

ELEKTRİK ŞEBEKELERİNDE REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU

Dünyamızın son yıllarda karşı karşıya kaldığı enerji krizi, araştırmacıları bir yandan yeni enerji kaynaklarına yöneltirken diğer yandan daha verimli sistemlerin tasarımı ve kurulmuş olan enerji kaynaklarının en verimli şekilde kullanılması yönünde çalışmaların yoğunlaşmasına neden olmuştur.

Bilindiği gibi sanayileşmenin ana girdilerinden başta geleni elektrik enerjisidir. Elektrik enerjisinin kullanıma;

- • Kaliteli
- • Sürekli
- • Yeterli
- • Ucuz

olarak sunulması esastır. Oysa ülkemizde özellikle 1973 yılında baş gösteren petrol krizi nedeniyle bu 4 özelliğin sağlanmasında güçlüklerle karşılaşmıştır. Petrol krizi yanında ülkemize has bazı hususlarda eklenince önce enerji yetmezliği bununla beraberde güç yetmezliği baş göstermiştir. Bu yetmezliklerin olumsuz etkilerini gidermek üzere;

- • İleri saat rejimi (Halen sürmektedir.)
- • Frekans ve gerilim düşürülmesi (1974'ten sonra uygulanmamıştır.)
- • Kesinti ve kısıntı (Halen sürmektedir.)

yöntemlerine başvurulmuştur. Bu arada TEK tesislerine şönt kondansatörler yerleştirilmiştir. Bu tedbir, reaktif enerjinin tüketildiği yerde üretilmesi gerektiğinden ancak yerel bazı sağlayabilmiştir.

Elektrik enerjisinin, asrımızın en yaygın kaynaklarından biri olarak üretildiği, santralden en küçük alıcıya kadar dağıtımında en az kayıpla taşınmanın yolları ve hesapları yapılmaktadır.

Dünyamızda elektrik enerjisine ihtiyacın her geçen gün biraz daha artması, enerji üretiminin biraz daha pahalılaşması, taşınan enerjinin de kaliteli, ucuz ve hakiki iş gören aktif enerji olmasını daha zorunlu kılmaktadır.

Güç sistemlerinde işletmeyi kolaylaştırmak, verimliliği arttırmak ve enerji tutumluluğunu sağlamanın en etkin önlemlerinden birini Reaktif Güç Kompanzasyonu oluşturmaktadır.

ALÇAK GERİLİMDE KOMPANZASYON

Elektrik şebekelerinde abone gücü arttıkça reaktif yüklerde çok hızlı bir şekilde artmaya devam etmektedir. Bunun neticesi olarak ta güç katsayısı ($\cos\phi$) 0.50 – 0.80 arasında muhtelif değerlerde seyretmeye başlamıştır.

Trafo merkezlerinde, hatlarda ve generatörlerde güçlerin artması; aktif güç kadar ve belki de daha önemli miktarda reaktif güçlerinde artmasına sebep olmuştur.

Aşırı yüklenmeler ve gerilim düşmelerinin önlenmesi için, reaktif yüklerin kompanze edilmesi zorunlu hale gelmiştir.

Şehir şebekelerindeki örnekler göstermiştir ki çıkış dağıtım fiderlerinde genelde ortalama $\cos\phi = 0.80$ 'den küçüktür. Bazı hallerde 0.70'in altına düştüğü görülmektedir.

Sanayi aboneleri bulunmayan beldelerde reaktif tüketimin artmasına sebep; özellikle ticari ve sosyal bölgeleri besleyen dağıtım hatları ve trafo merkezleri üzerindeki irili – ufaklı motor ve Neon ışıklarının artmasıdır.

Sosyal hayatın gelişmesi ile başlayan refah; Buzdolabı, çamaşır makinası, klima vs. gibi ısıtma, havalandırma ve soğutma cihazlarının kullanımını arttırmış ve bu durum günümüzde reaktif enerji tüketimini arttırmıştır.

Kompanzasyonda genel kaide olarak en gerçekçi yol; reaktif akımlar kendilerini tüketen cihazlara en yakın noktada üretilmelidirler. Bu durumda abonelerden başlayarak dağıtım hatlarından itibaren üretim kaynağına kadar söz konusu cihazlar için gerekli reaktif enerji sistemden taşınmayacak ve bu sebeple;

- • Şebekedeki güç kayıpları önemli oranda azalacak,
- • Üretim ve dağıtım sisteminin kapasitesi artacak,
- • Gerilim düşümünün taşınan gücü sınırladığı dağıtım hatlarında enerji taşıma kapasitesi büyük oranda artmış olacaktır.

Günümüzde önemli ölçüde artan aktif ve reaktif güçler, sistemde aşırı gerilim düşümleri ve transformatörler ile generatörlerin aşırı yüklenmelerine sebep olmaktadır.

KOMPAZASYONUN TÜKETİCİYE FAYDALARI

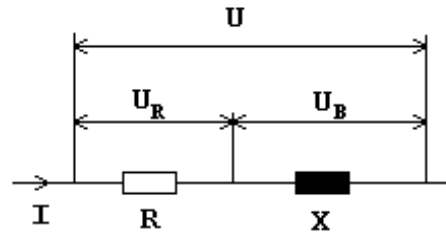
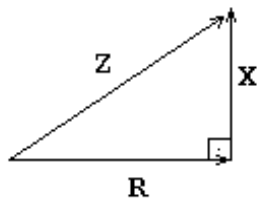
Tüketici, tesisini kurarken güç faktörünü düzeltecek önlemleri alırsa veya mevcut tesisin güç faktörünü düzeltirse;

- • Gereksiz yatırım yapmamış olur.
- • Kayıpları azalır.
- • Gerilim düşümü azalır.
- • En önemlisi reaktif enerji bedeli ödemez.

GENEL BİLGİLER

ZAHİRİ, AKTİF VE REAKTİF DİRENÇ

Bir devrenin zahiri direnci OHM Kanununa göre bu devreye tatbik edilen gerilim ve geçen akıma göre bulunmaktadır. Alternatif akımda zahiri direnç Z' nin bir aktif (R) bir de reaktif (X) bileşeni bulunmaktadır.



$$R = U_R / I$$

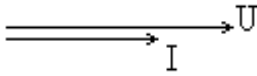
$$X = U_B / I$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$Z = U / I \quad (\text{Ohm} = \text{V} / \text{A})$$

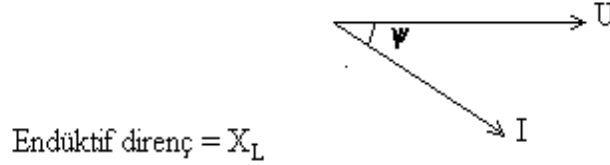
Bir elektrik devresinin içerisindeki cihazlar zahiri direnci teşkil ederler ve akımın gerilime göre faz durumunu tayin ederler. Bunun için 3 hal mümkündür:

1 - Devredeki cihazlar sadece omik deęerdedir. (Akkor flamanlı lambalar)

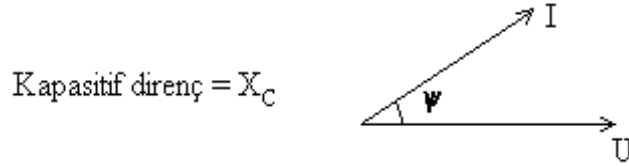
$$X = 0 \Rightarrow Z = \sqrt{R^2 + 0^2} = R$$


Akım ve gerilim vektörel olarak aynı fazdadır.

2 - Devredeki cihazlar endüktif (φ) karakteristiktir. Akım vektörel olarak, gerilime göre φ açısı kadar geridedir. (Transformatörler, motorlar, bobinler)



3 - Devredeki cihazlar kondansatörler gibi kapasitif karakteristiktir. Akım vektörel olarak gerilime göre φ açısı kadar ileridedir.



$X_L =$

$$2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = W_L \text{ (Ohm)}$$

$$X_C = 1 / 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C = 1 / W_C \text{ (Ohm)}$$

L = indüktivite (Henry) [H]

C = kapasite (Farad) [F]

f = frekans (Hertz) [Hz]

OMİK DİRENÇ (Aktif Direnç)

Omik direnç R, içerisinde bir indükleme veya kapasite olayı olmayan dirençtir. (Akkor flamanlı lambalar, elektrikli ısıtıcılar) Bu direnç efektif gerilim veya akım değerlerinden $R = U / I$ olarak bulunur. Aktif direnç içerisinde geçen akımda aktif akımdır. Ölçülen gerilim ve akım efektif değerlerdir. Maksimum ani değerleri bulmak için ölçülen akım ve gerilimin $\sqrt{2} \sim 1.41$ alınmalıdır.

ENDÜKTİF DİRENÇ

İçinden her akım geçen telin etrafında daima bir manyetik alan mevcuttur. Bir bobin halinde sarılan telin manyetik alanında daha fazla olacaktır. Böylelikle bobin bir gerilim endükleyici özelliğine sahiptir. Hareket halinde bulunan elektronlar, sanki yanındaki elektronlarla bir yay vasıtasıyla bağlanmış gibi bu bobin uçlarına bir gerilim tatbik edildiğinde ileri – geri harekete başlarlar.

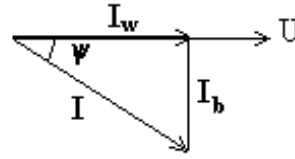
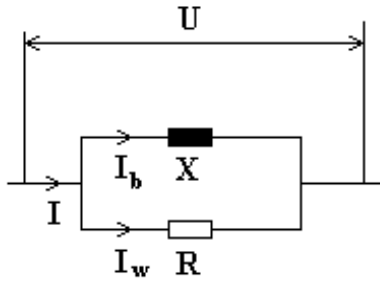
Bir bobinde kendi kendine indükleme olayı bu bobin içindeki akımın akmasına engel olacak şekilde durum göstermektedir ve gerilim ile akım arasında bir faz kayması mevcuttur.

Şebekeye bağlı bir alıcı, eğer bir motor, bir transformatör, bir floresan lamba ise, bunlar manyetik alanlarının temini için bağlı oldukları şebekeden bir reaktif akım çekerler.

FAZ FARKI OLAN AKIMIN AKTİF VE REAKTİF BİLEŞENLERİ

Gerilim ile akım arasındaki faz farkını akımı bileşenlerine ayırarak izah etmek mümkündür.

I alternatif akımın aktif = I_w , reaktif = I_b bileşenleri, birbirine paralel bağlı aktif ve reaktif dirençlerin üzerinden geçen akımlardır.



$$I_w = U / R = I \cdot \cos \varphi$$

$$I_b = U / X = I \cdot \sin \varphi$$

$$I = U / Z = \sqrt{I_w^2 + I_b^2}$$

ZAHİRİ, AKTİF VE REAKTİF GÜÇ

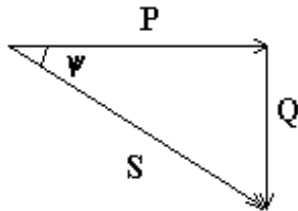
Elektriksel güç; bir devreye tatbik edilen gerilimle bunun doğurduğu akımın bir hasilatıdır.

$$\text{Zahiri Güç } S = U \cdot I \quad (\text{VA})$$

$$\text{Aktif Güç } P = U \cdot I_w = U \cdot I \cdot \cos \varphi = S \cdot \cos \varphi \quad (\text{W})$$

$$\text{Reaktif Güç } Q = U \cdot I_b = U \cdot I \cdot \sin \varphi = S \cdot \sin \varphi \quad (\text{VAR})$$

$P = S \cdot \cos \varphi$ ' de aktif güç zahiri gücün $\cos \varphi$ ile çarpılmasıyla elde edildiği için $\cos \varphi$ ' ye aktif güç katsayısı veya kısaca güç katsayısı adı verilmektedir.

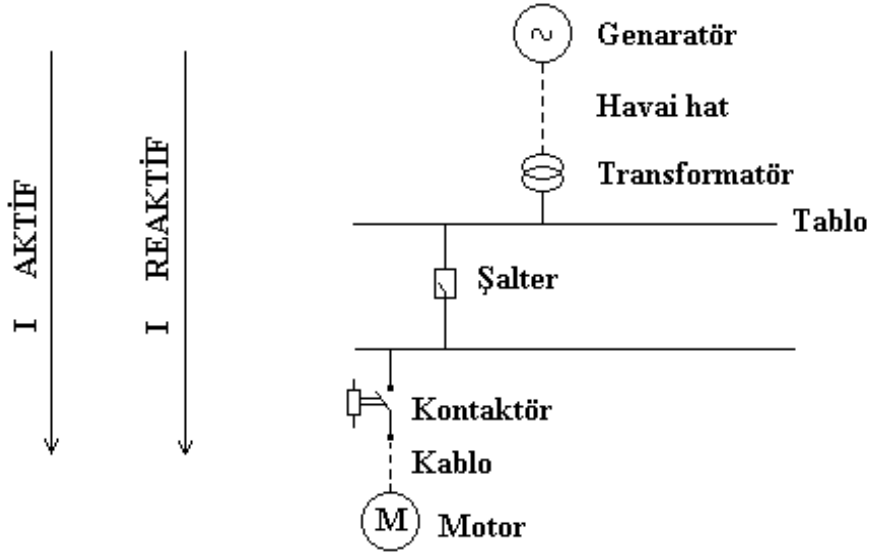


$$\cos \psi = \frac{P}{S}$$

Aktif güç ile zahiri güç arasındaki açı, gerilimle akım arasındaki aynı faz açısı halde $\cos\phi$ ile faz farkı ifade edilebilir

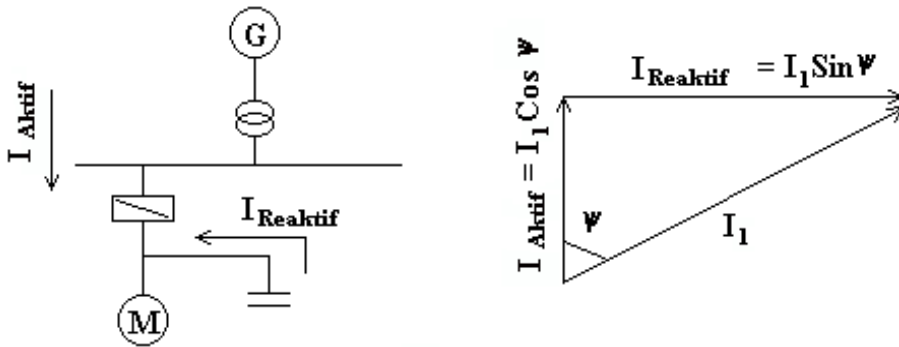
$\cos\phi = 1$ (Sadece aktif güç mevcuttur. $\phi = 0$ derece)

$\cos\phi = 0$ (Sadece reaktif güç mevcuttur. $\phi = 90$ derece)



Santralde üretilen bir enerji, aktif ve reaktif akım adı altında en küçük alıcıya kadar beraberce akmakta, iş yapmayan, sadece motorda magnetik alan doğurmaya yarayan reaktif akım, havai hatta, trafoda, tablo, şalterler ve kabloda lüzumsuz yere kayıplara sebebiyet vermektedir. Bu kayıplar yok edilirse, şüphesiz trafo daha fazla motoru besleyebilecek bir kapasiteye sahip olacak, bununla beraber disjonktör (kesici) lüzumsuz yere büyük seçilmeyecek, kablo ise daha küçük kesitte seçilebilecektir.

Daha ilk bakışta reaktif akımın santralden alıcıya kadar taşınması, büyük ekonomik kayıp olarak görünmektedir. Genellikle enerji dağıtım şebekelerinde lüzumsuz yere taşınan bu enerji, taşınan aktif enerjinin % 75 – 100'ü arasında tespit edilmektedir. Bu reaktif enerjinin santral yerine, motora en yakın bir mahalden gerek kondansatör tesisleri, gerekse senkron döner makinalar tarafından temin edilmesiyle, santralden motora kadar bütün tesisler bu reaktif akımın taşınmasından, yükünden arınmış olacaktır.



I_1 : Zahirî akım $I_1 \cdot \cos\varphi$: Aktif akım $I_1 \cdot \sin\varphi$: Reaktif akım

Santralden motora kadar bütün hatlar, tesisler ;

$I \cdot \cos\varphi + I \cdot \sin\varphi = I_{\text{aktif}} + I_{\text{reaktif}}$ akımının toplamı ile yüklenmekte, motor ise ancak $P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$ aktif enerjiyi almaktadır.

REAKTİF GÜÇ

Akımın aktif bileşeni ;

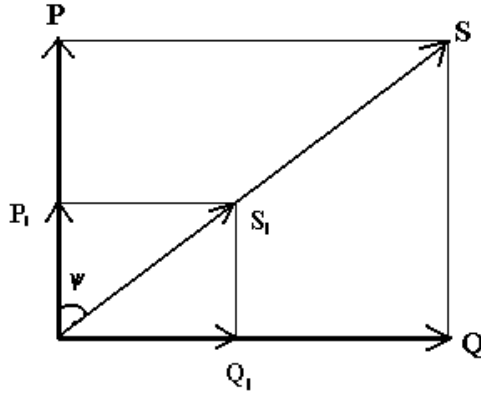
- • Motorlarda mekanik gücü,
- • Isıtıcılarda teknik gücü,
- • Lambalarda aydınlatma gücünü oluşturan faydalı bileşendir.

Akımın reaktif bileşeni ;

- • Jeneratör
- • Transformatör
- • Motor
- • Bobin

gibi elektrik cihazlarının çalışması için gerekli magnetik alanı meydana getirir.

Magnetik alanı meydana getiren mıknatıslanma akımı endüktif (geri – fazda) karakterde olup şebekeden çekilir ve akımın sıfırdan geçtiği anda alan ortadan kalkınca tekrar şebekeye iade edilir. Bu nedenle reaktif güç, üretici ile tüketici arasında sürekli olarak şebeke frekansının 2 katı bir frekansla salınır.



$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \text{ Görünen güç}$$

Aktif güçle, aktif akım gerilimle aynı fazdadır. Çekilen güç endüktif ise zahirî güç ile I hat akımı gerilimden φ açısı kadar geri fazdadır.

U : Hat gerilimi (Fazlar arası gerilim)

I : Hat akımı

S : Zahirî güç (VA)

P : Aktif güç (W)

Q : Reaktif güç (VAR)

φ : Faz açısı

Aktif akım : $I_p = I \cdot \cos\varphi$

Reaktif akım : $I_q = I \cdot \sin\varphi$

Hat akımı : $I = \sqrt{I_p^2 + I_q^2}$

Aktif güç : $P = S \cdot \cos\phi$ Reaktif güç : $Q = S \cdot \sin\phi$ Zahiri güç : $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

Aktif akımın meydana getirdiği aktif güç, tüketici tarafından faydalı hale getirilir; Mesela motorlarda mekanik güce, ısı tüketicilerinde termik güce ve aydınlatma tüketicilerinde aydınlatma gücüne dönüşür. Reaktif akımın meydana getirdiği reaktif güç ise faydalı güce çevrilemez. Reaktif güç, yalnız alternatif akıma bağlı bir özellik olup, elektrik tesislerine istenmeyen bir şekilde tesir eder; generatörleri, transformatörleri, hatları, bobinleri gereksiz olarak işgal eder ve lüzumsuz yere yükler, ayrıca bunların üzerinde ilave ısı kayıplarına ve gerilim düşümlerine yol açar. Aktif güç enerjisi normal sayaçlarda tespit edildiği halde reaktif enerji böyle bir sayaç ile kontrol edilemez, bunu kaydetmek için ayrı bir reaktif enerji sayacına ihtiyaç vardır.

REAKTİF GÜÇ GEREKSİNİMİ

Güç faktörü düzeltmede başlangıç noktası, yük karakteristiğinin tam olarak belirlenmesidir. İşe güç sistemi yönünden bakıldığında, sistemin en fazla zorlandığı yükteki güç faktörünün bilinmesi yeterlidir.

Türkiye’de müşteri gruplarının puant yükteki güç faktörleri üzerinde yapılmış çalışmalar çok eksiktir. Eldeki bilgiler genellikle dağıtım panolarındaki $\cos\phi$ metrelerden okunan bilgileri içermektedir. Yapılan araştırma ve ölçümlerde her müşteri grubu için güç faktörü değerleri ortalama olarak bulunmuştur.

1-ENDÜSTRİYEL KURULUŞLAR

Endüstriyel kuruluşların güç faktörlerinin 0.6 – 0.9 arasında değiştiği, alt sınırın ark ocakları, kaynak makinaları veya küçük elektrik motorları kullanan ve aydınlatmanın floresan lambalarla yapıldığı kuruluşlarda, üst sınırın ise büyük güçte motor kullanan, aydınlatmanın da cıva buharlı lambalarla yapıldığı kuruluşlarda tekabül ettiği gözlenmiştir.

2-MESKENLER

Yapılan ölçmelerde güç faktörünün yaşam standartları ile doğrudan bağlı olduğu gözlenmiştir. Ülkemizde meskenlerde elektrik enerjisini genellikle aydınlatma (akkor veya floresan lamba) ve birazda ısıtma için kullanıldığı düşünülürse bunun sebebi ortaya çıkmaktadır.

3-TİCARETHANELER

Ticarethanelerin yükleri aydınlatma ve küçük elektrik motorlarından oluşmaktadır. Ticarethaneleri bürolar ve alışveriş merkezleri olarak ayırırsak; alışveriş merkezlerinin güç faktörleri 0.8 – 0.7, büroların ise 0.88 olarak ölçülmüştür.

4-RESMİ DAİRELER

Resmi dairelerde ana yükü aydınlatma oluşturmakta, dolayısıyla güç faktörü aydınlatmanın türüne bağlı olarak değişmektedir. Yalnız floresan lamba kullanılan dairelerde güç faktörü 0.5' e kadar düşebilmekte ve enkandesan lambaların kullanılmasıyla artmaktadır.

5-SOKAK AYDINLATMASI

Sokak aydınlatmasında güç faktörünü kullanılan lamba tipi belirlemektedir. Enkandesan lambaların kullanıldığı durumlarda güç faktörü 0.97' ye ulaşmaktadır. Örneğin; Ankara – Samsun otoyolundaki cıva buharlı lambalarla yapılan aydınlatmada güç faktörü 0.86 olarak belirlenmiştir.

REAKTİF GÜÇ VE GÜÇ FAKTÖRÜ

REAKTİF GÜÇ TÜKETİCİLERİ

Magnetik veya statik alanla çalışan bütün elektrikli araçlar şebekeden aktif güç yanında reaktif güç çeker; bazı koşullar altında da reaktif güç verir. Bu tip önemli bazı araçlar şunlardır:

- • Düşük ikazlı sekron makinalar
- • Asenkron motorlar
- • Senkron motorlar
- • Bobinler
- • Transformatörler
- • Redresörler
- • Endüksiyon fırınları, ark fırınları
- • Kaynak makinaları
- • Hava hatları
- • Floresan lamba balastları
- • Sodyum ve cıva buharlı lamba balastları
- • Neon lamba balastları

REAKTİF GÜÇ ÜRETEN ARAÇLAR

Tüketicilerin reaktif güç ihtiyaçlarını karşılamak için 2 tip araçtan yararlanılır: Dinamik faz kaydırıcılar, aşırı ikaz edilmiş senkron makinalar (Senkron kompensatörler), statik faz kaydırıcılar, kondansatörler.

Kondansatörlerin kayıpları çok düşük olup, nominal güçlerinin % 0.5' inin altındadır. Bakım masrafları ihmale gelebilecek kadar azdır. Tüketicilerin hemen yanına ve istenilen büyüklükte tesis edilebilme kolaylıkları da vardır. Bu nedenle tercih edilirler.

Kompanzasyon tesislerinde 2 tip kondansatör kullanılır;

1. 1. Yağlı Tip Kondansatör: Belli periyotlarda bakım gerektirirler. (Suyunun değişmesi vb..)
2. 2. Kuru Tip Kondansatör: Bakım gerektirmezler. En kötü yanı harmoniklerinin fazla olmasıdır.

GÜÇ FAKTÖRÜNÜN DOĞURDUĞU SORUNLAR VE SONUÇLARI

Tüketicilerin güç faktörü belirli limitlerin altında kaldığı sürece besleme sisteminin ortalama güç faktörü de düşük olur. Düşük güç faktörünün etkileri şöyle özetlenebilir:

ÜRETİCİ YÖNÜNDEN

Kurulacak bir tesiste:

- • Generatör ve transformatörlerin daha büyük güçte seçilmesine,
- • İletkenlerin daha kalın kesitli olmasına, cihazlarının daha büyük ve hassas olmasına

neden olur.

Kurulu bir tesiste:

- • Üretim, iletim ve dağıtımda kapasite ve verimin düşmesine,
- • İletkenlerde kayıpların ve gerilim düşümünün artmasına,
- • Gerilim regülasyonu ve işletmeciliğin zorlaşmasına neden olur.

Sonuç: Üretim maliyeti artar.

TÜKETİCİ YÖNÜNDEN

Kurulacak bir tesiste:

- • Alıcı transformatörünün (varsa), kumanda, koruma ve kontrol donanımının gereğinden daha büyük olmasına,
- • İletkenlerin daha kalın kesitli seçilmesine neden olur.

Kurulu bir tesiste:

- • Transformatör (varsa), o tesisatın kapasite ve veriminin düşmesine,
- • Şebekeden daha çok reaktif enerji çekilmesine,
- • Kayıpların ve gerilim düşümünün artmasına neden olur.

Sonuç: Görülen hizmet ve üretilen ürünün maliyeti artar.

Bütün bunlar yanında gereksiz yatırımlar yapılması ile milli ekonomiye zarar verilmiş olur.

ŞEBEKENİN A.G. TARAFINDA KOMPANZASYON

Müşteriler açısından kompanzasyonun A.G. tarafında gerçekleştirilmesi büyük avantajlar sağlar. Çünkü büyük sanayi tesislerinde dahi A.G. kompanzasyon tesislerinin sayısı fazla değildir. Derli toplu olup, işletilmeleri ve bakımları kolaydır. Bundan başka ekonomik açıdan değerlendirildiğinde kullanılan tüm cihazlar gerek fiyat olarak ve gerekse de kapladıkları hacim itibarı ile oldukça avantaj temin eder.

Şehir ve kasaba şebekelerinde kompanzasyon tesisinin A.G.'de yapılması işletme ve bakım açısından büyük zorluklar taşımaktadır. Bu nedenlerden dolayı şehir ve kasaba şebekelerinde O.G.'de kompanzasyon yapmak tercih edilebilir. Zira bu durumda kompanzasyon tesisi sayısı oldukça sınırlı olacaktır.

Ancak köy şebekelerinde kompanzasyon yapılması gerektiğinde A.G.'de kompanzasyon yapmak daha uygundur. Çünkü köy şebekeleri, trafo sayısı bakımından oldukça sınırlıdır.

A.G.'de kompanzasyon belli başlı 3 şekilde düzenlenir ;

1. 1. Alıcıların müstakil kompanzasyonu
2. 2. Grup kompanzasyonu
3. 3. Merkezi kompanzasyon

ALICILARIN MÜSTAKİL KOMPANZASYONU

Sürekli olarak işletmede bulunan büyük güçlü abonelerin reaktif enerji gereksinimlerini temin için tüketicinin uçlarına şönt kondansatör bağlanır ve müşterek bir anahtar üzerinden tüketici ile birlikte işletmeye sokulup çıkarılırlar.

MOTORLARIN KOMPANZASYONU

- Motorların tek - tek kompanzasyonunda motorun boşa çektiği zahiri güce göre kondansatör gücünün hesaplanması gerekir.

Asenkron motor, magnetik alanın üretilmesi için endüktif reaktif güç çeker. Motorların çektikleri reaktif güç, motorun nominal gücüne ve devir sayısına bağlıdır; yani verilen belirli bir güçte, düşük devirli motorlar, daha yüksek mıknatıslanma akımı çekerler. Boşa çalışan motor ise, şebekeden hemen hemen yalnız mıknatıslanma akımı çeker. Şu halde düşük devirli motorların güç katsayıları da daha düşüktür.

Yıldız – Üçgen şalterlerle yol verilen asenkron motorlara yapılan kompanzasyonda kondansatörler motor sargılarının uçlarına paralel bağlanırlar. Ancak motorlara yol verme esnasında şu şekilde tehlikeli bir olay başgösterebilir: Yıldız bağlama durumunda kondansatörler dolmuş durumda iken üçgen bağlamaya geçme esnasında çok kısa süreli olarak şebekeden ayrılırlar ve üçgen durumunda fazlar ters olarak tekrar şebekeye bağlanırlar. Dolayısı ile bu durum darbe akımları meydana getirir. Bu da motorun, kondansatörlerin ve bağlama elemanlarının aşırı zorlanmasına yol açar. Uygun kontaktör kombinasyonları kullanmakla bu olay önlenir.

Kondansatörlerle donatılan asenkron motorlarda baş gösteren ve arzu edilmeyen başka bir olayda “ kendi kendine uyarma “dır. Şebekeye bağlı olarak çalışmakta olan bir asenkron motorun uçlarına, boşa çalışma akımının yaklaşık % 90'ına eşit güçte bir kondansatör paralel bağlanırsa, bu durumda genellikle arzu edilmeyen aşırı kompanzasyondan başka devreden ayrılmış olup kinetik enerjisi ile dönmekte olan motorda kendi kendini uyarma olayı baş gösterir. Motor şebekeden ayrıldığı anda kinetik enerji ile dönmeye devam eder. Kondansatörden gerekli uyarma akımını çekerek bir müddet daha generatör olarak çalışmaya devam eder. Bu durumda sargıları yıldız bağlı motorun uçlarında iki katı bir gerilim endüklenir. Bu nedenlerden dolayı söz konusu olan kondansatörlerin direkt bağlanmaları 25 kW'a kadar motorlar için kullanılabilir.

Büyük sanayi tesislerinde ve fabrikalarda, Blok Yük olarak adlandırılan yüksek güçlü (örn. 400 kW) ve devreye girip çıkma zamanları tam olarak bilinmeyen elektrik motorları kalkış anında şebekeden kısa süreli (yaklaşık 10 s.) olarak çok yüksek akımlar çeker. Sistemdeki otomatik kompanzasyon sistemi, böyle kısa süreli maksimum yükleri belli bir gecikmeyle algıladığı için, bu andaki reaktif gücü karşılayacak gerekli güçte kondansatör bataryası devreye girene kadar motor yol almış olur ve nominal güçte çalışmaya başladığı için şebekeden kalkış anına göre daha az reaktif güç çeker.

Bu olay sırasında tesisin reaktif enerji sayacı hızla döner, kompanzasyon amacına ulaşmamış olur. Böyle durumlarda blok yükler, müstakil olarak kompanze edilmelidir.

TRANSFORMATÖRLERİN KOMPANZASYONU

Alternatif akım makinalarının en önemlilerinden biri olan ve en çok kullanılan transformatörler bağlı oldukları üst gerilim şebekesinden endüktif reaktif güç çekerler. Bunlar bireysel olarak kompanze edilirler. Kondansatörler ya üst gerilim yada alt gerilim tarafına bağlanabilirlerse de, hem pratik hemde ekonomik sebeplerle alçak gerilim tarafına bağlanmaları tercih edilir. Transformatörün yükü daima değişebildiğinden, kompanzasyon için gerekli kondansatör gücü, en büyük reaktif güç ihtiyacına göre seçilmez. Aksi halde düşük yüklü saatlerde aşırı kompanzasyon baş gösterebilir ve transformatörün sekonder uçlarında gerilim yükselebilir. Ayrıca şebeke geriliminde harmoniklerin mevcut olması halinde, kondansatör şebekeden aşırı akım çekerek transformatörü aşırı yükleyebilir. Transformatörlerin kompanzasyonunda kullanılacak kondansatörün, transformatörün boşa çektiği reaktif gücü karşılayacak mertebede olması gereklidir. Açıklanan sebeplerden dolayı Elektrik İdareleri, transformatörün yüküne bağlı olmadan, nominal gücün % 5 - % 10 değerinde sabit bir kondansatör bağlanmasını tavsiye ederler.

Çeşitli güç ve gerilimlerdeki transformatörlerin kompanzasyonu için gerekli kondansatör güçleri aşağıdaki cetveldен seçilebilir;

Yüksek Gerilimli Trafo

Normal	6 kV' a kadar	6 ila 15 kV	15 kV' un üzeri
Trafo Gücü (kVA)	Kondansatör Gücü (kVAR)	Kondansatör Gücü (kVAR)	Kondansatör Gücü (kVAR)
10	1.5	1.5	2
25	2.5	2.5	3.5
50	5	6	8
63	6	8	10
100	8	10	12
125	10	10	12
160	10	12	15
200	12	15	20
250	15	20	25
315	20	20	25
400	20	25	30
500	25	30	35
630	30	35	40
1000	40	45	50
2000	60	65	80

-

-

-

AYDINLATMADA KOMPANZASYON

- Aydınlatmada kullanılan modern lambaların yardımcı malzemeleri yüzünden, şebekeden çekilen endüktif nitelikteki reaktif gücün bir çok sakıncaları vardır. Bunlar;
- • Üretim, iletim ve dağıtım sistemlerindeki öğelerin gereksiz şekilde yüklenmesi ve bu suretle besleme kapasitelerinin azalması,
 - • Gereksiz yere çekilen fazla akımın enerji kayıplarına neden olmasıdır.
- Bu sakıncalar, aydınlatmada endüktif gücün, kondansatörlersayesinde çekilen kapasitif güçle kompanze edilmesi yani giderilmesi suretiyle ortadan kaldırılabilir.

LAMBA SINIFLARI

Aydınlatmadaki kompanzasyon kullanılan lamba türüne bağlıdır.

1 – Elektrolüminesan Lambalar :

Elektrolüminesan, gazların bir elektrik deşarjı ile ışık yaymasına denir. Bu lambalar kapasitif akım çektiklerinden, santral ve şebekenin endüktif yükünü azaltırlar ve bu yüzden yük durumunu genel olarak düzeltirler. Bu lambalar, teknolojinin bugünkü düzeyinde çok az ışık verdiklerinden dolayı normal aydınlatmada kullanılmamaktadır. Bu yüzden kompanzasyon hesabına direkt etkileri yoktur, ihmal edilebilirler.

Daha ziyade ölçme aygıtlarının kadranlarını aydınlatmak, pasif korunmada ışıklı sinyaller oluşturmak ve yatak odalarında loş bir aydınlatma sağlamak gibi amaçlarla kullanılırlar.

2 - Akkor Telli Lambalar :

Bu lambalar birer omik direnç gibi şebekeyi yüklediklerinden endüktif yük çekmezler yani bu bakımdan ideal bir alıcı durumundadırlar. Fakat bu lambalar ışıktan daha ziyade ısı verdiklerinden gün geçtikçe kullanımı azalmaktadır.

3 - Deşarj Lambaları :

Fluoresan lambalar ile Civa buharlı ve Sodyum buharlı lambalar şebekeye ancak bir Balast ve Ignitör (ateşleyici) yardımı ile bağlanırlar. Balast, bir empedans yada kaçak akılı bir transformatörden oluşur ve şebekeyi endüktif bir güçle yükler. Deşarj lambalarının ışıksal verimleri, akkor lambalara göre çok daha yüksektir.

Deşarj lambaları, akkor lambalar gibi yardımcı malzeme kullanmadan, kolaylıkla şebekeye bağlanması olanaksız olmasına karşın, yüksek verimleri ve uzun ömürleri dolayısıyla bu lambalar günden güne yaygınlaşmaktadır. Ayrıca akkor lamba gibi basit bir duya vidalanabilen, balastı ile deşarj hücrelerini kapsayan floresan lambalar (PL serisi – PHILIPS) geliştirildiğinden, deşarj lambalarının hızla yayıldığı söylenebilir. Bu yüzden aydınlatmada endüktif yükün kompanzasyonu büyük boyutlara ulaşmaktadır. Aydınlatmada kompanzasyon, deşarj lambalarının kompanzasyonundan ibarettir.

Deşarj lambalarının kutuplarındaki gerilim akımın artmasıyla azalır. Kararlı bir çalışma için, pozitif bir karakteristik elde etmek amacıyla seri olarak bir empedans bağlanır. Eğer şebeke gerilimi deşarjı sürdürebilecek değerde değilse, genel olarak bir ototransformatörle yükseltilir ve bu taktirde, ayrıca seri bir empedans bağlamak yerine bu empedansa eşdeğer olacak şekilde, transformatör kaçak akılı olarak imal edilir. Teorik olarak seri bir empedans, bir endüktans veya bir kapasiteden oluşturulabilir;

ancak kapasite kullanıldığı takdirde, alternatif akımın her yarım periyotunda meydana gelen akım tepeleri yüksek bir değere ulaşacağından, lambanın elektrotları çabuk yıpranır ve ömrü kısalmır. Bu nedenle seri empedans, endüktif bir reaktanstan oluşturulur.

Lambaların, balastları dolayısıyla, şebekeden çektikleri endüktif güç, devreye bağlanan kondansatörlerin çektikleri kapasitif yükü kompanze edilir.

Endüktif yük oluşturan aydınlatma armatürlerinde kompanzasyon kondansatörü kullanılmaktadır. Bu armatürlerde kullanılan kondansatörler, polipropilen-metalize yapısında olup çevreye, insan sağlığına zararlı hiçbir madde içermemektedir. Kullanılan kondansatörler, içerisinde bulundurduğu deşarj direnci ile gerilim kesildikten 1 dakika sonra üzerinde 50 V' u aşmayan bir gerilim tutarak, yine insan hayatını tehlikeye atmayacak bir şekilde dizayn edilmiştir. Bu kondansatörler sadece aydınlatma armatürleri için dizayn edilmiş olup, çalışma gerilimi, ısı özellikleri, montaj ve güvenlik kilidi ile tamamen özeldir. Eğer kondansatör üzerinde aşırı bir yük oluşursa kondansatör kesinlikle patlamadan ve çevreye zarar vermeden devre dışı kalır. (LAMP 83)

FLUORESAN ARMATÜRLERDE KULLANILAN BALASTLARIN COS ϕ DEĞERLERİ

Fluoresan Ampul	Balast	Akım (A)	Cos ϕ
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

CİVA BUHARLI ARMATÜR BALASTLARININ COS ϕ DEĞERLERİ

Lamba Tipi	Balast Tipi	Cos ϕ
HPI-T 50 W	BHL 50L10	0.45
HPI-T 80 W	BHL 80L10	0.50
HPI-T 125 W	BHL 125L11	0.55
HPI-T 250 W	BHL 250L11	0.55
HPI-T 400 W	BHL 400L11	0.60
HPI-T 700 W	BHL 700L02	0.60
HPI-T 1000 W	BHL 1000L02	0.65
HPI-T 2000 W	BHL 2000L18	0.65

SODYUM BUHARLI ARMATÜR BALASTLARININ COS ϕ DEĞERLERİ

Lamba Tipi	Balast Tipi	Cos ϕ
SON (-T) 50 W	BSN 50L33	0.40
SON (-T) 70 W	BSN 70L33	0.40
SON 100 W	BSN 100L11	0.45
SON (-T) 150 W	BSN 150L11	0.45
SON (-T) 250 W	BSN 250L11	0.45
SON (-T) 400 W	BSN 400L11	0.45
SON (-T) 1000 W	BSN 1000L02	0.45

Yukarıdaki tablolarda Cos ϕ değerleri verilen lamba ve balast tipleri belli armatürlerden alınmış olup, sadece örnek olması açısından verilmiştir.

GRUP KOMPANZASYONU

Birçok tüketicinin bulunduğu bir tesiste her tüketicinin ayrı ayrı kondansatörler ile donatılacağı yerde bunların müşterek bir kompanzasyon tesisi tarafından beslenmesi daha pratik ve ekonomik sonuçlar verir. Bu durumda kondansatörler gerektiği miktarlarda ve özel anahtarlar üzerinden ve gerektiğinde kademeli olarak şebekeye bağlanırlar.

Kondansatörlerin açma ve kapama esnasında meydana getirdikleri arkı karşılamak için uygun anahtar kullanılmaktadır. Anahtar açıldığında çok ani ve süratle bir deşarj direnci üzerinden topraklanmaktadır. Ayrıca kondansatörler, kısa devrelere karşı gecikmeli sigorta ile korunmalıdır.

MERKEZİ KOMPANZASYON

Elektrik motorları, transformatörler, bobin gibi cihazlar, mıknatıslanma akımlarından dolayı şebekeye ek bir yük getirirler. Reaktif enerji denilen bu enerji, iş görmediği halde, cihazdan enerji santralına kadar olan iletim, dağıtım ve üretim tesislerini yükler ve kablo kesici gibi elemanların yararlı güç aktarma kapasitelerini düşürür. Bu nedenle, endüktif yüklerin buldukları devreye kondansatör bağlanarak, yüklerin yakınında reaktif güç üretilebilir ve böylelikle bu gücün, tüm şebekeyi etkilemesi önlenir.

Endüktif yüklerin hemen yanına uygun değerde kondansatör bağlanarak yapılan bu işleme Sabit Reaktif Güç Kompanzasyonu denir. Uzun sürelerde devrede kalan büyük endüktif yükler için uygun bir yöntem olan Sabit Kompanzasyon, sık sık devreye girip çıkan, küçük büyük endüktif yüklerin bulunduğu tesislerde, her yüke denk, ayrı bir kondansatör bağlama gereği nedeniyle, akılcı olmayabilir. Bu tip tesislerde kondansatör gücünü, değişen kompanzasyon gücüne uydurabilmek için merkezi ve otomatik kompanzasyon yapılması uygundur.

Merkezi Otomatik Kompanzasyon Sistemi, temel olarak uygun düzenlenmiş kondansatör bataryaları, reaktif gücü algılayıp, uygun kondansatör bataryalarının devreye alınıp çıkarılmasını sağlayan reaktif güç kontrol rölesi ve kondansatör gruplarına kumanda eden kontaktörlerden oluşur.

OTOMATİK KOMPANZASYON İLE İLGİLİ KAVRAMLAR

-

Otomatik kompanzasyonun yapılışı ve işletilmesinde söz konusu olan önemli kavramlar aşağıda açıklanmıştır.

Grup:

Otomatik ayarın gereği olarak, toplam kompanzasyon gücü gruplara ayrılır. Reaktif güç rölesinin çıkışındaki her bir röleye bağlanan kondansatör gücüne grup denir.

Bir tesiste uygun grup sayısının ve grup gücünün tespiti çok önemlidir. Grup sayısının çok olması ile hassas bir ayar elde edilir ve güç katsayısı hemen hemen sabit bir değerde tutulur. Fakat grup sayısının artması ile tesisin maliyeti de artar. Kontaktörler sık sık açma kapama yapmak zorunda kaldıklarından, kontaklar çabuk aşınırlar.

Elektrik idareleri, $\cos\phi$ 'nin her an aynı değerde kalmasını şart koşmadığından, küçük grup sayısı ile çalışmak daha ekonomik olur. Fakat bu durumda grup gücü büyüyeceğinden, aşırı kompanzasyon baş gösterebilir. Aşırı kompanzasyon, kapasitif enerji sayaçları ile kontrol edilebilmektedir. Yurdumuzda kapasitif sayaçların kullanıldığı tesis güçleri bölgesel farklılıklar göstermektedir. İstanbul'da 200 kW, Kocaeli' de 15 kW gibi. (Rakamlar yaklaşık olarak alınmıştır.)

Ayar Dizisi:

Grup güçlerinin oranına ayar dizisi denir. Grup güçlerinin aritmetik seriye göre düzenlenmesi halinde, mesela 5 grup için ayar dizisi 1 / 1 / 1 / 1 / 1 şeklindedir. Bu durumda çok sayıda bağlama elemanlarına ihtiyaç görülür. Buna karşılık bağlama elemanları birbirinin aynıdır. Eğer daha az bağlama elemanının kullanılması istenirse 1 / 2 / 2 ... gibi karışık bir ayar dizisi seçilir. Grup güçlerinin farklı olması istenirse, geometrik seriye göre, bir grubun gücü en çok, kendinden önceki grupların güçlerinin toplamından, ilk grup gücü kadar fazla, yani 1 / 2 / 4 / 8 / 16 ... gibi olabilir. Böylece grup sayısı az olacağı için tesisat malzemesinden tasarruf edilir.

Aritmetik seriye göre düzenlenen sistemde grupların güçleri eşit olduğundan eşit kademeli düzenli bir ayar mümkün olur ve kademeler eşit sayıda devreye girip çıkarlar. Bu yüzden bağlama tesisatı eşit bir şekilde yıpranır. Geometrik seriye göre düzenlenen grupların güçleri arasındaki farklar büyük olduğundan, kademe değiştirmeler esnasında büyük geçici olaylar baş gösterir. Bundan başka bu sistemde birinci grubun en çok devreye girip çıkması sakıncalı bir durum yaratır. Bu iki sistemin ekonomik karşılaştırmasını yaparken, kondansatör gruplarını devreye sokup çıkararak kontaktörleri de göz önünde bulundurmak gerekir. Zira aritmetik seride çok sayıda kontaktöre ihtiyaç vardır, fakat bunların güçleri daha küçüktür. Geometrik seride ise kontaktör sayısı daha az, fakat bunların güçleri daha büyüktür.

C / k Ayarı:

C / k büyüklüğü, rölenin faaliyete geçme değerini ifade eder. Rölenin faaliyete geçmesi için evvela belirli bir kapasitif güce ihtiyaç olmalıdır; ancak bundan sonra röle faaliyete geçerek kondansatörleri devreye sokar. Fakat belirli bir kapasitif güç fazlası olduğunda, kondansatörler devreden çıkarılırlar. Kısa süreli reaktif güç darbelerinde rölenin gereksiz yere bağlama kumandası vererek titreşimli bir şekilde devrenin açılıp kapanmasını, yani salınımların baş göstermesini önlemek için, rölenin faaliyete geçme değeri, yani faaliyete geçme gücü, kondansatörün kademe gücünden % 50 kadar daha büyük olmalıdır. Böylelikle bir ölü bölge (kompanze edilmemiş bölge) meydana gelir. C / k ayarı ile kompanze edilmemiş bölgenin (kondansatör devreye sokma değeri ile devreden çıkarma değeri arasında kalan bölge) genişliği

ayarlanmaktadır. Röle, ölçtüğü reaktif gücün değeri bu ölü bölge içinde kaldığı sürece faaliyete geçmez. Ancak reaktif güç, C / k faaliyete geçme değerinin üstüne çıktığında röle çalışmaya başlar. C / k değeri gerekenden büyük bir değere ayarlanırsa röle sağirlaşacağından iyi bir kompanzasyon sağlanamayacaktır. Ters durumda ise röle çok fazla hassaslaşacağından kondansatör grupları gereksiz yere devreye girip çıkacak, sistem salınımına geçecektir. C / k değeri işletmenin özelliklerine ve karakteristik büyüklüklerine göre tayin edilir. C / k değeri şu şekilde hesap edilir:

C - kVAr cinsinden 1. Kondansatör grubunun gücü,
 k – Akım trafosunun çevirme oranıdır.

Örneğin; sistemin 1. Kademesindeki kondansatör gücü $C = 10$ kVAr, akım trafosu oranı ise $k = 100 / 5$ olsun. Bu durumda $C / k = 10 / 20 = 0.5$ konumuna alınmalıdır.

Eğer tesiste kondansatör grup güçlerinde değişiklik yapılırsa veya akım trafosu değiştirilirse, C / k oranının yeniden hesaplanıp rölenin bu değere göre ayarlanması gerekir.

Kompanze edilmemiş bölgenin genişliği şebeke gerilimine bağlı olarak kendiliğinden genişlemekte veya daralmaktadır.

REAKTİF GÜÇ KONTROL RÖLESİ

Reaktif Güç Kontrol Rölesi, otomatik kompanzasyon sistemlerinde, çeşitli yük durumlarında gerekli sayıda kondansatör grubunu devrede bulundurarak, güç katsayısını ayar edilen değerde tutmaktadır. IEC standartlarına uygun olarak imal edilen rölelerin üzerinde dijital Cos ϕ metre bulunmaktadır. Bu sayede röle üzerinden kompanze edilen sistemin güç katsayısı izlenebilmektedir.

Rölenin içinde, işletmedeki reaktif akımı ölçüp bunu değerlendiren bir akım devresi vardır.

Bu devre, cihaz içinde yer alan akım ve gerilim trafoları ile bir elektronik devreden oluşur. Reaktif akımla doğru orantılı olan gerilim düşümü, bir karşılaştırma devresinde C / k oranına uygun olarak ayarlanır. Akımın endüktif veya kapasitif olduğunu belirleyerek zaman devresine kumanda verilir. Bu da çıkış devresine kumanda eden bir lojik kontrol ünitesini kontrol eder. Zaman devresinden gelen impulslara göre, çıkış rölelerine kumanda edilir. Çıkış devresinden gelen sinyaller ise kondansatör gruplarına kumanda eden kontaktörleri devreye sokar veya devreden çıkarır. Reaktif güç rölelerinin görevini hafifletmek ve sık sık devreye girip çıkmalarını önlemek için büyük güçlü tesislerde sabit güç ihtiyaçlarını karşılamak maksadı ile uygun güçlü sabit kondansatör grupları paralel bağlanırlar.

Transformatörlerin kendi ihtiyaçları olan reaktif gücü kompanze etmek için, ayrıca bir sabit kondansatör tesis edilir. Ancak bunun çektiği reaktif gücü rölenin kontrol etmemesi için bu kondansatör akım trafosunun önüne bağlanır.

Reaktif güç rölesi, akım değerini bir akım transformatörü üzerinden ölçer. A.G. tesislerinde röle, doğrudan doğruya A.G. barasına bağlanır.

Manuel Kumanda:

Otomatik Kompanzasyon Tesislerinde kondansatörler, röleden bağımsız olarak devreye alınıp, çıkarılabilirler. Bu işlem için 1 Adet 1-0-2 pako şalter, grup sayısı kadar 0-1 pako şalter gereklidir. 1-0-2 pako şalterin 1 konumu röleye, 2 konumu direkt olarak şebekeye bağlanır. 0-1 pako şalterler ise 1-0-2 pako şalter 2 konumunda iken kondansatörleri devreye alıp çıkarırlar. Böylece elle kumanda sağlanmış olur.

ENTES RG SERİSİ REAKTİF GÜÇ KONTROL RÖLELERİ

Reaktif Güç Rölelerinin Temel Özellikleri:

1. Modern malzemelerle imal edilen röleler uzun çalışma ömrüne sahiptir.
2. Harici ısı değişimlerine ve harici manyetik etkilere karşı duyarsızdır.
3. Ön paneldeki LED'ler kompozisyon konumlarını sürekli gösterir.
4. Devredeki kondansatörler ön paneldeki LED'lerden kolayca görülebilir.
5. Ön paneldeki butonlarla kondansatörler manuel olarak devreye alınıp çıkarılabilir.
6. Kademeler arası gecikme 8 – 15 sn. dir.
7. Röle direkt olarak 380 V ve 50 Hz' e bağlanabilir, ayrıca bir elemana ihtiyaç göstermez.
8. Gerilim kesilmesinde tüm kondansatörler devre dışı bırakılır. Gerilim yeniden geldiğinde gerekli kademeler ihtiyaca göre devreye alınır.
9. Reaktif güç kontrol rölesi, panoya önden montajı uygundur.
10. Boyutları : 144 x 144 mm' dir.

Kullanım ve Çalışma Prensibi:

Röleler, reaktif akımın, ölçülen reaktif güçle orantılı olması prensibine bağlı olarak çalışır. Harici bir yardımcı gerilim gerektirmez. Besleme gerilimi cihaz içindeki besleme trafosundan alınır. Elektronik devre ve çıkış rölelerini besler.

Ölçme Devresi:

İşletmedeki reaktif akımı algılayarak ölçer. Bu ölçme devresi cihaz içinde yer alan akım-gerilim trafoları ve elektronik devreden oluşmuştur. Reaktif akımla doğru orantılı olan gerilim düşümü , bir karşılaştırma devresinde ayarlanmış olan C / k değerine uygun olarak değerlendirilir. Akımın endüktif veya kapasitif olduğunu belirleyerek zaman devresini kumanda eder.

Zaman Devresi:

Ölçme devresinden gelen uyarıya göre çalışır ve çıkış rölesini kumanda eden Lojik kontrol ünitesini kontrol eder.

Lojik Kontrol Ünitesi:

Zaman devresinden gelen darbelere göre çıkış rölelerini devreye alır, yada çıkarır.

Çıkış Devresi:

Röle kontaklarından oluşur. Direkt olarak kondansatörleri kumanda eden komuta eder.

Cosφ Metre:

Özel bir elektronik ölçme devresi ilavesiyle cihaz içine bir Cosφ metre yerleştirilmiş ve Cosφ ölçümleri için ekonomik bir çözüm getirilmiştir. Ölçme bölgesi (0.8 kapasitif, 1-0.4 endüktif)

Aşırı Gerilim Rölesi:

440 V AC gerilimde harekete geçerek; sabit grup dahil tüm kondansatörleri devre dışı bırakarak, kondansatörlerin aşırı gerilimden zarar görmesini önler.

RG – A Serisi Röleler:

Tümüyle yarı iletken yapıda, 3, 5 ve 7 kademeli olarak üretilen bu tip röleler; 1:1:1...1 ; 1:2:2...2 ; 1:2:4:8... gibi adım seçeneklerini, röle üzerinde herhangi bir işlem gerektirmeden sağlamak için, baştan al baştan bırak sisteminde çalışırlar. Bu tip röleler, kondansatör bataryalarını devreye alırken veya çıkarırken, 1. kademedan başlayarak, geniş bir adımlama seçeneği, yani kondansatör gruplama olanağı sağlarlar.

Anahtarlama Programı:

Anahtarlama işlemi, alma ve bırakma sırasında baştan sona doğrudur. Kademelerdeki kondansatör güçlerinin seçimi önemlidir.

Bu seçim için şu kurala uyulur:

Herhangi bir kademedeki kondansatör gücü, kendinden önceki kademe güçleri toplamından en çok 1. kademe gücü kadar fazla olabilir. Örnek olarak 1. kademe gücü x kVA seçilmişse, kurulabilecek en yüksek güç sıralaması:

$x : 2x : 4x : 8x : 16x : 32x : 64x$

1.kademeye en düşük güçteki batarya bağlanmalıdır, diğer kademeler bu gücün tam katları olmalıdır.

Bu kural rölenin en önemli ayarlarından biri olan C/k ayarının saptanması için gereken 1. kademe gücü ve akım trafosu çevirme oranı k' nın belirlediği değer için önem taşır.

Çalışma Bölgesi Ayarı (% 100 Potansiyometresi):

Bu potansiyometre, rölenin çalışma bölgesini belirler. Ayar, işletme koşullarına bağlı olarak yapılır. % potansiyometresi ile, rölenin duyarsız olduğu aralık, güç ekseninde kapasitif ve endüktif bölgelere kaydırılabilir. Bu aralık, 1. kademe kondansatör gücü ile belirlenir. % 0 - % 100 skala değerleri arasında yapılan ayar ile, hedeflenen ortalama $\cos\phi$ değerine ulaşılır.

Normal koşullarda aşırı kompanzasyon istenmez. Bu nedenle rölenin çalışma bölgesi endüktif yönde kaydırılır.

- • % 0 : Röle endüktif ve kapasitif bölgelerde simetrik çalışmaktadır.
- • % 50 : Röle endüktif bölgede çalışmaktadır.
- • % 100 : Röle tamamıyla endüktif bölgede çalışmaktadır.

Röle bu bölge içinde kalan reaktif güç değişimlerine cevap vermez. Bu bölgenin genişliği $1.3 \times C/k$ kadardır. Röle 1. kademe gücünün 0.65' ini aşan değerlerde etkinleşir.

Anahtarlama Programı ve Röle Tipi Seçimi:

Uygun röle seçiminde işletmenin işletmenin endüktif yük karakteristiği önemlidir. Büyük güçlü endüktif yüklerin bulunduğu işletmelerde az adımda yüksek güçlü kondansatör bataryaları ile kompanzasyon yapılabilir. Küçük endüktif yüklerin sık sık devreye girip çıktığı işletmelerde ise, küçük güçlü, çok kademeli sistemler uygun sonuç verir.

Akım Trafosu Seçimi:

- • Reaktif Güç Kontrol Rölesi, ayrı bir akım trafosundan beslenmelidir.
- • Akım trafosu – röle bağlantısı en az 1.5 mm çaplı bir kablo ile demir karkas üzerine sarılmadan, en kısa yoldan yapılmalıdır.
- • Rölenin, reaktif gücü sezebilmesi için akım ve gerilim bilgilerine ihtiyaç vardır. Akım bilgisinin alındığı trafo seçimi çok önemlidir.

Akım trafolarından, etiketlerinde yazılı akım değerlerinin 0.1 katından çok, 1.2 katından az akım geçtiği zaman, hatasız çalışırlar. Bu nedenle akım trafoları ne çok büyük ne de çok küçük seçilmelidirler.

$$I_N = \text{Paktif} / \sqrt{3} \cdot U_N$$

Örneğin; bir tesiste aktif güç 60 kW, şebeke gerilimi 380 V ise işletmenin nominal akımı,

$$I_N = 60.000 / \sqrt{3} \cdot 380 = 91 \text{ A' dir.}$$

Bu formülden elde edilen akım değerine en yakın bir üst standart akım trafosu değeri seçilir.

Örnekte 100 : 5' lik akım trafosu kullanmak yeterlidir.

Rölenin Bağlanması:

- • Röle bağlanmadan önce bağlantı şeması dikkatle incelenmelidir.
- • Akım trafosu ana şalter çıkışına veya ana giriş sigortalarından birinin ayağına bağlanır. En çok karşılaşılan hata, akım trafosunun kompanzasyon panosundan sonra bağlanmasıdır. Bu durumda röle çalışmaz. Akım trafosu daima kondansatörlerden önce ve işletmenin ilk girişine bağlanmalıdır.
- • Akım trafosunun bağlı olduğu faz R ise rölenin 4 ve 5 nolu klemenslerine S ve T fazları bağlanmalıdır.
- • Eğer röle ve Cosφ metre beraber kullanılıyorsa her ikisi için bir akım trafosu yeterlidir.

Rölenin İşletmeye Alınması:

1. 1. % ayar düğmesi 0.50' ye getirilir. (TEK' in öngördüğü değerdir.)
2. 2. Röle otomatik konumuna alınır.
3. 3. C / k ayar düğmesi 0.05' e alınır. Devreye endüktif bir yük (örneğin motor) alınır. Röle üzerindeki İnd ışığı yanmalıdır. Kap ışığı yanıyorsa 4 ve 5 nolu uçlar ters çevrilir.
4. 4. Bundan sonra geriye kalan tek işlem C / k ayarının düzgün yapılmasıdır. C / k ayarı işletme için hesaplanan değerine ayarlanır. Örnek olarak C / k = 0.25' e getirilir.

Pratikte, şebeke gerilimi ve eleman toleransları nedeni ile C / k' yı tekrar ayarlamak gerekebilir. Örnek tesiste, C / k 0.25'e alınır. 1. Adımdaki kondansatör gücünün karşılayabileceği kadar bir yük devreye alınır. Röle manuel konuma getirilir ve el ile 1. adımdaki kondansatör devreye sokulur. Bu durumda Cos φ 0.90 değerini geçmiş olmalıdır. Eğer geçmişse, röle otomatik konuma alınır. Normal ışığı yanmalıdır. Yanmıyorsa C / k düğmesi sağa doğru çok az çevrilmelidir. 5 s bekledikten sonra normal ışığı yanmadıysa tekrar çok az sağa çevrilip beklenmelidir. Normal ışığı yandığı anda rölenin ayarı tamamlanmıştır.

Karşılaşılabilecek Sorunlar:

a) Rölle sürekli kondansatör alıyor, devrede sürekli kondansatör olup aşırı kompanzasyon olduğu halde (Cosφ metre kapasitif gösterecektir.) çıkarmıyor.

Çözüm:

- • Akım trafosu, hem yük hem de kondansatör akımlarını sezecek biçimde bağlanmamıştır. Akım trafosundan yük ve kondansatör akımlarının geçmesi gerekir.
- • Kompanzasyon panosunu besleyen güç kablosu akım trafosundan önce alınmıştır.

b) Sistem yükü endüktif olduğu halde röle kondansatör almıyor.

Çözüm:

- • Rölenin 4 ve 5 nolu klmenslerine, akım trafosunun bağlı olmadığı diğer iki faz yerine, akım trafosunun bağlı olduğu faz bağlanmıştır. Fazlar yer değiştirilir.

c) Rölle çalışıyor, kademelerin devreye girdiği röle üzerinde ışıklardan belli oluyor. Kontaktörler çekiyor ancak Cosφ yükselmiyor ve röle kondansatör almak istiyor.

Çözüm:

- • Kondansatör sigortaları atmıştır.
- • Kontaktör kontakları kirlenmiştir.
- • Kondansatörler değer kaybetmiştir.
- • Kurulu kondansatör gücü, tesisin kompanzasyonuna yetmemiştir.
- • Kondansatör ilavasi gerekmektedir.

d) Aynı akım trafosundan hem röle, hem de Cosφ metre besleniyor fakat her iki cihazda düzgün çalışmıyor.

Çözüm:

- • Bağlantı hatası vardır. (Rölle ve Cosφ metre akım devreleri seri bağlanmalıdır.)
- • Akım trafosu büyük seçilmiştir.
- • Cosφ metrenin gerilim devresi, akım trafosu ile aynı fazda olmalıdır.

Teknik Özellikler:

İşletme Gerilimi (Un)	: 380 V
İşletme Aralığı	: (0.8 - 1.2) x Un
İşletme Akımı	: / 5 A
İşletme Akım Sınırları (In)	: (0.1 - 1.1) x In
İşletme Frekansı	: 50 Hz
Güç Harcaması	: Akım 2 VA Gerilim 6 - 12 VA Kademe sayısına bağlı olarak.
Çıkış Kontakı	: 1500 VA 220 V
Sıfır Gerilim	: Gerilim kesintisinde bütün kademeler devre dışı.
Ayar Sınırı	: C / k 0.05 - 2.5 Kademesiz.
%	: % 0 - % 100 Kademesiz.

Kademeler Arası Gecikme	: 8 - 15 s.
Ortam Sıcaklığı	: -10 c ; +70 c
Koruma Sınıfı	: IP 20
Bağlantı	: Terminal bağlantı
Boyut	: 144 x 144 mm
Pano Delik Ölçüleri	: 140 x 140 mm
Ağırlık	: 1.8 kg

ELCONTROL REAKTİF GÜÇ KONTROL RÖLESİ PFRMD

PFRMD Mikroişlemci kontrollü otomatik güç faktörü regülatörü olup 144 x 144 mm ölçülerinde imal edilmiştir. PFRMD üç fazlı düşük voltajda 220, 380, 415 V AC ve aynı zamanda yüksek gerilimde akım ve gerilim trafoları kullanılarak çalıştırılabilir.

PFRMD sürekli olarak yükün çektiği reaktif gücü ölçer ve mikroişlemci sayısal devresi $\cos\phi$ 'yi setlenen değerde tutmak için gerekli olan kondansatör kademelerini devreye alır veya devreden çıkarır. PFRMD, kondansatörleri optimum şekilde kullanır. Kademelerden istenen kombinasyonlar, minimum operasyon ile en kısa sürede dönüşümlü elde edilir. Top-up fonksiyonu sayesinde operasyon sayısı önemli ölçüde azalır ve aynı zamanda güç faktöründe istenen değerde kalır. Mikroişlemciler ve software ELCONTROL tarafından geliştirilmiş en son teknolojidir. Regülasyon ve alarm sistemleri son derece hassastır.

Otomatik C / k Ayarı:

Röle tarafından her kondansatör kademesinin gücü otomatik olarak ölçülür ve akım trafosunun oranı, manuel olarak ayarlanmasına gerek kalmadan belirlenir. Operasyon başlangıcında bir saatlik çalışma ölçülür ve hafızaya alınır. Röle lojik olarak her kademedeki gerçek gücü hesap eder. Eğer sistemin güç faktörünü düzeltmek gerekiyorsa, en yakın değerdeki ya da tam gerekli kademeyi devreye alır.

Kompanzasyon Sisteminin Ömrü:

Devreye alma ve devreden çıkarmanın sayısal kontrolü, üç ana prensibi göz önüne alarak çalışır. Bu prensipler sistemin ömrünü belirler.

Kademe Operasyonlarının Sayısının Eşitlenmesi:

PFRMD, her kademelerin operasyon sayısını objektif olarak sayar ve her zaman en gerekli kademeleri devreye alır. Bu önemli ölçüde işlem sayısını azaltır ve tüm sistemin daha uzun ömürlü olmasını sağlar.

Kondansatörlerin Dinlenmesi:

PFRMD kademeleri devreye alırken, kademelerin en az iki dakika önce devre harici edilmiş olmasına dikkat eder. Bu da kısmen yüklü olan kondansatörlerin üzerindeki yükü atması için gerekli olan minimum zamandır.

Top-up Fonksiyonu:

PFRMD sürekli olarak ekranda gerçek güç faktörünü gösterir ve bu değeri setlenen değer ile sürekli karşılaştırır. Her kapasite, $\cos\phi$ 'yi setlenen değerde tutmak için kullanılır. Eğer reaktif güç talebi minimum düzeyde tutulursa gereksiz şekilde kademeleri devreye alma yada çıkarma işlemi yapılmaz.

Sistemin Sürekli Kontrolü:

PFRMD mantığı, her kademenin devreye alınmasını ve devreden çıkarılmasını kontrol eder ve bunların ölçümlerini ilk başlangıç değerleri ile karşılaştırır.

- • Arızalı yada yetersiz kademeleri belirler.
- • Zayıf kontakten dolayı normal çalışmayan kontaktörleri olan kademeyi tespit eder. Her iki durumda da PFRMD otomatik olarak o kademeyi devre dışı kabul eder ve sisteme dahil etmez

Harmonik Aşırı Yük Koruması:

Rms' yi doğru ölçebilen ve sistemin harmonik oluşumlarını sürekli belirleme özelliğine sahip PFRMD iyi bir ekipmandır. PFRMD sistemi sürekli gözlemleyerek harmonik limitini hiçbir zaman kondansatörler için tehlike oluşturacak miktara çıkarmaz. Eğer rms akımı % 20' den (programlanan değer) fazla olursa (harmonikten dolayı) ve bu iki dakikadan fazla sürerse röle otomatik olarak hızlı bir şekilde tüm kademeleri devre dışı eder. Sistem normal duruma dönünce operasyon devam eder. Bu durum bir saatte altı defa tekrar ederse PFRMD tüm kademeleri devreden çıkarır ve alarm rölesini enerjiler. Operatör gelip resetleyinceye kadar devreye girmez.

Rezonans Kontrolü:

PFRMD tehlikeli rezonans sinyallerini ve özellikle aşırı güçlenmiş 5. ve 7. Harmonikleri belirler ki bunlar her zaman tehlikeli değildir. Herhangi bir duruma karşı kullanıcıyı uyararak daha dikkatli bir çalışmaya yardımcı olur.

Ne zamanki rms akımı % 50' yi (programlanan değer) aşarsa PFRMD rezonans durumunun oluştuğuna karar verir ve 1 s içinde tüm kademeleri hızlı bir şekilde devre dışı bırakır. Normal şartlar oluşunca çalışmaya devam eder. Eğer bu durum bir saatte altı defa tekrar ederse PFRMD tüm kademeleri devreden çıkarır ve alarm rölesini enerjiler. Operatör gelip resetleyinceye kadar devreye girmez.

TEKNİK ÖZELLİKLER:

Genel Özellikler:

- • Voltaj girişi, 750 V AC +/- 10 % (50 / 60 Hz)
- • Akım girişi, x / 5 A (50 / 60 Hz)
- • Giriş empedansı, 4 MOhm
- • Güç sarfiyatı, max. 0.2 VA
- • Yüksek gerilim uygulamalarında gerilim trafosu aron bağlı olmalı, akım trafosu üçüncü fazda olmalıdır.
- • Voltaj ölçüm sisteminde sıfırlama yoktur.
- • Filtresi darbelere karşı normal çalışmasını sağlar.
- • Çıkış kontak akımı, 5 A-250 V AC, 2 A-440 V ACF

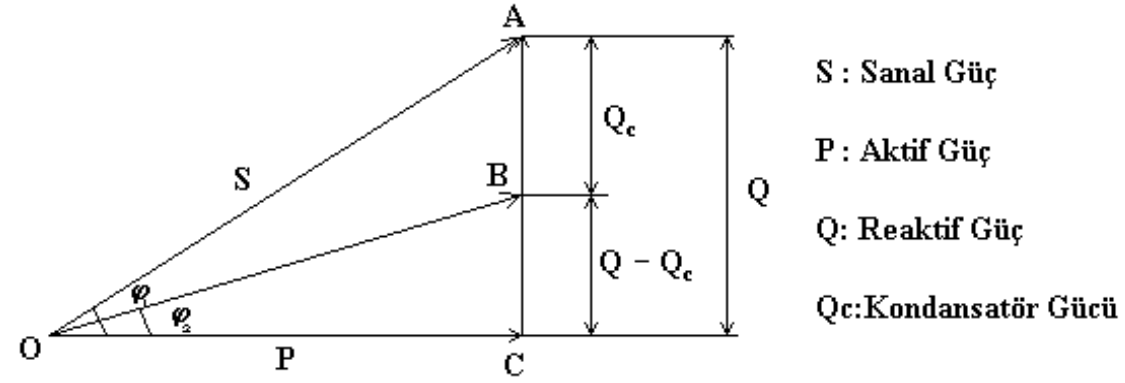
Fiziksel Özellikler:

- • Cihaz ön paneli 144 x 144 mm' dir.
- • Cihazın gövdesi kendini söndürebilen özelliktedir.
- • Ağırlık, 1.45 – 1.6 kg
- • Pano delik ölçüleri, 138 x 138 mm
- • Pano saç kalınlığı, 12 mm

Besleme Gerilimleri:

- • 120 V AC +/- 10 % 50 - 60 Hz
- • 240 V AC +/- 10 % 50 - 60 Hz
- • 415 V AC +/- 10 % 50 - 60 Hz

KOMPANZASYON İÇİN GEREKLİ KONDANSATÖR GÜCÜ HESABI



Endüktif karakterli bir empedans için çizilmiş güç üçgeni

$$\text{AOC 'de ; } \operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{Q}{P} \quad \rightarrow \quad Q = P \cdot \operatorname{tg} \varphi_1$$

$$\text{BOC 'de ; } \operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{Q - Q_c}{P} \quad \rightarrow \quad Q - Q_c = P \cdot \operatorname{tg} \varphi_2$$

$$Q - (Q - Q_c) = P \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 - P \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \quad \rightarrow \quad Q_c = P \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 - P \cdot \operatorname{tg} \varphi_2$$

$$Q_c = V_c \cdot I_c \cdot \sin \varphi_c$$

$$\varphi_c = \pi / 2 \quad \rightarrow \quad Q_c = V_c \cdot I_c \quad \rightarrow \quad I_c = V_c / X_c \quad \rightarrow \quad X_c = 1 / W \cdot C$$

$$Q_c = W \cdot C \cdot V_c^2 \text{ (VAr)} \quad \rightarrow \quad P \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 - P \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 = W \cdot C \cdot V_c^2 \quad \rightarrow$$

$$C = \frac{P \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 - P \cdot \operatorname{tg} \varphi_2}{W \cdot C \cdot V_c^2} \quad [F] \text{ (Farad)}$$

Tam kompanzasyon

$$\cos \varphi_2 = 1 \quad \rightarrow \quad \varphi_2 = 0 \quad \rightarrow \quad C = \frac{P \cdot \operatorname{tg} \varphi_1}{W \cdot V_c^2} \quad \rightarrow \quad Q_c = P \cdot \operatorname{tg} \varphi_1$$

YÜK ANALİZİ

Yük analizinde amaç, projelendirme aşamasında tesiste kullanılacak olan ve kompanze edilmesi gereken yüklerin, güç ve güç faktörü yönünden çok iyi etüd edilmesidir. Projelendirmede yükleri aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz;

1-PROSES GÜÇLER: Proses güçler, tesisin üretimine direkt olarak katkısı olan, her türlü elektrik makinalarından oluşur. Bunlar, üretim ile ilgili yüklerdir.

Örneğin; Coca Cola fabrikasındaki şeker silosu, dolum tesislerinin kompresörü, Tekstil fabrikasındaki dikiş makinaları, kesim makinaları vb...

2-MEKANİK GÜÇLER: Her tesiste bulunabilen ve kullanıldığı tesislerde aynı görevi üstlenen elektrik motorlarından oluşur.

Örneğin; Isıtma sistemlerinin kazanları, egzost sistemleri, klimalar, hidroforlar vb...

3-AYDINLATMA GÜCÜ: Tesiste kullanılan aydınlatma armatürü ve lambalara göre farklılık gösterir. Bir tesiste yapılan aydınlatma (kompanze edilecek yük açısından);

- • Floresan lambalarla yapılan aydınlatma
- • Cıva buharlı lambalarla yapılan aydınlatma
- • Sodyum buharlı lambalarla yapılan aydınlatma
- • Metal halide lambalarla yapılan aydınlatma olarak sınıflandırılabilir.

4-PRİZ GÜCÜ: Çok amaçlı kullanıma sunulan prizlerden oluşur. Yük analizinde yükler, güçlerine göre değil; işletmedeki fonksiyonlarına göre ayırt edilir. Böylece daha doğru ve fonksiyonel bir kompanzasyon yapılmış olur.

Yük sınıflarında bulunan makinaların güç ve güç faktörü değerleri etiketlerinden, armatürlerin değerleri kataloglarından alınarak mevcut güç ve güç faktörleri belirlenir. Prizlerin güç faktörleri ise ortalama 0.8 alınabilir.

İyi bir kompanzasyon için ulaşılması gereken $\cos\phi$ değeri 0.95 olmalıdır. Kompanzasyon için gerekli kondansatör gücü tablosundan mevcut $\cos\phi_1$ değerinden arzu edilen $\cos\phi_2$ değerine ulaşmak için $(\tan\phi_1 - \tan\phi_2)$ fonksiyonuna karşılık düşen k katsayısı alınarak, aktif güç ile çarpılır ve gerekli kondansatör gücü hesaplanır.

ÖRNEK:

Aşağıdaki örnekte yazılı rakamlar herhangi bir uygulamada kullanılmayıp sadece kompanzasyon hesap mantığının kavranması ve kolay anlaşılması amacıyla verilmiştir.

$$Q = (\tan\phi_1 - \tan\phi_2) \cdot P = k \cdot P$$

Proses güçler:

Makine 1	3 kW	$\cos\phi_1 = 0.84$	$\cos\phi_2 = 0.95$	$k = 0.32$	$Q = 0.96$ kVAr
Makine 2	4 kW	$\cos\phi_1 = 0.84$	$\cos\phi_2 = 0.95$	$k = 0.32$	$Q = 1.28$ kVAr
Makine 3	15 kW	$\cos\phi_1 = 0.86$	$\cos\phi_2 = 0.95$	$k = 0.26$	$Q = 3.90$ kVAr
Makine 4	45 kW	$\cos\phi_1 = 0.88$	$\cos\phi_2 = 0.95$	$k = 0.21$	$Q = 9.45$ kVAr
Makine 5	110 kW	$\cos\phi_1 = 0.88$	$\cos\phi_2 = 0.95$	$k = 0.21$	$Q = 23.10$ kVAr
Toplam Proses Gücü P : 177 kW					Gerekli Kondansatör Gücü Q : 38.69 kVAr

Mekanik güçler:

Makine 1	0.25 kW	$\cos\phi_1 = 0.70$	$\cos\phi_2 = 0.95$	$k = 0.69$	$Q = 0.1725$ kVAr
Makine 2	0.55 kW	$\cos\phi_1 = 0.75$	$\cos\phi_2 = 0.95$	$k = 0.53$	$Q = 0.2915$ kVAr
Makine 3	2.20 kW	$\cos\phi_1 = 0.83$	$\cos\phi_2 = 0.95$	$k = 0.32$	$Q = 0.7040$ kVAr
Makine 4	5.50 kW	$\cos\phi_1 = 0.85$	$\cos\phi_2 = 0.95$	$k = 0.26$	$Q = 1.4300$ kVAr

Makine 5 45.00 kW $\text{Cos}\phi_1 = 0.88$ $\text{Cos}\phi_2 = 0.95$ $k = 0.21$ $Q = 9.4500$ kVAr
Makine 6 90.00 kW $\text{Cos}\phi_1 = 0.88$ $\text{Cos}\phi_2 = 0.95$ $k = 0.21$ $Q = 18.9000$ kVAr
Makine 7 132.00 kW $\text{Cos}\phi_1 = 0.88$ $\text{Cos}\phi_2 = 0.95$ $k = 0.21$ $Q = 27.7200$ kVAr

Toplam Mekanik Güç P : 275.5 kW Gerekli Kondansatör Gücü Q : 58.668 kVAr

Aydınlatma gücü:

Fluo.armatür gücü 250 kW $\text{Cos}\phi_1 = 0.45$ $\text{Cos}\phi_2 = 0.95$ $k = 1.65$ $Q = 412.5$ kVAr
Civa buh.arm.gücü 170 kW $\text{Cos}\phi_1 = 0.60$ $\text{Cos}\phi_2 = 0.95$ $k = 1.00$ $Q = 170.0$ kVAr

Toplam Aydınlatma Gücü P : 420 kW Gerekli Kondansatör Gücü Q : 582.5 kVAr

Priz gücü:

Top. priz gücü P = 80 kW $\text{Cos}\phi_1 = 0.80$ $\text{Cos}\phi_2 = 0.95$ $k = 0.42$ $Q = 33.6$ kVAr

Tesis Toplam Gücü = 952.5 kW Toplam Kondansatör Gücü = 713.458 kVAr

Ayrıca bu tesisin 34.5 / 0.4 – 0.231 kV, 1000 kVA bir trafo ile beslendiği düşünülürse;

Trafonun boşa çalışma kayıplarını kompanze etmek için sisteme konması gereken sabit kondansatör gücü 50 kVAr olmalıdır.

Bu tesiste gerekli kondansatör gücü, yük analizi metodu ile hesap edilmeyip, ortalama $\text{Cos}\phi_1 = 0.70$, $k = 0.69$ alınarak hesap yapılmış olsaydı;

Toplam Kondansatör Gücü = 657.225 kVAr bulunacaktı. Bu durumda kompanzasyon yetersiz kalacak ve işletme reaktif enerji bedeli ödemek zorunda bırakılacaktı. Fakat yük analizi metodu ile tesis için optimum kompanzasyon yapılmaktadır.

Toplam kondansatör gücünü 770 kVAr kabul edelim. 50 kVAr'lık grup sabit olarak seçildiğinden direkt olarak trafonun sekonderine bağlanır. Geriye kalan 720 kVAr ise 7 kademeli reaktif güç rölesi kullanılarak, 1-2-3-3-3-3-3 esasına göre 40-80-120-120-120-120-120 şeklinde adımlandırılabilir.

KOMPANZASYON MALİYETİ :

Yukarıdaki örnek için kompanzasyon maliyeti hesaplanırken 1 kVAr güç için 6.500.000 TL. baz alınacaktır. Bu fiyata kompanzasyon panosu, reaktif güç kontrol rölesi, kondansatör bataryası, kontaktör, sigorta, pako şalter, akım trafosu, farklı kesitlerde kablolar, kablo pabuçları, klemensler, sinyal lambaları ve montaj işçiliği dahildir.

Kompanzasyon Maliyeti = 770 (kVAr) x 6.500.000 (TL) = 5.005.000.000 TL.

Tesis Toplam Gücü = 950 (kW)

Günlük Çalışma Saati = 8 (saat)

Haftalık Çalışma Saati = 40 (saat)

Aylık Çalışma Saati = 160 (saat)

Aylık Aktif Enerji Tüketimi = 950 (kW) x 160 (saat) = 152.000 kWh

1 kWh = 17.000 TL.

Aylık Aktif Enerji Tüketim Bedeli = 152.000 (kWh) x 17.000 (TL) = 2.584.000.000 TL.

Kompanzasyon yapılmadığı taktirde Aylık Reaktif En. Tük.Bedeli = 2.584.000.000 TL.

(Kompanzasyon yapılmayan durum için tüketilen reaktif enerji, aktif enerji tüketimine eşit alındı.)

Kompanzasyon Sistemi'nin kendini amorte etme süresi = t ise;

$$t = \frac{\text{Kompanzasyon Maliyeti} + \text{Aylık Aktif Enerji Tüketim Bedeli}}{\text{Aylık Aktif} + \text{Reaktif Enerji Tüketim Bedeli}}$$

$$t = 5.005.000.000 \text{ TL} + 2.584.000.000 \text{ TL} / 2.584.000.000 \text{ TL} + 2.584.000.000 \text{ TL}.$$

$$t = 1.46 \rightarrow 1.5 \text{ Ay bulunur.}$$