

T.C
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**UZAY VEKTÖR PWM KONTROLLÜ TEK FAZLI
KESİNTİSİZ GÜÇ KAYNAĞININ
TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

Hüseyin DOĞAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK- ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
Konya, 2006

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

UZAY VEKTÖR PWM KONTROLLÜ TEK FAZLI KESİNTİSİZ GÜÇ KAYNAĞININ TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Hüseyin DOĞAN

Selçuk Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Yrd.Doç.Dr.Ramazan AKKAYA
2006, 88 Sayfa

Jüri : Yrd.Doç.Dr.Abdullah ÜRKMEZ
Yrd.Doç.Dr.Ramazan AKKAYA
Yrd.Doç.Dr.Salih GÜNEŞ

Bu çalışmada, uzay vektör PWM kontrollü tek fazlı bir kesintisiz güç kaynağı (KGK) tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sistemde, diğer KGK yapılarına göre birçok avantajı bulunan hat etkileşim prensibi tercih edilmiştir. Bu prensipte, KGK'ya bağlanan hassas yük, normal çalışmada şebekeden, herhangi bir gerilim bozukluğu anında ise aküden beslenmektedir. Yük şebekeden beslenirken aynı zamanda akü de şarj edilmektedir.

Sistemde, hem inverter hem de şarjedicisi olarak iki yönlü bir dönüştürücü kullanılmıştır. Uzay vektör PWM kontrollü inverter ve PFC'li şarj birimi sayesinde, KGK giriş akımı ve çıkış geriliminin toplam harmonik distorsiyonunun azaltılması, giriş güç faktörünün düzeltilmesi ve değişik yük şartlarında çıkış gerilim kararlılığı sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hat Etkileşimli KGK, Uzay Vektör PWM, İnverter, PFC, Mikrodenetleyici, Şarjedicisi.

ABSTRACT

M.S. Thesis

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A SINGLE PHASE SPACE VECTOR PWM CONTROLLED UNINTERRUPTABLE POWER SUPPLY

Hüseyin DOĞAN

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor : Assist.Prof.Dr.Ramazan AKKAYA
2006, 88 Pages

Jury : Assist.Prof.Dr.Abdullah ÜRKMEZ
Assist.Prof.Dr.Ramazan AKKAYA
Assist.Prof.Dr.Salih GÜNEŞ

In this study, a single phase space vector PWM controlled uninterruptable power supply (UPS) is designed and implemented. In the system, line interaction principle which has many advantages compared to other UPS topologies is preferred. In this principle, critical load connected to the UPS, is fed from mains at normal operation and is fed from battery when a power failure occurs. When the load is feeding from mains, at the same time battery is recharged.

In the proposed system, bidirectional converter is used as both inverter and charger. By means of space vector PWM controlled inverter and battery charger with PFC, reducing THD of input current and output voltage of UPS, input power factor correction and stability of output voltage at different load conditions are provided.

Key Words: Line Interactive UPS, Space Vector PWM, Inverter, PFC, Microcontroller, Charger.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmam boyunca, kıymetli bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren danışmanım sayın Yrd.Doç.Dr.Ramazan AKKAYA'ya, değerli yardımlarını esirgemeyen Arş.Gör.Sabri ALTUNKAYA'ya, Arş.Gör.Afşin KULAKSIZ'a ve diğer çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SEMBOLLER.....	vi
KISALTMALAR.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
3. KESİNTİSİZ GÜÇ KAYNAKLARI.....	8
3.1. KGK'ya Niçin İhtiyaç Duyulur.....	9
3.2. Güç Kalitesi Problemleri.....	11
3.2.1. Kısa süreli gerilim değişimleri.....	12
3.2.2. Uzun süreli gerilim değişimleri.....	13
3.2.3. Kesintiler.....	14
3.2.4. Dalga şekli distorsiyonu.....	15
3.2.5. Gerilim dalgalanması (Fliker).....	16
3.2.6. Geçici rejimler.....	16
3.2.7. Frekans değişimi.....	17
3.3. KGK'dan Beklenen Özellikler.....	18
3.4. KGK Çeşitleri.....	20
3.4.1. Dinamik KGK.....	20
3.4.2. Statik KGK.....	21
3.4.2.1. Off-line KGK.....	22
3.4.2.2. On-line KGK.....	23
3.4.2.3. Hat etkileşimli KGK.....	23
3.5. KGK Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	24

4. KESİNTİSİZ GÜÇ KAYNAKLARININ YAPISI.....	29
4.1. İnverter.....	30
4.2. Doğrultucu.....	33
4.3. Statik Transfer Anahtarı.....	38
4.4. Akü.....	39
4.4.1. Akünün yapısı.....	39
4.4.2. Akünün çalışma prensibi.....	40
4.4.3. Akü şarjı.....	41
4.5. Transformatör.....	44
5. UZAY VEKTÖR PWM TEKNİĞİ.....	47
5.1. İnverter Çıkış Gerilimi Kontrol Teknikleri.....	47
5.2. Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM).....	49
5.3. Uzak Vektör PWM (SVPWM).....	51
5.3.1. Üç fazlı uzak vektör PWM (SVPWM).....	52
5.3.2. Tek fazlı uzak vektör PWM (SVPWM).....	58
6. SİSTEMİN TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ.....	63
6.1. KGK'nın Alt Birimleri.....	65
6.1.1. Kontrol birimi.....	66
6.1.2. Şarj kontrol birimi	71
6.1.3. İnverter kontrol birimi	74
6.1.4. Dönüştürücü.....	76
6.1.5. Statik transfer anahtarları.....	78
6.1.6. Akü grubu.....	78
6.1.7. Transformatör.....	78
6.2. Simülasyon ve Deneysel Sonuçlar.....	79
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	84
8. KAYNAKLAR.....	87

SEMBOLLER

B	: Manyetik Akı Yoğunluğu
$\cos\phi$	: Güç Faktörü
e^-	: Elektron
f	: Frekans
H	: Manyetik Alan Şiddeti
ℓ	: Nüvenin Ortalama Manyetik Yol Uzunluğu
N	: Sarım Sayısı
S	: Nüvenin Kesit Alanı
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat Derece
Φ	: Manyetik Akı
Ω	: Ohm
ω	: Açısal Frekans
μ	: Manyetik Geçirgenlik
μ_0	: Boşluğun Manyetik Geçirgenliği
μ_r	: Malzemenin Manyetik Geçirgenliği
ρ	: Özgül Direnç

KISALTMALAR

BJT	: Bipolar Junction Transistor (Çift Kutuplu Jonksiyon Transistör)
CBEMA	: Computer Business Equipment Manufacturers Association (Bilgisayar Ofis Teçhizatı Üreticileri Birliği)
DSP	: Digital Signal Processor (Dijital Sinyal İşleyici)
GTO	: Gate Turn Off (Kapıdan Söndürmeli)
IGBT	: Insulated Gate Bipolar Transistor (Kapıdan Yalıtımlı Çift Kutuplu Transistör)
ITIC	: Information Technology Industry Council (Bilgi Teknoloji Endüstrisi Konseyi)
KGK	: Kesintisiz Güç Kaynağı (UPS-Uninterruptable Power Supply)
LCD	: Liquid Crystal Display (Sıvı Kristal Görüntü Birimi)
LED	: Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)
MOSFET	: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (Metal Oksit Yarıiletken Alan Etkili Transistör)
NS	: Naturally Sampled (Doğal Örneklemeli)
PFC	: Power Factor Correction (Güç Faktörü Düzeltilmesi)
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
RS	: Regularly Sampled (Düzenli Örneklemeli)
SPWM	: Sinusoidal PWM (Sinüzoidal Darbe Genişlik Modülasyonu)
SVM	: Space Vector Modulation (Uzay Vektör Modülasyon)
THD	: Total Harmonic Distortion (Toplam Harmonik Distorsiyon)

1. GİRİŞ

Günlük hayatımızın her alanında kullanımları artarak yaygınlaşan bilgisayarlar, medikal sistemler, veri işleme sistemleri, hava trafik kontrol sistemleri, haberleşme sistemleri, yarı-iletken ve cam endüstrisi gibi yüksek teknolojiye dayalı endüstrilere ait sistemlerin yüksek kalitede ve kesintisiz enerji ile beslenmeleri gerekmektedir. Bu tür hassas yükler genellikle, ana güç kaynağının gerekli kalitede enerjiyi sağlayamadığı veya enerjinin kesildiği durumlarda, yedek güç kaynaklarıyla beslenmektedir. Yedek güç kaynağı, hassas yükün karakteristiğine bağlı olarak, çok farklı şekillerde temin edilebilir.

Kesintisiz Güç Kaynağı (KGK) sistemleri, yedek güç kaynağı olarak, enerji kalitesi problemlerinin olduğu anda kritik yükleri korumak amacıyla kullanılır. Kritik yükler, KGK'ya paralel olarak veya KGK üzerinden ana güç kaynağına bağlanır. Gerilim düşmesi, gerilim yükselmesi, frekans dalgalanması gibi bir enerji kalitesi problemi olduğunda kritik yükleri çalışır durumda tutmak için gereken enerji, KGK tarafından sağlanır.

KGK'lar yapılarına göre off-line (beklemeli), on-line (beklemesiz) ve hat etkileşimli olmak üzere üçe ayrılır.

Off-line KGK'larda şebekede enerji bulunduğu sürece yük, şebekeden beslenir. Şebekede enerji kesildiği anda kritik yük, statik transfer anahtarı yardımıyla şebekeden ayrılarak KGK'ya bağlanır ve inverter devreye girerek akü üzerinden yükü beslemeye devam eder. Transfer anında kısa süreli bir güç kesintisi söz konusudur.

On-line KGK sistemlerinde, kritik yük her zaman KGK üzerinden beslenir. Ana besleme kesildiği zaman, KGK'nın bataryaları yük için gerekli olan enerjiyi inverter üzerinden sağlar. Bundan dolayı yük uçlarında herhangi bir enerji kesintisi meydana gelmez. KGK, yükü besleme tarafından tamamen izole ederek, o yönden gelebilecek herhangi bir probleme karşı korumuş olur. Ayrıca yük tarafında meydana gelebilecek bir arızanın şebekeyi etkilemesi de önlenmiş olur.

Hat etkileşimli KGK'larda, normal şartlarda yükün enerjisi doğrudan ana beslemeden sağlanır. Bu arada inverter doğrultucu modunda çalışır ve enerjiyi ters

yönde geçirerek bataryayı şarj eder. Bu nedenle bataryayı şarj etmek için ayrı bir doğrultucuya ihtiyaç yoktur.

Besleme tarafında meydana gelen herhangi bir arıza nedeniyle beslemenin tamamen kesildiği veya yetersiz kaldığı durumlarda ise, yük ana beslemeden bataryalara aktarılır. Yük uçlarında herhangi bir akım veya gerilim dalgalanmasına sebebiyet vermemek için, transfer işlemi çok kısa bir süre içinde yapılmalıdır.

Günümüzde, yukarıda bahsedilen üç KGK yapısından off-line KGK'lar, yükün şebekeden KGK'ya transferi anındaki enerji kesintisi nedeniyle pek tercih edilmemektedir. Yaygın olarak on-line ve hat etkileşimli KGK'lar kullanılmaktadır.

KGK'lar arasında kıyaslama yapıldığında, çift dönüşüm prensibi ile yükü besleme tarafından tamamen izole ederek, o yönden gelebilecek bütün problemlere karşı koruyan on-line KGK'ların en uygun çözüm olduğu düşünülebilir. Her ne kadar şebekeden gelebilecek problemleri elimine etse de on-line KGK'ların uzun süre hatasız çalışması beklenemez. Yapılan araştırmalarda on-line KGK'larda hatalar arası ortalama süre 30.000-50.000 saat iken hat etkileşimli KGK'larda bu süre 250.000 saatlere çıkmaktadır. Yani yıllık arıza oranı on-line KGK'larda %17 ile %25 arası iken hat etkileşimli KGK'larda %1 veya %2'dir (www.apc.com).

Bu yüksek lisans tez çalışmasında uzay vektör PWM tekniğine göre çalışan, hassas yükleri şebekede meydana gelebilecek güç kalitesi problemlerinden koruyan ve kesintisiz olarak besleyen bir hat etkileşimli KGK tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Uzay vektör PWM kontrollü inverter ve PFC'li şarj birimi sayesinde, KGK giriş akımı ve çıkış gerilimi toplam harmonik distorsiyonunun en az seviyede tutulması, giriş güç faktörünün düzeltilmesi ve değişik yük şartlarında çıkış gerilim kararlılığının sağlanması hedeflenmiştir.

Bölüm 2'de bu konuda daha önce yapılan bilimsel çalışmalardan bahsedilmiştir.

Bölüm 3'te kesintisiz güç kaynakları ve bunların kullanım alanları, ne tür güç kalitesi problemlerine karşı kullanıldığı, KGK'ların çalışma şekillerine göre sınıflandırılması ve değişik KGK yapılarının avantajları ve dezavantajları hakkında bilgi verilmiştir.

Bölüm 4'te bir KGK'yı oluşturan temel kısımlar incelenmiştir. Doğrultucu ve inverterlerin çalışma şekilleri ve sınıflandırılması, statik transfer anahtarların

kullanım amacı ve çeşitleri, akülerin iç yapısı, çalışma prensibi ve akü şarj yöntemleri ve son olarak transformatörlerin kullanım amacı, ferit nüve ve silisyumlu çelik sac nüvelerin karşılaştırılması anlatılmıştır.

Bölüm 5'te inverter çıkış gerilimi kontrol tekniklerinden bahsedilmiştir. Bunlardan; inverter DC giriş gerilimi kontrolü, inverter AC çıkış gerilimi kontrolü, kare dalga PWM ve sinüzoidal PWM tekniklerine kısaca değinilmiş, uzay vektör PWM tekniği ise çalışma prensibi ve avantajları ile birlikte ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Bölüm 6'da uzay vektör PWM kontrollü tek fazlı kesintisiz güç kaynağının tasarımı ve gerçekleştirilmesi anlatılmıştır. Gerçekleştirilen sisteme ilişkin devre şemaları, çalışma prensipleri ve akış diyagramları ayrıntılı olarak verilmiştir. Ayrıca simülasyon ve deney sonuçları da bu bölümde verilmiştir.

Bölüm 7'de bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar ve konuyla ilgili çalışma yapmak isteyebilecek araştırmacılar için öneriler yer almaktadır.

Bölüm 8'de çalışmanın hazırlanmasında faydalanılan kaynaklar yer almaktadır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Handley ve Boys (1990) tarafından yapılan çalışmada, son yıllarda ortaya çıkan Uzay Vektör PWM tekniği, geleneksel PWM tekniklerine bir alternatif olarak sunulmuş ve iki modülasyon tekniği arasında kıyaslama yapılmıştır. Sonuç olarak uzay vektör tekniği ile daha düzgün bir PWM dalga şekli üretilebileceği görülmüştür. Özellikle gerçek zamanlı bir mikro işlemci kullanıldığında dalga şekillerinin üretilmesi daha kolay olmaktadır. Aynı zamanda akım sıfır geçişleri geliştirildiği için motor kayıpları ve kararlılık problemleri azalmaktadır. Bütün bu avantajlar aynı elektronik donanım ile gerçekleştirildiği için ilave bir maliyet artışına gerek kalmamaktadır.

Hung ve McDowell (1990) tarafından yapılan çalışmada, modern yedek güç sistemlerinin önemli bir parçası olarak kesintisiz güç kaynakları incelenmiştir. Günümüzde bir çok farklı KGK teknolojisi kullanılmaktadır. Bu yüzden bunların birbirlerine göre elektriksel performans değerlerinin ve çalışma karakteristiklerinin bütün bir yedek güç sistemi üzerindeki etkilerinin bilinmesi son derece önemlidir. Yedek güç sisteminin en optimum şekilde tasarlanabilmesi, komple bir “sistem” yaklaşımının benimsenmesine bağlıdır. Bu çalışmada, değişik dizayn teknikleri incelenmiş ve bir hibrit kesintisiz güç kaynağı şeması verilmiştir.

Hirachi ve ark. (1994) tarafından yapılan çalışmada, bir kesintisiz güç kaynağının AC/DC dönüşüm ve DC/AC dönüşüm kısımlarında sırasıyla bir yarım köprü doğrultucu ve bir yarım köprü inverter kullanmanın, izolasyon transformatörü gereksinimini ortadan kaldıracak, dolayısıyla kesintisiz güç kaynağının, hem daha verimli hem de daha küçük boyutlarda olmasına imkan sağlayacağı belirtilmiştir. Fakat, bu şekilde tasarlanmış bir devre, çok yüksek gerilimli depolama bataryalarına ihtiyaç duyar. Bu durum da 1-3 kVA sınıfındaki küçük kapasiteli kesintisiz güç kaynakları için uygun değildir. Bu çalışmada, ihtiyaç duyulan batarya gerilimini azaltmak için iki teknik üzerinde durulmuştur. Bunlardan ilki, çift yönlü kıyıcı,

ikincisi ise yedek inverter kullanmaktır. Ayrıca bahsedilen bu teknikler sırasıyla 3 kVA ve 1 kVA kesintisiz güç kaynaklarında uygulanmıştır.

Qin ve Du (1995) tarafından yapılan çalışmada, yapısında yük harmonik akımlarını kompanze etmek amacıyla, DSP tabanlı bir aktif güç filtresi bulunduran hat etkileşimli bir kesintisiz güç kaynağı sunulmuştur. KGK'nın tam köprü anahtarlama modlu güç dönüştürücüsü, yük harmonik akımlarını kompanze etmek için aktif güç filtresi olarak kullanılmıştır. Hem bilgisayar simülasyonu hem de deneysel sonuçlar sistemin başarılı bir sonuç ortaya koyduğunu göstermektedir.

Rathmann ve Warner (1996) tarafından yapılan çalışmada, çift dönüşümlü geleneksel kesintisiz güç kaynaklarından kaynaklanan harmoniklerin, düşük güç faktörü ve yüksek enerji kaybı ile, araştırmacıların dikkatlerini bu yöne çevirmelerine neden olduğu belirtilmiştir. Gerçekten de günümüzde birçok KGK çözüm olmaktan çok problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada, giriş akım harmonik distorsiyonunu elimine eden, kontrollü birim güç faktörü sağlayan ve enerjiyi verimli kullanan yeni bir hat etkileşimli, on-line KGK teknolojisi sunulmaktadır. Öncelikle geleneksel çift dönüşümlü kesintisiz güç kaynakları ve bunlardan kaynaklanan problemlerin nedenleri ve sonuçları üzerinde kısa bir gözden geçirme yapılmaktadır. İkinci olarak tek dönüşümlü hat etkileşimli KGK topolojisi avantajları ile birlikte incelenmektedir. Daha sonra üçgen dönüşümlü KGK topolojisi sunulmakta ve farklı avantajlarıyla birlikte detaylı olarak araştırılmaktadır. Son olarak da her üç tip KGK teknolojisinin performans kıyaslaması yapılmaktadır.

Pinheiro ve ark. (2000) tarafından yapılan çalışmada tek fazlı üç kollu on-line kesintisiz güç kaynakları için yeni bir modülasyon metodu sunulmaktadır. Üç anahtarlama sırası tanımlanmakta ve toplam harmonik distorsiyonu ve giriş akımı ile çıkış geriliminin frekans spektrumunda harmoniklerin yeri bakımından değerlendirilmektedir. İlk anahtarlama sırasının, dönüştürücünün kollarından birisi düşük frekansta anahtarlandığı için basit bir yumuşak anahtarlama yardımcı devresine ihtiyaç duyduğu sonucu elde edilmiştir. İkinci anahtarlama sırası daha düşük anahtarlama kayıplarına sahip olduğu için zor anahtarlama uygulamaları için

uygundur. Üçüncü anahtarlama sırasının ise orta düzeyde anahtarlama kayıplarına sahip olduğu ve bütün işletme şartlarında tanımlanabilir frekanslarda harmonik ürettiği görülmüştür. Ayrıca sunulan metodu desteklemek için DSP kontrollü 1 kW kesintisiz güç kaynağı ile yapılan deneysel çalışmaların sonuçları verilmiştir.

da Silva ve ark. (2002) tarafından yapılan çalışmada, etkili bir güç kompanzasyonunu gerçekleştirmek, yük harmonik akımlarını bastırmak ve çıkış gerilim regülasyonu sağlamak gibi avantajlara sahip, seri ve paralel aktif güç filtreleri içeren, üç fazlı bir hat etkileşimli kesintisiz güç kaynağı (KGK) sunulmuştur. Üç fazlı KGK sistemi iki farklı aktif güç filtresi topolojisinden oluşmaktadır. Bunlardan ilki, giriş gerilimi ile aynı fazda, sinüzoidal akım kaynağı olarak çalışan seri aktif güç filtresidir. Diğeri ise yüke, düşük toplam harmonik distorsiyonlu, regüle edilmiş, sinüzoidal bir besleme sağlayan, giriş gerilimi ile aynı fazda, sinüzoidal gerilim kaynağı olarak çalışan paralel aktif güç filtresidir.

Pinheiro ve ark. (2002) tarafından yapılan çalışmada, gerilim beslemeli inverterler için uzay vektör modülasyona genel bir yaklaşım sunulmaktadır. Bunun için beş temel inverter topolojisi incelenmiştir. Bunlar; tek fazlı tam köprü, üç fazlı üç telli, üç fazlı dört telli, üç fazlı dört kollu ve üç fazlı üç seviyeli inverterlerdir. Her bir inverterin anahtarlama vektörleri, inverter çıkış gerilim uzayında ayrılma ve sınır düzlemleri, ayrışım matrisi ve olası anahtarlama sıraları çıkarılmıştır. Ayrıca her bir topoloji için deneysel sonuçlar verilmiştir.

Hao ve ark. (2003) tarafından yapılan çalışmada, uzay vektör PWM tekniğinin hesaplamadaki karışıklığı ve mühendislik uygulamalarındaki zorluğundan kaynaklanan dezavantajı göz önüne alınarak uzay vektör PWM tekniği için basitleştirilmiş bir algoritma sunulmuştur. Bu algoritma, referans uzay vektörü V_r 'nin hangi sektörde bulunduğunu kolaylıkla belirlemekte ve uygun anahtarlama kombinasyonlarını seçebilmekte, dolayısıyla uzay vektör PWM tekniğinin çözümünü büyük oranda basitleştirmektedir.

Skok ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada, kesintisiz güç kaynakları için elektriksel performans test yöntemleri ayrıntılı olarak incelenmiş ve çoğunlukla bilgisayar donanımını korumak için kullanılan, nominal çıkış gücü 3000 VA'e kadar olan on-line tek fazlı KGK'lar için bu test yöntemleri uygulanmıştır. Ayrıca elektrik şebekesinde meydana gelebilecek olası güç kalitesi problemleri tanımlanmış ve her bir KGK'nın kendisine bağlanan hassas yükü hangi problemlere karşı koruyabildiği incelenmiştir. Sonuç olarak, 500 ile 3000 VA güç aralığında ve değişik firmaların ürettiği yirmi KGK çeşidi için test sonuçları sunulmuştur.

Choi ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmada, yüksek performanslı tek fazlı on-line bir kesintisiz güç kaynağı sunulmuştur. KGK, hem akü şarjedicisi hemde inverter olarak çalışan üç kollu bir dönüştürücüden oluşmaktadır. Birinci kol aküyü şarj etmek için, üçüncü kol çıkış gerilimini ayarlamak için kontrol edilir. Ortak kol ise şebeke frekansında kontrol edilir. Şarjedicisi ve inverter birbirinden bağımsız olarak kontrol edilir. Şarjedicisi, güç faktörü düzeltme (PFC) özelliğine sahiptir. İnverter regüleli çıkış gerilimi sağlar ve ani yüksek akım çeken yüklerde çıkış akımını sınırlandırır. Üç kollu dönüştürücü, anahtarlama elemanlarının sayısını azaltmakta ve sonuç olarak sistem daha az güç kaybına neden olmakta ve ucuz maliyetli bir yapıya sahip olmaktadır.

3. KESİNTİSİZ GÜÇ KAYNAKLARI

Son yıllarda, sayısal elektronik alanındaki gelişmelere paralel olarak, KGK'lar bir çok sektörde öncelikli yatırım araçları arasına girmiştir. Özellikle elektronik veri işleme ve veri iletim teknolojilerindeki atılımlar, başta bilgisayarlar olmak üzere, bu teknolojilere dayalı tüm donanımların sürekli ve sağlıklı enerji ihtiyacını da beraberinde getirmektedir.

Enerji alt yapı yatırımlarını tamamlayamamış ülkelerde, bu ihtiyaç çok daha belirgin bir şekilde kendini hissettirmektedir. Başta enerji üretim ve dağıtım şebekelerinin yetersizliği olmak üzere, bir çok farklı nedenlere dayanan olumsuzluklar, doğrudan bu şebekelere bağlı olarak çalışan elektronik cihazlar için açık birer risk unsuru oluşturmaktadır. Bu tür risklerin, kullanıcı tarafından fark edilebilen en önemli kısmı ise enerji kesintileridir. Buna bağlı olarak da, kullanıcı için KGK ihtiyacı çoğu kez enerji kesintileriyle ön plana çıkmaktadır.

Bir problem olarak, KGK sistemlerinin en yaygın varlık nedeni olan habersiz enerji kesintileri, kullanıcılar açısından her yıl dünya genelinde büyük ölçüde maddi zarar ve işgücü kayıplarına neden olmaktadır. *Business Week* dergisinde 1991 yılında yayınlanan bir araştırmaya göre, sadece ABD ekonomisinde, elektrik şebekesinden kaynaklanan çeşitli problemlerle ortaya çıkan; malzeme, bilgi ve verimlilik kayıplarının toplam değeri, yıllık ortalama 26 milyar dolar olarak hesaplanmaktadır.

Enerji kesintileri dışında, elektronik donanımlar için çok daha ciddi riskler içeren diğer şebeke sorunları da, özellikle endüstriyel tesislerde ciddi zararlara neden olabilmektedir. Düşük ve aşırı gerilim, şebeke harmonikleri, gerilim sıçramaları, gerilim dalgalanmaları ve frekans değişimleri, ancak gerekli ölçüm cihazları ile tespit edilebildiklerinden, çoğu kullanıcı için kötü bir zamanda, kötü bir sürpriz olarak kendilerini göstermekte, bu tür bir teknik arıza da bazen yüz milyarlarca liralık üretim kaybını beraberinde getirebilmektedir. Gelişen yarı iletken teknolojileri sayesinde KGK'lar, kullanıcılarına tüm bu riskleri ortadan kaldırabilme imkanı sunmakta ve besledikleri sistemler açısından en önemli teknik güvenceyi sağlamaktadırlar.

Günümüzde geçerliliğini koruyan farklı KGK teknolojilerinin gelişim süreçleri, özellikle doğrultma ve dönüştürme tekniklerinde büyük aşamalar kaydedilmesini sağlayan yeni teknolojilerin gelişimi ile de doğrudan ilişkilidir. Son dönemlerde IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) teknolojisinde sağlanan yeni gelişmeler, KGK'lar açısından önemli teknik atılımları da beraberinde getirmiştir.

Daha yüksek akım kapasiteli IGBT'lerin ve IIP (Intelligent Integrated Packs) IGBT modüllerinin geliştirilmesi daha güçlü, daha verimli inverter ve doğrultucuların daha küçük boyutlarda üretilebilmesine imkan sağlamıştır. KGK'ların kontrol sistemlerinde de, daha gelişmiş mikroişlemcilerin ve DSP'lerin kullanımının yaygınlaşması, basit LED göstergelerin yerini grafik tabanlı LCD ekranların ve gelişmiş denetim yazılımlarının alması, KGK kavramını oldukça farklı boyutlara taşımıştır. Tüm bu teknik gelişmeleri farklı şekillerde bünyelerine taşıyan ve kesintisiz enerji ihtiyacını karşılamak üzere ortaya çıkan KGK teknolojilerinin, genelde iki farklı temel prensip doğrultusunda gelişim gösterdiği söylenebilir. Enerjinin kinetik olarak depolanmasını ve kesinti sırasında dinamik bir düzenekle yüklere aktarılmasını esas alan dinamik KGK teknolojileri, günümüzde de özellikle büyük yükler açısından cazip bir seçenek olmaya devam etmektedir.

Daha yaygın uygulama alanı olan elektronik ağırlıklı statik KGK teknolojilerinde ise, kesinti sırasında kullanılacak enerji, statik doğrultucular aracılığıyla akülere depolanır ve yine statik inverterler aracılığı ile yüklere aktarılır. Düşük güçlerden itibaren çok geniş bir güç aralığında kullanım imkanı olan statik KGK teknolojileri, besleme teknikleri ve bağlantı prensipleri açısından kendi içinde farklı uygulama yöntemlerini içerir. Bu yöntemlerin en güncel ve yaygın kullanım şekilleri ise "Hat Etkileşimli", "Off-line" (beklemeli) ve "On-line" (beklemesiz) sistemlerdir (Özdemir 2001).

3.1. KGK'ya Niçin İhtiyaç Duyulur

Elektrik enerjisinin gittikçe yaygın kullanım alanı bulması, hayati önem taşıyan ya da sürekli çalışması gereken, cihaz ve sistemlerde uygulanması, bu enerjiyi üreten kaynakların güvenilirlik sorununu gündeme getirmiştir. Tüketilen elektrik enerjisinin %95'den büyük bir oranını sağlayan AC şebekede, güvenilirlik için alınan tüm

önlemlere rağmen, günümüz uygulamalarında yetersizliklerle karşılaşmakta, kritik yük olarak nitelendirilen cihaz ve sistemlerin Kesintisiz Güç Kaynakları (KGK) üzerinden beslenmesi zorunlu olmaktadır.

AC şebekeler aşağıdaki özellikleri sağladığı varsayılan gerilim kaynaklarıdır;

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

Ancak bu özellikleri pratikte bulmak mümkün değildir. Şebekeyi oluşturan kuvvet santrallerindeki jeneratörlerden tüketicinin bağlandığı besleme panolarına kadar bütün birimler, belirtilen özellikleri sınırlı olarak sağlarlar. Gerilimin efektif değeri ve dalga şeklinin değişmesi, genellikle yüklenmeye bağlıdır. Kısa devre empedansının ideal olarak sıfır olmaması, çekilen akıma bağlı olarak gerilimin değişmesine neden olur.

Şebekenin herhangi bir noktasında oluşacak geçici arızalar da tüketiciyi etkiler. Enerji nakil hattının kopması, aşırı yüklenmede kesicilerin devreyi açması, nakil hattına yıldırım düşmesi, indirici ve yükseltici trafoların devreye girip çıkması gibi durumlarda; gerilimde kısa ya da uzun süreli kesintiler görülür ve tüketici temiz bir enerji ile beslenemez. Buna benzer durumlarda motor-jeneratör grupları gibi yedek güç kaynaklarına başvurulabilir. Ancak bunlar elektro-mekanik dönüştürücüler olduğundan, kesinti süresini belli bir değerin altına indiremez. Kesinti sırasında grubun otomatik olarak çalıştırılması ve sürekli rejime girmesi bile birkaç dakika alır. Grubun sürekli çalıştırılması ve kesinti ile birlikte yükün jeneratöre aktarılması ise birkaç yüz milisaniye süre gerektirir. Ancak bu yol da ekonomik açıdan verimli değildir.

Modern teknolojinin getirdiği olanaklar yanında karşılaşılan belki de en önemli problem, elektrik gücü ile çalışan bir takım cihaz ve sistemlerin, beslemede görülebilecek çok kısa süreli aksamalardan bile etkilenmeleridir. Hastaneler, havaalanları, haberleşme merkezleri gibi kuruluşların kesintilere tahammülü gittikçe azalmaktadır. Örneğin bir açık kalp ameliyatı veya iniş sırasında uçağa gerekli bilgilerin aktarılması anında doğabilecek kesintiler hayati önem taşımaktadır.

Şebeke arızaları, endüstriyel otomasyon sistemlerinde verimi büyük ölçüde etkilemektedir. Süreklilik isteyen proseslerde kesinti sonucu doğan malzeme ve işgücü kayıpları önemli boyutlardadır.

Gerek hayati önem taşıyan kuruluşlarda, gerekse endüstriyel uygulamalarda gittikçe yaygınlaşan KGK'ların kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır.

- Bilgisayarlar ve bilgisayar destekli otomasyon sistemleri.
- Tıbbi elektronik cihazlar, hastaneler.
- Hava alanı aydınlatması, hava trafik kontrol merkezleri.
- Askeri radar sistemleri.
- Haberleşme ve yayın kuruluşları.
- Asansörler ve elektronik kapılar.
- Barkod cihazları, yazar kasalar, elektronik teraziler.
- Acil durum aydınlatmaları.

Kesintisiz güç kaynakları işte bu gereksinimlerin zorlaması ile ortaya çıkmış statik elektronik düzenlerdir. Güç elektroniği ve elektronik kontrol tekniğindeki gelişmelere paralel olarak yenilenen Kesintisiz Güç Kaynakları günümüzde tüketicinin tüm isteklerine cevap verebilecek özellikte ve performansta yapılabilmektedir.

KGK'lar özellikle bilgi işlem sistemlerinde ve kişisel bilgisayarlarda, şebekede bir arıza oluşması halinde o esnada çalışılan bilginin kaybolmaması ve genel olarak cihazın şebekeden gelebilecek güç kalitesi problemlerine karşı korunması amacıyla kullanılmaktadır.

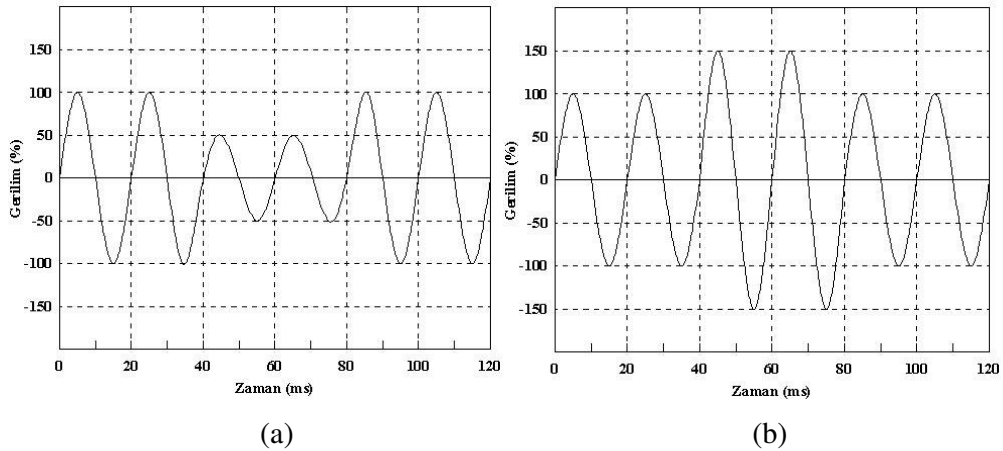
3.2. Güç Kalitesi Problemleri

Genel olarak güç kalitesi, elektrik güç kaynağı ile cihazların uyumu şeklinde ifade edilebilir. Eğer bir cihazı besleyen güç kaynağı yüksek seviyelerde harmonikler, anlık veya uzun süreli gerilim düşme ve yükselmeleri, gerilim dalgalanmaları ve kesintilere maruz kalıyorsa ve cihaz bir zarar görmeden ya da kapanmadan bu arızaları atlatamıyorsa, bu durumda çoğunlukla bir güç kalitesi problemi vardır. Bozulmanın karakteri, güç kalitesi probleminin tipini belirler. Güç kalitesi problemleri bozulma çeşidine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir;

- 1- Kısa süreli gerilim değişimleri (Gerilim çukuru, gerilim tümseği)
- 2- Uzun süreli gerilim değişimleri (Düşük gerilimler, aşırı gerilimler)
- 3- Kesintiler
- 4- Dalga şekli distorsiyonu (Harmonikler, elektriksel gürültü)
- 5- Gerilim dalgalanması (Fliker)
- 6- Geçici rejimler (Darbe ve dalga şeklinde geçici rejimler)
- 7- Frekans değişimi

3.2.1. Kısa süreli gerilim değişimleri

Gerilim çukuru, gerilimdeki kısa süreli azalma olarak tanımlanır. Bu süre, bir dakikadan az, yarım periyottan (50 Hz için 10 ms) fazladır. Gerilimdeki azalmanın büyüklüğü ise, gerilimin efektif değerinin %10'u ile %90'ı arasındadır. Şekil 3.1.a.'da görüldüğü gibi, gerilimin efektif değeri, çukur oluşumundan 0,04 saniye sonra eski haline geri dönmektedir. Elektrik kurumu ya da son kullanıcı tarafında meydana gelen arızalar ya da geçici durumlar, iletim ve dağıtım sistemlerinde gerilim çukurlarına neden olabilirler. Bunlara örnek olarak, şebeke yetersizliği, trafo arızaları, aşırı yüklenme, büyük motorların yol alması ve kısa devreler gösterilebilir.



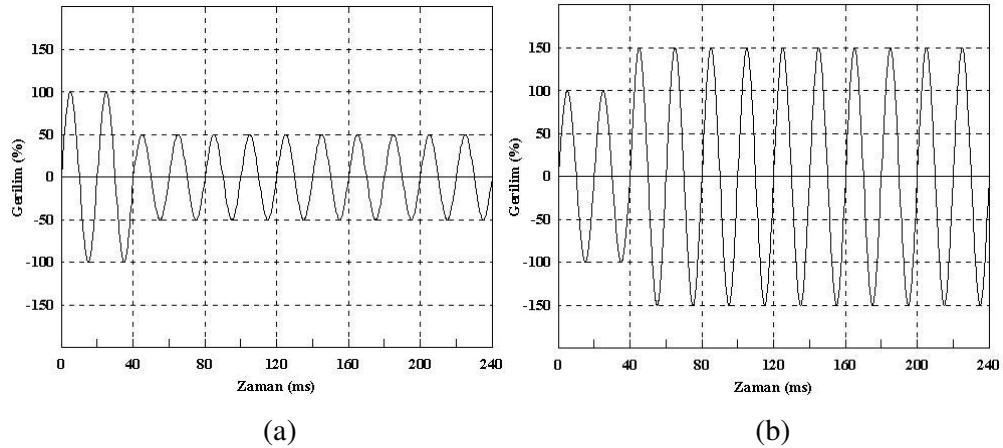
Şekil 3.1. (a) Gerilim çukuru ve (b) gerilim tümseği

Şekil 3.1.b.'de görülen gerilim tümsekleri ya da anlık aşırı gerilimler, bir dakikadan kısa süren ve nominal gerilimin %110'unu aşan efektif gerilim değişimleridir. Gerilim tümsekleri gerilim çukurlarından daha az sıklıkla meydana gelirler ve cihazların aşırı ısınmasına ve ömürlerinin kısılmasına neden olurlar. Tek faz toprak arızaları, yıldırımlar ve düzensiz kondansatör manevraları gerilim tümseklerine neden olabilirler (Akkaya 2003).

3.2.2. Uzun süreli gerilim değişimleri

Gerilimin bir dakikadan uzun süre nominal değerinin %90'ından aşağıya düşmesine, düşük gerilim denir. Son kullanıcılar tarafından aydınlatma ışık şiddetinin azalması ve motorların hızının azalması şeklinde algılanır. Şekil 3.2.a.'da düşük gerilimin değişimi görülmektedir.

Sistemin çok fazla yüklenmesi veya büyük bir alanı besleyen önemli bir iletim hattının servis harici olduğu durumlar düşük gerilimlere sebep olabilirler. Düşük gerilim, hassas bilgisayarlı cihazların bilgiyi yanlış almasına, motorların durması ve verimsiz çalışmasına neden olabilir.



Şekil 3.2. (a) Düşük gerilim ve (b) aşırı gerilim

Aşırı gerilim, gerilim tümseklerine benzer şekilde nominal gerilimin, %110'unu aşan fakat farklı olarak, bir dakikadan uzun süren efektif gerilim yükselmeleridir. Aşırı gerilimin ana sebebi, kapasitörlerin devreye alınmasıdır. Zira kapasitör bir şarj cihazıdır, devreye alındığında sisteme gerilim ekler. Ayrıca

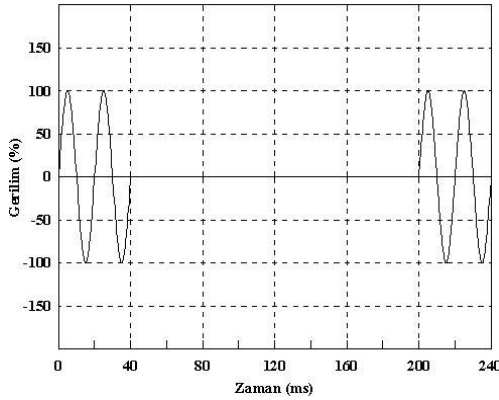
trafoların gerilim kademelerinin yanlış ayarlanması ve özellikle geceleri yaşanan yük düşmesi de güç sistemlerinde aşırı gerilimlere neden olur. Uzun süreli aşırı gerilimler, lamba flamanlarının ve motorların ömürlerini kısaltır. Şekil 3.2.b.'de aşırı gerilimin zamanla değişimini göstermektedir (Tanrıöven ve İnce 2004).

3.2.3. Kesintiler

Bir ya da daha fazla fazın geriliminin, nominal gerilimin %10'unun altına düşmesine "kesinti" denir. Enerji kesintisinin değişimi şekil 3.3.'de verilmiştir. Gerçekleşme süresine göre; anlık, geçici, ve uzun süreli kesintiler olmak üzere üçe ayrılabilir.

Anlık kesinti, bir ya da daha fazla fazın geriliminin 0,5 periyot ile 3 saniye süresince nominal gerilimin %10'unun altına düşmesi durumudur. Geçici kesintiler, 3 saniye ile 1 dakika arası, uzun süreli ya da kalıcı kesintiler ise 1 dakikadan fazla süren kesintilerdir.

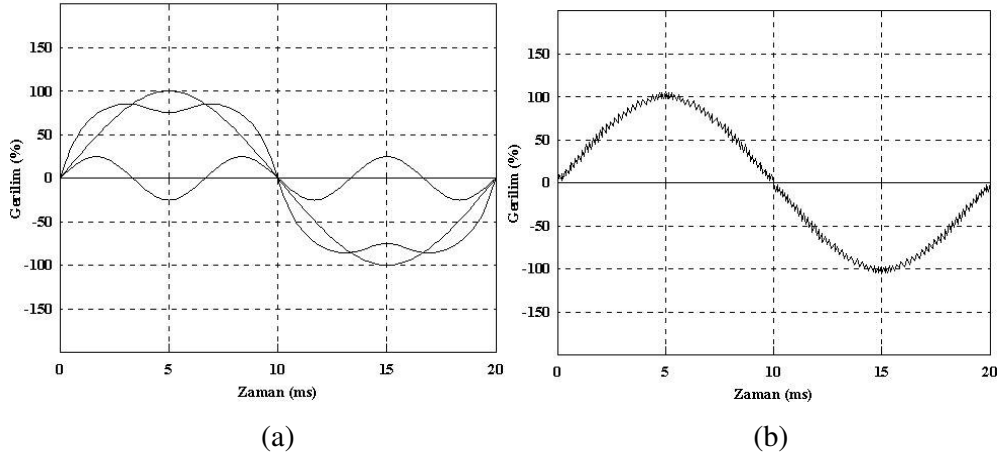
Herhangi bir kesinti, bir işletmede ya da bir endüstriyel fabrikada, üretim kaybına neden olabilir. Sadece elektrik kesintisinin kendisi üretim kaybına neden olmaz, aynı zamanda kesinti ile birlikte duran veya hizmet dışı kalan üretim sisteminin tekrar devreye alınması için gereken süre de üretim kaybına neden olur. Örneğin, bir plastik enjeksiyon kalıp üretim fabrikasının, 0,5 saniyelik kısa bir kesinti sonrası üretime dönme süresi 6 saat alır.



Şekil 3.3. Enerji kesintisi

3.2.4. Dalga şekli distorsiyonu

Harmonikler, sinüzoidal dalga şekli bozulmalarının temel kaynağıdır. Genellikle, değişken hızlı sürücüler, anahtarlama güç kaynakları, statik kesintisiz güç kaynağı sistemleri, elektronik ve tıbbi test cihazları, doğrultucular ve elektronik büro aletleri gibi lineer olmayan yükler, farklı frekansta akımlar çekerek sinüzoidal akımın şeklini bozar. Sonuçta oluşan sinüzoidal olmayan dalgayı, temel frekanstaki (50 Hz) sinüs dalgası ile çeşitli frekanstaki harmoniklerin toplamı oluşturur. Şekil 3.4.a. harmoniklerin bir sinüs dalgasını nasıl bozulmaya uğrattığını göstermektedir.



Şekil 3.4. (a) Harmonik içerikli dalga şekli ve (b) elektriksel gürültü

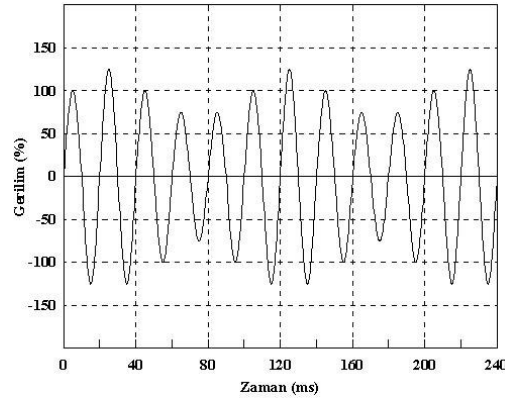
Harmonikler; motorlar, generatörler, kondansatörler, transformatörler ve enerji iletim hatlarında ilave kayıplara neden olurlar. Bazı durumlarda da harmonikler, güç sistem elemanlarının zarar görmesine veya devre dışı kalmalarına yol açabilirler. Ayrıca harmonikler nedeniyle sistemde çeşitli frekanslar bulunacağından, rezonans meydana gelme olasılığı artacaktır. Rezonans sonucu oluşabilecek aşırı akım ve gerilimler işletmedeki elemanlara önemli zararlar verecektir. (Kocatepe ve ark. 2003)

Elektriksel gürültü, belirli frekanstaki gerilim dalga şeklini bozan düşük gerilimli, düşük akımlı ve yüksek frekanslı sinyaldir. Yüksek gerilim hatları, ayırıcı operasyonlarında ark oluşumu, büyük motorların devreye alınması, radyo ve TV istasyonları, ark cihazları, anahtarlama güç kaynakları, yarı iletken doğrultucular, flüoresan lambalar ve güç elektroniği cihazları içeren yükler, bu tip bir gürültüye neden olabilirler.

Elektriksel gürültü şekil 3.4.b.'de görüldüğü gibi temel sinüs dalgasının üzerine binerek onu bozar. Elektriksel gürültü, iletişim cihazlarının, radyo ve TV'lerin çekimlerini azaltabilir veya bozabilir ve hassas elektronik cihazlara hasar verebilir.

3.2.5. Gerilim dalgalanması (Fliker)

Gerilimin, müsaade edilir limitleri olan, nominal değerinin %95'i ile %105'i arasındaki hızlı değişimine gerilim dalgalanması denir. Yük akımlarında sürekli hızlı değişimlere sahip, elektrik ark fırını ve kaynak makinesi gibi cihazlar bu dalgalanmaya neden olurlar. Şekil 3.5.'de gerilim dalgalanması verilmiştir.



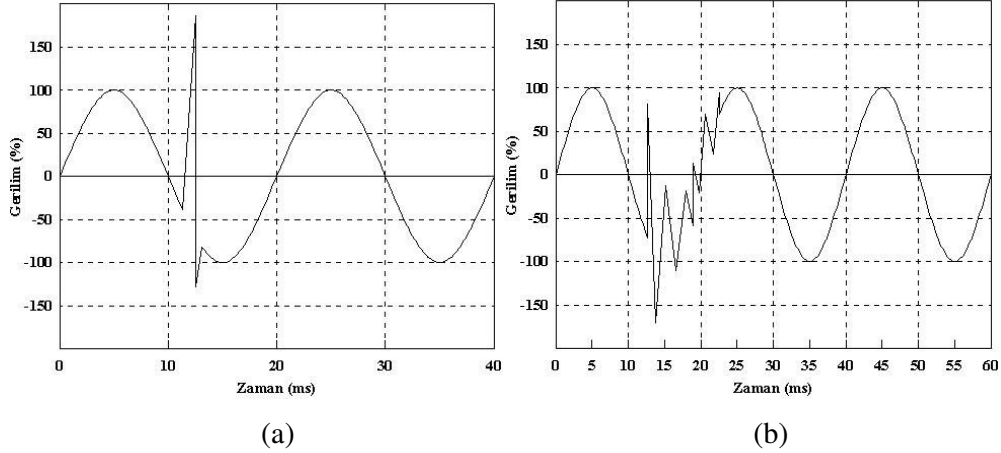
Şekil 3.5. Gerilim dalgalanması (Fliker)

Dalgalanmaların büyüklüğü $\pm\%10$ 'dan daha büyük olmadığı için çoğu cihaz bunlardan etkilenmez. Gerilim dalgalanmalarının en önemli etkisi, akkor flamanlı ve flüoresan lambaların parlaklığındaki titreşimdir. Genelde bu titreşimin frekansı, 6-8 Hz civarındadır ve insan gözü ile görülebilir. Bu yüzden insanlar üzerinde rahatsız edici, stres ve baş ağrısına neden olan etkileri vardır. Hassas cihazların da yanlış ve kötü çalışmasına neden olabilirler.

3.2.6. Geçici rejimler

Darbe şeklindeki bir geçici rejim, akım, gerilim veya her ikisinin kararlı hallerindeki tek yönlü ve çok hızlı bir değişim nedeniyle oluşan ani ve kısa süreli

bozukluk olarak tanımlanabilir. Bu bozukluğun frekansı 5 kHz'den yüksek, süresi ise 30 ile 200 mikro saniye arasındadır. Yıldırımlar, darbe şeklindeki geçici rejimlerin en sık karşılaşılan sebepleridir. Şekil 3.6.a. yıldırımdan kaynaklanan geçici rejimi göstermektedir. Darbe şeklindeki geçici rejimler, eğer durdurulmazsa, güç sisteminin kapasitif bileşeni ile etkileşebilir. Kapasitörler, sıklıkla darbe geçici rejimlerini rezonansa götürerek, dalga şeklindeki geçici rejime dönüştürür.



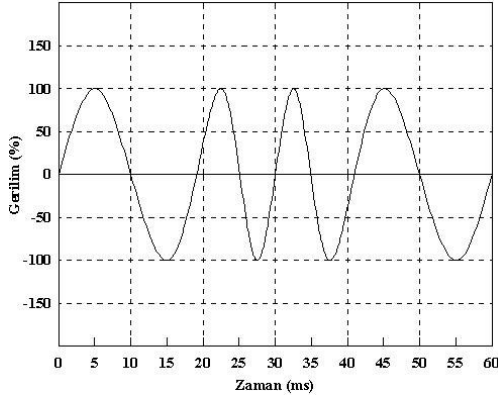
Şekil 3.6. (a) Darbe ve (b) dalga şeklinde geçici rejimler

Dalga şeklindeki bir geçici rejim, akım, gerilim veya her ikisinin kararlı hallerindeki, pozitif ve negatif alternansları da içeren hızlı değişim olarak tanımlanabilir. Kondansatör ve enerji hatlarının anahtarlanması sırasında dalga şeklinde geçici rejimler oluşabilir. Şekil 3.6.b.'de kapasitör grubunun enerjilenmesinden sonra meydana gelen geçici rejim görülmektedir. Bu geçici rejimler, değişken hızlı sürücülerin hatalı çalışmasına, hassas cihazların bozulmasına ve transformatör hatalarına neden olur. Dalga şeklindeki geçici rejimler, darbe şeklindeki geçici rejimler gibi hızlı yok olmazlar. 0,5 ile 30 periyot kadar sürer ve nominal gerilim veya akımın iki katına kadar ulaşabilirler.

3.2.7. Frekans değişimi

Güç sistem frekansının belirlenen anma değerinden sapmasıdır. Sebepleri arasında, yerel jeneratörlerin hız regülasyonlarının zayıf olması, güç sistemindeki

hatalar ve büyük yüklerin veya jeneratörlerin devreden çıkması sayılabilir. Şekil 3.7.'de frekans değişimi verilmiştir.



Şekil 3.7. Frekans değişimi

3.3. KGK'dan Beklenen Özellikler

Gerilim kararlılığı

Türkiye şartlarında şebekenin $\pm \%20$ değişmesinde kesintisiz güç kaynağının çıkış geriliminin değişimidir. Modern bir kesintisiz güç kaynağında bu değer $\pm \%1$ 'den küçüktür.

Frekans kararlılığı

Yüke verilen gerilimin ikinci özelliği de gerilimin frekansdır. Şehir şebekesinde üretim teknolojisinin yapısından dolayı frekans oynamaları mevcuttur. Şehir şebekesinin 49.5 Hz ve 50.5 Hz arasındaki değerleri kabul edilebilir sınırlardır. İyi bir kesintisiz güç kaynağı bu sınırlar içerisinde şebekeyle senkron olmalıdır ve bu sınırların dışında kendi ürettiği son derece kararlı $\%0.1$ 'lik hata oranına sahip 50Hz'lik frekansa geçmelidir.

Dinamik regülasyon (Ani yüke cevap verebilme)

Çıkış yükünün ani olarak sıfırdan $\%100$ 'e kadar değişmesi, şebekenin kesilmesi veya geri gelmesi anında çıkış geriliminde meydana gelen değişimdir. Bu oynama $\pm \%5$ 'ten küçük olmalı ve iki periyotta statik regülasyon bandına girmelidir.

Çıkış gerilimi toplam harmonik distorsiyonu (THD)

THD, çıkış gerilimlerinin içerdiği harmoniklerin bir ölçüsüdür. Lineer yükte %5'den ve lineer olmayan yüklerde %7,5'dan küçük olmalıdır. Modern kesintisiz güç kaynaklarında %3 seviyesindedir. Büyük L ve C elemanları ile kare dalga bile süzülerek %3 distorsiyona düşürülebilir, fakat böyle bir kesintisiz güç kaynağının çıkış empedansı çok büyük ve dinamik regülasyonu çok kötüdür. Bu nedenlerden dolayı, modern kesintisiz güç kaynaklarında yüksek frekanslarda PWM yapılır. Böylece düşük frekanslı harmonikler üretilmez ve THD küçültülür.

Aşırı yük ve kısa devre koruma

Bütün önlemler alınsa bile KGK uzun ömrü süresince aşırı yüklere ve kısa devrelere maruz kalacaktır. İyi bir kesintisiz güç kaynağı bu tip etkilerle karşı karşıya kaldığında arıza yapmamalı, sistemi beslemeye devam etmelidir. Bunun için aşırı yükte gerilim regülasyonu sınırları içinde kalarak belli bir süre çalışmalıdır. Kısa devrede ise çıkışın tamamen korunması ve kısa devre kalktığında dışarıdan müdahale gerekmesizin çalışmanın devam etmesi gerekmektedir.

Yüksek verim

KGK, bünyesinde çeşitli enerji birimleri bulundurmaktadır. Sistemin kayıpsız olması imkansız olacağından bir verim söz konusudur. Komple sistem verimi önemli bir unsurdur. Örneğin; 10kW üretmek için 15kW enerji tüketilmesi istenmeyen bir durumdur. Bununla birlikte %85 verim (yani 8,5 kW üretmek için 10 kW enerji harcanması) kabul edilebilir bir değerdir.

Giriş akımı toplam harmonik distorsiyonu ve yüksek güç faktörü

Diyot ve tristörlerle elde edilen doğrultucularda sinüzoidal giriş geriliminin her bölgesinde gerilimle orantılı bir akım çekilmediğinden gerilimdeki çökmeler de sadece akımın çekildiği tepe bölgelerinde meydana gelir. Böylece AC giriş gerilimi tam sinüzoidal olmaktan çıkar. Bu da alternatif gerilimle çalışan tüm yüklerde verimsizliklere ve aşırı ısınmalara neden olur. Ayrıca sinüzoidal olmayan akım çeken

devrelerin güç faktörü 1'den düşük olduğundan aynı gücü elde etmek için daha fazla akım çekilmesi gerekir. Bu nedenlerle şebeke geriliminden sinüzoidal akım çeken ve güç faktörü 1'e yakın olan, yani şebeke gerilimini bozmayan ve gereksiz yüksek akımla şebekeyi yüklemeyen PFC'li doğrultucular önem kazanmakta ve tercih edilmektedir. PFC'li KGK'larda güç faktörü 0,99 ve giriş akımı toplam harmonik distorsiyonu %5'in altında olmaktadır.

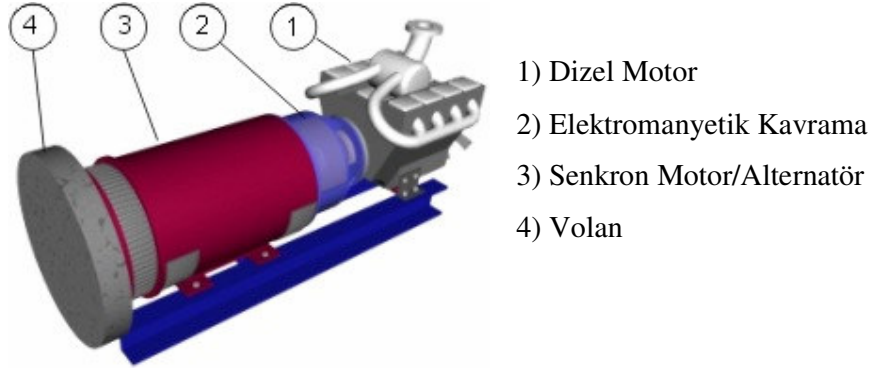
3.4. KGK Çeşitleri

3.4.1. Dinamik KGK

Dinamik KGK'ların en önemli ayırt edici özelliği, kesinti sırasında kullanılacak enerjiyi depolama ve çıkışa aktarma işlemlerini dinamik yöntemle gerçekleştirmesidir. Bu temel prensibi esas alan üreticilerin her biri, kendi sistemlerinde diğerlerine göre oldukça farklı yöntem ve donanımlar kullandığından, mevcut dinamik KGK'ları teknik açıdan sistematik şekilde sınıflandırabilmek oldukça zordur. Ancak en yaygın ve en bilinen uygulama, şekil 3.8.'de görüldüğü gibi enerjinin genellikle VOLAN olarak tabir edilen mekanizmalarla kinetik olarak depolanması ve yine dinamik olarak bir alternatör aracılığıyla yüke aktarılmasıdır. Dinamik KGK'lar, çok büyük yüklere ve çok kısa süreli kesintilere yönelik olarak tasarlandıkları için, genellikle dizel bir motor ile birlikte projelendirilirler. Çoğu kez de dizel jeneratör, dinamik KGK'nın bir parçası şeklinde, sistemle birlikte bir bütün olarak kullanıma sunulur.

Özelikle, kinetik enerji depolama teknikleri açısından kendi aralarında farklılıklar gösteren dinamik KGK'lar, son dönemde yarıiletken teknolojisindeki gelişmelerin etkisiyle, kısmen statik uygulamaları da içermeye başlamışlardır. Bazı üreticiler, bu alanda da birbirlerinden farklı hibrit uygulama yöntemleri geliştirmişlerdir. Örneğin, enerji depolama işlemi bir akü grubu aracılığıyla statik olarak sağlanırken, yüke aktarma işleminin dinamik bir alternatörle gerçekleştirildiği uygulamalar mevcuttur. Yine, farklı bir yöntem olarak; enerji depolama işleminin bir volan üzerinde dinamik olarak gerçekleştirildiği, ancak girişte ve çıkışta statik

doğrultucu-inverter devrelerin kullanıldığı sistemler de, bu tür hibrid uygulamalara örnek gösterilebilir.



Şekil 3.8. Bir dinamik KKK sisteminin temel elemanları

3.4.2. Statik KKK

Statik KKK tanımı içine giren farklı çalışma prensiplerinin tamamında, genel olarak üç ortak temel unsurdan söz etmek mümkündür. Bunlar; şebekeden sağlanan AC enerjiyi doğrultarak akü grubuna ve inverterlere aktaran "DOĞRULTUCU", akü grubundan ve doğrultucudan alınan DC enerjiyi tekrar AC enerjiye dönüştürerek yüklerle aktaran "İNVERTER" ve bu işlemler için gerekli DC enerjiyi depolamak için kullanılan "AKÜ GRUBU" dur.

Özellikle küçük yükler için tercih edilebilen hat etkileşimli KKK'ların çoğunda, bu katlar şebekeden çalışma sırasında kısmen pasiftir ve bu durumda sadece, şebeke gerilimi regüle edilip iyileştirilir. Akü grubu ve inverter kısmı, şebeke enerjisi kesildiğinde devreye girer ve aküler üzerinden yükü besler. Daha uzun yedekleme süreleri ve daha büyük yükler için tercih edilen on-line KKK'larda ise bütün bu kısımlar sürekli olarak aktif durumdadır.

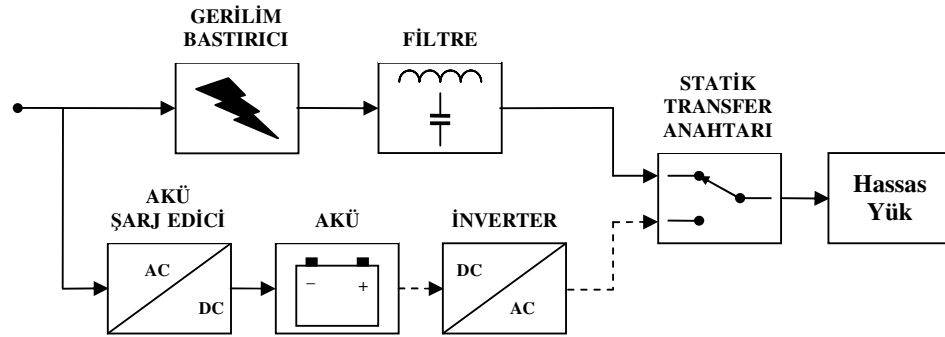
Statik KKK'larda yapısal nedenlerle ortaya çıkan, şebekeye yönelik harmonik salınımlar ve giriş güç faktörüne yönelik olumsuz etkiler, yeni nesil KKK'larda asgariye indirilmiştir. Bu amaçla, özellikle büyük güçlerdeki yeni nesil KKK'larda 12 darbeli doğrultucular ve giriş harmonik filtreleri ön plana çıkmış, ayrıca PFC (Power Factor Correction) devrelerinin kullanımı yaygınlaşmıştır.

Akü grubunun şarj yönetiminde ise, gelişen DSP teknikleri sayesinde, ortam sıcaklığından, akülerin özel çalışma karakteristiklerine kadar tüm veriler, mikroişlemcilerle denetlenmekte ve böylece akülerin kullanım ömürleri azami düzeye çıkarılabilmektedir. Statik KGK'larda, yükleri aküler üzerinden beslemek ve bu amaçla AC çıkış gerilimi üretmek için kullanılan inverter kısmı, dinamik KGK'lardan farklı olarak, her zaman statik teknolojiye dayalıdır. Özellikle PWM (Pulse Width Modulation), AC sinüs çıkış gerilimi elde etmek için en yaygın yöntem olarak kullanılır. IGBT kontrol tekniklerindeki son gelişmeler sayesinde, günümüzde %100 dengesiz yükler için çıkış faz kaymaları, gerilim değişim oranları asgariye indirgenmiş olan statik inverterler kullanılmaya başlanmıştır.

Statik KGK'ları oluşturan bu temel kısımlara ek olarak, diğer tüm KGK'lar için de geçerli olan, kontrol paneli ve kontrol yazılımları da, hem KGK'ların teknolojik düzeylerini ortaya koyan, hem de kullanıcıyla doğrudan ilgili olan unsurlardır.

3.4.2.1. Off-line KGK

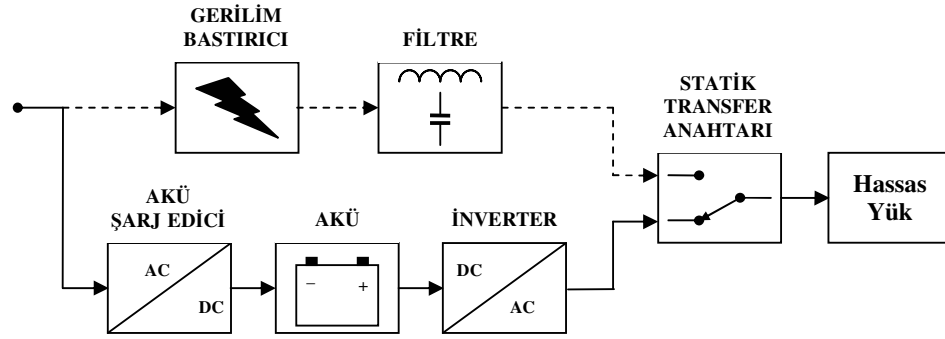
Şekil 3.9.'da blok şeması verilen off-line KGK'larda şebekede enerji bulunduğu sürece yük şebekeden beslenir, ancak inverter hazır bekletilir ve şebekede enerji kesildiği anda devreye girerek yükü beslemeye devam eder. Off-line KGK'lar tercih edilirken şebeke kesintisi durumunda devreye girme süresi en kısa olan tercih edilmelidir. Daha çok tek kullanıcı sistemler için uygundur.



Şekil 3.9. Off-line KGK

3.4.2.2. On-line KGK

Şekil 3.10.'da blok şeması verilen on-line KGK'larda şebekede enerji olsun ya da olmasın yük sürekli olarak inverter üzerinden beslenir. Şebekede enerji olduğu sürece hem aküler şarj edilir, hem de şebeke ile aynı frekansta çalışan inverter yardımıyla yük beslenir. Şebekede kesinti olması durumunda inverter aküden aldığı enerjiyi hassas yüke aktarır. Yükün bu biçimde beslenmesi sırasında şebekeden veya aküden besleniyor olması çıkış gerilim kalitesini ve sürekliliğini değiştirmemektedir.

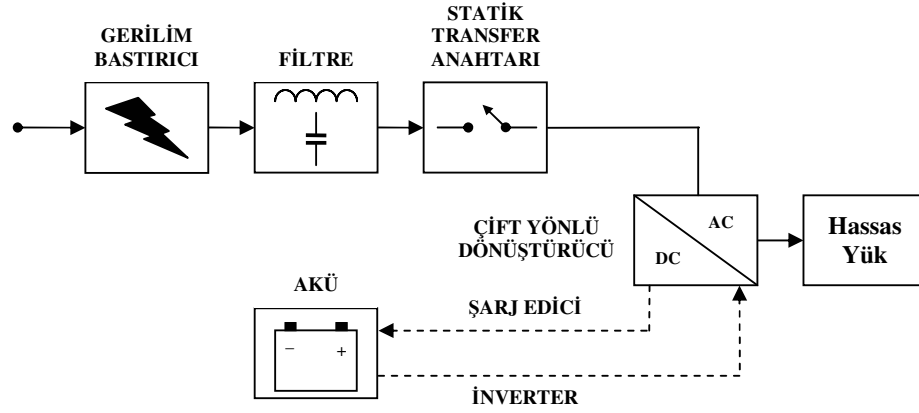


Şekil 3.10. On-line KGK

On-line sistemler, motor-jeneratör uygulamaları gibi dengesiz frekansın sorun olduğu alanlarda da kullanılabilir. Ayrıca aşırı yüklenme, aşırı ısı, kısa devre gibi KGK üzerinde oluşan herhangi bir arıza durumunda yük statik anahtarlar üzerinden kesintisiz olarak şebekeye aktarılır. En iyi çıkış, on-line sistemlerde elde edilir. Çünkü şebeke arıza durumu hariç yüke sağlanan enerji önce AC-DC sonra da DC-AC dönüşümle sağlanır. Bu yüzden bu tip bir KGK “Çift Dönüşümlü” KGK olarak da adlandırılabilir.

3.4.2.3. Hat etkileşimli KGK

Şekil 3.11.'de blok şeması verilen hat etkileşimli KGK'larda şebeke varken inverter pasiftir ve bu durumda şebeke gerilimini regüle eden kısım ve akü şarj birimi aktiftir. Akü grubu ve inverter kısmı, şebeke enerjisi kesildiğinde devreye girer ve aküler üzerinden yükü besler. Akülerin doldurulması şebekenin normal olduğu durumda inverterin doğrultucu modunda çalıştırılmasıyla sağlanır.



Şekil 3.11. Hat Etkileşimli KKK

3.5. KKK Sistemlerinin Karşılaştırılması

Enerji problemleri incelenip bunları giderecek prensipler ele alındığında “Çift Dönüşüm” çalışma prensibinin KKK’lar için ideale en yakın olduğu düşünülebilir. Ancak konu bu kadar basit değildir. Çünkü uygulamaya yönelik düşünüldüğünde hedefe ulaşmak için sadece bu enerji problemlerini elimine etmenin yeterli olmadığı görülür.

Ancak bazı KKK uygulayıcıları ve kullanıcıları, bazen yanlış yönlendirmelerle bazen ise yukarıdaki yaklaşımla yanlış seçimler yapıp ekonomik olarak pahalı ve uygulama olarak da başarısız sonuçlara varmışlardır.

KKK’lara en çok ihtiyaç duyulan ve en çok kullanılan sistemler, bilgisayarlı sistemlerdir. Burada amaç, bilgisayar ve diğer donanım parçalarının güvenilir bir şekilde ve uzun süre görevini hatasız sürdürebilmesidir. Bilgisayarlı sistemlerin çalışmama sebepleri çeşitli kuruluşlarca araştırılmış ve benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır. Bu tür sistemlerin çalışmamasının en büyük nedeni kompleks yapılarından dolayı meydana gelen arızalardır. Bundan sonraki ikinci büyük neden ise AC enerji kalitesidir.

Kaliteli enerji sağlandığında, bilgisayarlı sistemlerin çalışmaması artık kendini oluşturan ünitelerin arızaları ile oluşmaktadır. Bunlar arızalanma olasılığına göre sıralanırsa hard disk, hafıza, güç kaynağı, fan ve mikro işlemci oldukları görülmektedir. Araştırma sonuçları göstermiştir ki; giriş enerji problemlerinin

elimine edilmesi ile meydana gelebilecek arızalanma riskinin en az %50'si bertaraf edilmektedir.

Bu durumda bu tür sistemlerin arızalanmadan uzun süre görevini yerine getirmesi için iki önemli teknik şart ortaya çıkmaktadır:

1. Enerji problemlerinin giderilmesi için bir dizi güç koruma önlemi alınmalıdır. (Güç koruma önlemi ile KGK kullanımı kastedilmektedir)
2. Bu güç koruma önlemi, görevini sistemin beklenen ömründen daha uzun süre yerine getirmelidir. Ya da bir başka ifade ile KGK'nın yıllık hata oranı koruma yaptığı bilgisayara göre daha az olmalıdır.

Yani aranan çözüm, koruması yapılacak sistemden daha az hata oranına sahip ancak enerji problemlerinin yaratacağı sorunları kusursuzca giderecek bir KGK çalışma prensibidir. Tabii bunun en ekonomik şekilde sağlanması da çok önemlidir.

Bu şartların sağlanması için ilk bakışta en uygun KGK gibi görünen çift dönüşüm prensibinde çalışan on-line bir KGK göz önüne alındığında her ne kadar problem elimine edilse de sistemi oluşturan bilgisayarlar kadar uzun süre hatasız çalışması beklenemez. Bu durumda, tüm enerji problemlerini giderdiği zannedilirken KGK'nın kendisi en büyük risk olarak ortaya çıkmakta ve arızaların tespiti, giderilmesi, lojistiği gibi masraflar büyük yükler getirmeye başlamaktadır.

Çift dönüşüm prensibinde çalışan bir KGK'dan özellikle 400-5000 VA güç aralığında yaygın ve zor şartlar altında kullanılmasında sistemlerin hata oranlarının yüksek olması nedeniyle büyük problemler yaşanmaktadır. Yapılan araştırmalarda on-line KGK'larda hatalar arası ortalama süre 30.000-50.000 saat iken hat etkileşimli KGK'larda bu süre 250.000 saatlere çıkmaktadır. Yani yıllık arıza oranı çift dönüşümlü KGK'larda %17 ile %25 arası iken hat etkileşimli KGK'larda %1 veya %2'dir (www.apc.com). Bu tür sistemlerin arıza oranlarının yüksek olması nedenleri şöyle sıralanabilir:

- 1- Çift dönüşüm prensibinde çalışan bir KGK'da sistem normal modda çalışırken yaklaşık 10-14 güç komponenti güç akış yolu üzerinde stres altında çalışmaktadır. Hat etkileşimli prensipte ise 4 adet komponent sadece yük bataryadan beslenirken kısa bir süre stres altında bulunmakta, normal modda ise çok az stres altında olmaktadır. Komponentlerin sayısı ve stres altında kalma süresi, güvenilirliği ve hata oranını çok etkilemektedir.

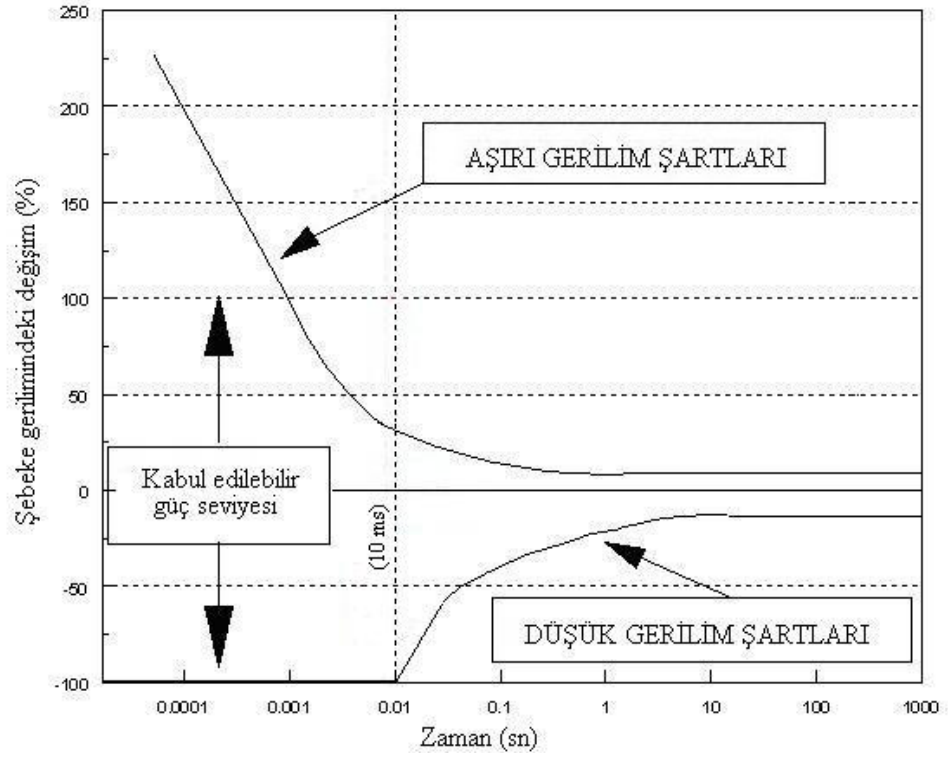
- 2- Komponentlerin stres altında kalmasının bir ölçüsü de sistem verimidir. Hat etkileşimli çözümde %97-98 olan verim, çift dönüşüm prensibinde %88-90'a düşmektedir. Verimsizlikten ortaya çıkan güç kaybı, komponentlerin üzerinde harcanmakta ve streslerinin bir ölçüsü olmaktadır
- 3- Verimsizlik ısıya dönüştükçe aynı kabinde olan bataryalarında ortam ısını yükseltmekte ve bataryaların ömrünü dolayısıyla KGK sisteminin güvenilirliğini azaltmaktadır.
- 4- Fan, özellikle kirli ortamlarda içine çektiği kirlilik nedeniyle büyük arıza nedenini oluşturmaktadır. On-line KGK'da fanlar her zaman devrede iken, hat etkileşimli prensipte ya kullanılmamakta ya da sadece kısıtlı zamanlarda kullanılmaktadır.
- 5- Fiyat olarak hat etkileşimli çözüme göre daha pahalıdır. Servisi ve lojistiği daha masraflıdır.

Enerji problemlerini en etkin bertaraf eden çift dönüşüm prensibi, yüksek arıza oranı ve yüksek maliyet ile yeterli olmuyor ise o zaman daha az arıza-hata oranı bulunan hat etkileşimli prensibin enerji problemlerinin üstesinden gelip gelemeyeceği irdelenmelidir.

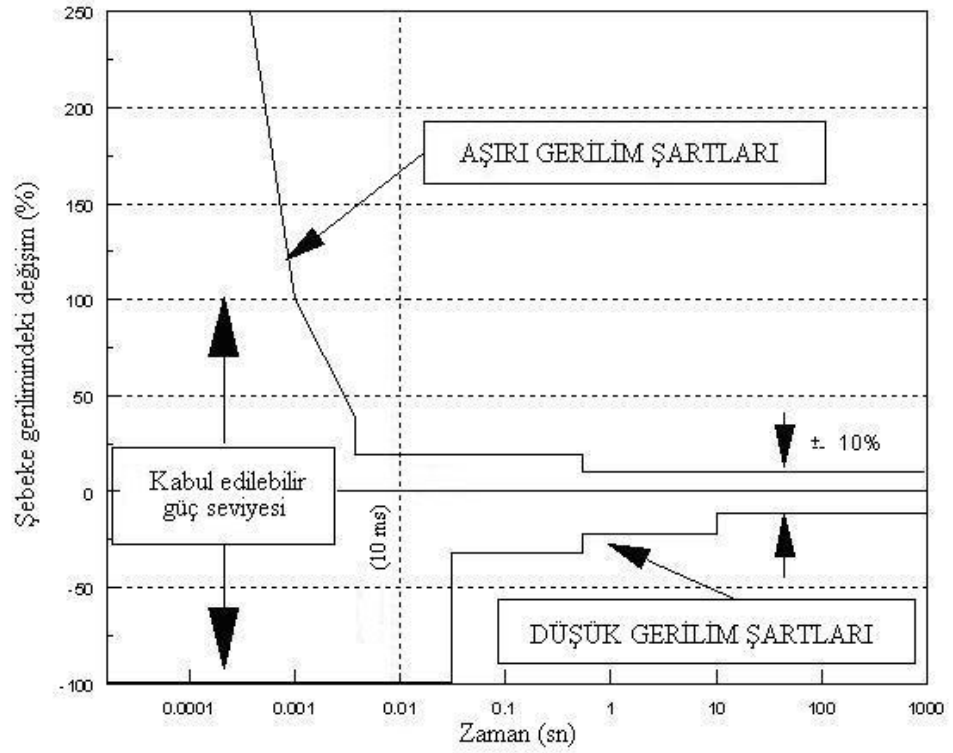
“Computer Business Equipment Manufacturers Association (CBEMA)” ve “Information Technology Industry Council (ITIC)” başta olmak üzere bazı kuruluşlar hem ekonomiklik hem de uygulanabilirlik için bilgisayar ekipmanlarının güç kaynakları ile ilgili minimum belirlemeler yapmışlardır. Şekil 3.12. ve şekil 3.13.’de bu birliklerin yayınladıkları eğriler görülmektedir.

İki eğri içinde kalan gerilim akışı kabul edilebilir. Yani tüm bilgisayar ekipmanı, bu tür değişimlere karşı duyarsızdır. Burada görüldüğü gibi bilgisayar ekipmanı, en az yarım periyot enerjisizliğe dayanmakta ve girişine gelen gerilimin +%10, -%15 gibi geniş bir aralığın içinde olması kafi olmaktadır.

Kısa süreli gerilim kesintisi, düşük gerilim ya da aşırı gerilim gibi olaylara çift dönüşüm prensibinin sağladığı kadar sıkı şartlar gerekmemektedir. Daha da detaya inip kullanılan güç kaynaklarının teknik özelliklerine daha yakından bakılırsa benzer değerler görülür.



Şekil 3.12. CBEMA eğrisi



Şekil 3.13. ITIC eğrisi

Sonuç olarak gör÷lmektedir ki; 400 ile 5000VA güç aralığındaki bilgisayar ekipmanları için en ekonomik çözüm hat etkileşimli KGK'lar olmaktadır. Çünkü bu prensip, bilgisayar ekipmanlarının güç kalitesi istekleri ile uzun ömür, düşük arıza oranını sağlayan en uygun prensiptir (www.apc.com).

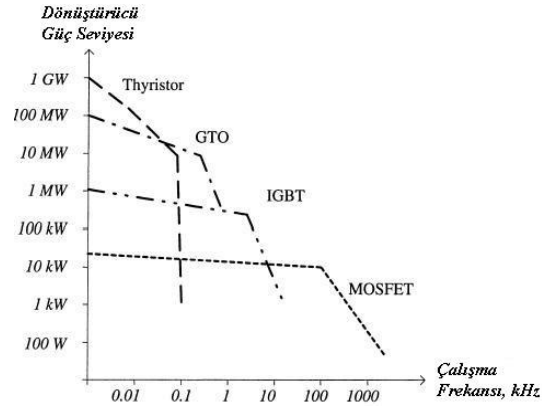
4. KESİNTİSİZ GÜÇ KAYNAKLARININ YAPISI

KGK'lar, kullanım amacına ve çalışma prensibine göre değişse de genellikle beş ana birimden oluşmaktadır. Bu birimler aşağıdaki gibi sıralanır;

- 1- İnverter
- 2- Doğrultucu
- 3- Statik Transfer Anahtarı
- 4- Akü
- 5- Transformatör

İnverter, doğru gerilimi alternatif gerilime dönüştüren bir güç elektroniği devresi olarak tanımlanabilir. Bu tanımdan hareketle kesintisiz güç kaynaklarında inverterin görevi, akünün DC gerilimini KGK'ya bağlanan yükün ihtiyaç duyduğu AC gerilime çevirmektir. Doğrultucu ise, şebeke gerilimini akü şarjı için gerekli olan DC gerilime dönüştürür. On-line ve off-line KGK'larda inverter ve doğrultucu olarak çalışan iki ayrı dönüştürücü bulunurken hat etkileşimli KGK'larda aynı dönüştürücü hem doğrultucu hem de inverter olarak çift yönlü çalışmaktadır.

İnverter ve doğrultucu devrelerinde kullanılan yarıiletken anahtarlar, devrenin çalışma frekansına ve yükün gücüne göre farklı şekillerde seçilmektedir. Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi yüksek frekanslı ve düşük güçlü uygulamalarda MOSFET ağırlıklı olarak kullanılırken 10 kHz'in altındaki frekanslarda 1 MW'a kadar olan güç seviyelerinde çalışabilen IGBT tercih edilmektedir. GTO ve tristör ise düşük frekanslı çok yüksek güçlü uygulamalarda kullanılmaktadır. (Acha ve ark. 2002)



Şekil 4.1. Değişik güç anahtarlarının frekans-güç eğrisi

KGK’larda kullanılan transformatörlerde nüve olarak silisyumlu çelik sac yerine son yıllarda ferit tercih edilmektedir. Böylece yüksek frekanslarda meydana gelen kayıplar ve ısınma problemleri ortadan kalkarken aynı zamanda KGK’lar daha hafif ve daha küçük olarak üretilmeye başlanmıştır.

Aküler, KGK’ların en önemli parçalarındandır. Çünkü bir KGK’nın yükü besleme süresi, akünün kapasitesine bağlıdır. Kullanılacak akünün seçimi yapılırken KGK’nın hassas yükü ne kadar süre ile beslemesi gerektiği göz önünde bulundurulmalıdır. KGK’larda gerek ucuz maliyeti gerekse bakım gerektirmemesi nedeniyle çoğunlukla tam bakımsız kuru tip kurşun asit aküler tercih edilmektedir.

Statik transfer anahtarları, KGK uygulamalarında bakım gerektiğinde ya da arıza durumlarında, yükü ana beslemeden yedek kaynağa aktarmak veya tersi için yaygın olarak kullanılır. Yükün transfer işleminin yüke hissettirilmeden çok hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. KGK’larda statik transfer anahtarı olarak tristörler veya triyaklar kullanılmaktadır.

4.1. İnverter

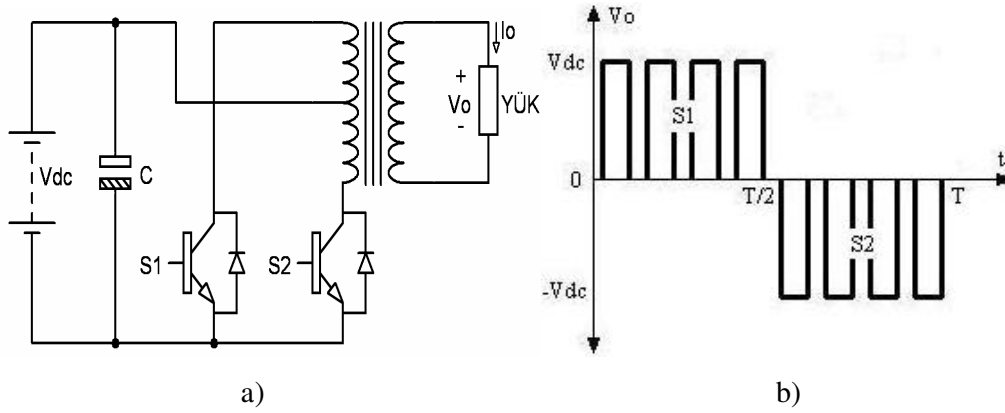
İnverterler, DC gerilimi değişken gerilim dalga şekline dönüştürebilen, frekansı ve gerilimi birbirinden bağımsız olarak ayarlanabilen devrelerdir. İnverterlerin üreteceği dalga şekilleri ve frekansları, kullanılan yarıiletken elemanların karakteristiklerine, iletim ve kesim sürelerine bağlıdır. İnverterler, uygulamada besleme özelliklerine göre “Akım beslemeli” ve “Gerilim beslemeli” olmak üzere iki grupta incelenirler. Akım veya gerilim beslemeli inverterler arasında yapılacak seçim, yükün özelliklerine göre değişir. Eğer yük, harmonik akımlara karşı yüksek empedans gösteriyorsa gerilim beslemeli inverterler, yük harmonik akımlara karşı düşük empedans gösteriyorsa akım beslemeli inverterler tercih edilmelidir. Çıkış gerilimi genellikle PWM kontrol yöntemiyle değiştirilir (Sarıtaş ve ark. 2002).

Tek fazlı KGK’larda kullanılan inverterler, devre yapılarına göre aşağıdaki şekilde incelenebilir;

- Push-pull inverter.
- Yarı köprü inverter.
- Tam köprü inverter.

Push-pull inverter

Bu inverterde, şekil 4.2.'de görüldüğü gibi primer tarafında orta ucu bulunan bir transformatör kullanılmaktadır. Transformatör, yük ile kaynak arasında elektriksel izolasyon sağlamaktadır. Çıkışta AC gerilim üretmek için, bir periyodun yarısında anahtarlardan biri kapalı diğeri açık konumda, periyodun diğer yarısında da kapalı anahtar açık, açık anahtar ise kapalı konumdadır. Çıkış gerilimi transformatörün dönüştürme oranı değiştirilerek ayarlanabilir.

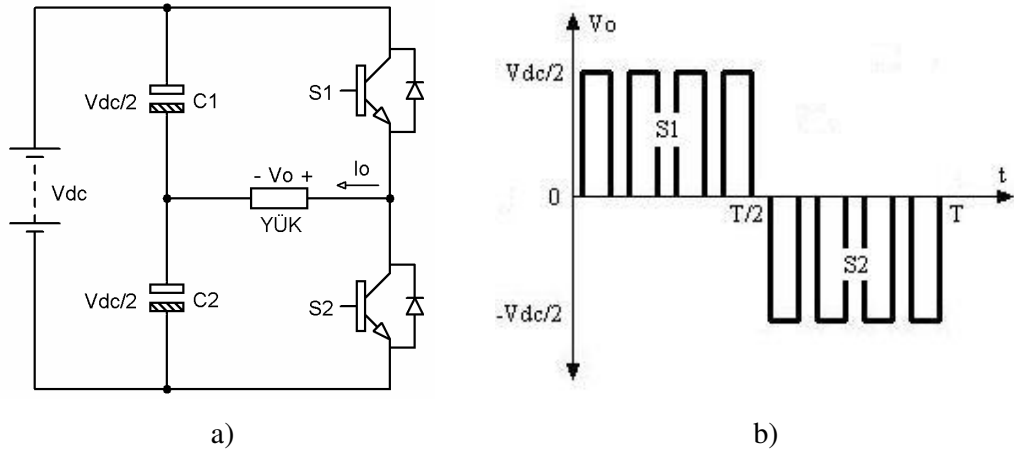


Şekil 4.2. Push-Pull inverter devre şeması ve çıkış gerilimi dalga şekli

Bu devrenin ana üstünlüğü, herhangi bir zamanda anahtarlardan sadece birinin iletimde olmasıdır. Bu durum, inverterin DC girişinin pil gibi düşük gerilim kaynağından oluştuğu uygulamalarda, seri iki anahtarın üzerinde oluşacak gerilim düşümü dolayısıyla verim çok düşeceği için önemlidir. Ayrıca, iki anahtarın kontrol sürücüleri ortak bir toprağa sahiptirler. Yine de, push-pull inverterdeki transformatörün DC bileşeni nedeniyle doymasını önlemek zordur

Yarı köprü inverter

Şekil 4.3.a.'da verilen devre şemasında da görüldüğü gibi iki adet yarıiletken anahtarla gerçekleştirilen yarı köprü inverter, düşük güç uygulamalarında kullanılmaktadır. Burada, DC gerilim kaynağına iki adet eşit kapasiteli kondansatör seri bağlanmıştır ve bağlantı noktaları her kondansatörün üzerinde $V_{dc}/2$ kadar bir gerilim olacak şekilde yarı potansiyeldedir.



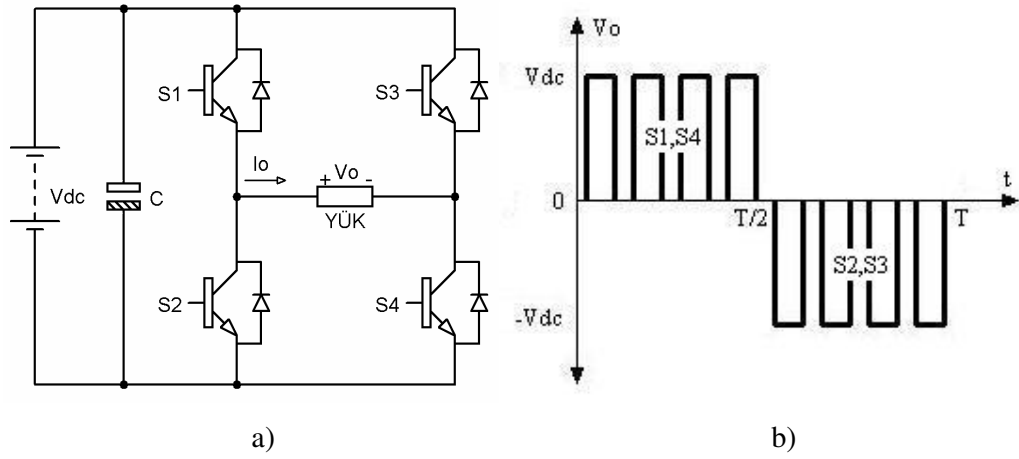
Şekil 4.3. Yarı köprü inverter devre şeması ve çıkış gerilimi dalga şekli

Şekil 4.3.b.'de görülen çıkış gerilim dalga şekli anahtarların sırası ile konum değiştirmesi ile oluşmaktadır. Buna göre, 0 ile $T/2$ aralığında S_1 anahtarı kapalı S_2 anahtarı açık ve çıkış gerilimi $+V_{dc}/2$ 'dir. $T/2$ ile T aralığında ise S_1 açık S_2 kapalı ve çıkış gerilimi $-V_{dc}/2$ 'dir. Böylece çıkış gerilimi frekansı $1/T$ olan ve tepe değeri $+V_{dc}/2$ ile $-V_{dc}/2$ arasında değişen karesel bir dalga şekline sahip olur.

Tam Köprü İnverter

Şekil 4.4.a.'da daha yüksek güç uygulamalarında tercih edilen tam köprü inverter gösterilmiştir. İki adet yarı köprü inverterin birleşiminden oluşmaktadır. Dolayısıyla inverterde dört adet anahtar kullanılmıştır. Bu yüzden, aynı DC giriş gerilimi için, tam köprü inverterin en yüksek çıkış gerilimi yarı köprüününkinin iki katıdır. Bunun anlamı, aynı güç değeri için, çıkış akımı ve anahtar akımları yarı köprüdeki yarısı kadardır. Bu durum özellikle yüksek güç değerlerinde tam köprü inverterin açık bir üstünlüğüdür.

Şekil 4.4.b.'de görülen çıkış gerilim dalga şekli, anahtarların sırası ile çapraz olarak konum değiştirmesi ile oluşmaktadır. Buna göre, 0 ile $T/2$ aralığında S_1 ile S_4 anahtarı kapalı S_2 ile S_3 anahtarı açık ve çıkış gerilimi $+V_{dc}$ 'dir. $T/2$ ile T aralığında ise S_1 ile S_4 anahtarı açık S_2 ile S_3 anahtarı kapalı ve çıkış gerilimi $-V_{dc}$ 'dir. Böylece çıkış gerilimi frekansı $1/T$ olan ve tepe değeri $+V_{dc}$ ile $-V_{dc}$ arasında değişen karesel bir dalga şekline sahip olur.



Şekil 4.4. Tam köprü inverter devre şeması ve çıkış gerilimi dalga şekli

4.2. Doğrultucu

Şebekeden aldığı AC gerilimi DC gerilime çeviren doğrultucular, KGK'larda inverterin çalışması için gerekli olan DC gerilimi elde etmek için kullanılır. DC akım ve gerilim kontrolü sağlanarak aynı zamanda akü grubunu şarj etmek için de kullanılabilir. KGK tiplerine göre tek faz girişli veya üç faz girişli olabilir. Genellikle, tek fazlı sistemler için kontrolsüz doğrultucu, üç fazlı sistemler içinse 6 darbeli kontrollü doğrultucu kullanılır.

KGK'larda giriş akımlarının THD (Toplam Harmonik Distorsiyon) değerini azaltmak ve güç faktörünü arttırmak için farklı yöntemler izlenebilir. Tek ve üç fazlı sistemlerde, PFC (Güç Faktörü Düzeltme) özelliği olan doğrultucular kullanılarak giriş güç faktörü ve THD değerleri uluslararası standartlara uygun hale getirilebilir.

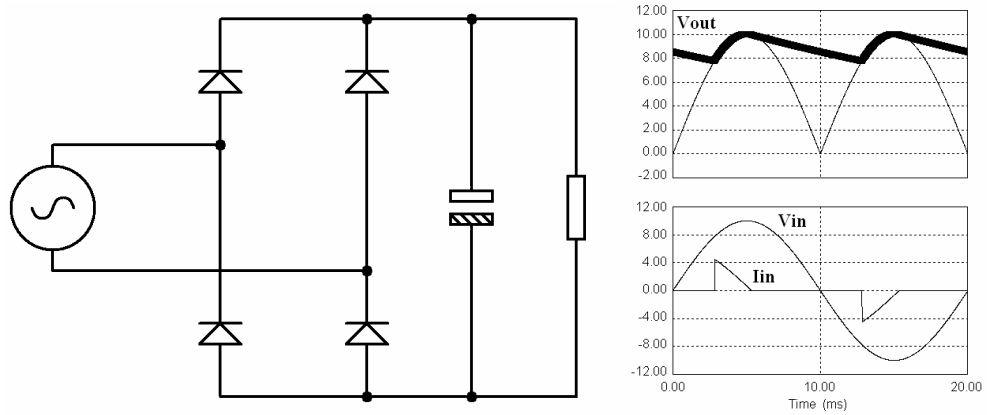
Bazı KGK'larda harmonik filtreler kullanılmaktadır. Bu durumda kompanzasyon panolarının devre dışı bırakılması gerekmektedir. Aksi halde giriş harmonik filtreleri ile kompanzasyon devreleri rezonansa girerek istenmeyen başka harmonikler üretebilirler. Bu nedenle yüksek güçlü KGK'larda mutlaka darbe sayısı arttırılmış doğrultucular kullanılmalıdır. Böylece KGK'nın giriş akımı toplam harmonik distorsiyonu, %35'lerden %8'lere kadar düşürülebilmektedir.

KGK’larda yaygın olarak kullanılan doğrultucu tipleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Tam Dalga Kontrolsüz Doğrultucu
2. Tam Dalga Kontrollü Doğrultucu
3. PFC’li Doğrultucu

Tam dalga kontrolsüz doğrultucu

KGK’nın yapısına göre tek fazlı veya üç fazlı olarak tasarlanır. DC gerilim tek fazlı veya üç fazlı tam dalga diyot köprüsü ve DC çıkışına bağlanan kondansatör ile elde edilir. Adından anlaşıldığı gibi DC çıkış geriliminin değeri, bir kontrol devresi ile belirlenemez. DC çıkış gerilimi, giriş gerilimi ile doğru orantılı olarak artar veya azalır. Tek fazlı tam dalga kontrolsüz doğrultucu devre şeması ve giriş-çıkış eğrileri şekil 4.5.’te verilmiştir.



Şekil 4.5. Tek fazlı tam dalga kontrolsüz doğrultucu ve giriş-çıkış eğrileri

Avantajları:

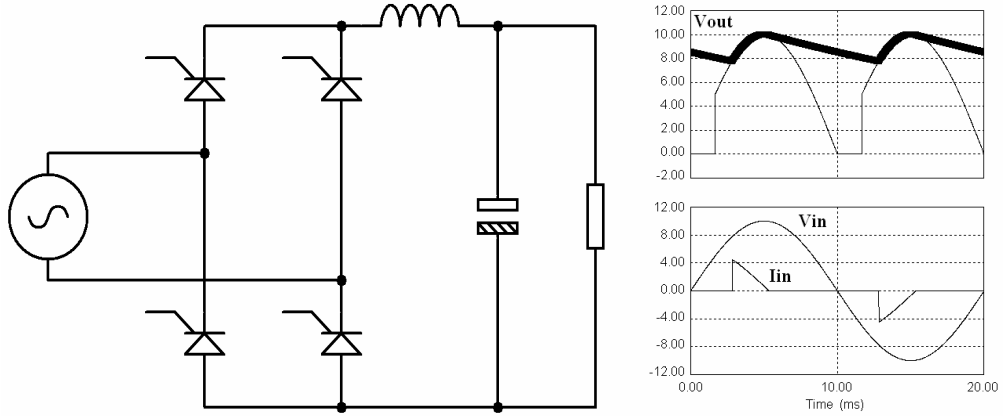
- Devrenin basit olması, az eleman kullanılması ve kontrol devresi gerektirmemesi nedeni ile arıza olasılığı ve kayıplar azdır.
- DC gerilimdeki dalgalanma, kontrollü doğrultuculara göre daha azdır ve filtre için daha düşük kondansatör değerleri yeterli olmaktadır.
- Bunların sonucunda, devrenin boyutları ve maliyeti düşüktür, güvenilirliği yüksektir.

Dezavantajları:

- Filtre kondansatörünün başlangıçta boş olması ve gerilimin yavaş yükselmesini sağlayan bir yapısı olmaması nedeni ile başlangıç akımları yüksektir. Başlangıç akımını sınırlamak için önlem alınmazsa devre elemanları ve/veya şebeke hattı zarar görebilir.
- Çıkış geriliminin kontrolsüz olması nedeniyle doğrultucu çıkışından beslenen inverterin giriş gerilim aralığının geniş tasarlanması gerekir.
- Sabit gerilim ve akım kontrolü yapılamadığından akü grubunun şarj edilmesi için uygun değildir.

Tam dalga kontrollü doğrultucu

Tristörler ile gerçekleştirilen tek fazlı tam dalga doğrultucu, dalgalanmayı azaltmak için köprü çıkışına seri bobin ve paralel DC kondansatör bağlanarak elde edilir. DC çıkış geriliminin değeri bir kontrol devresi ile kontrol edilebilir. Devrenin yapısı ve giriş-çıkış eğrileri şekil 4.6.'daki gibidir.



Şekil 4.6. Tam dalga kontrollü doğrultucu ve giriş-çıkış eğrileri

Avantajları:

- DC çıkış gerilimi ve yük akımı değerleri bir kontrol devresi ile istenilen değerlerde tutulabilir.
- Devrenin çıkış geriliminin sıfırdan maksimuma yükselme süresi kontrol devresi ile ayarlanabileceğinden başlangıçta şebekeden çekeceği akım sınırlandırılabilir.
- Çıkış gerilimi ve akımı istenilen değerlerde sınırlandırılabilmesi için hem inverterde, hem de akü grubunun şarj edilmesinde kullanılabilir.

Dezavantajları:

- Kontrolsüz doğrultucuya göre daha fazla elemanla gerçekleştirildiği için boyutları ve maliyeti yüksektir.
- Çıkış gerilimi, kontrolsüz doğrultucuya göre daha dalgalı olduğu için filtre kondansatörünün değeri daha yüksek seçilmelidir.

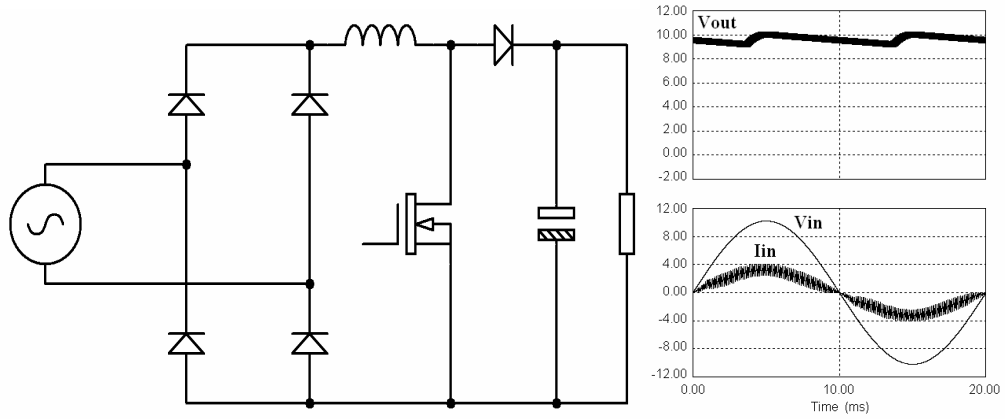
PFC'li doğrultucu

Diyot ve tristörlerle elde edilen doğrultucular, yük tarafından çekilen akımın her anında şebekeden akım çekmezler. Şebeke geriliminin tepe noktaları etrafında girişten akım çekilir. Sinüzoidal şebeke geriliminin tepe noktaları etrafında DC filtre kondansatörünün şarj akımı ve yük akımının toplamı şebekeden çekilirken, sinüzoidal şebeke geriliminin diğer bölgelerinde yük akımı kondansatörde depolanan DC gerilimden sağlanır.

Sinüzoidal giriş geriliminin her bölgesinde gerilimle orantılı bir akım çekilmediğinden gerilimdeki çökmeler de sadece akımın çekildiği tepe bölgelerinde meydana gelir. Böylece AC giriş gerilimi tam sinüzoidal olmaktan çıkar, bozuk bir sinüzoidal gerilim olur.

Tam sinüzoidal olmayan bir AC gerilim, AC ile çalışan tüm yüklerde verimsizliklere ve aşırı ısınmalara neden olur. Ayrıca sinüzoidal olmayan akım çeken devrelerin güç faktörü 1'den düşük olduğundan aynı gücü elde etmek için daha fazla akım çekilmesi gerekir. Bu da iletken kesitlerinin daha yüksek akımlar için artırılmasını gerektirir. Bu nedenlerle şebeke geriliminden sinüzoidal akım çeken ve güç faktörü 1'e yakın olan, yani şebeke gerilimini bozmayan ve şebekeyi gereksiz yüksek akımla yüklemeyen doğrultucular önem kazanmakta ve tercih edilmektedir.

PFC'li doğrultucular, KGK'nın yapısına göre tek fazlı veya üç fazlı olabilir. Şekil 4.7.'de verilen devre yapısında da görüldüğü gibi PFC'li bir doğrultucu; tam dalga kontrolsüz bir doğrultucu ile bobin, yarı iletken anahtar ve diyottan oluşan PFC devresinin birleşiminden elde edilir. Giriş akımının sinüzoidal olabilmesi için giriş gerilimine benzetilmesi sağlanır. Bu amaçla, yarıiletken anahtar PWM tekniği ile anahtarlanır. Anahtarın iletimde ve kesimde kaldığı süreler değiştirilerek şebekeden çekilen akımın şekil 4.7.'de görüldüğü gibi sinüzoidal olması sağlanır.



Şekil 4.7. PFC’li doğrultucu devre şeması ve giriş-çıkış eğrileri

Avantajları:

- Giriş akımı sinüzoidal olduğu için şebeke geriliminde bozulmalara ve gereksiz yüksek akımlara neden olmaz.
- Giriş akımı, DC çıkış gerilimi ve yük akımı, bir kontrol devresi ile istenilen değerlerde tutulabilir.
- Çıkış gerilimi ve akımı, istenilen değerlerde sınırlandırılabilceği için hem inverterde, hem de akü grubunun şarj edilmesinde kullanılabilir.

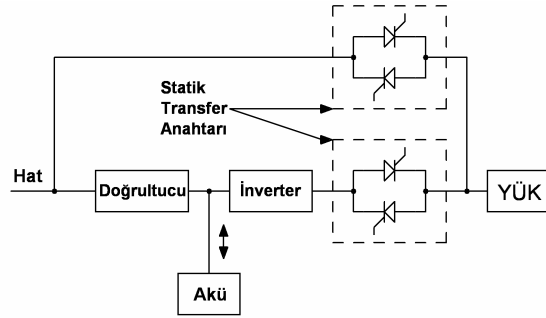
Dezavantajları:

- Diğer doğrultucu tiplerine göre daha fazla elemanla elde edildiği için boyutları ve maliyeti yüksektir.
- Diğer doğrultucu tiplerine göre kayıpları daha fazladır ve verimi daha düşüktür.
- Devrenin tasarımı ve optimizasyonu zordur. Yüksek derecede güç elektroniği bilgisi gerektirir.
- Yüksek gerilimde anahtarlama yapıldığından elektromanyetik gürültü kaynağıdır ve bu gürültünün mutlaka filtre edilmesi gerekir.

4.3. Statik Transfer Anahtarı

Statik anahtarlar, şekil 4.9.'da görüldüğü gibi, KGK uygulamalarında bakım gerektiğinde ya da arıza durumlarında, yükü ana beslemeden yedek kaynağa aktarmak veya tersi için yaygın olarak kullanılır. Transfer anında, minimum bozulma olması için, KGK gerilimi ile ana besleme gerilimi arasında genlik ve faz senkronizasyonu sağlanmalıdır. Anahtarlar, kısa süreli kesintileri önlemek için, çok hızlı bir şekilde açma-kapama işlemlerini gerçekleştirme özelliğine sahip olmalıdır. Bu yüzden KGK uygulamalarında kullanılan mekanik kontaktörler veya röleler çok yavaş kalabilirler. Bunun yerine KGK uygulamalarında çoğunlukla tristör ve triyak gibi yarıiletken elemanlar kullanılır (Ünsal ve Tunaboğlu 2000).

Birkaç mikro saniye içinde açma-kapama yapabilen bu elemanlar, hızlı çalışan anahtarlar olarak mekanik ve elektromekanik devre kesicilerin yerine kullanılabilir. Düşük güçlü DC uygulamalar için, güç transistörleri de anahtar olarak kullanılabilir. Statik anahtarlar, yüksek anahtarlama hızları, hareketli parçalarının olmaması ve kapanırken ark oluşmaması gibi avantajlara sahiptirler (Gürdal 2000).



Şekil 4.9. KGK'da statik transfer anahtarı kullanımı

4.4. Akü

Aküler, kimyasal enerjiden elektrik enerjisi üreten düzeneklerdir. Akülerin en büyük avantajı elektrik enerjisini taşınabilir kılmasıdır. Birçok uygulamada vazgeçilmez olan aküler, KGK'ların da en önemli parçalarıdır. KGK'lar kritik yükleri birkaç dakikadan birkaç saate kadar süren zaman periyotları için beslerler. Bir KGK'nın enerji kesintisi veya kalite bozulması anında yükü besleme süresi, kullanılan akülerin kapasitesine bağlıdır. Bir akünün, şarj işlemiyle kazandığı ve

deşarj işleminde verebildiği enerjiye akünün kapasitesi denir. Kapasitenin birimi “Amper Saat” tir. Kısaca “Ah” harfleri ile ifade edilir.

Aküler, çok uzun süre kullanılacağı ve acil durumlarda çok kısa süre içerisinde çok büyük bir yükü beslemesi gerekebileceğinden bazı özelliklere sahip olmalıdırlar. Buna göre bir akü;

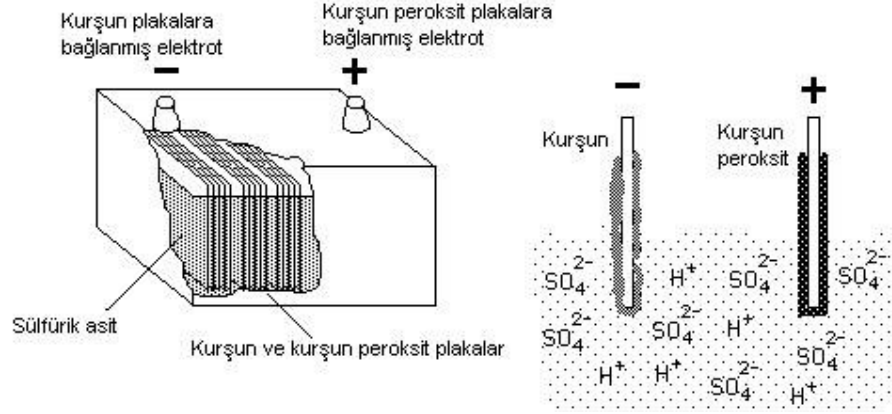
- Uzun ömürlü ve dayanıklı olmalıdır.
- Az bakım gerektirmelidir.
- Ucuz olmalıdır.
- Çevreye zarar vermemelidir.
- Mümkün olduğunca küçük ve hafif olmalıdır.

KGK uygulamalarında yaygın olarak, yukarıdaki şartları sağlayan kurşun asit ve nikel kadmiyum aküler kullanılmaktadır. Özellikle tam bakımsız kuru tip kurşun asit aküler diğer özelliklerinin yanı sıra fiyat yönünden sağladığı avantajla piyasadaki hemen hemen bütün KGK üreticileri tarafından tercih edilmektedirler.

4.4.1. Akünün yapısı

Kesintisiz güç kaynaklarında yaygın olarak kullanılan kurşun asit akülerin yapısı, elektrolit olarak sülfürik asit ve su karışımından ve biri kurşun diğeri ise kurşun peroksit olmak üzere iki ayrı plaka grubundan oluşmaktadır. Bu plakalar asit su karışımı içine batırılmış vaziyette olup uçları elektrotlarla akü dışına çıkarılmıştır.

Negatif plaka, saf kurşundan ızgara biçiminde kalıplarda dökülerek elde edilir. Kurşun ızgaranın mekanik direncini arttırmak için, kurşun içine antimuan katılır. Pozitif plaka ise saf kurşunun, özel profilde dökümü suretiyle elde edilir. Çok sayıdaki dikey çubukların oluşturduğu gerçek yüzey, plakaya dik bakıldığında görünen yüzeyin takriben 12 katıdır. Böylece elektrolitle temas eden plaka yüzeyi arttırılmış olur. Ayrıca plaka yüzeyinde kurşun peroksit film halinde aktif madde oluşturulur. Deşarjda, kurşun sülfat haline dönüşen yüzey şarjda, tekrar kurşun peroksit film haline döner. Şekil 4.10.’da akünün iç yapısı görülmektedir.

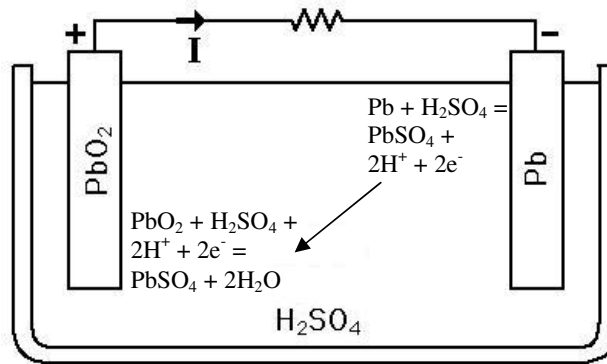


Şekil 4.10. Akünün iç yapısı

4.4.2. Akünün çalışma prensibi

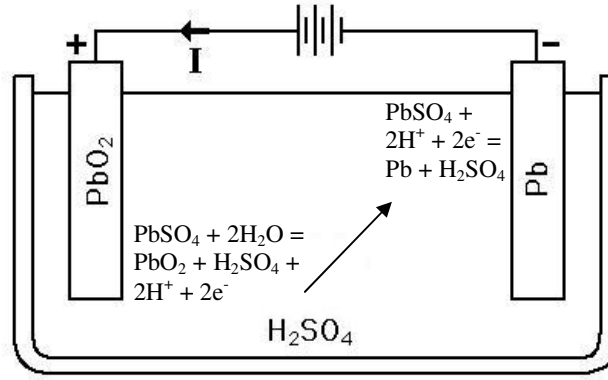
Kurşun asit akülerin çalışma prensibi, kurşun ve kurşun peroksit plakaların sülfürik asitle kimyasal olarak etkileşiminden dolayı iki plaka arasında bir gerilim farkı meydana gelmesi esasına dayanır. Eğer akü uçlarına şekil 4.11.'deki gibi bir direnç bağlanırsa direnç üzerinden akım aktığını görülür ve akü deşarj olmaya başlar.

Deşarj süresince negatif plakalardaki kurşun, sülfürik asitle reaksiyona girer. Sonuçta kurşun sülfat oluşur ve pozitif yüklü iki hidrojen iyonu ile iki elektron açığa çıkar. Pozitif plakalardaki kurşun peroksit negatif plakalardan gelen hidrojen iyonları ve elektronlarla birlikte sülfürik asitle tepkimeye girerek kurşun sülfatı oluşturur. Sonuç olarak her iki plakada da kurşun sülfat birikir, ayrıca iki su molekülü açığa çıkar. Elektrolitteki sülfürik asit miktarında ise azalma olur. Elektron akışı negatif plakadan pozitif plakaya doğru olduğu için akım yönü bunun tersi olarak alınır.



Şekil 4.11. Akünün direnç üzerinden deşarj olması

Şekil 4.12.'de görüldüğü gibi uçlarına bir DC kaynak bağlanırsa akü, şarj olmaya başlar ve deşarj süresince gerçekleşen reaksiyonlar tersine döner. Yani pozitif plakadaki kurşun sülfat ayrılarak iyonize olmuş sudaki oksijen ile birlikte kurşun peroksit'e dönüşür. Bu arada sülfürik asit, hidrojen iyonları ve iki elektron açığa çıkar. Hidrojen iyonları ve elektronlar negatif plakadaki kurşun sülfat ile birleşerek kurşun ve sülfürik asit oluşmasını sağlarlar. Sonuçta pozitif plakalarda kurşun peroksit, negatif plakalarda da kurşun birikir. Elektrolitteki sülfürik asit miktarı artar.



Şekil 4.12. Akünün şarj edilmesi

4.4.3. Akü şarjı

Kurşun asit aküler, tekniğine uygun olarak doldurulduğunda çok uzun seneler kullanılabilir. Şarj işlemi, çeşitli metotlarla gerçekleştirilebilir. Söz konusu metotların hepsinde hedef aküyü tam kapasitesine ulaştırmak ve bu kapasitede muhafaza etmektir. Böylece deşarjda, aküden tam kapasite elde edilerek, verimli ve sürekli bir işletme sağlanır. Bu metotlarla şarj işlemini gerçekleştirebilmek için, “Gerilim Regülasyonu” ve “Akım Limitleme” özellikleri olan doğrultuculara gereksinim vardır (Crompton 2000).

Şarj metotlarının hepsinde, aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır;

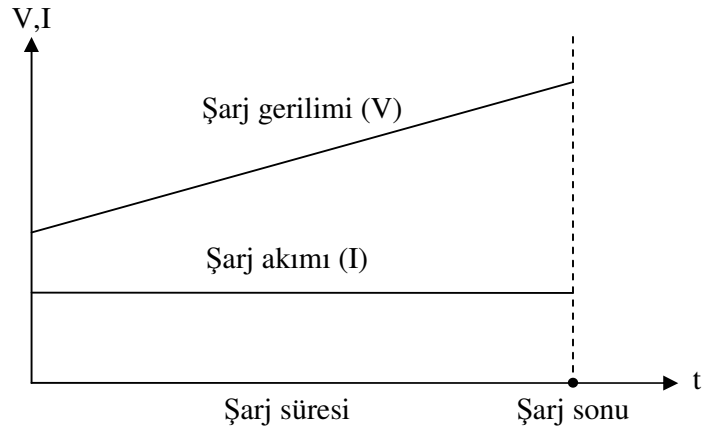
- Maksimum şarj gerilimi, hücre başına 2,7 V’u geçmemelidir.
- Şarj akımı, anma akımının onda birinden fazla olmamalıdır.
- Elektrolit sıcaklığı, 35°C’yi geçmemelidir.

Aküler, sabit akımla, sabit gerilimle ve sabit akım ve sabit gerilimle olmak üzere genelde üç şekilde şarj edilebilirler.

Sabit akımla şarj

Sabit akımla şarj, bir aküyü sürekli ve aşamalı olarak sabit değerdeki bir akımla şarj etmektir. Elektronik kontrol devresi, şarj akımını sürekli olarak izler ve ayarlanan referans akım değerine göre doğrultucu çıkış gerilimini kademeli olarak arttırarak akımı sabitler.

Şekil 4.13.'te, sabit akım metodundaki akım ve gerilim eğrileri görülmektedir. Grafikte görüldüğü gibi şarj akımının sabit tutulabilmesi için, gerilim yavaş yavaş artmaktadır.

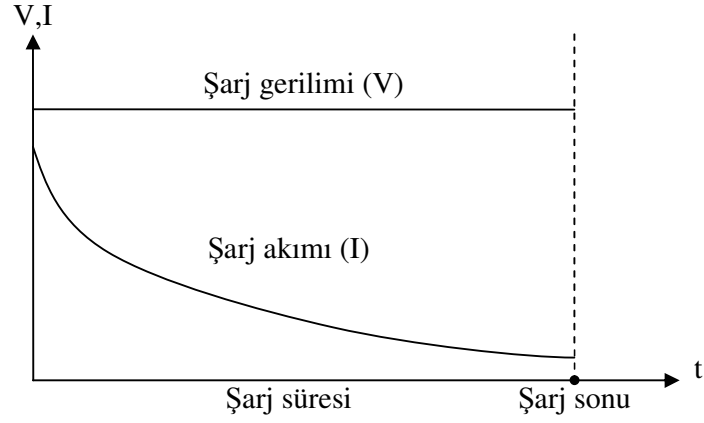


Şekil 4.13. Sabit akımla şarj

Sabit gerilimle şarj

Sabit gerilimle şarj, bir aküyü, sürekli ve aşamalı olarak sabit değerdeki bir gerilimle şarj etmektir. Bunun için doğrultucu çıkış gerilimi, elektronik kontrol devresi tarafından ayarlanarak istenen değere getirilir ve şarj boyunca bu değerde sabit kalır. Şarj süresince akım yavaş yavaş azalır.

Şekil 4.14.'te, bu metotla yapılan bir şarj işleminin, akım ve gerilim eğrileri görülmektedir. Grafikte görüldüğü gibi, akü şarj oldukça akım ihtiyacı giderek azalmaktadır.

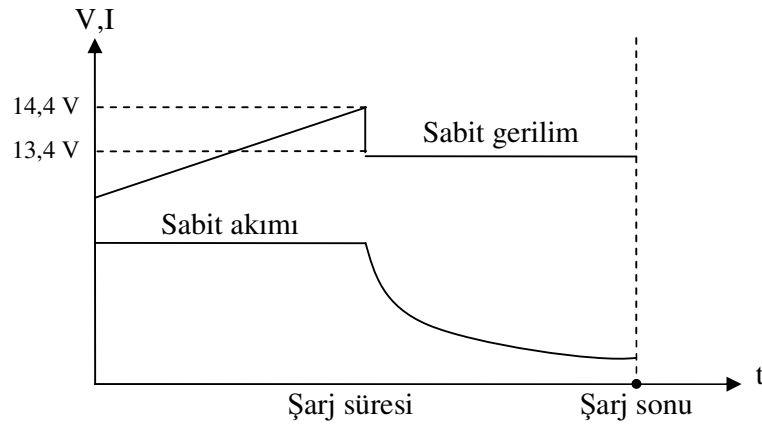


Şekil 4.14. Sabit gerilimle şarj

Sabit akım ve sabit gerilimle şarj

Bu şarj metodunda, sabit akımla şarja başlanır ve belli süre böyle devam edilir. Daha sonra sabit gerilimle şarja geçilir ve şarj işlemi, bu gerilimle tamamlanır. Bu şarj işlemi genellikle akülerin otomatik şarjında kullanılır.

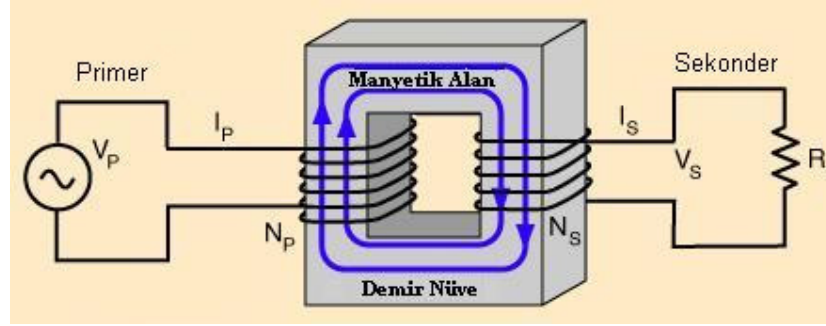
Şekil 4.15.'te görüldüğü gibi sabit akımla şarj sürerken, doğrultucu çıkış gerilimi yaklaşık olarak 14,4 V'a ulaştığında, otomatik olarak 13,4 V sabit gerilimle şarja geçilir. Gerilimin bu değeri, şarj işlemi sona erinceye kadar devam eder.



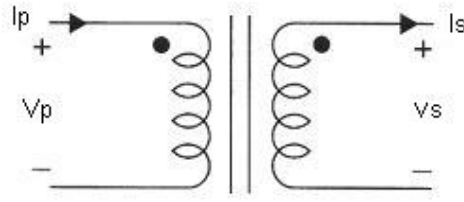
Şekil 4.15. Sabit akım ve sabit gerilimle şarj

4.5. Transformatör

Transformatörler, elektriksel olarak izole edilmiş fakat manyetik olarak birleştirilmiş bobinlerden oluşur. İki veya daha fazla sargı, ortak bir manyetik akıyı tamamen veya kısmen paylaşırlar. Ortak akı, yalnız bir sargı veya birkaç sargı tarafından üretilebilir. Şekil 4.16.'da iki sargıdan oluşan bir transformatör ve sembolü görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4.16. (a) İki sargılı bir transformatör ve (b) sembolü

Burada ortak akı, iki sargı tarafından paylaşılmaktadır. Sağ ve sol taraflardaki iki sargı arasında bulunan iki çizgi, manyetik nüveyi ifade eder. Sol taraftaki sargı genellikle amper sarımının kaynağı olarak çizilir ve primer sargısı olarak adlandırılır. Diğer sargı da sekonder sargısı olarak adlandırılır. Noktalar ile işaretlenmiş sargı uçları, gerilimlerin polaritelerini belirler (Agrawal 2001).

Kayıpların ihmal edildiği ideal bir transformatörde primer ve sekonder akım ve gerilimleri arasında sarım sayıları ile orantılı olarak Faraday kanununa göre aşağıdaki gibi bir bağıntı vardır;

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} = \frac{I_p}{I_s} \quad (4.1)$$

$$P_p = V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s = P_s \quad (4.2)$$

Transformatörler, yukarıda belirtilen özellikleri ile birçok uygulamada belirli bir güçte, gerilim yükseltici veya gerilim düşürücü olarak ve ayrıca bazı uygulamalarda da izolasyon amacı ile kullanılmaktadır. Şebeke gerilimlerini, daha düşük olan cihazların çalışma gerilimine eşit değere düşürürler veya daha düşük kaynak gerilimlerini cihazların daha yüksek olan çalışma gerilimine yükseltirler. KGK'larda ise transformatörler, hem şebeke gerilimini akü şarjı için uygun seviyeye düşürmek hem de yük aküden beslenirken, inverter ile alternatif gerilime dönüştürülen akü gerilimini yükün ihtiyaç duyduğu seviyeye yükseltmek için kullanılırlar.

Transformatörlerde sekonder sargıda gerilim indüklenmesi, primer sargıdan geçen akımın manyetik nüve üzerinde oluşturduğu manyetik akıya bağlıdır. Manyetik akı;

$$\Phi = B.S \quad (4.3)$$

denklemi ile ifade edilmektedir. Burada B manyetik akı yoğunluğu, S ise nüvenin kesit alanıdır. Manyetik akı yoğunluğu;

$$B = \mu.H \quad (\mu = \mu_0.\mu_r) \quad (4.4)$$

şeklinde ifade edilir. Burada μ ; manyetik geçirgenliği, μ_0 ; boşluğun manyetik geçirgenliğini, μ_r ; kullanılan nüve malzemesinin manyetik geçirgenliğini, H ise manyetik alan şiddetini ifade etmektedir. Manyetik alan şiddeti;

$$H = \frac{N_1.I_1}{\ell} \quad (4.5)$$

denklemi ile hesaplanır. Burada N_1 primer sarım sayısı, I_1 primer sargılarından geçen akım ve ℓ ise nüvenin manyetik yolunun ortalama uzunluğudur. Yukarıdaki ifadeler birleştirilirse manyetik akı, aşağıdaki denklemle ifade edilir;

$$\Phi = \mu_0.\mu_r.\frac{N_1.I_1}{\ell}.S \quad (4.6)$$

Son ifadeden de görüldüğü gibi elde edilen manyetik akı, nüve olarak kullanılan malzemenin manyetik geçirgenliği ile doğru orantılıdır. Buna göre, nüve olarak manyetik geçirgenliği yüksek olan malzemeler tercih edildiğinde, manyetik geçirgenliği düşük malzemelere göre azalan kesit alanı ihtiyacından dolayı nüve ebatları küçülmektedir. Bir başka ifade ile aynı manyetik akıyı sağlamak için düşük manyetik geçirgenliğe sahip malzeme seçilecek olursa, yüksek manyetik geçirgenliğe

sahip malzemeye göre daha ağır ve daha büyük bir nüve kullanılması gerekmektedir. Bu durum ise KGK'larda kullanılan transformatörler için istenmeyen bir durumdur. Çünkü KGK'lardan beklenen özelliklerden birisi de hafif ve hacim olarak küçük olmasıdır. Bu yüzden son yıllarda silisyumlu çelik nüveler yerine manyetik geçirgenliği oldukça büyük olan ferit nüveler tercih edilmektedir.

Ferit nüvelerin bir başka tercih nedeni ise Eddy Akımı kayıplarının az olmasıdır. Bu kayıplar aşağıdaki şekilde gösterilir;

$$W_e = \frac{k_e \cdot f^2 \cdot t^2 \cdot B_{eff}^2}{\rho} \quad (4.7)$$

Burada; k_e ; sabit bir katsayı, f ; çalışma frekansı, t ; nüve kalınlığı, B_{eff} ; uygulanan gerilimin efektif değerine karşılık gelen akı yoğunluğu, ρ ise nüve malzemesinin özgül direncidir. Ferit malzemelerin özgül dirençlerinin yüksek olduğu dolayısıyla iletkenliklerinin düşük olduğu göz önüne alındığında özellikle yüksek frekanslarda silisyumlu çelik malzemelere göre oldukça düşük eddy akımı kayıplarına sahip olduğu açıktır. Kayıplar nüvenin ısınması olarak kendini göstermektedir. Dolayısıyla ferit nüvelerde ısınma problemi minimuma indirilmiştir. (Heathcote 1998)

5. UZAY VEKTÖR PWM TEKNİĞİ

Yirminci yüzyılın son çeyreğinden itibaren darbe genişlik modülasyonu (PWM) ile ilgili birçok çalışma yapılmış ve yaygın olarak kullanılmıştır. Geniş bir lineer modülasyon aralığı, daha az anahtarlama kaybı, anahtarlama dalga şekli spektrumunda daha az toplam harmonik distorsiyon (THD), kolay uygulama ve daha kısa hesaplama zamanı elde etmek amacıyla birçok farklı PWM metodu geliştirilmiştir.

Mikroişlemcilerin gelişmesiyle birlikte uzay vektör modülasyon tekniği en önemli PWM metotlarından birisi haline gelmiştir. Dijital işlemcilerle kolayca uygulanabilir olmasının yanında, uzay vektör modülasyon tekniği ile anahtarlama kayıpları önemli ölçüde azaltılmakta, çıkış gerilimindeki harmonik bileşenler en aza indirgenmekte ve geleneksel PWM yöntemleri ile kıyaslandığında daha yüksek genlik modülasyon faktörleri elde edilmektedir.

Uzay vektör PWM tekniğinin daha iyi anlaşılabilmesi, avantajları ve dezavantajlarının karşılaştırılabilmesi için diğer inverter kontrol tekniklerinin de incelenmesi gerekmektedir.

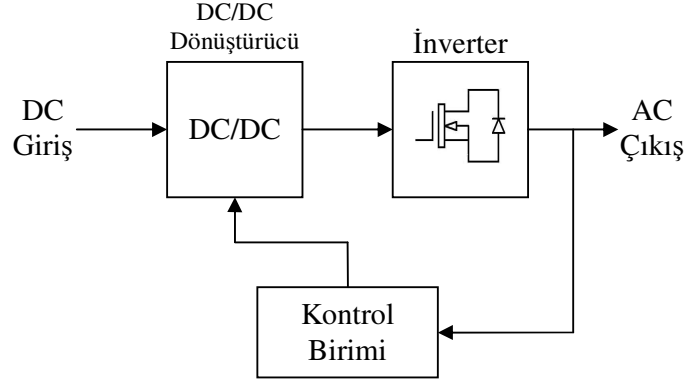
5.1. İnverter Çıkış Gerilimi Kontrol Teknikleri

Çoğu inverter uygulamalarında değişken yük koşullarında çıkış geriliminin sabit olması istenir. Bunun için bir geri besleme devresi ile çıkış geriliminin sürekli kontrol edilmesi gerekmektedir. Bunun için değişik metotlar mevcuttur. Bunlar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;

- DC Giriş Gerilimi Kontrolü
- AC Çıkış Gerilimi Kontrolü
- PWM Kontrol

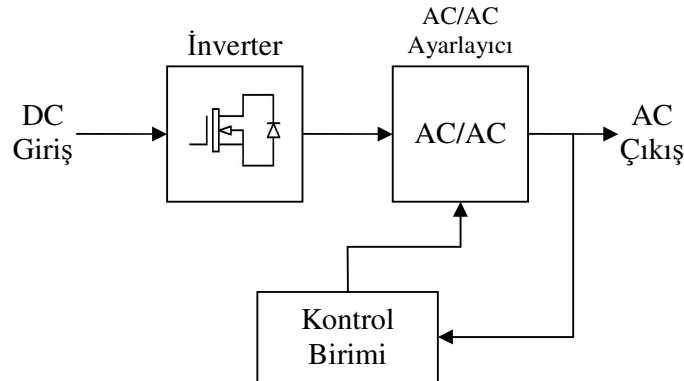
İnverteri oluşturan yarıiletken anahtarların iletme veya kesime girme düzeni sabit kalmak kaydıyla inverter çıkış gerilimi direkt olarak DC giriş gerilimi ile doğru orantılıdır. Bu yüzden inverterin DC giriş gerilimini değiştirmek AC çıkış gerilimini kontrol etmenin en kolay yoludur. Bunun için; şekil 5.1.'de görüldüğü gibi, eğer

inverter bir DC kaynaktan besleniyorsa DC/DC dönüştürücü kullanarak ayarlı bir DC gerilim kaynağı elde edilebilir. DC gerilimin AC kaynaktan elde edildiği durumlarda ise kontrollü doğrultucular kullanılabilir. (Ahmed 1999)



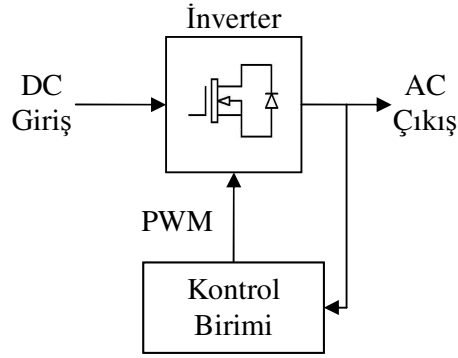
Şekil 5.1. İnverter DC giriş geriliminin kontrol edilmesi

AC çıkış geriliminin kontrolünde inverter çıkışı ile yük arasına şekil 5.2.'de görüldüğü gibi bir AC/AC ayarlayıcı devre ilave edilir. Geri besleme devresi ile izlenen yük uçlarındaki gerilim, tristör ve triyakların tetikleme açıları değiştirilerek kontrol edilir.



Şekil 5.2. İnverter AC çıkış geriliminin kontrol edilmesi

Şekil 5.3.'de görülen PWM kontrol, inverterdeki anahtarların kontrolünde en çok kullanılan metottur. Bu metotta, anahtarların iletimde ve kesimde kalma süreleri ayarlanarak çıkış geriliminin ortalama değeri değiştirilir. Böylece çıkış gerilimini ayarlamak için inverterin girişine veya çıkışına herhangi bir ek devre bağlamaya gerek kalmaz.

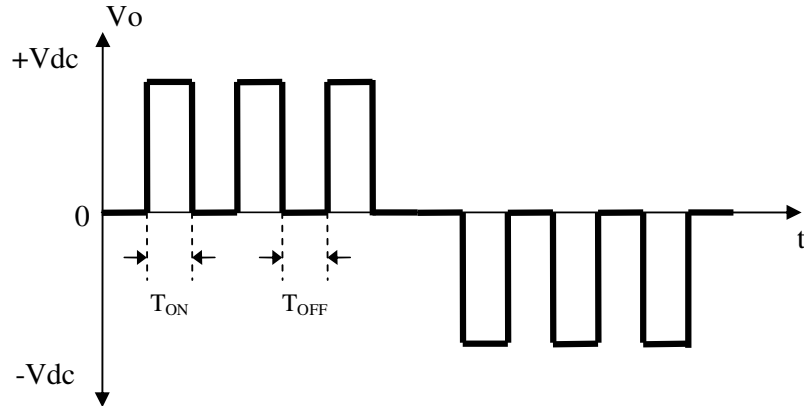


Şekil 5.3. İnverter anahtarlarının PWM ile kontrolü

5.2. Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM)

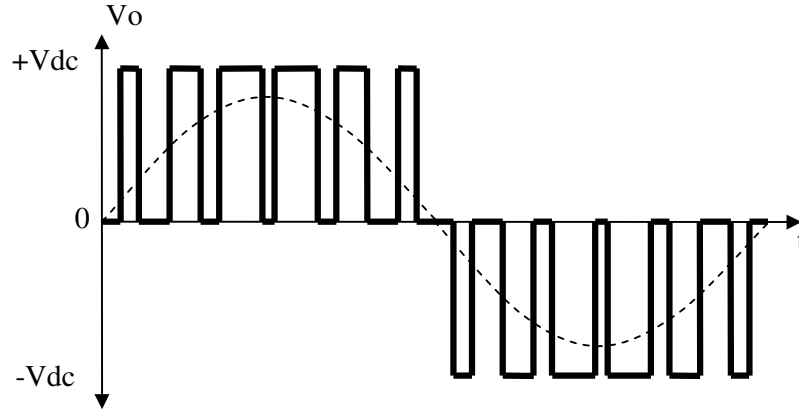
Darbe genişlik modülasyonu (Pulse Width Modulation), inverterlerde güç anahtarlarının kontrolünde en çok kullanılan yöntemdir. Adından da anlaşılacağı gibi anahtarların kapılarına uygulanan darbelerin genişliklerinin değiştirilerek inverter çıkış geriliminin kontrolü esasına dayanır. PWM yöntemlerini Kare Dalga PWM ve Sinüzoidal PWM şeklinde sınıflandırmak mümkündür. (Dehbonei ve ark. 2004)

Kare dalga PWM metodunda şekil 5.4.'te görüldüğü gibi her PWM periyodunda, iletim süreleri sabit olan darbeler üretilmektedir. İnverter çıkış geriliminin kontrolü, bu iletim süresinin değiştirilmesiyle sağlanır. İletim süresi sabit olduğu için kare dalga PWM metodunda kontrol daha kolaydır ancak çıkış gerilimi yüksek oranda harmonikler içerir. Bu harmoniklerin süzülmesi için filtre kullanmak gerekir.



Şekil 5.4. Kare dalga PWM

Sinüzoidal PWM metodunda, inverter içindeki anahtarlar, her bir anahtarlama periyodunda çıkışta sinüs şeklinde bir gerilim dalga şekli oluşacak biçimde birçok defa iletme sokulup çıkarılırlar. Böylece çıkış geriliminin en az harmonik bileşen içerecek biçimde olması sağlanır. Bu nedenle sinüzoidal PWM metodunda kare dalga PWM metoduna göre daha küçük değerli filtre elemanları kullanılır. Bu da devrelerin hem fiziksel boyutunu hem de maliyetini düşürür.



Şekil 5.5. Sinüzoidal PWM

Sinüzoidal PWM metotlarını ikiye ayırmak mümkündür. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

1. Doğal Örneklemeli Sinüzoidal PWM
2. Düzenli Örneklemeli Sinüzoidal PWM

Şekil 5.6.'da görülen doğal örneklemeli ve düzenli örneklemeli sinüzoidal PWM metotlarında bir referans dalga, yüksek frekanslı üçgen şeklinde bir taşıyıcı dalga ile karşılaştırılır. Doğal örneklemeli sinüzoidal PWM'de referans dalga analog bir sinüs dalgası, düzenli örneklemeli sinüzoidal PWM'de ise dijital bir sinüs dalgasıdır. Anahtarlama noktaları bu iki dalganın kesişme noktalarıdır. Her bir anahtarlama periyodunda iletim süresi, referans dalganın taşıyıcı dalgadan büyük olduğu süre kadardır.

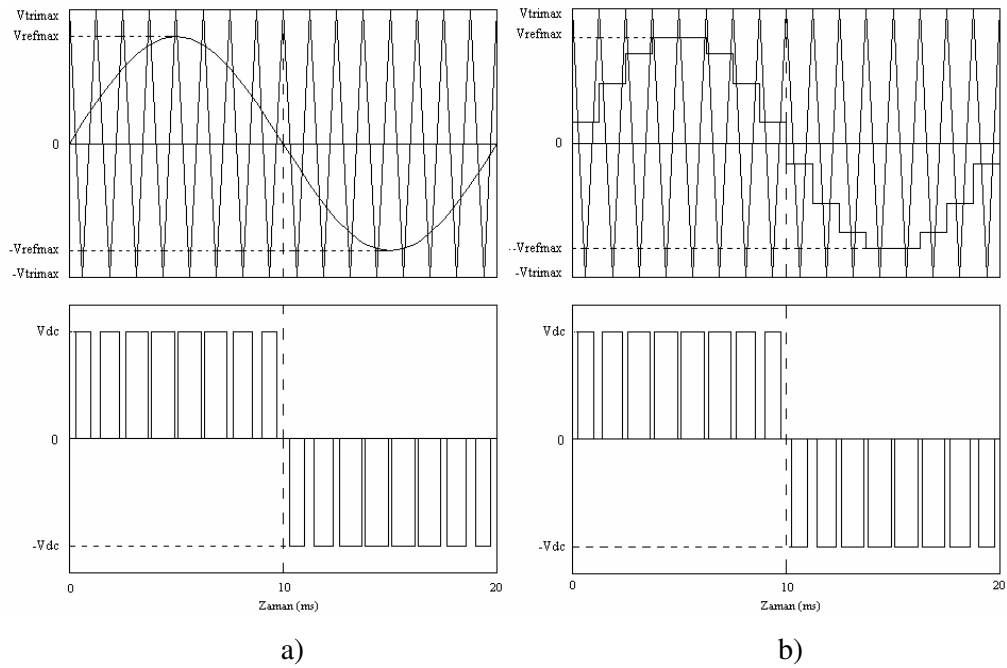
Sinüzoidal PWM metodunda genlik modülasyon faktörü;

$$m_a = \frac{V_{ref}}{V_{tri}} \quad (5.1)$$

şeklinde ifade edilir. Burada V_{ref} , referans sinüs dalgasının genliği, V_{tri} ise taşıyıcı üçgen dalganın genliğidir. İnverter çıkış geriliminin genliği, modülasyon faktörünün değeri değiştirilerek ayarlanır. Frekans modülasyon oranı ise;

$$m_f = \frac{f_{tri}}{f_{ref}} \quad (5.2)$$

şeklinde tanımlanır. Burada f_{tri} ; taşıyıcı üçgen dalganın frekansı, f_{ref} ise referans sinüs dalgasının frekansıdır. İnverter çıkış gerilimindeki dalgalılığı azaltmak için m_f 'nin büyük değerleri seçilir.



Şekil 5.6. a) Doğal örneklemeli ve b) düzenli örneklemeli sinüzoidal PWM

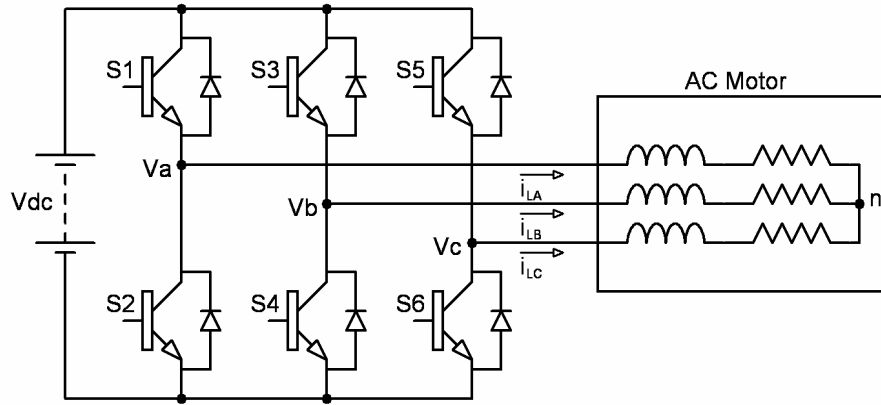
5.3. Uzay Vektör PWM

Uzay vektör PWM tekniğinde amaç, en az anahtarlama kaybı ve en düşük toplam harmonik distorsiyon ile istenen sinüzoidal çıkış gerilimini elde etmektir. Bunun için inverterdeki anahtarların muhtemel anahtarlama durumları birer anahtarlama vektörü ile ifade edilir. Ve bu vektörlerin değişik kombinasyonları kullanılarak en uygun anahtarlama düzeni seçilir. (Pinheiro ve ark. 2002)

Uzay vektör PWM tekniğinde herhangi bir karşılaştırma işlemi yapılmaz. Anahtarların iletim ve kesim süreleri dijital olarak hesaplanır ve oluşturulan tablolara yazılır. Bu yüzden uzay vektör PWM tekniğinde sinüzoidal PWM tekniğindeki gibi taşıyıcı ve referans dalga şekillerine ihtiyaç yoktur.

5.3.1. Üç fazlı uzay vektör PWM

Üç fazlı tipik bir gerilim beslemeli PWM inverter devresi şekil 5.7.'de görülmektedir. Bu devrede, çıkış gerilimini şekillendiren ve anahtarlama değişkenleri (a,b,c) tarafından kontrol edilen altı adet güç anahtarı (S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 ve S_6) bulunmaktadır. Üst kollardaki anahtarlardan birisi iletime geçtiğinde, yani a, b veya c, 1 olduğunda, alt koldaki ilgili anahtar kesime gitmekte yani 0 olmaktadır.



Şekil 5.7. Üç fazlı gerilim beslemeli PWM inverter

İnverterin anahtarlama değişkenleri $[a \ b \ c]^t$ ve faz-faz gerilimleri $[V_{ab} \ V_{bc} \ V_{ca}]^t$ arasındaki bağıntı aşağıdaki şekilde bulunabilir;

$$\begin{bmatrix} V_{ab} \\ V_{bc} \\ V_{ca} \end{bmatrix} = V_{dc} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

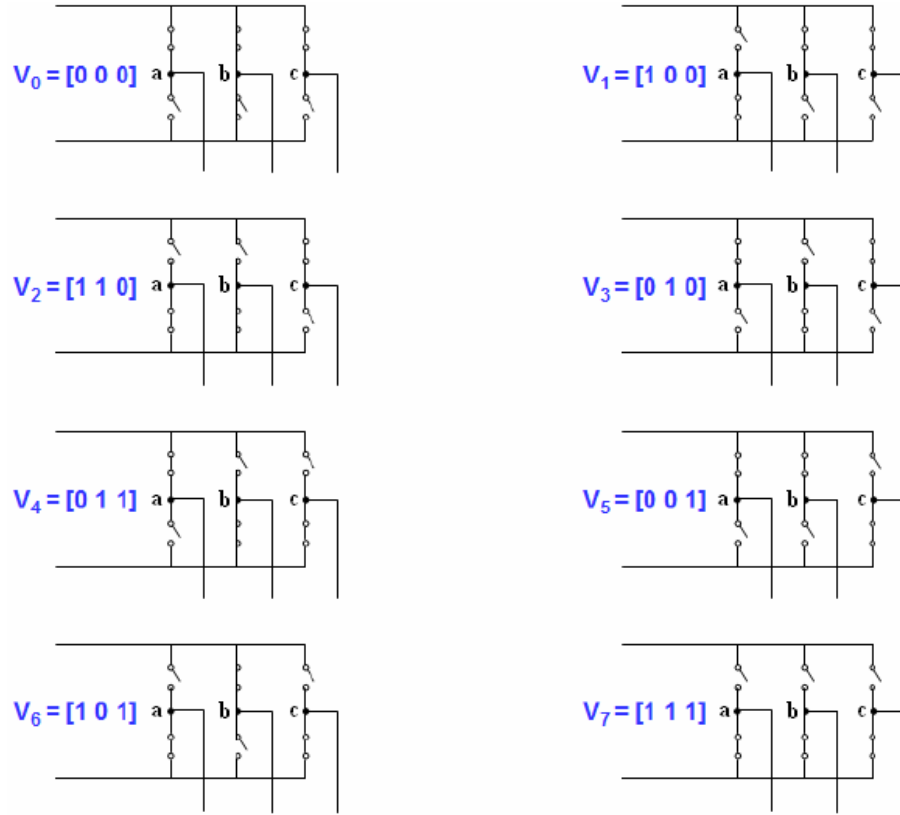
Aynı şekilde, anahtarlama değişkenleri $[a \ b \ c]^t$ ve faz-nötr gerilimleri $[V_{an} \ V_{bn} \ V_{cn}]^t$ arasındaki bağıntı aşağıdaki şekilde bulunabilir;

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \frac{V_{dc}}{3} \cdot \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

Şekil 5.7.'deki devrede üst kollardaki üç güç anahtarının sekiz değişik anahtarlama kombinasyonu bulunmaktadır. Alt kollardaki anahtarların anahtarlama durumları ise üsttekilerin tam tersidir. (5.3) ve (5.4) eşitliklerinden elde edilen sekiz değişik anahtarlama durumu, V_{dc} cinsinden çıkış faz-nötr ve faz-faz gerilimleri tablo 5.1.'de verilmiştir. Şekil 5.8.'de ise sekiz değişik anahtarlama durumuna karşılık gelen inverter gerilim vektörleri ($V_{k(a b c)}$, $k = 0 \dots 7$) verilmiştir.

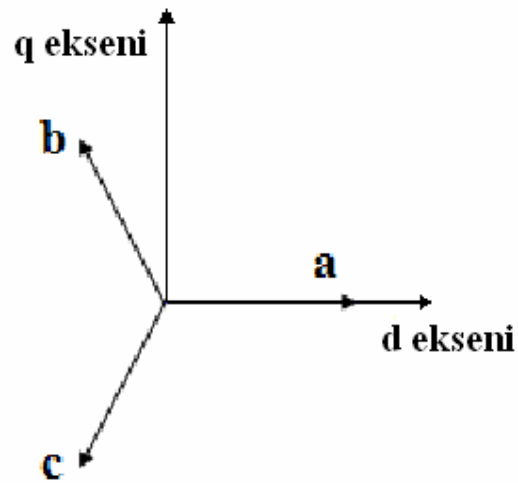
Tablo 5.1. Anahtarlama vektörleri, çıkış faz-nötr ve faz-faz gerilimleri

Gerilim Vektörleri	Anahtarlama Durumları			Faz-Nötr Gerilimleri ($\cdot V_{dc}$)			Faz-Faz Gerilimleri ($\cdot V_{dc}$)		
	a	b	c	V_{an}	V_{bn}	V_{cn}	V_{ab}	V_{bc}	V_{ca}
V_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	1	0	0	2/3	-1/3	-1/3	1	0	-1
V_2	1	1	0	1/3	1/3	-2/3	0	1	-1
V_3	0	1	0	-1/3	2/3	-1/3	-1	1	0
V_4	0	1	1	-2/3	1/3	1/3	-1	0	1
V_5	0	0	1	-1/3	-1/3	2/3	0	-1	1
V_6	1	0	1	1/3	-2/3	1/3	1	-1	0
V_7	1	1	1	0	0	0	0	0	0



Şekil 5.8. İnverter gerilim vektörleri (V₀-V₇)

Uzay vektör PWM tekniğini gerçekleştirebilmek için abc referans düzlemindeki gerilim denklemlerinin, şekil 5.9.'da görüldüğü gibi yatay (d) ve dişey (q) eksenlerinden oluşan dq referans düzlemine dñüřtñrñlmesi gerekmektedir.



Şekil 5.9. abc ve dq referans düzlemleri

İki referans düzlemi arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

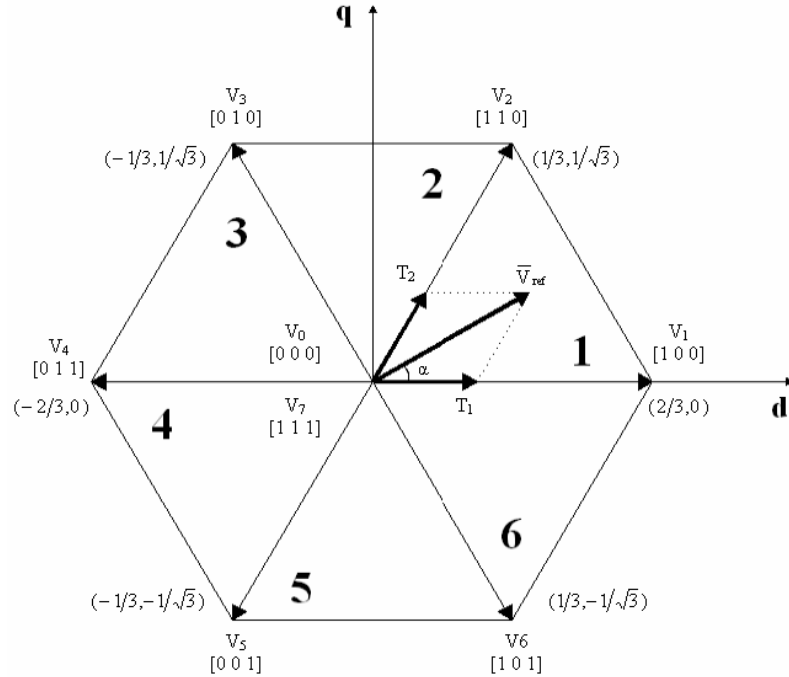
$$f_{dq0} = K_S \cdot f_{abc} \quad (5.5)$$

burada K_S dönüştürme katsayısı ve f ise akım veya gerilim değişkenini ifade eder ve aşağıdaki şekilde tanımlanırlar;

$$K_S = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix}, f_{dq0} = [f_d f_q f_0]^T, f_{abc} = [f_a f_b f_c]^T \quad (5.6)$$

Bu dönüştürme işlemi sonucunda, altı adet aktif vektör ve iki adet sıfır vektör ortaya çıkmaktadır. Aktif vektörler (V_1 - V_6) şekil 5.10.'da görülen altıgenin köşe noktalarını oluştururlar ve yükün güç ihtiyacını karşılarlar. Birbirine komşu iki aktif vektörün arasındaki açı 60 derecedir. Sıfır vektörler (V_0 ve V_7) ise orijinde yer alırlar ve yüke sıfır gerilim uygularlar. Aynı dönüşüm, d-q düzleminde referans gerilim vektörü V_{ref} 'i elde etmek için istenen çıkış gerilimine uygulanabilir.

Uzay vektör PWM tekniğinin amacı, sekiz anahtarlama düzenini kullanarak referans gerilim vektörü V_{ref} 'i yaklaşık olarak elde etmektir. Bunun için küçük T_s 'lik bir anahtarlama periyodunda istenen inverter çıkış geriliminin sabit olduğu kabul edilir (Jung 2005).



Şekil 5.10. Anahtarlama vektörleri ve anahtarlama bölgeleri

Uzay vektör PWM tekniği aşağıdaki üç adımda gerçekleştirilir;

- 1- V_d , V_q , V_{ref} ve α açısının belirlenmesi
- 2- Anahtarlama sürelerinin (T_1 , T_2 , T_0) belirlenmesi
- 3- Anahtarların anahtarlama sıralarının belirlenmesi

1- V_d , V_q , V_{ref} ve α açısının belirlenmesi

Şekil 5.11.'de görülen V_d , V_q , V_{ref} ve α açısı aşağıdaki şekilde bulunabilir;

$$V_d = V_{an} - V_{bn} \cdot \cos 60 - V_{cn} \cdot \cos 60$$

$$= V_{an} - \frac{1}{2} V_{bn} - \frac{1}{2} V_{cn}$$

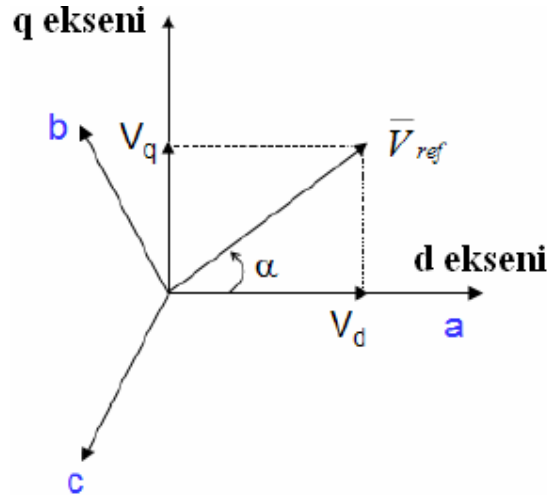
$$V_q = 0 + V_{bn} \cdot \cos 30 - V_{cn} \cdot \cos 30$$

$$= 0 + \frac{\sqrt{3}}{2} V_{bn} - \frac{\sqrt{3}}{2} V_{cn}$$

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix}$$

$$|\bar{V}_{ref}| = \sqrt{V_d^2 + V_q^2}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{V_q}{V_d} \right) = \omega t = 2\pi f t \quad f = \text{Temel frekans}$$



Şekil 5.11. Gerilim uzay vektörü ve d-q düzlemindeki bileşenleri

2- Anahtarlama sürelerinin (T_1 , T_2 , T_0) belirlenmesi

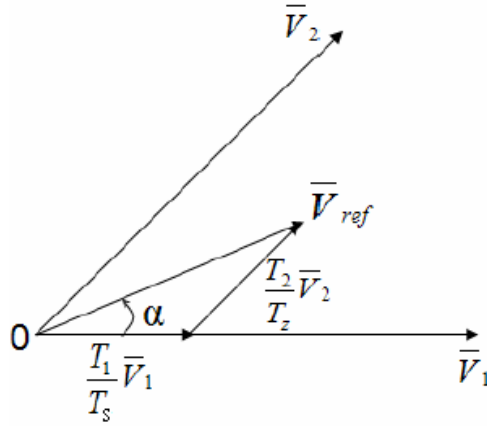
Şekil 5.12.'den anahtarlama süreleri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir;

$$\int_0^{T_s} \bar{V}_{ref} dt = \int_0^{T_1} \bar{V}_1 dt + \int_{T_1}^{T_1+T_2} \bar{V}_2 dt + \int_{T_1+T_2}^{T_s} \bar{V}_0 dt$$

$$T_s \cdot \bar{V}_{ref} = (T_1 \cdot \bar{V}_1 + T_2 \cdot \bar{V}_2)$$

$$T_s \cdot |\bar{V}_{ref}| \begin{bmatrix} \cos(\alpha) \\ \sin(\alpha) \end{bmatrix} = T_1 \cdot \frac{2}{3} \cdot V_{dc} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + T_2 \cdot \frac{2}{3} \cdot V_{dc} \begin{bmatrix} \cos(\pi/3) \\ \sin(\pi/3) \end{bmatrix} \quad (0^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ)$$

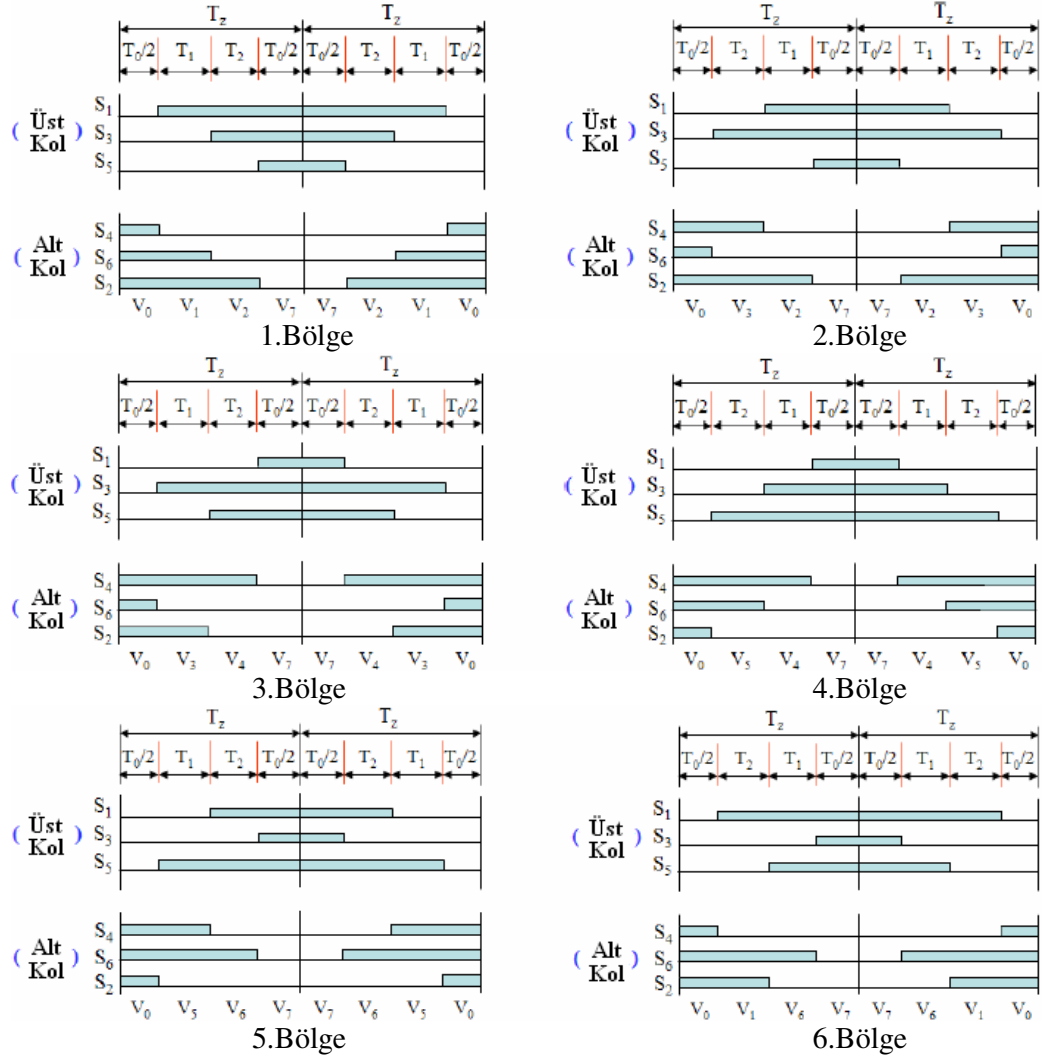
$$\begin{aligned} T_1 &= T_s \cdot a \cdot \frac{\sin(\pi/3 - \alpha)}{\sin(\pi/3)} \\ T_2 &= T_s \cdot a \cdot \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\pi/3)} \\ T_0 &= T_s - (T_1 + T_2) \end{aligned} \quad \left(T_s = \frac{1}{f_s}, \quad a = \frac{|\bar{V}_{ref}|}{\frac{2}{3} V_{dc}} \right)$$



Şekil 5.12. 1. bölgede iki komşu vektör ile referans vektörün elde edilmesi

3- Anahtarların anahtarlama sıralarının belirlenmesi

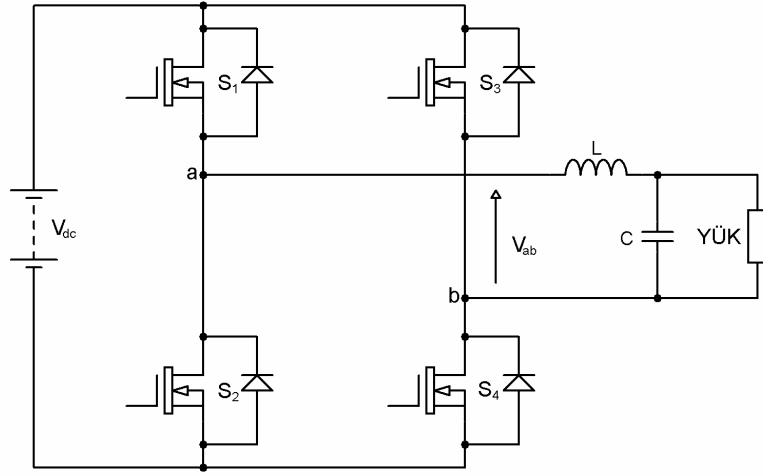
Şekil 5.13. her bir bölgedeki uzay vektör PWM anahtarlama düzenlerini göstermektedir;



Şekil 5.13. Her bir anahtarlama bölgesindeki anahtarlama düzenleri

5.3.2. Tek fazlı uzay vektör PWM

Şekil 5.14.'de görülen tek fazlı tam köprü inverter devresinde dört adet güç anahtarı bulunmaktadır. Üç fazlı devreyle karşılaştırılırsa tek fazlı devrede iki faz kolu bulunur ve bu nedenle sadece a ve b anahtarlama değişkenleri göz önüne alınır. Birinci koldaki S_1 anahtarı kapalı S_2 anahtarı açık ise a değişkeni 1, S_1 anahtarı açık S_2 anahtarı kapalı ise a değişkeni 0'dır. Yani herhangi bir anda anahtarlardan birisi muhakkak iletimde diğeri ise kesimdedir. Aynı şartlar ikinci kol ve b değişkeni için de geçerlidir.



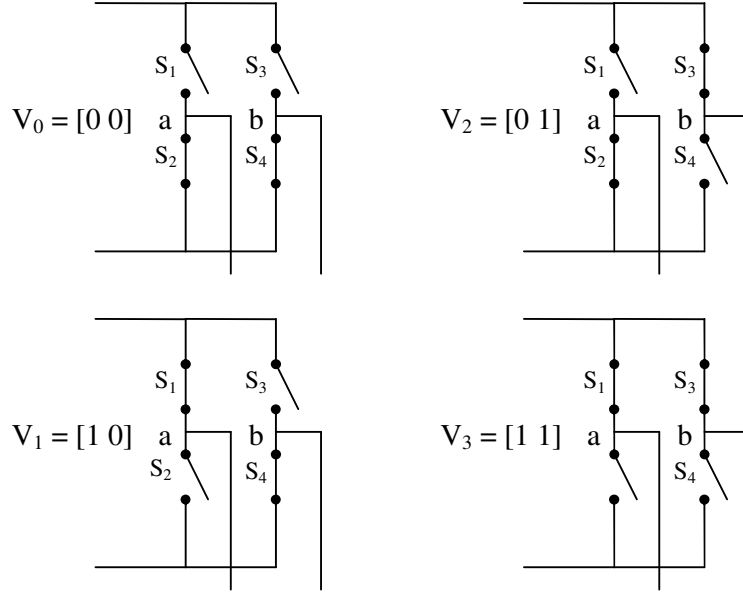
Şekil 5.14. Tek fazlı tam köprü inverter

Bu durum PWM sinyallerinin elde edilmesi açısından uzay vektör PWM tekniğinin bir avantajıdır. Çünkü tam köprü inverterdeki dört anahtar için farklı sinyal üretilmesi yerine her bir kol için birer tane olmak üzere iki PWM sinyalinin elde edilmesi yeterli olacaktır. Bu sinyaller üstteki anahtarların kapılarına direkt uygulanırken alttakilere bir tersleyici üzerinden uygulanır. Şekil 5.15.'de PWM sinyallerinin anahtarlara uygulanması görülmektedir.

Anahtarlama Vektörlerinin Belirlenmesi

Şekil 5.14.'de verilen tam köprü inverter devresinde, a ve b değişkenlerinin durumlarına göre dört olası anahtarlama düzeni ortaya çıkmaktadır. Her bir anahtarlama durumu bir vektörle ifade edilir. Bunlar şekil 5.15.'de görülmektedir.

Buna göre V_0 vektörü uygulandığında yani üstteki iki anahtar kesimde alttaki iki anahtar iletimde olduğunda çıkıştaki yük uçlarında bir gerilim olmayacaktır. Aynı durum V_3 vektörü için de geçerlidir. Yani alttaki iki anahtar kesimde üstteki iki anahtar iletimde olduğunda çıkışta yine bir gerilim olmamaktadır. Bu yüzden bu iki vektör sıfır vektör olarak adlandırılır. İnverter kollarındaki anahtarlar çapraz olarak ilettime sokulduğunda ise çıkış gerilimi $+V_{dc}$ veya $-V_{dc}$ olmaktadır. Bu yüzden bu anahtarlama düzenlerine karşılık gelen V_1 ve V_2 vektörleri aktif vektör olarak adlandırılır. Elde edilen aktif ve sıfır vektörler Tablo 5.2.'de görülmektedir.



Şekil 5.15. Anahtarlama durumları

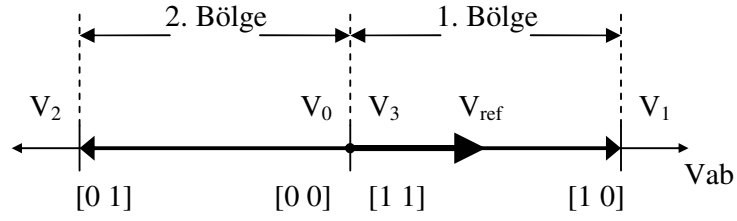
Tablo 5.2. Tek fazlı köprü inverterde anahtarlama vektörleri ve Vab çıkış gerilimi

a	b	S ₁	S ₃	S ₂	S ₄	V _{ab}	Vektör
0	0	0	0	1	1	0	V ₀ [0 0]
1	0	1	0	0	1	+V _{dc}	V ₁ [1 0]
0	1	0	1	1	0	-V _{dc}	V ₂ [0 1]
1	1	1	1	0	0	0	V ₃ [1 1]

Anahtarlama Bölgelerinin Belirlenmesi

Yüke sadece V_{ab} gerilimi uygulandığı ve bu gerilim de $+V_{dc}$, $-V_{dc}$ veya sıfır olduğu için inverterin çıkış gerilim uzayı tek yönlüdür. Bu yüzden anahtarlama vektörlerini Şekil 5.16.'da görüldüğü gibi tek hat boyunca iki bölge olarak göstermek mümkündür. V_{ref} gerilim vektörü, istenen sinüzoidal çıkış geriliminin her hangi bir aralıktaki ortalama değeridir. Burada amaç anahtarlama vektörlerini değişik sürelerde uygulayarak V_{ref} vektörünü elde etmektir.

Buna göre; 1. bölgede, yani sinüzoidal çıkış geriliminin pozitif alternansında aktif vektör olarak V_1 ve sıfır vektörler uygulanmaktadır. 2. bölgede yani sinüzoidal çıkış geriliminin negatif alternansında ise aktif vektör olarak V_2 ve sıfır vektörler uygulanmaktadır

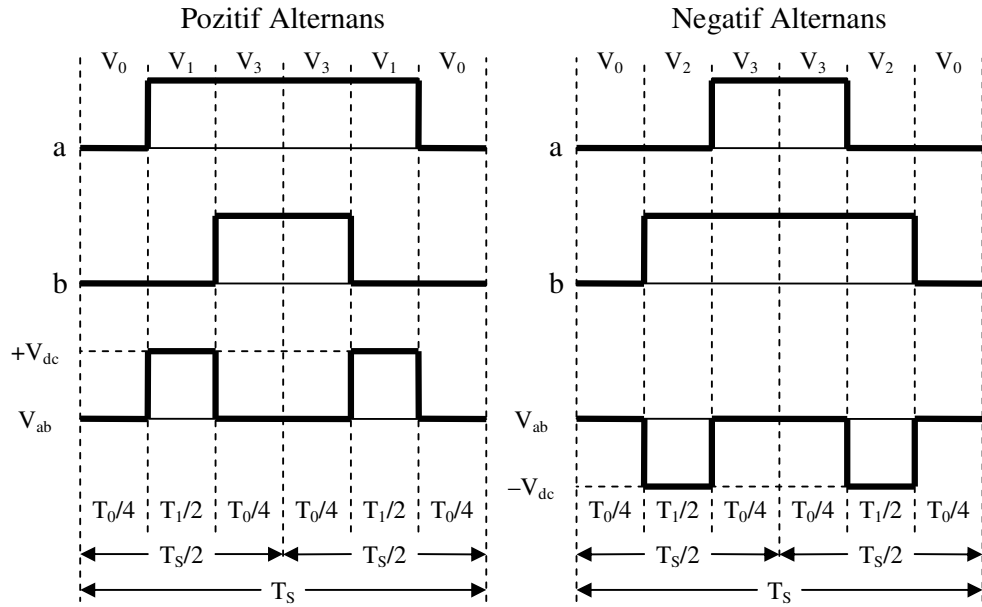


Şekil 5.16. Anahtarlama vektörlerinin yerleşimi

Anahtarlama Vektörlerinin Uygulanma Sırası

Uygulanacak anahtarlama vektörleri ve anahtarlama bölgeleri belirlendikten sonra bu vektörlerin uygulanma sırası seçilir. Burada amaç her bir koldaki anahtarlar konum değiştirirken oluşan anahtarlama kayıplarını en aza indirmektir. Bunun için değişik kombinasyonlar mevcuttur. Fakat en uygun anahtarlama sırası şekil 5.17.'deki simetrik sıralamadır.

Bu anahtarlama düzeninde her periyotta inverterin sadece bir kolundaki anahtarlar konum değiştirmektedir. Böylece toplam harmonik distorsiyon en aza inmektedir.



Şekil 5.17. Anahtarlama vektörlerinin simetrik olarak uygulanması

Anahtarlama Sürelerinin Hesaplanması

Hangi bölgede hangi anahtarlama vektörünün uygulanacağı belirlendikten sonra bunların uygulanma süreleri hesaplanır. Bunun için şekil 5.17.'deki anahtarlama düzeni kullanılabilir. Bu durumda T_1 süresinin hesaplanması aşağıdaki şekilde olur;

$$\int_0^{T_s/2} V_{\text{ref}} dt = \int_0^{T_0/4} V_0 dt + \int_{T_0/4}^{T_0/4+T_1/2} V_1 dt + \int_{T_0/4+T_1/2}^{T_s/2} V_3 dt \quad (5.7)$$

$$\frac{T_s}{2} V_{\text{ref}} = \frac{T_0}{4} V_0 + \frac{T_1}{2} V_1 + \frac{T_0}{4} V_3 \quad (5.8)$$

$V_{\text{ref}} = V_m \sin \omega t$, $V_1 = V_{\text{dc}}$ ve $V_0 = V_3 = 0$ olduğundan,

$$T_s V_{\text{ref}} = T_1 V_1 + T_0 (V_0, V_3) \quad (5.9)$$

$$T_s V_m \sin \omega t = V_{\text{dc}} T_1 \quad (5.10)$$

$$T_1 = T_s \frac{V_m}{V_{\text{dc}}} \sin \omega t \quad \left(\frac{V_m}{V_{\text{dc}}} = M \right) \quad (5.11)$$

$$T_1 = T_s M \sin \omega t \quad (0 \leq M \leq 1) \quad (5.12)$$

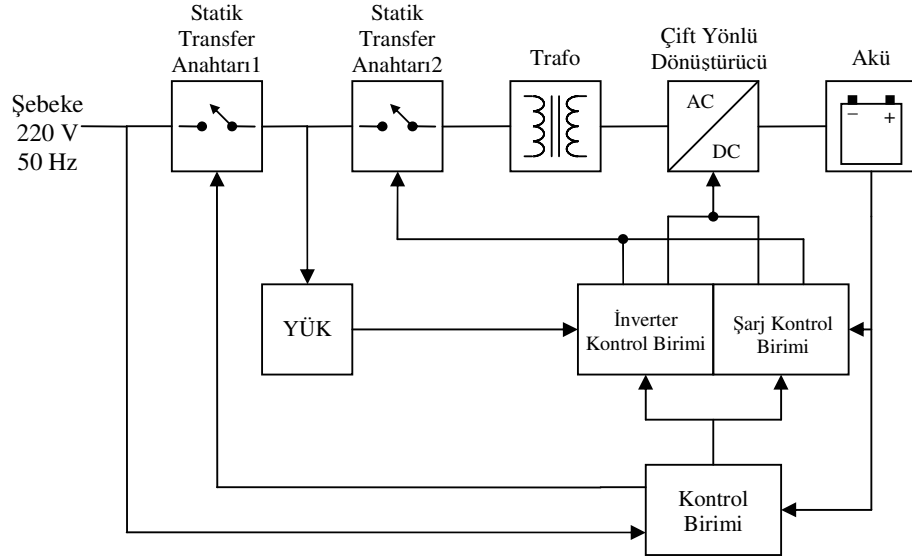
Şekil 5.17.'de verilen T_s , bir anahtarlama periyodunun süresini T_1 , bu periyot içinde V_1 vektörünün uygulanma süresini vermektedir. Sıfır vektörlerin uygulanma süresi ise;

$$T_0 = T_s - T_1 \quad (5.13)$$

kadardır.

6. SİSTEMİN TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Bu tez çalışmasında, blok diyagramı şekil 6.1.'de verilen ve inverter birimi uzay vektör PWM tekniği ile kontrol edilen, hassas yükleri beslemek için kullanılacak bir Hat Etkileşimli Kesintisiz Güç Kaynağı tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir.



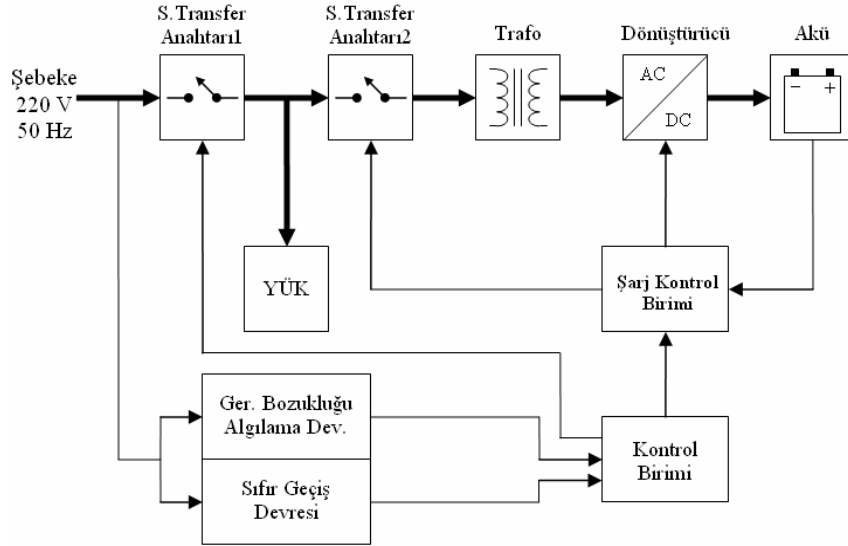
Şekil 6.1 Gerçekleştirilen KKG'nın blok diyagramı

Gerçekleştirilen Hat Etkileşimli Kesintisiz Güç Kaynağı'nın çalışması üç mikrodenetleyici tarafından kontrol edilmektedir. Bunlardan ilkin, şebekeyi izleyerek gerilim bozukluğunu tespit etmek, gerilimin sıfır geçişlerini takip etmek ve bunların neticesinde dönüştürücünün inverter veya doğrultucu olarak çalışmasını kontrol etmek gibi görevleri yerine getirdiği için “Kontrol Mikrodenetleyicisi” olarak adlandırabileceğimiz mikrodenetleyici oluşturur. İkincisi akünün şarj edilmesini kontrol eden “Şarj Edici Mikrodenetleyici” ve üçüncüsü ise gerilim bozukluğu olduğunda yükün aküden beslenmesini sağlayan “İnverter Mikrodenetleyici” dir. Buna göre sistemin çalışması iki kısımda incelenebilir;

1)Normal Çalışma

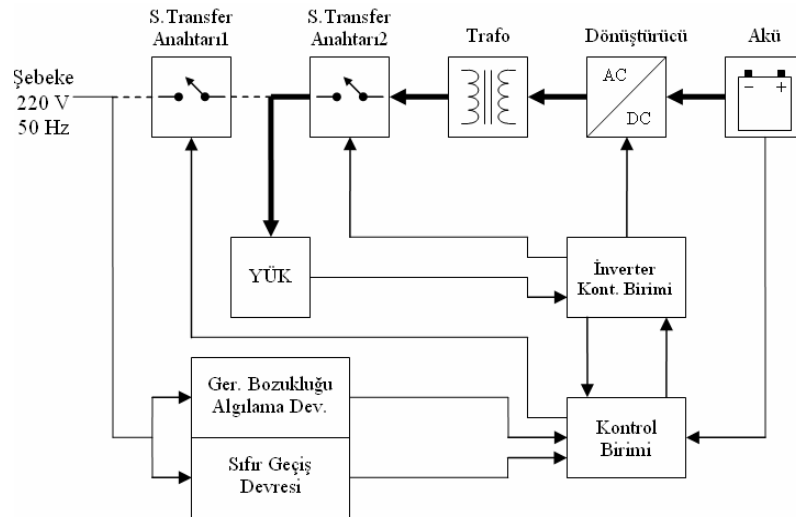
2)Aküden Çalışma

Normal çalışmada, hem yük şebeke tarafından beslenmekte, hem de akü şarj edilmektedir. Şekil 6.2.'deki blok diyagramda da görüldüğü gibi güç akışı şebekeden yüke ve aküye doğrudur. Burada dönüştürücü doğrultucu olarak çalışmakta ve aküyü şarj etmektedir.



Şekil 6.2. Normal çalışma blok diyagramı

Aküden çalışma, kontrol mikrodenetleyicisinin inverter mikrodenetleyiciyi devreye alması ile birlikte başlamakta ve bu aşamada yük, akü tarafından beslenmektedir. Şekil 6.3.'deki blok diyagramda da görüldüğü gibi güç akışı aküden yüke doğrudur. Burada dönüştürücü inverter olarak çalışmaktadır.



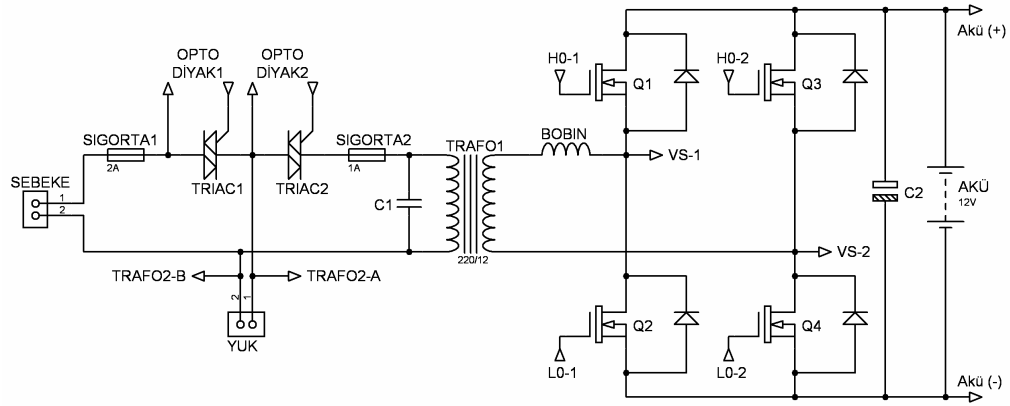
Şekil 6.3. Aküden çalışma blok diyagramı

6.1. KGK'nın Alt Birimleri

Gerçekleştirilen sistem yedi alt birimden oluşmaktadır;

- 1) Kontrol Birimi
- 2) Şarj Kontrol Birimi
- 3) İnverter Kontrol Birimi
- 4) Çift yönlü dönüştürücü.
- 5) Statik transfer anahtarları.
- 6) Akü grubu.
- 7) Transformatör.

Buna göre, kontrol birimi şebeke gerilimini sürekli izleyecek, herhangi bir güç kalitesi problemi yoksa yük şebekeden beslenecek ve aynı zamanda akü şarj edilecektir. Dönüştürücü, şarj edici modda çalışırken, şebekeden çekilen akım dalga şeklinin sinüse yakın ve gerilimle aynı fazda olması sağlanarak hem güç faktörünün düzeltilmesi hem de şebekenin istenmeyen harmonik etkilerden korunması gerçekleştirilecektir. Şebeke tarafında, sınır değerleri aşan herhangi bir güç kalitesi problemi meydana geldiğinde ise kontrol birimi hassas yükü statik transfer anahtarı¹ vasıtasıyla şebekeden ayıracak ve statik transfer anahtarı² vasıtasıyla yükün akü üzerinden beslenmesini sağlayacaktır. Bunun için önce çift yönlü çalışan dönüştürücü, inverter moduna geçerek aküden elde edilen doğru gerilimi alternatif gerilime çevirecek, daha sonra inverter çıkışında elde edilen alternatif gerilim trafo ile yükün ihtiyaç duyduğu seviyeye yükseltilecektir. Son olarak da trafo çıkışındaki bu gerilimin, harmonik bileşenleri filtre kondansatörü ile elimine edilerek yüke aktarılacaktır. Yük, akü üzerinden beslenmeye başladıktan sonra kontrol birimi, şebekeyi izlemeye devam ederek şebeke normale döndükten sonra yükü yine statik transfer anahtarı¹ vasıtasıyla güvenli bir şekilde tekrar şebekeye bağlayacaktır. Blok diyagramı şekil 6.1.'de verilen sistemin ayrıntılı güç devresi şekil 6.4.'de görülmektedir.



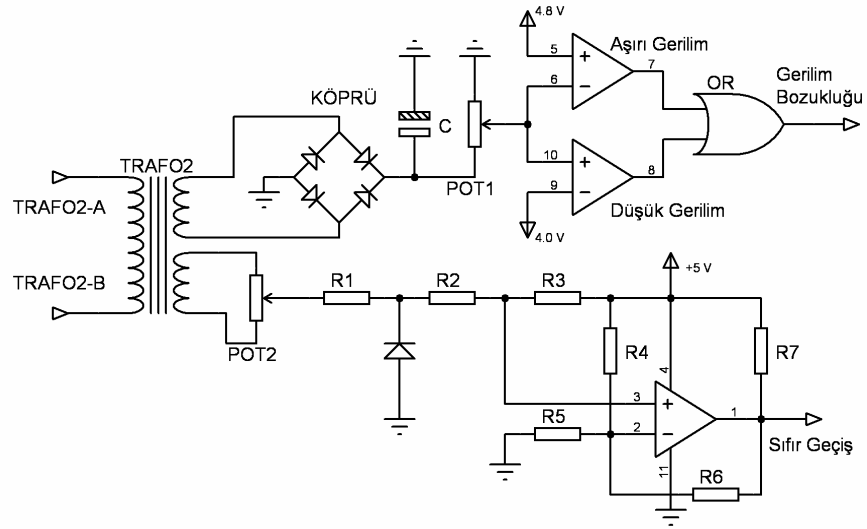
Şekil 6.4. KGK ayrıntılı güç devresi

6.1.1. Kontrol birimi

Kontrol birimi, şebekeyi izleyerek gerilim bozukluğunu ve sıfır geçişleri tespit eden Gerilim Bozukluğu Algılama ve Sıfır Geçiş Devresi ile bu devreden gelen bilgileri değerlendirip dönüştürücünün şarj edici modda mı yoksa evirici modda mı çalışacağını belirleyen Kontrol Mikrodenetleyicisi'nden oluşmaktadır.

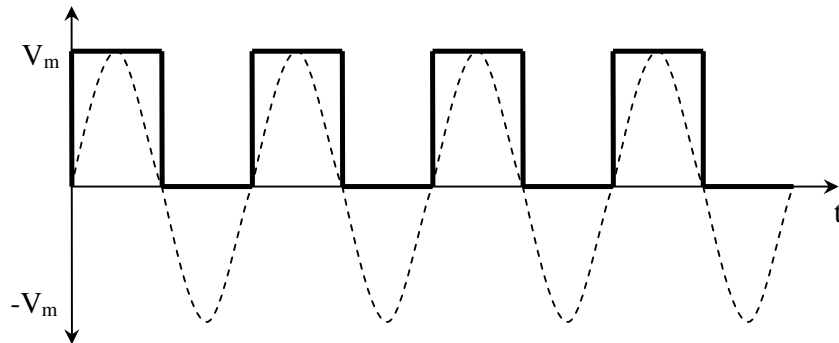
Gerilim bozukluğu algılama ve sıfır geçiş devresi

Hat etkileşimli kesintisiz güç kaynaklarında hassas yükler, beklemesiz (on-line) tiplerin aksine normal çalışmada şebekeden beslenmektedirler. Ancak şebeke geriliminde yüke zarar verebilecek bozukluklar veya kesinti meydana geldiğinde aküden beslenmeye başlamaktadırlar. Bu yüzden sistemin, şebekede meydana gelecek bir gerilim bozukluğunun tespitini ve yükün aküden beslenmesini çok hızlı bir şekilde sağlaması gerekmektedir. Tasarlanan KGK'da gerilim bozukluğunun takibi ve şebeke geriliminin sıfır geçişlerinin yakalanması, şekil 6.5.'de verilen devre vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu devrede öncelikle yüke paralel bağlanan bir trafo ile gerilim 6 V'a düşürülmektedir. Trafonun sekonder kısmı çift sargılıdır. Bu sargılardan birisi gerilim bozukluğu tespiti, diğeri ise sıfır geçişlerin yakalanması için kullanılmaktadır.



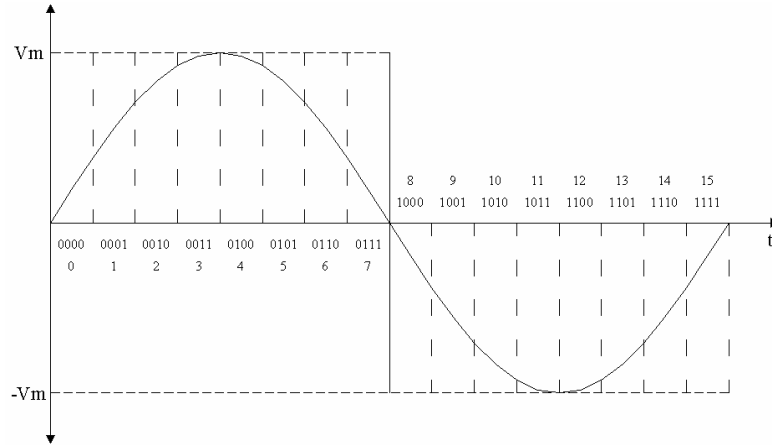
Şekil 6.5. Gerilim bozukluğu algılama ve sıfır geçiş devresi

Şebeke geriliminin kabul edilebilir sınır değerleri, 200 ile 240 V olarak alınmıştır. Buna göre, şebeke gerilimi üst sınır olan 240 V değerine ulaştığında, bu gerilimin trafo ile düşürülüp köprü diyot ile doğrultulduktan ve ayarlı direnç ile ayarlandıktan sonra DC 4,8 V'a tekabül etmesi sağlanmıştır. Bunun nedeni ise referans değer ile karşılaştırma amacıyla kullanılan komparatörlerin besleme geriliminin 5 V olmasıdır. Bu durumda şebeke gerilimi alt sınır olan 200 V olduğunda ayarlı direnç çıkışı 4,0 V, normal şebeke gerilimi olan 220 V'ta ise 4,4 V olmaktadır. Buna göre, şebeke gerilimi bu sınır değerlerin altına veya üstüne çıktığında “Gerilim Bozukluğu” sinyali üretilmektedir.



Şekil 6.6. Sıfır geçiş sinyalleri

Şekil 6.6.'da görülen sıfır geçiş sinyalleri gerilim bozukluğunun hangi aralıkta meydana geldiğini tespit etmek için kullanılmıştır. Buna göre kontrol mikrogenetleyicisi, sıfır geçiş sinyali gelir gelmez şebeke gerilimini şekil 6.7.'de görüldüğü gibi 20 ms'lik periyodun 16'da biri kadar yani 1250 μ s'lik eşit aralıklarda incelemeye başlar. İlk olarak "Sayaç" olarak tanımlanan bir değişkeni sıfırlar. Daha sonra şebeke geriliminde bir bozukluk olup olmadığını sorgular, eğer yoksa 1250 μ s bekler, "Sayaç" değişkeninin içeriğini bir artırır ve tekrar gerilim bozukluğu sorgulama bölümüne döner. Bu döngü, değişkenin değeri 15 olunca, yani bir tam periyot tamamlanıncaya kadar devam eder. Değişkenin değeri 15 olunca ise sistem tekrar sıfır geçiş sinyalini beklemeye başlar..



Şekil 6.7. Bir periyot boyunca gerilim bozukluğunun kontrol edildiği aralıklar

Kontrol mikrogenetleyicisi

Şekil 6.5.'deki devrede elde edilen "Sıfır Geçiş" ve "Gerilim Bozukluğu" sinyalleri ile inverter birimi ve akü geri besleme devresinden gelen "Periyot Sona Erdi", "Akü Bitiyor" ve "Akü Bitti" bilgileri şekil 6.8.'de verilen PIC16F84A mikrogenetleyicisinden oluşan kontrol devresi tarafından işlenmektedir. Bu bilgileri değerlendiren kontrol devresi, aşağıdaki işlemleri gerçekleştirmektedir;

1- Normal çalışmada şebekeyi izleyerek gerilim bozukluğunu algılamak ve gerilimin sıfır geçişlerini takip ederek olası bir bozukluk anında bozukluğun hangi aralıkta gerçekleştiğini tespit etmek.

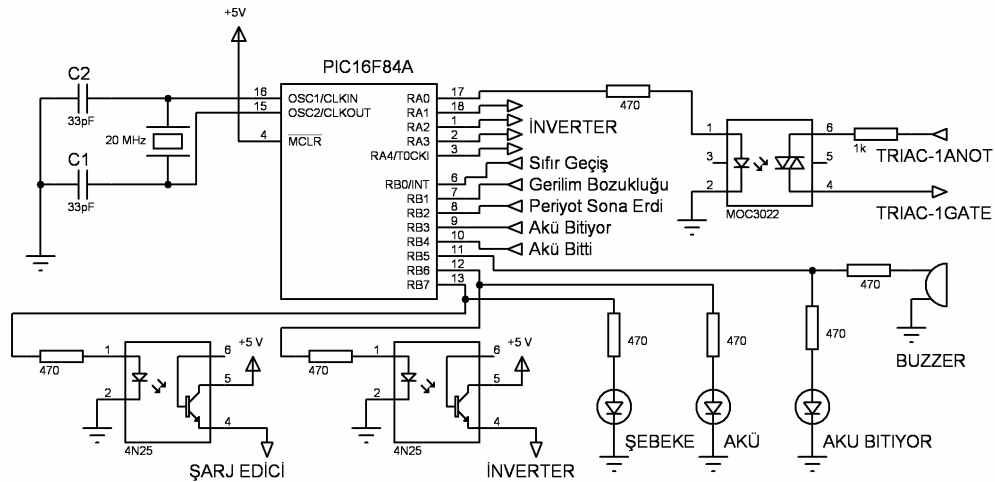
2- “Gerilim Bozukluğu” sinyali ile birlikte yükü şebekeden ayırmak, şarj edici birimi devre dışı bırakarak inverter birimini devreye almak ve bu birime gerilim bozukluğunun hangi aralıkta gerçekleştiğini bildirmek.

3- Yük, aküden beslenirken şebekeyi izlemeye devam ederek şebeke normale dönünce inverter birimini devre dışı bırakmak, şarj edici birimi devreye almak ve yükü tekrar şebekeye bağlamak.

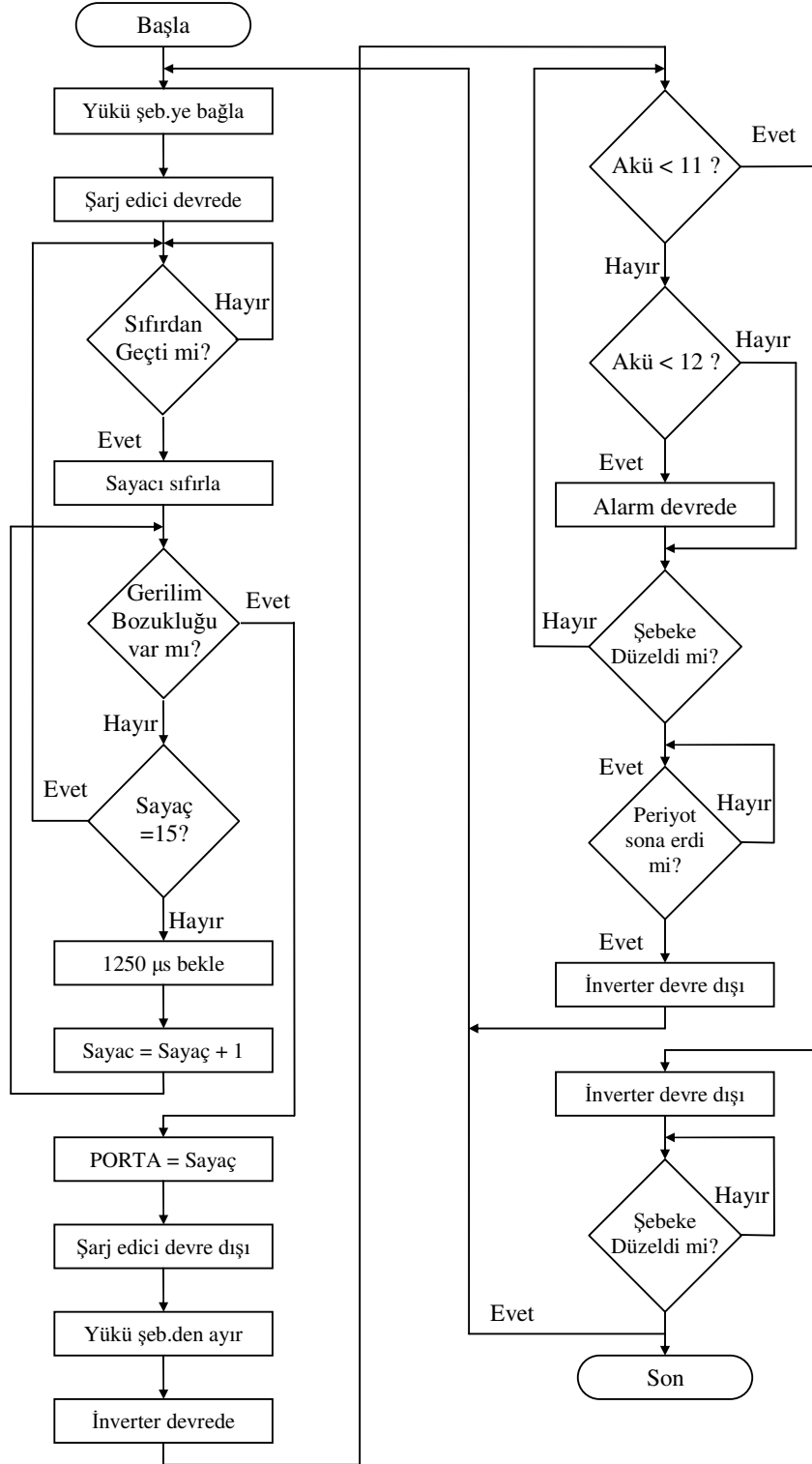
4- Akü gerilimi 12 V’un altına düşünce yanıp sönen LED ve buzzerden oluşan alarm devresini çalıştırarak kullanıcıyı uyarmak, eğer gerilim daha da azalarak 11 V’un altına düşerse akü beslemesini kesmek.

5- Yükün şebekeden mi yoksa aküden mi beslendiğini devre şemasında görülen LED’ler vasıtasıyla göstermek.

Yükü şebekeye almak veya şebekeden ayırmak için statik transfer anahtarı olarak kullanılan triyakın kapısına uygulanan sinyaller, MOC3022 optodiyak elemanı üzerinden gönderilmektedir. Böylece kontrol devresi ile güç devresinin hiçbir elektriksel bağlantısı kalmamıştır. Ayrıca şarj edici ve inverter birimlerini devreye alma veya devreden çıkarma işlemi 4N25 optotransistör vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Bunun da nedeni zararlı olabilecek seviyede akım çekilmesini önlemek ve güç ve kontrol devresi arasında izolasyon sağlamaktır. Şekil 6.9.’da kontrol mikrodenetleyicisi program akış diyagramı görülmektedir.



Şekil 6.8. Kontrol mikrodenetleyicisi devre şeması



Şekil 6.9. Kontrol mikrodnetleyicisi program akış diyagramı

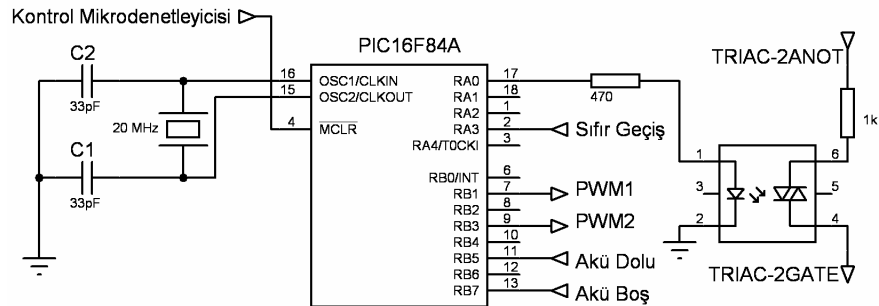
6.1.2. Şarj kontrol birimi

Şarj kontrol biriminin görevi, akü şarj edilirken şebekeden çekilen akımın dalga şeklinin sinüse yakın ve gerilimle aynı fazda olmasını sağlayarak güç faktörünü düzeltmek ve şebekeyi istenmeyen harmonik etkilerden korumaktır. Bu birim, dönüştürücü MOSFET’leri için PWM sinyalleri üreten Şarj Kontrol Mikrodenetleyicisi ve akü gerilimini kontrol eden Akü Geri Besleme Devresi’nden oluşmaktadır

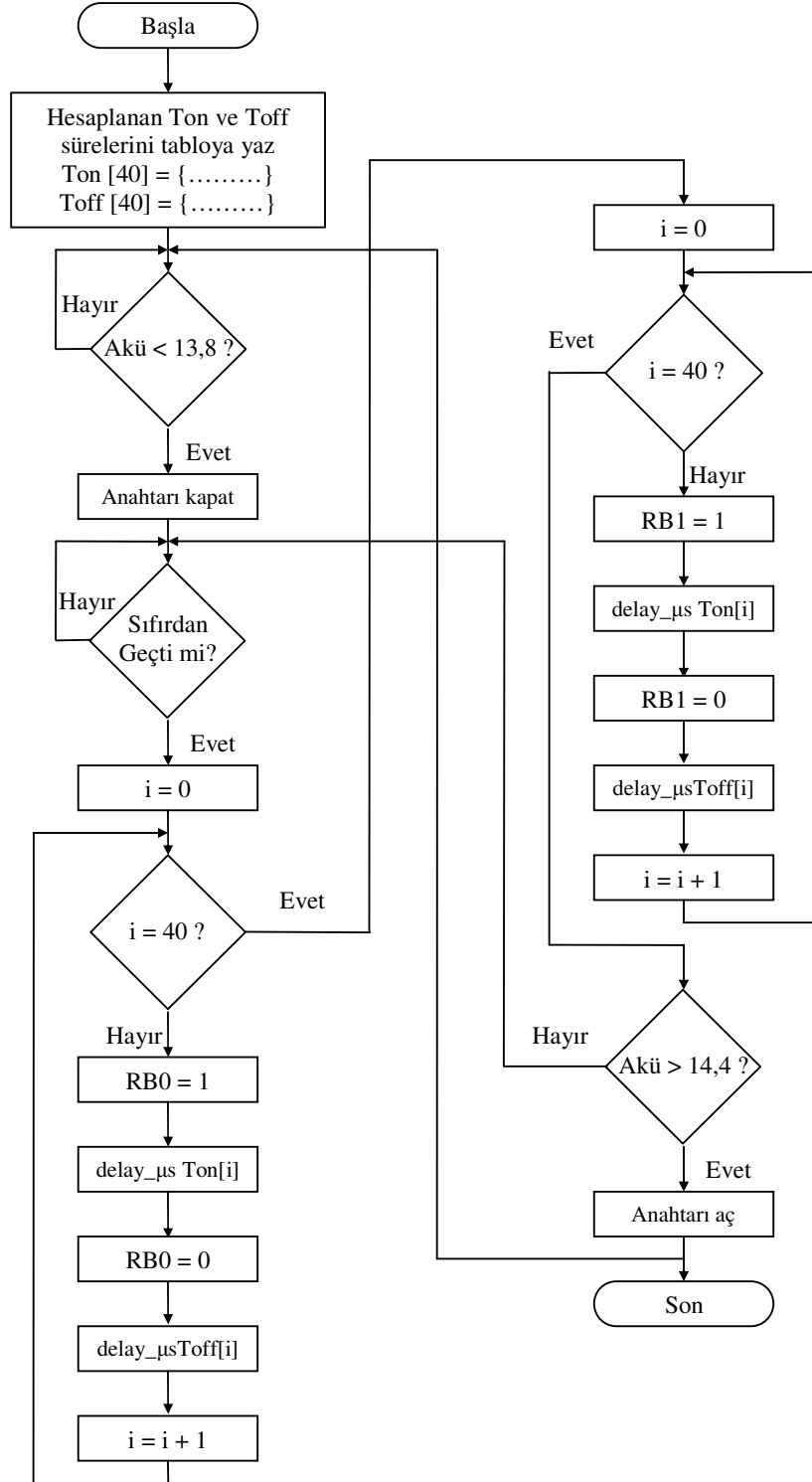
Şarj kontrol mikrodenetleyicisi

Tasarlanan hat etkileşimli kesintisiz güç kaynağında, dönüştürücünün şarj edici modda çalışmasını şekil 6.10.’da devre şeması verilen şarj kontrol mikrodenetleyicisi kontrol etmektedir.

Şarj kontrol mikrodenetleyicisinin devreye alınma işlemi, kontrol mikrodenetleyicisi tarafından MCLR reset ucu kullanılarak yapılmaktadır. Sıfır geçiş sinyali ile birlikte üretilmeye başlanan PWM sinyalleri H köprüsünde sadece alttaki MOSFET’lere uygulanmaktadır. Sistem bu haliyle tam köprü kontrolsüz bir doğrultucu ve boost tipi DC-DC dönüştürücü birleşiminin daha az anahtarla gerçekleşmiş halidir. Böylece dönüştürücü, şarj edici olarak çalışırken hem şebekeden daha az harmonik bileşen içeren ve gerilim ile aynı fazda bir akım çekilmekte hem de çıkışta ayarlı bir doğru gerilim elde edilmektedir. Şekil 6.11.’de şarj kontrol mikrodenetleyicisi program akış diyagramı görülmektedir.



Şekil 6.10. Şarj kontrol mikrodenetleyicisi devre şeması

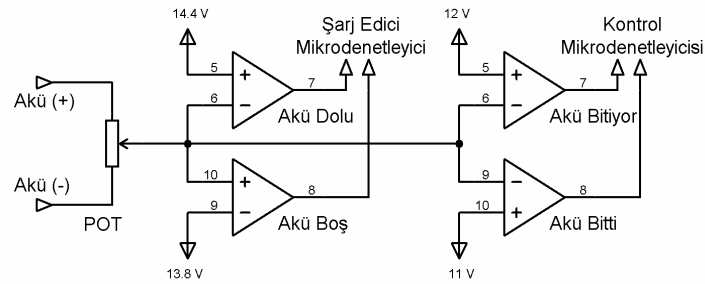


Şekil 6.11. Şarj kontrol mikrodnetleyicisi program akış diyagramı

Mikrodenetleyici, ayrıca akü geri besleme devresinden gelen “Akü Boş” veya “Akü Dolu” bilgilerine göre dönüştürücüyü statik transfer anahtarı olarak kullanılan triyak vasıtasıyla devreye almakta ve devreden çıkarmaktadır. Mikrodenetleyicinin şebekeden izolasyonu için ise MOC3022 optodiyak elemanı kullanılmıştır.

Akü geri besleme devresi

Şarj kontrol mikrodenetleyicisine giden “Akü Dolu” ve “Akü Boş” sinyalleri ile kontrol mikrodenetleyicisine giden “Akü Bitiyor” ve “Akü Bitti” sinyalleri, şekil 6.12.’de verilen akü geri besleme devresi ile elde edilmektedir.



Şekil 6.12. Akü geri besleme devresi

“Akü Dolu” sinyali, şarj edilirken akü geriliminin 14,4 V seviyesine ulaştığını, “Akü Boş” sinyali ise beklemekten dolayı iç kimyasal etkiler veya yükün aküden beslenmesi esnasında çekilen akım nedeniyle akü geriliminin 13,8 V’un altına düştüğünü göstermektedir.

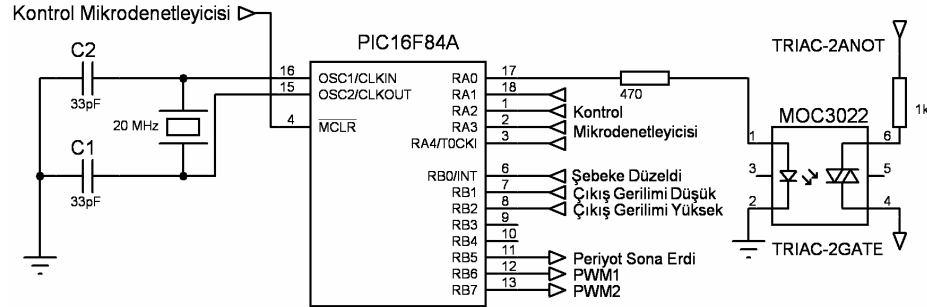
MOSFET sürücü entegresi olan IR2113 elemanının Vcc girişine 10 ile 20 V arasında bir gerilim uygulanması gerekmektedir. Bu nedenle aküden besleme esnasında akü geri besleme devresi, kontrol mikrodenetleyicisine gerilim 12 V’un altına düştüğünde “Akü Bitiyor” sinyali, 11 V’un altına düştüğünde ise “Akü Bitti” sinyali göndermektedir. Bu sinyalleri değerlendiren mikrodenetleyici önce akünün bittiğini sesli ve ışıklı uyarı sistemi ile kullanıcıya iletmekte, daha sonra da akü beslemesini kesmektedir.

6.1.3. İnverter kontrol birimi

İnverter kontrol biriminin görevi, şebekede kesinti veya gerilim bozukluğu meydana geldiğinde dönüştürücünün inverter moduna geçmesini ve yükün aküden kesintisiz olarak beslenmesini sağlamaktır. Amaç, çıkışta frekansı sabit, toplam harmonik distorsiyonu çok düşük ve kararlı bir çıkış gerilimi elde etmektir. İnverter kontrol mikrodnetleyicisinden ve yük geri besleme devresinden oluşur.

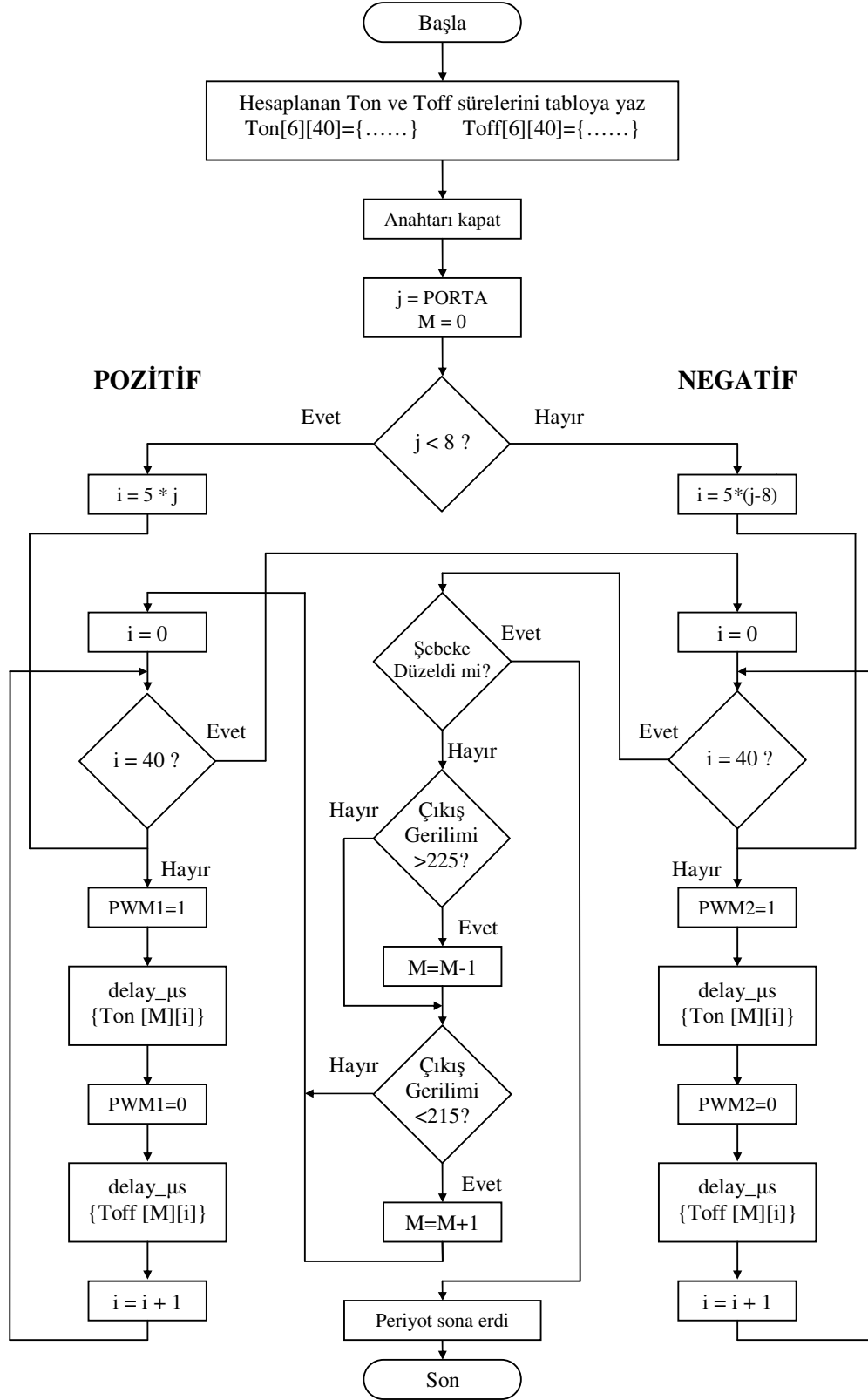
İnverter kontrol mikrodnetleyicisi

Tasarlanan sistemde, dönüştürücünün inverter modunda çalışmasını şekil 6.13.'de devre şeması verilen inverter kontrol mikrodnetleyicisi kontrol etmektedir. Bu mikrodnetleyicisinin devreye alınma işlemi kontrol mikrodnetleyicisi tarafından MCLR reset ucu kullanılarak yapılmaktadır. Kontrol birimi aynı zamanda gerilim bozukluğunun hangi bölgede gerçekleştiğine dair dört bitlik bilgi gönderir. Dönüştürücünün inverter modda çalışması için gerekli olan ve uzay vektör tekniğine göre üretilen PWM sinyalleri H köprüsündeki MOSFET'lerin kapılarına uygulanır



Şekil 6.13. İnverter kontrol mikrodnetleyicisi devre şeması

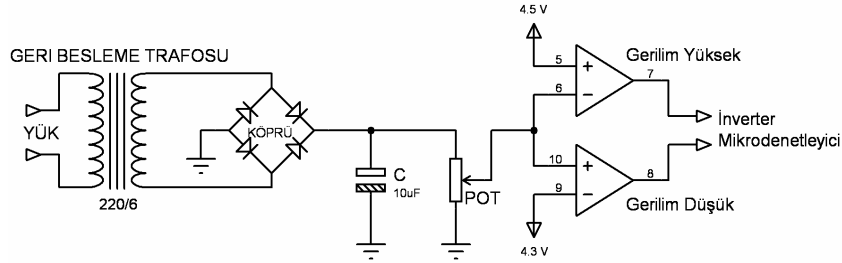
İnverter kontrol mikrodnetleyicisi aynı zamanda yük geri besleme devresinden gelen “Çıkış Gerilimi Yüksek” veya “Çıkış Gerilimi Düşük” bilgilerini değerlendirerek MOSFET'lerin iletim süreleri arttırır veya azaltır. Ayrıca şebekenin düzelmesi durumunda yükün güvenli bir şekilde tekrar şebekeye bağlanabilmesi için kontrol mikrodnetleyicisine “Periyot Sona Erdi” bilgisi gönderilmekte ve böylece yük sıfır gerilimde şebekeye bağlanmaktadır. Şekil 6.14.'de inverter kontrol mikrodnetleyicisi program akış diyagramı görülmektedir



Şekil 6.14. İnverter kontrol mikrodnetleyicisi program akış diyagramı

Yük geri besleme devresi

Yük gerilim seviyesinin 215 ile 225 arasında kalması amaçlanmıştır. Bunun için şekil 6.15.'de verilen yük geri besleme devresi kullanılmıştır. Buna göre, yük gerilimi üst sınır olan 225 V olduğunda, bu gerilimin trafo ile düşürülüp köprü diyot ile doğrultulduktan ve ayarlı direnç ile ayarlandıktan sonra DC 4,5 V'a tekabül etmesi sağlanmıştır. Bu durumda yük gerilimi alt sınır olan 215 V olduğunda ayarlı direnç çıkışı 4,3 V, 220 V'ta ise 4,4 V olmaktadır. Yük gerilimi, bu sınır değerlerin altına veya üstüne çıktığında inverter kontrol mikrodenetleyicisine gerilimin yüksek veya düşük olduğuna dair bilgi gönderilmektedir.

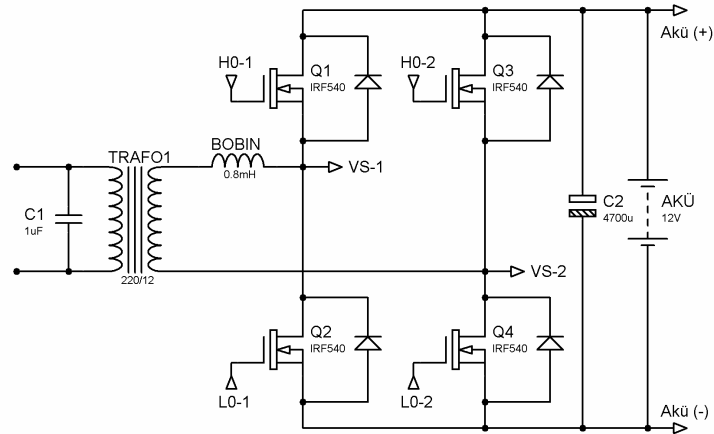


Şekil 6.15. Yük geri besleme devresi

6.1.4. Dönüştürücü

Hat etkileşimli kesintisiz güç kaynaklarında şüphesiz en önemli kısım çift yönlü olarak çalışan dönüştürücüdür. Dönüştürücü tipi olarak farklı uygulamalar mevcutsa da en bilineni ve en yaygın olarak kullanılanı şekil 6.16.'da görüldüğü gibi tam köprüdür.

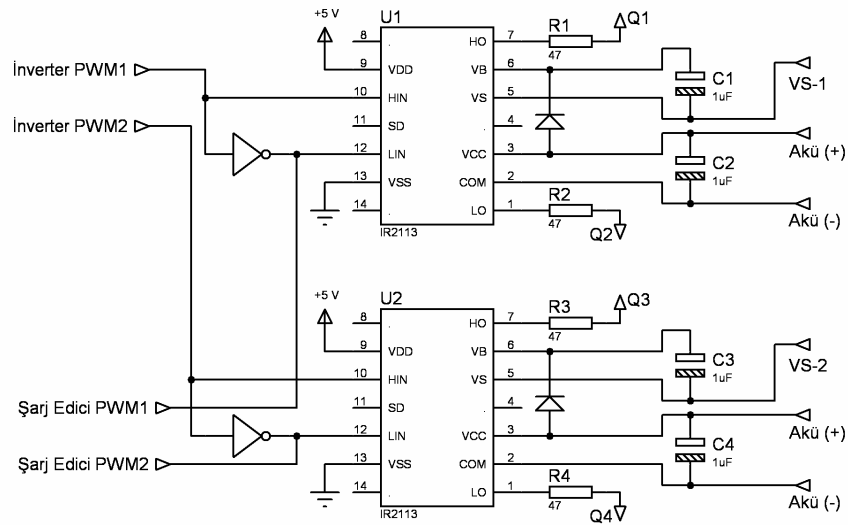
Bu bağlantı şeklinde, dönüştürücü, doğrultucu modunda çalışırken sadece alttaki iki MOSFET kontrol edilmekte ve üstteki MOSFET'lerin sadece ters paralel bağlı diyotları kullanılmaktadır. Böylece bobin ve kondansatörle birlikte boost tipi dönüştürücü yapısı elde edilmiş olmaktadır. Burada amaç, akü şarjı için şebekeden çekilen akım dalga şeklinin gerilim ile aynı fazda ve mümkün olduğunca sinüse yakın olmasıdır.



Şekil 6.16. Tam köprü dönüştürücü

Dönüştürücü inverter modunda çalışırken ise dört MOSFET'in de kapılarına uzay vektör PWM tekniğine göre elde edilmiş sinyaller uygulanmaktadır. Böylece akünün doğru gerilimi, PWM inverter ile AC gerilime dönüştürülerek ve filtrelenerek yüke uygulanmaktadır.

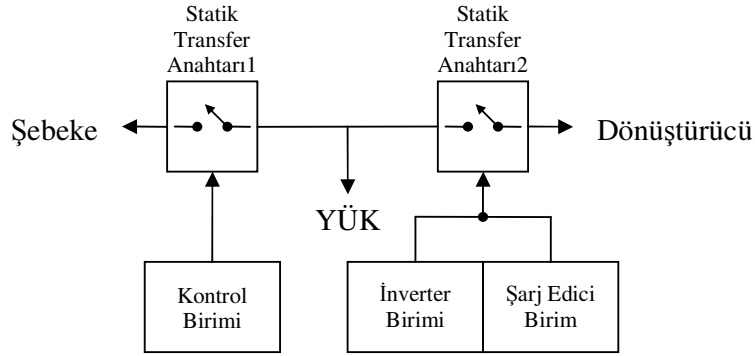
Şekil 6.17.'de H köprüsündeki MOSFET'ler için gerçekleştirilen sürme devresi görülmektedir. Dönüştürücüde dört adet MOSFET kullanıldığından hem şarj edici hem de inverter modu için ortak iki adet IR2113 entegresi kullanılmıştır.



Şekil 6.17. MOSFET sürme devre şeması

6.1.5. Statik transfer anahtarları

Şekil 6.18.'deki blok şemada da görüldüğü gibi tasarlanan sistemde iki adet transfer anahtarı vardır. Bunlardan ilki şebeke bozulduğunda yükü şebekeden ayırmak, düzeldiğinde ise tekrar şebekeye bağlamak için kullanılır ve kontrol birimi tarafından kontrol edilir. İkincisi ise dönüştürücüyü devreye almak veya devreden çıkarmak için kullanılır ve hem şarj kontrol birimi hem de inverter kontrol birimi tarafından kontrol edilir.



Şekil 6.18. Transfer anahtarlarının kullanımı

6.1.6. Akü grubu

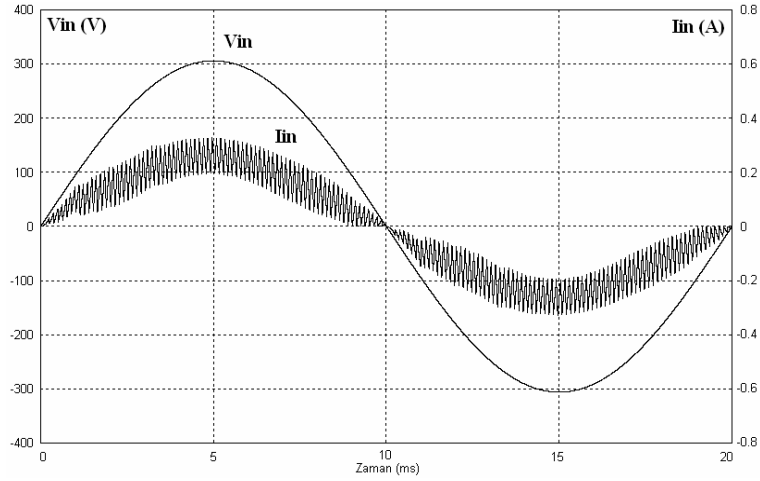
Kesintisiz güç kaynaklarında en önemli kısımlardan birisi aküdür. Şebeke yokken veya herhangi bir bozukluk anında yükü kesintisiz olarak besleyebilmek için kullanılmaktadır. Seçilecek akünün, yükü istenen süre kadar besleyebilecek kapasitede olması gerekmektedir. Bu süre, yüke ve kullanım alanına göre birkaç dakikadan birkaç saate kadar değişmektedir. Gerçekleştirilen sistemde iki adet 12 V 7 Ah tam bakımsız kuru tip kurşun asit akü kullanılmaktadır.

6.1.7. Transformatör

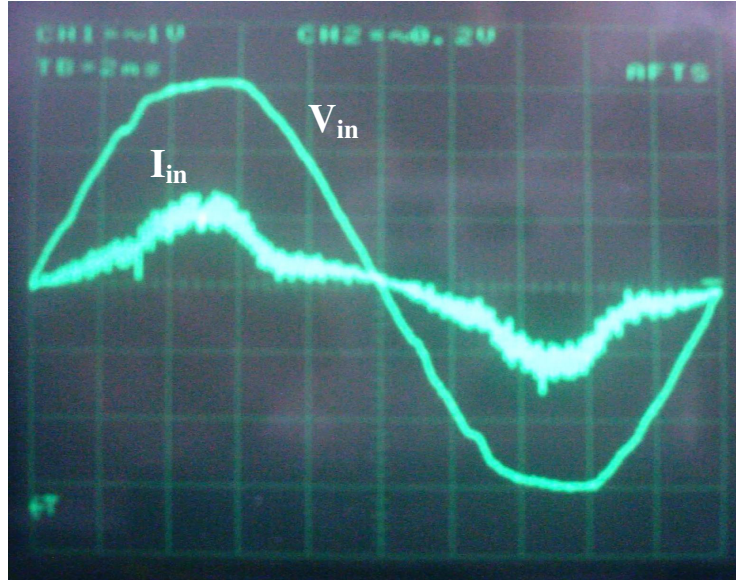
KGK'larda transformatörler, şebeke gerilimini akü şarjı için gerekli olan uygun seviyeye düşürmek ve inverter çıkışında elde edilen gerilimi yük için gerekli olan uygun seviyeye yükseltmek için kullanılırlar. Gerçekleştirilen sistemde 300 VA'lık dönüştürme oranı 220/12 olan bir trafo kullanılmıştır..

6.2. Simülasyon ve Deneysel Sonuçlar

Gerçekleştirilen sistemin giriş ve çıkış eğrileri, simülasyon olarak PSIM programında ve deneysel olarak da osiloskop görüntüleri ile elde edilmiştir. Şekil 6.19.'da 16 kHz anahtarlama frekansı için KGK giriş gerilimi ve giriş akımı verilmiştir. Görüldüğü gibi şebekeden çekilen akımın harmonik içeriği diyotlu ve tristörlü devreye göre azaltılmış ve birim güç faktörü sağlanmıştır.



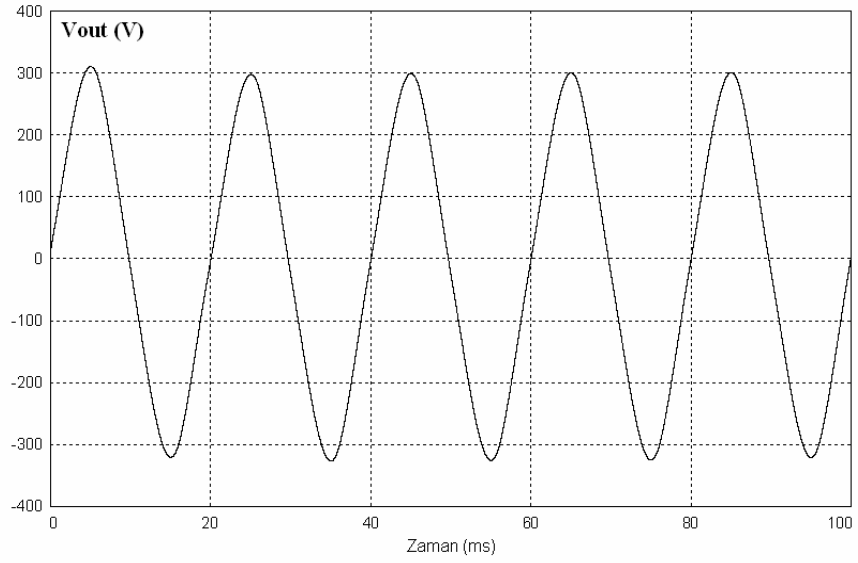
(a) Simülasyon sonucu



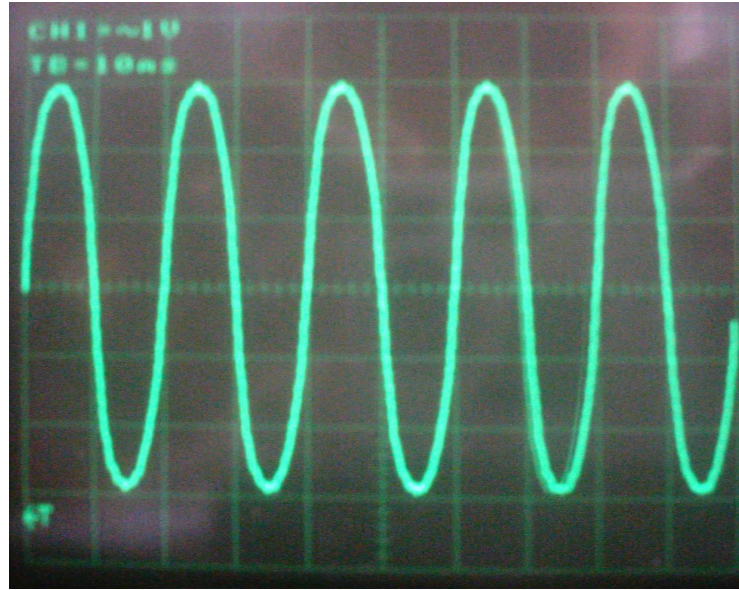
(b) Deneysel sonuç (CH1:100 V/div, CH2:0,2 A/div, 2 ms/div)

Şekil 6.19. KGK giriş gerilimi ve akımının değişimi

Şekil 6.20.'de 100 W omik yük, şekil 6.21.'de de 60 W'lık bir fan motoru için inverter çıkış gerilimi verilmiştir. Her iki durumda da çıkış geriliminin değişimi sinüzoidal olarak elde edilmiştir.

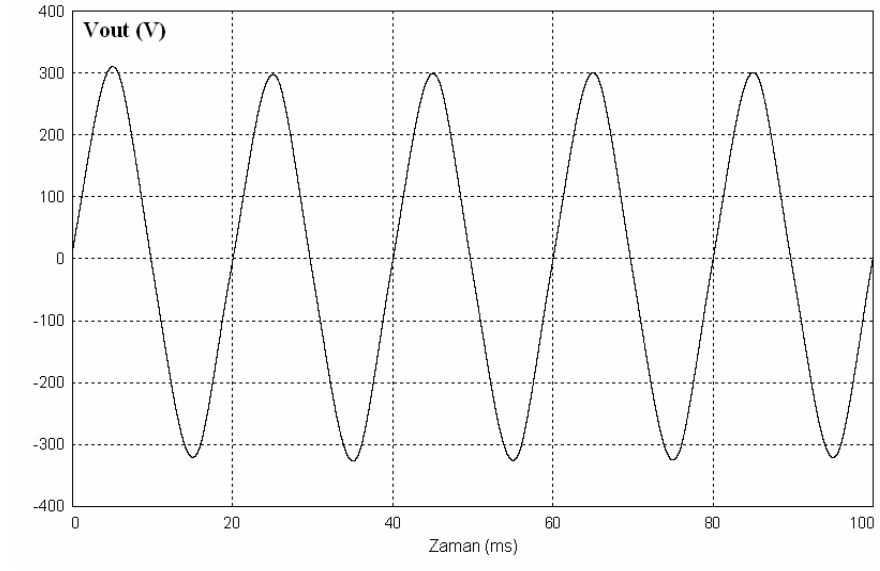


(a) Simülasyon sonucu

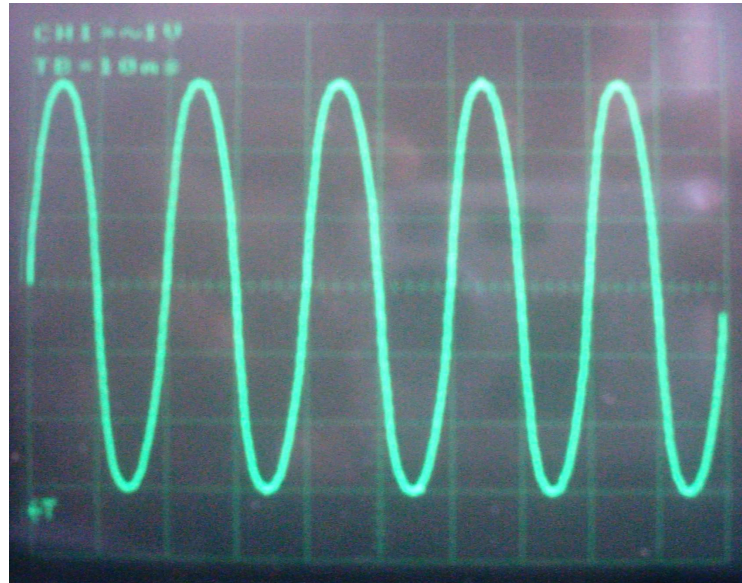


(b) Deneysel sonuç (100 V/div, 10 ms/div)

Şekil 6.20. 100 W omik yük için inverter çıkış geriliminin değişimi



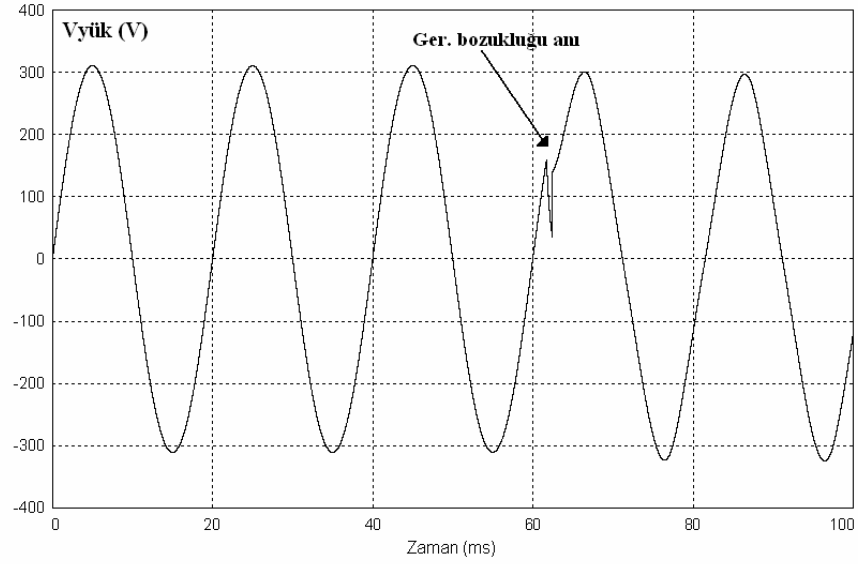
(a) Simülasyon sonucu



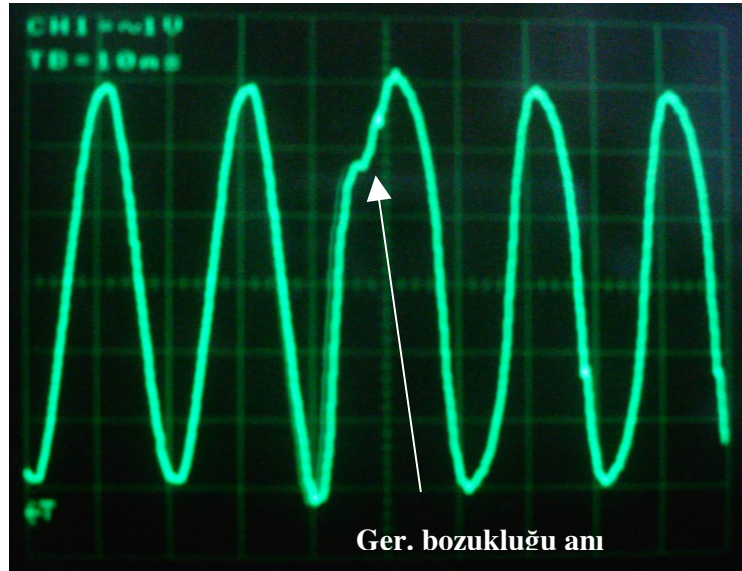
(b) Deneysel sonuç (100 V/div, 10 ms/div)

Şekil 6.21. 60 W fan motoru için inverter çıkış geriliminin değişimi

Şekil 6.22.'de şebekede meydana gelen gerilim bozukluğu anında 100 W omik yük uçlarındaki gerilimin değişimi, şekil 6.23.'de de 60 W'lık bir fan motorunun uçlarındaki gerilimin değişimi verilmiştir. Her iki durumda da sistem çok kısa bir süre içerisinde devreye girmekte ve yükü kesintisiz, kaliteli bir enerji ile beslemeye devam etmektedir.

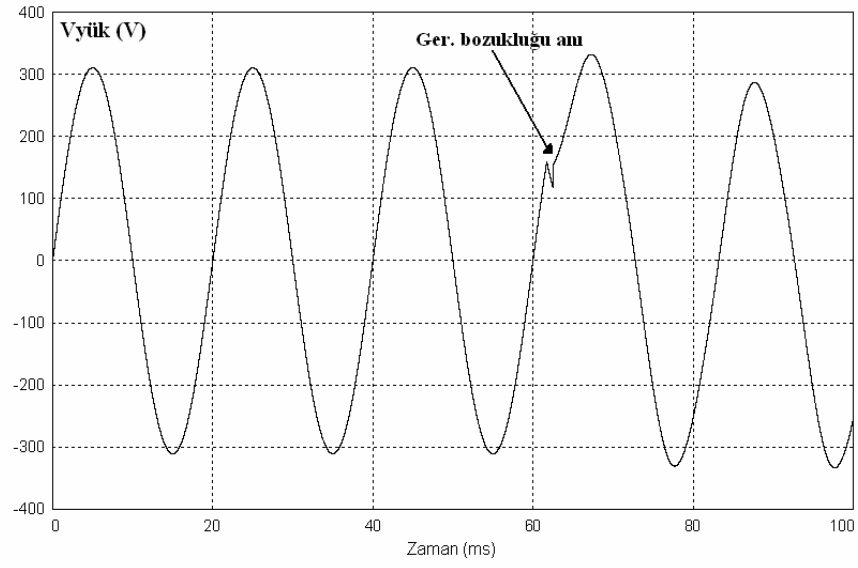


(a) Simülasyon sonucu

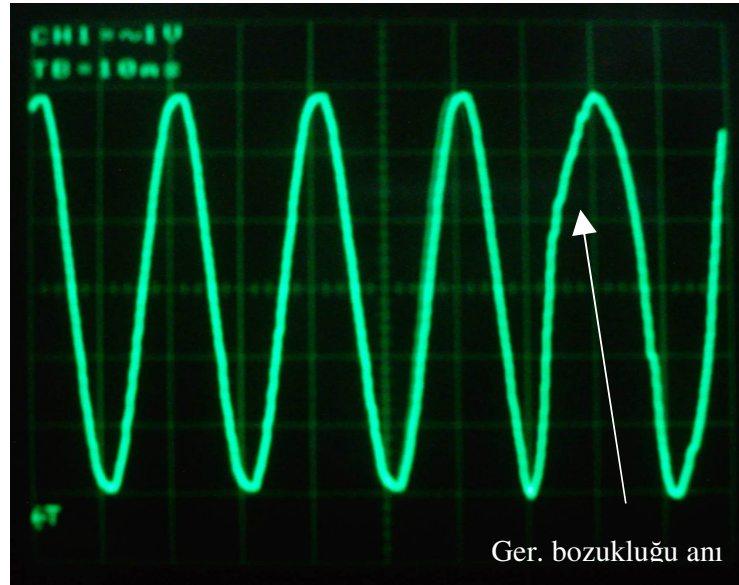


(b) DeneySEL sonuç (100 V/div, 10 ms/div)

Şekil 6.22. Gerilim bozukluğu anında omik yük uçlarındaki geriliminin değişimi



(a) Simölasyon sonucu



(b) Deneyisel sonuç (100 V/div, 10 ms/div)

Şekil 6.23. Gerilim bozukluğu anında fan motoru uçlarındaki geriliminin değişimi

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, uzay vektör PWM kontrollü bir inverter ile tek fazlı bir kesintisiz güç kaynağı tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. KGK çalışma prensibi olarak çift dönüşüm prensibine göre daha avantajlı olan hat etkileşim prensibi tercih edilmiştir. Bu prensipte yük normal şartlarda şebekeden beslenmekte, şebekede meydana gelen herhangi bir güç kalitesi probleminde ise inverter üzerinden aküden beslenmektedir. Bu yüzden on-line KGK'larda meydana gelen sık arızalar hat etkileşimli KGK'larda görülmemektedir. Hat etkileşimli KGK'ların başka bir avantajı da, on-line KGK'lardaki gibi doğrultucu ve inverter devrelerinin ayrı olmamasıdır. Bunun yerine tek bir dönüştürücü hem inverter hem de doğrultucu olarak çift yönlü çalışmaktadır.

Gerçekleştirilen sistemin kontrolü üç mikrodenetleyici tarafından sağlanmaktadır. Bunlardan ilki, şebekeyi izleyerek gerilim bozukluğunu tespit etmek, gerilimin sıfır geçişlerini takip etmek ve bunların neticesinde dönüştürücünün inverter veya doğrultucu olarak çalışmasını kontrol etmek gibi görevleri yerine getiren “Kontrol Mikrodenetleyicisi”, ikincisi dönüştürücüyü doğrultucu modda çalıştırarak akünün şarj edilmesini sağlayan “Şarj Kontrol Mikrodenetleyicisi” ve üçüncüsü de gerilim bozukluğu olduğunda dönüştürücüyü inverter modunda çalıştırarak yükün aküden beslenmesini sağlayan “İnverter Kontrol Mikrodenetleyicisi” dir.

Hat etkileşimli KGK'larda hassas yükler beklemesiz tiplerin aksine normal çalışmada şebekeden beslenmektedirler. Ancak şebeke geriliminde yüke zarar verebilecek bozukluklar veya kesinti meydana geldiğinde aküden beslenmektedirler. Bu yüzden şebekede meydana gelecek bir gerilim bozukluğunun çok hızlı bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla tasarlanan KGK'da kontrol mikrodenetleyicisi, şebekeyi 1,25 ms aralıklarla izleyerek gerilim bozukluğu olduğu anda yükü şebekeden ayırmakta ve inverter üzerinden aküden beslenmesini sağlamaktadır. Yani yükün şebekeden aküye transferi maksimum 1,25 ms

olmaktadır. Bu süre birçok yük için kabul edilebilir sınırlar içindedir. Ayrıca yük şebekeden ayrıldıktan sonra invertere uygulanan PWM sinyalleri, gerilim bozukluğunun meydana geldiği andan sonra başlamakta, böylece yük uçlarındaki gerilim dalga şeklinin sürekliliği sağlanmaktadır

Gerçekleştirilen sistemde, dönüştürücü inverter modunda çalışırken, güç anahtarlarının iletim ve kesim süreleri uzay vektör PWM tekniğine göre hesaplanmıştır. Böylece KGK çıkışında minimum harmonik bozulma ile sinüzoidal bir gerilim elde edilmiştir. Ayrıca KGK çıkış gerilimi, geri besleme devresi ile kontrol edilmekte ve gerektiğinde inverter güç anahtarlarının iletim süreleri değiştirilerek dinamik regülasyon sağlanmaktadır.

Geleneksel kesintisiz güç kaynaklarından kaynaklanan harmonikler, düşük güç faktörü ve yüksek enerji kaybı, günümüzde birçok KGK'nın çözüm olmaktan çok bir problem olarak karşımıza çıkmasına neden olmaktadır. Bu yüzden iyi bir KGK'nın, kaliteli bir çıkış geriliminin yanı sıra kaliteli bir giriş akımına sahip olması gerekmektedir. Bunun için de giriş akımı şebeke gerilimi ile aynı fazda ve toplam harmonik distorsiyonu çok düşük olmalıdır. Gerçekleştirilen sistemde, dönüştürücünün girişine bağlanan bobin, çıkışındaki kondansatör ve dönüştürücünün sadece alttaki anahtarlarının tetiklenmesiyle boost tipi bir dönüştürücü elde edilmiştir. Bilindiği gibi boost tipi dönüştürücüler güç faktörü düzeltme devreleri olarak kullanılmaktadırlar. Şarj edici mikrodenetleyicinin şebekenin sıfır geçişlerini takip etmesi ve anahtarların kapılarına uygun PWM sinyalleri göndermesi ile giriş akımının istenilen sinüzoidal şekle yakın ve gerilimle aynı fazda olması sağlanmıştır.

7.2. Öneriler

Bundan sonra konuyla ilgili çalışma yapacak araştırmacılar, ilk olarak KGK'nın gücünü yükseltebilirler. Bunun için güç seviyesi daha yüksek anahtarlar kullanılmalı ya da aynı güç seviyesindeki anahtarlar paralel bağlanmalıdır. Ayrıca trafonun da gücü artırılmalıdır. Yalnız bu durumda maliyetin ve KGK boyutlarının artacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

İkinci olarak, dönüştürücü güç anahtarlarına uygulanan PWM sinyallerinin frekansı artırılabilir. Böylece KGK çıkış gerilimi ve giriş akımı daha düzgün hale gelebilir. Ancak bunun için klasik mikrogenetleyicilerin yerine daha yüksek frekanslarda çalışabilen DSP (Digital Signal Processor) kullanılmalıdır. Ancak bu durumda da KGK maliyeti artacak ve sistemin kontrolü zorlaşacaktır.

DSP kullanmanın başka bir avantajı da üç mikrogenetleyici kullanma ihtiyacını ortadan kaldırmasıdır. Çünkü yüksek hızlı ve güçlü işlem kapasitesine sahip bir DSP, üç mikrogenetleyicinin görevini tek başına üstlenebilir. Böylece kontrol biriminin donanımı basitleştirilebilir.

Ayrıca şarj kontrol biriminin PWM sinyalleri de uzay vektör PWM tekniğı ile gerçekleştirilebilir ve daha basit bir yazılım algoritması hazırlanabilir.

8. KAYNAKLAR

1. Acha, E., Agelidis, V.G., Anaya-Lara, O., Miller, T.J.E., 2002, Power Electronic Control In Electrical Systems, Newnes Power Engineering Series, Boston
2. Ahmed, A., 1999, Power Electronics For Technology, Prentice Hall, New Jersey
3. Agrawal, J.P., 2001 Power Electronic Systems Theory And Design, Prentice Hall, New Jersey
4. Akkaya, R., 2003, Elektrik Güç Kalitesi, Yüksek Lisans Ders Notları
5. Choi, J.H., Kwon, J.M., Jung, J.H., Kwon, B.H., 2005, High-Performance Online UPS Using Three-Leg-Type Converter, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 52, No. 3
6. Crompton, T.R., 2000, Battery Reference Book, Third Ed., Newnes, Boston
7. da Silva, S.A.O., Donoso-Garcia, P.F., Cortizo, P.C., Seixas, P.F., 2002, A Three Phase Line Interactive UPS System Implementation With Series Parallel Active Power Line Conditioning Capabilities, IEEE Transactions on Industry Applications, Volume:38, Issue:6, pp.1581-1590
8. Dehbonei, H., Nayar, C.V., Borle, L., 2004, A Novel Modulation Technique For A Single Phase H-Bridge Inverter, International Journal of Electronics, Volume:91, No:1, 41-55
9. Gürdal, O., 2000, "Güç Elektroniği", Nobel Yayın Dağıtım, Ankara
10. Handley, P.G., Boys, J.T., 1990, Space Vector Modulation: An Engineering Review, 4th International Conference on Power Electronics and Variable-Speed Drives, pp.87-91
11. Hao, L., Xiangning, X., Yonghai, X., 2003, Study On The Simplified Algorithm Of Space Vector PWM, The Fifth International Conference on Power Electronics and Drive Systems, Volume 2, Page(s):877 - 881
12. Heathcote, M.J., 1998, The J&P Transformer Book, Twelfth Ed., Newnes, Boston
13. Hirachi, K., Sakane, M., Niwa, S., Matsui, T., 1994, Development of UPS Using New Type of Circuits, 16th International Telecommunications Energy Conference, pp.635-642

14. Hung, W.W., McDowell, G.W.A., 1990, Hybrid UPS for Standby Power Systems, Power Engineering Journal, Volume:4, Issue:6, pp.281-291
15. Kocatepe, C., Uzunoğlu, M., Yumurtacı, R., Karakaş, A., Arıkan, O., 2003, “Elektrik Tesislerinde Harmonikler”, Birsen Yayınevi, İstanbul
16. Özdemir, A., 2001, “Neden UPS?”, www.upsci.com
17. Pinheiro, H., Blume, R., Jain, P., 2000, Comparison of SV Modulation Methods for Single Phase On-Line Three-Leg UPS, 26th Annual Conference of the Industrial Electronics Society, Volume:2, pp.1328-1333
18. Pinheiro, H., Botteron, F., Rech, C., Schuch, L., Camargo, R.F., Hey, H.L., Gründling, H.A., Pinheiro, J.R., 2002, Space Vector Modulation for Voltage Source Inverters: A Unified Approach, 28th Annual Conference of the Industrial Electronics Society, Volume:1, pp.23-29
19. Rathmann, S., Warner, H.A., 1996, New Generation UPS Technology, The Delta Conversation Principle, 31st Industry Applications Conference, Volume:4, pp.2389-2395
20. Sarıtaş, M., Aydemir, M.T., Dalbaz, A., 2002, “700 VA Kesintisiz Güç Kaynağı Devresinin Tasarımı Ve Gerçekleştirilmesi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 17, No 1, 33-42
21. Skok, S., Skok, M., Vrkic, N., 2004, Electrical Performance Test Procedure For Uninterruptible Power Supplies, IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Volume 2, Page(s):667 - 671
22. Tanrıöven, M., İnce, R., 2004, “Elektrik Güç Sisteminin Kalitesini Bozan Faktörlerin İncelenmesi”, www.etmd.org.tr
23. Ünsal, A., Tunaboğlu, N.S., 2004, “Kesintisiz Güç Kaynakları”, Endüstri Otomasyon Dergisi, Sayı 86
24. Qin, Y., Du, S., 1995, Line Interactive UPS with the DSP Based Active Power Filter, 17th International Telecommunications Energy Conference, pp. 421-425
25. www.apc.com