

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PARALEL AKTİF GÜÇ FİLTRESİ İLE
BİR FAZLI ASENKRON MOTORUN
REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU

Mustafa GÜNGÖR

Yüksek Lisans Tezi

Elektronik Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Mehmet GEDİKPINAR (F.Ü)

EKİM 2015

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PARALEL AKTİF GÜÇ FİLTRESİ İLE BİR FAZLI ASENKRON MOTORUN
REAKTİF GÜÇ KOMPAZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mustafa GÜNGÖR

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 09.09.2015

Tezin Savunma Tarihi: 02.10.2015

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet GEDİKPINAR (F.Ü)

Diğer Juri Üyeleri: Prof. Dr. Servet TUNCER (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÜSTÜNDAĞ (B.Ü)

EKİM – 2015

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca; öneri ve değerlendirmeleri ile bana yardımlarını esirgemeyen çok değerli hocam Doç. Dr. Mehmet GEDİKPINAR'a, teknik desteği ile yanımda olan değerli arkadaşım İdris GÖKSU'ya ve son olarak manevi desteği ile her zaman yanımda olduğunu hissettiren eşime şükranlarımı sunarım.

MUSTAFA GÜNGÖR
ELAZIĞ-2015

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
KISALTMALAR LİSTESİ	IX
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı.....	4
1.2. Tezin Yapısı.....	4
2. REAKTİF GÜÇ.....	6
2.1. Reaktif Güç Kayakları.....	8
2.1.1. Kondansatörler	8
2.1.2. Senkron Makinalar	9
2.2. Reaktif Güç Kompanzasyonu	10
2.3. Reaktif Güç Kompanzasyonunun Yararları.....	11
3. BİR FAZLI ASENKRON MOTOR	13
3.1. Giriş	13
3.2. Bir Fazlı Asenkron Motorların Yapısı.....	13
3.3. Bir-Fazlı Asenkron Motorların Çalışma Prensibi	15
3.4. Bir Fazlı Asenkron Motorun Eşdeğer Devresi.....	16
3.5. Bir Fazlı Asenkron Motorlara Yol Verme	17
3.6. Bir Fazlı Asenkron Motor Çeşitleri.....	19
4. AKTİF GÜÇ FİLTRELERİ	20
4.1. Sistem Yapılandırmasına Göre Sınıflandırma	21
4.1.1. Paralel Aktif Güç Filtreleri	22
4.1.2. Seri Aktif Güç Filtreleri.....	22
4.1.3. Hibrit Aktif-Pasif Güç Filtreleri.....	23
4.1.4. Birleştirilmiş Güç Kalitesi Düzenleyicileri	24
4.2. Güç Devresine Göre Sınıflandırma	25

4.3.	Kontrol Tekniğine Göre Sınıflandırma	27
4.3.1.	Zaman Domeni Kontrol Teknikleri.....	27
4.3.2.	Frekans Domeni Kontrol Teknikleri	28
4.4.	Akım Kontrol Teknikleri	29
4.4.1.	Periyodik Örnekleme Akım Kontrol Tekniği	29
4.4.2.	Histerezis Bant Akım Kontrol Tekniği.....	29
4.4.3.	Lineer Akım Kontrol Tekniği	30
5.	BİR FAZLI PARALEL AKTİF GÜÇ FİLTRESİ VE BİR FAZLI ASENKRON MOTORUN ANALİZİ	32
5.1.	Giriş	32
5.2.	Bir Fazlı Paralel Aktif Güç Filtresi	32
5.2.1.	Aktif filtre kontrol tekniği (Sinüs çarpım tekniği ile referans akım bulma)	33
5.2.2.	Histerezis bant akım kontrol tekniğinin ayrıntılı analizi	34
5.2.3.	Paralel Aktif Güç Filtresinin Çalışması.....	35
5.3.	Bir Fazlı Asenkron Motorun Analizi.....	39
5.3.1.	Bir Fazlı Asenkron Motorun Eşdeğer Devresi.....	40
6.	BENZETİM ÇALIŞMASI VE SONUÇLARI.....	41
6.1.	Benzetim çalışması.....	41
6.2.	Benzetim sonuçları (ASM elektriksel eşdeğer devre)	44
6.3.	Benzetim Sonuçları (ASM modeli)	53
7.	SONUÇLAR	61
	KAYNAKLAR	62
	ÖZGEÇMİŞ.....	65

ÖZET

Reaktif güç kompanzasyonu şebeke kalitesi, enerji verimliliği ve iletim hatların maliyeti açısından günümüzde önem arz eden bir sorun haline gelmiştir. Bundan dolayı reaktif gücün yüksek değerlere çıktığı yerlerde (fabrika, okul vb.) aktif sayacın yanında reaktif sayaçların kullanılarak reaktif gücün istenilen değerlere indirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda reaktif güç tüketicileri, kullanılagelen pasif filtrelerle indüktif yüklerin çektikleri bu istenmeyen gücü enerji yönetmeliği ile belirlenen sınırlarda tutmak için pasif filtrelerden meydana gelen kompanzasyon sistemleri kurmuşlardır. Pasif filtreler ilk maliyetlerinin ucuz olması yanında, yükte rezonansa girme, ani reaktif güç değişimlerine hızlı ve istenilen miktarda cevap verememe gibi olumsuz yönlerinden dolayı, yerini aktif güç filtrelerine (AGF) bırakmaya başlamıştır. Aktif güç filtreleri reaktif güç kompanzasyonunun yanında, harmonikleri filtreleme, gerilim regülasyonu ve nötr hattı akımını söndürülmesi gibi birden çok işlevleri beraber yapabilmektedir.

Bu tez çalışmasında; bir fazlı paralel aktif güç filtresi (PAGF) ile bir fazlı asenkron motorun (ASM) reaktif güç kompanzasyonunun yapılması sunulmuştur. Bir fazlı asenkron motorun reaktif güç kompanzasyonu için, öncelikle bir fazlı paralel aktif güç filtresinin ve bir fazlı asenkron motorun Matlab/Simulink programında modeli oluşturulmuştur. Asenkron motorun yükte beraber değişen kayma (S) değerlerine paralel aktif güç filtresinin reaktif güç kompanzasyon tepkileri karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Reaktif güç kompanzasyonu, Pasif filtreler, Bir fazlı paralel aktif güç filtresi, Bir fazlı asenkron motor

SUMMARY

REACTIVE POWER COMPENSATION OF A SINGLE PHASE ASYNCHRONOUS MOTOR BY USING PARALLEL ACTIVE POWER FILTER

Nowadays, reactive power compensation has become a serious problem in terms of network quality, energy efficiency and the cost of conduction networks. Therefore, reducing the reactive power at a required value is aimed in the places such as factory, school and etc. where the reactive power high levels through using the reactive-meters as well as the active meters. In this way, reactive power consumers have set up compensation systems composed of passive filters in order to keep the unintended energy, which the inductive loads take by means of the passive filters, at the certain levels determined by the energy regulations. Although their first costs are low, passive filters have started to give way to the active power filters (APF) due to their negative sides such as their resonance with the load and not quickly responding to the sudden reactive power changes at a desired level. In addition to reactive power compensation, the active power filters a lot of functions, such as filtering harmonics, voltage regulation and reduce the neutral line current, are able to perform.

In this thesis, studied a reactive power compensation of single-phase asynchronous motor with single-phase parallel active power filter (PAPF) and is presented. In order to have a reactive power compensation of a single-phase asynchronous motor, firstly a model of single-phase parallel active power filter and single-phase asynchronous motor is obtained in the Matlab/Simulink program. The reactions of parallel active power filter to the slip-values (s) changing with the loads of the asynchronous motor have are compared.

Key Words: Reactive power compensation, Passive filters, Single-phase parallel active power filter, Single-phase asynchronous motor

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. a) İndüktif yüklü empedans b) Gerilim ve Akım sinyalleri	6
Şekil 2.2. Güç üçgeni.....	7
Şekil 2.3. Beş kademe kondansatör kompanzasyon sistemi	9
Şekil 2.4. Dinamik faz kaydırıcısı	9
Şekil 3.1 Bir-fazlı asenkron motor kesit görünümü	14
Şekil 3.2. Bir-fazlı asenkron motorun tam eşdeğer devresi	17
Şekil 3.3. Bir-fazlı yardımcı sargılı asenkron motorun devresi	18
Şekil 3.4. Bir fazlı yardımcı sargılı asenkron motor akımları vektör diyagramı.....	19
Şekil 4.1. Paralel pasif güç filtresi	20
Şekil 4.2. Paralel aktif güç filtresi	22
Şekil 4.3. Seri aktif güç filtresi.....	23
Şekil 4.4. Paralel aktif filtre ve paralel pasif filtre birleşimi hibrit filtre	24
Şekil 4.5. Seri aktif filtre ve paralel pasif filtre birleşimi hibrit filtre.....	24
Şekil 4.6. Birleştirilmiş güç kalitesi düzenleyicisi	25
Şekil 4.7. Gerilim beslemeli paralel aktif güç filtresi.....	26
Şekil 4.8. Akım beslemeli aktif güç filtresi.....	26
Şekil 4.9. Üç fazlı sistemden iki fazlı durağan sisteme dönüşüm	28
Şekil 4.10. Periyodik örnekleme blok diyagramı	29
Şekil 4.11. Histerezis bant akım kontrolü blok diyagramı.....	30
Şekil 4.12. Histerezis bant akım kontrolü prensip şeması	30
Şekil 4.13. Lineer kontrol blok diyagram	31
Şekil 5.1. Bir fazlı paralel aktif güç filtresinin ASM'ye bağlantı şeması	33
Şekil 5.2. Histerezis bant akım kontrolü blok diyagramı.....	35
Şekil 5.3. Histerezis bant akım kontrolü prensip şeması	35
Şekil 5.4. Bir fazlı gerilim kaynaklı paralel aktif güç filtresi.....	36
Şekil 5.5. Anahtarlama sinyalleri CF kondansatör gerilimleri.....	36
Şekil 5.6. I. bölgede paralel aktif güç filtresi eşdeğer devresi	37
Şekil 5.7. II. bölgede paralel aktif güç filtresi eşdeğer devresi	37
Şekil 5.8. III. bölgede paralel aktif güç filtresi eşdeğer devresi.....	38
Şekil 5.9. IV. bölgede paralel aktif güç filtresi eşdeğer devresi.....	38
Şekil 5.10. Bir fazlı asenkron motorun tam eşdeğer devresi.....	40

Şekil 6.1. Matlab/Simülink'te hazırlanan çalışmaya ait genel blok şeması.....	41
Şekil 6.2. Bir fazlı asenkron motorun elektriksel eşdeğer devresi	42
Şekil 6.3. Referans akım üretmek için kullanılan sinüs çarpım diyagramı	42
Şekil 6.4. Histerezis akım kontrol tekniği blok diyagramı	43
Şekil 6.5. Gerilim kaynaklı paralel aktif filtreye ait H tipi köprü inverter	44
Şekil 6.6. ASM boşta çalışırken kaynak gerilimi ve akımı.....	46
Şekil 6.7. ASM boşta çalışırken kaynaktan çekilen aktif, reaktif ve görünür güçler	46
Şekil 6.8. ASM %5 kayma ile çalışırken kaynak gerilimi ve akımı.....	47
Şekil 6.9. ASM %5 kayma ile çalışırken kaynaktan çekilen aktif, reaktif ve görünür güçler	48
Şekil 6.10. ASM %5 kayma ile çalışırken referans ve filtre akımları	48
Şekil 6.11. ASM %10 kayma ile çalışırken kaynak gerilimi ve akımı.....	49
Şekil 6.12. ASM %10 kayma ile çalışırken kaynaktan çekilen aktif, reaktif ve görünür güçler.....	50
Şekil 6.13. ASM %10 kayma ile çalışırken referans ve filtre akımları	50
Şekil 6.14. ASM %15 kayma ile çalışırken kaynak gerilimi ve akımı.....	51
Şekil 6.15. ASM %15 kayma ile çalışırken kaynaktan çekilen aktif, reaktif ve görünür güçler.....	52
Şekil 6.16. ASM %15 kayma ile çalışırken referans ve filtre akımı	52
Şekil 6.17. ASM boşta çalışırken kaynak gerilimi ve akımı.....	54
Şekil 6.18. ASM boşta çalışırken kaynaktan çekilen aktif ve reaktif güçler	54
Şekil 6.19. ASM %5 kayma ile çalışırken kaynak gerilimi ve akımı.....	55
Şekil 6.20. ASM %5 kayma ile çalışırken kaynaktan çekilen aktif, reaktif ve görünür güçler.....	56
Şekil 6.21. ASM %5 kayma ile çalışırken referans ve filtre akımları	56
Şekil 6.22. ASM %10 kayma ile çalışırken kaynak gerilimi ve akımı.....	57
Şekil 6.23. ASM %10 kayma ile çalışırken kaynaktan çekilen aktif, reaktif ve görünür güçler.....	58
Şekil 6.24. ASM %10 kayma ile çalışırken referans ve filtre akımlar	58
Şekil 6.25. ASM %15 kayma ile çalışırken kaynak gerilimi ve akımı.....	59
Şekil 6.26. ASM %15 kayma ile çalışırken kaynaktan çekilen aktif, reaktif ve görünür güçler.....	59
Şekil 6.27. ASM %15 kayma ile çalışırken referans ve filtre akımları	60

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 6.1. ASM elektriksel eşdeğer devresiyle yapılan benzetimdeki parametreler45

Tablo 6.2. ASM modeli ile yapılan benzetimdeki parametreler53

KISALTMALAR LİSTESİ

AA	: Alternatif Akım
AGF	: Aktif Güç Filtresi
ARGT	: Anlık Reaktif Güç Teorisi
BGKD	: Birleştirilmiş Güç Kalitesi Düzeltici
ASM	: Asenkron Motor
DA	: Doğru Akım
DGM	: Darbe Genişlik Modülasyon
FKD	: Faz Kilitleme Devresi
HBAD	: Histerisiz Bant Akım Denetleyici
HFD	: Hızlı Fourier Dönüşümü
KGF	: Karma Güç Filtreleri
PAGF	: Paralel Aktif Güç Filtresi
PF	: Pasif Filtreler
SAGF	: Seri Aktif Güç Filtresi
SRÇY	: Senkron Referans Çatı Yöntemi
STATCOM	: Statik VAR üretici
THB	: Toplam Harmonik Bozulma
%THB	:Yüzde Olarak Toplam Harmonik Bozulma
YGF	: Yüksek Geçiren Filtre
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
I	: Kaynak Akımının Etkin Değeri
V	: Kaynak Geriliminin Etkin Değeri
P	: Aktif Güç
Q	: Reaktif Güç
E	: Elektro Motor Kuvvet
cos φ	: Şebeke Güç Faktörü
f	: Şebeke Frekansı
HB	: Histerisiz Bant Aralığı
Q_c	: Kapasitif Reaktif Güç
Q_L	: İndüktif Reaktif Güç

S	: Görünür Güç
R	: Direnç
L	: İndüktans
C	: Kapasitans
X_L	: İndüktif Reaktans
X_C	: Kapasitif Reaktans
ω	: Şebekenin Açısal Hızı
φ	: Şebeke Gerilimi Ve Akımı Arasındaki Aç
S_i	: İleri Yönlü Rotor Kayması
S_g	: Geri Yönlü Rotor Kayması
n_r	: Rotor Devir Sayısı
n_s	: Stator Devir Sayısı
i_a	: Ana Sargı Akımı
i_y	: Yardımcı Sargı Akımı
i_s	: AA Kaynak Akımı
i_L	: Yük Akımı
i_F	: Filtre Akımı

1. GİRİŞ

Reaktif güç ve harmonikler şebekenin güç kalitesini olumsuz yönde etkileyen güç kalitesi problemlerinin en önemlilerindendir. Reaktif güç kompanzasyonu ve harmonikler, yüksek gerilim sistemlerinde ve ağır sanayi tesislerinde gerilim kararlılığı sağlamak ve güç kalitesini arttırmak için önem arz etmektedir[1]. Bu güç kalitesi problemleri giderilmediği takdirde; şebekenin güç katsayısında ($\cos\phi$) düşme, trafo ve kablolar gibi enerji dağıtım elemanlarında aşırı ısınmalar, pasif filtrenin yükte rezonansa girmesi, sistem koruma elemanlarının arıza olmadığı halde çalışıp sistemi enerjisiz bırakmaları, elektromanyetik cihazların (kontaktör) vb. titreşimli şekilde çalışmalarına sebep olmaktadır [2].

Harmoniklerin filtrelenmesi ve reaktif güç kompanzasyonu için, pasif filtreler ve kapasitörler bu zamana kadar kullanılagelen uygulamalardır. Harmoniklerin filtrelenmesi için kullanılan pasif filtrelerin ancak birkaç harmonik bileşeni filtreleyebilmektedir. Bu nedenle pasif filtreleme ile iyi sonuçlar elde edilmek isteniyorsa harmonik sayısı kadar filtreye ihtiyaç vardır. Bununla birlikte pasif filtrelerin şebeke empedansı ile rezonansa girme riski de vardır. Bu yüzden pasif filtre ile uygulanacak çözümlerde sistemden çekilen harmonik ve reaktif güç ile ilgili kesin bilgilere ihtiyaç vardır. Pasif filtreler ile yüksek güçlerde (MVAR) seviyelerinde uygulamalar çok sık görülmektedir, örneğin 100 MVA'lık bir sistemin güç faktörünün 0.85'ten 0.90'a yükseltilebilmesi için yaklaşık 10MVAR'lık reaktif güce ihtiyaç vardır[3]. Böyle yüksek reaktif güçlere çıkıldığında filtrelerde kullanılan pasif elemanların ağırlıkları ve hacimleri çok büyük ölçülere ulaşabilmektedir[4]. Pasif filtrelerin bu kadar olumsuz özelliklerine rağmen yapılarının basit, verimliliklerinin yüksek olması ve düşük yatırım maliyetleri bu yapıların kullanılmasındaki en önemli sebeplerdir. Pasif filtreler bu avantajlarına rağmen yukarıda belirtildiği gibi pek çok olumsuz yanlarından dolayı, gelişen güç anahtarları teknolojisi ile birlikte, yerlerini güç kalitesi problemlerine dinamik ve ayarlanabilir çözümler getiren aktif güç filtrelerine (AGF) bırakmaya başlamıştır [5].

Pasif filtrelerin dezavantajlarını ortadan kaldırabilmek için geliştirilen ve aktif güç filtresi olarak bilinen çalışmalar ilk olarak 1970'li yıllarda başlamıştır [6]. Günümüzde seri, paralel, hibrit ve birleştirilmiş güç kalitesi düzenleyicisi gibi farklı aktif güç filtreleri, güç kalitesi problemlerinin büyük çoğunluğuna çözüm bulabilmek için denenmekte ve iyileştirme çalışmaları devam etmektedir[7].

Günümüze kadar yapılan çalışmalar sonunda, cevap hızları oldukça yüksek aktif güç filtreleri tasarlanabilmektedir. Günümüzde üretilmekte olan güç anahtarlarının çok yüksek frekanslarda tetikleme yapabilmesinden dolayı, aktif güç filtrelerinin yüksek frekanslı akım ve gerilim harmoniklerini de filtreleyebilmesine, reaktif güç kompanzasyonu yapabilmesine, üç fazlı sistemlerde dengesizliğin giderilmesi ve nötr hattı akımlarının azaltılmasına olanak sağlamaktadır. Bu nedenle aktif güç filtreleri, harmonik ve reaktif güç kompanzasyonu için günümüzün en etkili yöntemlerinden sayılmaktadır[4]. Aktif güç filtreleri tek fazlı veya üç fazlı devrelerde paralel veya seri olarak kullanılabilirler. Büyük yüklerde üç fazlı ve küçük güçlü yüklerde ise tek fazlı filtre kullanılmaktadır.

Literatür araştırmasında paralel aktif güç filtrelerinin (PAGF) bir fazlı ve üç fazlı sistemlerde kullanıldığı birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda üzerinde durulan en önemli konular, referans kompanzasyon akımını hesaplama, aktif filtre akım kontrolü ve doğru akım (DA) kondansatör gerilim kontrolüdür [8].

[10]'da üç fazlı alternatif akım şebekesinde doğrusal olmayan yükler tarafından üretilen akım harmoniklerinin yok edilmesi ve reaktif güç kompanzasyonun yapılması sunulmuştur.

[11]'de reaktif gücün ne olduğu, niçin gerektiği, zararları ve nasıl kompanse edileceği sunulmuştur.

[13]'de bir fazlı daimi kondansatörlü asenkron motorun verim değerini düşürmeden yol verme momentini arttıracak yeni bir anahtarlama mekanizmasının getirilmesi, matematiksel modelinin kurulması ve benzetim çalışması gerçekleştirilmiştir.

[15]'de DSP tabanlı, gerilim beslemeli PAGF gerçekleştirilmiş ve akım kontrolü için yüke adaptif histerezis bant yöntemi sunulmuştur. PAGF Matlab/Simulink programında modellenmiştir.

[16]'de aktif güç fitresinin kontrol edilmesi için verimli ve yeni bir kontrol algoritması önerilmiştir. Önerilen algoritmada, sadece bir fazın referans akım hesaplaması yapılmaktadır. Çalışmadaki simülasyonlar diğer kontrol algoritmaları ile gerçekleştirilen algoritmanın performansını karşılaştırmak için yapılmıştır. Üç fazlı üç telli aktif güç filtreleri içeren laboratuvar prototipi tanımlanmış ve gerçekleştirilen test sonuçlarında önerilen yöntemin uygulanabilirliğini gösterilmiştir.

[17]'de 22 temel filtre yapısı ortaya konmaktadır. Bu filtrelerin arasında yeni filtre yapılandırmaları da mevcuttur. Bu çalışmada, bu filtrelerin avantajları ve dezavantajları tartışılıp analizleri gerçekleştirilmiştir.

[19]'de halen TEİAŞ tarafından kullanılan bir enerji nakil hattının (Akdağmadeni – Tokat Enerji Nakil Hattının) simülasyonu yapılmış, enerji kalitesi için gerekli uygulamalar hat üzerinde denenmiş ve özellikle elektriksel bileşenler için kararlılık çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

[20]'de hem pratik hem de ekonomik açıdan, seri aktif güç filtresinin güç katsayısını düşürmek için paralel pasif ve seri aktif güç filtresi kombinasyonunu önerilmiştir. Önerdikleri sistem ile daha iyi filtreleme karakteristiği, daha düşük başlangıç ve çalışma maliyeti sağlandığı gösterilmiştir.

[22]'de aktif filtre güç devresi tasarımında; yarıiletkenin kısıtlamalarından, filtreleme kalitesinden, sağlamlığından, uyum ve davranışın geçici yükler karşısındaki davranışlarından bahsederek farklı bakış açıları ile aktif filtreler karşılaştırılmıştır.

[23]'de gerilim ve akım harmoniklerinin olduğu sistemler için sürekli ve geçici durumlarda da geçerli olan anlık reaktif güç teorisi olarak adlandırdığı yeni reaktif güç kompanzasyon sistemi sunulmuştur. Bu çalışmada üç fazlı sistemler için yeni bir elektriksel büyüklük olan anlık-sanal-güç tanımı yapılmış ve yapılan deneysel çalışmaların sonuçları sunulmuştur.

[24]'de aktif güç filtre devresinin yapısını, kontrol stratejilerini, bileşenlerin seçimini, aktif filtreler ile ilgili diğer ekonomik ve teknik değerlendirmeler ile birlikte özgül uygulamalar için aktif filtre seçimini ile ilgili kapsamlı bir inceleme verilmiştir.

[25]'de anahtarlama sinyallerinin elde edilmesinde çift histerezis bant PWM yöntemi önerilmektedir. Bu yöntemin ve geleneksel histerezis bant PWM yönteminin deney çalışmaları yapılmıştır. Deney çalışmalarında 8KW'lık üç fazlı diyotlu doğrultucu kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre önerilen yöntem kullanıldığında güç devresi kayıplarının %30,27 daha az çıktığı gösterilmektedir.

[26]'de aktif güç filtrelerinin denetiminde uygulanan kontrol stratejileri gözden geçirilmiş ve analizleri yapılmıştır. Analizinden elde edilen değerlendirmeler ile uygulanabilirliği en uygun olan AGF tasarımı önerilmiştir.

[28]'de üç fazlı paralel aktif güç filtresinin kontrol algoritmasında, evirici akımının ölü zaman kontrolü ve uzay vektör PWM kullanılmıştır.

1.1. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, bir fazlı asenkron motorun (ASM) yapısı, asenkron motorun AA kaynaktan çektiği reaktif güç ve kaynağa verdiği zararların incelenmesi, bir fazlı paralel aktif güç filtresi yapısının analiz edilmesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca aktif filtrenin, bir fazlı asenkron motorun kaynaktan çektiği reaktif gücü, nasıl etkin ve dinamik bir şekilde kompanze ettiğinin gösterilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaca yönelik olarak bir fazlı paralel aktif güç filtresinin Matlab/Simulink paket programı kullanılarak benzetimi yapılacaktır. Bu benzetimde; kaynak olarak bir fazlı bir AA kaynak, filtre olarak bir fazlı PAGF, kontrol yöntemi olarak histerezis akım kontrol tekniği, referans akım bulmak için frekans bölgesinde sinüs çarpım tekniği ve yük olarak ise bir fazlı asenkron motor kullanılacaktır.

Benzetim sonuçları bir fazlı asenkron motorun elektriksel eşdeğer devresi için ve bir fazlı asenkron motorun gerçek modeli kullanılarak iki şekilde elde edilmiştir. Her iki benzetimde de motorun üç farklı yük durumunda yani üç farklı kayma değerlerinde reaktif güç kompanzasyonunu yapabilmesi amaçlanmıştır.

1.2. Tezin Yapısı

Bu tez çalışması yedi bölümden meydana gelmektedir.

İlk bölüm giriş bölümüdür; bu bölümde reaktif güç ve reaktif gücün kaynak kalitesini olumsuz yönde etkilemesinden ve kaynaktan beslenen yüklerin reaktif güçten etkilenmesi sonucu meydana gelen olumsuz yönlerinden bahsedilerek kompanzasyonun günümüz şartlarında kaçınılmaz hale geldiği konusunda bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde; reaktif güç ve reaktif gücün oluşmasına sebep olan yüklerden, reaktif güç hesabından ve reaktif gücün kompanze edilebilmesi için bugüne kadar gelen pasif filtrelerden meydana gelen kompanzasyon yöntemleri hakkında bilgiler verilmektedir.

Üçüncü bölümde; bir fazlı asenkron motordan, bir fazlı asenkron motorun yapısından, bir fazlı asenkron motorun çalışma prensibinden ve matematiksel değerlerinden, bir fazlı asenkron motorun elektriksel eş değer devresinden, bir fazlı asenkron motora yol verme çeşitlerinden ve son olarak bir fazlı asenkron motor çeşitleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde; aktif güç filtresinin genel yapısından, aktif güç filtresinin hangi amaçlarla kullanıldığından, aktif güç filtresi çeşitlerinden, aktif güç filtresinde referans akım bulma yöntemlerinden, aktif güç filtresinde akım kontrol tekniklerinden ve gerilim beslemeleri aktif filtreler için kondansatör gerilim kontrol yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Beşinci bölümde; bir fazlı paralel aktif güç filtresinden, tez çalışmasında kullanılan akım kontrol tekniklerinden olan frekans bölgesinde sinüs çarpım tekniğinden ve yapısından, akım kontrolü için seçilen histerezis bant akım kontrol tekniği ve çalışmasından, bir fazlı paralel aktif güç filtresinin çalışması ve matematiksel modeli hakkında bilgiler verilmiştir.

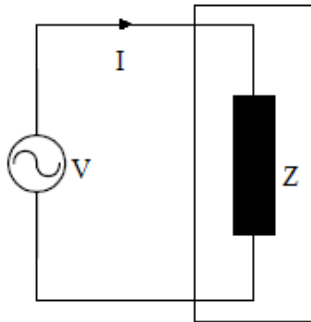
Altıncı bölümde; Matlab/Simulink'te yapılan benzetim çalışması ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır.

Son bölümde ise yapılan benzetim çalışması hakkında genel bir değerlendirme yapılmıştır.

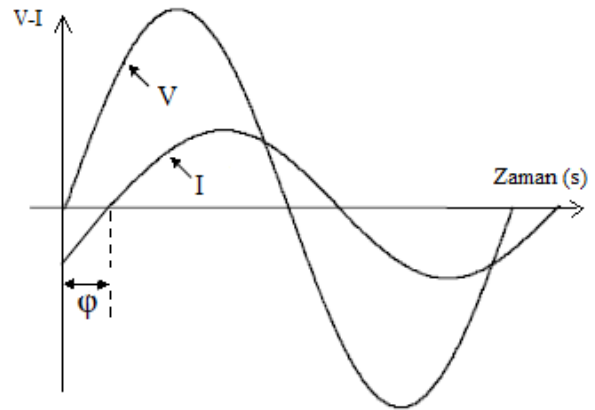
2. REAKTİF GÜÇ

Reaktif güç alternatif akım (AA) sistemlerinden beslenen indüktif (L) ve kapasitif (C) yüklerin sistemden çektikleri akımı, gerilimden açısız olarak geri ve ileri taşıyan güç olarak tanımlanır. Reaktif gücün tüketicilere genel olarak faydası olmamakla beraber sistemin verimini ve kalitesini azaltmaktadır. Reaktif güç Q ile ifade edilir ve birimi Volt-Amper- Reaktif (VAR). Aktif güç ise P ile ifade edilir birimi ise Watt (W) şeklinde gösterilir. Aktif güç tüketiciler tarafından mekanik güç, ısı ve ışık vb. haline çevrilir. Örnek olarak; elektrik motorlarında mekanik güç, ısı tüketicilerinde termik güç ve aydınlatma sistemlerinde ise ışık gücüne çevrilir. Aktif ve reaktif gücün vektörel olarak toplamı ise görünür gücü verir S ile ifade edilir birimi ise (VA) dir.

Enerji hatlarından çekilen reaktif güç elektrik santrallerindeki generatörleri, enerji nakil hatlarını ve transformatörleri boş yere yükleyerek, iletken kesitlerinin artmasına sebep olduğundan dolayı üretim ve dağıtım maliyetlerini artırmaktadır. Ayrıca şebekeden çekilebilecek aktif güç miktarının da düşmesine neden olmaktadır. Şekil 2.1’de indüktif yüklü bir empedansın akımı gerilimden ϕ açısı kadar geride bıraktığı görülmektedir.



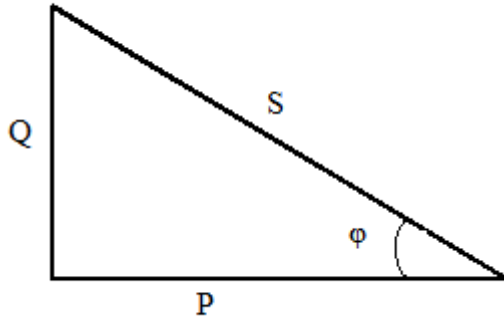
a) İndüktif yüklü empedans



b) Gerilim ve Akım sinyalleri

Şekil 2.1. a) İndüktif yüklü empedans b) Gerilim ve Akım sinyalleri

Şekil 2.2.’de aralarında 90° ’lik açı farkı bulunan aktif ve reaktif güç gösterilmektedir. Görünür güç ise birbirine dik olan bu gücün hipotenüsüdür.



Şekil 2.2. Güç üçgeni

Meydana gelen bu üçgen literatürde, güç üçgeni olarak ifade edilir. Bu üç bileşen arasındaki ilişki denk.(2.1), denk. (2.2) ve denk. (2.3) de ifade edilmiştir.

$$S = VI \quad (2.1)$$

$$P = S \cos \varphi = VI \cos \varphi \quad (2.2)$$

$$Q = S \sin \varphi = VI \sin \varphi \quad (2.3)$$

Güç üçgeninde aktif güç ile görünür güç arasındaki “ φ ” açısının kosinüsü güç katsayısı ($\cos \varphi$) olarak ifade edilir ve denk. (2.4)’deki gibi hesaplanır.

$$\cos \varphi = P/S \quad (2.4)$$

Reaktif güç faydalı olmayan güç olarak tarif edilse de elektromanyetik prensibe göre çalışan generatör, transformatör, bobin ve motor gibi bütün işletme araçlarının işlevlerini yerine getirebilmesi için gerekli olan manyetik alan, reaktif güç tarafından karşılanır. Bilindiği gibi endüksiyon prensibine göre çalışan bütün makineler ve cihazlar, manyetik alanın meydana getirilmesi için bir mıknatıslanma akımı çekerler; bu mıknatıslanma akımı reaktif akımdır. Onun için faydalı aktif gücün yanında, mutlaka reaktif güce de ihtiyaç vardır. Bu sebepten dolayı alternatif akım tesisleri, aktif gücün yanında reaktif gücünde çekileceği göz önünde bulundurularak iletken kesitleri hesaplanır. Reaktif güç kompanzasyonu ile iletim hatlarındaki aktif gücü taşıma kapasitesi arttırılabilmektedir.

Sanayi, ev, okul ve ofis gibi aktif güce ihtiyaç duyulan yerlerde elektrikli cihazlar aktif gücün yanında reaktif güç de tüketirler. En önemli reaktif güç tüketicileri;

- Asenkron motorlar,
- Transformatörler,
- Enerji iletim hatları,
- Kaynak makineleri vb. olarak verilebilir.

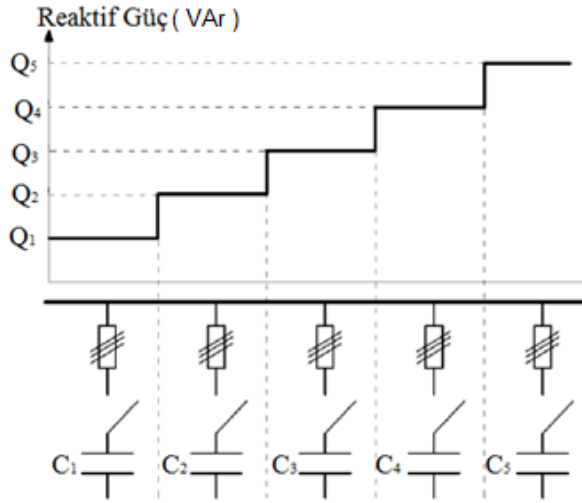
2.1. Reaktif Güç Kaynakları

Reaktif gücün şebekeye ve yüklere verdiği zararları kontrol edebilmemiz için öncelikle zıt yönde ve aynı büyüklükte reaktif güç üretimine ihtiyaç vardır. Bunun için şuan bile en çok kullanılagelen reaktif güç kaynakları kondansatörler (pasif filtreler) ve dinamik faz kaydırıcılarıdır. Elektrik tesislerinde güç sabit ise yüke uygun sabit bir kondansatör veya reaktör grubu kullanmak sorunu çözebilir. Fakat yük değişkense sabit kondansatör ve reaktör grubu kullanmak uygun bir yöntem değildir. Değişken reaktif güç karşısında dinamik yapıya sahip olan aktif güç filtreleri istenilen reaktif gücü anlık olarak sağlayabilmektedirler.

2.1.1. Kondansatörler

Reaktif güç kompanzasyonunda en çok tercih edilen reaktif güç kaynağı kondansatörlerdir. Yapılarının basit, kurulum maliyetlerinin ucuz olması ve bakıma çok ihtiyaç duymaması gibi nedenlerden dolayı kondansatörler en yaygın kullanılan reaktif güç üreteçleridir. Şekil 2.3' de beş kademeli kondansatörlerle oluşturulmuş kompanzasyon sistemi verilmektedir. Burada kondansatörlerin kademeli olarak ayarlanmasının sebebi ihtiyaç duyulan reaktif güce cevap verebilmektir. Buna benzer kompanzasyon panolarının kurulumu ve bakımı kolay olmasından dolayı fabrika, okul vb. yerlerde ihtiyaç duyulan reaktif güç çok kolay bir şekilde karşılanabilmektedir.

Kondansatörlerle yapılan reaktif güç üretiminde ihtiyaç duyulan kapasitif özellikli reaktif güç Şekil 2.3' verildiği gibi kapasiteleri önceden belirlenmiş kademeli kondansatörlerin elektromekanik anahtarlarla devreye alınıp çıkartılarak üretilmektedir. İhtiyaç duyulan reaktif güç, reaktif güç rölesi ile ölçülüp elektromekanik anahtarlar ile $\cos \varphi$ değeri istenilen değere ayarlanabilmektedir.

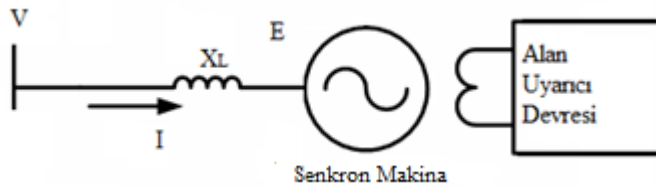


Şekil 2.3. Beş kademe kondansatör kompanzasyon sistemi

Reaktif güç üretiminde kondansatörler iyi bir seçenek olmakla birlikte bazı olumsuz yönleri vardır. Örnek olarak; Reaktif güç ihtiyacının büyük olduğu yerlerde kompanzasyon panoları büyük hacimler kaplamakta ve bakımları zorlaşmaktadır. Bununla birlikte kondansatörler anlık olarak yüklerle rezonansa girebilmekte ve kondansatörler zarar görmektedir. En önemli olumsuzluğu ise reaktif güç ihtiyacındaki değişimlere anlık olarak istenilen ölçülerde cevap verememesidir.

2.1.2. Senkron Makinalar

Senkron makinalar dinamik faz kaydırıcısı olarak da adlandırılırlar. Yani kompanzasyon için ihtiyaç duyulan reaktif güç üretiminde de kullanılırlar. Yapılması gereken makinanın uyarım sargısını istenilen reaktif güce göre ayarlanmasıdır. Şekil 2.4’de Senkron makine ile kompanzasyon şeması verilmiştir.



Şekil 2.4. Dinamik faz kaydırıcısı

Dinamik faz kaydırıcıların kayıpları, kondansatörlere göre daha yüksek olduğu gibi sürekli olarak bir bakıma ihtiyaç duyarlar. Bununla birlikte senkron makinanın gücü ile

orantılı olarak maliyetide artmaktadır. Bu sebeplerden dolayı, dinamik faz kaydırıcılar günümüzde özel alanda kompanzasyon için kullanılmaktadırlar.

2.2. Reaktif Güç Kompanzasyonu

Yüklerin güç katsayısı belirli değerlerin altında kaldığı sürece besleme sisteminin ortalama güç katsayısında düşüş olur. Yüklerin normal olarak şebekeden çektikleri indüktif reaktif gücün, 180° zıt yönde olan kapasitif güç çekmek suretiyle güç katsayısının 1'e yaklaştırılması olayına reaktif güç kompanzasyonu adı verilir.

Reaktif güç kompanzasyonu için kullanılan çeşitli reaktif güç üreticileri vardır. Kondansatörler kayıplarının düşük olması, bakım masraflarının yok denecek kadar az olması ve istenilen her güçte reaktif güç teşkil edebilmesi gibi birçok yönden diğer reaktif güç üreticilerinden üstündürler. Bundan dolayı günümüzde reaktif güç kompanzasyonu için kullanılan en yaygın yöntem kondansatörlerdir.

Kondansatörler reaktif güç kompanzasyonu için ucuz ve uygun bir devre elemanı olmakla beraber, güç sistemlerinde istenmeyen olaylara sebep olmaktadır. Kondansatörler harmonik üreten bir elaman değildir, fakat mevcut harmonik seviyelerinin etkin bir biçimde artmasına sebep olurlar. Kondansatörün reaktansı X_C , açısal frekansı ω olmak üzere harmonik mertebesi n olan bir devrede harmonik bileşen için aynı kondansatörün reaktansı denk. (2.5)'deki gibi hesaplanır. Harmonik kat sayısı arttıkça kapasitif reaktansta bu orana bağlı olarak azalacaktır. Kapasitif reaktanstaki bu azalma kondansatör akımının n . harmoniğe ait akım dalga şeklindeki bozulma sebep olur, bu bozulmada frekansla doğru orantılı bir şekilde gerçekleşir. Denk. (2.6)'da n . harmoniğe ait akım ifadesi gösterilmiştir. Sonuç olarak harmonik içeren bir sistemde, kondansatörler çok yüksek harmonik akımları çekerek sistemde var olan harmonik seviyelerini yükselmesine sebep olurlar [8].

$$X_{cn} = 1/n\omega C \quad (2.5)$$

$$I_n = V_n/X_{cn} \quad (2.6)$$

Reaktif güç kompanzasyonunda kullanılan kondansatörlerin güç sisteminde meydana getirdiği en önemli problem rezonanstır. Sisteme bağlanan kondansatörün kapasitif reaktansı ile şebekenin indüktif reaktansının belirli frekans değerinde birbirine eşit olması

durumuna rezonans, bu olayın meydana geldiği frekans değerine de rezonans frekansı denir [9].

2.3. Reaktif Güç Kompanzasyonunun Yararları

Reaktif gücün kompanzasyonunun yararlarının iyi anlaşılabilmesi için öncelikle reaktif gücün AA kaynağa ve tüketicilere verdiği zararların incelenmesi gerekir. Reaktif güç AA kaynak gerilimi ile kaynak akımı arasındaki açı ile doğru orantılıdır. Akım ile gerilim arasındaki açı büyütülürse kaynak ile yük arasında gidip gelen reaktif güçte büyüyecektir. Açının büyütülmeden önceki aktif güç değeri sabit tutulmak isteniyorsa sabit gerilimli şebekede akım değerini artırmak gerekmektedir. Akım değerinin artması şebekeden çekilen yük artması anlamına gelmektedir, hem akım değerinin artması hem de ϕ açısının artması şebekeden çekilen reaktif gücün artması anlamına gelecektir. Bu artma iletim hatlarının bir işe yaramayan güç ile meşgul edilmesi ve hat kesitinin bir kısmının bu (faydasız) güce ayrılması şeklinde yorumlanır.

Reaktif güç iki yönlü, aktif güç ise tek yönlüdür. Reaktif güç periyodun yarısında kaynaktan yüke doğru, periyodun diğer yarısında ise yükten kaynağa doğru akmaktadır. İletim hatlarının ilk yapım maliyeti oldukça yüksektir, bu nedenle işe yaramayan reaktif güç yüzünden hat kalınlığının artması maliyeti de artıracaktır. Reaktif gücün maliyet açısından bu olumsuzluğu transformatör ve jeneratör gibi elemanlar için de geçerli olacaktır.

Ülkelerin enerji iletim hatlarını kontrol eden kurumlar, iletim hatlarının verimli kullanıp maliyetin düşürülmesini istediklerinden dolayı, müşterilerin ihtiyaçları olan reaktif güçleri iletim hattından çekmemesini ve kendilerinin reaktif güç üretmesini istemektedirler. Bu işlemi yapmaya zorlamak içinde reaktif güç sayaçları yardımı ile müşterinin reaktif güç tüketimi ölçüp faturalarında aktif gücün belli bir oranı üzerinde çekilen reaktif güce ceza vermektedirler. Müşteriler ise reaktif güç cezası ödememek için reaktif sayaç endexisini sınır değerlerin altında tutmak ve böylece enerji maliyetini azaltmak için işletmelerine kompanzasyon sistemleri kurarak reaktif güç ihtiyaçlarını kendileri karşılamaktadırlar. Çok işletmede bu kurulan kompanzasyon sistemlerinin verimliliği ve dinamik yapısı çok zaman fazla dikkate alınmadan gerçekleştirildiği ve sadece ekonomik olması öne çıkarıldığı dikkate alınması gereken bir diğer gerçektir[10].

Kompanzasyonun Şebeke Açısından Faydaları:

- Şebekenin güç kapasitesi artar.
- Şebekenin ısı kayıpları azalır.
- Gerilim düşümü azalır.
- İletim hatlarının geçici durum kararlılığı iyileşir.
- Faz gerilim dengesizlikleri azaltılmış olur.
- Gerilim dalgalanmaları (kırpışma olayları) azalır.
- Harmonikler azalır.

Kompanzasyonun Tüketici Açısından Faydaları:

- Kompanzasyon tesisine sahip bir işletmenin işletme maliyetleri azalır.
- Güç katsayısı düzeltildiği için müşteri şebekeden çok daha az reaktif güç çeker ve daha az para öder.
- Elektrik enerjisinin kalitesizliğinden doğabilecek arıza riski en aza indirilmiş olur.
- Enerji kalitesi ile üretim kalitesi direkt bağlantılı olacağı için işletmenin ürün kalitesi de artar [11].

3. BİR FAZLI ASENKRON MOTOR

Bir fazlı asenkron motorlar (ASM) genellikle üç fazlı kaynakların olmadığı yerlerde bir fazdan beslenen motorlarıdır. Genel olarak 2kw altındaki güçlerde üretilirler bu nedenle evlerde, bürolarda vb. yerlerde çok yaygın olarak kullanılırlar.

3.1. Giriş

Asenkron motorlar çalışma prensibi bakımından indüksiyon motoru olarak da adlandırılır. Dönen manyetik alan hızı ile mekanik hız arasındaki farktan dolayı senkron olamayan (asenkron) adını alırlar. Asenkron motorlarda döner manyetik alanın üretildiği kısım stator, mekanik gücün alındığı döner kısım ise rotor olarak adlandırılır. Bu motorlar rotor yapısına göre kısa devre çubuklu (sincap kafesli) ve rotoru sargılı (bilezikli) asenkron motorlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bir fazlı asenkron motorlarda genel olarak kısa devre çubuklu rotorlar tercih edilmektedir

Yapılarının basit kullanımlarının kolay olmasından dolayı bir fazlı ASM çok yaygın kullanım alanına sahiptirler. Bu motorlar kullanım amaçlarına göre çok çeşitli yapılarda üretilirler.

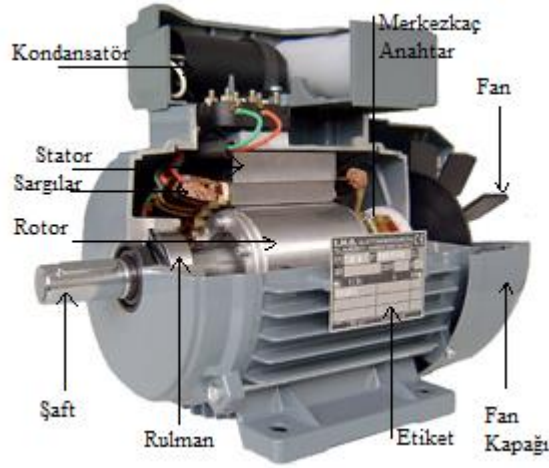
3.2. Bir Fazlı Asenkron Motorların Yapısı

Bir fazlı asenkron motor yapısal olarak üç fazlı asenkron motorlara çok benzemektedir. Genel yapıları; stator, sincap kafesli rotor, gövde ve kapaklardan meydana gelmektedir.

Motorun duran kısmı olan stator 0,4-0,8 mm kalınlığındaki araları yalıtılmış “laminasyon malzeme” denilen saçların özel kalıplarla preslenmesiyle imal edilirler. Stator üzerindeki oluk sayısı ve tipi üretilecek motorun yapısına ve gücüne göre belirlenir. Stator oluklarına yerleştirilen ana ve yardımcı sargılar aralarında 90° lik elektriki açı farkı bulunur. Ana ve yardımcı sargılar şebekeye ve birbirine paralel bağlanır, sargı uçları ise klemens kutusuna çıkartılır. Şekil 3.1’de bir fazlı asenkron motorun kesit görünümü verilmiştir.

Sincap kafesli rotorda ise; rotor, araları yalıtılmış saçlar özel kalıp preslerde kesilip preslenirler ve oluklar içine ise sıvı alüminyum enjeksiyonu yapılır. Enjekte edilen

alüminyum çubuklar rotorun her iki tarafından kısa devre edecek şekilde yapılandırılır. Rotorun arka tarafında bulunan ve alüminyum çubuklarla beraber dökülerek oluşturulan kanatçıklar sayesinde motorun iç kısmı yapısal bir fan (soğutucu) vazifesi görmesi sağlanır.



Şekil 3.1 Bir-fazlı asenkron motor kesit görünümü

Küçük güçteki motorlar için rotor çubukları alüminyumdan imal edilirken, büyük güçteki motorlar için ise bakır çubuklar kullanılır. Rotordaki bu çubuklar stator oluklarına tam paralel olarak değil belli bir açıyla yerleştirilir. Bu sayede stator ile rotor arasında meydana gelen hava akımlarının azalması sağlanırken ayrıca üretilen mekanik torkunda düzgün olmasına yarayacaktır. Rotor oluk sayısı genellikle stator oyuk sayısından daha az sayıda tasarlanarak kalkınmanın kolaylaştırılması sağlanır[12].

Bir-fazlı asenkron motorlarda kalkış momentini artırmak amaçlı yardımcı sargıya seri olarak bir kondansatör bağlanır. Bu kondansatör ve yardımcı sargı motor kalkındıktan sonra özel bir anahtar olan merkezkaç anahtarı ile enerjisi kesilerek devreden çıkartılır. Motor miline yerleştirilmiş olan merkezkaç anahtar, merkezkaç kuvvetinden yararlanarak çalışır. Motor normal çalışma hızının %75 civarında iken merkezkaç anahtarının hareketli kontağı açık devre olur. Bu sayede merkezkaç anahtarına seri bağlı olan yardımcı sargı ve kondansatör devre dışı kalır.

Bir-fazlı asenkron motorlarda ana sargılar kalın kesitli bakır iletkenlerden çok sipirli olarak sarılırlar ve stator sargılarının 2/3 nü kaplarlar. Ana sargının reaktansı büyük direnci küçük düşünülür. Bu nedenle ana sargıdan geçen akım uygulanan gerilimine göre oldukça geri fazda kalır. Yardımcı sargı ise ince kesitli iletkenlerden az sipirli olarak sarılır ve stator sargılarının 1/3 nü kaplar. Yardımcı sargı ana sargıya göre reaktansı küçük, direnci büyüktür.

Bu nedenle yardımcı sargıdan geçen akımı ile uygulanan gerilimi arasındaki faz farkı küçüktür. Bu sayede ana sargı akımı ile yardımcı sargı akımı arasındaki faz farkı arttırılmış olur. Faz farkı arttıkça kalkınma momenti yüksek olur.

3.3. Bir-Fazlı Asenkron Motorların Çalışma Prensibi

Bir fazlı asenkron motorlarda sadece ana sargıya bir fazlı alternatif akım (AA) uygulandığında hava aralığında döner bir manyetik alan oluşmaz. Oluşan alan değişken formda bir manyetik alan şeklinde olur. Bundan dolayı bir fazlı asenkron motorlar sadece ana sargıyla yol alamazlar. İlk kalkınma anında motorun dışarıdan bir müdahale olmadan yol alabilmesi için yardımcı sargı ihtiyaç duyulur. Bu çalışmayı üç-fazlı bir asenkron motorun iki fazla çalışması gibi düşünebiliriz. Motor yol aldıktan sonra yardımcı sargı devreden çıkartılır ve ana sargının meydana getirdiği değişken alan kısa devre çubuklu rotoru sürüklemeye devam edecektir[13].

Bir-fazlı ASM un ana sargısına AA akım uygulandığında meydana gelen alanı

$$\vec{B} = B_{max} \cdot \cos \omega t \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilir. Denk. (3.1)'deki gösterilen değişken manyetik alan $\cos \omega t$ çarpanı açılır ve düzenlenirse denk. (3.3) elde edilir.

$$\cos \omega t = \frac{e^{i\omega t} + e^{-i\omega t}}{2} \quad (3.2)$$

$$\vec{B} = B_{max} \cdot \cos \omega t = \frac{B_{max}}{2} e^{i\omega t} + \frac{B_{max}}{2} e^{-i\omega t} \quad (3.3)$$

Denk. (3.3)'de verilen eşitliklerden anlaşılacağı gibi, manyetik alanlarda olduğu benzer şekilde gerilimlerde de birbirine zıt polarite indüklenmektedir. Rotor akımları da kendilerini oluşturan zıt polariteli gerilimler gibi yine zıt yönde akmaktadırlar. Başka bir deyişle kalkış momentleri birbirine eşit ve ters yöndedir. Yani üretilen momentler farkı sıfırdır. Üretilen net moment sıfır olmasından dolayı bir-fazlı değişken alanın içerisine kısa devre çubuklu bir rotor konulacak olursa rotor dönmeyecektir. Rotora dışarıdan el ile ilk hareket verilirse üretilen momentler arasındaki fark sıfırdan farklı bir değer olacaktır ve motor hareketin yönüne bağlı olarak değişken alanı izlemeye başlayacaktır.

Bir-fazlı asenkron motorlarda kalkınma momenti üç fazlı asenkron motorlarda olduğu gibi bir döner manyetik alana ihtiyaç vardır. Buda ancak ana sargıya paralel yardımcı bir sargı bağlanarak oluşturulabilir. Ana sargı ve yardımcı sargının siper sayısı ve iletken kesitine bağlı olarak çektikleri akımlar arasında bir faz farkı meydana gelecektir. Bu faz farkı sayesinde bir fazlı asenkron motorlar aynı iki fazlı asenkron motorlar gibi davranacak ve motorda kalkınma momentini üretecektir. Rotor hareketini aldıktan sonra yardımcı sargı devreden çıkartılsa dahi ana sargının ürettiği manyetik alan farkı sıfırdan farklı olacağından rotor ilk kalkındığı yönde dönmesine devam edecektir. Yardımcı sargının devreden çıkarılmasının verimi düşüreceği dikkate alınarak, sürekli yardımcı sargılı bir fazlı asenkron motorlar gün geçtikçe tercih edilir olmuştur. Günümüz bir fazlı asenkron motorları modern yapıda, sürekli yardımcı sargılı, güç katsayısı iyileştirilmiş, kalkınma akımı çok aşırı olmayan ve yüksek kalkınma momentine sahip yaklaşık 2kW değerlere kadar üretilen motor tipleridir. Bu konuda, güç katsayısının iyileştirilmesi ve kalkış momentinin artırılması çalışmaları devam etmektedir.

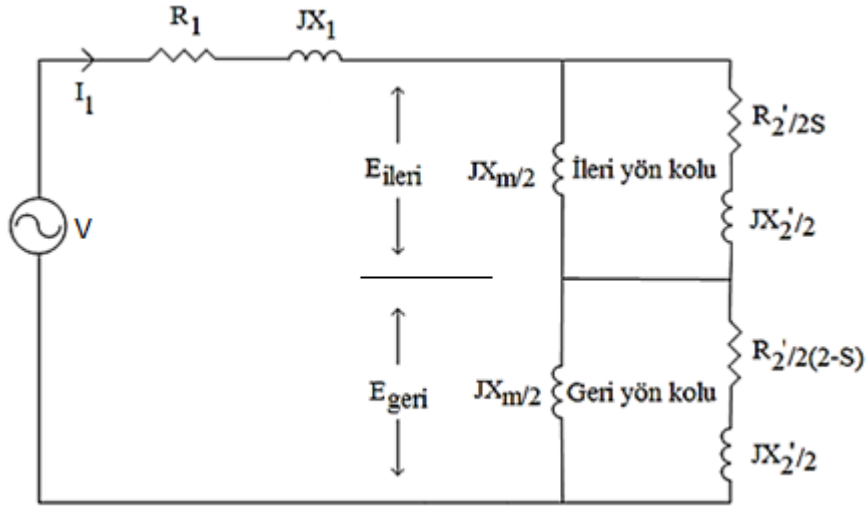
3.4. Bir Fazlı Asenkron Motorun Eşdeğer Devresi

Bir fazlı asenkron motor aynı stator alan sargısına sahip ve birbirine ters yönde dönen iki rotoru bulanan bir motormuş gibi çalışmaktadır. Motor durağan halde iken iki rotor içinde, birbirine zıt ve eşit genlikte moment üretilen ve net moment (rotorda üretilen mekanik moment) sıfır olacaktır.

Bir-fazlı ASM’larda üretilen manyetik alan, döner manyetik alan bileşenlerinden oluşur. İlk bileşen ileri yön bileşenidir ve stator manyetik alan dalga şeklinin yarısı kadar sabit bir genliğe sahiptir. İkinci bileşen ise ters yön kolu olarak bilinir ve birinci bileşenle aynı genliğe sahiptir. Senkron hızda fakat senkron hıza zıt yönde dönmektedir. Her bir bileşen kendisine ait rotor akımını indükler. Bu tanımlardan sonra Şekil 3.2’deki devre modeli çizilebilir. R_1 ve X_1 ; stator direnci ve kaçak reaktansdır. V ; stator giriş gerilimidir. Elektro motor kuvvet (emk) E , E_{ileri} ve E_{geri} bileşenlerin toplamıdır. Denk.3.4’te verildiği gibi iki bileşende aynı genliğe sahip olduğundan

$$E_{ileri} = E_{geri} = E/2 \quad (3.4)$$

birbirlerine eşit iki genlik şeklinde olur.



Şekil 3.2. Bir-fazlı asenkron motorun tam eşdeğer devresi

E eşit iki parçaya bölündüğünden gerçek empedansta iki eşit parçaya ayrılmıştır. Bu modelde X_m mıknatıslanma reaktansı, R_2' ve X_2' rotor direnci ve kaçak reaktansı temsil etmekte olup rotor parametreleri stator tarafına aktarılmıştır[14].

Motorun saat yönü ile aynı yönde n_r devir sayısı ile döndüğünü kabul edildiğinde. Saat yönü ile aynı yönde dönen manyetik alan n_s senkron devrine sahip olsun. Saat yönünün tersinde dönmekte olan alanın senkron devri ise $-n_s$ olacaktır. Bu durumda saat yönü ile aynı yöndeki birim kayma;

$$S_i = \frac{n_s - n_r}{n_s} = 1 - \left(\frac{n_r}{n_s}\right) \quad (3.5)$$

olur.

Saat yönünün tersi yönündeki birim kayma ise;

$$S_g = \frac{(-n_s - n_r)}{-n_s} = 1 + \left(\frac{n_r}{n_s}\right) = 2 - S_i \quad (3.6)$$

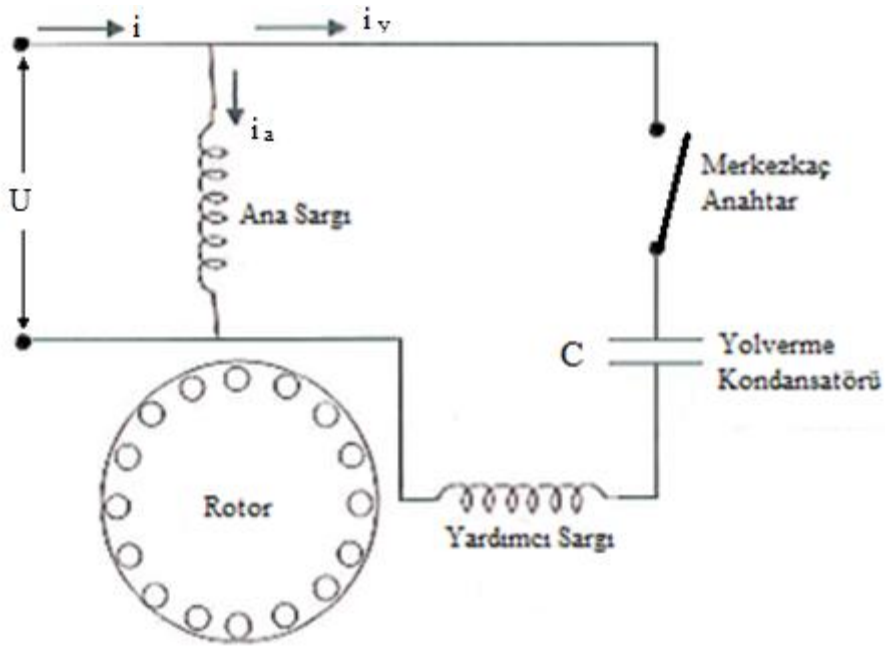
Denk. (3.5) ve (3.6) 'da görüleceği gibi rotora ait ileri yön ve geri yön bileşenin empedans değerleri kaymaya bağlı olarak değişmektedir. Böylelikle ileri ve geri yöndeki üretilen momentler birbirine eşit olmamaktadır. Burada net moment oluşan iki momentin farkı ile bulunmaktadır. Bu fark yükün dönmesi için ihtiyaç duyulan momentten büyük olduğu sürece motorun rotoru dönmeye devam edecektir.

3.5. Bir Fazlı Asenkron Motorlara Yol Verme

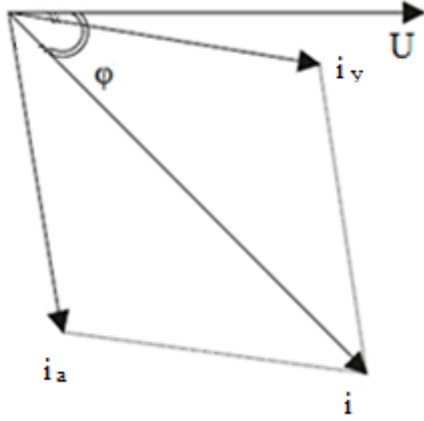
Bir fazlı asenkron motorlar bilindiği üzere bir fazlı AA şebekeden beslenmektedir. Ana sargı şebekeye paralel bağlıdır. Yardımcı sargı ise genelde merkezkaç anahtarı

üzerinden ana sargı ve şebekeye paralel bağlanır. Motorun rotoru kalkınma anında her iki sargı devredir. Motor normal hızının %75-%80'ine ulaşınca merkezkaç anahtarı devreye girer ve yardımcı sargının enerjisini keser. Motor ana sargıyla çalışmasına devam eder. Motorun ilk hareki anında yardımcı sargı olmadan kaymada bir değişiklik yapılamayacağından bir fazlı asenkron motorlarda motorun muhakkak bir yardımcı sargıya ihtiyacı vardır. Şekil 3.3'de bir fazlı asenkron motorun devre bağlantı şeması ve Şekil 3.4 'de bir fazlı bir asenkron motora ait vektör diyagramı verilmektedir.

İlk kalkınma momentinin yüksek olması istenen yerlerde yardımcı sargıya seri bir kondansatör bağlanabilir. Bağlanan bu kondansatörün değeri yardımcı sargının çekeceği akım değeri ile ilişkili olduğu ayrıca bu akım değerinin kalkınmayı etkilediği yani, dikkat ile seçilmesi gerektiği bilinmektedir. Bu şekilde I_a ile I_y akımları arasındaki açı arttırılarak kalkınma momenti yükseltilmiş olur.



Şekil 3.3. Bir-fazlı yardımcı sargılı asenkron motorun devresi



Şekil 3.4. Bir fazlı yardımcı sargılı asenkron motor akımları vektör diyagramı

3.6. Bir Fazlı Asenkron Motor Çeşitleri

Bir fazlı asenkron motorlar genel olarak dört şekilde üretilirler. Bu makinalar yapısal olarak aynıdır fakat ilk kalkınma ve sürekli çalışmada yardımcı sargı ve yardımcı sargıya bağlanan kondansatörde farklılıklar vardır.

Yardımcı sargılı asenkron motorlarda ilk kalkınma anında stator sargılarından geçen I_a - I_y akımları arasındaki faz farkı 90° ulaştırılmalı ki kalkınma momenti motorun ilk hareketini başlatabilecek değerlere yükseltebilsin. Ana ve yardımcı sargı akımları arasındaki faz farkının 90° ye ulaşabilmesin için yardımcı sargı devresine seri kondansatör bağlanır. Bununla birlikte motorda yüksek kalkınma ve dönme momenti elde edebilmek için yardımcı sargı devresine ek olarak bir kondansatör daha bağlanır. Bir fazlı asenkron motor çalışma karakteristiklerine şu şekilde adlandırılır;

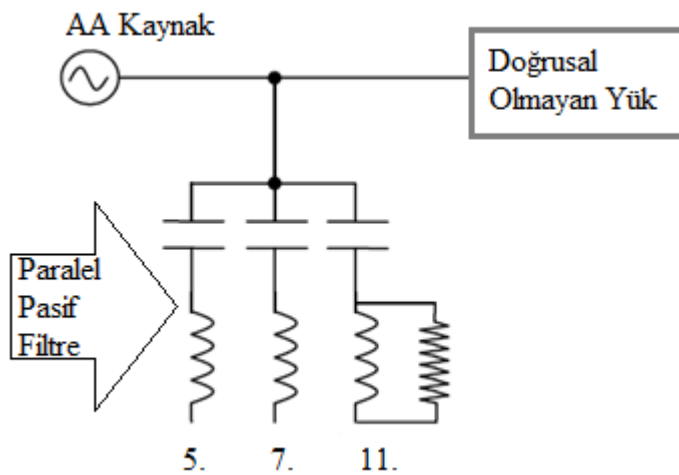
- Yardımcı sargı bir-fazlı asenkron motor,
- Yol verme kondansatörlü bir-fazlı asenkron motor,
- Daimi kondansatörlü bir-fazlı asenkron motor,
- Çift kondansatörlü bir-fazlı asenkron motor.

4. AKTİF GÜÇ FİLTRELERİ

Aktif güç filtreleri (AGF), yapısındaki güç anahtarları sayesinde, invertere bağlı DA kondansatörü veya bobini üzerinde üretilen gerilim veya akımı kontrollü bir şekilde AA kaynağa ileten güç elektroniği tabanlı devrelerdir. AGF'nin ilk yatırım maliyeti pasif filtrelerle kıyasla fazla olmasına karşın, şebeke empedansı ile seri-paralel rezonans riski taşımamaları, belirli frekanslara kadar akım ve gerilim harmoniklerini filtrelemesi ve boyutlarının pasif filtrelerle göre küçük olması aktif güç filtrelerinin gelişiminde büyük önem arz etmektedir[5].

Pasif filtreler pasif devre elemanlardan (direnc, indüktans ve kondansatör) meydana gelirler. Günümüzde lineer olmayan yükler kullanımı hızla artmaktadır. Pasif filtreler lineer olmayan yüklerin şebekeye ve diğer kullanıcılara verdiği zararları önlemekte yetersiz kalmaktadır. Çünkü pasif filtreler sadece ayarlandıkları frekanstaki harmonikleri filtreleyebilmektedirler. Bundan dolayı filtrelenmek istenen her harmonik için bir pasif filtre kullanılması gerekmektedir[15].

Pasif filtrelerdeki bu olumsuzlukları çözebilmek için bazı özel tasarımlı pasif filtre uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Fakat bunların uygulama alanları, değişken empedans ve yük karakteristiklerinden dolayı kontrol ve bakım zorluğu nedeni ile sınırlı kalmaktadır[16]. Şekil 4.1'de kontrollü doğrultucunun ürettiği harmonik akımları filtrelemek için kullanılan paralel pasif güç filtresi verilmektedir.



Şekil 4.1. Paralel pasif güç filtresi

Pasif güç filtresi ayarlandığı her bir harmonik frekansına seri rezonanstan dolayı harmonik akımlara düşük empedans, temel frekanstaki akımlara ve ayarlanmadıkları frekanstaki harmonik akımlara yüksek empedans gösterir [17].

Bird tarafından ilk defa 1970’li yıllarda temel çalışma prensibi gündeme geldiğinden buyana aktif güç filtreleri üzerine birçok çalışmalar yapılmıştır. Özellikle güç elektroniği yarıiletken tabanlı anahtarlama devre elemanlarının kapasite ve anahtarlama hızındaki gelişiminden sonra, aktif güç filtreleri üzerine ilgi gün geçtikçe artmıştır. Aktif güç filtreleri güç elektroniği temelli ve pasif filtrelerden ilk maliyet açısından daha pahalıdırlar. Fakat aktif güç filtreleri uygulandığı sistemdeki akım ve gerilimdeki harmonik değişimlerine uyum konusunda pasif filtrelere kıyasla çok daha başarılıdır ve ilk yatırım maliyeti pahalı gözükse de uzun dönemde enerji verimliliği ve maliyet açısından karlıdır. Birçok teknik doküman ve literatürde, aktif filtre terimi yerine genellikle aktif güç filtresi terimi kullanılır [18]. Aktif güç filtreleri,

- Reaktif güç kompanzasyonu,
- Harmonik kompanzasyonu,
- Gerilim regülasyonu
- Rezonansların bastırılması
- Nötr akımlarının kompanzasyon işlemlerinde sıkça kullanılmaktadır[19].

Aktif güç filtreleri kaynaklarda genel olarak şu şekilde sınıflandırılırlar,

1. Sistemin yapılandırmasına göre,
2. Güç devresine göre,
3. Kontrol tekniğine göre.

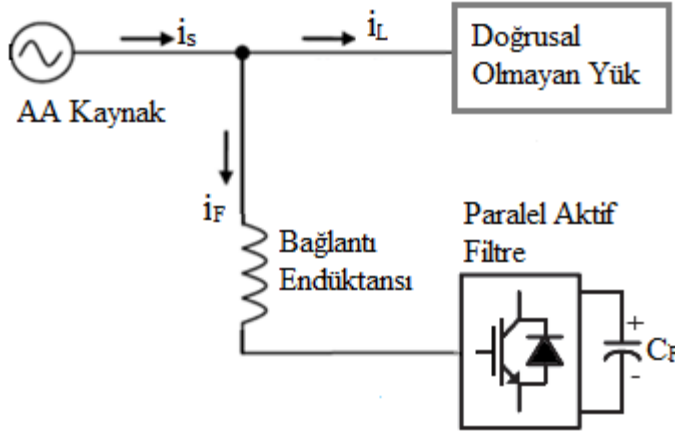
4.1. Sistem Yapılandırmasına Göre Sınıflandırma

Sistem yapılandırmasına göre aktif güç filtrelerini dört gruba ayırabiliriz.

1. Paralel aktif güç filtreleri
2. Seri aktif güç filtreleri
3. Hibrit aktif-pasif güç filtreleri
4. Birleştirilmiş güç kalitesi düzenleyicileri[15].

4.1.1. Paralel Aktif Güç Filtreleri

Paralel aktif güç filtresi (PAGF); doğrusal olmayan yükler tarafından meydana getirilen akım harmoniklerini filtrelemek, reaktif güç kompanzasyonu yapmak ve dengesiz güç sistemlerinde faz akımlarını dengelemek amacıyla kullanılmaktadır. Paralel aktif güç filtresi bağlandığı sistemin ortak bağlantı yerindeki yük akımını ölçer ve sisteme yük akımının harmonikli sinyalleri ile eşit genlikte fakat 180° derece zıt yönlü akım vererek zıt reaktif güçle yükler[8]. Şekil 4.2’de bir fazlı gerilim beslemeli paralel aktif güç filtresi verilmiştir.



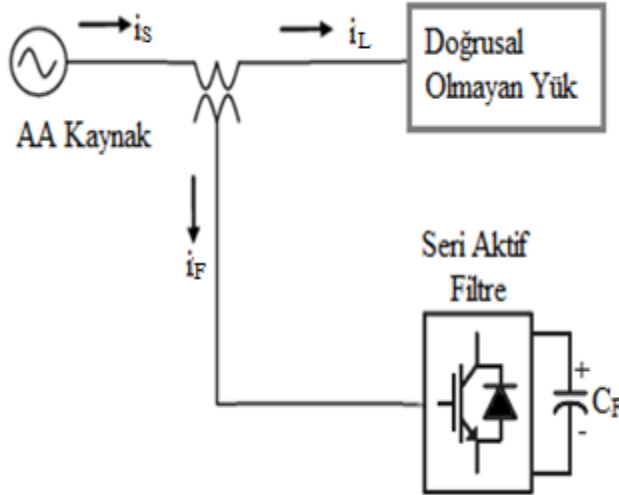
Şekil 4.2. Paralel aktif güç filtresi

Paralel aktif güç filtrelerinde güç devresinin kontrolü için lazım olan darbeler, yük akımının çektiği harmonikli akım ölçülüp kontrol sistemine göre analizi yapıldıktan sonra üretilir. Genel olarak akım harmoniği Norton eşdeğer devresiyle, gerilim harmoniği ise Thevenin eşdeğer devresiyle ifade edilir. Norton eşdeğeri saf bir akım kaynağı ve bu kaynağa paralel bağlı sonsuz bir dirence sahip empedansından oluşur. Thevenin eşdeğeri ise saf bir gerilim kaynağı ve bu kaynağa seri bağlı direnci sıfır olan empedansından ibarettir [19].

4.1.2. Seri Aktif Güç Filtreleri

Seri aktif güç filtresi, uygun bir trafo üzerinden AA kaynağa seri olarak bağlanır. Bu yapıya sahip aktif güç filtresi, DA tarafı kondansatörü yüksek kapasiteli diyot doğrultucu

gibi, gerilim harmonik kaynaklarının harmonik kompanzasyonu ve gerilim regülasyonu için uygundur. Şekil 4.3'te yalnızca seri aktif güç filtresinden oluşan yapılandırma verilmiştir [15].



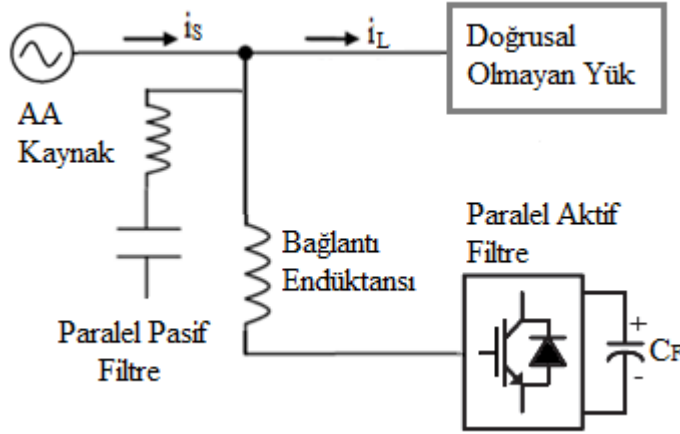
Şekil 4.3. Seri aktif güç filtresi

Seri aktif güç filtresinin, düşük güç anma kapasitesi ve üstün filtreleme özelliği olmasına rağmen güç sistemi olumsuzluklarına karşı korunma zorluğu bulunmaktadır[20]. Bununla birlikte, paralel aktif güç filtreleri güç sistemi olumsuzluklarından etkilenmezler ve bu filtreler ile güç faktörü iyileştirilmesi kadar harmonik akım kompanzasyonu da kolayca yapılabilmektedir. Paralel aktif güç filtreleri yukarıda bahsi geçen bu özelliklerinden dolayı seri aktif güç filtreleri kadar yaygın kullanılmamaktadırlar.[5]

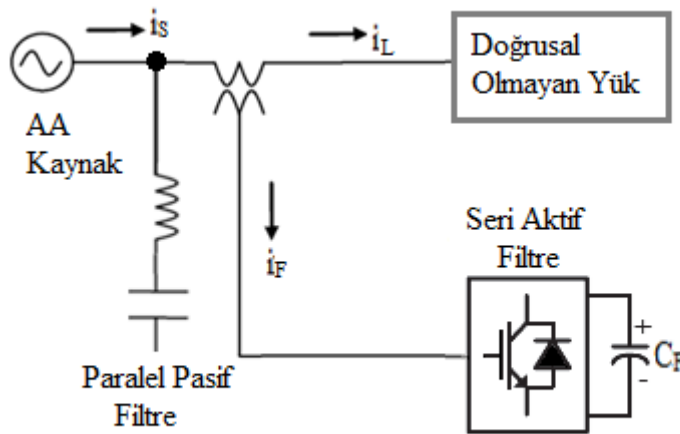
4.1.3. Hibrit Aktif-Pasif Güç Filtreleri

Hibrit aktif-pasif güç filtrelerinin amacı verimi arttırmak ve ilk maliyeti azaltmaktır. Paralel pasif filtre bir veya daha çok ayarlanmış kademeli LC yüksek geçiren filtreden oluşur. Şekil 4.4 ve Şekil 4.5 hibrit aktif-pasif filtrelerden iki örnek verilmiştir. Şekil 4.4'te verilen yapı paralel aktif güç filtre ve paralel pasif güç filtre birleşimidir. Bu ve benzeri uygulamalarda maliyet düşürüp ve verimi en iyi hale getirmek için dikkat edilmesi gereken noktalardan bir tanesi, kompanzasyon için aktif ve pasif filtreleri rekabete sokmamaktır.[15] Şekil 4.5'da verilen hibrit aktif filtre sadece harmonik kompanzasyon yapmak için değil AA

kaynak ve doğrusal olmayan yük arasında harmonik yalıtımı, gerilim regülasyonu ve dengesizlik kompanzasyonu da yapmaktadırlar. Hibrit aktif-pasif filtrelerde daha başka yapılara sahip filtrelerde mevcuttur.



Şekil 4.4. Paralel aktif filtre ve paralel pasif filtre birleşimi hibrit filtre

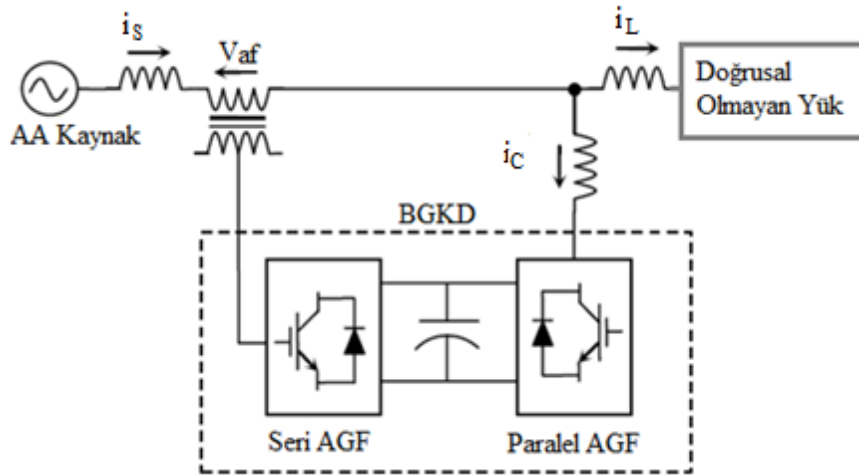


Şekil 4.5. Seri aktif filtre ve paralel pasif filtre birleşimi hibrit filtre

4.1.4. Birleştirilmiş Güç Kalitesi Düzenleyicileri

Birleşik Güç Kalite Düzenleyicisi (BGKD), seri-paralel aktif filtrelerin beraber kullanıldığı ve ortak bir DA noktasından beslendikleri bir filtre yapısıdır. Seri aktif güç filtresi, yüklerle güç sistemi arasında harmonik izolasyon sağlayarak, kaynak tarafından gelen harmonik akımlara karşı blok oluşturur. Ayrıca kaynak gerilimi harmonikli ve dengesiz ise yük üzerine sabit ve düzgün sinüsoidal gerilim sağlar.[17] Bunun yanında iki adet aktif güç

filtresinin aynı anda kullanımının getirdiği kontrol zorluğu ve yatırım maliyetlerinin fazla olması gibi olumsuzlukları da vardır[2].

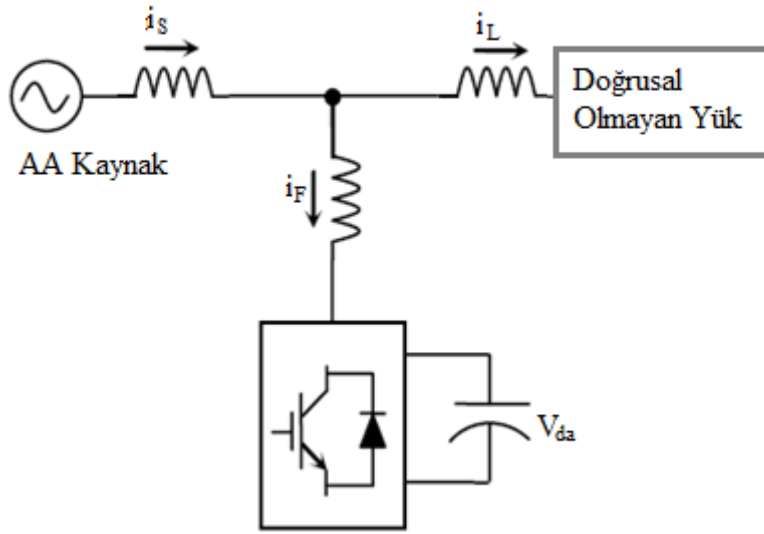


Şekil 4.6. Birleştirilmiş güç kalitesi düzenleyicisi

4.2. Güç Devresine Göre Sınıflandırma

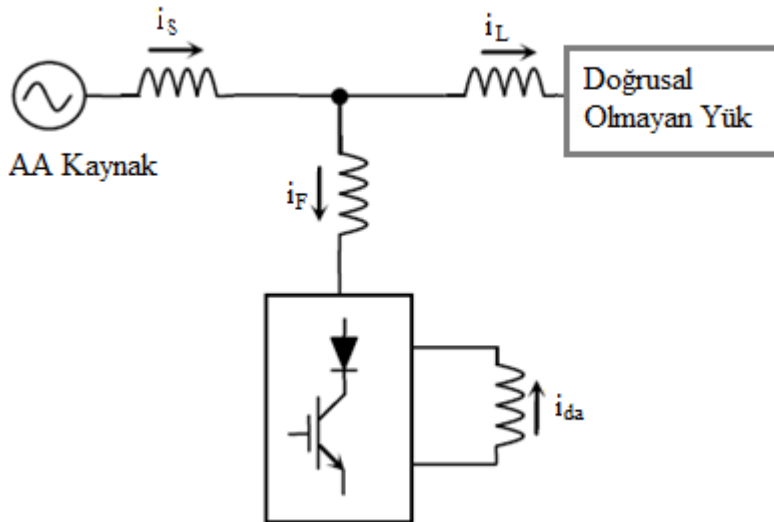
Güç devresine göre aktif filtreleri ikiye ayrılmaktadır. Bunlar gerilim kaynaklı inverter, diğeri ise akım kaynaklı inverter olarak adlandırılmaktadır. Gerilim kaynaklı aktif filtre tasarımı, akım kaynaklı aktif filtreye göre daha hafiftir, daha ucuzdur ve kontrolü daha kolaydır. Bununla birlikte kayıpları ise daha azdır [21]. Gerilim kaynaklı güç devrelerinde DA enerji depolama elemanı olarak bir kondansatör kullanır. Enerji depolama elemanı olarak kullanılan bu DA kondansatörünün gerilim değeri ayarlanarak güç devresinin sisteme sağladığı akımın ileri-geri reaktif olması sağlanabilir.

DA kondansatör gerilim değeri kaynak geriliminden küçük olursa güç devresi akımı geri reaktif, DA kondansatör gerilimi şebeke geriliminden büyük olursa güç devresi akımı ileri reaktif olmaktadır. Gerilim kaynaklı aktif güç filtresi çalışmalarında DA kondansatör gerilimi, şebeke geriliminin tepe değerinden 1,2-1,5 kat daha büyük seçilmiş olmalıdır [22]. Şekil 4.7 de gerilim beslemeli AGF verilmektedir.



Şekil 4.7. Gerilim beslemeli paralel aktif güç filtresi

Akım kaynaklı güç devrelerinde DA enerji depolama elemanı olarak bir bobin kullanır. Akım kaynaklı güç devrelerinde enerji depolama elemanı olarak kullanılan bobinin akım değeri doğrusal olmayan yük tarafından şebekeden çekilen harmonik akımlarının toplamından daha büyük olmalıdır. Bu sayede güç devresi güç sistemine ileri reaktif akım sağlayabilir. Ancak bu akım değeri gereğinden büyük olursa, aşırı kayıplara neden olur veya akım değeri çok küçük olursa, doğrusal olmayan yük tarafından meydana getirilen harmonikler engellenemez. [22]. Şekil 4.8 de akım beslemeli AGF verilmektedir.



Şekil 4.8. Akım beslemeli aktif güç filtresi

4.3. Kontrol Tekniğine Göre Sınıflandırma

Aktif güç filtrelerinin kontrolü sadece harmoniklerin kompanzasyonu durumunda değil aynı zamanda aktif güç filtresinin çalışabileceği anma gücü içinde önemlidir. Bununla birlikte AGF'nin kararlı durumdaki verimli çalışması kadar geçici durumlardaki tepkisi de aktif güç filtresinin kontrol tekniği için oldukça önem arz etmektedir[23]. Aktif güç filtreleri kontrol tekniklerine göre;

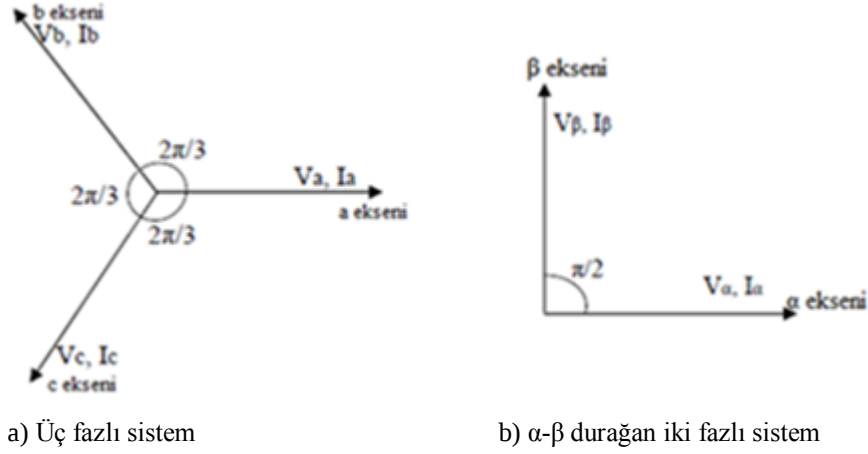
1. Zaman Domeni Teknikleri
2. Frekans Domeni Teknikleri, şeklinde ikiye ayrılır.

4.3.1. Zaman Domeni Kontrol Teknikleri

Zaman domenindeki kontrol yöntemi, harmonikli ve güç katsayısı düzgün olmayan gerilim veya akım sinyallerinden anlık olarak, kompanzasyon için gerekli olan akım veya gerilimin elde edilmesi prensibine dayanır [24]. Zaman domeninde; anlık reaktif güç teorisi, senkron referans yapı tabanlı algoritma, senkron denetim algoritması kontrol teknikleri geliştirilmiştir.

Anlık reaktif güç teorisi, Akagi tarafından 1983 yılında ileri sürülmüştür. Bu teoride reaktif güç, üç fazlı sistemdeki gerilimler ve akımlar anlık olarak ölçülüp bu ölçümlere göre hesaplanır. Anlık reaktif güç teorisini uygulamak için, öncelikle Clarke dönüşümü olarak bilinen α - β dönüşümü yapılarak üç fazlı akımlar ve gerilimler iki fazlı durağan yapıya çevrilir. Şekil 4.9'da verildiği gibi a,b,c koordinatlarındaki üç fazlı akım ve gerilim değerlerinin anlık uzay vektörleriyle gösterimi ve bu akım ve gerilimlerin α - β durağan yapıdaki karşılıkları görülmektedir. Görüldüğü gibi aynı düzlem üzerinde üç fazlı sistemdeki akım ve gerilimler 120° faz açılarıyla yerleştirilmiştir. Anlık uzay vektörleri V_a ve I_a "a" eksenini üzerindedir ve büyüklükleri zamana bağlı olarak (+,-) şeklinde değişir. Aynı şekilde V_b ve I_b "b" ekseninde, V_c ve I_c "c" eksenini üzerindedir[25].

Senkron denetim algoritması anlık reaktif güç teorisine benzemekle birlikte gerilimdeki harmonikler bu yöntemin en büyük sakıncasıdır. Senkron referans yapı tabanlı algorithmada akım ve gerilim sinyalleri senkron dönen yapıya dönüştürülür. Bu durumda temel frekanstaki büyüklükler DA büyüklük haline gelirler ve diğer harmonik bileşenler ise AA bileşen şeklinde olurlar. Harmonik kompanzasyonu için lazım lazım olan komutlar AA bileşenlerden elde edilirler [15].



Şekil 4.9. Üç fazlı sistemden iki fazlı durağan sisteme dönüşüm

Zaman domenî tekniğinin frekans domenine göre avantajı sistemden çekilen güçteki değişimlere karşı cevap hızının oldukça yüksek olmasıdır. Bununla birlikte uygulaması ve hesaplamaları frekans domenine göre kolaydır. Zaman domenî tekniğinin hızlı cevap kabiliyeti ve harmonik kompanzasyonun iyi olması, 1990’lardan sonra yarı iletken güç anahtarlarının hızlı gelişimi zaman domenî tekniğinin frekans domenî tekniğine göre çok daha fazla kullanılmasına sebep olmuştur[26].

4.3.2. Frekans Domenî Kontrol Teknikleri

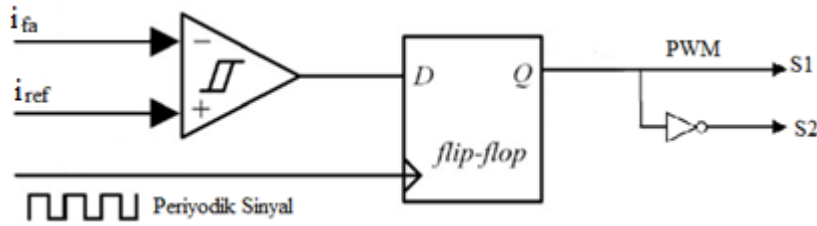
Frekans domenî kontrol tekniğinden olan hızlı Fourier dönüşüm kullanılarak yük akımı frekans bileşenlerine ayrılır ve yük akımının temel frekanstaki bileşeni çıkartılabilir. Daha sonra ters Fourier dönüşümü kullanılarak referans kompanzasyon akımı elde edilir [27]. Fourier tekniği karmaşık matematiksel işlemler içermesinden dolayı referans kompanzasyon akımını hesaplamada zaman gecikmesine sebep olmaktadır. Sinüs çarpım tekniği bir faz paralel aktif güç filtrelerinin referans kompanzasyon akımlarını belirlemede yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. AA kaynak geriliminin ideal sinüsoidal olmadığı sistemlerinde sinüs çarpım tekniği referans sinüsoidal eğriyi kaynaktan elde ettiği için elde edilen sonuçlar yanlış olmaktadır[24]. Bundan dolayı kaynak gerilimi saf sinüsoidal kaynak gerilimi haline getirebilmek için PLL devreleri kullanılabilir[8].

4.4. Akım Kontrol Teknikleri

Akım kontrolü inverter için lazım olan PWM sinyallerinin üretilmesinde hız ve doğruluk açısından önem arz etmektedir. İyi bir gerilim regülasyonu ve harmonikli akım kompanzasyonu yapılabilmesi için akım kontrol tekniği sistemin çalışmasına uygun seçilmelidir.

4.4.1. Periyodik Örneklem Akım Kontrol Tekniği

Periyodik örneklem yönteminde, filtrenin referans akımı ile gerçek çıkış akımı karşılaştırılır ve karşılaştırıcının çıkışı D-tipi flip-flop'a uygulanır. D-tipi flip-flop'un örneklem girişine sabit frekanslı ve genlikli bir kare sinyal uygulanır. Kare sinyalin geçiş anlarında güç devresi için lazım olan darbe genişlik modülasyonu (PWM) sinyalleri üretilir. Periyodik örneklem yönteminin diğer yöntemlere göre en önemli üstünlüğü anahtarlar arası geçiş zamanı kısadır[8]. Şekil 4.10'de periyodik örneklem blok diyagramı verilmiştir.

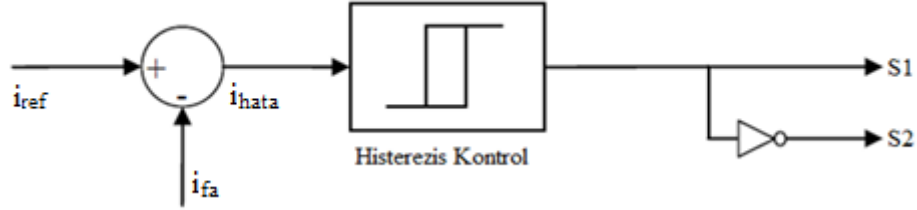


Şekil 4.10. Periyodik örneklem blok diyagramı

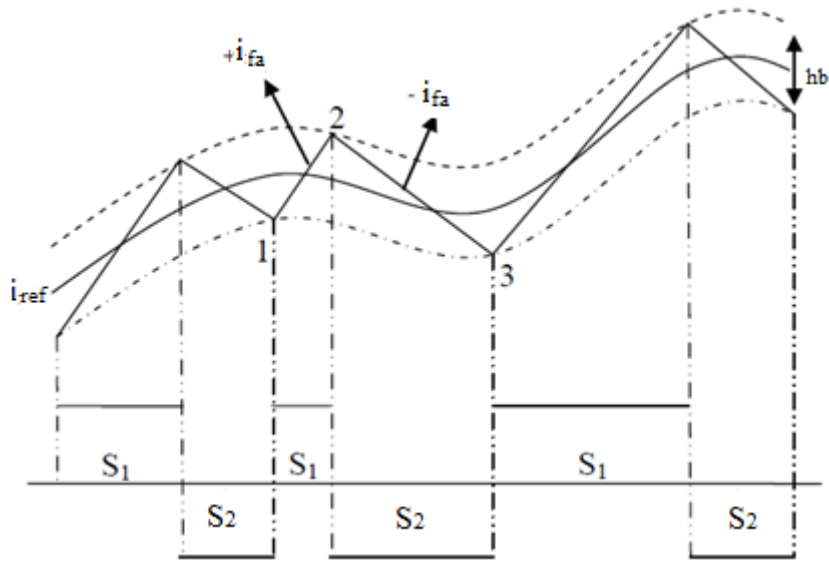
4.4.2. Histerezis Bant Akım Kontrol Tekniği

Histerezis bant akım kontrolünün blok diyagramı ve prensip şeması Şekil 4.11 ve 4.12'de verilmiştir. AGF'nin güç devresi çıkışındaki akımı kontrol etmek için filtre çıkış akımı ile üretilen referans akımlar kıyaslanır. Bu kıyaslama ile elde edilen hata sinyali histerezis denetleyiciye uygulanarak lazım olan anahtarlama sinyalleri üretilir. Her fazın histerezis denetleyicisi o faza ait akım hatasını belirli bir aralık içinde tutacak şekilde anahtarlama sinyalleri üretir. Üretilen hata sinyali histerezis bandın üst sınırına geldiğinde S₁ anahtarı iletime geçerek akımın düşmesini sağlar, hata sinyali histerezis bandın alt sınırına geldiğinde ise S₂ anahtarı iletime geçerek akımın artması sağlar. Bu işlem de referans akımı

değişse bile hata sinyali histerezis bant sınırları arasında tutulduğu için çıkış akımının referans sinyali takip etmeye devam eder [15].



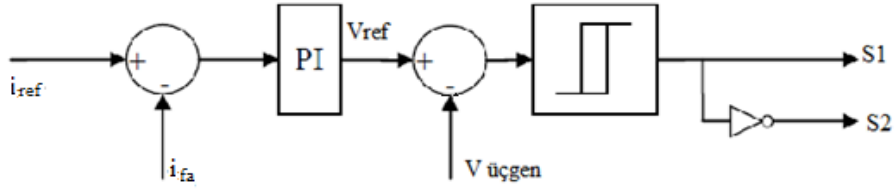
Şekil 4.11. Histerezis bant akım kontrolü blok diyagramı



Şekil 4.12. Histerezis bant akım kontrolü prensip şeması

4.4.3. Lineer Akım Kontrol Tekniği

Lineer akım kontrolü hata sinyalinin PI kontrolör çıkışında oluşturduğu referans sinyalin üçgen modülasyon sinyali ile karşılaştırılması ve güç devresi anahtarlama sinyallerinin üretmesi ile gerçekleştirilir[28]. Şekil 4.13'te lineer kontrolünün prensip şeması verilmektedir.



Şekil 4.13. Lineer kontrol blok diyagram

Paralel aktif güç filtresinin kontrol yöntemi tarafından üretilen referans akım filtre çıkışındaki akımdan çıkartılarak hata akım elde edilir. PI kontrolörden yararlanılarak referans gerilim sinyali V_{ref} üretilir. Anahtarlama sinyallerini üretmek için bu gerilim sinyali taşıyıcı olarak adlandırılan üçgen dalga şekline sahip sinyalle karşılaştırılır. V_{ref} gerilim sinyalinin üçgen sinyalden büyük olduğu noktalarda S_1 anahtarı, küçük olduğu noktalarda ise S_2 anahtarı iletme geçer [25].

5. BİR FAZLI PARALEL AKTİF GÜÇ FİLTRESİ VE BİR FAZLI ASENKRON MOTORUN ANALİZİ

5.1. Giriş

Bir fazlı asenkron motorun reaktif güç kompanzasyonu için öncelikle bir fazlı paralel aktif güç filtresinin analizinin iyi yapılması gerekir. Bu hedefle ilk önce aktif filtrenin analizi, sonrasında ise Matlab/Simulink paket programında yapılan paralel aktif güç filtresi ile bir fazlı asenkron motorun reaktif güç kompanzasyonu verilecektir.

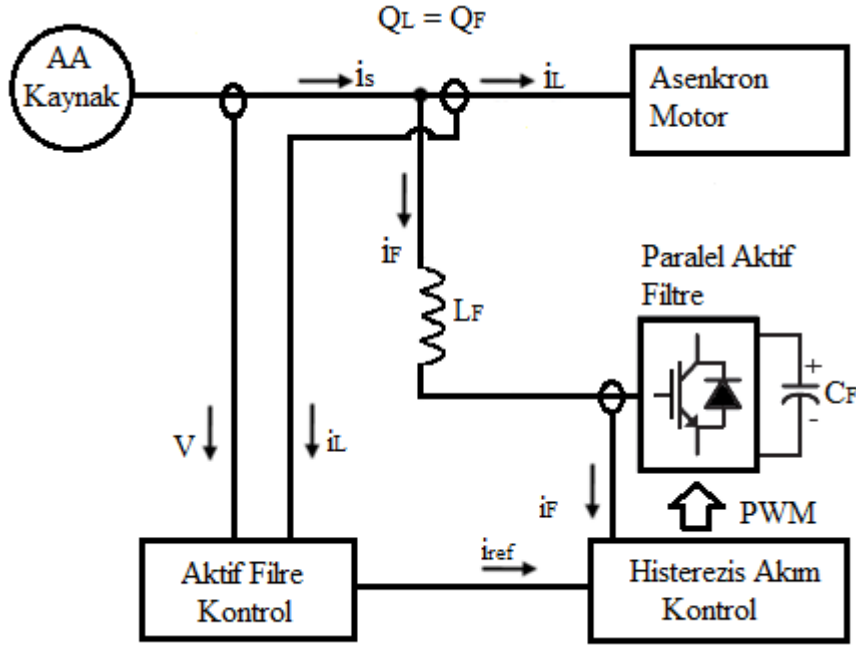
5.2. Bir Fazlı Paralel Aktif Güç Filtresi

Reaktif güç kompanzasyonunda, literatürde en çok kullanılan yöntem gerilim beslemeli paralel aktif güç filtresidir. Çünkü paralel aktif güç filtre ile reaktif güç kompanzasyonu ve harmonikli akım filtreleme çok başarılı bir şekilde yapılabilmektedir[15].

Bu tez çalışmasında bir fazlı paralel aktif güç filtresinin, referans akım çıkartımı için sinüs çarpım tekniği, akım kontrolü için ise histerezis akım kontrol tekniği kullanılmıştır. Güç devresinde ise tam köprü inverter kullanılmıştır. Şekil 5.1’de bir fazlı paralel aktif güç filtresi ile bir fazlı asenkron motorun reaktif güç kompanzasyonu prensip devresi verilmektedir.

Paralel aktif güç filtresi Şekil 5.1’de verildiği gibi bir bobin L_f üzerinden kaynağa bağlanmıştır. Doğru akım tarafında enerji depolamak için bir doğru akım kondansatörü C_f kullanılmıştır. İnverterin AA tarafında kullanılan hat bobininin görevi, filtre tarafından oluşturulan anahtarlama anında meydana gelen parazitleri engellemektedir[8].

Paralel aktif güç filtresinin çalışma prensibi temel olarak, kaynak akımı ile gerilimi arasındaki açının sıfır olmasını sağlamak için asenkron motor tarafından meydana getirilen reaktif güce zıt yönde ve eşit genlikte bileşenler üreten kaynak olarak düşünülebilir. Kondansatör ve bobin değerleri sistemin verdiği tepkiyi etkilediğinden, seçilmesi sırasında dikkat edilmelidir.



Şekil 5.1. Bir fazlı paralel aktif güç filtresinin ASM'ye bağlantı şeması

5.2.1. Aktif filtre kontrol tekniği (Sinüs çarpım tekniği ile referans akım bulma)

Bu tez çalışmasında referans akım bulmak için frekans bölgesinde sinüs çarpım tekniği kullanılmıştır (Bu teknik ile ilgili blok, şekil kirliliği oluşturmamak için sadece Şek 6.3' de verilmiştir). Literatürde bir fazlı paralel aktif güç filtrelerinin referans kompanzasyon akımını belirlemek için yoğun olarak kullanılan bir tekniktir. Kaynak geriliminin ideal olduğu kabul edilirse denk. 5.1'de ki gibi gösterilir.

$$V_{(t)} = V_m \sin wt \quad (5.1)$$

Bir fazlı asenkron motorun kaynaktan çektiği akımın ani değeri denk.5.2'deki gibi ifade edilir.

$$i_{L(t)} = \sum_{n=1}^{\infty} i_n \sin(n. wt - \theta_n) \quad (5.2)$$

Kaynak geriliminden elde edilen birim sinüs sinyali denk. 5.3'deki gibi ifade edilir.

$$u_{(t)} = \sin(wt) \quad (5.3)$$

Kaynaktan çekilen akımın ani değeri denk. 5.4'deki gibi ifade edilir.

$$i_{s(t)} = \frac{1}{T} \int_0^T [i_{L_1} \sin(wt + \theta_1) + \sum_{n=2}^{\infty} i_n \sin(nwt + \theta_n)] \sin(wt) dt$$

$$i_{s(t)} = i_{L_1} \cdot \cos \theta_1 \quad (5.4)$$

Aşağıdaki denk.5.5 ve denk.5.6 ‘da referans alınan kaynak ve filtre akımlarının ani değerleri hesaplanır.

$$i_{L(t)} = \sqrt{2}i_{L1} \cdot \cos \theta_1 \cdot \sin(wt) \quad (5.5)$$

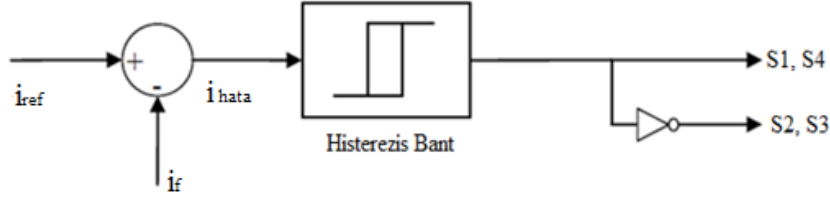
$$i_{F(t)} = i_{S(t)} - i_{L(t)} \quad (5.6)$$

5.2.2. Histerezis bant akım kontrol tekniğinin ayrıntılı analizi

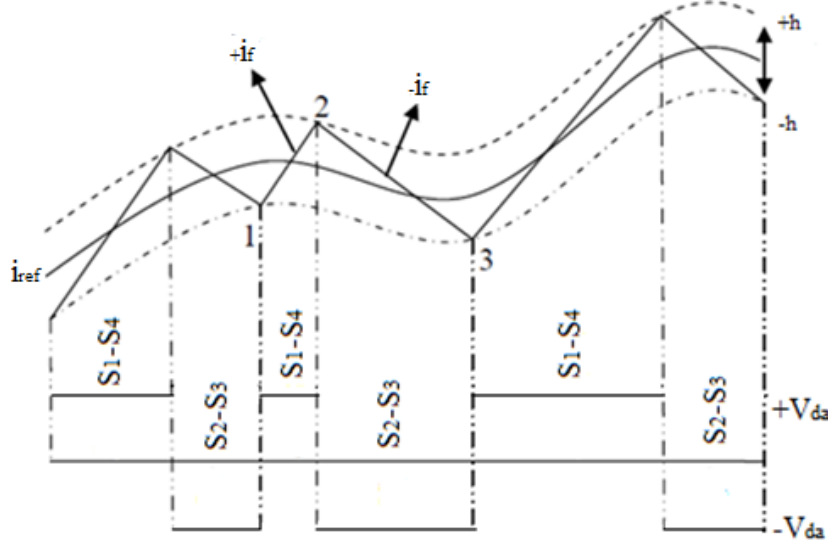
Histerezis bant akım kontrol tekniğinde, referans akım ile gerçek akım karşılaştırılır ve elde edilen akım hatasına göre inverter için kapı işaretleri üretilir. Bu hata değerine göre bir karşılaştırmacı yardımıyla akımın belirli değerler aralığında kalması sağlanmaktadır. Akım hatasının değeri, belirlenen bant genişliği h olmak üzere, $+h/2$ ve $-h/2$ alt ve üst sınırları ile karşılaştırılır. İnverter anahtarlarına ait kapı işaretleri, bu karşılaştırma verilerinden yararlanarak üretilir[2]

Şekil 5.2 ve Şekil 5.3 ‘de histerezis akım denetleyicisinin blok diyagramı ve çalışma prensibi verilmektedir. Referans akımı i_{ref} ile inverter tarafından üretilen akım i_f arasındaki fark olan hata sinyali inverterin anahtarlarını kontrol etmede kullanılır. Şekil 5.3’de görüleceği gibi filtre akımı histerezis bandın üst sınırına ($+h$) ulaştığında S_2 çıkışı 1 olmakta ve devreye $+V_{da}$ gerilimini vermektedir. Filtre akımı histerezis bandın alt sınırına ($-h$) geldiğinde ise S_1 çıkışı 1 olmakta ve devreye $-V_{da}$ gerilimi bağlantı indüktansı üzerinden devreye verilmektedir. Bu şekilde filtre akımı histerezis bandın bant aralığına bağlı olarak üretilen referans akımı takip etmektedir.

Histerezis akım denetleyicisinin en büyük dezavantajı anahtarlama frekansının sabit olmaması ve referans akıma göre sürekli değişken olmasıdır.



Şekil 5.2. Histeresis bant akım kontrolü blok diyagramı

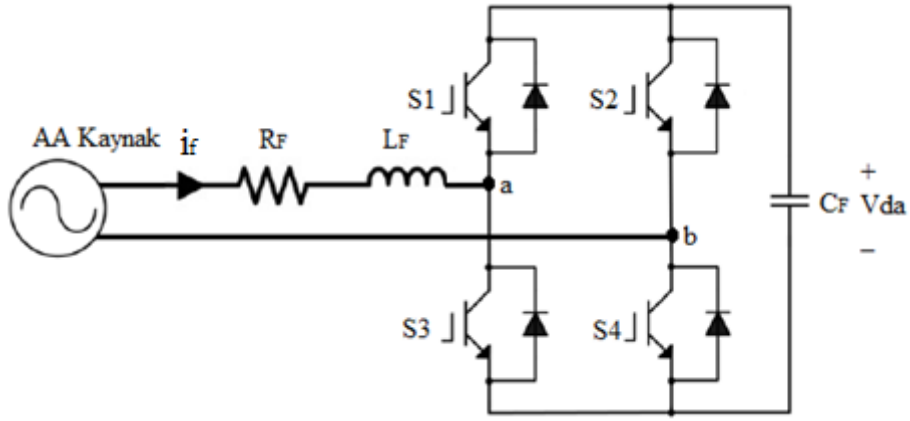


Şekil 5.3. Histeresis bant akım kontrolü prensip şeması

5.2.3. Paralel Aktif Güç Filtresinin Çalışması

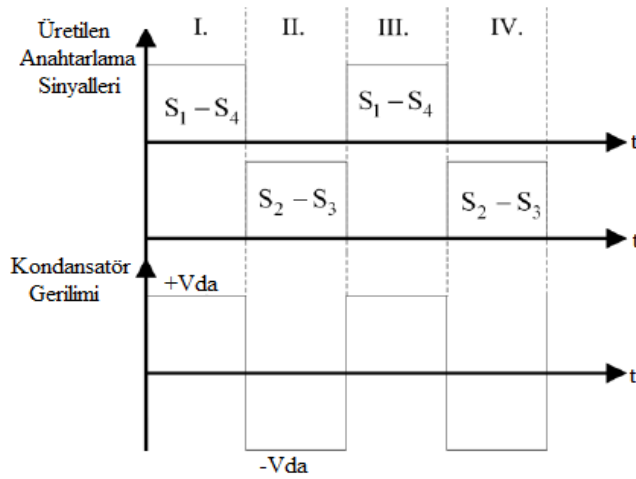
Aktif güç filtresi tam köprü tipi inverter ve enerji depolama elemanı olan kondansatörden meydana gelmektedir. İnverter dört adet yarı iletken anahtar ve diyot içerdiğinden akımı çeken doğrultucu olarak veya harmonik kompanzasyon için akım sağlayan inverter olarak da çalıştırılabilir. Girişindeki AA gerilimini, çıkışında bulunan kondansatör üzerine DA'a çeviren PAGF'nin çalışması yükseltici tip kısıyıcı ile benzerlik gösterir [29].

Şekil 5.4'de bir fazlı gerilim kaynaklı paralel aktif güç filtresi verilmektedir. Kondansatör ve indüktans değerleri AGF'nin verdiği tepkiyi etkilediğinden, seçilmesi sırasında dikkatli olunması gerekir. Bu çalışmada devrenin analiz gerçekleştirilirken bipolar çalışma modu kullanılmıştır. Bu modda a ve b düğümleri arasındaki gerilimin polaritesi her anahtarlama periyodunda değişir [30].



Şekil 5.4. Bir fazlı gerilim kaynaklı paralel aktif güç filtresi

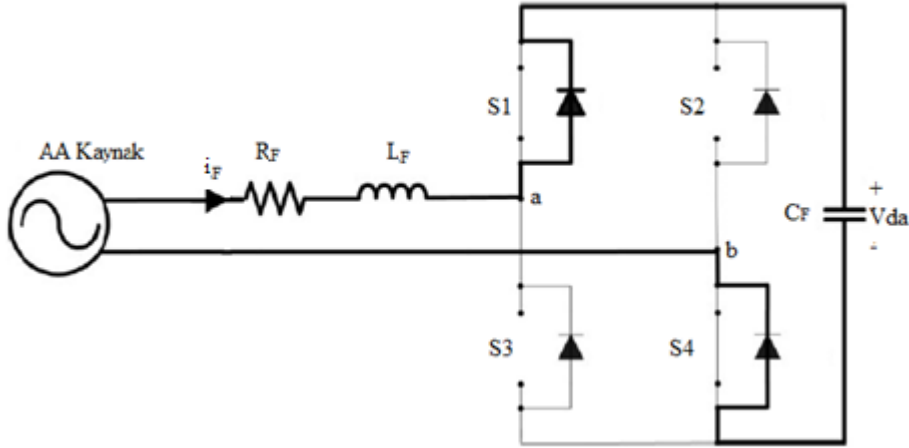
Şekil 5.5’de gösterilen gerilim kaynaklı PAGF’nin çalışmasında dört durum meydana gelmektedir. Bu durumlardan ilki AA kaynağın $0-90^\circ$ lik açısında meydana gelen birinci (I) durum. $90^\circ-180^\circ$ lik açıda meydana gelen ikinci (II) durum. $180^\circ-270^\circ$ lik açılar arasında meydana gelen üçüncü durum. $270^\circ-360^\circ$ lik açılarda meydana gelen dördüncü (IV) durumdan oluşmaktadır.



Şekil 5.5. Anahtarlama sinyalleri CF kondansatör gerilimleri

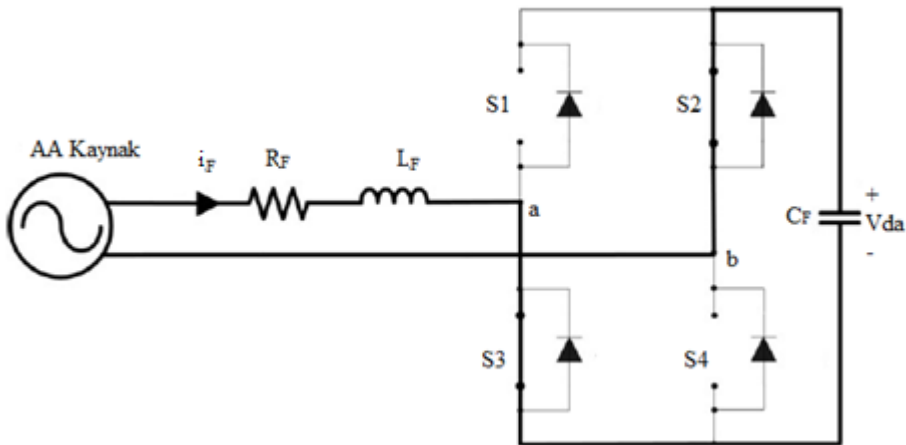
Bu dört durum için PAGF’nin i_f akımının durumunu gösteren devre şekilleri Şekil 5.6, 5.7, 5.8, ve 5.9’da verilmiştir. Bu şekillerde akım dolaşımları ve anahtarların aktif/pasif durumları ayrı-ayrı detaylandırılmıştır.

I. durum: Kaynak gerilimi pozitif yarı bölgedeyken ($0-90^\circ$), S_1 ve S_4 anahtarlarının iletimde, S_2 ve S_3 anahtarlarının ise kesimde olduğunda meydana gelir. S_1 ve S_4 anahtarlarının konumu sistemin çalışmasını etkilemez çünkü akım, anahtarların diyotu üzerinden yol bulur. Kondansatör D_1 ve D_2 diyotu üzerinden şarj olur. Bu durum Şekil 5.6' de gösterilmiştir.



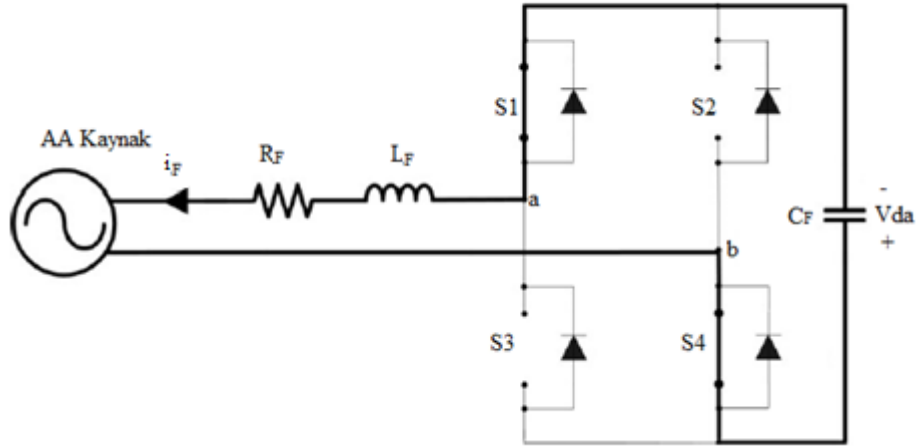
Şekil 5.6. I. bölgede paralel aktif güç filtresi eşdeğer devresi

II. Durum: Kaynak gerilimi pozitif yarı bölgedeyken ($90^\circ-180^\circ$), S_2 ve S_3 anahtarlarının iletimde, S_1 ve S_4 anahtarlarının ise kesimde olduğunda meydana gelir. Kaynak akımı S_2 ve S_3 anahtarları üzerinden filtre kondansatörünü deşarj eder. Bu durum Şekil 5.7'da gösterilmiştir.



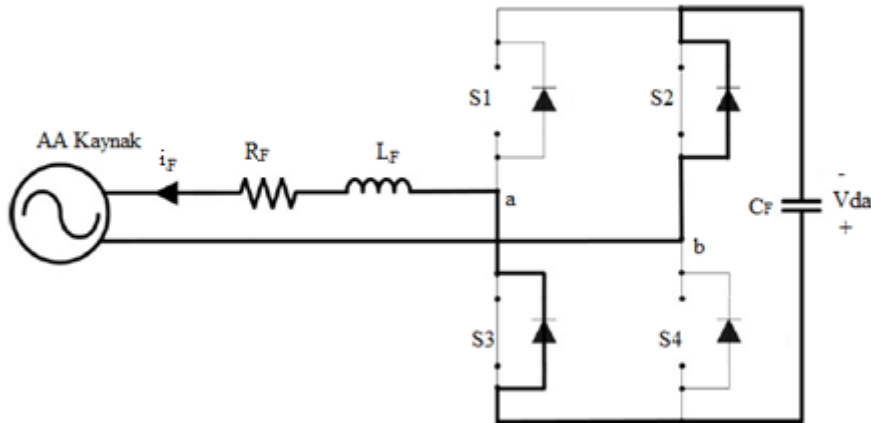
Şekil 5.7. II. bölgede paralel aktif güç filtresi eşdeğer devresi

III. Durum: Kaynak gerilimi negatif yarı bölgedeyken (180° - 270°), S_1 ve S_4 anahtarlarının iletimde, S_2 ve S_3 anahtarlarının ise kesimde olduğunda meydana gelir. Kaynak akımı S_1 ve S_4 anahtarları üzerinden geçerek filtre kondansatörünü şarj eder. Bu durum Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. III. bölgede paralel aktif güç filtresi eşdeğer devresi

IV. Durum: Kaynak gerilimi negatif yarı bölgedeyken (270° - 360°), S_1 ve S_4 anahtarlarının kesimde, S_2 ve S_3 anahtarlarının ise iletimde olduğunda meydana gelir. S_2 ve S_3 anahtarlarının konumu sistemin çalışmasını etkilemez çünkü akım anahtara paralel durumdaki diyotlar üzerinden akar. Kondansatör D_2 ve D_3 diyotu üzerinden deşarj olur. Bu durum Şekil 5.9’de gösterilmiştir.



Şekil 5.9. IV. bölgede paralel aktif güç filtresi eşdeğer devresi

Paralel aktif güç filtresinin durum uzay modelini çıkarmak için, anahtarlara 1 sinyalinin uygulandığı durum Γ ve anahtarlara 0 sinyalinin uygulandığı durum $\bar{\Gamma}$ olarak adlandırılmıştır. Anahtarlama değişkeni β , denk. 5.7'deki gibi ifade edilir.

$$\beta = \Gamma - \bar{\Gamma} \quad (5.7)$$

Şekil 5.4'de gösterilen paralel aktif güç filtresine Kirchhoff'un gerilimler kanunu kullanılarak filtrenin gerilim denklemi ve kondansatör akımı denk. 5.8 ve 5.9'daki gibi gösterilir.

$$v_{s(t)} = v_{R_F(t)} + v_{L_F(t)} + v_{ab(t)} \quad (5.8)$$

$$i_{F(t)} = c_F \frac{dv_{da(t)}}{dt} \quad (5.9)$$

Denk. 5.7'de ifade edilen anahtarlama değişkeni β kullanılarak filtrenin gerilim denklemi ve kondansatör akımı sırasıyla denk. 5.10 ve denk. 5.11'deki gibi yazılır.

$$v_{s(t)} = i_{F(t)} \cdot R_F + L_F \frac{di_{F(t)}}{dt} + \beta \cdot v_{da(t)} \quad (5.10)$$

$$\beta \cdot i_{F(t)} = c_F \frac{dv_{da(t)}}{dt} \quad (5.11)$$

Burudan durum uzay denklemleri denk. 5.12, denk. 5.13 ve durum uzay modeli denk. 5.14'deki gibi hesaplanır[8].

$$\frac{di_{F(t)}}{dt} = -\frac{R_F}{L_F} i_{F(t)} + \frac{1}{L_F} (v_{s(t)} - \beta v_{da(t)}) \quad (5.12)$$

$$\frac{dv_{da(t)}}{dt} = \frac{1}{c_F} \beta i_{F(t)} \quad (5.13)$$

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{F(t)} \\ v_{da(t)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_F}{L_F} & -\frac{\beta}{L_F} \\ \frac{\beta}{c_F} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{F(t)} \\ v_{da(t)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_F} \\ 0 \end{bmatrix} v_{s(t)} \quad (5.14)$$

5.3. Bir Fazlı Asenkron Motorun Analizi

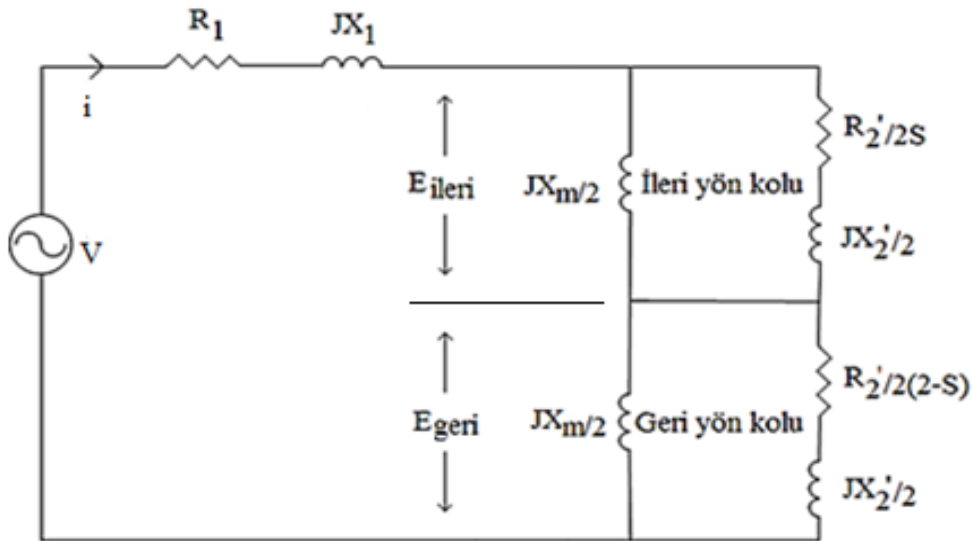
Bir fazlı asenkron motorlar sanayide ve elektrikli ev cihazlarında yaygın olarak kullan motor çeşitlerindendir. Yapılarının basit, sürücü devreye ihtiyaç duymadan sürülebilme, bir fazla çalışma ve az bakıma ihtiyaç duyma gibi özellikleri, bir fazlı asenkron motorların diğer özel motorlara göre üstünlükleridir.

Bir fazlı asenkron motorlar literatürde indüksiyon motorları olaraktan da adlandırılırlar. İndüksiyon motorları kaynaktan, aktif gücün yanında döner alanın meydana

gelebilmesi için reaktif güçte çekerler. Bu reaktif güç, bir fazlı asenkron motorların kullanım alanları dikkate alındığında, toplamda çok büyük değerlere ulaşmaktadır. Büyük değerlerdeki reaktif güçler şebeke kalitesini düşürmekte ve diğer yüklere zarar vermektedir. Bundan dolayı bir fazlı asenkron motorlarda reaktif güç kompanzasyonu zorunluluk haline gelmektedir.

5.3.1. Bir Fazlı Asenkron Motorun Eşdeğer Devresi

Bir fazlı asenkron motorlar iki ana parçadan meydana gelmektedirler. Bunlar döner manyetik alanın oluştuğu kısım stator, dönen kısım ise rotordur. Stator bir AC kaynak tarafından beslenmektedir ve iki sargıdan meydana gelmektedir. Bunlar ana ve yardımcı sargı olarak adlandırılmaktadırlar.



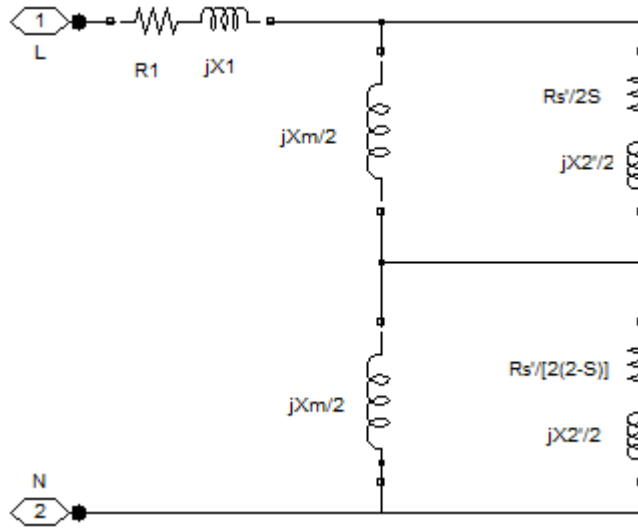
Şekil 5.10. Bir fazlı asenkron motorun tam eşdeğer devresi

Bir fazlı asenkron motorun elektriksel eş değeri Şekil 5.10 'da verilmiştir. Elektriksel devrede stator tarafını R_1 stator direncini, X_1 kaçak reaktansı temsil etmektedir. İleri yön kolu ise stator genliğinin yarısı kadar bir genliğe sahip ileri yönlü döner manyetik alanı temsil etmektedir ve senkron hızda dönmektedir.

Geri yön kolu ise yine senkron hızda ama senkron hıza ters yönde dönen manyetik alanı temsil etmektedir. Genliği ise stator besleme geriliminin yarısı kadardır. İleri ve geri yön kolları rotor kısa devre çubuklarında akım indüklenmesini sağlayarak indüksiyon olayı gerçekleştirirler.

Tez çalışmasında bir fazlı paralel aktif güç filtresi ile bir fazlı asenkron motorun reaktif güç kompanzasyonu Şekil 6.1’de verildiği gibi genel olarak beş bloktan oluşmaktadır. Bu bloklar; AA kaynak, bir fazlı asenkron motor, referans akım bulma, histerezis akım kontrol ve bir fazlı paralel aktif güç filtresidir.

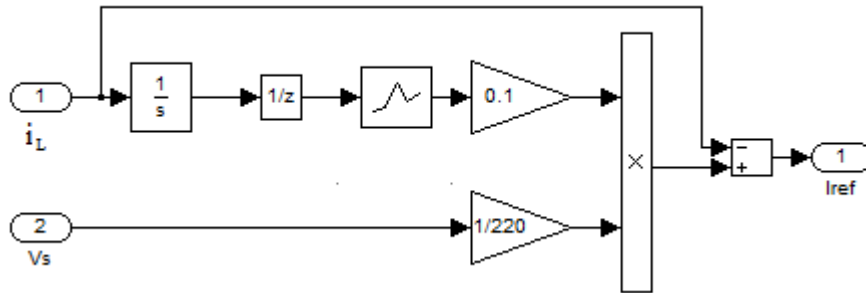
Simülasyonda bir fazlı asenkron motor olarak bir fazlı asenkron motorun elektriksel eşdeğer devresi ve Matlab/Simulink programında hazır blok olarak bulunan bir fazlı asenkron motor kullanılmıştır. Şekil 6.2’ de bir fazlı asenkron motora ait eş değer devre verilmiştir.



Şekil 6.2. Bir fazlı asenkron motorun elektriksel eşdeğer devresi

Asenkron motorun AA kaynaktan çektiği reaktif güce eşit büyüklükte ve zıt yönde bir reaktif güç üretebilmek için öncelikle yapılması gereken aktif filtrenin kontrolünde kullanılacak referans akımın üretilmesidir.

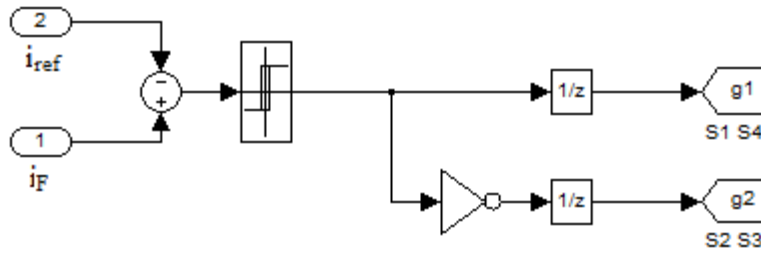
Bu tez çalışmasında referans akım üretmek için frekans bölgesinde sinüs çarpım tekniği kullanılmıştır. Şekil 6.3’de referans akım üretmek için kullanılan blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 6.3. Referans akım üretmek için kullanılan sinüs çarpım diyagramı

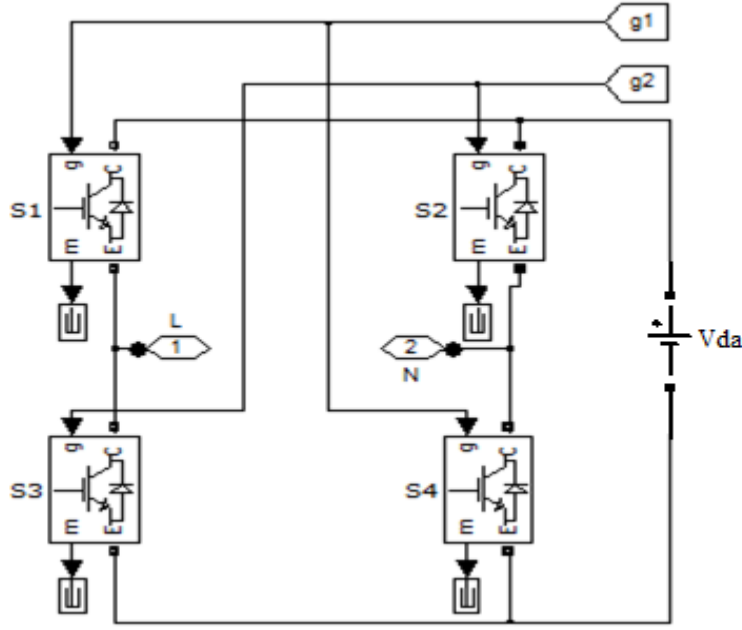
Referans akım üretildikten sonra yapılması gereken paralel aktif güç filtresinin AA kaynaktan çektiği akımın referans akımı uyumlu bir şekilde takip etmesi söz konusudur. Bu tez çalışmasında bir fazlı paralel aktif filtrenin akımını kontrol edebilmek için histerezis bant akım kontrol tekniği kullanılmıştır. Bu kontrol tekniğinde amaç filtre akımını belirlenen bir bant aralığında referans akımı takip etmesidir.

Bu zamana kadar yapılan çalışmalarda histerezis akım kontrol tekniği reaktif güç kompanzasyonunda en çok uygulana gelen teknik olmuştur. Şekil 6.4’de histerezis akım kontrol tekniğinin blok şeması verilmiştir.



Şekil 6.4. Histerezis akım kontrol tekniği blok diyagramı

Histerezis akım kontrolle üretilen PWM sinyalleri bir fazlı paralel aktif filtrenin kullanılan anahtarların H-tipi inverter bünyesindeki anahtarların (IGBT) kontrol uçlarını (S1,S2,S3,S4) tetikler. Bu tetikleme sinyalleri frekansı bant genişliğinin büyüklüğüne bağlıdır. Bant daraldıkça frekansta artmaktadır. Şekil 6.5’de H-tipi inverter ve filtre DA kaynağı verilmiştir. Verilen şekilde gösterilmiş olan DC kaynağın yerine literatürde gerilimi kontrol edilebilen kondansatörler kullanılmaktadır. Kondansatörün gerilim kontrolü ayrı bir algoritmaya ihtiyaç duyduğundan çalışmamızda kullanılmamıştır.



Şekil 6.5. Gerilim kaynaklı paralel aktif filtreye ait H tipi köprü inverter

H-tipi inverter anahtarlama elemanı olarak IGBT kullanılmıştır. İnverterin g_1 - g_2 uçlarına gelen tetikleme sinyalleri histerezis akım kontrol denetleyicisinden gelmektedir. IGBT'nin kontrol uçlarına gelen kapı sinyalleri terslenerek gelmektedir. Yani g_1 ucu çıkış verdiğinde S_1 , S_4 anahtarları devrede, g_2 ucu çıkış verdiğinde ise S_2 , S_3 anahtarları aktiftir.

Bir fazlı paralel aktif filtre ile AA kaynak arasında filtre indüktansı bulunmaktadır. Filtre indüktansı seçimi iyi bir akım kontrolü ve yüksek frekanslarda akımda meydana gelen dalgalanmaları minimize edebilmek açısından seçimi önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasında filtre indüktansı, en iyi kompanzasyon için deneme-yanılma yoluyla bulunmuştur.

6.2. Benzetim sonuçları (ASM elektriksel eşdeğer devre)

Benzetim çalışmasında sonuçlar elde edilirken üç farklı kayma değerlerinde sonuçlar elde edilmiştir. Asenkron motordaki farklı kayma değerleri, rotor devrinin yüklerle birlikte değişmesi anlamına gelmektedir. Farklı kayma değerlerinde çalıştırmadaki amaç; asenkron motorun farklı yükler altındaki çalışmalarındaki reaktif güç kompanzasyonunun uygulanabilirliğini gözlemleyebilmektir. Tablo 6.1'de Matlab/Simülink'te kullanılan asenkron motor ve paralel aktif filtre parametreleri verilmiştir.

Tablo 6.1. ASM elektriksel eşdeğer devresiyle yapılan benzetimdeki parametreler

Alternatif Akım Parametreleri

Kaynak gerilimi (rms), V_s	220V
Kaynak frekansı, f	50Hz

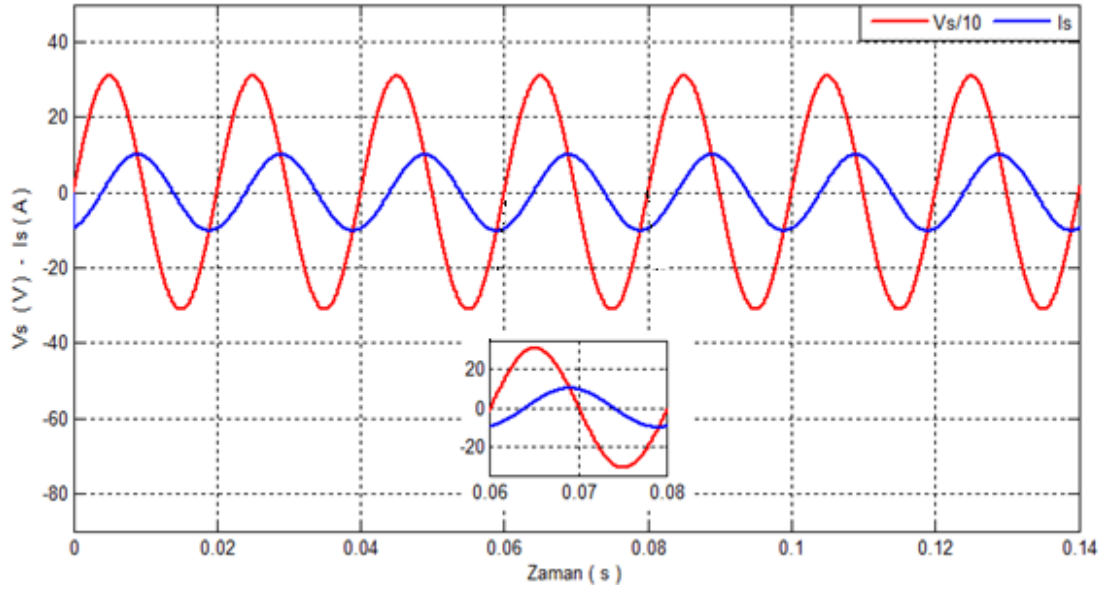
Bir Fazlı Paralel Aktif Güç Filtresi Parametreleri

Doğru akım tarafı kaynak derilimi V_{da}	450 V
Hat indüktansı, L_F	20mH
Histerezis bant aralığı, h	$\pm\%0.1$

Asenkron Motor Parametreleri

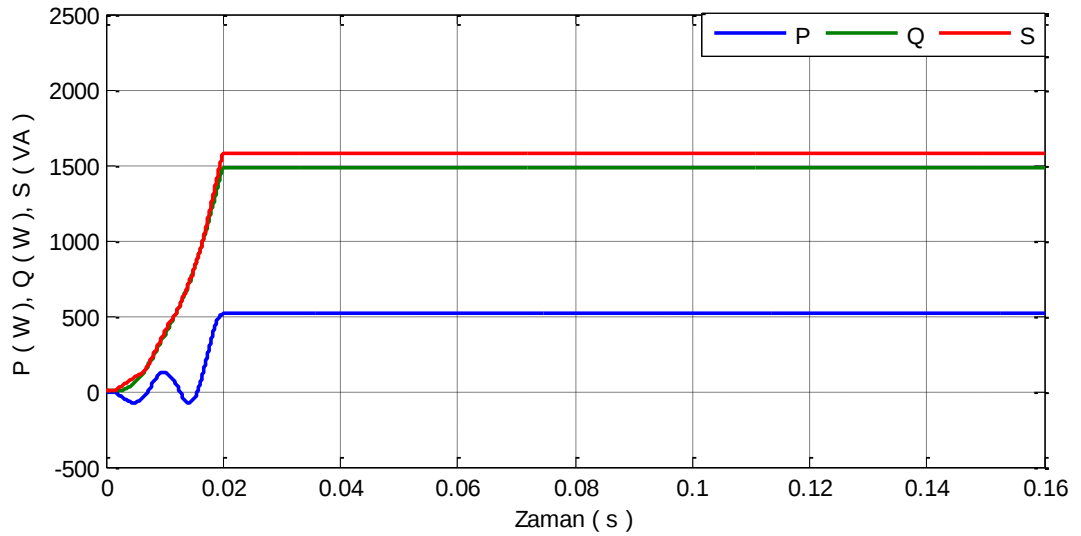
$R_1=2.02$	$L_2=5.6e-3$
$R_2=4.12$	$L_m=0.1772$
$L_1=7.4e-3$	$\%s = 0.15$
$2P = 4$	$n= 1275$ d/d
2.2kW	Kondansatör yol vermeli

Bir fazlı asenkron motor dengeli 220V (rms) genliğe sahip bir kaynak gerilimi ile beslenmektedir. Bu gerilimin saf sinüzoidal olması önemlidir, çünkü referans akım üretmek için kullanılan birim sinüs eğrisi kaynak geriliminden elde edilmektedir. AA kaynaktan bir fazlı asenkron motorun, paralel aktif filtre bağlı olmadığı durumdaki kaynaktan çektiği akım Şekil 6.6’ verilmiştir. Bu şekilde ayrıntılı olarak gösterildiği gibi asenkron motor boşta çalışırken kaynaktan çektiği akım gerilimden geride kalmaktadır. Diğer bir ifade ile bir fazlı asenkron motor AA kaynaktan aktif gücün yanında reaktif güçte çekmektedir.



Şekil 6.6. ASM boşa çalışırken kaynak gerilimi ve akımı

Bir fazlı asenkron motor boşa çalışırken %1-%2'lik bir kayma değerine sahiptir. Şekil 6.7' bir fazlı asenkron motorun AA kaynaktan çektiği aktif ve reaktif güç verilmektedir. Asenkron motor boşa çalışırken yaklaşık olarak aktif gücün üç katı reaktif güç çekmektedir. Motor yüklendikçe kayma değeri artmakta ve kaynaktan çekilen reaktif güç azalmaktadır.

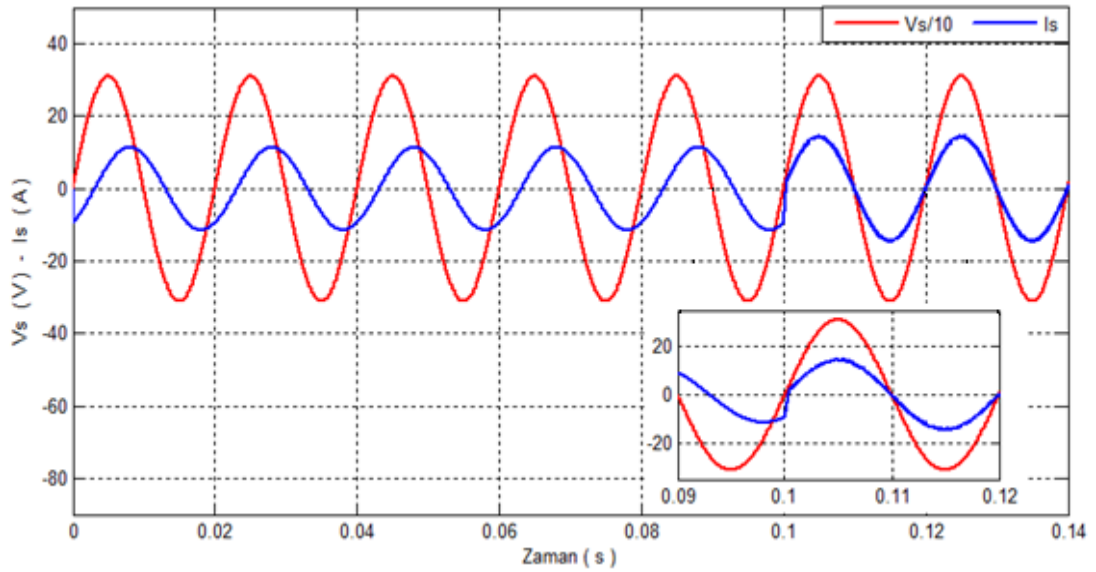


Şekil 6.7. ASM boşa çalışırken kaynaktan çekilen aktif, reaktif ve görünür güçler

AA kaynaktan çekilen bu indüktif özellikli reaktif gücün sıfıra yaklaştırılabilmesi için yapılması gereken reaktif gücü meydana getiren harmonikli akımla aynı büyüklükte fakat kapasitif özellikli reaktif güç kaynağa vermektir. Asenkron motorda yük değeri değiştikçe kaynaktan çekilen reaktif güç değeri de değişmektedir. Reaktif güçteki bu ani değişimlere pasif filtreler hızlı cevap veremezler. Bundan dolayı pasif filtreler ile yapılan kompanzasyonlar sınırlı sonuçlar üretmektedir. Bir fazlı paralel aktif filtre ile yapılan kompanzasyonlarda sonuçlar daha verimli ve değişimlere karşın çok daha duyarlı olmaktadır.

Bu tez çalışmasında sonuçlar elde edilirken üç farklı kayma değeri kullanılmıştır. Bu kayma değerleri, ne kadar değişken olsalar da aktif filtre hızlı bir şekilde cevap üretebildiği verilen sonuçlardan görülebilmektedir. Benzetimde asenkron motorun kayma değerleri %5, %10, %15 olarak önceden belirlenmiştir.

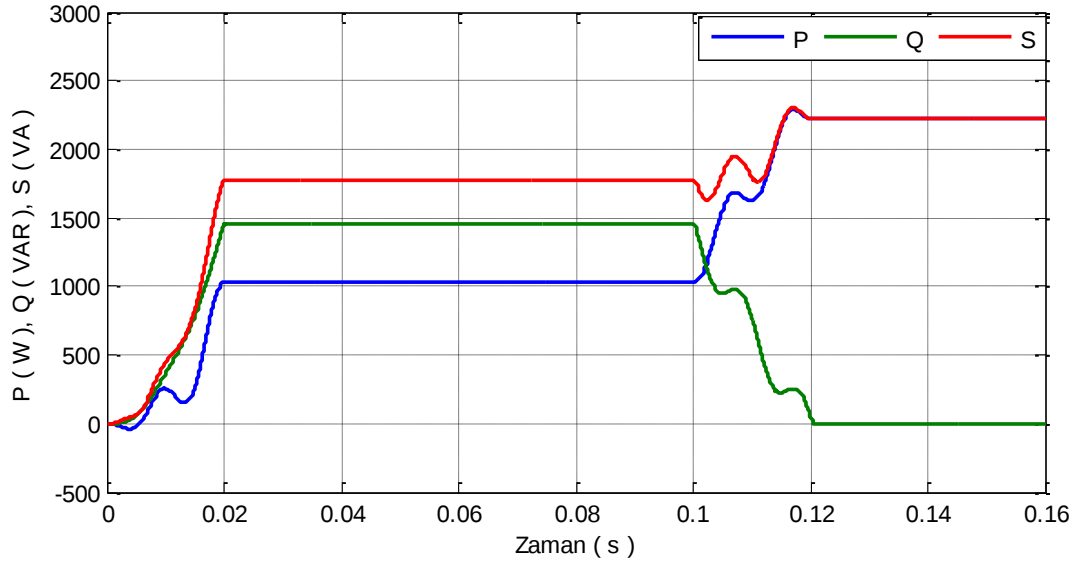
Bir fazlı asenkron motor %5'lik bir kayma ile çalışırken AA kaynak akımı ve kaynak gerilimi Şekil 6.8'deki gibi olmaktadır. Verilen şekilde 0 – 0.1 saniye aralığında aktif filtre kaynağa bağlı değildir. 0.1'ci saniyede aktif filtre devreye alınmaktadır.



Şekil 6.8. ASM %5 kayma ile çalışırken kaynak gerilimi ve akımı

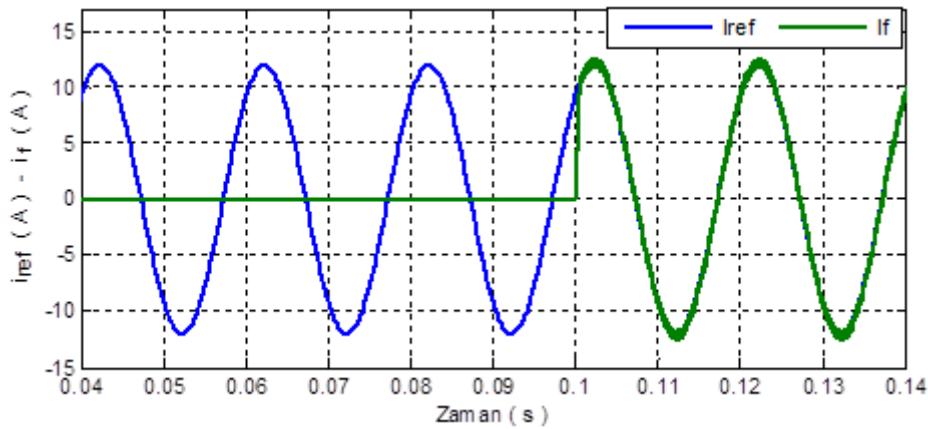
Bir fazlı paralel aktif filtre devreye alındıktan sonra akımla gerilim arasındaki faz farkı çok kısa bir zaman aralığında sıfır olmaktadır. Akımla gerilim arasındaki faz açısının sıfır olması çekilen reaktif gücün sıfır olması anlamına gelmektedir. Şekil 6.9'da verildiği gibi bir fazlı asenkron motor %5 kayma ile çalışırken 0.1'ci saniyede paralel aktif filtre

devreye alınmış ve çekilen reaktif güç 1480VAR civarlarında iken 0.02 saniyelik bir tepki süresinden sonra sıfır seviyelerine düşmektedir. Aktif güç ise 1030W'tan yaklaşık 2230W değerine çıkmaktadır.



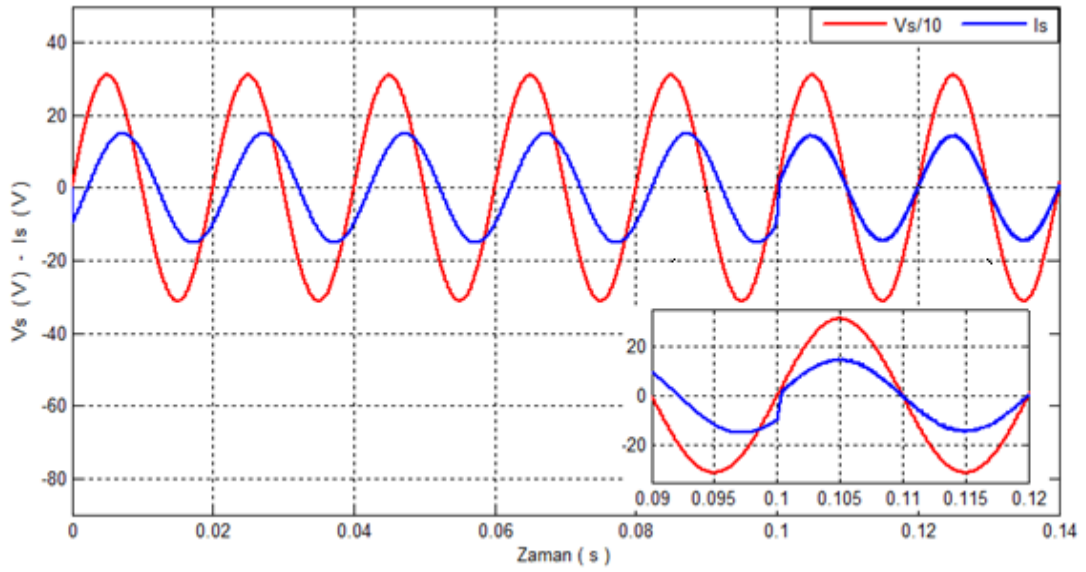
Şekil 6.9. ASM %5 kayma ile çalışırken kaynaktan çekilen aktif, reaktif ve görünür güçler

Asenkron motor %5 kayma ile çalışırken kompanzasyon için lazım olan referans ve filtre akımları Şekil 6.10'da verilmiştir. 0.1'ci saniyede aktif filtre devreye alınınca filtre akımı üretilen referans akımın üzerine binmekte ve önceden belirlenen histerezis bant aralığında referans akımı takip etmektedir.



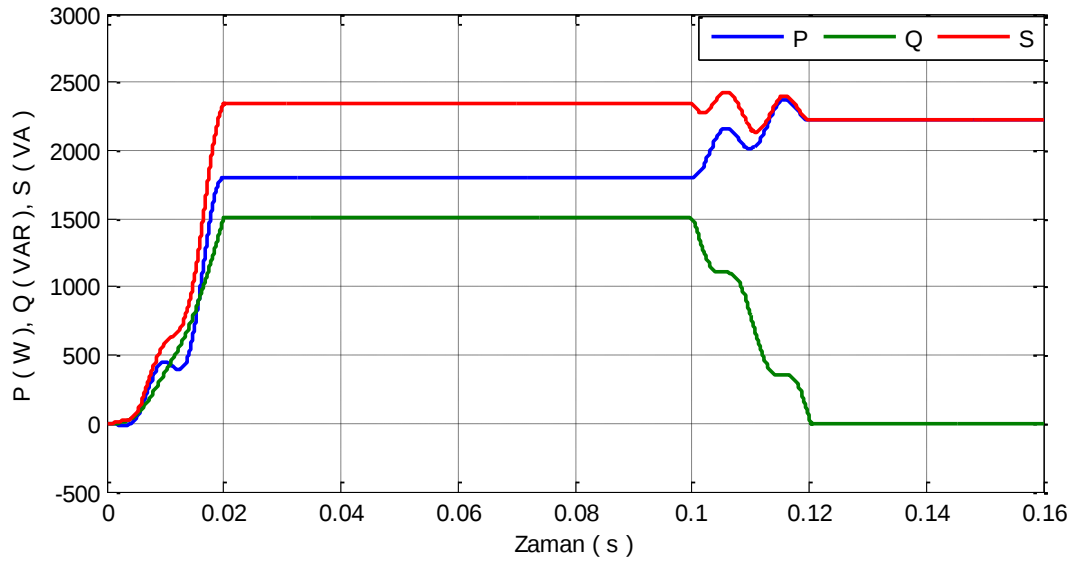
Şekil 6.10. ASM %5 kayma ile çalışırken referans ve filtre akımları

Bir fazlı asenkron motor %10 kayma ile çalışırken 0.1’ci saniyede aktif güç filtresi devreye alındığında kaynaktan çekilen akım ve kaynak gerilimi Şekil 6.11’de verildiği gibi olmaktadır. Bu şekilde 0-0.1 saniye aralığında bir fazlı paralel aktif filtre kaynağa bağlı değilken 0.1’ci saniyede aktif filtre devreye alınmaktadır. Bu filtre devreye alındıktan sonra akımla gerilim arasındaki faz farkı çok kısa bir zaman aralığında sıfır seviyelerine düşmektedir.



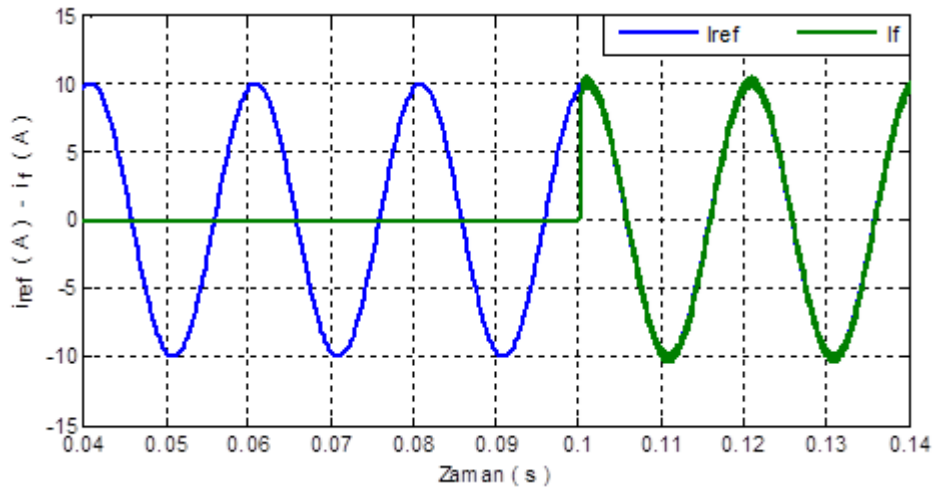
Şekil 6.11. ASM %10 kayma ile çalışırken kaynak gerilimi ve akımı

Bir fazlı asenkron motor %10 kayma ile çalışırken 0.1’ci saniyede paralel aktif filtre devreye alınmış ve çekilen reaktif güç Şekil 6.12’de verildiği gibi 1500VAR civarlarında iken sıfır seviyelerine düşmüş, aktif güç ise 1800W’tan 2230W seviyesine çıkmıştır. Güç değişimlerinden de görüldüğü gibi reaktif güç kompanzasyonu ile birlikte ASM’un kaynaktan çektiği iş yapan güç (aktif güç) artmıştır. Şekil 6.9’da asenkron motor %5 kayma ile çalışırken aktif güç yaklaşık 1030W, %10 kayma ile çalışırken ise 1800W seviyelerine çıkmıştır (Şekil 6.11’de verildiği gibi). Aktif filtre devreye girdiğinde ise her iki kayma değerinde de kaynaktan çekilen aktif güç 2230W seviyesine çıkmıştır.



Şekil 6.12. ASM %10 kayma ile çalışırken kaynaktan çekilen aktif, reaktif ve görünür güçler

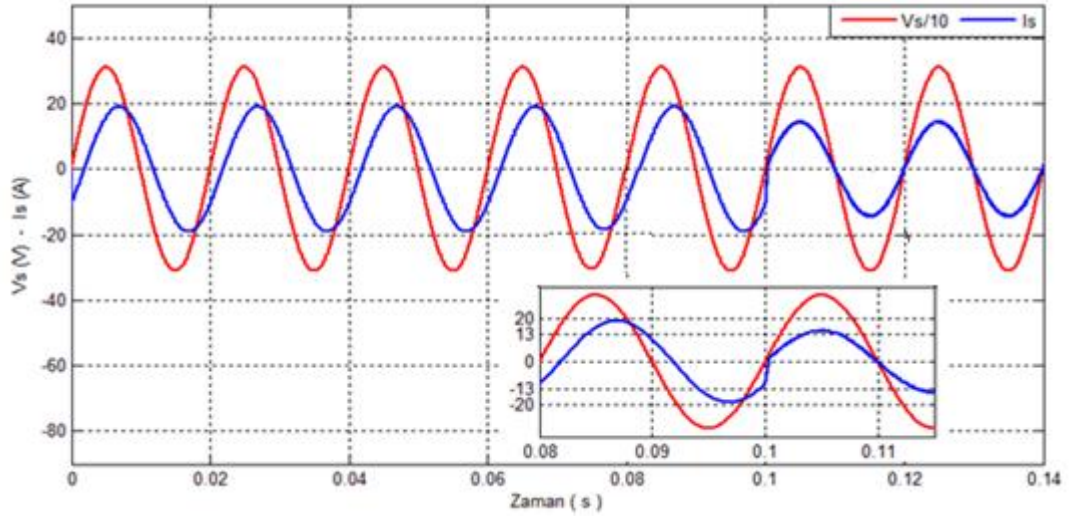
Asenkron motor %10 kayma ile çalışırken kompanzasyon için lazım olan referans akım ve filtre akımı Şekil 6.13’de verilmiştir. 0.1’ci saniyede aktif filtre devre alınınca filtre akımı üretilen referans akımın üzerine binmekte ve ayarlanan histerezis bant aralığında referans akımı takip etmektedir.



Şekil 6.13. ASM %10 kayma ile çalışırken referans ve filtre akımları

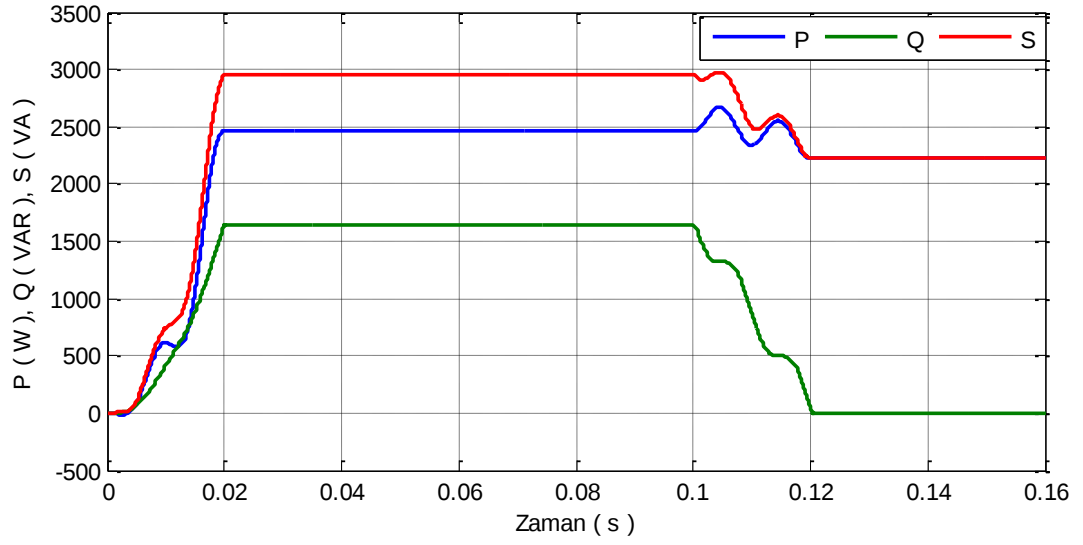
Bir fazlı asenkron motor %15 kayma ile çalışırken 0.1’ci saniyede aktif filtre devreye alındığında kaynaktan çekilen akım ve kaynak gerilimi arasındaki faz farkı Şekil 6.14’deki

gibi olmaktadır. Bu şekilde 0-0.1’ci saniye aralığında motor %15 kayma ile çalışırken akımla gerilim arasındaki faz farkı yaklaşık olarak 34° ’dir. Aktif filtre devreye alındığında bu faz farkı 0° seviyelerine düşmüştür.



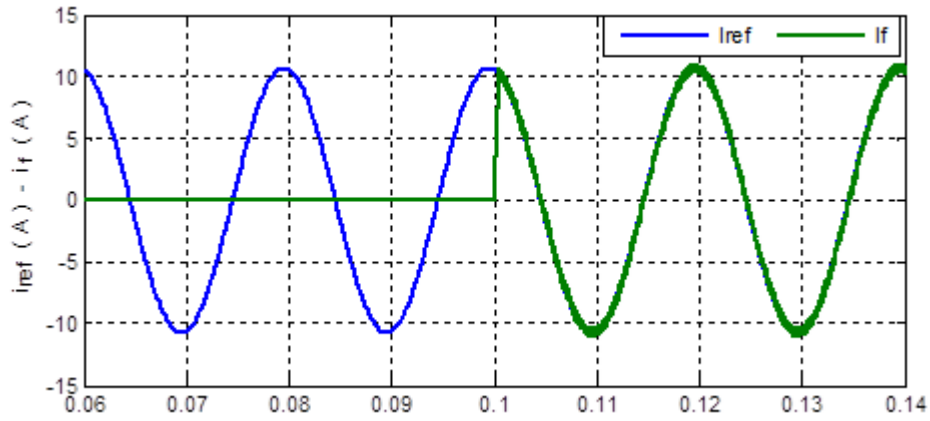
Şekil 6.14. ASM %15 kayma ile çalışırken kaynak gerilimi ve akımı

Bir fazlı asenkron motorun kayma değeri %15’e çıkartılıp çalıştırıldığında Şekil 6.15’ de görüldüğü gibi reaktif güç 1650VAR seviyesindedir. 0.1’ci saniyede paralel aktif filtre devreye alındığında ise reaktif güç sıfır seviyelerine düşmektedir. Aktif güç ise 2460W civarlarında iken 2230W’a çekilmiştir. Bir fazlı asenkron motorun %5 kaymada 1030W, %10 kaymada 1800W, %15 kaymada 2460W aktif güç çekerek çalıştığı verilen sonuç grafiklerinden görülmektedir. Bu gerçeyle, verimi yüksek tutmak için yüke uygun güçte motor seçimi ve anma gücünde çalıştırılması önemlidir.



Şekil 6.15. ASM %15 kayma ile çalışırken kaynaktan çekilen aktif, reaktif ve görünür güçler

Asenkron motor %15 kayma ile çalışırken kompanzasyon için lazım olan referans akım Şekil 6.16’de verilmiştir. 0.1’ci saniyede aktif filtre devre alınınca filtre akımı üretilen referans akımın üzerine binmekte ve ayarlana histerezis bant aralığında referans akımı takip etmektedir.



Şekil 6.16. ASM %15 kayma ile çalışırken referans ve filtre akımı

6.3. Benzetim Sonuçları (ASM modeli)

Bu bölümde bir fazlı asenkron motor olarak Matlab/Simulink paket programı içerisinde hazırlanmış olan bir fazlı asenkron motor bloğu kullanılmıştır. Sonuçlar ilk bölümde olduğu üç farklı yük değerlerinde elde edilmiş olup motor parametreleri motorun elektriksel eşdeğer model parametreleri ile aynı alınmıştır. Bilindiği üzere üç farklı yük değeri üç farklı kayma değeri anlamına gelmektedir. Bu kayma değerleri %5-%10-%15 olarak belirlenmiş olup sonuçlar da bu kayma değerlerine göre alınmıştır.

Tablo 6.2. ASM modeli ile yapılan benzetimdeki parametreler

Alternatif Akım Parametreleri

Kaynak gerilimi (rms), V_s	220V
Kaynak frekansı, f	50Hz

Bir Fazlı Paralel Aktif Güç Filtresi Parametreleri

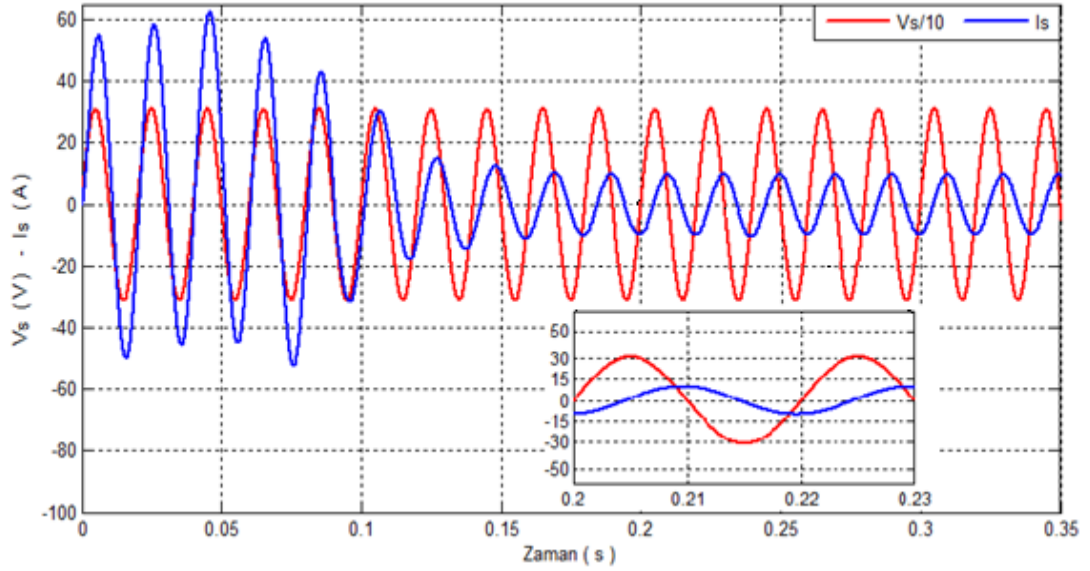
Doğru akım tarafı kaynak derilimi V_{da}	450 V
Hat indüktansı, L_F	20mH
Histerezis bant aralığı, h	$\pm\%0.1$

Asenkron Motor Parametreleri

$R_1=2.02$	$L_2=5.6e-3$
$R_2=4.12$	$L_m=0.1772$
$L_1=7.4e-3$	$\%s = 0.15$
$2P = 4$	$n = 1275 \text{ d/d}$
2.2kW	Kondansatör yol vermeli

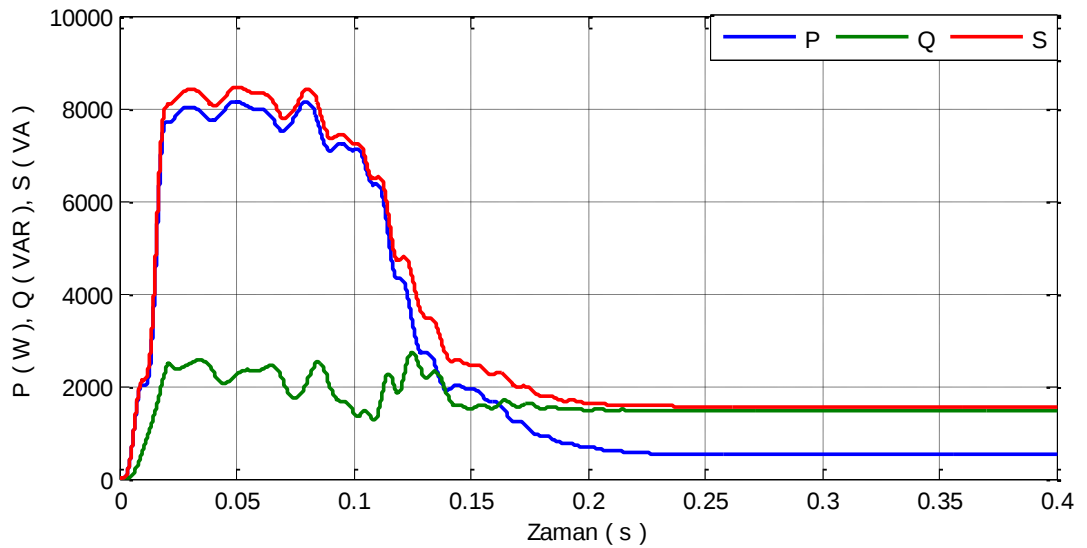
Bir fazlı asenkron motorlar boşta çalışırken kayıplardan dolayı yaklaşık olarak %1'lik bir kaymaya sahiptirler. Bu kayma değerinde kaynaktan çekilen akım ve kaynak

gerilimi Şekil 6.17’de verilmiştir. Asenkron motorun boşa çalışmasında akımla gerilim arasında yaklaşık olarak 90° ’lik bir faz farkı verilen şekilden izlenmektedir.



Şekil 6.17. ASM boşa çalışırken kaynak gerilimi ve akımı

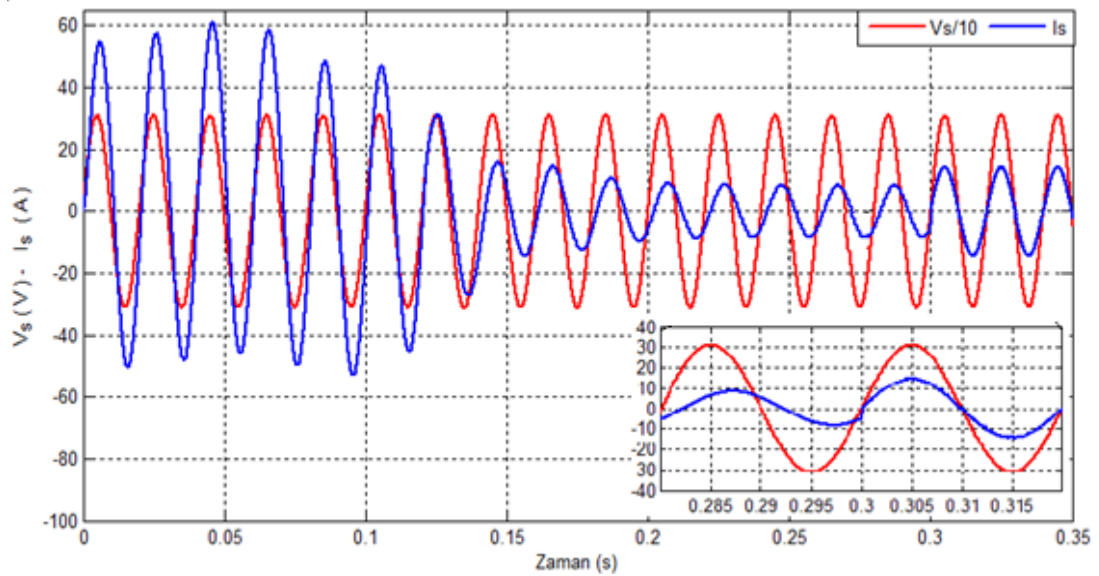
Bir fazlı asenkron motor boşa çalışırken aktif güç değeri geçici durumda normal gücünün çok üst seviyelerine ulaşmakta kalıcı durumda ise boşa çalışma gücüne düşmektedir. Şekil 6.18’de verildiği gibi boşa çalışma gücü yaklaşık olarak 500W civarlarındadır. Reaktif güç ise boşa çalışmadan motor normal çalışma hızına yükseldiğinde 1475VAR civarlarındadır.



Şekil 6.18. ASM boşa çalışırken kaynaktan çekilen aktif ve reaktif güçler

Şekil 6.18’de verildiği gibi boşta çalışmada çekilen reaktif güç, aktif gücün yaklaşık olarak üç katı civarındadır. Bu ölçümlere bakıldığında bir fazlı asenkron motoru boşta çalıştırmak veya senkron hıza yakın değerlerde çalışma, çekilen reaktif güçten dolayı verimli olmamaktadır. Asenkron motorlardan tam verim alabilmek ve aynı zamanda reaktif gücü alt seviyelerde tutabilmek için motor yüke uygun güçlerde seçilmelidir.

Bir fazlı asenkron motor %5 kama ile çalışırken çektiği akım ve kaynak gerilimi arasındaki ilişki Şekil 6.19’da verilmiştir. Motor ilk kalkınma anında, kaynaktan normal çalışma akımının yaklaşık 7-8 katı akım çekmektedir. Bu geçici durum bittikten sonra motor normal çalışma akımına düşmektedir. Daha sonra 0.3’cü saniyede paralel aktif güç filtresi devreye alınmıştır. Aktif filtre devreye alındıktan yaklaşık 0.02 saniye sonra akımla gerilim arasındaki faz farkı 38° seviyelerinden sıfır seviyelerine düşmüştür.

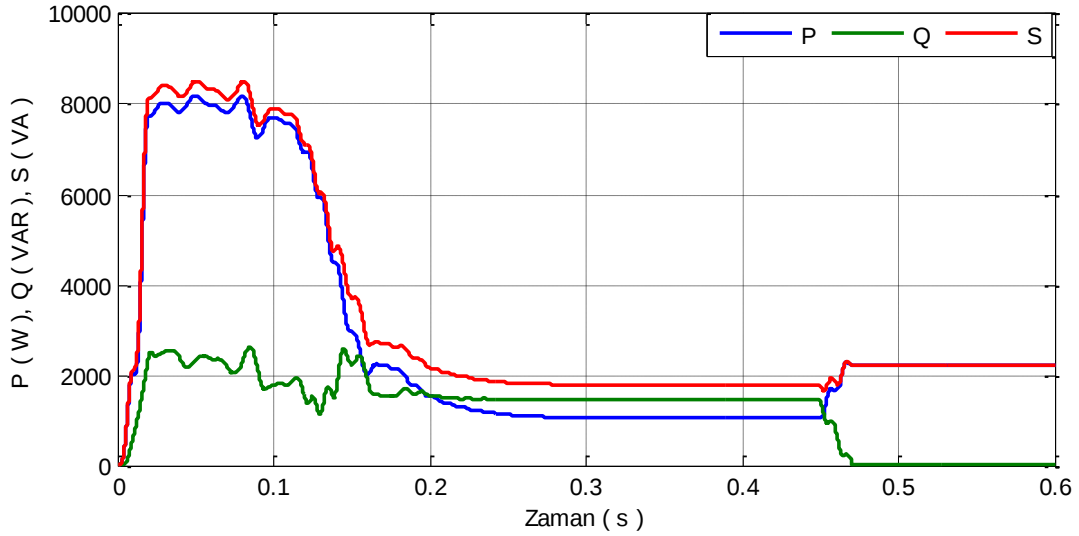


Şekil 6.19. ASM %5 kayma ile çalışırken kaynak gerilimi ve akımı

Şekil 6.19’da motorun geçici durumun sona erip kararlı duruma girdikten sonra aktif filtre devreye girmiştir (0.3’cü saniye). Bundan dolayı ölçümler 0-0.35 saniye aralığında alınmıştır.

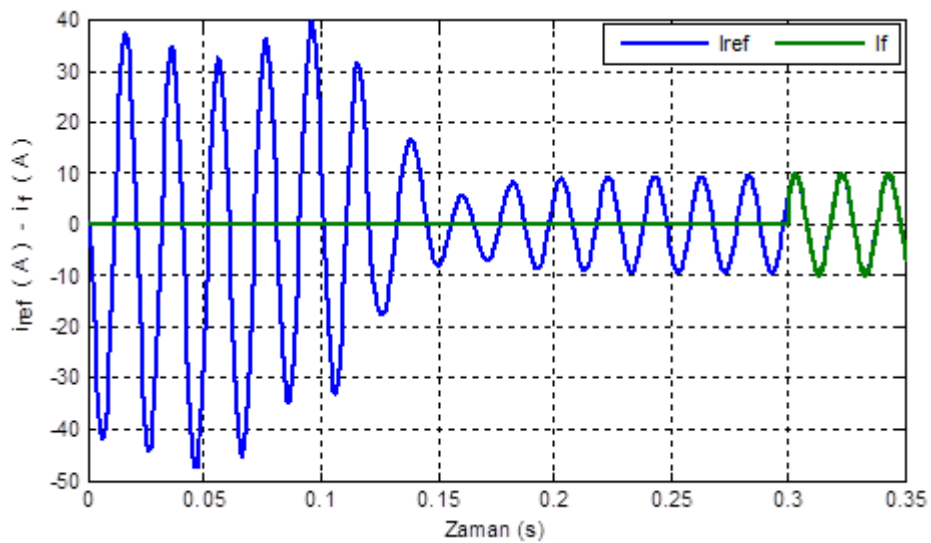
Bir fazlı asenkron motor %5 kayma ile çalışırken asenkron motor aktif gücün yanında 1450VAR civarlarında da reaktif güç çekmektedir. Bu reaktif güç 0.45’cü saniyede bir fazlı paralel aktif filtrenin devreye alınması ile birlikte sıfır seviyelerine düşürülmüştür. Aktif güç ise 1050W’tan 2235W civarlarına yükselmiştir. Bu durum Şekil 6.20’de detaylıca

verilmiştir. Şekil 6.20 ve daha sonraki güç ölçüm grafiklerinde asenkron motorun kararlı duruma geçebilmesi için filtrenin devreye alınma zamanı uzatılmıştır (0.45s-0.50s).



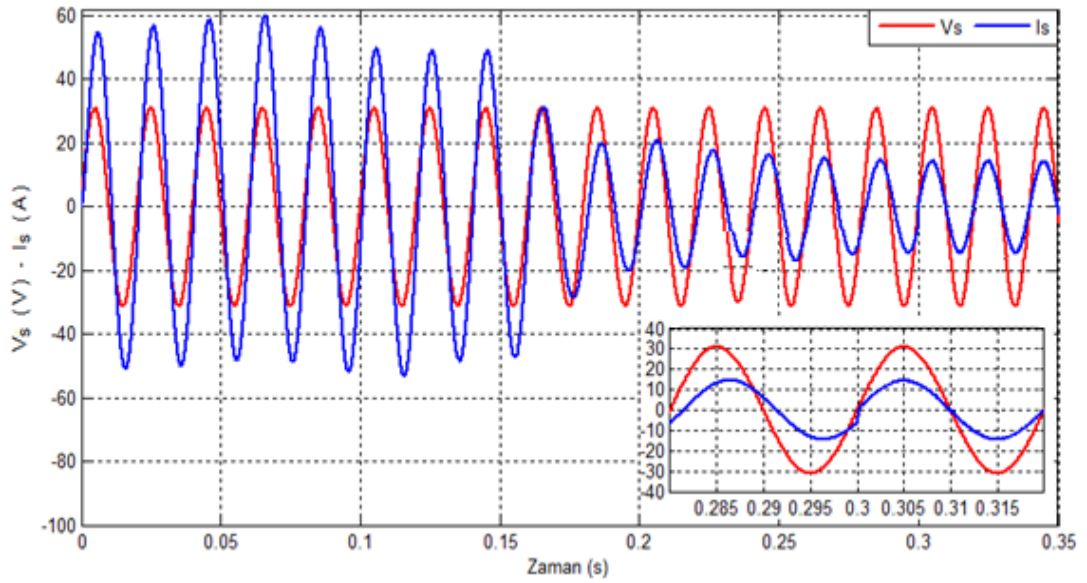
Şekil 6.20. ASM %5 kayma ile çalışırken kaynaktan çekilen aktif, reaktif ve görünür güçler

Asenkron motor %5 kayma ile çalışırken aktif fitlerin şebekeden karşıladığı reaktif gücün aktif filtreden karşılanabilmesi için gerekli olan referans akım Şekil 6.21’de verilmiştir. Şekilde 0.3’cü saniyede fitlere devreye alınınca filtre akımı üretilen referans akımın üzerine binmekte ve referans akımı önceden belirlenen bant aralığında takip etmektedir.



Şekil 6.21. ASM %5 kayma ile çalışırken referans ve filtre akımları

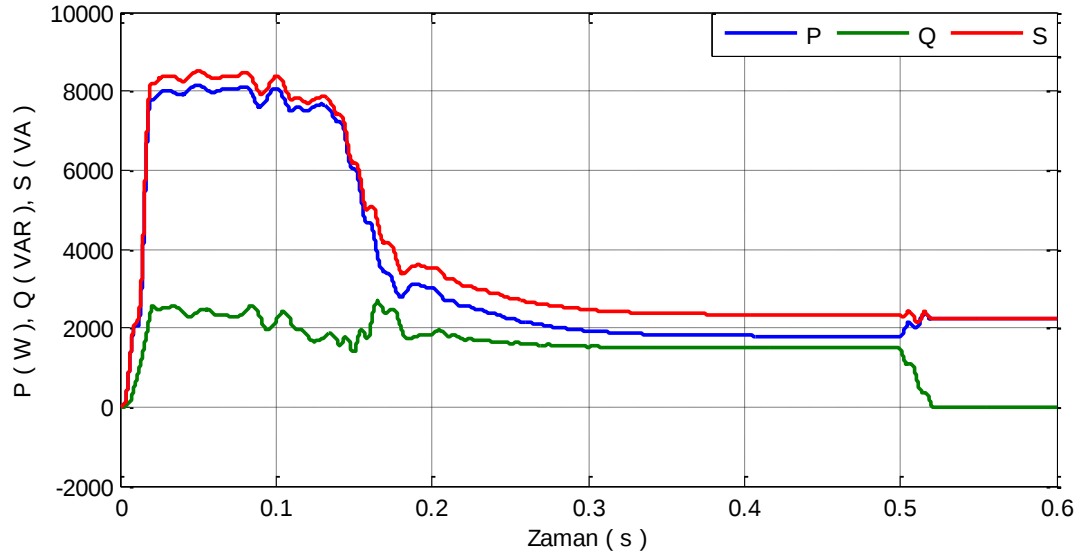
Bir fazlı asenkron motor %10 kayma ile çalışırken kaynaktan çektiği akım ve kaynak gerilimi arasındaki ilişki Şekil 6.22’de verilmiştir. Motor ilk kalkınma anında kaynaktan normal çalışma akımının yaklaşık olarak dört katı akım çekmektedir. Bu geçici durumdan sonra motor 0.25’ci saniyede motorun çalışma akımı normal çalışma akımı seviyelerine düşmektedir. 0.3’cü saniyede paralel aktif güç filtresi devreye alındığında ise akımla gerilim arasındaki faz farkı 26° civarlarından 0° yakın bir seviyeye düştüğü izlenmektedir.



Şekil 6.22. ASM %10 kayma ile çalışırken kaynak gerilimi ve akımı

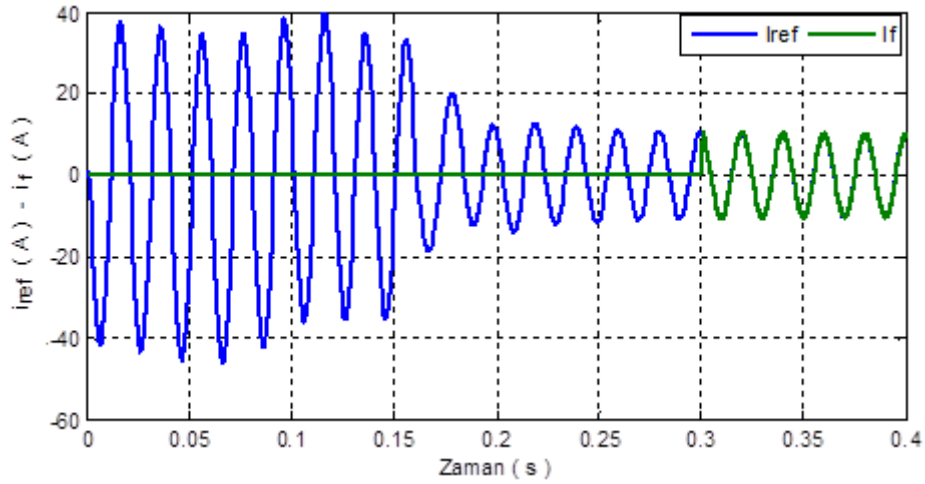
Bir fazlı asenkron motor %10 kayma ile çalışırken asenkron motor aktif gücün yanında 1500VAR civarlarında da reaktif güç çekmektedir. Bu reaktif güç 0.5’cü saniyede bir fazlı paralel aktif filtrenin devreye alınması ile birlikte sıfır civarlarına düşürülmüştür. Aktif güç ise 1800W’tan motorun normal çalışma gücü 2235W civarlarına yükselmiştir. Bu durum Şekil 6.23’de verilmiştir.

Şekil 6.23’de görüleceği gibi asenkron motor %5’lik kaymada 1450VAR, %10’luk kaymada 1500VAR reaktif güç çekmektedir. Buradan reaktif gücün kaymayla birlikte arttığı görülmektedir. Asenkron motorlar, verim açısından, genellikle %20-%25 kama ile çalıştırılırlar. Bu kayma değerlerinde, motorun çekeceği reaktif güç değerleri çok yüksek değerlere ulaşacağı dikkate alınırsa reaktif güç kompanzasyonun önemi daha net anlaşılacaktır.



Şekil 6.23. ASM %10 kayma ile çalışırken kaynaktan çekilen aktif, reaktif ve görünür güçler

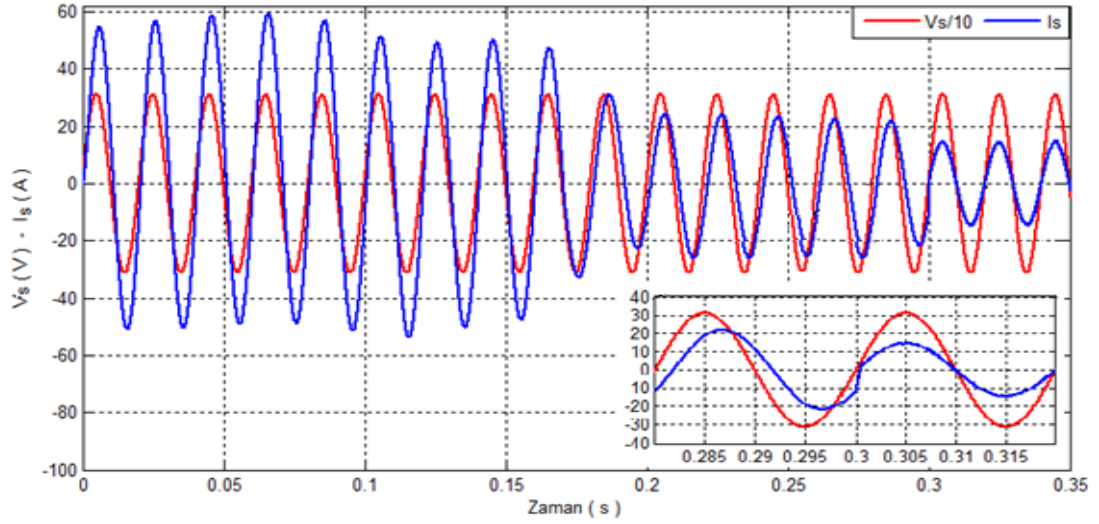
Asenkron motor %10 kayma ile çalışırken şebekeden alması gereken reaktif gücün aktif filtreden karşılanabilmesi için gerekli olan referans akım Şekil 6.24’de verilmiştir. Verilen bu şekilde 0.3’cü saniyede fitlere devreye alınınca filtre akımı üretilen referans akım üzerine binmekte ve referans akımı önceden belirlenen bant aralığında kalmaktadır.



Şekil 6.24. ASM %10 kayma ile çalışırken referans ve filtre akımlar

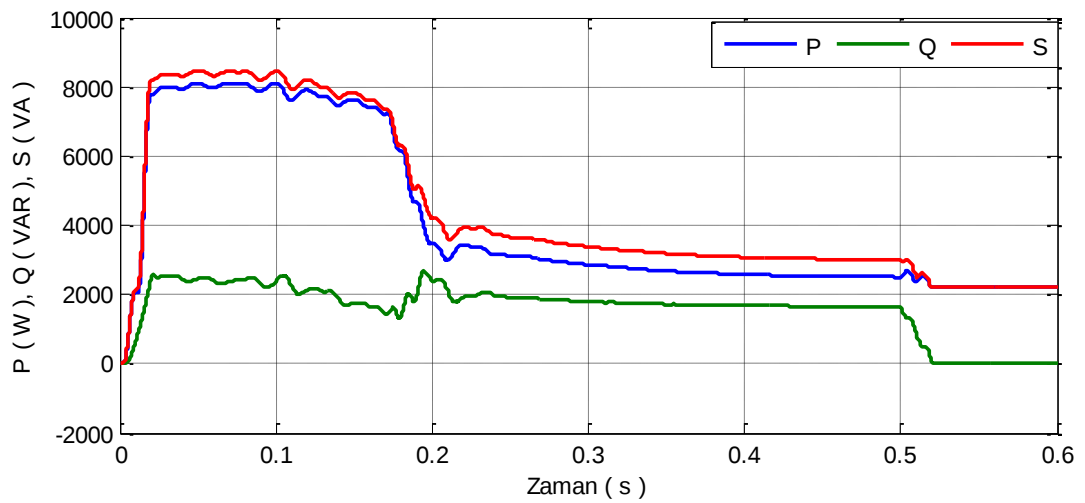
Bir fazlı asenkron motor %15 kama ile çalışırken kaynaktan çektiği akım ve kaynak gerilimi arasındaki ilişki Şekil 6.25’de verilmiştir. Motor ilk kalkınma anında kaynaktan normal çalışma akımının yaklaşık 3 katı akım çekmektedir. Çekilen geçici durum akımının kaymaya bağımlı olarak katsal değeri azalmaktadır. Geçici durum bitip motor normal

çalışma durumuna geçtikten sonra 0.3'cü saniyede bir fazlı paralel aktif güç filtresi devreye alınmıştır. Aktif filtre devreye alınır-alınmaz akımla gerilim arasındaki faz farkı 38° 'den 0° seviyelerine düşmüştür.



Şekil 6.25. ASM %15 kayma ile çalışırken kaynak gerilimi ve akımı

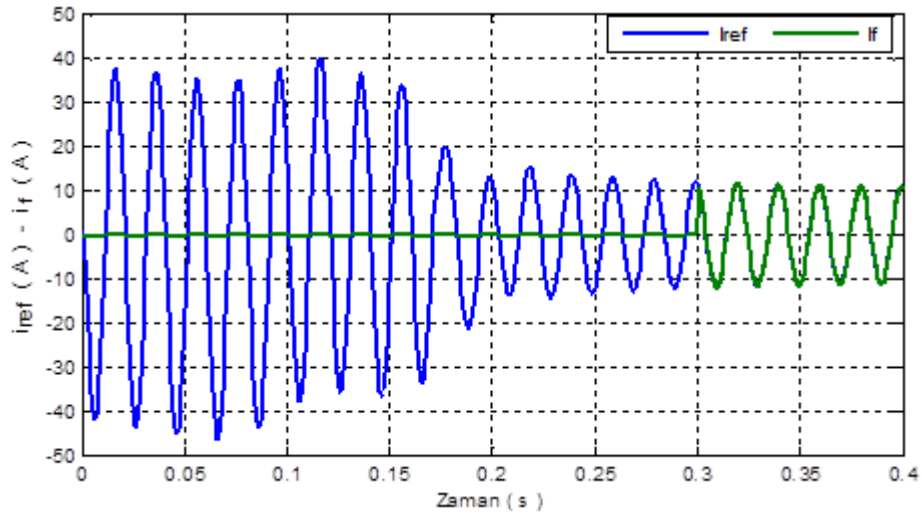
Bir fazlı asenkron motor %15 kayma ile çalışırken aktif gücün yanında 1600VAR civarlarında reaktif güç çekmektedir. Bu reaktif güç 0.5'ci saniyede filtrenin devreye alınması ile birlikte sıfır seviyelerine düşmüştür. Kaynaktan çekilen aktif güç ise 2500W'dan motorun normal çalışma gücü olan 2235W civarlarına düşmüştür. Bu durum Şekil 6.26'de verilmiştir.



Şekil 6.26. ASM %15 kayma ile çalışırken kaynaktan çekilen aktif, reaktif ve görünür güçler

Şekil 6.26’da görüldüğü gibi %15’lik kaymada bir fazlı asenkron motor %10’luk kaymaya göre 100VAR fazla bir reaktif güç çekmektedir. Motor yüklendikçe kaynaktan çekilen reaktif güçte artmaktadır.

Asenkron motor %15 kayma ile çalışırken şebekeden karşıladığı reaktif gücün aktif filtreden karşılanabilmesi için gerekli olan referans akım Şekil 6.27’de verilmiştir. Şekilde 0.3’cü saniyede fitlere devreye alınınca filtre akımı üretilen referans akım üzerine binmekte ve referans akımı belirlenen bant aralığında takip etmektedir.



Şekil 6.27. ASM %15 kayma ile çalışırken referans ve filtre akımları

7. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında amaç bir fazlı asenkron motorun AA kaynağından talep ettiği reaktif gücü etkin ve dinamik bir şekilde aktif filtreden karşılanarak, kaynağın güç kalitesinin korunması istenmiştir. Bu amaçla Matlab/Simulink'te oluşturulan çalışma ile reaktif güç, dinamik bir şekilde aktif filtreden karşılanmıştır. Bu çalışmada kaynaktan talep edilen indüktif özellikli reaktif gücün anlık olarak ölçümü ile referans akım hesaplanmıştır. Referans akım hesaplamada, yöntem olarak frekans domeninde sinüs çarpım tekniği kullanılmıştır. Bulunan bu referans akım ile kapasitif özellikli reaktif gücün kontrolü gerçekleştirmiştir. Kontrol için kullanılan yöntem ise histerezis bant akım kontrol tekniğidir.

Çalışmada bir fazlı asenkron motorun reaktif güç kompanzasyonunu yaparken iki bölümde sonuçlar elde edilmiştir. İlk bölümde, bir fazlı asenkron motor olarak motorun tam elektriksel eş-değer devresi kullanılmıştır. İkinci bölümde ise Matlab/Simulink programındaki gerçek, bir fazlı asenkron motor denenmiştir. Her iki bölümde alınan sonuçlar değerlendirildiğinde, elde edilen veriler reaktif güç kompanzasyonu işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştiğini göstermiştir. Bir fazlı paralel aktif güç filtresi kaynağa paralel bağlanırken geçici durum sona erip daha sonra aktif filtrenin devreye alınması için bir anahtar konulmuştur. Anahtar devreye girmeden önce bir fazlı asenkron motorun normal çalışma parametrelerine gelmesi beklenmiş, daha sonrasında aktif filtre devreye alınmıştır. Aktif filtre devreye alındıktan yaklaşık 0.02 saniye sonra kaynaktan karşılan reaktif güç aktif filtreden karşılanmaya başlamıştır.

Aktif filtrenin, bir fazlı asenkron motorun yük değişimlerine karşı verdiği tepkileri ölçmek için her iki bölümde de üç farklı kayma değerleri kullanılmıştır. Bu kayma değerleri %5,%10 ve %15 olarak önceden seçilmiştir. Her iki bölümde de birbirinden farklı bu üç kayma değerinde, yani farklı yükler altında, bir fazlı paralel aktif filtrenin kayma değişimleri karşısında başarılı bir şekilde reaktif güç kompanzasyonu yaptığı gözlemlenmiştir. Birbirinden farklı bu üç kayma durumunda motor kaynaktan farklı değerlerde reaktif güç talep etmiştir. Motor boşta çalışırken çekilen reaktif güç, aktif gücün yaklaşık üç katı iken, motor yüklendikçe yani kayma değeri arttıkça kaynaktan çekilen reaktif gücün aktif güce yaklaştığı (hatta daha alt değerlere düştüğü) izlenmiştir. Aktif filtrenin bu reaktif güç değişimlerine karşı dinamik tepkisinin başarılı olduğu sonuç grafiklerinden görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] **Özdemir, E., Özdemir, Ş., Kale, M.,** “Aktif Güç Filtresi İle Harmonik Ve Reaktif Güç Kompanzasyonu”, ELECO’2002 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 135–139, Bursa, Aralık (2002).
- [2] **Uçar, F.,** “Paralel Aktif Güç Filtresi Kullanarak Harmonik Ve Reaktif Güç Kompanzasyonu Yapılması” Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elâzığ, Turkey (2012).
- [3] **J.C. Das.,** “Passive filters-potentialities and limitations”, IEEE Trans. On Indst. Appl., 40 (1): 232-241 (2004).
- [4] **F. Le Magoarou, F. Monteil,** “Influence of the load on the design process of an active power filter” *Int. Conf. on Power Elect. And Variable Speed Drives*, 175-180 (1994).
- [5] **Avcı, T.,** “Akım kaynaklı aktif güç filtresi için çeşitli kontrol yöntemlerinin karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara, Turkey, (2008).
- [6] **Gyugyi, L., Strycula, E.C.,** “Active AC Power Filters”, *IEEE Ind. Appl. Ann. Meeting*, 19C: 529-535 (1976).
- [7] **El-Habrouk, M., Darwish, M.K., Mehta, P.,** “Active Power Filters: A Review”, *IEE Proc. Electric Power Appl.*, 147(5): 403-413 (2000).
- [8] **Kaplan, O.,** “Bir fazlı paralel aktif güç filtreleri için sensörsüz da gerilim kontrolü” Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara, Turkey, (2011).
- [9] **Kocatepe, C., Uzunoğlu, M., Yumurtacı, M., Karakaş, A., Arıkan, O.,** “Elektrik Tesislerinde Harmonikler”, Birsan Yayınevi, Ankara, (2003).
- [10] **Anwar Hussein, K.,** “Gerilim beslemeli ve akım beslemeli üç fazlı şönt aktif güç filtresinin karşılaştırması ve simülasyonu” Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ankara, Turkey (2009).
- [11] **Bilki, F.,** “Reaktif güç ve kompanzasyon teknikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, Turkey, 2-6 (2008).
- [12] **Chapman, S. J.,** *Elektrik Makinalarının Temelleri.* (P. D. Akın, & Y. D. Orhan, Çev.) ,(2007).
- [13] **Dalkılıç, Ö.,** “Bir Fazlı Asenkron Motorlarda Yeni Yol Verme Mekanizması Yaklaşımı’ ’Ocak (2007).

- [14] **Bal, Güngör.**, “Özel Tasarımlı Motorlar”, Seçkin Yayınevi, 20-50 (2004)
- [15] **Mutlu, Hasan H.**, ” DSP tabanlı paralel aktif güç filtresi ile harmonik ve reaktif güç kompanzasyonu” Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya (2011)
- [16] **Huang, S.J., Wu, J.C.**, Design and Operation of Cascaded Active Power Filters for the Reduction of Harmonic Distortions in a Power System, *IEE Proceedings*, Vol.146, No 2, March.(1999)
- [17] **Peng, F.Z.**, Harmonic Sources and Filtering Approaches, *IEEE Industry Applications Magazine*, July/August (2001).
- [18] **SKVARENINA, T. L.**, “The Power Electronics Handbook”, *CRC Press*, 477-478, (2002). Timothy, L.S., 2002, The Power Electronics Handbook, CRC Express
- [19] **İlaslaner, İ.**, “Güç kalitesinde harmonikler ve filtrelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara, Turkey, (2006).
- [20] **Peng, F.Z., Akagi, H., Nabae, A.** “A new approach to harmonic compensation in power systems - A combined system of shunt passive and series active filters”, *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, 26, No. 6, pp. 983-990, (1990).
- [21] **Moran, L., Dixon, J.**, “Active Filters”, *Power Electronics Handbook 2nd ed.*, Rashid, M. H., *Elsevier*, California, 1067-1102 (2007).
- [22] **Benchaita, L., Saadate, S., Salemnia, A.**, “A Comparison of voltage source shunt active power filter by simulation and experimentation”, *IEEE Trans. Power Electronics*, 14(2): 642-647 (1999).
- [23] **Akagi, H., Nabae, A., Atoh, S.**, “Control Strategy of Active Power Filters Using Multiple Voltage-Source PWM Converters”, *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol IA-22, No 3, May/June (1986).
- [24] **Singh, B., AL-Haddad, K., Chandra, A.**, A Review of Active Filters for Power Quality Improvement, *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, Vol. 46, No.5, October, 133-138 (1999).
- [25] **Kale, M.**, “Paralel Aktif Güç Filtresi İçin Yeni Bir Denetim Yönteminin Geliştirilmesi Ve Gerçekleştirilmesi”, Kocaeli Üniv. Fenbilimleri Enst., Kocaeli, Doktora Tezi”(2009)
- [26] **Chen, D., Xie, S.**, Review of the Control Strategies Applied to Active Power Filters, *IEEE International Conference on Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies*, April, Hong Kong (2004).

- [27] Altıntaş, A., “Paralel aktif güç filtresinin mikrodeneleyici ile PWM kontrolü” Doktora Tezi, *Gazi Üniv. Fen Bilimleri Enst.*, Ankara, 30-45 (2003).
- [28] Buso, S., Malesani, L., Mattavelli, P., “Comparison of current control techniques for active filter applications”, *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, Volume 45, Issue 5, 722 – 729, (1998).
- [29] Pires, V. F., Silva, J. F. A., “Teaching Nonlinear Modeling, Simulation, and Control of Electronic Power Converters Using MATLAB/SIMULINK”, *IEEE Transactions on Education*, 45 (3): 253-261 (2002).
- [30] Qiao, C., Smedley, K. M., Maddaleno, F., “A Comprehensive Analysis and Design of a Single Phase Active Power Filter with Unified Constant-frequency Integration Control”, *IEEE PESC Conf. Rec.*, 1619-1625 (2001).

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa GÜNGÖR 15.01.1980 – Osmaniye

Mardin Artuklu Üniversitesi Midyat Meslek Yüksekokulu Midyat/MARDİN

0505 393 90 56 mustafagungor@artuklu.edu.tr

Eğitim Durumum

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Ana Bilim Dalı /

Yüksek Lisans / 2012 – Devam Ediyor

Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Öğretmenliği / Lisans / 2001 - 2006 /

Mezun

Osmaniye Endüstri Meslek Lisesi Elektrik Bölümü / 1996 - 1999 / Mezun

Beceri ve Nitelikler

Elektrik / Elektrik Tesisat Projeleri / Programlanabilir Lojik Kontrol / Bilgisayar

Çalışma Durumum

Mardin Artuklu Üniversitesi / Mardin – Midyat Meslek Yüksekokulu – Elektrik ve Enerji

Programı / Öğretim Görevlisi / 2011 Şubat - Devam Ediyor.

Sinop Üniversitesi / Sinop – Ayancık Meslek Yüksekokulu – Elektronik Teknolojisi

Programı / Öğretim Görevlisi / 2008 Kasım – 2011 Şubat.