

MİKRODENETLEYİCİ KONTROLLÜ REDRESÖR

TASARIM VE GERÇEKLENMESİ

Fırat KELEŞ

Yüksek Lisans Tezi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat-2006

MİKRODENETLEYİCİ KONTROLLÜ REDRESÖR
TASARIM VE GERÇEKLENMESİ

Fırat Keleş

Dumlupınar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Yrd.Doç.Dr.Ahmet ÖZMEN

Şubat-2006

KABUL VE ONAY SAYFASI

.....'nın YÜKSEK LİSANS/DOKTORA tezi olarak hazırladığı başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir

...../...../.....

Üye : Yrd.Doç.Dr. Ahmet ÖZMEN

Üye : Yrd.Doç.Dr. Abdurrahman ÜNSAL

Üye : Yrd.Doç.Dr. Bünyamin TAMYÜREK

Fen Bilimleri Enstitüsün Yönetim Kurulu'nun/...../..... gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

MİKRODENETLEYİCİ KONTROLLÜ REDRESÖR TASARIM VE GERÇEKLENMESİ

Fırat Keleş

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2006

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. Ahmet Özmen

ÖZET

Bu çalışmada, bir mikrodenetleyici ile üç fazlı tam dalga, tristörlü doğrultucu (redresör) kontrolü yapılması amaçlanmıştır. Analog sistemlerde kullanılan devre ve potansiyometreler sarsıntı, sıcaklık, nem gibi dış etkenlerden kolayca etkilenmektedir. Analog devrelerdeki malzemelerin çokluğu, kart maliyetleri ve işçilik sürelerinin artmasına neden olmakta, test ve arıza bulmada bir takım zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Analog devrelerde, sistemde yapılacak bir değişiklik için çoğu zaman potansiyometrelerin ayarlanması veya malzeme değişikliğine gidilmesi gerekmektedir. Sayısal sistemlerde ise, malzeme değişikliği yada potansiyometre ayarı gerekmeksizin bu değişiklikler yapılabilmektedir. Analog sistemlerde yaşanan zorluklar, analog sistemden, sayısal sisteme geçmeyi gerekli kılmaktadır.

Mikrodenetleyici ile üç fazlı tam dalga, tristörlü doğrultucu kontrolü yapılırken kapalı çevrim bir kontrol sistemi kullanılmıştır. Redresör çıkışındaki DC gerilim ve akımdan geribesleme bilgisi alınarak, çıkışta oluşacak ani yüklenmelerde ve giriş gerilimindeki değişimlerde çıkış geriliminin sabit tutulması sağlanmıştır. Kapalı çevrim kontrol sistemi olarak yaygın kullanım alanı olan PI (proportional-integral,oransal-integral) kontrol kullanılmıştır. PI kontrol bir girişli ve bir çıkışlı sistemler için yeterli çözümler vermektedir.

Mikrodenetleyici ile üç fazlı tam dalga, tristörlü doğrultucu kontrolör tasarımında hız ve bellek yönünden yeterli olması sebebiyle Microchip firmasının PIC18F452 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Redresör mikrodenetleyici programına kontrol algoritmasına ilaveten kullanıcı etkileşimli, tuş takımı ve LCD programları eklenerek, redresörün birçok özelliği ayarlanabilir hale getirilmiştir. Doğrultucu çıkış gerilimi belirli sınırlar içerisinde ayarlanabilmekte, akım kaynağı modunda sınırlama yapılacak DC akım değeri dışarıdan girilebilmektedir. Tasarlanan mikrodenetleyici kontrollü redresör, çeşitli uygulamalara rahatça uyum sağlayabilecektir

Anahtar kelimeler : Akım Kontrolü, Kontrollü Doğrultucu, Matlab, Mikrodenetleyici, PI Kontrol, Redresör, Rezistif Yük, Simulink.

MICROCONTROLLER-CONTROLLED RECTIFIER DESIGN AND IMPLEMENTATION

Firat Keleş

Electrical-Electronic Engineering, M.S. Thesis, 2006

Thesis Supervisor: Assist.Prof. Ahmet Özmen

SUMMARY

In this work control of three phase full wave thyristor rectifier is aimed with microcontroller. The circuits and potentiometers in analog systems are effected from external factors such as vibrations, temperature and humidity. Excessive usage of circuit elements in analog systems can increase cost and manufacture time. Also due to the same reason test and maintenance of analog systems is getting difficult. In analog circuits it is usually needed to readjust the potentiometers or to change the electronic circuit elements in order to change the specifications of system. In comparison to analog circuits in digital systems there is no need to rechange or readjustment of circuit elements in order to change the specifications of system. Difficulties of analog systems make necessary to use digital systems.

A closed loop feedback control system is implemented on a microcontroller to control three phase thyristor rectifier. DC voltage and current feedbacks are obtained from DC output of rectifier. By feedback control system it is aimed to fix the output DC voltage against input voltages variations and loading effects. PI control is employed in the mean of closed loop control system. PI control gives robust responses in single input single output systems.

Microchip PIC18F452 is used since it has sufficient memory(RAM and Flash ROM) and processing speed in this work. In addition to feedback control system algorithm, user interactive keypad and LCD programs added to microcontroller real time program. By using user interactive program structure specifications of rectifier become adjustable. Rectifier can work either in current source mode or voltage source mode. Input voltage tolerances and rectifier output voltages range can be adjustable also maximum DC load current can be adjusted in current source operation mode. With all these specifications the developed rectifier system can be easily employed in different applications.

Keywords: Controlled Rectifier, Current Control, Matlab, Microcontroller, PI Control, Redresor, Resistif Load, Simulink.

TEŐEKKÜR

Bu alıőmada öncelikle bana her konuda yardımcı olan başta danışman hocam Yrd. Do. Dr. Ahmet Özman'e, desteğini hep yanımda hissettiğim canım aileme teőekkürü bir borç bilirim. Tez çalıőmam sırasında bana her konuda yardımda bulunan Sayın Adil Ceyhan, değerli iő arkadaőım Erkan Elcik ve tüm Kaynak Elektronik Ltd. alıőanlarına teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu çalışma ile birlikte son bulacak yüksek lisans öğrenimim boyunca, bizleri en iyi şekilde eğitmek için çaba gösteren tüm hocalarıma teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iv
SUMMARY	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. DOĞRULTUCU DEVRELERİ	3
2.1. Yarı İletken Güç Anahtarları	4
2.2. Diyotlar	4
2.3. Tristörler	6
2.4. Kontrollü Anahtarlar	8
2.5. Diyotlu Doğrultucular	9
2.5.1. Bir faz yarım dalga diyotlu doğrultucular.....	9
2.5.2. Bir faz diyotlu köprü doğrultucular	10
2.5.3. Üç fazlı diyotlu tam köprü doğrultucular	12
2.6. Tristörlü Doğrultucular	14
2.6.1. Bir fazlı tam kontrollü yarım dalga devreler	14
2.6.2. Bir fazlı tam kontrollü tam dalga devreler	16
2.6.3. Üç fazlı tam kontrollü tam dalga devreler	17
2.6.4. Doğru akım tarafındaki gerilim	18
2.7. Genel Kontrol Yöntemleri	20
2.7.1. Açık çevrim kontrol sistemleri	20
2.7.2. Kapalı çevrim kontrol sistemleri	20
2.7.3. Oransal (P) kontrol	21
2.7.4. Oransal-türevsel (PD) kontrol	22
2.7.5. Oransal-integral (PI) kontrol	23
2.7.6. Oransal-integral-türevsel (PID) kontrol	24
2.7.7. Güç elektroniği sisteminin blok diyagramı ve kontrolü	24

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.8. Tristörlü Devreler ve Kontrolü	25
2.8.1. Analog devrede doğrultucu tristör tetiklerinin oluşturulması	26
2.8.2. Analog redresör kontrol devresi ve uygulaması	27
2.8.3. Tristör sürme devreleri	28
3. SAYISAL KONTROLLÜ REDRESÖR SİSTEMLERİ	29
3.1. Analog Sistemden, Sayısal Kontrollü Sisteme Geçiş Gerekçeleri	29
3.2. Dijital Sistem Parametreleri	30
3.3. Mikrodenetleyici Kontrollü Redresör Temel Sistem Yapısı	31
3.4. Mikrodenetleyiciler	32
3.5. Redresör Kontrolünde Kullanılacak Mikrodenetleyici Seçimi	32
3.5.1. PIC18F452 mikrodenetleyici pin yapısı	33
3.5.2. PIC18F452 bellek yapısı	33
3.5.3. PIC18F452 özellikleri	34
3.6. Redresörde Kullanılan Devreler	34
3.6.1. DC besleme devresi	34
3.6.2. Şebeke sıfır noktası okuma devresi	35
3.6.3. Tristör sürme devresi	36
3.6.4. Hall efekt transduser besleme devresi	37
3.6.5. DC bara gerilimi okuma devresi	37
3.6.6. Snubber devresi	38
3.7. Üç Fazlı Tam Kontrollü Tristör Doğrultucu Simülasyonları	39
3.7.1. Simulink SimPowerSystems Blockset ile üç fazlı doğrultucu sistem modeli...	39
3.7.2. PI kontrol benzetim modeli	41
3.7.3. Değişik yüklerde DC gerilim dalga şekilleri	42
3.7.4. Üç faz tristörlü doğrultucu giriş gerilim ve akım dalga şekilleri	44
3.7.5. Sayısal kontrolör tasarımı	45
3.8. Mikrodenetleyici Yazılımı	46
3.9. Mikrodenetleyici Kontrollü Redresör Programı Temel Yapısı	47
3.9.1. Redresör çıkış gerilimi okuma algoritması	48
3.9.2. Redresör kontrol algoritması	49
3.9.3. Redresör akım kontrol algoritması	50
3.9.4. Redresör yumuşak başlatma algoritması	51

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.10. Mikrodenetleyici Kontrollü Üç Fazlı Doğrultucu Gerçekleme Çalışmaları	52
3.10.1. Şebeke sıfır okuma devresinin çıkış dalga şeklinin gözlenmesi	55
3.10.2. Tristör tetiklerinin işlemci tarafından oluşturulması	55
3.10.3. Tristörlü doğrultucunun boшта ve yükte çıkış dalga şekillerinin gözlenmesi ...	56
3.10.4. Tristörlü doğrultucu kontrol hızının gözlenmesi	58
3.10.5. Dengesiz giriş gerilimlerinde doğrultucu çıkış gerilim dalga şekilleri	59
3.10.6. Redresörün Yumuşak Başlatma ile Çalıştırılması	60
3.10.7. Mikrodenetleyici kontrollü redresörün akım ve gerilim karakteristikleri	60
4. SAYISAL VE ANALOG KONTROLLÜ REDRESÖRÜN KARŞILAŞTIRILMASI	62
4.1. Sayısal ve Analog Kontrollü Doğrultucunun Yük Karakteristiği	63
4.2. Sayısal ve mikrodenetleyici kontrollü doğrultucunun gerilim ve akım ayarlamaları ...	65
4.3. Analog ve Mikrodenetleyicili Sistemlerin Dış Etkilere Karşı Dayanımı	67
4.4. Analog ve Mikrodenetleyicili Sistemlerin İşçilik ve Maliyetleri	67
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	68
KAYNAKLAR DİZİNİ	69

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Diyot sembolü ve akım-gerilim karakteristiği	4
2.2. Diyot kesim durumu	5
2.3. Tristör fiziksel yapısı ve eşdeğer devre modeli	6
2.4. Tristör sembolü ve akım-gerilim karakteristiği	7
2.5. Kontrol edilebilir anahtar devre sembolü	8
2.6. Diyotlu doğrultucu blok diyagramı	9
2.7. Bir faz yarım dalga doğrultucu ve çıkış gerilimi dalga şekli	10
2.8. Bir faz köprü doğrultucu	10
2.9. Bir faz tam dalga diyotlu doğrultucu şeması, giriş ve çıkış gerilim dalga şekli	11
2.10. Üç faz tam dalga diyot doğrultucu	12
2.11. Üç faz tam dalga diyot doğrultucu giriş, çıkış gerilimi ve akım dalga şekilleri	13
2.12. Tristörlü doğrultucu blok diyagramı	14
2.13. Bir fazlı kontrollü yarım dalga doğrultucu, rezistif yük ve rezistif-endüktif yük ...	15
2.14. Bir fazlı kontrollü tam dalga doğrultucu	16
2.15. Bir fazlı kontrollü tam dalga doğrultucu giriş ve çıkış gerilim dalga şekilleri	16
2.16. Üç fazlı tristörlü çevirici	17
2.17. Üç fazlı tristörlü çevirici rezistif-endüktif yük durumu	17
2.18. Üç fazlı tristörlü çevirici giriş ve çıkış gerilim dalga şekilleri	18
2.19. Doğru akım tarafındaki dalga şekillerinin tetikleme açisiyle değişimi	19
2.20. Açık çevrimli kontrol sistemlerinin öğeleri	20
2.21. Kapalı çevrimli kontrol sistemi	21
2.22. Oransal bandin çıkış sinyaline katkisi	21
2.23. Oransal kontrol kullanılan prosesin cevap grafiği	22
2.24. Oransal türevsel kontrol kullanılan prosesin cevap grafiği	23
2.25. Oransal integral kontrol kullanılan prosesin cevap grafiği	23
2.26. Oransal integral türevsel kontrol kullanılan prosesin cevap grafiği	24
2.27. Güç elektroniği sisteminin kontrolü	25
2.28. Kapan tetikleme kontrol devresi	25
2.29. Analog redresör tristör tetiklerinin oluşturulması	26
2.30. Analog redresör PI kontrol devresi	27
2.31. Kapan tetikleme karakteristikleri	28

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.32. Tristör sürme devreleri darbe transformatörü kullanarak,optokupler kullanarak ...	28
3.1. Dijital sistem parametreleri	30
3.2. Mikrodenetleyici kontrollü redresör temel sistem yapisi	31
3.3 PIC18F452 mikrodenetleyici pin yapısı	33
3.4. PIC18F452 mikrodenetleyici Bellek Yapısı	33
3.5. DC besleme devresi	35
3.6. Şebeke sıfır noktası okuma devresi	35
3.7. Tristör sürme devresi	36
3.8. Hall efekt transduser besleme devresi	37
3.9. DC bara gerilimi okuma devresi	38
3.10. Snubber devresi	38
3.11. Üç fazlı doğrultucu sistemin Matlab/Simulink simülasyonu	40
3.12. Üç fazlı doğrultucu PI kontrol benzetim modeli	41
3.13. Doğrultucu çıkışında 750 Ω direnç varken DC gerilim	42
3.14. Doğrultucu çıkışında 1.5 k Ω direnç varken DC gerilim	43
3.15. Doğrultucu çıkışında 500 Ω direnç varken DC gerilim	44
3.16. Üç faz tristörlü doğrultucu giriş gerilim ve akım dalga şekilleri	45
3.17. Sayısal kontrolör yapısı	45
3.18. Redresör programı temel yapısı	47
3.19. Mikrodenetleyici kontrollü redresör deneysel kurgu görünümü	52
3.20. Mikrodenetleyici kontrollü redresörde kullanılan malzemeler	53
3.21. Şebeke sıfır noktası okuma devresi giriş gerilimi ve çıkış dalga şekli	55
3.22. Mikrodenetleyici tarafından oluşturulan tristör tetik sinyalleri	56
3.23. Boşta doğrultucu çıkış gerilim dalga şekilleri	56
3.24. Mikrodenetleyicili kontrollü doğrultucu çıkış gerilim dalga şekilleri	57
3.25. Doğrultucu çıkışındaki ani yüklenmede DC bara gerilim değişimi	58
3.26. Doğrultucudaki yükün devreden çıkması anında DC bara gerilimi değişimi	59
3.27. Dengesiz giriş gerilimlerinde % 100 yükte doğrultucu çıkış gerilim dalga şekilleri	59
3.28. DC baranın ilk enerjilenmesi anında yumuşak başlatma ve gerilim dalga şekli	60
3.29 Mikrodenetleyici kontrollü redresörün % 100 yükte giriş akım ve çıkış gerilimi ...	61

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. Kemsan marka KPM33 model 60 kVA kesintisiz güç kaynağı	62
4.2. Yükün devreden çıkması, analog kontrollü ve sayısal kontrollü redresör	63
4.3. Yükün devreye girmesi	64
4.4. Akım kaynağı modunda doğrultucu çıkış akımının sınırlandırılması	66

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
v	AC gerilim
i	AC akım
t_{rr}	Ters toparlanma süresi
t_q	Kesime gitme süresi
R	Direnç
L	Endüktans
L _s	Hat endüktansı
V _d	DC gerilim
I _d	DC akım

Kısaltmalar

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
DC	Doğru akım
AC	Alternatif akım
LCD	Liquid cristal display
BJT	Bipolar Junction Transistör
MOSFET	Metal Oksit Yarıiletken Alan Etkili Tansistör
GTO	Kapıdan Tıkanabilen Anahtar
IGBT	İzole Kapılı Bipolar Transistör
GND	Ground
ADC	Analog / Digital dönüştürücü
RAM	Random Access Memory
ROM	Read Only Memory
THD	Toplam Harmonik Bozunum
I / O	Giriş / Çıkış

1. GİRİŞ

AC giriş gerilimini, DC gerilime çeviren birimler doğrultucu (redresör) olarak adlandırılır. Doğrultucu elemanı olarak çok çeşitli yarıiletken elemanlar kullanılmaktadır. Doğrultucular, kullanılan anahtarlama elemanın niteliğine göre kontrolsüz, yarı kontrollü ve tam kontrollü doğrultucular olarak sınıflandırılırlar. Genellikle, doğrultucu elemanı olarak diyot, tristör, IGBT, GTO gibi güç elektroniği elemanları kullanılmaktadır.

Günümüzde en fazla kullanılan doğrultucu tipi, tristörlü tam kontrollü doğrultuculardır. Çıkış geriliminin ayarlanabilmesi ve yüksek güçlerde kullanılabilmesi nedeniyle tristörlü doğrultucular birçok güç elektroniği uygulamasında kullanılmaktadırlar. Tristörlü doğrultucuların; motor sürücü uygulamaları, kesintisiz güç kaynakları, yüksek akımlı akü şarj sistemleri, yüksek gerilimli doğru akımla enerji taşıma sistemleri başta olmak üzere birçok kullanım alanı bulunmaktadır. Tristörlü doğrultucularda, çıkış gerilimini kontrol etmek amacıyla kapalı çevrim kontrol sistemleri kullanılmaktadır. PI kontrolü, birçok uygulamada en yaygın olarak kullanılan kontrol yöntemlerinden biridir.

Mikrodenetleyici ile kontrolör tasarımı, ucuz aynı zamanda birçok yönden kolay bir yöntemdir. Analog sistemden, mikrodenetleyicili sayısal sisteme geçişin temel sebepleri şunlardır:

- Redresör kartı üzerinde bulunan analog devre ve özellikle potansiyometrelerin sarsıntudan ve sıcaklık, nem gibi dış etkenlerden fazlaca etkilenmesi.
- Mikrodenetleyici kullanılan kartlardaki malzemelerin az oluşu nedeniyle kartların kolayca montaj yapılabilmesi ve işçilik sürelerindeki azalmalar.
- Mikrodenetleyicili sistemlerde test ve arıza bulunmasındaki kolaylıklar.
- İşçilik sürelerinin kısalması ve test süresinin azalmasının sağlayacağı maliyet düşüşleri.
- DC voltajın ek bir ayara gerek kalmadan ön panelden dijital olarak ayarlanabilmesi.
- Kontrol algoritmasına eklenecek akım kontrolü yardımı ile akü şarj akım ayarının potansiyometreden ayarlanmasına gerek kalmaksızın dijital olarak yapılabilmesi.
- Redresör kontrolü veya çalışmasında yapılacak bir tasarım değişikliğinde, kart ve PCB üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan mikrodenetleyici yazılımında yapılacak revizyonla sistemdeki değişikliğin yapılabilmesi gibi sebepler dijital sisteme geçişi gerekli kılmaktadır.

Tez çalışması, ilk aşamasında literatür taraması ve sayısal kontrol yapıları üzerine araştırmalar yapılmıştır. Richard W. Wall, Herbert L. Hess grubu “Design and Microcontroller Implementation of a Three Phase SCR Power Converter” başlıklı çalışmalarında üç fazlı SCR konverterin mikrodenetleyici ile uygulamasını yapmıştır [6]. Mikroişlemcili doğrultucu yapılarına örnek olarak bazı yabancı firmaların cihazları bulunmaktadır. Amerikan ENERPRO firmasının mikroişlemci kontrollü akü şarj cihazları mevcuttur [7]. Benzer sistemleri kullanan firmalar bulunmaktadır. Mikrodenetleyici kontrollü redresör tez çalışmasında üç fazlı tam dalga, tam kontrollü doğrultucu modeli üzerine benzetimler yapılmıştır. Benzetim çalışmalarında Matlab/Simulink kullanılmıştır .

Tez çalışmasının birinci bölümünde doğrultucu devreleri, karakteristikleri, kullanım alanları açıklanmıştır. İkinci bölümde analog kontrollü redresör sistemleri üzerinde durulmuştur. Üçüncü bölümde sayısal kontrollü redresör tasarımı, Matlab simülasyonları, prototip oluşturulması ve gerçekleşmesi üzerinde durulmuştur. Dördüncü bölümde ise, mikrodenetleyici kontrollü redresör avantajları üzerinde durulmuş, analog kontrollü redresör sistemleri ile sayısal kontrollü sistemin karşılaştırmaları yapılmıştır.

2. DOĞRULTUCU DEVRELERİ

Bir doğrultucu devresi; beslemesindeki AC gerilimi, DC gerilime çeviren devredir. Elde edilen doğru gerilim aküdeki gibi sabit olmayıp ortalama gerilim seviyesinde gerilime sahiptir ve alternatif akım dalgalanma bileşeni içerir. Doğrultucu devreleri, yarım dalga ve tam dalga doğrultucu devreleri olmak üzere iki grupta incelenebilir:

Yarım dalga doğrultucu devreleri: AC beslemenin her hattında bir doğrultucu eleman bulunan devrelerdir. Doğrultucu elemanların katotları DC yüke ve yükün diğer ucu da nötr hattına bağlanır. Akım akışı, her hatta tek yönlüdür. Bu nedenle bu devrelere “tek yollu” devreler de denir.

Tam dalga doğrultucu devreleri: Biri yükü besleyen, diğeri de yük akımını AC hatta döndüren iki adet yarım dalga devrenin seri bağlanmasından oluşmuştur. Bu nedenle nötr hattına gerek yoktur. “köprü devreleri” yada “çift yollu devreler” olarak da adlandırılırlar. Doğrultucu devrelere ait kontrol karakteristikleri 3 kategoride toplanabilir.

Kontrolsüz devreler: Sadece diyot içerirler. AC besleme gerilimiyle orantılı DC bir gerilim sağlarlar.

Tam kontrollü devreler: Tristör yada güç transistörü kullanılır. Tristörün iletme geçtiği faz açısının kontrolüyle, DC gerilimin ortalama değeri ayarlanabilir, yönü değiştirilebilir. Tam kontrollü devreler yük ve besleme arasında iki yönde de güç iletimine imkan tanıdığından çift yönlü konverter olarak ta adlandırılır.

Yarı kontrollü devreler: Tristör ve diyot karışımı içerirler. Gerilimin yönü değiştirilemez ancak ortalama değeri ayarlanabilir. Bu nedenle yarı kontrollü ve kontrolsüz devreler “tek yönlü konverter” olarak da adlandırılır.

Darbe Sayısı: AC beslemenin bir periyodunda, DC gerilim dalga şeklinin tekrarlanma sayısıdır. “altı darbeli devre” nin çıkış dalgalanması, giriş frekansının altı katı frekansa sahiptir. Giriş geriliminin frekansı 50 Hz ise, çıkış gerilimindeki dalgalanmanın frekansı 300 Hz.dir.

2.1. Yarı İletken Güç Anahtarları

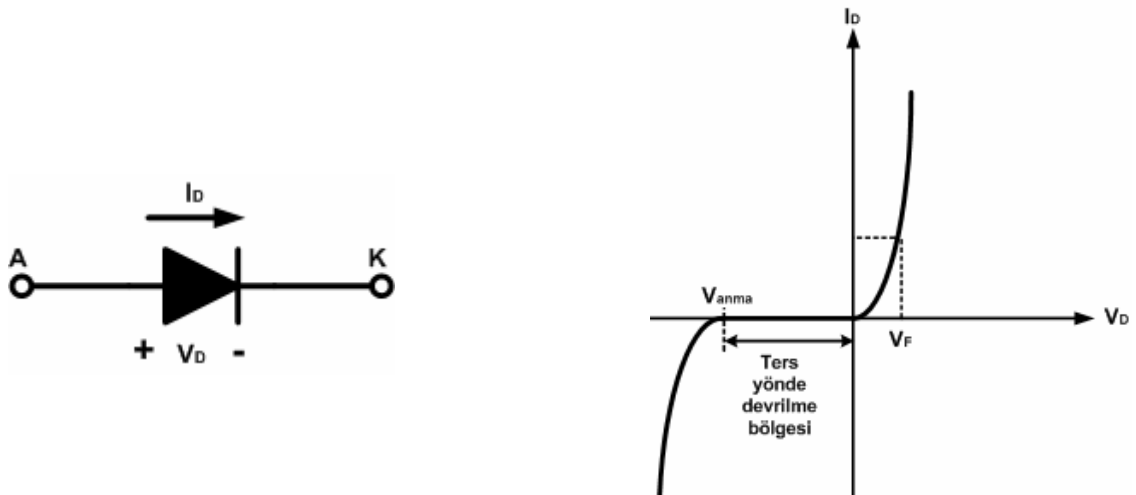
Artan güç kapasiteleri, kontrol kolaylığı ve sadece birkaç yıl öncekilerle kıyaslandığında modern yarı iletken güç elemanlarının daha düşük fiyatları çok sayıda uygulama için çeviricilerin satın alınabilmesini sağlamış ve güç elektroniği uygulamaları için çok sayıda yeni çevirici topolojisinin ortaya çıkmasına yol açmıştır.

Günümüzde var olan yarı iletken güç elemanları kontrol edilebilirlik derecelerine göre üç sınıfa ayrılabilir.

1. Diyotlar: İletim ve kesim durumları güç devresi tarafından kontrol edilir.
2. Tristörler: Bir kontrol işaretiyle iletme sokulur fakat güç devresi tarafından kesime götürülürler.
3. Kontrollü anahtarlar: Kontrol işaretiyle iletme geçer ve kesime giderler.

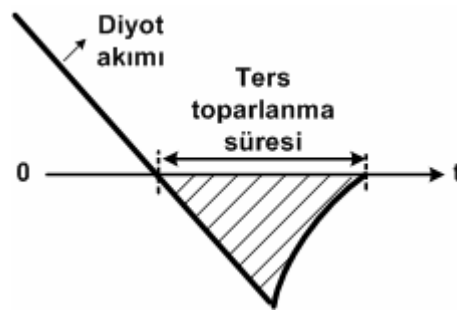
2.2. Diyotlar

Şekil 2.1 diyot için devre sembolünü ve diyotun sürekli durum akım-gerilim (i-v) karakteristiğini göstermektedir. Diyot ileri yönde kutuplandığında uçlarına ileri yönde uygulanan 1 volt gibi küçük bir gerilimle iletmeye başlar. Diyot ters yönde kutuplandığında ihmal edilebilecek bir sızıntı akımı eleman üzerinden ters devrilme gerilimine ulaşmaya kadar akar. Normal çalışmada ters yöndeki kutuplama gerilimi devrilme değerine kadar ulaşamaz.



Şekil 2.1 Diyot sembolü ve akım-gerilim karakteristiği.

İletim durumunda, diyot ideal bir anahtar olarak düşünülebilir, güç devresindeki geçici rejimlerle kıyaslandığında daha hızlı iletme geçer. Buna karşılık kesime gitme durumunda, Şekil 2.2 'de gösterildiği gibi diyot akımı sıfıra düşmeden önce bir ters toparlanma süresi t_{rr} için ters yönde akar [1]. Bu ters toparlanma akımı diyot içindeki fazla taşıyıcıların temizlenmesi ve diyotun negatif kutuplanması için gereklidir. Ters toparlanma akımı, endüktif devrelerde aşırı akıma yol açabilir.



Şekil 2.2 Diyot kesim durumu.

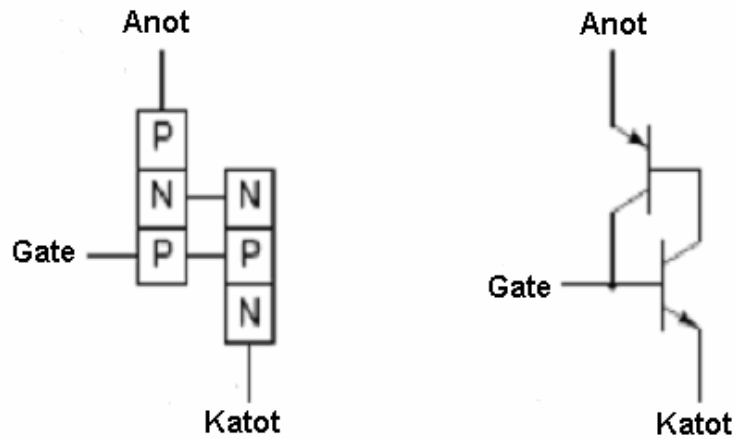
Uygulama gerekliliklerine bağlı olarak çeşitli diyot türleri bulunmaktadır [1].

1. Schottky diyotları: Bu diyotlar 0.3V gibi düşük bir ileri yönde kutuplama gerilim düşümü gereken, çıkış gerilimi çok düşük devrelerde kullanılır.
2. Hızlı toparlanan diyotlar: Bu diyotlar küçük bir ters toparlanma süresi gereken, kontrol edilebilir bir anahtarla birlikte yüksek frekans devrelerinde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Birkaç yüz voltluk ve birkaç yüz amperlik güç düzeylerinde bu tür diyotların birkaç mikrosaniyeden daha düşük ters toparlanma (t_{rr}) değerleri vardır.
3. Şebeke frekanslı diyotlar: Bu diyotların iletim durumundaki gerilim düşümü olabildiğince düşüktür ve şebeke frekans uygulamalarında hızlı toparlanan diyotlara göre daha büyük t_{rr} 'leri vardır. Bu diyotların kesme gerilim değerleri birkaç kilovolt ve akım değerleri birkaç kiloamper olabilir. Gerekli gerilim ve akım değerini karşılayabilmek amacıyla seri yada paralel biçimde bağlanabilirler.

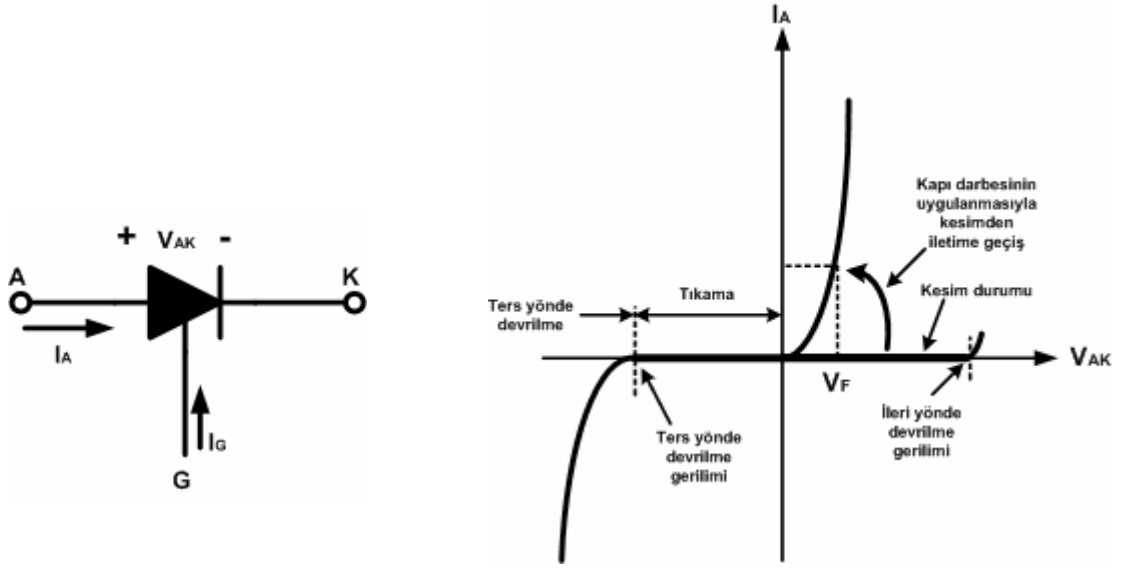
2.3. Tristörler

Bir tristörün devre sembolü ve akım-gerilim(i-v) karakteristiği Şekil 2.4 'de gösterilmiştir. Ana akım anottan katoda doğru akar. Tristör kesimde, Şekil 2.4 'de akım-gerilim karakteristiğinin kesime ilişkin durum bölgesinde, ileri yönde kutuplanmış bir gerilimi tutabilir ve iletmez.

Eleman ileri yönde tutma durumunda iken, kısa süreli bir pozitif kapı akım darbesinin uygulanmasıyla tristörü iletme sokabilecek bir tetikleme oluşur. Eleman bir kez iletme başladığında kilitlenir ve kapı akımı kesilebilir. Tristör kapıdan kesime götürülemez ve bir diyot gibi iletir. Sadece tristörün bağlı olduğu devrenin etkisiyle anot akımı negatif olma eğiliminde olursa tristör kesime gider ve akım sıfır değerine ulaşır. Ters devrilme gerilimi altındaki gerilim değerlerinde, ters yönde kutuplanan tristörden Şekil 2.4 'te gösterildiği gibi sadece ihmal edilebilecek bir sızıntı akımı akar. Genellikle tristörün ileri ve ters yöndeki tutma anma gerilim değerleri aynıdır [1].



Şekil 2.3 Tristör fiziksel yapısı ve eşdeğer devre modeli.



Şekil 2.4 Tristör sembolü ve akım-gerilim karakteristiği.

Uygulama gerekliliklerine bağlı olarak çeşitli tristör türleri bulunmaktadır.

1. Faz kontrollü tristörler: Çevirici tristörler adıyla da anılan bu tristörler öncelikle doğru akım ve alternatif akım motor sürme sistemleri için kullanılan faz kontrollü doğrultucular ve yüksek gerilimli doğru akım güç iletimi gibi uygulamalarda şebeke frekans gerilim ve akımını doğrultmak amacıyla kullanılır. Elemanın sağlaması gereken başlıca özellikler; büyük gerilim ve akım kontrol yeteneği ile iletim durumunda küçük bir gerilim düşümüdür.

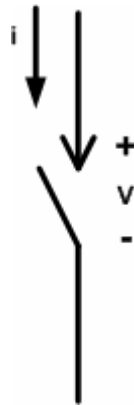
2. Eviricide kullanılan tristörler: İletim durumunda düşük gerilimlere ek olarak kısa kesime gitme süresi t_q elde etmek için tasarlanmışlardır.

3. Işıklı tetiklenen tristörler: Bu elemanlar tristörün özel duyarlılığı olan bir bölgede optik tellerle yönetilen bir ışık darbesiyle tetiklenirler. Bunların dışında farklı tristör türleri mevcuttur.

2.4. Kontrollü Anahtarlar

BJT 'ler, MOSFET 'ler, GTO 'lar ve IGBT 'lerin de içinde bulunduğu bazı yarı iletken güç elemanları kontrol uçlarına uygulanan kontrol işaretiyle ilettime sokulup kesime götürülebilirler. Kontrol edilebilir anahtar olarak adlandırdığımız bu elemanlar Şekil 2.5 'de gösterilen devre sembolü ile genel bir biçimde ifade edilmiştir [1]. Anahtar kesimde iken hiç akım akmaz ve iletimde iken akım sadece ok yönünde akabilir. Kontrol edilebilir ideal bir anahtar aşağıda belirtilen özelliklere sahiptir.

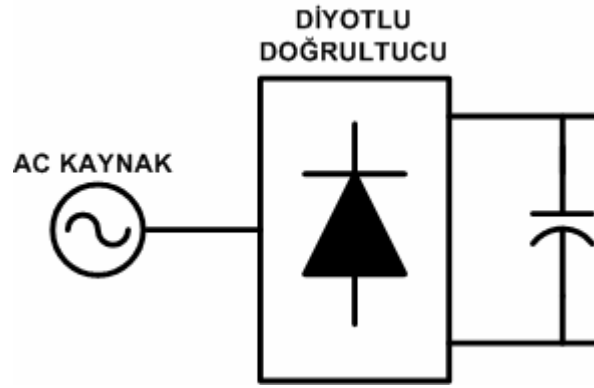
1. Kesim durumundayken, sıfır akım akışı olan isteğe bağlı olarak ileri ve ters yönde büyük gerilimleri kesebilir.
2. İletim durumundayken sıfır gerilim düşümü ile isteğe bağlı olarak büyük akımları iletir.
3. Tetiklendiğinde ani olarak iletim durumundan kesim durumuna yada kesimden ilettime geçebilir.
4. Anahtarı tetiklemek için kontrol kaynağından verilecek güç ihmal edilebilecek kadar küçük olmalıdır.



Şekil 2.5 Kontrol edilebilir anahtar devre sembolü.

2.5. Diyotlu Doğrultucular

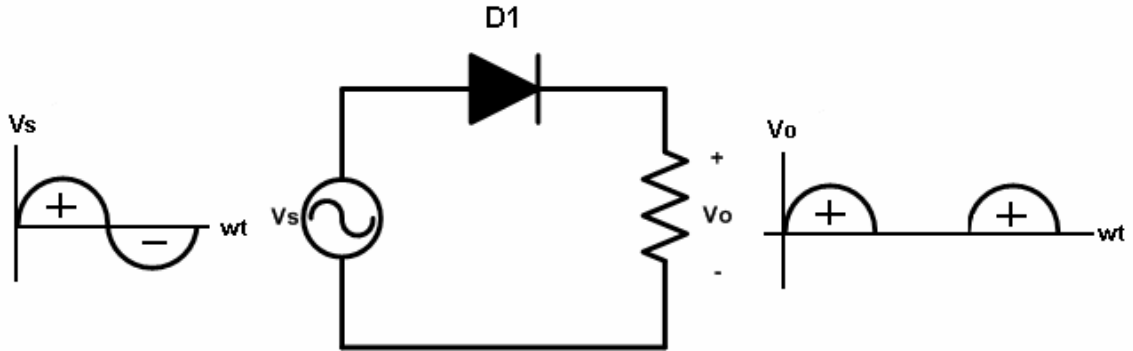
Çoğu güç elektroniği uygulamasında, elektrik şebekesinden sağlanan 50 yada 60 Hz 'lik sinüzoidal alternatif gerilim, önce doğru gerilime çevrilir. Diyotlu ucuz doğrultucular kullanılarak alternatif akım girişi kontrolsüz doğru akıma çevrilmektedir. Bu tür diyotlu doğrultucularda güç akışı sadece şebeke alternatif akım tarafından, doğru akım tarafına doğru olabilir güç akışının yönü değiştirilemez. Doğrultucuların dezavantajları, şebekeden oldukça bozulmuş harmonikli akım çekmeleridir [1].



Şekil 2.6 Diyotlu doğrultucu blok diyagramı.

2.5.1. Bir faz yarım dalga diyotlu doğrultucular

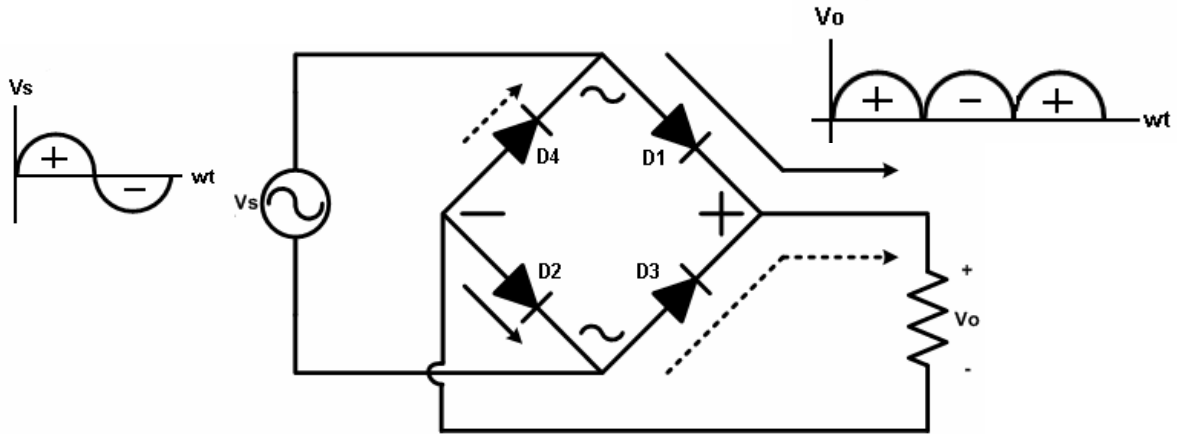
Basit bir yarım dalga doğrultucu devresinde, Şekil 2.7 'deki gibi, bir diyot seri olarak bir gerilim kaynağına bağlanır [2]. Pozitif alternansta D1 diyotu iletme geçer, çünkü anodu, katotuna göre daha pozitifdir. Besleme gerilimine eşit bir gerilim yük uçlarında oluşur. Negatif alternansta, D1 diyodu akımı bloke eder. Böylece yük uçlarında gerilim oluşmaz. Gerilim daima tek yöndedir. Tam bir periyot için, pozitif darbelerin altındaki alanın ortalaması alınırsa çıkıştaki DC gerilim elde edilir. Yarım dalga doğrultucular, daha çok düşük akım uygulamalarında kullanılmaktadır. Örneğin; pil şarj cihazları, hesap makineleri için ac-dc adaptörler ve benzeri uygulamalarda kullanılırlar.



Şekil 2.7 Bir faz yarım dalga doğrultucu ve çıkış gerilim dalga şekli.

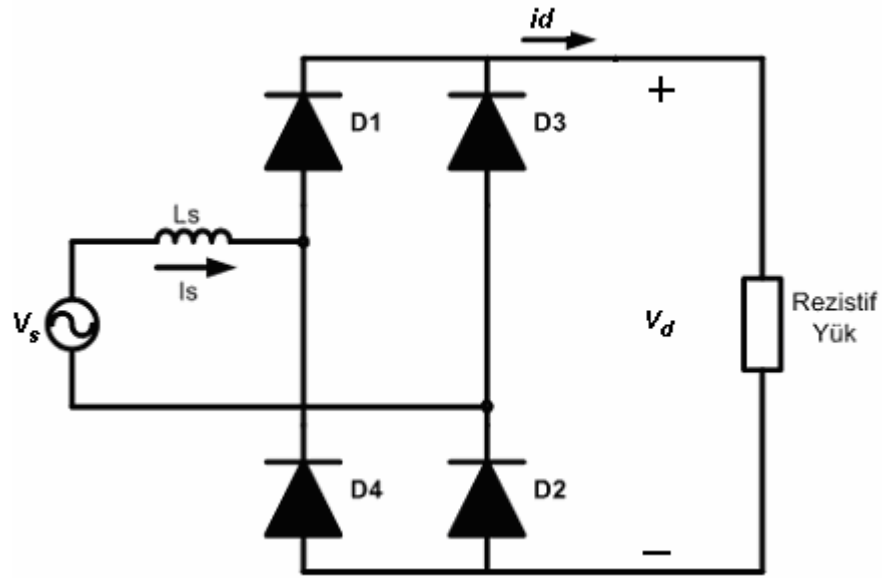
2.5.2. Bir faz diyotlu köprü doğrultucular

Şekil 2.8 'de tek faz tam dalga köprü doğrultucu devresi görülmektedir. Tek faz köprü ağında dört diyot kullanılır. Köprü ağının çıkış uçlarından birisi, yük akımının dönüşü için ortak topraktır. Diğer çıkış ucu yüke bağlanır. D1 ve D2 pozitif alternansta iletir. D3 ve D4 negatif alternansta iletir. Her iletim yolu, yüke akımı aynı yönde iletir. Darbeli DC çıkışı iki faz yarım dalga doğrultucu ile aynıdır.

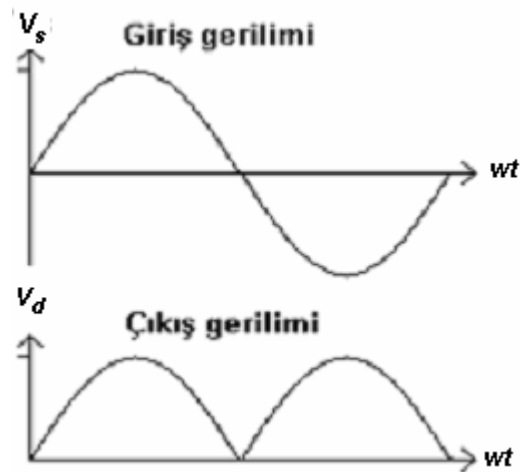


Şekil 2.8 Bir faz köprü doğrultucu.

Şekil 2.9 'da bir faz diyotlu köprü doğrultucunun farklı gösterim şekli verilmiştir. AC giriş kısmında bir faz besleme kaynağı modeli verilmiştir. Şebeke besleme kaynağı, sinüzoidal bir gerilim kaynağı ile buna seri bağlı endüktif olan bir iç kaynak empedansı ile modellenmiştir [1].



(a)



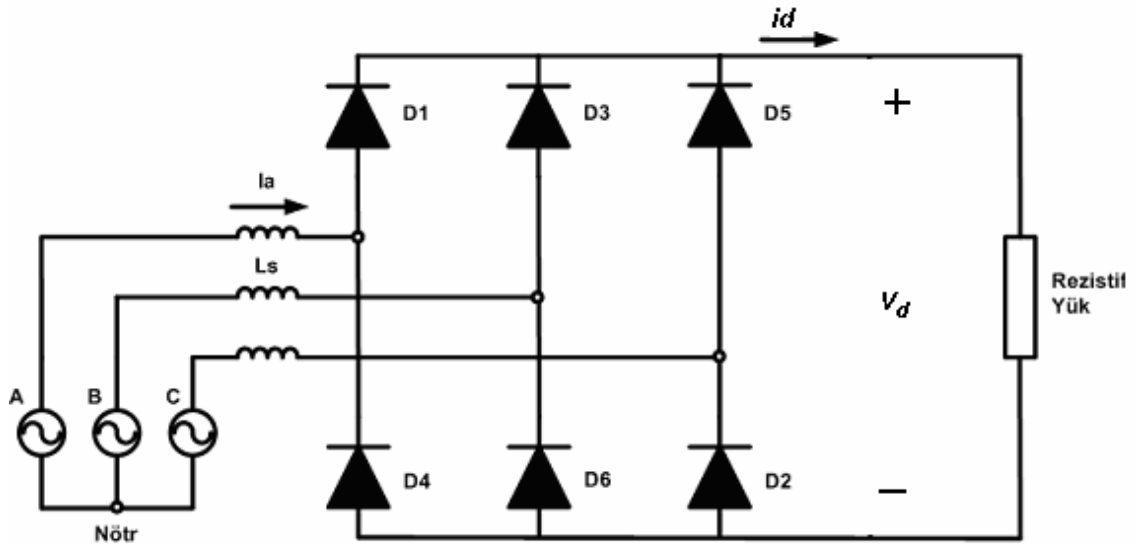
(b)

Şekil 2.9 Bir faz tam dalga diyotlu doğrultucu: a) şeması b) giriş ve çıkış gerilim dalga şekli.

Şekil 2.9 'da üst gruptaki iki diyotun katotları ortak potansiyeldedir. Bu nedenle anot potansiyeli en yüksek olan diyor i_d akımını iletacaktır. Alt gruptaki iki diyotun anotları ortak bir potansiyeldedir. Bu nedenle katodu en düşük potansiyelde olan diyet i_d akımını iletacaktır. Şekil 2.9b 'de akım ve gerilim dalga şekilleri gösterilmiştir [1].

2.5.3. Üç fazlı diyotlu tam köprü doğrultucular

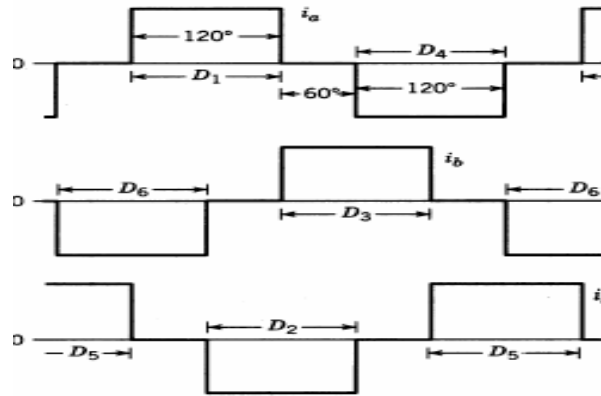
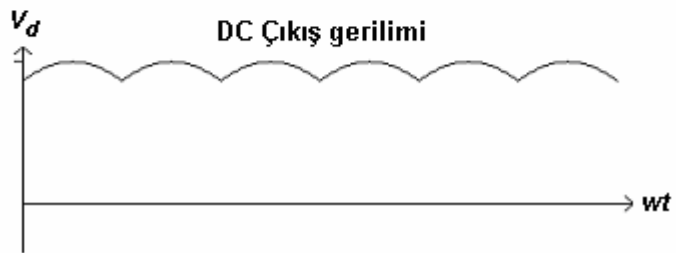
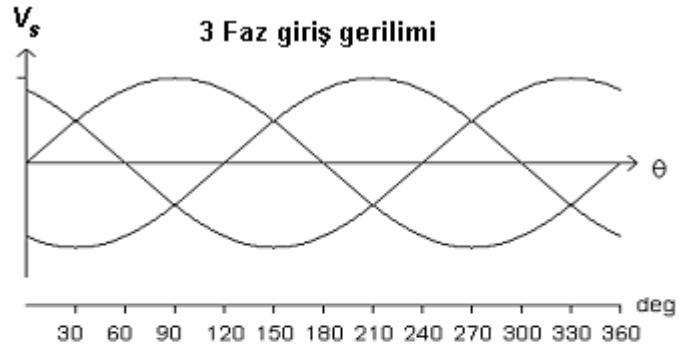
Üç fazlı alternatif gerilimlerin mevcut olduğu sanayi uygulamalarında, üç faz tam dalga doğrultucu devrelerinin kullanımı, bir faz tam dalga doğrultuculara göre daha düşük harmonikli dalga biçimleri ve daha yüksek güç oluşturma kapasiteleri nedeniyle tercih edilir.



Şekil 2.10 Üç faz tam dalga diyot doğrultucu.

Üç faz, altı darbeli tam dalga diyotlu doğrultucu sık rastlanan bir devre yapısıdır. i_d akımı üst grupta bulunan bir diyottan alt gruptaki bir diğer diyota akar. Bir fazlı doğrultucuya benzer şekilde, üst grupta anodu en yüksek gerilim seviyesinde olan diyot iletme geçerken diğer ikisi ters yönde kutuplanacaktır.

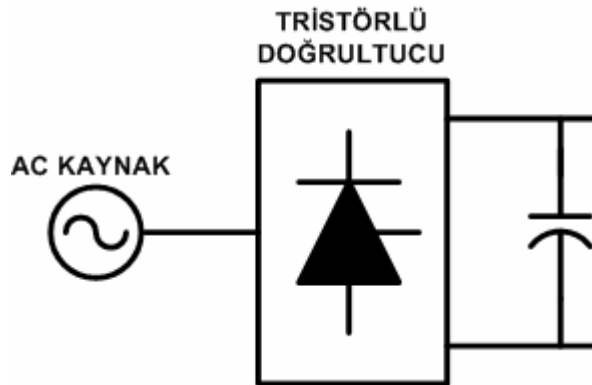
Alt grupta ise, katodu en düşük gerilim seviyesinde olan diyot iletme geçerken yine diğer ikisi ters yönde kutuplanacaktır. Şekil 2.10 'deki devrelere ilişkin gerilim ve akım dalga şekilleri Şekil 2.11 'de verilmiştir.



Şekil 2.11 Üç faz tam dalga diyot doğrultucu: a) giriş gerilimi b) çıkış gerilimi c) akım dalga şekilleri.

2.6. Tristörlü Doğrultucular

Şebeke frekansında alternatif giriş gerilimini çıkışta kontrolsüz doğru gerilime çeviren diyotlu doğrultucular küçük güç uygulamaları ve çıkış geriliminin kontrolüne gerek olmayan uygulamalarda kullanılır. Buna karşın akü şarj devreleri, motor sürücü uygulamaları, kesintisiz güç kaynakları, yüksek gerilimli doğru akımla enerji iletim sistemlerinde çıkış geriliminin kontrol edilebilmesi işi şebeke frekanslı faz kontrollü çeviricilerde kullanılan tristörler yardımıyla gerçekleştirilir. Tristörlü doğrultucularda, tristörün iletme başlama ve kesime gitme anı, hat frekanslı alternatif gerilimin dalga şekline bağlıdır. Dahası bir elemandan diğerine olan akım transferi yada komutasyon bu alternatif gerilim tarafından doğal olarak gerçekleştirilir [1]. Tümüyle kontrollü bir çevirici Şekil 2.12 'de blok diyagram şeklinde gösterilmektedir. Uygulanan alternatif şebeke gerilimi için doğru akım tarafındaki ortalama gerilim sürekli olarak pozitif maksimum değerden negatif minimum değere doğru kontrol edilebilir.



Şekil 2.12 Tristörlü doğrultucu.

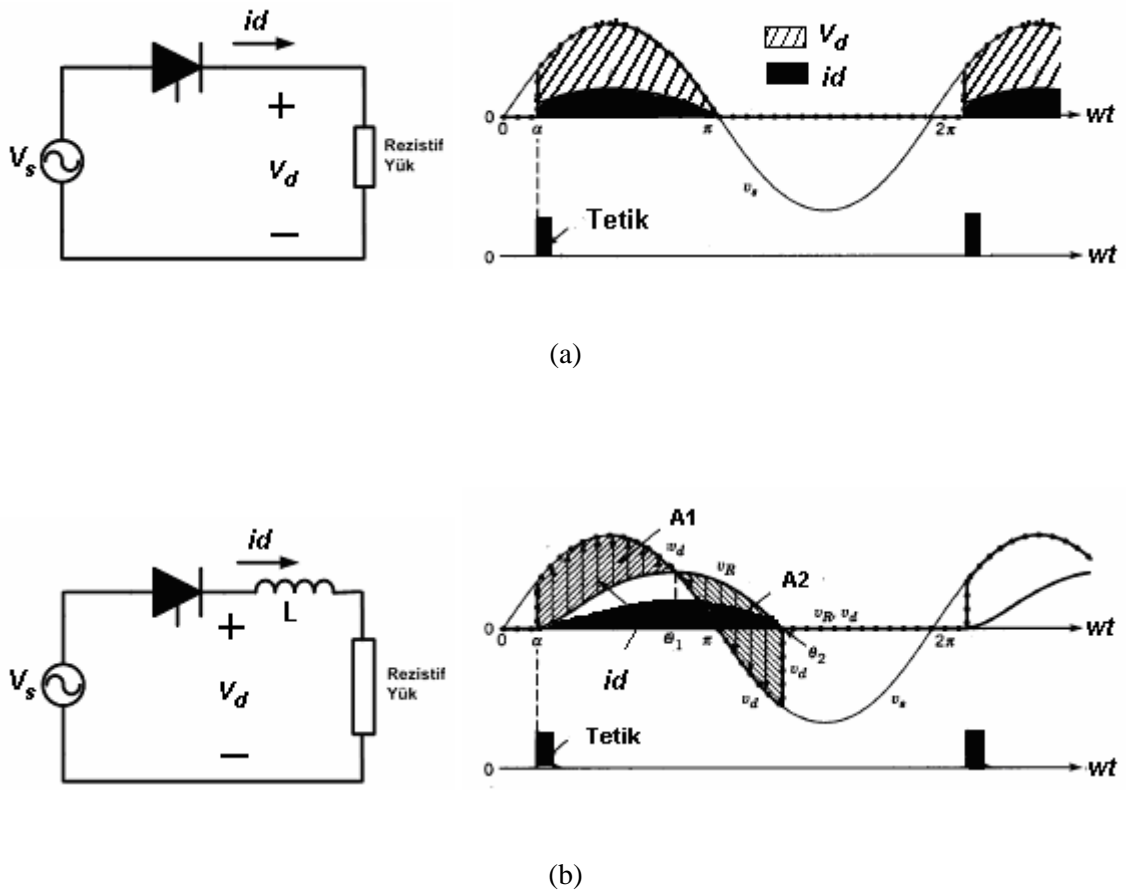
2.6.1. Bir fazlı tam kontrollü yarım dalga devreler

Bir fazlı tam kontrollü yarım dalga devreler, bir adet tristör içerir. Tristör, anot gerilimi pozitifken istenilen anda tetiklenebilir. Ortalama gerilim bu şekilde ayarlanabilir. Şekil 2.13a 'da hat frekanslı v_s kaynağı bir tristör üzerinden yük direncine bağlanmıştır [1]. v_s 'nin pozitif yarı periyodunda tristöre kısa süreli pozitif bir kapı darbesi uygulandığı $\omega t = \alpha$ anına kadar akım sıfırdır. Tristörün iletme geçmesi ile $v_d = v_s$ olur. Pozitif periyodun geri kalan kısmında akım dalga şekli, alternatif akım dalga şeklini izler ve $\omega t = \pi$ olduğunda sıfır olur. Daha sonra tristör, v_s 'nin negatif yarı periyodu süresince akımın akışını engeller. Şekil 2.13b 'de

yük, R ve L 'den oluşmaktadır. Başlangıçta akım sıfır değerindedir. Tristör iletimi $\omega t = \alpha$ olana kadar geciktirilmiştir. Tristör uçlarındaki gerilim pozitif olduğunda v_s 'nin pozitif yarım dalgası içinde $\omega t = \alpha$ anında tristör tetiklenir, akım akmaya başlar ve $v_d = v_s$ olur. Endüktans uçlarındaki gerilim aşağıdaki gibi bulunur.

$$V_L(t) = L \frac{di}{dt} = V_S - V_R$$

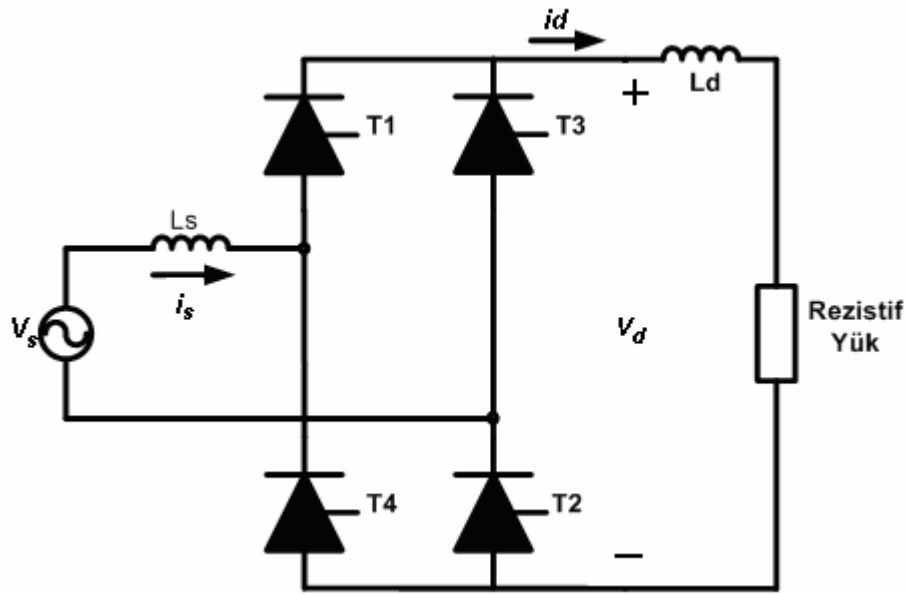
Burada $V_R = Ri$ ' dir. Grafik olarak Şekil 2.13b 'de, A1 alanının A2 alanına eşit olduğu anda akım sıfır değerine ulaşır.



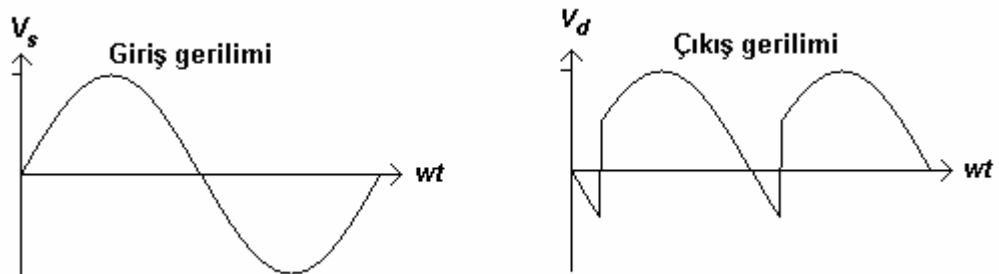
Şekil 2.13 Bir fazlı kontrollü yarım dalga doğrultucu: a) resistif yük b) resistif ve endüktif yük.

2.6.2. Bir fazlı tam kontrollü tam dalga devreler

Bir fazlı tam kontrollü tam dalga devrenin yük akımının sürekli olması hali için düzenlenmiş hali Şekil 2.14 'deki gibidir. i_d akımı üst gruptaki tristörlerin birinden (1 veya 3) geçerek yükü besler ve alt gruptaki bir tristör (2 veya 4) üzerinden devresini tamamlar. Kapı akımları sürekli uygulanacak olursa tristörler diyot gibi davranacaktır [1]. Tristörlere belli bir α tetikleme açısı uygulandığında tristörlerin iletiminde α açısı kadar gecikme olacaktır.



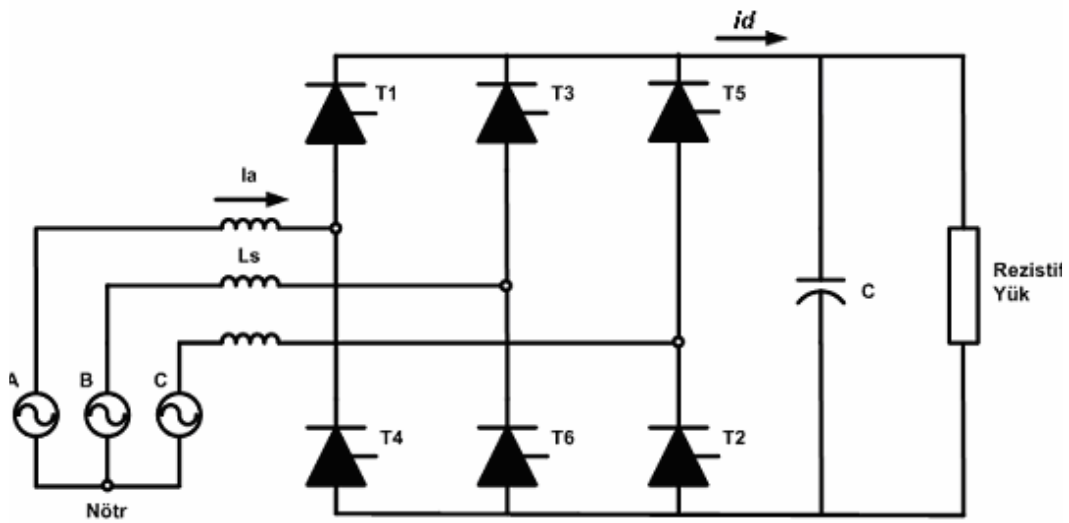
Şekil 2.14 Bir fazlı kontrollü tam dalga doğrultucu.



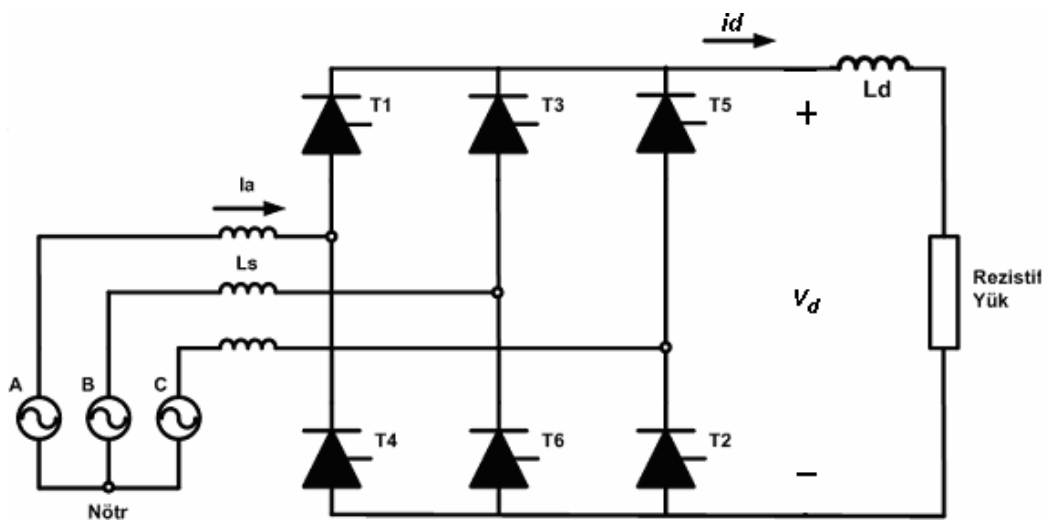
Şekil 2.15 Bir fazlı kontrollü tam dalga doğrultucu giriş ve çıkış gerilim dalga şekilleri.

2.6.3. Üç fazlı tam kontrollü tam dalga devreler

Üç fazlı tam kontrollü tam dalga devre Şekil 2.16 'daki gibidir. i_d akımı üst gruptaki tristörlerin birinden, alt gruptaki tristörlerden birine akar [1]. Kapı akımları sürekli uygulanacak olursa tristörler diyot gibi davranacaktır. Tristörlere belli bir α tetikleme açısı uygulandığında, tristörlerin iletiminde α açısı kadar gecikme olacaktır.

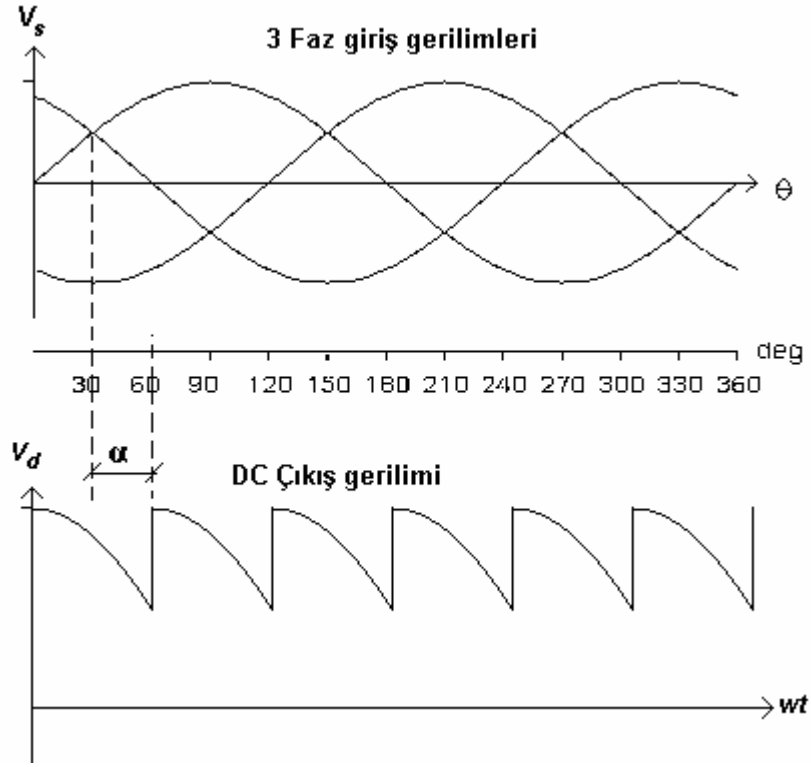


Şekil 2.16 Üç fazlı tristörlü çevirici



Şekil 2.17 Üç fazlı tristörlü çevirici rezistif ve endüktif yük durumu.

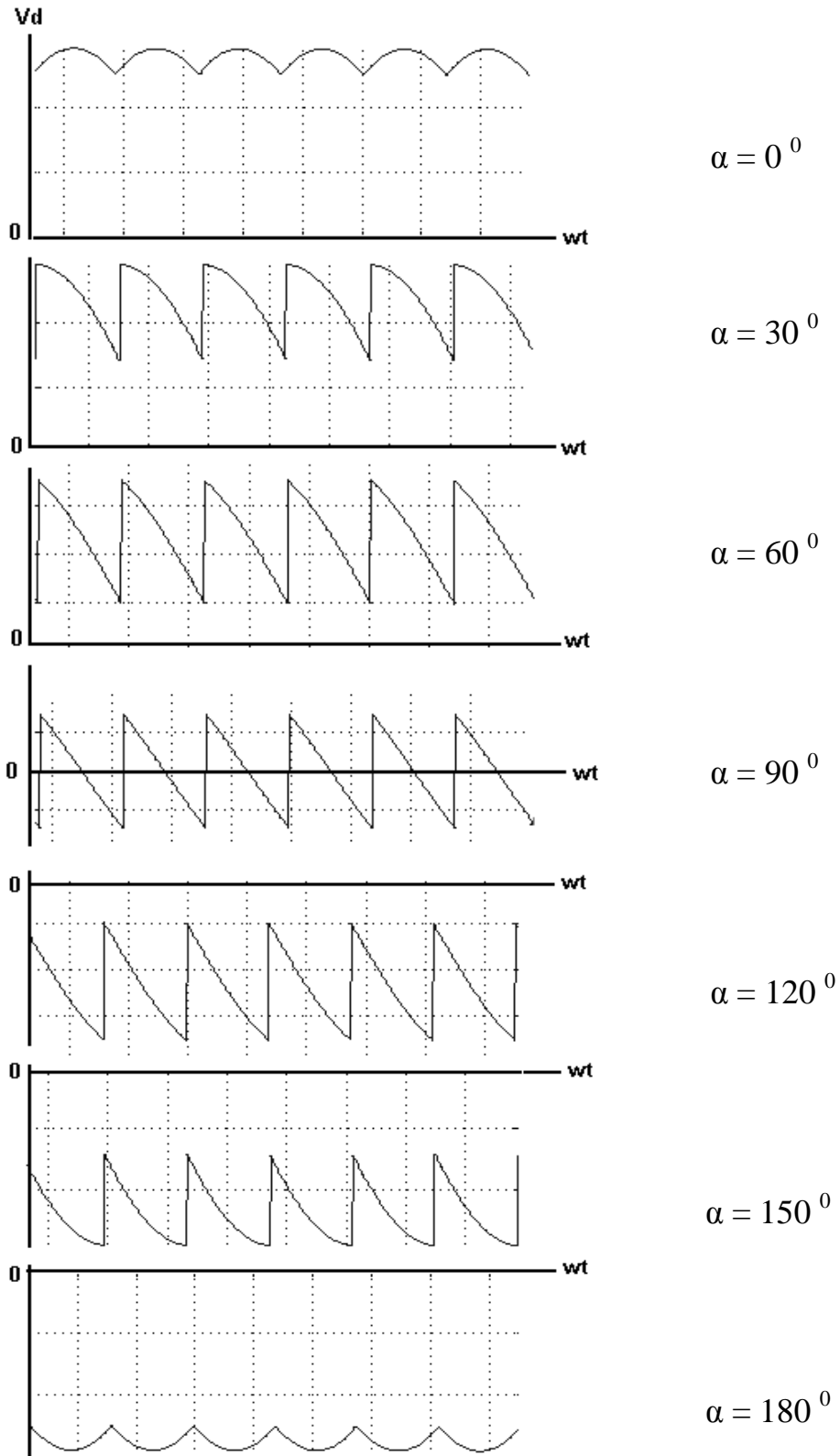
Şekil 2.17 'ye ilişkin giriş ve çıkış gerilim dalga şekilleri şekil 2.18 'de verilmiştir.



Şekil 2.18 Üç fazlı tristörlü çevirici giriş ve çıkış gerilim dalga şekilleri.

2.6.4. Doğru akım tarafındaki gerilim

Üç fazlı çeviricinin doğru akım tarafındaki gerilimin tetikleme açısıyla değişimi Şekil 2-19 'da gösterilmiş olup bunların her birinin bir ortalama doğru akım bileşeni bulunmaktadır. Görüldüğü gibi DC gerilimdeki, alternatif akım salınımının frekansı hat frekansının altı katıdır.

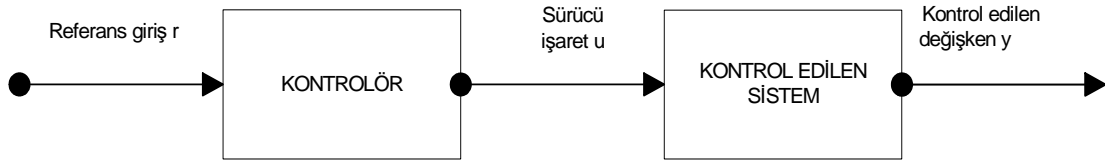


Şekil 2.19 Doğru akım tarafındaki dalga şekillerinin tetikleme açısıyla değişimi.

2.7. Genel Kontrol Yöntemleri

2.7.1. Açık çevrim kontrol sistemleri

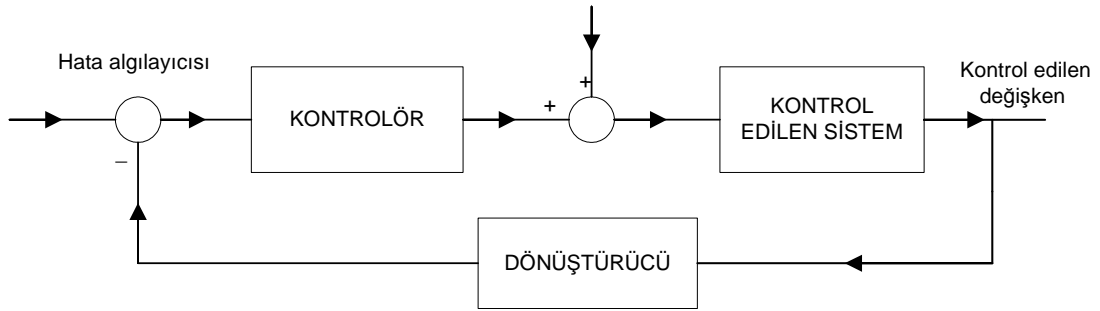
Çıkışından bir geribesleme almayan kontrol sistemleri, açık çevrim kontrol sistemleri olarak adlandırılır. Bu sistemler, kritik davranış koşullarını yerine getirebilecek seviyede sistemler değildir. Bir dereceye kadar basit sistemlerdir. Sistemin çıkışında meydana gelecek bir yüklenme durumunda, sistemin etkilenmesi kaçınılmazdır. Herhangi bir düzeltme işlemi yapılamaz. Açık çevrimli kontrol sistemlerinin ögeleri, kontrolör ve kontrol edilen sistem olmak üzere iki kısma ayrılır. “u” sürücü işaret çıkışlı kontrolöre, “r” komutu yada giriş işareti uygulanır; bu sürücü işaret, kontrol edilen sistem çıkışındaki “y” kontrol edilen işareti, önceden belirlenen standartlara göre davranmasını sağlayacak şekilde etkiler. Bu tür açık çevrimli kontrol sistemlerine, basit ve ekonomik olmaları dolayısıyla çok sayıda karmaşık olmayan uygulamada rastlamak mümkündür.



Şekil 2.20 Açık çevrimli kontrol sistemlerinin ögeleri.

2.7.2. Kapalı çevrimli kontrol sistemleri

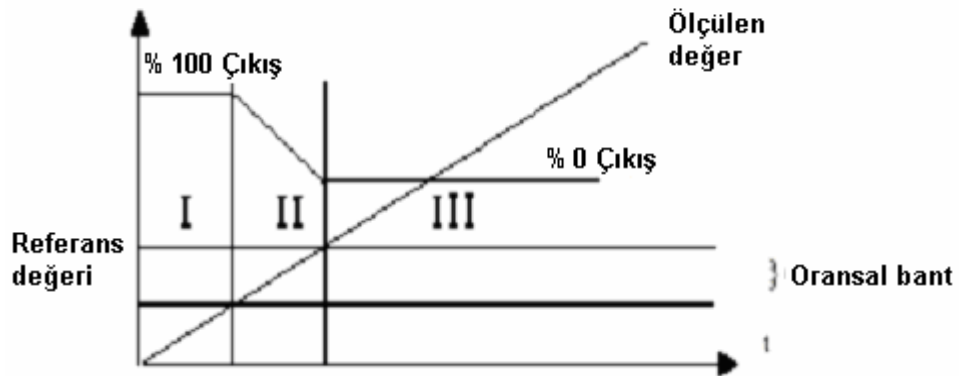
Açık çevrim kontrol sistemlerin hatasız ve adaptif kontrolü için gerekli olan şey, sistem çıkışından girişine bir bağlantının oluşturulması yada geribeslemedir. Daha hatasız kontrol elde etmek için, “y” kontrol edilen işaret geribeslenmeli ve referans işaretle karşılaştırılmalı, giriş-çıkış işaret farkı ile orantılı bir sürücü işaret, hatayı gidermek üzere sisteme uygulanmalıdır. Tanımlandığı gibi, bir ya da daha çok geribesleme yoluna sahip bir sisteme, kapalı çevrimli sistem denir [3].



Şekil 2.21 Kapalı çevrimli kontrol sistemi.

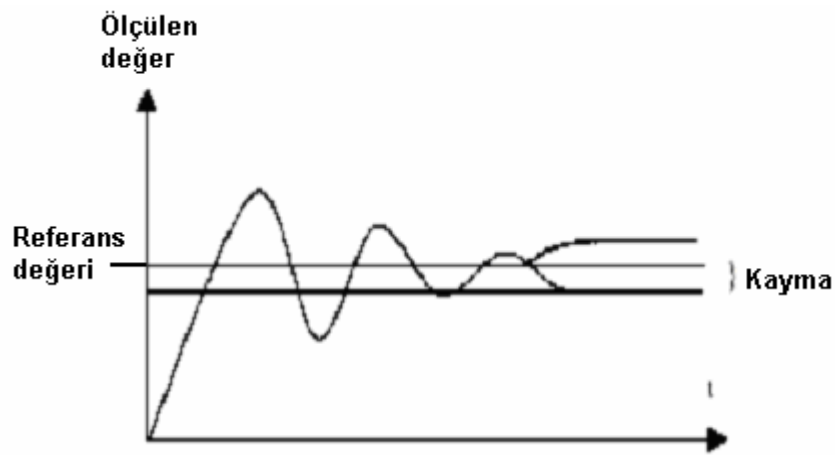
2.7.3. Oransal (P) kontrol

Oransal kontrol sistemlerinde, kontrol cihazının çıkış sinyali, prosesin talep ettiği oranda otomatik olarak ayarlanır. Oransal bandın dışında ve referans noktasının altında ölçülen proses değerinde kontrol cihazı %100 (sürekli) çıkış sinyali üretir (Bölge I). Ölçülen proses değeri, oransal band ile tanımlanan bölgeye girince, çıkış sinyali orantılı olarak azaltılır. Ölçülen değer, referans noktasına yaklaştıkça çıkış sinyali sıfıra doğru azalır (Bölge II). Ölçülen değer, referans noktasının üzerine çıkınca, çıkış sinyali kapatılır (Bölge III) [3].



Şekil 2.22 Oransal bandın çıkış Sinyaline katkısı.

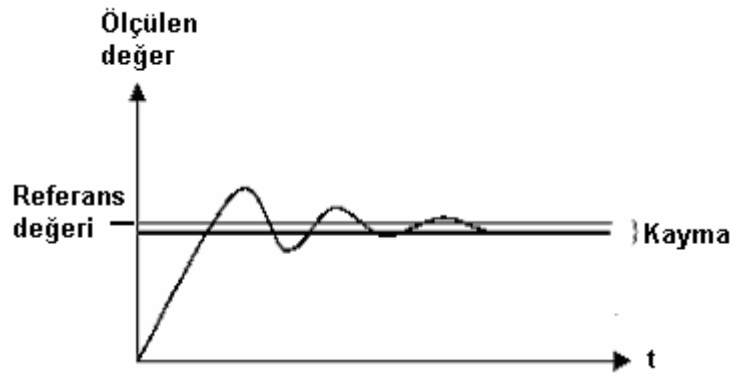
Oransal bant, kontrol cihazlarında % cinsinden belirtilir. Oransal kontrollü sistemlerin örnek cevabı şu şekilde olur; öncelikle ölçülen değer referans noktasının üzerine çıkar, bir kaç kez referans noktası üzerinde dalgalanma yaptıktan sonra, referans değerinin altında veya üzerinde bir noktaya yerleşir. Referans noktasından kaymayı gösteren bu farklılık ofset olarak adlandırılır. Referans noktasının üzerinde aşırı yükselme, aşırı düşüşler ve kayma, ideal kontrol sisteminde istenmeyen etkilerdir.



Şekil 2.23 Oransal kontrol kullanılan prosesin cevap grafiği.

2.7.4. Oransal-Türevsel (PD) kontrol

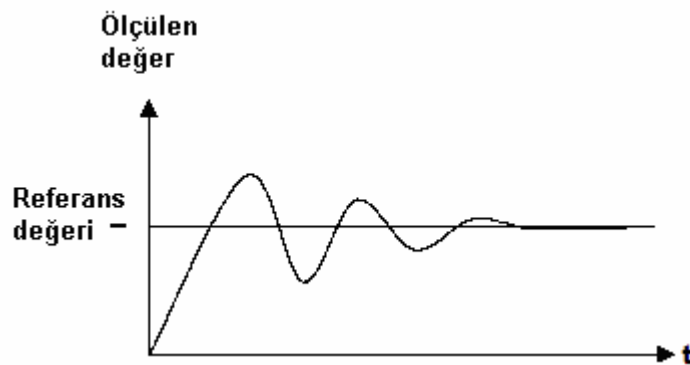
Türevsel parametrenin kullanılmasının asıl nedeni, oransal kontrolde oluşan, aşırı yükselme ve düşüşleri azaltmaktır. Bu parametrenin kullanılmasıyla referans noktasından kayma (ofset) de bir miktar azalır ancak tümüyle ortadan kalkmaz. Türev etkisinin çalışması basitçe; Referans değeri ile ölçülen değer arasındaki farkın türevi alınır (yani prosesin reaksiyon hızı ölçülmüş olur) ve prosesin cevabına göre çıkış sinyali ayarlanarak (oransal çıkışın azaltılması veya artırılması ile) aşırı yükselmeler ve aşırı düşüşler engellenmiş olur. Bu sistemin en büyük özelliği, dinamik cevabının çok iyi olmasıdır. Türevsel etki, düzeltici görevini çok hızlı bir şekilde gösterir [3].



Şekil 2.24 Oransal türevsel kontrol kullanılan prosesin cevap grafiği.

2.7.5. Oransal-İntegral (PI) kontrol

Oransal kontrol uygulanan bir sistemde ofset dediğimiz, referans noktası ile kontrol edilmiş (ölçülen değer) arasında bir kayma olur. Bu ofset değerinin (yani kaymanın) ortadan kaldırılabilmesi için gerekli olan katkı eklenen integral kontrol ile sağlanır. İntegral kontrolde, oransal integral kontrol kullanılan prosesin reaksiyon (cevap) grafiği ölçülen değer ile istenen değer arasındaki fark sinyalinin zamana göre integrali alınır. Bu değer fark değeri üzerine eklenerek oransal band kaydırılır ve proses değeri istenen değere oturtulur [3].



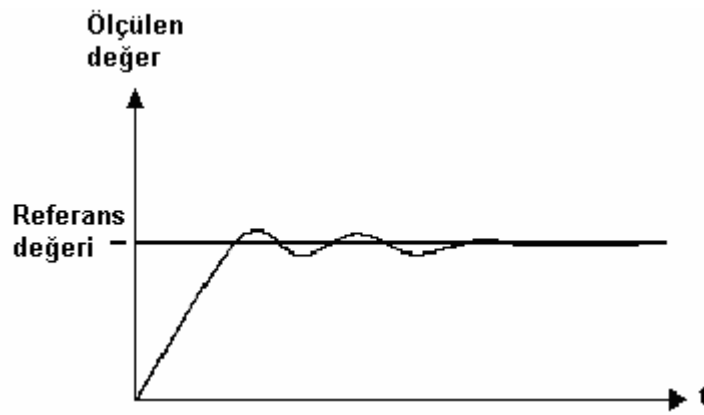
Şekil 2.25 Oransal integral kontrol kullanılan prosesin cevap grafiği.

Sisteme kontrol cihazı tarafından verilen enerji, integral algoritmasının katkısıyla ihtiyaca göre sürekli artırılıp azaltılarak ofset ortadan kaldırılır. Oransal-integral kontrolde, ilk başlama

anında proses değeri referans noktasının üzerine önemli miktarda çıkar, referans değeri etrafında bir kaç kez salınım yaptıktan sonra istenen değere oturur.

2.7.6. Oransal-İntegral-Türevsel (PID) kontrol

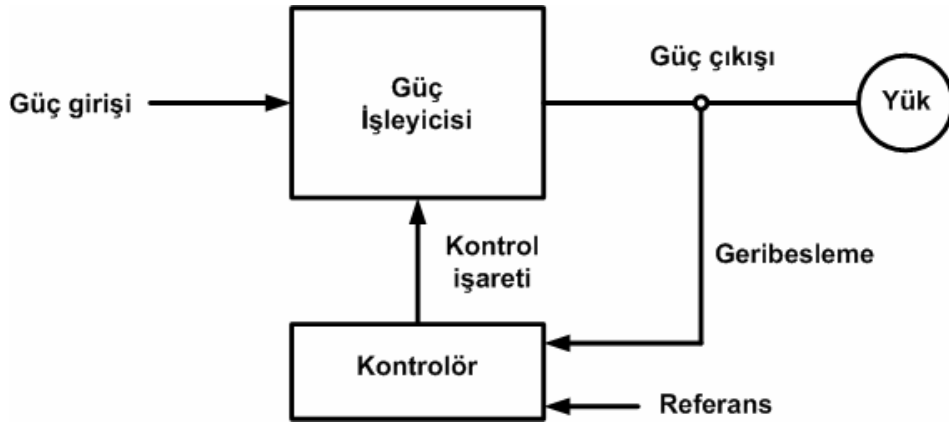
Oransal kontrolde oluşan ofset integral algoritmasıyla, istenen değerin çok üzerine çıkılması veya altına inilmesi ise türev algoritması ile giderilir. PID parametrelerinin doğru ayarlanması ile mükemmel bir kontrol sağlanabilir [3].



Şekil 2.26 Oransal integral türevsel kontrol kullanılan prosesin cevap grafiği.

2.7.7. Güç elektroniği sisteminin blok diyagramı ve kontrolü

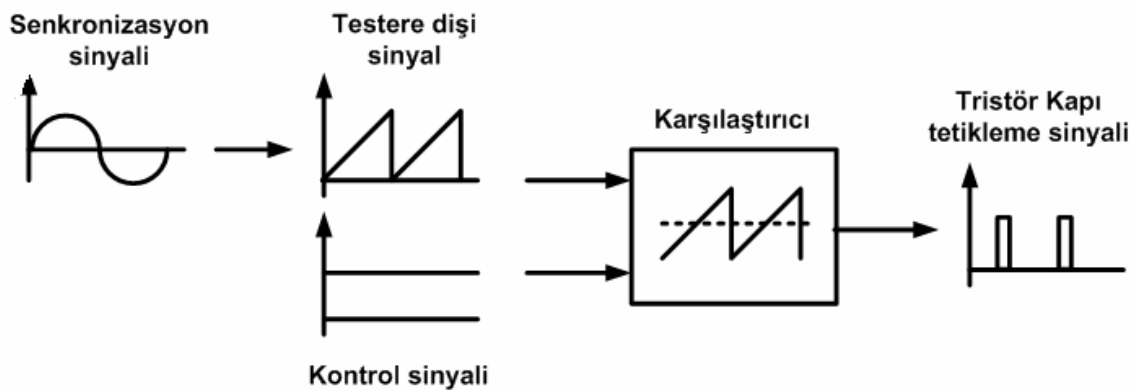
Güç elektroniğinin görevi, tüketici yüklerine optimal olarak ayarlanmış bir biçimde akım ve gerilim sağlayarak elektrik enerjisi akışını işlemek ve kontrol etmektir. Normal olarak, bir geri besleme kontrolörü güç işleyicisi biriminin çıkışını istenilen (referans) değerle karşılaştırır ve ikisi arasındaki hata kontrolör tarafından en aza indirgenir. Kontrolör lineer tüm devreler veya sayısal işaret işleyicilerden oluşmaktadır. Mikroelektronik yöntemlerindeki yenilikçi gelişmeler bu tip kontrolörlerin gelişmesine yol açmıştır [1].



Şekil 2.27 Güç elektroniği sisteminin kontrolü.

2.8. Tristörlü Devreler ve Kontrolü

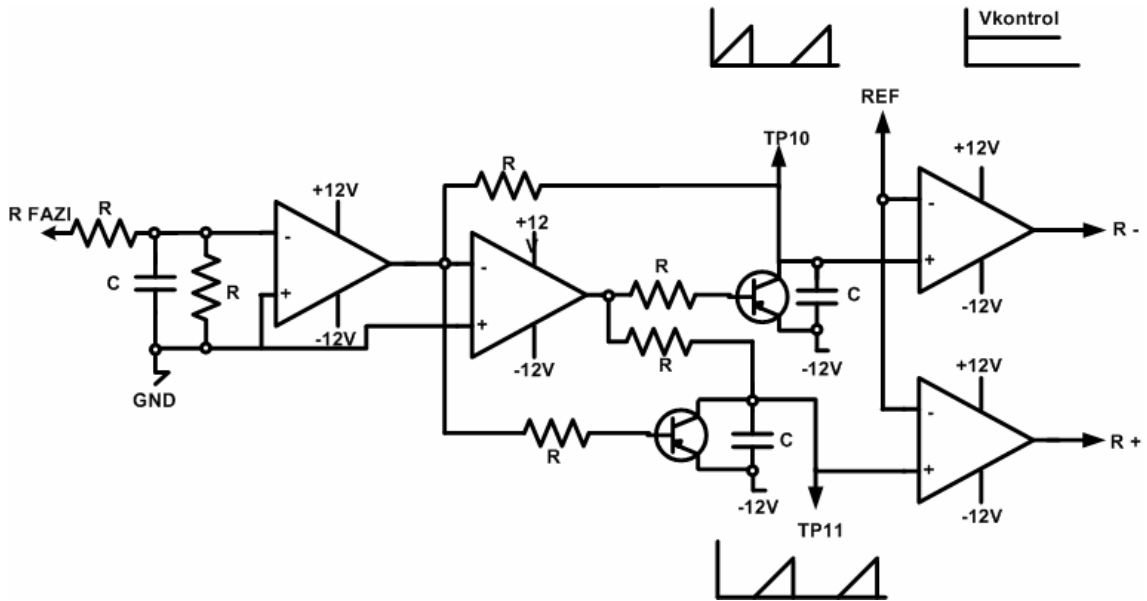
Giriş AC gerilimleri için, tristörlü doğrultucudaki ortalama çıkış geriliminin genliği, tristörlerin iletme geçirildiği anların geciktirilmesiyle kontrol edilebilir. Tristörün tetikleme anının kontrol edilmesiyle, devrenin ortalama akımı sıfırdan maksimum bir değere kadar sürekli kontrol edilebilir. Aynı durum, AC kaynaktan sağlanan güç içinde geçerlidir. Tristörlerin tetik sinyallerinin oluşturulması için; şebeke giriş gerilimine senkron hale getirilmiş testere dişi darbeleri oluşturulur. Testere dişi darbelerinin, kontrol sinyali ile karşılaştırılmasıyla, tristör tetik sinyalleri oluşturulur.



Şekil 2.28 Kapı tetikleme kontrol devresi.

2.8.1. Analog devrede doğrultucu tristör tetiklerinin oluşturulması

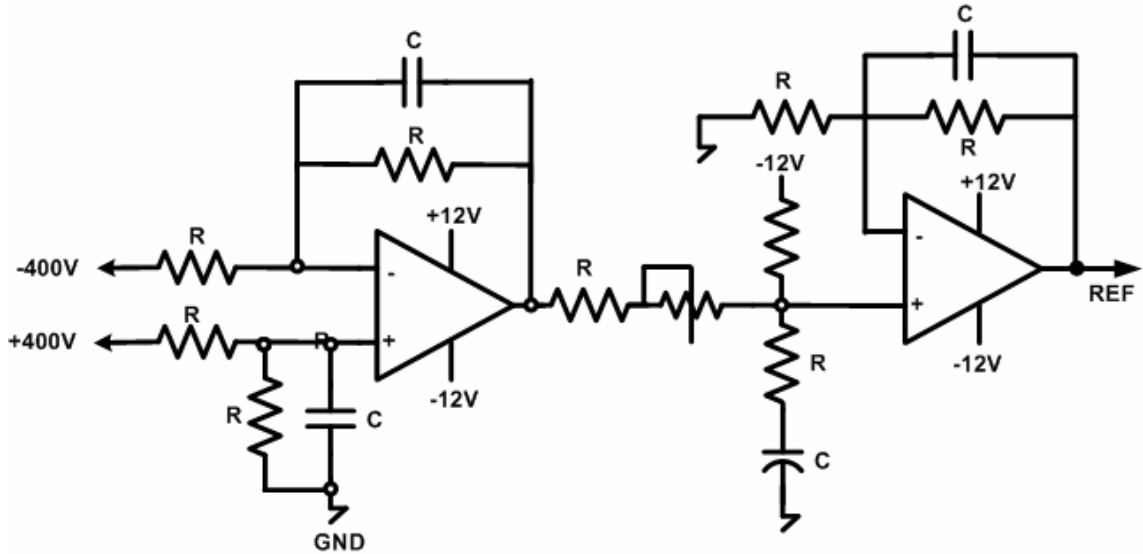
Tristör tetiklerinin oluşturulmasında birçok analog devre kullanılabilir. Şekil 2.29 'da pratikte tristör tetik sinyallerini oluşturmada kullanılan bir devre görülmektedir. Şebeke R fazından alınan 220V 'luk gerilim bilgi okuma trafolarından geçirilerek genliği düşürülen gerilim, gerilim bölücü dirençlerle opampın besleme voltajlarının altında bir tepe değerine sahip olacak voltaj değerine getirilir. Sonra bu sinyal karşılaştırmacı bir opampa girerek GND ile karşılaştırılır ve opampın çıkışında şebeke fazı ile aynı fazda bir kare dalga oluşturulur. Kare dalga tekrar bir karşılaştırmacı opampa girilerek pozitif yarı periyotta şebekenin fazı ile aynı fazda TP10 noktasında görülen, pozitif yarı periyoda denk gelen testere dişi darbe oluşturulur. Negatif yarı periyotta ise, TP11 'de görülen negatif yarı periyoda denk gelen testere dişi darbeleri oluşturulur. Testere dişi darbeleri PI kontrol sonucunda ortaya çıkan $V_{kontrol}$ olarak belirtilen sinyal ile karşılaştırılarak tristör sürme sinyalleri oluşturulur.



Şekil 2.29 Analog redresör tristör tetiklerinin oluşturulması.

2.8.2. Analog redresör kontrol devresi ve uygulaması

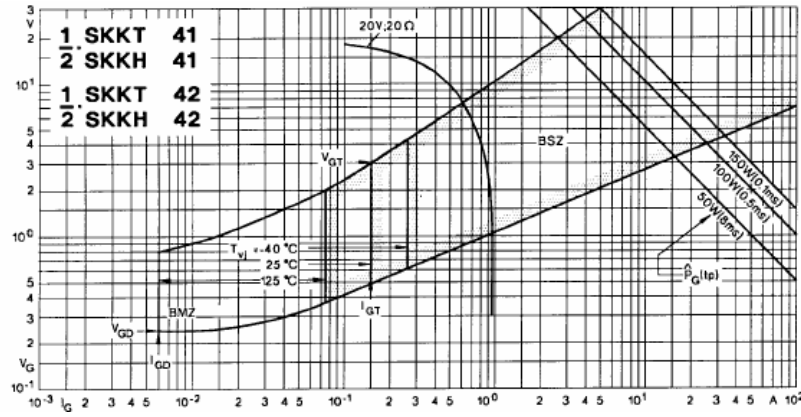
Şekil 2.30 'daki devre pratik uygulaması olan PI kontrol amacıyla tasarlanmış, testere dişi sinyal ile karşılaşacak kontrol sinyalini oluşturan devredir. Devre DC bara voltajının okunarak gerekli voltaj seviyesine çıkarıldığı fark yükseltici, işlemsel kuvvetlendiriciler ve pasif devre öğeleriyle sağlanan PI kontrolü oluşturan devreden oluşmaktadır. DC bara voltajından alınan geribesleme bilgisi, bir fark yükselttecinden geçirilerek DC bara voltajından alınan geribesleme bilgisini devre için gerekli voltaj seviyesine yükseltir. Alınan geribesleme bilgisi, referans voltajı ile karşılaştırarak hata sinyali elde edilir. Elde edilen hata belli bir katsayı ile çarpılarak DC bara voltajına etki ettirilir. Bu PI kontrolün oransal yani P kısmını oluşturur. Devredeki kapasite ise integral etkisini ve DC voltajın set edilen değerde sabitlenmesini sağlar. Kapasitenin büyüklüğü yani integral katsayısı düzeltmenin hızını etkiler. PI kontrol yardımıyla oluşan hata sıfır yapılmaya çalışılarak kontrol sağlanır.



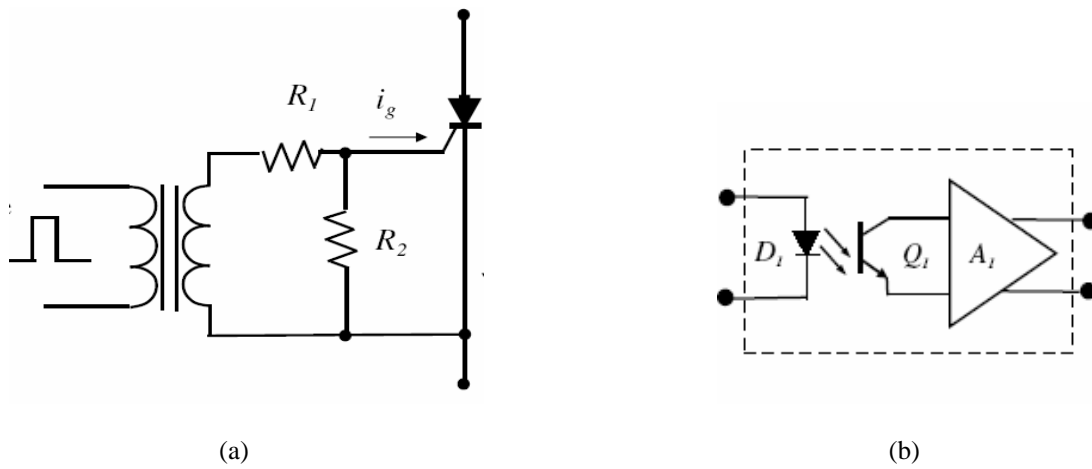
Şekil 2.30 Analog redresör PI kontrol devresi.

2.8.3. Tristör sürme devreleri

Tristörü iletme sokmak için, kapıdan verilecek bir akım darbeseine gerek vardır. Bir kez iletme sokulduğunda elemanın kendi kendini beslemesinden dolayı sürekli bir kapı akımı olmasa da tristör iletimini sürdürür. Elemanın iletme geçmesini sağlayabilmek için kapı akım darbesinin ne büyüklükte olması gerektiğinin kestirilmesinde Şekil 2.31 'de gösterilen kapı akım gerilim karakteristikleri kullanılmaktadır [4]. Bunun yanında sürme devreleri şebeke ile devreler arasında izolasyonu sağlayacak yapıda olmalıdır. Aşağıdaki devrelerde Şekil 2.32a 'da trafo kullanılarak ve Şekil 2.32b 'de optokupler kullanılarak yapılan izolasyonlar görülmektedir [1].



Şekil 2.31 Kapı tetikleme karakteristikleri



Şekil 2.32 Tristör sürme devreleri a)darbe transformatörü kullanarak b)optokupler kullanarak.

3. SAYISAL KONTROLLÜ REDRESÖR SİSTEMLERİ

Bu bölümde, sayısal kontrolün üç faz tam dalga tam kontrollü bir doğrultucu sisteminde kullanılması için yapılan simülasyon, yazılım ve donanım çalışmaları anlatılmaktadır.

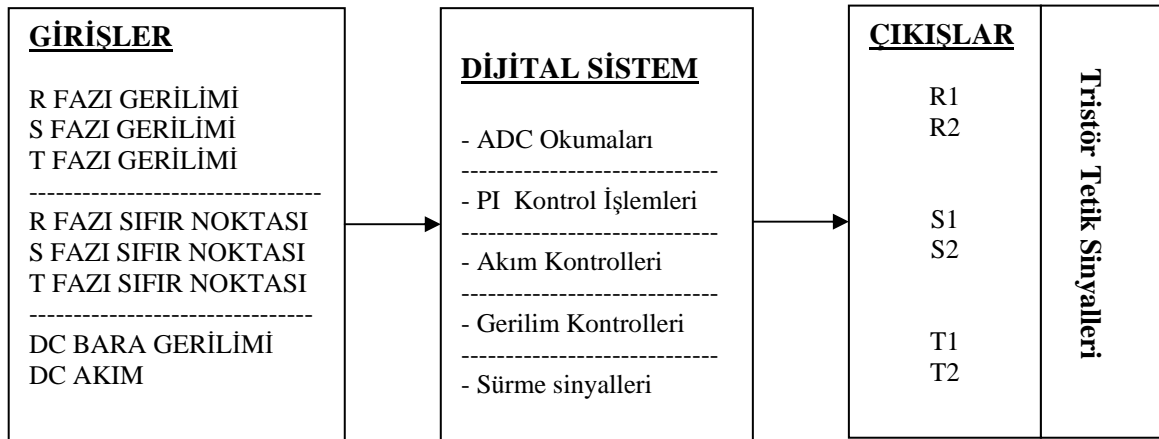
Günümüzde, analog devre ve tasarımlar yerini yavaş yavaş dijital tasarımlara ve uygulamalara bırakmaktadır. Mikrodenetleyiciler de dijital uygulamalarda en fazla kullanılan elemanlardan birisidir. Redresör tasarımında kontrol işlemlerini gerçekleştirmek, tristör tetiklerini oluşturmak için, mikrodenetleyici kullanmak kolay ve ucuz olarak edinilebilmesi, kolay programlanabilmesi açısından oldukça avantajlıdır.

3.1. Analog Sistemden, Sayısal Kontrollü Sisteme Geçiş Gerekçeleri

- Redresör kontrol kartı üzerinde bulunan analog devre ve özellikle potansiyometrelerin sarsıntıdan ve sıcaklık, nem gibi dış etkenlerden fazlaca etkilenmesi.
- DC voltajın ek bir ayara gerek kalmadan ön panelden dijital olarak ayarlanabilmesi.
- Sistemin dinamik cevap vermesi ve tepkisinin programda yapılacak değişikliklerle malzeme değişikliğine gerek kalmadan değiştirilebilmesi.
- Kontrol Algoritmasına eklenecek akım kontrolü yardımı ile akü şarj akım ayarının potansiyometreden ayarlanmasına gerek kalmaksızın dijital olarak ayarlanabilmesi.
- Redresör kontrol programına eklenecek olan yumuşak başlatma sayesinde, DC motorların ya da DC bara kondansatörlerinin ilk anda çekeceği yüksek akımların önüne geçilebilmesi.
- Mikrodenetleyicili sistemlerde test ve arıza bulunmasındaki kolaylıklar.
- Mikrodenetleyici kullanılan kartlardaki malzemelerin az oluşu nedeniyle kartların kolayca montaj yapılabilmesi ve işçilik sürelerindeki azalmalar.
- İşçilik ve test süresinin kısalmasının sağlayacağı maliyet azalmaları
- Mikrodenetleyici kontrollü redresörün çalışma sınırlarının rahatça ayarlanabilmesi.
- Mikrodenetleyici kontrollü redresörün dışarıdan bir bilgisayar yardımıyla değerlerinin izlenebilmesi, kontrolünün bir arayüz programı yardımıyla bilgisayardan dahi yapılabilmesi.
- Redresör kontrolü veya çalışmasında yapılacak bir tasarım değişikliğinde, kart ve PCB üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan mikrodenetleyici yazılımında yapılacak yenilemelerle revizyonun yapılabilmesi gibi sebepler dijital sisteme geçişi gerekli kılmaktadır.

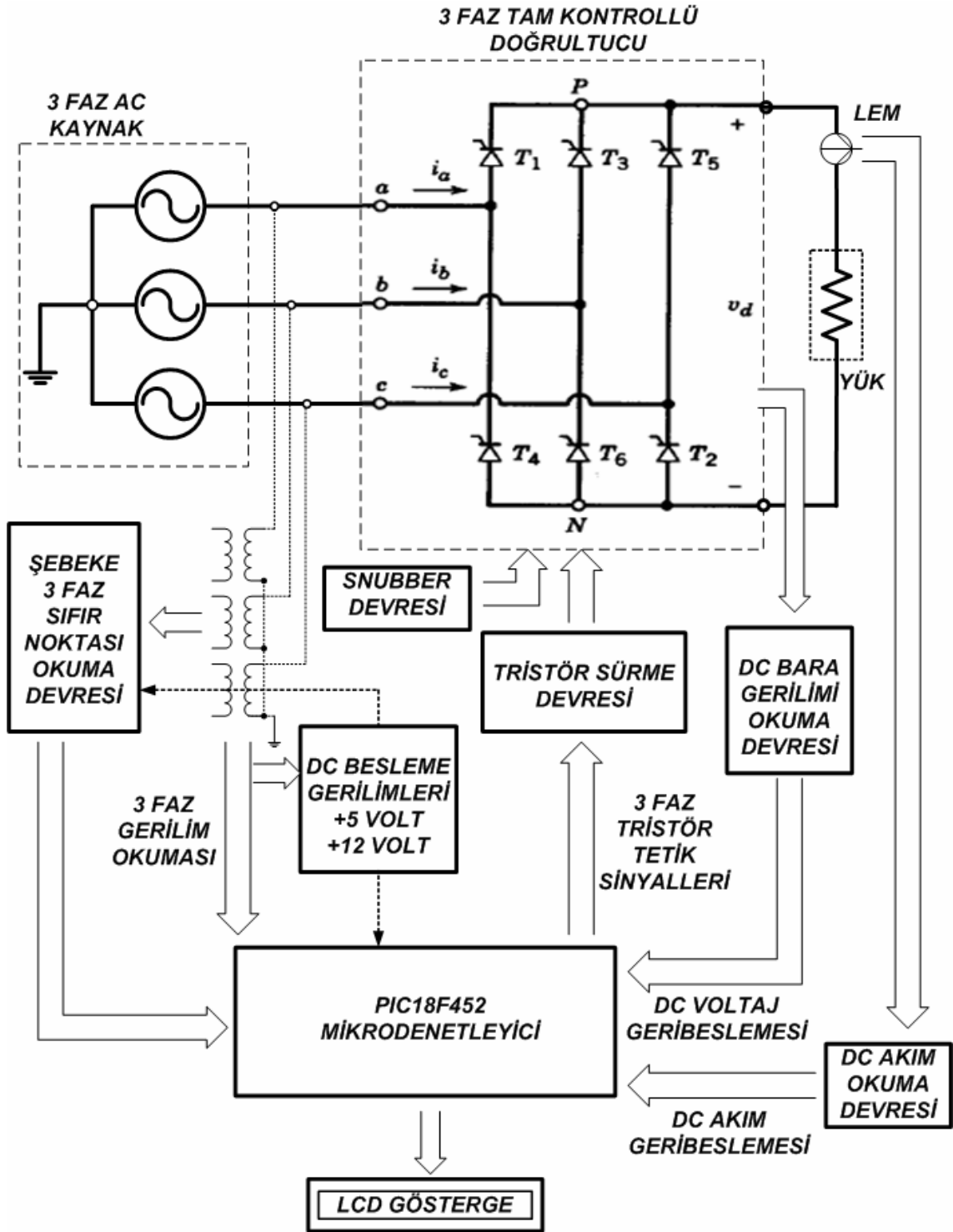
3.2. Dijital Sistem Parametreleri

Mikrodenetleyici kontrollü redresör tasarımındaki sistem parametreleri: Giriş tarafında R,S,T giriş gerilimleri; R,S,T fazları sıfır noktaları, DC bara voltajı ve akımı olarak görülmektedir. Dijital sistemin çıkışları ise üç faz için üretilen altı adet tristör tetik sinylidir.



Şekil 3.1 Dijital sistem parametreleri.

3.3. Mikrodenetleyici Kontrollü Redresör Temel Sistem Yapısı



Şekil 3.2 Mikrodenetleyici kontrollü redresör temel sistem yapısı.

3.4. Mikrodenetleyiciler

Bir bilgisayar içerisinde bulunması gereken temel bileşenlerden RAM, I/O ünitesinin tek bir çip içerisinde üretilmiş biçimine mikrodenetleyici (mikrokontrolör) denir. Bilgisayar teknolojisi gerektiren uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmış olan mikrodenetleyiciler, mikroişlemcilerle göre çok daha basit ve ucuzdur. Günümüz mikrodenetleyicileri pek çok alanda kullanılmaktadır. Neredeyse her mikroişlemci üreticisinin ürettiği birkaç mikrodenetleyicisi bulunmaktadır. Bir uygulamaya başlamadan önce hangi özelliklere sahip mikrodenetleyicinin kullanılacağı önemlidir [5].

Mikrodenetleyici seçiminde dikkat edilecek bazı önemli özellikler şöyle sıralanabilir:

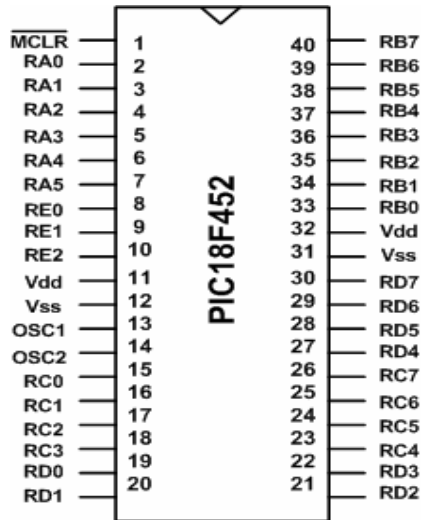
- Programlanabilir dijital paralel giriş / çıkış.
- Programlanabilir analog giriş / çıkış.
- Seri giriş / çıkış.
- Motor ve Servo kontrol için PWM çıkışı.
- Harici giriş vasıtasıyla kesme.
- Zamanlayıcı vasıtasıyla kesme.
- Harici bellek arabirimi.
- Dahili bellek tipi seçenekleri (ROM, EPROM, PROM, EEPROM).
- Dahili RAM seçeneği vs.

3.5. Redresör Kontrolünde Kullanılacak Mikrodenetleyici Seçimi

Redresör kontrolü, hız ve bellek yönünden yeterli olması bunun yanı sıra kolay şekilde programlanabilmesi, programlayıcısının kolay elde edilebilmesi, piyasada kolayca bulunabilmesi ve düşük maliyetleri nedeniyle PIC Serisi bir mikrodenetleyiciyle gerçekleştirilecektir.

3.5.1. PIC18F452 Mikrodenetleyici pin yapısı

PIC18F452 mikrodenetleyicisi 40 pinli bir mikrodenetleyicidir. Giriş çıkış olarak kullanılacak 33 adet I/O pini mevcuttur. Bu pinlerden 8 tanesi, 10 bitlik ADC (analog-digital dönüştürücü) pinidir [8]. PIC18F452 mikrodenetleyicisi, Amerikan Microchip firmasının üretmiş olduğu 8 bitlik CMOS FLASH yapısında bir mikrodenetleyicidir.



Şekil 3.3 PIC18F452 mikrodenetleyici pin yapısı

3.5.2. PIC18F452 Bellek Yapısı

PIC18FXXX serisi mikrodenetleyicilerin bellek yapısı Şekil 3.4 'te gösterilmiştir [8].

Mikrodenetleyici	FLASH	RAM	EEPROM
PIC18F242	16K	768	256
PIC18F252	32K	1536	256
PIC18F442	16K	768	256
PIC18F452	32K	1536	256

Şekil 3.4 PIC18F452 mikrodenetleyici bellek yapısı.

3.5.3. PIC18F452 Özellikleri

PIC18F452 mikrodenetleyicisinin bazı özellikleri aşağıda verilmiştir.

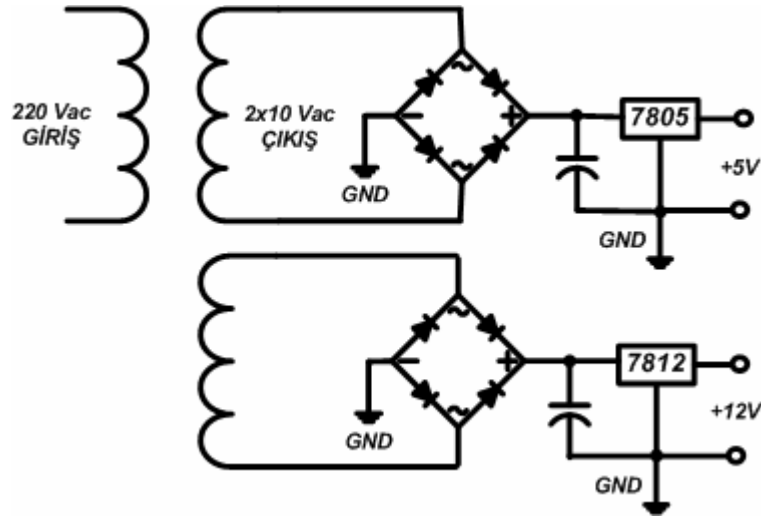
- CMOS FLASH yapısında 8-bitlik bir mikrodenetleyicidir [4].
- 100 nanosaniyede 1 komut İşleyebilir.
- Yalnızca 77 komutla kolayca programlanabilir.
- Doğrusal program hafızası 32 Kbyte
- Lineer data hafızası 1.5 Kbyte' dır
- 256 byte EEPROM 'a sahiptir.
- DC - 40 MHz osilatör, 4-10 MHz osilatör PLL aktif
- 2 tane PWM çıkışı bulunmaktadır.
- 8 kanal 10-bit Analog-Digital çeviriciye sahiptir.
- 16 bitlik komut setine sahiptir.
- 8 bitlik data kaydedicileri bulunmaktadır.
- 8 x 8 Donanımsal çarpma yapılabilir.
- 2 adet ek bellek (I²C™) bağlanabilir.
- Seri iletişim arabirimi mevcuttur vs...

3.6. Mikrodenetleyici Kontrollü Redresör Sisteminde Kullanılan Devreler

Mikrodenetleyici kontrollü redresör sisteminde kullanılan başlıca devreler; DC besleme, şebeke sıfır noktası okuma, tristör sürme, hall efekt transduser besleme, DC bara gerilimi okuma ve snubber (söndürme) devreleridir.

3.6.1. DC besleme devresi

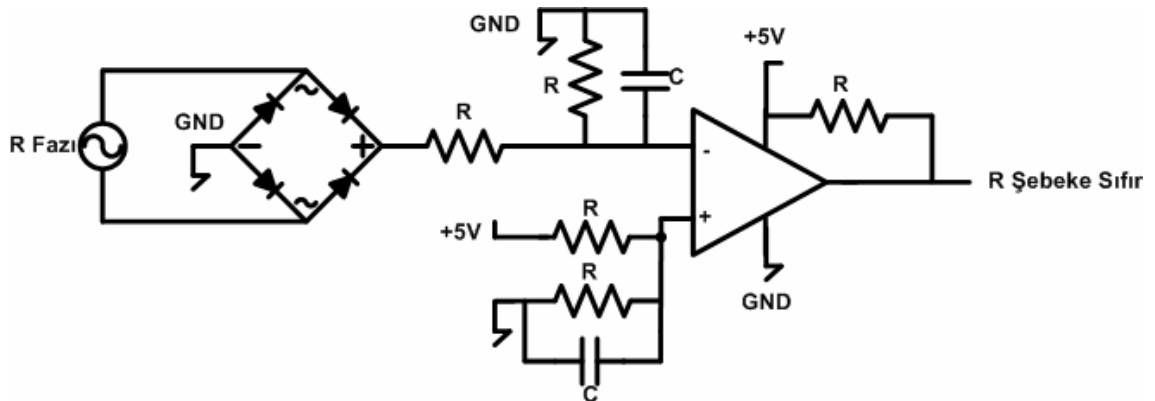
Mikrodenetleyici, LCD ve sıfır noktası okumada kullanılan opampların beslemelerini sağlamak üzere tasarlanmış, +5V ve +12V ' luk iki adet regüleli doğrultmaç devresinden oluşur. 220Vac şebeke gerilimi düşürücü trafodan geçirilerek 2x10V çıkış gerilimi elde edildi. 10 Vac 'luk AC gerilim bir adet köprü doğrultucu ve filtre kondansatöründen geçirilerek DC gerilime çevrildi. Köprü doğrultucu çıkışındaki DC gerilim 78XX serisi gerilim regülatörünün girişine uygulanarak ve gerilim regülatörlerinin çıkışında regüleli +5V ve +12V 'luk regüleli besleme gerilimleri elde edilmektedir. Şekil 3.5 'te DC besleme devresi gösterilmiştir.



Şekil 3.5 DC besleme devresi.

3.6.2. Şebeke Sıfır Noktası Okuma Devresi

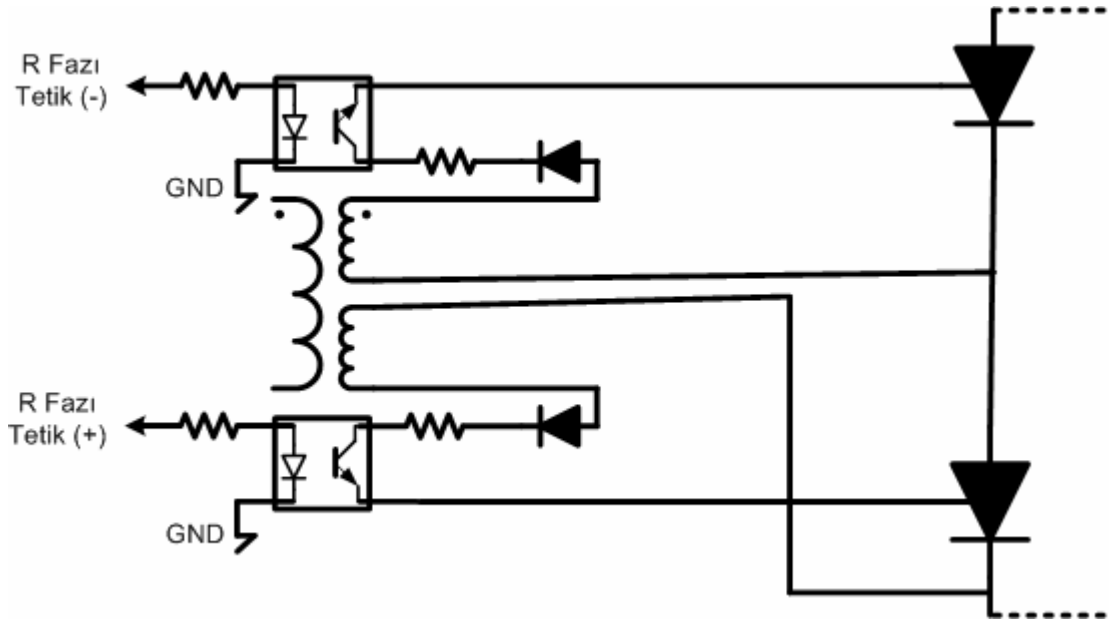
Şebeke üç fazından alınan gerilimler, 220 / 15 V 'luk düşürücü bir trafodan geçirildi. Daha sonra 15Vac gerilim köprü diyot doğrultucudan geçirilerek tam dalga sinyal elde edildi. Tam dalga sinyal fark yükselteciye girilerek küçük bir voltaj seviyesi ile karşılaştırıldı ve şebekenin pozitiften, negatife geçtiği sıfır noktalarında iğne şeklinde sinyaller oluşturuldu. Şebeke sıfır noktaları tristör tetiklerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Şekil 3.6 'daki devreden mikrodenetleyici kontrollü üç fazlı redresör devresinde, faz başına bir tane bulunmaktadır.



Şekil 3.6 Şebeke sıfır noktası okuma devresi.

3.6.3. Tristör sürme devresi

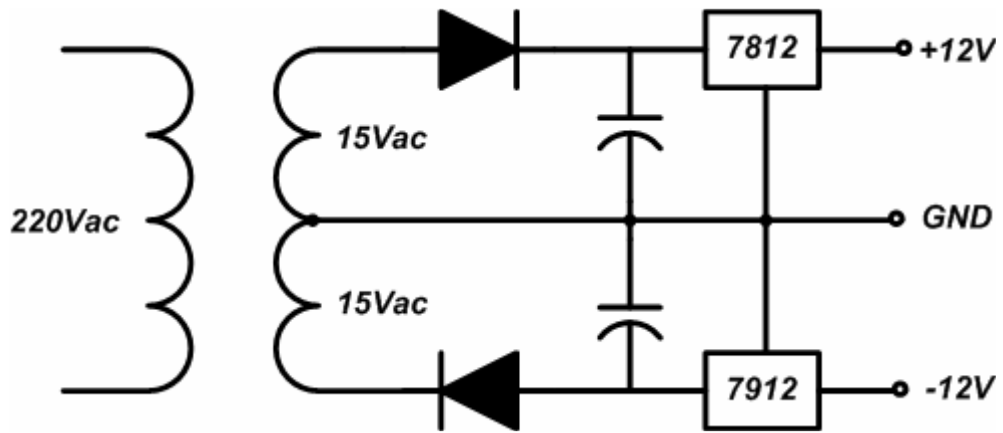
Şebeke fazından alınan gerilim, tristör tetik trafosu aracılığı ile düşürüldükten sonra diyottan geçirilerek yarım dalga sinyal oluşturuldu. Yarım dalga sinyal bir direnç üzerinden MOC3021 optokupler'a girildi. Mikrodenetleyiciden uygun tetikleme sinyali geldiği takdirde tristörün kapı ucundan akım akıtılarak tristörün ilettime geçirilmesi sağlanır. Pozitif alternansta (+) 'daki tristör, negatif alternansta (-) 'deki tristör tetiklenir. Tristör tetikleme devresinden her bir tristör için bir adet bulunmaktadır.



Şekil 3.7 Tristör sürme devresi.

3.6.4. Hall efekt transduser besleme devresi

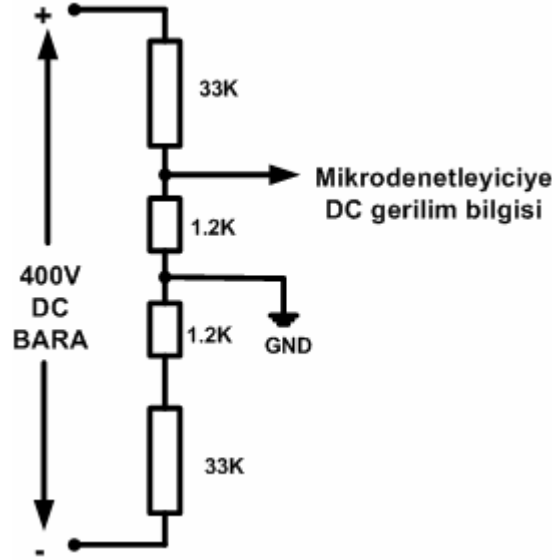
DC akım okumada kullanılan, doğrultucu çıkışındaki Hall efekt akım transduserinin çalışabilmesi için +12V ve -12V besleme gerilimlerine ihtiyacı vardır. Bu besleme gerilimleri Şekil 3.8 'deki devre ile sağlanabilir. Diyot aracılığıyla doğrultulan, yarım dalga sinyal bir filtre kondansatöründen geçirilerek 7812 pozitif ve 7912 negatif gerilim regülatörlerinin girişine uygulanarak Hall efekt akım transduserin besleme gerilimleri oluşturuldu.



Şekil 3.8 Hall efekt transduser besleme devresi.

3.6.5. DC bara gerilimi okuma devresi

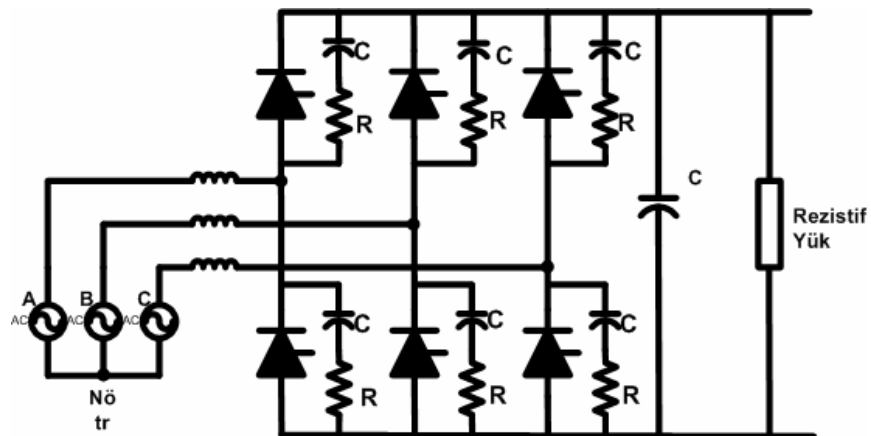
DC bara gerilimi okuma devresi dört adet gerilim bölücü dirençten oluşmaktadır. “+” ve “-“ DC bara geriliminden, 33 K Ω ve 1.2 K Ω 'luk gerilim bölücü dirençlerle alınan gerilim bilgisi mikrodenetleyiciye girilecek 0-5 volt gerilim seviyesine düşürülerek, DC bara geribesleme bilgisi olarak PI hesaplama işlemlerinde ve DC gerilim göstergelerinde kullanılmaktadır.



Şekil 3.9 DC bara gerilimi okuma devresi.

3.6.6. Snubber devresi

Tristörler ters yönde kutuplandıklarında, seri hat endüktanslarından dolayı tristörlerde kabul edilemeyecek aşırı büyüklükte gerilimler oluşur. Bu aşırı gerilimlerin engellenmesi için söndürme devreleri kullanılması gerekir. Şekil 3.10 'da mikrogenetleyici kontrollü redresörde kullanılan söndürme devresi gösterilmiştir. Gerçekleme çalışmasında, her tristör için şekildeki gibi RC grubu devre elemanlarından birer adet kullanıldı.



Şekil 3.10 Snubber devresi.

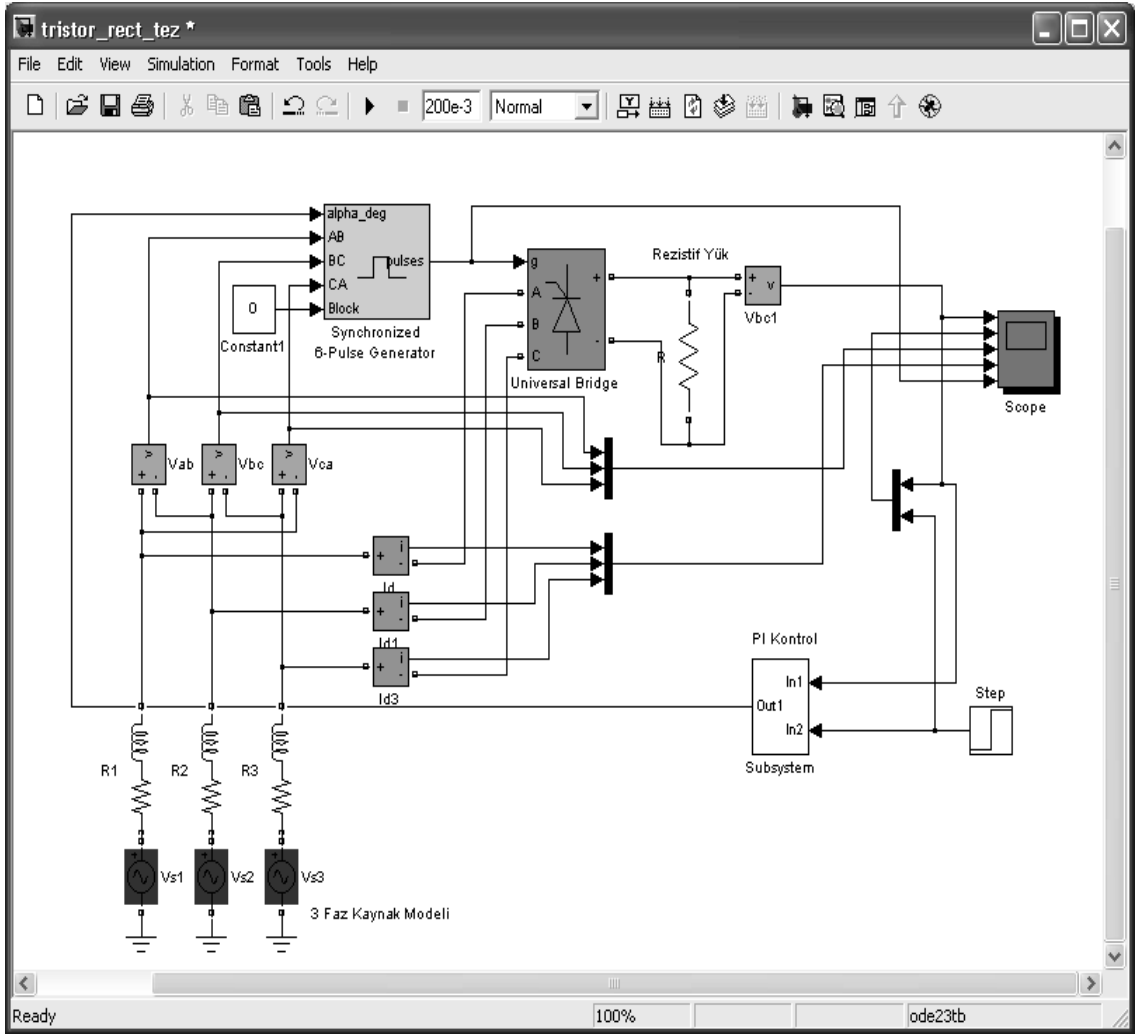
3.7. Üç Fazlı Tam Kontrollü Tristör Doğrultucu Simülasyonları

Mikrodenetleyici kontrollü redresör tasarımında simülasyon çalışmaları, gerçekleştirme öncesinde MATLAB/Simulink programı aracılığıyla yapılmıştır. Simulink kesikli veya devamlı alanlarda modelleme, benzetim ve analiz yapmak için tasarlanmış kullanıcı etkileşimli bir araçtır. Simulink ile bir sistemin tanımı, benzetimi yapılabilir, sistem davranışları analiz edilebilir. Simulink ile gelen büyük kolaylık klasik programlamanın dışında Simulink'in sağladığı blocksetleri kullanmaktır. Normal programlama ile modellemesi zaman alan ve zor olan sistemlerin Simulink'te parça olarak hazır olması; bu sistemlerin çalışma mantığının daha hızlı bir şekilde anlaşılmasını, yeni sistemlerin tasarım ve analizinin kolay bir şekilde yapılabilmesini olanaklı kılmaktadır.

Bu çalışmada, "Simulink" ve Simulink ile birlikte gelen "SimPowerSystems Blockset" kullanılmıştır. Bu bölümde benzetim modelleri ve benzetim sonuçları verilmiştir. Sistem gerçekleşmesi öncesinde kontrol parametrelerinin tahmini, çeşitli yüklenmelerde olası doğrultucu dalga şekilleri, DC akımlar ve giriş şebeke dalga şekillerinin gözlemlenmesi yapılmıştır.

3.7.1. Simulink SimPowerSystems Blockset ile üç fazlı doğrultucu sistem modeli

Simulink SimPowerSystems Blockset; güç elektroniği, güç sistemleri ve kontrol sistemlerinin modellenmesi ve analizi amacıyla hazırlanmış kullanıcı etkileşimli bir araçtır. SimPowerSystems Blockset içerdiği türev alıcılar, integratörler, denetleyiciler yanı sıra güç elektroniğine ve güç sistemlerine özel elemanlar içermektedir. SimPowerSystems Blockset kullanılarak hazırlanan benzetim modeli Şekil 3.11 'de verilmiştir. Şekil 3.11 'de DC gerilimden alınan geribesleme bilgisi, referans voltajı ile karşılaştırılarak hata bulunur. Bulunan hata PI kontrolden geçirilerek, kontrolör çıkışı "Synchronized 6-Pulse Generator" elemanına girilmektedir. Bu eleman kendi içerisinde oluşturulmuş olan alt sistem aracılığı ile kontrol sinyalini rampa sinyali ile karşılaştırıp bir takım işlemlerden geçirir ve tristör sürme sinyallerini oluşturarak, "Universal Bridge" olarak gösterilen üç fazlı tristörlü doğrultucuya tetiklemeleri gönderir. Doğrultucu çıkışında yük olarak, R ile gösterilen rezistif yük kullanılmıştır. Voltaj ve akım ölçüm elemanları yardımıyla, bu büyüklükler osiloskop aracılığıyla gözlenebilmektedir.

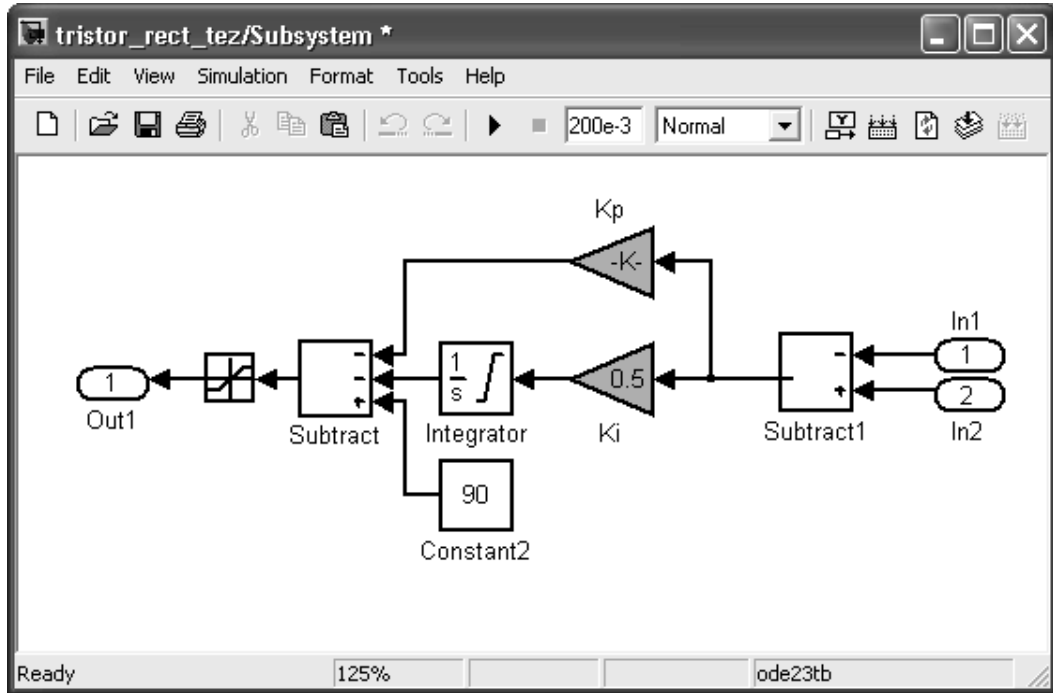


Şekil 3.11 Üç fazlı doğrultucu sistemin Matlab / Simulink simülasyonu.

Üç fazlı tristör doğrultucu çıkışındaki dalga şekilleri tam bir doğru gerilim olmayıp ortalama gerilim seviyesinde bir doğru gerilimdir. Üzerinde alternatif gerilim bileşenleri bulunur. Üç fazlı tristör doğrultucu çıkışındaki DC gerilim, bir periyotta altı adet darbe içerir. Bu nedenle bu sistemler altı darbeli sistemler olarak ta adlandırılır. Altı darbeli sistemde giriş frekansı 50 Hz ise DC gerilim üzerindeki dalgalanma bileşeni 300 Hz dir. Bu dalgalanma bileşeni doğrultucu çıkışına filtre kondansatörü konularak azaltılır.

3.7.2. PI kontrol benzetim modeli

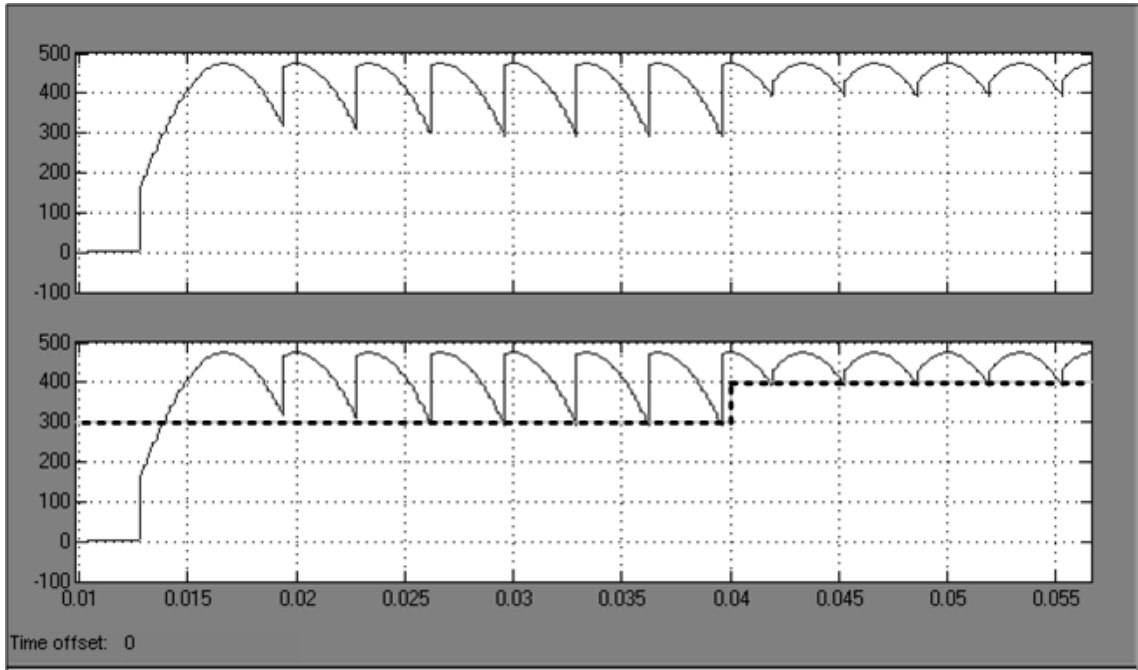
PI kontrolör benzetim modelinde sistem girişine uygulanan step basamak fonksiyonu ile DC geribesleme bilgisi birbirinden çıkarılarak hata bulunur. Bulunan hata K_p katsayısı ile çarpılarak “subtract” elemanına girilir. Aynı zamanda hata K_i katsayısı ile çarpılarak integratörden geçirilir. K_p katsayısı ile çarpılan ve K_i katsayısı ile çarpılarak integrali alınan hata sinyali sabit bir değerden çıkarılarak kontrol sinyali oluşturulur. En son aşamada ise kontrol sinyali bir limitleyiciden geçirilerek kontrol sinyalinin belli sınırlar içerisinde kalması sağlanmaktadır. Elde edilen belli sınırlar içerisindeki kontrolör çıkışı, Synchronized 6-Pulse Generator’e uygulanarak tristör tetikleri oluşturulur.



Şekil 3.12 Üç fazlı doğrultucu PI kontrol benzetim modeli.

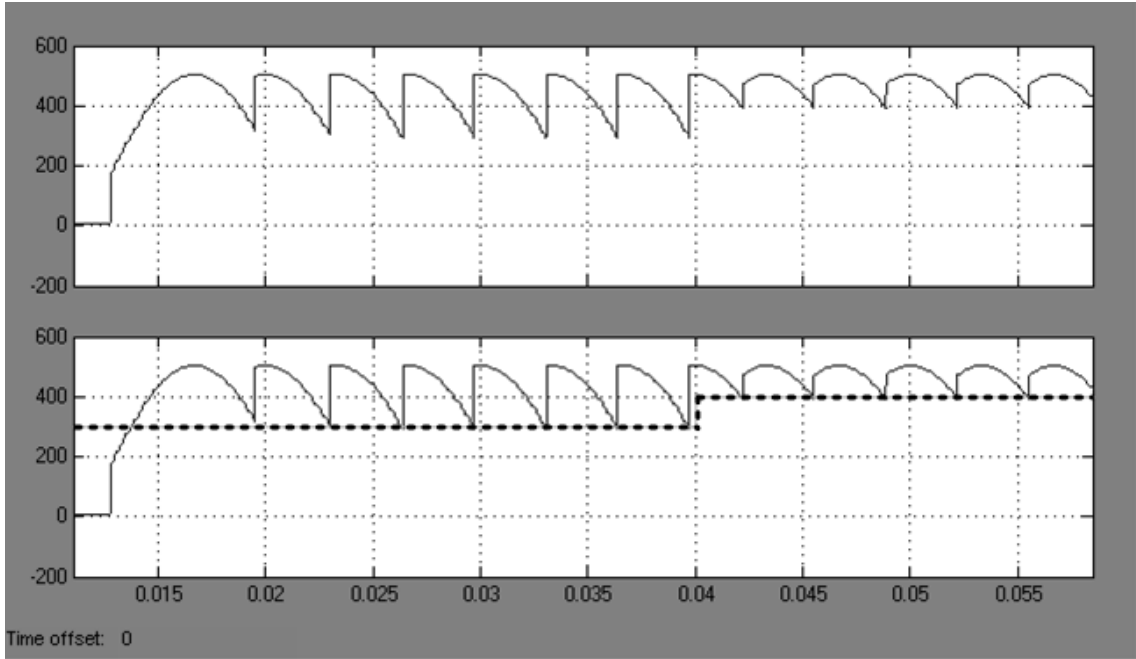
3.7.3. Değişik yüklerde DC gerilim dalga şekilleri

Doğrultucu girişinde 48Ω direnç varken ve kaynak iç dirençleri ihmal edildiğinde, doğrultucu çıkışına yük olarak 750Ω direnç bağlandığında, simülasyon sonucunda DC gerilim Şekil 3.13 'te verilmiştir.



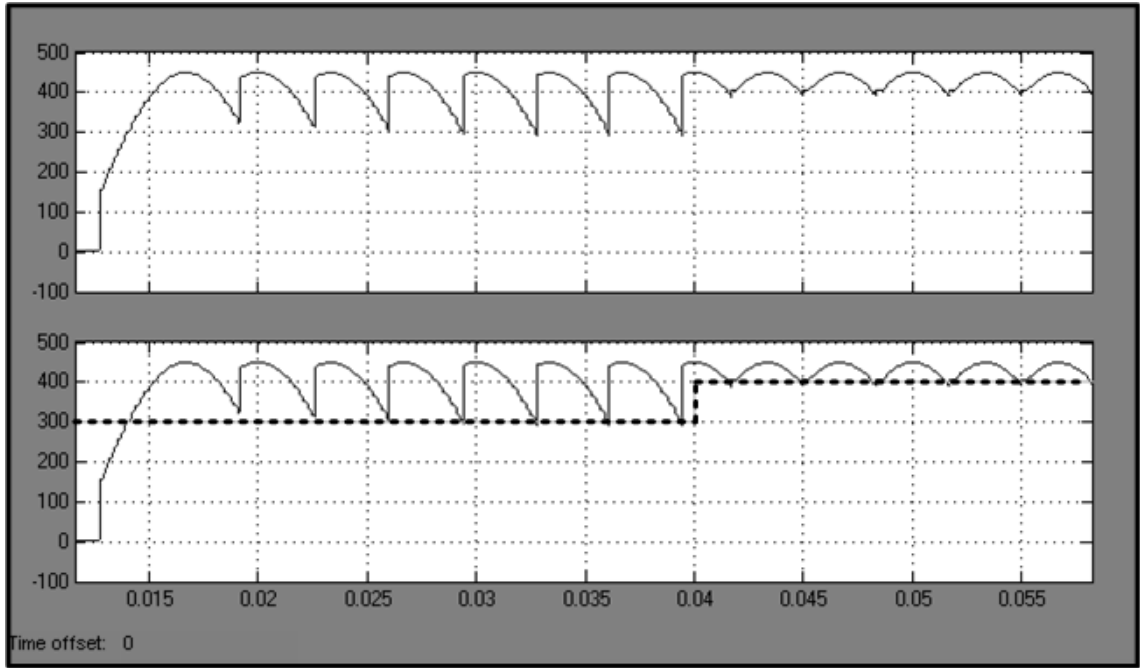
Şekil 3.13 Doğrultucu çıkışında 750Ω direnç varken DC gerilim. (Üstte; doğrultucu çıkışındaki DC gerilim, altta; kontrol işaretindeki değişimle doğrultucu çıkışındaki DC gerilim dalga şeklinin değişimi).

Doğrultucu girişinde 48Ω direnç varken ve kaynak iç dirençleri ihmal edildiğinde, doğrultucu çıkışına yük olarak $1.5 \text{ k}\Omega$ direnç bağlandığında DC gerilim Şekil 3.14 'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14 Doğrultucu çıkışında $1.5 \text{ k}\Omega$ direnç varken DC gerilim. (Üstte; doğrultucu çıkışındaki DC gerilim, altta; kontrol işaretindeki değişimle doğrultucu çıkışındaki DC gerilim dalga şeklinin değişimi).

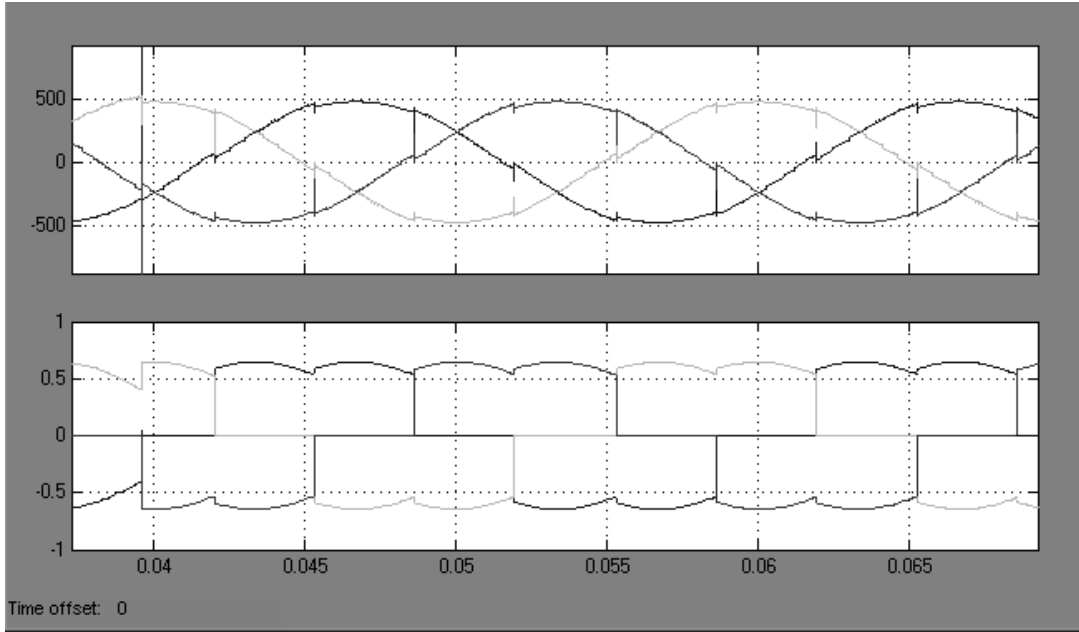
Doğrultucu girişinde 48Ω direnç varken ve kaynak iç dirençleri ihmal edildiğinde, doğrultucu çıkışına yük olarak 500Ω direnç bağlandığında DC gerilim dalga şekli Şekil 3.15 'te gösterilmiştir.



Şekil 3.15 Doğrultucu çıkışında 500Ω direnç varken DC gerilim. (Üstte; doğrultucu çıkışındaki DC gerilim, altta; kontrol işaretindeki değişimle doğrultucu çıkışındaki DC gerilim dalga şeklinin değişimi).

3.7.4. Üç faz tristörlü doğrultucu giriş gerilim ve akım dalga şekilleri

Üç faz doğrultucu giriş akımları her alternansta iki darbe şeklindedir. Girişteki bobin değeri artırılarak giriş akım dalga şekilleri kare dalgaya yaklaştırılabilir. Üç faz giriş gerilimlerinde ise akım çekilen yerlerde gerilim dalga şekillerinde çökmelerin olduğu görülmektedir.

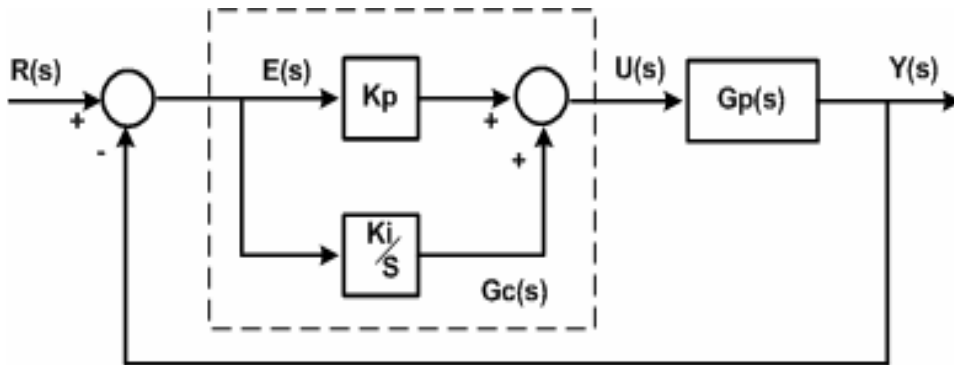


Şekil 3.16 Üç faz tristörlü doğrultucu giriş gerilim ve akım dalga şekilleri. (Üstte; giriş gerilim dalga şekilleri, altta; giriş akım dalga şekilleri)

3.7.5 Sayısal kontrolör tasarımı

PI kontrolörlü sistem Şekil 3.17 'de gösterilmiştir [9]. Kontrolün oransal kısmı hata işaretiyle orantılı bir işaret üretir. PI kontrolörün İntegral kısmı ise kontrolör giriş işaretinin integrali ile orantılı bir işaret üretir.

PI kontrolün transfer fonksiyonu:
$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s}$$



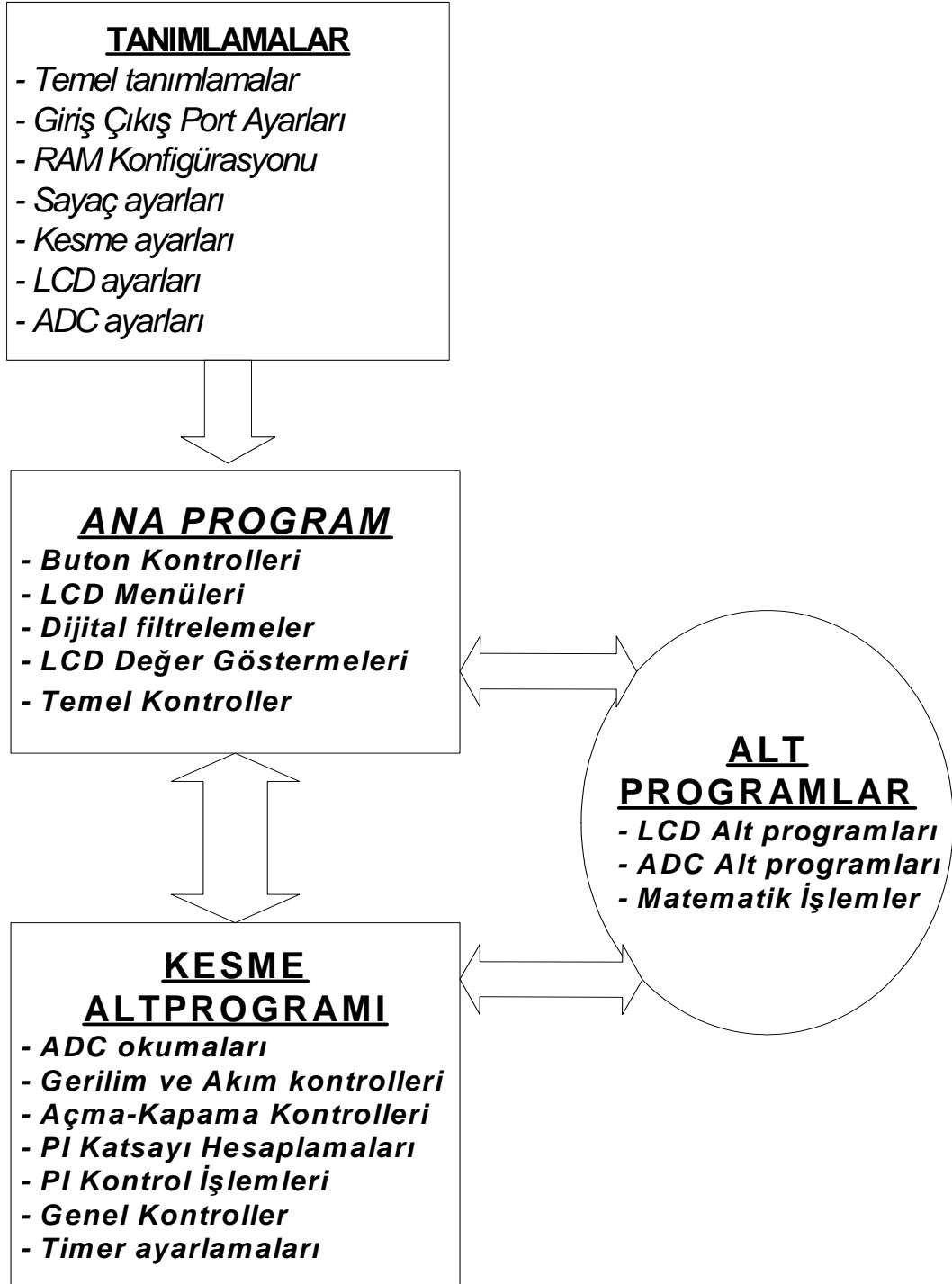
Şekil 3.17 Sayısal kontrolör yapısı.

3.8. Mikrodenetleyici Yazılımı

Mikrodenetleyici kontrollü redresör programı yazılımı, Amerikan Microchip firmasının ücretsiz yazılımı olan MPLAB programının 6.6 versiyonu ile geliştirilmiştir. Program assembler dilinde yazılmış ve program simülasyonları için MPLAB programının içinde yer alan MPLAB SIM kullanılmıştır. MPLAB 6.6 programı, program yazımı esnasında simülasyon ve debug imkanı vermektedir.

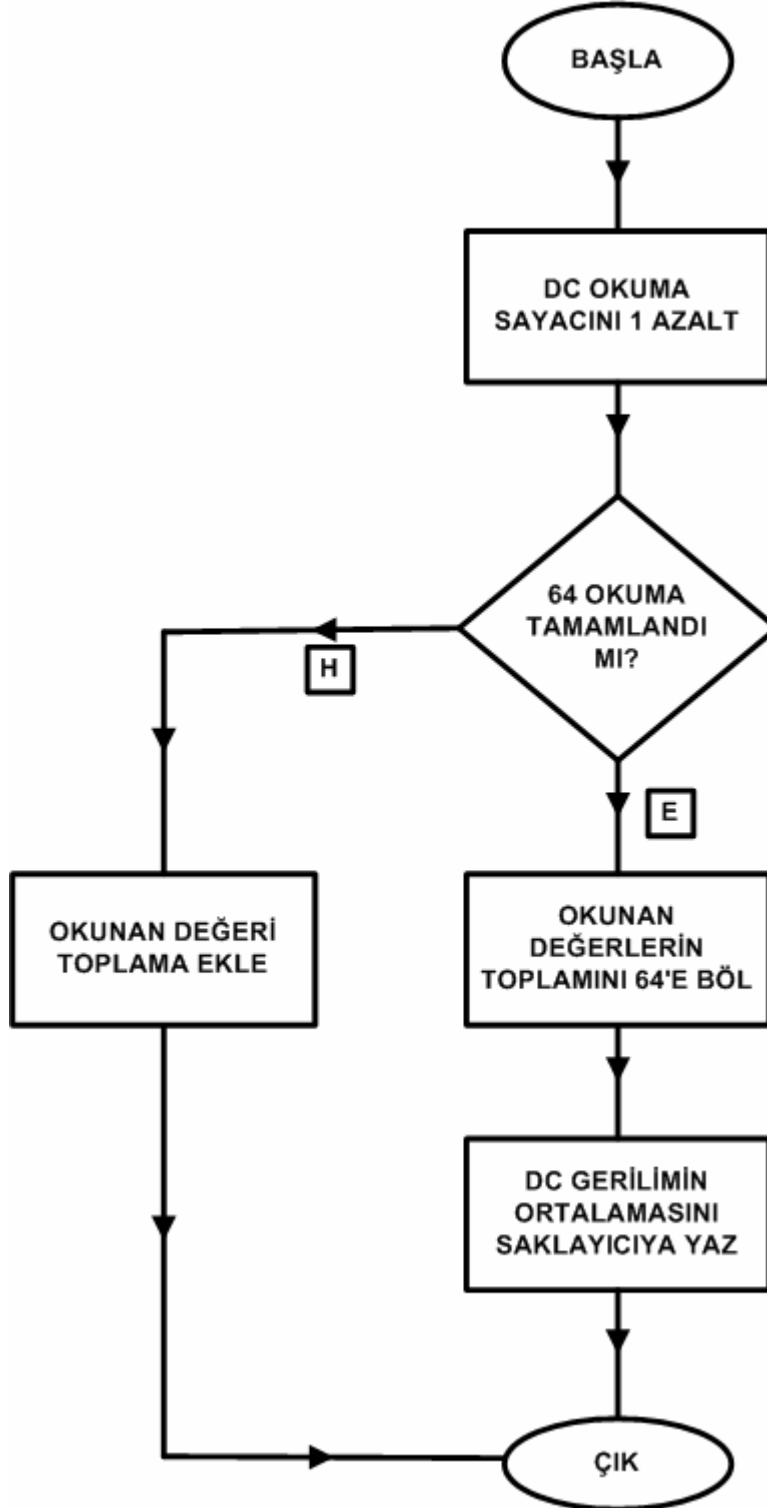
PIC18F452 mikrodenetleyici programında temel yapı olarak; Program başlangıcında tanımlamalar yapılmakta, ayarlamalar ve RAM konfigürasyonları belirlenmektedir. Ana program içerisinde LCD gösterge menüleri işlenmekte, değer gösterimleri yapılmakta, buton kontrolleri ve bazı temel kontroller yapılmaktadır. Programın asıl önemli kısmını, 50us 'lik aralıklarla gelen Timer0 kesmesi oluşturmakta, redresörün genel kontrolleri, ADC okumaları, gerilim ve akım kontrolleri burada yapılmaktadır. Doğrultucunun DC çıkış geriliminden okunan ADC bilgisine göre PI kontrol işlemi burada gerçekleştirilmektedir.

3.9. Mikrodenetleyici Kontrollü Redresör Programı Temel Yapısı

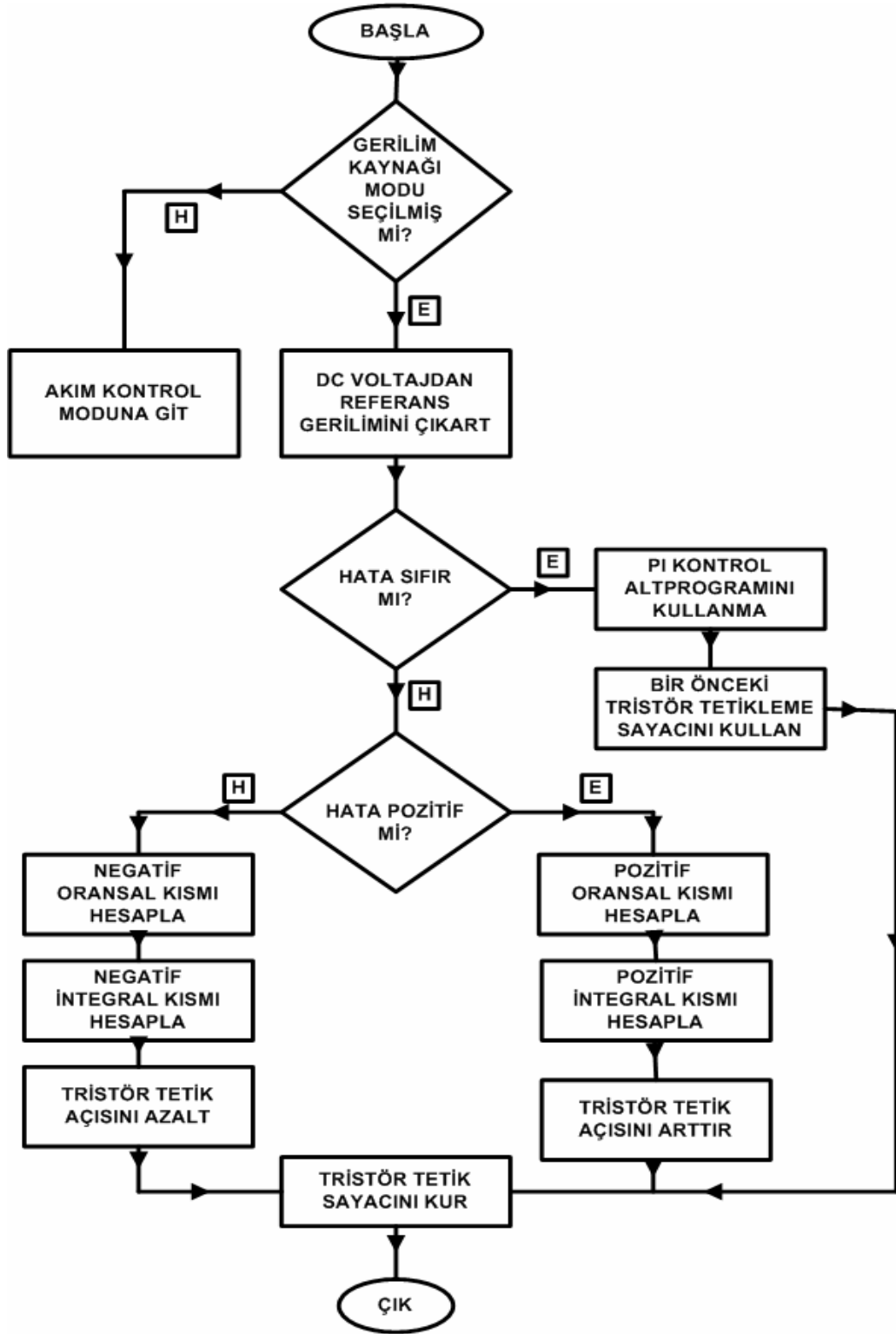


Şekil 3.18 Redresör programı temel yapısı.

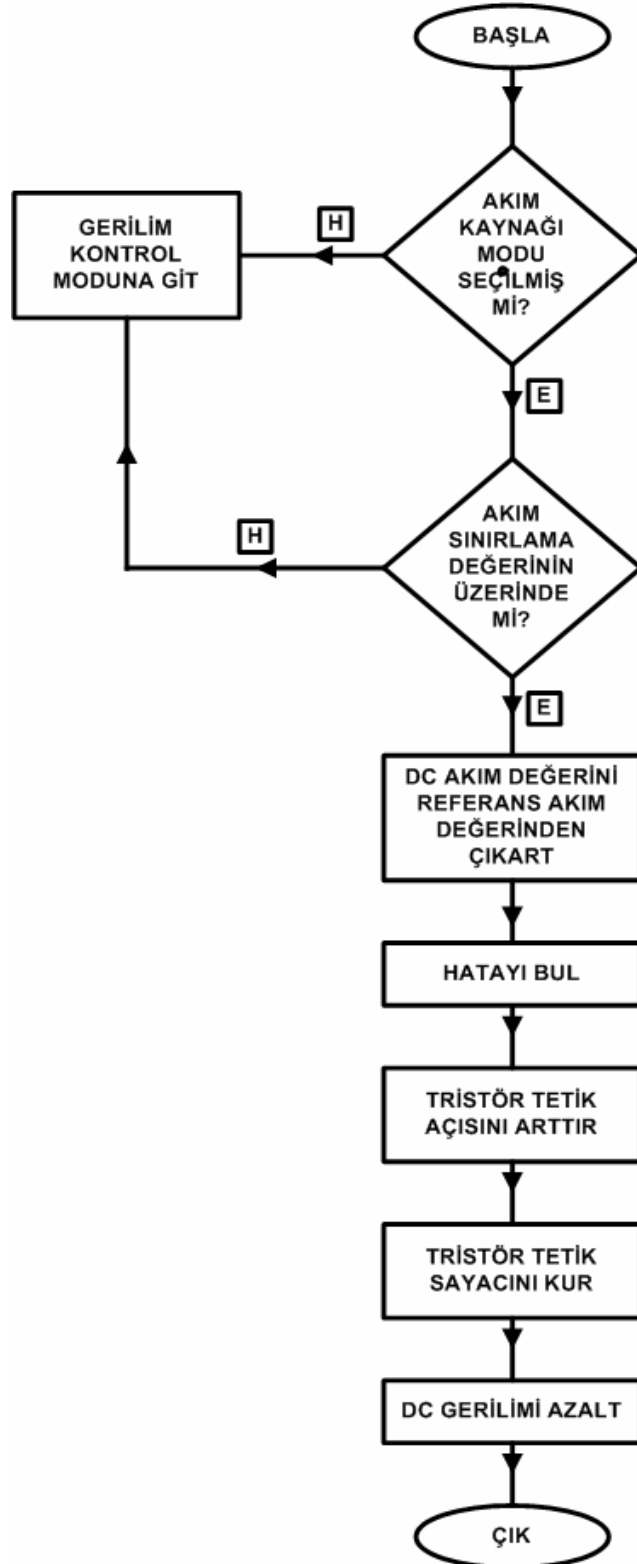
3.9.1 Redresör çıkış gerilimi okuma algoritması



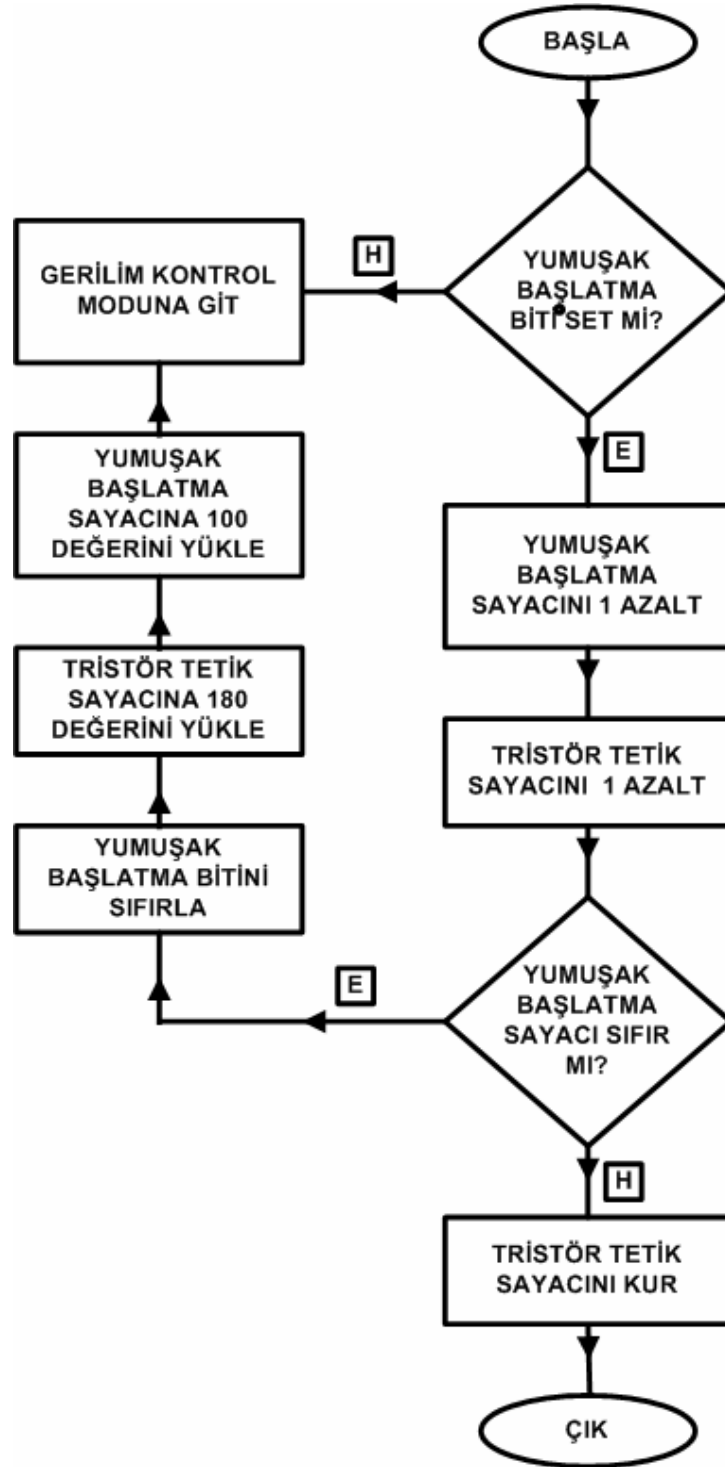
3.9.2 Redresör kontrol algoritması



3.9.3 Redresör akım kontrol algoritması



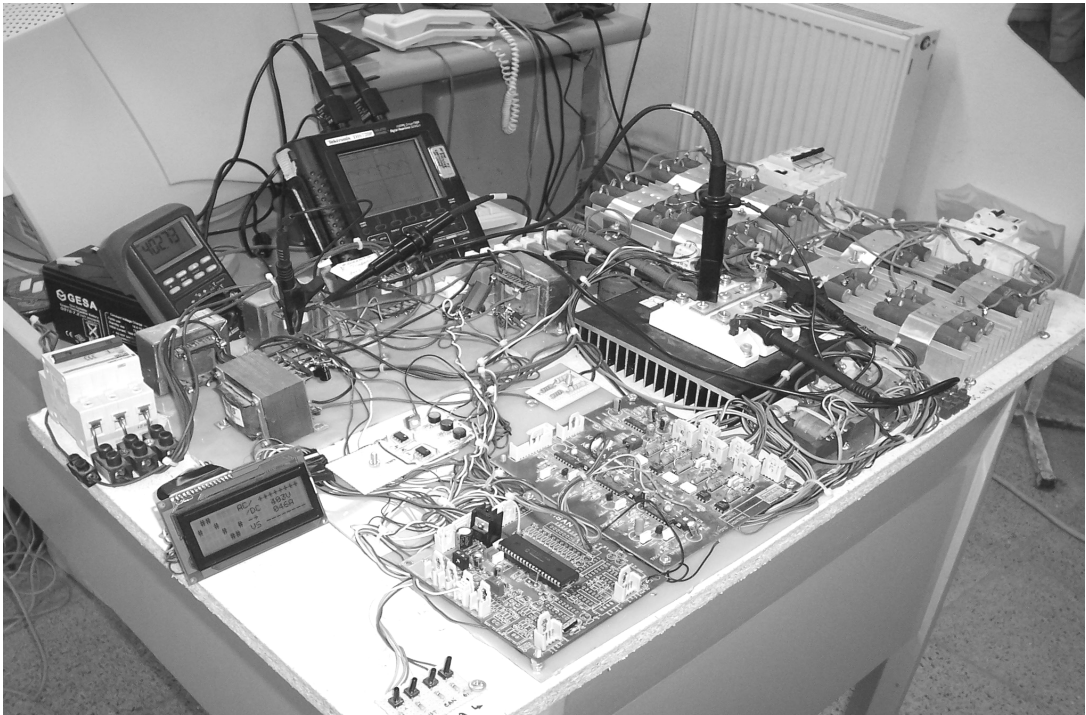
3.9.4. Redresör yumuşak başlatma algoritması



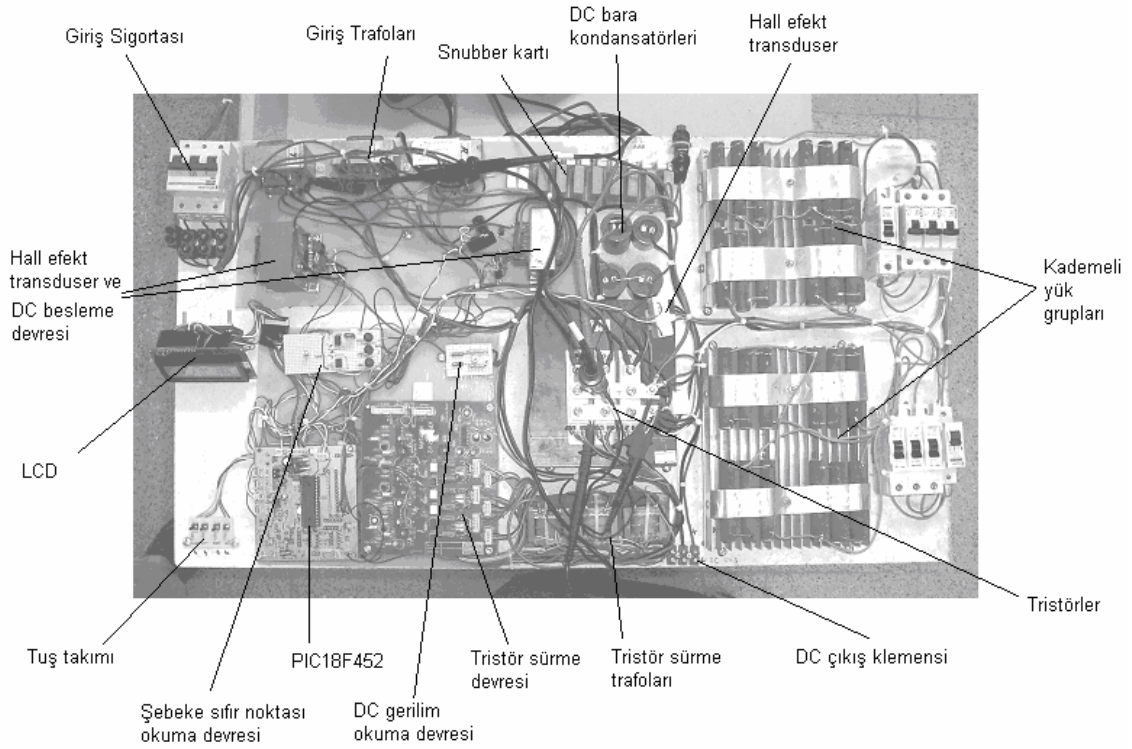
3.10. Mikrodenetleyici Kontrollü Üç Fazlı Doğrultucu Gerçekleme Çalışmaları

Deneyisel çalışmada, devre olarak PIC18F452 mikrodenetleyicisi ve deneme kartı, şebeke ve tristör sürme trafoları, DC gerilim okuma devresi, üç faz şebeke sıfır noktası okuma devresi, tristör sürme devresi, snubber kartı, tuş takımı ve LCD gösterge kullanıldı. Güç kısmını ise, üç faz için Semikron marka SKKT42 Tristör modüller, 330 uF DC kondansatör, ABB marka Hall efekt akım transduseri oluşturmaktadır. Yük olarak kademeli devreye sokulup çıkarılabilen toplam 1 kW 'lık rezistif yük kullanıldı.

Sistemin testleri, 380V üç faz şebeke giriş gerilimi ile üç faz tam kontrollü doğrultucu ve 400V DC bara geriliminde yapıldı. Doğrultucu girişinde gerilim düşümü sağlayabilmek ve akım dalga şekillerini daha düzenli hale getirebilmek amacıyla seri 24 Ω 2 kW lık dirençler kullanıldı. DC çıkışta filtre amacıyla kullanılan kondansatörün değeri 330 uF ve snubber kartındaki kondansatör, direnç değerleri 220 nF ve 100 Ω 'dur. Daha önce Matlab / Simulink 'te bu değerlere sahip sistemin istenilen şekilde çalıştığı ve dalga şekilleri gözlemlenmişti. Şekil 3.19 'da deneysel kurgu görülmektedir.



Şekil 3.19 Mikrodenetleyici kontrollü redresör deneysel kurgu görünümü.



Şekil 3.20 Mikrodenetleyici kontrollü redresörde kullanılan malzemeler.

Kontrol algoritması üç fazlı doğrultucu üzerinde denenmeden önce donanım ve yazılım kullanılarak aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır:

1. Kartların +5V ve $\pm 12V$ besleme gerilimlerinin oluşturulması.
2. Şebeke sıfır noktası okuma devresinin oluşturulması ve çalıştırılması.
3. Mikrodenetleyici ile şebeke sıfır noktalarının algılanması.
4. Okunan şebeke sıfırına göre tek faz için tristör tetiklerinin oluşturulması.
5. Oluşturulan tristör tetiklerinin 45V 'luk düşük giriş gerilimde tek faz doğrultucuya uygulanması.
6. Üç faz için oluşturulan altı adet tristör tetiğinin 45V 'luk düşük giriş geriliminde tristörlere uygulanması ve oluşan 6 darbeli çıkış DC gerilim dalga şekillerinin izlenmesi.
7. Tristör tetiklemelerinin üç faz 380V giriş geriliminde gerçekleştirilmesi ve DC çıkış geriliminin izlenmesi.
8. DC gerilim okuma devresi ve mikrodenetleyici ADC okumalarının kontrol edilmesi işlemleri yapılmıştır.

Sistemin kontrolsüz olarak sabit tristör tetikleme ile düzgün şekilde çalıştırılmasından sonra kontrol algoritması mikrodenetleyici programına dahil edildi. PI kontrolün devreye sokulmasıyla doğrultucu çıkışında meydana gelecek ani yüklenmelerde ve giriş gerilimlerinde oluşacak düşme, yükselme, dengesizlik gibi durumlarda doğrultucu çıkış voltajının sabit tutulması sağlandı.

Kontrol algoritmasına eklenen akım sınırlama özelliği sayesinde DC baradan geçmesi istenen akımın üzerinde, akım çekilmesi durumunda DC bara gerilimi düşürülerek akım sabitlenebilmektedir. Özellikle akü şarj sistemlerinde akülerin ömrü açısından sabit akımla şarj etmek gerektiğinden akım kaynağı özelliği kullanılmaktadır.

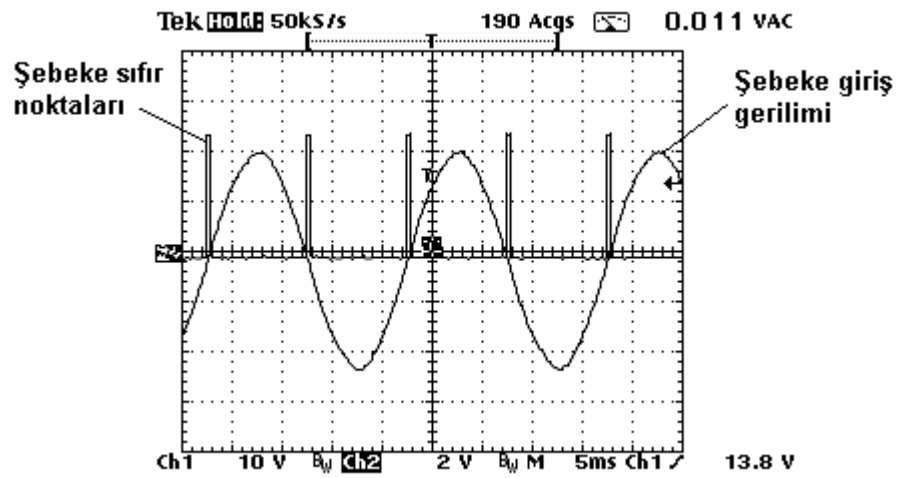
Redresör mikrodenetleyici programına kontrol algoritmasına ilaveten kullanıcı etkileşimli, tuş takımı ve LCD programları eklenerek, redresörün birçok özelliği ayarlanabilir hale getirildi. Redresörde akım kaynağı ve gerilim kaynağı modlarında çalışabilme seçenekleri sunulmuştur. Giriş gerilim çalışma aralıkları ve doğrultucu çıkış gerilimi belirli sınırlar içerisinde ayarlanabilmekte, akım kaynağı modunda sınırlama yapılacak DC akım değeri dışarıdan girilebilmektedir. Giriş gerilimi, frekans, DC gerilim, DC akım göstergelerinin sisteme dahil edilmesiyle doğrultucunun çalışması dışarıdan rahatlıkla izlenebilmektedir. Bu özelliklerinden dolayı, tasarlanan mikrodenetleyici kontrollü redresör, çeşitli uygulamalara rahatça uyum sağlayabilecek yapıdadır.

Doğrultucu ilk enerjilendiği anda DC kapasitörlerin dolana kadar aşırı akım çekmesini engellemek amacıyla yumuşak başlatma özelliği programa eklendi.

Doğrultucu testlerinde DC çıkışta kondansatör varken, yada kondansatör olmadığı durumda çıkış gerilim dalga şekillerinin izlenebilmesi amacıyla kondansatör, bir anahtarla devreye sokulup çıkarılabilecek şekilde monte edildi. Aynı zamanda DC çıkışa değişik yükler bağlanabilmesi amacıyla deney düzeneğinden dışarıya DC çıkış alındı.

3.10.1. Şebeke sıfır okuma devresinin çıkış dalga şeklinin gözlenmesi

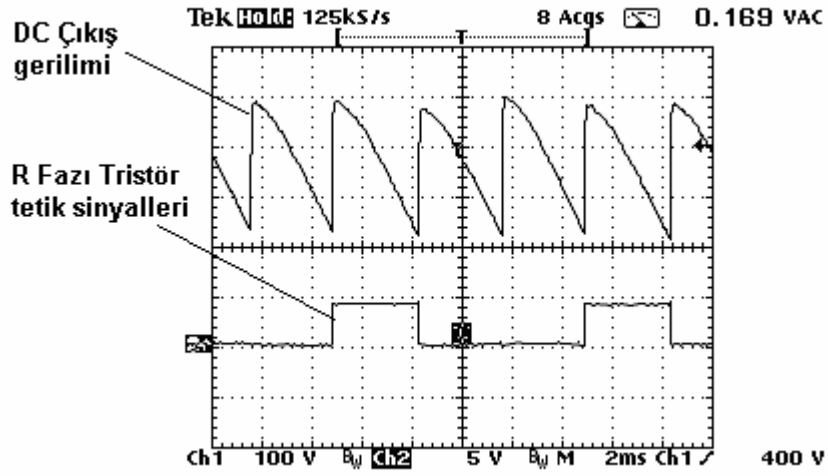
Şebeke sıfır noktası okuma devresinin çıkış dalga şeklinin osilaskop görüntüleri Şekil 3.21 'de verilmiştir. Sinüsoidal gerilimin sıfır geçiş noktalarında oluşan 5V 'luk sinyaller şebeke sıfır noktalarının mikrodenetleyici tarafından algılanmasını ve tristör tetikleme açılarının bu sinyallere göre verilmesini sağlamaktadır.



Şekil 3.21 Şebeke sıfır noktası okuma devresi giriş gerilimi ve çıkış dalga şekli.

3.10.2 Tristör Tetiklerinin İşlemci Tarafından Oluşturulması

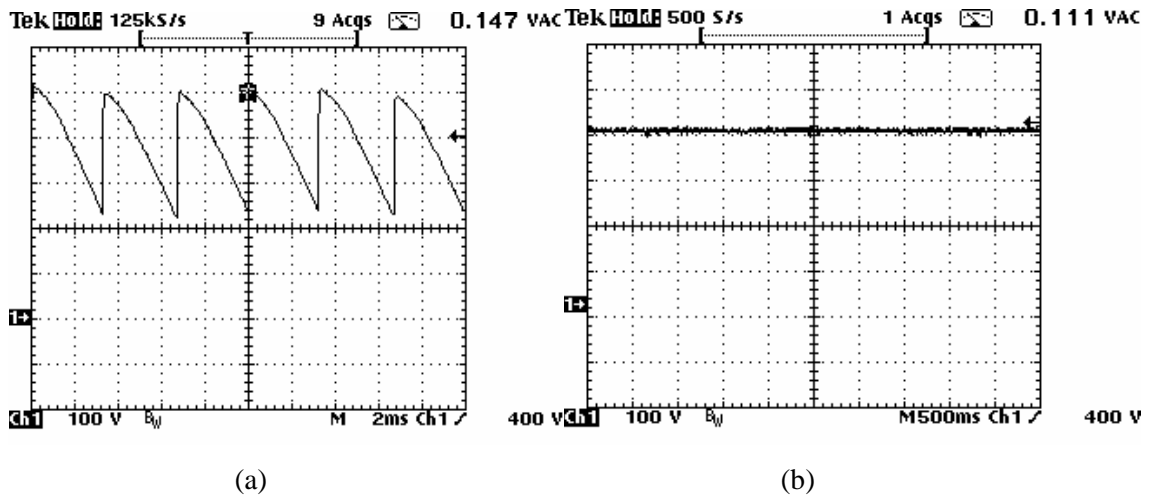
Mikrodenetleyici ADC kanalından okunan, DC voltaj geribesleme bilgisini referans gerilimi ile karşılaştırarak arada oluşan hatayı PI kontrolden geçirmekte ve hatayı sıfırlamak üzere tristör tetikleme açılarını değiştirmektedir. Okunan şebeke sıfır noktalarına göre tristör tetikleme sürelerinin sağlanması için sayaçlar başlatılmakta ve tristörlere genişliği 3.3 msn olan tetikler uygulanmaktadır.



Şekil 3.22 Mikrodenetleyici tarafından oluşturulan tristör tetik sinyalleri.

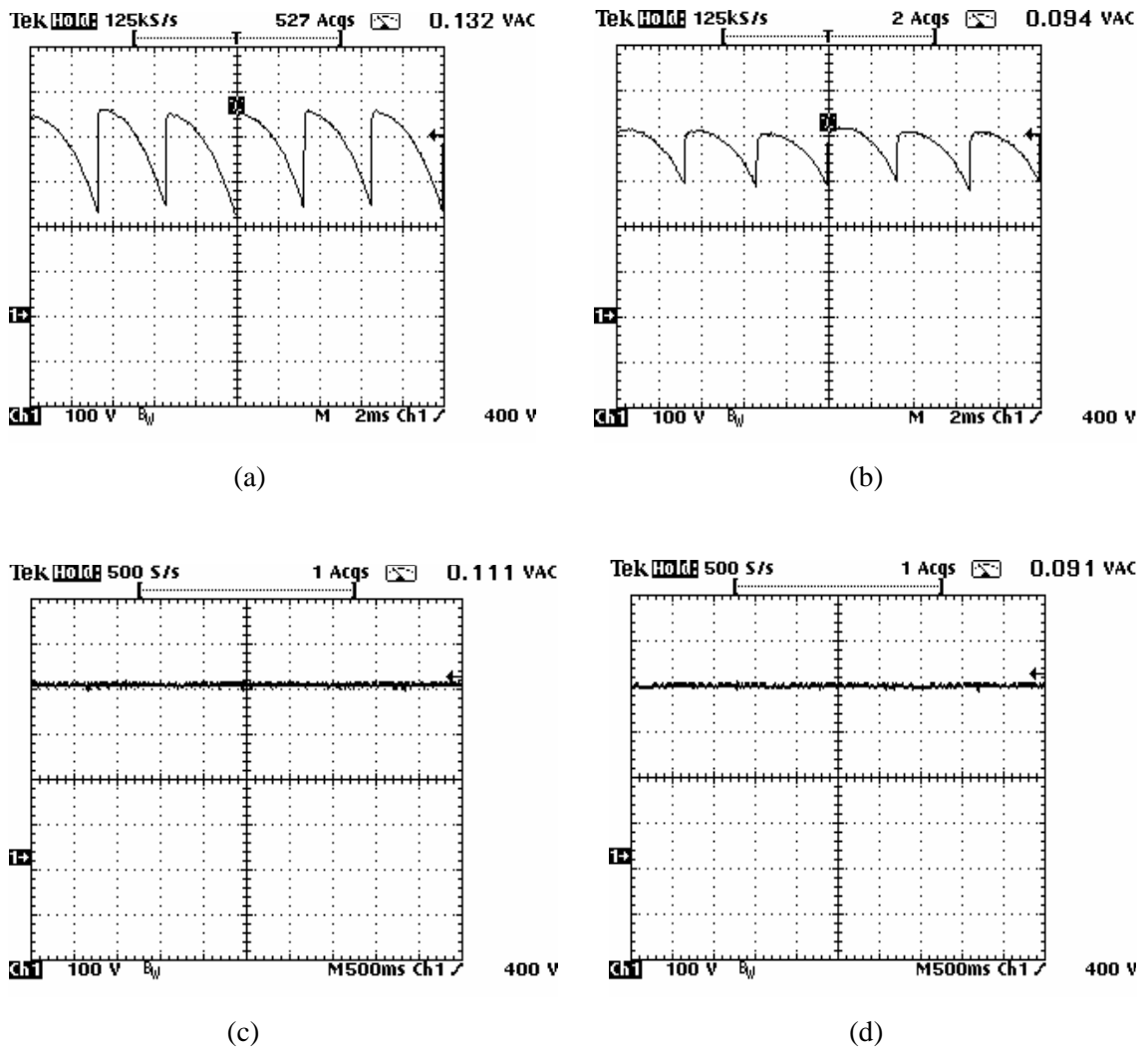
3.10.3. Tristörlü doğrultucunun boşa ve yükte çıkış dalga şekillerinin gözlenmesi

Mikrodenetleyici kontrollü üç fazlı doğrultucu deneylerinde DC barada kondansatör varken ve kondansatör olmadığı durumlar için boşa ve yükte testler yapıldı. Şekil 3.23 'teki osilaskop görüntüleri boşa doğrultucu çıkış dalga şekillerini her iki durum için göstermektedir.



Şekil 3.23 Boşa doğrultucu çıkış gerilim dalga şekilleri; a) DC bara kondansatörü yokken b) DC bara kondansatörü varken.

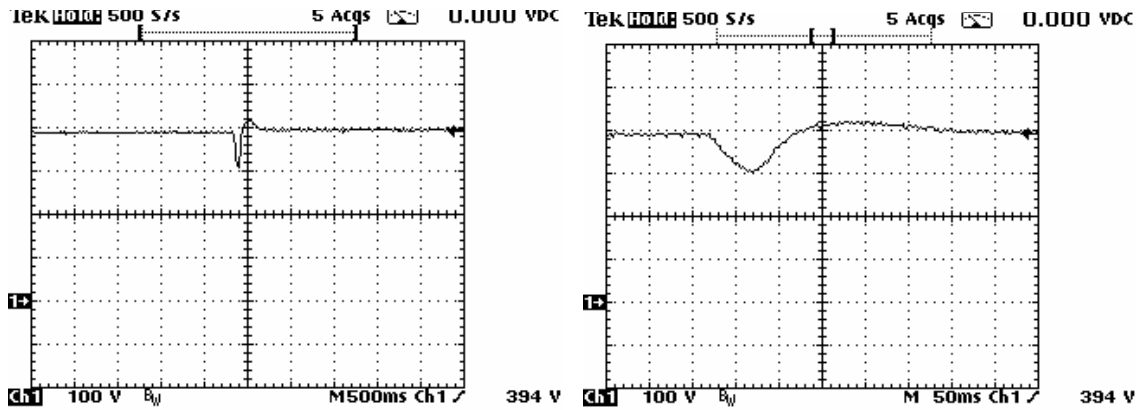
Üç faz doğrultucunun %50 ve %100 yük basamaklarında oluşan çıkış dalga şekilleri Şekil 3.24 'teki osilaskop görüntülerindeki gibi gözlemlendi. DC bara kondansatörü bulunmadığı durumda dalga şekilleri yük arttıkça diyot çalışma durumuna yaklaşmakta ortalama gerilim seviyesi 400V olmaktadır. Doğrultucu çıkışında DC kondansatör bulunduğu durumda ise dalga şeklinin değişmediği yalnızca yük arttığı durumda bir miktar dalgalanma olduğu gözlemlendi.



Şekil 3.24 Mikrodenetleyicili kontrollü doğrultucu çıkış gerilim dalga şekilleri; a) %50 yükte DC bara kondansatörü yokken b) %100 yükte DC bara kondansatörü yokken c) %50 yükte DC bara kondansatörü varken d) %100 yükte DC bara kondansatörü varken.

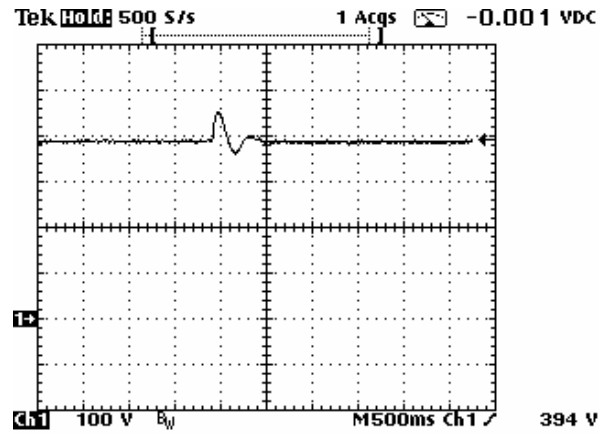
3.10.4. Tristörlü doğrultucu kontrol hızının gözlenmesi

Mikrodenetleyici içerisinde gerçekleştirilen PI kontrol algoritması, çıkıştaki ani yüklenmelere ve giriş gerilimlerinde oluşacak düşmelere karşı hızlı bir şekilde cevap vermektedir. Kontrolör ani yüklenmelerde doğrultucu çıkışındaki 400V DC bara gerilimini 50-100 msn gibi kısa sürelerde sabitleyebildi. Şekil 3.25 'te doğrultucu çıkış gerilimindeki ani yüklenmede PI kontrolün davranışı ve DC bara geriliminin 400V 'a sabitlenmesi ile ilgili osilaskop görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 3.25 Doğrultucu çıkışındaki ani yüklenmede DC bara gerilim değişimi.

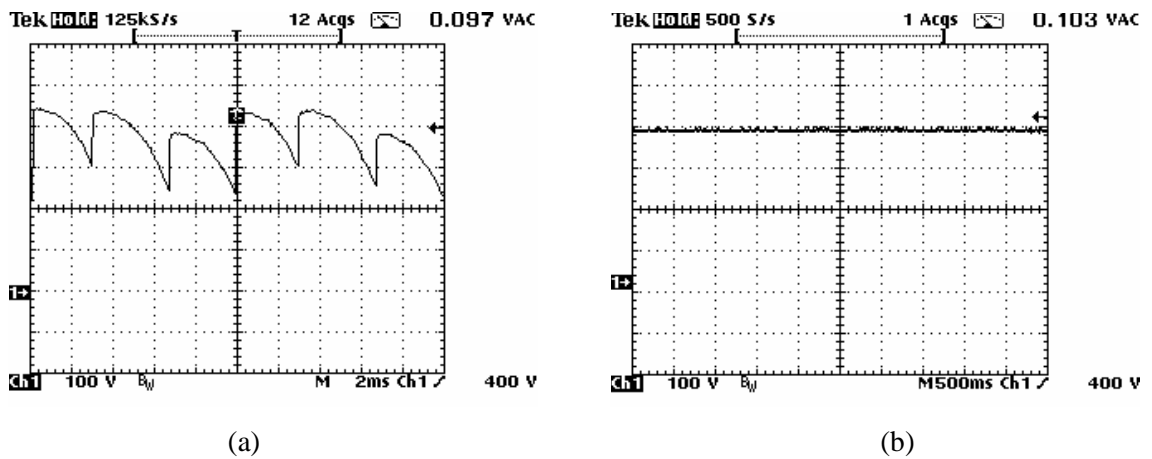
Doğrultucu çıkışındaki yükün aniden devreden çıkması durumunda hatanın algılanıp DC geriliminin sabitlenmesi yük devreye girmesindeki düzeltmeden daha uzun sürmektedir. Bu düzeltme yaklaşık 300-500 msn sürdü. Yükün devreden çıkması durumundaki düzeltmenin uzun süre almasının nedeni DC kondansatörün devreden ani yük çıkması durumunda giriş geriliminin tepe değerine kadar dolmasıdır.



Şekil 3.26 Doğrultucudaki yükün devreden çıkması anında DC bara gerilimi değişimi.

3.10.5. Dengesiz giriş gerilimlerinde doğrultucu çıkış gerilim dalga şekilleri

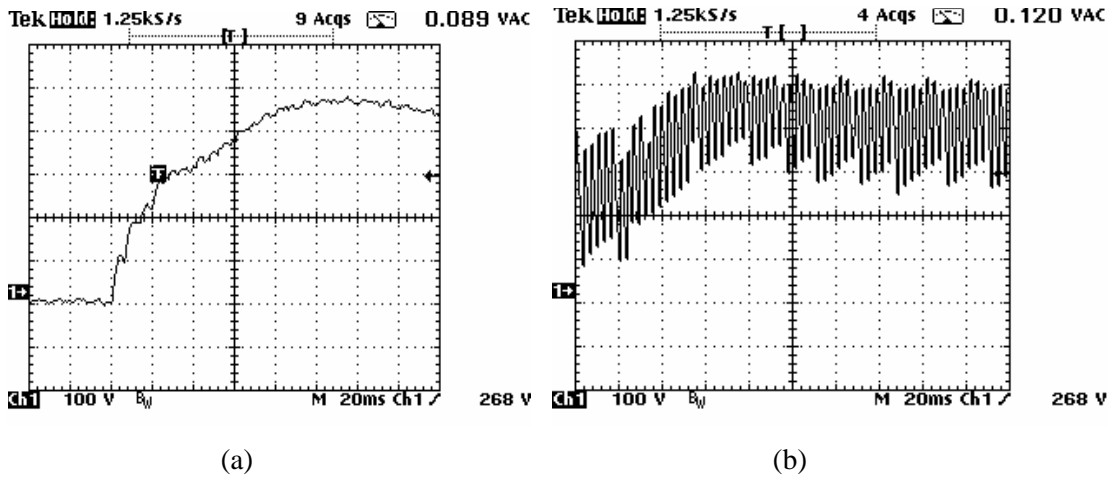
Dengesiz giriş geriliminde, DC barada kondansatör olduğu durumda çıkış geriliminde herhangi bir dalgalanma gözlenmedi. DC bara kondansatörü bulunmadığı durumda ise 6 darbeli DC gerilimdeki dalga şekillerinde, farklı açılarda tetiklemeler görüldü ancak ortalama gerilim seviyesi 400V 'ta sabit kaldı.



Şekil 3.27 Dengesiz giriş gerilimlerinde %100 yükte doğrultucu çıkış gerilim dalga şekilleri: a) DC barada kondansatör yokken b) DC barada kondansatör varken.

3.10.6. Redresörün yumuşak başlatma ile çalıştırılması

Mikrodenetleyici kontrollü redresörde, DC bara kondansatörlerinin ilk enerjilenme anında çekeceği yüksek akımların önüne geçilmesi amacıyla DC bara geriliminin düşük voltajdan başlanarak yükseltilmesi işlemi yapıldı. Yumuşak başlatma süresi yaklaşık 100 msn kadardır.



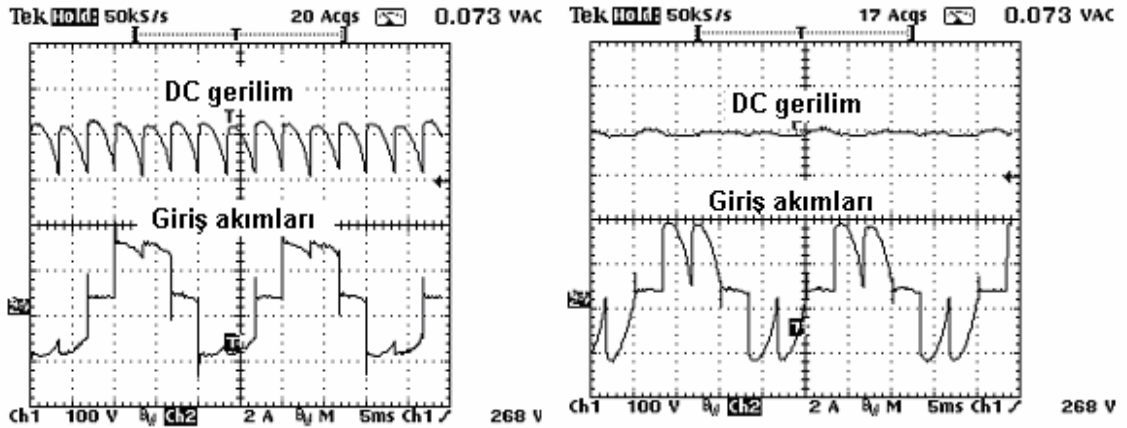
Şekil 3.28 DC baranın ilk enerjilenmesi anında yumuşak başlatma ve gerilim dalga şekli
a) DC barada kondansatör varken b) DC barada kondansatör yokken.

Yumuşak başlatma işleminin amacı, DC bara geriliminin aniden yükselmesi yerine yavaş yükseltilerek kondansatörlerin dolarken çekecekleri akımın önüne geçilmek istenmesidir. Şekil 3.29 'da DC barada kondansatör yokken sistemin yumuşak başlatılması görülmektedir.

3.10.7. Mikrodenetleyici kontrollü redresörün akım ve gerilim karakteristikleri

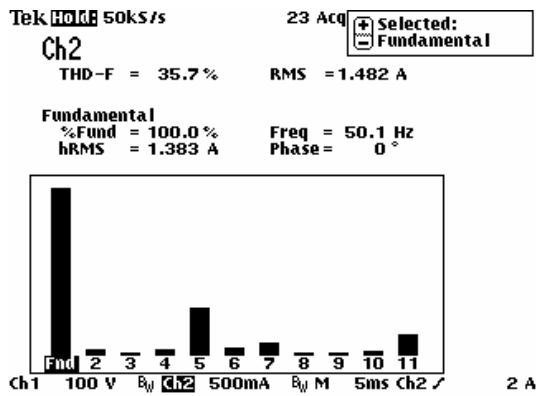
Üç fazlı mikrodenetleyicili tam kontrollü altı darbeleri doğrultucu şebekeden Şekil 3.30a 'da görüldüğü gibi akımlar çekmektedir. DC barada kondansatör bulunduğu durumda girişten çekilen akımın şekli sivrilerek daha çok bozulmakta ve akımın tepe noktalarında giriş gerilim dalga şekilleri de bozulmaktadır. Şekil 3.30b 'de redresör çıkışında DC bara kondansatörü olduğu durumda giriş akım dalga şekli ve çıkış gerilim dalga şekilleri verilmiştir. Akım dalga şeklindeki bozulma oranı toplam harmonik bozunum (THD) olarak adlandırılmaktadır.

Şekil 3.30c 'de %100 yükte mikrodnetleyici kontrollü redresörün ölçülen giriş akım THD değerleri verilmiştir.



(a) DC bara Kondansatörü yokken.

(b) DC bara Kondansatörü varken.



(c) %100 yükte redresör giriş akım THD 'si.

Şekil 3.29 Mikrodnetleyici kontrollü redresörün %100 yükte giriş akım ve çıkış gerilimi a)DC bara Kondansatörü yokken b)DC bara Kondansatörü varken c) %100 yükte redresör giriş akım THD 'si.

4. SAYISAL VE ANALOG KONTROLLÜ REDRESÖRÜN KARŞILAŞTIRILMASI

Sayısal ve analog redresör sisteminin birçok yönden karşılaştırılması mümkündür. Sayısal ve analog redresör sistemleri için performans, verimlilik, kullanılan malzeme adeti ve işçilik süreleri, bunlardan kaynaklanan maliyetler, test ve arıza bulma, sistemlerin dış etkenlerden etkilenme durumları, üretim ve tasarımdaki kolaylıklar yönünden karşılaştırmalar yapılabilir.

Analog ve sayısal kontrollü sistemin karşılaştırmaları yapılırken analog kontrollü redresör sistemi olarak Kemsan KPM33 model cihazlarda bulunan redresör kartı ve güç devresi kullanılmıştır.

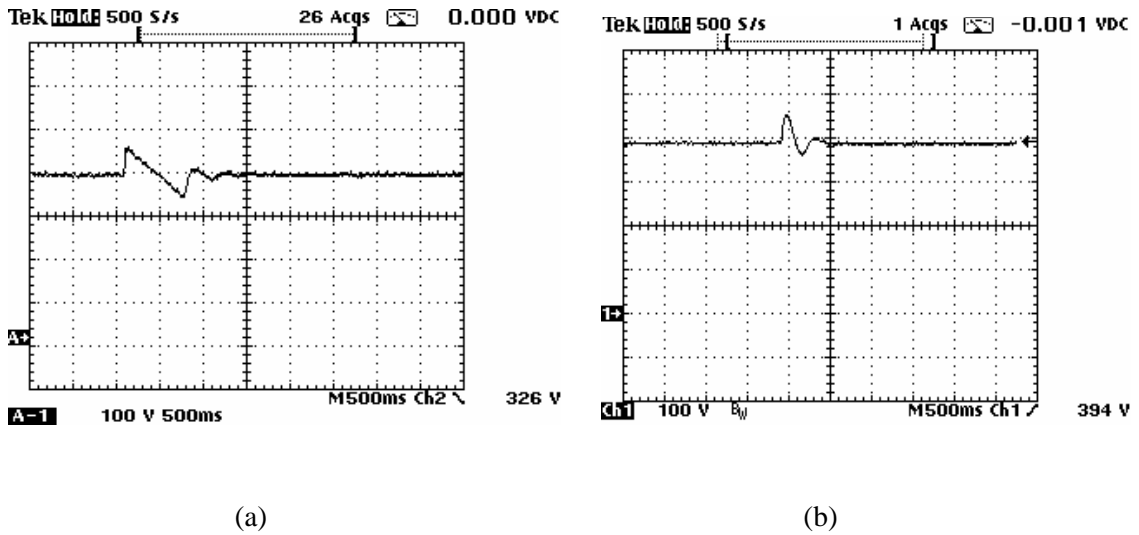


Şekil 4.1 Kaynak Elektronik Mak.San.Tic.Ltd. şirketi tarafından üretilen Kemsan marka KPM33 model 60 kVA kesintisiz güç kaynağı.

4.1. Sayısal ve Analog Kontrollü Doğrultucunun Yük Karakteristiği

Kemsan KPM33 cihazlarda yapılan yük testlerinde KPM33 model 10 kVA ve KPM33 60 kVA cihazın redresör çıkışındaki dinamik cevap vermesinin değişmediği gözlenmiştir. Buradan yola çıkılarak Analog kontrollü Kemsan KPM33 model 10 kVA redresörü ile sayısal kontrollü redresör arasında yük karakteristiği ve düzeltme hızları yönünden karşılaştırmalar yapılmıştır. Karşılaştırmalarda sözü geçen analog kontrollü redresör KPM33 model cihazlarda kullanılan redresör kartı ve güç devresini kapsamaktadır.

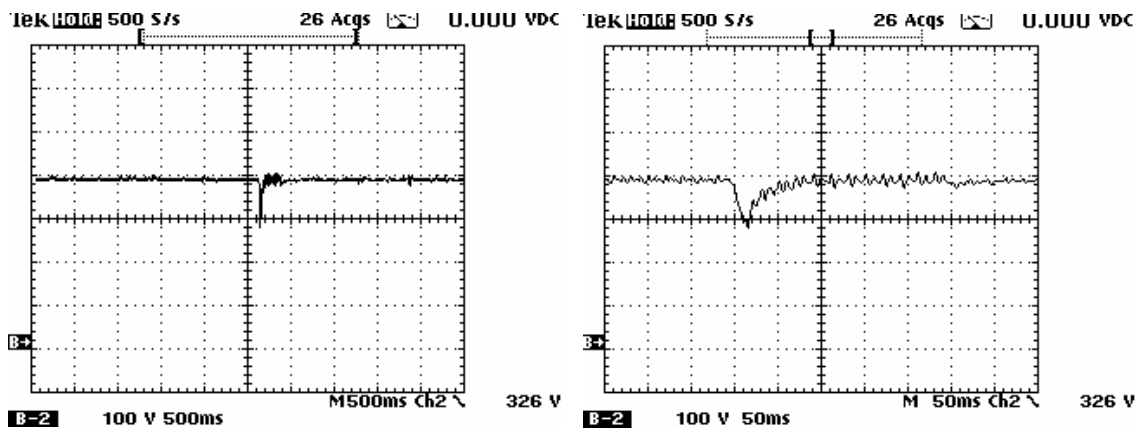
Analog ve sayısal kontrollü redresör kontrolör hızı dinamik cevap verme ve yük karakteristikleri bakımından karşılaştırıldığında sayısal kontrollü redresörün daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlendi. Sistem karşılaştırması yapılırken, analog kontrollü olarak çalışan redresörün testleri sırasında yükün devreye girmesi ve devreden çıkması esnasında DC bara geriliminin dalga şekilleri ve kontrolörün düzeltme hızları izlenerek, sayısal kontrollü redresörün değerleri ile karşılaştırmalar yapıldı. Sistemlerin çalışmaları esnasında alınan osiloskop görüntüleri Şekil 4.2 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Yükün Devreden Çıkması: a) Analog kontrollü redresör b) Sayısal kontrollü redresör.

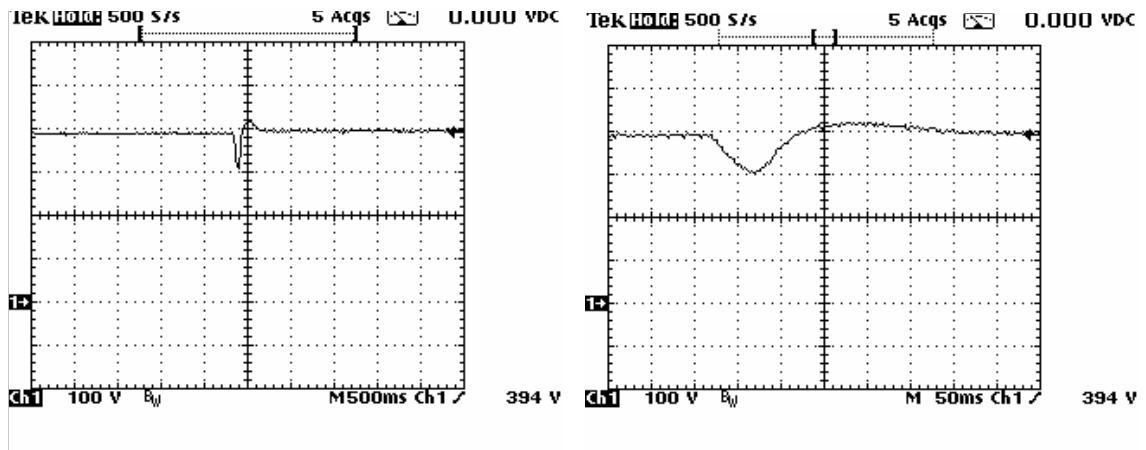
Redresör çıkışındaki yükün devreden çıkması anında Şekil 4.2 'deki osilaskop görüntülerindeki gibi sayısal kontrolün doğrultucu çıkış gerilimini düzeltme süresi 500-600 msn civarında bir zamanda gerçekleşti. Analog kontrolörün DC barayı düzeltme süresi ise 1000-1200 msn olarak gözlemlendi.

Yükün devreye alınması sırasında, analog ve sayısal kontrolün doğrultucu çıkışını düzeltme süreleri Şekil 4.3 'de gösterilen osilaskop görüntülerindeki gibidir;



(a)

(b)



(c)

(d)

Şekil 4.3 Yükün devreye girmesi; a) Analog kontrollü redresör (time/div=500 msn) b) Analog kontrollü redresör (time/div=500 msn) c) Sayısal kontrollü redresör (time/div=500 msn) d) Sayısal kontrollü redresör (time/div=500 msn).

Doğrultucu çıkışında, yükün devreye girmesi anında DC bara geriliminin analog ve sayısal kontrolör tarafından düzeltilmesinin sonuçları değerlendirildiğinde Şekil 4.3a ve Şekil 4.3b 'de analog ve sayısal kontrollün yük devreye girerken DC barayı düzeltme sürelerinin 500 msn civarında olduğu görüldü. Düzeltme süreleri birbirine yakın görülmesine karşın osilaskop görüntüleri time/div=50 msn kademesinde daha ayrıntılı incelendiğinde analog kontrolörün Şekil 4.3b 'deki gibi düzeltme esnasında doğrultucu çıkışında dalgalanma ve osilasyonun fazla olduğu, sayısal kontrolörün ise DC barayı düzeltmesi esnasında daha kararlı bir yapıya sahip olduğu görüldü. Sayısal kontrolörün doğrultucu çıkışındaki gerilimi düzeltmesi sırasında DC bara da dalgalanma veya osilasyon görülmedi.

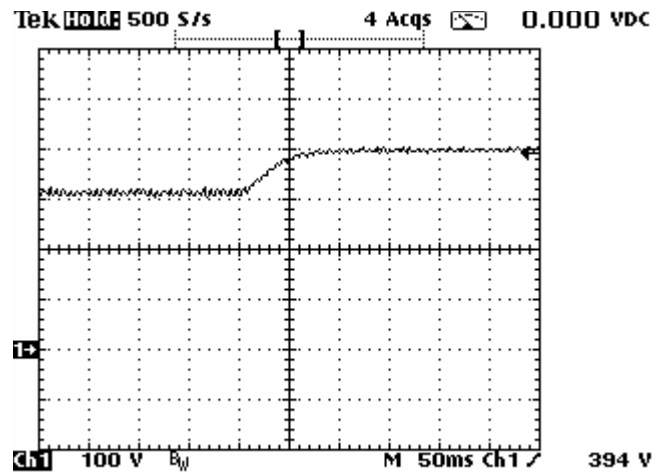
Genel olarak sayısal ve analog kontrollü redresör sistemlerinin çalışmaları değerlendirildiğinde sayısal kontrolörün, analog kontrolöre göre daha üstün bir kontrol yapısı sergilediği gözlemlendi.

4.2. Analog ve Mikrodenetleyici Kontrollü Doğrultucunun Gerilim ve Akım Ayarlamaları

Mikrodenetleyici ile üç fazlı tam dalga, tristörlü doğrultucu tasarımında mikrodenetleyici olarak hız ve bellek yönünden yeterli olması sebebiyle Microchip firmasının PIC18F452 mikrodenetleyicisi kullanıldı. Redresör mikrodenetleyici programına kontrol algoritmasına ilaveten kullanıcı etkileşimli, tuş takımı ve LCD programları eklenerek, redresörün birçok özelliği ayarlanabilir hale getirildi. Doğrultucunun akım kaynağı ve gerilim kaynağı modlarında çalışabilme seçenekleri sunuldu. Giriş gerilim çalışma aralıkları ve doğrultucu çıkış gerilimi belirli sınırlar içerisinde ayarlanabilmekte, akım kaynağı modunda sınırlama yapılacak DC akım değeri dışarıdan girilebilmektedir. Giriş gerilimi, frekans, DC gerilim, DC akım göstergelerinin sisteme dahil edilmesiyle doğrultucunun çalışması dışarıdan rahatlıkla izlenebilmektedir. Bu özelliklerinden dolayı, tasarlanan mikrodenetleyici kontrollü redresör, çeşitli uygulamalara rahatça uyum sağlayabilecek yapıdadır. Bunun yanında doğrultucu çıkışındaki kondansatörün devreye alınabilmesi ve devreden çıkarılabilmesini sağlayan buton sisteme dahil edildi.

Mikrodenetleyici kontrollü redresörde; Redresör modunun tuş takımı aracılığıyla ön panelden akım kaynağı olarak seçilmesi ile birlikte doğrultucu çıkışından çekilecek akımın sınırlandırılması sağlanır. Çıkıştan çekilmesi istenen maksimum akım değerinin ön panelden ayarlanmasıyla, DC baradan çekilen akım ayarlanan DC bara akımının üzerine çıktığında DC bara gerilimi düşürülerek çekilen akımın azaltılması yönünde bir akım kontrolü sağlandı.

Şekil 4.4 'de redresör modu akım kaynağı olarak seçilmişken DC baradan çekilen akımın artması ile birlikte doğrultucu çıkış geriliminin düşmesi ve çekilen akım azaldığında gerilimin tekrar 400V 'a yükselmesi görülmektedir. Devrede DC akım okumasının yapılması amacıyla doğrultucu çıkışında "ABB marka Hall efekt akım transducer" kullanıldı.



Şekil 4.4 Akım kaynağı modunda doğrultucu çıkış akımının sınırlandırılması.

Doğrultucu çıkış gerilimi ön panelden gerilim kaynağı modu seçilmesi durumunda, çıkışta yük varken yada boşta 255V - 475V gibi geniş bir gerilim aralığında tuş takımı aracılığıyla ayarlanabilmektedir. Akım kaynağı modunda kısma akım değeri ön panelden mA seviyesinde ayarlanabilmektedir. Bu özellikler, mikrodenetleyici kontrollü redresöre, akım ve gerilim ayarlamalarındaki kolaylıklar nedeniyle analog redresör sistemlerine göre birçok üstünlükler kazandırmaktadır.

Bunun yanında sayısal kontrollü sistemin dinamik cevap vermesi ve tepkisinin programda yapılacak değişikliklerle malzeme değişikliğine gerek kalmadan değiştirilebilmesi kontrol katsayılarının kolayca değiştirilmesi, analog kontrollü sisteme göre büyük avantajlar sağladı.

4.3. Analog ve Mikrodenetleyicili Sistemlerin Dış Etkilere Karşı Dayanımı

Analog redresör kartı üzerinde bulunan devre ve özellikle potansiyometrelerin sarsıntıdan ve sıcaklık, nem gibi dış etkenlerden fazlaca etkilenmesi sıkıntılar ortaya çıkarmaktadır. Mikrodenetleyici kontrollü sistemde kullanılan analog devrelerin azlığı ve potansiyometrelere gerek duyulmaması redresör kartının dış etkenlerden etkilenme şansını minimuma indirmektedir. Bu da daha hatasız çalışan, arıza yapma sıklığı az olan sistemler ortaya çıkmasında önemli rol oynamaktadır.

4.4. Analog ve Mikrodenetleyicili Sistemlerin İşçilik ve Maliyetleri

Mikrodenetleyici kullanılan kartlardaki malzemelerin, analog kartlardaki malzemelere göre az oluşu kartların kolayca montaj yapılabilmesini ve işçilik sürelerinin azalmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda malzeme ve işçilikteki azalma, oluşabilecek potansiyel insan kaynaklı hataların ve malzeme hatalarının nispeten azalmasını sağlamaktadır. Sayısal kontrollü sistemde kartların testi oldukça kolaylaşmakta, arıza tespiti analog devrelere göre çok daha kısa sürede yapılabilmektedir. İşçilik, malzeme ve test sürelerinin kısalması kart maliyetlerinde önemli azalmalara sebep olmaktadır. Aynı birim sürede mikrodenetleyicili kartlardan, analog kartlara göre fazla sayıda yapılabilmekte bunun yanında hatalı kart üretimi de büyük oranda azalmaktadır. Bu da işletme açısından büyük maliyet azalmalarına sebep olmaktadır.

İstenildiği takdirde rahatlıkla, mikrodenetleyici kontrollü redresörün dışarıdan bir bilgisayar yardımıyla değerleri izlenebilir ve kontrolü bir arayüz programı yardımıyla bilgisayardan yapılabilir. Redresör kontrolü veya çalışmasında yapılacak bir tasarım değişikliğinde, kart veya PCB üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan mikrodenetleyici yazılımında yapılacak revizyonla değişikliğin hayata geçirilmesi mümkündür. Bu da yeni tasarım süreçlerinde analog devre kullanılan sistemlere göre yine büyük üstünlükler sağlamaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, bir mikrodenetleyici ile üç fazlı tam dalga, tristörlü doğrultucu için sayısal kontrollü gerilim ve akım denetleyicisi tasarlanmıştır. Denetleyicinin bilgisayar simülasyonları ve gerçekleştirilmesi çalışmaları yapılmıştır.

Çalışmanın ilk bölümünde, tam kontrollü doğrultucu üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir. Analog sistemlerde kullanılan devre ve potansiyometrelerin sarsıntı, sıcaklık, nem gibi dış etkenlerden kolayca etkilendikleri, analog devrelerdeki malzemelerin çokluğunun kart maliyetleri ve işçilik sürelerinin artmasına neden olduğu, test ve arıza bulmada bir takım zorluklar ortaya çıkardığı görülmüştür. Analog sistemlerde yaşanan sıkıntılar nedeniyle, analog sistemden, sayısal sisteme geçilmesi hedeflenerek, sayısal PI kontrol yapısı üzerine çalışılmıştır.

Denetleyicinin tasarımı ve bilgisayar simülasyonları Matlab/Simulink aracı ile yapılmıştır. Simülasyonda seçilen kontrol parametreleri ile denetleyici performansı incelenmiştir. Denetleyicinin tristörlü doğrultucu çıkışındaki gerilimi istenen ortalama gerilim seviyesinde sabit tuttuğu gözlenmiştir.

Bilgisayar simülasyonları sonucunda, kontrolörün PIC18F452 mikrodenetleyicisi ile üç fazlı tristörlü doğrultucu üzerinde gerçekleştirilmesi için çalışmalar yapıldı. Bu amaçla mikrodenetleyici programı için kontrol algoritmaları oluşturuldu ve MPLAB ile assembly dilinde program kodları yazıldı. Kontrolörün gerçek sistemde çalıştırılması için gerekli donanım tasarlandı ve gerçekleştirildi. Hazırlanan deneysel kurgu üzerinde kontrolör çalıştırılarak, denetleyicinin çalışması gözlemlendi.

Bu çalışmada hazırlanan deneysel kurgunun gücü düşük olduğu için kontrolörün performansı yüksek güçlerde ölçülemezdir. Nominal gücü yüksek deneysel kurgu hazırlanarak kontrolörün performansı 10 kW ve üzeri güçlerde gözlemlenebilir. Bunun yanında yazılacak arayüz programı ile doğrultucunun kontrolü bilgisayar üzerinden yapılabilir ve değerleri gözlemlenebilir.

Sonuç olarak bu tez çalışmasında yapılan simülasyonlar ve deneysel çalışmalar ile üç fazlı tristörlü tam dalga doğrultucu için sayısal kontrolör tasarlanmıştır ve performans analizleri yapılmıştır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Mohan, N. and Undeland, M. and Robins, P., 1995, "Power Electronics, Converters, Application and Design", John Wiley & Sons, Inc.
- [2] Gündoğdu, T., 2000, "Güç kaynakları", Antrak Gazetesi.
- [3] Gefran, T., 2005, "PID Kontrol Cihazları, PID kontrolü nedir?", Tümer Mühendislik.
- [4] Semikron, 2004, "SKKT-42 Thyristor Datasheet", Semikron International.
- [5] Altınbaşak, O., 2001, "Mikrodenetleyiciler ve PIC programlama", Altaş Kitapevi.
- [6] Richard, W. and Herbert, L., 1999, "Design and microcontroller implementation of a three phase SCR power converter", Department of Electrical Engineering University of Idaho.
- [7] Enerpro, 2004, "Electric vehicle battery charger", Enerpro Inc.
- [8] Microchip, 2005, "PIC18FXXX datasheet", Microchip Technology Inc.
- [9] Kuo, C. ve Çeviren Bir, A., 1999, "Otomatik Kontrol Sistemleri", Literatür Yayınları.
- [10] Microchip application notes, 2004, "Implementing a PID Controller Using a PIC18 MCU", Microchip Technology Inc.
- [11] Salam, Z., 2003, "Power Electronics and Drives", UTM-JB.
- [12] Upton, N. and Olsen E., 1983, "A high performance digital triggering system for phase controlled rectifiers", IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. NS-30, No. 4.
- [13] SCRs and Triacs, 2004, "Thyristor Product Catalog", Littelfuse Inc.