

# Reaktif güç kontrol rölesinde minimum anahtarlama sayısı ve optimal reaktif güç seçimi

**Mustafa ŞEKKELİ, Nesrin TARKAN**

*İTÜ Elektrik – Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul*

## Özet

*Reaktif güç kompanzasyonu, genellikle, şebekeye paralel bağlı sabit kondansatörlerin, reaktif güç kontrol rölesi ile, otomatik olarak devreye alınıp çıkarılmasıyla yapılır. Bu çalışmada, kondansatörlerin devreye alınıp çıkarılmalarını optimal olarak gerçekleştiren yeni bir yöntem verilmiştir. Bu yöntemde kondansatörlerin devreye alınıp çıkarılmaları sırasında, deşarj için gerekli gecikme süresi sıfırlanmış ve kondansatörlerin devreye alınıp çıkarılmaları tek tek yerine 1, 2 veya 3'lü gruplar halinde gerçekleştirilir hale gelmiştir. Böylece, kondansatörlerin devreye alınıp çıkarılmaları sırasında, kontaktörlerin anahtarlama sayısı minimum yapılmış, şebekenin daha az indüktif akımla yüklenmesi sağlanmış ve kayıplar azaltılmıştır. Ayrıca, aşırı kompanzasyon ve bunun meydana getireceği istenmeyen olaylar önlenmiştir. Bu röle, imal edilmiş ve deneylerle uygunluğu kanıtlanmıştır.*

**Anahtar Kelimeler:** *Kompanzasyon, reaktif güç kontrol rölesi, kondansatör.*

## Minimum switching number and optimal reactive power choice in reactive power control relay

### Abstract

*In an ideal ac power system, the voltage and frequency at every supply point would be constant and free from harmonics, and the power factor would be unity. The simplest way to solve low power factor problems is by adding capacitors to the electrical network. Power factor controllers are used for measuring and controlling the power factor control. In this study, a new approach and method are developed, for reactive power controller. The designed controller, measures, the power factor of the system and it optimally determines the switching patterns of the capacitor banks, which brings the measured power factor to the desired power factor setting. The controller, reduce switching number of contactor and provides less energy losses in the system. For this purpose, firstly, Delay time for capacitor, which is necessary to discharge, was zeroing by using a new method. Secondly, switching program of controller is widely chosen according to the plant condition. In classical relay, only 1 capacitor group can be added or extracted to the bus bar. But in designing new relay, 1, 2, or 3 capacitor banks, which are nearest value, for desired inductive reactive power, can be optimally chosen. Thus, switching number, which is necessary for the capacitor bank during addition or extraction is reduced to a minimum value, and Line is loaded to a less inductive current, so that power losses were reduced to a minimum value, and overcompensation was prevented. This relay is manufactured and approved.*

**Keywords:** *Compensation, reactive power control relay, capacitor.*

---

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Mustafa ŞEKKELİ. mustafasekkeli@hotmail.com; Tel: (344) 215 45 28.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Reaktif güç kontrol rölesinde optimal anahtarlama için yeni bir yöntem" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 18.10.2004 tarihinde dergiye ulaşılmış, 07.12.2004 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.05.2006 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Giriş

Günümüzde çalışmakta olan ve yeni kurulacak tesislerde, kayıpların azaltılması, sistemlerin daha verimli kullanılması bir zorunluluk haline gelmiştir. Elektrik enerjisinin verimli kullanılmasının ve kayıpların azaltılmasının yöntemlerinden biri de reaktif güç kompanzasyonu yapmaktır (Bayram 2000).

Tüketicilerin normal olarak şebekeden çektikleri indüktif reaktif gücün, kapasitif güç çekmek suretiyle özel bir reaktif güç üreticisi tarafından dengelenerek güç faktörünün ( $\cos\phi$ ) 1'e yaklaştırılması olayına reaktif güç kompanzasyonu adı verilir (Miller, 1982). Günümüzde reaktif güç kompanzasyonu merkezi olarak yapılmaktadır. Burada reaktif güç kontrol rölesi adı verilen cihaz vasıtasıyla, tesise paralel bağlı kondansatörler, ihtiyaca göre devreye alınır veya devreden çıkarılırlar. Böylece tesisin güç katsayısının istenen değerde kalmasına çalışılır. Kopmanzasyon için devreye bağlanan kondansatörlerin devreye alınıp çıkarılması anında geçici olaylar meydana gelerek yüksek akım darbeleri oluşmaktadır. Bu akımlar kontaktör gibi anahtarlama elemanlarının bozulmalarına neden olmaktadır. Bu amaçla anahtarlama sayısının olabildiğince az sayıda gerçekleşmesi sağlanmalıdır (Bayram, 2000).

Bu çalışmada reaktif güç kontrol röleleri için kontaktörlerin anahtarlama sayısını minimum yapmak ve sistemdeki güç kayıplarını en aza indirmek amacıyla yeni optimal bir metod önerilmiştir. Bu metoda göre kompanzasyon yapılacak tesislerde kondansatörler, anahtarlama sayısı minimum olacak şekilde devreye alınıp çıkarılmaktadır. Ayrıca bir tek kondansatör devreye alıp çıkarmak yerine, birden fazla kondansatörler de devreye alınabilir hale getirilmiştir. Kompanzasyon yapılacak işletme koşullarına göre geniş bir aralıkta anahtarlama programı yapılabilir. Bu program çerçevesinde devreye 1, 2 veya 3 kondansatör aynı anda beraberce alınıp çıkarılabilir. Bu seçim optimal olarak gerçekleştirilir. Hedef, sistemin ihtiyacı olan kapasitif reaktif güç için en yakın kondansatör değerini belirlemektir. Böylece sistemde optimal anahtarlama sayısı gerçekleştirilmiş ve sistem daha az

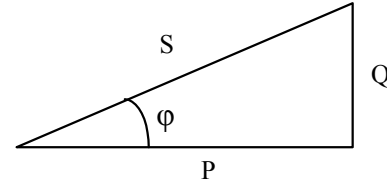
indüktif akımla yüklenmiş olarak güç kayıpları azaltılmış olacaktır.

## Reaktif güç kompanzasyonu

Güç sistemlerinde verimi ve kapasiteyi artırmanın yollarından biri de reaktif güç kompanzasyonu yapmaktır. İndüktif karakterdeki tüketicilerin akım gereksinimi iki bileşenden oluşmaktadır. Bunlar, işe dönüşen aktif akım ve cihazların çalışması için gerekli magnetik alanı oluşturan reaktif akımdır. Toplam görünür akım ise aktif ve reaktif akımın geometrik toplamına eşittir. Bu akımlara karşılık gelen güçler, S = görünür güç (KVA), P = Aktif güç (KW), Q = Reaktif güç (KVAr) olarak tanımlanırsa

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1)$$

olarak ifade edilir. Bu ifade geometrik olarak gösterilirse, güç üçgeni ortaya çıkar (Şekil 1).



Şekil 1. Güç üçgeni

Burada  $\phi$  faz açısı olarak tanımlanır.  $\cos\phi$  ise "güç faktörü" dür. Şekil 1'deki diyagrama göre

$$\cos\phi = \frac{P}{S} \quad (2)$$

olarak tanımlanır (Sheble, 1987).

## Reaktif güç kompanzasyonunun faydaları

Reaktif güç kompanzasyonu yapılmaması, yani Q reaktif gücün azaltılmaması, iletim hatlarının fiziksel anlamda işe yaramayan güç ile meşgul edilmesi ve hat kesitinin bir kısmının bu faydasız güce tahsis edilmesi anlamına gelmektedir. Şebeke ve tüketici açısından faydaları şöyle sıralanabilir:

- 1- Şebekenin güç kapasitesi artar

- 2- Yatırım maliyetleri azalır
- 3- Şebekenin ısı kayıpları azalır
- 4- Şebekedeki gerilim düşümü azalır
- 5- Hatların geçici durum kararlılığı iyileşir
- 6- Faz gerilim dengesizlikleri azalır
- 7- Gerilim dalgalanmaları azalır
- 8- Harmonikler azalır
- 9- Cezalı duruma düşülmez (Arifoğlu, 2002).

### Reaktif güç kompanzasyonunun yapılması

Reaktif güç ihtiyacını karşılamak için, kapasitif reaktif gücün tüketiciye en yakın yerde üretilmesi uygun olur. Reaktif güç üretimi için iki işletme aracından yararlanılır.

- 1- Dinamik faz kaydırıcılar
- 2- Kondansatörler

### Reaktif güç kompanzasyonunda kondansatör gücünün hesabı

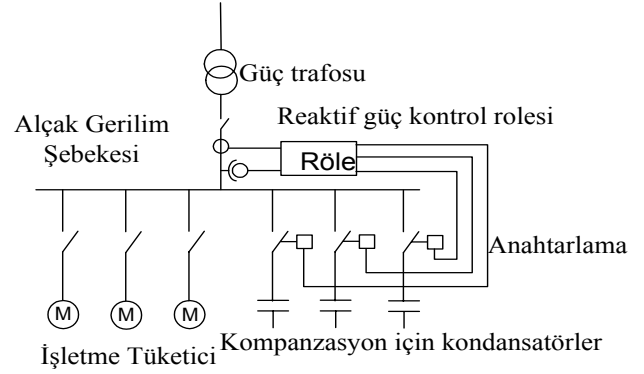
Kompanzasyon için gerekli kondansatör gücünü hesaplarken, müşterinin iki farklı hassasiyeti olabilir. Ya kompanzasyon öncesi ve sonrası şebekeden çekilen aktif gücün değişmemesi ( $P = \text{sabit}$ ), ya da görünür gücün değişmeyip, sabit kalması istenebilir ( $S = \text{Sabit}$ ). Aktif gücün sabit kalması isteniyorsa, gerekli kondansatör gücü:

$$Q_C = P(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (3)$$

Eğer görünür gücün sabit kalması isteniyorsa

$$Q_C = P_1 \tan \varphi_1 - P_2 \tan \varphi_2 \quad (4)$$

ifadelerinden hesaplanır. Burada  $Q_C$  gerekli kondansatör gücü,  $\varphi_1$  ve  $\varphi_2$ , kompanzasyon öncesi ve sonrası faz açıları göstermektedir. Kompanzasyon işlemi bireysel, grup veya merkezi olarak yapılabilir. Şekil 2'de merkezi kompanzasyona ait bağlama şeması gösterilmiştir. Merkezi kompanzasyon bir noktaya bağlı çok sayıda tüketicinin ve zamanla değişen reaktif güç isteğinin olduğu durumlarda kullanılır. Sisteme, otomatik ayarlamayı yapmak üzere reaktif güç kontrol rölesi bağlanmıştır. Bu röle vasıtasıyla sisteme kondansatör eklenip çıkarılır. Böylece tesis için gerekli reaktif güç ayarı, dolayısıyla güç faktörü istenen seviyeye getirilmiş olur (Bayram, 2000).

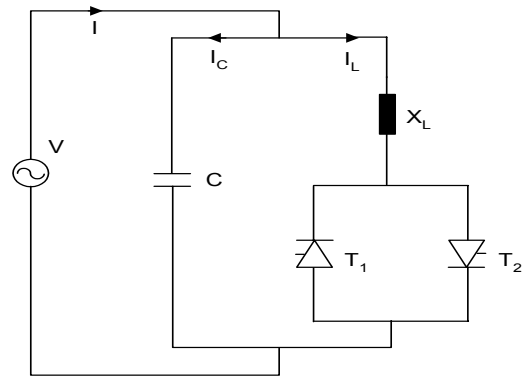


Şekil 2. Merkezi kompanzasyon sistemi

### Statik var sistemi

Kompanzasyon sistemlerinde yükün özelliği çok önemlidir. Güç katsayısı sabit kalan bir yükün varlığı halinde, uygun olarak seçilmiş bir kondansatör grubu sorunu çözer. Fakat her an yük sistemden farklı aktif ve reaktif güç çekebiliyor ise yukarıda önerilen yaklaşım burada geçerli olmaz (Arifoğlu, 2002).

Yarı iletkenlerin kullanılmasıyla gerçekleştirilen SVS kompanzasyon sistemine statik var generatörü de denir. Bugün kullanılan tristör kontrollü statik var generatörünün çalışma prensibi; kondansatör ve/veya reaktörlerin, hesaplanan tetikleme açılarına bağlı olarak şebekeye sokulup çıkarılarak değişken değerli şönt empedans elde etmeye dayanır. Uygun tetikleme ile statik var generatörünün bağlı olduğu barada maksimum kapasitif güç değerinden maksimum indüktif reaktif güç değerine kadar geniş bir aralıkta reaktif güç ayarı yapılabilir. Şekil 3'te tristör kontrollü reaktör ve sabit kapasitenin kullanıldığı bir SVS sistemi gösterilmiştir (Gyugi ve Taylor, 1980).



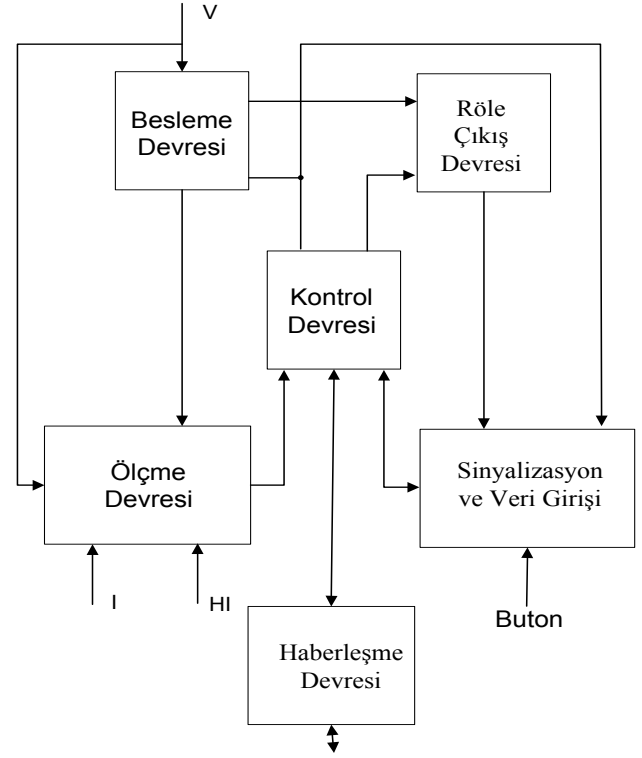
Şekil 3. Tristör kontrollü reaktör ve sabit kapasite (TRC/FC)

### Klasik reaktif güç kontrol rölesi

Merkezi otomatik kompanzasyon sistemi temel olarak uygun düzenlenmiş kondansatör bataryaları ile reaktif gücü algılayıp, uygun kondansatör bataryalarının devreye alınıp çıkarılmasını sağlayan reaktif güç kontrol rölesinden oluşur. Reaktif güç kontrol rölesi, sistemin güç faktörünü ölçerek önceden tanımlanmış güç faktörüne ulaşmak için kondansatör bankalarını yüke paralel olarak devreye almakta veya çıkarmaktadır (Mandal vd., 1994). Röle kompanzasyon işlemini yerine getirmek için hat akımından ve geriliminden örnek almaktadır. Şekil 4'de reaktif güç kontrol rölesinin blok diyagramı gösterilmiştir (Kutluay vd., 1989).

Blok diyagramından görüldüğü gibi reaktif güç kontrol rölesinin giriş işaretleri hat geriliminden (V), hat akımından (I) ve harmonikleri ölçmek amacıyla kondansatör banka akımlarından (H) oluşmaktadır. Ölçme devreleri aldığı bu sinyalleri işleyerek kontrol devresinin kullanabileceği işaretler haline getirir. Kontrol devresi ölçüm devrelerinden aldığı bilgileri değerlendirerek röle çıkış devreleri aracılığıyla kondansatör bankalarını devreye almakta veya çıkarmaktadır. Aynı zamanda sinyalizasyon devreleri yardımıyla kullanıcı bilgilendirilmekte ve herhangi bir alarm durumuna karşı uyarılmaktadır. Ayrıca kullanıcı butonlar yardımıyla sistemin durumu hakkında istediği bilgiye ulaşabilmekte ve istenilen güç faktörünü ayarlayabilmektedir (Özdemir 1997).

Ölçme devresinde gerilim büyüklüğü doğrudan, akım büyüklüğü ise fazlardan birine bağlanan akım trafosu aracılığıyla alınır. Akım trafosu çıkış akımı 1 veya 5 amperdir. Bu ölçme düzeyinde şebekedeki aktif (P), reaktif (Q), görünen (S) güçler, harmonikler,  $\cos\phi$  değeri, akım ve gerilim örneklerine göre dijital olarak ölçülmektedir. Röle çıkış devresinde, kontrolörden gelen sinyaller önce çıkış rölesini, çıkış rölesi de kondansatörlere bağlı anahtarlama elemanlarını (kontaktörler) tetikleyerek, kondansatörlerin devreye girmelerini veya çıkmalarını sağlamaktadırlar. Tüm blokların ve devrelerin kendi iç enerji gereksinimleri besleme devresi tarafında sağlanır. Kontrolör, mikroişlemci tabanlı olup gelen sinyalleri değerlendirir ve çıkış rölelerine, ayrıca sinyalizasyon bloğuna gerekli sinyali gönderir (Özdemir, 1997).



Şekil 4. Reaktif güç kontrol rölesi blok diyagramı

### Reaktif güç kontrol rölesi ayarları

Reaktif güç kontrol rölesinde iyi bir kompanzasyon için bazı ayarların yapılması ve değerlerin doğru olarak set edilmesi gerekmektedir (Entes, 2002).

**C/k ayarı:** Bu ayar şebekeden çekilen reaktif güce göre devreye kondansatör alma ve çıkarma sınırlarını belirler. C/k değeri işletmenin özelliklerine ve karakteristik büyüklüklerine göre belirlenir.

$$C/k = \frac{C}{k} \quad (5)$$

burada C, kvar cinsinden birinci kademe kondansatör gücünün, k ise akım trafosunun çevirme oranını gösterir. C/k büyüklüğü genellikle 0.01 ile 0.3 arasında değerler alır (Siemens, 2002).

**Çalışma bölgesi ayarı (% Ayar):** Merkezi kompanzasyon tesisinin sağlayacağı ortalama kompanzasyon düzeyi  $\cos\phi$  veya % ayarı ile belirlenir. % ayarı yardımı ile istenen ayar sahasının indüktif, kapasitif veya hem indüktif hem kapasitif bölgelere kaydırılması sağlanır.

*Grup, kademe ve anahtarlama programı ayarı:* Merkezi otomatik ayarın bir gereği olarak, toplam kompanzasyon gücü gruplara ayrılır. Reaktif güç kontrol rölesi çıkışında her bir röleye bağlanan kondansatöre “grup” denir. Anahtarlama işlemi belli bir program dahilindedir ve devreye kondansatör alma ve çıkarma esnasında baştan sona doğrudur. Tablo 1’de dört kademeli bir anahtarlama programı verilmiştir.

Tablo 1. 4 Kademeli anahtarlama programı

Kon. Kdm.	Adım	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	10	●		●		●		●		●		●		●		●
2	20		●	●			●	●			●	●			●	●
3	40				●	●	●	●					●	●	●	●
4	80								●	●	●	●	●	●	●	●
	kvar															

Anahtarlama programı 1 : 2 : 4 : 8  
Toplam anahtarlama 15 adımdır.

(● kondans. kademesi devrede anlamındadır.)

### Kondansatörlerin devreye alınıp çıkarılmaları

Kompanzasyon için kullanılacak güç kondansatörleri, şebekeye, anahtarlama elemanı olan kontaktörlerle paralel bağlanırlar. Kondansatörler devreye alınırken veya bunları paralel bağlarken meydana gelen geçici rejim esnasında kısa devre akımına benzer büyük akımlar çekerler. Henüz deşarj olmamış bir kondansatör yeniden devreye alındığında yukarıdaki geçici olaylara ilave olarak şiddetli dengeleme akımları meydana gelir. Bu amaçla, kondansatörlere boşaltma dirençleri veya bobinler bağlanarak, devreden çıktıkları zaman bunlar üzerinden deşarj olmaları sağlanır. Bunun için biraz deşarj süresi gereklidir.

Bu olumsuz olayları önlemek için reaktif güç kontrol rölesinde, kondansatör devreye alma ve çıkarma esnasında bir gecikme ayarı süresi verilmiştir. Buna göre, röleye kondansatör devreye al veya çıkar komutu geldikten sonra ayarlanan süre (deşarj süresi) kadar bir gecikmeyle devreye alma ve çıkarma işlemi gerçekleştirilir. Bu süre rölede 20 ila 180 saniye arasında ayarlanabilir. Genellikle bu ayar süresi 40 saniyedir (Bayram, 2000).

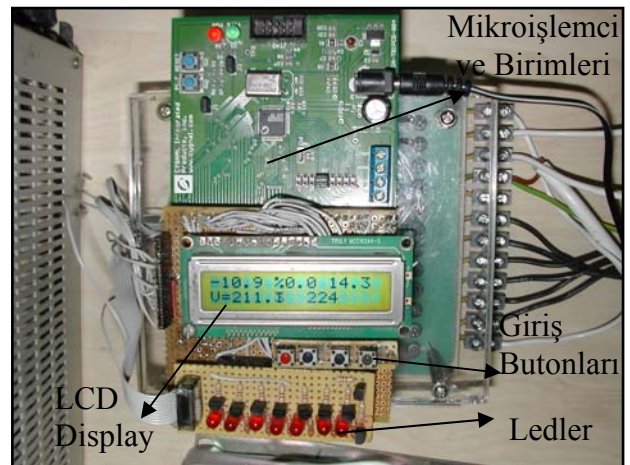
### Tasarlanan reaktif güç kontrol rölesi

Klasik reaktif güç kontrol rölesinde aşağıdaki sakıncalar gözlenmiştir:

1- Kondansatörün devreye alınıp çıkarılmasında, ayarlanan deşarj süresi kadar bekleme gerekmektedir. Kondansatöre “devreye gir” komutu geldikten sonra, röle o kondansatörün yeni devreden çıkmış olduğunu kabul ederek, ayarlanan deşarj süresi kadar sonra devreye alır. Aynı gecikme devreden çıkarma için de uygulanır. Genellikle bu süre 40 saniye civarındadır. Bu süre içinde sistem indüktif karakterde olup, kompanzasyon gerçekleşmemiştir.

2- Klasik rölede kompanzasyon sisteminde istenen reaktif güç değerindeki kondansatörlerin tamamı devreye alınmaya kadar, belirli bir süre geçmekte ve çok fazla anahtarlama işlemi gerçekleşmektedir. Anahtarlama programlarına göre (Ayar dizisi) kondansatör devreye alınırken sadece bir tek kondansatör devreye alınabilir. Ayrıca 1. kondansatör öncelikle devreye girip çıkarak çok daha fazla anahtarlama maruz kalmaktadır. Bu arada tüm kondansatörler devreye girinceye kadar onlarca anahtarlama gerçekleşmekte ve sistem bu süre zarfında indüktif reaktif akımla yüklenmektedir.

Bu sakıncaların ortadan kaldırılması, aynı zamanda kontaktör ve kondansatörlerin anahtarlama sayılarının ve sistem güç kayıplarının azaltılması amacıyla yeni bir röle tasarlanıp gerçekleştirilmiştir. Bu rölenin resmi Şekil 5’te verilmiştir.



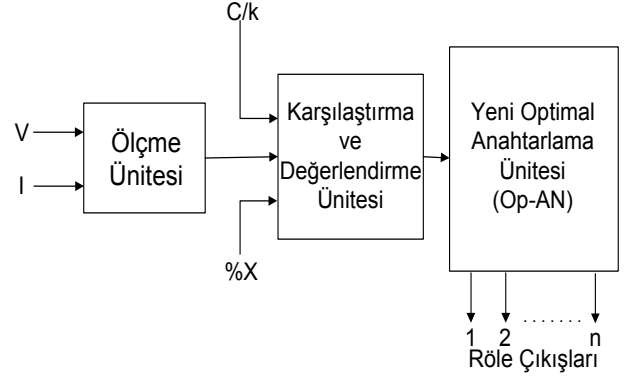
Şekil 5. Yapılan rölenin resmi

Bu yeni rölede aşağıdaki yeni yaklaşımlar verilmiştir.

1- Klasik rölelerde devreye alınması gereken kondansatörlerde deşarj süresi için, yeni bir yaklaşım ve tasarım gerçekleştirilerek gereksiz enerji kaybı önlenmiştir. Her kondansatör grubuna ait bir zaman sayıcı oluşturulmuştur. Röle ilk çalışmaya başladığı anda tüm kondansatörlere ait zaman sayıcılar, ayarlanan deşarj süresi kadar, sayma işlemi yaparak kondansatörleri devreye gecikmesiz olarak alınabilir duruma getirmektedir. Devreye alınacak kondansatör için önce bu zamana bakılmakta, bu süre tamamlanmış ise hemen devreye alınmaktadır. Eğer süre tamamlanmamış ise kalan süre kadar bekledikten sonra kondansatör devreye alınmaktadır. Devreden çıkarılan kondansatör için hemen sayma işlemi başlatılmakta ve yeniden devreye alınacağı anda hiç gecikme zamanı olmadan devreye alınmak üzere hazır bekletilmektedir. Böylece yeni tasarlanan rölede “kondansatörü devreye al” komutu geldikten sonra hiç bekleme olmadan kondansatör devreye girerek gereksiz gecikme ortadan kaldırılmış ve güç kaybı önlenmiş olmaktadır.

2- Tasarlanan yeni sistemde, kademe, ayar dizisi, anahtarlama programı gibi kavramlar ortadan kaldırılmıştır. Kompanze edilecek tesis gözlenerek reaktif güç değişim aralıkları ve kademeleri tespit edilir. Buna göre grup kondansatör güçleri herhangi bir anahtarlama programından bağımsız olarak seçilir. Oysa klasik sistemde sadece seçilen anahtarlama programına göre kondansatör gücü seçme zorunluluğu vardır. Bu yeni yöntemde kondansatörlerin teker teker devreye alınıp çıkarılma zorunluluğu yoktur. İstendiği kadar kondansatör grubu aynı anda devreye alınıp çıkarılabilir. Böylece klasik sisteme göre anahtarlama optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan röleye ilişkin blok diyagramı Şekil 6’da gösterilmiştir.

Şebekeden gerilim (V) ve akım (I) örnekleri alınarak analog dijital dönüştürücü vasıtasıyla dijital işaretler elde edilir. Harmonik analizi yapılarak temel akım ve gerilim bileşenine göre, görünür güç (S), aktif güç (P), reaktif güç (Q) değerleriyle, güç faktörü  $\cos\phi$  hesaplanır. 20. mertebeye kadar harmonikler göstergede izlenebilir.



Şekil 6. Tasarlanan röle için blok diyagramı

Ayrıca devreye bağlı güç kondansatörlerin ayrı ayrı güçleri sürekli olarak hesap edilir. Güç kaybı olan kondansatörler için uyarı mesajı verilir. “OP-AN” (Optimal Anahtarlama) olarak tanımlanan, yeni optimal anahtarlama ünitesi devreye kondansatör alma ve çıkarma işlemini şu şekilde gerçekleştirmektedir.

Öncelikle röleye C/k ve %X ayarları girilir. Kompanzasyon yapılacak tesise uygun olarak kondansatör grupları oluşturulur. Tesis çalışmaya başlayarak indüktif olarak yüklenir. Aynı zamanda röle devreye girmiştir. İlk önce röle tüm kondansatörler için zaman sayacını çalıştırarak ayarlanan deşarj süresi kadar saymayı tamamlayıp, devreye alınmak üzere hazır hale getirmiştir. Şebekenin reaktif gücü sürekli olarak ölçülerek, devreye alınacak kondansatör gücü değeri belirlenir. C/k ve %X ayarlarına göre, devreye kondansatör alma sınırına gelince, o andaki reaktif güç ihtiyacı olan kondansatör gücü seçimi için röle optimal seçime başlar.

(1) İlk olarak tek tek tüm kondansatör değerlerine ve zaman sayılarına bakılır. Zaman sayımı tamamlanmış ve devreye alınması gereken değere en yakın kondansatör gücü bulunup kaydedilir.

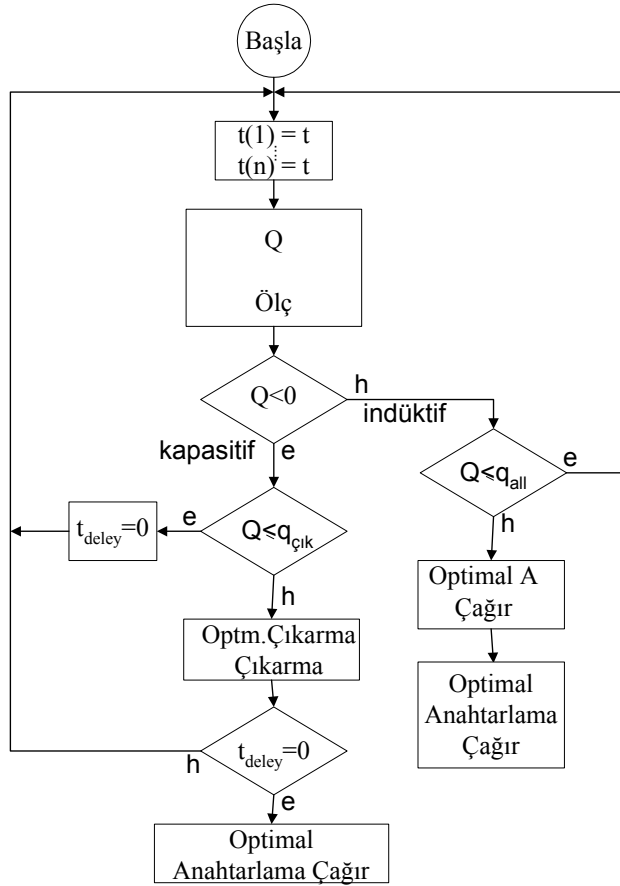
(2) 2 kondansatörü aynı anda devreye alma kombinasyonları araştırılır ve devreye alınabilecek en yakın ikili değer kaydedilir.

(3) 3 kondansatörü aynı anda devreye alma kombinasyonları araştırılır ve devreye alınabilecek kondansatör değerine en yakın 3’lü değer kaydedilir.

Bu üç seçim sonucu kaydedilmiş kondansatör değerleri birbirleriyle karşılaştırılarak devreye alınacak kondansatör gücüne en yakın kondansatör değeri belirlenir ve hemen devreye alınır.

Devreden çıkarılacak kondansatör için de bu işlemler aynen tekrarlanır. Yani önce 1, sonra 2 ve daha sonra da 3 kondansatör değeri araştırılarak devreden çıkarılması gereken değere en yakın değerli kondansatör gücü tespit edilir ve devreden çıkarılır. Şekil 7’de tasarlanan röleye ilişkin devreye kondansatör alma ve çıkarma algoritması verilmiştir.

Optimal A çağır: kondansatörlerin devrede olup olmadığını ve gecikme zamanının dolup dolmadığını kontrol eden algoritmayı gösterir.



Şekil 7. Tasarlanan rölede devreye kondansatör alma ve çıkarma algoritması

## Sonuçlar ve tartışma

Kondansatörlerin devreye alınması ve çıkarılması esnasında deşarj süresi kadar bekleme or-

tadan kaldırıldığı için (yaklaşık 40 saniye) işletmenin daha az indüktif akımla yüklenmesi, dolayısıyla güç kayıpları ve diğer olumsuzluklar en aza indirilmiştir.

Klasik rölelerdeki ayar dizisi, kademe gibi kavramlar ortadan kaldırılmıştır. İşletme koşullarına bağlı olarak istenildiği gibi ayarlanan anahtarlama programı oluşturulabilmektedir. Ayrıca devreye sadece bir tek kondansatör alma ve çıkarma zorunluluğu yoktur. Röle anahtarlama sayısı minimum olacak şekilde, kondansatörleri optimal olarak devreye alıp çıkarır. “OP-AN” olarak tanımlanan yeni optimal anahtarlama ünitesi devreye alınacak veya çıkarılacak kondansatör gücü değeri için, röle önce tek tek tüm kondansatör güçlerine ve zaman sayaçlarına bakar. Alınması gereken değere en yakın kondansatör gücü kaydedilir. Daha sonra iki kondansatörü aynı anda devreye alma kombinasyonları araştırılır ve devreye alınabilecek en yakın ikili değer kaydedilir. Son olarak da 3 kondansatörü aynı anda devreye alma kombinasyonları araştırılır ve devreye alınabilecek kondansatör değerine en yakın üçlü değer kaydedilir. 1, 2 veya 3 kondansatör gruplarını kaydedilmiş değerler arasındaki devreye alınacak kondansatör gücüne en uygun olanı devreye alınır. Devreden çıkarılacak kondansatörler için de aynı işlemler gerçekleştirilir.

Optimal olarak devreye kondansatör alma ve çıkarma işlemi sonucu,

— Sistemdeki kontaktör ve kondansatörlerin anahtarlama sayısı minimum olacak şekilde, optimal seçim gerçekleştirilmiştir.

— Tüm kondansatörler, minimum zamanda ve en yakın değerde devreye alınarak, sistemin en az indüktif reaktif akımla yüklenmesi sağlanmış, bunun sonucu olarak da aktif güç kayıpları azaltılmıştır.

— Devreden çıkarılacak kondansatörler için de, minimum zaman ve en yakın değer belirlenerek, aşırı kompanzasyon ve bunun meydana getireceği sakıncalar önlenmiştir.

Klasik ve yeni geliştirilen röle, hesaplama, deneysel olarak ve sisteme getireceği ekonomik fayda

bakımından karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada yeni röle klasik röleye göre, anahtarlama sayısının ve aktif güç kayıplarının azaltılmasında %100'den fazla bir üstünlük sağlamıştır. Bu da sisteme ekonomik bir iyileştirme getirmiştir. Bu röle imal edilmiştir ve uygunluğu deneylerle kanıtlanmıştır.

### Semboller

$V$	: Gerilim (Volt)
$I$	: Akım (Amper)
$S$	: Görünür güç (kVA)
$P$	: Aktif güç (kW)
$Q$	: Reaktif güç (kVAr)
$\varphi$	: Faz açısı
$\cos \varphi$	: Güç faktörü

### Kaynaklar

- Arifoğlu, U., (2002). *Güç sistemlerinin bilgisayar destekli analizi*, Alfa Basım Dağıtım, İstanbul.
- Bayram, M., (2000). *Kuvvetli akım tesislerinde reaktif güç kompanzasyonu*, Birsen Yayınevi, İstanbul.

- Entes, (2001-2002). *Power factor controllers*, katalog yayın tarihi 25-09-2001, İstanbul.
- Gyugi, L. ve Taylor, E., (1980). Characteristics of static thyristor controlled shunt compensators for power transmission system applications, *IEEE Transactions on Power Applied Systems*, Pas-99, Sept/Oct., 1975-1804.
- Kutluay, K., Bulut, M., Çiloğlu, T., Ermis, M., (1989). Microdenetleyici tabanlı reaktif güç kontrol rölesi, *Elektrik Elektronik, Bilgisayar Mühendisliği 7. Ulusal Kongresi*.
- Mandal, S. K., Basu, A., Kar, S. P., Chowdhury, (1994). A microcomputer based power factor controller, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 41, 3.
- Miller, T. J. E., (1982). *Reactive power control in electric systems*, Pres, John Wiley & sons, New York.
- Özdemir, A., (1997). *Reaktif gücün hızlı değişen olaylarda yapay sinir ağları ile kontrolü*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sheble, G. B., (1987). *Reactive Power: Basics, Problems and Solutions*, IEEE Pres. Newyork
- Siemens, (2001-2002), *Power factor correction*, 2001-2002 katalog, Berlin.