

Kompanzasyon Kılavuzu

İçindekiler:

1. Kompanzasyon Nedir?
2. Reaktif Enerji ve Kompanzasyon İlişkisi
3. Pratik Kompanzasyon Hesabı ve Kademe Seçimi Nasıl Yapılır?
4. Kompanzasyonda Yapılan Hatalar
5. Neden Kompanzasyon Kontaktörü Kullanılır ?
6. Sanayi Tesislerinde Kompanzasyon Sistemi Tasarım Kriterleri

Kompanzasyon nedir?

Elektrik sistemlerinde elektrik motoru, bobin vb. mıknatıslanma etkisi ile faz akımının geri kaymasından dolayı şebeke üzerinde yaratılan indüktif reaktif gücü dengeleme ve geri kaymış faz akımını olması gereken konuma getirme işlemine **Kompanzasyon** denir.

Kompanzasyon neden gereklidir?

Elektrik enerjisinin santralden en küçük alıcıya kadar dağıtım sırasında en az kayıpla taşınması gerekmektedir. Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte evlerde kullanılan elektrikli aletlerin kullanımı artmıştır. Bu nedenle daha fazla enerji üretimine ihtiyaç duyulmakta ve enerjinin pahalılaşmasına neden olmaktadır. Bu durumda taşınan elektriğin kaliteli ve hakiki iş gören aktif enerji olması zorunludur.

Şebekeye bağlı alıcı eğer bir motor, **trafo** veya bir floresan lamba ise, bunlar manyetik alanların temini için şebekeden indüktif reaktif güç çekerler. İş yapmayan ve sadece motorda manyetik alan oluşturmaya yarayan indüktif reaktif güç iletim hatlarında, trafolarda, şalterlerde ve kablolarda gereksiz yere kayıplara neden olmaktadır.

Bu kayıplar **kompanzasyon** yapılarak yok edildiğinde elektrik santralleri daha az yüklenir, trafolardan şalterlerden ve kablolardan çekilen güç azalır; dolayısıyla daha küçük güçte trafo ve şalter, daha küçük kesitte kablo kullanarak maliyet büyük ölçüde düşürülebilir. Enerji dağıtım şebekelerinde gereksiz yere taşınan reaktif enerjinin, taşınan aktif enerjinin %75'ine ulaşabildiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak reaktif enerjinin santral yerine, motora en yakın bölgede kompanzasyon sistemler tarafından temin edilmesi ile bütün tesisler gereksiz reaktif enerji taşıma yükünden kurtulacaktır.

Kompanzasyon yapılmaz ise ne olur?

Reaktif güçler kompanze edilmez ise;

- Şebekede güç kayıplarına neden olur
- Üretim ve dağıtım tesislerinin kapasitesini azaltır
- Enerji taşıma kapasitesinin düşmesine neden olur
- Enerji iletim ve dağıtımında kullanılan (trafo, kesici, kablo vb) ürünlerin daha büyük değerlerde kullanılmasına, bu nedenden aşırı maliyet getirmesine neden olur.

*Bu nedenle kompanzasyon panosu kurmak ile yükümlü aboneler, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu kararı ile belirtilmiş sınırlar içinde kompanze edilmiş şekilde elektrik tüketmek zorundadır. Aksi durumda aboneler ceza ödemekle yükümlüdür.

Kompanzasyon Yapılması Şart mıdır ?

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'ndan kurul kararı olarak en son alınan kararla, (Karar No: 284/2 Karar Tarihi: 8/1/2004) kompanzasyon zorunlu tutulmuştur. (Bu kurul kararı 15/01/2004 tarih ve 25347 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.)

*Bu karara göre kompanzasyon panosu kurma ve işletme zorunluluğundaki işletmelerin harcadıkları endüktif enerji, aktif enerjinin en fazla %33'ü; kapasitif enerji de aktif enerjinin en fazla %20'si kadar olabilir. Aksi halde işletme ceza ödemek durumunda kalır.

Arıza durumu

Aboneye ait kompanzasyon tesisinde arıza sonucu oluşan ihlalin yılda bir kez olması halinde reaktif enerji bedeli faturalamada dikkate alınmaz. Bu durumun yılda bir defadan fazla olması halinde, o yıl için daha önceden dikkate alınmayan reaktif enerji bedeli, sistemden çekildiği aydaki birim fiyat dikkate alınarak ilk çıkacak faturaya eklenerek tahsil edilir.

Kompanzasyon Projesi Çizimi

Kompanzasyonu yapılacak tesisin projesinin çizimi için tesisin toplam gücü belirlenir. Bu tesis için gerekli olan kondansatör gücü $Q_c = P \cdot k$ formülünden yararlanılarak bulunur. (k faktörü tesisin kompanzasyondan önceki $\cos\phi$ 'sine ait açının tanjantı ile kompanzasyon yapılarak elde edilmek istenen $\cos\phi$ değerine ait açının tanjantı arasındaki farktır.)

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

Tesisin mevcut $\cos\phi$ 'si pens kosinüsfi metre yardımı ile tüm alıcılar devrede iken ölçülür. Bunun mümkün olmadığı durumlarda makinelerin güç ve devir sayıları dikkate alınarak yaklaşık bir $\cos\phi$ değeri hesaplanır. Bu durumda Resmi Gazete'de yayınlanan bilgeye göre $\cos\phi$ 0.7 den 0.95 ile 1 arasında bir değere yükseltilecek hesaplamaya yapılabilir.

Örnek

40 kW gücündeki bir tesisin ilk $\cos\phi$ 'si 0.7 olarak ölçülüyor. Bu tesisin $\cos\phi$ değerini 0.95'e çıkararak 7 kademeli reaktif güç rölesi ile merkezi otomatik kompanzasyon yapılması istenmektedir. Gerekli kondansatör gücünü ve röle kademelerinin dağılımını bulalım.

Çözüm:

$$\cos\phi_1 = 0,70 \quad \phi_1 = \cos \text{ değeri } 45,57 \quad \tan\phi_1 \text{ değeri} = 1,02$$

$$\cos\phi_2 = 0,95 \quad \phi_2 = \cos \text{ değeri } 18,19 \quad \tan\phi_2 \text{ değeri} = 0,32$$

$$Q_c = P \cdot (\tan\phi_1 - \tan\phi_2) \quad Q_c = 40 \times (1,02 - 0,32) = 28 \text{ kVAr (bu değer bir üst limiti seçilir yani uygun görülen güç = 32.5 kVAr)}$$

1. Kademe= 2,5 kVAr 5. Kademe= 5kVAr
2. Kademe= 5 kVAr 6. Kademe= 5 kVAr
3. Kademe= 5 kVAr 7. Kademe= 5 kVAr

4. Kademe= 5 kVAr

Kompanzasyon Kontaktörü nedir?

Bilindiği gibi kondansatörler ilk devreye alınma anında 1 ile 15 kHz arasında yüksek frekans ve anma akımının 180 katına kadar çıkabilen, çok kısa süreli yüksek akımlara sebep olurlar. Bu akımları sınırlamak için kondansatörün bağlandığı her üç faza da deşarj direnci ilave edilebilir. Ancak pratik olarak bu işlem zor olduğundan, sadece bu amaç için dizayn edilen kompanzasyon kontaktörü kullanılır. Kompanzasyon kontaktörleri fabrikasyon deşarj direnci ile temin edilir.



Reaktif Enerji ve Kompanzasyon Nedir?

İnternette bulabileceğiniz onlarca tanımı tekrarlamak istemiyoruz. Basit bir şekilde anlatalım. Bir fincan kahve içmek istediğimizde, kahvenin dibi telve oluyor. Ne yazık ki telvesiz bir kahve düşünmek mümkün değil, her ne kadar hiçbirimiz telveyi içmesek de fincanın büyük bir kısmında telve var.



İşte şebekeden enerji talep ettiğimiz sırada bu enerji de kendi telvesiyle beraber geliyor. Biz telveye reaktif enerji adını veriyoruz. Kahvenin kendisine ise aktif enerji diyoruz. Reaktif güç kompanzasyonu ise çektiğimiz enerjiden telveyi arındırmak için kullandığımız teknik.

Reaktif enerjinin neden oluştuğuna dair çok teknik cevaplar bulmak mümkün. Ancak ben daha pratik cevapların peşindeyim. Çünkü ne kadar geniş kitleler kompanzasyonu ve reaktif enerjiyi anlarsa ülkemiz daha güzel günlere o kadar hızlı ulaşacaktır. Sade bir dille anlatmak gerekirse; şebekeye bağlı neredeyse tüm cihazlar (yükler) reaktif enerji kullanırlar.

Bir parça teli bir silindire doladığınızı düşünün, buna bobin (veya sargı) deniyor. Motorlar ve jeneratörler (ve trafoların) aslında büyük bobinler. Bobinlerin üzerinden akım geçirdiğimiz zaman bobinler mıknatıs gibi davranırlar. Jeneratörün göbeğine bu şekilde bir mıknatıs yerleştirdiğinizi düşünün. Mıknatısı sabit bir hızla döndürmeniz jeneratörün etrafında sarıllı diğer bobinlerdeki yüklerin hareket etmesine neden olur. Sonuçta cihazın içerisindeki mıknatısı döndürdüğünüz için cihazın dışındaki tellerde akım oluşturmuş olursunuz. Motorlar ise bunun tam tersi prensiple çalışırlar. Trafo ise kabaca hem göbeği hem de çevresi sabit bobinlerden oluşan bir jeneratördür. Bobinlere

İngilizler **inductor** demiş, kullandıkları enerjiye ise Türkler **endüktif reaktif enerji** demişler. Örneğin asansörler, otomatik kapılar, pompalar ve hatta floresan ampullerin balastları endüktif yüklerdir. Bir sistemin bilinçli olarak endüktif enerji çekmesini sağlamak için **şönt reaktörler** kullanılır.

İki iletkeni birbirine çok yaklaştıran ama temas etmelerini yalıtkan bir malzeme ile engelleyin. Bu düzene de kapasitör (veya kondansatör) deniyor. Aslında evrensel çevrimi kapasitör olan bu cihaz enerji sektöründe (sanırım elektronik devrede kullanılan komponent ile ayırt etmek için) kondansatör olarak adlandırılıyor. Elektronik cihazlar (örneğin UPS) ve son dönemde özellikle yükselişte olan LED aydınlatma sistemleri **kapasitif reaktif enerji** üretirler. Bir sistemin bilinçli olarak kapasitif enerji çekmesini sağlamak için **kondansatörler** kullanılır.

Neden Reaktif Ceza Ödüyoruz?

Yukarıda bahsettiğimiz reaktif enerji yükler tarafından tüketilmez. Sürekli olarak çekilip üretim yapan tesise geri gönderilir. Bu döngü sırasında enerji fiziksel iletim hatları üzerinden taşındığı için hatların yüklenmesine neden olur. Bu nedenle reaktif enerji, tüketicinin kullandığı aktif enerjiye göre belli bir oranın üzerine çıkarsa kaybedilen milli kaynaklar tüketiciye ceza olarak yansıtılır.

Ceza kulağa çok hoş gelmediği için endüstrimiz buna **reaktif bedel** demeyi tercih ediyor. Elektrik faturanıza **aktif** sütunu dışındaki **endüktif** ve **kapasitif** sütunlarında bedel görüyorsanız bu size kesilen ceza miktarını temsil ediyor. Sonuçta bu ceza faturaya yansıyor ve hem milli kaynaklarımızın tüketilmesine neden oluyor, hem de tüketici gereksiz zarara uğruyor.

Kompanzasyon Neydi?

Kahve telvesiz olmuyor demiştik. Ama şebeke telveyi buradan almamızdan hoşlanmıyor. Biz de bu nedenle telveyi sisteme kondansatörler koyarak karşılıyoruz. Bunu yaptığımız zaman hatlara yük olmadığımız için ceza ödenmiyor. Bu işlemin adı reaktif güç kompanzasyonu.

Sisteminizin ne zaman fotoğrafını çekseniz kahve ve telve oranları değişik görünüyor. Bunun sebebi gün içerisinde çok çeşitli yüklerin devreye girmesi ve çıkması. Reaktif güç kontrol röleleri (üç fazlı tabir ettiklerimiz) her üç fazdaki telve ve kahve oranını sürekli kontrol ederek gereken telvenin kondansatörler ile karşılanmasını (veya tersi ihtiyacın şönt reaktörler ile karşılanmasını) sağlıyor.

Pratik kompanzasyon hesabı ve kademe seçimi nasıl yapılır?



İndüktif ve kapasitif etkilerden akım ve gerilim arasında oluşan faz kaymasını düzelterek ideale yakın (0 derecede) sabit tutmaya yarayan işleme **Kompanzasyon** denir.

1 . YÖNTEM

Örnek:

40 kW gücündeki bir tesisin ilk $\cos\phi$ 'si 0.7 olarak ölçülüyor. Bu tesisin $\cos\phi$ değerini 0.95'e çıkararak 7 kademeli reaktif güç rölesi ile merkezi otomatik kompanzasyon yapılması istenmektedir. Gerekli kondansatör gücünü ve röle kademelerinin dağılımını bulalım.

Çözüm:

$\cos\phi_1 = 0,70$ à $\phi_1 = \cos$ değeri 45,57 à $\tan\phi_1$ değeri= 1,02

$\cos\phi_2 = 0,95$ à $\phi_2 = \cos$ değeri 18,19 à $\tan\phi_2$ değeri = 0,32

$$Q_C = P * (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \quad Q_C = 40 * (1,02 - 0,32) \quad 40 \times 0,7 = 28 \text{ kVAr}$$

(uygun görülen güç = 32.5 kVAr)

- | | | |
|----|------------------|-------------------|
| 1. | Kademe= 2,5 kVAr | 5. Kademe= 5kVAr |
| 2. | Kademe= 5 kVAr | 6. Kademe= 5 kVAr |
| 3. | Kademe= 5 kVAr | 7. Kademe= 5 kVAr |
| 4. | Kademe= 5 kVAr | |

2 . YÖNTEM

Örnek:

1600kVA trafo gücüne sahip bir tesis için hesaplama yapalım

kVA değerinden kW değerine dönmek için $1600 \times 0,8 = 1280\text{kW}$ Gücümüz

$1280 \times 0,7 = 896$ 900kVAR kondansatör kullanılmalıdır

$$P = 1,73 \times U \cdot I \cdot \cos \phi$$

$$1280000 = 1,73 \times 380 \times I \times 0,8$$

$$1280000 = 525,9 \times I$$

$$I = 1280000 / 525,9$$

$$I = 2433A \quad 2500A \text{ Kullanılması gereken ana şalter}$$

2500/5 ise Kullanılması gereken akım trafosu

Çevirme Oranı

2500/5 (2500A geçerken akım trafosunda 5A akım okunur)

2000/5 (2000A geçerken akım trafosunda 4A akım okunur)

1500/5 (1500A geçerken akım trafosunda 3A akım okunur)

100/5 (100A geçerken akım trafosunda 0.2A akım okunur)

Akım trafoları için %1 hassasiyet değerinden dolayı 0.2A kadar inilmesi gerekli

5A değeri 2500A de alıyorsak

0.2A değeri I

$$0,2 \times 2500 = 5I$$

$$I = 100A$$

$50A \times 0,7 = 35\text{kVAR}$ (en düşük yükü kompanze edebilmek için gerekli kademe

Değeri)

35kVAR için bir alt değer 25kVAR dan başlanır

1. kademe 25kVAR
2. kademe 25kVAR
3. kademe 50kVAR
4. kademe 50kVAR
5. kademe 50kVAR
6. kademe 100kVAR
7. kademe 100kVAR
8. kademe 100kVAR
9. kademe 100kVAR
10. kademe 100kVAR
11. kademe 100kVAR
12. kademe 100kVAR

Kompanzasyonda Yapılan Hatalar

Kompanzasyon yapısı itibari ile her yönü iyi kurgulanmalı ve hesaplanmalıdır.Yapılacak yanlış hesaplama veya yanlış ürün seçimi kompanzasyon sistemini verimli çalıştırmayacak ve reaktif tüketimden bir ceza gelecektir.



Kompanzasyon yapısı itibari ile her yönü iyi kurgulanmalı ve hesaplanmalıdır.Yapılacak yanlış hesaplama veya yanlış ürün seçimi kompanzasyon sistemini verimli çalıştırmayacak ve reaktif tüketimden bir ceza gelecektir.

Bu yazımızda kompanzasyonda yapılan yoğun hataları ele alacağız;

Kompanzasyon sisteminde otomatik sigorta kullanmak

Bu yapılan yoğun hatalardan biridir. Kompanzasyonda kullanılması gereken sigorta tipi bıçak (NH) veya katuş sigorta olmalıdır çünkü bu tip sigortalar yüksek tepki hızı ve yüksek kesme kapasitesi (Icu ortalama 75kA - 100kA) değerinden dolayı daha verimli ve uzun ömürlüdürler.Klasik sigortalar kondansatörlerin sık devreye girip çıkması ve yüksek kalkış akımı yani demeranj akımından dolayı kontak yapışması yada bozulması gibi sorunlara yol açabilmektedir.

Kompanzasyon sisteminde seçilmesi gereken Reaktif Güç Kontrol Rölesi

Otomatik kompanzasyon sistemlerinde hassasiyeti belirleyen faktör, kademe sayısının çokluğu değil en küçük kademenin gücü ve doğru ayarlanmış bir kademe dizisidir. Kademe sayısını belirleyen ise elde edilmek istenen maksimum gücün büyüklüğüdür.Otomatik kompanzasyon sistemlerinde kademeler belirli dizinlere göre yapılır. Buradaki amaç, en az anahtarlamayla hedef güce en kısa zamanda ulaşabilmek ve kompanzasyon sisteminin ilk yatırım maliyetini düşürmektir. 80 kVAr reaktif güç ihtiyacı olan bir tesise, 5 kVAr kademe hassasiyeti ile kompanzasyon panosu yapılacak. Bunu yaparken, 16 kademeli reaktif güç kontrol rölesinin tüm kademelerini kullanmak

adına 16 adet 5 kVAr'lık kademe yaparsak, $16 \times 5 = 80$ kVAr'ı sağlarız. Bu durumda gerçekleştirilen dizi (1:1:1:1:....:1) dizisidir.

Bu sistem, 5 kVAr hassasiyet adımı ile 0 kVAr ve 80 kVAr arasındaki tüm güçleri kompanze edebilir.

Bunun yerine, kademe dizin mantığı (1:2:4:8) olan bir kompanzasyon sistemi olarak yaparsak. Kademe hassasiyeti yine bir önceki sistemdeki gibi 5 kVAr olsun. Yeni kademe tasarımıımız 4 kademeden oluşan (5kVAr + 10 kVAr + 20 kVAr + 40 kVAr) bir sistem haline gelecektir. Bu sistem de 5 kVAr hassasiyet adımı ile 0 kVAr ve 80 kVAr arasındaki tüm güçleri şebekeye verebilir. Doğru dizin seçildiğinde, 15 kademe yerine 4 kademeli bir çözüm ile de rahatlıkla sonuca gidilebilir.

Kademe dizini ile gereksiz yere birçok kademe yerine, birbirinin katı olacak şekilde bir dizin kullanarak hem aynı hassasiyeti sağlayabilir, hem de çok daha az sayıda malzeme (sigorta, kablo, kontaktör, pano, vs.) kullanarak ilk yatırım maliyetini ciddi oranda azaltabiliriz.

Bu noktada önemli olan ara kademeleride sistemin görmesini sağlayıp kompanzasyonun her zaman devrede olmasıdır.

Kompanzasyon kontaktörünü doğru çalışma gerilim de kullanılması

Kompanzasyon kontaktörlerinde çalışma gerilimine göre kullanılacak kvar değeri değişkenlik gösterir. Şöyleki 400-440V aralığı için kvar değeri 18 olan kompanzasyon kontaktörü 500 - 550V için 26kvar değerine kadar kullanılabilir. Aşağıdaki tabloda bu durumu anlatan tabloyu bulabilirsiniz.

Maksimum İşletme gücü (kvar)		
220 - 240 V	400 - 440 V	500 - 550 V
5	9,7	14
6,7	12,5	18
8,5	16,7	24
10	18	26
15	25	36
20	33,3	48
20	40	58
25	45,7	66
29,7	54	78
35	60	92
37	62	94

Neden kompanzasyon kontaktörü kullanılır ?

Kompanzasyon kontaktörleri, kompanzasyon sistemlerinin vazgeçilmez parçalarından biridir ve bu sistemin her parçası ilgili standartlara ve teknik gereksinimlere uygun olmalıdır. Seçilen yanlış bir ürün tüm sistemin hatalı çalışmasına neden olur.

Teknik olarak idealde gerilim ile akım arasında faz farkı olmaz. İndüktif veya kapasitif yüklerin oluşturduğu etki neticesinde, akım sinyalinin gerilim sinyaline göre maximum + 90 veya - 90 derecelik fazı kayar. İndüktif ve kapasitif etkilerden akım ve gerilim arasında oluşan faz kaymasını düzelterek ideale yakın (0 derecede) sabit tutmaya yarayan işleme Kompanzasyon denir.

Pratikte ise kompanzasyon; elektrik sistemlerindeki elektrik motoru, bobin vb. mıknatıslanma etkisi ile faz akımının geri kaymasından dolayı şebeke üzerinde yaratmış oldukları **indüktif reaktif gücü** dengeleme ve geri kaymış faz akımını olması gereken ideale yakın konuma getirme işlemidir.

Kompanzasyon kontaktörünün kullanım amacı

Bilindiği gibi **kondansatörler** ilk devreye alınma anında 1 ile 15 kHz arasında yüksek frekans ve anma akımının 150 katına kadar çıkabildiği, çok kısa süreli yüksek akımlara sebep olurlar. Bu akımları sınırlamak için kondansatörün bağlandığı her üç faza da deşarj direnci ilave edilebilir. Normal şartlarda bu işlem zor olduğu için sadece bu amaç için tasarlanmış olan kompanzasyon kontaktörü kullanılır. [Kompanzasyon kontaktörleri](#) fabrikasyon deşarj direnci ile temin edilir.

Bu tip kontaktörler IEC / EN 60947-1, IEC / EN 60947-4-4 ve IEC / EN 60947-5-1 standartlarına uygun, ayrıca 690V anma gerilimine sahip olmalıdırlar. Bunlar, kompanzasyon kontaktörünü diğer kontaktörlerden ayıran özelliklerdir.

Sanayi tesislerinde kompanzasyon sistemi tasarım kriterleri

Enerji dağıtım firmaları tarafından sanayideki elektrik kullanıcılarına reaktif güç kompanzasyonu tesisi yapmak yasa ve yönetmeliklerle zorunlu hale getirilmiştir. Aksi takdirde kullanıcılar, bir ölçüm periyodu boyunca sayaç tarafından kaydedilen endüktif reaktif enerjinin aktif enerjiye oranı %20'yi, kapasitif reaktif enerjinin aktif enerjiye oranı %15'i geçerse, reaktif enerji için bedel ödemek zorunda kalırlar.



Tesislerde kullanılan elektriksel cihazların çoğunluğu, çalışmaları esnasında aktif enerjiye ilave olarak bir de reaktif enerji tüketirler. Bu reaktif enerji, yük tipine bağlı olmak üzere endüktif veya kapasitif karakterde olabilir. Endüktif yüklere örnek olarak basit bir asenkron motoru, kapasitif yüklere örnek olarak ise düşük yüklü bir UPS cihazını gösterebiliriz.

Sanayi tesislerinde ve fabrikalarda yük karakteristiği çoğunlukla endüktif-reaktif olarak görünür. Bunu sebebi fabrikalarda çalışan cihazların önemli bir kısmı motor veya transformatör türevi cihazları içermesidir. Bunun dışında balastlı deşarj lambaları, endüksiyon ocakları, bazı sürücü yükleri de endüktif reaktif güç tüketir. Bu nedenle, sanayi tesislerinde tüketilen endüktif reaktif gücün kompanzasyonu kapasitif reaktif güç tüketen kondansatörler ile yapılır.

Kapasitif reaktif güç karakteristiği gösteren tesislerde kompanzasyon için ise **endüktif reaktif yük**tüketen reaktörler kullanılır.

Güç faktörünün belirlenmesi & kestirimi

Sanayi tesisinde fabrikanın tipine bağlı olarak çeşitli yükler bulunur. Bu makinaların bir kısmı sürücüler vasıtasıyla devreye girip çıkarken, bir kısmı ise direkt şebekeye bağlanır.

Her yükün tüketimine bağlı olarak bir $\cos\phi$ değeri vardır. Bu değer, direkt yol verilen bir büyük güçlü asenkron motor için **0,80 - 0,85** aralığında iken, yeni nesil sürücü ile yol verilen bir motor için **0,95 - 0,99** aralığındadır. Tesiste faturaya esas bir adet sayaç ve ölçüm noktası bulunduğundan, tesisteki yüklerin teker teker $\cos\phi$ değerleri değil, tesisin eşdeğer $\cos\phi$ değeri önemli olmaktadır. Tesisin sayaç üzerinden görünen $\cos\phi$ 'si yük ve çalışma durumuna bağlı olarak değiştiğinden, bu değişime ayak uyduracak güç ve hassasiyette bir kompanzasyon sistemi tasarlamak önemlidir.

Yük başına münferit kompanzasyon, tesis kablo ve bara yüklenmesi ve kayıplar açısından teknik olarak en doğru çözümdür. Ancak birçok trafoya sahip sanayi tesislerinde binlerce farklı reaktif güç tüketicisi cihaz bulunacaktır. Bunların her birine ayrı ayrı kondansatörler ile kompanzasyon yapmak, hem maliyet açısından, hem bakım ve işletme açısından, hem de arıza kontrolü ve giderimi hızı açısından uygun ve ekonomik değildir. Bu nedenle, yük değişimini merkezi olarak göreceğ ve her trafo sekonderine uygulanacak merkezi otomatik kompanzasyon sistemleri ile kompanzasyon yapmak, uygun bir çözüm olacaktır.

Sanayide üretim yapan bir fabrikanın **kompanzasyon** sisteminin gücünü öngörürken, tesisin $\cos\phi_1$ (kompanzasyon devre dışı iken sayaç tarafından görünen $\cos\phi$) değerini belirlemek gerekir. Eğer yükler adetsel olarak az sayıda ve elektriksel verileri biliniyorsa, formül üzerinden hesaplanarak ihtiyaç duyulacak net reaktif güç bulunabilir. Ancak dağınık, çok sayıda ve farklı güçlerde yüklerin olduğu tesiste bunu yapmak oldukça güçtür. Bu sebeple tesis tipine göre bazı kestirimler yapmak gerekecektir. Kestirim yaparken, en kötü koşulları (şebekeden maksimum reaktif güç çekilmesi durumu) dikkate almak gerekecektir. Trafo gücüne göre kompanzasyon yapmak, trafo %100 yüklü olmasa bile takip eden senelerde yeni eklenecek yüklerin de kompanzasyonunu sağlayabilmek adına yararlı olacaktır. Elbette yük artırım ihtimali olmayan prosesler için bu yatırımı yapmanın anlamı yoktur. Bu durumda, örneğin 1600kVA büyüklüğündeki bir tesisin, $\cos\phi_1$ değerini 0,80 olarak kabul edersek, hedef $\cos\phi$ değerini 1,00 seviyesine çıkarmak için gerekecek reaktif güç miktarı ilgili formüle göre 960 kVAr olacaktır. Bu güç ile 0,80 ile 1,00 arasındaki değişen tüm yük koşullarında kompanzasyon sistemi cevap verebilecektir. Kademe hassasiyeti olarak ise 1600 kVAr bir trafo sekonderine uygulanacak kompanzasyon sisteminin en küçük kademesinin 12,5 - 25 kVAr aralığında olması yeterlidir. Daha küçük kademeler koymak, teorik açıdan daha hassas bir kademe tasarımı gibi görünse de, akım trafosu üzerinden bilgi alarak anahtarlama yapan reaktif güç kontrol rölesinin görebileceği minimum akım seviyesi sınırlı olduğundan pratikte işlevsiz olacaktır.

Harmoniklerin değerlendirilmesi ve filtre seçimi

Harmonikler, yarıiletken elemanların yaygınlaşması ile elektrik tesislerinde giderek artan bir problem kaynağı olmaya başlamıştır. Tesisteki tüm cihaz ve sistemlere olduğu gibi, kompanzasyon sistemine de ciddi bir bozucu etkisi olan harmonikler konusunda önleyici çözümler geliştirmek tesis sağlıklı çalışması açısından çok önemlidir.

Kondansatör, normalde lineer devre elemanıdır ve şebekeden harmonikli akım çekmez. Ancak, bozucu yüklerin olduğu, harmonikli akımların ve **harmonik** gerilimlerinin bulunduğu sistem içerisindeki kondansatör, harmoniklerden ciddi miktarda etkilenir.

Kondansatör düşük empedanslı bir sistem elemanıdır. Frekansın artması kondansatör empedansında düşüğe neden olacaktır. Örneğin, 50 Hz şebeke frekansında 10Ω olan kondansatör empedansı, 5. Harmonik bileşeninin frekansı olan 250 Hz için beş kat azalacak ve 2Ω olacaktır. Buna göre kondansatörler, yüksek frekanslı harmonik bileşenlerine düşük empedans gösterirler.

Kondansatörler, empedansları nedeniyle sistemdeki bozucu yükler tarafından yaratılan harmonikleri üzerlerine çekmeye yatkındırlar. Üzerine temel şebeke frekansı ile beraber harmonik akımları da çeken kondansatörün rms akımı artacak ve hem elektriksel hem mekanik olarak zorlanmaya başlayacaktır. Bu artış için IEC 60831 standardı bir sınır belirlemiştir ve tüm kondansatör üreticileri kondansatörlerini nominal akımının %30 fazlasına (8saat/24saat) dayanacak şekilde üretmektedir.

Kondansatörlerin harmoniklerle olan ilişkisinin bir diğer ayağı ise rezonans problemidir. Transformator, motor gibi endüktif reaktif karakterli yüklerin kullanıldığı sistemlerde kullanılan kondansatörler, bu yüklerle seri ve paralel rezonans ihtimalini doğururlar. Bunu engellemek adına çıplak kondansatörler yerine seri reaktörler ile donatılmış kondansatörler ile kompanzasyon yapmak uygun olacaktır.

Sanayi tesislerde genellikle 6-darbeli sürücüler kullanılır, 3 ve 3'ün katı harmonikler trafo bağlantı grubu nedeniyle görülmezler. Bu sürücüler, yapıları gereği 5. ve 7. Harmoniklerden başlayarak 11., 13., 17., 19. harmonikleri üretirler. Bu nedenle, en düşük bileşen olan 5. Harmonik frekansı olan 250Hz ve üzerindeki harmonikleri kondansatör üzerine çekmemek adına, düşük ayarlı (de-tuned) bir filtre ile sistemi donatmak, hem kondansatör ömrü açısından hem de rezonans riskini kaldırması açısından faydalı olacaktır. Piyasada en yaygın olarak kullanılan akord frekansı

189Hz (p=7%) olmakla beraber, 210Hz (p=5,67%), 215Hz (p=5,41%) ve monofaze/difaze yüklerin olduğu tesisler için 134Hz (p=14%) 'dir.

Anahtarlama tipinin belirlenmesi

Bir diğer tasarım bileşeni ise anahtarlama tipidir. Kontaktörlü veya tristörlü kompanzasyon sistemleri yaygın olarak kullanılmaya devam etmektedir. Buradaki kilit nokta, yük değişim hızıdır. Eğer tesisteki yük değişim hızı saniyelerle ifade edilebilecek şekilde hızlı değişiyorsa (ki bu vinçler, punta kaynak makinaları ve diğer darbeli yüklerin çok fazla olduğu tesislerde görülür) tristör anahtarlamasını tercih etmek doğru olacaktır. Ancak yük değişim hızı dakikalar ve on-dakikalar ile ifade edilecek şekilde değişiyorsa, konvansiyonel kontaktörlü bir kompanzasyon sistemi yeterli olacaktır.

Sođutma donanımı seçimi

Sanayi tesisleri, tesis tipine bağlı olmak üzere genellikle yüksek sıcaklıklarda çalışılan ortamlardır. Elektriksel kabinlerin bulunduğu odalardaki iklimlendirme de önemlidir. Kompanzasyon panoları, içerisindeki kondansatör, bara, anahtarlama elemanı, kablo, reaktör gibi elemanların kayıpları nedeniyle ısınır. Bu ısıyı tahliye etmek gerekecektir, aksi takdirde pano içerisindeki ekipman ömrü ciddi oranda azalacaktır. İy bir soğutma sistemi tasarımı, mekanik tasarım&simülasyon programları ile mümkün olmaktadır. Pano içerisindeki cihazların kayıpları, panel boyutu, ortam sıcaklığı, istenen IP koruma sınıfı, deniz seviyesinden yükseklik gibi kriterlerin girdi olarak kullanıldığı bu programlar, kullanılması gerekli olan fan/klima sistemlerinin mekanik değerleri hakkında bilgi vererek sistemin sağlıklı çalışmasına yardımcı olur.