



**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KESİNTİSİZ GÜÇ KAYNAKLARI

Elek. Müh. Suat SEVİL

**F.B.E. Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalında
hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. M. Hadi SARUL

İSTANBUL, 1995

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
BÖLÜM I	
KESİNTİSİZ GÜÇ KAYNAĞI	1
I.1 Bilgisayar Kullanımında KGK	2
I.2 KGK Tipleri	4
I.3 KGK Kalitesi	4
I.4 KGK Teknolojisi	5
I.4.1 Redresör	8
I.4.2 Inverter	8
I.4.3 Statik Transfer Anahtarı	9
I.4.4 Aküler ve Akü Seçimi	9
I.4.5 Alarm ve Göstergeler	10
I.5 KGK Sistemlerinin Paralel Bağlanması	11
I.6 Modüler ve Merkezi Sistemler	12
I.6.1 Modüler Sistemin Özellikleri	13
I.6.2 Merkezi Sistemin Özellikleri	13
BÖLÜM II	
AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER	14
II.1 Yarım Dalga (Orta Uçlu) Doğrultucular	16
II.1.1 İki Fazlı Orta Uçlu Doğrultucular	16
II.1.2 Üç Fazlı Orta Uçlu Doğrultucu	18
II.2 Köprü Doğrultucular	19
II.2.1 Yarım Denetimli İki Darbeli Köprü Doğrultucu	19
II.2.2 Yarım Denetimli Üç Darbeli Köprü Doğrultucu	22
II.2.3 Tam Denetimli İki Darbeli Köprü Doğrultucu	24
II.2.4 Tam Denetimli Altı Darbeli Köprü Doğrultucu	25
II.3 DC Harmonikler	26
II.3.1 Doğru Gerilimdeki Dalgalanma	27
II.3.2 Şebeke Akımındaki Harmonikler	28
II.3.3 DC Filtreler	28

BÖLÜM III

AKÜMÜLATÖRLER	29
---------------------	----

III.1	Akü Voltajı	29
III.2	Akü Kapasitesi	30
III.3	Akü Verimi	30
III.4	Akülerin Doldurulması	30
III.4.1	NiCd Akümülatörlerin Boşalma Davranışı	33
III.4.2	Akü Şarj Yöntemleri	34

BÖLÜM IV

DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER	37
----------------------------	----

IV.1	Yük Denetimli Inverterler	37
IV.1.1	Paralel Rezonans Devreli Inverter	38
IV.1.2	Seri Rezonans Devreli Inverter	40
IV.2	Bir Fazlı Inverterler	41
IV.2.1	Mc Murray-Bedford Inverteri	41
IV.2.2	Yardımcı Tristörlü Inverter	46
IV.2.3	Darbe Genlik Modülasyonlu Inverter	48
IV.2.4	Rezistif Yük Inverteri	51
IV.2.5	Geri Besleme Diyotlu Paralel Rezonans Devreli Inverter ...	52
IV.2.6	Omik-Endüktif Yükler İçin Inverter Devresi	53
IV.2.7	PWM İçin Uygun Bir Inverter Devresi	54
IV.3	Üç Fazlı Inverterler	56
IV.3.1	Faz Arası Komütasyonlu Inverter Devresi	57
IV.3.2	Yardımcı Tristörlü Üç Fazlı Inverter Devresi	58
IV.3.3	Üç Fazlı Mc Murray-Bedford Inverteri	59
IV.3.4	Enine Bobinli Üç Fazlı Inverter Devresi	61
IV.3.5	Güç Transistörlü Inverterler	62
IV.4	Inverter Devrelerinde Kullanılan Güç Elemanları	63
IV.4.1	Tristörler	63
IV.4.1.1	Silisyum Denetimli Doğrultucu-Tristör (SCR)	64
IV.4.2	Güç Transistörü	69

IV.4.3	Güç MOSFET Elemanı	70
IV.4.4	IGBT Elemanı	71
IV.5	Üç Fazlı Inverterlerde Çalışma Modları	73

BÖLÜM V

MODÜLASYON TEKNİKLERİ	79
V.1 Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM)	79
V.1.1 Sinüs-Üçgen Karşılaştırma Yöntemi	82
V.1.2 Değiştirilmiş Darbe Genişlik Modülasyonu	85
V.1.3 Mikroişlemci Kontrollü Darbe Genişlik Modülasyonu	86
V.1.3.1 Mikrobilgisayarların Temel Yapısı	87
V.1.4 PWM için Harmonik Analizi	89
V.2 AC Filtreler	92
V.2.1 Gerilim Filtresi	92
V.2.1.1 Seri Paralel Rezonans Filtresi	93
V.2.1.2 Seri Kondansatörsüz Filtre	95
V.2.1.3 Kısa Devre Linki	96
V.2.2 Akım Filtreleri	97
KAYNAKLAR	99
EK 1 TÜRKİYE PİYASASINDAKİ BAZI KGK'LAR	101

TEŞEKKÜR

Benim bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan ve hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan anneme ve babama teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Bu tez çalışmasında elektrik enerjisinin varlığının ve kalitesinin önem taşıdığı yerlerde kullanılan kesintisiz güç kaynakları incelenmiştir.

Kesintisiz Güç Kaynaklarının önemli kullanma alanları ve özellikle bilgisayar kullanımında Kesintisiz Güç Kaynaklarının (KGK) gerekliliği, tezin ilk kısmında incelenmiştir. Bu bölümde sistemlerin genel yapısı ve çalışma şekilleri hakkında da genel bir bilgi de mevcuttur.

Kesintisiz Güç Kaynağı sistemlerinin doğrultucu devre kısımları ele alınmıştır. Günümüzde Kesintisiz Güç Kaynağı sistemlerinde kullanılan doğrultucu devreler bu bölümde incelenmiştir. Çalışma şekilleri, avantajları, dezavantajları açıklanmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde akümülatörler ele alınmıştır. Akümülatörlerin yapıları, kimyasal özellikleri ve performansları incelenmiştir. Akümülatörlerin doldurma ve boşalma sırasındaki sırasındaki davranışları ve akümülatör doldurma yöntemleri üzerinde durulmuştur.

Dördüncü bölümde ele alınan inverterler Kesintisiz Güç Kaynağı sistemlerinin en önemli parçasıdır. Bölüm içerisinde Kesintisiz Güç Kaynağı sistemlerinde kullanılabilecek inverter devrelerinden olabildiğince fazla sayıda örnek verilmiştir. Devrelerin çalışmalarının yanında avantaj ve dezavantajları da anlatılmıştır. Bu bölümde ayrıca inverter devrelerinde kullanılan anahtarlama elemanları da anlatılmıştır. Elemanların çalışma şekilleri, özellikleri anlatılmıştır. Inverterlerde önemli bir konu olan 120° ve 180° iletimli çalışma modlarının da karşılaştırması yapılmıştır.

Beşinci ve son bölümde ise özellikle Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) olmak üzere modülasyon teknikleri açıklanmıştır. PWM ile sinüsoidal gerilim elde etmek için kullanılan metodlar anlatılmıştır. Bu bölümün son kısmında ise PWM ile elde edilen sinüsoidal gerilimin içerdiği harmonik akımlar anlatılmıştır. Harmonikleri elimine etme ve filtreleme devreleri açıklanmıştır.

ABSTRACT

In this thesis Uninterrupted Power Supplies (UPS) are examined. UPS systems are used for high quality and safety electrical energy. The necessity of UPS systems in using areas especially computer using applications is explained in first section. Some informations about general structure and working principles of UPS systems are also given.

In second section the rectifiers are examined. The most common rectifier circuits are given. The working principles, advantages and disadvantages of each circuit are explained.

Batteries are examined in third section. Structure, chemical properties and performances of batteries are explained. The behaviour of batteries during charging and discharging and charging methods are examined.

The inverters which examined in fourth section are the most important part of UPS systems. In this section as much as possible circuits are explained. The working principles, advantages and disadvantages of each circuit are given. The semiconductors which used in inverter circuits are explained. Structures, working principles, given for each component. The last period of this section is about 120° and 180° modes of square wave inverters. 120° and 180° modes are compared.

The modulation techniques are examined in fifth section. In this section especially Pulse Width Modulation (PWM) is explained. The ways of PWM are given. Microprocessor controlled PWM techniques and the structure of microprocessors are also given in this section. The harmonic currents that sinusoidal PWM wave form contains, are examined. The eliminating methods of these harmonics are given. The last period of this section is about filter circuits.

BÖLÜM I KESİNTİSİZ GÜÇ KAYNAĞI

Kesintisiz Güç Kaynakları (KGK), şebeke gerilimindeki olumsuzlukları yok etmek ve sürekli güç sağlamak için geliştirilmiş sistemlerdir. Bir KGK şebeke geriliminin frekansını sabit tutar, her türlü parazit ve gürültüleri filtreleyerek temiz bir çıkış gerilimi sağlar. Şebeke gerilimi kesildiğinde alıcıları aküden besleyerek sürekli bir güç oluşturur. KGK kullanımını gerekli kılan sorunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

SARKMA : Kısa süreli gerilim düşüklüğüdür. Sistemin kilitlenip bilgilerin bozulmasına neden olur.

KESİNTİ : Tamamen gerilim yokluğudur ve bilgi kaybına neden olur.

YÜKSELME : Genellikle kısa süreli voltaj yükselmesidir. Bilgisayar donanımına zarar verir.

DARBE : Çok kısa süreli, yaklaşık saniyenin yüzde biri süresince voltaj yükselmesidir.

GÜRÜLTÜ : Elektriksel gürültülerdir. Sinüs dalga şeklinin bozulmasına neden olurlar. Bu da bilgilerde hatalar oluşturur.

Yapılan araştırmalar bu hatalarla karşılaşma oranının:

SARKMA (SAG)	: Yüzde 87
KESİNTİ (BLACKOUT)	: Yüzde 4,7
YÜKSELME (SPIKE)	: Yüzde 7,4
AŞIRI GERİLİM	: Yüzde 0,7 olduğunu göstermektedir.

Bu sorunlara karşı koyabilecek KGK'dan beklenen özelliklere kısaca değinmek gerekirse;

Regülasyon: Türkiye şartlarında, şebeke geriliminin -20% ve $+15\%$ arasında değişimi söz konusudur. Günümüzün KGK'ları gerilimi $\pm 1\%$ olacak şekilde düzenler.

Gerilim Kararlılığı: Yükü besleyen gerilimin değişen şartlar altında sabit kalmasıdır.

Yüke Karşı Regülasyon: Çıkışa bağlanan yüklerin değişimine (%0-%100) rağmen gerilimin sabit kalmasını hedefler. KGK'lardan beklenen ± 1 'den küçük bir değerdir.

Ani Yüke Karşı Regülasyon: Çıkış yükünün ani değişimi, şebeke geriliminin kesilmesi ve gelmesi hallerinde çıkışta olacak değişimin ± 10 'dan küçük olması hedeflenir.

Frekans Kararlılığı: Şebeke geriliminde oluşan frekans bozulmalarını yükten yalıtır. Müsade edilebilir sınırlar şebeke frekansı için 49,5 Hz ile 50,5 Hz'dir. KGK bu değişim aralığına uyum sağlamalı ve sınırların dışına çıkıldığında kendi ürettiği ± 0.01 frekans toleranslı gerilimi yüke vermelidir.

Aşırı Yük ve Kısa Devre Koruması: Çıkışta oluşabilecek aşırı yüklenme ve kısa devrelere karşı KGK'nın kendini koruması, arızalanmaması ve çalışmayı sürdürmesi gerekmektedir. Yüzde 150 aşırı yükte KGK'nın gerilim regülasyonunda en az 1 dakika süreyle çalışabilmesi ve bu süre sonunda herhangi bir operasyona gerek kalmadan çalışmasını sürdürmesi beklenir.

Yüksek Verim: Her cihazda olduğu gibi KGK'larda da enerji kayıpları oluşur. Önemli olan bu kaybın düşük tutulmasıdır. Dolayısıyla yüksek verimli cihazlar tercih edilmelidir.

THD: Toplam Harmonik distorsiyonu (THD), lineer yüklerde %3'den non-lineer yüklerde %5'den küçük olması gerekir.

I.1 Bilgisayar Kullanımında KGK

Ülkemizde gelişen teknolojik olanaklar çerçevesinde bilgisayar her türlü sektöre, ticari ve özel hayata yani her alana hızla girdi. Bilgisayarın hayatımızda bu derece önemli bir yer almasının diğer bir boyutu bilgisayar ve yan donanımlarıyla yazılım haklarının milyonlarca dolar

döviz ödenerek ithal edilmesi ve bunun Türkiye ekonomisine getirdiği yükür.

Bilgisayar teknolojisini kullanmak isteyen kişi veya kuruluşlar hem satın alırken oldukça yüksek bedeller ödemekte hem de hızlı gelişmelere ayak uydurmak için önemli maliyetlerle karşı karşıya kalmaktadırlar.

Konunun bir de satış sonrası teknik hizmetler yönü önemlidir. Farklı üreticilerden ithal edilen farklı kalite ve teknik özellikteki cihazlar için distribütör veya satıcı firmaların kullanıcılara vermek zorunda oldukları teknik hizmetlerin boyutları, kimi zaman diğer konulardan daha büyük önem kazanır. Teknik hizmetlerin maliyetleri kullanıcıları zorlarken, satıcı firmalar da bu konularda yetişmiş eleman temini ve bu sahaya ayrılması gerekli zaman açısından güçlük çekmektedirler.

Teknik servis ihtiyacının büyük kısmı bozulma ve hasarlardan kaynaklanmaktadır. Arıza ve hasarların minimuma indirilmesi ise, hem servis alan hem de servis verme yükümlülüğü olan firmalar için yukarıdaki nedenlerle önem kazanmaktadır. Arıza ve bozulmaların minimizasyonu ise kullanıcıların iyi eğitilmiş olmasının yanı sıra büyük ölçüde cihazların kendilerinin ve beslendikleri şebekenin kalitesine bağlıdır. Şebeke şartları (giriş voltajı ve frekansı) bu etkenlerden kontrolü en güç olanıdır. Cihazların sağlıklı çalışabilmeleri için 220 V ve 50 Hz'lik gerçek sinüs dalgası mutlaka stabil olarak sağlanmalıdır. Aksi halde ekranlar yanabilmekte, disketler kullanılmaz hale gelebilmekte ve çok önemli olan bilgiler kaybolabilmektedir. Şebeke şartlarının normal seviyede tutulabilmesi için tek çözüm KGK kullanımıdır.

Ülkemizde, şebeke şartlarının büyük bir çoğunlukla arzu edilen şartları yerine getirememesine rağmen, KGK kullanımı tahmin edilen seviyenin çok altındadır. Amaca uygun, dünya standartlarında kaliteli bir KGK elektrik kesilmelerinde ani voltaj ve frekans dalgalanmalarında cihazı her türlü riskten uzak tutacaktır. Kullanıcı minimum arıza ve bozulmalarla karşılaşacak, zaman ve maddi bakımdan kaybı da minimum düzeyde olacaktır. Satıcı firmanın da teknik servis yükü azaldığı gibi bu hizmetleri verecek eleman sıkıntısı da fazla hissedilmeyecektir.

Konunun ülke ekonomisi açısından da önemi vardır. KGK kullanımıyla önlenebilecek arızalar ekonomimize büyük ölçüde mali yükler getirmektedir.

I.2 KGK Tipleri

KGK'ların bilinen üç değişik tipi vardır;

1. OFF-LINE (SHORT BREAK) sistemler
2. ON-LINE sistemler
3. NO-BREAK sistemler

Off-Line Sistemler: Bu sistemin en belirgin özelliği inverterin devamlı devrede olmamasıdır. Böyle bir sistemde elektrik kesintisi durumunda devreye girme söz konusu olduğunda 2 ms'ye varan bir gecikme süresi ortaya çıkmaktadır. Bu süre bilgisayarlar da pek hissedilmemekle birlikte DOS dışındaki sistemlerde hissedilmeyeceği garanti edilmemiştir.

On-Line Sistemler: On-Line sistemlerde Off-Line sistemlerin aksine, yüklerin şebekeyle bağlantısı sadece akülerin şarj edilmesi şeklindedir. Yük sürekli olarak inverter aracılığıyla akülerden beslenir. Bu sebeple elektrik kesintisi bu sistemlerde aküler bitmediği sürece hissedilmez. Bu sistemlerin en büyük avantajı da budur. Fakat akülerin ve inverterin sürekli devrede olması ısınma ve gürültüye neden olur. Güç kaybı da fazla olduğundan verim düşüktür.

No-Break Sistemler: No-Break sistemler, özellikle şu ana kadar geliştirilen en sorunsuz tiplerdir. Genel prensip olarak elektrik kesintisi olmadığı durumlarda akü grubu ve inverter devrede değildir. Devreye girme gecikmesi çok kısadır.

I.3 KGK'nın Kalitesi

Çok duyarlı elektronik cihazların kullanımında KGK ile yedekleme zorunluluğu, şebeke şartlarının sürekli değişim içinde olduğu ülkemizde mutlaka vardır. Aksi halde kullanıcının zararı bir KGK maliyetinin çok üzerinde olabilir.

Ülkemizde ithal ve yerli imal edilen çok farklı kalitelerde cihazlar pazarlanmaktadır. Alıcılar KGK satın alırken olayın mali yönüyle çok ilgilidirler. Oysa ki bu gibi yatırımlarda mali yönden daha çok kalite faktörü ön planda tutulmalıdır.

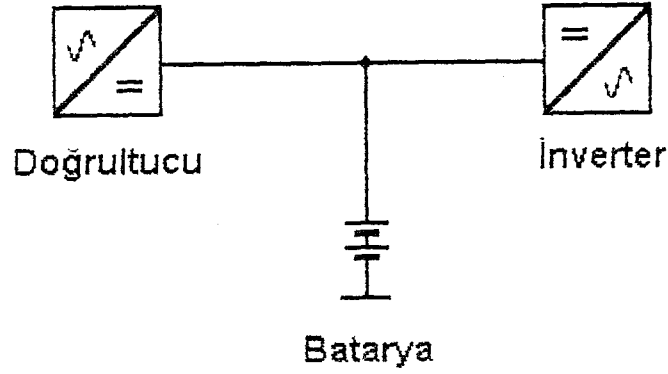
İthal cihazlarda yerlilere oranla daha yüksek teknoloji ve dikkate değer bir boyut küçülmesi görülmektedir. Fakat bunların yanı sıra uzak doğu kökenli çok kalitesiz cihazların nisbeten daha düşük fiyatlarla rekabet şansı aradığını da görmek mümkündür. Kaliteli cihazın ayrımında uluslararası sertifikaların varlığına bakılmalıdır. TIV, ANSI IEEE, UL, GS, FCC gibi sertifikaların varlığı söz konusu cihazın yurt dışında kalitesinin ispat edildiğini gösterir. Cihazın boyutları, kare ya da basamak dalga formu yerine gerçek sinüs dalgası formunda çalışması, opsiyonel yazılımlar yardımıyla bilgisayarla irtibat kurabilmesi, ses veya ısı yaymaması bir KGK'dan beklenen önemli özelliklerdir.

On-line veya stand by seçiminin önemi gün geçtikçe azalmakta on-line gibi çalışan stand by cihazlar üretilmektedir. Bu cihazlar aküleri kullanmadan gerilimi regüle edebilmekte, frekanstaki parazitleri yok edebilmekte, gerilim sınırlanan değer altına düştüğünde ise elektronik cihazların hissedebileceği sürenin (2 ms) yarısı kadar bir süre içinde devreye girebilmektedirler. Bu durumda daha pahalı, akü ömrü kısıtlı ve çok yer kaplayan on-line cihazlar tercih edilmemektedir.

I.4 KGK Teknolojisi

Güç elektroniğinin büyük ana dallarından ikisini bir araya getiren KGK'lar, bu alanda sürekli yenilenen teknolojileri bünyesinde taşımaktadır. Her gün yeni güç elemanlarının üretilmesi, tasarımcıya sınırsız olanaklar tanımakta, bir zamanlar kağıt üzerinde kalan fikirleri uygulamak mümkün olmaktadır.

KGK sistemleri prensip olarak Şekil 1.1'deki gibidir. Görüldüğü gibi KGK doğrultucu, batarya ve inverter olmak üzere üç ana kısımdan oluşur. Bu kısımlar ileriki bölümlerde etraflıca incelenecek olup burada sadece görevlerinden bahsedilecektir.



Şekil 1.1 Kesintisiz Güç Kaynağının prensip şeması

Bu sistemin çalışmasını kısa bir şekilde anlatmak gerekirse;

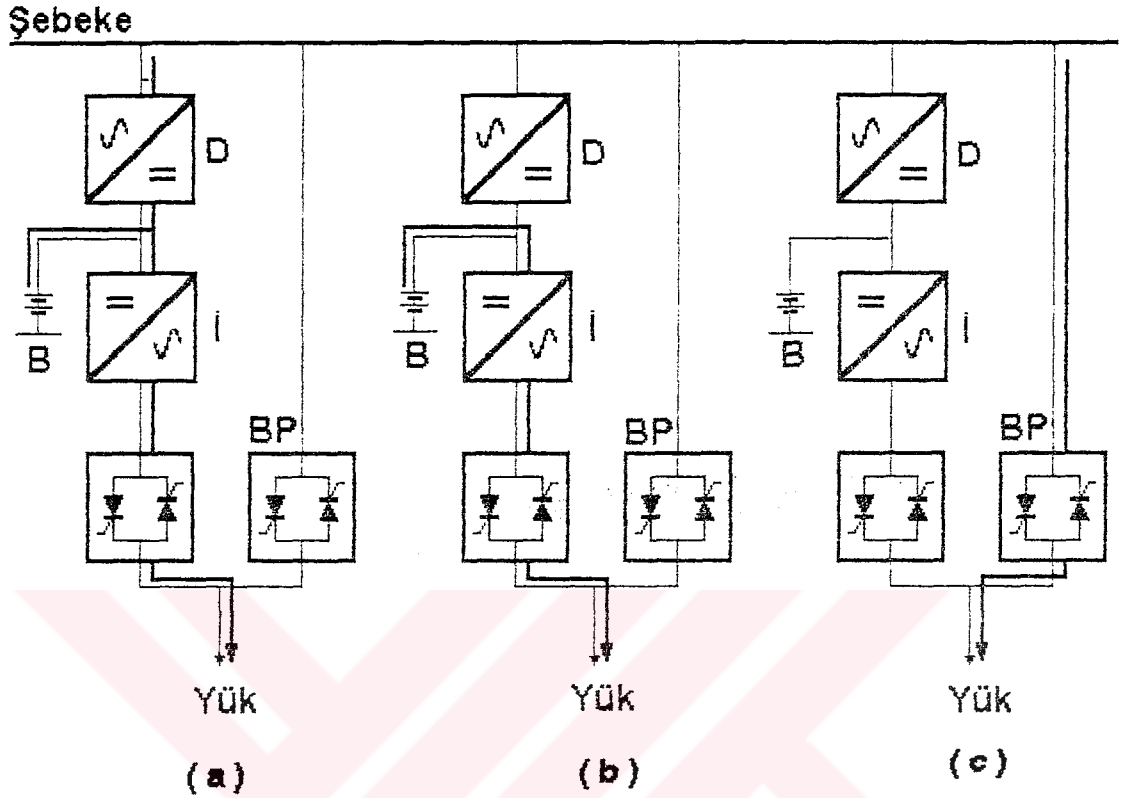
a. Enerji mevcutken doğrultucuya gelen AC gerilim doğrultularak akü bataryası ve inverter beslenir. Bir yandan aküler şarj olurken diğer yandan da inverterle yük beslenmektedir.

b. Şebeke enerjisinin olmadığı durumlarda ise inverter akü bataryalarından sağladığı DC gerilimle yükü kesintisiz bir şekilde beslemeye devam eder. Şebeke geldiğinde tekrar a.'daki çalışma şekline dönlür.

c. Üçüncü bir durum da KGK'nın arıza yaptığı veya bakım gerektirdiği hallerde uygulanan bir çalışma şeklidir. Bu durumda yük By-pass denen bir yolla beslenir ve KGK devre dışı bırakılır.

Görüldüğü gibi şartlar ve olursa olsun yük enerjisiz kalmamaktadır. Sistemin statik bir sistem olması da sisteme güvenilirlik ve verimlilik sağlar.

Şekil 1.2'de bu çalışma şekilleri şemalar halinde gösterilmiştir.

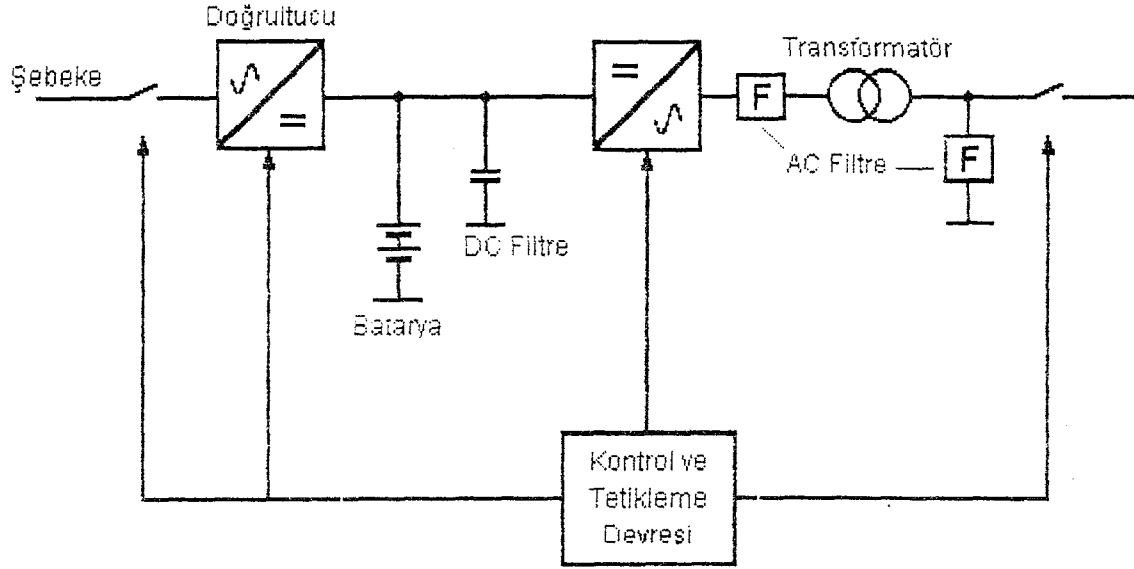


Şekil 1.2 KKG çalışma şekilleri

- a. Şebeke ile besleme
- b. Aküden besleme
- c. KKG arıza veya bakım

Bir KKG'nın yapısındaki elemanları daha detaylı olarak ele almak gerekirse Şekil 1.3'deki gibi bir diyagram çizilebilir. Böyle bir KKG'da gerçekleşen işlemler şöyle sıralanabilir.

- AC'den DC'ye ve DC'den AC'ye olmak üzere iki defa evirme işlemi yapılır. Bu işlemde Tristör, IGBT veya MOSFET'lerden faydalanılır.
- Sistemdeki elektronik kontrol ve geri besleme devresi ile çıkış değerlerinin sürekli kontrolü ve regülasyonu sağlanır.
- Inverter girişindeki kondansatör ile DC gerilim, çıkışındaki filtre ile de AC gerilimdeki istenmeyen harmonikler süzülür.
- Sistemdeki transformatör ile inverter çıkış gerilimi istenen yük gerilimine ayarlanır. Ayrıca bu transformatör sayesinde yük ile sistem arasında elektriksel izolasyon sağlanmış olur.



Şekil 1.3 KGK blok diyagramı

I.4.1 Redresör:

Redresör teknolojisi, tristörlerin yaygın kullanımıyla biraz durgunlaşsa da küçük güçler için anahtarlama teknolojisi (SPMS) ve transistörlerin uygulamaları, büyük trafoları ortadan kaldırmış ve boyutları oldukça küçültmüştür. Redresörlerin çıkışlarındaki AC bileşen akülere uygulandığında, akü ömrünü azaltır. Bunu önlemek için mutlaka bir süzme devresinden sonra akü beslenmelidir.

I.4.2 Inverter:

Inverter sistemin en önemli kısmıdır. Sistemin performansı büyük ölçüde inverttere bağlıdır. Inverterde redresör veya aküden gelen doğru gerilim, anahtarlama güç elemanları vasıtasıyla modüleli kare dalgaya çevrilir. Daha sonra bu kare dalga alçak geçiren bir filtre ile süzülerek çıkış gerilimi elde edilir. PWM modülasyon tekniği ile elde edilen kare dalganın yine yüksek frekanslı harmonikler içerdiği bilinmektedir. Bu da PWM ile elde edilen çıkış geriliminin daha küçük boyutlarda filtre gerektireceği anlamına gelir. Böyle olunca çıkış empedansı da düşer.

Düşük çıkış empedansı sebebiyle regülasyonda bir iyileşme sağlanır. Çıkış empedansının düşük oluşu nonlineer yüklerde kendini iyice belli eder ve sürekli darbeleri yükte çalışmayı sağlar.

Bilinen modülasyon teknikleri arasında en iyisi olarak sinüs darbe genişlik modülasyonu (PWM) kabul edilir. Baskın bileşenler taşıyıcı frekansın iki katında oluşmaktadır. Taşıyıcı frekans arttırılarak istenilen frekanslarda PWM elde etmek mümkündür. Burada sinüs dalgası yüksek frekanslı taşıyıcı üçgen ile modüle edilerek elde edilir.

Burada gözlemlenen yüksek frekanslarda ve derin modülasyon indeksinde kare dalga'nın çok daralıp 1 ms'nin altında darbeler oluşturduğudur. Böyle bir modülasyonun 16 bitlik bir mikro işlemciyle bile yapılması olanaklı değildir. Sistemde mikro işlemci kullanılması, gösterge ve kullanım paneli ve bir arabirim ile bu bilgilerin gerekli terminallere ya da ana bilgisayara taşınması olmalıdır. Yüksek frekanslara çıkmayı önleyen diğer bir teknolojik limit ise güç anahtarlarından dolayı ortaya çıkar.

I.4.3 Statik Transfer Anahtarı:

İyi bir KGK'da şebeke ve inverter gerilimleri arasındaki geçişler kesintisiz olmalıdır. Anlık kesintiler bile bazı hassas sistemleri etkileyebilir.

I.4.4 Aküler ve Akü Seçimi:

KGK'nın temel elemanlarından biri de akülerdir. KGK ömrü göz önüne alınırsa, sistemin zaman içinde yenilenmesi gereken tek elemanıdır. Dolayısıyla akü seçiminde verilecek doğru karar, ileride harcanacak parayı azaltacaktır. Kurşun asitli akülerde, akü plakalarından şarj esnasında hidrojen ve oksijen gazı açığa çıkar. Asitli akülerde bu, su zayıfına ve ortaya çıkan hidrojen sebebiyle korozyona sebep olur. Hatta patlama tehlikesi bile vardır. Kapalı akülerde ise hidrojen tekrar suya dönüştürülür. Bu reaksiyon hızı sınırlıdır. Bu değer aküden aküye değişir. Çoğu akülerde şarj akımı sınırlanmalıdır. Bu tip akülerde suya dönüşmeyen hidrojen akü içindeki basıncın artmasına, akünün deformasyona

uğramasına sebep olur. Akü akımını sınırlayan redresörler, sistemin genel performansını özellikle akü şarjı sırasında bozarlar. Bu nedenle mümkünse akım sınırlamasız, sabit voltajlarda şarj olan aküler seçilmelidir.

I.4.5 Alarm ve Göstergeler:

Kesintisiz güç kaynaklarında kullanıcıyla bilgi alış veriş yapılan kısım, aynı zamanda cihazın tüm alfabesini de taşır. Çok kötü performanslı bir cihaz, üstün görüntüsü sebebiyle kullanıcıyı yanıltabilir. Temel olan üstün performansla birlikte gerekli bazı büyüklüklerin ve alarmların bulunmasıdır.

Akü Göstergesi: Sistemde kullanıcı tarafından izlenmesi gereken en önemli değer budur. Elektrik kesilmesi sırasında akünün geriliminin incelenmesi sistemin ne zaman kapanacağını belirlenmesini sağlar. Çok acil terminaller dışındakiler kapatılarak yedekleme süresi uzatılabilir. Bunun dışında akü gerilimi belirli bir seviyenin altına düşünce, bir ön uyarı ve bunu takip eden deşarj sonu uyarısı temel alarmlardır.

SSW Alarmları: Statik transfer anahtarlı sistemlerde yükün kim tarafından beslendiği, şebekenin gerilimin limitleri içerisinde olup olmadığı, kullanıcıyı doğrudan ilgilendirmese de faydası olan elemanlardır.

Aşırı Sıcaklık/Yük Alarmları: Cihaz aşırı yüklendiğinde çalışmasını sürdürebilmeli fakat aşırı yükte çalıştığını kullanıcıya bildirmelidir. Aşırı yük hali devam ettiğinde cihaz ısınacak ve kendini korumak için gücü kısacaktır. Bunun da alarm olarak verilmesi gerekir. Bunlara ek olarak kısa devre halinde alarm verebilecek sistemlerinde alarm sisteme dahil edilmesinde yarar vardır. Bunların yanında yüzde yük göstergesi cihazın kapasitesini görmek bakımından önemlidir.

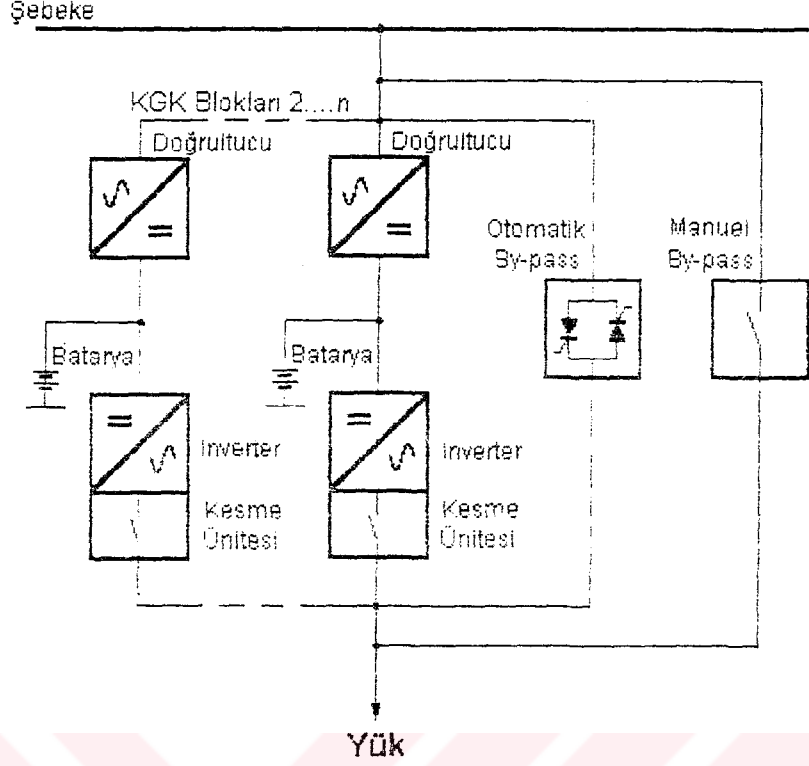
RS232 Arabirimi: Büyük güçlerdeki cihazlar, kapladıkları hacim dolayısıyla genellikle bilgisayar odasından uzak bir yere, kapalı ortamlara konurlar. Bu nedenle cihaz üzerindeki hiçbir göstergeye her istenilen anda ulaşılamaz. Bu durumda birçok bilginin buradan taşınması için bir arabirim gerekmektedir. İki kablo üzerinden mikroişlemci vasıtasıyla

ana bilgisayara yada bir ekrana gerekli tüm bilgiler aktarılır. Burada izlenmesi gereken en önemli özellik, yük akımına göre akü kapasitesi, yani olası kapanış süresidir. Ekran için yazılan yazılımlar, yalnızca gerekli bilgilerin belirli zaman aralıklarıyla gönderilmesi şeklindedir. Ayrıntılı analizlerin yapılması ve grafik gösterimler, genelde bilgisayarlarla yapmak yerinde olur. Buradaki tek sakınca bu iş için bir bilgisayara ihtiyaç duyulmasıdır. Fakat büyük sistemlerde bu yöntem kesinlikle gereklidir.

I.5 KGK Sistemlerinin Paralel Bağlanması

Büyük güçlü yüklerin beslenmesinde yüksek güçlü KGK tasarlamak bazı zorluklar nedeniyle çoğu zaman tercih edilmez. Böyle hallerde küçük güçlü KGK sistemlerinin paralel bağlanması yoluna gidilir. Beslenecek yükün büyüklüğüne göre KGK sayısı kolayca belirlenebilir.

Şekil 1.4'de görülen paralel bağlı sisteme yine bir by-pass ünitesi eklenmiştir. Paralel çalışan KGK'ların birbirleriyle uyumlu çalışması çok önemlidir. Bu nedenle çıkış gerilimlerinin tamamıyla senkronize olması gerekir. Bu yapılmazsa büyük dengesizlikler ortaya çıkar ve yük veya KGK sistemleri zarar görebilir.



Şekil 1.4 Paralel çalışan KKG sistemi

1.6 Modüler ve Merkezi Sistemler

Paralel bağlantıdan başka bir de modüler ve merkezi sistem olarak da KKG sistemleri bulundurulabilir. Bu iki sistemin genel özellikleri ayrı ayrı ve maddeler halinde belirtilmiştir.

1.6.1 Modüler Sistemin Özellikleri:

- Tüm çalışanlar kendi yanlarında bulunan KKG sistemine özen gösterirler ve dikkat ederler.
- Özel bir oda ve bölüm gerektirmez.
- KKG kapasitesi sistem değişikçe artırılıp azaltılabilir.
- Ekstra kablo çekimi ve tesisat gerektirmez.
- Özel periyodik bakım gerektirmez.
- İstendiğinde kendi kendini test imkanı vardır.
- Ani aşırı yüklerin bağlanması ihtimali yoktur. Sadece ilgili bilgisayar KKG'ye bağlıdır.
- KKG arızası sadece bağlı olan bilgisayarı devreden çıkarır. Kolay ve hızlı müdahale edilirken sistemin geri kalanı çalışmaya devam eder.

- Bilgisayar ağıının korunması daha kolaydır.
- Aynı gücü veren çok sayıda KGK tek bir büyük cihazdan daha ucuzdur.
- KGK yardımcı yazılım sayesinde şebekenin en iyi şekilde takibi ve buna bağlı olarak gerekli önlemlerin bilgisayar tarafından otomatik olarak alınması mümkün olur.

I.6.2 Merkezi Sistemin Özellikleri:

- KGK için özel bir oda ve bölüm gereklidir.
- Özel bir hat ve kablo çekimi gereklidir.
- Teknik müdahale ancak cihazın olduğu yerde yapılabilir.
- Bilgisiz personeller tarafından aşırı yük çeken cihazların kullanılması sisteme aşırı yük binmesi açısından sakıncalıdır ve sistemi çökertebilir.
- KGK arıza yaptığıında yada periyodik bakımlar sırasında sistem tümüyle KGK desteğinden yoksun kalacaktır.
- Taşınıp yerleştirilmesi, ağır olmasından dolayı zordur.
- Maliyeti daima yüksektir.

BÖLÜM II AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

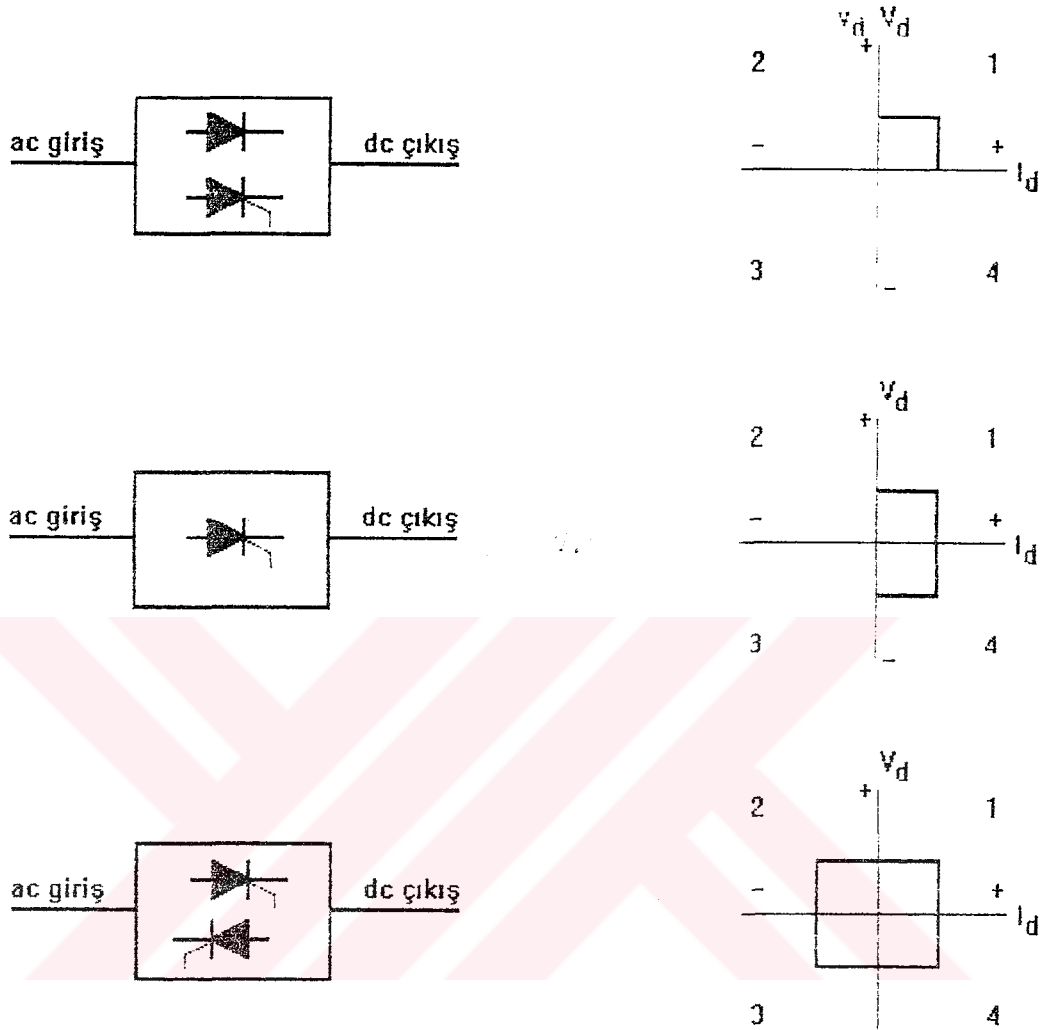
Alternatif akımı doğru akıma çeviren devrelere doğrultucu adı verilir. Elde edilen doğru akım, bir doğru akım güç kaynağındaki gibi değişmez olmayıp, ortalama bir değer üzerine bindirilmiş alternatif akım bileşenler (harmonikler) içerir.

Doğrultucular yarım-dalga ve tam-dalga olmak üzere iki genel gruba ayrılabilirler. Birinci grup orta uçlu, ikinci grup köprü doğrultucular olarak da bilinir. Yarım dalga doğrultucularda alternatif akım kaynağından çekilen akım tek, tam dalga doğrultucularda ise çift yönlüdür. Bir tam dalga doğrultucu iki yarım dalga doğrultucunun seri bağlanmış şekli olarak da düşünülebilir. Birinci doğrultucu yükü besler, ikinci doğrultucu da yük akımını alternatif akım kaynağına geri verir.

Denetleme şekline göre sınıflandırmada ise doğrultucular, denetimsiz, yarım denetimli ve tam denetimli olmak üzere üçe ayrılırlar. Denetimsiz doğrultucular yalnız diyotlardan oluşturulur ve çıkış gerilimleri kontrol edilemez. Tam denetimli doğrultucularda ise elemanların hepsi tristör, transistör gibi denetilenenebilen elemanlardır. Bu devrelerde, tristörün iletme geçme anını (tetikleme açısını) değiştirerek D.A. çıkış gerilimi değiştirilebilir. Hatta negatif bir değer dahi aldırılabilir. Negatif çıkış gerilimi altında çalışmaya, doğrultucunun evirme modunda çalışması denir. Bu sırada güç akışı akım yönü değişmeyeceğine göre yükten kaynağa doğru olur. Bu tipte bir çeviricinin çıkış gerilimi ve akımına göre çalışma bölgeleri gösterilmiştir. Tam denetimli doğrultucular 1 ve 4 nolu bölgelerde çalışabilirler.

Yarım denetimli doğrultucuda tristörler yanında diyotlar da bulunur. Diyotlar nedeniyle çıkış gerilimi negatif yapılamaz, fakat ayarlanabilir (1. bölgede çalışma).

Doğrultucularda tanımlayıcı sözcük olarak bir de darbe sayısı kullanılır. Darbe sayısı, alternatif akımın bir çevriminde doğru akım dalgalarının kaç kez yinelandığını gösterir. Örneğin altı darbeli bir doğrultucunun çıkış geriliminde 300 Hz'lik bir dalgalanma vardır.



Şekil 2.1 Doğrultucularda çalışma bölgeleri

Çeşitli doğrultucu devreler için şu varsayımlar kabul edilecektir:

1. Yarıiletken elemanlar idealdir; iletimde iken kısa devre gibi kesimde iken açık devre gibi davranırlar.
2. Çeviriciyi besleyen AC kaynağı sonsuz baradır.
3. Transformatörler idealdir.
4. Çevirici fazları dengelidir.
5. DC devresindeki yük çok yüksek bir endüktansa sahiptir.

Bu varsayımlar sonucu yük akımının sabit kaldığı ve aktarımın ani olduğu kabul edilecektir.

II.1 Yarım Dalga (Orta Uçlu) Doğrultucular

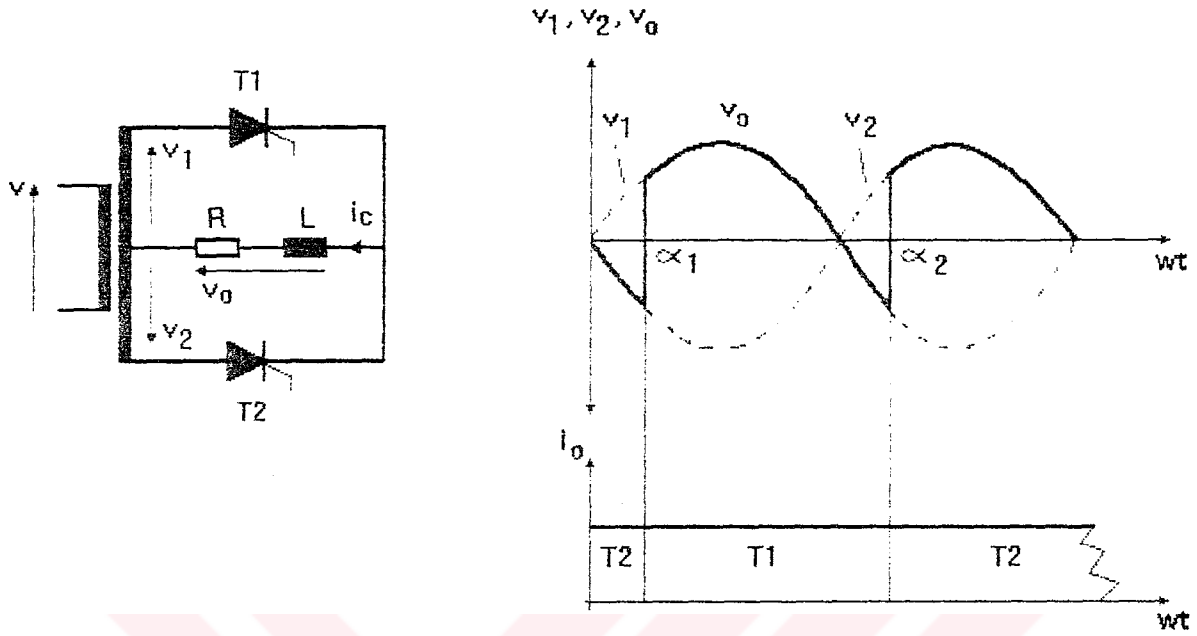
Tek tristörlü doğrultucu devreleri, alternatif akım kaynağından çekilen akım tek yönlü olduğu için yarım dalga doğrultucular grubuna girerler. Kaynaktan çekilen akımın tek yönlü olması bir doğru akım bileşeni olması demektir. Bu da istenmeyen bir durumdur.

Kaynak akımının doğru akım bileşeni orta uçlu sekonder (ikincil) sargılı bir transformatör yardımıyla ortadan kaldırılabilir. Bu durumda primer (birincil) sargıdaki akım bir doğru akım bileşeni içermeyen bir akım olacak ve devre pratik olarak kullanılabilir hale gelecektir.

II.1.1 İki Fazlı Orta Uçlu Doğrultucu

Şekil 2.2'de iki darbeli orta uçlu bir doğrultucu devresi gösterilmiş ve sonsuz endüktansa sahip bir yük için akım ve gerilim dalga şekilleri verilmiştir. Endüktansın sonsuz olduğu varsayıldığına göre yük akımı, değişmez kalacaktır. Pratikte ufak dalgalanmalar içerir ve α 'nın büyük olduğu durumlarda ise kesintili olabilir.

Tristör T2' nin iletimde olduğu bir andan başlayarak $wt=\alpha_1$ anında tristör T1 tetiklenirse akım doğal olarak bu eleman üzerinden aktarılır (doğal aktarım) ve tristör, akımın sürekli olduğu varsayıldığından T2 tristörü $wt=\alpha_2$ anında tetikleninceye kadar iletimde kalır.



Şekil 2.2 İki fazlı orta uçlu doğrultucu

Yük üzerindeki gerilimin ortalama değeri ise,

$$V_{do\alpha} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} \sqrt{2} V \sin \omega t d[\omega t] = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V \cos \alpha = V_{do} \cos \alpha \quad (2.1)$$

olarak bulunur. Burada V ikincil sargıdaki gerilimin yarısının etkin değerini, V_{do} ise $\alpha=0$ için elde edilebilecek değeri göstermektedir.

Eğer devrede bir serbest döngü diyodu kullanılmışsa, yük gerilimi negatif değerler alamaz ve yukarıdaki integralin limitleri α ve π olur. Bu durumda ise gerilim,

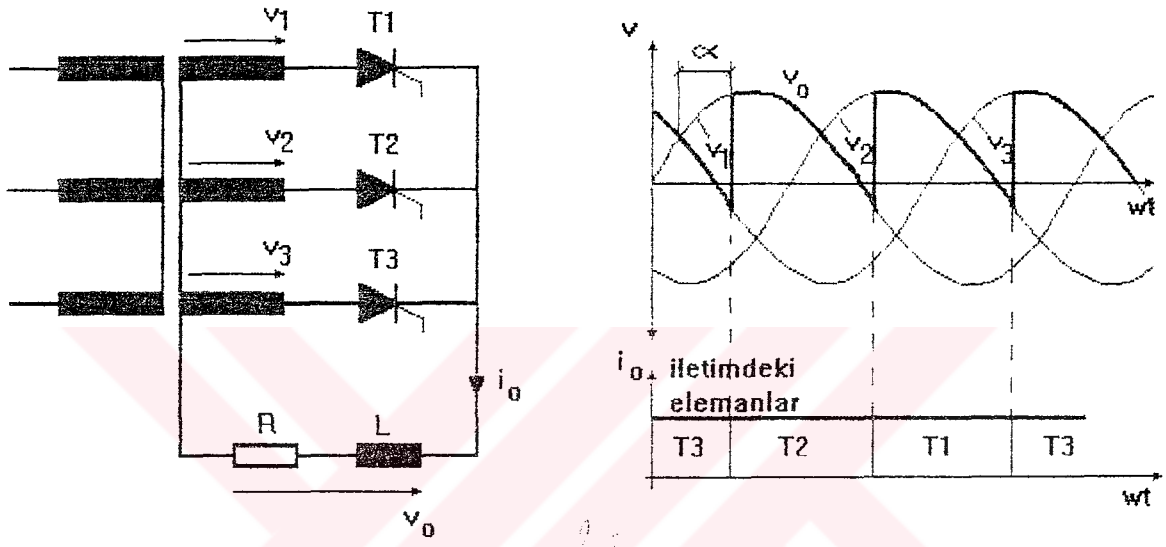
$$V_{do\alpha} = \frac{\sqrt{2} V}{\pi} [1 + \cos \alpha] \quad (2.2)$$

olacaktır.

(2.1) eşitliği iki darbeli orta uçlu doğrultucunun evirme modunda da çalışabileceğini göstermektedir.

II.1.2 Üç Fazlı Orta Uçlu Doğrultucu

Şekil 2.3.a'da bu tür bir doğrultucunun devre şeması b'de ise ilgili akım ve gerilim biçimleri gösterilmiştir. Görülebileceği gibi her bir tristör 120° iletimde kalır.



Şekil 2.3 Üç fazlı orta uçlu doğrultucu

Şekilde görülen α değeri için doğrultucunun çıkış gerilimi,

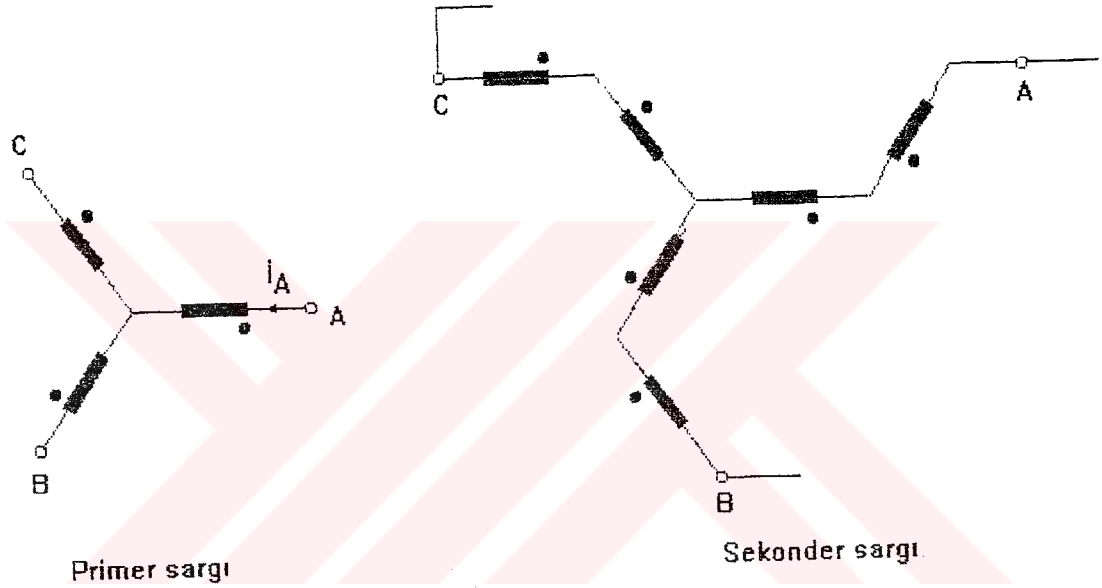
$$V_{do\alpha} = \frac{3}{2\pi} \int_{\alpha + \frac{\pi}{6}}^{\alpha + \frac{5\pi}{6}} \sqrt{2} V \sin \omega t d(\omega t) \quad (2.3)$$

eşitliğinden,

$$V_{do\alpha} = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} V \cos \alpha \quad (2.4)$$

olarak bulunur.

Şekil 2.3.a'da gösterilen doğrultucu devresi, orta uçlu doğrultucuların ortak sorunu olan kaynak akımının bir DA bileşeni içermesi ve transformatör çekirdeğinin bu sebeple DA magnetizasyonuna uğraması durumunu ortaya çıkarır. Şekil 2.4'te gösterilen besleme transformatörünün sekonder sargısında zik-zak adı verilen bir sargı bağlantı biçimi primer sargıdan çekilen akımın iki yönlü olmasını sağlar.



Şekil 2.4 Zik-zak bağlantı şeması

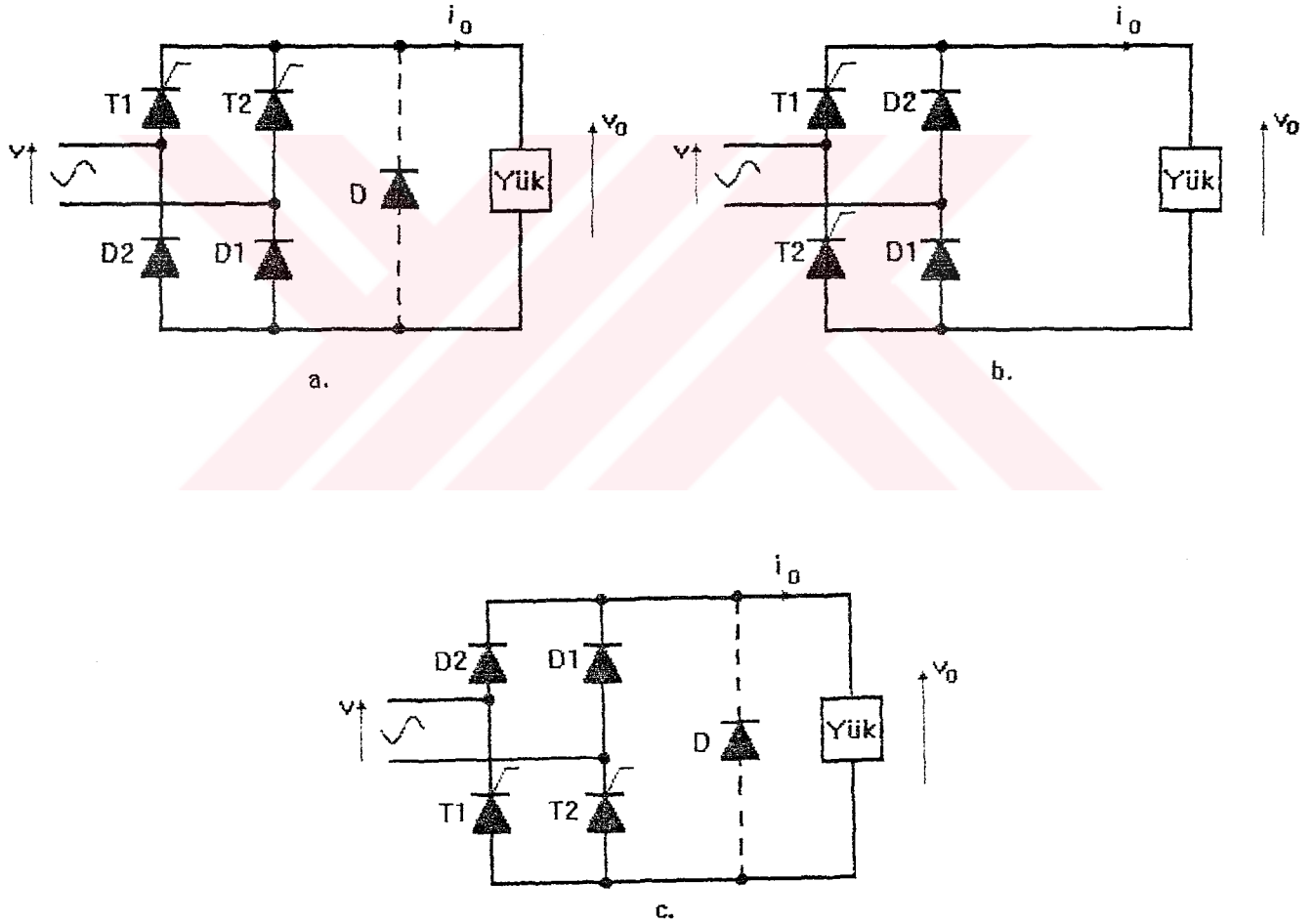
II.2 Köprü Doğrultucular

Endüstriyel uygulamalarda en yaygın kullanılan doğrultucu devrelerdir. Bu tür doğrultucularda bir besleme transformatörünün kullanılması gerekmez. Eğer kullanılmışsa amacı sadece yalıtım sağlamaktır.

II.2.1 Yarım Denetimli İki Darbeli Köprü Doğrultucu

Bu tür doğrultucular, Şekil 2.5'te gösterildiği üzere, çeşitli şekillerde gerçekleştirilebilirler. En yaygın olarak kullanılan şekli, tetikleme devresi için ortak bir katot ucu sağlaması nedeni ile, Şekil 2.5.a'da gösterilen yapıdır. Bu devrede, kaynak griliminin negatif

olduğu durumlarda, T2 tetikleninceye kadar T1 tristörü ve D2 diyodunun bir serbest döngü yolu sağlamasına rağmen, yarım dalgalanma denen olası bir olayı engellemek için, kesikli çizgilerle gösterilen bir serbest döngü diyodu devreye ilave edilir. Şekil 2.5.b'de görülen yapıda ise D1 ve D2 diyotları bir serbest döngü diyoduna eşdeğerdir. Bir önceki yapıya göre bir eleman daha az gerektirmesi nedeniyle o yapıya tercih edilebilir. Fakat bu yapıda ortak katot ucu olmadığından tetikleme devresi ona göre tasarlanmalıdır. Şekil 2.5.c ise kullanılması hiç de avantajlı olmayan bir yapı olup olası bir uygulama şeklidir.

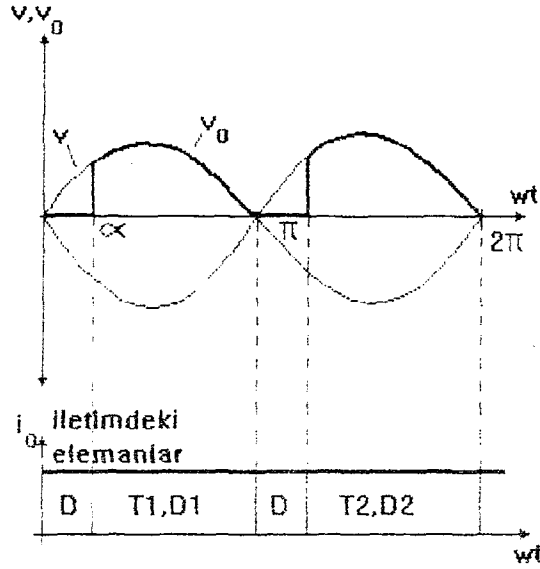


Şekil 2.5 Çeşitli yarım denetimli iki darbeli köprü doğrultucu devreleri

Yukarıda değinilen yarım dalgalanma olayı şu şekilde açıklanabilir. Şekil 2.5.a'da gösterilen devrede yükün büyük ölçüde endüktif olduğunu varsayalım ve tetikleme açısının küçük olduğu bir durumu göz önüne alalım. Bu koşullar altında akım sürekli olacaktır. Yüke uygulanan gerilimin ortalama değerini sıfıra indirmek için T1 ve D1 iletimde iken tetikleme darbelerini bloke ettiğimizi düşünelim. Yükün endüktif özelliğinden dolayı bir sonraki yarım çevrimde akım T1 tristörü ve D1 diyodu üzerinden akmaya devam edecektir. Bu durumda da büyük bir olasılıkla yarım çevrimin sonunda sıfıra inmeyecektir. Bu durumda bir sonraki yarım çevrimde akım, T1 henüz tıkamaya geçmediği için T1 ve D1 üzerinden, sanki T1 $\alpha=0$ anında tetiklenmiş gibi akmaya devam edecektir. Tristör gereğinden erken iletime girdiği için de yük üzerinde istenilenden fazla bir gerilim oluşacaktır. Böylece köprü hiçbir zaman iletimden çıkmayacak ve pozitif yarım çevrimlerde T1 ve D1, negatif yarım çevrimlerde ise T1 ve D2 iletimde kalacak ve yük üzerindeki gerilim pozitif yarım çevrimler olacaktır. İşte bu olaya yarım dalgalanma denir. Önlenebilmesi için ya kesikli hatlarla gösterilen diyot kullanılmalı ya da köprüyü iletimden çıkarabilmek için α değeri büyütülmelidir.

Yarım denetimli iki darbeli köprü doğrultucularda bir serbest döngü diyodu yapısal bir özellik olarak bulunduğundan, bu tür doğrultucular yalnız 1. bölgede çalışabilirler. Ortalama çıkış gerilimleri orta uçlu serbest döngü diyotlu doğrultucu ile aynıdır.

Şekil 2.6'da Şekil 2.5'de gösterilen köprü doğrultucu için dalga biçimleri gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Yarım denetimli iki darbeleri köprü doğrultucuda gerilim ve iletimdeki elemanlar

II.2.2 Yarım Denetimli Üç Darbeleri Köprü Doğrultucu

Devre yapısı ve ilişkin akım ve gerilim dalga biçimleri Şekil 2.7'de verilmiştir. Bu tür doğrultucularda da, bir serbest döngü yolunun devre yapısında doğal olarak olmasına rağmen burada da yarım dalgalanma olayından ötürü ek bir serbest döngü diyodu kullanılır.

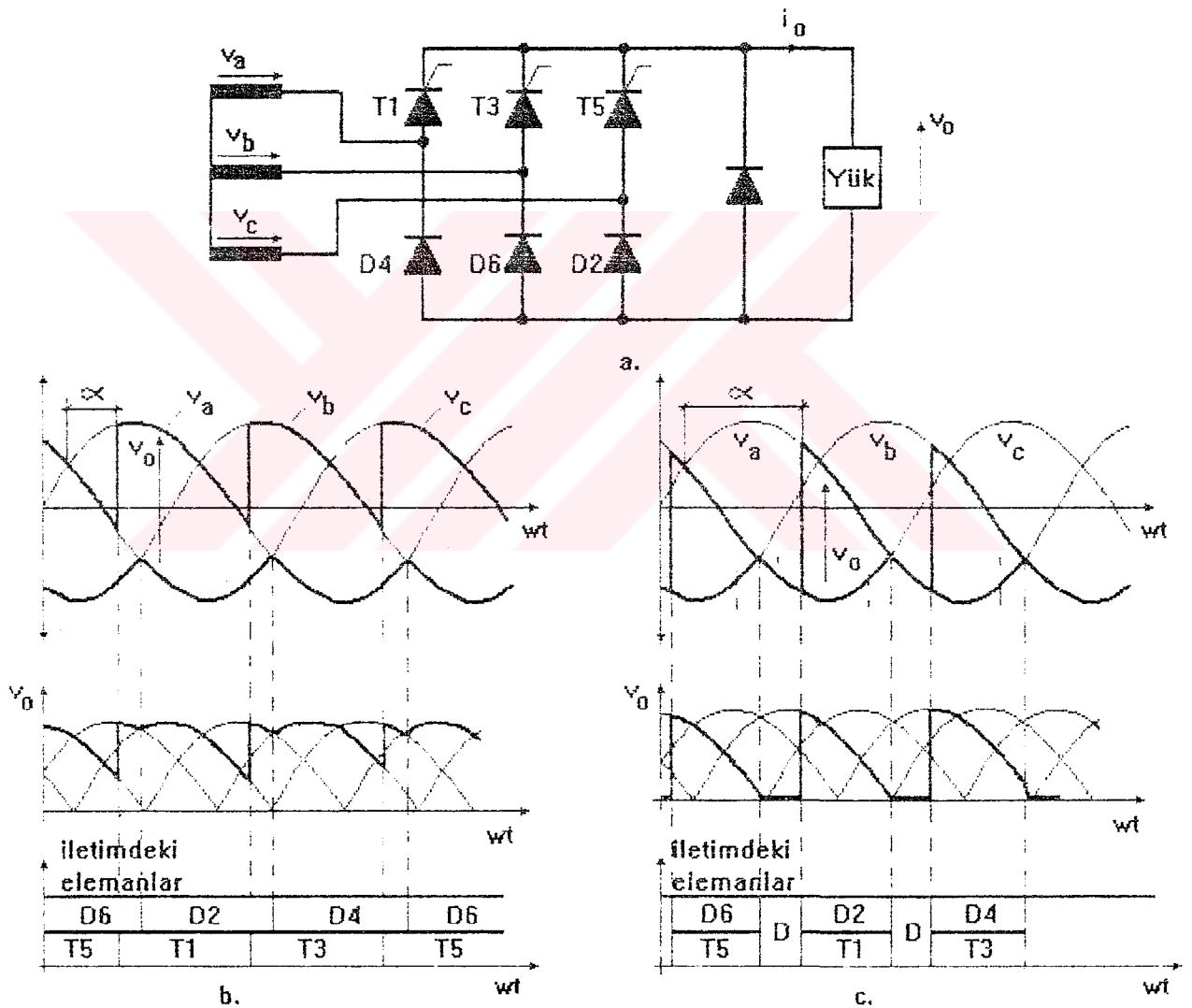
Köprü doğrultucuların iki orta uçlu doğrultucu olarak düşünülebileceği bilinmektedir. Şekil 2.7.b ve Şekil 2.7.c'de verilen gerilim dalga biçimi de bu şekilde elde edilmiştir. O halde bu doğrultucunun çıkış gerilimi, tetikleme açısı $\alpha=0$ olan üç fazlı orta uçlu bir doğrultucunun ortalama çıkış gerilimi ile, tetikleme açısı α olan benzer bir doğrultucunun ortalama çıkış gerilimini toplayarak elde edilebilir. Eşitlik (2.2)'yi kullanarak

$$V_{do\alpha} = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} V + \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} V \cos \alpha = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} V (1 + \cos \alpha) \quad (2.5)$$

ilişkisi bulunur. Burada V 'nin, besleme geriliminin faz-nötr arası etkin değeri olduğu unutulmamalıdır. Fazlar arası etkin değer kullanılacak olursa Eşitlik (2.5)

$$V_{do\alpha} = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} V_1 (1 + \cos \alpha) \quad (2.6)$$

olur.



Şekil 2.7 Yarım denetimli üç darbeli köprü doğrultucu

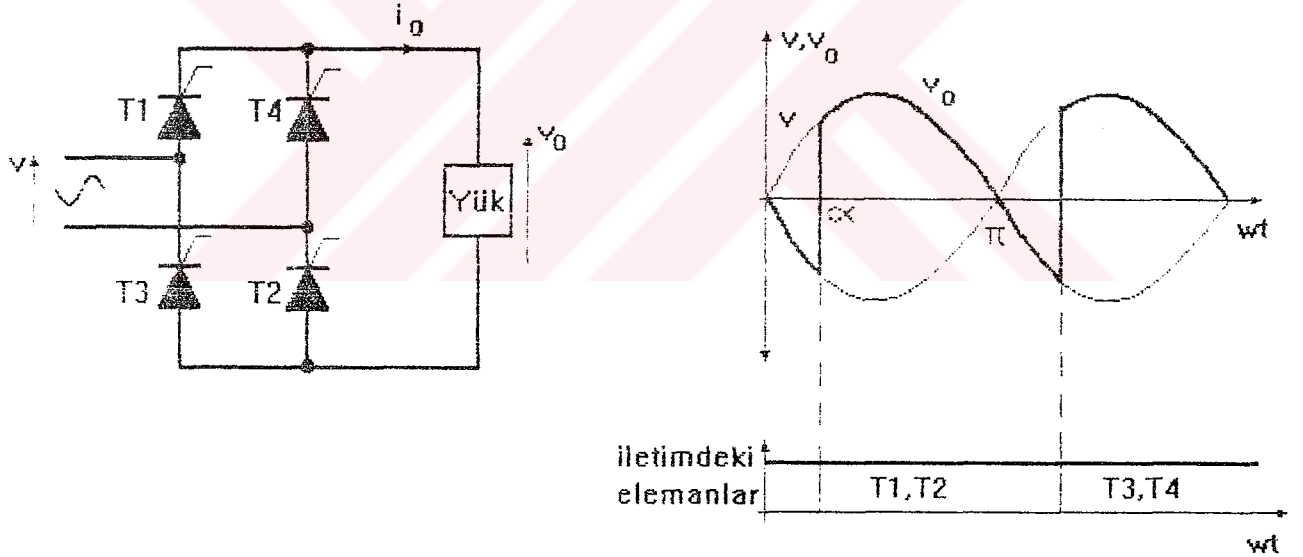
- a. Devre yapısı,
- b. α 'nın küçük değerleri
- c. α 'nın büyük değerleri için dalga biçimleri

II.2.3 Tam Denetimli İki Darbeli Köprü Doğrultucu

Tek fazlı tam denetimli köprü doğrultucu olarak da bilinen bu tür bir doğrultucunun devre şeması ve ilişkin akım ve gerilim dalga biçimleri Şekil 2.8'de verilmiştir. Ortalama çıkış gerilimi

$$V_{do\alpha} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} \sqrt{2} V \sin \omega t d[\omega t] = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V \cos \alpha \quad (2.7)$$

olarak bulunur. Bu değer, bu tür bir doğrultucunun iki iki darbeli orta uçlu doğrultucunun seri bağlanmış şekli olduğundan hareketle Eşitlik (2.1)'i iki ile çarparak da elde edilebilirdi. O eşitlikteki V'nin sekonder sargının yarısındaki gerilimin etkin değeri olduğunu unutmamak gerekir.



Şekil 2.8 Tam denetimli iki darbeli köprü doğrultucu

II.2.4 Tam Denetimli Altı Darbeli Köprü Doğrultucu

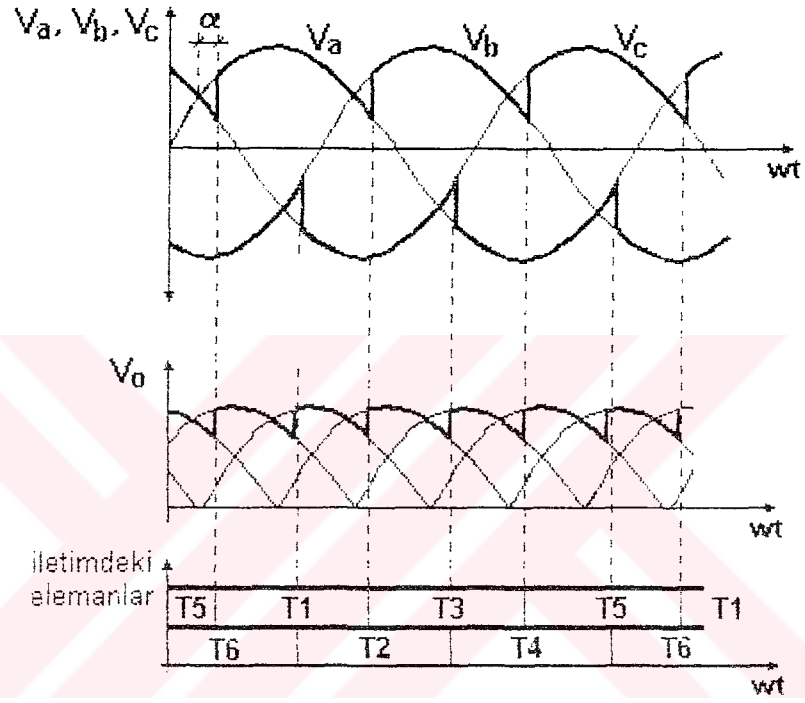
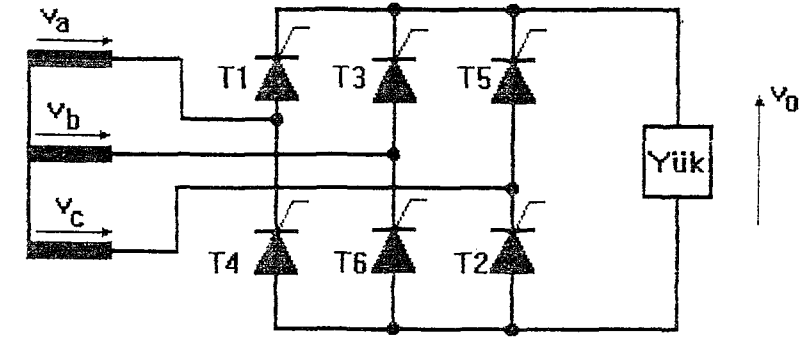
Üç fazlı tam denetimli köprü doğrultucu olarak da bilinen bu tür bir doğrultucu devresi Şekil 2.9.a'da gösterilmiştir. Endüstriyel uygulamalarda en yaygın olarak kullanılan doğrultucu türüdür. Gerilim ve akım dalga biçimleri, doğrultucuyu iki orta uçlu üç darbeli doğrultucu gibi düşünerek elde edilebilir. Ortalama çıkış gerilimi, Eşitlik (2.4)'ü iki ile çarparak

$$V_{do\alpha} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} V_{cos\alpha} \quad (2.8)$$

veya fazlar arası gerilimin etkin değerini kullanarak

$$V_{do\alpha} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_l \cos\alpha \quad (2.9)$$

olarak elde edilir.



Şekil 2.9 Tam denetimli altı darbeleri köprü doğrultucu

II.3 DC Harmonikler

Doğrultucuların iletme ve kapama fonksiyonları nedeni ile, dönüştürücülerin hem doğru akım hemde alternatif akım tarafında akım ve gerilimde harmonikler oluşur. Halbuki alternatif akım tarafında akımın mümkün olduğu kadar sinüsoidal, doğru akım tarafında ise tam olarak süzül-müş olması arzu edilir. Fakat doğrultucu elemanların lineer değildir ve enerji depolama özellikleri yoktur. Elektriksel ve magnetik enerji de-polama özelliği olan kondansatör ve bobinlerle gerçekleştirilen filtre ve düzeltme düzenlerinden faydalanmak gerekir.

II.3.1 Doğru Gerilimdeki Dalgalanma

Şimdiye kadar yapılan etütlerde dönüştürücüler ideal şartlar altında incelendi. Akımın tam bir doğru akım olduğunu kabul ettik. Bu yaptığımız kabul, orta ve büyük güçlü endüktif yükleri besleyen doğrultucular için yaklaşık olarak doğrudur. Fakat küçük güçlü ve omik yüklü dönüştürücülerde doğru akım tam süzölmüş değildir. Yükün tam omik olması halinde doğru akımın değişimi çok dalgalanır. Özellikle faz kesme kumandasında doğru akım tam doğru akım olmaktan çok uzaktır.

$$w = \frac{\sqrt{\sum U_{wi}^2}}{U_{di}} \quad (2.10)$$

2.10 formülü ile tarif edilen doğru gerilimdeki dalgalanma bir taraftan kullanılan bağlantının darbe sayısına diğer taraftan gecikme açısına bağlıdır. Faz kesme kumandasında α açısı büyüdükçe dalgalanma büyür ve $\alpha=90^\circ$ için maksimum olur.

Gerilim harmoniklerinin ideal boşa çalışma gerilimi U_{di} ye oranları;

$$\frac{U_{wi}}{U_{di}} = \frac{\sqrt{2}}{v^2 - 1} \quad (2.11)$$

bağıntısından hesaplanabilir.

Burada U_{wi} = 'üncü gerilim harmoniğinin efektif değeri

$$v = k p \quad (2.12)$$

$k=1,2,3,\dots$

p =Bağlantının darbe sayısını gösterir.

II.3.2 Şebeke Akımındaki Harmonikler

Doğru gerilim ve şebeke akımındaki harmoniklerde en önemli faktör dönüştürücünün darbe sayısıdır. Zira darbe sayısı ortaya çıkan harmoniğin numarasını belirler. Darbe sayısının ve dönüştürücü transformatörünün bağlantı şeklinin iyi seçilmesi suretiyle, bazı harmonikler ortadan kaldırılabilir. Komütasyon devresindeki reaktanslar, şebeke akımının büyük numaralı harmoniklerini zayıflatırlar. Zira bu reaktanslar komütasyon sırasında ani akım değişmelerine engel olurlar. Harmoniklerin azaltılması için diğer bir çare, belirli harmonikleri absorbe eden devrelerden yararlanmaktır. Örneğin 6 darbeli bir dönüştürücüde en etken olan 5. ve 7. harmonikler, uygun şekilde ayarlanmış absorpsiyon devreleri ile zayıflatılabilir.

II.3.3 DC Filtreler

DC taraftaki dalgalı akım bir endüktör, dalgalı gerilimse bir elektrolitik kondansatör yardımıyla süzülebilir.

Endüktans ve kondansatör içeren bu kombinasyonda kondansatör yük gerilimini sabit tutmaya çalışırken endüktör de yük akımını süzer. Eğer yük sonsuza giderse filtrenin transfer fonksiyonu $H(s)=1/(w^2LC-1)$ olur. Böylece daha yüksek dereceli harmonikler, daha düşük dereceli olanlardan daha çok azaltılır. Yükün dalgalı gerilimi daha iyi süzölmek istenirse kaskad bağlı birkaç filtre kullanılmalıdır.

BÖLÜM III AKÜMÜLATÖRLER

Akü'nün tanımı, en basit olarak şarj esnasında elektriksel enerjiyi kimyasal enerjiye ve deşaj esnasında ise kimyasal enerjiyi elektiriksel enerjiye çeviren ve elektrik akımını depo eden bir elektro-kimyasal cihazdır biçiminde yapılabilir. İlk akümülatör, 1895 yılında sulandırılmış sülfirik asit içerisine iki adet saf kurşundan yapılmış plaka batırılarak tek yönde üzerinden akım geçirilerek yapılmıştır.

Aküler imalatlarında kullanılan malzemeye göre adlandırılır. Bugün için Çelik ve Kurşun akümülatörler olarak iki temel gruba ayrılırlar. Kullanıldıkları yerlere göre de üç gruba ayrılırlar:

1. **Starter Tipi:** Araçlarda ilk hareketi sağlamak için kullanılan akülerdir.
2. **Traksiyoner Tipi:** Bugünkü modern hava ve deniz limanlarında, forkliftlerde, vinçlerde kısacası elektrik akımıyla iş gören tüm taşıma araçlarında kullanılan akü tipidir.
3. **Stasyoner Tipi:** İsminden de anlaşılacağı gibi bütün sabit tesislerde ve yedek besleme kaynağı olarak kullanılan tiplerdir.

III.1 Akü Voltajı

Açık devre gerilimi (Şarj edildikten sonra yüksüz olarak bir hücrenin gerilimi) yaklaşık 2.1V civarındadır. Bu değer sabit olmayıp aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

1. Son şarjdan sonra geçen zaman
2. Elektrolitin özgül ağırlığı
3. Hücrenin ısısı

Şarjın sonunda hücre gerilimi daima bilinen değerden yüksektir. Aradan birkaç saat geçtikten sonra yavaş yavaş belli bir değere düştüğü görülür. Bu değerde boşta iken sabit kalır. Şarj esnasında bir hücrenin gerilimi yükselirken bununla bağlantılı olarak elektrolitin özgül

ağırlığı ve ısısının da arttığı görülür.

III.2 Akü Kapasitesi

Bir aküde kapasite birimi Amper-Saat (Ah)'tir. Örneğin, 1000 Ah kapasiteli bir akü, 100 A'lık bir akımı yaklaşık 10 h süreyle devam ettirebilecek demektir. Fakat değişik oranlar için bu kapasite sabit değildir. Deşarj müddeti ne kadar uzun olursa kapasite o kadar artar.

III.3 Akü Verimi

Akülerde verim iki esasta incelenir.

Kapasitif Verim : Deşarjda verdiği elektrik yükü miktarının şarjda aldığı elektrik yükü miktarına oranıdır.

Enerji Verimi : Sanayi de en çok kullanılan verim ifadesidir. Deşarjda verdiği elektrik enerjisinin şarjda aldığı elektrik enerjisine oranıdır.

III.4 Akülerin Doldurulması

Elektrik enerjisinin depolanarak daha sonra tüketilmesini gerektiren düzeneklerde (KGK) akümülatör bataryaları kullanılmaktadır. Değişik tür boyut ve yapıdaki akümülatörlerin ortak özelliği, kullanılma ömürlерinin büyük ölçüde, doldurma ve boşaltma süreçlerindeki elektriksel koşullara bağlı olmasıdır. Boşaltma süreci, doğal olarak yükün özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle belli bir yükün beslenmesi için uygun kapasitede akümülatörlerin seçilmiş olması gerekir. Öte yandan akünün uzun süre sağlıklı biçimde hizmet verebilmesi için uygun bir yöntemle doldurulması ve kullanıma hazır tutulması da önem taşımaktadır.

Akümülatörlerin doldurulması sırasında aşağıda belirtilen noktalar göz önünde bulundurulmalıdır :

1. Boşaltılmış bir akünün uç gerilimi düşmüş olduğundan şarj akımı

başlangıçta yüksek olabilir.

2. Akümülatör doldukça uç gerilimi yükseleceğinden şarj akımı azalabilir.
3. Akümülatör dolu bile olsa bu durumunu korumak için küçük değerde bir akıma ihtiyaç duyabilir.
4. Dolmuş bir akümülatörün gereğinden fazla bir akımla beslenmesine devam edilecek olursa elektrolitin içinde gaz oluşumu başlar. Bu durumda buharlaşma ile elektrolit eksileceğinden sık sık saf su ile doldurulması gerekecektir.
5. Bir akümülatör sürekli olarak dolu tutuluyorsa, uç değerinin hangi değerde korunduğu akümülatörün ömrünü etkiler.
6. Doldurma düzeneğinde akım dalgalanmaları mümkün merteye düşük düzeyde tutulmalıdır.

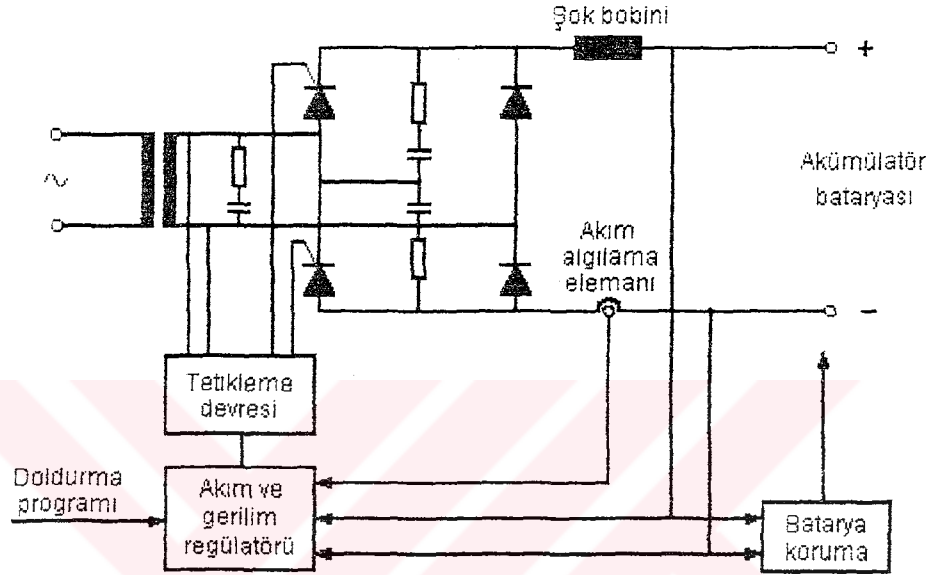
Akümlatör bataryaları genellikle, seri bağlı çok sayıda akümülatör biriminden oluşur. Bu birimlerin tek başına gerilimi, kullanılan elektrot malzemesi ve elektrolit cinsine göre 1-2 V arasında değişir. Batarya gerilimi olarak, 6V ve 12V standartlaşmış değerler ise de amaca göre çeşitli uç geriliminde de bataryalar düzenlenebilir.

Akümlatör doldurma düzenekleri ilke olarak batarya ve uç gerilimine uygun değerde gerilim çıkışı olan doğru akım kaynaklarıdır. Doldurma süresi boyunca batarya geriliminin değişmesi yüzünden genellikle kaynağın uç geriliminin ayarlanabilir olması istenir. Bu amaçla pratikte genellikle statik düzenekler tercih edilir. Doğal komütasyonlu tristörlü köprü devreleri uç geriliminin geniş bir aralıkta kolayca ayarlanabilmesi nedeniyle çok kullanılır.

Bataryalar normal koşullar altında anma kapasitelerine oranla oldukça düşük bir akımla ve uzun zamanda doldurulduğundan genelde büyük güçlere gerek duyulmaz. Örneğin 60 Ah kapasiteli bir akünün 5-6 A'lık akımla 10-12 saatte doldurulması uygundur. Bu iş için 100 W'lık bir doğrultma devresi yeterlidir. Ayrıca akümülatör doldurma düzeneklerinde yarım denetimli kaynaklar kullanılabilir.

Batarya doldurma düzeneklerinin tasarımında başka bir nokta da akım dalgalanması için öngörülen sınırlamadır. Devrenin çıkışında yük olarak

bulunan akümülatör büyük bir sığaç gibi düşünülebilir. Bu yüzden akımın dalgalılığı geriliminkine göre çok daha büyüktür. Akımdaki dalgalılığı en aza indirmek amacıyla çıkışa seri bir endüktans yerleştirilir. Çok fazlı kaynaktan beslenme de dalgalanmayı azaltır. Şekil 3-1'de tek fazlı bir akü şarj devresi verilmiştir.



Şekil 3.1 Akü şarj düzeneği

Eskiden kullanılan kuru pillerin veya kurşunlu akümülatörlerin yerini Nikel-Kadmiyum akümülatörler almaya başlamıştır. Bunları inceleyelim.

Nikel-Kadmiyum (NiCd) akümülatörler temelde iki tip olarak üretilirler. Birinci tip açık hücrelidir ve dik durumda çalıştırılabilir. Bunlar oldukça yüksek kapasitelidirler ve sularının tamamlanması için kapakları vardır. İkinci tip hücreler ise gaz sızdırmaz elemanlardır ve bakım gerektirmezler. İşte bu son avantaj bu akülerin yaygınlaşmasına yol açmıştır.

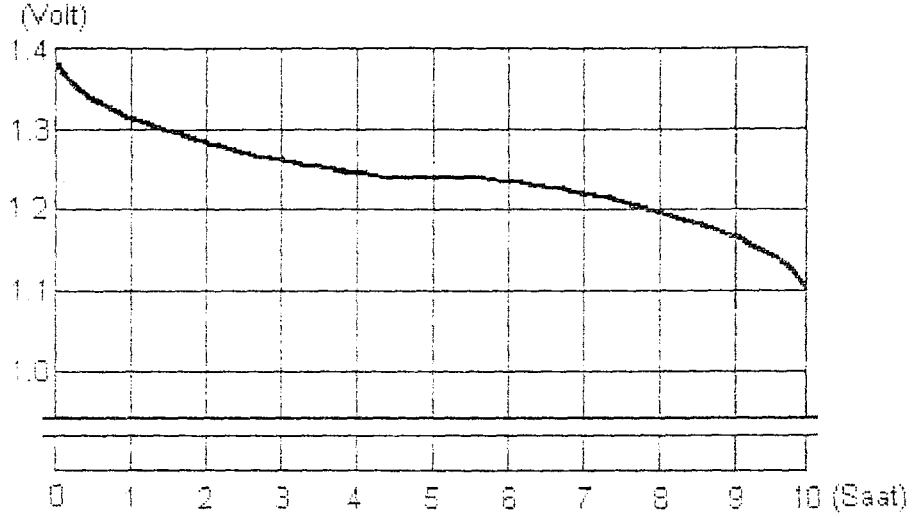
"Gaz Sızdırmaz" ifadesi sadece hücrelerin normal çalışması durumunda geçerlidir. Gaz sızdırmaz akümülatör hücrelerinin birer güvenlik süpabı bulunur. Örneğin aşırı doldurma sonucu iç basıncın çok yükselmesi durumunda bu süpablar açılır ve akümülatör, içindeki basıncı normale indirir. Bu çeşit akümülatörler çok değişik boyutlarda üretilebilirler.

III.4.1 NiCd Akümülatörlerin Boşalma Davranışı

On saatlik bir boşaltma için tipik bir gerilim-zaman karakteristiği Şekil 3-2'de görülmektedir. Bu eğri, kapasitenin onda birine karşı düşen bir akımla örneğin 500 mAh'lık bir kapasite için 50 mA ile yüklenmiş tek bir NiCd hücre üzerinde çıkarılmıştır. Bu boşaltma karakteristiğinde eğrinin yatay olarak gidişi, yani gerilimin uzun süre sabit kalması dikkati çekmektedir. Eğrinin eğiminin arttığı sekizinci saatten sonra akümülatör zaten pratik olarak boşalmış durumdadır. Çeşitli akümülatör tipleri veya çeşitli firmaların ürettiği akümülatörlerin boşalma karakteristiği arasındaki farklar sadece milivoltlar mertebesinde-dir. Sonuç olarak firmalar aynı malzeme ve benzer üretim yöntemlerini kullanırlar.

Eğer akümülatör $10I_n$ (akümülatörü on saatte boşaltan akım) ile değil de, daha yüksek akımlarla boşaltılırsa, piller arasındaki kalite faktörü farkları görünmeye başlar. Teorik olarak $10I_n$ ile yüklenen bir akümülatörün tam bir saatte boşalması beklenir; fakat gerçekte akümülatör daha kısa bir sürede boşalır, çünkü yüklemenin artmasıyla kapasite azalmaktadır.

Bu durum daha çok hücre yapısına bağlıdır. Şöyle ki, iç direnci küçük olan hücrelerden oluşmuş bir akümülatör nisbeten yüksek akımlarda dahi kapasitelerini korumaktadırlar. Ayrıca bu akümülatörler hızlı dolurma için de uygundur. Ancak fiyatları da o derece yüksektir.



Sekil 3.2 NiCd hücrenin boşalma karakteristiği

NiCd akümülatörlerin kapasitesi, boşaltma akımından başka, çalışma sıcaklığına da bağlıdır. Bu bağımlılığın nedeni, düşük sıcaklıklara inildikçe akümülatörün iç direncinin belirgin bir şekilde artmasıdır. Soğuk durumdaki bir akümülatör kapasitesini çok uzun bir süre korur. Negatif sıcaklıklarda ise kendi kendine boşalma ihmal edilebilir.

III.4.2 Akü Şarj Yöntemleri

Tamamen boşalmış bir akümülatörün yaklaşık 12-14 saat süreyle I_n akımıyla doldurulduğu yönteme "Normal Doldurma" denir. Görüldüğü gibi hücrelere doldurulan enerji boşaltma sırasında elde edilebilecek enerjiye göre yaklaşık %20-%40 daha büyüktür. Bunun nedenini NiCd hücrelerin sınırlı veriminde aramak gerekir. İç direnci çok küçük özel elektrotlardan oluşan hücrelerin verimi normal hücrelerin veriminden daha yüksektir. Kurşunlu akümülatörlerde zaman zaman kullanılan sabit gerilimle doldurma işlemi NiCd akümülatörler için kesinlikle kullanılmamalıdır. Aksi halde neredeyse tamamen boşalmış bir NiCd hücrede doldurma akımı izin verilen sınır değerleri kolayca aşabilir. Üreticiler, daha çok doldurma işleminin başlangıcında dahi $1.2I_n$ 'i aşmayan az ve de sabit bir akımla doldurmaya önermektedirler.

Akümülatörün In büyüklüğünde ve sabit bir akımla doldurulduğu kabul edilirse, yüklemenin başlangıcında hücre gerilimi 1.3 V'tur. Dolma işleminin sonunda hücre başına 1.5 V'a kadar yükselmektedir. Başlangıç akımının 1.2 In'i aşmaması koşuluna uymak, için doldurma işleminin sonlarına doğru kaynağın açık devre geriliminin yaklaşık 2.5 V olması gerekir.

Normal akımla doldurmanın önemli bir avantajı, bu yöntemin olası bir aşırı doldurma bakımından nisbeten daha az risk taşımasıdır. Bu bakımdan yük durumu bilinmeyen ve herhangi bir tipten bir akümülatör In akımı ile 12 saat boyunca şarj edilebilir. Bu akülerin tamamen dolu durumda olması halinde dahi geçerlidir. Doldurma cihazının kapanma anı önemli olmadığından otomatik kapamaya ihtiyaç yoktur.

Hızlı Şarj için sadece iç direnci küçük özel elektrotlara sahip akümülatörler uygundur. Normal elektrotlu hücrelere büyük doldurma akımlarının uygulanması sonucunda Hücre içi basıncı aşırı yüksek değerlere çıkabilir.

Bugünkü teknoloji ile söz edilen özel elektrotlu hücreler, yüksek akımlarla birkaç dakika içerisinde doldurulabilmektedir. Hızlı doldurma cihazlarında ise In akımından 10 ila 15 kat fazla akımlarla 1 saatte akümülatör şarj edilebilmektedir. Bu işlemde doldurma akımının zamanında kesilmesi zorunludur.

Otomatik kapatma, akümülatörün uç geriliminin belirli bir değeri aşması halinde, hızlı doldurma akımının otomatik olarak kesilmesidir. Ancak burada bazı sorunlar vardır. Akümülatörün son gerilimi sıcaklığa bağlıdır. Diğer taraftan bu sıcaklık o sırada akan doldurma akımına bağlıdır. Çünkü hücrenin bir iç direnci vardır ve geçen akım hücreyi ısıtır. Diğer bir zorluk ise doldurma süresi sonlarında akümülatör uç geriliminin değişiminin çok az olmasıdır. Hatta bu değişim diğer sebeplerden oluşan dalgalanmalardan dahi küçüktür.

Bu yöntem, geniş bir sıcaklık aralığında çeşitli doldurma akımları ve farklı akümülatör türleri için kullanılacaksa, pratik bakımdan çok karmaşık hale gelir.

Ancak çevre sıcaklığının belirli bir değerde sabit kaldığı kabul edilir ve yine sabit bir doldurma akımı seçilirse, akümülatörü bu sabit şartlarda doldurmak için gerekli hızlı doldurma devresi çok basit olabilir. Aşırı doldurmayı kesinlikle önlemek için, doldurma akımını akümülatör kapasitesinin %80'ine erişildiğinde kesmek ve daha sonra zaman ve gerilim sınırlaması olmadan akümülatörü In akımıyla doldurmaya devam etmek gerekir.



BÖLÜM IV DC/AC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

Inverter yada evirici olarak adlandırılabilen bu sistemler DC gücü, istenilen bir gerilim ve frekanstaki AC güce çevirmekte kullanılan güç elektroniği devreleridir. Uygulama alanları çok değişik olup KGK içindeki kullanımı da buna bir örnek teşkil eder.

Inverterler yük denetimli ve kendinden denetimli olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir.

IV.1 Yük Denetimli Inverterler

Bu tür inverterlerde komütasyon alternatif akımla çalışan yük tarafından sağlanır. Yük tarafı alternatif akımlı olduğuna göre böyle bir dönüştürücüye "Yük Denetimli Inverter" adı verilir.

Yük denetimli inverterlerde yük çoğu yerde karşılaşıldığı gibi omik endüktif ise, kondansatör ilave etmek suretiyle kapasitif hale getirilir. Kondansatörün devreye bağlanma şekline göre elde edilen sisteme "Paralel Rezonans Devreli" yada "Seri Rezonans Devreli" denir.

Omik-endüktif yüke seri veya paralel olarak bir kondansatörün eklenmesi ile yük, bir rezonans devresi haline gelir. Bu devrenin doğal frekansı,

$$4.1 \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4.1)$$

anma frekansıdır. Kayıplı serbest salınımlı yük devresinin sönüm faktörü,

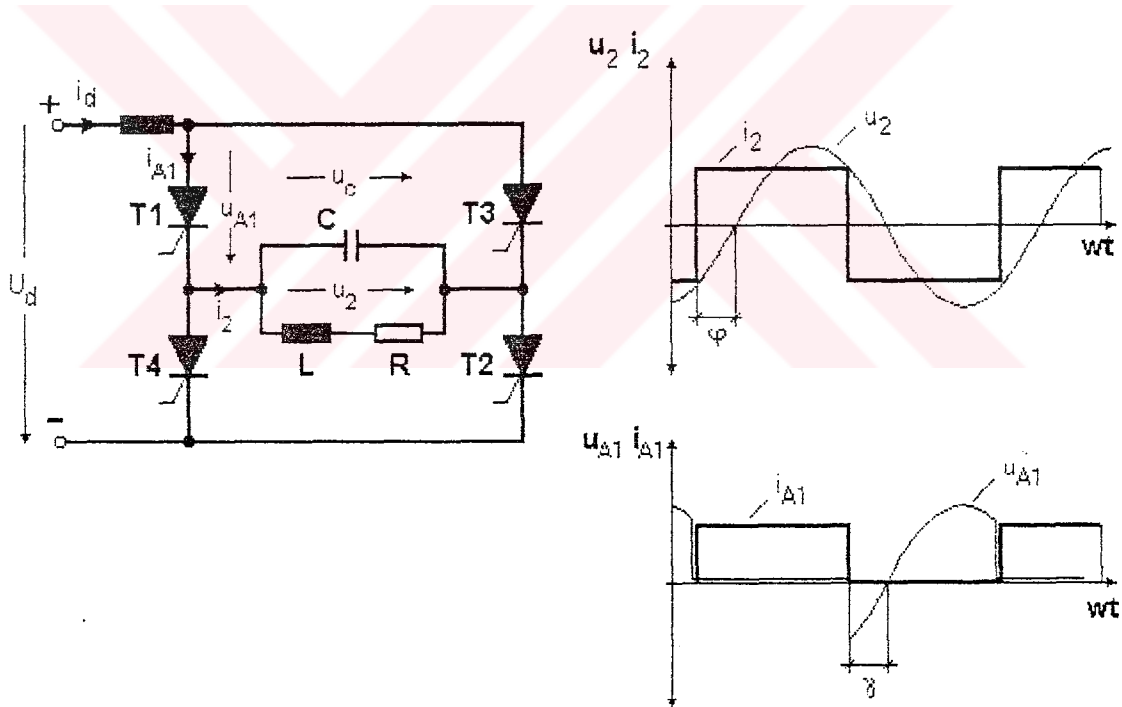
$$4.2 \quad \delta = \frac{R}{4\pi f_0 L} \quad (4.2)$$

olmak üzere doğal frekans,

$$\omega_R = \omega_0 \sqrt{1 - \delta^2} \quad (4.3)$$

Bu ifadeler hem paralel hem de seri rezonans devresi için geçerlidir. Rezonans devreli inverterin işletme frekansı f_B , tristörlerin kumandasına bağlıdır. Rezonans devresi akımının kapasitif için işletme frekansı, paralel rezonans devrelilerde doğal frekansın üstünde seri rezonans devrelilerde ise altında olmalıdır.

IV.1.1 Paralel Rezonans Devreli Inverter



Şekil 4.1 Paralel rezonans devreli inverter

Şekil 4.1'de omik endüktif yüke bir kondansatörün paralel bağlanması ile oluşturulan paralel rezonans devresi görülmektedir. Paralel rezonans devreli inverterin her kolunda bir tristör vardır ve bunlardan geçen akım, takriben dikdörtgen dalga şeklindedir. Paralel rezonans devresi ani gerilim değişikliklerine elvermediği için, inverterin DC tarafında L

şok bobinine ihtiyaç vardır. Yükün uçlarındaki u_2 gerilimi yaklaşık olarak sinüs eğrisi şeklindedir. Burada akım, direkt komütasyonla bir tristörden diğerine geçer. Yük akımı da dikdörtgen şeklinde olup, yük gerilimine göre φ faz açısı kadar ileridedir. Bu faz farkı, τ sönme açısının temini yönünden gereklidir.

Doğru akım ve yük tarafları arasındaki enerjilerin eşitliğinden gidilerek, u_2 , yük gerilimi hesaplanabilir. Şeklinden görüldüğü gibi u_c , kondansatör gerilimine eşittir. Yarım periyot için doğru akım ve alternatif akım taraflarındaki enerjilerin eşitliğini yazalım.

$$4.4 \quad U_d I_d \frac{T}{2} = I_d \int_{-\frac{\beta}{\omega}}^{\frac{\pi-\beta}{\omega}} U_{2m} \sin \omega t dt \quad \frac{T}{2} = \frac{\pi}{\omega} \quad (4.4)$$

konur ve entegrasyon işlemi yapılırsa,

$$U_d \pi = 2 U_{2m} \cos \beta \Rightarrow$$

ve

$$U_2 = \frac{\pi U_d}{2 \sqrt{2} \cos \beta} \quad (4.5)$$

bulunur.

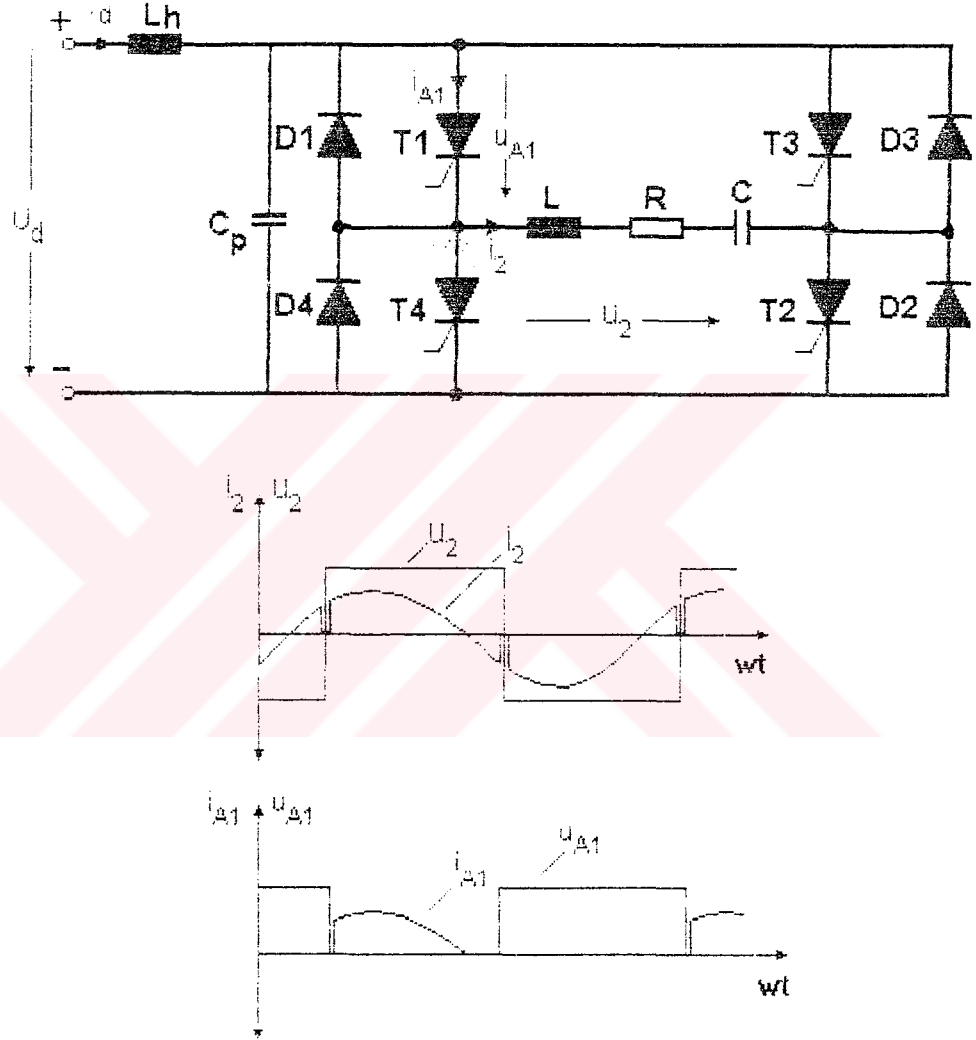
(4.5) ifadesinden görüldüğü gibi, doğru gerilimin sabit kalması halinde, sönme açısı τ' nın artması yük geriliminin de artmasına sebep olur. Buna göre yük devresine verilen güç, avans açısı

$$\beta = u + \gamma \quad (4.6)$$

değiştirilmek suretiyle bir dereceye kadar ayarlanabilir. Yüke verilen gücün geniş sınırlar içinde ayarlanabilmesi için, doğru gerilimin değiştirilmesi gerekir.

IV.1.2 Seri Rezonans Devreli Inverter

Seri rezonans devreli inverterde, omik-endüktif yüke kondansatör seri bağlanarak bir seri rezonans devresi oluşturulur (Şekil 4.2). Akımın her iki yönde akmasını sağlamak için ters paralel bağlı diyotlar bağlanmıştır.



Şekil 4.2 Seri rezonans devreli inverter

Seri rezonans devresinden takriben sinüsoidal olan i_2 yük akımı geçer. Bu akım devresini değişken olarak bir tristörler bir diyotlar üzerinden tamamlar. u_2 yük geriliminin ve dolayısıyla u_a tristör anot geriliminde değişimi de yaklaşık olarak dikdörtgen dalga şeklindedir. Yük akımı yük gerilimine göre ϕ açısı kadar ileridedir. Gerekli τ sönme açısının sağlanması için bu faz farkı gereklidir.

Seri rezonans devresi ani akım değişmelerine müsade etmez. Doğru gerilimin mümkün mertebe sabit kalması için Cp kondansatörü kullanılmıştır. Akımı tristörler geçirirken enerji akışı doğru akım devresinden yüke doğrudur. Akım diyotlar tarafından geçirilirken ise enerji yükten doğru akım devresine geri verilir. Inverter çıkış gücüne τ sönme açısının veya inverterin girişindeki U_d doğru geriliminin değiştirilmesi ile kumanda edilebilir.

Seri rezonans devreli inverterde i_2 yük akımı, paralel rezonans devreli inverterde olduğu gibi, doğru akım ve yük tarafındaki enerjilerin eşitliğinden gidilerek bulunabilir. Yarım peryot için enerjilerin eşitliğini yazarak i_2 'yi bulalım.

$$U_d I_d \frac{T}{2} = U_d \int_{\frac{\pi}{\omega}}^{\frac{\pi+\delta}{\omega}} I_{2m} \sin \omega t dt$$

$$I_d \pi = 2 I_{2m} \cos \delta$$

$$I_2 = \frac{\pi I_d}{2\sqrt{2} \cos \delta}$$

(4.7)

bulunur.

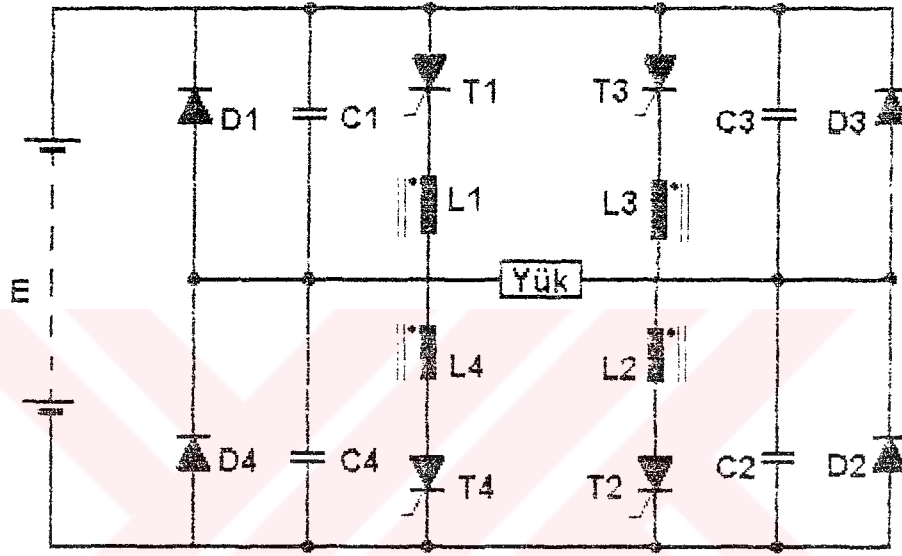
Rezonans devreli inverterlerde elde edilebilecek frekansın üst sınırını belirleyen ana faktör, kullanılan tristörlerin serbest kalma zamanlarıdır. Mevcut tristörlerle 10 kHz'in üstüne çıkılabilir. Salınmanın başlaması için ilk komütasyon gerilimini sağlamak üzere bir kondansatöre ihtiyaç vardır.

IV.2 Bir Fazlı Inverterler

IV.2.1 Mc Murray-Bedford Inverteri

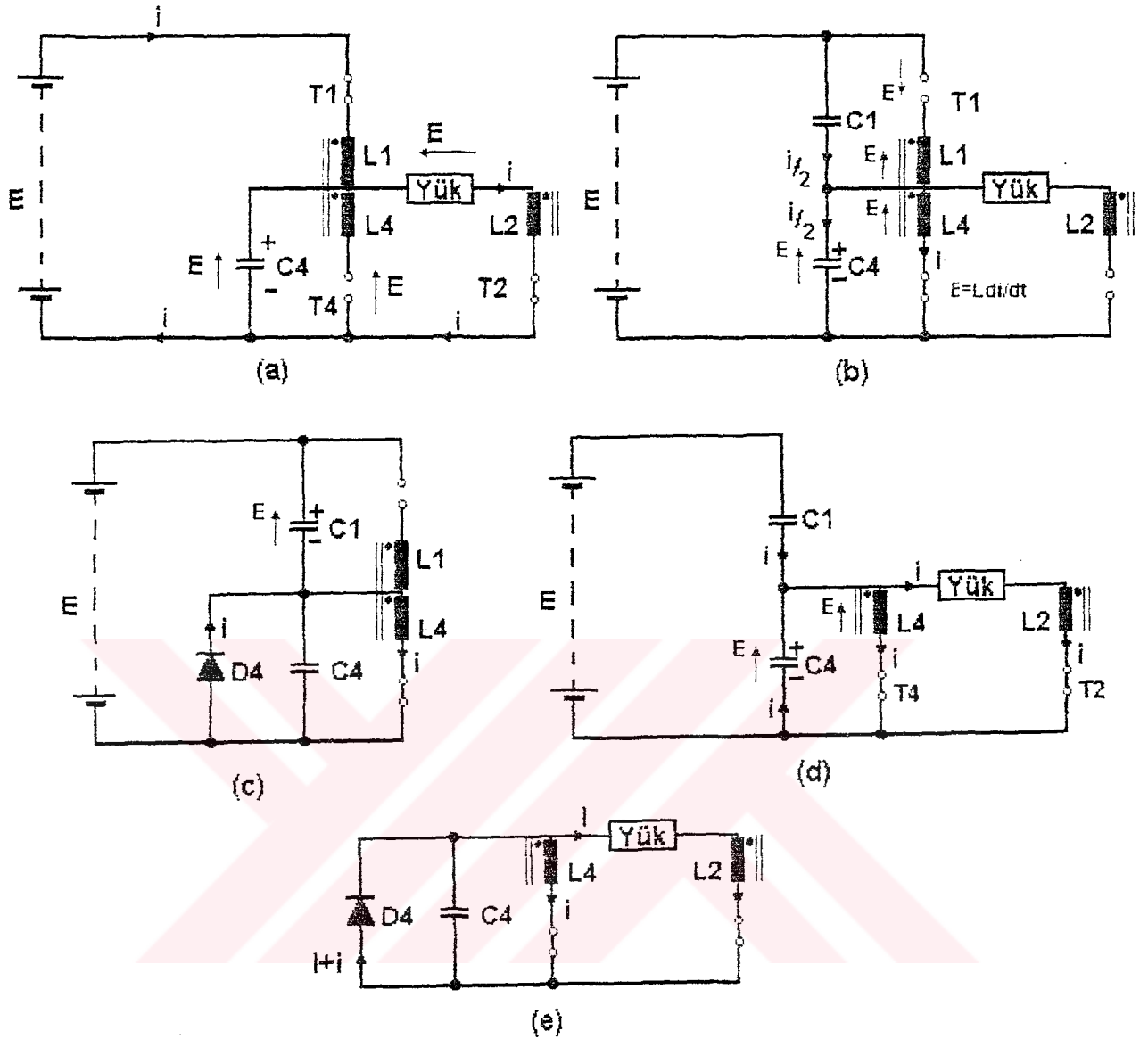
Endüstride sıkça rastlanan bir inverter türüdür. Devrenin eşdeğer

elemanlardan meydana gelmesi tasarımda kolaylık sağlar. Çıkış gerilimi uygun tetikleme ile kontrol edilir. Köprü inverter olarak bilinirse de genelde Mc Murray-Bedford inverteri olarak anılır. Devrenin bağlantısı Şekil 4.3'de verildiği gibidir.



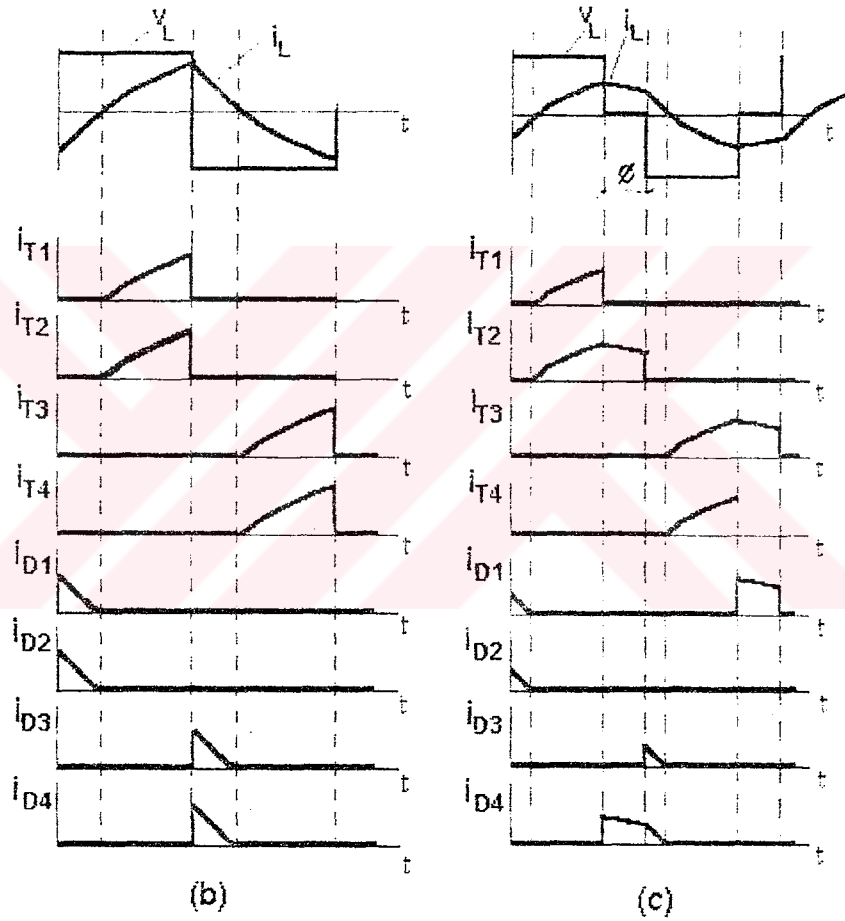
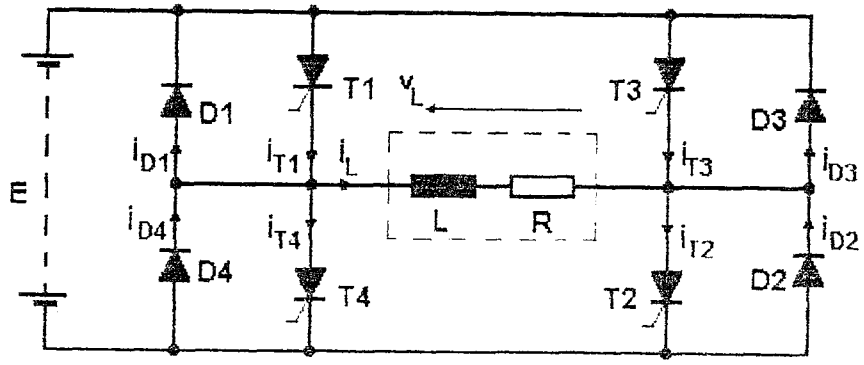
Şekil 4.3 Mc Murray - Bedford inverteri

T1 ve T2 tetiklendiğinde devre Şekil 4.4.a'daki gibi olur. Yük ve C4 kondansatörü, üzerinde gösterilen polaritede ve E değerinde bir gerilim oluşur. Herhangi bir t anında T4 tetiklendiğinde C4 kondansatörü L4 ve T4 üzerinden boşalacak ve bu esnada C1'den de bir akım akmaya başlayacaktır. L4'ten geçen akım L1 ve L4 üzerinde Şekil 4.4.b'deki gibi ters yönde 2E gerilimini meydana getirir. Böylece T1 tristörü sönmüş olur. Akım kesildiği için T2 de söner. Daha sonraki adımda C1 kondansatörü Şekil 4.4.c'deki gibi dolarak simetrik çalışma için hazır hale gelir. Bu kez C1 kondansatörü, L1 ve T1 vasıtasıyla komütasyonu sağlar. Doğal olarak yükün diğer tarafındaki elemanlarda da bu işlemler aynı şekilde gerçekleşecektir. Anlatılan bu safhalar yükün omik olması hali için geçerlidir.



Şekil 4.4 Mc Murray - Bedford invertterinin omik ve endüktif yüklerde çalışma safhaları

Yük endüktif ise, olay yine $T1$ ve $T2$ 'nin tetiklenmesiyle başlar ve durum Şekil 4.4.a'daki gibidir. $T4$ tetiklendiğinde devre Şekil 4.4.d'deki hale gelecek ve $C4$ boşalacak ve aynı anda $C1$ dolmaya başlayacaktır. Akım yine $L4$ bobininden geçecek ve aynı şekilde ters yönde $2E$ geriliminin üremesine sebep olacaktır. Böylece $T1$ sönecektir. Ancak yükün endüktifliği nedeniyle akımlar bir süre daha Şekil 4.4.e'deki gibi akmaya devam edecek ve kondansatör tamamen boşalacaktır.



Şekil 4.5 Basitleştirilmiş köprü inverter

- a. Devre şeması
- b. Yük uçlarında kare dalga oluşması
- c. Yük uçlarında yarı-kare dalga oluşması

Eğer T3 tristörü T4 ile birlikte tetiklenirse yük üzerinde kare dalga meydana gelir. Bu duruma ait tetikleme darbeleri, tristör ve diyot

akımları Şekil 4.5.b'deki gibidir. T3 tristörü T4 ile birlikte tetiklenmezse (T4 devrede), yük uçlarındaki gerilim sıfır olacaktır. T3 tetiklendiği an yükte $-E$ gerilimi görülecektir.

Buna ilişkin gerilim ve akımların, tetikleme darbelerinin, tristör ve diyot akımlarının değişimi Şekil 4.5.c'de gösterilmiştir. Devre komütasyon elemanları dikkate alınmaksızın tekrar Şekil 4.5.a'da verilmiştir.

Bu devrede gerilimin sıfır olduğu süreleri (Şekil 4.5'de $\emptyset$ ile gösterilmiştir) kontrol ederek, toplam çıkış gerilimi sıfır ile maksimum değerleri arasında değiştirilebilir. Inverterin çıkış gerilimi temel bileşen yanında harmonikleri de kapsar.

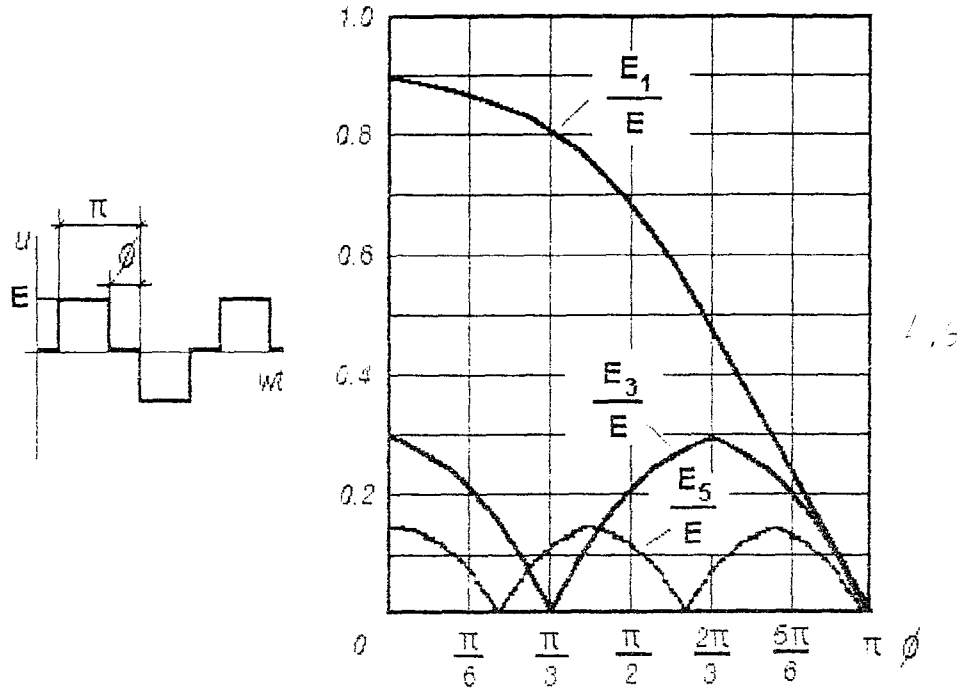
Her harmoniğin etkin değeri, çıkış geriliminin değerine bağlıdır. n. harmoniğin etkin değeri,

$$E_n = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \int_{\Phi/2}^{\pi-\Phi/2} E \sin n\omega t d(\omega t) \quad (4.8)$$
$$E_n = \frac{2\sqrt{2} E}{\pi n} \cos \frac{n\Phi}{2}$$

Çıkış gerilimindeki diğer harmoniklerin kontrol açısı $\emptyset$ 'ye bağlı olarak bağlı değişimleri,

$$\frac{E_n}{E} = \frac{\sqrt{2}}{\pi n} \cos \frac{n\Phi}{2} \quad (4.9)$$

Buna karşılık gelen harmonik spektrumu Şekil 4.6'da verildiği gibidir.



Şekil 4.6 Çıkış geriliminin kontrol açısı ϕ 'ye göre harmoniklerin bağıl değişimleri

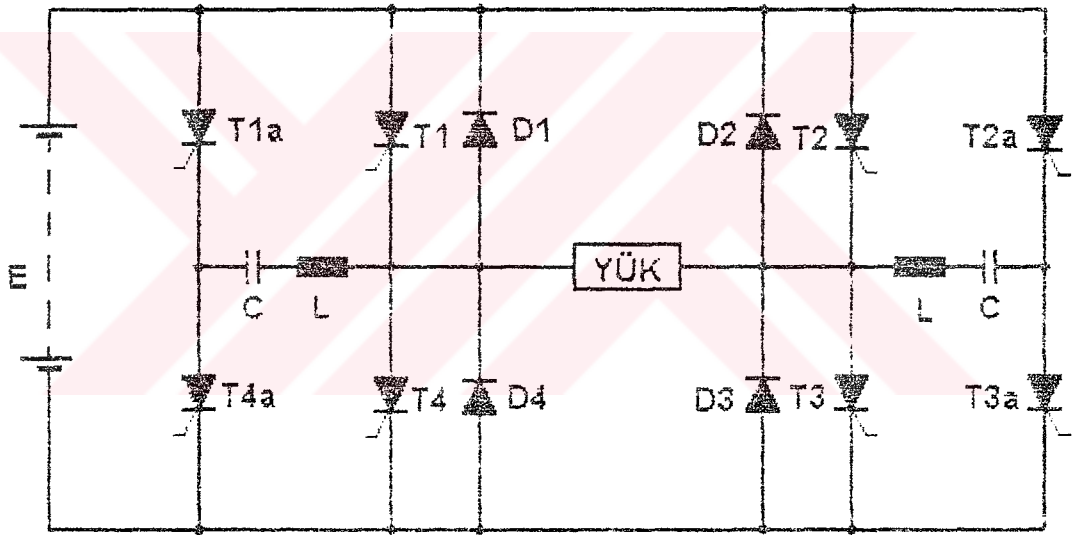
IV.2.2 Yardımcı Tristörlü Inverter

Bu tip inverterlerde L-C komütasyon elemanlarıyla birlikte yardımcı tristörlerde kullanılır. Yardımcı tristörler vasıtasıyla komütasyon işlemi başlatılır.

Devrenin çalışması şu şekildedir. Devre simetrik olduğundan sadece bir tarafta komütasyon olayı açıklanacaktır. Diğer tarafta da komütasyon aynı şekilde gerçekleşecektir.

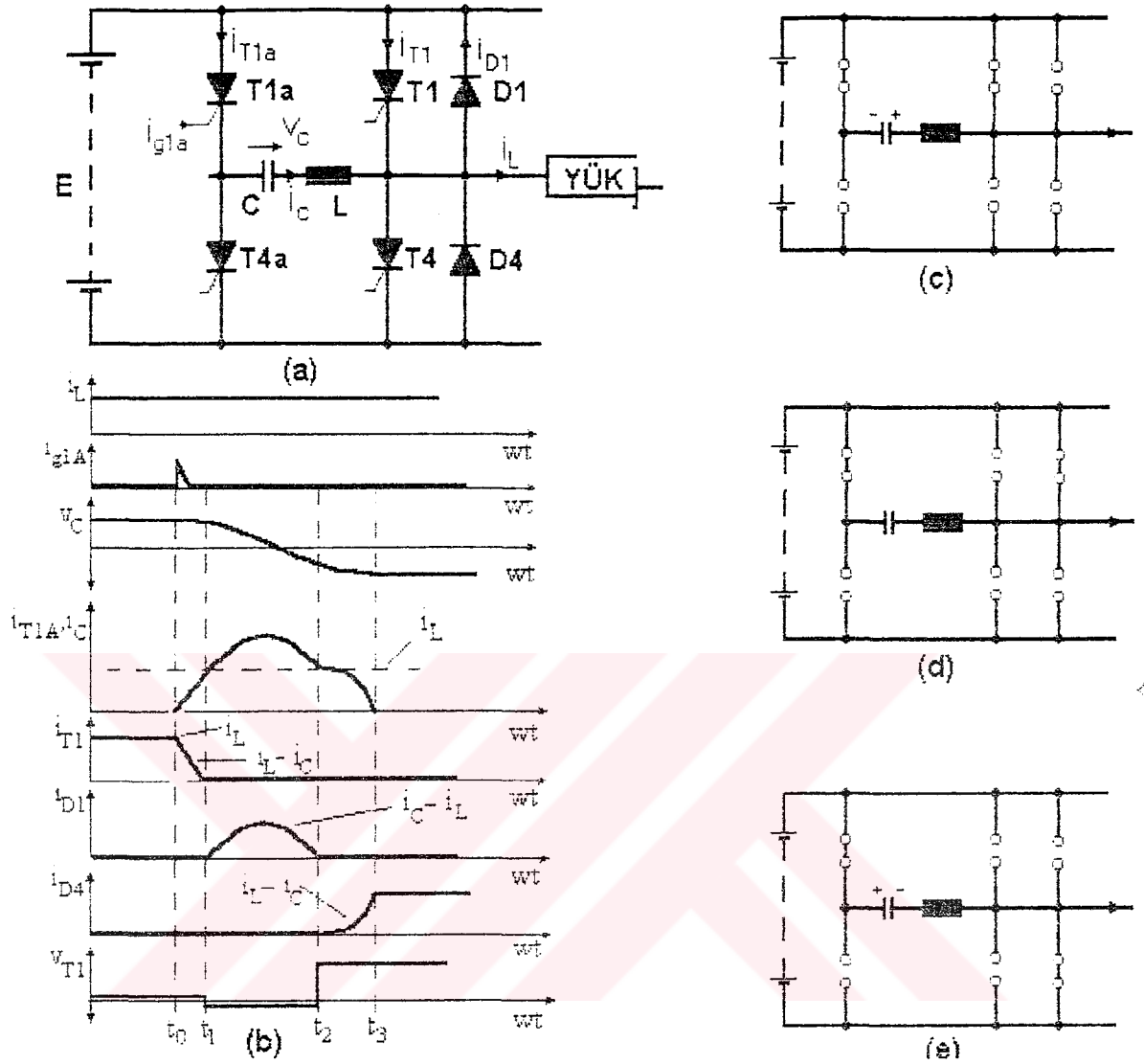
Yükün sol tarafı için şekil 4.8.a'da görüldüğü gibi T1 ve T2 ana tristörler T1a ve T4a yardımcı tristörlerdir. Devrede komütasyonun gerçekleşmesi şöyledir. Başlangıçta, C kondansatörünün sağ plakasının pozitif olarak dolu olduğunu farz edelim. T1 ve T2 tristörleri devrede olduğundan, yük üzerinden I_L yük akımı geçmektedir. T1'i söndürmek için herhangi bir t anında T1a tristörünü tetiklersek devre Şekil 4.8.c'deki duruma gelecek ve kondansatör L, T1 ve T1a üzerinden boşalmaya

başlayacak, T1 kesime geçecektir. Ancak devrede hala bir miktar enerji söz konusu olduğundan D1 diyodu devreye girerek akımı üzerine alacaktır (Şekil 4.8.d). Bir süre sonra D1 üzerindeki akım sıfıra inecek ve D4 devreye girerek Şekil 4.8.e'de görüldüğü gibi C kondansatörünü ters yönde doldurmaya başlayacaktır (t2 anı). Belirli bir süre sonra kondansatör dolacağından, I_L yük akımını D4 diyodu üzerine alacak (t3 anı) ve komütasyon tamamlanacaktır. Bu andan sonra T3 ve T4 tetiklenirse yük akımı diyotlardan bu tristörlere transfer olacak ve yük üzerinden değişik yönde akım geçmeye başlayacaktır. Eğer T4a yardımcı tristörü devreye alınırsa bu kez yukarıda anlatılan olay geçerek T4 devreden çıkarılacaktır.



Şekil 4.7 Yardımcı tristörlü inverter devresi

Yardımcı tristörlerle gerçekleştirilen bu inverter devresi iki tristörle de gerçekleştirilebilir. Yükle bir tarafındaki devre yerine orta uçlu 2E gerilimli bir kaynak konduğunda yukarıdaki aynı çalışma elde edilebilir.



Şekil 4.8 Endüktif bir yükte tristörü söndürme işlemi.

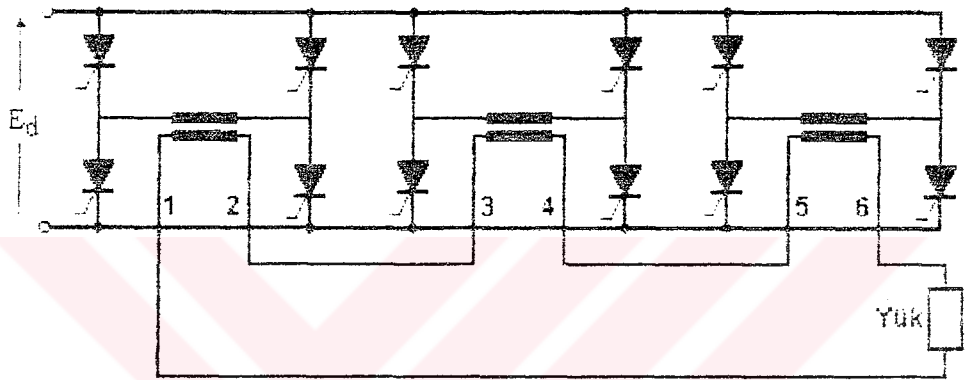
- Devre şeması,
- Dalga şekilleri,
- t_0 , t_1 arasında devrenin alacağı şekil,
- t_1 , t_2 arasında devrenin alacağı şekil,
- t_2 , t_3 arasında devrenin alacağı şekil,

IV.2.3 Darbe Genlik Modülasyonlu Inverter

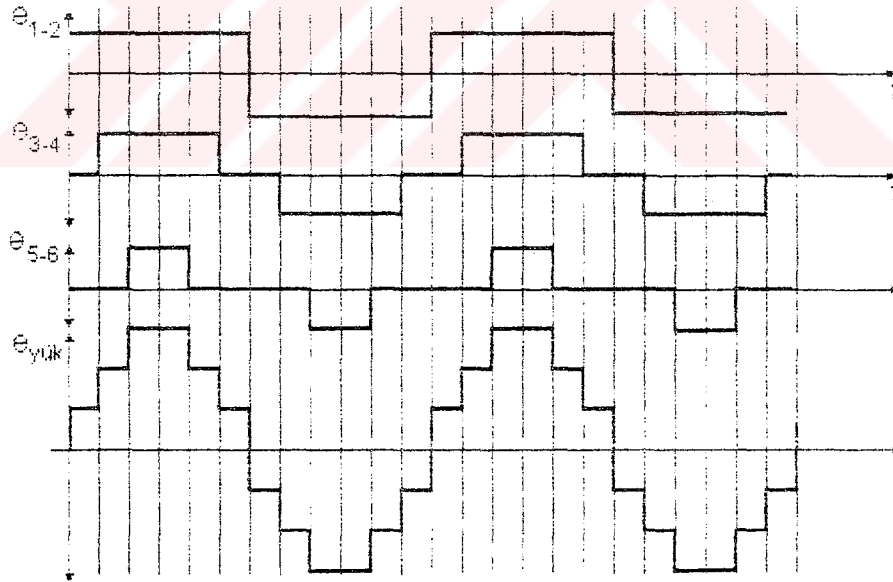
Inverter çıkışındaki harmonikler bazı durumlarda ciddi bir problem olarak karşımıza çıkar. Bu nedenle birçok uygulama alanında, inverter çıkışındaki harmonik oranının belirli bir yüzdeyi geçmemesi istenir.

Inverterlerde harmonikleri azaltmak için değişik bağlantı şekilleri ve filtre düzenleri kullanılır. Bunun dışında, ilerideki bölümlerde anlatılacak olan "Darbe Genişlik Modülasyonu" ve şimdi devresinden bahsedeceğimiz "Darbe Genlik Modülasyonu" kullanılır.

Şekil 4.9.a'da verilen devreyle doğrudan darbe genlik modülasyonlu bir dalga elde edilebilmektedir. Devredeki üç trafonun sekonderleri birbirine seri bağlı olduğundan uçlarındaki gerilimler toplanarak (Şekil 4.9.b) yük uçlarında e_{yuk} gerilimi oluşur.



(a)

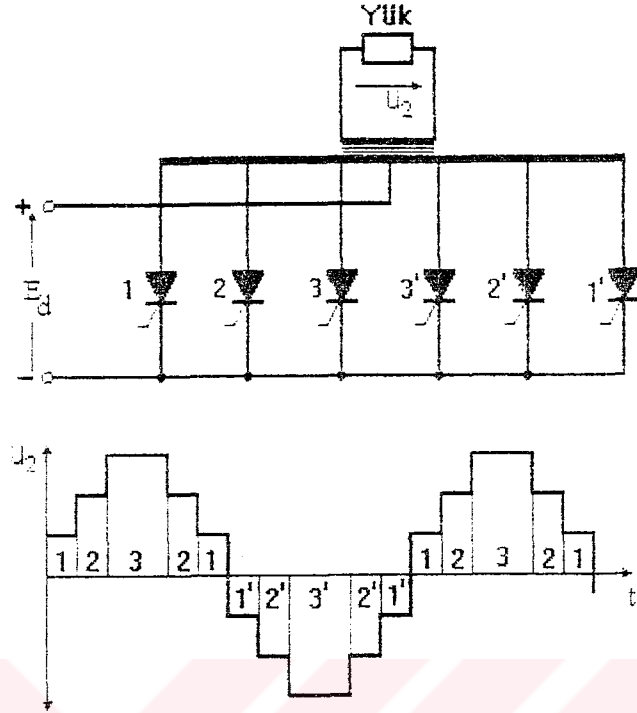


(b)

Şekil 4.9 Darbe genlik modülasyonlu inverter

- a. Devre şeması,
- b. Dalga şekilleri

Anlatılan bu modülasyon çeşidi Şekil 4.10'daki devreyle de gerçekleştirilebilir.



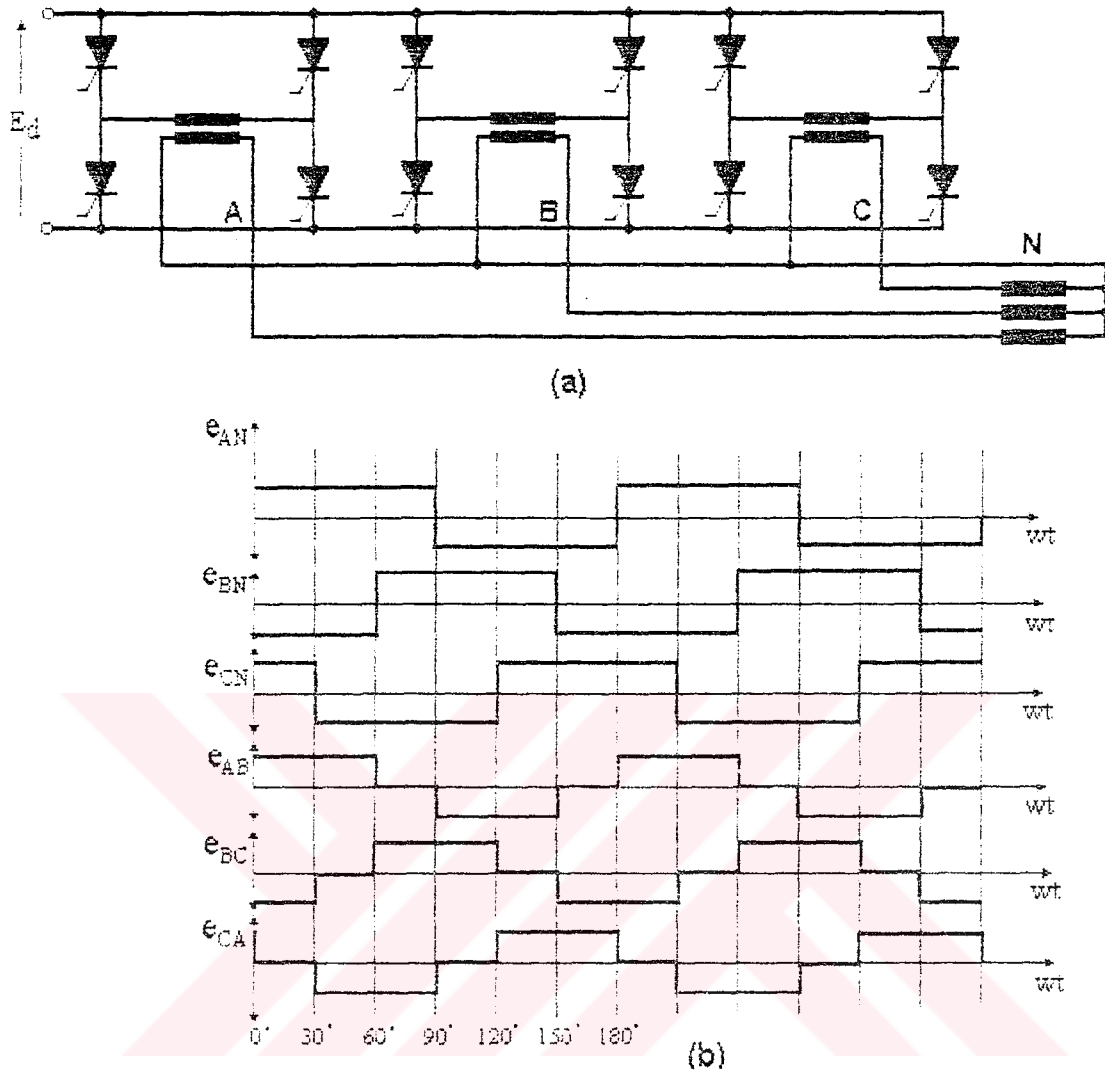
Şekil 4.10 Tek transformatörle gerçekleştirilen inverter devresi ve dalga şekli

Her iki devre de bu şekilleriyle sadece rezistif yüklerde kullanılabilir. Eğer devre endüktif yükler için kullanılacak ise tristörlere ters paralel bağlı geri besleme diyotları eklenmelidir.

Şekil 4.10.a'daki devre değişik bir kombinasyonla üç fazlı hale de getirilebilir. 1, 3 ve 5 uçlarını birleştirerek nötr (N) noktasını, 2 ucuna A, 4 ucuna B, 6 ucuna C, dersek uygun tetikleme darbeleri ile Şekil 4.11'deki üçfazlı dalga şekilleri elde edilebilir.

Devrenin gerek tek fazlı gerekse üç fazlı çalıştırılmasında en dikkat edilecek konu, tetikleme darbelerinin uygun şekilde ayarlanmasıdır.

Çıkış frekansı ve gerilimi de bunun uygun şekilde kontrolüne bağlıdır. Komütasyon ise transformatörlerin primerlerine bağlanacak paralel kondansatörlerle sağlanabilir.

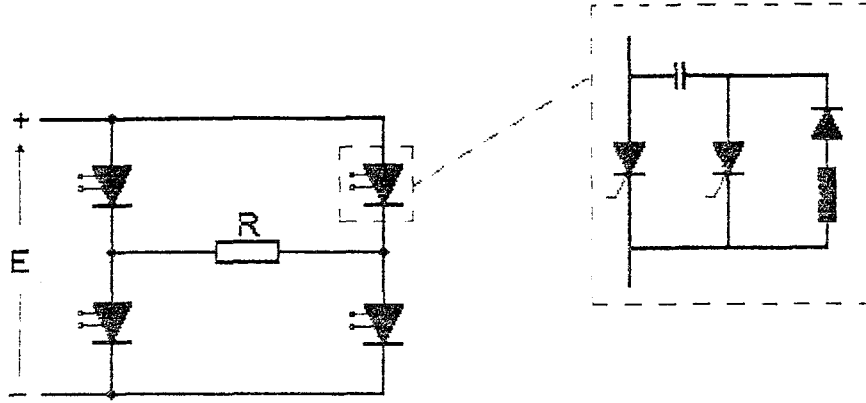


Şekil 4.11 Üç fazlı dalga şekillerinin elde edilmesi

IV.2.4 Rezistif Yük Inverteri

Bilinen basit köprü inverter devresidir. Kullanılan komütasyon devresinden dolayı devreye ayrıca paralel diyot bağlamaya gerek yoktur.

Devrede kullanılan her yük tristörünün yanında bir de Şekil 4.12'de görüldüğü gibi bir komütasyon devresi vardır. Bu devrede komütasyon şu şekilde oluşmaktadır. Başlangıçta kondansatör sol plakası, her iki tristör de kesimde olduğundan pozitif olarak doludur. Ana tristör devreye alındığında kondansatör boşalarak ters yönde dolacaktır. Ana tristörü söndürmek için yardımcı tristör tetiklenince kondansatör boşalarak yük tristörünü devre dışı eder.

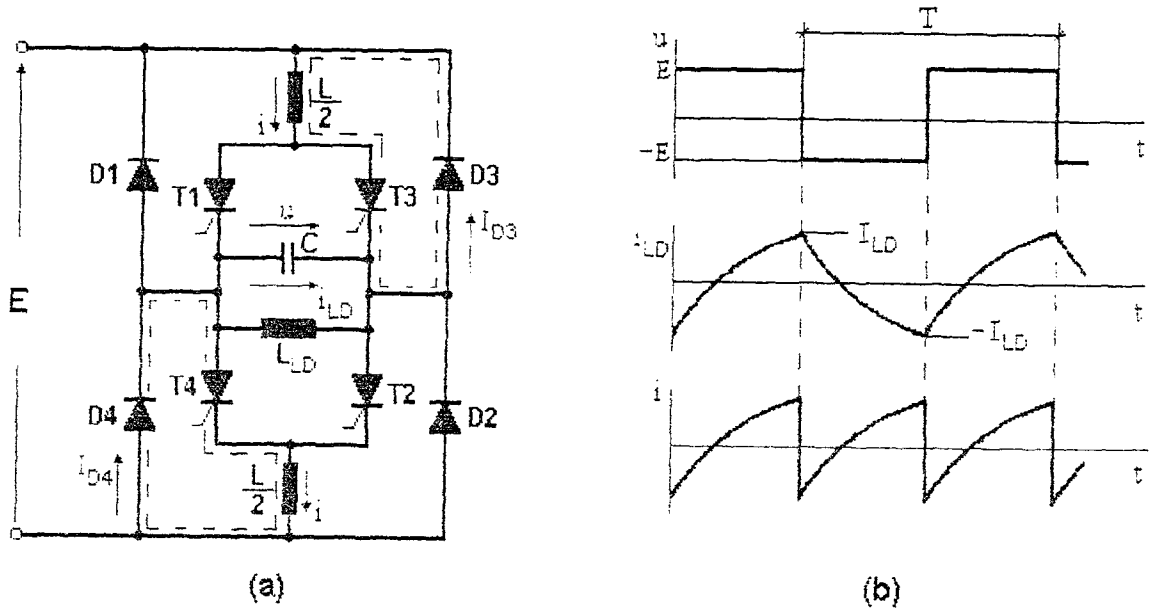


Şekil 4.12 Rezistif yük inverteri

IV.2.5 Geri Besleme Diyotlu Paralel Rezonans Devreli Inverter

Devre daha önce bahsedilen paralel rezonans devresine benzer. Burada geri besleme diyotları da gösterilmiştir. Devrenin bağlantısı Şekil 4.13.a'daki gibidir.

Devre hem endüktif yüklerde hem de omik yüklerde kullanılabilir. Komütasyon olayı şöyledir. T1 ve T2 devreye alındığında yük uçlarında $+E$ gerilimi oluşur ve kondansatör sol plakası pozitif olacak şekilde dolar. T3 ve T4 tetiklendiğinde ise kondansatör T1 ve T2 üzerinden boşalarak bu tristörleri kesime sokar. Yük uçlarında $-E$ gerilimi oluşur, kondansatör ters yönde dolarak diğer tristörleri söndürmek için hazır duruma gelmiş olur. Çalışma sırasında gerilim ve akımların ideal olarak değişimleri Şekil 4.13.b'de verilmiştir.



Şekil 4.13 Geri besleme diyotlu paralel rezonans inverter

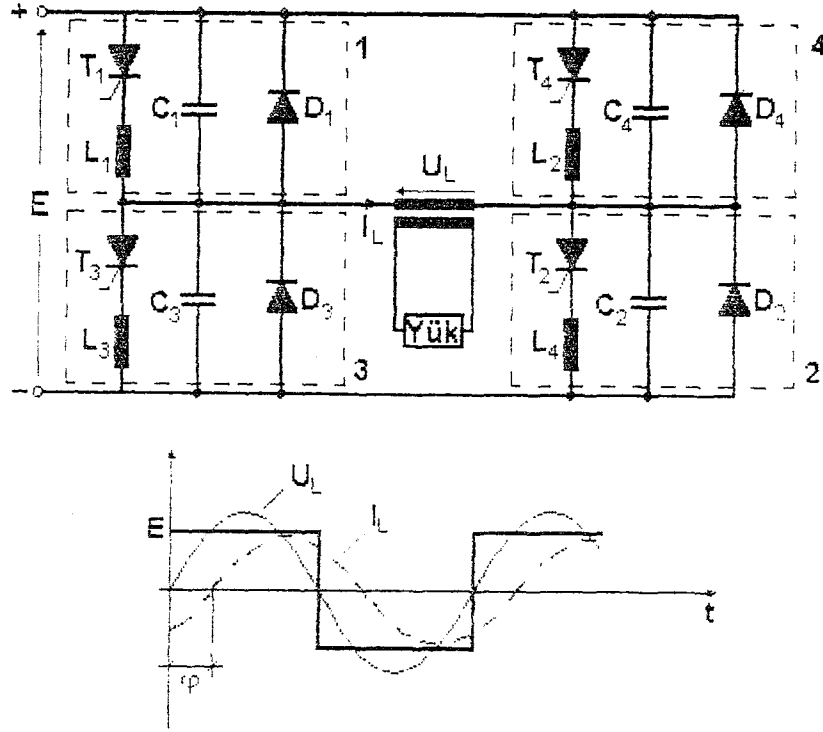
a. Devresi

b. Akım ve gerilim dalga şekilleri

IV.2.6 Omik-Endüktif Yükler İçin Inverter Devresi

Devre bir köprü inverter devresidir. Yük tristörleri ile birlikte komütasyon elemanları da vardır. Ayrıca yine tristöre ters paralel bağlı geri besleme diyotları mevcuttur. Devre ve yaklaşık dalga biçimi Şekil 4.14'deki gibidir.

Burada da köprü inverter devrelerinde olduğu gibi önce 1. ve 2.bloklar devreye alınır. Bu anda yük uçlarında +E gerilimi görülür. Dolayısıyla C1 ve C2 kondansatörleri de üst plakaları pozitif olacak şekilde dolmuştur. Devrede L1 ve L3 bobinler bir çekirdek L2 ve L4 bobinleri ayrı bir çekirdek üzerine sarılmıştır. T3 ve T4 tristörleri tetiklendiğinde paralel bağlı kondansatörler, L3 ve L4 bobinleri üzerinden boşalır. Boşalma sırasında, aynı çekirdekler üzerindeki diğer bobinlerde endüklenen ters gerilimler T1 ve T2 tristörlerini devre dışı bırakır.

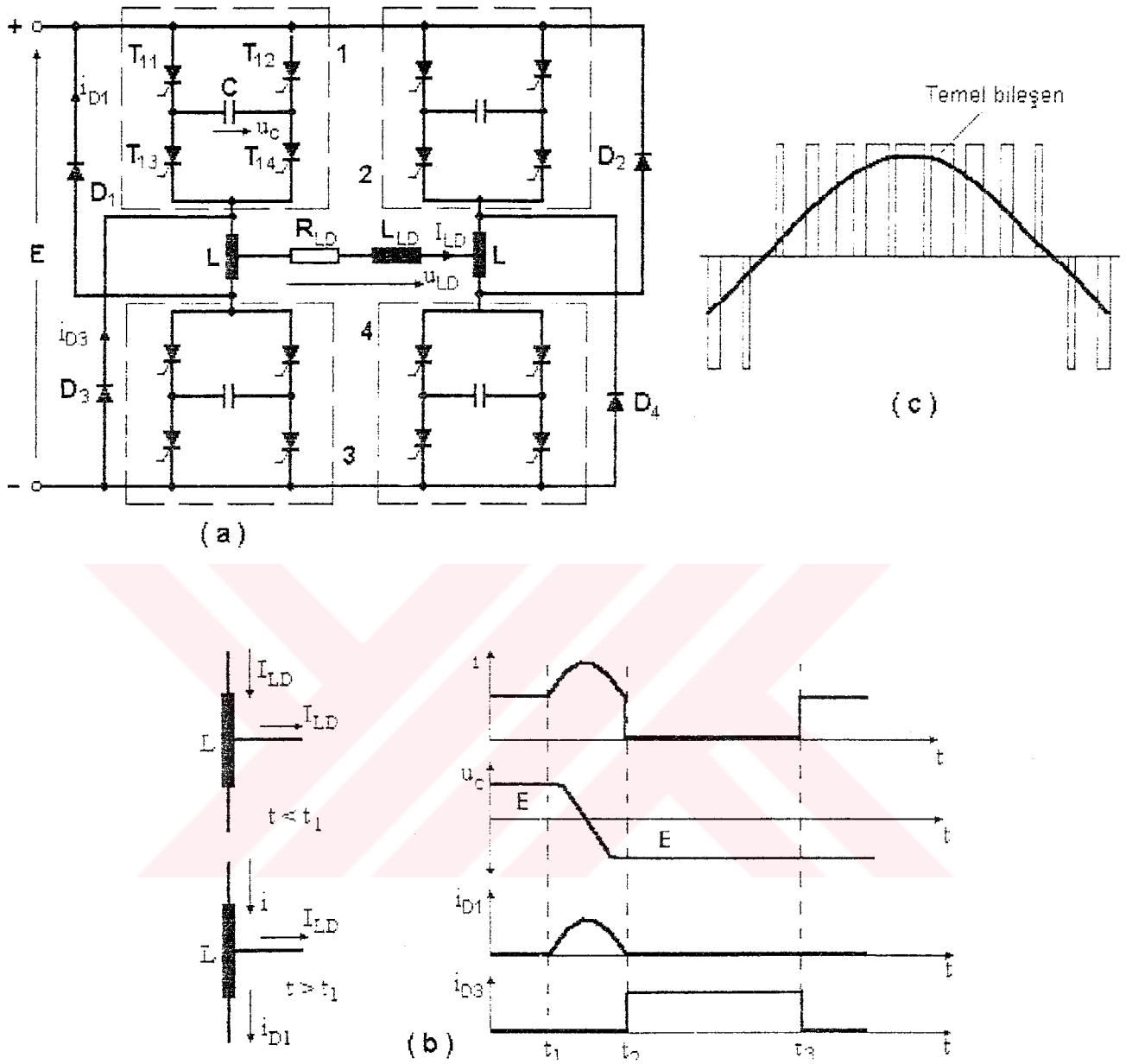


Şekil 4.14 Farklı yükler için inverter devresi ve dalga şekli

IV.2.7 PWM İçin Uygun Bir Inverter Devresi

Inverter devrelerinde önemli hususlardan biri de komütasyon kayıplarını mümkün olduğunca düşük düzeylerde tutmaktır. Ayrıca elemanların sık sık devreye girip çıkmalarındaki zamanlama da çok iyi yapılmalıdır. Örneğin, Şekil 4.15.c'deki gibi bir çalışma söz konusu ise, 1 ve 4 nolu blokların dokuz defa devreye girip çıkmaları gerekmektedir.

Devrenin çalışmasını ve komütasyonun gerçekleşmesini şöyle anlatabiliriz. İlk önce 1 ve 4 nolu bloklar devreye alınır. Her iki blok da aynı şekilde çalıştığından, sadece birindeki durumu göz önüne almak yeterli olacaktır. 1. blok, devreye T11 ve T13 tristörlerinin tetiklenmesi ile girer. C kondansatörü +E olacak şekilde dolar. Yükten $+I_L$ akımı akarken, uçlarında da +E gerilimi görünür.



Şekil 4.15 Komütasyon kayıpları azaltılmış tek fazlı inverter

a. Devresi,

b. Komütasyon olayını gösteren dalga şekilleri,

c. Çıkış geriliminin dalga şekli,

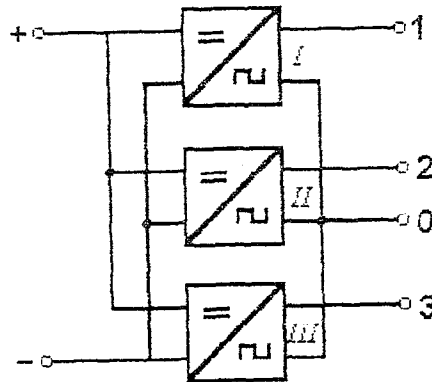
t_1 anında (Şekil 4.15.b) T12 tristörü devreye alınırsa T11 tristörü, uçlarında ters gerilim görüleceğinden hemen kesime geçer. Kondansatör boşalıp ters yönde dolarken, akımı D1 diyodu taşır. Kondansatör gerilimi $-E$ değerine ulaştığında (t_2 anı) T12 ve T13 kesime geçer ve Şekil

4.15.c'de görünen 1 nolu darbe tamamlanmış olur. Gerilim T12 ve T14 tristörleri tetikleninceye kadar sıfır değerinde kalır. Bu elemanlar tetiklendiğinde iki nolu darbe başlar. Devre de bu olaylar aynı şekilde devam eder. Tabidir ki 4 nolu blokta da aynı olaylar oluşmaktadır. Negatif alternansta da 2 ve 3 nolu bloklarda aynı durum söz konusudur. Çıkış geriliminin ani değerleri bazen sıfır olduğu halde esas dalga sinüsoidal olarak gerçekleşir. Yükteki I_{LO} ise komütasyon süresi boyunca yük akımının sabit kalmasını sağlar. Yani yükün endüktif olması halinde yük akımı kesintisiz olarak akar. L bir yandan akım yükselme hızını sınırlarken diğer yandan da komütasyon sırasında, diyot kapalı çevrimlerinde devreye girerek komütasyon akımını ve süresini sınırlar.

IV.3 Üç Fazlı Inverterler

Üç fazlı AC gerilim, aynı frekansta çalışan üç tek fazlı inverterin birbirine göre 120° lik faz farklı olarak kontrol edilmesiyle elde edilebilir. Bu şekilde elde edilen devreye, üç fazlı inverter devresi denir. Prensip şeması ve fazör diyagramı Şekil 4.16 da verildiği gibidir.

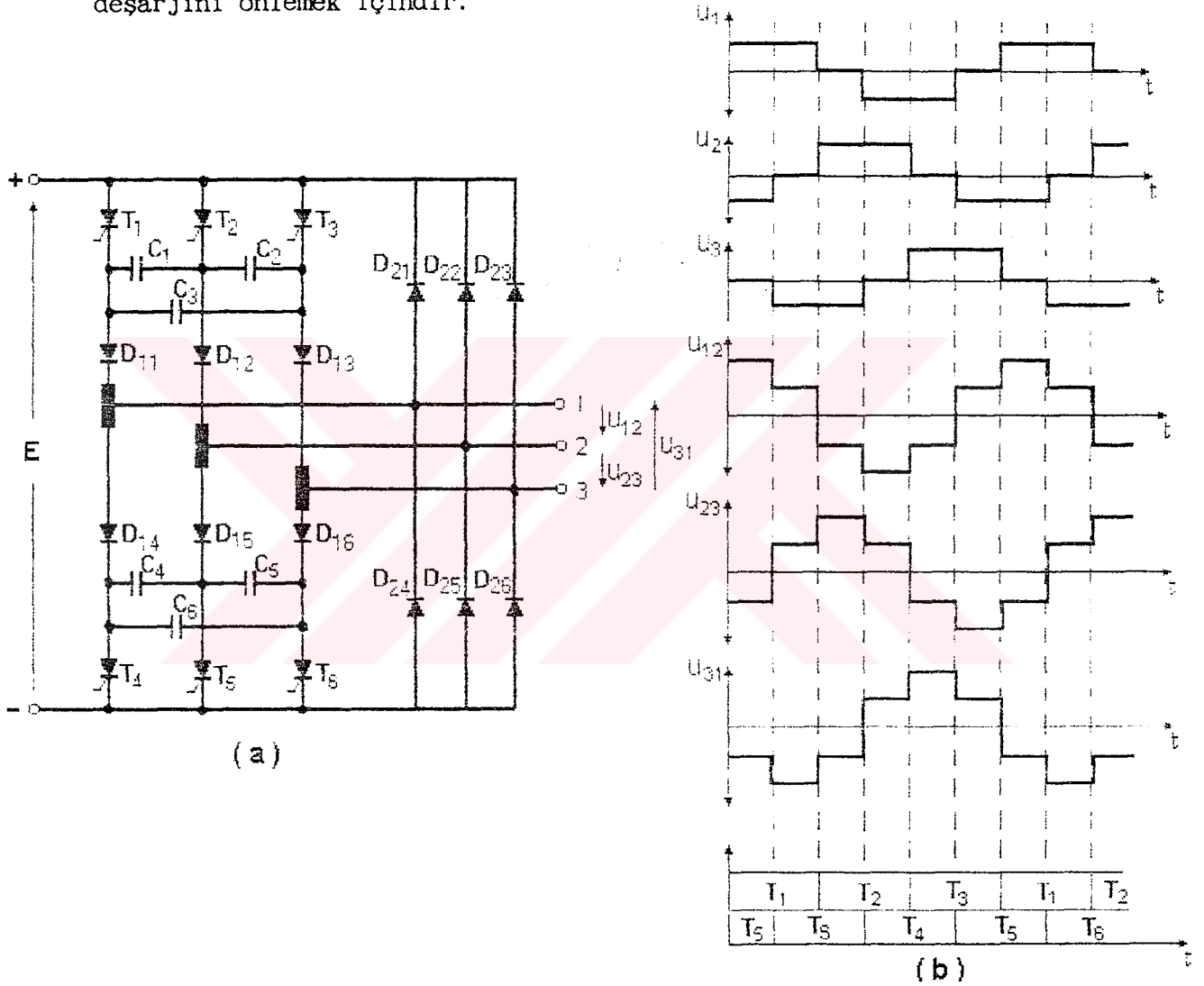
Elde edilen üç fazlı inverter devresinde görüldüğü gibi nötr noktası da mevcuttur. Bu devre ile asimetrik yükleri de beslemek mümkündür. Komütasyon işleminin her bir inverterde diğer inverterlerden bağımsız olarak gerçekleşmesi bu devrenin dezavantajıdır.



Şekil 4.16 120° faz farklı üç tek fazlı inverterle elde edilen üç fazlı inverter

IV.3.1 Faz Arası Komütasyonlu Inverter Devresi

Devrede bulunan her tristör, kendinden sonra devreye giren tristörler yardımıyla söndürülür. Devre Şekil 4.17 verildiği gibidir. Devrede D21 diyodundan D26 diyoduna kadar olan elemanlar geri besleme diyotlarıdır. Diğer diyotlar ise, komütasyon kondansatörlerinin yük üzerinden deşarjını önlemek içindir.



Şekil 4.17 Faz komütasyonlu üç fazlı inverter devresi

a. Devre şeması

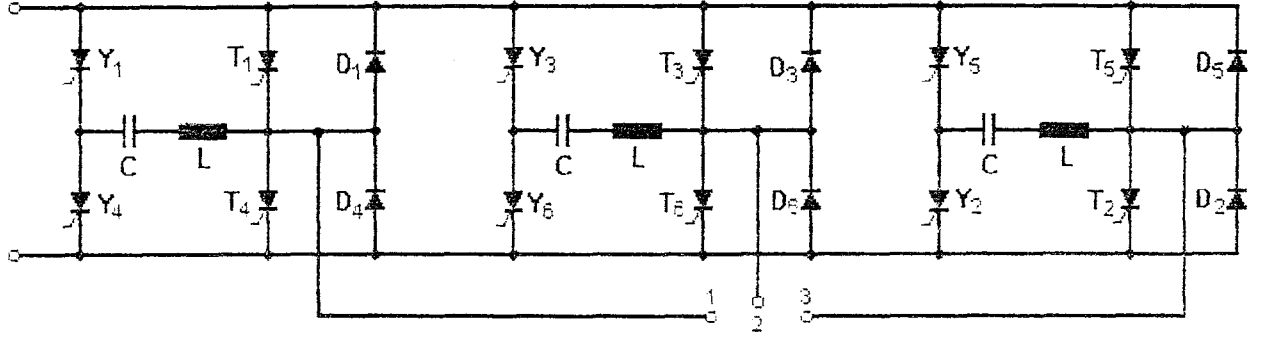
b. Gerilim dalga şekilleri

Şekildeki gerilim dalga şekilleri, kolay anlaşılır olması için omik yük halindeki durumu göstermektedir. Yük genellikle endüktif olduğundan akım gerilime göre geridedir. Bu nedenle tristörlere belirli aralıklarla

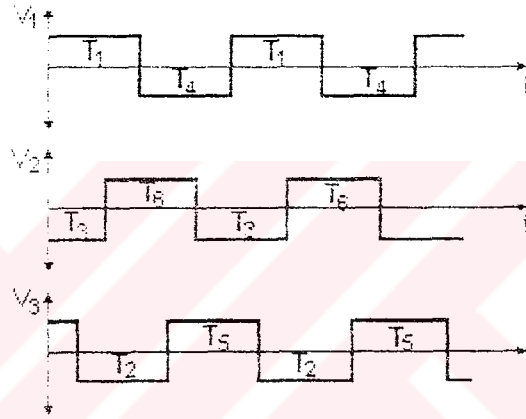
olmak üzere devamlı bir kapı akımı verilmelidir. Akımlar pozitif değere ulaşınca tristörler hemen devreye girerler. Komütasyon ise şu şekilde gerçekleşir. T1 ve T5 devredeyken C1 ve C4'ün sol plakaları (+) olacak şekilde, C5'in ise sağ plakası (+) olacak şekilde doludur. Daha sonra tristörler Şekil 4.17.b'deki sıraya göre devreye girip çıkarlar. T6 devreye girdiğinde, C5 kondansatörü T5 tristörünü söndürür. T1 ve T6 devredeyken C6 kondansatörü de sol plakası (+) olacak şekilde dolar. T2 devreye girdiğinde, C1 kondansatörü T1 tristörünü söndürür ve aynı anda C2 sol plakası (+) olacak şekilde dolar. T4 devreye girdiğinde, C6 kondansatörü T6 tristörünü, T3 devreye girdiğinde C2 kondansatörü T2 tristörünü söndürür. Tekrar başa dönlüldüğünde yani T5 ve T1 Devreye alındığında, C3 kondansatörü T3 tristörünü, C4 kondansatörü de T4 tristörünü söndürür. Olay periyodik olarak bu şekilde devam eder.

IV.3.2 Yardımcı Tristörlü Üç Fazlı Inverter Devresi

Daha önce anlatılan tek fazlı yardımcı tristörlerle gerçekleştirilen inverter devresi, benzer olarak üç fazlı olarak da düzenlenebilir. Devre şeması ve dalga biçimleri Şekil 4.18'de verilmiştir. Devrede Y1 tristöründen Y6 tristörüne kadar olan tristörler yardımcı (söndürme) tristörleridir. Diğerleri ise Yüğü besleyen ana tristörlerdir. Komütasyon işlemi, tek fazlı devrede anlatılan gibidir (Şekil 4.7).



(a)



(b)

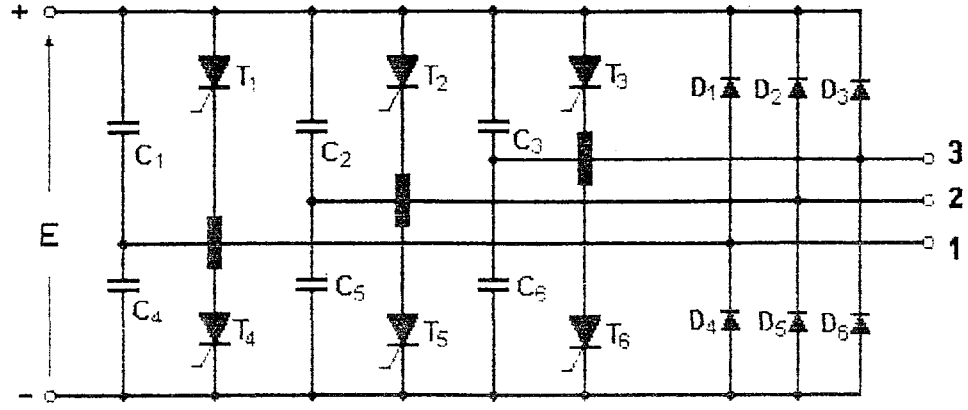
Şekil 4.18 Yardımcı tristörlerle gerçekleştirilen üç fazlı inverter

a. Devre şeması

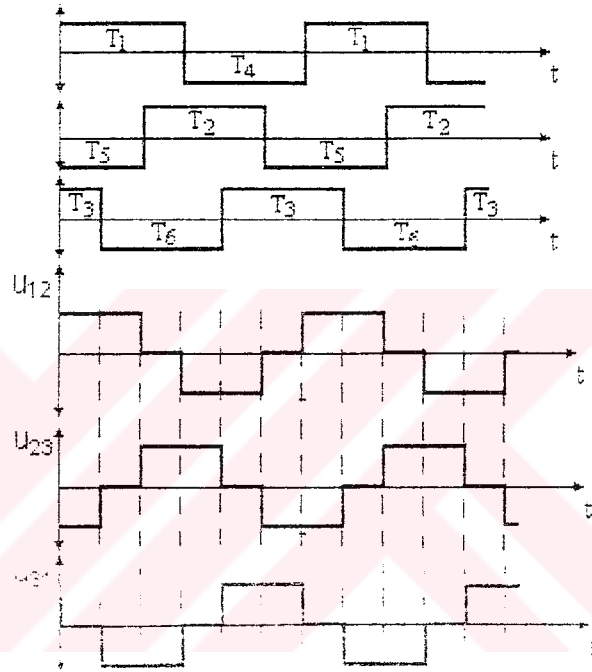
b. Gerilim dalga şekilleri ve kapı darbeleri

IV.3.3 Üç Fazlı Mc Murray-Bedford Inverteri

Çalışma prensibi ve komütasyon işlemi tek fazlı devrede olduğu gibidir. Devre ve çıkış gerilimi dalga şekilleri Şekil 4.19'da verilmiştir. Devrenin çalışması şu şekilde özetlenebilir. T1 tristörü devredeyken C4 T5 devredeyken C2 ve T3 devredeyken C6 kondansatörleri üst plakaları(+) olacak şekilde dolar. Daha sonra sırayla (Şekil 4.19.b'deki gibi) T6, T2 ve T4 devreye alındığında daha önce dolu olan kondansatörler bobinlerin ilk yarısından bir akım geçirirler. Bu akım, ters gerilimle endüklenmesine ve dolayısıyla iletimde olan tristörlerin devre dışı olmalarına yol açar.



(a)



(b)

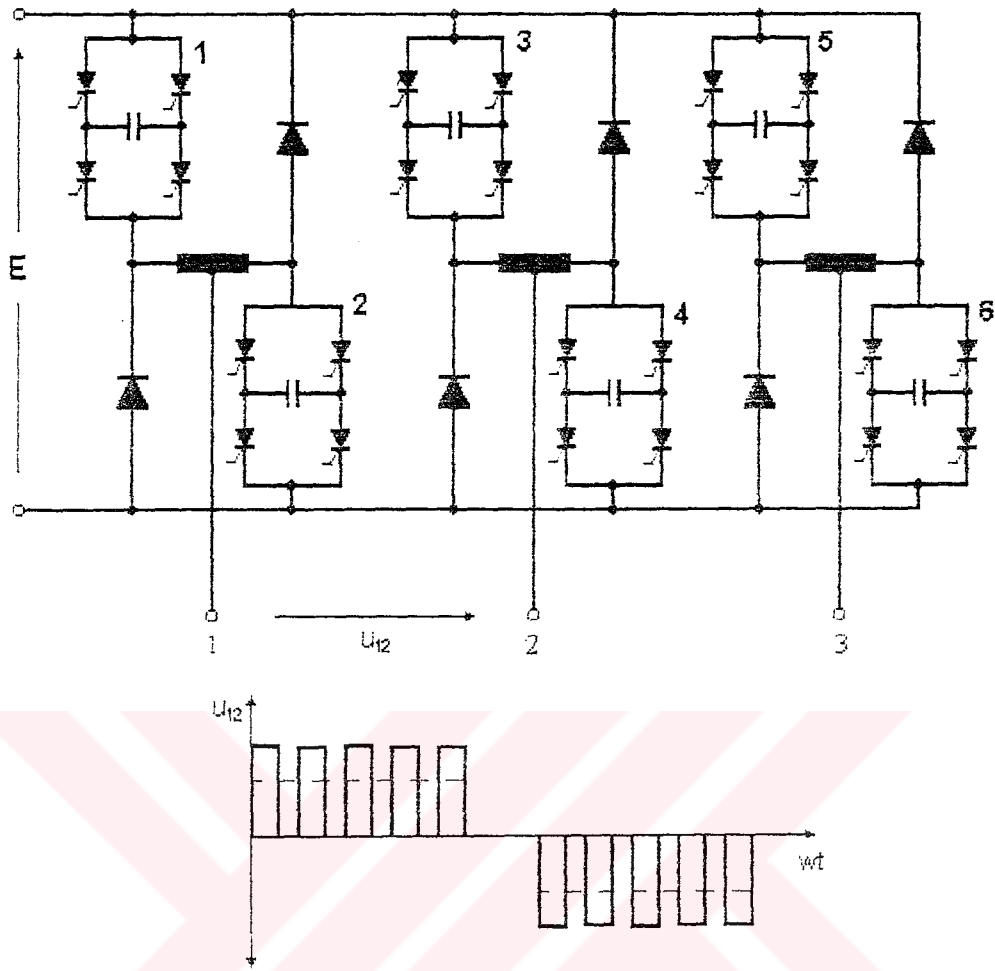
Şekil 4.19 Üç fazlı Mc Murray-Bedford inverteri

a. Devre Şeması

b. Çıkış gerilimi Dalga şekilleri

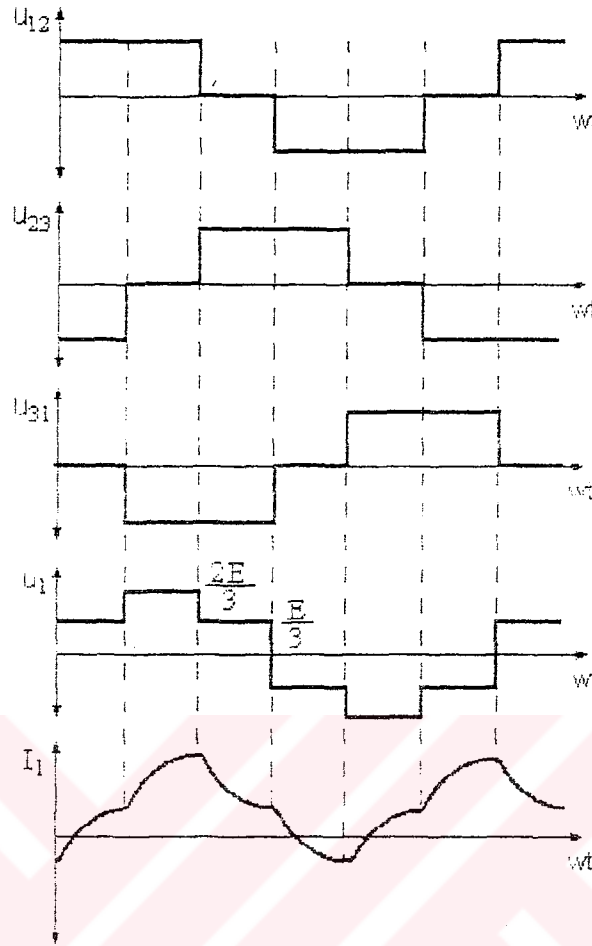
IV.3.4 Enine Bobinli Üç Fazlı Inverter Devresi

Devre, daha önce bir fazlı olarak değinilen Şekil 4.15.a'daki devrenin üç fazlı olarak gerçekleştirilmiş şeklidir. Teknik olarak ideal niteliklere sahip, ekonomik olaraksa pahalıdır. Eğer devre PWM metodu ile çalıştırılacaksa kontrol işlemi biraz kompleksleşir. Fakat çıkışta sinüs eğrisine oldukça yakın gerilimler elde edilir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20 Enine bobinli üç fazlı inverter

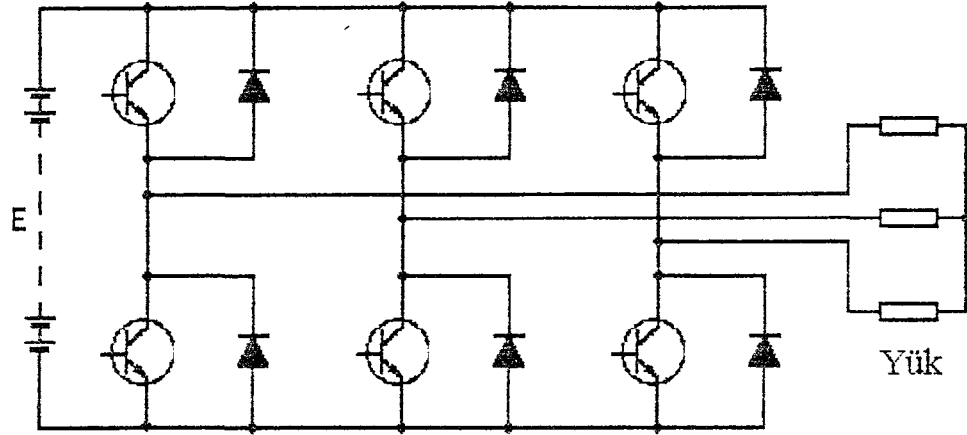
Devrede, 1 ve 4 nolu bloklar çalışırken U_{12} geriliminin pozitif yarım periyodu 2 ve 3. bloklar çalışırken negatif yarım periyodu meydana gelecektir. Komütasyon işlemi tek fazlı devrede olduğu gibidir. Beslenecek yükte harmonik fazla önemli değilse, aynı devre Şekil 4.21'deki dalga şekillerini meydana getirecek şekilde çalıştırılır. Böylece kontrol devresi biraz daha basitleşmiş olur.



Şekil 4.21 Harmonik ihtiva eden dalga şekilleri

IV.3.5 Güç Transistörlü Inverterler

Küçük güçlü üç fazlı inverter devrelerinin tasarımında, kullanılabilecek en uygun elemanlardan biri de güç transistörleridir. Şimdiye kadar üzerinde durulan inverter devrelerinin hepsi küçük değerdeki güçler için güç transistörleri ile gerçekleştirilebilir. Böylelikle komütasyon sorunu da ortadan kalkar ve sürme devreleri basitleşmiş olur. Bunun yanısıra komütasyonu gerçekleştiren elemanlar da olmayacağı için devrenin maliyeti de oldukça düşecektir. Güç transistörleri dışında güç mosfetleri de hızlı ve kolay sürülebilen elemanlar oldukları için bu devrelerde kullanılırlar. Bu elemanlar tristörler veya transistörler gibi bir kapı akımına ihtiyaç duymadıkları için direkt olarak bir mikro işlemci ile sürülebilirler. Bu özellikleri de güç mosfetlerini günümüzde 5 kVA'ya kadarki inverter veya diğer güç elektroniği anahtarlama devrelerinde ençok tercih edilen elemanlar yapmışlardır.



Şekil 4.22 Güç transistörlü üç fazlı temel inverter devresi

IV.4 Inverter Devrelerinde Kullanılan Güç Elemanları

Inverterlerde aranılan özelliklere göre çeşitli yarı iletken elemanlar kullanılır. Bu bölümde bu güç elemanları ele alınmış ve çeşitli açılardan karşılaştırılmıştır.

IV.4.1 Tristörler

Tristör, p-n-p-n olmak üzere dört tabakadan oluşan, bir pozitif geri besleme etkisi ile iletim durumundan kesim durumuna veya kesimden iletime kolaylıkla geçirilebilen, diğer bir deyişle çift kararlı (bistabil) çalışma özelliği gösteren eleman ailesine verilen addır. İki, üç veya dört terminalli, tek yönde veya her iki yönde akım geçirebilen tipleri vardır.

Ailenin en çok kullanılan elemanı, SCR (Silicon controlled rectifier silisyum denetimli doğrultucu) olarak bilinen, anot, katot ve kapı olmak üzere üç terminalli, tek yönde akım geçiren bir elemandır. SCR çok yaygın kullanımından dolayı ailenin adı ile anılır.

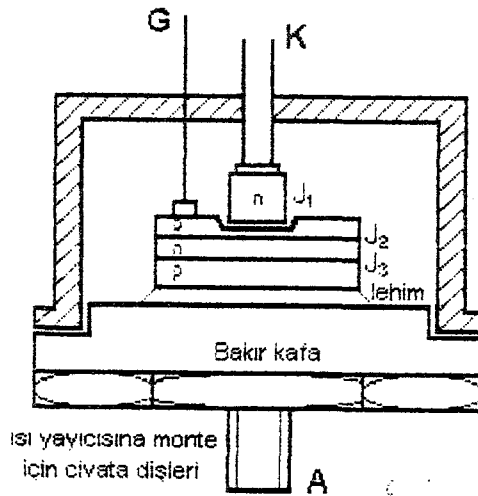
IV.4.1.1 Silisyum Denetimli Doğrultucu-Tristör (SCR)

SCR kapı terminaline uygulanan bir işaretle güç akımını denetleyebilen bir elemandır. Küçük güçlü elemanların imalinde basit bir pnp yapısından hareketle aşağıdaki işlemler yapılır.

- a) pnp yapı bir bakır başlık üzerine yüksek sıcaklığa dayanıklı lehimle tutturulur.
- b) Katot temas yüzeyi alaşımlanır, böylelikle J1 eklemi gerçekleşmiş olur.
- c) Kapı ucu yerine kaynaklanır.
- d) Katot ucu yerine lehimlenir.
- e) Bütün eklemeler içeride kalacak şekilde kaplanır.

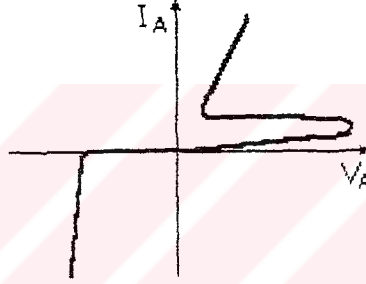
Son yıllarda elemanlarda akım yükselme hızı (di/dt) değerini arttırabilmek için çok kapılı (interdijitasyon) olarak bilinen yöntemle daha karmaşık kapı yapıları gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Bu yöntemde birçok kapı parmağı bir merkezden bütün yarıiletken alanına yayılır veya spiral bir yapı gerçekleştirilir.

SCR'nin iç yapısı Şekil 4.23'te gösterilmiştir.



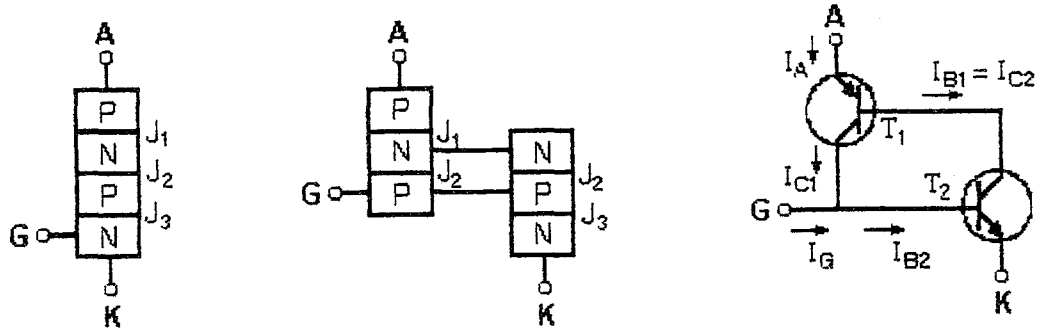
Şekil 4.23 Tristör elemanının iç yapısı

SCR'nin akım gerilim eğrisi de Şekil 4.24'te verilmiştir. Negatif anot gerilimi altında tristörün davranışı diyodun davranışıyla aynıdır. Pozitif anot-katot geriliminde ise eleman tıkamada veya iletimde olabilir. Tıkama durumundan başlayarak, anot-katot gerilimi arttırılacak olursa, devrilme gerilimi denilen belirli bir gerilime gelinceye kadar kesimdeki gibi küçük bir akım akar ve bu sınır aşılınca tristör aniden iletim durumuna geçer. Bu andan itibaren SCR diyot gibi davranmaya başlar. Tristörün bu şekilde ilettime sokulması genellikle kullanılmayan bir yol ve istenmeyen bir durumdur. Pozitif anot-katot gerilimi altında kapıya katoda göre pozitif küçük bir gerilim uygulanacak olursa tristör tetiklenir ve ilettime geçer.



Şekil 4.24 Tristörün akım-gerilim eğrisi

Tristörün çalışma şeklinin en basit açıklama şekli Şekil 4.25'de verilen iki transistörlü eşdeğerinden hareketle yapılır. Anot katoda göre negatif bir gerilimde olduğu zaman J1 ve J3 eklemleri kesim yönünde J2 eklemleri ise iletim yönünde kutuplanmış olur. Anot-Katot gerilimi pozitif ve kapı işareti sıfır ise J1 ve J3 eklemleri iletim yönünde, J2 eklemleri ise kesim yönünde kutuplanmış olacaktır. Bu durumda ancak bir sızma akımı geçebilir (Eğer anot-katot gerilimi fazla arttırılırsa sızma akımı büyür ve pozitif bir geri besleme etkisiyle tristör ilettime geçebilir). İki transistör eşdeğer devresinde T2 transistörünün bazına eşdeğer olan kapı ucuna, pozitif bir gerilim yada akım darbesi uygulandığında, T2 transistörü ilettime geçer ve T1 transistörünü ilettime geçirir. Transistörlerden birinin kollektör akımı diğerinin baz akımı olduğundan anot'tan katoda doğru akan akım giderek yükselir ve nominal değerine ulaşır.



Şekil 4.25 Tristörün iki transistör eşdeğeri

Bir müddet sonra kapı akımının kesilmesi halinde dahi anottan katoda olan akım devam eder. Transistör çiftinin tekrar tıkanma durumuna geçmesi için akan akımın tutma akımı adıyla anılan değerin altına düşmesi gerekir.

Yukarıda açıklanan pozitif geri besleme olayını matematiksel bir şekilde açıklamak da mümkündür.

$$I_{C1} = \alpha_1 I_A + I_{CB01}$$

$$I_{C2} = \alpha_2 I_K + I_{CB02}$$

$$I_K = I_A + I_G \quad (4.10)$$

eşitliklerini yazabiliriz. Burada α_1 ve α_2 transistörlerin ortak baz akımı kazançları, I_{CB01} ve I_{CB02} ise sızma akımlarıdır. Bu eşitliklerden

$$I_A = \alpha_2 I_G + I_{CB01} + I_{CB02} / [1 - (\alpha_1 + \alpha_2)] \quad (4.11)$$

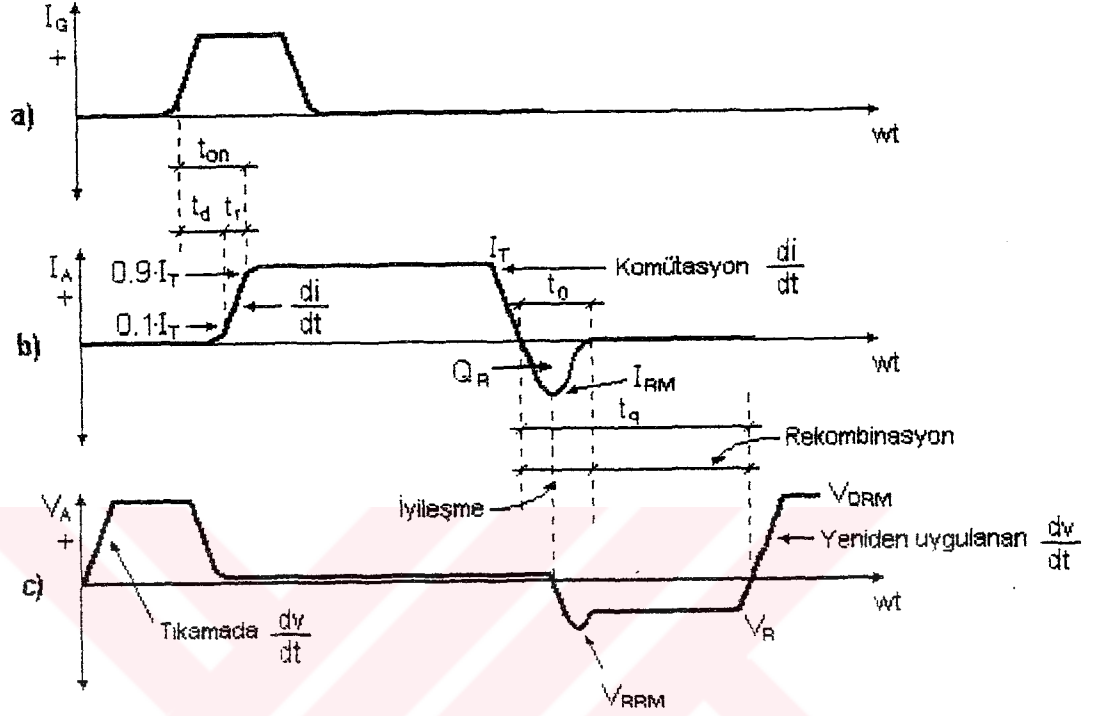
elde edilir. Silisyum transistörlerde α küçük emiter akımlarında çok küçük bir değerde olup emiter akımı büyüdükçe hızla büyür.

Normal ilettime girmenin haricinde tristörü ilettime sokabilecek şartlar aşağıda verilmiştir:

1. Aşırı gerilim: Anot-katot geriliminin devrilme gerilimini aşması
2. Aşırı dv/dt : p-n eklemleri efektif bir sığaç özelliği gösterirler. Anot-katot gerilimi çok hızlı bir şekilde değişirse sığaçların yüklenme akımları sızma akımına ekenerek tetiklenmeye neden olabilir.
3. Sıcaklık: Sıcaklık yükseldikçe daha fazla elektron-delik çiftleri oluşur (elektronlar kovalent bağları kopararak kristal içinde serbestçe hareket etmeye başlarlar ve delikler oluşur). Sıcaklık çok artarsa, bu taşıyıcı çiftleri tristörün ilettime geçmesine yol açılabilir.
4. Işık veya radyasyon: Fotonlar, gama ışınları, nötronlar, protonlar, elektronlar ve X ışınları korumasız bir tristörde elektron delik çiftleri oluşturur ve tetiklenmeye sebep olabilir. LASCR (light activated SCR: ışık aktivasyonlu SCR) bu şekilde tetiklenmek üzere özel olarak imal edilmişlerdir. Fiber optik teknolojisindeki son gelişmelerle bu tip SCR'ler önem kazanmaya başlamıştır.

Bütün diğer güç elektroniği elemanları gibi tristör de hassas bir eleman olup bir güç çeviricisinin tasarımının ekonomik ve aynı zamanda güvenilir olması için elemanın statik olduğu kadar dinamik özelliklerinin de göz önünde bulundurulması gerekir. Tristörler çevirici veya faz denetimli ve evirici tipi olmak üzere iki sınıfa ayrılabilirler. Bu ikinci sınıfta dinamik özelliklere önem verilmelidir. Şekil 4.26'da bir tristörün ilettime ve tıkamaya geçiş durumlarındaki akım ve gerilim dalga şekilleri gösterilmiştir. Başlangıçta elemene iletim yönünde bir gerilim uygulandığı zaman, elemanın istenmeyen bir şekilde ilettime geçmesi için, dv/dt belirli bir sınırın altında tutulmalıdır. Tıkama durumundaki bir tristöre bir kapı akımı uygulanması ile anot akımının yükselmeye başlaması arasında gecikme süresi t_d kadar bir süre geçer. Bu süre sonunda akım dış devre özelliklerine bağlı bir di/dt ile son değerine ulaşır. ilettime geçişin fiziksel mekanizması oldukça karmaşıktır. Fakat şunu belirtmek gerekir ki ilk iletim kapı-katot çevresinde küçük bir alanda başlar ve belirli bir hızla bütün alana yayılır. Eğer anot akımının artış hızı (di/dt) bu yayılma hızından daha fazla olursa akım yoğunluğu artar ve sonuçta bir sıcak noktanın oluşması ile elemanın

yanmasına sebep olur.



Şekil 4.26 Tristörde ilettime ve tıkamaya geçişlerde dalga biçimleri

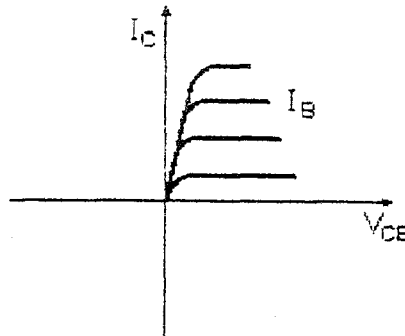
Tristör iletimde iken ortadaki n ve p tabakaları azınlık taşıyıcılarla doymuş durumdadır. (n tabakada delikler p tabakada elektronlar) doymuş durumdadır. Tristörün tıkama yeteneğini tekrar kazanabilmesi için bu taşıyıcıların tamamen temizlenmesi gerekir. Akım geçirmekte olan bir tristörü tıkamaya geçirmek için tristöre dışarıdan ters bir gerilim uygulanır. Bu gerilimin uygulanması ile akım, devredeki kaçak endüktansların belirlediği bir di/dt ile önce sifıra iner sonra ters yönde artar. Bu ters yönde akım (recovery akımı) tıkamaya geçme sırasında hala iletim yönünde kutuplanmış bulunan J1 ve J3 eklemlerinden azınlık taşıyıcıların anot ve katot uçlarına çekilmesi nedeni ile oluşur. Bu akımın maksimum değerine (I_{RRM}) ulaşmasından sonra eklemler tıkama durumuna geçmeye başlarlar ve ters yöndeki akım hızlı bir şekilde azalır. Bu da kaçak endüktanslardan dolayı katot anot geriliminde uygulanan

komütasyon gerilimi V_R 'nin üzerinde bir aşmaya (V_{RRM}) neden olur. Sıfır akıma ulaştıktan sonra J2 eklemi civarındaki azınlık taşıyıcıların bir rekombinasyon ile temizlenmesini sağlayacak kadar bir süre beklemek gereklidir. Ancak bu sürenin sonunda tristöre pozitif bir gerilim uygulanabilir. Negatif gerilimin uygulanmasının zorunlu olduğu bu süreye (turn-off) süresi denir ve t_q ile gösterilir.

Yukarıda açıklanan t_q süresi sabit olmayıp, eklem sıcaklığı, I_T , V_R , V_{DRM} , komütasyon di/dt 'si yeniden uygulanan gerilimin dv/dt 'si gibi etkenlere bağlıdır. Üreticiler bu sayılan etkenlerin belirli değerleri için kataloglarında belirtirler.

IV.4.2 Güç Transistörü

Elektronikte en yaygın olarak kullanılan transistörler, son yıllarda büyük güçlerde üretilebilmelerinden dolayı güç elektroniği devrelerinde de kullanılmaya başlanmıştır. Transistör p-n eklemine ikinci bir p veya n tabakası eklenmesiyle oluşturulur. Transistörler eklenen tabaka cinsine göre pnp veya npn tipi olabilir. Şekil 4.27'de npn tipi bir transistörün çalışma eğrileri verilmiştir.



Şekil 4.27 npn tipi bir transistör için çalışma eğrileri

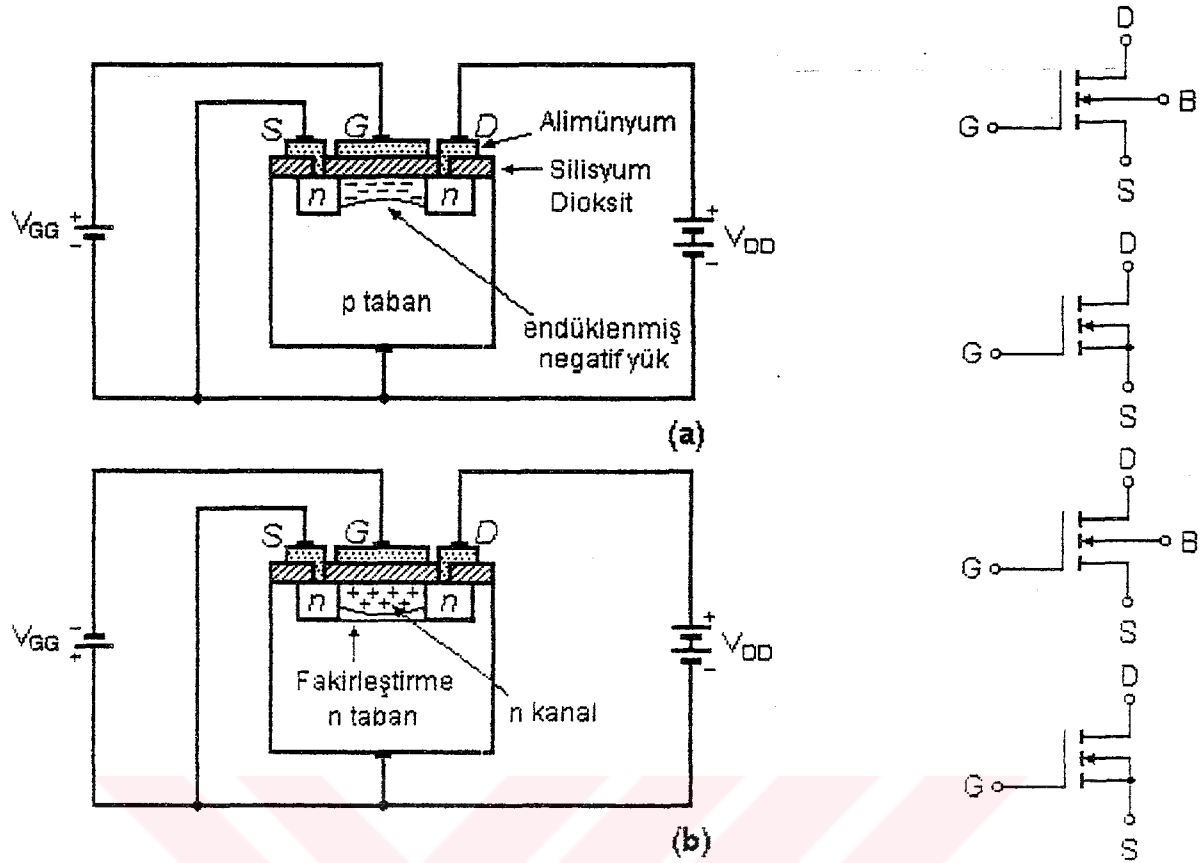
Transistörün iletme geçebilmesi için emiter-baz eklemının iletim yönünde kollektör-baz eklemının de kesim yönünde kutuplandırılması gerekir. Güç elektroniği devrelerinde transistör, tam iletimde veya tam tıkamada olacak şekilde bir anahtar olacak şekilde çalıştırılır. Anah-tarın açılıp kapanabilmesi, baza uygun bir işaretin verilmesi ile olur. iletim sırasında kollektör-emiter arasındaki gerilim 1 voltun altında-dır.

IV.4.3 Güç MOSFET Elemanı

Çok büyük veya büyük çapta tümleşik devrelerde (VLSI, LSI) kullanı-lan MOSFET'ler son yıllarda 500V ve 28A gibi yüksek değerlerde üretile-bilmeleri ile birlikte güç elektroniği devrelerinde de en çok kullanı-lan elemanlar olmuşlardır. Bunun en önemli sebebi çok yüksek frekansla-ra çıkabilmesi ve çok küçük bir güçle kontrol edilebilmesidir.

Güç MOSFET elemanı FET (Field Effect Transistor: alan etkili tran-sistör) ailesinin bir elemanıdır. Alan etkili transistör üç terminalli (kapı, kaynak, savak (drain)) yükseltme sağlayabilen bir yarıiletken e-leman olup, normal transistörün giriş empedansına oranla çok daha yük-sek giriş empedansına sahiptir. Gerilim denetimli olup savaktan kaynağa doğru akan bir akım yalnız çoğunluk (p kanal tipinde delikler, n kanal tipinde elektronlar) taşıyıcıları ile gerçekleştirilir. Bu özelliğinden dolayı tek kutuplu (unipolar) transistör olarak da bilinir. FET'ler, JFET (Junction Field Effect Transistor:eklem alan etkili transistör) ve IGFET (Insulated Gate Field Effect Transistor:yalıtımlı kapı alan etki-li transistör) olarak de bilinen MOSFET ler (Metal Oxide Silicon Field Effect Transistor:metal oksit silisyum alan etkili transistör) olmak ü-zere iki ana gruba ayrılırlar. Şekil 4.28'de MOSFET'lerin yapısı sembo-lü ve kutuplandırma şekilleri gösterilmiştir.

Güç MOSFET'lerinde giriş, n veya p tipi bir yarıiletkenle metal bir kapı ucu arasındaki silisyum dioksit dielektrikten oluşan bir sığaçtan ibarettir. Giriş işaretinin yalnız bu sığacı doldurması gerektiğinden çok küçük güçteki işaretlerle MOSFET'i kontrol etmek mümkündür.



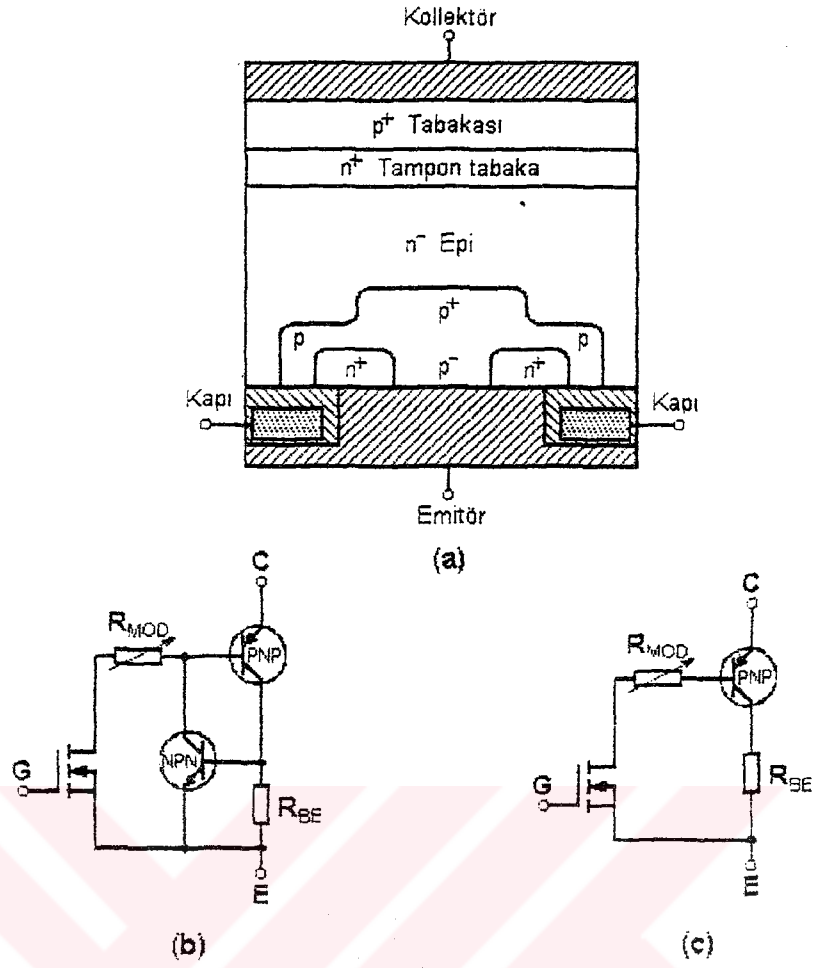
Şekil 4.28 MOSFET'in yapısı, sembolü, ve kutuplandırma şekli

En yeni güç MOSFET'leri, güç transistörlerine yakın yüksek akım ve gerilim değerlerine sahiptirler. Bu elemanlar VMOS (Vertical Metal Oxide Semiconductor: dikey metal oksit yarıiletken) teknolojisi ile üretilir ve V şeklinde bir yarık ihtiva ederler.

IV.4.4 IGBT Elemanı

IGBT'ler BJT ve MOSFET'lerin avantajlarını biraraya getirirler. Bir IGBT MOSFET gibi yüksek giriş empedansına ve BJT gibi düşük iletim kaybına sahiptir. Fakat BJT'ler gibi yıkılma problemleri yoktur. Yonga dizaynı ve yapısı ile eşdeğer savak-kaynak (drain to source) direnci, BJT gibi kontrol edilebilir.

Bir IGBT'nin kesiti Şekil 4.29.a'da verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi p+ tabakası haricinde MOSFET'in kesiti ile aynıdır. IGBT'nin performansı BJT'ye MOSFET'ten daha yakındır. Bu benzerlik azınlık taşıyıcıların n bölgesine geçmesini sağlayan p+ tabakasından dolayıdır.



Şekil 4.29a. IGBT elemanın kesiti

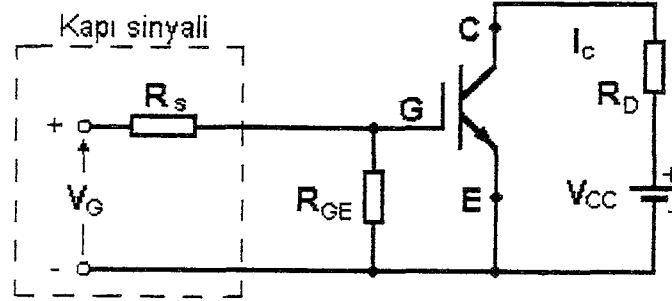
b. Eşdeğer devresi

c. Basitleştirilmiş eşdeğer devre

Eşdeğer devre Şekil 4.29b'de basitleştirilmiş devre ise Şekil 4.29c'de verilmiştir.

IGBT'ler ardışık dört tabakadan (pnpn) oluşur. n+ tampon tabakası ve geniş epi taban dizayn sebebiyle npn terminalinin kazancını azaltır. IGBT, bir güç MOSFET'ine benzer olarak voltaj kontrollü bir elemandır. IGBT'ler düşük anahtarlama ve iletim güçkaybının yanında güç MOSFET'lerinin kolay sürme darbe akıma dayanma ve yüksek kapasite gibi özelliklerine de sahiptir. IGBT'ler yapı olarak BJT'lerden hızlı olsalar bile MOSFET'lerin hızına erişemezler.

Bir IGBT'nin sembol ve devresi Şekil 4.30'da verilmiştir.

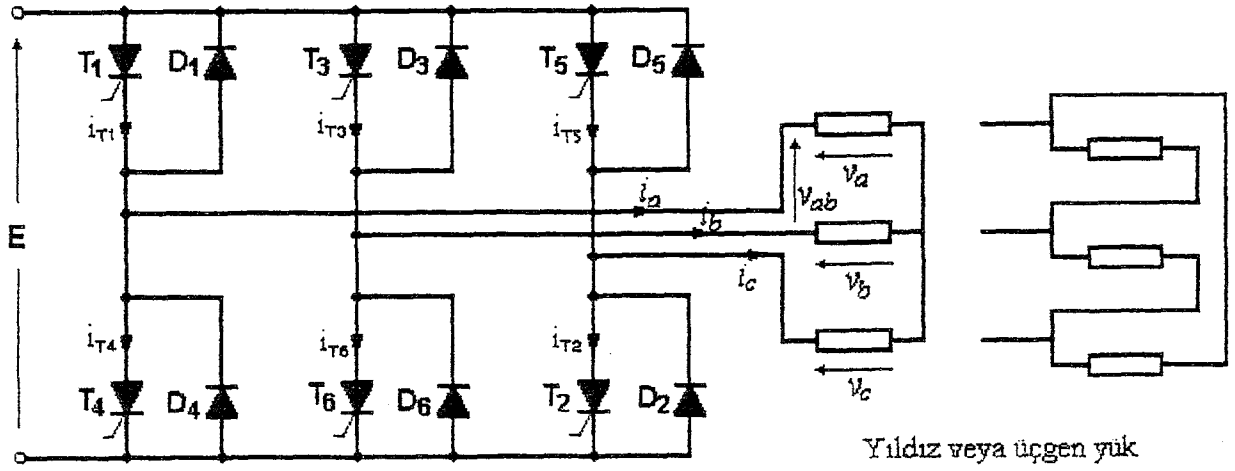


Şekil 4.30 IGBT'nin devresi ve sembolü

MOSFET'deki kapı, savak ve kaynak (gate, drain, source) yerine IGBT'ler de kollektör emitör ve kapı (collector, emitter and gate) uçları vardır. Parametreler ve semboller MOSFET'e benzer. Tek değişiklik kaynak ve savak (S, D) indislerinin kollektör ve emitör (C, E) olmasıdır. Günümüzde IGBT için güç değerleri MOSFET'lerden daha yüksektir. Örneğin 400 A ve 1200 V'luk bir IGBT piyasada bulunabilir. Bunun yanında çalışma frekansı diğer elemanlara göre yüksek olmasına karşılık MOSFET'ten düşüktür. Yukarıda nominal gerilimi verilen IGBT için çalışma frekansı 25 kHz'e kadar çıkabilir. IGBT'lerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. DC ve AC motor sürme devreleri, kesintisiz güç kaynakları ve değişik yerlerde anahtarlama elemanı olarak kullanımları gün geçtikçe artmaktadır.

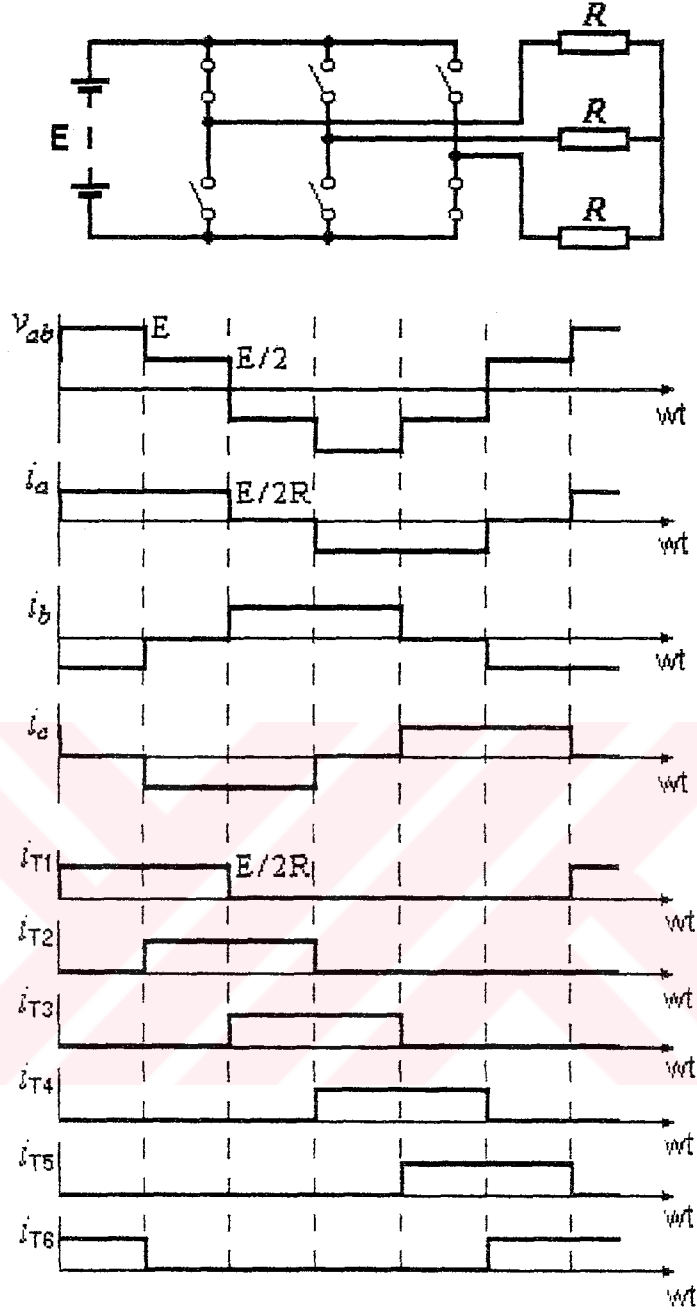
IV.5 Üç Fazlı Inverterlerde Çalışma Modları

Üç fazlı inverterlerde fazlar arası 120° faz farkı korunarak, tris-törlerin devrede kalma sürelerine göre değişik çalışma modları vardır. Endüstride en çok görülen 120° çalışma modu ile 180° çalışma modudur. Şimdi bu çalışma şekillerini Şekil 4.31'deki temel inverter devresini esas alarak inceleyelim.



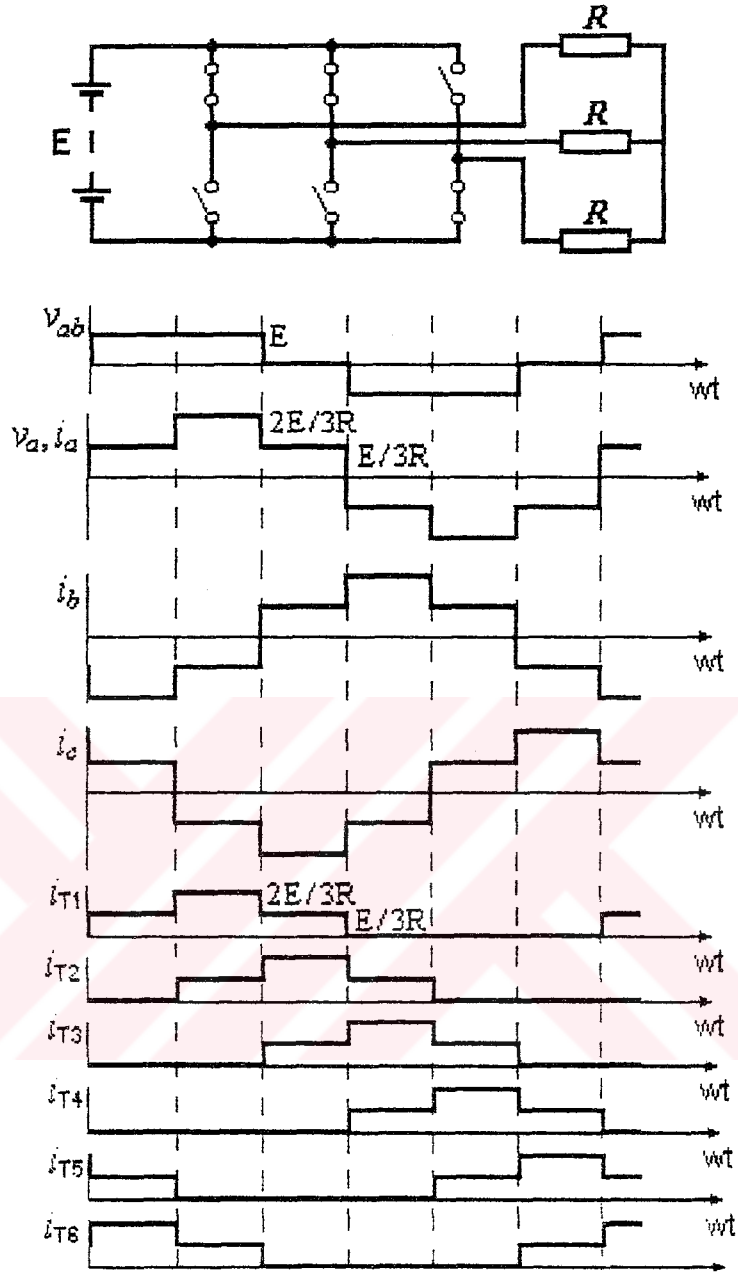
Şekil 4.31 Üç fazlı temel köprü inverter devresi

Devrede komütasyon elemanları gösterilmemiş ve ayrıca çalışmanın kolay anlaşılır olması için yükün omik olduğu varsayılmıştır. Buna göre hangi tristörün hangi aralıkta tetikleneceği, faz akımlarının ve hat geriliminin nasıl değişeceği Şekil 4.32'de verilmiştir.



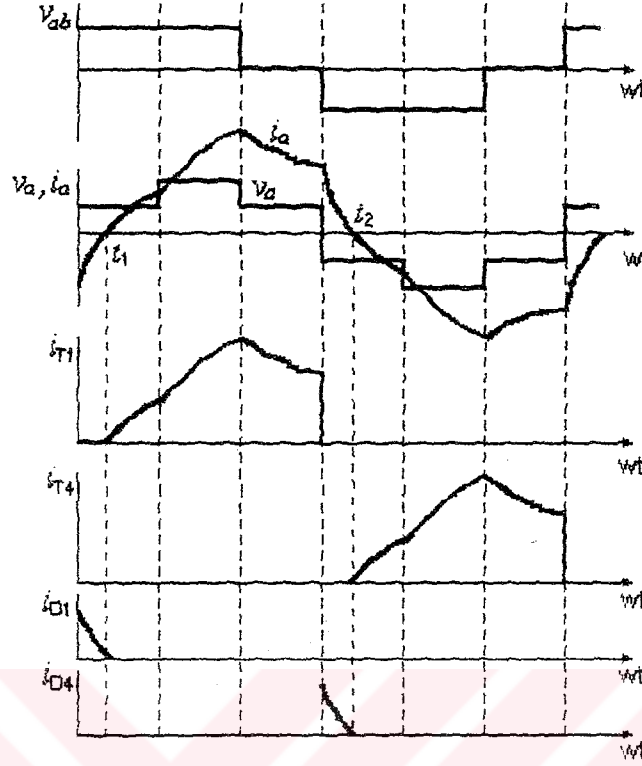
Şekil 4.32 120° çalışma modunda dalga şekilleri

180°'lik çalışma modu için durum, Şekil 4.33'deki gibi olur. Daha önceki çalışmada her bir tristör 120° iletimde kalırken bu çalışmada 180° iletim söz konusudur. 120° modunda her bir aralıkta iki tristör iletimde iken, bu çalışmada üç tristör iletimdedir. Her iki durumda da yük üçgen veya yıldız bağlı olabilir.



Şekil 4.33 180° çalışma modunda dalga şekilleri

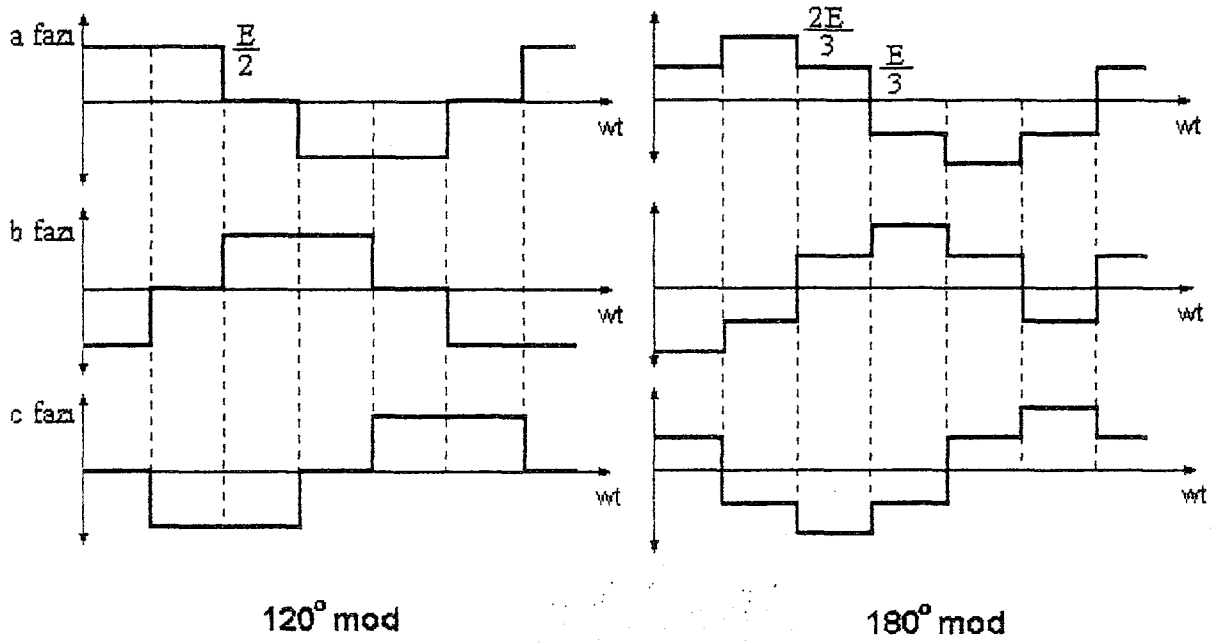
Şayet yük endüktif ise (180° çalışma modunda) bu durumda hat gerilimi, faz akımı ve bunlara ilişkin hangi elemanların iletimde olduğu Şekil 4.34'te verilmiştir.



Şekil 4.34 180° çalışma modunda yükün endüktif hali için dalga şekilleri

Görüldüğü gibi t_1 anına kadar, i_a akımı negatif değerde olduğundan D1 diyodu üzerinden geçer. Akım pozitif değer alırken T1 ilettime girerek akımı üzerine alır. Aynı durum D4 ve T4 elemanları için de geçerlidir.

Her iki çalışma modu için karşılaştırma yapılırsa, 180°'lik çalışma modunun daha iyi sonuçlar verdiği görülecektir. Her iki durum için inverter çıkış gerilimleri Şekil 4.35'te verilmiştir.



Şekil 4.35 İki ayrı çalışma modu için gerilim dalga şekilleri

Bunlara göre 120° çalışma modunda harmoniklerin daha fazla olacağı bellidir. Bu yüzden uygulama da daha çok 180° çalışma modu tercih edilir. 180° modunda çalışan inverterlerde herhangi bir t anında bir kolda bir tristör iletimde iken diğer kollarda bir çift tristör paralel olarak bulunur. Çıkışın her bir periyodunda altı iletim aralığı vardır.

BÖLÜM V MODÜLSYON TEKNİKLERİ

Günümüzde en çok kullanılan modülasyon çeşidi darbe genişlik modülasyonu tekniğidir. Mikroişlemci kontrollü MOSFET teknolojisinin iyice yaygınlaştığı günümüz teknolojisinde diğer yöntemlere hemen hemen hiç yer verilmez. Bu sebeple bu bölümde PWM yönteminden başka bir yöntemin açıklanmasına gerek duyulmamıştır.

V.1 Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM)

Günümüzde inverter katlarında çok yaygın olarak kullanılan bir modülasyon türüdür. Bu nedenle oldukça geniş olarak incelenecektir. Tek darbeli modülasyonun sakıncası bilindiği gibi küçük dereceli harmoniklerin büyük genliğe sahip olmasıdır. Ancak bu kötü taraf Darbe Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation: PWM) ile ortadan kaldırılabilir. Bu yöntemle harmonik bileşen genlikleri çok küçültülebilir. Böyle yapıldıktan sonra harmoniklerin bastırılması da oldukça kolaylaşacaktır.

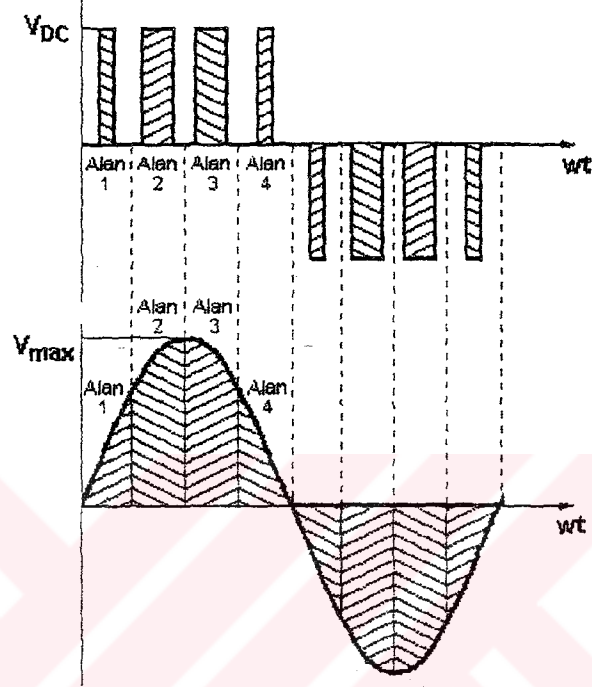
PWM yönteminde anahtarlama sayısı, tek darbe modülasyonuna göre çok daha fazla olmaktadır. Ancak bu yöntemin getirdiği diğer yararlar yanında bu dezavantaja katlanılabilir. Sistemin en önemli özelliği inverter girişindeki DC gerilimini değiştirmeden çıkıştaki gerilim ve frekansın değiştirilebilmesidir.

Darbe sayısının arttırılması elimine edilen harmonik sayısını arttırarak inverter çıkış filtresinin basitleşmesini sağlayacaktır. Ancak çok sayıda darbe çok anahtarlama gerektirdiğinden kayıplar artar. Bu nedenle inverter katının gerçekleşmesinde optimum darbe sayısını belirlemek oldukça önemlidir. Örneğin büyük güçlerde klasik tristörlerle dizayn edilen devrelerde darbe sayısı 5-6 iken MOSFET'le gerçekleştirilmiş bir inverter devresinde darbe sayısı çok daha fazladır.

PWM'in elde edilme şekillerine geçmeden önce, darbe genişlik modülasyonu ve bunun sonunda meydana gelen sinüs eğrisi arasındaki ilişkiyi belirlemekte yarar vardır.

Bütün bir sinüs eğrisi daha önceden belirlenen bir M değerine göre

M eşit parçaya bölünür ve her sinüs parçasının altında kalan alan, hesaplanması istenen darbe süresinin altındaki alana eşitlenir. $M = 8$ için aşağıdaki şekil verilmiştir.



Şekil 5.1 PWM ile elde edilen dalga şekli

Şekil 5.1'de görüldüğü gibi istenilen çıkış dalga şekli için darbe genişlikleri ayarlanmaktadır. Çıkış değerleri,

$$5.1 \quad V_{do} = V_{max} \cdot \sin \omega_0 t \quad (5.1)$$

$$5.2 \quad \omega_0 = 2 \pi f \quad (5.2)$$

V_{do} : istenen çıkış gerilimi

V_{max} : istenen çıkış geriliminin maksimum değeri

ω_0 : istenen açısal frekans

ise, herhangi iki t_A ve t_B anları arasındaki alan,

$$\text{Alan} = V_{\max} \int_{t_A}^{t_B} \sin wt \, dt \quad (5.3)$$

Formülüyle hesaplanır. (5.3) ifadesinin integrali alındığında,

$$\text{Alan} = \frac{V_{\max}}{w} \cdot (\cos wt_A - \cos wt_B) \quad (5.4)$$

dır.

Eğer inverter DC giriş gerilimi V_{DC} ve hesaplanması gereken süre ΔT ise darbeler için,

$$\text{Alan} = V_{DC} \cdot \Delta T \quad (5.5)$$

olmalıdır. (5.4) ve (5.5) ifadelerini eşitlersek,

$$V_{DC} \cdot \Delta T = \frac{V_{\max}}{w} \cdot (\cos wt_A - \cos wt_B)$$

$$\Delta T = \frac{V_{\max}}{w \cdot V_{DC}} \cdot (\cos wt_A - \cos wt_B) \quad (5.6)$$

bulunur.

Bu ifade her sinüs parçasının altındaki darbe süresinin belirlenmesinde kullanılır. (5.6) ifadesindeki $\frac{V_{\max}}{V_{DC}}$ oranı kullanma faktörü olarak adlandırılır ve r ile gösterilir. Bu yerine konursa,

$$\Delta T = \frac{r}{w} \cdot (\cos wt_A - \cos wt_B) \quad (5.7)$$

elde edilir. Bu eşitlikten görüldüğü gibi darbelerin genişliği kullanma faktörü ile doğru ve çıkış frekansı ile ters orantılıdır.

Inverter çıkış dalga şekli çeyrek dalga simetrisine sahip olduğundan 0 ile 90° arasındaki darbeleri hesaplamak yeterlidir.

V.1.1 Üçgen-Sinüs Karşılaştırma Yöntemi

Yöntem, genliği değişken çok küçük referans bir sinüs işareti ile, frekansı sinüsten daha büyük olan bir üçgen dalga işaretinin karşılaştırılma esasına dayanır. Bu karşılaştırma daha değişik dalga şekilleri arasında da olabilir. Burada amaç referans işareti ile taşıyıcı işaretin kesişme noktalarını belirlemektir. Eğer tespit edilen bu noktalarda uygun tristörlere tetikleme darbeleri gönderilirse PWM dalga elde edilmiş olur.

Inverter çıkış geriliminin ayarlanmasında etkin olan iki büyüklük vardır. Bunlar,

$$M = \frac{F_c}{F_\delta} \quad (5.8)$$

ve

$$\delta = \frac{E_r}{E_c} \quad (5.9)$$

M : Frekans modülasyon indeksi

F_c : Taşıyıcı sinyalin frekansı

F_δ : Temel frekans

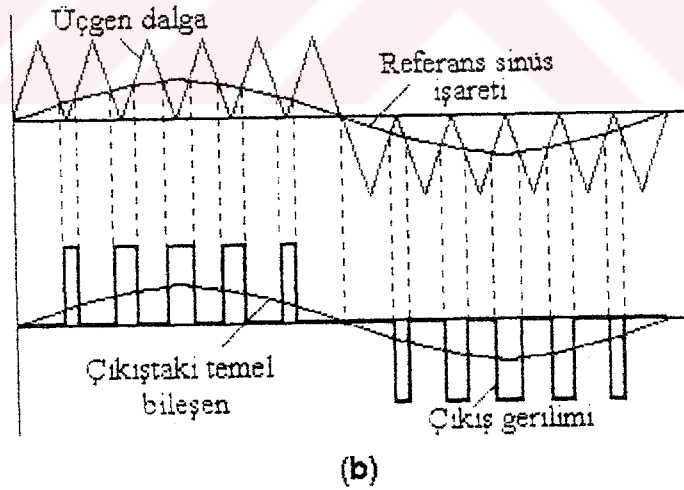
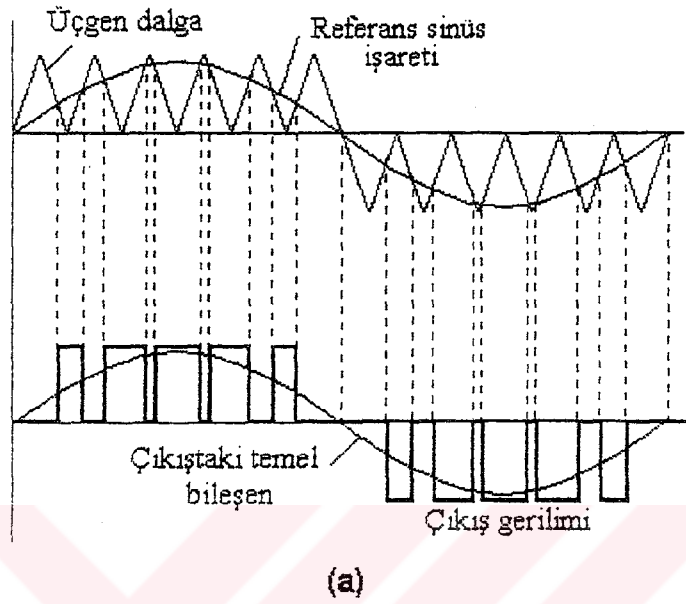
δ : Modülasyon derinliği

E_r : Referans sinyalin genliği

E_c : Taşıyıcı sinyalin genliği

Tanımlanan bu iki parametre PWM kullanılan inverterlerde oldukça önemlidir. Sinüs-üçgen dalga karşılaştırılması yoluyla PWM'in nasıl elde

edildiği Şekil 5.2'de verilmiştir.

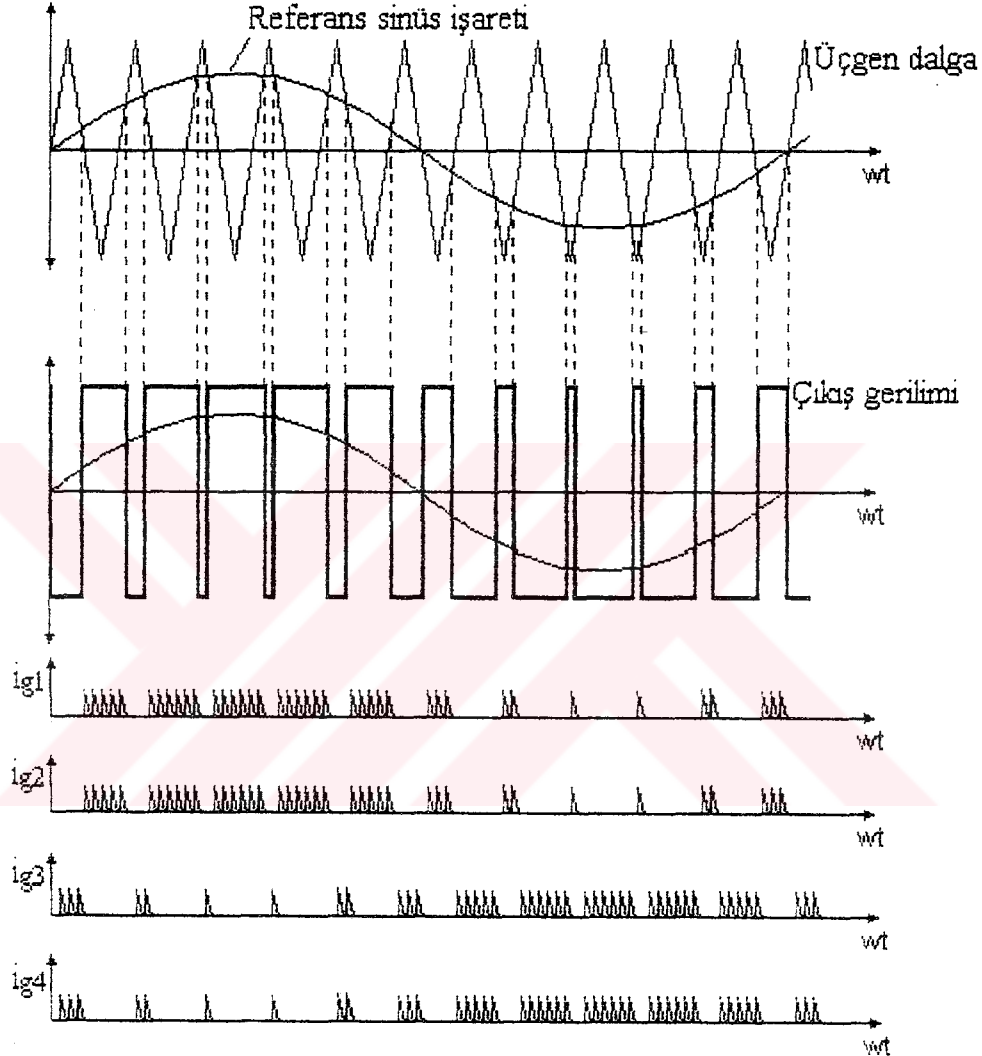


Şekil 5.2 PWM de tetikleme anlarının belirlenmesi

a. Maksimum çıkış gerilimi

b. Referans küçültüldüğünde çıkış gerilimi

Şekillere dikkat edildiğinde şu söylenebilir. Bu tip uygulamanın olduğu inverterlerde referans sinüs dalgasının genliği değiştirilerek inverter çıkış gerilimi ayar edilebilir. Bunun da sebebi, şekilden de görüldüğü gibi referans sinüs dalgasının genliğinin değiştirilmesiyle, üçgen dalga ile kesişme noktalarının değişmesidir. Buna bağlı olarak da darbe genişlikleri ayarlanabilir.



Şekil 5.3 İki seviyeli PWM ve buna ilişkin tetikleme darbeleri

PWM'in elde edilmesinde oldukça fazla kullanılan üçgen-sinüs karşılaştırma yöntemi analog ve sayısal olmak üzere ikiye ayrılır. Analog yöntemde, darbe dizisi üçgen ve sinüs işaretlerinin analog yöntemlerle elde edilip karşılaştırılması ile meydana gelir. Sayısal yöntemlerde ise darbe genişlikleri önceden hesaplanmaktadır.

Çıkış gerilimi genliği modülasyon derinliği ile de değiştirilebilir.

Yöntemin yararı δ değiştirilerek yük regülasyonunun kolayca yapılabilmesidir.

Yöntemin başlıca özellikleri şunlardır :

- Sinüs genliğinin, üçgen genliğine oranı (δ) çıkış işaretinin temel bileşenini belirtmektedir.
- Üçgen işaretinin frekansı, inverterin bir periyotdaki anahtarlama sayısını belirlemektedir.

V.1.2 Değiştirilmiş Darbe Genişlik Modülasyonu

Normal sinüs-üçgen karşılaştırmalı darbe genişlik modülasyonu, taşıyıcı üçgen dalganın her yarım periyodun ilk ve son 60° 'lik kısmına uygulanması ile değiştirilebilir. Bu tip darbe genişlik modülasyonu MSPWM olarak bilinir. Modülasyon yöntemine ilişkin dalga şekilleri Şekil 5.4-te verilmiştir. Bu tip modülasyonda temel bileşen artar ve harmonik bileşenler de iyileştirilir. Anahtarlama sayısı da azaldığından anahtarlama güç kayıpları da azalmış olur.

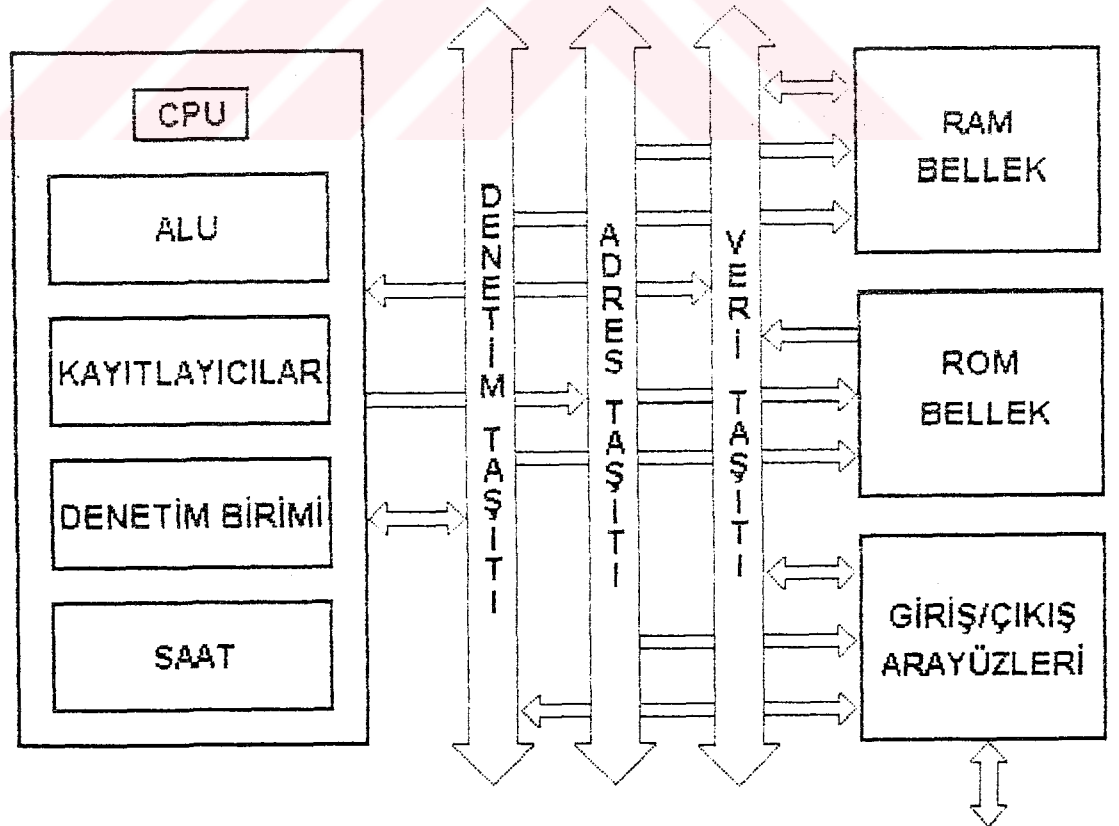
PROG-7 adlı bir bilgisayar programı darbe genişliklerini belirler.

gerçekleştirildiğinden çıkış gerilimi daha ideale yakındır. Bu yöntemle kontrol işlemi de daha kolaydır.

Inverterin çıkış gerilimi ve frekansı gibi özellikleri yazılım değişiklikleri ile ayarlanabilir. Ana yöntem yine üçgen-sinüs karşılaştırması yöntemidir. Ancak burada bu dalgaların fiziksel olarak bulunmamasına karşın kesişme noktaları mikroişlemci tarafından hesaplanarak belge yazılır ve kullanılır. Kesişme noktaları genellikle 1/4 periyot için hesaplanır ve bu darbelerin simetrisi bulunur.

V.1.3.1 Mikrobilgisayarların Temel Yapısı

Bir mikrobilgisayar Şekil 5.4'te gösterildiği gibi, çeşitli büyük çapta tümleşik (LSI) ve çok büyük çapta tümleşik (VLSI) devrelerin, taşıt (bus) adı verilen çeşitli yollar üzerinden birbirleriyle bağlanması ile oluşturulur. Mikrobilgisayarların kalbi mikroişlemci olup, çeşitli aritmetik, mantık ve denetim işlevlerini yerine getirir. Merkezi işlem birimi (CPU; Central Processing Unit) olarak da adlandırılan bu yonga içerisinde Şekil 5.5'te belirtilen çeşitli birimler bulunur.



Şekil 5.5 Mikrobilgisayarların temel yapısı

ÇEVRE BİRİMLERİ

* Aritmetik Mantık Birimi (ALU: Arithmetic Logic Unit): Veri üzerinde toplama ve çıkartma gibi aritmetik işlemlerle mantık işlemlerinin gerçekleştirildiği birimdir. Bütün bilgisayarlarda olduğu gibi burada da veriler ikili tabana göre birler ve sıfırlarla simgelenir. Bu birler ve sıfırların herbirine bit adı verilir. Dört bitten oluşan bir grup bayt (bite) sekiz bitten oluşan bir grup sözcük (byte) olarak adlandırılır.

* Sayaçlar (registers): Mikroişlemci içinde veriler üzerinde işlemler yapılırken, bunların kısa bir süre için de olsa, bir yerde saklanmaları gerekir. Bunun için çeşitli sayaçlar kullanılır. Dış belleklerle CPU arasındaki veri alış-verişi de bu birimler üzerinden gerçekleşir. Bazı sayaçlar özel amaçlarla kullanılırlar. Örneğin veri alış-verişi yapılacak belleğin adresinin saklandığı yere adres sayacı (memory address register), komutların saklandığı yere komut sayacı (instruction register) özel adları verilir. Bir başka sayaç ise program sayıcısı (program counter) olarak bilinir ve yerine getirilecek bir sonraki komutun adresini içerir.

* Denetim Birimi: Mikroişlemci içinde işlemlerin istenilen şekilde ve sırada yapılmasını sağlayan birimdir. Gerekli denetim işaretlerini üretir ve gerekli birimlere gönderir.

* Saat: Mikroişlemcinin çalışma hızını belirler ve çeşitli işlemler için bir dayanak noktası oluşturur.

Bir bilgisayarın oluşturulabilmesi için gerekli ilk dış birim veri ve komutların saklanabileceği bir bellek olup, rastgele erişimli bellek (RAM: Randam Access Memory) ve salt okunur bellek (ROM: Read Only Mem.) olmak üzere iki genel türü vardır. Salt okunur bellekteki bilgiler, devamlı olarak saklı olup, değiştirilemez veya silinemezler. Burada mikroişlemcinin istenilen şekilde çalışmasını sağlayacak temel bir program saklıdır. Ayrıca çeşitli sabitler ve başvurma tabloları da burada yer alır. Bu bilgiler imalat sırasında yerleştirilir.

Rastgele erişimli belleğe veri, CPU'nun denetimi altında yazılabilir veya okunabilir. Programın yürütülmesi sırasında elde edilen değişkenler burada saklanır ve gerektiğinde okunarak CPU içine alınır.

Giriş/Çıkış birimleri mikroişlemci ile dış dünya arasındaki ilişkiyi sağlar. Mikrobilgisayarlara dışarıdan gelen bilgiler bu birimler aracılığı ile ALU'ya aktarılır. Bu bilgilerin işlendikten sonra dışarıya verilmesi de bu yolla olur.

Şekil 5.5'te gösterilen taşıtlar mikrobilgisayarların çeşitli birimleri arasındaki iletişimi sağlar. Adres bilgileri, adres taşıtı, veri ve komutlar veri, taşıtı, denetim işaretleri de denetim taşıtı ile iletilir.

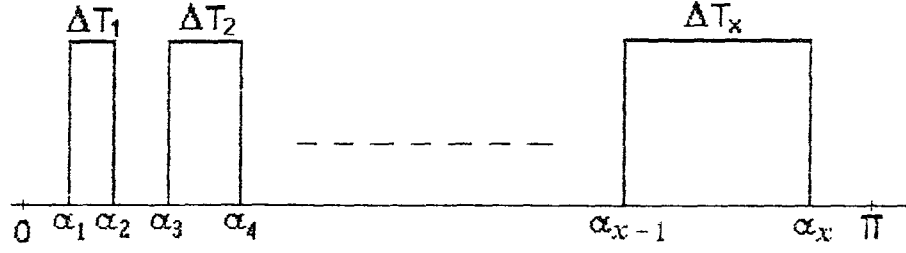
Özetlemek gerekirse bir mikrobilgisayar yukarıda açıklanan bir mikroişlemci (CPU) ile bellek ve giriş/çıkış birimlerinin taşıtlarla birleştirilmesi ile oluşturulur. Günümüzde bellek ve giriş/çıkış birimlerinin tek yonga üzerinde birleştirildiği çok bacaklı bir entegre devre görünümündeki mikrobilgisayarlar da üretilmektedir.

Mikrobilgisayarların yukarıda tanıtılan elektronik birimlerinin tümüne birden donanım (hardware) adı verilir. Bilgisayarların istenilen işlevleri yerine getirebilmesi için birtakım komutlara ihtiyacı vardır. Bu komutları içeren yazılımlara (software) program denir. Mikrobilgisayarlar diğer bilgisayarlar gibi yalnız sıfır ve birlerden oluşan makina dilini anlayabilirler. Bu yüzden kolay yazım için çevirici dillerine (assembly language) ihtiyaç vardır. Bu şekilde program yazımında sıfırlar ve birler yerine simgesel kodlar kullanılır. Bu programla amaca göre tekrar tekrar düzenlenebilir.

V.1.4 PWM İçin Harmonik Analizi

PWM ile çalışan bir inverterde, çıkıştaki harmonik oranının darbe sayısına ve açılara ne kadar bağımlı olduğu ancak yapılan bir harmonik analizi ile anlaşılabilir. Aşağıda tek fazlı bir inverter için bu hesaplar ele alınmıştır.

Burada olay $\pi/2$ için incelenmiş ve (5.7) ifadesiyle hesaplanan darbe süreleri, taşıyıcı işaretlerin ortasına yerleştirilmiştir. Böylece çeyrek dalga simetrisi sağlanmış olur. Şekil 5.6'deki darbe şekillerinin Fourier analizi, çıkış gerilimi hakkında bazı bilgiler verir.



Şekil 5.6 PWM ile çıkış gerilimi

Çıkış gerilimi,

$$V_o = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \sin n\omega t + b_n \cos n\omega t) \quad (5.10)$$

çeyrek dalga simetrisinden dolayı $\frac{a_0}{2} = 0$ ve $b_n = 0$ dır.

ayrıca n'in çift değerleri de toplamda bulunmaz. Böylece (5.10) ifadesi basitleştirilerek

$$V_o = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin n\omega t \quad n = 1, 3, 5, \dots \quad (5.11)$$

burada ,

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(\omega t) \sin n\omega t \cdot d\omega t$$

$$a_n = \frac{2}{\pi/2} \int_0^{\pi/2} f(\omega t) \sin n\omega t \cdot d\omega t$$

$$a_n = \frac{4V_{DC}}{\pi} \left[\int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin n\omega t \cdot d\omega t + \int_{\alpha_3}^{\alpha_4} \sin n\omega t \cdot d\omega t + \dots + \int_{\alpha_{x-1}}^{\alpha_x} \sin n\omega t \cdot d\omega t \right]$$

$$a_n = \frac{4V_{DC}}{\pi n} \sum_{i=1}^{x-1} (\cos n\alpha_i - \cos n\alpha_{i+1}) \quad (5.12)$$

darbe sayısını açı olarak, $\delta_i = \omega \cdot \Delta T$ belirtirsek (5.13)

$$a_n = \frac{4V_{DC}}{\pi n} \sum_{i=1}^{x-1} [\cos n\alpha_i - \cos n(\alpha_i + \delta_i)] \quad (5.14)$$

elde edilir. Böylece çıkış gerilimi,

$$V_o = \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{4V_{DC}}{\pi n} \sum_{i=1}^{x-1} [\cos n\alpha_i - \cos n(\alpha_i + \delta_i)] \sin n\omega t \right] \quad (5.15)$$

(5.15) ifadesi, çıkış geriliminde temel bileşenin tek katları olan harmoniklerin bulunduğunu göstermektedir.

V.2 AC Filtreler

Filtreler, girişten çıkışa geçen harmonik bileşenlerini azaltmayı amaçlar. Çeviriciler, bilindiği gibi yük için uygun olmayan büyüklükte olabilen harmonikler üretir.

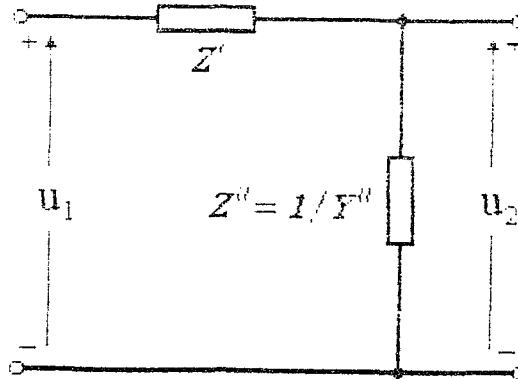
Güç elektroniğinde çeviricilerden yüksek verimlilik istenir. Bu yüzden filtreler de yüksek verimli olmalıdır. Filtrenin kaybı mümkün olduğu kadar düşük tutulmalıdır.

V.2.1 Gerilim Filtresi

Inverter çıkış gerilimleri daha önce belirtildiği gibi genelde darbe genişlik modülasyonludur. Bu dalga şekillerindeki harmonik bileşenlerini azaltmak için, diğer bir ifade ile (yaklaşık) sinüsoidal yapmak için inverterden sonra dalga bir filtreden geçirilmelidir.

Bağıl harmonik miktarı, %10'dan daha az ise çıkış gerilimi genelde sinüsoidal olarak adlandırılır. Bu oran KGK için %1 ile %3 arasındadır.

Şekil 5.7'de gösterilen filtre, bir seri empedans Z' ve bir paralel empedans $Z''=1/Y''$ den oluşur. Burada Y'' , paralel kolun admitansdır. Giriş gerilimi U_1 'in sinüsoidal olmayan bir gerilim olduğu farz edilirse; U_2 , filtre edilmiş çıkış gerilimidir.



Şekil 5.7 AC Gerilim Filtresi

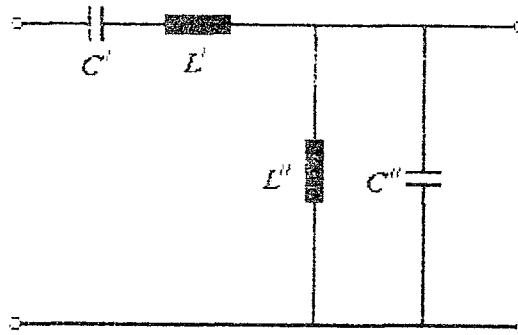
Filtre, aşağıdaki faktör ile n. harmoniği azaltan bir gerilim bölücü nazarı ile görülebilir.

$$f(n) = \left| \frac{U_2(n)}{U_1(n)} \right| = \left| \frac{Z''(n)}{Z''(n) + Z'(n)} \right| = \left| \frac{1}{1 + Z'(n) \cdot Y''(n)} \right| \quad (5.16)$$

İyi bir AC filtre, temel bileşende düşük bir azalmaya sahiptir. Yani $f(1)$, yaklaşık olarak 1'dir. $n > 1$ için $f(n)$ 'in düşük bir değerine karşılık düşen harmoniklerin yüksek oranda azalması söz konusudur. Harmoniklerin rms (efektif) değerleri önemli olup faz pozisyonları nisbeten az nem taşır.

V.2.1.1 Seri-Paralel Rezonans Filtresi

Şekil 5.8'deki seri-paralel rezonans filtresi, temel bileşenin düşük ve harmoniklerinde yüksek oranda azaltılması şartını sağlar. Paralel ve seri kolların her ikisinde temel frekansta rezonans için uygun seçilir.



Şekil 5.8 Seri-paralel rezonans filtresi

Hesaplamalarda bütün kayıplar ihmal ve filtrenin açık devre olduğu kabul edilir. Bu tip filtre için kayıplar ve yük, genelde çıkış geriliminin harmonik miktarı üzerinde küçük bir etkiye sahiptir.

$$\begin{aligned} \text{Örneğin } L'w &= \frac{1}{C'w} = X' \\ &\text{ve} \\ C''w &= \frac{1}{L''w} = Y'' \end{aligned}$$

(5.17)

n. harmonik için;

$$\left. \begin{aligned} Z'(n) &= jL'(nw) - j \frac{1}{C'(nw)} = jX' \left(n - \frac{1}{n} \right) \\ Y''(n) &= jC''(nw) - j \frac{1}{L''(nw)} = jY'' \left(n - \frac{1}{n} \right) \end{aligned} \right\}$$

(5.18)

(5.18) ifade çifti (5.16)'da yerine yazılırsa;

$$\begin{aligned} f(n) &= \left| \frac{1}{1 + jX' \left[n - \left(\frac{1}{n} \right) \right] \cdot jY'' \left[n - \left(\frac{1}{n} \right) \right]} \right| \\ &= \left| \frac{1}{1 - \left[n - \left(\frac{1}{n} \right) \right]^2 X' Y''} \right| \end{aligned}$$

(5.19)

elde edilir.

Bu ifade gösterir ki, $f(1)=1$ ve n 'in yüksek değerleri için $f(n)=1/(X'Y'')$. $1/n^2$ dir. Yani harmonikler n^2 ile ters orantılı olarak azaltılır.

n 'in belirli bir değeri için ifadenin paydası sıfır olur ve $f(n)$, ∞ olur. Bu değer;

$$1 - \left[n - \left(\frac{1}{n} \right) \right]^2 X' Y'' = 0$$

$$n = \frac{1}{2} \left[\sqrt{\frac{1}{X' Y''}} + \sqrt{\frac{1}{X' Y''} + 4} \right]$$

(5.20)

Bu rezonans frekansı civarında giriş gerilimi harmonikleri yükseltir. Bu sebeple rezonans frekansı oluşan en düşük harmonik geriliminin frekansından daha düşük seçilmelidir.

V.2.1.2 Seri Kondansatörsüz Filtre

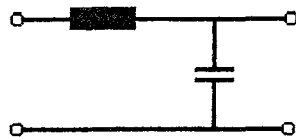
Seri-paralel rezonans filtresi, temel bileşenin stabilitesi bakımından avantajlıdır. Bununla beraber seri kapasitörlü filtreler, yük endüksiyon motoru ihtiva ediyorsa stabilite problemleri ortaya çıkar. Bu yüzden bu tip filtreler böyle yükler için uygun değildir.

Seri kapasitör kalktığında seri empedansta bir azalma olacağı açıktır. Böyle düşük seri empedanslı bir filtre yüksek bir 3. harmonik içeren giriş gerilimi için kullanılması uygun olmaz. Bu çeşit filtre genelde fazlararası gerilimde 3. harmonik içermeyen üç fazlı dengeli sistemlerde veya 3. harmoniği elimine edilmiş tek fazlı sistemlerde kullanılabilir.

Yüke göre temel çıkış geriliminin değişimi, vektör diyagramlarından hesaplanabilir. Burada çıkış gerilimi ve çıkış akımını baz alan bir pu (per unit) sistem kullanmak uygun olur. Giriş gerilimi 1'e eşit olacak şekilde sabit çıkış gerilimi hesaplanır. Çıkış gerilimini sabit tutmak için giriş gerilimi inverterin kontrolü ile ayarlanabilir. Bu kontrol DC kaynaktaki gerilim düşüklüğünü de elimine eder.

Çıkış geriliminin harmonik muhteviyatı da aynı şekilde hesaplanır.

Aşağıdaki basit alçak geçiren filtre, temel frekansta w^2LC 'nin aşırı derecede büyük olmadığı durumlarda yeterlidir. Yük direncinin sonsuza gittiği durumda, filtrenin çıkış geriliminin giriş gerilimine oranı;



$$\frac{1/wC}{wL - 1/wC} = \frac{1}{w^2LC - 1}$$

(5.21)

dir.

Seri rezonans kollu filtrede; seri kol, temel frekansta sıfır empedans gösterir fakat daha yüksek harmoniklerde empedans artar. Paralel kol, temel frekansta sonsuz empedans gösterir fakat daha yüksek frekanslarda empedans azalır.

Temel frekansı

$$\omega_0 = 1/\sqrt{1/L_1' C_1'} = 1/\sqrt{1/L_2'' C_2''} \quad (5.22)$$

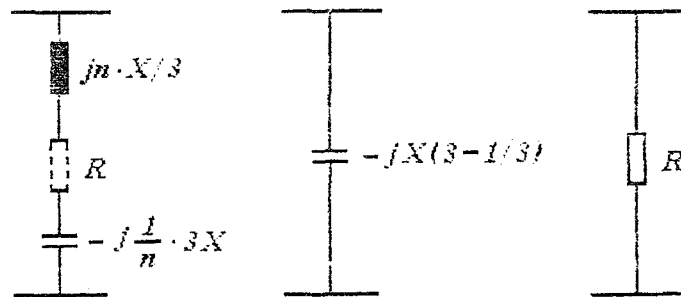
olup, $C_1' = A \cdot C_2''$ ve $L_1' = A \cdot L_2''$ yapılırsa ve n. harmonik için $\omega = n\omega_0$ alınarak, açık devreli yük durumunda n. harmonik bileşeni için oran,

$$\frac{V_{\text{çıkış}}}{V_{\text{giriş}}} = \frac{1}{1 - \frac{1}{A} \left(n - \frac{1}{n} \right)^2} \quad (5.23)$$

dır.

V.2.1.3 Kısa Devre Linki

Bir DC veya AC filtrenin çıkışından gelen bir harmonik azaltmak için çıkışın uçlarına kısa devre linki sokulmalıdır. Şekil 5.9 belirli bir harmonik için ayarlanmış olan filtrenin bir başka harmonik için eşdeğerini gösterir. Burada örnek olarak 3. harmonik seçilmiştir. Link bir C



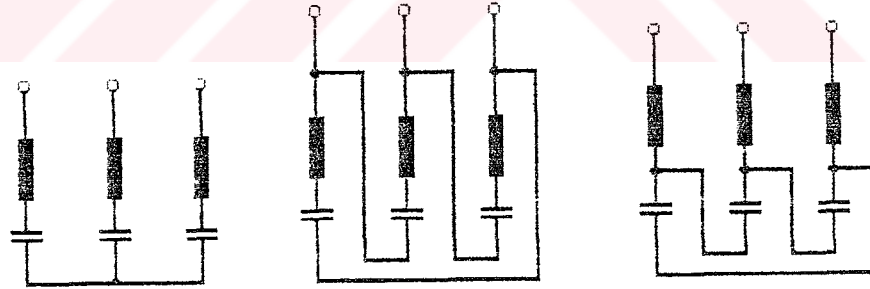
Şekil 5.9 Kısa devre linki

kondansatörü ile seri bağlanmış L indüktöründen oluşur, (C ve L, 3. harmonik için rezonanstadır). Seri bağlı R direnci (3.'den başka bütün harmonikler için ihmal edilebilir) devredeki toplam kaybı gösterir.

Pratikte bir filtre, devre elemanlarının toleransı, sıcaklık değişimleri, eskime ve frekans değişimleri gibi faktörlere bağlı olarak istenen değere tam olarak ayarlanamaz. Bu yüzden yük endüktif ise rezonans frekansından biraz daha düşük bir frekansta ayar yapılması tercih edilir. Eğer yük kapasitif karakterli ise filtre frekansı yüksek tutulmalıdır.

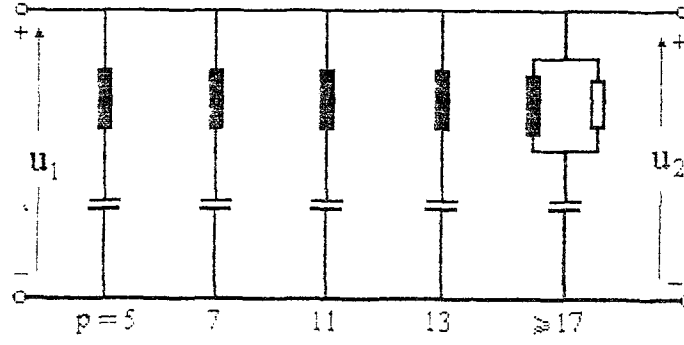
V.2.2 Akım Filtreleri

Bir akım filtresi konvertörün çeşitli karakteristik harmonik frekanslarına ayarlı, bir çok LC paralel linklerinden oluşur. üç fazlı linkler için kullanılan çeşitli bağlantı şekilleri Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10 Üç fazlı filtre düzenlemeleri

Şekil 5.11'da ise en düşük harmonikler için kullanılan bir kısa devre linkli filtre örneği verilmiştir. 17. harmonik için ayarlı link hattı indüktöre paralel bağlı direnç nedeniyle daha yüksek derecedeli harmoniklere düşük empedanslı bir geçiş yolu sağlar.



Şekil 5.11 Düşük harmonikler için kısa devre linkli filtre

7. harmonikten daha yüksek dereceli harmonikten sonraki harmonik bileşenler için filtrelerin etkisi genel olarak azdır. Bu sebeple altı darbeli bir konvertörde en etkili harmonik 11. harmonik olacaktır. Son paralel linke bağlanan paralel direnç tercihan rezonans frekansındaki endüktörün empedansına eşit olacak şekilde seçilir.

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında sonuç olarak kesintisiz güç kaynaklarının gerekliliği anlaşılmıştır. Hastanelerde, telefon santrallerinde, bilgisayarların kullanıldığı yerlerde bu sistemler büyük önem taşır. Kesintisiz güç kaynaklarının olmamasından dolayı gelebilecek zararlar KGK sisteminin maliyetinden çok daha fazla olabilmektedir.

KGK sistemlerinde kalite ve verimlilik sağlamak için üzerinde durulması gereken en önemli kısım sistemin inverteridir. Sinüsoidal dalga formu elde etmek için kullanılacak yöntem sistemin performansını büyük ölçüde etkileyecektir. Bu konuda en avantajlı yöntem olarak Mikroişlemci Kontrollü Darbe Genişlik Modülasyonu gösterilebilir. Son zamanlarda gerçekleştirilen sistemlerde bu yöntem üzerinde durulmaktadır. Yarıiletken eleman olarak daha çok MOSFET'ler kullanılır. Bu elemanlarla oldukça kaliteli, düşük harmonikli ve dolayısıyla verimli sistemler oluşturulabilmektedir.

KAYNAKLAR

- 1 - ADAMS, R.D. and FOX, R.S. Several Modulations Techniques Of PWM Inverter IEEE 1970 pp 687-695
- 2 - B.D. Bedford, Principles Of Inverter Circuit 1964
- 3 - Prof. CSAKI, F. Power Electronics, Akademiai Kiado Budapest 1975
- 4 - Prof. Yük. Müh. Remzi GLGN Gc Elektronikine Giriş 1990
- 5 - Prof. Yük. Müh. Remzi GLGN Gc Elektronikine Yüksek Lisans Ders Notları
- 6 - Prof. M. Okyay KAYNAK Gc Elektronikine 1988
- 7 - MAZDA, FF. Thyristor Control (Newnes-Butterworths London 1973
- 8 - MOKRYTZKI, B. Pulse Width Modulated Inverters For AC Motor Drives IEEE Trans., 1967 pp 493-503
- 9 - PATEL, H.S. and HOFT, R.G. Generalized Techniques of Harmonic Elimination And Voltage Control In Thyristor Inverters IEEE Trans, 1973 IA 9 pp 310-317
- 10 - POLLACK, JJ. Advanced Pulse Width Modulated Inverter Techniques Ibid 1972 IA 8 pp 145-154
- 11 - RASHID M. Power Electronics 1991
- 12 - Raymond RAMSHAW Power Electronics Thyristor Controlled Power For Electric Motors 1978
- 13 - Philips Electronic Components And Materials (Technical Publication)
- 14 - Siemens Power Supplies In Communications Engineering 1988

- 15 - Electrical Machines And Power Systems 1985
- 16 - Power Electronics Mc Graw-Hill Book Company (UK) 1981
- 17 - IEEE Transactions On Industry Applications Vol JA 13 No:4
July/August 1977
- 18 - SCR Manual General Electric Company USA 1972
- 19 - BBC Katologları



EK 1 TÜRKİYE PAZARINDAKİ BAZI KGK'LAR

Marka	: 3S	Marka	: 3S
Model	: 501	Model	: 1001
Gücü	: 500 VA	Gücü	: 1000 VA
Çalışma Şekli	: On Line	Çalışma Şekli	: On Line
Boyutları	: 21x43x40cm	Boyutları	: 21x43x40cm
Regüle Özelliği	: Var	Regüle Özelliği	: Var
Bilgisayar İrtibatı	: Yok	Bilgisayar İrtibatı	: Yok
Yazılım	: Yok	Yazılım	: Yok
Uyduğu Standartlar	: TSEK	Uyduğu Standartlar	: TSEK
Üretici Şirket	: 3S	Üretici Şirket	: 3S
Bilgi İçin	: 3S	Bilgi İçin	: 3S
	0212 2726880		0212 2726880
Liste Fiyatı	: 1350 DM	Liste Fiyatı	: 1450 DM
	(Aküsüz)		(Aküsüz)

Marka	: EGES	Marka	: EGES
Model	: DTC 600-11	Model	: DTC 1000-11
Gücü	: 600 VA	Gücü	: 1000 VA
Çalışma Şekli	: On Line	Çalışma Şekli	: On Line
Boyutları	: 23x46x54cm	Boyutları	: 23x70x68cm
Regüle Özelliği	: 220 ±%1	Regüle Özelliği	: 220 ±%1
Bilgisayar İrtibatı	: Var	Bilgisayar İrtibatı	: Var
Yazılım	: Opsiyon	Yazılım	: Opsiyon
Uyduğu Standartlar	: TSEK,DIN,VDE	Uyduğu Standartlar	: TSEK,DIN,VDE
Üretici Şirket	: Eges	Üretici Şirket	: Eges
Bilgi İçin	: Eges	Bilgi İçin	: Eges
	0212 2647258		0212 2647258
Liste Fiyatı	: 2000 DM	Liste Fiyatı	: 2500 DM

Marka	: EGES	Marka	: EGES
Model	: DTC 2000-11	Model	: DTC 3000-11
Gücü	: 2000 VA	Gücü	: 3000 VA
Çalışma Şekli	: On Line	Çalışma Şekli	: On Line
Boyutları	: 23x70x68cm	Boyutları	: 28x81x76cm
Regüle Özelliği	: 220 $\pm$ %1	Regüle Özelliği	: 220 $\pm$ %1
Bilgisayar İrtibatı	: Var	Bilgisayar İrtibatı	: Var
Yazılım	: Opsiyon	Yazılım	: Opsiyon
Uyduğu Standartlar	: TSEK, DIN, VDE	Uyduğu Standartlar	: TSEK, DIN, VDE
Üretici Şirket	: Eges	Üretici Şirket	: Eges
Bilgi için	: Eges	Bilgi için	: Eges
	0212 2647258		0212 2647258
Liste Fiyatı	: 4250 DM	Liste Fiyatı	: 5500 DM

Marka	: EGES	Marka	: EGES
Model	: DTC 5000-11	Model	: DTC 10K-31
Gücü	: 5000 VA	Gücü	: 10000 VA
Çalışma Şekli	: On Line	Çalışma Şekli	: On Line
Boyutları	: 41x87x81cm	Boyutları	: 45x128x87cm
Regüle Özelliği	: 220 $\pm$ %1	Regüle Özelliği	: 220 $\pm$ %1
Bilgisayar İrtibatı	: Var	Bilgisayar İrtibatı	: Var
Yazılım	: Opsiyon	Yazılım	: Opsiyon
Uyduğu Standartlar	: TSEK, DIN, VDE	Uyduğu Standartlar	: TSEK, DIN, VDE
Üretici Şirket	: Eges	Üretici Şirket	: Eges
Bilgi için	: Eges	Bilgi için	: Eges
	0212 2647258		0212 2647258
Liste Fiyatı	: 9130 DM	Liste Fiyatı	: 15800 DM

Marka	: EGES	Marka	: EGES
Model	: DTC 15K-31	Model	: DTC 20K-31
Gücü	: 15000 VA	Gücü	: 20000 VA
Çalışma Şekli	: On Line	Çalışma Şekli	: On Line
Boyutları	: 45x128x100cm	Boyutları	: 45x128x100cm
Regüle Özelliği	: 220 $\pm$ %1	Regüle Özelliği	: 220 $\pm$ %1
Bilgisayar İrtibatı	: Var	Bilgisayar İrtibatı	: Var
Yazılım	: Opsiyon	Yazılım	: Opsiyon
Uyduğu Standartlar	: TSEK, DIN, VDE	Uyduğu Standartlar	: TSEK, DIN, VDE
Üretici Şirket	: Eges	Üretici Şirket	: Eges
Bilgi İçin	: Eges	Bilgi İçin	: Eges
	0212 2647258		0212 2647258
Liste Fiyatı	: 23540 DM	Liste Fiyatı	: 28405 DM

Marka	: EGES	Marka	: EGES
Model	: DTC 30K-31	Model	: DTC 10K-33
Gücü	: 30000 VA	Gücü	: 10000 VA
Çalışma Şekli	: On Line	Çalışma Şekli	: On Line
Boyutları	: 55x160x100cm	Boyutları	: 45x128x87cm
Regüle Özelliği	: 220 $\pm$ %1	Regüle Özelliği	: 220 $\pm$ %1
Bilgisayar İrtibatı	: Var	Bilgisayar İrtibatı	: Var
Yazılım	: Opsiyon	Yazılım	: Opsiyon
Uyduğu Standartlar	: TSEK, DIN, VDE	Uyduğu Standartlar	: TSEK, DIN, VDE
Üretici Şirket	: Eges	Üretici Şirket	: Eges
Bilgi İçin	: Eges	Bilgi İçin	: Eges
	0212 2647258		0212 2647258
Liste Fiyatı	: 31500 DM	Liste Fiyatı	: 18450 DM

Marka	: EGES	Marka	: EGES
Model	: DTC 15K-33	Model	: DTC 20K-33
Gücü	: 15000 VA	Gücü	: 20000 VA
Çalışma Şekli	: On Line	Çalışma Şekli	: On Line
Boyutları	: 45x128x100cm	Boyutları	: 45x128x100cm
Regüle Özelliği	: 220 ±%1	Regüle Özelliği	: 220 ±%1
Bilgisayar İrtibatı	: Var	Bilgisayar İrtibatı	: Var
Yazılım	: Opsiyon	Yazılım	: Opsiyon
Uyduğu Standartlar	: TSEK,DIN,VDE	Uyduğu Standartlar	: TSEK,DIN,VDE
Üretici Şirket	: Eges	Üretici Şirket	: Eges
Bilgi İçin	: Eges	Bilgi İçin	: Eges
	0212 2647258		0212 2647258
Liste Fiyatı	: 24265 DM	Liste Fiyatı	: 32375 DM

Marka	: EGES	Marka	: EGES
Model	: DTC 30K-33	Model	: DTC 60K-33
Gücü	: 30000 VA	Gücü	: 60000 VA
Çalışma Şekli	: On Line	Çalışma Şekli	: On Line
Boyutları	: 55x160x100cm	Boyutları	: 60x155x100cm
Regüle Özelliği	: 220 ±%1	Regüle Özelliği	: 220 ±%1
Bilgisayar İrtibatı	: Var	Bilgisayar İrtibatı	: Var
Yazılım	: Opsiyon	Yazılım	: Opsiyon
Uyduğu Standartlar	: TSEK,DIN,VDE	Uyduğu Standartlar	: TSEK,DIN,VDE
Üretici Şirket	: Eges	Üretici Şirket	: Eges
Bilgi İçin	: Eges	Bilgi İçin	: Eges
	0212 2647258		0212 2647258
Liste Fiyatı	: 35500 DM	Liste Fiyatı	: 59500 DM

Marka	: EKA	Marka	: EKA
Model	: ComPower-40	Model	: ComPower-60
Gücü	: 400 VA	Gücü	: 600 VA
Çalışma Şekli	: Interactive	Çalışma Şekli	: Interactive
Boyutları	: 10x15x40cm	Boyutları	: 14x21x38cm
Regüle Özelliği	: Var	Regüle Özelliği	: Var
Bilgisayar İrtibatı	: Opsiyonel	Bilgisayar İrtibatı	: Opsiyonel
Yazılım	: Yok	Yazılım	: Yok
Uyduğu Standartlar	: TSEK, IEC, VDE	Uyduğu Standartlar	: TSEK, IEC, VDE
Üretici Şirket	: Eka	Üretici Şirket	: Eka
Bilgi için	: Eka	Bilgi için	: Eka
	0212 2842540		0212 2842540
Liste Fiyatı	: 550 USD	Liste Fiyatı	: 625 USD

Marka	: EKA	Marka	: EKA
Model	: ComPower-90	Model	: ComPower-140
Gücü	: 900 VA	Gücü	: 1400 VA
Çalışma Şekli	: Interactive	Çalışma Şekli	: Interactive
Boyutları	: 18x26x39cm	Boyutları	: 18x26x39cm
Regüle Özelliği	: Var	Regüle Özelliği	: Var
Bilgisayar İrtibatı	: Opsiyonel	Bilgisayar İrtibatı	: Opsiyonel
Yazılım	: Yok	Yazılım	: Yok
Uyduğu Standartlar	: TSEK, IEC, VDE	Uyduğu Standartlar	: TSEK, IEC, VDE
Üretici Şirket	: Eka	Üretici Şirket	: Eka
Bilgi için	: Eka	Bilgi için	: Eka
	0212 2842540		0212 2842540
Liste Fiyatı	: 1095 USD	Liste Fiyatı	: 1450 USD

Marka	: EKA	Marka	: EKA
Model	: ComPower-200	Model	: NetPower 3
Gücü	: 2000 VA	Gücü	: 3000 VA
Çalışma Şekli	: Interactive	Çalışma Şekli	: On Line
Boyutları	: 14x48x45cm	Boyutları	: 26x53x55cm
Regüle Özelliği	: Var	Regüle Özelliği	: Var
Bilgisayar İrtibatı	: Opsiyonel	Bilgisayar İrtibatı	: Opsiyonel
Yazılım	: Yok	Yazılım	: Yok
Uyduğu Standartlar	: TSEK, IEC, VDE	Uyduğu Standartlar	: TSEK, IEC
Üretici Şirket	: Eka	Üretici Şirket	: Eka
Bilgi İçin	: Eka	Bilgi İçin	: Eka
	0212 2842540		0212 2842540
Liste Fiyatı	: 2280 USD	Liste Fiyatı	: 3100 USD (Aküsüz)

Marka	: EKA	Marka	: EKA
Model	: NetPower 6	Model	: PowerPro 10
Gücü	: 6000 VA	Gücü	: 10000 VA
Çalışma Şekli	: On Line	Çalışma Şekli	: On Line
Boyutları	: 26x74x55cm	Boyutları	: 45x100x65cm
Regüle Özelliği	: Var	Regüle Özelliği	: Var
Bilgisayar İrtibatı	: Opsiyonel	Bilgisayar İrtibatı	: Opsiyonel
Yazılım	: Yok	Yazılım	: Yok
Uyduğu Standartlar	: TSEK, IEC	Uyduğu Standartlar	: TSEK
Üretici Şirket	: Eka	Üretici Şirket	: Eka
Bilgi İçin	: Eka	Bilgi İçin	: Eka
	0212 2842540		0212 2842540
Liste Fiyatı	: 5500 USD (Aküsüz)	Liste Fiyatı	: 7900 USD (Aküsüz)

Marka	: EKA	Marka	: EKA
Model	: PowerPro 15	Model	: PowerPro 20
Gücü	: 15000 VA	Gücü	: 20000 VA
Çalışma Şekli	: On Line	Çalışma Şekli	: On Line
Boyutları	: 55x100x85cm	Boyutları	: 55x100x85cm
Regüle Özelliği	: Var	Regüle Özelliği	: Var
Bilgisayar İrtibatı	: Opsiyon el	Bilgisayar İrtibatı	: Opsiyonel
Yazılım	: Yok	Yazılım	: Yok
Uyduğu Standartlar	: TSEK	Uyduğu Standartlar	: TSEK
Üretici Şirket	: Eka	Üretici Şirket	: Eka
Bilgi İçin	: Eka	Bilgi İçin	: Eka
	0212 2842540		0212 2842540
Liste Fiyatı	: 12240 USD	Liste Fiyatı	: 14270 USD
	(Aküsüz)		(Aküsüz)

Marka	: EKA	Marka	: EKA
Model	: PowerMas.30	Model	: PowerMas.40
Gücü	: 30000 VA	Gücü	: 40000 VA
Çalışma Şekli	: On Line	Çalışma Şekli	: On Line
Boyutları	: 83x161x71cm	Boyutları	: 83x161x71cm
Regüle Özelliği	: Var	Regüle Özelliği	: Var
Bilgisayar İrtibatı	: Var	Bilgisayar İrtibatı	: Var
Yazılım	: Yok	Yazılım	: Yok
Uyduğu Standartlar	: TSEK, IEC	Uyduğu Standartlar	: TSEK, IEC
Üretici Şirket	: Eka	Üretici Şirket	: Eka
Bilgi İçin	: Eka	Bilgi İçin	: Eka
	0212 2842540		0212 2842540
Liste Fiyatı	: 22900 USD	Liste Fiyatı	: 25190 USD
	(Aküsüz)		(Aküsüz)

Marka	: EKA	Marka	: EKA
Model	: PowerMas.60	Model	: PowerMas.120
Gücü	: 60000 VA	Gücü	: 120000 VA
Çalışma Şekli	: On Line	Çalışma Şekli	: On Line
Boyutları	: 83x161x71cm	Boyutları	: 125x180x80cm
Regüle Özelliği	: Var	Regüle Özelliği	: Var
Bilgisayar İrtibatı	: Var	Bilgisayar İrtibatı	: Var
Yazılım	: Yok	Yazılım	: Yok
Uyduğu Standartlar	: TSEK, IEC	Uyduğu Standartlar	: TSEK, IEC
Üretici Şirket	: Eka	Üretici Şirket	: Eka
Bilgi için	: Eka	Bilgi için	: Eka
	0212 2842540		0212 2842540
Liste Fiyatı	: 27750 USD	Liste Fiyatı	: 38600 USD
	(Aküsüz)		(Aküsüz)

Marka	: SIEMENS	Marka	: SIEMENS
Model	: 40CP05	Model	: 40CP10
Gücü	: 500 VA	Gücü	: 1000 VA
Çalışma Şekli	: On Line	Çalışma Şekli	: On Line
Boyutları	: 15x20x45cm	Boyutları	: 20x27x46cm
Regüle Özelliği	: 220 ±%15	Regüle Özelliği	: 220 ±%15
Bilgisayar İrtibatı	: Var	Bilgisayar İrtibatı	: Var
Yazılım	: Var	Yazılım	: Var Uyduğu
Standartlar	: IEC, VDE	Uyduğu Standartlar	: IEC, VDE
Üretici Şirket	: Siemens	Üretici Şirket	: Siemens
Bilgi için	: Simko	Bilgi için	: Simko
	0212 2647258		0212 2647258
Liste Fiyatı	: 1600 DM	Liste Fiyatı	: 2500 DM

Marka	: SIEMENS	Marka	: SIEMENS
Model	: 40CP20	Model	: 40CP30
Gücü	: 2000 VA	Gücü	: 3000 VA
Çalışma Şekli	: On Line	Çalışma Şekli	: On Line
Boyutları	: 19x46x46cm	Boyutları	: 19x50x53cm
Regüle Özelliği	: 220 ±%15	Regüle Özelliği	: 220 ±%15
Bilgisayar İrtibatı	: Var	Bilgisayar İrtibatı	: Var
Yazılım	: Var	Yazılım	: Var
Uyduğu Standartlar	: IEC,VDE	Uyduğu Standartlar	: IEC,VDE
Üretici Şirket	: Siemens	Üretici Şirket	: Siemens
Bilgi İçin	: Simko	Bilgi İçin	: Simko
	0212 2647258		0212 2647258
Liste Fiyatı	: 4150 DM	Liste Fiyatı	: 6400 DM

Marka	: SIMKO	Marka	: SIMKO
Model	: B4103-S	Model	: B4105-S
Gücü	: 3000 VA	Gücü	: 5000 VA
Çalışma Şekli	: On Line	Çalışma Şekli	: On Line
Boyutları	: 45x90x68cm	Boyutları	: 45x90x68cm
Regüle Özelliği	: 220 ±%15	Regüle Özelliği	: 220 ±%15
Bilgisayar İrtibatı	: Var	Bilgisayar İrtibatı	: Var
Yazılım	: Var	Yazılım	: Var
Uyduğu Standartlar	: TSEK, IEC, VDE	Uyduğu Standartlar	: TSEK, IEC, VDE
Üretici Şirket	: Simko	Üretici Şirket	: Simko
Bilgi İçin	: Simko	Bilgi İçin	: Simko
	0212 2647258		0212 2647258
Liste Fiyatı	: 9540 DM	Liste Fiyatı	: 10460 DM

Marka	: SIMKO	Marka	: SIMKO
Model	: B4110-EBF	Model	: B4120-EBF
Gücü	: 10000 VA	Gücü	: 20000 VA
Çalışma Şekli	: On Line	Çalışma Şekli	: On Line
Boyutları	: 66x70x110cm	Boyutları	: 66x70x110cm
Regüle Özelliği	: 220 $\pm$ %15	Regüle Özelliği	: 220 $\pm$ %15
Bilgisayar İrtibatı	: Var	Bilgisayar İrtibatı	: Var
Yazılım	: Var	Yazılım	: Var
Uyduğu Standartlar	: TSEK, IEC, VDE	Uyduğu Standartlar	: TSEK, IEC, VDE
Üretici Şirket	: Simko	Üretici Şirket	: Simko
Bilgi İçin	: Simko	Bilgi İçin	: Simko
	0212 2647258		0212 2647258
Liste Fiyatı	: 24100 DM	Liste Fiyatı	: 31600 DM

Marka	: SIMKO
Model	: B4130-EBF
Gücü	: 30000 VA
Çalışma Şekli	: On Line
Boyutları	: 66x70x110cm
Regüle Özelliği	: 220 $\pm$ %15
Bilgisayar İrtibatı	: Var
Yazılım	: Var
Uyduğu Standartlar	: TSEK, IEC, VDE
Üretici Şirket	: Simko
Bilgi İçin	: Simko
	0212 2647258
Liste Fiyatı	: 38400 DM

ÖZGEÇMİŞ

ADI : Suat
SOYADI : SEVİL
BABA ADI : ÜZEYİR
ANA ADI : ÜLFET
DOĞUM YERİ ve TARİHİ : İSTANBUL 1971

MEZUN OLDUĞU OKULLAR

İLKOKUL : ZEYNEPKAMİL İLKOKULU (ÜSKÜDAR)
ORTAOKUL : HAYDARPAŞA LİSESİ (ÜSKÜDAR)
LİSE : HAYDARPAŞA ENDÜSTRİ MESLEK LİSESİ ELEKTRİK BÖLÜMÜ
(ÜSKÜDAR)
ÜNİVERSİTE : YILDIZ ÜNİVERSİTESİ (BEŞİKTAŞ)

Halen Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde
yüksek lisans tezini sunmakta.