peng F. Z., Multilevel Converters as a Utility Interface for Renewable Energy Systems, *Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference*, Seattle, USA, 16-20 July 2000.
- [15] Tadros Y., Salama S., Höf R., Three level IGBT Inverter, *23rd Annular Power Electron Specialists Conferance*, Toledo, Spain, 29 June-3 July 1992.
- [16] Rodriguez J., Lai J. S., Peng F. Z., Multilevel Inverters: A Survey of Topologies, Controls and Applications, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2002, **49**(4), 724– 738.
- [17] Ozpineci B., Tolbert L. M., Du Z., Optimum Fuel Cell Utilization with Multilevel Inverters, *IEEE Power Electronics Specialists Conference*, Aachen, Germany, 20-25 June 2004.
- [18] Blake C., Bull C., IGBT or MOSFET: Choose Wisely, *International Rectifier*, California, USA, 5 July 2006.
- [19] Bhagwat P. M., Stefanovic V. R., Generalized Structure of a Multilevel PWM Inverter, *IEEE Transactions Industry Applications*, 1983, **19**(6), 1057-1069.
- [20] Lai J. S., Peng F. Z., Multilevel Converters A New Breed of Power Converters, *IEEE Transactions Industry Applications*, 1996, **32**, 509–517.
- [21] Akagi H., Kanazawa Y., Nabae A., Instantaneous Reactive Power Compensators Comprising Switching Devices without Energy Storage Components, *IEEE Transactions Industry Applications*, 1984, **20**, 625.
- [22] Peng F. Z., McKeever J. W., Adams D. J., Cascade Multilevel Inverters for Utility Applications, *Industrial Electronics, Control and Instrumentation Conference (IECON)*, New OrLens, USA, 14 November 1997.
- [23] Teodorescu R., Beabjerg F., Pedersen J. K., Cengelci E., Sulistijo S., Woo B., Enjeti P., Multilevel Converters - A Survey, *European Power Electronics Conferans*, Turgi, Switzerland, 7-9 September 1999.

- [24] Baker R. H., High-Voltage Converter Circuit, 1980, U.S. Patent No. 4,203,151, *U.S. Patent and Trademark Office*.
- [25] Yamanaka K., Yamada K., Kumagae A., Terada, T., Three-Level Neutral Point Clamping Type Inverter Circuit, 2001, U.S. Patent No. 06,226,192, *U.S. Patent and Trademark Office*.
- [26] Nabae A., Takahashi I., Akagi H., A New Neutral Point Clamped PWM Inverter, *IEEE Transactions Industry Applications*, 1981, **17**(5), 509–517.
- [27] Pinheiro H., Botteron F., Rech C., Schuch L., Camargo R. F., Hey H. L., Gründling H. A., Pinheiro J. R., Space Vector Modulation for Voltage Source Inverters: A Unified Approach, *28th Annual Conference of the Industrial Electronics Society*, 2002, **1**, 23-29.
- [28] Agrawal J. P., *Power Electronic Systems, Theory And Design*, 7th ed., Prentice Hall, New Jersey, 2001.
- [29] Khersonsky Y., Step Switched PWM Sine Generator, 2003, U.S. Patent No. 06,556,461, *U.S. Patent and Trademark Office*.
- [30] Mondal S. K., Pinto J. O. P., Bose B. K., A Neural-Network-Based Space-Vector PWM Controller for a Three-Level Voltage-Fed Inverter Induction Motor Drive, *IEEE Transactions Industry Applications*, 2002, **38**(3), 660-669.
- [31] Hyeong S. J., Chang-Ho C., Dong-Seok H., A New Simplified Space Vector PWM Method for Three-Level Inverters, *IEEE Transactions Industry Applications*, 1999, **16**(4), 545-550.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Aygül M. A.**, Abut N., Özkaya U., A Novel Cascade 11 Level Inverter Design, *1st International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies*, Antalya, Turkey, 11-13 April 2018.



ÖZGEÇMİŞ

1994 yılında Manisa'da doğdu. İlk öğrenimini Manisa'da, orta ve lise öğrenimini İzmir'de tamamladı. 2011 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'nden 2015 yılında Elektrik Mühendisi olarak mezun oldu. 2015-2018 yılları arasında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 2017 yılından beri Beta Elektrik Mühendislik şirketinde Elektrik Mühendisi olarak görev yapmaktadır.

