

## Varyak Kontrollü Reaktif Güç Kompanzasyon Uygulaması

\*<sup>1</sup>Önder ÖZMEN, <sup>2</sup>Ali ÖZTÜRK, <sup>3</sup>Yalçın ALCAN

<sup>1</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Türkiye

<sup>3</sup>Elektrik ve Enerji Bölümü, Meslek Yüksekokulu, Sinop Üniversitesi, Türkiye

### Özet :

Elektrik enerjisinin verimli bir şekilde kullanılması için reaktif güç kompanzasyonun önemi artmıştır. Günümüzde kademe sayısı artırılarak yapılan merkezi kompanzasyon yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak kurulum ve bakım masrafları zorlayıcı bir etkiye sebep olmaktadır. Bu çalışmada, kondansatöre uygulanan gerilim ayarlanarak, şebekeye vereceği reaktif enerji istenilen değerde tutulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, üzerinde bulunan bir mil yardımıyla çıkış gerilimi ayarlanabilen, tek sargılı transformatör olan varyak kullanılmıştır. Miline bağlanan bir servo motor sayesinde varyak ile çıkış gerilimi ayarlanarak kondansatörden farklı akımlar elde edilmiştir. Yapılan çalışmada, üç adet kapasitör, ayrı fazlara bağlanmıştır. Yük kısmında endüktif yük bulunmaktadır. Şalterlerle devreye alınan yükler, röleler yardımıyla arduino devresinde giriş olarak okunmuştur. Arduino, hafızasına yüklenen yazılım yardımıyla servo motorları istenilen açıda döndürerek güç katsayısının yükseltilmesini sağlamıştır. Böylelikle bir kondansatörden farklı reaktif akımlar elde edilmesi sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre varyak kontrollü kompanzasyonun, fazla sayıda kademe oluşturularak yapılan merkezi kompanzasyona göre daha verimli çalışmaya sahip olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Kompanzasyon, Enerji Kalitesi, Kondansatör, Varyak

### Abstract :

The importance of reactive power compensation has increased for efficient use of electric energy. Nowadays, center compensation that increasing number of steps is widely used. But, installation and maintenance costs have caused a compelling effects. In this study, Reactive energy to be supplied to the grid, was attempted to be kept at the desired value by adjusting the voltage applied to the capacitor. For this purpose, variac that is adjustable output voltage with the help of a spindle was used. This variac is single-winding transformer. Different currents was obtained from a capacitor by adjusting the output voltage thanks to variac that is connected to the servo motor. In the study, three capacitors, are connected to separate phases. Inductive loads are considered. Loads that is connected with the help of switch were read as input thanks to relays in the arduino circuit. Servo motors was rotated at desired angle through the Arduino software that is loaded into memory, so powerfactor was adjusted to the desired value. Thus, different values reactive currents were provided from a capacitor. The results show that according to multi-steps central compensation, variac controlled compensation is a more efficient workig performance.

**Key words:** Compensation, Energy Quality, Capacitor, Variac

### 1. Giriş

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. Elektrikle çalışan alıcıların büyük bir kısmı şebekeden aktif gücün yanında birde reaktif güç çekmektedir [1]. Enerji iletim hatlarında verimin artırılması amacıyla reaktif güç kontrolü yapılmaktadır [2]. Reaktif güç kontrolü ile enerji kaynakları daha verimli kullanılarak kayıpların azaltılması sağlanabilir [3]. Günümüzde merkezi olarak yapılan reaktif güç kompanzasyonunda reaktif güç kontrol rölesi ile yüklere paralel bağlı kondansatörler ihtiyaca göre devreye alınıp

çıkarılmaktadır [4]. Sistemde yükün ihtiyacı olan kapasitif reaktif enerji statik olarak kondansatörle sağlanabilmektedir [5]. Yapılan sistemle endüktif karakterli yüklerin şebekeden çekeceği reaktif enerji azaltılır [6]. Ancak gücün büyük olduğu ve hızlı devreye girip çıkan yüklerin ihtiyacı olan reaktif enerji geleneksel yöntemlerle karşılanamamaktadır [7]. Merkezi kompanzasyonun gelmiş olduğu şu anki nokta statik var (SVC) kompanzasyondur. Statik Var sistemler; kaynak makineleri, asansör gibi devreye hızlı girip çıkan yüklerde iyi bir çözüm oluşturmaktadır [8]. SVC sistemlerinde kapasitörler, tristörler ile hızlı anahtarlama yapılarak devreye alınıp çıkarılabilmektedir. Reaktörlerden ise hızlı anahtarlamanın yanı sıra kontrollü olarak, farklı oranlarda reaktif enerji alınabilmektedir. Güç katsayısı düzeltme işlemi yapılmış bir tesiste herhangi bir kademe bulunan kondansatör devreye girdiğinde, verebileceği en yüksek oranda bir reaktif enerjiyi sisteme vermektedir. Oysaki ihtiyaç duyulan kapasitif reaktif enerji belki de kondansatörün yarısı ile karşılanabilecektir. İhtiyaçtan fazla verilen reaktif enerji hattın gereksiz olarak meşgul edilmesine neden olur. Farklı ihtiyaçları karşılayabilmek için fazla sayıda kademe oluşturma başvurulan yöntemdir. Böyle bir tesiste kurulum ve bakım masraflarının artacağı ortadadır. Bu nedenle sistemlerde kompanzasyon işlemi yapılırken bütün faktörler göz önünde bulundurulmalıdır [9]. Fazla sayıda kademe oluşturmak yerine bir veya birkaç kondansatör ile ihtiyaç duyulan kapasitif reaktif enerji karşılanabilir. Kondansatöre uygulanan gerilim ayarlanarak, şebekeye vereceği reaktif enerji istenilen değerde tutulabilir. Varyaklar, üzerinde bulunan bir mil yardımıyla çıkış gerilimi ayarlanabilen, tek sargılı transformatör çeşididir.

Bu çalışmada; varyak, miline bağlanan bir servo motor ile çıkış gerilimi ayarlanarak kondansatörden farklı akımlar elde edilmiştir. Yapılan çalışmada, üç adet kapasitör her biri ayrı faza bağlanmıştır. Yükler şalterle devreye alınmış ve röleler yardımıyla hangi yükün devreye girdiği arduino devresinde okunmuştur. Arduino hafızasında yüklü bulunan yazılım yardımıyla servo motorları istenilen açıda döndürerek güç katsayısının yükseltilmesi sağlanmıştır. Reaktif güç ve şebekeden çekilen akım azaltılmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan servo motorun hem konum hem de hız kontrolü yapılabilmektedir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Yapılan çalışmanın tasarımında, günümüzde yapılan kompanzasyon uygulamaları göz önünde bulundurulmuştur. Devrede günümüz uygulamalarından farklı olarak kontaktör yerine varyak (oto transformatör) kullanılmıştır. Varyak, girişine uygulanan geriliminin çıkıştan farklı değerlerde alınmasını sağlayan, tek sargılı bir trafodur. Üzerinde bulunan mil döndürüldüğünde karbon fırça farklı açılara gelerek sarım sayısını dolayısıyla çıkış gerilimini değiştirmektedir. Varyak milini döndürmek için servo motor, motoru istenilen açıda döndürmek için arduino uno mikroişlemcisi kullanılmıştır. Üç adet servo motoru kontrol edecek program hazırlanarak arduinoya yüklenmiştir.

### 2.1. Kondansatörler

Güç faktörü düzeltme işleminde kullanılış ifadesiyle kapasitör. Piyasada farklı güç ve gerilim değerlerine sahip birçok kompanzasyon kondansatörü bulunmaktadır. Kompanzasyon uygulamasında kullanılan kutulu ve silindirik olmak üzere iki tip kapasitör vardır. Bunlardan silindirik olan, patlama riskinin az olması nedeniyle daha çok tercih edilir.

Çalışma gerilimi şebeke geriliminin üzerinde üretilen kondansatörler genel olarak 230-240-440-525-600 Volt gibi değişik değerlerde üretilirler.

Çalışmada bir fazlı 0,5 - 1 – 2 kVAR gücünde kondansatörler kullanılmıştır.

*Kondansatör Hesabı;*

Kondansatör uçlarına gerilim uygulandığında, kapasitesi nedeniyle bir yükü yüklenir.

*Yüklenmiş bir kondansatörün kapasite değeri;*

Denklem 1'den de görüleceği gibi bir kondansatörün kapasitesi, üretimi ile belirlenir ve sabittir. Burada  $C$ : İki düzey levha arasındaki kapasite değeri (Farad)  $\epsilon$ : Dielektrik Sabitesi (0,0085)  $F$ : Elektrot düzeyi(  $m^2$ )  $d$ : Elektrotlar arasındaki mesafe (m) 'yi vermektedir.

$$C = \epsilon \frac{F}{d} \quad (1)$$

*Kapasitif Reaktans;*

Alternatif akımda kondansatörün akıma karşı gösterdiği direnç kapasitif reaktans olarak tanımlanır. Denklem 2'de görüldüğü gibi kapasitif reaktans frekansa bağlıdır. Şebeke frekansımız 50 Hz de sabittir. Dolayısıyla  $X_c$  sabittir.

$$X_c = 1 / 2\pi f C \quad (2)$$

*Akım Hesabı;*

$$I_c = \frac{U}{X_c} \quad (3)$$

Denklem 3'de görüldüğü gibi gerilim ile akım doğru orantılıdır. Çünkü denklem 1 ve denklem 2'de görüldüğü gibi  $C$  ve  $X_c$  sabittir.  $I_c$ : Kondansatör Akımı (Amper)  $U$ : Kondansatör Gerilimi (Volt)  $X_c$ : Kapasitif reaktans ( $\Omega$ )

Çalışmamızda kondansatöre uygulanan gerilim değiştirilerek farklı reaktif akımlar elde edilmiştir.

*Kondansatörün Güç Hesabı;*

$$Q_c = P (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \quad (4)$$

$\tan \phi_1$ : Sistemin ilk durumdaki güç katsayısından bulunan tanjant değeri

$\tan \phi_2$ : İstenilen güç katsayısı değerinin tanjantı

$Q_c$ : Kompanzasyon için gerekli olan kondansatör güç değeri

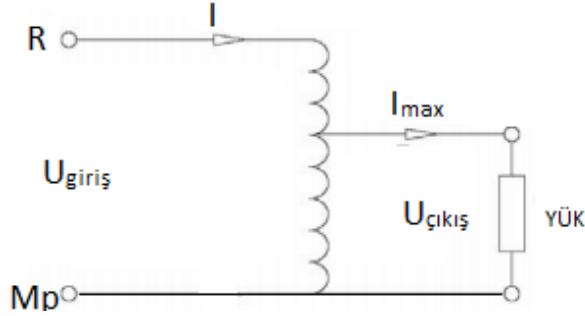
$P$ : Sistemin aktif gücü

Kondansatör gücü hesaplamada değişik yöntemler kullanılabilir. Denklem 4 genellikle tercih edilen bir yöntemdir. 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 amacıyla bağlanmaktadır. Bu; maliyeti, pano boyutunu arttırmakta ve soğutma işlemini güçleştirmektedir.

Yaptığımız çalışma sonucu kademe sayısı azaltılmış ve gereksiz kondansatör kullanımı engellenmiştir.

## 2.2. Varyaklar

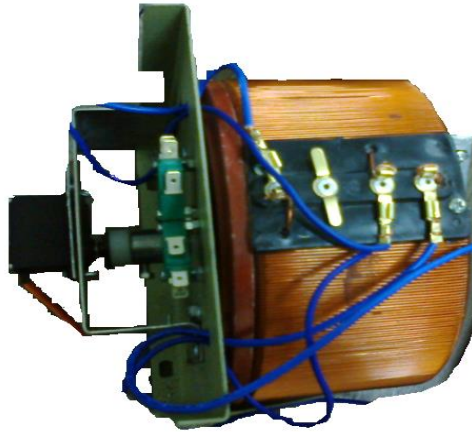
Varyak, diğer bir ifadeyle oto transformatör de denilmektedir. Yapısı, tek sargıdan olması ve hareketli bir milinin bulunması diğer transformatörlerden farklıdır. Sargılar toroidal nüve üzerine sarılmıştır. Girişine uygulanan alternatif gerilimi çıkışından farklı değerlerde almamızı sağlar. Sargıların fırça değen kısımlarının yalıtımları kazınmıştır. Sargılar üzerinde hareket eden karbon fırça elle veya motorla kumanda edilebilir.



Şekil 1. Varyak giriş çıkış gerilim gösterimi

Yapılan çalışmada varyak mili servo motorla kumanda edilmiştir. Servo motor takılı varyak resmi Şekil 2'de verilmiştir. Kullanılan varyakların giriş gerilimi 220 volt AC çıkış gerilimi 0-220 volt AC aralığındadır.

Giriş ve çıkış uçlarından biri ortak uçtur. Milin dönüşünü sınırlandırmak için iki adet sınır anahtarı kullanılmıştır. Varyak milinin hareketi sonucu istenilen gerilim ve kondansatör akımı elde edilmiştir. Varyak fırçasının sargılara yaptığı basınç  $3-5 \text{ N/cm}^2$  civarındadır. Basınç fazla olursa sargılar aşınır, az olursa ark meydana gelebilir [10]. Bu nedenle karbon fırça normal bir düzeyde sargılara basmalıdır. Sargılar üzerinde hareket eden mil, sargı sayısını değiştirerek gerilimi ayarlamaktadır.



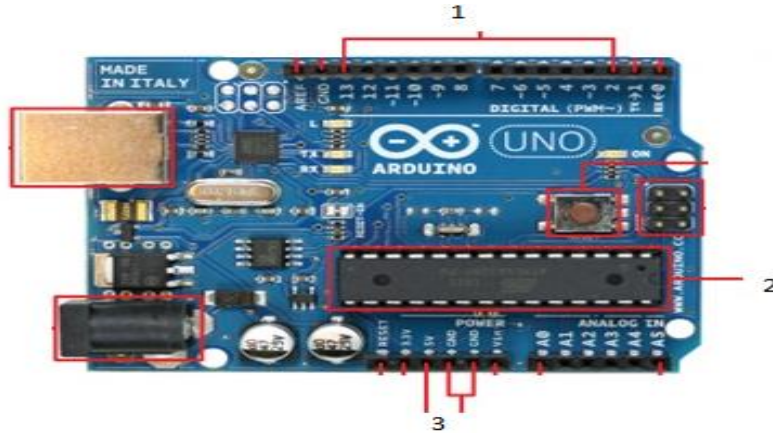
Şekil 2. Çalışmada kullanılan servo motor takılı varyak

## 2.3. Servo Motorlar

Servo motorlar belli bir sinyal yardımıyla istenilen açı kadar döndürülen ve kapalı çevrim kontrolü bulunan bir motordur [11]. Bu motorlarda hız, konum, moment ve melez kontrol yapılabilir. PWM darbe genişliğini ayarlamak ve hız kontrolü yapmak mümkündür [12]. Hem AC hem de DC gerilim ile çalışabilen servo kontrol motorları vardır. Çalışmada, DC

+5 Volt ile çalışan,  $180^\circ$   $210^\circ$  ve  $360^\circ$  dönebilen servo motorlar kullanılmıştır. Motor dişlisi ile varyak mili bağlantısı hazırlanan parçalar yardımıyla yapılmıştır.

#### 2.4. Arduino

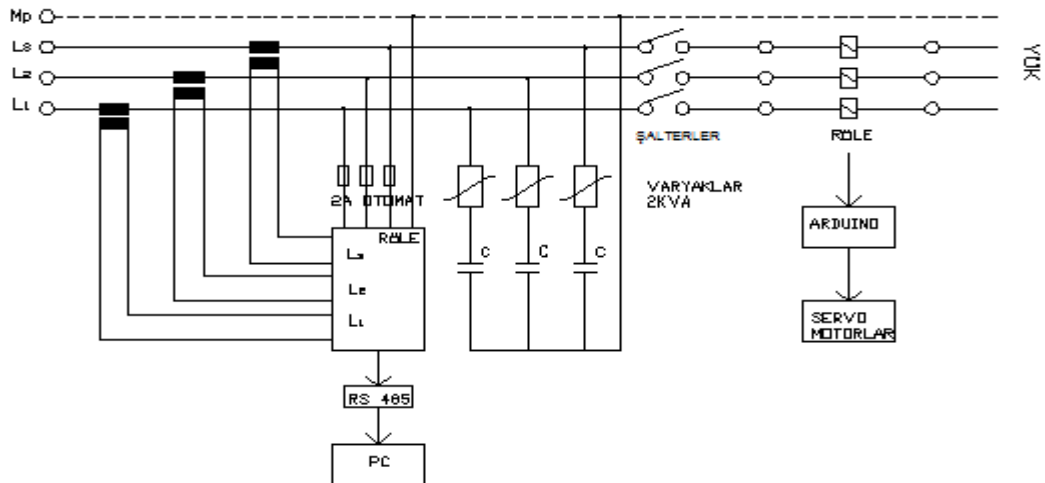


Şekil 3. Arduino uno görünüşü

Servo motor sinyal giriş ve çıkış pinleri	1
Atmega 328 Mikroişlemci	2
+5 Volt devre besleme girişi	3

### 3. Yapılan Deneyin Devre Şeması ve Çalışması

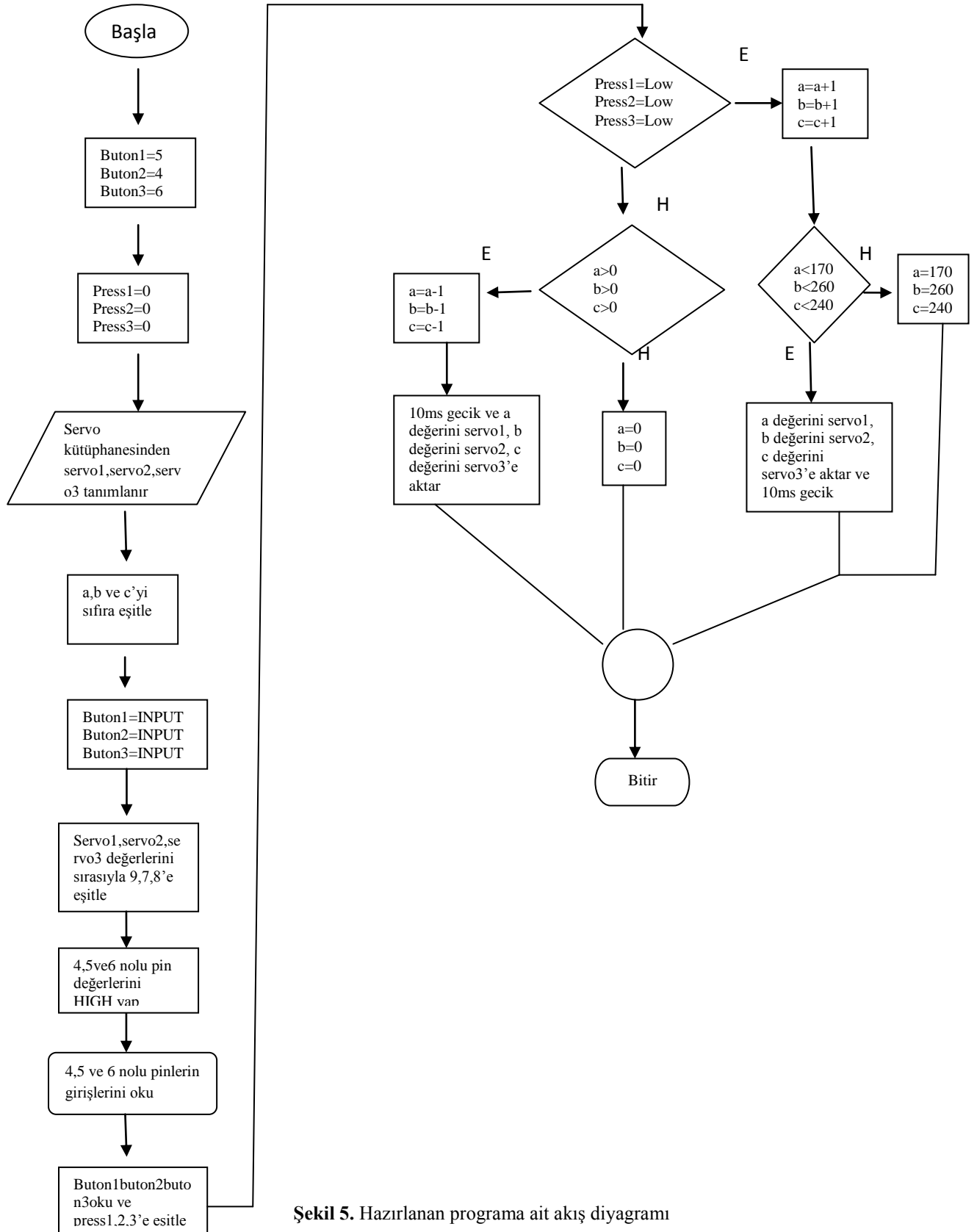
Yapılan çalışmada diğer uygulamalardan farklı olarak kontaktör yerine varyak kullanılmıştır. Varyak çıkış uçlarına üç adet kondansatör bağlanmıştır. Hangi fazda güç katsayısı düşerse o fazın bağlı bulunduğu servo motor gerekli açı kadar döndürülmüş ve güç katsayısı yükseltilmiştir. Gerekli açı yapılan test sonuçları ile elde edilmiştir. Hangi fazda kapasitöre ihtiyaç olduğu bir röle ile tespit edilmiştir.



Şekil 4. Yapılan deneyin devre şeması

Şekil 4'te yapılan çalışmaya ait devre şeması verilmiştir. Kullanılan akım trafosu dönüştürme oranı 50/5, yük kısmına bağlanan rölelerin bobin gerilimi 220 volt akımı 5-10 amper değerindedir.

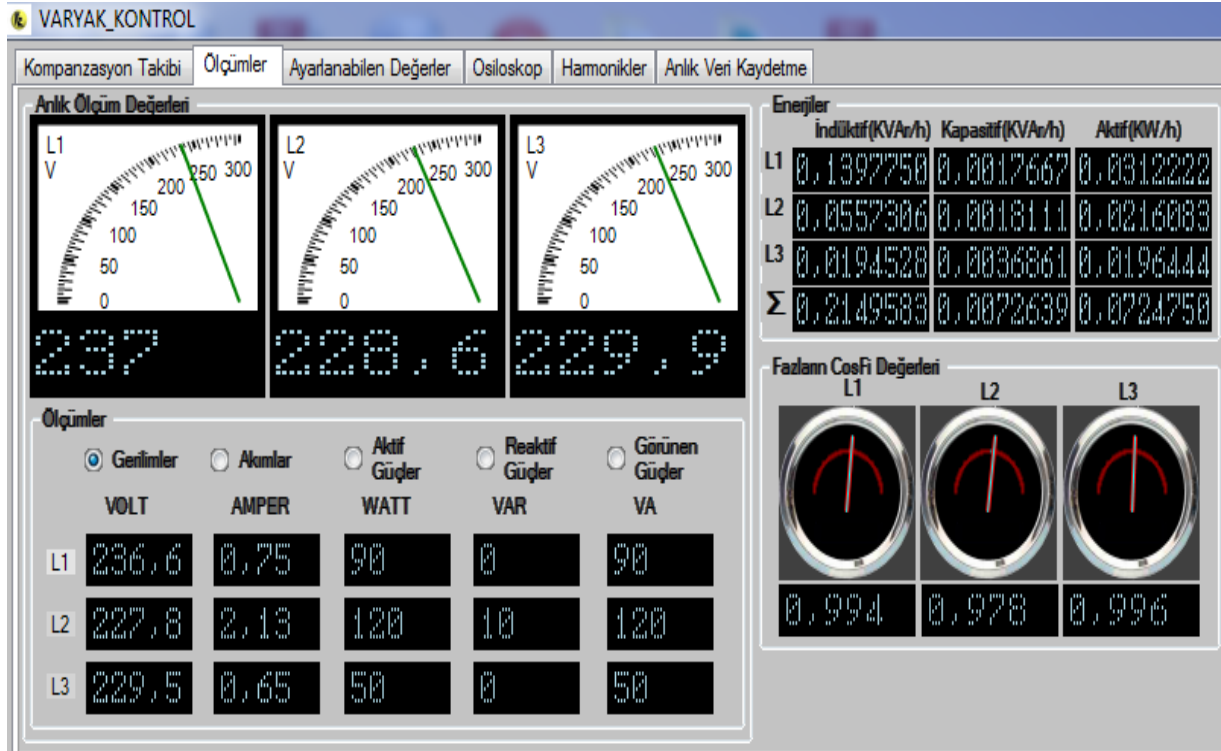
Şekil 5'te hazırlanan yazılıma ait algoritma akış şeması gösterilmiştir. Arduinoda üç pin dijital okuma girişi, üç pin ise servo motor sinyal çıkışı olarak kullanılmıştır. Akış şemasında üç servo motorun döngüleri ortak olarak verilmiştir.



Şekil 5. Hazırlanan programa ait akış diyagramı

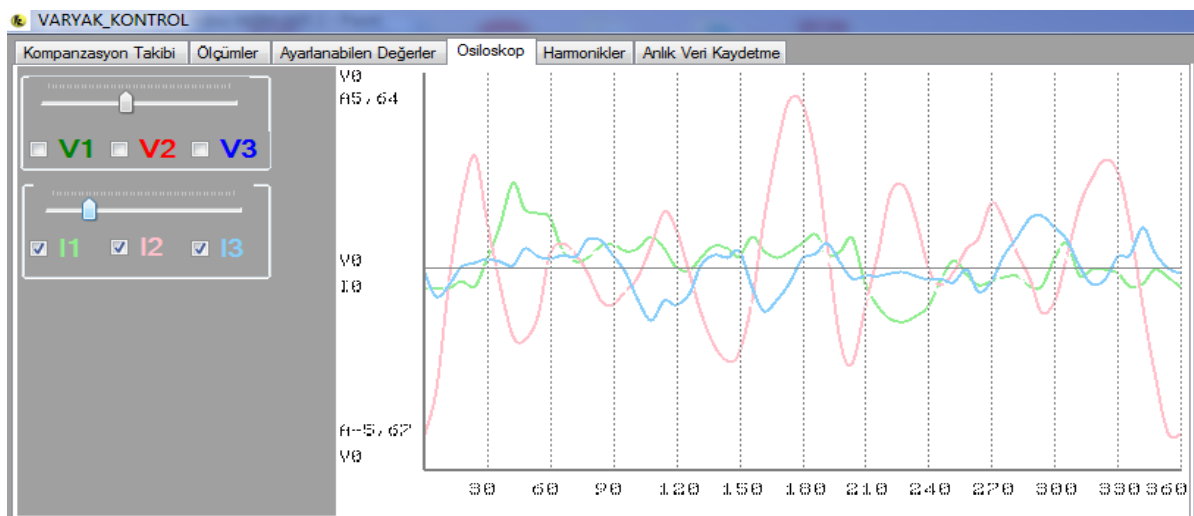
## Sonuçlar

Yapılan çalışmada yük olarak L1 ve L3 fazlarında balast, L2 fazında 1 kVAR'lık reaktör kullanılmıştır. Şekil 6'da görüldüğü gibi L1 ve L3 fazlarında reaktif güç sıfırlanmış aktif güç görünür güce eşitlenmiştir. L2 fazında ise reaktif güç 10 VAR'a düşürülmüştür.



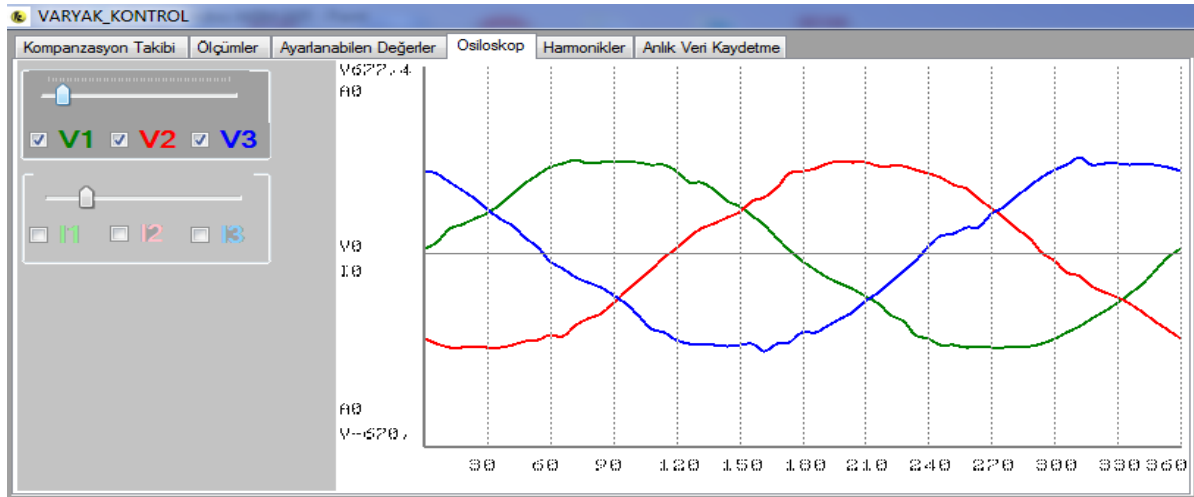
Şekil 6. Alınan ölçüm değerlerinin bilgisayar ekran görüntüsü

Şekil 7'de verilen akım grafiklerinden de görüldüğü gibi I1 akımı 2 amper civarından 0,75 ampere, I2 akımı 5 amper civarından 2,13 ampere I3 akımı 1 amper civarından 0,5 ampere kadar düşürülmüştür.



Şekil 7. Kompanzasyon anında akım grafikleri

Şekil 8'de çalışma anında üç faza ait gerilim eğrileri verilmiştir. Ölçümlerde kael firmasının haberleşme yazılımı kullanılmıştır [13].



Şekil 8. Kompanzasyon anında gerilim grafikleri

Tablo 1’de günümüzde uygulanan, kondansatörün devreye giriş teknikleri bazı özellikler açısından karşılaştırılmıştır. Sistem ihtiyaçları göz önüne alınarak bu tekniklerden uygun olanı seçilebilir. Çok hızlı devreye girip çıkan yükler hariç diğer yükler için varyak kontrollü tekniğin uygun olacağı düşünülmektedir.

Tablo 1. Kondansatörü Devreye Alma Tekniklerinin Kıyaslanması

Özellik	Kontaktör Anahtarlamalı Kondansatör	Tristör Anahtarlamalı 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 diğerlerinden fazla değil
Kademe Sayısı	6-12	6-12	1-3
Gürültü	Kontaktör girişinde kısa süreli	Düşük seviyede	Motor kısa süreli ve çok yüksek gerilimlerde varyaktan 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

Tablo 2’de görüldüğü gibi bütün fazların güç katsayısı bir yapılmıştır. Akım ile gerilim arasında oluşan açı sifıra yaklaştırılarak güç katsayısı yükseltilmiştir. Bu çalışma ile kademe sayılarının azaltılması sağlanmış ve kontaktörün yapışık kalması gibi bir sakıncanın önüne geçilmiştir. Çalışmada hazırlanan deneyde 3,5 kVAR’lık bir sistemin kompanzasyonunu sağlayabilecek bir devre tasarlanmıştır. Servo motorların hız ve konum kontrolü yapılmıştır.



Şebekeden çekilen akımlar azaltılmıştır. Servo motorların dönüş yönüne göre başlangıç noktaları  $360^\circ$  olarak ayarlanabilir.

**Tablo 2.** Yapılan Çalışmada Elde Edilen Değerler

<b>Alınan Ölçüm Değerleri</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>
Voltaj Değerleri (Volt)	235,8	227,9	231,4
Akım Değerleri (Amp)	0,77	2,06	0,64
Aktif Güç Değerleri (Watt)	90	120	50
Reaktif Güç Değerleri (Var)	0	10	0
Görünen Güç Değerleri (VA)	90	120,41	50
CosFi Değerleri	0,999	0,978	0,996

Hazırlanacak daha kapsamlı bir yazılım ile servo motorların her türlü yükte kullanımı sağlanabilir. Çalışmanın enerji verimliliği ve etkili kullanılmasına yönelik yapılacak araştırmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Destek Programı kapsamında desteklenmiştir.

### **Kaynakça**

- [1] Kaypmaz A, Engin B, Enerji Verimliliği ve Tasarrufu Açısından Kompanzasyon ve Enerji Kalitesi Çalışmaları.
- [2] Gencer Ö, Yörükere N, Malkoç A, and Kartal H, Orta Gerilim Tristörlü Kompanzasyon Sistemi Tasarımı ve Uygulaması.
- [3] 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.
- [4] Arifoğlu U, Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi, Alfa Bas. Dağ. İstanbul, 2002.
- [5] Çolak İ, Bayındır R, Güç Katsayısının Bir Mikrodenetleyici Kullanarak Ölçümü, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 19.1-2 (2003): 50-58.
- [6] ŞEKKELİ M, Hassas Bir Reaktif Güç Kompanzasyonu İçin Gerekli Güçlerin Hesabında Temel Bileşenlerin Kullanılması, KSU, Journal of Science and Engineering 9.2 (2006): 66-70.
- [7] ÇÖTELİ R, AYDOĞMUŞ Z. DGM-Statcom ile Reaktif Güç Kompanzasyonu, Gazi Üniversitesi, Politeknik Dergisi, 10.2 (2007).
- [8] Vardar T, Yıldırım F, Çam E, Yeni Nesil Kompanzasyon Sistemi SVC, TMMOB EMO Ankara Şubesi, Haber Bülteni, 2011/4.
- [9] Kıyan M, Kayabaşı M, Alçak Gerilim Reaktif Güç Kompanzasyon Sistemlerinin Deneysel Karşılaştırılması.
- [10] Çiçek M, Varyak Kontrolü İle Kompanzasyon Tekniği, Mustafa Kemal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Anabilim Dalı, Yük. Lisans Tezi, Ocak, 2010.
- [11] Beykent C, Çakır Ç, Altay İ, Analog Servo Motor Devresi Tasarımı ve Simülasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- [12] Işık Fatih M, Coşkun İ. Mikrodenetleyici Tabanlı Servo Sistem Denetimi.
- [13] <http://www.kael.com.tr/download.asp> ( 14.01.2014)