

55219

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKTİF GÜÇ FİLTRELERİNİN SİMÜLASYONU VE ANALİZİ

Mahir DURSUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
(ELEKTRİK EĞİTİMİ)

1996
ANKARA

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

.....
Danışman
Yrd. Doç. Dr. Güngör BAL

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarız.

Sınav Jürisi

Başkan : Doç. Dr. İsmail COŞKUN

Üye : Doç. Dr. Çetin ELMAS

Üye : Yrd. Doç. Dr. M. Emin GÜVEN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Güngör BAL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Erkan İMAL

Bu Tez Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım

Esaslarına Uygundur

YSA

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR	III
SEMBOLLERİN LİSTESİ.....	IV
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	VI
GİRİŞ.....	1
Literatür Özeti	4
1. YARIİLETKEN KONTROLLÜ AKIMLARIN ŞEBEKEYE ETKİLERİ...	10
1.1 Güç Elektroniğine Genel Bir Bakış.....	10
1.1.1 Güç elektroniğinin kullanıldığı yerler.....	10
1.2 Güç Elektroniğinde Kullanılan Yarı İletkenlerin Akıma Etkisi.....	11
1.2.1 Diyotlarla yapılan tam dalga doğrultma devresi	
çıkışındaki akımın etkin değeri	11
1.2.2 Diyotlarla yapılan yarım dalga doğrultma devresi	
çıkışındaki akımın etkin değeri.....	12
1.2.3 Diyotlarla yapılan tam dalga doğrultma devresi	
çıkışındaki akımın ortalama değeri.....	12
1.2.4 Diyotlarla yapılan yarım dalga doğrultma devresi	
çıkışındaki akımın ortalama değeri.....	13
1.2.5 Tristör akımının ortalama ve etkin değerleri	13
2. HARMONİKLERİN ETKİLERİ VE KOMPANZASYON.....	16
2.1 Giriş.....	16

2.2 Harmoniklerin Şebekedeki Etkileri	16
2.2.1 Harmoniklerin şebeke gerilimine etkisi	17
2.2.2 Harmoniklerin filtre edildikten sonra etkileri.....	18
2.3 Kompanzasyonun Tanıtımı.....	18
2.3.1 Kompanzasyon çeşitleri.....	19
2.3.2 Kompanzasyon konusunda yapılan çalışmalar	20
2.4 Harmoniklerin Etkilerinin Bastırılması ile Kompanzasyon Yapılması Arasındaki Benzerlik	20
3. DOĞRUSAL OLMAYAN SİSTEMLER VE AKTİF GÜÇ FILTRELERİ.....	22
3.1 Doğrusal Olmayan Sistemlerde Geçici Olaylar	22
3.2 Doğrusal Olmayan Yükler.....	23
3.3 Aktif Güç Filtreleri.....	24
3.3.1 Aktif güç filtrelerinin tasarım prensibi.....	24
3.3.2 Aktif güç filtrelerinin inverter modeli.....	25
3.3.3 Aktif güç filtrelerinin matematik modeli.....	26
3.4 Seri Aktif Güç Filtreleri.....	27
3.4.1 Seri aktif güç filtresi tasarımı	28
3.4.2 Seri aktif güç filtresinin matematik modeli.....	29
3.4.3 Seri aktif güç filtresinin dinamik denklemleri.....	30
3.4.3.1 Yük akımının aktif ve reaktif bileşenleri.....	32
3.4.3.2 Seri Güç Filtresinde Referans Kondansatör Geriliminin Hesaplanması.....	36
3.4.4 Seri aktif güç filtresinin analog olarak gerçekleştirilmesi..	36

3.4.5 Seri aktif güç filtresinin çalışması.....	37
3.4.6 Seri aktif güç filtresi ile sabit güç katsayılı yüklerin kompanzasyonu.....	41
3.4.7 Seri aktif güç filtresi ile değişken güç katsayılı yüklerin kompanzasyonu.....	42
3.4.7 Seri aktif güç filtresindeki bobin ve kondansatörün hesabı...	45
3.5 Paralel Aktif Güç Filtreleri	47
3.5.1 Paralel aktif güç filtresi tasarımı.....	47
3.5.2 Paralel aktif güç filtresinin dinamik modeli.....	48
3.5.3 Kompanzasyon akımının hesaplanması.....	51
3.5.4 Paralel aktif güç filtresinin analog olarak tasarımı	52
3.5.5 Paralel aktif güç filtresinin çalışması.....	53
SİMÜLASYON SONUÇLARI.....	57
4.1 Simülasyon Sonuçları.....	58
4.2 Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	71
5. ÇALIŞMANIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	73
KAYNAKLAR.....	76

AKTİF GÜÇ FİLTRELERİNİN SİMÜLASYONU VE ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Mahir DURSUN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NİSAN 1996

ÖZET

Yarıiletken malzemelerin kullanımı ile birlikte endüstriyel yüklerin reaktif güç isteğinin çok hızlı olması ve düzensiz değişimi karşısında klasik kompanzasyon metodları yetersiz kalmışlardır. Bu nedenle endüstride oluşan yüksek frekanslı harmoniklerin bastırılması ve aynı anda reaktif güç isteğinin çok hızlı değişimi karşısında yeterli kompanzasyon yapabilecek aktif güç filtresi tasarım ve uygulamaları oldukça önem kazanmıştır. Bu tezde simülasyon için, endüstride oluşan harmonikler ile reaktif güç incelenmiş ve bir fazlı seri ve paralel aktif güç filtrelerinin dinamik denklemleri çıkarılarak ayrı ayrı modellendirilmiştir. Bu çalışmada simülasyon için C programlama dili kullanılmıştır. Bir fazlı olarak tasarlanan seri aktif güç filtresinin verimi ile bir fazlı paralel aktif güç filtresinin verimi karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda bir fazlı olarak tasarlanan seri aktif güç filtresinin verimi daha yüksek çıkmıştır. Bir fazlı olarak tasarlanan paralel aktif güç filtresinin ise iyi bir düzeltme yapabilmesi için seri olarak tasarlanan aktif güç filtresine göre daha yüksek frekanslarda tetikleme yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Harmonikler, Kompanzasyon, Aktif Güç Filtreleri

Bilim Kodu : 225.09.01

Sayfa Adedi : 77

Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Güngör BAL

SIMULATION AND ANALYSIS OF ACTIVE POWER FILTERS

(M. Sc Thesis)

Mahir DURSUN

GAZI UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

April 1996

ABSTRACT

Since power semiconductors are widely used in industrial loads which demand reactive power from power network changing rapidly and irregularly classic compensation methods are insufficient in order to compensate the reactive power and also to reduce harmonics effects on the power network the simulation, design and application of active power filters are becoming very important. In this thesis the mathematical models of both series and parallel active filters are derived and the simulation of the filters are performed with a program written in C programming language. A comparison of both filter result showed that the efficiency of the series filter is higher. To obtain higher efficiency from the parallel active filter switching frequency should be kept very high

Key Words : Harmonics, Compensation, Active Power Filters

Science Code : 225.09.01

Number of Pages : 77

Adviser : Assoc. Prof. Dr. Güngör BAL

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması boyunca beni yönlendiren danışmanım Yrd. Doç. Dr. Güngör BAL ve simülasyon konusunda yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Őevki Demirbaő ile Elektrik Eğitimi bölümündeki diğer  đretim elemanlarına sonsuz teşekkür ederim.



SEMBOLLERİN LİSTESİ

U_m =Kaynak geliminin tepe değeri (V)

U_{et} =Gerilimin etkin değeri (V)

U_0 =Gerilimin ortalama değeri (V)

I_m =Akımın tepe değeri (A)

I_{et} =Akımın etkin değeri (A)

I_0 =Akımın ortalama değeri (A)

T =Periyot (rad/sn)

t =zaman (sn)

ϑ_n =n.harmonikten dolayı oluşan faz açısı (derece)

ϑ_y =Yükün gerçek faz açısı (derece)

f =Kaynak geriliminin frekansı (Hz)

α =Tristör ve triyakın tetiklenme açısı (derece)

e =Harmoniklerin oluşturduğu bileşke emk (V)

n =Harmonik derecesi

e_1 =1.harmoniğin emk'ı (V)

e_3 =3. harmoniğin emk'ı(V)

dB = Oranın logaritması

R_y =Yükün omik direnci (Ω)

L_y =Yükün endüktansı (H)

C =Aktif filtreye konulan kondansatörün kapasitesi (F)

X_L =Yükün endüktif reaktansı (Ω)

X_C = Aktif filtrenin kapasitif reaktansı (Ω)

L_f = Filtre devresindeki akım sınırlayıcı bobinin endüktansı (H)

L_f = Filtre devresindeki akım sınırlayıcı bobinin endüktansı (H)

i =devrenin geçici akımı (A)

u =devrenin geçici gerilimi (V)

u_c =filtredeki kondansatör geriliminin ani değeri (V)

Z =Devrenin toplam empedansı (Ω)

u_B =Batarya geriliminin ani değeri (V)

u_F =Toplam filtre geriliminin ani değeri (V)

U_B =Batarya geriliminin ortalama değeri (V)

P_c =Aktif güç filtresinde harcanan aktif güç (Watt)

$\cos \varphi_y$ =Gerçek yükün faz açısı (derece)

U_{cr}^* =Referans kondansatör gerilimi (V)

I_{mr} =Sinyal jeneratöründen üretilen akımın tepe değeri (A)

U_{cref} = Referans kondansatör geriliminin etkin değeri (V)

i_c =Filtre devresinin kompanzasyon akımı(A)

i_s =Kaynaktan çekilen toplam akım (A)

$i_y(t)$ = Doğrusal olmayan yük akımı (A)

$i_{y1}(t)$ = Gerçek yük akımı (A)

$i_{y1}^*(t)$ = Referans yük akımı (A)

I_{ya} =Gerçek yük akımının aktif bileşeni (A)

I_{yr} =Gerçek yük akımının reaktif bileşeni (A)

$i_r(t)$ =Şebeke gerilimi ile aynı fazda üretilen sinüs sinyali

I_n =n. derecedeki harmonik akımı (A)

i_{cr} = Referans kompanzasyon akımı (A)

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Şebeke gerilimi ve α açısıyla tetiklenen tristör akımının dalga şekli.....	14
Şekil 2.1 3. Harmoniğin şebeke gerilimine etkisi	17
Şekil 2.2 1'den 21'e kadar olan harmoniklerin şebeke gerilimine etkisi	17
Şekil 3.1 Aktif güç filtrelerinin tasarım prensibi şeması	25
Şekil 3.2 Seri aktif güç filtresi ve doğrusal olmayan bir RL yüke bağlantı şeması	28
Şekil 3.3 Seri aktif güç filtresinin çalışma modları.....	29
Şekil 3.4 Seri aktif güç filtresi devresinin eşdeğer devresi.....	31
Şekil 3.5 Akım ile gerilim arasındaki faz farkı vektör diyagramı.....	31
Şekil 3.6 Seri aktif güç filtresinde transistörleri sürme devresinin blok diyagramı.....	35
Şekil 3.7 Aktif güç filtreleri ile düzeltilen akımın dalga şekli.....	37
Şekil 3.8 Sabit güç katsayılı doğrusal olmayan yük akımının seri aktif güç filtresi ile düzeltilmesinde kullanılan devre şeması	41
Şekil 3.9 Değişken güç katsayılı yük akımının seri aktif güç filtresi ile düzeltilmesinde kullanılan devre şeması.....	42
Şekil 3.10 Değişken güç katsayılı yük akımının seri aktif güç filtresi ile düzeltilmesi hesaplamalarında kullanılan devre şeması.....	43
Şekil 3.11 Batarya şarj devresinin gerilim diyagramı.....	43
Şekil 3.12 Paralel aktif güç filtresi ve doğrusal olmayan yüke bağlantı şeması.....	47

Şekil 3.13 Paralel Aktif güç filtresinin çalışma modları.....	50
Şekil 3.14 Paralel aktif güç filtresinin güç devresi blok diyagramı.....	51
Şekil 3.15 Paralel aktif güç filtresinde kompanzasyon akımı hesaplama devresinin blok diyagramı.....	51
Şekil 3.16 Paralel aktif güç filtresinde transistörleri sürme devresinin blok diyagramı.....	52
Şekil 3.17 Program akış diyagramı.....	56
Şekil 4.1. Omik direnci 31.1Ω , faz açısı 5.5 derece olan kapasitif yükün seri aktif güç filtresi ile kompanzasyonuna ait simülasyon sonuçları.....	60
Şekil 4.2. Omik direnci 31.1Ω , faz açısı 1.5 derece olan kapasitif yükün seri aktif güç filtresi ile kompanzasyonuna ait simülasyon sonuçları.....	61
Şekil 4.3. Omik direnci 31.1Ω , faz açısı 4.05 derece olan 31.1Ω , yükün seri aktif güç filtresi ile kompanzasyonuna ait simülasyon sonuçları.....	62
Şekil 4.4. Omik direnci 31.1Ω , faz açısı 22.43 derece olan 31.1Ω , yükün seri aktif güç filtresi ile kompanzasyonuna ait simülasyon sonuçları.....	63
Şekil 4.5. 30 derecelik açıyla tetiklenen triyaktan beslenen 50 Ω , 0.02 H'lik yükün seri aktif güç filtresi ile kompanzasyonuna ait simülasyonu sonuçları.....	64
Şekil 4.6. 60 derecelik açıyla tetiklenen triyaktan beslenen	

31.1 Ω , 0.02 H'lik yükün seri aktif güç filtresi	
ile kompanzasyonuna ait simülasyonu sonuçları.....	65
Şekil 4.7. 90 derecelik açıyla tetiklenen triyaktan beslenen	
31.1 Ω , 0.02 H'lik yükün seri aktif güç filtresi	
ile kompanzasyonuna ait simülasyonu sonuçları.....	66
Şekil 4.8 Tepe değeri 311 V olan bozulmuş bir şebeke gerilimi,	
bu şebekeden beslenen omik bir yükün şebekeden	
çektığı akımın düzeltildikten sonraki dalga şekli ve	
düzeltilmiş akımın harmonik spektrumu.....	67
Şekil 4.9. Seri aktif güç filtresinde tristörün tetikleme açısı ile	
verimi arasındaki ilişki	68
Şekil 4.10. 90 derecelik açıyla tetiklenen triyaktan beslenen	
50 Ω , 0. 12 H'lik yükün paralel aktif güç filtresi	
ile kompanzasyonuna ait simülasyonu sonuçları.....	69

GİRİŞ

Elektrikle çalışan bütün cihazlar iş yapabilmek için gerekli enerji ihtiyaçlarını şebekeden karşılarlar. Alıcıların enerji ihtiyaçlarının karşılanması, şebekeden aktif güç çekme şeklinde olduğu gibi reaktif güç çekme şeklinde de olabilmektedir.

Bir güç sisteminin tasarımında sistemin ekonomik, verimli ve güvenli çalışması istenir. Şebekeden reaktif güç çekilmesi ise istenen bir durum değildir. Çünkü şebekeden reaktif güç çekilirse şebeke ve generatörler gereksiz yere aşırı yüklenir. Bu durumda hem hat kayıpları hem de işletme maliyeti artar.

Alternatif akımla (AA) çalışan bütün cihazların maksimum verimle çalışabilmeleri için kaynak akım ve geriliminin dalga şekilleri tam bir sinüs eğrisi şeklinde olmalıdır. Kaynak akım ve gerilimi tam bir sinüs dalgası şeklinde olsa bile birçok nedenden dolayı alıcılar reaktif güç çekmekte ve harmonikler oluşturmaktadırlar. Böylece şebeke kirlenmektedir. Şebekedeki kirlenme mevcut dalga şeklini orijinal sinüslükten uzaklaştırır. Dalga şekillerindeki bozulmadan, şebekeden beslenen diğer alıcılar olumsuz yönde etkilenmekte, normaldeki verimleri düşmekte ve şebeke kayıpları artmaktadır [NASTRAN 1994]. Eğer alıcıların çektiği akım, sinüs eğrisi şeklinde değilse yine istenmeyen harmonikler oluşur. Şebeke akım ve geriliminin dalga şekli bu istenmeyen harmoniklerden dolayı orijinal sinüslükten uzaklaşır.

Güç elektroniğinin endüstride yaygın olarak kullanılması, bir çok üstünlüğün yanında sakıncaları da beraberinde getirmektedir. Bu sakıncaların en önemlisi yarı iletkenlerin kullanıldığı elektrik devrelerinde istenmeyen harmoniklerin oluşmasıdır. Oluşan harmonikler şebekeyi kirletmekte ve geriliminin sinüsoidalliğini bozmaktadır[NASTRAN 1994]. Özellikle de otomatik kontrollerde anahtarlama elamanı olarak kullanılan tristörlerin iletme ve kesime geçirilmesi sırasında harmonik oluşumu artmaktadır . Oluşan harmonikler, alıcı kendiliğinden bir harmonik üretmese bile sanki alıcı ürettiyormuş gibi şebekenin akım ve geriliminin sinüsoidal olan dalga şeklinin bozulmasına neden olmaktadır. Ayrıca şebeke gerilimi ile alıcı akımı arasında faz farkının oluşması şebekeden reaktif gücün çekilmesine neden olmaktadır.

Şebekeden reaktif güç çekilmesinin önlenmesi için, çekilen reaktif gücün çeşidine göre ya şebekeye reaktif güç verilir ya da şebekeden reaktif güç çekilir.

Reaktif güç isteğinin çok hızlı ve sürekli değiştiği yüklerde kademeli ayar yapan kompansatörler yetersiz kalmaktadır [BAL 1988]. Kademeli ayar yapan kompansatör ile reaktif güç kompanzasyonunda, devreye mekanik olarak kondansatör veya kondansatör grupları eklenir yada çıkartılır. Mekanik olarak hareket eden cisimlerin tepkilerinin, elektriki hıza yetişemeyeceği şüphesizdir. Kademeli ayar yapan kompansatörler, reaktif güç isteğinin zamanla değişmediği endüktif yükler için uygun olsa bile zamanla düzensiz olarak değişen yükler ve yüksek frekanslı harmoniklerin

bastırılması için uygun değildirler. Tepki hızlarının düşük oluşu, yüksek frekanslı harmoniklerin bastırılmasına imkan vermemektedir. Bu sebeplerden, güç elektroniği devrelerinde bu tip kompanseörlerin kullanılması, harmoniklerin bastırılması veya reaktif güç kompanzasyonu için yeterli değildirler. Ayrıca mekanik kontakların açılması sırasında ark ürettiklerinden şebekeye zarar verirler.

Endüstrinin hızla gelişmesi ve karmaşılaşmasıyla ortaya yeni çıkan doğrusal olmayan yüklerde reaktif güç kompanzasyonu sorunu karşısında araştırmacılar, yeni filtre tasarımlarına yönelmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucu, tepki hızı oldukça yüksek aktif güç filtreleri tasarlanmıştır. Tasarlanan bu yeni filtre çeşidine "Aktif Güç Filtresi" denilmektedir. Aktif güç filtreleri tepki hızlarının iyi olması için tamamen yarı iletkenlerle yapılmıştır. Bilindiği gibi, günümüzde transistörler çok yüksek frekanslarda tetiklenebildiği için yüksek frekanslı harmoniklerin bastırılması da kolaylaşmış olmaktadır. Bu üstünlüklerinden dolayı aktif güç filtrelerinin kullanımları gittikçe yaygınlaşmaktadır.

- **Bu Tezde Yapılan Çalışmalar**

Bu güne kadar yapılan aktif güç filtresi tasarımlarında referans akım sinyali üretimi için şebeke gerilimi kullanılmış ve bu gerilimin orjinal bir sinüs dalgası şeklinde olduğu kabul edilmiştir [JOU 1993]. Gerçekte ise şebeke gerilimi her zaman tam bir sinüs dalgası şeklinde değildir. Bu nedenle JOU'nun haricindeki diğer araştırmacıların tasarladıkları paralel aktif güç filtrelerinin tamamı ve NASTRAN'nın tasarladığı seri aktif güç

filtresinin performansı şebeke geriliminin dalga şeklinin düzgünlüğü ile orantılı olarak değişir. İyi bir aktif güç filtresi ise şebeke geriliminin şekli bozulsa bile aynı performansını koruyabilmelidir. Ayrıca aktif güç filtresine konulan kondansatörün dayanabileceği gerilim değeri ve çalışma frekansı maliyetinde belirleyeci bir faktördür. Uygulamada anahtarlama elamanlarının tetikleme frekansı arttıkça ısınma nedeniyle aktif güç filtresinin verimi de azalır. Bu yüzden aktif güç filtresi tasarımında hem filtredeki kondansatör üzerinde düşen gerilimin az hem de tetikleme frekansının az olması istenir. Seri aktif güç filtrelerinin bu ihtiyacı daha iyi karşılayabileceği düşünülmüştür. Bu tezde simülasyonu yapılan seri aktif güç filtresi tasarımında referans akım sinyali üretiminde şebeke aynı fazda sinüs sinyali kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında önce doğrusal olmayan yüklerin özellikleri araştırılmış ve gruplandırılmıştır. Doğrusal olmayan AA yükler, sabit ve değişken güç katsayılı doğrusal olmayan AA yükler diye ikiye ayrıldı. Güç katsayısı sabit olan AA yüklere örnek olarak, akımı triyakla kontrol edilen bir omik yük, değişken güç katsayılı doğrusal olmayan AA yüklere de bir akü şarj devresi örnek verilmiş ve modellemeler bu yükler için yapılmıştır.

Birinci bölümde yarıiletken kontrollü akımların özellikleri ile tristörle kontrol edilen akımların dalga şekli incelenmiş ve bu akımların şebekede gösterdikleri doğrusal olmayan etkileri araştırılmıştır.

İkinci bölümde harmoniklerin şebeke akım ve gerilimine etkileri, bu etkilerin giderilmesi, kompanzasyon ve doğrusal olmayan reaktif yüklerin

kompazasyonu ile harmoniklerin etkilerinin giderilmesi arasındaki benzerlik araştırılmıştır.

Üçüncü bölümde önce doğrusal olmayan sistemlerde istenmeyen geçici olayların nasıl kontrol edileceği anlatılmış ve günümüzde oldukça sık karşılaşılan reaktif güç kompanzasyonu ve yüksek frekanslı istenmeyen harmoniklerin bastırılması için seri ve paralel aktif güç filtreleri incelenmiştir. İncelenen aktif güç filtrelerinin güç ve kontrol devrelerinin matematiksel modelleri çıkartılmış, C program dilinde programı yapılarak bilgisayarda simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

Dördüncü bölümde, üçüncü bölümde araştırılan ve modellenerek simülasyonu yapılan seri aktif güç filtrelesinin çeşitli yük parametrelerindeki simülasyon sonuçları ve paralel aktif güç filtresinin simülasyon sonucu verilmiştir. Grafiklerden seri ve paralel aktif güç filtrelerinin performansları ve TORREY'in tasarladığı paralel aktif güç filtresi ile bu tezde tasarlanan seri aktif güç filtresinin verimleri karşılaştırılmıştır.

Beşinci bölümde ise çalışmanın bir değerlendirilmesi yapılmıştır.

• Literatür Özeti

Aktif güç filtreleri üzerine yapılan çalışmalar, filtredeki kondansatörün akım veya geriliminin kontrol yöntemleri ve matematiksel modellemeleri üzerinedir. Güç elektroniğine dayalı olarak tasarlanan bir çok aktif güç filtresi, harmoniklerin bastırılması ve reaktif güç kompanzasyonu sorununu aynı anda çözmeyi amaçlayan metotlardır.

1976'da Harashima'nın devredeki giriş akımı ve şebeke geriliminin tam bir sinüs dalgası şeklinde olduğunu kabul ederek eviricilerle yaptığı çalışma aktif güç filtreleri konusunda yapılan çalışmaların ilkidir [JOU 1993].

1985 yılında Cox ve Mirbod harmoniklerin şebekedeki temel akım ve gerilime etki yüzdelerini hesaplayarak tek fazlı köprü tipi PWM metodu ile kontrol edilen evirici kullanarak bir aktif güç filtresi tasarlamışlardır. Tasarladıkları aktif güç filtresi deneyinden ve klasik kompanzasyon metodundan aldıkları sonuçları karşılaştırmışlardır. Sonuçta aktif güç filtresi ile yapılan kompanzasyonda, klasik metodla yapılan kompanzasyonda oluşan arkların oluşmadığı ve aktif güç filtresinin çok hızlı kompanzasyon sağladığını görmüşlerdir.

Aynı tarihlerde Dommel, Yan ve Wei yaptıkları ortak çalışmada transformatör ve şönt motorun doyum şartlarında ürettikleri harmoniklerin şebeke akım ve gerilimine olan etkilerinin yanında doğrusal ve doğrusal olmayan endüktörlerde oluşan harmoniklerin manyetik akıya olan etkilerini tekrarlı yöntemle araştırmışlardır. Bu araştırmada 400kV'luk 380 km uzunluğunda bir şebeke modellendirilmiş ve simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon sonuçları ayrı zamanlarda verilmiştir ve ayrı zamandaki harmoniklerin hassasiyeti gösterilmiştir.

1986'da Mota ve Quintana, geçici doğrusal reaktif güç problemlerinin çözümünde kullanılabilecek geniş bir programlama tekniği üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada bir çok değişkenli karmaşık reaktif gücün

şebekeden çektiği akımın şebeke gerilimine etkisi incelenmiş ve bu doğrusal etkiler modellendirilmiştir. Sonuçta, karıştırılmış bu fonksiyon lineer programlama tekniğiyle geçici reaktif gücün algoritması kullanılarak 58 adet kontrol değişkeniyle 258 değişik noktada sonuç alınmıştır.

1992'de Juo, Chu ve Wu o tarihlere kadar yapılan aktif güç filtrelerini ayrı ayrı incelemişler hangi yük için ne çeşit filtrenin ve modellemenin daha uygun olduğunu açıklamışlardır. O tarihe kadar yapılan tüm çalışmalarda referans akım üretiminde şebeke gerilimi esas alınmıştır. Herhangi bir nedenle şebeke gerilimindeki bir bczulmanın referans sinyalde hatalara neden olacağına ve filtrelerin performanslarının düşeceği olacağı sonucuna varmışlardır. Bu sonuca göre, yüke paralel olarak bağlanan tek fazlı bir aktif güç filtresi tasarlamışlardır. Bu tasarımda filtrenin performansını her durumda sürdürmesi için referans sinyal üretiminde şebeke gerilimi yerine şebeke gerilimiyle aynı fazda sinyal üreten bir sinyal jeneratörü kullanılmıştır. Tasarladıkları bu yeni aktif güç filtresinin her durumda performansını koruduğu ve doğrusal olmayan yüklerde de kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

1993 yılında Cavallini ve Montanari kompanzasyon için üç fazlı aktif güç filtrelerinin modellenmesi üzerine bir çalışmalarını yayınlamışlardır. Çalışmada AA kaynaktan beslenen doğrusal olmayan bir yüke paralel olarak bağlanan bir aktif filtre ve kontrol devresinin matematik modelleri çıkartılmış, yük akımının şebeke gerilimine etkisi kompanzasyon öncesi ve sonrası grafiklerle karşılaştırılmıştır.

1994 yılında Smedley, nonlinear anahtarlama modelleme konusunda bir çalışmasını yayınlamıştır. Çalışmada karışık bağlanan RLC'den oluşan devrenin transfer fonksiyonu çıkartılmış, işaret akış diyagramlarıyla Mason kazanç formülü kullanılarak devrenin RL ve RC akım grafikleri verilmiştir.

Yine aynı yıl Pan ve Chang üç fazlı bir RL devrede d-q modelleme yaparak eviricilerle yük akımını histerisiz bandı sınırlarında kontrol etmişlerdir. Çalışmada band genişliği ile anahtarlama frekansı arasındaki ilişki araştırılmıştır.

1994'de Juan, Sebastian ve Luis , PWM kontrol metodunu üç değişik şekilde kullanarak kontrol edilen akımların simülasyon sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Bu metodlardan TC (Triangular Carrier Control Block) adını verdikleri kısaca "Triangular Carrier" diye andıkları metodla kontrol edilen akımın diğer yöntemlerle kontrol edilen akımlardan daha düzgün olduğu sonucuna varmışlardır. Bu kontrol metodunda referans akımdan hat akımı çıkartılarak üretilen hata sinyali, kontrol devresinde testere dişi sinyal ile karşılaştırılmış ve PWM generatörüne gönderilmiştir.

1994 yılında Torrey ve Al-Zamel sistemlerde doğrusal olmayan (AA) yükler için köprü tipi eviricilerle bir aktif güç filtresi tasarlamışlardır. Gerçekleştirdikleri deneyde alternatif akım (AA) kaynağından beslenen ve akımı triyakla kontrol edilen 364W'lık omik bir yük ile köprü tipi doğrultma devresiyle doğrultulan akımla beslenen 884W'lık omik-kapasitif (RC) bir yük kullanılmıştır. Yük akımının kaynak akımına etkisi kaynağa paralel

bağlı bir inverterle gerçekleştirilen aktif güç filtresi ile "sliding-mode control" prensibi kullanılarak giderilmiye çalışılmıştır. Deney sonucunda dalga şekli bozulan kaynak akımının şekli tekrar orijinal bir sinüs dalgası haline çok yaklaşırken %3'lük bir güç kaybının ortaya çıktığını görmüşlerdir.

Yine aynı yıl Torrey, Saetio ve Deveraj aynı kontrol metodunu kullanarak, tam kontrollü doğrultma devresiyle doğrultulan akımla beslenen 10.4kW'lık omik-endüktif (RL) bir yükün, üç fazlı şebekedeki etkisini gidermeye çalışmışlardır.

1994 yılında Chichara ve Wang akımı üç fazlı inverterle kontrol edilen bir AA ve tam kontrollü doğrultma devresiyle doğrultulan akımla beslenen bir DA motorunun şebekedeki toplam etkisi IBM uyumlu bir bilgisayar ile kontrol edilen aktif güç filtresi ile giderilmiye çalışılmıştır.

1994 yılında Nastran, Seliger, Jereb ve Cajhen aktif güç filtresini şebeke ve yüke direkt seri bağlamışlar ve filtredeki elektrolitik kondansatörün gerilimini kontrol etmek suretiyle yük akımının tamamını kontrol etmişlerdir. Bu filtreyi akımı triyakla kontrol edilen omik bir yükte ve bir batarya şarj devresinde denemişlerdir. Sonuçta, yapılan kompanzasyonun güç katsayısını çok yaklaşık olarak bire getirdiğini ve üçüncü harmoniğin etkisini 10^6 kat, diğer harmoniklerin etkilerini de 10^{10} kat azalttığını görmüşlerdir.

1. YARIİLETKEN KONTROLLÜ AKIMLARIN ŞEBEKEYE ETKİLERİ

1.1 Güç Elektroniğine Genel Bir Bakış

Güç elektroniği bilim dalı, önceleri diyot, tristör ve triyaklar ile bunların kullanılmasından oluşan enerji dönüşümlerini kapsardı. Günümüzde ise hızla gelişen endüstri teknolojisiyle birlikte mikroişlemcilerin kullanılması çok karmaşık devre tasarımlarına imkan sağlamıştır. Endüstride basit analog devrelerin yerine çok karmaşık dijital devrelerin kullanılmaya başlanmıştır.

Güç elektroniğinin temel elemanları olan tristör ve triyak yerlerini günümüzde güç transistörleri, güç mosfetleri ve kapıdan tıkanabilen (GTO) tristörlere bırakmışlardır [KAYNAK 1988].

1.1.1 Güç Elektroniğinin Kullanıldığı Yerler

Güç elektroniğinin kullanımı son yıllarda oldukça artmış, iletişim, iletim ve dağıtım, enerji dönüşümü, savunma gibi bir çok alana yayılmıştır. Bu alanlar genel olarak sınıflandırılırsa;

a) Elektrik makinelerinde alternatif ve doğru akım uygulamaları, servomotor uygulamaları, sabit veya değişken hız, moment ve güç uygulamaları,

b) Elektroliz, kaplamacılık, indüksiyon fırınları, elektriksel kaynaklar...vb yerler,

c) Alternatif akımdan doğru akıma veya doğru akımdan alternatif akıma çeviriciler ile frekans çeviricileri örnek verilebilir.

1.2 Güç Elektroniğinde Kullanılan Yarı İletkenlerin Akıma Etkisi

Tristör, triyak ve transistörün tetikleme açıları istenildiği gibi değiştirilerek yük akımının etkin ve ortalama değerleri ayarlanabilirken devrede enerji depo eden elemanların varlığından dolayı harmonikler oluşur.

1.2.1 Diyotlarla yapılan tam dalga doğrultma devresi çıkışındaki akımın etkin değeri

Köprü tipi diyotlarla yapılan tam dalga doğrultma devresi çıkışındaki gerilimin etkin değeri,

$$U_{et} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U_m^2 \sin^2 \omega t \cdot d\omega t} \quad (1.1)$$

fomülündeki integral işlemlerinin çözülmesiyle bulunur.

$$\sin^2 \omega t = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\omega t) \quad (1.2)$$

olarak yazılıp gerekli integral işlemleri yapılarak;

$$U_{et} = \sqrt{\frac{U_m^2}{\pi} \int_0^\pi \frac{1}{2}(1 - \cos 2\omega t) \cdot d\omega t}$$

$$= \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad (1.3)$$

olarak bulunur. Devreden geçen akımın etkin değeri de aynı metotla,

$$I_{et} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (1.4)$$

olarak bulunur.

1.2.2 Diyotlarla yapılan yarım dalga doğrultma devresi çıkışındaki akımın etkin değeri

Formül 1.5'deki genel denklemde $t=2\pi$ ve $T=2\pi$ alınıp gerekli işlemler yapılırsa;

$$I_{et} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \left[\omega t - \frac{1}{2} \sin 2\omega t \right]_0^{2\pi}} \\ = \frac{I_m}{2} \quad (1.5)$$

olarak bulunur.

1.2.3 Diyotlarla yapılan tam dalga doğrultma devresi çıkışındaki akımın ortalama değeri

Diyotlarla yapılan tam dalga doğrultma devresi çıkışından alınan gerilimin ortalama değerini veren genel ifade;

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T U_m \cdot \sin \omega t \cdot d\omega t \quad (1.6)$$

dir. Buradaki $T=\pi$ ve $t=2\pi$ yazılıp gerekli işlemler yapılırsa;

$$U_0 = \frac{2 \cdot U_m}{\pi} \quad (1.7)$$

olarak bulunur. Aynı şekilde devreden geçen akım,

$$I_0 = \frac{2 \cdot I_m}{\pi} \quad (1.8)$$

olarak bulunabileceği gibi ohm kanunundan ($I_0 = \frac{U_0}{Z}$) ile de bulunabilir.

1.2.4 Diyotlarla yapılan yarım dalga doğrultma devresi çıkışındaki akımın ortalama değeri

Denklem (1.6)'daki gerilimin ortalama değerini veren genel ifadede U_m yerine I_m ve $T=2\pi$ yazılıp gerekli işlemler yapılırsa;

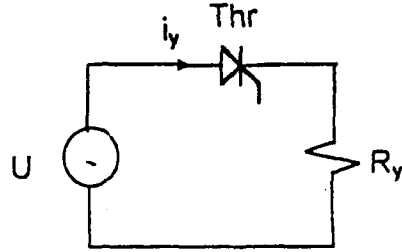
$$I_0 = \frac{I_m}{\pi} \quad (1.9)$$

olarak bulunur.

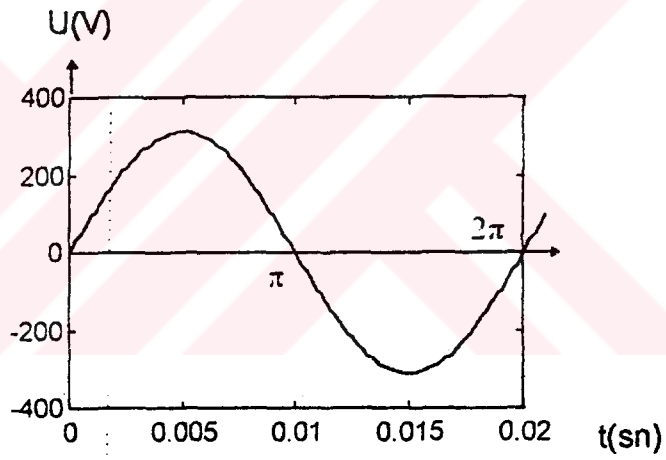
1.2.5 Tristör akımının ortalama ve etkin değerleri

Şekil 1.1'de görülen alternatif akım kaynağından beslenen omik bir yükün akımı tristörle kontrol edilirken, yükün kaynaktan çektiği akımın ve

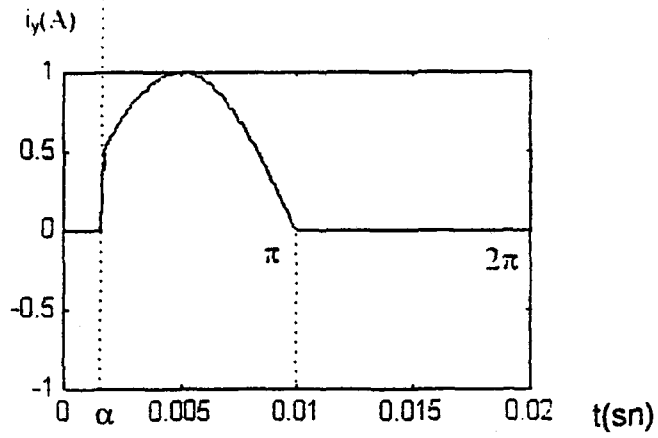
kaynak geriliminin dalga şekli şekil 1.2'de verilmiştir (Akım bir birimdir).



Şekil 1.1 Akımı tristörle kontrol edilen omik yük devresi



Gerilimin dalga şekli



Akımın Dalga Şekli

Şekil 1.1 Şebeke gerilimi ve α açısıyla tetiklenen tristör akımının dalga şekli

α açısıyla tetiklenen tristörden geçen alternatif akımın ortalama değerini veren ifade;

$$I_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_m \cdot \sin \omega t \cdot d\omega t \quad (1.10)$$

dir. Tristör üzerinden $0-\alpha$ arasında bir akım geçmeyeceğinden ortalama değerin genel formülündeki integralin aralığı $\alpha-\pi$ arasında olacaktır. Buna göre formül (1.10)'da gerekli işlemler yapılırsa;

$$I_0 = \frac{I_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \quad (1.11)$$

olarak bulunur. Aynı şekilde tristör üzerinden geçen akımın etkin değeri

$$I_{et} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_m^2 \sin^2 \omega t \cdot d\omega t} \quad (1.12)$$

dir. Bu genel formülde gerekli işlemler yapılırsa akımın etkin değeri;

$$I_{et} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \left[\omega t - \frac{1}{2} \sin 2\omega t \right]_{\alpha}^{\pi}}$$

$$I_{et} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right)} \quad (1.13)$$

olarak bulunur.

2. HARMONİKLERİN ETKİLERİ VE KOMPANZASYON

2.1 Giriş

Harmonikler, alıcıların performanslarını olumsuz yönde etkilediklerinden ve şebeke akımının şeklini değiştirdiklerinden istenmezler. Harmonikler şebeke akımının sinüs biçiminde olan dalga şeklini kare dalga haline getirmeye çalışırlar.

2.2 Harmoniklerin Şebekedeki Etkileri

Harmoniklerin frekansı arttıkça temel dalgaya olan etkileri azalır. Harmoniklerin bileşenleri ve toplamını hesaplamak için Fourier serisi formülü

$$e = U_m \left[\sin \omega t + \left(\frac{1}{3} \right) \sin(3\omega t) + \left(\frac{1}{5} \right) \sin(5\omega t) + \left(\frac{1}{7} \right) \sin(7\omega t) \dots \right] \quad (2.1)$$

kullanılır. Buna göre harmonik bileşenlerinden temel harmonik,

$$e_1 = U_m \sin \omega t \quad (2.2)$$

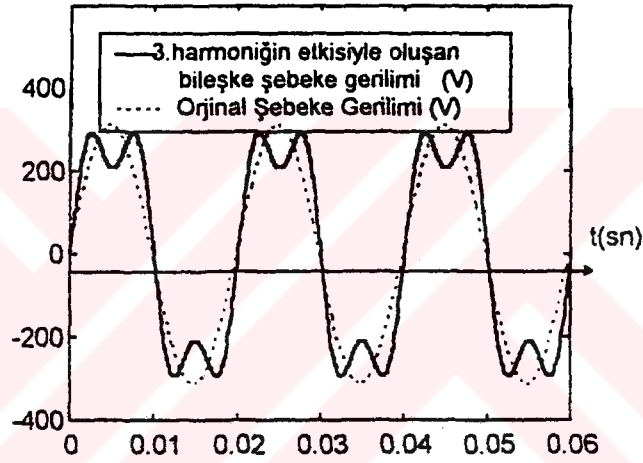
dir. Frekansı temel harmoniğin üç katı olan 3. harmonik ise;

$$e_3 = U_m \left(\frac{1}{3} \right) \sin(3\omega t) \quad (2.3)$$

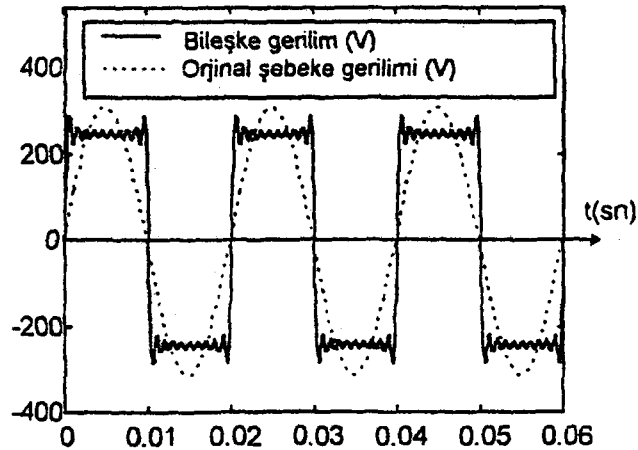
ile ifade edilir.

2.2.1 Harmoniklerin şebeke gerilimine etkisi

Temel harmoniğin tepe değerine 3. harmoniğin etkisi (2.3) nolu denklemden hesaplanacak olursa %33.33'tür. Bu etki şekil 2.1' de gösterilmiştir. Fourier serisine göre 1. harmonikten 21. harmoniğe kadar olan harmoniklerin bileşkesinin, maksimum değeri ($U_m=311V$) olan şebeke gerilimine etkisi şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 3. Harmoniğin şebeke gerilimine etkisi



Şekil 2.2 1'den 21'e kadar olan harmoniklerin şebeke gerilimine etkisi

Şekil 2.2'de görüldüğü gibi şebeke geriliminin dalga şekli sinüsoidalıktan kare dalga şekline doğru bozulmuştur. Eğer 1. harmonikten sonsuza kadar olan harmoniklerin bileşkesinin grafiği fourier serisinden hesaplanarak çizilirse genliği şebeke geriliminin maksimum değerinin $(\frac{\pi}{4})$ katı olan tam bir kare dalga şekli ortaya çıkar.

2.2.2 Harmoniklerin filtre edildikten sonra etkileri

Fourier serisindeki 3. harmoniğin temel harmoniğe olan etkisi iyi tasarlanmış bir aktif güç filtresiyle 60dB, 5,7,9 ve diğer harmoniklerin etkileride 100dB kadar azaltılabilmektedir [Nasran 1994]

Günümüzde çok yüksek frekanslarda tetikleme yapılabilen transistörlerin aktif güç filtrelerinde kullanılmaları çok küçük etkili harmoniklerin bile sezilip bastırılmasına imkan vermektedir. Ayrıca tasarımda tamamen yarı iletkenlerin kullanılması filtrenin hassasiyeti yanında fiziki boyutlarını da küçültmüştür. Bu nedenlerle aktif güç filtrelerinin kullanımı bir çok faydalar sağlamış olacaktır.

2.3 Kompanzasyonun Tanıtımı

Günümüzde kullanılan yükler aktif gücün yanında reaktif güç de çekerler. Çekilen reaktif güç endüktif ve kapasitif olmak üzere ikiye ayrılır. endüktif ile kapasitif yükün çektiği akımlar arasında 180° faz farkı olduğundan bu akımlar birbirlerini yok etmeye çalışırlar.

Reaktif güç üretiminde; senkron generatörler, senkron motorlar ve kondansatörler kullanılır [BAL,1988]. Endüstriyel yükler genellikle endüktif olduklarından kapasitif bir yük ile kompanze edilirler. Kondansatörler ile üretilen reaktif güç kolay ve kontrol edilebilir olduğundan kompanzasyon için genellikle kondansatör ve kondansatör grupları kullanılır.

Bugüne kadar reaktif güç kompanzasyonu için gerekli reaktif gücün hesaplanmasında şebekeden çekilen reaktif gücün büyüklüğü veya yükün faz açısı dikkate alınmıştır. Faz açısı Reggler adı verilen bir röle ile sezilmiş ve bu röle yardımıyla devreye kondansatörler eklenmiş yada çıkartılmışlardır. Fakat bu rölenin hem faz farkını sezme kabiliyeti hassas değil hem de faz farkının sezilip kondansatörlerin devreye girip çıkmalarındaki geçen süre fazladır. Bu yüzden klasik metotlara yapılan kompanzasyon ancak reaktif güç isteği zamanla hiç değişmeyen yada çok yavaş değişen yükler için bir çözüm olabilir. Günümüzdeki endüstriyel yüklerde reaktif güç isteğinin çok ani değişmesi nedeniyle yeni kompanzasyon tasarımları gerekmiştir.

2.3.1 Kompanzasyon Çeşitleri

Reaktif güç kompanzasyonu alıcıların tek tek kompanzasyonu, grup halinde kompanzasyonu ve tek bir merkezden olmak üzere üç değişik şekilde yapılabilir [BAL, 1988].

2.3.2 Kompanzasyon konusunda yapılan çalışmalar

Reaktif güç kompanzasyonu ile ilgili çalışmalar 20. yüzyılın başlarına rastlar. Endüstride ilk sabit kompensatör kullanımı 1914 yılında olmuştur [BORRALD 1981]. Endüstrinin zamanla gelişmesiyle, endüktif yüklerin çok karmaşık bir şekilde devreye girip çıkmalarıyla klasik kompanzasyon çeşitleri yetersiz kalmıştır. Kademeli ayar yapan kompensatörlerde kondansatörlerin devreye girip çıkmaları anında şebeke geriliminde dalgalanmalar olmaktadır. Bu durum harmonik oluşturduğundan istenmez. Bunların yerine 1970 yılından itibaren yarı iletkenlerle devreye girip çıkartılan statik kompensatörler kullanılmaya başlanmıştır [BORRALD 1981]. Günümüzde daha çok statik kompensatörler kullanılmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalar ise devam etmektedir.

2.4 Harmoniklerin Etkilerinin Bastırılması ile Kompanzasyon Yapılması Arasındaki Benzerlik

Bilindiği gibi kapasitif yüklerin şebekeden çektiği akım şebeke geriliminden ileri, endüktif yüklerin şebekeden çektiği akım ise şebeke geriliminden geridir. Akımın veya gerilimin ani değeri, $t=0$ anında sıfırdan büyükse kapasitif, küçükse endüktiftir. Şekil 2.1 veya şekil 2.2 incelenirse harmoniklerin etkisi ile gerilim yaklaşık 0° - 60° ve 120° - 180° arasında kapasitif, 60° - 120° arasında ise endüktif olmaktadır. Bu sonuca göre yük

akımındaki harmoniklerin bastırılmasıyla aynı zamanda kompanzasyon da yapılmış olur.



3. DOĞRUSAL OLMAYAN SİSTEMLER VE AKTİF GÜÇ FİLTRELERİ

3.1 Sistemlerde Geçici Olaylar

Sistemlerdeki geçici olaylar; istenen ve istenmeyen geçici olaylar olarak ikiye ayrılır. Elektrikte istenmeyen geçici olaylara örnek olarak sistemde kullanılan anahtarların açılıp kapanmasındaki oluşan arklar verilebilir. Sistemlerdeki istenmeyen geçici olayların etkileri, istenen geçici olaylar yardımıyla kontrol edilir veya en aza indirilebilir. Bunun için o sistemi geçici halde incelemek gerekir. Gerek istenen gerekse istenmeyen geçici olayların ele alınıp incelenmesi ve bunların hesabı oldukça zordur. Geçici haldeki herhangi bir fiziksel sistemin dinamik davranışlarının tümü matematiksel yoldan formüle edilemezler. Bu yüzden fiziksel sistemlerin dinamik davranışlarının incelenmesinde bu davranışların tamamının matematiksel formüllerle ifade edilebildiği doğrusal sistemler tercih edilir. Doğrusal sistemlerin matematiksel ifadelerinin daha basitliği ve bu ifadelerin toplamsallık özelliğinden dolayı tam çözümünün daha kolay elde edilebilmesi, sistemlerin geçici davranışlarının incelenmesini de kolaylaştırır. Buna karşılık temelinden doğrusal olmayan fiziksel sistemlerin matematiksel yollardan incelenmesi oldukça güçtür ve çoğu kez pratik değildir. Bu sistemlerin davranışları doğrusal sistemlerin davranışlarından daha karışık olduğundan matematiksel yünden analiz etmek daha güçtür.

Doğrusal olmayan sistemlerin davranışlarını belirten denklemlerin ve fonksiyonların karakteristik toplamsallık özelliği yoktur. Seriyeye açılımları ise

daha fazla karışıklığa sebep olur. Böyle denklemlerin çözümünde matris cebirinin kolaylıklarından da yararlanılamaz. Bu sistemlerin analizi için kullanılan pratik yöntemler hem tam değil hem de karışıktır. Kullanılan bu pratik yöntemlerde grafik metodları içerdiğinden hem hassas değil hem de arka arkaya yapılacak yaklaşımları gerektirir ve çözümler uzun zaman alır. Bu sakıncalardan dolayı doğrusal olmayan sistemlerin incelenmesi çoğu kez matematiksel yollardan değil deneysel yollardan yapılır [ÖNAL 1970]. Ancak günümüzde yapılan deneyler oldukça masraf gerektirir ve sonuca uzun zamanda ulaşılabilir. Özellikle sistemin davranışları hakkında önceden hiç bir bilgi yoksa deneyde kullanılacak elemanların seçimi de çoğu kez hatalı olur ve maliyeti artırır. Uygulamalardaki bu sakıncaları ortadan kaldırmak için önce sistemin doğrusal özellik gösteren kısımlarının matematiksel ifadeleri çıkartılır. Çıkartılan bu ifadeler yardımıyla doğrusal özellik gösteren elemanların davranışları yardımıyla doğrusal özellik göstermeyen elemanların davranışları kontrol edilir.

3.2 Doğrusal Olmayan AA Yükler

Araştırmalar sonucu, doğrusal olmayan AA yükler; sabit ve değişken güç katsayılı olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Bu yüklere örnek olarak birincisi için, akımı triyakla kontrol edilen omik yük, ikincisi için bir akü şarj devresi verilebilir. Doğrusal olmayan AA yüklerin bütün özellikleri dikkate alınarak yapılan tasarımlar, doğrusal olmayan yük hangi çeşit olursa olsun filtre edilebilir [NASTRAN 1994]. Bu prensipten hareketle tasarlanan aktif güç filtrelerinin performanslarının oldukça iyi olduğu görülmüştür.

3.3 Aktif Güç Filtreleri

Endüstride harmoniklere karşı aşırı duyarlı cihazların ve reaktif güç isteği çok ani değişen cihazların aynı anda kullanılmalarının zorunluluğu daha iyi kompanzasyon yapabilecek yeni tasarımları gerektirmiştir. 1976 yılından sonra ortaya çıkan aktif güç filtreleri oldukça önem kazanmıştır.

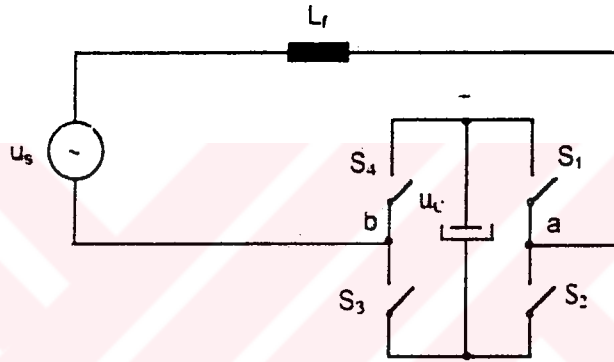
Aktif güç filtreleriyle reaktif güç kompanzasyonu yapılırken tepki hızlarının çok yüksek olması nedeniyle aynı zamanda harmonikler de filtre edilebilirler. Aktif güç filtrelerin verimlerinin yüksek oluşu, güç katsayısının 1'e çok yakın bir değerde tutulabilmesi, doğrusal olmayan yüklerde kullanılabilmesi ve akımın tam bir sinüs dalgasına benzetilebilmesi kullanımda tercih nedeni olmaktadır.

3.3.1 Aktif güç filtrelerinin tasarım prensibi

Aktif güç filtreleri doğrusal olmayan alternatif akım (AA) ile çalışan yüklerin akım kontrolünde kullanılırlar. Doğrusal olmayan yük akımlarının dinamik davranışlarının matematik ifadelerini çıkarmak ve bu ifadeleri çözmek güçtür. Bu nedenle yük akımının kontrolü, filtredeki kondansatör akım veya geriliminin çeşitli metodlarla kontrolü ile sağlanır.

Şekil 3.1'deki aktif filtre şemasında tüm anahtarların açık, kaynak geriliminin sıfır ve kondansatör geriliminin ise sıfırdan büyük olduğu kabul edilirse a ve b noktaları arasındaki gerilim sıfır olur. Bu durumda S_1 ve S_3 anahtarları kapatılırsa a ve b noktaları arasındaki gerilim sıfır iken kondansatör gerilimine (u_c) eşit olur. Bu durumda S_1 ve S_3 açılıp S_2 ve S_4

anahtarları kapatılırsa a ve b noktaları arasındaki gerilim ($-u_c$) olur. Eğer kaynak gerilimi sıfırdan farklı ve a-b yönünde pozitif bir gerilim mevcut iken S_1 ve S_3 anahtarları kapatılırsa u_{ab} azalır. S_2 ve S_4 anahtarları kapatırsa u_{ab} daha da artar. Aktif güç filtreleri bu prensibe göre tasarlanırlar. Anahtarların açılıp kapanması uygun transistörlerin iletme veya kesime götürülmesi ile sağlanır.



Şekil 3.1 Aktif güç filtresinin tasarım prensibi şeması

3.3.2 Aktif güç filtrelerinin evirici modeli

Bu tez çalışmasında bir fazlı aktif güç filtresiyle kompanzasyonun simülasyonu amaçlandığından modellemelerde bir faz için yapılacaktır.

Prensip şeması şekil 3.1'de görülen tek fazlı bir aktif güç filtresi köprü tipi doğrultma devresinden beslenen bir doğru akım (DA) kondansatörü ve anahtarlama yapmak için her diyoda paralel bağlı dört adet transistörden oluşmuştur. Filtre devresindeki bobin, transistörlerin iletme veya kesime

geçirilmesi sırasında akımdaki ani dalgalanmaları önlemek için kullanılmıştır.

Aktif güç filtresinin çalışması uygun zamanda uygun transistör ya da transistör grubunun sürülerek anahtarlama yapmasından oluşur. Aktif güç filtrelerinin performansları anahtarlama kullanılan yarıiletken elemanların iletme ve kesime geçme süresine ve bu elemanların anahtarlama frekansına bağlıdır. Bu nedenle anahtarlama kullanılan transistörler yüksek frekanslarda tetiklenirler. Uygulamada, filtrede kullanılacak elemanlar transistörlerin anahtarlama frekansına uygun olarak seçilmelidir.

3.3.3 Aktif güç filtresinin matematik modeli

Prensip şeması şekil 3.1'de verilen aktif güç filtresinin (x) anahtar numarasını (1,2,3,4) olarak göstermek üzere matematik modeli;

$$u_x = \begin{cases} 1 & S_x \text{ kapalıyken} \\ 0 & S_x \text{ açıkken} \end{cases} \quad (3.1)$$

mantığı kullanılarak a ve b noktaları arasındaki gerilim

$$u_{ab} = [u_1 + u_3 - 1] \cdot u_c \quad (3.2)$$

veya,

$$u_{ab} = [u_2 + u_4 - 1] \cdot u_c \quad (3.3)$$

ile gösterilir [TORREY 1994]. Aynı şekilde filtre akımı,

$$i_c = [u_1 + u_2 - 1] \cdot i_v \quad (3.4)$$

veya

$$i_c = [u_2 + u_1 - 1] \cdot i_v \quad (3.5)$$

olur. Bu denklemler uzay durum formunda ifade yazılırsa,

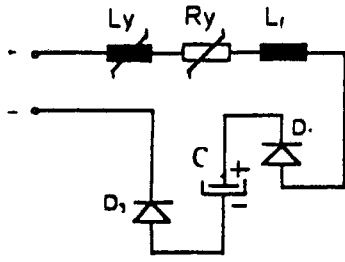
$$\frac{d}{dt} i_v = \frac{1}{L_f} [u_v (2u_v - 1)] \cdot u_c \quad (3.6)$$

$$\frac{d}{dt} u_c = \frac{1}{C} [2u_v - 1] \cdot i_v \quad (3.7)$$

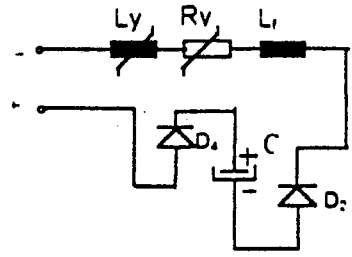
olarak gösterilir.

3.4 Seri Aktif Güç Filtreleri

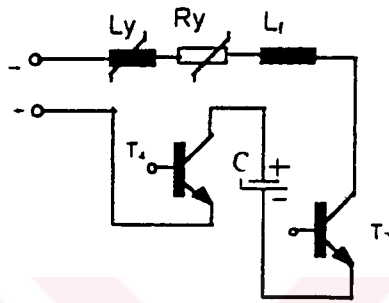
Aktif güç filtreleri, klasik kompanzasyonlarda olduğu gibi yüke sadece paralel değil seri olarak da bağlanabilirler. Üstünlükleri yanında sakıncaları da olmakla birlikte yükün durumuna ve çekilen akıma bağlı olarak seçim yapılmalıdır. Özellikle yük akımının tamamının kondansatör üzerinden geçmesi yük akımının kontrolü açısından bir üstünlük, uygun kondansatör seçimi açısından ise kusurdur. Ancak bu kondansatör üzerinde düşen gerilim, şebeke geriliminin bir kısmının yük üzerinde düşmesi nedeniyle küçük olur. Bu nedenle filtre devresi şebekeye bağlanırken herhangi bir transformatör kullanılmaması ve kondansatör gerilimi kontrol edilirken yük akımının da tamamının kontrol edilebilmesi doğrusal olmayan yük akımlarının kontrolünde büyük bir üstünlük sağlar.



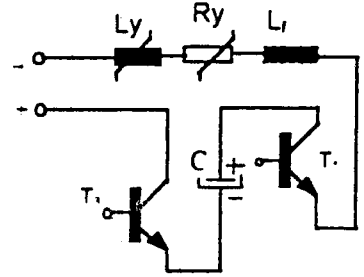
Şekil 3.3. a Pozitif alternansta akımın diyotlar üzerinden geçişi



Şekil 3.3. c Negatif alternansta akımın diyotlar üzerinden geçişi



Şekil 3.3. b Pozitif alternansta akımın transistörler üzerinden geçişi



Şekil 3.3. d Negatif alternansta akımın transistörler üzerinden geçişi

Şekil 3.3 Seri aktif güç filtresinin çalışma modları

Ters polarmada ise kondansatör gerilimi azalırken devreden geçen akım

$$i_y = \frac{u + u_c}{Z} \quad (3.9)$$

olarak hesaplanır.

3.4.2 Seri aktif güç filtresinin matematik modeli

Seri aktif güç filtresinin Şekil 3.3.b ve 3.3.d'deki çalışma modlarında toplam endüktans L ve devreden geçen akım I_y 'dir. Bu modlarda

kondansatör kutupları değiştiğinden Şekil 3.3.a ve 3.3.c modları için ayrı, Şekil 3.3.a ve 3.3.c modları için ayrı bir matematik modeli yazılacaktır. Şekil 3.3.a ve c modlarının matematik modeli

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_y \\ u_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_y \\ u_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} [u] \quad (3.10)$$

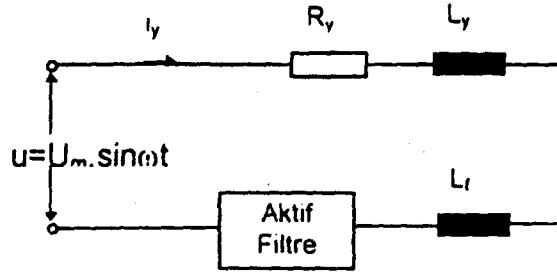
dir. Şekil 3.3.b ve 3.3.d modlarının matematik modeli.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_y \\ u_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & \frac{1}{L} \\ -\frac{1}{C} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_y \\ u_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} [u] \quad (3.11)$$

olarak hesaplanır.

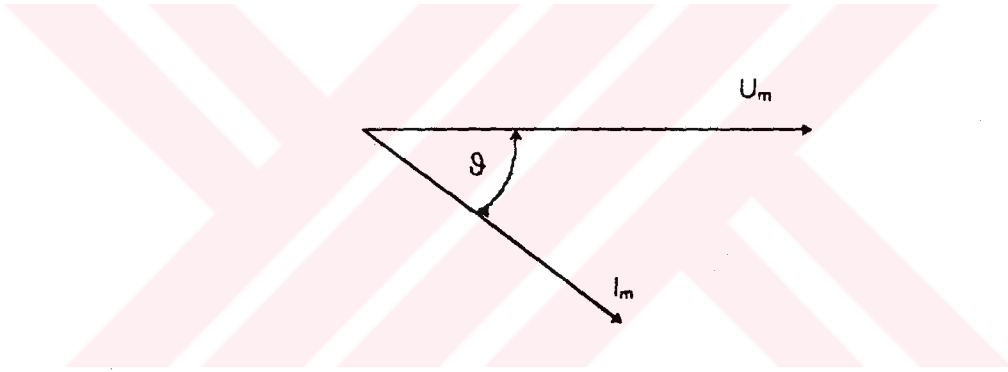
3.4.3 Aktif güç filtresinin dinamik denklemleri

Güç devresi şekil 3.2'de gösterilen seri aktif güç filtresindeki C kondansatörünün gerilimi kontrol devresi yardımıyla sabit tutulur. Hesaplamalarda kullanılan basit eşdeğer devre şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Seri aktif filtre devresinin basit eşdeğer devre şeması

Akımın faz geriliminden ϑ açısı kadar geride olan endüktif bir yükün vektör diyagramı şekil 3.5'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Yük akımı ile şebeke geriliminin vektör diyagramı

Yükün endüktans ve direncinin doğrusal ve şebeke geriliminin

$$u = U_m \sin \omega t \quad (3.12)$$

olduğu kabul edilmiştir. Doğrusal olmayan yük akımını oluşturan harmoniklerin toplamını veren genel genel denklem,

$$i_y(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_n \cdot n \cdot \sin(n \cdot \omega t + \vartheta_n) \quad (3.13)$$

şeklinde yazılır. 3.13 nolu denklem içinde esas yük akımını veren temel harmonik değeri denklemin sağ tarafında ikinci terim olarak

$$i_y(t) = \sum_{n=2}^{\infty} I_n \cdot n \cdot \sin(n \cdot \omega t + \theta_n) + I_m \sin(\omega t + \theta_y) \quad (3.14)$$

ile ifade edilebilir. 3.14 nolu denklemdeki birinci harmoniğin maksimum değeri (I_m) aynı zamanda esas yük akımının maksimum değeri, θ_y esas yük akımının faz açısıdır. Yükün esas faz açısı θ_y 'nin işareti, endüktif veya kapasitif yük durumu dikkate alınmaksızın genel halde yazılmış şeklidir. Yük doğrusal olmağından yük akımı ani olarak endüktif özellik gösterirse, yük akımı şebeke geriliminden geri kalacağından denklemdeki θ_y 'nin işareti (-) olur. Yük akımı ani olarak kapasitif özellik gösterirse yük akımı şebeke geriliminden ileri olacağından θ_y 'nin işareti (+) olur. Denklem 3.14'ün sağındaki ikinci terim temel yük akımını ifade ettiğinden, bu terim toplam yük akımını oluşturan harmoniklerin toplamından çıkartılırsa harmonik içermeyen fakat şebeke geriliminden θ_y kadar faz farklı olan temel yük akımı,

$$i_{y1}(t) = I_m \sin(\omega t - \theta_y) \quad (3.15)$$

elde edilir.

3.4.3.1 Yük akımının aktif ve reaktif bileşenleri

Denklem (3.15)'deki temel yük akımı iki temel bileşen ile ifade edilebilir. Bu bileşenler aktif ve reaktif olarak ayrılırsa,

$$i_{y1}(t) = I_m \sin(\omega t + \vartheta_y)$$

$$= I_m \cos \vartheta_y \sin \omega t + I_m \sin \vartheta_y \cos \omega t \quad (3.16)$$

dir. Bu denklemde $(I_m \cos \vartheta_y)$ akımın aktif bileşeni (I_{ya}) ve $(I_m \sin \vartheta_y)$ reaktif bileşen (I_{yr}) şeklinde gösterilirse temel yük akımı

$$\begin{aligned} i_{y1}(t) &= I_{ya} \sin \omega t + I_{yr} \cos \omega t \\ &= i_{ya}(t) + i_{yr}(t) \end{aligned} \quad (3.17)$$

olarak yazılır.

Bu denklemlerdeki temel yük akımının maksimum değeri olan I_m bir pik dedektörü ile sağlanabilir. Sinyal jeneratörü ile de orjinal bir sinüs dalgası üretilirse, üretilen bu sinüs dalgasının matematiksel ifadesi.

$$i_r(t) = \sin \omega t \quad (3.18)$$

dır. Pik dedektörü ile sağlanan akımın sabit tepe değeri ile sinyal jeneratöründen sağlanan orijinal sinüs dalgası bir çarpım devresinden geçirilirse bu akımın matematiksel ifadesi;

$$i_{y1}^*(t) = I_m \sin \omega t \quad (3.19)$$

şeklinde olur. Burada $i_{y1}^*(t)$ harmonik içermeyen ve şebeke gerilimine göre faz farkı olmayan referans yük akımıdır.

Şekil 3.4'deki RLC devresinin gerilim denklemi,

$$U_m \cdot \sin \omega t = u_c(t) + L_y \frac{di(t)}{dt} + L_r \frac{di(t)}{dt} + R_y \cdot i(t) \quad (3.20)$$

olur ve bu denklemden filtredeki kondansatör gerilimi,

$$u_c(t) = U_m \cdot \sin \omega t - L_y \frac{di_y(t)}{dt} - L_r \frac{di_y(t)}{dt} - R_y \cdot i_y(t) \quad (3.21)$$

olarak hesaplanır. Aktif filtre kondansatöründe harcanan aktif gücü veren genel formül,

$$P_c = \frac{1}{T} \int_0^T u_c(t) \cdot i_c(t) dt \quad (3.22)$$

dir. Kondansatör üzerinden geçen akım (i_c) esas yük akımı (i_{y1})'e eşit olduğundan $i_c = i_{y1}$ yazılabilir. Denklem 3.16, 3.21 ve 3.22 kullanılarak kondansatörün aktif gücü

$$P_c = \frac{1}{2} (U_m \cdot I_m \cdot \cos \vartheta - R_y \cdot I_m^2) \quad (3.23)$$

olarak hesaplanır. Kondansatörün ideal olduğu kabul edildiğinden filtrede aktif güç harcanmayacaktır. Böylece, güç denklemi sıfıra eşitlenirse

$$P_c = (U_m \cdot I_m \cdot \cos \vartheta - R_l \cdot I_m^2) = 0 \quad (3.24)$$

olur. Eğer istenirse yük akımının maksimum değeri pik dedektörü kullanılmadan sadece bu yüklerde olmak şartıyla (3.22) nolu denklemden

3.4.3.2 Seri aktif güç filtresinde kondansatör referans geriliminin hesaplanması

Seri aktif güç filtresinde yük akımının tamamı filtre devresindeki kondansatör üzerinden geçtiğinden kontrolü daha kolay olduğundan kondansatör gerilimi ile yük akımının tamamı kontrol edilir. Bu nedenle kondansatörün referans geriliminin hesaplanması gerekir. 3.19 nolu denklem kullanılarak, kondansatörün referans gerilimi

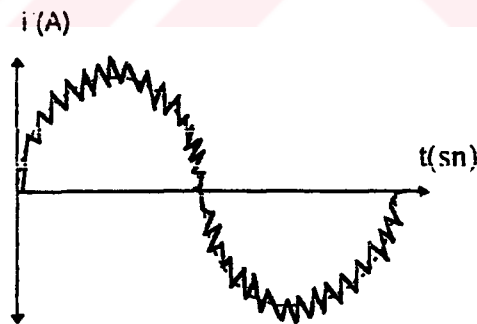
$$U_{cr} = \frac{1}{C} \int_0^t i_{L1}(t) dt \quad (3.26)$$

olarak hesaplanır. Bu denklemdeki kondansatör geriliminin hesabında güç katsayısı hiç kullanılmadığından bütün doğrusal olmayan yüklerin kompanzasyonunda referans olarak kullanılabilir.

3.4.4 Seri aktif güç filtresinin analog olarak gerçekleştirilmesi

Şekil 3.8'de gösterilen ve akımı triyakla kontrol edilen omik bir yükün şebekeden çektiği akımın dinamik davranışı denklem 3.13 ile ifade edilir. Yüke paralel bağlanan band geçiren filtre ile filtre devresinden sadece denklem 3.15 ile tanımlanan yük akımının temel bileşeninin geçmesi sağlanır. Yük akımının temel bileşeni olan bu akım hem filtre devresine hem de bir pik detektörüne gönderilir. Bu seri aktif güç filtre simülasyonunda diğer araştırmacıların geliştirmiş oldukları aktif güç filtrelerinden ayrı olarak şebeke gerilimindeki herhangi bir nedenle oluşan dalgalanmadan referans kondansatör geriliminin etkilenmemesi için

şebekeyle aynı fazda sinyal ($\sin \omega t$) üreten bir sinyal jeneratörü kullanılmıştır. Sinyal jeneratörü çıkışı ile band geçiren filtre çıkışından beslenen pik dedektörünün çıkışından alınan yük akımının tepe değeri (I_m) bir çarpım devresinden geçirilerek denklem 3.19 ile ifade edilen referans yük akımı elde edilir. Bu akım bir integral alıcı devreden geçirilerek filtredeki kondansatörle aynı değerdeki bir kondansatör üzerinden geçirilerek kondansatör referans gerilimi elde edilir. Kondansatör referans geriliminin etkin değeri ile filtredeki kondansatör gerilimi PWM generatörünün girişine gönderilerek iki gerilim arasındaki oluşacak farktan üretilen hata sinyali bir flip-flop devresinden geçirilerek çıkışlardan birisi, diğeri de T_2 ve T_4 transistörlerinin kapılarına gönderilerek uygun transistör gurubunun uygun zamanda tetiklenmesi yada hiç tetiklenmiyerek akımın diyodlar üzerinden devresini tamamlaması sağlanır.



Şekil 3.7 Seri aktif güç filtresinden alınabilen akımın dalga şekli

3.4.5 Seri aktif güç filtresinin çalışması

Kontrol devresiyle filtre gerilimi (U_c) belirli sınırlar içinde sabit tutulursa devreden geçen akım düz polarmada (3.8) formülüne göre azalırken, ters

polarmada (3.9) formülüne göre artar. Kutuplu kondansatörün alternansın (-) bölgesinde de düz kutuplanması için şekil 3.2'deki gibi kondansatör köprü tipi bağlanmış diyotlarla doğrultulan akımla beslenir. Böylece kondansatör kaynak akımının (-) alternansında da (+) alternans gibi davranış gösterir. Bu durumda kondansatör şarj oldukça alıcı üzerinde düşen gerilim azalacağından alıcı normalden daha az akımla çalışır. Bunu önlemek için köprü tipi doğrultma devresindeki her diyoda paralel bir transistör bağlanır. Kondansatör gerilimi band sınırının üzerine çıktığı zaman transistörlerin tetiklenmesiyle kondansatörün kutupları değiştirilir. Kondansatörün kutuplarının değişmesiyle kondansatör deşarj olurken gerilimi de azalır. Kondansatör gerilimi azaldıkça formül (3.9)'ye göre devreden geçen akım artar. Kondansatör gerilimi band sınırının altına düşerse transistörlerin tetiklenmesi bırakılır, akım diyotlar üzerinden geçerken kondansatör kendiliğinden şarj olur ve gerilimi tekrar yükselir. Kontrol devresi tarafından kontrol edilen kondansatör gerilimi filtredeki transistörlerin tetiklenmesiyle histerisiz bandı sınırları içinde sabit tutulur. Böylece yük akımı kontrol edilmiş olur.

Aktif güç filtre devrelerinde yük omik bile olsa devre, filtre devresine konulan bir akım sınırlayıcı bobin ve filtreye konulan bir kondansatörden oluşur. Bu devre en sade şekilde bile bir seri RLC devresidir. Bu tür devreler ikinci mertebeden diferansiyel denklemler ile ifade edilirler. Bu nedenle aktif güç filtresi devrelerinde filtredeki kondansatörün ne kadarlık bir sürede şarj veya deşarj olacağı ikinci mertebeden diferansiyel

denklemin sayısal çözümünden bulunabilir. Bu ise zor ve uzun hesaplamalar gerektirdiğinden oldukça zaman alır ve doğrusal olmayan yük problemlerinde sonuca ulaşılmasını zorlaştırır. Bu yüzden seri RLC devrenin durum denklemi yazılıp bilgisayar programları da yapılırsa bilgisayarlardan bu devrenin zamana göre grafik veya sayısal değerleri kolaylıkla alınabilir. Şekil 3.2' deki gibi tasarlanan seri aktif güç filtresinin dört ayrı çalışma modu vardır.

Şekil 3.3.a'daki devrede $t=0$ anında C kondansatörü deşarj durumundadır. Başlangıçta deşarj durumundaki kondansatörlere $t=0$ anında akım verilirse devreden maksimum akım çekerler ve depo ettikleri yük artıkça kondansatörlerin kaynaktan çektikleri akım azalır. Buna karşılık depo edilen yük artıkça depo edilen gerilim de artar. Şekil 3.2'deki seri devrede yük akımının tamamı kutuplu C kondansatörü üzerinden geçmektedir. Başlangıçta yük akımı maksimum olmasına rağmen kondansatör gerilimi yükseldikçe yük akımı azalır. Denklem 3.8'e göre kondansatör gerilimi ile kaynak gerilimi eşit olduğu zaman devreden geçen akım sıfır olur. Kondansatör devrede köprü tipi doğrultma devresinden beslendiği için, alternans değişse bile kutuplu kondansatör üzerinden geçen akımın yönü değişmeyecektir. Böylece AA kaynaktan beslenen seri bir RLC devresinde RL yükü üzerinden AA akım geçerken kutuplu kondansatör üzerinden geçen akım DA olur. Aktif filtre bu modda çalışırken pozitif akımın değeri gittikçe azalır. Bu durumda kondansatör üzerinde de bir miktar gerilim depo edilmiş olur. Depo edilen gerilimin değeri band

sınırının üzerine çıkarsa devredeki T_2 ve T_4 transistörleri aynı anda tetiklenir. Bu transistörlerin tetiklenmesiyle aktif filtre şekil 3.3.b modunda çalışır. Transistörlerin tetiklendiği anda kondansatörün (+) kutbu kaynağın (-) kutbuna bağlanmış olur. Bu modda devrenin toplam gerilimi artacağından yük üzerinden geçen akım da artar. Bu moddaki çalışmada kondansatör deşarj olurken yük akımı artar. Kondansatör gerilimi band sınırının altına düşerken yük akımı belirlenen değerin üstüne çıkar. Bu durumda filtre tekrar şekil 3.3.a modunda çalışmaya başlar. Bu işlem periyodun (+) alternansı süresince tekrarlanır.

Periyot süresince alternans değişince köprü tipi doğrultma devresinden beslenen kondansatör akımının yönü değişmez. Ancak ilettime geçen diyot grupları değişir. Bu çalışma modu şekil 3.3.c'deki gibidir. Bu modda da alternansın ani değeri artarken kondansatörün gerilimi artar ve yük akımı sıfıra doğru gider. Kondansatör gerilimi band sınırının üzerine çıkarsa filtre kontrol devresi yardımıyla bu moddaki çalışmadan şekil 3.3.d'deki çalışma moduna geçirilir.

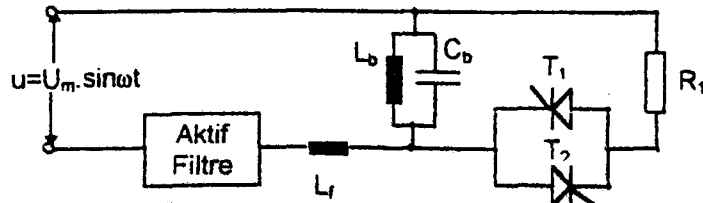
Şekil 3.3.d modundaki çalışma da şekil 3.3.b modundaki çalışmaya benzer. Sadece tetiklenen transistörler T_1 ve T_3 transistörleri olarak değişmiştir. Üçüncü ve dördüncü modlar çalışmalarını (-) alternans süresince sürdürürler. Alternans tekrar (+) olunca iletimdeki T_2 ve T_4 transistörleri ters kutuplanmadan dolayı kendiliğinden kesime gider. D_1 ve D_3 diyotları kendiliğinden ilettime geçer ve şekil 3.3.c modu tekrar başlamış

olur. Bu şekilde tasarlanan aktif güç filtresinden alınan akımın değişimi şekil 3.7'de gösterilmiştir.

Şekil 3.7'de görüldüğü gibi band sınırları içinde akım sinüsoidal olmasına karşılık bu sınırlar içerisindeki harmonik frekansı transistörlerin tetiklenme frekansı kadar olmuştur. Böylece harmoniklerin genlikleri küçülsede frekansları daha da artmıştır. Bu frekanstaki harmonikler de harmoniklere duyarlı cihazların etkilenmesine ve şebeke geriliminin bozulmasına neden olabilir. Bu olumsuz etki yüke paralel bağlanan band geçiren bir filtre ile azaltılabilir. Böylece doğrusal olmayan AA yükler için tasarlanan seri aktif güç filtresinin düzelttiği yük akımı sinüs dalgasına oldukça yaklaşmış olur.

3.4.6 Seri aktif güç filtresiyle sabit güç katsayılı yüklerin kompanzasyonu

Şekil 3.8'de akımı triyakla kontrol edilen bir omik yük ve bu yükün şebekeden çektiği akımın sinüs dalga şekline getirilmesi için aktif güç filtresinin devreye bağlantı şeması görülmektedir. Bu devredeki gibi bir yükün şebekeden çektiği akımın dalga şekli triyağın tetiklenme açısına göre değişmektedir.

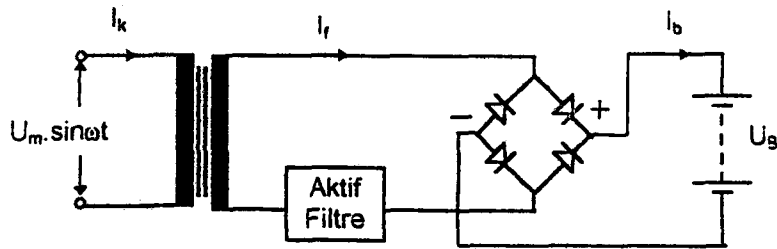


Şekil 3.8 Sabit güç katsayılı doğrusal olmayan yük kompanzasyonu için kullanılan devre şeması

3.4.7 Seri aktif güç filtresiyle değişken güç katsayılı yüklerin kompanzasyonu

Güç katsayısı ($\cos \theta$) ve yük direnci (R_y) sabit ise yük akımının değeri (I_m)'dir. Bu kontrol prensibinde $\cos \theta$ ve referans akımın maksimum değeri devamlı sabit olarak alındığından $\cos \theta$ 'nin kesinlikle yeterli derecede düzeltilmesi ve sabit tutulması gerekir. Bu çalışmada bu problemten kurtulmak için referans gerilim üretilmesinde yük akımının tepe değeri pik dedektörü ile sağlanmış ve güç katsayısının sabit hale getirilmesi için şebekeyle aynı fazda bir sinüs sinyali üretilmiştir.

Şekil 3.9'da bir akü şarj devresi görülmektedir. Burada kontrol devresi yardımıyla faz akımı, faz gerilimi ve $\cos \theta$ sabit hale getirilir. Bu durumda faz gerilimi ve $\cos \theta$ 'nin sabit olduğu varsayılarak kompanzasyonda sadece temel akımın davranışı dikkate alınmıştır.

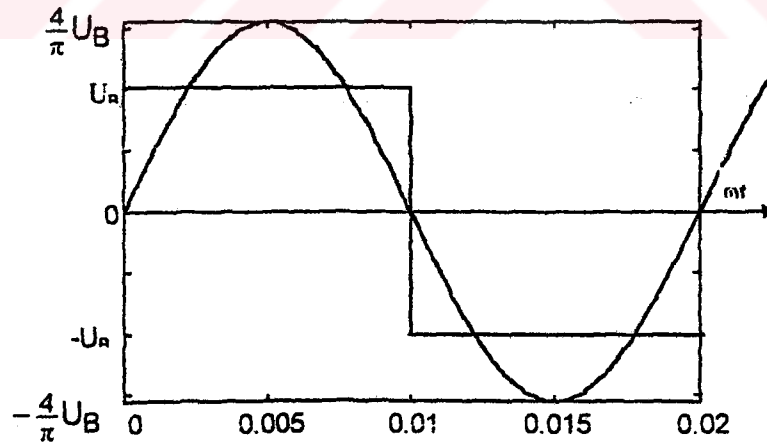


Şekil 3.9 Değişken güç katsayılı doğrusal olmayan yük akımının seri aktif güç filtresiyle düzeltilmesi devre şeması

Değişken güç katsayılı doğrusal olmayan yüklerle örnek olarak verilen batarya şaj devresinde batarya gerilimi şebeke geriliminin $(\frac{\pi}{4} U_m)$ katı olduğu anda şebekeye en çok olumsuz etki yapar. Fourier serisi açılımına göre sonsuz sayıda harmoniklerin bileşkesinden genliği temel harmoniğin tepe değerinin $\frac{\pi}{4} U_m$ katı olan bir kare dalga oluşur.



Şekil 3.10 Hesaplamalarda kullanılan aktif filtre ile batarya şaj devresi



Şekil 3.11 Batarya şaj devresinin gerilim diyagramı

Devredeki batarya gerilimi,

$$u_B = \frac{4}{\pi} U_B \sin \omega t \quad (3.27)$$

olarak ifade edilirse devrenin gerilim denklemi

$$u = u_F + L_f \frac{di}{dt} = u_B \quad (3.28)$$

olarak hesaplanır. Denklem 3.15 açık şekilde

$$U_m \sin \omega t = u_F + L_f \cdot \omega \cdot I_m \cdot \cos \omega t + \frac{4}{\pi} u_B \cdot \sin \omega t \quad (3.29)$$

yazılıp kondansatör gerilimi hesaplanırsa

$$u_F = \left(U_m - \frac{4}{\pi} \right) \sin \omega t - \omega \cdot L_f \cdot I_m \cdot \cos \omega t \quad (3.30)$$

olur. Aktif filtredeki kondansatör ideal olduğundan filtre çalışma sırasında aktif güç harcamaz. Buna göre filtrenin harcadığı aktif güç

$$P_c = \int_0^T u_F \cdot I_m \cdot \sin \omega t \cdot d\omega t \quad (3.31)$$

dir. Bu denklem sıfıra eşitlenirse

$$P_c = \int_0^T \left(I_m \left(U_m - \frac{4}{\pi} U_B \right) \sin^2 \omega t - \omega \cdot L_f \cdot I_m^2 \cdot \cos \omega t \cdot \sin \omega t \right) \cdot d\omega t = 0 \quad (3.32)$$

olur.

Denklem 3.19'daki $\sin\theta \cos\theta$ 'nin integrali (0-T) aralığında alındığından kondansatörün harcadığı enerji sıfır olur. Böylece, sabit akımla şarj edilen bataryanın gerilimi ile şebeke gerilimi arasındaki bağıntı ideal şartlarda,

$$U_m = \frac{4}{\pi} U_B \quad (3.33)$$

ile ifade edilebilir. Referans akım sabit olduğundan güç katsayısı

$$\cos \theta_v = \frac{I_m \cdot R_L}{U_m} \quad (3.34)$$

olarak hesaplanır. Bu kontrol prensibiyle batarya sabit akım ve gerilimde şarj edilebilir. Ayrıca genel doğrusal olmayan yüklerin akım ve geriliminde kararlılık sağlanabilir.

3.4.8 Seri aktif güç filtresindeki bobin ve kondansatörün hesabı

Seri aktif güç filtresi ile yapılan kompanzasyonda filtredeki kondansatör gerilimi referans alındığından uygun kondansatör seçimi oldukça önemlidir. Simülasyonda referans alınan kondansatörün gerilimi 50V'tur. Bu gerilimin histerisiz band aralığı ± 3.11 V olarak alınmıştır. Devreden geçen akım ise 10 A ile sınırlandırılmıştır. Kondansatör üzerinden geçen akımın frekansı ise filtredeki yarıiletkenlerin anahtarlama frekansı kadar olur. Simulasyonda anahtarlama frekansı, örnekleme periyodu (0.0001sn) olduğundan bu simülasyon için 10000 Hz'dir. Buna göre filtredeki uygun kondansatörün değeri

$$C = \frac{I_s}{\omega \cdot U} \quad (3.35)$$

formülüne göre hesaplanırsa

$$C = \frac{10}{10000 \cdot 3.11} = 0.0003215 \text{ F}$$

olarak bulunur. Bu değerdeki kondansatör geriliminin değişimini histerisiz band sınırlarında tutarak akım değişimi de sınırlanacağından gerekli bobinin minimum değeri bulunmalıdır. Simülasyonda örnekleme periyodu 0.0001 sn alındığından bu sürede gerilim değişimi en fazla mücade edilen band aralığı olan 3.11V'luk bir değişim göstermelidir. Bulunan bu değerlerden devredeki gerekli bobin değeri denklem 3.20'de örnekleme periyodu radyan cinsinden, diğer birimler ise amper, volt, ohm ve farad olarak yerlerine yazılırsa

$$\frac{d^2}{dt^2} i_s - \frac{R_s}{L} \cdot \frac{d}{dt} i_s - \frac{1}{LC} = 3.11 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot 0.0001) \quad (3.36)$$

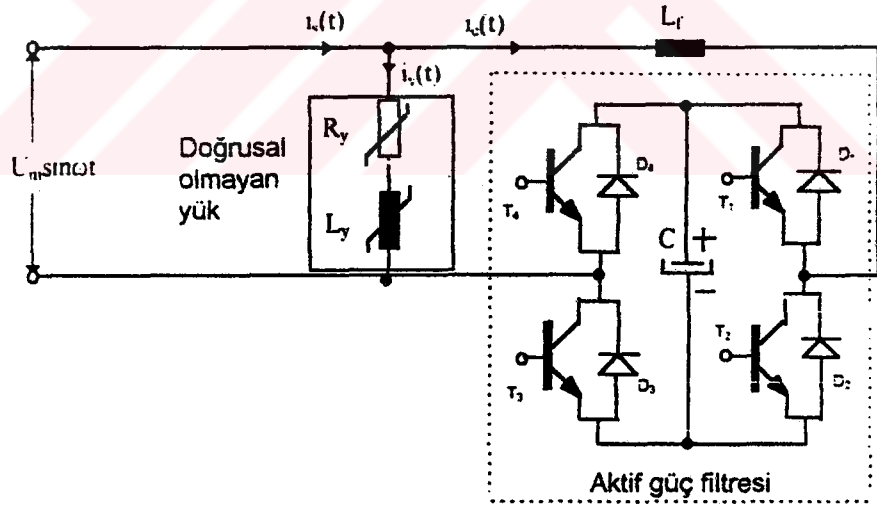
olur. 3.36 nolu denklemde akımın değişimi 0.2 A olarak sabit ve sabitin türevi de sıfır olduğundan birinci terim sıfır alınır. Bu durumda denklemde $\frac{d}{dt} = 0.2$, $R_s = 31.1 \Omega$ ve $C = 0.001 \text{ F}$ yazılarak devredeki toplam endüktans $L = 0.0099 \text{ H}$ bulunur.

3.5 Paralel Aktif Güç Filtreleri

Aktif güç filtreleri yüke seri bağlanabildiği gibi istenirse paralel de bağlanabilir. Avantajı, filtre üzerinden sadece kompanzasyon akımının geçmesidir. Ancak bu durumda şebeke geriliminin tamamı kondansatör üzerinden düşeceğinden filtre kondansatörünün uygun değerde seçilmesi zorunludur.

3.5.1 Paralel aktif güç filtresi tasarımı

Bu çalışmada, bir fazlı ve yüke paralel bağlanacak şekilde tasarlanan paralel aktif güç filtresinin devre şeması şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.12 Paralel aktif güç filtresi ve yüke bağlantı şeması

Seri aktif güç filtresi tasarımında referans olarak filtredeki kondansatör gerilimi alınmıştır. Bir çok araştırmacı aktif gücün bulunmasında şebeke gerilimi ve yük akımını referans alır. Değişik bir çok

aktif güç filtresi tasarımında aktif gücün bulunması için daha çok şebeke gerilimi ve yük akımı referans olarak alınmıştır. Eğer şebeke geriliminde herhangi bir nedenden dolayı bir bozulma olursa hesaplanan referans kompanzasyon akımı da harmonikler içerir. Aktif gücün bulunmasında şebeke gerilimi ve yük akımının kullanılmasıyla yapılan aktif filtre tasarımlarından alınan sonuçlar, her hangi bir nedenle şebeke gerilimindeki bir bozulmanın filtre performansını etkilediği ve hatalara sebep olduğunu göstermiştir [JOU 1993]. Bu yüzden aktif güç filtresinin performansı şebeke geriliminin düzgünlüğüyle doğru orantılı olarak değişir. Ancak şebeke gerilimi bozulursa yanlış hesaplama ve yanlış referans seçiminden dolayı filtrenin performansı düşürülmüş olur. Aynı sakınca d-q transformasyonu kullanılarak yapılan üç fazlı aktif güç filtreleri içinde geçerlidir. Ayrıca mevcut aktif güç filtreleri kendi kontrol devrelerinde bir alçak geçiren filtre veya bir integral alıcı devresine ihtiyaç duyarlar. Bu şekilde tasarlanan aktif güç filtrelerinde geri besleme sinyalinden dolayı tepki hızında bir zaman gecikmesi olur. Bu gecikme aktif güç filtresinin sistemdeki ani bozulmalara olan tepki hızını yavaşlatır. Aktif güç filtresi tasarımlarında gerçek gücün hesaplanması için referans olarak şebeke geriliminin alınması, hem şebeke geriliminin herhangi bir nedenle bozulmasıyla filtre performansını düşürdüğünden hem de geri beslemeden dolayı oluşan zaman gecikmesi tepki hızını yavaşlattığından doğrusal olmayan yük altında kullanılmaları iyi sonuçlar vermemektedir [JOU 1993].

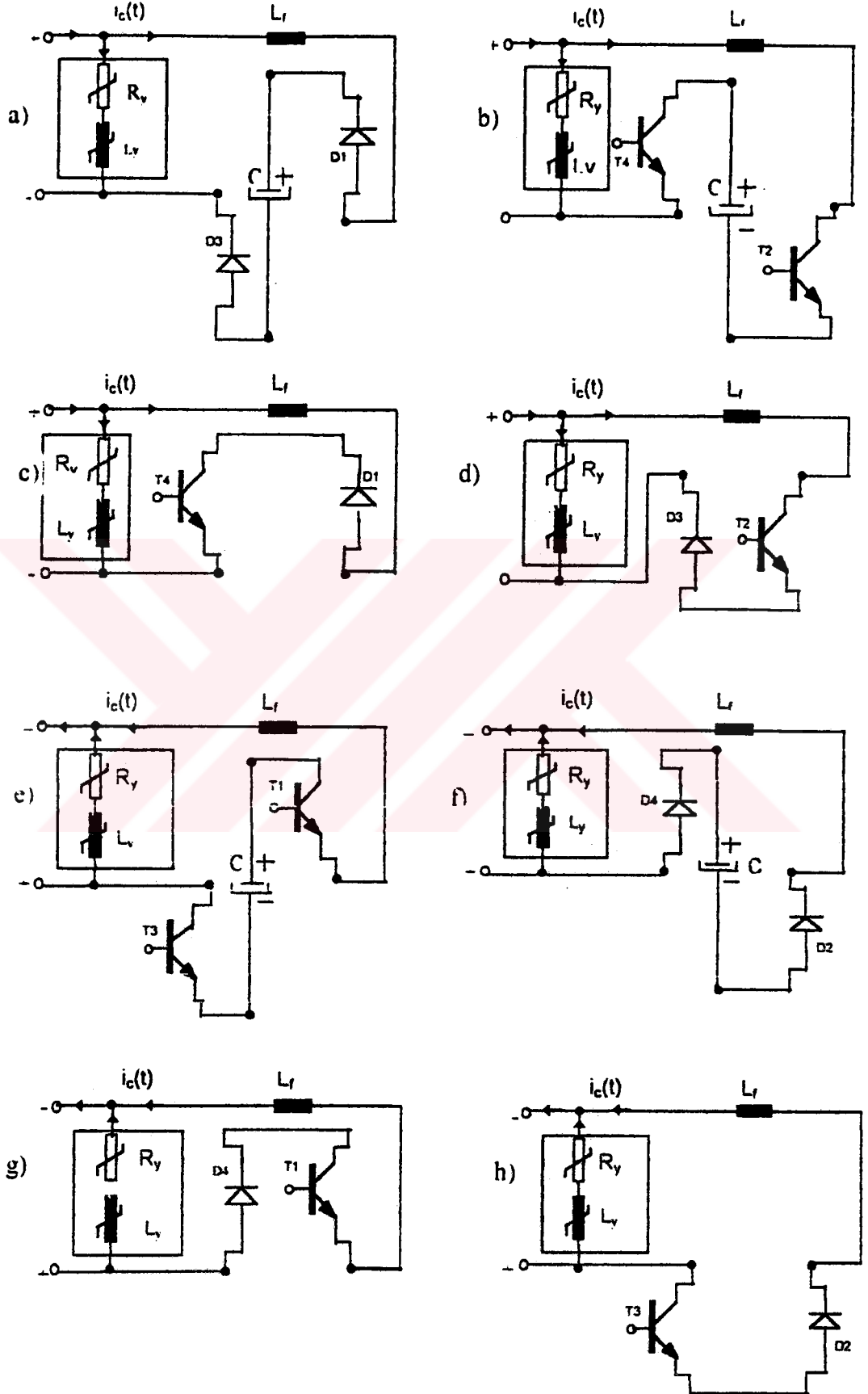
Üç fazlı eviricilerle gerçekleştirilen aktif güç filtreleri üç fazlı ve dengeli büyük güçlü yükler için uygundur. Üç fazlı dengesiz yüklerin kompanzasyonunda ise konverterlerle oluşturulan üç fazlı aktif güç filtreleri üç fazlı eviricilerle yapılan aktif güç filtrelerinden daha uygundur. Aktif güç filtresi tasarımlarında sinyal jeneratörü ile şebeke gerilimiyle aynı fazda üretilen bir sinüs dalgası referans alınırsa şebeke gerilimi herhangi bir nedenle bozulsun bile şebeke akımının sinüs dalgası şekli korunmuş olur.

3.5.2 Paralel aktif güç filtresinin dinamik modeli

Seri aktif güç filtresinde hata sinyali üretmek için kondansatör gerilimi referans olarak alınmıştı. Paralel aktif güç filtresinde ise filtre üzerindeki gerilim sabit olduğundan kondansatör gerilimi referans alınamaz.

Şekil 3.12'de yüke paralel bağlı bir aktif güç filtresi görülmektedir. Bu şekildeki yük, bir batarya şarj devresi veya doğrusal olmayan herhangi bir AA yükü olabilir. Şekil 3.12'deki devrede bulunan aktif güç filtresindeki kondansatör bir reaktif enerji depolama elamanıdır. Aktif güç filtresi doğrusal olmayan yükün reaktif güç kısmını karşılarken hem reaktif güç kompanzasyonu yapmakta hem de derecesine göre harmoniklerin etkisini ya azaltmakta ya da tamamen ortadan kaldırmaktadır.

Paralel aktif güç filtresinin dinamik denklemleri denklem 3.12'den 3.15'e kadar olan denklemlerle aynıdır.



Şekil 3.13 Paralel aktif güç filtresinin çalışma modları

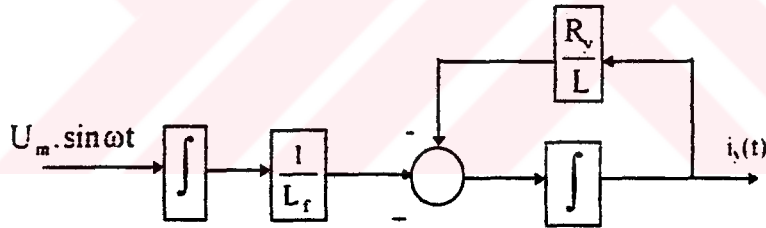
3.5.3 Kompanzasyon akımının hesaplanması

Paralel aktif güç filtresinde 3.12'den 3.19'a kadar olan denklemlerden yararlanarak referans kompanzasyon akımı $i_{cr}(t)$ 'nin denklemi. 3.15 nolu denklemde elde edilen esas yük akımı $i_{y1}(t)$ 'nin 3.14 nolu denklemdeki doğrusal olmayan yük akımı $i_y(t)$ 'den çıkarılmasıyla

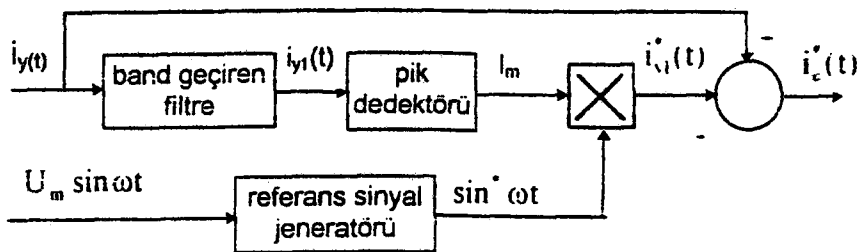
$$i_{cr}^*(t) = i_y(t) - i_{y1}(t)$$

$$= \sum_{n=1}^{\infty} I_{an} \cdot n \cdot \sin(n \cdot \omega t + \theta_n) - I_m \cdot \sin \omega t \quad (3.37)$$

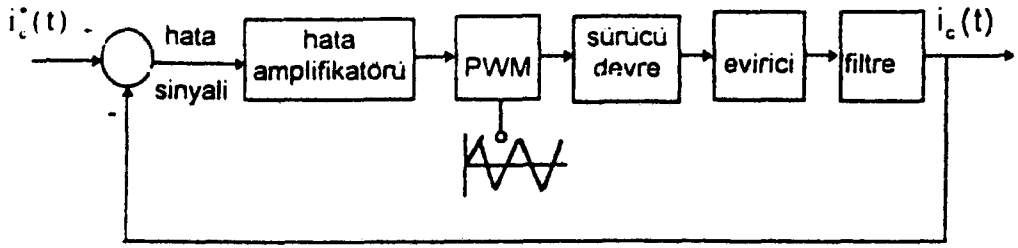
olarak hesaplanır. Bu denklem gerçek kompanzasyon akımını vermektedir.



Şekil 3.14 Güç devresinin blok diyagramı



Şekil 3.15 Kompanzasyon akımını hesaplama devresinin blok diyagramı



Şekil 3.16 Transistörleri tetikleme devresinin blok diyagramı

3.5.4 Paralel aktif güç filtresinin analog olarak tasarımı

Şekil 3.14'de gösterilen kontrol blok diyagramında yük akımı, dar band geçiren filtre üzerinden beslenir. Dar band geçiren filtre harmonik bileşenli yük akımının harmoniklerini ayırır ve filtre eder, temel bileşeni ise geçirir. Daha sonra temel yük akımı sinüsoidal pik dedektörüne gönderilir. Böylece çıkışta, temel yük akımının tepe değeri elde edilir. Şebeke gerilimi bir referans sinyal üretmesi için sinyal jeneratörüne uygulanır. Referans sinyal şebeke gerilimiyle aynı fazda ve genliktedir. Bu referans sinyal ile pik detektörünün çıkışları bir çarpma devresinin girişlerine gönderilir. Yük akımının temel bileşeni çarpma devresinin çıkışından elde edilir. Bu akım sinyali $i_{y1}(t)$, şebeke gerilimiyle aynı fazdadır. Referans kompanzasyon akımı $i_{cr}(t)$ bir çıkarma devresinden elde edilir. Bu çıkarma devresi $i_{y1}(t)$ 'yi yük akımı $i_y(t)$ 'den çıkarmaktadır. Uygulamada referans kompanzasyon akımı $i_{cr}(t)$ bir akıma bağımlı gerilim kaynağına gönderilir.

3.5.5 Paralel aktif güç filtresinin çalışması

Şekil 3.12'deki aktif güç filtresinin kondansatörü, güç eviricisinin DA tarafında bir reaktif enerji depolama elemanı olarak kullanılmaktadır. Burada akıma bağımlı gerilim kaynağı güç eviricisi olarak çalışmaktadır. Rampa kıyaslama kontrollü akıma bağımlı gerilim kaynağının blok diyagramı şekil 3.14'de görülmektedir. Bu blok diyagramındaki referans kompanzasyon akımı $i_c^*(t)$ ve geri besleme akımı $i_c(t)$ arasındaki hata yükseltilip PWM generatörüne gönderilir. Daha sonra bu üçgen dalga sinyali sabit bir dalga şekliyle kıyaslanır. PWM generatörü tam dalga köprü tipi eviricideki güç transistörlerinin anahtarlama yapması için dört adet sürücü sinyal üretir. Bu işlem için tek kutuplu anahtarlama düzeni kullanılır. Histerisiz akım kontrol modunda belirli bir sıraya bağlı olmadan oluşan anahtarlama sırası sakıncası vardır. Fakat, rampa kıyaslamalı akım kontrolü iyi belirlenmiş bir anahtarlama sırası üstünlüğüne sahiptir. Ayrıca bu anahtarlama sırası kolayca filtre edilebilir. Ancak referans sinyal ile geri besleme sinyali bir faz ve genlik hatası verir. Anahtarlama frekansı ne kadar yüksek olursa, oluşan bu hatada o kadar küçük olur. Fakat eviricide kullanılan güç yarı iletkenleri anahtarlama frekansını sınırlandırmaktadır.

Paralel aktif güç filtresinde kullanılan tam köprü tipi evirici iki yönlü bir eviricidir. Eviricinin çalıştırılma modları tek uçlu bir PWM ile sekiz moda bölünebilir. $i_c(t)$ akımı şekil 3.13'in (a),(b),(c),(d) modlarında pozitifdir.

Şekil 3.13.a modu pozitif alternasta başlangıç modudur. Bu modda hiç bir transistör tetiklenmez. Kompanzasyon akımı L_f - D_1 - D_3 üzerinden geçerken kondansatör şarj olur. Kondansatör şarj oldukça kompanzasyon akımı azalır. Azalan kompanzasyon akımı histerisiz band sınırının altına düşünce PWM generatörü T_2 ve T_4 transistörlerini tetikleyerek aktif güç filtresini bu moddan çıkartır ve şekil 3.12.b moduna geçirir.

Şekil 3.13.b'de T_2 ve T_4' ün tetiklendiği (b) çalışma modu gösterilmektedir. Bu modda akım L_f , T_2 , C, T_4 ve üzerinden geçerken C kondansatörü deşarj olur ve şebeke akımı takviye edilir.

Şekil 3.13.c ve şekil 3.13.d modları aynı işlevi yerine getirirler. Pozitif alternans süresince harmonikler şebeke akımını artırıcı etki gösterir yada herhangi bir nedenle yük kapasitif bir etki gösterirse PWM generatörü sırasıyla T_2 veya T_4 transistörlerinden yalnız birini tetikleyerek filtredeki kondansatörü devreden çıkarır. Filtre devresinde sadece L_f endüktansı bırakılarak yük akımının faz açısı geri kaydırılır.

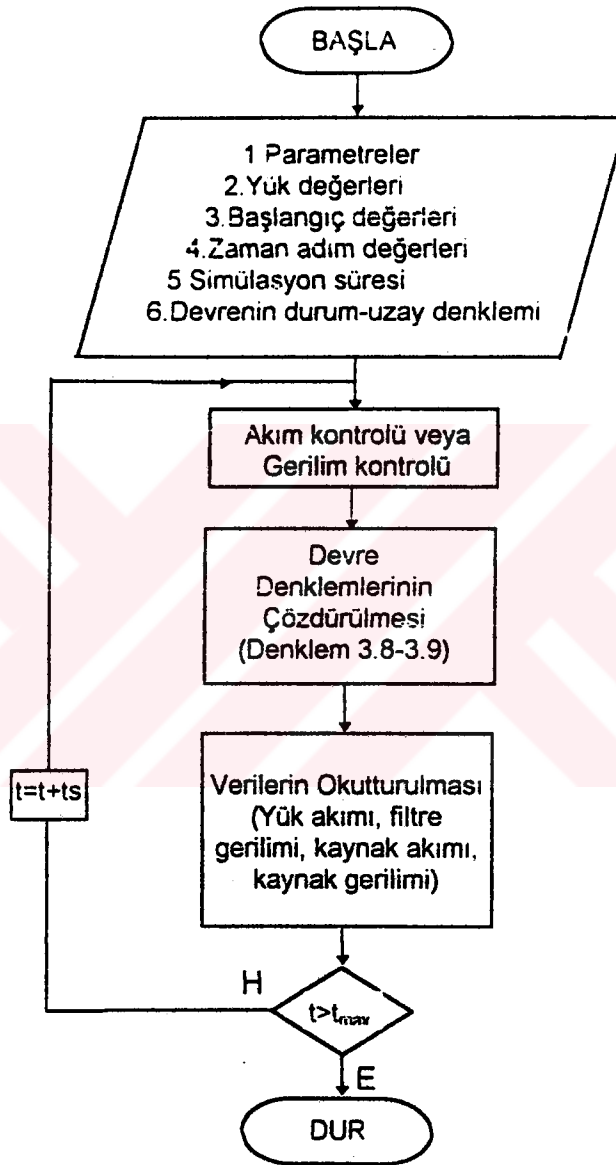
Şekil 3.13.e'de T_1 ve T_3 'ün tetiklendiği çalışma modu gösterilmektedir. Bu modda $i_c(t)$ akımının yönünden dolayı T_2 ve T_4 iletimde değildir. Bu durumda akım T_3 , C, T_2 ve L_f üzerinden geçerken C kondansatörü deşarj olur.

Şekil 3.13.f' de kompanzasyon akımı devresini D_4 ve D_2 üzerinden tamamlarken kondansatörün şarj olması gösteriliyor.

Şekil 3.13.g ve şekil 3.13.h modları pozitif alternanstaki (c) ve (d) modlarının işlevini yapmaktadırlar. Bu modlarda da C kondansatörü üzerinden akım geçmediğinden kondansatör gerilimi sabit kalır.

Aktif güç filtresi periyodun negatif alternansı süresince şekil 3.13'ün (e), (f), (g) ve (h) modlarında çalışır. (b) ve (e) modlarındaki çalışmada C kondansatörü şarj olur. Bu modlarda evirici sıradan bir evirici gibi çalışır.

Eğer çevrim sırasında toplam şarj gücü deşarj gücünden daha fazla ise evirici hem yükleyici hem de bir aktif güç filtresi olarak çalışır. Eğer bir çevrimde toplam yüklenen güç, deşarj edilen güce eşitse o zaman evirici sadece aktif güç filtresi olarak çalışır.



Şekil 3. 17 Program akış diyagramı

4.SİMÜLASYON SONUÇLARI

Bu bölümde 3.bölümdeki tasarımı yapılan seri ve paralel aktif güç filtrelerinin çeşitli yük parametreleri için yapılan simülasyon sonuçları verilecektir. Simülasyonda yük akımının maksimum değeri 10A ile sınırlandırılmıştır. Seri aktif güç filtresi tasarımında referans alınan filtredeki kondansatör gerilimi ile gerçek filtre gerilimi arasındaki hata 3.11V'luk, paralel olarak tasarlanan aktif güç filtresinde üretilen referans akım ile gerçek akım arasındaki hatada 0,2A'lik histerisiz bandı sınırları içerisinde sabit tutulmuştur. Simülasyonda kullanılan yük direnci minimum $R=31.1 \Omega$ iken yükün parametreleri; yük endüktansı (0.001-0.1) Henry ve tristörün tetikleme açısı $0-90^\circ$ arasında değişmektedir. $U_m= 311$ Volt'tur. Band geçiren filtre parametreleri ise; 50 Hz'lik frekansta paralel rezonans şartlarından

$$L_b= 0.010132 \text{ Henry,}$$

$$C_b=0.001 \text{ Farad}$$

olarak bulunmuştur. Tetikleme frekansı ise (1 sn) 'nin örnekleme periyodu (0.0001 sn) 'ye bölümü ile 10000 Hz olarak bulunur. Aktif güç filtresinde kullanılan anahtarlama elemanları ideal olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle bu elemanların iletme ve kesime gitme süreleri ile elemanların üzerindeki gerilim düşümü ve bu elemanların harcadıkları aktif güçler dikkate alınmamıştır. Ayrıca geribesleme sinyallerinde oluşan zaman gecikmesi sıfır olarak alınmıştır. Her iki çeşit aktif güç filtresi içinde hesaplamalar

0 0001sn'lik zaman aralıklarında yapıldığından tetikleme frekansları da 10 kHz olmaktadır. Hem seri aktif güç filtresi hem de paralel aktif güç filtresi simülasyonlarında PWM kontrol metodu kullanılmıştır ve geri besleme sinyallerindeki zaman gecikmesi ihmal edilmiştir.

4.1 Simülasyon Sonuçları

Bu çalışmada seri ve paralel aktif güç filtrelerinin performansları çeşitli yük akımları için incelenmiştir. İlk olarak seri aktif güç filtresinin bir omik-endüktif (RL) yük durumunda yaptığı kompanzasyon incelendi. Simülasyon için kullanılan güç devresi şekil 3.2 ile seri aktif güç filtresinin güç ve kontrol devresinin blok diyagramı ise şekil 3.8 ile gösterilmiştir. Bu yükün kaynaktan çektiği akım kompanzasyon öncesi sinüsoidal olmasına karşılık kaynak geriliminden θ açısı kadar geride iken kompanzasyon sonrası bu açının 0° 'ye çok yaklaşmış olduğu görüldü. Şekil 4.1'de şebeke gerilimi ve RC yükün omik direnci 31.1Ω ve faz açısı 5.5° iken yükün şebekeden çektiği akımın kompanzasyon öncesi ve sonrası dalga şekli görülmektedir. Aynı yükün faz açısı 1.5° yapılarak yine güç katsayısının aynı kaldığı görülmüştür. Bu yükün kompanzasyon yapılmadan önce şebekeden çektiği akımın grafiği şekil 4.2.a'da, kompanzasyon sonrası akımın grafiği şekil 4.2.c'de verilmiştir. Aynı şekilde yükün endüktansı

artırılarak faz açısı 4.05° iken ve 22.43° iken yapılan simülasyon sonuçları şekil 4.3 ve şekil 4.4'de verilmiştir. Devredeki yükün omik direnci 31.1Ω ve endüktansı 0.02 H iken yüke triyakla yol verildi. Triyakın (30° - 60° - 90°)'lik açılarla tetiklenmesi durumunda yükün şebekeden çektiği akımın dalga şekilleri seri aktif güç filtresiyle düzeltilmeden önce ve düzeltildikten sonraki durumları için, 4.5, 4.6, 4.7 nolu şekiller ile gösterilmiştir.

Bu yük akımlarının düzeltilmesinde kullanılan filtre parametrelerini bulmak için devresini triyak üzerinden tamamlayan ve tepe değeri 10 A olan yük akımının triyakın 30° , 60° ve 90° 'lik tetikleme açılarında yük akımının etkin değerleri 6.972 A , 6.341 A ve 5.728 A olarak bulunmuştur. Bu akımlardan filtrede kullanılan kondansatör ve şok bobininde depo edilen enerjilerin toplamı triyaktan akım geçmediği zamanda direncin harcadığı enerjiyi karşılayacak şekilde seçilerek

30° 'lik tetikleme açısı için $L_f=0.01023 \text{ H}$, $C=0.00156 \text{ F}$,

60° 'lik tetikleme açısı için $L_f=0.0205 \text{ H}$, $C=0.0013 \text{ F}$,

90° 'lik tetikleme açısı için $L_f=0.03121 \text{ H}$, $C=0.00358 \text{ F}$

olarak bulunmuştur. Bu değerlerden hesaplanarak bulunan verim-tetikleme açısı grafiği şekil 3.8'de verilmiştir.

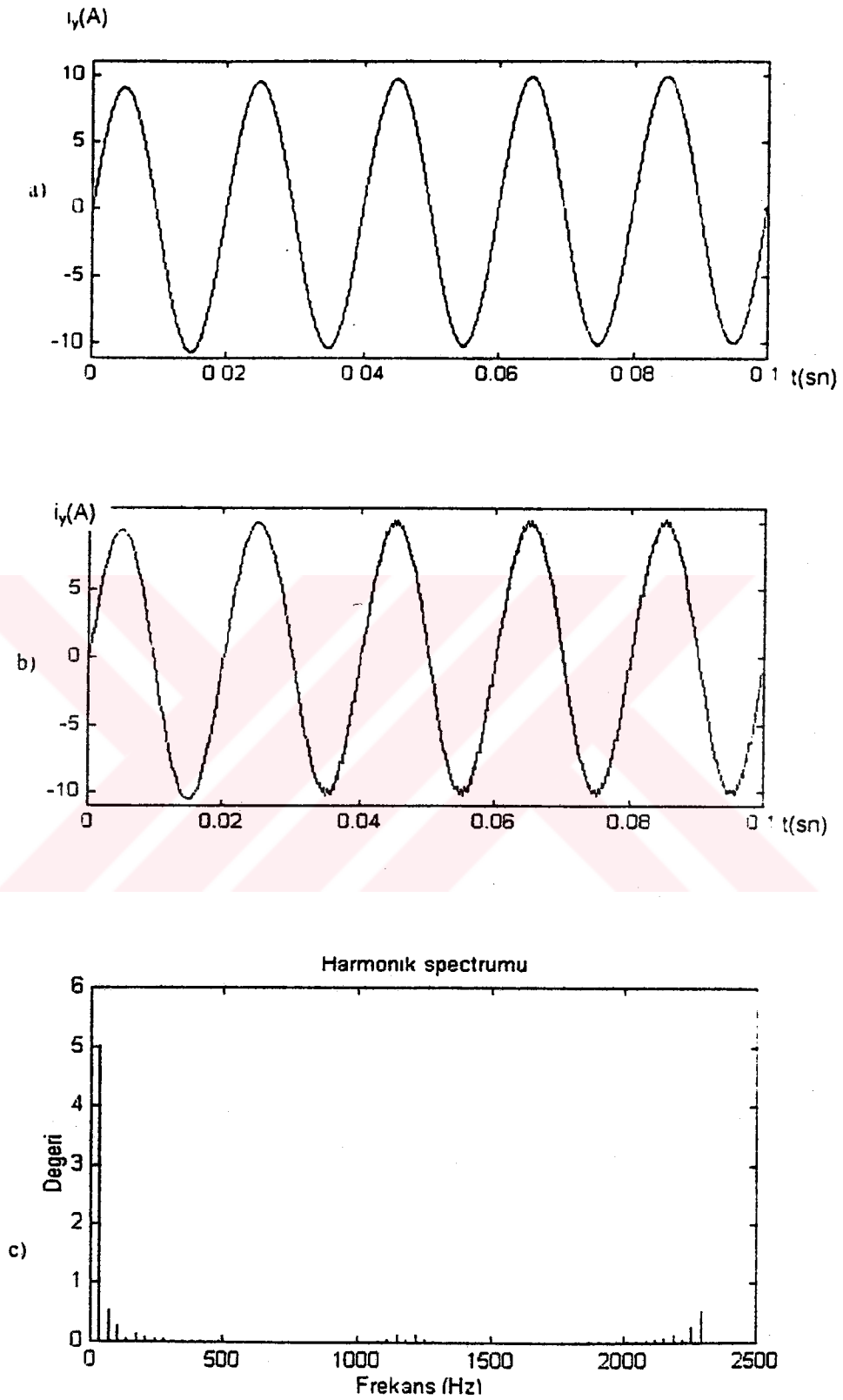
Şekil 4.9'da herhangi bir nedenle bozulan bir şebeke gerilimi ve bu şebekeden beslenen bir yükün şebekeden çektiği akım görülmektedir.

Paralel aktif güç filtresi simülasyonunda filtre üzerinden sadece kompanzasyon akımı geçtiğinden yarı iletken elemanlar daha küçük fakat filtredeki kondansatör şebeke gerilimine dayanabilecek şekilde seçildi. Paralel aktif güç filtresinde kullanılacak elemanların değerleri;

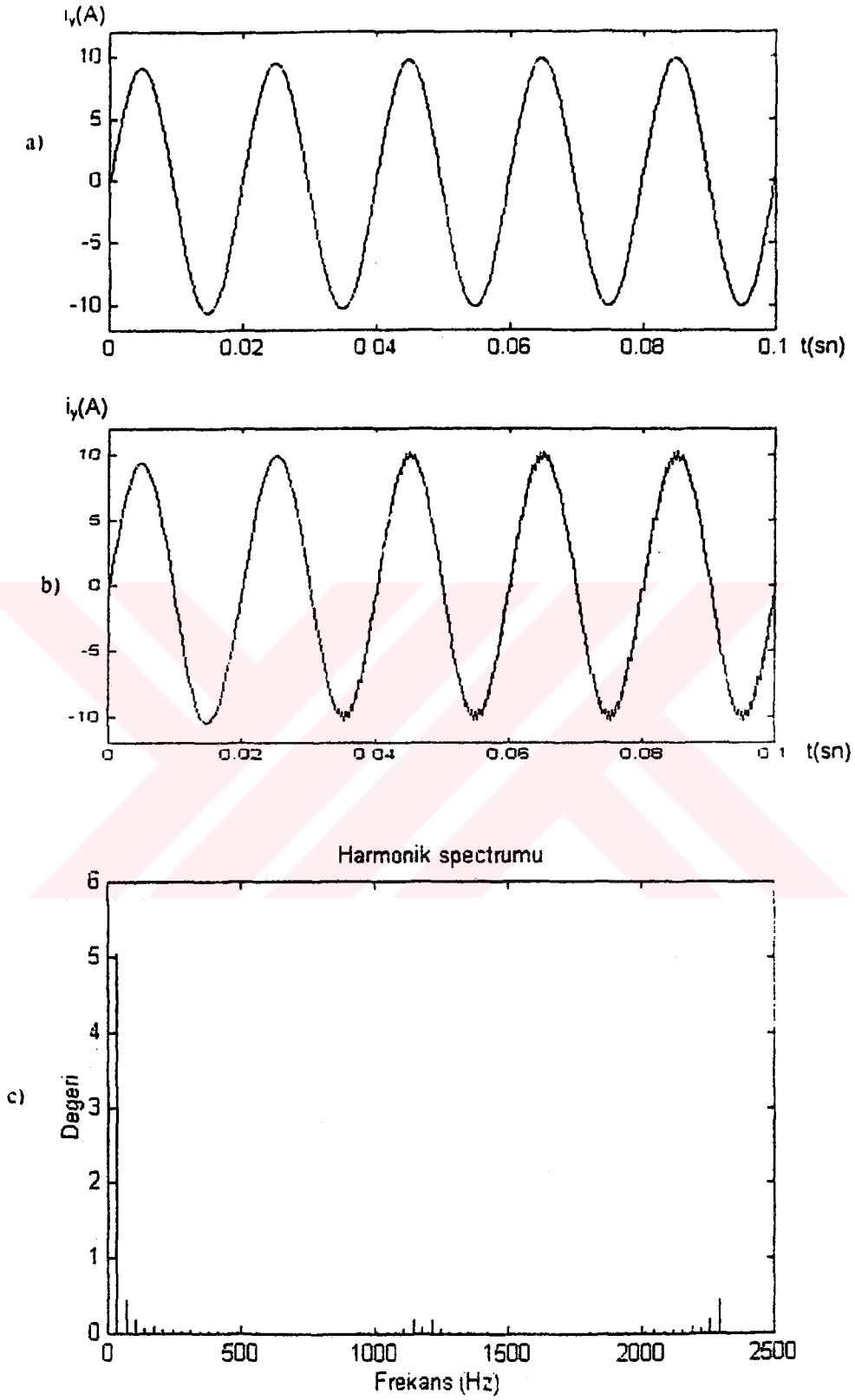
$$L_f = 0.001 \text{ H}$$

$$C = 0.0047 \text{ F}$$

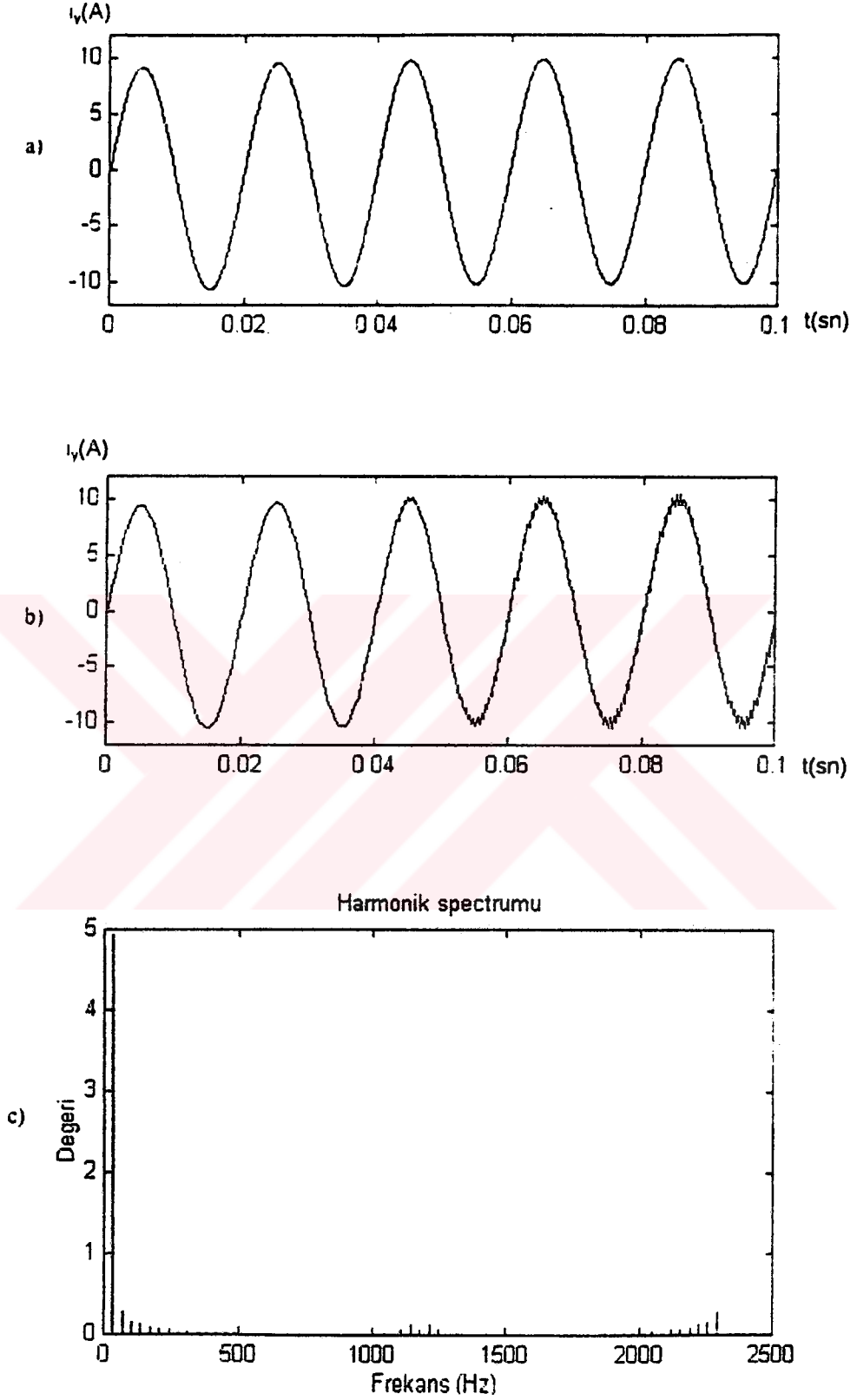
dir ve 90°'lik açıyla tetiklenen triyakla kontrol edilen yük akımının düzeltilmeden önceki, düzeltilmeden sonraki dalga şeki ve düzeltilmiş yük akımının harmonik spektrumu şekil 3.10'da verilmiştir.



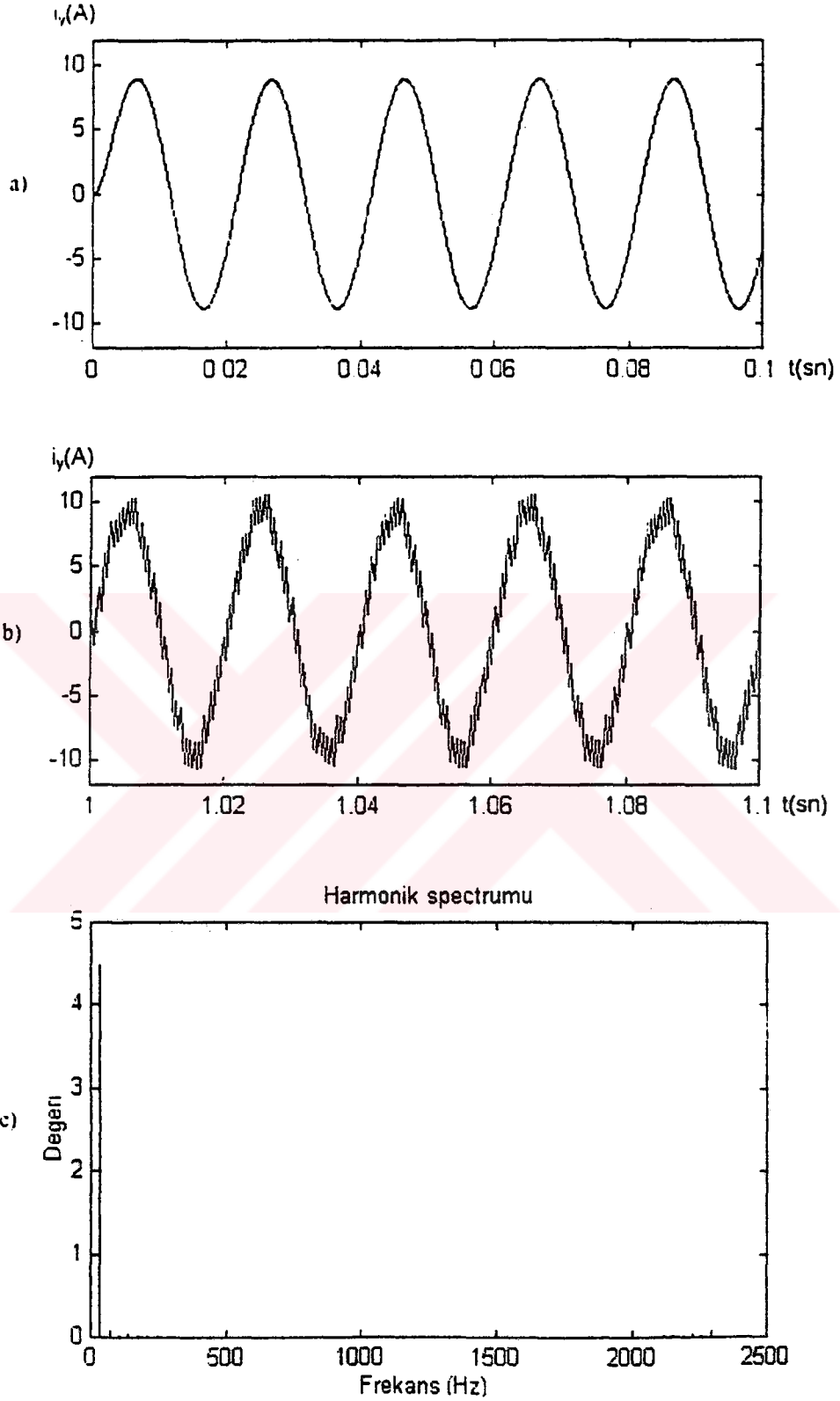
Şekil 4.1 Maksimum değeri 10A, faz açısı 5.5° olan kapasitif yükün seri aktif güç filtresiyle kompanzasyon yapılmadan, yapıldıktan sonra dalga şekli ve düzeltilmiş akımın harmonik spektrumu



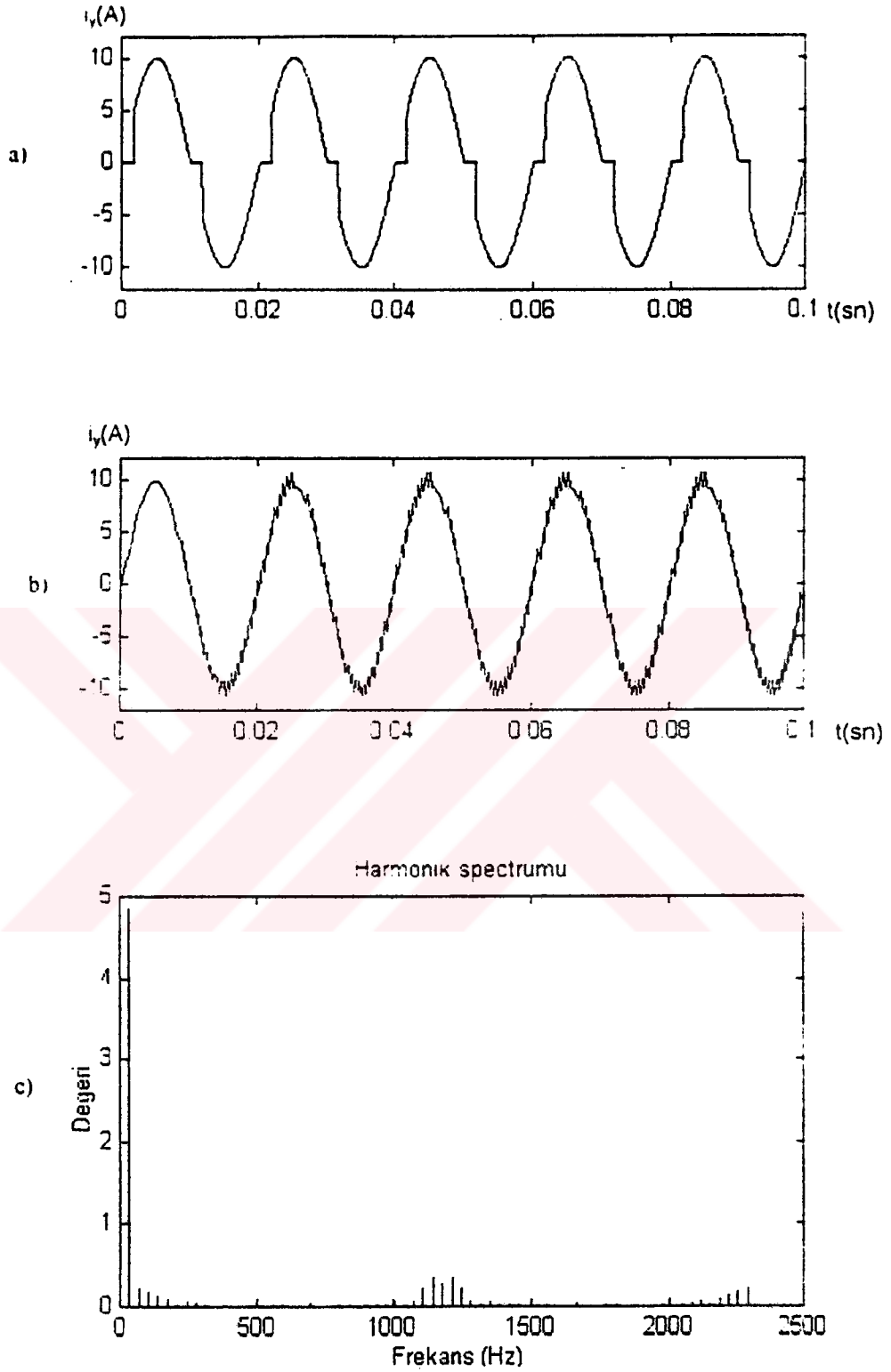
Şekil 4.2 Maksimum değeri 10A, faz açısı 1.5' olan kapasitif yükün seri aktif güç filtresiyle kompanzasyon yapılmadan, yapıldıktan sonra dalga şekli ve düzeltilmiş akımın harmonik spektrumu



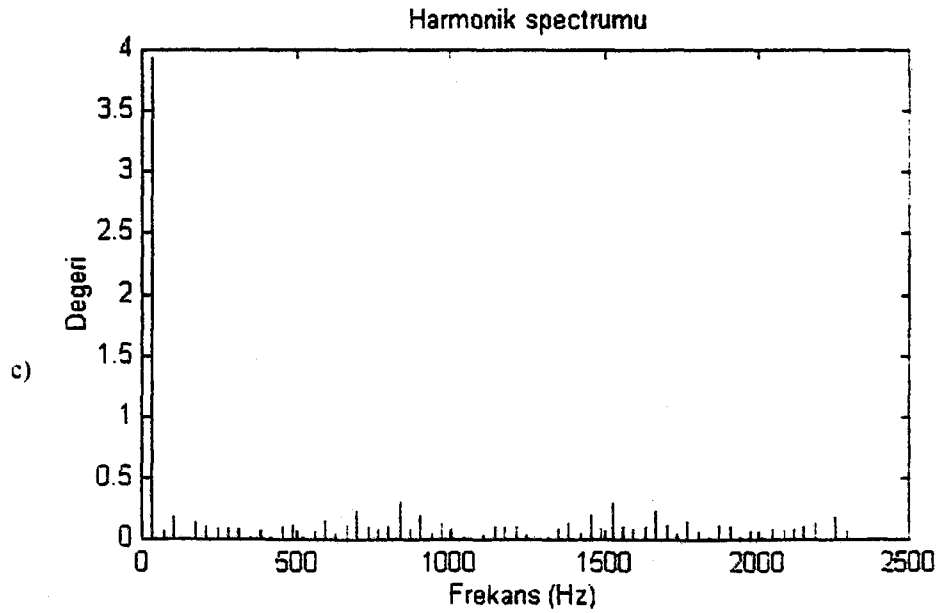
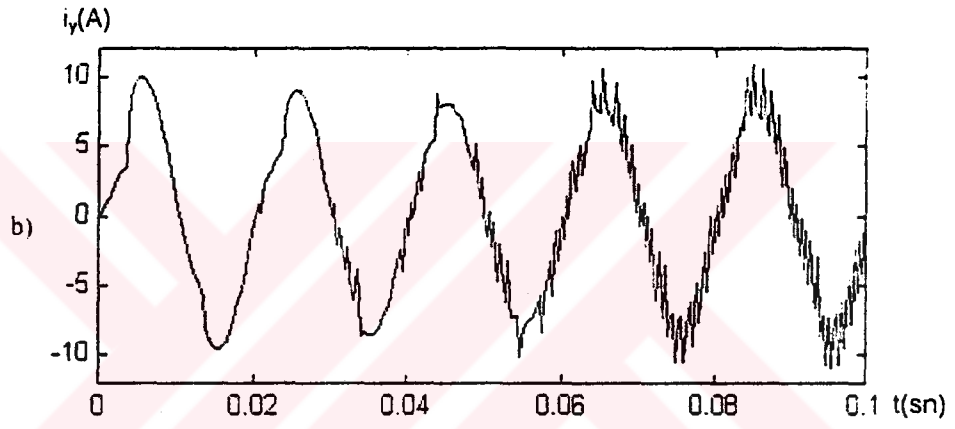
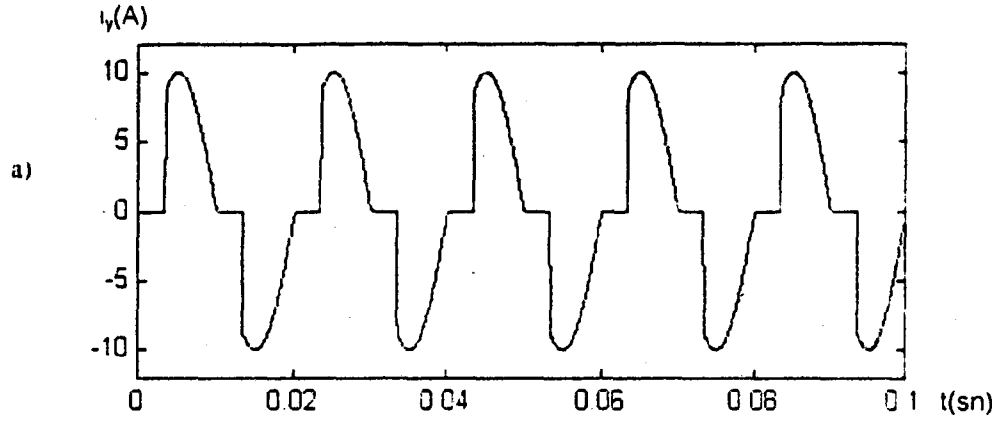
Şekil 4.3 Maksimum değeri 10A, faz açısı 4.05° olan endüktif yükün seri aktif güç filtresiyle kompanzasyon yapılmadan, yapıldıktan sonra dalga şekli ve düzeltilmiş akımın harmonik spektrumu



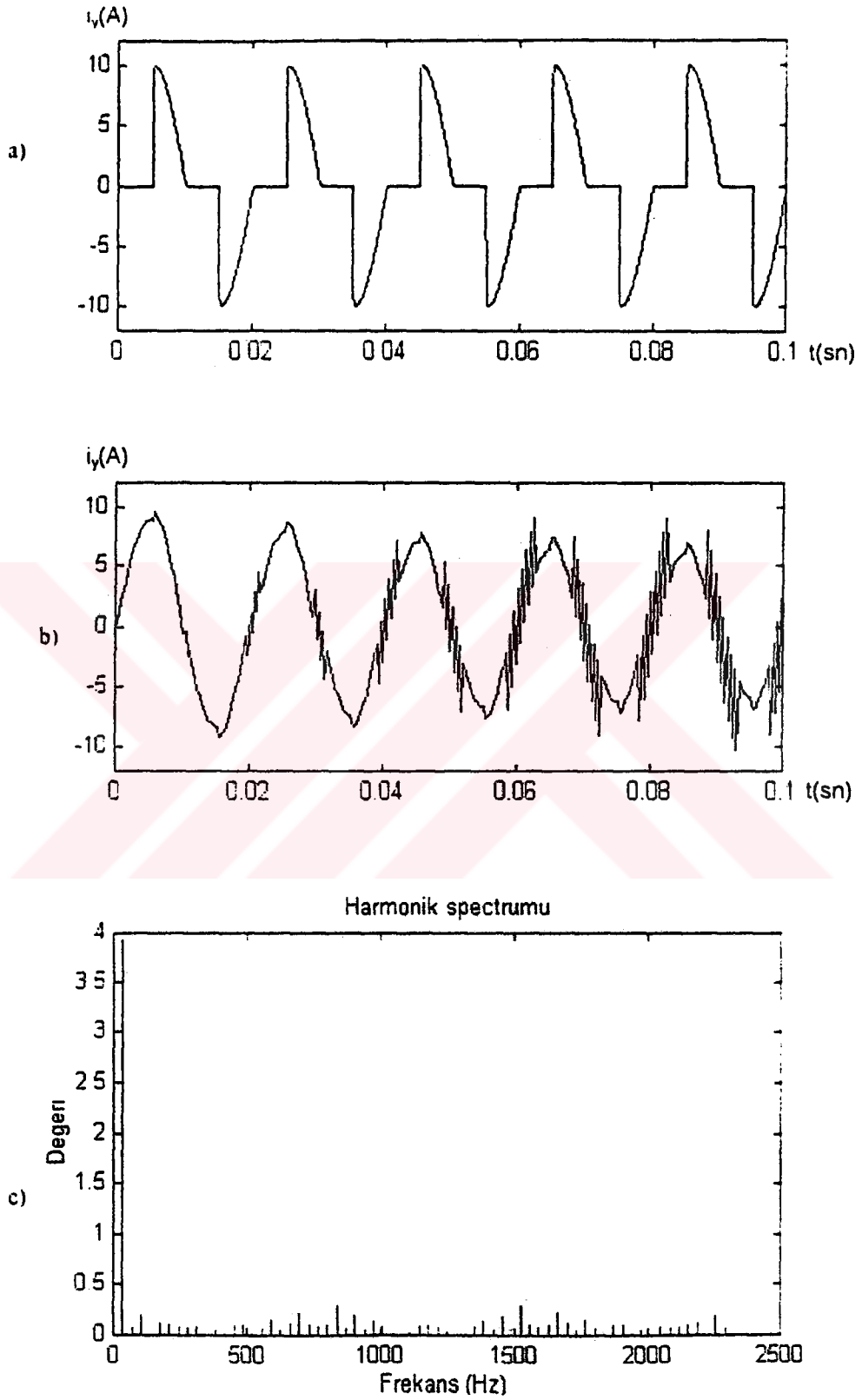
Şekil 4.4 Maksimum değeri 10A, faz açısı 22.43' olan endüktif yükün seri aktif güç filtresiyle kompanzasyon yapılmadan, yapıldıktan sonra dalga şekli ve düzeltilmiş akımın harmonik spektrumu



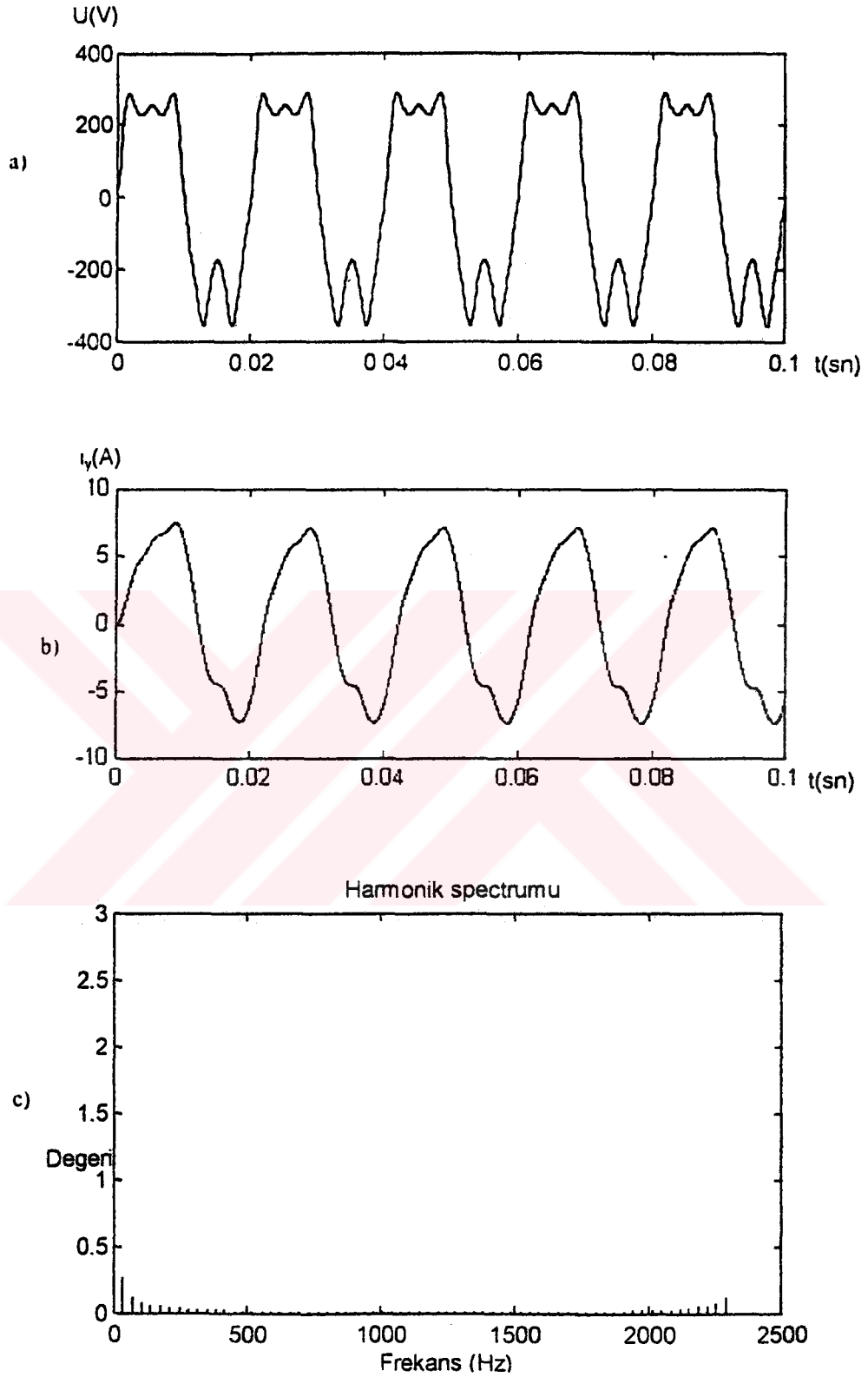
Şekil 4.5 30° açıyla tetiklenen triyaktan beslenen omik bir yükün kompanzasyon yapılmadan, yapıldıktan sonra dalga şekli ve düzeltilmiş akımın harmonik spektrumu



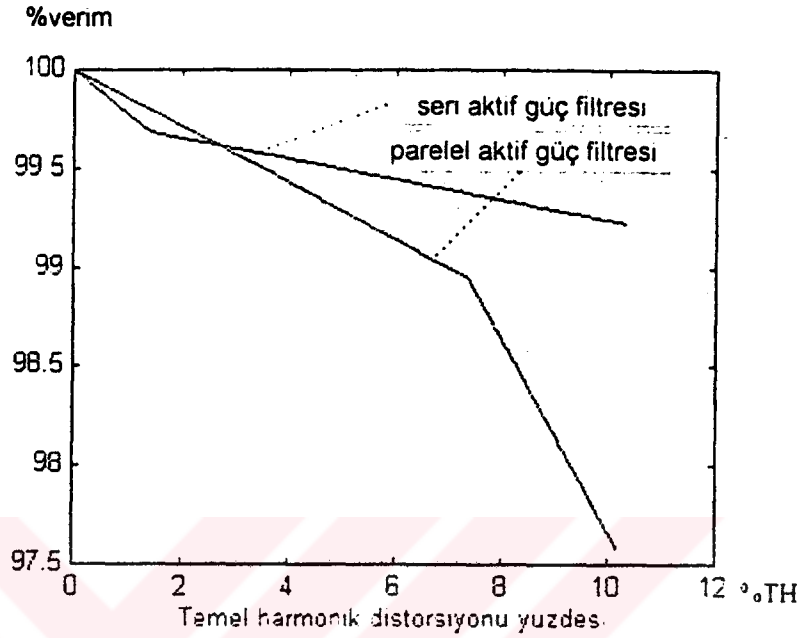
Şekil 4.6 60° açıyla tetiklenen triyaktan beslenen omik bir yükün kompanzasyon yapılmadan, yapıldıktan sonra dalga şekli ve düzeltilmiş akımın harmonik spektrumu



Şekil 4.7 90° açıyla tetiklenen triyaktan beslenen omik bir yükün kompanzasyon yapılmadan, yapıldıktan sonra dalga şekli ve düzeltilmiş akımın harmonik spektrumu

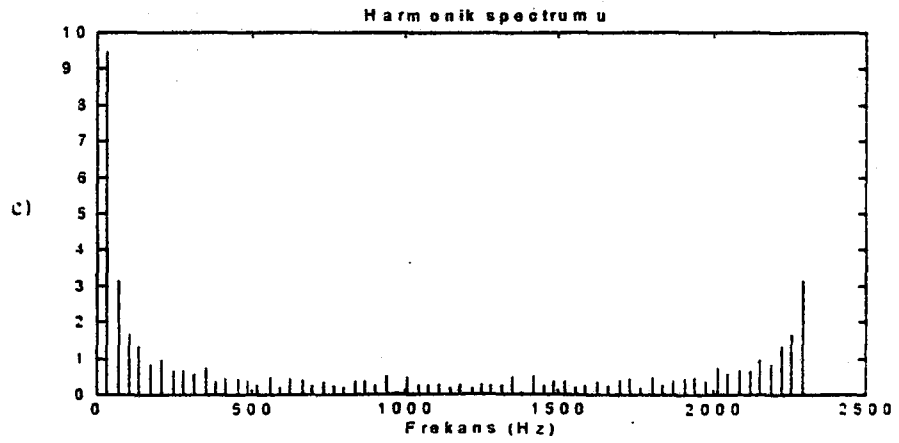
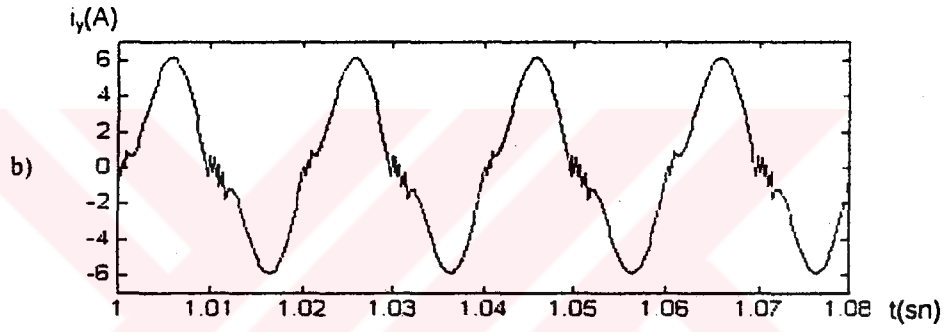
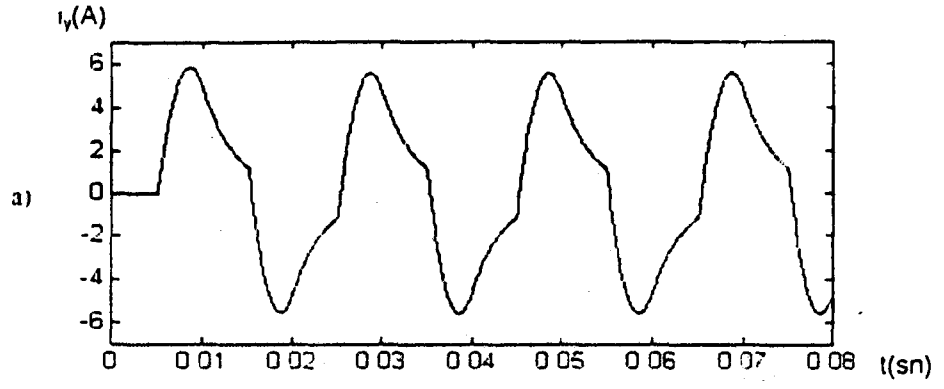


Şekil 4.8 tepe değeri 311V olan şebeke gerilimine etki eden 3. ve 5. harmoniklerden sonraki şebeke gerilimi ve bozulan bu gerilimden beslenen alıcının kaynaktan çektiği akımın dalga şekli ve bu akımın harmonik spektrumu



Şekil 4.9 Seri ve paralel aktif güç filtrelerinin verim-THD değişimi

Şekil 4.9'daki paralel aktif güç filtresi grafiği Torrey tarafından verilen değerlerden çizilmiştir. Aynı şekilde seri aktif güç filtresi eğrisi, simülasyon sonucu elde edilmiştir. Triyakın 30° tetiklenmesinde toplam harmonik distorsiyonu %1.401, verim %99.68 ve 60° tetiklenmesinde toplam harmonik distorsiyonu %10.325, verim % 99.22 olarak hesaplanmıştır. 90° tetiklenmesinde toplam harmonik distorsiyonu %18.99, verim % 99.03 olmuştur fakat bu değer grafiğe yansıtılmamıştır. Verimin hesaplanmasında filtre devresine konulan şok bobininin direnci bobin reaktansının %10'i kadar olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 4.10 90° açıyla tetiklenen triyaktan beslenen omik bir yükün kompanzasyon yapılmadan, paralel aktif güç filtresiyle yapıldıktan sonra dalga şekli ve düzeltilmiş akımın harmonik spektrumu

4.2 Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Seri ve paralel aktif güç filtrelerinin simülasyon sonuçları incelendiğinde hem seri aktif güç filtresi hem de paralel aktif güç filtresi aynı anda kompanzasyon yaparken yüksek frekanslı harmoniklerin etkilerini de oldukça azalttığı görülmüştür. Ancak seri aktif güç filtresinde filtre devresi üzerinden yük akımının tamamı geçerken paralel aktif güç filtresinde filtre devresi üzerinden ise sadece kompanzasyon akımı geçmektedir. Bu nedenle uygulamada paralel aktif güç filtresinde filtredeki kondansatör şebeke gerilimine, seri aktif güç filtresinde ise hem yarıiletkenler hem de kondansatör şebeke akımına dayanabilecek özellikte seçilmelidir.

Bu çalışmada tasarlanmış olan seri aktif güç filtresinin verimi, Torrey tarafından tasarlanmış olan paralel aktif güç filtresi verimi karşılaştırıldığında seri aktif güç filtresi veriminin daha iyi olduğu şekil 3.9'da görülmektedir. Ayrıca, seri aktif güç filtresi paralel aktif güç filtresine göre hem daha düşük frekanslarda (10 kHz) şebekeden çekilen akımı düzeltmekte hem de şekil 4.8'de görüldüğü gibi bozulmuş bir şebeke geriliminde bile şebekeden çekilen akımı sinüs dalgasına yaklaştırmaktadır.

Simülasyon çalışmasında her iki programda da örnekleme zaman aralığı 0.0001sn olarak alınmıştır. Bu zaman aralığında simülasyonda yarı iletken elemanların tetikleme frekansı en fazla 10000 Hz olmaktadır. Bu frekansta seri aktif güç filtresi ile kompanzasyon yapılması sırasında herhangi bir problemle karşılaşılmamışken paralel aktif güç filtresi simülasyonunda seçilen zaman aralığı referans kompanzasyon akımını

takip etmede yetersiz kalmıştır. Bu sonuca göre paralel aktif güç filtresi ile kompanzasyon yapılırken daha büyük reaktif güçler kompanze edilebilirken tetikleme frekanssında seri aktif güç filtresine göre daha büyük seçilmesi (10 kHz'den daha büyük) gerektiği sonucuna varılmıştır. Ancak kompanze edilecek reaktif akımın büyüklüğü, anahtarlama da kullanılan yarı iletken elamanların akım taşıma kapasitesi ile sınırlıdır.



5.ÇALIŞMANIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Elektrik sistemlerinde, enerjinin üretilmesi, iletilmesi ve dağıtım sırasında, akım ve gerilimin frekansının 50 Hz ve sinüs eğrisi biçiminde olması istenir. Bu elektrik enerjisinin kalitesinin belirleyen faktörlerden biridir. Fakat işletmeden ileri gelen etkilerle ortaya çıkan harmonikler nedeniyle, şebeke akım ve gerilimi sinüsoidal olmaktan çıkarlar ve dalga biçimleri oldukça karmaşık bir hal alır. Şebeke sinyalinde temel harmonik (50 Hz) ve daha yüksek frekanslı harmonikler bulunur. Şebekedeki yüksek frekanslı diğer harmonikler nedeniyle sistemdeki gerilim düşümleri artar, generatör, transformatör ve motorlardaki kayıplar büyür. Ayrıca çeşitli frekanslar nedeniyle sistemde oluşan rezonanslar, bir takım cihazların normal çalışmasını engellerken bir takım cihazların da arızalanmalarına sebep olurlar. Bu nedenle şebekeden reaktif güç çeken cihazların akımları mutlaka kompanze edilmelidir. Klasik kompanzasyon metotları çok hızlı değişen reaktif güç değişimlerinde yetersiz kalmışlardır. Reaktif gücün ani değişimlerine karşı uygun kompanzasyon yapabilecek aktif güç filtresi uygulamaları oldukça önem kazanmaktadır ve bu konuda çalışmalar devam etmektedir.

Günümüzde araştırma ve geliştirme çalışmaları için sağlanan ekonomik imkanlar kısıtlı fakat deneylerde kullanılan malzemeler hem hassas hem de oldukça pahalıdır. Özellikle yüksek maliyet gerektiren ve güvenlik önlemlerinin mutlaka tam alınması gereken deneylerden önce

sistemin mutlaka iyi bir simülasyonunun yapılması gerekir. Deneylerden önce yapılan simülasyon çalışmaları hem güvenlik önlemlerinin yeteri kadar alınmasını hem de zaman ve deney malzemelerinin boşa gitmemesini sağlar. Bu nedenle simülasyon gelişen teknolojiyi yakalamada kaçınılmaz bir yöntem olmuştur ve gittikçe önem kazanmaktadır.

Elektriki sistemin kararlı çalışmasına kadar olan geçici davranışlarını önceden gözlemek ancak sistemin simülasyonu ile mümkün olur. Bu nedenle deneyler yapılmadan önce mutlaka sistemin iyi bir simülasyonunun yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada alternatif akımla çalışan çeşitli doğrusal olmayan yük akımlarının yüke seri ve paralel olarak bağlanan aktif güç filtreleri ile düzeltilmesinin simülasyonu yapılmıştır. Bozulan yük akımları hem reaktif güç çekilmesine neden olmakta hem de çeşitli derecede harmonik üretmektedirler. Simülasyonda doğrusal olmayan yük akımlarının bütün özellikleri dikkate alınmaya çalışılmıştır. Tasarımlarda aynı anda hem harmoniklerin bastırılması hem de güç katsayısının düzeltilmesi amaçlanmış ve bu tasarımların simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon sonucunda hem seri hem de paralel aktif güç filtresindeki kondansatörün başlangıçta boş olduğu varsayıldığında yaklaşık 0.015sn sonra, dolu olduğu varsatıldığında ise 0.0001sn sonra kompanzasyona başladığı görülmüştür. Simülasyonda aktif güç filtresinin kompanzasyona başladığı andan itibaren sistem kararlı halde değilse bile kararlıymış gibi şebekeden normal akımını çekmiştir. Bu durumda aktif güç filtreleri kompanzasyon

yaparken aynı zamanda kararsız halde çalışan sistemlerde akımların kararlı hale getirilmesi için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Simülasyonda kullanılan bütün malzemelerin ideal olduğu kabul edildiğinden anahtarlama elemanlarında oluşan güç kayıpları dikkate alınmamış ve geri besleme sinyalinde zaman gecikmesi olmadığı kabul edilerek tam bir anahtarlama yapıldığı varsayılmıştır. Bu nedenle sistemin gerçek verimi ve gerçek performansı ancak deneyle bulunabilir. Bu yüzden sistemin bir de deneyi yapılarak tecrübe edilmesi yararlı olacaktır



KAYNAKLAR

- AYDIN M, GÖKMEN G, KURYEL B, GÜNDÜZ G (1990), " Diferansiyel Denklemler ve Uygulamaları" E.Ü. Mühendislik Fakültesi Ders Kitapları No:14
- BAL G.(1988), " Endüstriyel Yüklerdeki Reaktif Güç İçin Bir Kompansatör" Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ağustos.
- BORRALD S. R, PATEL B. K (1981)," A thyristor Reactive Power Compensator for Fast-Varying Industrial Loads " Int. Journal Electronics, Vol. 51, No. 6
- CAVALLINI A. and MONTANARI G (1994), " Compensation Strategies for Shunt Active-Filter Control", Electronics, IEEE Trans. on Power Electronics Vol 9, No 6, November.
- CHICHARO J and WANG H.(1994), "Power System Harmonic Signal Estimation and Retrieval for Active Power Filter Applications" IEEE Trans. on Power Vol , No 6, November.
- COX M. and MIRBOD A (1986), " A New Static VAR Compensator for an Arc Furnace", IEEE Trans. on Power Systems, Vol PWRS-1, No. 3, August.
- DIXON J, TEPPER M, and MORAN L, (1994) " Analysis and Equaluation of Differant Modulation Techiques for Active Power Filters". Apec Vol 2.
- DOMMEL V. WEI and YAN A. (1986), "Harmonics from Transformer Saturation" IEEE Trans. on Power Systems, Vol PWRS-1, No. 2, April
- ERGENELİ A. (1984), "Elektrikte Laplace Dönüşümleri ve Fourier Analizi" Kipaş Yayınları İstanbul.
- GÜLGÜN R. (1990), "Güç Elektroniğine Giriş",Beta Yayınları 4.Baskı,İstanbul.

- DIXON J. W., TEPPER S. M. and MORAN T.L (1994), "Analysis Evaluation of Different Modulation Techniques for Active Power Filters" Application Power Electronics Controllers, Vol. 2
- JOU H-L, CHU H-Y and WU J.H (1993), " New Single-Phase Active Power Filter" INT. J. Electronics, Vol. 75, No.3, May
- JOU H-L, WU J.H and CHU H-Y (1994), " New Single-Phase Active Power Filter" IEE Proc. Electronics, Power Appl. Vol. 141, No.3, May
- KAYNAK O. (1988),"Güç Elektroniği Devre Elemanları" İTÜ kütüphanesi
- MOTA R. and QANTİNA V. H. (1986), " Sparse Reactive Power Scheduling by a Panalty Function-Linear Programming Technique" IEEE Trans. on Power Electronics, Vol.PWRS-1, No.3. August.
- NASTRAN J, CAJHEN R, SELİGER M. and JEREB P (1994)," Active Power Filter for Nonlinear AC Loads" IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 9 No.1. January.
- ÖNAL H.(1970) "Lineer Sistemlerde Geçici Olaylar", Tercüme, İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, Sayı 784, İkinci Baskı. Yazarlar:MURRAY M. GAGNER, S.M, Professor of Elektrical Engineering, Massachusetts Institute of Technology ve John L. BARNES, Ph. D., University of California Los Angeles, California America.
- TORREY D. and AL-ZAMEL A. (1994) " A Single-Phase Actice Power Filter for Multifle Nonlinear Loads" Apec Vol. 2
- TORREY D. and AL-ZAMEL A. (1995) " Single-Phase Actice Power Filter for Multifle Nonlinear Loads" IEEE Trans. on Power Vol. 10 , No 3, May
- SAETİEO S, DEVERAJ R and TORREY D.(1994) " The Desing and Implementation of aTree-Phase Active Power Filter Based On Sliding Mode Control" Industrial Applications Meating, Vol 2.



ÖZGEÇMİŞ

ÖZGEÇMİŞ

Mahir DURSUN, 1970 yılında Çorum ilinin Osmancık ilçesinde doğdu. İlk ve orta okulu Osmancık'ta, lise'yi Samsun'da tamamladı. 1993 yılında G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümünden mezun oldu. 1994 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü Elektrik Makinaları Anabilim Dalında Araştırma Görevliliğine Başladı. Halen bu görevini sürdürmektedir.

