

155083

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PARALEL AKTİF GÜÇ FİLTRESİ İLE HARMONİK AKIM VE
REAKTİF GÜÇ KOMPAZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat KALE

Anabilim Dalı: Elektrik Eğitimi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Engin ÖZDEMİR

OCAK 2004

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PARALEL AKTİF GÜÇ FİLTRESİ İLE HARMONİK AKIM VE
REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat KALE

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 30 Aralık 2003

Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Ocak 2004

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Engin ÖZDEMİR
(.....)



Üye

Doç. Dr. Etem KÖKLÜKAYA
(.....)



Üye

Doç. Dr. Bekir ÇAKIR
(.....)



Ocak 2004

PARALEL AKTİF GÜÇ FİLTRESİ İLE HARMONİK AKIM VE REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU

Murat KALE

Anahtar kelimeler : Paralel Aktif Güç Filtreleri, Reaktif Güç Kompanzasyonu
Harmonik Akım Kompanzasyonu, Anlık Reaktif Güç Teorisi

Özet : Doğrusal olmayan yükler AA kaynağından harmonik akım ve reaktif güç çeker. Üç fazlı sistemlerde bu yükler dengesizliğe ve nötr hattından aşırı akımların çekilmesine sebep olur. Çekilen harmonik akımlar, reaktif güç, dengesizlik ve aşırı nötr akımları sistemin verimini ve güç katsayısını düşürür. Tek fazlı yükler elektronik balastlı flüoresan lambalar, televizyonlar, bilgisayarlar, klimalar ve lazer yazıcılar doğrusal olmayan yük gibi davranırlar ve güç kalitesi problemine sebep olurlar. Geleneksel LC pasif filtreler harmoniklerin azaltılması için, kondansatörler güç katsayısının artırılması için kullanılır. Pasif filtreler sabit kompanzasyon, boyutlarının büyük olması ve rezonans gibi dezavantajlara sahiptir. Pasif filtreler ve kompanzasyon için kullanılan kondansatörler gibi geleneksel yöntemler büyüyen bu zorunu çözmede yetersiz hale gelmektedir.

Bu problemlerin üstesinden gelmek için aktif güç filtreleri geliştirilmiştir. Paralel aktif güç filtresi (PAGF) harmonik akım, reaktif güç ve dengesiz akımlarda denge için kullanılır. PAGF yükün ürettiği harmonik akım ve/veya reaktif güce ters fazda ve eşit büyüklükte akımlar üreterek harmonik akım ve/veya reaktif güç kompanzasyonu yapar.

Bu çalışmada, güç devresi elemanlarının ve kontrol yöntemlerinin paralel aktif güç filtresi performansına etkileri sunulmaktadır. MATLAB/SIMULINK programı kullanılarak PAGF modellenmiştir. Bu model ile farklı devre parametrelerinde ve anlık reaktif güç teorisi ve senkron referans yapı tabanlı kontrol algoritmalarında filtrenin performansı incelenmiştir.

CURRENT HARMONIC AND REACTIVE POWER COMPENSATION WITH PARALLEL ACTIVE POWER FILTER

Murat KALE

Key Words : Parallel Active Power Filters, Reactive Power Compensation
Harmonic Current Compensation, Instantaneous Reactive Power
Theory

Abstract : The nonlinear loads draw harmonic and reactive power components of current from AC mains. In three-phase systems, they could also cause unbalance and draw excessive neutral currents. The injected harmonics, reactive power, unbalance, and excessive neutral currents cause low system efficiency and poor power factor. Single-phase loads, fluorescent lamps with electronic ballast, TVs, computers, air conditioners and laser printers behave as nonlinear loads and cause power quality problems. Conventionally passive LC filters were used to reduce harmonics, capacitors were employed to improve the power factor of the ac loads. However the passive filters have the disadvantages of fixed compensation, large size and resonance. Passive filters and capacitors which used for the current harmonics and reactive power compensation become unsatisfactory to solve problems in power quality.

To overcome these problems, active power filters have been researched and developed. Parallel active power filter is used to eliminate current harmonics, reactive power compensation and balancing unbalanced currents. Active power filter injects equal compensating currents, opposite in phase, to cancel harmonics and/or reactive components of nonlinear load current at the point of connection .

In this study, effects of power circuit components and control strategies to the parallel APF performance is presented. Parallel APF is modelled by using MATLAB/SIMULINK software. With this model, parallel APF performance is analyzed by using instantaneous reactive power theory and synchronous reference frame control algorithm in different circuit parameters.

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Doğrusal olmayan yüklerin (elektronik cihazlar) kullanımının yaygınlaşması ve gelecekte de bu kullanımın katlanarak artması elektrik iletim ve dağıtım sistemine ve bu sistemde bağlı diğer yüklere ciddi hasarlar verebilir. Doğrusal olmayan yüklerin ürettiği harmonikler karşısında pasif filtrelerin yetersizliğinden dolayı yeni çözümlerin bulunması kaçınılmaz hale gelmiştir.

Bu tezde incelenen paralel aktif güç filtreleri doğrusal olmayan yüklerin ürettiği harmonik akımları ve reaktif gücü azaltarak şebekenin ve diğer yükleri zarar görmesini engellemektedir. Paralel aktif güç filtresi kontrolünde kullanılan metotlar açıklanarak anlık reaktif güç teorisi tabanlı kontrol ve senkron referans yapı tabanlı kontrolün MATLAB'ta simülasyonu yapılmıştır. Farklı devre parametreleriyle yapılan simülasyon sonuçları sunulmuştur.

Teorisi ve simülasyon çalışmaları yapılan PAGF'nin pratik olarak uygulanmasına yönelik çalışmalar Kocaeli Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenen "Gelişmiş Statik Var Kompanzatorün DSP Üzerinden Bulanık Mantık Denetimi" adlı ve 2001/13 nolu Araştırma Projesi kapsamında halen devam etmektedir. Uygulama sonuçları ileriki yayınlarda verilmesi planlanmaktadır.

Tez çalışmalarım süresince öneri ve desteğini esirgemeyen danışmanım Yrd.Doç.Dr. Engin ÖZDEMİR'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
TABLolar DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. HARMONİK KAYNAKLAR VE ETKİLERİ.....	5
2.1. Harmonik Kaynaklar	5
2.1.1. Harmonik akım kaynakları.....	9
2.1.2. Harmonik gerilim kaynakları	10
2.2. Harmoniklerin Etkileri.....	13
2.2.1. Motor ve jeneratörlere etkisi	13
2.2.2. Transformatörlere etkisi	13
2.2.3. Güç kablolarına etkisi.....	13
2.2.4. Kondansatörlere etkisi.....	14
2.2.5. Elektronik ekipmanlara etkisi.....	14
BÖLÜM 3. AKTİF GÜÇ FİLTRELERİ.....	15
3.1. Aktif Güç Filtrelerinin Sınıflandırılması	15
3.1.1. Sistem konfigürasyonuna göre sınıflandırma.....	15
3.1.1.1. Paralel aktif güç filtreleri.....	15
3.1.1.2. Seri aktif güç filtreleri	16
3.1.1.3. Hibrit aktif-pasif güç filtreleri	17
3.1.1.4. Birleşik güç kalitesi düzenleyicileri (BGKD)	18

3.1.2. Güç Devresine Göre Sınıflandırma	19
3.1.2.1. Akım beslemeli DGA evirici.....	20
3.1.2.2. Gerilim beslemeli DGA evirici	20
3.1.3. Kontrol stratejisine göre sınıflandırma	20
3.1.3.1. Zaman domeni.....	21
3.1.3.1.1. Anlık reaktif güç algoritması.....	21
3.1.3.1.2. Senkron-denetim algoritması.....	21
3.1.3.1.3. Senkron referans yapı tabanlı algoritma...	21
3.1.3.2. Frekans domeni	22
BÖLÜM 4. PARALEL AKTİF GÜÇ FİLTRELERİ.....	23
4.1. Güç Devresi	24
4.2. DGA Kontrol Metodu.....	25
4.2.1. Sinüsoidal DGA.....	25
4.2.2. Histerezis bant DGA.....	26
4.2.3. Uzay vektör DGA	30
BÖLÜM 5. ANLIK REAKTİF GÜÇ TEORİSİ TABANLI PARALEL AKTİF GÜÇ FİLTRESİ KONTROLÜ	32
5.1. Geleneksel Güç Hesabı.....	32
5.1.1. Doğrusal yüklerde güç hesabı	33
5.1.2. Doğrusal olmayan yüklerde güç hesabı	34
5.2. Anlık Reaktif Güç Teorisi	37
5.2.1. Anlık reaktif gücün fiziksel tanımı.....	40
5.2.2. Doğrusal yük durumu	44
5.2.3. Doğrusal olmayan yük durumu	45
5.3. Anlık Reaktif Güç Teorisinin Aktif Güç Filtresinde Kullanımı	49
BÖLÜM 6. ARG'TABANLI PAGF'nin MATLAB'ta SİMÜLASYONU	50
6.1. Anlık Güçlerin Hesaplanması.....	51
6.2. DA Kondansatör Gerilimi (V _{da}) Kontrolü.....	52
6.3. Anahtarlama Sinyallerinin Üretilmesi	54
6.4. ARG'Tabanlı PAGF Simülasyon Sonuçları	55

6.4.1. Doğrusal yük durumunda PAGF'nin performansı	56
6.4.2. Doğrusal olmayan yük durumunda PAGF'nin performansı	61
BÖLÜM 7. SENKRON REFERANS YAPI TABANLI PAGF'nin KONTROLÜ	69
7.1. Senkron Referans Yapı Tabanlı PAGF Simülasyon Sonuçları	73
7.1.1. Doğrusal yük durumunda PAGF simülasyon sonuçları	73
7.1.2. Doğrusal olmayan yük durumunda PAGF simülasyon sonuçları	78
BÖLÜM 8. PARALEL AKTİF GÜÇ FİLTRESİ PERFORMANS ANALİZİ	83
8.1. Yük Değerinin PAGF Performansına Etkisi.....	83
8.2. DA Kondansatör Değerinin PAGF Performansına Etkisi	86
8.3. Kondansatör Geriliminin PAGF Performansına Etkisi	88
8.4. AA Bobin Değerinin PAGF Performansına Etkisi	91
8.5. Histerisiz Bant DGA'nın PAGF Performansına Etkisi	92
8.6. Histerisiz Bant DGA'nın Anahtarlama Frekansının Sabit Tutulması ile İlgili Çalışmalar	95
8.7. Kaynak Gerilimi Dalga Şeklinin PAGF Performansına Etkisi.....	97
8.7.1. ARGT tabanlı PAGF kontrolünde gerilim dalga şeklinin performansa etkisi	97
8.7.2. İdeal olmayan kaynak gerilimlerinde ARGT tabanlı PAGF kontrolü ile ilgili çalışmalar	103
8.7.3. Senkron referans yapı tabanlı PAGF kontrolünde gerilim dalga şeklinin performansa etkisi	107
BÖLÜM 9. SONUÇ ve ÖNERİLER	111
KAYNAKLAR	114
ÖZGEÇMİŞ	116

SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR

a,b,c	: a,b,c fazları
C_d	: Diyotlu doğrultucu DA tarafı kondansatörü
C_{da}	: Paralel aktif güç filtresinin DA tarafı kondansatörü
C_y	: Yük kondansatörü
f_A	: Anahtarlama frekansı
H	: Harmonik güç
HB	: Histerisiz bant
HB_a	: a fazı histerisiz bant genişliği
i_d	: Yük akımlarının d ekseni bileşeni
\tilde{i}_d	: Yük akımlarının d ekseni AA bileşeni
i_{da}	: DA taraf akımı
i_f	: Paralel aktif güç filtresi akımı
i_{fa}	: Paralel aktif güç filtresi a fazı akımı
i_{fa}^+	: Paralel aktif güç filtresi a fazı akımı yükselen kenarı
i_{fa}^-	: Paralel aktif güç filtresi a fazı akımı düşen kenarı
i_{fa}^*	: Paralel aktif güç filtresi a fazı referans akımı
i_{fabc}	: Üç faz filtre akımları
i_{fabc}^*	: Hesaplanan üç faz referans akımları
i_{fb}^*	: Paralel aktif güç filtresi b fazı referans akımı
i_{fc}^*	: Paralel aktif güç filtresi c fazı referans akımı
$i_{f\alpha}$: Paralel aktif güç filtresi akımlarının α bileşeni
$i_{f\beta}$: Paralel aktif güç filtresi akımlarının β bileşeni
i_k	: Üç fazlı kaynak akımları
i_L	: Harmonik akım
i_n	: Nötr akımı
i_q	: Yük akımlarının q ekseni bileşeni
\tilde{i}_q	: Yük akımlarının q ekseni AA bileşeni
i_y	: Üç fazlı yük akımları

i_{ya}	: a fazı yük akımı
i_{yb}	: b fazı yük akımı
i_{yc}	: c fazı yük akımı
i_{α}	: Yük akımlarının α bileşeni
$i_{\alpha p}$: Anlık gerçek gücü oluşturan α eksenli akımı
$i_{\alpha q}$: Anlık sanal gücü oluşturan α eksenli akımı
i_{β}	: Yük akımlarının β bileşeni
$i_{\beta p}$: Anlık gerçek gücü oluşturan β eksenli akımı
$i_{\beta q}$: Anlık sanal gücü oluşturan β eksenli akımı
I	: Akımın etkin değeri
I_1	: Akımın temel bileşeni
L_a	: a fazı kaynak endüktansı
L_b	: b fazı kaynak endüktansı
L_c	: c fazı kaynak endüktansı
L_d	: Tristörlü doğrultucunun DA tarafı bobini
L_f	: Aktif filtre bobini
L_{fa}	: Paralel aktif güç filtresi a fazı bobini
L_k	: Kaynak endüktansı
L_y	: Yük endüktansı
m	: Referans akımın türevi
n	: İndis
p_3	: Üç faz anlık gerçek gücü
p_{3y}	: Üç fazlı yük gerçek gücü
\tilde{p}_{3y}	: Üç fazlı yük gerçek gücünün dalgalı bileşeni
\bar{p}_{3y}	: Harmonikli yüklerde aktif güç
\tilde{p}_f	: Paralel aktif güç filtresinin ürettiği gerçek güç
p_y	: Tek faz yük gücü
p_{ya}	: a fazı yük gücü
p_{yb}	: b fazı yük gücü
p_{yc}	: c fazı yük gücü
p_{α}	: α eksenli anlık gücü
$p_{\alpha p}$: α eksenli anlık aktif gücü
$p_{\alpha q}$: α eksenli anlık reaktif gücü

p_{β}	: β eksenli anlık gücü
$p_{\beta p}$: β eksenli anlık aktif gücü
$p_{\beta q}$: β eksenli anlık reaktif gücü
P	: Aktif güç
\tilde{P}_{3y}	: Üç fazlı yük gerçek gücünün dalgalı bileşeninin etkin değeri
q_3	: Üç fazlı reaktif güç
q_{3y}	: Üç fazlı yük sanal gücü
\tilde{q}_{3y}	: Üç fazlı yük sanal gücünün dalgalı bileşeni
\bar{q}_{3y}	: Harmonikli yüklerde reaktif güç
Q	: Reaktif güç
\tilde{Q}_{3y}	: Üç fazlı yük sanal gücünün dalgalı bileşeninin etkin değeri
R_y	: Yük direnci
S	: Görünür güç
S_1, S_2, \dots, S_6	: Evirici anahtarları
t	: Zaman
t_1	: Anahtarın kapalı kalma süresi
t_2	: Anahtarın açık kalma süresi
T_A	: Anahtarlama periyodu
\tilde{V}_{da}	: Paralel aktif güç filtresinin DA tarafı geriliminin dalgalı bileşeni
\bar{V}	: Gerilimin etkin değeri
V^*	: Referans gerilim
V_{da}	: Paralel aktif güç filtresinin DA tarafı gerilim
V_{da}	: Paralel aktif güç filtresinin DA tarafı ortalama gerilimi
V_{fa}	: Paralel aktif güç filtresi a fazı çıkış gerilimi
V_{fa}^*	: Paralel aktif güç filtresi a fazı referans gerilimi
V_{fb}	: Paralel aktif güç filtresi b fazı çıkış gerilimi
V_{fb}^*	: Paralel aktif güç filtresi b fazı referans gerilimi
V_{fc}	: Paralel aktif güç filtresi c fazı çıkış gerilimi
V_{fc}^*	: Paralel aktif güç filtresi b fazı referans gerilimi
V_{fa}^*	: α eksenli referans gerilimi
V_{β}^*	: β eksenli referans gerilimi
V_k	: Kaynak gerilimi
V_{ka}	: a fazı kaynak gerilimi

V_{kb}	: b fazı kaynak gerilimi
V_{kc}	: c fazı kaynak gerilimi
v_{α}	: Kaynak gerilimlerinin α bileşeni
v_{β}	: Kaynak gerilimlerinin β bileşeni
V_L	: Harmonik gerilim :
Z_a	: a fazı kaynak empedansı
Z_b	: b fazı kaynak empedansı
Z_c	: c fazı kaynak empedansı
Z_k	: Kaynak empedansı
ϕ	: Faz farkı
ϕ_1	: Temel güç katsayısı
θ	: Senkron referans yapının açısı (Derece)
ω	: Açısal hız (rad/s)
ω_p	: Anlık gerçek güçteki dalgalanma (rad/s)
Δi_{fa}	: a fazındaki hata
AA	: Alternatif Akım
ARGT	: Anlık Reaktif Güç Teorisi
BGKD	: Birleşik Güç Kalitesi Düzenleyicileri
DA	: Doğru Akım
DGA	: Darbe Genişlik Ayarı
DOY	: Doğrusal Olmayan Yük
IGBT	: Integrated Gate Bipolar Transistor : İzole Kapılı Bipolar Transistör
IVA	: İmajiner Volt Amper
PAGF	: Paralel Aktif Güç Filtresi
PLL	: Phase Locked Loop : Faz Kilitlemeli Döngü
SAGF	: Seri Aktif Güç Filtresi
THB	: Toplam Harmonik Bozulma

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Paralel pasif güç filtresi	2
Şekil 2.1. Üç adet tek fazlı diyotlu doğrultucu	6
Şekil 2.2. a) Tek fazlı doğrultucu hat gerilimi ve hat akımı. b) Hat akımı harmonik dağılımı	7
Şekil 2.3. a) Nötr akımının dalga şekli b) Nötr akımının harmonik dağılımı	8
Şekil 2.4. a) Tristörlü doğrultucu, b) tek faz eşdeğer devresi	9
Şekil 2.5. a) Harmonik akım kaynağı yükün kaynak gerilimi ve hat akımı dalga şekli. b) Hat akımının harmonik dağılımı	10
Şekil 2.6. a) Diyotlu doğrultucu, b) Diyotlu doğrultucunun tek faz eşdeğer devresi	11
Şekil 2.7. a) Diyotlu doğrultucunun faz-nötr ve fazlar arası gerilimleri. b) Hat akımı. c) Hat akımının harmonik dağılımı	12
Şekil 3.1. Paralel aktif güç filtresi	16
Şekil 3.2. Seri aktif güç filtresi	16
Şekil 3.3. Paralel aktif, paralel pasif güç filtresi	17
Şekil 3.4. Seri aktif paralel pasif güç filtresi	18
Şekil 3.5. Seri aktif paralel pasif güç filtresi	18
Şekil 3.6. Birleşik güç kalitesi düzenleyicileri	19
Şekil 3.7. Akım beslemeli DGA eviricili aktif güç filtresi	20
Şekil 4.1. Paralel aktif güç filtresi blok diyagramı	23
Şekil 4.2. Paralel aktif güç filtresi güç devresi	24
Şekil 4.3. Sinüsoidal DGA	26
Şekil 4.4. Histerisiz bant DGA (Ingram and Round, 1999)	27
Şekil 4.5. İki kondansatörlü evirici bağlantısı	28
Şekil 4.6. Evirici çıkışındaki akım ve gerilim dalga şekli (Bose, 1990)	28

Şekil 4.7. Bir anahtarlama periyodu boyunca evirici çıkışındaki gerilim ve akım dalga şekilleri (Bose, 1990)	29
Şekil 4.8. Uzay vektör DGA anahtarlama vektörleri	31
Şekil 4.9. Uzay vektör DGA	31
Şekil 5.1. Güç dörtyüzlüsü	36
Şekil 5.2. Üç fazlı a-b-c koordinatlarından iki fazlı α - β koordinatlarına dönüşüm ...	38
Şekil 5.3. Anlık akım ve gerilim uzay vektörleri	39
Şekil 5.4. a-) Doğrultucu faz akımı. b-) Anlık gerçek güç. c-) Anlık sanal güç	48
Şekil 6.1. Gerilimin a-b-c koordinatlarından α - β referans yapıya dönüşüm blok diyagramı	51
Şekil 6.2. Akımın a-b-c koordinatlarından α - β referans yapıya dönüşüm blok diyagramı	51
Şekil 6.3. Gerçek ve sanal güç hesaplama blok diyagramı	52
Şekil 6.4. V_{da} gerilimi kontrol bloğu	54
Şekil 6.5. Referans akımların hesaplanması	54
Şekil 6.6. α - β durağan referans yapıdan üç fazlı sisteme dönüşüm blok diyagramı..	55
Şekil 6.7. Anahtarlama sinyallerinin üretilmesi	55
Şekli 6.8. PAGF' nin doğrusal yük durumu	56
Şekil 6.9. a) Yükün (a) fazı gerilim ve akım dalga şekli. b) PAGF' nin (a) fazı gerilim ve akım dalga şekli. c) Kaynağın (a) fazı gerilim ve akım dalga şekli	58
Şekil 6.10. a) Yükün aktif gücü. b) Paralel aktif güç filtresinin aktif gücü. c) Kaynaktan çekilen aktif güç	59
Şekil 6.11. a) Yükün reaktif gücü. b) Paralel aktif güç filtresinin ürettiği reaktif güç. c) Kaynaktan çekilen reaktif güç	60
Şekil 6.12. DA Kondansatör (V_{da}) gerilimi	61
Şekil 6.13. Tristörlü doğrultucu blok diyagramı	62
Şekil 6.14. a) Yükün (a) fazı gerilim ve akım dalga şekli. b) PAGF' nin (a) fazı gerilim ve akım dalga şekli. c) Kaynağın (a) fazı gerilim ve akım dalga şekli	64

Şekil 6.15. Doğrusal olmayan yük akımının harmonik dağılımı	65
Şekil 6.16. Paralel aktif güç filtresi akımının harmonik dağılımı	65
Şekil 6.17. a) Yükün aktif gücü. b) Paralel aktif güç filtresinin aktif gücü c) Kaynaktan çekilen aktif güç.....	66
Şekil 6.18. a) Yükün sanal gücü. b) Kaynaktan çekilen sanal güç. c) Paralel aktif güç filtresinin sanal gücü.....	67
Şekil 6.19. Kondansatör (V_{da}) gerilimi	68
Şekil 6.20. Kaynak akımı harmonik dağılımı	68
Şekil 7.1. a-b-c koordinatlarından senkron referans yapıya dönüşüm	70
Şekil 7.2. a) Üç fazlı kontrollü doğrultucu faz akımı. b) Yükün (d) eksenli akımı ve DA bileşeni. c) Yükün (q) eksenli akımı ve DA bileşeni.....	72
Şekil 7.3. Senkron referans yapı tabanlı PAGF kontrol blok diyagramı	73
Şekil 7.4. a) Yükün (a) fazı gerilim ve akım dalga şekli. b) PAGF'nin (a) fazı gerilim ve akım dalga şekli. c) Kaynağın (a) fazı gerilim ve akım dalga şekli	75
Şekil 7.5. a) Yük akımı (d) eksenli bileşeni. b) PAGF akımı (d) eksenli bileşeni. c) Kaynak akımı (d) eksenli bileşeni.....	76
Şekil 7.6. a) Yük akımı (q) eksenli bileşeni. b) PAGF akımı (q) eksenli bileşeni. c) Kaynak akımı (q) eksenli bileşeni.....	77
Şekil 7.7. V_{da} kondansatör gerilimi değişimi	78
Şekil 7.8. a) Yük akımı. b) PAGF akımı. c) Kaynak akımı	79
Şekil 7.9. a) (d) eksenli yük akımı. b) (d) eksenli PAGF akımı. c) (d) eksenli kaynak akımı	80
Şekil 7.10. a) (q) eksenli yük akımı. b) (q) eksenli PAGF akımı. c) (q) eksenli kaynak akımı	81

Şekil 7.11. DA kondansatör gerilimi değişimi.....	82
Şekil 8.1. a) Tablo 6.3'teki yükün anlık gerçek gücü. b) Tablo 6.3'teki yükün anlık sanal gücü. c) DA kondansatör gerilimi değişimi.....	84
Şekil 8.2. a) Tablo 8.1'deki yükün anlık gerçek gücü. b) Tablo 8.1'deki yükün anlık sanal gücü. c) DA kondansatör gerilimi değişimi.....	85
Şekil 8.3. a) 1000 μ F'lık kondansatör kullanıldığında DA kondansatör gerilimi değişimi. b) 3000 μ F'lık kondansatör kullanıldığında DA kondansatör gerilimi değişimi.....	87
Şekil 8.4. a) 1000 μ F'lık kondansatör kullanıldığında DA kondansatör gerilimi. b) 3000 μ F'lık kondansatör kullanıldığında DA kondansatör gerilimi.....	88
Şekil 8.5. a) Vda ayar değeri 750V iken kaynak gerilimi ve akımının dalga şekli. b) Vda ayar değeri 650V iken kaynak gerilimi ve akımının dalga şekli....	89
Şekil 8.6. a) Vda 750V iken DA kondansatör gerilimi değişimi. b) Vda 650V iken DA kondansatör gerilimi değişimi	90
Şekil 8.7. PAGF'nin ürettiği referans akım ve güç devresinin ürettiği akım.....	91
Şekil 8.8. a) PAGF bobini 1mH olduğunda kaynak gerilimi ve akımının dalga şekli. b) PAGF bobini 2mH olduğunda kaynak gerilimi ve akımının dalga şekli.....	92
Şekil 8.9. a) Histerisiz bant genişliği 6 olduğunda anahtarlama frekansının değişimi. b) Histerisiz bant genişliği 10 olduğunda anahtarlama frekansının değişimi.....	94
Şekil 8.10. Adaptif histerisiz bant genişliği hesaplama bloğu	96
Şekil 8.11. a) Sabit histerisiz band DGA'da anahtarlama frekansı değişimi. b) Adaptif histerisiz band DGA'da anahtarlama frekansı değişimi	97
Şekil 8.12. a) Güç analizörü ile ölçülen gerilim dalga şekli. b) Harmonik dağılımı görülmektedir	98
Şekil 8.13. a) Bozuk kaynak gerilimi ve yük akımının dalga şekilleri. b) Bozuk kaynak gerilimi ve PAGF akımının dalga şekilleri. c) Bozuk kaynak gerilimi ve kaynak akımının dalga şekilleri.....	100
Şekil 8.14. a) Bozuk kaynak gerilimde yük gerçek gücü. b) Filtre gerçek gücü.	

c) Kaynak gerçek gücü.....	101
Şekil 8.15. a) Bozuk kaynak gerilimde yük sanal gücü	
b) Filtre sanal gücü	
c) Kaynak sanal gücü	102
Şekil 8.16. Gerilim harmoniklerini filtreleme bloğu.....	103
Şekil 8.17. a) Bozuk kaynak gerilimi ve yük akımının dalga şekilleri.	
b) Bozuk kaynak gerilimi ve PAGF akımının dalga şekilleri.	
c) Bozuk kaynak gerilimi ve kaynak akımının dalga şekilleri.....	104
Şekil 8.18. a) Bozuk kaynak gerilimde yük gerçek gücü.	
b) Filtre gerçek gücü.	
c) Kaynak gerçek gücü.....	105
Şekil 8.19. a) Bozuk kaynak gerilimde yük sanal gücü.	
b) Filtre sanal gücü.	
c) Kaynak sanal gücü	106
Şekil 8.20. a) Bozuk kaynak gerilimi ve yük akımının dalga şekilleri.	
b) Bozuk kaynak gerilimi ve PAGF akımının dalga şekilleri.	
c) Bozuk kaynak gerilimi ve kaynak akımının dalga şekilleri.....	108
Şekil 8.21. a) (d) ekseni yük akımı.	
b) (d) ekseni PAGF akımı.	
c) (d) ekseni kaynak akımı	109
Şekil 8.22. a) (q) ekseni yük akımı.	
b) (q) ekseni PAGF akımı.	
c) (q) ekseni kaynak akımı	110

TABLULAR DİZİNİ

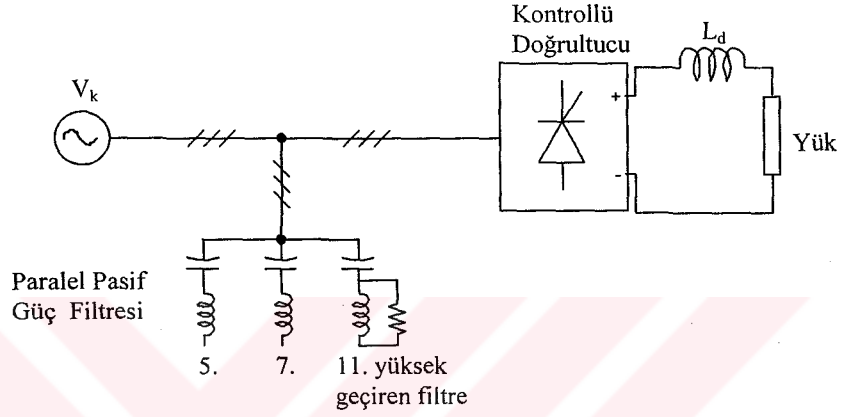
Tablo 4.1. Evirici anahtarlama durumu ve (a) fazı gerilimi.....	29
Tablo 6.1. Yük parametreleri	57
Tablo 6.2. PAGF parametreleri.....	57
Tablo 6.3. Tristörlü doğrultucu parametreleri.....	62
Tablo 8.1. Tristörlü doğrultucu parametreleri.....	86
Tablo 8.2. Yükün DA kondansatör gerilimindeki dalgalanmaya etkisi.....	86
Tablo 8.3. DA kondansatör değerinin V_{da} 'daki dalgalanmaya etkisi	86
Tablo 8.4. V_{da} gerilim değerinin DA kondansatör gerilimine etkisi.....	90
Tablo 8.5. AA bobin değerinin PAGF performansına etkisi	91
Tablo 8.6. Histerisiz bant genişliğinin PAGF performansına etkisi	93

1. GİRİŞ

Son yıllarda statik güç çeviricilerinin kullanımının artmasıyla birlikte enerji dağıtım sistemlerinde güç kalitesi önemli bir sorun haline gelmeye başladı. Bu güç çeviricileri, endüstrideki büyük güçlü ayarlanabilir hız sürücülerinden büro ve evlerdeki bilgisayarlar, yazıcılar, televizyonlar ve elektronik balastlı flüoresanlar gibi küçük güçlü uygulamalara kadar çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Statik güç çeviricileri güç sistemlerinden sinüsoidal olmayan akımlar çekmektedir. Bu yükler, temel frekanstaki akımın yanında bu frekansın tam katları frekansa sahip akımlar çekerek güç sistemlerindeki koruma ve ölçüm cihazlarının arızalanmasına, güç sistemlerinin erken yaşlanmasına ve telekomünikasyon hatlarında parazitlere sebep olurlar.

Statik güç çeviricileri tarafından üretilen harmonikler, doyum bölgesinde çalışan cihazlar gibi geleneksel harmonik kaynaklarından farklı olarak, geniş bir dağılıma sahiptir. 3, 5, 7, 11 ve 13. harmonikler büyük değerli, diğer yüksek frekanslı harmonikler ise küçük değerlidir. IEEE 519 standartlarına göre kabul edilen toplam harmonik bozulma akımında ve gerilimde %5'tir. Bu değerlerin aşılması elektrik sistemine ve sistemdeki diğer yüklere zarar vererek büyük maddi hasarların oluşmasına yol açar. Harmonik standartların bu kadar yüksek olması ve yeni yüklerin harmonik dağılımının çok geniş olmasından dolayı pasif güç filtreleri gibi geleneksel çözümler yetersiz hale gelmektedir. Çünkü pasif güç filtreleri sadece ayarlandıkları harmonik frekansındaki akımları süzmektedir. Eğer her harmonik frekansındaki akımları kapsayacak şekilde filtreleme yapılmak istenirse, her harmonik frekans için bir pasif güç filtresi kullanılmalıdır. Şekil 1.1'de tristörlü doğrultucunun ürettiği harmonik akımları filtrelemek için kullanılan paralel pasif güç filtresi görülmektedir. Bu pasif güç filtresi ayarlı olduğu her bir harmonik frekansında LC seri rezonanstan dolayı harmonik akımlara düşük empedans,

temel frekanstaki akımlara ve ayarlanmadıkları frekanstaki harmonik akımlara yüksek empedans gösterir (Peng, 2001). Böylece pasif filtrelerin ayarlı olduğu harmonik akımlar devrelerini bu filtre üzerinden tamamlayarak kaynaktan çekilen akımında görülmezler. Ayrıca pasif filtreler kaynak empedansından etkilenerek rezonansa girebilir (Peng, 2001).



Şekil 1.1. Paralel pasif güç filtresi.

Harmoniklerin azaltılmasında kullanılan pasif güç filtrelerinin istenmeyen özellikleri ve yetersizlikleri karşısında, çoğunlukla güç elektroniği elemanlarının ürettiği harmonikler yine güç elektroniği elemanları kullanılarak azaltılmaktadır. Güç elektroniği elemanları kullanarak harmonikleri azaltan ve güç katsayısını düzelteren bu cihazlara aktif güç filtresi adı verilir. Aktif güç filtreleri pasif filtrelerin aksine oldukça geniş harmonik frekansları kapsamaktadır. Harmonik akımla birlikte reaktif güç kompanzasyonunun birlikte yapılmasıyla hem pasif filtreleri hem de geleneksel kompanzasyon rölelerini devre dışı bırakmaktadır.

09.03.2000 tarih, 23988 sayılı resmi gazetede yayınlanan yeni reaktif güç tarifesine göre reaktif enerjinin aktif enerjiye oranının:

$$-0,20 < \frac{Q}{P} < 0,33 \quad (1.1)$$

değerleri arasında tutulması gerekmektedir. Reaktif enerji uygulaması 9kW üzerinde kurulu gücü bulunan işyerleri için geçerli olup müsaade edilen güç katsayısı da 0,95'tir. Özellikle hızlı değişen yük sistemlerinde geleneksel yöntemlerin yetersizliklerini aktif güç filtreleri gidermektedir.

Aktif güç filtreleri temel olarak paralel aktif güç filtreleri ve seri aktif güç filtreleri olmak üzere ikiye ayrılırlar. Paralel aktif güç filtreleri (PAGF) harmonik akım kompanzasyonu, reaktif güç kompanzasyonu ve güç sisteminden dengeli akımların çekilmesi için kullanılır. Seri aktif güç filtreleri (SAGF) ise gerilim çökmeleri, yük üzerindeki gerilim harmoniklerinin kompanzasyonu ve yük üzerindeki gerilimin dengelenmesi için kullanılır.

Bu tezde doğrusal olmayan yüklerin ürettiği akım harmoniklerinin azaltılması yanında reaktif güç kompanzasyonu içinde kullanılan paralel aktif güç filtreleri, kontrol stratejileri ve devre parametrelerinin filtre performansına etkileri incelenmektedir.

2. bölümde, güç elektroniği cihazlarının gelişmesiyle birlikte kullanımı artan doğrusal olmayan yükler ve bu yüklerin güç sistemine etkileri incelenmektedir.

3. bölümde, aktif güç filtreleri sistem konfigürasyonuna, güç devresine, düzeltilen değişkenlere ve kontrol stratejilerine göre sınıflandırılmaktadır.

4. bölümde, paralel aktif güç filtrelerinin güç devresi ve paralel aktif güç filtrelerinde yaygın olarak kullanılan darbe genişlik ayarı (DGA) metotları incelenmektedir.

5. bölümde, anlık reaktif güç teorisi ve bu teorinin paralel aktif güç filtresi kontrolünde nasıl kullanıldığından bahsedilmektedir.

6. bölümde, anlık reaktif güç teorisi tabanlı kontrol edilen paralel aktif güç filtresinin MATLAB'ta modellenmesi ve çeşitli yüklerde simülasyonları yapılmıştır.

7. bölümde, senkron referans yapı tabanlı kontrol edilen paralel aktif güç filtresinin simülasyonu yapılmıştır.

8. bölümde, paralel aktif güç filtresinin devre parametrelerinin ve DGA kontrol metotlarından histerisiz bant DGA'nın performansa etkisi incelenmektedir.



2. HARMONİK KAYNAKLAR ve ETKİLERİ

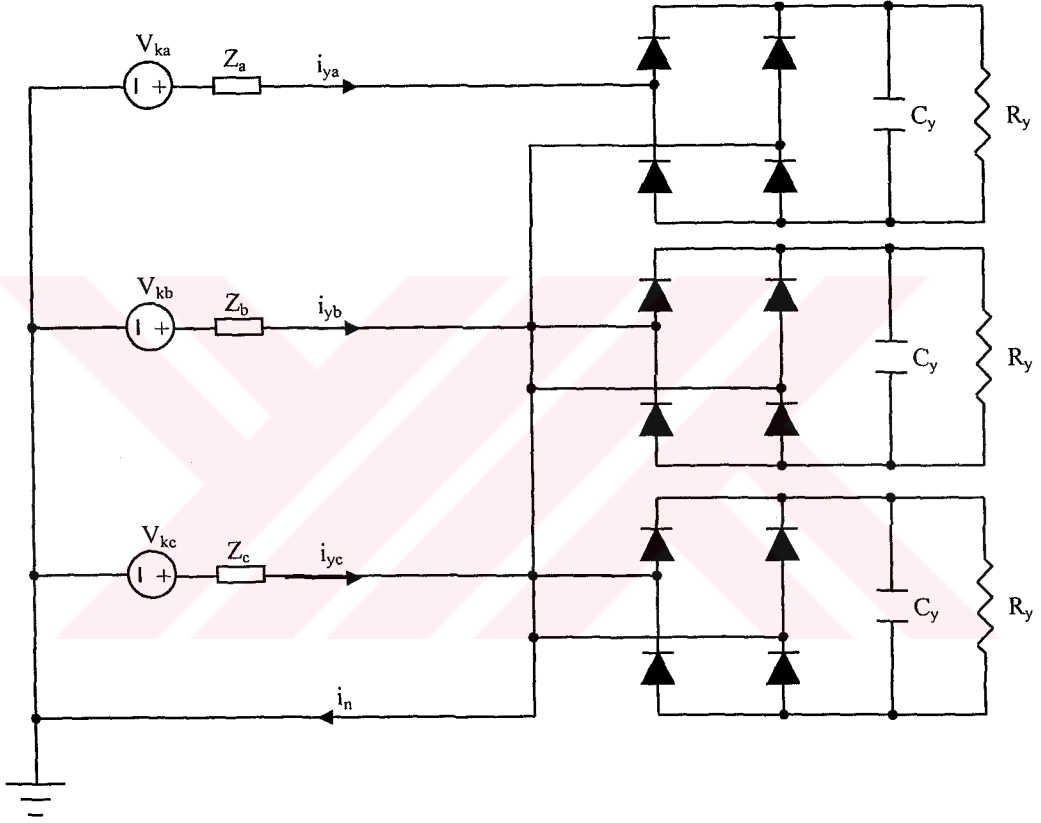
2.1. Harmonik Kaynaklar

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 sinüsoidal gerilim uygulandığında bu yükler sinüsoidal olmayan akımlar çeker (IEEE, 1992). Çünkü, manyetik devrelerdeki doyma, elektrik devrelerindeki arklar ve güç elektroniğinde sinüs eğrisinin kesilmesi doğrusal olmayan olaylardır. Bu tip yükler tarafından çekilen akım temel frekansın yanında temel frekansın tam katlarında frekansa sahip akımları da içermektedir. Yüksek frekanslı bu akımlar güç sistemi harmonikleri olarak adlandırılır ve sinüsoidal olmayan akımlar çeken yükler ise harmonik kaynaklar olarak bilinir.

Harmonik kaynaklar 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. Bu cihazlar baskın olarak 3. harmoniği üretir. Güç elektroniği elemanları içeren cihazlar (statik güç çeviricileri) uygulama kolaylığı, yüksek verimleri ve düşük maliyetlerinden dolayı hızla çoğalmakta ve düşük gerilim uygulamalarından yüksek gerilim uygulamalarına kadar bütün güç seviyelerinde kullanılmaktadır. Bu nedenle statik güç çeviricilerinin ürettiği harmonikler önemli bir problem haline gelmektedir (Grady and Santoso, 2001).

Statik çeviriciler tarafından üretilen harmonik akımların dağılımı bu çeviricilerin özelliklerine bağlıdır. Evlerde ve işyerlerinde çoğunlukla alçak gerilimde kullanılan tek

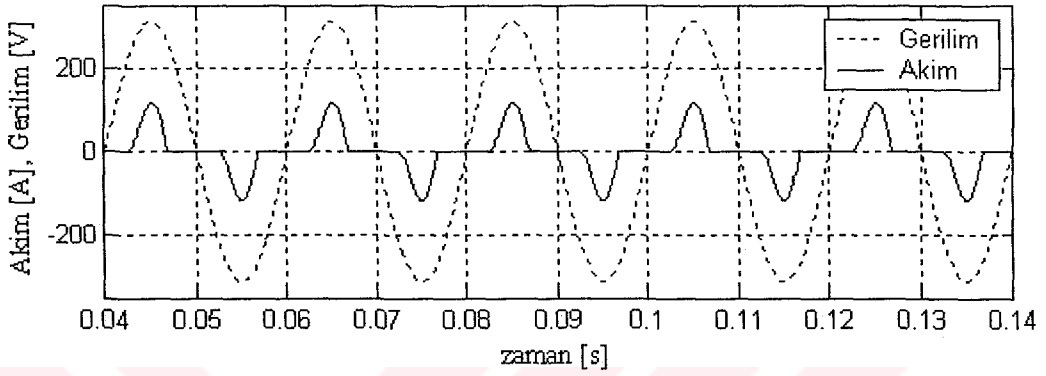
fazlı statik çeviricilerde 3 ve 3'ün katları harmonikler daha baskındır. Şekil 2.1'de üç adet tek fazlı doğrultucunun üç fazlı şebekeye bağlantısı görülmektedir. Her bir doğrultucu, bağlı olduğu kaynaktan sadece AA kaynak gerilimi, kondansatör üzerindeki doğrultulmuş gerilimden büyük olduğunda akım çeker. Bu yüzden çekilen hat akımının dalga şekli, gerilimin dalga şekli sinusoidal olmasına rağmen, sinusoidal değildir.



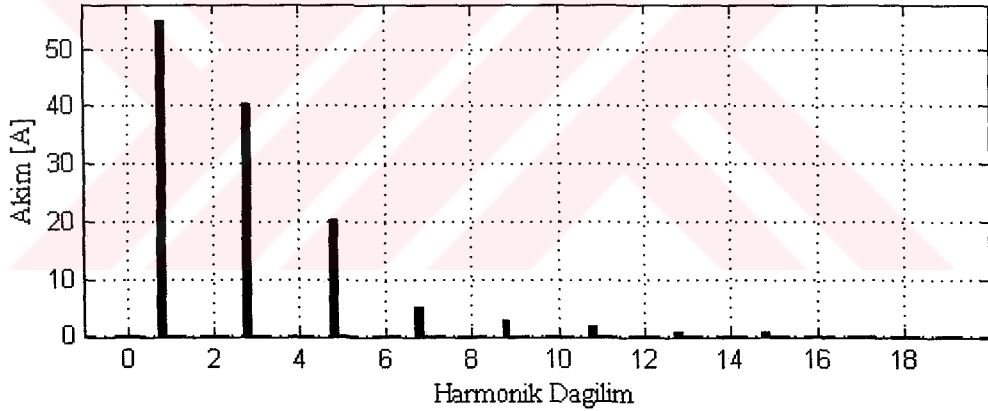
Şekil 2.1. Üç adet tek fazlı diyotlu doğrultucu.

Hat akımının dalga şekli ve harmonik dağılımı Şekil 2.2'deki gibidir. İdeal olarak üç fazlı dört telli elektrik dağıtım sisteminde doğrusal yükler kullanıldığında ve yükler dengeli olarak dağıtıldığında, her faz akımı arasında 120° faz farkı olduğu için nötr hattı akımı sıfırdır. Şekil 2.1'deki gibi doğrusal olmayan yüklerin bağlı olduğu sistemlerde nötr hattında sadece 3 ve 3'ün katları harmonik akımlar görülür. 3 ve 3'ün katları harmonik akımlar dışındaki akımlarla diğer fazlardaki aynı frekansa sahip akımlar

arasında 120° faz farkı olduğu için birbirlerini yok ederler ve nötr hattında görülmezler (Şekil 2.2. a Şekil 2.2 b). Şekil 2.3'te nötr hattı akımı ve bu akımın harmonik dağılımı görülmektedir.



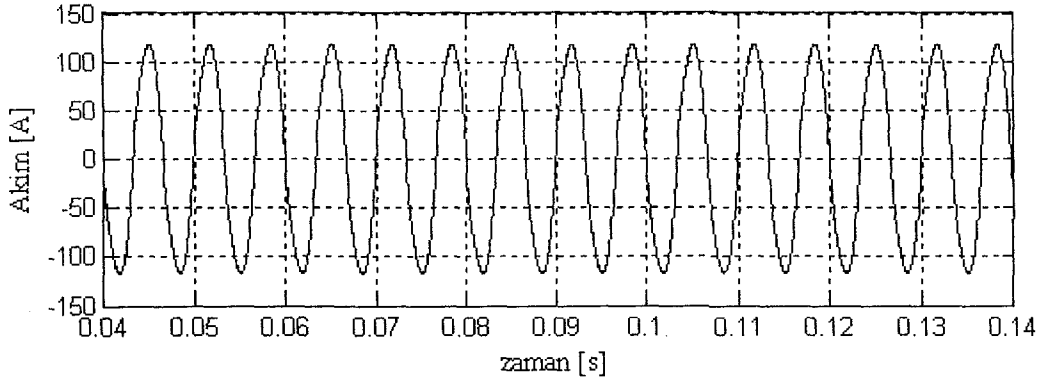
(a)



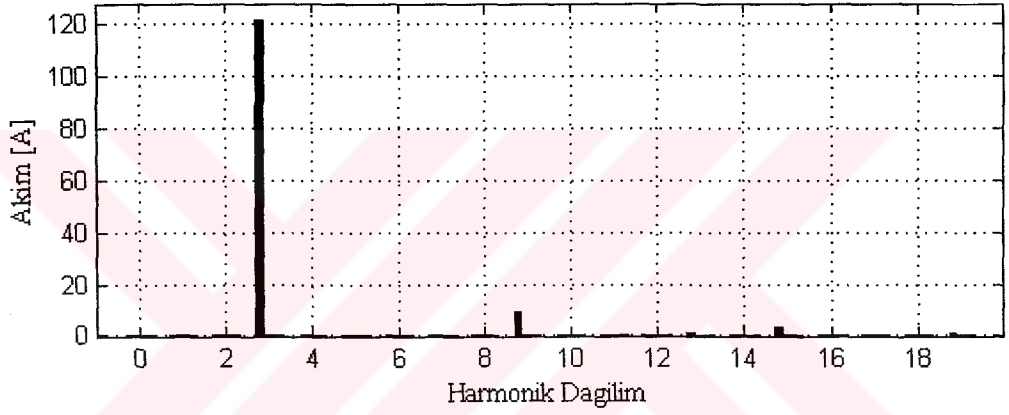
(b)

Şekil 2.2. a) Tek fazlı doğrultucu hat gerilimi ve hat akımı.

b) Hat akımı harmonik dağılımı.



(a)



(b)

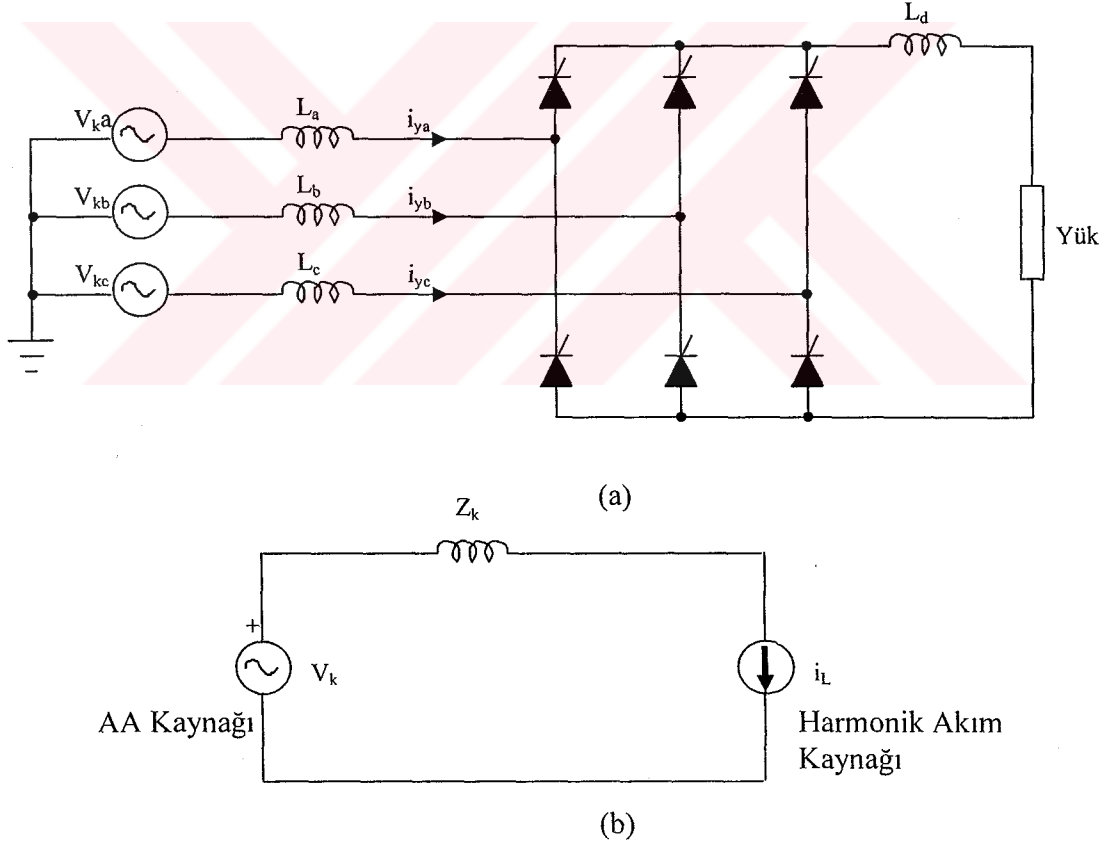
Şekil 2.3. a) Nötr akımının dalga şekli.

b) Nötr akımının harmonik dağılımı.

Üç fazlı doğrusal olmayan yüklerde ise bir fazlı yüklerde baskın olan 3 ve 3'ün katı harmoniklerin yerini 5, 7 ve 11 gibi yüksek frekanslı harmonikler almaktadır. Günümüzün en yaygın harmonik kaynakları olan statik güç çeviricileri harmonik akım kaynağı ve harmonik gerilim kaynağı olarak sınıflandırılır (Peng, 1998).

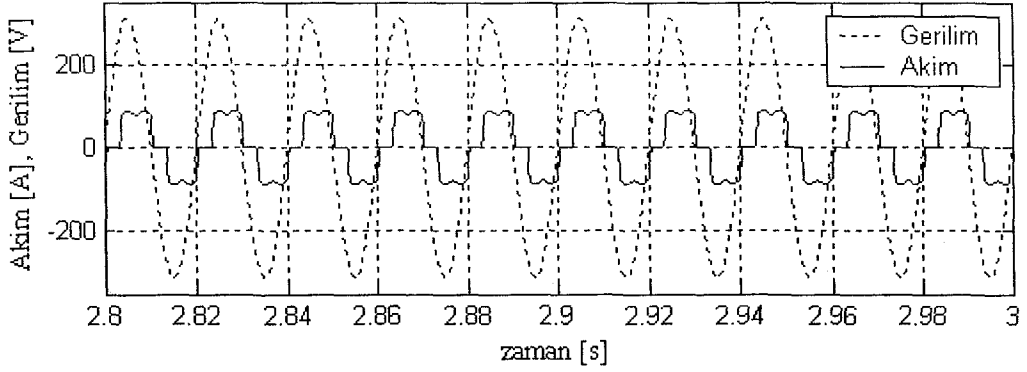
2.1.1. Harmonik akım kaynakları

Tristörlü doğrultucular genel harmonik akım kaynakları olarak bilinir (Peng, 1998). Şekil 2.4. a'da görülen akım kaynağı çevirici, tristörlü doğrultucu ve DA tarafında akım dalgalanmalarını azaltmak için kullanılan bir bobinden (L_d) oluşmaktadır. Şekil 2.5 a'da kaynak gerilimi dalga şekli ve doğrultucu akım dalga şekli görülmektedir. Şekil 2.5 b'de doğrultucu akımının harmonik dağılımı görülmektedir. Tristörlü doğrultucunun DA tarafındaki empedans AA tarafındakinden çok büyüktür. Harmonik akımlar AA tarafa daha az bağlı oldukları için, bu tip harmonik kaynaklar akım kaynağı gibi davranırlar ve Şekil 2.4 b' deki gibi modellenir (Peng, 1998, Akagi, 2000). Burada Z_s kaynak empedansını göstermektedir.

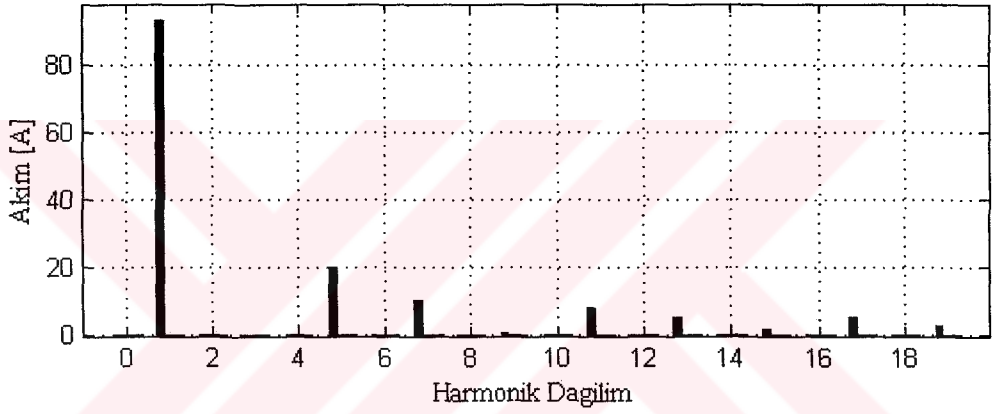


Şekil 2.4. a) Tristörlü doğrultucu.

b) Tek faz eşdeğer devresi.



(a)



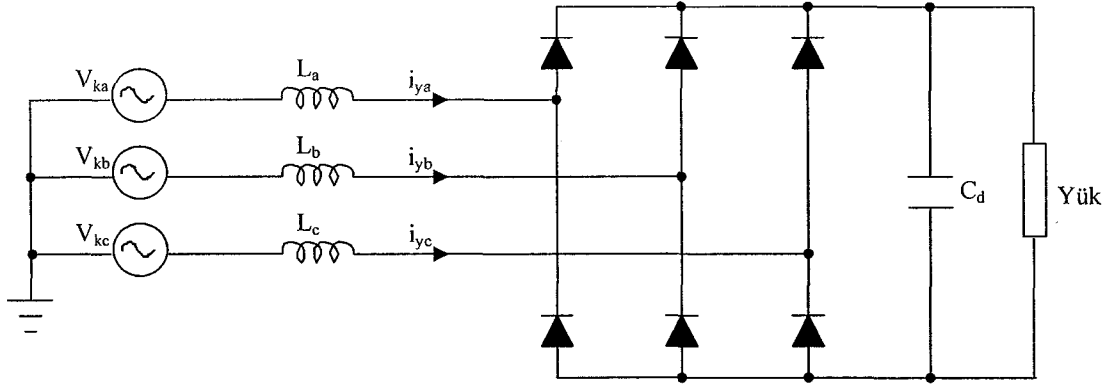
(b)

Şekil 2.5. a) Harmonik akım kaynağı yükün kaynak gerilimi ve hat akımı dalga şekli.
b) Hat akımının harmonik dağılımı.

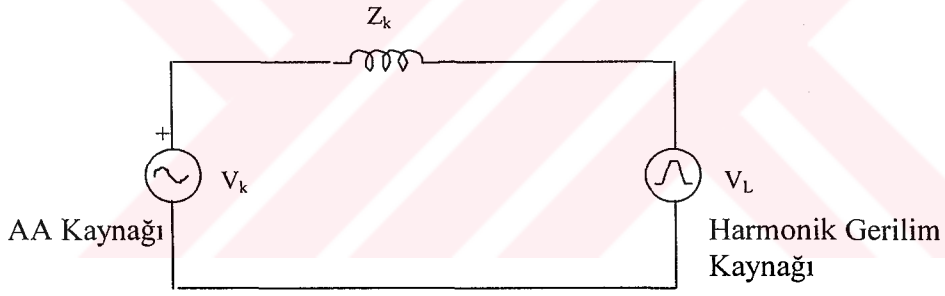
2.1.2. Harmonik gerilim kaynakları

Diyotlu doğrultucu ve DA tarafında gerilim dalgalanmalarını azaltmak için kullanılan bir kondansatörden oluşan çeviriciler genel harmonik gerilim kaynakları olarak bilinir (Peng, 1998). Şekil 2.7.a'da Diyotlu doğrultucunun faz-nötr ve fazlar arası gerilimlerinin dalga şekilleri, Şekil 2.7.b'de hat akımı dalga şekli ve Şekil 2.7.c'de ise hat akımı harmonik dağılımı görülmektedir. Gerilim kaynağı çeviricilerin akım dalga şekli çok bozuk olmasına rağmen, akımın harmonik büyüklüğü AA taraftaki empedans tarafından

etkilenmektedir. Dolayısıyla gerilim kaynağı çeviriciler akım kaynağından çok gerilim kaynağı gibi davranır ve harmonik gerilim kaynağı olarak Şekil 2.6.b'deki gibi modellenir (Peng, 1998, Akagi, 2000).



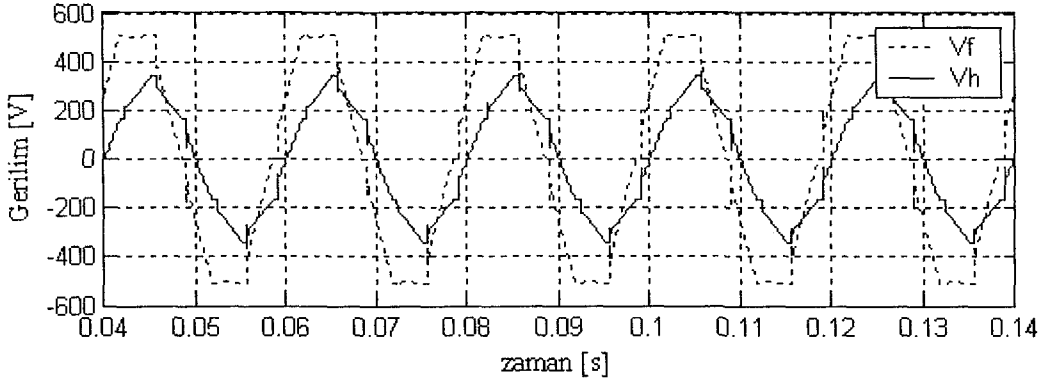
(a)



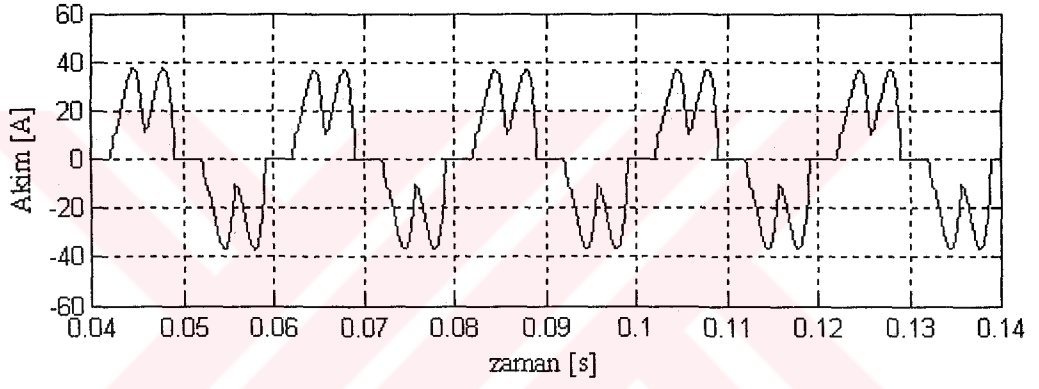
(b)

Şekil 2.6. a) Diyotlu doğrultucu.

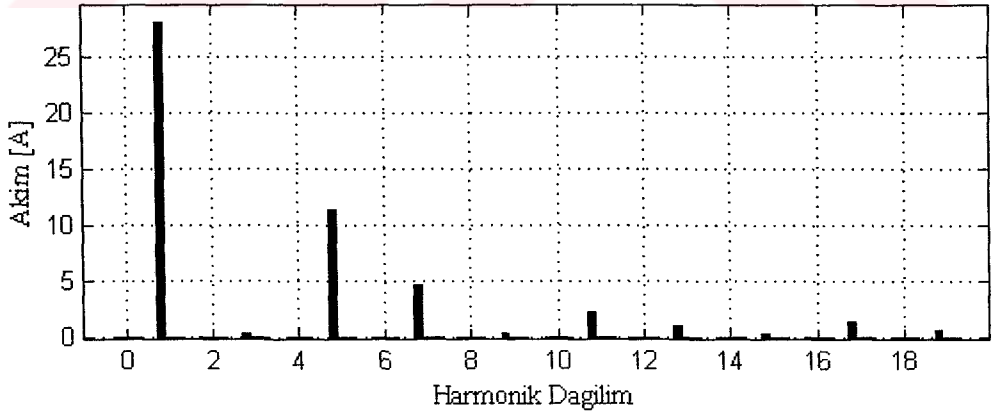
b) Diyotlu doğrultucunun tek faz eşdeğer devresi.



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.7. a) Diyotlu doğrultucunun faz-nötr ve fazlar arası gerilimleri.

b) Hat akımı.

c) Hat akımının harmonik dağılımı.

2.2. Harmoniklerin Etkileri

Doğrusal olmayan yükler tarafından üretilen harmonikler, güç sistemi elemanları ve yükler üzerinde istenmeyen etkiler yapar.

2.2.1. Motor ve jeneratörlere etkisi

Harmonik akım ve gerilimlerin dönen makinelere temel etkisi, harmonik frekanslarda bakır ve demir kayıplarından dolayı oluşan sıcaklık artışıdır. Böylece harmonikler makine verimini etkiler, tribün-jeneratör veya motor-yük sistemlerinde moment salınımlarına dolayısıyla mekaniki salınımlara sebep olur (IEEE, 1992).

2.2.2. Transformatörlere etkisi

Harmoniklerin transformatörlere etkisi iki şekilde incelenebilir; akım harmonikleri bakır kayıplarının artmasına, gerilim harmonikleri ise demir kayıplarının artmasına sebep olur. (IEEE, 1992).

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. (IEEE, 1992).

2.2.3. Güç kablolarına etkisi

İletkenlerden harmonik akımların akması iletkenlerin ısısının artmasına sebep olur. Bunun sebebi yüksek frekanslı akımların “deri” etkisinden dolayı iletkenin dış kısmından akmasıdır. Deri etkisi frekansla artar. Dolayısıyla yüksek frekanslı harmonikler deri etkisinin artmasına sebep olur. Deri etkisinden dolayı iletkenin etkin direnci ve dolayısıyla I^2R kayıpları artmaktadır. Ayrıca harmonik akımların iletken

üzerinden geçmesiyle bu akımların karesiyle orantılı olarak kayıplarda artmaktadır. Deri etkisinde harmonik akımların frekansı önemliyken bu kayıplarda harmonik akımın etkin değeri önemlidir. (IEEE, 1992).

2.2.4. Kondansatörlere etkisi

Frekansın artmasıyla birlikte kondansatörün empedansı azalır. Yani yüksek frekanslı akımlarda kondansatörün direnci çok küçüleceğinden sistemdeki yüksek frekanslı harmonik akımları kendi üzerine çeker. Bu durum kondansatörün aşırı yüklenmesine ve dolayısıyla sıcaklığının artmasına sebep olur ve kondansatörün ömrü azalır. (IEEE, 1992, Clark et al, 1997)

Kondansatörlerle harmonikler arasındaki diğer bir problem ise rezonans olayıdır. Rezonans sistemde bulunan bobinlerin empedansı ile kondansatörlerin empedansının birbirine eşit olması durumunda ortaya çıkar. Bu durumda başta kondansatör olmak üzere diğer devre elemanları zarar görür (IEEE, 1992).

2.2.5. Elektronik ekipmanlara etkisi

Güç elektroniği ekipmanları harmonik bozulmadan dolayı yanlış çalışabilir. Bu ekipmanlar tetikleme zamanını belirlemek için gerilim sinyalinin sıfır geçişini kullanmaktadır. Eğer sıfır geçişinde harmoniklerden dolayı bir kayma olursa bu tip cihazlar yanlış çalışır. (IEEE, 1992).

3. AKTİF GÜÇ FİLTRELERİ

Aktif güç filtreleri doğrusal olmayan yükün ürettiği akım ve/veya kaynak geriliminin harmoniklerini yok etmek için güç elektroniği elemanları kullanarak yükün harmonik akım ve/veya gerilimine ters fazda fakat eşit büyüklükte harmonik akım ve /veya gerilim üreten cihazlardır. Aktif güç filtrelerini harmonik akım kompanzasyonunun yanında reaktif güç ve nötr akımı kompanzasyonu içinde kullanılmaktadır.

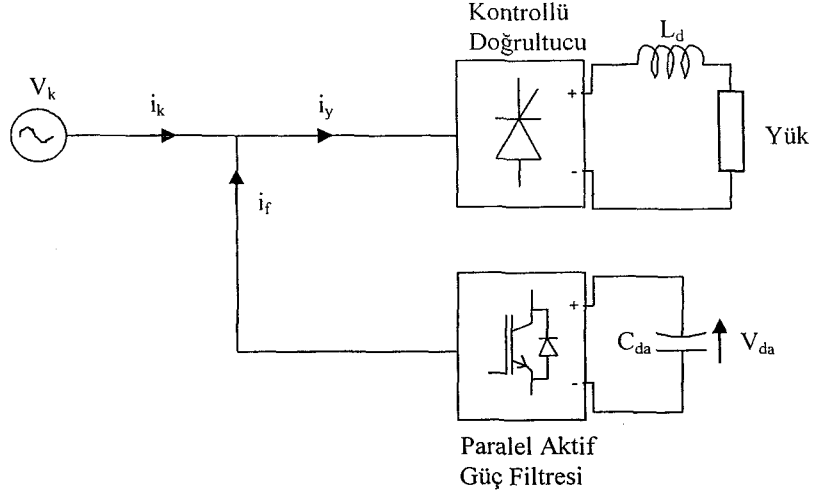
3.1. Aktif Güç Filtrelerinin Sınıflandırılması

Aktif güç filtreleri sistem konfigürasyonuna, güç devresine ve kontrol stratejisine göre sınıflandırılabilir. Sistem konfigürasyonuna göre; paralel, seri, hibrit ve birleşik güç kalitesi düzenleyicileri (BGKD), güç devresine göre; gerilim beslemeli DGA eviricili ve akım beslemeli DGA eviricili aktif güç filtreleri, kontrol stratejisine göre; zaman domeni ve frekans domeni kontrollü aktif güç filtreleri olarak iki bölüme ayrılır. Zaman domeninde anlık reaktif güç algoritması, senkron-denetim algoritması, senkron referans yapı tabanlı algoritma, senkron-akı-denetim algoritması kullanılmaktadır.

3.1.1. Sistem konfigürasyonuna göre sınıflandırma

3.1.1.1. Paralel aktif güç filtreleri

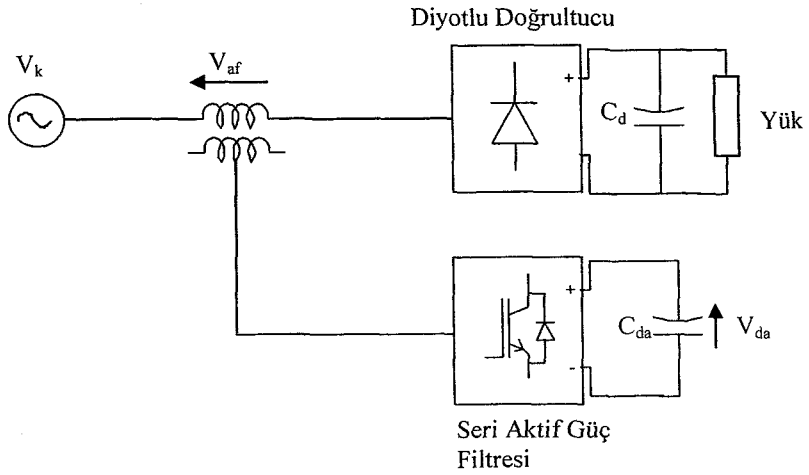
Şekil 3.1'de görülen paralel aktif güç filtresi akım harmonikleri, reaktif güç kompanzasyonu ve dengesiz akımlarda dengeleme için kullanılır. Paralel aktif güç filtreleri yüke paralel bağlanarak yük akımının harmoniklerini yok etmek ve reaktif güç kompanzasyonu yapmak için sisteme ters fazda ve eşit büyüklükte akımlar verir. Böylece kaynaktan çekilen akımların dalga şekli sinüsoidal yapılıdır (Peng, 2001).



Şekil 3.1. Paralel aktif güç filtresi.

3.1.1.2. Seri aktif güç filtreleri

Şekil 3.2’de görülen seri aktif güç filtresi gerilim harmonikleri ve yük gerilimini dengelemek için kullanılır. Bu güç filtreleri gerilim harmoniklerini yok etmek için sisteme ters fazda ve eşit büyüklükte harmonik gerilimler verir (Peng, 2001). Seri aktif güç filtreleri kaynak ve yük arasında seri bağlandığı için harmonik akımlara karşı yüksek empedans gösterir. Dolayısıyla kaynakla yük arasında harmonik izolasyon oluşur (Peng, 1998).

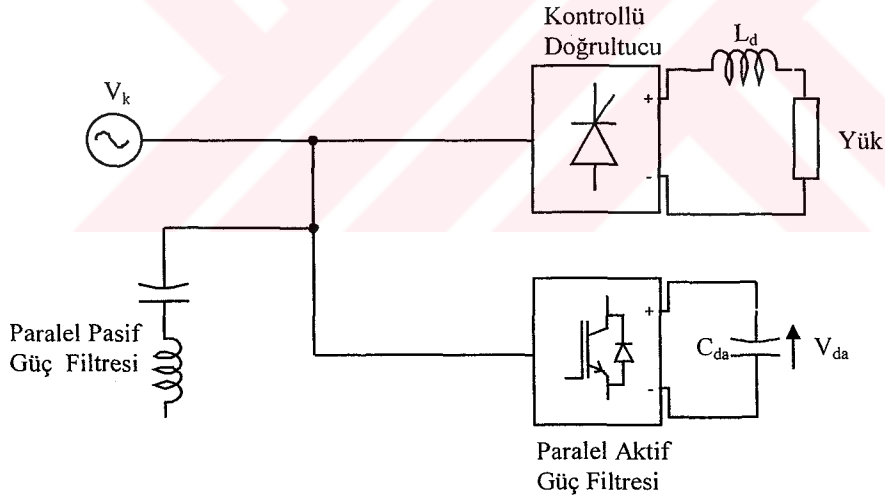


Şekil 3.2. Seri aktif güç filtresi.

3.1.1.3. Hibrit aktif-pasif güç filtreleri

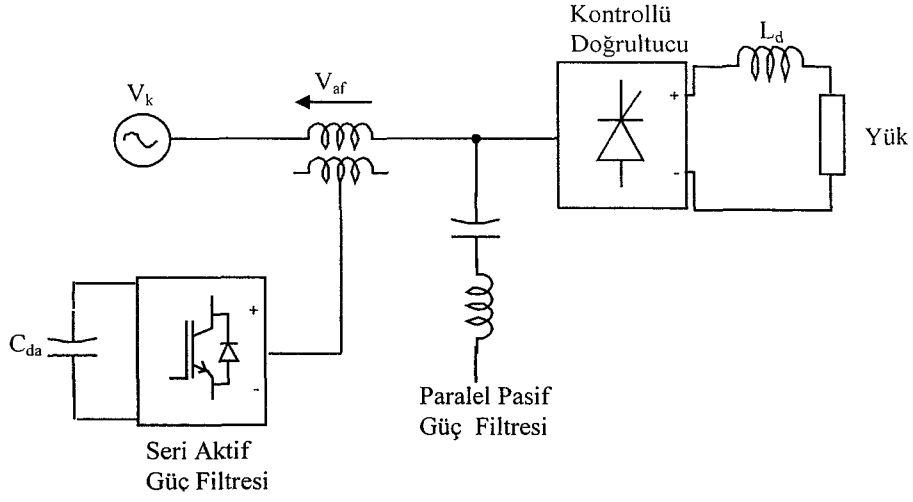
Şekil 3.3, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te üç farklı tipte hibrit aktif-pasif güç filtresi görülmektedir. Aktif ve pasif güç filtrelerinin beraber kullanılmasındaki amaç başlangıç maliyetini azaltmak ve verimi yükseltmektir (Akagi, 1996). Hibrit filtrelerde hem aktif filtrenin hem de pasif filtrenin avantajları birleştirilmiştir. Hibrit filtreler sadece harmonik kompanzasyonu için değil aynı zamanda kaynakla yük arasında harmonik izolasyon, gerilim regülasyonu ve dengesizlikler için de kullanılmaktadır (Akagi, 1996).

Şekil 3.3'teki devre kombinasyonunda paralel aktif güç filtresi ile 5 ve 7. harmoniklerin kompanzasyonu yapılırken, paralel pasif güç filtresi ile yüksek dereceli harmoniklerin kompanzasyonu yapılır dolayısıyla paralel aktif güç filtresinin anahtarlama kayıpları azaltılır (Peng, 2001).

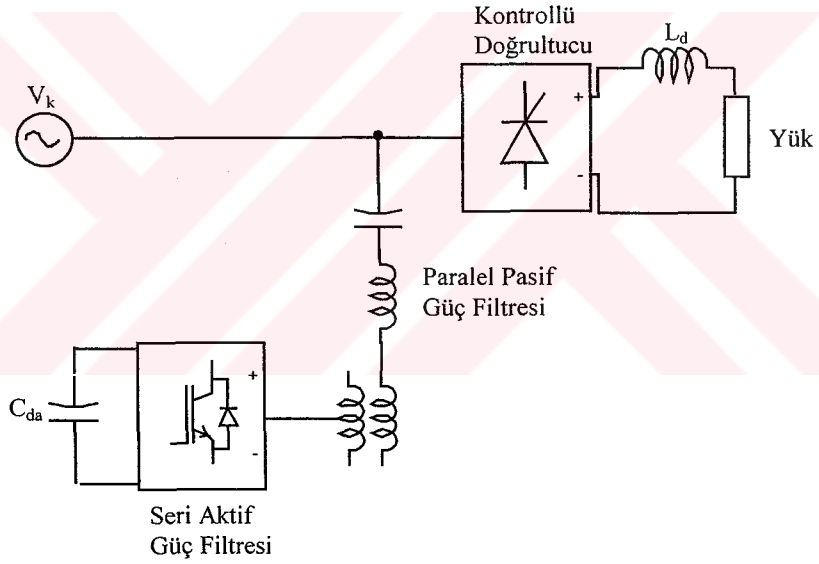


Şekil 3.3. Paralel aktif, paralel pasif güç filtresi.

Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te seri aktif güç filtresi ve paralel pasif güç filtresi kombinasyonları görülmektedir. Seri aktif güç filtresi paralel pasif güç filtresinin kaynak empedansından etkilenme ve rezonans gibi problemlerini azaltmak ve paralel pasif güç filtresinin performansını arttırmak için kullanılır (Peng, 2001).



Şekil 3.4. Seri aktif paralel pasif güç filtresi.

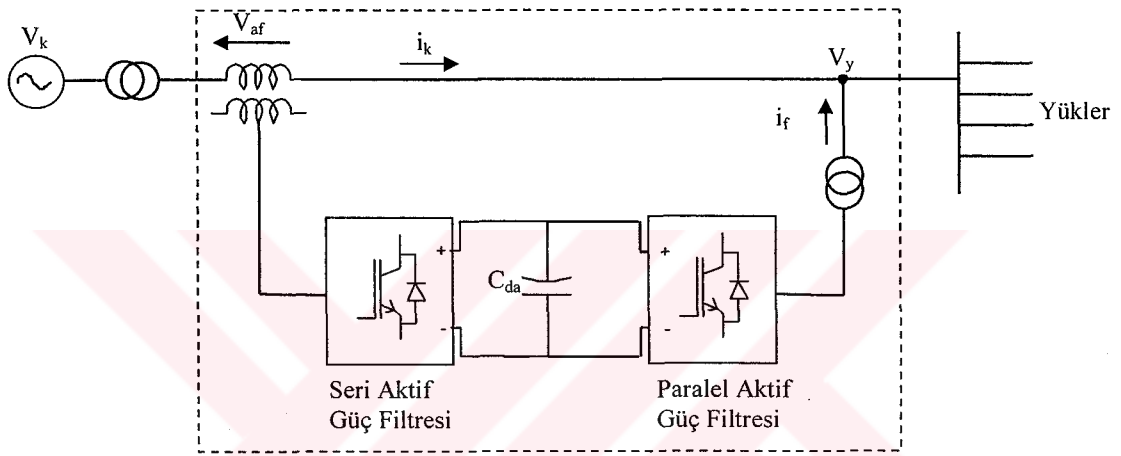


Şekil 3.5. Seri aktif paralel pasif güç filtresi.

3.1.1.4. Birleşik güç kalitesi düzenleyicileri (BGKD)

Şekil 3.6' da paralel ve seri aktif güç filtrelerinin beraber kullanıldığı BGKD sistemi görülmektedir. BGKD'ler bir DA enerji depolama elemanı kondansatöre bağlı iki tane gerilim kaynağı evirici devresinden oluşmaktadır. Bu eviricilerden biri AA hattına seri

bağlı diğeri ise paralel bağlıdır. Seri aktif güç filtresi yüklerle güç sistemi arasında harmonik izolasyon sağlayarak kaynak tarafından gelen harmonik akımlara karşı blok oluşturur. Ayrıca kaynak gerilimi harmonikli veya dengesiz ise yük üzerine saf sinüsoidal gerilim sağlar (Peng, 2001). Paralel aktif güç filtresi harmonik akım ve reaktif güç kompanzasyonu ve her iki aktif filtre arasındaki DA geriliminin regülasyonunu yapar (Akagi, 1996).



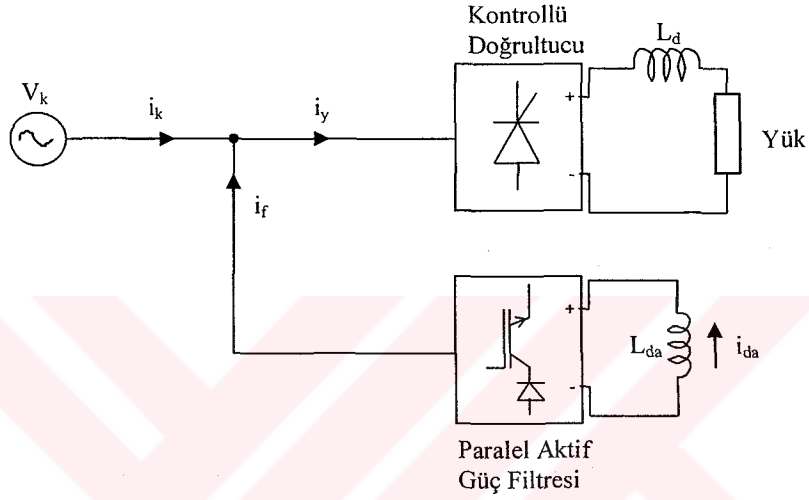
Şekil 3.6. Birleşik güç kalitesi düzenleyicileri.

3.1.2. Güç devresine göre sınıflandırma

Aktif güç filtrelerinde gerilim beslemeli DGA evirici ve akım beslemeli DGA 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 (Akagi, 1996).

3.1.2.1. Akım beslemeli DGA evirici

Şekil 3.7’de akım beslemeli DGA eviricili aktif güç filtresi görülmektedir. Bu evirici doğrusal olmayan yükün harmonik akım ve reaktif güç kompanzasyonunu yaparken doğrusal olmayan akım kaynağı gibi davranır (Singh and Al-Haddad, 1999).



Şekil 3.7. Akım beslemeli DGA eviricili aktif güç filtresi.

3.1.2.2. Gerilim beslemeli DGA evirici

Şekil 3.1’de gerilim beslemeli DGA eviricili aktif güç filtresi görülmektedir. Gerilim beslemeli DGA eviricinin verimi akım beslemeli DGA eviriciye göre daha yüksek ve kuruluş maliyeti daha düşük olduğu için aktif güç filtresi uygulamalarında daha çok tercih edilir (Akagi, 1994).

3.1.3. Kontrol stratejisine göre sınıflandırma

Kontrol stratejisine göre sınıflandırma zaman domeni ve frekans domeni olmak üzere iki şekilde yapılır. Zaman domeni teknikleri, güç sisteminin akım ve gerilimlerinden anlık

kompanzasyon sinyalleri üretilmesi temeline dayanır. Frekans domeni tekniğinde ise kompanzasyon sinyalleri güç sisteminin akım ve gerilimlerinin dalga şekillerinin Fourier analizi yapılarak elde edilir.

3.1.3.1. Zaman domeni

3.1.3.1.1. Anlık reaktif güç algoritması

Anlık reaktif güç algoritmasında üç fazlı akım ve gerilimler iki fazlı α - β durağan referans yapıya çevrilerek gerçek ve sanal güçler hesaplanır. Hesaplanan bu güçler doğru ve dalgalı bileşenler içerir. Aktif ve sanal gücün dalgalı bileşenleri harmoniklere karşılık gelirken, sanal gücün doğru bileşeni ise reaktif güce karşılık gelmektedir. Dolayısıyla kompanzasyon sinyalleri bu bileşenlerden elde edilir. Bu algoritmada üç fazlı sistemde gerilimler dengeli ve dalga şekilleri saf sinüsoidal olmalıdır (Habrouk et al. 2000).

3.1.3.1.2. Senkron denetim algoritması

Senkron denetim algoritması, önceki algoritmaya benzemektedir. Kompanzasyondan sonra kaynaktan çekilen akımların dengeli olması prensibine göre çalışır. Ortalama güç hesaplanır ve üç faza eşit olarak bölünür. Daha sonra bu sinyal her bir faz için kaynak gerilimiyle senkronlaştırılır. Bu tekniğin uygulamasının kolay olmasına rağmen gerilimdeki harmonikler bu yöntemin en büyük dezavantajıdır.

3.1.3.1.3. Senkron referans yapı tabanlı algoritma

Senkron referans yapı tabanlı algoritmada ölçülen üç fazlı yük akımları gerilimle senkron dönen referans yapıya çevrilir. Senkron referans yapıda yük akımı AA ve DA bileşenlerine sahiptir. DA bileşeni akımın temel bileşenine karşılık gelmektedir. AA bileşeni ise akımın harmonik bileşenlerine karşılık gelmektedir.

3.1.3.2. Frekans domeni

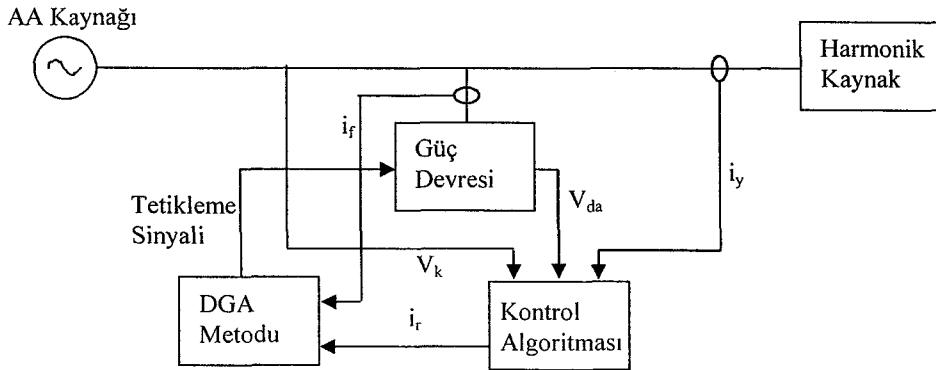
Frekans domeninde bozuk gerilim veya akımın Fourier analizi yapılarak aktif filtre kontrol edilir. Fourier çevrimi kullanılarak harmonikli akım sinyalinin temel bileşeni yok edilir ve ters Fourier dönüşümü yapılarak kontrol sinyali elde edilir. Frekans domeni yaklaşımı hem üç fazlı hem de tek fazlı sistemler için uygundur. Bu tekniğin en büyük dezavantajı zaman gecikmesinin olmasıdır. Çünkü bu teknikte bir periyot veya bir periyodun tam katları kadar örnekleme alınmalıdır. Bu yüzden bu yöntem yavaş değişen yük koşulları için uygundur.



4. PARALEL AKTİF GÜÇ FİLTRELERİ

Paralel aktif güç filtresi, doğrusal olmayan yükün (doğrultucu vb.) kaynaktan çektiği sinüsoidal olmayan akımın dalga şeklini sinüse benzetmek ve gerilimle aynı faza getirmek için, yükün çektiği harmonik akımlara ters fazda ve eşit büyüklükte harmonik akımlar üreten güç elektroniği bileşenleri içeren bir cihazdır.

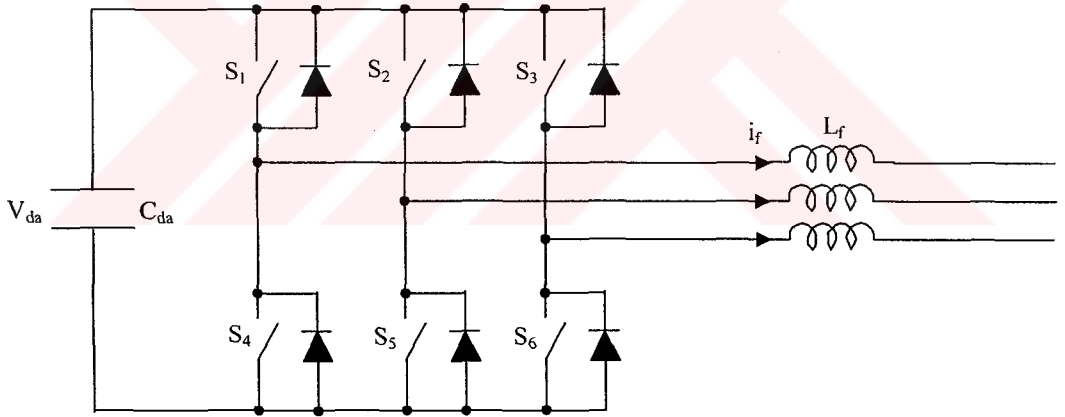
Paralel aktif güç filtresinin blok diyagramı Şekil 4.1'de görülmektedir. Tetikleme sinyalini üretebilmesi için öncelikle yükün çektiği harmonik akımlar tespit edilmelidir. Bunun için yük akımları ve kaynak gerilimlerinden örnekler alınır. Kontrol algoritmalarından biri kullanılarak referans akım sinyalleri üretilir. Üretilen bu referans sinyallerle paralel aktif güç filtresinin o anda çıkışındaki akım sinyalleri karşılaştırılarak tetikleme sinyalleri üretilir. Güç devresi, kontrol algoritması ve darbe genişlik ayarı (DGA) metotlarından biri kullanılarak paralel aktif güç filtresi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.1. Paralel aktif güç filtresi blok diyagramı.

4.1. Güç Devresi

Güç devresi üç fazlı köprü evirici, bobin ve DA kondansatöründen oluşmaktadır (Şekil 4.2). Paralel aktif güç filtresinin güç devresinde gerilim kaynağı DGA evirici veya akım kaynağı DGA 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. Onun yerine enerji depolama elemanı olarak gerilim kaynağı eviricide kondansatör, akım kaynağı eviricide ise bobin kullanılmaktadır. Günümüzde birçok aktif filtre uygulamasında önceki bölümde bahsedilen avantajlarından dolayı gerilim kaynağı evirici tercih edilmektedir. Güç devresinde anahtarlama elemanı olarak yüksek hızlı anahtarlama yetenekleri ve yüksek akım dayanımına sahip olduğu için izole kapılı transistör (IGBT) kullanılmaktadır.



Şekil 4.2. Paralel aktif güç filtresi güç devresi.

Güç devresinde kullanılan AA tarafındaki bobin ve DA tarafındaki kondansatörün değeri ve DA tarafındaki gerilimin büyüklüğü güç devresinin ve dolayısıyla paralel aktif güç filtresinin performansını etkilemektedir.

Enerji depolama elemanı olarak kullanılan kondansatörün büyüklüğü DA tarafındaki gerilimin dalgalanmasını belirler. Kondansatörün büyük seçilmesi DA tarafındaki gerilimin dalgalanmasını azaltır fakat geçici durumda (kondansatör şarj oluncaya kadar) eviriciden çok büyük akım geçer. Bu durum anahtarlama elemanlarının zarar görmesine sebep olur. Kondansatörün değeri küçük seçildiğinde ise geçici durumdaki bu olumsuzluklar giderilir. Fakat DA tarafındaki gerilimin çok dalgalanır. V_{da} gerilimindeki bu dalgalanma filtre akımının yükselme hızını dolayısıyla filtrenin cevabına etki eder. Evirici hem doğrusal olmayan yükün çektiği akımları yok etmek için hem de V_{da} gerilimini sabit tutmak içinde kontrol edilir.

L_f bobini filtre akımının yükselme hızını belirler. Yükselme hızının değeri ise yüksek dereceli harmonik bileşenleri yok etmede önemlidir. L_f bobinin büyük olması aktif güç filtresinin yüksek dereceli harmonikleri yok etmesini engeller ve yük değişiminde aktif güç filtresinin cevabını yavaşlatır.

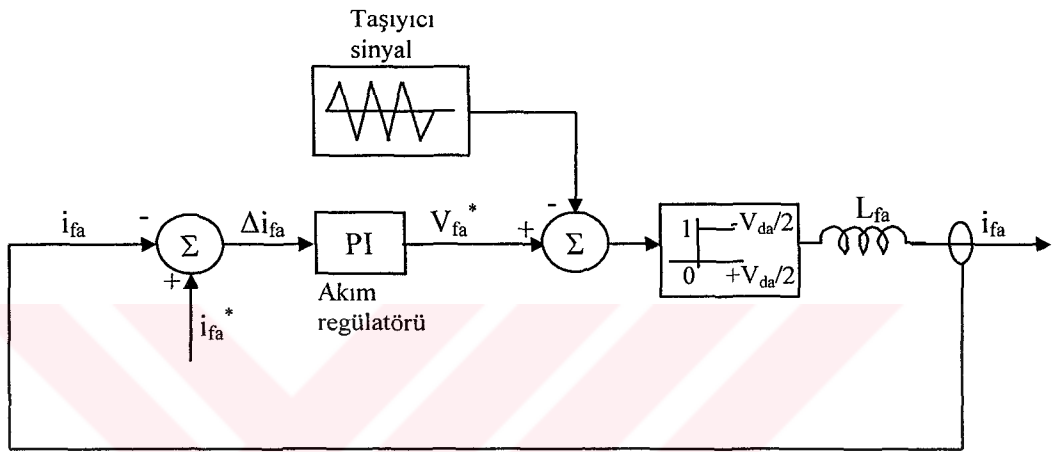
4.2. DGA Metodu

Paralel aktif güç filtrelerinde köprü eviricinin çıkışındaki akım kontrol edilmektedir. Dolayısıyla kullanılan bu eviriciler akım kontrollü gerilim kaynağı DGA evirici olarak adlandırılır. Aktif güç filtresi çıkışından istenilen dalga şekline sahip akım almak için akım kontrollü gerilim kaynağı evirici çeşitli metotlarla kontrol edilir. Bunlardan aktif güç filtrelerinde en çok kullanılanları sinüsoidal DGA, histerisiz bant akım denetimli DGA, uzay vektör DGA'dır.

4.2.1. Sinüsoidal DGA

Şekil 4.3'te sinüsoidal DGA'nın prensip şeması verilmektedir. Evirici çıkışındaki i_{fs} akımını kontrol etmek için bu akımlardan geri besleme alınır. Alınan bu sinyalle referans akım sinyali karşılaştırılarak Δi_{fa} hata sinyali elde edilir. Akım regülatörü bu hata sinyalini alarak çıkışında eviricinin faz gerilimlerine karşılık gelen V_{fa}^* gerilim sinyalini

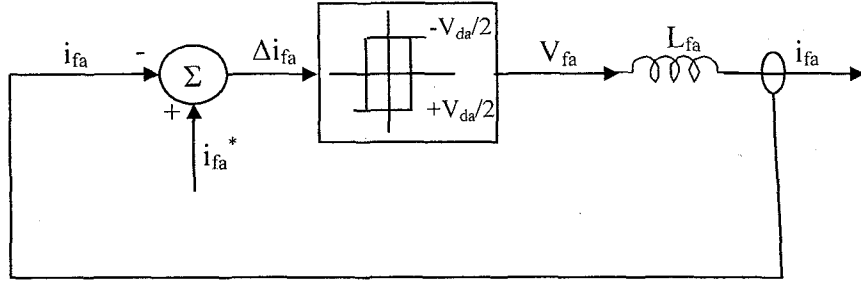
üretir. Anahtarlama sinyallerini üretmek için bu gerilim sinyali taşıyıcı sinyal olarak adlandırılan üçgen dalga şekline sahip sinyalle karşılaştırılır. Gerilim sinyalinin üçgen sinyalden büyük olduğu yerlerde S_4 anahtarı, küçük olduğu yerlerde ise S_1 anahtarı iletime geçer. Bu işlem her faz için ayrı ayrı yapılarak o fazlara ait kollardaki anahtarlar kontrol edilir. Taşıyıcı sinyalin frekansı anahtarlama frekansını vermektedir.



Şekil 4.3. Sinüsoidal DGA.

4.2.2. Histerisiz bant DGA

Şekil 4.4'te histerisiz bant DGA prensip şeması verilmektedir. Evirici çıkışındaki akımı kontrol etmek için çıkış akımlarıyla referans akımlar karşılaştırılır. Elde edilen hata sinyalleri histerisiz denetleyiciye uygulanarak anahtarlama sinyalleri üretilir. Her faza ait histerisiz denetleyici o fazlara ait akım hatalarını belli sınırlar içinde tutacak şekilde anahtarlama sinyalleri üretir. Hata sinyali üst sınıra ulaştığında S_4 anahtarı iletime geçerek akımın düşmesini sağlar, hata alt sınıra ulaştığında ise S_1 anahtarı iletime geçerek akımın artması sağlanır. Bu işlem de referans sinyal değişse bile hata sinyali histerisiz bant sınırları arasında tutulduğu için çıkış akımının referans sinyali takip etmesi sağlanmış olur.



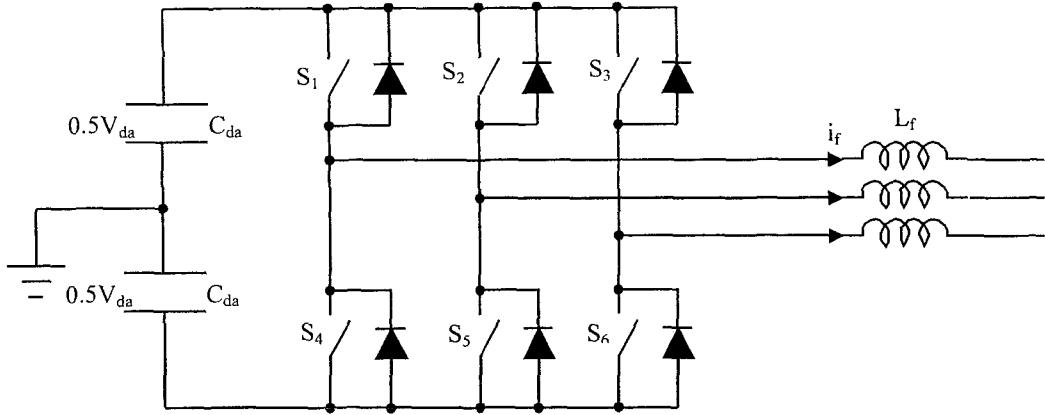
Şekil 4.4. Histerisiz bant DGA (Ingram and Round, 1999).

Şekil 4.5'te eviricinin çıkışındaki L bobinin üzerindeki gerilim, anahtarların konumuna ve kaynak geriliminin anlık değerine bağlı olarak $+0.5V_{da}-V_a$ ile $-0.5V_{da}-V_a$ arasında değişmektedir. Şekil 4.6'da evirici çıkışındaki (a) fazına ait akım ve gerilim dalga şekli görülmektedir. S_1 anahtarı kapatıldığında i_{fa} akımı 1 numaralı noktadan 2 numaralı noktaya doğrusal olarak artar. 2 numaralı noktaya ulaştığında S_4 anahtarı kapatılır ve akım 3 numaralı noktaya doğrusal olarak azalır. t_1 ve t_2 anahtarlama aralıkları için

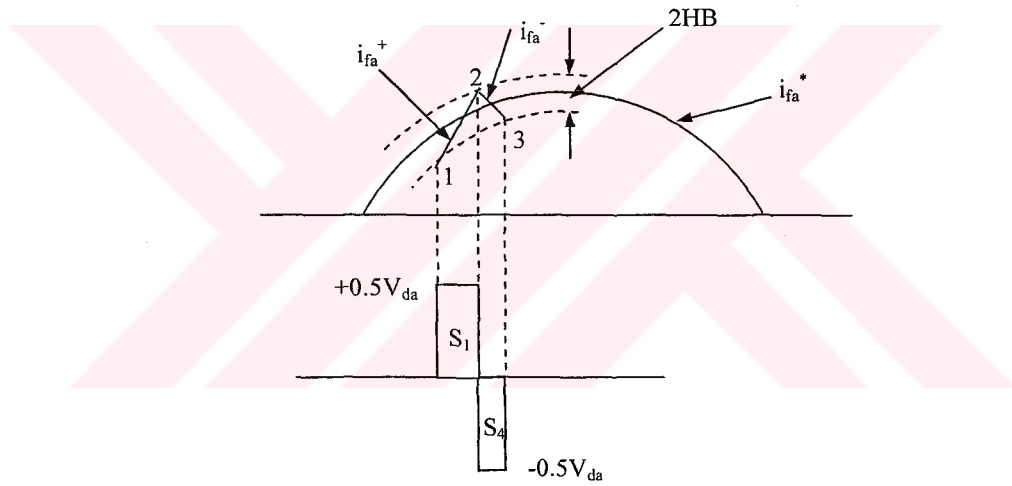
$$\frac{di_{fa}^+}{dt} = \frac{1}{L_{fa}} (0.5V_{da} - V_{ka}) \quad (4.1)$$

$$\frac{di_{fa}^-}{dt} = -\frac{1}{L_{fa}} (0.5V_{da} + V_{ka}) \quad (4.2)$$

denklemleri yazılır. i_{fa}^+ ve i_{fa}^- (a) fazı akımının yükselen ve düşen kısımlarıdır (Bose, 1990).



Şekil 4.5. İki kondansatörlü evirici bağlantısı.



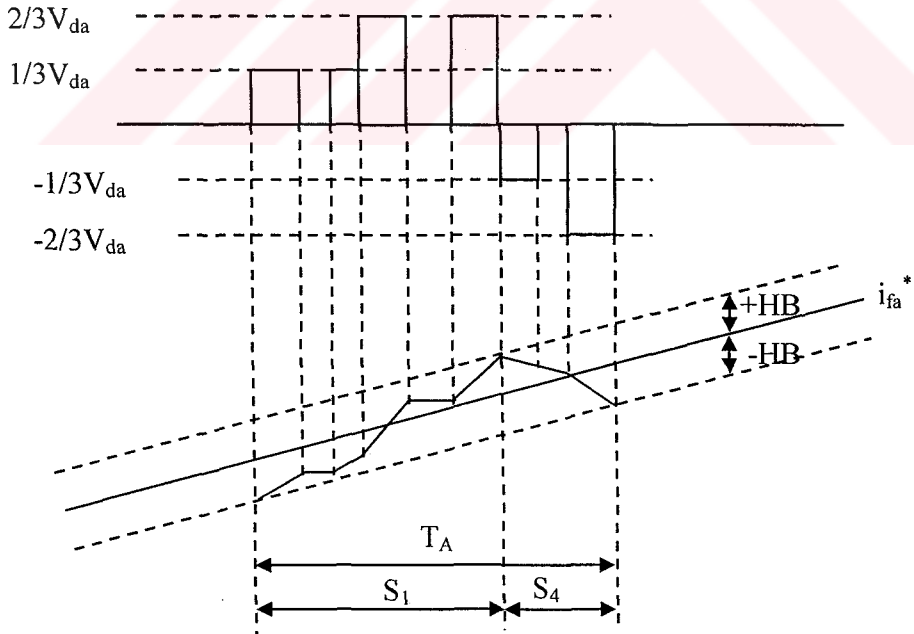
Şekil 4.6. Evirici çıkışındaki akım ve gerilim dalga şekli (Bose, 1990).

Bir çok paralel aktif güç filtresi uygulamasında DA tarafı nötr hattından ayrı kullanılmaktadır (Şekil 4.2). Bu durumda güç devresinin bir fazındaki çıkış gerilimi, diğer fazlara ait anahtarların kapalı veya açık olma durumuna göre değişmektedir. Tablo 4.1’de eviricinin anahtarlama durumu ve bu durumlara göre (a) fazının gerilimi görülmektedir. S_1 anahtarı kapandığında (a) fazının gerilimi 0, $1/3$, $2/3V_{da}$ değerlerini alabilir. S_4 anahtarın kapandığında ise 0, $-1/3$, $-2/3V_{da}$ değerlerini alabilir. Şekil 4.7’de bir anahtarlama periyodu boyunca evirici çıkış gerilim ve akım dalga şekli

görülmektedir. Kaynak geriliminin işaretine ve değerine bağlı olarak S_1 anahtarı kapandığında faz akımı yükselip düşebilir, S_4 anahtarı kapatıldığında ise akım sürekli düşer (Bose, 1990).

Tablo 4.1 Evirici anahtarlama durumu ve (a) fazı gerilimi.

Anahtarlama Durumu	Kapalı Anahtarlar	(a) Fazı Gerilimi (V)
1	$S_1 S_6 S_5$	$+1/3V_{da}$
2	$S_1 S_6 S_2$	$+1/3V_{da}$
3	$S_1 S_3 S_5$	0
4	$S_1 S_6 S_2$	$+2/3V_{da}$
5	$S_4 S_6 S_2$	0
6	$S_4 S_3 S_5$	$-2/3V_{da}$
7	$S_4 S_3 S_2$	$-1/3V_{da}$
8	$S_4 S_6 S_5$	$-1/3V_{da}$



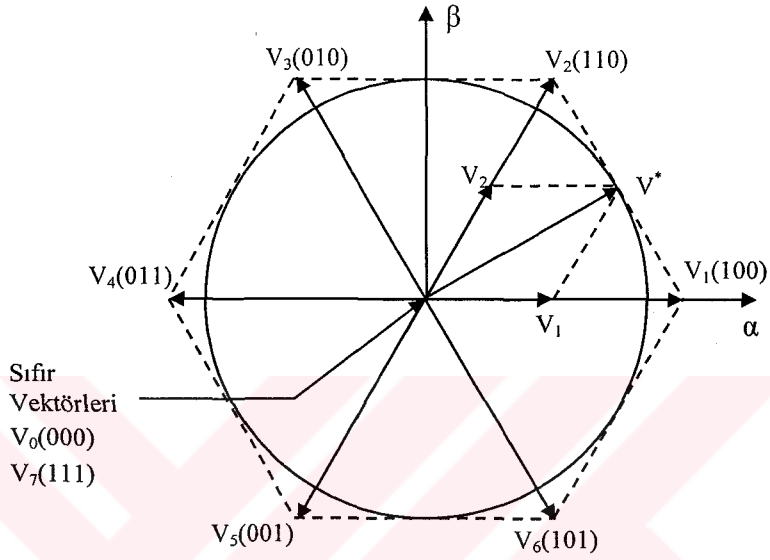
Şekil 4.7. Bir anahtarlama periyodu boyunca evirici çıkışındaki gerilim ve akım dalga şekilleri (Bose, 1990).

Denklem 4.1, denklem 4.2, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'ye göre anahtarlama frekansı; histerisiz bandın genişliğine, L bobin değerine, kaynak geriliminin büyüklüğüne ve DA tarafındaki gerilimin büyüklüğüne bağlıdır. Bobinin veya histerisiz bandın büyük olması veya V_{da} 'nın küçük olması akımın yükselme hızını ve anahtarlama frekansını küçültür. Bobinin veya histerisiz 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.

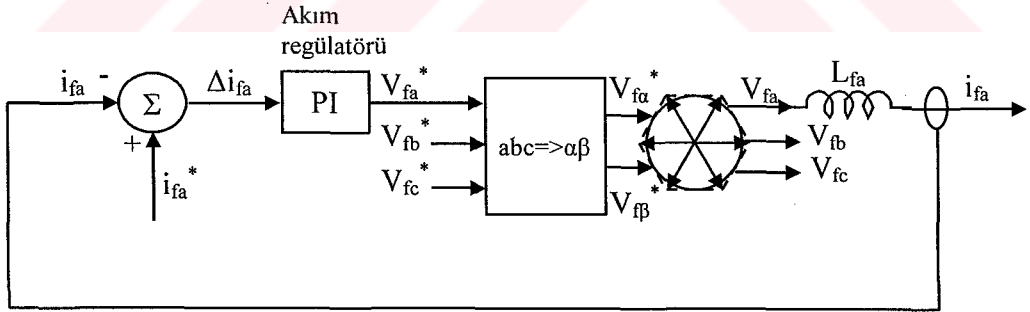
4.2.3. Uzay vektör DGA

Sinüsoidal DGA ve histerisiz bant DGA'da farklı kollardaki anahtarlar birbirinden bağımsız olarak kontrol edilmektedir. Uzay vektör DGA'da ise her bir koldaki anahtarlar birbirine bağımlı olarak kontrol edilir. Aynı koldaki anahtarlardan biri kapalı iken diğeri doğru akım kaynağını kısa devre etmemek için açık olmak zorundadır. Dolayısıyla üç fazlı köprü eviricide 8 tane anahtarlama olasılığı kalmaktadır. Bunlardan 6 tanesi aktif anahtarlama vektörü, 2 tanesi ise sıfır vektörü olarak adlandırılır. Aktif anahtarlama vektörleri α - β düzlemini 6 bölgeye ayırır. Şekil 4.8'de bu vektörlerin α - β düzlemine dağılımı gösterilmektedir. Sıfır anahtarlama vektörleri ise bu altıgenin merkezine yerleştirilir. Şekil 4.8'de 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 sıfır anahtarlama 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. Uzay vektör DGA'da, diğer DGA yöntemlerine göre anahtarlama kayıpları bir anahtarlama vektöründen diğerine geçişte sadece bir anahtar konum değiştirdiği için daha azdır. Uzay vektör DGA sinüsoidal DGA'ya benzer olarak evirici

çıkış gerilimini elde etmek için evirici çıkış akımıyla referans akım karşılaştırılarak hata sinyali (Δi_{fa}) üretilir (Şekil 4.9). Bu hata sinyali PI regülatörden geçirilerek gerilim sinyali (V_{fa}^*) elde edilir. Daha sonra bu gerilim sinyalleri iki fazlı α - β durağan referans yapıya çevrilerek anahtarlama sinyalleri üretilir.



Şekil 4.8. Uzak vektör DGA anahtarlama vektörleri.



Şekil 4.9. Uzak vektör DGA.

Paralel aktif güç filtresi uygulamalarında evirici çıkış akımı kontrol edilmektedir. DGA kontrol metotları arasında bunu en kolay ve etkin olarak yapan kontrol metodu histerisiz bant DGA olduğu için (dönüştürücü kullanılmadığı için) paralel aktif güç filtresi uygulamalarında en çok bu DGA kontrol metodu tercih edilmektedir.

5. ANLIK REAKTİF GÜÇ TEORİSİ TABANLI PARALEL AKTİF GÜÇ FİLTRESİ KONTROLÜ

Önceki bölümde AGF'nin kontrol algoritmasına göre sınıflandırılmasında, ARG'T'nin uygulama açısından en kolay ve etkin yöntemlerden biri olduğundan bahsedilmişti. Bu bölümde ARG'T ve bu teorinin PAGF'nin kontrolünde nasıl kullanıldığı anlatılmaktadır.

PAGF'nin tanımında yükün çektiği harmonik akımlara eşit ve ters fazda akımları sisteme verdiğiinden bahsedilmişti. Doğrusal olmayan yükler tarafından üretilen harmonik akımların doğrudan tespiti sadece Fourier analiziyle yapılabilir. Bu yöntem PAGF'de kullanıldığında hem hızlı bir işlemciye ihtiyaç duyması hem de hesaplama sırasında zaman gecikmesine sebep olduğu için tercih edilmez. Yükün çektiği harmonik akımların tespitinde ARG'T kullanıldığında öncelikle yükün çektiği anlık akım ve kaynak gerilimlerinden güç hesaplanır ve gücün istenmeyen bileşenleri ayrılarak bunlara göre PAGF'nin üretmesi gereken referans akımlar elde edilerek PAGF'nin bu akımları üretmesi sağlanır.

Aşağıda güç hesaplanmasında kullanılan yeni kavramlardan bahsetmeden önce sürekli durumlarda geçerli olan geleneksel güç hesabı anlatılmaktadır.

5.1. Geleneksel Güç Hesabı

İlk önce ideal gerilim kaynağıyla beslenen doğrusal yüklerde geleneksel güç hesabından bahsedilmekte daha sonra ise aynı gerilim kaynağıyla doğrusal olmayan yük durumu incelenmektedir.

5.1.1. Doğrusal yüklerde güç hesabı

Tek fazlı durumda, gerilim kaynağı ve yük akımı matematiksel olarak aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$V_k = \sqrt{2}V \sin \omega t \quad (5.1)$$

ve

$$i_y = \sqrt{2}I \sin(\omega t - \phi) \quad (5.2)$$

V: kaynak geriliminin etkin değeri.

I: yükün çektiği akımın etkin değeri.

ϕ : akımla gerilim arasındaki faz farkı.

Anlık güç aşağıdaki gibi yazılır:

$$p_y = v_k i_y = VI \cos \phi (1 - \cos 2\omega t) - VI \sin \phi \sin 2\omega t \quad (5.3)$$

Anlık güç $VI \cos \phi (1 - \cos 2\omega t)$ ve $VI \sin \phi \sin 2\omega t$ olmak üzere iki bileşene ayrılır. Birinci bileşen $VI \cos \phi$ ' ye karşılık gelen ortalama değere ve hat frekansının iki katı salınım yapan dalgalı bileşene sahiptir. Birinci bileşen hiçbir zaman eksi değer almamaktadır. İkinci bileşen, hat frekansının iki katı salınım yapan dalgalı bileşene sahiptir. Bu bileşenin tepe değeri $VI \sin \phi$ ve ortalama değeri sıfırdır.

Dolayısıyla ortalama (aktif) güç

$$P = VI \cos \phi \quad (5.4)$$

ve geleneksel reaktif güç

$$Q = VI \sin \phi \quad (5.5)$$

olarak yazılır. Dengeli üç fazlı sistemlerde anlık üç fazlı aktif güç p_{ya} , p_{yb} ve p_{yc} tek faz anlık güçler olmak üzere

$$p_3 = p_{ya} + p_{yb} + p_{yc} = 3P \quad (5.6)$$

olarak yazılır. Üç fazlı anlık güç alternatif bileşene sahip değildir, dolayısıyla her fazın ortalama değerlerinin toplamına eşittir. Reaktif güç ise aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$Q_3 = 3Q \quad (5.7)$$

5.1.2. Doğrusal olmayan yüklerde güç hesabı

Bu durumda gerilim kaynakları denklem 5.1' deki gibi ifade edilir. Akım, harmoniklere sahip olduğu için

$$i_y = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} I_n \sin(n\omega t - \phi_n) \quad (5.8)$$

olarak ifade edilir. Anlık güç

$$p_y = v_k i_y = VI_1 \cos \phi_1 (1 - \cos 2\omega t) - VI_1 \sin \phi_1 \sin 2\omega t + \sum_{n=2}^{\infty} 2VI_n \sin \omega t \sin(n\omega t - \phi_n) \quad (5.9)$$

olarak ifade edilir. Aktif güç p_y 'nin ortalaması alınarak hesaplanır.

$$P = VI_1 \cos \phi_1 \quad (5.10)$$

Akımın etkin değeri

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots} \quad (5.11)$$

olarak bulunur. Görünür güç

$$S = VI \quad (5.12)$$

Denklem 5.11 denklem 5.12' de yerine konduğunda görünür güç

$$S = V(\sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots}) \quad (5.13)$$

olarak yazılır. Bu sistemde reaktif güç ise geleneksel olarak

$$Q = VI_1 \sin \phi_1 \quad (5.14)$$

şeklinde ifade edilir. Son olarak harmonik güç ise

$$H = V\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots} \quad (5.15)$$

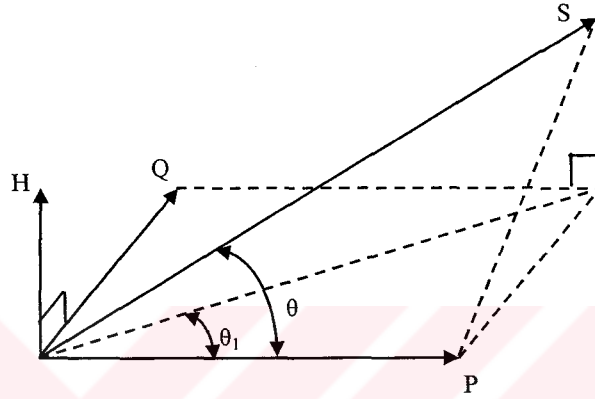
olarak yazılır. Denklem 5.13 tekrar

$$S^2 = P^2 + Q^2 + H^2 \quad (5.16)$$

şeklinde yazılır. Bu sonuç doğrusal yüklerde kullanılan güç üçgeni yerine Şekil 5.1'de gösterildiği gibi güç dörtyüzlüsünde gösterilir (Watanable et al.). Şekil 5.1'de güç

üçgeninden farklı olarak temel güç katsayısı (displacement factor) $\cos\theta_1$, toplam güç katsayısı $P/S = \cos\theta$ 'dir.

Dengeli üç fazlı sistemde ise denklem 5.10, denklem 5.12, denklem 5.14 ve denklem 5.15 üçle çarpılmalıdır.



Şekil 5.1. Güç dörtyüzlüsü (Watanable et al.).

Buraya kadar olan güç tanımlamaları sistem sürekli durumdayken geçerlidir. Fakat aktif güç filtresi tasarımında kullanılacak olan güç ifadelerinin geçici durumda da geçerli olması gerekmektedir. Ayrıca güç hesabının işlemci tarafından yapılması için akım gerilim değerlerinin yanında birde bunlar arasındaki faz farkının da ölçülmesi gerekmektedir. Bu da AGF'nin çalışmasında gecikmelere sebep olacaktır. Dolayısıyla AGF kontrolünde aktif, reaktif ve harmonik güçlerin hesaplanmasında trigonometrik ifadelerden kaçınılmalıdır.

Anlık üç fazlı aktif güç, V_{ka} , V_{kb} , V_{kc} anlık faz gerilimleri ve i_{ya} , i_{yb} , i_{yc} anlık hat akımları olmak üzere aşağıdaki yazılır.

$$P_3 = V_{ka}i_{ya} + V_{kb}i_{yb} + V_{kc}i_{yc} \quad (5.17)$$

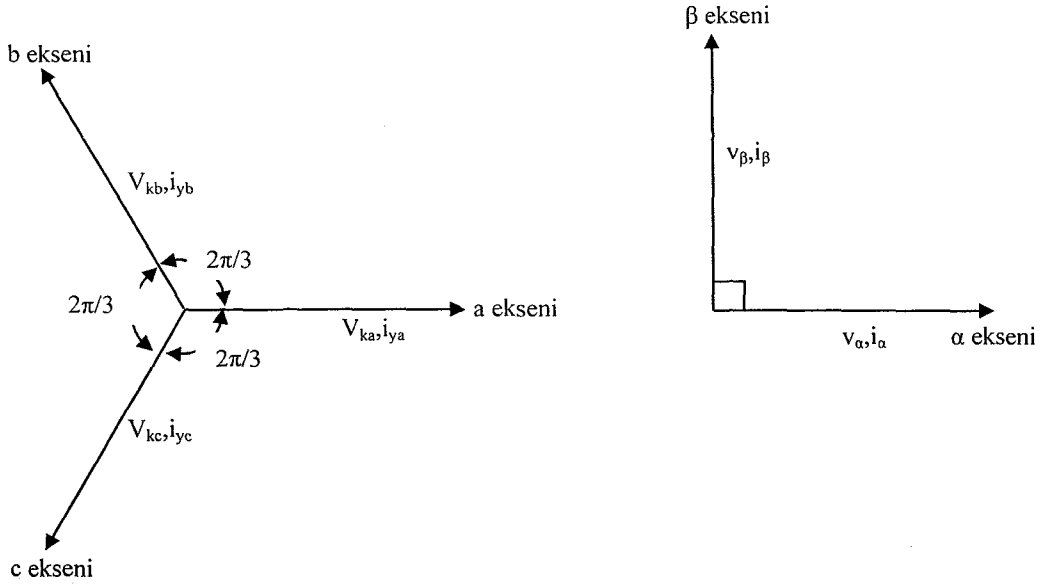
Bu güç ifadesi, dengeli ve doğrusal yük bağlı üç fazlı sistemlerde sadece doğru bileşene sahiptir ve $p_3 = 3VI \cos \phi$ değerine eşittir. Bu iki denklemden de görüldüğü gibi birisinde aktif güç hesaplanırken açının da ölçülmesi gerekmektedir, diğerinde ise buna gerek kalmamaktadır. Eğer gerilim kaynakları dengesiz veya harmonik bileşenlere sahipse veya doğrusal olmayan yük var ise bu güç doğru bileşenin yanında dalgalı bileşene de sahiptir. Denklem 5.17'deki geçici ve sürekli durumlarda, doğrusal ve doğrusal olmayan yük durumlarında, sinüsoidal ve sinüsoidal olmayan kaynak şartlarında geçerli olan anlık aktif güç ifadesi gibi bu durumlarda geçerli olan ve cebirsel olarak hesaplanabilen anlık reaktif güç ifadesinin de yazılması gerekmektedir. Çünkü yukarıda bahsedilen reaktif güç hesaplama denklemleri hem trigonometrik ifadeler içermekte hem de sadece sürekli durumlarda geçerli olmaktadır.

5.2. Anlık Reaktif Güç Teorisi

Akagi tarafından 1983 yılında ileri sürülen bu teoride anlık reaktif güç cebirsel olarak hesaplanmakta ve dolayısıyla zamanda bir gecikmeye sebep olmamaktadır. Ayrıca bu teori nötr hattı olan veya olmayan şebekelerde, ideal veya ideal olmayan akım ve gerilimlerde, hem sürekli durumda hem de geçici durumda geçerlidir.

Clarke dönüşümü olarak bilinen α - β dönüşümü üç fazlı akım ve gerilimleri iki fazlı durağan referans yapıya çeviren cebirsel bir dönüşümdür. a-b-c koordinatlarındaki üç fazlı akım ve gerilim değerlerinin anlık uzay vektörleriyle gösterimi ve bu akım ve gerilimlerin α - β durağan referans yapıdaki karşılıkları Şekil 5.2'de görülmektedir.

a-b-c koordinatlarda, a, b ve c eksenleri Şekil 5.2' de görüldüğü gibi aynı düzlem üzerinde ve $2\pi/3$ faz açısıyla yerleştirilmiştir. Anlık uzay vektörleri V_{ka} ve i_{ya} (a) ekseninde ve büyüklükleri zamana bağlı olarak (+,-) olarak değişir. Aynı şekilde V_{kb} ve i_{yb} (b) ekseninde, V_{kc} ve i_{yc} (c) ekseninde yerindedir. Bu uzay vektörleri basit olarak α - β koordinatlara denklem 5.18 ve denklem 5.19'daki gibi çevrilmektedir (Akagi et al 1984).



Şekil 5.2. Üç fazlı a-b-c koordinatlarından iki fazlı α - β koordinatlarına dönüşüm (Akagi et al 1984).

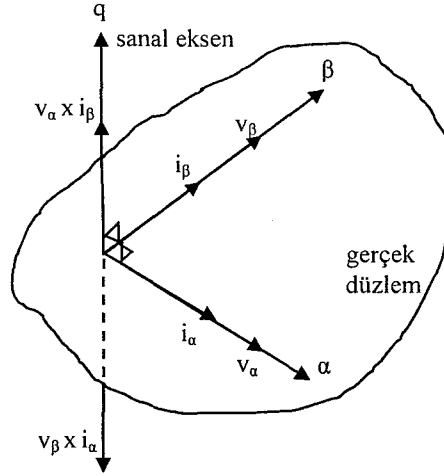
$$\begin{bmatrix} v_{\alpha} \\ v_{\beta} \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ka} \\ V_{kb} \\ V_{kc} \end{bmatrix} \quad (5.18)$$

$$\begin{bmatrix} i_{\alpha} \\ i_{\beta} \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ya} \\ i_{yb} \\ i_{yc} \end{bmatrix} \quad (5.19)$$

Akım ve gerilimin α - β büyüklükleri zamana bağlı olarak (+,-) değişir. Şekil 5.3'de α - β koordinatlarında anlık uzay vektörleri görülmektedir.

Üç fazlı devrelerde anlık güç aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$P_3 = v_{\alpha} \cdot i_{\alpha} + v_{\beta} \cdot i_{\beta} \quad (5.20)$$



Şekil 5.3. Anlık akım ve gerilim uzay vektörleri.

Denklem 5. 20'deki güç (p_3) geleneksel güç ifadesine (Denklem 5.17) eşittir. Akagi (1984) anlık sanal gücü aşağıdaki gibi ifade etmektedir.

$$q_3 = v_\alpha \times i_\beta + v_\beta \times i_\alpha \quad (5.21)$$

Anlık sanal gücün a,b ve c koordinatlarındaki ifadesi de aşağıdaki gibidir (Watanabe et al, 1992).

$$q_3 = \frac{-1}{\sqrt{3}} [(V_{ka} - V_{kb})i_{yc} + (V_{kb} - V_{kc})i_{ya} + (V_{kc} - V_{ka})i_{yb}] \quad (5.22)$$

Şekil 5.3' de görüldüğü gibi, bu uzay vektörü sanal eksen vektörüdür ve sağ el kuralı uygulandığında α - β koordinatlarının olduğu gerçe düzleme diktir. v_α , i_α 'ya ve v_β , i_β 'ya paralel, v_α , i_β 'ya ve v_β , i_α 'ya diktir ve anlık gerçe güç p_3 ve anlık sanal güç q_3 aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} p_3 \\ q_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (5.23)$$

Denklem 5.23'te $v_\alpha \cdot i_\alpha$ ve $v_\beta \cdot i_\beta$, aynı eksenlerdeki anlık gerilimle anlık akımın çarpımıyla tanımlanan anlık güçlerdir. Böylece p_3 üç fazlı devrelerde birimi (W) olan gerçek güce karşılık gelmektedir. Diğer yandan $v_\alpha \cdot i_\beta$ ve $v_\beta \cdot i_\alpha$ farklı eksenlerdeki anlık akım ve gerilimin çarpımıyla tanımlandığı için anlık güç değildir. Bu yüzden q_3 geleneksel elektriksel bir büyüklük değildir. q_3 'ün birimi (İmajiner Volt Amper, IVA) olarak sunulmuştur. (Akagi et al 1984)

5.2.1. Anlık reaktif gücün fiziksel tanımı

Denklem 5.23 ters dönüşüm ile aşağıdaki forma dönüştürülür.

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p_3 \\ q_3 \end{bmatrix} \quad (5.24)$$

α - β koordinatlarındaki anlık akımlar i_α ve i_β anlık akım bileşenlerine aşağıdaki gibi bölünür.

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{\alpha p} \\ i_{\beta p} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} i_{\alpha q} \\ i_{\beta q} \end{bmatrix} \quad (5.25)$$

Anlık gerçek güç p_3 'ü oluşturan α - β akımları denklem 5.24 ve denklem 5.25 kullanılarak

$$\begin{bmatrix} i_{\alpha p} \\ i_{\beta p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p_3 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5.26)$$

şeklinde yazılır.

Anlık sanal güç q_3 'ü oluşturan α - β akımları ise

$$\begin{bmatrix} i_{\alpha q} \\ i_{\beta q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{\alpha} & v_{\beta} \\ -v_{\beta} & v_{\alpha} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ q_3 \end{bmatrix} \quad (5.27)$$

şeklinde yazılır.

Yukarıdaki denklemlerden;

α eksenli anlık aktif akımı

$$i_{\alpha p} = \frac{v_{\alpha}}{v_{\alpha}^2 + v_{\beta}^2} p_3 \quad (5.28)$$

α eksenli anlık reaktif akımı

$$i_{\alpha q} = \frac{-v_{\beta}}{v_{\alpha}^2 + v_{\beta}^2} q_3 \quad (5.29)$$

β eksenli anlık aktif akımı

$$i_{\beta p} = \frac{v_{\beta}}{v_{\alpha}^2 + v_{\beta}^2} p_3 \quad (5.30)$$

β eksenli anlık reaktif akımı

$$i_{\beta q} = \frac{v_{\beta}}{v_{\alpha}^2 + v_{\beta}^2} q_3 \quad (5.31)$$

eşitlikleri türetilir (Akagi et al 1984).

α eksenindeki anlık güç p_α , β eksenindeki anlık güç ise p_β olarak gösterildiğinde, denklem 5.32'deki eşitlik elde edilir .

$$\begin{bmatrix} p_\alpha \\ p_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha i_\alpha \\ v_\beta i_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha i_{\alpha p} \\ v_\beta i_{\beta p} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_\alpha i_{\alpha q} \\ v_\beta i_{\beta q} \end{bmatrix} \quad (5.32)$$

Üç fazlı devrelerde anlık gerçek güç p_3 denklem 5.25 ve denklem 5.32 kullanılarak aşağıdaki gibi yazılır (Akagi et al 1984).

$$p_3 = p_\alpha + p_\beta = \frac{v_\alpha^2}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} p_3 + \frac{v_\beta^2}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} p_3 + \frac{-v_\alpha v_\beta}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} q_3 + \frac{v_\alpha v_\beta}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} q_3 \quad (5.33)$$

Denklem 5.32'nin üçüncü ve dördüncü terimlerinin toplamı sıfırdır. Bu reaktif güçlerin fazlar arasında dolaştığını göstermektedir. Denklem 5.32 ve denklem 5.33'den aşağıdaki eşitlikler türetilir:

$$p_3 = v_\alpha i_{\alpha p} + v_\beta i_{\beta p} = p_{\alpha p} + p_{\beta p} \quad (5.34)$$

$$0 = v_\alpha i_{\alpha q} + v_\beta i_{\beta q} = p_{\alpha q} + p_{\beta q} \quad (5.35)$$

Bu denklemlerden aşağıdaki ifadeler türetilir.

α eksenini anlık aktif güç:

$$p_{\alpha p} = \frac{v_\alpha^2}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} p_3 \quad (5.36)$$

α eksenine anlık reaktif güç:

$$P_{\alpha q} = \frac{-v_{\alpha} v_{\beta}}{v_{\alpha}^2 + v_{\beta}^2} q_3 \quad (5.37)$$

β eksenine anlık aktif güç:

$$P_{\beta p} = \frac{v_{\alpha}^2}{v_{\alpha}^2 + v_{\beta}^2} P_3 \quad (5.38)$$

β eksenine anlık reaktif güç:

$$P_{\beta q} = \frac{v_{\alpha} v_{\beta}}{v_{\alpha}^2 + v_{\beta}^2} q_3 \quad (5.39)$$

Denklem 5.34 ve denklem 5.35' ten aşağıdaki sonuçlar çıkarılır (Akagi et al 1984).

- $p_{\alpha p}$ ve $p_{\beta p}$ anlık güçlerin toplamı üç fazlı devrelerde anlık gerçek güce karşılık gelmektedir.
- $p_{\alpha q}$ ve $p_{\beta q}$ anlık güçleri birbirlerini yok ederler ve kaynaktan yüke anlık güç akışına katkıda bulunmazlar. $p_{\alpha q}$ ve $p_{\beta q}$ anlık güçler anlık sanal güç olarak adlandırılır.

Üç fazlı devrelerde tanımlanan anlık sanal gücün fiziksel anlamı her fazdaki anlık reaktif güçten farklıdır (Akagi et al 1984).

α - β koordinatlarında anlık yük gücü aşağıdaki gibi yazılır:

$$\begin{bmatrix} p_{3y} \\ q_{3y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{y\alpha} \\ i_{y\beta} \end{bmatrix} \quad (5.40)$$

e_α ve e_β , üç fazlı sistemin anlık V_{ka} , V_{kb} ve V_{kc} hat gerilimlerinin denklem 5.18 kullanılarak iki fazlı sisteme çevrilmiş halidir. $i_{y\alpha}$ ve $i_{y\beta}$ 'de aynı şekilde i_{ya} , i_{yb} ve i_{yc} anlık hat akımlarının iki fazlı sisteme çevrilmiş halidir (denklem 5.19). Bu teorideki güç bileşenlerini daha iyi açıklayabilmek için aşağıdaki bölümde öncelikle üç fazlı sinüsoidal kaynakla beslenen doğrusal ve doğrusal olamayan yük durumunda güçler açıklanmaktadır.

5.2.2. Doğrusal yük durumu

Üç fazlı sistemlerde doğrusal yük durumunda kaynak gerilimleri ve doğrusal yükün çektiği akımlar aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned} V_{ka} &= \sqrt{2}V \sin \omega t \\ V_{kb} &= \sqrt{2}V \sin(\omega t - 120^\circ) \\ V_{kc} &= \sqrt{2}V \sin(\omega t + 120^\circ) \end{aligned} \quad (5.41)$$

$$\begin{aligned} i_{ya} &= \sqrt{2}I \sin(\omega t - \phi) \\ i_{yb} &= \sqrt{2}I \sin(\omega t - 120^\circ - \phi) \\ i_{yc} &= \sqrt{2}I \sin(\omega t + 120^\circ - \phi) \end{aligned} \quad (5.42)$$

Bu akım ve gerilimler α - β referans yapıya çevrildiğinde aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

$$\begin{aligned} v_\alpha &= \sqrt{3}V \sin \omega t \\ v_\beta &= \sqrt{3}V \cos \omega t \end{aligned} \quad (5.43)$$

$$\begin{aligned} i_{y\alpha} &= \sqrt{3}I \sin(\omega t - \phi) \\ i_{y\beta} &= \sqrt{3}I \cos(\omega t - \phi) \end{aligned} \quad (5.44)$$

Bu eşitliklerden gerçek ve sanal güçler;

$$p_{3y} = v_{\alpha} i_{y\alpha} + v_{\beta} i_{y\beta} = 3VI \cos \phi = P_3 \quad (5.45)$$

$$q_{3y} = v_{\alpha} i_{y\beta} - v_{\beta} i_{y\alpha} = 3VI \sin \phi = Q_3 \quad (5.46)$$

olarak yazılır.

Yukarıdaki denklemlerden de görüldüğü gibi sinüsoidal kaynakla beslenen doğrusal yük durumunda gerçek güç (p_{3y}) geleneksel güç kavramı olan aktif güce karşılık gelmektedir ve birimi W'tır. Sanal güç (q_{3y}) ise geleneksel reaktif güce karşılık gelmektedir ve birimi VAR' dir.

5.2.3. Doğrusal olmayan yük durumu

Üç fazlı sinüsoidal kaynakla beslenen doğrusal olmayan yük durumunda üç fazlı kaynak gerilimleri denklem 5.41'deki gibi ifade edilmektedir. Yükün çektiği akımlar ise

$$i_{ya} = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2}I_n \sin(n\omega t - \phi_n) \quad (5.47)$$

$$i_{yb} = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2}I_n \sin[n(\omega t - 120^\circ) - \phi_n] \quad (5.48)$$

$$i_{yc} = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2}I_n \sin[n(\omega t + 120^\circ) - \phi_n] \quad (5.49)$$

olarak gösterilir.

Akımlar denklem 5.19 kullanılarak α - β referans yapıya aşağıdaki gibi çevrilir.

$$i_{y\alpha} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\sqrt{3}} I_n \sin(n\omega t - \phi_n) [1 - \cos(n120^\circ)] \quad (5.50)$$

$$i_{y\beta} = \sum_{n=1}^{\infty} 2I_n \cos(n\omega t - \phi_n) \sin(n120^\circ) \quad (5.51)$$

Denklem 5.41'deki gerilim, denklem 5.50 ve denklem 5.51'deki akımlardan anlık gerçek ve sanal güçler aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} p_{3y} &= v_\alpha i_{y\alpha} + v_\beta i_{y\beta} = p_{\alpha p} + p_{\beta p} = 3VI_1 \cos \phi_1 - \\ &3VI_2 \cos(3\omega t - \phi_2) + 3VI_4 \cos(3\omega t - \phi_4) - \\ &3VI_5 \cos(6\omega t - \phi_5) + 3VI_7 \cos(6\omega t - \phi_7) - \dots \end{aligned} \quad (5.52)$$

$$\begin{aligned} q_{3y} &= v_\alpha i_{y\beta} + v_\beta i_{y\alpha} = 3VI_1 \sin \phi_1 - \\ &3VI_2 \sin(3\omega t - \phi_2) + 3VI_4 \sin(3\omega t - \phi_4) - \\ &3VI_5 \sin(6\omega t - \phi_5) + 3VI_7 \sin(6\omega t - \phi_7) - \dots \end{aligned} \quad (5.53)$$

Yukarıdaki denklemlerden de görüldüğü gibi gerçek güç (p_{3y}) ve sanal güç (q_{3y}) dalgalı ve doğru bileşenlere sahiptir ve dolayısıyla aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

$$\overline{p_{3y}} = P_3 \quad \text{ve} \quad \overline{q_{3y}} = Q_3 \quad (5.54)$$

$$H = \sqrt{\tilde{P}_{3y}^2 + \tilde{Q}_{3y}^2} \quad (5.55)$$

\tilde{P}_{3y} ve \tilde{Q}_{3y} , \tilde{p}_{3y} ve \tilde{q}_{3y} 'in etkin değeridir (Watanabe et al 1992).

Yukarıdaki denklemler doğrusal olmayan yük durumunda anlık reaktif güç teorisiyle geleneksel güç teorisi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Anlık gerçek güç (p_3)'ün doğru bileşeni, (\bar{p}_{3y}) aktif (ortalama) güce karşılık gelmektedir. (p_{3y})'nin dalgalı bileşeni (\tilde{p}_{3y}) akım harmoniklerinden dolayı oluşmakta ve birim zamanda kaynakla yük arasında alınıp verilen enerjiyi göstermektedir ve ortalama değeri sıfırdır. Sanal güç (q_{3y})'nin doğru bileşeni (\bar{q}_{3y}) geleneksel reaktif güce karşılık gelmektedir. (q_{3y})'nin dalgalı bileşeni (\tilde{q}_{3y}) akım harmoniklerinden dolayı oluşmakta ve her fazdaki reaktif gücü göstermektedir, anlık olarak toplandığında ise sıfırdır. Sanal güç $q_{3y} = \bar{q}_{3y} + \tilde{q}_{3y}$ anlık enerji akışına katkıda bulunmamaktadır. Harmonik güç H denklem 5.55'te görüldüğü gibi gerçek ve sanal güçlerin alternatif bileşenlerinden oluşmaktadır.

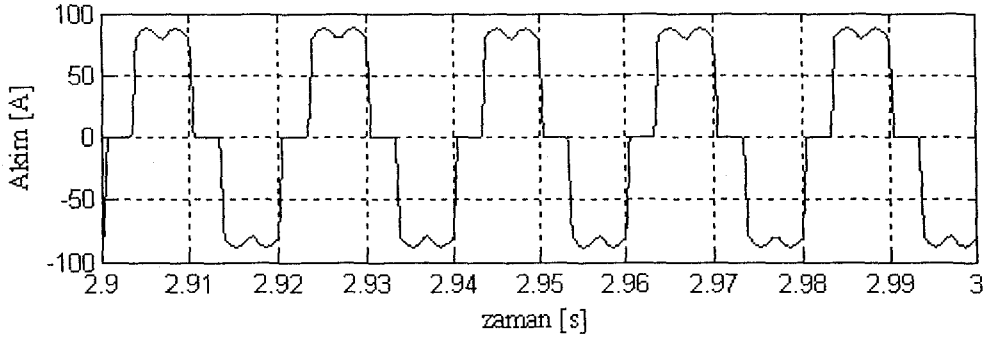
Anlık gerçek ve sanal güçler tekrar düzenlendiğinde denklem 5.40 aşağıdaki gibi yazılır.

$$\begin{bmatrix} \bar{p}_{3y} + \tilde{p}_{3y} \\ \bar{q}_{3y} + \tilde{q}_{3y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{y\alpha} \\ i_{y\beta} \end{bmatrix} \quad (5.56)$$

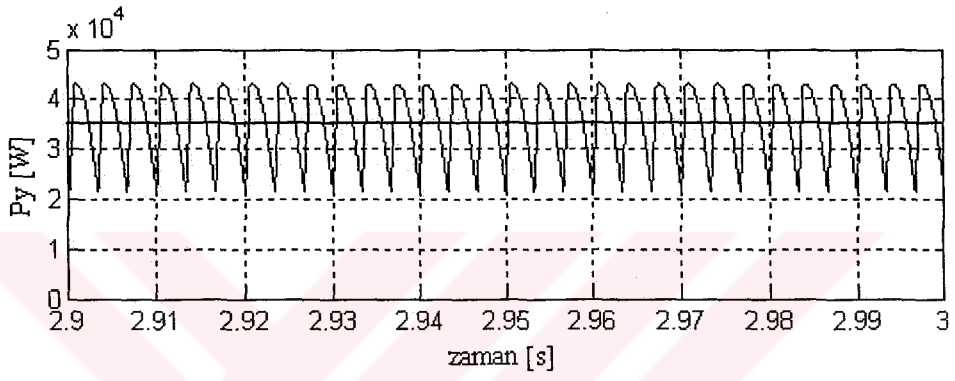
Denklem 5.24 gerçek ve sanal gücün alternatif ve doğru bileşenleri ayrılmış olarak aşağıdaki gibi yazılır.

$$\begin{bmatrix} i_{y\alpha} \\ i_{y\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \bar{p}_{3y} + \tilde{p}_{3y} \\ \bar{q}_{3y} + \tilde{q}_{3y} \end{bmatrix} \quad (5.57)$$

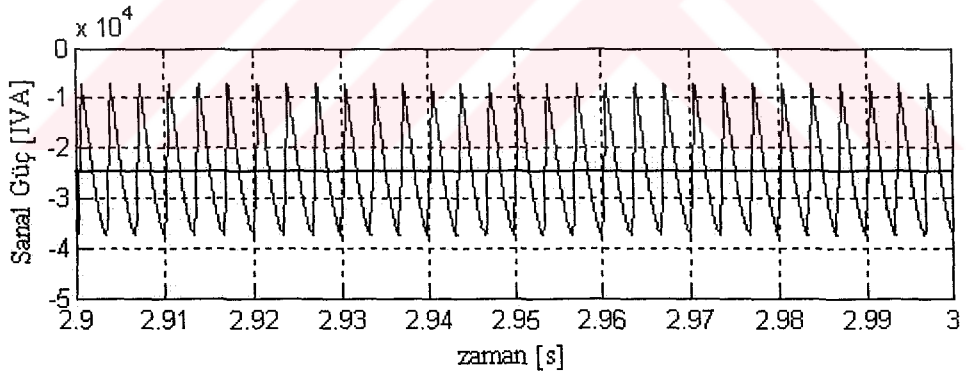
Şekil 5.4' te Şekil 2.4'teki üç fazlı kontrollü doğrultucunun faz akımı anlık gerçek güç ve anlık sanal güç, dalgalı ve doğru bileşenleriyle birlikte görülmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.4. a-) Doğrultucu faz akımı.

b-) Anlık gerçek güç.

c-) Anlık sanal güç.

5.3. Anlık Reaktif Güç Teorisinin Paralel Aktif Güç Filtresinde Kullanımı

PAGF kullanarak sadece harmonik akım kompanzasyonu yapılacaksa gerçek ve sanal gücün dalgalı bileşenleri kullanılarak referans akımlar hesaplanır(denklem 5.58). Sadece reaktif güç kompanzasyonu yapılacaksa sanal gücün doğru bileşeni kullanılarak referans akımlar hesaplanır(denklem 5.59). Hem harmonik akım kompanzasyonu hem de reaktif güç kompanzasyonu yapılacaksa sanal gücün dalgalı ve doğru bileşenleri ile gerçek gücün dalgalı bileşeni kullanılarak referans akımlar hesaplanmalıdır (denklem 5.60).

$$\begin{bmatrix} i_{f\alpha} \\ i_{f\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -\tilde{p}_{3y} \\ -\tilde{q}_{3y} \end{bmatrix} \quad (5.58)$$

$$\begin{bmatrix} i_{f\alpha} \\ i_{f\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ -\bar{q}_{3y} \end{bmatrix} \quad (5.59)$$

$$\begin{bmatrix} i_{f\alpha} \\ i_{f\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -\tilde{p}_{3y} \\ -\bar{q}_{3y} - \tilde{q}_{3y} \end{bmatrix} \quad (5.60)$$

$i_{f\alpha}$ ve $i_{f\beta}$ α - β koordinat sisteminde yükün reaktif ve harmonik akımlarına karşılık gelen ve PAGF'nin üretmesi gereken akımlardır. Bu akımlar üç fazlı sisteme denklem 5.60 kullanılarak çevrilir.

$$\begin{bmatrix} i_{fa}^* \\ i_{fb}^* \\ i_{fc}^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ -1/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{f\alpha} \\ i_{f\beta} \end{bmatrix} \quad (5.61)$$

Böylece üç fazlı sistemde yükün ürettiği reaktif ve harmonik akımları yok edecek i_{fa}^* , i_{fb}^* ve i_{fc}^* referans akımları elde edilmiş olur.

6. ARGT TABANLI PAGF'nin MATLAB'ta SIMÜLASYONU

Simulink, dinamik sistemlerin modellenmesinde, simülasyonunda ve analizinde kullanılan MATLAB'ın eklentisi bir paket programdır. Bu program, sürekli zamanda, kesikli zamanda ve her ikisini içeren biçimde modellenmiş doğrusal ve doğrusal olmayan sistemlerin simülasyonunu destekler. Modelleme için simulink, tıkla ve sürükle işlemleri kullanan grafik kullanıcı arabirimi sağlamaktadır. Simulink; kaynaklar, yutucular, doğrusal ve doğrusal olmayan elemanlar ve bağlantılardan ibaret geniş bir blok kütüphanesine sahiptir. Ayrıca kullanıcıda kendi bloklarını oluşturabilir.

Modeller, sıra düzenli olup hem yukarıdan-aşağıya hem de aşağıdan-yukarıya yaklaşımlar kullanarak oluşturulabilir. Sistem yüksek seviyeden incelenebilir olmakla beraber ayrıca blok üzerine çift tıklamak suretiyle de model ayrıntılarının artan seviyelerini görmek mümkündür. Bu yaklaşım bir modelin nasıl düzenlendiğini ve bölümlerinin ne şekilde birbiri ile etkileşimli olduğunu görme imkanı sağlar.

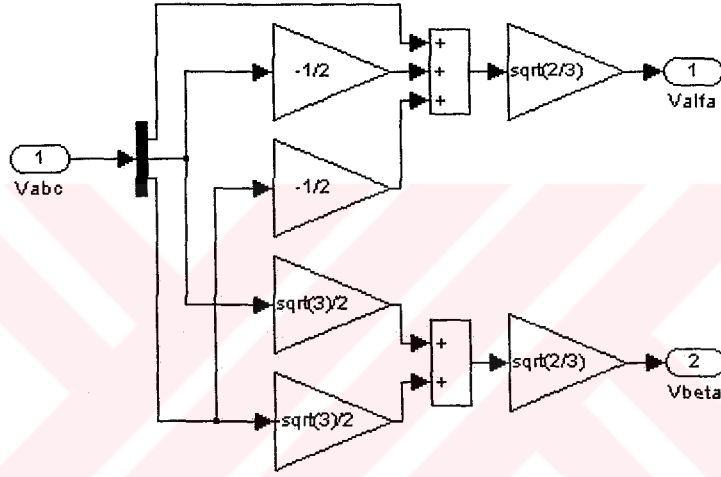
Bir model tamamlandıktan sonra, ya simulink'ten ya da MATLAB komut penceresinden bir model çözümü yöntemi seçmek suretiyle simülasyonu yapılabilir. Osilaskop ve diğer görüntü blokları kullanmak suretiyle, simülasyon programı çalışırken simülasyon sonuçlarını görmek mümkündür. Ayrıca bu çalışma esnasında parametre değişimleri yaparak bunların sonuçlarını anında görmek mümkündür. Benzetim sonuçları daha sonraki çalışmalarda kullanılmak üzere MATLAB çalışma ortamına veya sabit diske de aktarılabilir.

SimPowerSystems, simulink ortamında elektrik güç sistemlerinin modellenmesi ve simülasyonunda hazır bloklar içeren bir araç kutusudur. SimPowerSystems, elektrik sisteminde bulunan bir çok bileşen için bloklar içerir. Bu bloklar elektromanyetik ve

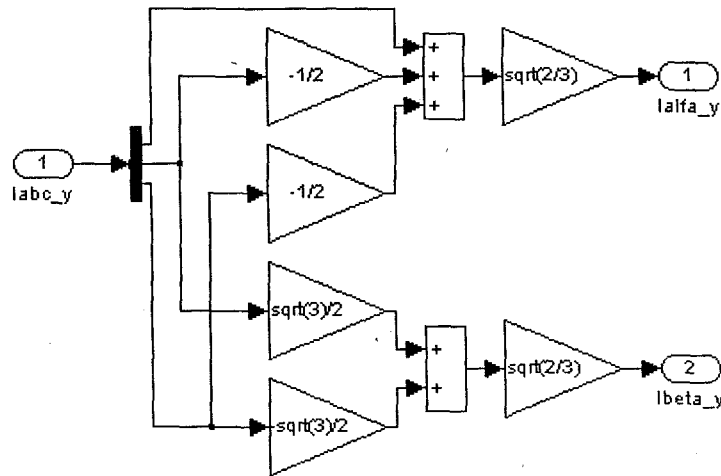
elektromekanik denklemlerden oluşurlar ve standart elektrik sembolleriyle kullanılır. (Yüksel, 1998)

6.1. Anlık Güçlerin Hesaplanması

Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de denklem 5.18 ve denklem 5.19 kullanılarak faz gerilimlerinin ve hat akımlarının üç fazlı a-b-c sisteminden 2 fazlı α - β durağan referans yapıya çeviren simulink blok diyagramları görülmektedir.

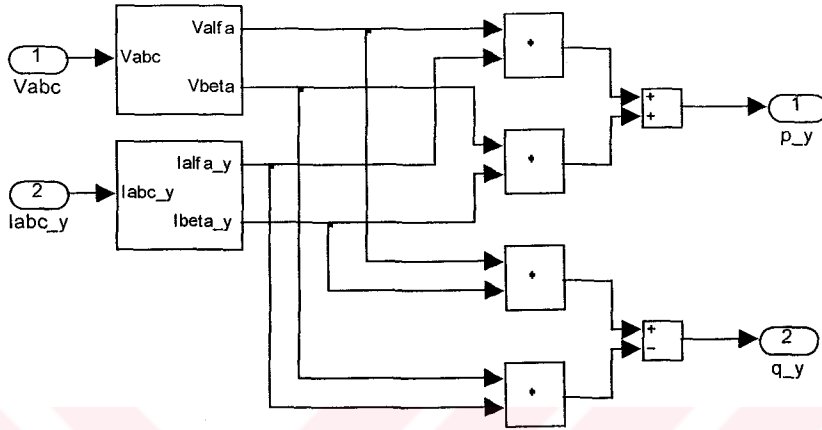


Şekil 6.1. Gerilimin a-b-c koordinatlarından α - β referans yapıya dönüşüm blok diyagramı.



Şekil 6.2. Akımın a-b-c koordinatlarından α - β referans yapıya dönüşüm blok diyagramı.

Akım ve gerilimler 2 fazlı α - β durağan referans yapıya çevrildikten sonra önceki bölümde bahsedilen anlık reaktif güç teorisi kullanılarak yükün gerçek ve sanal güçleri hesaplanır. Denklem 5.20 ve denklem 5.21' e göre güçleri hesaplayan blok Şekil 6.3' te görülmektedir.



Şekil 6.3. Gerçek ve sanal güç hesaplama blok diyagramı.

6.2. DA Kondansatör Gerilimi (V_{da}) Kontrolü

PAGF'nin güç devresinde eviricinin DA tarafında bir gerilim kaynağının olmadığından bahsedilmiştir. Onun yerine enerji depolama elemanı olarak gerilim kaynağı eviricilerde kondansatör, akım kaynağı eviricilerde ise bobin kullanılmaktadır. Dolayısıyla gerilim kaynağı evirici hem yükün ürettiği harmonik akımlara ters fazda ve eşit büyüklükte akımlar üretmek için hem de DA tarafındaki gerilimin ayarlanan değerde tutulması için kontrol edilmektedir.

PAGF sürekli duruma geçtikten sonra DA kondansatör gerilimindeki dalgalanmalar anlık gerçek gücün dalgalanan bileşeninden kaynaklanmaktadır. Anlık gerçek gücün dalgalı bileşenini yok etmek için eviricinin DA tarafından AA tarafına anlık gerçek gücün dalgalanan bileşeni kadar enerji aktarılmaktadır. Dolayısıyla DA kondansatör

geriliminde bu enerjinin miktarına bağlı olarak dalgalanmalar oluşur. DA kondansatör gerilimi dalgalı ve doğru bileşenleri ile aşağıdaki gibi yazılır (Mazari et al, 2001).

$$V_{da}(t) = \bar{V}_{da} + \tilde{v}_{da}(t) \quad (6.1)$$

\bar{V}_{da} ortalama kondansatör gerilimi,

$\tilde{v}_{da}(t)$ kondansatör geriliminin dalgalanan bileşeni.

PAGF'nin sürekli durumda üretmesi gereken ve gerçek gücün dalgalanan bileşenine karşılık gelen güç (anahtarlama kayıpları ihmal edildiğinde)

$$\tilde{p}_f(t) = \tilde{p}_{3y}(t) \quad (6.2)$$

olmaktadır. Kondansatörün şebekeye vermesi gereken akım denklem 6.3' te verilmektedir.

$$i_f = \frac{\tilde{P}_{3y}}{V_{da}} \quad (6.3)$$

Kondansatör gerilimdeki dalgalanma

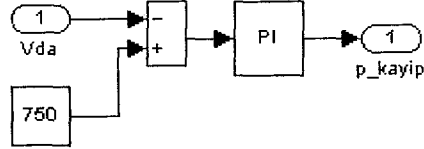
$$\tilde{v}_{da} = \frac{1}{C_{da}} \int_0^t i_f(t) dt \quad (6.4)$$

olarak ifade edilir. Kondansatörün değeri ise denklem 6.3 ve denklem 6.4 kullanılarak

$$C_{da} = \frac{\tilde{P}_{3y}}{\tilde{v}_{da} \bar{V}_{da} w_p} \quad (6.5)$$

şeklinde elde edilir.

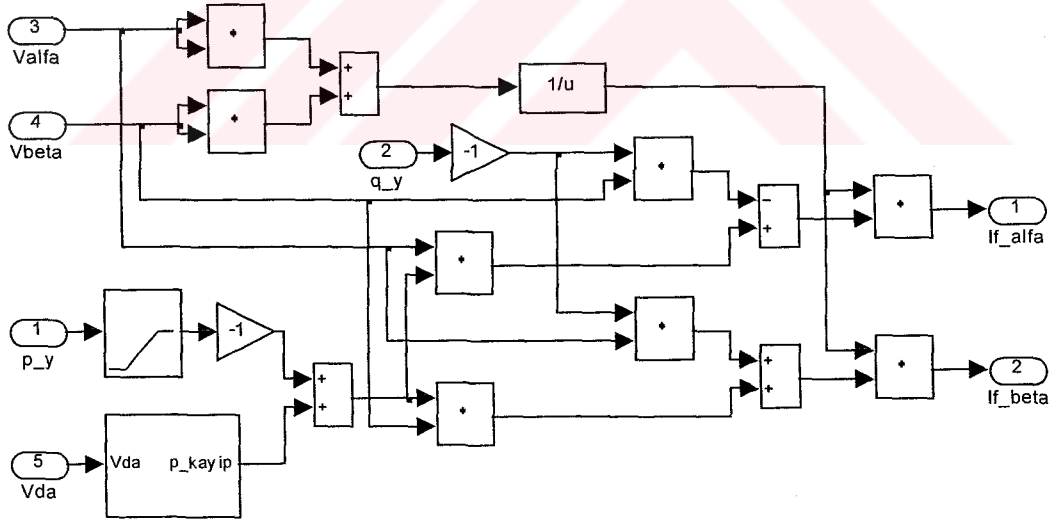
İstenen bir \tilde{v}_{da} dalgalanması için kondansatör değeri denklem 6.5'teki kadar olmalıdır. Kondansatör değerinin aktif güç filtresinin performansına olan etkileri 8. bölümde yapılacak olan simülasyonlarda görülebilir. Aşağıdaki şekilde V_{da} geriliminin kontrol edildiği simulink bloğu görülmektedir.



Şekil 6.4. V_{da} gerilimi kontrol bloğu.

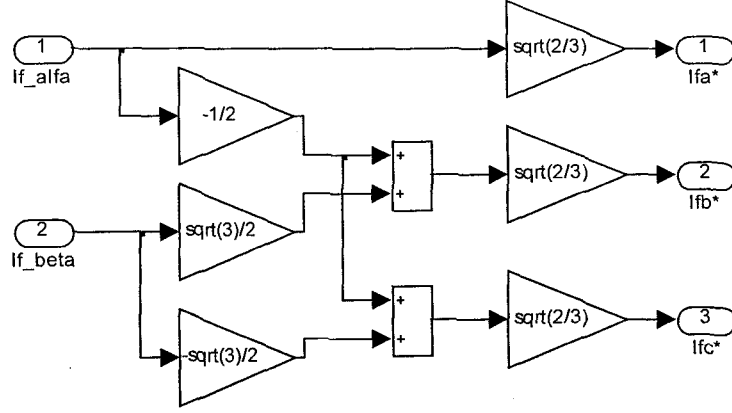
6.3. Anahtarlama Sinyallerinin Üretilmesi

Gerçek gücün dalgalanan bileşeninden ve sanal güçten, α - β durağan referans yapıdaki iki fazlı referans akımların üretildiği simulink blok diyagramı Şekil 6.5'te görülmektedir.



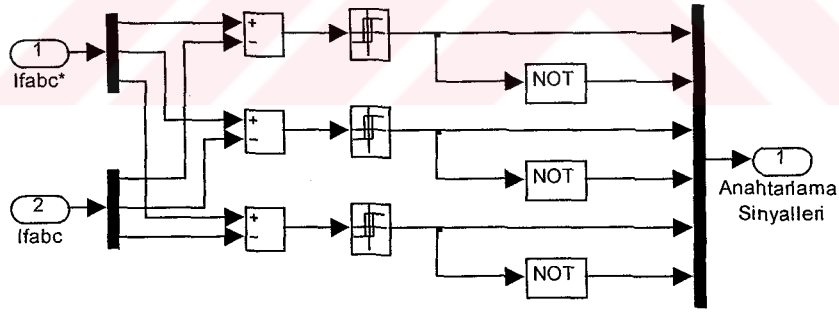
Şekil 6.5. Referans akımların hesaplanması.

Anlık gerçek gücün dalgalı bileşenini elde etmek için kesim frekansı 300Hz olan yüksek geçiren filtre kullanılmıştır. α - β durağan referans yapıda hesaplanan akımlar üç fazlı sisteme Şekil 6.6'da görülen simulink blok diyagramıyla çevrilir.



Şekil 6.6. α - β durağan referans yapıdan üç fazlı sisteme dönüşüm blok diyagramı.

Hesaplanan referans akımlar (i_{fab}^*) o anda filtre çıkışında var olan akımlarla karşılaştırılarak anahtarlama sinyalleri Şekil6.7'deki blok diyagram kullanılarak üretilir.



Şekil 6.7. Anahtarlama sinyallerinin üretilmesi.

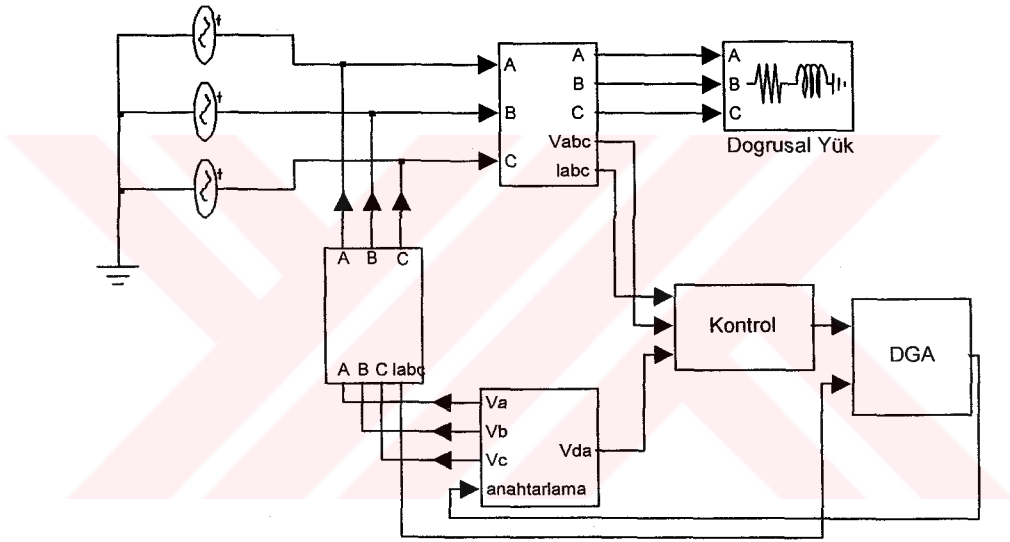
6.4. ARGT Tabanlı PAGF Simülasyon Sonuçları

Bu bölümde PAGF'nin simülasyon sonuçları verilmekte ve ARGT ile kontrol edilen PAGF'nin üç fazlı sinüsodal kaynakla beslenen doğrusal yük durumunda reaktif güç kompanzasyonu ve üç fazlı sinüsodal kaynakla beslenen doğrusal olmayan yük

durumunda harmonik akım ve reaktif güç kompanzasyonu yaparken performansı incelenmektedir. Ayrıca yeni tanıtılan güç bileşenlerinin fiziksel karşılıkları ve bu bileşenlerin PAGF'nin kontrolünde kullanımı incelenmektedir.

6.4.1. Doğrusal yük durumunda PAGF'nin performansı

Bu durumda, reaktif güç üreten yüklerin olduğu bir sistemde PAGF ile reaktif güç kompanzasyonunun simülasyonu yapılmaktadır. Aşağıda bu sistemin simulink blok diyagramı görülmektedir.



Şekli 6.8. PAGF'nin doğrusal yük durumu.

Simülasyonda kullanılan doğrusal yük değeri ve PAGF parametreleri Tablo 6.1 ve Tablo 6.2'de verilmektedir.

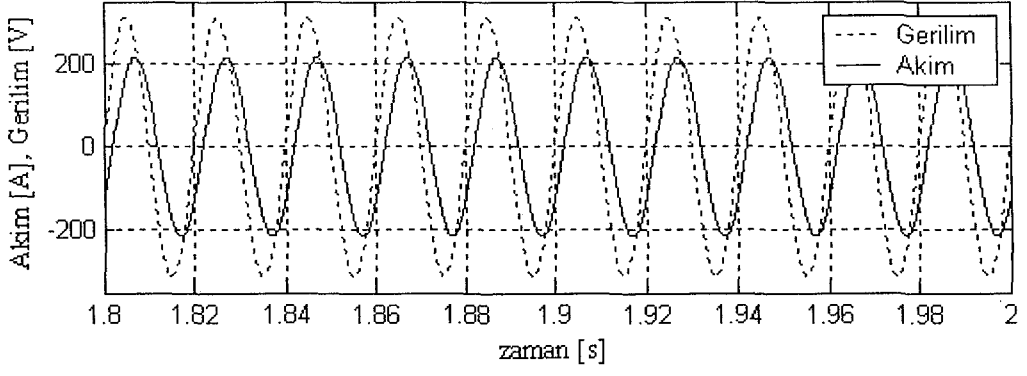
Tablo 6.1. Yük parametreleri.

S	100KVA
P	80KW
Q	60KVAr
V_k	220V
f	50Hz

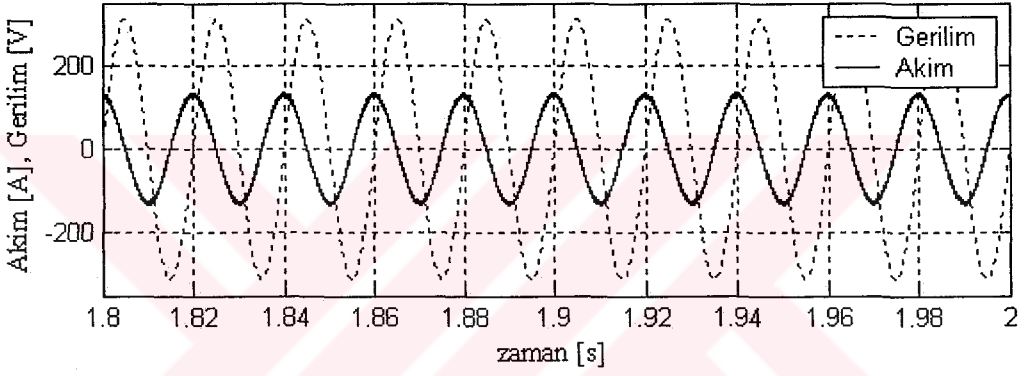
Tablo 6.2. PAGF parametreleri.

C_{da}	1000 μ F
L_f	1mH
V_{da}	750V
Histerisiz Bant Genişliği	6A

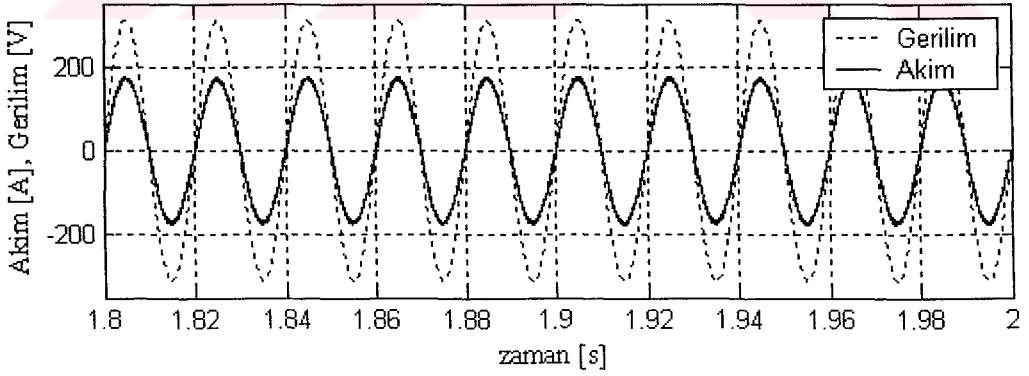
Yükün çektiği anlık akımlar ve bu akımların kaynak gerilimleriyle arasındaki faz farkı Şekil 6.9'da görülmektedir. Bu akım ve gerilimler kullanılarak anlık gerçek ve sanal güçler ARG'T'ne göre hesaplanır (Şekil 6.10 a ve Şekil 6.11 a). Şekil 6.10 a ve Şekil 6.11 a'da dalgalanma olmaması yükün harmonik üretmediğini göstermektedir. Şekil 6.11 a yükün reaktif güç çektiğini ve eksi değerli olması da yükün endüktif olduğunu göstermektedir. Yükün reaktif gücü belirlendikten sonra PAGF bu reaktif güce eşit ve ters işaretli reaktif güç (Şekil 6.11 c) retecek Şekilde alıştırılır. Şekil 6.9 b ve Şekil 6.9 c'de PAGF akımıyla kaynaktan çekilen akımlar ve gerilimler görülmektedir. Şekil 6.11 c'de kaynak tarafının reaktif gücü görülmektedir. Kaynaktan çekilen gerçek güç (Şekil 6.10 c), reaktif güç (Şekil 6.11 c) ve V_{da} kondansatör gerilimindeki (Şekil 6.12) küçük değerli, yüksek frekanslı dalgalanmalar PAGF'deki eviricinin anahtarlama kayıplarından kaynaklanmaktadır.



(a)



(b)

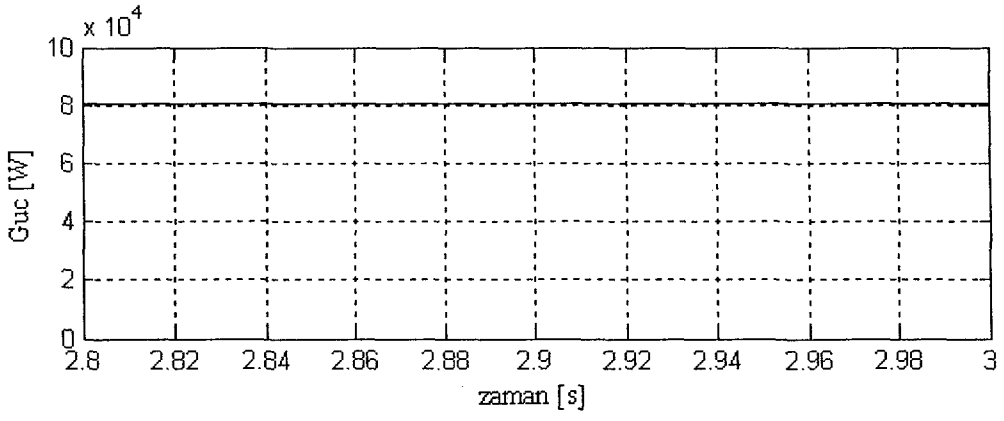


(c)

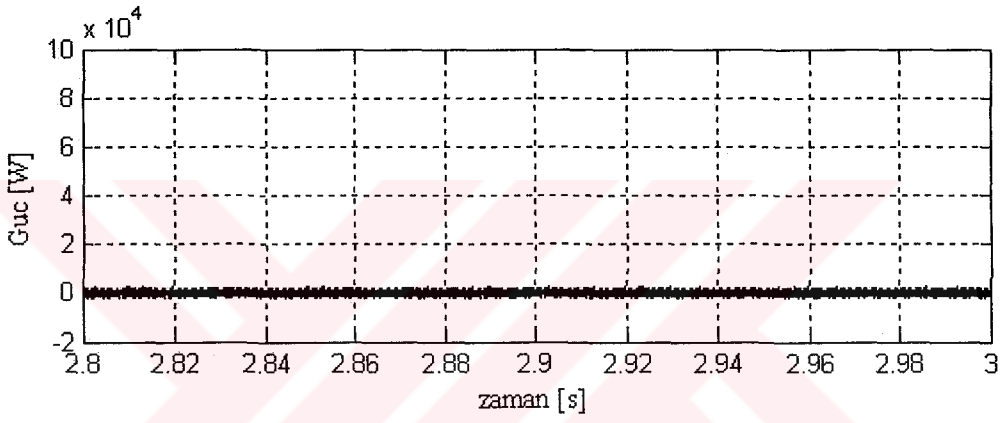
Şekil 6.9. a) Yükün (a) fazı gerilim ve akım dalga şekli.

b) PAGF'nin (a) fazı gerilim ve akım dalga şekli.

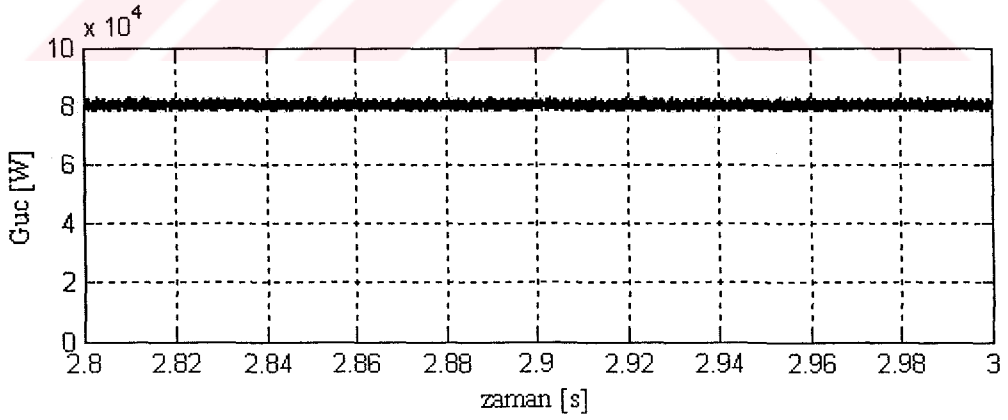
c) Kaynağın (a) fazı gerilim ve akım dalga şekli.



(a)



(b)

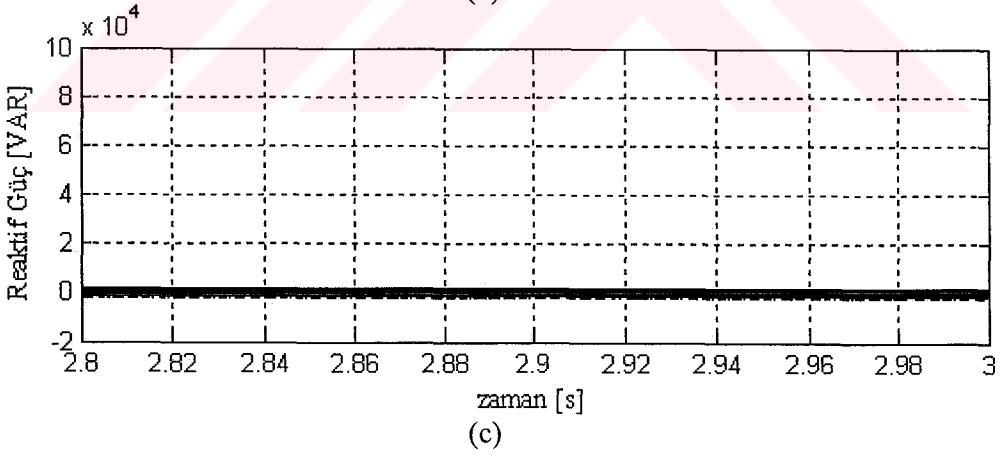
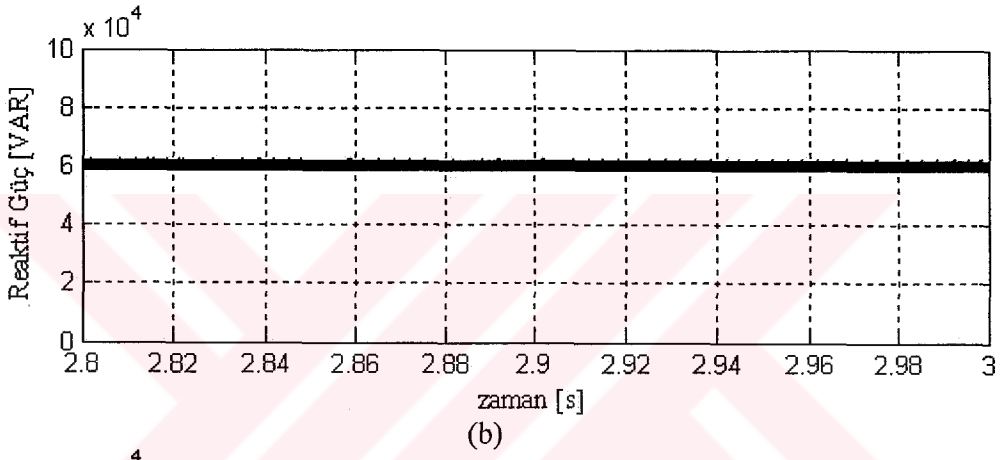
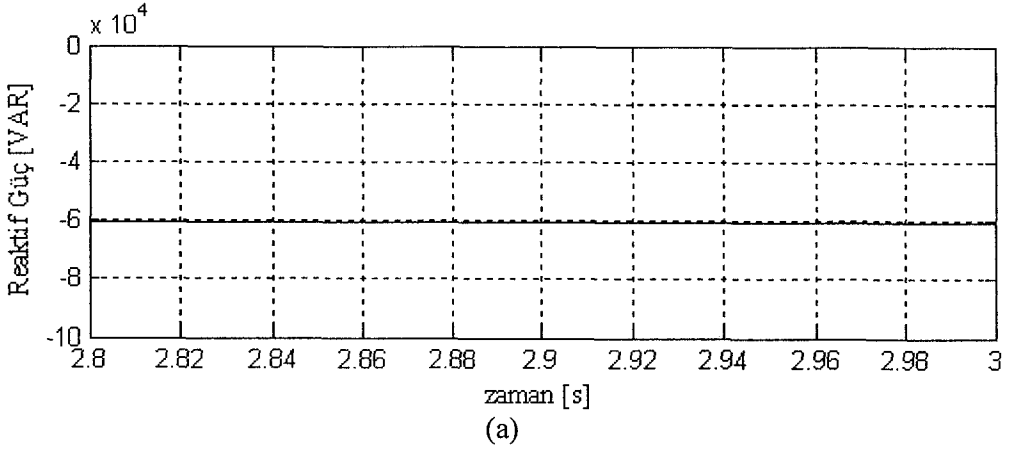


(c)

Şekil 6.10. a) Yükün aktif gücü.

b) Paralel aktif güç filtresinin aktif gücü.

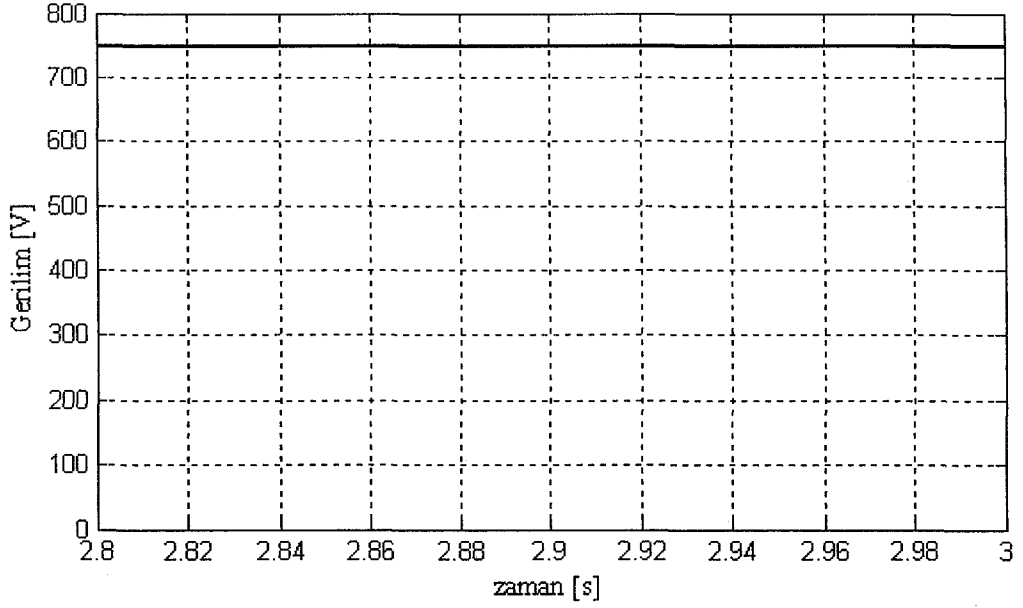
c) Kaynaktan çekilen aktif güç.



Şekil 6.11. a) Yüklein reaktif gücü.

b) Paralel aktif güç filtresinin ürettiği reaktif güç.

c) Kaynaktan çekilen reaktif güç.



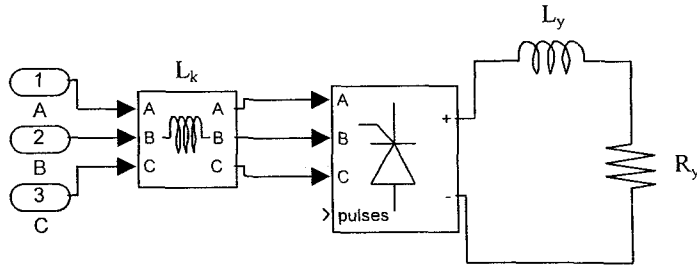
Şekil 6.12. DA Kondansatör (V_{da}) gerilimi.

Yük doğrusal olduğu için çektiği akımda herhangi bir bozulma (harmonik) yoktur. Kaynak tarafındaki akıma bakıldığında ise PAGF'den dolayı kaynaktan çekilen akım yüksek frekanslı harmonik bileşenlere sahiptir. Kaynak akımındaki THB %1.6'dır. Akımdaki bu bozulma histerisiz bant genişliğine ve dolayısıyla anahtarlama frekansına bağlıdır. Bu simülasyonda ortalama anahtarlama frekansı 9.7kHz'dir. Yükün güç katsayısı 0.8 iken kaynak tarafının güç sayısı 0.9999'dur.

6.4.2. Doğrusal olmayan yük durumunda PAGF'nin performansı

Bu durumda, harmonik üreten yüklerin (tristörlü doğrultucu vb.) olduğu bir sistemde PAGF ile harmonik akım ve reaktif güç kompanzasyonunun simülasyonu yapılmaktadır. Şekil 6.13'te görülen tristörlü doğrultucunun parametreleri Tablo 6.3'te verilmektedir.

Şekil 6.14 a'da tristörlü doğrultucunun (harmonik akım kaynağı) faz-nötr gerilimleri ve hat akımlarının dalga şekli görülmektedir.



Şekil 6.13. Tristörlü doğrultucu blok diyagramı.

Şekil 6.15’de (a) fazına ait akımın harmonik dağılımı görülmektedir. Bu şekle göre hat akımının temel değeri 93 A, 5. harmoniğin değeri 20A, 7. harmoniğin değeri 10.5A, 11. harmoniğin değeri 8A, 13. harmoniğin değeri 5.55A, 17. harmonik 5.3A ve 19. harmonik ise 3.3A’ dir. Bu akımın toplam harmonik bozulumu (THB) ise %24’dir. Doğrusal olmayan yük, üç fazlı tristörlü doğrultucu olduğu için diğer fazlardan çekilen temel akım, harmonik akımlar, bu akımları büyüklükleri ve THB (a) fazı ile aynıdır.

Tablo 6.3. Tristörlü doğrultucu parametreleri.

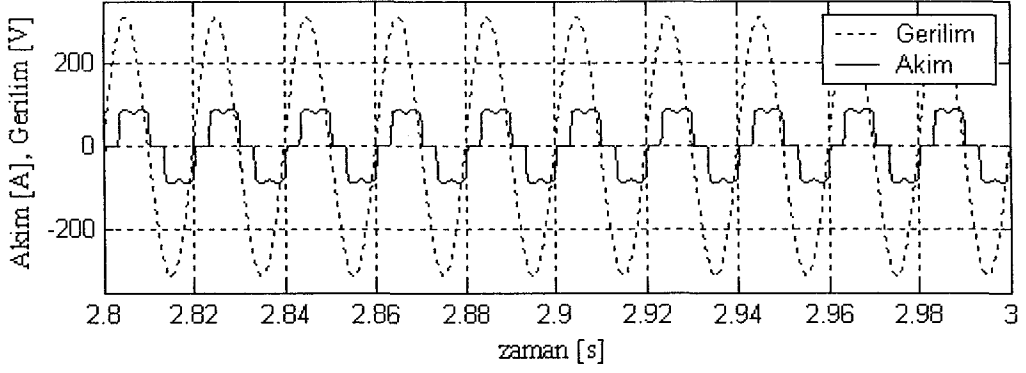
L_y	10mH
R_y	5 Ω
L_k	1mH
Tetikleme Açısı	30°

Şekil 6.14 a’daki yük akımları ve kaynak gerilimleri kullanılarak yükün çektiği anlık gerçek ve sanal güçler Şekil 17 a ve Şekil 18 a’daki gibi hesaplanmaktadır. Gerçek gücün dalgalı bileşeni ve sanal güç (Şekil 6.17 b ve Şekil 6.18 b) kullanılarak aktif güç filtresinin üretmesi gereken akımlar hesaplanmakta ve histerisiz bant DGA kullanılarak güç devresinin bu akımları üretmesi sağlanmaktadır (Şekil 6.14 b). Şekil 6.16’da paralel aktif güç filtresi akımının harmonik dağılımı görülmektedir. Bu şekil yük akımının harmonik dağılımına benzemekte ve üretilen akımlar yük akımındaki harmonik akımlarla aynı büyüklükte ve ters fazdadır. Paralel aktif güç filtresinin ürettiği akımda

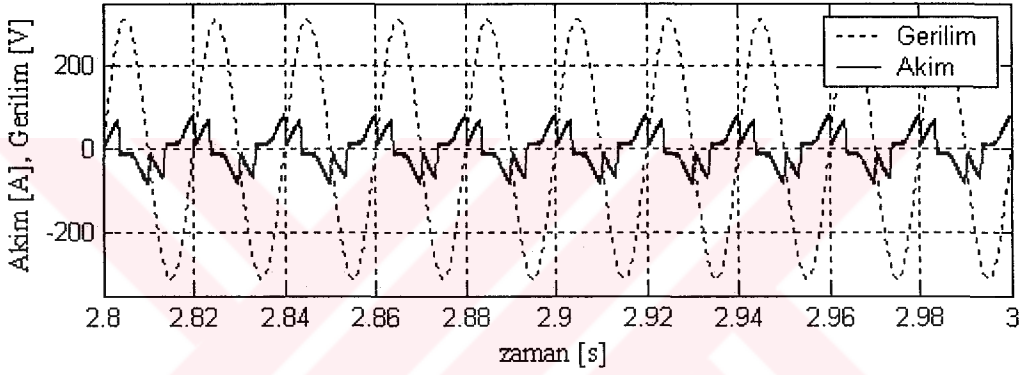
temel bileşen reaktif akımı göstermektedir. Dolayısıyla yükün çektiği harmonik ve reaktif güçler azaltılmakta (Şekil 6.17 c ve Şekil 6.18 c) ve kaynak akımı hem sinüse benzetilmekte hem de gerilimle aynı faza getirilmektedir (Şekil 6.20).

Şekil 6.19'da V_{da} kondansatör gerilimi değişimi görülmektedir. Şekil 6.12'deki kondansatör gerilimi değişiminden farklı olarak Şekil 6.19'daki kondansatör geriliminde dalgalanmalar vardır. Önceki bölümde bahsedildiği gibi bu dalgalanma harmonik akımlardan kaynaklanmaktadır. Yani sistemdeki reaktif akımlar fazlar arasında dolaştırılarak azaltılırken harmonik akımlar ise evirici vasıtasıyla tersleri üretilerek azaltılmaktadır. Bu akımlar üretilirken de V_{da} 'da dalgalanmalar oluşmaktadır.

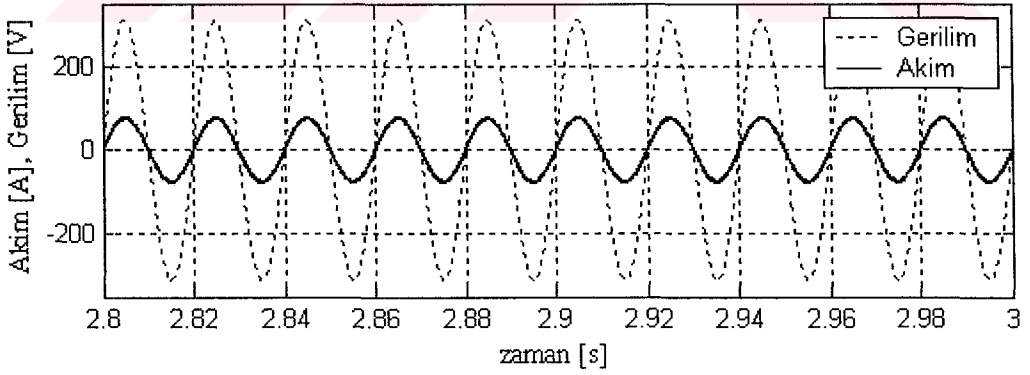




(a)



(b)

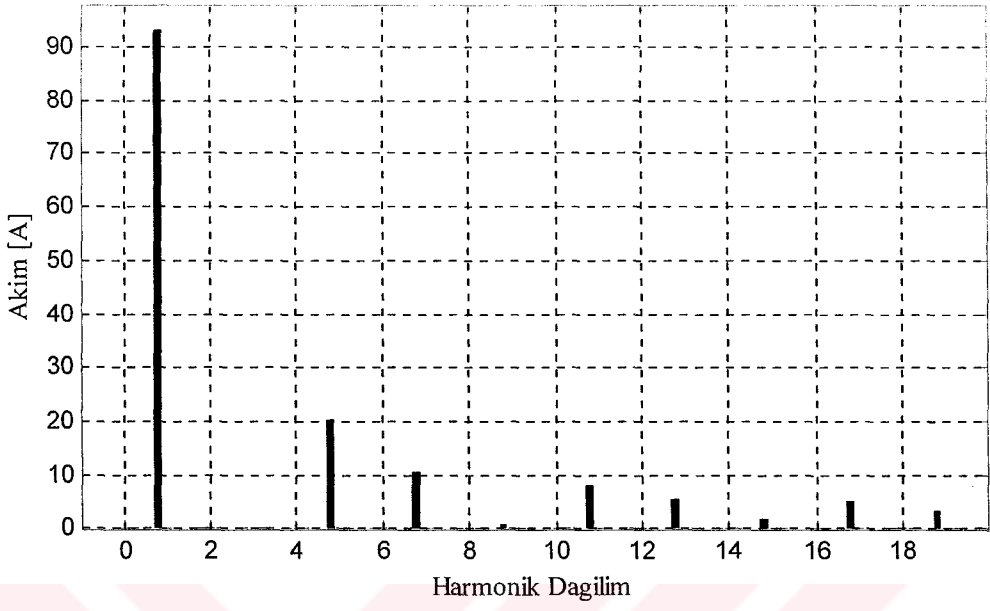


(c)

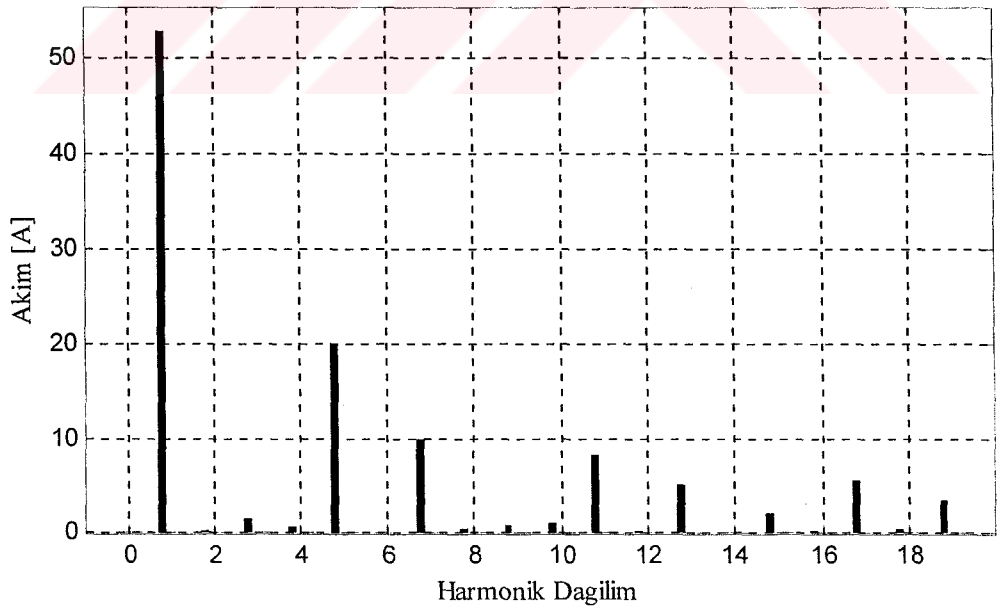
Şekil 6.14. a) Yükün (a) fazı gerilim ve akım dalga şekli.

b) PAGF'nin (a) fazı gerilim ve akım dalga şekli.

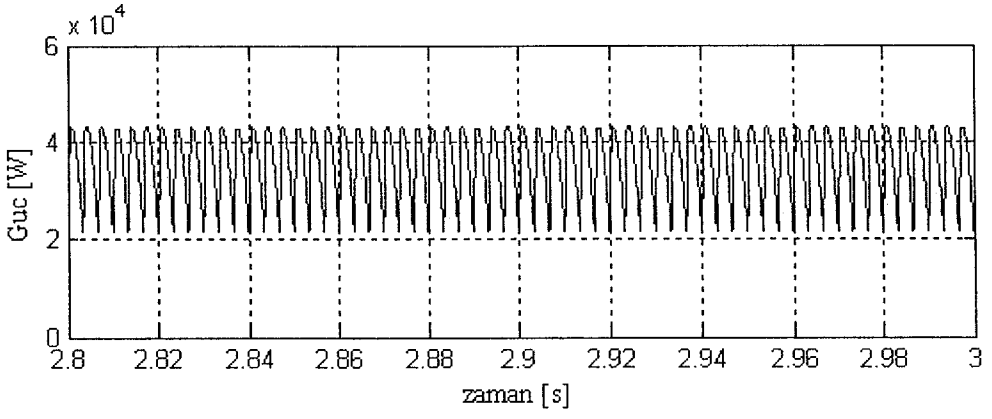
c) Kaynağın (a) fazı gerilim ve akım dalga şekli.



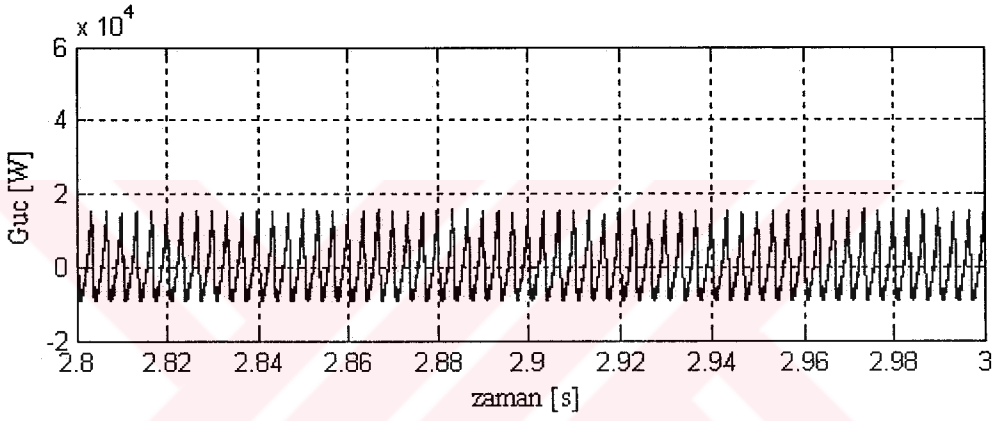
Şekil 6.15. Doğrusal olmayan yük akımının harmonik dağılımı.



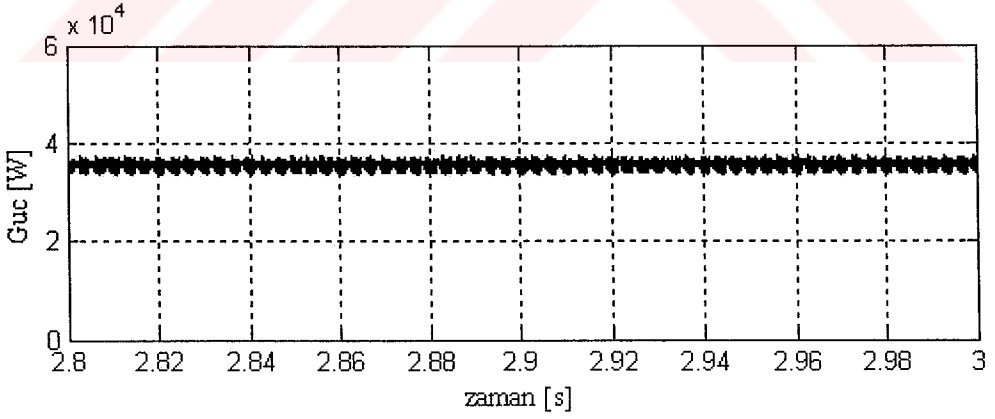
Şekil 6.16. Paralel aktif güç filtresi akımının harmonik dağılımı.



(a)



(b)

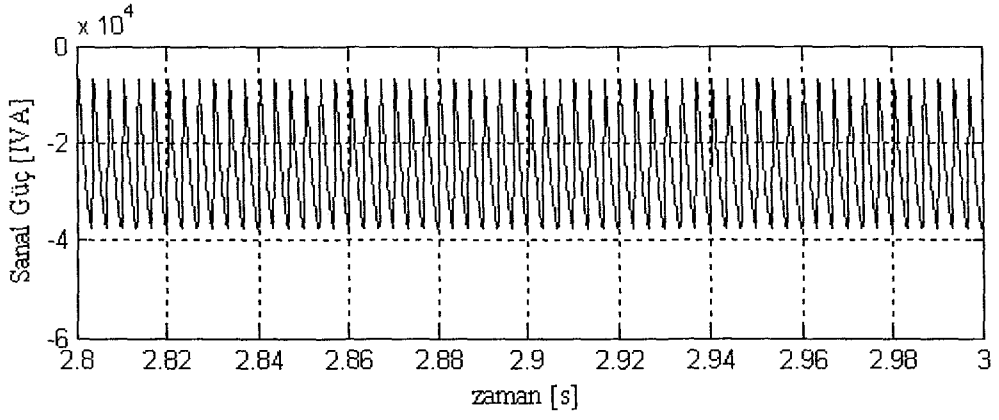


(c)

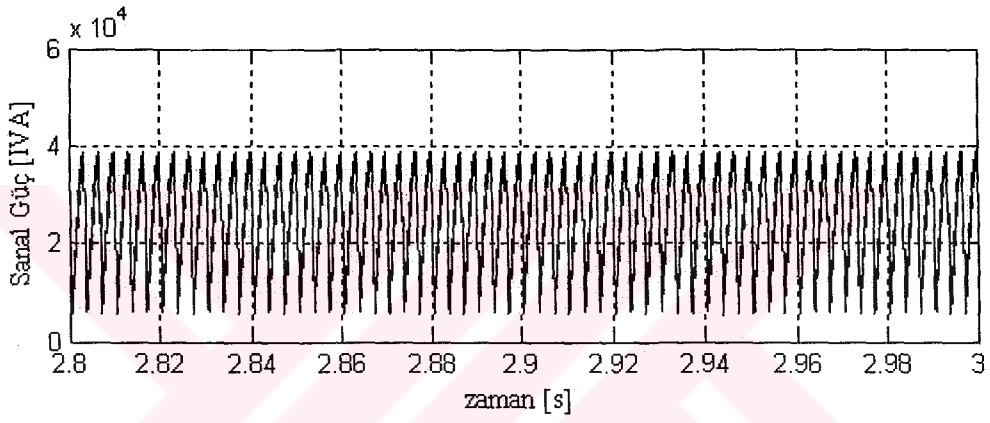
Şekil 6.17. a) Yükün aktif gücü.

b) Paralel aktif güç filtresinin aktif gücü

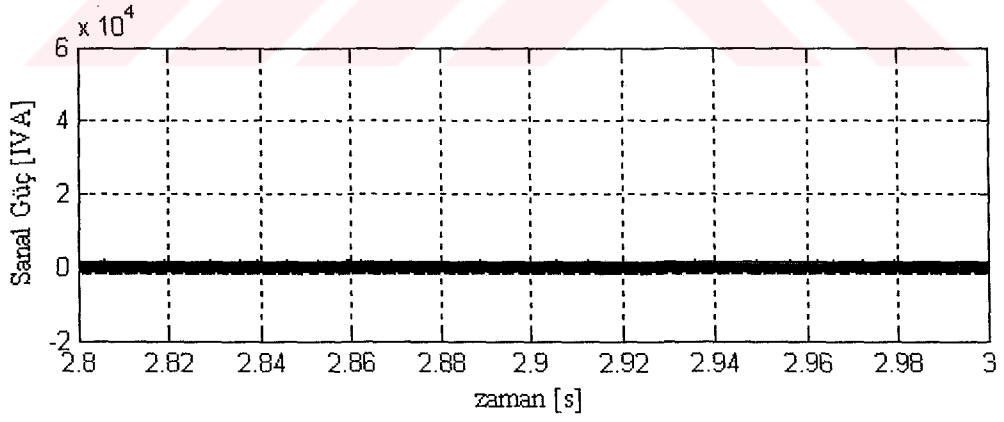
c) Kaynaktan çekilen aktif güç.



(a)



(b)

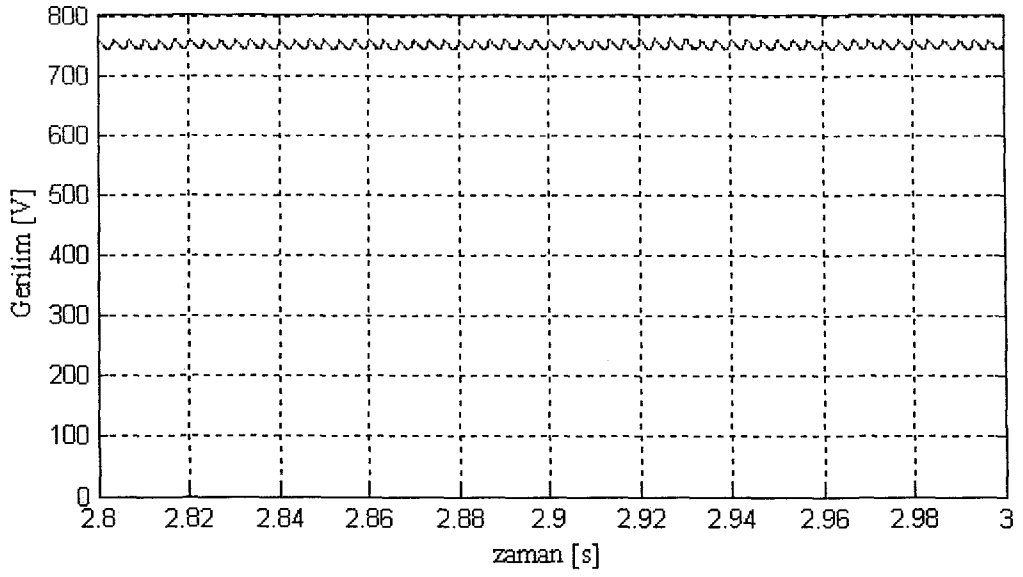


(c)

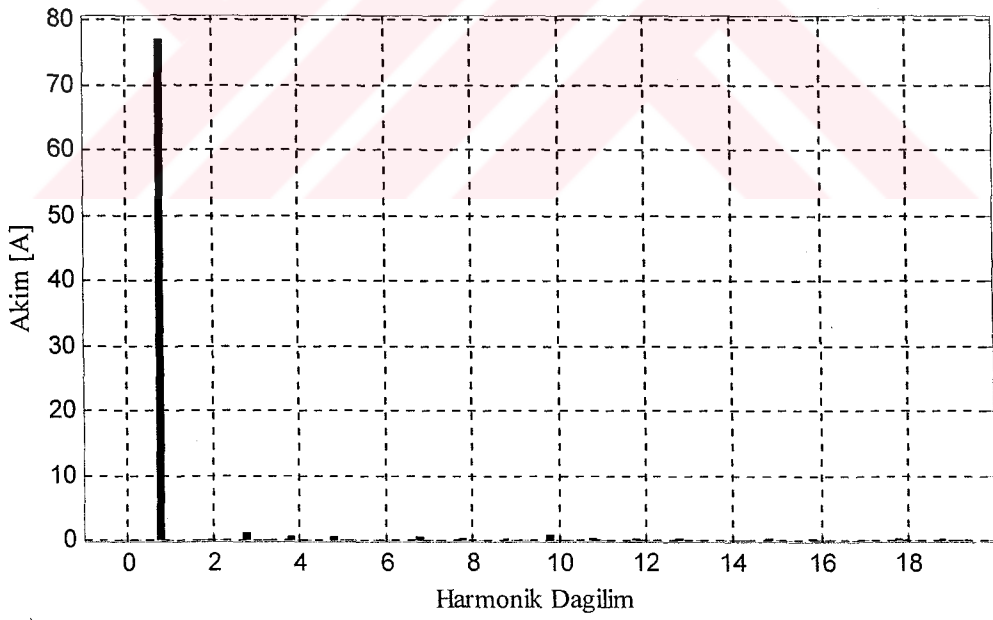
Şekil 6.18. a) Yükün sanal gücü.

b) Kaynaktan çekilen sanal güç.

c) Paralel aktif güç filtresinin sanal gücü.



Şekil 6.19. Kondansatör (V_{da}) gerilimi değişimi.



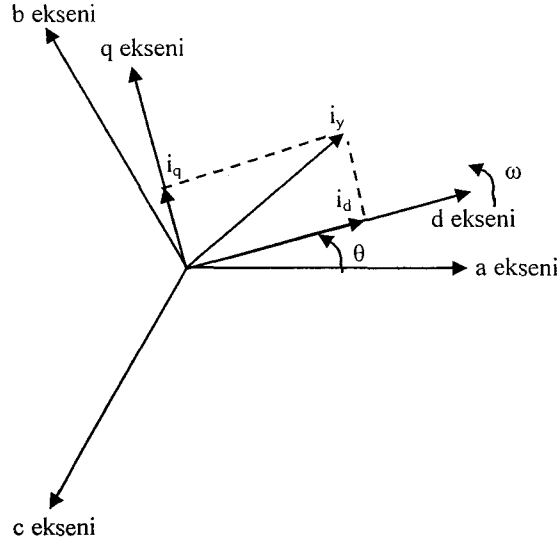
Şekil 6.20. Kaynak akımı harmonik dağılımı.

7. SENKRON REFERANS YAPI TABANLI PAGF'nin KONTROLÜ

Paralel aktif güç filtresi yükün çektiği harmonik ve reaktif akımlara ters fazda ve eşit büyüklükte akımlar üreterek hem kaynaktan çekilen akımın dalga şeklini sinüsoidal yapmakta hem de gerilimle akımı aynı faza getirmektedir. 6. bölümde yükün çektiği harmonik ve reaktif akımları belirlemek için anlık reaktif güç teorisi kullanılmıştır. Bu metotta anlık akım ve gerilimler ölçülerek anlık güçler hesaplanmakta ve yükün çektiği harmonik ve reaktif akımlar bu güçlere bakılarak belirlenmektedir. S. Bhattacharya et al. tarafından ileri sürülen senkron referans yapı tabanlı PAGF kontrolünde üç fazlı yük akımları, gerilimle senkron dönen referans yapıya çevrilerek yükün çektiği harmonik ve reaktif akımlar tespit edilir.

a-b-c koordinatlarında kaynak gerilimleri ve doğrusal yükün çektiği akımlar denklem 5.40 ve denklem 5.41'de verilmektedir. Bu akımlar gerilimle senkron dönen referans yapıya denklem 7.1 ve denklem 7.4 kullanılarak çevrilir (Şekil 7.1) (Masatoshi et al. ,1988). Akımın (d) eksenini bileşeni i_d ve (q) eksenini bileşeni i_q doğrusal yük durumunda sadece DA bileşenine sahiptir. Denklem 7.2'de doğrusal yüklerdeki akımın i_d bileşeni ve denklem 7.3'te akımın i_q bileşeni verilmektedir. Anlık reaktif güç teorisindeki güç bileşenlerine benzer olarak doğrusal yüklerde i_d aktif akım, i_q ise reaktif akıma karşılık gelmektedir (Masatoshi et al. ,1988). i_q ' nun (-) değerli olması yükün endüktif bileşen içerdiğini, (+) değerli olması kapasitif bileşen içerdiğini ve sıfır olması ise yükün omik olduğunu belirtir.

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \sin(\theta) & \sin(\theta - 120^\circ) & \sin(\theta + 120^\circ) \\ \cos(\theta) & \cos(\theta - 120^\circ) & \cos(\theta + 120^\circ) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ya} \\ i_{yb} \\ i_{yc} \end{bmatrix} \quad (7.1)$$



Şekil 7.1. a-b-c koordinatlarından senkron referans yapıya dönüşüm.

$$i_d = I_1 \cos(\phi_1) \quad (7.2)$$

$$i_q = \mp I_1 \sin(\phi_1) \quad (7.3)$$

$$\theta(t) = \int \omega(t) dt + \theta(0) \quad (7.4)$$

Doğrusal olmayan yüklerde ise i_d ve i_q hem AA hem de DA bileşenlere sahiptir (denklem 7.5 ve denklem 7.6). i_d ve i_q 'nun AA bileşenleri (anlık güç teorisindeki gerçek ve sanal güçlerin dalgalı bileşenlerinin harmonik güce karşılık geldiği gibi) harmonik akımlara karşılık gelmektedir. DA bileşenleri ise denklem 7.2 ve 7.3'teki gibi aktif ve reaktif akımlara karşılık gelmektedir (Masatoshi et al. ,1988).

$$i_d = \sum_{n=1}^{\infty} I_n \cos(\phi_1) + I_n \cos[(n-1)\omega t \mp \phi_n] \quad (7.5)$$

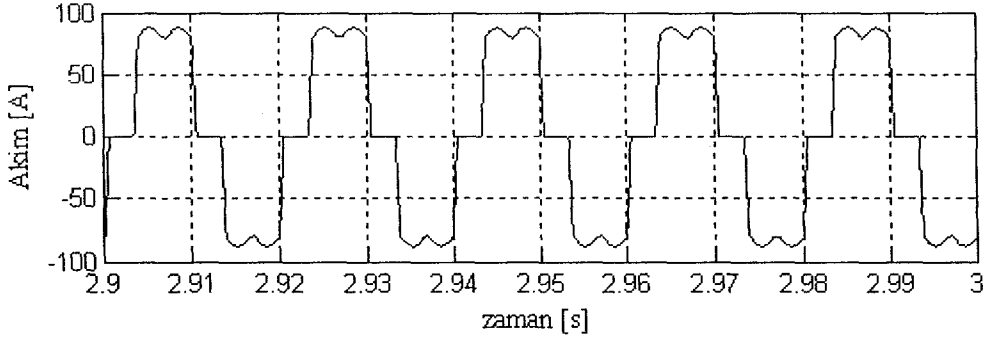
$$i_q = \sum_{n=1}^{\infty} \mp I_n \sin(\phi_n) + I_n \sin[(n-1)\omega t \mp \phi_n] \quad (7.6)$$

Şekil 7.2'de üç fazlı kontrollü doğrultucu faz akımı ve yük akımlarının gerilimle senkron dönen referans yapıdaki (d) ve (q) bileşenleri görülmektedir.

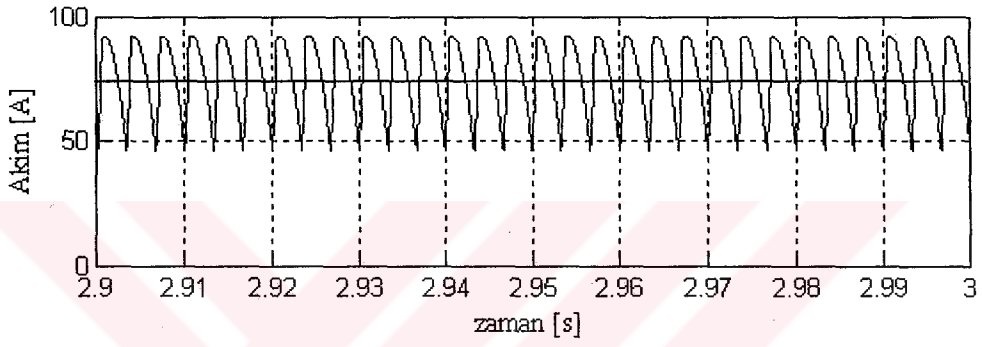
PAGF kullanarak sadece harmonik akım kompanzasyonu yapılacaksa senkron referans yapıda i_d 'nin ve i_q 'nin AA bileşenleri kullanılarak referans akımlar hesaplanır. Sadece reaktif güç kompanzasyonu yapılacaksa i_q 'nin DA bileşeni kullanılarak referans akımlar hesaplanır. Hem harmonik akım hem de reaktif güç kompanzasyonu yapılacaksa i_d ve i_q 'nin AA bileşeni ve i_q 'nin DA bileşeni kullanılarak referans akımlar hesaplanır. (Masatoshi et al. ,1988)

Yük akımlarının gerilimle senkron dönen referans yapıya çevrilirken kullanılacak olan $\sin(\theta)$ ve $\cos(\theta)$ değerleri için SimPowerSystem araç kutusundaki PLL bloğu kullanılmıştır (Şekil 7.3). Yükün çektiği reaktif ve harmonik akımlar tespit edildikten sonra i_d 'nin AA ve DA bileşenlerini ayırmak için yüksek geçiren filtre kullanılmaktadır. Dolayısıyla filtre çıkışında dq referans yapıda harmoniklere karşılık gelen \tilde{i}_d bulunmaktadır. Bu akımın tersi ve evirici kayıplarına karşılık gelen i_{da} akımı toplanarak dq referans yapıda PAGF'nin üretmesi gereken akımın (d) ekseninde elde edilmektedir. (q) ekseninde ise hem reaktif akımlara hem de harmonik akımlara karşılık geldiği için yük akımının (q) bileşeni i_q 'nin tersi alınarak elde edilir. dq referans yapıda elde edilen bu akımlar denklem 7.5'teki dq-abc dönüşümü kullanılarak üç fazlı a-b-c sistemine dönüştürülmektedir. DGA metodlarından biri kullanılarak PAGF'nin bu akımları üretmesi sağlanmaktadır.

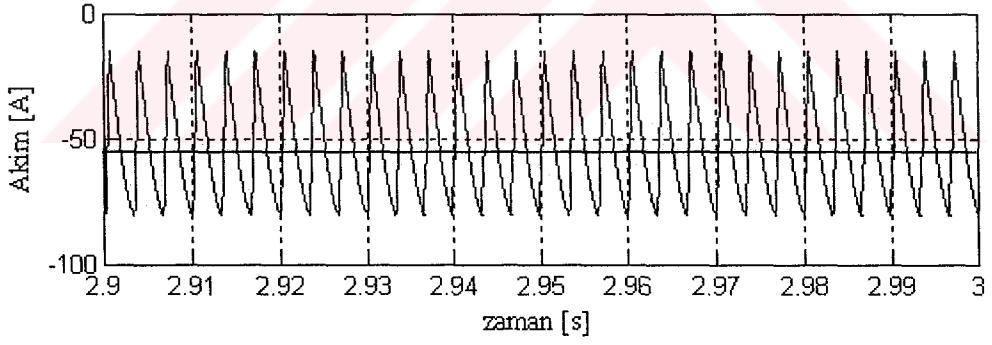
$$\begin{bmatrix} i_{fa}^* \\ i_{fb}^* \\ i_{fc}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(\theta) & \cos(\theta) \\ \sin(\theta - 120^\circ) & \cos(\theta - 120^\circ) \\ \sin(\theta + 120^\circ) & \cos(\theta + 120^\circ) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} \quad (7.5)$$



(a)



(b)

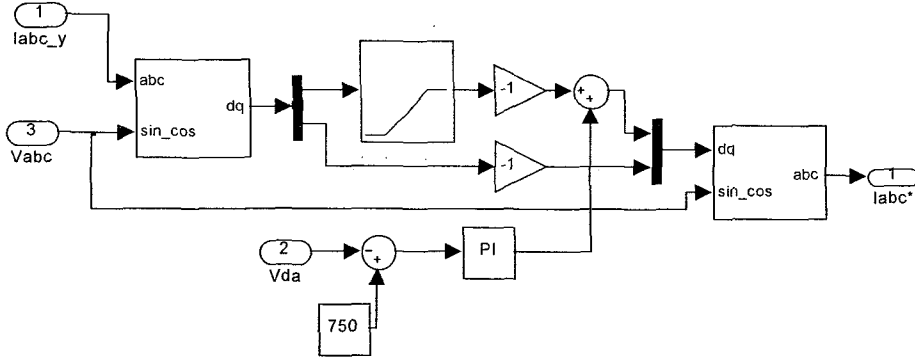


(c)

Şekil 7.2. a) Üç fazlı kontrollü doğrultucu faz akımı.

b) Yükün (d) ekseni akımı ve DA bileşeni.

c) Yükün (q) ekseni akımı ve DA bileşeni.



Şekil 7.3. Senkron referans yapı tabanlı PAGF kontrol blok diyagramı.

7.1. Senkron Referans Yapı Tabanlı PAGF Simülasyon Sonuçları

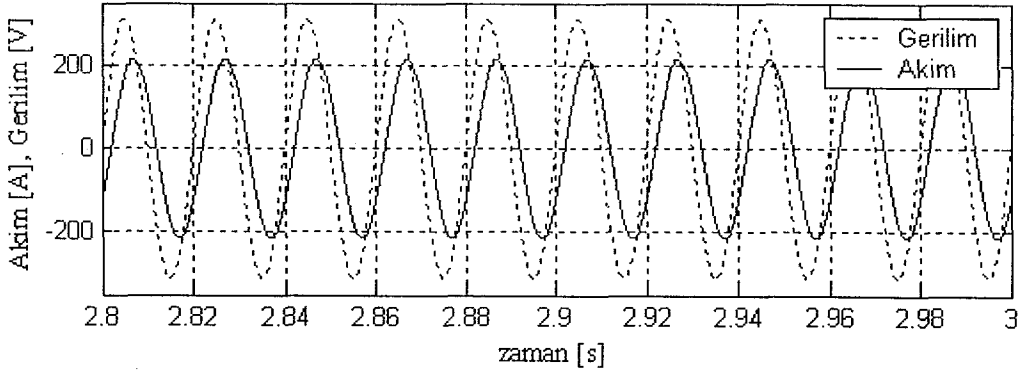
Bu bölümde senkron referans yapı tabanlı kontrol edilen PAGF'nin üç fazlı sinüsodal kaynakla beslenen doğrusal yük durumunda reaktif güç (akım) kompanzasyonu ve üç fazlı sinüsodal kaynakla beslenen doğrusal olmayan yük durumunda harmonik ve reaktif güç (akım) kompanzasyonu simülasyon sonuçları incelenmektedir.

7.1.1. Doğrusal yük durumunda PAGF simülasyon sonuçları

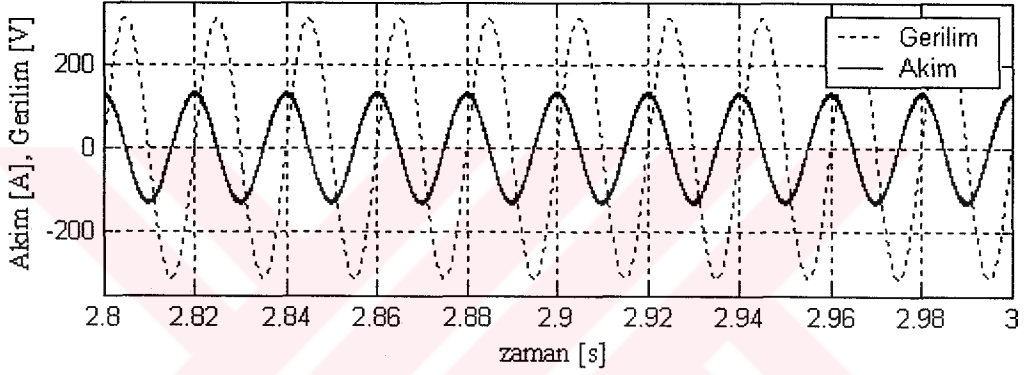
Simülasyonda kullanılacak olan yükün ve PAGF'nin parametreleri Tablo 6.1 ve Tablo 6.2'de verilmektedir. Yük gerilimleri ve yükün çektiği anlık akımlar Şekil 6.9'daki gibidir. Bu akımlar gerilimle senkron dönen referans yapıya çevrildiğinde, yük akımının (d) ve (q) ekseni bileşenleri Şekil 7.4 a ve Şekil 7.5 a'daki gibi olur. Şekil 7.4 a yük akımının istenen bileşeni, Şekil 7.5 a ise doğrusal yüklerde reaktif akıma karşılık gelen kompanze edilmesi gereken bileşendir. PAGF bu akımı yok etmek için eşit ve ters işaretli reaktif akım üretir (Şekil 7.5 c). Yük, doğrusal olduğu için çekilen akım harmonik bileşen içermemektedir. Kaynak akımının (d) ve (q) ekseni bileşenlerindeki küçük değerli ve yüksek frekanslı salınımlar, PAGF anahtarlardan dolayı ürettiği harmonikleri göstermektedir (Şekil 7.4 b, Şekil 7.4 c, Şekil 7.5 b ve Şekil 7.5 c). Kaynak akımındaki THB %1.6'dır. Yükün güç katsayısı (Şekil 7.3 a) 0.8 iken kaynak tarafının

güç katsayısı 0.9999'dur (Şekil 7.3 c). Eviricinin ortalama anahtarlama frekansı 9.3kHz'dir.

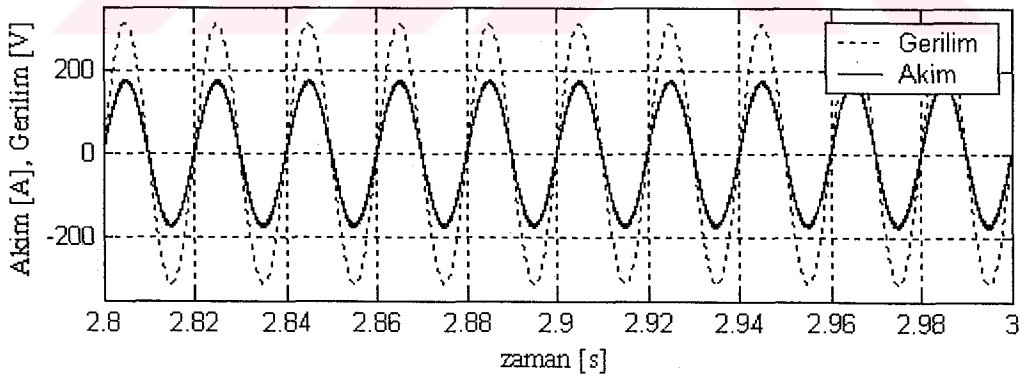




(a)



(b)

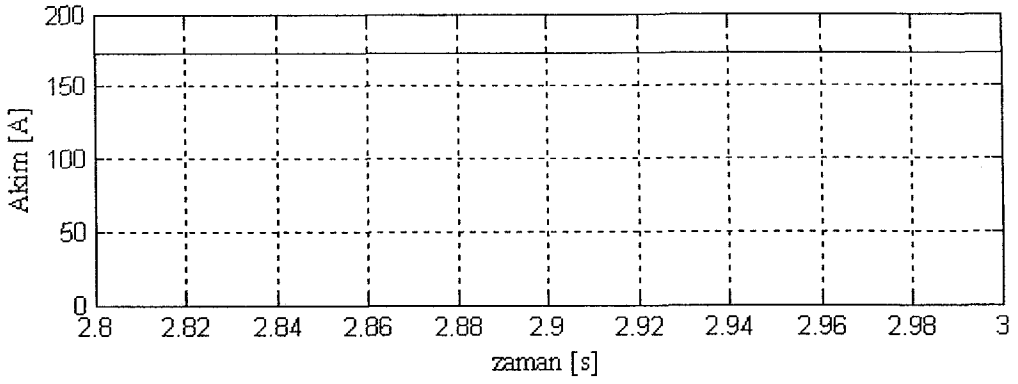


(c)

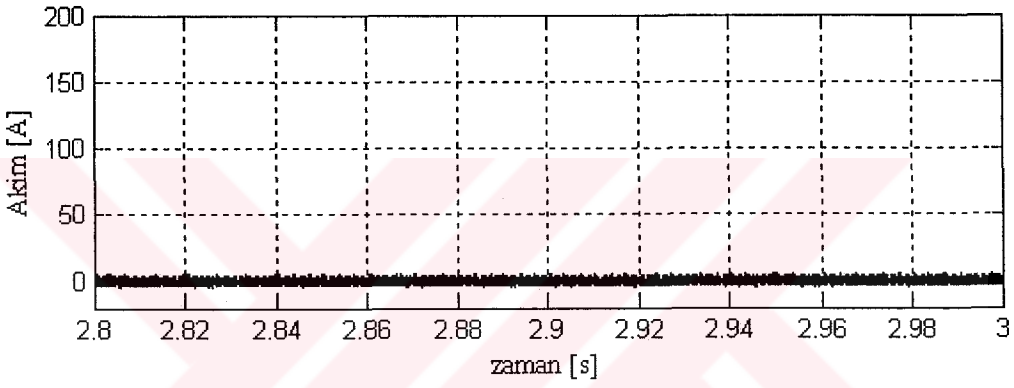
Şekil 7.4. a) Yükün (a) fazı gerilim ve akım dalga şekli.

b) PAGF'nin (a) fazı gerilim ve akım dalga şekli.

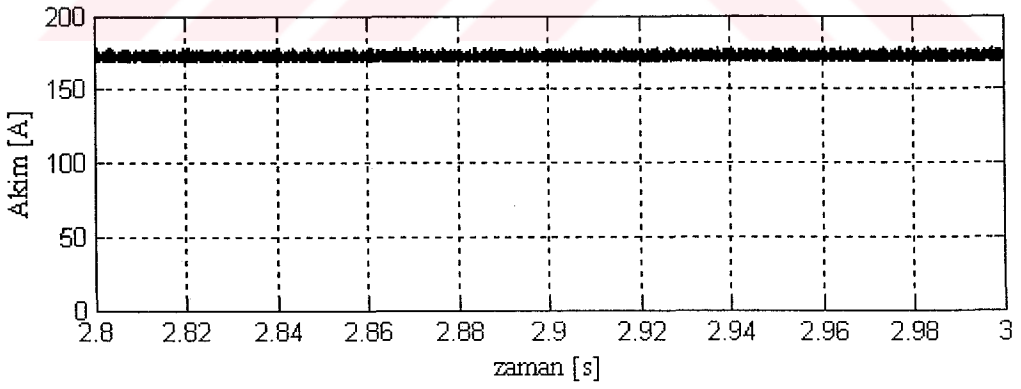
c) Kaynağın (a) fazı gerilim ve akım dalga şekli.



(a)



(b)

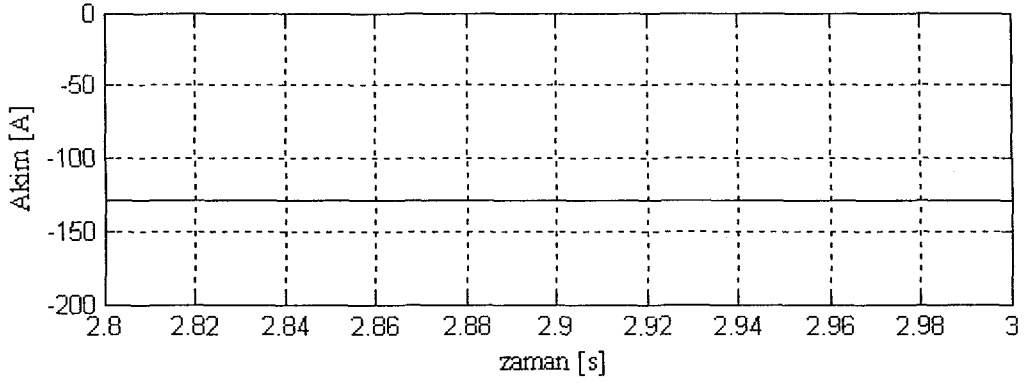


(c)

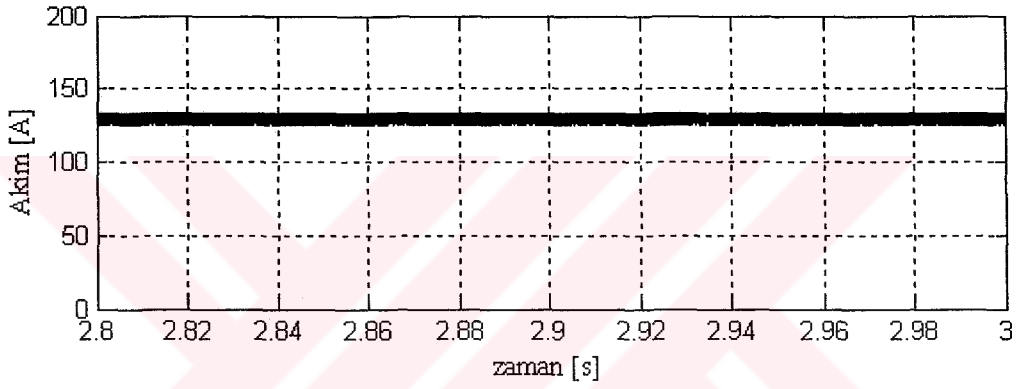
Şekil 7.5. a) Yük akımı (d) ekseni bileşeni.

b) PAGF akımı (d) ekseni bileşeni.

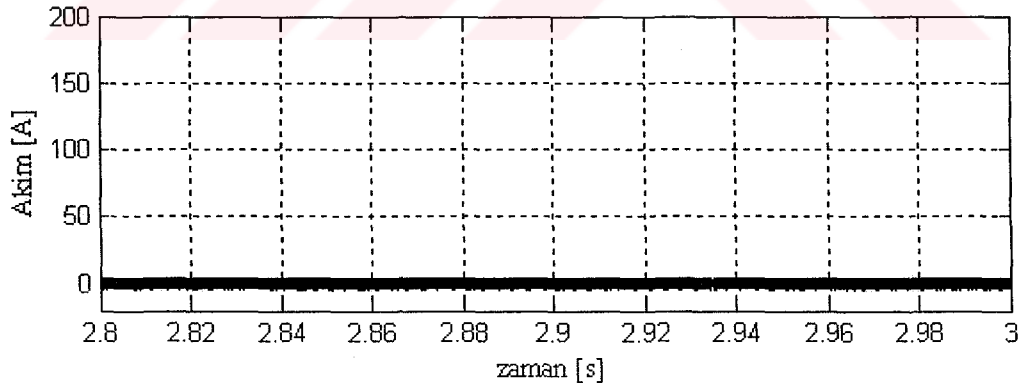
c) Kaynak akımı (d) ekseni bileşeni.



(a)



(b)

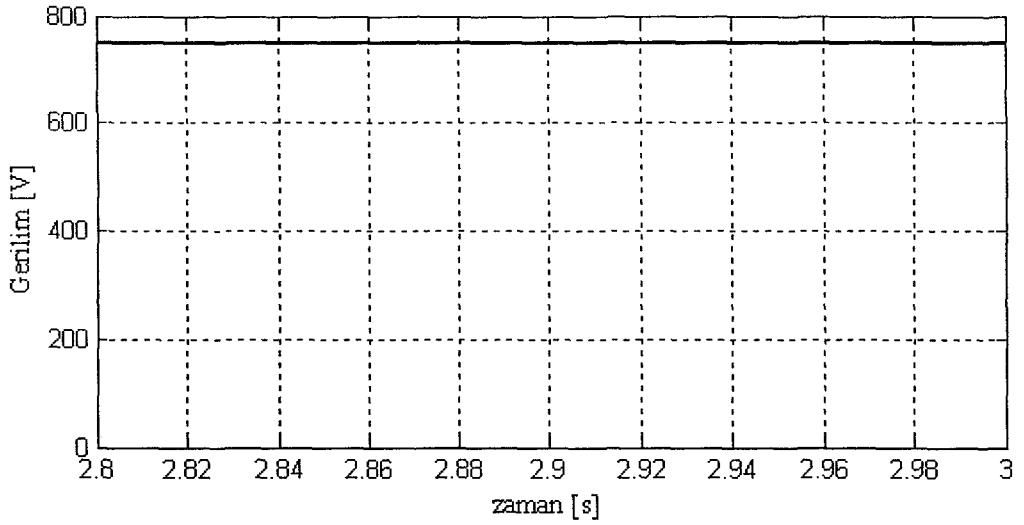


(c)

Şekil 7.6. a) Yük akımı (q) eksenli bileşeni.

b) PAGF akımı (q) eksenli bileşeni.

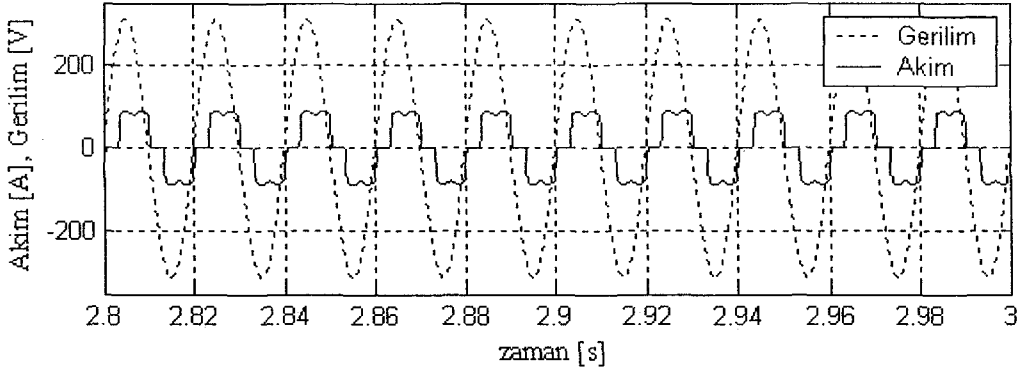
c) Kaynak akımı (q) eksenli bileşeni.



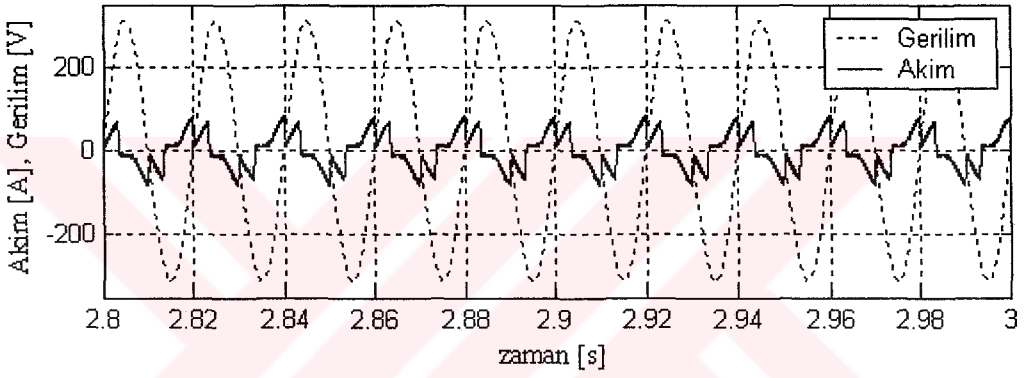
Şekil 7.7. V_{da} kondansatör gerilimi değişimi.

7.1.2. Doğrusal olmayan yük durumunda PAGF simülasyon sonuçları

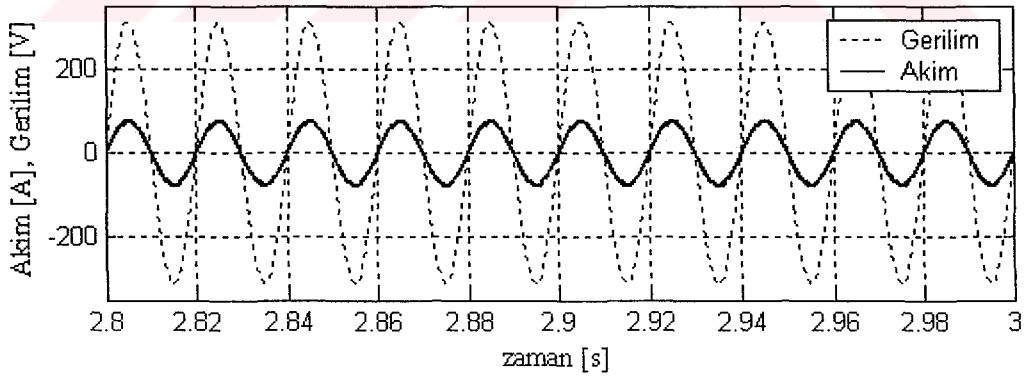
Bu simülasyonda kullanılan doğrusal olmayan yük akımları, gerilimleri ve akımın harmonik dağılımı Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'da verilmektedir. Üç fazlı (a-b-c sistemindeki) yük akımları gerilimle senkron dönen referans yapıya çevrildiğinde (Şekil 7.8 ve Şekil 7.9) (d) ve (q) eksenleri hem dalgalı hem de doğru bileşenlere sahiptir. i_d akımın DA bileşeni üç fazlı a-b-c sisteminde temel akımlara karşılık gelmektedir. i_q akımın DA bileşeni ise üç fazlı a-b-c sisteminde reaktif akıma karşılık gelmekte ve kompanse edilmelidir. i_d ve i_q akımlarının dalgalı bileşenleri üç fazlı a-b-c sisteminde harmonik akımlara karşılık gelmektedir. Dolayısıyla \tilde{i}_d ve \tilde{i}_q harmonik akım kompanzasyonu için kullanılırken i_q 'nin DA bileşeni ise reaktif akım kompanzasyonu için kullanılmaktadır. \tilde{i}_d ve i_q akımlarının tersleri alınarak PAGF'nin bu akımları üretmesi sağlanır (Şekil 7.8 c ve Şekil 7.9 c). Şekil 7.8 b'de görüldüğü gibi kaynak tarafı (d) eksen akımı sadece DA bileşene sahiptir, (q) eksen bileşeninin değeri ise yaklaşık sıfırdır (Şekil 7.9 b).



(a)



(b)

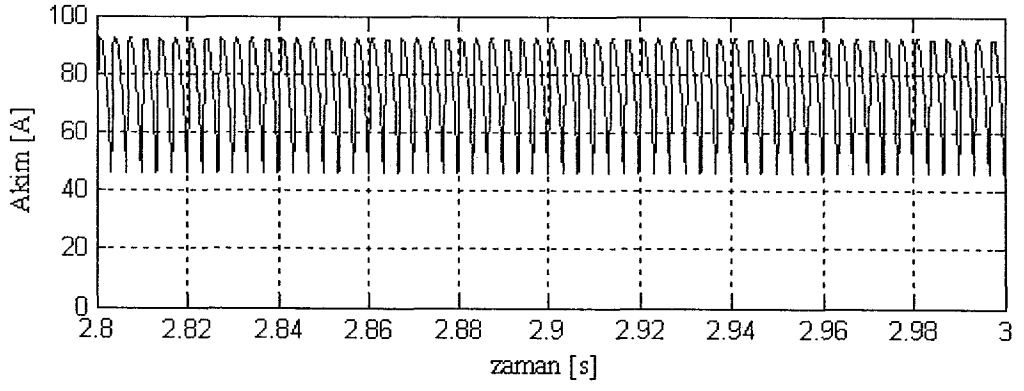


(c)

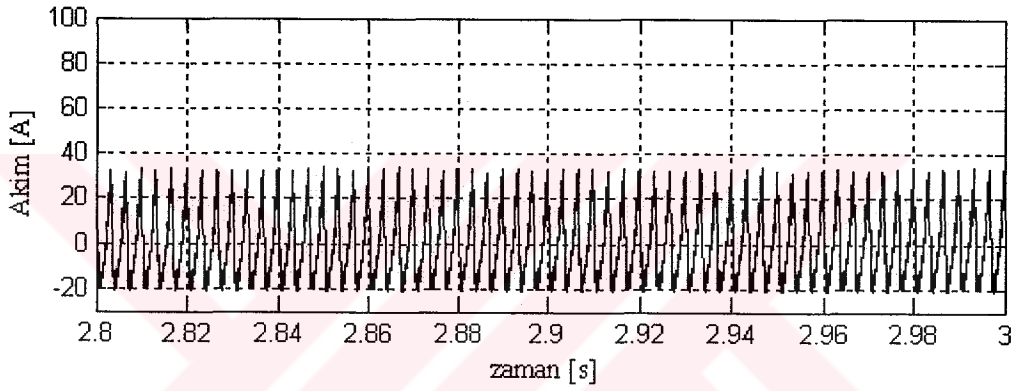
Şekil 7.8. a) Doğrusal olmayan yük akımı.

b) PAGF akımı.

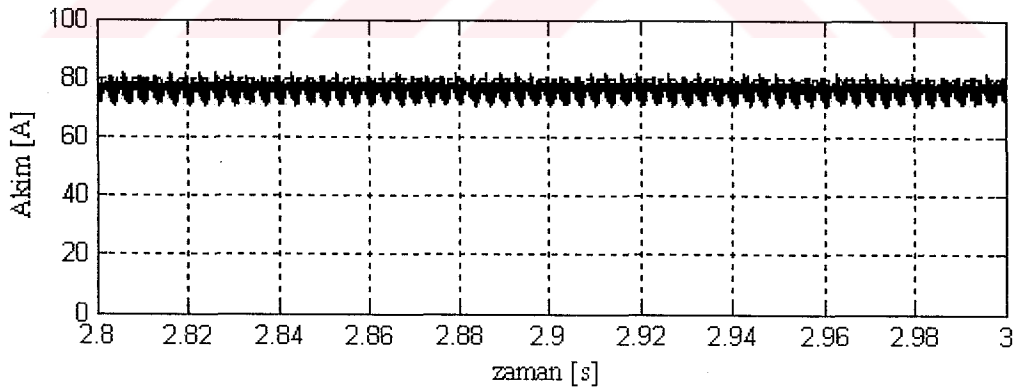
c) Kaynak akımı.



(a)



(b)

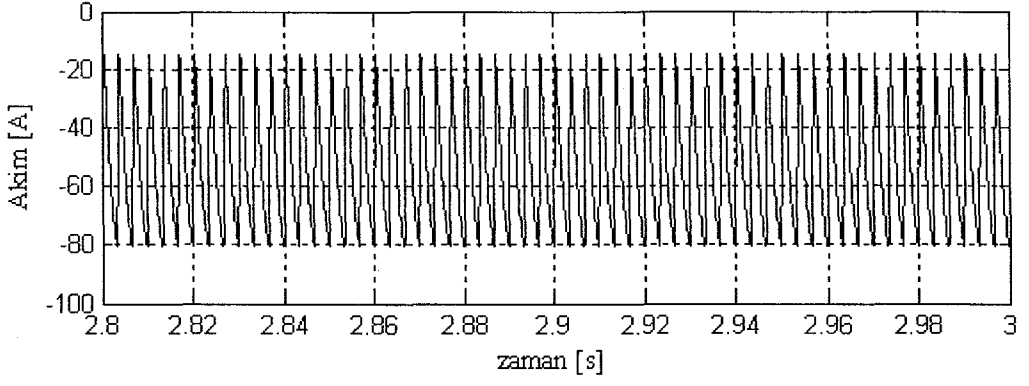


(c)

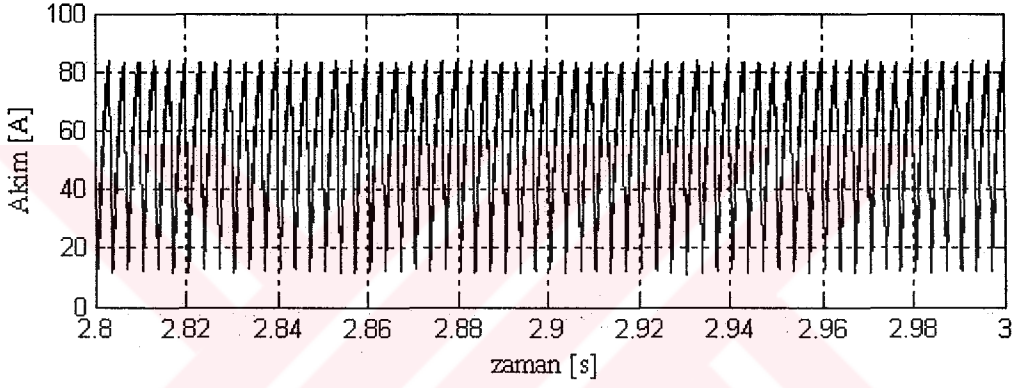
Şekil 7.9. a) (d) ekseni yük akımı.

b) (d) ekseni PAGF akımı.

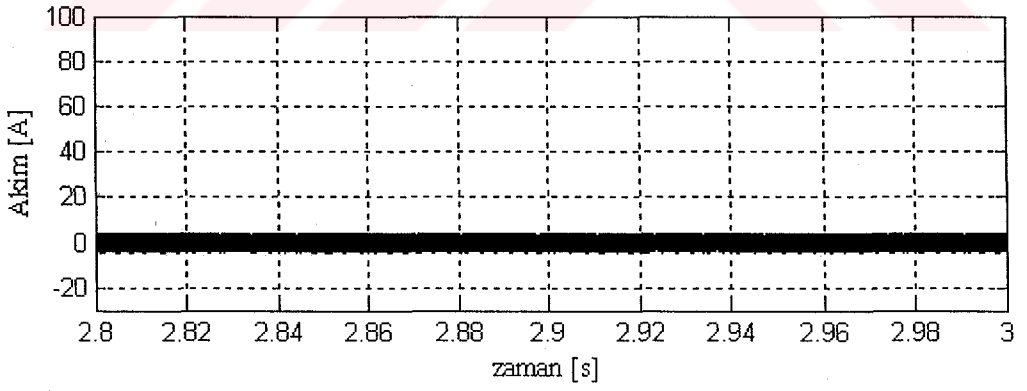
c) (d) ekseni kaynak akımı.



(a)



(b)



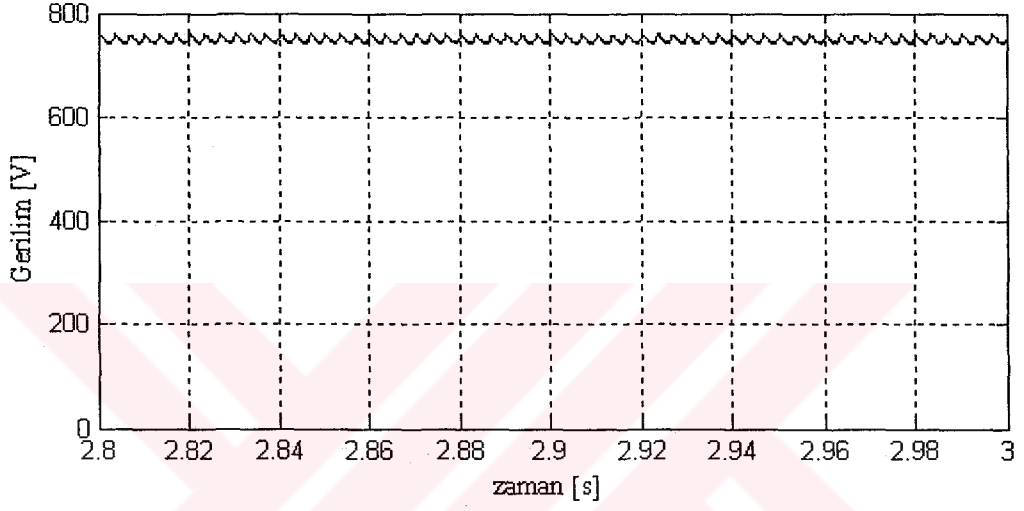
(c)

Şekil 7.10. a) (q) ekseni yük akımı.

b) (q) ekseni PAGF akımı.

c) (q) ekseni kaynak akımı.

Şekil 7.11’de PAGF’nin anahtarlama kayıpları ve harmonik akımlardan dolayı V_{da} ’da meydana gelen dalgalanmalar görülmektedir. Bu dalgalanmalar önceki bölümde de bahsedildiği gibi harmonik akımlarının miktarına, anahtarlama frekansına ve DA kondansatörünün değerine bağlıdır. Ortalama anahtarlama frekansı 10.03KHz’dir. Kaynak akımındaki THB %3.8’dir.



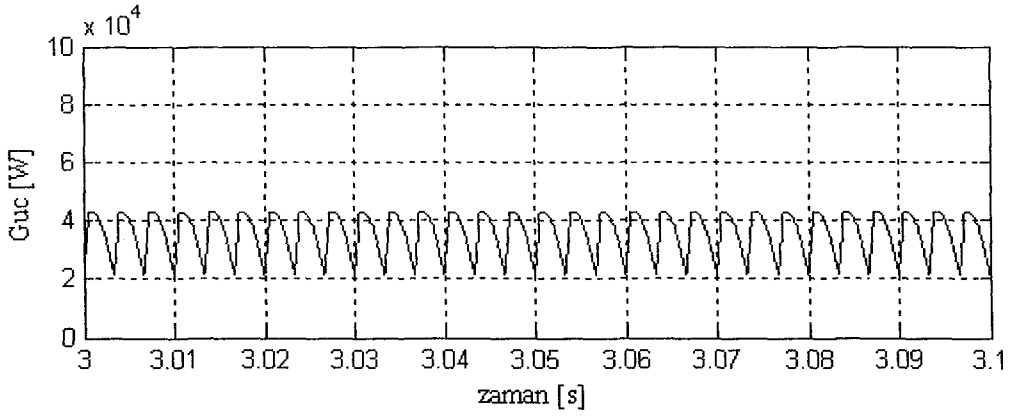
Şekil 7.11. DA kondansatör gerilimi değişimi.

8. PARALEL AKTİF GÜÇ FİLTRESİ PERFORMANS ANALİZİ

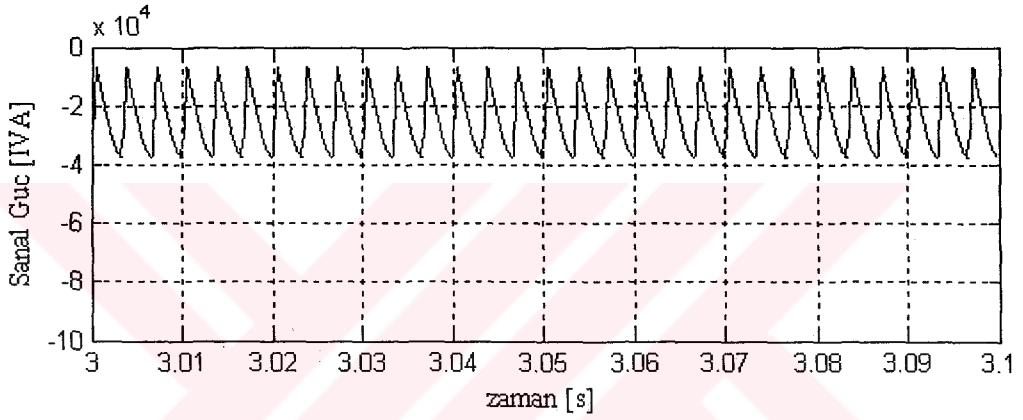
Bu bölümde, PAGF güç devresi elemanları olan DA kondansatörünün ve AA tarafındaki bobin değerinin, DA gerilim değerinin, yük değeri ve kaynak geriliminin dalga şeklinin, ayrıca DGA kontrol metotlarından histerisiz bant DGA'nın PAGF'nin performansına etkileri incelenmektedir.

8.1. Yük Değerinin PAGF Performansına Etkisi

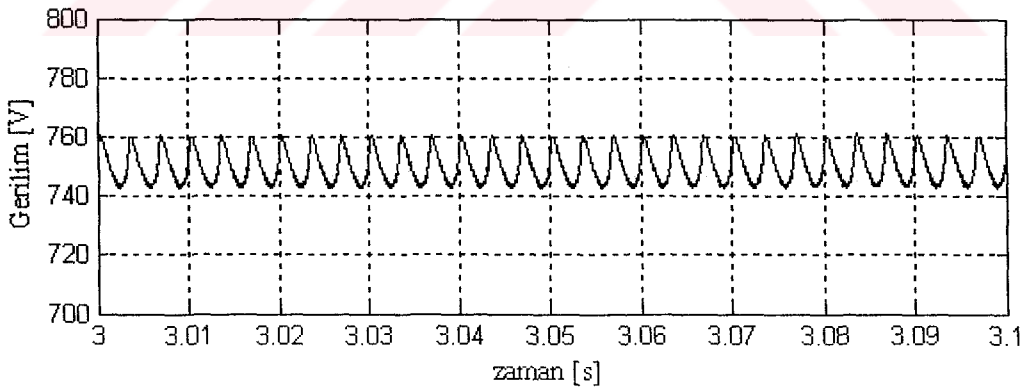
Doğrusal olmayan yüklerin çektiği akımlar senkron dönen referans yapıya çevrildiğinde (q) ekseninin DA bileşeni fazlar arasında dolaştırılarak kontrol edilmekte, (q) ve (d) eksenlerinin dalgalı bileşenleri ise PAGF'nin DA tarafından AA tarafına enerji aktarılmasıyla kontrol edilmektedir. Bu işlem sırasında DA tarafındaki gerilimin seviyesinde, harmonik akımların büyüklüğü ve DA kondansatörünün değerine bağlı olarak dalgalanmalar meydana gelmektedir. Şekil 8.1 ve Şekil 8.2'de iki farklı yükün çektiği anlık gerçek ve sanal güçler ile DA kondansatör gerilimleri görülmektedir. Şekil 8.1'de parametreleri Tablo 6.3'te verilen yük kullanılmıştır. Bu yükün anlık gerçek gücündeki dalgalanma yaklaşık 20kW ve anlık sanal gücündeki dalgalanma ise yaklaşık 30kVAR'dir. DA kondansatör gerilimindeki dalgalanma yaklaşık 20V'tur. Şekil 8.2'de parametreleri Tablo 8.1'de verilen yük kullanılmıştır. Yükün anlık gerçek gücündeki dalgalanma yaklaşık 40kW, anlık sanal gücündeki dalgalanma ise yaklaşık 50kVAR'dir. DA kondansatör gerilimindeki dalgalanma ise yaklaşık 50V'tur. Bu simülasyonlardan da görüldüğü gibi güçlerdeki dalgalanmalar arttıkça DA kondansatör gerilimindeki dalgalanmalarda artmaktadır.



(a)



(b)

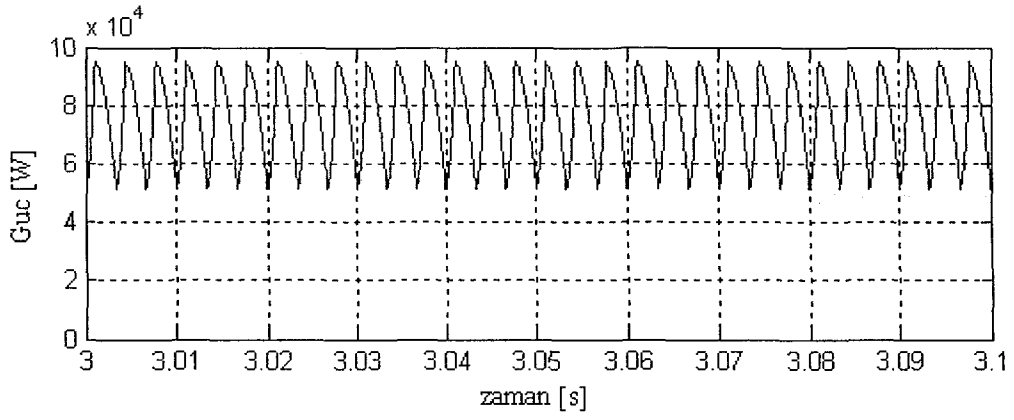


(c)

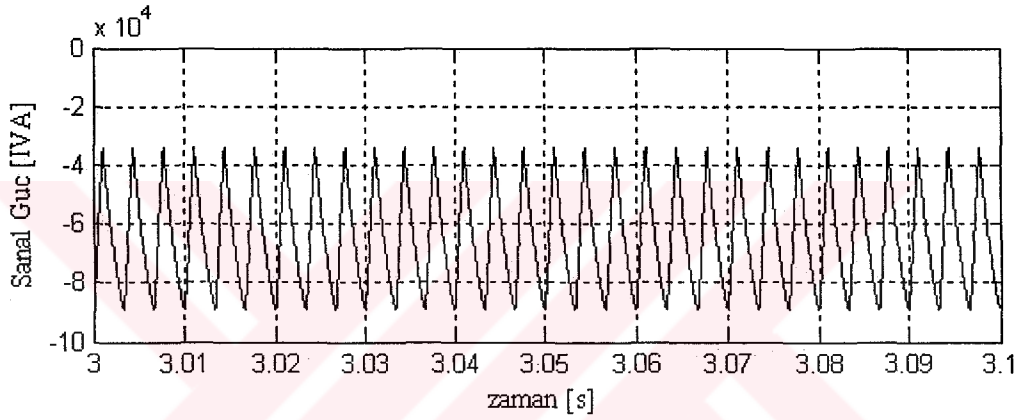
Şekil 8.1. a) Tablo 6.3'teki yükün anlık gerçek gücü.

b) Tablo 6.3'teki yükün anlık sanal gücü.

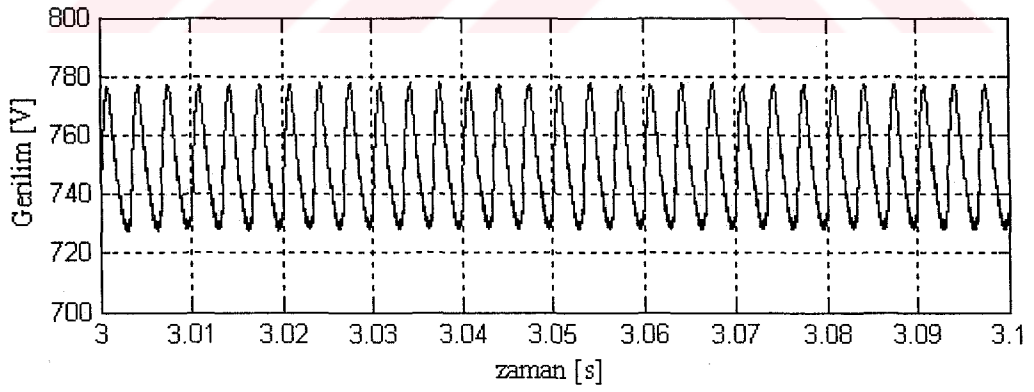
c) DA kondansatör gerilimi değişimi.



(a)



(b)



(c)

Şekil 8.2. a) Tablo 8.1'deki yükün anlık gerçık gücü.

b) Tablo 8.1'deki yükün anlık sanal gücü.

c) DA kondansatör gerilimi değışimi.

Tablo 8.1. Tristörlü doğrultucu parametreleri.

L_y	5mH
R_y	2Ω
L_k	1mH
Tetikleme Açısı	30°

Tablo 8.2. Yükün DA kondansatör gerilimindeki dalgalanmaya etkisi.

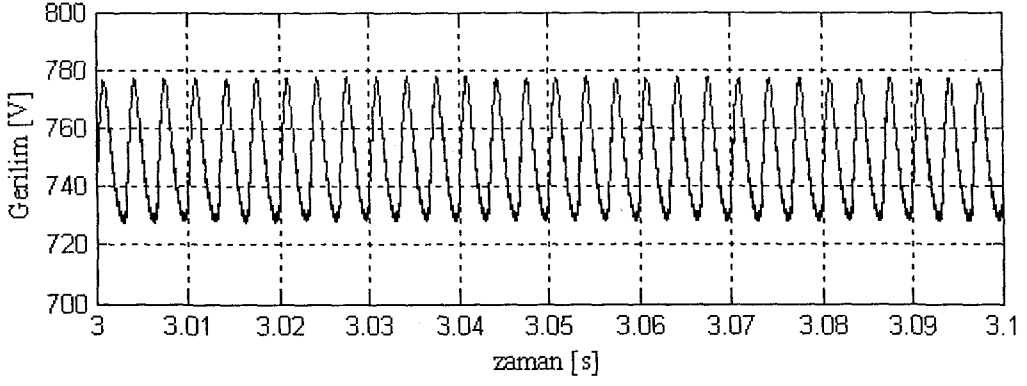
Yükün gerçek gücündeki dalgalanma (kW)	Yükün sanal gücündeki dalgalanma (kVAr)	DA gerilimindeki (V_{da}) dalgalanma (V)
20	30	20
40	50	50

8.2. DA Kondansatör Değerinin PAGF Performansına Etkisi

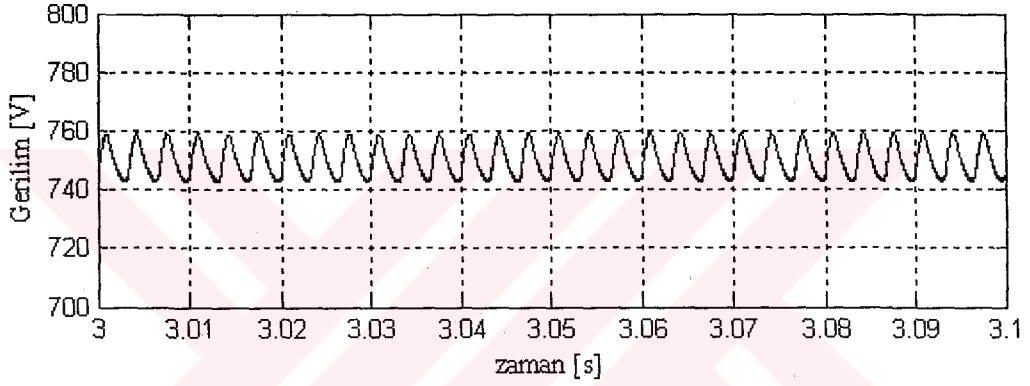
Şekil 8.3 a'da Tablo 6.3'teki yükte ve PAGF'nin DA kondansatörünün değeri $1000\mu\text{F}$ olduğunda yapılan simülasyonda DA gerilimindeki dalgalanma görülmektedir. Aynı yükte $3000\mu\text{F}$ 'lık bir kondansatör kullanıldığında DA gerilimindeki dalgalanma Şekil 8.3 b'de görülmektedir. Bu şekilden de görüldüğü gibi kondansatör değerinin artması DA gerilimindeki dalgalanmayı azaltmaktadır (Tablo 8.3).

Tablo 8.3. DA kondansatör değerinin V_{da} 'daki dalgalanmaya etkisi.

DA Kondansatör değeri (μF)	V_{da} 'daki dalgalanma (V)
1000	50
3000	18



(a)

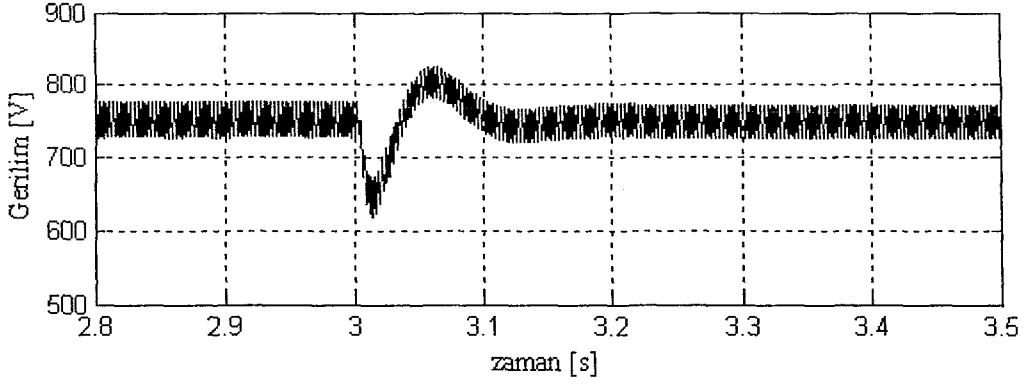


(b)

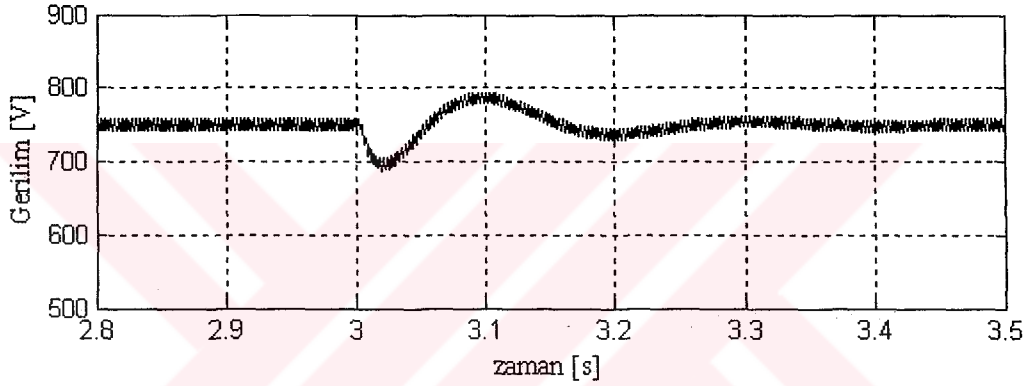
Şekil 8.3. a) 1000µF'lık kondansatör kullanıldığında DA kondansatör gerilimi değişimi.

b) 3000µF'lık kondansatör kullanıldığında DA kondansatör gerilimi değişimi.

DA kondansatör değerinin diğer bir etkisi de yük değişiminde görülmektedir. Şekil 8.4. a'da 1000µF'la yapılan simülasyonda Tablo 6.3'teki yükün tetikleme açısı 30°'den 15°'ye düşürüldüğünde DA gerilimindeki çökme görülmektedir. 3000µF'la aynı yükte yapılan simülasyonda (Şekil 8.4.b) DA gerilimi yük değişiminden daha az etkilenmektedir.



(a)



(b)

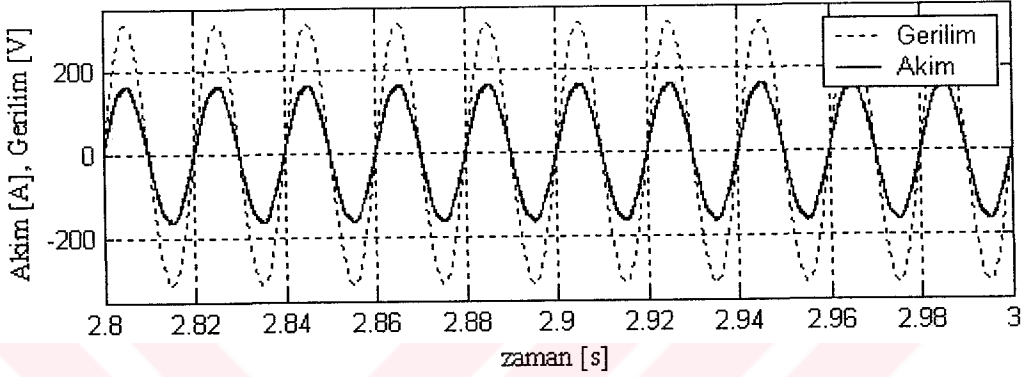
Şekil 8.4. a) 1000µF'lık kondansatör kullanıldığında DA kondansatör gerilimi.

b) 3000µF'lık kondansatör kullanıldığında DA kondansatör gerilimi.

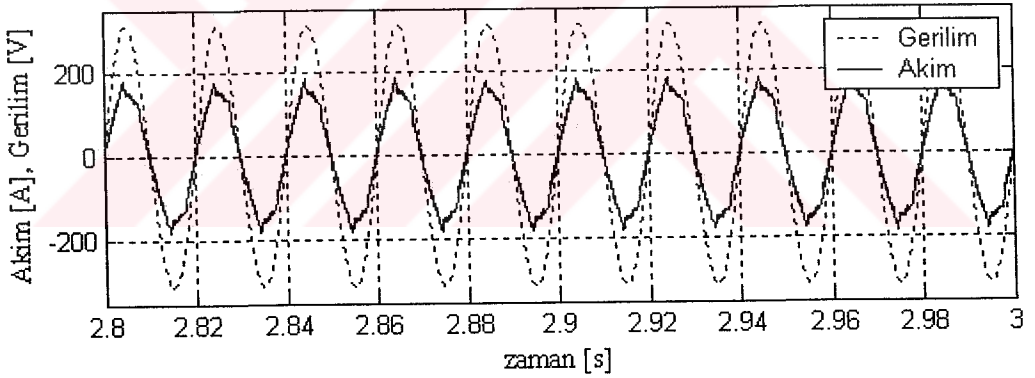
8.3. Kondansatör Geriliminin PAGF Performansına Etkisi

Kondansatör geriliminin büyüklüğü PAGF akımının yükselme hızını belirleyen değişkenlerden biridir. DA gerilim değerinin büyük olması akımın yükselme hızını arttırmakta, küçük olması ise yükselme hızını azaltmaktadır. Akımın yükselme hızının küçük olması kontrol devresinin ürettiği referans akımları güç devresinin üretememesine sebep olmakta dolayısıyla kaynaktan çekilen akımın dalga şekli sinüsoidale benzememekte ve THB artmaktadır.

V_{da} ayar değeri 750V ve Tablo 8.1'deki yük kullanılarak yapılan simülasyonda kaynak akımının dalga şekli Şekil 8.5 a'da görülmektedir. Bu akımlardaki THB %2.35'tir. V_{da} ayar değeri 650V'a düşürüldüğünde kaynak akımının dalga şekli Şekil 8.5'teki gibidir. Bu akımdaki THB %6.3'e yükselmektedir.



(a)



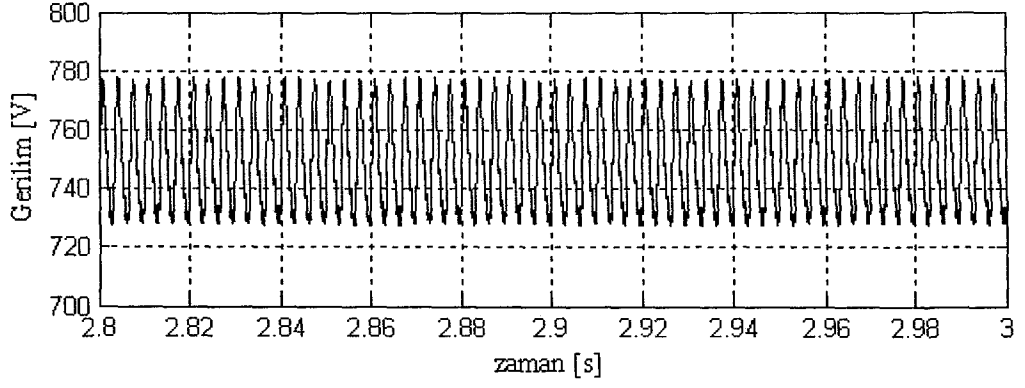
(b)

Şekil 8.5. a) V_{da} ayar değeri 750V iken kaynak gerilimi ve akımının dalga şekli.

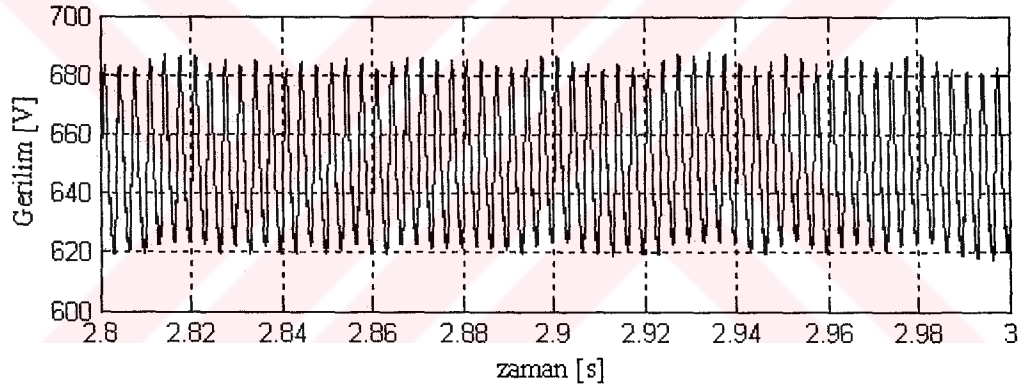
b) V_{da} ayar değeri 650V iken kaynak gerilimi ve akımının dalga şekli.

Kondansatörün üzerinde depoladığı enerji gerilimin karesiyle orantılı olduğu için gerçek ve sanal güçlerdeki dalgalanmadan dolayı kondansatör geriliminde meydana gelen dalgalanma, kondansatör gerilimi düşük olduğunda artmaktadır. Tablo 8.4'e göre Şekil 8.6 a'da kondansatör gerilimi ayar değeri 750V iken yapılan simülasyonda kondansatör

gerilimindeki dalgalanma yaklaşık 50V'tur. Şekil 8.6'da DA kondansatör gerilimi ayar değeri 650V'a düşürüldüğünde kondansatör gerilimindeki dalgalanma yaklaşık 60V'tur.



(a)



(b)

Şekil 8.6. a) V_{da} 750V iken DA kondansatör gerilimi değişimi.

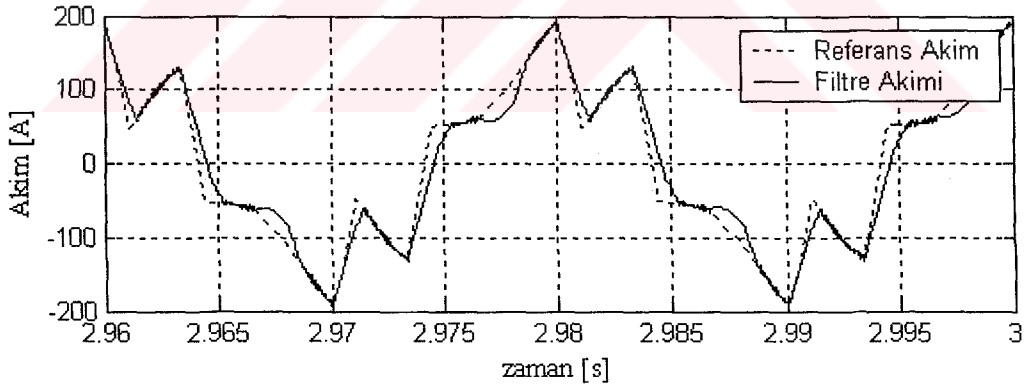
b) V_{da} 650V iken DA kondansatör gerilimi değişimi.

Tablo 8.4. V_{da} gerilim değerinin DA kondansatör gerilimine etkisi.

V_{da} (V)	V_{da} 'daki dalgalanma (V)
750	50
650	60

8.4. AA Bobin Değerinin PAGF Performansına Etkisi

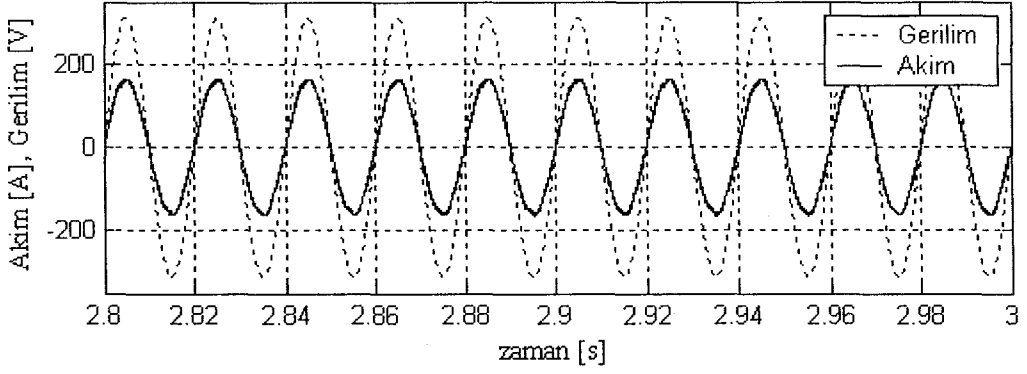
AA bobinin değeri PAGF'nin ürettiği akımın yükselme hızını belirleyen diğer bir değişkendir. Dolayısıyla bobinin değeri PAGF anahtarlama frekansını ve kaynak akımındaki THB'yi etkilemektedir. 1mH değerinde bobin kullanıldığında kaynak gerilimi ve akımının dalga şekli Şekil 8.8.a'da görülmektedir. Bu akımdaki THB %2.35 ve PAGF'nin ortalama anahtarlama frekansı ise 12kHz'dir. 2mH değerinde bobin kullanıldığında kaynak akımı Şekil 8.8.b'de görülmektedir. Bu akımdaki THB %10.6 ve PAGF'nin anahtarlama frekansı ise 3.87kHz olmaktadır (Tablo 8.5). Bobin değeri büyüdükçe PAGF'nin ürettiği akımın yükselme hızı azalmakta dolayısıyla kontrol devresi tarafından belirlenen ve güç devresinin üretmesi gereken referans akımları kontrol devresinin belirlediği şekliyle üretememektedir. Şekil 8.7'de PAGF kontrol algoritması tarafından belirlenen referans akım ve güç devresinin ürettiği akım görülmektedir. AA bobin değerinin büyük olması güç devresinin referans akımları takibini zorlaştırmaktadır.



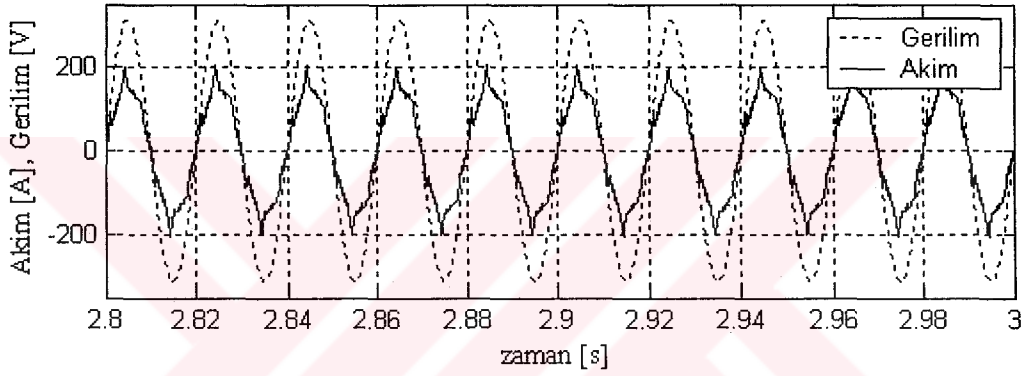
Şekil 8.7. PAGF'nin ürettiği referans akım ve güç devresinin ürettiği akım.

Tablo 8.5. AA bobin değerinin PAGF performansına etkisi

AA bobin değeri (mH)	Anahtarlama Frekansı (kHz)	THB(%)
1	12	2.35
2	3.87	10.6



(a)



(b)

Şekil 8.8. a) PAGF bobini 1mH olduğunda kaynak gerilimi ve akımının dalga şekli.

b) PAGF bobini 2mH olduğunda kaynak gerilimi ve akımının dalga şekli.

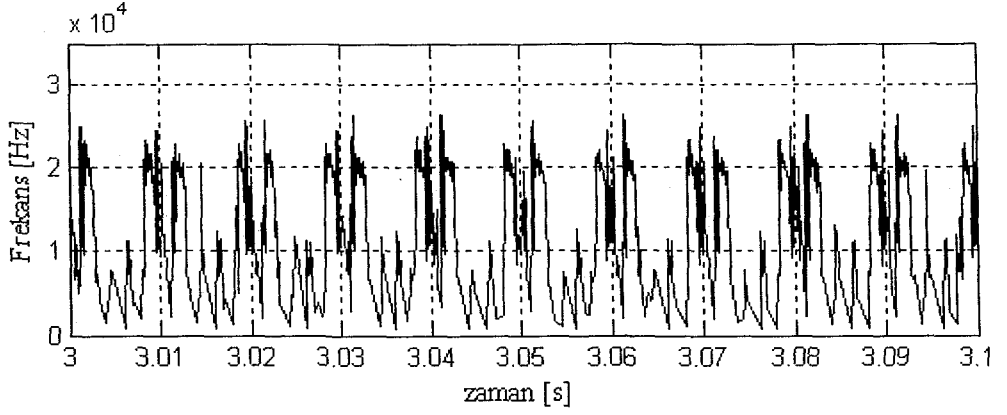
8.5. Histerisiz Bant DGA'nın PAGF Performansına Etkisi

PAGF'nin performansını belirleyen diğer bir faktör ise evircinin anahtarlama sinyallerini üretmekte kullanılan histerisiz bant DGA'nın bant genişliğidir. Histerisiz bant DGA yönteminde PAGF kontrol devresi tarafından belirlenen akımlarla PAGF çıkışındaki akımlar arasındaki farkı belli bir aralıkta tutacak şekilde anahtarlama yapılmaktadır. Bu fark ne kadar az olursa kaynaktan çekilen akımın dalga şekli sinüse o kadar çok benzemektedir. Şekil 8.9 a'da Tablo 8.1'deki yük kullanılarak, histerisiz bant genişliği 6 olarak seçildiğinde anahtarlama frekansının zamana göre değişimi

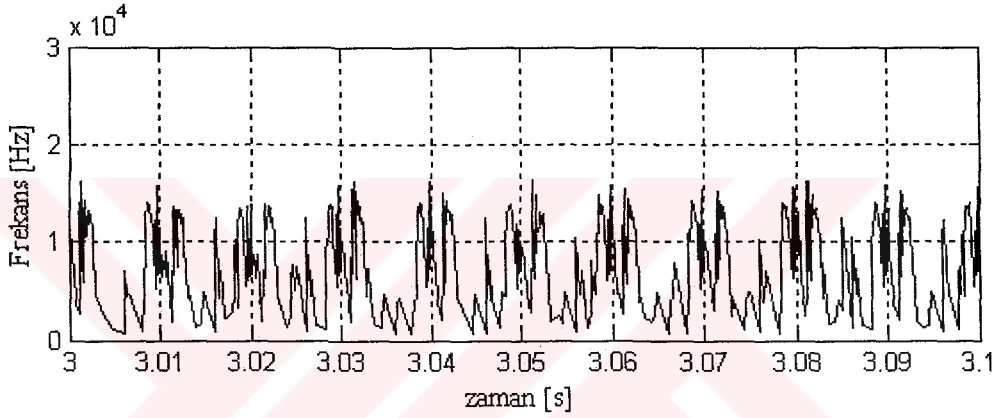
görülmektedir. Ortalama anahtarlama frekansı 12kHz olmasına rağmen anahtarlama frekansına anlık olarak bakıldığında 780Hz ile 25KHz arasında değişmektedir. Kaynak akımındaki THB %2.35'tir. Şekil 8.9 b'de ise histerisiz bant genişliği 10 olarak alınmıştır. Ortalama anahtarlama frekansı 7.43kHz'dir. Anahtarlama frekansındaki dalgalanma ise 750Hz ile 15kHz arasındadır. Kaynak akımındaki THB %3.2'dir (Tablo 8.6). Şekil 8.9 a ve Şekil 8.9 b'den de görüldüğü gibi anahtarlama frekansı histerisiz bandın genişliğine bağlıdır. Genişlik arttıkça ortalama anahtarlama frekansı düşmekte, frekanstaki dalgalanma azalmakta ve kaynak akımındaki THB artmakta, histerisiz bandın genişliği azaldıkça ortalama anahtarlama frekansı artmakta, frekanstaki dalgalanma artmakta ve kaynak akımındaki THB düşmektedir.

Tablo 8.6. Histerisiz bant genişliğinin PAGF performansına etkisi.

Histerisiz Bant Genişliği (A)	Anahtarlama Frekansı (kHz)	THB(%)
6	12	2.35
10	7.43	3.2



(a)



(b)

Şekil 8.9. a) Histerisiz bant genişliği 6 olduğunda anahtarlama frekansının değişimi.
b) Histerisiz bant genişliği 10 olduğunda anahtarlama frekansının değişimi.

8.6. Histerisiz Bant DGA'nın Anahtarlama Frekansının Sabit Tutulması ile İlgili Çalışmalar

Uygulama kolaylığı ve cevap hızının yüksek olması histerisiz bant DGA'nın akım kontrollü gerilim kaynağı eviricilerde tercih edilmesinin en önemli sebepleridir. Bunların yanında anahtarlama frekansının geniş bir aralıkta değişmesi diğer DGA yöntemlerine göre histerisiz bant DGA'nın dezavantajıdır. Anahtarlama frekansını sabit tutmak için Malesani ve Tendi 1987'de PLL kullanarak programlanabilir histerisiz bant kontrol

metodu ileri sürdüler. Bose 1990'da bant genişliği yükün ve DA gerilim parametrelerinin fonksiyonu olan adaptif histerisiz bant DGA'yı ileri sürdü.

PAGF'nin anahtarlama frekansındaki dalgalanmayı azaltmak için Şekil 4.5'de gösterilen iki kondansatörlü devre topolojisi kullanılmaktadır. Şekil 4.6'da görüldüğü gibi referans sinyal de zamana göre değişken olduğu için histerisiz bant genişliği aşağıdaki gibi yazılır.

$$\frac{di_{fa}^+}{dt}t_1 - \frac{di_{fa}^*}{dt}t_1 = 2HB \quad (8.1)$$

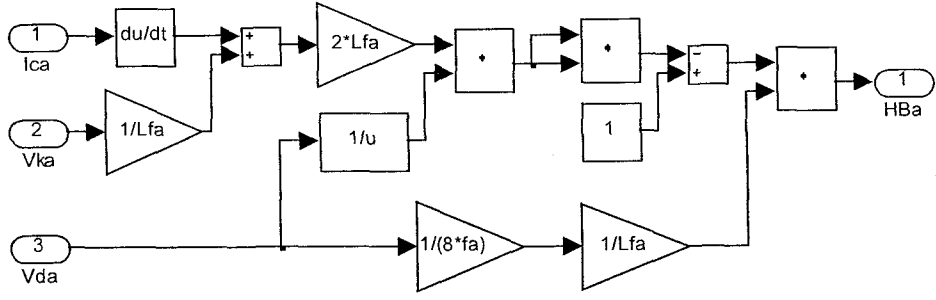
$$\frac{di_{fa}^-}{dt}t_2 - \frac{di_{fa}^*}{dt}t_2 = -2HB \quad (8.2)$$

$$t_1 + t_2 = T_A = \frac{1}{f_A} \quad (8.3)$$

Denklem 8.1, denklem 8.2 ve denklem 8.3 kullanılarak ve PAGF güç devresi parametrelerine bağlı olarak histerisiz bant genişliği denklem 8.4'teki gibi yazılır.

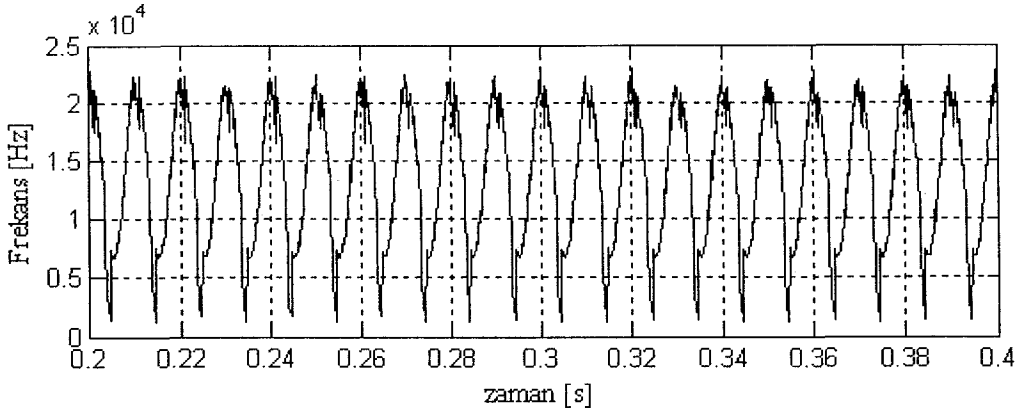
$$HB_a = \left\{ \frac{0.125V_{da}}{f_A L_{fa}} \left[1 - \frac{4L_{fa}^2}{V_{da}^2} \left(\frac{V_{ka}}{L_{fa}} + m \right)^2 \right] \right\} \quad (8.4)$$

Burada m referans akımın türevi, f_A ise istenen anahtarlama frekansdır. Anahtarlama frekansı, devre parametrelerinin yanında üreteceği akımın dalga şekline de bağlıdır (Kale ve Özdemir, 2003). Histerisiz bant DGA'da her faz birbirinden bağımsız kontrol edildiği için histerisiz bant genişliği de her faz için ayrı ayrı belirlenmelidir. Şekil 8.10'da anahtarlama frekansını sabit tutmak için denklem 8.4'e göre hesaplanan adaptif histerisiz bant genişliği hesaplama blok diyagramı görülmektedir.

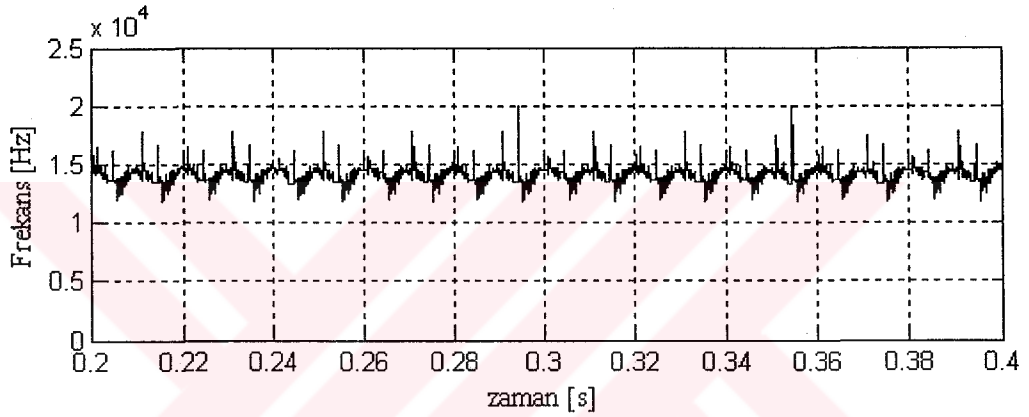


Şekil 8.10. Adaptif histerisiz bant genişliği hesaplama bloğu. (Kale ve Özdemir, 2003)

Şekil 8.11’de sabit ve adaptif histerisiz banf DGA ile yapılan simülasyon sonuçları görülmektedir. Tablo 6.2’de parametreleri verilen yük kullanıldığında sabit histerisiz bant DGA’da anahtarlama frekansındaki dalgalanma yaklaşık 1kHz ile 22kHz arasında değişmektedir. Adaptif histerisiz band DGA’nın anahtarlama frekansındaki dalgalanma ise 13kHz ile 15Kz arasındadır.



(a)



(b)

Şekil 8.11. a) Sabit histerisiz band DGA'da anahtarlama frekansı değişimi.

b) Adaptif histerisiz band DGA'da anahtarlama frekansı değişimi.

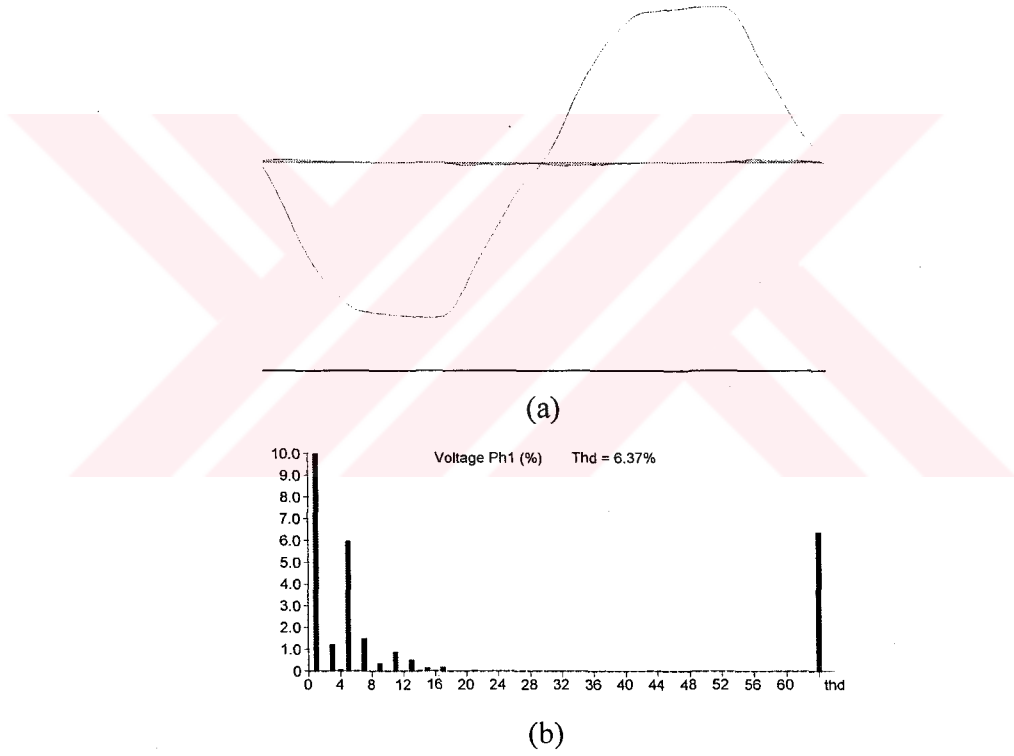
8.7. Kaynak Gerilimi Dalga Şeklinin PAGF Performansına Etkisi

8.7.1. ARGT tabanlı PAGF kontrolünde gerilim dalga şeklinin performansa etkisi

ARGT tabanlı PAGF kontrolünde akım harmonikleri belirlenirken anlık gerçek ve sanal güçler hesaplanmaktadır. Bu güçlerdeki dalgalanmalar, üç fazlı gerilimlerin dalga şekli ideal sinüs ve bu gerilimler dengeli olduğunda akımdaki harmoniklere karşılık gelmektedir (Özdemir ve Kale, 2003). Eğer üç fazlı gerilimde de harmonikler varsa veya gerilim dengeli değilse gerçek ve sanal güçlerdeki dalgalanmalar hem akım hemde

gerilim harmonikleri içermektedir. Dolayısıyla akım harmoniklerini yok etmek için bu güçlerden hesaplanan referans akımlar yanlış hesaplanmaktadır. Sonuç olarak, ARGV tabanlı PAGF kontrolünde kaynak gerilimlerinin dengeli ve gerilim dalga şeklinin ideal sinüs olması gerekmektedir.

Şekil 8.12’te güç analizörü ile ölçülen gerçek şebeke gerilimi dalga şekli ve bu gerilimin harmonik dağılımı görülmektedir. Ölçülen üç fazlı kaynak gerilimleri denklem 8.5’teki gibi ifade edilir.



Şekil 8.12. a) Güç analizörü ile ölçülen gerilim dalga şekli.

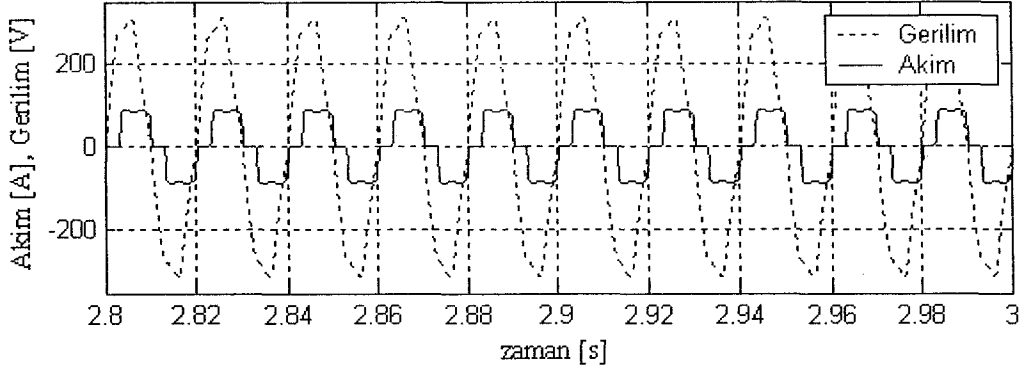
b) Gerilimin harmonik dağılımı görülmektedir.

$$v_{ka} = 311 \sin(\omega t) + 4 \sin(3\omega t) + 18 \sin(5\omega t - 120^\circ) + 4.6 \sin(7\omega t) + 3.1 \sin(11\omega t - 120^\circ)$$

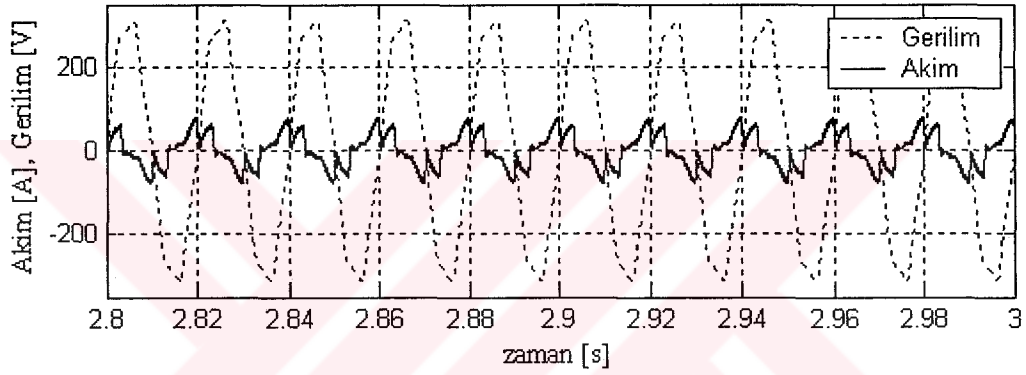
$$v_{kb} = 311 \sin(\omega t - 120^\circ) + 4 \sin(3\omega t - 120^\circ) + 18 \sin(5\omega t) + 4.6 \sin(7\omega t - 120^\circ) + 3.1 \sin(11\omega t) \quad (8.5)$$

$$v_{kc} = 311 \sin(\omega t - 240^\circ) + 4 \sin(3\omega t - 240^\circ) + 18 \sin(5\omega t - 240^\circ) + 4.6 \sin(7\omega t - 240^\circ) + 3.1 \sin(11\omega t - 240^\circ)$$

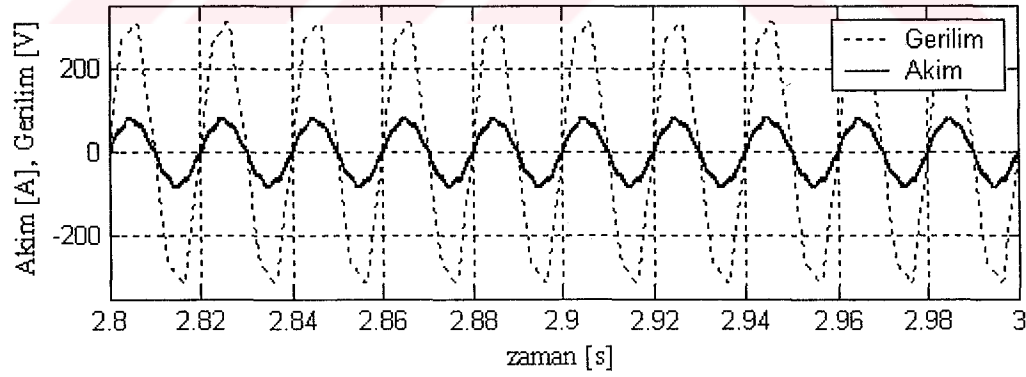
Gerilim dalga şekli Şekil 8.12'deki gibi olan bir kaynağa Tablo 6.2'deki yükler kullanılarak yapılan simülasyonda, kaynak gerilimlerinin ve yükün çektiği akımların dalga şekli Şekil 8.13 a'da verilmektedir. Şekil 8.14 a ve Şekil 8.15 a'da ARGT tarafından hesaplanan yükün anlık gerçek ve sanal güçleri görülmektedir. Bu güçler hem akım hemde gerilim harmonikleri içermektedir. Aktif gücün dalgalı bileşeni ve reaktif güç kullanılarak hesaplanan referans akımlar ve kaynak akımları dalga şekli Şekil 8.13 b ve Şekil 8.13 c'de verilmektedir. Yük akımlarındaki THB %26.3'tür. Kaynaktan çekilen akımlardaki THB ise %7.15'ye düşürülmüştür. Ortalama anahtarlama frekansı 12.6kHz'dir.



(a)

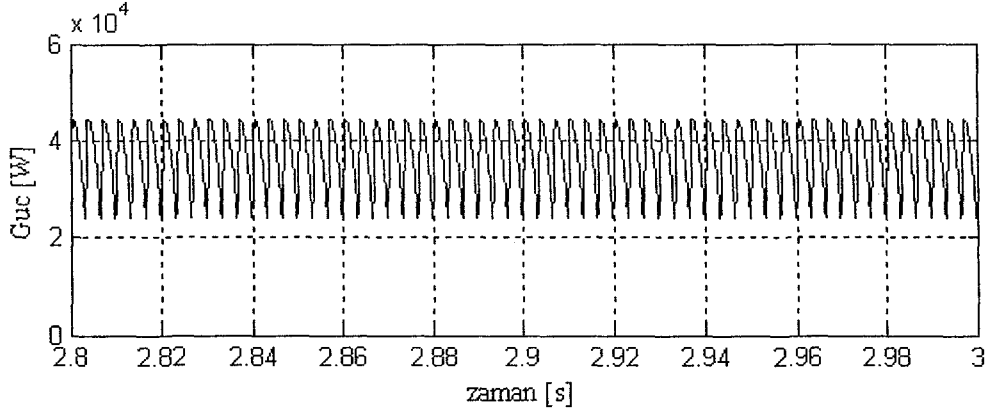


(b)

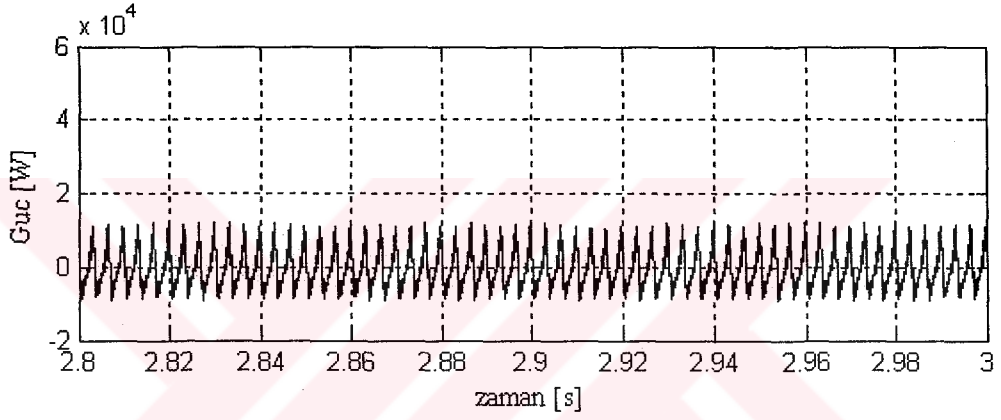


(c)

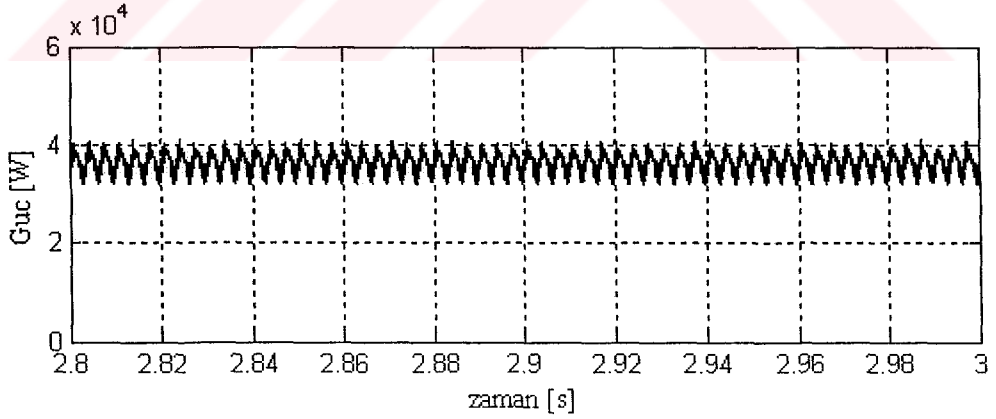
- Şekil 8.13. a) Bozuk kaynak gerilimi ve yük akımının dalga şekilleri.
 b) Bozuk kaynak gerilimi ve PAGF akımının dalga şekilleri.
 c) Bozuk kaynak gerilimi ve kaynak akımının dalga şekilleri.



(a)



(b)

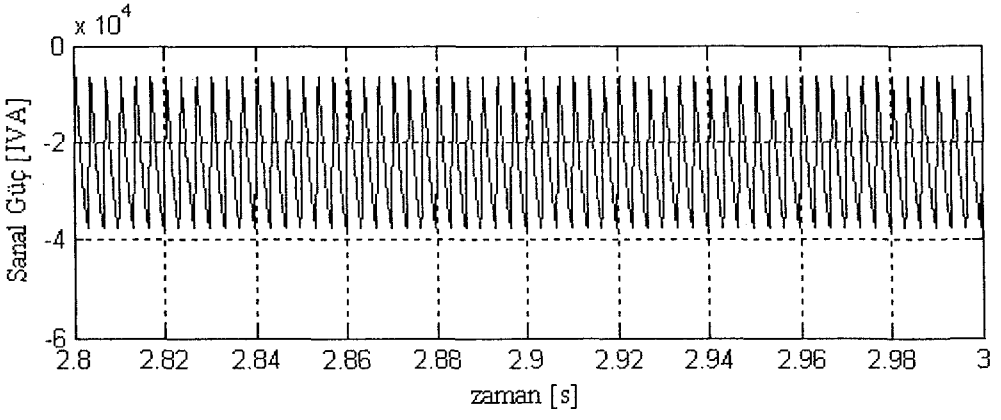


(c)

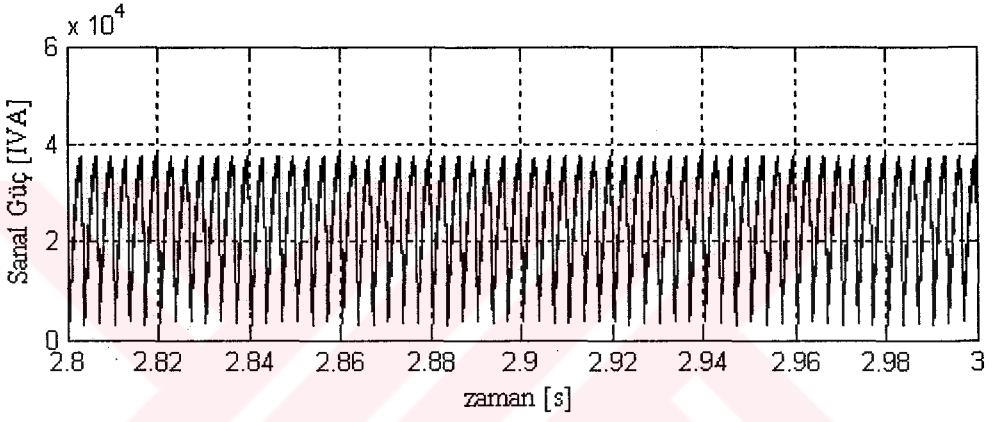
Şekil 8.14. a) Bozuk kaynak geriliminde yük gerçek gücü.

b) Filtre gerçek gücü.

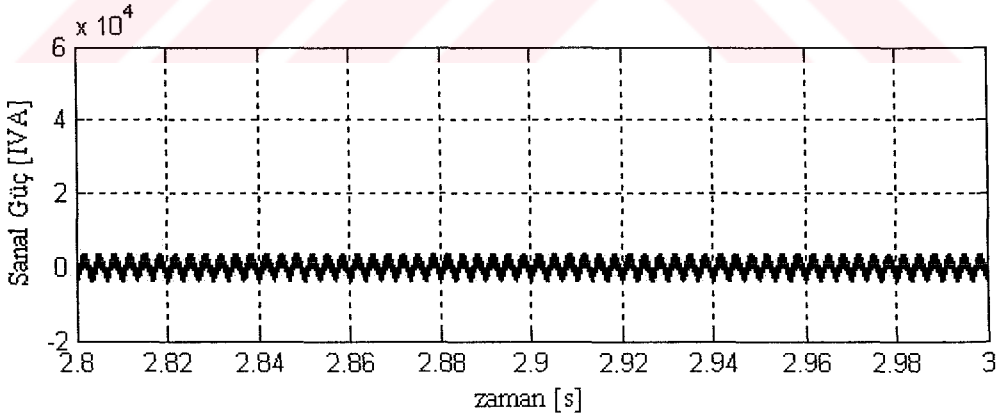
c) Kaynaktan çekilen gerçek güç.



(a)



(b)



(c)

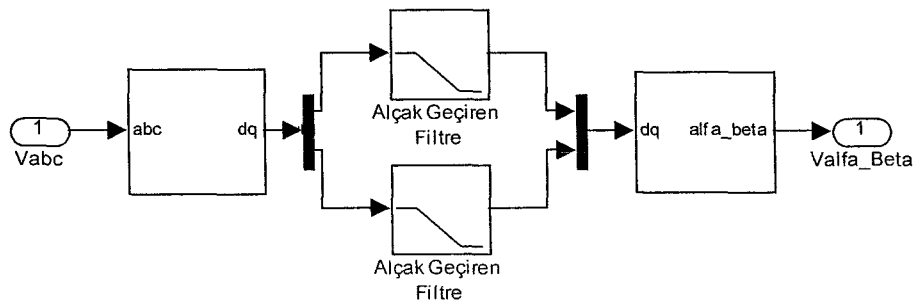
Şekil 8.15. a) Bozuk kaynak geriliminde yük sanal gücü

b) Filtre sanal gücü

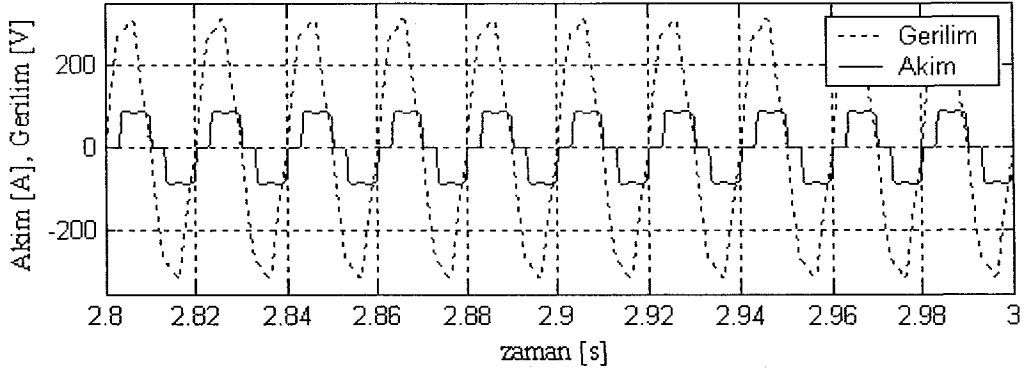
c) Kaynak çekilen sanal güç.

8.7.2. İdeal olmayan kaynak gerilimlerinde ARGT tabanlı PAGF kontrolü ile ilgili çalışmalar

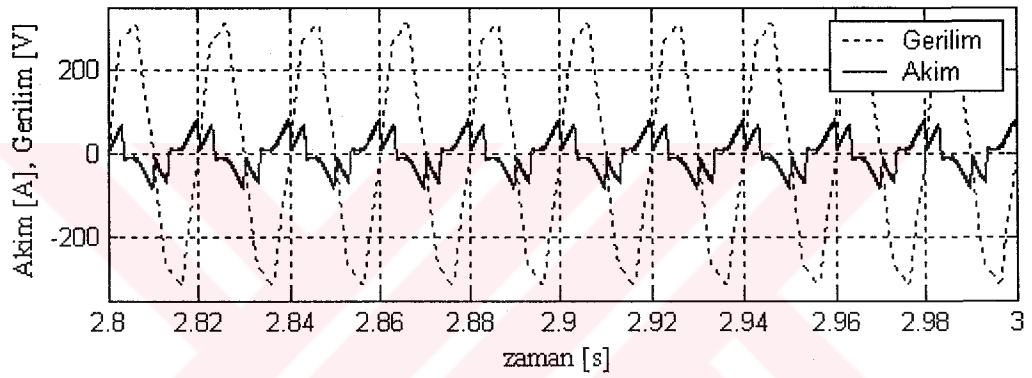
Yukarıdaki şekillerde kaynak gerilimlerinin dalga şekli ideal sinüs olmadığı durumlarda PAGF'nin akım harmoniklerini ideal sinüs dalga şekline sahip kaynak durumuna göre yok edemediği görülmüştür. Yük akımının harmonikleri %26.3'ten %7.15'e kadar azaltılmaktadır. İdeal olmayan kaynak gerilimi durumunda PAGF performansını arttırmak için üç fazlı gerilimler öncelikle iki fazlı senkron dönen referans yapıya çevrilmektedir. Bu durumda eğer gerilimlerde harmonik yoksa veya dengeli ise d-q eksenleri sadece DA bileşene sahiptir. Gerilimler harmonikli veya dengesiz ise d-q eksenleri hem DA hemde dalgalı bileşenlere sahiptir. Alçak geçiren filtre kullanarak elde edilen gerilimin DA bileşeni d-q'dan α - β durağan referans yapıya çevrilir (Şekil 8.16). Elde edilen bu gerilimler hem harmoniklerden arındırılmış hem de dengeli hale getirilmiş olur. ARGT'de bu gerilimler kullanılarak gerçek ve sanal güçler hesaplanır (Şekil 8.18 a ve Şekil 8.19 a). Hesaplanan bu güçlerin dalgalı bileşenleri öncekinden farklı olarak sadece akım harmoniklerine karşılık gelmektedir (Özdemir ve Kale, 2003). Yapılan simülasyon sonucunda kaynak gerilimleri ve kaynaktan çekilen akımlar Şekil 8.17'de görülmektedir. Bu akımlardaki THB %3.55'dir.



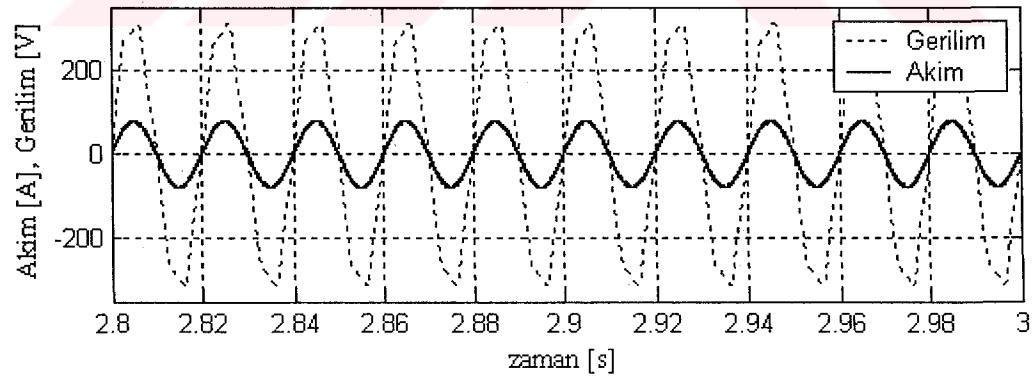
Şekil 8.16. Gerilim harmoniklerini filtreleme bloğu.



(a)

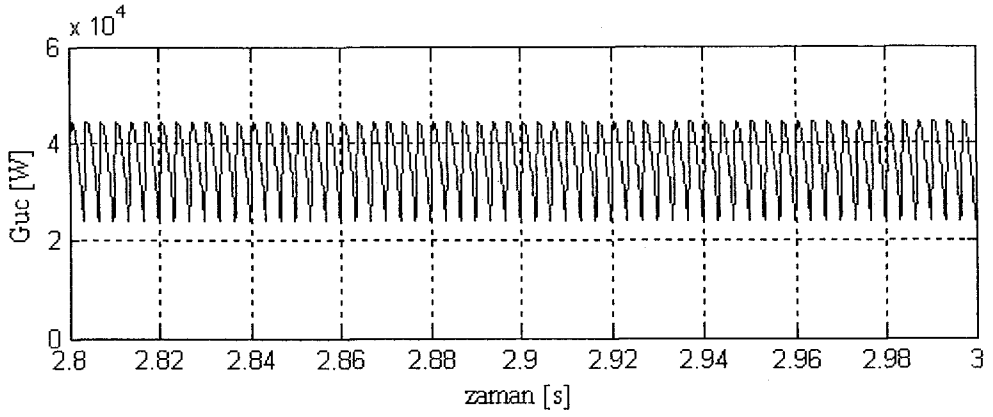


(b)

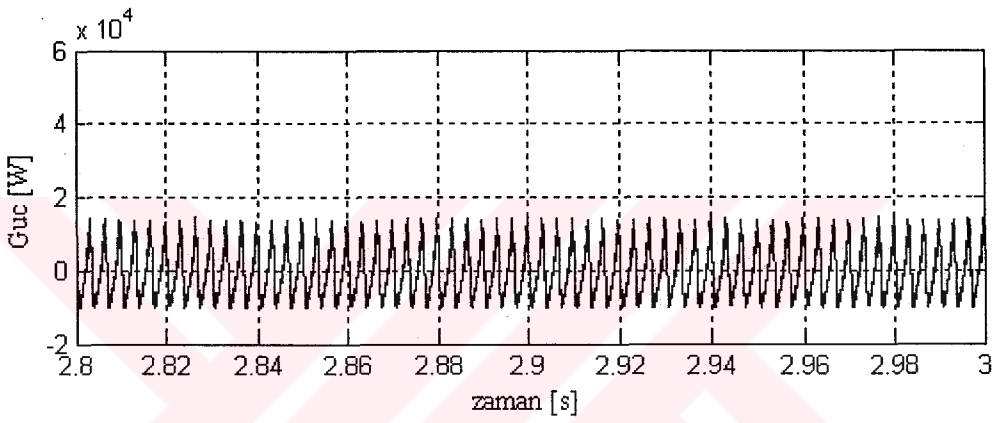


(c)

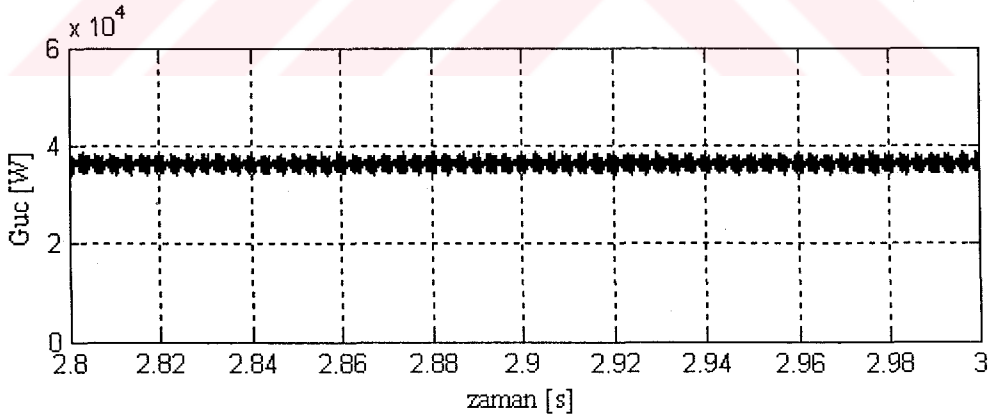
- Şekil 8.17. a) Bozuk kaynak gerilimi ve yük akımının dalga şekilleri.
 b) Bozuk kaynak gerilimi ve PAGF akımının dalga şekilleri.
 c) Bozuk kaynak gerilimi ve kaynak akımının dalga şekilleri.



(a)



(b)

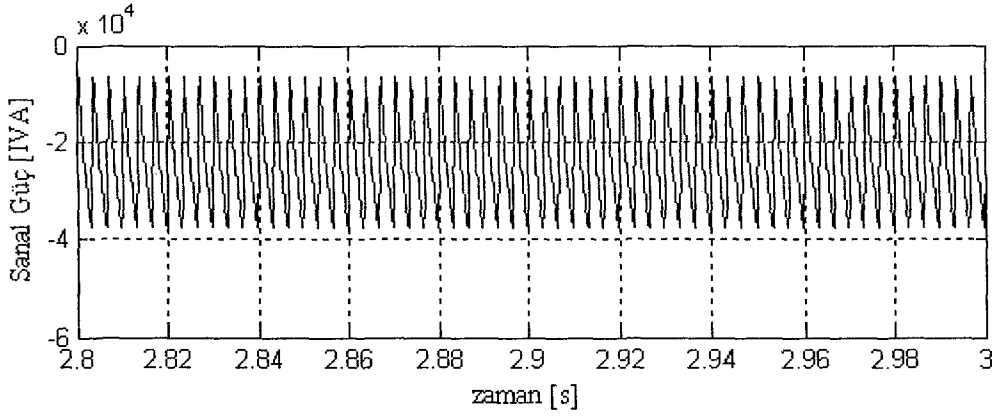


(c)

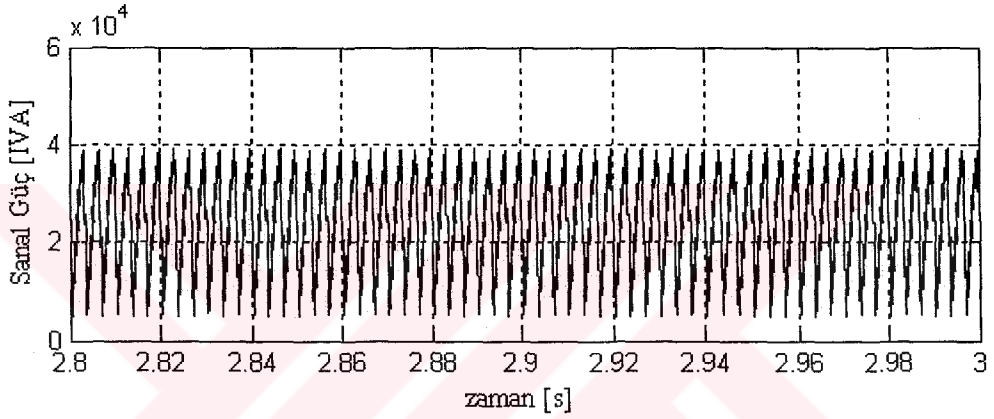
Şekil 8.18. a) Bozuk kaynak gerilimde yük gerçek gücü.

b) Filtre gerçek gücü.

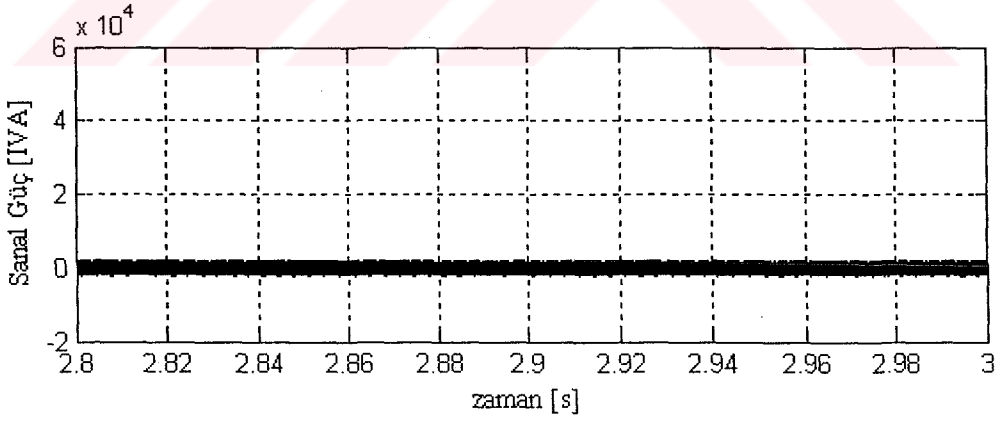
c) Kaynak gerçek gücü.



(a)



(b)



(c)

Şekil 8.19. a) Bozuk kaynak gerilimde yük sanal gücü.

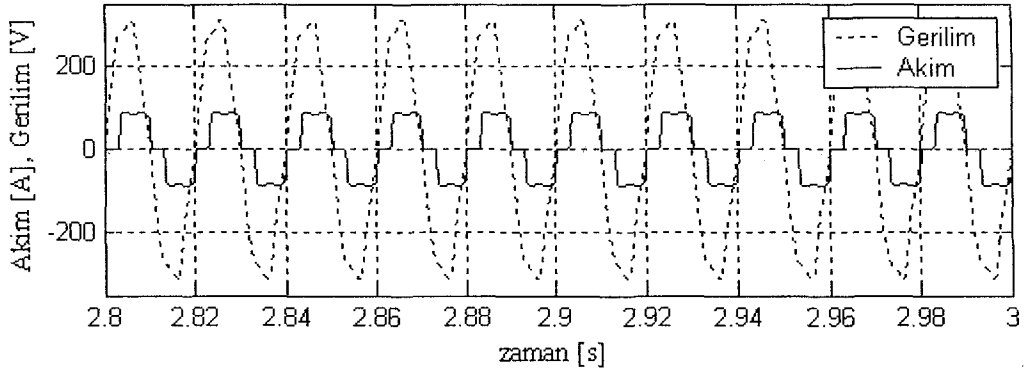
b) Filtre sanal gücü.

c) Kaynak sanal gücü.

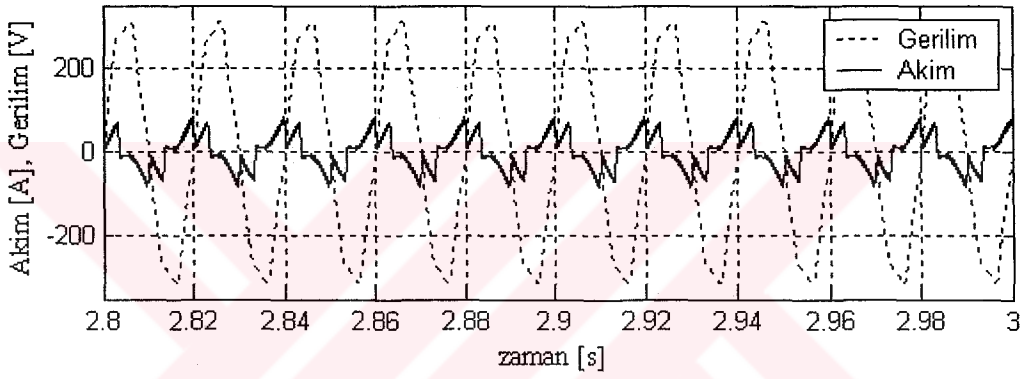
8.7.3. Senkron referans yapı tabanlı PAGF kontrolünde gerilim dalga şeklinin performansa etkisi

Senkron referans yapı tabanlı PAGF kontrolünde AGRT'nin aksine akım harmonikleri belirlenirken gerilimler kullanılmamaktadır. Dolayısıyla yük akımının d eksenini ve q ekseninin AA bileşenleri akım harmoniklerine karşılık gelmekte ve q ekseninin DA bileşeni ise reaktif akımlara karşılık gelmektedir. Sonuç olarak senkron referans yapı tabanlı kontrolde PAGF gerilimlerin dalga şeklinde etkilenmemektedir.

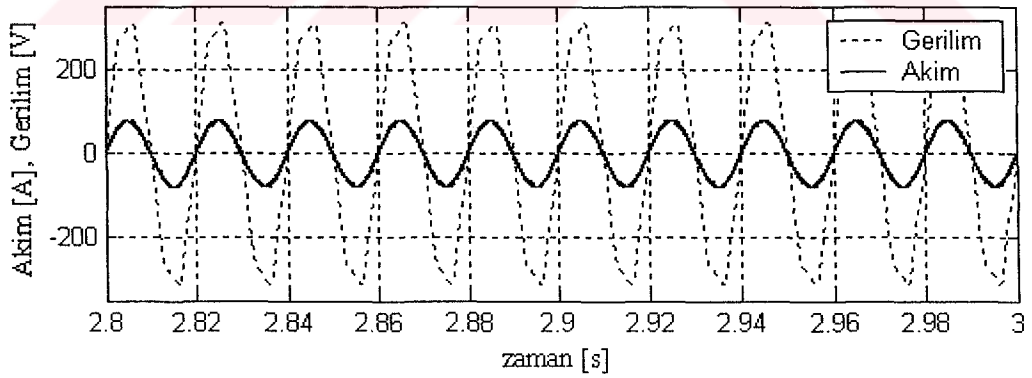
Gerilim dalga şekli Şekil 8.12'deki gibi olan bir kaynak ve Tablo 6.2'deki yükler kullanılarak yapılan simülasyonda, kaynak gerilimlerinin ve yükün çektiği akımların dalga şekli Şekil 8.20 a'da verilmektedir. Şekil 8.21 ve Şekil 8.22'de senkron referans yapıdaki d eksenini ve q eksenini akımları görülmektedir. Bu akımlardaki dalgalanmalar sadece akım harmoniklerden kaynaklanmaktadır. Yük akımındaki THB %26.3 iken kaynaktan çekilen akımdaki THB %3.8'e düşürülmüştür.



(a)



(b)

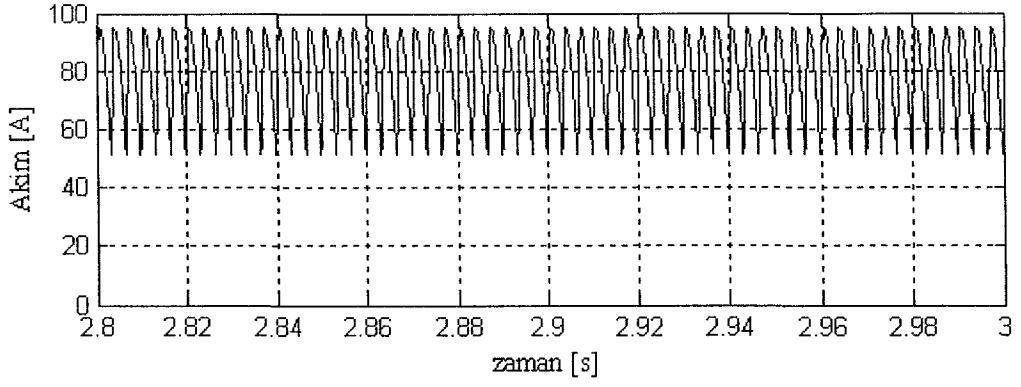


(c)

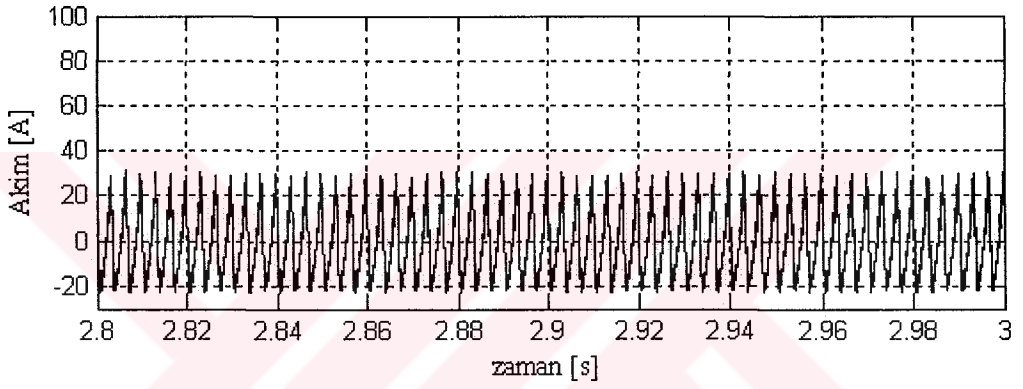
Şekil 8.20. a) Bozuk kaynak gerilimi ve yük akımının dalga şekilleri.

b) Bozuk kaynak gerilimi ve PAGF akımının dalga şekilleri.

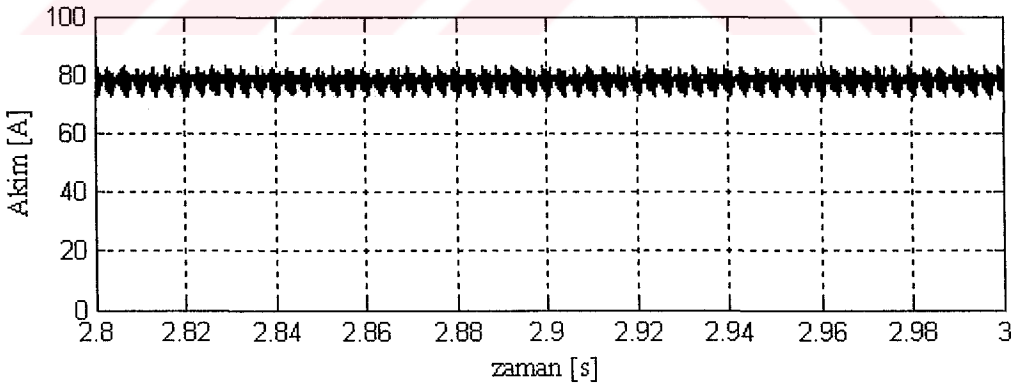
c) Bozuk kaynak gerilimi ve kaynak akımının dalga şekilleri.



(a)



(b)

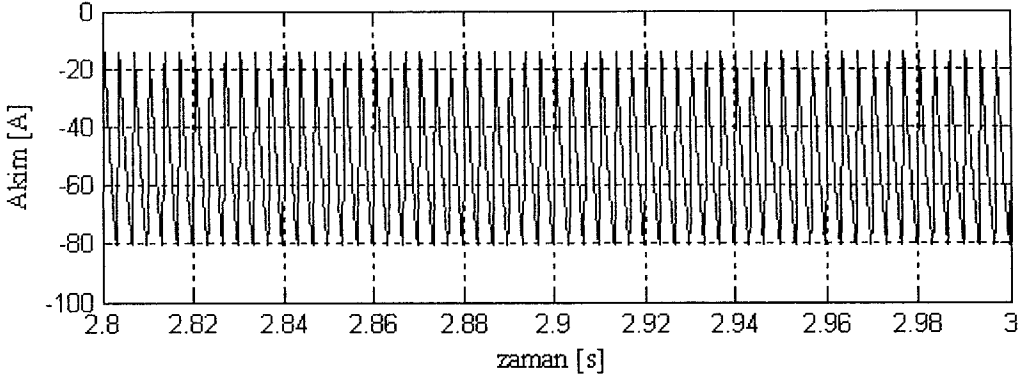


(c)

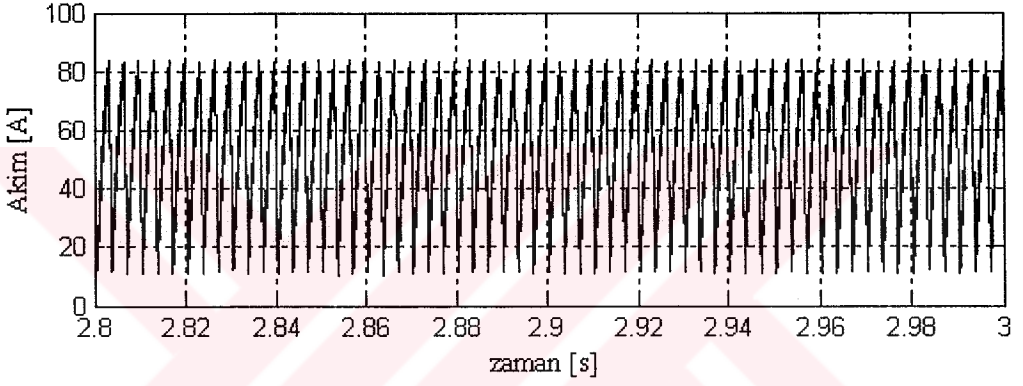
Şekil 8.21. a) (d) eksenli yük akımı.

b) (d) eksenli PAGF akımı.

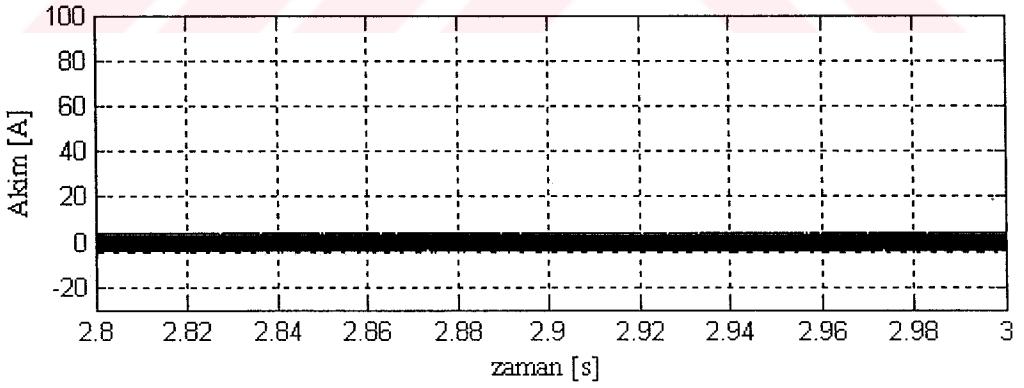
c) (d) eksenli kaynak akımı.



(a)



(b)



(c)

Şekil 8.22. a) (q) eksenli yük akımı.

b) (q) eksenli PAGF akımı.

c) (q) eksenli kaynak akımı.

9. SONUÇ ve ÖNERİLER

Doğrusal olmayan yüklerin kullanımının artmasıyla birlikte güç kalitesi büyüyen bir problem haline gelmiştir. Pasif filtreler, pratik bir çözüm olmasına rağmen sadece önceden ayarlandıkları frekanstaki harmonikleri yok etmeleri ve kaynak empedansı ve diğer yüklerle rezonans ihtimalleri olduğu için güç kalitesi probleminin çözümünde yetersiz kalmaktadır. Son yıllarda güç elektroniği bileşenleri içeren yüklerin olumsuz etkileri yine güç elektroniği bileşenleri içeren aktif güç filtreleri ile ortadan kaldırılmaktadır.

Bu çalışmada harmonik akım ve reaktif güç kompanzasyonunda kullanılan paralel aktif güç filtreleri incelenmiştir. Öncelikle PAGF'nin modeli MATLAB paket programı içinde yer alan SIMULINK kullanılarak hazırlanmıştır. Bu model sayesinde PAGF'nin farklı devre parametrelerinde ve farklı yüklerde performansı incelenmiştir.

Yapılan simülasyonlarda aşağıdaki sonuçlar çıkartılmıştır.

1. PAGF, reaktif güç çeken doğrusal yükte güç kompanzasyonunu etkin bir şekilde yapmaktadır. Bu durumun tek olumsuz etkisi anahtarlama frekansına bağlı olarak akımın dalga şeklinin çok az da olsa bozulmasıdır. Ortalama anahtarlama frekansı 9.7kHz iken yapılan simülasyonda akımdaki THB %1.6'dır.
2. PAGF'deki DA kondansatörünün büyüklüğü, DA tarafındaki gerilimin dalgalanmasını azaltmakta ve yük değişimlerinden V_{da} geriliminin daha az etkilenmesini sağlamaktadır. Kondansatör değeri büyük seçildiğinde ise kuruluş maliyeti artmaktadır.
3. DA taraf geriliminin büyüklüğü ise PAGF akımının yükselme hızını etkilemektedir. Akımının yükselme hızının küçük olması durumunda kontrol devresinin ürettiği

referans akımları güç devresi takip edememektedir. Bu konu ile ilgili yapılan simülasyonda V_{da} 750V olduğunda kaynak akımındaki THB %2.35'tir, V_{da} 650V olduğunda ise kaynak akımındaki THB %6.3'tür.

4. AA bobinin değeri de PAGF'nin ürettiği akımının yükselme hızını belirleyen diğer bir değişkendir. Büyük değerli bobin seçildiğinde güç devresi referans akımları takip edememektedir. 1mH ile yapılan simülasyonda kaynak akımındaki THB %2.35 iken 2mH ile yapılan simülasyonda ise THB %10.6 olmaktadır.
5. Histerisiz bandın genişliği anahtarlama frekansını etkilemektedir. Bandın küçük olması anahtarlama frekansını dolayısıyla anahtarlama kayıplarını artırırken referans akımların takibini kolaylaştırmaktadır. Histerisiz bandın genişliği büyük seçildiğinde anahtarlama frekansı azalmakta fakat referans akımlar takip edilemediği için etkin bir kompanzasyon yapılamamaktadır.

PAGF ile harmonik akım ve reaktif güç kompanzasyonunu etkin bir şekilde yapmak için parametreler belirlenirken yukarıdaki hususlar göz önüne alınmalıdır. Çünkü bir devre parametresinde akımdaki THB oranı IEEE 519 standartlarına uyarken bu parametre yanlış belirlendiğinde THB oranı belirlenen sınırı aşmaktadır.

Teorisi ve simülasyon çalışmaları yapılan PAGF'nin pratik olarak uygulanmasına yönelik çalışmalar Kocaeli Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenen "Gelişmiş Statik Var Kompanzatorün DSP Üzerinden Bulanık Mantık Denetimi" adlı ve 2001/13 nolu Araştırma Projesi kapsamında halen devam etmektedir. Uygulama sonuçları ileriki yayınlarda verilmesi planlanmaktadır.

DGA metotları arasında paralel aktif güç filtresi uygulamalarında en çok kullanılan DGA metodu histerisiz bant DGA'dır. Bu metotta anahtarlama frekansı çok geniş bir aralıkta dalgalanmaktadır. Bu dalgalanma adaptif histerisiz bant kullanılarak azaltılmıştır. İleride bu işlemi daha basit ve etkin olarak yapacak yöntemler üzerinde çalışılabilir.

Hem aktif hem de pasif filtrelerin avantajlarını üzerinde taşıyan hibrit filtrelerle daha küçük bir aktif güç filtresi kullanılarak maliyetler azaltılabilir. İleride hem maliyetleri azaltacak hem de daha etkin kompanzasyon yapacak farklı hibrit aktif/pasif güç filtresi konfigürasyonları üzerinde çalışılabilir.



KAYNAKLAR

1. AKAGI, H., 1996, New Trends in Active Filters for Power Conditioning. IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.5, No.3,Page(s): 1312-1322.
2. AKAGI, H., 1995, New Trends in Active Power Filters. EPE'95 - Euro. Conf. Power Electronics Appl. Spain, Page(s): 17-26.
3. AKAGI, H., 1994, Trends in Active Power Line Conditioners. IEEE Transaction on Power Electronics, Vol. 9, No.3, Page(s): 263-268.
4. AKAGI, H.; TSUKAMOTO, Y.; NABAE, A., 1990. Analysis and Desing of an Active Power Filter Using Quad-Series Voltage-Source PWM Converters. IEEE Transaction on Industry Application, Vol. 26, Page(s): 93-98.
5. AKAGI, H.; KANAZAWA, Y.; NABAE, A., 1984. Instantaneous Reactive Power Compensator Comprising Switching Devices without Energy Storage Components. IEEE Transaction on Industry Application, Vol. IA-20, No.3, Page(s): 625-630.
6. BALBAY, M. S., 2000. Simulation of a Shunt Active Power Filter Using PSCAD/EMTDC. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi.
7. BAYINDIR, K. Ç., 2000. Modelling and Simulation in Power Electronics and Desing and Simulation of a Shunt Active Power Filter Using MATLAB/SIMULINK. Yüksek Lisans Tezi.
8. BOSE, B. K., 1990. An Adaptive Hysterisis-Band Current Control Tecnique of a Voltage-Fed PWM Inverter for Macnine Driver System. IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 37, No.5, Page(s): 402-408.
9. CLARK, S. L.; FAMOURI, P.; COOLEY, W. L.,1997. Elimination of Supply Harmonics. IEEE Industry Application Magazine, March/April, page(s): 62-67.
10. EL-HABROUK, M.; DARWISG, M. K.; MEHTA, R., 2000. Active Power Filters: A Review. IEE Proc-Elecr. Power Appl. Vol. 147 No.5 pp. 403-413.
11. Elektronik Resmi Gazete 2000. Elektrik Tarifeleri Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılması Hakkında Yönetmelik, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Sayı 23988, www.rega.com.tr.
12. GRADY, M.; SANTOSO, S., 2001. Understanding Power System Harmonics, Power Engineering Review, November, page(s): 8-11.

13. HOLTZ, J., 1994. Pulsewidth Modulation for Electronic Power Conversion. Proceedings of IEEE, Vol. 82, No. 8, page(s): 1194-1214.
14. HUANG, S., WU, J. C., JOU, H. L., 1999. A Study of Three-Phase Active Power Filters under Nonideal Mains Voltages. Electric Power System Resource 49. Page(s): 129-137.
15. IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, IEEE IAS Std.519 – 1992.
16. INGRAM, D. M.; ROUND, S. D., 1999. A Fully Digital Hysterisis Current Controller for an Active Power Filter. Int. J. Electronics, Vol. 86, No.10, page(s): 1217-1232.
17. JEONG, G., PARK, T. J., KWON, B. H., 2000. Line Voltage Sensorless Active Power Filter for Reactive Power Compensation. IEE Proc-Electr. Power Appl. Vol. 147 No.5 pp. 385-390.
18. ONG, C.M., 1998. Dynamic Simulation of Electric Machinery Using MATLAB/SIMULINK, Prentice Hall Inc.
19. PENG, F.Z., 1998. Application Issues of Active Power Filters. IEEE Industry Applications Magazine, September, pp. 21-30.
20. SINGH, B.; AL-HADDAD K.; CHANDRA, A., 1999. A Review of Active Filters for Power Quality Improvement. IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 46, No.5, October, Page(s): 133-138.
21. TAKEDA, M.; IKADA, A.; TERAMOTO, A., ARITSUKA, T., 1988. Harmonic Current and Reactive Power Compensation with an Active Filter.
22. TOKGÖZ, C., 2000. DSP Based Implementation of a Shunt Active Power Filter with Instantaneous Reactive Power Theory Based Control. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi.
23. WATANABE, E. H.; STEPHAN, R. M.; AREDES, M., 1993. New Concepts of Instantaneous Active and Reactive Powers in Electrical Systems with Generic Loads. IEEE Transaction Power Delivery, Vol.8, No.2, Page(s): 697-703.
24. ÖZDEMİR, E., KALE, M., ÖZDEMİR, Ş., 2003. A New Control Method for Active Power Filter Under Non-Ideal Mains Voltage. CCA 2003, Turkey, page(s): 931-936.
25. KALE, M., ÖZDEMİR, E., 2003. A Novel Adaptive Hysterisis Band Current Controller for Shun active Power Filter. CCA 2003, Turkey, page(s): 1118-1123.
26. YÜKSEL, İ., 2000. MATLAB ile Mühendislik Sistemlerinin Analizi ve Çözümü, VIPAŞ A.Ş.

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Eskişehir’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Eskişehir’de tamamladı. 1996 yılın girdiği Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi bölümünden 2001 yılında Elektrik Teknik Öğretmeni olarak mezun oldu. 2001 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı.

2001 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

