

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**12 DARBELİ ÜÇ FAZ ÇIKIŞLI KESİNTİSİZ GÜÇ
KAYNAĞI İÇİN KONTROLÖR GERÇEKLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Zeynel KAYA

Anabilim Dalı : ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ

Programı : KONTROL VE OTOMASYON MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2005

**12 DARBELİ ÜÇ FAZ ÇIKIŞLI KESİNTİSİZ GÜÇ
KAYNAĞI İÇİN KONTROLÖR GERÇEKLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Zeynel KAYA

(504021124)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 9 Mayıs 2005

Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2005

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Salman KURTULAN (İ.T.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Uğur ÇERTEKLİGİL (Sakarya Üniversitesi)

Yrd. Doç. Dr. Deniz YILDIRIM (İ.T.Ü.)

Haziran 2005

ÖNSÖZ

Her konuda engin bilgi ve yardımlarını benden esirgemeyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Salman KURTULAN'a, güç elektroniği konusunda değerli bilgilerinden yararlandığım Ahmet Metin AÇIKGÖZ'e ve öğrenim hayatım boyunca sahip olduğum çalışma gücünün temel kaynağı ve destekleyicisi olan sevgili aileme teşekkür ederim.

Mayıs 2005

Zeynel KAYA

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. KESİNTİSİZ GÜÇ KAYNAKLARI	3
2.1 KGK Kullanım Alanları	3
2.2 Şebeke Sorunları	3
2.3 KGK Çeşitleri	5
2.3.1 Dinamik KGK	5
2.3.2 Statik KGK	5
2.3.2.1 Statik KGK Çeşitleri	5
2.3.2.2 Statik KGK Ana Bölümleri	7
2.3.2.3 Beklemesiz (On-Line) KGK Çalışma İlkesi	8
2.4 KGK'dan Beklenen Özellikler	12
2.4.1 Gerilim Kararlılığı	12
2.4.2 Frekans Kararlılığı	12
2.4.3 Toplam Harmonik Bozulma Düşüklüğü	13
2.4.4 Aşırı Yük ve Kısa Devre Koruması	13
2.4.5 Yüksek Verim	13
2.5 KGK'nın Değişik Koşullarda Çalıştırılması	14
2.5.1 Jeneratörden Çalışma	14
2.5.2 Sürekli Düşük veya Yüksek Şebeke Geriliminden Çalışma	16
2.5.3 KGK'ların Yedekli Çalışması	16
2.5.3.1 Seri Yedeklemeli KGK Sistemi	17
2.5.3.2 Paralel Yedeklemeli KGK Sistemi	18

3. DOĞRULTUCU	19
3.1 Temel Doğrultucu Yapıları	21
3.1.1 Tam Dalga Kontrolsüz Doğrultucular	21
3.1.2 Tam Dalga Kontrollü Doğrultucular	22
3.1.3 Aktif Güç Faktörü Düzelten Doğrultucular	24
3.1.4 Çok Darbeli Doğrultucular	26
3.2 Mikroişlemci Kontrollü 12 Darbeli Doğrultucu Uygulaması	27
3.2.1 Doğrultucu Güç Bileşenleri	28
3.2.1.1 Giriş Transformatörü	29
3.2.1.2 Giriş Şoku	30
3.2.1.3 Çıkış Kondansatörü	30
3.2.1.4 Tristör	31
3.2.2 Doğrultucu Kontrolü	38
3.2.2.1 Doğrultucu Kontrol Devresi	39
3.2.2.2 Doğrultucu Kontrol Yazılımı	43
4. EVİRİCİ	48
4.1 Temel Evirici Yapıları	49
4.1.1 Bir Fazlı Yarım Dalga Evirici	49
4.1.2 Bir Fazlı Tam Dalga Evirici	51
4.1.3 Üç Fazlı Evirici	52
4.1.3.1 180° İletim	52
4.1.3.2 120° İletim	55
4.2 Mikroişlemci Destekli Üç Fazlı DGM'li Evirici Uygulaması	55
4.2.1 Sinüzoidal Darbe Genişlik Modülasyonu	55
4.2.2 Evirici Güç Bileşenleri	58
4.2.2.1 IGBT	60
4.2.2.2 Çıkış Transformatörü	65
4.2.2.3 Çıkış Kondansatörü	66
4.2.3 Mikroişlemci Destekli Üç Fazlı Evirici Kontrolü	67
4.2.3.1 Evirici Kontrol Devresi	67
4.2.3.2 Evirici Kontrol Kartı Destek Yazılımı	71

4.3 Anahtarlama Güç Kaynağı	78
4.3.1 Çapraz (Flyback) Dönüştürücü	79
4.3.2 Anahtarlama Güç Kaynaklarında Kontrol Yöntemleri	83
4.3.2.1 Gerilim Geribeslemeli Kontrol	83
4.3.2.2 İleri Yönde Gerilim Beslemeli Kontrol	83
4.3.2.3 Akım Beslemeli Kontrol	84
5. SONUÇLAR	86
KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ	89

KISALTMALAR

KGK	: Kesintisiz Güç Kaynağı
DGM	: Darbe Genişlik Modülasyonu
THD	: Total Harmonic Distorsion
EMI	: Electromagnetic Interference
RFI	: Radio Frequency (Radyo Frekansı)
SAA	: Statik Aktarım Anahtarı
MTBF	: Mean Time Between Failure
PF	: Power Factor
DPF	: Displacement Power Factor
ADT	: Akım Dengeleme Transformatörü
SDGM	: Sinüzoidal Darbe Genişlik Modülasyonu
IGBT	: Isolated Gate Bipolar Transistör
PLL	: Phase Locked Loop
FR_Ş	: Şebeke Frekansı
FR_RS	: Referans Sinüs Frekansı
SG_RS	: Referans Sinüs Sıfır Geçiş Anı
SG_Ş	: Şebeke Sıfır Geçiş Anı

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Ara Frekans Oluşturma Serileri	75

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Hat Etkileşimli KGK	6
Şekil 2.2 : Beklemesiz KGK	7
Şekil 2.3 : Beklemesiz KGK Şebekeden Çalışma Durumu	9
Şekil 2.4 : Beklemesiz KGK Aküden Çalışma Durumu	10
Şekil 2.5 : Beklemesiz KGK Statik Aktarım Hattından Çalışma Durumu ..	11
Şekil 2.6 : Beklemesiz KGK Bakım Hattından Çalışma Durumu	11
Şekil 2.7 : Seri Yedeklemeli KGK Bağlantısı	17
Şekil 2.8 : Paralel Yedeklemeli KGK Bağlantısı	18
Şekil 3.1 : Bir Fazlı Kontrolsüz Doğrultucu Devresi	21
Şekil 3.2 : Bir Fazlı Kontrolsüz Doğrultucu Giriş Dalga Şekilleri	22
Şekil 3.3 : Üç Fazlı Kontrollü Doğrultucu Devresi	23
Şekil 3.4 : Üç Fazlı Kontrollü Doğrultucu Giriş Dalga Şekilleri	24
Şekil 3.5 : Üç Fazlı Aktif Güç Faktörü Düzeltme Devresi	25
Şekil 3.6 : Paralel Bağlı 12 Darbeli Doğrultucu	27
Şekil 3.7 : Mikroişlemci Kontrollü 12 Darbeli Doğrultucu Blok Şeması.....	28
Şekil 3.8 : 12 Darbeli Doğrultucu Transformatör Sargı Yapısı	30
Şekil 3.9 : Tristör Çalışma Karakteristiği	31
Şekil 3.10 : Üç Fazlı Kontrollü Doğrultucu Söndürücü Bağlantısı	33
Şekil 3.11 : Tristör Tetikleme Değişim Anı Karakteristiği	33
Şekil 3.12 : Tristör Ters Toparlanma Akımı	34
Şekil 3.13 : Tristör Sürme Eşdeğer Devresi	35
Şekil 3.14 : Tristör Kapı Katot $I - V$ Karakteristikleri	36
Şekil 3.15 : Tristör Tetikleme Devresi	36
Şekil 3.16 : Tristör Tetikleme İşaretinin Analog Oluşturulması	38
Şekil 3.17 : Tristör Tetikleme İşaretinin Dijital Oluşturulması	39
Şekil 3.18 : Üç Fazlı Doğrultucu Örnek Transformatör Bağlantısı	39
Şekil 3.19 : Sıfır Geçiş İşareti Oluşturma Devresi	40
Şekil 3.20 : Faz Eksik Kontrol Devresi	40
Şekil 3.21 : Faz Uygun Değil, Çıkış ve Başla İzole İletim Devresi	41
Şekil 3.22 : Geribesleme Devresi	42
Şekil 3.23 : 12 Darbeli Doğrultucu Kontrol Bloğu	44
Şekil 3.24 : 12 Darbeli Doğrultucu Çıkış Gerilim Dalga Şekilleri	46
Şekil 3.25 : 12 Darbeli Doğrultucu Yazılım Akış Diyagramları	47
Şekil 4.1 : Sinüs Benzeşimli Evirici Çıkışı	49
Şekil 4.2 : Bir Fazlı Yarım Dalga Evirici	50
Şekil 4.3 : Bir Fazlı Yarım Dalga Evirici Endüktif Yük Akımı	50
Şekil 4.4 : Bir Fazlı Tam Dalga Evirici	51
Şekil 4.5 : Bir Fazlı Tam Dalga Evirici Endüktif Yük Akımı	51
Şekil 4.6 : Üç Fazlı Evirici Devresi	52

Şekil 4.7	: Üç Fazlı Evirici 180° İletim Anahtarlama Durumları	53
Şekil 4.8	: Üç Fazlı Evirici 180° İletim Akım Dalgası	54
Şekil 4.9	: Üç Fazlı Evirici 120° İletim Anahtarlama Durumları	54
Şekil 4.10	: Darbe Genişlik Modülasyonu	55
Şekil 4.11	: SDGM ve Filtre Edilmiş Sinüzoidal Gerilim	56
Şekil 4.12	: Bir Fazlı Evirici için SDGM Elde Edilmesi	56
Şekil 4.13	: Üç Fazlı Evirici için SDGM Elde Edilmesi	58
Şekil 4.14	: Üç Fazlı Evirici Güç ve Kontrol Elemanları	59
Şekil 4.15	: IGBT Çalışma Karakteristiği	60
Şekil 4.16	: IGBT Sürücü Melez Tüm Devre	63
Şekil 4.17	: IGBT Sürme Devresi	64
Şekil 4.18	: Üçgen-Yıldız Bağlı Evirici Transformatörü	65
Şekil 4.19	: R fazının U ve V Fazlarından Elde Edilmesi	66
Şekil 4.20	: Evirici Kontrol Bloğu	67
Şekil 4.21	: Referans Sinüs Üretme Devresi	68
Şekil 4.22	: Çıkış Gerilimi Dalga Şekli Kontrolörü	68
Şekil 4.23	: DGM Üretme ve Ölü Zaman Oluşturma Devresi	69
Şekil 4.24	: Ölü Zamanlı DGM İşaretleri	69
Şekil 4.25	: Çıkış Gerilimi Etkin Değer Kontrol Devresi	70
Şekil 4.26	: Yumuşak Kalkış Devresi	70
Şekil 4.27	: Faz Kaydırma Devresi	71
Şekil 4.28	: Evirici Kesme Alt Programları Akış Diyagramları	73
Şekil 4.29	: Şebeke-Evirici Çıkışı Senkronizasyon Durumu	74
Şekil 4.30	: Üç Fazlı Evirici Çıkış Gerilim Dalga Şekli	76
Şekil 4.31	: Evirici Ana Program Akış Diyagramı	77
Şekil 4.32	: Anahtarlama Güç Kaynağı Blok Gösterimi	79
Şekil 4.33	: Alçaltıcı-Yükseltici Dönüştürücü Devresi	79
Şekil 4.34	: Alçaltıcı-Yükseltici Dönüştürücü Eşdeğer Devresi	80
Şekil 4.35	: Alçaltıcı-Yükseltici Dönüştürücü Endüktans Akım ve Gerilimi	81
Şekil 4.36	: Çapraz Dönüştürücü Devresi	81
Şekil 4.37	: Çapraz Dönüştürücü İletim ve Kesim Anı Dalga	82
Şekil 4.38	: Sabit Frekanslı Gerilim Kontrollü Dönüştürücü	83
Şekil 4.39	: İleri Yönde Gerilim Beslemesi	84
Şekil 4.40	: Akım Kontrollü Dönüştürücü için Kontrol Çevrimi	85
Şekil 4.41	: Akım Yollu Kontrolde Eğim Kompanzasyonu	85

SEMBOL LİSTESİ

i_s, i_{s1}	: Hat akım dalgası ve temel bileşeni
I_s, I_{s1}	: Hat akım dalgası ve temel bileşeni
ϕ_1	: Hat akım ve gerilim dalgasının temel bileşenleri arasındaki faz farkı
i_{dis}	: Bozulma bileşeninin etkin değeri
V_{LL}	: Doğrultucu girişi faz-faz arası gerilim
I_{rr}	: Ters toparlanma akımı
t_{rr}	: Ters toparlanma zamanı
L_c	: Eşdeğer hat empedansı
C_s	: Tristör söndürücü devre kondansatör değeri
R_s	: Tristör söndürücü devre direnç değeri
R_G	: Tristör sürme kapı direnç değeri
V_{GG}	: Tristör sürme kapı-katot gerilimi
K_1, K_2, K_3	: Doğrultucu geribesleme işaretleri
$y_g(k)$	: Analog geribesleme işareti
$y(k)$	: Dijital geribesleme işareti
$r(k)$	: Referans işareti
T_B	: Akü sıcaklığı
i_o	: Akü doldurma akımı
v_o	: Akü doldurma gerilimi
$V_{üçgen}$	: Üçgen işaret genliği
$V_{kontrol}$	: Referans sinüs işaret genliği
V_{ge}	: IGBT kapı-emetör gerilimi
I_g	: IGBT sürme akımı
V_g	: Çapraz dönüştürücü giriş gerilimi
V_{ϕ}	: Çapraz dönüştürücü çıkış gerilimi
I_g	: Çapraz dönüştürücü giriş akımı
I_{ϕ}	: Çapraz dönüştürücü çıkış akımı
I_L	: Çapraz dönüştürücü endüktans akımı
ϕ_o	: Çapraz dönüştürücü başlangıç akı değeri
N_1, N_2	: Çapraz transformatör sargı sayıları

ÖZET

Kesintisiz güç kaynakları (KGK), şebekede meydana gelen sorunların tıbbi elektronik cihazlar, haberleşme sistemleri, bilgisayar sistemleri ve askeri elektronik cihazlar gibi kritik yükleri etkilememesi için kullanılmaktadır.

Çalışmada öncelikle KGK kullanımını gerektiren şebeke sorunları, KGK çeşitleri ve KGK'lerden beklenen özellikler özetlenmiş, kritik yüklerin daha güvenilir beslenmesi için oluşturulan KGK'ların farklı çalışma koşulları incelenmiştir.

Üçüncü bölümde KGK'larda kullanılan doğrultucu yapıları incelenmiş, bu doğrultucuların birbirine göre üstün ve eksik yanları belirtilmiştir. Yüksek güçlü uygulamalarda kullanılabilmesi ve giriş akım harmoniklerinin düşük olması nedeni ile seçilen 12 darbeli doğrultucunun güç bileşenleri incelenmiş, anahtarlama elemanı olarak kullanılan tristör için sürme ve söndürme devreleri oluşturulmuştur. Daha sonra 12 darbeli doğrultucu için güç ve kontrol devresi oluşturulmuş ve bu doğrultucuyu kontrol etmek amacıyla dijital kontrolör gerçekleştirilmiştir.

Dördüncü bölümde temel evirici yapıları ve darbe genişlik modülasyonu (DGM) yöntemi incelenmiş, üç fazlı DGM çıkışlı eviricinin güç devresi oluşturulmuştur. Bu bölümde daha önce tasarımı yapılmış bir faz çıkışlı eviricide kullanılan analog kontrolörler mikroişlemci ile desteklenerek geliştirilmiş ve üç faz çıkışlı evirici kontrolörünün gerçekleştirilmesinde kullanılmıştır. Eviricide anahtarlama elemanı olarak kullanılan IGBT'yi sürmek ve korumak için kullanılan melez tüm devrenin özellikleri ve çalışma şekli belirtilmiştir. Ayrıca eviricideki kontrol ve sürme devrelerinin beslemesini sağlamak için kullanılan çapraz (flyback) anahtarlama güç kaynağında kullanılan kontrol yöntemleri incelenmiştir.

Son bölümde 12 darbeli doğrultucular diğer doğrultucu çeşitleriyle karşılaştırılmış ve doğrultucu ve evirici uygulamalarında dijital kontrolörlerin analog kontrolörlere göre üstünlükleri özetlenmiştir.

SUMMARY

Uninterruptible power supplies (UPS) are used for supplying critical loads such as electronic medical equipments, communication systems, computers used for important process and military electronic systems against power outages.

In the first part of this thesis, features of UPSs, probable power problems and UPSs types were summarized. In order to obtain a reliable UPS system, different UPS connection configurations were studied.

In the next part, different rectifier topologies were studied and the advantages and disadvantages of each rectifier were summarized. 12-pulse rectifier was chosen, since it can be used for high power applications and it has low input current harmonics. Also, power and control circuits of 12-pulse rectifier realized with a digital controller, then snubber and driver circuits of thyristor were studied and implemented.

In the fourth part, basic inverter topologies and pulse with modulation (PWM) method were researched. Then three-phase inverter with PWM output power circuit was obtained. The analog controller, which had designed for single-phase inverter, was developed by using microprocessor and this developed controller was used for controlling three-phase inverter. The properties of the hybrid IC that is used to drive and protect IGBT were explained. In addition, flyback switch mode power supply, which was used for powering control and driver circuit units of the inverter, was studied.

Finally, 12-pulse rectifier was compared with other rectifier types and the advantages of digital controller versus analog controllers were listed for rectifier and inverter applications.

1. GİRİŞ

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'ten büyük bir oranını sağlayan şebeke, güvenilirlik için alınan tüm önlemlere rağmen, günümüz uygulamalarında yetersiz kalmaktadır. Şebekeler aşağıdaki özellikleri sağladığı varsayılan gerilim kaynaklarıdır.

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

Ancak bu özellikleri pratikte bulmak mümkün değildir. Şebekeyi oluşturan santrallerdeki jeneratörlerden tüketicinin bağlandığı besleme ara yüzüne kadar bütün birimler, belirtilen özellikleri sınırlı olarak sağlarlar. Gerilim etkin değeri ve dalga şeklinin değişmesi, genellikle yüklenmeye bağlıdır. Kısa devre empedansının ideal olarak sıfır olmaması, çekilen akıma bağlı olarak gerilimin değişmesine neden olur [1].

Şebekenin herhangi bir noktasında oluşacak geçici arızalar da tüketicii etkiler. Enerji nakil hattının kopması, aşırı yüklenmede kesicilerin devreyi açması, nakil hattına yıldırım düşmesi, indirici ve yükseltici transformatörlerin devreye girip çıkması gibi durumlarda gerilimde kısa yada uzun sürekli kesintiler görülür ve tüketici temiz enerji ile beslenemez. Buna benzer durumlarda motor-jeneratör grupları gibi yedek güç kaynaklarına başvurulabilir. Ancak bunlar elektro mekanik dönüştürücüler olduklarından, kesinti süresini belli bir değerin altına indiremezler. 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 ve ekonomik değildir. Ayrıca güç elektroniği sistemlerinin gelişmesine buna bağlı olarak şebekede meydana gelen kirlenme de artmıştır. Bu nedenlerle tıbbi elektronik cihazlar, haberleşme sistemleri, bilgisayar sistemleri ve askeri elektronik cihazlar gibi kritik yüklerin kesintisiz güç kaynakları (KGK) üzerinden sürekli ve temiz enerjiyle,

güvenilir olarak beslenmesi zorunlu olmaktadır. KGK'lar kendilerine bağlı yükleri kesintisiz ve temiz enerjiyle beslemelerinin yanında bağlı oldukları şebekeye ve bulundukları ortama da az zarar vermelidir. Bu koşulların sağlanabilmesi için KGK'daki doğrultucu, evirici ve anahtarlamalı güç birimlerinin uygun yapıda olması gerekmektedir [1].

Farklı uygulama alanları için farklı yapıda KGK'lar mevcuttur. Bazı uygulamalarda KGK'ların tek başına çalışması sistem güvenilirliği için yeterli olmamaktadır. Bu nedenle KGK'lar jeneratörlerle veya statik gerilim ayarlayıcılarla birlikte kullanılmaktadır. Bazı uygulamalarda kritik yükü daha güvenilir bir enerjiyle beslemek için KGK'lar seri ve paralel bağlanarak yedekli kullanılmaktadır.

KGK'da kullanılan doğrultucuların DC çıkış gerilimindeki dalgalanmanın (ripple) az olması gereklidir. Çünkü bu dalgalanmanın fazlalığı hem evirici çıkış kalitesini hem de akü doldurma işlemini olumsuz yönde etkilemektedir. Doğrultucu girişindeki yüksek THD değeri ve düşük güç faktörü şebekedeki enerji kalitesinin bozulmasına ve kullanılan güç elemanlarının anma değerlerinin artmasına doğrudan etkilidir [2].

KGK'nın kritik yükleri sorunsuz besleyebilmesi için evirici çıkış geriliminin kararlı genlik ve frekansa sahip sinüzoidal dalga şeklinde olması gereklidir. Evirici çıkış kalitesi yüksek frekansta DGM (Darbe Genişlik Modülasyonu) kullanılarak artırılabilir. Ayrıca KGK çıkışının evirici-şebeke geçişleri arasında kesintiye uğramaması ve KGK güç elemanlarının zarar görmemesi amacıyla evirici çıkışı-şebeke arasındaki gerilim farkı mümkün olduğu kadar az olmalıdır. Bu da ancak evirici çıkışının şebekeye senkron (aynı faz ve frekansta) olması ile sağlanabilir.

Ayrıca KGK'larda kontrol ve sürücü kartlarının beslemesini sağlamak, kontrolsüz doğrultucusu olan KGK'larda akü doldurma gerilimini uygun seviyeye getirmek, ve düşük akü gerilimiyle çalışan KGK'larda akü grubunun gerilimini eviricinin giriş gerilimine yükseltmek amacıyla DC-DC çeviriciler kullanılmaktadır.

Tüm sistemlerde olduğu gibi KGK'larda da dijital kontrol yöntemlerinin uygulanması çevresel faktörlerin sisteme etkisini azaltmakta, farklı kontrol algoritmaları uygulanabilmesini sağlamakta ve sistem güvenilirliğini arttırmaktadır. Çalışmada gerçekleştirilen doğrultucu kontrolörü dijital, eviricide gerçekleştirilen kontrolörlerin ise mikroişlemci destekli analog yapıdadır.

Dijital kontrolörler ortam sıcaklığı, kontrol kartlarının besleme seviyesi ve elemanların eskimesi gibi değişimlerden analog kontrolörlere göre daha az etkilenirler. Bu nedenle dijital kontrolörlerle sistemler daha kararlı ve daha yüksek güvenilirlikte çalışırlar.

2. KESİNTİSİZ GÜÇ KAYNAKLARI

2.1 KGK Kullanım Alanları

Elektrik gücü ile çalışan cihaz ve sistemlerden bazıları, beslemelerinde görülebilecek çok kısa süreli aksamalardan bile etkilenebilmektedir. Hastaneler, havaalanları ve haberleşme merkezleri gibi kuruluşlar kesintilere en duyarlı sistemlere sahiptir. Şebeke arızaları, endüstriyel otomasyon sistemlerinde verimi büyük ölçüde etkilemektedir. Süreklilik isteyen uygulamalarda kesinti sonucu doğan malzeme ve işgücü kayıpları önemli boyutlardadır.

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

- Bilgisayarlar ve otomasyon sistemleri,
- Bilgisayar destekli üretim ve ambalajlama sistemleri (otomotiv, metal işleme, tekstil vb.)
- Tıbbi elektronik cihazlar, hastaneler
- Hava alanı aydınlatması ve hava trafik kontrol merkezleri
- Askeri radar sistemleri
- Haberleşme ve yayın kuruluşları
- Asansörler ve elektronik kapılar
- Barkod cihazları ve yazar kasalar
- Elektronik teraziler
- Acil durum aydınlatmaları ısıtma cihazları
- Soğutma cihazları

2.2 Şebeke Sorunları

KGK kullanımını gerekli kılan şebeke sorunları, bu sorunların sebepleri ve sonuçları aşağıda açıklanmıştır.

Gerilim Darbesi (Spike): En önemli sebebi enerji iletim hatlarına düşen yıldırımlardır. Bunlar gerilimde büyük sıçramalara neden olabilirler. Gerilim darbesini oluşturan diğer olaylar, büyük kapasitede yüklerin veya şebekenin açılıp kapanması ve statik boşalmalardır. Gerilim darbeleri sonucunda şebekeye bağlı donanımlar zarar görebilir. Yüksek gerilim darbeleri donanım zararı ve bilgi kayıplarına neden olur.

Ani Yükselme (Surge): Bir periyottan uzun süren aşırı gerilimlerdir. Büyük miktarda güç çeken hattaki bir cihazın aniden durması veya kapatılması sonucu oluşabilir. Ani bir yükselmenin büyüklüğünden çok süresi önemlidir. Uzun veya sık ani yükselmeler bilgisayar donanımına hasar verebilir.

Çöküntü (Sag): Gerilim seviyesindeki kısa süreli düşüşlerdir. Topraklama hataları, zayıf güç sistemleri, büyük elektriksel yüklerin ani çalıştırılmaları gerilim çöküntülerinin nedenlerindendir. Çöküntüler veri işleme hatalarına, donanım hatalarına ve sistemlerin ömürlerinin kısılmasına neden olabilir.

Gürültü: Normal sinüs dalganın üzerine binen yüksek frekans darbeleri için kullanılan bir terimdir. EMI (Elektromanyetik Girişim) ve RF (Radyo Frekansı) olarak bilinir. Elektriksel gürültü, jeneratör, radyo vericileri, şimşek çakması ve anahtarlamalı güç kaynakları tarafından üretilir. Hatalı veri iletim hatalarına sebep olabilir.

Uzun Süreli Yükselme (Brownout): Dakikalar, hatta saatler süren uzun süreli düşük gerilim durumlarıdır. Tepe akım isteği kapasitenin üzerinde olduğu zaman şebekeler tarafından yaratılırlar. Sistemlerde hatalı çalışmalara ve donanım hasarlarına sebep olurlar.

Karartma (Blackout): Şebeke gücünün tamamen kesilmesi durumudur. Enerji dağıtım şebekesine, taşıyabileceğinden daha fazla yük bindirildikçe daha sık meydana gelirler. Topraklama hataları, kazalar ve doğal afetler yüzünden oluşabilir. En önemli etkisi sistem çökmelerine sebep olmasıdır. Güç aniden kesildiğinde disk sürücüler veya diğer sistem bileşenleri zarar görebilir.

Harmonikler: İdeal sinüs dalgasında oluşan bozukluklardır. Harmonikler, şebeke hattına lineer olmayan yükler tarafından iletilirler. Faks ve fotokopi makinaları, bilgisayarlar, değişken hızlı motorlar lineer olmayan yüklere örnek olarak verilebilir. Bu harmonikler, şebeke hattına bağlı diğer cihazların çalışmalarını engelleyebilir. Haberleşme hatalarına ve donanım hasarlarına sebep olabilirler. Üç fazlı sistemlerde transformatörlerin ve nötr iletkenlerin aşırı ısınıp yangın tehlikesi oluşturmalarına sebep olabilirler.

2.3 KGK Çeşitleri

KGK'lar yapıları itibariyle iki gruba ayrılmaktadır:

- Dinamik KGK
- Statik KGK

2.3.1 Dinamik KGK

Dinamik KGK'lar herhangi bir elektrik kesintisi durumunda yükü hareketli parçalarla besler. Ancak uygulamalarda oldukça farklılık gösterirler. Dinamik KGK'lar genelde yüksek güç uygulamalarında kullanılırlar ve bir alternatör grubu ile birlikte çalışırlar.

Kinetik enerji depolama teknikleri açısından kendi aralarında farklılıklar gösteren dinamik KGK'lar, yarıiletken teknolojisindeki gelişmelerin etkisiyle, statik uygulamalarla birlikte kullanılmaktadır. Bu alanda birbirlerinden farklı karma uygulama yöntemleri geliştirilmiştir. Örneğin enerji depolama işlemi bir akü grubu aracılığıyla statik olarak sağlanırken, yüke aktarma işleminin dinamik bir alternatörle gerçekleştirildiği uygulamalar vardır. Yine farklı bir yöntem olarak; enerji depolama işleminin bir volan üzerinde dinamik olarak gerçekleştirildiği, ancak girişte ve çıkışta statik doğrultucu-evirici devrelerin kullanıldığı sistemler de, bu tür karma uygulamalara örnek gösterilebilir [1].

2.3.2 Statik KGK

Statik KGK tanımı içine giren farklı çalışma prensiplerinin tamamında, genel olarak üç ortak temel unsurdan söz etmek mümkündür. Bunlar; şebekeden sağlanan alternatif gerilimi doğrultarak akü grubuna ve eviricilere aktaran doğrultucu, akü grubundan ve doğrultucudan alınan doğru gerilimi tekrar alternatif gerilime çevirerek yüklere aktaran evirici ve bu işlemler için gerekli enerjiyi depolamak için kullanılan akü grubudur.

2.3.2.1 Statik KGK Çeşitleri

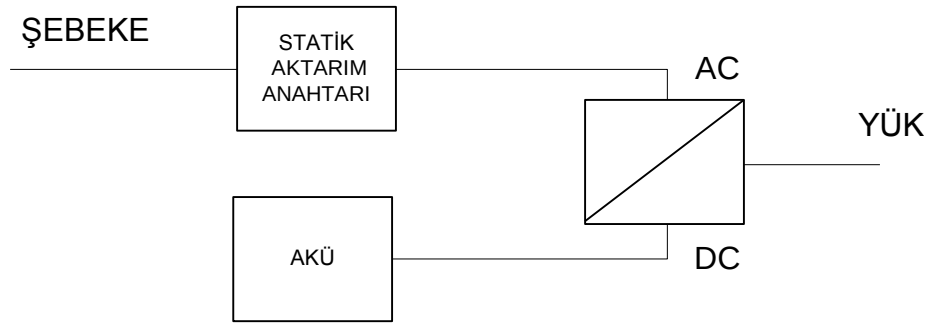
Statik KGK'lar kendi aralarında üç gruba ayrılır:

- Beklemeli (Off-Line, Standby) KGK
- Hat Etkileşimli (Line-Interactive) KGK
- Beklemesiz (On-Line, Double Conversion) KGK

Beklemeli KGK'larda şebekede enerji bulunduğu sürece yük şebekeden beslenir, ancak evirici hazır bekletilir ve şebekede enerji kesildiği anda devreye girerek yükü

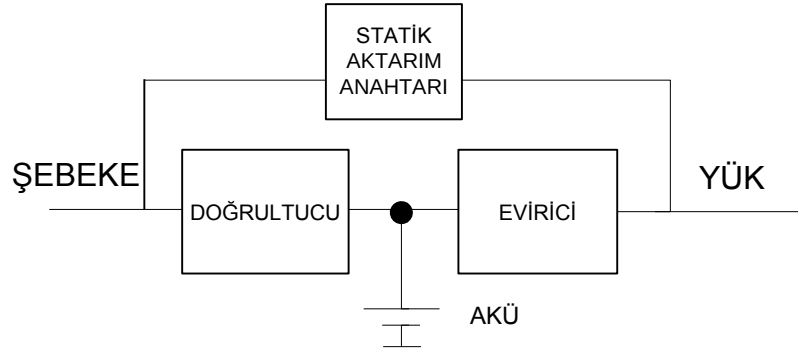
beslemeye devam eder. Daha çok tek kullanıcıli sistemler için uygundur. Şebeke ve evirici arasındaki aktarımlarda kesinti meydana gelir.

Blok şeması Şekil 2.1’de gösterilen hat etkileşimli KGK’larda da şebeke varken evirici pasif durumdadır. Bu durumda şebeke gerilimini kademeli olarak değiştiren birim ve akü doldurma birimi aktiftir. Akü gurubu ve evirici kısmı, şebeke enerjisi kesildiğinde devreye girer ve aküler üzerinden yükü besler. Akülerin doldurulması şebekenin normal olduğu durumda eviricinin ters yönde işletilmesiyle sağlanır. Şebeke hatası oluştuğunda statik aktarım anahtarı güç akışını akülerden KGK çıkışına doğru iletecek yönde konumlanır. Çıkışa bağlı olan düşük anahtarlama geçişi özellikli ayar sistemi sayesinde gerilim düzenlemesi sağlanır ve gerçek düşük şebeke geriliminde de KGK’nın çalışması sağlanır. Aksi halde KGK anahtarlarının aküden çalışma durumuna geçirilir. Bu durum KGK’nın çok zayıf şebekelerde de çalışabilmesini sağlamaktadır.



Şekil 2.1 : Hat Etkileşimli KGK

Beklemesiz KGK’larda ise şebekede enerji olsun yada olmasın yük sürekli olarak evirici üzerinden beslenir. Şebekede enerji olduğu sürece hem aküler doldurulur, hem de şebeke ile aynı frekansta çalışan evirici yükü besler. Şebekede kesinti olması durumunda evirici aküden aldığı enerjiyi yüke aktarır. Yükün bu biçimde şebekeden veya aküden besleniyor olması KGK çıkış gerilim kalitesi ve sürekliliğini değiştirmemektedir. Beklemesiz 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. Çünkü KGK kendi arıza durumu hariç yükü daima AC-DC-AC çift çevrim ile besler. Bu yüzden çıkış gerilim kalitesi hat etkileşimli ve beklemeli KGK’lardan daha iyidir. Şekil 2.2’de beklemesiz KGK’nın blok şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Beklemesiz KKG

2.3.2.2 Statik KKG Ana Bölümleri

Statik KKG'nın başlıca ana bölümleri doğrultucu, evirici, akü doldurma birimi, akü gurubu, statik aktarım anahtarı ve mekanik aktarım anahtarıdır. Bu bölümlerin işlevleri aşağıda açıklanmıştır.

Doğrultucu: Eviricinin çalışması için gerekli olan DC gerilimi elde etmek için kullanılır. Şebekeden aldığı AC gerilimi DC gerilime çevirir. DC akım ve gerilim kontrolü sağlanarak aynı zamanda akü grubunu doldurmak için de kullanılabilir. KKG tiplerine göre bir veya üç faz girişli olabilir.

Evirici: Doğrultucudan veya akü grubundan aldığı DC gerilimi AC gerilime çevirir. KKG tipine göre bir veya üç fazlı olabilir. Beklemesiz bir KKG'da çıkış gerilimini sağlayan evirici en kritik ve önemli bölümdür. Evirici tarafından üretilen AC gerilimin ideal bir şebekede olması gereken özellikleri sağlaması istenir. Bu özellikler; dalga şekli sinüzoidal olması, genliği ve frekansı değişmemesi ve çıkışın kesintisiz olmasıdır. Bunları sağlamak için eviricinin gerilimi; genlik, frekans ve dalga şekli olarak sürekli kontrol altındadır ve belirli sınırlar içerisinde tutulur. Bu sınırlar şu şekildedir.

- Çıkış gerilimi ve hata oranı hata oranı (Gerilim Aralığı): $220V \pm \%1$
- Çıkış frekansı ve hata oranı: (Frekans Aralığı): $50Hz \pm \%0,1$
- Çıkış toplam harmonik bozulma oranı (THD): $< \%3$

Akü Doldurma Birimi: Şebekeden aldığı AC gerilimi veya doğrultucudan aldığı DC gerilimi akü doldurmaya uygun akım ve gerilim sınırları içerisinde tutar. Bu DC gerilim akü grubunun doldurulmasında için kullanılır.

Akü Gurubu: Doğrultucunun yedeği olarak eviricinin çalışması için gerekli olan DC gerilimi sağlar. KKG'nın tipine göre uygun gerilimi elde etmek için birbirine seri ve/veya paralel bağlı aynı kapasitede ve özellikte akülerden oluşur. Genellikle

KGK'lar için özel tasarlanmış tam bakımsız ve kuru tip kurşun-asit aküler kullanılır veya Nikel-Kadmiyum aküler kullanılmaktadır [1].

Şebeke gerilimi varken akü doldurma devresi tarafından aküler doldurularak yedek enerji akü grubunda depolanır. Şebeke gerilimi sınırlar dışına çıktığında veya tamamen kesildiğinde eviricinin çalışması için gerekli olan DC gerilim akü grubu tarafından sağlanır.

Akü grubunun doldurulması sırasında akülere zarar vermemek için akım sınırlama, yüksek gerilim koruması, ortam sıcaklığına göre doldurma yapılmalıdır. Ayrıca ve akülerin özel çalışma karakteristiklerine göre kullanılması akülerin kullanım ömürleri arttırır.

Statik Aktarım (By-Pass) Anahtarı: KGK'nın arızalanması veya aşırı yüklenmesi durumunda KGK çıkış geriliminin kesilmemesi için yedek AC gerilim kaynağının kesintisiz olarak KGK çıkışına aktarılmasını sağlayan birimdir. Yedek AC gerilim kaynağı genellikle şebeke gerilimidir. Özel durumlarda yedek AC gerilim kaynağı olarak ikinci bir evirici veya jeneratör olabilir. Statik aktarım devresi ile KGK çıkış geriliminin kesilmemesi için evirici gerilimi ve yedek AC gerilim kaynağı arasında gerilim farkının uygun olması gerekir. Bunun için iki gerilim kaynağının frekans ve fazlarının eşit (senkron) olması, etkin değerleri arasında da en fazla %10 fark olması gerekmektedir. Bu şartların oluşması için evirici belirlenen sınırlar içinde yedek AC gerilim kaynağına senkron olarak gerilim üretir.

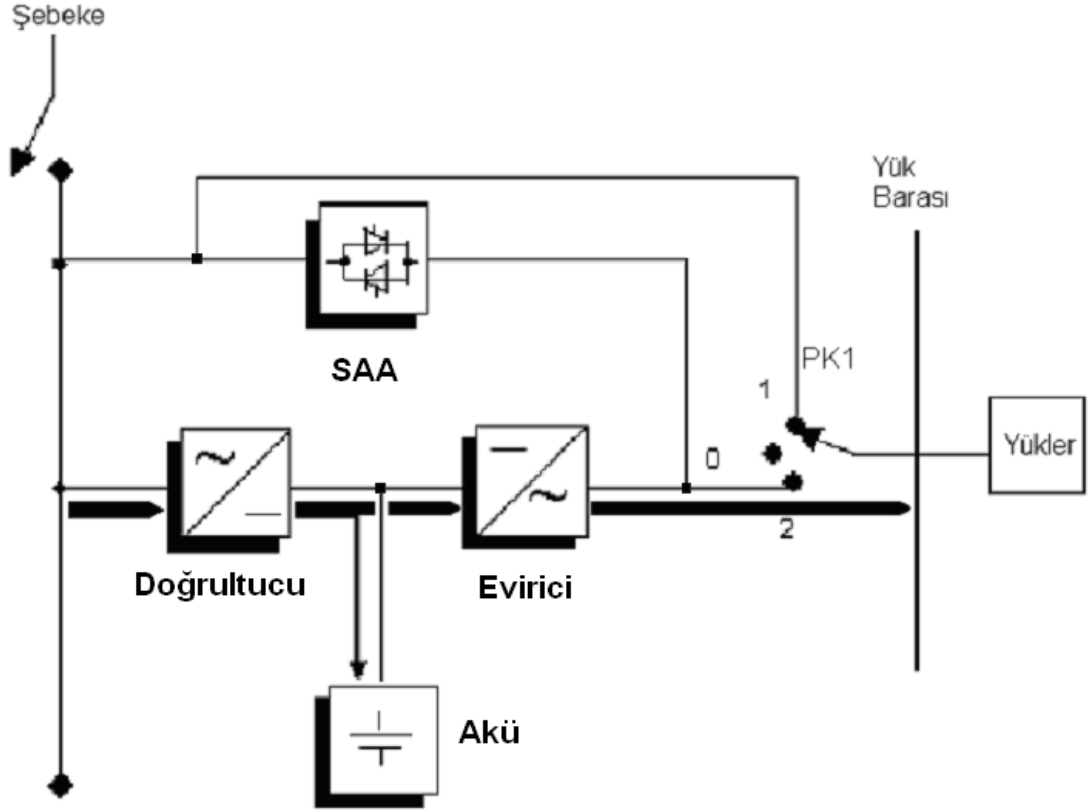
Mekanik Aktarım (By-Pass) Anahtarı: KGK'nın onarım ve bakım durumlarında kritik yüklerin enerjisiz kalmaması için KGK çıkışını şebeke üzerinden beslemek için kullanılır.

Bir kumanda ünitesi ile doğrultucu, evirici ve akü doldurma birimlerinin çalışması sürekli olarak denetlenerek bu birimlerin uyum içinde çalışmasını sağlar. Böylece KGK'nın çıkışına bağlı yük hiçbir zaman enerjisiz kalmaz.

2.3.2.3 Beklemesiz (On-Line) KGK Çalışma İlkesi

Kritik yükleri kesintisiz beslenmesinin yanı sıra gerilimin etkin değer, frekans ve dalga şekli gibi tipik büyüklüklerini, şebekenin sağlayamayacağı doğrulukta veren KGK sistemi şebekeden çektiği AC gerilimi önce bir doğrultucu üzerinden DC gerilime dönüştürür. Doğrultucu hem yüke gerekli biçimde enerji sağlayan eviriciyi besler, hem de ara devrede yer alan akü grubunu doldurur. Eviricinin görevi, doğrultucudan veya akülerden sağlanan DC gerilimi, belirli etkin değerde, frekansta ve kalitede AC dalga şekline çevirmektir. Doğrultucu çıkışı anma DC değerinde tutulur, yük evirici üzerinden beslenir. Şebeke geriliminin sınır değerlerinin dışına çıkması veya kesilmesi durumunda doğrultucu çalışmaz.

Evirici akü grubundan çektiği DC enerji ile yükü kesintisiz olarak istenen değerde beslemeye devam eder.

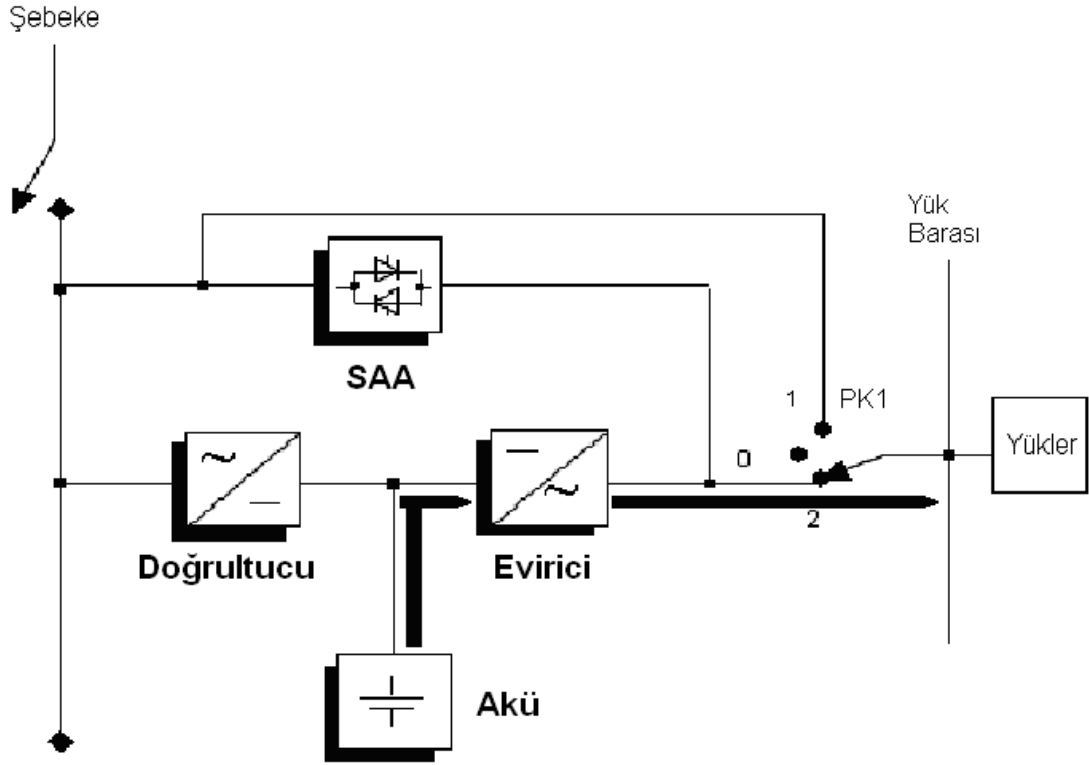


Şekil 2.3 : Beklemesiz KGK Şebekeden Çalışma Durumu

Çalışma ilkesi yukarıda açıklanan beklemesiz KGK'nın şebekeden çalışma durumu Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Akü grubunun depoladığı enerji sınırlı olduğundan kesintinin uzun sürdüğü durumlarda jeneratör grubu devreye girmesi gerekmektedir.

KGK'nın çalışma durumları aşağıda ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

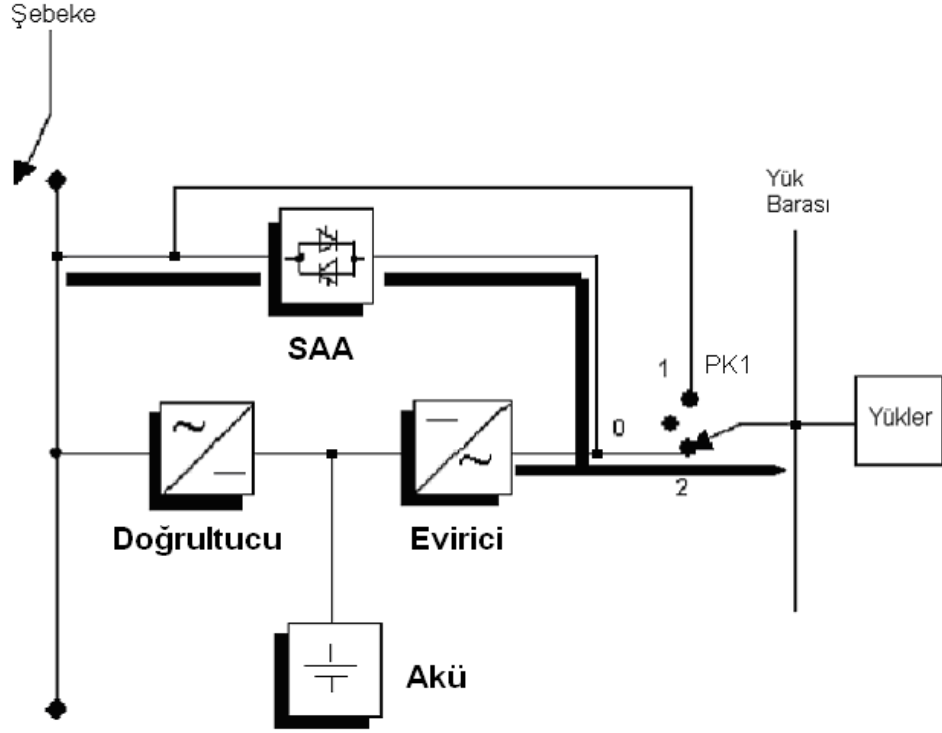
Şekil 2.3'te gösterilen şebekeden çalışma durumunda doğrultucu şebekeden aldığı AC gerilimi doğrultup filtre ettikten sonra düzgün bir DC gerilime çevirir. Evirici bu DC gerilimi 220 VAC ve 50 Hz'lik kararlı bir gerilime dönüştürür. Bu çalışma şeklinde KGK şebeke geriliminin olası elektriksel parazitlerini süzer ve kritik yükü etkilemeyecek hale getirir. Bu sırada akü doldurma birimi veya doğrultucu tarafından akü grubu doldurulur.



Şekil 2.4 : Beklemesiz KKG Aküden Çalışma Durumu

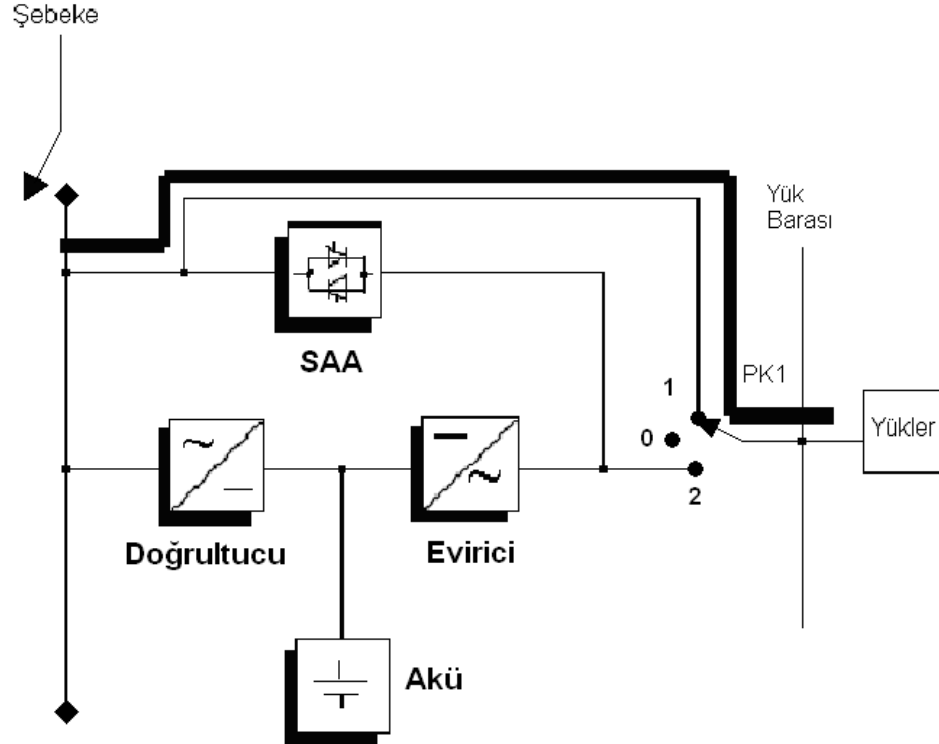
Şebeke geriliminin cihazın nominal değerlerinin altında olması yada kesilmesi durumunda evirici çalışması için gerekli gerilimi doğrultucu yerine akülerden sağlar. Bu geçiş esnasında hiçbir kesinti olmaz. Ancak aküden çalışma süresi akülerin kapasitesi ile sınırlı olup belirli bir süre sonra KKG kendisini otomatik olarak kapatacaktır. Bu kapanma gerilimi akülerin bozulmadan boşalabilecekleri gerilime seviyesidir. Şebeke gerilimi normale döner yada geri gelirse bu durumda yine kesintisiz olarak şebekeden çalışma durumuna ve aküler doldurmaya başlanılır. Aküden çalışma durumu Şekil 2.4'te gösterilmiştir.

KKG çalışır durumunda ise ve aşırı yük yoksa KKG çıkışı statik transfer anahtarı aracılığı ile eviriciye aktarılır. KKG birimlerinden herhangi biri (doğrultucu, evirici) arızalanırsa veya evirici kapasitesinin üzerinde yüklenirse (aşırı yük) KKG çıkışı statik aktarım anahtarı aracılığı ile şebekeye aktarılır. Bu özelliğe kesintisiz statik aktarım özelliği denir. Kesintisiz statik aktarım özelliğinin gerçekleşebilmesi için şebeke geriliminin ve frekansının kabul edilebilir sınırlar içerisinde olması gerekmektedir. Bu nedenle şebekeden çalışma durumunda şebeke gerilimi ve frekansı sürekli izlenir. Bu şekilde eviricinin ürettiği 220 VAC gerilimin frekansı şebeke frekansını izin verilen aralıkta takip ederek (senkron olarak) kesintisiz statik aktarım özelliğini hazır tutar. Şekil 2.5'te KKG'nın statik aktarım hattı üzerinden çalışma şekli gösterilmiştir.



Şekil 2.5 : Beklemesiz K GK Statik Aktarım Hattından Çalışma Durumu

Bakım hattı üzerinden çalışmada durumu Şekil 2.6’da gösterilmiştir. Bu durumda bakım veya arıza nedeni ile K GK tamamen enerjisiz bırakılır ve K GK çıkışındaki yüklere şebeke gerilimi aktarılır. Bu hat ile bakım ve servis işlemleri sırasında cihazın tüm enerjisini keserek rahat bir şekilde onarım ve bakım yapılması sağlanır.



Şekil 2.6 : Beklemesiz K GK Bakım Hattı Üzerinden Çalışma Durumu

2.4 KGK'dan Beklenen Özellikler

Kritik yük beslenirken KGK'nın sağladığı avantajlar şöyledir:

- KGK kritik yükü beslerken şebekede kesintisi olduğunda, kritik yük KGK'dan beslenmeye devam ettiği için yük kesintiden etkilenmez.
- KGK şebekede meydana gelen parazitleri süzer ve kritik yükü etkilemeyecek hale getirir. Böylece yük şebekede oluşan her tür elektriksel gürültüden temizlenmiş enerjiyle beslenir.
- Cihazın içinde bulunan eviriciden elde edilen parazitlerden arındırılmış, voltajı ve frekansı kararlı AC gerilim kritik yüke aktarılır. Böylece kritik yükün şebekedeki tolerans sınırları içindeki gerilim ve frekans değişimlerinden etkilenmesi önlenmiş olur.
- KGK'dan kaliteli enerji ile beslenen cihazların şebeke düzensizliklerinden kaynaklan arızaları önlenmiş olur. Böylece cihazların kullanım süreleri uzamış olur.

Kesintisiz güç kaynakları yukarıda bahsedilen gereksinimler ile ortaya çıkmış düzeneklerdir. Güç elektroniği ve elektronik kontrol tekniğindeki gelişmelere paralel olarak yenilenen KGK'lar tüm kritik yük isteklerine cevap verebilecek özellikte ve performansta enerji dönüşümü yapabilmektedirler. Bu performansın ölçütleri şu alt başlıklar altında incelenebilir.

2.4.1 Gerilim Kararlılığı

Çıkış gerilim kararlılığı iki koşul altında sağlanmalıdır.

- Normal şartlarda şebekenin $\pm\%20$ sınırlarında değişmesinde karşılık KGK çıkış gerilimi değişimi $\pm\%1$ 'den küçük olmalıdır. (Çıkış Geriliminin Giriş Gerilimine Göre Kontrolü)
- Çıkış yükünün ani olarak sıfırdan $\%100$ yüke kadar değişmesi, şebekenin kesilmesi veya geri gelmesi anında, çıkış geriliminde meydana gelen $\pm\%5$ 'ten küçük olmalıdır ve iki periyottan sonra $\pm\%1$ 'lik statik değişim aralığında girmelidir. (Yüke Göre Çıkış Gerilim Değişim, Dinamik Cevap)

2.4.2 Frekans Kararlılığı

Yüke verilen gerilimin ikinci özelliği de frekansıdır. Şehir şebekesinde üretim teknolojisinin yapısından dolayı frekans oynamaları mevcuttur. Yüklerin düzgün olarak çalışması için bu frekans oynamalarının belirli seviyelerde tutulması gerekir.

Şehir şebekesinin 49.5 Hz ve 50.5 Hz arasındaki değerleri kabul edilebilir sınırlardır. KGK bu sınırlar içerisinde şebekeyle senkron olmalıdır ve bu sınırların dışında $50\text{Hz} \pm \%0.01$ 'lik kararlı sinüse geçmelidir. Bu geçişin çok hızlı oluşu sakıncalıdır. 1Hz/sn'lik bir frekans değişim hızı uygundur.

2.4.3 Toplam Harmonik Bozulma Düşüklüğü (THD)

THD (Total Harmonic Distorsion) akım veya gerilim dalga şeklinin içerdiği istenmeyen harmoniklerin bir ölçüsüdür. Gerilim harmonikleri doğrusal yükte %3'ten, doğrusal olmayan yüklerde %5'den küçük olması gerekir. Büyük LC elemanları ile kare dalga bile süzülerek %3 bozunuma düşürülebilir, fakat böyle bir KGK çıkış empedansı büyük ve dinamik cevabı kötüdür. Bu nedenlerden dolayı, yüksek frekanslarda DGM yöntemiyle düşük frekanslı harmonikler üretilmez ve THD küçültülür. KGK'da önemli olan diğer bir THD değeri de giriş akım harmonikleridir. Giriş akımlarının THD değerini azaltmak için bir ve üç fazlı sistemlerde güç faktörü düzeltme özelliği olan veya çok darbeleri (12 veya 18 darbeleri) doğrultucular kullanılmalıdır.

2.4.4 Aşırı Yük ve Kısa Devre Koruması

Bütün önlemler alınsa bile KGK uzun ömrü süresince aşırı yüklere ve kısa devrelere maruz kalacaktır. KGK bu tip durumlarla karşılaştığında arıza yapmamalı, sistemi beslemeye devam etmelidir. Bunun için;

- Aşırı yükte gerilim regülasyonu sınırları içinde kalarak belli bir süre çalışmalıdır.
- Kısa devre durumunda çıkışın tamamen korunması ve kısa devre kalktığında dışarıdan müdahale gerekmesizin çalışmanın devam etmesi gerekmektedir.

2.4.5 Yüksek Verim

KGK enerji dönüşümü yapan birimlerden oluşturmaktadır. Sistemde bir kaybın olmaması imkansız olacağından bir verim söz konusudur. Tüm sistemin verimi önemli bir unsurdur. KGK'larda %85 üstü bir verim kabul edilebilirdir. Ancak yüksek güçlerde (>40kVA) bu değer %90'ın altında olmamalıdır.

2.5 KGK'nın Değişik Koşullarda Çalıştırılması

KGK yukarıda açıklanan çalışma durumlarına ek olarak farklı durumları da mevcuttur.

2.5.1 Jeneratörden Çalışma

Uzun süreli elektrik kesintilerinde elektrik enerji ihtiyacını karşılamak için jeneratörler kullanılmaktadır. Ancak jeneratörlerin yükü üzerine kesintisiz olarak alamaması, bazı kritik yükleri besleyecek yeterli kalitede çıkış dalga şekli oluşturmaması ve frekans kararlılığı bakımından eksik olması gibi eksiklikleri vardır [1].

KGK ise jeneratörün aksine yükleri kesintisiz olarak üzerine alabilmekte ve kritik yükleri şebekede meydana gelecek her türlü bozulmalara karşı besleyebilecek kalitede ve kararlı frekansında çıkış gerilimi üretebilmektedir. Ancak KGK'lar tüm bu üstünlüklerine rağmen uzun süreli (30 dakikadan fazla) uygulamalar için yetersiz kalmaktadırlar. Bu nedenle uzun süreli elektrik kesintisi meydana gelen yerlerde kalıcı çözüm için KGK ve jeneratör birlikte kullanılmalıdır. Bu ortak çalışma sırasında meydana gelebilecek sorunların engellemek için kullanılacak KGK ve jeneratör seçimine dikkat edilmelidir [2].

KGK ve jeneratör birlikte çalışırken dikkat edilmesi gereken ana başlıklar şunlardır:

Adım Yüğü: Jeneratör, yükü üzerine aşamalı olarak aldığı tam kapasitede çalışabilen, ancak yük anlık olarak üzerine bindirildiğinde düşük performans gösteren elektro mekanik bir sistemdir. Jeneratör çalışırken yükü üzerine ani olarak aldığı KGK'daki toplam yükü kaldıramadığından jeneratör geriliminde ve frekansında salınımlar meydana gelebilir. Bu salınımlar KGK tarafından kabul edilemez kaynak olarak algılanabilir ve KGK aküden çalışmaya zorlanabilir. Yük aküye aktarılınca, jeneratör gerilimi bozulması KGK'yı hattan çalışmaya zorlayacak biçimde azalacak veya kaybolacaktır. Yük jeneratöre tekrar uygulandığında gerilim bozulması, KGK'nın bir kez daha aküye aktarılmasına yol açacak biçimde geri dönecektir. Bu çevrim yaklaşık 4 saniyede bir tekrarlanabilir. Bu nedenle jeneratör KGK ile ortak çalıştırılırken anma değerinin ancak %35-%50 değerindeki güç değeri çekildiğinde sorunsuz çalışabilmektedir [2].

Ayrıca KGK doğrultucusunda yumuşak kalkış özelliği olsa bile ilk çalışmaya başladığı anda yapılarındaki kapasite ve endüktanslardan dolayı çektikleri yüksek akımı (inrush) çekmesini önlemek için ayrıca akım sınırlama özelliği olmalıdır.

Gerilim Yükselmesi: KGK gücü ile jeneratör gücünün birbirine yakın seçilmesi ve KGK dışında büyük yük olmaması halinde ortaya çıkar. KGK jeneratöre ilk geçtiği anda doğrultucu kapalıdır ve yumuşak kalkış ile çalışmaya başlar. Eğer bu durumda jeneratör üzerindeki tek yük harmonikleri bastırmak için kullanılan giriş filtresi ise bu jeneratör için aşırı uyarma enerjisi yaratır. Pek çok jeneratör kontrol sistemi bu aşırı uyarılmaya yeterince cevap veremez ve gerilimde %120'lere varan salınmalara yol açar. Bu yüzden jeneratörleri filtre ile çalışma durumlarında ön yük ile başlatılarak yada KGK filtre sistemini geçici olarak kapatan bir mekanizma kullanarak bu problem aşılabılır [2].

Sinüs Dalga Şeklinde Bozulmalar ve Harmonik Akımlar: Pek çok KGK sisteminin doğrultucuları enerji kaynağından sinüs dalga şeklinden uzak akımlar çekerler. Bu bozulmalar şebekeyi kirli enerji bastığı gibi jeneratörlerin de kontrol ünitelerinin zarar görmesine yol açabilirler. Bu harmonik akımlar jeneratörlerin aşırı ısınmalarına, gerilim ve frekans kontrol sistemlerinin bozulmalarına yol açabilir. Bu etkiyi azaltmak için KGK giriş akımı THD değeri düşük olan KGK'lar jeneratörle birlikte kullanılmalıdır [2]

Frekans Dalgalanmaları: Jeneratörler yük değişimlerine cevap verebilmek ve frekansı kontrol edebilmek için doğal limitlere sahiptir. Bu limitler jeneratörün ürettiği çıkış gerilimin frekansının kararlı olmasını sağlayan hız kontrol ünitesinin (governör) cevap hızına, jeneratörün dönme ataletine ve yükün frekans değişimlerine reaksiyonuna bağlıdır. Jeneratördeki frekans dalgalanmasının sonucu KGK ve aktarım hattının olamama durumu ortaya çıkar. Bu nedenle kararlı frekansta çalışan jeneratör ve frekans cevap aralığı genişletilmiş KGK kullanılmalıdır [2].

Otomatik Transfer Anahtarı: Genellikle KGK-Jeneratör bağlantısı otomatik transfer anahtarı ile çalışır ve şebekenin geri gelmesi durumunda KGK şebekeden beslenecek şekilde aktarma işlemi yapılır. Bu şekilde yapılan hızlı bir transfer işlemi problemin kaynağı olabilir. Eğer KGK girişinde pasif filtre kullanılmışsa ve transfer anahtarı motor yükleri de içeriyorsa filtre, aktarım sırasında bir uyarma enerjisi yaratır. Bu uyarma kaynağı motorların ataletlerini bir enerji kaynağı gibi kullanarak onları jeneratör gibi davranmaya zorlar. Eğer bu aktarım çok hızlı olursa ortaya çıkan alternatif enerji kaynakları gerilimde beklenmedik faz çakışmalarına ve sonucunda da hem motor yüklerinin hem de KGK'nın zarar görmesine yol açar. Bu amaçla büyük sistemlerde kullanılan filtre yapılarının jeneratörden şebekeye geçiş esnasında KGK tarafından otomatik olarak devreden çıkarılması gerekmektedir [2].

2.5.2 Sürekli Düşük veya Yüksek Şebeke Geriliminden Çalışma

Normal şebeke geriliminin $\pm\%20$ 'sinin dışındaki gerilimlerde çoğu KGK yedek kaynaktan çalışır ve dahili aküler doldurulamaz. Bu sorunlar, aşırı yüklü devrelerden, ve elektrik şirketi hatalarından kaynaklanabilir. Şebeke gerilimin KGK giriş gerilimi aralığına çeken statik veya servo gerilim dönüştürücüler kullanılır. Bu sistemler transformatörün birincil ve ikincil sarım oranlarını motor veya statik anahtarlar yardımıyla değiştirerek gerilim seviyesini istenen aralığa çekerler.

2.5.3 KGK'ların Yedekli Çalışması

Bir sistemi oluşturan birimlerinin bozulma oranlarının analizinde kullanılan hatalar arası ortalama süre (MTBF) değeri KGK'lar için de kullanılır. Bu büyüklüğün belirlenmesinde kullanılan modeller hata oranlarının hesaplanması için gerekli analizlerde kullanılır. Hesaplanan bu hata oranları kullanılarak da MTBF değeri hesaplanabilir. Güç kaynaklarının güvenilirliği de birimi saat olan MTBF kullanılarak değerlendirilebilir [3].

Elektrik şebekesinin güvenilirliğinin zayıf olması nedeniyle KGK'lar kritik yükleri besledikleri zaman önemleri daha da artar. Özellikle tıbbi cihazlarda, haberleşme sistemlerinde, internet teknolojisinde ve endüstriyel sistemlerde sıfır hatayla çalışılmak zorundadırlar. KGK'ların çalışmasında bir sorun olduğunda doğrudan veya dolaylı olarak maddi sorunlar ve sistem altyapısında zararlar oluşabilir.

KGK'nın bağlı olmadığı bir sistemde MTBF yalnızca 100 saattir. KGK bağlandığında ise MTBF değeri 31000 saate çıkmaktadır. KGK'lar aşağıda bahsedilecek bağlantı düzenekleri kullanılarak MTBF değeri daha yüksek güç kaynağı sistemleri oluşturulabilir [3].

KGK'larda seri ve paralel bağlantılar yapılarak güvenilirlik arttırılabilir, yedekleme yapılabilir ve güç artırımına gidilebilir.

Bazı kritik yükler şebekeden çalışma riskine dayanamayacak yapıda olabilir. Bu nedenle klasik kullanılan beklemesiz KGK'larda bulunan ve yedekte bekleyen şebeke kalitesi yeterli olmayabilir. Bu nedenle KGK sisteminin güvenilirliğini arttırmak gereklidir.

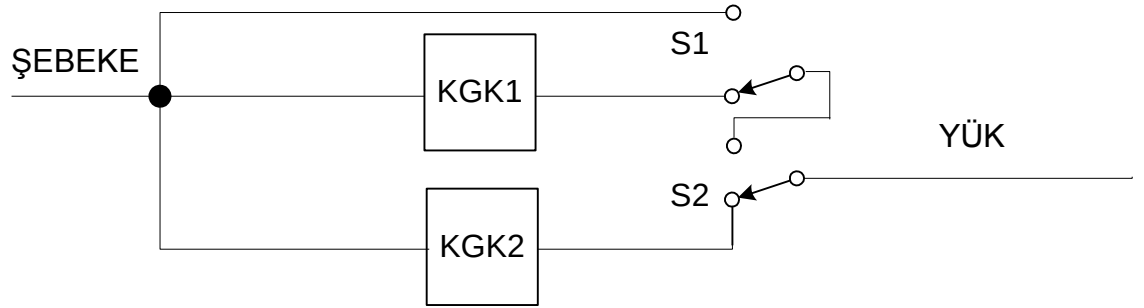
KGK'ların güvenilirlikleri her ne kadar üst seviyede olsa bile şebekedeki bozulmalardan oluşan bozulmaları kendi üstlerine almalarından dolayı arızalanma riskleri vardır. Ömürlü malzemelerin bozulması da cihazın çalışmasını engelleyebilir. Bu nedenle farklı KGK bağlantı sistemi kurularak yedeklemeli çalışılabilir. Ayrıca sürekli büyüyen sistemlerde KGK gerekli gücü karşılayamaz hale geldiğinde

KGK'yı değiştirmek yerine mevcut sisteme ilave edilen bir KGK ile daha ucuz bir çözüme gidilebilir.

Yukarıda belirtilen koşullarda çalışabilmek için KGK'da farklı bağlantı çeşitleri vardır.

2.5.3.1 Seri Yedeklemeli KGK Sistemi

S1 ve S2 statik aktarım anahtarları olmak üzere seri yedeklemeli bağlantı düzeneği Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 : Seri Yedeklemeli KGK Bağlantısı

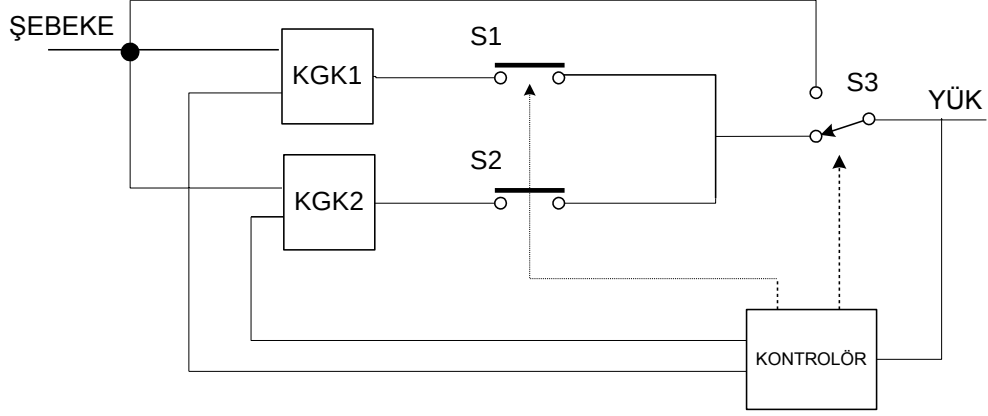
Normal çalışma koşullarında yük KGK2 üzerinden beslenir ve KGK1 boşta çalışır. Bu sırada KGK2 de KGK1'e senkron olarak yedekte çalışmaktadır. KGK2'de bir sorun olduğunda S1 ve S2 anahtarları yükü kesintisiz olarak KGK2'den KGK1'e geçirecek şekilde konumlandırılır [3].

Seri yedeklemeli KGK sisteminde;

- KGK2'nin çalışmasında sorun olduğunda yükün tamamı KGK1 üzerine kesintisiz olarak aktarılabilir.
- S1 ve S2 statik aktarım anahtarlarının güvenilirliği en üst seviyededir.
- KGK'lar arası bir kontrol olmadığından sistem farklı marka ve modelde KGK'lar kullanılabilir.
- Kurulumu ve bakımı kolaydır.
- MTBF değeri 5 saat x10⁵ değerine ulaşmaktadır [3].

2.5.3.2 Paralel Yedeklemeli KGK Sistemi

S1, S2 ve S3 statik aktarım anahtarları olmak üzere paralel yedeklemeli bağlantı düzeneği Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8 : Paralel Yedeklemeli KGK Bağlantısı

Paralel yedeklemeli KGK sisteminde;

- Herhangi bir KGK’da sorun olduğunda yükün kalan KGK tarafından sorunsuz beslenebilmesi için her bir KGK’nın gücü tek başına yükü besleyebilecek seviyededir.
- Evirici frekansı senkronizasyonu, statik anahtar kontrolü, çıkış akımı paylaşımı ve doğrultucu akımı paylaşımı karmaşık kontrol devreleri ile sağlandığından maliyet yüksektir.
- Cihazların tek bir güç kaynağı gibi davranmaları gerektiğinden dinamik cevaplar aynıdır.
- Cihazların kurulumu ve bakımı karmaşıktır.
- Temel KGK sistemlerinden daha güvenilirdir ancak seri yedeklemeli KGK sisteminden %50 daha düşük olan $2,5 \text{ saat} \times 10^5$ MTBF değerine sahiptir [3].

3. DOĞRULTUCU

KGK şebekeden aldığı alternatif gerilimi doğru gerilime çevirir. Bu doğru gerilim eviricinin çalışması için ve aküleri doldurmak için kullanılır. Doğrultucu bir fazlı veya üç fazlı olabilir. Bir fazlı sistemler için genellikle kontrolsüz doğrultucu kullanılır. Üç fazlı sistemler ise genellikle altı darbeli kontrollü doğrultucu şeklinde yapılır.

Bir doğrultucudan şu özellikler beklenir;

- DC çıkış gerilimindeki dalgalanmanın (ripple) az olması
- Giriş akımlarının THD değerinin düşüklüğü
- Giriş güç faktörünün yüksek olması
- Çıkış geriliminin giriş geriliminden bağımsız ve sabit olması

Doğrultucunun çalışma güç faktörü, I_{S1} / I_S akım oranıyla, akımın temel bileşen güç faktörü DPF'nin (displacement power factor) çarpımına eşittir [4].

$$PF = \frac{\text{güç}}{\text{volt} - \text{amper}} = \frac{I_{S1}}{I_S} . DPF \quad (3.1)$$

Yukarıdaki bağıntıda akımın temel bileşen güç faktörü $\cos \phi_1$ olup, ϕ_1 açısı akım dalgasının temel bileşeninin gerilime göre faz farkını göstermektedir. I_{S1} / I_S oranı, temel bileşen akımının etkin değerinin, toplam akımın etkin değerine oranını göstermektedir. Güç faktörü bir elektrik tesisinin şebekeden çektiği gücün ne kadar etkin olduğunu gösterir. Sabit bir gerilimde düşük bir güç faktörüyle çalışıyorsa, şebekeden daha büyük akımlar çekilecektir. Bu ise transformatör, iletim hattı ve jeneratör gibi şebeke birimlerinin volt-amper anma değerlerinin büyümesine neden olacaktır [4].

Akımdaki toplam harmonik bozulma, THD şu şekilde elde edilir.

i_s hat akım dalgası ve T hat akımının periyodu olmak üzere;

I_S hat akımının etkin değeri ifadesi denklem (3.2)'den bulunur.

$$I_S = \left(\frac{1}{T} \int_0^T i_s^2(t) dt \right)^{1/2} \quad (3.2)$$

I_{S1} hat akımının temel bileşeninin etkin değeri, T_1 hat akımı temel bileşeninin periyodu olmak üzere denklem (3.3)'ten bulunur.

$$I_{S1} = \left(\frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} i_{S1}^2(t) dt \right)^{1/2} \quad (3.3)$$

Akımın temel bileşen ve harmoniklerden oluştuğu göz önüne alındığında, akımdaki bozulma bileşeninin etkin değeri,

$$I_{dis} = \sqrt{I_S^2 - I_{S1}^2} \quad (3.4)$$

olmak üzere, akımdaki toplam harmonik bozulma, %THD cinsinden denklem (3.5)'ten bulunur.[4]

$$\%THD_i = 100 \cdot \frac{I_{dis}}{I_{S1}} = 100 \cdot \frac{\sqrt{I_S^2 - I_{S1}^2}}{I_{S1}} \quad (3.5)$$

Doğrultucu girişindeki yüksek THD değeri ve düşük güç faktörü değeri şebekedeki enerji kalitesinin bozulmasına ek olarak, güç elektroniği devresini de aşağıdaki gibi etkiler [4].

- Sistem çıkış gücü yaklaşık 2/3 oranında azalır.
- Doğrultucu filtre kondansatörü büyük akım darbelerine maruz kalır.
- Etkin akım değeri büyüdüğü için, doğrultucu yarıiletkenlerinde meydana gelen gerilim düşümü artar.
- Doğrultucu girişinde kullanılan filtre boyutları artar.
- Doğrultucu girişinde transformatör kullanılıyorsa, anma gücü artar.

KGK'larda giriş akımlarının THD değerini azaltmak ve güç faktörünü arttırmak için farklı yöntemler izlenebilir. Bir ve üç fazlı sistemlerde güç faktörü düzeltme özelliği olan KGK'lar kullanılarak güç faktörü ve THD değerleri uluslararası standartlara uygun hale getirilebilir. Güç faktörünü düzeltmek için pasif filtreleri de kullanılabilir. 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 (80kVA ve üzeri) KGK'larda darbe sayısı artırılmış (12 veya 18 darbeleri) doğrultucular kullanılmaktadır. Böylece KGK'nın giriş akım harmoniği %35'lerden %8'lere kadar

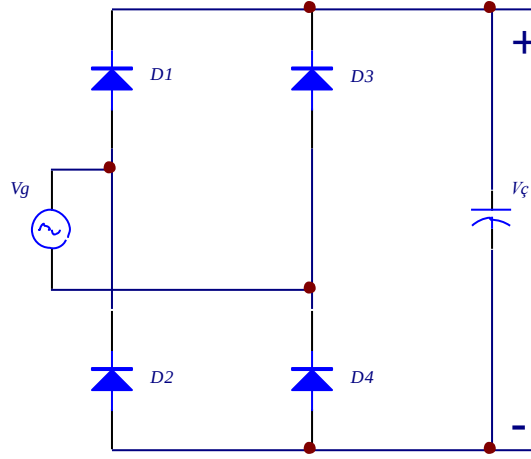
düşürülebilmekte böylece jeneratör ve giriş transformatör güç değerlerini düşürülebilmektedir.

3.1 Temel Doğrultucu Yapıları

KGK'larda yaygın olarak kullanılan doğrultucu tiplerini aşağıdaki gibidir.

3.1.1 Tam Dalga Kontrolsüz Doğrultucular

KGK'nın yapısına göre bir fazlı veya üç fazlı olarak tasarlanabilirler. Bir fazlı veya üç fazlı tam dalga diyot köprüsü ve DC çıkışına bağlanan kondansatör ile elde edilirler. Diyotlar kontrolsüz yarıiletkenler oldukları için çıkış gerilimi bir kontrol devresi ile belirlenemez ve giriş gerilimi ile değişir. Bir fazlı kontrolsüz doğrultucun devre yapısı Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Bir Fazlı Kontrolsüz Doğrultucu Devresi

Bir fazlı kontrolsüz doğrultucunun üstünlükleri şunlardır:

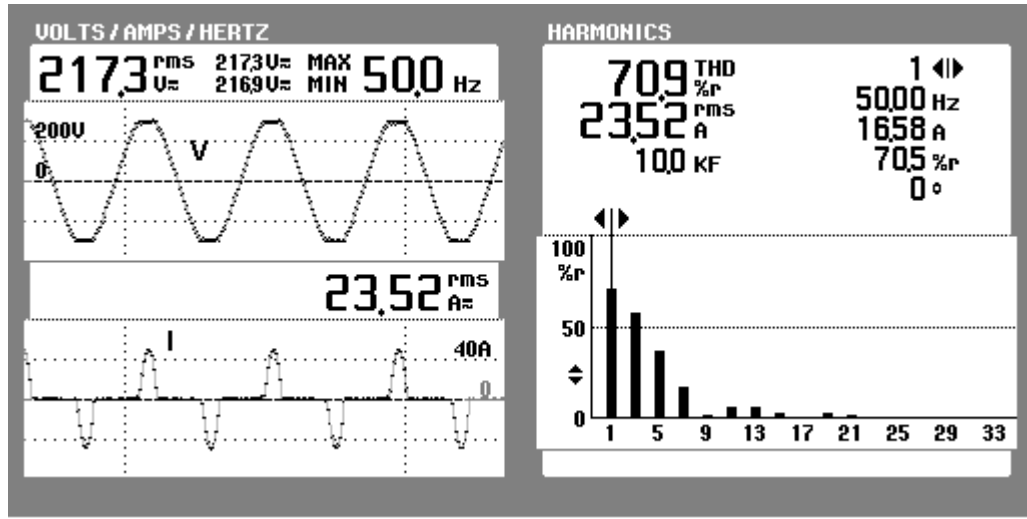
- Devrenin basit olması, az eleman kullanılması ve kontrol devresi gerektirmemesi nedeni ile arıza olasılığını ve kayıpları azaltır.
- DC gerilimdeki dalgalılığı filtrelemek için kullanılan kondansatör değeri göre daha azdır.
- Devrenin boyutları ve maliyeti düşüktür, güvenilirliği yüksektir.

Bir fazlı kontrolsüz doğrultucuların eksiklikleri şunlardır:

- 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 eviricinin giriş gerilim aralığının geniş tasarlanması gerekir.
- Sabit gerilim ve akım kontrolü yapılamadığından akü grubunun doğrudan doldurulması için uygun değildir. Bu nedenle çıkışında ayrıca DC-DC gerilim dönüştürücü kullanılmalıdır.
- Giriş akım harmonikleri yüksektir.

Bir fazlı kontrolsüz doğrultucunu giriş akım ve gerilim dalga şekilleri ve giriş akım harmonikleri Şekil 3.2’de gösterilmiştir..



(a)

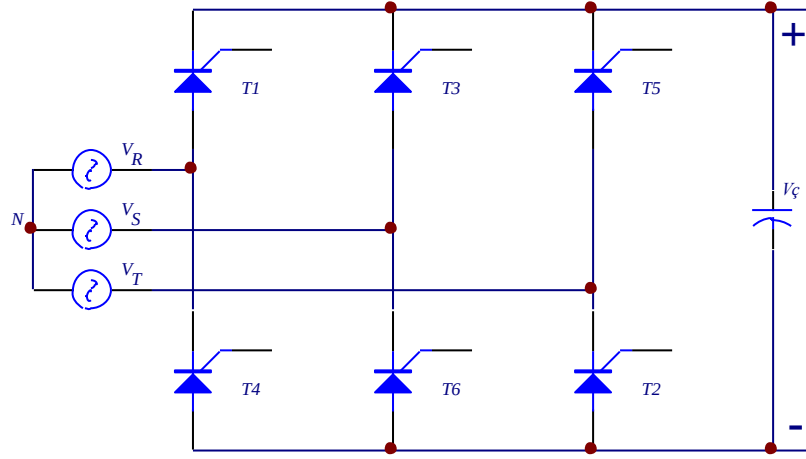
(b)

Şekil 3.2: a) Bir Fazlı Kontrolsüz Doğrultucu Giriş Gerilim ve Akımı

b) Bir Fazlı Kontrolsüz Giriş Akım Harmonikleri

3.1.2 Tam Dalga Kontrollü Doğrultucular

KGK'nın yapısına göre bir fazlı veya üç fazlı olarak tasarlanırlar. Bir fazlı veya üç fazlı tam dalga tristör köprüsü, dalgalılığı azaltmak için köprü çıkışına seri bobin ve paralel DC kondansatör ile elde edilirler. DC çıkış gerilim seviyesi kontrol devresi ile kontrol edilebilir. Bu kontrol devresi doğrultucu çıkışındaki gerilim geribeslemesine ve AC faz geriliminin pozitif sıfır geçişine göre tristörleri tetikler. Böylece DC çıkış gerilimi belirli giriş gerilimi aralığında sabit tutulabilir.



Şekil 3.3: Üç Fazlı Kontrollü Doğrultucu Devresi

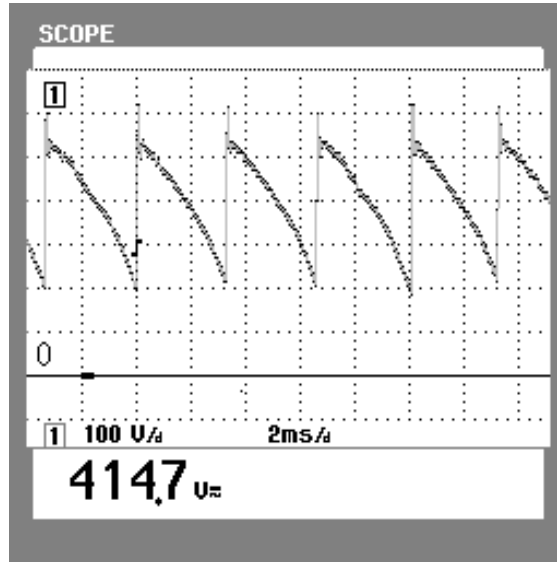
Üç fazlı kontrollü doğrultucunun üstünlükleri şunlardır:

- Giriş akımı, 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 sınırlandırılabilir için hem eviricide, hem de akü grubunun doğrudan doldurulmasında kullanılabilir.

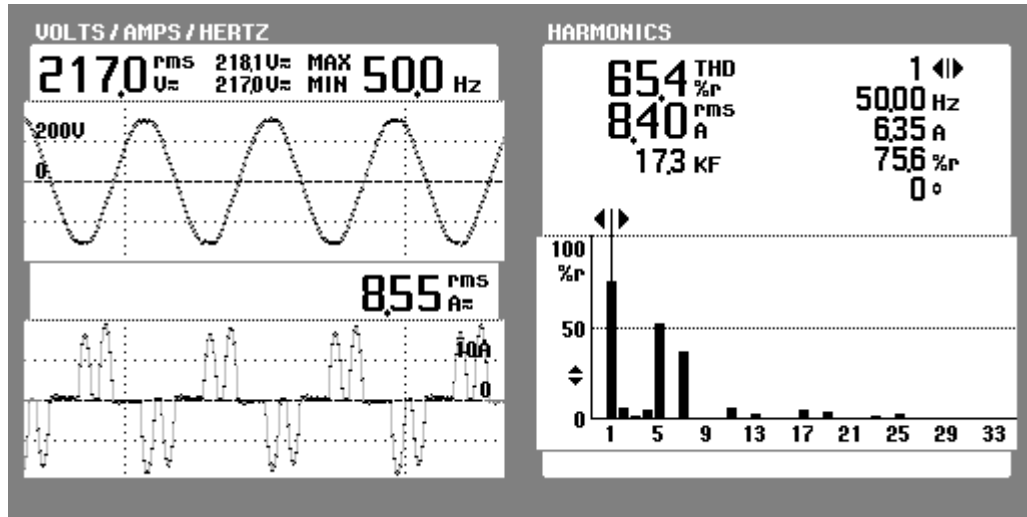
Üç fazlı kontrollü doğrultucunun eksiklikleri şunlardır:

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

Üç fazlı kontrollü doğrultucunun kondansatörsüz çıkış gerilim dalgası Şekil 3.4a'da, yük altında giriş gerilim ve akım dalga şekilleri Şekil 3.4b'de ve giriş akım harmonikleri Şekil 3.4c'de gösterilmiştir.



(a)



(b)

(c)

Şekil 3.4: a) Üç Fazlı Kontrollü Doğrultucu Çıkış Gerilimi

b) Giriş Gerilim ve Akımı

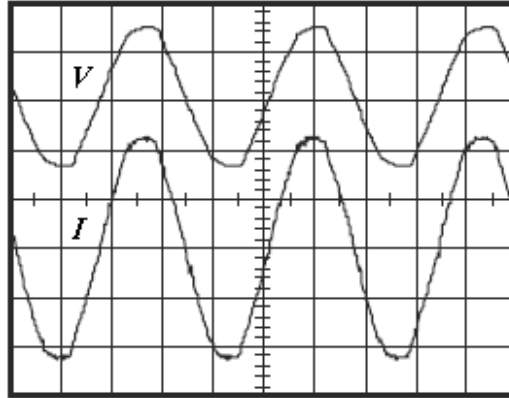
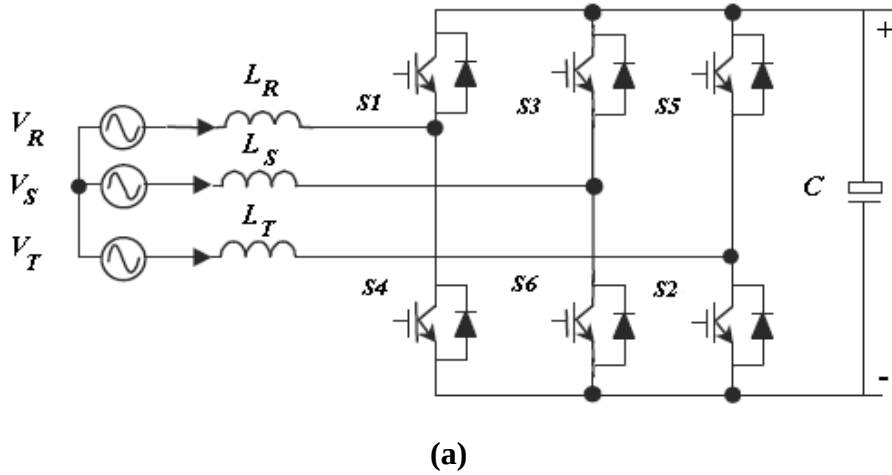
c) Giriş Akım Harmonikleri

3.1.3 Aktif Güç Faktörü Düzeltlen Doğrultucular

Diyot ve tristörlerle elde edilen doğrultucular, Şekil 3.2 ve Şekil 3.4'te görüldüğü gibi yük tarafından çekilen akımın her anında şebekeden akım çekmezler. Şebeke geriliminin tepe noktaları etrafında girişten akım çeker. Sinüzoidal şebeke geriliminin tepe noktaları etrafında DC filtre kondansatörünün doldurma 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 olur. Böylece AC giriş gerilimi tam sinüzoidal olmaktan çıkar. 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 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 yüksek olan, yani şebeke gerilimini bozmayan ve gereksiz yüksek akımla yüklemeyen doğrultucular önem kazanmakta ve tercih edilmektedir.

Aktif güç faktörü düzelten doğrultucular KGK'nın yapısına göre bir fazlı veya üç fazlı olabilir. Giriş akımının sinüzoidal olabilmesi için giriş akımının giriş gerilimine benzetilmesi sağlanır. Bu amaç için darbe genişlik modülasyonu kullanılarak yarıiletken anahtarlar yüksek frekansta anahtarlanır. Anahtarın iletimde ve kesimde kaldığı süreler DGM ile değiştirilerek akımın sinüzoidal olması sağlanır. Üç fazlı aktif güç faktörü düzelten doğrultucu devre şeması Devrenin yapısı Şekil 3.5a'da, bu doğrultucunun bir fazına ait giriş akım ve dalga şekilleri Şekil 3.5b'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5: a) Üç Fazlı Aktif Güç Faktörü Düzelten Doğrultucu Devresi

b) Akım ve Gerilim Dalga Şekilleri

Aktif güç faktörü düzelten doğrultucuların üstünlükleri şunlardır:

- Giriş akımı sinüzoidal olduğu için şebeke geriliminde bozulmalara ve gereksiz yüksek akımlara neden olmaz.
- Giriş akımı, DC çıkış gerilimi ve yük akımı değerleri bir kontrol devresi ile istenilen değerlerde tutulabilir.
- Çıkış gerilimi ve akımı istenilen değerlerde sınırlandırılabilmesi için hem eviricide, hem de akü grubunun doldurulmasında doğrudan kullanılabilir.

Aktif güç faktörü düzelten doğrultucuların olumsuz özellikler aşağıda belirtilmiştir.

- Diğer doğrultucu türlerine göre daha fazla eleman kullanıldığından boyutları büyük ve maliyeti yüksektir.
- Diğer doğrultucu türlerine göre kayıpları daha fazladır ve verimi daha düşüktür.
- Devrenin tasarımı ve optimizasyonu zordur.
- Yüksek gerilimde anahtarlama yapıldığından elektromanyetik gürültü kaynağıdır.

3.1.4 Çok Darbeli Doğrultucular

Bir fazlı köprü doğrultucu devreleri iki darbelidir. Pozitif yarım periyotta bir grup, negatif yarım periyotta ise diğer grup iletimdedir. Eğer üç adet bir fazlı köprü doğrultucu paralel bağlanır ve bağlantı düzenlenirse altı darbeli doğrultucu elde edilir. Üç fazlı tam dalga doğrultucular altı darbeli çıkış voltajı verir. Üç fazlı doğrultucular paralel veya seri bağlanırsa 12, 18 ve 24 darbeli doğrultucular elde edilir. Altıdan ve daha yüksek darbeli doğrultucular çok darbeli doğrultucular olarak bilinirler. Yüksek güçlü uygulamalarda çok darbeli doğrultucuların tercih edilme nedenleri şunlardır:

- Giriş akım harmoniklerini azaltması
- Çıkış gerilim dalgalılığının genliğini azaltması ve frekansını arttırması
- Giriş güç faktörünü arttırması

Bir fazlı doğrultucular ile üç fazlı doğrultucular karşılaştırıldığında THD, güç faktörü ve çıkış gerilim kalitesi gibi özelliklerin hepsinde üç fazlı doğrultucuları daha iyi sonuç vermektedir.

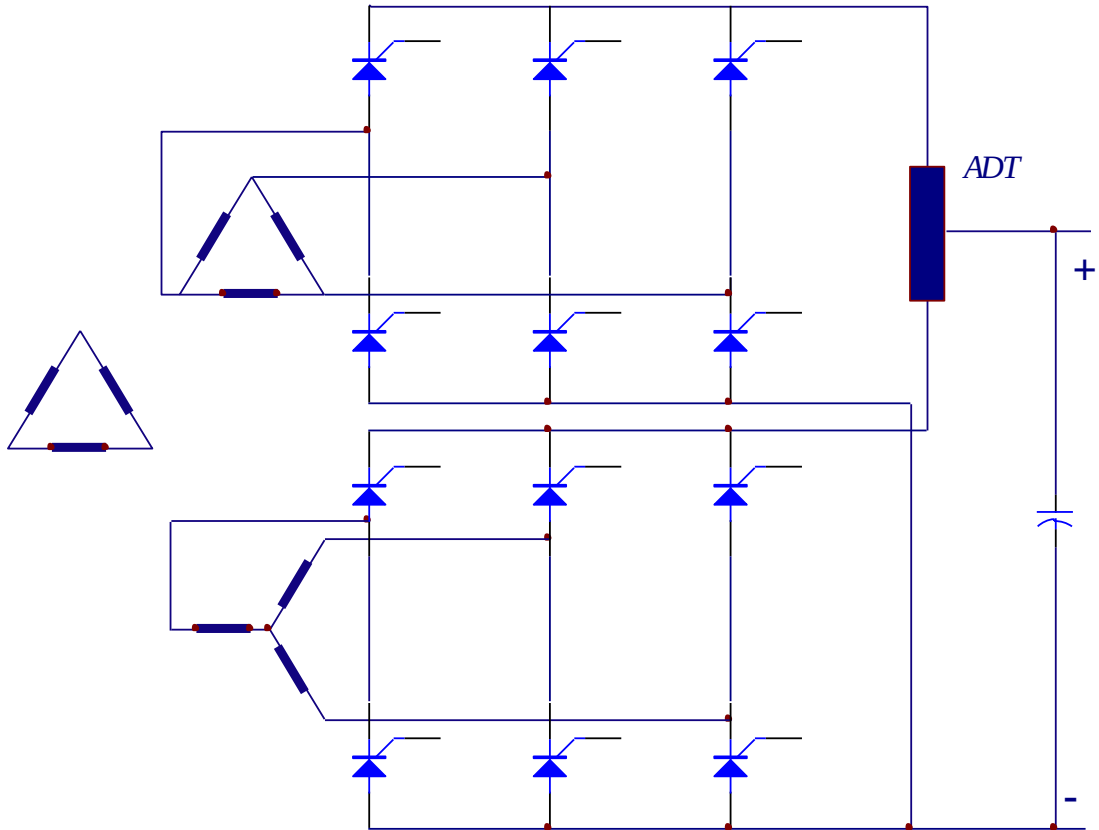
Yukarıda anlatılan doğrultucu tipleri faz giriş sayısı, güç, düşük giriş akım harmoniği ve yüksek güç faktörü koşullarında farklı KGK tiplerine göre uygun olanı tercih edilir.

3.2 Mikroişlemci Kontrollü 12 Darbeli Doğrultucu Uygulaması

İki adet altı darbeli doğrultucunun seri veya paralel bağlanması ile 12 darbeli doğrultucu elde edilebilir.

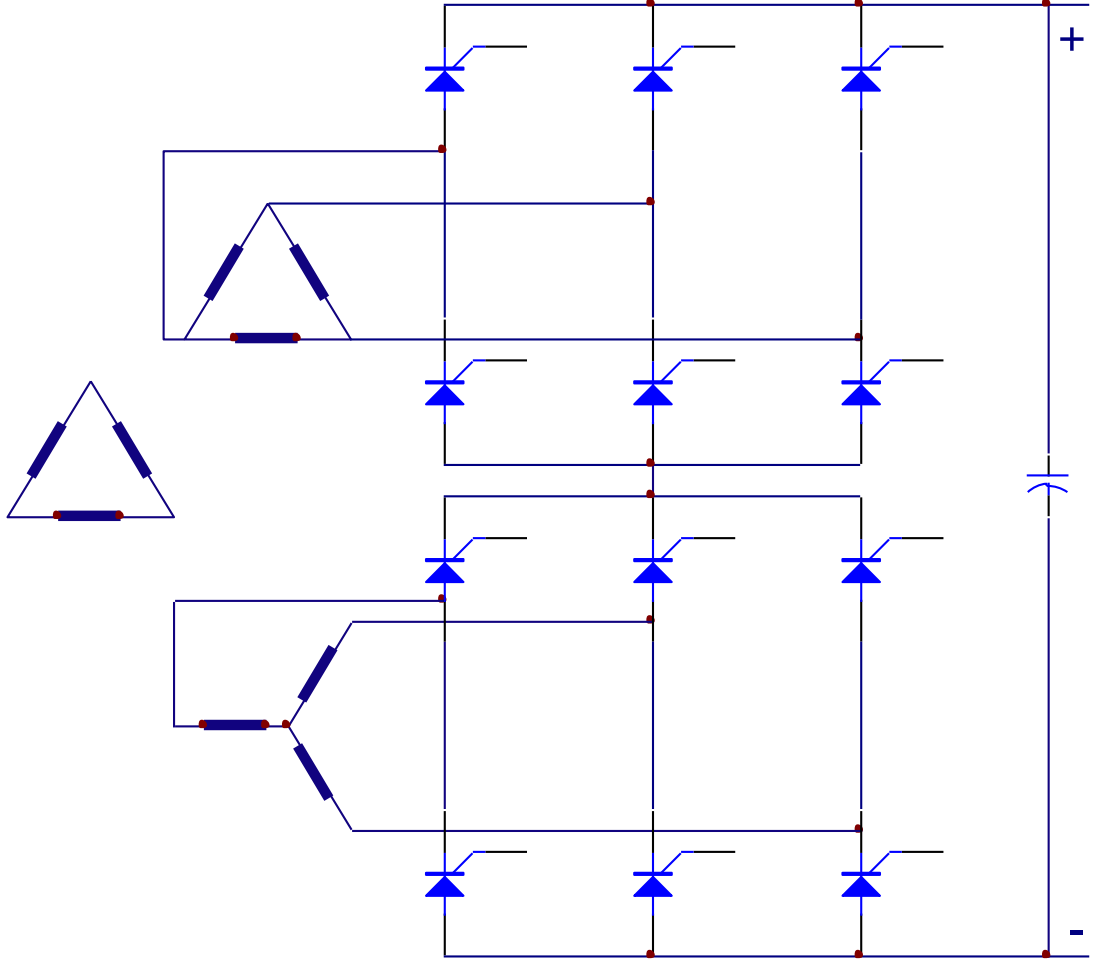
Şekil 3.6’da altı darbeli doğrultucuların paralel bağlanmasıyla oluşturulan 12 darbeli doğrultucu gösterilmiştir. Bu bağlandığında yük akımı iki doğrultucu tarafından eşit olarak paylaşılır Böylece kullanılan yarıiletkenleri üzerinden geçmesi gereken akım değerleri dolayısıyla maliyetleri azalır. Çıkış gerilimi paralel bağlanan altı darbeli doğrultuculardan her birinin gerilimine eşittir [5].

Bazı uygulamalarda altı darbeli doğrultucu çıkışları paralel bağlandığında fazlar arası akım dengeleme transformatörü (ADT) kullanılmaktadır. ADT, birincil ve ikincil sargıları birbirinin aynı olan bir transformatördür. Bu iki sargı seri olarak bağlanır. ADT özdeş doğrultucuların paralel çalışmalarını zorlamak için kullanılır. Her doğrultucu girişini oluşturan iki ikincil sargılar birbirlerinin aynı değerinde çıkış verecek şekilde sarılmış olsalar da, aralarındaki faz farkı nedeniyle ani değerleri arasında farklılıklar oluşabilmektedir. ADT, bu gerilim farklılıklarını yok eder ve çıkış geriliminin ikincil gerilimlerin toplamı olmasını sağlar [5].



Şekil 3.6: Paralel Bağlı 12 Darbeli Doğrultucu

İki adet altı darbeli doğrultucu köprüsü seri bağlanarak elde edilen 12 darbeli doğrultucu yapısı Şekil 3.6’da gösterilmiştir. Bu durumda her iki doğrultucudan ve yükten aynı akım geçeceğinden doğrultucu çıkışları arasında ADT kullanılmaz. Bu nedenle bu bağlantı tipinde diğerine göre daha büyük akımlı yarıiletkenler kullanılmalıdır. Seri bağlantıda toplam çıkış gerilimi doğrultucu köprülerinin çıkış gerilimlerinin toplamı kadardır. Bu sayede transformatör ikincil gerilimleri ve tur sayıları azaltılabilir. Böylece transformatör boyutu ve maliyeti azalır [5].



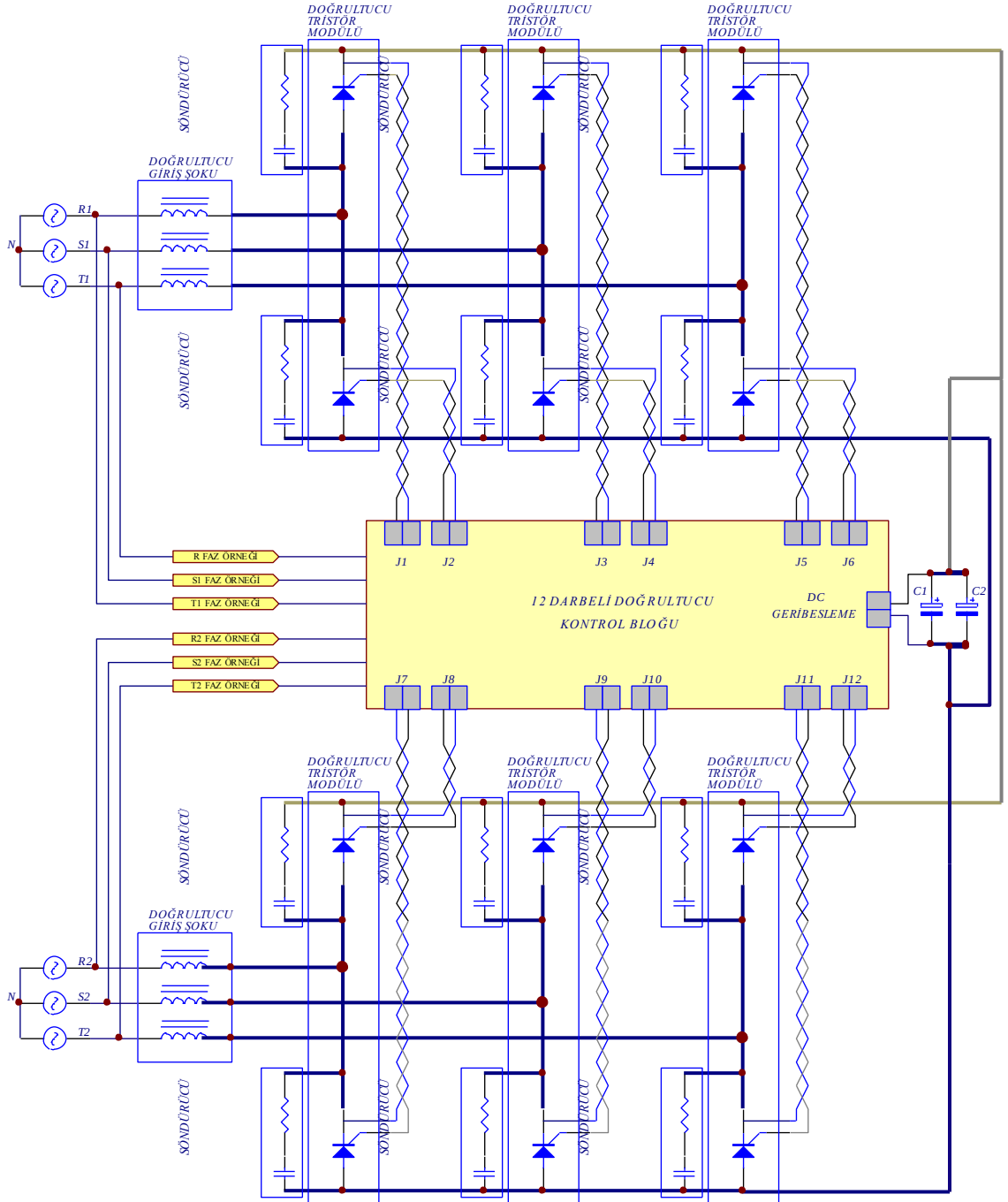
Şekil 3.7: Seri Bağlı 12 Darbeli Doğrultucu Yapısı

Uygulaması yapılan 12 darbeli doğrultucu altı darbeli doğrultucular paralel bağlanarak elde edilmiştir. Bu doğrultucu için güç ve kontrol elemanları Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Doğrultucudaki güç elemanları giriş transformatörü, giriş reaktörü, tristörler ve çıkış kondansatörüdür.

3.2.1 Doğrultucu Güç Bileşenleri

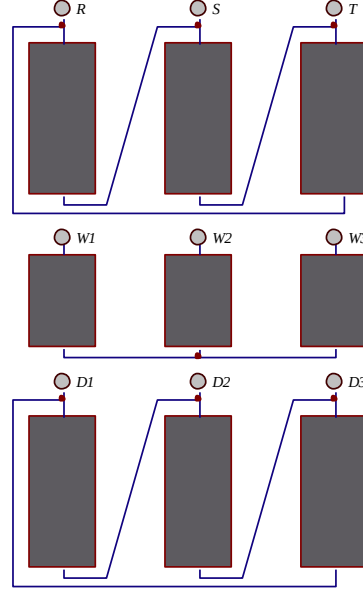
3.2.1.1 Giriş Transformatörü

İki altı darbeli doğrultucu, transformatörün faz kaydırma özelliği kullanılarak 30° faz farklı iki adet gerilim sistemi ile beslenmektedir. Birbirlerinden 30° kayık gerilim sistemlerinden biri yıldız diğeri üçgen bağlı iki ikincil sargısı bulunan transformatör kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 3.7: Mikroişlemci Kontrollü 12 Darbeli Doğrultucu Blok Şeması

Şekil 3.8’de transformatör sargılarının çekirdek üzerindeki yerleşimi gösterilmiştir. Burada D üçgen bağlı ikincil sargıları, W ise yıldız bağlı ikincil sargıları göstermektedir. Çekirdeğin her ayağında biri birincil ikisi ikincil olmak üzere üç sargı bulunmaktadır. Üçgen bağlı birincil sargılarının tur sayıları yıldız bağlı ikincil sargılarının tur sayılarının $\sqrt{3}$ katıdır.



Şekil 3.8: 12 Darbeli Doğrultucu Transformatör Sargı Yapısı

3.2.1.2 Giriş Şoku

Transformatörün yıldız ve üçgen bağlı ikincil uçlarından birbirine göre 30° kayık olarak çıkan üç faz grupları birer şok üzerinden geçirilerek üç fazlı tam dalga kontrollü doğrultucuları oluşturan tristör gruplarına bağlanmıştır.

Bu şoklar yarımıyla doğrultucunun ilk çalışmaya başladığı anda çektiği geçici yüksek akım olan boşa devreye girme akımını (inrush akımı) sınırlar. Ayrıca giriş akım dalga şeklinin tepe (peak) değerlerini sınırlayarak giriş akım dalga şekillerini yuvarlak hatlı hale getirir. Böylece giriş akımının THD değerini azaltır.

3.2.1.3 Çıkış Kondansatörü

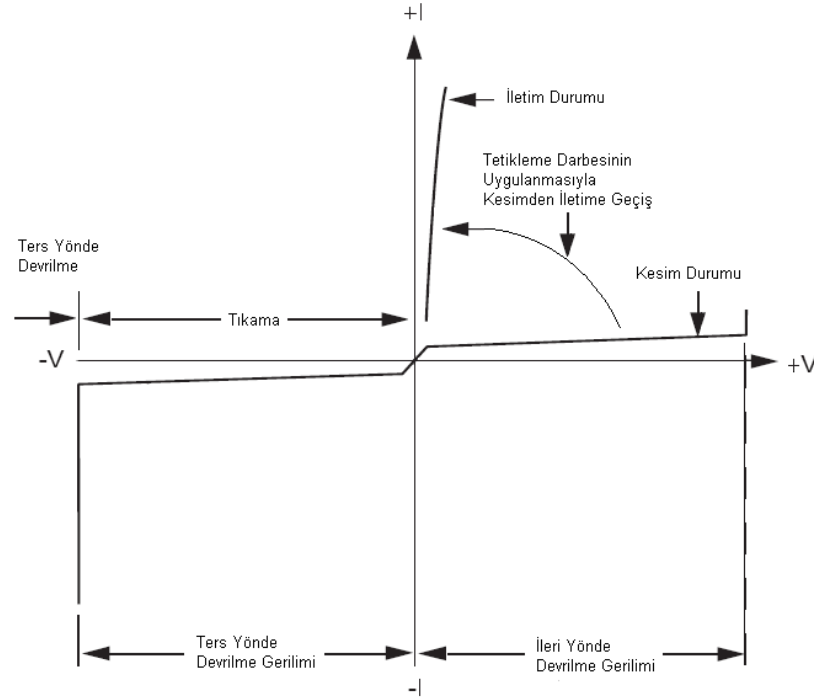
Çıkış kondansatörleri tristörler tarafından doğrultulmuş gerilimi filtre ederek dalgalılığını azaltır. Dalgalılığın fazla olması çıkış gerilimin kalitesinin düşmesine ve akü grubunun çok fazla dalgalı akım çekmesine neden olur. Akünün dalgalı akımla doldurulup boşaltılması ömrünün kışalmasına neden olur.

DC çıkış kondansatörleri seçilirken iki değer dikkate alınır:

- Kondansatör eşdeğer direncine, sıcaklığa, uygulanan gerilim frekansına bağlı olarak değişen kondansatör üzerinden geçebilecek dalgalı akım değeri (ripple akımı)
- Doğrultucu çıkış geriliminin dalgalılığını sınırlayan kondansatörün kapasite değeri

3.2.1.4 Tristör

Tristörün devre sembolü ve $i - v$ karakteristiği Şekil 3.9’da gösterilmiştir. Ana akım A anoduna K katoda doğru akar. Kesimde, tristör $i - v$ karakteristiğinin kesime ilişkin durum bölgesinde ileri yönde kutuplanmış bir gerilimi tutabilir ve iletmeyebilir [4].



Şekil 3.9: Tristör Çalışma Karakteristiği

Tristör ileri yönde tutma durumunda iken kısa süreli bir pozitif akım darbesinin uygulanmasıyla tristörü iletime sokabilecek bir tetikleme oluşabilir. İletim durumundaki gerilim düşümü elemanın gerilim tutma değerine göre 1-3V olabilir [4].

Tristör bir kez iletime başlar başlamaz kilitlenir ve kapı akımı kaldırılabilir. Tristör kapıdan kesime götürülemez ve bir diyot gibi davranır. Sadece tristörün bağlı olduğu devrenin etkisiyle anot akımı negatif olma eğiliminde olursa tristör kesime gider ve akım sıfır değerine ulaşır. Bu durum, elemanın ileri yönde gerilim tutma durumuna

geçmesinden kontrol edilebilir bir süre sonra, kapının elemanı tekrar iletim durumuna geçirmek için kontrol etme özelliğini yeniden kazanmasını sağlar [4].

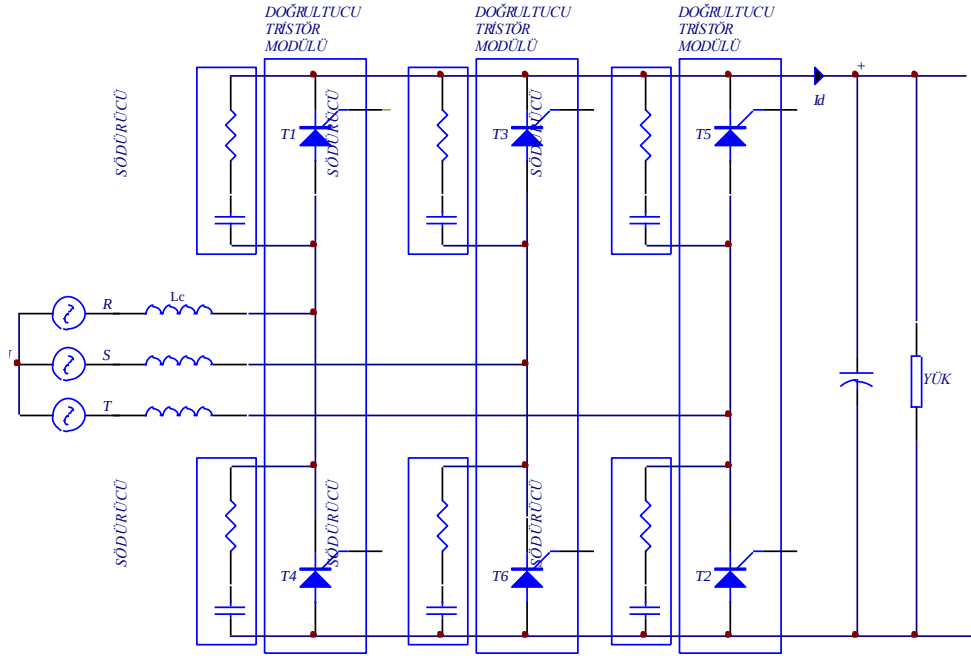
Ters devrilme gerilimi altındaki gerilim değerlerinde, ters yönde kutuplanan tristörden Şekil 3.9’da gösterildiği gibi küçük bir sızıntı akımı akar. Tristör anma akım değerleri, iletimde taşıyabileceği maksimum etkin ve ortalama akım değerleridir [4].

Ayrıca tristör akımı anahtar kesim konumunu almadan önce ters yöne geçer. Burada önemli olan parametre akımın negatif değerinden sıfıra gelmesi için geçen süreden çok akımın sıfırdan geçtiği anla, tristör uçlarındaki gerilimin sıfırdan geçtiği an arasındaki kesime gitme zaman aralığı olan süredir. Bu süre boyunca tristör uçlarına ters yönde bir gerilim uygulanmalıdır ve ancak bu andan sonra eleman iletime geçmeksizin ileri yönde bir gerilimi tutabilir. Eğer bu aralıktan önce tristöre ileri yönde bir gerilim uygulanırsa eleman, istenen andan çok önce iletim durumuna geçer ve eleman yada devre zarar görebilir [4].

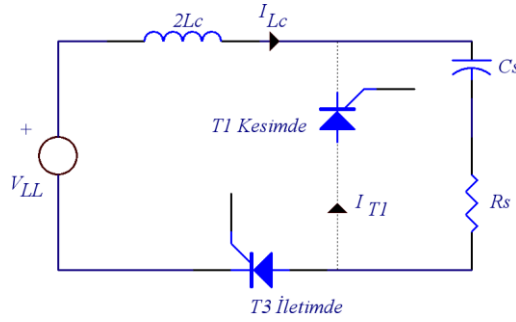
Doğrultucuda kullanılan tristörler için söndürme devreleri kullanılmıştır. Genel olarak söndürme devrelerin fonksiyonu, güç elektroniği çeviricilerinde anahtarlama sırasında bir yarıiletken eleman üzerinde yer alan elektriksel zorlanmaları elemanın anma değerleri seviyesine indirmektir. Söndürme devreleri aşağıda verilen anahtarlama zorlanmalarını uygun çalışma seviyelerine indirir [4].

- Kesime gitme sırasında elemana uygulanacak gerilimlerin sınırlandırılması
- İletime geçiş sırasında eleman akımlarının sınırlandırılması
- İletim sırasında elemandan akan akımların yükselme hızının (di/dt) ’nin sınırlandırılması
- Kesimde veya ileri yönde tıkama gerilimlerinin elemana yeniden uygulanması süresince eleman uçlarındaki gerilimin yükselme hızının (dv/dt) sınırlandırılması
- İletim ve kesimde elemanın anahtarlama yörüngesini biçimlendirilmesi

Tristör ters yönde kutuplandığında seri endüktanslardan dolayı aşırı gerilimler oluşmaktadır. Kutupsuz seri bağlı $R-C$ söndürme devresi kullanılarak ters toparlanma sırasında oluşan maksimum gerilim sınırlanır. Ayrıca kutupsuz $R-C$ söndürücüsü tristöre zarar verebilecek (dv/dt) değerini de sınırlandırmaktadır [4].



Şekil 3.10: Üç Fazlı Kontrollü Doğrultucu Söndürücü Bağlantısı



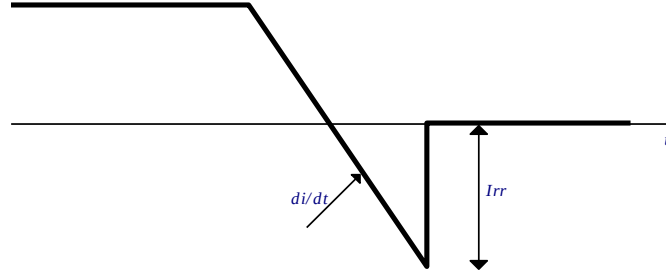
Şekil 3.11: Tristör Tetikleme Değişim Anı Eşdeğer Devresi

Şekil 3.10'da alternatif gerilim tarafındaki endüktanslar hat reaktansından ve transformatör kaçak endüktanslarından oluşur. T1 ve T2 tristörleri iletimde iken T3 tristörü belirli bir gecikme açısıyla tetiklendiğinde i_d akımı R fazına bağlı T1 tristöründen, T fazına bağlı T3 tristörüne aktarılır. Akımın aktarılma sürecinde V_{LL} fazlar arası gerilim etkindir. Şekil 3.11'de bu anın eşdeğer devresinde T3 iletimde ve T1 kesimde olup, ters toparlanma süresince $I_{T1} = I_{rr}$ 'dir. Eşdeğer devrede yer alan gerilim kaynağının V_{LL} geriliminin ters toparlanma süresi sonuna kadar 50Hz frekansındaki gerilimin bu devrede yer alan geçici rejim değişimleri yanında yavaş kaldığı için sabit doğru gerilim varsayılabilir [4].

Üç fazlı doğrultucu söndürücü devresi tasarımında V_{LL} fazlar arası gerilim ve i_d yük akımı olmak üzere en kötü durum için hat empedansı %5 alınarak (3.6a) ve (3.6b)'den L_c 'değeri bulunur.

$$X_c = \omega L_c = \frac{0,05V_{LL}}{\sqrt{3}I_d} \quad (3.6a)$$

$$L_c = \frac{0,05V_{LL}}{\sqrt{3}I_d 2\pi f} \quad (3.6b)$$



Şekil 3.12: Tristör Ters Toparlanma Akımı

Gerilim kaynağının maksimum değeri $\sqrt{2}V_{LL}$ tepe değeri olan 90° tristör tetikleme açısına karşı düşer. t_{rr} ters toparlanma zamanı olmak üzere ve akımın aktarılması sırasında gerilimin $\sqrt{2}V_{LL}$ değerinde sabit olduğu varsayıldığında Şekil3.12’de gösterilen T1 tristöründen geçen ters toparlanma akımı (3.7a), (3.7b), (3.7c) ve (3.7d) eşitliklerinden bulunur [4].

$$I_{rr} = \left(\frac{di}{dt}\right)t_{rr} \quad (3.7a)$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{\sqrt{2}V_{LL}}{2L_C} \quad (3.7b)$$

$$I_{rr} = \frac{\sqrt{2}V_{LL}}{2L_C} t_{rr} \quad (3.7c)$$

$$I_{rr} = \left(\frac{di}{dt}\right)t_{rr} = \frac{\sqrt{2}V_{LL}}{2L_C} t_{rr} \quad (3.7d)$$

Eşdeğer devre üzerinde R_s sıfır varsayıldığında söndürücünün kapasite değeri

$$V_{Cs} = V_d - V_d \cos(\omega_0 t) + I_{rr} \sqrt{\frac{2L_c}{C_s}} \sin(\omega_0 t) \quad (3.8)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{2L_c C_s}} \quad (3.9)$$

olmak üzere (3.10)

$$C_s = L_c \left(\frac{I_{rr}}{V_{LL}} \right)^2$$

eşitliklerinden, söndürücü direnç değeri

$$R_{temel} = \sqrt{2} \frac{V_{LL}}{I_{rr}} \quad (3.11)$$

olarak bulunur.

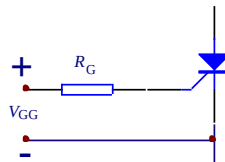
Eşdeğer devre üzerinde bulunan C_s değeri için maksimum tristör gerilimi R_s ile değişir. Bu maksimum tristör gerilimin minimum yapan optimum yapan R_s değeri $R_s = 1,3R_{temel}$ olmaktadır [4].

Her bir söndürücüdeki toplam enerji kaybı en kötü tetikleme açısı olan 90° için (3.12)'de verilmiştir [4].

$$W_{söndürücü} = \frac{1}{2} (2L_c) I_{rr}^2 + \frac{1}{2} C_s \cdot \sqrt{2} V_{LL}^2 \quad (3.12)$$

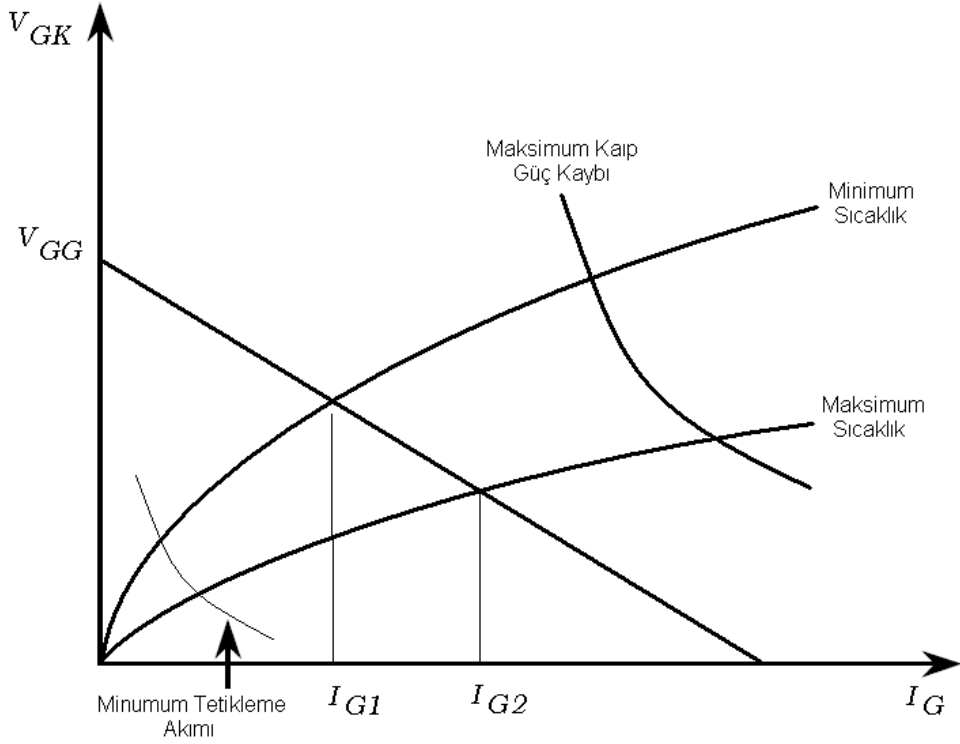
Tristörü iletme geçirmek için kapıdan verilecek bir akım darbesine gerek vardır ve bir kez iletme sokulduğunda elemanın kendi kendini beslemesinden dolayı sürekli bir kapı akımı olamasa da tristör iletimini sürdürür. Elemanın iletme geçmesini sağlayabilmek için kapı akım darbesinin ne büyüklükte olmasının belirlenmesinde kapı akım gerilim karakteristiklerinden yararlanılır [4].

Kapı darbe kuvvetlendiricisi için V_{GG} açık devre çıkış gerilimi ve bir R_G çıkış direncinden oluşan Şekil 3.13'te verilen eşdeğer devre oluşturulabilir.



Şekil 3.13: Tristör Sürme Eşdeğer Devresi

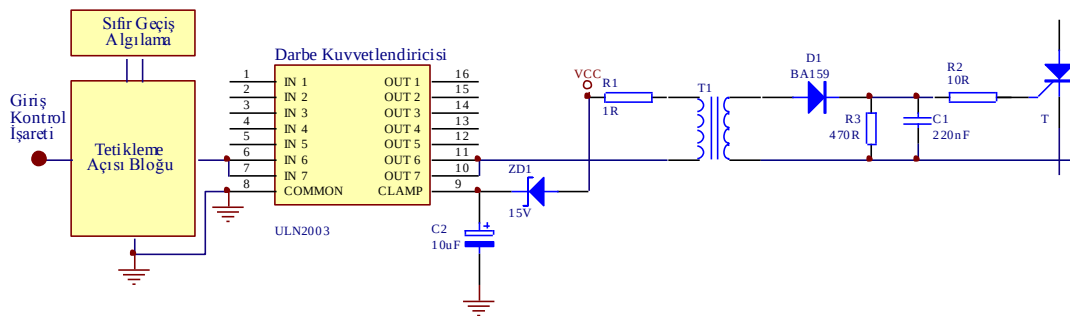
V_{GG} ve R_G büyüklükleri kapı akımı minimum değerinin üzerinde sürme akımı verilecek şekilde seçilmelidir. Çünkü kapı akımı sınır değeri tristörün çalışma sıcaklığına bağlıdır. Şekil 3.14'te görüldüğü gibi düşük sıcaklıklarda I_{G1} 'den yüksek sıcaklıklardaki I_{G2} 'ye kadar değişen bir kapı akımı üretir.



Şekil 3.14: Tristör Kapı Katot $I - V$ Karakteristikleri

Tristör iletim süresince büyük di_G / dt 'li büyük bir kapı akım darbesi ile beslenir. Tristör iletime geçtikten sonra kapı akımı azalır ve elemanın istenmeyen kesime gitmesini engellemek için bir süre daha düşük bir değerde tutulur.

Tristörler şebeke frekans gerilimleri tarafından doğal olarak kesime götürüldükleri için şebeke frekanslı çeviricilerde şebeke frekanslarının sıfır geçişlerine göre uygun bir tetikleme açısında iletime sokulmalıdırlar.



Şekil 3.15: Tristör Tetikleme Devresi

Şekil 3.15'te verilen tristör sürme devresinde lojik seviyeli işaret ile sürme devresi arasında elektriksel yalıtım yapılması gerekmektedir. Lojik seviyeli işaretin referans noktası sabitken, güç devresinin referans noktası değişken olabilmektedir. Elektriksel olarak izole olmadan sürme işlemi yapılırsa gerilim seviyeleri farklı olan noktalar kısa devre olacağından tristörler uygun biçimde sürülemez.

Ayrıca katotları ortak olmayan tristörlerin katotları arasında gerilim farkı olduğundan izole olmadan sürülürlerse gerilim seviyesi farklı olan katotlar arasından yüksek akım geçer. Bu nedenle lojik seviyeli işaretlerle sürme devresi arasında elektriksel yalıtım yapılması gerekmektedir. Bu amaçla kapı darbelerini sürmede yalıtım transformatörü kullanılmıştır. Elektriksel yalıtım sağlanması amacıyla optik bağdaştırıcı (opto-coupler) da kullanılabilir. Ancak katotları ortak olan tristörler kapı darbeleri arasında elektriksel yalıtım olmadan da sürülebilir.

Tristör şebeke potansiyelindedir ve tetikleme devresi kontrol girişi ile bağlantılı olan lojik toprağa göre referans alınmıştır. Bu nedenle şebeke geriliminin sıfır geçişiyle senkronize edilir ve kapı tetikleme devresinde üretilen kapı darbesi transformatör yardımıyla şebeke frekansından yalıtılarak tristör tetiklenir.

Transformatörün yalıtılmış sürme işaretlerini geçirebilmesi için sürme işaretleri transformatör girişine yüksek frekanslı kare dalga şeklinde uygulanmalıdır. Aksi taktirde transformatörler doyuma ulaşmaktadır. Tristör tutma akımının altında kesime gideceğinden iletimde olması gereken tüm anlarda yüksek frekanslı tetikleme işareti tristöre uygulanmalıdır.

Tristörün ihtiyacı olan tetikleme akımı küçük güçlü tristör uygulamalarında herhangi bir dış darbe kuvvetlendiricisi olmaksızın sağlanacak kadar küçük olabilir. Yüksek güçlü tristörlerde gürültü bağışıklığını sağlayabilmek için tetikleme akımı gereksinimi yüksek tutulur [4].

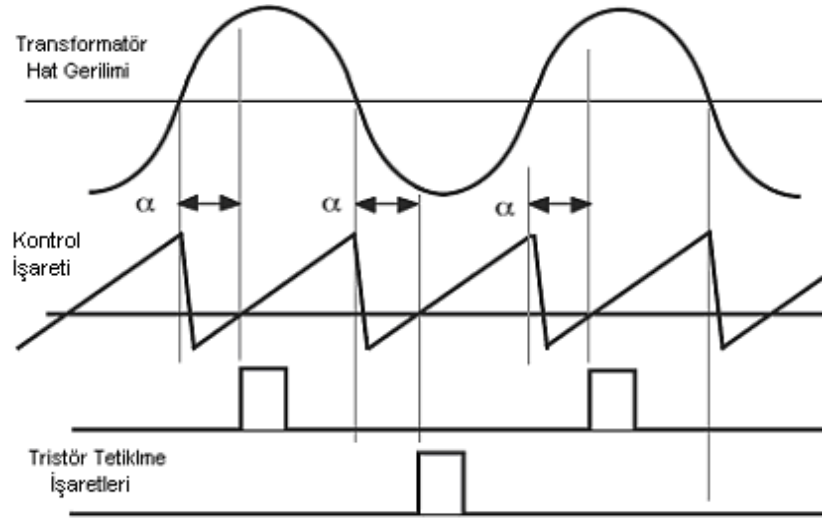
Yapılan uygulamada tristör tetikleme darbesi ULN2003 tüm devresi kullanılarak kuvvetlendirilmiştir. Bu tüm devre yüksek çıkış akımı (500mA, 600mA tepe) yüksek voltajlı (50V) yedi adet ortak emetörlü darlington serisinden oluşmaktadır. Ayrıca yüksek akım uygulamalarında çıkışları paralel bağlanabilir.

Şekilde 3.15'deki sürme devresindeki transformatörün ikincil tarafına bağlı diyot, devre kesime gittiğinde transformatörün mıknatıslanma akımından dolayı oluşan negatif kapı akımını engellemektedir. Transformatörün mıknatıslanma akımına bir yol sağlayarak manyetik çekirdekteki enerjinin yola bağlı seri direnç üzerinden boşalmasının ise ULN2003'deki bütünleşik söndürme diyotu ise sağlamaktadır.

3.2.2 Doğrultucu Kontrolü

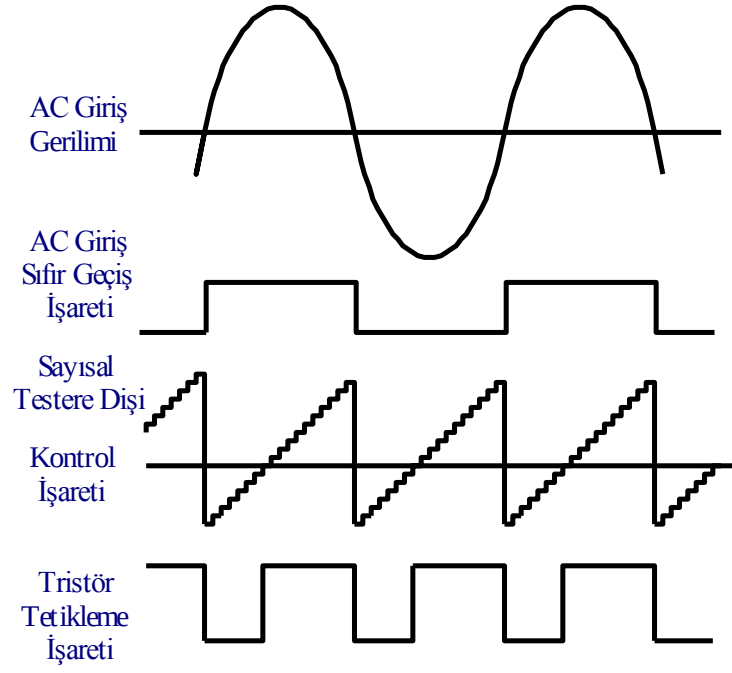
12 darbeli doğrultucuda kontrol, şebekeden alınan sıfır geçiş örneklerine ve DC geribesleme değerine göre tristörlerin uygun açılarda tetiklenmesiyle sağlanır. Bu kontrol yapılırken analog veya dijital tasarım yöntemleri izlenebilir.

Analog yöntemde DC geribesleme işareti ve referans karşılaştırıcı tüm devresi ile karşılaştırılır. Oluşan hata işareti bir kazanç katsayısı ile çarpılarak kontrol işareti oluşturulur. Şekil 3.16’da görüldüğü gibi bu kontrol işareti şebeke sıfır geçişlere göre elde edilen testere dişi dalgayla karşılaştırılarak tristörlerin uygun tetikleme açıları belirlenir.



Şekil 3.16: Tristör Tetikleme İşaretinin Analog Oluşturulması

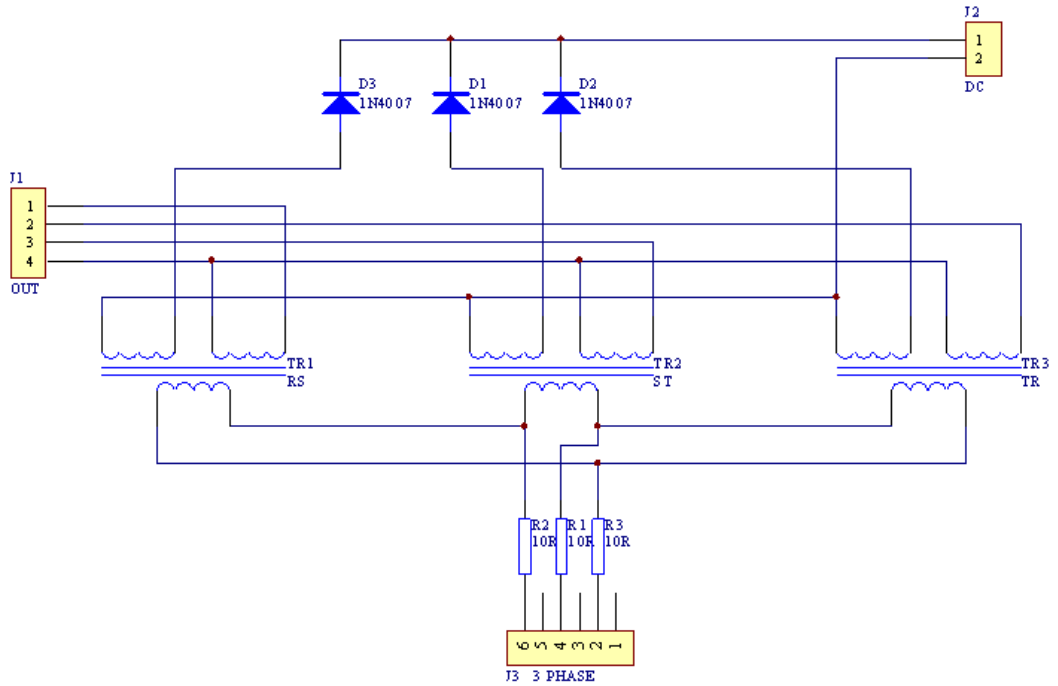
Dijital yaklaşımda temel olarak analogdakinin benzeri yol izlense de bu işlemlerin tamamı mikroişlemci tarafından yapıldığı için kartın çalışması sıcaklık, kaynak gerilim iniş çıkışları, elemanları eskimesi gibi çevresel etkilerden daha az etkilenir. Bu üstünlüklerinden dolayı dijital yaklaşımda sistem daha kararlı çalışır ve güvenilirliği artar. Tüm bunlara ek olarak dijital tasarımda daha az eleman kullanıldığı için kartın maliyeti daha az olur. Tristör tetikleme işaretinin dijital olarak oluşturulması Şekil 3.17’de verilmiştir.



Şekil 3.17: Tristör Tetikleme İşaretlerinin Dijital Oluşturulması

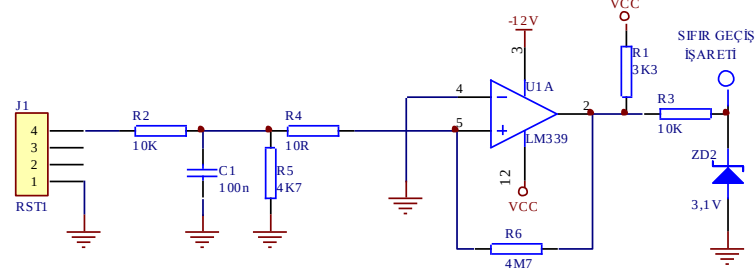
3.2.2.1 Doğrultucu Kontrol Devresi

Tristörlere şebeke faz-faz arası gerilim uygulanır. Tristörleri uygun açıda tetikleyebilmek için tristörlere uygulanan bu ardışıl fazlar arası AC geriliminin sıfır geçiş bilgisinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla her bir RST faz gurubu için gerilim örnekleri Şekil 3.18’de görüldüğü gibi üçgen-yıldız bağlı olan üç adet izole transformatör ile uygun seviyeye dönüştürülmektedir.



Şekil 3.18: Üç Faz Doğrultucu Örnek Transformatör Bağlantısı

Uygun gerilim seviyesine düşürülen fazlar arası gerilim örneklerinin mikroişlemci tarafından değerlendirilmesi için lojik bilgiye dönüştürülmesi gerekmektedir. Karşılaştırıcı kullanılarak ve gerekli sınırlamaları yapılarak elde edilen sıfır geçiş bilgilerinin elde edilmesini sağlayan devre Şekil 3.19’de verilmiştir.

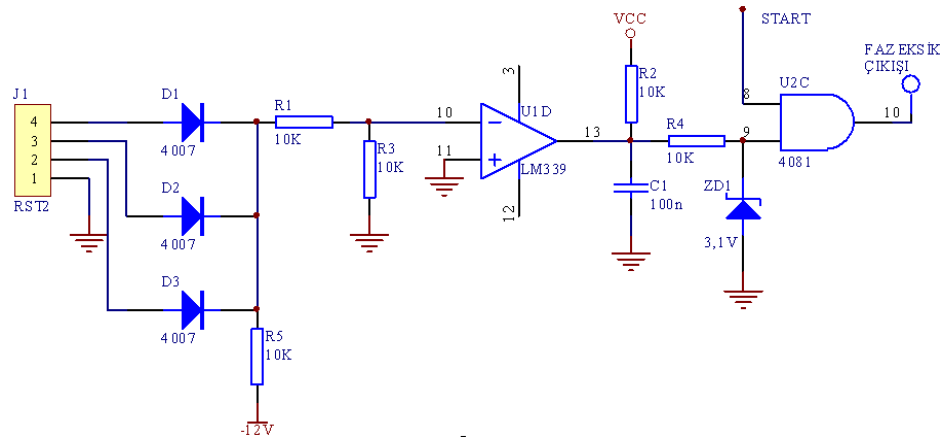


Şekil 3.19: Sıfır Geçiş İşareti Oluşturma Devresi

12 darbeli doğrultucunun doğru şekilde çalışabilmesi için şu şartlar sağlanmalıdır.

- Tristörlere uygun sıradaki fazlar bağlanmalıdır.
- Fazların sıfır geçiş bilgileri mikroişlemciye doğru sırada ve doğru frekans aralığında gelmelidir.
- Sıfır geçiş bilgilerine göre uygun tristörü tetiklenmelidir.

Fazların doğru sırada ve uygun frekansta gelip gelmediği mikroişlemci tarafından tespit edilir. Faz sıfır geçiş bilgilerinden herhangi birinin gelmemesi, yanlış sırada gelmesi veya doğru frekans aralığında gelmemesi durumunda mikroişlemci tarafından faz sorun bilgisi oluşturulur ve tristörler tetiklenmez. Giriş fazlarının doğrultucuya yanlış sırada bağlanması durumunda herhangi iki faz bağlantısının yer değiştirmesi gereklidir. Ayrıca sistemin güvenilirliği arttırmak için üç faz örneğinin eksiksiz geldiğini kontrol etmek için aşağıdaki devre kurulmuştur.



Şekil 3.20: Faz Eksik Kontrol Devresi

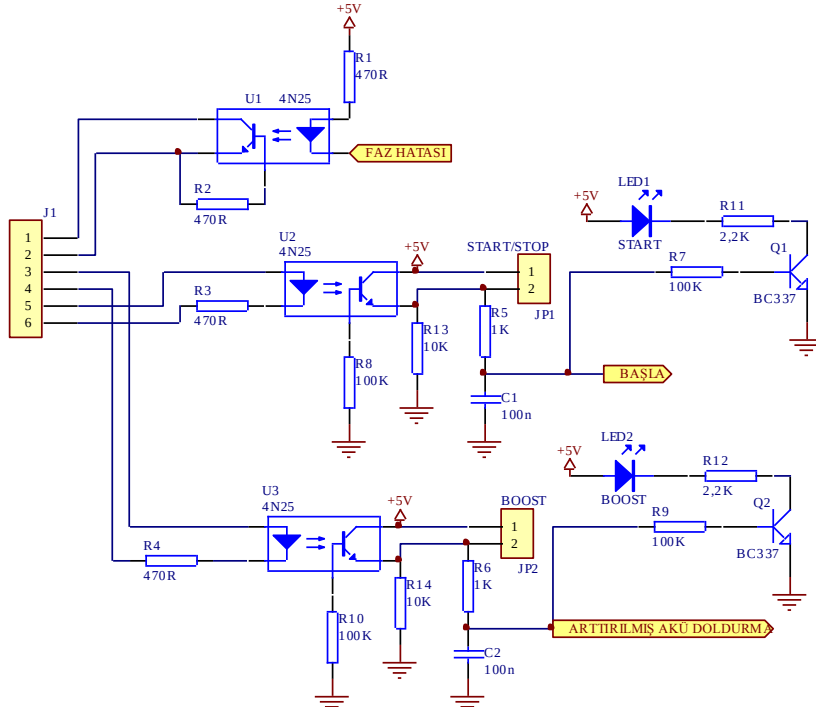
Bu devrede doğrultulan üç faz örneği de uygun şekilde geliyorsa karşılaştırıcıdan sürekli lojik 1 bilgisi çıkar. Yanlış veya eksik faz bilgisi geldiğinde karşılaştırıcıdan lojik sıfır ve tristörlerin tetiklenmesi engellenir.

KGK kumandasında değerlendirilmek üzere doğrultucu mikroişlemcisi tarafından oluşturulan faz uygun değil bilgisini elektriksel olarak yalıtılmış bir şekilde aktarmalıdır.

Doğrultucunun görevlerinden biri de akü grubunu uygun akım ve gerilim koşullarında doldurmaktır. Doğrultucu kontrol birimi her akü boşalmasından sonra dengeleme doldurma durumu (boost şarj) ve belirlenen süre sonunda otomatik olarak normal gerilimle akü doldurma durumuna geri dönebilmelidir. Bu da ancak DC çıkış gerilim seviyesinin arttırılabilir özellikte olmasıyla mümkündür. Arttırılmış doldurma işlemi bilgisi lojik olarak mikroişlemciye iletildiğinde mikroişlemci kendi ürettiği referans bilgisini DC çıkış gerilimini arttıracak şekilde artırır.

Ayrıca doğrultucunun çalışmaya başlaması için yukarıdaki koşulların sağlanmasına ek olarak başla bilgisinin mikroişlemciye gelmesi gerekir.

KGK kumanda biriminden gelen başla ve arttırılmış akü doldurma giriş bilgilerini ve faz hatası çıkış bilgisini elektriksel olarak yalıtılmış bir şekilde aktaran devre Şekil 3.21’de verilmiştir.

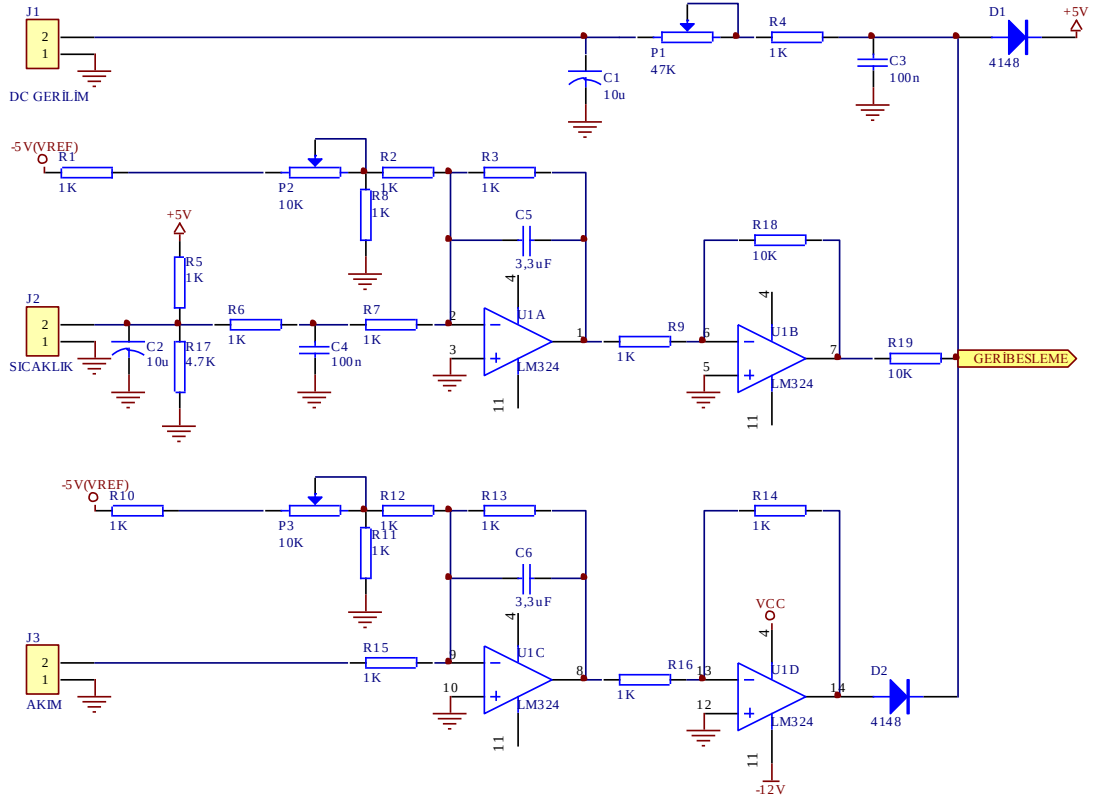


Şekil 3.21: Faz Uygun Değil Çıkış, Başla ve Arttırılmış Akü Doldurma Bilgilerini İzole Olarak Oluşturan Devre

Doğrultucu çalışırken akü grubunun doldurulması sırasında akü doldurma akımı sınırlanmalı ve bu akım akü kapasitesine göre uygun değere ayarlanabilmelidir. Akü doldurma gerilimi akü ortam sıcaklığına bağlı olarak da otomatik değişebilmelidir. Bu işlemleri sağlamak için akü sıcaklığı ve doldurma akımı bilgileri DC geribesleme işaretine uygun oranlarda eklenmiştir. Bunu sağlayan devre Şekil 3.22’de verilmiştir.

DC bara geriliminin seviyesi geribesleme devresi üzerinden kontrol kartında değerlendirilecek seviyeye düşürülür ve filtre edilir. Değişken direnç ile geribesleme örneğinin kazancı değiştirilerek geribesleme devresindeki elemanların toleransından kaynaklanan hata düzeltilir.

Filtre edilen akü sıcaklık ve akü doldurma akımı bilgileri, eviren toplayıcı devresinden geçirilerek geribesleme işaretine eklenmiştir. Sıcaklık ve doldurma akımı değerleri arttıkça mikroişlemciye giden DC geribesleme işareti artmakta ve kontrolörden çıkan kontrol işareti tristör tetikleme işaretlerini DC bara çıkış gerilimini düşürecek yönde değiştirmektedir. Böylece sıcaklık arttığında DC bara gerilimi ve dolayısıyla doldurma akımı düşürülebilir. Ayrıca akü grubunun doldurma akımı bu devreyle sınırlanabilmekte ve akü kapasitesine göre uygun akım değerine getirilebilmektedir.



Şekil 3.22: Geribesleme Devresi

3.2.2.2 Doğrultucu Kontrol Yazılımı

12 darbeli doğrultucu kontrol yazılımı PIC18F252 mikroişlemcisine HITECH derleyicisi kullanarak yapılmıştır. Yazılım ana program ve zamana bağlı kesme alt programı olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır.

Zamana bağlı kesme alt programında şu işlemler gerçekleştirilir.

- Faz bağlantı eksikliğini, faz bağlantılarının doğruluğunu belirlenir, sayısal üçgen işaretini oluşturmak için fazların sıfır geçiş bilgileri algılanır
- Ana programda oluşturulan kontrol işareti sayısal üçgen işaretiyle karşılaştırılarak tristör tetikleme işaretleri oluşturulur.
- Tristör tetikleme işaretini tristör sürme devresine doğrudan verebilmek için frekansı 10kHz'lik kare dalga ile VE'lenir.
- Geribesleme işareti örnek alma zamanları belirlenir.

Zamana bağlı kesme bayrağı her 50 μ s'n' de bir aktif olur ve zamana bağlı kesme alt programı yürütülür. Mikroişlemci HSPLL durumunda çalıştırılarak 10MHz'lik kristal ile çalışılmasına rağmen 40MHz'lik kristal ile çalışmaya eşdeğer duruma getirilmiştir. Bu yolla zamana bağlı kesmeye dallanma periyodu kısaltılarak örnekleme frekansı yükseltilmiş, dolayısıyla sistemin hassasiyeti arttırılmıştır.

Ana programda şu işlemler gerçekleştirilir.

- DC gerilimin aniden yükselerek yüksek akım çekmesini önlemek için doğrultucuda yumuşak kalkış (soft-start) sağlanır, arttırılmış akü doldurma durumuna geçmek için DC çıkış gerilimini farklı seviyelerde üretilir. Bu iki işlemin sağlanabilmesi için referans işareti değişken olarak ana program içerisinde üretilir.
- Geribesleme işareti kesme alt programında belirlenen zamanlarda ADC'den okunarak filtre edilir. Filtre edilen geribesleme işareti kontrolörden geçirilir ve kontrol işareti oluşturulur.
- Mikroişlemciye besleme verildiğinde faz bağlantıları uygun olsa bile tristörlerin başlangıçta kontrolsüz olarak tetiklenip sisteme zarar vermesini önlemek için tristör tetiklemesi geciktirilir.
- Sistemde kontrol işaret adımlarının ayırık olması nedeniyle çıkışta salınımların olmaması için tristörlerin bir periyot içerisinde farklı açılarda tetiklenmesini sağlayan değerler tablosu oluşturulur.

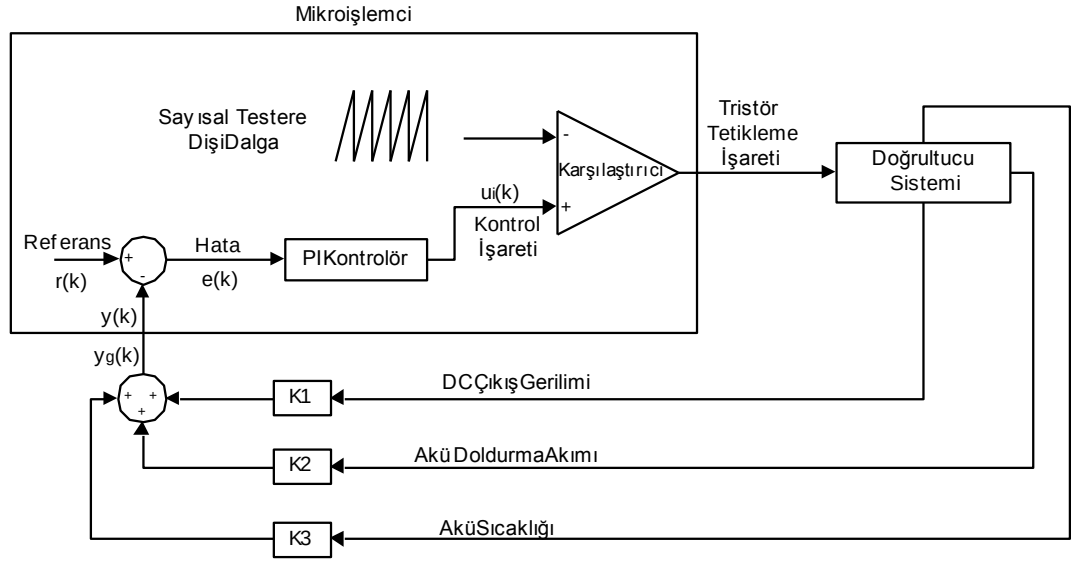
Bu çalışmayı açıklamak için doğrultucu girişine ideal 50Hz dengeli şebeke gerilimi uygulandığı varsayılın. 50 μ s'n'lik kesme alt programı olduğundan her bir yarım

periyot sinüs işareti 200 örnekten oluşacaktır. Bu koşullar altında tristör tetikleme işaretleri açılarının aralığı $(180^\circ)/(200 \text{ Adım}) = 0,9^\circ$ olacaktır.

Giriş geriliminin maksimum olması ve tetikleme açısının sinüs tepe değerine yakın olduğu durumda her tetikleme adım değişimi çıkışı 5-6V'a değiştirmektedir. Bir periyot içerisinde her bir fazın tristör grubu farklı açılarda tetiklenerek kontrol işaretindeki hassasiyet artırtmıştır. Doğrultucuda altı adet faz tristör grubu olduğu için bu yöntemle tetikleme açı aralığı $(0,9^\circ/6) = 0,15^\circ$ ye düşürülmüştür.

Böylece kontrol işareti $0 \leq i \leq 1200$ ve $i/6$ tamsayı olmak üzere $u_{i/6}(k)$ değerleri yerine $u_i(k)$ değerlerinden oluşturulmuştur.

12 darbeli doğrultucunun kontrolüne ilişkin blok gösterim Şekil 3.23'te verilmiştir.



Şekil 3.23: 12 Darbeli Doğrultucu Kontrol Bloğu

Kontrol bloğu Şekil 3.23'te verilen 12 darbeli doğrultucuda analog olarak mikroişlemciye gelen geribesleme işareti 10 bitlik analog dijital dönüştürücü (ADC) tarafından okunur. Geribesleme işareti $y_g(t)$, DC çıkış gerimi (v_o), akü doldurma akımı (i_o) ve akü doldurma sıcaklığı (T_B), değerlerinden oluşmaktadır. Akü sıcaklığı ve akü doldurma akım değerleri normal çalışma sınırlarının altındaysa geribesleme değerine etki etmezler. Akü sıcaklığı ve akü doldurma akım değerleri değişken dirençlerle belirlenen çalışma sınırların üzerine çıktığında, geribesleme değerine çıkış gerilim değerini düşürecek yönde denklem (3.12)'deki gibi eklenirler. Akü sıcaklığı ve akü doldurma akımı geribesleme değerleri doğrultucu çıkışının evirici alt sınırının altına düşmemesi için sınırlandırılmıştır. Akü sıcaklığı yükseldiğinde çıkış gerilimi düşürülerek aküler uygun doldurma akımıyla doldurulmaktadır. Akü doldurma akımı yükseldiğinde doldurma gerilim değeri düşürülerek akü doldurma akım değeri düşürülmektedir.

$$y_g(k) = K_1 v_o + K_2 i_o + K_3 T_B \quad (3.13)$$

Geribesleme işareti $y_g(k)$ zamana bağlı yürütülen kesme alt programında belirlenen anlarda (sinüs örneği sıfır geçiş anlarında) ADC'den okunur. Her 8 örnekte bir aritmetik ortalaması alınarak filtre edilmiş geribesleme işareti $y(k)$ oluşturulur.

$$y(k) = \frac{y_g(k-3) + y_g(k-2) + y_g(k-1) + y_g(k)}{4} \quad (3.13)$$

Bu $y(k)$ geribesleme işaretini ve işlemci tarafından üretilen referans işareti $r(k)$ 'den hata işareti $e(k)$ bulunur.

$$e(k) = r(k) - y(k) \quad (3.13)$$

Hata işaretinin mutlak değerine göre bir sınır belirlenmiştir. Hata işareti bu sınırın altındaysa DC çıkış geriliminde salınım olmaması için tepki süresi yavaş kontrolör, hata işareti bu sınırın üstündeyse hatanın giderilmesi için tepki süresi hızlı kontrolör uygulanır.

$e(k)$ hata işaretinin seviyesine göre iki farklı kontrolör kullanılarak $u_i(k)$ kontrol işareti oluşturulur.

$0 < e(k) \leq 20$ ise yavaş kontrolör çıkışı yükseltecek yönde bir kademe değişir.
 $-20 \geq e(k) > 0$ ise yavaş kontrolör çıkışı düşürecek yönde değişir.

$e(k) > 20$ ise hızlı kontrolör çıkışı yükseltecek yönde değişir.

$$i = i - \frac{e(k)}{8} \quad (3.16)$$

$e(k) < -20$ ise hızlı kontrolör çıkışı düşürecek yönde değişir.

$$i = i + \frac{e(k)}{8} \quad (3.17)$$

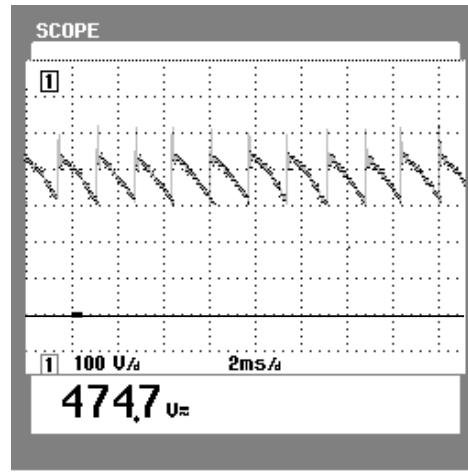
Yukarıdaki koşullara göre oluşturulan kontrol işareti güncellenir.

$$u_i(k+1) = u_i(k) \quad (3.18)$$

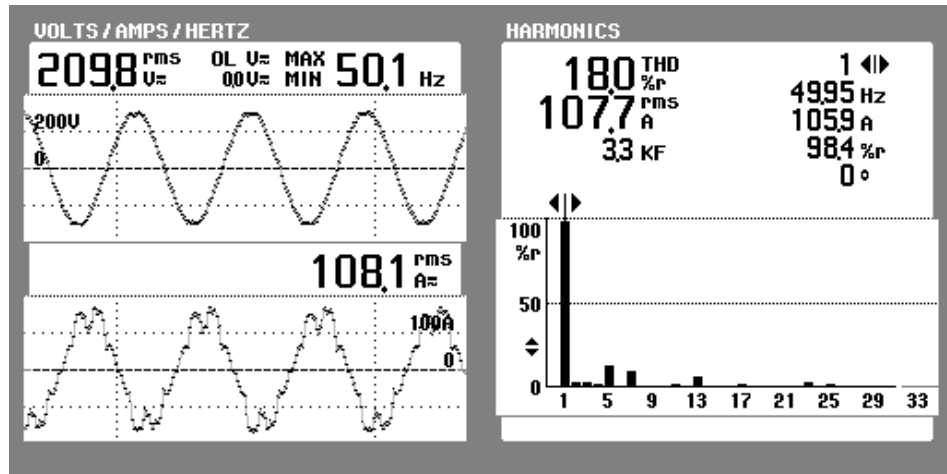
Güncellenen kontrol işareti zamanlayıcı kesme alt programında sayısal üçgen işaretleriyle karşılaştırılır. Üçgen işareti kontrol işaretinden büyükse tristör tetikleme işaretleri oluşturulur. Her sıfır geçiş o faza ait tristör tetikleme işaretleri sıfırlanır.

Tristör tetikleme işaretleri giriş gerilim frekansı 40-60Hz aralığındaysa ve kontrol işareti sınırlandırmaları yapılarak üretilir. Doğrultucu yazılımına ait ana program ve zamana bağlı kesme alt programlarının akış diyagramları Şekil 3.25'te verilmiştir.

12 darbeli doğrultucunun çıkış kondansatörü bağlı olmadan yüksüz haldeki çıkış gerilim dalgası Şekil 3.24a'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi bir periyot içerisinde 12 adet darbe vardır. Böylece DC çıkışın dalgalılığı ve dalgalılığın frekansı arttırılmış ve kullanılması gereken DC kondansatör değeri düşürülmüştür. Yük altındaki giriş gerilim ve akım dalgası Şekil 3.24b'te verilmiştir. Giriş akımı yalnızca şebeke geriliminin tepe noktaları etrafında değil, gerilimin olduğu her noktada çekilmektedir. Bu da hem güç faktörünün yükselmesini hem de Şekil 3.24c'de görüldüğü gibi giriş akım THD değerinin azalmasını sağlamıştır.



(a)



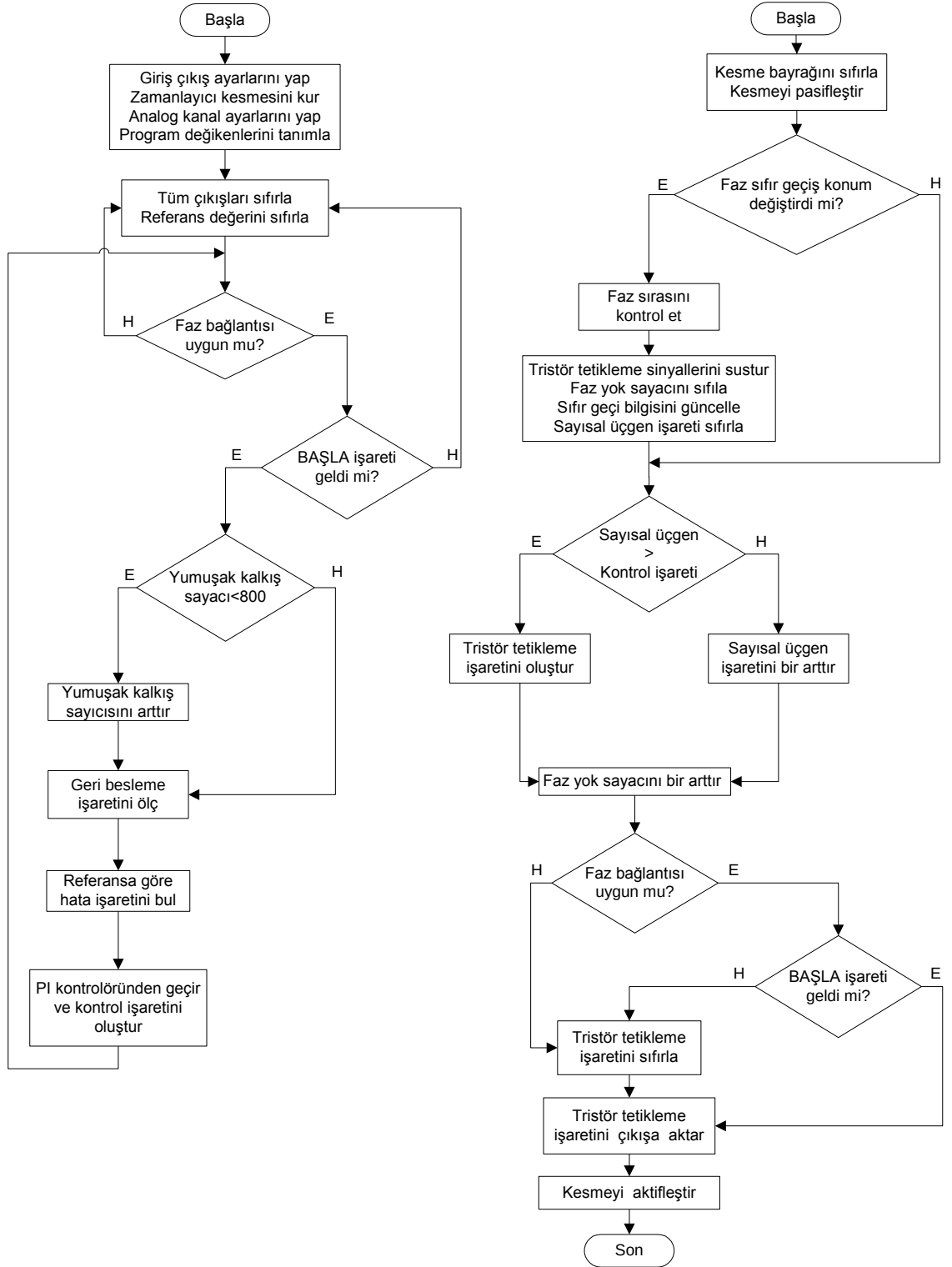
(b)

(c)

Şekil 3.24: a) 12 Darbeli Doğrultu Çıkış Gerilimi

b) Giriş Gerilim ve Akımı

c) Giriş Akım Harmonikleri



(a)

(b)

Şekil 3.25: 12 Darbeli Doğrultucunu Kontrol Yazılımı Akış Diyagramları

a) Ana Program

b) Zamana Bağlı Kesme Alt Programı

4. EVİRİCİ

Evirici doğrultucudan veya akü grubundan aldığı doğru gerilimi alternatif gerilime çevirir. KGK tipine göre bir fazlı veya üç fazlı olarak tasarlanabilir. Beklemesiz (On-Line) KGK'larda çıkış gerilimini sağlayan evirici en önemli bölümdür. Evirici tarafından üretilen alternatif geriliminin ideal bir şebekede olması gereken aşağıdaki özellikleri sağlaması gerekir.

- Sinüzoidal dalga şekli
- Sabit genlik ve frekans
- Süreklilik

Bu özellikleri kısmen sağlamak için evirici çıkış gerilimi, genlik, frekans ve dalga şekli olarak sürekli denetim altındadır. Böylece bu gerilim aşağıda belirtilen sınır değerleri içinde tutulabilir.

- Çıkış gerilimi ve hata oranı: 220 V $\pm$ %1
- Çıkış frekansı ve hata oranı: 50 Hz $\pm$ %0,1
- Çıkış toplam harmonik bozulma yüzdesi (%THD): %3

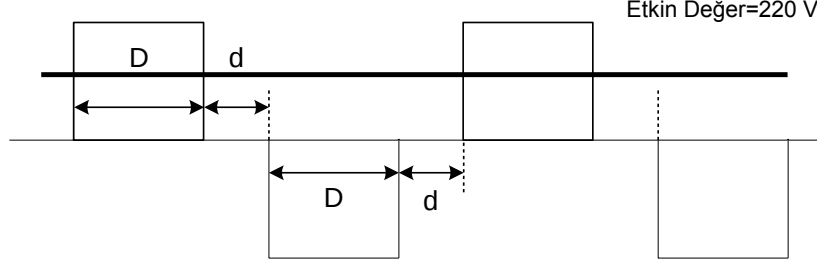
KGK çıkışındaki filtre edilmiş gerilim harmonik bozulmasının küçük olması istenir. KGK tarafından beslenen yükler çok kez doğrusal olmadığından kaynağa akım harmonikleri basarlar. Buna rağmen harmonik bozulma olmaması gerekmektedir. Bu durum ancak evirici geriliminin aralıksız kontrolü ile sağlanabilir. Gerilim dalgasındaki toplam harmonik bozulma (THD) şu şekilde hesaplanır [4]:

$$\%THD = 10 \times \frac{\left(\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2 \right)^{1/2}}{V_1} \quad (4.1)$$

Denklemden V_1 çıkış gerilim temel bileşeninin etkin değerini, V_h ise mertebesi h olan harmoniğin etkin değerini göstermektedir. Uygulamalarda toplam harmoniğin %3'ün altında kalması şartı aranmaktadır.

KGK'larda kullanılan evirici çeşitleri arasında kare dalga eviriciler ve kısmi kare dalga eviriciler yer almaktadır. Kare dalga eviricilerde çıkış gerilimin genliği, girişteki doğru gerilime bağlı olarak değişir. Bu eviricilerde yalnızca çıkış geriliminin frekansı kontrol edilebilir. Sinüs benzeşimli (kısmi kare dalga)

eviricilerde çıkış geriliminin frekans ve genlik ayarları yapılabilir. Çıkış dalga şekli kara dalgaya benzemekle beraber, belirli aralıklarda gerilimin yok edilmesi ilkesi ile çalışmaktadır. Çıkış geriliminin değerine göre belirli bölgelerde sıfır gerilim bölgesinde çalışılarak gerilim ayarı yapılabilmektedir.



Şekil 4.1 : Sinüs Benzeşimli Evirici Çıkışı

Şekil 4.1’de sinüs benzeşimli KGK’nın çıkış gerilim dalga şekli ve etkin değeri verilmiştir. Evirici çıkışının bir periyottaki doluluk (D) ve boşluk (d) miktarları değiştirilerek çıkış geriliminin etkin değeri sabit tutulmaktadır. Çıkış geriliminin etkin değeri 220V’tan büyük ise boşluk oranı arttırılmaktadır. Evirici giriş gerilim seviyesi düştükçe (akülerin boşalmasıyla) etkin değerin sabit kalması için darbelerin doluluk oranı arttırılmaktadır. Bu yöntem KGK’lardaki en basit bir darbe genişlik modülasyonu (DGM) uygulamasıdır.

Yukarıda anlatılan evirici yöntemleri beklemeli ve hat etkileşimli KGK’larda kullanılırlar ve çıkış gerilim kaliteleri kötü olduğundan büyük L-C filtreleri gerektirirler.

Yüksek frekansta DGM kullanılarak tasarlanan eviricilerde ise çıkış gerilim kalitesi yüksek olabilmektedir. Böylece hem KGK’nın değişken yüklere karşı dinamik cevap süresi kısalmakta, hem de çıkış filtresinin maliyeti azalmaktadır.

DGM’li evirici tasarlanırken KGK faz sayısına göre evirici tasarımı farklılık gösterir. Ancak ister bir fazlı isterse üç fazlı olsun modern güç kaynaklarındaki eviricilerde DGM yöntemleri kullanılmaktadır ve çıkış katında galvanik izolasyonu sağlayan yalıtım transformatörü kullanılmaktadır [4].

4.1 Temel Evirici Yapıları

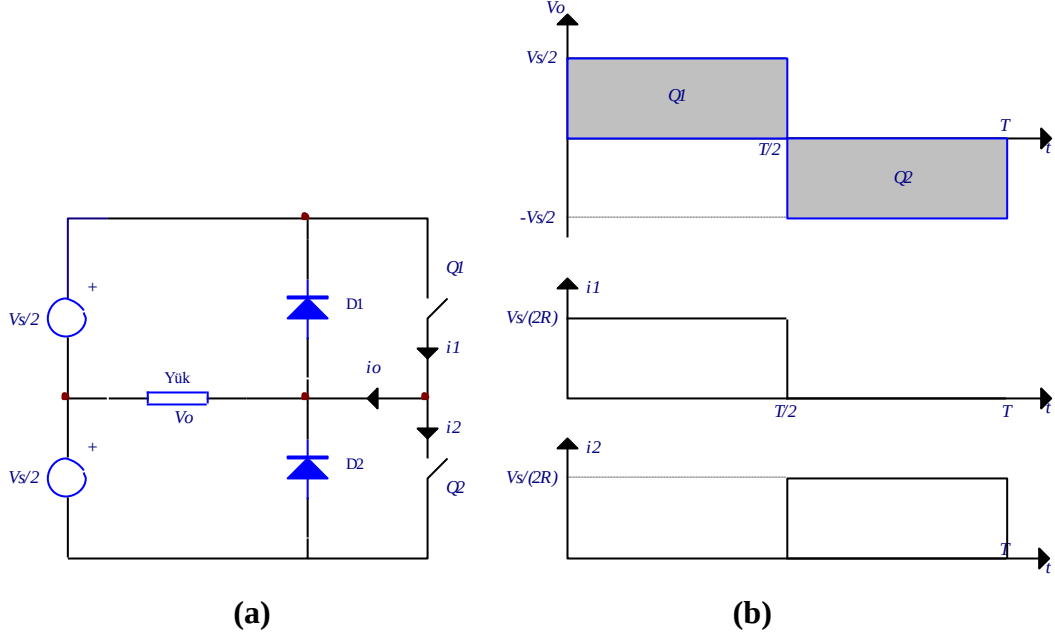
Devre yapıları ve faz sayısına göre temel başlıca evirici yapıları şu şekildedir.

4.1.1 Bir Fazlı Yarım Dalga Evirici

Bu evirici devresi Şekil 4.2a’da görüldüğü gibi iki anahtarlama elemanından meydana gelmektedir. Q1 anahtarı T/2 yarım periyot boyunca iletimde iken yükün

uçlarındaki gerilim değeri $V_s/2$ 'dir. Diğer $T/2$ zamanda ise Q2 iletimdedir ve yükün uçlarındaki gerilim $-V_s/2$ 'dir. Aynı koldaki anahtarlama elemanlarının kısa devre olmamaları için geçiş anlarında ölü zaman oluşturulur [6].

Şekil 4.2b'de görüldüğü gibi yükün direnç tipi olması durumunda akım gerilimi izleyerek kare dalga şeklinde değişir.

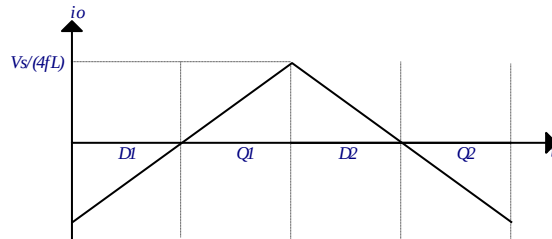


Şekil 4.2 : Bir Fazlı Yarım Dalga Evirici

a) Devre Yapısı

b) Çıkış Gerilim ve Akım Dalgası

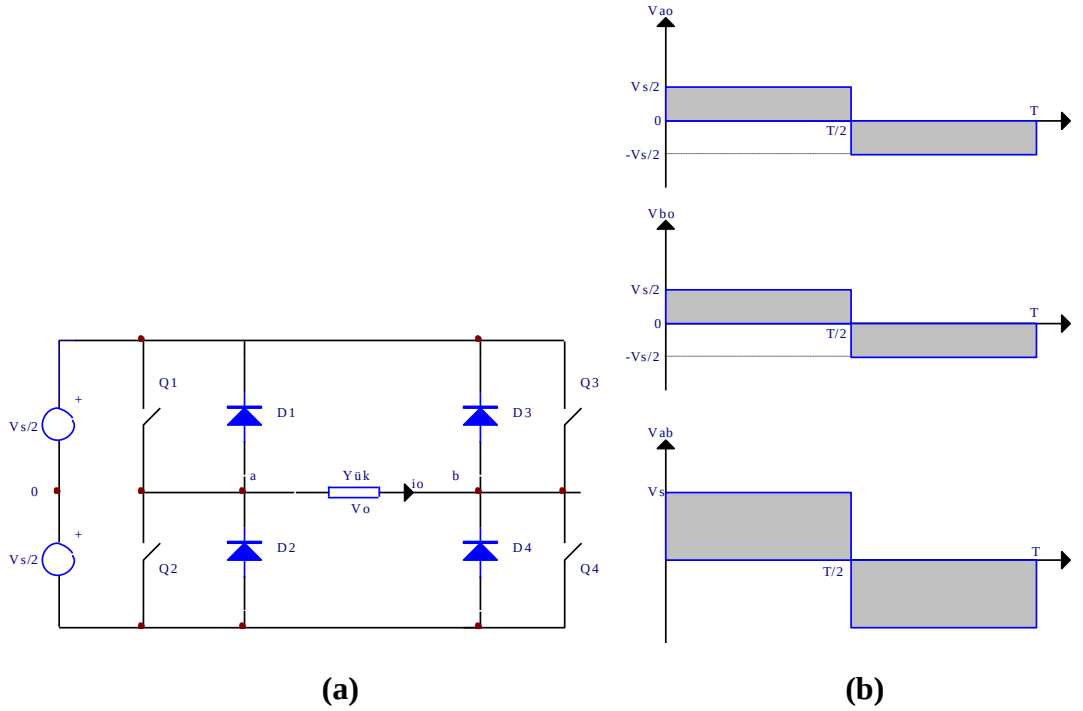
Yükün endüktif olması durumunda ise yük akımı çıkış gerilimi ile ani olarak değişmez. Şekil 4.3'te gösterildiği gibi, eğer Q1 anahtarı $T/2$ anında iletimden çıkarılırsa yük akımı sıfır oluncaya kadar devresini D2 diyotu üzerinden tamamlar. Aynı şekilde Q2 anahtarı T anında iletimden çıkarılırsa yük akımı devresini D1 diyotu üzerinden tamamlar [6].



Şekil 4.3 : Bir Fazlı Yarım Dalga Evirici Endüktif Yük Akımı

4.1.2 Bir Fazlı Tam Dalga Evirici

Şekil 4.4a’da görülen tam dalga evirici bir doğru gerilim kaynağı ve dört adet anahtardan oluşmaktadır. Anahtar elemanlarından Q1 ve Q2 aynı anda ilettime sokulduğunda yüke V_s giriş gerilimi uygulanır. Q3 ve Q4 anahtarlar elemanları aynı anda ilettime sokulduğunda ise yüke $-V_s$ gerilimi uygulanır. Yükün direnç tipinde olması durumunda akım gerilim değerini izleyerek Şekil 4.4b’de görüldüğü gibi kare dalga şeklinde değişir [6].

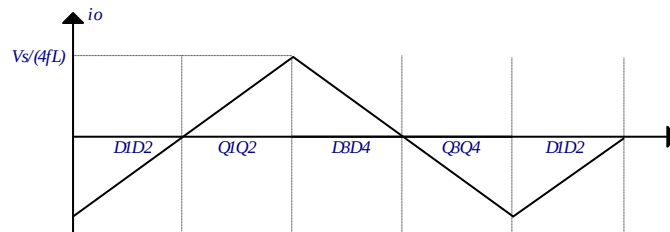


Şekil 4.4 : Bir Fazlı Tam Dalga Evirici

a) Devre Yapısı

b) Çıkış Gerilim ve Akım Dalgası

Endüktif yük durumunda ise ilk yarım periyotta Q1 ve Q2 anahtarları iletimden çıkarılırsa yük akımı sıfır oluncaya kadar D3 ve D4 diyotlarından geçer. Diğer yarım periyotta ise Q3 ve Q4 anahtarları iletimden çıkarılırsa yük akımı sıfır oluncaya kadar D3 ve D4 diyotlarından geçer. Bu durum da Şekil 4.5’te gösterilmiştir [6].



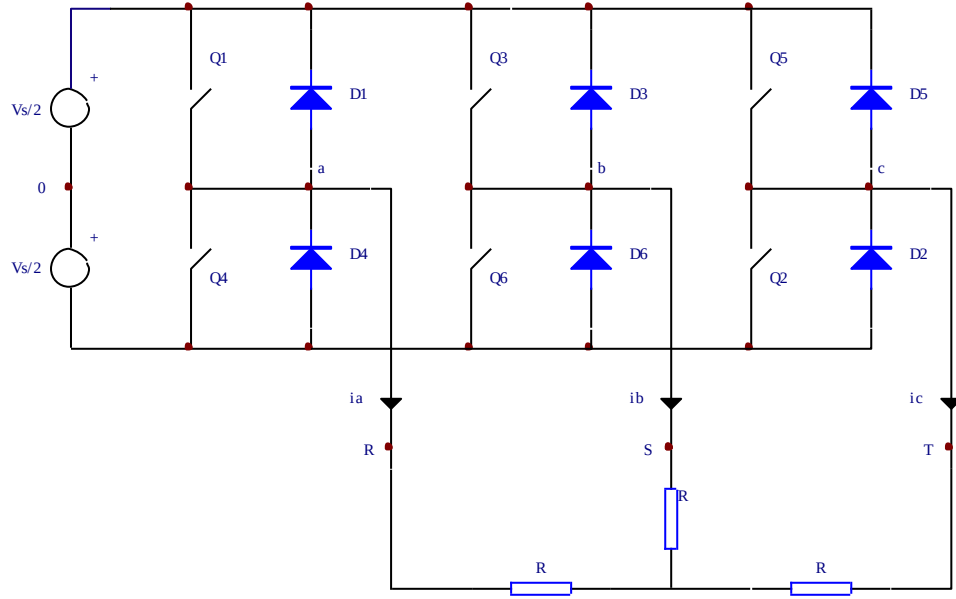
Şekil 4.5 : Bir Fazlı Tam Dalga Evirici Endüktif Yük Akımı

4.1.3 Üç Fazlı Eviriciler

Üç fazlı eviriciler genellikle yüksek güçlü uygulamalarda kullanılırlar. Birbirlerine göre 120° kayık gerilim üreten üç adet bir fazlı eviricinin paralel bağlanarak üç fazlı evirici oluşturulabilir ancak maliyeti yüksek olur. Üç faz çıkışlı evirici altı adet anahtarlama elemanı ve altı adet diyotun Şekil 4.6'da görüldüğü gibi bağlanması sonucu da oluşturulabilir. Anahtarlama elemanlarına 180° veya 120° iletim olmak üzere iki çeşit kontrol işareti uygulanarak üç faz çıkış elde edilebilir.

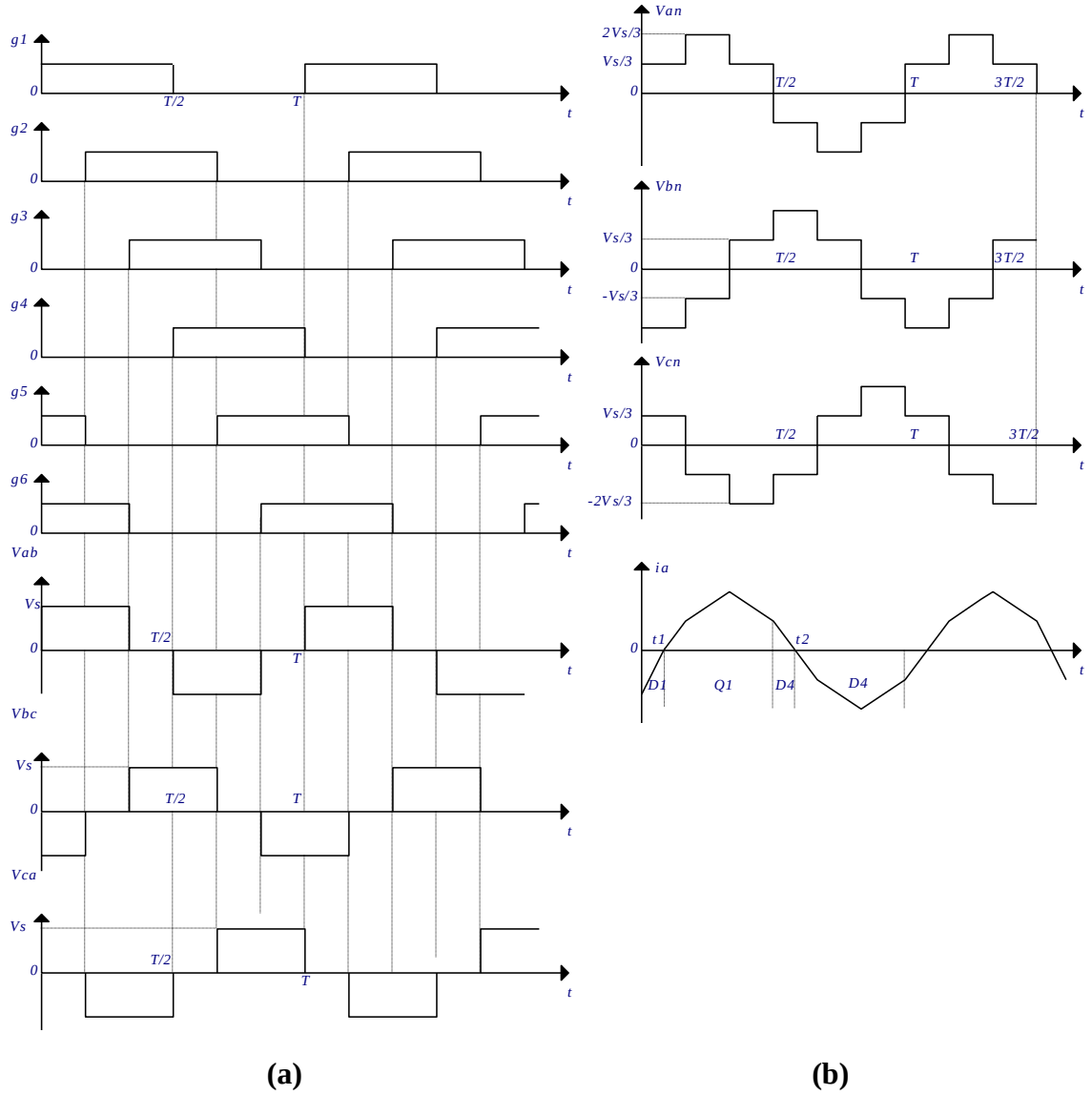
4.1.3.1 180° İletim

Bu tip üç fazlı eviricide her anahtar bir periyotta 180° iletimdedir. Herhangi bir zamanda üç anahtar aynı anda iletimde kalır. Şekil 4.6'da Q1 anahtarlama elemanı iletimde ise a noktası DC giriş geriliminin pozitif ucuna bağlı, Q4 anahtarlama elemanı iletimde ise a noktası DC giriş geriliminin negatif ucuna bağlıdır. Aynı anda bu iki anahtar iletimde olamaz, aksi takdirde DC giriş gerilimi kısa devre olur. Anahtarlama elemanlarının iletim ve kesim durumuna göre bir periyot içerisinde altı anahtarlama modeli oluşur ve her durumda sadece üç anahtar iletimde kalarak aralarında 60° bir faz farkı ile anahtarlama elemanları iletime sokulur [6].



Şekil 4.6 : Üç Fazlı Evirici Devresi

Şekil 4.7a'da her bir anahtarlama elemanının bir periyot içerisinde iletim durumları ve fazlar arası gerilim eğrileri verilmiştir. Yükteki gerilim düşümlerine göre her bir faz için gerilim eğrileri ve bir faz için akım eğrisi Şekil 4.7b'de verilmiştir. 180° iletimli çalışmada çıkış geriliminin dalga şekli yükün özelliğinden bağımsızdır [6].

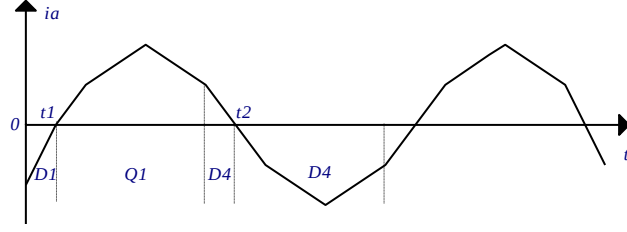


Şekil 4.7 : Üç Fazlı Evirici 180° İletim

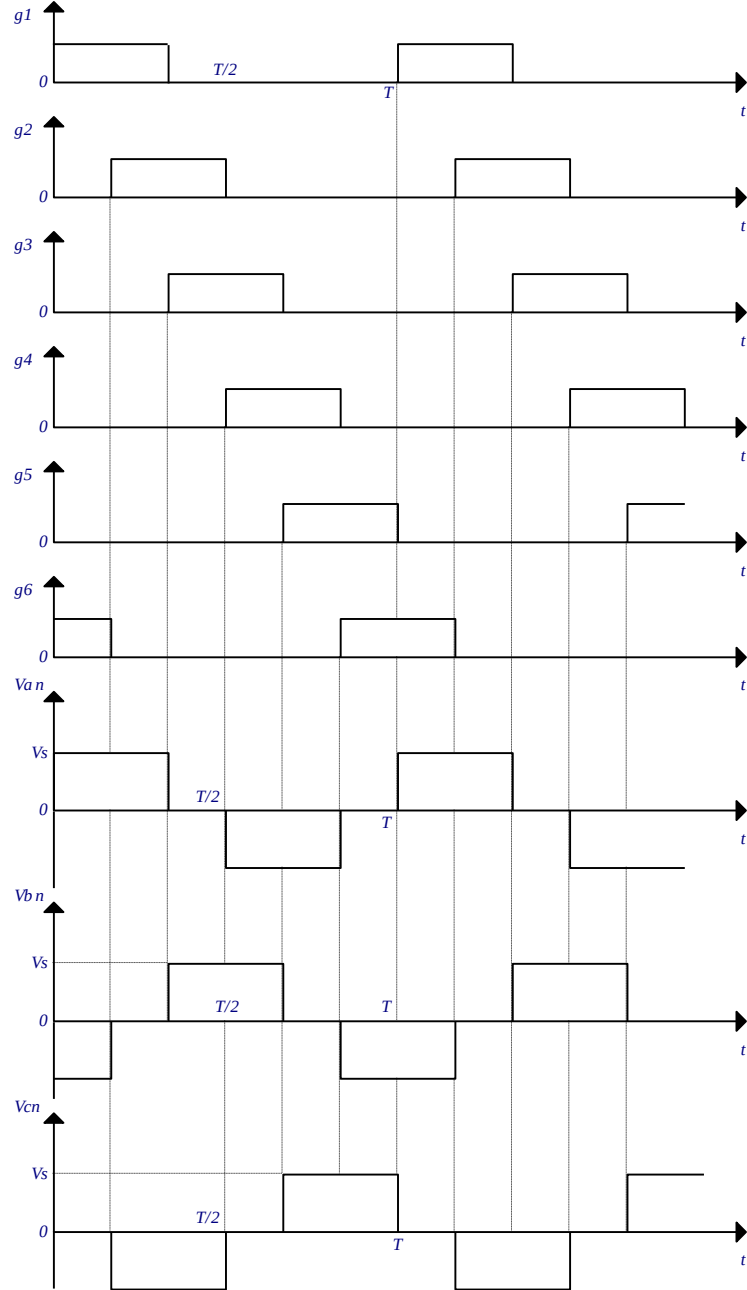
a) Anahtarlama Elemanı İletim Durumları

b) Faz Gerilim Dalgaları

Evirici çıkışına direnç tipi yük bağlı ise anahtarlama elemanlarının ters diyotlarının herhangi bir fonksiyonu yoktur. Ancak yük endüktif olduğunda akım gerilimi Şekil 4.8’de görüldüğü gibi geriden takip edecektir. Q4 anahtarlama elemanı iletimde olmadığı zaman i_a akımı yolunu D1 diyotu üzerinden tamamlayacaktır. Bu nedenle a yük ucu yönünü değiştirdiği t_1 anına kadar D1 diyot üzerinden DC kaynağa bağlanacaktır. $t = t_1$ anına kadar Q1 anahtarı iletimde olmayacaktır. Benzer şekilde Q4 anahtarlama elemanı $t = t_2$ anında iletime geçecek ve o ana kadar i_a akımı yolunu D4 diyotu üzerinden tamamlayacaktır.



Şekil 4.8 : Üç Fazlı Evirici 180° İletim Akım Dalgası



Şekil 4.9 : Üç Fazlı Evirici 120° İletim Anahtar Durumları

4.1.3.2 120° İletim

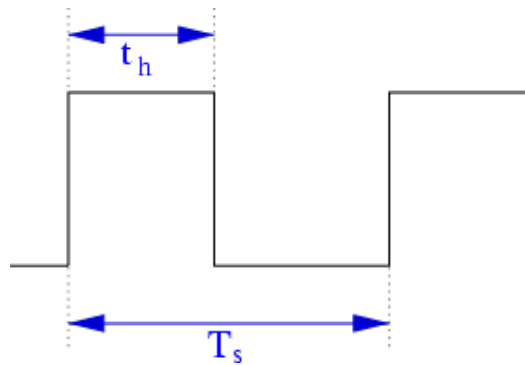
Bu tip iletim durumunda her bir anahtarlama elemanı bir periyot içinde 120° iletimdedir. Herhangi bir anda yalnızca iki anahtarlama elemanı iletimdedir. Her bir anahtarlama elemanı çalışma frekansına bağlı olarak 120°'lik darbelerle tetiklenirse Şekil 4.9'da görüldüğü gibi faz gerilimleri 120° genişliğinde pozitif ve negatif gerilim bloklarında oluşur. Bu çalışma şeklinde yarı iletkenlerin iletimde olmadığı 60° sürelerde çıkış gerilimi dalga şekli yükün özelliğine bağlıdır.

4.2 Mikroişlemci Destekli Üç Fazlı DGM'li Evirici Uygulaması

Üç fazlı evirici, doğrultucu çıkışından veya akü grubundan aldığı doğru gerilimi, birbirinden temel frekansa göre 120° kaydırılmış sinüs dalga şeklinde alternatif gerilime dönüştürür. Evirici çıkış gerilimi SDGM (Sinüzoidal Darbe Genişlik Modülasyonu) ile kontrol edildiğinden, çıkış dalga şekli ve çıkışın etkin değeri, evirici yük ve giriş gerilimi değişimlerinden bağımsızdır. Ayrıca evirici çıkışı belirli aralıklardaki (49,5 Hz-50,5 Hz) şebeke frekansına senkronudur. Bu aralıkların dışında ise kararlı 50Hz'lik alternatif gerilim üretir.

4.2.1 Sinüzoidal Darbe Genişlik Modülasyonu

Belirli bir frekanstaki bir işaretin çalışma oranının (D) başka bir giriş işareti ile kontrol edilmesi olayına darbe genişlik modülasyonu denir. Birçok kuvvetlendirici kontrol devresinde kullanılmaktadır. Çalışma oranı D Şekil 4.10'da gösterildiği gibi t_h doluluk süresinin, işaretin periyodu olan T_s zamanına bölünmesi olarak tanımlanır. [7]



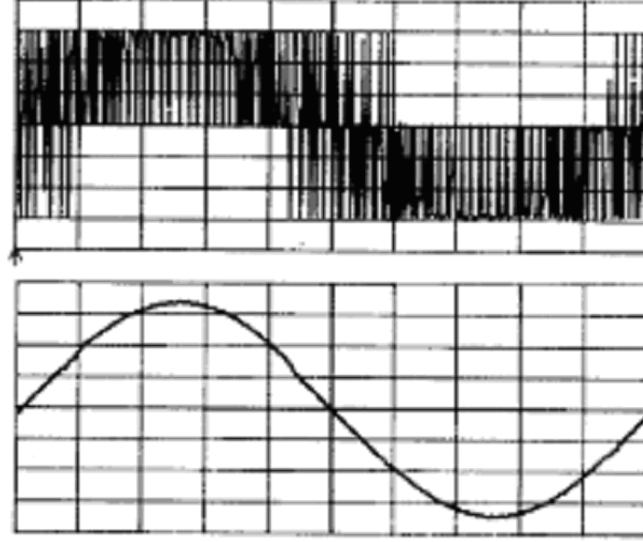
Şekil 4.10 : Darbe Genişlik Modülasyonu

$$D = \frac{t_h}{T_s} \quad 0 \leq D \leq 1 \quad (4.2)$$

Sinüzoidal darbe genişlik modülasyonu (SDGM) ise darbe genişlik modülasyonu yöntemi kullanılarak sinüs işaretinin elde edilmesidir. Bu yöntem sayesinde

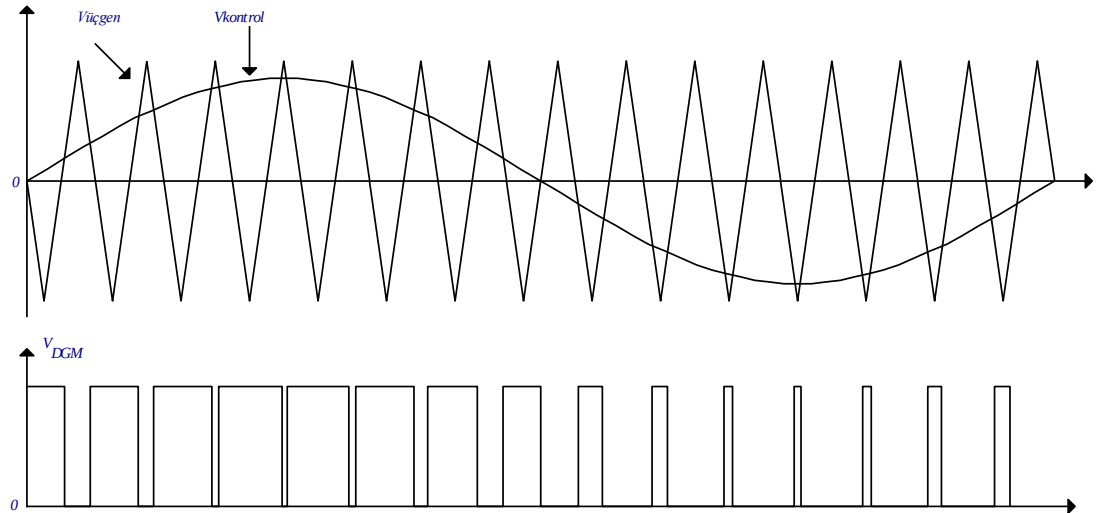
anahtarlama elemanları (IGBT, MOSFET) her periyot boyunca belirli bir oranlarda iletme ve kesime geçirerek sonuçta değişken genlikli sinüs işareti elde edilebilmektedir. SDGM ile anahtarlama elemanı üzerinde yalnızca anahtarlama anında kayıplar meydana gelir. Aksi taktirde anahtarlama elemanının aktif bölgelerinde çalışarak çalışma anında yüksek kayıplar oluşmaktadır.

Şekil 4.11’de anahtarlama elemanının SDGM çıkışı ve bu çıkışın filtre edildikten sonraki sinüs şekli görülmektedir.



Şekil 4.11 : SDGM ve Filtre Edilmiş Sinüzoidal Gerilim

Eviricide istenen frekansta SDGM sinüzoidal dalga elde etmek için, sinüzoidal bir kontrol işareti Şekil 4.12’de gösterildiği gibi daha yüksek frekanslı bir üçgen dalga ile karşılaştırılır. Üç fazlı eviricide ise çıkış gerilimlerinin büyüklüklerini ve frekanslarını kontrol etmek ve şekillendirmek için aynı üçgen dalga şekli üç adet 120° faz farklı sinüzoidal kontrol gerilimleri ile karşılaştırılır.



Şekil 4.12 : Bir Fazlı Evirici için SDGM’nin Elde Edilmesi

Genliği $V_{\text{üçgen}}$ olan üçgen dalganın frekansı genellikle sabit tutulur ve bu frekans eviricinin anahtarlama frekansını oluşturur. Ancak KGK eviricisinin KGK girişine (şebeke veya jeneratör) senkron olarak çalışması gerektiğinden şebeke frekansının takip edebilmesi için üçgenlerin frekansı değiştirilir.

Taşıyıcı dalga olarak tanımlanan $v_{\text{üçgen}}$ üçgen dalgasının frekansı f_s 'ye taşıyıcı frekansı da denir. Kontrol işareti v_{kontrol} ise anahtarların çalışma oranının ve eviricinin çıkış dalgasının frekansı olan f_1 'i belirler. f_1 ise modülasyon frekansı olarak da isimlendirilir. Ne kadar başarılı bir DGM uygulanırsa uygulansın bir eviricinin çıkış gerilimi hiçbir zaman saf bir sinüs dalga şekline sahip olamaz ve içerisinde frekansı f_1 ile orantılı harmonikler bulunur. Modülasyon genliği olarak tanımlanan m_a oranı şu şekilde tanımlanır.[4]

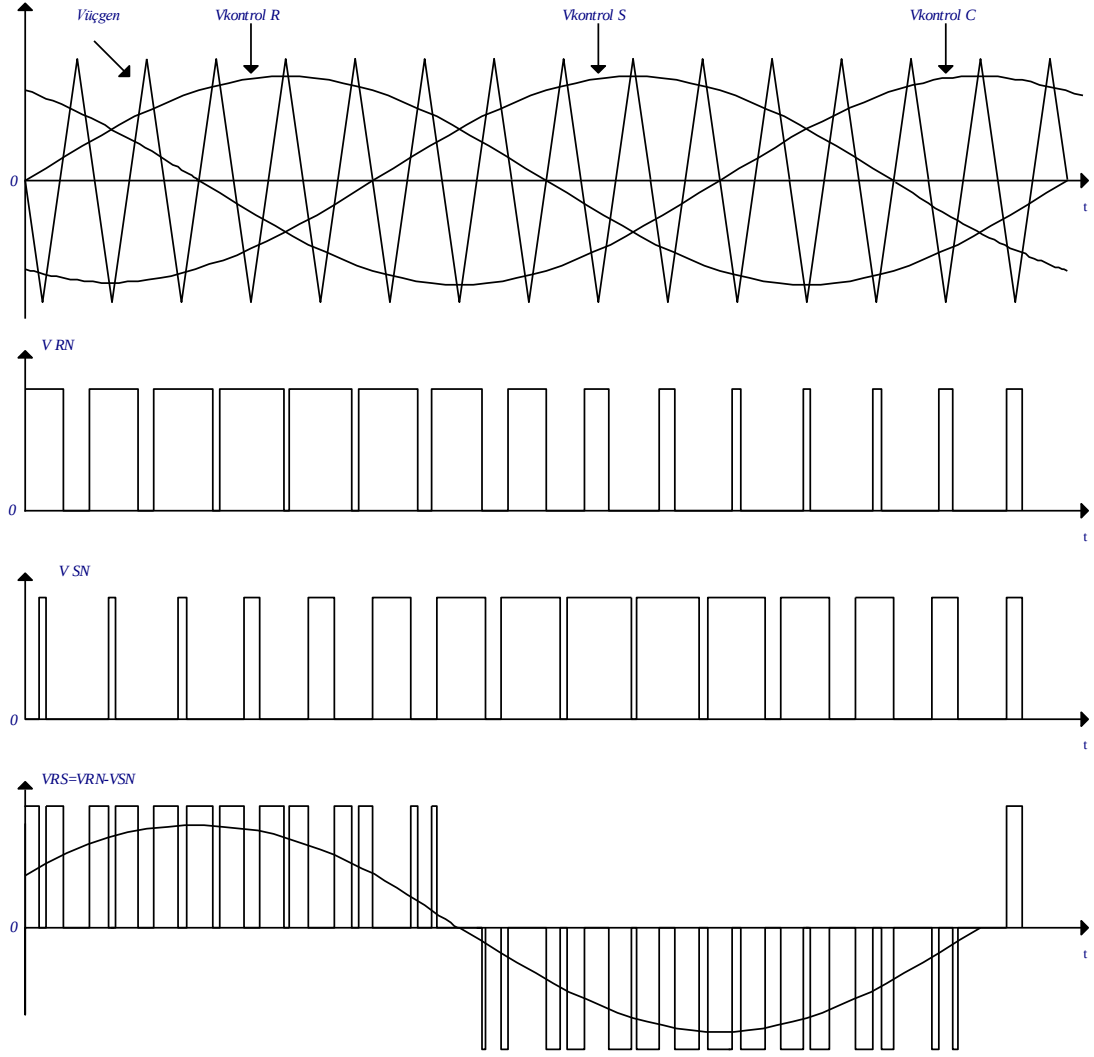
$$m_a = \frac{V_{\text{kontrol}}}{V_{\text{üçgen}}} \quad (4.3)$$

Burada V_{kontrol} kontrol işaretinin genliğini, $V_{\text{üçgen}}$ ise değeri sabit tutulan üçgen dalganın genliğini göstermektedir.

Frekans modülasyon oranı ise aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$m_f = \frac{f_s}{f_1} \quad (4.4)$$

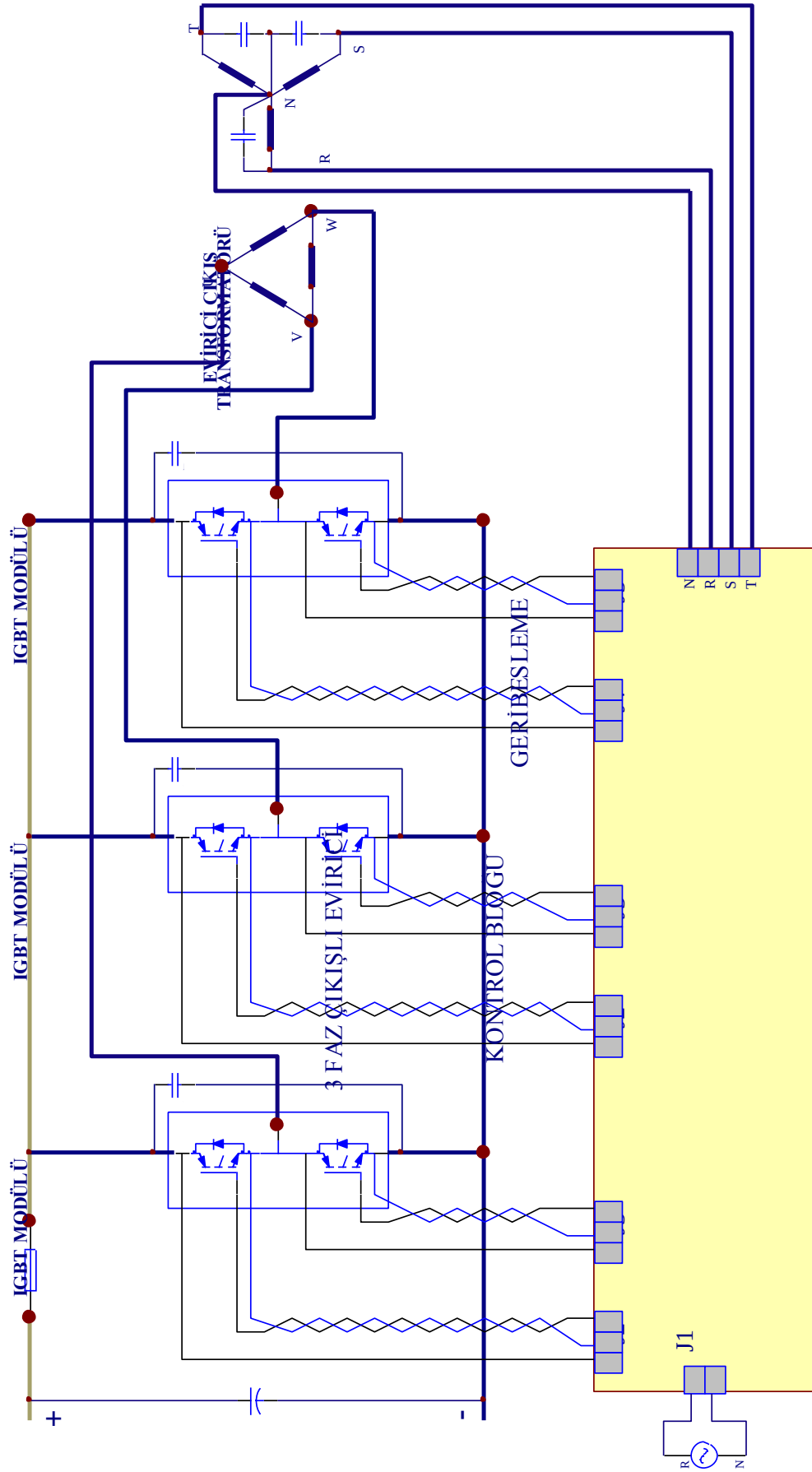
Dalga genişlik modülasyonlu üç fazlı eviricide girişteki sabit doğru gerilim ile üç fazlı çıkış gerilimlerinin büyüklerini ve frekanslarını kontrol etmek ve şekillendirmek amaçtır. Dengeli üç fazlı çıkış gerilimleri elde etmek için, üçgen dalga şekli Şekil 4.13'te görüldüğü gibi üç tane 120° faz farklı sinüzoidal kontrol gerilimi ile karşılaştırılır.



Şekil 4.13 : Üç Fazlı Evirici için SDGM İşaretinin Elde Edilmesi

4.2.2 Evirici Güç Bileşenleri

Evirici güç devresi altı adet IGBT'den oluşan köprü IGBT devresi ve izole transformatör kullanılarak çıkışı birbirinden temel frekansa göre 120° kaydırılmış sinüs çıkışlı üç fazlı evirici yapılmıştır. IGBT'ler SDGM ile sürülerek çıkış geriliminin sinüzoidal olması sağlanmaktadır. Evirici yapısı güç ve kontrol elemanları Şekil 4.14'te gösterilmiştir.

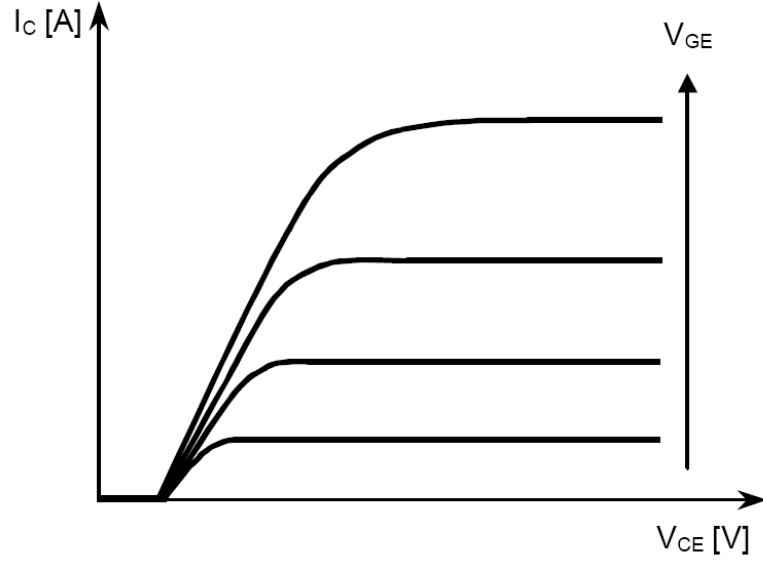


Şekil 4.14 : Üç Fazlı Evirici Güç ve Kontrol Elemanları

Üç faz çıkışlı eviricide kullanılan güç elemanları aşağıdaki başlıklar altında incelenmiştir.

4.2.2.1 IGBT

IGBT (Isolated Gate Bipolar Transistör, kapısı yalıtımlı bipolar transistör) güç MOSFET'i ve bipolar transistör özelliklerinin tek bir yapıda birleştirildiği bir anahtarlama elemanıdır. İletime girilebilmesi için transistörler gibi yüksek değerli sürme akımlarına, kesime sokulabilmesi için de transistörler gibi ek komütasyon devrelerine ihtiyaç duymazlar. İletim durumunda üzerindeki gerilim düşümünün ve dolayısıyla iletim kayıplarının düşük olduğu, iletme girme zamanı diğer anahtarlama elemanlarına göre kısa sürdüğü için büyük değerli akımları üzerinden geçirebilir. IGBT çalışma karakteristiği Şekil 4.15'teki gibidir [4].



Şekil 4.15 : IGBT Çalışma Karakteristiği

IGBT sürme devresinin görevleri aşağıdaki gibidir:

- IGBT sürme devresi anahtarı kesim durumundan iletim durumuna geçirir. Bu işlem sırasında sürme devresi, anahtarlama kayıplarını en aza indirmek için sürme gerilimini gerekli seviyeye hızlı çıkarmalı ve yeterli akımı karşılayabilmelidir. Güç anahtarlama devrelerinde amaç anahtarlama kayıplarını en aza indirmek için mümkün olduğu kısa zamanda anahtarı iletime geçirmektir. Bu nedenle sürme devresi IGBT'nin iletime geçme zamanını düşürmelidir. Bunu yapabilmek için kapı gerilimini istenilen seviyeye hızlı çıkarmak ve yeterli akımı karşılayabilmek gerekir. Ayrıca sürme devresi IGBT'nin iletimde kalmasını sağlamalıdır.

- Güç anahtarı IGBT'yi iletim durumundan kesim durumuna getirmektedir. Güç kaybının büyük olduğu durumlarda aktif bölge boyunca oluşan kesime geçme zamanını kısa tutmalıdır ve IGBT'nin kesimde kalmasını sağlamalıdır.
- IGBT'yi aşırı gerilim ve akımdan güç anahtarını korumalıdır.
- IGBT ile kontrol devreleri arasında elektriksel yalıtımı sağlamalıdır.

IGBT sürme devresinin tasarımında dikkat edilecek konular şunlardır:

- Sürme devresi iki yönlü (bipolar) çalışabilir yapıda olmalıdır. Kesim anında oluşabilecek çevresel gürültülerin sürme devresi tarafından iletim işareti olarak algılanmaması için iletim durumundan kesim durumuna geçilirken tıkama geriliminin altında bir gerilim uygulamak gereklidir.
- IGBT mutlaka bir direnç üzerinden sürülmelidir.
- Kaçak endüktansı azaltmak için sürme devreleri mümkün olduğu kadar güç anahtarının yakınına konulmalı ve sürme sinyallerini taşıyan iletkenler kendi aralarında burulmalıdır.
- Güç elemanının kapısına uygulanan gerilimin değeri eşik değerinin üzerinde olmalı ve kapı giriş eşdeğer kapasitesini doldurabilmedir.
- IGBT'nin sürme devresinden kaynaklı zarar görmesini engellemek için kapı-emetör arasına direnç bağlamak gereklidir.
- IGBT'nin sürme gerilimi çok yüksek olursa zarar görebilir. Bu etkiyi azaltmak için etmek için kapı-emetör arasına gerilim sınırlayıcı (zener diyot) koymak korunma açısından önemlidir.

IGBT'nin temel karakteristikleri V_{ge} (kapı emetör voltajı) ve R_g (kapı direnci) ne göre değişir.

İletim durumunda ($+V_{ge}$) önerilen sürme kapı gerilimi $+15V$ 'tur. Ancak aşağıdaki noktalar dikkate alınmalıdır.

- Sürme gerilimi $+20 V$ üzerine çıkmamalıdır.
- Kapı geriliminin dalgalanma oranı $\%10$ 'u geçmemelidir.
- Kollektör-Emetör arası iletim durumundayken V_{ge_sat} doyum gerilimi $+V_{ge}$ sürme gerilimi arasındaki ilişki ters orantılıdır. Bu yüzden $+V_{ge}$ ne kadar büyük olursa V_{ge_sat} o kadar küçük olacaktır. İletim anahtarlama zamanı ve kayıpları $+V_{ge}$ 'nin artması ile azalır. Anahtar kapatıldığında yüksek değerlikli $+V_{ge}$ karşıt kollardaki voltaj yükselmesine neden olur.

- IGBT kapalı konumdayken bile kötü çalışma şartlarından dolayı dv/dt ileri kutuplanma oranı ve kollektör darbe akımı ısı kaynağı olabilir. Bu genellikle $+V_{ge}$ 'nin yüksek olduğu durumlarda meydana gelir. Yüksek değerli $+V_{ge}$ anahtarlama elemanının kısa devre tepkisinde kötüleşmeye neden olur.

Kesim durumunda ($-V_{ge}$) önerilen kapı sürme gerilimi -5 ile -15 V arasındır. Ancak aşağıdaki açıklamalar dikkate alınmalıdır.

- Tıkama gerilimi -20 V altına düşmemelidir.
- Kapı geriliminin dalgalanma oranı %10'u geçmemelidir.
- IGBT kesime gitme karakteristiği özellikle kollektör akımı düşme eğilimine girdiğinde $-V_{ge}$ gerilimine bağlıdır. $-V_{ge}$ değeri $-5V$ 'den büyük yapılmamalıdır. İletim hattı çok uzun olursa bu durum daha da önem kazanır.

Kapı direnci (R_g) konusunda dikkat edilmesi gereken noktalar şunlardır.

- Anahtarlama açma kapama karakteristikleri R_g direncine bağlıdır. Büyük değerli R_g direnci çok uzun anahtarlama zamanı ve anahtarlama kaybı demektir.
- R_g 'nin büyüklüğü oranında dv/dt yükselmesi süresince akım geçişini uzatacaktır.
- Bazı IGBT'lerde aşırı akım taşıma, aşırı akım limitleri ve kısa devre tepkisi R_g direnciyle bağlantılıdır. Büyük değerli R_g kısa devre akımı tepkisinin iyileşmesini sağlamakta ancak akım limitini düşürmektedir.

IGBT sürme akımı (I_g) giriş kondansatörünü doldurur ve boşaltır.

$$R_t = R_g + R_{içdirenc} \quad (4.5)$$

olmak üzere, sürme akımının tepe değeri (4.6) denkleminde hesaplanır.

$$I_{gp} = \frac{+V_{ge} + |-V_{ge}|}{R_t} \quad (4.6)$$

f_c taşıyıcı frekans, Q_g kapının sıfırdan $+V_{ge}$ gerilimine kadar doldurulması ve C_{ies} IGBT giriş kapasitesi olmak üzere sürme akımının ortalama değeri (4.7)'den bulunur.

$$I_g = +I_g = -I_g = f_c [Q_g + (C_{ies} \times |-V_{ge}|)] \quad (4.7)$$

İletim ve kesimdeki anahtarlama kayıpları (4.8a) ve (4.8b) eşitliklerinden;

$$P_{on} = f_c \left[\frac{1}{2} (Q_g + |V_{ge}| + C_{ies} |-V_{ge}|^2) \right] \quad (4.8a)$$

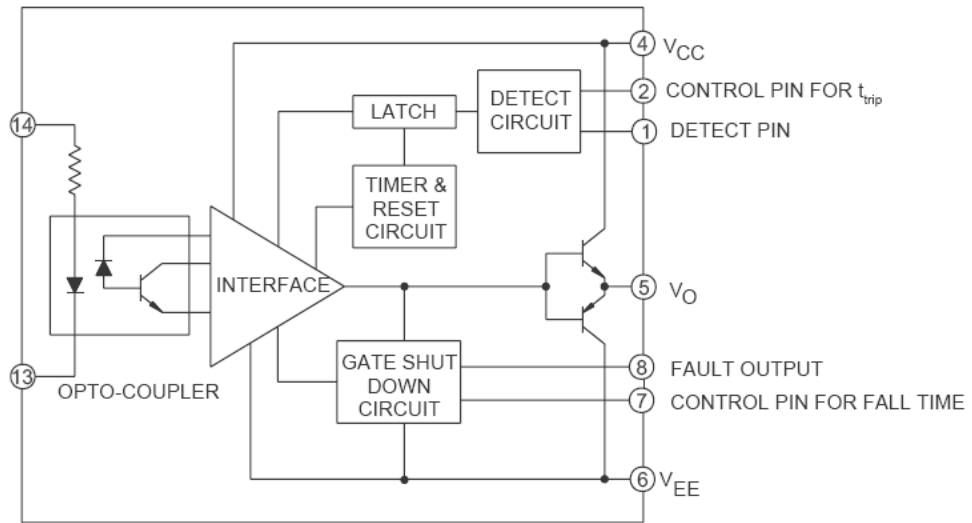
$$P_{on} = P_{off} \quad (4.8b)$$

toplam anahtarlama kaybı P_t (4.8c) eşitliğinden bulunur.

$$P_t = f_c (Q_g | +V_{ge} | +C_{ies} | -V_{ge} |^2) \quad (4.8b)$$

Anahtarlama olayı yüksek frekanslarda yapıldığı ve anahtarlama elemanlarının kesime geçmesi belli bir zaman alacağı için birbiri ardına ilettime geçen ve DC güç kaynağını kısa devre edebilecek elemanların ilettime geçme anları arasına ölü zaman olarak adlandırılan kısa bir gecikme zamanı bırakılmalıdır. Aksi takdirde DC güç kaynağı kısa devre olur [7].

Üç fazlı eviriciyi sürmek için blok diyagramı Şekil 4.16'te gösterilen M57962CL-01 kapı sürücü melez (hybrid) devresi kullanılmıştır. Sürücü melez devrelerinin beslemesi için çok çıkışlı çapraz (flyback) bir anahtarlama güç kaynağı kullanılmıştır. Eviricide kullanılan IGBT'lerden emetörleri ortak olanların sürücüleri çok çıkışlı güç kaynağının tek çıkışından beslenmektedir. Diğer üç IGBT'nin emetörleri farklı gerilim seviyesinde olduğu için sürücü melezleri çapraz güç kaynağının birbirinden yalıtılmış çıkışlarından beslenmektedir. Emetörleri ortak olmayan tristörlerin emetörleri arasında gerilim farkı olduğundan izole kaynaktan sürülmezlerse bu noktalar arasından yüksek akım geçer.



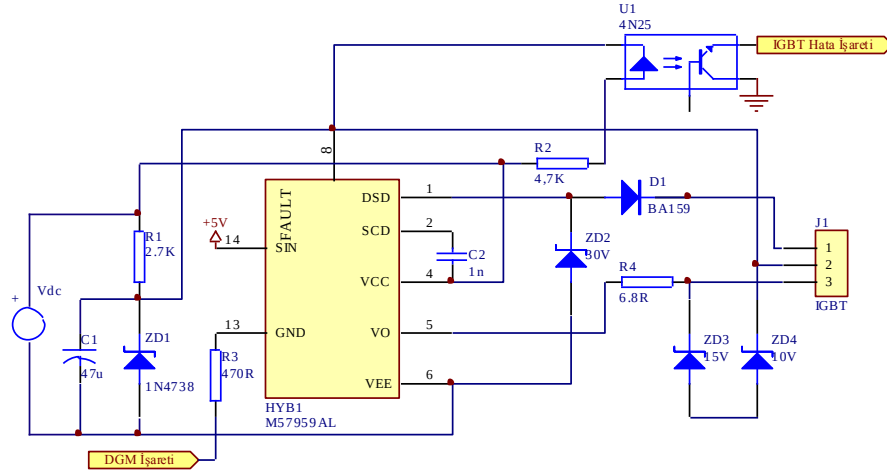
Şekil 4.16 : IGBT Sürücü Melez Tüm Devre

IGBT kapı sürücü kapı kuvvetlendirici olarak kullan tüm devre;

- Giriş çıkış arasında optik-bağdaştırıcı ile elektriksel yalıtım sağlar, böylece güç devresindeki yüksek frekansta anahtarlama dolay meydana gelen gürültü kontrol devresinden yalıtılır.

- Anahtarlama DGM işaretin doluluk oranından bağımsız olarak IGBT'nin kararlı olarak kesime ve iletme geçirilmesini sağlayan sürme voltajı üretir [8].
- Desaturation algılayıcı ile kısa devre koruması sağlar. Kısa devre olduğunda bir hata işareti oluşturularak IGBT sürme durdurulur.
- Maliyeti, devre karmaşıklığı ve fazla yer kaplaması gibi olumsuz özellikleri vardır.

IGBT sürmek için kullanılan sürme devresi Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.17 : IGBT Sürme Devresi

Şekil 4.17'de IGBT'nin kollektör ucuna bağlı olan yüksek gerilimli hızlı D1 diyotu IGBT kesimdeyken kollektör-emetör V_{CE} gerilimi yüksek olduğundan kesimdedir. Diyotun anot ucu bir karşılaştırıcının (comparator) (+) ucuna bağlıdır. Karşılaştırıcının diğer ucuna ise sabit bir gerilim uygulanmıştır. Devre diyot kesimdeyken karşılaştırıcının (+) ucu (-) ucundan yüksek gerilimde olacak ve karşılaştırıcı çıkışı lojik 1'e yükselecek şekilde çalışmaktadır.

Normal çalışmada IGBT'ye iletme geçme işareti verildiğinde IGBT iletme geçer, V_{CE} gerilimi düşer ve karşılaştırıcının (+) ucundaki gerilim seviyesi diyot tarafından (-) ucundaki gerilim seviyesinin altına düşürülür. Bu durumda karşılaştırıcı çıkışı lojik '0' olmaktadır. IGBT'ye kesime geçme işareti verildiğinde V_{CE} gerilimi yükselir ve karşılaştırıcının (+) ucundaki gerilim seviyesi (-) ucundaki gerilim seviyesinin üstüne çıkar ve karşılaştırıcı çıkışı lojik '1' olur. Ancak IGBT çıkışının kısa devre olması durumunda IGBT sürme işareti uygulanmamasına rağmen kollektör emetör arası yüksek V_{CE} gerilimini karşılaştırıcının (+) ucu yükselecektir. Bu da karşılaştırıcı çıkışını lojik '1' yapacaktır. Bu anormal durum "desaturation" olarak tanımlanır ve sürme işaretinin karşılaştırıcı çıkışıyla VE'lenmesi sonucunun

lojik '1' olmasıyla algılanır. Bu işaret algılandığında IGBT sürme işareti, gerilim sıçramasını önleyecek şekilde bir eğimle sıfıra çekilir (soft-shutdown). Sürme işaretinin sıfıra çekilme süresi 5 μ s'dir. Ayrıca diğer sistemlerin bu bilgiyi aktarmak için desaturation çıkış bilgisi oluşturulur.

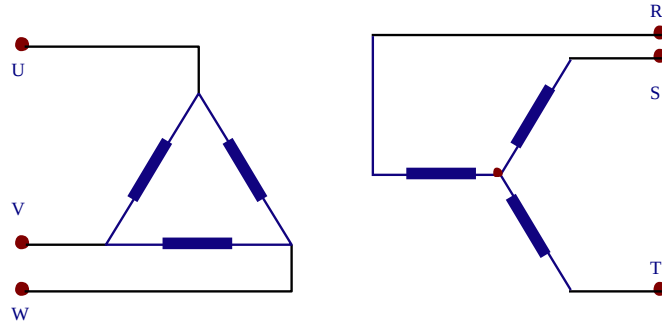
Doğrultucu ile evirici arasındaki enerji taşıma hattındaki endüktif etkiyi azaltmak ve DC baradaki gerilim sıçramalarını bastırmak için IGBT uçlarına Şekil 4.14'te gösterildiği kondansatörler bağlanmıştır.

Üç fazlı eviricide kullanılan IGBT'lerin seçimi çıkış gücü, güç faktörü, üçgen-yıldız bağlı çıkış transformatör dönüşüm oranı, transformatör verimi, aşırı yük değeri ve evirici çıkış gerilimi tepe değeri dikkate alınarak yapılmıştır.

Evirici çıkışına motor bağlandığında, yük eviriciye enerji verecek biçimde jeneratör olarak çalışabilir. Bu durumda evirici IGBT ters diyotları üzerinden doğrultucu olarak çalışır, DC giriş gerilimi yükselir ve güç elemanları anma değerlerinin üzerinde çalışmak zorunda kalırlar. Bu durumda evirici girişine paralel bağlı direnç bir anahtarlama elemanı ile devreye sokularak fazla enerji boşaltılmalıdır.

4.2.2.2 Çıkış Transformatörü

Eviricide girişi 3x178V, çıkışı 3x380V olan 50Hz'lik izole transformatör kullanılmıştır. Şekil 4.18'deki gibi giriş sargıları üçgen, çıkış sargıları yıldız bağlanmıştır.

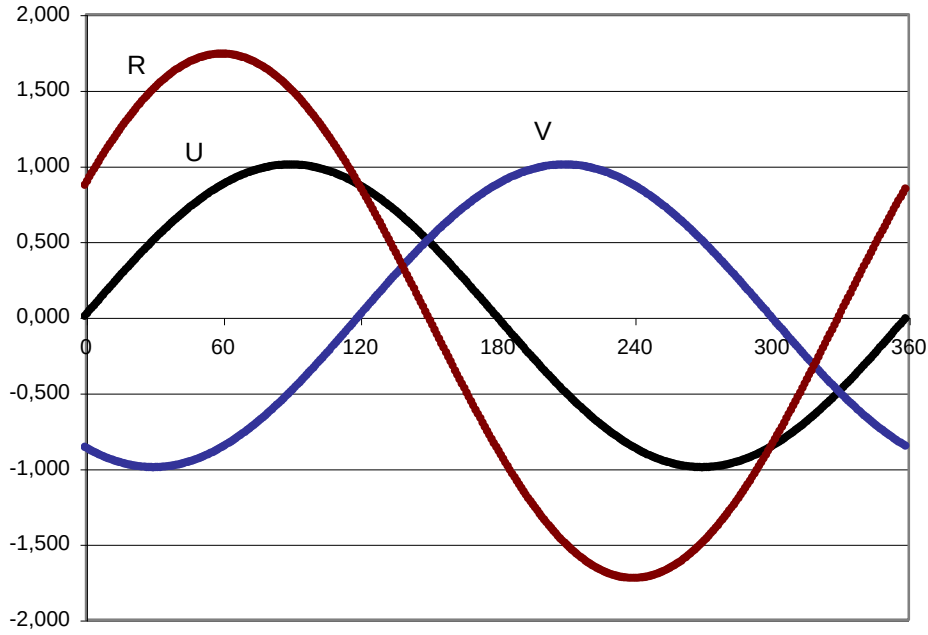


Şekil 4.18 : Üçgen-Yıldız Bağlı Evirici Transformatörü

Evirici transformatörünün üçgen ucuna uygulanan giriş gerilimine göre yıldız ucundan elde edilen çıkış gerilimleri şu şöyledir.

- R çıkış fazı girişteki U-V fazlarından
- S fazı girişteki V-W arası faz farkından
- T fazı girişteki W-U arası faz farkından elde edilmektedir.

Şekil 4.19'da U ve V fazlarından elden edilen U fazına göre 30° kayık R fazı birim ölçekte gösterilmiştir.



Şekil 4.19 : R fazının U ve V Fazlarından Elde Edilmesi

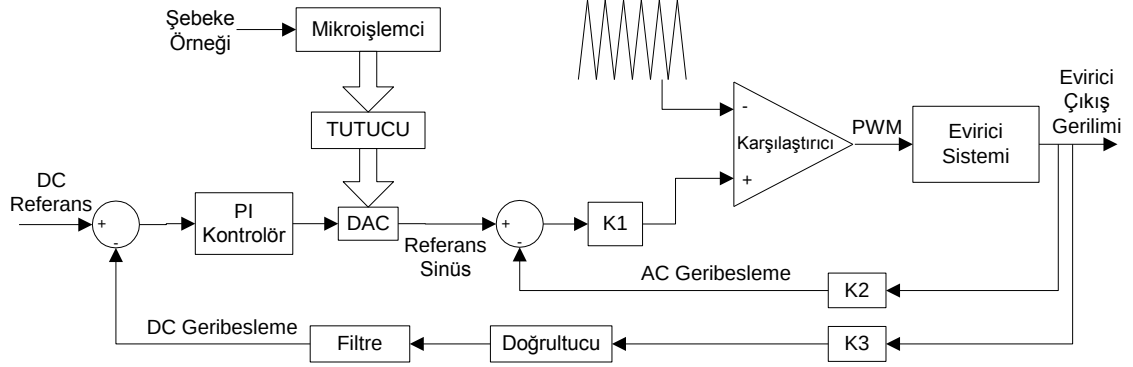
Çıkış izole çıkış transformatörü sayesinde evirici katında kullanılan IGBT'lerde bir kısa devre olduğunda evirici çıkışındaki yüklerin DC gerilim ile karşı karşıya kalması önlenmektedir. Ayrıca faz, nötr ve toprak hatlarındaki gerilim sıçramaları, elektriksel gürültü gibi problemleri çıkışa doğrudan etki etmemesini sağlamaktadır.

4.2.2.3 Çıkış Kondansatörü

Transformatör çıkışına yıldız bağlantı şeklinde bağlanan AC kondansatörler transformatörün endüktans etkisiyle beraber çıkış gerilimini üzerindeki yüksek anahtarlama frekans etkisini filtre ederler.

4.2.3 Mikroişlemci Destekli Üç Fazlı Evirici Kontrolü

Üç fazlı eviricinin çıkış gerilim etkin değerini ve dalga şeklini kontrol etmek ve senkronizasyonu sağlamak için Şekil 4.20’de gösterildiği gibi mikroişlemci destekli analog kontrolörler gerçekleştirilmiştir.



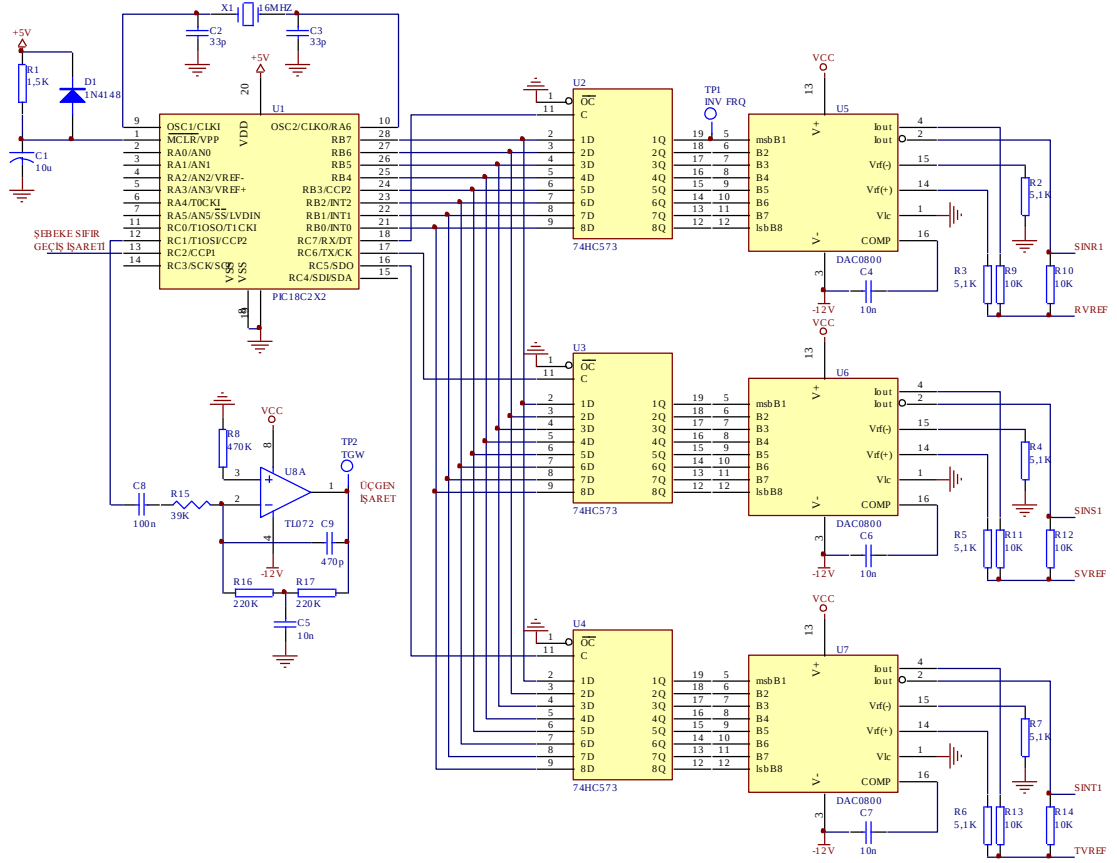
Şekil 4.20 : Evirici Kontrol Bloğu

4.2.3.1 Evirici Kontrol Devresi

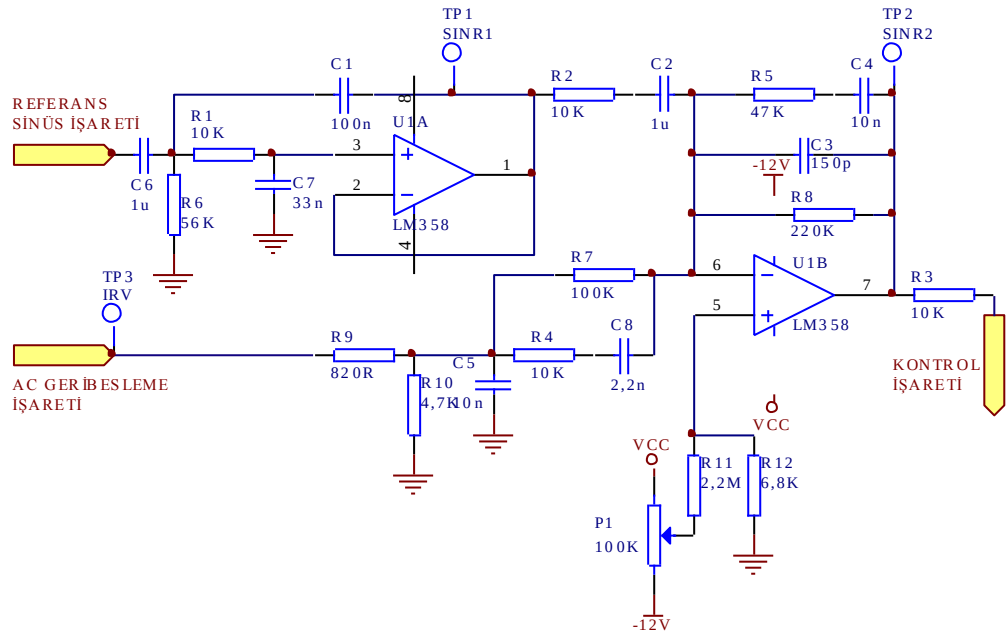
8 bit çözünürlükteki referans sinüs işareti PIC18F252 mikroişlemcisi tarafından üretilmektedir. Aynı mikroişlemci bacağından üç fazlı referans sinüs işaretini oluşturmak için üç adet tutucu tüm devresi kullanılmaktadır. Böylece her bir faz için mikroişlemcinin ayrı çıkışı kullanılmamaktadır. Üretilen sinüs işaretleri belirli frekans aralığında şebekeye senkron olmaktadır (frekansları ve fazları şebekeninkiyile aynıdır). Tutucu tüm devre çıkışlarındaki sayısal sinüs bilgileri dijital analog çevirici (DAC) ile analog işarete dönüştürülmektedir. Mikroişlemci ve tutucu tüm devresine ait devre şeması Şekil 4.21’de verilmiştir.

DGM işaretlerinin oluşturulmasında kullanılan iki yönlü üçgen dalga oluşturan ve senkronizasyon işlemi sırasında frekansı değişen kare dalga da mikroişlemci tarafından oluşturulmaktadır. Bu kare dalga Şekil 4.21’de gösterildiği gibi bir integral alıcı devreden geçirilerek üçgen dalga şekli elde edilmektedir.

Şekil 4.22’de DAC’ tan çıkan basamaklı referans sinüs işareti bir alçak geçiren filtreden geçirilir. Filtre edilmiş referans işaret ile evirici çıkışından alınan ters işaretli geri besleme örneği fark kuvvetlendirici (Error Amplificator) ile oluşturulan toplama devresinde toplanmakta ve sinüs çıkış dalganın şeklini oluşturan kontrol işareti oluşmaktadır. Fark kuvvetlendirici pozitif ucuna bağlı değişken direnç ile kontrol işaretinin dolayısıyla çıkış işaretinin ortalama değerinin sıfır olması sağlanmaktadır. Aksi takdirde bir DC gerilim oluşmakta ve çıkış transformatörü doyuma gitmektedir.



Şekil 4.21 : Referans Sinüs Üretme Devresi

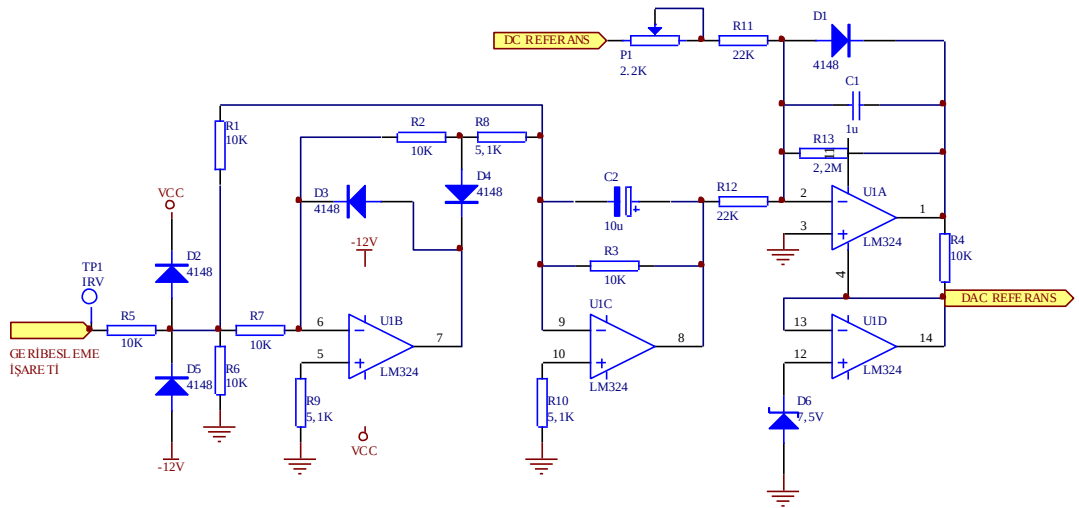


Şekil 4.22 : Çıkış Gerilimi Dalga Şekli Kontrolörü

Elde edilen kontrol işareti sabit genlikli ve frekanslı üçgen dalga işaretiyle karşılaştırmacı tüm devre (comparator) tarafından karşılaştırılır. Böylece IGBT'leri

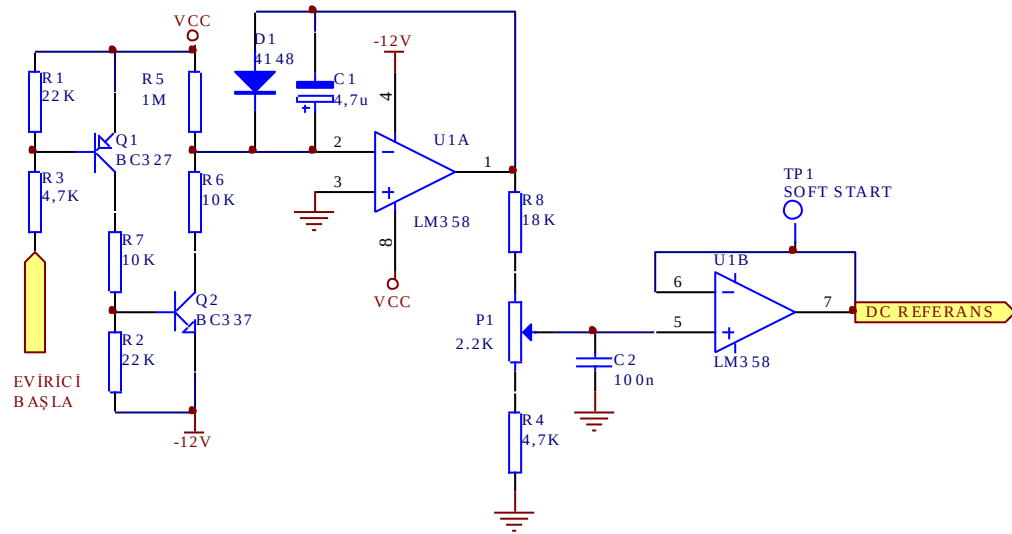
[illegible]

69



Şekil 4.25 : Çıkış Gerilimi Etkin Değer Kontrol Devresi

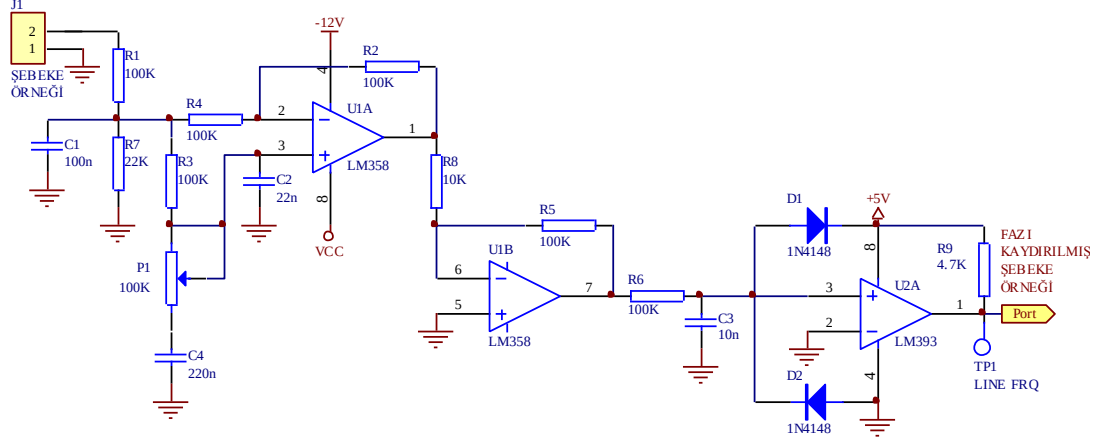
Evirici kontrol kartına her başla işareti geldiğinde evirici sisteminin yumuşak-kalkış ile başlatılması için DC referans işaretini rampa şeklinde üreten devre Şekil 4.26'da verilmiştir. Bu DC referans, değişken direnç ile ayarlanabilmekte böylece her üç faz çıkışı birden dengeli olarak değiştirilebilmektedir.



Şekil 4.26 : Yumuşak Kalkış Devresi

Şebeke ve evirici fazları arasındaki farkın minimum olması gerekmektedir. Çünkü KGK çıkışı her an şebeke aktarım veya evirici durumlarının birinden diğerine geçebilir. Bu geçişin KGK çıkışın kesintiye uğramadan gerçekleşmesi veya KGK güç elemanlarına zarar vermemesi için evirici çıkışının şebekeye senkron olması gerekmektedir. Bu amaçla şebekenin R fazının sıfır geçiş örneği mikroişlemcinin

YAKALAMA (CAPTURE) modülüne verilmiştir. Şebek sıfır geçiş örneğini oluşturan devre Şekil 4.27’de verilmiştir.



Şekil 4.27 : Faz Kaydırma Devresi

Şebeke sıfır geçiş örneğinin fazı transformatör ve diğer elemanların etkisiyle farklı miktarlarda kayabilmektedir. Şekil 4.27’deki faz kaydırma devresi ile bu hata giderilmekte ve şebeke ile evirici çıkışı hatasız senkron hale getirilmektedir.

4.2.3.2 Evirici Kontrol Kartı Destek Yazılımı

Klasik KGK uygulamalarında şebekeye senkron referans sinüs işaretini üretme işlemi frekans bölücü, EEPROM ve faz kitleme çevrim (Phase Locked Loop-PLL) tüm devreleri kullanılarak yapılmaktadır. Tüm devreler yerine mikroişlemcisi kullanıldığında referans sinüsü oluşturan örnek sayısı arttırıldığından, evirici çıkış geriliminin kalitesi artmaktadır. Ayrıca mikroişlemcinin çevre elemanları daha az olduğu için sistem çevresel etkilerden (sıcaklık, besleme gerilimi, zaman) daha az etkilenmektedir. Böylece senkronizasyon problemleri ve maliyet azalmakta, güvenilirlik arttırmaktadır. Mikroişlemci destek yazılımı PIC18F252 mikroişlemcisine ve MCC18 derleyicisi kullanarak yapılmıştır

Mikroişlemci tarafından üretilen birbirine göre 120° faz farkı olan üç adet referans sinüslerden her biri 100 adet örnekten oluşmaktadır.

Üç fazlı evirici kontrol kartı destek yazılımı temel olarak üç ana kısımdan oluşmaktadır.

Yüksek öncelikli olarak atanan zamana bağlı kesme alt programında;

- Tutucu tüm devrelerini uygun anlarda aktifleştirerek referans sinüsler oluşturulur.
- Senkronizasyon işlemini gerçekleştirmek için ana programda belirlenen kendi dallanma süresi değiştirilir.

- Üçgen işaretin kaynağı olan, değişken frekanslı kare dalga üretilir. Bu işaretin periyodu 50Hz'lik dalga için 100 μ sın'dır ve şebeke frekansına bağlı olarak değişir.
- Senkronizasyon durumunu ana program içerisinde kontrol etme anları belirlenir.

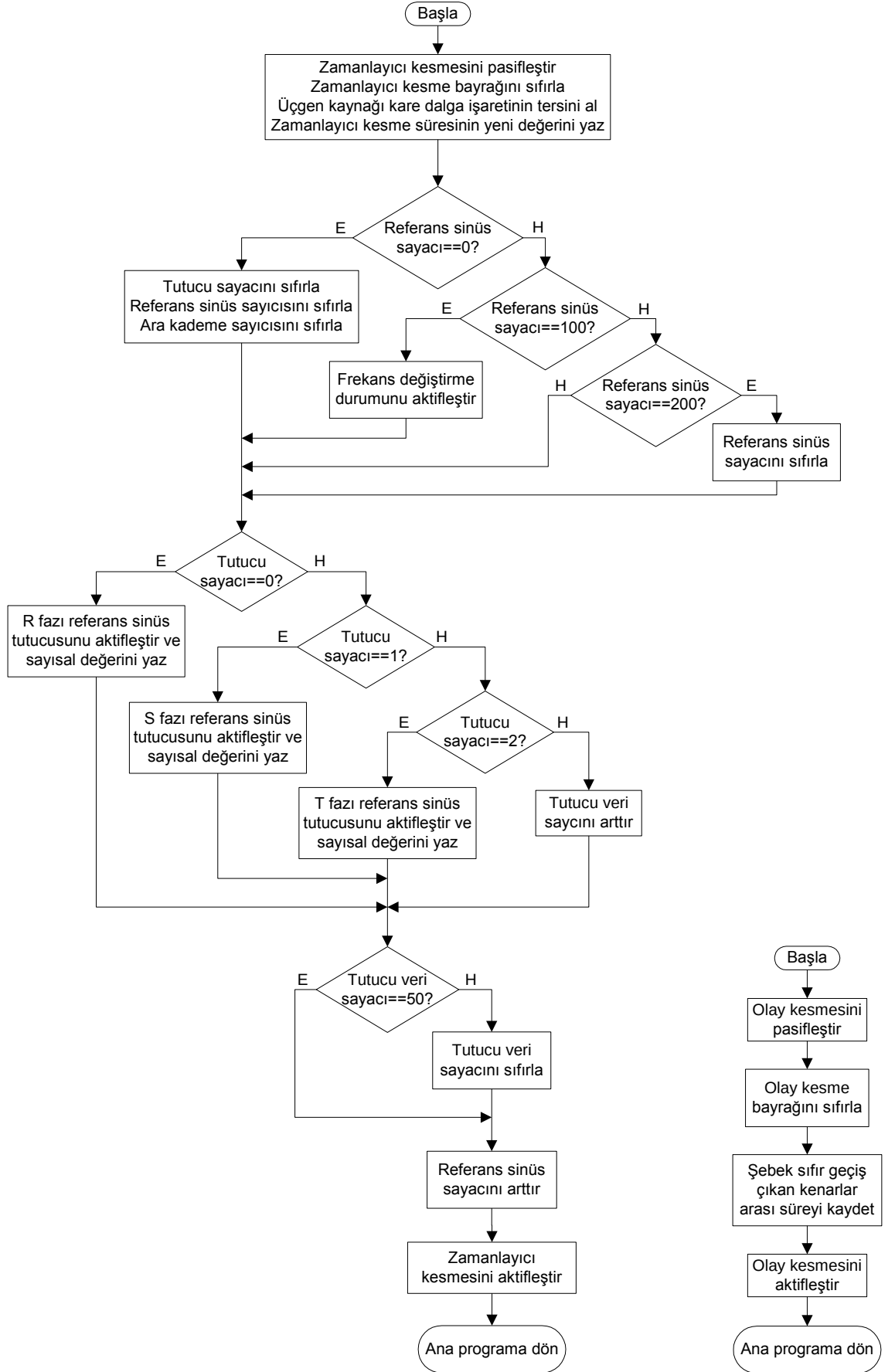
Düşük öncelikli olarak atanan olaya bağlı kesme alt programında;

- YAKALAMA modülü kullanılarak şebeke sıfır geçiş çıkan kenarlar arası süre ölçülür.

YAKALAMA modülü bu programda şu şekilde çalışır. Şebeke sıfır geçişi çıkan kenarlarında mikroişlemci donanımsal olarak sayıcı içeriğini YAKALAMA modülü değişkenine aktarır ve kesme bayrağını aktifleştirir. Kesme alt programının içinde yazılımla kesme bayrağı silinir ve YAKALAMA sayacı sıfırlanır. Taşma olduğu durumda taşma bayrağı aktif olur.

İki kesmenin çakıştığı durumlarda kare dalganın bozulmaması sıfır geçiş işaretinin algılanmasındaki hataya tercih edilmiştir. Çünkü kare dalgada meydana gelen bozulmalar üçgen işaretin bozulmasına neden olmakta ve IGBT sürmede sorunlar çıkarmaktadır. Ayrıca bu şekilde çalışma, referans sinüs işaretinin bozulmamasını sağlamakta ve evirici çıkış geriliminin THD değerini düşük tutmaktadır.

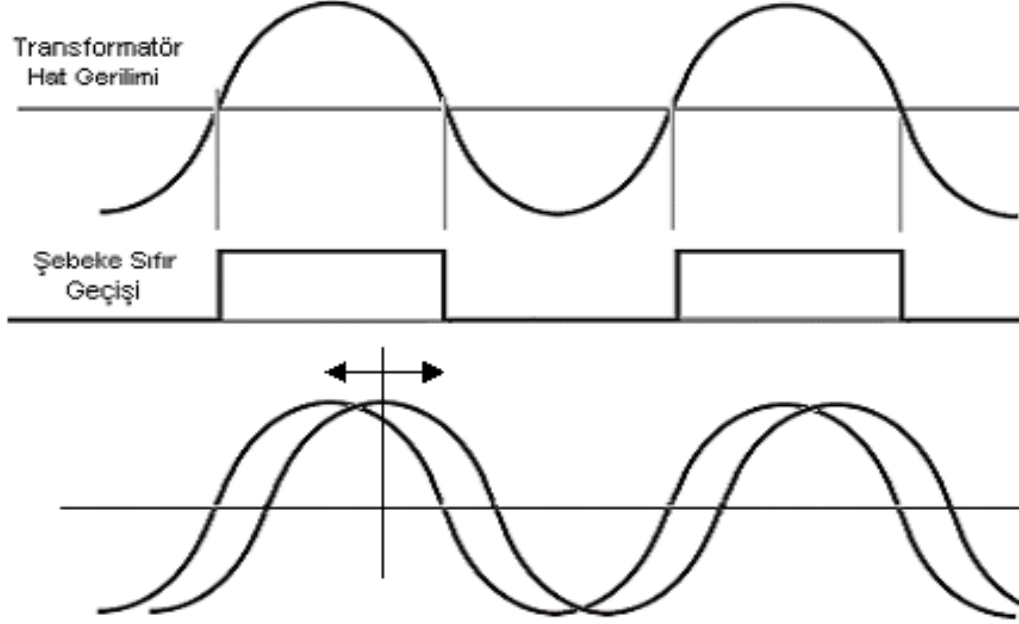
Bu iki kesme alt programına ait akış diyagramları Şekil 4.28'te verilmiştir.



Şekil 4.28 : Evirici Kesme Alt Programları Akış Diyagramları

Ana program çevriminde referans sinüs işaretlerinin şebekeye senkron olabilmesi için şebeke sıfır geçiş anlarına göre zamanlayıcı kesme alt programının yürütülme süreleri belirlenir.

Evirici çıkışının şebekeye senkron olmadığı ve işaretlerin gözlenmesi için tetiklemenin şebekeden alındığı varsayılın. Bu koşullar altında şebeke faz örneği osiloskop üzerinde sabit kalacaktır. Şekil 4.29’te görüldüğü gibi referans sinüs işaretinin frekansı, şebeke frekansından büyükse sola, küçükse sağa kayacaktır.



Şekil 4.29 : Şebeke-Evirici Çıkışı Senkronizasyon Durumu

Her referans sinüs başlangıç anında YAKALAMA modülünün zamanlayıcı içeriği okunur. Bu zamanlayıcı içeriğinin bir sonraki ölçüme artması veya azalmasına göre referansın sinüsün şebekeye yaklaşma veya şebekeden uzaklaşma durumunda olduğu belirlenir. Şekil 4.30’da verilen akış diyagramına göre referans sinüs frekansı değiştirilir ve her iki dalganın senkron olması sağlanır. Referans sinüsün frekansı değiştirilirken şebekeye 1Hz/sn hızla yaklaşması sağlanır. Daha yüksek hızda frekans değişimleri evirici çıkışına bağlı yüklerin çalışmasını olumsuz yönde etkilemektedir.

Referans sinüs frekansı, zamanlayıcı kesmesinin yürütülme sıklığı değiştirilerek güncellenir.

Zamanlayıcı kesmesi şu şekilde çalışır. Her 0,25 μ sn’de bir artan 8 bitlik zamanlayıcı sayacının yazılımla değere ulaşması durumunda mikroişlemci donanımsal olarak sayacın içeriği sıfırlar, kesme bayrağını aktifleştirilir ve program döngüsünü kesme alt programına dalandırır. Kesme alt programında yazılımla kesme bayrağı silinir ve gerekiyorsa 8 bitlik kesme sınır değeri güncellenerek zamanlayıcı kesme süresi değiştirilir.

Zamanlayıcı sayacının sınır değeri 200 olarak atandığında,
zamana bağlı kesme süresi $200 \times 0,25 \mu\text{sn} = 50 \mu\text{sn}$,

400 örnekten oluşan referans sinüsün frekansı,

$$\frac{1}{400 \times 50} = 50\text{Hz} \text{ olmaktadır.}$$

Sınır değer 201 olarak atandığında

zaman kesme süresi $201 \times 0,25 \mu\text{sn} = 50,25 \mu\text{sn}$,

400 örnekten oluşan referans sinüsün frekansı,

$$\frac{1}{400 \times 50,25} = 49,75\text{Hz} \text{ olmaktadır.}$$

Yukarıda görüldüğü gibi sınır değerin bir artması, referans sinüs frekansını 0,25Hz değiştirmiştir. Bu geniş aralık referans sinüs frekansının salınmasına neden olmakta ve şebeke frekansına senkron olmasını zorlaştırmaktadır. Ara değer frekansları elde etmek için 8 değişkenli bir tablo oluşturulmuştur.

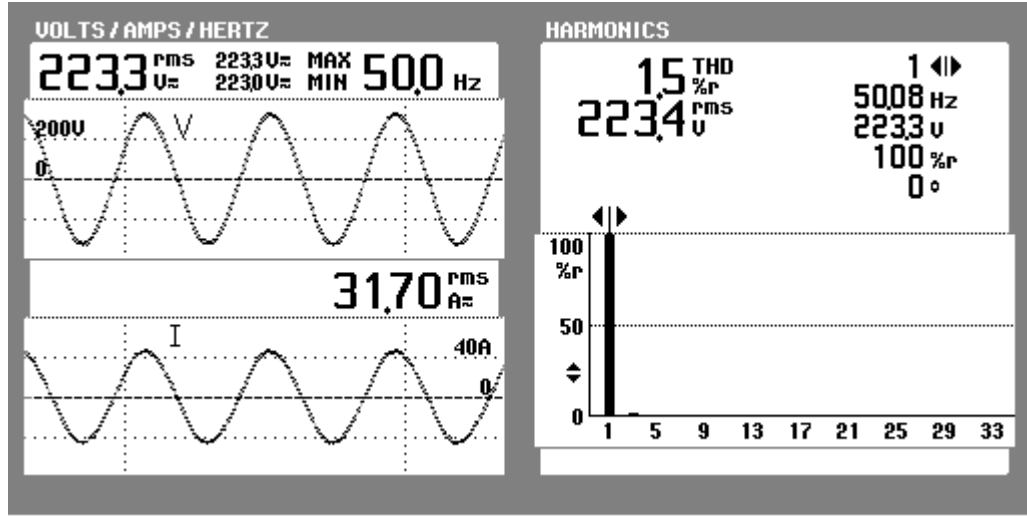
Tablo 4.1 Ara Frekans Oluşturma Serileri

	Seri1	Seri2	Seri3	Seri4	Seri5	Seri6	Seri7	Seri8	Seri9
Değişken 1	200	200	200	200	200	200	200	200	201
Değişken 2	200	200	200	200	200	200	201	201	201
Değişken 3	200	200	200	200	201	201	201	201	201
Değişken 4	200	200	201	201	201	201	201	201	201
Değişken 5	200	200	200	200	200	200	200	201	201
Değişken 6	200	200	200	200	200	201	201	201	201
Değişken 7	200	200	200	201	201	201	201	201	201
Değişken 8	200	201	201	201	201	201	201	201	201
Seri Ortalaması	200.00	200.50	200.57	200.96	200.93	201.21	201.07	201.25	201.00
Kesme Süresi (μsn)	50.00	50.13	50.14	50.24	50.23	50.30	50.27	50.31	50.25
Referans Sinüs Fr. (Hz)	50.00	49.88	49.86	49.76	49.77	49.70	49.73	49.69	49.75

Tabloda her seri değeri ortalama bir frekans değerine karşı gelmektedir. İstenen frekansa göre belirlenen serideki değişkenler sırasıyla kesme alt program süresini belirleyen sınır değerine atanmaktadır. Böylece ara değerlerde de referans sinüs frekansı oluşturulabilmektedir.

Tablo 4.1’te görüldüğü gibi iki sınır değeri ile iki frekans yerine sekiz adet farklı frekans değeri elde edilmektedir. Referans sinüsün ve üçgen dalganın bozulmaması için tablodaki değişkenler kesme sınırına simetrik olarak atanmaktadır.

Üç fazlı eviricinin yük altında bir fazına ait akım, gerilim dalga şekilleri ve gerilim harmonik bileşenleri Şekil 4.30’da verilmiştir.



a)

b)

Şekil 4.30 : Üç Fazlı Evirici

a) Çıkış Dalga Şekli

b) Çıkış Gerilim Harmonik Bileşenleri

Ana program akış diyagramı Şekil 4.31’da verilmiştir

4.3 Anahtarlama Güç Kaynağı

Doğrusal gerilimin bir seviyeden başka seviyeye dönüşümünü sağlayan anahtarlama güç kaynakları KGK'larda aşağıdaki amaçlarla kullanılır.

- Kontrol ve sürücü kartlarının beslemesi sağlamak,
- Kontrolsüz doğrultucusu olan KGK'larda akü doldurma gerilimini uygun seviyeye getirmek,
- Düşük akü gerilimiyle çalışan KGK'larda akü grubunun gerilimini eviricinin giriş gerilimine yükseltmek

amaçlarıyla kullanılırlar.

Bu çalışmada KGK evirici kartının ve IGBT sürücü devrelerinin beslemesini sağlamak amacıyla çok çıkışlı çapraz dönüştürücü kullanılmıştır.

Anahtarlama güç kaynakları yalıtımlı ve yalıtımsız olarak iki gruba ayrılırlar. Yalıtımsız kaynakları tek çıkışlıdır ve giriş-çıkış arasında elektriksel yalıtımın yoktur.

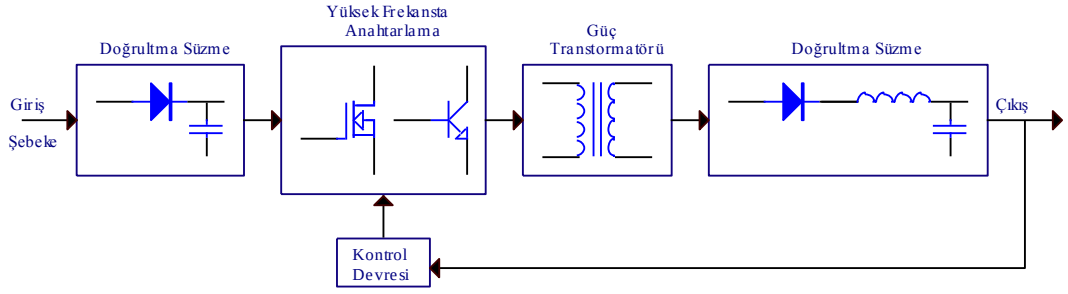
Üç tip yalıtımsız anahtarlama güç kaynağı vardır:

- Alçaltıcı (Buck) Dönüştürücü
- Yükseltici (Boost) Dönüştürücü
- Alçaltıcı-Yükseltici (Buck-Boost) Dönüştürücü

Yalıtımlı güç kaynaklarında enerji çıkışa aktarılmadan önce elektriksel iletken olmayan ferrit malzemeden geçer. Bu yalıtım devre içerisinde oluşabilecek herhangi bir arıza durumunda bir dielektrik engel oluşturur. Ayrıca kullanılan transformatörün çevirme oranı ile giriş-çıkış gerilimi değişim oranı yalıtımsız kaynaklardan daha fazla olabilir. Transformatörle yalıtımın en önemli avantajlarından birisi de, her bir çıkış için ayrı bir dönüştürücü kullanmaksızın birden çok çıkış alınabilmesidir [9].

Beş tip yalıtımlı güç kaynağı vardır:

- İleri Yönde (Forward) Dönüştürücü
- Çapraz (Flyback) Dönüştürücü
- İtme-Çekme (Push-Pull) Dönüştürücü
- Yarım Köprü Dönüştürücü
- Tam Köprü Dönüştürücü



Şekil 4.32 : Anahtarlama Güç Kaynağı Blok Gösterimi

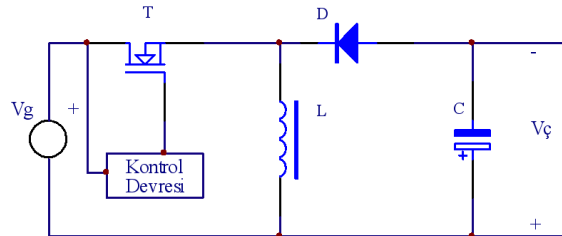
Yapısı Şekil 4.32’de gösterilen anahtarlama güç kaynağında anahtar olarak tamamen açık ya da tamamen kapalı çalışan MOSFET veya transistor gibi yarıiletken elemanlar kullanılır. Bu anahtarlama elemanları aktif bölgelerinde çalışmak zorunda olmadıklarından, anahtarlama sırasında güç kayıpları düşük olmaktadır. Bu anahtarların yüksek anahtarlama frekansları ve yüksek akım gerilim değerleri vardır [12].

Anahtarlama güç kaynaklarında çıkış geriliminin değeri, besleme gerilimi ve yük değişimleri karşısında sabit kalması gereklidir. Bu amaçla kullanılan geribesleme işareti sadece çıkış geriliminden alınarak kontrol işareti üretiliyorsa sistem gerilim kontrollüdür. Gerilim geribesleme işaretine ek olarak ikinci bir geribesleme işareti olarak çıkış endüktans akımı da kullanılıyorsa sistem akım kontrollüdür [8].

4.3.1 Çapraz (Flyback) Dönüştürücü

Çapraz dönüştürücü, yalıtımsız anahtarlama güç kaynağı çeşitlerinden alçaltıcı-yükseltici dönüştürücünün transformatör yalıtımlıdır.

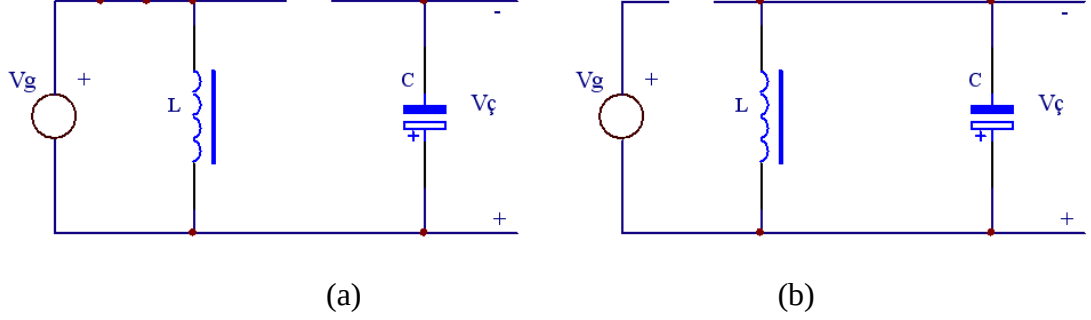
Devre yapısı Şekil 4.33’te verilen alçaltıcı-yükseltici dönüştürücüden giriş gerilimine göre ters yönde, giriş geriliminden daha yüksek veya daha düşük gerilim elde edilebilir. Çalışma oranının %50’den küçük değerleri için çıkış gerilimi giriş geriliminden küçük, %50’den büyük değerleri için çıkış gerilimi giriş geriliminden büyük olur [9].



Şekil 4.33 : Alçaltıcı-Yükseltici Dönüştürücü Devresi

Anahtarlama elemanın iletimde veya kesimde olma durumuna göre eşdeğer devreleri Şekil 4.34’te verilen alçaltıcı-yükseltici dönüştürücüde anahtarlama elemanı iletimde olduğu süre boyunca endüktansta enerji depolanır. Bu sürede diyot ters yönde

kutuplandığından kesimdedir. Anahtar eleman kesime girdiğinde diyot iletimdedir ve endüktansta biriktirilen enerji diyot üzerinden çıkışa aktarılır. Bunun sonucunda anahtar elemanın çalışma oranına bağlı büyüklükte giriş gerilimine göre ters yönde bir gerilim elde edilir [11].



Şekil 4.34 : Alçaltıcı-Yükseltici Dönüştürücü Eşdeğer Devre

a) Anahtar İletim Durumu

b) Anahtar Kesim Durumu

Anahtarlama elemanı iletimdeyken diyot ters yönde kutuplanmıştır. Endüktans akımı (4.9)'de gösterildiği gibi sabit oranla artar [9].

$$i_L = V_g \cdot t_i / L \quad (4.9)$$

Anahtarın açılmasıyla diyot iletime girer. Bu durumda endüktans akımı (4.10)'de verildiği gibi sabit oranla azalır [9].

$$i_L = -V_\phi \cdot t_k / L \quad (4.10)$$

(4.9) ve (4.10) denklemlerinde i_L değerleri eşitlenirse (4.11a) elde edilir. Bu eşitlik endüktans gerilimin ortalama değerinin bir periyot boyunca sıfır olduğunu göstermektedir. (4.11a), (4.11b) eşitliklerinde de çıkış-giriş gerilim oranı, k DGM doluluk oranı cinsinden ifade edilmektedir [9].

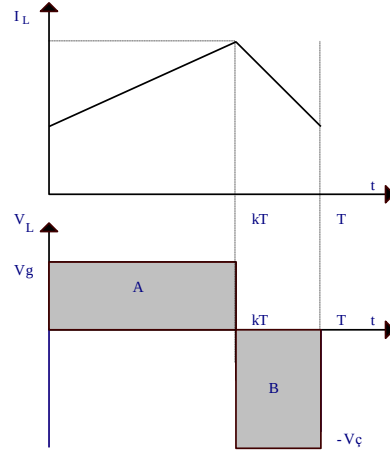
$$V_g \cdot t_i - V_\phi \cdot t_k = 0 \quad (4.11a)$$

$$V_g k \cdot T - V_\phi \cdot (1 - k) T = 0 \quad (4.11b)$$

$$V_\phi / V_g = k / (1 - k) \quad (4.11c)$$

Kayıplar ihmal edilerek giriş gücü çıkış gücüne eşit alınırsa, giriş ve çıkış akımları arasında (4.12) eşitliğinde verilen ilişki bulunabilir.

$$I_\phi / I_g = (1 - k) / k \quad (4.12)$$

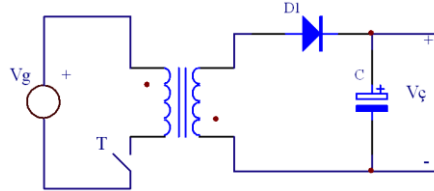


Şekil 4.35 : Alçaltıcı-Yükseltici Dönüştürücü Endüktans Akım ve Gerilimi

Alçaltıcı-yükseltici dönüştürücüde endüktansa eklenen ikinci sargının çapraz çeviriye kazandırdıkları şunlardır:

- Tek kaynak ile birden fazla çıkış elde edilebilir.
- Çıkışları pozitif veya negatif olabilir.
- Çıkış gerilim seviyesi giriş gerilim seviyesinden bağımsızdır.
- Çıkışla giriş arasında ve çıkışların kendi arasında elektriksel yalıtım vardır.

Çapraz dönüştürücünün eksik yanı ise transformatörde ve çıkıştaki büyük akım dalgalanmalarıdır. Bu yüksek akımlar verimin düşmesine neden olur.



Şekil 4.36 : Çapraz Dönüştürücü Devresi

Çapraz dönüştürücüde kesintisiz akımda çalışma durumunda, anahtarın iletimde olduğu süre sonunda, transformatörde biriken enerjinin bir kısmı bir sonraki kesim süresinin sonunda transformatörde kalacaktır [9].

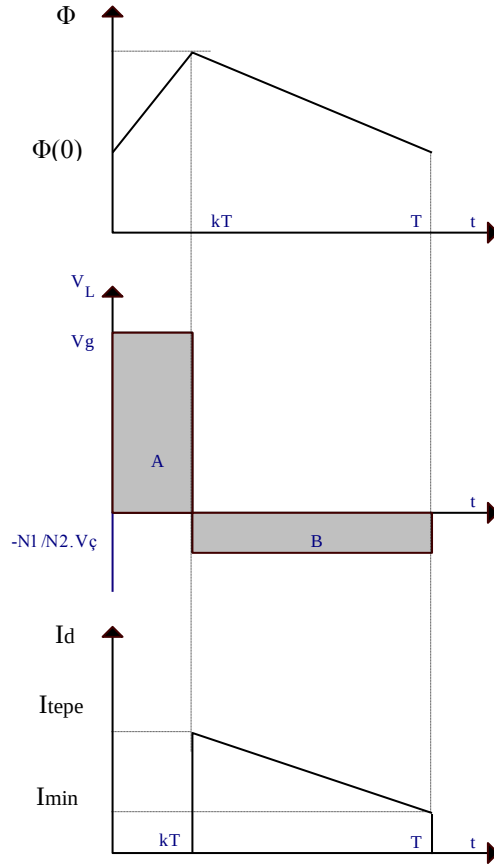
Kesintili çalışma durumunda ise anahtarın iletimde olduğu süre boyunca transformatörde biriken enerjinin tümü anahtar kesimde olduğu sürede çıkışa aktarılır.

Anahtar eleman iletimde olduğu sürede transformatör sargılarının sarım yönü nedeniyle diyot ters yönde kutuplanmıştır. Transformatör çekirdeğinde akı başlangıç değerinden itibaren yükselir [9].

$$V_g = V_L = L \cdot di_1 / dt \quad (4.13)$$

$$di_1 / dt = V_d / L_1 \quad (4.14)$$

Bu süre boyunca birincil tarafın endüktans akımı i_1 doğrusal olarak (4.13) ve (4.14) denklemlerine göre artar. Şekil 4.37'de transformatör çevirme oranı N_1 / N_2 olan çapraz dönüştürücüye ait dalga şekilleri gösterilmiştir. Φ



Şekil 4.37 : Çapraz Dönüştürücü Akı, Endüktans Gerilim ve Diyot Akım Dalgaları

Anahtar iletimde olduğu sürece, sürekli akımda çalışmada akı değeri, başlangıç değerinden itibaren doğrusal olarak artmaya başlar [9].

$$\phi(t) = \phi_0 + V_{giriş} / N_1 \cdot t_i \quad 0 < t < t_i \quad (4.15)$$

İletim süresi sonunda birincil sargıda biriken enerji (4.16) eşitliğinden hesaplanabilir [10].

$$W = \frac{1}{2} L (i_{tepe} - i_{min})^2 \quad (4.16)$$

Anahtar elemanın iletimde kaldığı süre sonunda çekirdekte biriken enerji nedeniyle transformatörün ikincil sargısından ve diyot üzerinden akım akmaya başlar. İkincil sargı uçlarındaki gerilim çıkış geriliminin negatif değerine eşittir. Dolayısıyla anahtar kesimde olduğu süre boyunca akı doğrusal olarak azalır [9].

$$V_L = L \cdot di_2 / dt = -V_{\check{c}} \quad (4.17)$$

$$\phi(t) = \phi t_i + V_c / N_2 (t - t_i) \quad (4.18)$$

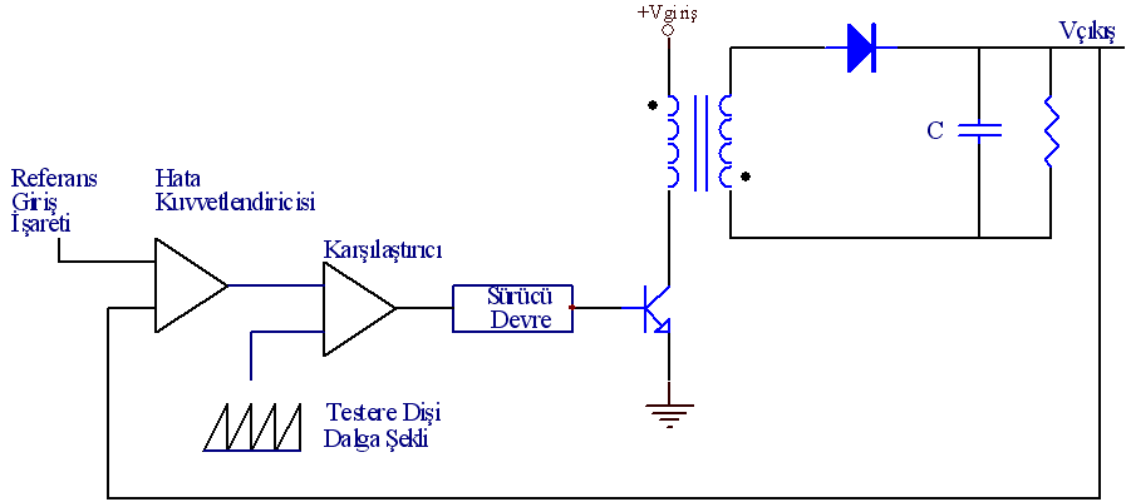
(4.16), (4.17), (4.18) bağıntılarından (4.19) eşitliği bulunabilir.

$$V_c / V_g = N_2 / N_1 \cdot k / (1 - k) \quad (4.19)$$

$$k = t_i / T$$

4.3.2 Anahtarlama Güç Kaynaklarında Kontrol Yöntemleri

4.3.2.1 Gerilim Geribeslemeli Kontrol



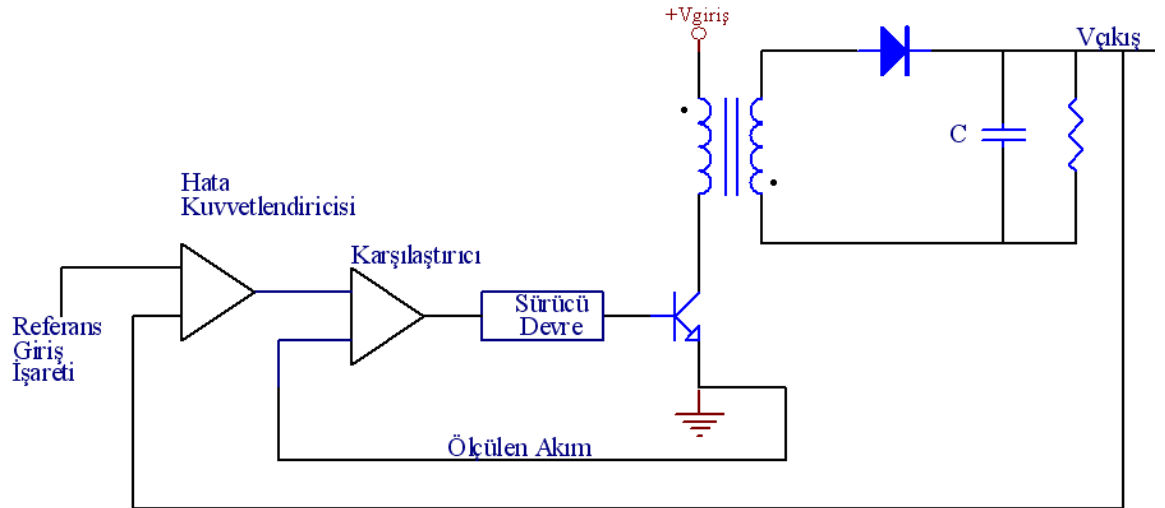
Şekil 4.38 : Sabit Frekanslı Gerilim Kontrollü Dönüştürücü

Tek çevrimli kontrol yaygın olarak gerilim kontrolü olarak isimlendirilir. Sadece güç kaynağının çıkış gerilimden geribesleme işareti alınır, güç anahtarlarının çalışma oranını belirlemek için bu gerilim işareti ile referans gerilimi karşılaştırılarak kontrol işareti belirlenir. Bu kontrol işareti eğimi ve genliği sabit testere dişi dalga ile karşılaştırılarak güç anahtarı için gereken darbe genişlik oranı belirlenir. Şekil 4.38’de bu kontrol yöntemine ait blok gösterim verilmiştir. Bu yöntemde çıkış gerilimi düştüğünde DGM doluluk oranı artarak çıkış gerilimini artırır. Bu kontrol yöntemi yük sabit olduğu zaman iyi sonuç verir ancak yükün değışmesi durumunda, güç kaynağı bu değışime manyetik ve filtre elemanları nedeniyle oluşacak gecikme nedeniyle belirli bir süre sonunda cevap verebilecektir. Bu nedenle çok çevrimli kontrol yöntemleri kullanılmaktadır [9].

4.3.2.2 İleri Yönde Gerilim Beslemeli Kontrol

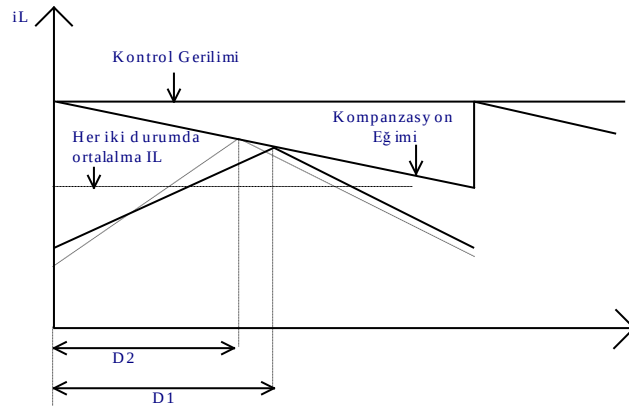
Gerilim geribeslemeli kontrolde giriş gerilimi değışirse, çıkış geriliminde bir hata oluşur ve bu hata geribeslemeli kontrol çevriminde düzeltilir. Kontrolör girişteki değışimlere yanıt olarak çıkışı düzenler.

Kontrolör işareti giriş gerilimindeki değışimden bilgi alırsa, çıkış gerilimi değışmeden kontrol edilmiş olur. İleri yönde gerilim beslemeli kontrol yönteminde



Şekil 4.40 : Akım Kontrollü Dönüştürücü için Kontrol Çevrimi

Akım kontrollü uygulamada kararlılığı sağlamak, harmonik titreşimlerini önlemek ve ileri yönde besleme özelliği sağlamak için, kontrol gerilimine Şekil 4.41’de görüldüğü gibi eğim kompanzasyonu eklenir.



Şekil 4.41 : Akım Yollu Kontrolde Eğim Kompanzasyonu

Yukarıdaki şekilde eğim kompanzasyonu dalga şeklinin eğimi anahtar kesimdeyken endüktansta oluşan akımın eğiminin yarısı kadardır. Belli giriş ve çıkış gerilimleri için, çalışma oran ve D_1 ve endüktans akımı i_L ’dir. Eğer giriş gerilimi artar ancak çıkış gerilimi bundan etkilenmezse, çalışma oranı D_2 ’ye düşer ve endüktans akımının dalga şekli kesikli çizgilerde gösterildiği gibi olur. Endüktans akımının ortalama değeri yük akımına eşittir ve iki durumda da giriş geriliminin düşmesine rağmen sabit kalmaktadır. Bu uygun eğim kompanzasyonlu akım yollu denetimin ileri yönde gerilim geribesleme özelliğini gösterir [4].

Akım kontrollü çalışma ile anahtar akımı doğrudan yada dolaylı olarak ölçüldüğünden, anahtarlama akımının tepe değeri, kontrol gerilimine bir üst değer konularak sınırlandırılabilir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, gerçekleştirilen doğrultucu ve evirici kontrol birimleri 60kVA gücündeki KGK'da uygulanmıştır. 12 darbeli doğrultucunun güç elemanları 176-254 VAC'lik giriş gerilim aralığında çalışabilecek değerlerde seçilmiştir. Doğrultucu çıkış gerim seviyesi ısı etkileşimli akü doldurma işlemi ve akü doldurma akımı sınırlaması için 380-410 VDC aralığında değiştirilmektedir. 12 darbeli doğrultucuda 6 darbeli doğrultucuda baskın olan 5 ve 7. giriş akım harmonikler bastırılmış, buna bağlı olarak giriş akımlarının harmonik bozunumu %60'lardan %10'lara düşürülmüş ve giriş güç faktörü değeri 0,8'den 0,9 seviyesine çıkarılmıştır. Çıkış gerilim dalgalılığının 6 darbeli doğrultucuya göre az ve frekansının yüksek olması çıkış kondansatör değerini düşürmüş ve kondansatör maliyetini azaltmıştır. Doğrultucu çıkış gerilim dalgalılığının azlığı KGK'larda çıkış gerilimini kalitesini de arttırmış ve akülerin daha uygun şartlarda doldurulabilmesi sağlanabilmiştir.

12 darbeli doğrultucu dijital kontrolörle gerçekleştirilerek sıcaklık, eleman eskimesi ve besleme gerilimi değişimlerinden dolayı analog kontrolörde karşılaşılan giriş akım dengesizlikleri ve kararsız çıkış gerilim seviyesi gibi olumsuzluklar giderilmiştir. Ayrıca kontrol kartında kullanılan eleman sayısı azaltılmış böylece sistemin güvenilirliği artırılmış ve kontrol kartının maliyet düşürülmüştür. Doğrultucuda artırılmış doldurma gerilimi seviyesi, akım sınırlama seviyesi, çıkış gerilim seviyesi değerlerindeki değişiklikler ve kontrol parametrelerindeki değişiklikler donanım düzenlemesine gerek kalmadan yalnızca yazılım güncellenerek yapılabilmektedir.

Çalışmada gerçekleştirilen 3 faz çıkışlı darbe genişlik modülasyonlu eviricinin güç elemanları giriş gerilimi 300-450VDC, çıkış gerilimi 220V ve anahtarlama frekansı 10kHz olacak şekilde seçilmiştir. Yüksek anahtarlama frekansı ile evirici çıkış geriliminin THD değerinin doğrusal olmayan yüklerde %3'ten küçük olması ve evirici çıkışının ani yük değişimlerine cevap verebilir yapıda olması sağlanmıştır. 3 fazlı evirici kontrolü için dijital destekli analog kontrolörler kullanılmıştır. Analog olarak gerçekleştirilen kontrolörlerde kullanılan elemanlar toleranslarından dolayı birbirlerine özdeş olamamakta, sıcaklık ve kaynak gerilimi gibi çevresel faktörlerden etkilenmekte ve zamanla çalışma karakteristikleri değişmektedir. Bu nedenle çıkış gerilim seviyesi ortam şartlarına göre değişmekte ve senkronizasyon tam olarak sağlanamamaktadır. Evirici kontrol birimine mikroişlemci desteği ile dijital kontrol ile destek verilerek gerçekleştirilen kontrolörlerle yukarıda bahsedilen olumsuzluklar

kısmen giderilmiş, referans sinüs örnek sayısı artırıldığı için çıkış gerilim kalitesi artırılmıştır. Eviricide anahtarlama frekansı, senkronizasyon aralığı değişimleri kontrol kartlarında değişime gerek olmadan doğrudan yazılımla yapılabilir duruma getirilmiştir.

Çalışma güç elektroniği devrelerinde dijital kontrol yöntemlerine giriş özelliği taşımaktadır. İlerleyen çalışmalarda aktif güç faktörü düzelten doğrultucu yapıları ve evirici sistemlerinin kontrolünün dijital veri işleme kapasiteleri yüksek işlemciler kullanılarak tamamen dijital yöntemlerle kontrol edilmesi amaçlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] **Şirin F.**, Ekim 1992. Kesintisiz Güç Kaynaklarında Mikrodenetçilerin Kullanılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Merkez Kitaplığı
- [2] **Tracy J. G.**, 2002. Overcoming UPS/Generator Interface Problems: 50 kVA to 500 kVA Range, Exide Electronics Group, Inc.
- [3] **Yoel E.**, 2002. Comparing Series and Parallel Redundant UPS Systems, Gamatronic Electronic Industries Ltd.
- [4] **Mohan N., Undeland T.M. and Robbins W.P.**, 2003. Çeviriciler, Uygulamalar ve Tasarım, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- [5] **Altın N.**, 2003. 18 Darbeli Doğrultucu Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- [6] **Rashid Muhammad H.**, 1993. Power Electronics Circuits, Devices, and Applications, Prentice Hall, London.
- [7] **Yıldırım D.**, Ocak 2001, Tetikleme Devrelerinde Ölü Zaman Oluşturulması, www.denizyildirim.org.
- [8] **Motto E.**, Mart 2005. Hybrid Ics Drive High Power IGBT Modules, Powerex Inc.
- [9] **Uçar M.U.**, Ocak 1996. Anahtarlama Güç Kaynakları ve Güç Faktörü Düzeltme Devresinin Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Merkez Kitaplığı
- [10] **Billings H. K.**, 1989. Switch Power Supply Handbook, McGRAW-Hill Inc.
- [11] **Brown M.**, 1990. Practical Switch Power Supply Design, Academic Press, Inc.
- [12] **Whittington H. W., Flynn B. W., Macpherson D.E.**, 1997. Switched Mode Power Supplies, Research Studies Press, England

ÖZGEÇMİŞ

Zeynel KAYA 1979 Malatya doğumludur. Orta öğrenimini 1997’de Malatya Fen Lisesi’nde, lisans öğrenimini 2002’de İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi, Kontrol ve Bilgisayar Mühendisliği bölümünde tamamladı. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği programında yüksek lisans öğrenimine başladı. 2003 yılında ÖZ-EL Elektronik. firmasında AR-GE mühendisi olarak çalışmaya başladı. Halen bu görevine devam etmektedir.