

REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONUNDA YENİ BİR RÖLE TASARIMI VE KLASİK RÖLE İLE EKONOMİK OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

Mustafa ŞEKKELİ

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mim.-Müh. Fak., Elektrik-Elektronik Bölümü, Kahramanmaraş

Geliş Tarihi : 10.11.2006

ÖZET

Reaktif güç kompanzasyonu genellikle, şebekeye paralel bağlı sabit kondansatörlerin reaktif güç kontrol rölesi ile otomatik olarak devreye alınıp çıkarılmasıyla yapılır. Bu çalışmada, yeni bir reaktif güç kontrol rölesi dizaynı yapılarak, kondansatörlerin devreye alınıp çıkarılmalarını optimal olarak gerçekleştiren yeni bir yöntem verilmiştir. Bu yöntemde kondansatörler, tek tek yerine 1, 2 veya 3'lü gruplar halinde devreye alınıp çıkarılabilmektedir. Bunun sonucu olarak ta kontaktör ve kondansatörlerin anahtarlama sayısı minimum yapılmış, şebekenin daha az endüktif akımla yüklenmesi sağlanmış ve kayıplar azaltılmıştır. Tasarlanan röle ile klasik röle ekonomik olarak karşılaştırılmıştır. Bu röle imal edilmiş ve deneylerde uygunluğu kanıtlanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Kompanzasyon, Reaktif güç kontrol rölesi, Kondansatör, Kayıplar.

A NEW RELAY DESIGN FOR REACTIVE POWER COMPENSATION AND ECONOMICAL COMPARISON WITH CLASSICAL RELAY

ABSTRACT

In most cases, reactive power compensation is automatically achieved with reactive power control relay by switching on and off, stationary shunt capacitors to the electrical network. In this study, a new relay has been designed and developed. In this method, capacitors which is switched on and off are optimally chosen. In classical relay, only one capacitor can be added or extracted to the network. But, in designing new relay, 1, 2 or 3 capacitor banks which are nearest value for desired inductive reactive power can be optimally chosen. As a result, switching number of capacitor and contactor is reduced minimum value and line is loaded less inductive current, it means that less active power losses. New designed relay has been compared with classical one economically. This relay has been manufactured and approved experimentally.

Key Words : Compensation, Reactive power controller, Capacitor, Losses.

1. GİRİŞ

İdeal bir enerji sisteminde, tüm besleme noktalarında, gerilim ve frekans sabit, harmoniksiz ve güç faktörü 1'e yakın olmalıdır.

Güç faktörünü düzelterek elektrik enerjisinin kalitesinin artırılıp daha verimli kullanılmasında,

reaktif güç kompanzasyonu önemli rol oynamaktadır.

Tüketicilerin normal olarak şebekeden çektikleri endüktif reaktif gücün, kapasitif güç çekmek suretiyle özel bir reaktif güç üreticisi tarafından dengelenerek güç faktörünün (cosφ) 1'e yaklaştırılması olayına reaktif güç kompanzasyonu

denir (Miller,1982). Günümüzde reaktif güç kompanzasyonu merkezi olarak yapılmaktadır. Reaktif güç kontrol rölesi adı verilen cihazla, tesise paralel bağlı kondansatörler, ihtiyaca göre devreye alınıp çıkarılır. Böylece tesisin güç katsayısının istenen değerde kalmasına çalışılır (Arifoğlu, 2002).

Merkezi kompanzasyon sisteminde kondansatörlerin anahtarlanması, yani devreye girip çıkmaları kontaktörlerle yapılmaktadır.

Kontaktörün ömrü bağlanan cihazın anma akımına ve açma kapama sayısına bağlıdır. Dolayısıyla kontaktör açma kapama sayısının minimum seviyede kalmasına çalışılmalıdır. Özellikle kondansatör devrelerinde açma akımıyla beraber kapama akımı da etkili olduğundan, geçici olayların fazla olması nedeniyle, açma kapama sayısına daha fazla özen gösterilmelidir (Bayram, 2000).

Reaktif güç kompanzasyonunda kullanılan klasik reaktif güç kontrol rölesinde anahtarlama programı nedeniyle kondansatörler endüktif yük değişimine bağlı olarak sık sık devreye alınıp çıkarılmaktadır. Baştan al baştan bırak mantığı ile çalışan rölelerde, özellikle birinci kondansatör grubuna bağlı kontaktör çok daha fazla anahtarlama gerçekleştirilmektedir.

Mevcut klasik rölede, kondansatörler sadece ayarlanan anahtarlama programına göre ve bir kondansatör gurubu olarak devreye girip çıkarlar. İstenen reaktif güç değerindeki kondansatörlerin tamamı devreye alınıncaya kadar, belirli bir süre geçer ve çok fazla anahtarlama işlemi yapılır.

Bu arada tüm kondansatörler devreye girinceye kadar geçen sürede sistem endüktif reaktif akımla yüklenmektedir. Bu da aktif kayıpların artması demektir. Sistemde meydana gelen aktif kayıplar, denklem (1) de gösterilmiştir.

$$P_k = R \times I^2 \text{ (Watt)} \quad (1)$$

R= hattın direnci (ohm)
I= efektif akım (Amper)
ile ifade edilir.

Bu ifadeden görüldüğü gibi güç kaybı, direnç ve şebekeden çekilen görünür efektif akımın karesi ile çarpımından meydana gelmektedir. Görünür akım içerisinde reaktif bileşenin azaltılması, oluşan kayıpları da azaltacaktır.

2. KLASİK REAKTİF GÜÇ KONTROL RÖLESİ

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 (Bayram, 2000).

Reaktif güç kontrol rölesi, sistemin güç faktörünü ölçerek önceden tanımlanmış güç faktörüne ulaşmak için kondansatör guruplarını yüke paralel olarak devreye almakta veya çıkarmaktadır (Mandal et al., 1994).

Rölenin çalışma prensibi olarak, önce sistemin reaktif gücü ölçülüp, endüktif veya kapasitif karakterde olduğuna karar verilir. Eğer kapasitif bölgede ve devreden kondansatör çıkarma bölgesinde ise, devreden kondansatör çıkarma algoritması çalışır ve sırayla kondansatörler çıkarılır. Eğer endüktif bölgede ve devreye kondansatör alma bölgesinde ise, birinci kondansatörden başlanarak, belirlenen anahtarlama programına göre devreye kondansatör alınır (Sheble, 1987).

Reaktif güç kontrol rölesi, mikroişlemci tabanlı olup, temel olarak üç ana ünitelerden oluşur. Bunlar ölçme, değerlendirme ve anahtarlama üniteleridir. Şekil 1'de klasik reaktif güç kontrol rölesi blok diyagramı verilmiştir (Mandal et al., 1994). Blok diyagramından anlaşılacağı gibi reaktif güç kontrol rölesinin giriş işaretleri hat geriliminden (U), hat akımından (I) ve harmonikleri ölçmek amacıyla kondansatör akımlarından oluşmaktadır. Ölçme devreleri aldığı bu sinyalleri işleyerek kontrol devresinin kullanabileceği işaretler haline getirir. Kontrol devresi ölçüm devrelerinden aldığı bilgileri değerlendirerek röle çıkış devreleri aracılığıyla kondansatörleri devreye almakta veya çıkarmaktadır. Aynı zamanda sinyalizasyon devreleri yardımı ile kullanıcı bilgilendirilmekte ve her hangi bir alarm durumuna karşı uyarılmaktadır. Ayrıca kullanıcı butonlar yardımı ile sistemin durumu hakkında istediği bilgiye ulaşabilmekte ve istenilen güç faktörünü ayarlayabilmektedir.

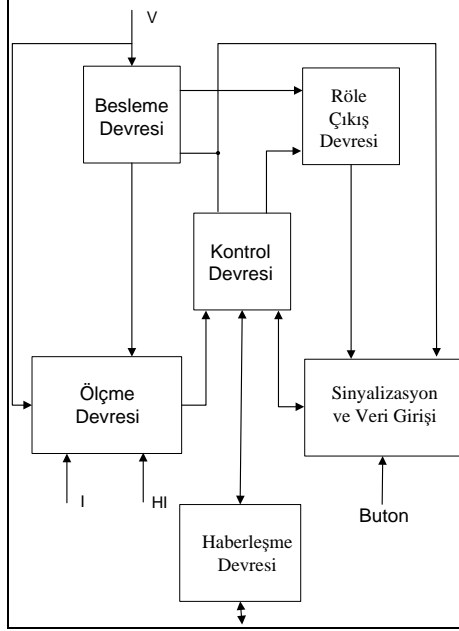
İyi bir kompanzasyon için reaktif güç kontrol rölesinde bazı ayarların doğru bir şekilde yapılması gerekir. Bu ayarlar;

- 1 C/k ayarı
- 2 Çalışma bölgesi (%x) veya cosφ ayarı
- 3 Anahtarlama programı
- 4 Kondansatör deşarj süresi ayarı

Bu ayarlardan bu çalışma ile ilgili olanı anahtarlama programıdır.

Merkezi otomatik ayarın bir gereği olarak, toplam kompanzasyon gücü gruplara ayrılır. Reaktif güç kontrol rölesi çıkışında her bir röleye bağlanan

kondansatöre “grup” denir. Tesisin reaktif güç ihtiyacı, bu grupların devreye alınıp çıkarılması ile kademeli bir şekilde gerçekleştirilir. Kondansatörlere kontaktörler yardımıyla anahtarlama yapılır (Siemens, 2001; 2002).



Şekil 1. Reaktif güç kontrol rölesi blok diagramı.

Anahtarlama işlemi, devreye kondansatör alma ve bırakma esnasında baştan sona doğrudur. Gruplardaki kondansatör güçlerinin seçimi çok önemlidir. Bu seçim için şu kurala uyulmalıdır. Herhangi bir gruptaki kondansatör gücü, kendinden önceki grup güçleri toplamından en çok birinci grup kondansatör gücü kadar fazla olabilir.

Örnek olarak anahtarlama programı 1: 2: 4: 8 olan rölenin çalışma diyagramı tablo 1 de gösterilmiştir.

Tablo1. 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															

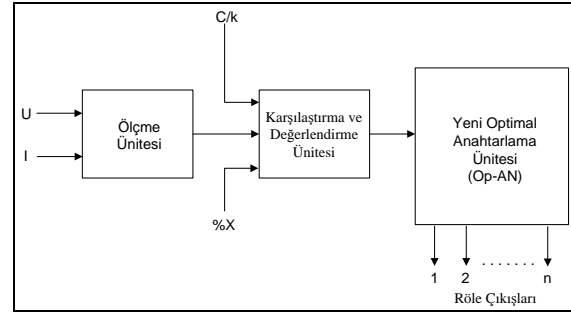
Tablodan görüldüğü gibi, toplam anahtarlama 15 adımda gerçekleşmiş ve 1. kademe kondansatör daha fazla devreye girip çıkmıştır. Bu da 1. kondansatöre ait anahtarlama elemanının (kontaktör) çok daha fazla yıpranması demektir. Bu tip röleler “baştan al baştan bırak” prensibine göre çalışır.

Ayrıca, kondansatör ve kontaktörlerin eşit sayılarda devreye girip çıkmalarını sağlamak amacıyla, rotasyonel anahtarlama programı da geliştirilmiştir (Entes, 2001; 2002).

3. TASARLANAN REAKTİF GÜÇ KONTROL RÖLESİ

Klasik rölelerde kondansatörlerin devreye alınıp çıkarılma işlemi anahtarlama programına göre yapılır. Önerilen ve tasarlanan yeni sistem de ise, kademe, ayar dizisi, anahtarlama programı gibi kavramlar ortadan kaldırılmıştır. Kompanze edilecek tesis gözlenerek reaktif güç değişim aralıkları ve kademeleri belirlenir. 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. İstenildiği kadar kondansatör grubu aynı anda devreye alınıp çıkarılabilir. Böylece klasik sisteme göre anahtarlama optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Şekil 2 de tasarlanan reaktif güç kontrol rölesinin blok diyagramı gösterilmiştir (Şekkeli, 2004)



Şekil 2. Reaktif güç kontrol rölesi blok diyagramı.

Röle temel olarak ölçme, değerlendirme ve anahtarlama ünitelerinden oluşmaktadır. Sürekli olarak yükün çektiği aktif, reaktif ve görünür güçler ölçülür. Röle istenen güç faktörüne göre sisteme kondansatör alır veya çıkarır. Ölçme devresi sistemden aldığı akım ve gerilim sinyallerini işleyerek kontrol devresinin kullanabileceği işaretler haline getirir. Kontrol devresi ölçme devresinden aldığı bilgileri değerlendirerek röle çıkış devreleri aracılığıyla kondansatör gruplarını devreye alır veya çıkarır.

Optimal anahtarlama bölümünde normal röleler kullanılmıştır. “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 endüktif olarak yüklenir. Aynı zamanda röle devreye girmiştir. 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.

Birinci olarak tek tek tüm kondansatör değerlerine bakılır. Devreye alınması gereken değere en yakın kondansatör gücü bulunup kaydedilir.

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

Üçüncü olarak 3 kondansatörü aynı anda devreye alma kombinasyonları araştırılır ve devreye alınabilecek kondansatör değerine en yakın 3'lü değer kaydedilir.

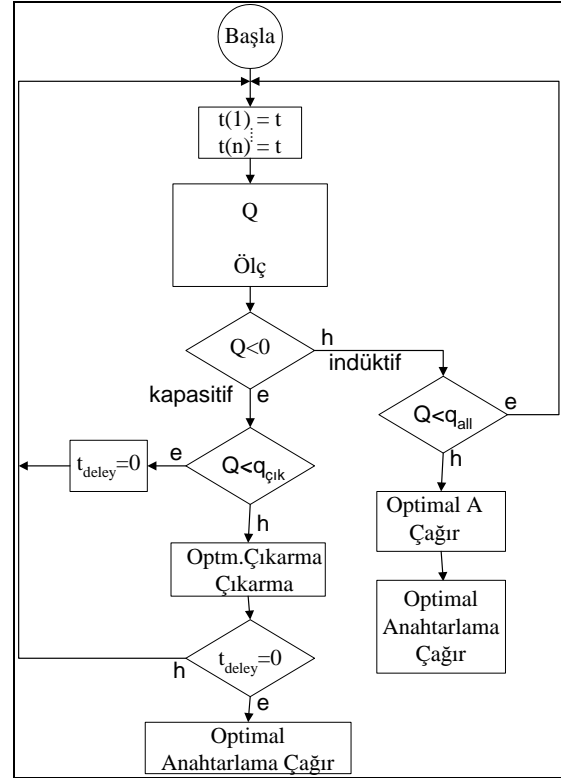
1 kondansatör, 2 kondansatör veya 3 kondansatör gruplarının kaydedilmiş değerleri karşılaştırılarak, devreye alınacak kondansatör gücüne en yakın değer belirlenip hemen devreye alınır.

Devreden çıkarılacak kondansatör için 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 belirlenir ve devreden çıkarılır.

Böylece devreye kondansatör alma ve çıkarma işlemi optimal olarak gerçekleştirilmiş olur. Şekil 3 te tasarlanan röleye ilişkin devreye optimal kondansatör alma ve çıkarma algoritması gösterilmiştir.

Optimal kondansatör seçimi sonucu;

- 1 Sistemdeki kontaktör ve kondansatörlerin minimum anahtarlama sayısı hedeflenerek, optimal anahtarlama gerçekleştirilmiş,
- 2 Tüm kondansatörler minimum zamanda ve devreye alınacak kondansatör gücüne en yakın değer olarak devreye alınarak, tesisin endüktif akımla yüklenmesi azaltılmış, dolayısıyla aktif kayıplar minimum değere indirilmiş,
- 3 Devreden çıkarılacak kondansatörler için de minimum zaman ve devreden çıkarılacak kondansatör gücüne en yakın kondansatör değeri belirlenerek, aşırı kompanzasyon, dolayısıyla bunun sistemde meydana getireceği olumsuzluklar önlenmiş, olmaktadır (Şekelli, 2004).



Şekil 3. Tasarlanan rölede devreye optimal kondansatör alma ve çıkarma algoritması.

4. KLASİK VE YENİ RÖLENİN DENEYSEL KARŞILAŞTIRILMASI

Yapılan çalışmanın deneysel sonuçlarını çıkarıp, klasik röle ile yeni röleyi karşılaştırmak amacıyla, deney düzeneği oluşturulmuştur. Her iki röle için, ayrı ayrı olmak üzere çeşitli endüktif yük kombinasyonları oluşturulabilmektedir. Endüktif yükler, güçleri farklı balastlardan oluşmuştur. Tek bir anahtarla aynı anda her iki röleye eşit yük bağlanabilmektedir. Yük değerleri istenildiği kadar devreye alınıp çıkarılabilir.

Deney setinde yapılan testler ve karşılaştırma sonuçları aşağıda verilmiştir.

$P = 165 \text{ W.}$ (ölçülen aktif güç)
 $Q_{in} = 1270 \text{ Var.}$ (indüktif reaktif güç)
 $S = 1350 \text{ VA.}$ (görünür güç)
 $Q_c = 1050 \text{ VAR}$ (bağlanacak kapasitif güç değeri)
 $t = 15 \text{ sn.}, \text{Cos}\phi_1 = 0,12, \text{Cos}\phi_2 = 0,98$
 Klasik röle ayar dizisi
 $1 : 1 : 1 : 1 : 1 : 1$
 $175 : 175 : 175 : 175 : 175 : 175 \text{ VAR}$
 (Kademe sayısı 6)

Anahtarlama programı klasik röle için yukarıdaki gibi seçilmiş, yeni röleye göre ise anahtarlama programından bağımsız olarak en uygun şekilde seçilmiştir. Her iki röle için de eşit koşullar oluşması için kademe sayısı 6 seçilmiştir. Yapılan deneme sonucunda devreye alma programları klasik röle için Tablo 2’de ve yeni röle için Tablo 3’de gösterilmiştir.

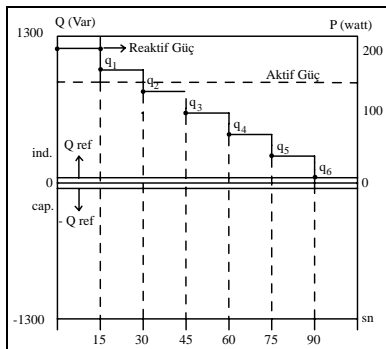
Tablo 2. Klasik Röle Ayar Programı.

Kond. Kademe	Adım					
	1	2	3	4	5	6
1	175	●	●	●	●	●
2	175		●	●	●	●
3	175			●	●	●
4	175				●	●
5	175					●
6	175					●

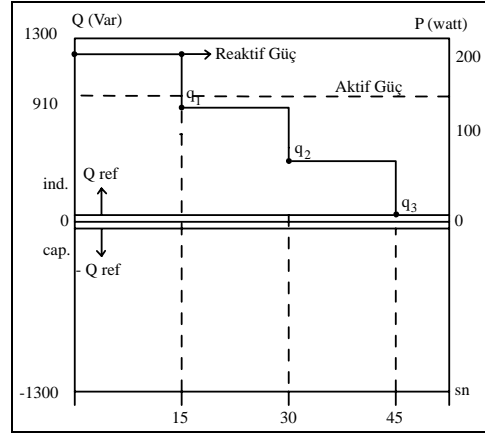
Tablo 3. Yeni Röle Ayar Programı.

Kond. Kademe	Adım		
	1	2	3
1	360	●	●
2	240		●
3	120		●
4	180		●
5	90	●	●
6	60		●

Tablolara göre devreye bağlı tüm kondansatörlerin anahtarlama klasik rölede 6 yeni rölede ise 3 adımda tamamlanmıştır. Şekil 4’de ve Şekil 5’de klasik röle ve yeni röleye ilişkin devreye kondansatör alma diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 4. Klasik röle ile devreye kondansatör alma diyagramı



Şekil 5. Yeni röle ile devreye kondansatör alma diyagramı

Diyagramlardan görüldüğü gibi istenen güç faktörü değerine gelmek için klasik röle ile 6 adım ve 90 sn., yeni röle için ise 3 adım ve 45 sn. geçmiştir. Tablo 4’de deney sonuçları görülmektedir.

Tablo 4. Yeni Röle Ve Klasik Röle Karşılaştırma Tablosu.

Değerler	Zaman Ayarıt (sn.)	Kademe Sayısı	Toplam Anahtarlama Sayısı	Toplam Devreye Girme Zamanı
Klasik Röle	15	6	6	90 sn.
Yeni Röle	15	6	3	45 sn.
% Kazanç	—	—	%100	%100

Yapılan bu deney sonucuna göre, yeni röle klasik röleye göre, anahtarlama sayısında ve toplam devreye girme zamanında, dolayısıyla oluşan aktif kayıpların azaltılmasında % 100’lük bir üstünlük sağlamıştır (Şekkeli, 2004).

5. YENİ TASARLANAN RÖLENİN KLASİK RÖLE İLE EKONOMİK YÖNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

Önerilen röle ile klasik röle , sistemdeki aktif enerji kayıplarının azaltılması ve kompanzasyon sisteminde kullanılan kontaktörlerin kullanım ömürlerinin uzatılması hedeflenerek ekonomik yönden karşılaştırılmıştır. Bu amaçla , elektrik enerji fiyatları ile enflasyon ve döviz kurları arasında bir korelasyon kurmak amacıyla, TCMB, DİE ve TEDAŞ verilerine göre son 10 yılın döviz kuru, enflasyon değerleri ve elektrik enerji fiyatları alınarak regresyon analiz yapıp aşağıdaki fonksiyon elde edilmiştir.

$$y = 2991 + 0,1X_1 - 58,6X_2 \quad (2)$$

Burada; y , enerji maliyetini, X_1 , enflasyonu, X_2 , TL/dolar kurunu göstermektedir.

Aynı şekilde kontaktör Fiyatlarının motor gücüne ve kontaktörün Açma Kapama Sayısına Bağlı Olarak Regresyon Fonksiyonun aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$W = 278,85 + 0,84Z_1 + 22,44Z_2 \quad (3)$$

Burada W = kontaktör fiyatı (milyon TL), Z_1 =motor gücü (kW), Z_2 = açma kapama sayısını (Milyon adet) göstermektedir.

5. 1. Aktif Kayıpların Azalmasında Ekonomik Karşılaştırma

Tesisin yüklerini besleyen fiderlerdeki I^2R kayıplarından doğan kayıp enerji, kondansatörlerin devreye girme zamanının (Δt) fonksiyonudur. Önerilen rölenin devreye girme süresi klasik röleye göre daha küçüktür. Dolayısıyla $t = 0$ referans zamanındaki TL/kWh tarifi üzerinden “ekonomik katkı”

$$K_{t_0} = C \cdot (\Delta t^{\text{klasik}} - \Delta t^{\text{önerilen}}) \cdot \text{tarife}_{(t=0)} \dots (TL) \quad (4)$$

biçiminde ifade edilebilir. Tesisin yük karakteristiğinin, günlük işletme süresinin, yük değerlerinin ve fider topolojisinin değişmediği kabul edilecek olursa, “C çarpanı” da sabit kalacaktır. (C iç fiderlerin, trafo sargı direncinin ve TEDAŞ hattının omik dirençlerinin I^2R kayıplarını simgelemektedir.)

Önerilen rölenin bir tesise sağlayacağı ekonomik katkı, mühendislik ekonomisinden bilinen “karar verme ve değerlendirme” yöntemlerinin uyarlanmasıyla ortaya konulabilir (Park, 2002). Bunun için, üç ekonomik parametrenin önceden seçilmesi gerekir:

- Ekonomik analizin yapılacağı “süreç” (geleceğe dönük inceleme süresi), T:yıl
- Ekonomik analizin yapılacağı süreç için ön görülen “(ortalama) değerlendirme oranı” (paranın zaman değeri, MARR, Minimum Acceptable Rate of Return), $i = \% / \text{yıl}$
- Değerlemenin hangi tür olacağı (aylık ödemeli ve sürekli ödemeli olması) (Rothwell et al., 2003).

(Not: Burada, daha çok kabul gören aylık ödemeli değerlendirme modeli göz önüne alınmıştır.)

$t = 0$ anından itibaren T anına kadar geçecek süre içinde “ekonomik katkı (K)”, mühendislikte en sık kullanılan şimdiki değer yöntemi, yıllık değer yöntemi ve geri ödeme süresi yöntemi ile ifade edilmiştir. Şimdiki değer yönteminde t_0 -T aralığındaki tüm para akışları $t=0$ anına indirgenmektedir. Bu aralıktaki para akışları K_t ; $t = 1, 2, \dots$ dir. TL/kWh tarifesi geleceğe ait projeksiyonu denklem 2’de bulunan $y = 2991 + 0,1X_1 - 58,6X_2$ regresyon denkleminde belirlenebilir. Burada hedeflenen enflasyon ve kur değerleri kullanılabilir. (Ekonomi yönetiminin geleceğe ait öngörülerini veya bazı ekonometrik modeller veri oluşturabilir.)

Sonuç olarak, t_0 -T aralığında yıllık (ortalama) TL/kWh tarifeleri önceden kestirilebilir.

“Ekonomik katkı (K)”nın $t=0$ anındaki değeri (4) denklemi ile verilmiştir. $t_0=T$ dönemde tesise sağlanan ekonomik katkının güncellenmiş şimdiki değeri

$$\$D(K_{t_0}) = \sum_{t=1}^T C(\Delta t^{\text{klasik}} - \Delta t^{\text{önerilen}}) \text{tarife}(t) (1+i)^{-t} \dots (TL) \quad (5)$$

olacaktır. t_0 -T döneminde tesise sağlanan ekonomik katkının yıllık üniform değeri, yıllık değer yöntemi yardımıyla hesaplanabilir:

$$YD(K) = \$D(K_{t_0}) \left[\frac{i(1+i)^T}{(1+i)^T - 1} \right] \dots (TL/Yıl) \quad (6)$$

Önerilen rölenin sağladığı “ekonomik katkı (K)” Geri Ödeme Süresi Yöntemi yardımıyla da ortaya konulmuştur. Buna göre klasik rölenin kullanıldığı bir kompanzasyon sisteminin “Geri Ödeme süresi (GÖS)” şöyle yazılacaktır:

$$GÖS^{\text{klasik}} = (J-1) + \frac{M_{\text{komp}} - \sum_{i=1}^{n-1} (\text{para girişi})_j^{\text{klasik}}}{(\text{Para Girişi})_j} \dots (yıl) \quad (7)$$

Burada M_{komp} . Kompanzasyon sisteminin yapım maliyetini, “para girişi” kompanzasyon sonucu akım(lar)ın genliğinin azalmasıyla kayıplardan sağlanan kazancı (tasarrufu), j ise kümülatif para girişinin M_{komp} değerinin (yatırım tutarı) geçtiği yılı göstermektedir. Aylık TL/kWh tarifesi değişik olacağı varsayımıyla, yıllık (ortalama) para girişleri de eşit alınmamıştır. Eğer TL/kWh tarifi “sabit” kalıyorsa, (7) denklemi daha basit bir şekile alır:

$$GÖS^{\text{klasik}} = \frac{M_{\text{komp}}}{(\text{Para girişi})^{\text{klasik}}} \dots (yıl) \quad (8)$$

Önerilen rölede ise, herhangi bir j.yıl için para girişi şöyle formüle edilebilir:

$$(\text{para girişi})^{\text{önerilen}} = (\text{para girişi})^{\text{klasik}} + K_j \quad (9)$$

(9) denkleminin (7)'de yerine konulmasıyla

$$\text{GÖS}^{\text{önerilen}} < \text{GÖS}^{\text{klasik}} \quad (10)$$

bulunacağı açıktır. (GÖS ne kadar kısa ise, o seçenek tercih edilecektir. Bu yöntem, paranın zaman değerini (i) dikkate almaz.)

(Ekonomik değerlendirme yöntemleri, değişik bakış açılarından ekonomik seçeneği belirlemeyi amaçlar. Çoğu kez hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın, ekonomik seçenek (sonuç) aynı çıkar.) burada da;

- (5) denkleminde $\text{ŞD}(K_{t_0}) > 0$ çıkması
 - (6) denkleminde $\text{YD}(K) > 0$ çıkması
- “önerilen röle” nin ekonomik seçenek olduğunu gösteren ortak bulgulardır.

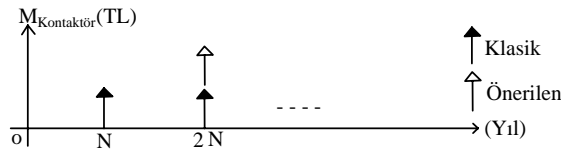
5. 2. Kontaktör Ömrünün Uzatılmasında Ekonomik Karşılaştırma

Önerilen röle de kontaktörün anahtarlama sayısının, klasik röleye göre yarı yarıya az olduğu hesaplardan ve deneylerden bulunmuştu.

Bu durumda kontaktör ömrü, önerilen röle için 2 kat daha fazla olacaktır. Tesiste klasik rölenin bulunması halinde kontaktörün ömrü

$$N = \frac{\text{Açma Kapama Sayısı}}{(\text{Günlük Anahtarlama Sayısı}) \cdot \tau} \dots (\text{yıl}) \quad (11)$$

olur. τ Tesisin yıl boyunca işletme süresidir (gün/yıl). Tesiste “önerilen rölenin” kullanılması halinde kontaktörün ve klasik rölenin para akışı (maliyet) diyagramları Şekil 6.'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Her iki tip rölede kontaktör maliyetlerinin zamana göre değişimleri

Klasik rölede kontaktör maliyetinin şimdiki değeri

$$\text{ŞD}(M_{\text{kont}})^{\text{klasik}} = M_{\text{kont}(t=N)} \times (1+i)^{-N} + M_{\text{kont}(t=2N)} (1+i)^{-2N} \quad (12)$$

Önerilen rölede ise

$$\text{ŞD}(M_{\text{kont}})^{\text{önerilen}} = M_{\text{kont}(t=2N)} (1+i)^{-2N} \quad (13)$$

olacaktır. i her zaman pozitif olacağından ve $N+N = 2N$ inceleme periyodu sabit olduğundan,

$$\text{ŞD}(M_{\text{kont}})^{\text{önerilen}} < \text{ŞD}(M_{\text{kont}})^{\text{klasik}} \quad (14)$$

bulunacağı açıktır. Böylece, kontaktörlerin ömrünün açma kapama sayısına bağlı olması, dolayısıyla yeni röle kullanımında klasik röleye göre kontaktör ömrünün yaklaşık 2 kat daha fazla olması, sisteme ekonomik bir üstünlük olarak yansımaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yeni bir reaktif güç kontrol rölesi tasarımı yapılarak, kontaktör ve kondansatörlerin devreye girip çıkma sayılarının minimum yapılması ve sistem kayıplarının azaltılması amaçlanmış ve bunu sağlamak üzere yeni bir yöntem geliştirilmiştir.

Bu yönetime göre,

Tasarlanan yeni rölede, ayar dizisi, kademe gibi kavramlar ortadan kaldırılmıştır. İşletme koşullarına bağlı olarak istenildiği gibi ayarlanan anahtarlama programı oluşturulmaktadır. Ayrıca devreye sadece bir tek kondansatör alma ve çıkarma zorunluluğu yoktur.

Röle, anahtarlama sayısı minimum olacak şekilde, kondansatörleri devreye alıp çıkarır. “OP-AN” olarak tanımlanan bu yeni optimal anahtarlama ünitesi devreye kondansatörleri en uygun değer olarak alıp çıkarmaktadır

Optimal olarak devreye kondansatör alma ve çıkarma işlemi sonucu,

- 1 Sistemdeki kontaktör ve kondansatörlerin anahtarlama sayısı minimum olacak şekilde, optimal seçim gerçekleştirilmiştir.
- 2 Tüm kondansatörler, minimum zamanda ve en yakın değerde devreye alınarak, sistemin en az endüktif reaktif akımla yüklenmesi sağlanmış, bunun sonucu olarak da aktif güç kayıpları azaltılmıştır.
- 3 Devreden çıkarılacak kondansatörler için de, minimum zaman ve en yakın değer belirlenerek, aşırı kompanzasyon ve bunun meydana getireceği sınıncalar önlenmiştir.

Klasik röle ile yeni rölenin deneysel karşılaştırılması sonucu, yeni röle klasik röleye göre, anahtarlama sayısında ve toplam devreye girme zamanında, dolayısıyla oluşan aktif kayıpların azaltılmasında %100'lük bir üstünlük sağlamıştır.

Önerilen rölenin tesise sağlayacağı ekonomik katkı için, mühendislikte en sık kullanılan, şimdiki değer yöntemi, yıllık değer yöntemi ve geri ödeme süresi yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla kontaktör ömrünü uzatıp, maliyetleri düşürmek ve aktif kayıpları azaltıp enerji tasarrufu sağlamak için, regresyon analizleri yapılarak gerekli fonksiyonlar elde edilmiştir.

Bu regresyon fonksiyonları yukarıdaki üç yöntemde kullanılarak, yapılan ekonomik analiz sonucuna göre;

$$GÖS^{\text{önerilen}} < GÖS^{\text{klasik}} \quad \text{\$D}(k_{10}) > 0 \quad YD(k) > 0 \\ \text{\$D}(M_{\text{kont.}})^{\text{önerilen}} < \text{\$D}(M_{\text{kont.}})^{\text{klasik}}$$

olmaktadır. Bu ifadeler, önerilen rölenin, klasik röleye göre ekonomik sonuç olduğunu göstermektedir.

7. KAYNAKLAR

Arifoğlu, U. 2002. Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi , 341s. , Alfa Bas. Dağ. İstanbul.

Bayram, M. 2000. Kuvvetli Akım Tesislerinde Reaktif. Güç Kompanzasyonu, 21s, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Entes, 2001-2002. Power Factor Controllers, Katalog, Yayın Tarihi 25-09-2001, İstanbul.

Mandal, S. K., Basu, A., Kar, S. P., Chowdhury, 1994. A microcomputer Based Power Factor Controller. IEEE Transn. Inds. Electron., Vol. 41, No. 3, 157-165pp.

Miller, T. J. E. 1982. Reactive Power Control Systems, John Wiley & Sons inc.

Park C. S. 2002. Contemporary engineering economics, Prentice Hall.

Rothwell, G., Gomez T. 2003. Electricity Economics, IEEE Pres US.

Sheble, G.B. 1987. Reactive Power Basic, Problems and Solutions, IEEE Press, U.S., 167-170 pp.

Siemens, 2001-2002, Power Factor Correction, 2001-2002 Katalog, Berlin.

Şekkeli, M. 2004. Reaktif Güç Kontrol Rölesinde Optimal Anahtarlama İçin Yeni Bir Yöntem, Doktora Tezi, İTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 111 s.