

**ÜÇ FAZLI ASENKRON MOTORUN GÜÇ KATSAYISININ PLC İLE
KONTROLÜ VE İZLENMESİ**

Lokman BARAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KASIM 2009

ANKARA

Lokman BARAN tarafından hazırlanan ÜÇ FAZLI ASENKRON MOTORUN GÜÇ KATSAYISININ PLC İLE KONTROLÜ VE İZLENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Ramazan BAYINDIR
Tez Danışmanı, Elektrik Eğitimi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile
Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İlhami ÇOLAK
Elektrik Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Ramazan BAYINDIR
Elektrik Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Prof.Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Bilgisayar Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Tarih:/...../.....

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Lokman BARAN

**ÜÇ FAZLI ASENKRON MOTORUN GÜÇ KATSAYISININ PLC İLE
KONTROLÜ VE İZLENMESİ**

Lokman BARAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Kasım 2009

ANKARA

**ÜÇ FAZLI ASENKRON MOTORUN GÜÇ KATSAYISININ PLC İLE
KONTROLÜ VE İZLENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Lokman BARAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Kasım 2009

ÖZET

Endüktif yüklerin endüstrideki kullanım alanları gün geçtikçe artmaktadır. Bu yükler bağlı oldukları hatlardan reaktif güç çekerler. Endüktif yüklerin ihtiyaç duyduğu reaktif güçlerin belirli tekniklerle karşılanmasına kompanzasyon denir. Bu sayede mevcut santrallerde üretilen enerji daha ucuza ve tam kapasiteli olarak kullanılabilir.

Yapılan bu tezde; programlanabilir lojik kontrolör (PLC) aracılığıyla, 4 adet asenkron motorun farklı zamanlarda devrede olduğu bir sistemin reaktif güç kompanzasyonu gerçekleştirilmiştir. Reaktif güç tüketicisi olarak dört adet asenkron motor PLC kontrollü sisteme alınıp çıkartılmıştır. Aynı zamanda güç sistemine ait akım, gerilim parametreleri PLC’de işlenerek güç katsayısı hesaplama, sistemin ihtiyacı olan kondansatör gücünü devreye alma/çıkarma yapılan yazılım ile otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Bunlara ilaveten hazırlanan sistem motorun faz sırası kontrolü, aşırı akım, yüksek gerilim, düşük gerilim gibi tehlike arz eden durumlarda motoru koruma uygulaması gerçekleştirilebilmektedir.

Geliştirilen bilgisayar arayüzü sayesinde motorların çalışması, durdurulması ve tüm sisteme ait parametreler bilgisayar üzerinden uygulanabilmektedir. Bu sayede sistemin uzaktan kontrolü ve izlenmesi gerçek zamanlı olarak yapılabilmektedir.

Bilim Kodu : 703.3.016
Anahtar Kelimeler : Asenkron Motor, Güç Katsayısı, Kompanzasyon, PLC.
Sayfa Adedi : 60
Danışman : Doç. Dr. Ramazan BAYINDIR

**A PLC BASED MONITORING AND CONTROL OF POWER FACTOR OF A
THREE PHASE INDUCTION MOTORS**

(M.Sc. Thesis)

Lokman BARAN

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

November 2009

ABSTRACT

The uses of inductive loads in the industry have increased day by day. These loads draw reactive power from the line. The system providing reactive power required for inductive loads called as compensation system. Compensation systems allow the power generation system to operate at full capacity and to produce inexpensive energy. In this study, a reactive power compensation system consists of 4 induction motors which have different operating procedures has been implemented by means of the programmable logic controller (PLC). PLC can run or stop the induction motors in the system.

Current and the voltage belong to the system are also measured and then processed in the PLC to calculate the power factor of the system. After that, required reactive power to keep the power factor is provided from switching the capacitor groups automatically by means of the developed software. In addition, the developed system can protect the induction motors against possible problems such as the control of phase sequence of the motor, over current, high voltage and low voltage.

Owing to the computer interface improved, starting and stopping the motor and the parameters belong to all system can be achieved monitored with remotely a computer. Thanks to this, the control and the monitoring of the system can be done remotely.

Science Code : 703.3.016

Key Words : Induction Motor, Power Factor, Compensation, PLC.

Page Number: 60

Adviser : Assoc. Prof. Dr. Ramazan BAYINDIR

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Doç. Dr. Ramazan BAYINDIR'a yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Hocam Arş. Gör. Orhan KAPLAN'a, ayrıca görsel arayüz tasarımındaki katkılarından dolayı Hasan Atila BAYKAN ve Mustafa BAKIR'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	xi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xiv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xv
RESİMLERİN LİSTESİ	xvii
1. GİRİŞ	1
2. REAKTİF GÜÇ KOMPAZASYONU	6
2.1. Reaktif Güç ve Güç Katsayısı	6
2.2. Reaktif Güç Kompanzasyonunun Faydaları	8
2.3. Reaktif Güç Tüketicileri	9
2.4. Reaktif Güç Kompanzasyonunda Kondansatör Gücünün Hesabı	10
2.5. Kompanzasyon Çeşitleri	12
2.5.1. Bireysel kompanzasyon	13
2.5.2. Grup kompanzasyon	14
2.5.3. Merkezi kompanzasyon	15
2.6. Reaktif Güç Rölesi ve Çalışma Prensibi	16
3. PROGRAMLANABİLİR LOJİK KONTROL SİSTEMLERİ	17
3.1. Giriş	17
3.2. PLC	18
3.3. PLC Sistemlerin Avantajları	19

	Sayfa
3.3.1. PLC ile röleli sistemlerin karşılaştırılması	19
3.3.2. PLC ile bilgisayarlı kontrol sistemlerinin karşılaştırılması	20
3.4. PLC Kullanım Amacı	20
3.4.1. Genel kullanım amacı	20
3.4.2. Genel uygulama alanları	21
3.5. SIMATIC S7-200 PLC	23
4. ÜÇ FAZLI ASENKRON MOTORUN GÜÇ KATSAYISININ PLC İLE KONTROLÜ VE İZLENMESİ	24
4.1. Tasarım ve Uygulama	24
4.2. Gerçekleştirilen Sistem Ve Sistem Modüllerinin Tanıtılması	24
4.2.1. Yük	26
4.2.2. Kondansatör grupları	27
4.2.3. Okuma kartı	29
4.2.4. Sıfır geçiş dedektörü	30
4.2.5. PLC	31
4.2.6. Analog giriş modülü	31
4.2.7. Çıkış modülü	32
4.2.8. WINCC Scada	32
4.2.9. Kontaktör Grupları	32
4.3. Sistemin Çalışması	33
4.3.1. Güç katsayısının ölçülmesi	37
4.3.2. Gerekli kondansatör gücünün hesabı anahtarlanması ve sistemin karakteristiğinin tayini	40

	Sayfa
4.3.3. Yenilenme süresi periyodunda sistemin tekrar kontrolü.....	41
4.3.4. Sistemin PLC ve SCADA ile kontrolü ve izlenmesi.....	41
4.4. Deneysel Sonuçlar	45
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	52
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ	60

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1 “k” faktörü cetveli.....	12
Çizelge 4.1 Kondansatör etiket değerleri	27
Çizelge 4.2 Sistemden alınan değerler	51
Çizelge 5.1 Kontrol sistemlerinin karşılaştırılması	53

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1 Görünür güç ve bileşenlerinin vektörel gösterimi	7
Şekil 2.2 Yük akımı ve bileşenleri	7
Şekil 2.3 Aktif güç sabit iken reaktif güç ihtiyacının tespiti.....	10
Şekil 2.4 Görünür güç sabit iken reaktif güç ihtiyacının tespiti.....	11
Şekil 2.5 Üç fazlı bir asenkron motorun bireysel kompanzasyonu.....	14
Şekil 2.6 Grup kompanzasyonu	15
Şekil 2.7 Reaktif güç rölesinin temel bölümleri.....	16
Şekil 3.1 PLC genel blok şeması.....	18
Şekil 4.1 Sistemin blok diyagramı	25
Şekil 4.2 Sıfır geçiş dedektörü	30
Şekil 4.3 Akım ve gerilim bilgisi arasındaki faz farkı	30
Şekil 4.4 Akış diyagramı.....	36
Şekil 4.5 Gerilim ile akım arasındaki gecikme	37
Şekil 4.6 Sinisoidal dalga.....	38
Şekil 4.7 Üretilen PWM sinyali	39
Şekil 4.8 Zaman aralığı gösterimi	39
Şekil 4.9 Başlangıç değerlerinin girildiği bölüm	42
Şekil 4.10 Sistem verilerini izleme ve kontrol sayfası.....	43
Şekil 4.11 Sistemdeki ikazların gösterildiği sayfa	44
Şekil 4.12 M1 motoru devredeyken akım ve gerilim eğrileri	45
Şekil 4.13 M1+M2 motoru devredeyken akım ve gerilim eğrileri	45

Şekil	Sayfa
Şekil 4.14 M1+M2+M3 motoru devredeyken akım ve gerilim eğrileri	46
Şekil 4.15 M1+M2+M3+M4 motoru devredeyken akım ve gerilim eğrileri.....	46
Şekil 4.16 M1 motoru devredeyken akımdaki harmonikler (THD=% 36.4)	47
Şekil 4.17 M1+M2 motoru devredeyken akımdaki harmonikler (THD=% 38.9)	47
Şekil 4.18 M1+M2+M3 motoru devredeyken akımdaki harmonikler (THD=% 37)	48
Şekil 4.19 M1+M2+M3+M4 motoru devredeyken akımdaki harmonikler (THD=% 33.2)	48

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1 Sistemin genel görünümü	25
Resim 4.2 Yük olarak kullanılan asenkron motorlar	26
Resim 4.3 Kondansatör grupları	27
Resim 4.4 Sistem parametrelerini okumak için hazırlanan kartlar	29
Resim 4.5 PLC düzeneği.....	31
Resim 4.6 Kontaktör grupları.....	33

1. GİRİŞ

Elektrik güç sistemlerinde yükler genellikle endüktif karakterde olduklarından şebekeden aktif gücün yanında geri reaktif güç de çekerler. Aktif güç yük tarafından mekanik, ışık, ısı gibi enerjilere dönüştürülerek kullanılır. Reaktif güç ise iş görmeyen güçtür, gereksiz yere santrali ve hattı yükler. Fakat motorlarda döner alanın, transformatörlerde manyetik alanın oluşturulabilmesi için reaktif güç zorunludur. İletim ve dağıtım sistemlerinden daha fazla aktif güç iletebilmek için, gerekli reaktif gücü ihtiyaç duyulan yerde elde etmek en iyi yöntemdir. Üretilen enerjinin verimli bir şekilde iletilmesi ve tüketilmesi için en uygun olanı, reaktif gücün santralde değil de, tüketildiği yerde üretilmesidir. Tüketicilerin normal olarak şebekeden çektikleri endüktif (geri) reaktif gücün, kapasitif (ileri) reaktif güç çekmek suretiyle özel bir reaktif güç üreticisi tarafından dengelenerek, güç katsayısının ($\cos\phi$) 1'e yaklaştırılması olayına reaktif güç kompanzasyonu adı verilir (RGK) [1, 2]. İleri reaktif güç kondansatörlerden veya senkron makinelerden sağlanmaktadır. RGK'nun yapılabilmesi için sistemin güç katsayısının mutlaka bilinmesi ve sürekli olarak izlenmesi gereklidir. Güç katsayısının düzeltilmesi elektrik tesislerinde aşağıda belirtilen yararları sağlar:

- Alternatörlerin, enerji nakil hatlarının ve transformatörlerin yükleri azalır. Bu da yeni yükler için imkan sağlar.
- Hatlardaki toplam gerilim düşümü azalır.
- Tesisteki toplam kayıplar azalır.
- Kayıplar en küçük değere indirildiği için, küçük güçlü transformatörler seçilebilir, küçük akım değerli devre açıcı elemanları kullanılabilir, tesisin kablo ve iletken kesitleri daha küçük seçilerek toplam tesis maliyeti azalır.
- Ayrıca reaktif güç kompanzasyonu, tüketiciler açısından enerji tasarrufunun yanı sıra yapılması gereken bir zorunluluktur. Ülkemizde uygulanan yönetmelikle, bağlantı gücü 50 kVA altında olan tüketiciler şebekeden çektikleri aktif gücün %33'ü kadar endüktif reaktif güç, %20'si kadar kapasitif reaktif güç ve bağlantı gücü 50 kVA üstünde olan tüketiciler çektikleri aktif gücün %20'si kadar

endüktif reaktif güç, %15'i kadar kapasitif reaktif güç çekmekle sınırlandırılmışlardır [3]. Bu sınırın dışında olan kullanıcılar çektikleri reaktif güç bedelini ödemekle yükümlüdür.

Yapılan RGK çalışmalarında güvenilirliği, verimliliği ve değişik çalışma koşullarında sistemin kararlılığını sağlayabilmek için yeni kontrol teknikleri geliştirilmektedir [4-7]. Bu kontrol teknikleri kullanılırken reaktif güç farklı yöntemlerle üretilmektedir.

Reaktif güç aşağıda belirtilen yöntemlerle üretilir [8-10]:

- Santral ünitelerinde reaktif güç üretimi; senkron generatörün uyarım akımı ayarlanarak dış devreye verdikleri reaktif güç şebeke ihtiyacına göre endüktif veya kapasitif özellikte olabilir.
- Senkron motorlarla reaktif güç üretimi; senkron motorların uyarım akımlarının ayarlanarak motorun kapasitif veya endüktif olarak çalıştırılması sağlanabilmektedir. Eğer senkron motor tesiste herhangi bir başka amaç için kullanılmıyorsa, sadece dinamik güç kompanzatörü olarak kullanılması uygun değildir [11-13].
- Kondansatörler, reaktif gücün üretildiği yerde karşılanabilmesi için kullanılan elemanlardır. Hareketli parçası olmadığı için statik kompanzasyon elemanları olarak ifade edilebilir [14, 15]. Senkron motorlara oranla üstünlükleri çoktur. Bakım masrafları yoktur, verimleri yüksektir. Kondansatörler günümüzde en yaygın olarak kullanılan reaktif güç kompanzasyonu elemanlarıdır.

Yukarıda sayılan RGK tekniklerinden başka, güç elektroniği elemanları kullanılarak yapılan statik reaktif güç kompanzasyon sistemlerinden bazıları şöyle sıralanabilir [16, 17].

- Tristör anahtarlamalı kapasitörler (TAK)
- Tristör kontrollü reaktörler (TKR)

- Tristör kontrollü transformatörler (TKT)
- Şönt kapasitörlü, tristör kontrollü reaktörler

Literatürde güç katsayısının ölçülmesi ve reaktif güç kompanzasyonu için farklı yöntemler önerilmiştir. Kaplan, mikrodnetleyici tabanlı bir reaktif güç rölesi geliştirerek sistemin reaktif güç ihtiyacını kondansatörler yardımıyla karşılamıştır [9]. Alper, tasarladığı bir gerilim kaynaklı evirici yardımıyla sistemin reaktif güç ihtiyacı ile birlikte harmonik ölçümlerini gerçekleştirerek harmoniklerin eliminasyonunu sağlamıştır. Ancak bu sistemin denetiminin karmaşık olması ve ilave güç modüllerine ihtiyaç duyulması sistemin dezavantajı olarak görülmektedir [18]. Kassas ve ark. yaptığı çalışmada PLC tabanlı bir reaktif güç kompanzasyonu gerçekleştirilerek bir laboratuvar modeli geliştirilmiştir [19]. Dixon ve diğerlerinin reaktif güç kompanzasyonu teknolojilerindeki gelişmeler üzerine hazırladıkları çalışmada tristörlerle ve kendinden kuplajlı konvertörlerle uygulanan VAR kompensatörlerinin işletim prensipleri, dizayn karakteristikleri ve uygulama örnekleri sunulmaktadır [20]. Bunlara ilaveten mesleki ve teknik eğitim alanında reaktif güç kompanzasyonunu daha etkili öğretmeyi amaçlayan benzetim programı tasarlanmıştır [21]. El-Habrouk ve ark. aktif güç filtreleri ile reaktif güç kompanzasyon teknikleri hakkında bir çalışma yapmışlardır. Gösterilen farklı algoritmalar ile güç kalitesi problemleri üzerine çalışanlara rehberlik etmeyi amaçlamıştır [22]. Abut yaptığı çalışmada güç elektroniği devreleriyle kontrol edilen statik kompanzasyon yöntemlerinin sabit kondansatörlerle yapılan RGK'na üstünlüklerini göstermiştir [23]. Kakilli ve ark. güç sistemlerinde oluşan harmoniklerin kompanzasyon sistemlerine etkilerini incelemiştir [24]. Ayrıca, enerji kalitesini izlemek için gerilim dalgalanmaları, enerji tüketimleri, güç faktörü, frekans ve akımdaki değişimler işletmeler için zorunlu hale gelmiştir. Gün içinde farklı enerji tüketim değerleri, işletme için üretim ve tüketim maliyetlerini hesaplamada önemli bir etken teşkil etmektedir. Bu konularla ilgili olarak literatürde, ihtiyaca göre çok farklı talepler karşısında farklı enerji izleme çalışmalarının yapıldığı görülmektedir. Livshitz ve ark. [25] çalışmalarında güç sistemlerinde enerji altında çalışan kesici ve ayırıcı gibi elemanların sıcaklıklarını kablosuz olarak kurdukları bir enerji sistemi ile

takip etmekte, elemanlar arasındaki koordinasyonu sağlamakta, elemanların kontak durumları ve üzerinde oluşabilecek bir arızayı tespit etmektedirler. Yapılan çalışma ile enerji tesisinin yönetilmesi kesici ve ayırıcıların durumlarının gözlenmesi, bir arızaya sebebiyet vermeden tesis için daha güçlü bir enerji yönetimi olanağı sağlanmıştır. Diğer bir çalışmada Dash ve ark. [26] şebekedeki harmonik bozulmaları ve şebeke güç kalitesi tahmininde yapay sinir ağları tabanlı adaptif bir yaklaşım sunmuşlardır. Laboratuvar test sonuçları geliştirilen algoritmanın başarılı olduğunu göstermiştir. Jenkins ve ark. Tarafından [27] buhar türbinli generatörün anlık çalışma koşullarının iki ayrı PC üzerinden izlenmesi gerçekleştirilmiştir. Dorhofer ve ark. [28] çalışmalarında bir işletmedeki verimliliği artırmak için veri toplama ve anlık verileri değerlendirme sistemi kurmuşlardır. Böylece elde edilen veriler incelenerek enerji yönetim ve ileriye yönelik yatırımlarda kullanılabilecek bilgiler elde edilmiştir. Elektrik dağıtım şirketleri işletmelerin düşük güç faktörleri için değişik oranlarda tarifeler ve cezalar uygulamaktadır. Bu nedenle işletmeler ödenen reaktif güç bedelini azaltmak ve cezalardan sakınmak için elektriğin verimli bir şekilde kullanılmasına önem vermektedirler. Yao ve ark. [29] elektrik sistemlerinin izlenmesi ve kontrolünü otomatik olarak sağlayan ve elektrik santrallerinde kaybı en aza indirip, verimliliği artıracak uygun değerlerde güç katsayısı elde eden PC ve açık modüler kontrollü, uygun maliyetli bir sistem tasarlamıştır. Son yıllarda bir çok endüstriyel işletmede, binalarda, okullarda, mağazalarda ve alışveriş merkezlerinde enerji izleme sistemleri kullanılmaktadır. Enerji izleme sistemleri evlerde de kullanılmaya başlanmıştır [30, 31]. Elektrik enerjisi, temel enerji kaynaklarından ve ülkelerin sosyal ve ekonomik düzeyini etkileyen faktörler arasındadır. Elektrik enerjisinin üretilmesi, taşınması, kullanımı enerjinin izlenmesini gerekli kılmaktadır [32-34].

Yukarıda verilen literatür incelendiğinde özetle ihtiyaca göre çok farklı talepler karşısında farklı izleme çalışmalarının yapıldığı görülmüştür. Fakat PLC'nin kullanıldığı ve reaktif güç kompanzasyonu sisteminin izlendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Yapılan bu tezde; programlanabilir lojik kontrolör (PLC) aracılığıyla, birden fazla alıcının farklı zamanlarda devrede olduğu bir sistemin reaktif güç kompanzasyonu gerçekleştirilmiştir. Reaktif güç tüketicisi olarak dört adet asenkron motor PLC kontrollü sisteme alınıp çıkartılmış, aynı zamanda güç sistemine ait akım, gerilim parametreleri PLC’de işlenerek güç katsayısı hesaplama, sistemin ihtiyacı olan kondansatör gücünü devreye alma/çıkarma yapılan yazılım ile otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Bunlara ilaveten hazırlanan sistem motorun faz sırası kontrolü, aşırı akım-yüksek gerilim-düşük gerilim gibi tehlike arz eden durumlarda motoru koruma uygulaması yapılabilmektedir. Geliştirilen bilgisayar arayüzü sayesinde motorların çalışması, durdurulması ve tüm sisteme ait parametreler bilgisayar üzerinden yapılabilmektedir. Bu sayede sistemin uzaktan kontrolü ve izlenmesi gerçek zamanlı olarak yapılabilmektedir.

Tez beş bölümden meydana gelmiştir. Tezin ikinci bölümünde reaktif güç kompanzasyonu hakkında bilgiler verilerek reaktif güç kompanzasyonunun çeşitleri açıklanmıştır. Üçüncü bölümde PLC’ler hakkında bilgi verilerek temel programlama mantığı üzerinde durulmuştur. Dördüncü bölümde ise üç fazlı asenkron motorun reaktif güç kompanzasyonu için hazırlanan sistem tanıtılmıştır. Burada; ölçme kartı, PLC ve çevre birimleri ve hazırlanan bilgisayar arayüz programı hakkında detaylı bir inceleme yapılmıştır. Ayrıca değişik yüklerde güç sisteminden ölçümler alınarak, deneysel sonuçları verilmiştir. Beşinci bölüm olan sonuç ve öneriler bölümünde ise gerçekleştirilen sistemden elde edilen sonuçlar açıklanmış ve bu sonuçlara göre öneriler sunulmuştur.

2. REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU

2.1. Reaktif Güç ve Güç Katsayısı

Omik yüklerin dışındaki alternatif akım (AA) yüklerin çoğu hem omik hem de endüktif özelliktedirler. Dolayısıyla bu yükler şebekeden görünür güç (S) çekerler. Görünür güç iki bileşenden meydana gelir. Bunlardan birinci bileşen aktif güçtür (P). Tesislerde yüklerin ihtiyaç duyduğu güç bu bileşen tarafından karşılanır ve alıcılar tarafından faydalı hale getirilir. Örneğin motorlarda mekanik güce, ısı tüketicilerinde termik güce ve aydınlatma tüketicilerinde aydınlatma gücüne dönüşür. İkinci bileşen ise reaktif güçtür (Q). Reaktif güç alıcılar tarafından faydalı hale çevrilemez, yalnız alternatif akımın meydana getirdiği bir özellik olup elektrik tesislerine istenmeyen bir şekilde tesir eder. Generatörleri, enerji nakil hatlarını ve transformatörleri gereksiz yere yükler [2, 35]. Ayrıca çekilebilecek aktif gücün düşmesine neden olur. Reaktif güç, endüktif ve kapasitif olmak üzere iki karakterde olabilir. Bunların arasında 180° fark vardır.

Yükün şebekeden çektiği görünür güç;

$$S = V.I \quad (2.1)$$

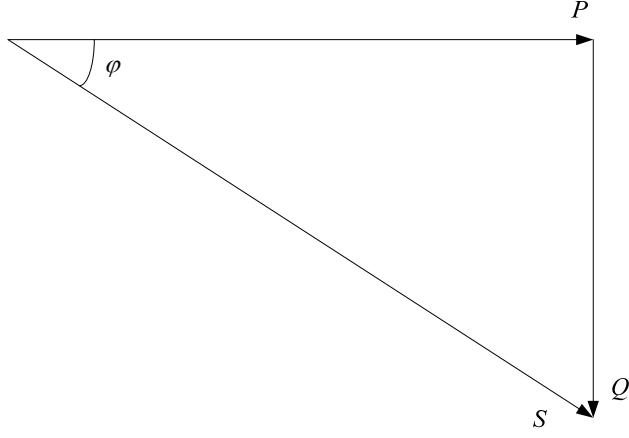
olarak ifade edilir. Burada; V şebeke gerilimini, I çekilen akımı ifade eder.

Şekil 2.1'den anlaşılabacağı üzere, görünür güç ile aktif ve reaktif bileşenleri arasında şu şekilde bir bağıntı vardır;

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

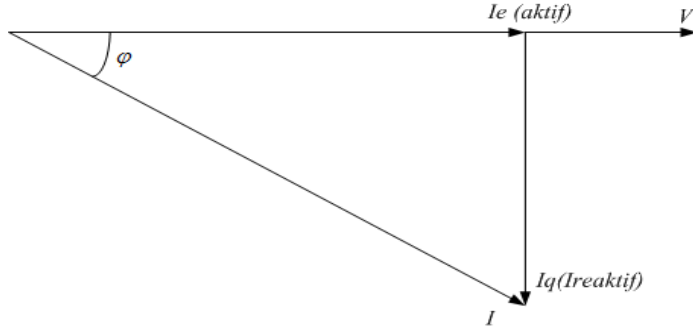
$$Q = S \cdot \sin \varphi \quad (2.3)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.4)$$



Şekil 2.1 Görünür güç ve bileşenlerinin vektörel gösterimi

Görünür güç ve bileşenleri için çıkarılan vektörel gösterim akım için de söz konusudur.



Şekil 2.2 Yük akımı ve bileşenleri

V = Şebeke gerilimi

I = Yük akımı

I_e = Yük akımının aktif bileşeni

I_q = Yük akımının reaktif bileşeni

Şekil 2.2'den;

$$I_e = I \cdot \cos \varphi \quad (2.5)$$

$$I_q = I \cdot \sin \varphi \quad (2.6)$$

$$I = \sqrt{I_e^2 + I_q^2} \quad (2.7)$$

olarak yazılabilir. Ayrıca Şekil 2.2’de, şebeke gerilimi ile yük akımı arasındaki açının kosinüsü bize güç katsayısını verir. Akımların genlikleri güç katsayısına bağlıdır.

2.2. Reaktif Güç Kompanzasyonunun Faydaları

Endüstrileşen dünyada en önemli sorunlardan birisi de enerji ihtiyacıdır. Bu nedenle bir yandan yeni enerji kaynakları aranmakta diğer yandan da mevcut enerji kaynakları maksimum verimle kullanılmaya çalışılmaktadır. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan enerji kaynaklarından biri de elektrik enerjisidir. Dolayısıyla elektrik enerjisinin santrallerde üretilip tüketiciye ulaşana kadar en az kayıpla taşınması büyük önem kazanmıştır [36].

Elektrik enerjisinin verimli bir şekilde kullanılabilmesi için reaktif güç kompanzasyonu gereklidir. Bunu daha iyi anlayabilmek için, 2.1 ile 2.2 ifadeleri birleştirilerek şu şekilde yazılabilir;

$$P = V.I.\cos \varphi \quad (2.8)$$

Eğer 2.8’deki V ile I arasındaki açı büyütülürse, $\cos\varphi$ değeri yani güç katsayısı küçülecektir. Bu duruma paralel olarak şebekeden çekilen aktif güç azalacaktır. Bu açı büyütülmeden önceki aktif güç sabit tutulmak istenirse, I akımının genliği artırılmalıdır. Akımın genliğinin artması şebekenin daha fazla yüklenmesi anlamına gelir. Akım genliğinin artması aynı zamanda φ açısının büyümesi reaktif gücün de artması demektir. Reaktif gücün artması iletim hatlarının fiziksel anlamda işe yaramayan bir güç ile meşgul edilmesi ve hat kesitinin bir kısmının faydasız güce tahsis edilmesi anlamına gelmektedir.

Günümüzde özellikle sanayide endüktif yükler çok fazla kullanılmaktadır. Bu yükler manyetik alan oluşturmak için şebekeden reaktif güç çekerler. Santrallerde üretilen

görünür güç, aktif ve reaktif güç olarak alıcılara beraberce ulaşmaktadır. Bu durumda hatlar kapasitelerinden daha az yük taşırlar ve gereksiz yere kayıplara uğrarlar. Manyetik alan meydana getirmek için ihtiyaç duyulan reaktif gücün santral yerine alıcılara yakın bir yerden senkron makine veya kondansatör tesisleri tarafından karşılanmasıyla, santralden alıcıya kadar bütün hatlar reaktif gücün taşınmasından kurtulmuş olacaktır.

2.3. Reaktif Güç Tüketicileri

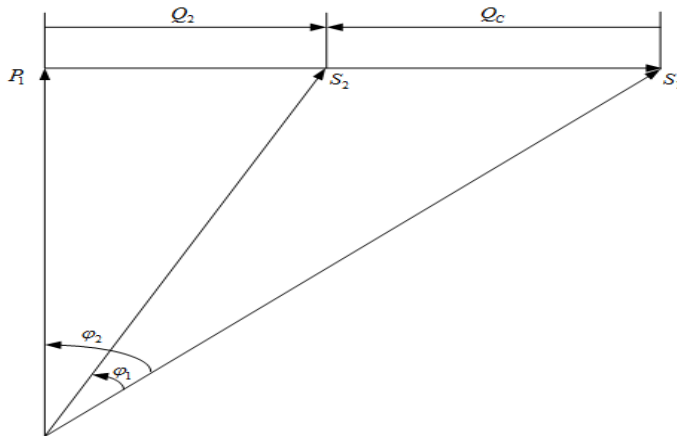
Elektrik tesislerinde kullanılan manyetik veya statik alan ile çalışan bütün yükler aktif güç yanında reaktif güç de çekerler [2, 13]. Bunların başlıcaları şunlardır:

- Düşük uyartımlı senkron makinalar
- Asenkron motorlar
- Bobinler
- Havai hatlar
- Transformatörler
- Redresörler
- Kaynak makinaları
- Endüksiyon fırınları, ark fırınları
- Flouresant lamba, sodyum ve civa buharlı lamba balastları ile neon lamba Transformatörleri

Yukarıda sayılan tüketicilerin şebekeden çektikleri reaktif güç endüktif karakterdedir. Yani şebeke akımı gerilimden geridedir. Bazı özel durumlarda işletme araçları kapasitif karakterde reaktif güç çekerler. Mesela; kondansatörler, boşta çalışan havai hatlar ve kablolar bu duruma örnek olarak gösterilebilir. Böyle durumlarda şebeke akımı geriliminden ileridedir [36]. Bu çalışmada endüstride bir çok uygulamada kullanılan asenkron motorların kompanzasyon çalışması gerçekleştirilmiştir.

2.4. Reaktif Güç Kompanzasyonunda Kondansatör Gücünün Hesabı

Bir tesisin veya tüketicinin reaktif güç ihtiyacını tespit edebilmek için öncelikle tesisin veya tüketicinin şebekeden çektiği görünür güç S_1 , aktif güç P_1 , güç katsayısı $\cos\phi_1$ den her hangi ikisinin bilinmesi gerekmektedir. Kompanzasyon için gerekli kondansatör gücünü hesaplariken tüketicinin iki farklı isteği olabilir. Tüketici, şebekeden çekilen aktif güç değerinin değiştirilmemesini ($P_1=\text{sabit}$) isteyebilir veya tüketici kompanzasyondan önce, kompanzasyon öncesi ile sonrasındaki görünür gücün sabit ($S_1=\text{sabit}$) tutulmasını isteyebilir [36]. Bu iki yöntemle ait fazör diyagramları, Şekil 2.3 ve Şekil 2.4’de verilmiştir. Şekillerde kompanzasyon yapılmadan önceki ilk durumda büyüklükler 1 indisiyle, kompanzasyondan sonrakiler 2 indisiyle gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Aktif güç sabit iken reaktif güç ihtiyacının tespiti

Şekil 2.3’de kompanzasyondan önceki reaktif güç;

$$Q_1 = P \cdot \tan \phi_1 \quad (2.9)$$

Kompanzasyondan sonraki reaktif güç ise;

$$Q_2 = P \cdot \tan \phi_2 \quad (2.10)$$

Buna göre kondansatör gücü;

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (2.11)$$

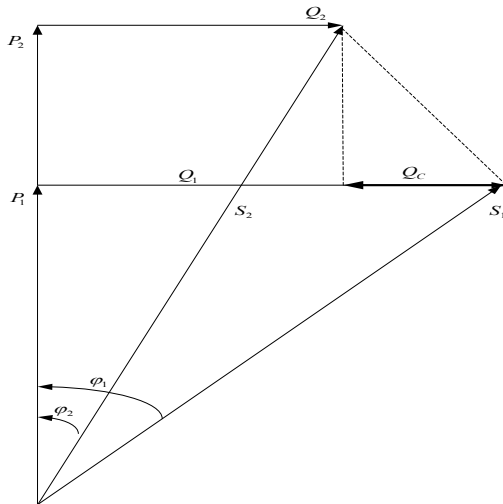
olarak elde edilir. Bu ifadede tanjantların farkı;

$$\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2 = k \quad (2.12)$$

gibi bir katsayıyla gösterilirse, kondansatör gücü;

$$Q_c = k.P \quad (2.13)$$

olarak bulunur. Buradaki tanjantların farkı olan katsayıyı bulmak için özel çizelgeler hazırlanmıştır. Çizelge 2.1’de mevcut güç katsayısı ile istenilen güç katsayısından faydalanarak ‘k’ katsayısı elde edilmiştir. Bu çizelgede dikey eksen mevcut güç katsayısını, yatay eksen ise istenilen güç katsayısını gösterir. ‘k’ faktörü iki eksenin kesişim noktası olan değerdir.



Şekil 2.4 Görünür güç sabit iken reaktif güç ihtiyacının tespiti.

Çizelge 2.1 “k” faktörü cetveli

İSTENİLEN GÜÇ KATSAYISI											
		Cosφ2	0.85	0.86	0.87	0.88	0.90	0.92	0.95	0.96	0.98
		Tanφ2	0.62	0.59	0.57	0.53	0.58	0.43	0.33	0.29	0.20
MEVCUT GÜÇ KATSAYISI	Cosφ1	Tanφ1	“k” FAKTÖRÜ								
	0.50	1.73	1.11	0.14	1.16	1.20	1.25	1.30	1.40	1.44	1.53
	0.52	1.64	1.02	1.05	1.07	1.11	1.16	1.21	1.31	1.35	1.44
	0.54	1.56	0.94	0.97	0.99	1.03	1.08	1.13	1.23	1.27	1.36
	0.56	1.48	0.86	0.89	0.91	0.95	1.00	1.05	1.15	1.19	1.28
	0.58	1.41	0.79	0.82	0.84	0.88	0.93	0.98	1.08	1.12	1.21
	0.60	1.33	0.71	0.74	0.76	0.80	0.85	0.90	1.00	1.04	1.13
	0.62	1.27	0.65	0.68	0.70	0.74	0.79	0.84	0.94	0.98	1.07
	0.64	1.20	0.58	0.61	0.63	0.67	0.72	0.77	0.87	0.91	1.00
	0.66	1.14	0.52	0.55	0.57	0.61	0.66	0.71	0.81	0.85	0.94
	0.68	1.08	0.46	0.49	0.51	0.55	0.60	0.65	0.75	0.79	0.88
	0.70	1.02	0.40	0.43	0.45	0.49	0.54	0.59	0.69	0.73	0.82
	0.72	0.96	0.34	0.37	0.39	0.43	0.48	0.53	0.63	0.67	0.76
	0.74	0.91	0.29	0.32	0.34	0.38	0.43	0.48	0.58	0.62	0.71
	0.76	0.86	0.24	0.27	0.29	0.33	0.38	0.43	0.53	0.57	0.66
	0.78	0.80	0.18	0.21	0.23	0.27	0.32	0.37	0.47	0.51	0.60
	0.80	0.75	0.13	0.16	0.18	0.22	0.27	0.32	0.42	0.46	0.55
	0.82	0.70	0.08	0.11	0.13	0.17	0.22	0.27	0.37	0.41	0.50
	0.84	0.65	0.03	0.06	0.08	0.12	0.17	0.22	0.32	0.36	0.45
	0.86	0.59			0.02	0.06	0.11	0.16	0.26	0.30	0.39
	0.88	0.54					0.06	0.11	0.21	0.25	0.34
	0.90	0.48						0.06	0.15	0.19	0.28

2.5. Kompanzasyon Çeşitleri

Uygulamada bireysel, grup ve merkezi kompanzasyon olmak üzere üç çeşit reaktif güç kompanzasyonuna rastlamak mümkündür. Bu bölümde kompanzasyon çeşitleri hakkında detaylı bilgi verilecektir.

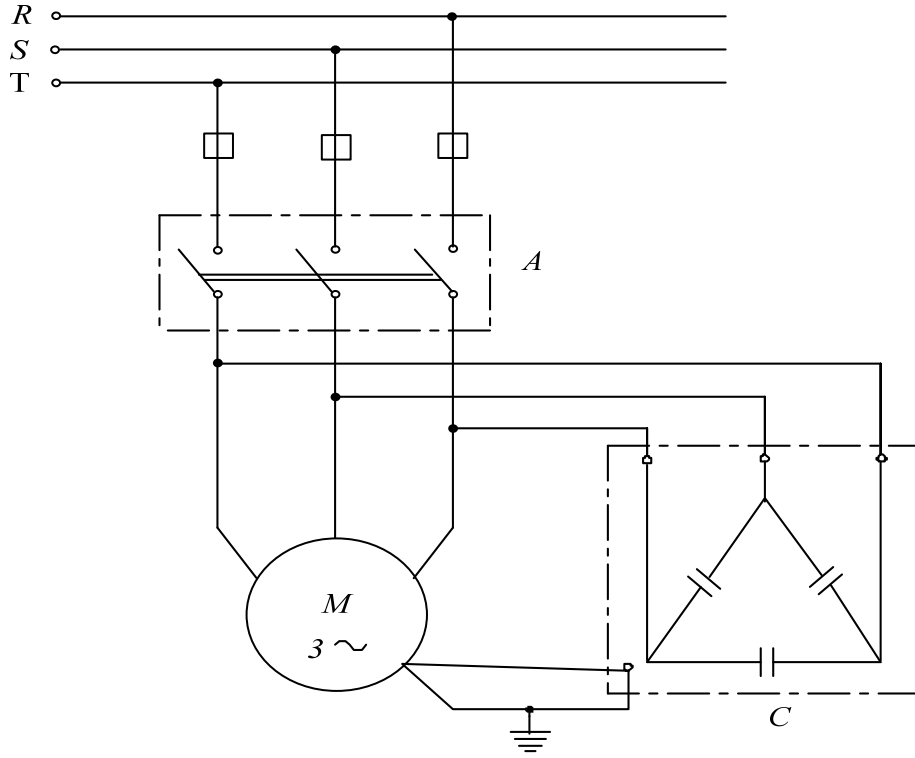
2.5.1. Bireysel kompanzasyon

Bu tip kompanzasyonda motor, transformatör ve balast ile çalışan lambaların reaktif güç ihtiyacını sağlamak için kondansatör alıcının uçlarına paralel olarak bağlanır.

Kondansatörler, alıcılarla beraber devreye girip çıktığından şalter, sigorta ve deşarj direnci kullanılmaz. Bu tip kompanzasyon balast ile çalışan lambalar ile sık sık devreye girip çıkmayan sabit yüklü büyük güçlü motor devrelerinde kullanılır. Motor devresine bağlanacak kondansatör gücünün uygun seçilmesi gerekir. Motor devreden çıktığında aşırı kompanzasyon, motorların kendi kendine uyarılmasına neden olabilir.

Yıldız-Üçgen (λ/Δ) şalterlerle yol verilen asenkron motorlara, kondansatörler stator sargıları uçlarına paralel bağlanır. Yıldızdan üçgene geçme esnasında şarjlı olan kondansatörler kısa bir süre şebekeden ayrılır ve fazlar ters olarak tekrar şebekeye bağlanırlar. Bu durum darbe akımlarını meydana getirir. Motor şebekeden ayrıldığı anda kinetik enerji ile dönmeye devam eder. Kondansatör tarafından uyarılır ve bir süre generatör olarak çalışma devam eder. Bu durumda sargıları yıldız bağlı motor ucunda çalışma geriliminin iki katı bir gerilim indüklenir.

Bu sakıncaları nedeni ile kondansatörlerin stator sargıları uçlarına direkt bağlantıları, gücü 25 kW'a kadar motorlarda kullanılabilir. Daha büyük güçteki motorlar için motor üçgene geçtikten sonra kondansatörler ayrı bir şalter üzerinden motor sargılarına paralel bağlanır.



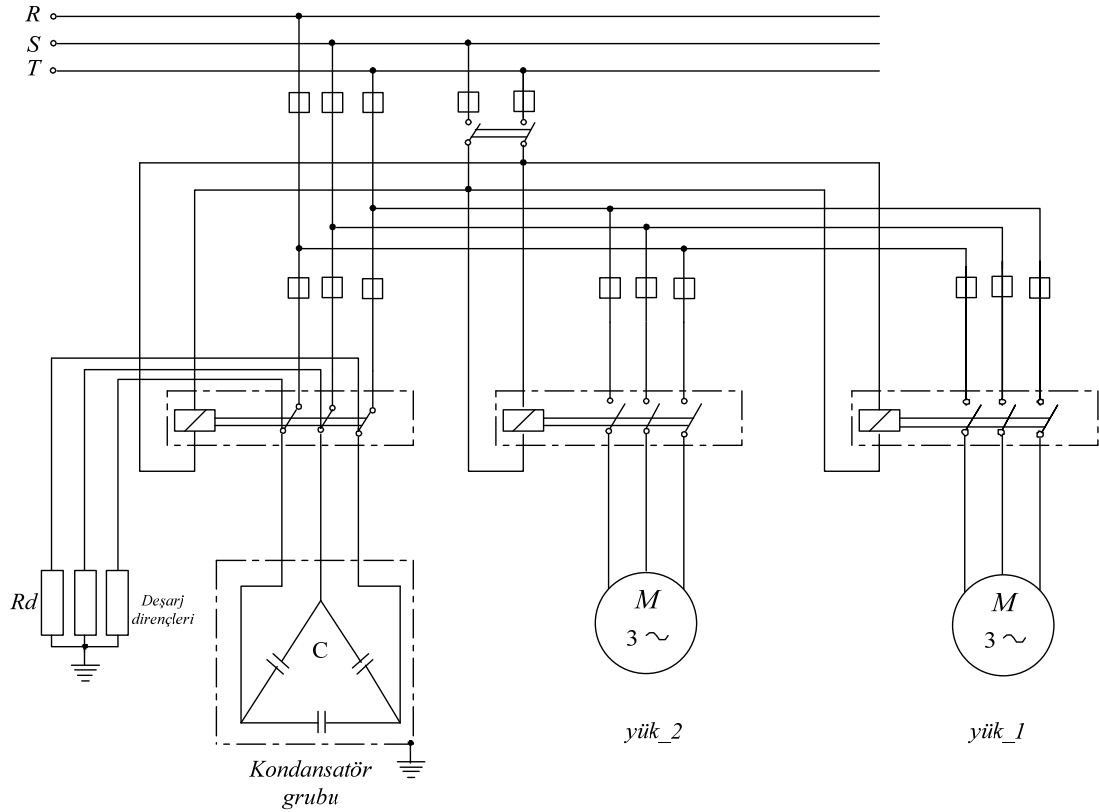
Şekil 2.5 Üç fazlı bir asenkron motorun bireysel kompanzasyonu

2.5.2. Grup kompanzasyon

Bir tesiste birden çok tüketicinin bulunması ve bu tüketicilerin devrelerine ayrı ayrı kondansatörler bağlanması yerine ortak bir kompanzasyon tesisi tarafından beslenmesi daha kolay ve ekonomik sonuçlar verir. Böyle tesislere de grup kompanzasyonu denir.

Beraber ve aynı kontaktör (şalter) ile devreye alınan motorlar, lambalar ve transformatörler grup olarak kompanze edilebilirler. Böyle bir tesiste sigorta ve deşarj dirençlerine gerek duyulmaz.

Grup kompanzasyonunda her tüketici ayrı ayrı kontaktörle fakat tüketici kontaklarıyla paralel girilebilecek şekilde bağlamak gerekir. Bu durumda ayrıca gecikmeli sigortalar ve deşarj dirençleri kullanılır.



Şekil 2.6 Grup kompanzasyonu

2.5.3. Merkezi kompanzasyon

Grup kompanzasyonun geliştirilmesi ile elde edilir. Alıcı sayısının fazla ve alıcıların değişik zamanlarda devreye girdiği yerlerde tercih edilir. Bu nedenle kondansatör gücü, değişken kompanzasyon gücüne ayak uydurabilmesi için merkezi kompanzasyonda bir ayar düzeni bulunur. Bu sayede düşük ve aşırı kompanzasyondan korunmak mümkün olur [37].

Şebekeye bağlı çok sayıda motor veya endüktif güç çeken alıcı bulunuyor ve bunlar değişik zamanlarda devreye girip çıkıyorlarsa, çekilen gücün durumuna göre ayarlı kompanzasyon, merkezi kompanzasyon şekliyle sağlanabilir. Kademeli olarak devreye kondansatör girip çıkması az salınımlı gerilim darbeleri yaratır. Bu sistemin projelendirilmesi ve hesaplanması kolaydır. Kurulu tesislere bağlanması sorunsuz olup, kısa sürede montaj ve işletmeye almak mümkündür. Kullanılan elektronik

reaktif güç rölesi vasıtasıyla, her yüke uygun bir kompanzasyon tesisinin devreye girmesini sağlar [8, 38].

Otomatik olarak ayarlanması istenen kondansatör bataryaları, çeşitli sayıda ve birimde yapılmış olup kontrol kademeli bağlama ile gerçekleşir. Reaktif güç ihtiyacındaki dalgalanmalara yaklaşmak için kaba bir kontrol yeterlidir.

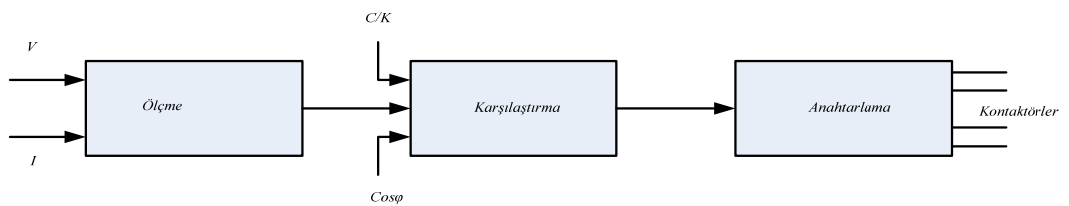
Merkezi kompanzasyon tesislerini denetleyen ve alıcının reaktif güç ihtiyacını tespit ederek buna göre kondansatörleri devreye sokan veya devreden çıkaran reaktif güç rölesidir.

2.6. Reaktif Güç Rölesi ve Çalışma Prensibi

Reaktif güç rölesi, şönt kapasitörlerle otomatik reaktif güç kompanzasyon sistemlerinde, çeşitli yük durumlarında gerekli sayıda kondansatör gurubunu devrede bulundurarak, güç katsayısını ayar edilen değerde tutmaktadır [38, 39].

Reaktif güç kontrol rölesi üzerinde dijital $\cos\phi$ metre bulunur. Bu sayede röle üzerinden kompanze edilen sistemin güç katsayısı izlenir. Reaktif güç rölesinin anahtarlama mantığı kondansatörlerin gereksiz yere devreye girip çıkmasını önleyecek şekilde geliştirilmiştir. Sahip olduğu aşırı gerilim ve düşük gerilim koruma üniteleri sayesinde kompanzasyon, sistemi anormal işletme koşullarına karşı korumaktadır.

Reaktif güç rölesi üç ana bölümden oluşur ve her bölüme verilen ve alınan sinyaller Şekil 2.7'deki gibidir [38].



Şekil 2.7 Reaktif güç rölesinin temel bölümleri

3. PROGRAMLANABİLİR LOJİK KONTROL SİSTEMLERİ

3.1. Giriş

Endüstriyel uygulamaların her dalında yapılan genel amaçlı kumanda ve otomasyon çalışmalarının bir sonucu olan PLC tekniği, kullanıcılara A'dan Z'ye her türlü çözümü getiren komple bir teknoloji alt grubudur.

Endüstriyel kontrolün gelişimi PLC'lerin gerçek yerini belirlemiştir. İlk önce analog kontrolle başlayan, elektronik kontrol sistemleri zamanla yetersiz kalınca, çözüm analog bilgisayar adını verebileceğimiz sistemlerden, sayısal kökenli sistemlere geçmiştir. Sayısal sistemlerin zamanla daha hızlanması ve birçok fonksiyonu, çok küçük bir hacimle dahi yapılabilmeleri onları daha da aktif kılmıştır. Fakat esas gelişim, programlanabilir dijital sistemlerin ortaya çıkması ve mikro işlemcili kontrolün aktif kullanıma geçirilmesinin bir sonucudur. Mikro işlemcili kontrolün, mikro işlemci tabanlı komple sistemlere yerini bırakmak zorunda kalması, Z80 ile aylarca süren tasarlama süresinin yanında, baskı devre yaptırmak zorunda kalınması ve en küçük değişikliğin bile ağır bir yük olmasının sonucudur. İşte bu noktada PLC'ler hayatımıza girmeye başlamıştır.

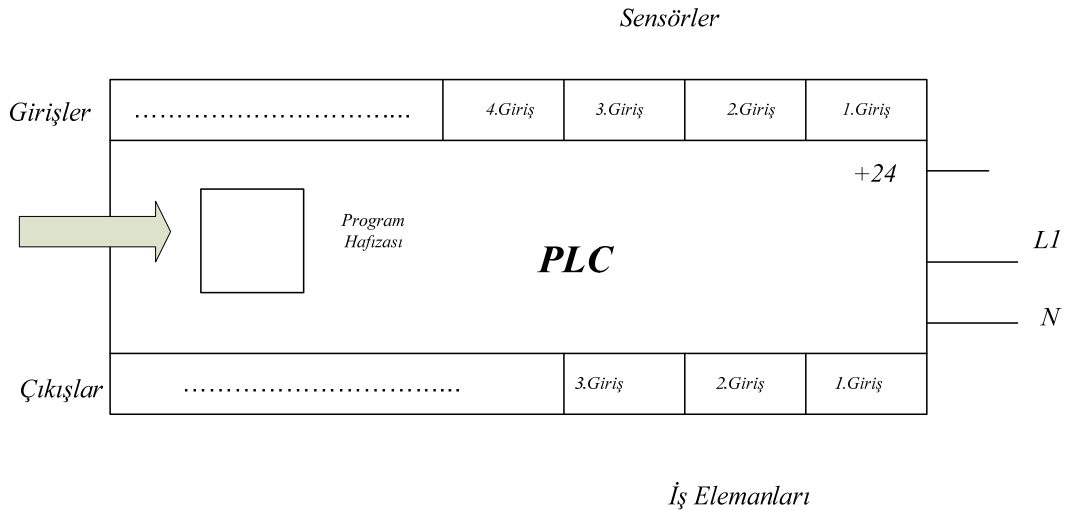
Programlanabilir lojik kontrolörlerin çıkışı 60'lı yılların sonu ile 70'li yılların başlarına dayanır. İlk kumanda kontrolörleri bağlantı programlamalı cihazlardı. Bu cihazların fonksiyonları, lojik modüllerin birbirine bağlantı yapılarak birleştirilmesi ile gerçekleştiriliyordu. Bu cihazlarla çalışmak hem zordu, hem de kullanım ve programlama olanakları sınırlıydı. Bugünkü PLC'ler ile karşılaştırıldığında son derece basit cihazlardı. PLC'lerin ortaya çıkarılma amacı, röleli kumanda sistemlerinin gerçekleştirdiği fonksiyonların mikro işlemcili kontrol sistemleri ile yerine getirilebilmesidir. Lojik temelli röle sistemlerine alternatif olarak dizayn edildiklerinden Programlanabilir Lojik Kontrolör (*Programmable Logic Controller*) adı verilmiştir [40].

İlerleyen zaman içinde çeşitli firmalar muhtelif kapasitelerde PLC'ler üretmişlerdir. Bu firmalar arasında Mitsubishi, Toshiba gibi firmalar küçük tipte, kapasite bakımından alt ve orta sınıf PLC'ler üretmişlerdir. Siemens, Omron, Allen-Bradley, General Electric, Westinghouse gibi firmalar da PLC sistemlerini daha geniş bir tabana yayarak alt, orta ve üst sınıflarda PLC'ler üretmişlerdir [40].

3.2. PLC

Günümüzde endüstride hemen hemen her alanda el değmeden eğitim sürecine girilmiştir. El değmeden gerçekleştirilen üretimlerde PLC'ler kullanılmaktadır. PLC “*Programlanabilir Lojik Kontrolör*” İngilizce kelimelerinin baş harflerinin alınarak kısaltılması ile oluşur.

PLC bir bilgisayara benzetilirse; girişlerinde mouse ve klavye yerine basit giriş bağlantıları vardır. Yine çıkışlarında ekran yerine basit çıkış bağlantıları vardır. Girişlere bağlanan elemanlara sensör, çıkışlara bağlanan elemanlara da iş elemanı denir.



Şekil 3.1 PLC genel blok şeması

Üstteki şekildeki blok diyagramda gösterildiği gibi PLC sensörlerden aldığı bilgiyi kendine göre işleyen ve iş elemanlarına göre aktaran bir mikroişlemci sistemidir. Sensörlere örnek olarak, herhangi bir metali algılayan endüktif sensör, PLC girişine

uygun gerilim vermede kullanılan buton ve anahtarlar verilebilir. İş elemanları için PLC çıkışından alınan gerilimi kullanan kontaktörler, bir cismi itme veya çekmede kullanılan pnömatik silindirleri süren elektro-valfler, lambalar uygun örneklerdir [41].

3.3. PLC Sistemlerinin Avantajları

PLC'lerin, daha önce kullanılan klasik sistemler ile karşılaştırıldığında bir çok avantajı vardır. Eski sistemlerin getirdiği birtakım zorluklar bugün PLC'lerin yaygınlaşması ile aşılmıştır. PLC sistemleri önceki sistemlere göre daha az yer kaplamaktadır. Dolayısıyla kontrol sisteminin yer aldığı dolap ya da pano boyutları oldukça küçülmektedir. Sınırlı alanlarda kontrol mekanizmasının kurulması imkanı ortaya çıkmıştır. Sistem için sarf edilen kablo maliyetleri nispeten daha azalmıştır. Ayrıca PLC sisteminin kurulmasının kolay olması ve kullanıcıya, kurulu hazır bir sistemin üzerinde değişiklik ve ilaveleri kolayca yapabilme esnekliğinin sağlanması, PLC'lerin giderek yaygınlaşmasına ve endüstride her geçen gün daha fazla kullanılmalarına neden olmuştur. Bu avantajlar ile proje maliyetleri de azaltılarak, proje mühendislerine de ticari açıdan büyük faydalar sağlamıştır.

3.3.1. PLC ile röleli sistemlerin karşılaştırılması

- PLC ile daha üst seviyede otomasyon sağlanır.
- Az sayıda denetim yapılan durumlarda tesis yatırımı PLC' de daha fazladır.
- PLC'li sistem daha uzun süre bakımsız çalışır ve ortalama bakım onarım süresi (MTTR-Mean Time To Repair) daha azdır.
- Arızalar arası ortalama süre (MTBF-Mean Time Between Failures) PLC'li sistem için 8000 saatten daha fazladır.
- Teknik gereksinimler değişip arttıkça PLC'li sistem az bir değişiklikle ya da hiçbir değişikliğe gereksinim duyulmadan yeniliğe adapte edilebilirken röleli sistemde bu oldukça zordur.

PLC'ler daha az bir yer kaplar ve enerji harcarlar [42].

3.3.2 PLC'ler ile bilgisayarlı kontrol sistemlerinin karşılaştırılması

Özet olarak PLC ile PC hakkında şunlar söylenebilir:

- PLC'li sistem endüstriyel ortamdaki yüksek düzeydeki elektriksel gürültü elektromanyetik parazitler, mekanik titreşimler, yüksek sıcaklıklar gibi olumsuz koşullar altında çalışabilir.
- PLC'lerin yazılım ve donanımları o tesisin elemanlarınca kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Teşhis yazılarıyla hatalar kolayca bulunabilir. Yazılım, alışagelmiş röle sistemleri ile yapılabilir.
- Bilgisayarlar birden fazla programı değişik sıralarla esnek bir şekilde gerçekleştirirken, PLC'ler tek bir programı sıralı bir şekilde baştan sona gerçekleştirir.
- Ayrıca PC tabanlı sistemin, güncel teknolojiye yeni özelliklere adapte olabilmesi açısından kullanım süresi daha kısadır.

3.4. PLC Kullanım Amacı

Genel olarak PLC, endüstri alanında kullanılmak üzere tasarlanmış, dijital prensiplere göre yazılan fonksiyonu gerçekleyen, bir sistemi ya da sistem gruplarını, giriş çıkış kartları ile denetleyen, içinde barındırdığı zamanlama, sayma, saklama ve aritmetik işlem fonksiyonları ile genel kontrol sağlayan elektronik bir cihazdır. Aritmetik işlem yetenekleri PLC'lere daha sonradan eklenerek bu cihazların geri beslemeli kontrol sistemlerinde de kullanılabilmesi sağlanmıştır.

3.4.1. Genel kullanım amacı

PLC sistemi sahada meydana gelen fiziksel olayları, değişimleri ve hareketleri çeşitli ölçüm cihazları ile belirleyerek, gelen bilgileri yazılan kullanıcı programına göre bir değerlendirmeye tabi tutar. Mantıksal işlemler sonucu ortaya çıkan sonuçları da kumanda ettiği elemanlar aracılığıyla sahaya yansıtır. Sahadan gelen bilgiler ortamda

meydana gelen aksiyonların elektriksel sinyallere dönüşmüş halidir. Bu bilgiler analog ya da dijital olabilir. Bu sinyaller bir algılayıcıdan, bir kontaktöre yardımcı kontağından gelebilir. Gelen bilgi analog ise, gelen değerin belli bir aralığı için, dijital ise sinyalin olması ya da olmamasına göre sorgulama yapılabilir. Bu hissetme olayları giriş kartları ile, müdahale olayları da çıkış kartları ile yapılır [42, 43].

PLC ile kontrolü yapılacak sistem büyüklük açısından farklılıklar gösterebilir. Sadece bir makine kontrolü yapılabileceği gibi, bir fabrikanın komple kumandası da gerçekleştirilebilir. Aradaki fark sadece kullanılan kontrolörün kapasitesidir. PLC'ler, bugün akla gelebilecek her sektörde yer almaktadır. Kimya sektöründen gıda sektörüne, üretim hatlarından depolama sistemlerine, marketlerden rafinerilere kadar çok geniş bir yelpazede kullanılan PLC'ler, bugün kontrol mühendisliğinde kendilerine haklı bir yer edinmişlerdir. Elektronik sektöründeki hızlı gelişmelere paralel olarak gelişen PLC teknolojisi, gün geçtikçe ilerlemekte otomasyon alanında mühendislere yeni ufuklar açmaktadır. Bu yüzden de her teknikerin yüzeysel bile olsa biraz bilgi sahibi olması gereken bir dal konumuna gelmektedir.

3.4.2. Genel uygulama alanları

Yakın zamana dek PLC'lerin bugünkü kadar yaygın kullanılmamasının 2 nedeni vardır. Mikroişlemcilerin ve ilgili parçaların fiyatlarının oldukça düşmesiyle maliyet verimliliğinin (I/O noktası başına maliyet) artması ve karmaşık hesap ve iletişim görevlerini üstlenme yeteneğinin, PLC'yi daha önce özelleştirilmiş bir bilgisayarın kullanılıyor olduğu yerlerde kullanılabilir hala gelmesidir. PLC uygulamaları iki sınıfta toplanabilir: Genel ve Endüstriyel uygulamalar hem ayrıık hem de proses sanayilerinde mevcuttur. PLC'lerin doğduğu sanayi olan otomotiv, en büyük uygulama alanı olmayı sürdürmektedir. Yiyecek işleme ve hizmetleri gibi sanayilerde şu an dünyada gelişen alanlar arasında PLC'lerin kullanıldığı 4 genel uygulama alanı vardır. Tipik bir kurulum, kontrol sistemi sorununa çözümü, bunların bir ya da daha çoğunu içererek bulunur. Bu dört alan bu bölümde açıklanacaktır.

Sıra (Sequence) kontrol

PLC'lerin en büyük ve en çok kullanılan ve "sıralı çalışma" özelliğiyle röleli sistemlere en yakın olan uygulamasıdır. Uygulama açısından, bağımsız makinalarda ya da makine hatlarında, konveyör ve paketleme makinalarında ve hatta modern asansör denetim sistemlerinde bile kullanılmaktadır.

Hareket kontrolü

Bu doğrusal ve döner hareket denetim sistemlerinin PLC' de tümleştirilmesidir ve servo adım ve hidrolik sürücülerde kullanılabilen tek ya da çok eksenli bir sistem denetimi olabilir. PLC hareket denetimi uygulamaları, sonsuz bir makine çeşitliliği içerir (Örn. metal kesme, metal şekillendirme, montaj makinaları). Şoklu hareket eksenleri ayrık parça ve süreç sanayi uygulamalarında koordine edilebilirler. Bunlara örnek olarak; kartezyen robotlar, film, kauçuk ve dokunmamış kumaş tekstil sistemleri gibi, ağla ilgili süreçler verilebilir.

Süreç denetimi

Bu uygulama PLC'nin birkaç fiziksel parametreyi (sıcaklık, basınç, debi, hız, ağırlık vb gibi) denetleme yeteneğiyle ilgilidir. Bu da bir kapalı çevrim denetim sistemi oluşturmak için, analog I/O gerektirir. PID yazılımının kullanımıyla PLC, tek başına çalışan çevrim denetleyicilerinin (single loop controllers) işlevini üstlenmiştir. Diğer bir seçenek de her ikisinin en iyi özelliklerini kullanarak PLC ile kontrolörlerin tümleştirilmesidir. Buna tipik örnekler de plastik enjeksiyon makinaları, yeniden ısıtma fırınları ve bir çok diğer yığın denetimi (batch-control) uygulamasıdır.

Veri yönetimi

PLC'yle veri toplama, inceleme ve işleme son yıllarda gelişmiştir. İleri eğitim setleri ve yeni PLC'lerin genişletilmiş bellek kapasiteleriyle sistem, artık denetlediği makine veya proses hakkında veri yoğunlaştırıcı olarak kullanılabilir. Sonra bu veri,

denetleyicinin belleğindeki referans veri ile karşılaştırılır ya da inceleme ve rapor alımı için başka bir aygıtta aktarılabilir. Bu uygulamada büyük malzeme işleme sistemlerinde ve kağıt, birincil metaller ve yiyecek işleme gibi bir çok proses sanayinde sıkça kullanılır.

3.5. SIMATIC S7-200 PLC

Küçük boyutları ve güçlü komut seti ile S7-200' ü, küçük otomasyon projelerinin her dalında kullanabiliriz. Bazı uygulama alanları bina otomasyonu, hidrolik presler, trafik lambaları, otomatik kapılar, asansörler, ısı kontrolü gereken fırınlar, karıştırıcılar, şişeleme makineleri, paketleme makineleri, pompalar, hidrolik pnömatik kaldırma platformları gibi birçok dalda kullanılır [42, 43].

4. ÜÇ FAZLI ASENKRON MOTORUN GÜÇ KATSAYISININ PLC İLE KONTROLÜ VE İZLENMESİ

4.1. Tasarım ve Uygulama

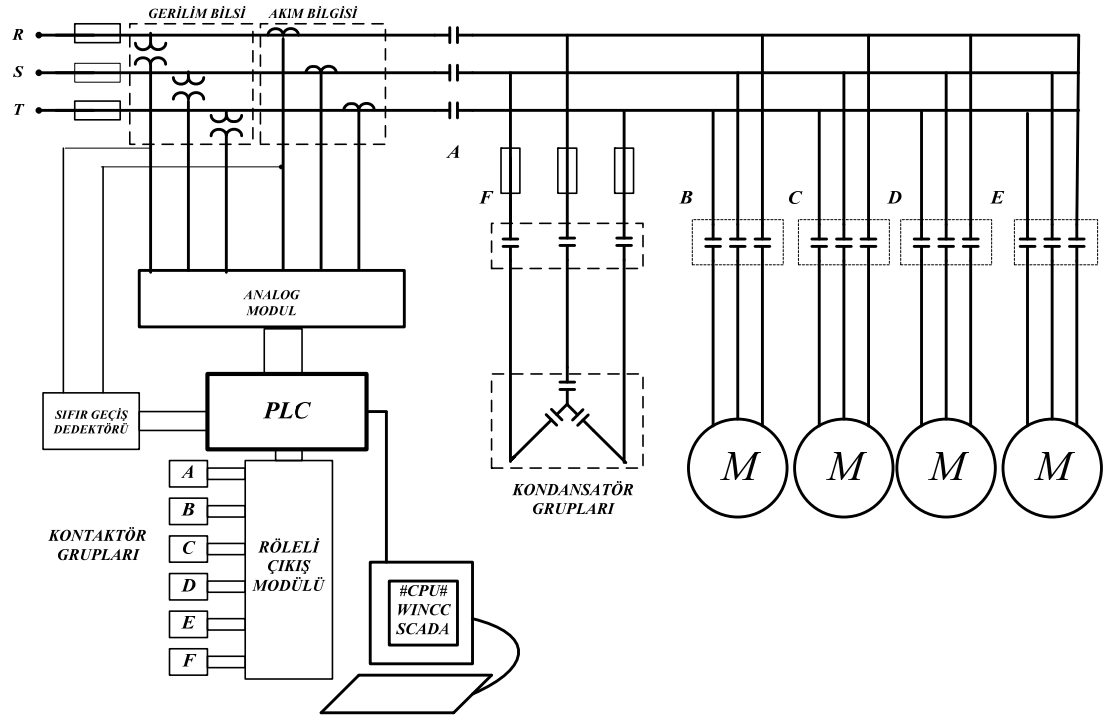
Yapılan çalışma ile; asenkron motorun kontrolü için kullanılan PLC ile (aynı zamanda reaktif güç kompanzasyonunda kullanılması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, güç katsayısı hesaplama, sistemin ihtiyacı olan kondansatör gücünü devreye alma/çıkarma yapılan yazılım ile otomatik olarak yapılabilir. Aynı zamanda hazırlanan yazılım yardımıyla motorun faz sırası kontrolü, aşırı akım, yüksek gerilim, düşük gerilim gibi tehlike arz eden durumlarda motorun korunması sağlanmıştır. Hazırlanan yazılımın görsel zenginliğinin fazla olması, kullanım kolaylığı sağladığı gibi sistem parametrelerinin de izlenmesi kolaylaşmıştır.

4.2. Gerçekleştirilen Sistem ve Sistem Modüllerinin Tanıtılması

Tasarımı yapılarak gerçekleştirilen sisteme ait blok şeması Şekil 4.1’de, sistemin genel görünümü Resim 4.1’de verilmiştir. Blok şeması incelendiğinde sistemin aşağıda sayılan bölümlerden oluştuğu görülebilir.

1. Yük
2. Kondansatör Grupları
3. Okuma Kartı
4. Sıfır Geçiş Detektörü
5. PLC
6. Analog Giriş Modülü
7. Röleli Çıkış Modülü
8. CPU, WinCC Scada Kontrol Yazılımı ve
9. Kontaktör Gruplarından

oluşturmuştur.



Şekil 4.1 Sistemin blok diyagramı



Resim 4.1 Sistemin genel görünümü

4.2.1. Yük

Uygulamamızda yük olarak dört adet asenkron motor kullanılmış ve ileri geri çalışması kontrol edilmiştir. Sistemin toplam kurulu gücü 10 kW olarak seçilmiştir. Deneysel çalışmalarda düzeltilmesi gereken güç katsayısı değeri; minimum 0.5 ve maksimum 0.98 olarak kabul edilmiştir.



Resim 4.2 Yük olarak kullanılan asenkron motorlar

Güç katsayısının ($\cos\phi$) 0.5'den 0.98'e yükseltilmesi tasarlanmıştır.

Buna göre;

$$P = 10 \text{ kW} \quad \text{ise} \quad P_1 = VI \cos\phi_1 \quad S_1 = P_1 / \cos\phi_1 = 20 \text{ kVA}$$

$$\cos\phi_1 = 0.5 \quad P_1 = S_1 \cos\phi_1 \quad P_1 = 0.5 \cdot 20000 = 10000 \text{ W}$$

$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P_1^2} = \sqrt{20000^2 - 10000^2} = 17320 \text{ VAr}$$

$$\cos\phi_2 = 0.98 \quad P_2 = S_1 \cos\phi_2 = 0.98 \cdot 20000 = 19600 \text{ W}$$

$$Q_2 = \sqrt{S_1^2 - P_2^2} = \sqrt{20000^2 - 19600^2} = 3980 \text{ VAr}$$

4.2.2. Kondansatör grupları

Sistemin kompanzasyonunu yapacak olan kompanzasyon kondansatörlerinin seçimi maksimum gerekli olabilecek kondansatör gücüne göre, sistematik şekilde istenildiği kadar kondansatör gücü devreye alınıp çıkarılması düşünülerek grup olarak seçilmiştir. Yalıtımın daha ucuz ve güvenli yapılabilmesi için kondansatör grupları yıldız bağlı olarak kullanılmıştır. Çizelge 4.1’de kullanılan kondansatörlerin etiket değerleri verilmiştir.



Resim 4.3 Kondansatör grupları

Çizelge 4.1 Kondansatör etiket değerleri

	1 GRUP	2 GRUP	3 GROP	4 GRUP	5 GRUP
Type	ZnPP	ZnPP	ZnPP	ZnPP	ZnPP
Qn(kVAr)	5	2.5	1.5	1	0.5
Un(V)	400	400	400	400	400
In(A)	7.2	3.6	2.2	1.4	0.72
Cn(μF)	100	50	30	50	10
Fn(Hz)	50	50	50	50	50
Conn	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
Temp(°C)	-25/+55	-25/+55	-25/+55	-25/+55	-25/+55
Ins(kV)	3/-Dahili	3/-Dahili	3/-Dahili	3/-Dahili	3/-Dahili
Üretim T	2009	2009	2009	2008	2009

Gerekli Kondansatör Gücü:

$$P=7 \text{ kW}$$

$$Q_c = Q_1 - Q_2 \quad \text{ya da Çizelge 2.1'deki "k katsayısı" kullanılarak;}$$

$$Q_c = k * P = 7000 * 1.48 = 10360 \text{ VAR}$$

15 kVAR olarak alınan gerekli kondansatör gücü ;

(0.5 kVAR-1kVAR-1.5 kVAR-2.5 kVAR-5kVAR) şeklinde grup olarak alınmıştır.

Sigorta seçimi: Çalışmada kondansatör etiket değerlerine ve aşırı yüklenmeler de göz önüne alındığında bu değerlere en yakın sigorta değerleri seçilmiştir.

0.5	kVAR'lık kondansatör grubu için;	NH Tipi - 6 A Sigorta
1	kVAR'lık kondansatör grubu için;	NH Tipi - 6 A Sigorta
1.5	kVAR'lık kondansatör grubu için;	NH Tipi - 6 A Sigorta
2.5	kVAR'lık kondansatör grubu için;	NH Tipi - 6 A Sigorta
5	kVAR'lık kondansatör grubu için;	NH Tipi - 16 A Sigorta

Her bir kondansatör grubunun devreye alınıp çıkarılması için FC 12 DK (8 Amper) kompanzasyon kontaktörü kullanılmıştır.

Kompanzasyon sırasında kondansatörlerin devreye alınmaları veya çıkarılma süreleri en az 5 sn. ile 60 sn. arasındadır. Bu yükün büyüklüğüne, yük bir motor ise ne kadar zamanda yol alacağına ve kondansatörlerin tekrar devreye alınabilmesi için kondansatörün deşarjı için geçen süreye bağlıdır.

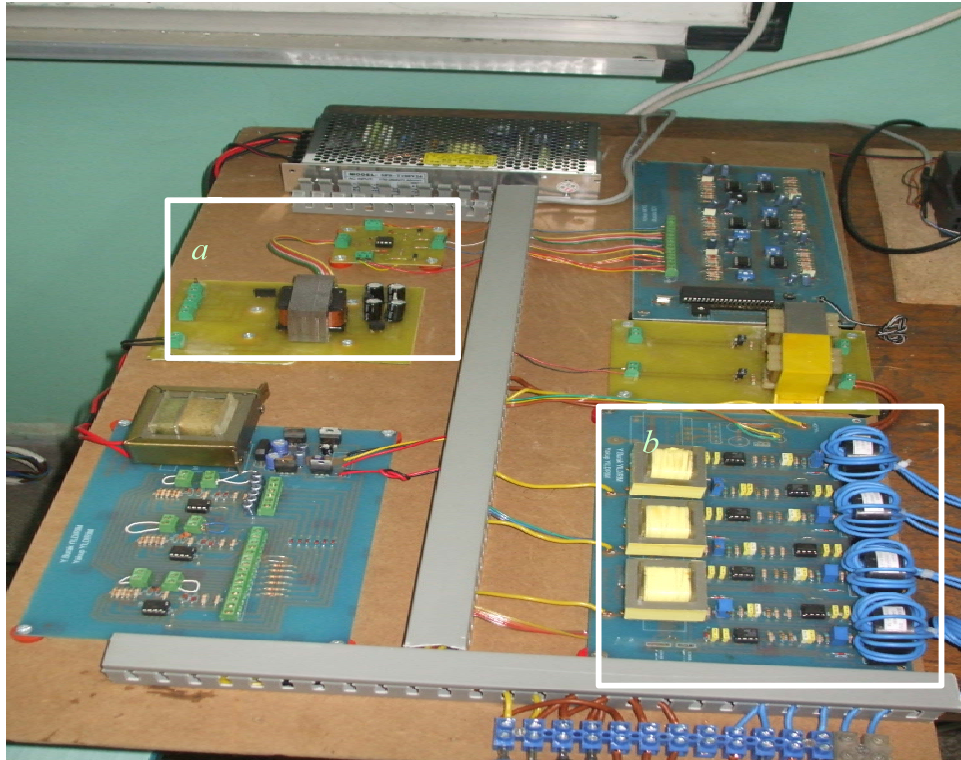
k – katsayısı

Pratikte yukarıda verilen hesabı yapmadan denklemdeki k katsayısının veren bir cetvel yardımı ile bir tesisin veya tüketicinin reaktif güç ihtiyacı tespit edilir. Bu

çetvel, belirli bir güç katsayısının ($\cos\phi_1$), istenilen bir güç katsayısına ($\cos\phi_2$) çıkartmak için P (kW) aktif güç için gerekli Q (kVAr) reaktif güç miktarını verir.

4.2.3 Okuma kartı

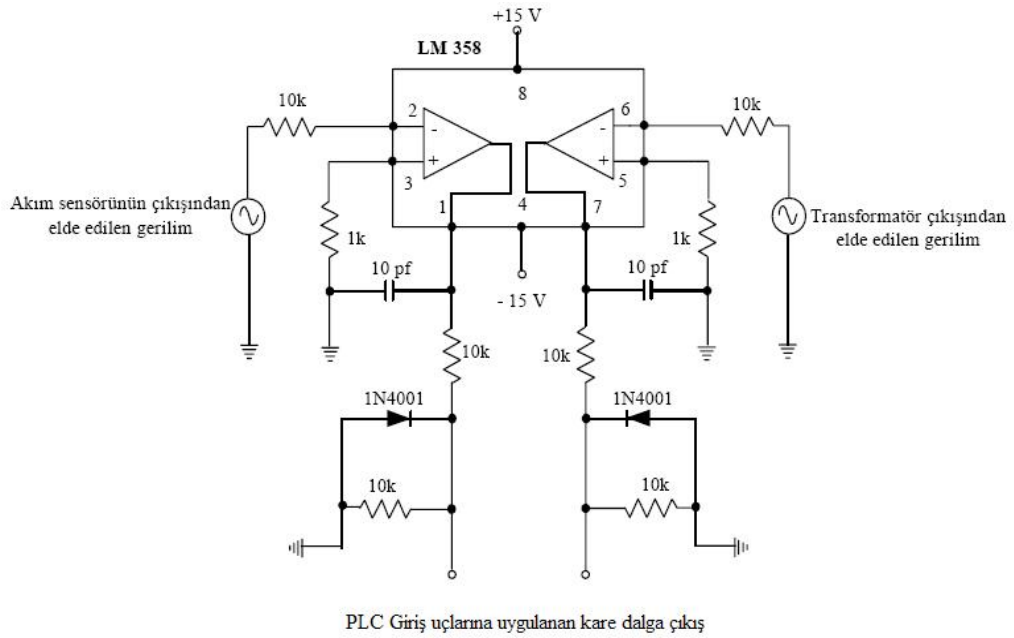
Akım ve gerilim sinyallerinin PLC'nin analog modüllerine uygun düzeye dönüştürebilmek için bir okuma kartı tasarlanmıştır. Resim 4.4.b'de tasarlanan okuma kartına ait bir fotoğraf verilmiştir. Tasarlanan okuma kartında akım sinyallerini okumak için LEM firması tarafından üretilen 50-S model hall etkili üç adet sensör kullanılırken gerilim sinyalleri 250/13.5 V dönüştürme oranına sahip gerilim transformatörleri yardımıyla okunmaktadır.



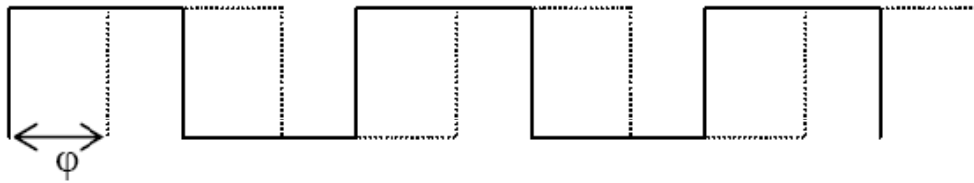
Resim 4.4 Sistem parametrelerini okumak için hazırlanan kartlar
a) Sıfır geçiş dedektörü b) Akım ve gerilim kartları

4.2.4. Sıfır geçiş dedektörü

Okuma kartı yardımıyla uygun düzeye dönüştürülen gerilim ve akım sinyalleri tasarlanan bir sıfır geçiş dedektörü yardımıyla kare sinyale dönüştürülmüştür. Sıfır geçiş dedektörünün devre şeması Şekil 4.2’de görünümü ise Resim 4.4.a’da verilmiştir. Dönüştürülen bu kare sinyaller PLC ye uygulanmaktadır. Faz farklı akım ve gerilim sinyallerine ait örnek bir sinyal grubu Şekil 4.3’te verilmiştir. Burada gerilim ve akım sinyalleri arasındaki ϕ açısı PLC tarafından hesaplanarak faz farkı bilgisi elde edilmiş olunur.



Şekil 4.2 Sıfır geçiş dedektörü



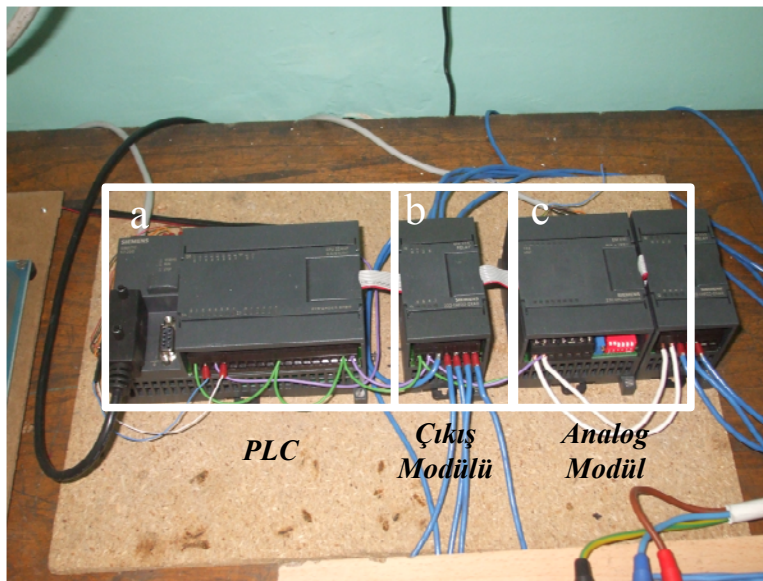
Şekil 4.3 Akım ve gerilim bilgisi arasındaki faz farkı

4.2.5. PLC

Tasarlanan sistemde karar verme ve uygulama elemanı olarak Siemens firması tarafından üretilen S7 – 200 model bir PLC kullanılmıştır. Bu PLC 14 sayısal giriş, 10 sayısal çıkış ve 12 bit çözünürlükte 2 analog girişi ile birlikte 1 adet analog çıkış kanalına sahiptir. PLC okuma kartından ve sıfır geçiş dedektöründen aldığı sinyalleri kullanarak güç katsayısı hesaplama, sistemin ihtiyacı olan kondansatör grubunu devreye alma ve çıkarma gibi işlemlerin yanında asenkron motor kontrolü görevini de yerine getirmektedir. Ayrıca kişisel bilgisayar ile haberleşerek hazırlanan arayüz yazılımına verilerin aktarılması PLC yardımıyla yapılmaktadır.

4.2.6. Analog giriş modülü

Yapılan uygulamada; üç fazlı sistemimizin analog olan her faz akım ve gerilim bilgilerini okuma kartından alarak 12 Bit lik bir çözünürlükte sayısal bilgiye çevirip PLC ye gönderen, analog okuma modülüdür. Kurulan sistemde 4 kanal okuma yapabilen EM 231 modülü ve PLC CPU-224XP üzerindeki 2 adet analog okuma kanalı kullanılarak 3 faz akım gerilim bilgileri PLC ye aktarılmıştır. Resim 4.5’de PLC düzeneğine ait bir fotoğraf verilmiştir.



Resim 4.5 PLC düzeneği

4.2.7. Çıkış modülü

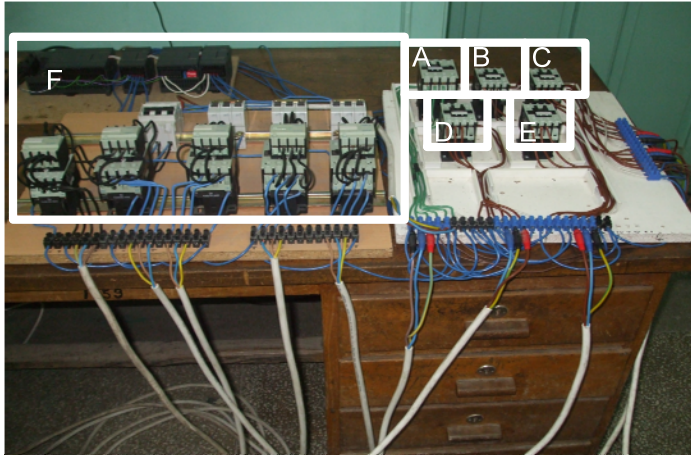
Sistemin çalışmasını, sisteme bağlı yük ve kondansatör gruplarını devreye alıp çıkaran, kontaktör gruplarını kontrol etmek için kullanılmış olan modüldür. Çıkış kontaktları, maksimum 2A'lık röleler ile oluşturulmuştur ve kullanılacak olan kontaktörleri rahatlıkla kontrol edebilmektedir.

4.2.8. WINCC SCADA

Yapılan uygulamada, PLC ile eşzamanlı olarak haberleştirilen bilgisayar; WinCC Scada ile hazırlanmış olan aracı program yardımı ile kullanıcıya sistemin bilgileri aktarılmıştır. Sistemin başlangıcında ve istenilen çalışma anında, çalışma değerleri program yardımı ile girilebilmiş ve sisteme bağlı motorun kontrolü yapılmıştır. Sistemin başlangıcında program aracılığı ile kullanıcıdan düzeltilmesi istenilen güç katsayısını bilgileri alınmıştır. Program aracılığıyla kullanıcıya; sistemin her fazına ait akım ve gerilim bilgilerini, $\cos\phi$ değerini, aktif olan kondansatör gruplarını, kompanzasyon için gerekli kondansatör gücünü sistemin aktif-reaktif-görünür gücünü, motor çalışmasını ve dönüş yönünü sistemin çalışma durumunu ve verilen ikaz mesajları aktarılmıştır.

4.2.9. Kontaktör grupları

Şekil 4.1' de gösterilen sistemin genel şemasındaki A-B-C-D-E-F kontaktör grupları eklenmiştir.



Resim 4.6 Kontaktör grupları

A grubu kontaktörü; okuma grubundan sonraki alıcıların sisteme dahil edilebilme kontrolünü yapmaktadır. B-C-D grubu kontaktörleri sisteme bağlı olan asenkron motorun ileri geri çalışmasını kontrol etmektedir. F grubu kontaktörleri sistemin kompanzasyonunu gerçekleştiren 5 adet kondansatör grubunu kontrol etmektedir. Tüm kontaktör grupları PLC'ye bağlı bulunan röleli çıkış modülü ile sürülmektedir. Kompanzasyon kontaktörleri, kondansatör grupları sisteme dahil oldukları ilk anda aşırı akım durumunda çalıştıklarından, üzerlerinde ilk andaki tepkiyi kontrol altında tutabilmelerini sağlamak için sönüm devreleri bulunmaktadır. Kondansatör grubunun ilk devreye alındığı anda kontaktörün kontaklarına paralel bulunan dirençler üzerinde yük beslenirken, belli bir gecikme sonrasında kontaktörün kontakları üzerinden yük beslenmeye devam eder.

4.3. Sistemin Çalışması

Yapılan çalışma; kullanıcı tarafından tespit edilen ve kontrol paneli yardımı ile aktarılan düzeltilmesi istenilen güç katsayısı değerine göre; sistemin her fazına ait akım ve gerilim bilgilerini, sistemin güç katsayısı değerini, aktif olan kondansatör gruplarını, kompanzasyon için gerekli kondansatör gücünü, sistemin aktif-reaktif-görünür gücünü, motor çalışmasını, sistemin çalışma durumunu ve verilen ikaz mesajlarını, devreye alınacak veya çıkarılacak olan kondansatör gruplarını hesaplayarak kompanzasyon işlemini gerçekleştirmekte, WINCC SCADA ile

hazırlanmış olan aracı program yardımıyla kullanıcıya bu bilgileri aktarmakta ve bunun yanı sıra sistemde meydana gelebilecek olan;

- Aşırı gerilim düşümü,
- Aşırı gerilim yükselmesi,
- Aşırı akım veya kısa devre,

anlarında devrede olan yükü korumakta ve faz kontrolü yapmaktadır. Sistem kapasitesi büyük olduğu için gerekli görülebilecek farklı işleri gerçekleştirebilmeye de olanak sağlamaktadır.

Sistem başlat komutu alındıktan sonra, PLC tarafından istenilen çalışma zamanı içerisinde çıkış modülüne sinyal gönderilerek alıcı devreye alınır veya çıkartılır.

Okuma kartı yardımı ile her faza ait olan akım ve gerilim bilgileri analog modüle gönderilmektedir.

3 fazlı dengeli bir sistem olduğu düşünülerek bir faza ait sinusoidal olan gerilim ve akımın sıfır geçiş anları, sıfır geçiş dedektörü yardımı ile PLC'nin girişlerine aktarılmaktadır.

PLC içerisinde, Gerilimin sıfırdan geçiş anı referans alınarak girilen şebeke frekansı değerine göre hesaplanan PWM sinyalleri üretilmektedir. Her bir PWM sinyali bir derecelik faz farkının olduğu zaman aralığı uzunluğundadır. Böylece gerilimin sıfır noktasından geçtiği andan itibaren, akımın sıfır noktasından geçtiği ana kadar olan faz farkı kadar PWM sinyali üreterek ve daha sonra üretilen PWM sinyalleri sayılarak $\cos\phi$ değeri hesaplamaktadır.

PLC girişleri yaklaşık 20 kHz frekansında olan PWM sinyallerini sayamayacağından, sayma işlemi için PLC'nin hızlı sayıcı fonksiyonu kullanılarak sayma işlemi yapılmıştır.

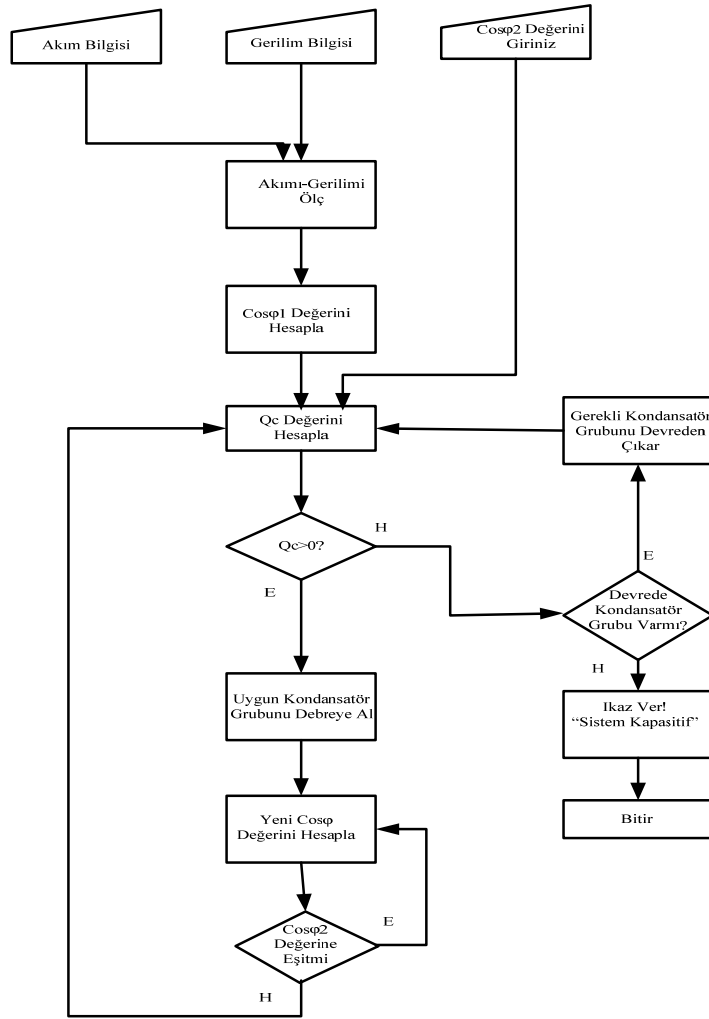
Kontrol paneli yardımıyla düzeltilmesi istenilen güç katsayısı değeri ve hesaplanan güç katsayısı değeri karşılaştırılarak, gerekli olan kondansatör gücü hesaplanmıştır.

Uygun kondansatör grubunun devreye alınması veya çıkarılması için gerekli olan sinyal, çıkış modülü yardımıyla kontaktör gruplarına gönderilerek merkezi kompanzasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Sisteme ait değişkenler, PLC ile eşzamanlı olarak haberleştirilen bilgisayar aracı programı ile kullanıcıya ulaştırılmaktadır.

Sistemin kapatılmasına neden olacak durumlar gerçekleştiğinde; aracı program yardımı ile sistemin durum mesajları kullanıcıya iletilmiştir.

Böylece kullanıcının belirlemiş olduğu hedef güç katsayısı değerine göre güvenli ve hızlı bir kompanzasyon yapılmaktadır. Aynı zamanda sistemin tüm bilgileri uzaktan izlenebilmekte ve tehlike yaratabilecek durumların kontrolü yapılmaktadır.



Şekil 4.4 Akış diyagramı

Hazırlanan yazılıma ait Şekil 4.4’de verilen akış diyagramı genel olarak beş bölümden oluşmaktadır.

- güç katsayısının ölçülmesi,
- gerekli kondansatör gücünün hesabı, anahtarlama ve sistem karakteristiğinin tayini,
- yenileme süresi periyodunda sistemin tekrar kontrolü,
- sistemin PLC,
- Scada ile kontrolü ve izlenmesi.

4.3.1. Güç katsayısının ölçülmesi

Akım ile gerilim arasındaki açının ölçümü, akım ile gerilimin sıfırdan geçtiği anlar referans alınarak aradaki gecikmenin bulunması ile gerçekleştirilir.



Şekil 4.5 Gerilim ile akım arasındaki gecikme

PWM ve Hızlı Sayıcı (HSC) tekniği ile ölçüm yapılmıştır.

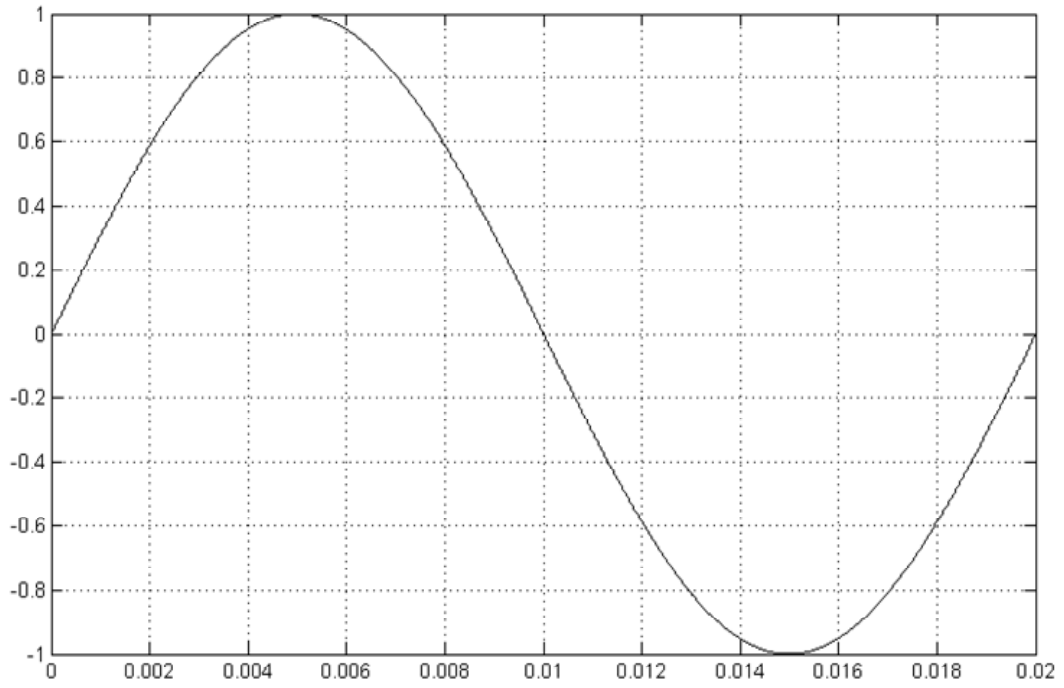
PLC dijital çıkışlarından 20 kHz’lik PWM sinyali üretebilmekte ve hızlı sayıcıları ile 20 kHz’lik okuma yapabilmektedir.

Frekansı 50 Hz olarak kabul edilen şebekedeki periyot süresi ;

$$T = 1/f = 1/50 = 0.02 \text{ s} = 20 \text{ ms'dir.}$$

Bir alternatif akım sinyalinin sıfırdan başlayıp pozitif alternansa yükselmesi ve tekrar sıfırdan geçip negatif alternansı tamamlayarak sıfıra ulaştığı süre 20 ms’dir.

Elektriksel açı olarak ise 360 derecedir.

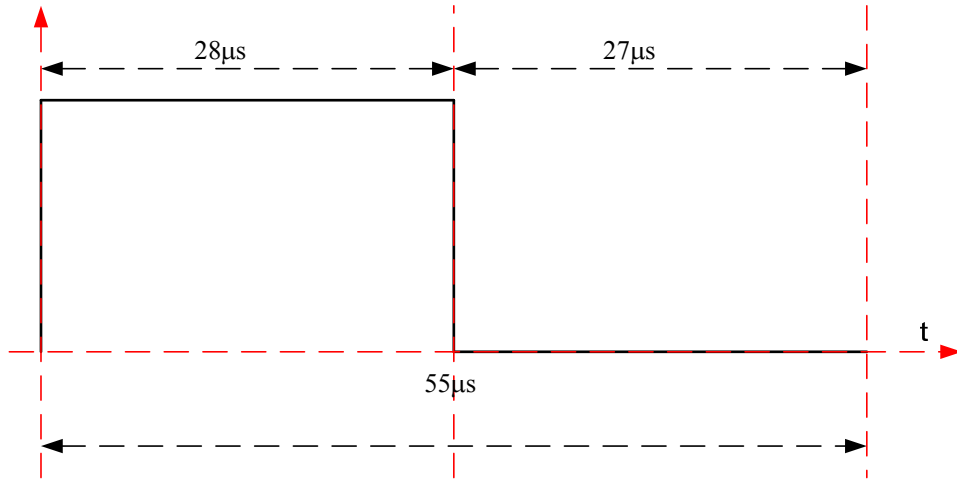


Şekil 4.6 Sinüsoidal dalga

Gerilim sinyalinin pozitif alternansa yükselmeye başlamadan önce geçtiği sıfır noktası referans alınıp akımın sıfırdan geçtiği noktaya bakıldığında; sistemin güç katsayısı 0 ile 90 derece arasında iken endüktif özellik göstermektedir. 90 ile 360 arasındaki açı farklarında ise kapasitif özellik göstermekte, açı farkı olmadığında ise omik özellik göstermektedir.

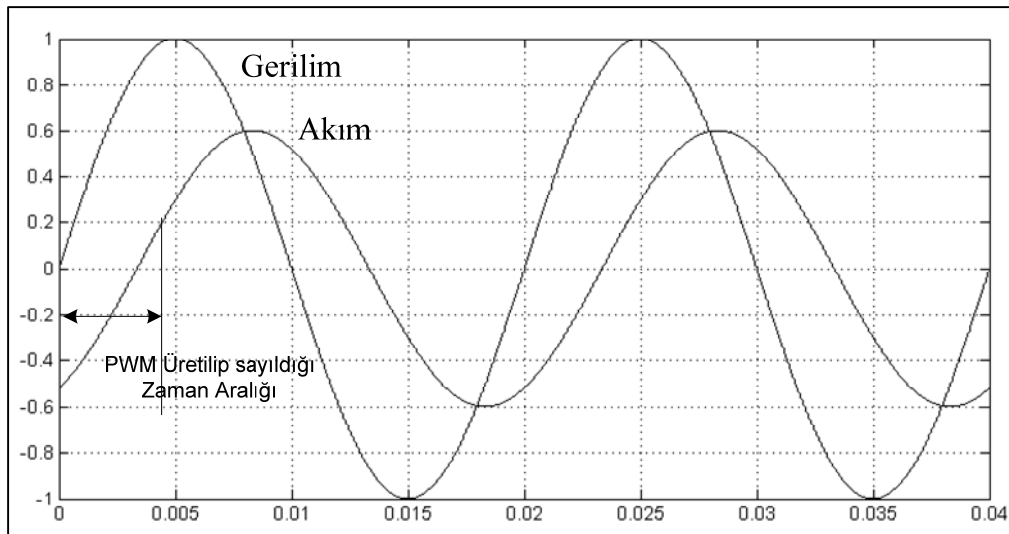
20 ms 360 derecelik bir açıya karşılık geliyor ise, 1 derecelik açı farkının oluşma zamanı;

$$20\text{ms} / 360 = 0.055 \text{ ms} = 55 \mu\text{s} \text{ olmaktadır.}$$



Şekil 4.7 Üretilen PWM sinyali

Gerilimin sıfırdan geçtiği anda sıfır geçiş dedektörü lojik 1 sinyalini PLC'nin hızlı okuma bacağına aktarmakta ve PLC programında kesme oluşturularak, $55\mu s$ periyodunda PWM sinyalleri üretmeye başlamaktadır ve Hızlı sayıcı fonksiyonunu sıfırlayarak saymaya uygun hale getirmektedir. PLC'nin PWM çıkış ucundan üretilen bu sinyaller, tekrar aynı PLC nin hızlı sayıcı fonksiyonunun kullandığı hızlı girişlerine elektriksel olarak uygulanmaktadır. Hızlı sayıcı ile bu PWM sinyalleri sayılır.



Şekil 4.8 Zaman aralığı gösterimi

Akımın sıfırdan geçtiği anda ise, sıfır geçiş dedektörü PLC nin diğer hızlı okuma bacağına lojik 1 sinyali göndererek ve programda bir kesme oluşturarak PWM üretimini durdurmakta, Hızlı sayıcının saymış olduğu PWM sayısı bilgisini de programda saklamaktadır. Bu şekilde akım ile gerilim arasındaki açı farkı (φ_1) hesaplamıştır. PLC içerisinde bu açının kosinüsü alınarak güç katsayısı hesaplanır.

4.3.2. Gerekli kondansatör gücünün hesabı anahtarlanması ve sistemin karakteristiğinin tayini

Okuma kartından gelen bilgilere göre, akımın ve gerilimin sıfır geçiş anlarını takip ettiğimiz fazın akım ve gerilim bilgisi alınarak;

$$P = \sqrt{3}.V.I.\cos \varphi_1 \quad (\text{aktif güç})$$

$$Q = \sqrt{3}.V.I.\sin \varphi_1 \quad (\text{reaktif güç})$$

$$S = \sqrt{3}.V.I \quad (\text{görünür güç})$$

3 faza ait değerleri hesaplanmıştır.

Daha sonra “ $k=\tan\varphi_1-\tan\varphi_2$ ” formülü ile k katsayısı bulunmuştur. Kompanzasyon yapılmadan önceki şebekenin reaktif gücü;

$$Q_1 = P * \tan \varphi_1$$

Kompanzasyondan sonraki reaktif güç ise;

$$Q_2 = P * \tan \varphi_2$$

Buna göre gerekli kondansatör gücü;

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P * (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

Veya

$$Q_c = k * P$$

formülü ile bulunur.

Kondansatör gücü negatif ise; sistem aktif olan kondansatör grubu varsa en küçük gruptan başlayarak sıra ile devreden çıkarır ve güç katsayısını tekrar ölçerek gerekli kondansatör gücünü hesaplar. Gerekli kondansatör gücü tüm yükler devreden çıkarıldığı halde hala negatif ise sistemin kapasitif olduğuna karar verilir ve sistem ikaz vererek kapatılır.

Gerekli kondansatör grubu pozitif ise uygun kondansatör grubu devreye alınarak tekrar güç katsayısı ölçümü yapılarak sistemin değerleri yenilenir ve ekrana aktarılır. Gerekli kondansatör gücü sıfır ise sistemin omik olduğuna dair ikaz verilir ve çalışma normal olarak devam eder.

4.3.3. Yenilenme süresi periyodunda sistemin tekrar kontrolü

Aracı program yardımıyla sistemin başlangıç değerlerinden biri olarak atanan süreye yenileme süresi adı verilir. Bu süre sonunda sistem yenilenerek tekrar güç katsayısı ölçümü yapılır.

Sisteme bağlı olan yüklerden biri veya birkaçı devreye alınıyorsa veya çıkarılıyorsa yani yükte bir değişim var ise yenileme süresi beklenmeden güç katsayısı tekrar ölçülerek kompanzasyon işleminin güncel olarak devam etmesi sağlanır.

4.3.4. Sistemin PLC ve Scada ile kontrolü ve izlenmesi

Sistem kurulduktan sonra, program ve PLC aktif edilmiştir. Program çalıştığında ilk olarak karşımıza gelen sayfa başlangıç değerlerinin girildiği sayfadır.

Kullanıcı sistemin başlangıç değerlerini girdikten sonra “Değer Al” butonunu kullanarak başlangıç verilerini PLC içindeki değişkenlere aktarmaktadır.

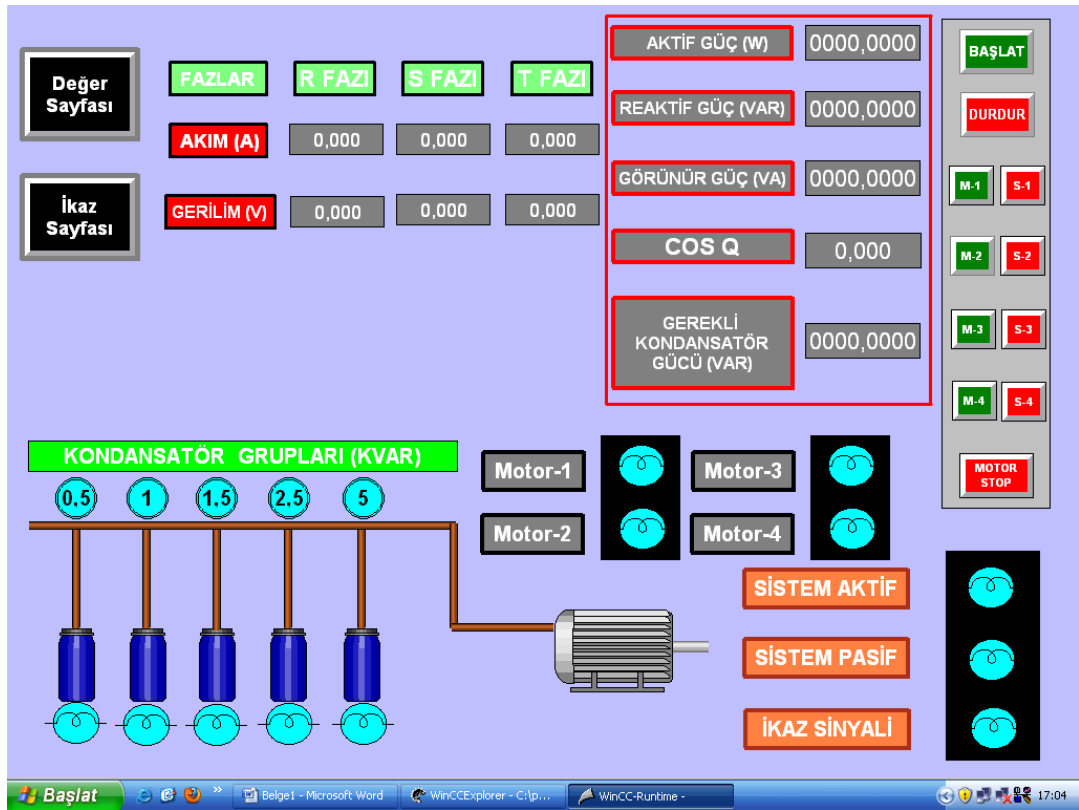


Şekil 4.9 Başlangıç değerlerinin girildiği bölüm

Yenileme süresi; sistem çalışmaya başladığında güç katsayısı ölçümü yapmakta ve gerekli kondansatör grubunu devreye alarak kompanzasyonu gerçekleştirmektedir. Yenileme süresi sonrasında tekrar sistemin güç katsayısını ölçecek ve kompanzasyon işlemini gerçekleştirecektir.

İstenilen $\cos\phi$; sistemin ulaşması istenilen güç katsayısıdır. Bu değer ve sistemin güç katsayısı karşılaştırılarak kompanzasyon yapılır.

İzleme sayfası ve ikaz sayfası butonları ile program sayfaları arasında yer değiştirilebilmektedir.



Şekil 4.10 Sistem verilerini izleme ve kontrol sayfası

Sistemin başlangıç değerleri girilip, değerler PLC ye gönderildikten sonra izleme ve kontrol sayfasına geçiş yapılarak sistem başlatılmaktadır

Sistemin verilerini izleme ve kontrol sayfasındaki;

Şekil 4.9 kompanzasyon sırasındaki aktif ve pasif olan kondansatör grupları görülebilmektedir. Üç faza ait akım ve gerilim bilgileri izlenebilmektedir.

Ayrıca sistemin aktif reaktif görünür güçleri ve güç katsayısının değerleri ve değişimleri izlenebilmektedir.

Sistem verilerini izleme ve kontrol sayfası;

- sisteme enerji veren “BAŞLAT” butonu

- sistemin enerjisini kesen “DURDUR” butonu
- sisteme bağlı motoru durduran “MOTOR BAŞLAT STOP” butonu ile sistemin ve sisteme bağlı olan motorun kontrolü yapılmıştır.
-

Sistemin çalışmasını gösteren aktif-pasif lambaları ve sistemde oluşan hatalardan dolayı sistemin kapatıldığını gösteren ikaz bulunduğunu belirtmek amacı ile ikaz lambası oluşturulmuştur. İkaz lambası aktif olduğunda ikaz sayfasına geçilerek ne tür bir hata olduğu öğrenilebilmektedir, motorun çalışıp çalışmadığı gözlenebilmektedir. Ayrıca program sayfaları arasında geçiş yapılabilir.

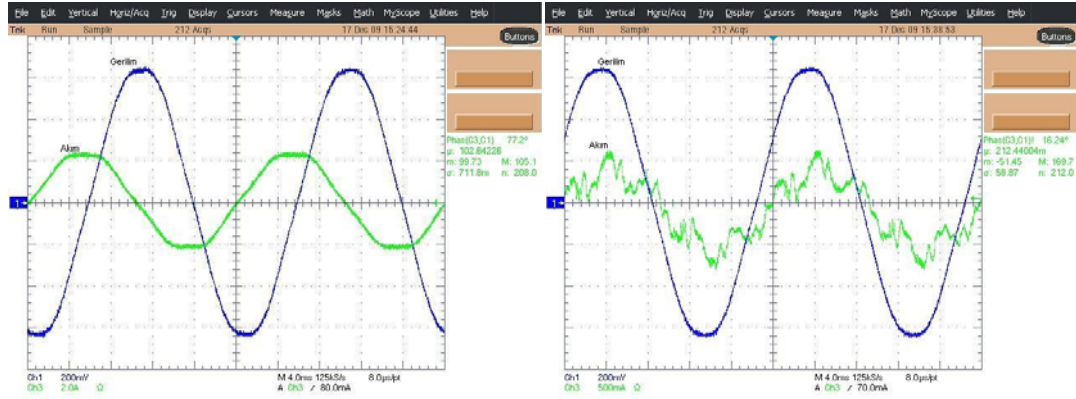


Şekil 4.11 Sistemdeki ikazların görüntülendiği sayfa

İzleme ve kontrol sayfasındaki ikaz lambası aktif olduğu zaman sayfalar arası geçiş butonunu kullanarak ikaz sayfasına geçilebilmektedir. İkaz sayfasında sistemde kontrol edilen koruma yöntemleri görülebilmekte ve hangi tipte ikaz verildiği izlenebilmektedir. Sistemin çalışması ve kontrolü program aracılığıyla kullanıcıya aktarılmış, PLC aracılığı ile merkezi kompanzasyon yapılmıştır.

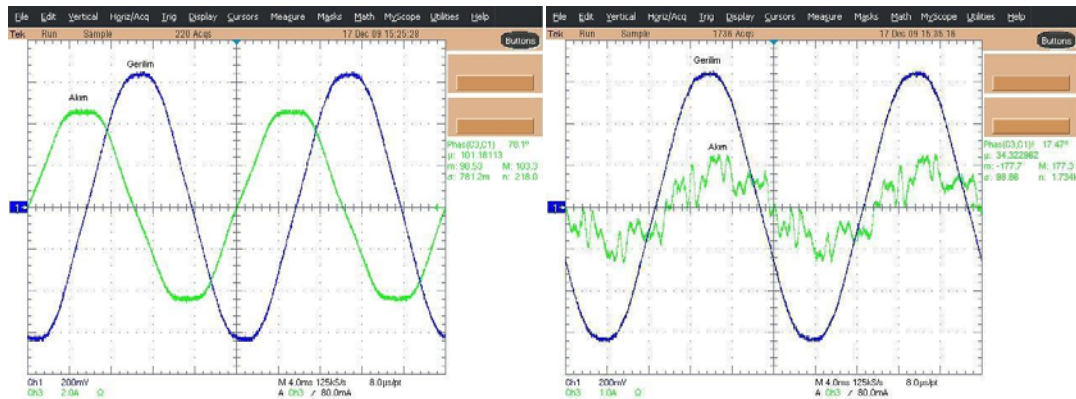
4.4. Deneysel Sonuçlar

Şekil 4.12a'da akım ve gerilim arasındaki faz farkı 77.2° iken (0.221), Şekil 4.12.b'de kondansatör devredeyken faz farkının 16.24° 'ye (0.960) düştüğü görülmektedir.



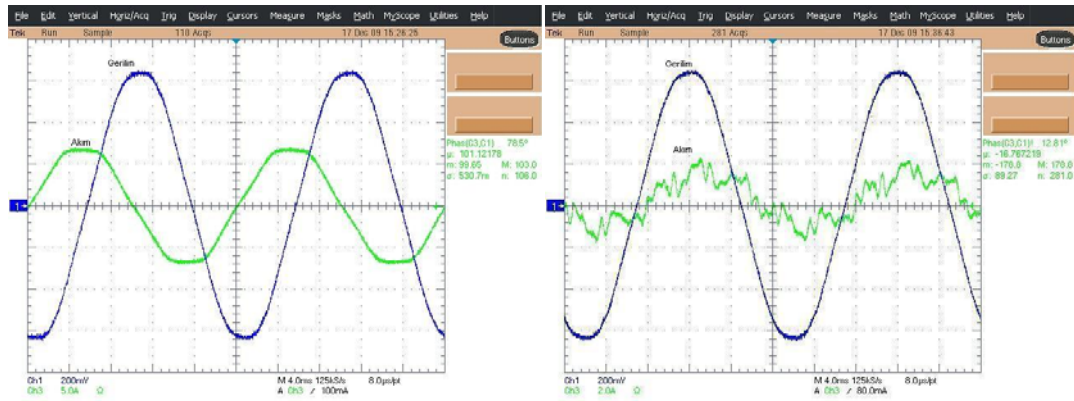
Şekil 4.12 M1 motoru devredeyken akım ve gerilim eğrileri
a)kompanzasyon yokken b)kompanzasyon varken

Şekil 4.13.a'da kompanzasyon yokken akım gerilim arasındaki faz farkı 78.1° (0.206) iken, Şekil 4.13.b'de kondansatörler devreye girdiğinde faz farkı 17.47° 'ye (0.953) düştüğü görülmektedir.



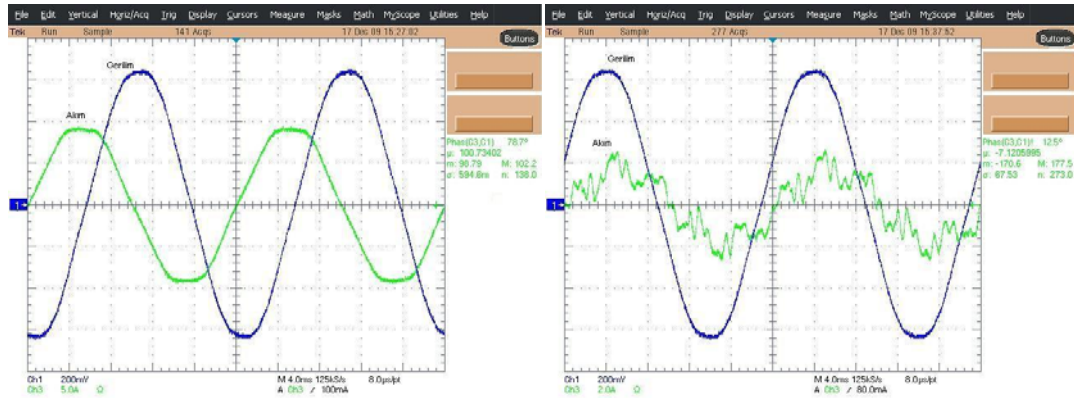
Şekil 4.13 M1+M2 devredeyken devredeyken akım ve gerilim eğrileri
a)kompanzasyon yokken b)kompanzasyon varken

Şekil 4.14.a'da kompanzasyon yokken faz farkı 78.5° (0.199), Şekil 4.14.b'de kondansatör devreye girdiğinde 12.81° (0.975) düştüğü görülmektedir.



Şekil 4.14 M1+M2+M3 motoru devredeyken akım ve gerilim eğrileri
a)kompanzasyon yokken b)kompanzasyon varken

Şekil 4.15.a’da kompanzasyon yokken faz farkı 78.7° (0.195) iken, Şekil 4.15.b’de kondansatör devreye girdiğinde faz farkı 12.5° (0.976) düştüğü görülmektedir.



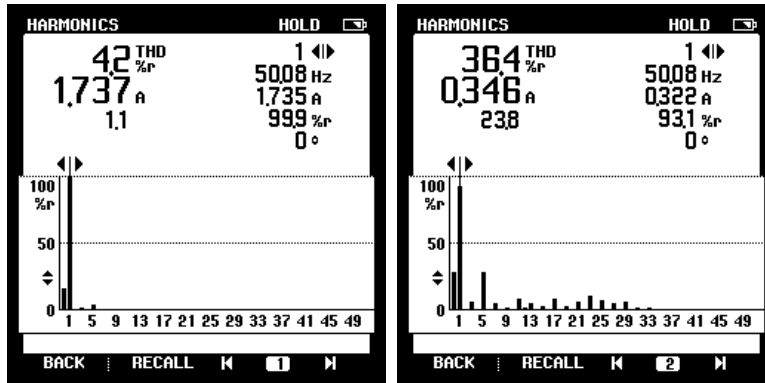
Şekil 4.15. M1+M2+M3+M4 motoru devredeyken akım ve gerilim eğrileri
a)kompanzasyon yokken b)kompanzasyon varken

Çizelge 4.2’de deney sonuçları tablo halinde verilmiştir. Sonuçlardan da görüleceği üzere kompanzasyon yapılmadan önce güç katsayısı çok düşük iken, kompanzasyon yapıldıktan sonra güç katsayısı hedeflenen değer olan 0.98 yaklaştığı görülmektedir. Daha hassas bir kompanzasyon sistemi elde etmek için 0.5 kVar olarak seçilen adım aralığının küçültülmesi ve kondansatör grup sayısının artırılması daha hassas bir kompanzasyon imkanı sağlayacaktır.

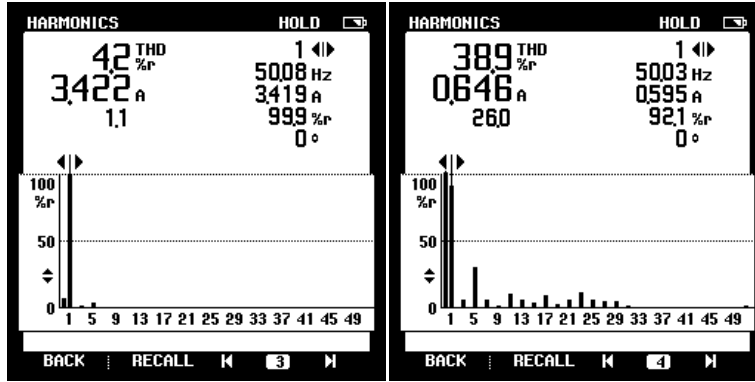
Bu çalışmada şebeke akımı sinüsoidal olarak kabul edilmiştir. Fakat alıcı olarak kullanılan motorlar şebekeden tam sinüsoidal bir akım çekmemişlerdir. Sistem kompanze edilmeden önce özellikle beşinci harmonik şebeke akımını olumsuz etkilemiştir. Deneyde şebeke akımı için toplam harmonik bozulması (THD) incelenmiş, % cinsinden ifade edilmiştir.

Şekil 4.16.a'da kompanzasyon yokken şebeke akımını 5. Harmoniğin etkilediği ve THD'nin % 4.2 olduğu görülmektedir, Şekil 4.16.b'de kompanzasyon yapıldıktan sonra 3., 5., 7., 9., 11., 15., 17., 19., 21., 23., 25., 29., 33. harmoniklerin akım eğrilerini bozduğu ve THD % 36.4 olduğu görülmektedir.

Şekil 4.17.a'da kompanzasyon yapılmadan önce şebeke akımını 5. harmoniğin etkilediği ve THD % 4.2 olduğu görülmektedir, Şekil 4.17.b'de kompanzasyon yapıldıktan sonra 3., 5., 7., 9., 11., 15., 17., 19., 21., 23., 25., 29., 33. harmoniklerin akım eğrisini bozduğu ve THD'nin % 38.9 çıktığı görülmektedir.



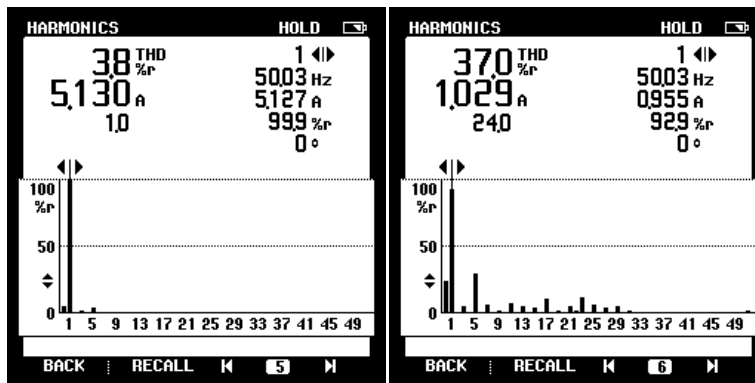
Şekil 4.16 M1 motoru devredeyken akımdaki harmonikler (THD=%36.4)
a)kompanzasyon yokken b)kompanzasyon varken



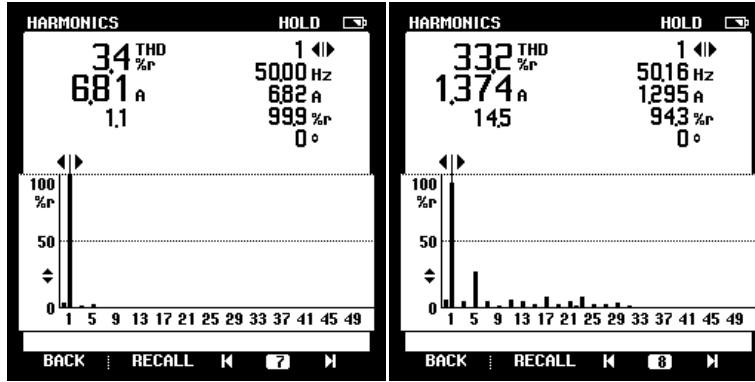
Şekil 4.17 M1+M2 motoru devredeyken akımdaki harmonikler (THD=%38.9)
a)kompanzasyon yokken b)kompanzasyon varken

Şekil 4.18.a'da kompanzasyon yokken şebeke akımını 5. Harmoniğin etkilediği ve THD %3.8 olduğu görülmektedir, Şekil 4.18.b'de kompanzasyon yapıldıktan sonra 3., 5., 7., 9., 11., 15., 17., 19., 21., 23., 25., 29., 33. harmoniklerin akım eğrilerini bozduğu ve THD % 37.0 çıktığı görülmektedir.

Şekil 4.19.a'da kompanzasyon yokken şebeke akımını 5. Harmoniğin etkilediği ve THD %3.4 olduğu görülmektedir, Şekil 4.19.b'de ise kompanzasyon yapıldıktan sonra 3., 5., 7., 9., 11., 15., 17., 19., 21., 23., 25., 29., 33. harmoniklerin akım eğrilerini bozduğu ve THD % 33.2 çıktığı görülmektedir.



Şekil 4.18 M1+M2+M3 motoru devredeyken akımdaki harmonikler (THD=% 37)
a)kompanzasyon yokken b)kompanzasyon varken



Şekil 4.19 M1+M2+M3+M4 motoru devredeyken akımdaki harmonikler (THD=%33.2)
a)kompanzasyon yokken b)kompanzasyon varken

Sisteme bir osiloskop bağlanarak akım ve gerilim dalga şekilleri farklı alıcılar devrede iken kaydedilmiştir. Bu tasarımda şebeke akımı sinüsoidal olarak kabul edilmiştir. Fakat alıcı olarak kullanılan motorlar şebekeden tam sinüsoidal bir akım çekmemişlerdir. Sistem kompanze edilmeden önce, özellikle 5. harmoniğin şebeke akımını olumsuz etkilediği Şekiller 4.16.a, 4.17.a, 4.18.a ve 4.19.a’da verilmiştir. Kondansatörler harmonik üreten eleman olmamakla birlikte, mevcut harmonik seviyelerinin etkin bir biçimde artmasına neden olurlar. Bu durum açısal frekansı ω olan ve harmonik içermeyen bir devrede, kondansatörün reaktansı X_c olmak üzere harmonik mertebesi n olan harmonik bileşen için aynı kondansatörün reaktansı;

$$X_{cn} = \frac{X_c}{n} = \frac{1}{n \cdot \omega \cdot C} \quad (4.1)$$

olarak bulunur.

Eş. 5.1’de görüldüğü gibi harmonik seviyesi arttıkça kapasitif reaktans azalacaktır. Buradan n . harmoniğe ait akım bileşeni

$$I_n = \frac{V_n}{X_{cn}} = n \cdot \omega \cdot C \cdot V_n \quad (4.2)$$

olacaktır.

Harmonik bileşenler, kondansatör ve bobinlerin birlikte kullanıldığı sistemde rezonansa neden olabilirler. Q_s sistemin kondansatör grubunun bulunduğu noktadaki kısa devre gücünü, Q_c ise kondansatörlerin toplam gücünü göstermek üzere, bir alçak gerilim güç sisteminin rezonans frekansına ait harmonik mertebesi,

$$n = \sqrt{\frac{Q_s}{Q_c}} \quad (4.3)$$

bağıntısı ile bulunur.

Harmonik kondansatörlerde hem aşırı reaktif yüklemeye hem de dielektrik kayıplardaki artış sonucunda ısı artışına neden olurlar. Harmoniklerin yol açtığı ısı artışı ve aşırı yüklenme sonucu, kondansatörlerin ömrü kısalmır. Nominal olarak Q reaktif gücündeki bir kondansatöre uygulanan harmonikli gerilim durumunda reaktif güç,

$$Q_T = Q + \sum_{n=2}^N \omega_n C V_n^2 \quad (4.4)$$

ile belirlenir. Kondansatörlerin ideal olmadığını, kayıp gücünün olduğunu ve eşdeğer devresinde paralel omik direncin bulunduğu kabul edilirse bu durumda kondansatörün aktif güç kaybı,

$$P_K = \sum_{n=1}^N C(\tan \delta) \omega_n V_n^2 \quad (4.5)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada,

$$\tan \delta = R(1/\omega C) \quad (4.6)$$

ile ifade edilen kayıp faktörüdür. $\omega_n = 2\pi fn$, n. harmonik için açısal frekans olup V_n n. harmonik geriliminin etkin değeridir. IEEE Std. 18-1992 standartları, kondansatör grupları için gerilim, akım ve reaktif güç ile ilgili sınırlamaları getirmektedir. Bu standartlar kullanılarak müsaade edilebilir maksimum harmonik seviyeleri belirlenebilir.

Eş. 5.2'den de anlaşılaçağı üzere harmoniğin bozucu etkisi kondansatör akımında kondansatör geriliminden daha fazla olacaktır [44]. Bu durumda kondansatörler çok yüksek harmonik akımları çekerek harmonik seviyelerini artırırılar. Kompanzasyondan sonra 3., 5., 7., 9., 11., 15., 17., 19., 21., 23., 25., 29., 33. harmoniklerin akım eğrilerini bozduğu Şekiller 4.16.b, 4.17.b, 4.18.b, ve 4.19.b'de gösterilmiştir. Deneyde şebeke akımı için toplam harmonik distorsiyonu (THD) incelenmiştir. Harmonik büyüklüklerin ölçülmesi için kullanılan THD gerilim ve akım için sırasıyla;

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \text{ ve } THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (4.7)$$

ifadelerinden yararlanılarak bulunur. Görüldüğü gibi THD, harmonik bileşenlerin efektif değerlerinin, temel bileşen efektif değerine oranıdır ve genellikle yüzde olarak ifade edilir. Çizelge 4.2'de değişik yük durumlarındaki toplam harmonik bozulma değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.2 Sistemden alınan değerler

Yük adedi	Kondansatör yokken		Kondansatör varken		Qc(kVar)
	THD	Cosφ	THD	cosφ	
M1	4.2	0.221	36.4	0.960	1.041
M1+M2	4.8	0.206	38.9	0.953	2.020
M1+M2+M3	3.8	0.199	37.0	0.975	2.940
M1+M2+M3+M4	3.4	0.195	33.2	0.976	3.957

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Motorun kontrolü için kullanılan PLC ile aynı zamanda reaktif güç kompanzasyonunda kullanılması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla güç katsayısı hesaplama, sistemin ihtiyacı olan kondansatör gücünü devreye alma/çıkarma yapılan yazılım ile otomatik olarak yapılabilmektedir. Aynı zamanda motorun faz sırası kontrolü, aşırı akım, yüksek gerilim, düşük gerilim gibi tehlike arz eden durumlarda motoru koruma uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sistemin çalışması bilgisayar ekranından izlenebilmektedir.

Ayrıca, çalışmada reaktif güç kompanzasyonunun önemi ve çeşitleri hakkında detaylı bilgi verilerek, kompanzasyon yapılması sonucunda iletim ve dağıtım sistemlerindeki verimin artması üretici ve tüketici yönünden incelenmiştir. Düşük güç katsayısının meydana getirdiği sorunlar ve sonuçları tüketici ve üretici yönünden değerlendirilmiştir. Düşük güç katsayısının kurulacak bir tesiste meydana getireceği sorunlar anlatılmıştır. Reaktif gücün üretim, iletim ve dağıtımda kapasite ve verimi nasıl düşürdüğünden bahsedilmiştir. Kompanzasyon gerektiren yükler ve özellikleri verilerek kompanzasyon çeşitleri anlatılmıştır.

Çalışmada PLC'nin reaktif güç kontrolünde kullanılmasıyla birlikte bu cihazlar sadece kondansatör gruplarını devreye alıp çıkartan bir eleman olmaktan çıkıp devrenin gerilim, akım, aktif güç, reaktif güç ve $\cos\phi$ gibi önemli parametrelerinin takip edilebildiği cihazlar haline almışlardır. Bununla birlikte yukarıda verilen parametreleri ölçülmesinin yanında, ölçülen bu parametreler kullanılarak çalışmada akım ve gerilim bilgileri üç faz üzerinden alınmıştır. Böylece sistemin dengeli olup olmadığı anlaşılabilmektedir. Çünkü, dengesiz sistemlerde bir fazdan alınan değerler, sistemin tamamını temsil etmemektedir. Yapılan deneylerde şebekeye çeşitli endüktif reaktif güç tüketicileri bağlanmıştır. Bu tüketiciler rastgele zamanlarda çalıştırılarak şebekeden reaktif güç çekmişlerdir. Her seferinde PLC, sistemin ihtiyaç duyduğu ileri reaktif güç ihtiyacını tespit edip uygun kondansatör gruplarını hassasiyetle kontrol etmiştir. Sonuç olarak değişen yükler karşısında güç katsayısının hedeflenen

değerde tutulabileceği görülmüştür. Reaktif güç kontrolünde PLC'nin kullanılmasıyla birlikte klasik güç kompanzasyonu yeni bir boyut kazanmıştır. Bu sayede güvenilirliği, verimliliği ve değişik yükler karşısında sistemin kararlılığını sağlayabilmek için yeni kontrol teknikleri geliştirilebilmektedir. Bu kontrol sistemlerinde PLC, mikrodnetleyici ve klasik kumanda elemanları kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan PLC'li sistem literatürde kullanılan diğer kontrol sistemleriyle karşılaştırıldığında, bakım ve onarım çalışmalarında, yenileştirme ve genişletmelerde mikrodnetleyici programlarının yeniden yazılmasını gerekli kılmaktadır. Bu da üretici firmaların yüksek rakamlar talep etmelerinde sebep olmaktadır. Bu da sektörün PLC kontrollü otomasyon için tercih sebeplerinden olmaktadır. Aynı zamanda PLC kontrollü sistemler program aşamasında modüler yapı düşünülerek tasarımı gerçekleştirilirse ekleme ve genişletmeler mevcut program içerisine basit şekilde gerçekleştirilebilir.

Elektromekanik ve güç elektroniği elemanları kullanılarak yapılan sistemlerde bu çok daha zordur. Sistemlerin izleme ve değerlendirme üniteleri; mikrodnetleyici ve PLC kullanılmasında daha kolay olmaktadır. Dolayısıyla kompanzasyon akışı hakkında sürekli bilgi sahibi olunur. Elektromekanik ve güç elektroniği elemanları kullanılarak yapılan sistemlerde esnek bir yapı oluşturulması oldukça zordur [45]. Kontrol Sistemlerinin birbirleri ile karşılaştırılmaları Tablo 5.1'de verilmiştir. Endüstriyel bir cihaz olarak PLC, çalışma şartlarının ağır (yüksek sıcaklık, toz vb) olduğu uygulamalarda diğer kontrol cihazlarına göre öne çıkmaktadır.

Çizelge 5.1. Kontrol sistemlerinin karşılaştırılması

Karşılaştırılan Özellikler	PLC-Scada	PIC	Klasik kumanda
Maliyet	<i>Yüksek</i>	Yüksek	Düşük
Fiziksel Büyüklük	<i>Küçük</i>	Küçük	Büyük
Yenilenme İmkanları	<i>Yüksek</i>	Orta	Düşük
Modüler sistem Eklenmesi	<i>Yüksek</i>	Ek tasarım	Yok
Çalışma ortamına dayanıklılık	<i>Yüksek</i>	Ek güvenlik	Düşük
Arıza bulma	<i>Çok yüksek</i>	Çok yüksek	Düşük
Haberleşme	<i>Yüksek</i>	Yüksek	Yok
Üretim Planma	<i>Yüksek</i>	Yüksek	Yok
Güvenlik	<i>Yüksek</i>	Orta	Düşük
Geliştirme Maliyetleri	<i>Düşük</i>	Orta	Düşük
Veri İzleme	<i>Yüksek</i>	Yüksek	Yok

Yapılan çalışmada, harmonik barındıran bir sisteme sabit kondansatör gruplarıyla yapılan kompanzasyon sistemi uygulandığında, sistemdeki harmonik mertebelerinin katlanarak arttığı görülmüştür. Bunun sebepleri, kompanzasyon sisteminin yüksek frekanslardaki harmonikli akımlara çok düşük empedans göstererek bu akımların genliklerinin artmasına neden olması ve sistemde meydana gelen rezonans olaylarıdır. Bu nedenlerden dolayı artan harmonikli akım ve gerilim seviyeleri kompanzasyon sisteminde ısınma ve dielektirik zorlanmaya neden olarak kondansatörlerin ömürlerini azaltmakta ve patlamalarına neden olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı harmonik barındıran bir sistemde harmoniklerin mevcudiyeti ve etkileri en fazla kompanzasyon sistemlerinde hissedilmektedir [44].

Harmonikli bir sistemde kompanzasyonun meydana getirdiği olumsuz etkilerin azaltılabilmesinin kolay ve ekonomik olan kompanzasyon sistemine seri endüktans bağlamasıdır (filtreli kompanzasyon). Filtrelerin söylenebilecek en olumsuz yanı harmonik mertebelerini istenen değerlere tam olarak çekememesi ve endüktansların kompanzasyon sisteminin uçlarındaki gerilimin yükselmesine sebep olmaktadır, bu sebepten sistem için seçilen kapasitanslar şebeke geriliminden daha büyük gerilim değerlerine dayanıklı olmalıdır. Bu sistemin olumlu yanları ise; öncelikle maliyeti çok düşüktür, mevcut sistemlere kolayca monte edilebilir, sistemdeki rezonans riskini azaltır. Bu yöntem uygulamada çok sık kullanılan bir yöntemdir. Lineer olmayan sistemlerde şebeke akımının harmonikler içerdiği göz önünde bulundurulmalıdır. Böyle bir sistem tasarlanırken ek filtreler kullanılmalı ve harmoniklerin etkisi ortadan kaldırılmalıdır.

Dikkat edilmesi gereken diğer bir unsur ise tek başına PLC'nin bir anlam ifade etmediğidir. Hassas bir kompanzasyon için kondansatör gruplarının değerleri ve kademe seçimi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada karşılaşılan en büyük problemlerden biri de kondansatörlerin devreye bağlanması olmuştur. Kondansatörlerin kapama akımı çok büyük olduğundan bunu sınırlandırmak için ilk anda kondansatöre seri bir direnç bağlanmalıdır. Bu direnç

geçici durumdan sonra devreden çıkarılır. Ayrıca kondansatörleri kısa devrelere karşı korumak için mutlaka uygun değerde sigorta kullanılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Miller, T.J.E., "Reactive Power Control in Electric Systems", *A Wiley-Interscience Publication*, New York 1-28 (1982).
2. Bayındır, R., "Bulanık Mantık Denetimli Senkron Motor ile Reaktif Güç Kompanzasyonu", Doktora Tezi, *Gazi Ün. Fen Bil. Enst.*, Ankara, 39-51 (2002).
3. Türkiye Cumhuriyeti Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, "Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik", *Resmi Gazete*, Sayı: 26398 (2007).
4. Bayram, M., "Kuvvetli Akım Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu", *Birsan Yayınevi*, İstanbul, (2000).
5. So, E., "A New Current-Comparator-Based High-Voltage Low-Power-Factor Wattmeter", *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, 48: 434-438, (1999).
6. Montero, L. R. R., Mota, W.S., Jacobina, C. B., "A Microcomputer-Based Load Angle and Frequency Measurement", *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, Belgium, 606-609 (1996).
7. Smedley, K., Qiao, C., "Develop a Single Phase Power Factor Correction Control Chip", *Final Report, University of California MICRO Project*, 97-161 (1997-1998).
8. Sağıroğlu, Ş., Çolak, İ., Bayındır, R., "Power Factor Correction Technique Based on Artificial Neural Networks", *Energy Conversion and Management*, 47 (18-19): 3204-3215 (2006).
9. Kaplan, O., "PIC Denetimli Kondansatör Grupları ile Güç Katsayısının Düzeltilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 3-21 (2005).
10. Çolak, İ., Bayındır, R., "A Novel Dynamic Reactive Power Compensator Based on PIC", *Electric Power Components and Systems* 33(8): 861-876 (2005).
11. Bal, G., Çolak, İ., "Sabit Kondansatör-Tristör Kontrollü Reaktör Tipi Reaktif Güç Kompansatörü", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8 (2): 9-15 (1995).
12. Static VAR Compensation System for Industries, *Bhel Industrial System Group:Banglora*, 177-194 (2002).
13. Çolak, İ., "Senkron Makinalar", *G. Ü. Tek. Eğt. Fak.*, Ankara (2002).

14. Bulut, A., Reaktif Güç Kompanzasyonu, **T.E.K Keban Hidroelektrik Santrali İşletme Müdürlüğü**, Elazığ (1991).
15. Çolak, İ., Bayındır, R. and Bay, Ö.F., “Reactive Power Compensation Using a Fuzzy Logic Controlled Synchronous Motor”, **Energy Conversion and Management**, 44 (13): 2059-2215 (2003).
16. Fedyczak, Z., Strzelecki, R., Kasperek, R., Skorski, K., “Three-Phase Self-Commutated Static Var Compensator Based on Cuk Converter Topology”, **IEEE 31st Annual Power Electronics Specialists Conference**, Galway, Ireland, PESC(1): 494-499 (2000).
17. Kumar, C. S. P., Sabberwal, S.P., Mukharji, A. K., “Power Factor Measurement and Correction Techniques”, **Elsevier Electric Power Systems Research** 32, 141-143 (1995).
18. Alper, Ç., “Reaktif Güç Kompanzasyonu ve Harmonik Filtreleme Amacıyla Kullanılacak Gerilim Kaynaklı Çevirgece Dayalı Statkomun Tasarımı Ve Geçekleşmesi”, Doktora Tezi **ODTÜ Elektrik ve Elektronik Bölümü**, Ankara, 1-22 (2007).
19. Al-Ali, A.R., Negm, M.M., Kassas. M., “A PLC Based Power Factor Controller for a 3-Phase Induction Motor”, **IEEE Industry Applications Conference**, Rome, Italy, IAS (2): 1065-1072 (2000).
20. Dixon. J., Moran. L., Radriguez, J., Domke. R., “Reactive Power Compensation Technologies, State of the Art Review”, **Proceedings of the IEEE Publication**, 93 (12): 2144-2164 (2005).
21. Çolak İ, Kaplan O., Bayındır R. ve Kundakoğlu H., “Reaktif Güç Kompanzasyonu Uygulamalarının Eğitim Amaçlı Benzetimi”, **Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu**, Bursa, (2008).
22. El-Habrouk, M., Darwish, M.K., Mehta, P., “A Survey of Active Filters and Reactive Power Compensation Techniques” **Power Electronics and Variable Speed Drives**, Conference Publication No. 475: 18-19 IEE (2000).
23. Abut, N., “Güç Elektroniği Devreleri ile Kumanda Edilen Statik Kompanzasyon Yöntemleri” **EMO Dergisi**, 336 : 179-184 (1986).
24. Kakilli, A, Tunçalp, K., Sucu, M, “Harmoniklerin Reaktif Güç Kompanzasyon Sistemlerine Etkilerinin İncelenmesi ve Simülasyonu” **Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi Science and Eng. J of Fırat Univ.**, 20 (1): 109-115 (2008).

25. Livshitz A., Chudnovsky B.H., Bukengolts B., Chudnovsky B.A., "On-line Temperature Monitoring of Power Distribution Equipment", *Industry Applications Society 52nd Annual Petroleum and Chemical Industry Conference*, USA, 223–231 (2005).
26. Dash, P.K, Panda, S.K, Liew, A.C., Mishra, B., Jena. R.K., "A New Approach to Monitoring Electric Power Quality", *Electric Power Systems Research*, 46: 11–20 (1998).
27. Jenkins, M.P., "On-Line Monitoring of Generators and Steam Turbines", *The Institution of Electrical Engineers*, IEE : 1-5 (1995).
28. Dorhofer, F.J., Heffington, W.M., "Electrical Energy Monitoring in an Industrial Plant", *16th Annual Industrial Energy Technology Conference*, Texas, (1994).
29. Yao, W.L., Ku, C.H., "Developing a PC-Based Automated Monitoring and Control Platform for Electric Power Systems", *Electric Power Systems Research* 64: 129-136 (2003).
30. Dorsey, J.G., Siewiorek, D.P., "Online Power Monitoring for Wearable Systems", *Proceedings of the 6th International Symposium on Wearable Computers (ISWC.02)* Seattle, WA, USA, IEEE, 137-138 (2002).
31. Bayındır, R., Sağıroğlu, Ş., and Çolak, İ., (2009) "An Intelligent Power Factor Corrector Power System Using Artificial Neural Networks", *Electrical Power Systems Research*, 79: 152-160 (2009).
32. Nagata, T., "An Electric Power Energy Monitoring System in Campus Using an Internet", *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, Montreal, Canada, 1-6 (2006).
33. Çolak, İ., Bayındır, R., "Calculation of Power Factor by Using PICF84 Controller" *Journal of the Institute of Science and Technology of Erciyes University*, 19(1-2): 50-58 (2003).
34. Çolak, İ., Bayındır, R., Demirbaş, Ş., Bektaş, A., "Bir Endüstriyel İşletmede Enerjinin İzlenmesi", *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24(1-2): 154-164 (2008).
35. Bayındır, R., Kaplan, O., "Designing of a Reactive Power Relay Based on a PIC" *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 22(1): 47-56 (2007).
36. Arifoğlu, U., "Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi", *Alfa Yayıncılık*, İstanbul, 344-348 (2002).

37. Soydal, O., “Güç Katsayısının Düzeltilmesi ve Reaktif Güç Kompanzasyon Sistemleri”, *Ekmel Yayıncılık*, Antalya, 18-22 (1998).
38. TMMOB., “Reaktif Güç Kompanzasyonu Seminer Notları”, *Elektrik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi*, İstanbul, 28-32 (1983).
39. Birbir, Y., “Statik Kompansatörlerle Cosφ’nin Düzeltilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Ün.Fen Bil. Enst.*, İstanbul, 20-32 (1984).
40. Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, “*PLC Kurs Notu*” Kocaeli (2003).
41. Çetin, R., “S7-200 PLC’lerle Otomasyon”, *Ofset*, Ankara 1-50 (2005).
42. “Temel PLC Sistemleri”, *MEGEP Elektrik Elektronik Teknolojisi*, Ankara, 1-79 (2007).
43. “SIMATIC S7-200 Programlanabilir Otomasyon Cihazı Kullanma Kılavuzu Sürüm 1”, *Siemens*, Aralık (2002).
44. Balda, J.C., Griffith., D.C, McEachern, A., Barnes, T.M., Hartmann, D.P., Phileggi, D.J., Emmanuel, A.E., Horton, W.F., Reid, W.E, Ferraro, R.J., Jewell, W.T., “Effects of Harmonics on Equipment” *IEEE Transactions on Power Delivery*, 8(2):672-680 (1993).
45. Akdoğan, E. 2002.“Kavşak Trafiğinin Kontrolü İçin Bir Sinyal Zamanlama Algoritması ve Uzman Sistem Yaklaşımında Kullanılması”, *Uluslararası Trafik ve Yol Güvenliği Kongre Bildirisi*, Ankara (2002).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BARAN Lokman

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 10.01.1980 Mardin

Medeni hali : Bekar

Telefon : 0 (312) 431 44 18

Faks : 0 (312) 431 44 39

e-mail : lokmanbaran@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Elekterik Öğretmenliği Bölümü	2001
Lise	Mardin E.M.L	1996

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2003-.....	Beta L.T.D. Ş.T.İ	Yönetici

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Bilgisayar teknolojileri,;Tarih.