

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**UZAY VEKTÖR DARBE GENİŞLİK MODÜLASYON DENETİMLİ
AKTİF FİLTRE DEVRELERİNİN MODELLENMESİ VE BENZETİMİ**

BÜLENT SİĞERGÖK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK-BİLGİSAYAR EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2009

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**UZAY VEKTÖR DARBE GEN İŞLİK MODÜLASYON DENETİMLİ
AKTİF FİLTRE DEVRELERİNİN MODELLENMESİ VE BENZETİMİ**

BÜLENT SİĞERGÖK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK-BİLGİSAYAR ANABİLİM DALI

Bu yüksek lisans tezi/...../2009 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliğiyle başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Tez yöneticisi : Yrd.Doç. Dr. Servet TUNCER

Üye : Prof. Dr. Hanifi GÜLDEMİR

Üye : Yrd.Doç. Dr. Beşir DANDİL

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

TEŐEKKÖR

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında beni destekleyen ve tez çalışmasında bana yardımlarını esirgemeyen ve yol gösteren değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Servet TUNCER' e teőekkÖrÖ bir borç bilirim.

Aynı zamanda, benden yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, bana destek olan Arş.Gör. Korhan KAYIŐLI, Arş.Gör. Resul ÖTELİ' ye ve fedakar eőime teőekkÖr ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR	
İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER LİSTESİ	II
TABLOLAR LİSTESİ	V
SİMGELER VE KISALTMALAR	VI
ÖZET	VIII
ABSTRACT	IX
BÖLÜM 1	
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	6
1.2. Tezin İçeriği	6
BÖLÜM 2	
2. HARMONİK KAYNAKLARI	7
2.1. Giriş	7
2.2. Harmonik Akım Kaynakları	7
2.3. Harmonik Gerilim Kaynakları	8
2.4. Harmoniklerin Etkileri	9
2.4.1. Motor ve jeneratörlere etkisi	11
2.4.2. Transformatörlere etkisi	11
2.4.3. Güç kablolarına etkisi	12
2.4.4. Kondansatörlere etkisi	12
2.4.5. Elektronik ekipmanlara etkisi	12
2.5. Harmonik Standartları	13
2.5.1. Sinüzoidal olmayan durumda elektriksel büyüklükler	14
2.5.2. Toplam harmonik bozulma(THB)	17
BÖLÜM 3	
3. AKTİF GÜÇ FİLTRELERİ	18
3.1. AGF'nin Sınıflandırılması	19
3.1.1. Sistem konfigürasyonuna göre sınıflandırma	19
3.1.1.1. Seri aktif güç filtreleri	20
3.1.1.2. Paralel aktif güç filtreleri	20
3.1.1.3. Hibrit aktif güç filtreleri	21

	Sayfa
3.1.2. Güç devresine göre sınıflandırma	22
3.1.2.1. Akım beslemeli DGM evirici	23
3.1.2.2. Gerilim beslemeli DGA evirici	23
BÖLÜM 4	
4. AKTİF GÜÇ FİLTRELERİNİN YAPISAL MODELLERİ	25
4.1. Seri Aktif Güç Filtreleri	25
4.1.1. Güç devresi yapısı	27
4.1.2. Çalışma ilkeleri	27
4.1.3. Güç devresi dizaynı	28
4.1.3.1. Gerilim beslemeli DGM evirici	28
4.1.4. Kontrol yöntemleri	29
4.2. Paralel Aktif Güç Filtreleri	29
4.2.1. Güç devresi	32
4.2.2. Kontrol yöntemleri ve düzenleri	33
4.2.3. DGM yöntemleri	34
4.2.3.1. Sinüzoidal DGM	35
4.2.3.2. Histerezis bant DGM	36
4.2.3.3. Uzak vektör DGM	38
BÖLÜM 5	
5. PARALEL AKTİF GÜÇ FİLTRESİ İÇİN BENZETİM ÇALIŞMALARI	49
5.1. Üç-Fazlı Şebekeden Doğrusal Yük sistemlerinin Beslenilmesi	49
5.2. Üç-fazlı Şebekeden Doğrusal ve Doğrusal olmayan yük sistemlerinin beslenilmesi	51
5.3. Üç-fazlı Şebekeden iki doğrusal olmayan yük sisteminin beslenilmesi	53
5.4. Uzak Vektör DGM Denetimli Paralel aktif güç filtresi	56
BÖLÜM 6	
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	69

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Tristörlü doğrultucu	8
Şekil 2.2. Diyot doğrultucu	9
Şekil 3.1. Seri aktif güç devresi	20
Şekil 3.2. Paralel aktif güç devresi	21
Şekil 3.3. Seri aktif, paralel pasif güç filtresi	22
Şekil 3.4. Akım beslemeli DGM eviricili aktif güç filtresi	23
Şekil 3.5. Gerilim beslemeli Evirici	24
Şekil 4.1. Seri aktif güç filtresi	25
Şekil 4.2. Seri aktif güç filtresinin prensip şeması	27
Şekil 4.3. Seri aktif güç filtresi topolojisi ..	28
Şekil 4.4. Paralel aktif güç filtresi	30
Şekil 4.5. Paralel aktif filtre sistemi	32
Şekil 4.6. Paralel aktif filtresi güç devresi.....	32
Şekil 4.7. Şönt aktif güç filtresi kontrol şeması	34
Şekil 4.8. Sinüzoidal DGM	35
Şekil 4.9. Histerezis band DGM	36
Şekil 4.10. İki kondansatörlü evirici bağlantısı	37
Şekil 4.11. Uzay vektör DGM devre yapısı	38
Şekil 4.12. Üç fazlı gerilim beslemeli DGM evirici	39
Şekil 4.13. Evirici gerilim vektörleri	41
Şekil 4.14. abc ve dq referans düzlemleri	42
Şekil 4.15. Uzay vektör DGM anahtarlama vektörleri	43
Şekil 4.16. Uzay vektör DGM	44
Şekil 4.17. Uzay gerilim vektörü ve d-q Bileşenleri	45
Şekil 4.18. 2 seviyeli uzay vektör DGM’ de altı bölge için anahtarlama durumları	48
Şekil 5.1. Paralel bağlı iki doğrusal yük sisteminin şebekeden Beslenilmesi	50
Şekil 5.2. Doğrusal yük sistemlerinin şebekeden beslenilmesi	50
Şekil 5.3. Şebekeden çekilen bir faz akımına ilişkin dalga şekli ve harmonik spektrumu	51
Şekil 5.4. Paralel bağlı doğrusal ve doğrusal olmayan yük sistemlerinin şebekeden beslenilmesi	52

Şekil 5.5. Doğrusal ve doğrusal olmayan yük sistemlerinin şebekeden beslenilmesi	52
Şekil 5.6. Şebekeden çekilen bir faz akımına ilişkin dalga şekli ve harmonik Spektrumu	53
Şekil 5.7. Paralel bağlı doğrusal olmayan yük sistemlerinin şebekeden beslenilmesine ilişkin oluşturulan simulink blokları	54
Şekil 5.8. Doğrusal olmayan yük sistemlerinin şebekeden beslenilmesi	54
Şekil 5.9. Doğrusal olmayan yük sistemi için şebekeden çekilen bir faz akımına ilişkin dalga şekli ve harmonik spektrumu	55
Şekil 5.10. Paralel bağlı iki doğrusal olmayan yük için şebekeden çekilen bir faz akımına ilişkin dalga şekli ve harmonik spektrumu	56
Şekil 5.11. Doğrusal ve doğrusal olmayan yük sistemleri için UVDGM denetimli aktif güç filtresinin simulink blokları	57
Şekil 5.12. Paralel aktif güç filtresinin simulink blokları	57
Şekil 5.13. UVDGM algoritmasının simulink blokları	58
Şekil 5.14. UVDGM algoritmasının ayrıık UVDGM alt simulink blokları	58
Şekil 5.15. Doğrusal ve doğrusal olmayan yük sistemlerinin şebekeden beslenilmesi ...	59
Şekil 5.16. Doğrusal yük devrede iken şebekeden çekilen bir faz akımına ilişkin dalga şekli ve harmonik spektrumu	60
Şekil 5.17. Doğrusal olmayan yük devreye alındığında şebekeden çekilen bir faz akımına ilişkin dalga şekli ve harmonik spektrumu	60
Şekil 5.18. Doğrusal olmayan yük sisteminin şebekeden beslenilmesine ilişkin oluşturulan simulink blokları	61
Şekil 5.19. Doğrusal olmayan yük sisteminin şebekeden beslenilmesi a) faz gerilimleri	61
Şekil 5.19. Doğrusal olmayan yük sisteminin şebekeden beslenilmesi b) faz akımları c) yük akımı d) yük üzerindeki gerilim	62
Şekil 5.19. Doğrusal olmayan yük sisteminin şebekeden beslenilmesi e) doğrultucu giriş akımları	63
Şekil 5.20. Doğrusal olmayan yükün şebekeden çektiği bir faz akımına ilişkin dalga şekli ve harmonik spektrumu($I_{yük}=3A$)	63
Şekil 5.21. Doğrusal olmayan yükün şebekeden çektiği bir faz akımına ilişkin dalga şekli ve harmonik spektrumu($I_{yük}=5A$)	64

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Bir fazlı doğrultucunun herhangi bir hat filtresi kullanmaksızın giriş akımı harmonikleri	8
Tablo 2.2. 1992 yılına ait IEEE-519 akım harmonik sınırları	14
Tablo 2.3. 1992 yılına ait IEEE-519 gerilim harmonik sınırları	14
Tablo 4.1. Anahtarlama vektörleri, çıkış faz-faz ve faz nötr gerilimleri	40
Tablo 4.2. d , q Aktif durum vektörleri	47

SİMGELER VE KISALTMALAR

V_{mn}	: Harmonik Gerilimin Tepe Değeri
I_{mn}	: Harmonik Akımın Tepe Değeri
K_s	: Dönüştürme Katsayısı
Δi_{fa}	: Hata Sinyali
V_{fa}^*	: Gerilim Sinyali
L_f	: Filtre Reaktörü
i_L	: Yük Akımı
V_s	: Giriş Gerilimi
M_f	: Modülasyon Faktörü
V_{ref}	: Referans Sinüs Dalga Genliği
V_{tri}	: Taşıyıcı Dalga Genliği
M_f	: Frekans Modülasyonu
m_f	: Frekans Modülasyonu
f_{tri}	: Taşıyıcı Üçgen Dalga Frekansı
f_{ref}	: Referans Sinüs Dalgasının Frekansı
m	: Modülasyon İndeksi
I_h	: Harmonik Akım Değeri
I_1	: Temel Akım Bileşeni
$V(t)$	: Gerilimin Ani Değerleri
$I(t)$	: Akımın Ani Değerleri
ω_1	: Temel Frekansa ait (f_1) Açısal Frekansı
θ_n	: n. Harmonik için Gerilime ait Faz Açısı
φ_n	: n. Harmonik için Akıma ait Faz Açısı
$p(t)$	: Ani Güç
AA	: Alternatif Akım
MOS	: Metal Oksit Yarıiletkenli Alan Etkili Transistör
IGBT	: İzole Kapılı Bipolar Transistör
DA	: Doğru Akım
AGF	: Aktif Güç Filtresi
PAGF	: Paralel Aktif Güç Filtresi
SAGF	: Seri Aktif Güç Filtresi
DC	: Doğru Akım
SDGM	: Sinüzoidal Darbe Genişlik Modülasyonu

THB	: Toplam Harmonik Bozulma
UVDGM	: Uzay Vektör Darbe Genişlik Modülasyonu
SVPWM	: Uzay Vektör Darbe Genişlik Modülasyonu
P	: Aktif Güç
S	: Görünen Güç
D	: Distorsiyon Gücü
Q	: Reaktif Güç
GF	: Güç Faktörü
DGA	: Darbe Genişlik Ayarı
DGM	: Darbe Genişlik Modülasyonu
UPS	: Kesintisiz Güç Kaynağı
PAF	: Paralel Aktif Filtre
GKE	: Gerilim Kaynaklı Evirici

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

UZAY VEKTÖR DARBE GENİŞLİK MODÜLASYON DENETİMLİ AKTİF FİLTRE DEVRELERİNİN MODELLENMESİ VE BENZETİMİ

Bülent SİĞERGÖK

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektronik –Bilgisayar Eğitimi Bölümü

2009, Sayfa:69

Günümüzde güç elektroniği elemanları geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu elemanlar doğrusal olmayan yüklerle birlikte kullanıldığında, Alternatif Akım (AA) kaynağından harmonik içerikli akımların çekilmesine ve bunun sonucu olarak ek reaktif gücün çekilmesine sebep olmaktadır. Üç-fazlı sistemlerde bu yükler gerilim dengesizliğine, aşırı akımların çekilmesine, dolayısıyla sistemin veriminin ve güç kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Bu yükler tek fazlı sistemdeki yüklerde ise güç kalitesi problemine sebep olmaktadır.

Geleneksel yöntemlerde bobin ve kondansatörden oluşan pasif filtreler harmoniklerin bastırılması için kullanılmaktadır. Bu geleneksel çözümler, oluşan problemleri tümüyle çözmede yetersiz kalmaktadırlar. Bu problemlerin çözümü için son yıllarda aktif güç filtreleri geliştirilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır. Aktif güç filtreleri; paralel aktif güç filtresi ve seri aktif güç filtresi olmak üzere iki devre yapısından oluşmaktadır. Paralel aktif güç filtresi; harmonik akımları bastırmak, reaktif güç kompanzasyonu sağlamak ve dengesiz akımları dengelemek için kullanılır. Bu çalışmada paralel aktif güç filtresinin kontrolü için uzay vektör darbe genişlik modülasyonu tekniği kullanılmıştır. Bu şekildeki bir paralel aktif güç filtresi sisteminin Matlab/Simulink ortamında benzetimleri yapılmış, elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aktif güç filtresi, Harmonik kompanzasyonu, Uzay vektör darbe genişlik modülasyonu.

SUMMARY

Master Thesis

MODELLING AND SIMULATION OF ACTIVE FILTER CIRCUITS USING SPACE VECTOR PULSE WIDTH MODULATION

Bülent SİĞERGÖK

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electronic and Computer Science

2009, Page:69

Today, power electronic devices are widely used in most applications. Using these devices together with nonlinear loads, currents with harmonic contents are drawn from AC mains which yield reactive power. These loads cause voltage imbalance and over currents hence the system efficiency and power factor decrease in three-phase system and cause the decrease in power quality in mono-phase system.

The passive filters with inductors and capacitors are used for elimination of the harmonics in traditional methods. However, traditional methods are insufficient for solving all problems. The active filters are developed and used instead of passive filters. The active filters are constructed as parallel active power filters and series active power filters. Parallel active power filters are used for suppression of harmonic currents, compensation of reactive power and stabilization of current imbalance. In this study, space vector pulse width modulation technique is used for the control of parallel active power filter. The parallel active power filter system is simulated in Matlab/Simulink environment and the results are presented.

Key Words: Active power filter, Harmonic compensation, Space vector pulse width modulation.

BÖLÜM 1

1.GİRİŞ

Son yıllarda enerji dağıtım sistemlerinde statik güç dönüştürücülerinin kullanımının artmasıyla birlikte güç kalitesi önemli bir sorun haline gelmeye başlamıştır. Güç kalitesi, elektrik güç sisteminde akım ile gerilimi tanımlayan çeşitli elektromanyetik olguları kapsamaktadır [1]. Elektrik enerjisi arzının sürekliliği, frekans, gerilimin etkin değeri, gerilimde geçici süre için oluşan yükselme ve düşmeler, gerilim ve akım dalga şekillerinde oluşan harmonik bileşenler, fazlar arası dengesizlik ve ani gerilim değişimleri güç kalitesini etkileyen nedenler olarak sayılır. Bununla birlikte, kalite kavramındaki amaç, sabit şebeke frekansında, sabit genlikli ve sinüzoidal dalga şekline sahip gerilim ve akımlar elde etmektir. Sistemdeki mevcut güç dönüştürücüleri, endüstrideki büyük güçlü ayarlanabilir hız sürücülerinden büro ve evlerdeki bilgisayarlar, yazıcılar, televizyonlar, ve elektronik balastlı flüoresanlar gibi küçük uygulamalara kadar çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Kullanılan bu sistemler doğrusal olmayan yükler olarak tanımlanmaktadır. Söz konusu bu yükler elektrik şebekesinden harmonik içeren akımlar çekerler ve üç fazlı elektrik sistemlerinde dengesizliğe ve nötr hattın da akım çekilmesine sebep olabilirler. Harmoniklerin varlığı, reaktif güç yüklemesi, gerilim dengesizliği ve nötr hattın çekilen akımlar sistem verimliliğinin düşmesine, güç faktörünün düşmesine sebep olmaktadır.

Statik güç dönüştürücüleri güç sistemlerinden doğrusal olmayan akımlar çekmektedir. Bu yükler temel frekanstaki akımın yanı sıra bu frekansın tam katları frekansa sahip harmonik akımlar çekerek güç sistemlerindeki koruma ve ölçüm cihazlarının arızalanmasına, güç sistemlerinin erken yaşlanmasına ve telekomünikasyon hatlarında parazitlere sahip olurlar. Harmonik terimi, gerilim ve akım dalga şekillerinin ideal sinüzoidal dalga şeklinden uzaklaşmasıdır. Bir başka deyişle temel frekans dışındaki bileşenler harmonikler olarak ifade edilmektedir. Son yıllara kadar, harmoniklerin filtrelenmesi, güç faktörünün iyileştirilmesi ve reaktif güç kompanzasyonu için pasif L-C filtreler ve kapasitör gruplarından oluşan geleneksel yöntemler kullanılmıştır. Kullanılan bu pasif L-C filtrelerin performansı çoğunlukla birkaç harmonik bileşen ile sınırlıdır. Bu sebepten dolayı, pasif filtreleme ile iyi sonuçlar almak için harmonik sayısı kadar filtre devresine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca kullanılan pasif şönt L-C filtreler, şebeke empedansı ile rezonansa girme olasılığı vardır. Bununla birlikte, pasif filtreler yüksek güçlü uygulamalar için ağırlık ve boyutları büyük ölçülerde olduklarından kullanışlı olmamaktadırlar. Ancak belirtilen tüm bu olumsuz özelliklerine rağmen yapılarının basit, verimliliklerinin yüksek olması ve düşük yatırım maliyetleri pasif filtrelerin kullanılmasındaki en önemli avantajlarıdır. Son yıllarda, gelişen yarı-iletken teknolojisi ile birlikte pasif filtreler

yerlerini güç kalitesi problemlerine dinamik ve ayarlanabilir çözümler getiren aktif güç filtrelerine bırakmaya başlamıştır.

Güç sistemlerinde temel frekansın 3., 5., 7., 11., ve 13. katları olan harmonikler düşük dereceli harmonikler olarak belirtilmektedir. Bu düşük mertebeli harmonikler yüksek değerli olduklarından, güç kalitesine olumsuz tesir etmektedirler. Bu harmonikler dışındaki diğer harmonikler ise yüksek frekanslı harmonikleri olarak tanımlanmakta ve küçük değerlere sahip olduklarından önem arz etmemektedirler. IEEE-519 harmonik standartlarına göre kabul edilen Toplam Harmonik Bozulma (THB) akımda ve gerilimde %5'tir. Bu değerlerin aşılması elektrik sistemine ve sistemdeki diğer yüklere zarar vererek büyük maddi hasarların oluşmasına yol açmaktadır. Şebekeden beslenen mevcut yüklerin harmonik dağılımının çok geniş olmasından dolayı, pasif güç filtreleri gibi geleneksel çözümler ile harmonik standartlara erişmek yetersiz hale gelmiştir [2].

Alternatif Akım (AA) güç dağıtım sistemleri ile giriş gücü kontrol edilen yükler arasında yer alan güç elektroniği devreleri, çalışmaları esnasında güç dağıtım sistemlerinin elektrik enerji kalitesini azaltacak yönde bir davranış sergilerler. Güç elektroniği devrelerinin AA güç dağıtım sisteminden harmonik akımların yanı sıra çektiği reaktif güçler, akım dengesizlikleri ve pratikte karşılaşılabilecek diğer hususlar elektrik enerji kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle son 15 yılda bu problemler ve çözümleri üzerine akademik düzeyde önemli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Aktif filtre, bu araştırmalar sonucu ortaya çıkmış olan ve doğrusal olmayan davranış sergileyen yüklerin harmonik akımları ile reaktif gücünü kompanze etmek üzere tasarlanmış bir güç elektroniği devresi uygulamasıdır [3].

Günümüzde, güç kalitesi, elektrik güç sistemlerinde güç elektroniğinin geniş kullanımından dolayı önemli olmaktadır. Bu geniş alandaki kullanımda oluşan bazı dezavantajlar veya problemler; düşük güç faktörü, dağıtım hatlarındaki ve iletim hatlarındaki büyük kayıplardır. Sayısal elektronik, haberleşme cihazları ve hastane ekipmanları gibi kritik yükler için yük terminali üzerindeki ideal sinüzoidal gerilim, bu cihazların doğru çalışması için gereklidir. Güç kalitesinin yükseltilmesi ve güç israfının azaltılması için bu önemli bir noktadır. Bu anlamda, tek fazlı sistemler için tek fazlı aktif güç filtreleri tasarlanmıştır. Bu filtrelerin yardımıyla, güç kalitesi problemleri için bir çözüm seçeneği sunulmaktadır [4]. Kullanılan Güç sistemlerindeki diyot doğrultucuları, ayarlanabilir hız sürücüleri ve fırınlar gibi doğrusal olmayan yükler, akım harmonikleri ve gerilim bozulmaları problemlerine sebep olurlar. Bununla birlikte, şebekeden reaktif güç çekildiğinde sistemdeki mevcut endüktif özellikli elemanlar elektromanyetik alan ve kapasitif özellikli elemanlar ise elektrik alan oluşturmaktadırlar. Şebekeden reaktif bir güç çekilmesi, istenen bir durum değildir. Çünkü

reaktif güç, kaynaktan çekilen akımı arttırıp, şebeke ve jeneratörleri gereksiz yere yükler. Sonuçta hat kayıpları, sistemin verimliliği ve enerjinin maliyeti olumsuz yönde etkilenmektedir.

Reaktif güç mekanik bir iş gücüne, örneğin kinetik enerji veya ısı enerjisine çevrilemez. İletim hatlarından çekilen reaktif gücü yok etmenin yolu, ihtiyaç duyulan reaktif gücün bölgesel üretimidir. Alıcıların reaktif güç ihtiyacını karşılamak için kullanılan geleneksel yöntemler, elektro-mekanik olarak devreye alınan kondansatör veya kondansatör grupları, senkron motorlar, doyumlu reaktörler, tristör kontrollü reaktörler, tristör kontrollü kondansatörler vb'dir. Ayrıca reaktif gücün ihtiyaç duyulan noktaya en yakın yerde üretilmesi, sistemin veriminin artmasına yardımcı olmaktadır.

1970'li yıllarından itibaren, elektrik enerjisi sektöründe çok yaygın olarak kullanılmaya başlanan yarıiletken teknolojisinin beraberinde getirdiği en büyük sorun harmonik problemleridir. Özellikle de kontrol sistemlerinde anahtarlama elemanı olarak kullanılan, güç elektroniği elemanları tristör, triyak, MOS, IGBT, vb.'nin iletime ve kesime geçmesi sırasında anahtarlama frekansına bağlı olarak harmonikler üretilir. Doğrusal omik bir yük tek başına kullanıldığında reaktif bir güç çekmeyip, harmonik oluşturmazsa da, tristör ve triyak gibi anahtarlama elemanlarıyla birlikte kullanıldığında, reaktif bir güç çekip, etkin harmonikler üretir. Tristör ve triyak gibi anahtarlama elemanlarının kullanımının doğasından kaynaklanan en önemli bozucu etki, akım ve gerilim dalga biçimlerinin periyodik olmakla birlikte, şebeke geriliminin sinüsoidal formunu bozmalarıdır [5].

Günümüz şartlarında harmonik filtreleme olayı iki düzenek kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu düzenekler; pasif filtreler ve aktif güç filtreleridir. RLC pasif devre elemanlarının çeşitli bağlantı türlerinden oluşan pasif filtreler uzun yıllar kullanılmış olup, günümüzde de ekonomik olmaları sebebiyle tercih edilmektedir. Pasif filtreler ile akım harmoniklerine düşük empedanslı bir yol oluşturulup, kaynağa dönmek yerine, paralel filtre üzerinden akması sağlanır [5]. Özellikle reaktif güç ihtiyacının çok hızlı ve düzensiz değişimi karşısında geleneksel kompanzasyon yöntemleri yetersiz kalmaktadır. Ayrıca harmonikleri filtrelemek ve yükün güç faktörünü artırmak için kullanılan pasif LC filtreler, bağlandıkları şebeke ile rezonans riski taşımaları, rezonansa bağlı olarak sistemdeki harmoniklerin aşırı yükselmesi, çok yer kaplamaları gibi dezavantajlara sahiptir. Bu sebeple endüstride oluşan harmoniklerin bastırılması ve aynı anda reaktif güç isteğinin çok hızlı karşılanması amacıyla AGF (aktif güç filtresi) tasarımı ve uygulamaları oldukça önem kazanmıştır. Genel olarak bir AGF, yüke seri bağlı bir gerilim kaynağı (paralel aktif güç filtresi) gibi düşünülmektedir. Paralel Aktif Güç Filtreleri (PAGF), akım dengesizliklerini, yüksek ve düşük dereceli harmonikleri, nötr akımlarını ve reaktif gücü bastırmak için kullanılmaktadır. Diğer taraftan gerilim düşme-yükselmeleri, gerilim dengesizlikleri ve gerilim harmonikleri gibi şebeke ve yük üzerindeki

bozulmalar da Seri Aktif Güç Filtreleri (SAGF) kullanılarak ortadan kaldırılabilmektedir. [7]. Bu alanda yapılmış bazı çalışmalarda elde edilen sonuç ve görüşler aşağıda belirtilmiştir.

Eakburanawat [4] ve arkadaşları güç kalitesinin çözümü için tek fazlı birleştirilmiş seri ve şönt aktif filtreleri önermiştir. Bu çalışmada, önerilen kontrol yapısı ile sistemdeki harmonik akımlarının tespiti ve bu akımların harmonik bileşenlerinin bastırılması hızlı bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Çalışmada önerilen PAGF ile herhangi bir düşük veya yüksek geçiren filtre kullanılmadan bütün harmonik akımları bastırmak için kullanılmıştır. Burada, PAGF'nin uygun şekilde kontrol edilmesi ile birim güç faktörü elde edilmiştir.

1998 yılında Peng [8] tarafından yapılan çalışmada ise, pasif güç filtrelerinin sadece ayarlandıkları harmonik frekansındaki akımları filtrelediği, eğer her harmonik frekansındaki akımları kapsayacak şekilde filtreleme yapılmak istenirse, her harmonik frekans için bir pasif güç filtresi kullanmak gerektiği vurgulanmıştır. Yapılan bu çalışmada, ayarlı olan her bir harmonik frekansında LC seri rezonanstan dolayı harmonik akımlara düşük empedans, temel frekanstaki akımlara ve ayarlanmadıkları frekanstaki harmonik akımlara yüksek empedans gösterdiğini belirtilmiştir. Böylece pasif filtrelerin ayarlı olduğu harmonik akımlar devrelerini bu filtre üzerinden tamamlayarak kaynaktan çekilen akımda görülmediğini ve aynı zamanda pasif filtrelerin kaynak empedansından etkilenecek rezonansa girebildiğini vurgulamıştır.

2005 yılında Uçar ve arkadaşları [7] tarafından gerçekleştirilen 3-fazlı 4-telli PAGF ile kullanılan devre elemanlarının uygun şekilde seçilmesinin, PAGF'nin verimliliği açısından önemli olduğu, PAGF'nin performansının artırılması için yazılım gecikmelerinin azaltılması gerektiği, harmoniklerin etkisini azaltmak için anahtarlama frekansının yeterince büyük olması gerektiği vurgulanmıştır. Bu çalışmada, PAGF'ler ile reaktif güç kompanzasyonu ve harmonik filtrelemenin yanı sıra nötr hat akımlarının da yok edilebileceği gösterilmiştir.

1986 yılında Cox ve Mirbod [9] tarafından ark fırınlarında reaktif güç kompanzasyonu için aktif güç filtresi tasarım prensibi kullanılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur. Elde edilen sonuçlardan aktif güç filtresinin klasik yöntemlerden daha hızlı kompanzasyon işlemi gerçekleştirdiği, ayrıca klasik yöntemde oluşan arkın oluşmadığı gözlenmiştir.

2006 yılında İlaslaner ve ekibi [10] tarafından yapılan çalışmada ise, aktif güç filtrelerinin harmonikleri yok etmede kullanılan diğer yöntemlere göre çok yüksek performans sağladığı, tüm harmonik dereceler için etkili olduğu, devreye yeni yükler girdiğinde çok hızlı bir şekilde cevap verdiği ve reaktif güç kompanze işlevini, gerilim regülasyonunu yapabildiği belirtilmiştir. Buna karşılık, yüksek frekanslı harmonik bileşenlerin çok olduğu sistemlerde, aktif filtrenin verimliliğinin düşmesi ve maliyetinin yüksek olması, sistemin dezavantajları olarak gösterilmiştir.

2003 yılında Altıntaş ve ekibi [5] tarafından yapılmış olan çalışmada, kullanılan aktif güç filtresinin performansının, filtre bobininin endüktans değeri ve filtre kondansatörünün kapasitesi ile yakından ilişkili olduğu belirtilmiştir. Filtre bobininin endüktans değerinin normalden büyük olmasının yüksek dereceli harmoniklerin bastırılmamasına, endüktans değerinin normalden küçük olmasının kaynak akımının anahtarlama frekansında darbeler içermesine sebep olduğu saptanmıştır.

2004 yılında Kale ve ekibi [2] tarafından yapılan çalışmada, PAGF'nin kullanıldığı sistemde, reaktif güç çeken doğrusal yükte güç kompanzasyonunu etkili bir şekilde yaptığı, bunda anahtarlama frekansından kaynaklanan akım dalga şeklinde çok az bozulmaya sebep olduğu, kullanılan DA (doğru akım) kondansatörünün büyüklüğünün DA tarafındaki gerilimin dalgalanmasını azalttığı, kullanılan bobin ve kondansatörün büyüklüğünün PAGF sistemi tarafından üretilen akımın yükselme hızını belirleyen önemli faktörlerden olduğu vurgulanmıştır.

2005 yılında Kocalmış ve ekibi [11] tarafından yapılan çalışmanın sonucunda, uzay vektör DGM tekniği ile daha geniş bir çalışma aralığının elde edildiği, modülasyon indeksi ve çıkış frekansının değerinin artmasıyla beraber, kullanılan motorun sürekli duruma ulaşma süresinin arttığı ve akım dalga şekillerinin oldukça sinüzoidale yakın olduğu belirtilmiştir. Buna ek olarak, UVDGM yöntemiyle düşük anahtarlama frekansında bile oldukça kaliteli dalga şekillerinin elde edileceği ve yüksek güç seviyelerinde üç seviyeli uzay vektör DGM eviricinin benzetim sonuçlarıyla gerçek zamanlı olarak kullanılabileceği gösterilmiştir.

2006 yılında Öztürk ve ekibi tarafından [12] yapılan çalışmada, DGM kontrol yöntemlerinin karşılaştırılmasında, üretilmek istenen çıkış geriliminin, UVDGM yönteminde bulunan sekiz vektör yardımıyla, fazlar arası gerilim değeri sinüzoidal DGM yöntemi ile elde edilenden daha yüksek olduğu ve anahtarlama frekansı değerinin düştüğü belirtilmiştir. Buna ek olarak, DA bara geriliminin etkin kullanımıyla, daha az giriş akımlı bir gerilim kaynaklı evirici kullanılarak kayıpların azalacağı gösterilmiştir.

Yapılan literatür taramasında aktif güç filtre kontrolünün analog ve sayısal olarak gerçekleştirildiği görülmektedir. Analog tasarımlarda filtre performansı şebeke ve çevresel faktörlerden (elektromanyetik alan, şebeke geriliminin harmonik içermesi, parazitler, elektronik ekipman toleransları, vb.) etkilenmektedir. Bununla birlikte, sayısal tasarımlara göre tepki hızları daha yavaştır. Buna karşılık maliyetleri düşüktür. Genel olarak, PAGF devrelerinin reaktif güç ve harmonik kompanzasyonu gibi önemli ortak problemlerin çözümünde geçerli ve kullanışlı bir yöntem olduğu görülmüştür.

1.1. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının başlıca amaçları, aktif güç filtreleri hakkında genel bilgiler sunmak, akım harmoniklerinin yok edilmesi, reaktif güç kompanzasyonu ve dengesiz akımların dengelenmesi gibi güç kalitesi problemlerinin çözümünde kullanılan paralel aktif güç filtrelerinin kullanımı hakkında bilgiler vermek ve PAGF'nin Uzay vektör darbe genişlik modülasyonu yöntemi ile kontrolünün matlab simulink programıyla benzetimini gerçekleştirerek sonuçlarını değerlendirmektir. Bu türdeki (akım harmoniklerini yok edilmesi, reaktif güç kompanzasyonu vs.) güç kalitesi problemlerinin çözümünde kullanılan paralel aktif güç filtreleri, kullanılan kapasitör veya reaktöre göre sırasıyla gerilim ve akım kaynaklı aktif güç filtresi olarak adlandırılmaktadır. Gerilim kaynaklı aktif güç filtreleri ilk kurulum maliyetlerinin daha az, çevirici kayıplarının daha düşük ve boyutlarının daha küçük olması nedeniyle literatürde öne çıkan bir sistemdir. Diğer taraftan akım kaynaklı aktif güç filtreleri ise doğrudan akım kontrolü yapabilme imkanı, hızlı tepki süresi, kolay koruma ve yüksek güvenilirlik sağlamaktadırlar.

1.2. Tezin İçeriği

Birinci bölümde konuya genel bir giriş yapılarak konu hakkında, yapılmış olan bazı bilimsel çalışmalardan bahsedilmiş ve genel bilgiler verilmeye çalışılmıştır.

İkinci bölümde harmonik kaynakları, harmonik kaynaklarının kullanılan ekipmanlara etkileri üzerinde bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde aktif güç filtrelerinin sınıflandırılması, SAGF, PAGF, Hibrit aktif güç filtreleri, akım beslemeli eviriciler ve gerilim beslemeli eviriciler hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde AGF'nin yapısal modelleri, SAGF'nin güç devresi, çalışma ilkeleri, DGM yöntemleri, PAGF'nin güç devresi ve kontrol yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Beşinci bölümde paralel aktif güç filtreleri ve bu filtrelerin UVDGM yöntemi ile denetlenmesine ilişkin yapılan benzetim çalışmalarına anlatılmış ve elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

Altıncı bölümde bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar ve sonuçların değerlendirilmesi yer almaktadır.

Yedinci bölümde çalışmanın hazırlanmasında faydalanılan kaynaklar bulunmaktadır.

BÖLÜM 2

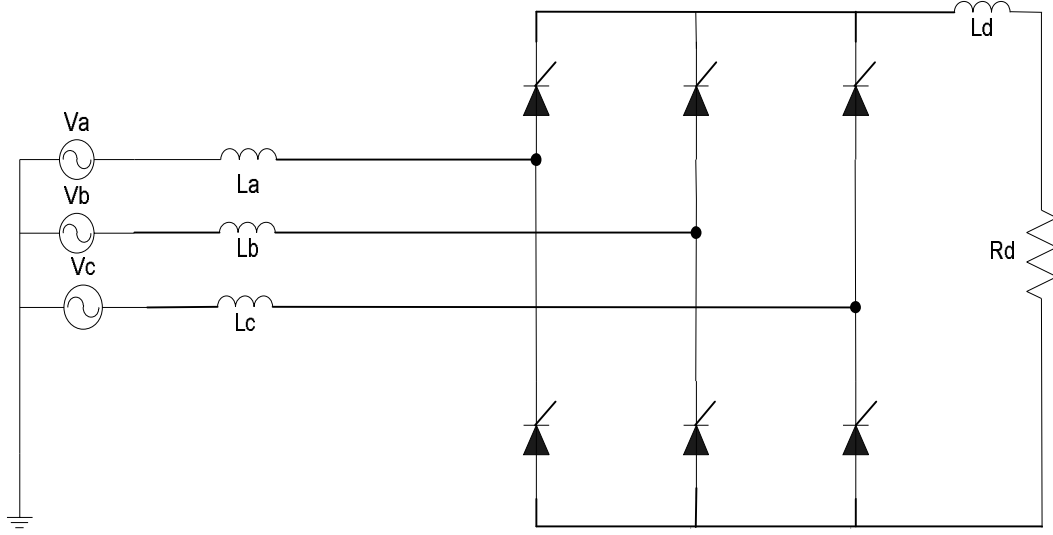
2. HARMONİK KAYNAKLARI

2.1. Giriş

Elektriksel yükler, çektikleri akımların dalga şekillerine göre doğrusal ve doğrusal olmayan yükler olarak adlandırılır. Doğrusal yükler, üzerindeki gerilimle içinden geçen akım arasında doğrusal bir ilişki olan yüklerdir. Doğrusal olmayan yüklerde ise belirgin bir matematiksel ifade yoktur. Doğrusal olmayan bir yüke sinüzoidal gerilim uygulandığında bu yükler sinüzoidal olmayan akımlar çeker [2]. Doğrusal olmayan yükler şebekeden temel dalga frekansında aktif ve reaktif akım çekerken çeşitli frekanslarda harmonik dalgaları üretirler. Bu tip yüklerin üretmiş oldukları harmonik dalgaları devrelerini şebekede bulunan alıcılar üzerinden tamamlar ve başlangıçta saf sinüzoidal olan şebekenin gerilim dalga şeklini bozarlar [5,7]. Harmonik kaynakları, doyum bölgesinde çalışan cihazlar ve güç elektroniği elemanları içeren cihazlar olmak üzere iki kategoriye ayrılır. Doyum bölgesinde çalışan cihazlara transformatörler, elektrik makineleri ve manyetik balastlı flüoresan lambalar örnek olarak verilebilir. Güç elektroniği elemanları içeren cihazlara örnek olarak ise doğrultucu devreleri verilebilir.

2.2. Harmonik Akım Kaynakları

Kullanılan elektrik güç sistemlerinde gerilim ve akım dalga şeklinin sinüs biçiminden sapmasına neden olan harmonik bileşenleri, harmonik kaynağı olarak nitelendirilen ve akım-gerilim karakteristiği doğrusal olmayan elemanlar tarafından üretilmektedir. Güç sistemlerinde reaktif güç kontrolü amacıyla kullanılan tristör kontrollü reaktör içeren statik VAR kompanzatörleri, içerdikleri doğrusal olmayan elemanlar sebebiyle doğrusal olmayan güç karakteristiğine sahiptirler. Buna bir örnek olan tristörlü doğrultucular genel harmonik akım kaynakları olarak bilinir. Şekilde 2.1’de görülen akım kaynağı çevirici, tristörlü doğrultucu ve DA tarafında akım dalgalanmalarını azaltmak için kullanılan bir bobinden (L_d) oluşmaktadır. Tristörlü doğrultucunun DA tarafındaki empedans AA tarafındakinden çok büyüktür. Harmonik akımlar AA tarafına daha az bağlı oldukları için, bu tip harmonik kaynaklar akım kaynağı gibi davranırlar. Bununla birlikte, doğrusal olmayan empedans etkisi gösteren indüksiyon fırınları, döküm tesisleri ve kaynak makinelerinin çok sayıda bulunduğu sanayi tesisleri harmonik üretici yerler olarak değerlendirilir. Ark fırınları geniş spektrumlu harmonik üreten yüklerden biridir. Ark fırınlarında harmonikler, değişen metal direnci ve zaman zaman ark tutuşması veya sönmesi ile akımın değişmesinden kaynaklanmaktadır [14].



Şekil 2.1. Tristörlü doğrultucu.

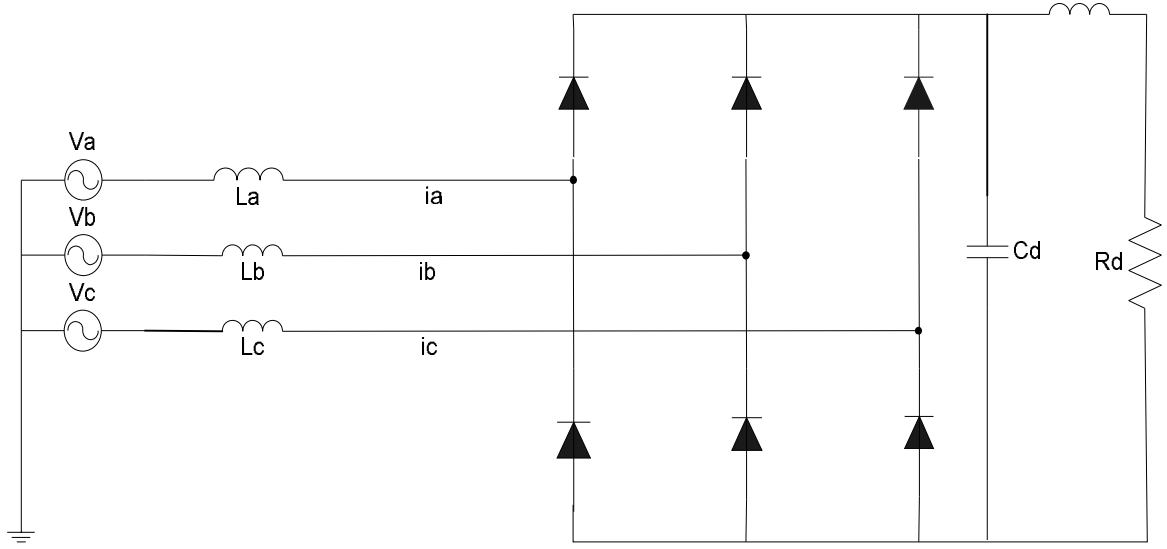
Bir fazlı doğrultucu giriş akımının tipik harmonik değerleri I_h/I_1 (harmonik akım değerinin, temel bileşene oranı) oranı olarak Tablo 2.1’de gösterilmiştir [15]. Görüldüğü gibi küçük mertebeden harmoniklerin değeri oldukça büyüktür. Bu nedenle kaynak endüktansının sonlu olduğu durumda, besleme noktasındaki gerilim harmonikleri de büyük değerler alacaktır. Kaynak empedans ne kadar büyürse, gerilimdeki bozulmada o ölçüde büyüyecektir [15].

Tablo 2.1. Bir fazlı doğrultucunun herhangi bir hat filtresi kullanmaksızın giriş akımı harmonikleri.

h	3	5	7	9	11	13	15	17
$\%I_h/I_1$	73.2	36.6	8.1	5.7	4.1	2.9	0.8	0.4

2.3. Harmonik Gerilim Kaynakları

Diyotlu doğrultucu ve DA tarafında gerilim dalgalanmalarını azaltmak için kullanılan bir kondansatörden oluşan dönüştürücüler genel harmonik gerilim kaynakları olarak bilinir. Gerilim kaynağı dönüştürücüler akım dalga şekli çok bozuk olmasına rağmen, akımın harmonik büyüklüğü AA tarafındaki empedans tarafından etkilenmektedir. Dolayısıyla gerilim kaynağı dönüştürücüler akım kaynağından çok gerilim kaynağı gibi davranır ve Şekil 2.2’deki gibi harmonik gerilim kaynağı olarak modellenir [2].



Şekil 2.2. Diyot doğrultucu.

Tristör ve triyak gibi anahtarlama elemanlarının doğasından kaynaklanan en önemli bozucu etki akım ve gerilim dalga biçimlerinin periyodik olmakla birlikte, şebeke geriliminin sinüzoidal değişimini bozmalarıdır [5].

2.4. Harmoniklerin Etkileri

Günümüzde güç elektroniği ve doğrusal olmayan elemanların yaygın bir biçimde kullanımıyla, güç sistemlerine giderek artan bir şekilde, harmonik akımlar enjekte edilmektedir. Harmonik akımlar, sadece yüklerin dalga şekillerinde bozucu etkilerde bulunmayıp aynı zamanda güç sisteminde olumsuz etkiler meydana getirmektedirler. Elektrik güç sistemlerinde harmoniklerden dolayı gerilim ve akım dalga şekillerinin bozulmasıyla çok çeşitli problemlere yol açmaktadır. Harmoniklerin güç sistemlerinde yol açtığı problemler;

- Generatör ve şebeke geriliminin dalga şeklinin bozulması,
- Elektrik güç sistemi elemanlarında ve yüklerde ek kayıpların oluşması,
- Güç üretiminde, iletiminde ve dağıtımında verimin düşmesi,
- Gerilim düşümünün artması,
- Kısa devre akımlarının daha büyük değerlere yükselmesi,

- Temel frekans için tasarlanmış kompanzasyon tesislerindeki kondansatörlerin harmonik frekanslarında düşük kapasitif reaktans göstermeleri sebebiyle aşırı yüklenmeleri ve yalıtım zorlanması nedeniyle hasar görmeleri,
- Koruma sistemlerinin hatalı çalışmaları,
- Kesintisiz güç kaynaklarının veriminin düşmesi,
- Aydınlatma elemanlarında ve monitörde görüntü titreşimi meydana gelmesi,
- Endüksiyon tipi sayaçların yanlış ölçüm yapması,
- Yalıtım maddesinin zorlanması ve delinmesi,
- Temel frekansta rezonans olayı olmadığı halde harmonik frekanslarında şebekede rezonans olaylarının meydana gelmesi ve aşırı gerilim ve akımların oluşması,
- Elektrik cihazlarının ömrünün kısalması,
- Sesli ve görüntülü iletişim araçlarının parazitli ve anormal çalışması,
- Mikroişemcilerin hatalı çalışması,
- Harmoniklerden kaynaklanan gürültü nedeniyle kontrol sistemlerinin hatalı iletimi,
- Başta motor olmak üzere diğer cihazlarda ek gürültülere neden olması şeklinde sıralanabilir [16].

Bir güç sisteminde gerilimin harmonik bileşenler içermesi durumunda, o güç sistemine bağlı bulunan tüm yükler etkilenir. Ancak harmonik bileşenleri içeren bir akım, sadece harmonikli akım bileşenlerini üreten yükü etkiler. Ayrıca harmonikler temel dalga frekanslarından daha yüksek frekanslara sahip oldukları için kondansatörler üzerinde ek kayıplara yol açarlar. Aynı zamanda, gerilimin üzerinde harmoniklerin oluşmasının nedeni ise, sistem empedansında akan harmonikli akımdır. Bu nedenle, gerilim harmoniklerinin oluşmasını önlemenin yolu akım harmoniklerinin yük tarafından şebeke tarafına geçmesini önlemektir. Bununla birlikte doğrusal olmayan yüklerin etkisi, özellikle sistem empedansına ve sistem karakteristiklerine bağlıdır [17].

Doğrusal olmayan yükler tarafından üretilen harmonikler, güç sistemi elemanları ve yükler üzerinde istenmeyen etkiler yapar. Ayrıca yüksek frekansta akım taşıyan iletkenlerde deri olayı açığa çıkmaktadır. Bu olay, yüksek frekanslı akımın oluşturduğu manyetik alanın, iletkenin kendisini halkalaması ile üzerinde özellikle de merkezinde bir gerilim indüklemesinden kaynaklanmaktadır. İndüklenen bu gerilim sonucunda iletkenin orta kısmına doğru gidildikçe akım yoğunluğu azalmaktadır. Sonuç olarak, iletkenin kullanılan faydalı kesiti

frekans ile ters orantılı olarak azalır etkin direnci artar. Artan bu etkin direnç üzerinde oluşacak güç kayıpları harmonik frekansları ile orantılıdır [5].

Harmonikler transformatörün endüktansı ile devreye bağlı olan kondansatör arasındaki rezonans olayının oluşmasına neden olabilir. Harmonik akım ve gerilimlerin oluşturduğu transformatör kayıpları harmonik frekansına bağlıdır. Yüksek frekanslardaki harmoniklerin nüve üzerindeki demir kayıpları daha fazladır. Bu nedenle transformatörün ısınmasına neden olan yüksek frekanslı harmonikler, düşük frekanslı harmoniklerden daha önemlidir.

2.4.1. Motor ve jeneratörlere etkisi

En doğal harmonik kaynakları jeneratörlerdir. Dönen makineler, makine hızının ve endüvi oluk sayısının fonksiyonu olan harmonikleri üretirler. Bunu önlemek için oluk şekli, uyarma sargısı, sargı yapısı ile donatılarak gerilim eğrisinin sinüzoidal olması sağlanır [17]. Harmonik akım ve gerilimlerin dönen makinelere temel etkisi, harmonik frekanslarda bakır ve demir kayıplarından dolayı oluşan sıcaklık artışıdır. Böylece harmonikler makine verimini etkiler veya motor-yük sistemlerinde moment salınımlarına dolayısıyla mekanik yapıda salınımlara sebep olur [2].

2.4.2. Transformatörlere etkisi

Harmoniklerin transformatörlere etkisi iki şekilde incelenebilir; akım harmonikleri bakır kayıplarının artmasına, gerilim harmonikleri ise demir kayıplarının artmasına sebep olur. Harmonik gerilimler ve akımlardan dolayı oluşan transformatördeki kayıplar bu harmoniklerin frekanslarına bağlıdır. Frekans arttıkça kayıplarda artar ve böylece transformatörün ısınmasında yüksek frekanslı harmonikler düşük frekanslı harmoniklere göre daha fazla önem kazanmaktadır [2,16]. Güç sistemindeki transformatörler üzerinde harmonik varlığı, bakır sargı kayıplarını artırırken, gerilim harmoniklerinin varlığı girdap akımı ve histerezis kayıplarının artmasına ve yalıtımın zorlanmasına neden olur. Harmonik akım gerilimlerinin oluşturduğu transformatör kayıpları harmonik frekansına bağlıdır. Yüksek frekanslardaki harmoniklerin nüve üzerindeki demir kayıpları daha fazladır. Bu nedenle transformatörün ısınmasına neden olan yüksek frekanslı harmonikler, düşük frekanslı harmoniklerden daha önemlidir [5].

2.4.3. Güç kablolarına etkisi

Harmonik akımların artması iletkenlerin ısınmasına sebep olur. Bunun sebebi yüksek frekanslı akımların deri etkisinden dolayı iletkenin dış kısmından akmasıdır. Frekansın artmasıyla yüksek frekanslı harmoniklerde deri etkisi artmaktadır. Deri etkisinde harmonik akımların frekansı önemliyken bu kayıplarda harmonik akımın etkin değeri önemlidir [2]. Harmonikli akımların haberleşme sistemlerindeki en belirgin ve en etkili zararı, parazitler ve gürültüdür. Harmonik içermeyen bir enerji hattı ile haberleşme hattının yan yana bulunmasının sakıncası yoktur. Çünkü enerji iletiminde kullanılan frekans (50-60 Hz) sınırı düşüktür. Fakat yüksek frekanslı harmonik akımları taşıyan enerji hattı haberleşme sinyallerini olumsuz yönde etkileyebilir [5].

2.4.4. Kondansatörlere etkisi

Güç katsayısının düzeltilmesi için kullanılan kondansatörlerin kendileri harmonik üretmezler ancak sistemdeki harmonik seviyesi üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Yüksek frekanslı akımlarda kondansatörün empedansı çok küçüleceğinden sistemdeki yüksek frekanslı harmonik akımları kendi üzerine çeker. Bu durum kondansatörün aşırı yüklenmesine ve sıcaklığının artmasına sebep olur ve kondansatörün ömrü azalır. Kondansatörlerle harmonikler arasındaki diğer bir problem olan rezonans, sistemde bulunan bobinlerin empedansı ile kondansatörlerin empedansının birbirine eşit olması durumunda ortaya çıkar. Bu durum başta kondansatör olmak üzere diğer devre elemanlarına zarar verebilir.

2.4.5. Elektronik ekipmanlara etkisi

Güç elektroniği ekipmanlarında tetikleme zamanını belirlemek için gerilim sinyalinin sıfır geçişi kullanılmaktadır. Harmonikler gerilim dalgasının sıfır geçiş noktasını kaydırıldığından güç elektroniği devreleri harmonik bozulmadan dolayı yanlış çalışabilirler. Bu durum birçok elektronik kontrol devresi için hayati önem taşımaktadır. Güç elektroniği anahtarlama elemanları sıfır geçiş noktasına duyarlı biçimde çalışıyor ise, gerilimin harmonik içermesi durumunda yanlış anahtarlama söz konusudur. Komütasyon sırasında oluşabilecek bu yanlış anahtarlama, güç kaynağını kısa devre edip onun bozulmasına veya anahtarlama elemanlarının delinmesine sebep olabilirler. Gerilimin etkin değerinin harmonikler nedeniyle artabilecek olması, anahtarlama elemanlarının akım ve gerilim değerinin normalden daha büyük oranda seçilmesini zorunlu kılar [5].

2.5. Harmonik Standartları

Gelecekte enerji sistemlerinde harmonik problemlerinin daha da artacağı göz önüne alınarak, doğrusal olmayan yükler içeren tesislerin daha kuruluş ve tasarım aşamasında düşük seviyede harmonik üretmesi için gerekli önlemler alınmalıdır. Bu amaçla, üç fazlı doğrusal olmayan yük, bir transformatör üzerinden şebekeye bağlanıyor ise teknik bir zorunluluk olmadıkça transformatörün şebeke tarafındaki sargıları üçgen bağlı olmalıdır. Böylece üç ve üçün katı harmonikler şebekeyi etkilemeyecek, ek kayıplar ve THB değerleri azalacaktır. THB akım ve gerilim dalgalarındaki bozulmayı ifade eden bir göstergedir. THB, harmoniklerin efektif değerlerinin toplamının, temel bileşenin efektif değerine oranı şeklinde hesaplanmaktadır (IEEE 1992).

Ayrıca mümkün olduğu kadar, tüketicilerin dönüştürücü kullanımında ekonomik kriterler de dikkate alınarak, daha az sayıda ve düşük genlikli harmonik akım bileşenleri içeren yüksek darbe sayılı dönüştürücü devreleri tercih etmesi teşvik edilmelidir.

Bir çok ülkenin kendine ait harmonik standartları olmasına karşın, bunların en çok bilineni IEEE 519 standardıdır. IEEE -519 standardının ilk versiyonu IEEE-519 1981 olup, 1981 yılında (IEEE Static Power Converter Committee of Industry Applications Society) “Endüstriyel Uygulamalar Derneğinin IEEE Statik Güç Dönüştürücü Komitesi ” tarafından (IEEE Guide for Harmonic Control and Reactive Compensation of Power Converters) “Güç Dönüştürücülerinin Reaktif Kompanzasyonu ve Harmonik Kontrolü için IEEE Klavuzu” olarak sunulmuştur. Bu bildiri 1989-1992 yılları arasında gözden geçirilip (IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonics Control in Electric Power Systems) “Elektriksel Güç Sistemlerinde Harmonik Kontrolü için IEEE tarafından Önerilen Alıştırmalar ve Gereksinimler” olarak güncellenmiştir. Bu bildiri, bazı sınırlamalardan daha çok uygulanmış bir grup tavsiyeden oluşmaktadır [5] .

Yeni belirlenen standartlara göre, harmonikleri değerlendirmek için iki kriter kullanılmaktadır. Birinci kriter, elektrik kullanıcısının şebekeye transfer edebileceği harmonik sınırlamasıdır. İkinci kriter, elektrik şebekesinin tüketiciye sunduğu gerilim kalitesidir. Bu kriterlerin birbiriyle olan ilişkisi, harmoniklerin üretici ve tüketiciye bağlı bir sistem problemi olduğunu göstermektedir. IEEE-519 1992 standardı tarafından belirlenen akım ve gerilim harmonik sınır değerleri Tablo 2.2 ve Tablo 2.3’ de verilmiştir.

Tablo 2.2. 1992 yılına ait IEEE-519 akım harmonik sınırları

Isc/I₁	h<11	11≤h≤17	17≤h≤23	23≤h≤35	35≤h	THB(%)
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	4.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Tablo2.3. 1992 yılına ait IEEE-519 gerilim harmonik sınırları

Bara Gerilimi	Maksimum bireysel Harmonik bileşen	Maksimum THB(%)
2.3-6.9 kV	3.0	5.0
69-138 kV	1.5	2.5
>138 kV	1.0	1.5

2.5.1. Sinüzoidal olmayan durumda elektriksel büyüklükler

Güç sistemlerinde içinde harmonik bileşenleri olan, gerilim ve akımın ani değerlerinin açılımı, Fourier analizi ile aşağıdaki biçimde ifade edilebilir.

$$V(t) = V_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} V_n \sin(n\omega_1 t + \theta_n) \quad (2.1)$$

$$I(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} I_n \sin(n\omega_1 t + \varphi_n) \quad (2.2)$$

Fourier analizine göre, Sinüzoidal bir dalga şekli tek fonksiyondur ve yarım dalga simetrisine sahiptir. Bu sebepten dolayı Fourier analizi, DA bileşen, kosinüslü terimleri ve çift harmonik bileşenleri içermez. Burada $i_n(t)$ ve $V_n(t)$ n. harmonik akımının ve geriliminin ani değerleri olup, DA terimler basitleştirme amacıyla ihmal edilmiştir. i_n ve V_n sırasıyla n. harmonik mertebesi için akımın ve gerilim efektif değerleridir. ω_1 , ise temel frekansa ait açısal frekanstır. θ_n ile φ_n ise sırasıyla n. harmonik için gerilim ve akıma ait faz açısıdır.

Buna göre ani güç;

$$p(t) = V(t)i(t) \quad (2.3)$$

olarak ifade edilir ve $p(t)$ 'nin T periyodunda Eş. 2.4'te gibi ifade edilir. Besleme geriliminin sinüzoidal olmaması veya yükün doğrusal olması durumunda sinüzoidal olmayan harmonikli akım ve gerilim meydana gelir. Doğrusal olmayan elemanlardaki doğrusalsızlık devre uç karakteristiğinden veya manyetik malzemenin düzgün olmamasından kaynaklanmaktadır.

Önceki eşitliklerden aktif güç

$$P = \sum_{h=1}^{\infty} V_n I_n \cos(\theta_n - \varphi_n) \quad (2.4)$$

olarak elde edilir. Farklı frekanslardaki akım ve gerilimlerin aktif güce katkısı yoktur. Örneğin 3. harmonik gerilimiyle 5. harmonik akımın çarpımı gibi [32]. Harmonikler tarafından üretilen aktif güç, genellikle temel aktif güce oranla çok küçüktür. Buna göre Eş. 2.1 ve Eş. 2.2'de verilen harmonikli gerilim ve akımın efektif değerleri sırasıyla;

$$V = \sqrt{\left[(1/T) * \int_0^T V^2(t) dt \right]} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2} \quad (2.5)$$

$$I = \sqrt{\left[(1/T) * \int_0^T i^2(t) dt \right]} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2} \quad (2.6)$$

olarak bulunur. Harmonik gerilim ve akımın tepe değerlerinin (V_{mn} , I_{mn}) kullanılmasıyla efektif gerilim ve akım aşağıdaki gibi

$$V = \left[\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2 / 2 \right]^{1/2} \quad (2.7)$$

$$I = \left[\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2 / 2 \right]^{1/2} \quad (2.8)$$

$$S = V * I \quad (2.9)$$

Pratikte, harmonik bileşenler çoğunlukla sinüzoidal şebekeye bağlı doğrusal olmayan elemanlar sebebiyle meydana gelmektedir.

Görünen gücün yaygın bir şekilde kabul edilen tanımı şu şekildedir [17]:

$$S^2 = P^2 + Q^2 + B^2 \quad (2.10)$$

burada B, bozulma gücü olarak,

$$B = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad (2.11)$$

eşitliğiyle ifade edilir. Bozulma gücü aktif olmayan bir güç olup sinüzoidal işaretli doğrusal devrelerde sıfırdır.

Reaktif güç;

$$Q = \sum_{n=1}^{\infty} V_n I_n \sin(\theta_n - \varphi_n) \quad (2.12)$$

olarak verilir. Harmonikler olmadığı zaman görünen güç, temel frekanstaki gerilim ve akımın akımın çarpımına eşittir. Sinüzoidal halde, ortalama aktif ve reaktif güç ile görünen güç arasında,

$$(V_1 I_1)^2 = P_1^2 + Q_1^2 \quad (2.13)$$

eşitliği vardır. Burada, $Q_1 = V_1 I_1 \sin(\theta_1 - \varphi_1)$ denklemi temel bileşen n=1 için tanımlanan temel reaktif güç değeridir. Güç faktörü kavramı, AA güç sisteminde çekilen akımın bir yük tarafından ne kadar verimlilikle kullanıldığını ölçmek için gerekir. Sinüzoidal veya sinüzoidal olmayan durumlarda ayırt etmeksizin toplam güç faktörü,

$$GF = \frac{P}{S} \quad (2.14)$$

olarak tanımlanır. Burada P ile gösterilen aktif güçtür. P değeri temel frekans bileşeni ve diğer harmonik bileşenlere ait güçlerin toplanmasıyla bulunur [18].

2.5.2. Toplam harmonik bozulma (THB)

Harmonik büyüklüklerin sınırlandırılmasını amaçlayan standartlarda çok yaygın olarak kullanılan toplam harmonik bozulmayı gerilim ve akım için sırasıyla aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$THB_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (2.15)$$

$$THB_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (2.16)$$

Görüldüğü gibi THB harmonikleri içeren periyodik dalga şeklinin, tam bir sinüs dalga şeklinden sapmasını tespit için kullanılır. Sadece temel frekanstan oluşan tam bir sinüs dalga için THB sıfırdır. Toplam harmonik bozulmanın diğer ifadeleri;

$$THB = \sqrt{V^2 - V_1^2} / V_1 \quad (2.17)$$

diğer bir ifade ile,

$$THB = \sqrt{(V/V_1)^2 - 1} \quad (2.18)$$

Benzer şekilde, n. harmonik mertebesindeki gerilim ve akım için tekil harmonik bozulmaları sırasıyla;

$$HB_V = V_n / V_1 \rightarrow HB_I = I_n / I_1 \quad (2.19)$$

şeklinde ifade etmek mümkündür [19].

BÖLÜM 3

3. AKTİF GÜÇ FİLTRELERİ

Aktif Güç Filtresi (AGF), geniş kapsamlı bir terim olup, güç yarı iletkenleri ile reaktör ve kapasitör gibi enerji depolayan pasif devre elemanlarının birlikte çalıştığı güç elektroniği devrelerini içerir [20]. Bir başka deyişle, güç devrelerinde doğru akım (DA) tarafındaki kapasitör veya reaktör üzerinde oluşturulan gerilimi veya akımı, yarıiletken anahtarları vasıtasıyla anahtarlayan aktif güç filtreleri, oluşturdukları gerilim veya akımı AA şebekesine ileten güç elektroniği devreleridir [1]. Araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen önemli çalışmalar, aktif güç filtrelerinin güç kalitesinin gelişiminde önemli olduğunu göstermiştir [21]. Aktif güç filtreleri, harmonik akım emisyonu probleminde kullanılır ve ekipmanların, tüm devrenin veya elektriksel bağlantının bir kısmını kompanze etmek için güçlü bir çözümdür [22]. AGF'ler akım ve gerilim harmoniklerini kompanze etmek ve reaktif güç kompanzasyonu için kullanılmaktadır. Ayrıca; akım ve gerilim dengesizliklerini gidermek ve nötr akımı kompanzasyonu içinde kullanılmaktadırlar [23]. Elektrik gücünün aktif filtrelenmesi, teknolojiye iki telli ve dört telli doğrusal olmayan yüklü AA güç devrelerinde harmonik ve reaktif güç kompanzasyonunu geliştirmektedir [24]. Bununla birlikte, AGF'nin çalışması, yükün ürettiği harmoniklerle aynı genlikte fakat ters fazda bir akımın sisteme enjekte edilmesi prensibiyle çalışır [22]. Buna ek olarak, uygun kontrol plan ve projesiyle birlikte, AGF, yük güç faktörünü kompanze etmek için de kullanılabilir. Bu filtreleme yöntemiyle, güç dağıtım sistemi, doğrusal olmayan yük ve aktif güç filtresini ideal direnç gibi görecektir [25].

Güç dönüştürücüleri ve diğer doğrusal olmayan yüklerin, tüketiciler ve endüstri tarafından çok yoğun kullanımı nedeniyle, güç sistemlerinde gerilim ve akım dalga şekillerinde bozulmalar meydana gelmektedir. Güç hatlarındaki harmonikler, dağıtım sistemlerinde artan güç kayıplarına, haberleşme sistemlerinde girişim problemlerine neden olmaktadır. Bu problemler nedeniyle, son tüketiciye verilen güç kalitesi konusu eskisine göre daha fazla önem kazanmaktadır. Hat akımı harmoniklerini yok etmek ve yükün güç faktörünü iyileştirmek amacıyla, kullanılan pasif LC filtreler, uygulamada seri ve paralel rezonans dezavantajlarına sahiptir. Bu problemleri yok etmek için aktif güç filtreleri geliştirilmektedir. Ayrıca, AGF doğrusal olmayan yükün ürettiği akım harmoniklerinin devreye etkilerini azaltmak, reaktif güç çekebilmek ve üretebilmek için de kullanılmaktadır [23]. Bu tip filtreler genellikle mükemmel harmonik bastırma karakteristiklerine sahiptirler [26]. Sürekli anahtarlama yapan ve dolayısıyla aktif bir çalışma sergileyen statik yarıiletken güç elemanlarıyla gerçekleştirilmiş AGF'leri,

doğrusal olmayan yükün harmonik ve reaktif akım ihtiyacını karşılayacak şekilde sinüzoidal olmayan akımlar üreten kontrollü akım kaynaklarıdır [3].

AGF'leri, şebeke ile yük arasında harmonik yalıtımı da sağlamaktadır [27]. Akım harmonikleri en önemli güç kalitesi problemlerinden biridir ve genellikle paralel pasif veya paralel aktif filtreler ile çözülmektedir. Güç kalitesini geliştirmek için kullanılan aktif filtre, dengesiz doğrusal olmayan yük akımlarını kompanze eder ve kaynak tarafının güç faktörünü 1'e yaklaştırır [28].

Aktif filtreler, harmonik indirgemesinde olduğu kadar reaktif güç kompanzasyonu, yük dengelemesi ve gerilim regülasyonu için bilinen en iyi devrelerdir [29].

3.1. AGF'nin Sınıflandırılması

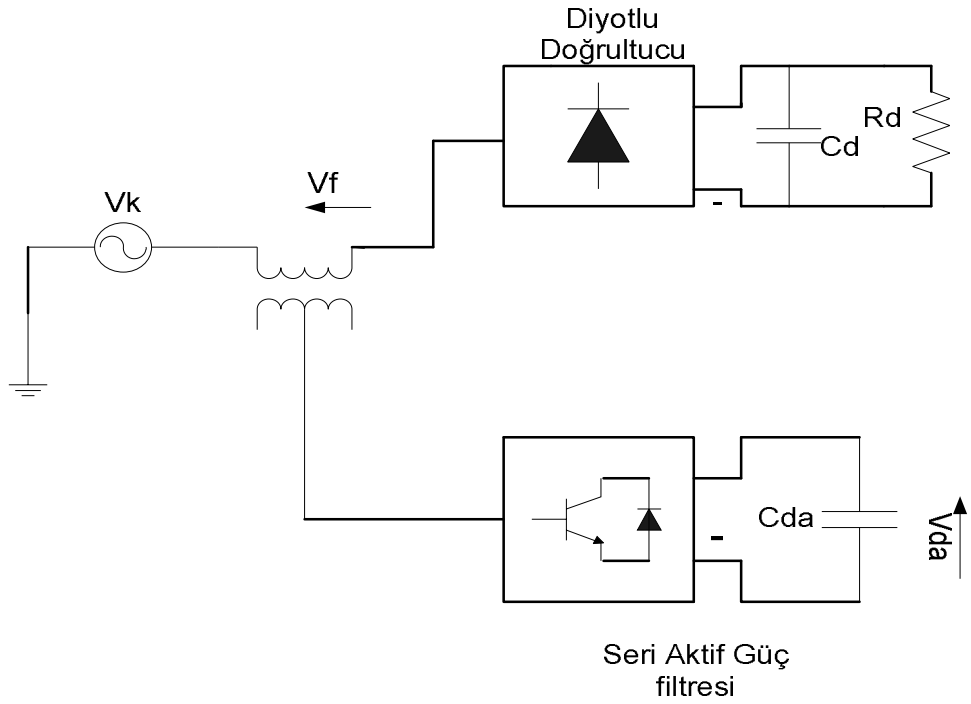
Bütün AGF'ler, DGM'li dönüştürücülerle (akım veya gerilim beslemeli dönüştürücüler) geliştirilmiştir. Aktif güç filtreleri dönüştürücü tiplerine, topolojilerine, kontrol düzenlerine ve karakteristik kompanzasyonlarına göre sınıflandırılabilirler. En çok popüler olan sınıflandırma olan topolojilerine göre; paralel, Seri, Hibrit AGF'leri olmak üzere üç gruba ayrılırlar [25].

AGF sistem konfigürasyonuna, devresine ve kontrol stratejisine göre sınıflandırılabilir. Sistem konfigürasyonuna göre; Paralel, Seri ve Hibrit, güç devresine göre; gerilim beslemeli DGM eviricili ve akım beslemeli DGM eviricili aktif güç filtreleri, kontrol stratejisine göre; zaman domeninde ve frekans domeninde kontrollü aktif güç filtreleri olmak üzere sınıflandırılabilirler [2].

3.1.1. Sistem konfigürasyonuna göre sınıflandırma

3.1.1.1. Seri aktif güç filtreleri

Seri Aktif Güç Filtreleri transformatöre bağlantısından dolayı gerilim harmoniklerini elimine etmek ve yükün uç gerilimini düzeltmek için sisteme ters fazda ve eşit büyüklükte harmonik gerilimler verilerek uygulanmaktadır [2,25].

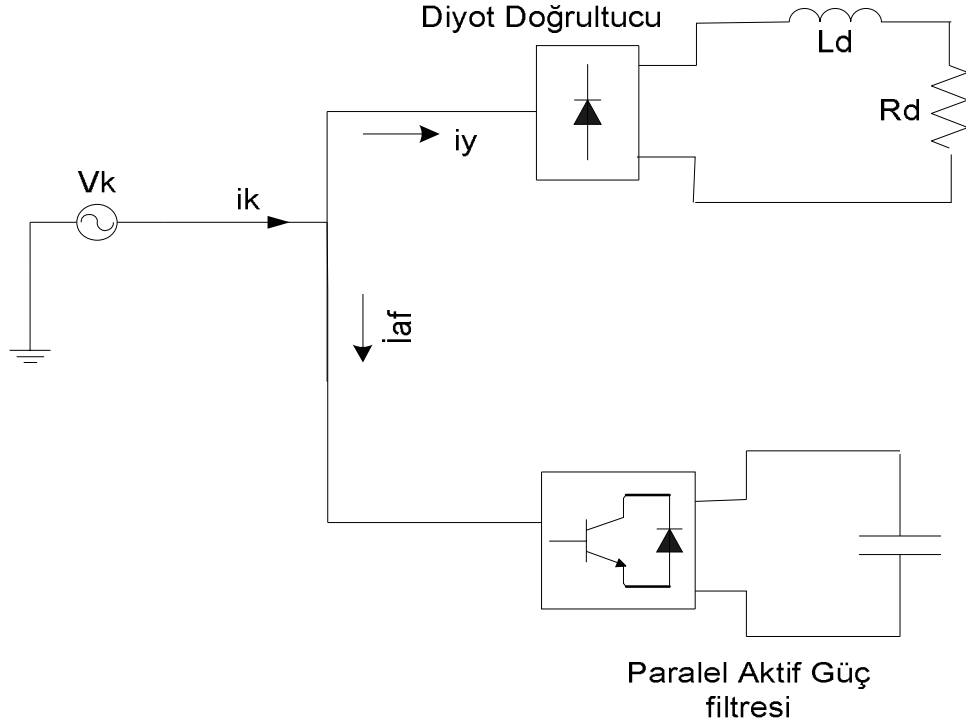


Şekil 3.1. Seri aktif güç filtresi.

Yapısı gereği filtre kondansatörünün yüke seri olarak bağlanması, yüke uygulanan gerilimin bir miktar azalmasına neden olacaktır. Seri aktif güç filtreleri, şebeke geriliminin sinüs dalga formunda olmasını sağlamak amacıyla üretilen DGM sinyallerini şebeke geriliminden çıkarır veya toplar. Seri aktif güç filtreleri endüstriyel uygulamalarda diğer güç filtrelerine göre daha az kullanım alanına sahiptir. Çünkü şebekeye seri bağlanmalıdır ve yük akımının tamamını kontrol etmek zorundadırlar [5]. Bu AGF'lerinin en büyük dezavantajı yük akımının tamamını taşıma gerekliliğidir. Buna karşın, bu güç filtresinin rezonans problemi yoktur. Seri AGF'leri belirli bir frekansa ayarlandığı için sadece bu frekans bileşenine yüksek empedans gösterirler [25]. Seri AGF'leri kaynak ve yük arasına seri olarak bağlandığı için harmonik akımlara karşı yüksek empedans gösterir. Dolayısıyla kaynakla yük arasında bir harmonik izolasyon oluşturmaktadır [2].

3.1.1.2. Paralel aktif güç filtreleri

Paralel AGF'leri yüke paralel bağlanarak yük akımının harmoniklerini yok etmek ve reaktif güç kompanzasyonu için sisteme ters fazda ve eşit büyüklükte akımlar verilmesi şeklinde uygulanır [2,25]. Paralel AGF'leri, akım dengesizliklerini, yüksek ve düşük dereceli harmonikleri, alt harmonikleri ve reaktif gücü bastırmak için kullanılmaktadır [30].

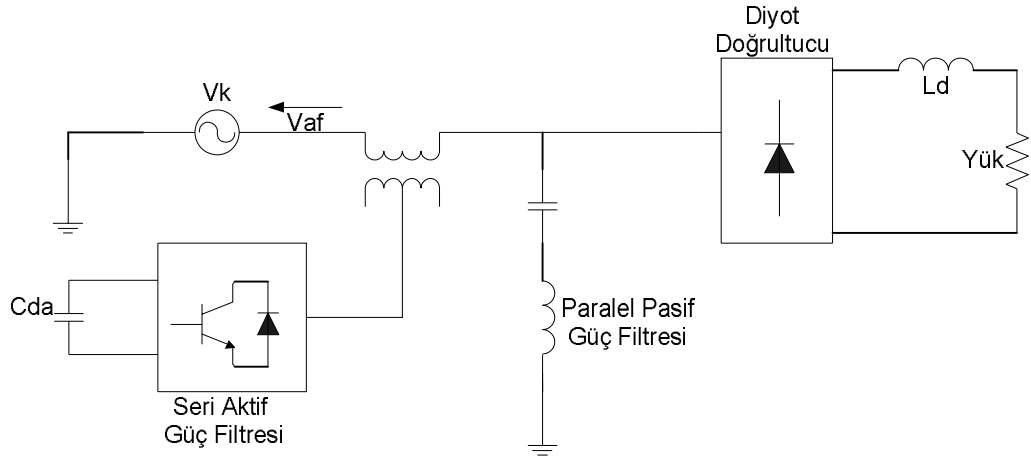


Şekil 3.2. Paralel aktif güç filtresi

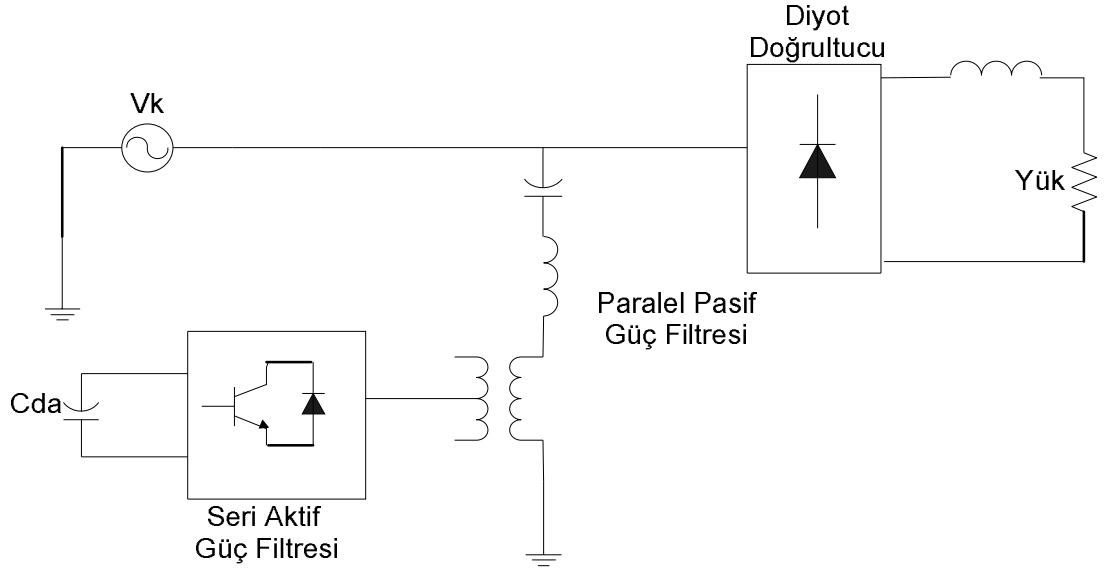
3.1.1.3. Hibrit aktif güç filtreleri

Şekil 3.3 (a) ve (b)'te farklı tiplerde aktif-pasif güç filtresi devreleri görülmektedir. Aktif ve pasif güç filtrelerinin beraber kullanılmasındaki amaç başlangıç maliyetini azaltmak ve verimi yükseltmektir. Hibrit filtreler sadece harmonik kompanzasyonu için değil aynı zamanda kaynakla yük arasında harmonik izolasyon, gerilim regülasyonu ve dengesizlikler için de kullanılmaktadır [2].

Hibrit aktif güç filtresi seri aktif filtrenin ve pasif şönt filtrenin bir kombinasyonudur. Bu topoloji yüksek güç sistemlerinin kompanze edilmesi bakımından dolayı çok kullanışlıdır [25].



(a)



(b)

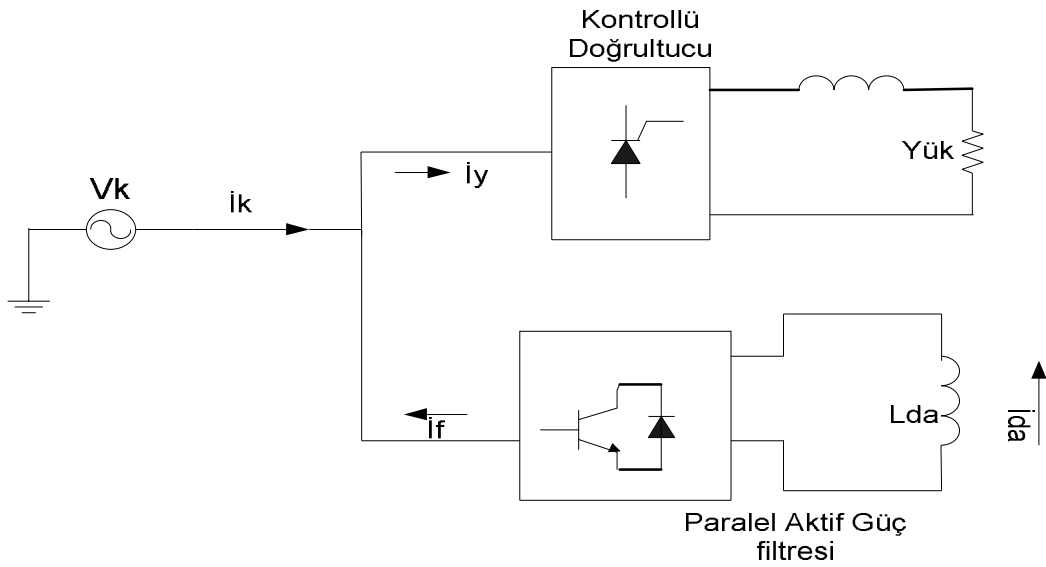
Şekil 3.3. Seri aktif, paralel pasif güç filtresi.(a),(b).

3.1.2. Güç Devresine Göre Sınıflandırma

Aktif güç filtrelerinde gerilim beslemeli DGM evirici ve akım beslemeli DGM evirici olmak üzere iki tip güç devresi kullanılmaktadır. Aktif güç filtrelerinin güç devresi AA motor sürücülerinin güç devresine benzemektedir. AA motor sürücülerinden farkı, aktif güç filtrelerinin güç devresi doğrusal olmayan akım ve gerilim kaynağı olarak davranmasıdır.

3.1.2.1. Akım beslemeli DGM evirici

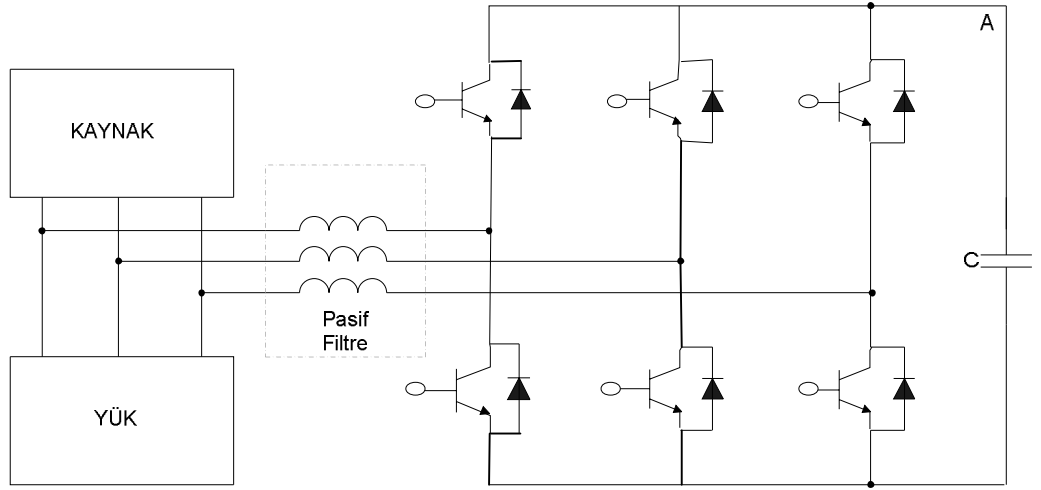
Şekil 3.4'te akım beslemeli DGM eviricili aktif güç filtresi görülmektedir. Bu evirici yapısı doğrusal olmayan yükün harmonik akım ve reaktif güç kompanzasyonu için kullanıldığında doğrusal olmayan akım kaynağı gibi davranmaktadır [2].



Şekil 3.4. Akım beslemeli DGM eviricili aktif güç filtresi.

3.1.2.2. Gerilim beslemeli DGM evirici

Şekil 3.5'te gerilim beslemeli DGM eviricili aktif güç filtresi görülmektedir. Gerilim beslemeli DGM eviricinin verimi akım beslemeli DGA eviriciye göre daha yüksek ve kuruluş maliyeti daha düşük olduğu için aktif güç filtresi uygulamalarında daha çok tercih edilmektedir. Gerilim beslemeli DGM eviricilerde DA hattına (A,B) bağlanan bir kondansatör enerji depolama elemanı olarak kullanılır [5]. AA tarafındaki bobin, evirici harmoniklerini filtre etmek için gereklidir. Evirici için DA gerilim kaynağı gibi çalışan DA hat kondansatörü, güç elektroniği anahtarlama elemanları (IGBT, MOSFET, vb.) ile kontrol edilerek gerekli olan kompanzasyon akımını sağlar. DA hat tarafındaki dalgalanmaları en aza indirmek için büyük kapasiteli kondansatör kullanmak gerekir.



Şekil 3.5. Gerilim beslemeli evirici AGF.

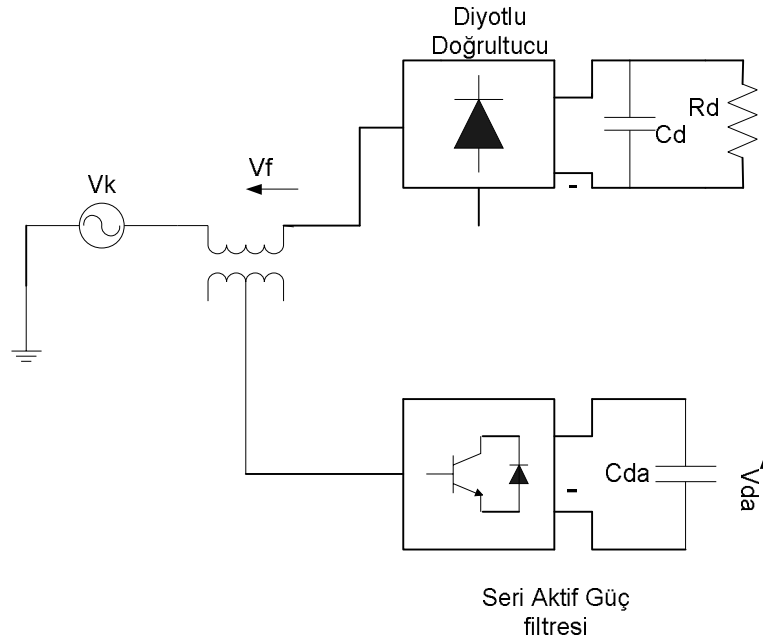
BÖLÜM 4

4. AKTİF GÜÇ FİLTRELERİNİN YAPISAL MODELLERİ

4.1. Seri Aktif Güç Filtreleri

Bu filtreler transformatör bağlantısından dolayı gerilim harmoniklerini elimine etmek ve yükün uç gerilimini dengelemek ve düzeltmek için kullanılmaktadırlar [25]. Seri aktif güç filtreleri ile gerilim düşme-yükselmeleri, gerilim dengesizlikleri ve gerilim harmonikleri gibi şebeke ve yük üzerindeki bozulmalar ortadan kaldırılabilir. Ayrıca, bu filtreler harmoniklere karşı bir izolatör gibi görev yaparlar ve bu filtrelerin farklı kontrol stratejilerine göre denetimleri gerçekleştirilmektedir [30]. Dağıtım sistemine seri olarak bağlanan bu tip filtreler, hem yükte üretilen harmonik akımlara, hem de besleme sisteminde mevcut olan gerilim bozulmasına karşı etkilidirler [27].

Seri filtre belirli bir frekansa ayarlandığı için sadece o ayarlı frekans bileşenine yüksek empedans göstermektedir. Bu tip filtreler tek-fazlı sistemde 3.harmoniğin baskın olduğu uygulamalarda yaygın olarak kullanılır ve genellikle temel frekansta düşük empedans göstermektedirler. Bu filtre devresinde rezonans problemi olmamaktadır [25,31].



Şekil 4.1. Seri aktif güç filtresi.

Bu tip filtrelerin diğ er tip filtrelere g ore en b uy uk  st n l ğ , gerilim harmoniklerini yok etmesi ve    fazlı sistemlerin gerilimlerini dengelemede en iyi sonuçları vermesidir. Bu nedenle, seri aktif g    filtreleri şebeke geriliminin kalitesini arttırmak için kullanılmaktadırlar [5].

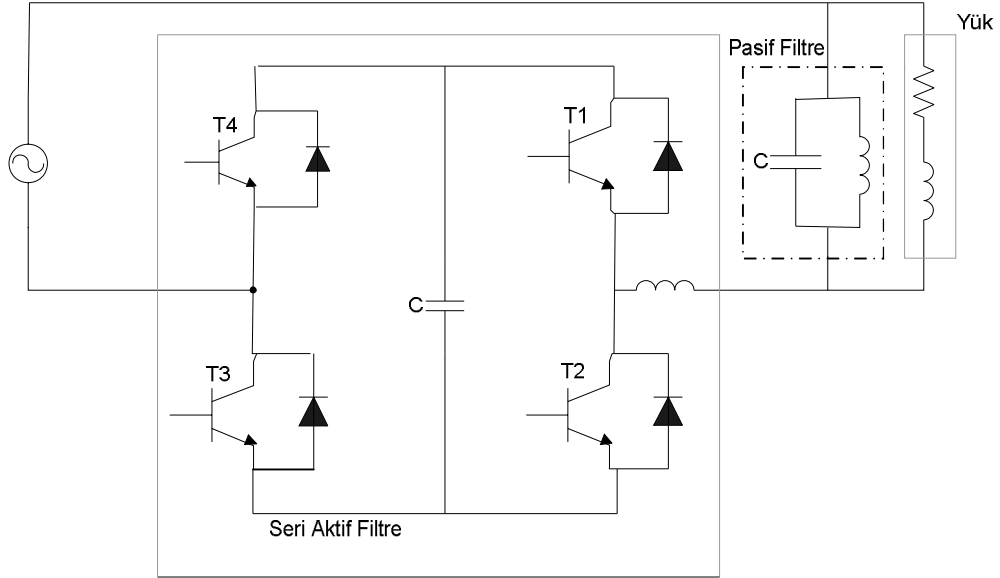
Seri aktif filtreler ilk kez 1980’li yılların sonunda ve gerilimi düzenlemek, sistem ve doğrusal olmayan y  k arasındaki harmonik izolasyonu sağlamak amacıyla kullanılmaya başlandı. Seri bağlanmış aktif g    filtresi düşük gerilim kalitesinden, t keticii korumak amacıyla çok tercih edilmiştir. Bu tip yaklaşım veya uygulama, gerilim dengesizliklerinin ve sarkmalarının (AA kaynaktan kaynaklanan) bastırılması için uygun bir çözüm seçeneği olmuştur. Seri aktif g    filtreleri kontrollü gerilim kaynağı gibi çalışırlar. Aynı zamanda sistemin gerilim sarkmalarını ve y  k üzerindeki gerilim harmoniklerini kompanze edecek şekilde davranır. Bunun yanı sıra seri aktif g    filtresi, eğer pasif L-C filtreleri y  ke paralel bağlanmışsa, devredeki y  k akım harmoniklerini çoğunlukla pasif filtre üzerinden dolaştıracak şekilde, harmonik izolatör gibi işlem yapar.

G    transformatörleri, kablolar, vs., g    sistem malzemelerini, en az 30 periyot boyunca kısa devreye karşı koyacak şekilde dizayn edilmiştir. Bu kısa süre boyunca, aktif g    filtresi zarar görebilir ve bu nedenle harmonikleri yok etme kalitesini düşürebilir. Bu yüzden aktif g    filtresi devresinde kullanılan eviricideki g    yarıiletkenlerinin karakteristikleri çok önemlidir.

Seri aktif g    filtresinin koruma düzeninin avantajları;

- Yerine getirilmesi kolay ve düşük maliyetlidir.
- Aktif g    filtresi koruması, kısa devre akımlarına karşı g    dağıtımında tam koruma sunar.
- Aktif g    filtresi koruması, g    dağıtım sistemiyle karışmaz.

4.1.1. Güç devresi yapısı



Şekil 4.2. Seri aktif güç filtresinin prensip şeması.

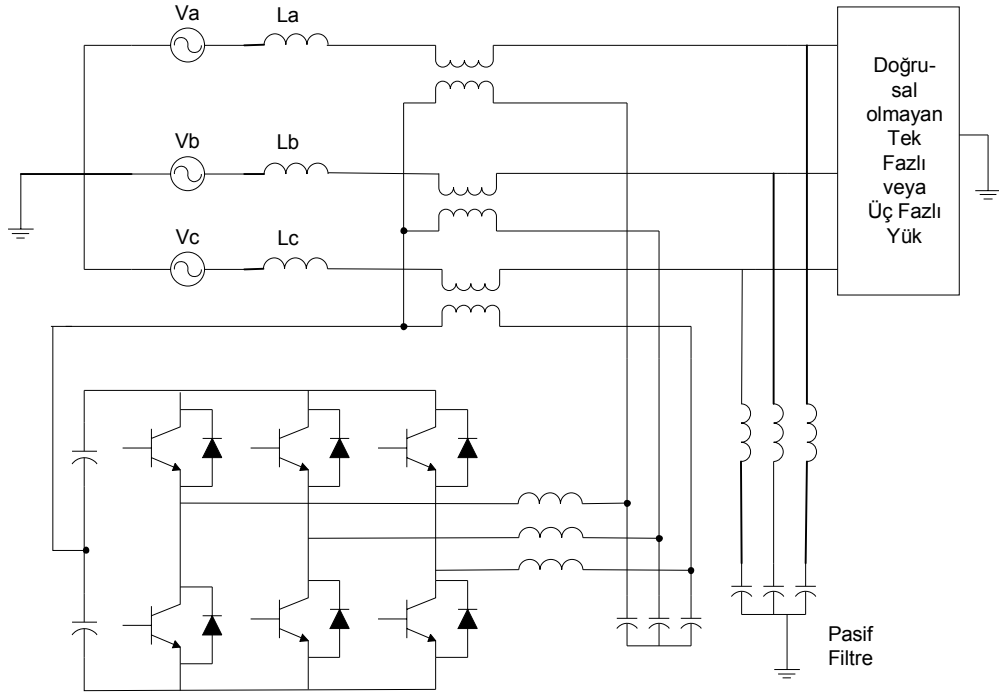
Kullanım alanlarının çoğunda güç devresi konfigürasyonu üç-fazlı gerilim beslemeli DGM evirici devre, güç hatlarıyla üç tane tek fazlı transformatör seri bağlantılıdır. Uygulama tiplerinde üç-fazlı gerilim beslemeli dönüştürücü, üçlü tek fazlı eviriciyle yer değiştirmiştir. Buna karşılık; bu tip yaklaşımlar maliyeti yükselten daha fazla güç elemanlarına ihtiyaç duymaktadır. Seri aktif güç filtrelerinde; paralel LC filtreler doğrusal olmayan yük ile transformatör arasına bağlandığında harmonik izolatör gibi çalışır. Kontrol yöntemleri ile birlikte uygulandığında seri aktif güç filtreleri, doğrusal olmayan yükler tarafından üretilen gerilim harmoniklerini, yük uçlarındaki gerilim dengesizliklerini ve gerilim sarkmalarını kompanze etmektedir [25].

4.1.2. Çalışma İlkeleri

Seri aktif güç filtreleri doğrusal olmayan yüklerden kaynaklanan sistemin akım bozulmasını ve yüke paralel bağlı LC pasif filtreler üzerine giden yüksek frekanslı akım harmoniklerine karşı yüksek empedans göstererek kompanze etmektedirler. Bu yüksek empedans, akım harmonik bileşeninin elimine edilmesi için gerekli eşit frekanslı gerilimin seri aktif güç filtresi tarafından üretilmesiyle dengelenir.

4.1.3. Güç devresi dizaynı

Seri aktif güç filtresinin güç devresi Şekil 4.3.'te gösterildiği gibi üç-fazlı DGM gerilim beslemeli evirici, alçak geçiren filtre, birleşik transformatörler ve bir pasif filtre devresinden oluşmaktadır [25].



Şekil 4.3. Seri aktif güç filtresi topolojisi.

4.1.3.1 Gerilim beslemeli DGM evirici

Seri aktif güç filtrelerinin gerilim dengesizliğini ve akım harmoniklerini kompanze etmesiyle birlikte, gerilim beslemeli DGM eviricinin gücü diğer uygulamalara göre artmaktadır. Bu devre ile hem akım harmonikleri kompanze edilmekte hem de herhangi bir fazdaki yük akımının geçişinden kaynaklanan gerekli aktif güç sistemden transfer edilir. Aynı zamanda transformatördeki kaçak endüktansı, temel gerilimin ve temel görünür gücün düşmesini zorunlu kılar ve güçteki bu düşüş evirici tarafından telafi edilir. Evirici tarafından ihtiyaç duyulan görünür güç, birleşik transformatörün primerinde üretilen görünür gücün hesaplanmasıyla elde edilmektedir. Bu yapıda temel frekansın her bir periyodunda sadece 6 anahtarlama konumu olduğundan eviricinin kontrolü basittir ve anahtarlama kayıpları düşüktür. Bununla birlikte, bu 6

adımlı eviricili filtrenin dezavantajları olan düşük seviyeli harmonikler; fiziki olarak çok yer kaplayan ve ekonomik olmayan alçak geçiren filtreler tarafından filtrelenememiş akım dalgalarına, geniş bozulmalara sebep olmaktadır [32].

4.1.4. Kontrol yöntemleri

Akım ve gerilim referans dalga formları anlık reaktif güç teorisi kullanılarak elde edilir. Gerilim dengesizliğinin kompanze edilmesinde kullanılan bir yöntem de sistem geriliminin negatif ve sıfır geçişli temel bileşenlerinin hesaplanmasıdır. Aynı zamanda nötr iletkeninden geçen akımın genliği düzenli bir şekilde düşmektedir [25].

Seri aktif güç filtrelerinin kompanzasyon karakteristikleri çoğunlukla kontrol sistemi tarafından ihtiyaç duyulan referans sinyal üretme algoritması kullanılarak bulunur. Bu referans sinyaller, minimum zaman gecikmesiyle birlikte akım ve gerilim kompanzasyonuna izin vermelidir. Aynı zamanda güç sistemindeki akım harmoniği ve gerilim dengesizliğinin eliminasyonuna, referans sinyallerinin içerdiği bilgilerin doğruluğu izin verir [25,33].

Bununla birlikte güç kontrolü yapılırken ele alınması gereken ilk parametre istenilen akım değeridir. İstenilen yük akımı değerini elde etmek için gerekli şart, kayıpları olmayan ideal bir filtre kullanmaktır. Bu ise kondansatörün şarj zaman aralığında depoladığı enerji iledeşarj zaman aralığında boşalttığı enerjinin eşit olması demektir. Bu işlem aynı zamanda kondansatör geriliminin sabit tutulması anlamına da gelmektedir [5].

Bir diğer yöntem olan anahtarlama sinyal jeneratörü devresi ile üç fazlı gerilim kaynaklı DGM eviricinin gerilim dengesizliğini ve akım harmonik bileşenlerini kompanze etmek için ihtiyaç duyulan anahtarlama sinyallerini sağlamaktadır. Bu akıma ve gerilim referans sinyalleri ilave edilir ve daha sonra DGM eviricinin gerilim kullanım faktörünü uygun bir şekilde arttırmak için sonuç referans dalga formunun genliğinin ayarlanması şeklinde gerçekleşmektedir. Evirici anahtarlama sinyalleri, sonuç referans sinyalinin sabit frekans üçgen dalga formuyla karşılaştırılmasıyla üretilmektedir. Üçgensel dalga formu eviricinin anahtarlama frekansının sabit tutulmasını sağlar [25].

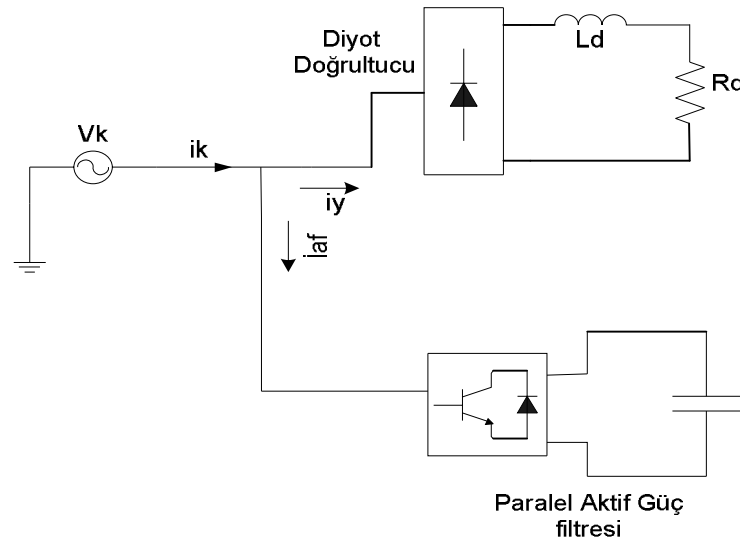
4.2. Paralel Aktif Güç Filtreleri

Harmonikli yük akımlarını kompanze etmek için, geçmişte, farklı pasif ve aktif filtre topolojileri araştırılmış ve başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Ancak pasif filtreler, aktif filtrelere kıyasla çok daha az esnektir ve kullanımları kısıtlıdır. Oldukça iyi sonuçlar veren aktif filtre topolojilerinden olan, doğrusal olmayan yüklerin ürettiği harmonikli akımları bastırmak ve/veya

reaktif gücü kompanze etmek üzere kullanılan PAGF kaynak akımlarını, neredeyse sinüzoidal ve faz gerilimleri ile aynı fazda olmaya zorlar [17].

Paralel Aktif Güç filtreleri, AA sistemine yük ile aynı genlikli ve ters fazlı akım harmoniklerini ilave etmek için yükle paralel yerleştirilebilen bir darbe genişlik modülasyonlu DGM eviricidir. Paralel aktif güç filtreleri akım harmoniklerini kompanze etmede, reaktif güç ve yük akımı dengesizliklerinde, geniş bir şekilde kullanılır. Paralel aktif güç filtreleri akım kaynağı gibi harmonik parçalarını enjekte etmeyi 180° faz farkıyla yük tarafından sağlar, fakat sonuçta yük akımındaki harmonikler aktif filtrenin etkisiyle yok edilir [25,33].

Şekil 4.4.'te görülen PAGF; akım harmonikleri, reaktif güç kompanzasyonu ve dengesiz akımlarda dengeleme için kullanılır. PAGF yüke paralel bağlanarak yük akımının harmoniklerini yok etmek ve reaktif güç kompanzasyonu yapmak için sisteme ters fazda ve eşit büyüklükte akımlar verilmesiyle kaynaktan çekilen akımların dalga şekli sinüzoidal yapılmaktadır [2].



Şekil 4.4. Paralel aktif güç filtresi.

Paralel aktif filtrelerin fonksiyonu, harmonik yük akımlarını kompanze ederek, kaynağın sadece temel frekanstaki sinüzoidal akımlarını sağlar ve yükün güç faktörünü geliştirir [4].

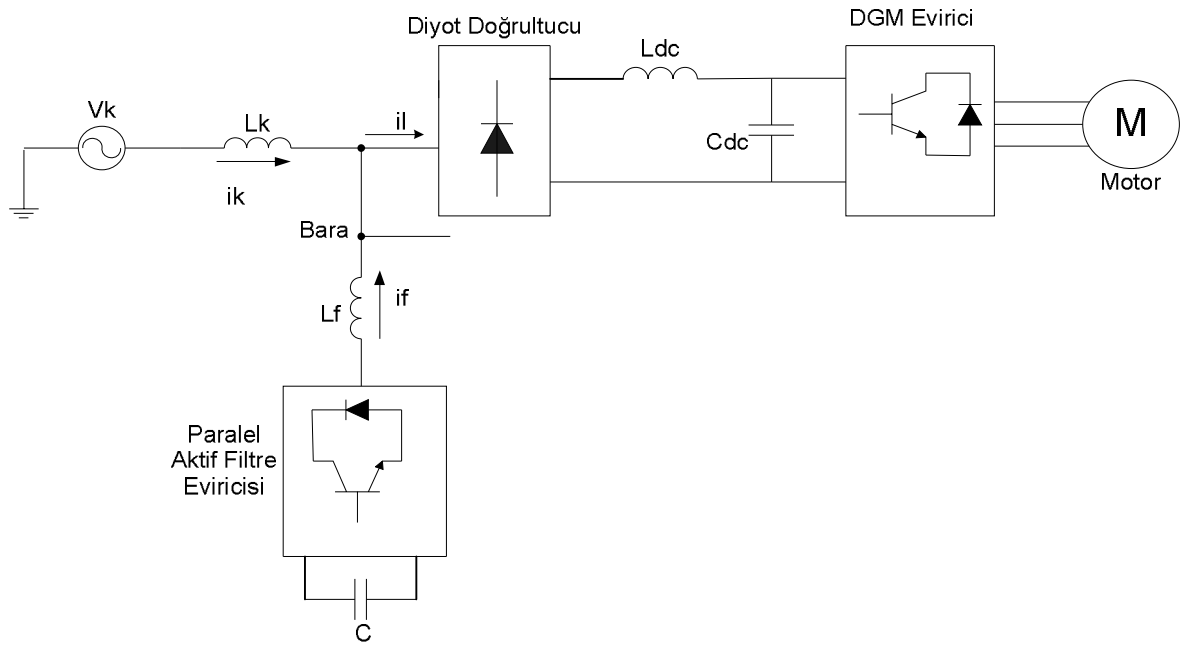
Paralel aktif filtreler, doğrusal olmayan yüklerin üç-fazlı alternatif akım güç sistemlerinde yarattığı harmonik akım, reaktif güç gibi elektrik enerjisi kalitesini bozan etkilerini azaltmada oldukça başarılıdır. PAF'nin yük akım kompanzasyon yeteneği, güç yapısında yer alan pasif elemanlar kadar, gerilim ve akım kontrol çevrimlerinde kullanılan kontrol yöntemlerine de bağlıdır [3]. Paralel aktif filtreler filtreleme karakteristiği olarak tristör

kontrollü reaktörlerde geleneksel paralel pasif ve/veya statik VAR tabanlı kompanzatörlerden çok daha fazla iyi sonuçlar sunmuştur [34]. Paralel aktif filtreler aynı zamanda, akımda harmonik etkili olarak nitelendirilen tristörlü dönüştürücülerde oldukça iyi sonuç vermektedir. Bilindiği gibi, tristörlü dönüştürücüler akım harmoniklerinin genel kaynağıdır. Akım dalga şeklinin bozulması yani harmonik oluşumu, anahtarlama çalışmadan kaynaklanmaktadır. Yük akım kompanzasyonu amacıyla günümüzde en yaygın kullanılan aktif filtre tipi, doğrusal olmayan yük ile üç-fazlı AA gerilim kaynağı arasında kullanılan paralel aktif filtrelerdir. Paralel aktif filtreler yükün sadece reaktif ve harmonik güç ihtiyacını karşılayacak şekilde çalıştırlarından, dönüştürücü kayıpları ile endüktans ve kondansatörün eşdeğer direnç kayıpları dışında güç tüketmezler [3]. Bu devrelerde amaç kaynağı besleyen yük akım harmoniğini yok etmektir ve aynı zamanda reaktif güç kompanzasyonuna katkı sağlayabilmek ve üç fazlı akımların dengelenmesine yardımcı olabilmektir.

Aktif filtre, besleme devresine paralel olarak bağlanır ve sürekli yükün ürettiği harmonik bileşenlerin tam karşılığı olan harmonik akımlar üretmektedir. Dolayısıyla, güç kaynağının beslediği akım daima sinüzoidal şekilde kalmaktadır [27].

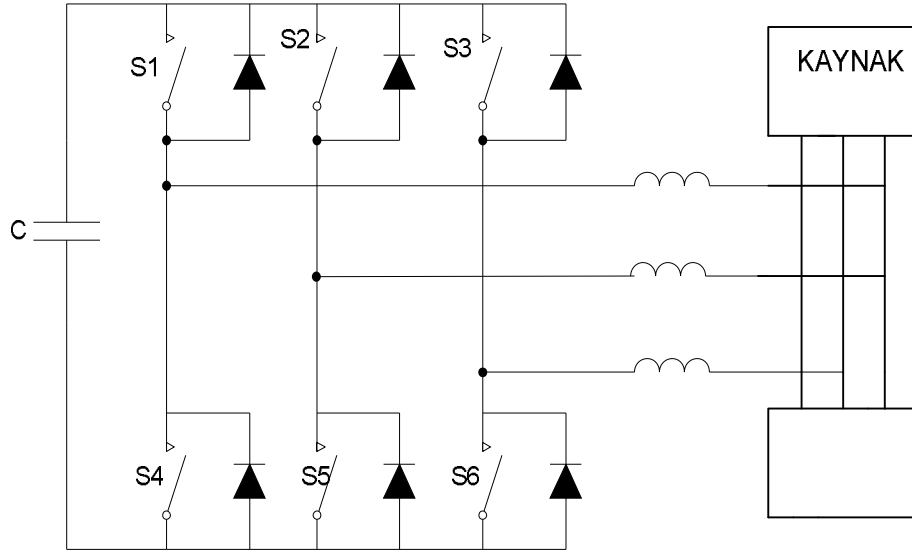
Paralel filtreler harmonik kaynağına paralel bağlanırlar. Giderilmek istenen harmonik frekansında düşük bir empedans elde edilerek istenmeyen harmonik akımlarını toprağa aktarılmaktadır. Paralel filtreler, harmonik akımlarına çok düşük bir empedans göstermek için tasarlanırlar. Ayrıca paralel filtreler güç faktörünü düzeltmede de kullanılabilir. Bununla birlikte, paralel filtreler, seri filtre gibi sadece ayarlı oldukları frekansta etkili değildirler [31]. En yaygın güç kalitesi problemlerinden biri olan akım harmonikleri genellikle paralel, pasif veya aktif filtrelerin kullanımıyla çözülmektedir [28]. Ayıca PAGF, Statik VAR kompanzatörü (STATCOM) gibi de kullanılarak şebekenin gerilim profilinin dengelemesini ve iyileştirilmesini de sağlarlar [1].

Bu devrelerde, kompanzasyon akımı üzerinde evirici tarafından üretilen anahtarlama darbelerini yok etmek amacıyla bir bobin kullanılmalıdır. İyi bir dinamik sonuç elde etmek için bobin endüktansının mümkün olduğu kadar küçük olması gerekir. Ayrıca bobin endüktansı çok küçük olursa anahtarlama darbe akımları bastırılmayabilir. Bu yüzden kullanılacak bobin seçimi iyi yapılmalıdır. Filtrede DA depolama elemanı olarak kullanılan kapasitör evirici üzerinden ve filtre reaktörü L_f ile şebekeye bağlanırlar. Aktif filtre girişinde kullanılan filtre reaktörü (L_f), öncelikle aktif filtre akımlarının kontrol edilebilirliğini sağlar. Ayrıca, girişte kullanılan reaktör ve kapasitör vasıtasıyla eviricinin kendisinin ürettiği yüksek frekans bileşenlerin bastırılması da sağlanmaktadır [35]. Filtre kondansatörü, DA hat gerilimlerinin dalgalanmalarını en aza indirmek için uygun kapasitede olmalıdır.



Şekil 4.5. Paralel aktif filtre sistemi.

4.2.1. Güç Devresi



Şekil 4.6. Paralel aktif filtresi güç devresi.

Güç devresi üç-fazlı bir köprü evirici, bobin ve DA kondansatöründen oluşmaktadır (Şekil 4.6). Paralel aktif güç filtresinin güç devresinde gerilim beslemeli DGM evirici veya akım beslemeli DGM evirici kullanılabilir. Her iki evirici de, paralel aktif güç filtresi uygulamasında doğrusal olmayan kontrollü akım kaynağı olarak çalıştırılır. Aktif güç filtrelerinde, eviricilerin DA

tarafına güç kaynağı bağlı değildir. Bunun yerine enerji depolama elemanı olarak gerilim beslemeli eviricide kondansatör, akım beslemeli eviricide ise bobin kullanılmaktadır. Güç devresinde anahtarlama elemanı olarak yüksek hızlı anahtarlama yetenekleri ve yüksek akım dayanımına sahip olduğu için kapıdan izoleli transistör (IGBT) kullanılmaktadır. Güç devresinde kullanılan AA tarafındaki bobin, DA tarafındaki kondansatörün değeri ve DA tarafındaki gerilimin büyüklüğü güç devresinin ve dolayısıyla paralel aktif güç filtresinin performansını etkilemektedir [2].

Güç devresinin parametreleri yüke bağlı olduğundan dolayı güç devresinin bileşenlerinin dizaynından önce, yükün karakteristiği bilinmeli. Arayüz reaktörünün dizaynı ve DA hat voltajının seçiminde şu kriterlere dikkat edilmelidir:

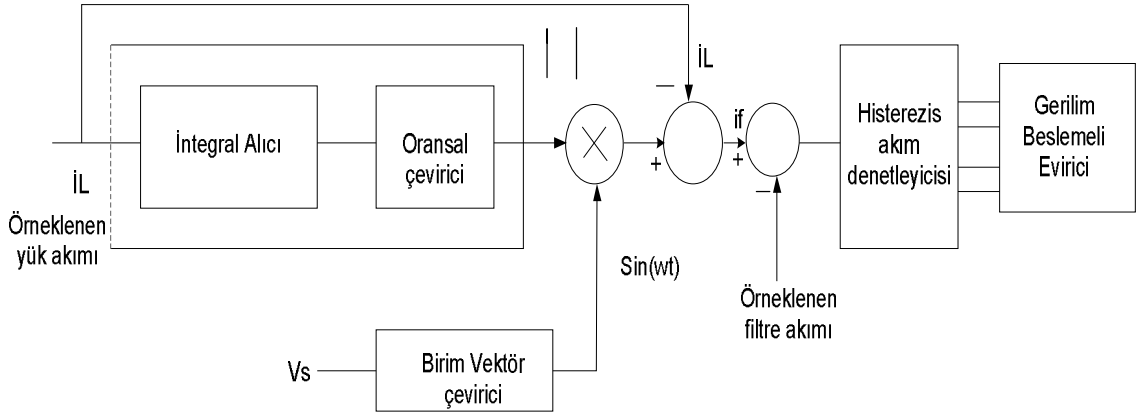
- Enjekte edilmiş akımın yüksek frekanslı bileşenleri sınırlandırılmış olmalı.
- Aktif filtre tarafından üretilen anlık di/dt değeri yükün harmonik bileşeninin anlık di/dt değerinden büyük olmalı ki harmonik eliminasyonu gerçekleştirilebilsin [36].

4.2.2. Kontrol yöntemleri ve düzenleri

Paralel aktif güç filtresinin kontrol düzeni eviricinin her fazı için akım referans dalga formunu hesaplamalı, DA gerilimi sabit tutmalı ve eviricinin kapı sinyallerini üretmelidir.

Akım referans devresi, yük akım harmoniklerini ve reaktif gücü kompanse etmek için referans akımları üretir ve aynı zamanda elektrolitik kapasitörden geçen DA geriliminide sabit tutmaya çalışır. Aktif güç filtresinin kompanse etkisi küçük hata ve değişken yük akımını bastırması için hesaplanmış referans sinyalin gecikme zamanına bağlıdır.

DA gerilim kontrol birimi, toplam DA terminal gerilimini sabit ve verilen referans değere eşit tutmalıdır. DA gerilim kontrolörünün ayarı, küçük miktardaki gerçek gücün evirici tarafından çekilmesiyle başarılır. Bu küçük miktardaki gerçek güç referans akımın temel bileşenlerinin genişliğinin değişimiyle ayarlanmalıdır [25]. Şekil 4.7.'te aktif güç filtresi devresinin çalışması sırasında yük akımından ($\hat{I}_L$), giriş geriliminden (V_S), ve filtre akımından ($\hat{I}_f$) örnekler alınır. Kaynak akımı, yük ve filtre akımlarının birleşiminden oluştuğundan yükün çektiği akımın değişmesi durumunda, kontrol edilen AGF akımının da kendisini bu değişime ayarlayabilecek aktif bir yapıda olması gerekir [37].



Şekil 4.7. Şönt aktif güç filtresi kontrol şeması .

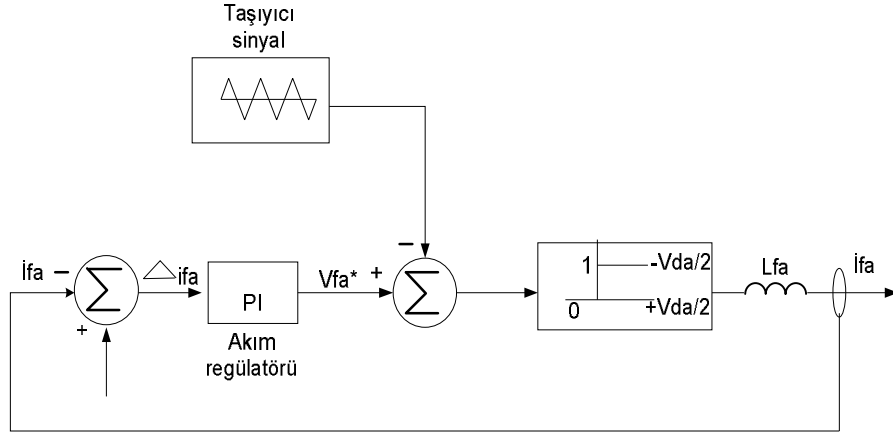
4.2.3. DGM yöntemleri

Darbe genişlik modülasyonu (DGM), eviricilerde güç anahtarlama elemanlarının kontrolünde en sık kullanılan yöntemdir. Bu yöntem, anahtarların kapılarına uygulanan darbelerin genişliklerinin değiştirilerek evirici çıkış geriliminin kontrolü ilkesine dayanır. Bu metod Sinüzoidal DGM ve kare dalga DGM şeklinde sınıflandırılabilir [38].

Yirmi yıldan fazla bir zamandan beri kullanılan bu tekniklerde (DGM) eviricinin DC-hat geriliminin sabit olduğu ve dalgalanmanın olmadığı kabul edilmektedir. Bununla birlikte en uygun DGM tekniği seçilirken, düşük dereceli harmonik akımları önleyecek ve anahtarlama kayıplarını azaltacak teknik belirlenmelidir.

PAGF’lerde köprü eviricinin çıkışındaki akım kontrol edilmektedir. Dolayısıyla kullanılan bu eviriciler akım kontrollü gerilim beslemeli DGM evirici olarak adlandırılır. Aktif güç filtresi çıkışından istenilen dalga şekline sahip akım almak için akım kontrollü gerilim beslemeli evirici çeşitli metotlarla kontrol edilir. Bunlardan aktif güç filtrelerinde en çok kullanılanları Sinüzoidal DGM, Histerezis bant akım denetimli DGM, Uzay vektör DGM’dir [2].

4.2.3.1. Sinüzoidal DGM



Şekil 4.8. Sinüzoidal DGM.

Şekil 4.8.'te Sinüzoidal DGM'nin prensip şeması verilmektedir. Evirici çıkışındaki akımı kontrol etmek için bu akımlardan geri besleme alınır. Alınan bu sinyalle referans akım sinyali karşılaştırılarak hata sinyali elde edilir. Akım regülatörü bu hata sinyalini alarak çıkışında eviricinin faz gerilimlerine karşılık gelen bir gerilim sinyali üretir. Anahtarlama sinyallerini üretmek için bu gerilim sinyali taşıyıcı sinyal olarak adlandırılan üçgen dalga şekline sahip sinyalle karşılaştırılır. Gerilim sinyalinin üçgen sinyalden büyük/küçük olma durumuna göre anahtarlar sırayla ilettime geçer. Bu işlem her faz için ayrı ayrı yapılarak o fazlara ait kollarındaki anahtarlar kontrol edilir. Taşıyıcı sinyalin frekansı anahtarlama frekansını vermektedir [2]. Bu yöntemde, evirici içindeki anahtarlar, her bir anahtarlama periyodunda çıkışta sinüs biçiminde bir gerilim dalga şekli oluşacak yönde birçok defa ilettime geçip, kesime giderler. Bu şekilde çıkış geriliminin minimum derecede harmonik bileşen içerecek halde gerçekleşmesi sağlanır. Bu nedenle sinüzoidal DGM yönteminde kare dalga metoduna göre daha küçük değerli filtre elemanları kullanılır. Böylece devrelerin hem fiziki düşürür, boyutunu hem de maliyetini düşürür. Sinüzoidal DGM yöntemleri ikiye ayrılır;

1. Düzenli Örneklemeli Sinüzoidal DGM
2. Doğal Örneklemeli Sinüzoidal DGM

Her iki sinüzoidal DGM yöntemlerinde bir referans dalga, yüksek frekanslı üçgen şeklinde bir taşıyıcı dalga ile karşılaştırılır. Düzenli örneklemeli sinüzoidal DGM' de referans dalga dijital bir sinüs dalgası, doğal örneklemeli sinüzoidal DGM' de ise analog bir sinüs dalgasıdır. Bu iki dalganın kesiştiği noktaları anahtarlama periyodudur. Her bir anahtarlama periyodunda iletim süresi, referans dalganın taşıyıcı dalgadan büyük olduğu süre kadardır.

Bu yöntemde genlik modülasyon faktörü;

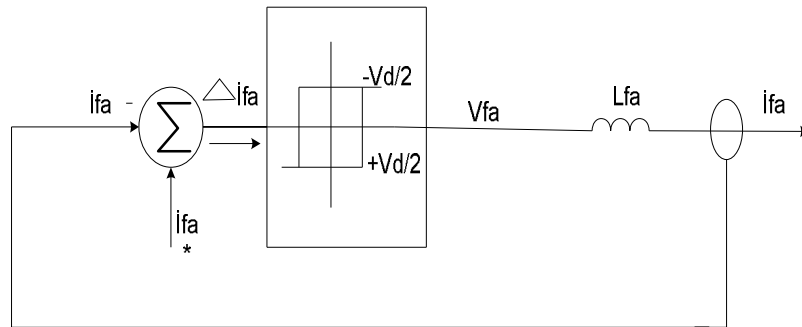
$$M_f = V_{ref} / V_{tri} \quad (5.1)$$

şeklinde gösterilen formülde V_{ref} , referans sinüs dalgasının genliği, V_{tri} ise taşıyıcı üçgen dalganın genliğidir. Eviricinin çıkış geriliminin genliği, modülasyon faktörünün değeri değiştirilerek ayarlanır. Frekans modülasyon oranı ise;

$$M_f = f_{tri} / f_{ref} \quad (5.2)$$

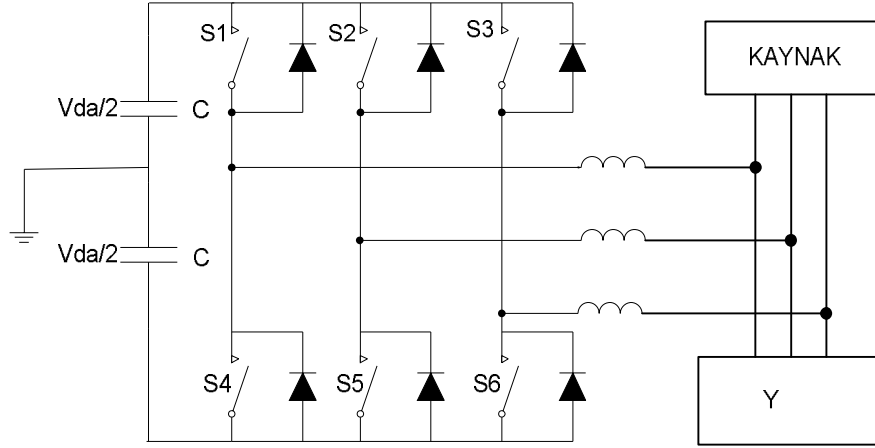
şeklinde gösterilir. Burada f_{tri} , taşıyıcı üçgen dalganın frekansı, f_{ref} ise referans sinüs dalgasının frekansıdır. Evirici çıkış gerilimindeki dalgalanmayı azaltmak için M_f 'nin büyük değerleri seçilir.

4.2.3.2. Histerezis Bant DGM



Şekil 4.9. Histerezis band DGM.

Şekil 4.9.'ta gösterilen Histerezis bant DGM prensip şeması verilmektedir. Evirici çıkışındaki akımı kontrol etmek için çıkış akımlarıyla referans akımlar karşılaştırılır. Elde edilen sinyalleri histerezis denetleyiciye uygulayarak anahtarlama sinyalleri üretilir. Her faza ait histerezis denetleyici o fazlara ait akım hatalarını belli sınırlar içinde tutacak şekilde anahtarlama sinyalleri üretir. Hata sinyali üst sınıra ulaştığında Şekil 4.10'da verilen S4 anahtarı iletime geçerek akımın düşmesini sağlar, hata alt sınırına ulaştığında ise S1 anahtarı iletime geçerek akımın artması sağlanır. Bu işlem de referans sinyal değişse bile hata sinyali histerezis bant sınırları arasında tutulduğu için çıkış akımının referans sinyali takip etmesi sağlanmış olur. Şekil 4.9'da eviricinin çıkışındaki L_{fa} bobini üzerindeki gerilim, anahtarlama konumuna ve kaynak geriliminin anlık değerine bağlı olarak $+0.5V_{da} - V_a$ ile $-0.5V_{da} - V_a$ arasında değişmektedir.



Şekil 4.10. İki kondansatörlü evirici bağlantısı.

Anahtarlama frekansı; histerezis bandın genişliğine, bobin değerine, kaynak geriliminin büyüklüğüne ve DA tarafındaki gerilimin büyüklüğüne bağlıdır. Bobinin veya histerezis bandın büyük olması veya V_{da} 'nın küçük olması akımın yükselme hızını ve anahtarlama frekansını küçültür. Bu durumun tersi, yani bobinin veya histerezis bandın küçük olması veya V_{da} 'nın büyük olması akımın yükselme hızını ve anahtarlama frekansının büyük olmasını sağlar. Akımın yükselme hızı dolayısıyla anahtarlama frekansının değeri paralel aktif güç filtresinin yok edeceği harmoniklerin derecesiyle ilgilidir. Anahtarlama frekansı yeterince büyükse yüksek dereceli harmoniklerin de kompanzasyonu yapılabilir. [2]

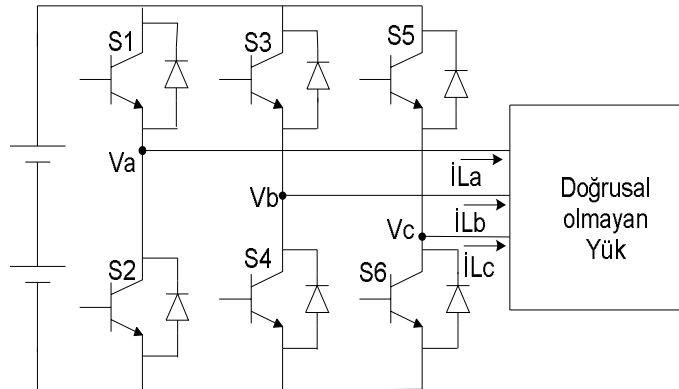
Histerezis akım denetleyicisi, evirici tarafından çekilen akım kontrol edilerek, anahtarlara uygulanan sinyaller ayarlanabilir. Histerezis akım yöntemi de gerilim beslemeli eviricide referans akım sinyalini takip eden çıkış akımı üretmek amacıyla akımı kontrol etmek için kullanılır. Akımın yükselme ve azalma eğimleri evirici girişine eklenen bobin değeriyle ayarlanabilir. Histerezis akım denetleyicisinin dezavantajı anahtarlama frekansının sabit olmamasıdır [37]. Histerezis kontrol yönteminde evirici bulunan anahtarlar, bobin içerisindeki akım alt histerezis sınırının altına düştüğünde ilettime geçer veya üst histerezis sınırının üzerine çıktığında ise kesime gider. Böylece anahtarların açılıp kapanması ile yükselen ve azalan akım referans akımı tahrip edilir.

Bütün modülasyon tekniklerinin asıl amacı; maksimum temel bileşenlerle birlikte minimum harmoniklere sahip değişken çıkış elde etmektir. Bu teknik geleneksel tekniklerden şu üstün özelliklerinden dolayı çok popülerdir;

- Geniş lineer modülasyon aralığında DGM ile birlikte; 3. harmonikleri otomatik olarak enjekte etmeyi başarır
- Düzgün DGM veya diğer sinüs tabanlı modülasyon metodlarından veya diğer optimize harmoniklerden daha düşük tabanlı band harmoniklerine sahiptir.
- Geleneksel modülasyonlardan %15 daha fazla çıkış voltajına sahiptir, örneğin DA hat kullanımı.
- DA gerilimini daha verimli kullanır.
- Uzak vektör modülasyonu, SDGM' in çıkış kapasitesini, hat boyu voltaj, çıkış dalga formunu değiştirmeksizin artırır.

Uzak vektör DGM tekniğinde oldukça ulaşılabilen maksimum çıkış gerilimi, evirici kapasitesinin yaklaşık %90'nının kullanılmasına imkan verir. Bu modülasyon tekniği, süper harmonik performansını, DA hattın optimum kullanımını, düşük akım dalgalanmasını ve modülasyon indeksi aralığının genişletilmesini sağlar.

Bu DGM tekniğinde herhangi bir karşılaştırma işlemi yapılmaz. Anahtar elemanlarının iletme geçme ve kesime gitme süreleri dijital olarak hesaplanır. Bu yüzden uzak vektör DGM tekniğinde sinüzoidal DGM tekniğindeki gibi taşıyıcı ve referans dalga şekillerine ihtiyaç yoktur.



Şekil 4.12. Üç fazlı gerilim beslemeli DGM evirici.

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

$$\begin{bmatrix} V_{ab} \\ V_{bc} \\ V_{ca} \end{bmatrix} = V_{da} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

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

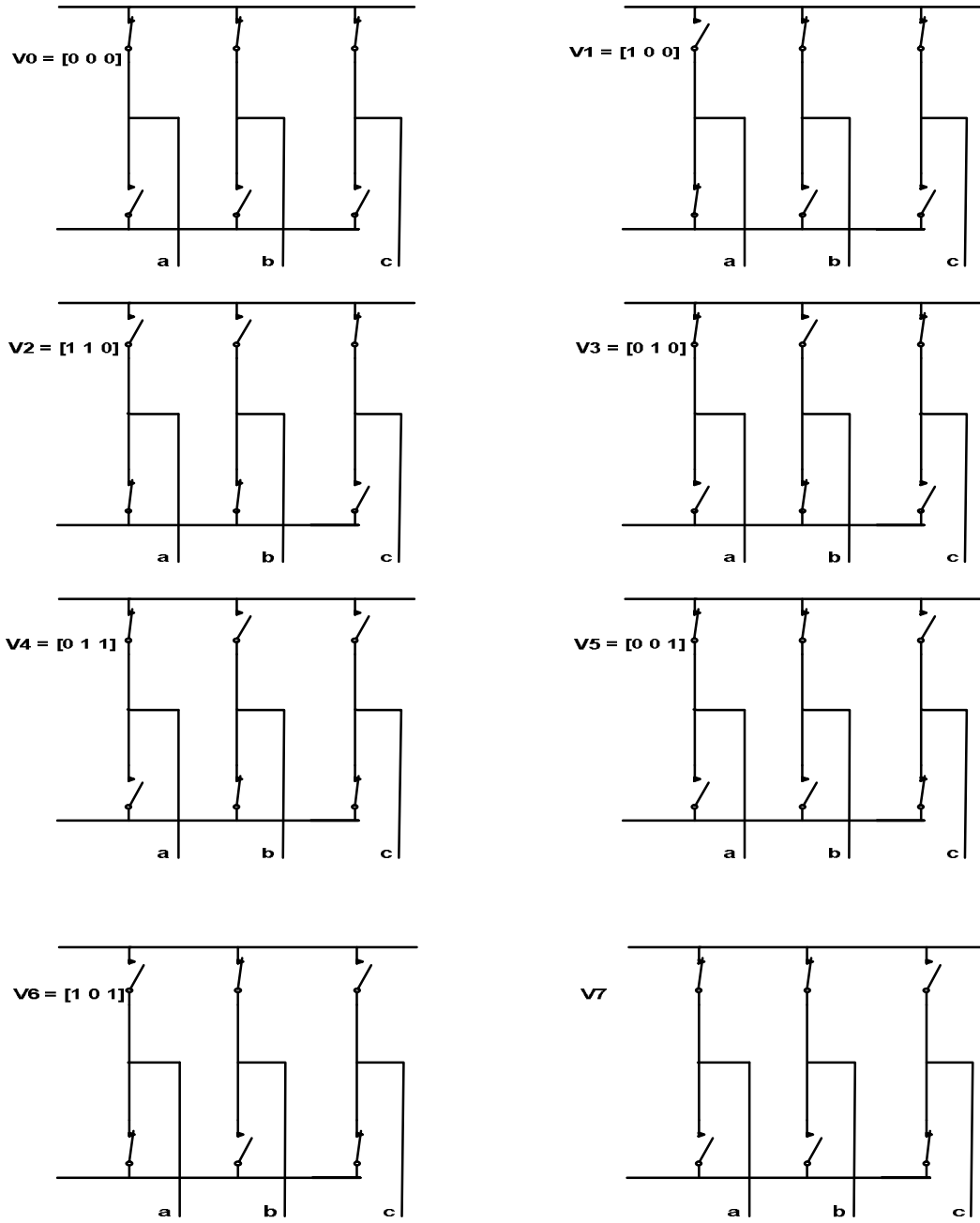
$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \frac{V_{da}}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

Şekil 4.13' teki devrede üst kollarındaki üç güç anahtarının sekiz değişik anahtarlama kombinasyonu bulunmaktadır. Alt kollarındaki anahtarlama durumları ise üstteki anahtarların tam tersidir. (5.4) ve (5.5) eşitliklerinde elde edilen sekiz farklı anahtarlama durumu, V_{da} cinsinden çıkış faz-nötr ve faz-faz gerilimleri Tablo 4.1'te verilmiştir.

Şekil 4.15'te ise sekiz değişik anahtarlama durumuna karşılık gelen evirici gerilim vektörleri ($V_{k(a \ b \ c)}$, $k = 0 \dots 7$) verilmiştir.

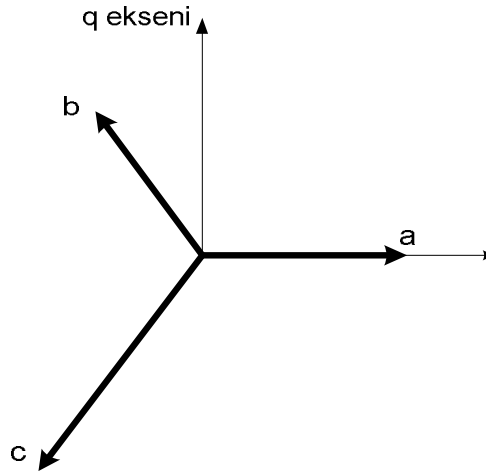
Tablo 4.1. Anahtarlama vektörleri, çıkış faz-faz ve faz-nötr gerilimleri

Gerilim vektörleri	Anahtarlama Durumları			Faz-Nötr Gerilimleri(V_{da}^*)			Faz-Faz Gerilimleri(V_{da}^{*})		
	a	b	c	V_{an}	V_{bn}	V_{cn}	V_{ab}	V_{bc}	V_{ca}
V_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	1	0	0	2/3	-1/3	-1/3	1	0	-1
V_2	1	1	0	1/3	1/3	-2/3	0	1	-1
V_3	0	1	0	-1/3	2/3	-1/3	-1	1	0
V_4	0	1	1	-2/3	1/3	1/3	-1	0	1
V_5	0	0	1	-1/3	-1/3	2/3	0	-1	1
V_6	1	0	1	1/3	-2/3	1/3	1	-1	0
V_7	1	1	1	0	0	0	0	0	0



Şekil 4.13. Evirici gerilim vektörleri (V_0 - V_7)

Uzay vektör DGM tekniğini uygulayabilmek için referans düzlemindeki gerilim denklemlerinin, şekil 4.14’teki gibi yatay (d) ve dikey (q) eksenlerinden oluşan dq referans düzlemine dönüştürülmesi gerekmektedir.



Şekil 4.14. abc ve dq referans düzlemleri

İki referans düzlemi arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$F_{dq0} = K_s \cdot f_{abc} \quad (5.6)$$

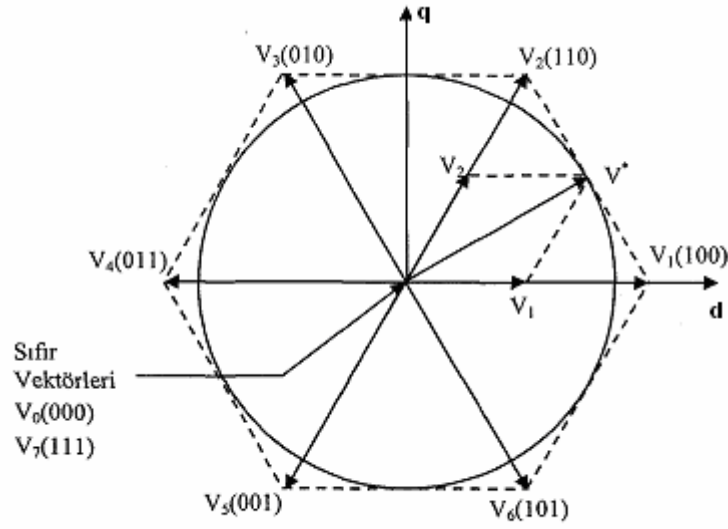
Bu eşitlikteki K_s dönüştürme katsayısı ve f ise akım veya gerilim değişkenini ifade eder.

Aşağıdaki şekilde tanımlanırlar;

$$K_s = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

Bu dönüştürme işleminin sonucunda, 6 adet aktif vektör ve 2 adet sıfır vektörü ortaya çıkmaktadır. Aktif vektörler (V_1 - V_6) şekil 4.15’de görülen altıgenin köşe noktalarını oluşturlar ve yükün güç ihtiyacını karşılarlar. Birbirine komşu iki aktif vektörün arasındaki açı 60° ’dir. Sıfır vektörler (V_0 ve V_7) ise orijinde yer alırlar ve yüke sıfır gerilim uygulanır. Aynı dönüşüm, d-q düzleminde referans gerilim vektörü referans gerilim vektörü V_{ref} ’i elde etmek için istenen çıkış gerilimine uygulanabilir.

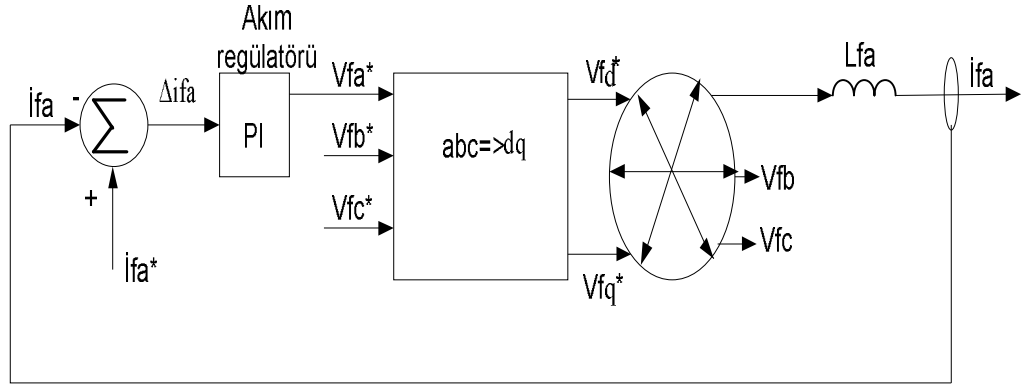
Uzay vektör DGM tekniğinin amacı, sekiz anahtarlama düzenini kullanarak referans gerilim vektörü V_{ref} ’i yaklaşık olarak elde etmektir. Bunun için küçük T_s ’lik bir anahtarlama periyodunda istenen evirici çıkış geriliminin sabit olduğu kabul edilir [38].



Şekil 4.15. Uzak vektör DGM anahtarlama vektörleri.

Sinüzoidal DGM ve Histerezis bant DGM’de farklı kollardaki anahtarlar birbirinden bağımsız olarak kontrol edilmektedir. Uzak vektör DGM ise her bir koldaki anahtarlar birbirine bağımlı olarak kontrol edilir. Aktif anahtarlama vektörleri d-q düzlemini 6 bölgeye ayırır. Şekil 4.15’te bu vektörlerin d-q düzleminde dağılımı gösterilmektedir. Sıfır anahtarlama vektörleri ise bu altıgenin merkezine yerleştirilir. Şekil 4.15’te referans gerilim vektörü 1. bölgede gösterilmiştir. V_1 , V_2 aktif anahtarlama vektörleri ve sıfır vektörlerinden biri kullanılarak bu referans gerilim elde edilir. V_1 anahtarlama vektöründen V_2 anahtarlama vektörüne geçişte sadece bir anahtarın konumu değişmekte ve V_2 anahtarlama vektöründen V_7 sıfırlama vektörüne geçişte de sadece bir anahtarın konumu değişmektedir. 60° ’lik 1. bölge için bu üç vektör kullanılır. Referans gerilim vektörü diğer bölgelere geçtiğinde de aynı şekilde kendine en yakın anahtarlama vektörleri ve sıfır vektörlerinden biri seçilerek referans gerilim elde edilir. Uzak vektörü DGM’de, diğer DGM yöntemlerine göre kayıpları bir anahtarlama vektöründen diğerine geçişte sadece bir anahtar konum değiştirdiği için daha azdır.

Uzak vektör DGM, sinüzoidal DGM’ye benzer olarak evirici çıkış gerilimini elde etmek için evirici çıkış akımıyla referans akım karşılaştırılarak hata sinyali (Δi_f) üretilir(Şekil 4.16). Bu hata sinyali PI regülatörden geçirilerek gerilim sinyali (V_f^*) elde edilir. Daha sonra bu gerilim sinyalleri iki fazlı d-q durağan referans yapıya çevrilerek anahtarlama sinyalleri üretilir[25,2].



Şekil 4.16. Uzak vektör DGM.

Uzak vektör DGM tekniği üç adımda gerçekleştirilir;

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

Adım 1:

a, b, c çatısından d-q çatısına dönüşüm yapılır;

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

$$V_d = V_{an} - 1/2 V_{bn} - 1/2 V_{cn}$$

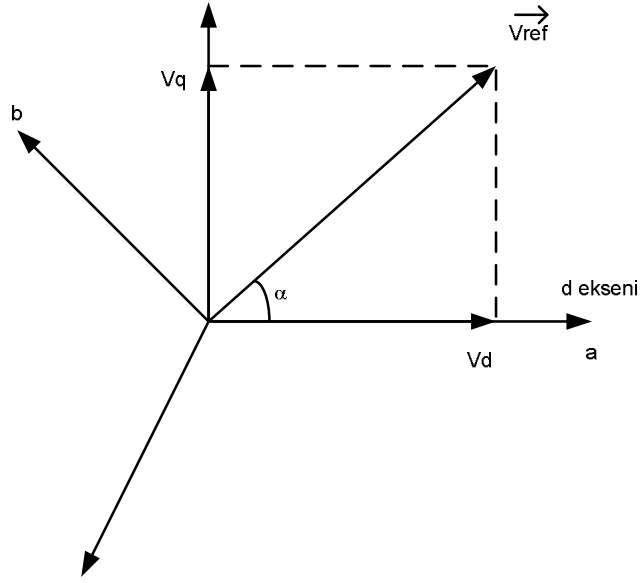
$$V_q = 0 + V_{bn} \cdot \cos 30 - V_{cn} \cdot \cos 30$$

$$V_q = \sqrt{3}/2 V_{bn} - \sqrt{3}/2 V_{cn}$$

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

Buna göre;

$$|V_{ref}| = \sqrt{V_d^2 + V_q^2} \text{ ve } \alpha = \tan^{-1} \left(\frac{V_q}{V_d} \right) = \omega t = 2\pi ft \text{ olarak hesaplanır.}$$



Şekil. 4. 17. Uzay gerilim vektörü ve d-q bileşenleri.

Adım 2: Anahtarlama sürelerinin (T_0 , T_1 , T_2) hesaplanması;

1. Sektör için hesaplanırsa;

$$\int_0^{T_s/2} \bar{V}_{ref} dt = \int_0^{T_1} \bar{V}_1 dt + \int_{T_1}^{T_1+T_2} \bar{V}_2 dt + \int_{T_1+T_2}^{T_s/2} \bar{V}_0 dt$$

$$\vec{V}_{ref} \cdot \frac{T_s}{2} = V_k \cdot T_k + V_{k+1} \cdot T_{k+1} \quad (5.9)$$

$$T_s/2 * \bar{V}_{ref} = (T_1 * V_1 + T_2 * V_2)$$

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

Buradan T_1 ve T_2 süreleri çekilirse;

$$\begin{aligned}
T_1 &= \frac{T_s}{2} * k * \sin\left(\frac{\pi}{3} - \alpha\right) \\
T_2 &= \frac{T_s}{2} * k * \frac{\sin(\alpha)}{\sin\left(\frac{\pi}{3}\right)} \\
T_0 &= \frac{T_s}{2} - T_1 - T_2
\end{aligned} \tag{5.10}$$

burada $k = \frac{\left| \vec{V}_{ref} \right|}{\frac{2}{3} \cdot V_{dc}}$

Yukarıda bulunan 5.9 eşitliğine göre;

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} \cdot \frac{T_s}{2} &= \frac{2}{3} \cdot V \left[T_k \begin{pmatrix} \cos \frac{k-1}{3} \cdot \pi \\ \sin \frac{k-1}{3} \cdot \pi \end{pmatrix} + T_{k+1} \begin{pmatrix} \cos \frac{k\pi}{3} \\ \sin \frac{k\pi}{3} \end{pmatrix} \right] \\
\begin{bmatrix} T_k \\ T_{k+1} \end{bmatrix} &= \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{T_s}{V} \cdot \begin{bmatrix} \sin \frac{k\pi}{3} & -\cos \frac{k\pi}{3} \\ -\sin \frac{(k-1)\pi}{3} & \cos \frac{(k-1)\pi}{3} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} \\
T_7 + T_0 &= \frac{T_s}{2} - (T_k + T_{k+1})
\end{aligned} \tag{5.11}$$

k=1-....-6 ve $0^0 \leq \alpha \leq 60^0$,dir.

Herhangi bir sektördeki anahtarlama süresi şu şekilde hesaplanır. z = 1-...-6 arasında herhangi bir sektör numarası olmak üzere;

Üstteki $T_0 = \frac{T_s}{2} - T_1 - T_2$ eşitliğinin matematiksel açılımı;

$$\begin{aligned}
T_1 &= \frac{\sqrt{3}}{V_{dc}} \cdot \frac{T_s}{2} \cdot \left| V_{ref}^- \right| \cdot \left(\sin\left(\frac{\pi}{3} - \alpha + \frac{z-1}{3}\pi\right) \right) \\
&= \frac{\sqrt{3}}{V_{dc}} \cdot \frac{T_s}{2} \cdot \left| V_{ref}^- \right| \cdot \left(\sin\frac{z}{3}\pi - \alpha \right) \\
&= \frac{\sqrt{3}}{V_{dc}} \cdot \frac{T_s}{2} \cdot \left| V_{ref}^- \right| \cdot \left(\sin\left(\frac{z}{3}\pi\right) \cdot \cos\alpha - \cos\left(\frac{z}{3}\pi\right) \cdot \sin\alpha \right)
\end{aligned} \tag{5.12}$$

$$\begin{aligned}
T_2 &= \frac{\sqrt{3}}{V_{dc}} \cdot \frac{T_s}{2} \cdot \left| V_{ref}^- \right| \cdot \left(\sin\left(\alpha - \frac{z-1}{3}\pi\right) \right) \\
&= \frac{\sqrt{3}}{V_{dc}} \cdot \frac{T_s}{2} \cdot \left| V_{ref}^- \right| \cdot \left(-\cos\alpha \cdot \sin\left(\frac{z-1}{3}\pi\right) + \sin\alpha \cdot \cos\frac{z-1}{3}\pi \right)
\end{aligned} \tag{5.13}$$

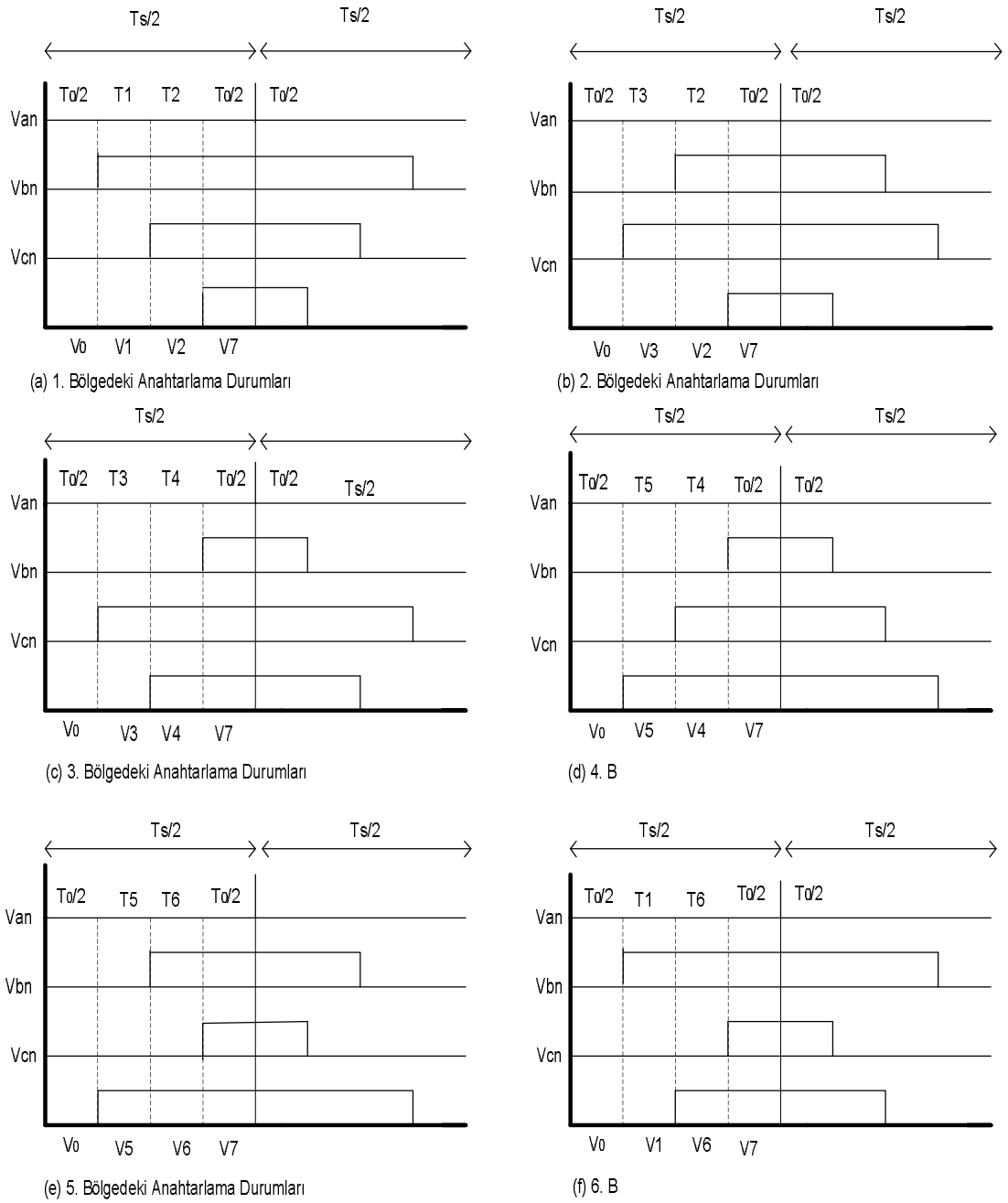
şeklinde olur.

Adım 3:

Her bir anahtar için gereken anahtarlama sinyalleri hesaplanır. Her bir bölge için anahtarlama sırası şöyle olur;

Tablo 4.2. d, q aktif durum vektörleri

a	b	c	Vd	Vq	Vektör
0	0	0	0	0	$\vec{V}_0$
0	0	1	$-\frac{V}{3}$	$-\frac{V}{\sqrt{3}}$	$\vec{V}_5$
0	1	0	$-\frac{V}{3}$	$\frac{V}{\sqrt{3}}$	$\vec{V}_3$
0	1	1	$-\frac{2V}{3}$	0	$\vec{V}_4$
1	0	0	$\frac{2V}{3}$	0	$\vec{V}_1$
1	0	1	$\frac{V}{3}$	$-\frac{V}{\sqrt{3}}$	$\vec{V}_6$
1	1	0	$\frac{V}{3}$	$\frac{V}{\sqrt{3}}$	$\vec{V}_2$
1	1	1	0	0	$\vec{V}_7$



Şekil. 4.18. (a), (b), (c), (d), (e), (f) uzay vektör DGM' de altı bölge için anahtarlama durumları

BÖLÜM 5

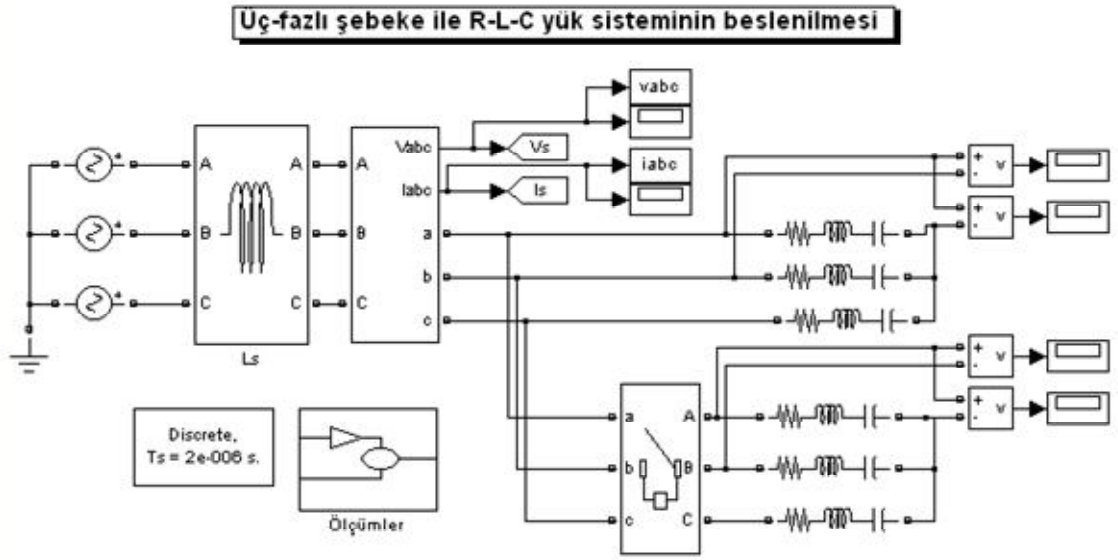
5. PARALEL AKTİF GÜÇ FİLTRESİ İÇİN BENZETİM ÇALIŞMALARI

Bu bölümde Matlab/Simulink blokları kullanılarak yapılan benzetim çalışmaları yer almaktadır. Matlab/Simulink ortamı içerisine Matlab/Power System Blockset’indeki blokların yerleştirilmesi ile güç elektroniği devrelerinin benzetimi kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Benzetimlerde ilk olarak doğrusal bir yük şebekeden beslenerek elde edilen dalga şekilleri harmonik analizleri ile birlikte verilmiştir. Daha sonra bu yük sistemine paralel olarak çalışan doğrusal olmayan bir yük devreye alınarak şebekeden çekilen akımların değişimleri incelenmiştir. Ardından, yük sisteminin doğrusal olmayan iki yük sisteminden oluşması durumu ele alınarak benzetimler yapılmış ve elde edilen sonuçlar verilmiştir. Yük sisteminin doğrusal olmayan bir yükten ibaret olduğunda şebekeden çekilen akımların sinüzoidal forma yaklaştırılması ve toplam harmonik bozulmalarının azaltılması için araya yerleştirilen bir AGF ile ilgili benzetimler bölüm 5.4’de yer verilmiştir.

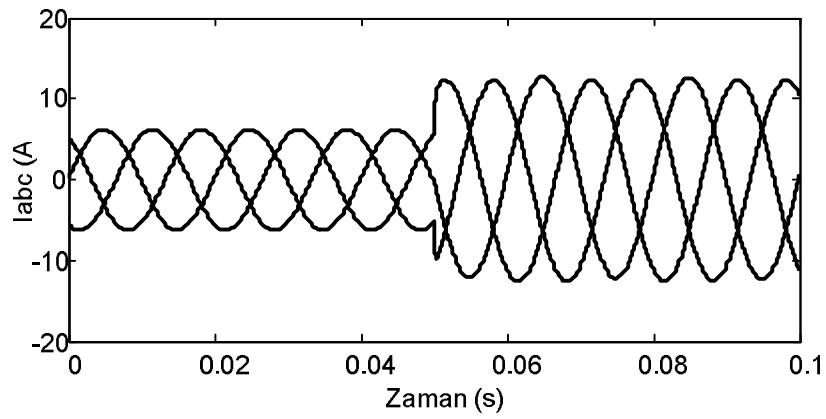
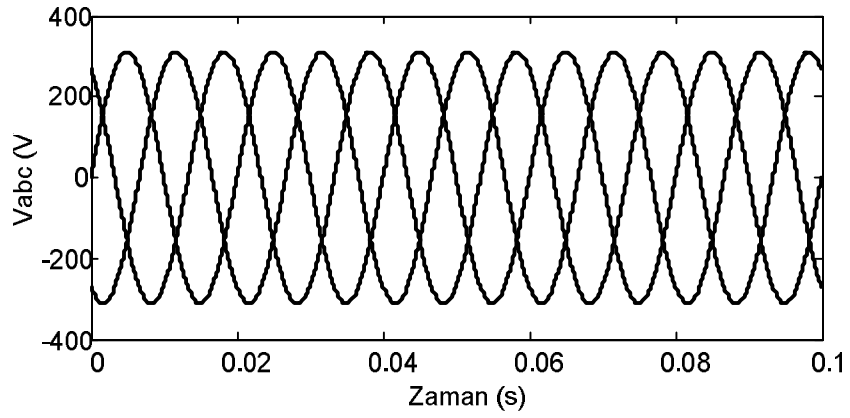
Matlab/Simulink ortamında yapılan benzetimlerde evirici devresi için IGBT anahtar modeli kullanılmıştır. Yapılan benzetimlerde DGM’li işaret üretiminde eviricinin aynı kolu üzerindeki güç anahtarları için gerekli olan ölü-zaman dikkate alınmamıştır.

5.1. Üç-fazlı Şebekeden Doğrusal Yük Sistemlerinin Beslenilmesi

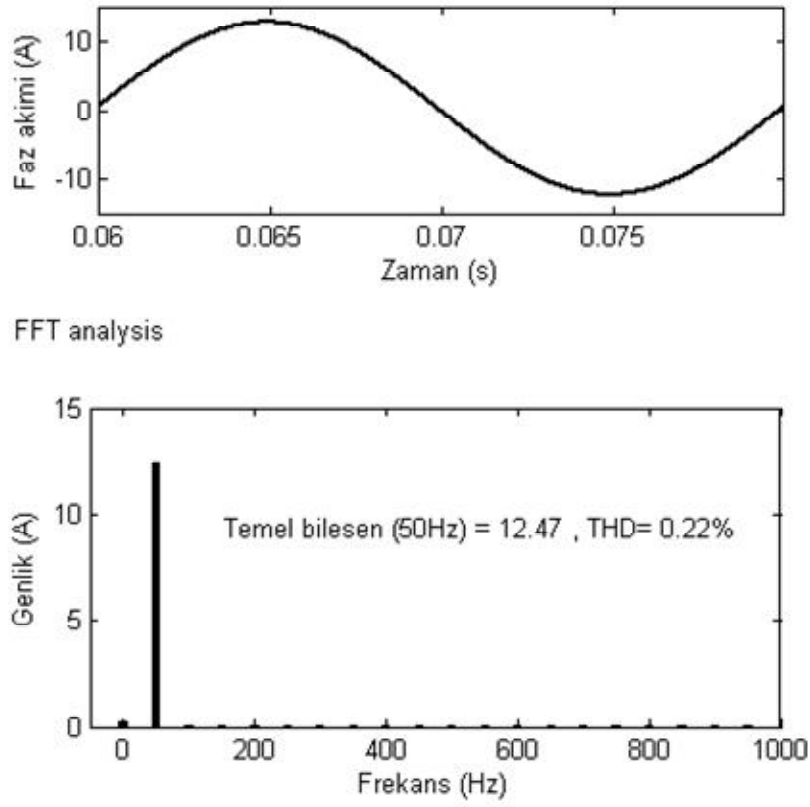
Paralel bağlı iki doğrusal yük sisteminin şebekeden beslenilmesi ilişkin Matlab/Simulink’de oluşturulan bloklar Şekil 5.1’de görülmektedir. Burada, yük sistemleri $R=50\Omega$, $L=5\text{mH}$ ve $C=1000\mu\text{F}$ değerlerine sahiptir. Benzetimler 0-0.05s aralığı için tek bir yük sistemi ve 0.05s’de aynı değerlere sahip ikinci bir yük devreye alınarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen dalga şekilleri ve şebekeden çekilen akımın harmonik spektrumu Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’de verilmiştir. Doğrusal olmayan yük sistemleri şebekeden beslenildiğinde şebekeden çekilen akımlar düşük harmonik bozulmaya sahip olan sinüzoidal bir dalga şekli olmaktadır (Şekil 5.3).



Şekil 5.1. Paralel bağlı iki doğrusal yük sisteminin şebekeden beslenilmesi.



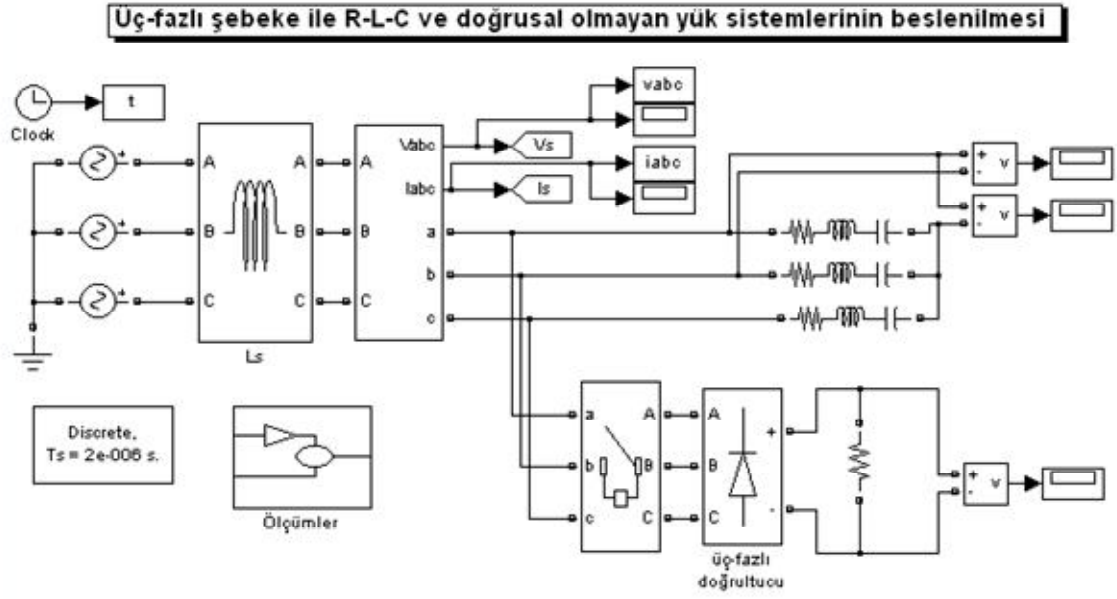
Şekil 5.2. Doğrusal yük sistemlerinin şebekeden beslenilmesi. (a) Faz gerilimleri, (b) Faz akımları.



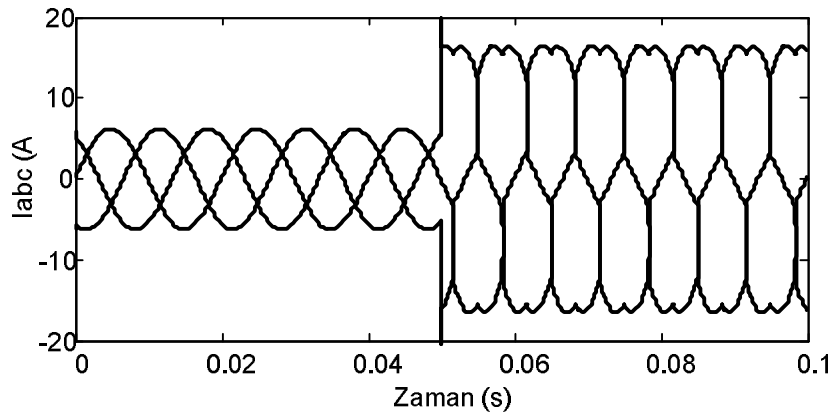
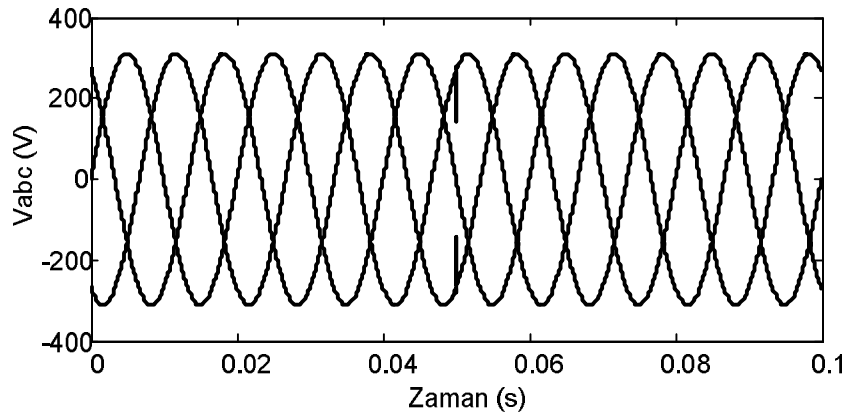
Şekil 5.3. Şebekeden çekilen bir faz akımına ilişkin dalga şekli ve harmonik spektrumu

5.2. Üç-fazlı Şebekeden Doğrusal ve Doğrusal olmayan Yük Sistemlerinin Beslenilmesi

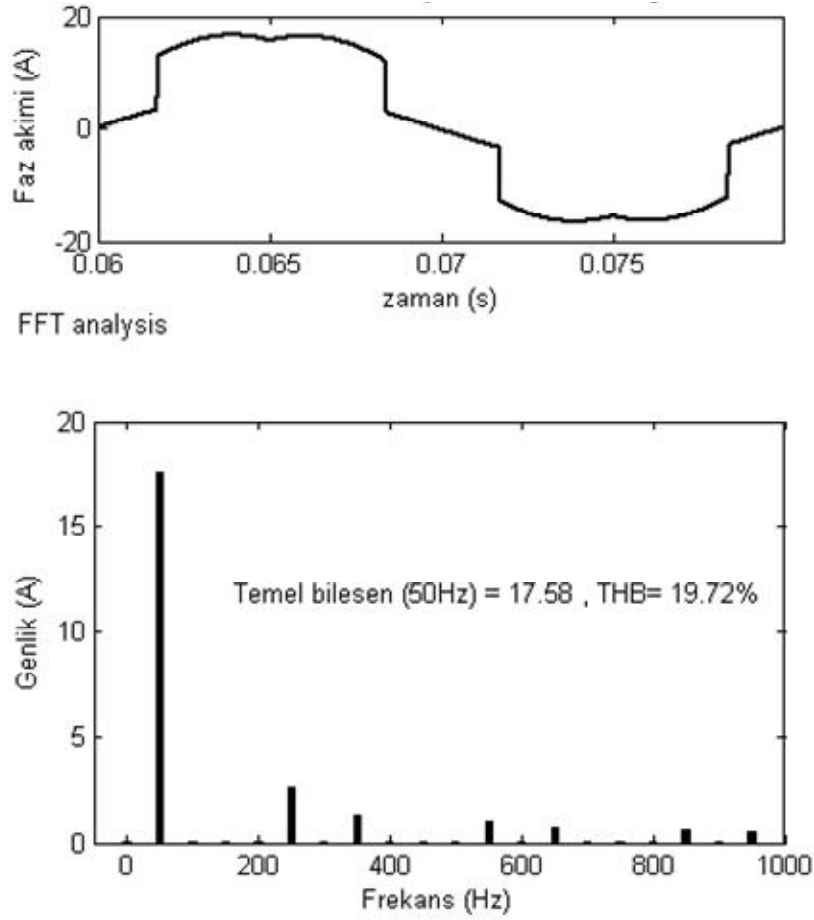
Şekil 5.4'te paralel bağlı doğrusal ve doğrusal olmayan yük sistemleri için oluşturulan Simulink blokları görülmektedir. Bu şekilde çalışan bir yük sistemi için $t=0s$ 'den itibaren doğrusal yük devrede iken $t=0.05s$ 'de doğrusal olmayan yük devreye alınarak benzetimler yapılmıştır. Doğrusal olmayan yük sistemi bir üç-fazlı köprü doğrultucu ve $R=50\Omega$ 'luk bir direnç ile oluşturulmuştur. Bu duruma ilişkin dalga şekilleri Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da verilmiştir. Doğrusal olmayan yükler şebekeden beslenildiğinde şebekeden çekilen akımın THB değeri artırmaktadır (Şekil 5.6).



Şekil 5.4. Paralel bağlı doğrusal ve doğrusal olmayan yük sistemlerinin şebekeden beslenilmesi.



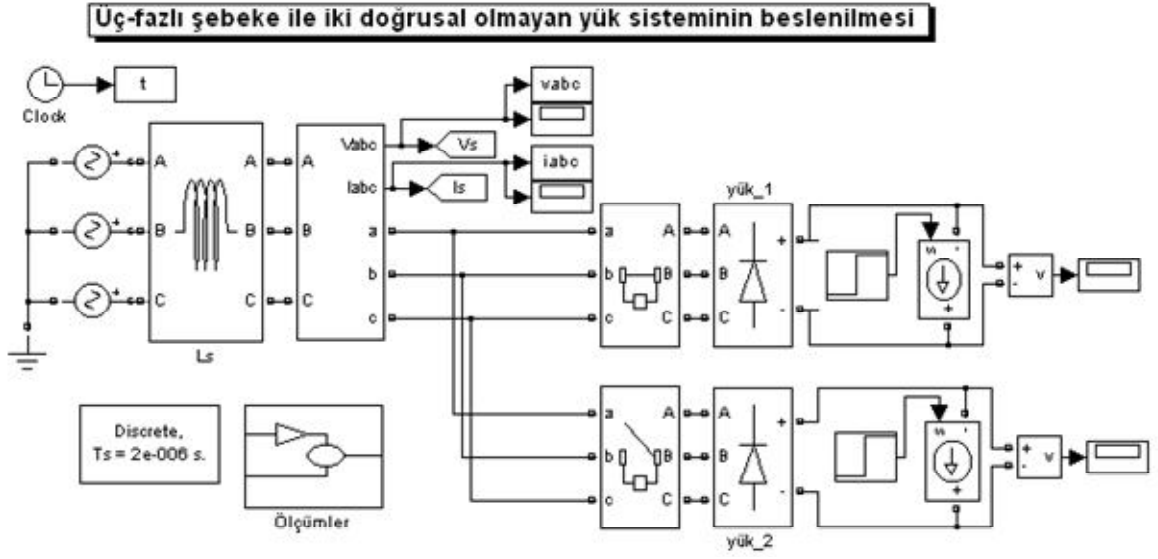
Şekil 5.5. Doğrusal ve doğrusal olmayan yük sistemlerinin şebekeden beslenilmesi. (a) Faz gerilimleri, (b) Faz akımları.



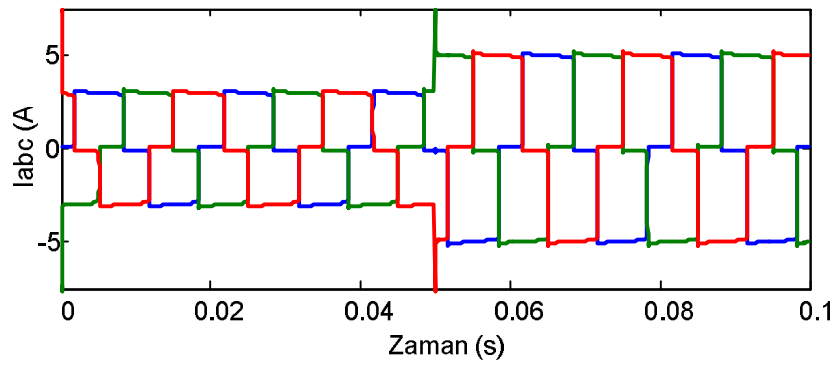
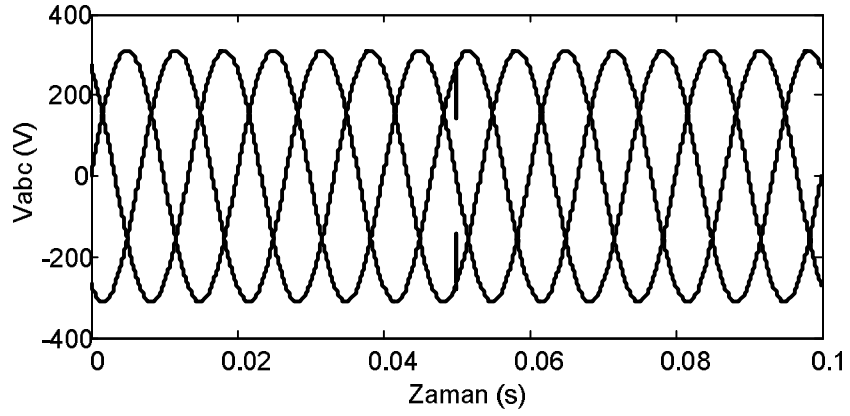
Şekil 5.6. Şebekeden çekilen bir faz akımına ilişkin dalga şekli ve harmonik spektrumu

5.3. Üç-fazlı Şebekeden İki Doğrusal Olmayan Yük Sisteminin Beslenilmesi

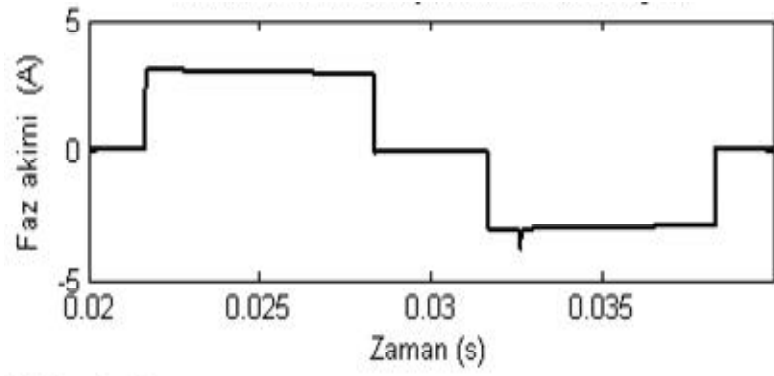
Bir üç-fazlı köprü doğrultucu ve bir sabit akım kaynağı ile oluşturulmuş doğrusal olmayan yük sistemine ilişkin Simulink blokları Şekil 5.7’de görülmektedir. Burada $t=0s$ ’de tek bir yük sistemi devrede iken $t=0.05s$ ’de ikinci yük devreye alınmış ve elde edilen dalga şekilleri Şekil 5.8 ile Şekil 5.10 arasında verilmiştir. Yapılan benzetimlerde, köprü doğrultucu çıkışlarında $t=0s$ ’de devreye alınan birinci yük 3A ve $t=0.05s$ ’de devreye alınan ikinci yük ise 5A gibi bir sabit akım çekmektedir. Doğrultucuların giriş akımları şebekeden çekilen akımı oluşturmaktadır. Bu akımlar kare dalga formundadır ve harmonikler içermektedirler (Şekil 5.9 ve Şekil 5.10). Şebekeden çekilen akımlarının harmonik bileşenlerini azaltmak için pasif ve aktif güç filtreleri kullanılmaktadır. Bölüm 5.4’de bu amaç için oluşturulmuş uzay vektör DGM denetimli bir paralel AGF’ nin benzetim blokları ve elde edilen sonuçları verilmiştir.



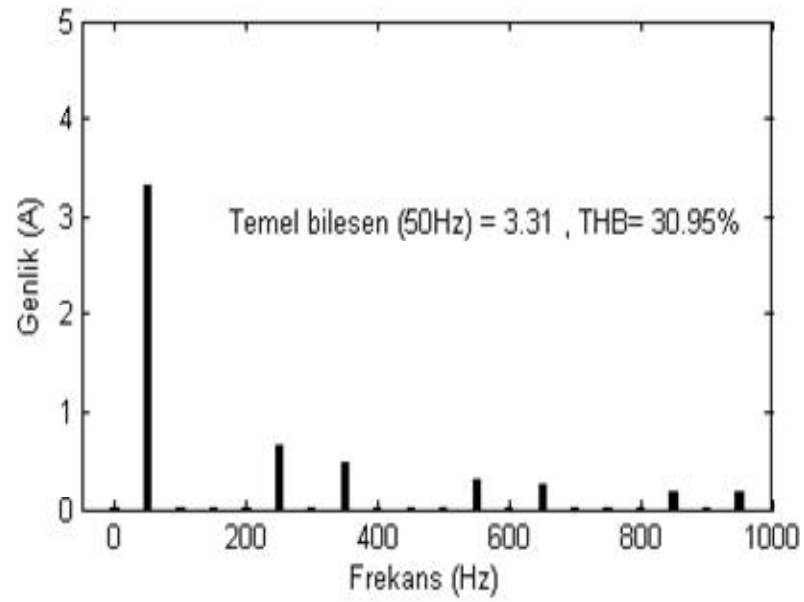
Şekil 5.7. Paralel bağlı doğrusal olmayan yük sistemlerinin şebekeden beslenilmesine ilişkin oluşturulan Simulink blokları.



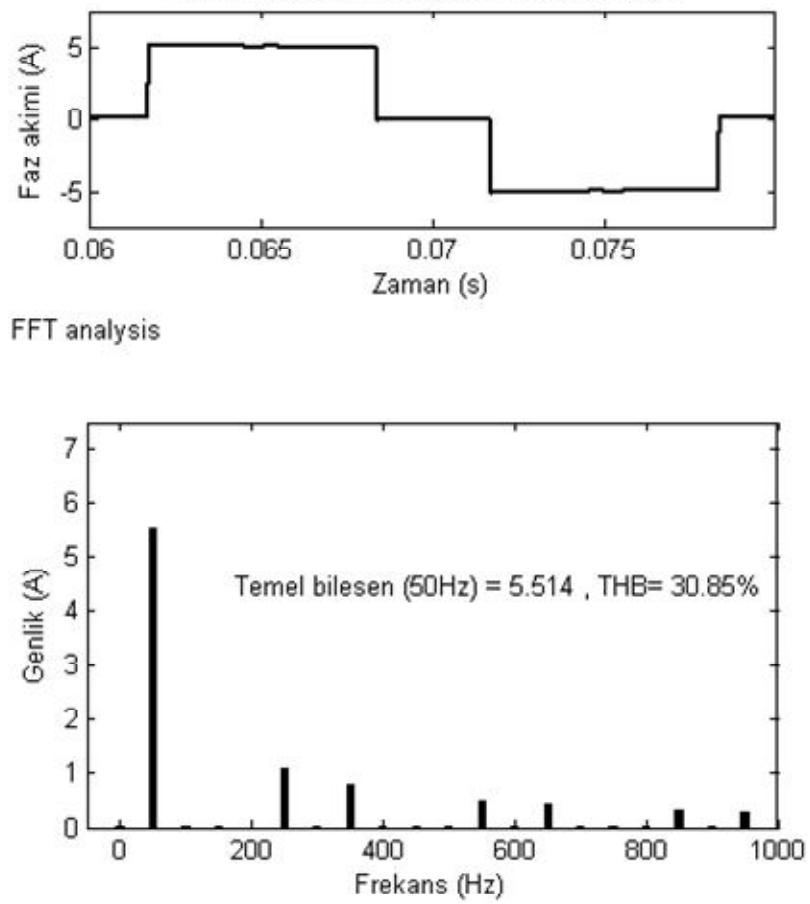
Şekil 5.8. Doğrusal olmayan yük sistemlerinin şebekeden beslenilmesi. (a) Faz gerilimleri, (b) Faz akımları.



FFT analysis



Şekil 5.9. Doğrusal olmayan yük sistemi için şebekeden çekilen bir faz akımına ilişkin dalga şekli ve harmonik spektrumu



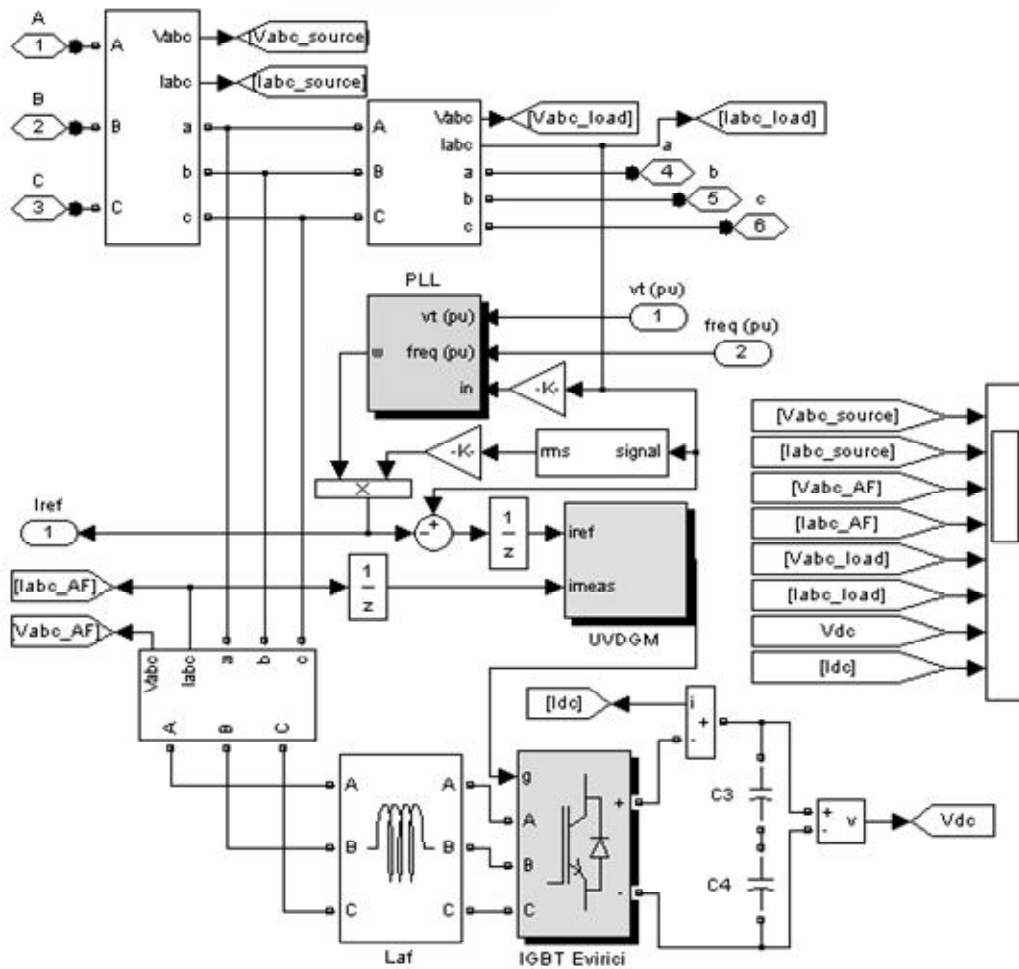
Şekil 5.10. Paralel bağlı iki doğrusal olmayan yük için şebekeden çekilen bir faz akımına ilişkin dalga şekli ve harmonik spektrumu

5.4. Uzak Vektör DGM Denetimli Paralel Aktif Güç Filtresi

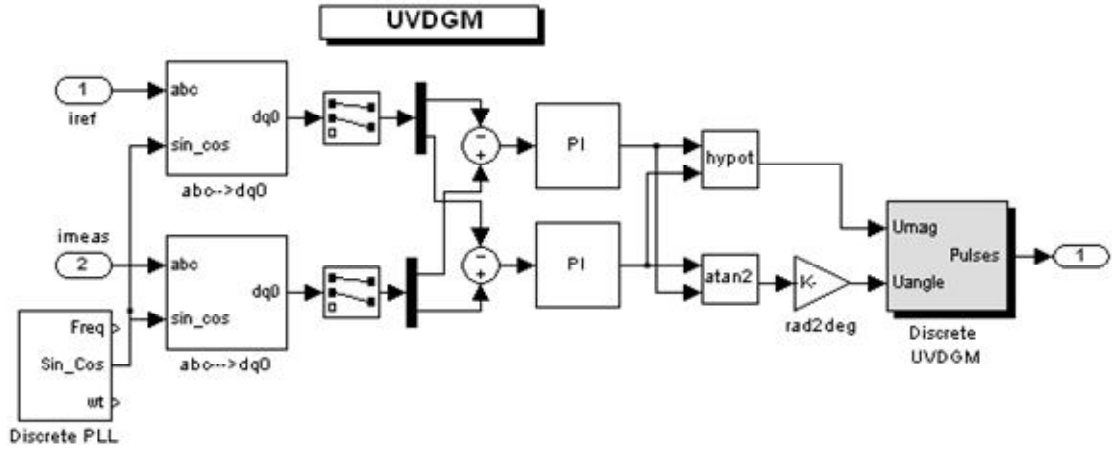
Doğrusal olmayan yük sistemlerinin şebekeden çektikleri akımın harmonik içeriğini azaltmak için farklı DGM teknikleri kullanılmaktadır. Bunlardan en çok bilinenleri; sinüzoidal DGM, histerezis DGM ve Uzak Vektör DGM teknikleridir. UVDGM tekniği doğrudan programlama tekniği olduğundan mikroişlemciler gibi donanım gerçekleştirmeler için oldukça etkilidir. Bu teknik ile modülasyon indeksi aralığı genişletilebilmekte ve harmonik bileşenler diğer DGM yöntemlerine göre önemli derecede azaltılabilmektedir.

Şekil 5.11 doğrusal ve doğrusal olmayan yük sistemleri için UVDGM denetimli paralel aktif güç filtresinin benzetim çalışması için oluşturulan simulink blokları görülmektedir. Buradaki “paralel aktif filtre” olarak belirtilen alt blok, doğrusal olmayan yüklerin şebekeden çektikleri akımlar için bir harmonik filtreleme görevini üstlenmiştir (Şekil 5.12). Bu simulink bloğunun bazı alt blokları şekil 5.13 ve Şekil 5.14’de verilmiştir.

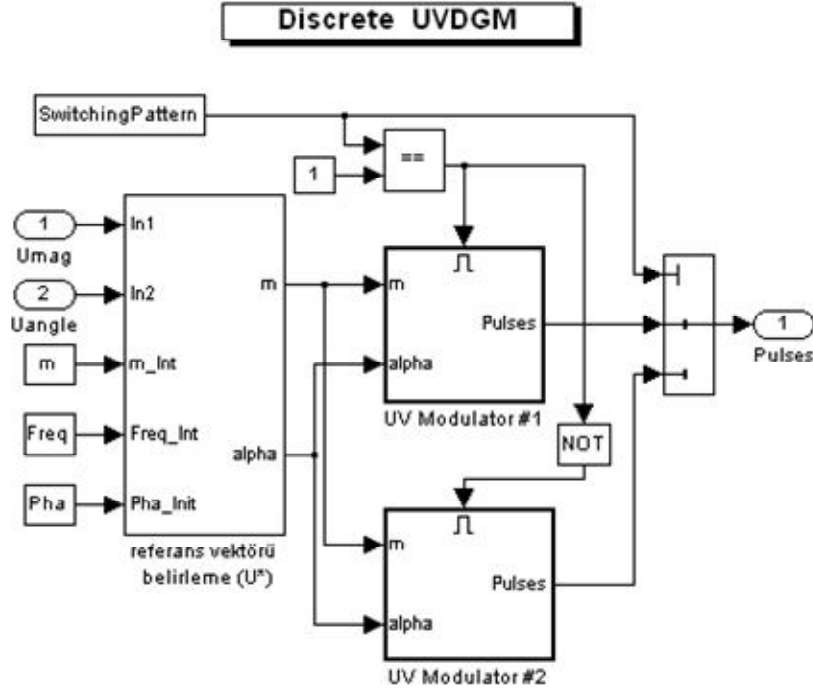
Paralel aktif filtre



57



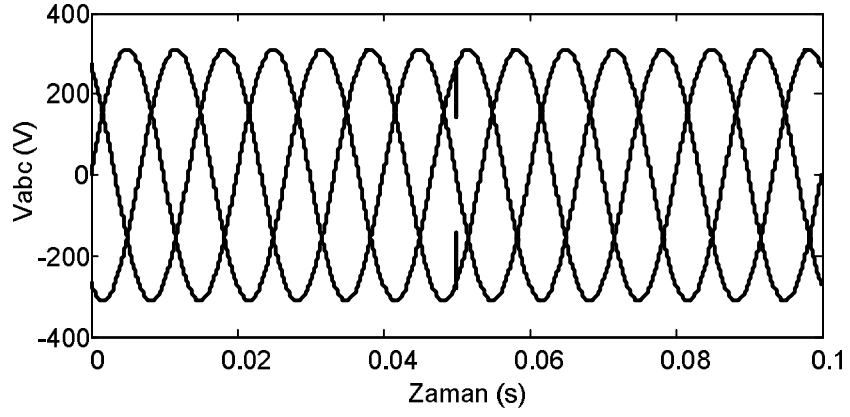
Şekil 5.13. UVDGM algoritmasının simulink blokları.



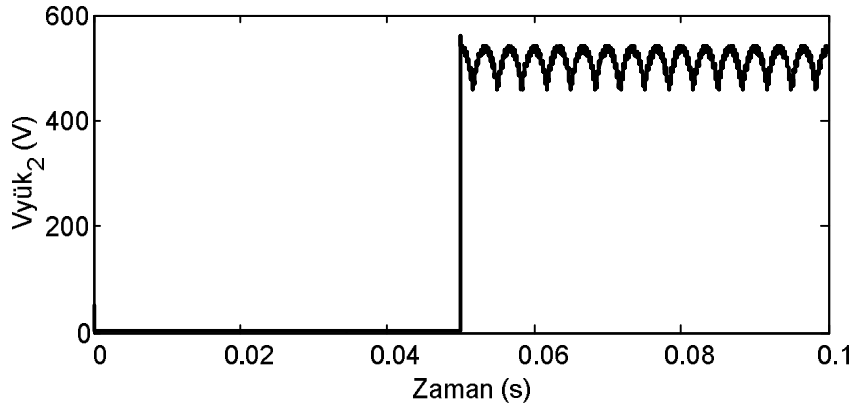
Şekil 5.14. UVDGM algoritmasının ayrı UVDGM alt simulink blokları.

Şekil 5.15 ve Şekil 5.17 arasında doğrusal ve doğrusal olmayan yük sistemleri için benzetim sonuçları görülmektedir. Burada başlangıçta doğrusal yük ile başlanılmış ve $t=0.05s$ 'de doğrusal olmayan yük devreye alınmıştır. Dalga şekillerinden görüleceği üzere şebekeden çekilen akım sinüzoidal formda ve düşük THB değerine sahip olmaktadır. Bu şekildeki harmonik filtreleme işleminde paralel aktif filtre için çalışan evirici devresi de akım çekeceğinden, şebekeden

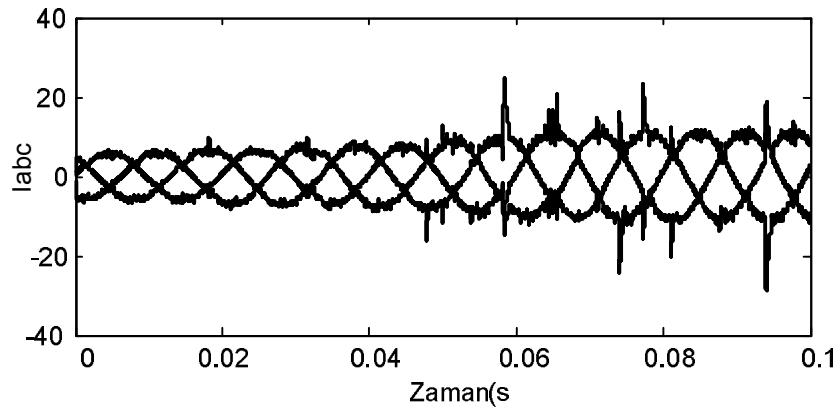
çekilen toplam akım değerinin arttığı gözlenmiştir. Bu nedenle düşük güçlü sistemler için kullanışlı olmamakla birlikte yüksek güçlü uygulamalarda daha çok tercih edilmektedir.



(a)

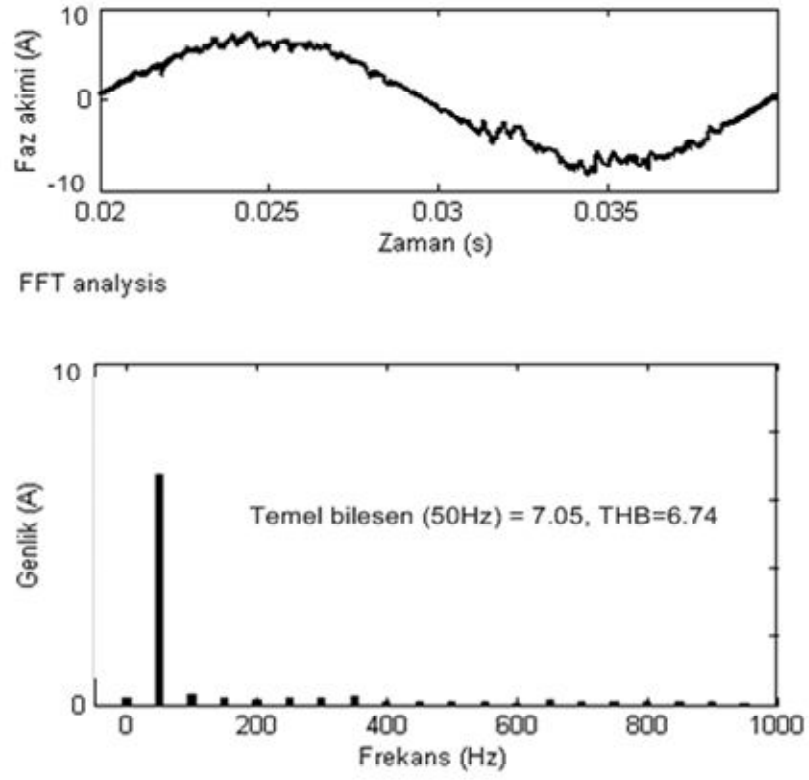


(b)

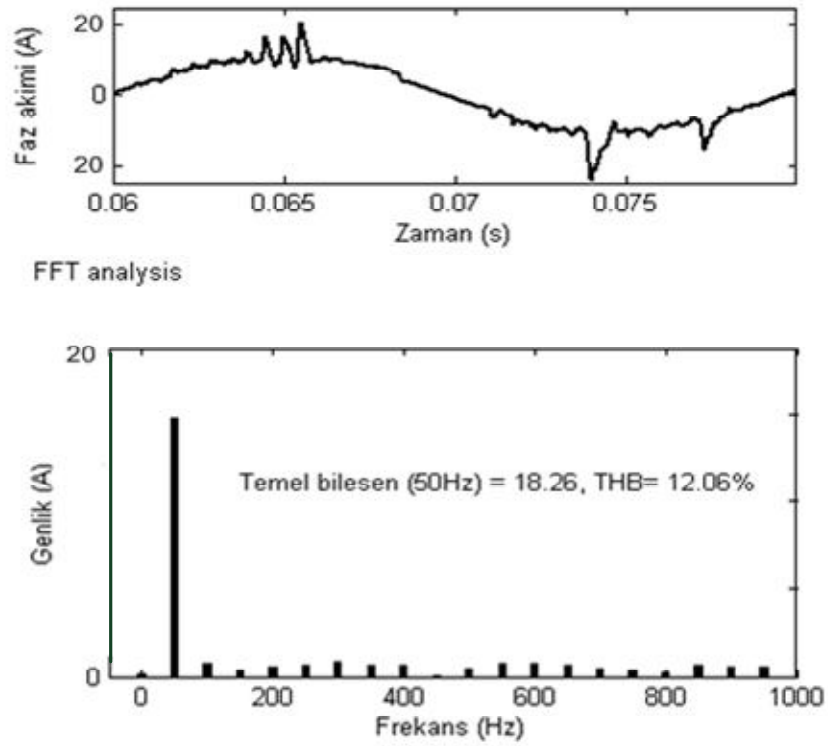


(c)

Şekil 5.15. Doğrusal ve doğrusal olmayan yük sistemlerinin şebekeden beslenilmesi. (a) Faz gerilimleri, (b) Doğrusal olmayan yük üzerindeki gerilim, (c) Faz akımları.

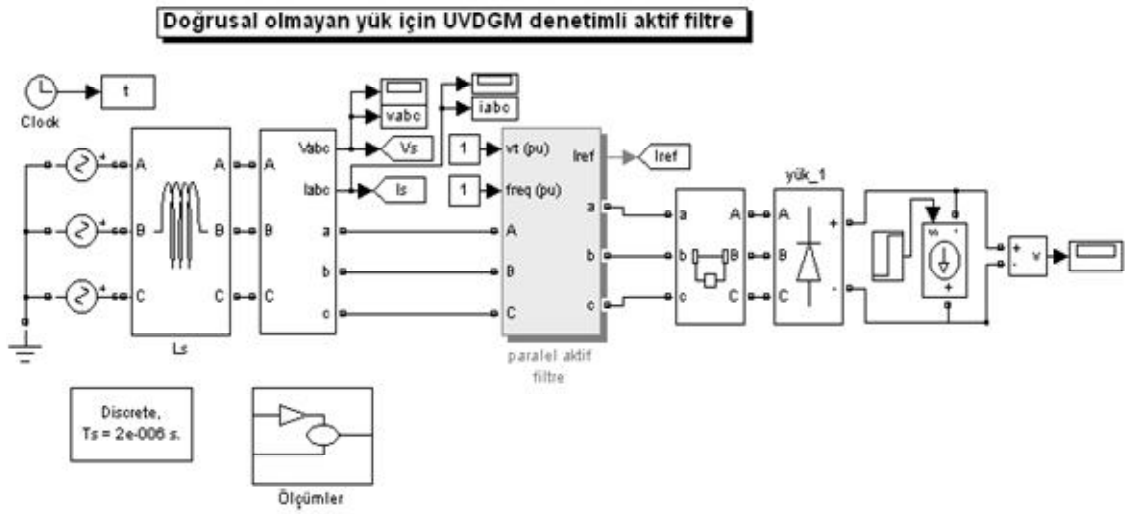


Şekil 5.16. Doğrusal yük devrede iken şebekeden çekilen bir faz akımına ilişkin dalga şekli ve harmonik spektrumu

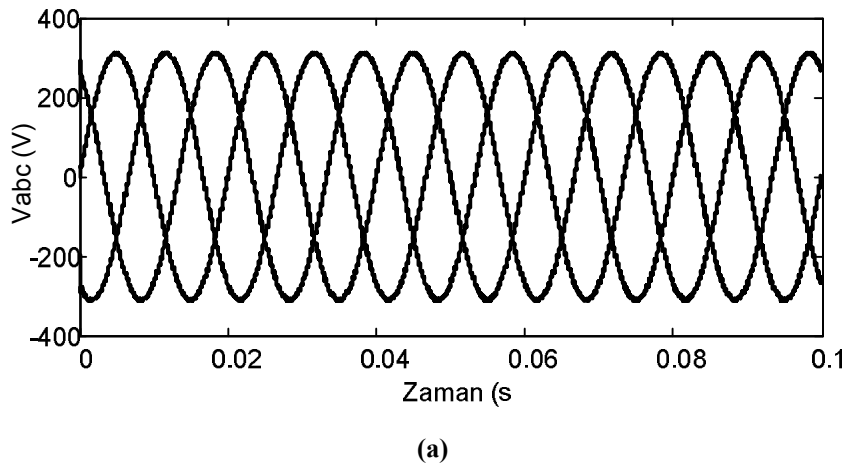


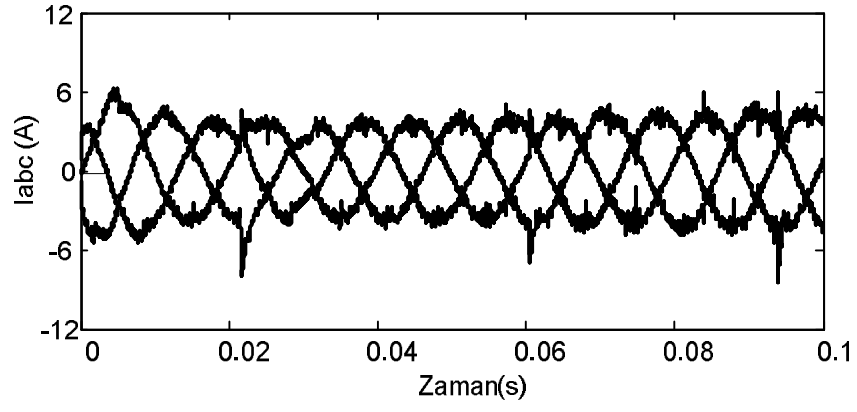
Şekil 5.17. Doğrusal olmayan yük devreye alındığında şebekeden çekilen bir faz akımına ilişkin dalga şekli ve harmonik spektrumu

Benzetim çalışmalarında en son olarak üç-fazlı doğrultucu ve bir sabit akım kaynağından oluşan yük sistemi ele alınmıştır. Bu amaç için oluşturulan simulink blokları Şekil 5.18’de görülmektedir. Buradaki analizlerde sabit akım kaynağı ilk olarak 3A değerine ayarlanmış ve $t=0.05s$ ’de 5A değerine yükseltilmiştir. Elde edilen benzetim sonuçları Şekil 5.19 ve Şekil 5.21 arasında verilmiştir. Dalga şekillerinden görüleceği üzere üç-fazlı doğrultucunun giriş akımı kare dalga formunda olmasına karşılık, şebekeden çekilen akımlar sinüzoidal formda olmaktadır ve THB değerleri de düşük değerlere sahiptir.

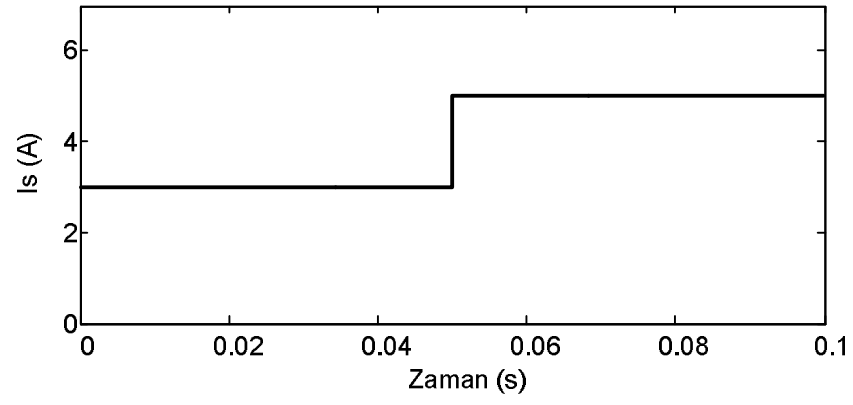


Şekil 5.18. Doğrusal olmayan yük sisteminin şebekeden beslenilmesine ilişkin oluşturulan Simulink blokları.

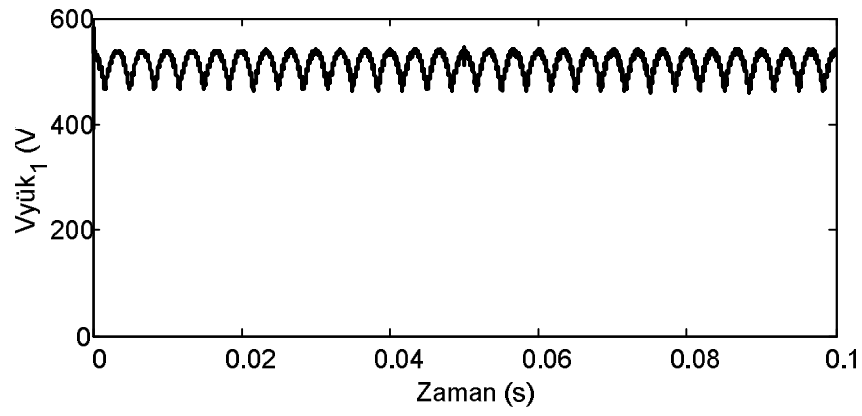




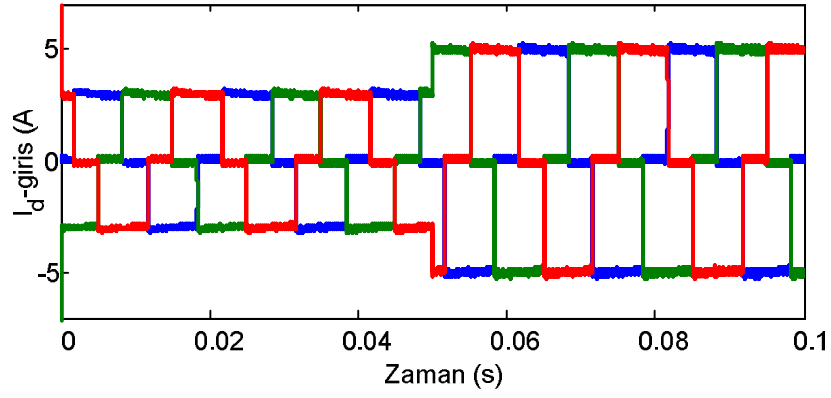
(b)



(c)

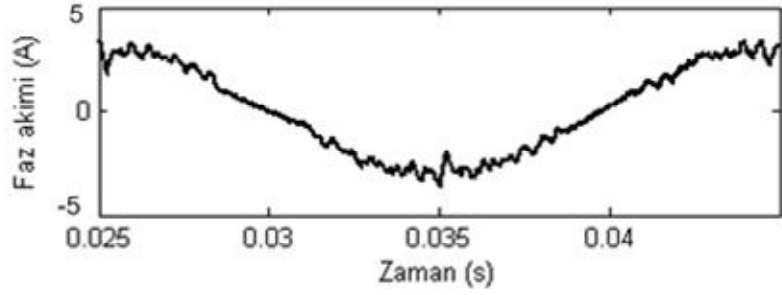


(d)

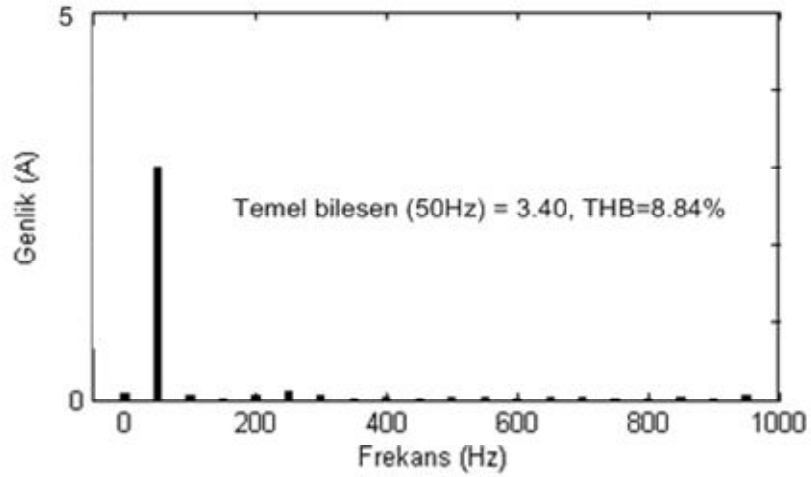


(e)

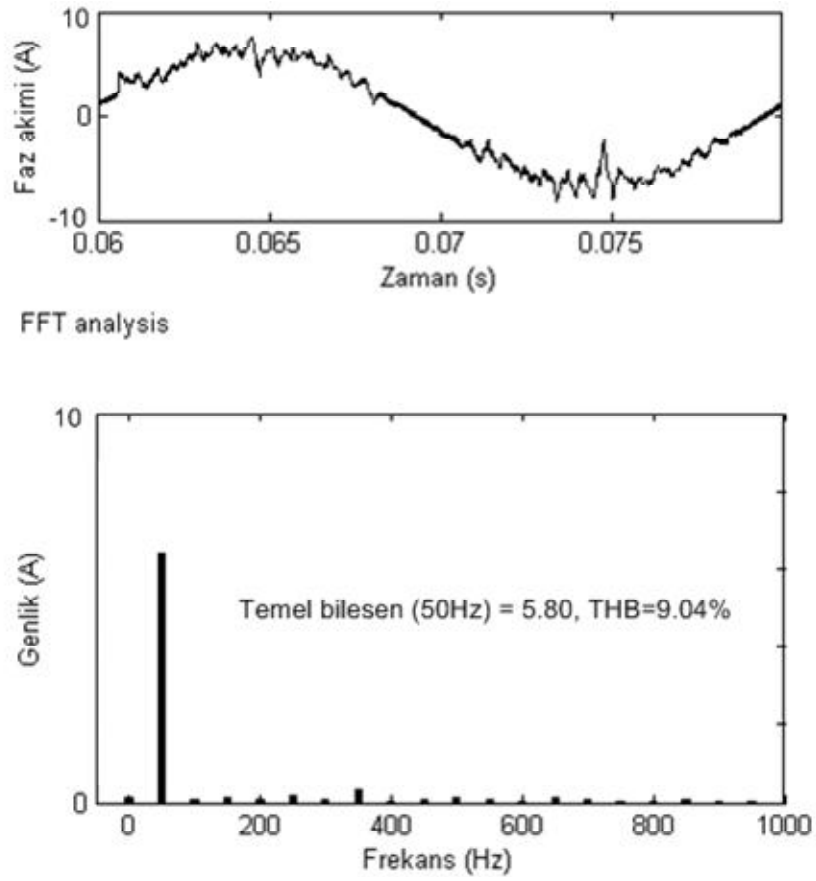
Şekil 5.19. Doğrusal olmayan yük sisteminin şebekeden beslenilmesi. (a) Faz gerilimleri, (b) Faz akımları, (c) yük akımı, (d) Yük üzerindeki gerilim, (e) Doğrultucu giriş akımları.



FFT analysis



Şekil 5.20. Doğrusal olmayan yükün şebekeden çektiği bir faz akımına ilişkin dalga şekli ve harmonik spektrumu ($I_{yük}=3A$)



Şekil 5.21. Doğrusal olmayan yükün şebekeden çektiği bir faz akımına ilişkin dalga şekli ve harmonik spektrumu ($I_{yük}=5A$)

BÖLÜM 6

6. SONUÇLAR

Elektrik enerjisi iletim ve dağıtım hatlarında gerilim seviyesinin normal değerlerinde, frekansının ise 50Hz ve sinüzoidal dalga şeklinde olması istenir. Çünkü şebekeden beslenen bir çok alıcı bu şartlarda en verimli şekilde çalışmaktadırlar. Fakat günümüzde kullanılan çoğu sistemde meydana gelen gerilim ve akım harmonikleri nedeniyle şebeke gerilimi istenilen sinüzoidal şeklini koruyamamaktadırlar.

Sistem verimini ve enerji kalitesini artırmak için şebekeden reaktif bir güç çekilmesinin önlenmesi ve harmoniklerin bastırılması gereklidir. Klasik *VAR* kompanzasyon sistemleri çok hızlı değişen yük şartları için uygun değildir. Harmoniklerin bastırılması için kullanılan pasif güç filtreleri, sistemde oluşabilecek harmonik çeşitliliği, büyüklüğü ve doğasından kaynaklanan olumsuzlukları nedeniyle yetersizdirler. Aktif güç filtreleri harmonik ve reaktif güç kompanzasyon problemleri için günümüzdeki en etkili yöntemdir. Harmonikler nedeniyle sistemdeki gerilim düşümleri yükselir ve sistem elemanları üzerindeki kayıplar artar. Ayrıca şebekede çeşitli frekanslarda oluşan rezonans olayları cihazların normal çalışmasını engeller ve cihazların arızalanmasına sebep olabilir.

Aktif Güç Filtrelerinin kontrol edilmesinde analog ve sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden analog kontrol sisteminin performansı düşük olmaktadır. Buna karşılık sayısal kontrol yöntemleri daha verimlidir ve maliyeti daha düşüktür.

Bu tez çalışmasında, bir UVGM denetimli PAGF'nin modellenmesi ve benzetimi yapılmıştır. PAGF'nin performansı filtre bobininin endüktans değeri ve filtre kondansatörünün kapasitesi ile yakından ilişkilidir. Filtre bobini endüktans değerinin normalden büyük olması, yüksek mertebeli harmoniklerin bastırılmamasına sebep olurken, endüktans değerinin normalden küçük olması, kaynak akımının anahtarlama frekansında darbeler içermesine sebep olmaktadır. Bununla birlikte filtre kondansatörünün normalden küçük olması, gerekli kompanzasyon akımının sağlanamamasına sebep olur. Ayrıca filtre performansını arttırmak için sisteme pasif filtre ilave edilebilir. Çalışmada kullanılan UVDGM yöntemiyle geniş bir modülasyon indeksi aralığı elde edilerek harmonik bileşenler önemli derecede azaltılmıştır. Aynı zamanda akım dalga şekillerinin de sinüzoidale yakın olduğu gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- 1- IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, IEEE Standarts 1159-1995)
- 2- Kale, M., “Paralel Aktif Güç Filtresi ile Harmonik Akım ve Reaktif Güç Kompanzasyonu”, Kocaeli Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli-2004.
- 3- Bölüt, V., Boğosyan, S., Gökaşan, M., “Paralel Aktif Filtre Uygulamalarında Adaptif Bulanık Mantık Kontrol Yöntemlerinin Uygulanması”, İ.T.Ü. Dergisi /d mühendislik cilt:4, sayı: 2, 105-115, Nisan 2005.
- 4- Eakburanawat, J., Darapong, P., Yangyuen, U., Po-ngam, S., “A Simple Control Scheme of Single Phase Universal Active Filtler For Power Quality Improvement” , Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering South-East Asia University , 2004.
- 5- Altıntaş, A., “Paralel Aktif Güç Filtresinin Mikrodenetleyici ile PWM Kontrolü”, Gazi Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara-2003.
- 6- Delaney, E. J., Morrison, R. E., “Minimisation of Interharmonic Currents from a Currents Source A.C. Drive by Means of Selective D.C. Side Active Filtler”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.10, No.3, July, 1995.
- 7- Uçar, M., “3-Fazlı 4-Telli Paralel Aktif Güç Filtresinin Tasarımı ve Uygulanması”, Kocaeli Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli-2005.
- 8- Peng, F.Z., 1998. Application Issues of Power Filters. IEEE Industry Applications Magazine, September, pp. 21-30.
- 9- Cox, M. D., Mirbod, A., “A New Static Var Compensator for an Ark Furnace”, IEEE Trans. On Power Systems, PWRS-1(3): 110-119 August (1986).
- 10- İlaslaner, İ., “ Güç Kalitesinde Harmonikler ve Filtrelenmesi” Gazi Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara-2006.
- 11- Kocalmış, A., “Uzay Vektör PWM Kontrollü Çok Seviyeli İnverterin Modellenmesi ve Benzetimi” Fırat Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ-2005.
- 12- Öztürk, M., “Uzay Vektör Modülasyonu ile Asenkron Motor Kontrolü” Yıldız Teknik Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul-2006.
- 13- Rathnakumar, D., and Perumal, L. J., Srinivasan, T., “A New Software Implementation of Space Vector PWM” , Department of Electrical Engg, Government college of Technology, Coimbatore. India. , Department of Electrical Engg, Indian Institute of Technology, Chennai. India, 2005.

- 14- Yörükören, N., “Güç Sistemi Harmonikleri ve Bu Harmoniklerin Elektrik Ulaşım sistemlerinde Kullanılması”, Kocaeli Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli-1994.
- 15- Mohan, N., Undeland, T.M., Robbins, W.P., “Power Electronics”, 1992.
- 16- Akgeyik, O., “Kesintisiz Güç Kaynaklarında Kullanılan Doğrultucuların Oluşturduğu Akım Harmoniklerinin Analizi” Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul-2005.
- 17- Özel, Oruç., “Sayısal Denetlemeli Paralel Aktif Güç Filtresi ve Matlab&Simulink Modeli” Yıldız Teknik Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul-2004.
- 18- Sucu, M., “Elektrik Enerji Sistemlerinde Oluşan Harmoniklerin Filtrelenmesinin Bilgisayar Destekli Modellenmesi ve Simülasyonu” Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul-1993.
- 19- Allan, G., “Electrical Transients in Power Systems”, Wiley Interscience, Pennsylvania, 233-298 1970.
- 20- M. El-Habrouk, M.K. Darwish, P. Mehta, “Active Power Filters: A Review”, IEE Proc.- Electr.Power Appl., Vol. 147, No: 5, pp.403-413, 2000.
- 21- Bhuvaneswari, G., Nair, G., “A novel Compensation technique for Shunt Active Power Filters”, Power and Energy Systems, 2003.
- 22- Abrahamsen, F., David, A., “Adjustable Speed Drive With Active Filtering Capability For Harmonic Current Compensation”, IEEE, 1995, pp.1137-1143.
- 23- “Doğrusal Olmayan Yüklerde Aktif Güç Filtresi İle Harmoniklerin Filtrelenmesi ve Reaktif Güç Kompanzasyonu” Gazi Ü. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt:20, No:2, 225-232, 2005.
- 24- Singh, B., Al-Haddad, K., Chandra, A., “ Review of Active Filters for power Quality Improvement”, Industrial Electronics, IEEE Transactions on Volume: 46, issue 5, Oct. 1999., page (s): 960-971.
- 25- Moran, L., Dixon, J., “Active Filters”, Rashid, M., Power Electronics Handbook, 829-851, 2001.
- 26- Alarko Teknik Bülten /Mayıs 2006-sayı 10.
- 27- “Enerji Sistemlerinde Harmoniklerin Yeni Tip Hibrit Filterleme İle yok edilmesi”, Proje Tipi: TÜBİTAK, Proje No: 105E104.
- 28- Farahat, M.A., Zobah, A., “Active Filter for Power Quality Improvoment by Artifical Neural Networks Technique”, Universities Power Engineering Conference , Volume: 2, issue 6-8, Sept. 2004, pp. 878-883.

- 29- Nabae, A., Kitamura, M., Okamura, Y., and Peng, F. Z., “A Novel Inverter with Sinüzoidal Voltage and Current Output”, Tokyo Institute of Polytechnics, Tokyo Institute of Technology, Industry Applications Society Annual Meeting, 1992, vol:1 Issue,4-9 Oct. 1992, page(s): 867-871.
- 30- Atacak, İ., Bay, Ö. F., “Bulanık Mantık Denetimli Seri Aktif Güç Filtresi Kullanarak Harmonik Gerilimlerin Bastırılması”, Gazi Ü. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 19, No 2, 205-215, 2004.
- 31- “Enerji Sistemlerinde Harmonik Distorsiyonun Azalması, Harmonik Büyüklüklerin Giderilmesi”, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2003, İstanbul.
- 32- Bose, B.K., “Modern Power Electronics and AC Drivers”, 2002.
- 33- Apucu, M.D., “Aktif Güç Filtresinin Modellenmesi ve Analizi”, Çukurova Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana-2004.
- 34- Akagi, H., “New Trends in Active Filters for Improving Power Quality”, Okayama University, 1996.
- 35- F.Z. Peng, H. Akagi, A. Nabae “ A Study of Active Power Filters Using Quad Series Voltage-Source PWM Converters for Harmonic Compensation”, IEEE Trans. On Power Elecs., Vol. No. 1, pp. 9-19, 1990.
- 36- Bayındır, K. Ç., “Modelling and Simulation Methods in Power Electronics and Design and Simulation of a Shunt Active Power Filter Using Matlab/Simulink”, The Middle East Technical University Department of Electrical and Electronics Engineering, Ankara- Feb. 2000.
- 37- Kestane, K., “Tek Fazlı Paralel Aktif Güç Filtresi Analizi ve Tasarımı”, Gazi Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara-2005.
- 38- Doğan, Hüseyin., “Uzay Vektör PWM Kontrollü Tek Fazlı Kesintisiz Güç Kaynağının Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi”, Selçuk Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya-2006.
- 39- Shrivastava, Y., Lee, C. K., Hui, S.Y.R., Chung, H.S.H, “Comparasion of RPWM and PWM Space Vector Switching Schemes for 3-Level Power Inverters” , IEEE Application pp. 138-145, 2001.

ÖZGEÇMİŞ

Bülent SİĞERGÖK

HASAN AKBUDAK İMKB
TEKNİK VE ENDÜSTRİ MESLEK LİSESİ
MALATYA

Tel: 536-4813632
bulentsigergok@mynet.com

- | | |
|---------------|--|
| 1980 | Malatya’da doğdu. |
| 2003 | Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Bölümünden mezun oldu. |
| 2006 | Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans Eğitimine Başladı |
| Halen- | Hasan Akbudak İMKB Teknik Ve Endüstri Meslek Lisesi’nde Bilişim Teknolojileri öğretmeni olarak çalışmaktadır. |