

T.C.
MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ ANABİLİM DALI

ALÇAK GERİLİM REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU
SİSTEMLERİ ÜZERİNE BİR İNCELEME: MUĞLA KREDİ VE
YURTLAR KURUMU ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zafer YILMAZ

OCAK 2025

MUĞLA

MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

TEZ ONAYI

Zafer Yılmaz tarafından hazırlanan “Alçak Gerilim Reaktif Güç Kompanzasyonu Sistemleri Üzerine Bir İnceleme: Muğla Kredi ve Yurtlar Kurumu Örneği” başlıklı tezinin, 27/01/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Enerji Anabilim Dalı’nda yüksek lisans derecesi için gerekli şartları sağladığı oybirliği ile kabul edilmiştir.

TEZ SINAV JURİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Lütfi Erden (**Jüri Başkanı**)
Mühendislik Anabilim Dalı,
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale

İmza:

Doç. Dr. Adem DÖNMEZ (**Danışman**)
Enerji Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza:

Doç. Dr. Uğur ERKARSLAN (**Üye**)
Enerji Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza:

ANA BİLİM DALI BAŞKANLIĞI ONAYI

Prof. Dr. Hülya Kara Subaşıat
Enerji Ana Bilim Dalı Başkanı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza:

Doç. Dr. Adem DÖNMEZ **Danışman**
Enerji Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza:

Savunma Tarihi: 27/01/2025

Tez çalışmalarım sırasında elde ettiğim ve sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgelerin tarafımdan bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde edildiğini; akademik ve bilimsel etik kurallarına uygun olduğunu beyan ederim. Ayrıca, akademik ve bilimsel etik kuralları gereği bu tez çalışması sırasında elde edilmemiş başkalarına ait tüm orijinal bilgi ve sonuçlara atıf yapıldığını da beyan ederim.

Zafer YILMAZ

27/01/2025

ÖZET

ALÇAK GERİLİM REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU SİSTEMLERİ ÜZERİNE BİR İNCELEME: MUĞLA KREDİ VE YURLAR KURUMU ÖRNEĞİ

Zafer YILMAZ

Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Adem DÖNMEZ

Ocak 2025, 70 sayfa

Bu yüksek lisans tezi, enerji verimliliğini artırmak ve elektrik sistemlerinde reaktif güç kaynaklı kayıpları azaltmak amacıyla alçak gerilim reaktif güç kompanzasyonu sistemlerini incelemektedir. Teknolojik gelişmeler ve artan enerji talebi, elektrik enerjisinin daha verimli kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Reaktif güç, elektrik sistemlerinde istenmeyen etkiler yaratan bir bileşendir ve uygun kompanzasyon yöntemleriyle yönetilmesi gerekmektedir. Çalışmanın bir diğer amacı, enerji tüketimi üzerindeki etkileri belirlemek ve kompanzasyon sistemlerinin avantajlarını ekonomik ve teknik boyutlarıyla ortaya koymaktır.

Çalışma kapsamında, Muğla ili Mentеше ilçesindeki Kredi Yurtlar Kurumu tesislerinde yer alan tristör anahtarlama filtreli (Turgut Reis Öğrenci Yurdu) ve konvansiyonel kontaktör anahtarlama (Muğla Erkek Yurdu) kompanzasyon sistemleri detaylı olarak analiz edilmiştir. Bu sistemlerin aktif enerji, reaktif enerji ve güç faktörü değerleri günlük ve aylık periyotlarla izlenerek kapsamlı bir veri tabanı oluşturulmuş ve enerji profilleri ortaya çıkartılmıştır. Tesislerde uygulanan alçak gerilim reaktif güç kompanzasyonu sistemlerinin enerji verimliliği ve maliyet azaltımı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Kompanzasyon sistemlerinin aktif hale getirilmesiyle her iki tesiste de güç faktörü 0,80 seviyesinden 0,99 seviyesine yükseltilmiş ve böylece enerji kayıpları en aza indirgenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre, Turgut Reis Öğrenci Yurdu'nda kompanzasyon sisteminin devreye alınmasıyla aylık 2.116.800,00 TL, Muğla Erkek Öğrenci Yurdu'nda ise 1.058.400,00 TL reaktif enerji cezası önlenmiş, bu da enerji maliyetlerinde %27 oranında bir düşüş sağlamıştır.

Ayrıca tez çalışmasında Similink programı yardımıyla mekanik (kontaktör) ve tristör anahtarlama işlemleri sırasında oluşan fiziksel etkiler araştırılmıştır. Kontaktör anahtarlama sistemlerinin kullanımında tespit edilen inrush akımı problemleri, tristör anahtarlama sistemleriyle büyük bir ölçüde azalttığı görülmüştür. Kontaktörlü devrelerde inrush akımı 30.000 A seviyelerine ulaşırken, tristör anahtarlama devrelerinde bu değer yalnızca 500 A seviyesine düştüğü görülmüştür. Bu durum,

sistem elemanlarının ömrünü uzatması, bakım maliyetlerini düşürmesi ve enerji sistemlerinin güvenilirliğini arttırması gibi olumlu sonuçlara neden olabilir. Çalışmada Simulink programıyla yapılan analizler, tristörlü sistemlerin hem teknik hem de ekonomik avantajlarını açıkça ortaya koymuştur. Rezonans filtreler ile harmoniklerin etkisinin azaltılması sayesinde enerji kalitesi artırılmış ve kompanzasyonun sağladığı tasarruflar somut bir şekilde gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, reaktif güç kompanzasyonu, enerji verimliliğini artırmak ve enerji maliyetlerini düşürmek için kritik bir araç olarak öne çıkmakta, sürdürülebilir enerji yönetimi hedeflerine ulaşmada önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışma, gelecekteki kompanzasyon uygulamaları ve enerji verimliliği araştırmalarına ışık tutmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Reaktif Güç Kompanzasyonu, Doğrusal Olmayan Yük, Güç Faktörü, Rezonans



ABSTRACT

AN INVESTIGATION ON LOW VOLTAGE REACTIVE POWER COMPENSATION SYSTEMS: THE CASE OF MUĞLA STUDENT DORMITORIES INSTITUTION

Zafer YILMAZ

Master of Science (M.Sc.)

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Energy

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Adem DÖNMEZ

January 2025, 70 pages

This master's thesis examines low-voltage reactive power compensation systems to enhance energy efficiency and reduce losses caused by reactive power in electrical systems. Technological advancements and increasing energy demand have made the efficient use of electrical energy a necessity. Reactive power is a component that creates undesirable effects in electrical systems and must be managed with appropriate compensation methods. Another objective of the study is to determine the impacts of compensation systems on energy consumption and to reveal their advantages from economic and technical perspectives.

The study analyzes thyristor-switched filter compensation systems (Turgut Reis Student Dormitory) and conventional contactor-switched compensation systems (Muğla Male Student Dormitory) in the Credit and Dormitories Institution facilities located in the Menteşe district of Muğla province. Active energy, reactive energy, and power factor values of these systems were monitored on daily and monthly periods, forming a comprehensive database, and energy profiles were developed. The effects of low-voltage reactive power compensation systems implemented in these facilities on energy efficiency and cost reduction were investigated.

With the activation of compensation systems, the power factor in both facilities was improved from 0.70 to 0.99, significantly minimizing energy losses. According to the results, the activation of the compensation system prevented a monthly reactive energy penalty of 2.116.800,00 TL for Turgut Reis Student Dormitory and 1.058.400,26 TL for Muğla Male Student Dormitory, achieving a 27% reduction in energy costs.

Additionally, the thesis explored the physical effects of mechanical (contactor) and thyristor switching processes with the help of the Simulink program. It was observed that inrush current issues identified in contactor-switched systems were significantly reduced with thyristor-switched systems. While the inrush current reached levels of 30,000 A in contactor-based circuits, this value was reduced to only 500 A in

thyristor-switched circuits. This could lead to positive outcomes such as extending the lifespan of system components, reducing maintenance costs, and improving the reliability of energy systems. The analyses conducted with Simulink clearly demonstrated both the technical and economic advantages of thyristor-based systems. Through the reduction of harmonic effects using resonance filters, energy quality was enhanced, and the savings achieved through compensation were concretely observed.

In conclusion, reactive power compensation emerges as a critical tool for improving energy efficiency and reducing energy costs, playing a significant role in achieving sustainable energy management goals. This study provides valuable insights for future compensation applications and energy efficiency research.

Keywords: Reactive Power Compensation, Nonlinear Load, Power Factor, Resonance



ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, yönlendirme ve rehberliği ile tezin oluşmasında önemli katkıları olan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Adem DÖNMEZ'e, gerek tez konusunun belirlenmesi gerekse de deneysel süreç boyunca değerli fikirlerinden yararlandığım saygı değer hocam Doç. Dr. Uğur ERKARSLAN'a sonsuz teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
ÖNSÖZ.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Kaynak Özetleri	3
2. REAKTİF GÜÇ VE KOMPANZASYONUN TEMELLERİ	5
2.1. Temel Elektriksel Yükler	5
2.2. Etkin (Aktif) Güç, Tepkin (Reaktif) Güç ve Güç Faktörü Kavramları.....	9
2.3. Tepkin Güç Tüketen Yükler	12
2.4. Reaktif Güç Kompanzasyonunun Faydaları	14
2.5. Reaktif Güç Üretimi ve Kompanzasyon	19
2.6. Konvansiyonel Kompanzasyon Sistemleri	22
2.7. Reaktif Güç Kompanzasyonunda Kondansatör Gücünün Hesabı	22
2.8. Reaktif Güç Kompanzasyonunda Kondansatör Bataryasının Bağlantısı.....	25
2.9. Bataryalardaki Eleman Sayısı ve Kapasite Hesabı	27
3. KOMPANZASYON TESİSLERİ.....	28
3.1. Kompanzasyon Tesislerinin Düzenlenmesi	28
4. ELEKTRİK DEVRELERİNDE REZONANS.....	33
4.1. Seri Rezonans.....	33
4.2. Paralel Rezonans	34
4.3. Rezonansın Etkileri	35
4.4. Harmonik Filtreli Kompanzasyon Sistemleri.....	36
4.5. Harmonik Filtreli Kompanzasyon Sisteminin Tasarımı	40

5. MEKANİK (KONTAKTÖR) VE TRİSTÖR ANAHTARLAMA YAPISININ SİMULİNK PROGRAMI İLE İNCELENMESİ	43
5.1. Mekanik (Kontaktör) Anahtarlama Yapısının Simulink Programı ile İncelenmesi	43
5.2. Tristör Anahtarlama Yapısının Simulink Programı ile İncelenmesi.....	47
6. MUĞLA KREDİ VE YURTLAR KURUMU ÖĞRENCİ YURDU ÖRNEĞİ	49
6.1. Turgut Reis Öğrenci Yurdu Kompanzasyon Sistemi.....	50
6.2. Muğla Erkek Öğrenci Yurdu Kompanzasyon Sistemi.....	56
6.3. Tesislerin Tükettiği Güç Değerleri ve Aylık/Yıllık Enerji Profilleri	58
6.4. Tesislerin Sağladığı Ekonomik Avantaj.....	65
7. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	67
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ.....	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Elektriksel Yüklerin Çektikleri Güç Katsayısı Değerleri	13
Çizelge 3.1. Transformatör reaktif gücünü kompanze etmek için gerekli olan kondansatör gücü	29
Çizelge 4.1. Rezonans frekansına göre filtre reaktör faktörleri	41
Çizelge 6.1. Turgut Reis Öğrenci Yurdu Toplam Kurulu Güç Değerleri.....	51
Çizelge 6.2. Turgut Reis Öğrenci Yurdu A, B, C Blokları Kat Panoları Kurulu Güç Değerleri.....	51
Çizelge 6.3. Turgut Reis Öğrenci Yurdu D Blok Kat Panoları Kurulu Güç Değerleri	52
Çizelge 6.4. Turgut Reis Öğrenci Yurdu Yönetim Binası Kat Panoları Kurulu Güç Değerleri.....	52
Çizelge 6.5. Transformatör ve Kompanzasyon Hesabı İçin Alınan Değerler.....	52
Çizelge 6.6. Turgut Reis Öğrenci Yurdu Kompanzasyon Kondansatör Kademe Güçleri.....	53
Çizelge 6.7. Muğla Erkek Yurdu Toplam Kurulu Güç Değerleri.....	56
Çizelge 6.8. Transformatör ve kompanzasyon hesabı için alınan değerler.....	57
Çizelge 6.9. Tesislerin aylık bazda tükettiği aktif güç (toplam), endüktif (Q_L) ve kapasitif (Q_C) reaktif güç değerleri ile görünür güç (S) ve güç faktörü değerleri.....	58
Çizelge 6.10. Turgut Reis Öğrenci Yurdu Haziran Ayı günlük Endüktif ve Kapasitif Reaktif Güç değerleri ile güç faktörü ve yüzde değişim değerleri	61
Çizelge 6.11. Turgut Reis Öğrenci Yurdu Şubat Ayı günlük Endüktif ve Kapasitif Reaktif Güç değerleri ile güç faktörü ve yüzde değişim değerleri	62
Çizelge 6.12. Muğla Erkek Öğrenci Yurdu Mart Ayı günlük Endüktif ve Kapasitif Reaktif Güç değerleri ile güç faktörü ve yüzde değişim değerleri	63
Çizelge 6.13. Muğla Erkek Öğrenci Yurdu Ağustos Ayı günlük Endüktif ve Kapasitif Reaktif Güç değerleri ile güç faktörü ve yüzde değişim değerleri	64
Çizelge 6.14. Tesislerin Trafo ve Kompanzasyon Verileri.....	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. a) Direnç yük devresi, b) Endüktif yük devresi, c) Kapasitif yük devresi	5
Şekil 2.2. Endüktif yük devresi	6
Şekil 2.3. Kapasitif yük devresi	8
Şekil 2.4. Endüktif ve Kapasitif yük devresi	8
Şekil 2.5. a) İndüktif yük ve fazörel gösterimi, b) Kapasitif yük ve fazörel gösterimi	11
Şekil 2.6. Bir elektrik sisteminin çektiği akım ve güç bileşenleri.....	12
Şekil 2.7. Güç katsayısının gerilim düşümü üzerindeki etkisi	15
Şekil 2.8. Aşırı uyarılmış senkron motor ile güç katsayısının düzeltilmesi.....	20
Şekil 2.9. Kompanzasyonda P aktif gücün sabit kalması durumunda fazör diagramı	23
Şekil 2.10. (P: Sabit) Kompanzasyon öncesi ve sonrası güç akış diyagramı.....	23
Şekil 2.11. Kompanzasyonda S görünür gücün sabit kalması durumunda fazör diyagramı	24
Şekil 2.12. (S: Sabit) Kompanzasyon öncesi ve sonrası güç akış diyagramı.....	25
Şekil 2.13. Üç fazlı şebekelerde kondansatörlerin üçgen ve yıldız bağlanması	26
Şekil 3.1. Bireysel Kompanzasyon	28
Şekil 3.2. Grup Kompanzasyonu	30
Şekil 3.3. Merkezi Kompanzasyon	31
Şekil 4.1. Seri rezonanstaki akım ve empedansın frekansa göre değişimi.....	34
Şekil 4.2. Paralel rezonanstaki akım ve empedansın frekansa göre değişimi	35
Şekil 4.3. HFKS (detuned filtre) bağlantısı.....	38
Şekil 4.4. HFKS frekans-empedans karakteristiği	38
Şekil 4.5. Harmonik filtreli kompanzasyon şeması	40
Şekil 5.1. Kontaktör anahtarlamalı kondansatörün simülasyon devresi	43
Şekil 5.2. Kontaktörlü kondansatör devresine ait akım ve gerilim dalga şekilleri (t=21 ms).....	44
Şekil 5.3. Kontaktörlü kondansatör devresine ait akım ve gerilim dalga şekilleri (t=26ms).....	45
Şekil 5.4. Kompanzasyon kontaktörlü anahtarlanan kondansatör simülasyon devresi	46

Şekil 5.5. Kompanzasyon kontaktörlü anahtarlanan kondansatör devresine ait akım ve gerilim dalga şekilleri ($t=26$ ms)	46
Şekil 5.6. Tristör anahtarlama kondansatörün simülasyon devresi	47
Şekil 5.7. Tristör anahtarlama kondansatör devresine ait akım ve gerilim dalga şekilleri	48
Şekil 6.1. Turgut Reis Öğrenci Yurdu genel görünümü	49
Şekil 6.2. Muğla Erkek Yurdu genel görünümü	50
Şekil 6.3. Trafo tek hat şeması	51
Şekil 6.4. Kompanzasyon rölesi bağlantı şeması	54
Şekil 6.5. Kompanzasyon tek hat şeması	55
Şekil 6.6. Trafo tek hat şeması	56
Şekil 6.7. Kompanzasyon tek hat şeması	57
Şekil 6.8. a) Turgut Reis Öğrenci Yurdu b) Muğla Erkek Öğrenci Yurdu 12 aylık aktif, endüktif, kapasitif güç tüketim grafiği	59
Şekil 6.8. a) Turgut Reis Öğrenci b) Muğla Erkek Öğrenci yurtlarının aylık bazda tükettiği aktif güç (toplam), endüktif (Q_L) ve kapasitif (Q_C) reaktif güç değişimleri	59
Şekil 6.9. Turgut Reis Öğrenci Yurdu Haziran Ayı Günlük Endüktif ve Kapasitif Reaktif Güç yüzde değişimleri	61
Şekil 6.10. Turgut Reis Öğrenci Yurdu Şubat Ayı Günlük Endüktif ve Kapasitif Reaktif Güç yüzde değişimleri	62
Şekil 6.11. Muğla Erkek Öğrenci Yurdu Mart Ayı Günlük Endüktif ve Kapasitif Reaktif Güç yüzde değişimleri	63
Şekil 6.12. Muğla Erkek Öğrenci Yurdu Ağustos Ayı Günlük Endüktif ve Kapasitif Reaktif Güç yüzde değişimleri	64

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

U	:	Faz Gerilimi(V)
I	:	Hat Akımı (A)
S	:	Görünür Güç (VA)
Q	:	Tepkin Güç (Var)
I_p	:	Etkin Akım
P	:	Etkin Güç
I_q	:	Tepkin Akım
φ	:	Faz Açısı
P_{Z1}	:	Kompanzasyon öncesi güç kaybı
P_{Z2}	:	Kompanzasyon sonrası güç kaybı
cos_{φ1}	:	Kompanzasyon öncesi güç faktörü
cos_{φ2}	:	Kompanzasyon sonrası güç faktörü
S₁	:	Kompanzasyon öncesi görünür güç
P₁	:	Kompanzasyon öncesi aktif güç
Q₁	:	Kompanzasyon öncesi reaktif güç
S₂	:	Kompanzasyon sonrası görünür güç
P₂	:	Kompanzasyon sonrası aktif güç
R	:	Hattın Omik Direnci
f_R	:	Rezonans Frekansı
HKFS	:	Harmonik Filtreli Kompanzasyon Sistemi
EPDK	:	Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumu

1. GİRİŞ

Dünya genelinde enerji talebi, nüfus artışı, sanayileşme ve teknolojik gelişmelerin etkisiyle hızlı bir şekilde artmaktadır. Nüfus artışının getirdiği konut ihtiyacı, sanayileşmenin üretim kapasitelerini artırması ve teknolojik cihazların günlük yaşamın bir parçası haline gelmesi, enerji tüketiminde büyük bir artışa neden olmaktadır. Elektrik enerjisi, bu artan talebi karşılayan en temel enerji türlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Ancak, enerji kaynaklarının sınırlılığı ve fosil yakıtların çevre üzerindeki olumsuz etkileri, enerji verimliliği ve sürdürülebilir enerji kullanımı konularını giderek daha kritik hale getirmektedir (Yılıkıran ve Doğan, 2020).

Enerji sistemlerinde yaşanan bu zorluklar, üretim, iletim ve dağıtım süreçlerinde kayıpları en aza indirme gerekliliğini ortaya koymuştur. Enerji kayıplarını azaltmanın ve enerji verimliliğini artırmanın en etkili yollarından biri reaktif güç kompanzasyonudur. Reaktif güç, elektrik sistemlerinde iş üretmeyen, ancak manyetik alanların oluşması için gerekli olan güç bileşenidir. Aktif güce katkıda bulunmaması nedeniyle reaktif güç, enerji sistemlerinde kayıplara yol açarak verimliliği düşürür ve enerji maliyetlerini artırır. Bu nedenle, reaktif güç kompanzasyonu, enerji sistemlerinin performansını iyileştirmek ve enerji kaynaklarının daha etkin kullanılmasını sağlamak için kritik bir çözümdür (Arıkan ve Ermiş, 1983).

Reaktif güç kompanzasyonu, elektrik sistemlerinde reaktif güç akışını azaltarak güç faktörünü iyileştirmeyi amaçlar. Güç faktörünün yükseltilmesi, sistemdeki enerji verimliliğini artırırken gerilim düzeninin korunmasını ve enerji maliyetlerinin düşürülmesini sağlar. Bu yöntem, aynı zamanda iletim ve dağıtım hatlarındaki gereksiz yüklenmeleri önleyerek elektrik sistemlerinin kapasitesini artırır. Özellikle alçak gerilim sistemlerinde uygulanan reaktif güç kompanzasyonu, küçük ölçekli endüstriyel tesislerden kamu binalarına kadar geniş bir alanda enerji verimliliği sağlamaktadır. Reaktif güç kompanzasyonu, elektrik sistemlerinde reaktif güç akışını azaltarak güç faktörünü iyileştirmeyi amaçlar. Güç faktörünün yükseltilmesi,

sistemdeki enerji verimliliğini artırırken gerilim düzeninin korunmasını ve enerji maliyetlerinin düşürülmesini sağlar (Vardar, Çam ve Yalçın, 2010).

Bu bağlamda, alçak gerilim reaktif güç kompanzasyonu sistemleri, enerji verimliliğini artırmak ve maliyetleri düşürmek için önemli bir araç olarak görülmektedir. Günümüzde kullanılan kompanzasyon sistemleri, teknolojiyle birlikte gelişerek daha hassas, hızlı ve verimli hale gelmiştir. Geleneksel kontaktör anahtarlama sistemlerinden modern filtreli tristör anahtarlama sistemlerine kadar çeşitli kompanzasyon teknolojileri, farklı uygulama alanlarına göre geliştirilmiştir. Bu sistemlerin etkinliği, enerji sistemlerindeki kayıpları en aza indirerek güç kalitesini artırmada belirleyici bir rol oynamaktadır.

Bu tez çalışmasında, Muğla ili Menteşe ilçesindeki Kredi Yurtlar Kurumu tesislerinde yer alan alçak gerilim reaktif güç kompanzasyonu sistemleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışma, bu sistemlerin enerji tüketimi üzerindeki etkilerini analiz etmek ve mevcut sistemlerin avantaj ve dezavantajlarını belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Kontaktör anahtarlama ve filtreli tristör anahtarlama kompanzasyon sistemleri, günlük ve aylık periyotlarla izlenerek kapsamlı bir veri tabanı oluşturulmuştur. Elde edilen bu veriler ışığında, incelenen tesislerin enerji profilleri ortaya çıkartılmış ve öneriler geliştirilmiştir.

Çalışmanın bir diğer amacı, mevcut literatürde yer alan kompanzasyon sistemleri ile ilgili bilgileri genişletmek ve uygulamada karşılaşılan sorunlara çözüm önerileri sunmaktır. Literatür incelemesinde, alçak gerilim kompanzasyon sistemlerinin enerji verimliliği üzerindeki etkileri ele alınmış ve bu sistemlerin kullanımıyla elde edilen avantajlar değerlendirilmiştir. Özellikle reaktif güç kompanzasyonunun güç faktörünü artırmada, enerji kayıplarını azaltmada ve sistem kararlılığını sağlamada oynadığı rol vurgulanmıştır.

Sonuç olarak, bu çalışma, enerji verimliliği sağlamak ve enerji kayıplarını azaltmak için alçak gerilim reaktif güç kompanzasyonu sistemlerinin önemini vurgulamaktadır. Muğla Kredi ve Yurtlar Kurumu örneği üzerinden gerçekleştirilen analizler ve öneriler, bu alanda yapılacak gelecekteki çalışmalara yol gösterici bir kaynak sunmaktadır. Bu kapsamda, reaktif güç kompanzasyonu uygulamalarının geniş bir perspektiften ele alınması ve enerji sistemlerinin daha sürdürülebilir hale getirilmesi, bu çalışmanın temel hedeflerinden biridir.

1.1. Kaynak Özetleri

Reaktif güç kompanzasyonu, enerji verimliliği ve güç kalitesini iyileştirme amacıyla dünya genelinde üzerinde yoğun olarak çalışılan bir konudur. Özellikle alçak gerilim tesislerinde reaktif güç kompanzasyonunun etkinliği üzerine yapılan araştırmalar, enerji sistemlerinin sürdürülebilirliği ve işletme maliyetlerinin düşürülmesi açısından önemli bilgiler sunmaktadır. Literatürde reaktif güç kompanzasyonunun teorik altyapısı, uygulama yöntemleri, kullanılan cihazlar ve bu uygulamaların sistem performansı üzerindeki etkileri farklı bakış açılarıyla ele alınmıştır.

Alçak gerilim sistemlerinde kompanzasyon uygulamalarına yönelik yapılan çalışmalarda, reaktif gücün dengelenmesinin enerji kayıplarını azalttığı ve güç kalitesini iyileştirdiği gösterilmiştir. Alçak gerilim kompanzasyon sistemleri için kullanılan ekipmanlar (kondansatörler, reaktörler vb.) tanımlanmış ve uygulamalarda karşılaşılan zorluklar değerlendirilmiştir (Atmaca, 2020).

Bunun yanı sıra, sabit ve otomatik kompanzasyon sistemlerinin avantaj ve dezavantajları üzerine yapılan araştırmalar, farklı işletme tiplerine göre en uygun kompanzasyon yöntemi seçimini incelemiştir. Sabit kompanzasyon sistemleri genellikle küçük işletmelerde tercih edilirken, yük profilinin daha değişken olduğu büyük tesislerde otomatik kompanzasyon sistemlerinin kullanımı yaygındır. Alçak ve orta gerilim seviyelerindeki kompanzasyon uygulamalarının işletme maliyetlerine olan etkisini ele alarak, sabit ve otomatik sistemlerin performans karşılaştırması yapılmıştır (Balaman, 2012).

Kompanzasyonun alçak gerilim tesislerindeki etkilerine yönelik çalışmalarda ayrıca harmoniklerin önemli bir yer tuttuğu görülmektedir. Alçak gerilim sistemlerinde reaktif güç kompanzasyonu için kullanılan kondansatörler ve bazı yarı iletken elemanlar, harmoniklerin artmasına neden olabilir. Harmoniklerin sistem performansı üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla literatürde çeşitli çözümler önerilmektedir. Harmoniklerin etkileri ve harmoniklerin azaltılması için filtreleme yöntemleri kullanılmıştır. Harmoniklerin alçak gerilim kompanzasyon sistemlerinde güç faktörünü olumsuz etkileyebileceğini ve filtre kullanımının bu etkileri azaltmada etkin bir yöntem olduğunu göstermektedir (Baş, 2014).

Dünya genelinde yapılan araştırmalar, reaktif güç kompanzasyonunun enerji verimliliğini artırmak ve maliyetleri düşürmek için önemli bir uygulama olduğunu vurgulamaktadır. Reaktif güç kompanzasyon sistemleriyle birlikte kullanılan otomatik kontrol sistemlerinin (örneğin, Süpervizör Kontrol Teorisi - SCT) kompanzasyon verimliliğini artırdığı gösterilmiştir. Reaktif güç kompanzasyonunda kullanılan kontrol tekniklerinin reaktif güç dengelemesini daha hassas bir şekilde sağladığını ve enerji kayıplarını minimuma indirdiğini ortaya koymaktadır (Gelen vd., 2020).

Ayrıca Türkiye'de özellikle sanayi bölgelerinde reaktif güç kompanzasyonu'nun önemine vurgu yapan araştırmalarda, yüksek güç tüketimine sahip fabrikalarda ve endüstriyel tesislerde kullanılan reaktif güç kompanzasyon sistemlerinin enerji verimliliğini artırdığı ve güç kalitesini iyileştirdiğı belirtilmektedir. İzmir Aliağı bölgesindeki bir endüstriyel tesiste reaktif güç kompanzasyonu üzerine yapılan bir araştırmada, kompanzasyonun enerji tüketim maliyetleri üzerindeki etkisi analiz edilmiş ve harmoniklerin azaltılması için kullanılan kondansatör tabanlı sistemlerin etkinliğı vurgulanmıştır (Koçamış, 2009).

Bu tez çalışmasında ise, reaktif güç kompanzasyonu uygulamalarının Muğla Kredi ve Yurtlar Kurumu'nda nasıl ele alındığı ayrıntılı bir biçimde incelenmiş, kontaktör ve tristör anahtarlamalı kompanzasyon sistemlerinin incelenen tesislerde enerji tasarrufu sağlamada nasıl bir rol oynadığı gösterilmeye çalışılmıştır. Tesislerin enerji profilleri ortaya çıkarılmış, reaktif güç kompanzasyon sistemlerinin verimliliğı artırarak maliyetleri nasıl düşürdüğünü ve güç kalitesini nasıl iyileştirdiğini gösterilmiştir.

2. REAKTİF GÜÇ VE KOMPANZASYONUN TEMELLERİ

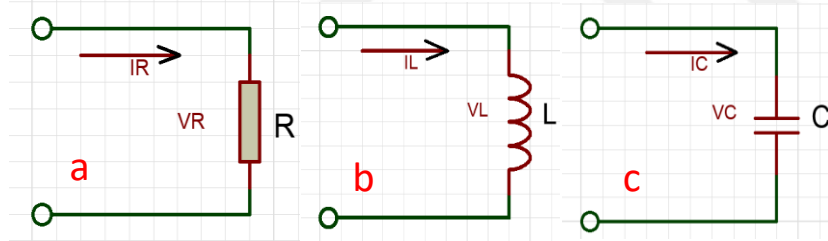
2.1. Temel Elektriksel Yükler

Günümüzdeki birçok cihaz, işlevlerini yerine getirebilmek için elektrik enerjisi kullanmaktadır. Elektrik enerjisi tüketen bu cihazlar şebekeden çektikleri enerji bakımından iki grup halinde sınıflandırılabilirler;

- Doğru akım tüketicileri
- Alternatif akım tüketicileri

Bu cihazlar elektriksel yük olarak sınıflandırılırlar. Elektriksel yükler genel olarak üç çeşittir.

- Direnç özelliği olan yükler (omik yükler) (Şekil 2.1a)
- Bobin özelliğinde olan endüktanslar (endüktif yükler) (Şekil 2.1b)
- Kapasite özelliği olan kondansatörler (kapasitif yükler) (Şekil 2.1c)



Şekil 2.1. a) Direnç yük devresi, b) Endüktif yük devresi, c) Kapasitif yük devresi

Direnç özellikli yükler, R ile gösterilir ve birimi ohm (Ω)'dur. Endüktif yükler ise L ile ifade edilir ve birimi Henry'dir. Kapasitif yükler yani kondansatörler C ile gösterilir ve birimi Farad'dır. Bu yük çeşitleri elektrik devrelerinde her zaman saf formları ile bulunmazlar. Genelde elektrik devrelerinde bu yükler farklı büyüklüklerde görülürler. Örneğin bir bobinin endüktif özelliklerine ek olarak küçük de olsa bir direnç değeri bulunur. Aynı şekilde bir hattın kapasite değerinin yanında bir direnç değeri vardır. En genel durumda bir elektrik devresi, bütün yük çeşitlerini kapsayan RLC devresidir.

İdeal bir AC şebekesi için, şebekedeki her noktanın sabit gerilim ve frekansa sahip olması, harmoniklerin bulunmaması, güç faktörünün bir veya bire yakın olması, dengeli faz gerilim ve akımlarına sahip olması ve sürekli olarak enerji talebini karşılaması gerekir. Bu kadar önemli olan kompanzasyon sistemini daha iyi anlamak için kondansatörlerin ve birlikte çalıştıkları bobinlerin özelliklerini ve devrede gösterdikleri reaksiyonun tam olarak bilinmesi gerekir.

2.1.1. Bobinler

Spiral olarak sarılmış bir iletkene bobin denir. Manyetik akı, bobinden geçen akımla orantılı olarak değişir. Bu değişimi gösteren sabite bobinin öz-indüktans katsayısı denir. “L” ile gösterilir, birimi Henry’dir (Şekil 2.2a).

Bobinin içinden geçen manyetik akı;

$$\Phi = L \cdot I \quad (2.1)$$

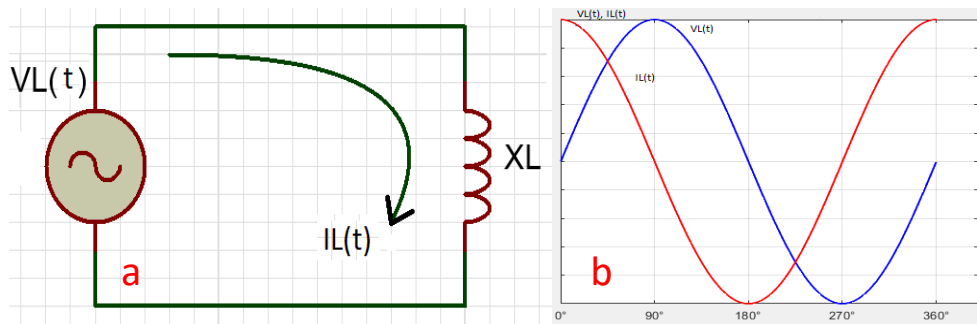
Bobinin içinden geçen alternatif akım;

$$I_L(t) = I_m \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (2.2)$$

Bobin uçlarındaki gerilim;

$$V_L(t) = L \cdot \frac{dI_L(t)}{dt} \quad (2.3)$$

$$V_L(t) = L \cdot \omega \cdot I_m \cdot \cos \omega t = L \cdot \omega \cdot I_m \cdot \sin(\omega t + 90) \quad (2.4)$$



Şekil 2.2. Endüktif yük devresi

Denklem (2.4) ve Şekil (2.2b)’de görüldüğü gibi bobinin içinden geçen akım, gerilimden 90° geridedir.

$$V_L(t) = j\omega L \cdot I_m \cdot \sin \omega t \quad (2.5)$$

$$X_L = \frac{V_L(t)}{I_L(t)} = \frac{j\omega L \cdot I_m \cdot \sin (\omega t)}{I_m \cdot \sin (\omega t)} \quad (2.6)$$

$$X_L = j\omega L \quad (\omega = 2\pi f) \quad (2.7)$$

Bu değeri bobinin alternatif akıma gösterdiği direnç olan endüktif reaktansdır.

2.1.2. Kondansatörler

Temel yapısı; iki iletken levha arasına konulan yalıtkan bir malzemeden oluşur. İletken levhalar yükü depolar. Bu da kondansatörün yapısına göre belirli bir kapasiteye sahip olduğunu gösterir. “C” ile gösterilir. Birimi farad’dır (Şekil 2.3a).

$$C = 0.0885 \frac{\epsilon \cdot A \cdot 10^{-12}}{d} \quad (2.8)$$

Denklem (2.8) den anlaşıldığı gibi kondansatörün kapasitesi, levhanın yüzeyi (A) ve dielektrik katsayısıyla (ϵ) doğru orantılı, levhalar arasındaki uzaklık (d) ile ters orantılıdır.

Kondansatörler; elektrik yükü depolayabilmeleri, doğru akıma sonsuz direnç gösterip, alternatif akımı geçirmeleri, alternatif akım devrelerine reaktif güç vermeleri gibi özellikleri ile çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır (Önal, 1996).

Kondansatörlerin depoladığı yük; kapasitesi ve uçlarına uygulana gerilim ile doğru orantılıdır.

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{d(C \cdot V_C)}{dt} \quad (2.9)$$

$$I_C(t) = \frac{dQ}{dt} = C \cdot \frac{dV_C}{dt} \quad (2.10)$$

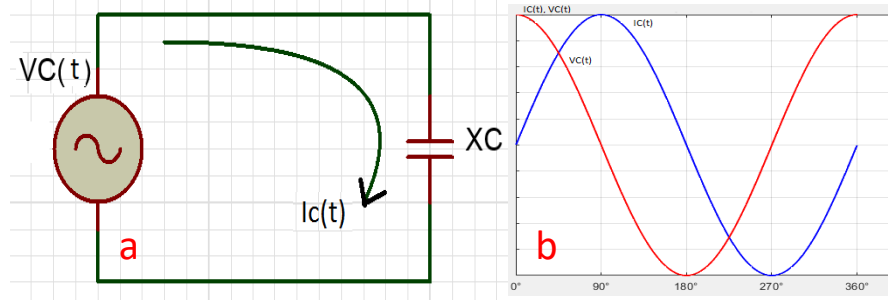
$$V_C(t) = V_m \sin \omega t \quad (2.11)$$

$$I_C(t) = j \cdot \omega \cdot C \cdot V_m \sin \omega \cdot t \quad (2.12)$$

Denklem (2.12)’ye göre Şekil (2.3b)’de görüldüğü gibi kondansatörden geçen akım, gerilime göre 90° ileridedir.

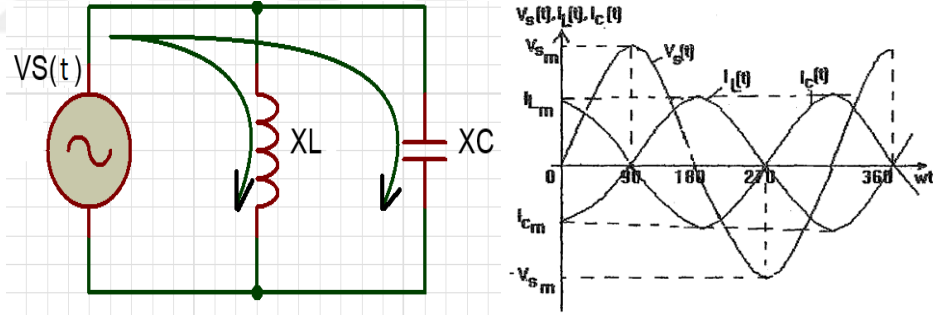
$$X_C = \frac{V_C(t)}{I_C(t)} = \frac{V_m \cdot \sin (\omega \cdot t)}{j \cdot \omega \cdot C \cdot V_m \sin (\omega \cdot t)} = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C} \quad (2.13)$$

Bu da kondansatörün alternatif akıma karşı gösterdiği direnç olan kapasitif reaktansdır.



Şekil 2.3. Kapasitif yük devresi

Kondansatörleri ve bobinleri karşılaştırdığımızda aralarında bazı benzerlikler olduğunu görüyoruz. Her ikisinin de ortak noktası reaktanslarının frekansla değişmesidir. Denklem (2.7)'e göre bobinlerde frekansın artmasıyla direnç büyür, denklem (2.13)'e göre kondansatörlerde frekansın artmasıyla direnç küçülür. Kondansatörlerin kapasitesi, bobinlerin öz indüktans katsayısıyla karşılaştırıldığında, her ikisi de imalat yöntemine bağlıdır.



Şekil 2.4. Endüktif ve Kapasitif yük devresi

Kondansatörlerin reaktansı kapasitenin artmasıyla azalırken, bobinlerin reaktansı, öz endüktans katsayısının artmasıyla artar. Şekil 2.4'te gösterildiği gibi bobindeki akım gerilimin 90° gerisindedir. Kapasitörlerde akım gerilimin 90° ilerisinde akar. Sonuç olarak kondansatör ve bobinden geçen akımın birbirinden 180° faz farkı vardır. Yani akımların akışı ters yöndedir. Bu kapasitör ve bobinin birbirinin etkisini sıfırladığını gösterir.

2.2. Etkin (Aktif) Güç, Tepkin (Reaktif) Güç ve Güç Faktörü Kavramları

Tüketicilerin şebekeden çektiği görünür akım, fiziksel ve matematiksel bakımdan kolaylık sağlaması için etkin ve tepkin olarak iki bileşene ayrılır. Etkin akımın meydana getirdiği aktif güç, tüketici tarafından faydalı hale getirilir. Örneğin motorlarda mekanik güce, ısı tüketicilerinde termik güce, aydınlatma sistemlerinde ise ışık akısına dönüşür (Bayram, 2000).

Elektrodinamik prensibine göre çalışan jeneratör, trafo, bobin ve motor gibi elektrik cihazlarının çalışması için gerekli olan manyetik alanı sağlayan mıknatıslanma akımına tepkin akım ve dolayısıyla çekilen güce tepkin güç denir. Tepkin akım faydalı güce çevrilmez. Öte yandan şebekeden çekilen bu akım, üretim santrallerinde, jeneratörleri, transformatörleri, hatları, bobinleri gereksiz yere yükler, ısı kayıplarına ve gerilim düşümlerine neden olur (Bayram, 2000).

Güç sistemlerinde verimliliği ve kapasiteyi arttırmanın yöntemlerinden biri de reaktif güç kompanzasyonunun uygulanmasıdır. Tüketicilerin normal olarak şebekeden çektikleri indüktif gücün, kapasitif güç çeken bir reaktif güç üreticisi tarafından dengelenerek güç faktörünün bire yaklaştırılması olayına reaktif güç kompanzasyonu adı verilir (Bayram, 2000).

Günümüzde elektrik enerjisi, alternatif akım olarak üretilir ve dağıtılır. Üretimden tüketime kadar olan süreçte kullanılan cihazlar ve yükler, sadece saf dirençli değil aynı zamanda indüktif ve kapasitif direnç özellikleri de taşır. Bu durumda akım ve gerilim arasında ϕ açısı kadar bir faz farkı meydana gelir ve bu faz açısı kadar akım ve gerilimde kayma oluşur. Bu faz farkı, akımın aktif ve reaktif olmak üzere iki bileşene ayrılmasına neden olur (Bayram, 2000).

2.2.1. Aktif (etkin) güç

Aktif akımın ürettiği aktif güç, tüketici tarafından yararlı hale getirilerek işe dönüştürülür. Örneğin motorlarda mekanik güce, ısıtma cihazlarında ısı enerjisine ve aydınlatma ekipmanlarında ışık enerjisine dönüşür (Bayram, 2000).

Aktif güç, tek fazlı alternatif akım devresi için U gerilimi ile I akımının aktif bileşeninin çarpımına eşittir.

$$P = U.I . \cos \varphi \quad (2.14)$$

Bu formülde P; aktif güç (Watt), $\cos \varphi$ ise güç faktörü, φ ise akım ile gerilim arasındaki faz açısını gösterir.

2.2.2 Reaktif (tepkin) güç

Reaktif akımın ürettiği reaktif güç, faydalı güce dönüştürülemez. Reaktif güç yalnızca alternatif akıma dayanan ve elektrik tesisatlarını olumsuz etkileyerek jeneratörler, transformatörler, hatlar ve bobinler üzerinde aşırı zorlanmaya yol açan bir özelliktir. Ayrıca bunların üzerlerinde ilave ısı kayıplarına ve voltaj düşüşlerine yol açar.

Reaktif güç faydalı güce dönüştürülemez de tamamen gözardı edilemez. Çünkü elektromanyetizma prensibine göre çalışan jeneratör, transformatör, bobin, motor gibi cihazların düzgün çalışması için gerekli olan manyetik alan reaktif akım tarafından üretilir. İndüksiyon prensibine göre çalışan tüm makine ve cihazlar manyetik alanı oluşturmak için mıknatıslanma akımına ihtiyaç duyar ve bu mıknatıslanma akımı, reaktif akım olarak bilinir. Sonuç olarak faydalı aktif güce ek olarak reaktif güce de ihtiyaç duyulmaktadır (Arifoğlu, 2002).

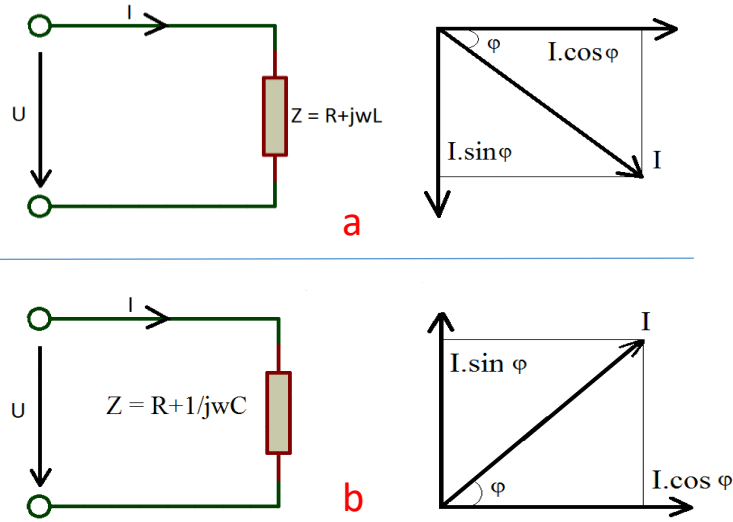
Mıknatıslanma akımı endüktif bir akımdır, manyetik alan oluştuğunda şebekeden çekilir ve alan dağıldığında bu akım şebekeye geri döner. Reaktif gücün üretici ile tüketici arasında şebeke frekansının iki katı hızda gidip gelmesinin nedeni budur.

Bir tüketicinin şebekeden çektiği bir faza ait reaktif güç (Q);

$$Q = U .I. \sin \varphi \quad (2.15)$$

Burada U hat gerilimi, I hat akımıdır. Aktif güç ve aktif akım, gerilimle aynı fazda olmasına rağmen, çekilen güç indüktif veya kapasitif olduğunda, hat akımı I, gerilimden φ açısı kadar geride veya ileride olur (Bayram, 2000).

Bu durumda reaktif güç, indüktif ya da kapasitif özellik gösterebilir. Şekil 2.5a'da görüldüğü gibi, indüktif karakterde bir yük için, akım fazörü gerilim fazörünün gerisindedir. Kapasitif karakterde bir yük için akım fazörü gerilim fazörüne göre ileri fazdadır (Şekil 2.5b) (Arifoğlu, 2002).



Şekil 2.5. a) İndüktif yük ve fazörel gösterimi, b) Kapasitif yük ve fazörel gösterimi

Bir indüktif yükün kaynaktan çektiği reaktif gücün işareti pozitif, kapasitif yükün çektiği reaktif gücün işareti ise negatif kabul edilir. Buna göre, indüktif karakterdeki bir tüketiciye ait S görünen, P aktif, Q reaktif güç ve akımlar arasındaki ilişki şekil 2.6’da gösterildiği gibi tanımlanabilir. Bir tüketicinin şebekeden çektiği güçler ve akımlar, sadece temel bileşenler dikkate alındığında aşağıda verilmiştir;

$$\text{Görünür Güç; } S = U \cdot I \quad (2.16)$$

$$\text{Etkin Akım; } I_p = I \cdot \cos \varphi \quad (2.17)$$

$$\text{Etkin Güç; } P = S \cdot \cos \varphi = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (2.18)$$

$$\text{Tepkin Akım; } I_q = I \cdot \sin \varphi \quad (2.19)$$

$$\text{Tepkin Güç; } Q = S \cdot \sin \varphi = U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (2.20)$$

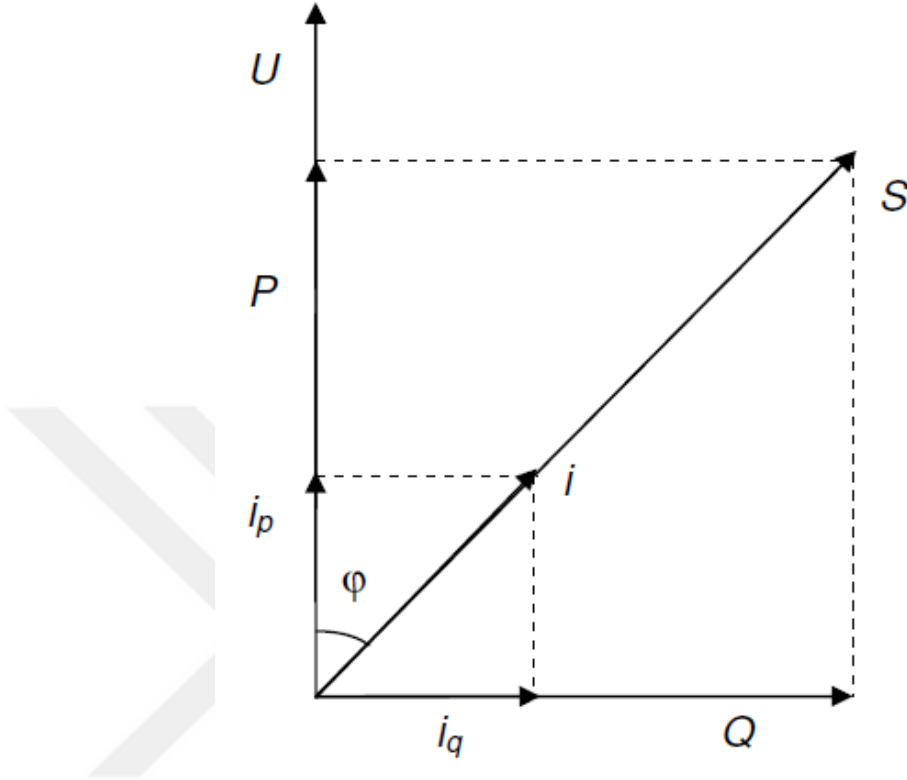
Yukarıdaki ifadelerden aşağıdaki bağıntılar elde edilir.

$$\text{Görünür Akım; } I = \sqrt{I_p^2 + I_q^2} \quad (2.21)$$

$$\text{Görünür Güç; } S = \sqrt{P^2 + Q^2} = U \cdot I \quad (2.22)$$

Yukarıda görüldüğü gibi etkin güç görünür gücün $\cos \varphi$ değeriyle çarpılması ile elde edilir. Buradaki φ açısı akım ile gerilim arasındaki faz açısını ifade eder. Bu açının kosinüs değeri ise güç katsayısı (güç faktörü) olarak isimlendirilir. Endüktif

karakterli bir sistemde akım gerilimden geridedir, kapasitif bir sistemde ise akım gerilimden öndedir.



Şekil 2.6. Bir elektrik sisteminin çektiği akım ve güç bileşenleri

2.3. Tepkin Güç Tüketen Yükler

Elektrik tesisatlarında manyetik veya statik alan ile çalışan tüm araçların, şebekeden gelen aktif güce ek olarak reaktif güce de ihtiyacı vardır. Floresan lambalar, sodyum ve civa buharlı lamba balastları, neon lamba transformatörleri, SMPS ler, redresörler, endüksiyon fırınları, ark fırınları, kaynak makineleri, düşük uyarmalı senkron makineler, asenkron motorlar, transformatörler, bobinler, havai hatlar önemli reaktif güç tüketicileridir. (Kıyan, 2010) Çizelge 2.1’de çeşitli elektriksek yüklerin güç faktörleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Elektriksel Yüklerin Çektikleri Güç Katsayısı Değerleri

Endüstriyel Yükler	Cos ϕ (Güç Katsayısı)
Asenkron Motorlar (Yüksek Verimli)	0.85 - 0.95
Asenkron Motorlar (Standart)	0.75 - 0.85
Kayıslı Kompresör	0.70 - 0.90
Fanlar	0.60 - 0.85
Kaynak Makineleri	0.50 - 0.70
Fırınlr	0.70 - 0.90
Pompa Motorları	0.70 - 0.90
Aydınlatma Yükleri	
Fluoresan Lambalar (Düzensiz Kompanzasyon)	0.50 - 0.70
Fluoresan Lambalar (Düzenli Kompanzasyon)	0.90 - 0.95
LED Aydınlatmalar	0.90 - 0.98
Civa Buharlı Lambalar	0.40 - 0.60
Halojen Lambalar	0.95 - 1.00
Evsel Yükler	
Buzdolabı	0.70 - 0.90
Klima	0.85 - 0.95
Çamaşır Makinesi	0.70 - 0.90
Televizyon (Eski tip CRT)	0.60 - 0.75
Televizyon (Düz ekran)	0.90 - 0.95
Bilgisayar	0.60 - 0.80
Ofis ve Ticari Yükler	
Bilgisayarlar	0.60 - 0.80
Fotokopi Makineleri	0.70 - 0.90
Asansörler	0.60 - 0.80
UPS Sistemleri	0.60 - 0.80

2.4. Reaktif Güç Kompanzasyonunun Faydaları

Q reaktif gücün azaltılmasını içeren reaktif güç kompanzasyonu'nun uygulanmaması, iletim hatlarının fiziksel olarak gereksiz güçle yüklenmesine neden olur. Dolayısıyla hat bölümünün bir kısmı bu fazla güce tahsis edilmiş olur. Bilindiği gibi reaktif güç çift yönlüdür, yani periyodun bir yarısında kaynaktan yüke, diğer yarısında ise yükten kaynağa doğru akar. İletim hatlarının inşası ile ilgili masraflar çok yüksektir. Bu nedenle hat iletkeninin kesitinin artırılması (reaktif gücün iletilmesi nedeniyle) daha yüksek maliyetlere neden olacaktır. Reaktif güç aynı zamanda transformatör ve jeneratörlerden de geçtiği için iletim hatlarında meydana gelen olumsuz sonuçlar bu bileşenleri de etkileyecektir.

2.4.1. Reaktif güç kompanzasyonunun şebeke açısından yararları

Reaktif güç kompanzasyonu, elektrik şebekelerinde reaktif güç akışını dengelemek için kullanılan bir tekniktir ve şebeke açısından birçok önemli fayda sağlamaktadır. Bu faydalar aşağıda kısaca detaylandırılmıştır:

2.4.1.1. Şebekenin güç kapasitesi artar

Kompanzasyon işlemi abonenin şebekeden tükettiği görünür gücü azalttığı için şebeke üzerindeki yükü de azaltır. Sistemin kapasitesi aşılmadan daha fazla aktif gücün kullanılmasına olanak sağlar. Aşağıda kompanzasyon öncesinde ve sonrasında görünür güçlerdeki fark ve yüzde olarak ifade edilen değişim aşağıda özetlenmiştir.

$$S_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2} \quad (2.23)$$

$$S_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2} \quad (2.24)$$

$$\Delta S = S_1 - S_2 \quad (2.25)$$

$$\% \Delta S = \frac{\Delta S}{S_1} \cdot 100 \quad (2.26)$$

Burada sırasıyla; S_1 , P_1 , Q_1 ; Kompanzasyon öncesi görünür, aktif ve reaktif güç, S_2 , P_2 , Q_2 ; Kompanzasyon sonrası görünür, aktif ve reaktif güç, ΔS ; Kompanzasyon öncesi ve sonrası görünür güç farkıdır.

2.4.1.2. Şebekenin ısı kayıpları azalır

Kompanzasyon işlemi tüketicinin şebekeden çektiği akım miktarını azaltacağından hat kayıpları azalır. Aşağıda kompanzasyon öncesi ve sonrası güç kayıpları ve yüzde değerleri verilmiştir.

$$P_{Z1} = \frac{R.P^2}{U^2.\cos \varphi_1^2} \quad (2.27)$$

$$P_{Z2} = \frac{R.P^2}{U^2.\cos \varphi_2^2} \quad (2.28)$$

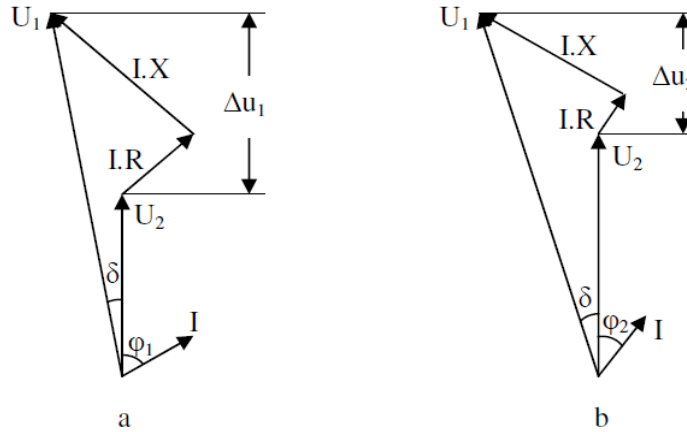
$$Z = \frac{P_{Z1}-P_{Z2}}{P_{Z1}} .100 = \left(\frac{\cos \varphi_2^2}{\cos \varphi_1^2} - 1 \right) .100 \quad (2.29)$$

Burada sırasıyla; P_{Z1} , P_{Z2} ; Kompanzasyon öncesi ve sonrası güç kaybı, $\cos \varphi_1$, $\cos \varphi_2$; Kompanzasyon öncesi ve sonrası güç faktörü, U ; Hat gerilimi, R ; Hattın omik direncidir.

2.4.1.3. Şebekedeki gerilim düşümü azalır

Şebekeden çekilen akım küçüldüğü için şebekedeki gerilim düşümü de azalır. Hat üzerinde boyuna gerilim düşümü

$$\Delta U = R . I . \cos \varphi + X . I . \sin \varphi \quad (2.30)$$



Şekil 2.7. Güç katsayısının gerilim düşümü üzerindeki etkisi

Burada I ; Hat akımı, R ; Hattın omik direnci, X ; Hattın indüktif reaktansıdır. Güç katsayısı $\cos \varphi_1$ 'den $\cos \varphi_2$ 'ye çıkarıldığında, gerilim düşümünün aldığı değer Şekil 2.7'de fazör diyagramı yardımıyla aşağıda görülmektedir.

2.4.1.4. İletim hatları daha kararlı bir yapıda olur

Reaktif güç kompanzasyonu, iletim hatlarında geçici durumlarda oluşan gerilim ve güç dalgalanmalarını sınırlandırarak sistemin kararlılığını artırır. Bu durum, ani yük değişimleri veya arızalar sırasında sistemin hızlı bir şekilde dengeye gelmesine yardımcı olur.

2.4.1.5. Faz gerilim dengesizlikleri azalır

Reaktif güç kompanzasyonu, fazlar arasındaki gerilim dengesizliklerini azaltarak sistemin daha simetrik çalışmasını sağlar. Bu, özellikle üç fazlı sistemlerde cihazların düzgün çalışmasını destekler ve ekipmanların ömrünü uzatır.

2.4.1.6. Gerilim dalgalanmaları (flicker) azalır

Kompanzasyon, yük değişimlerinden kaynaklanan gerilim dalgalanmalarını (flicker) minimum seviyeye indirir. Bu, özellikle hassas elektronik cihazların çalışmasını iyileştirir ve kullanıcı memnuniyetini artırır.

2.4.1.7. Harmonikler azalır

Reaktif güç kompanzasyonu, şebekede harmonik bileşenlerin seviyesini azaltabilir. Uygun kompanzasyon cihazlarının kullanımı, harmonik distorsiyonu düşürerek sistemin genel güç kalitesini iyileştirir ve ekipmanların harmoniklerden zarar görmesini engeller.

2.4.1.8. Sistem stabilitesi artırılır

Reaktif güç dengesizliği, sistem kararlılığını olumsuz etkileyebilir. Kompanzasyon, hem iletim hem de dağıtım sisteminde stabiliteyi artırarak arıza ve kesinti risklerini azaltır.

2.4.1.9. Yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunun kolaylaştırılır

Rüzgar ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları, şebekede dalgalanmalara neden olabilir. Reaktif güç kompanzasyonu, bu tür enerji kaynaklarının entegrasyonunu kolaylaştırır ve sistemin esnekliğini artırır.

2.4.1.10. Şebeke ömrünün uzatılır

Kompanzasyon, ekipmanların gereksiz yere aşırı yüklenmesini önleyerek trafoların, kabloların ve diğer şebeke bileşenlerinin ömrünü uzatır.

2.4.2. Reaktif güç kompanzasyonunun tüketici (işletme) açısından yararları

Reaktif güç kompanzasyonu, tüketiciler için de önemli avantajlar sunar. Bu bağlamda reaktif güç kompanzasyonunun tüketici açısından faydaları aşağıda açıklanmıştır;

2.4.2.1. İşletme ve yatırım maliyetleri azaltılır

Kompanzasyon sistemi kurulu bir işletmede, reaktif güç akışının kontrol edilmesi sayesinde enerji tüketimi daha verimli hale gelir. Bu durum, elektrik altyapısı için yapılması gereken ek yatırım maliyetlerini azaltır.

2.4.2.2. Daha az reaktif güç tüketimi ve tasarruf sağlar

Güç faktörünün optimize edilmesi sayesinde, işletme şebekeden daha az reaktif güç çeker. Bu, doğrudan enerji faturalarını azaltarak işletme maliyetlerini düşürür.

2.4.2.3. Elektrik kesintilerinden kaynaklanan riskler azaltılır

Kompanzasyon, şebekede daha stabil bir enerji beslemesi sağlayarak elektrik kesintileri ve dalgalanmalardan kaynaklanan arıza risklerini en aza indirir. Bu durum, özellikle üretim tesislerinde üretim kayıplarını ve duruş sürelerini azaltır.

2.4.2.4. Cezalı duruma düşmekten kaçınılır

Reaktif güç çekiminin kontrol edilmesiyle, enerji sağlayıcıların belirlediği sınırların aşılması önlenir. Böylece, düşük güç faktörü nedeniyle cezai tarifelerden kaynaklanan ekstra maliyetler ortadan kalkar.

2.4.2.5. Altyapı geliştirme maliyetleri azalır

Reaktif güç kompanzasyonu, mevcut elektrik altyapısının daha verimli kullanılmasını sağlar. Bu, özellikle büyük sanayi tesislerinde enerji altyapısının geliştirilmesi için gerekli yatırımları azaltabilir veya geciktirebilir.

2.4.3. Düşük güç faktörünün etkileri

Düşük güç faktörü, hem elektrik şebekesi hem de tüketiciler açısından birçok olumsuz etkiye neden olur. Bu etkiler ekonomik, teknik ve işletme açısından incelenebilir:

2.4.3.1. Elektrik faturalarının artmasına neden olur

Düşük güç faktörü, enerji şirketlerinin tarifelerinde cezai uygulamalara neden olur. Reaktif enerji tüketiminin artması, işletmelerin elektrik maliyetlerini önemli ölçüde artırır.

2.4.3.2. Enerji kayıplarının artmasına neden olur

Düşük güç faktörü, iletim ve dağıtım hatlarında daha fazla akım akmasına neden olur. Bu da hat kayıplarını artırır ve enerji israfına yol açar.

2.4.3.3. Transformator ve jeneratör güçlerinin gereğinden fazla seçilmesine neden olur

Düşük güç faktörü, aynı aktif güç ihtiyacını karşılamak için daha yüksek kapasitede transformator ve jeneratör kullanılmasını gerektirir. Bu durum, ekipmanların maliyetini artırır ve yatırımları gereksiz şekilde büyütür.

2.4.3.4. İletken kesitlerinin gereğinden büyük seçilmesine neden olur

Düşük güç faktörü, iletim ve dağıtım hatlarında daha fazla akım akmasına neden olur. Akım artışı, hatların ısınmasını önlemek ve enerji kayıplarını azaltmak için daha büyük kesitli iletkenlerin kullanılmasını zorunlu kılar.

2.4.3.5. Koruma ve şalt cihazlarının gereğinden büyük seçilmesine neden olur

Yüksek akımlar nedeniyle, şalt cihazları (sigortalar, kontaktörler, kesiciler vb.) daha büyük kapasitelerde seçilmelidir. Bu da yatırım ve işletme maliyetlerini artırır.

2.4.3.6. Üretim, iletim ve dağıtımda kapasite ve verim kaybına neden olur

Düşük güç faktörü, elektrik üretimi, iletimi ve dağıtımında mevcut kapasitenin verimsiz kullanılmasına yol açar. Aktif güç taşıma kapasitesi azalır, bu da sistemin genel verimliliğini düşürür.

2.4.3.7. Gerilim regülasyonu ve işletme sorunlarına neden olur

Düşük güç faktörü, gerilim düşümleri ve dalgalanmalarına neden olur. Bu durum, özellikle şebekenin kararlılığı için ciddi sorunlar yaratır. Ayrıca, bu gerilim sorunları işletmede kullanılan ekipmanların arızalanma riskini artırır.

2.4.3.8. İşletme maliyetlerinin artmasına neden olur

Düşük güç faktörü nedeniyle enerji kayıpları ve cezalardan dolayı işletme maliyetleri artar. Ayrıca, büyük kapasiteli ekipmanların temini ve bakımı da daha pahalıdır.

2.5. Reaktif Güç Üretimi ve Kompanzasyon

Reaktif güç talebinin karşılanabilmesi için bir yerden üretilmesi gerekmektedir. Santraller senkron jeneratörlerin uyarma akımlarını arttırarak reaktif güç üretirler. Bunun sonucunda santralde üretilen reaktif güç; jeneratör, transformatör ve enerji nakil hattı aracılığıyla tüketiciye ulaştırılmaktadır. Bu durumda elektrik tesisleri reaktif güçle aşırı yükleneceği için bu araçların kapasiteleri aktif güç aktarımı için tam olarak kullanılamamasına ve tesisin ekonomik açıdan olumsuz etkilenmesine neden olur (Bayram, 2000).

Sonuç olarak tesislerin reaktif güç sorunu yaşamasını önlemek, tesis bileşenlerinin yeteneklerinden tam olarak yararlanmak ve ekonomik olarak verimli bir çalışma sağlamak için, reaktif gücün santral yerine tüketim merkezlerinde üretilmesi en uygun ve ekonomik açıdan en avantajlı yoldur (Önal, 1996).

Reaktif güç üretimi için iki ana yöntem kullanılır.

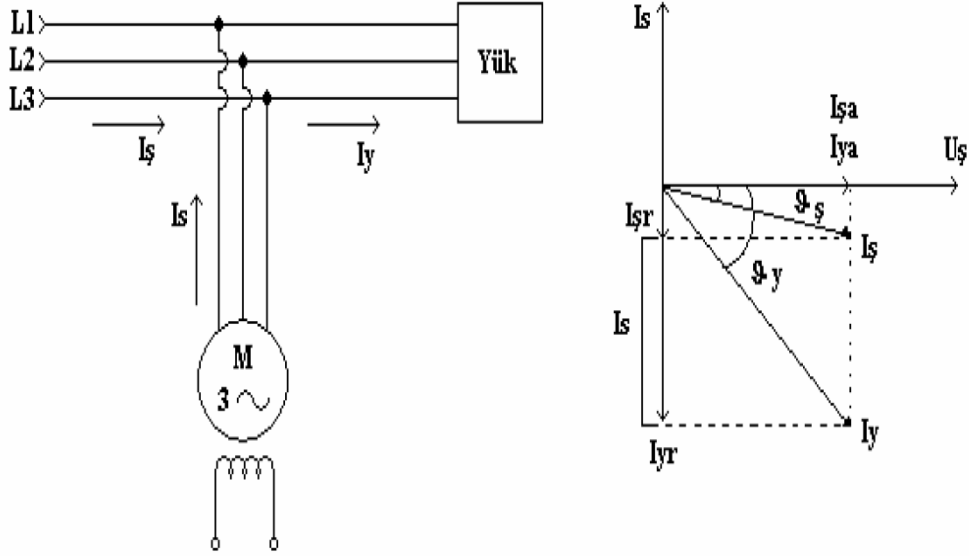
- Dinamik faz kaydırıcılar
- Statik faz kaydırıcılar

2.5.1. Dinamik faz kaydırıcılar

Aşırı uyarılmış senkron makinelerdir. Genellikle enerji iletim hatlarının sonuna veya tüketim merkezlerinin başına tesis edilerek bölgenin veya tesisin reaktif güç ihtiyacı karşılanır. Kondansatörlere göre kayıpları fazladır. İşletme, bakım ve kurulum maliyetleri yüksektir. Reaktif güç değişimine cevap verme süresi yüksektir. Her faz ayrı ayrı kontrol edilememektedir.

Şekil 2.8'de üç fazlı bir şebekeye bağlı senkron motor ile birlikte akım ve gerilim fazör diyagramları yer almaktadır. Bu senkron motorun boşta çalıştığı ve aşırı

uyartım akımına maruz kaldığı varsayılmaktadır. Bu durumda senkron motorun akımının gerilimden 90° ileride olduğu ve şebekeye kapasitif reaktif akım (I_s) sağladığı sonucuna varılabilir. Ayrıca şebekeye bağlı yükün akımının (I_y) şebeke geriliminden φ_y açısı kadar geride olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 2.8. Aşırı uyarılmış senkron motor ile güç katsayısının düzeltilmesi

Şekil 2.8’de yer alan fazör diyagramına bakıldığında, senkron motorun şebekeye bağlı olmadığı durumlarda, şebekeden çekilen akım (I_s) yük akımına (I_y) eşit olmaktadır. Senkron motor devreye girdiğinde, şebekeden çekilen reaktif akım (I_{sr}), senkron motorun çekeceği akım kadar (I_s) azalır. Bu durum senkron motorun devreye girmesiyle birlikte şebekeden çekilen akım ile şebeke gerilimi arasındaki faz farkını φ_s açısına düşürür ve neticede şebekeden çekilen gücün güç katsayısında bir iyileşme sağlar.

Örnek olarak 300 kVA gücünde 6000 kVA şebeke gerilimine bağlı bir yükün güç faktörü 0.7 kabul edilsin. Bu güç faktörünü 1’e çıkarabilmek için gerekli senkron motorun gücü aşağıdaki şekilde hesaplanır.

Yükün çekeceği akım;

$$I_y = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_s} = \frac{300000}{\sqrt{3} \cdot 6000} = 28.86 \text{ A} \quad (2.31)$$

Yükün çekeceği reaktif akım;

$$I_{yr} = I_y \sin \varphi = 28.84 \times 0.714 = 20.59 \text{ A} \quad (2.32)$$

Şebekeye bağlanacak senkron motorun boştaki kayıpları ihmal edildiğinde, şebekeden çekeceği akımın tamamı reaktif akım olacaktır. Bu durumda güç faktörünü 0,7'den 1'e yükseltebilecek aşırı uyartılmış senkron motor gücü;

$$S_S = \sqrt{3} x U_S x I_{yr} = \sqrt{3} x 6000 x 20.59 \approx 214 \text{ kVA} \quad (2.33)$$

olarak bulunur.

2.5.2. Statik faz kaydırıcılar

Statik faz kaydırıcılar, herhangi bir hareketli bileşene sahip olmadıkları için bu şekilde adlandırılmaktadır. Kondansatörler genellikle statik faz kaydırıcılar olarak kullanılır. Reaktif güç kompanzasyonunda kondansatörlerin faydaları çoktur. İlk olarak kondansatörlerin kayıpları senkron motorlarından önemli ölçüde daha düşüktür. Genel olarak nominal güçlerinin %1'inden daha azdır. Kondansatörler istenilen herhangi bir güç seviyesinde reaktif güç kaynağı olarak görev yapabilir. Kompakt boyutları kompanzasyonun doğrudan yüke çok yakın konumda uygulanmasına olanak tanır. Yük yakınına monte edilecek kompanzasyon tesisi ile kablolardaki aşırı ısınma sorunu çözülerek kayıpların azalması sağlanır. Yük başındaki voltaj düşüşleri ortadan kalkar.

Son zamanlarda yüksek akım uygulamalarında kondansatörler daha fazla önem kazanmaya başlamıştır. Kondansatörlerin kVAr başına maliyeti, orta büyüklükteki senkron motorlara göre daha düşüktür ve herhangi bir güç seviyesinde, maliyette önemli bir artış olmadan kondansatör üretmek mümkündür (Memiş, 2007).

Kondansatörlerin kurulumu kolaydır ve gerektiğinde kompanzasyon gücünü arttırmak için kolayca genişletilebilirler. Kondansatörlerin çalışma güvenliği yüksektir. Uzun ömürlüdürler, bakımları zahmetsiz ve basittir. Kurulum yeriyle ilgili neredeyse hiç sorun yaşanmaz. Gerekli kapasiteyi sağlamak için birden fazla kondansatör bir araya getirilerek istenilen değerde bir grup oluşturulabilir. Arıza durumunda arızalı bileşenin hızlı bir şekilde tespit edilmesi halinde, uygun fiyata yenisi ile değiştirilebilmekte ve sistem normal işleyişi bozulmadan onarımı tamamlanabilmektedir (Memiş, 2007).

Reaktif güç değeri sürekli değişen yüklerin kompanzasyonu için bir cihaz aracılığıyla kondansatörler anahtarlanırlar. Bu amaçla kondansatörleri kontrol etmek için genelde iki farklı cihaz kullanılır. Bunlardan biri kontaktörler, diğeri ise tristör adı verilen yarı iletken malzemelerdir (Memiş, 2007).

2.6. Konvansiyonel Kompanzasyon Sistemleri

Kontaktör gibi mekanik parçalar içeren elektromekanik anahtarlama elemanlarıyla kurulan kompanzasyon sistemleri konvansiyonel kompanzasyon sistemleri olarak bilinir.

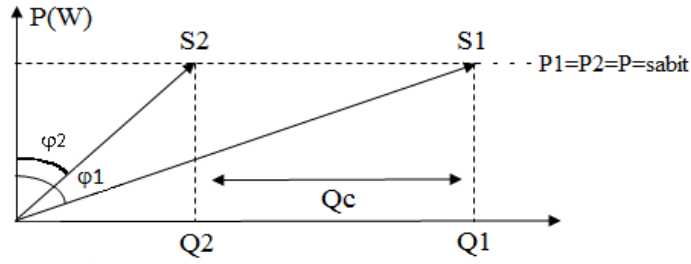
Standart bir kontaktörle gerçekleştirilen anahtarlama işlemi sırasında, kondansatörler devreye girdiklerinde şebekeden inrush olarak adlandırılan darbe akımı çekerler (Memiş, 2007). Mekanik anahtarlar 2000 ile 5000 arasında açma kapama yaparlarken tristörler teorik olarak sonsuz anahtarlama yaparlar. Tez çalışmasında ayrıca mekanik (kontaktör) ve tristör anahtarlama işlemleri sırasında oluşan bu etkileri analiz etmek ve minimize etmek amacıyla Simulink programı yardımıyla detaylı bir analiz yapılmıştır. Bölüm 5’de ilgili simülasyon analizi bulunmaktadır.

2.7. Reaktif Güç Kompanzasyonunda Kondansatör Gücünün Hesabı

Kompanzasyon için ihtiyaç duyulan kapasitör gücünü belirlerken işletmenin iki farklı hassasiyeti olabilir. Kompanzasyon öncesi ve sonrasında şebekeden tüketilen aktif güç miktarının aynı kalması (P: sabit) veya görünen gücün değişmeyip sabit kalması (S: sabit) tercih edilir. Kapasitör gücüne ilişkin hesaplamalar bu iki durum için analiz edilmiştir.

2.7.1 Aktif gücün sabit kalması (p: sabit)

Kompanzasyondan önceki durumda yükün güç faktörü $\cos\phi_1$, görünür gücü S1 olsun Şekil 2.9’da görüldüğü gibi güç faktörünün $\cos\phi_2$ ’ye çıkarılması durumunda görünür güç S2 değerine düşmektedir.



Şekil 2.9. Kompanzasyonda P aktif gücün sabit kalması durumunda fazör diagramı

Kompanzasyon öncesi reaktif güç değeri;

$$Q1 = S1 \cdot \sin \varphi1 \quad (2.34)$$

Kompanzasyon sonrası reaktif güç değeri;

$$Q2 = S2 \cdot \sin \varphi2 \quad (2.35)$$

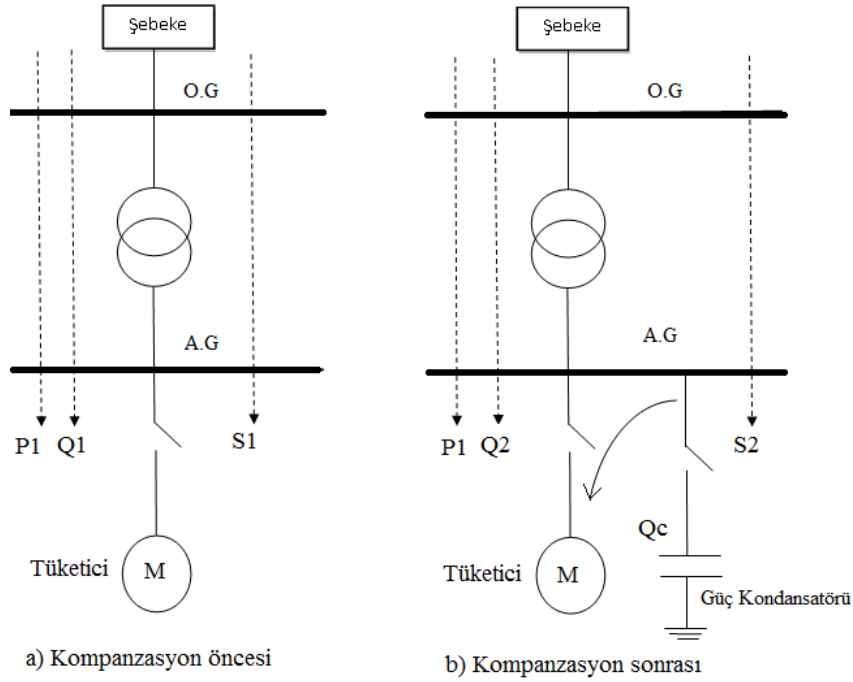
Kompanzasyon tesisine konulacak kondansatör gücü;

$$Qc = Q1 - Q2 = S1 \sin \varphi1 - S2 \sin \varphi2 \quad (2.36)$$

Denklem (2.36) ifadesi aktif güç cinsinden yazılırsa;

$$Qc = P \cdot (\tan \varphi1 - \tan \varphi2) \quad (2.37)$$

Şekil 2.10'da tesisin kompanzasyon öncesi ve sonrası güç akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.10. (P: Sabit) Kompanzasyon öncesi ve sonrası güç akış diyagramı

2.7.2. Görünür gücün sabit kalması (s: sabit)

İşletme kompanzasyon öncesi ve sonrası görünür güç (S) değerini korumak isterse güç faktörünün $\cos\phi_2$ 'ye artması sonucunda işletmenin şebekeden çektiği aktif güç P_1 'den

P_2 'ye yükselecektir. Şekil 2.11'de kompanzasyon önlemlerinin uygulanmasından önceki ve sonraki reaktif güç değerlerini göstermektedir. Bu teknik genellikle güç transformatörlerinden daha fazla miktarda P aktif güç elde etmek için kullanılır.

Kompanzasyondan önceki reaktif güç değeri;

$$Q_1 = S \cdot \sin \phi_1 \quad (2.38)$$

Kompanzasyon sonrası reaktif güç değeri;

$$Q_2 = S \cdot \sin \phi_2 \quad (2.39)$$

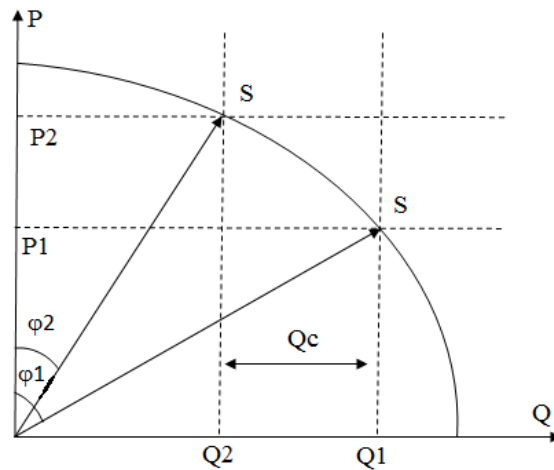
S sabit koşulunda kompanzasyon tesisinde kullanılacak gerekli kondansatör gücü;

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = S \cdot (\sin \phi_1 - \sin \phi_2) \quad (2.40)$$

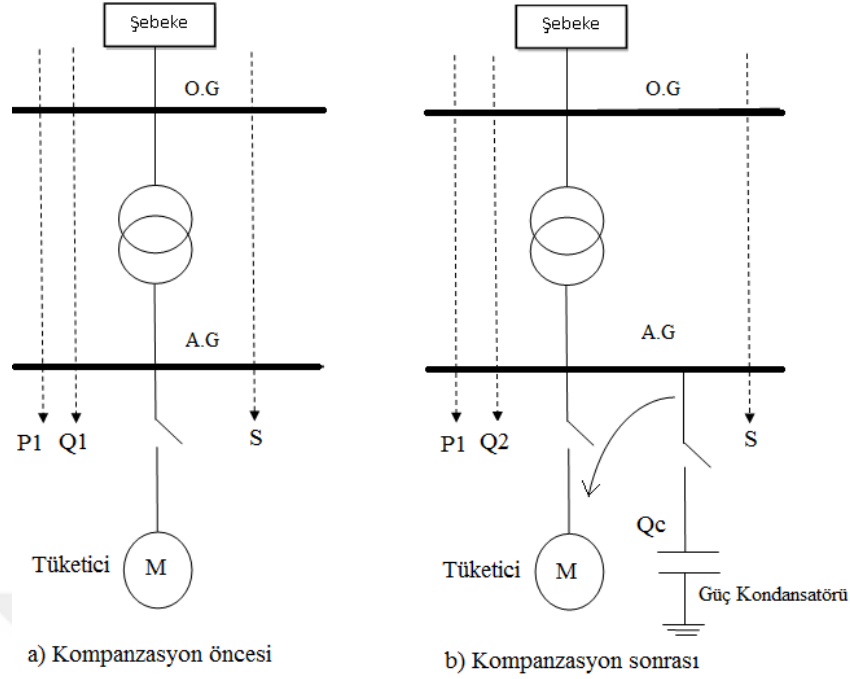
(2.40) ifadesi aktif güç cinsinden yazılırsa;

$$Q_c = P_1 \tan \phi_1 - P_2 \tan \phi_2 \quad (2.41)$$

Şekil 2.12'de tesisin kompanzasyon öncesi ve sonrası güç akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Kompanzasyonda S görünür gücün sabit kalması durumunda fazör diyagramı



Şekil 2.12. (S: Sabit) Kompanzasyon öncesi ve sonrası güç akış diyagramı

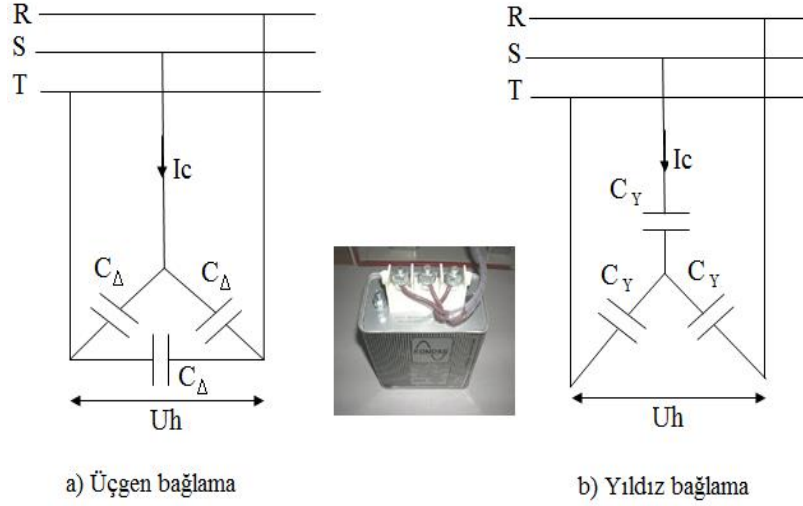
2.8. Reaktif Güç Kompanzasyonunda Kondansatör Bataryasının Bağlantısı

Üç fazlı sistemlerde kapasitörler yıldız veya üçgen konfigürasyonda bağlanır. Bu bağlama yöntemini kullanma kararı; maliyet, sistemin voltajı ve gereken koruma düzeyi gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir. Kompanzasyon için kullanılan kondansatörler üçgen şeklinde bağlandıklarında her elemana hattın faz-faz arası gerilimi, yıldız bağlantıda ise bu değer $\frac{1}{\sqrt{3}}$ katı kadar gerilim uygulanır.

Şekil 2.13'de alternatif akım devresinde kapasitörlerin yıldız ve üçgen bağlanma şekilleri gösterilmiştir.

U_h (V) : Faz-Faz arası gerilimi, Q_C (Var) : Kondansatörün gücü, f (Hz) : Şebekenin frekansı olmak üzere kondansatörler yıldız bağlandığında faz ile nötr arasındaki kapasite değeri;

$$C_Y = \frac{Q_C}{2\pi f U_h^2} \text{ (farad)} \quad (2.42)$$



Şekil 2.13. Üç fazlı şebekelerde kondansatörlerin üçgen ve yıldız bağlanması

Üçgen bağlamada ise faz-faz arasına bağlanacak kondansatör değeri;

$$C_{\Delta} = \frac{Q_C / 3}{2\pi f U_h^2} \text{ (farad)} \quad (2.43)$$

Yıldız bağlamada U_C gerilimi üç faz hattının faz-nötr gerilimine eşittir;

$$U_C = U_Y = \frac{U}{\sqrt{3}} \text{ (V)} \quad (2.44)$$

Buna göre 3-fazlı devrede yıldız olarak bağlanacak olan kondansatör bataryasının kapasitesinin fazlar arası gerilim cinsinden değeri aşağıdaki bağıntı ile bulunur.

$$C_Y = \frac{P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)}{3 \left(\frac{U}{\sqrt{3}} \right)^2 \cdot (2\pi f)} = \frac{P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)}{U^2 \cdot (2\pi f)} \text{ [farad]} \quad (2.45)$$

Üçgen bağlantıda batarya gerilimi

$$U_C = U_{FF} = \sqrt{3} \cdot U_{F-N} \quad (2.46)$$

Şebekeye bağlanacak kondansatör bataryasının kapasitesi:

$$C_{\Delta} = \frac{P(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)}{3 U_C^2 x (2\pi f)} \quad (2.47)$$

Yıldız ve üçgen bağlantı için batarya kapasitelerinin oranını hesaplayalım;

$$\frac{C_Y}{C_{\Delta}} = \frac{\frac{P(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)}{U^2 x (2\pi f)}}{\frac{P(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)}{3 U^2 x (2\pi f)}} = 3 \quad \Rightarrow \quad C_Y = 3 \cdot C_{\Delta} \text{ [F]} \quad (2.48)$$

Kondansatör bataryalarının devreye Δ yerine Y bağlanması durumunda, kapasitelerinin 3 misli daha büyük olması gerekir. Buna karşılık Y bağlantıda $U_C = U_Y = \frac{U}{\sqrt{3}}$ ve üçgen bağlamada $U_C = U$ olur. Yani Üçgen bağlamada gerilim $\sqrt{3}$ kat daha büyük olacaktır.

Alçak gerilim tesislerinde faz ve hat gerilimleri arasındaki fark izolasyon bakımından çok önemli olmadığından üçgen bağlama, yıldız bağlamaya göre 1/3 oranında daha ucuzdur. Bu maliyet farkından dolayı kondansatör bataryalarının üçgen bağlanmaları tercih edilir. Yıldız bağlantıda kapasite artarken gerilim azalmaktadır. Üçgen bağlantıda kapasite azalırken gerilim artmaktadır.

2.9. Bataryalardaki Eleman Sayısı ve Kapasite Hesabı

Yukarıda bulunan kapasite değerleri Δ ve Y bağlantı için C_Y ve C_Δ üç bataryadan birisinin kapasitesidir. Bir elemanın işletme geriliminin U_e (kV) olması halinde;

- Yıldız bağlantıda bir bataryada bulunması gereken eleman sayısı n_Y :

$$n_Y = \frac{U_Y}{U_e} = \frac{U}{\sqrt{3}U_e} \text{ adet olur.}$$

- Üçgen bağlantıda bir bataryada bulunması gereken eleman sayısı n_Δ :

$$n_\Delta = \frac{U_Y}{U_e} \text{ adet olur.}$$

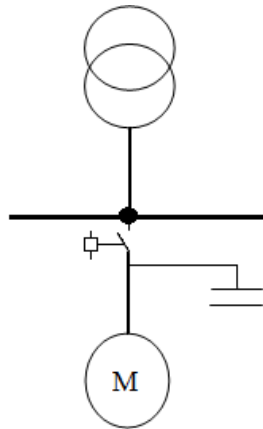
3. KOMPANZASYON TESİSLERİ

3.1. Kompanzasyon Tesislerinin Düzenlenmesi

Reaktif güç kompanzasyonunda kapasitörlerin bağlanma tipi çok önemlidir. Maksimum faydayı sağlamak için tesisin konumu ve bağlama yöntemi kullanım amacına uygun olarak dikkatle seçilmelidir. Kompanzasyon tesisleri, gereksinimlere ve yüklerin durumuna bağlı olarak bireysel, grup ve merkezi kompanzasyon olmak üzere üç farklı şekilde kurulabilmektedir.

3.1.1. Bireysel kompanzasyon

Sürekli çalışan büyük güçlü tüketicilerin reaktif güç ihtiyaçlarını karşılamak için kapasitörler yükün terminallerine paralel olarak doğrudan bağlanır ve ortak bir kontaktör veya devre kesici kullanılarak yükle eş zamanlı devreye girip çıkar. Kapasitör gücü yüke göre doğru değerde seçilmelidir. Bireysel kompanzasyon indüksiyon motorları ve transformatörler için sıklıkla kullanılır. Transformatörler için yapılan bireysel kompanzasyonda transformatörün boşa çalışma anındaki reaktif güç tüketimine göre kapasitörlerin seçilmesi gerekir. Şekil 3.1’de bireysel kompanzasyon sistemine dair şematik devre diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.1. Bireysel Kompanzasyon

Yük güç katsayısı doğrultması, sabit değerli bir kapasitörle transformatörde sağlandığında, düşük yük durumlarında transformatörün aşırı kompanze edilmemesi de sağlanmalıdır. İndüksiyon motorları için kapasitör değeri motorun yüksüz reaktif gücünün %90'ını aşmayacak şekilde hesaplanmalıdır. Aksi takdirde durdurma anında kendinden tahrik (self excitation) oluşarak çıkışlarda yüksek gerilime sebep olur. Çizelge 3.1'de transformatör reaktif gücünü kompanze etmek için gerekli olan kondansatör gücü değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Transformatör reaktif gücünü kompanze etmek için gerekli olan kondansatör gücü

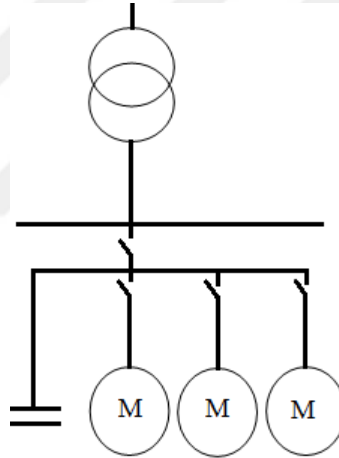
Trafo reaktif gücünü doğrultmak için gerekli kondansatör gücü	DIN'e göre yağlı ve kuru tip trafoların açık devre kayıpları						
	Yağlı			Kuru tip (GEAFOL)		Azaltılmış açık devre kayıplı yağlı ve kuru tip trafolar	
	Trafo reaktif gücü	Trafo (açık devre)	Kondansatör gücü	Trafo reaktif gücü	(açık devre) Kondansatör gücü	Trafo reaktif gücü	(açık devre) Kondansatör gücü
	kVA	kVA	kVAr	kVA	kVAr	kVA	kVAr
	250	4.5	5	2.8	3	1.6	2
Açık devre	315	7.9	7.5	3.6	4	1.9	2
(yüksüz) 3 fazlı,	400	8.2	7.5	4.4	4	2.2	2
primer tarafı	500	10.6	10	4.7	5	2.5	3
20kV'a kadar.	600	13.2	12.5	5.7	5	3.2	3
Sekonderi 400V	800	15.5	15	6.5	7.5	3.6	4
ve %4 veya %8	1000	19.0	20	7.5	7.5	4.0	4
reaktanslara	1250	20.6	20	10.1	10	5.0	5
sahip trafoların	1600	23.2	25	10.6	10	5.3	5
bireysel	2000	27.0	25			7.0	7.5
kompanzasyonu							

3.1.2. Grup kompanzasyon

Birçok tüketicinin bulunduğu bir tesiste, her tüketiciye ayrı ayrı kondansatör yerleştirmek yerine ortak bir kompanzasyon tesisiyle beslemek daha ekonomik ve pratik çözüm sunar.

Birden fazla küçük güçlü kapasitör yerine tek bir yüksek güçlü kapasitör kullanıldığından, uygun maliyetlidir ve muayenesi ve bakımı kolaydır. Kapasitör için herhangi bir ek bileşene gerek yoktur (Bilki, 2008).

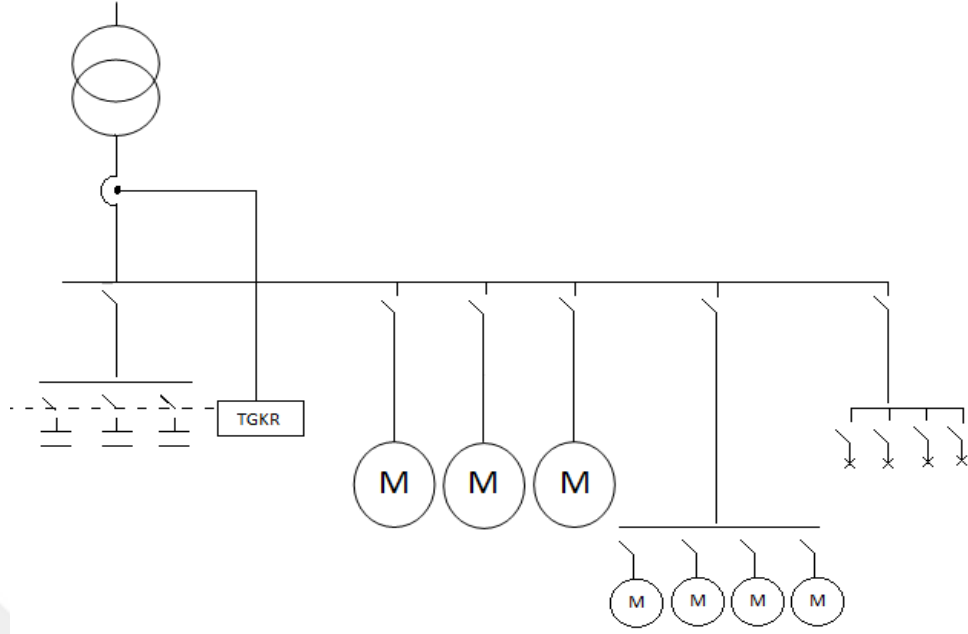
Bu tür bir kompanzasyonda bir kontaktör veya devre kesici aracılığıyla gruplar halinde anahtarlanan birden fazla motor ya da deşarj lambasının güç katsayısının düzeltilmesi sağlanır. Ayrıca kondansatörlerin anahtarlanması için ek şalt cihazlarına gerek duyulmaz. Şekil 3.2’de grup kompanzasyon sistemine dair şematik devre diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.2. Grup Kompanzasyonu

3.1.3. Merkezi kompanzasyon

Grup kompanzasyonun kapsamının biraz daha genişletilmesiyle merkezi kompanzasyon elde edilir. Örneğin, bir işletmenin bütün yükleri için tek bir merkezden gerçekleştirilen kompanzasyona, merkezi kompanzasyon denir. Merkezi kompanzasyonda otomatik bir ayar mekanizması gereklidir. Bu sistemde birçok elektriksel yük bulunmakta ve bunların tamamı daimi olarak sabit güçle çalışmamaktadırlar. Bu nedenle kondansatör gücünün değişen reaktif güç ihtiyaçlarına cevap vermesi önemlidir.



Şekil 3.3. Merkezi Kompanzasyon

Merkezi kompanzasyon, alçak gerilim transformatörünün, alçak gerilim barasında yüke paralel olarak uygulanır. Bu sistemde yer alan kontrol düzeneği ayar için gereken bilgileri reaktif güç kontrol rölesinden alır. Reaktif güç kontrol rölesinden elde edilen değerler doğrultusunda sistemin ihtiyaç duyduğu sayıda kondansatör grubu devreye alınarak güç faktörünün ayarlanan değer aralığında kalması sağlanır. Bu sayede hem düşük hem de aşırı kompanzasyon sorunlarından kaçınılmış olur. Şekil 3.3’de merkezi kompanzasyon sistemine dair şematik devre diyagramı görülmektedir.

Bireysel kompanzasyonda, kondansatörlerin seçimi tüketicinin ihtiyaçlarını tam olarak karşılayacak şekilde yapılır. Bu kondansatörler yüke paralel olarak bağlanır ve yüklerle birlikte devreye girip çıkar. Bu sayede reaktif güç ihtiyacı ile buna karşı verilen yanıt arasında mükemmel bir denge sağlanır. Ancak grup ve merkezi kompanzasyonda reaktif güç ihtiyacı sürekli dalgalanmaktadır. Kompanzasyon için seçilen kondansatör gücü sabit bir değere ayarlanırsa reaktif güç talebi arttığında kondansatörler ihtiyacı karşılayamaz ve kalan reaktif güç şebekeden çekilerek güç katsayısının düşmesine neden olur. Yük düşük olduğu zaman ise kondansatör gücü gereken miktarı aşar ve bu durumda aşırı kompanzasyon durumu görülür. Şebekeye reaktif güç verilerek yüklerin bağlı olduğu transformatörde gerilim yükselir.

Kondansatörlerden elde edilen verimin yüksek olması, tek bir noktadan istenilen güç katsayısına ulaşılabilmesi, kurulumu ve geliştirilebilir olması, kolay denetlenebilir olması, aşırı kompanzasyonun önlenabilir olması, kurulum maliyetinin düşük olması gibi faktörler merkezi kompanzasyon sistemlerinin avantajlarındandır (Sevim, 1999).



4. ELEKTRİK DEVRELERİNDE REZONANS

Rezonans olayı, elektrik dağıtım sistemlerinde enerji kalitesini düşüren bir olaydır. Enerjinin sürekliliği ve güvenliği açısından risk oluşturan bu durumların oluşmaması için önlem alınması gereklidir.

Devredeki endüktif reaktans ve kapasitif reaktansın birbirine eşit olması sonucunda rezonans olayı meydana gelir. Televizyon, telefon, telsiz gibi bir çok elektronik cihazın çalışması için yaygın olarak kullanılmasına rağmen elektrik dağıtım sistemlerinde istenmeyen ve çok tehlikeli sonuçlara neden olacak bir durumdur. Çünkü aşırı akımların ve gerilimlerin oluşmasına ve enerji akışının kesilmesine yol açarak sistemin güvenilirliğini ve enerji kalitesini azaltır (Kocatepe, Uzunoğlu, Yumurtacı ve Karakaş, 2003). Bu nedenle kompanzasyon sistemi tasarlanırken sistemi oluşturan elemanların birbiriyle rezonans oluşturmamasına dikkat edilmelidir.

Bir elektrik devresinde kaynağın sağladığı gerilim ile devrenin tükettiği akım aynı fazda ise yani devrede bobin ve kapasite varken dahi devre omik yüklü ise bu devredeki bobin ve kapasite elemanları rezonans halindedir; Bu durumda bobin direnci ile kapasite direnci birbirlerini sıfırlayarak devrede yalnızca omik direncin kalmasına neden olur. Elektrik devrelerinde seri ve paralel rezonans olmak üzere iki çeşit rezonans durumu görülür.

4.1. Seri Rezonans

Seri bağlı RLC elemanlarından oluşan devrede meydana gelen rezonansa seri rezonans denir. Böyle bir devrede endüktif reaktans ile kapasitif reaktans birbirine eşittir. Bu durumda devrenin empedansı düşük olacağından dolayı devreden büyük miktarda rezonans akımı çekilecektir.

Normal çalışma durumunda seri RLC elemanlarından oluşan bir devrede empedans;

$$Z = R + j.(X_L - X_C) \quad (4.1)$$

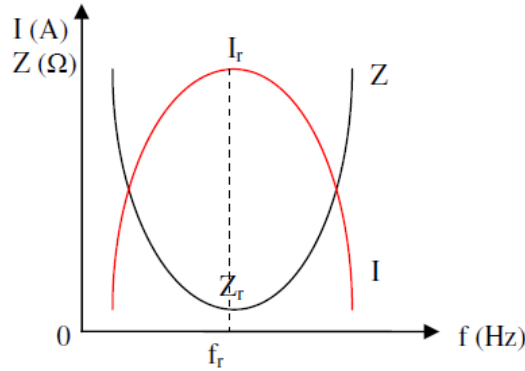
Seri rezonans tanımına göre f_r rezonans frekansı;

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = f \cdot \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} \quad (4.2)$$

Bu rezonans frekansı hem seri hemde paralel rezonanstaki geçerlidir. n.harmonik frekansında rezonans oluşması halinde $n = \frac{f_r}{f}$ olacaktır;

$$n_r = \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} \quad (4.3)$$

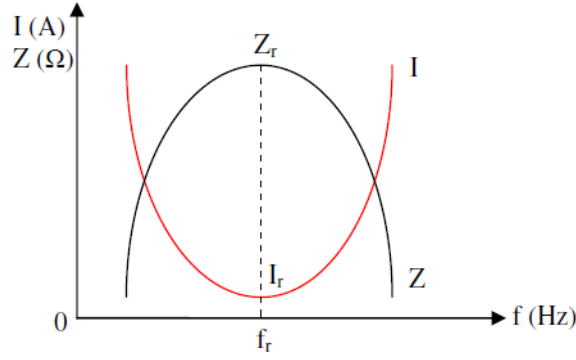
Rezonans durumunda $X_L = X_C$ olacağı için empedans saf omik olur. Bu durumda empedans minimum olduğu için akım maksimum olur. Bu durum aşağıdaki Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Seri rezonansta akım ve empedansın frekansa göre değişimi

4.2. Paralel Rezonans

Seri rezonansa benzer şekilde paralel rezonans da paralel RLC devresindeki endüktif ve kapasitif reaktansların birbirine eşit olması sonucunda meydana gelir. Ancak bu anda devrenin admitansı küçük olur. Dolayısıyla rezonans akımı küçük, gerilimi büyük olur. (Şekil 4.2). Başka bir ifadeyle, rezonans anında empedans maksimum değerine ulaşır. Dolayısıyla devreden akım küçük olsa bile özellikle devrede harmonikler mevcutsa devre elemanları uçlarında yüksek genlikli rezonans gerilimleri oluşabilir.



Şekil 4.2. Paralel rezonansda akım ve empedansın frekansa göre değişimi

4.3. Rezonansın Etkileri

Rezonans oluşumu elektrik dağıtım sistemlerinde ciddi arızalara ve hasarlara neden olabilir. Sistemdeki yükler düşük olduğunda harmonik rezonansın etkisi daha fazladır. Rezonans genel olarak aşağıdaki istenmeyen durumlar meydana gelir:

- Kondansatör ve endüktansın gerilimleri artar, yüksek akım geçer.
- Kondansatörlerin dielektrik malzemelerinde deformasyon ve yüksek ısıdan dolayı sürekli arızalar meydana gelebilir ya da devre elemanlarının ekonomik ömrü azalır.
- Harmonik gerilimler artar. Harmonik bozulmanın artmasıyla tüketicideki gerilim dalga şekli bozulur.

Dağıtım sistemlerinde saf omik yükler, harmoniklerin azaltılmasında büyük oranda katkıda bulunabilirler. Böylece çok büyük sorunlara neden olabilecek rezonans olayları da engellenmiş olur. Ancak endüstriyel tesislerde bu durum farklıdır; sistemin frekans tepkisi büyük kondansatör grupları ve kısa devre endüktansı ile belirlenir. Endüstriyel tesislerde harmonik kaynakların (redresör, ark fırınları, sürücüler v.b.) oranı daha yüksektir. Ayrıca rezonans frekansında harmonikleri baskılayacak saf omik yük sayısı da daha azdır. Bu sebeple sistemde aşırı derecede harmonik bozulma oluşabilir.

Seri rezonans, harmonik akımın devrede düşük empedanslı yolu takip etmesi sonucu, indüktans ve kondansatör arasındaki yüksek gerilim distorsiyonlarına yol açabilir.

Enerji sistemlerinde seri rezonans durumuyla sıkça karşılaşılmasa da meydana geldiğinde devre elemanları üzerinden büyük akımların geçmesine neden olur. Bu durum devre bağlantı iletkenlerinde özellikle kondansatör bağlantılarında aşırı ısınmalara ve kısa devrelere yol açabilir. Bu durumda kondansatörlerin zarar görme riski artmış olur.

Paralel rezonans durumunda, empedansın büyük değerlere ulaşması nedeniyle harmonik akımlar gerilim harmoniklerine yol açar. Bu gerilim harmonikleri, hem kondansatör hem de sistem reaktansında yüksek harmonik akımları üretir. Böylece paralel rezonans, doğrusal olmayan yüklerin oluşturduğu harmonik akımları artırır. Ayrıca kondansatör uçlarındaki gerilim aşırı şekilde yükseldiği için kondansatör hasar görebilir. Yüksek harmonik frekansları ile orantılı olarak şebeke reaktansının artması, büyük harmonik gerilim düğümlerinin oluşmasına da neden olur (Kocatepe, Uzunoglu, Yumurtacı ve Karakaş, 2003).

Dağıtım sistemine farklı noktalar üzerinden bağlanmış olan birçok kondansatör çeşitli rezonans frekanslarının ortaya çıkmasına yol açar. Bu kondansatörler devreye alındığında, sistemin rezonans karakteristiğini belirlemek oldukça zorlaşır. Ayrıca sistemde birden fazla rezonans frekansının varlığı, bu frekansların genliklerinin küçük olmasına neden olur. Bu nedenle kondansatörleri sistemin farklı yerlerine dağıtmak, rezonans nedeniyle oluşabilecek sorunları azaltma potansiyeline sahiptir.

4.4. Harmonik Filtreli Kompanzasyon Sistemleri

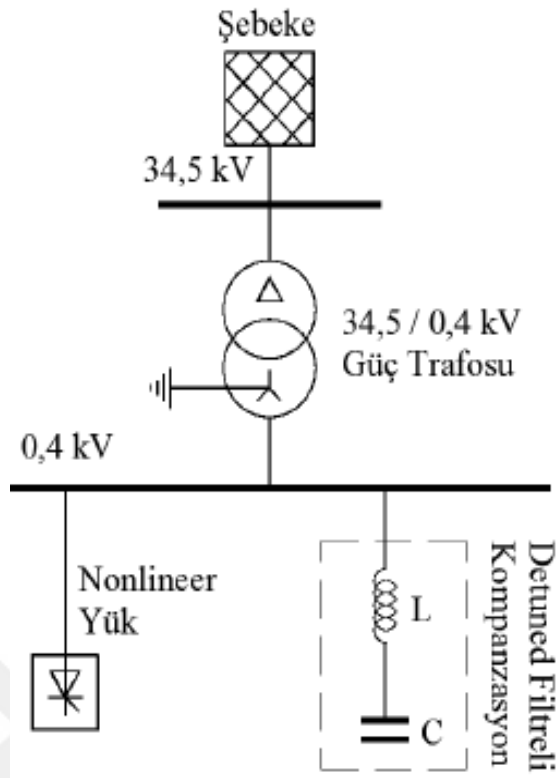
Tüketim tesislerinde şebekeden çekilen harmonik akımların önemli bir kısmı kondansatörler nedeniyle meydana gelmektedir. Kondansatörler temel olarak lineer özellikler taşıyan elemanlardır. Ancak uygulanan gerilimdeki harmonik bileşenler, şebekedeki harmonik bozulma oranını oldukça arttırabilir. Bu nedenle harmonik filtreli kompanzasyon sistemleri ülkemizde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu durumun başlıca sebepleri aşağıda maddelerce sıralanmıştır;

- Kondansatörlerin elektrik şebekesinden çektikleri akım harmoniklerinin büyük oranda azaltılması

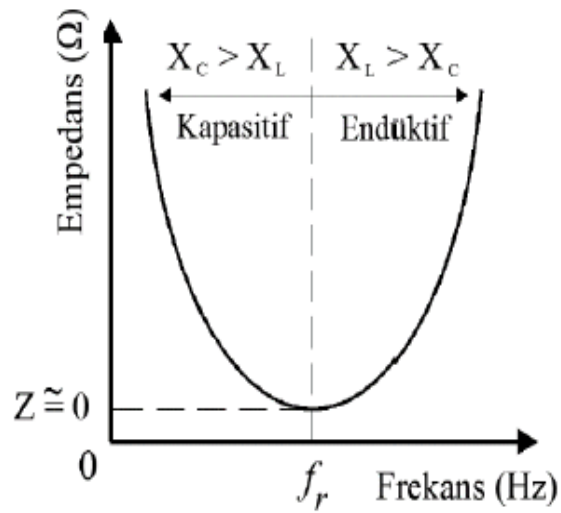
- Kondansatörlerin elektrik şebekesi ile rezonansa girmesinin engellenmesi
- Tesisin temel frekansta kapasitif güç ihtiyacının karşılanması
- İşletme cihazları tarafından üretilen harmoniklerin belirli oranda filtrelenmesinin sağlanması
- Kondansatörlerin ömürlerinin uzaması
- Sağladığı yararlar göre yatırım ve işletme maliyetinin düşük olması
- Montaj ve basit yapısı nedeniyle kullanımının kolay olması

Harmonik filtreli kompanzasyon sistemleri esasen yüklerin ürettiği harmonik akımları filtrelemekten ziyade, kondansatörlerin filtresiz kullanımının yarattığı harmonik bozulma oranını arttırıcı etkisini önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Özellikle 17, 19, 23 ve 25 gibi yüksek mertebeli harmonik bileşenler sistemde önemli oranda mevcut olduğunda, kompanzasyon sistemlerinin mutlaka harmonik filtrelerle donatılması gerekmektedir. Zira kondansatörlerin yüksek frekanslarda empedansı çok küçük değerlere düştüğünde, şebekeden yüksek miktarda harmonik akım çekilecektir. Bu durum kondansatör arızaları ve rezonans olaylarının meydana gelme olasılığını arttırır. Kondansatörlere seri reaktör bağlandığında, hem tesisin şebekeden çektiği harmonik akımlar azalır, hem de şebeke gerilimindeki harmonik bozulma oranı düşer. Şekil 4.3’de HKFS bağlantısı görülmektedir.

Harmonik filtreli kompanzasyon sistemleri (HFKS) birbirine seri bağlı L-C devrelerinden oluşmaktadır. Bu devrenin temel frekanstaki eşdeğer reaktansı kapasitif özellik taşır ve reaktif güç kompanzasyonu sağlar. Ancak bu devreye filtre rezonans frekansının üzerinde gerilimler uygulandığında o frekanstaki eşdeğer reaktans endüktif bölgeye kaymaktadır. Bu durumda hem şebeke reaktansı hem de filtre reaktansı endüktif hale geldiğinden, rezonans oluşma olasılığı ortadan kalkar (Şekil 4.4).



Şekil 4.3. HFKS (detuned filtre) bağlantısı

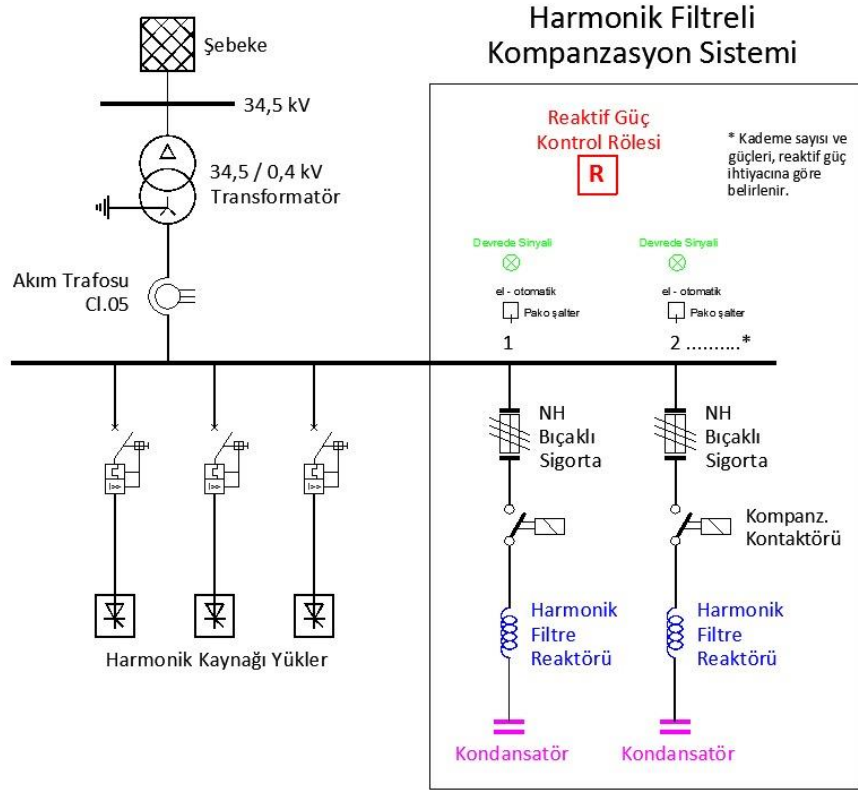


Şekil 4.4. HFKS frekans-empedans karakteristiği

Harmonik filtreli kompanzasyon sistemleri uygulandığında rezonans frekans değerleri 134 Hz, 189 Hz, ve 210 Hz olarak belirlenmiştir. Bunun sebebi filtre rezonans frekansının sistemde oluşabilecek seri veya paralel rezonansların en düşük harmonik mertebesi olan 5. harmonik frekansından daha düşük bir değere ayarlanması gerekliliğidir. Örneğin filtre 265 Hz gibi bir frekansta ayarlandığında 250 Hz frekansında kapasitif bölgede çalışacağı için, filtre devresinin şebeke ile rezonansa girme olasılığı artar. Benzer şekilde 240 Hz gibi 250 Hz'e oldukça yakın bir ayar yapılırsa bu durumda filtre 5. harmonik bileşenine karşı çok düşük bir empedans sergileyeceğinden, şebeke gerilimindeki küçük 5. harmonik genlikleri bile filtre devresinin şebekeden büyük ölçüde akım harmonikleri çekmesine neden olacaktır. Harmonik filtreli kompanzasyon sisteminin başlıca hedeflerinden biri, şebekeden çekilen akım harmoniklerini azaltmak olduğundan, bu durum istenilen sonucun elde edilmesini engelleyecektir. Bu nedenlerden dolayı sektör 134 Hz, 189 Hz ve 210 Hz rezonans frekanslarını standart olarak kabul etmiştir. Kondansatör ve filtre reaktörü üreticileri de ürünlerini bu standart değerlere göre tasarlayarak olası hatalı seçimlerin önüne geçmektedir. Ancak özel uygulamalarda şebeke koşulları ve yük harmonik spektrumu dikkate alınarak özel tasarımlar yapmak da mümkündür.

Elektrik yükleri tarafından üretilen harmonik akımlar, en düşük empedans yolunu seçme eğiliminde olduğu için, bu sistemlerin filtreleme performansı, filtre empedansının şebeke empedansından daha düşük olmasına bağlıdır. Bu nedenle, Harmonik filtreli kompanzasyon sisteminin harmonik üreten en yakın baraya bağlanması, filtrenin düzgün çalışması açısından son derece kritik bir öneme sahiptir. Böylece tesis içindeki kayıplar da en aza indirilmiş olur.

Paralel filtrelerin genel olumsuzluklarından biri harmonik filtreli kompanzasyon sistemleri için de geçerlidir. Dağıtım tesisine alçak gerilimle bağlı aboneler, aynı baradan enerji alan diğer tüketicilerin ürettiği harmonik akımlarının bir kısmını bu filtreler nedeniyle üzerlerine çekmektedir. Bu akımlar sayaç üzerinden geçtiği için diğer tesislerden gelen harmonik akımlar, filtre devresini oluşturan işletmelerde ekonomik zararlara yol açmaktadır. Ancak kendi transformatörü olan yüksek gerilim aboneleri için bu durum nispeten geçerli değildir. Zira transformatör reaktansı frekansla doğru orantılı olarak değiştiği için bir tür seri filtre işlevi görerek şebekeden tesisin içine harmoniklerin akmasını engellemektedir.



Şekil 4.5. Harmonik filtreli kompanzasyon şeması

Harmonik filtreli kompanzasyon sisteminde kondansatörün önüne bağlanan endüktans, filtre eşdeğer reaktansını bir ölçüde azaltır. Eşdeğer reaktansın azalması, filtre akımının artmasına ve bunun sonucunda kondansatör uçlarına düşen gerilimin yükselmesine yol açar. Bu nedenle, kondansatörlerin filtreli kullanımı sırasında, bu artan gerilime dayanabilecek özellikte seçilmeleri önemlidir. Ayrıca filtre akımının artışı devrenin reaktif gücünün kapasitif yönde bir miktar artmasına da neden olmaktadır.

4.5. Harmonik Filtreli Kompanzasyon Sisteminin Tasarımı

Harmonik filtreli kompanzasyon sistemlerinin oluşturulmasında filtre rezonans frekansının belirlenmesi gerekmektedir. 134 Hz, 189 Hz ve 210 Hz endüstride standart filtre rezonans frekansları olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Hangi frekansın daha etkili olacağını belirlemek için yük akımı ve şebeke geriliminin harmonik değerlerinin bilinmesi gerekir. Harmonik filtreli kompanzasyon sistemleri

yüke paralel bağlandıkları için şebeke voltajına doğrudan maruz kalırlar. Filtre oluşturulurken sistem içerisinde var olan her bir harmonik bileşen için filtre eşdeğer reaktansının belirlenmesi gerekmektedir. Örneğin şebekede 5. harmonik genliği yüksek ise 210 Hz filtre rezonans frekansı kullanımı şebekeden çekilen 5. harmonik akımlarını önemli miktarda arttıracaktır.

Filtre rezonans frekansı belirlendikten sonra filtre reaktör faktörü L ve C elemanlarının hesaplanmasında kullanılır. Genellikle yüzdesel olarak temsil edilen filtre reaktörü faktörü p harfiyle gösterilir ve denklem (4.4) kullanılarak belirlenir.

$$p = \frac{f_1^2}{f_r^2} \quad (4.4)$$

Standart rezonans frekansları olan 134 Hz, 189 Hz ve 210 Hz için filtre reaktör faktörleri Çizelge 4.1’ de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Rezonans frekansına göre filtre reaktör faktörleri

Filtre Rezonans Frekansı	Filtre Reaktör Faktörü (p)
134 Hz	%14
189 Hz	%7
210 Hz	%5,67

Filtre elemanlarını seçmeden önce temel frekansta ihtiyaç duyulan reaktif güç hesaplanır. Temel frekansta gerekli reaktif güç değeri kullanılarak filtre devresinin 50 Hz’teki eşdeğer reaktansı hesaplanabilir. Filtreye uygulanacak faz-faz arası gerilim denklemde U ile gösterilmiştir.

$$X_{filtre} = \frac{U^2}{Q_{filtre}} \quad (4.5)$$

Kondansatör kapasitans değeri;

$$C = \frac{1-p}{w \cdot X_{filtre}} \quad (4.6)$$

Kapasitans değerinden sonra endüktans değeri hesaplanır

$$L = \frac{p}{w^2 C} \quad (4.7)$$

Hesaplanan L ve C değerleri seri rezonans frekansı formülü ile teyit edilir. Hesap sonucunda en başta belirlenen filtre rezonans frekans değeri bulunmalıdır.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4.8)$$

Filtre elemanları hesaplandıktan sonra filtre üzerinden akacak akım ve kondansatör uçlarındaki gerilimin RMS değeri hesaplanmalıdır. Bunun sebebi filtre devresinden harmonik akımların da geçecek olmasıdır. Bu nedenle reaktörün sargı teli kesitleri, kondansatörlerin dayanma gerilimleri, devre elemanları arasındaki kablo ve iletken bağlantıları, sigorta ve kontaktör şalt malzemeleri hesaplanan RMS değerlerine uygun bir şekilde tasarlanmalıdır.

Filtre devresi hem yük hem de şebeke tarafından harmonik akımlar çeker. Ancak yükten kaynaklanan harmoniklerin ne kadarının filtre devresine ulaşacağını belirlemek oldukça zordur. Zira bu akımların bir kısmı şebekeye, bir kısmı işletmedeki diğer düşük empedanslı elektriksel yüklere ve geri kalanı da filtre devresine dağıtılacaktır. Filtrenin şebekeden ne kadar harmonik çekeceği ise Denklem (4.9) ile her harmonik bileşen için tek tek hesaplanır. Bu denklemde V_n ilgili harmonik bileşenin faz-nötr gerilimini temsil eder. Ayrıca üç fazlı kondansatörlerin içyapısı üçgen bağlı olduğundan 3 ve 3'ün katı olan harmonik bileşenleri çekmezler (Şerbetçi, 2019).

$$I_n = \frac{V_n}{(X_{trn} + X_{fn} - X_{cn})} \quad (4.9)$$

Her bir bileşen için ayrı ayrı akım harmonikleri hesaplandıktan sonra, filtreden geçecek akımın RMS değeri ile kondansatör uçlarına düşecek gerilimin RMS değeri aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanır.

$$I_{RMS} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} (I_h)^2} \quad (4.10)$$

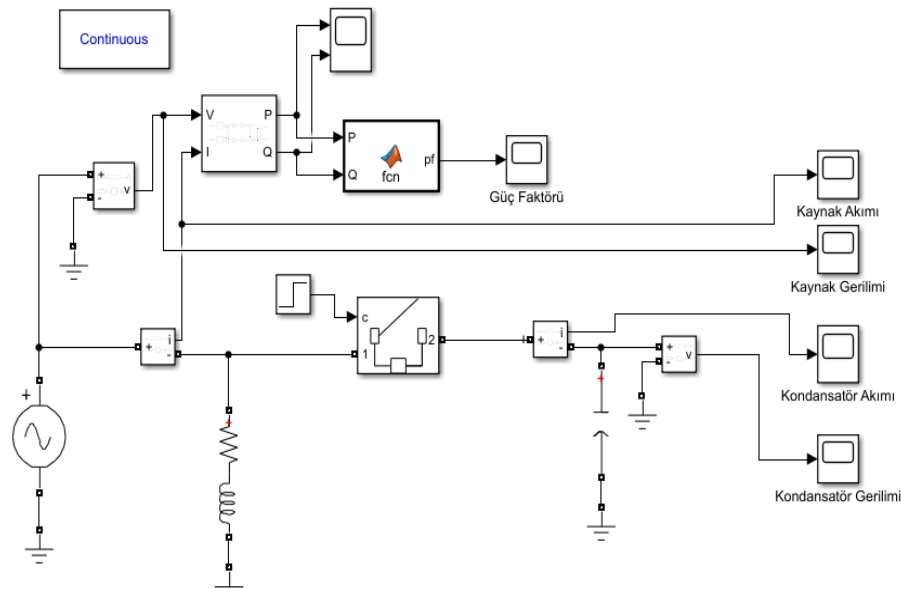
$$U_{CRMS} = \sqrt{3 \sum_{h=1}^{\infty} (X_{Ch} I_h)^2} \quad (4.11)$$

5. MEKANİK (KONTAKTÖR) VE TRİSTÖR ANAHTARLAMA YAPISININ SİMÜLİNK PROGRAMI İLE İNCELENMESİ

Bu bölümde, mekanik (kontaktör) ve tristör anahtarlama işlemleri sırasında oluşan etkilerin ortaya çıkarılması ve minimize edilmesi amacıyla Simulink programı kullanılarak kapsamlı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, şebeke geriliminin sıfır ve maksimum seviyelere ulaştığı anlarda mekanik anahtarlama yaparak; güç faktörü, kaynak gerilimi, kaynak akımı, kondansatör gerilimi ve kondansatör akımı değişimleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiş ve anahtarlama yapılarının dinamikleri analiz edilmiştir.

5.1. Mekanik (Kontaktör) Anahtarlama Yapısının Simulink Programı ile İncelenmesi

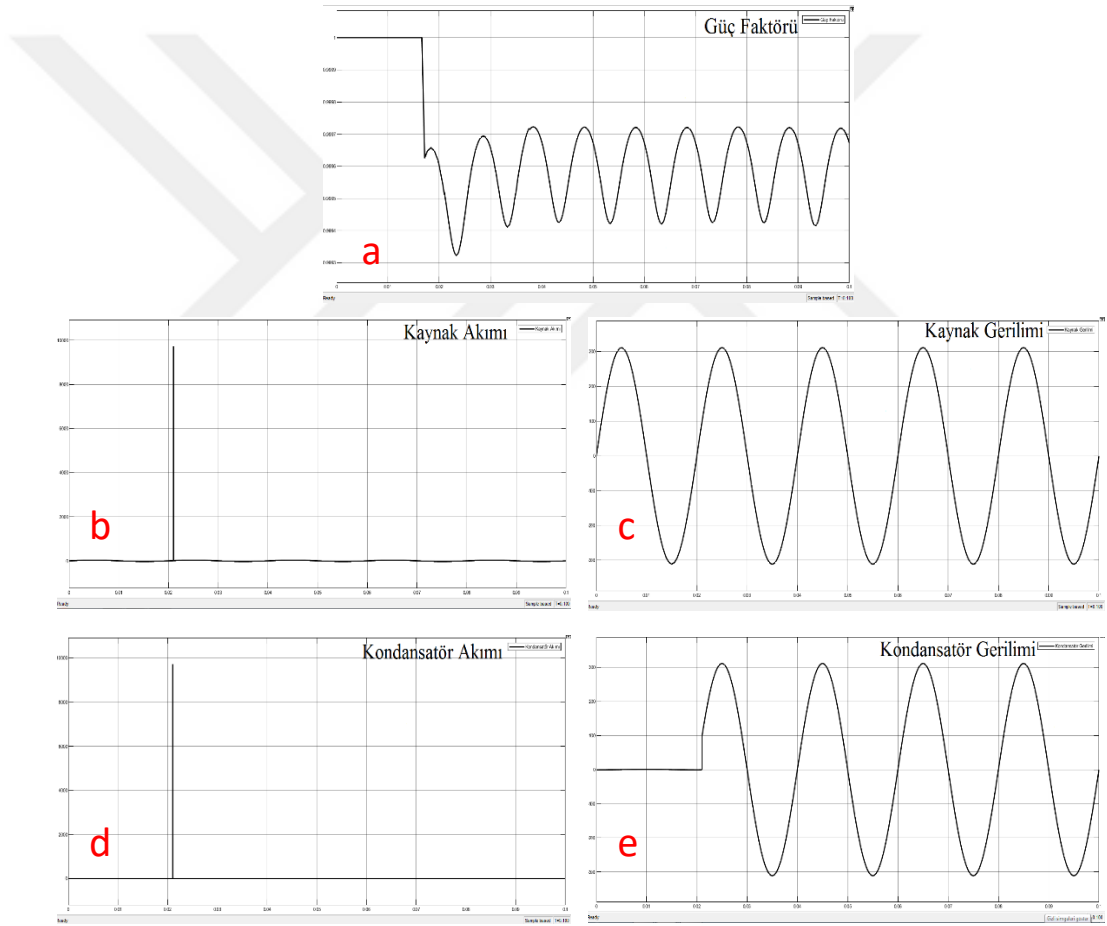
Şekil 5.1’de mekanik anahtarlama yapısının Simulink programı kullanılarak yapılan analizi sunulmaktadır. Bu devrede basit bir yapıya sahip standart bir kontaktör kullanılmıştır.



Şekil 5.1. Kontaktör anahtarlama kondansatörünün simülasyon devresi

Sistem iki farklı koşul altında incelenmiştir; İlk olarak şebeke geriliminin sıfır geçiş noktasına yakın bir anda anahtarlama durumu, ikinci olarak ise şebeke geriliminin maksimum seviyeye ulaştığı andaki anahtarlama durumu ele alınmıştır. Şebeke gerilim frekansı, $f=50$ Hz, $t=20$ ms olduğundan sıfır geçiş noktasına yakın zaman bir zaman için 21 ms, maksimum seviye ulaştığı an için ilk pik yaptığı değer olan 26 ms seçilmiştir (Ersamut, 2009).

Şekil 5.2’de sırasıyla; şebeke geriliminin sıfırdan geçiş noktasına yakın bir zamanda ($t=21$ ms) kondansatör devreye girdiğinde oluşan; a) güç faktörü, b) kaynak akımı, c) kaynak gerilimi, d) kondansatör akımı, e) kondansatör gerilimi değişimleri gösterilmektedir.

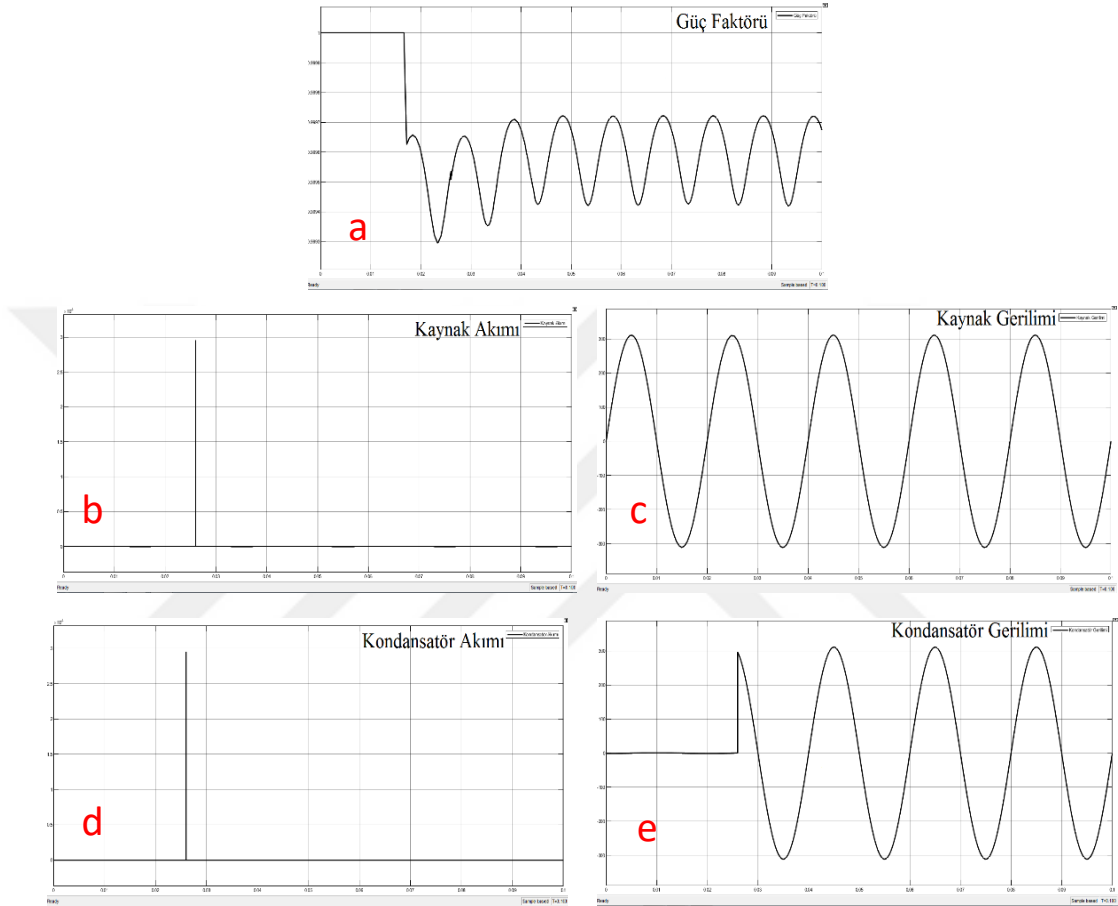


Şekil 5.2. Kontaktörlü kondansatör devresine ait akım ve gerilim dalga şekilleri ($t=21$ ms)

Şekil 5.2’de görüldüğü gibi kontaktör devreye girdiği anda inrush akımı denilen ani ve yüksek değerli bir pik akımı oluşmaktadır. Kontaktör devreye girdiği anda kaynak akımı ve kondansatör akımı anlık olarak yaklaşık 10.000 A değerine çıkmaktadır. Kaynak gerilimi maksimum değeri $\sqrt{2} \cdot 220 \text{ V} = 311 \text{ V}$ olarak görülmektedir.

Kondansatör gerilimi 21ms tetikleme anına kadar sıfır, tetikleme anından sonra maksimum değeri 311 V olmaktadır.

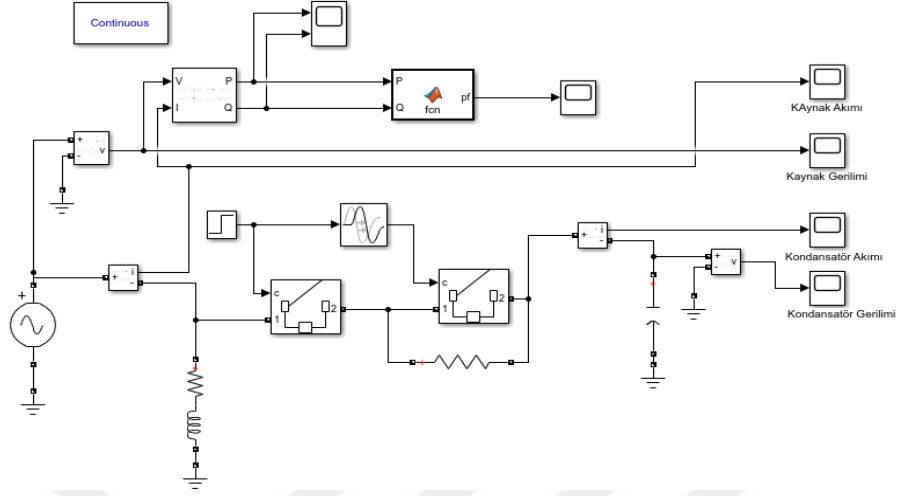
Şekil 5.3'te sırasıyla; şebeke maksimum noktasına yakın bir zamanda ($t=26$ ms) kondansatör devreye girdiğinde oluşan; a) güç faktörü, b) kaynak akımı, c) kaynak gerilimi, d) kondansatör akımı, e) kondansatör gerilimi değişimleri gösterilmektedir



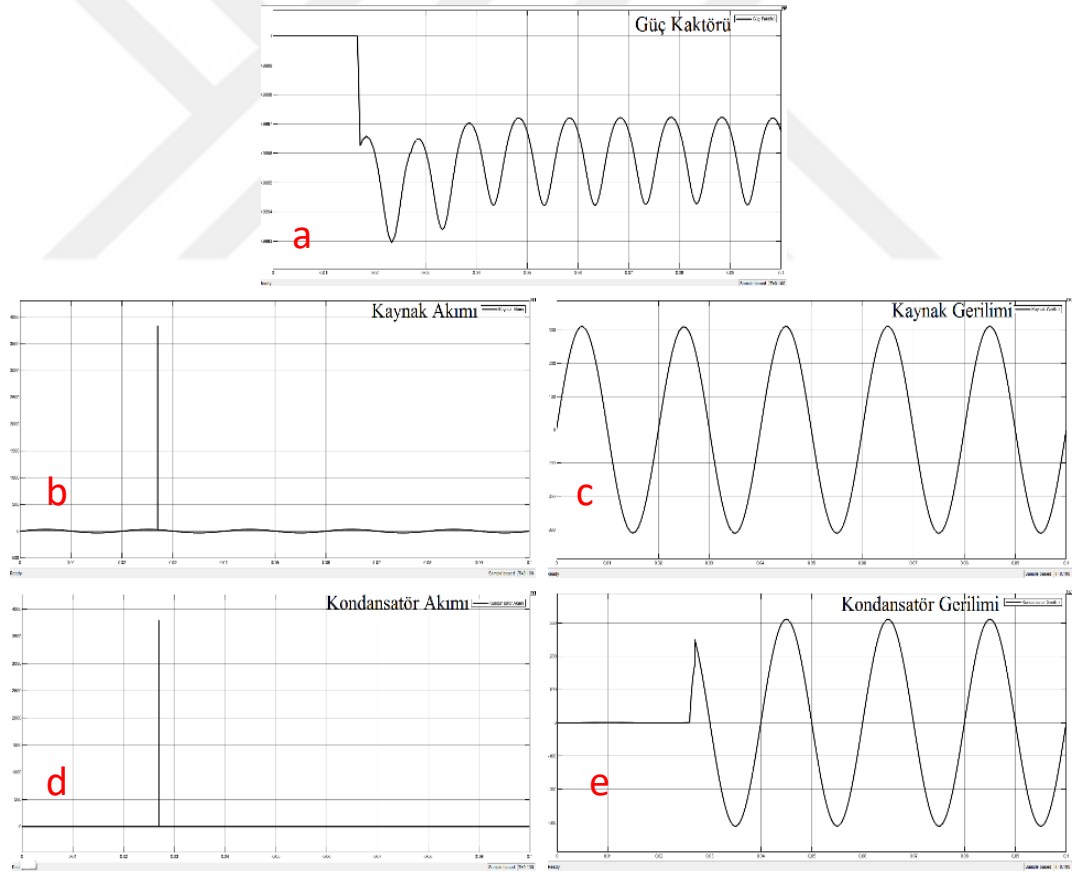
Şekil 5.3. Kontaktörlü kondansatör devresine ait akım ve gerilim dalga şekilleri ($t=26$ ms)

Şekil 5.3'te görüldüğü gibi kontaktör devreye girdiği anda kaynak akımı ve kondansatör akımı yaklaşık 30.000 A değerine çıkmaktadır. Oluşan pik akımı kondansatör devreye girdiği andaki ilk değerine göre yaklaşık 3 katı daha yüksektir. Bunun nedeni anahtarlama işleminin gerilimin maksimum değerine çok yakın bir anda gerçekleşmesidir. Kaynak gerilimi maksimum değeri $\sqrt{2} \cdot 220 \text{ V} = 311 \text{ V}$ olarak görülmektedir. Kondansatör gerilimi 26ms tetikleme anına kadar sıfır, tetikleme anından sonra maksimum değeri 311 V olmaktadır.

Bu aşırı akım artışını düşürmek için standart kompanzasyon kontaktörü kullanılmalıdır. Bu şartlardaki bir simulink devresi Şekil 5.4’de gösterilmektedir.



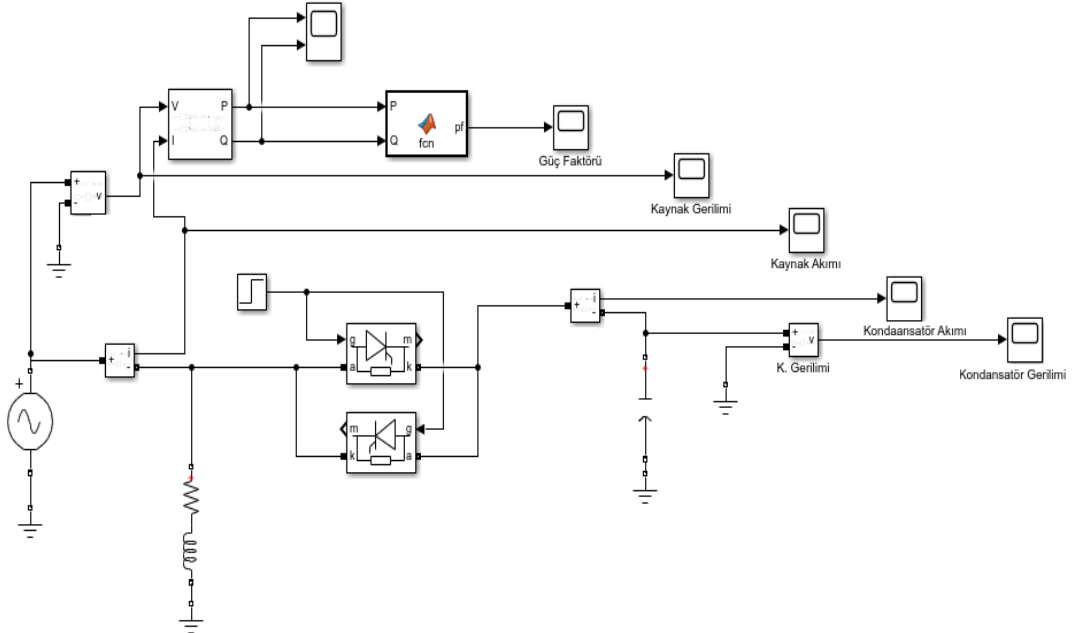
Şekil 5.4. Kompanzasyon kontaktörlü anahtarlanan kondansatör simülasyon devresi



Şekil 5.5. Kompanzasyon kontaktörlü anahtarlanan kondansatör devresine ait akım ve gerilim dalga şekilleri ($t=26$ ms)

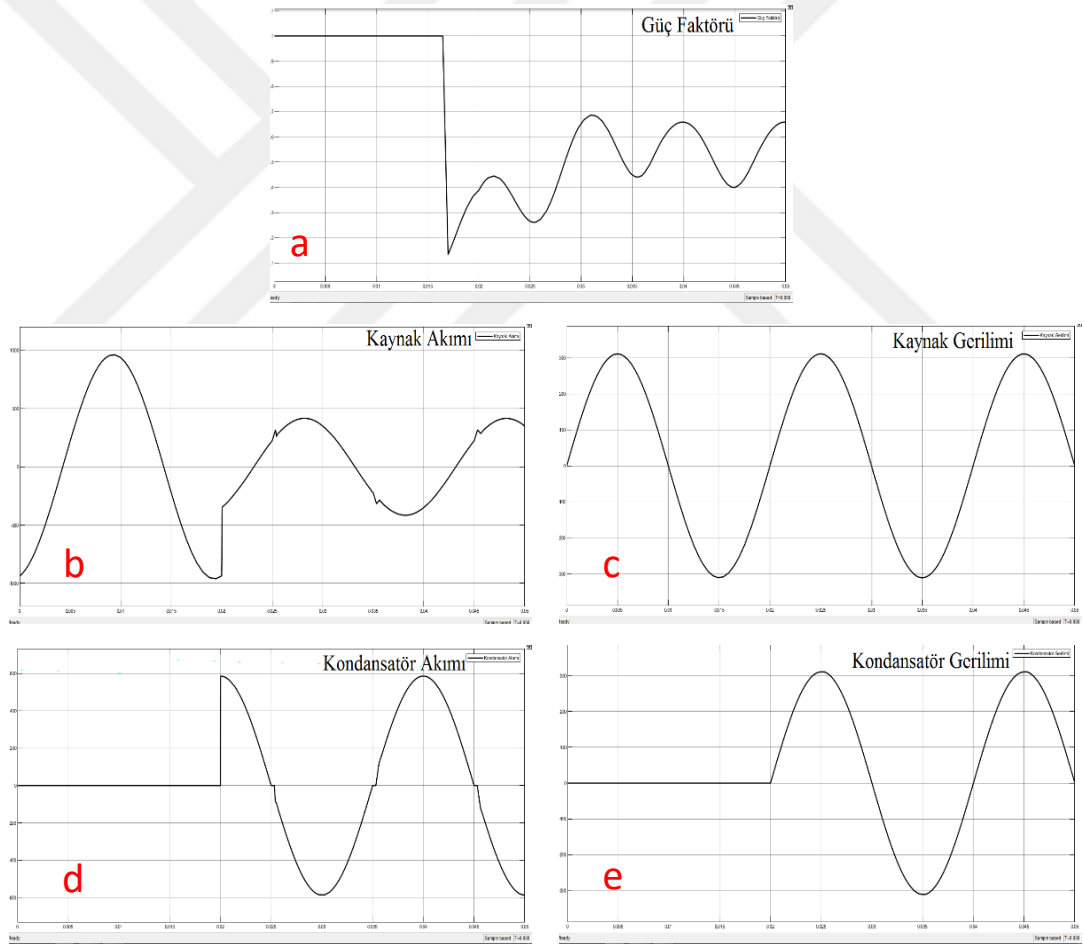
Kaynak gerilimi maksimum değeri $\sqrt{2} \cdot 220 \text{ V} = 311 \text{ V}$ olarak görülmektedir. Kondansatör gerilimi 26ms tetikleme anına kadar sıfır, tetikleme anından sonra maksimum değeri 311 V olmaktadır.

Şu ana kadar ele alınan tüm devrelerin hepsinde aşırı akımlar ortaya çıkmıştır. Ancak tristörle anahtarlanan kondansatör devresinde, anahtarlama geriliminin sıfır geçiş noktalarında gerçekleştirildiğinden aşırı akımlar oluşmayacaktır. Bu duruma örnek teşkil eden simulink devresi ise Şekil 5.6'da gösterilmektedir.



47

Tristörlerin tetikleme açıları kontrol edilerek iletme girme sürelerinin ayarlanabilme yetenekleri sayesinde voltajın sıfır geçişlerinde etkinleştirilebilirler. Bu sayede yüksek akımlarla karşılaşmazlar. Şekil 5.7’de sırasıyla; tristör anahtarlamalı kondansatör devresine ait a) güç faktörü, b) kaynak akımı, c) kaynak gerilimi, d) kondansatör akımı, e) kondansatör gerilimi değişimleri gösterilmektedir. Akım ve gerilim değişimlerinden de görüldüğü gibi bu devrede kontaktör anahtarlamalı kondansatör devresine nazaran aşırı akım artışları meydana gelmemektedir. Kaynak akımı ve kondansatör akımı yaklaşık 500 Amper değerine çıkmaktadır. Bu değer normal kontaktörlü devrede $t=21\text{ms}$ deki inrush akımının yaklaşık $1/20$ ’si, $t=26\text{ms}$ deki inrush akımının yaklaşık $1/60$ ’ı, kompanzasyon kontaktörlü devrede oluşan inrush akımının ise $1/8$ ’i kadardır.



Şekil 5.7. Tristör anahtarlamalı kondansatör devresine ait akım ve gerilim dalga şekilleri

6. MUĞLA KREDİ VE YURTLAR KURUMU ÖĞRENCİ YURDU ÖRNEĞİ

Reaktif güç kompanzasyon sistemlerinin teorik alt yapısını anlattıktan ve mekanik ve tristör anahtarlama mekanizmalarına Simulink programıyla analize edilmesinden sonra bu bölümde 01 Aralık 2023 – 31 Aralık 2024 tarihleri arasında günlük/aylık enerji tüketim verileri izlenen 2250 öğrenci kapasiteli Turgut Reis Öğrenci Yurdu (Şekil 6.1) ile 2000 öğrenci kapasiteli Muğla Erkek Yurdu'nda (Şekil 6.2) kurulan Kompanzasyon sistemleri detaylı bir şekilde açıklanmış, ilgili tesislerin elektrik yükleri ve kompanzasyon ihtiyaç analizleri yapılmıştır. Ayrıca bu tesislerin incelenen tarihler arasında tüketilen aktif güç, reaktif güç, görünür güç değerleri analiz edilerek enerji profilleri türetilmiştir. Son olarak kompanzasyonun olmadığı duruma göre her iki tesisin sağladığı ekonomik avantajlar ve kazançlar hesaplanmıştır.



Şekil 6.1. Turgut Reis Öğrenci Yurdu genel görünümü

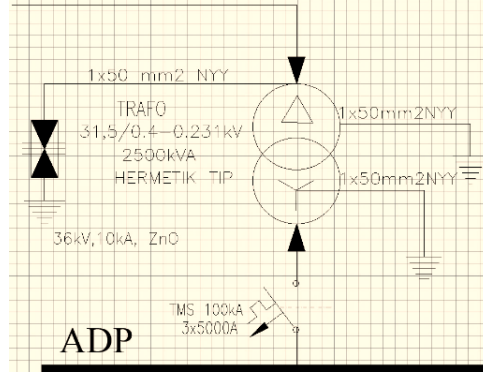


Şekil 6.2. Muğla Erkek Yurdu genel görünümü

6.1. Turgut Reis Öğrenci Yurdu Kompanzasyon Sistemi

6.1.1. Tesisin elektrik yükleri ve kompanzasyon ihtiyacı analizi

2550 öğrenci kapasiteli toplam 6 blok ve 1 nizamiye noktasından oluşan Turgut Reis Öğrenci Yurdu kompanzasyon altyapısı tüm yönleriyle incelenmiştir. Kompanzasyon sistemleri tasarlamadan önce; sistemin görünür gücünü, faz faktörü değerini, $\cos\phi_1$ ve kompanzasyon sonrası elde edilen $\cos\phi_2$ değerini bilmemiz gerekir. Proje aşamasındayken tesisin yükleri belirlenmiştir. Ana Dağıtım Panosu (ADP) kurulu gücü 2500 kVA'dır. Ana dağıtım panosu trafo tek hat şeması Şekil 6.3'de görülmektedir. 31,5 kV/0,4-0,231 kV'luk 2500 kVA gücünde Δ/Y bağlı hermetik tip trafo kullanılmıştır. Trafonun primer ve sekonder tarafının 1x50 mm² NYY kablo ile topraklandığı ve aynı kesitdeki kablo ile parafudur bağlantısının yapıldığı görülmektedir. Ayrıca 3x5000 A değerinde alçak gerilim ana şalterinin trafo çıkışına bağlandığı görülmektedir.



Şekil 6.3. Trafo tek hat şeması

Turgut Reis Öğrenci Yurdu içinde bulunan binaların ve ısıtma soğutma sisteminde kullanılan chiller grubunun toplam güç değerleri Çizelge 6.1’de gösterilmiştir. Ayrıca sırasıyla, Çizelge 6.2’de; A, B, C bloklarındaki Bodrum Kat, Sığınak, Çamaşırhane, Zemin Kat, 1. Kat, 2.Kat, 3. Kat, 4.Kat ve Asansör panolarının güç değerleri, 6.3’de D bloğundaki Bodrum Kat, Sığınak, Çamaşırhane, Zemin Kat, 1. Kat, 2.Kat, 3. Kat, 4.Kat ve Asansör panolarının güç değerleri; 6.4’de de Yönetim Binasındaki Zemin kat, 1.Kat, 2.Kat, 3.Kat, Asansör ve Kesintisiz Güç Kaynağı Panolarının güç değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Turgut Reis Öğrenci Yurdu Toplam Kurulu Güç Değerleri

A BLOĞU = 465.328 W	SOSYAL TESİS = 759.990 W
B BLOĞU = 465.328 W	CHİLLER1 = 200.000 W
C BLOĞU = 465.328 W	CHİLLER2 = 200.000 W
D BLOĞU = 441.188 W	CHİLLER3 = 200.000 W
YÖNETİM BİNASI = 95.080 W	NİZAMİYE = 17.480 W

Çizelge 6.2. Turgut Reis Öğrenci Yurdu A, B, C Blokları Kat Panoları Kurulu Güç Değerleri

BKT-1 = 11.710 W	1KT-1 = 30.336 W	3KT-2 = 33.296 W
SIĞINAK-T1=23.840 W	1KT-2 = 32.606 W	4KT-1 = 36.936 W
ÇMT = 81.900 W	2KT-1 = 30.336 W	4KT-2 = 40.716 W
ZKT-1 = 26.924 W	2KT-2 = 34.116 W	AST-1 = 10.000 W
ZKT-2 = 32.276 W	3KT-1 = 30.336 W	AST-2 = 10.000 W

Çizelge 6.3. Turgut Reis Öğrenci Yurdu D Blok Kat Panoları Kurulu Güç Değerleri

BKT-1 = 1.810 W	1KT-1 = 30.336 W	4KT-1 = 36.936 W
SIĞINAK-T1 = 2.790 W	1KT-2 = 32.606 W	4KT-2 = 40.716 W
SIĞINAK-T2 = 29.350 W	2KT-1 = 30.336 W	AST-1 = 10.000 W
ÇMT = 59.360 W	2KT-2 = 34.116 W	AST-2 = 10.000 W
ZKT-1 = 26.924 W	3KT-1 = 30.336 W	
ZKT-2 = 32.276 W	3KT-2 = 33.296 W	

Çizelge 6.4. Turgut Reis Öğrenci Yurdu Yönetim Binası Kat Panoları Kurulu Güç Değerleri

ZKT-1 = 14.730 W	3 KT-1 = 15.570 W
1 KT-1 = 15.210 W	AST-1 = 10.000 W
2 KT-1 = 13.470 W	UDP = 26.100 W

6.1.1.1. Transformatör ve Kompanzasyon hesabı

Kurulacak sistem için yapılan transformatör ve kompanzasyon hesabı için tablo 6.5’de verilen değerler kullanılmıştır.

Çizelge 6.5. Transformatör ve Kompanzasyon Hesabı İçin Alınan Değerler

Veriler	Değerler
Toplam Kurulu Güç	3.309.722 W
Eş zaman talep faktörü	0,55
Talep Gücü (T.G.)	1.820.347 W
Seçilen nominal trafo gücü	2500 kVA

Transformatör Hesabı; Transformatör hesabı talep gücüne bağlı olarak yapılır. Talep gücü bu sistem için 1.820.347 W’dır. Buna bağlı olarak Transformatör gücü (Denklem 6.1);

$$\text{Transformatör Gücü} = \frac{\text{Talep Gücü}}{\text{Güç Faktörü}} = \frac{1850kW}{0.99} = 1838 \text{ kVA} \quad (6.1)$$

Transformatör gücü 1838 kVA olarak hesaplanır. Piyasada üretilen standart transformatör nominal güç değerleri 1000kVA, 1250kVA, 1600kVA, 2500kVA olduğundan en uygun değer olan 2500 kVA trafo gücü seçilmiştir.

Kompanzasyon Hesabı; kompanzasyon hesabı için tesisin için ortalama güç faktörü 0,80 alınmıştır ve bu değerin 0,99'a yükseltilmesi hedeflenmiştir. Bu dönüşüm için gerekli güç katsayısı (k) ise;

$$\text{Güç katsayısı (k)} = \tan(\cos^{-1} \frac{\text{ortalama}}{\text{güç faktörü}}) - \tan(\cos^{-1} \frac{\text{istenilen}}{\text{güç faktörü}}) \quad (6.2)$$

Denklemleri yardımıyla bulunur. Gerekli değerler yerine koyulduğunda güç katsayısı değerinin $k = 0.61$ olduğu hesaplanır. Gerekli kondansatör gücü Denklem 6.3 yardımıyla hesaplanır;

$$Q_k = k \times \text{Transformatör Gücü} \quad (6.3)$$

Alınan değerler doğrultusunda kondansatör gücü 1525 kVAR bulunur. Transformatörün boştaki reaktif kayıplarını karşılamak için sabit kompanzasyon değerinin de hesaplanması gerekir. Bunun için yüksüz halde görünen kayıp güç trafo gücünün %5'i alınabilir. Böylece $Q_{sb} = \%(3-5) \times 1525 \text{ kVAR} = 50 \text{ kVAR}$ alınır. Bu durumda kompanzasyon için gerekli kondansatör gücü toplam olarak 1575 kVAR olmaktadır.

Yük dağılımına baktığımızda yüklerin değişken (nonlinear) olduğu görülmektedir. Bu duruma en uygun kompanzasyon türü merkezi kompanzasyondur. Buna göre kompanzasyon için seçilecek kondansatör gruplarının dizilimi ayarlanabilir. Buna bağlı olarak kademe aralığı 18 adımlı seçilmiştir. 50 kVAR gücündeki sabit kondansatör transformatör çıkışına direk bağlı olmak üzere kompanzasyon kademe güçleri Çizelge 6.6'da gösterildiği gibi dağıtılmıştır.

Çizelge 6.6. Turgut Reis Öğrenci Yurdu Kompanzasyon Kondansatör Kademe Güçleri

Sabit : 50 kVAR	5.Kademe: 50 kVAR	10.Kademe: 100 kVAR	15.Kademe: 100 kVAR
1.Kademe: 50 kVAR	6.Kademe: 75 kVAR	11.Kademe: 100 kVAR	16.Kademe: 100 kVAR
2.Kademe: 50 kVAR	7.Kademe: 100kVAR	12.Kademe: 100 kVAR	17.Kademe: 100 kVAR
3.Kademe: 50 kVAR	8.Kademe: 100 kVAR	13.Kademe: 100 kVAR	18.Kademe: 100 kVAR
4.Kademe: 50 kVAR	9.Kademe: 100 kVAR	14.Kademe: 100 kVAR	

İlgili kademelerden çekilebilecek akım değerleri;

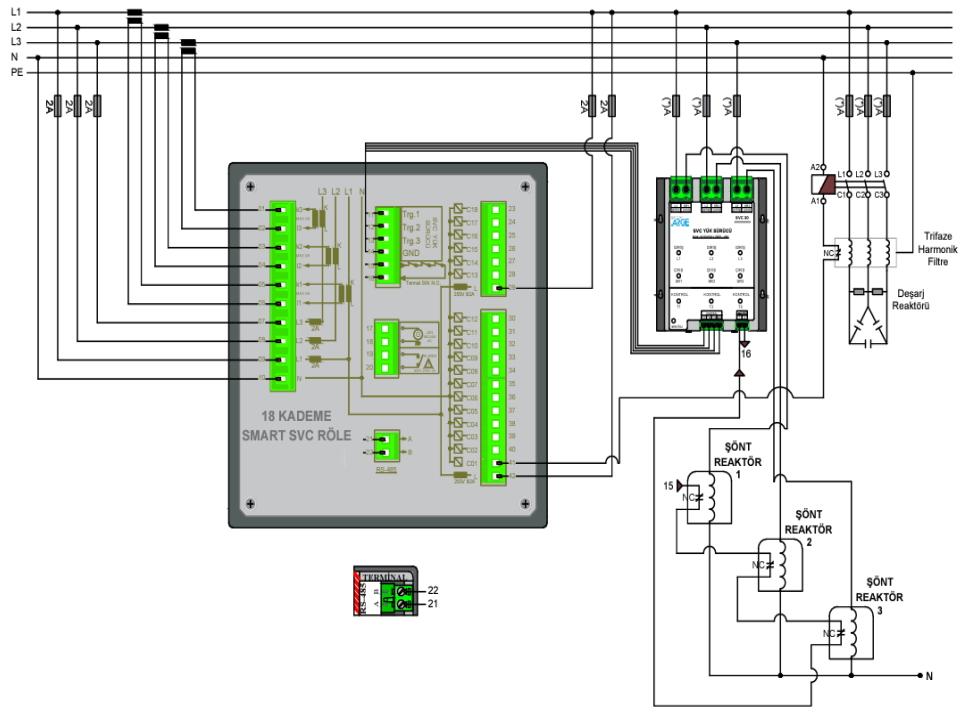
$$Q_c = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_c \quad (6.4)$$

denklemini yardımıyla hesaplanabilir. (6.4) eşitliği kullanılarak 50 kVAR için kullanılacak sigorta değeri;

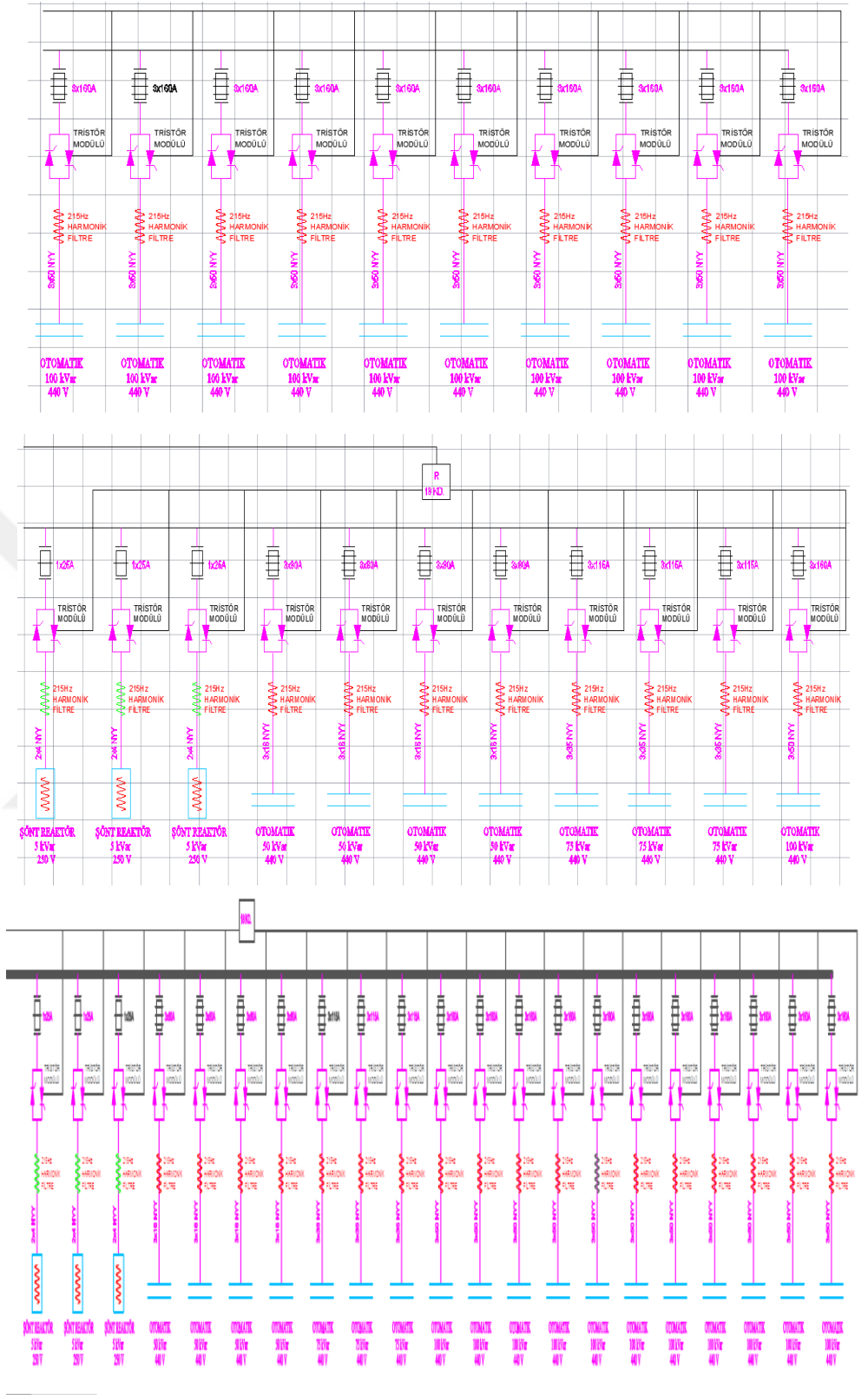
$$I_c = \frac{Q_c}{\sqrt{3}.U} = \frac{50.10^3}{\sqrt{3}.380} = 75.96 \text{ A} \quad (6.5)$$

olarak hesaplanır. Elde edilen sonuca göre standart değerli sigortalardan 80 A 'lık sigorta seçilebilir. Aynı hesaplama yöntemi ile 75 kVAR güç için 115 A, 100 kVAR güç için ise 160 A sigorta kullanılabileceği hesaplanır. Sistemde kullanılacak kontaktörler de sigortaların bir alt değeri seçilir.

Şekil 6.4 incelendiğinde 18 kademeli olarak seçilen kompanzasyon rölesinin fazları, nötr hattı ve endüktif yük sürücü, şönt reaktör grupları ve rezonans filtre bağlantı elemanları görülmektedir. Bağlantı uçları düzgün bağlanmadığı durumda kompanzasyon sistemi düzgün çalışmayacak, ölçümler hatalı olacak bunun sonucunda elektrik faturasına reaktif güç ceza bedeli yansıtacaktır. Tesise ait kompanzasyon dizilimi tek hat şeması Şekil 6.5'de görülmektedir. Sıralanan adım Kondansatör değerleri, kontak dizilişleri ve ilgili gruplara ait sigorta değerleri gösterilmiştir.



Şekil 6.4. Kompanzasyon rölesi bağlantı şeması

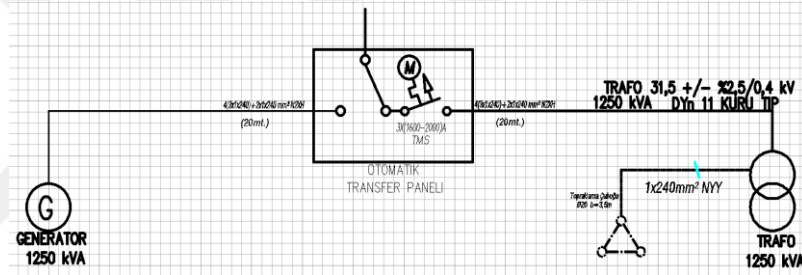


Şekil 6.5. Kompanzasyon tek hat şeması

6.2. Muğla Erkek Öğrenci Yurdu Kompanzasyon Sistemi

6.2.1. Tesisin elektrik yükleri ve kompanzasyon ihtiyacı analizi

2000 öğrenci kapasiteli toplam 4 öğrenci bloğu ve 1 sosyal tesisten oluşan Muğla Erkek Öğrenci Yurdu kompanzasyon altyapısı tüm yönleriyle incelenmiştir. Proje aşamasındayken tesisin yükleri belirlenmiştir. Ana Dağıtım Panosu (ADP) kurulu gücü 1250 kVA'dır. Şekil 6.6'da 31,5kV/0,4-0,231 kV'luk 1250 kVA gücünde Δ/Y bağlı hermetik tip trafoya ait tek hat şeması kesiti görülmektedir. Trafo topraklamasının 1x240 mm² NYY kablo ile yapıldığı, Ana dağıtım şalterinin 3x2000 A olduğu, 1250 kVA gücündeki jeneratörle otomatik transfer panosuna bağlandığı görülmektedir. Muğla Erkek Yurdu içinde bulunan blokların ve sosyal tesisin toplam güç değerleri Çizelge 6.7'de gösterilmiştir



Şekil 6.6. Trafo tek hat şeması

Çizelge 6.7. Muğla Erkek Yurdu Toplam Kurulu Güç Değerleri

A BLOĞU = 307.180 W
B BLOĞU = 295.770 W
C BLOĞU = 295.770 W
D BLOĞU = 295.770 W
SOSYAL TESİS = 562.150 W

6.2.1.1. Transformatör ve Kompanzasyon hesabı

Kurulacak sistem için yapılan transformatör ve kompanzasyon hesabı için Çizelge 6.8'de verilen değerler kullanılmıştır.

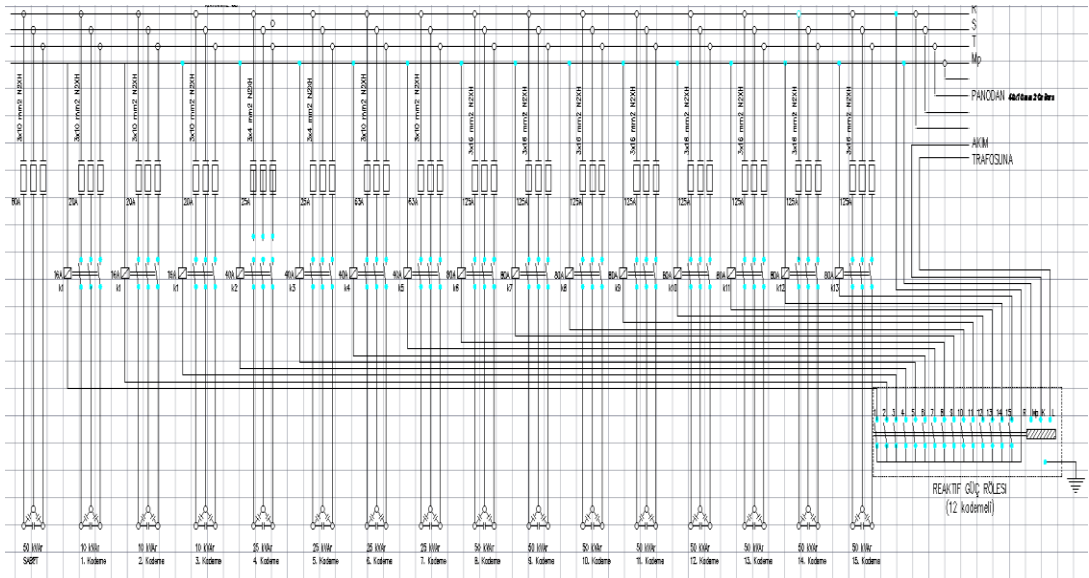
Çizelge 6.8. Transformatör ve kompanzasyon hesabı için alınan değerler

Veriler	Değerler
Toplam Kurulu Güç	1.756.640 W
Eş zaman Talep Faktörü	0.55
Talep Gücü	966.152 W
Seçilen nominal trafo gücü	1250 kVA

Transformatör Hesabı; transformatör hesabı talep gücüne bağlı olarak yapılır. Talep gücü bu sistem için 966.152 W'dir. Kurulan sistemde seçilen transformatör gücü (nominal trafa gücü) gerekli olan transformatör gücünden yüksek değerde olup bu değer 1250 kVA'dır.

Kompanzasyon Hesabı; kompanzasyon hesabı için tesisin için ortalama güç faktörü 0,80 alınmıştır ve bu değer 0,99'a yükseltilmesi hedeflenmiştir. Bu dönüşüm için gerekli güç katsayısı değeri $k = 0,61$ 'dir. (k) ise;

Alınan değerler doğrultusunda kondansatör gücü 760 kVAR bulunur. Transformatörün boştaki reaktif kayıplarını karşılamak için sabit kompanzasyon değerinin de hesaplanması gerekir. Bunun için yüksüz halde görünen kayıp güç trafo gücünün %5'i alınabilir. Böylece $Q_{sb} = \%(3-5) \times 1250 \text{ kVAR} = 50 \text{ kVAR}$ alınmıştır. Bu durumda kompanzasyon için gerekli kondansatör gücü toplam olarak 810 kVAR olmaktadır. Şekil 6.7'de kompanzasyon tek hat şeması görülmektedir.



Şekil 6.7. Kompanzasyon tek hat şeması

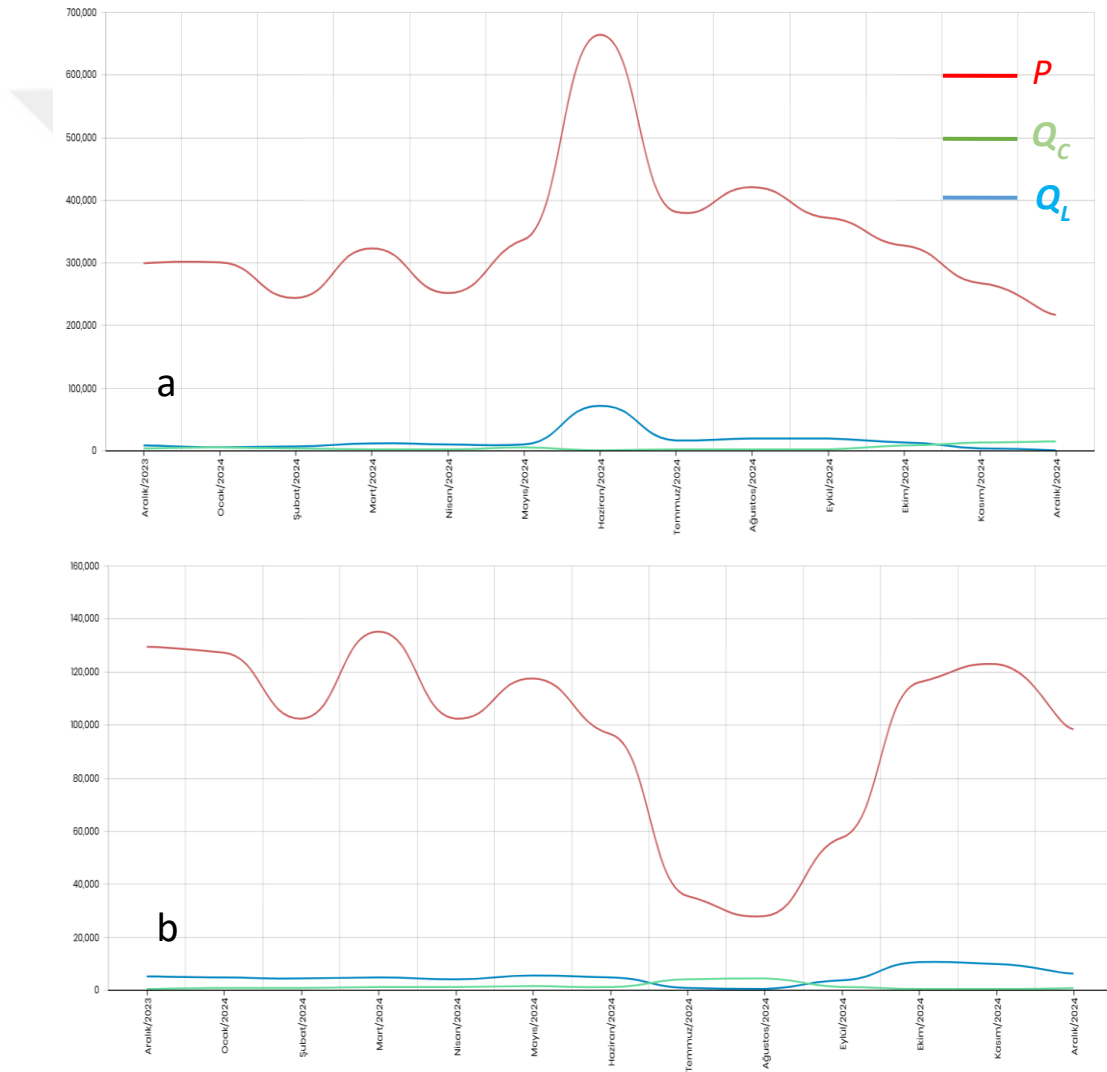
6.3. Tesislerin Tükettiği Güç Değerleri ve Aylık/Yıllık Enerji Profilleri

Tesislerin elektrik tüketim değerleri 01 Aralık 2023 ile 31 Aralık 2024 tarihleri arasında günlük/aylık olarak takip edilmiştir. Çizelge 6.9’da her iki tesisin aylık bazda tükettiği aktif güç (toplam), endüktif (Q_L) ve kapasitif (Q_C) reaktif güç değerleri ile görünür güç (S) ve bu değerlerden elde edilen güç faktörü ($\cos\phi$) değerleri görülmektedir. Kaydedilen bu değerlere bağlı olarak Şekil 6.8’de her iki tesisin aylık bazda tükettiği aktif güç (toplam), endüktif (Q_L) ve kapasitif (Q_C) reaktif güç değişimi görülmektedir.

Çizelge 6.9. Tesislerin aylık bazda tükettiği aktif güç (toplam), endüktif (Q_L) ve kapasitif (Q_C) reaktif güç değerleri ile görünür güç (S) ve güç faktörü değerleri

Tesis	Aylar	P (W)	Q_L (VAr)	Q_C (VAr)	S (VA)	Güç Faktörü ($\cos\phi$)
Turgut Reis Öğrenci Yurdu	Ara.23	299.394,900	8.290,800	2.482,200	299.451,24	0,999812
	Oca.24	300.780,090	4.989,600	4.397,400	300.780,67	0,999998
	Şub.24	243.558,000	6.230,700	3.036,600	243.578,94	0,999914
	Mar.24	322.988,400	11.724,300	2.198,700	323.128,83	0,999565
	Nis.24	251.281,800	9.090,900	2.060,100	251.380,14	0,999609
	May.24	336.016,800	9.015,300	4.542,300	336.046,57	0,999911
	Haz.24	663.881,400	71.738,100	655,200	667.676,04	0,994317
	Tem.24	380.797,200	16.140,600	2.022,300	381.058,83	0,999313
	Ağu.24	420.096,600	18.654,300	2.154,600	420.420,50	0,999230
	Eyl.24	371.259,000	18.188,100	2.230,200	371.601,80	0,999078
	Eki.24	326.396,700	12.719,700	7.314,300	326.441,46	0,999863
	Kas.24	267.649,200	12.039,300	3.465,000	267.786,51	0,999487
Muğla Erkek Öğrenci Yurdu	Ara.24	288.502,200	888,300	18.648,000	289.048,31	0,998111
	Ara.23	129.313,800	4.931,325	526,050	129.388,81	0,999420
	Oca.24	127.069,425	4.690,350	798,525	127.129,01	0,999531
	Şub.24	102.392,325	4.158,000	680,400	102.451,36	0,999424
	Mar.24	135.002,700	4.816,350	1.053,675	135.055,12	0,999612
	Nis.24	102.242,700	4.065,075	1.145,025	102.284,39	0,999592
	May.24	117.419,400	5.414,850	1.365,525	117.489,20	0,999406
	Haz.24	96.427,800	4.658,850	911,925	96.500,57	0,999246
	Tem.24	35.221,725	697,725	3.995,775	35.375,80	0,995645
	Ağu.24	27.968,850	516,600	4.296,600	28.223,13	0,990990
	Eyl.24	57.300,075	3.721,725	1.130,850	57.358,62	0,998979
	Eki.24	115.995,600	10.495,800	384,300	116.435,48	0,996222
	Kas.24	122.720,850	9.738,225	329,175	123.081,02	0,997074
	Ara.24	129.356,325	7.479,675	757,575	129.530,87	0,998653

Turgut Reis Öğrenci Yurdu için (Şekil 6.8a); Mayıs ve Ağustos ayları arasında güç tüketim değerlerinin arttığını diğer aylarda ise ortalama olarak nispeten sabit tüketim değerlerinde (aktif gücün $P = 243\text{--}371$ kW seviyelerinde, indüktif reaktif güç tüketiminin kapasitif reaktif güç tüketiminden fazla ($Q_L (0,9 - 18 \text{ kVAR}) > Q_C (0,6 - 19 \text{ kVAR})$) seviyelerinde) olduğu görülmektedir. Tüketim değerlerinin maksimum olduğu Haziran ayında; aktif gücün yaklaşık $P = 664$ kW değerinde, indüktif reaktif gücün 72 kVAR ve kapasitif reaktif güç değerinin de yaklaşık $0,7$ kVAR olduğu görülmektedir. Burada aktif gücün maksimum tüketildiği durumda indüktif reaktif gücünün maksimum tüketildiği açıkça görülmektedir.



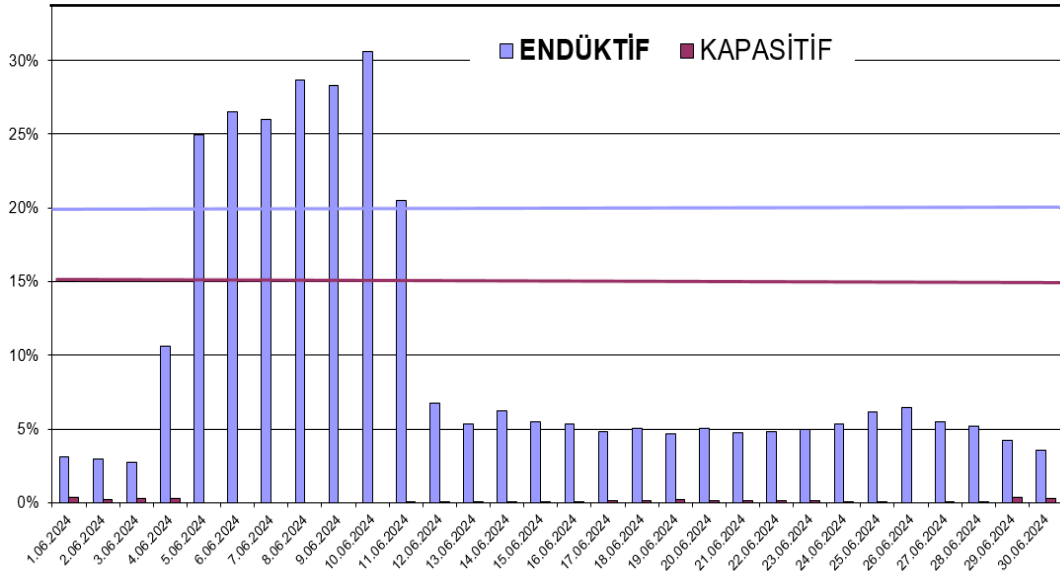
Şekil 6.8. a) Turgut Reis Öğrenci b) Muğla Erkek Öğrenci yurtlarının aylık bazda tükettiği aktif güç (toplam), endüktif (Q_L) ve kapasitif (Q_C) reaktif güç değişimleri

Muğla Erkek Öğrenci Yurdu için (Şekil 6.8b); Haziran ve Eylül ayları arasında aktif güç tüketim değerinin azaldığı diğer aylarda ise ortalama olarak nispeten sabit tüketim değerlerinde (aktif gücün $P = 102 - 135$ kW seviyelerinde, indüktif reaktif güç tüketiminin kapasitif reaktif güç tüketiminden fazla ($Q_L (4 - 10 \text{ kVAR}) > Q_C (0.3 - 4 \text{ kVAR})$ seviyelerinde) olduğu görülmektedir. Tüketim değerlerinin minimum olduğu Ağustos ayında; aktif gücün yaklaşık $P = 28$ kW değerinde, indüktif reaktif gücün yaklaşık 0.5 kVAR ve kapasitif reaktif güç değerinin de 4 kVAR olduğu görülmektedir. Burada aktif gücün minimum tüketildiği Temmuz ve Ağustos aylarında kapasitif reaktif güç tüketiminin indüktif reaktif güç değerlerinden fazla olduğu $Q_C (4 - 4.3 \text{ kVAR}) > Q_L (0.5 - 0.7 \text{ kVAR})$ ve maksimum tüketildiği açıkça görülmektedir.

Ayrıca elektrik tüketim değerleri izlenen her iki tesisin maksimum ve minimum tükettiği aylar dikkate alınarak günlük bazda tükettiği aktif güç (toplam), endüktif (Q_L) kapasitif (Q_C) güç değerleri ile güç faktörü ($\cos\phi$) ve ceza sınır değerlerini çok daha rahat görebilmek için kapasitif ve indüktif reaktif gücün aktif güce oranı olan $\tan Q_C$ ve $\tan Q_L$ yüzde değerleri verilmiştir. Sırasıyla, çizelge 6.10 ve 6.11’de Turgut Reis Öğrenci yurdu için aktif gücün maksimum tüketildiği Haziran ayı ve minimum tüketildiği Şubat ayındaki ilgili değerler gösterilirken, çizelge 6.12 ve 6.13’de de Muğla Erkek Öğrenci yurdu için aktif gücün maksimum tüketildiği Mart ayı ve minimum tüketildiği Ağustos ayındaki değerler verilmiştir. Ayrıca seçilen bu aylar için şekil 6.9, 6.10, 6.11, 6.12’de ise kapasitif ve indüktif reaktif gücün aktif güce oranı olan $\tan Q_C$ ve $\tan Q_L$ yüzde değişimleri gösterilmiştir. Aylık ve günlük bazda hesaplanan tüm güç faktörü ($\cos \phi$) değerlerinin 0.99 ’dan daha büyük olduğu 1 ’e yaklaştığı verilen çizelgelerde açıkça görülmektedir.

Çizelge 6.10. Turgut Reis Öğrenci Yurdu Haziran Ayı günlük Endüktif ve Kapasitif Reaktif Güç değerleri ile güç faktörü ve yüzde değişim değerleri

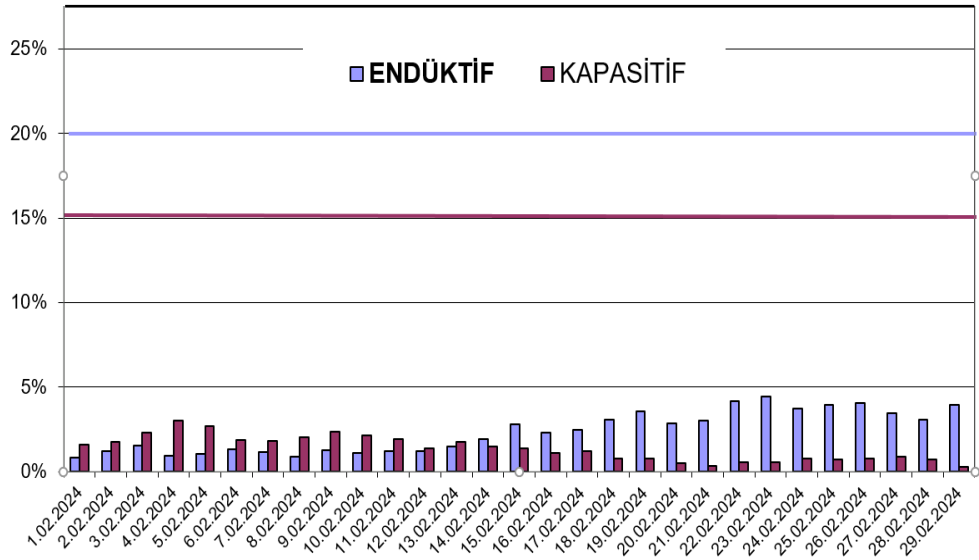
Tarih	P	Q _L	Q _C	cos ϕ	tan Q _L	tan Q _C
1.06.2024	31.871,7	995,4	119,7	0,999999987	3,12%	0,38%
2.06.2024	15.756,3	466,2	31,5	0,999999977	2,96%	0,20%
3.06.2024	20.418,3	560,7	50,4	0,999999962	2,75%	0,25%
4.06.2024	22.661,1	2.406,6	63,0	0,999999847	10,62%	0,28%
5.06.2024	24.003,0	5.985,0	0,0	0,999999204	24,93%	0,00%
6.06.2024	26.478,9	7.030,8	0,0	0,999997815	26,55%	0,00%
7.06.2024	25.609,5	6.665,4	0,0	0,999995879	26,03%	0,00%
8.06.2024	24.683,4	7.087,5	0,0	0,999993167	28,71%	0,00%
9.06.2024	23.373,0	6.621,3	0,0	0,999990036	28,33%	0,00%
10.06.2024	22.988,7	7.043,4	0,0	0,999986079	30,64%	0,00%
11.06.2024	25.382,7	5.197,5	6,3	0,999982790	20,48%	0,02%
12.06.2024	25.206,3	1.701,0	6,3	0,999981717	6,75%	0,02%
13.06.2024	25.609,5	1.373,4	12,6	0,999980862	5,36%	0,05%
14.06.2024	24.607,8	1.530,9	6,3	0,999979867	6,22%	0,03%
15.06.2024	21.609,0	1.190,7	18,9	0,999979102	5,51%	0,09%
16.06.2024	20.178,9	1.077,3	18,9	0,999978405	5,34%	0,09%
17.06.2024	20.015,1	970,2	25,2	0,999977787	4,85%	0,13%
18.06.2024	19.914,3	1.001,7	31,5	0,999977142	5,03%	0,16%
19.06.2024	20.594,7	957,6	44,1	0,999976540	4,65%	0,21%
20.06.2024	20.367,9	1.033,2	25,2	0,999975856	5,07%	0,12%
21.06.2024	21.105,0	1.008,0	25,2	0,999975190	4,78%	0,12%
22.06.2024	20.701,8	995,4	31,5	0,999974532	4,81%	0,15%
23.06.2024	22.390,2	1.115,1	31,5	0,999973779	4,98%	0,14%
24.06.2024	23.171,4	1.241,1	6,3	0,999972899	5,36%	0,03%
25.06.2024	22.604,4	1.398,6	18,9	0,999971884	6,19%	0,08%
26.06.2024	23.908,5	1.537,2	0,0	0,999970728	6,43%	0,00%
27.06.2024	24.532,2	1.341,9	18,9	0,999969746	5,47%	0,08%
28.06.2024	22.667,4	1.184,4	12,6	0,999968875	5,23%	0,06%
29.06.2024	19.485,9	819,0	63,0	0,999968342	4,20%	0,32%
30.06.2024	18.131,4	642,6	50,4	0,999967944	3,54%	0,28%



Şekil 6.9. Turgut Reis Öğrenci Yurdu Haziran Ayı Günlük Endüktif ve Kapasitif Reaktif Güç yüzde değişimleri

Çizelge 6.11. Turgut Reis Öğrenci Yurdu Şubat Ayı günlük Endüktif ve Kapasitif Reaktif Güç değerleri ile güç faktörü ve yüzde değişim değerleri

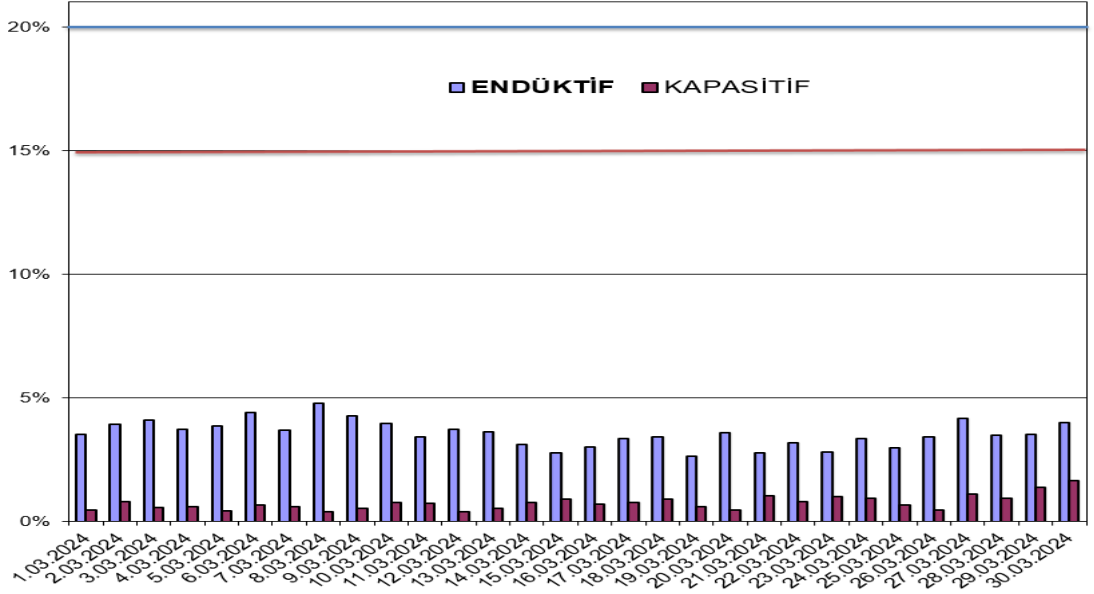
Tarih	P	Q _L	Q _C	cos ϕ	tan Q _L	tan Q _C
1.02.2024	6.785,1	56,7	107,1	0,999994757	0,84%	1,58%
2.02.2024	6.810,3	81,9	119,7	0,999994750	1,20%	1,76%
3.02.2024	6.192,9	94,5	144,9	0,999994736	1,53%	2,34%
4.02.2024	6.048,0	56,7	182,7	0,999994688	0,94%	3,02%
5.02.2024	6.577,2	69,3	176,4	0,999994649	1,05%	2,68%
6.02.2024	6.734,7	88,2	126,0	0,999994642	1,31%	1,87%
7.02.2024	6.570,9	75,6	119,7	0,999994632	1,15%	1,82%
8.02.2024	6.413,4	56,7	132,3	0,999994607	0,88%	2,06%
9.02.2024	6.363,0	81,9	151,2	0,999994585	1,29%	2,38%
10.02.2024	6.148,8	69,3	132,3	0,999994566	1,13%	2,15%
11.02.2024	6.797,7	81,9	132,3	0,999994553	1,20%	1,95%
12.02.2024	8.278,2	100,8	113,4	0,999994560	1,22%	1,37%
13.02.2024	8.435,7	126,0	151,2	0,999994561	1,49%	1,79%
14.02.2024	8.801,1	170,1	132,3	0,999994591	1,93%	1,50%
15.02.2024	8.738,1	245,7	119,7	0,999994661	2,81%	1,37%
16.02.2024	9.147,6	214,2	100,8	0,999994725	2,34%	1,10%
17.02.2024	8.857,8	220,5	107,1	0,999994788	2,49%	1,21%
18.02.2024	8.820,0	270,9	69,3	0,999994889	3,07%	0,79%
19.02.2024	10.502,1	378,0	81,9	0,999995033	3,60%	0,78%
20.02.2024	10.275,3	296,1	50,4	0,999995152	2,88%	0,49%
21.02.2024	10.476,9	315,0	37,8	0,999995282	3,01%	0,36%
22.02.2024	9.796,5	409,5	56,7	0,999995441	4,18%	0,58%
23.02.2024	10.054,8	447,3	56,7	0,999995612	4,45%	0,56%
24.02.2024	9.733,5	365,4	75,6	0,999995740	3,75%	0,78%
25.02.2024	8.807,4	346,5	63,0	0,999995861	3,93%	0,72%
26.02.2024	10.243,8	415,8	81,9	0,999996002	4,06%	0,80%
27.02.2024	10.338,3	359,1	94,5	0,999996113	3,47%	0,91%
28.02.2024	10.401,3	321,3	75,6	0,999996216	3,09%	0,73%
29.02.2024	8.460,9	333,9	25,2	0,999996338	3,95%	0,30%



Şekil 6.10. Turgut Reis Öğrenci Yurdu Şubat Ayı Günlük Endüktif ve Kapasitif Reaktif Güç yüzde değişimleri

Çizelge 6.12. Muğla Erkek Öğrenci Yurdu Mart Ayı günlük Endüktif ve Kapasitif Reaktif Güç değerleri ile güç faktörü ve yüzde değişim değerleri

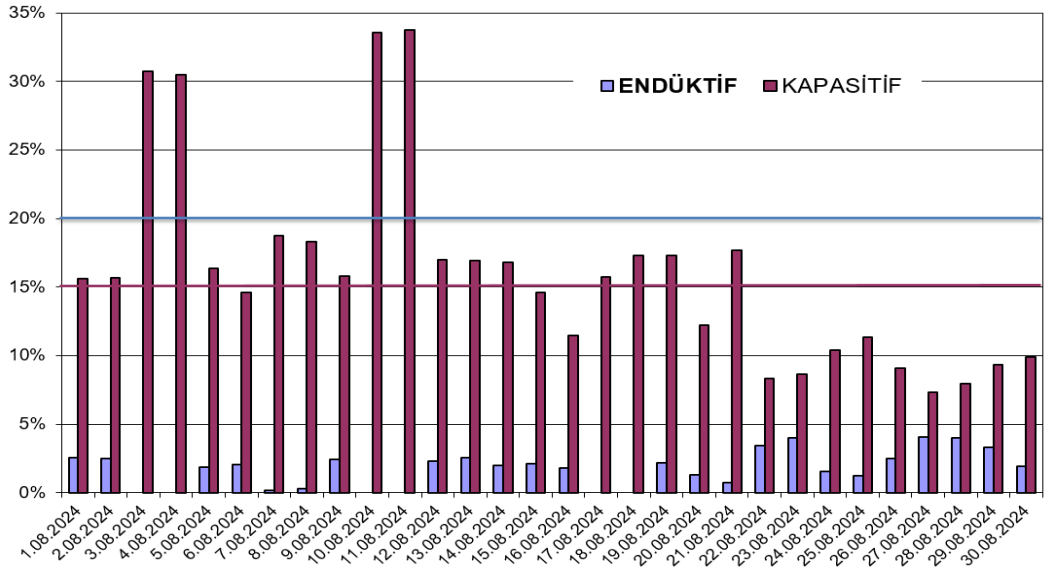
Tarih	P	Q _L	Q _C	cos ϕ	tan Q _L	tan Q _C
1.03.2024	4.181,6	148,0	18,9	0,998610998	3,54%	0,45%
2.03.2024	4.216,3	165,4	34,6	0,998611945	3,92%	0,82%
3.03.2024	3.928,1	160,6	22,1	0,998612653	4,09%	0,56%
4.03.2024	4.169,0	155,9	25,2	0,998613572	3,74%	0,60%
5.03.2024	4.304,5	166,9	18,9	0,998614384	3,88%	0,44%
6.03.2024	4.325,0	190,6	28,4	0,998615059	4,41%	0,66%
7.03.2024	4.216,3	155,9	25,2	0,998615998	3,70%	0,60%
8.03.2024	3.980,0	190,6	15,7	0,998616355	4,79%	0,40%
9.03.2024	4.134,4	176,4	22,1	0,998617005	4,27%	0,53%
10.03.2024	4.011,5	159,1	31,5	0,998617862	3,97%	0,79%
11.03.2024	4.583,2	157,5	34,7	0,998619072	3,44%	0,76%
12.03.2024	4.646,3	173,3	18,9	0,998619993	3,73%	0,41%
13.03.2024	4.521,8	163,8	23,6	0,998620989	3,62%	0,52%
14.03.2024	4.595,8	143,3	36,2	0,998622360	3,12%	0,79%
15.03.2024	4.662,0	129,1	42,5	0,998623971	2,77%	0,91%
16.03.2024	4.244,6	127,6	29,9	0,998625244	3,01%	0,71%
17.03.2024	4.347,0	146,5	33,1	0,998626409	3,37%	0,76%
18.03.2024	4.688,8	160,7	42,5	0,998627705	3,43%	0,91%
19.03.2024	4.515,5	119,7	26,8	0,998629161	2,65%	0,59%
20.03.2024	4.517,1	162,2	20,5	0,998630121	3,59%	0,45%
21.03.2024	4.485,6	124,4	47,3	0,998631715	2,77%	1,05%
22.03.2024	4.498,2	143,3	36,2	0,998633010	3,19%	0,81%
23.03.2024	4.403,7	124,4	44,1	0,998634521	2,83%	1,00%
24.03.2024	4.347,0	146,5	41,0	0,998635747	3,37%	0,94%
25.03.2024	4.592,7	137,0	31,5	0,998637098	2,98%	0,69%
26.03.2024	4.595,8	157,5	22,1	0,998638148	3,43%	0,48%
27.03.2024	4.611,6	192,1	52,0	0,998639157	4,17%	1,13%
28.03.2024	4.580,1	160,7	42,5	0,998640368	3,51%	0,93%
29.03.2024	4.506,1	159,1	63,0	0,998641758	3,53%	1,40%
30.03.2024	3.983,2	159,1	66,1	0,998642904	3,99%	1,66%
31.03.2024	3.658,7	162,2	56,7	0,998643753	4,43%	1,55%



Şekil 6.11. Muğla Erkek Öğrenci Yurdu Mart Ayı Günlük Endüktif ve Kapasitif Reaktif Güç yüzde değişimleri

Çizelge 6.13. Muğla Erkek Öğrenci Yurdu Ağustos Ayı günlük Endüktif ve Kapasitif Reaktif Güç değerleri ile güç faktörü ve yüzde değişim değerleri

Tarih	P	Q _L	Q _C	cos ϕ	tan Q _L	tan Q _C
1.08.2024	1.171,8	29,9	182,7	0,998745081	2,55%	15,59%
2.08.2024	1.074,1	26,8	168,5	0,998746837	2,49%	15,69%
3.08.2024	666,2	0,0	204,8	0,998748971	0,00%	30,73%
4.08.2024	686,7	0,0	209,5	0,998751155	0,00%	30,50%
5.08.2024	1.020,6	18,9	167,0	0,998752937	1,85%	16,36%
6.08.2024	1.067,9	22,1	155,9	0,998754611	2,06%	14,60%
7.08.2024	1.042,6	1,6	195,3	0,998756806	0,15%	18,73%
8.08.2024	1.066,3	3,2	195,3	0,998758995	0,30%	18,32%
9.08.2024	1.026,9	25,2	162,2	0,998760673	2,45%	15,80%
10.08.2024	628,4	0,0	211,1	0,998762831	0,00%	33,58%
11.08.2024	625,3	0,0	211,1	0,998764986	0,00%	33,75%
12.08.2024	1.026,9	23,6	174,8	0,998766784	2,30%	17,02%
13.08.2024	1.042,6	26,8	176,4	0,998768573	2,57%	16,92%
14.08.2024	1.020,6	20,5	171,7	0,998770364	2,01%	16,82%
15.08.2024	1.112,0	23,6	162,2	0,998772081	2,12%	14,59%
16.08.2024	1.055,3	18,9	121,3	0,998773452	1,79%	11,49%
17.08.2024	729,2	0,0	115,0	0,998774789	0,00%	15,77%
18.08.2024	719,8	0,0	124,4	0,998776205	0,00%	17,29%
19.08.2024	946,6	20,5	163,8	0,998777886	2,16%	17,30%
20.08.2024	1.069,4	14,2	130,7	0,998779382	1,33%	12,22%
21.08.2024	863,1	6,3	152,8	0,998781051	0,73%	17,70%
22.08.2024	867,8	29,9	72,4	0,998781804	3,45%	8,35%
23.08.2024	872,5	34,6	75,6	0,998782545	3,97%	8,66%
24.08.2024	803,3	12,6	83,5	0,998783519	1,57%	10,39%
25.08.2024	763,9	9,5	86,6	0,99878453	1,24%	11,34%
26.08.2024	882,0	22,0	80,3	0,998785426	2,50%	9,11%
27.08.2024	963,9	39,4	70,9	0,998786121	4,08%	7,35%
28.08.2024	948,1	37,8	75,6	0,998786864	3,99%	7,97%
29.08.2024	808,0	26,8	75,6	0,998787643	3,31%	9,36%
30.08.2024	729,2	14,2	72,4	0,998788471	1,94%	9,94%
31.08.2024	678,8	7,9	69,3	0,998789304	1,16%	10,21%



Şekil 6.12. Muğla Erkek Öğrenci Yurdu Ağustos Ayı Günlük Endüktif ve Kapasitif Reaktif Güç yüzde değişimleri

6.4. Tesislerin Sağladığı Ekonomik Avantaj

Bu bölümde, elektrik enerjisi tüketiminde kompanzasyon sistemlerinin ekonomik faydalarını incelenmesi amaçlanmıştır. Turgut Reis Öğrenci Yurdu ve Muğla Erkek Öğrenci Yurdu örnek verileri üzerinden kompanzasyon sistemlerinin varlığı ve yokluğunda ortaya çıkan maliyet farkları hesaplanmıştır. Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından belirlenen reaktif güç sınırları ve birim enerji fiyatları esas alınarak detaylı analizler yapılmıştır. Kompanzasyon sistemlerinin çalışmadığı durumda reaktif güç tüketimi artışının elektrik faturalarına olan olumsuz etkisi ve bu durumun aylık bazda oluşturduğu cezalar ortaya konulmuştur. Burada elektriksel yüklerin çektiği güç katsayısı ortalama olarak 0.80 değerinde olduğu söylenebilir. Dolayısıyla yapılan analizde kompanzasyon çalışmadığı durum için alınan güç katsayısı değeri 0.80 seçilmiştir. Kompanzasyon sistemlerinin aktif olduğu durumda her iki tesis içinde yıl boyunca güç faktörü değerlerinin 0,98 ile 0,99 arasında değiştiği hesaplanmıştır. Bu yüzden yapılan analizde kompanzasyon sonrası için güç faktörü değeri 0.99 alınmıştır. Yapılan ekonomik avantaj analizinde kullanılan tesislerin trafo ve kompanzasyon verileri çizelge 6.14'te verilmiştir.

Çizelge 6.14. Tesislerin Trafo ve Kompanzasyon Verileri

Parametreler	Turgut Reis	Muğla Erkek
Trafo Gücü – Görünür Güç	2500 kVA	1250 kVA
Aylık Çalışma Süresi	720 saat (h)	
Elektrik Birim Fiyatı	4.31 TL/kWh	
Reaktif Enerji Birim Fiyatı	1.96 TL/kVARh	
EPDK tarafından belirlenen reaktif güç sınırı	$\cos \phi \geq 0.98$	
Kompanzasyon Öncesi Durumda Güç Faktörü - $\cos \phi_1$	0.80	
Kompanzasyon Devredeyken Güç Faktörü - $\cos \phi_2$	0.99	

Analizlerde öncelikle trafo ve kompanzasyon pano kapasiteleri, aktif güç tüketimi ve reaktif güç tüketimi hesaplanmıştır. Günlük ve aylık bazda reaktif enerji tüketim miktarları, ilgili sınır değerlerle karşılaştırılmış ve cezaya neden olan kısımlar belirlenmiştir. Sonuç olarak, kompanzasyon sistemlerinin çalışmaması durumunda ortaya çıkan cezaların mali yükü ile bu sistemlerin çalışmasının sağladığı tasarruf net

olarak ortaya koyulmuştur. Kompanzasyon sistemlerinin ekonomik önemi ve enerji verimliliğine olan katkıları açıkça gösterilmiştir.

6.4.1 Turgutreis öğrenci yurdu

$$\text{Aktif Güç (P)} : P_1 = S \cos \phi_1 = 2500 \times 0,80 = 2000 \text{ kW}$$

Kompanzasyon Öncesi Reaktif Güç (Q1):

$$Q_1 = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{2500^2 - 2000^2} = 1500 \text{ kVAR}$$

Kompanzasyon Öncesi Reaktif Ceza :

$$\begin{aligned} \text{Reaktif Ceza} &= Q_1 \times \text{Reaktif Enerji Birim Fiyatı} \times \text{Aylık Çalışma Saatleri} \\ &= 1500 \text{ kVAR} \times 1,96 \text{ TL/kVARh} \times 720 \text{ saat} = 2.116.800,00 \text{ TL/AY} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Aktif Enerji Tüketimi} &= S \times \cos \phi_2 \times \text{Elektrik Enerji Birim Fiyatı} \times \text{Aylık Çalışma} \\ \text{Saatleri} &= 2475 \text{ kW} \times 4,31 \text{ TL/kWh} \times 720 \text{ saat} = 7.680.420,00 \text{ TL/AY} \end{aligned}$$

$$\text{Sağlanan Kazanç} = \frac{\text{Reaktif Ceza}}{\text{Aktif Tüketim}} = \frac{2116800}{7680420} = \%27 \text{ kazanç}$$

6.4.2 Muğla erkek öğrenci yurdu

$$\text{Aktif Güç (P)} : P_1 = S \cdot \cos \phi_1 = 1250 \cdot 0,80 = 1000 \text{ kW}$$

Kompanzasyon Öncesi Reaktif Güç (Q1):

$$Q_1 = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{1250^2 - 1000^2} = 750 \text{ kVAR}$$

Kompanzasyon Öncesi Reaktif Ceza :

$$\begin{aligned} \text{Reaktif Ceza} &= Q_1 \times \text{Reaktif Enerji Birim Fiyatı} \times \text{Çalışma Saatleri} \\ &= 750 \text{ kVAR} \times 1,96 \text{ TL/kVARh} \times 720 \text{ saat} = 1.058.400,00 \text{ TL/AY} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Aktif Enerji Tüketimi} &= S \times \cos \phi_2 \times \text{Elektrik Enerji Birim Fiyatı} \times \text{Aylık Çalışma} \\ \text{Saatleri} &= 1237 \text{ W} \times 4,31 \text{ TL/kWh} \times 720 \text{ saat} = 3.838.658,00 \text{ TL/AY} \end{aligned}$$

$$\text{Sağlanan Kazanç} = \frac{\text{Reaktif Ceza}}{\text{Aktif Tüketim}} = \frac{1.058.400}{3.838.658} = \%27 \text{ kazanç}$$

7. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu tez çalışması, alçak gerilim reaktif güç kompanzasyonu sistemlerinin enerji verimliliğine katkısını, enerji tüketimi ve maliyetler üzerindeki etkilerini kapsamlı bir şekilde analiz etmiş ve simülasyonlarla desteklemiştir. Simülasyon sonuçları ve saha verilerinden elde edilen bulgular, sistemlerin teknik ve ekonomik performanslarını derinlemesine incelemek için temel teşkil etmiştir.

Çalışmada kullanılan Turgut Reis ve Muğla Erkek Öğrenci Yurdu örneklerinde, kompanzasyon sistemlerinin devreye girdiği senaryolarda enerji verimliliği ve maliyet avantajları çarpıcı bir şekilde ortaya konmuştur. Kompanzasyonun aktif olduğu durumda güç faktörünün 0,99 seviyesine yükseltilmesiyle, reaktif güç tüketimi ve buna bağlı olarak elektrik faturalarında reaktif enerji ceza bedelleri önemli ölçüde azaltılmıştır. Örneğin, Turgut Reis Öğrenci Yurdu için kompanzasyon sistemi devrede olmadığında, tesisin tam kapasite ile çalışması durumunda aylık yaklaşık 2.116.800,00 TL reaktif enerji ceza maliyeti oluşurken, bu ceza kompanzasyon sistemi ile tamamen ortadan kaldırılmıştır. Benzer şekilde, Muğla Erkek Öğrenci Yurdu'nda da tesisin tam kapasite ile çalışması durumunda aylık yaklaşık 1.058.400,00 TL ceza engellenmiştir. Bu, her iki tesis için %27 oranında bir maliyet avantajı anlamına gelmektedir.

Simülasyon analizleri sırasında, kontaktörlü anahtarlama devrelerinin gerilimin maksimum olduğu anlarda devreye girmesiyle oluşan yüksek inrush akımı dikkat çekmiştir. Bu akımların ani pik değerleri, örneğin kontaktör anahtarlama devrede 30.000 A seviyelerine ulaşmıştır. Böyle bir akım, hem sistem elemanlarında aşırı ısınmaya yol açarak donanımın ömrünü kısaltmakta hem de enerji verimliliğini olumsuz etkilemektedir. Bu sorunun giderilmesi için önerilen tristör anahtarlama kompanzasyon sistemlerinde, gerilimin sıfır geçiş noktalarında yapılan anahtarlama sayesinde inrush akımı tamamen ortadan kaldırılmış ve akımların 500 A seviyelerine düştüğü gözlemlenmiştir. Bu kontaktörlü sistemlerle karşılaştırıldığında yaklaşık 1/60 oranında daha düşük bir akım anlamına gelmektedir. Tristörlü sistemlerin etkinliği, sistemin uzun vadeli kararlılığı ve ekonomik sürdürülebilirliği açısından kritik bir öneme sahiptir.

Enerji tüketim verilerinin aylık bazda incelenmesi sonucunda, kompanzasyon sistemlerinin aktif olduğu durumlarda, sistemin güç kalitesinin arttığı ve enerji profillerinin stabilize olduğu görülmüştür. Özellikle yaz aylarında, enerji tüketimindeki artışlar göz önüne alındığında, reaktif güç kompanzasyonu daha da önemli hale gelmektedir. Bu dönemlerde enerji talebinin yüksek olması, enerji maliyetlerini artırdığı gibi, kompanzasyonun devreye alınmasıyla bu maliyetlerde ciddi düşüşler sağlanabilmektedir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar, reaktif güç kompanzasyon sistemlerinin enerji verimliliğini artırma, sistem kararlılığını sağlama ve enerji maliyetlerini düşürme açısından vazgeçilmez olduğunu göstermektedir. Ayrıca, harmoniklerin etkilerinin azaltılması için önerilen filtreleme yöntemleri, enerji kalitesini daha da artırmaktadır. Örneğin, Turgut Reis Öğrenci Yurdu'nda kurulan merkezi kompanzasyon sisteminde kullanılan rezonans filtreler sayesinde harmonik kaynaklı enerji kayıplarının önüne geçilmiştir. Bu yöntemlerin uygulanması, özellikle büyük ölçekli tesislerde ekonomik ve çevresel faydaları artırmaktadır.

Bu bağlamda, bu çalışmanın bulguları, hem teorik hem de pratik anlamda önemli katkılar sağlamaktadır. Özellikle enerji sistemlerinde kompanzasyon sistemlerinin tasarımı, uygulanması ve optimizasyonu üzerine yapılacak gelecekteki çalışmalara rehberlik edebilir. Sonuç olarak, reaktif güç kompanzasyonu sistemleri, sadece enerji verimliliğini artırmakla kalmayıp, sürdürülebilir enerji politikalarının uygulanmasında da kilit bir rol oynamaktadır.

KAYNAKLAR

- Yılıkran, N., Doğan, H., (2020) Türkiye'nin Enerji Görünümü ve 2023 Yılı Birincil Enerji Arz Projeksiyonu, *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 10:77-92.
- Arıkan, C., Ermiş, M. (1983) Reaktif Güç Kompanzasyonunda Modern Yöntemler, *Elektrik Mühendisliği*, 294/295:2-3.
- Vardar, T., Çam, E., Yalçın, E., (2010) Reaktif Güç Kompanzasyonu ile Enerji Verimliliği ve Kamu Kurumlarında Reaktif Güç Kompanzasyonu, *International Journal of Engineering Research and Development*, 2:20-24
- Atmaca, H. (2020) *Alçak Gerilim Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu*, Yüksek Lisans, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, 107s.
- Balaman, O. (2012) *Reactive Power Compensation*, Yüksek Lisans, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 77s.
- Baş, Z. (2014) *Güç Sistemlerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu ve Harmonik Analizi*, Yüksek Lisans, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 73s.
- Gelen, A., Gelen, G. ve Bıçak, A., (2020) Supervisory Controller Design for Reactive Power Compensation, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, ISSN:2148-2683: 146-154.
- Kocamış, A.E. (2009) *Reactive Power Compensation in Distribution System*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 96s.
- Önal, H. (1996). *Kondansatörler 1, 3e*
- Bayram, M. (2000) *Kuvvetli Akım Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu*, Birsan Yayınevi, İstanbul, 246s.
- Arifoğlu, U. (2002) *Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi*, Alfa Yayınları, İstanbul, 459s.
- Kıyan, M. (2010) *Tristör Denetimli Reaktörlü Alçak Gerilim Tepkin Güç Kompanzasyonunun Gerçekleştirilmesi*, Yüksek Lisans, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 104s.
- Memiş, R. (2007) *Statik Var Sistemlerinin Endüstriyel Ortamda Uygulanması*, Yüksek Lisans, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 48s.
- Bilki, F. (2008) *Reaktif Güç ve Kompanzasyon Teknikleri*, Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi, Ankara, 103s.
- Sevim, Ü. (1999) *Reaktif Güçlerin Mikroişlemcilerle Kontrol Edilmesi*, Yüksek Lisans, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 94s.
- Kocatape, C., Uzunoğlu, M., Yumurtacı, R., Karakaş, A. ve Arıkan, O. (2003) *Elektrik Tesislerinde Harmonikler*, Birsan Yayınevi, İstanbul, 225s.
- Şerbetçi, M.B. (2019) *Harmonik Problemi Olan Tesislerde Harmonik Filtreli Kompanzasyon Sistemlerinin Tasarımı ve Analizi*, Yüksek Lisans, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 121s.
- Ersamut, R. (2009) *Statik Var Kompanzasyonu Sistemlerinin İncelenmesi ve Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Ad, Soyad : Zafer YILMAZ
Uyruk : T.C.
Doğum Tarihi : *****
Telefon : *****
E-posta : *****

Eğitim

Derece	Üniversite/Fakülte/Bölüm	Mezuniyet Yılı
Lise	Bağcılar Lisesi	1992
Lisans	Sakarya Üniversitesi – Mühendislik Fakültesi – Elektrik Mühendisliği Bölümü	1999
Yüksek Lisans	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi – Fen Bilimleri Enstitüsü – Enerji ABD	2025

Yayınlar

Yılmaz Zafer, Dönmez Adem ve Erkarlan Uğur, 2024. An Analysis of Low Voltage Reactive Power Compensation Systems: The Case Of Muğla Student Dormitory. XVI International Scientific Research Congress (UBTEB). Adana - Turkey