

MEKANİK SİSTEMLERİN KONTROLÜNDE ŞÖNT KAPASİTÖR BANKLARININ ÖNEMİ

Hakan Çıtak¹, Yavuz Ege², Mustafa Göktepe³

¹BAÜ Balıkesir Meslek Yüksek Okulu, Balıkesir, Türkiye
hcitak@balikesir.edu.tr

²BAÜ Necatibey Eğitim Fakültesi, Fizik Eğitimi Bölümü, Balıkesir, Türkiye
yege@balikesir.edu.tr

³BAÜ Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Balıkesir, Türkiye
goktepe@balikesir.edu.tr

Özet

Mekanik sistemlerde hareketi sağlayan motorların yük altında yüksek torklarla çalışması şehir şebekeden çekilecek akımla ilişkilidir. Çekilen akım ne kadar yüksekse hareketi sağlayan motorların torku da o kadar büyük olur. Fakat çekilen akımın büyüklüğünü, şebekenin o hattını kullanan kullanıcı sayısı ve şebekenin toplam akım miktarı belirler. Buna rağmen şebekenin toplam akımından diğer kullanıcılara göre daha fazla çekmek şönt kapasitör banklarıyla mümkündür. Bu bildiride mekanik sistemlerin kontrol ünitelerinde kullanılan şönt kapasitör banklarının önemi ayrıntılı olarak tartışılacaktır.

Anahtar Terimler: Mekanik Sistem, Motor, Tork

Abstract

High torque operating conditions of the actuators in mechanical systems are related with high operating current, which is supplied by the local electricity network. The generated torque of the electric motors are increase with increasing of the supplied operating current. The level of the operating current is directly related by, number of the other electricity users on the local network and capability of the electricity powerstations. If the system has a parallel capacitor system, it is possible to supply high current from available local electricity network. In this paper, the possibility of the such as parallel capacitor systmes will be discussed in detail.

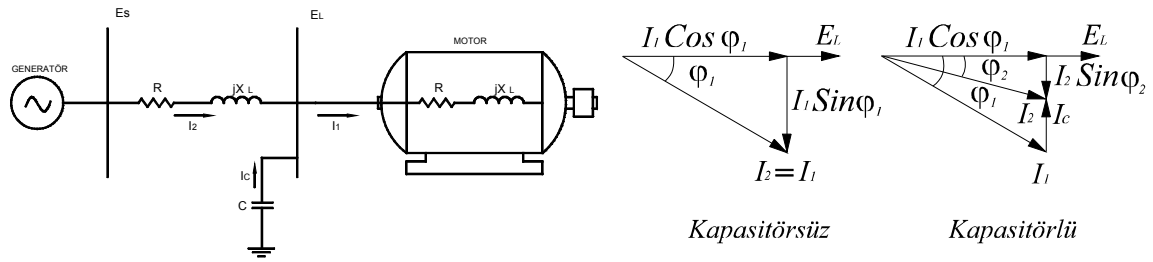
Key Words: Mechanics System, Motor, Torque

1.GİRİŞ

Bir kondansatör, elektrik sistemine paralel olarak bağlandığında statik bir reaktif akım kaynağı işlevini görür. Dolayısıyla pratik yada ekonomik olarak bütün reaktif yükü besleyemeyen sistem generatörlerini destekler. Endüktif güç, kapasitif güç ile kompanze (ayar) edilir. Reaktif enerjinin, akım kaynağından çekilip harcanmadan yine akım kaynağına iade edilen bir enerji olduğu bilinmektedir. Alıcı tarafından kaynaktan çekilen endüktif enerji, kaynağa iade edileceği

anda kondansatör tarafından çekilir veya bloke edilir. Bundan sonra kaynaktan reaktif akım çekilmek istendiğinde bu enerji kondansatör tarafından sağlanır. Bu enerji alış-verişi ile reaktif enerji nütüleştirilmiş olur. Teorik olarak aktif ve reaktif güç talebini generatörler ile karşılamak mümkündür. Ancak sistemin işletilmesi sırasında, yaratacağı teknik sorunlar ve ekonomik açıdan bu mümkün değildir[5]. Böylece şönt kapasitörler yüke yakın bağlanarak, yapacağı reaktif akım kaynağı işleviyle kendisini elektrik sisteminin paha biçilmez bir elemanı olarak kabul ettirmiş olur.

Şönt kapasitör bu fonksiyonu ile genaratör ve besleme hatlarındaki yüklenmenin azalmasını, yük baralarındaki gerilimin yükselmesini ve sistem kayıplarının azalmasını sağlar. Çünkü; sistemin reaktif yükünün büyük bir çoğunluğu hat boyunca taşınmaz. Şönt kapasitörün basit bir sistem üzerindeki etkisi Şekil 1’de görülmektedir[6].



Şekil 1. Şönt kapasitörlerin etkisini gösteren temel vektör diyagramı.

2. ŞÖNT KAPASİTÖRLERİN TEMEL ETKİLERİ

Yukarıda da bahsedildiği gibi, şönt kapasitör statik bir reaktif akım kaynağıdır. Şekil 1 şönt kapasitörün gücü ile orantılı olarak sisteme bir reaktif akım sağlayışını ve kaynağın ürettiği reaktif akımı azaltışını göstermektedir. Şönt kapasitörlerden elde edilen tüm avantajlar bu temel gerçeğe dayanır. Genel olarak şönt kapasitörlerin şebeke üzerindeki etkileri aşağıdaki gibi sıralanabilir[3,8].

- Fider akımlarının düşürülmesi,
- Yük baralarındaki gerilimin yükseltilmesi,
- Sistem kayıplarının düşürülmesi,
- Genaratörlerin daha yüksek $\text{Cos}\varphi$ ile çalışması,
- Genaratör ve besleme hatlarındaki yüklenmenin azaltılması,
- Enerji alış-verişi yapılan bağlantı hatları üzerindeki talebin düşürülmesi.

2.1 Hat Akımının Azalması

Kaynak devrelerinden geçen reaktif akım, kapasitör akımı ile orantılı olarak azalır. Fakat toplam hat akımındaki azalma reaktif akımdaki azalmaya nazaran daha azdır. Çünkü; hat akımının iki bileşeni vardır. Bunlardan akımın aktif bileşeni sabit kalırken, reaktif bileşeni kapasitör akımı kadar azalır. Şekil 1 söylenenleri yükün kapasitör montajından sonra da aynı kalması şartıyla ispatlamaktadır.

Şekil 1’deki I_2 akımının ifadesi,

$$I_2 = I_1 \cdot \text{Cos}\varphi_1 - jI_1 \cdot \text{Sin}\varphi_1 + jI_c \quad (1)$$

olarak yazılabilir.

Bu ifadede,

$$\begin{aligned} I_1 &: \text{Kapasitörsüz hat akımını (Amper)} \\ I_2 &: \text{Kapasitörlü hat akımını (Amper)} \\ \text{Cos } \varphi_1 &: \text{Başlangıçtaki güç faktörünü} \end{aligned}$$

gösterir. Örneğin 380 Volt' luk bir devrede 100 KVA 'lık bir yük %80 güç faktöründe çalışmakta olduğu düşünülürse bu devreye 50 KVAR ' lık bir şönt kapasitör grubu monte edildiğinde kaynağın reaktif akımındaki azalma %83,3 olurken, toplam hat akımındaki azalma ise, %19,3 olmaktadır[6].

Kapasite gözönüne alındığında; hat akımındaki azalma önemli olmakla beraber, sistemin gerilim düşümünün büyük bir kısmının reaktif akımdan dolayı olduğu görülebilir. Herhangi bir devredeki yüzde gerilim düşümünün $[V_D]$ bileşenleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir[2].

$$V_{RD} = \frac{KVA \cdot R \cdot \text{Cos } \varphi_1}{10 \cdot [KV]^2} \quad V_{XD} = \frac{KVA \cdot X \cdot \text{Sin } \varphi_1}{10 \cdot [KV]^2} \quad (2)$$

Bu ifadelerde,

$$\begin{aligned} R &: \text{Hattın direncini (} \Omega \text{)} \\ X &: \text{Hattın reaktansını (} \Omega \text{)} \\ KVA &: \text{Üç fazlı yük gücünü (KVA)} \\ KV &: \text{Fazlar arası gerilimi (KV)} \end{aligned}$$

gösterir.

X değeri 2 ile 15 R kadar olan tipik güç sistemlerinde, %90 'nın altındaki güç faktörü için reaktif gerilim düşümünün, omik gerilim düşümünden daha büyük olacağı bellidir. Bağntı (1) ve (2)'yi incelediğimizde $X \cdot \text{Sin } \varphi_1 \gg R \cdot \text{Cos } \varphi_1$ olduğu görülebilir.

Sonuç olarak; akımın reaktif bileşeninin azalması gerilim düşümünün büyük bir kısmını kompanze eder, sistem voltaj seviyelerini artırır ve gerilim regülatör alanını genişletir denilebilir. Bağntı (1)'i I_1 'e böldüğümüzde birim başına (Per ünit) bir ifade elde edilebilir.

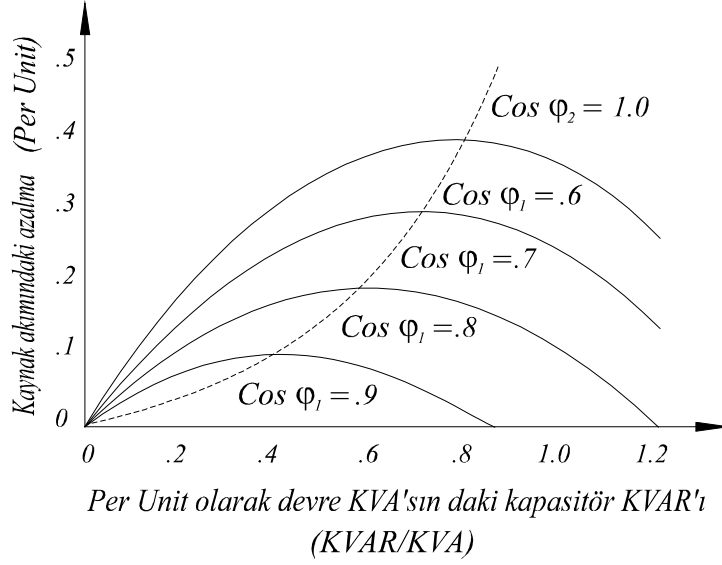
$$\frac{I_2}{I_1} = \text{Cos } \varphi_1 - j [\text{Sin } \varphi_1 - ckva] \quad (3)$$

Burada, $ckva = \frac{I_c}{I_1} = \frac{KVAR}{KVA}$ olarak ifade edilmiştir.

Kapasitörler monte edildikten sonra ilave olarak bir yük konulmazsa, hat akımındaki birim başına azalma bağntı (3)'ü 1'den çıkararak bulunabilir.

$$|\Delta I| = I - \sqrt{[\text{Cos } \varphi_1]^2 + [\text{Sin } \varphi_1 - ckva]^2} \quad (4)$$

Bu ilişki, orjinal yük güç faktörünün ve kapasitör grubunun büyüklüğünün bir fonksiyonu olarak Şekil 2' de çizilmiştir [1].



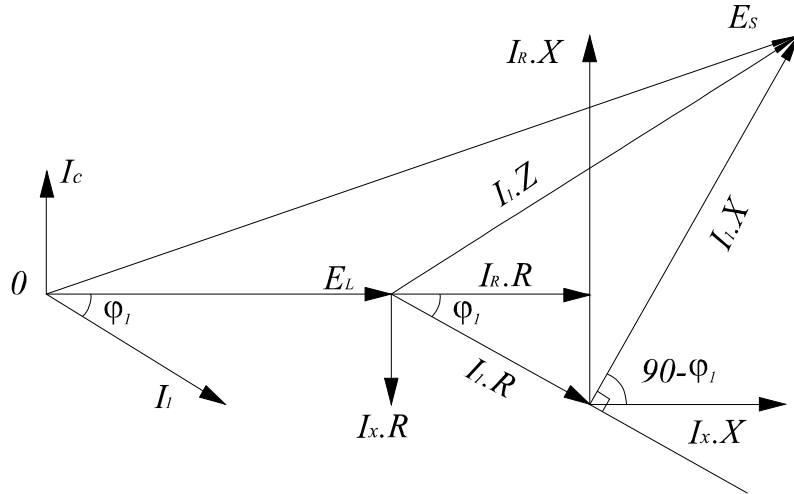
Şekil 2. Şönt kapasitörden dolayı hat akımının azalması

2.2 Artan Yük Gerilimi Seviyesi

Şekil 1'de görülen basit sistem için yük geriliminin ifadesi,

$$E_L = E_s - I_L \cdot Z \quad (5)$$

dir. Bu bağıntıda $I_L \cdot Z$ çarpımı endüktif gerilim düşümünü ifade eder. Burada kaynak empedansı Z (Ω) ile gösterilmiştir[6].



Şekil 3. Gerilim düşümünün bileşenleri

Bağıntı (5) Şekil 3'e göre yeniden düzenlenecek olursa,

$$E_L = E_s - I_L \cdot [R \cdot \cos \phi_i + X \cdot \sin \phi_i] - j I_L \cdot [X \cdot \cos \phi_i - R \cdot \sin \phi_i]$$

ve hat akımının bileşenleri,

$$I_R = I_L \cdot \cos \varphi_l \quad I_X = I_L \cdot \sin \varphi_l \quad \text{ise,}$$

$$E_L = E_S - R \cdot I_R - X \cdot I_X - j X \cdot I_R + j R \cdot I_X \quad (6)$$

olarak bulunur. Bu sisteme şönt kapasitör eklendiğinde bağıntı (6),

$$E_L = E_S - R \cdot I_R - X \cdot I_X - j X \cdot I_R + j R \cdot I_X - j R \cdot I_C + X \cdot I_C \quad (7)$$

halini alır. Bu ifadelerde,

$$\begin{aligned} E_L &: \text{Yük gerilimini} \\ E_S &: \text{Kaynak gerilimini} \\ R &: \text{Hattın direncini} \\ X &: \text{Hattın reaktansını} \end{aligned}$$

gösterir. Şekil 3'deki vektör diyagramına sahip sisteme şönt kapasitör eklendiği zaman, yük gerilim vektörü büyür. Çünkü; şönt kapasitör bağlandığı noktaya kadar olan reaktif akımın sebep olduğu gerilim düşümünü azaltmıştır. Gerilim düşümüne ait vektör diyagramındaki düşey bileşenler ihmal edilecek olursa pratik durumlar için basit ve yaklaşık çözüm sağlayacak,

$$E_L = E_S - R \cdot I_R - X \cdot I_X + I_C \cdot X \quad (8)$$

bağıntısı elde edilebilir. Bu bağıntıda eğer I_C yeterince büyükse omik ve reaktif gerilim düşümleri birbirini yok eder. Ayrıca yük akımının bileşenleri I_R ve I_X sadece yüke bağlı olduğu için hafif yük periyotları boyunca $X \cdot I_C$, $R \cdot I_R$ ile $X \cdot I_X$ gerilim düşümlerinden büyük olabilir. Böylece hat çok fazla kompanze olur ve güç faktörü kapasitif değerlere geçer. Bir dağıtım besleyicisi üzerindeki kapasitif güç faktörü o kadar önemli değildir. Ancak genel bir sistem durumu olarak bu özellik istenmez. Kapasitif güç faktörü ile çalışma, statik kararlılık bölgesini daraltır ve kayıpların, güç faktörünün 1 olduğu durumda elde edilenden daha büyük olmasına neden olur. Şekil 2'den de görüleceği gibi güç faktörünün 1 olduğu durumda akımdaki azalma da en büyüktür [1, 4].

Sabit bir kapasitör grubu bir besleyicinin temel regülasyonunu değiştirmez, çünkü kapasitör hem hafif hem de tam yükte gerilimin artmasını sağlar. Elektriki ekipmanın bu gerilime dayanıp dayanamayacağını belirlemek için hafif yük periyotları boyunca gerilim ve sistem VAR'ın daki artışı gözlemek gerekir. Kapasitör grubunun anahtarlanması, herhangi bir istenmeyen durumun önlenmesi için gerekebilir. Yükteki gerilim artışı yaklaşık olarak $X \cdot I_C$ ile doğru orantılı olduğu için, bir kondansatör tesisatının yüzde olarak yapacağı gerilim artışı,

$$V_A = \frac{KVAR \cdot X \cdot d}{10 \cdot [KV]^2} \quad (9)$$

dir. Bu bağıntıda,

$$\begin{aligned} X &: \text{Kapasitör bankına kadar olan hat reaktansını } (\Omega / Km) \\ KVAR &: \text{Kapasitör bankının gücünü } (KVAR) \\ d &: \text{Kapasitör bankına kadar olan hat uzunluğunu } (Km) \\ KV &: \text{Fazlar arası gerilimi } (KV) \end{aligned}$$

gösterir. Bu ifade belirli bir konumdaki kapasitörün sebep olduğu gerilim artışını bulmakta kullanılır.

2.3 Azalan Sistem Kayıpları

Herhangi bir iletim veya dağıtım hattının kayıpları, hat akımının karesi ile hat endüktansının ve direncinin bir fonksiyonudur. Kayıplar genellikle $I^2 \cdot R$ Watt kayıpları ile $I^2 \cdot X$

VAR kayıpları olmak üzere iki bileşen halinde ele alınırlar. Şönt kapasitör tesisatı hat akımının reaktif bileşenini azalttığı için kapasitörlerden dolayı meydana gelen kayıp azalması sadece reaktif akımın bir fonksiyonudur. Akımın gerçek bileşeninin hesaplamalarda kullanılmasına gerek yoktur. Şönt kapasitör ilavesinden dolayı $I^2 \cdot R$ güç kaybı azalması,

$$P_{K_{azalma}} = [I_x]^2 \cdot R - [I_x - I_c]^2 \cdot R = 2 \cdot I_c \cdot I_x \cdot R - [I_c]^2 \cdot R \quad (10)$$

bulunur. Aynı şekilde $I^2 \cdot X$ VAR kayıbındaki azalma,

$$Q_{K_{azalma}} = 2 \cdot I_c \cdot I_x \cdot X - [I_c]^2 \cdot X \quad (11)$$

olarak yazılabilir. Bu ifade de,

I_c : Kondansatör akımını (A)

I_x : Kapasitör eklenmeden önceki reaktif akımı (A)

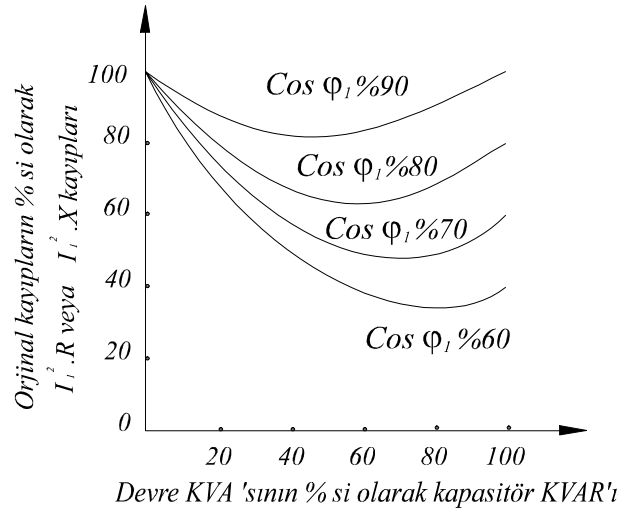
R : Hat direncini (Ω)

X : Hat reaktansını (Ω)

gösterir. Şönt kapasitörlerin sistem kayıpları üzerindeki etkisi; orjinal devre kayıplarının yüzdesi ve kapasitör montaj yüzdesinin bir fonksiyonu olarak Şekil 4'de çizilmiştir. Unutulmamalıdır ki;

$ckva = \frac{KVAR}{KVA} = \sin \varphi$ olduğu zaman kayıplar minimumdur.

Örneğin 380 Volt 'luk bir devrede 100 KVA 'lık yük %80 güç faktöründe çalıştığı düşünülürse, bu devreye 50 KVAR 'lık bir şönt kapasitör grubu monte edildiğinde empedansı $Z = 0,6 + j 0,8 \Omega$ olan bu devrede $P_{K_{azalma}} = 4719,51 W$ aktif güç kaybı azalması, $Q_{K_{azalma}} = 6292,68 VAR$ reaktif güç kaybı azalması olmaktadır[6]. Hesaplanan orjinal sistem kayıpları $13882,47 W [I^2 \cdot R]$ ve $18509,96 VAR [I^2 \cdot X]$ dir. Yukarıdaki örnekte hesaplanan kayıp azalimleri orjinal sistem kayıplarından çıkarılırsa; sonuçtaki kayıpların, orjinal kayıpların %66 'sı olduğu görülür[2].



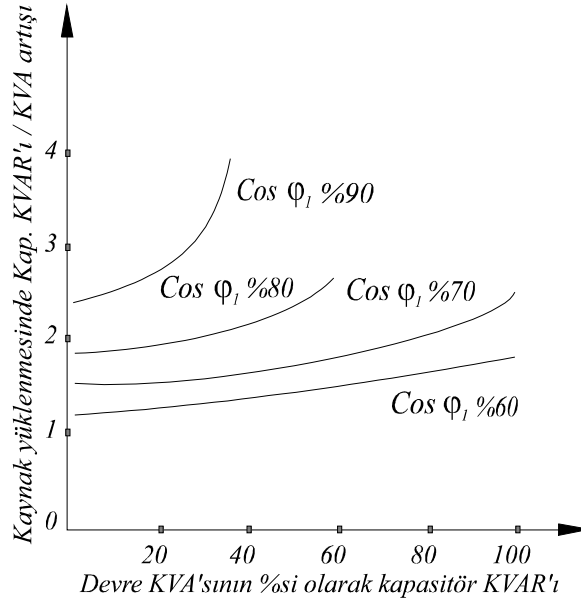
Şekil 4. Şönt kapasitörden dolayı devre kayıplarındaki azalma

2.4 Sistemin Görünür Gücündeki Azalma

Hat akımının reaktif bileşeninin azalmasından dolayı kaynağın güç faktöründeki artış, kaynağın ve hattın KVA yükünü azaltıcı yönde etki yapar. Bu etki; kaynağın ve hattın üzerinde varolan fazla yükü rahatlatır, yeni ekipman alımını geciktirir ve bazı devrelerdeki yük artışının

gerektirdiği yeni kapasitör ihtiyacını azaltır. Yüklenmedeki bu azalma azalan hat akımı ile doğru orantılıdır.

Yük artışı için ihtiyaç duyulan kapasitör miktarındaki azalma önemli bir avantajdır. İzin verilen yük artışının her KVA 'sı başına düşen kapasitör $KVAR$ 'ı, devre KVA 'sındaki yüzde kapasitör $KVAR$ 'ı ve orjinal güç faktörünün fonksiyonu olarak Şekil 5'de verilmiştir[2]. Eğer bu değer yerleştirilen kapasitör $KVAR$ 'ı başına düşen maliyet ile çarpılırsa, sonuç her bir ek yük KVA sağlamanın ortalama maliyetidir.



Şekil 5. Şönt kapasitör eklenmesinden dolayı izin verilen yük artışı

3. SİSTEMİN REAKTİF GÜÇ İHTİYACININ TAHMİNİ VE ŞÖNT KAPASİTÖR İHTİYACININ BELİRLENMESİ

Kapasitörleri uygun $KVAR$ değerlerinde kullanmak için sistem bazında reaktif güç ihtiyacı tahmini yapılmalıdır. Sistemin her bölümündeki reaktif yükler belirlenmeli ve ana amacın sistemin her parçasında mümkün olduğunca pratik ve ekonomik olarak güç faktörünü 1'e yaklaştırmak olduğu unutulmamalıdır. Böyle bir tahmin için

- İletim hatlarının karakteristiklerini
- Trafo gücü ve mevcut uçları
- Generatör karakteristiklerini ve reaktif güç kapasitelerini
- Senkron motorlar, genaratörler ve şönt kapasitörler gibi mevcut reaktif kaynakların miktarını ve yerini
- Mevcut Güç faktörünü ve ana yük uçlarının miktarını

bilmek gerekir. Bütün bu maddelerle beraber reaktif güç ihtiyaçlarına olan geçmişteki eğilimler, yük gelişimiyle ilişkili olarak özellikle incelenmelidir. Bu inceleme, gelecekteki $KVAR$ ihtiyaçlarını belirlemede yardımcı olur [1, 3].

Yukarıdaki analizi yapılmaksızın da sistemin reaktif güç ihtiyacı belirlenebilir. Bunun için her bölümün güç faktörünü 1'e yaklaştırmak için gerekli olan $KVAR$ miktarının hesaplanmasındaki ile aynı bilgiyi kullanmak yeterlidir.

Bu yöntemle amaca ulaşmanın en kolay yolu sistemin eşdeğerini çizmektir. Bunun için şebekeden çekilen zahiri güç (KVA) ve buna ait orjinal güç faktörü $[Cos\phi_1]$ ile istenen; sonuçtaki güç faktörü $[Cos\phi_2]$ bilinmelidir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Şebekeler geliştikçe ve yükleme seviyeleri yükseldikçe enterkonnekte elektrik şebekelerinin ekonomik ve verimli bir şekilde işletilmesi zorlaşmıştır. Şebeke yüklerinin zamanla büyümesi sonucunda reaktif akımların, aktif akımlara nazaran daha fazla artmaya başlaması ile sistemin güç faktörünün düşmesi; enerji iletim ve dağıtım hatlarında kayıpların artmasına, aşırı gerilim düşümlerine ve trafo istasyonları ile genaratörlerin fazla yüklenmelerine neden olmuştur. Elektrik şebekelerinde şönt kapasitör banklarının kullanılması ile yükün ihtiyacı olan reaktif güç kondansatörler tarafından üretilmeye başlanmış, böylece genarotor ve besleme hatlarındaki yüklenmenin azalması, yük barolarındaki gerilimin yükselmesi ve sistem kayıplarının azalması sağlanmıştır.

Reaktif güç ihtiyacını karşılamak üzere şönt kapasitör banklarının orta veya yüksek gerilim şebekelerine yerleştirilmesi düşünülebilir. Fakat bu gibi işletmelerde orta gerilim şebekesinden sonra daha geniş bir alçak gerilim şebekesi bulunduğundan, orta ve yüksek gerilim şebekelerine yerleştirilen şönt kapasitör bankları ile alçak gerilim transformatörleri ve alçak gerilim şebekeleri, reaktif akımın yükünden kurtulmuş olmaz. Bu nedenle tek başına orta veya yüksek gerilim şebekelerinin şönt kapasitör banklarıyla desteklenmesi sistemin güç faktörünü düzeltip kapasitesini rahatlatmaz.

Elektrik idareleri, çok geniş bir ağa sahip alçak gerilim şebekelerinin ekonomik bir şekilde işletilebilmesi için müşterilerine güç katsayısını belirli bir değerin altına düşürmemelerini şart koşar. Güç katsayısı belirli bir sınırın üstünde kaldığı sürece çekilen reaktif enerji için hiç bir bedel ödenmez. Güç katsayısı bu değerin altına düştüğü oranda sarf edilen reaktif enerji için çeşitli fiyat kademelerine göre hesaplanan bir meblağ ödenir.

Elektrik idaresinin şart koştuğu güç katsayısının altına düşmemek için, tüketicilerin gerektiği taktirde ihtiyaçları olan reaktif gücü kendilerinin üretmeleri daha iyi sonuçlar verecektir. Böylece kismende olsa alçak gerilim şebekelerinde güç katsayısının belirli değerlerin altına düşmesi engellenecek dolayısıyla da şönt kapasitör banklarının hem mekenik sistemlerin işlevselliğini arttırması hem de sağladığı maddi kazançlardan yararlanılması mümkün olacaktır.

5. KAYNAKÇA

- [1] Westinghouse Electric Corporation : " *Shunt Capacitors* ", March , (1982).
- [2] ALPARSLAN, Y. : " *Enerji Taşıma Şebekelerinde Reaktif Güç ve Kapasitörlerin Kurulması* ", TEK Trafo Merkezleri Proje Dairesi Başkanlığı , Haziran, (1984).
- [3] UYAR, N. : " *Orta Gerilim Güç Kondansatör İmalat Teknolojisi ve Sanayi Tesislerinde Uygulamaları* ", ETİTAŞ Bornova / İzmir, (1989).
- [4] ÇAKIR , H. , KÜÇÜK , S. , PEKİNER , F . O. : " *Enerji Dağıtım Sistemlerinde Şönt Kapasitör Kullanılmasının Şebeke Gerilimi Üzerindeki Etkileri* ", Ülkemizin Kalkınmasında Mühendisliğin Rolü , Yıldız Üniversitesi Yayınları, İstanbul, (1989).
- [5] NADİR,H., " *Güç Kondansatörlerinin Tarihsel Gelişimi*", İller Bankası Müdürlüğü Enerji Dairesi Başkanlığı, Ankara, (1989)
- [6] ÇITAK, H., " *Şönt Kapasitör Banklarının Enerji İletim Hatları Üzerine Etkileri*", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, (1995)