T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BULANIK MANTIK KONTROLLÜ EV TİPİ TAŞINABİLİR KOMPANZAYSON SİSTEMİ TASARIMI

Ömer Faruk HATAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR SİSTEMLERİ EĞİTİMİ
ANABİLİM DALI

KONYA 2010

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BULANIK MANTIK KONTROLLÜ EV TİPİ TAŞINABİLİR KOMPANZAYSON SİSTEMİ TASARIMI

Ömer Faruk HATAY

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektronik ve Bilgisayar Sistemleri Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Fatih BAŞÇİFTÇİ

2010, 80 Sayfa

Jüri: Yrd.Doç.Dr. Fatih BAŞÇİFTÇİ
Yrd.Doç.Dr. Rıdvan SARAÇOĞLU
Yrd.Doç.Dr. Murat SELEK

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle elektrik enerjisine olan gereksinim hızla artmaktadır. Elektrikle çalışan sistemlerde tasarruf sağlamanın ve verimliliği arttırmanın en etkin yöntemlerinden birisi de reaktif güç kompanzasyonudur. Türkiye' de halen uygulanan yönetmelikle birlikte, sanayide kompanzasyon zorunlu ve belirli aralıklarda yapılırken, konut ve küçük ölçekli işletmelerde bu konuda bir düzenleme yoktur ve önemsenmemektedir. Reaktif Güç Kompanzasyonunun yurt genelinde uygulanması halinde tasarrufun büyük oranlara ulaşması mümkündür. Bu çalışmada; reaktif gücün tek fazlı sistemlerde ölçülmesi ve bir mikrodenetleyici yardımıyla tasarrufa yönlendirilmesi hesaplaması geliştirilmiştir. Gerçekleştirilen sistemde akım ile gerilim arasında oluşan faz farkı ölçülerek, çekilen reaktif güç miktarına göre çıkışlar bulanıklaştırılmış ve tasarrufu yönlendirme gerçekleştirilmiştir. Uygulama sonuçları, tasarlanan sistemin basit yapılı ve küçük boyutlu olduğunu, sistemin güç katsayısını optimum seviyeye getirerek tasarruf sağladığını, hataların en aza indirildiğini ve maliyeti düşürdüğünü göstermiştir. Ayrıca sistemin taşınabilir özelliği sayesinde, reaktif güç harcanmayan ya da herhangi bir cihaz kullanılmadığı zamanlarda oluşabilecek olumsuzlukların önüne geçilmiş, bu sayede cihazların ömrünün uzadığı görülmüştür. Bu özellikleriyle piyasada satılan cihazlardan daha verimli, kullanışlı ve ekonomiktir.

Anahtar Kelimeler: Kompanzasyon, reaktif güç, elektrik tasarrufu, bulanık mantık, ev tipi

ABSTRACT

MSc Thesis

HOUSE TYPE PORTABLE COMPENSATION SYSTEM DESIGN WITH FUZZY LOGIC CONTROL

Ömer Faruk HATAY

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Electronic and Computer System Education Branch

Advisor: Assist.Prof.Dr. Fatih BAŞÇİFTÇİ

2010, 80 Pages

Jury: Assist.Prof.Dr. Fatih BAŞÇİFTÇİ
Assist.Prof.Dr. Rıdvan SARAÇOĞLU
Assist.Prof.Dr. Murat SELEK

In the present day, the requirement for electric energy is increasing rapidly with the advancement of the technology. One of the most effective methods of achieving savings in electrically-operated systems and increasing the efficiency is reactive power compensation. According to the presently enforced regulation, compensation is mandatory in the industry and it is made at certain intervals, however, there is no arrangement for residences and small-scale enterprises and this issue is neglected. It is possible to make significant amounts of savings if the reactive power compensation is implemented over the whole country. In this study, measurement of the reactive power in single-phase systems has been developed, as well as calculation for directing for energy saving through a microcontroller. With the implemented system, the phase difference between the current and voltage was measured, the outputs were fuzzed according to the quantity of the consumed reactive power and directing for saving was achieved. Implementation results demonstrated that the designed system has a simple structure and small dimensions, it brings up the power coefficient of the system to the optimum level, it reduces the faults to minimum and reduces the cost. Furthermore, thanks to its portability feature, adverse effects that could be encountered when reactive power is not consumed or not used have been prevented, due to this characteristic, it was observed that the service life of the devices has been extended. With the developed system, the adverse effects of unnecessary capacitive loading of the system when no current is drawn from the mains or no reactive power is consumed have been minimized. With these features, it is more useful and more economical than the devices sold on the market.

Keywords: Compensation, reactive power, energy saving, fuzzy logic, house type

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tezin hazırlanmasında büyük katkısı bulunan ve çalışmalarım sırasında benimle yakından ilgilenen, bana her türlü fedakârlığı ve sabrı gösteren danışmanım Sayın Yrd.Doç.Dr. Fatih BAŞÇİFTÇİ' ye gönülden teşekkürü bir borç bilirim. Öğrenme süreci içerisinde bilgilerinden faydalandığım değerli Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi A.B.D. öğretim üyelerine teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışmalarım sırasında yardımlarını ve destekleri esirgemeyen Selçuk Üniversitesi Huğlu Meslek Yüksekokulu Öğretim Görevlisi Sayın Mustafa Parla' ya ve Elektrik Öğretmeni Sayın Muammer AKBAŞ' a teşekkür ederim.

Bana maddi ve manevi destek veren değerli anneme ve babama sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Bil. Öğrt. Ömer Faruk HATAY
Temmuz 2010

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT ii
ÖNSÖZ iii
İÇİNDEKİLER iv
ŞEKİLLER LİSTESİ vi
TABLOLAR LİSTESİ viii
SİMGELER VE KISALTMALAR ix

1. GİRİŞ 1
1.1. Mevcut Sistemler 3
1.2. Tezin Önemi ve Amacı 5
1.3. Tezin Organizasyonu 7
1.4. Kaynak Araştırması 8

2. MATERYAL ve METOD 16
2.1. Kullanılan Malzemeler 16
2.1.1. Kondansatörler 19
2.1.2. Röleler 21
2.2. Kullanılan Yöntemler 21

3. KOMPANZASYON 24
3.1. Kompanzasyon 24
3.2. Kompanzasyonun Amacı 25
3.3. Kompanzasyonun Yararları ve Önemi 27
3.4. Kompanzasyon ile İlgili Yasalar ve Yönetmelikler 28
3.5. Reaktif Güç 30
3.5.1. Reaktif güç tüketicileri 32
3.5.2. Reaktif güç üretimi 33
3.5.3. Reaktif güç ihtiyacının belirlenmesi 34

3.6. Kompanzasyon Tesisinin Düzenlenmesi 37
3.6.1. Bireysel kompanzasyon 40
3.6.2. Grup kompanzasyon 41
3.6.3. Merkezi kompanzasyon 42
3.6.4. Aşırı kompanzasyon 43
3.7. Harmonikler 44
3.7.1. Harmonik üreten elemanlar 45
3.7.2. Harmoniklerin yol açtığı problemler 46

4. BULANIK MANTIK 47
4.1. Bulanık Mantık Tanımı 47
4.2. Bulanık Küme 48
4.3. Bulanık Mantık Kontrol Yapısı 49
4.4. Bulanık Kontrol' ün Avantajları 51

5. BULANIK MANTIK KONTROLLÜ KOMPANZASYON DEVRESİ TASARLANMASI 53
5.1. Akım Bilgisinin Okunması 56
5.2. Gerilim Bilgisinin Okunması 56
5.3. Sıfır Geçiş Dedektörü 58
5.4. Mikrodenetleyici Devresi 61
5.5. Bulanık Mantık Kontrolü ile Kompanzasyon Sisteminin Oluşturulması 64

6. DENEYSEL SONUÇLAR 66

7. SONUÇLAR 72

8. KAYNAKLAR 75

EK1. Mikrodenetleyici Yazılımı 79

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Bozulmuş, kompanzasyona ihtiyaç duyan akım ve gerilim dalgası 2
Şekil 2.1. Tez çalışmasında kullanılan kondansatör.....20
Şekil 2.2. Kondansatör kayıplarının sıcaklık ile değişimi 20
Şekil 2.3. Kullanılan rölelerin görünümü 21
Şekil 2.4. Bulanık mantık kontrollü kompanzasyon devresi çizimi.....22
Şekil 2.5. Gerçekleştirilen devrenin baskı çizimi.....22
Şekil 3.1. İdeal sinüs şekilli akım ve gerilim dalgası 26
Şekil 3.2. Bozulmuş, kompanzasyona ihtiyaç duyan akım ve gerilim dalgası 27
Şekil 3.3. İletilen görünür gücün azaltılması durumundaki fazör diyagramı.....35
Şekil 3.4. İletilen aktif gücün azaltılması durumundaki fazör diyagram.....36
Şekil 3.5. Şebekeye bağlı bir alıcının güç katsayısının düzeltilmesi.....38
Şekil 3.6. 5 kVA lık alıcının aktif, reaktif ve görünür gücü 38
Şekil 3.7. İstenilen açısının gösterimi.....39
Şekil 3.8. Bireysel kompanzasyon.....41
Şekil 3.9. Grup kompanzasyon 41
Şekil 3.10. Merkezi kompanzasyon.....42
Şekil 3.11. Aşırı kompanzasyon sonucunda gerilim yükselmesi 43
Şekil 3.12. Harmonikler sonucu bozulmuş akım dalga şekli.....44
Şekil 4.1. Bulanık kontrolün ana yapısı.....50
Şekil 5.1. Akım, gerilim ve güçlerin fazör diyagramında gösterilmesi.....54
Şekil 5.2. Tasarlanan reaktif güç ölçüm devresinin blok şeması 55
Şekil 5.3. Akım bilgisinin okunması 56
Şekil 5.4. Gerilim bilgisinin okunması 57
Şekil 5.5. Akım ve Gerilim sinyallerinin görüntüsü.....57
Şekil 5.6. Sıfır geçiş dedektörü 58
Şekil 5.7. Akım ile gerilim arasındaki ideal faz farkı.....59
Şekil 5.8. Akım ile gerilim arasındaki faz farkı 59

Şekil 5.9. Sıfır geçiş dedektöründen alınan akım ve gerilim bilgileri 60
Şekil 5.10. Bulanık mantık kontrollü kompanzasyon devresi.....61
Şekil 5.11. Gerçekleştirilen mikrodenetleyici ölçüm devresi 62
Şekil 5.12. Programın akış diyagramı.....63
Şekil 5.13. Bulanık kümelerin grafik şeklinde gösterimi 65
Şekil 6.1. Lojik dalga formu 66
Şekil 6.2. Bulanık mantık kontrollü kompanzasyon devresinin buzdolabı motoru üzerinde uygulaması 68
Şekil 6.3. Wattölçer cihazının görüntüsü.....69

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Piyasada bulunan bazı kompanzasyon cihaz tipleri ve web adresleri 4
Tablo 2.1. Tez çalışmasında kullanılan malzemeler ve adedi 17
Tablo 6.1. Gerçekleştirilen devrenin buzdolabı üzerindeki test sonuçları 68
Tablo 6.2. Kompanzasyon devresinin diğer elektrikli cihazlarda uygulanan test sonuçları 70
Tablo 6.3. Bir evde bulunan elektrikli cihazların gruplar halinde tasarruf oranları...71
Tablo 7.1. Tez çalışmasının bazı kompanzasyon sistemleri ile tasarruf miktarlarının karşılaştırılması.....72
Tablo 7.2. Mevcut Cihaz Türlerinin tasarruf oranları ve şebekeye olumsuz etkileri.73

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simge ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklama**
C	Kapasitans (Farad)
cos φ	Güç Faktörü
Hz	Frekans Birimi (Hertz)
E_a	Aktif Güç
E_r	Reaktif Güç
F	Farad
$\mathbf{I_m}$	Maksimum Akım
$\mathbf{I_p}$	Aktif akım
$\mathbf{I_q}$	Reaktif akım
I_{eff}	Efektif akım
I^*_{eff}	Efektif akımın transpozesi
I_Q	Akımın reaktif bileşeni
ω	Şebeke frekansı
μ	Mikro (birim)
P	Aktif güç
Q	Reaktif güç

S	Görünür güç
φ	Faz açısı
V_{eff}	Efektif gerilim
Vrms	Şebeke gerilimi
Z	Empedans
X	Reaktans
X_c	Kondansatör reaktansı
μA	A kümesi karakteristik fonksiyon

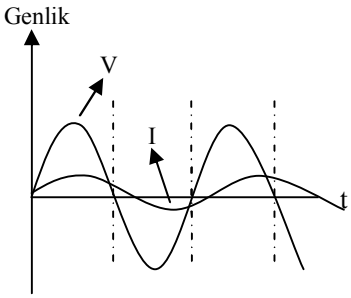
Kısaltmalar	**Açıklama**
AA	Alternatif akım
AD	Doğru akım
ASC	Advanced Series Compensation
DC	Doğru akım
Epdk	Enerji Piyasası düzenleme Kurulu
I	Amper (Akım)
kΩ	Kiloohm
kV	kiloVolt
kVAr	Reaktif Güç
kW	Aktif Güç (kiloWatt)
kVA	Görünür güç
LCD	Liquid Crystal Display

Mhz	Mega hertz
pF	Pikofarad
pf	Power factor(Güç katsayısı)
PIC	Programmable Interface Controller
PLC	Programmable Logic Controller
PID	Proportional Integral Derivative
RGK	Reaktif Güç Kompanzatörü
SCR	Silisyum Kontrollü Doğrultucu
TCRSC	Thyristor control reactor series capacitor
THD	Total Harmonic Distortion
V	Volt (Gerilim)
Vf	Faz gerilimi
Vh	Hat gerilimi
XT	Kristal
YSA	Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

En çok kullanılan enerji kaynaklarından biri olan elektrik enerjisi, üretilirken tüketilmesi gereken bir üründür. Günümüzde nüfus artışı, sanayileşme ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak elektrik enerjisinin önemi her geçen gün artmaktadır. (Baysal 2005). Elektrik enerjisi üretimi, iletim ve dağıtım sistemleri için yapılan yatırım maliyetleri oldukça yüksektir. Bu sebeple elektrik enerjisi talep edildiği anda üretilmesi ve tüketim noktasına ulaştırılması gerekmektedir. Dünyamızın son yıllarda karşı karşıya kaldığı enerji krizi, araştırmacıları bir yandan yeni enerji kaynaklarına yöneltirken diğer yandan daha verimli sistemlerin tasarımlanması ve boşa giden elektrik enerjisinin kazanılması yönünde yapılan çalışmaların yoğunlaşmasına neden olmuştur (Kocabaş 2006). Bu gerçekten hareketle elektrik enerjisinin akılcı bir şekilde kullanımına yönelik atılımlar yapılmaya, cihazlardan yüksek verim elde etmeye ve geliştirilmeye başlanmıştır (Güntürkün 2003). Günümüzde elektrik enerjisini verimli kullanmak, var olan kayıpları en aza indirmek, üretim maliyetlerini düşürmek ve enerji tüketimini azaltarak çevreyi korumak açısından büyük önem kazanmıştır (Demirkol 2006).

Tasarruf ve verimliliği artırmanın en etkili yöntemlerinden birisi güç kompanzasyonudur. Bu yöntemle, jeneratör, transformatör, bobin, motor gibi endüktif yüklerin oluşturduğu reaktif güç, kapasitif yüklerle dengelenmeye çalışılmaktadır. Türkiye' de "Elektrik tarifeleri yönetmeliği" ile birlikte kurulu gücü 9 kW nin üstünde olan tüketiciler için kompanzasyon zorunlu hale getirilmiş ve sınırlandırılmıştır. Kurulu gücü 9 kW' nin altında kalan tüketiciler için ise herhangi bir zorunluluk bulunmamaktadır. Kullanılan reaktif güç bedeli önemsenmemekte ve faturalama işlemleri yapılırken aktif güç üzerinden hesaplanarak, faturaya yansıtılmaktadır (Epdk 2010). Son yıllarda bu tip kullanıcıların elektrik tasarruf ve verimliliği için bazı kompanzasyon sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Kompanzasyon yapılmamış bir sistemdeki zamana bağlı akım ve gerilim dalgalarının bozulmuş hali Şekil 1.1' de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Bozulmuş, kompanzasyona ihtiyaç duyan akım ve gerilim dalgası

Elektrik şebekesine bağlanan cihazların hemen hemen tamamı endüksiyon prensibine göre çalıştığı için magnetik alanının meydana getirilmesi için mıknatıslama akımı çekerler. Bu mıknatıslama akımına reaktif akım da denir. Bu nedenle aktif gücün yanında reaktif güce de ihtiyaç vardır. Şebekeden çekilen ve hemen ardından şebekeye tekrar geri verilen reaktif güç şebekeyi gereksiz yere yükler ve şebekenin işletme maliyetlerini yükseltir. Bu nedenle her işletme şebekeden çektiği reaktif gücü kontrol etmeli, bir başka deyişle güç faktörünü belli sınırlar içinde tutmalıdır. Reaktif güç kompanzasyonu teknik ve ekonomik bir zorunluluktur (Demirkol 2006).

Tasarruf yapmanın bir diğer yöntemi ise enerji kalitesi sorunlarını gidermektir. Enerji kalitesi konusundaki çalışmalar genellikle gerilimdeki dalgalanmalar, çökmeler ya da kesintiler ve geçici olaylar üzerinde olmakla birlikte, hiç şüphesiz, en çok reaktif güç kompanzasyonu ve harmonikler konularında yapılmaktadır. Elektrik enerji sistemlerinde isletmeyi kolaylaştırmanın, verimi arttırmanın ve enerji tasarrufu sağlamanın en etkin ve en kolay yöntemlerinden birisi reaktif güç kompanzasyonudur (Engin 2008).

Bu tez çalışmasında; konut ve küçük ölçekli işletmelerde, kompanzasyon işlemi için gerekli reaktif güç katsayısının, bir mikrodenetleyici yardımıyla ölçülmesi ve tasarrufa yönlendirme hesaplaması geliştirilmiştir. Tek fazlı hattan sensörler yardımıyla akım ve gerilim bilgisi alınmıştır. Akım bilgisi, sensör içerisinden geçirilen kablo üzerindeki akım dalgası ile elde edilmiştir. Gerilim bilgisi ise 220 voltluk şebeke gerilimine bağlı gerilim sensörünün çıkışından alınmıştır. Elde edilen

akım ve gerilim sinyalleri, sıfır geçiş dedektöründen geçirilmiştir. Sıfır geçiş dedektörü, akım ve gerilim sinyallerinin sıfır (0) noktasından geçtiği anlarda lojik (1) sinyalini vermektedir. Sıfır geçiş dedektörünün çıkışından alınan akım ve gerilim sinyalleri mikrodenetleyicinin girişlerine uygulanmış ve sıfır anından geçiş bilgileri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda akım ve gerilim arasındaki zaman farkı (faz farkı) reaktif güç katsayısını elde etmede kullanılmıştır. Elde edilen bu reaktif güç katsayısının büyüklüğüne göre mikrodenetleyicinin çıkışları bulanıklaştırılıp, kompanzasyon işlemi yönlendirilmiştir. Bu aşamada; konut ve küçük ölçekli işletmeler için, diğer sistemlerden farklı olarak, tüm devrenin tek bir kompanzasyon elemanından geçmesi yerine, çekilen reaktif güce göre kompanzasyon elemanları devreye dâhil edilmiştir. Gerçekleştirilen devre ile yapılan kompanzasyon işleminin diğer cihazlardan tasarruf ve verimlilik anlamında üstün olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kullanılan kompanzasyon elemanlarının ve cihazların kullanım ömürlerinin uzadığı görülmüştür.

1.1. Mevcut Sistemler

Elektrik dağıtım sistemlerinde aktif güçle birlikte, gerekli manyetik alanın oluşabilmesi ve sistemin ihtiyacının karşılanması için reaktif güç akışının da olması gerekmektedir. Bu reaktif gücü üretmek ya da şebekeden çekilen reaktif gücü kompanze etmek için çoğunlukla ve en ideal şekilde kondansatörler kullanılmaktadır. Elektrik firmaları ev ve küçük işletmelerdeki kullanıcılarından sadece aktif enerji miktarını faturalamaktadır. Aktif, reaktif ve kapasitif güçleri ayrı ayrı fatura etmemektedir. Evlerde kullanılan reaktif yük çeken cihazlar, sayaçlardan aktif güç çekiyormuş gibi davranırlar. Bu da faturaların daha yüksek gelmesine sebep olmaktadır.

Sanayide kompanzasyon sıklıkla kullanılırken, konut ve küçük ölçekli işyerleri için bu durum hayli düşük seviyededir. Çeşitli firmalar, küçük

kompanzasyon sistemleri geliştirerek, kondansatör yardımıyla tasarruf ve verimliliği sağlamaya çalışmışlardır (Megaelektrik 2010). Fakat bu sistemler, evlerdeki prizlerde veya sigortaya yakın yerlerde sabit halde bulundukları için, evlerde kullanılan cihazlara ve kullanıma göre ne derece etkili oldukları kesin olarak bilinmemektedir. Ayrıca bu cihazların ömürleri konusunda da net bilgiler bulunmamaktadır. Bunların hepsi ya sigortaya bağlanmakta ya da sigortaya en yakın prize bağlanması istenmektedir. Yurtiçi ve yurtdışında piyasada bulunan ve kullanıcıya sunulan bazı cihaz çeşitleri ve markaları Tablo 1.1' de verilmiştir.

Tablo 1.1. Piyasada bulunan bazı kompanzasyon cihaz tipleri ve web adresleri

Marka	Tip	Web Adresi
Energy+	Ev tipi priz	http://www.senertek.com
Rexaktif	Ev tipi priz	http://www.rexaktif.com
Tafazko	Sigorta	http://www.tafazkotasarruf.com
Bright Use X5	Sigorta	http://www.brightuse.com/www
Vemax	Sigorta- Priz	http://www.vemax.com.tr
Sunpower	Sigorta	http://www.sunpowerglobal.com
Siera	Sigorta	http://www.sierraclubmass.org

Bu tez çalışmasında; mevcut çalışmaların teknolojilerini bir araya getirmiş, yeni özellikler eklenerek elektrik enerjisinde tasarruf ve verimliliğin artırılması sağlanmıştır. Ayrıca çalışma, konut ve işyerlerinde sabit halde bulunmadığından, reaktif güç harcamayan veya herhangi bir cihazın çalışmadığı zamanlarda elektrik sistemine olan olumsuz etkileri engellenmiştir. Bu tez çalışması, bu alandaki bir boşluğu doldurarak, bundan sonraki sürece katkı sağlamayı da hedeflemektedir.

1.2. Tezin Önemi ve Amacı

Ekonomik ve sosyal kalkınmanın en önemli girdilerinden biri de enerjidir. Bu yönüyle enerji bir toplumun yaşam standardının yükseltilmesinde önemli rol oynar. Sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması da yine enerji ile mümkündür. Sanayi ve teknoloji alanında yaşanan büyük gelişmelerle birlikte enerjinin kullanımı ve maliyetleri giderek artmıştır (Özdemir 2006). Bu amaçla, tüm dünyada enerji verimliliğini artırmaya yönelik çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Enerjiyi üretmek kadar, üretilen enerjiden verimli şekilde faydalanmak da artık ülkelerin önemli konularından biri haline gelmiştir Gün geçtikçe ortaya çıkan daha hassas birimler ve kaçınılmaz olan enerjiden tasarruf sağlama zorunluluğu araştırmacı ve bilim adamlarını bu yönde araştırmalar yapmaya itmiştir.

Kompanzasyon işleminde devre elemanlarının en etkin şekilde çalışmasını sağlayan elektronik devre elemanı rölelerdir. Reaktif gücün dengelenmesi için kullanılan röleler, kompanzasyon uygulamasında kondansatörleri devreye alma veya çıkartma (Çekilen reaktif gücü kompanze etmek için) görevini üstlenmiştir. Böylece sistemin daha etkin tasarruf yapmasını sağlanacak, fazla kompanzasyondan dolayı oluşabilecek olumsuz etkileri engellenmiş olacaktır.

Sanayide kompanzasyon, 24887 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan "Elektrik Piyasası Müşteri Hizmetleri Yönetmeliği" gereğince mecburi hale getirilmiş, kurulu gücü 50 kVA üzerinde olan işletmeler, kompanzasyon panolarıyla reaktif güç katsayılarını belirli oranlar çerçevesinde düzeltmektedirler. Sanayide kompanzasyon sıklıkla kullanılırken, ev kullanıcıları ve küçük işletmeler için bu durum çok düşük seviyelerdedir (Epdk 2010).

Gelecekte sanayide olduğu gibi konut ve küçük ölçekli bütün işyerlerine kompanzasyon yapma zorunluluğu gelebilir. Bu ve benzeri sistemlerle kompanzasyon konusunda ilerlemeler sağlanması hedeflenmektedir. Bu ilerlemeler sonucunda günümüzde kullandığımız elektrikli cihazlara, üretim aşamasında elektrik tasarruf devrelerinin monte edilmesi sağlanabilir.

Elektrik tasarruf cihazı olarak piyasada bulunan mevcut cihazlar ya evdeki sigortaya takılmakta ya da sigortaya en yakın prize takılması istenmektedir. Bu cihazların kullanılmaya gerek duyulmadıkları zamanlarda ve işe yaramadığını belirttikleri bazı tür elektrikli cihazların, evdeki elektrik sistemine zarar verme durumları söz konusudur. Sabit bir yerde kullanılma zorunlulukları vardır. Elektrik enerjisinden gerçekte tasarruf edip etmedikleri hakkında kullanıcıya bilgi verememektedirler. Bu yöntem, mevcut çalışmaların teknolojilerini bir arada bulundurmuş ve yeni özellikler eklenerek elektrik enerjisinde tasarruf ve verimliliğin artırmıştır. Bu tez çalışması, bu alandaki bir boşluğu doldurarak, bundan sonraki sürece katkı sağlamayı da hedeflemektedir.

Her yıl binlerce elektronik cihaz, elektrik problemleri yüzünden zarar görmektedir. Zarar gören cihazlar bozulmakta veya çöpe gitmektedir. Bu durum büyük maddi kayıplara sebep olmaktadır. Bu zararları en aza indirmek, teknolojik ve elektronik cihazlarda ülkemizin dışa bağımlılığını da azaltacaktır. Tasarlanan devre sonucunda hem elektrik tasarrufu sağlanmış hem de elektriğe bağlı çalışan cihazlarımızın şebeke elektriğinden kaynaklanan arızalara maruz kalması önlenmiştir. Bu da tüketici ve üretici yönünden birçok avantaj sağlamıştır.

Gerçekleştirilen sistemle birlikte tüketicinin harcadığı elektrik enerjisinin kullanımında bir azalma meydana gelecektir. Elektrik enerjisinin kullanımının azalması, elektrik üretiminde kullanılan çeşitli yakıtlar, nükleer enerji vb. çevremiz için olumsuz durumların azaltılması, çevrenin korunması açısından da büyük önem taşımaktadır.

Bu tez çalışmasında; yukarıda belirtilen bazı olumsuz durumlar giderilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen sistemin üstünlükleri aşağıda listelenmiştir:

- Sistemin taşınabilir olması,
- Çekilen elektrik enerjisine göre kompanzasyon sağlayan devre içermesi,
- Devrenin kullanılmadığı durumlarda elektrik hattına yan etkisinin olmaması,
- Üzerinde açma kapama düğmesinin olması,
- Hangi modda çalıştığını gösteren uyarı lambalarının olması,

- Elektrik hatlarındaki verimliliği arttırması,
- Cihazların sağlıklı çalışmasını sağlaması
- Cihazların ve kondansatörlerin ömrünün uzamasını sağlaması.

1.3. Tezin Organizasyonu

Bu tez çalışmasında bölümlere göre izlenen yollar aşağıda açıklanmıştır.

Birinci bölümde; elektrik enerjisinin önemine ve ülkemizde kompanzasyonun yerine değinilmiştir. Tasarrufların hangi türlerde ve alanlarda yapıldığı ve tez çalışmasının kısaca uygulaması anlatılmıştır.

Tez çalışmasının fikrine kaynaklık eden, piyasada satılan cihazlar ve web adreslerine yer verilmiş ve diğer cihazlardan özgün yönleri belirtilmiştir. Tezin amacı ve önemi açıklanmış, tez çalışması sırasında araştırma yapılan kaynaklar, içerikleri ve sonuçlarıyla kısaca özetlenmiştir.

İkinci bölümde; gerçekleştirilen devrede kullanılan materyaller ve metodlar verilmiştir. Kompanzasyon devresinde gerekli malzemeler burada tanıtılmış tez çalışmasının yöntemi açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde; kompanzasyonun tanımı, amacı, yararları ve önemi vurgulanmıştır. Üretici ve tüketici açısında faydaları ve gereklilikleri sıralanmış. kompanzasyonla ilgili yürürlükte bulunan yasa ve yönetmeliklere yer verilmiştir.

Reaktif gücün tanımı yapılarak, reaktif güç tüketici ve üreticileri anlatılmıştır. Kompanzasyon tesislerinin düzenlenme biçimleri ve kompanzasyon hesaplamaları ile formülleri verilmiştir.

Dördüncü bölümde; bulanık mantıkla ilgili genel bilgiler verilmiştir. Bulanık mantık tanımı, bulanık küme ve bulanık mantık kontrol yapısı konuları genel terimlerle açıklanmış, bulanık kontrolün avantajları sıralanmıştır.

Beşinci bölümde; aktif - reaktif akım ve aktif - reaktif güç tanımları yapılmış, tasarlanan reaktif güç ölçüm devresinin blok şeması verilmiş, tasarlanan devrenin modüller halinde bağlantı şekilleri ve analog sinyal görüntüleri verilmiştir.

Tasarlanan devrenin fotoğrafı ve kullanılan baskı devresi eklenmiştir. Ayrıca PIC içerisine yazılan programın algoritması verilmiştir. Bulanık mantık kontrolü ile kompanzasyon sistemi gerçekleştirilmesi ve uyumu formül ve grafiklerle anlatılmıştır.

Altıncı bölümde; deneysel sonuçlar kısmında, tez çalışması için gerçekleştirilen devre, çeşitli elektrikli cihazlarda test edilmiş ve sonuçlar tek tek ve grup olarak tablo içerisinde verilmiştir.

Yedinci bölümde; tez çalışmasıyla ilgili genel sonuçlar ve test aşamasındaki verilerin, piyasadaki diğer cihazlara göre üstün yönleri ve karşılaşılan olumsuz durumlar anlatılmış, karşılaştırmalı tablosu verilmiştir.

Sekizinci bölümde; tez çalışmasında kullanılan kaynaklar alfabetik biçimde sıralanmıştır.

1.4. Kaynak Araştırması

Reaktif güç kompanzasyonu ile ilgili yapılmış birçok akademik çalışma mevcuttur. Akademik çalışmalar, genellikle tez, makale ve bildiri üzerine olup yurtiçi ve yurtdışında çok sayıda çalışma yapılmıştır.

PRAVEEN Kumar (2008), “Development of Power Factor Controller using PIC Microcontroller” isimli tez çalışmasında; mikrodenetleyici (PIC) kullanarak, güç faktörü düzeltme tasarımı geliştirilmiştir. PIC’ de yüklü güç katsayısı ölçümü değerleri kullanılarak kondansatörler devreye alınmıştır ve uygun bir algoritma oluşturularak, reaktif tüketicilerin aşırı yüklemesini önlemek için gerekli kapasitörler tetiklenerek devreye alınmış, sonuç olarak güç faktörü istenilen seviyeye getirilerek tasarruf sağlanmıştır (Kumar 2008).

Özlem DEMİRKOL (2006), “Harmonik içeren ve dengesiz şebekelerde ölçme ve kompanzasyon” isimli, yüksek lisans tezinde; reaktif güç kompanzasyonunun tanımı, güç sistemlerindeki harmonik problemleri, çözümleri, dengesiz yüklerde ve hızlı değişen simetrik olmayan yüklerde kompanzasyon konularını ele alınmıştır. Reaktif güç kompanzasyonu ile akım ve gerilim arasındaki faz farkını ortadan kaldırmayı amaçladığını söylenmiş, bunun için kondansatörler yüklerin bulunduğu baralara bağlanması gerektiğini anlatmıştır. Bu bağlantının yüklere paralel yapılması gerektiği ve röleler ile bağlantıların desteklenmesi gerektiğinden bahsetmiştir. Sonuç olarak endüstriyel bir tesisten alınan ölçüm verileriyle analiz yapılmış olumlu ve olumsuz yönleri belirlenmiş, olumsuz durumlara göre çözüm önerileri getirilmiştir (Demirkol 2006).

Ercan KOCABAŞ (2006), “Reaktif Güç Kompanzasyonu ve Simülasyonu” isimli yüksek lisans tezinde; reaktif güç kompanzasyonunun gerekliliği, matematiksel esasları, modern röleler ve işlevleri anlatılmıştır. Kompanzasyon tesisleri ve matematiksel ifadeler örnek bir kompanzasyon devresinde gösterilmiştir. Bilim ve teknolojideki gelişmeler günlük hayatta kullandığımız birçok cihazın daha kullanışlı, genel amaçlı ve hızlı olması gerektiğinin öneminden bahsetmiştir. Kullanılacak röle, kademe, kondansatör gruplarının belirlenmesi, hesaplamaların, çalışma şeklinin devre üzerinde gösterilmesi için bir simülasyon tasarlanmış sonuç olarak bunun, işletmeyi zaman ve üretimin sürekliliği bakımından koruduğu hususunu ortaya koymuştur (Kocabaş 2006).

Barış ENGİN (2008), "Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Kompanzasyon ve Enerji Kalitesi Sorunları" isimli yüksek lisans tezinde; orta gerilim elektrik dağıtım sistemlerinde reaktif güce bağlı olarak ortaya çıkan enerji kalitesi problemlerini ve bunların çözüm yöntemlerini incelemiştir. Bu kapsamda öncelikle dağıtım sistemleri incelenmiş, ardından reaktif güç kompanzasyonu hakkında bilgi verilmiştir. Demir-çelik fabrikası elektrik dağıtım sistemi esas alınarak bir model şebeke oluşturulmuş ve bu modelin bilgisayar simülasyonu yapılmıştır (Engin 2008).

Sertaç BAYHAN ve Şevki DEMİRBAŞ (2009), "Mikrodenetleyici Tabanlı Multimetre Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi" isimli bildirisinde; ölçme devresi yardımıyla uygun seviyeye dönüştürülen gerilim ve akım sinyalleri sıfır geçiş algılama devresine ve AA/DA konvertör devresine uygulanmaktadır. Bu devreler yardımıyla elde edilen sinyaller mikrodenetleyicinin analog ve dijital kanallarına uygulanmakta ve mikrodenetleyicide hazırlanan yazılım yardımıyla parametreler hesaplanarak LCD ekranda kullanıcıya gösterilmektedir. Sonuçta, tasarlanan multimetrenin düşük maliyetli ve kullanışlı olduğu görülmüştür (Bayhan ve Demirbaş 2009).

Fatih BİLKİ (2008), "Reaktif Güç ve Kompanzasyon Teknikleri" isimli yüksek lisans tezinde; reaktif gücün tanımı ve bazı kompanzasyon türlerinden bahsetmiştir. Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle gündeme gelen Statik VAr kompanzasyondan (SVS) söz edilmiştir. Kompanzasyon hesabı, güç sistemine ve Reaktif güce etki eden harmoniklere yer verilmiştir (Bilki 2008).

Ömer SESVEREN (2008), "Yapay sinir ağları temelli reaktif güç kompanzasyonu eğitim seti tasarımı" isimli yüksek lisans tezinde; senkron motor ile yapılan reaktif güç kompanzatörü (RGK) denetiminde kullanılabilen Yapay Sinir Ağları (YSA) modeli tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, YSA yapısının gerçek zamanlı uygulamalara kolaylıkla adapte edilebileceği esnek bir sistem elde edilmiştir. Gerçekleştirilen model eğitim amaçlı olarak kullanılabileceği

gibi, farklı YSA yapılarının ve algoritmalarının test edilebileceği uygulamalarda da kullanılabilecek şekilde tasarlanmıştır (Sesveren 2008).

Mustafa BAYSAL (2005), "Tristör Kontrollü Seri Kompanzasyon Metotlarının Karşılaştırılması" isimli bildirisinde; tristör kontrollü iki farklı seri kompanzasyon yönteminin çeşitli kriterlere göre genel bir karşılaştırılması yapılmıştır. Aynı zamanda bu devrelerin çalışma prensipleri ile akım ve gerilim dalga şekilleri incelenmiştir. Gelişmiş Seri Kompanzasyon (ASC) ve Seri Kapasitörlü Tristör Kontrollü Reaktör (TCRSC) devreleri, bilgisayarda Matlab SIMULINK programı kullanılarak kompanzasyon aralığı, iletilen güç ve toplam harmonik distorsiyonu (THD) kriterlerine göre incelenerek bir karşılaştırma yapılmıştır (Baysal 2005).

Ramazan BAYINDIR (2007), "PIC denetimli Reaktif güç rölesi tasarımı" isimli makalesinde; birden çok alıcının bulunduğu bir sistemin reaktif güç ihtiyacını sürekli olarak kontrol eden bir reaktif güç rölesi tasarlanarak uygulaması gerçekleştirilmiştir. Sisteme ait akım ve gerilim bilgileri sürekli olarak ölçülüp PIC' e aktarılmıştır. Bu bilgiler kullanılarak, yükün ihtiyaç duyduğu reaktif güç yazılım ile hesap edilmiş ve uygun kondansatör grupları tek adımda devreye alınarak minimum anahtarlama yapılmıştır. Tasarlanan röle sonuç olarak üç fazdan örnekleme aldığı için, dengesiz yüklü sistemlerin reaktif güç kompanzasyonunda, her fazın akım, gerilim, güç katsayısı, aktif ve reaktif güçlerin izlenmesine imkân sağlamıştır (Bayındır 2007).

Sabir RÜSTEMLİ ve Muhammet ATEŞ (2009), "PIC Kullanarak Güç Katsayısı Ölçüm Devresi Tasarımı ve Simülasyon" isimli bildirisinde; alıcıya ait güç katsayısı mikrodenetleyici tabanlı olarak ölçülmüştür. Bu amaçla alıcının akım ve gerilim bilgileri aynı fazdan alınarak analog devre yardımıyla mikrodenetleyicinin girişine uygulanacak hale getirilmiştir. Analog devre çıkışından alınan bu akım ve gerilim bilgileri PICI6F877 mikrodenetleyicisine aktarılarak yazılan yazılım yardımıyla güç katsayısının değeri hesaplanarak LCD ekranda gösterilmiştir. Sonuçta

LCD ekran ile reaktif güç katsayısı sürekli olarak kontrol altında tutularak olumsuz durumlarda müdahale edilmiştir (Rüstemli ve Ateş 2009).

Rüştü GÜNTÜRKÜN (2003), "İleri beslemeli ve Elman geri beslemeli Yapay sinir ağlarını kullanarak harmoniklerin kompanzasyonu" isimli doktora tezinde; ileri beslemeli ve Elman geri beslemeli Yapay sinir ağlarını kullanarak harmoniklerin bulunmasının mümkün olduğu, bozulmuş dalgaların düzeltilmesiyle doğrulanmaktadır. Aktif filtre takılması yöntemi ile harmoniklerin doğrusal olmayan yükler tarafından, eşit miktarda sinyal üreterek Harmoniklerin yok edilmesini sağlanmaktadır (Güntürkün 2003).

CHU ve POLLOCK (1999), "Series Compensation On Power System With Very Low Harmonic Distortion", isimli makalelerinde; çok düşük harmonik bozulmalarla birlikte güç katsayısına yapılan seri kompanzasyon işlemini deneysel yöntemlerle göstermiştir. Kondansatörlerin seri kompanzasyonda simülasyonu yapılmış çeşitli test sonuçları aktarılmıştır (Chu ve Pollock 1999).

YAN ve JIN (2006), "Development of Outdoor High Voltage Dynamic Reactive Power Compensation Device" isimli makalelerinde; reaktif güç kompanzasyonu ile hat kaybı azaltarak, güç faktörü ve gerilim kalitesi geliştirilmiştir. Bunun için tasarlanan AT89C5 tek yongalı mikrobilgisayarlar ile reaktif güç kompanzasyonu sağlanmıştır. Bu cihaz özellikleri itibariyle basit yapısı, güvenilirliği performansı, düşük maliyeti rahat kurulum ve bakım masrafları açısından uygun kondansatörler ile birleştirilmiştir (Yan ve Jin 2006).

Mustafa BAYRAM (2000), "Reaktif Güç Kompanzasyonu" isimli kitabında; reaktif Güç Kompanzasyonu, alçak gerilim tesislerinde kompanzasyon ve aydınlatmalarda kompanzasyon konularını işlemiştir (Bayram 2000).

Güngör BAL (1998), "Endüstriyel yüklerdeki reaktif güç için kompansatör" isimli yüksek lisans tezinde; reaktif güç tüketen endüstriyel yüklerde, kademeli ayar yapan kompansatörlerin yetersiz kaldığını tespit etmiştir. Bu gibi yüklerin güç

katsayısının düzeltilmesinde statik tristör kontrollü kompansatör kullanılmaktadır. Çalışmada, reaktif güç isteği hızlı ve sürekli olarak değişen yükler için sabit kondansatörlü- tristör geliştirilmiştir (Bal 1988).

POMILIO ve DECKMANN (2007), "Characterization and Compensation of Harmonics and Reactive Power of Residential and Commercial Loads" isimli makalelerinde; harmonik kaynaklardan oluşan doğrusal olmayan yükler üzerinde test yapılmıştır. Ek simülasyon çalışmaları yapılarak şönt kompansatörler, filtreler ve besleyicilerle birlikte harmoniklerin olumsuz etkilerinin azaltılması çalışmaları yapmıştır (Pomilio ve Deckmann 2007).

Mustafa ŞEKELLİ ve Nesrin TARKAN (2005), "Reaktif Güç Kontrol Rölesinde Minimum Anahtarlama Sayısı ve Optimal Reaktif Güç Seçimi" isimli makalelerinde; yeni bir röle tasarımı yapılmıştır. Kondansatörlerin devreye alınıp çıkarılmaları sırasında, deşarj için gerekli gecikme süresi sıfırlanmış ve kondansatörlerin devreye alınıp çıkarılmaları tek tek yerine 1, 2 veya 3'lü gruplar halinde gerçekleştirilir hale gelmiştir. Böylece, kondansatörlerin devreye alınıp çıkarılmaları sırasında, kontaktörlerin anahtarlama sayısı minimum yapılmış, şebekenin daha az indüktif akımla yüklenmesi sağlanmış ve kayıplar azaltılmıştır. Ayrıca, aşırı kompanzasyon ve bunun meydana getireceği istenmeyen olaylar önlenmiştir (Şekelli ve Tarkan 2005).

Okay VURAL (2003), "Alçak gerilim tesislerinde Reaktif güç kompanzasyonu" isimli yüksek lisans tezinde, reaktif güç kompanzasyonun tanımı ve önemi anlatılmış matematiksel olarak ifade edilmiştir. Kompanzasyon çeşitleri anlatılarak, kompanzasyon tesislerinin tasarlanması anlatılmıştır. Kompanzasyonda harmonikler anlatılarak, alınması gereken tedbirler söylenmiştir (Vural 2003).

Oğuzhan AYDIN (2007), "Elektrik tasarruf cihazı" isimli faydalı model buluşu yapmıştır. Buluş özellikle, ev ofis küçük ölçekli işletmeler vb. mekânlarda aynı iş görülecek şekilde tüketilen elektrik miktarının azaltılması ile ilgilidir. Buluş özellikle, güç katsayısı düzeltmesi yapılarak tüketim miktarının aşağıya çekilmesi,

cihazın bünyesinde biriktirilen bir miktar enerjinin şebeke dalgalanmalarında kullanılarak sistemde kısmı iyileştirme yapması ile ilgilidir. Buluş, ana sigorta kutusu içeren elektrik tesisatlarında tasarruf sağlamak amacıyla kullanılır. Her bir faz için bir adet takılıp, içerisinde en az bir kompanzasyon elemanı içerirecek şekilde tasarlanmıştır (Patent 2010).

Osman ALİOĞLU (2009), "Elektrik tasarruf tertibatı" isimli faydalı model buluşu yapmıştır. Mevcut buluş, kompanze panosu gibi kullanıcı tipine göre elektrik sayacı sonrasına kurulan bir elektrik sistem çıkışından alınan voltaj veya akım değerinin bir mikroişlemci tarafından okunarak önceden belirlenen değerler ile okunan değer arasındaki farka göre bir transformatörü anahtarlayabilen bir elektrik tasarruf tertibatı ile ilgilidir (Patent 2010).

Hüseyin KÜRKÇÜ (2008), "Elektrik tasarruf cihazı" isimli faydalı modelinde; ev, ofis, küçük ölçekli işletmelerde ve bu türlü benzeri mekânlarda tüketilen elektrik miktarının azaltılması ve düzgün bir elektrik seviyesi elde edilmesiyle ilgilidir. Cihaz güç katsayısı düzeltmesi yaparak tüketim miktarının aşağı çekilmesini, enerjinin desteklenip kısa sürede de olsa sistemi ve sisteme bağlı çalışan parçalan aşırı akımdan dolayı ısınmalarını, şebekeden gelebilecek ani dalgalanmaların önlenmesi, üzerinde bulunan voltmetre sayesinde her mekânın sisteminin gözle kontrol edilmesi, sistemde kısmi iyileştirme yapması durumlarını sağlar (Patent 2010).

Burhanettin TUNCA (2008), "Seyyar uzatma kablolu çoklu elektrik tasarruf prizi" isimli faydalı model Patent Enstitüsü Buluş, ev ve ofis gibi çok miktarda elektrik enerjisi harcanmayan yerlerde kayıp enerjiyi absorbe edecek ve hem şebekeye yüklenmeyi önleyecek hem de enerji tüketimini azaltacak seyyar çoklu priz ile ilgilidir. Prize veya sabit şebekeye bağlanan ve fişten elektrik prize herhangi bir (cihaz) takıldığında prize; fiş giriş yuvası ile seyyar çoklu elektrik tasarruf prizi fiş-bara temas ucu cihaz bağlantı fişi iletken ucu yardımıyla temas etmekte ve bu prize fiş giriş yuvasına bağlı kondansatörler devreye girmektedir. Böylece cihazdaki kayıp enerji kondansatörler yardımıyla sönümlenmektedir. Kondansatörlerde

depolanan enerji, tasarruf uyarı lambası ile sıfırlanmaktadır. Böylece herhangi bir cihaz bağlantı fişi, fiş giriş yuvasına takılmadığında seyyar çoklu elektrik tasarruf prizi boşta beklemekte ve elektik tesisatlarında kullanılan prizler gibi davranmaktadır. Tasarruf uyarı lambası sistemin çalıştığını göstermek üzere konulmuştur (Patent 2010).

AIHUA ve ZENG (2009), Bulanık kontrol algoritmasına dayalı enerji tasarruf cihazı üzerine araştırma yapmıştır. Enerji tasarrufu için DC jeneratöre bağlı, 3 fazlı asenkron motordan önce bağlanan tek-çipli mikrobilgisayar AT89C51 ile cihaz tasarlanmıştır. İki boyutlu Bulanık kontrol algoritması olan güç faktörü ve giriş değerleri tristör kullanılarak, çıkış açısı değişken olarak yürütülmesi sağlanmıştır. Ayrıca Matlab programıyla simüle edilmiştir. Laboratuar ortamında yapılan testlerde %30 tasarruf sağlanmıştır (Aihua ve Zeng 2009).

EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu)' nun resmi web sitesinde (2009), kompanzasyon hususundaki yönetmeliği içermektedir. 2000 yılında çıkan ve 2007 yılındaki değişikliklerle birlikte, mevcut işletmeler veya kullanıcılardan 50 kVA ve üstünde güç tüketenlere kompanzasyon zorunlu hale getirilmiştir. Belirli sınırlar çerçevesinde izin verilen kompanzasyonun ihlali halinde ise cezai yaptırım uygulanmaktadır (Epdk 2009).

MEGEP M.E.B (2010), mesleki ve teknik eğitim kurumlarındaki lise öğrencilerinin eğitiminde, kurulan bir tesisin kompanzasyonunu yapabilecek, reaktif güç kontrol rölesini ve kondansatör gruplarını panoya monte edebilme becerilerini geliştirme amaçlı bilgiler modül halinde gösterilmiş sonuç olarak kompanzasyonun gerçekleştirilmesi ve yaygınlaştırılmasında önemli rol üstlenmiştir (Megep 2010).

2. MATERYAL ve METOD

Küçük ölçekli işletmeler ve konutlarda kullanılan kompanzasyon yöntemlerinde, reaktif güç katsayısı ölçme işlemi yapılmamaktadır. Reaktif güç katsayısı ölçme işlemi yapılmadan gerçekleştirilen kompanzasyon işlemi, verimini kaybetmekte ve sistemde dengesiz yükler oluşturmaktadır. Geliştirilen sistemde; küçük ölçekli işletmeler ve konutlarda etkili ve verimli kompanzasyon için tasarrufa yönlendirme işlemi gerçekleştirilmiştir. İdeal kompanzasyon işlemi için akım ve gerilim arasında oluşan faz farkından yola çıkarak mikrodenetleyici yardımıyla reaktif güç katsayısı ölçümü yapılmıştır. Reaktif güç katsayısına göre yönlendirilen kompanzasyon elemanları ise etkili bir tasarruf sağlamıştır. Yöntemin bir diğer faydalı yönü ise; harmonik dalga filtresi görevi görerek elektrikli cihazların ömrünü uzatmak ve elektrik dalgalanmalarında oluşabilecek zararların önüne geçmektedir. Bu durumda yine sistemdeki hatalar en aza indirilmiş ve tasarruf sağlanmıştır. Tüm bu tasarruflar sonucunda yapılan maliyetler azalmış, etkili ve verimli sistemler elde edilerek, elektrik enerjisinin elde edilmesinden kaynaklanan çevresel olumsuzluklar azaltılmaya çalışılmıştır.

2.1. Kullanılan Malzemeler

Gerçekleştirilen ölçme devresinde, şebeke hattına bağlanan sensörler yardımıyla, reaktif güç katsayısı belirlemede kullanılan akım ve gerilim sinyal bilgileri elde edilmiştir. Akım bilgisini almak için Honeywell CSNP661 akım sensörü kullanılmıştır. Gerilim bilgisi almak için ise LEM LV-25P gerilim sensörü kullanılmıştır. Akım ve gerilim bilgilerinin sıfırdan geçiş zamanlarını

karşılaştırabilmek için sıfır geçiş dedektörü oluşturulmuştur. Sıfır geçiş dedektörü için LM358 entegresi kullanılmıştır. Mikrodenetleyici devresi için, Microchip firmasının PIC serisi olan 18F452 denetleyicisi kullanılmıştır. Mikrodenetleyici için 10 Mhz kristal kullanılmıştır. Mikrodenetleyiciler de çevresel arabirimler, bir tümleşik aygıt içinde birleştirildiğinden sistem hızı ve güvenilirliği artmış, maliyet azalmıştır. PIC 18F452 denetleyicisi içerisine yazılan program ile akım ve gerilim sinyalleri arasındaki gecikme zamanı karşılaştırılarak, reaktif güç katsayısı belirlenmiş ve tasarrufa yönlendirilmiştir.

Tez çalışmasında gerçekleştirilen devre de kullanılan malzeme listesi Tablo 2.1' de verilmiştir.

Tablo 2.1. Tez çalışmasında kullanılan malzemeler ve adedi

No	Malzeme adı	Malzeme Adedi
1	7805	1
2	7812	1
3	7815	1
4	7915	1
5	LM358	1
6	PIC18F452 I/P	1
7	10 Mhz XT	1
8	18 entegre soketi	1
9	8 entegre soketi	1
10	ULN2003	1
11	1N4001	5
12	10 kΩ direnç	10
13	1 kΩ direnç	10
14	10 pF kondansatör	2
15	22 pF kondansatör	2

16	100 μ F kondansatör	10
17	2200 μ F /25V kondansatör	2
18	100 μ F /25V kondansatör	2
19	10 μ F /16 V kondansatör	2
20	12 V çift çıkışlı transformatör	1
21	12 V Röle (tek kontak)	3
22	2 li kart montajlı klemens	3
23	3 li kart montajlı klemens	1
24	A4 bakır plaket	1
25	Tuz Ruhu (kutu)	1
26	Perhidrol (kutu)	1
27	CBB60 6UF+-5% SH	3
28	LV-25P gerilim sensörü	1
29	CSNP661 akım sensörü	1
30	18F452 PIC	1
31	Topraklı Duy	1
32	Topraklı erkek fiş	1
33	Lehim (kutu)	1
34	Led lamba	4
35	Açma kapama anahtarı	1
36	Siyah elektrik bandı	1
37	Kablo (m)	7
38	Makaron (m)	2
39	Slikon (tüp)	2

2.1.1. Kondansatörler

Kondansatör; iki iletken plâka arasına bir yalıtkan elemanın yerleştirilmesinden meydana gelmiştir. Kondansatörler belirli sığa (kapasite) değerleri olan elemanlardır. Sığa (kapasite), levha yüzeyinin büyük veya aralarındaki uzaklığın küçük olmasıyla arttırılabilir. Kondansatörler kompanzasyon panosunun en önemli elemanıdır. Güç kat sayısının düzeltilmesi görevinde bulunurlar (Megep 2010). Reaktif güç üretiminde statik faz kaydırıcı adı verilen kondansatörlerin üstünlükleri sayılamayacak kadar çoktur. Kondansatörlerin kayıpları çok düşük olup, nominal güçleri %0,5' in altındadır ve bakım masrafları yok denecek kadar azdır. Ayrıca kondansatörler ile istenilen her güçte bir reaktif güç kaynağı teşkil edilebildiği gibi bunları tüketicilerin yanlarına kadar götürüp hemen, alıcıların uçlarına bağlamak ve böylece orta ve alçak gerilim şebekelerini de reaktif gücün yükü altından kurtarmak mümkün olur. Onun için kondansatörler, kompanzasyon için en uygun araçtır (Kocabaş 2006).

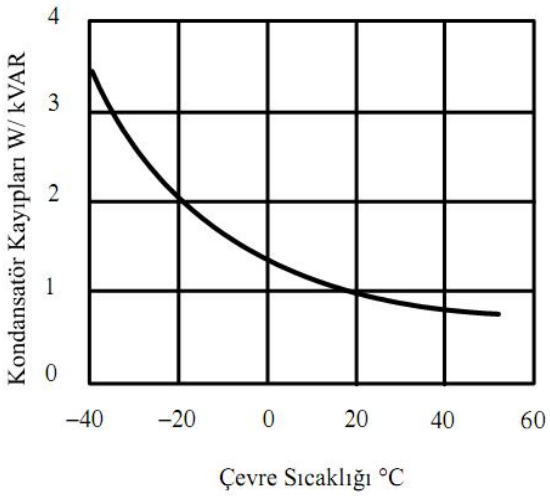
Kondansatörler, kuvvetli akım tesislerinde gittikçe önem kazanmaktadırlar. Bunların kVAr başına maliyet bedelleri, orta büyüklükteki senkron kompanzatörden daha düşük olduğu gibi, bu fiyatta büyük bir artış olmadan, bunların her güçte imali mümkündür. Kondansatörlerin tesisi kolaydır ve gerektiğinde kolaylıkla genişletilebilir ve güçleri artırılabilir. Ayrıca bunlarda tüketici ihtiyacına göre rahat şekilde güç ayarı da yapılabilmektedir. Kondansatörlerin işletme emniyetleri çok büyük olduğu gibi, ömürleri uzun ve bakımları da kolaydır. Yerleştirilecekleri yerde, hemen hemen hiçbir özellik aranmamakta olup, yer temini bir problem oluşturmaz. Gerekli kapasite birçok kondansatör grubunun bir araya getirilmesiyle sağlanabilir (Bilki 2008).

Kondansatörlerin ömürleri genellikle yapısına ve özelliğine göre değişmektedir. Son zamanlarda teknolojinin gelişmesiyle kondansatör üreticileri de kendi kendini yenileyebilen kondansatörler geliştirmiş ve kondansatörlerin ömürleri daha da artmıştır. Bu tez çalışmasında kullanılan kondansatör Şekil 2.1' de verilmiştir.



Şekil 2.1. Tez çalışmasında kullanılan kondansatör

Kondansatörlerin ömürleri sıcaklık derecesine bağlıdır. İç tesislerde kullanılan kondansatörler, normal olarak -10°C ile +35°C arasında olmakla beraber – 40°C +50°C sıcaklık sınıfına sahip olacak şekilde de yapılırlar. Eğer kendi kendine soğuma şartları gerçekleşmez ve kondansatörlerin yerleştirildikleri yerde sıcaklık derecesi çok yükselir ise bu durumda özel havalandırma yapılır. Kondansatör kayıpları ile sıcaklık arasındaki değişim Şekil 2.2' de verilmiştir.



Şekil 2.2. Kondansatör kayıplarının sıcaklık ile değişimi

2.1.2. Röleler

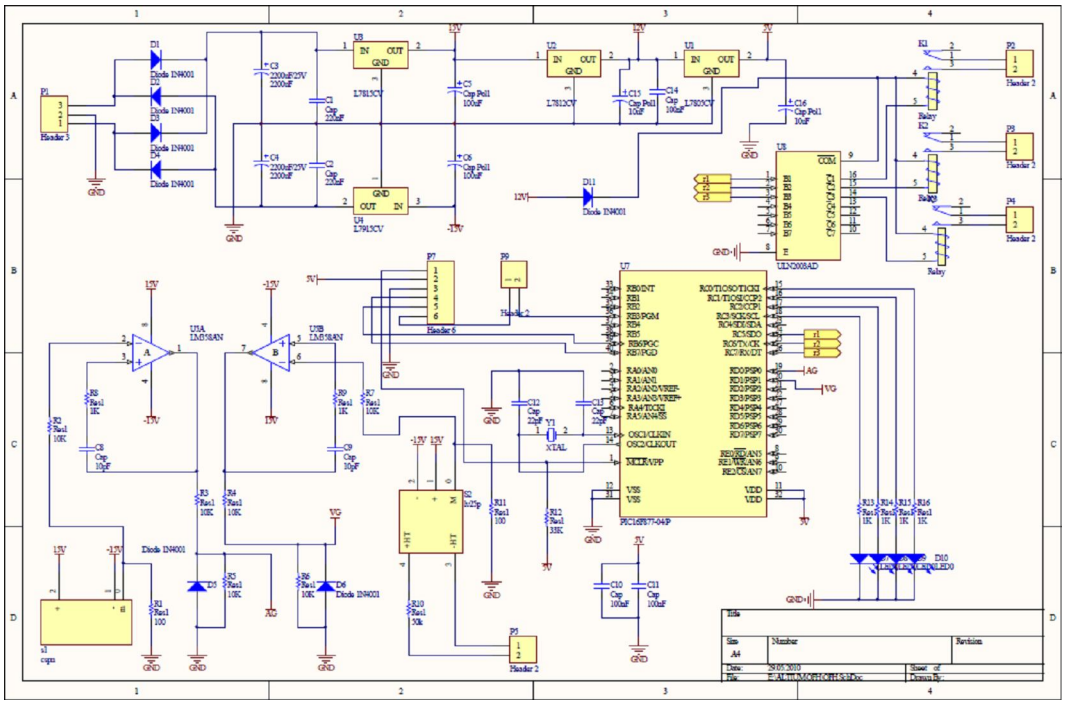
Küçük değerli bir akım ile yüksek güçlü bir alıcıyı çalıştırabilmek (anahtarlayabilmek) için kullanılan elemanlara röle denir. Tristör ve Triyak' ların imal edilmesinden sonra popülerliğini kaybeden röleler yinede birçok alanda halen kullanılmaktadır. Tristör ve Triyak'lara göre avantajı tek bir bünye içinde birden fazla anahtar kontağına sahip olabildiği için birden fazla yükü aynı anda açabilir veya kapatabilir hatta aynı anda bazı yükleri açıp bazılarını kapatabilir. Bu işlem tamamen rölenin kontaklarının dizaynı ile ilişkilidir (Megep 2010). Şekil 2.3' te kullanılan röle çeşidi ve dizaynı verilmiştir.



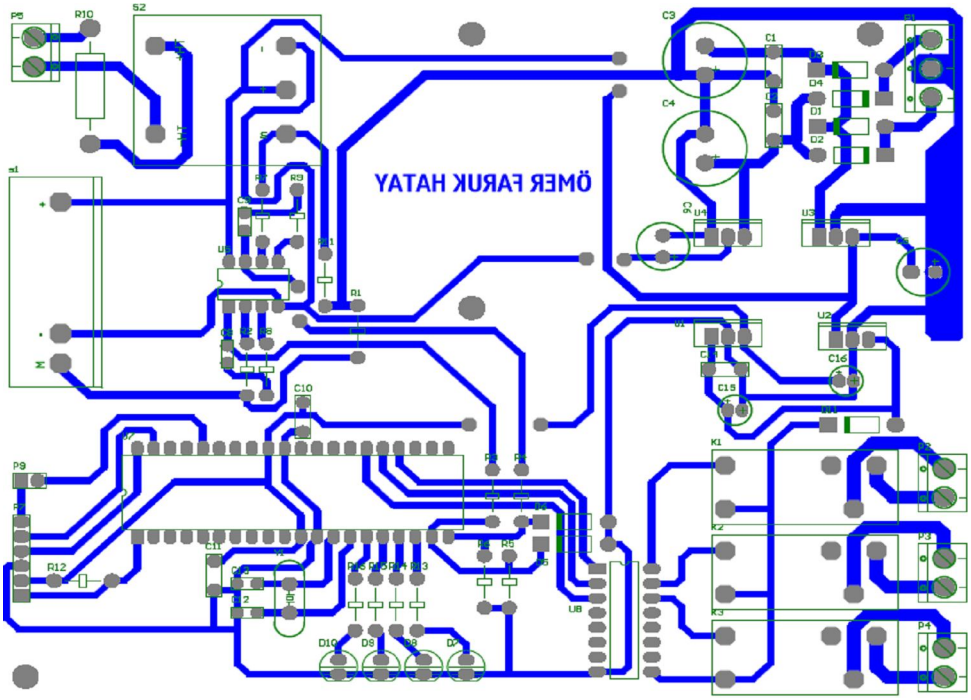
Şekil 2.3. Kullanılan rölelerin görünümü

2.2. Kullanılan Yöntemler

Tablo 2.1' deki malzemeler kullanılarak tasarlanan Bulanık mantık kontrollü ev tipi kompanzasyon sistemi tasarımında; öncelikle kullanılacak malzemelerin datasheet (bilgi bankası)' leri incelenmiştir. Daha önce benzer çalışmalar incelenerek ön hazırlık çalışmaları yapılmıştır. "Altium" baskı devre çizim programında devre oluşturulduktan sonra baskı devresi çizilmiştir. Oluşturulan devre ve baskı devre çizimleri Şekil 2.4 ve Şekil 2.5' de verilmiştir.



Şekil 2.4. Bulanık mantık kontrollü kompanzasyon devresi çizimi



Şekil 2.5. Gerçekleştirilen devrenin baskı çizimi

Oluşturulan baskı devre çizimi, bir lazer yazıcı yardımıyla baskı devre kâğıdına aktarılmıştır. Kâğıt üzerindeki yollar ısıl işlem görerek, bakır plakete uygulanmış ve kağıt kısımları temizlenmiştir. Daha sonra bir leğen içerisinde perhidrol ve tuz ruhu karışımının içerisinde bekletilmiş, yolların dışındaki bakır kısmın erimesi sağlanmıştır. Baskı devresi hazır hale geldikten sonra devre elemanları monte edilmiştir. Diğer bağlantılar yapılarak kompanzasyon devremiz hazır hale gelmiştir.

3. KOMPANZASYON

3.1. Kompanzasyon

Elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtım sistemleri için yapılan yatırım maliyetleri oldukça yüksektir. Bu nedenle, yapılan yatırımlardan en ekonomik bir biçimde yararlanmak gerekir. Enerji sistemlerinden sağlanabilecek maksimum aktif enerji miktarı, sistemden karşılanan reaktif enerjinin azaltılması ile artırılabilir. Tüketicilerin, normal olarak şebekeden çektikleri endüktif gücün, kapasitif akım çekmek suretiyle özel bir reaktif güç üreticisi tarafından dengelenmesine "Kompanzasyon" denir. Böylece tüketicinin şebekeden çektiği reaktif güç azalır. Böylelikle aktif güç miktarı azalarak, üreticiye ödenen miktar azalır ve maliyet düşer (Kocabaş 2006).

Bir diğer tanımda ise kompanzasyon şu şekildedir. Teknik olarak, voltaj ile akım arasında, idealde faz farkı olmaz. İndüktif ya da kapasitif yüklerin oluşturduğu etki neticesinde, akım sinyalinin, voltaj sinyaline göre maksimum $\pm 90^\circ$ fazı kayar. İndüktif ve kapasitif etkilerin neticesinde oluşan voltaj ve akım sinyali arasındaki faz kaymasını düzelterek, ideale yakın ve sabit tutmaya yarayan işleme kompanzasyon denir. Pratikte ise, Elektrik sistemlerinde, elektrik motoru, bobin, vb, mıknatıslanma etkisi bulunan cihazların, bu etkisi ile faz akımını geri kaydırmasından (indüktif güç oluşturmasından) dolayı, şebeke üzerinde yaratmış oldukları indüktif reaktif gücü dengeleme ve fazın akımını olması gereken konuma geri çekme işlemine "Kompanzasyon" denir (Kolaykompanzasyon 2009), (Kompanzasyon.net 2010).

3.2. Kompanzasyonun Amacı

Yük Kompanzasyonunun üç ana amacı vardır:

1. Güç katsayısını düzeltmek,
2. Gerilim düşümü ve güç kaybını azaltılmak,
3. Boş yere hattın yüklenmesini önlenmek.

Güç Faktörünün Düzeltilmesi; Yüke gerekli olan reaktif gücün hemen yükün yanında güç kompanzasyon sistemi yardımı ile üretilmesi olarak tanımlanabilir. Böylece enerji iletim hatları reaktif güçle yüklenmemiş olur. Reaktif gücün var olması; enerji iletim hatlarının, transformatörlerin ve jeneratörlerin gerçek faydalı güce karsı düsen akımdan daha büyük akım taşımalarına yol açar. Bu da sistemin aşırı yüklenmesine neden olur. Güç faktörünün 0,95 civarında olması istenir (Kocabaş 2006).

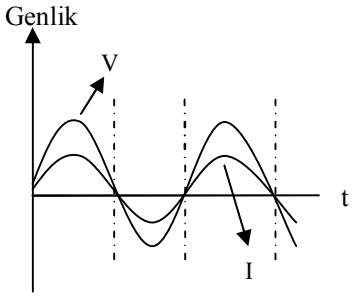
Gerilimin Ayarlanması; Eğer bir alternatif akım şebekesi sonsuz güçte olursa iç empedansı sıfıra yakın bir değer alır. Bu nedenle gerilim değişimlerini kompanze etmek; diğer bir deyişle sabit tutmak için yüklerin reaktif güçleri kompanze edilir. Kompanze edecek birimler yükün olduğu yere bağlanır. Kompanze edilmemiş bir yükün aldığı reaktif güç ya da ani reaktif güç değişimleri; eşdeğer empedansları sıfır olmayan sonlu güçlü gerçek bir şebekede gerilim değişimlerine neden olur. Bu gerilim değişimleri aynı noktaya bağlı diğer elektrik enerjisi alıcılarının olumsuz yönde etkilenmesine yol açar ve gerilim değişmesine neden olan yükünde optimum çalışma koşullarını bozar. Gerilim değişmesinin %5' ten az olması istenir (Demirkol 2006).

Yükün Dengelenmesi; Alternatif akım sistemleri genellikle üç fazlı olarak çalışır ve bunlara bağlı yükler çoğunlukla dengeli yüklerdir. Bununla beraber elektrikli trenler gibi bir fazlı yüklerin üç fazlı sistemleri dengesiz olarak yüklediği, ayrıca üç fazlı yüklerin çalışma özellikleri sonucunda üç fazlı bir şebekeye dengesiz yük

uyguladıkları bilinir. Fazların dengesizliği simetrili bileşenler cinsinden pozitif, negatif ve sıfır bileşenleri meydana getirdiğinden bu bileşenlerin bulunması su sonuçlara yol açar;

- Motor ve jeneratör birimlerinde kayıplar artar,
- Alternatif akım makinelerinde moment dengesizliğine yol açar,
- Nötr' den büyük akımlar akar,
- Doğrultucuların çıkış geriliminde artan sivri gerilim tepeleri oluşur (Kocabaş 2006).

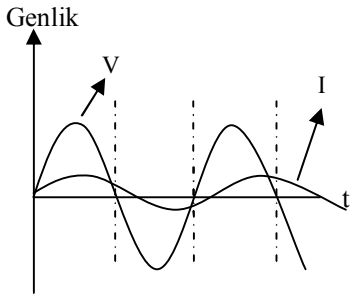
Elektrik dağıtım sistemlerinde aktif güçle birlikte sistemin ihtiyacının karşılanması için reaktif güç akışı da olmaktadır. Aktif gücün santrallerde üretilip tüketicilere kadar iletilmesi zorunlu olsa da reaktif güç için böyle bir zorunluluk yoktur. Reaktif güç, ihtiyaç duyulan noktalarda çeşitli yardımcı sistemlerle üretilebilir. Böylece elektrik dağıtım sisteminin çalışması için Şekil 3.1' deki gibi ideal koşullar yaratılmış olur (V= Gerilim, I= Akım), (Engin 2008).



Şekil 3.1. İdeal sinüs şekilli akım ve gerilim dalgası

Tüketicilerin normal olarak şebekeden çektikleri endüktif reaktif gücün kapasitif güç vermek suretiyle özel bir reaktif güç üreticisi tarafından dengelenmesine reaktif güç kompanzasyonu denir. Reaktif güç kompanzasyonu ile tüketicinin güç faktörü düzeltilir. Dağıtım şebekesine bağlı kompanze edilmemiş bir yükte meydana gelen ani reaktif güç değişimleri şebekedeki gerilimin değişmesine yol açar. Gerilimdeki bu dalgalanma aynı noktaya bağlı olan diğer tüketiciler kadar arızaya sebep olan asıl tüketiciyi de olumsuz etkiler. Kompanzasyonun bir amacı da

bu gerilim değişimlerini en aza indirmektir (Engin 2008). Kompanzasyon yapılmamış bir sistemdeki zamana bağlı akım ve gerilim dalgalarının bozulmuş hali Şekil 3.2' de gösterilişitir.



Şekil 3.2. Bozulmuş, kompanzasyona ihtiyaç duyan akım ve gerilim dalgası

3.3. Kompanzasyonun Yararları ve Önemi

Reaktif güç ihtiyacı olan işletmeler, bu ihtiyacının bir kısmını ya da tamamını özel bir reaktif güç üreticisi tesis edilerek karşılarlar (Özsürekci 2008). Reaktif güç kat sayısının düzeltilmesi işleminin (kompanzasyonun) hem elektrik enerjisini üretenler hem de tüketenler bakımından birçok yararı bulunmaktadır. Bu nedenle kompanzasyon sisteminin orta ve büyük boy işletmelerde, işletme sahibi tarafından yapılması zorunlu hale getirilmiştir. Kompanzasyon yapılan tesiste elde edilen avantajları şu şekilde sıralayabiliriz.

<u>Reaktif güç kompanzasyonunun tüketici açısından faydaları;</u>

- Kompanzasyon tesisine sahip bir işletmenin işletme maliyetleri azalır,
- Besleme transformatörünün ve tesisin kapasitesi ile verimi yükselir,

- Besleme transformatörü, kumanda, kontrol ve koruma elemanları daha küçük değerlerde seçilir. İletkenler daha ince kesitte seçilir.
- Güç katsayısı düzeltildiği için müşteri şebekeden çok daha az reaktif güç çeker ve daha az para öder,
- Elektrik enerjisinin kalitesizliğinden doğabilecek arıza riski en aza indirilmiş olur,
- Enerji kalitesi ile üretim kalitesi direkt bağlantılı olacağı için işletmenin ürün kalitesi de artar.

Reaktif güç kompanzasyonunun şebeke açısından faydaları aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- Şebekenin güç kapasitesi artar,
- Şebekenin ısı kayıpları azalır,
- Gerilim düşümü azalır,
- İletim hatlarının geçici durum kararlılığı iyileşir,
- Faz gerilim dengesizlikleri azaltılmış olur,
- Gerilim dalgalanmaları (fliker olayları) azalır,
- Harmonikler azalır,
- İletkenler üzerinden daha az akım taşıyacağından ince kesitte seçilir (Engin 2008), (Kontrolkalemi 2009), (İnternetcafeciler 2009).

3.4. Kompanzasyon ile İlgili Yasalar ve Yönetmelikler

MADDE 1 – 25/9/2002 tarihli ve 24887 sayılı Resmî Gazete' de yayımlanan Elektrik Piyasası Müşteri Hizmetleri Yönetmeliğinin 16. maddesinin dördüncü fıkrası aşağıdaki şekilde değiştirilmiştir. (Değişiklik 9 Ocak 2007 26398 sayılı R.G)

"Reaktif enerji miktarını ölçmek üzere gerekli ölçme düzeneği, ilgili mevzuata göre reaktif enerji tarifesi uygulanmayacak aboneler dışında kalan müşteriler tarafından tesis edilir. Bu müşterilerden, kurulu gücü 50 kVA' nın altında olanlar, çektikleri aktif enerji miktarının yüzde otuzüçünü aşan şekilde endüktif reaktif enerji tüketmeleri veya aktif enerji miktarının yüzde yirmisini aşan şekilde kapasitif reaktif enerji tüketmeleri halinde; kurulu gücü 50 kVA ve üstünde olanlar ise, çektikleri aktif enerji miktarının yüzde yirmisini aşan şekilde endüktif reaktif enerji tüketmeleri veya aktif enerji miktarının yüzde onbeşini aşan şekilde sisteme kapasitif reaktif enerji vermeleri halinde, reaktif enerji tüketim bedeli ödemekle yükümlüdür. Endüktif ve kapasitif enerji tüketimleri itibarıyla söz konusu sınırların ikisini birden aşan veya reaktif enerji ölçme düzeneğini kurma yükümlülüğü bulunmasına rağmen kurmayan ya da mevzuat hükümlerine uygun olarak kurmayan müşterilerin ödemeleri gereken reaktif enerji bedeline ilişkin usul ve esaslar Elektrik Piyasası Tarifeler Yönetmeliği ve ilgili tebliğleri çerçevesinde Kuruma sunulan tarife önerilerinde yer alır."

MADDE 2 – Aynı Yönetmeliğin Geçici 8' inci maddesi aşağıdaki şekilde değiştirilmiştir.

"GEÇİCİ MADDE 8 – 1/1/2007 tarihinden itibaren kurulu gücü 50 kVA ve üstünde olan müşteriler çektikleri aktif enerji miktarının yüzde otuz üçünü aşan şekilde endüktif reaktif enerji tüketmeleri veya tükettikleri aktif enerji miktarının yüzde yirmisini aşan şekilde sisteme kapasitif reaktif enerji vermeleri halinde, reaktif enerji tüketim bedeli ödemekle yükümlüdür. Bu müşteriler için 1/1/2008' den itibaren Yönetmeliğin 16' ncı (yukarıda belirtilen) maddesi hükümlerinde yer alan oranlar uygulanır."

MADDE 3 – Bu Yönetmelik yayımı tarihinde yürürlüğe girer.

MADDE 4 – Bu Yönetmelik hükümlerini Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu Başkanı yürütür.

01-01-2008’ den itibaren aşağıdaki şekilde uygulanacaktır. Yeni reaktif güç tarifesine göre reaktif enerjinin aktif enerjiye oranı 3.1’ deki eşitlikteki değerler arasındaki tutulması gerekir.

$$-0{,}20 < \frac{Ea}{Er} < 0{,}33 \qquad (3.1)$$

(E_a : Aktif güç, E_r : Reaktif güç)

Reaktif enerji uygulaması 9 kW üzeri tüm işyerleri için geçerli olup;

1. Müsaade edilen sınır güç katsayısı 0,95’ dir.
2. Aboneden çektiği Aktif enerjinin %33 katına kadar reaktif enerji bedeli alınmaz. Bu sınır aşılırsa çekilen Reaktif enerjinin tamamına Reaktif enerji tarifesi uygulanır.
3. Abonenin sisteme vereceği reaktif enerji Aktif enerji miktarının %20’ sinden fazla olmayacaktır. Bu sınır aşılırsa çekilen Aktif enerjinin %90 katı kadar reaktif enerji tükettiği kabul edilir ve reaktif enerji tarifesi uygulanır (Epdk 2009).

3.5. Reaktif Güç

Alternatif akım tüketicileri şebekeden alternatif akım çekerler. Bu akım aktif (etkin) akım ve reaktif akım olmak üzere iki bileşenden oluşur. Aktif akımın meydana getirdiği aktif güç motorlarda mekanik güce, ısıtıcı cihazlarında ısı enerjisine ve termik güce, aydınlatma cihazlarında ışık enerjisine dönüşür. Bilindiği gibi, endüksiyon prensibine göre çalışan bütün makineler ve cihazlar, magnetik akının meydana getirmesi için bir mıknatıslanma akımı çekerler, bu mıknatıslanma akımı reaktif akımdır (Demirkol 2006). Reaktif akımın meydan getirdiği reaktif güç ise faydalı güce çevrilemez. Fakat endüksiyon prensibe göre çalışan jeneratör, transformatör, bobin ve motor gibi bütün işletme araçlarının normal çalışmaları için gerekli olan magnetik akı reaktif akım tarafından meydana getirilir. Onun için faydalı reaktif gücün yanında mutlaka reaktif güce de ihtiyaç vardır. Bu sebeple bütün

alternatif akım tesisleri, aktif gücün yanında reaktif gücün de çekileceğini göz önünde bulundurularak boyutlandırılırlar (Aydın 2007). AA güç sisteminde görünür gücün tanımı aşağıdaki gibidir.

$$S = \frac{V_m.\mathrm{I_m}}{2}.\cos(\varphi_v - \varphi_i).[1+\cos(2.\omega t)] - \frac{V_m.\mathrm{I_m}}{2}.\sin(\varphi_v - \varphi_i).\sin(2.\omega t) \qquad (3.2)$$

Bu ifadenin " cos " çarpanıyla gelen kısmı aktif güç, " sin " çarpanıyla gelen kısmı reaktif güç olarak tanımlanır. Reaktif güç, ise dönüştürülebilme sansı olmayan bir güç türüdür. Kondansatör ve endüktans elemanları reaktif güç oluştururlar. Çünkü faz farkı bu iki elemanın olduğu devrelerde 0 (sıfır)' dan farklı değer almaktadır. Bu da $\sin(\varphi_v - \varphi_i)$' nin 0' dan farklı bir değer almasına neden olmaktadır. Kondansatörlerde plakalar arasında elektriksel alan olarak ve endüktanslarda ise sarımların etrafında manyetik alan olarak depolanan enerjiler, reaktif gücün çekilmesine neden olur (Ersamut 2009).

Güç ifadesi temel olarak, elemanın üzerinden geçen akım ile elemanın uçları arasındaki gerilimin çarpımı seklinde ifade edilir. Eşitliklerde, (*) fazörün transpozesinin alındığını, $(_{eff})$ ifadesi de fazörün efektif değerlerinin alındığını göstermektedir.

$$\left.\begin{aligned} V_{eff} &= \frac{Vm}{\sqrt{2}} \\ I_{eff} &= \frac{Im}{\sqrt{2}} \end{aligned}\right\} \qquad (3.3)$$

$$S = Z.I_{eff}.I^*_{eff} \angle \varphi_v - \varphi_i = Z.I^2_{eff} = (R + jX)I^2_{eff} = R.I^2_{eff} + jX.I^2_{eff} \qquad (3.4)$$

$$S = V_{eff}.\ I_{eff} = Z.I_{eff}.I^*_{eff} \qquad (3.5)$$

(3.3), (3.4) ve (3.5) eşitliklerinden yararlanarak elde edilen reaktif güç, aşağıdaki eşitlikle ifade edilir (Ersamut 2009).

$$Q = X.I^2_{eff} = X.\frac{I^2_m}{2} \tag{3.6}$$

3.5.1. Reaktif güç tüketicileri

Reaktif güç sarfiyatı bakımından tüketicileri iki ana gruba ayırmak mümkündür. Bunlardan birincisi, elektrik enerjisinden yararlanarak saf ısı enerjisi üreten tüketiciler ile akkor flamanlı lambalar, elektroliz ve galvanoplasti tesisleridir. Bunlar sadece aktif güç tüketirler, reaktif güç çekmezler. İkinci gruba ise, elektrik tesislerinde kullanılan ve manyetik veya statik alan ile çalışan bütün işletme araçları girerler; bunlar aktif güç yanında reaktif güç de çekerler. En önemlileri şunlardır (Kocabaş 2006), (Ersamut 2009):

- Düşük uyarmalı senkron makineler,
- Transformatörler,
- Bobinler,
- Doğrultmaçlar,
- Kondansatörler,
- Havai hatlar,
- Senkron motorlar,
- Redresörler,
- Reaktörler
- Endüstri fırınları, ark fırınları,
- Kaynak makineleri,
- Fluoresant lamba, sodyum ve cıva buharlı lamba balastları ile neon lamba transformatörleri.

Her ne kadar aydınlatma cihazları aktif güç çekerlerse de, bunlara ait balast ve transformatörler reaktif güç çektiklerinden, bu tip aydınlatma düzenleri yukarıda izah edilen ikinci sınıfa girerler (İnternetcafeciler 2009). Yukarıdaki tüketicilerde söz konusu olan reaktif akım, endüktif karakterde olup, gerilime göre 90° geridedir. Bazı özel hallerde, işletme araçları bir kondansatör gibi tesir ederler ve kapasitif reaktif güç çekerler.

Elektrik tesislerinin en önemli işletme araçları olan jeneratörler, transformatörler, besleme hatları, sanayi işletmelerindeki her nevi motorlar, fırınlar ve kaynak makineleri, bir balast yardımı ile çalışan fluoresant lambalar, cıva ve sodyum buharlı lambalar ve deşarj lambaları çektikleri aktif güçlerin yanında oldukça önemli miktarda reaktif güç de çekerler. Reaktif güç üretiminin santralde, ham enerji maddesi sarfiyatına bağlı olmadığı gerekçesinden hareket edilerek reaktif güç sarfiyatı kontrolsüz ve başıboş bırakılır ise, güç katsayısı o kadar düşebilir ki, nihayet bütün üretici, iletici ve dağıtıcı tesisler, aktif güç bakımından normal kapasitelerinin çok daha altında çalışmak zorunda kalırlar (Demirkol 2006).

3.5.2. Reaktif güç üretimi

Reaktif güç ihtiyacını karşılayabilmek için reaktif gücün uygun bir yerde üretilmesi gerekir. Bunun için en eski ve en klasik yol, aktif güç gibi reaktif gücün de senkron jeneratörler tarafından üretilmesidir. Reaktif güç üretimi, aktif güç gibi, santralde su kuvveti, kömür vb. ham enerji maddesi sarfını gerektirmez. Sadece jeneratör uyarmasının artırılması ile jeneratör endüktif reaktif güç tarafından gereksiz yere işgal edileceklerinden, aktif güç bakımından bunların kapasitelerinden tam olarak faydalanmak ve ekonomik bir işletme sağlamak amacıyla reaktif gücün santralde değil de tüketim merkezlerinde üretilmesi en uygun ekonomik yoldur (Vural 2003), (Şekelli 2005).

Reaktif güç üretimi için iki işletme aracından yararlanılabilir;

- Dinamik Faz kaydırıcılar,
- Kondansatörler

Reaktif akım ya da reaktif enerji, önceleri santralde aktif enerji ile birlikte üretilir ve dağıtım hatlarından yine birlikte dağıtılıyordu. Ancak özellikle 1940' lardan sonra sanayileşmenin artması ile bu durum problem olmaya başladı. Çünkü reaktif enerjinin sistemden karşılanması, sistemden alınabilecek aktif enerjinin azalmasına neden olmuştur. Ayrıca iletim hatlarından akan reaktif akım nedeniyle görünür akım artmış ve hat kayıpları da büyümüştür. Bu sorunu çözmek için gerektiği kadar reaktif enerjinin, ihtiyaç duyulan yerde üretilmesi uygulamasına geçilmiştir. Transformatörlere, motorlara ve ihtiyaç duyulan diğer tüketicilere paralel kondansatör bağlanarak reaktif enerji ihtiyacı giderilmiştir. Böylece hem iletim hatları hem de transformatörler fazla yüklenmekten kurtulmuş olur.

3.5.3. Reaktif güç ihtiyacının belirlenmesi

Bir tüketicinin çekeceği reaktif gücün tespiti için, şebekeden çekilen S_1 gücüyle buna ait $\cos\varphi_1$ ve yeni güç faktörü $\cos\varphi_2$ değerinin bilinmesi gereklidir. Reaktif güç kompanzasyon sistemi için gerekli olan reaktif güç iki yöntemle hesaplanır. Bu yöntemlerden biri P_1 gücü sabitken yapılan hesaplama, diğer yöntem de S_1 gücü sabitken yapılan hesaplamadır (Özaslan 1997), (Keskinci 1998).

a) P_1 gücünün sabit olması durumu,

P_1 gücünün sabit olması durumunda yapılan reaktif güç kompanzasyonunda Şekil 3.3' de gösterildiği gibi sistemden çekilen görünür güç azalmaktadır. Reaktif güç kompanzasyonundan önceki reaktif güç,

$$Q_1 = P_1.\tan\varphi_1 \tag{3.7}$$

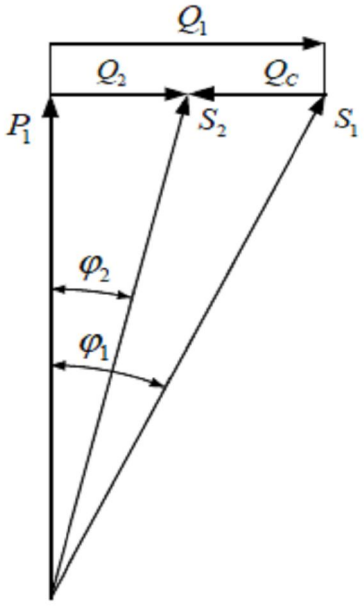
olarak ifade edilir. Ayrıca reaktif güç kompanzasyonundan sonraki reaktif güç de,

$$Q_2 = P_1.\tan\varphi_2 \tag{3.8}$$

olarak ifade edilir. Buna göre gerekli olan kondansatör gücü,

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P_1.(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) \tag{3.9}$$

olarak bulunur.



Şekil 3.3. İletilen görünür gücün azaltılması durumundaki fazör diyagramı

b) S_1 **gücünün sabit olması durumu**

S_1 gücünün sabit olması durumunda yapılan reaktif güç kompanzasyonunda Şekil 3.4' de gösterildiği gibi sistemden çekilen aktif güç artmaktadır. Reaktif güç kompanzasyonundan önceki reaktif güç,

$$Q_1 = S_1.\sin\varphi_1 \tag{3.10}$$

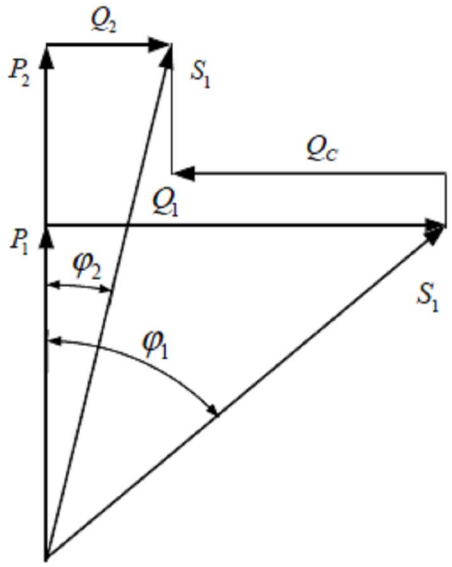
olarak ifade edilir. Ayrıca reaktif güç kompanzasyonundan sonraki reaktif güç de,

$$Q_2 = S_1.\sin\varphi_2 \tag{3.11}$$

olarak ifade edilir. Buna göre gerekli olan kondansatör gücü,

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = S_1.(\sin\varphi_1 - \sin\varphi_2) \tag{3.12}$$

olarak bulunur (Ersamut 2009).



Şekil 3.4. İletilen aktif gücün azaltılması durumundaki fazör diyagram

3.6. Kompanzasyon Tesisinin Düzenlenmesi

Kompanzasyon tesisi düzenlenmeden önce bazı çalışmalar ve hesaplamalar yapılması gerekir. Sistemin kullanacağı maksimum reaktif yükün hesaplanarak düzenlenmesi, tasarrufun, verimliliğin ve kararlılığın artmasını sağlayacaktır. Ayrıca kondansatörlerin ve cihazların ömürlerini uzatacaktır.

$$Xc=\frac{|Vrms|^2}{Qc} \tag{3.13}$$

$Vrms$ = Şebeke gerilimi

$$C=\frac{1}{\omega Xc} \tag{3.14}$$

ω = şebeke frekansı

Örnek 1: Tesisin kurulu aktif gücü 60 Kw ve cosφ = 0,707 ise cosφ değerini 0,95' e çıkarmak için gerekli kondansatör gücünü hesaplayınız?

Çözüm:

$\cos\varphi_1 = 0{,}707$ ise $\varphi_1 = 45^0$ ve $\tan\varphi_1 = 1$ (3.15)

$\cos\varphi_2 = 0{,}95$ ise $\varphi_2 = 18^0$ ve $\tan\varphi_2 = 0{,}32$ (3.16)

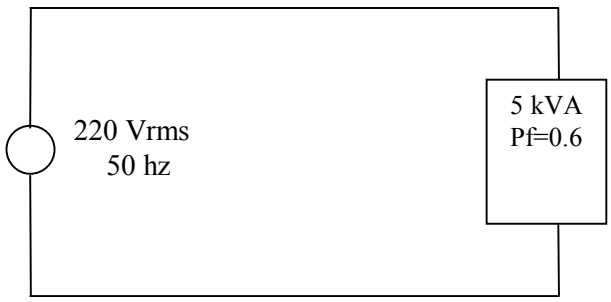
$Qc = P .(\tan\varphi_2 - \tan\varphi_2)$ $\quad Qc = 60 . (1- 0{,}32)$ (3.17)

Qc = 40,8 kVAr olarak bulunur. (3.18)

Örnek 2: Şebekeye, güç katsayısı, pf= 0,6 ve 5 kVA lık bir alıcı Şekil 3.5' deki gibi bağlanmıştır.

a) Güç katsayısını (pf) =0,95 yapabilmek için bağlanacak eleman değerini bulunuz.

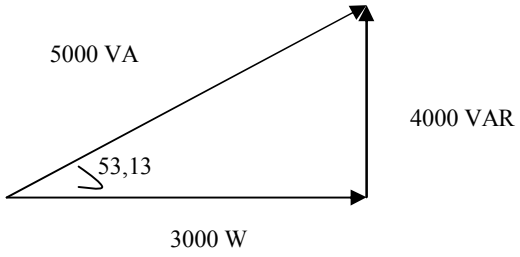
b) İlk ve son durumdaki şebekeden çekilen akımları karşılaştırınız?



Şekil 3.5. Şebekeye bağlı bir alıcının güç katsayısının düzeltilmesi

Çözüm:

a) *1. adım*

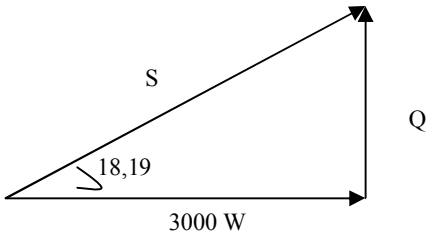


Şekil 3.6. 5 kVA lık alıcının aktif, reaktif ve görünür gücü

$\cos\varphi = 0,95$ olması isteniyor. o halde;

$\varphi = 18,19^0$' dir. (3.19)

2. adım:



Şekil 3.7. İstenilen açısının gösterimi

$$\tan(18{,}19) = \frac{Q}{3000}$$

$Q = 986{,}06$ VAR olmalıdır. (3.20)

3. adım

$$Q_{ek} = 4000 - 986.05 = 3013{,}94 \text{ VAR} \quad (3.21)$$

$$X_c = \frac{|220|^2}{3013{,}4} = 16{,}06 \quad (3.22)$$

4. adım:

$$C = \frac{1}{2\pi.50.16{,}06} \quad (3.23)$$

C= 198 μF (3.24)

b) *1. adım*

$$P = V.I.\cos\varphi \rightarrow 3000 = 220.I.0{,}6 \quad (3.25)$$

I=22,727 A (3.26)

2. adım (kompanzasyondan sonra)

$$3000 = 220.I.0,95 \tag{3.27}$$

$$I = 14,354 \text{ A} \tag{3.28}$$

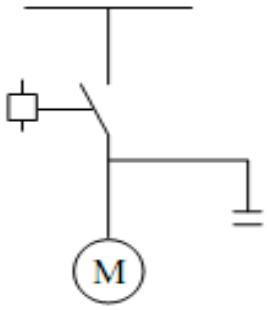
$\frac{son\cos\varphi}{ilk\cos\varphi}$ kadarlık katsayılı bir azalma meydana gelmiştir.

Kondansatörlerin bağlanma şekilleri, reaktif güç kompanzasyonun da büyük önem taşır. En büyük faydayı sağlamak amacıyla tesis yerinin ve bağlama seklinin amaca en uygun şekilde yapılması gerekir. Kompanzasyon tesisleri, ihtiyaca ve yüklerin durumuna göre belirlenerek bireysel, grup ve merkezi kompanzasyon olmak üzere üç farklı şekilde oluşturulabilir.

3.6.1. Bireysel kompanzasyon

Devamlı olarak işletmede bulunan sabit güçlü tüketicilerin reaktif güç ihtiyacını karşılamak amacıyla tüketicinin uçlarına paralel bir kondansatör bağlanmasıyla bireysel kompanzasyon yapılır. Bu tür kompanzasyonda her bir tüketici eleman, kendine bağlı olan belli güçteki kondansatörle tek tek kompanze edilir. Bu kondansatörler, ortak bir anahtar yardımıyla yükle birlikte devreye alınır. Dolayısıyla ayrı bir açıcı cihaza gerek yoktur (Engin 2008).

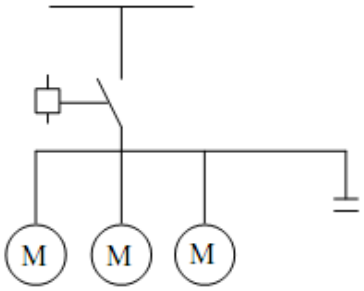
Bireysel kompanzasyonun maliyeti yüksektir ve ayara elverişli değildir. Ancak sabit güçle sürekli çalışan tüketiciler için uygun ve ekonomik olabilir. Bireysel kompanzasyon, sembolik olarak Şekil 3.8' deki gibi gösterilebilir.



Şekil 3.8. Bireysel kompanzasyon

3.6.2. Grup kompanzasyon

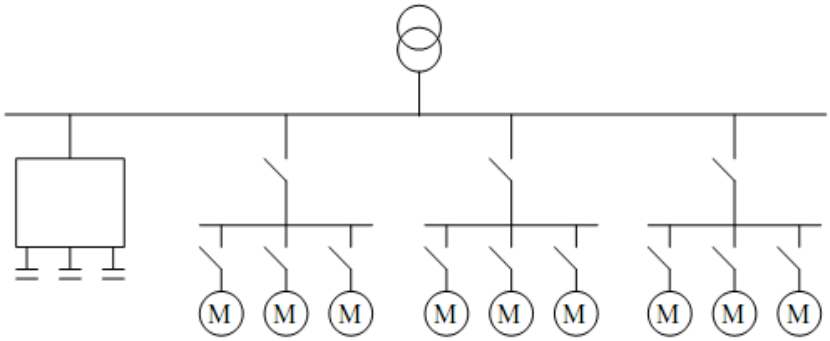
Benzer türden birçok tüketicinin bulunduğu bir tesiste her bir tüketicinin ayrı ayrı kondansatörle donatılması yerine ortak bir kompanzasyon tesisi tarafından beslenmesi daha kolay ve ekonomik olur. Beraber ve aynı kontaktör üzerinden devreye girip devreden çıkan cihazlar, beraber kompanze edilirler. Bu durumda kondansatörler özel anahtarlar üzerinden ve gerektiğinde kademeli olarak şebekeye bağlanır. Şekil 3.9' da grup kompanzasyonun bağlantı şekli görülmektedir.



Şekil 3.9. Grup kompanzasyon

3.6.3. Merkezi kompanzasyon

Grup kompanzasyonun kapsam olarak biraz daha genişletilmesi ile merkezi kompanzasyon elde edilir. Örneğin, bir fabrika veya isletme genelinde bütün yükler için tek bir noktadan yapılan kompanzasyon, merkezi kompanzasyon olarak adlandırılır. Merkezi kompanzasyonda genellikle bir otomatik ayar düzeneği gereklidir; çünkü burada fazla sayıda tüketici olduğundan ve bunların hepsinin sabit güçle sürekli olarak devrede bulunması söz konusu olmadığından kondansatör gücü, değişen kompanzasyon ihtiyacına uyum sağlamalıdır. Merkezi kompanzasyon, alçak gerilim transformatörünün sekonder arasında yüke paralel olarak uygulanır. Merkezi kompanzasyonda bulunan ayar düzeneği, ayar için gerekli olan bilgileri genellikle $\cos\varphi$ metre denen bir cihazdan alır. $\cos\varphi$ metreden gelen ölçüm değerleri ile gerekli sayıda kondansatör grubu devreye alınarak güç faktörünün istenen değerde kalması sağlanır. Böylece hem düşük hem de aşırı kompanzasyondan kurtulmak mümkün olur. Şekil 3.10' da merkezi kompanzasyon sistemi görülmektedir.



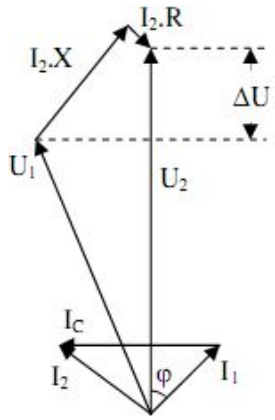
Şekil 3.10. Merkezi kompanzasyon

Bireysel kompanzasyonda kondansatör, tüketicinin ihtiyacını tam olarak karşılayacak şekilde seçildiğinden ve tüketiciye paralel bağlanıp onunla birlikte devreye alınıp devreden çıkarıldığından dolayı reaktif güç ihtiyacı ile üretim birbirini tam olarak karşılar ve güç katsayısı daima istenen değerde kalır. Buna karsın grup ve

merkezi kompanzasyonda durum farklıdır; reaktif güç ihtiyacı devamlı olarak değişir. Eğer kompanzasyon için kurulan kondansatör gücü sabit seçilirse, reaktif güç ihtiyacı arttığında kondansatörler ihtiyacı karşılayamaz, eksik kalan reaktif güç şebekeden çekilir. Bunun sonucunda güç katsayısı düşer. Düşük yükle çalışıldığı zamanlarda ise kondansatör gücü ihtiyacı karşılamanın üstüne çıkar ve aşırı kompanzasyon durumu baş gösterir. Bu durumda şebekeye reaktif güç verilir ve tüketicinin bağlı olduğu transformatörde gerilim yükselir (Engin 2008).

3.6.4. Aşırı kompanzasyon

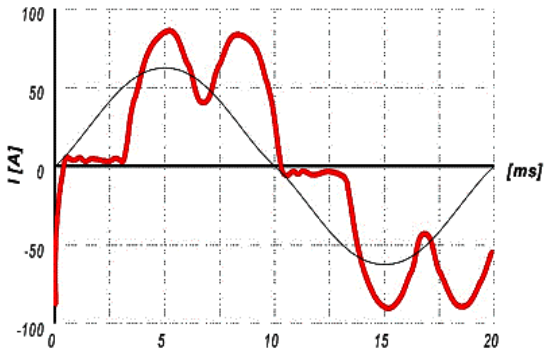
Bir transformatör istasyonunun beslediği tüketicilere kompanzasyon için büyük ve sabit güçlü bir kondansatör grubu paralel bağlanırsa, tüketici gücünde azalma olması halinde transformatörün yüksek gerilim tarafı kondansatörden dolayı reaktif güçle beslenir. Buna aşırı kompanzasyon denir. Bu durumda tüketici geriliminde önemli bir artış meydana gelir. Bu artış o kadar yüksek değerlere çıkar ki tesisler ve kullanılan cihazlar bundan zarar görebilir (Engin 2008). Aşırı kompanzasyon sonucunda oluşan gerilim artışı, Şekil 3.11' de fazör diyagramıyla gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Aşırı kompanzasyon sonucunda gerilim yükselmesi

3.7. Harmonikler

Enerji dağıtım sistemlerinde sinüs formundaki bir gerilim kaynağı yarı iletken bir teknolojiye sahip bir sisteme uygulanırsa (DC veya AC sürücü, UPS vb), sistemin vereceği akım cevabı kare dalga şeklinde olacaktır. Sinüs formunda ve sistem empedansı oranında genliğe sahip olması gereken bu akım dalga şeklinin kare dalga olmasının nedeni içerdiği temel şebeke frekansı (50 Hz) dışındaki diğer sinüs formundaki bu akımlara "Harmonik" denir. Şekil 3.12' de harmoniklerin neden olduğu bozulmuş sinüs dalgaları örneği gösterilmiştir (Bilki 2008).



Şekil 3.12. Harmonikler sonucu bozulmuş akım dalga şekli

Sistemimizde harmonikler olduğunu nasıl anlarız?

- Çok sık kondansatör ve ilgili ekipmanını değiştirmek zorunda kalıyorsanız,
- Besleme şalterleri rezonans olayları ile belirsiz zamanda açma yaparak işletmeyi durduruyor ise,
- Ölçüm cihazları hatalı ölçüm yapıyorlarsa,
- Nötr kablosu çok yükleniyor ve ısınıyorsa.

3.7.1. Harmonik üreten elemanlar

Elektrik üreten ve dağıtan firmalar ile elektriği kullanan müşteriler elektrik enerjisinin iyi kalitede olmasını isterler. Ancak bazı yükler yapıları gereği bazı yükler ise tasarım ve kontrol özellikleri bakımından besleme gerilimini ve akımını bozarlar yani harmonik üretirler. Bunun en belirgin nedeni uç gerilimi ve akımı arasındaki bağıntının lineer olmadığı yüklerdir. Bu tür yükler, genel olarak ark prensibine göre çalışan düzenler, gaz deşarjlı aydınlatma armatürleri, demir çekirdekli sargı bulunduran makineler, elektronik veya yarı iletken teknolojisine göre tasarlanmış sistemler şeklinde sınıflandırılabilir.

Sanayide, ticarethanelerde ve evlerde kullanılan harmonik üreten cihazlara her geçen gün yenileri eklenmektedir. Elektrik makinelerinin cihazlarının tasarım ve cihazlarının tasarım ve kontrol ilkelerinde meydana gelen değişiklikler ve güç elektroniğinin hızla ilerlemesi ve modern hayata birçok yararlar getirirken beraberinde birçok olumsuzlukları da getirmektedir. Örneğin jeneratör, transformatör, motor ve bobin gibi demir çekirdek içeren elemanlar, doymanın baş göstermesi ile harmonikli akım üretirler. Ark fırınları ve kaynak makineleri gibi düzeneklerde normal işletmeleri gereği bir arkın oluşturması sonucunda harmonik üretirler (Demirkol 2006).

<u>Sistemlerde kullanılan başlıca harmonik kaynakları;</u>

- Motor sürücüleri
- Kesintisiz güç kaynaklari (UPS)
- Doğrultucular (redresör) , akü şarj cihazları
- Anahtarlanabilir güç kaynakları (SMPS)
- Endüksiyon ocakları
- Kaynak makinaları
- Bilgisayarlar olarak gösterilebilir.

3.7.2. Harmoniklerin yol açtığı problemler

Harmonik akımlar hem besleme sisteminde ve hem de tesisatta problemler yaratır. Etkiler ve çözümler farklı olup ayrı ayrı ele alınması gerekir; harmoniklerin tesisat içindeki etkilerinin kontrol altına alınmasına dönük önlemler, besleme sistemindeki bozukluklara karşı etkin olmayabilir ve bunun tersi de doğrudur (Aydın 2007). Tesisat içindeki harmonik problemler aşağıdaki gibidir.

Harmonik akımların neden olduğu problemler;

- Nötrlerin aşırı yüklenmesi,
- Transformatörlerin aşırı ısınması,
- Devre kesicilerde istenilmeyen açılma,
- Güç faktörü düzeltme kapasitörlerinde (kondansatörlerde) aşırı gerilim,
- Gerilim bozulması,
- Asenkron motorlar,
- Sıfır-kesme gürültüsü,
- Ölçüm cihazları hatalı ölçüm yapması,
- Kondansatörlerin ve ilgili teçhizatlarının ömürleri kısalması,
- Kayıpların artması.

4. BULANIK MANTIK

4.1. Bulanık Mantık Tanımı

Tam ve kesin olmayan bilgelere dayanarak tutarlı ve doğru kararlar vermeyi sağlayan düşünme ve karar verme mekanizması bulanık mantık olarak adlandırılır (Allahverdi 2002). Bulanık mantık sadece doğru ve yanlıştan oluşan klasik mantığın genelleştirilmiş halidir. Klasik mantıkta kısmi doğrular yoktur. Söz konusu olan ya "tamamen doğru" dur ya da "tamamen yanlış". Halbuki kısmi doğru olarak nitelendirebileceğimiz ifadeler ne "tamamen doğru" dur, ne de "tamamen yanlış". Bu tür ifadelerin tanımlanmasında klasik mantık yetersizdir. Oysaki bulanık mantık' da her şey bir değerle ifade edilebilir (Zadeh 1978).

Klasik mantığın temelinde aslında ihtimal hesapları yatar. Yani, bir olayın olabilirliği bu mantıkla çözümlenmeye çalışılır. Sonuç ise yalnızca ***evet*** ya da ***hayır*** ile sınırlıdır. Bulanık mantık, matematiksel limitlerinde klasik mantığa dönüşmektedir. Dolayısıyla, bulanık mantık klasik mantık özelliklerinin yanı sıra daha birçok tamamlayıcı özelliğe de sahiptir (Şen 1999).

Ayrıca, bulanık mantık, matematiksel olarak ifade edilemeyen, sadece girdi-çıktı ilişkisi bilinen fonksiyonların tahmininde de kullanılır. Bulanık mantık, sözel tenimler olarak ifade edilen girdi ve çıktı arasındaki ilişkiyi kullanarak matematiksel denklemi bilinmeyen herhangi bir fonksiyonun özelliklerine yakın özellikler gösteren bir model oluşturulmasına imkan verir. Bu anlamda bulanık mantık, modelden bağımsız, belirli bir yapısı olan ve fonksiyon yakınsamada kullanılan önemli bir araçtır (Akarslan 2007).

Bulanık mantık teorisini ilk defa 1974 yılında İngiltere' de Ebrahim Mamdani, bir buhar makinesi için kontrolör tasarlayarak kullandı. Bundan sonra Danimarka' da çimento sanayisindeki bir uygulama bu yöntemin avantajlarını gösterdi. Bundan

sonra bulanık mantığın en çok uygulandığı ülke Japonya oldu. Japon bilim adamları ve mühendisleri bulanık mantığı metroda, otomatik tren kontrolü, hisse senedi portföyü, asansör vs. birçok alanda kullanmışlar ve bundan büyük ekonomik kazançlar elde etmişlerdir (Etik 2007).

Bulanık Mantığın Genel Özellikleri:

- Her mantıksal sistem bulanık olarak ifade edilebilir.
- Kesin değerlere dayanan düşünme yerine, yaklaşık düşünme kullanılır.
- Her şey [0,1] aralığında belirli bir derece ile gösterilir.
- Bilgi; büyük, küçük, çok az gibi dilsel ifadeler şeklindedir.
- Bulanık çıkarım işlemi dilsel ifadeler arasında tanımlanan kurallar ile yapılır.
- Bulanık mantık, matematiksel modeli çok zor elde edilen sistemler için çok uygundur.
- Belirsiz, doğru olmayan, iyi tanımlanmamış, zamanla değişen ve karmaşık sistemlere uygulanabilir. Bu gibi durumlarda uzman kişinin bilgi ve deneyimlerinden yararlanılma yoluna gidilir (Kuyumcu ve Teker 2007).

4.2. Bulanık Küme

Geleneksel küme teorisinde kullanılan küme kavramı bir nesnenin bir kümenin elemanı olması "1" ya da olmaması "0" gibi iki seçenekli bir mantığa dayanmaktadır. Geleneksel küme teorisinde bu ikisinin arası yoktur. Belirsizlik içeren bir problemin çözümü güçtür (Nguyan, 2000).

Klasik küme kuramında, bir X kümesindeki A alt kümesi kendisine ait karakteristik fonksiyonu olan μA ile ifade edilir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 \; Eger \; x \in A \\ 0 \; Eger \; x \notin A \end{cases} \tag{4.1}$$

Karakteristik fonksiyon *X*' in elemanlarını {0,1} kümesine dönüştürür. Bu dönüşüm *X*' in her elemanı için bir sıralı ikili kümesiyle ifade edilebilir. Sıfır değeri ait olmamayı temsil ederken bir değeri ise aitliği gösterir.

$$\mu_A: X \to \{0,1\} \tag{4.2}$$

"x, *A* nın içindedir."

şeklindeki bir önermenin doğruluğu (x, $\mu A(x)$) sıralı ikisiyle belirlenir. Eğer sıralı ikilinin ikinci elemanı 1 ise önerme doğru, eğer bu değer 0 ise önerme yanlıştır.

Bulanık küme kavramında küme kuramı olan bulanık küme kuramında, kümedeki her bir birey, klasik çift değerli küme kuramlarında olduğu gibi üye yada üye değil olarak değil bir dereceye kadar üye olarak görülmektedir. Bulanık küme de değişik üyelik derecesinde öğelere sahip olan bir fonksiyondur.

Bu teoride nesnelerin bir kümeye ne kadar ait olduğu derecelendirilmiştir. Kümeye ait üyelik dereceleri ile verilir. Öğeler bulanık kümeye kısmi derecede aittir. Klasik kümelerdeki karakteristik fonksiyon, $\mu A: E \to \{0,1\}$, bulanık kümelerde yerini, $\mu A: E \to [0,1]$ olarak gösterilen üyelik fonksiyonuna bırakır. Genel olarak küme üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren eğriye üyelik fonksiyonu denir. *X* ekseni üyeleri gösterirken, *y* ekseni üyelik derecelerini gösterir. A bulanık küme, μA(x) de üyelik derecesi olmak üzere $A=\{\mu A(x), x)\}$ olarak yazılabilir (Nguyan, 2000).

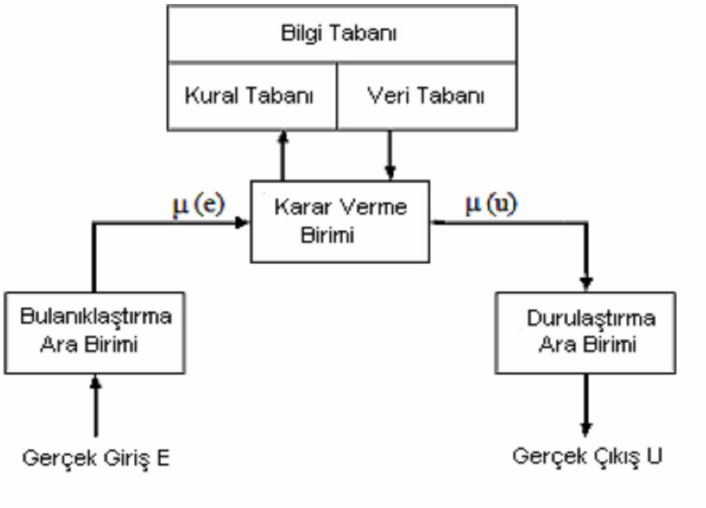
4.3. Bulanık Mantık Kontrol Yapısı

Bulanık kümeler ve bulanık mantık teorisinin en etkin uygulama alanı kontrol sistemleridir. Geleneksel kontrol sistemleri bulanık teorinin yardımıyla bulanık

kontrol sistemlerine dönüştürülebilir ve böyle sistemlerin uygulanması birçok avantajlar elde etmeye olanak verir (Etik 2007).

Genelde, bulanık sistemler bilgiye dayalı veya kurala dayalı sistemlerdir. Yani bir bulanık sistemin temelinde "Eğer- O halde" kuralları vardır. Burada **çok yüksek, yüksek, normal, düşük, çok düşük** gibi dilsel değerler kullanılır ve bu dilsel değerlerin uygun üyelik dereceleri mevcuttur. Bir bulanık sistem tasarlanmasına karar verildikten sonra ilk yapılacak işlem, **"eğer o-halde"** kurallar tablosunu elde etmektir. Bu kurallar, genelde yapılan işin uzmanından yararlanılarak oluşturulur (Allahverdi 2002), (Etik 2007).

Bir bulanık kontrol temelde dört ana fonksiyon bloğundan oluşur. Bunlardan ilki ve bloğun temelini oluşturan "Bulanıklaştırma Arabirim Fonksiyonları" dır. Daha sonra ise kural tablosunun da yer aldığı, verilerin saklandığı Bilgi Tabanı gelmektedir. Sahip olunan veriler ise oluşturulan kurallara göre çıkısı belirlemektedir. Bu da karar verme lojik fonksiyonlar ile sağlanmaktadır. Bulanık mantık yöntem'inin en büyük avantajı sayısal verilerle uğraşılmaması başka bir deyişle matematiksel karışık fonksiyonlar kullanılmadan sadece sözel olarak ifade edilip sabit sayılar bulanık hale getirilmesidir. En son ise elde edilen çıkış verileri yine belli kurallar doğrultusunda sabit sayılara dönüştürülerek işlem tamamlanmaktadır. Bulanık mantık kontrolünün ana yapısı Şekil 4.1' de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Bulanık kontrolün ana yapısı

4.4. Bulanık Kontrol' ün Avantajları

Klasik mantığın temelinde ihtimal hesapları yatar. Bir olayın oluşabilme ihtimalini bu mantıkla çözmeye çalışır. Sonuç evet ya da hayır ile sınırlıdır. Ancak bulanık mantık bundan tamamen farklıdır ve cevap olarak olabilirliği değil ne kadar olduğunu verir. Dolayısıyla, alacağınız cevap evet ya da hayırla beraber bunların ara değerlerini de içerir. Örneğin bir endüstriyel denetim sisteminde ani sıcaklık değişimleri yerine yumuşak geçişlerle denetim sağlanır ve istenen ani değerler kullanılabilir. Böylelikle hem denetim kalitesi artırılmış hem de enerji tasarrufu sağlanmış olur.

- Bulanık Mantık' ın uygulama alanları çok geniştir. Sağladığı en büyük yararlar ise "insana özgü tecrübe ile öğrenme" olayının kolay modellenebilmesi ve belirsiz kavramların bile matematiksel olarak ifade edilebilmesine imkân tanımasıdır. Böylece Bulanık Mantık lineer olmayan sistemlere yaklaşım yapabilmek için özellikle uygundur (Kuyumcu ve Teker 2007).
- Bulanık Mantık sisteminin işleme karmaşıklığı incelenen sistem karakteristiğinin doğrusal olup olmamasına bağlı değildir. Örneğin on kurallı bir Bulanık Mantık sisteminin hızı her zaman aynıdır; Bulanık Mantık karakteristik eğrisi doğrusal, kübik, parabol, sinüs fonksiyonu veya eksponansiyel hız bakımından hiçbir fark yoktur. Bulanık Mantık programları tamsayı aritmetiği ile çalıştıkları için (8 bit, 16 bit, 32 bit, kesinlikte) çıkarım algoritmaları çok büyük zorluklarla karsılaşmadan programlanabilir. Bu su demektir: karmaşık, doğrusal olmayan bir fonksiyon bile kayan noktalı hesap birimi olmayan bir hesaplayıcı ile bulanık mantık kullanılarak gerçekleştirilebilir ve çok hızlı hesaplanır.
- Bulanık Mantık kontrol sistemi yardımıyla çok sayıda basit ya da karmaşık kontrol sistemlerinin problemsiz gerçekleştirilebileceği gibi mikro kontrolör ve PLC gerektiren sistemlerinde yapılması mümkündür.
- Sözlü kumanda sistemlerinin (makine, tesisat, otomobil telefonu, ev cihazları, bilgisayar) dokunmadan çalışmasını sağlamak amacıyla Bulanık Mantık

kullanılabilir. Uygulama türüne göre 10 ile 100 arasında sözlü komutu (ortam şartlarına rağmen) %90-95 doğrulukla algılayıp cihazları çalıştırma özelliğine sahiptir.

- Özellikle isletme şartlarına göre, PID kontrolörde elemanların parametrelerini sürekli ayarlamak gerekirken, bulanık mantık kontrolör isletmenin şartlarına göre kendi kendine ayarlanmıştır.

5. BULANIK MANTIK KONTROLLÜ KOMPANZASYON DEVRESİ TASARLANMASI

Mıknatıslanma akımı, endüktif karakterli bir akım olup, manyetik alanın teşkili esnasında şebekeden çekilir ve alan ortadan kalkarken bu akım tekrar şebekeye geri verilir. Bu sebeple reaktif güç, üretici ile tüketici arasında sürekli olarak şebeke frekansının iki katı bir frekansla salınır. Bir üreticinin şebekeden çektiği görünen güç;

$$S = 3Vf.I = \sqrt{3}\ Vh\ .I \qquad (5.1)$$

Burada Vf: faz gerilimi, Vh: hat gerilimi, yani iki faz arası gerilimdir ve I hat akımıdır. Aktif güçle aktif akım, gerilim ile aynı fazda oldukları halde, çekilen gücün endüktif olması halinde S zahiri gücü ve I hat akımı, gerilimden φ açısı kadar geride kalırlar. Aktif-reaktif akım ve aktif-reaktif güç denklemleri, (5.2), (5.3), (5.4), ve (5.5)' de gösterilmiştir (Lin ve ark. 2001), (Machmoum ve ark. 2002), (Çolak ve Bayındır 2003), (Barsoum 2007).

Aktif akım; $Ip = I\ Cos\varphi$ (5.2)

Reaktif Akım; $Iq = I\ Sin\varphi$ (5.3)

Aktif güç; $P = S\ Cos\varphi$ (5.4)

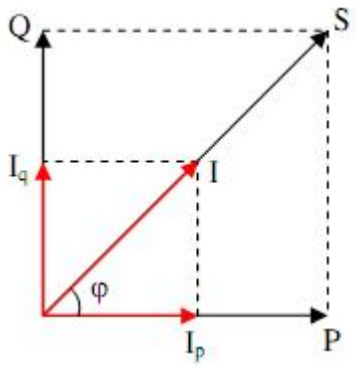
Reaktif Güç; $Q = S\ Sin\varphi$ (5.5)

S:Görünür güç ifade etmektedir.

Bu akım ve güçlerin vektörel gösterimi, Şekil 5.1 'de gösterilmiştir. Ayrıca hat akımı ve görünür güç ile bunların bileşenleri arasında şu bağıntı vardır;

$$I = \sqrt{Ip^2 + Iq^2} \tag{5.6}$$

$$S = \sqrt{p^2 + q^2} \tag{5.7}$$



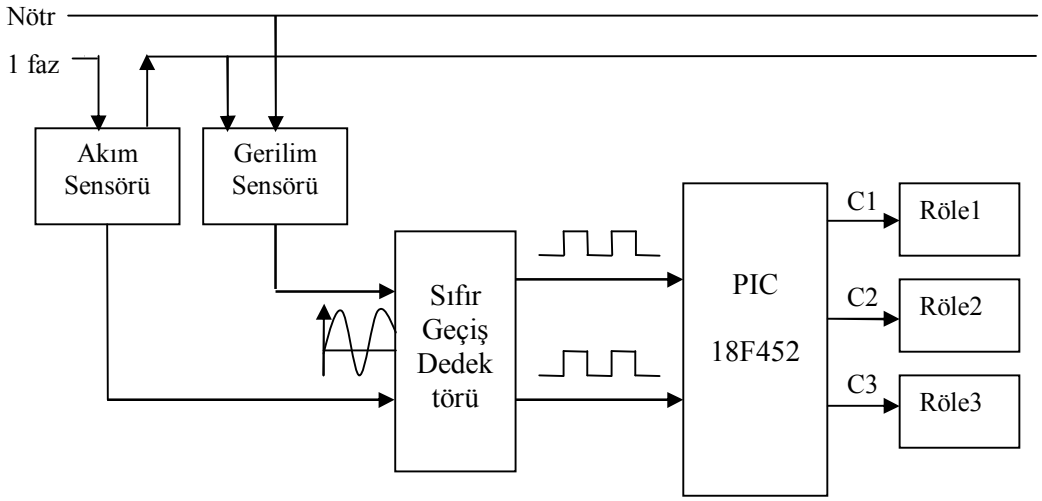
Şekil 5.1. Akım, gerilim ve güçlerin fazör diyagramında gösterilmesi

Bir endüktif yükün kaynaktan çektiği reaktif gücün işareti pozitif, kapasitif yükün çektiği reaktif gücün işareti ise negatiftir. Aktif güç, alternatif akım şebekesinde, gerilim ile akımın aktif bileşenin çarpımına eşittir (Wikipedia-faz 2010);

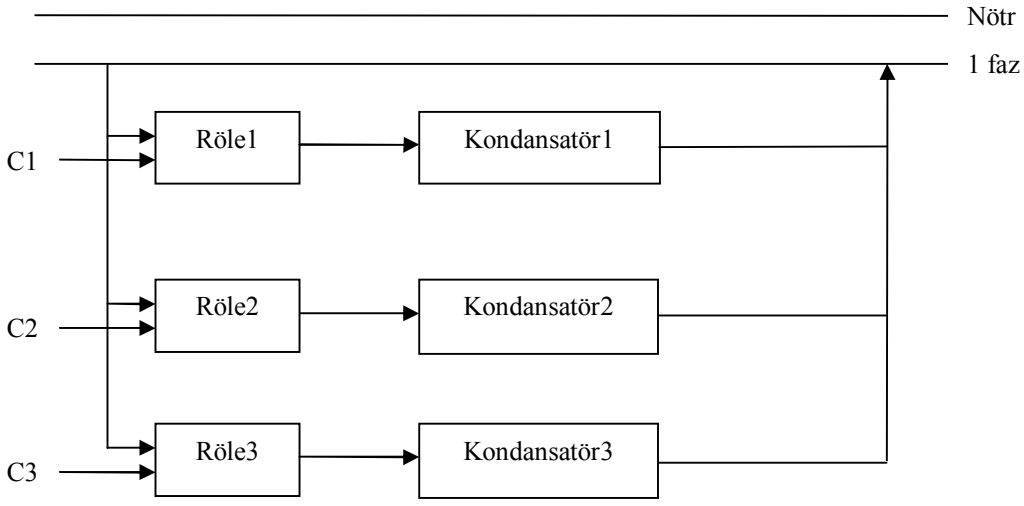
$$P = V.I.\cos\varphi \tag{5.8}$$

(P: aktif güç (watt), Cos φ ise güç faktörüdür.)

Tasarlanan tek fazlı reaktif güç ölçüm devresinde; alternatif akım (AC) şebekesine bağlanan 12 voltluk bir transformatör ve sensörler yardımıyla akım ve gerilim bilgileri elde edilmiştir. Elde edilen akım ve gerilim bilgileri sıfır geçiş dedektörünün girişlerine uygulanmıştır. Sıfır geçiş dedektörünün çıkışından alınan değerler mikrodenetleyici yazılımı ile karşılaştırılarak akım ile gerilim arasındaki gecikme zamanı hesaplanmıştır. Bu gecikme süresi aynı zamanda reaktif güç ölçümünde kullanılmıştır. Gecikme zamanına göre giriş ve çıkışlar bulanıklaştırılmış ve kompanzasyon elemanları yönlendirilmiştir. Tasarlanan bulanık mantık kontrollü reaktif güç ölçüm devresinin blok şeması Şekil 5.2' de verilmiştir.



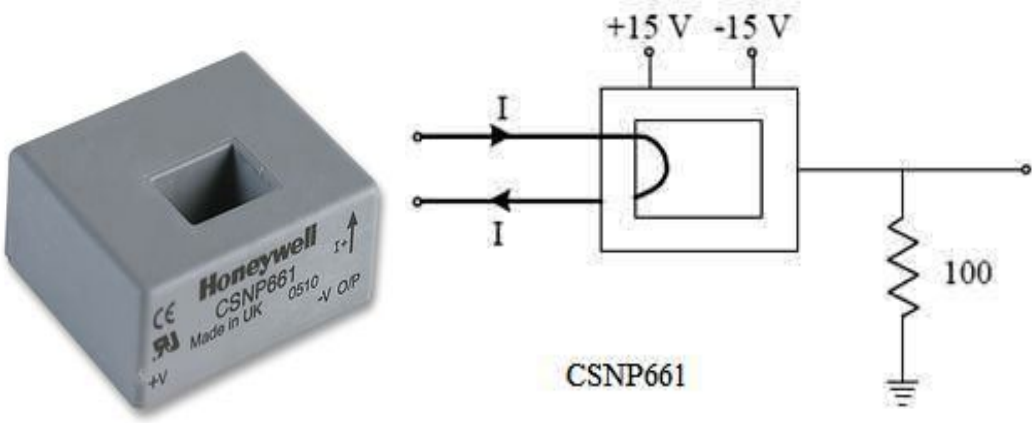
Şekil 5.2. a) Tasarlanan reaktif güç ölçüm devresinin blok şeması



Şekil 5.2. b) Tasarlanan reaktif güç ölçüm devresinin blok şeması

5.1. Akım Bilgisinin Okunması

Tek fazlı sistemden akım bilgisini okuyabilmek için, devreye bir adet CSNP661 akım sensörü bağlanmıştır. Sensörün besleme gerilimi olarak 15 volt uygulanmıştır. Akım sensörünün içerisinden geçirilen bir kablo yardımıyla akımın sinyalleri okunmuştur. Devreye seri olarak bağlanan akım sensörünün çıkışı 100 ohm' luk dirence uygulanmış ve direnç üzerinden akım bilgisi alınmıştır. Daha sonra elde edilen bu akım bilgisi, sıfır geçiş dedektörüne yönlendirilmiştir. Akım sensörü ve devre şeması Şekil 5.3' te gösterilmiştir (Çolak ve Bayındır 2003), (Rüstemli ve Ateş 2009), (CSNP661 2010).

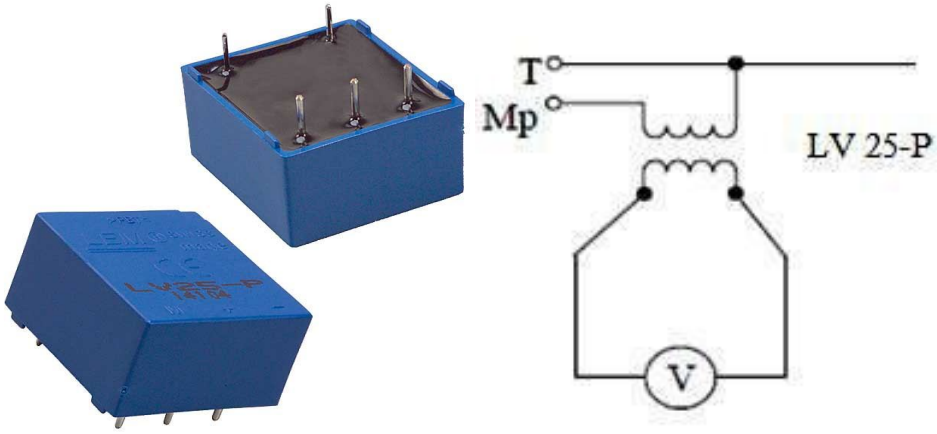


Şekil 5.3. Akım bilgisinin okunması

5.2. Gerilim Bilgisinin Okunması

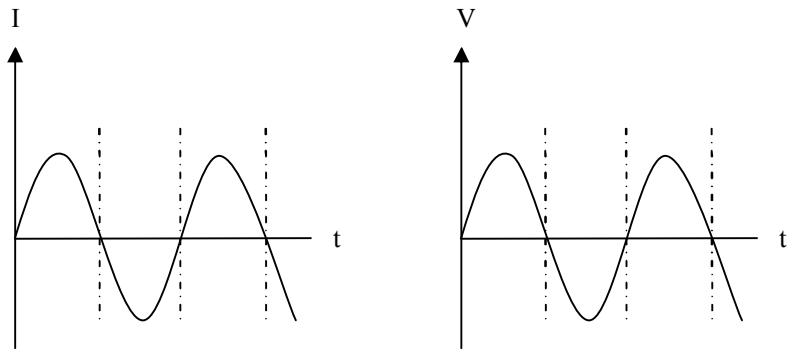
Gerilim bilgisini elde etmek için tek faz hata dönüştürme oranı 220/5 volt, besleme gerilimi +15 ve -15 olan LEM LV 25-P gerilim sensörü bağlanmıştır. Gerilim sensörünün çıkışından gerilim bilgisi okunarak, sıfır geçiş dedektörüne

yönlendirilmiştir. Devreye paralel olarak bağlanan gerilim sensörünün devre şeması Şekil 5.4' de gösterilmiştir (Rüstemli ve Ateş 2009), (Bayındır ve Kaplan 2009), (LEM 2010).



Şekil 5.4. Gerilim bilgisinin okunması

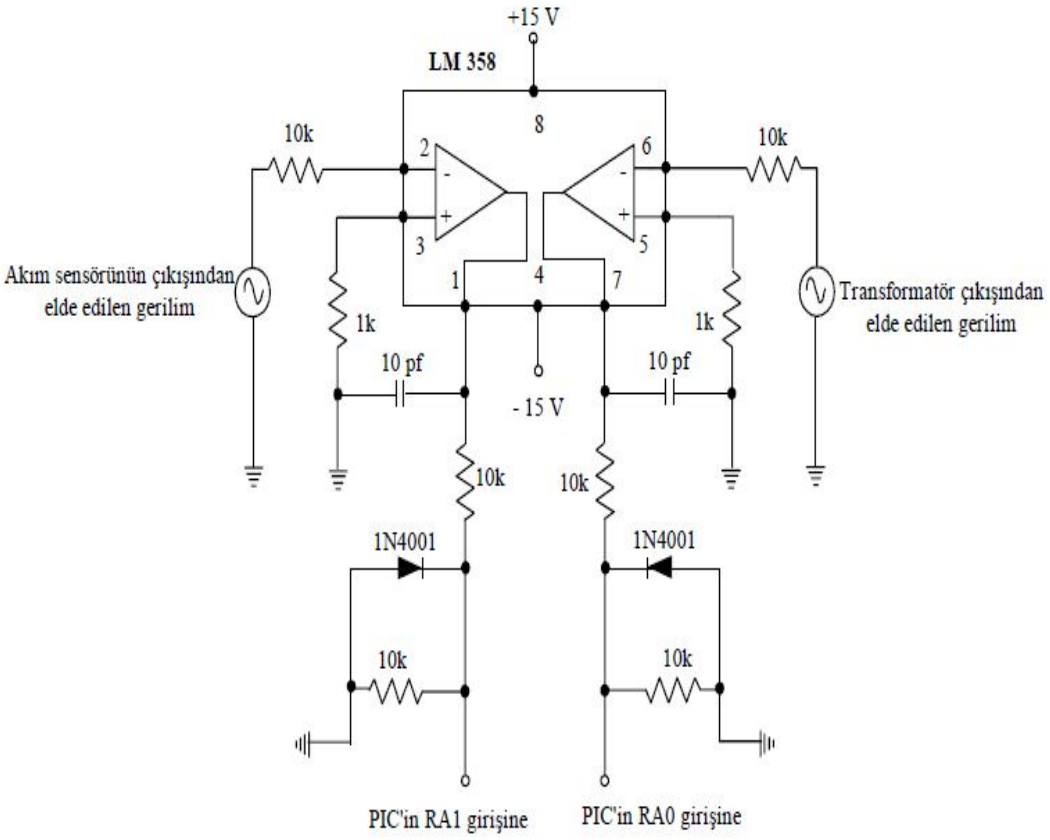
Devreye seri olarak bağlanan akım sensörü ve paralel olarak bağlanan gerilim sensöründen elde edilen akım ve gerilim sinyallerin dalga görüntüsü Şekil 5.5' te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Akım ve Gerilim sinyallerinin görüntüsü

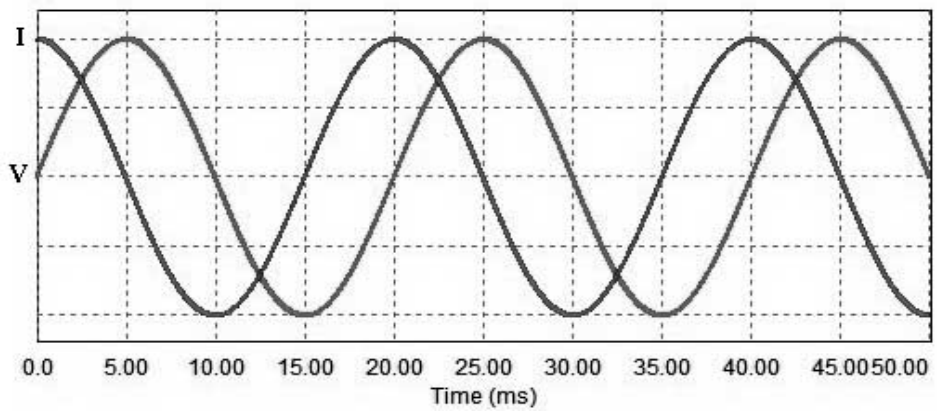
5.3. Sıfır Geçiş Dedektörü

Akım ve gerilim sensörlerinden elde edilen sinyaller, sıfır geçiş dedektöründeki LM358 entegresinin girişlerine uygulanmıştır. Sıfır geçiş dedektörünün amacı sinyallerin sıfır noktasından geçtiği anları tespit edebilmesidir. Sinyaller sıfırdan geçtiği anda dedektör lojik (1) sinyali vermektedir. Akım bilgisi opampın 2 nolu girişine, gerilim bilgisi ise 6 nolu girişe uygulanmıştır. Opampın 1 ve 7 nolu çıkışlarından elde edilen kare sinyaller arasındaki açı, aynı zamanda akım ile gerilim arasındaki faz farkını ifade etmektedir. Bu faz farkı ise reaktif güç hesaplamasında kullanılmıştır. Sıfır geçiş dedektörü devresinin blok diyagramı Şekil 5.6' da gösterilmiştir (Epdk 2010), (Çolak ve Bayındır 2003), (Bayhan ve Demirbaş 2009).



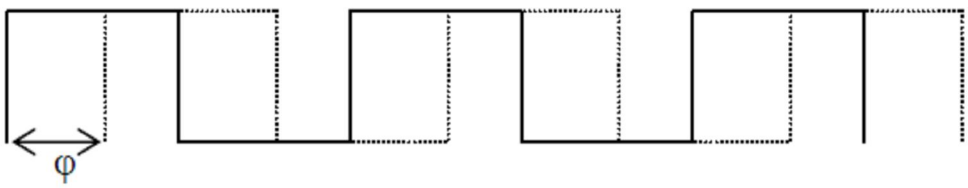
Şekil 5.6. Sıfır geçiş dedektörü

İdealde akım ile gerilim arasında faz farkı olmamalıdır. Endüktif ya da kapasitif yüklerin oluşturduğu etki neticesinde, akım sinyalinin, voltaj sinyaline göre maksimum ±90°' lik faz açısı kayar. Fakat uygulamada hiçbir zaman endüktif yükler ideal bir bobin özelliği göstermez. Bu nedenle akım ile gerilim arasındaki açı 0° ile 90° arasında değişir. Endüktif veya kapasitif yüklerin faz açısı idealde Şekil 5.7' de gösterildiği gibidir (Wikipedia-faz 2010), (Bayram 2000), (Kumar 2008).



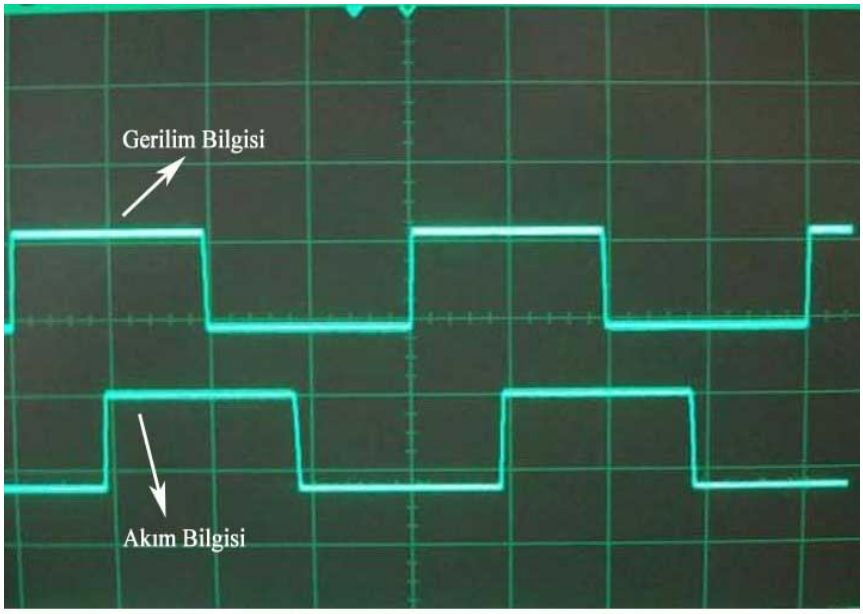
Şekil 5.7. Akım ile gerilim arasındaki ideal faz farkı

Akım ve gerilim sinyallerinin sıfır geçiş dedektöründen sonraki durumu Şekil 5.8' de gösterildiği gibidir. "φ" açısı akımla gerilim arasındaki faz farkını ifade etmektedir.



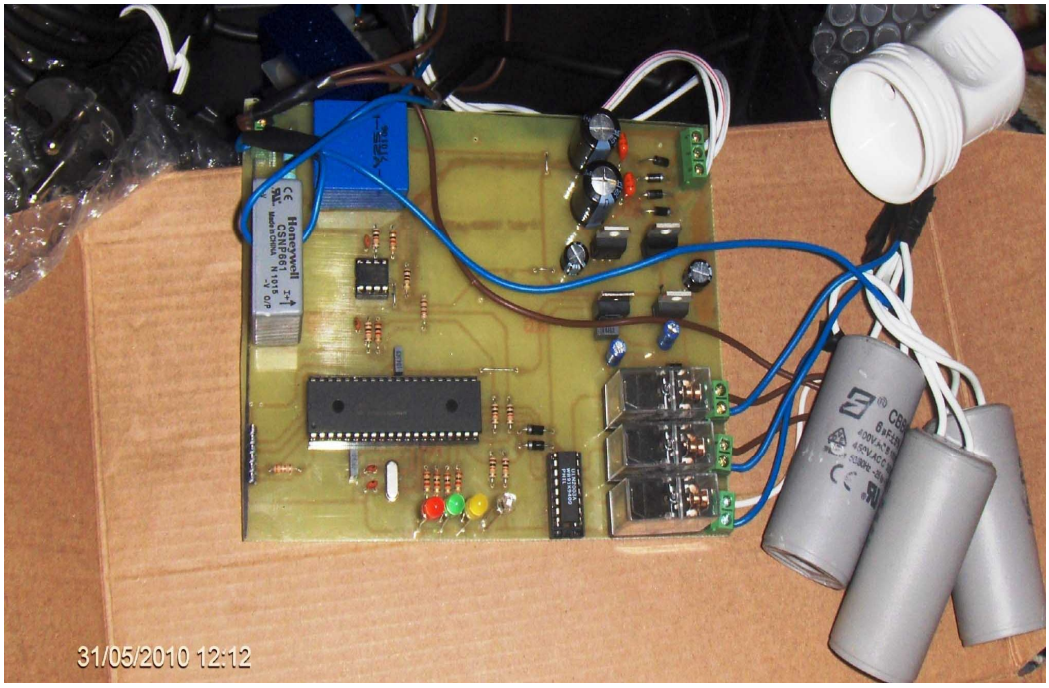
Şekil 5.8. Akım ile gerilim arasındaki faz farkı

Uygulaması yapılan kompanzasyon devresine, osiloskop prompları bağlanmış, ekranda oluşan görüntü Şekil 5.9' da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Sıfır geçiş dedektöründen alınan akım ve gerilim bilgileri

Sıfır geçiş dedektörünün çıkışlarına bağlanan osiloskoptan istenilen sinyal görüntüleri alındıktan sonra bulanık mantık denetimli ev tipi kompanzasyon cihazımızın diğer bağlantıları yapılarak içerisine uygun yazılımın yazılması aşamasına geçilmiştir. Bağlantıları yapılan cihazımızın görüntüsü Şekil 5.11' deki gibidir.



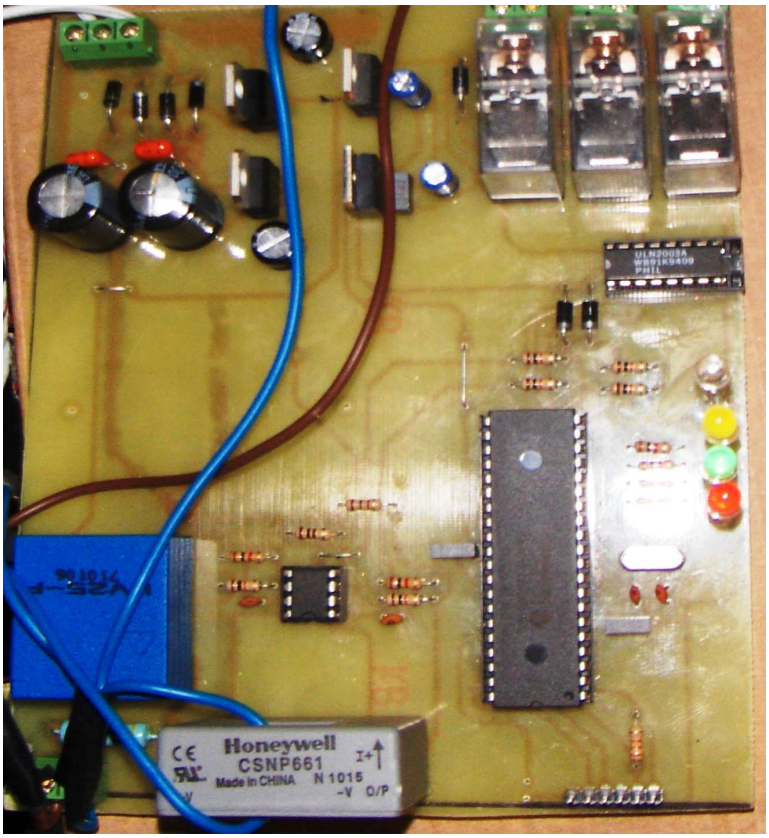
Şekil 5.10. Bulanık mantık kontrollü kompanzasyon devresi

5.4. Mikrodenetleyici Devresi

Sıfır geçiş dedektörü, akım ve gerilim sinyalleri (0)' dan geçtiği anda lojik olarak (1) sinyalini üretir. Bu sinyaller mikrodenetleyici girişine uygulanmıştır. Bu lojik sinyallerden akım sinyali mikrodenetleyicinin RD0 pin girişine, gerilim sinyali ise RD1 pin girişine uygulanmıştır. Gerilim sinyali sıfırdan geçtiği anda PIC 18F452 mikrodenetleyicisinin uygun olan TIMER0 zamanlayıcısı çalıştırılmış, akım sinyali sıfırdan geçtiğinde ise durdurulmuştur. TIMER0 zamanlayıcısının çalışmaya başladığı andan durduğu ana kadar geçen zaman faz farkı olarak bir değişkende saklanmıştır. Bu değişkendeki değere göre daha sonra kompanzasyon röleleri açıp kapatılarak kompanzasyon elemanları devreye dahil edilmiş ve tasarrufa yönlendirme işlemi yapılmıştır. Mikrodenetleyici kolay programlanabilir ve kullanılan programlama dili esnek olduğundan, kullanılan cihazın özelliklerine göre

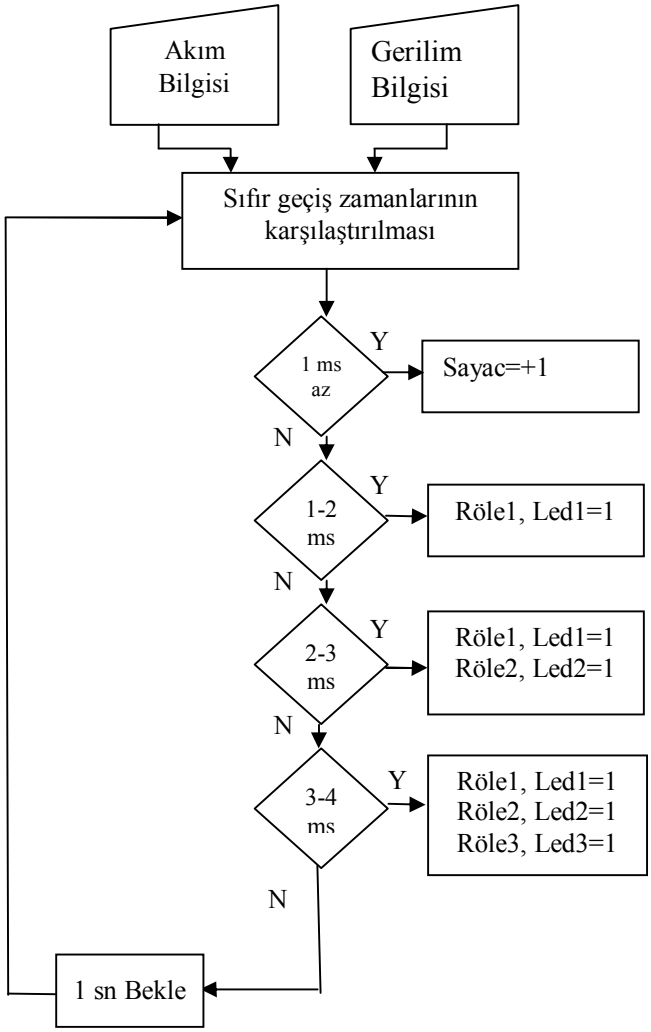
değerler değiştirilerek daha etkin tasarruf işlemi gerçekleştirilecek şekilde tasarım yapılmıştır (Microchip 2010).

PIC 18F452 mikrodenetleyicisi 40 pinlidir. Bunlardan 33 pin giriş/çıkış, diğer 7 pin PIC‘ in çalıştırılması için kullanılmaktadır. PIC 18F452 üzerinde 1536 byte’ lık RAM ve 256 byte EEPROM veri belleği vardır. 4 adet zamanlayıcı/sayıcı, 2 adet algılama/karşılaştırma, 1 adet seri iletişim portu ve 8 adet 8/10 bitlik A/D konvertör modülüne sahiptir. Bir komutun işleme hızı 100 ns’ dir. 32 kbyte flash belleği 1 milyon kez programlanabilir (Microchip 2010). Gerçekleştirilen devre ve mikrodenetleyici devresinin şeması Şekil 5.11’ de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Gerçekleştirilen mikrodenetleyici ölçüm devresi

PIC programlamada kullanılan değerler cihazın özelliklerine göre değişebilir. Bu değişkenlik sayesinde maksimum tasarruf ve verimlilik sağlanabilir. Programın algoritması aşağıda (Şekil 5.12) verilmiştir.



Şekil 5.12. Programın akış diyagramı

Program yukarıdaki algoritmaya göre CCS firmasının "PIC C complier" derleyicisinde yazılmıştır. Program kodları EK1' de verilmiştir.

5.5. Bulanık Mantık Kontrolü ile Kompanzasyon Sisteminin Oluşturulması

Kontrol işlemleri, karmaşık ve klasik kontrol algoritmalarıyla değil de bilgi ve deneyime dayanan sözel kurallarla gerçekleştirilir. Örneğin, bir uzman sistem için gerekli kontrol davranışlarını küçük, hızlı, yavaş gibi sözel bulanık terimlerini içeren komut kümesi ile temsil eder. Bu komut kümeleri **"Eğer-ise (If-Then)"** kuralları yardımıyla oluşturulur. Bilgi tabanlı bulanık kontrol sistemleri **(Fuzzy Controller)** bilgisayarların doğruluğu ve hızları ile insanların karar verme ve sonuç çıkarma özelliklerinin bir arada kullanılmasıyla elde edilen sistemlerdir (Allahverdi 2009), (Kuyumcu ve Teker 2007).

Günümüzde küçük ölçekli işletmeler ve konutlarda kullanılan mevcut kompanzasyon sistemleri, reaktif güç katsayısı ölçümü yapmadan kompanzasyon işlemini gerçekleştirmektedir. Bu kompanzasyon sistemleri, şebekeye sabit şekilde bulunduğundan, akım çekilmediği veya reaktif güç harcanmadığı zamanlarda sisteme gereksiz kapasitif yük vermektedir. Bu durumda sisteme verilen kapasitif yükler tasarruf sağlamayacak aksine faturaya fazladan bir yük getirecektir.

Bu çalışmada ise; reaktif güç katsayısı ölçümü yapılmış, bütün alıcılar tek bir kompanzasyon elemanından geçmek yerine, reaktif gücün büyüklüğüne göre yönlendirilmiştir. Bu yönlendirme işlemi **"Çok düşük" (ÇD), "düşük" (D), "orta" (O), "yüksek" (Y)**, **"Çok yüksek" (ÇY)** şeklinde dilsel olarak ifade edilmiştir. Reaktif güç sayısının bulunmasında kullanılan faz farkının en fazla 90° olduğu ve tam bir periyodunu 0,02 sn de tamamladığı düşünülürse 90° lik kısım için en fazla 0,005 sn gecikme yaşanır. Kompanzasyon işlemi 3 ana elemanla sağlanacağından bu aralık, 5 eşit parçaya bölünmüştür.

ÇD=1 ms' den az (5.9)

D=1 ve 2 ms arası (5.10)

O=2 ve 3 ms arası (5.11)

Y=3 ve 4 ms arası (5.12)

ÇY=4 ms' den yüksek (5.13)

Yönlendirme işleminin parametresinin bulanık kümesi aşağıdaki gibidir.

ÇD={1/0.5, 0.5/1, 0/1.5}; (5.14)

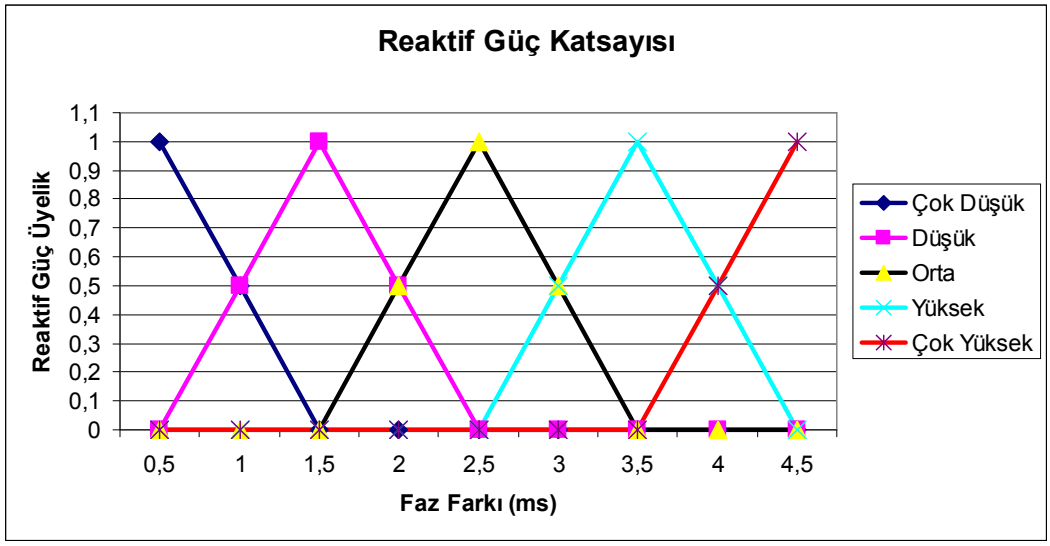
D={0/0.5, 0.5/1, 1/ 1.5, , 0.5/2, 0/2.5} (5.15)

O={0/1.5, 0.5/2, 1/ 2,5, 0.5/3, 0/3.5} (5.16)

Y={0/2,5, 0.5/3 , 1/3.5, 0.5/4 , 0/4.5} (5.17)

Ç.Y={0/3.5, 0.5/4, 1/4.5} (5.18)

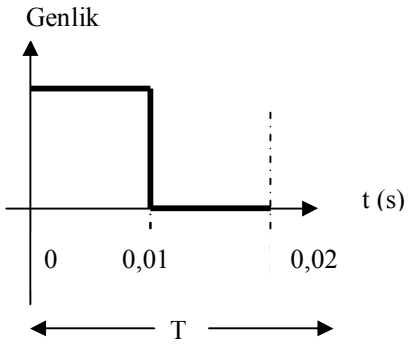
Yukarıdaki bulanık küme değerlerini MS Excel programı kullanılarak çizilen grafik Şekil 5.13' de gösterilmiştir.



Şekil 5.13. Bulanık kümelerin grafik şeklinde gösterimi

6. DENEYSEL SONUÇLAR

Tasarlanan ölçüm devresinde, lojik olarak elde edilen akım ve gerilim sinyalleri arasındaki zaman farkından yola çıkarak, reaktif güç katsayısı bir mikrodenetleyici ile belirlenmiştir. Reaktif güç katsayısının bulunabilmesi için sensörlerden alınan akım ve gerilim bilgileri PIC 18F452 mikrodenetleyicisinin girişlerine uygulanmıştır. Mikrodenetleyici içerisine yazılan program sayesinde, reaktif güç katsayısına göre tasarrufa yönlendirme gerçekleştirilmiştir. Reaktif güç katsayısının belirlenmesi için lojik olarak kullanılan dalga formu Şekil 6.1' de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Lojik dalga formu

Burada; T lojik dalgaların birim zamandaki periyodu olarak tanımlanır. Şekil 11' deki dalga formuna göre;

$T=20000\,\mu s$ (6.1)

$T=360°$ (6.2)

(6.1) ve (6.2) numaralı eşitliklerden faydalanarak,

$1° \cong 55.555556\,\mu s$ elde edilir. (6.3)

Güç katsayısının ölçülmesi için, akım ile gerilim arasında elde edilen zaman farkı açıya dönüştürülmüştür. Bu açının kosinüsü ise doğrudan reaktif güç katsayısını ifade etmektedir. Kompanzasyonun doğru ve verimli yapılabilmesi için bu değerin bilinmesi gerekmektedir. Tek fazlı alternatif akım şebekesine bağlı endüktif karakterli bir alıcının, tasarlanan reaktif güç ölçümü uygulaması yapılmıştır.

Örnek 1. Alıcı olarak, önemli miktarda reaktif güç harcadığı bilinen içerisinde endüktif motora sahip bir buzdolabı motoru kullanılmıştır. Buzdolabı motoruna şebekeden çektiği akım ve gerilim bilgileri okunarak arasındaki faz farkı tespit edilmiştir (Şekil 6.2). Bu faz farkından (6.1) ve (6.2) nolu denklemler yardımıyla reaktif güç katsayısı belirlenerek kondansatörler yönlendirilmiş ve kompanzasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen kompanzasyon işlemi, devreye tüketim ve ölçüm cihazı bağlanmış (wattölçer) yardımıyla kaç kW enerji harcadığı tespit edilmiştir.



Şekil 6.2. Bulanık mantık kontrollü kompanzasyon devresinin buzdolabı motoru üzerinde uygulaması

Normal şartlar altında 3 saat boyunca buzdolabına bağlanan deney düzeneği, çalıştırılmış ve test sonuçları elde edilmiştir. Bu sonuçlar Tablo 6.1' de verilmiştir.

Tablo 6.1. Gerçekleştirilen devrenin buzdolabı üzerindeki test sonuçları

Buzdolabı	**cos φ**	**kwh**	**Tasarruf %**
Geliştirilen devre bağlı değilken	0,56	0,46	0
Geliştirilen devre bağlı iken	0,95	0,32	29

Alınan sonuçlara göre cos φ istenilen aralığa geldiği görülmüştür. Buzdolabı konutlarda ve küçük ölçekli işletmelerde sürekli kullanılan bir cihazdır ve önemsenmeyecek oranda reaktif güç tüketicisidir. Test sonuçlarına göre güç katsayısı

($\cos\varphi$) ~0,95 seviyelerine çekilmiş ve ortalama 29% tasarruf elde edilmiştir. Bulanık mantık kontrollü ev tipi kompanzasyon sistemi test edilirken kullanılan ölçüm cihazının kWh modunda görüntüsü Şekil 6.3' de verilmiştir.



Şekil 6.3. Wattölçer cihazının görüntüsü

Bulanık mantık kontrollü kompanzasyon sistemi, evdeki diğer elektrikli cihazlarda test edilmiş açık ve kapalı olduğu konumlarda veriler kaydedilmiştir. Test sonuçları Tablo 6.2' de verilmiştir.

Tablo 6.2. Kompanzasyon devresinin diğer elektrikli cihazlarda uygulanan test sonuçları

No	Cihaz ismi	Çalıştığı Saat	Harc. Güç (w)		cos φ değeri		Tasarruf %
			Kapalı	*Açık*	*Kapalı*	*Açık*	
1	Buzdolabı	3	4600	3266	0,56	0,95	29
2	Klima	2	3000	2160	0,54	0,95	28
3	Çamaşır mak.	2	4400	3475	0,68	0,94	21
4	Bulaşık mak.	2	4400	3520	0,69	0,94	20
5	Elektrik süp.	1	1600	1393	0,80	0,94	13
6	Vantilatör	2	100	92	0,89	0,95	10
7	Kombi	3	36000	29196	0,71	0,94	19
8	Bilgisayar sist.	2	1000	771	0,61	0,95	23
9	Televizyon	2	400	311	0,60	0,95	23,5
10	Turbo Fırın	1	1500	1208	0,70	0,94	19,5
11	Elekt. ısıtıcı	1	3000	2972	0,98	0,99	1
12	Ütü	2	3000	2972	0,98	0,99	1
13	Telli lamba	3	300	297	0,98	0,99	1
14	Flüoresan lam.	3	60	37,2	0,49	0,95	38
Ortalama Tasarruf%							18

**Not: Değerler iki basamak olacak şekilde yuvarlanmıştır.

Test sonuçlarına göre reaktif güç çektiği bilinen cihazlarda yüksek oranlarda net tasarruflar sağlanmıştır. Telli elektrikli ısıtıcılar, ütü, telli lamba, saç kurutma makinesi, tost makinesi vs. gibi cihazlar reaktif güç çekmediğinden küçük miktarlarda tasarruflar sağlanmıştır. Fakat enerji kalitesinin ve verimliliğin arttığı, harmoniklerin etkisinin azaldığı düşünüldüğünde, bunların bozucu etkisinin maliyetinin de bir tasarruf olduğu gerçektir.

Bulanık mantık kontrollü kompanzasyon devresi taşınabilir özelliği sayesinde tek tek bütün cihazlarda kullanılacağı gibi bir çoğaltıcı yardımıyla birden fazla cihaz

faydalanacak şekilde de kullanılabilir. Evdeki elektrikli cihaz türlerine göre gruplandırılmış ve test sonuçları Tablo 6.3 ‘ de verilmiştir.

Tablo 6.3. Bir evde bulunan elektrikli cihazların gruplar halinde tasarruf oranları

No:	**Grup adı:**	**Grup içeriği**	**Tasarruf oranı %**
1	Beyaz eşya	Buzdolabı, çamaşır ve makinesi, fırın vb.	22,5
2	Isıtıcılar	Elektrikli ısıtıcı, ütü, ketle, kombi vb.	1
3	Aydınlatma	Telli lamba, flüoresan lamba vb.	21
4	Motorlu	Elektrik süpürgesi, vantilatör, klima vb.	17
5	Elektronik	Televizyon, bilgisayar sistemleri vb.	21,5

7. SONUÇLAR

Günümüzde küçük ölçekli işletmeler ve konutlarda kullanılan mevcut kompanzasyon sistemleri, reaktif güç katsayısı ölçümü yapmadan kompanzasyon işlemini gerçekleştirmektedir. Bu kompanzasyon sistemleri, şebekeye sabit şekilde bulunduğundan, akım çekilmediği veya reaktif güç harcanmadığı zamanlarda sisteme gereksiz kapasitif yük vermektedir. Bu durumda sisteme verilen kapasitif yükler tasarruf sağlamayacak aksine faturaya fazladan bir yük getirecektir.

Bu çalışmada; küçük ölçekli işletmeler ve konutlarda kullanılmak üzere, basit, kullanışlı, hassas ve güvenli bir ölçüm ve tasarrufa yönlendirme işlemi geliştirilmiştir. Bu yöntemle, sistemden aşırı reaktif güç çekildiğinde, daha fazla kondansatör devreye gireceği için etkin verimli ve yüksek oranda tasarruf sağlanacaktır. Piyasada bulunan reaktif güç ölçümü ve yönlendirmesi yapmadan kompanzasyon yapan diğer bazı markaların cihazlara göre tasarruf miktarlarının karşılaştırmalı tablosu Tablo 7.1' de gösterilmiştir.

Tablo 7.1. Tez çalışmasının bazı kompanzasyon sistemleri ile tasarruf miktarlarının karşılaştırılması

No	**Cihaz ismi**	**BRIGHTUSE** brightuse.com	**REXAKTİF** rexaktif.com	**TAFAZKO** Tafazko tasarruf.com	**BU ÇALIŞMA**
		Tasarruf %	**Tasarruf %**	**Tasarruf %**	**Tasarruf%**
1	Buzdolabı	25	24	24	29
2	Klima	25	24	24	28
3	Çamaşır mak.	18	18	18	21
4	Bulaşık mak.	18	18	18	20
5	Elektrik süp.	10	10	10	13
6	Vantilatör	8	8	8	10

7	Kombi	16	16	16	19
8	Bilgisayar sist.	19	20	19	23
9	Televizyon	20	20	19	23,5
10	Turbo Fırın	17	16	17	19,5
11	Elekt. ısıtıcı	1	1	1	1
12	Ütü	1	1	1	1
13	Telli lamba	1	1	1	1
14	Flüoresan lam.	25	25	25	38

Mevcut ev tipi kompanzasyon sistemlerinde, reaktif güç yönlendirmesi yapılmadığından, sigortaya sabit veya en yakın prize takılan sistemler, sistemden akım çekilmediği veya reaktif güç harcanmadığı zamanlarda sisteme gereksiz kapasitif yük vermekte buda görünür gücün artmasına ve negatif tasarrufa neden olmaktadır. Bu yöntemle birlikte bu durumun etkisi azaltılmıştır. Mevcut sistemlerin sisteme olan olumsuz etkisinin karşılaştırmalı tablosu Tablo 7.2' de verilmiştir.

Tablo 7.2. Mevcut Cihaz Türlerinin tasarruf oranları ve şebekeye olumsuz etkileri

Mevcut cihaz Türleri	**Tasarruf Aralığı %**	**Olumsuz etkisi %**
Sigortaya sabit	5-25	20
En yakın prize takılmış	5-25	15
Bu Yöntemle	5-38	2

Mevcut çeşitli modellerdeki kompanzasyon sistemlerinden, sigortaya sabit halde bulunan cihazlar yaklaşık olarak; 5-25% tasarruf, en yakın prize sabit takılmış cihazlar ise; 5-25% oranla tasarruf yapmaktadır. Buna karşılık sistemde reaktif güç harcamayan cihazların çalıştığı veya elektrikli cihaz çalışmadığı zamanlarda sisteme gereksiz kapasitif yük vererek, yaklaşık 15-20% oranında negatif tasarrufa neden olmaktadır. Bu çalışmada gerçekleştirilen ölçme devresi ile reaktif güç durumu ölçülerek reaktif güç harcamayan cihazların çalıştığı veya elektrikli cihaz çalışmadığı zamanlarda sisteme gereksiz kapasitif yük verilmesinin etkisi azaltılmıştır. Yapılan

deney ve test aşamalarında programdan ve rölelerin oluşturduğu zaman kaybından dolayı 2%‘ lik bir hata payı olabileceği göz önünde bulundurulmuştur. Reaktif gücün daha fazla çekildiği durumlarda ise kompanzasyon oranı artırılmış dolayısı ile yaklaşık 1-38% oranında tasarruf sağlanmıştır. Ayrıca uygulanan sistemde, harmoniklerin oluşturduğu etkinin azaltıldığı, kompanzasyon elemanlarının ve cihazlarının ömrünün uzadığı görülmüştür.

Ayrıca bu yüksek lisans çalışmasının daha sonra yapılacak benzer çalışmalar için iyi bir referans olacağı düşünülmektedir. Elektrikli cihaz üreticileri, bireysel kompanzasyon yaparak tasarrufu artırma yoluna gidebilirler.

8. KAYNAKLAR

Aihua D., Zeng Z. 2009. Research on Energy Saving Device Based on Fuzzy Control Algorithm, 978-1-4244-2800 IEEE Xplore.

Akarslan F. 2007. Dokuma Kumaşların Kuruma Hızı Değerlerinin Bulanık Mantık Metodu İle Belirlenmesi Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi. (2) 15-23.

Allahverdi N. 2002. Uzman Sistemler. Bir Yapay Zeka Uygulaması. Atlas yayınları, İstanbul.

Allahverdi, N. 2009. Bulanık Mantık ve Sistemler ders notları. http://farabi.selcuk.edu.tr/egitim/bulanik/ index.html (Erişim tarihi: 15.08.2009).

Aydın U. 2007. Kampüs Tipi Yerleşim Birimlerinde Kompanzasyon ve Harmonik Açısından Güç Analizleri. Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Bal G. 1988. Endüstriyel yüklerdeki reaktif güç için kompansatör. Yüksek lisans tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Bayram M. 2000. Reaktif Güç Kompanzasyonu. Birsen kitabevi, İstanbul.

Barsoum N. 2007. Programming of PIC Micro-Controller For Power Factor Correction Asia International Conference on Modelling&Simulation. 0-7695-2845-7/07.

Bayhan S., Demirbaş Ş. 2009. Mikrodenetleyici Tabanlı Multimetre Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. IATS' 09, Karabük, Türkiye.

Bayındır R. 2007. PIC denetimli Reaktif güç rölesi tasarımı, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Vol 22, No 1, 47-56, Ankara.

Baysal M. 2005. Tristör Kontrollü Seri Kompanzasyon Metodlarının Karşılaştırılması. EEBM 11. Ulusal Kongresi ve Fuarı Bildirileri, İstanbul.

Bilki F. 2008. Reaktif Güç Ve Kompanzasyon Teknikleri, Yüksek lisans tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Chu K., Pollock C. 1999. Series Compensation On Power System With Very Low Harmonic Distortion, lEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 14, No: 2.

CSNP661. 2010. http://www.contractelectronica.ru/files/124/CSNP661.pdf (Erişim Tarihi: 01.06.2010).

Çolak İ., Bayındır R. 2003. Güç Katsayısının Bir Mikrodenetleyici Kullanarak Ölçümü. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 19 (1-2): 50-58.

Demirkol Ö. 2006. Harmonik içeren ve dengesiz şebekelerde ölçme ve kompanzasyon, Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Engin B. 2008. Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Kompanzasyon ve Enerji Kalitesi Sorunları. Yüksek lisans tezi, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Epdk. 2009. http://www.epdk.org.tr/mevzuat/yonetmelik/elektrik/musteri (Erişim tarihi: 15.08.2009).

Ersamut R. 2009. Statik VAR Kompanzasyonu Sistemlerinin incelenmesi ve Karşılaştırılması. Yüksek lisans tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Etik N. 2007. Ameliyathane Klima Kontrol Sistemleri için Bulanık Uzman Sistem Tasarımı. Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Güntürkün R. 2003. İleri beslemeli ve Elman geri beslemeli Yapay sinir ağlarını kullanarak harmoniklerin kompanzasyonu. Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

İnternetcafeciler. (2009). http://www.internetcafeciler.net/soz-kafecide/36232-elektirik-duzenegi-3.html (Erişim tarihi: 01.12.2009).

Keskinci C. 1998. Orta Gerilim Dağıtım Şebekelerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu Uygulaması. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kocabaş E. 2006. Reaktif Güç Kompanzasyonu ve Simülasyonu. Yüksek lisans tezi, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kolaykompanzasyon. 2009. http://www.kolaykompanzasyon.com/kompanzasyongiris/nedir.html (Erişim tarihi: 14.08.2009).

Kompanzasyon.net. 2010. http://www.kompanzasyon.net/teknikanlatim.asp / (Erişim tarihi: 15.08.2009).

Kontrolkalemi. 2009. http://www.kontrolkalemi.com/forum/kompanzasyon/3643-kompanzasyonun -yararlari.html (Erişim tarihi: 14.08.2009).

Kumar P. 2008.Development of Power Factor Controller using PIC Microcontroller. Master thesis department of electrical and instrumentation engineering, Thapar University, Patiala.

Kuyumcu F., Teker A. 2007. Bulanık Mantık ve Kontrol Sistemleri. 12. Elektrik, Elektronik, Bilgisayar, Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Kongresi ve Fuarı, Eskişehir.

Lin B., Tsay S., Liao M. 2001. Integrated power factor compensator based on sliding mode controller. IEEE Electric. Power Application; Vol: 148, No:3.

LEM, LV-25P. 2010. http://web4.lem.com/docs/products/lv%2025-p.pdf (Erişim Tarihi: 01.06.2010).

Machmoum, M.; Coulibaly, P.; Abdelli, Y. 2002. A Power Factor Controller for Three-Phase PWM Rectifiers and Shunt Active Power Filters, IEEE Conference on Harmonics and Quality of Power, Vol: 2, Pages: 626-631.

Megaelektrik. 2010. http://www.megaelektrik.net/kompanzasyon.asp (Erişim tarihi: 15.06.2010)

Megep M.E.B. 2010. Kompanzasyon cihazları ve montajı. Ders modülü, Ankara.

Microchip. 2010. http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf (Erişim Tarihi: 01.06.2010).

Nguyan H.T., Walkey E.A., 1996. A First Course in Fuzzy Logic. Chapman and Hall.

Özaslan, S. 1997. Statik VAr Sistemleri ile Reaktif Güç Kompanzasyonu. Yüksek lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Özdemir H.A. 2006. Elektrik Motorlarında Enerji Tasarruf Yöntemleri. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Özsürekci O. 2008. Filtreli Dinamik Kompanzasyon. Yüksek lisans tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Patent. 2010. Türk Patent Enstitüsü. http://www.turkpatent.gov.tr (Erişim Tarihi: 16.05.2010).

Pomilio J., Deckmann S. 2007. Characterization and Compensation of Harmonics and Reactive Power of Residential and Commercial Loads. IEEE Transactions On Power Delivery, Vol. 22, No. 2.

Rüstemli S, Ateş M. 2009. PIC Kullanarak Güç katsayısı ölçüm devresi tasarımı ve Simülasyon. 3. Enerji verimliliği ve kalitesi Sempozyumu. 263-268, Kocaeli.

Sesveren Ö. 2008. Yapay sinir ağları temelli reaktif güç kompanzasyonu eğitim seti tasarımı. Yüksek lisans tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Şekelli M., Tarkan N. 2005. Reaktif Güç Kontrol Rölesinde Minimum Anahtarlama Sayısı ve Optimal Reaktif Güç Seçimi. İTÜ Mühendislik dergisi, Cilt:4, Sayı: 6, 15-22, İstanbul.

Şen. Z. 1999. Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Modelleme İlkeleri. Ders Notları, İstanbul.

Vural O. 2003. Alçak gerilim tesislerinde Reaktif Güç kompanzasyonu. Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.

Wikipedia, Faz. 2010. http://tr.wikipedia.org/wiki/Faz_%28dalga%29 (Erişim Tarihi: 01.05.2010).

Wikipedia, Kompanzasyon. 2009. http://tr.wikipedia.org/wiki/Kompanzasyon (Erişim tarihi: 15.08.2009).

Yan J., Jin L. 2006. Development of Outdoor High Voltage Dynamic Reactive Power Compensation Device. International Conference on Power System Technology, Chongqing, China.

Zadeh L.A., l978. Fuzzy Sets as a Basis For a Theory of Possibility. P 3-10.

EK:1. Mikrodenetleyici Yazılımı

```
int sayac=0,m=0;
void main(){
  setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_64|RTCC_8_bit);
//25us .5ms
  setup_timer_1(T1_DISABLED);
  setup_timer_2(T2_DIV_BY_1,0,1);
  setup_timer_3(T3_DISABLED|T3_DIV_BY_1);
//Setup_Oscillator parameter not selected from Intr
  output_bit(kled,1);
  output_bit(yled,0);
  output_bit(sled,0);
  output_bit(mled,0);
  output_bit(r1,0);
  output_bit(r2,0);
  output_bit(r3,0);
  set_timer0(0);
   while(1){
    while(!input(vg)); // vg pini 1 olana kadar bekle
    set_timer0(0);
    while(!input(ag)); //ag pini 1 olana kadar bekle
    sayac=get_timer0();
     if(sayac < 40) // 1ms den az ise
      {
       m++;
      }
     else if( sayac >= 40 && sayac < 80 ) // 1ms -2ms
       {
         output_bit(yled,1);//yesil led
         output_bit(sled,0);
         output_bit(mled,0);
```

```
      output_bit(r2,0);
      output_bit(r3,0);
      output_bit(r1,1); //1. kondansator devrede
     }
    else if( sayac >= 80 && sayac < 120 )  //2ms - 3ms
     {
      output_bit(yled,1); //yesil ve sarı led
      output_bit(sled,1);
      output_bit(mled,0);
      output_bit(r2,1);
      output_bit(r3,0);
      output_bit(r1,1);//1. ve 2. kondanst. devrede
     }
    else if( sayac >= 120 && sayac < 160 )//3ms - 4ms
     {
      output_bit(yled,1);// yesil, sarı ve mavi led
      output_bit(sled,1);
      output_bit(mled,1);
      output_bit(r2,1);
      output_bit(r3,1);
      output_bit(r1,1); // 1.2.3. kondansatör devrede
    }
    else
    {
      output_bit(yled,0); // ledleri söndür
      output_bit(sled,0);
      output_bit(mled,0);
      output_bit(r2,0);
      output_bit(r3,0);
      output_bit(r1,0); // 1. kondansatör iptal
    }
delay_ms(1000); // 1 saniye bekle
delay_ms(1000);  }}
```