



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**VARYAK KONTROLLÜ STATİK KOMPAZASYON
UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖNDER ÖZMEN

AĞUSTOS 2014

DÜZCE

KABUL VE ONAY BELGESİ

Önder ÖZMEN tarafından hazırlanan Varyak kontrollü statik kompanzasyon uygulaması isimli lisansüstü tez çalışması, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 30.06.2014 tarih ve 2014/581 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Üye
(Tez Danışmanı)
Doç. Dr. Ali ÖZTÜRK
Düzce Üniversitesi

Üye
Prof. Dr. M. Ali YALÇIN
Sakarya Üniversitesi

Üye
Yrd. Doç. Dr. Salih TOSUN
Düzce Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih : 05/08/2014

ONAY

Bu tez ile Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Önder ÖZMEN'in Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans derecesini almasını onamıştır.

Prof. Dr. Haldun MÜDERRİSOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

05 Ağustos 2014

Önder ÖZMEN

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenimim boyunca ve bu tezin hazırlanması sürecinde gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Ali ÖZTÜRK'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında emeği geçen çok değerli çalışma arkadaşlarım Fatih ALİ YILDIZ, Mehmet GÜMRÜKÇÜ, Fatih SAYGIN, Muhammet SEVİM, İbrahim YILDIRIM ve Yalçın ALCAN'a teşekkür ederim.

Yüksek Lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince bana her zaman destek olan çok değerli eşime ve fazla zaman ayıramadığım oğluma anlayışları için teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde büyük emekleri olan anneme ve babama teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2014.06.03.228 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

15 Ağustos 2014

Önder ÖZMEN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR SAYFASI	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ŞEKİL LİSTESİ.....	IV
ÇİZELGE LİSTESİ.....	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	VII
ÖZET	1
ABSTRACT	2
EXTENDED ABSTRACT.....	3
1. GİRİŞ.....	5
1.1. AMAÇ VE KAPSAM	7
1.2. LİTERATÜR TARAMASI.....	8
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	13
2.1. MATERYAL	14
2.1.1. Varyaklar	17
2.1.2. Kontaktörler	20
2.1.3. Servo Motorlar	23
2.1.4. Kondansatörler	24
2.1.5. Akım Trafosu	32
2.1.6. Reaktif Güç Kontrol Rölesi	34
2.1.7. Şönt Reaktör	37
2.2. DENEYSEL YÖNTEM.....	40
2.2.1. Kontaktör Anahtarlama SVC Sistem.....	40
2.2.2. Servo Motorlu Varyak Kontrollü Sistem.....	42
2.2.3. Arduino Uno	45
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	47
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	58

5. KAYNAKLAR.....	60
6. EKLER	63
EK-1 KAEL RGKR BAĞLANTI ŞEMASI	63
EK-2 SERVO MOTOR KONTROL YAZILIMI VE AÇIKLAMASI.....	64
EK-3 ARDUİNO UNO DEVRE ŞEMASI.....	68
ÖZGEÇMİŞ	69

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>	
Şekil 1.1.	Kompanzasyon yapılmazsa güç tüketimi	7
Şekil 1.2.	Kompanzasyon yapılırsa güç tüketimi	7
Şekil 2.1.	Uygulamada kullanılan pano	14
Şekil 2.2.	SVC uygulamanın pano yerleşimi	15
Şekil 2.3.	Varyak kontrollü kompanzasyon	16
Şekil 2.4.	Trafonun genel yapısı	18
Şekil 2.5.	Varyak giriş çıkış gerilim gösterimi	19
Şekil 2.6.	Çalışmada kullanılan varyakların ön görünüşü	19
Şekil 2.7.	Çalışmada kullanılan servo motor takılı varyak	20
Şekil 2.8.	Kontaktörün yapısı	21
Şekil 2.9.	Kompanzasyon kontaktörleri	22
Şekil 2.10.	Servo motorların sınıflandırılması	23
Şekil 2.11.	Çalışmada kullanılan servo motor	24
Şekil 2.12.	Aktif gücün sabit tutulması durumunda güç vektörü	26
Şekil 2.13.	Kompanzasyonda görünür gücün sabit tutulması	27
Şekil 2.14.	Kondansatörle yapılan kompanzasyon	28
Şekil 2.15.	Harmonik filtreli kompanzasyon tek hat şeması	29
Şekil 2.16.	TSC eşdeğer devresi	29
Şekil 2.17.	Kondansatörün üçgen ve yıldız bağlantısı	30
Şekil 2.18.	Kompanzasyon kondansatörü ve bağlantısı	30
Şekil 2.19.	Deneyde kullanılan akım trafosu	33
Şekil 2.20.	Akım trafosu modelleri	33
Şekil 2.21.	Reaktif güç kontrol rölesi bağlantısı	35
Şekil 2.22.	Çalışmada kullanılan reaktif güç rölesi	36
Şekil 2.23.	RS485/USB dönüştürücü adaptör	37
Şekil 2.24.	Şönt reaktörler ve sürücü	38
Şekil 2.25.	Şönt reaktör sürücüsü	39
Şekil 2.26.	SVC tekniğinin devre şeması	41
Şekil 2.27.	Varyak kontrollü kompanzasyon	43

Şekil 2.28.	Varyak tekniğinde kullanılan röleler	43
Şekil 2.29.	Servo motor varyak mili bağlantı parçası	44
Şekil 2.30.	Çalışmada kullanılan arduino ve bağlantıları	44
Şekil 2.31.	Arduino uno bağlantı noktaları	45
Şekil 2.32.	Hazırlanan programın akış algoritması	46
Şekil 3.1.	L2 fazının yüklendiği durum	47
Şekil 3.2.	Yüklenen L2 fazından çekilen akım değeri	48
Şekil 3.3.	L2 fazının kompanze edildiği durum	48
Şekil 3.4.	L2 fazının kompanzasyon anındaki akım değeri	49
Şekil 3.5.	L1 fazının yüklendiği durum	49
Şekil 3.6.	L1 fazının yüklendiği andaki akım değeri	50
Şekil 3.7.	L1 fazının kompanze edildiği durum	50
Şekil 3.8.	L1 fazının kompanze edildiği andaki akım değeri	50
Şekil 3.9.	Yüklerin devrede olmadığı durum	51
Şekil 3.10.	L2 fazının kompanzasyonsuz güçleri	51
Şekil 3.11.	L2 fazının kompanzasyonlu güçleri	52
Şekil 3.12.	L3 fazının kompanzasyonsuz güçleri	52
Şekil 3.13.	L3 fazının kompanzasyonlu güçleri	53
Şekil 3.14.	L1 fazının kompanzasyonsuz güçleri	53
Şekil 3.15.	L1 fazının kompanzasyonlu güçleri	54
Şekil 3.16.	Üç faza ait akım grafikleri	54
Şekil 3.17.	Üç faza ait gerilim grafikleri	55
Şekil 3.18.	L2 fazına farklı bir yük bağlantısı	55
Şekil 3.19.	L2 fazının farklı yükte kompanzasyonu	55

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. Kompanzasyon pano devre elemanları seçimi	17
Çizelge 2.2. k Faktörü tablosu	27
Çizelge 2.3. Üç fazlı kondansatörün tek fazlı bağlantısı	31
Çizelge 2.4. Flüresant lambaların balastlarına ait $\cos\phi$ değerleri	32
Çizelge 3.1. SVC tekniğinde alınan değerler	56
Çizelge 3.2. Varyak kontrol tekniğinde alınan değerler	56
Çizelge 3.3. Kondansatörlerin devreye alınma tekniklerinin kıyaslanması	57

SİMGELER VE KISALTMALAR

AC	Alternatif Akım
DC	Doğru Akım
EYR	Endüktif Yük Reaktörü
GND	Topraklama
kVAR	Kilo volt amper reaktif
PWM	Sinyal genişlik modülasyonu
RGKR	Reaktif güç kontrol rölesi
SVC	Statik Var Kompanzasyon
TSC	Tristör anahtarlama kapasitör
UPS	Uninterruptible Power Supply (Kesintisiz Güç Kaynağı)
B_{max}	Manyetik indüksiyon yoğunluğu (Gauss)
C	İki düzey levha arasındaki kapasite değeri (Farad)
$C_{ü}$	Kondansatör üçgen bağlantı kapasitesi
C_y	Kondansatör yıldız bağlantı kapasitesi
d	Elektrotlar arasındaki mesafe (m)
F	Elektrot düzeyi (m^2)
I_c	Kondansatör Akımı (Amper)
I_1	Primer akımı
I_2	Sekonder akımı
k	Transformatörün dönüştürme oranı
N_1	Primer sarım sayısı
N_2	Sekonder sarım sayısı
P	Sistemin aktif gücü (Watt)
S	Görünür güç (VA)
S_n	Manyetik nüve kesiti (cm^2)
$\tan \phi_1$	Sistemin ilk durumdaki güç katsayısından bulunan tanjant değeri
$\tan \phi_2$	İstenilen güç katsayısı değerinin tanjantı
U	Kondansatör Gerilimi (Volt)

U_1	Transformatör giriş gerilimi
U_2	Transformatör çıkış gerilimi
ϵ	Dielektrik Sabitesi (0,0085)
X_c	Kapasitif reaktans (Ω)
Q	Reaktif güç (VAR)
Q_c	Kompanzasyon için gerekli olan kondansatör güç değeri (VAR)

ÖZET

VARYAK KONTROLLÜ STATİK KOMPAZASYON UYGULAMASI

Önder ÖZMEN

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Ali ÖZTÜRK

Ağustos 2014, 69 sayfa

Elektrik enerjisinin verimli kullanılması hem iletim hem de tüketim tesisleri için büyük önem taşımaktadır. Kullanılan cihazların çeşitliliği yüklerin farklılık göstermesi enerji kalitesini etkileyen faktörlerdir. Elektrik enerjisinin kullanıldığı yükleri omik, endüktif ve kapasitif yükler olarak sınıflandırabiliriz. Omik yüklerde akım ile gerilim aynı fazda olduğu için faz farkı yoktur. Endüktif ve kapasitif yüklerde ise faz farkı oluşur. Faz farkı beraberinde reaktif gücün ortaya çıkmasına neden olur. Reaktif enerji endüktif yüklerde manyetik alan oluşturmak amacıyla şebekeden çekilen ve tekrar şebekeye verilen bir enerjidir. Enerjinin kaliteli ve verimli olması için güç katsayısının bire yaklaştırılması, yani faz farkının azaltılması gerekir. Güç katsayısının artırılması amacıyla yapılan bu işleme kompanzasyon denir. Bu tez çalışması iki kompanzasyon uygulamasından oluşmaktadır. Birinci uygulama günümüzde yapılan SVC (statik Var kompanzasyon) tekniğini kapsamaktadır. Kondansatörler kontaktörle, reaktörler sürücü ile devreye alınmıştır. Çalışmada yükler devreye alındığında düşen güç katsayısı, kompanzasyonla yükseltilmiştir. İkinci çalışmada servo motorlu varyak kontrollü teknik hazırlanmıştır. Endüktif yüklerin kompanzasyonunda kullanılabilen yöntemde, varyak milleri servo motorla kumanda edilerek kondansatöre uygulanan gerilim ayarlanmıştır. Kondansatöre uygulanan gerilimin ayarlanması neticesinde bir kondansatörün farklı güçlerde kullanımına imkan tanınmıştır. Servo motorların kontrolü, hazırlanan bir yazılım ile arduino uno mikroişlemcisiyle gerçekleştirilmiştir. Varyak kontrolü ile reaktif güç sıfırlanmış, kademe sayısı azaltılarak maliyetlerin düşürülmesi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji Kalitesi, Kompanzasyon, Kondansatör, Varyak

ABSTRACT

VARIAC CONTROLLED STATIC COMPENSATION APPLICATION

Önder ÖZMEN

Duzce University

Institute of Science and Technology, Department of Electrical and Electronics
Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali ÖZTÜRK

August 2014, 69 pages

It is very important to use electric energy efficiently for transmission and consumption facilities. The range of devices and differences of loads are the elements that effect the quality of energy. We can categorize loads as resistive, inductive and capacitive. There is no phase difference in resistive loads since current and voltage are on same phase. In inductive and capacitive ones, there is a phase difference, and this difference leads to occur reactive power. Reactive energy is used for creating magnetic area in inductive loads by pulling from system and giving back. For an effective and quality energy, power factor should be around one (1), in other words phase difference should be decreased. This operation that is done for increasing power factor is called compensation. This thesis study is formed of two compensation practises. First practice comprises current SVC technique. Power factor is increased by implementing capacitors with contactor and reactors with driver into circuit. Power factor that is decreased while implementing loads into circuit is increased via compensation. In the second practice, variac controlled servo motor technic is set. In the technic used for compensation of inductive loads, the voltage applied to capacitor is adjusted by controlling variac shafts with a servo motor. Adjusting of voltage applied to capacitor enables to use a capacitor in different powers. Servo motor movements are carried out by a software with arduino uno microprocessor. The cost is reduced by decreasing stage number and reactive power is set to zero with variac control.

Keywords: Energy Quality, Compensation, Capacitor, Variac

EXTENDED ABSTRACT

VARIAC CONTROLLED STATIC COMPENSATION APPLICATION

Önder ÖZMEN

Duzce University

Institute of Science and Technology, Department of Electrical and Electronics
Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali ÖZTÜRK

August 2014, 69 pages

1. INTRODUCTION:

Electric energy is an indispensable part of our life. For this reason effective consumption is very important. One of the ways of increasing efficiency is reactive power compensation and many studies have been conducted to perform it. These studies are mentioned in literature survey part. All studies aim to improve efficiency and quality of electric energy. The studies are formed of practice and computer simulation.

2. MATERIAL AND METHODS:

In our study we aim to add new methods to reactive power compensation. At first, current SVC system is established. In this practice, capacitors are implemented into circuit with conductor and shunted reactor with thyristor driver. Power factor is measured via reactive power control relay. This practice is formed of eight stages, and five of them are capacitors and the others are reactors. In the second one, variac is used instead of conductor for implementation of capacitor. Variac is a transformer that provides input voltage values different from output. Variac spindles are rotated by servo motor. The software that commands servo motors is prepared in Arduino. Loads are implemented with switches and which of load implemented is given to Arduino entry by a relay connected to load in parallel. Arduino rotates related servo motor as much as essential angle. Essential reactive current is got from capacitor.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS:

If the load in circuit is ohmic, it does not pull reactive power but inductive and capacitive loads pull reactive current from circuit. This situation decreases quality and

efficiency of energy. SVC is ideal for loads that move in and out of circuit fast. Its high cost is a disadvantage. When capacitors step in circuit, they work in full capacity and sometimes give surplus reactive energy to system. For this reason, it is very important to benefit from capacitor in different rates as well as reactors.

4. CONCLUSION AND OUTLOOK:

Consumption points of which total power exceeds a definite level oblige to do reactive power compensation. For an efficient process, all factors must be taken into consideration and a compensation plant should be constituted that can fulfill expectations of costs and needs. Reactive current given to system from capacitor is adjusted by using variacs. When the voltage applied to capacitor increases, so does its current on system. By the time load is implemented into circuit, its power factor decreases. When capacitor stages and servo motors step in circuit, power factor is maximized again. If instant measurements are done in variac control, compensation process is more efficient and cheaper. Provided that compensation is done more efficient, capacity of energy transmission increases and loss of voltage decreases. In the study, reactive power is set to zero via variac technique and stage numbers are reduced.

1.GİRİŞ

Enerji hem ülkemiz hem de diğer ülkeler için vazgeçilmez bir ihtiyaçtır. Ülkeler arasındaki anlaşmalarda enerji ilk sıralardadır. Öyle ki bazı durumlarda ülkelerin birbirini tehdit unsuru bile olabilmektedir. Ülkemizde dışa bağımlılığın azaltılması amacıyla yenilenebilir enerji kaynakları diğer kaynakların yerini yavaş yavaş almaya başlamıştır. Çünkü elektrik enerjisine olan talep her geçen gün artmakla birlikte üretiminde artması gerekmektedir. Ancak üretimin artması kendi başına yeterli değildir. Bu nedenle üretilen enerjinin etkili ve verimli bir şekilde kullanılması önemlidir. Verimi arttırmanın yollarından biri reaktif güç kompanzasyonudur. Kompanzasyonla ilgili çeşitli yönetmelikler bulunmaktadır. Yönetmelikle, tesislerin kurulu gücüne göre belli oranlar dahilinde reaktif tüketime izin verilmektedir. Eğer sınırlar aşılsa tüketici ceza ödemek zorunda kalır. Aslında iyi analiz edilmiş ve kurulumu gerçekleştirilmiş bir tesiste ceza durumu kolay kolay oluşmaz. Tesislerde kurulan kompanzasyon sistemlerinin belli periyotlarla kontrol edilmesi gerekmektedir. Tesislerin aktif ve reaktif tüketim miktarları kombi sayaçlarla ölçülür. Kombi sayaçlar aktif, endüktif reaktif ve kapasitif reaktif tüketimi ayrı ayrı ölçer.

Sanayide ve evlerimizde kullanmış olduğumuz alıcılar; omik, endüktif ve kapasitif karakterli yük özelliği gösterirler. Bu yüklerden omik yük, şebekeden sadece aktif güç çekerken endüktif ve kapasitif karakterli yükler şebekeden aktif güç yanında reaktif güçte çekerler. Reaktif güç işe yaramayan ancak yüklerin de ihtiyacı olan bir özelliğe sahiptir. AC motorlarında döner alanın, trafolarında ise manyetik alanın oluşması için reaktif güç gerekli olur [1]. İşte yükün ihtiyacı olan bu reaktif enerjinin şebekeden çekilmeyip tüketim tesislerinde üretilmesi amacıyla yapılan tesislere kompanzasyon denir.

Kompanzasyon işlemi farklı tekniklerle yapılabilir. Bunlar;

Dinamik kompanzasyon: Senkron makinelerle yapılır

Statik kompanzasyon:

Sabit kompanzasyon Otomatik kompanzasyon

Hızlı kompanzasyon ve SVC (Statik Var kompanzasyon) olarak yapılır.

Bu tekniklerden dinamik kompanzasyonda senkron makinenin uyarım akımı ayarlanarak endüktif veya kapasitif karakterli çalışması sağlanabilir. Senkron makinelerle yapılan kompanzasyon, dinamik kompanzasyon olarak tanımlanır. Reaktif güç kompanzasyonunda kullanılan senkron motor başka bir amaçla kullanılmıyorsa, şebekeden sadece mekanik kayıplarını karşılamak için aktif güç çekecektir.

Sabit kompanzasyonda ise her alıcı tek tek veya grup olarak kompanze edilebilir. Sabit kompanzasyon etkili ancak maliyet açısından yüksek bir tekniktir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan iki teknik bulunmaktadır. Bunlardan biri merkezi kompanzasyon diğeri ise bunun biraz daha gelişmiş olan SVC'dir.

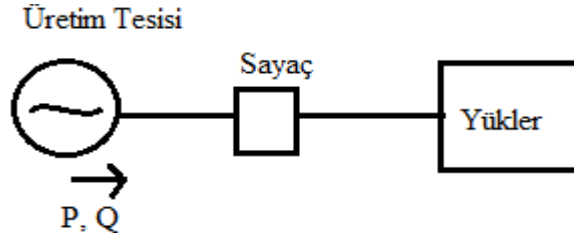
Merkezi kompanzasyon tekniğinde bir (RGKR) reaktif güç kontrol rölesi devreye giren yükün ihtiyacına en uygun olan kademesine bağlı kondansatörü devreye alarak reaktif güç ihtiyacını karşılamaktadır. Merkezi sistemde kondansatörlerin devreye alınma süresi, deşarj süresi gibi olumsuzluklar bulunur. Hızlı devreye girip çıkan yüklerde kompanzasyon yapılamamaktadır. Bu tarz yüklerin fazla bulunduğu tesisler, reaktif tüketim nedeniyle cezai duruma bile düşebilmektedir. Büyük işletmelerde yapılan kompanzasyon filtreli olarak yapılmaktadır. Çünkü sistemlerde enerji kalitesini etkileyen bir diğerk faktör harmoniklerdir. Harmoniği; sinüs eğrisinde oluşan bozulmalar olarak tanımlayabiliriz. Harmonik eliminasyonu için filtreler tasarlanır. Kondansatörlere seri olarak bağlanan ve harmonik filtre reaktörü olarak adlandırılan bobinler harmonikleri azaltır.

Merkezi sistemin yetersiz kaldığı olumsuzlukları engellemek için SVC sistemler geliştirilmiştir. SVC sistemlerde merkezi işlemin daha hızlı yapılmasını sağlayacak bir sistem tasarlanmaktadır. Güç elektroniği elemanları hızlı anahtarlama yapıda olmaları sebebiyle kompanzasyon uygulamalarında tercih edilir [2]. SVC sistemlerinde reaktörler hızlı anahtarlamanın yanı sıra farklı oranlarda devreye alınmaktadır. Ancak kapasitörler sadece hızlı anahtarlama yapılarak devreye alınmakta, şebekeye vereceği akım değiştirilememektedir.

Yaptığımız bu tez çalışmasında öncelikle merkezi SVC sistemi kurulmuş ve reaktif güç kompanzasyonu yapılmıştır. Daha sonrasında kontaktör yerine varyak bağlanarak kondansatörler varyaklar üzerinden devreye alınmıştır. Varyak kontrol tekniği ile kondansatöre verilen gerilim değiştirilerek, şebekeye verdiği akım ayarlanmıştır.

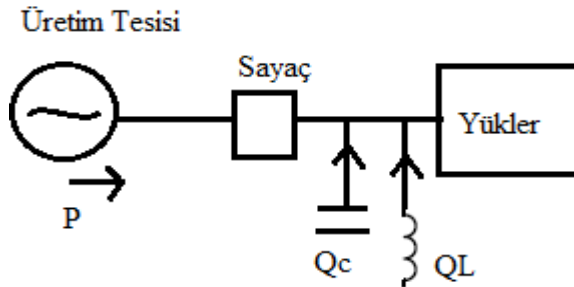
1.1. AMAÇ VE KAPSAM

Bu tez çalışmasında enerji kalitesi ve verimin artırılmasına katkı sağlayacak sonuçları elde etmek amaçlanmaktadır. Çünkü reaktif güç, tüketim bölgelerinde üretilmezse şebekeden çekilir. Şekil 1.1'de kompanzasyon yapılmamış bir tesisin güç tüketimi gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi tüketim tesisindeki yükler aktif ve reaktif gücü şebekeden çekmektedir. Bu da iletken kesitlerinin, gerilim düşümünün ve maliyetin artmasına neden olur. Reaktif gücün tüketim tesislerinde üretilmesi amacıyla kompanzasyon panoları oluşturulur. Verimi artırma yollarından biri reaktif güç kompanzasyonudur. Yapılan uygulamalarda yaygın olarak kullanılan teknik, merkezi kompanzasyon işlemidir. Merkezi kompanzasyon günümüzde, hızlı anahtarlama olarak yapılabilmektedir.



Şekil 1.1. Kompanzasyon yapılmazsa güç tüketimi.

Şekil 1.2'de kompanzasyon yapılan bir tesis gösterilmiştir. Görüldüğü gibi yük akımı değişmeden şebekeden çekilen akım azaltılabilir. Reaktif güç tüketim tesisinde yapılan kompanzasyondan karşılanmaktadır. Reaktif güç periyodun yarısında şebekeden yüke, diğer yarısında yükten şebekeye doğru akar.



Şekil 1.2. Kompanzasyon yapılsa güç tüketimi.

Tezde iki uygulama çalışması tasarlanmıştır. Birinci uygulamada beş adet kondansatör kontaktörle, üç adet şönt reaktör tristör sürücüsü ile devreye alınmıştır. Sürücünün gücü, şönt reaktörlerin toplam gücünden fazla seçilmiştir. Yük olarak şönt reaktör ve kondansatör kullanılmıştır. Yüklerin devreye değişik şekilde girmesi için şalter

kullanılmıştır. Yükle tek fazlı olduğundan farklı fazlara bağlanmıştır. Hangi yük devreye girerse ilgili fazın güç katsayısı değişmiştir. Uygulamanın amacı farklı yükleri devreye alarak güç katsayısının değerini gözlemlemek ve elde edilen sonuçları paylaşmaktır. Elde edilen değerler, bulgular ve tartışma bölümünde verilmiştir.

İkinci uygulamada kontaktör yerine varyak bağlanmıştır. Varyak sargıları üzerinde dönen karbon fırça çıkış gerilim değerinin değişmesini sağlar. Varyakların milini döndürmek için servo motorlar kullanılmış, servo motorun dönüşü arduino uno mikrokontrolörüne yüklenen bir yazılım ile gerçekleştirilmiştir. Amacımız kondansatörlerin gerilimini ayarlayarak devreye vereceği reaktif akımı değiştirmektir.

Günümüzde yapılan uygulamalarda kondansatörler, kontaktörle veya anahtarlama elemanları ile devreye alınmaktadır. Her iki uygulamada da kondansatörün tamamı devreye alınmaktadır. Ancak yaptığımız varyak kontrol tekniğinde, kondansatörün devreye istenilen oranda reaktif enerji vermesi sağlanmıştır. Uygulanan teknikle farklı yük ihtiyaçları için oluşturulan fazla kademe sayısı azaltılmıştır. İletim hattına verilen fazla reaktif enerji engellenmiştir. Gereksiz olarak meşgul edilmeyen hattın verimi ve kapasitesi artırılmış olur.

1.2. LİTERATÜR TARAMASI

Reaktif güç kompanzasyonu üzerine yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda ele alınan konular ve sonuçları analiz edilmiş ve kısaca aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

Yapılan çalışmada enerji kalitesinin verimi ve önemi belirtilerek reaktif güç kompanzasyonun gerekliliği ifade edilmiştir. Reaktif gücün azaltılması işleminde kullanılan elemanlar ve uygulanan teknikler açıklanmıştır. Alçak gerilimde yapılan kompanzasyonun güç katsayısını istenilen değere ulaştıramadığı ve orta gerilimde kompanzasyon yapmanın gerekliliği belirtilmiştir. Batman YG/OG trafo indirici merkezlerinden çıkan hatların bir yıllık süre içerisindeki aktif ve reaktif enerji tüketim miktarları ile güç katsayısı ölçümü yapılmıştır. Yapılan incelemede yaz aylarında güç katsayısının en düşük seviyede olduğu belirtilerek, kompanzasyon bataryalarının hatların ayrıldığı noktadan hemen önce trafo binasına konulmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır [3].

Enerji verimliliği açısından kompanzasyonun gerekli olduğu ifade edilmiştir. Kompanzasyon tanımı ve çeşitleri ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Kondansatör güç hesaplamaları yapılmıştır. Kompanzasyon tesislerinde rezonans olayı ve harmonik rezonanslarına karşı alınabilecek tedbirler belirtilmiştir. Son olarak Diyarbakır Telekom Santral binasına ait yüklerin bir yıllık değerleri takip edilerek güç katsayısı açısından analizi yapılmıştır [4].

Tez çalışmasında kompanzasyonun gerekliliğinden bahsedilmiştir. Yüke göre kompanzasyon yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Kontaktör anahtarlamalı kompanzasyonun hızlı devreye girip çıkan yüklerde ihtiyaca cevap veremediği için kondansatörlerin tristör yapılı anahtarlama ile devreye alınmasının sorunu çözeceği ifade edilmiştir. Tristörün gerilim dalgalanmalarına yani harmoniklere neden olacağı için tasarlanan sistemlerin harmonik filtreli olarak yapılması gerektiğini belirtmiştir [5].

Yapılan çalışmada reaktif gücün ortaya çıkış nedenleri açıklanmıştır. Endüktif karakterli yüklerin kompanzasyonu için tam zıt özelliğe sahip olan kondansatörlerin kullanıldığı belirtilmiştir. Merkezi kompanzasyon işleminde kullanılan reaktif güç kontrol rölesinin mikroişlemci tabanlı olarak çalıştığı ifade edilerek mikrodenetleyici tabanlı bir kompanzasyon işlemi gerçekleştirilmiştir [6].

Bu tez, kompanzasyonda kullanılan elemanlar, bu elemanların özellikleri, kompanzasyon çeşitleri, reaktif güç hesaplamaları ve son olarak da simülasyon çalışmalarını kapsamaktadır. Simülasyon çalışmasında MACROMEDIA FLASH 5 programı kullanılmıştır. Yapılan tez, bir eğitim çalışması amacıyla kullanılabilirliği ve kompanzasyon yapımında dikkat edilmesi gereken hususları belirtmesiyle ön plana çıkmaktadır. Yapılacak çalışmalarda kompanzasyonun yeri, güç değerleri ve malzeme kalitesine dikkat çekilmektedir [7].

Tez çalışmasında öncelikle kompanzasyonun üretici ve tüketici yönünden faydaları sıralanmıştır. Harmonikler ve enerji kalitesi arasındaki ilişki açıklanarak harmoniklerin matematiksel analizi yapılmıştır. Hızlı değişen ve dengesiz olan yüklerde üç fazlı ölçümün yapılması gerektiğini belirtmiştir. Statik var sistemin harmonik filtreli olarak yapılmasının faydalı olacağı açıklanmıştır. Son olarak endüstriyel bir tesisin gerçek değerleri alınarak çözüm önerileri sunulmuştur [8].

Çalışmada kontaktör anahtarlama ile tristör anahtarlama teknikleri incelenerek tristör anahtarlama tekniğinin hızlı devreye girip çıkan yüklerde etkisinden bahsedilmiştir. Ayrıca harmonikler incelenerek çözüm için filtre yöntemi anlatılmıştır. Tristör anahtarlama tekniğinin faydalarını açıklamak için bilgisayar ortamında bir model kurulmuştur [9].

Yapılan çalışma beş bölüme ayrılmıştır. Öncelikle reaktif gücün tanımı ve kompanzasyon tekniklerinden bahsedilmiştir. Daha sonra gerilim ayarı ve statik var kompanzasyon uygulamaları açıklanmıştır. Son olarak harmoniklerin şebekeye etkilerine değinilmiştir. Çalışmanın sonunda bir simülasyon çalışması da yapılmıştır. Sonuç kısmında reaktif güç kompanzasyonu yapmanın başlangıçta bir mali külfet getireceği ancak zamanla bunun amorti edilebileceği ifade edilmiştir. Ayrıca kendi sistemlerinde ki kompanzasyonunda yenilendiği belirtilmiştir [10].

Yapılan çalışmada enerji kalitesi problemlerinden bahsedilmiş ve kaliteli enerji sunmanın gerekliliği belirtilmiştir. Orta gerilim elektrik dağıtım sistemlerinde reaktif gücün sebep olduğu enerji kalitesi problemlerinden bahsedilmiştir. Çözüm önerileri sunulmuştur. Enerji kalitesinin artırılması sadece kompanzasyonla değil aynı zamanda tasarlanacak harmonik filtreleri ile sağlanacağı ifade edilmiştir. Çalışmanın son kısmında ETAP PowerStation programında demir-çelik fabrikası örnek alınarak oluşturulan sistemde yük akışı ve harmonik analizleri yapılmıştır. Dağıtım sistemlerinin bazı noktalarına konulacak kapasitörlerle güç katsayısının artırılacağı ve gerilim düşümlerinin azaltılabileceği sonucuna varılmıştır. Rezonans ihtimali bulunan tesislerde kapasitörlere seri reaktör bağlanması önerilmiştir. Transformator sargılarının bağlantısının harmoniklere etkisinin simülasyonla ortaya çıkarıldığı belirtilmiştir. [11].

Çalışmada reaktif gücün azaltılmasının önemi belirtilerek yapay sinir ağlarının reaktif güç kompanzasyonuna uygulaması gerçekleştirilmiştir. Senkron makinelerin yapısı açıklanarak reaktif güç kompanzasyonunda kullanımına değinilmiştir. Daha sonra yapay sinir ağları açıklanarak bir yazılım geliştirilmiştir. Eğitim amaçlı bir reaktif güç kompanzasyon simülatörü oluşturulmuştur. Hazırlanan yazılım ile yapay sinir ağlarının kullanım alanının genişletilebileceği düşünülmektedir [12].

Tez çalışmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması gerektiği ifade edilmiştir. Bunlardan biri olan rüzgar santrallerinin gerilim dalgalanmaları nedeniyle

şebekeye bağlanmasında problemler yaşandığı, gerilim değişim sorunlarının giderilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Rüzgar türbünlerinin SVC ile birlikte kullanımı açıklanmıştır. Ayrıca yapılan deneysel çalışmalarda reaktif güç kompanzasyon teknikleri ele alınmıştır. SVC sistemlerde kapasitör fazlalığının, bağlanacak bir reaktörle sınırlandırılabilceği belirtilmiştir [13].

Yapılan çalışmada yapay sinir ağları denetimli bir senkron motor ile kompanzasyon uygulaması gerçekleştirilmiştir. Öncelikle senkron makinanın yapısı, çalışması ve kompanzasyonda kullanımı açıklanmıştır. Daha sonraki bölümde yapay sinir ağları ve problemlerde kullanımları ifade edilmiştir. Son olarak yapay sinir ağları denetimli senkron motor ile reaktif güç kompanzasyonu benzetim uygulaması yapılmıştır. Sistemin modüler yapıda olduğu, başka sistemlere adapte edilebileceği önerilmiştir [14].

Yapılan çalışmada kondansatör bir varyak aracılığıyla devreye alınmıştır. Amaç gerilimi ayarlayıp tek bir kondansatörle kompanzasyon yapmaktır. Varyak çıkış gerilim ayarı bir pic ile DC motorla yapılmıştır. Kullanılan güç analizörü tek faz üzerinden ölçüm yapmaktadır. Yapılan çalışma kondansatörün farklı reaktif akımlar vermesini sağlaması ile ön plana çıkmaktadır [15]. Çalışma varyak kontrollü olması nedeniyle bizim yaptığımız çalışmaya benzemektedir. Ancak biz çalışmamızda üç akım trafolu bir multimetre kullandık. Yani üç fazı da kompanze ettik. Varyak milini kontrol için arduino mikroişlemcisi programlanarak servo motorlar açısız olarak döndürülmüştür.

Güç elektroniği teknolojisindeki gelişmelere değinilen çalışmada yüksek güçlü çevirgeçlerin şebelere etkilerinden bahsedilmiştir. Örnek olarak hurda eritme fırınları ele alınmıştır. Endüksiyon prensibine göre çalışan fırınlarda büyük hurdalar eritilerek tekrar kullanılabilir demir haline getirilmektedir. Tez çalışmasında endüksiyon fırınlarının harmonik ve ara harmoniklere neden olduğu ifade edilmiştir. Çözüm üretmek amacıyla pasif filtre geliştirilmiş ve performansları PSCAD/EMTDC simülasyon programında modellenerek incelenmiştir [16].

Yapılan tez çalışmasında doğrusal olmayan yüklerin şebekeye etkilerine vurgu yapılmıştır. Bu tarz yüklerin sistemde meydana getirdiği harmonik ve etkilerine değinilerek çözüm için paralel aktif güç filtresi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Matlab/Simulink'te simülasyon çalışmaları yapılmış. Tasarlanan bir PAFG ile deneysel bir çalışma yapılmıştır [17].

Orta gerilim enerji nakil hatlarında uygulanan teknikleri incelemiştir. TEİAŞ'a ait bir bindirici merkezin gerçek değerleri kullanılarak bir sanayi bölgesini besleyen fider üzerinde orta gerilim kompanzasyon incelenmiştir. Yapılan çalışmaların MATLAB SIMULINK programı ile simulasyonu gerçekleştirilmiştir [18].

Çalışmada harmonikler ele alınmıştır. Harmoniklerin nedenleri, enerji sistemine ve cihazlara etkileri açıklanmıştır. Güç sistemlerinde lineer ve nonlineer yüklerin bulunduğu ve nonlineer yüklerin giderek artmasının hatları olumsuz etkilediğinden bahsedilmiştir. Tüketim tesislerinde harmoniklerin hem ekonomik hem de teknik etkilerinin bulunduğu ve her tesisin ayrı ayrı ele alınması gerektiği ifade edilmiştir. Lineer yüklerin bulunduğu tesislerde kompanzasyon yapmanın yeterli olduğu ancak harmonikli işletmelerde filtreli kompanzasyon yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Gerçek bir sistem ele alınarak değerler alınmış, filtreleme ve kompanzasyon işlemi yapılmıştır [19].

Doğrusal olmayan yüklerin enerji kalitesi problemlerine sebep olduğunu belirtmiştir. Pasif filtre kullanılarak yapılan kompanzasyon tekniklerinin yetersiz kaldığı ve yerine aktif filtreli kompanzasyonun yapılması gerektiği ifade edilmiştir. MATLAB/SIMULINK'te harmonik eliminasyonu ve kompanzasyonu birlikte yapabilen iki seviyeli evirici tabanlı bir paralel aktif güç filtresinin modeli yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar grafiksel olarak verilmiştir. Aktif güç filtrelerinin maliyetinin yüksek olduğu ancak zamanla düşürülebileceği belirtilmiştir [20].

Tez çalışmasında senkron motor kullanılarak yüklerin ihtiyacı olan reaktif güç internet üzerinden karşılanmıştır. Veri toplama kartı kullanılarak; akım, gerilim, yük gruplarının devreye alınması ve senkron motorun sürülmesi gibi işlemler yapılmıştır. Çalışma ile internet üzerinden bilgisayar kontrollü bir kompanzasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan veri toplama kartının maliyetinin yüksek olmasının olumsuz bir yan olduğu ancak sistemin eğitim amaçlı tasarlandığı belirtilmiştir [21].

Literatür taramasında da görüldüğü gibi reaktif güç kompanzasyonunun temelinde enerji verimliliğini artırarak maliyetleri düşürmek amaçlanmaktadır. Bunun için uygulanan tekniklerin avantaj ve dezavantajı bulunduğu ortadadır. Zaman içerisinde gelişim gösteren tekniklerin eksikleri bulunmaktadır. Reaktif tüketim tamamen sıfırlanamamaktadır. Reaktif gücün sıfırlanması elbette enerji kalitesini de arttıracaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Yukarıda yapılan literatür taramasında da görüldüğü gibi amaç enerji kalitesini ve verimi arttırmaktır. Enerji nakil hatlarının kapasitesini ve verimini arttırmak amacıyla reaktif güç kompanzasyonu yapılır [22]. Reaktif güç kompanzasyonu verimi arttırmaktadır. Ayrıca yapılması zorunluluk teşkil eden bir durumdur [23]. Reaktif enerji tüketim bölgelerinde karşılanmazsa iletim hatlarından çekilir. İletim hatlarında yükün artması; iletim maliyetlerini arttırır. Bu nedenle reaktif güç ihtiyacı, yüke yakın noktalarda karşılanmalıdır [24].

Güç katsayısının yükseltilmesi sonucu aşağıdaki faydalar ortaya çıkar;

- İletim ve dağıtımda kullanılan iletken kesiti düşer
- Gerilim düşümü azalır
- Verim ve kapasite artar
- Şebekeden çekilen enerji azalır
- Enerji iletiminde kullanılan trafo güçleri daha düşük seçilir
- Cihazların arıza verme durumları azalır.

Bizde hedef olarak seçtiğimiz enerjinin verimini arttırmak prensibinden yola çıkarak iki uygulama devresi hazırladık. İki devre hazırlamanın amacı karşılaştırma ve sonuçların daha net ortaya konulmasını sağlamaktır. Çalışmamızda ilk olarak günümüzde yapılan bir sistem tasarlanmış, daha sonra yeni olan varyak kontrolü denenmiştir. Kondansatörler, varyak ve kontaktör ile ayrı ayrı kontrol edilmiştir. Varyak çıkış gerilimini ayarlamak için miline servo motor bağlanmıştır. Servo motorun konumunu ve hızını kontrol edecek bir yazılım hazırlanmış, arduino uno aracılığıyla servo motorlar istenilen açıda hareket ettirilmiştir. Yüklerin önüne şalterden sonra röleler bağlanmıştır. Rölelerin açık veya kapalı kontakları kullanılarak arduino uno giriş pinlerine hangi yükün devreye girdiği belirtilmiştir. Arduino çıkış pinlerine bağlanan servo motor, sinyal ucundan gelen bilgiye göre, ilgili varyak milini döndürerek çıkış gerilimini arttırmıştır. Yük devreden çıktığında, varyak mili ilk konumuna getirilmiştir. Alınan değerler sonuç ve bulgular bölümünde verilmiştir. Yöntemler karşılaştırılarak önerilere değinilmiştir.

Çalışmada kullanılan pano görüntüsü Şekil 2.1.'de verilmiştir. Sac pano kullanılmasının nedeni mekaniki zorlanmalara karşı dayanıklı olmasıdır. Pano üç kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım enerji giriş kısmında akım trafoları bulunmaktadır. İkinci kısım sigortaların, kontaktörlerin, kondansatörlerin ve varyak kontrollünde kullanılan rölelerin bulunduğu bölümdür. Üçüncü kısımda RGKR, bağlantı iletkenlerinin geçirildiği ve şönt reaktörlerin bulunduğu kısımdır.



Şekil 2.1. Uygulamada kullanılan pano.

2.1. MATERYAL

Yapılan tez çalışması iki ayrı reaktif güç kompanzasyonundan oluşmaktadır. Birinci uygulamada reaktif güç kontrol rölesi, kontaktör, şönt reaktör, şönt reaktör sürücüsü ve akım trafosu kullanılmıştır. Yükler şalter ile devreye alınmış ve güç katsayısının durumu analiz edilmiştir.

Yapılan SVC uygulamanın pano yerleşimi Şekil 2.2'de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi sigortalar panonun en üstünde hemen altında kademe kontaktörleri ve en altta da kondansatörler yerleştirilmiştir. Kondansatörlerin üçü üç fazlı, dördüncü ve

beşinci kademedeki tek fazlıdır. Kullanılan kontaktörler akım değeri ve sınıfı açısından kapasitif yükte kullanıma uygun nitelikte seçilmiştir. Kademeler ve röle fazları için otomatik sigorta takılmıştır.

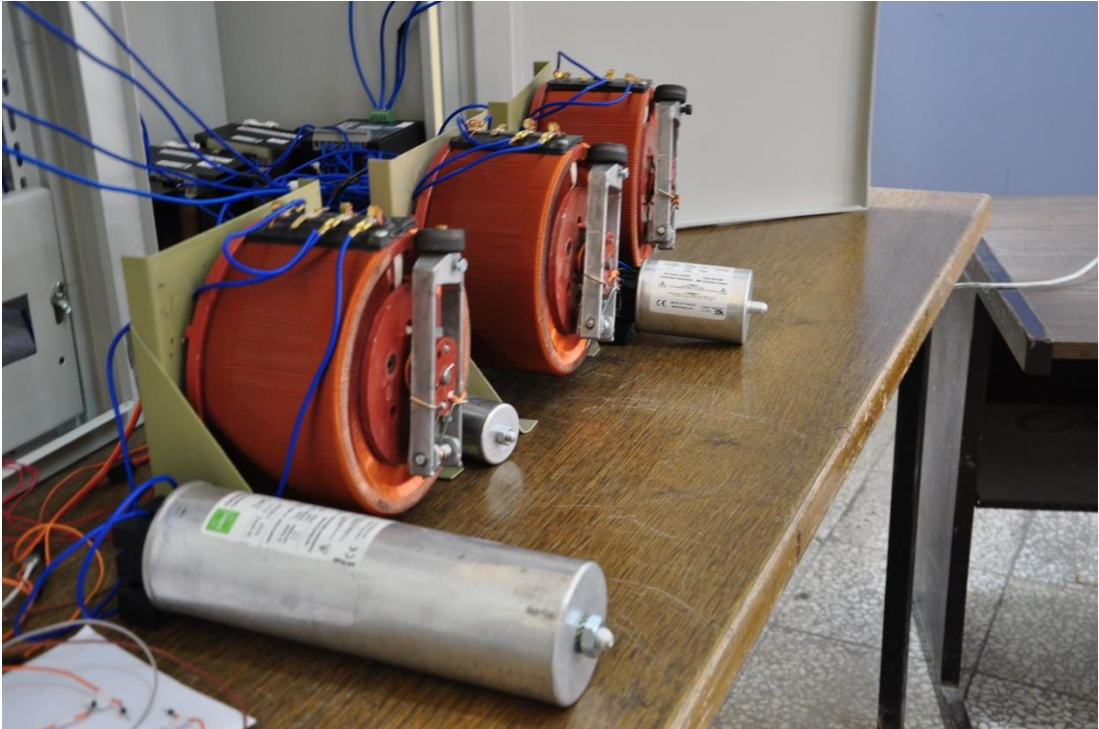


Şekil 2.2. SVC uygulamanın pano yerleşimi.

İkinci uygulamada üç adet varyak, üç adet servo motor, arduino devresi, multimetre ve kondansatör kullanılmıştır. Varyakların çıkış gerilimlerini ayarlayan mil, servo motorlarla kontrol edilmiştir. Servo motorlar içerisinde geri beslemesi bulunan makinedir. Servo motorları kontrol edecek yazılım hazırlanarak usb kablo ile Arduino Uno'ya yüklenmiştir. Varyak mili ile servo motorun mil bağlantısı hazırlanan parçalar yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Kullanılan varyaklar 2 KVA gücündedir. Varyakların giriş gerilimi 220 volt, çıkış gerilimi ise 0-220 volt aralığındadır. Kondansatör güç değeri ne kadar büyük bağlanırsa, daha küçük açıda aynı yükü kompanze etmek mümkündür.

Değerler, bilgisayardan takip edilecek şekilde bir deney düzeneği hazırlanmıştır. Üç adet kondansatör kullanılmasının nedeni üç fazı birbirinden bağımsız olarak kompanze etmektir. Bu aynı zamanda dengesiz yüklerin kompanzasyonunda rahatlıkla kullanılmasına olanak tanımaktadır. Tesislerde yüklerin genellikle dengesiz olduğu

düşünüldüğünde önemi daha çok ortaya çıkacaktır. Varyak kontrollü kompanzasyona ait yerleşim Şekil 2.3’de verilmiştir. Kullanılan kondansatörlerin nötr noktaları birleştirilerek nötr barasına bağlanmıştır. Hassasiyetin fazla olması için akım trafolarının dönüştürme oranı 50/5 olarak seçilmiştir. Şalter yerinde 10 amperlik sigortalar kullanılmıştır. RGKR’nin bilgisayarla bağlantısı USB/RS 485 dönüştürücüsü ile yapılmıştır. Dönüştürücü adaptörün bir tarafı kordon kablo ile röleye diğer tarafı usb kablosu ile bilgisayara bağlanmıştır. Veri alış verişinin yapıp yapılmadığı üzerindeki ledlerden anlaşılabilir.



Şekil 2.3. Varyak kontrollü kompanzasyon.

Çizelge 2.1’de kompanzasyonda kullanılan bazı devre elemanlarına ait seçim değerleri verilmiştir. Yapılacak bir kompanzasyon tesisi hazırlamada çizelgeden yararlanmak mümkündür. Kondansatör gücüne uygun sigorta, kontaktör ve deşarj direnci seçimi önemlidir. Pano içinde en az 2.5 mm^2 kesitinde iletken tercih edilir. Akım taşıma kapasitesi 63 A üzerinde olan kısımlarda bakır bara kullanılmalıdır. Yapılan çalışmalarda akım yüksek olmadığından bakır bara kullanılmamıştır. Kademe sigorta değerleri uygun seçilmezse beklenmedik bir durumda atar ve kademe devreye girmez. Akım değerleri kademe güçlerine uygun seçilmelidir. Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi, 5 kVAR’lık bir kademe için sigorta 16 A, kontaktör akımı 9 A, kablo $3 \times 2,5 \text{ mm}^2$ NYY ve

deşarj direnci 31 k Ω olmalıdır. Çalışmada kullanılan devre elemanları tercih edilirken, özellikleri ve değerlerinin uygun seçilmesi amaçlanmıştır.

Çizelge 2.1. Kompanzasyon Pano Devre Elemanları Seçimi.

Kondansatör gücü (kVAr)	Sabit ve Otomatik Kompanzasyon Kademeleri Devre Elemanları							
	Sigorta NH tip (A)	Kontaktör (A)	Anahtarlı Otomatik Sigorta (A)	Kademe Kablosu NYY mm ²	Deşarj Dirençleri			
					Otomatik		Sabit	
					KOhm	W	KOhm	W
5	16	9	16	3x2.5	31	4	205	3
10	25	16	25	3x4	15	4	102	5
15	36	32	40	3x6	10	6	68	8
20	50	32	50	6	6.8	6	51	10
25	63	40	63	6	1.5	6	41	12
30	80	45	80	6	1.5	6	34	15
40	100	63	100	10	1.5	6	25	20
50	125	80	125	16	1.5	6	20	25
60	160	90	-	25	1	12	17	30
80	200	115	-	35	1	12	14	34
100	250	160	-	50	1	12	10	50
125		185						
150		225						

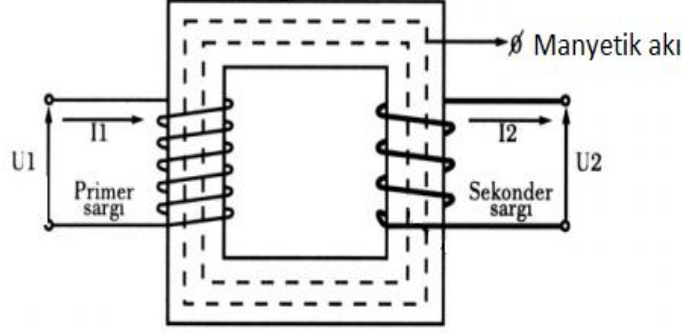
2.1.1. Varyaklar

Varyaklar, yapısı tek sargıdan oluşan bir transformatör çeşitidir. Trafo, girişine uygulanan gerilimin frekansını, gücünü değiştirmeden çıkışa aktaran, gerilim ve akım değerini arttırıp azaltmaya yarayan hareketli parçası olmayan elektrik makinesidir. Diğer bir ifadeyle de manyetik güç dönüşümü yapan elektrik makineleridir. Hareketli parçası olmadığından sürtünme kayıpları söz konusu değildir. İdeal bir trafonun giriş gücü çıkış gücüne eşit kabul edilir. Ancak uygulamada %100 verim alınamamakta ve azda olsa kayıplar olmaktadır. Transformatörlerin, düşük gerilimli zayıf akım tesisatlarından yüksek gerilim enerji iletim hatlarına kadar geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Ayrıca ölçü trafosu olarak kullanılan akım ve gerilim trafoları da vardır.

Trafoların yapısı genel olarak silisli sacların paketlenmesi ile elde edilen demir nüve üzerine sarılan primer ve sekonder sargılardan oluşur. Denklem 2.1'de sargılar arasındaki dönüştürme oranı verilmiştir.

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.1)$$

Şekil 2.4 bir trafonun genel yapısını göstermektedir. Akım girişi ile çıkışı arasında herhangi bir bağlantı olmadığı görülmektedir. Çalışma durumu manyetik induksiyon prensibine dayanmaktadır. İndüksiyon prensibine göre değişken manyetik alana maruz kalan iletkenlerde gerilim indüklenir. Böylece giriş gerilimi çıkışa aktarılmış olur.



Şekil 2.4. Trafonun genel yapısı.

Trafolarda, girişine uygulanan alternatif gerilimin primer sargılarını kesmesiyle zamana göre yönü ve şiddeti değişen bir manyetik akı meydana gelir. Manyetik akı nüve üzerinden devresini tamamlarken sekonder sargıları keser ve sargı uçlarında bir gerilim endüklenmesini sağlar. Çıkış gerilimi denklem 2.2’de verilmiştir.

$$E = 4,44 \times B \times S_n \times N_2 \times f \times 10^{-8} \quad (2.2)$$

Transformatörler DC gerilimde kullanılmazlar. Çünkü DC gerilimde frekans sıfır olduğu için çıkış gerilimi sıfır olur. Bu durumu biraz daha açıklamak istersek, sabit iletkenlere uygulanan manyetik alanın değişken olması sonucu gerilim oluşur. DC gerilimde manyetik alan sabit olduğundan gerilim indüklenmez.

Trafoaların faz sayısına göre;

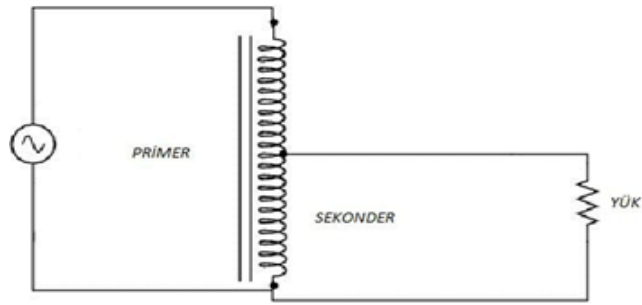
- Tek fazlı
- Üç fazlı

Soğutma şekline göre; hava, yağ ve su soğutmalı tipleri vardır.

Toroidal sac nüvenin üzerine emaye bakır tel sarılması ile varyaklar elde edilir. Varyakların yapısında tek sargı bulunur. Giriş gerilimi AC (Alternatif akım) çıkış gerilimi farklı değerlerde yine AC gerilimdir. Üzerinde bulunan mil elle veya bir motor yardımıyla döndürülerek gerilim ayarlanabilir. Yapmış olduğumuz çalışmada mil servo

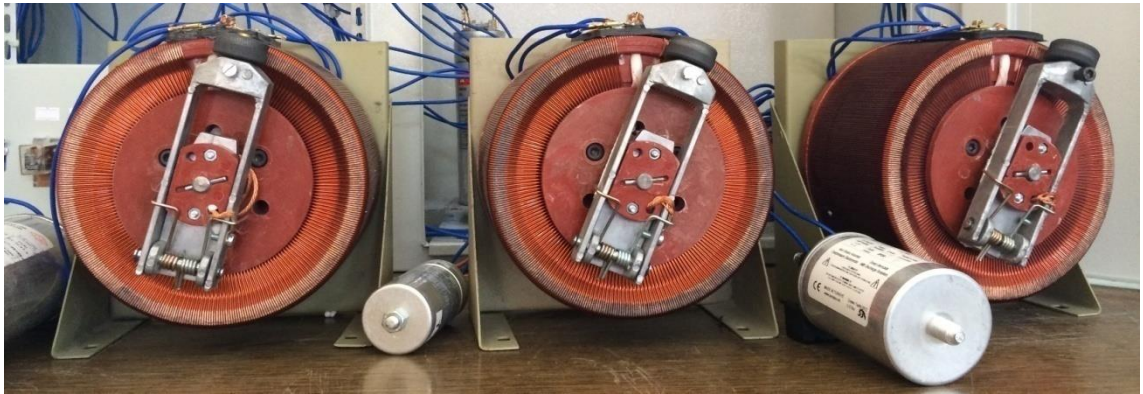
motor ile döndürülmüştür. Varyaklarda tek sargı olduğundan kullanılan bakır azdır. Buda bakır kayıplarını azaltır. İstenildiğinde birden fazla uç çıkarılarak farklı gerilimler daha kolay bir şekilde elde edilebilir. Varyaklar asenkron motorlara yol verme işleminde de kullanılmaktadır. Varyak mili elle döndürülerek motora uygulanan gerilim yavaş yavaş, arttırılır. Motor kalkış akımı düşürülerek motor normal devrine ulaştığında tam gerilim uygulanarak motor çalışmasını devam ettirir.

Varyakların genel trafolardan en önemli farkı yapısında tek sargı bulunmasıdır. Şekil 2.5’de tek sargı ve giriş çıkış gerilim kısımları gösterilmiştir. Tek sargı üzerinde gezen karbon fırça çıkış gerilimini ayarlamaktadır. Ayrıca diğer trafolardan tek bir gerilim değeri alınırken varyaklardan farklı değerde gerilimler alınabilir.



Şekil 2.5. Varyak giriş çıkış gerilim gösterimi.

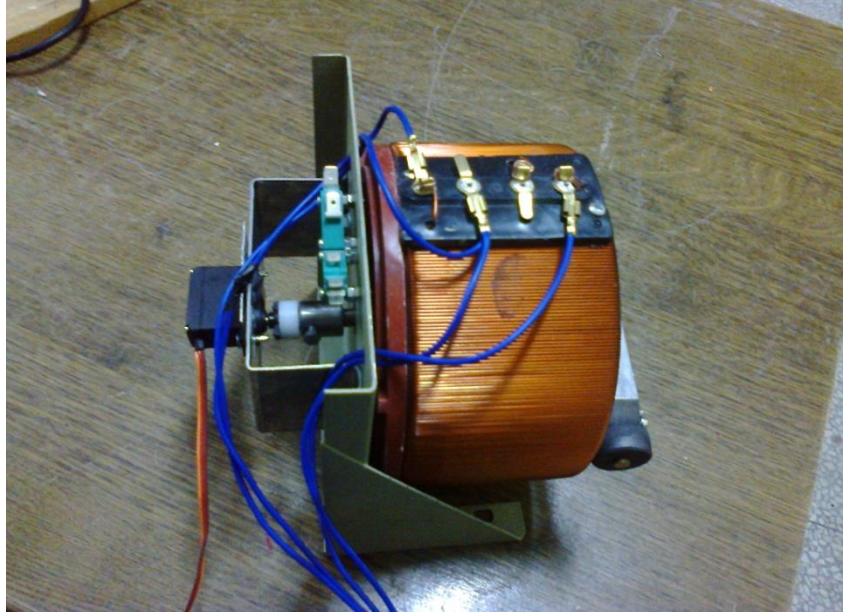
Şekil 2.6’da varyak milinin döndüğü eksenler verilmiştir. Milin ucunda karbon fırça bulunur. Sargılarda oluşan gerilim karbon fırça yardımıyla alınarak çıkış klemensine verilir. Dönmei sağlayan mil toroidal nüvenin tam ortasından arka kısma geçirilmiştir.



Şekil 2.6. Çalışmada kullanılan varyakların ön görünüşü.

Şekil 2.7’de servo motor takılı varyak gösterilmiştir. Mil dönüşünü sınırlandırmak amacıyla iki adet sınır anahtarı kullanılmıştır. Bağlantı noktalarından biri giriş ve çıkış

için ortaktır. Ortak uç nötr bağlantısını yapmak için kullanılmıştır. Servo motor dişli miline bağlanan plastik parça ile varyak mili aynı ekseninde olacak şekilde irtibatlandırılmıştır.



Şekil 2.7. Çalışmada kullanılan servo motor takılı varyak.

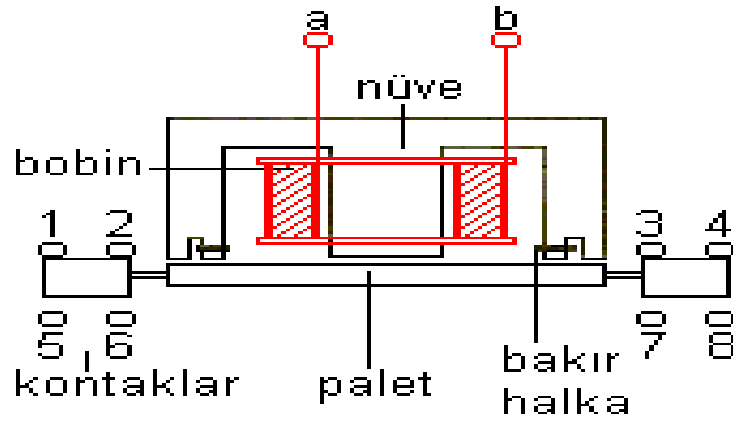
Varyak kullanımında;

- Giriş ve çıkış uçlarının doğru bağlanmasına
- Karbon fırça ve dönen kısma temas edilmemesine
- Varyağın çalıştığı ortamda toz ve su bulunmamasına
- Bağlantıları yapılırken enerji altında olmamasına
- Temizleme için herhangi bir kimyasal madde kullanılmamasına, dikkat edilmelidir.

2.1.2. Kontaktörler

Kontaktör, temel görevi olarak bir anahtardır. Ancak diğer anahtarlardan ayrılan özelliği elektromanyetik yolla çalışmasıdır. Diğer bir ifadeyle bobinine enerji verildiğinde açık olan kontaklarını kapatır, kapalı olan kontaklarını açar. Kontaktörün hem AC hem de DC ile çalışmaları mevcuttur. Kompanzasyon işleminde AC kontaktörler kullanılır. Bu kontaktörlerin kapasitif yüke uygun olanları tercih edilir. Kompanzasyon kontaktörlerinde akım sınırlayıcı kontak blokları bulunur. Çünkü kondansatör ilk devreye girdiği anda yüksek bir akım oluşur. Bu durumun etkisi ana kontaklara paralel olan sınırlayıcı kontaklarla azaltılır.

Kontaktörün yapısında genel olarak bobin, palet, nüve ve kontaklar bulunur. Şekil 2.8’de AC kontaktörün yapısı verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi bobin nüve üzerine sarılmıştır. Şekildeki kontaktör paleti çekilmiş bir kontaktördür. Yani bobini enerjilendirilmiş ve kontakları konum değiştirmiştir. Kontaklar sabit ve hareketli olmak üzere iki çeşittir. 1-2 ve 3-4 numaralı kontaklar normalde açık, 5-6 ve 7-8 numaralı kontaklar kapalı kontaklardır. Kontaktör üzerinde kontakların durumu yazılı olarak verilir. Bobin uçları yani 220 volt girişini gösteren uçlar a ve b harfleri ile gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Kontaktörün yapısı.

Bobinine enerji verildiği anda nüve mıknatıslık özelliği kazanarak karşısında duran paleti kendine çeker, böylece açık olan kontaklar kapanarak kapalı olan kontaklar açılır. AC kontaktörlerinde akımın sıfır geçişinde paletin titreşim yapmaması için nüveye bakır halkalar konulur. Çünkü o anda akım kesilecek ve palet geri gitmek isteyecektir. Bakır halkalar mıknatısiyeti artırarak paletin düşmesini engeller. DC kontaktörlerinde aynı noktaya plastik pullar konulur. Bunun nedeni artık mıknatısiyetten dolayı paletin yapışık kalmasını engellemektir. Enerji kesildiği anda palet bir süre daha yapışık kalarak belli bir süre sonra düşer. Plastik pullar düşmeyi kolaylaştırır. AC kontaktörler ince silisli sacların paketlenmesiyle oluşur. DC kontaktörlerinin nüvesi yumuşak demirden tek parça olarak yapılır. Kontaktör seçiminde akım ve gerilim değerleri ile çalışma sınıfı göz önünde bulundurulur.

Şekil 2.9’da kompanzasyon kontaktörleri görülmektedir. Kontaktörler iki kısımdan oluşmaktadır. Ana kontaklara paralel bağlı akım sınırlayıcı kontaklar ilk andaki akımın etkisini azaltmak amacıyla kullanılır. Şekildeki kontaktörler çalışmada kullanılan kademe kontaktörleridir. Bobin uçlarının birer tanesi köprülenerek nötr barasına bağlanmıştır. Faz iletkeni her kontaktöre ayrı ayrı, RGKR’den gelmektedir.



Şekil 2.9. Kompanzasyon kontaktörleri.

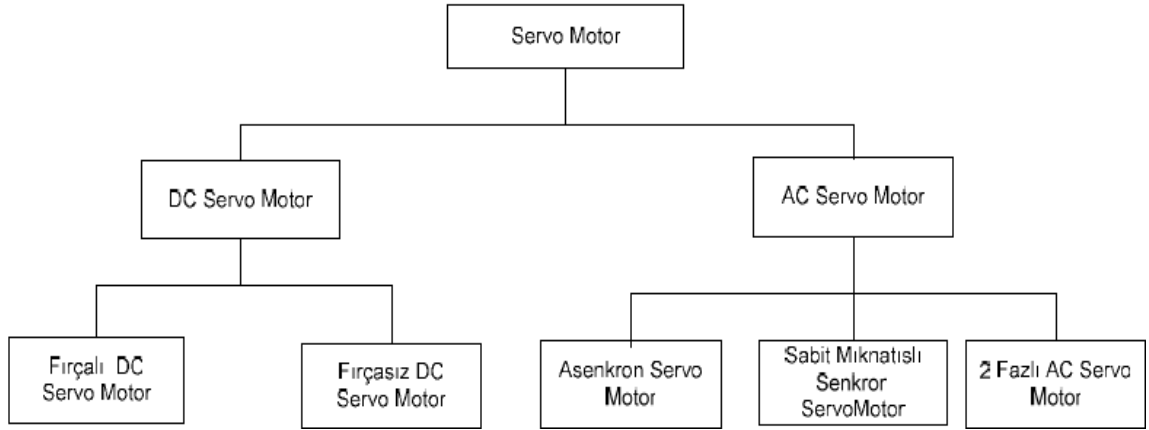
Kontaktörler devreye giriş çıkış sırasında, kontaklarının aşınması arızaların artmasına, içerisine toz girmesi ise gürültülü çalışmasına neden olmaktadır [25]. Kontaktör içerisine, çalışma şartlarının zorluklarından dolayı toz girerse kontakların kapanmasını olumsuz etkiler. Kontaktör bobinini besleyen kablolar uzun olursa gerilim düşümü artar. Gerilim farklılığı kontaktör ömrünü azaltır. Kontaktör bobininin tozları basınçlı hava ile temizlenebilir. Kontaktörler ray veya pano gövdesine monte edilebilir. Çalışmada ray üzerine montajı yapılmıştır.

Çalışmamızda birinci uygulamada kontaktörler kademelerin devreye girişini sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Çalışma beş kademeli olduğundan beş adet kontaktör kullanılmıştır. Bobin uçlarının fazı reaktif güç kontrol rölesinden, diğer ucu ise nötr hattından bağlanmıştır. Röle hangi kademeyi devreye almak isterse o kademeye bağlı kontaktör bobinini enerjilendirir. Yük devreden çıktığında kontaktörün bobin enerjisini keserek kademeyi devre dışı bırakır. Eğer kademe devreye girdikten sonra kademe sigortası herhangi bir nedenden dolayı atarsa kontaktör sürekli çekili kalıyor. Bunun nedeni kademe sigortadan devre dışı kaldığından röle ilgili kademedeki reaktif güç alamamaktadır. İlgili kademedeki reaktif akım gelmediği içinde enerjisini kesmemektedir.

2.1.3. Servo Motorlar

Elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren makinelere elektrik motoru denir. Çeşitli tip ve büyüklükte elektrik motorları bulunur. Servo motorlarda bunlardan biridir. Servo motorlar belli bir sinyal yardımıyla istenilen açı kadar döndürülen ve kapalı çevrim kontrolü bulunan bir motordur [26]. Bu motorlarda hız, konum, moment ve melez kontrol yapılabilir. PWM darbe genişliğini ayarlamak ve hız kontrolü yapmak mümkündür [27]. Hem AC hem de DC gerilim ile çalışabilen servo kontrol motorları vardır. Çalışmada, doğru gerilim 5 Volt ile çalışan 180° ve 210° dönebilen servo motorlar kullanılmıştır. Motor dişlisi ile varyak mili bağlantısı hazırlanan parçalar yardımıyla yapılmıştır.

Servo motorların çalışma gerilimine ve yapılarına göre çeşitleri bulunmaktadır. Bunlar Şekil 2.10'da verilmiştir [28].



Şekil 2.10. Servo motorların sınıflandırması [28].

DA servo motor fırçalı ve fırçasız doğru akım motorları olarak sınıflandırılır. Fırçalı tipte endüktör miknatıstan meydana gelir. Endüvi sargılarına fırçalar yardımıyla gerilim uygulanır. Endüvi ve endüktör manyetik alanlarının birbirini etkilemesi sonucu endüvi dönme hareketi yapar [28]. Fırçasız tipleri daha yaygın olarak kullanılır. Fırça aşınması gibi bir durum söz konusu değildir. Bakıma daha az ihtiyaç duymaları tercih sebeplerindedir.

Şekil 2.11'de çalışmamızda kullandığımız servo motor görülmektedir. Metal dişli motorumuz 5 voltla çalışmaktadır. Torku 13 kg/cm civarında, ağırlığı 50 gramdır [29]. Motorun bağlantısı için üç iletkenli bir kablo kullanılmıştır.

Kablo renklerinin bağlantı bilgileri;

Kahverengi: GND (Toprak)

Kırmızı: + (Pozitif)

Turuncu: Sinyal ucudur.



Şekil 2.11. Çalışmada kullanılan servo motor.

Servo motorlar istenilen açı kadar ileri ve geri döndürülebilen motorlardır. Diğer DC motorları ters yönde döndürebilmek için enerji kablolarının yer değiştirmesi gerekir. Servo motorların hazırlanan yazılımla ileri veya geri dönüş yapması ve hızının ayarlanması mümkündür. Kullanılan servo motorların milleri metal dişlidir. İçerisinde bulunan çarklarda metaldir. Plastik dişli servo motorlarda vardır. Ancak dişli aşınması hızlı olduğundan tercih edilmemiştir.

2.1.4. Kondansatörler

Basit bir elektronik devre kartını elimize aldığımızda üzerinde mutlaka bir kondansatör görürüz. Kondansatörlerin elektronik devrelerden tutunda reaktif güç kompanzasyonuna kadar geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Diğer bir ifadeyle de kapasitör veya sığada denilmektedir. İki iletken levha arasına yalıtkan bir malzeme konulması sonucu elde edilir. Yalıtkan malzemeye göre isimlendirilir. Yalıtkan malzeme olarak özel kâğıt poliprop veya bunların karışımı olabilir. Piyasada farklı güç ve gerilim değerlerine sahip birçok kompanzasyon kondansatörü bulunmaktadır. Uygulamada kullanılan kutulu ve silindirik olmak üzere iki tip kapasitör vardır. Bunlardan silindirik olan, patlama riskinin az olması nedeniyle daha çok tercih edilir. Ayrıca silindirik kondansatörün bağlantısının kolay olması, pano içerisinde fazla yer kaplamaması tercih sebepleridir. Kompanzasyon için kondansatör seçerken gerilim, güç ve akım gibi değerlere dikkat edilmelidir.

Çalışma gerilimi şebeke geriliminin üzerinde üretilen kondansatörler genel olarak 230-240-440-525-600 Volt gibi değişik değerlerde üretilirler. Yüksek gerilimde kullanmak amacıyla daha yüksek değerlerde olan kondansatörlerde mevcuttur.

Standart güç değerleri;

0,25-0,50-0,75-1-1,5-2-2,5-5-7,5-10-15-22,5-30 kVAR şeklinde üretilir.

Kondansatör Hesabı;

Kondansatör uçlarına gerilim uygulandığında, kapasitesi nedeniyle bir yükte yüklenir.

Yüklenmiş bir kondansatörün kapasite değeri;

Denklem 2.3'de yüklenmiş bir kondansatörün kapasite hesabı verilmiştir. Kondansatör kapasitesi değeri üretimi esnasında belirlenir ve sabittir. Denklemden de görüldüğü gibi kapasite; levha yüzeyi, levhalar arasındaki mesafe ve dielektrik sabitesine bağlıdır.

$$C = \epsilon \frac{F}{d} \quad (2.3)$$

Kapasitif Reaktans;

Alternatif akımda kondansatörün akıma karşı gösterdiği direnç X_c kapasitif reaktans olarak tanımlanır. Denklem 2.4'de görüldüğü gibi kapasitesi sabit olan bir kondansatörün kapasitif reaktansı frekansa bağlıdır. Şebeke frekansımız 50 Hz de sabittir. Dolayısıyla X_c sabittir.

$$X_c = 1 / 2\pi fC \quad (2.4)$$

Akım Hesabı;

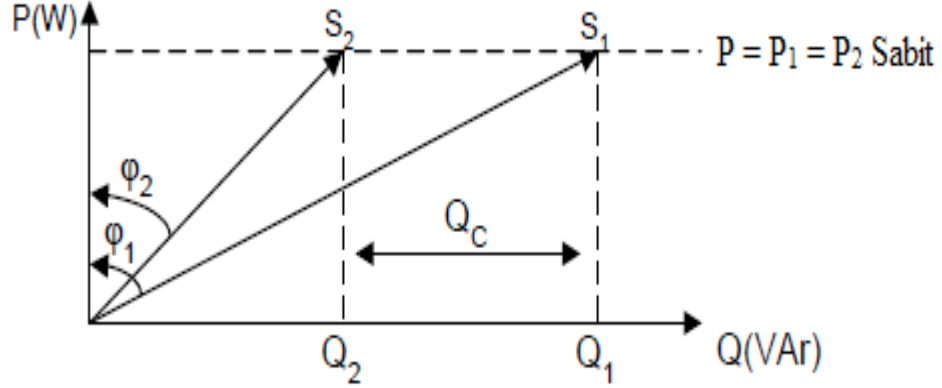
Denklem 2.5'de kondansatör akım hesabı verilmiştir. Denklemden X_c 'nin sabit olduğunu bildiğimize göre kondansatörün şebekeye vereceği akım, gerilim ile doğru orantılıdır. Çalışmamızın ikinci bölümünde kondansatörden farklı reaktif akımların elde edilmesi amaçlanmıştır. Bunun sağlanabilmesi için de kondansatöre verilen gerilim varyasyonları yardımıyla ayarlanmıştır. Uygulanan gerilim arttıkça kondansatör akımı da artmıştır.

$$I_c = \frac{U}{X_c} \quad (2.5)$$

Kondansatörün Güç Hesabı;

Müşterinin kompanzasyon kondansatörü gücü hesaplamada iki farklı düşüncesi olabilir. Birincisinde aktif gücün sabit kalmasını isterken diğerinde görünür gücün

değişmemesini isteyebilir [30]. Denklem 2.8’de kompanzasyon için gerekli kondansatör gücü hesaplama tekniklerinden biri verilmiştir. Şekil 2.12’de aktif gücün sabit tutulması durumundaki güç vektör diyagramı verilmiştir. Aktif gücün sabit tutulduğu bir tesiste reaktif güç azaltıldığında görünür güç azalacaktır. Görünür güç aktif güç ile reaktif gücün vektörel toplamına eşittir.



Şekil 2.12. Aktif gücün sabit tutulması durumunda güç vektörü [31].

Kompanzasyon yapılmadan önceki reaktif güç

Denklem 2.6’da ve 2.7’de kompanzasyon durumuna göre reaktif güçler verilmiştir. Birinci denklemde açı büyük sinüs değeri ve Q_1 değeri de büyüktür. Açı küçüldükçe reaktif güç azalmaktadır.

$$Q_1 = S_1 \cdot \sin \phi_1 \quad (2.6)$$

Kompanzasyon yapıldığındaki reaktif güç

$$Q_2 = S_2 \cdot \sin \phi_2 \quad (2.7)$$

Kompanzasyon için gerekli kondansatör gücü

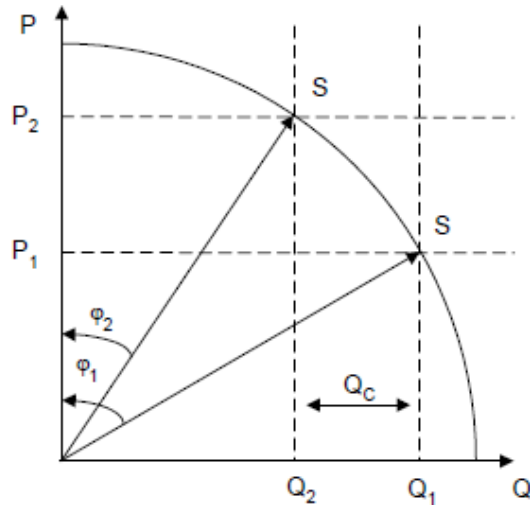
$$Q_c = P (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \quad (2.8)$$

Denklem 2.8’de parantez içi k faktörü olarak nitelendirilir ve Çizelge 2.2 k faktörünü bulmakta kullanılır. Yapılan hesaplama aktif gücün sabit olmasının istendiği yerlerde kullanılır.

Çizelge 2.2. k Faktörü Tablosu.

	Cosp2	0.70	0.75	0.80	0.82	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.90	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97
	tanφ2	(1.02)	(0.88)	(0.75)	(0.70)	(0.64)	(0.62)	(0.59)	(0.57)	(0.53)	(0.48)	(0.43)	(0.36)	(0.33)	(0.29)	(0.25)
Cosp1	tanφ1															
0.45	1.98	0.96	1.10	1.23	0.28	1.34	1.36	1.39	1.41	1.45	1.50	1.55	1.62	1.65	1.69	1.73
0.50	1.73	0.71	0.85	0.98	1.03	1.09	1.11	1.14	1.16	1.20	1.25	1.30	1.37	1.40	1.44	1.48
0.52	1.64	0.62	0.76	0.89	0.94	1.00	1.02	1.05	1.07	1.11	1.16	1.21	1.28	1.31	1.35	1.39
0.54	1.56	0.54	0.68	0.81	0.86	0.92	0.94	0.97	0.99	1.03	1.08	1.13	1.20	1.23	1.27	1.31
0.56	1.48	0.46	0.60	0.73	0.78	0.84	0.86	0.89	0.91	0.95	1.00	1.05	1.12	1.15	1.19	1.23
0.58	1.41	0.39	0.53	0.66	0.71	0.77	0.79	0.82	0.84	0.88	0.93	0.98	1.05	1.08	1.12	1.16
0.60	1.33	0.33	0.45	0.58	0.63	0.69	0.71	0.74	0.76	0.80	0.85	0.90	0.97	1.00	1.04	1.08
0.62	1.27	0.25	0.39	0.52	0.57	0.63	0.65	0.68	0.70	0.74	0.79	0.84	0.91	0.94	0.98	1.02
0.64	1.20	0.18	0.32	0.45	0.50	0.56	0.58	0.61	0.63	0.67	0.72	0.77	0.84	0.87	0.91	0.95
0.66	1.14	0.12	0.26	0.39	0.44	0.50	0.52	0.55	0.57	0.61	0.66	0.71	0.78	0.81	0.85	0.89
0.68	1.08	0.06	0.20	0.33	0.38	0.44	0.46	0.49	0.51	0.55	0.60	0.65	0.72	0.75	0.79	0.83
0.70	1.02		0.14	0.32	0.32	0.38	0.40	0.43	0.45	0.49	0.54	0.59	0.66	0.69	0.73	0.77
0.72	0.96		0.08	0.27	0.26	0.32	0.34	0.37	0.39	0.43	0.48	0.53	0.60	0.63	0.67	0.71
0.74	0.91		0.03	0.21	0.21	0.27	0.29	0.32	0.34	0.38	0.43	0.48	0.55	0.58	0.62	0.66
0.76	0.86			0.16	0.16	0.22	0.24	0.27	0.29	0.33	0.38	0.43	0.50	0.53	0.57	0.61
0.78	0.80			0.11	0.10	0.16	0.18	0.21	0.23	0.27	0.32	0.37	0.44	0.47	0.51	0.55
0.80	0.75			0.05	0.05	0.11	0.13	0.16	0.18	0.22	0.27	0.32	0.39	0.42	0.46	0.50
0.82	0.70					0.06	0.08	0.11	0.13	0.17	0.22	0.27	0.34	0.37	0.41	0.45
0.84	0.65						0.03	0.06	0.08	0.12	0.17	0.22	0.29	0.32	0.36	0.40
0.86	0.59								0.02	0.06	0.11	0.16	0.23	0.26	0.30	0.34
0.88	0.54										0.06	0.11	0.18	0.21	0.25	0.29
0.90	0.48											0.06	0.12	0.15	0.19	0.23
0.92	0.43												0.07	0.10	0.14	0.18
0.94	0.36													0.03	0.07	0.11

Şekil 2.13’de kompanzasyon tesisinde görünür gücün sabit tutulmasına ait güç vektör diyagramı verilmiştir. Görünür gücün sabit olmasının istendiği bir tesiste aktif güç P_1 ’den P_2 ’ye yükseltilir. Çünkü reaktif güç azaltıldığında görünür gücün değişmemesi için aktif güç yükselir.



Şekil 2.13. Kompanzasyonda görünür gücün sabit tutulması [31].

Eğer tesisin S (Görünür güç) sabit tutulmak istenirse;

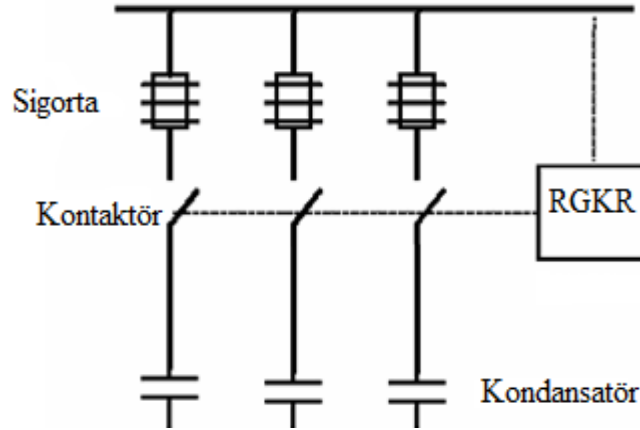
$$Q_c = Q_1 - Q_2 = S (\sin \phi_1 - \sin \phi_2) \quad (2.9)$$

Veya

$$Q_c = P_1 \sin \phi_1 - P_2 \sin \phi_2 \quad (2.10)$$

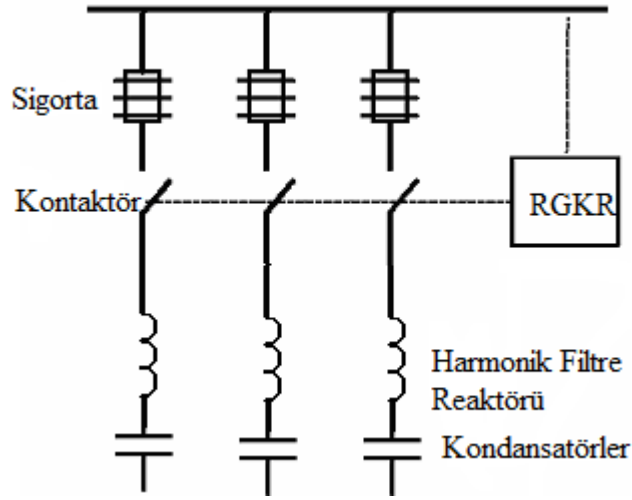
Kondansatör gücü hesaplamada değişik yöntemler kullanılabilir. Yapılan hesaplama sonucu bulunan değere göre kademe sayısı oluşturulmakta ve küçük değerden büyük değere göre sıralanmaktadır. Bazı durumlarda sistemde hiç kullanılmayan kondansatörler bile kademe sayısı doldurmak maksadıyla bağlanmaktadır. Kademe sayısının fazla olması pano boyutunu arttırmakta ve soğutma işlemini de zorlaştırmaktadır. Çünkü panolarda en önemli sorun ortamın havalandırılması ve oluşan ısının dışarı verilmesidir. Aşırı ısı elemanların ömürlerini azaltarak arıza verme sıklıklarını artırır. Bu nedenle kompanzasyon kondansatörlerinin belirli aralıklarla kontrollerinin yapılması gerekir. Bu işlem için kademeler elle devreye alınarak akım ölçümü yapılır.

Şekil 2.14’de sadece kondansatör kullanılarak yapılan kompanzasyon tekniğinin tek hat şeması gösterilmiştir. Kondansatör grupları ile yapılan kompanzasyon tekniğinde kademeler RGKR ile devreye alınıp çıkarılmaktadır. Devreye girme ve çıkma süresi reaktif tüketime sebep olmakta ve her zaman tam bir kompanzasyon gerçekleşmemektedir [32]. Yaptığımız çalışma sonucu kademe sayısı azaltılmış ve gereksiz kondansatör kullanımını engellenmiştir.



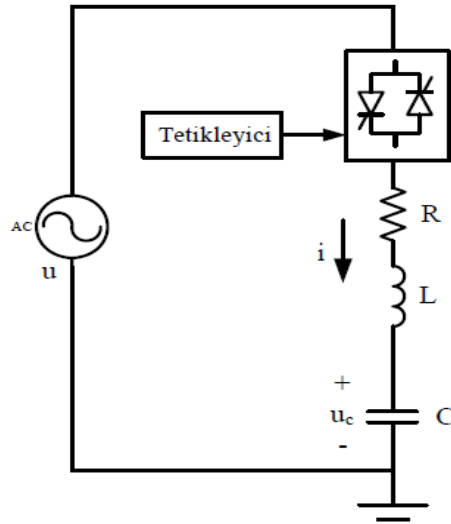
Şekil 2.14. Kondansatörle yapılan kompanzasyon [33].

Şekil 2.15’de harmonik filtre reaktörlü kompanzasyonun tek hat şeması verilmiştir. Harmonik filtreleri kondansatörlere seri bağlanmıştır. Harmoniğin yüksek olduğu tesislerde yapılması cihazların ömrünü uzatacaktır. Demir çelik üretim tesisleri harmonik üreten cihazların fazla olduğu işletmelerdir. Buralarda harmonik filtre reaktörü kullanmak bir zorunluluktur.



Şekil 2.15. Harmonik filtreli kompanzasyon tek hat şeması [33].

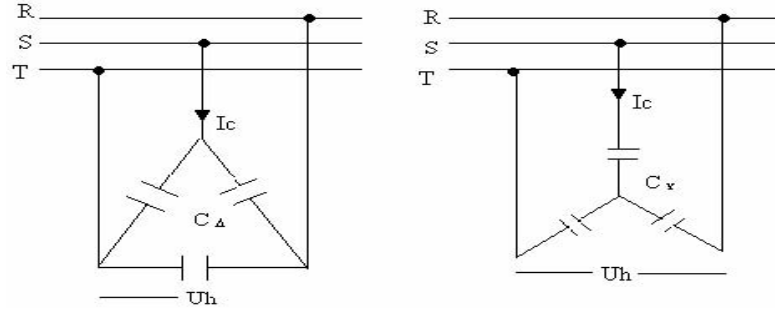
Şekil 2.16'da TSC (Tristör anahtarlamalı kapasitör) eşdeğer devresi verilmiştir. Kapasitör, tristör tetikleyicisine seri olarak bağlanmıştır. Tristör anahtarlamalı kapasitörler hızlı devreye girip çıkan yüklerde rahatlıkla kullanılabilir. Kondansatör deşarj süresi bekleme gibi bir durum söz konusu değildir. Şu anki en büyük dezavantajı maliyetinin yüksek olmasıdır.



Şekil 2.16. TSC eşdeğer devresi [34].

Kompanzasyon kondansatörü tek fazlı ise faz ve nötr klemensine bağlanır. Üç fazlılarda yıldız veya üçgen bağlantı yapılabilir. Bağlantıların nasıl yapıldığı Şekil 2.17'de verilmiştir. Yıldız bağlantıda faz – nötr gerilimi, üçgen bağlantıda faz – faz gerilimi uygulanır. Üçgen bağlantı daha ekonomik olduğundan yaygın olarak kullanılır. Çalışmadaki tek fazlı kondansatörlere faz – nötr bağlantısı yapılmış olup üç fazlı ise

üçgen bağlanmıştır. Bütün kondansatörlerin üzerinde deşarj direnci mevcuttur. Deşarj direnci kondansatörün boşalmasını kolaylaştırır. Ancak kondansatör uçlarına elle temas etmeden önce mutlaka uçlar kısa devre edilerek deşarj yapılmalıdır.



Şekil 2.17. Kondansatörün üçgen ve yıldız bağlantısı.

Denklem 2.11’de kondansatörün yıldız bağlanması anında her bir faz ile nötr arasındaki kapasite değeri verilmiştir. Denklem 2.12’de üçgen bağlanma anında fazlar arasında bağlanacak kapasite değeri verilmiştir. Kapasiteler arasındaki oran $C_y / C_ü = 3$ olarak bulunur.

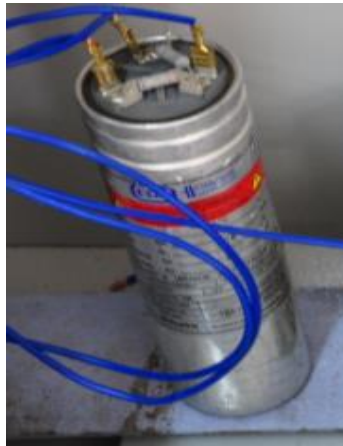
Yıldız bağlantıda kapasite değeri;

$$C_y = \frac{Qc}{2\pi fV^2} \text{ farad} \quad (2.11)$$

Üçgen bağlantıda kapasite değeri;

$$C_ü = \frac{Qc/3}{2\pi fV^2} \text{ farad} \quad (2.12)$$

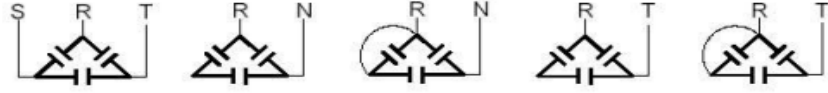
Şekil 2.18’de üç fazlı kondansatör ve yapılan bağlantısı görülmektedir. Üzerinde bulunan dirençler deşarj dirençleridir. Şekildeki kondansatör üçüncü kademe kondansatörüdür. Gücü 2,5 kVAR gerilimi 400 voltur.



Şekil 2.18. Kompanzasyon kondansatörü ve bağlantısı.

Üç fazlı kondansatörler tek fazlı olarak bağlanabilir. Ancak gücü bağlantı şekline göre belli oranda düşecektir. Çizelge 2.3’de bağlantı şekillerine göre güç oranları verilmiştir. Çizelgede de görüldüğü gibi faz-nötr bağlantısında kondansatör gücü 1/6’ya kadar düşmektedir.

Çizelge 2.3. Üç Fazlı Kondansatörün Tek Fazlı Bağlantısı.



KONDANSATÖR GÜÇLERİ	3 FAZ BAĞLANTI (Q/3)	FAZ-NÖTR BAĞLANTI (Q/6)	FAZ-NÖTR KÖPRÜLÜ BAĞLANTI (2*Q/9)	FAZ-FAZ BAĞLANTI (Q/4)	FAZ-FAZ KÖPRÜLÜ BAĞLANTI (Q/3)
0,5 KVAR	0,16 KVAR	0,08 KVAR	0,11 KVAR	0,12 KVAR	0,16 KVAR
1 KVAR	0,33 KVAR	0,16 KVAR	0,22 KVAR	0,25 KVAR	0,33 KVAR
1,5 KVAR	0,5 KVAR	0,25 KVAR	0,33 KVAR	0,37 KVAR	0,5 KVAR
2,5 KVAR	0,83 KVAR	0,41 KVAR	0,55 KVAR	0,62 KVAR	0,83 KVAR
5 KVAR	1,66 KVAR	0,83 KVAR	1,11 KVAR	1,25 KVAR	1,66 KVAR
7,5 KVAR	2,5 KVAR	1,25 KVAR	1,66 KVAR	1,87 KVAR	2,5 KVAR
10 KVAR	3,33 KVAR	1,66 KVAR	2,22 KVAR	2,5 KVAR	3,33 KVAR

Çalışmalarımızda kullandığımız kondansatör güçleri 0,25-5 kVAR arasında değişmektedir. Tek fazlılar 240 volt üç fazlılar 400 volt çalışma gerilimindedir. Kondansatör geriliminin uygulanan gerilimden fazla olmasına dikkat edilmelidir.

Çizelge 2.4’de bazı flüresan lamba tesisatlarına ait balastların güç katsayısı ve akım değerleri verilmiştir. Devremizde endüktif yük olarak balast kullanılmıştır. Balastlar endüktif bir yüküdür ve kompanze edilmesi amacıyla kondansatörler kullanılır. Çizelgede görüldüğü gibi balast gücü arttıkça güç katsayısı artmaktadır. Flüresan lambaların fazla olduğu tesislerde bir fazlı kondansatör kademelerine fazlaca ihtiyaç duyulur.

Çizelge 2.4. Floresan Armatürlerin Balastlarına ait $\cos\phi$ Değerleri.

Floresan Ampul	Balast	Akım (A)	$\cos\phi$
1 x 20 W	1 x 20 W	0.37	0.35
1 x 18 W	1 x 20 W	0.37	0.35
2 x 20 W	1 x 40 W	0.42	0.50
2 x 18 W	1 x 40 W	0.42	0.50
1 x 40 W	1 x 40 W	0.43	0.50
1 x 36 W	1 x 40 W	0.43	0.50
2 x 40 W	2 x 40 W	0.86	0.50
2 x 36 W	2 x 40 W	0.86	0.50

2.1.5. Akım Trafosu

Kompanzasyon işleminde değerlerin ölçülmesi önemli bir iştir. Ölçümün doğruluğu, yapılan işlemin daha etkili olmasını sağlayacaktır. Yüksek akımların ölçümü için büyük ampermetre ve benzeri ölçü aletlerine ihtiyaç duyulur. Devreden geçen akımın ölçümünü kolaylaştırmak için akım trafoları kullanılmaktadır. Akım trafosu iki sargıdan oluşur. Primerden geçen akımı belli oranda küçülterek sekonder sargıya verir. Akım trafolarının dönüştürme oranı yük akımlarına uygun seçilmelidir. Düşük akımlı yüklerde hassasiyetin oluşması için dönüştürme oranı küçük olmalıdır. Aksi halde ölçüm güçleşir ve RGKR kademeleri devreye almaz.

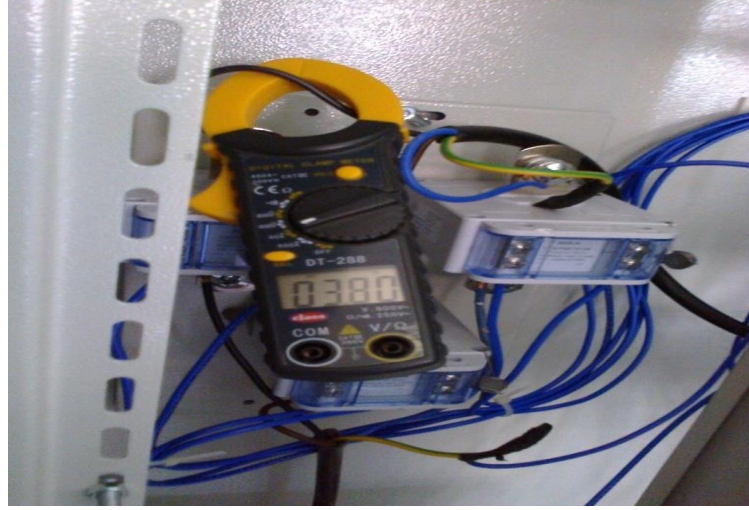
Yapılan çalışmalarda RGKR'nin devreden geçen akımı ölçmesi için üç adet akım trafosu kullanılmıştır. Akım trafolarının primer sargısı kalın kesitli az sarımlı, sekonder sargısı ince kesitli çok sarımlı olarak yapılır. Denklem 2.13'de primer sarım sayısı ve akımı ile sekonder sarım sayısı ve akımı arasındaki ilişki verilmiştir.

$$N_1 \times I_1 = N_2 \times I_2 \quad (2.13)$$

Şekil 2.19'da kullandığımız akım trafosu gösterilmiştir. Müdahale edilmemesi için mühürlenmiştir. Akım giriş alttan çıkışı üst taraftandır. Pens ampermetre akım değeri ölçmek amacıyla kullanılmıştır. Primer bölümü tek sargıdan oluşmaktadır. Örneğin primerinden geçen akım 50 A ise sekonder akımda 5 A ise

sekonder sarım sayısı;

$$N_1 \times I_1 = N_2 \times I_2 \quad \text{ise} \quad 1 \times 50 = N_2 \times 5 \quad \text{ise} \quad N_2 = 10 \text{ siper olarak bulunur.}$$



Şekil 2.19. Deneyde kullanılan akım trafosu.

Akım trafosu yapılışına göre; sargılı ve bara tipi olmak üzere iki çeşittir. Sargılı tipte primer kısım birkaç sarımdan oluşur. Sarımlar tek bir nüve üzerine sarılmıştır. Bara tipinde ise primer kısmı, faz iletkeni veya içinden geçirilen bakır bara oluşturur. Çalışmada kullanılan baralı tip akım trafosudur. Şekil 2.20’de farklı tiplerdeki akım trafoları verilmiştir.

Akım trafosu seçiminde şu hususlara dikkat edilmelidir;

- Sınıfı ve kullanma amacı
- Dönüştürme oranı ve çalışma gerilimi
- Tipi ve gücü, gibi değerlere dikkat edilmelidir.



Şekil 2.20. Akım trafosu modelleri.

Akım trafoları her faza ayrı olarak seri bağlanır. Sekonder uçları ise sayaca veya röleye bağlanır. Sekonder kısımdan alınan k-l uçları doğru şekilde bağlanmalıdır. Ters

bağlanırsa kademe yüklerinde bobini kondansatör, kondansatörde bobin gibi algılayabilir.

Akım trafosu montajında dikkat edilecek hususlar;

- Akım geliş yönüne göre k-l uçlarına
- Bakır baraya montajı yapılacaksa baraya sıkıştırma vidalarının sağlam olmasına
- Kullanılan iletkenlerin kesitinin uygunluğuna
- Primer sargıya bağlanan iletkenlerin sıkıca tutturulmasına dikkat edilmelidir.

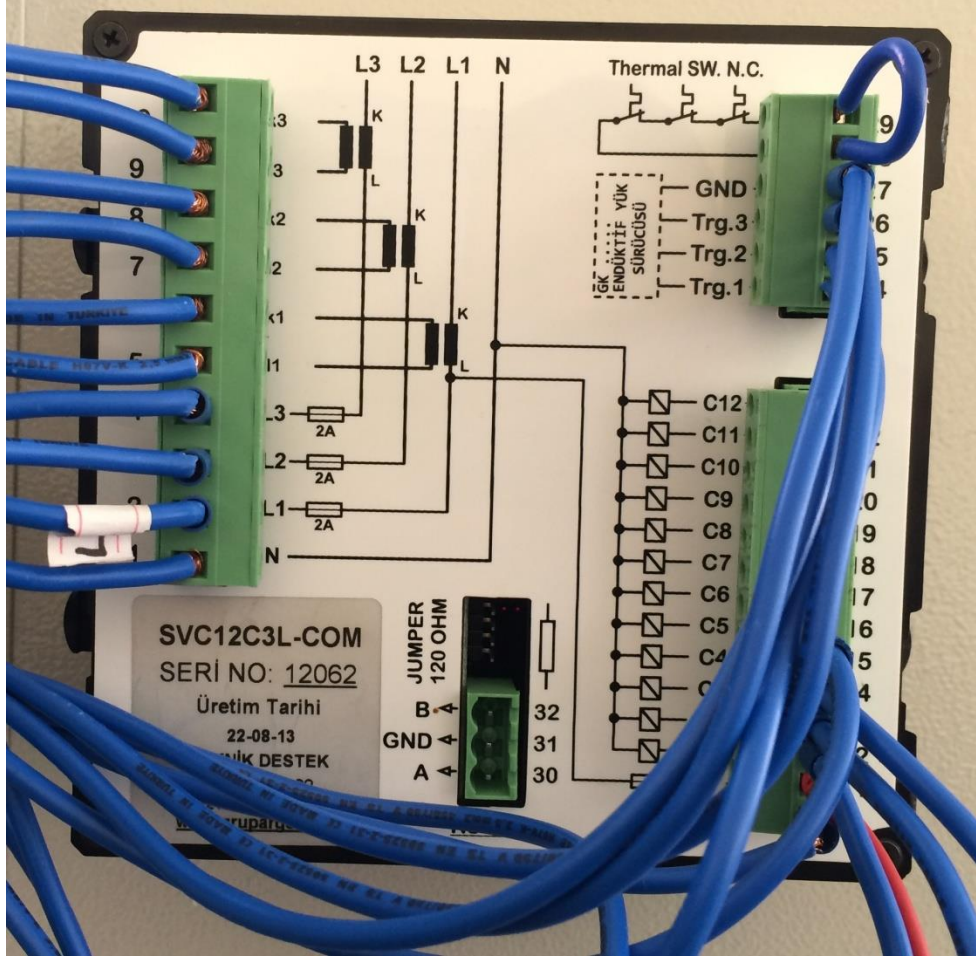
Ayrıca kombi sayaçların bağlantısında RGKR akım trafoları haricinde ayrıca akım trafosu kullanılır. Kompanzasyon tesislerinde iki çeşit kombi sayaç kullanılır bunlardan x5 olarak isimlendirilen sayaçlarda akım trafosu kullanılır. Akım trafosu kullanılan sayaçlarda faturalandırma işleminde çarpan kısmı bulunur. Çarpan değeri akım trafosunun dönüştürme oranıdır. Tüketim hesaplanırken sayaç değeri çarpan değeri ile çarpılarak gerçek tüketim bulunur.

2.1.6. Reaktif Güç Kontrol Rölesi

Reaktif güç kompanzasyonu yapılmaması durumunda iletim hatları gereksiz olarak reaktif akımla meşgul olacak, kapasite ve verim düşecektir [35]. Reaktif gücün tespiti ve azaltılması işlemini gerçekleştiren ana eleman RGKR (reaktif güç kontrol rölesi)'dir. Akım trafosu üzerinden şebekeden çekilen akımı, gücü ve gerilim değerlerini ölçerek anlık güç katsayısını hesaplar. Hedef güç katsayısına ulaşmak için gerekli kondansatörü devreye almak için ilgili kademe çıkışına faz vererek kontaktör bobinini enerjilendirir. Gerekli reaktif gücü karşılayacak kondansatörleri sıra ile devreye alır. İhtiyaç ortadan kalkarsa devre dışı bırakır.

Çalışma özellikleri nedeniyle RGKR sistemin ana elemanıdır. Günümüzde çok değişik özellikte RGKR üretilmektedir. Örneğin, banka ve hastanelerde UPS gibi kapasitif yük bulunan tüketim yerlerinde mutlaka şönt reaktör kullanılmalıdır. Aksi halde tesis kapasitif yükten reaktif tüketimi artacağı için ceza ödemek durumunda kalabilir. Seçilecek RGKR tesise uygun nitelikte seçilmelidir. Yüklerin dengeli olduğu bir yerde tek faz ölçümlü röle yeterliyken, dengesiz olan yerlerde mutlaka üç faz için ölçüm yapabilen röleler tercih edilmelidir.

Hızlı devreye girip çıkan yüklerin (asansör, kaynak makinesi gibi) bulunduğu sistemlerde tristör sürücüsü bağlanabilen RGKR kullanılmalıdır. Şekil 2.21’de reaktif güç kontrol röle bağlantı şekli verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi akım trafosunun sekonder uçları, üç faz besleme bağlantısı, kademe ve sürücü bağlantıları yapılmıştır. Kısa devre edilen klemens, şönt reaktörlerin termik klemensidir.



Şekil 2.21. Reaktif güç kontrol rölesi bağlantısı.

RGKR seçiminde dikkat edilecek hususlar;

- Kademe sayısı
- Uzaktan erişime imkan vermesi
- Jeneratör bağlantısının olup olmadığı
- Şönt reaktör bağlantısı ve sürücü sürme özelliği gibi sıralanabilir.

Çalışmalarımızda iki ayrı RGKR kullanılmıştır. Bunlardan biri on iki kademeli ve üç kademedeki şönt reaktör sürücüsü bağlanabilme özelliğine sahip. İnternet üzerinden takibe olanak veren çıkışı bulunan bir röledir. Diğeri ise on sekiz kademeli ancak şönt

reaktör sürücü bağlanamıyor. Şönt reaktörler bir kontaktör üzerinden herhangi bir kademeye bağlanabilir. Bilgisayar bağlantısı, jeneratör çıkışları bulunmaktadır.

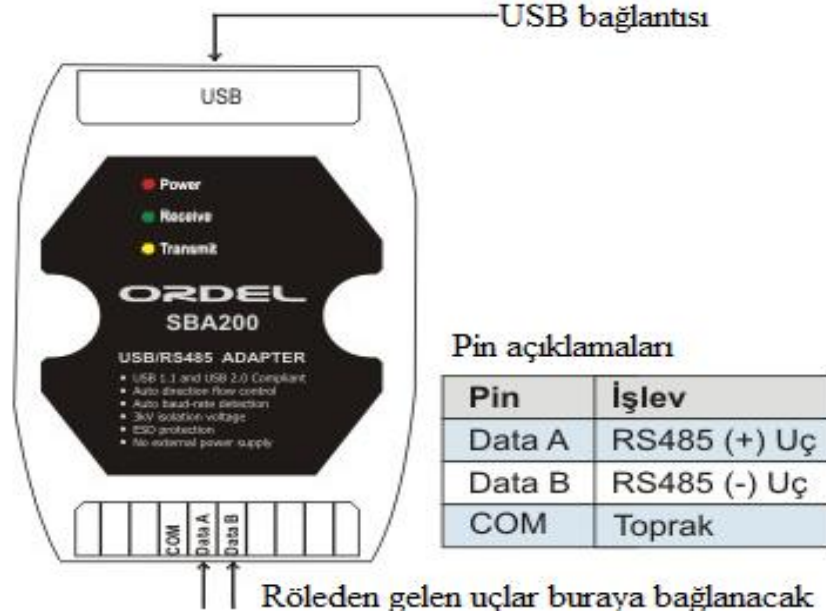
Devreye bağlantı anında bazı ayarların yapılması gerekiyor. Bazı tip rölelerde c/k oranı, akım trafosu oranı, hedef güç katsayısı, devreye girme çıkma süresi gibi değerler kullanıcı tarafından girilmelidir. Günümüzde bazı röleler akım trafosu oranı girildiğinde c/k oranını kendisi hesaplamaktadır. Kademe güçlerini röle kendisi otomatik olarak tanımaktadır. Eğer röle herhangi bir kademedeki gücü algılayamazsa değer ve özelliği elle kullanıcı tarafından girilebilir. Kademe devreye alma, bırakma ve kondansatör deşarj süreleri elle girilir. Akım yönleri ölçümü yapılabilmesi için ikinci röleden yeterli kadar akım çekilmesi gerekir. Eğer akım yeterli olmazsa ölçüm gerçekleşmez.

Şekil 2.22’de verilen röle ikinci çalışmada güç katsayısı, akım ve gerilim gibi ölçümler için kullanılmıştır. RGKR bağlantısında en çok dikkat edilmesi gereken olay akım trafosu polaritelerinin doğru bağlanmasıdır. Eğer ters bağlanırsa kademe tanıma ve kompanzasyon için devreye alma işlemi gerçekleşmez. Bu nedenle akım trafosu akım geliş ve çıkış yönlerine göre polaritelere dikkat edilmelidir. Dönüştürme oranı mutlaka röleye girilmelidir. Şekildeki RGKR görsellik açısından günümüzde kullanılan en iyi röleler arasındadır. Rölenin kademe göstergelerinin bulunduğu kısımda kademelerin endüktif veya kapasitif olması durumuna göre farklı renklerle gösterilmektedir. Kademelerdeki çizgi sayısı faz sayısını belirtmektedir. Bilgisayarla bağlantısı Modbus/RTU protokolü ile gerçekleştirilmektedir. Bağlantı için RS485 sinyallerinin usb sinyaline dönüştürülmesini sağlayan adaptör kullanılmıştır.



Şekil 2.22. Çalışmada kullanılan reaktif güç rölesi.

Şekil 2.23’de kullanılan adaptörün şekli verilmiştir. RGKR üzerinde bulunan Data A, data B ve GND uçları kordonlu bir kablo ile adaptöre bağlanmıştır. Diğer tarafa bağlanan usb kablosu bilgisayara bağlanarak bağlantı gerçekleştirilmiştir. Üzerinde bulunan ledler çalışma ve veri alışverişini göstermektedir. Bağlantı yapılırken bağlantı hızı, port numarası ve cihaz no gibi değerler doğru girilmelidir.



Şekil 2.23. RS485/USB dönüştürücü adaptör.

2.1.7. Şönt Reaktör

Tüketicilere izin verilen aktif-reaktif yüzde oranlar giderek düşmekte ve kapasitif yükler yaygınlaşmaktadır [36]. Eskiden yapılan kompanzasyon panolarında grupların sadece kondansatörlerden oluşturulması yeterli oluyordu. Ancak günümüzde kapasitif karakterli yüklerin fazlaca kullanılması EYR (endüktif yük reaktörü)’nün kademeye eklenmesini zorunlu kılmıştır. Pano hazırlanırken ilk kademelere kondansatör, son kademelere de EYR bağlanmaktadır. Önceden yapılmış tesislerde ise reaktörlerin eklenmesi ve rölenin uygun bir röle ile değiştirilmesi yeterli olabilir. EYR kullanmak, sistemde kapasitif yük varsa gereklidir. Aksi halde maliyeti arttırmanın ötesine geçmez.

Kapasitif yük oluşturan sistemleri şu şekilde sıralayabiliriz;

- Uzun enerji kabloları ile beslenen alıcılar (baz istasyonları gibi)
- Enerji iletim ve dağıtım hatlarında oluşan kapasiteler
- Yapısında kondansatör gibi devre elemanı bulunduran UPS

Günümüzde EYR kapasitif yükleri kompanze etmenin yanında test sistemlerinde de kullanılabilir. Yapılan birinci çalışmada üç kademe olarak, kapasitif yükleri kompanze etmek için, ikinci uygulamada ise yük olarak EYR kullanılmıştır. Kullanılan EYR bir fazlı, 1 kVAR gücünde ve 230 V çalışma gerilimine sahiptir. Bir fazlı daha fazla güçlü ve üç fazlı çeşitleri vardır. Tesisin ihtiyaçları iyi analiz edilerek uygun olan EYR seçilmesi faydalı olacaktır.

Şekil 2.24’de çalışmada kullanılan EYR ve sürücü verilmiştir. Tek fazlı olan reaktörler 1 kVAR gücündedir. Siyah olan klemens faz-nötr, beyaz olan klemens ise termik bağlantısı için kullanılır. Bağlantı yapılırken her reaktörden faz iletkeni sürücüye ilgili klemense bağlanmıştır. Diğer uçlar birleştirilerek nötr barasına bağlanmıştır. Sürücüye bağlanan faz sigortaları 16 amper değerindedir. Pano içerisinde yer kaplaması ve fazla ağır olması dezavantajlarıdır.



Şekil 2.24. Şönt reaktörler ve sürücü.

Şönt reaktörler uygulamalarda kontaktör üzerinden herhangi bir kademeye direkt olarak bağlanabileceği gibi bir sürücü üzerinden de bağlanabilir. Kontaktör üzerinden bağlandığı zaman gücü kadar endüktif reaktif akımı sisteme veren reaktörler, sürücü ile bağlandığında ihtiyaç kadar reaktif enerji vermektedir. Sürücü ile birlikte kullanıldığında üç adet reaktör bir sürücü ile devreye bağlanabilir. Ancak sürücü gücü, toplam reaktör gücünden fazla olmasına dikkat edilmelidir. Şekil 2.25’de ilk

çalışmamızda kullanılan sürücü şekli verilmiştir. Gücü 5 KVAR olan sürücüye üç adet 1 KVAR'lık reaktörler bağlanmıştır.



Şekil 2.25. Şönt reaktör sürücüsü.

Sürücü bağlantısını yapmak için üç adet 16 amperlik sigortadan besleme verilmiştir. Sürücü üzerindeki trafo çıkışları reaktörlere bağlanmıştır. Reaktörlerdeki nötr uçları köprülenerek nötr barasına bağlanmıştır. Reaktörler RGKR tarafından tanındığında değerler eksi olarak görünür. Sürücünün diğer trafo uçları röleye ilgili klemense bağlanır. Akım trafosu uçları ters bağlanırsa değerler pozitif olarak görülür. Yapılan sistemde böyle bir sorun varsa uçlar kontrol edilmelidir. Bağlanan reaktör sırasına dikkat edilmelidir. Kullandığımız EYR ve sürücüsü üzerinde aşırı ısınma durumunda reaktörü devre dışı bırakacak termik bağlantısı vardır. Çalışmada termik bağlanmadığından röledeki ilgili klemens uçları kısa devre edilmiştir. (**Bkz.** Şekil 2.21)

Şönt reaktör bir bobindir. Saf kapasitif devrelerde akım gerilimden 90° ilerde iken, saf endüktif devrelerde akım gerilimden 90° geridedir. Zaten kompanzasyonun temelinde bir birine zıt olan bu akımların dengelenmesi amaçlanmaktadır. Zira reaktif yükü ortaya çıkaran akım gerilim arasındaki faz farkıdır. Nasıl ki endüktif yüklerin reaktif güç ihtiyacını kondansatörle karşılıyorsak, kapasitif yüklerin ihtiyacını da reaktörle karşılamak bir ihtiyaçtır.

2.2. DENEYSEL YÖNTEM

Bu bölümde, yapılan tez çalışmasında kurulan iki uygulamanın tasarımları detaylı olarak verilecektir. Öncelikle kontaktör anahtarlama SVC sistem daha sonra üç adet varyaklı, servo motorlu sistem ele alınacaktır.

2.2.1. Kontaktör Anahtarlama SVC Sistem

Ülkemizde reaktif güç kompanzasyonu çözümünde genellikle kontaktörlü yalın kondansatör grupları kullanılmaktadır. Bu sistemler ekonomik ve kolay olması nedeniyle tercih edilmektedir [33]. Günümüzde yaygın olarak kontaktör anahtarlama kondansatörler kullanılmaktadır. Kademeler RGKR ile devreye alınıp çıkarılmaktadır. Çalışmamızın ilkinde beş kademe kontaktör ile devreye giren kondansatör ve tristör sürücüsü ile devreye giren üç adet şönt reaktör kullanılmıştır. Üç adet akım trafosu (50/5 oranında) RGKR'nin ölçüm yapması amacıyla kullanılmıştır. Röle grup arge firmasına ait smart SVC 12C3L-COM modelidir. Röle, şönt reaktörlerin sürücü ile bağlanmasına olanak sağladığı için tercih edilmiştir. Bağlantılar için 2,5mm² bakır NYAF kablo kullanılmıştır. Kabloların bağlantısında kablo pabucu tercih edilmiştir. Akım yüksek olmadığından bara kullanılmamıştır. Pano içerisinde kablo geçişleri kapaklı kanallarla sağlanmıştır. Sigortalar ve kontaktörler ray üzerine monte edilmiştir. Kullanılan pano sac malzemeden ve üç kısımdan oluşmaktadır. İlk üç kademe üç fazlı, diğer iki kademe tek fazlı kondansatörden oluşmaktadır.

Şekil 2.26'da SVC tekniğinin açık devre şeması verilmiştir. Her fazın akım ölçümü için seri olarak bağlanan akım trafoları kullanılmıştır. Nötr hatları birleştirilerek ana nötr barasına bağlanmıştır. Akım trafoları mühürlüdür. Pano ana enerji beslemesi için 4x4 mm² antigron kablo kullanılmıştır. RGKR'ne fazlar, sırası ile bağlanmıştır. Röle üzerinde kademelerin bulunduğu karta ve diğer fazlar için 2 amperlik otomatik sigorta kullanılmıştır. Röle fazlarının, akım trafosundan sonra bağlanmasına dikkat edilmiştir. Bağlantılar yapılırken kabloları kodlama yapılması kolaylık sağlamıştır. RGKR bağlantı şekli arkasında bulunmaktadır. Bağlantı iletkenlerinin mümkün olduğunda kısa tutulmasına özen gösterilmiştir. Bunun nedeni gerilim düşümünü en aza indirmek ve cihazların korunmasını sağlamaktır.

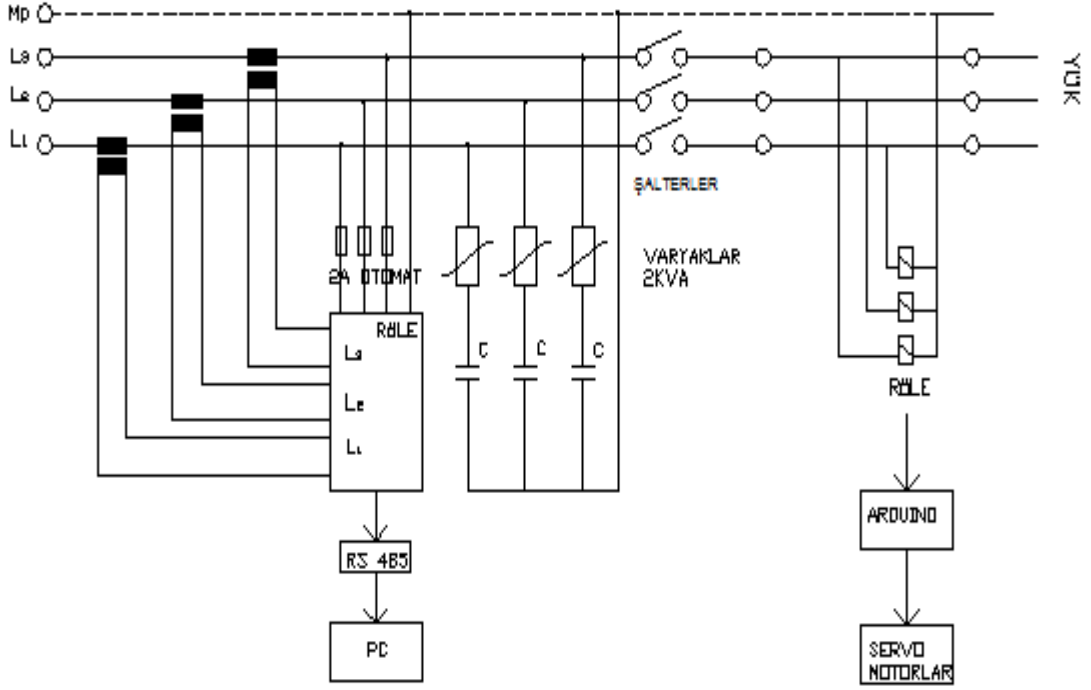
kompanzasyon sonuçları bulgular ve tartışma kısmında verilmiştir. Çalışma ile SVC sistemin özelliklerinin ortaya konulması ve yapacağımız ikinci çalışma ile farklarını daha net bir şekilde ortaya koymak amaçlanmıştır.

2.2.2. Servo Motorlu Varyak Kontrollü Sistem

Günümüzde yeni kurulan işletmelerde reaktif güç kompanzasyonu, işletme yükleri göz önünde bulundurularak eksiksiz yapılmaktadır. Ancak en büyük sorunlardan biri işletme yüklerde değişiklik yapmasına rağmen kompanzasyonda değişiklik yapma gereği hissetmemesidir. Ne zaman ki bir faturada cezai duruma düşerse ondan sonra değişiklik gündeme geliyor. Bu nedenle kompanzasyonda sistem bütünü ile ele alınmalı ve sürekli takip edilmelidir. Bu uygulamamızda farklı bir teknik olan servo motorlu varyak kontrolü ile kompanzasyon yapılmıştır.

Yapılan literatür taramasında da açıklandığı gibi varyak kontrolü ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada dc motor ve pic kullanılmıştır. Tek faz için ölçüm ve kompanzasyon yapılmıştır. Çalışmamızda üç faz için ayrı ayrı servo motorla kontrolü yapılan varyaklar kullanılmıştır. Çalışmanın devre şeması şekil 2.27'de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi üç akım trafolu bir RGKR ile ölçüm yapılmıştır. Röle USB/RS485 dönüştürücü adaptör ile bilgisayara bağlanmıştır. Bağlantı kael firmasının yazılımı ile gerçekleştirilmiştir [37].

Kademe kondansatör güçleri 0,5-1-5 kVAR'dır. Varyaklar 2 KVA gücündedir. Kullanılan kondansatörler tek fazlı olduğundan sigortalar tek fazlı 10-16 A değerindedir. Yüklere paralel bağlanan röleler 220 V AC bobinli rölelerdir. Rölelerin, kapalı kontaklarından bir tanesi arduino unoya bağlanmıştır. Yük olarak birinci fazda tek balast, ikinci fazda iki balast ve üçüncü fazda 1 kVAR'lık şönt reaktör bağlanmıştır. Ayrıca fazlardan birine, bir projektör bağlanarak ölçüm yapılmış ve elde edilen değerler karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.27. Varyak kontrollü kompanzasyon.

Şekil 2.28’de kullanılan röleler gösterilmiştir. Üç faz için ayrı ayrı röle kullanılmıştır. Röleler 220 V çalışma bobinli, açık ve kapalı kontakları bulunan anahtarlama elemanıdır. Her bir yüke paralel olarak bağlanmıştır. Rölelerin nötr bağlantıları birleştirilerek nötr barasına bağlanmıştır.



Şekil 2.28. Varyak tekniğinde kullanılan röleler.

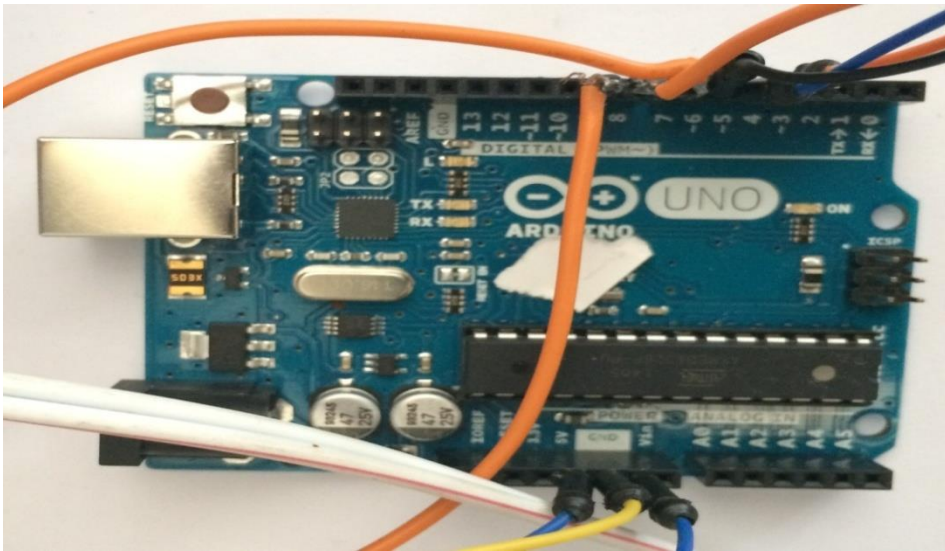
Bu uygulamamız diğerlerinden birçok farklılık içermektedir. Temelde çalışılan konu kondansatörden farklı reaktif akımlar alınması üzerine olmuştur. Bunu gerçekleştirebilmek için kondansatör giriş gerilimini ayarlamak amacıyla varyak

kullanılmıştır. Varyak mili servo motorla döndürülmüştür. Şekil 2.29'da bağlantı parçası verilmiştir. Servo motorun miline dişli bir plastik parça takılarak, ara bağlantı parçasıyla varyak miline tutturulmuştur.



Şekil 2.29. Servo motor varyak mili bağlantı parçası.

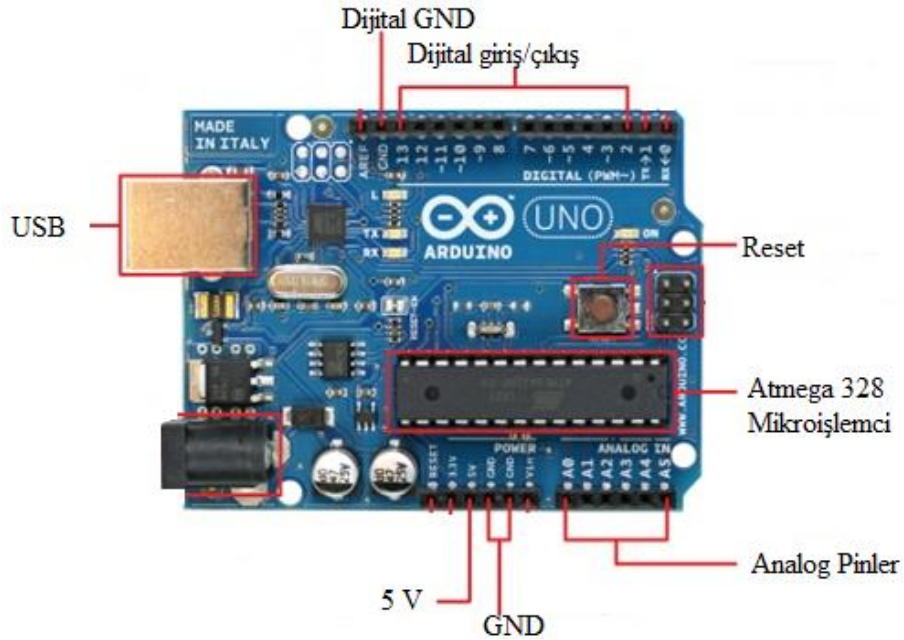
Şekil 2.30'da çalışmada kullanılan arduino uno verilmiştir. Giriş ve çıkış pinlerinden, 4-5-6 nolu pinler giriş, 7-8-9 nolu pinler çıkış için kullanılmıştır. Röleden gelen uçlar girişe bağlanmıştır. Çıkış pinleri servo motorlara sinyal girişi olarak verilmiştir. Arduinonun beslemesi, ayrı bir kaynaktan 5 volt olarak bağlanmıştır. Turuncu renkli kablolar sinyal içindir. Servo motoru döndürecek yazılım arduino programında yazılarak mikroişlemciye yüklenmiştir.



Şekil 2.30. Çalışmada kullanılan arduino ve bağlantıları.

2.2.3. Arduino Uno

Mikroişlemciler, bilgisayarda hazırlanan yazılımların yüklenmesi ile elektronik devrelerde istenilen çalışmaların yaptırılmasında bizlere kolaylık sunmaktadır. Arduino da Atmel mikroişlemcisini kullanan bir devre kartıdır. Birçok çeşidi bulunmaktadır. Bunlar arasında giriş çıkış pin sayısı, hafıza ve ek bağlantı noktaları gibi farklılıklar bulunmaktadır. Çalışmamızda kullandığımız arduino unoya ait bağlantı noktaları şekil 2.31’de verilmiştir.

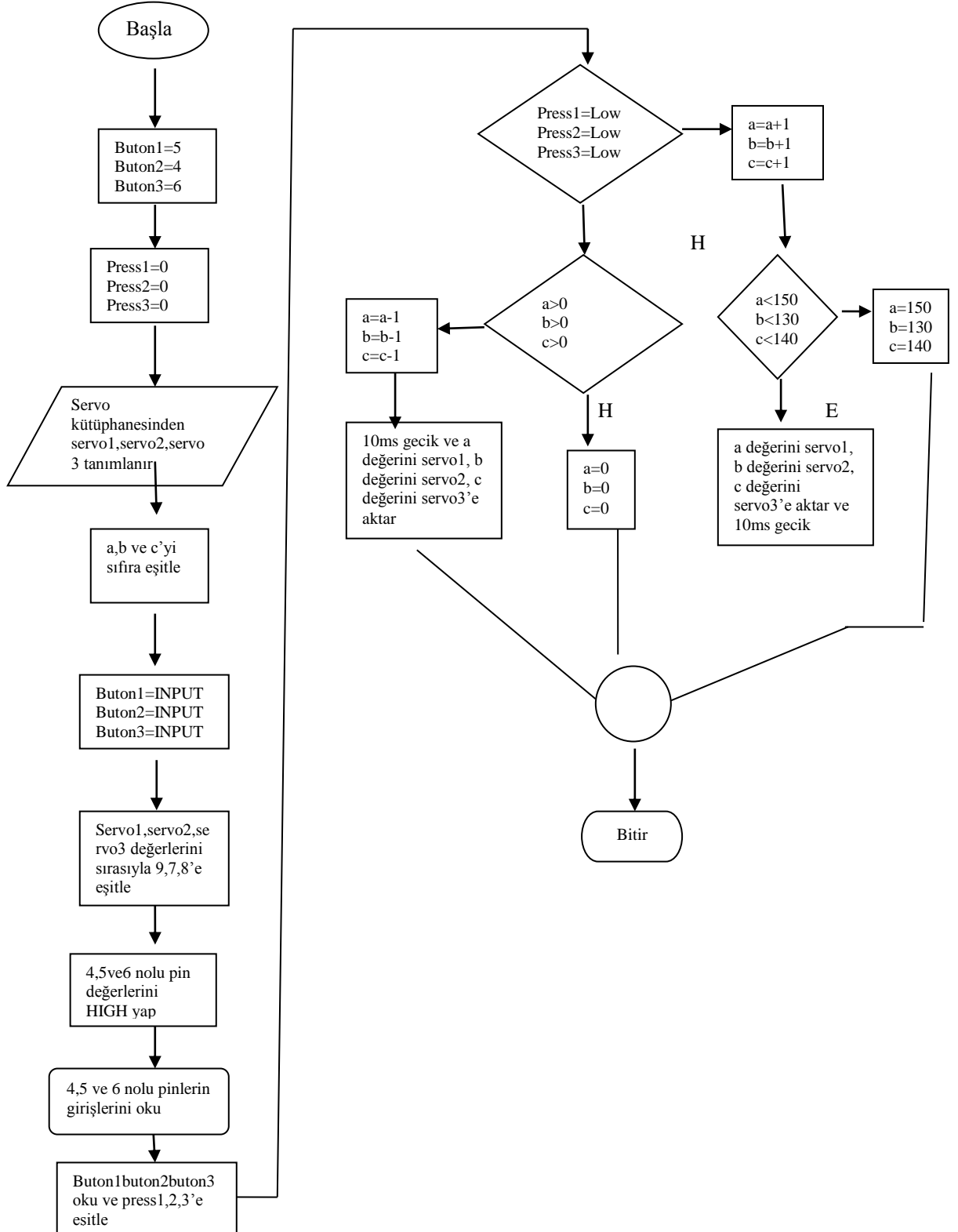


Şekil 2.31. Arduino uno bağlantı noktaları.

Özellikleri; denetleyici atmega 328, çalışma gerilimi 5 volt, dijital giriş çıkış pin sayısı 14(6’sı PWM), analog giriş pin sayısı 6’dır. Arduino programı bilgisayara yüklendikten sonra program, ilgili ara yüzde hazırlanarak aynı yerde derlenebilir. USB bağlantısı yapıldıktan sonra bağlantı noktası seçilerek yükleme yapılabilir. Arduino bilgisayarın usb portundan beslenebileceği gibi harici olarakta beslenebilir. Burada çalıştırılacak devrenin çekeceği akım göz önünde bulundurulmalıdır. Eğer yük akımı, usb portunun verebileceği akımdan fazla ise ilgili port çıkışı yanabilir. Çalışmamızda servo motorların çekeceği akım göz önünde bulundurularak harici besleme yapılmıştır.

Yapılan çalışmada arduinoya besleme, 5 volt ve GND pinlerinden verilmiştir. Dijital pinlerden 7-8-9 nolu pinler servo motorun sinyal uçları, 4-5-6 nolu pinler ise röle girişleri olarak kullanılmıştır. Rölelerin kapalı kontağının, diğer uçları birleştirilerek GND noktasına bağlanmıştır.

Şekil 2.32’de hazırlanan yazılımın akış algoritması verilmiştir. Önce tanımlamalar yapılmıştır. Pinlerin atamaları yapıldıktan sonra hangi pinden sinyal gelirse o pinin bağlı bulunduğu servo motor belirtilen açı kadar döndürülmüştür. Üç servo motorun döngüleri ortak olarak verilmiştir.



Şekil 2.32. Hazırlanan programın akış algoritması.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez çalışmasında reaktif güç kompanzasyonu için iki devre tasarlanmıştır. Devrelerde farklı yükler kullanılmış ve güç katsayısının durumu ve reaktif güç takibi yapılmıştır. Çalışmalarda elde edilen değerler, ayrı ayrı verilmiştir. Her iki çalışmada da reaktif güç kompanzasyonu yapılmıştır. SVC tekniğinde güç katsayısı ve şebekeden çekilen akım değeri, varyak kontrol tekniğinde reaktif güç ve şebekeden çekilen akım değerleri ölçülmüştür.

SVC tekniğinde elde edilen sonuçlar;

SVC tekniğinde, trafo testi ve kademe tanımları yapılarak gerekli ayarlar RGKR'ne girilmiştir. RGKR'nin akım düşük uyarısı karşısında ilk kademe kondansatörleri üç fazlı yapılmıştır. Şönt reaktörler ölçülürken değerlerin önünde eksi işareti olduğuna dikkat edilmelidir. Ayrıca fazların sırasındaki terslikler, yer değiştirilerek giderilmiştir. Yükler sırası ile devreye alınarak aşağıdaki ölçümler elde edilmiştir.

Şekil 3.1'de L2 fazının 1 kVAR'lık reaktörle yüklendiği durumdaki güç katsayıları verilmiştir. Yüklenen fazın güç katsayısı 0,07'ye kadar düşmüştür. Yük indüktif olduğundan indüktif ledi yanmakta ve kademe kondansatörlerinden devrede olan yoktur.



Şekil 3.1. L2 fazının yüklendiği durum.

Şekil 3.2'de L2 fazının yüklendiği andaki akım değeri verilmiştir. L2 fazından 4,8 amper akım çekilirken diğer fazların akımı sıfırdır. Aynı yük ikinci uygulamada 4,9 amper akım çekmiştir. Değerin aynı olduğu söylenebilir.



Şekil 3.2. Yüklenen L2 fazından çekilen akım değeri.

Şekil 3.3'de L2 fazının kompanse edildiği durum verilmiştir. İkinci kademe ve dördüncü kademe kondansatörleri devreye girmiştir. Fazlarda oluşan farklılıklar, şönt reaktörlerle kompanse edilerek tüm fazların güç katsayısı yükseltilmiştir. Reaktörler farklı oranlarda devreye girmiştir.



Şekil 3.3. L2 fazının kompanse edildiği durum.

Şekil 3.4'de L2 fazının kompanse edildiği andaki akım değerleri verilmiştir. Tüm fazlarda yük bulunduğu için akım değerleri birbirine ve denge durumuna yakındır. Şekilde görüldüğü gibi ikinci fazın şebekeden çektiği akım 4,8 amperden 0,9 ampere kadar düşürülmüştür. Yük akımı değişmemiştir. Aradaki fark kompanzasyon kademelerinden sağlanmaktadır. Ölçümler şebekeden çekilen akım değerleridir.



Şekil 3.4. L2 fazının kompanzasyon anındaki akım değeri.

Şekil 3.5’de L1 fazına yük olarak 250 VAR’lık bir kapasitör bağlanmıştır. Fazın güç katsayısı 0,28’e düşmüştür. Diğer fazların güç katsayısı birdir. Kapasitif yük olduğu için RGKR’nin kapasitif ledi yanmaktadır.



Şekil 3.5. L1 fazının yüklendiği durum.

Şekil 3.6’da L1 fazının yüklendiği andaki akım değeri verilmiştir. 250 VAR’lık kapasitör 220 voltta 1,1 amper akım çekmektedir. Diğer fazların akım değeri sıfırdır. Ölçülen değer şebekeden çekilen yük akımıdır. Sistemde kompanzasyon olmadığından akımın tamamı şebekeden çekilmektedir.



Şekil 3.6. L1 fazının yüklendiği andaki akım değeri.

Şekil 3.7’de L1 fazının kompanzasyon anındaki güç katsayıları verilmiştir. İlgili fazın güç katsayısı 0,95’e yükselmiştir. Kompanzasyon için şönt reaktörler devrede olduğundan hiçbir kondansatör kademesi devrede değildir.



Şekil 3.7. L1 fazının kompanze edildiği durum.

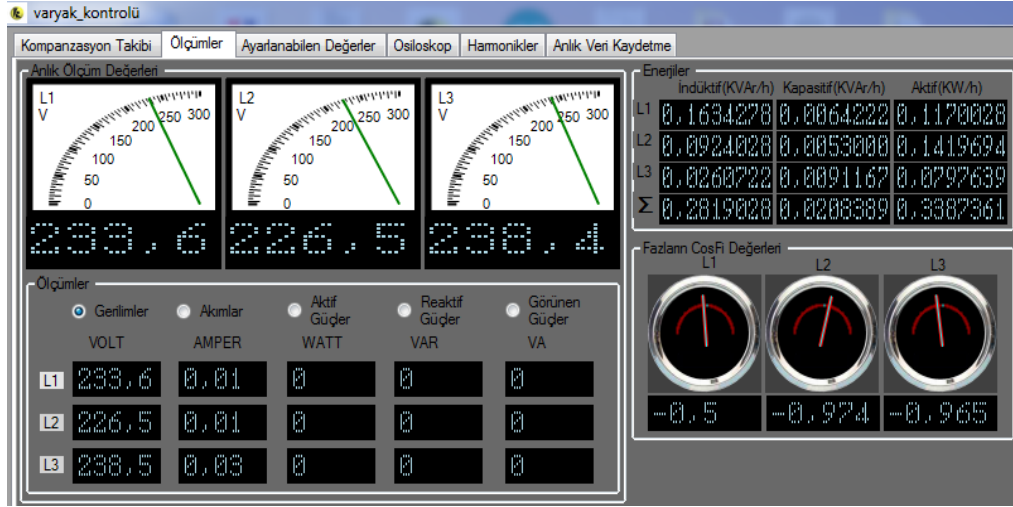
Şekil 3.8’de L1 fazının kompanze edildiği andaki akım değerleri verilmiştir. İlgili fazın akımı 0,6 ampere düşürülmüştür. Ölçülen değer şebekeden çekilen akımdır.



Şekil 3.8. L1 fazının kompanze edildiği andaki akım değeri.

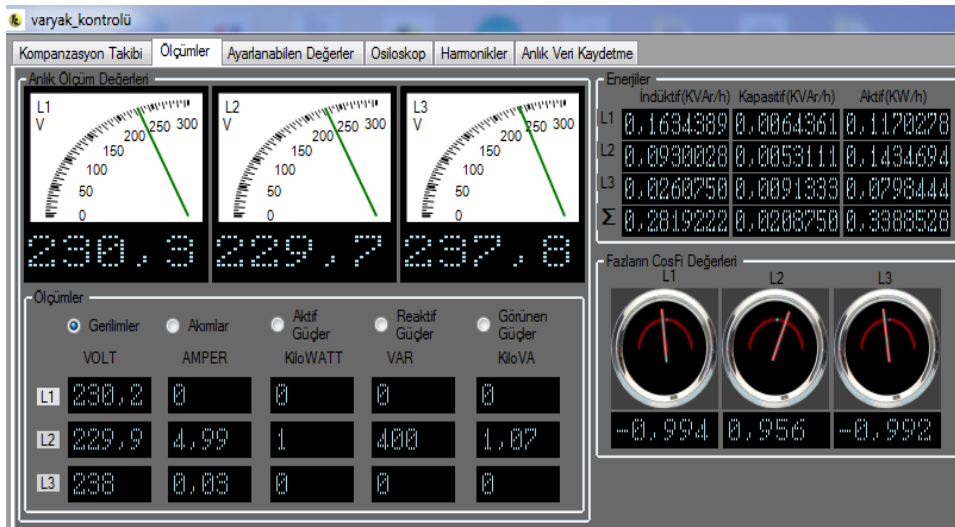
Varyak kontrol tekniğinde elde edilen ölçümler;

Şekil 3.9’da tüm fazların güçleri sıfırdır. Hiçbir yük devrede değildir. Yükler sırası ile devreye alınarak fazların kompanzasyonlu ve kompanzasyonsuz durumları analiz edilecektir.



Şekil 3.9. Yüklerin devrede olmadığı durum.

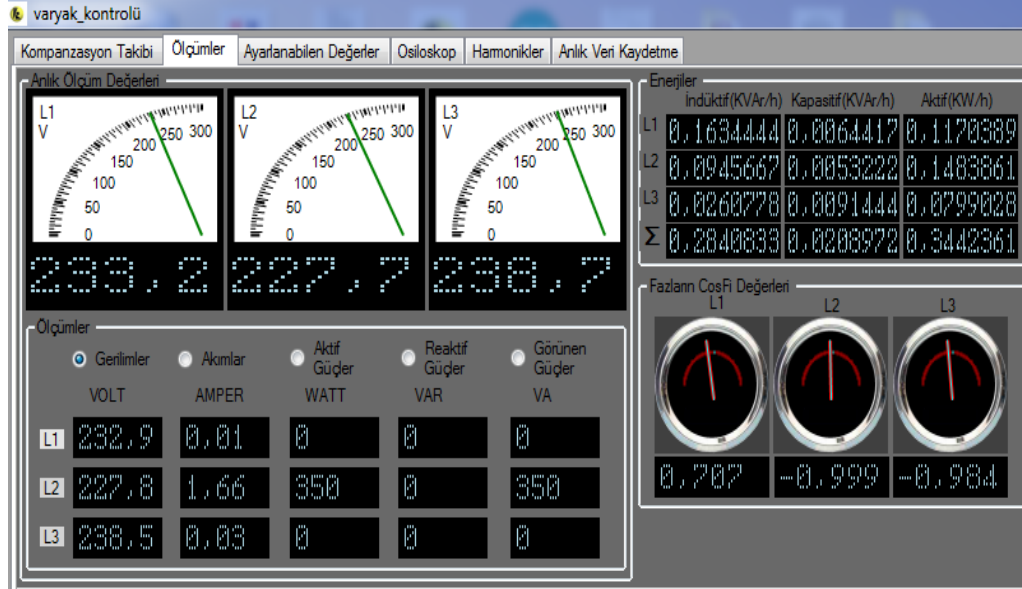
Şekil 3.10’da L2 fazının yüklendiği andaki güç değerleri verilmiştir. Reaktif güç 400 VAR değerindedir. Çekilen akım 4,99 amper gerilim 229,9 voltuttur. İlgili fazın yükü 1 kVAR’lık bir şönt reaktördür. Diğer fazlarda herhangi bir yük devrede olmadığından değerler sıfırdır.



Şekil 3.10. L2 fazının kompanzasyonsuz güçleri.

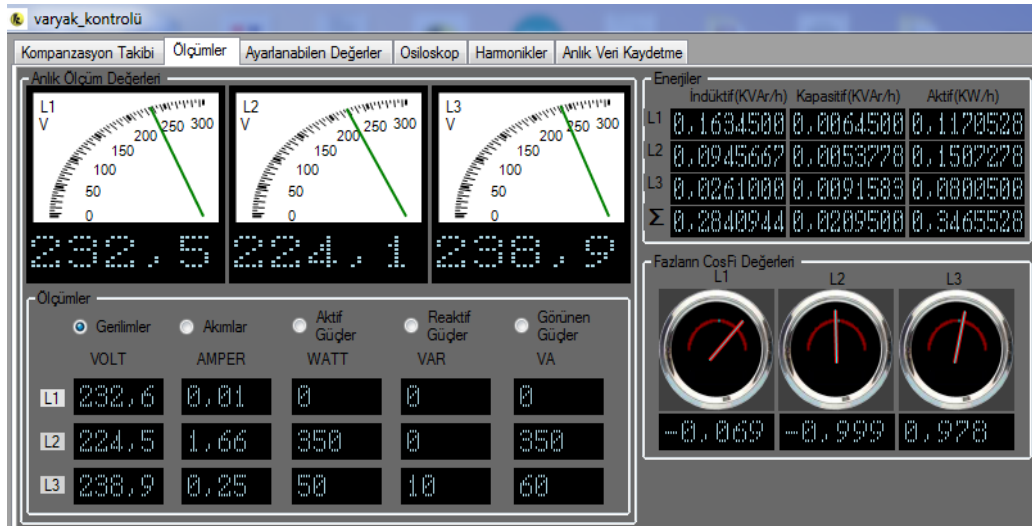
Şekil 3.11’de L2 fazının varyak kontrolü ile kompanze edilmesi sonucu elde edilen değerler verilmiştir. Elde edilen değerlerden de görüldüğü gibi reaktif güç sıfırlanmıştır.

Güç katsayısı bire yükseltilmiştir. Şebekeden çekilen akım 1,66 ampere düşürülmüştür. Görünür güç aktif güce eşitlenmiştir. Sisteme bağlanan tek fazlı kondansatör gücü 5 kVAR'dır. Şönt reaktörün akımı değiştirilmeden şebekeden çekilen akım azaltılmıştır. Varyak çıkış gerilimi 113 voltur. Yük devreye girdiği anda servo motor arduinodan aldığı aç bilgisi kadar döndürülmüştür. Buradaki dönüş süresi bir kontaktör ile devreye alınacak kondansatör süresinden daha kısadır.



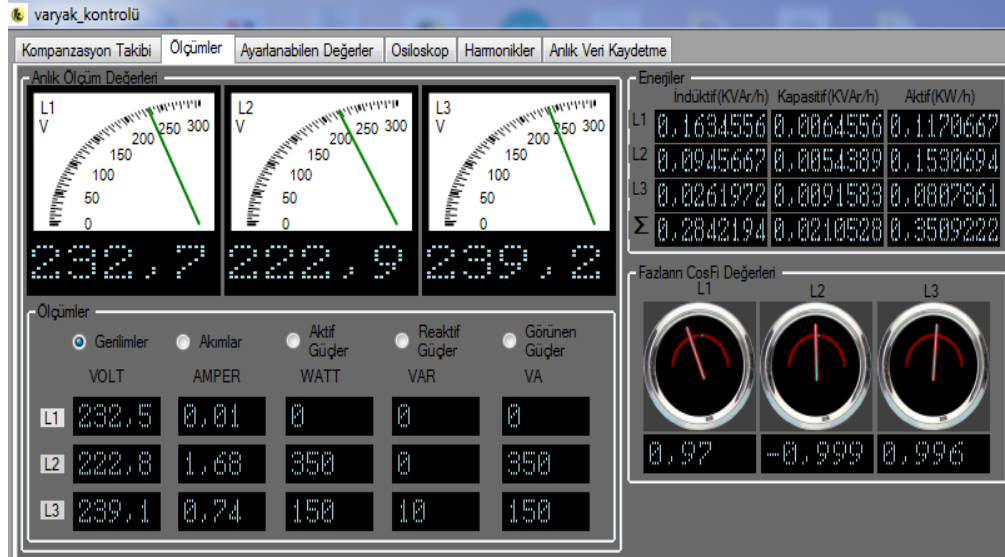
Şekil 3.11. L2 fazının kompanse edilmiş güçleri.

Şekil 3.12'de L3 fazının yüklendiği ve kompanse edilmemiş durum verilmiştir. Tek balast bağlı bulunan fazda 10 VAR'lık bir reaktif akım bulunmaktadır. Yük akımı 0,25 amperdir.



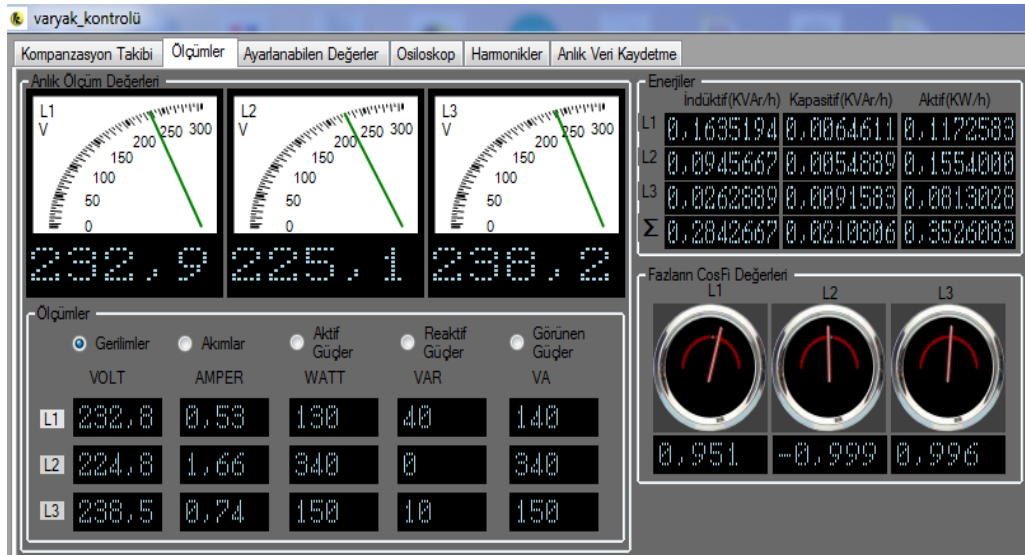
Şekil 3.12. L3 fazının kompanse edilmemiş güçleri.

Şekil 3.13’de L3 fazının kompanzasyonlu durumu verilmiştir. Aktif güç varyağında etkisiyle 150 W olmuştur. L3 fazında tek balast bulunmaktadır. Reaktif güç varyak çıkış geriliminin etkisiyle 10 VAR’dır. Şebekeden çekilen akımın arttığı görülmektedir. Bunun nedeni varyaktır. Yükün akımı değiştirilmemiştir. İlerleyen bölümde yapılan yük değişikliğinde projektör takılıyken ve şönt reaktör durumunda şebekeden çekilen akımın azaldığı görülmektedir.



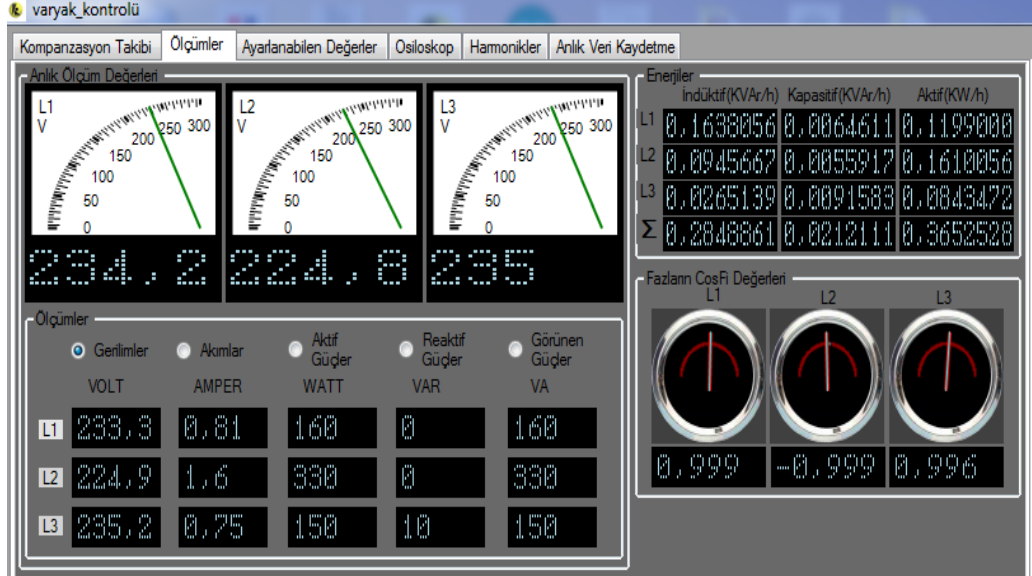
Şekil 3.13. L3 fazının kompanzasyonlu güçleri.

Şekil 3.14’de L1 fazının yükünün devreye alındığı andaki güç ve akım durumları görülmektedir. İki balastın bağlı bulunduğu L1 fazında, 40 VAR’lık bir reaktif güç bulunmaktadır.



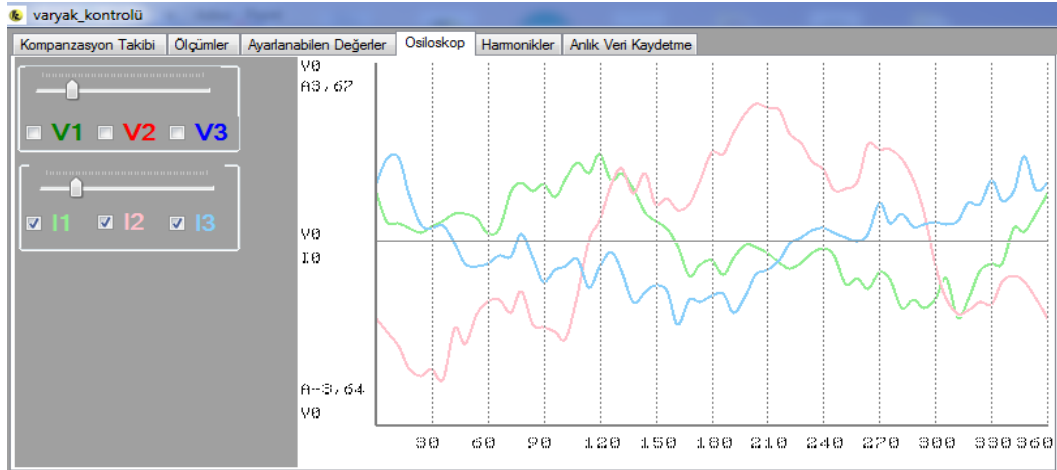
Şekil 3.14. L1 fazının kompanzasyonsuz güçleri.

Şekil 3.15’de L1 fazının kompanzasyonlu durumu görülmektedir. Reaktif güç sıfırlanmıştır. Aktif güçteki artış varyaktan kaynaklanmaktadır. Görünür güç aktif güce eşitlenmiştir.



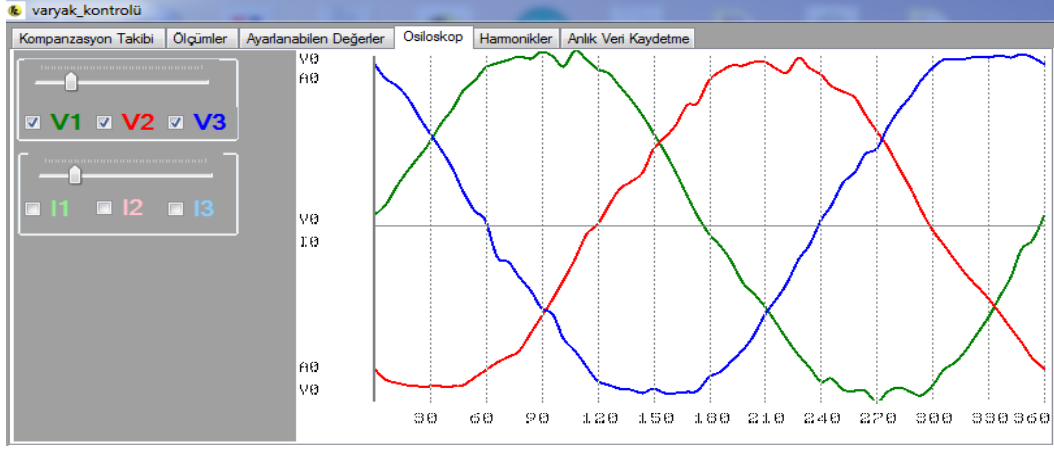
Şekil 3.15. L1 fazının kompanzasyonlu güçleri.

Şekil 3.16’da üç faza ait akım grafikleri verilmiştir. Akım eğrileri farklı renklere sahiptir. En yüksek akımı gücü en fazla olan şönt reaktör çekmektedir.



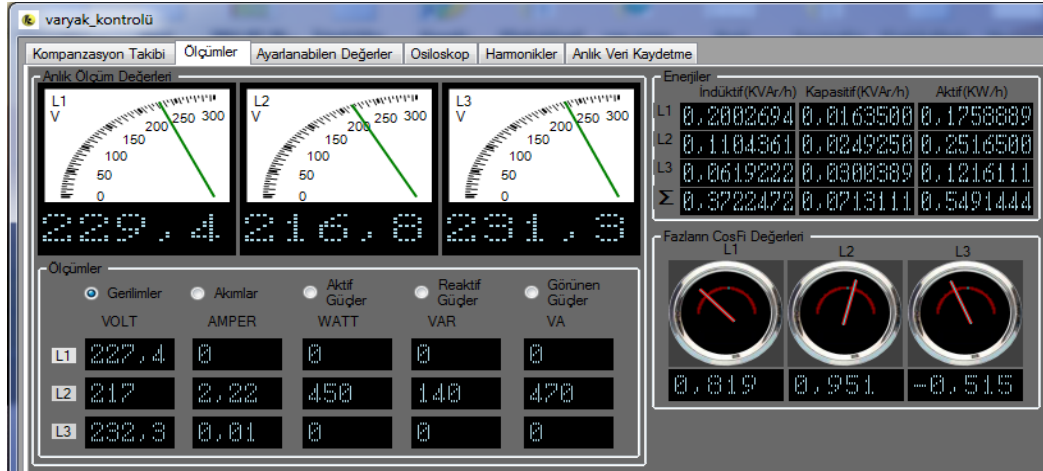
Şekil 3.16. Üç faza ait akım grafikleri.

Şekil 3.17’de üç fazın gerilim eğrileri verilmiştir. Fazlar arasında 120° fark olduğu eğrilerden görülmektedir. Gerilimler birbirine yakın değerdedir.



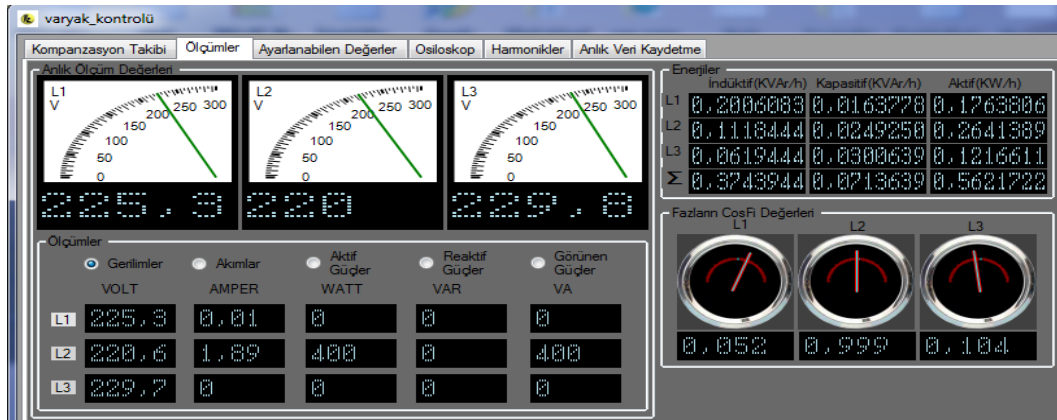
Şekil 3.17. Üç faza ait gerilim grafikleri.

Şekil 3.18’de L2 fazına 300 W gücünde bir projektör lambası bağlanmıştır. İçerisindeki 150 W balastın etkisiyle 140 VAR’lık reaktif güç bulunmaktadır.



Şekil 3.18. L2 fazına farklı bir yük bağlantısı.

Şekil 3.19’da L2 fazına 1 kVAR’lık kondansatör bağlı iken varyak döndürülerek reaktif güç sıfırlanmıştır. Şebekeden çekilen akımın düştüğü görülmektedir.



Şekil 3.19. L2 Fazının farklı yükte kompanzasyonu.

Çizelge 3.1’de SVC tekniğinde alınan değerler verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi yük devreye alındığında düşen güç katsayısı bire yaklaştırılarak yükseltilmiştir. Şebekeden çekilen akım kompanzasyon ile azaltılmıştır.

Çizelge 3.1. SVC Tekniğinde Alınan Değerler.

Yük	Güç (VAR)	Komp. yok Güç katsayısı	Komp. var Güç katsayısı	Komp. yok şebekeden çekilen akım (A)	Komp. var şebekeden çekilen akım (A)
Kapasitör	250	0,28	0,95	1,1	0,6
Şönt Reaktör	1000	0,07	0,91	4,8	0,9

Çizelge 3.2’de varyak kontrollü teknikte alınan değerler verilmiştir. Çok düşük güçlü yüklerde şebekeden çekilen akım varyak etkisiyle 0,25 amper yükselmiştir. Projektör lamba ve şönt reaktörün bağlandığı anlarda şebekeden çekilen akım azaltılmış ve reaktif güçler tamamen sıfırlanmıştır. Güç katsayısı 0,98-1 arasında değişmektedir. Varyakların reaktif gücü de bağlanan kondansatörden karşılanmaktadır.

Çizelge 3.2. Varyak Kontrol Tekniğinde Alınan Değerler.

Yük	Güç (W)	Komp. yok Reaktif güç (VAR)	Komp. var Reaktif güç (VAR)	Komp. yok şebekeden çekilen akım (A)	Komp. var şebekeden çekilen akım (A)
Projektör lamba	450	140	0	2,22	1,89
Şönt Reaktör	1000	400	0	4,99	1,66

Uygulanan SVC teknikte çekilen akım daha iyi düşürülmüştür. Aradaki fark varyak etkisinden kaynaklanmaktadır. Ancak SVC tekniği beş, varyak kontrol tekniği ise tek kademe kondansatörü kullanıldığı göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca fazların dengeli duruma gelmesi için ilk uygulamada tristör sürücülü olarak devreye alınan şönt reaktör grubu bulunmaktadır.

Çizelge 3.3’de kondansatörün devreye alınma teknikleri kıyaslanarak verilmiştir. Sistemin ihtiyacı göz önüne alınarak en uygun teknik seçilebilir. Hızlı anahtarlama istenilen yerlerde tristör anahtarlama, diğerlerinde varyak tekniğinin uygun olacağı düşünülmektedir.

Çizelge 3.3. Kondansatörlerin Devreye Alınma Tekniklerinin Kıyaslanması [39].

Özellik	Kontaktör Anahtarlama Kondansatör	Tristör Anahtarlama Kondansatör	Varyak Kontrollü Kondansatör
Maliyet	Kademe sayısına bağlı olarak yüksek	Kademe sayısına bağlı olarak çok yüksek	Diğer uygulamalara göre daha uygun
Yer Kaplama	Normal	Tristörler küçük ancak kademe sayısı nedeniyle kondansatörler fazla yer kaplar	Varyak boyutu, yüksek ancak kademeler düşünüldüğünde diğerlerinden fazla değil
Kademe Sayısı	6-12	6-12	
Gürültü	Kontaktör girişinde kısa süreli	Düşük seviyede	Servo motordan kısa süreli ses geliyor.
Risk	Yapışık kalma ve sürekli reaktif akım verme riski var		Yapışık kalma gibi bir durum yok, Ancak karbon fırçanın zamanla aşınması söz konusu
Devreye girme Süresi	Birkaç saniye	Çok hızlı milisaniye	Tristörden yavaş kontaktörden hızlı

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada tasarlanan iki kompanzasyon tekniği için sonuçlar ve öneriler ayrı ayrı ele alınacaktır. Uygulamalarda yükler devreye alınarak güç katsayısının durumu gözlemlenmiştir.

İlk olarak kurulan merkezi SVC kompanzasyon sisteminde bir faza 250 VAR'lık kapasitör, diğer faza 1 kVAR'lık reaktör bağlanmıştır. Yükler tek fazlıdır. Buna göre çalışmada elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıdaki gibidir.

- Akım trafosu oranı kullanıcı tarafından doğru girilmelidir.
- Akım trafosu uçları akım geliş yönüne göre dikkatli bağlanmalıdır.
- Yük akımları düşük olan tesislerde dönüştürme oranı düşük olan akım trafosu seçilmelidir.
- Tristör sürücüsü bağlanan RGKR'nde termik klemensi varsa ve termik bağlanmazsa kısa devre edilmelidir.
- Devreye alınan yükün değerine en yakın kademe kondansatörü devreye alınmakta ancak yetersiz kalırsa diğer kademelerden uygun olanı devreye girmektedir.
- Kademe devreye girdikten sonra kademe sigortası atarsa röle kademeyi devre dışı bırakmıyor ve kontaktör sürekli çekili kalıyor.
- Kapasitif bir yük devreye girdiği anda sürücü şönt reaktörleri eşit oranda devreye alarak güç katsayısını yükseltmiştir.
- Endüktif yük devreye girdikten belli bir süre sonra kapasitör veya kapasitörler devreye alınmaktadır. Geçen süre reaktif tüketime neden olmaktadır. Fazları dengelemek için şönt reaktörlerde devreye girmektedir.
- Hızlı devreye girip çıkan yüklerin bulunduğu tesislerde SVC sistem yapılması önerilir.
- Tesiste kapasitif karakterli yükler varsa, kompanzasyon bölümünde mutlaka şönt reaktör kademesi bulunmalıdır.
- Kompanzasyon kondansatörleri elle temas etmeden önce mutlaka uçları kısa devre edilmelidir.
- Yükün şebekeden çektiği akım kompanzasyon durumunda azaltılmıştır.

Varyak tekniğinde yük olarak balast, projektör lamba ve şönt reaktör kullanılmıştır. Yükler tek fazlıdır ve farklı fazlara bağlanmıştır.

Varyak kontrollü kompanzasyon tekniği neticesinde;

- Kondansatörler varyaklar ile devreye alınabilir.
- Kondansatöre uygulanan gerilim değiştirilerek, farklı değerlerde reaktif akımlar elde edilebilir.
- Varyaklar, bobin etkisi göstererek reaktif akım çeker. Ancak ilgili varyağa bağlanan kondansatör bu reaktif akımı da karşılayabilir.
- Varyak kontrollü kondansatör, beklemeden devreye rahatlıkla girip çıkabilir.
- Varyak milleri servo motorlar ile döndürülmüştür.
- Varyak ile yapılan kompanzasyonda reaktif güçler sıfıra kadar düşürülmüştür.
- Varyak giriş gerilimindeki değişimler çıkış gerilimini etkilemez.
- Varyak çıkış geriliminin değişmemesi kondansatörün ömrünü uzatabilir.
- Dengesiz endüktif yüklerin bulunduğu tesislerde varyak tekniği rahatlıkla kullanılabilir.
- Varyak sargılarına basan karbon fırçanın aşınmaya karşı kontrolü gerekmektedir.
- Varyaklarda, kontaktörlerdeki yapışık kalma riski yoktur.
- Varyak tekniği kullanılarak kademe sayısı azaltılmıştır.
- Varyak boyutları büyük olsa da kademe sayısı azalacağından pano boyutlarını düşürebilir.
- Varyak tekniğinde RGKR'ne gerek kalmaz. Bir multimetre kullanılarak değerler takip edilebilir.
- Anlık akım ve gerilim değerleri ölçülerek varyak tekniği farklı tüm endüktif yükler için kullanılabilir duruma getirilebilir.
- Kademe sayısının azaltılması maliyetleri düşürmektedir.
- Varyak tekniği ile bir kapasitörden farklı reaktif güçler elde edilmiştir.

5. KAYNAKLAR

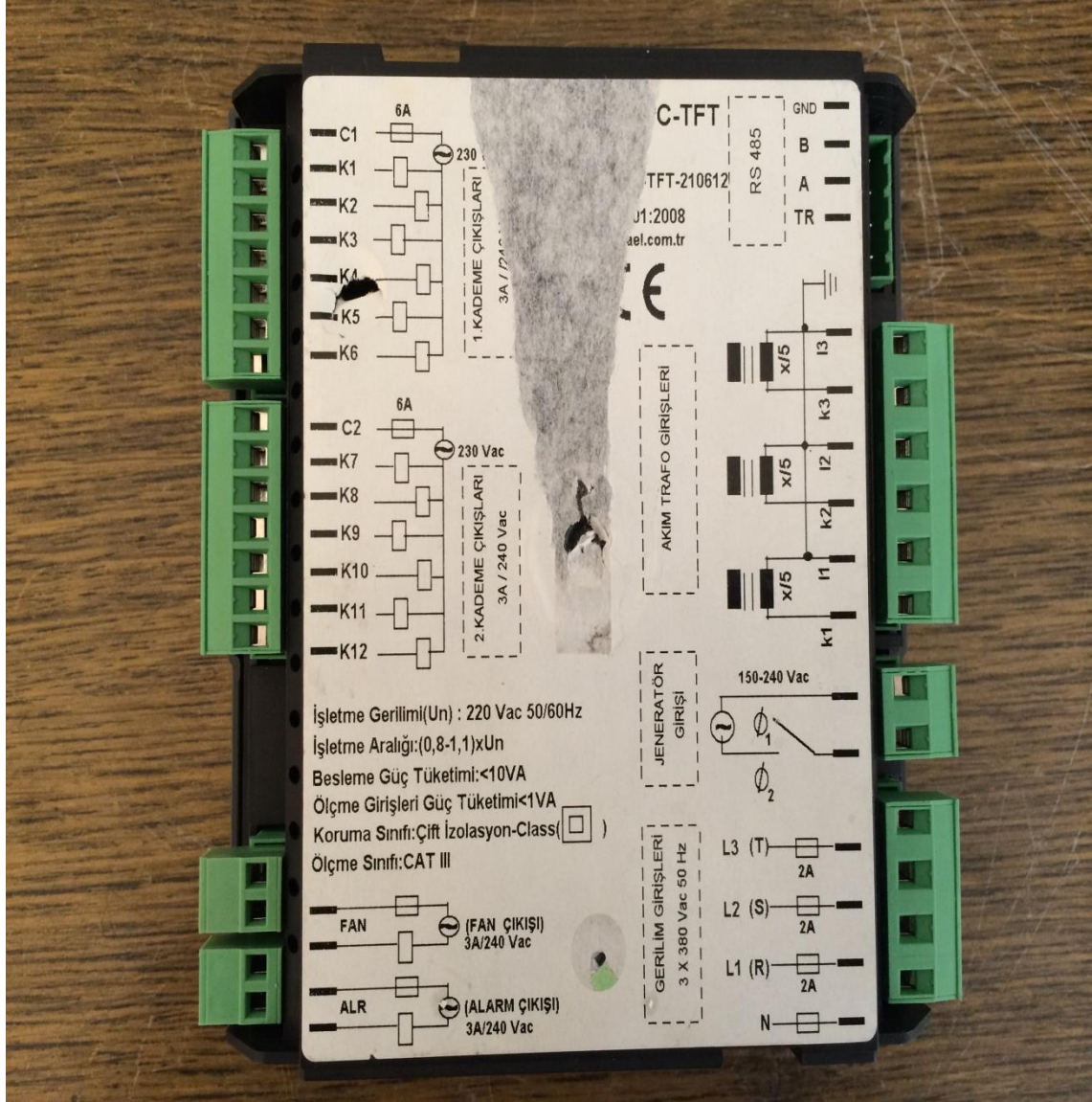
- [1] Rüstemli S., Ateş M., PIC kullanılarak güç katsayısı ölçüm devresi tasarımı ve simülasyon, EMO.
- [2] Tosun S., Öztürk A., Yalçın M. A., Döşoğlu K., Güvenç U., Güç sisteminde SVC ve STATCOM denetleyici etkilerinin incelenmesi, In *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, (2011) (287-292).
- [3] Erken F., Orta gerilim şebekelerinde reaktif güç kompanzasyonu analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Dicle Üniversitesi, (2001).
- [4] Vural O., Alçak gerilim tesislerinde reaktif güç kompanzasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Dicle Üniversitesi, (2003).
- [5] Pekparlak Ü., Statik reaktif güç kompanzasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, (2004).
- [6] Özenir K., Mikrodenetleyici ile kompanzasyon uygulaması, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi, (2004).
- [7] Kocabaş E., Reaktif güç kompanzasyonu ve simülasyonu, *Yüksek lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi, (2006).
- [8] Demirkol Ö., Harmonik içeren ve dengesiz şebekelerde ölçme ve kompanzasyon, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, (2006).
- [9] Özsüreççi O., Filtreli dinamik kompanzasyon, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, (2008).
- [10] Bilki F., PLC kontrollü reaktif güç kompanzasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi üniversitesi, (2008).
- [11] Engin B., Elektrik dağıtım sistemlerinde kompanzasyon ve enerji kalitesi sorunları, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, (2008).
- [12] Sesveren Ö., Yapay sinir ağları temelli reaktif güç kompanzasyonu eğitim seti tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, (2008).
- [13] Bostancı A., Statik var kompanzasyon sistemi tasarımı ve uygulaması, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, (2008).
- [14] Görgün A., Yapay sinir ağları denetimli senkron motor ile reaktif güç kompanzasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, (2009).
- [15] Çiçek M., Varyak kontrolü ile kompanzasyon tekniği, *Yüksek Lisans Tezi*, Mustafa Kemal Üniversitesi, (2010).

- [16] Tan A., Akım kaynaklı çevirgece dayalı endüksiyon fırını için güç kalitesi kompanzasyon sistemlerinin modellenmesi ve analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, (2011).
- [17] Mutlu H.H., DSP tabanlı paralel aktif güç filtresi ile harmonik ve reaktif güç kompanzasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, (2011).
- [18] Yoldaş A.M., Orta gerilim dağıtım sistemlerinde reaktif güç kompanzasyon tekniklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, (2011).
- [19] Özer Gülşen F., Nonlineer yüklü sistemde filtreleme ve güç kompanzasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, (2011).
- [20] Uçar F., Paralel aktif güç filtresi kullanarak harmonik ve reaktif güç kompanzasyonu yapılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, (2012).
- [21] Vadi S., Senkron motor ile reaktif güç kompanzasyonu benzetimi için web tabanlı bir eğitim aracı, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, (2014).
- [22] Gencer Ö., Yörükeren N., Malkoç A., Kartal H., Orta gerilim tristörlü kompanzasyon sistemi tasarımı ve uygulaması.
- [23] Çolak İ., Kaplan O., Bayındır R., Kundakoğlu H., Reaktif güç kompanzasyonu uygulamalarının eğitim amaçlı benzetimi, *Simulation of the Reactive Power Compensation Applications for Educational Purpose*.
- [24] Çolak İ., Bayındır R. Güç katsayısının bir mikrodenetleyici kullanarak ölçümü, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(1-2), (2003) 50-58.
- [25] Çolak İ., Bayındır R., Klasik yol verme metotlarının denetleyici yardımıyla gerçekleştirilmesi, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(1), (2005) 10-18.
- [26] Beykent C, Çakır Ç, Altay İ, Analog servo motor devresi tasarımı ve simülasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- [27] Işık Fatih M., Coşkun İ., Mikrodenetleyici tabanlı servo sistem denetimi.
- [28] Hancı O., Servo motorlar ve örnek bir uygulama tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi, (2007).
- [29] Anonim, <http://www.robotshop.com/Standart-Servo-Motor-Metal-Disli-MG-995,PR-1718.html> (Erişim Tarihi: 24.05.2014)
- [30] Arifoğlu U, *Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi*, Alfa Bas. Dağ., İstanbul, (2002).

- [31] Şekkeli M, Hassas bir reaktif güç kompanzasyonu için gerekli güçlerin hesabında temel bileşenlerin kullanılması, KSU, *Journal of Science and Engineering* 9.2 (2006) 66-70.
- [32] Kıyan M, Kayabaşı M, Alçak gerilim reaktif güç kompanzasyon sistemlerinin deneysel karşılaştırılması, EMO.
- [33] Bayındır R., Demirbaş Ş., Sesveren Ö., Reaktif güç kompanzasyonu için zeki bir simülatör tasarımı ve gerçekleştirilmesi, *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, (2008) 23(3).
- [34] Gelen A., Yalçınöz T., Tristör anahtarlamalı kapasitör (TSC) ve tristör anahtarlamalı reaktör-tabanlı statik VAR kompanzator'ün (TSR-Tabanlı SVC) PI İle kontrolü. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, (2009) 24(2).
- [35] Şekkeli M., Tarkan N., Reaktif güç kontrol rölesinde minimum anahtarlama sayısı ve optimal reaktif güç seçimi, *ITÜDERGİSİ/d*, (2010) 4(6).
- [36] Vardar T, Yıldırım F, Çam E, Yeni nesil kompanzasyon sistemi SVC, TMMOB EMO Ankara Şubesi, Haber Bülteni, (2011)/4.
- [37] Anonim, <http://www.kael.com.tr/download.asp> (Erişim Tarihi: 14.01.2014)
- [38] Anonim, http://arduino.cc/en/uploads/Main/Arduino_Uno_Rev3schematic.pdf (Erişim Tarihi: 25.05.2014)
- [39] Özmen Ö., Öztürk A., Alcan Y., Varyak kontrollü reaktif güç kompanzasyonu uygulaması, ISITES (2014), 2nd *International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, Karabük Üniversitesi.

6. EKLER

EK-1. KAEL RGKR BAĞLANTI ŞEMASI



EK-2. SERVO MOTOR KONTROL YAZILIMI VE AÇIKLAMASI

```
#include<Servo.h> // Kütüphaneyi programa çağır
int button1 = 5; // Sayı olarak tanımlamaları yap
int button2 = 4;
int button3 = 6;
int press1 = 0;
int press2 = 0;
int press3 = 0;
int aktif=0;
Servo servo1; // servo olarak tanımlamaları yap
Servo servo2;
Servo servo3;
int a =30;
int b=20;
int c=0;
void setup()
{
pinMode(button1, INPUT); // pinmode fksiyonuna button1 değerini ve input giriş
pinMode(button2, INPUT); // değerini yolla
pinMode(button3, INPUT);
servo1.attach(8); // servonun attach (giriş) değerlerini belirle
servo2.attach(7);
servo3.attach(9);
digitalWrite(4, HIGH) // dijital write fonksiyonuna değerler yolla
digitalWrite(5, HIGH) // 4-5-6 nolu bacaklar high yapar
digitalWrite(6, HIGH)
}
void loop() // sürekli çalışmasını sağlayan fonksiyona kodları yaz
{
press1 = digitalRead(button1); // dijitalread fonksiyonuna button1 değerini gönderip
gelen değeri press1'e eşitle
birinci();
press2 = digitalRead(button2);
```

ikinci()); // programa birinci ikinci üçüncü fonksiyonlarını oluşturduk bu fonksiyonlara hangi butona basılırsa devreye girecek

```
press3 = digitalRead(button3);
```

```
ucuncu();
```

```
}
```

```
void birinci()
```

```
{
```

```
  if (press1 == LOW) // press1 butonu çalışınca alttaki komutlar çalışır
```

```
  { a++; // a++ yapmamızın amacı servoyu birer birer arttırmaktır
```

```
  if(a<170)
```

```
  {
```

```
    servo1.write(a);
```

```
  delay(10); // 10 ms gecikme ile birlikte 170° olana kadar servoya verileri yazdır
```

```
  }
```

```
  else{
```

```
  a=170; // servoyu sabitle
```

```
  }
```

```
}
```

```
if (press1 == HIGH) { // pres 1 butonu röleden gelen komuta göre çalış
```

```
if(a>30)
```

```
{
```

```
  a- // ilgili dereceye kadar a—azaltarak servoya yazdır
```

```
  delay(10); // 10 ms gecikme
```

```
  servo1.write(a)
```

```
}
```

```
  else{
```

```
  a=30; // sabitle
```

```
}
```

```
}
```

```
void ikinci()
```

```
{
```

```
  if (press2 == LOW)
```

```
  { b++;
```

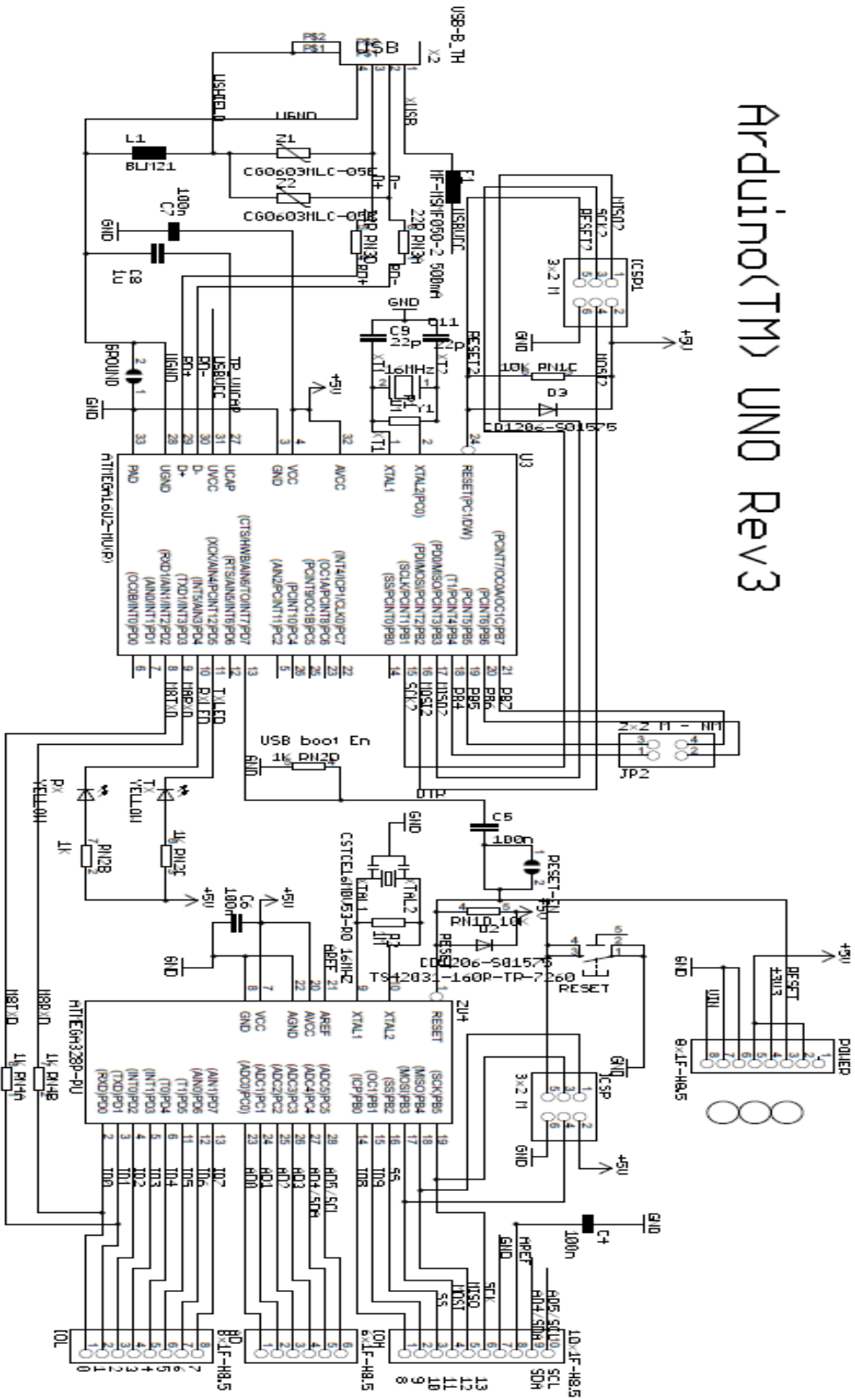
```
if(b<180)
{
  servo2.write(b);
  delay(10);
}
else{
  b=180;
}
}
if (press2 == HIGH) {
  if(b>20)
  {
    b--;
    delay(10);
    servo2.write(b)
  }
  else{
    b=20;
  }
}
}
```

```
void ucuncu()
{
  if (press3 == LOW)
  { c++;
  if(c<180)
  {
    servo3.write(c);
    delay(10);
  }
  else{
    c=180;
  }
}
```

```
}  
if (press3 == HIGH) {  
  if(c>0)  
  {  
    c--;  
    delay(10);  
    servo3.write(c)  
  }  
  else{  
    c=0;  
  }  
}  
}
```

EK-3. ARDUİNO UNO DEVRE ŞEMASI

Arduino(TM) UNO Rev3



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZMEN Önder
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 1982 / Çıldır
Telefon : 05067874664
Faks :
E-posta : onder.ozmen@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Düzce Üniversitesi	Devam ediyor
Lisans	Karadeniz Teknik Üni./ Müh. Tamamlama	Devam ediyor
Lisans	Abant İzzet Baysal Üni. / Elektrik Eğitimi	2006
Lise	Seyit Şanlı Endüstri Meslek Lisesi	2000

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006-2007	Habaş Demir Çelik A.Ş.	Elektrik Bakım Onarım
2008	T.C.Ziraat Bankası	Asistan Servis Görevlisi
2009-Halen	Milli Eğitim Bakanlığı	Elektrik Öğretmeni

Yabancı Dil

İngilizce

Yayımlar

1. Özmen Ö., Öztürk A., Alcan Y., Varyak kontrollü reaktif güç kompanzasyonu uygulaması, *ISITES 2014, 2nd International symposium on innovative Technologies in engineering and science*, Karabük.
2. Alcan Y., Öztürk A., Özmen Ö., Optimization of Transformer Efficiency with Gravitational Search Algorithm for Various Operation Conditions, *ISITES 2014, 2nd International symposium on innovative Technologies in engineering and science*, Karabük.