

T.C.  
DİCLE ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü

139034

**ALÇAK GERİLİM TESİSLERİNDE REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU**

Okay VURAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

DİYARBAKIR

2003

139034  
E-YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

T.C.  
DİCLE ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne  
DİYARBAKIR

Bu çalışma, jürimiz tarafından *Elektrik-Elektronik Mühendisliği*.....  
Anabilim Dalı' nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesinin Ünvanı, \_\_\_\_\_ Adı Soyadı

Başkan :

*Prof. Dr. Hafiz ALISOY*

*A. Z. Özmen*

Üye :

*Prof. Dr. Mehmet CEBECİ*

*[Signature]*

Üye :

*Doç. Dr. Sabir RÜSTEMOV (danışman)*

*[Signature]*

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

20/02/2003

*[Signature]*  
Prof Dr. Çetin AYTEKİN

Enstitü Müdürü



## TEŞEKKÜR

Bu çalışmamın araştırılmasında ve hazırlanmasında bana sağlamış olduğu takdire şayan emekleri ve yardımları için Sayın Danışman Hocam, Doç. Dr. Sabir RÜSTEMOV' a sonsuz teşekkürler.

Ayrıca, işyerinde yaptığım çalışmalar neticesinde bana sağladığı imkanlar nedeniyle Servis Müdürüm Sayın M. Oktay SEZGİN' e ve VURAL Ailesine bana sağladığı desteklerden ötürü teşekkürlerimi sunarım.



## AMAÇ

Günümüzde bütün ülkeler, yeryüzü ve yer altı kaynaklarının en verimli şekilde kullanılmasının yollarını araştırmaktadırlar. Tüm insanlığın en zorunlu ihtiyaç maddesi haline gelen elektrik enerjisi ise en yaygın olarak üretilmektedir. Üretilen enerjinin ekonomik olması için, santralden en küçük alıcıya kadar olan dağıtımında en az kayıpla taşınmanın yolları ve hesapları yapılmaktadır.

Dünyada, elektrik enerjisine olan ihtiyacın sürekli olarak artması, enerji üretiminin pahalılaşması, taşınan enerjinin ucuz ve aktif enerji olmasını zorunlu kılmaktadır.

Teknolojik gelişmelerin paralelinde, elektrik enerjisine olan ihtiyaç daha da artmaktadır. Elektrik enerjisi pahalı olduğu halde vazgeçilmez bir enerji kaynağıdır. Bugün yaygın olarak kullandığımız elektrik enerjisinden daha verimli yararlanmak, üretim maliyetlerini ve sistem kayıplarını en aza indirmek, elektrik enerji sistemlerinin planlanması ve işletilmesinde en önemli hedef olmuştur.

Enerji ihtiyacındaki artışı karşılayabilmek, var olan kayıpları en aza indirmek ve enerji sistemlerinde verimliliği sağlamak amacıyla hatların ve diğer işletme cihazlarının reaktif güçle boş yere yüklenmelerini engellemek en önemli çözümlerden biridir. İşte bu da alçak gerilimde yapılan kompanzasyon sistemleridir.

Bu çalışmada Alçak Gerilim Tesislerinde yapılan kompanzasyon sistemleri incelenmiş, farklı tüketicilerin aktif, reaktif güç durumları incelenerek gerekli kompanzasyon hesapları yapılmıştır.

## ÖZET

Artan elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için yeni enerji kaynakları oluşturmanın yanında var olan enerji kaynaklarını verimli bir şekilde kullanmak gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmenin en önemli yollarından biri de reaktif güç kompanzasyonudur.

Reaktif güç kompanzasyonu yapılması halinde generatörler, transformatörler ve hatların kapasitesi artar, hatların kayıpları ve gerilim düşümü azalır. Ancak, güç kompanzasyonunun faydaları yanında sakıncaları da vardır. Bunların en önemlisi harmonikler ve bunların sebep olduğu rezonans olaylarıdır.

Reaktif güç kompanzasyonunun tanımı ve önemi anlatılarak matematiksel olarak ifade edilmiş, kompanzasyon çeşitleri anlatılarak, kompanzasyon tesislerinin tasarlanması izah edilmiştir.

Kompanzasyon tesislerinde harmonikler anlatılarak bu harmoniklere karşı alınacak tedbirler anlatılmıştır. Ayrıca, kompanzasyon tesislerinin kurulmasının esasları anlatılarak incelenmiştir.

Son bölümde, Diyarbakır Telekom Santral Binasına ait yüklerinin son bir yıl içerisinde tükettiği aylık aktif ve reaktif enerji miktarları ve buna göre sistemin aylık  $\cos \phi$  değişimleri tespit edilmiştir.

## SUMMARY

To satisfy the increased electrical energy requirements, besides to create new energy resources, using the existing resources efficiently is necessary. The one of the most important ways to achieve this, is Reactive Power Compensation.

While the reactive power compensation has been done, the capacities of the generators, transformers and lines increase and also the voltage drops on the lines decrease. On the other hand there are some disadvantages of the compensation. The most important problems are harmonics and resonance events occur due harmonics.

In the second chapter, the load compensation requirements and mathematical equations are given.

In the other chapter, harmonics in compensated network are given. Harmonics currents are generated by non-linear loads.

In the sixth chapter the load compensation requirements and reactive power relationship are discussed.

Diyarbakır Telekom Santral building lines are examined for last year monthly consumption of active and reactive energy quantity and according to these results, lines changing of  $\cos\phi$  variation are determined for monthly.

## İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU.....	3
2.1. Kompanzasyon ve Önemi.....	3
2.2. Reaktif Güç Üretimi.....	4
2.2.1. Dinamik Faz Kaydırıcılar.....	4
2.2.2. Kondansatörler.....	5
2.3. Reaktif Güç İhtiyacının Tespiti.....	6
2.3.1. $P_1$ Gücünün Sabit Olması Hali.....	6
2.3.2. $S_1$ Görünür Gücünün Sabit Olması Hali.....	7
2.4. Güç Katsayısının Düzeltilmesinin Faydaları.....	8
2.4.1. Şebekedeki Yararları.....	9
2.4.2. Tüketici Açısından Faydaları.....	14
BÖLÜM 3. KOMPANZASYON TESİSLERİ.....	15
3.1. Kompanzasyon Tesislerinin Düzenlenmesi.....	15
3.2. Kompanzasyon Çeşitleri.....	17
3.2.1. Bireysel Kompanzasyon.....	18
3.2.1.a. Aydınlatmada Kompanzasyon.....	19
3.2.1.b. Alternatif Akım Motorlarında Kompanzasyon.....	19
3.2.2. Grup Kompanzasyon.....	20
3.2.3. Merkezi Kompanzasyon.....	21
3.3. Reaktif Güç Kontrol Röleleri.....	22
BÖLÜM 4. AYDINLATMA TESİSLERİNDE KOMPANZASYON.....	29
4.1. Lamba Sınıfları.....	29
4.2. Akım Sınırlayıcı Araçlar.....	29
4.3. Deşarj Lambalarında Reaktif Güç Kompanzasyonu.....	30
4.4. Aydınlatma Tesislerinde Kompanzasyon Sistemleri.....	31
4.5. Aydınlatmada Kompanzasyonun Faydaları.....	32
BÖLÜM 5. KOMPANZASYON TESİSLERİNDE REZONANS OLAYLARI.....	33
5.1. Rezonans Devreleri.....	33
5.1.1. Seri Rezonans Devresi.....	33
5.1.2. Paralel Rezonans Devresi.....	36
5.2. Harmonik Rezonanslara Karşı Alınan Tedbirler.....	39
5.3. Harmonik Kirlenmeye Sebep Olan Cihazlar.....	41

5.4. Şebeke Üzerine Etkileri.....	42
5.5. Kritik Kondansatör Gücü.....	42
5.6. Kondansatörlerin Devreye Sokulup Devreden Çıkarılmaları.....	46
<b>BÖLÜM 6. KOMPANZASYON TESİSLERİNİN TASARLANMASI VE KOMPANZASYON UYGULAMALARI.....</b>	<b>48</b>
6.1. Kondansatörler.....	48
6.2. Anahtarlar.....	50
6.3. Sigortalar.....	51
6.4. İletkenler.....	52
6.5. Boşaltma Dirençleri.....	52
6.6.Kontaktörler.....	54
6.7. Kompanzasyon Tesislerinin Tasarlanması.....	55
6.8. Sabit Kondansatör Grubu.....	61
6.9. Alçak Gerilim Tesislerinde Kompanzasyon Uygulamaları.....	62
6.9.1.Diyarbakır İl Telekom Müd.Santral Binası Dağıtım Sistemi.....	62
6.9.2. Diyarbakır İl Telekom Müdürlüğü Santral Binası Kompanzasyon Sistemi.....	63
6.9.3. Diyarbakır İl Telekom Santral Trafosunun Güç Kapasitesinin Artması.....	68
6.9.3.1. Transformatördeki Kapasite Artışı .....	68
6.9.3.2. Santral Transformatörlerindeki Isı Kayıplarındaki Azalma.....	68
6.9.3.3. İl Müdürlük Santral Binasındaki Gerilimin Yükselmesi Durumu.....	69
6.9.3.4. Reaktif Enerji Bedeli Ödenmesi .....	70
6.9.4. Bağlar Santral Binası Kompanzasyon Panosu Tasarımı.....	71
6.9.5 Diyarbakır İl Telekom Müdürlüğü Santral Binaları İle İlgili Tablolar.....	74
<b>SONUÇ.....</b>	<b>81</b>
<b>TABLO LİSTESİ.....</b>	<b>82</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ.....</b>	<b>83</b>



## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Bilindiği gibi memleketimiz bir sanayi kalkınma hamlesi yapmaktadır. Sanayi kalkınmanın en önemli maddesi enerjidir ve özellikle elektrik enerjisidir. Ancak, elektrik enerjisine duyulan ihtiyaç yıldan yıla yaklaşık olarak % 10 kadar artmaktadır. Gelişmekte olan bu ülkelerde bu artış oranı ise % 12 - 16 arasında değişmektedir. Ülkemizdeki enerji üretimi ve tüketimi de göz önüne alınacak olursa, enerji ihtiyacındaki bu artışı karşılayabilmek için yaklaşık olarak yılda 500 MW gücünde santral kurmak gerekir. Fakat teknik açıdan ve ekonomik yönden bunun gerçekleştirilmesi çok zordur ve hatta imkansızdır. Bunun için, büyük sıkıntılara düşülmeden mevcut tesislerle ihtiyacın karşılanabilmesi için bazı idari ve teknik tedbirlere başvurulmaktadır. Örneğin, idari tedbirlerden bir tanesi yaz saati uygulaması, diğeri ise enerji ihtiyacının büyük olduğu puant zamanlarda enerji sarfiyatını sınırlamak ve kısıtlamak için yüksek ücretli tarife uygulanmasıdır. Üçüncü önemli tedbir ise teknik tedbir olup, bu da güç katsayısının düzeltilmesidir ki, buna da reaktif güç kompanzasyonu adı verilir. Konu, özellikle ülkemizdeki elektrik enerjisine olan ihtiyacın artmasıyla ve mevcut kaynakların bu ihtiyacı yeterli ölçüde karşılayamadığı için son yıllarda giderek önem kazanmıştır.

Genellikle elektrik enerjisi alternatif akım olarak üretilir ve dağıtılır. Tüketicilerin şebekeden çektikleri bu alternatif akım (etkin) ve reaktif akım (tepkin) olmak üzere iki bileşenden oluşur. Aktif akımın meydana getirdiği aktif güç, tüketici tarafından faydalı hale getirilir. Mesela, motorlarda mekanik güce, ısı tüketicilerinde termik güce ve aydınlatma tüketicilerinde ise aydınlatma gücüne dönüşür. Oysa reaktif akımın meydana getirdiği reaktif güç faydalı güce çevrilemez, ama bu güçten de vazgeçilemez. Çünkü, elektrodinamik prensibine göre çalışan generatör, transformatör, bobin ve motor gibi bütün işletme araçlarının normal çalışmaları için reaktif akım gereklidir. Endüksiyon prensibine göre çalışan bütün makineler ve cihazlar, manyetik alanın meydana getirilmesi için bir mıknatıslanma akımı çekerler ki, bu mıknatıslanma akımı da reaktif akımdır. Bu nedenle, faydalı aktif gücün yanında, reaktif güce de ihtiyaç duyulmaktadır.

İdeal bir alternatif akım şebekesi için reaktif güç kompanzasyonu şarttır. Bu tip alternatif akım şebekelerinde, şebekenin her noktasında gerilim ve frekans sabit ve harmoniksiz olmalıdır. Ayrıca, güç faktörünün değeri de bir veya bir yakın olmalıdır.

Bu kalitenin sağlanabilmesi için de reaktif güç kompanzasyon cihazlarının kullanılması gerekir. Güç katsayısının düzeltilmesi elektrik tesislerinde büyük yararlar sağlar, bunların en önemlileri şunlardır;

- 1) Generatörlerin, transformatörlerin, kabloların, kesicilerin ve enerji nakil hatlarının yükleri azaltılmış olur ve yeni yükler için imkan sağlanır.
- 2) Tesisteki toplam gerilim düşümü azalır.
- 3) Tesisteki toplam kayıplar azalır.

Burada söz konusu olaylar da tesislerin daha küçük güçlere göre yapılmasına ve bunların daha ucuza mal edilmesine yol açarlar. Tezde bölümlere göre izlenen yollar aşağıda açıklanmıştır.

İkinci bölümde reaktif güç kompanzasyonun tanımı ve önemi anlatılarak matematiksel olarak ifade edilmiştir.

Üçüncü bölümde, kompanzasyon tesisleri, düzenlenmesi, kompanzasyon çeşitleri ve reaktif güç kontrol röleleri ve çeşitleri anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, aydınlatma tesislerinde kompanzasyon sistemleri ve bunların faydaları anlatılmıştır.

Beşinci bölümde, kompanzasyon tesislerinde rezonans olayları anlatılmış olup, harmonik rezonanslara karşı alınacak tedbirlere değinilmiştir.

Altıncı bölümde, kompanzasyon tesis elemanları izah edilerek bu tesis elemanlarının nasıl tasarlanacağı hakkında gerekli bilgi verilmiş, Diyarbakır İl Telekom Müdürlüğüne bağlı merkez tevsii santral binası ile 6 adet telefon santral binasına tarafınca uygulaması ve projeleri yapılan kompanzasyon panolarının nasıl tasarlandığı, çizilen projeler ve bazı hesaplamaları anlatılmış olup, diğer santral binalarının güç katsayısı değişimleri incelenerek grafiksel olarak gösterilmiştir. Ayrıca, tarafımdan projeleri ve hesaplamaları yaptırılan bazı santral binalarının kompanzasyon tek hat şemaları verilmiş, İl Müdürlük ve Bağlar santral binasının hesaplamaları anlatılmıştır.

## BÖLÜM 2. REAKTİF GÜÇ KOMPAZASYONU

### 2.1. Kompanzasyon ve Önemi

Günümüzde bütün ülkeler, yeryüzü ve yer altı kaynaklarının en verimli şekilde kullanılmasının yollarını araştırmaktadırlar. Tüm insanlığın en zorunlu ihtiyaç maddesi haline gelen elektrik enerjisi ise en yaygın olarak üretilmektedir. Üretilen enerjinin ekonomik olması için, santralden en küçük alıcıya kadar olan dağıtımında en az kayıpla taşınmanın yolları ve hesapları yapılmaktadır.

Dünyada, elektrik enerjisine olan ihtiyacın sürekli olarak artması, enerji üretiminin pahalılaşması, taşınan enerjinin ucuz ve aktif enerji olmasını zorunlu kılmaktadır.

Şebekeye bağlı olan alıcı, örneğin motor, transformatör, flüoresan lamba ise bunlar manyetik alanlarının temini için bağlı buldukları şebekeden aktif akımın yanında bir de reaktif akım çekerler. İşte, elektrik santrallerinde üretilen enerji, aktif ve reaktif akım adı altında en küçük alıcıya kadar beraberce akmakta, iş yapmayan motorda manyetik alan elde etmeye yarayan reaktif akım, havai hatta, transformatörlerde, tablolar, şalterler ve kablolar da gereksiz kayıplar meydana getirirler.

Bu kayıplar yok edilebilirse, transformatör daha fazla alıcıyı besleyecek kapasiteye sahip olacak, devre açıcı ve kapayıcı şalterler lüzumsuz olarak büyük güce göre seçilmeyecek, tesiste kullanılan kablo kesiti küçülecektir.

Daha az yatırım ile fabrikalara veya atölyelere enerji verme imkanı elde edilecektir. İlk bakışta, reaktif akımın santralden alıcıya kadar taşınması, büyük ekonomik kayıp olarak görülmektedir. İşte, bu reaktif enerjinin santral yerine, motora en yakın bir yerden kondansatör tesisleri veya aşırı uyartımlı senkron motorlar ile azaltılması ve böylece tesisin aynı işi daha az akımla karşılaması mümkün olur.

Tesiste harcanan reaktif akımın azaltılması amacıyla yapılan kondansatör veya senkron motor tesislerine kompanzatör, bu işlemin yapılması için kurulan tesislere de kompanze edilmiş tesisler veya kısaca kompanzasyon denilir.

Bir başka deyişle yük kompanzasyonu, çeşitli karakteristiklerdeki yükleri besleyen elektrik şebekesinin gerilimin, güç faktörünün, sistemin dengeli olmasını sürekli ve geçici hal durumunda uygun sınırlar dahilinde kalmasını sağlamak için gerekli olan gücün kontrol edilmesidir.

Elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtım sistemleri oldukça büyük yatırımı gerektirirler. Yapılan yatırımlardan en ekonomik biçimde yararlanabilmesi ise kaynakların akılcı kullanımının bir gereğidir. Kurulu olan enerji sisteminden yararlanılarak maksimum işi elde etmek, ancak kurulu sistemden alınabilecek maksimum aktif enerji ile gerçekleştirilebilir. Oysa reaktif enerjinin sistemden karşılanabilmesi sistemden alınabilecek olan reaktif enerjinin sınırlanmasına neden olacaktır. Enerji iletim hatlarından akan reaktif akım, hatlarda görülen akımın artmasına ve hatlardaki aktif kayıpların büyümesine neden olmaktadır.

## 2.2. Reaktif Güç Üretimi

Reaktif güç ihtiyacını karşılayabilmek için reaktif gücün bir yerde üretilmesi gerekir. Bunun için en eski ve en klasik yol, aktif güç gibi reaktif gücün de senkron generatör tarafından üretilmesidir. Reaktif güç üretimi, aktif güç gibi, santralde su kuvveti, kömür ve benzeri ham enerji maddesinin sarfını gerektirmez, sadece generatör uyarmasının artırılması ile generatör endüktif reaktif güç verecek duruma getirilir. Böylece santralde üretilen reaktif güç, generatör, transformatör ve enerji nakil hatlarından geçerek tüketiciye ulaşır. Bu durumda, elektrik tesisleri reaktif güç tarafından gereksiz yere işgal edileceklerinden, aktif güç bakımından bunların kapasitelerinden tam olarak faydalanmak ve ekonomik bir işletme sağlamak amacıyla reaktif gücün santralde değil de tüketim merkezlerinde üretilmesi en uygun ve ekonomik yoldur.

Reaktif güç üretimi için iki işletme aracından yararlanıla bilinir;

- Dinamik Faz Kaydırıcılar,
- Kondansatörler,

### 2.2.1. Dinamik Faz Kaydırıcılar

Reaktif güç üretiminde kullanılan dinamik faz kaydırıcıların başında aşırı uyarılmış senkron makineler gelmektedir. Genellikle santrallerden gelen enerji nakil hatlarının sonunda ve tüketim merkezlerinin başında şebekeye bir senkron makine paralel bağlanarak bu bölgenin reaktif güç ihtiyacı bu makine ile sağlanmış olur.

Bu makine, şebekeden boşa çalışma kayıplarını karşılayabilecek kadar cüzi bir aktif güç çeker ve şebekeye istenilen reaktif gücü vererek reaktif güç üretici (generatör) olarak çalışır. Bu makinenin bu durumda ayrıca tahrik edilmesine gerek yoktur.

Senkron faz kaydırıcıların kayıpları kondansatörlere göre daha yüksek olduğu gibi bunların devamlı bir bakıma ihtiyacı vardır. Ayrıca bunların güçleri çok büyük olduğu takdirde ekonomik olarak inşası ve temini mümkün olur. Bundan başka bu gibi üreticiler bir tüketim merkezinin civarına yerleştirildiğinden, sadece generatörler ve yüksek gerilim enerji nakil hatları ile buna ait bir veya iki kademeli orta gerilim şebekeleri ile alçak gerilimli dağıtım şebekesi reaktif güç nakletmek zorunda kalırlar. Bu nedenle dinamik faz kaydırıcılar günümüzde ancak özel hallerde ve ekonomik şartların gerçekleştiği yerlerde kullanılırlar.

### **2.2.2.Kondansatörler**

Reaktif güç üretiminde faz kaydırıcı adı verilen kondansatörlerin üstünlükleri sayılamayacak kadar çoktur. Mesela, kondansatörlerin kayıpları çok düşük olup, % 0.5' in altındadır, bakım masrafları yok denecek kadar azdır. Ayrıca, kondansatörler ile istenilen her güçte reaktif güç kaynağı teşkil edilebildiği gibi bunları tüketicilerin yanlarına bağlamak ve böylece orta ve alçak gerilim şebekelerini de reaktif gücün yükü altından kurtarmış olur. Bu nedenle kondansatörler kompanzasyon için en uygun araçtır.

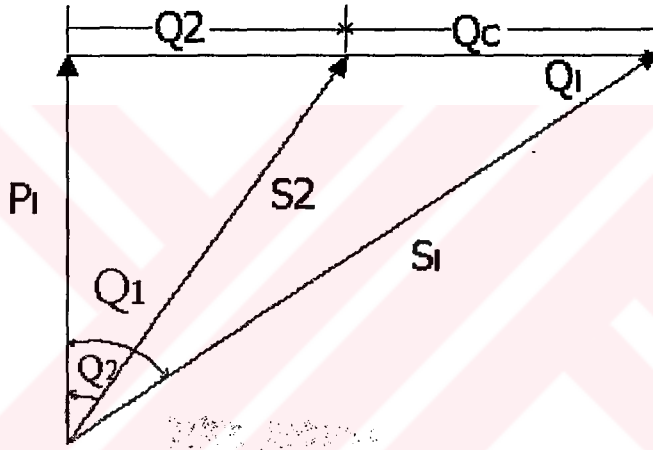
Kuvvetli akım tesislerinde, kondansatörler gittikçe önem kazanmaktadır. Kondansatörlerin beher kvar başına maliyet bedelleri, orta büyüklükteki senkron kompanzatorların kinden daha düşük olduğu gibi, bu fiyatta büyük artış olmadan bunların her güçte imalı mümkündür. Kondansatörlerin tesisi kolay ve icabında kolaylıkla genişletilerek gücü artırılabilir. Ayrıca, tüketici ihtiyacına göre rahatlıkla güç ayarı da yapılabilir. Kondansatörlerin işletme emniyeti çok büyük olup, ömürleri de uzundur. Bakımları çok kolay ve basittir. Gerekli olan kapasiteyi temin etmek için birçok kondansatör elemanı bir araya getirilerek istenen değerde bir grup teşkil edilebilir. Herhangi bir arıza anında zarar gören eleman kısa bir sürede teşhis edilip az bir masrafla yenisi ile değiştirilerek işletmeye fazla ara vermeden tamir edilmiş olur.

### 2.3. Reaktif Güç İhtiyacının Tespiti

Bir tüketicinin veya bir tesisin reaktif güç ihtiyacının tespiti için şebekeden çekilen  $S_1$  gücün (görünür güç), buna ait  $\cos \Phi_1$  ile yeni güç faktörü  $\cos \Phi_2$  değerlerinin bilinmesi gereklidir. Güç katsayısı  $\cos \Phi_1$  değerini  $\cos \Phi_2$  güç katsayısı değerine çıkartmak için gerekli olan reaktif gücü veya kondansatör gücünü tayin etmek için iki yol vardır.

#### 2.3.1. $P_1$ Gücünün Sabit Olması Hali

Bu durumda şebekeden çekilen görünür güç  $S_2$  gibi daha küçük bir değere düşer. Görünür gücün artırılması Şekil 1- de gösterilmiştir.



Şekil 1- Görünür Gücün Azaltılması

Kompanzasyondan önceki reaktif güç;

$$Q_1 = P_1 \cdot \tan \Phi_1 \quad (2.1)$$

Kompanzasyondan sonraki reaktif güç;

$$Q_2 = P_1 \cdot \tan \Phi_2 \quad (2.2)$$

olduğuna göre gerekli kondansatör gücü;

$$Q_C = Q_1 - Q_2 = P_1 \cdot (\tan \Phi_1 - \tan \Phi_2) \quad (2.3)$$

olarak bulunur.

$\tan \Phi_1 - \tan \Phi_2 = k$  gibi bir katsayı ile gösterilirse;

$$Q_C = k \cdot P_1 \quad (2.4)$$

olur.

### 2.3.2. $S_1$ Görünür Gücünün Sabit olması Hali

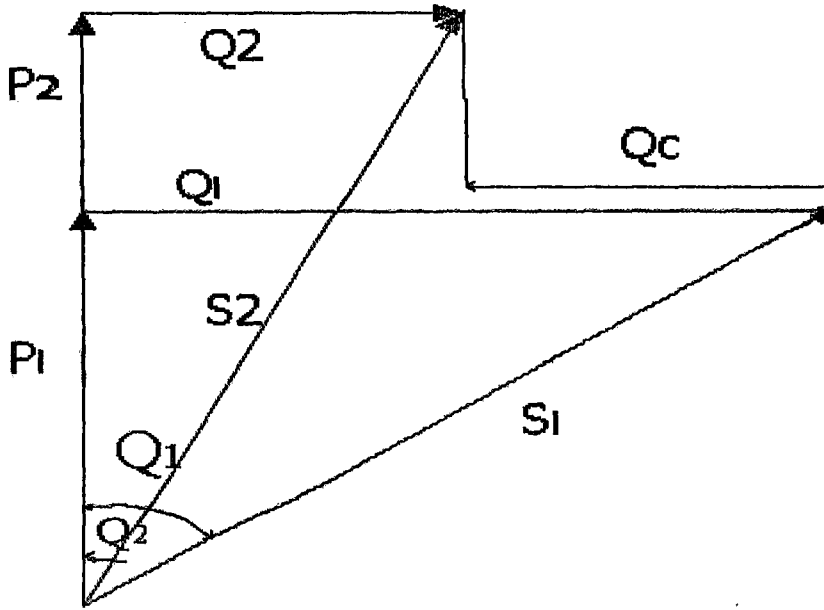
Bu durumda şebekeden çekilmekte olan aktif güç  $P_2$  gibi daha büyük bir değer alır.

Kompanzasyondan önceki reaktif güç;

$$Q_1 = S_1 \cdot \sin \Phi_1 \quad (2.5)$$

Kompanzasyondan sonraki reaktif güç;

$$Q_2 = S_1 \cdot \sin \Phi_2 \quad (2.6)$$



Şekil 2- Aktif Gücün Arttırılması

olmak üzere gerekli kondansatör gücü;

$$Q_C = Q_1 - Q_2 = S_1 \cdot (\sin \Phi_1 - \sin \Phi_2) \quad (2.7)$$

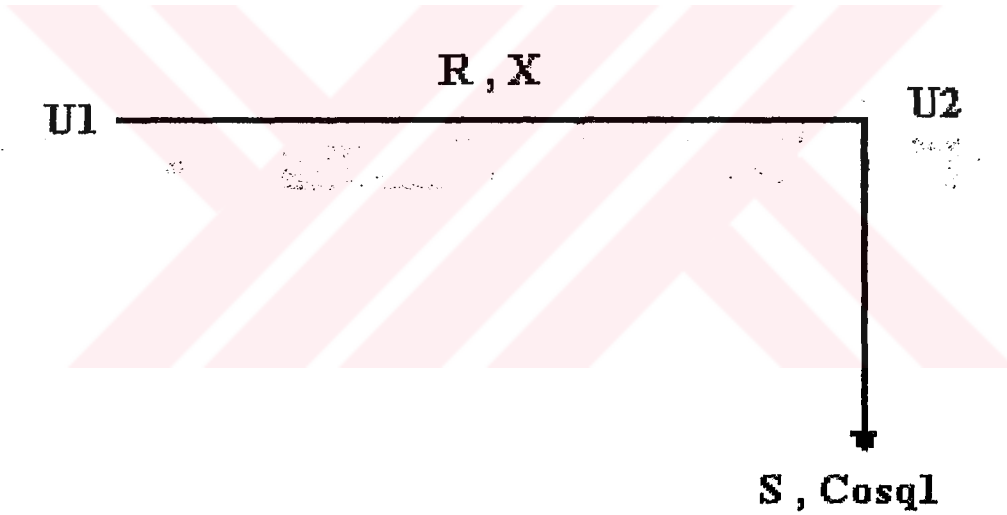
olarak bulunur. Bu durumda aktif güçteki artma ise,

$$P_2 - P_1 = S_1 (\cos \Phi_2 - \cos \Phi_1) \quad (2.8)$$

kadar olacaktır.

#### 2.4. Güç Katsayısının Düzeltilmesinin Faydaları

Güç katsayısının düzeltilmesinin hem şebekeye hem de tüketiciye yararları vardır. Bu durum hesap yolu ile gösterilirse, Ohmik direnci  $R$ , reaktif direnci  $X$  olan bir besleme hattı ele alınacak ve hattın sonunda bir tüketicinin beslendiği kabul edilirse;



Şekil 3. Bir Besleme Hattı

- $R$  : Hattın ohmik direnci,
- $X$  : Hattın reaktif direnci,
- $U_1$  : Hattın başındaki faz gerilimi,
- $U_2$  : Hattın sonundaki faz gerilimi,
- $S$  : Hattın sonundan çekilen görünür güç,
- $\cos \phi$  : Güç katsayısı



### 2.4.1. Şebekedeki Yararları

Güç katsayısının düzeltilmesi ile tüm üretim, iletim ve dağıtım tesislerinde, hissedilir derecede bir rahatlatma meydana gelir. Üç madde halinde özetlenecek olursa,

a) Şebekenin güç taşıma yeteneğinin artırılması;

Hat sonundan çekilen P aktif gücü sabit olsun, kompanzasyondan önce çekilen görünür güç;

$$S_1 = \frac{P}{\cos \Phi_1} \quad (2.9)$$

ve, kompanzasyondan sonra çekilen görünür güç;

$$S_2 = \frac{P}{\cos \Phi_2} \quad (2.10)$$

olsun. İkisi arasındaki fark;

$$\Delta S = S_1 - S_2 \quad (2.11)$$

veya başlangıçtaki değere oranı;

$$\% \Delta S = \frac{\Delta S}{S_1} \cdot 100 = 100 \cdot \left( 1 - \frac{\cos \Phi_1}{\cos \Phi_2} \right) \quad (2.12)$$

olur. Bu halde tesisin yükü %  $\Delta S$  oranında azalır, veya tesisi aşırı yüklemekten %  $\Delta S$  oranında yeni bir tüketicinin beslenmesi sağlanmış olur. Şayet görünür güç sabit tutulursa, şebekeden çekilen aktif güç,

$$P_1 = S \cdot \cos \Phi_1 \quad (2.13)$$

den,

$$P_2 = S \cdot \cos \Phi_2 \quad (2.14)$$

değerine çıkar.

Aşırı yüklenmeden sonra çekilen aktif yükün,

$$\Delta P = P_2 - P_1 \quad (2.15)$$

$$\% \Delta P = \frac{\Delta P}{P_1} \cdot 100 = 100 \cdot \left( \frac{\cos \Phi_2}{\cos \Phi_1} - 1 \right) \quad (2.16)$$

oranında artmasına tekabül eder. Mesela,  $\cos \Phi_1 = 0.7$ ' den  $\cos \Phi_2 = 0.9$ ' a çıkarılması için şebekenin güç taşıma yeteneğindeki artış,

$$\% \Delta P = 28.5 \text{ olur.}$$

b) Şebekede ısı kaybının azalması,

Hat üzerinden çekilen aktif gücün sabit olduğu kabul edilirse, kompanzasyonsuz durumda faz başına ısı kaybı,

$$P_{z1} = \frac{R \cdot P^2}{U^2 \cdot \cos^2 \Phi_1} \quad (2.17)$$

ve kompanzasyondan sonraki faz başına ısı kaybı,

$$P_{z2} = \frac{R \cdot P^2}{U^2 \cdot \cos^2 \Phi_2} \quad (2.18)$$

Güç katsayısının düzeltilmesi ile bağlı ısı kaybı cinsinden elde edilen kazanç,

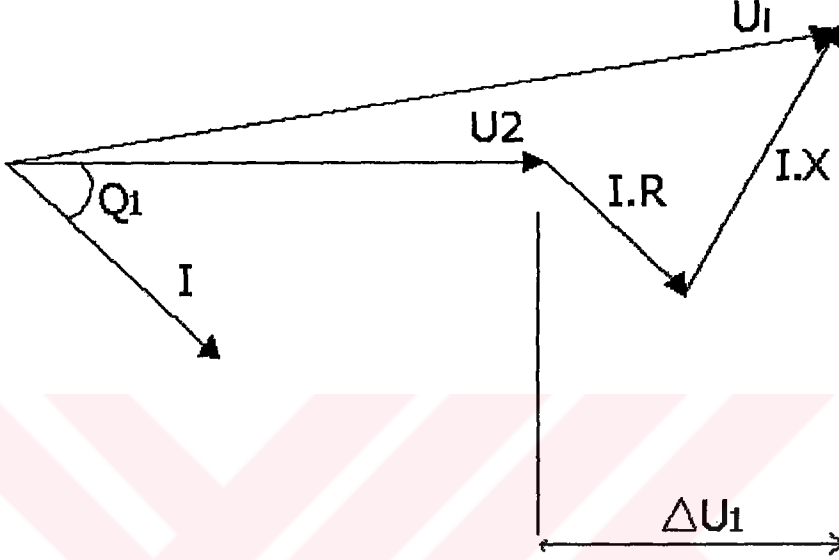
$$\% Z = 100 \cdot \left( \frac{P_{z1} - P_{z2}}{P_{z1}} \right) = 100 \cdot \left( 1 - \frac{\cos^2 \Phi_1}{\cos^2 \Phi_2} \right) \quad (2.19)$$

c) Güç katsayısının azalması,

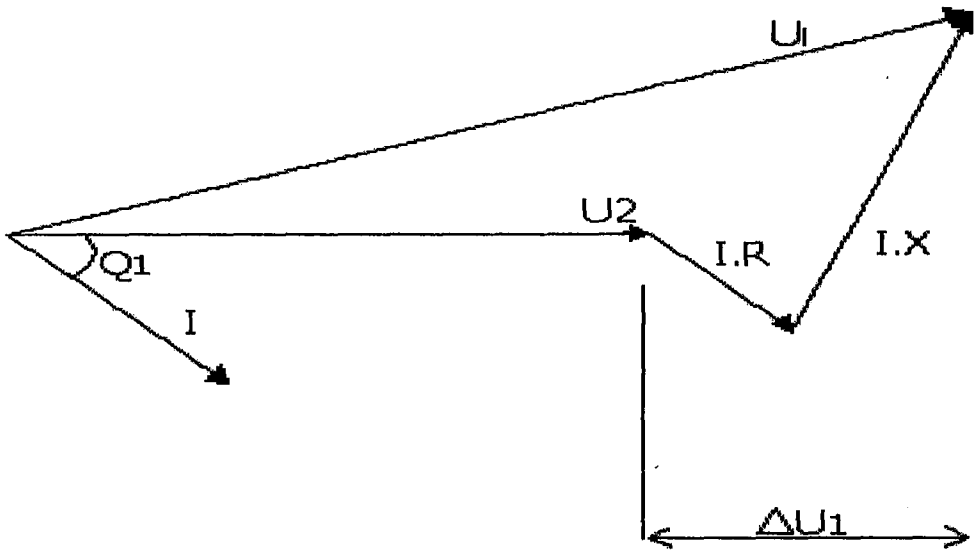
Şekil 3' te gösterilen besleme hattının başındaki gerilim  $U_1$  ve sonundaki gerilim  $U_2$  ise, hat üzerindeki boyuna gerilim düşümü;

$$\Delta U = I \cdot R \cdot \cos \Phi + I \cdot X \cdot \sin \Phi \quad (2.20)$$

Güç katsayısı  $\cos \Phi_1$ ' den  $\cos \Phi_2$ ' ye çıkarıldığında gerilim düşümünün aldığı değer, fazör diyagramı ile gösterilirse,



Şekil 4-a) Kompanzasyondan önce



Şekil 4-b) Kompanzasyondan sonra

Hat üzerinden çekilen (P) aktif gücün sabit olduğu kabul edilsin. Hat üzerindeki bağıl zayıf gücü,

$$\% P_z = 100 \cdot \frac{3 \cdot I^2 \cdot R}{P} \quad (2.21)$$

Bağıl gerilim düşümü,

$$\% \varepsilon = 100 \cdot \left( P_z \cdot \cos^2 \Phi + \frac{P \cdot X}{U_N^2} \cdot \tan \Phi \right) \quad (2.22)$$

olur. İstenilen gerilim düşümü sıfır olacak şekilde bir enerji nakili de yapmak mümkündür. Reaktif akım değeri;

$$I_q = - I_p \cdot \frac{R}{X} \quad (2.23)$$

veya,

$$\tan \Phi_1 = - \frac{R}{X} \quad (2.24)$$

olmalıdır. Burada (-) eksi işareti reaktif akımın kapasitif karakterde, yani faz açısının negatif olması gerektiğini gösterir.

Alçak gerilim (AG) şebekelerinde reaktif direnç ihmal edildiğinden, gerilim düşümü hat akımının bileşeni ile hattın ohmik direncinin çarpımına eşit yani,

$$\Delta U = I_p \cdot R \text{ olduğundan burada reaktif akımın tesiri görülmez.}$$

Bilindiği üzere, endüktif direnç üzerinden kapasitif akım geçerse, çıkış gerilimi giriş geriliminden daha büyük olur, bu duruma aşırı kompanzasyon halinde rastlanır.

Örneğin, pratikte şöyle bir durumla karşılaşılabilir. Bir transformatörün çıkışına kompanzasyon için kondansatör bağlanmıştır. Fakat tesis düşük güçle çalışır veya hiç güç çekilmediği için transformatör üzerinden çekilen endüktif akım düşer. Kondansatör tam değeri ile gerilime bağlı olduğundan kapasitif akım kompanze edilemez ve kapasitif akımın fazlası transformatör üzerinden şebekeye geçer.

Bu durumda kondansatörün bağlı olduğu taraftaki gerilim yükselir. Transformatörün bağlı kısa devre gerilimi %  $U_k$  ise, bu gerilim yükselmesi yüzde cinsinden yaklaşık olarak şöyle hesaplanır.

$$\% \varepsilon = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{Q_c}{S_{Tr}} \quad (2.25)$$

olur. Burada,;  $Q_c$  , Kvar cinsinden kondansatör gücünü,  $S_{Tr}$  , KVA cinsinden transformatör gücünü gösterir.

Genellikle tüketici uçlarında gerilimin yükselmesi arzu edilemez, gerilimin normal değerinin üstüne çıkması sakıncalı sonuçlar doğurur. Bu nedenle aşırı kompanzasyondan daima sakınmak gerekir. Çekilen gücün zamana bağlı olarak değiştiği tesislerde otomatik kompanzasyon yapmak suretiyle gerilim yükselmelerinin önüne geçilmiş olunur.

## 2.4.2. Tüketici Açısından Faydaları

Tüketiciler, kendi tesislerini kurarken güç faktörünü düzeltecek önlemler alırlarsa veya mevcut tesisin güç faktörünü düzeltirlerse şu faydaları sağlamış olurlar.

- a) Gereksiz yere yatırım yapılmış olurlar,
- b) Gerilim düşümü azalır,
- c) Kayıplar azalır,
- d) Reaktif enerji ücreti ödenmemiş olurlar.

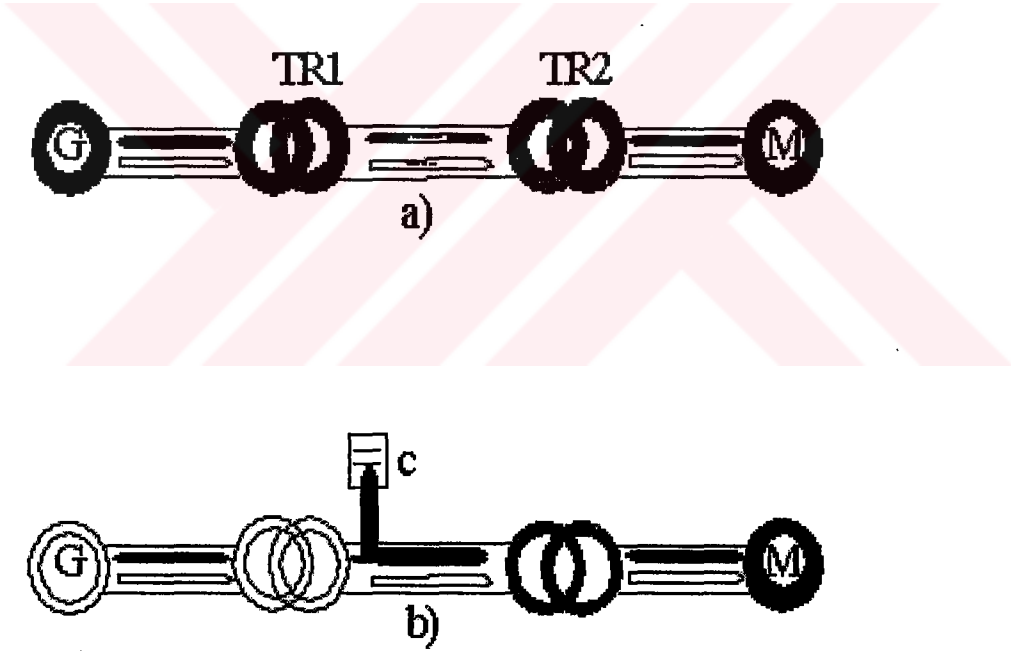


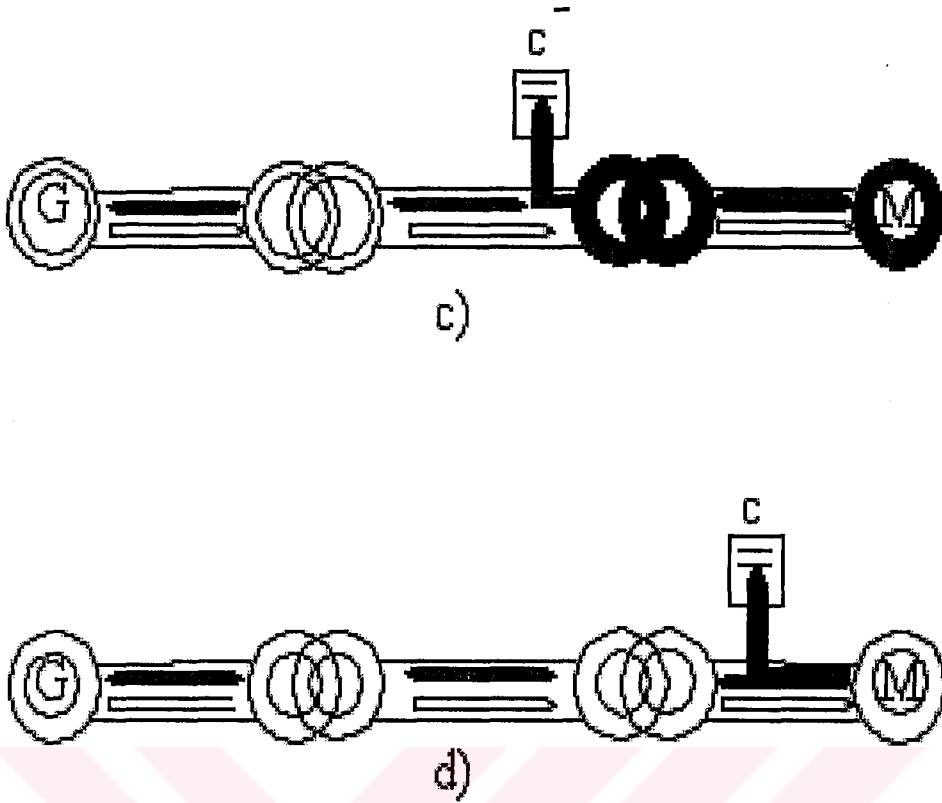
## BÖLÜM 3. KOMPANZASYON TESİSLERİ

### 3.1. Kompanzasyon Tesislerinin Düzenlenmesi

Kondansatörlerin kullanılacağı yerlere göre düzenlenmesinin önemi çok büyüktür. Bu tesislerden, en iyi şekilde yararlanabilmek için, kondansatörlerin yapacakları göreve göre tesis yerinin ve bağlama şekillerinin uygun olarak seçilmesi gerekir.

Kompanzasyonda kullanılacak kondansatörlerin yerleştirilmeleri açısından en uygun yerin seçilmesi Şekil 5' te gösterilmiştir. Bu düzenekte, bir A barasına bağlı M tüketicisinin, bir Tr transformatörü ve besleme hattı üzerinden bir santraldeki G generatörü tarafından beslendiği kabul edilmiştir.





**Şekil 5.** Kompanzasyon Tesisi İçin En Uygun Yerin Seçilmesi

Şekil 5-a)' da kompanzasyon tesisi ön görülmemiştir, burada tüketicinin ihtiyacı olan P aktif gücü (içi boş olan çizgi) ile Q reaktif gücü (içi dolu olan çizgi) generatör tarafından üretilmektedir. Bu durumda reaktif gücün santralde üretildiğini işaret etmek için generatörün yanına bir kondansatör paralel bağlanmıştır.

Şekil 5-b)' de kompanzasyon tesisi transformatörün yüksek gerilim tarafına bağlanmıştır, bu durumda da generatör ve besleme hattı reaktif güçten kurtulmuş gözükse de transformatör hala reaktif akımla yüklenmektedir.

Şekil 5-c)' de kondansatör yüksek gerilim tarafına bağlanmıştır, fakat besleme hattı reaktif enerjiden büyük ölçüde kurtarılmıştır..

Şekil 5-d)' de ise kondansatör doğrudan tüketici uçlarına bağlanarak reaktif akımdan tesis kurtarılmıştır.



Buradan çıkarılacak sonuca göre, kondansatörün bağlanacağı en uygun yerin, kompanzasyonu yapılacak tüketicinin hemen yanı olduğu görülmektedir.

Bundan dolayı, şu hususa değinmekte fayda vardır. Belirli bir kondansatör gücü elde etmek için Şekil 5-b) ve d)' de görüldüğü gibi yüksek ve alçak gerilim tesisine bağlı olan kondansatörlerin izolasyon özellikleri farklı olacağı gibi bunların kapasiteleri de farklı olur.

Bilindiği üzere, transformatörlerin primer taraflarındaki empedansın, sekonder taraflarındaki empedansa oranı transformatörün çevirme oranının karesine eşittir.

$$\dot{U}^2 = \frac{Z_1}{Z_2} \quad (3.1)$$

$\dot{U}$  : Transformatörün çevirme oranıdır.

Transformatörün primer tarafına yerleştirilecek kondansatörün kapasitesi  $C_1$  ve aynı işi yapmak için sekonder tarafa yerleştirilen kondansatör kapasitesi  $C_2$  ise,

$$\dot{U}^2 = \frac{C_2}{C_1} \quad (3.2)$$

olduğu görülür. Tesise bağlı alıcıların durumuna göre kompanzasyonu yerleştirilecek olan kondansatörler temelde üç şekilde düzenlenirler.

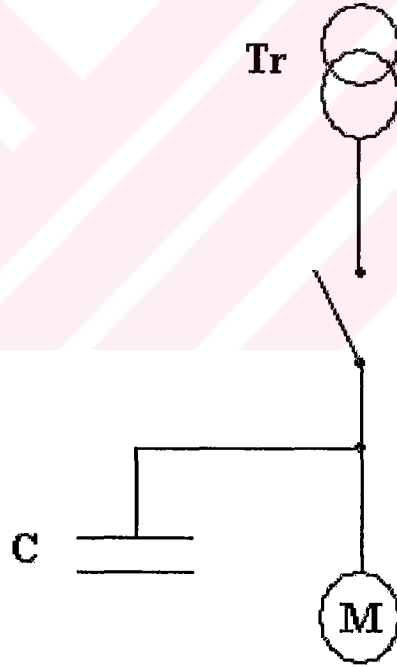
### 3.2. Kompanzasyon Çeşitleri

- 1) Bireysel (Tekil) Kompanzasyon
  - a) Aydınlatmada Kompanzasyon
  - b) Alternatif akım motorlarında kompanzasyon
- 2) Grup Kompanzasyonu
- 3) Merkezi (Otomatik) Kompanzasyon

### 3.2.1. Bireysel Kompanzasyon

Bu kompanzasyonda, kondansatörler doğrudan yük çıkışlarına bağlanırlar ve ortak bir anahtarlama cihazı ile yüklerle birlikte devreye alınıp bağlanırlar. Kondansatör gücü, doğru bir şekilde yüke göre seçilmelidir. Bu kompanzasyon aynı zamanda, en etkin ve en güvenilir olanıdır. Çünkü, bir kondansatörün bozulması halinde meydana gelen arıza, arızalı bölümü devre dışı bırakır.

Ancak, bu sistem diğer sistemlerin en pahalısıdır. Buna karşılık, aydınlatmada ve büyük güçlü tüketici motorlarda, besleme hattı uzun olan alıcılarda, bireysel kompanzasyon uygulaması tercih edilmektedir. Şekil 6' da bir motorun bireysel kompanzasyonu verilmiştir.



Şekil 6- Bireysel Kompanzasyon

### 3.2.1.a) Aydınlatmada Kompanzasyon

Gerek flüoresan lambaları, gerekse cıva buharlı ve sodyum buharlı lambaları kapsayan bu lambalar, şebekeye ancak bir balast yardımıyla bağlanırlar. Bir empedans veya kaçak akımlı bir transformatörden oluşan balast, şebekeyi endüktif bir güçle yükler.

Flüoresan lambalarda;

(Kompanzasyondan önceki)  $\text{Cos } \Phi_1 = 0.55$ ,

(Kompanzasyondan sonraki)  $\text{Cos } \Phi_2 = 0.95-1$  olması istenir.

### 3.2.1.b) Alternatif Akım Motorlarında Kompanzasyon

Motorlar, sabit reaktif güç çektiğinden yol verici şalterden (kontaktörden) sonra kondansatör bataryaları bağlanacak şekilde her motor için bağımsız kompanze işlemi yapılabilir. Ancak, bu işlemde kondansatör gücünün, motorun boş çalışmada çektiği görünür gücü geçmeyecek şekilde hesaplanması gerekir. Aksi halde boş çalışmada güç kapasitif olur. Motora bağlanması gereken kondansatör güçlerinin seçimi aşağıdaki gibi yapılır.

- Motorun boşta çalışma akımı biliniyorsa;
- Kondansatör bataryası gücü;

$$Q_C = \sqrt{3} \cdot I_0 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3} = \dots\dots\dots \text{Kvar} \quad (3.3)$$

motorun etiket gücüne göre,

$$Q_C = \sqrt{3} \cdot P \cdot (\text{Cos } \Phi_2 - \text{Cos } \Phi_1) = \dots\dots\dots \text{Kvar}$$

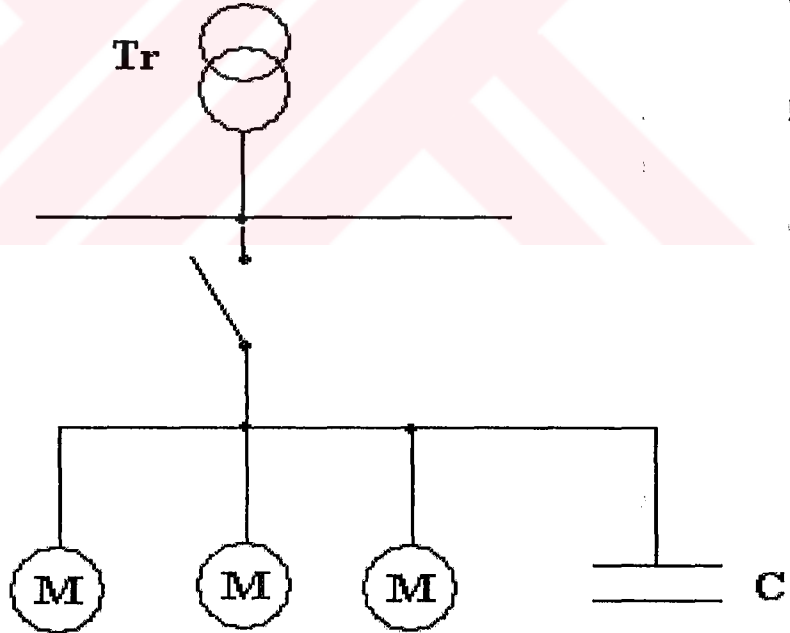
$$P = \dots\dots\dots (\text{Kw cinsinden})$$

$$Q = \dots\dots\dots (\text{Kvar cininden}) \text{ güçleri ifade eder.}$$

### 3.2.2. Grup Kompanzasyonu

Bu tür kompanzasyonda bir kontaktör veya devre kesicisiyle grup olarak anahtarlanan birden fazla motorun veya flüoresan lambanın kompanzasyonu yapılabilir. Bu işlemde her grup bir alıcı gibi değerlendirilir. sigorta ve deşarj dirençlerine ihtiyaç duyulmaz. Birçok tüketicinin bulunduğu tesiste her tüketicinin ayrı ayrı kondansatörler ile donatılacağı yerde bunların ortak bir kompanzasyon tesisi tarafından beslenmesi pratik ve ekonomik olur. Bu durumda kondansatörlerin özel anahtarlar üzerinden ve gerektiğinde kademeli olarak şebekeye bağlanması gerekir.

Eğer bir grupta her motor ayrı ayrı kontaktörlerle devreye sokulup çıkarılıyorsa kondansatörleri de yine ayrı kontaktörlerle fakat motor kontaklarıyla paralel görebilecek şekilde bağlamak gerekir. Şekil 7' de grup kompanzasyonu görülmektedir.

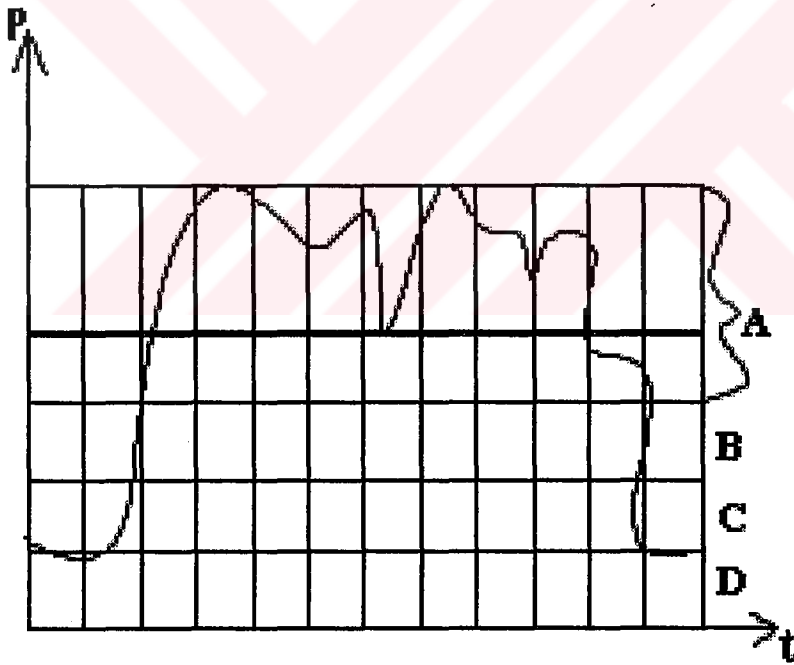


Şekil 7- Grup Kompanzasyonu

### 3.2.3. Merkezi (Otomatik) Kompanzasyon

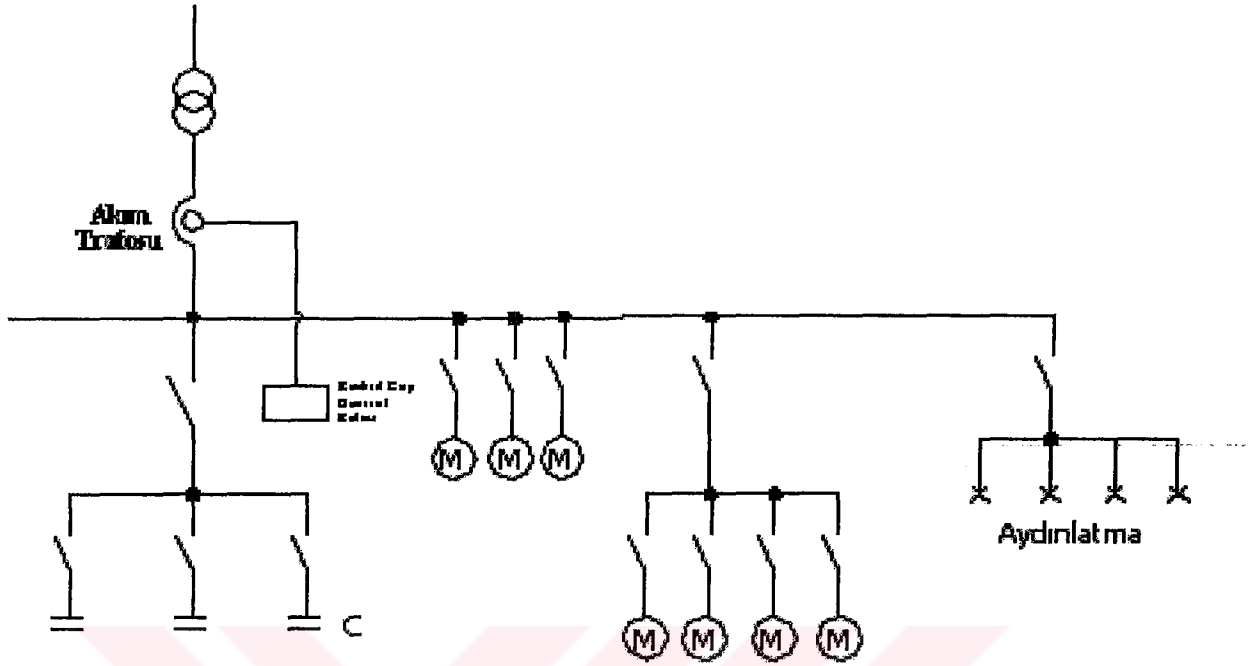
Şayet çok sayıda motor ve endüktif yük çeken alıcı bulunuyorsa ve bunlar belli belirsiz zamanlarda devreye girip çıkıyorlarsa çekilen yük durumuna göre ayarlı bir kompanzasyon yapılabilir. Böyle bir kompanzasyon, elle kumandalı ve otomatik çalışma durumlu olur. Projelendirilip hesaplanması kolaydır. Mevcut tesislere bağlanması problemsiz olup çok kısa sürede montajı mümkündür. Fabrikayı besleyen tek veya paralel çalışan transformatörlerin, toplam akım transformatörleri üzerinden kompanze etmek mümkündür.

Kullanılan elektronik regülatörlerinin hassasiyet sınır ve çalışacağı endüktif-kapasitif bölgenin potansiyometreler ile ayarlanabilmesi sonucu uygun bir kompanzasyon tesisinin kolayca işletmeye girmesi sağlanır. Bir tesisin hangi çeşit kompanzasyon ile donatılması gerektiği, işyerinin çeşitli zamanlarda alınmış yüklenme eğrileriyle belirlenmelidir. Bir işletmeye ait günlük yük eğrisi Şekil 8’ de verilmiştir.



Şekil 8- Bir İşletmenin Günlük Yük Eğrisi

Merkezi kompanzasyonda, şebekeye paralel olarak bağlanacak kondansatörler, 3-5-7 veya 2-4-6-8 gruba bölünmektedir. Bu gruplar elektronik kompanzasyon röleleri ile devreye sokulmaktadır. Şekil 8’ de bir merkezi kompanzasyon tesisi gösterilmiştir.



Şekil 9- Merkezi (Otomatik) Kompanzasyon

### 3.3. Reaktif Güç Kontrol Röleleri

Reaktif güç kontrol röleleri, merkezi kompanzasyonda kuruluşun reaktif gücünü kontrol ederek, güç katsayısı değerini, kullanıcı tarafından ayarlanan güç katsayısı değerine getirmeye çalışır. Bu işlemi gerçekleştirmek için gerekli kondansatör bataryalarını otomatik olarak devreye alır veya çıkarırlar.

Reaktif güç kontrol röleleri, günümüzde mikroişlemci tabanlı üretilmektedir. Ölçümde bir faza bağlı  $\dots/5$  bir akım transformatöründen akım bilgileri alınır, gerilim bilgileri ise üç fazdan veya akım transformatörünün bağlı olduğu tek fazdan alınarak kullanılır.

Tümüyle yarı iletken yapıda, 3,5,7,8,10 ve 12 kademeli olarak üretilen bu 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. Akım bilgisinin tespiti için kullanılan akım transformatörünün karakteristik çevirme oranı ...../5 A’ dir.

Reaktif güç kontrol röleleri üzerinde sistemin güç katsayısını gösteren  $\cos \Phi$  metre bulunmaktadır. Röle devrede olduğu sürece sistemdeki  $\cos \Phi$  güç katsayısı değerini sürekli olarak ekranda gösterir.

Ayrıca, şu an üretilen röleler üzerinde sistemin endüktif veya kapasitif özellikle olduğunu gösteren led lambalar bulunmaktadır. Bazı röleler, üretilirken sistemdeki aşırı ve düşük gerilime karşı korumalı olarak üretilirler. Bu durumlar nüksettiği zaman röle kumandayı keserek kendini devre dışı bırakır, böylelikle röle aşırı ve düşük gerilimlere karşı korunmuş olur.

#### **- Anahtarlama Programı**

Anahtarlama işlemi, alma ve bırakma sırasında da baştan sona doğrudur. Kademelerdeki kondansatör güçlerinin seçimi önemlidir. Bu seçim için şu kurala uyulmalıdır.

Herhangi bir kademedeki kondansatör gücü, kendinden önceki kademe güçlerinin toplamından en çok 1. kademe gücü kadar fazla olabilir. Örneğin, 1. kademe gücü X Kvar olarak seçilmişse, kurulabilecek en büyük güç sıralaması,

X:2X:4X:8X:16X:32X:64X şeklinde olabilir.

1.kademeye en düşük güçteki batarya bağlanmalıdır, diğer kademeler bu gücün tam katları olmalıdır. Bu kural reaktif güç kontrol rölesinin önemli ayarlarından biri olan C/K ayarının saptanması için gereken 1. kademe gücü C ve akım transformatörü çevirme oranı “K” nın belirlediği değer için önem taşır.

#### **-Röle Tipi Seçimi**

Uygun röle seçiminde işletmenin endüktif yük karakteristiği önemlidir. Büyük güçlü endüktif yüklerin bulunduğu işletmelerde, az adımda yüksek güçlü kondansatör bataryaları ile

kompanzasyon yapılabilir. Küçük endüktif yüklerin sık devreye girip çıktığı işletmelerde ise, küçük güçlü, çok kademeli sistemler uygun sonuç verir.

#### -Akım Transformatörü Seçimi

- Reaktif güç kontrol rölesi, ayrı bir akım transformatöründen beslenmelidir.
- Akım transformatörü röle bağlantısı en az 1,5 mm çaplı bir kablo ile demir karkas üzerine sarılmadan en kısa yoldan yapılmalıdır.
- Reaktif güç kontrol rölesinin, reaktif gücü sezebilmesi için akım ve gerilim bilgilerine ihtiyacı vardır. Akım bilgisinin alındığı transformatör seçimi çok önemlidir. Akım transformatörü oranı gerekenden büyük seçilirse, tesisin normal çalışması sırasında, röleye gelen akım bilgisi, rölenin sezebileceği değerin altında kalabilir. Bu durumda, röle duyarsız kalır. Rölenin, sezilmesi istenilen en düşük reaktif gücü belirleyen 1. kademe gücünün % 65' inde çalışmaya başlayacağı unutulmamalıdır.

#### - Kondansatör Seçimi

Kondansatör seçimi için işletmenin aktif gücü ve  $\cos \Phi$ ' sinin bilinmesi gerekir. Çeşitli zamanlarda ölçülen aktif güç ve  $\cos \Phi$  ortalamaları veya elektrik faturalarından elde edilecek ortalama bilgiler hesaplamalar için uygun verilerdir.

Basit bir örnek ile;

Aktif gücü,  $P = 60 \text{ kW}$ ,

Güç faktörü,  $\cos \Phi = 0.68$  olan bir işletmenin güç faktörü değerini,

$\cos \Phi_2 = 0.95$  değerine çıkarılması istenilsin.

Tablo 1.' den  $\cos \Phi$ ' nin 0.68' den 0.95' e çıkarılması için  $k = 0.75$  katsayısı bulunur. Buna göre kompanzasyon için gerekli kondansatör gücü ( $Q_C$ );

$$Q_C = k \cdot P = 0,75 \cdot 60 = 45 \text{ Kvar olur.}$$

Bu kondansatör gücü 1:2:2:2:2 adım seçeneğine göre 5:10:10:10:10 olarak 5 kademeli röle kullanılarak yapılabilir.

Buradaki  $k$  katsayısı formül (2:4)' te de gösterildiği üzere

$$k = \tan \Phi_1 - \tan \Phi_2 \text{ olduğu bilinmektedir.}$$



Bu k değeri hesaplanarak bir çok kitaplarda Tablo 1' de verildiği şekilde hazırlanmıştır. Yani sistemin güç katsayısını  $\text{Cos}\Phi_1$ ' den  $\text{Cos}\Phi_2$ ' ye çıkarmak için hesaplanan k değeri direk olarak bu tablodan alınarak hesaplama yapılabilir.

Ortalama $\text{Cos}\Phi$	Hedef $\text{Cos}\Phi$									
	0,85	0,86	0,87	0,88	0,90	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97
0,50	1,11	0,14	1,16	1,20	1,25	1,30	1,37	1,40	1,44	1,48
0,52	1,02	1,05	1,07	1,11	1,16	1,21	1,28	1,31	1,35	1,39
0,54	0,94	0,97	0,99	1,03	1,08	1,13	1,20	1,23	1,27	1,31
0,56	0,86	0,89	0,91	0,95	1,00	1,05	1,12	1,15	1,19	1,23
0,58	0,79	0,82	0,84	0,88	0,93	0,98	1,05	1,08	1,12	1,16
0,60	0,71	0,74	0,76	0,80	0,85	0,90	0,97	1,00	1,04	1,08
0,62	0,65	0,68	0,70	0,74	0,79	0,84	0,91	0,94	0,98	1,02
0,64	0,58	0,61	0,63	0,67	0,72	0,77	0,84	0,87	0,91	0,95
0,66	0,52	0,55	0,57	0,61	0,66	0,71	0,78	0,81	0,85	0,89
0,68	0,46	0,49	0,51	0,55	0,60	0,65	0,72	0,75	0,79	0,83
0,70	0,40	0,43	0,45	0,49	0,54	0,59	0,66	0,69	0,73	0,77
0,72	0,34	0,37	0,39	0,43	0,48	0,53	0,60	0,63	0,67	0,71
0,74	0,29	0,32	0,34	0,38	0,43	0,48	0,55	0,58	0,62	0,66
0,76	0,24	0,27	0,29	0,33	0,38	0,43	0,50	0,53	0,57	0,61
0,78	0,18	0,21	0,23	0,27	0,32	0,37	0,44	0,47	0,51	0,55
0,80	0,13	0,16	0,18	0,22	0,27	0,32	0,39	0,42	0,46	0,50
0,82	0,08	0,11	0,13	0,17	0,22	0,27	0,34	0,37	0,41	0,45
0,84	0,03	0,06	0,08	0,12	0,17	0,22	0,29	0,32	0,36	0,40
0,86			0,02	0,06	0,11	0,16	0,23	0,26	0,30	0,34
0,80					0,06	0,11	0,18	0,21	0,25	0,29
0,90						0,06	0,12	0,15	0,19	0,23

**Tablo 1.** Hedef  $\text{Cos}\Phi$  Çizelgesi

### - Röle Ayarları

#### a) C/k ayarı

C/k ayarı, kontrol edilmesi istenilen en düşük gücü belirler. 1. kademe gücü C ile akım trafosu değeri "k" oranının röleye uygulanması gerekir.

Örnek;

$$C = 5 \text{ Kvar}, \quad k = 100/5 \text{ A ise, } c/k = \frac{5}{100/5} = 0,25 \text{ olur.}$$

$$(100/5)$$

Değişik C ve k değerleri için c/k oranlarını elde etmek için Tablo 2' den yararlanılır.

C/k Ayarı İçin Seçim Tablosu											
AKIM TRAFOSU	Sistemde 1.Kademedeki Kondansatör Gücü (kVar)										
	5	10	12.5	15	20	25	30	40	50	60	100
30/5	0,83										
50/5	0,50	1									
75/5	0,33	0,67	0,83	1							
100/5	0,25	0,50	0,63	0,75	1						
150/5	0,17	0,33	0,42	0,50	0,67	0,83	1				
200/5	0,13	0,25	0,31	0,38	0,50	0,63	0,75	1			
300/5	0,08	0,17	0,21	0,25	0,33	0,42	0,50	0,67	0,83	1	
400/5	0,06	0,13	0,16	0,19	0,25	0,31	0,38	0,50	0,63	0,75	
600/5		0,08	0,10	0,13	0,17	0,21	0,25	0,33	0,42	0,50	0,83
800/5		0,06	0,08	0,09	0,13	0,16	0,19	0,25	0,31	0,38	0,63
1000/5		0,05	0,06	0,08	0,10	0,13	0,15	0,20	0,25	0,30	0,33
1500/5				0,05	0,07	0,08	0,10	0,13	0,17	0,20	0,33
2000/5					0,05	0,06	0,08	0,10	0,13	0,15	0,25
3000/5							0,05	0,07	0,08	0,10	0,17
4000/5								0,05	0,06	0,08	0,13

Tablo 2. C/k Seçim Tablosu

b) Çalışma Bölgesi Ayarı (%)

% Potansiyometresi ile, rölenin duyarsız olduğu aralık güç ekseninde kapasitif ve endüktif bölgelere kaydırılabilir. Bu aralık 1. kademe kondansatör gücü ile belirlenir. % - % 100 skala değerleri arasında yapılan ayar ile, hedeflenen ortalama Cos  $\Phi$  değerine ulaşılır. Röleler genellikle 1. kademe gücünün % 0.05' ini aşan değerlerde etkinleşir. Bu nedenle iyi bir kompanzasyon için uygun C/k değeri ve adımlama seçilmesi önemlidir.

### Karşılaşılabilecek Sorunlar;

- a) Röle sürekli kondansatör alıyor, devrede gereğinden fazla kondansatör alıp aşırı kompanzasyon olduğu halde çıkarmıyor ise;
- Akım transformatörü, hem yük ve hem de kondansatör akımlarını sezecek biçimde bağlanmıştır, akım transformatöründen yük ve kondansatör akımlarının geçmesi gereklidir.
- b) Sistem yükü endüktif olduğu halde röle kondansatör almıyor ise;
- Akım transformatörü yanlış faz üzerindedir.

Devre endüktif olduğu halde, röle kapasitif gösteriyor (kapasitif ışığı yanıyor), yani akım transformatörü bağlantısı ile röle gerilim bağlantısı uyumuyor ise;

- Rölenin üç faza ait gerilim kablolarının yeri değiştirilmelidir.
- Reaktif Güç Kontrol Rölesinin Devreye Alınması

1) Kompanzasyon panosu ve röle devreye alınmadan önce, akım transformatörünün doğru fazda ve doğru yerde olduğu denetlenmelidir.

2) Röle klemenslerindeki faz bağlantılarının doğru olup olmadıkları denetlenmelidir.

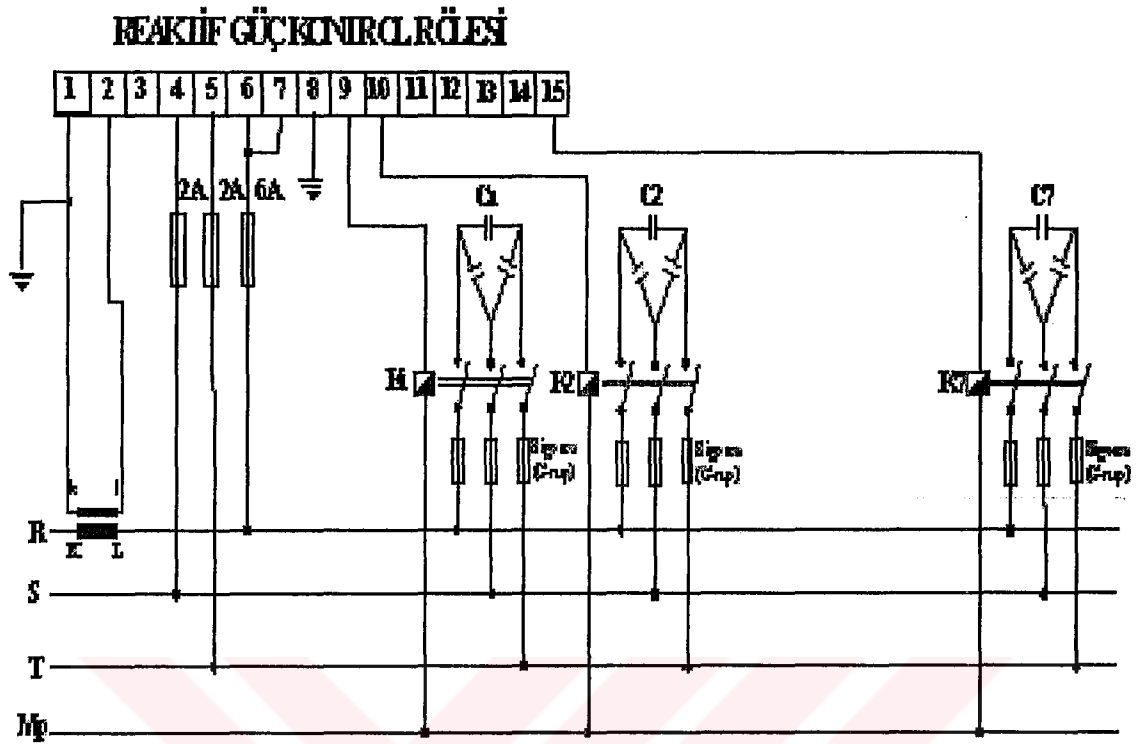
3) Hesaplanan veya tablodan elde edilen C/k potansiyometresinden ayarlanır.

4) İstenilen % değeri ayarlanır. Elektrik otoriteleri tarafından önerilen değer % 50' dir.

### Röle üzerindeki;

- IND ve CAP ışıkları tesisin reaktif güç konumunu gösterir.
- Genellikle dijital Cos $\Phi$  metre bulunur, burada okunan değer sistemin güç faktörüdür.,
- +C ve -C düğmeleri ile devreye manuel (el ile) olarak kondansatör alınıp çıkarılabilir. MAN/AUTO düğmesine basıldıktan sonra +C ile devreye alınan kondansatörler, -C düğmesine basılarak devredeki kondansatörler çıkarılabilir. Röle sürekli çalışmada OTOMATİK konumda bırakılmalıdır.

Basit olarak 7 kademeli üç fazlı reaktif güç kontrol rölesinin bağlantı şeması Şekil 10' da gösterilmiştir.



**Şekil 10. 7** Kademeli Üç Fazlı Reaktif Güç Kontrol Rölesinin Bağlantı Şeması

Tek fazlı reaktif güç kontrol röleleri, üç fazlı reaktif güç kontrol rölelerine göre daha çok tercih edilmektedirler. Çünkü, röleler faz değişikliği olduğu zaman çalışmazlar, oysa tek fazlı rölelerde faz bilgisi ile akım bilgisi aynı fazdan alındığından bu tip röleler faz değişikliğinden etkilenmezler. Bu nedenle, tek fazlı röleler tercih sebebidir.

## **BÖLÜM 4. AYDINLATMA TESİSLERİNDE KOMPANZASYON**

### **4.1. Lamba Sınıfları**

Lambalar aşağıdaki sınıflara ayrılır.

#### **1- Elektrolüminesan Lambalar;**

Bu sınıftaki lambalar şebekeden kapasitif akım çektiklerinden, santral ve şebekenin endüktif yükünü arttırmak yerine azaltırlar ve böylece yük durumunu genel olarak düzeltirler. Bu tip lambalar çok az ışık verdikleri için normal aydınlatma amacıyla kullanılmamaktadırlar. Bu lambalar, daha çok ölçme aygıtlarının kadranslarını aydınlatmak, pasif korunmada ışıklı sinyaller oluşturmak ve yatak odalarında loş bir aydınlatma sağlamak için kullanılırlar.

#### **2- Akkor Telli Lambalar;**

Bu sınıfa giren lambalar, şebekeyi ohmik birer direnç gibi yüklediklerinden, endüktif yük çekmezler ve bu bakımdan ideal alıcı durumundadırlar.

#### **3- Deşarj Lambaları,**

Flüoresan lambalar, cıva buharlı ve sodyum buharlı lambalar bu sınıfa girerler. Bu lambalar doğrudan doğruya şebekeye bağlanmazlar. Bunlar şebekeye akım sınırlayıcı araçlar ile birlikte bağlanırlar.

### **4.2. Akım Sınırlayıcı Araçlar**

Akım sınırlayıcı araçlar aşağıdaki gibi sınırlanabilir.

#### **1-Endüktif Balast;**

Lambanın cinsine, anma ve karakteristik değerlerine göre seçilir. Akımı istenilen değerde sınırlayabilir.

#### **2- Kapasitif Balast;**

Endüktif balast yerine bir kondansatör konursa, lambaya zarar veren yüksek gerilim impulsu meydana gelebilir. Bu nedenle kapasitif balast da bir endüktif bobini ile seri bağlı bir kondansatör bulunur. Böyle bir balast ta kapasitif etki, endüktif etkiden büyüktür.

3- Kaçak akılı transformatör;

Ateşleme gerilimi, şebeke gerilimine göre oldukça büyük olan deşarj lambalarında kaçak akılı transformatör kullanılır.

4- Çift endüktanslı balast;

Starter siz direk devreye sokulan flüoresan lambalarda çift endüktanslı balast, bir kondansatör ile birlikte kullanılır. Çift endüktanslı balast, lambanın elektrotlarını ısıtmaya ve yüksek gerilim üreterek lambanın tutuşmasına yardımcı olur. Endüktans bobinlerinden biri de lambanın kararlı çalışmasını sağlar.

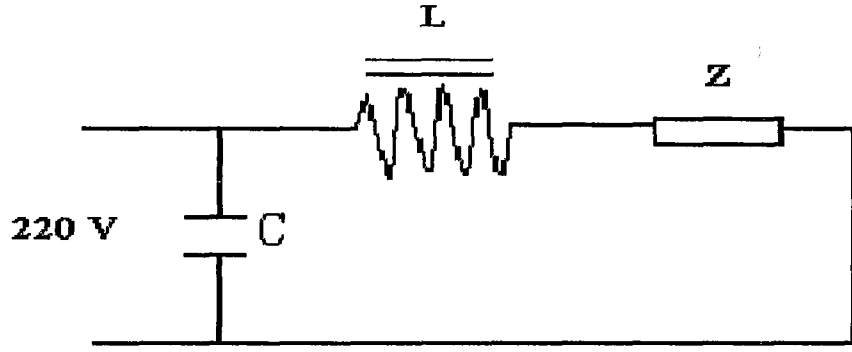
5- Transistor lü doğrultmalı akım sınırlayıcılar;

Flüoresan lambaların doğru gerilim bataryasından beslenmesi gereken taşıt araçlarında, transistor doğrultmalı akım sınırlayıcılar kullanılır.

### 4.3. Deşarj Lambalarında Reaktif Güç Kompanzasyonu

Teorikte, seri empedans bir Endüktans veya bir kapasitans oluşturabilir, ancak kapasitans kullanıldığı taktirde alternatif akımın her yarım periyodunda meydana gelen akım tepeleri yüksek bir değere ulaşacağından, lambanın elektrotları çabuk yanar ve dolayısıyla ömrü kısalmır. Bunu için, seri empedans, endüktif bir reaktanstan oluşur.

Lambaların, balastları dolayısıyla, şebekeden çektikleri endüktif güç, devreye bağlanan kondansatörlerin çektikleri kapasitif yükü kompanze edilir. Şekil 11' de endüktif balastlı bağlantı verilmiştir. Kompanzasyondan önce endüktif güçten dolayı  $\cos\Phi$  küçüktür, kompanzasyondan sonra endüktif yükün büyük bir kısmı giderileceğinden  $\cos\Phi$  yükselmiş olur.



**Şekil 11.** Endüktif Balastlı Bağlantı Şeması

#### 4.4. Aydınlatma Tesislerinde Kompanzasyon Sistemleri

Aydınlatma tesislerinde kompanzasyon sistemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

##### 1-Tekil Sistem;

Bu sistemde aydınlatma aygıtlarının her biri ayrı ayrı kondansatörlerle donatılarak kompanzasyon gerçekleştirilir.

##### 2- Grup Kompanzasyonu;

Bu sistemde, aynı anda bir anahtarla kumanda edilen aygıt grubunun çektiği endüktif akımların bileşkesi, bir fazlı veya üç fazlı kondansatör bataryası ile kompanse edilir. Grup devre dışı edildiğinde, kondansatörlerde devreden çıkacağından aşırı kompanzasyon meydana gelmez, yani bileşke reaktif akım kapasitif olmaz.

##### 3- Merkezi Kompanzasyon;

Bütün tesisat ya da birkaç grubu içeren tesisatın büyük bölümleri için bir merkezden, genel olarak ana besleme merkezinden kompanzasyon yapılarak beslenir. Devredeki alıcılar değişken olacağından, aşırı kompanzasyon olmaması için devredeki kondansatör bataryalarının ayarlı olması gerekir.

##### 4- İdeal Kompanzasyon Sistemi;

İlke, olarak kompanzasyon kondansatörün kurulduğu yer ile besleme yeri arasındaki hatlarda ve bunlara seri olarak bağlı elemanlarda gerçekleşir. Bu nedenle, bireysel kompanzasyon tercih edilir. Bu kompanzasyon aynı zamanda en güvenilir olanıdır. Bu kondansatörün bozulması

halinde meydana gelecek arıza da yerel olacaktır. Bireysel sistem diğer sistemlerin en pahalısıdır. Fakat aydınlatma tesislerinde diğerlerine göre her zaman tercih edilmelidir.

#### 4.5. Aydınlatmada Kompanzasyonun Faydaları

1-Kompanzasyondan dolayı iç tesisatın gerilim düşümü etkilenmez. Hattın direnci R, reaktansı X, akım şiddeti I ve faz farkı  $\Phi$  olduğuna göre gerilim düşümü;

$$\Delta U = I \cdot R \cdot \cos \Phi + I \cdot X \cdot \sin \Phi \quad (4.1)$$

şeklindedir.

İç tesisatta  $X=0$  olduğundan ve akımının aktif bileşeni değişmediğinden  $\Delta U$  değeri değişmez.

2- Üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinin, kompanzasyon sayesinde gereksiz yere işgal edilmeleri önlenmiş olur.

3- Çekilen akımların küçülmesi sağlandığından, hat ve diğer öğelerde meydana gelen joule kayıpları azaltılır. Örneğin, güç faktörünün 0,55' ten 0,95' e çıkarılması kayıpları %70 oranında azaltılır. Joule kayıplarının yurt çapında yapılabilen enerji tasarrufunu, sadece aydınlatmada saptanması için, her konutta 40W' lık flüoresan bir lambanın günde 12 saat (veya iki lambanın günde 6 saat) yandığını ve sortilerin  $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$  ' lik kesitte ve 5 m uzunluğunda olduğu varsayılabilir. Konut sayısının da 5.000.000 olduğu kabul edilecek olursa, sadece iç tesisat sortilerinde, güç faktörünü 0,55' ten 0,95' e çıkaran kompanzasyonun yılda 500 MWh mertebesinde bir enerji tasarrufu sağlayacağı görülür.



## BÖLÜM 5. KOMPANZASYON TESİSLERİNDE REZONANS OLAYLARI

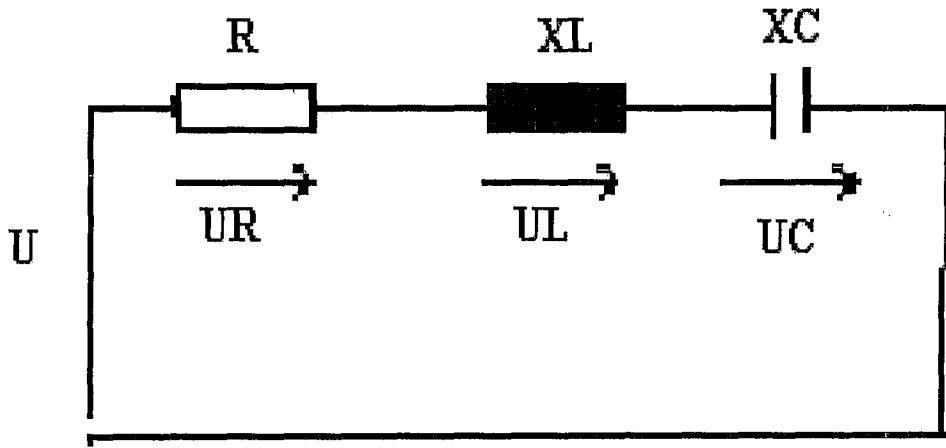
Alternatif akım şebekelerinde meydana gelen reaktif güç genellikle endüktif karakterdedir. İşte bu reaktif gücü kompanze etmek amacıyla kapasitif reaktif güç üreten cihazlardan faydalanılır. Bunların en önemlisi şönt kapasitörlerdir. Harmonik içermeyen bir tesiste kompanzasyon yapılması bir problem yaratmaz. Ama birçok şebeke harmonik içerdiğinden kompanzasyon için kullanılan kondansatörler nedeniyle rezonans olayları oluşur. Harmoniklerin en önemli tesirlerinden biri de rezonans olaylarıdır. Kompanzasyon amacıyla tesis elemanlarının bağlı oldukları baralara kondansatör bataryaları bağlanır. Rezonans sonucu devrede aşırı akımlar ve aşırı gerilimler oluşur ve bunlar tesislere büyük ölçüde zarar verirler. Tesis elemanlarının  $X_L$  endüktif dirençleri, kompanzasyon kondansatörlerinin de bir  $X_C$  kapasitif direnci vardır. Bunlar bir arada bulduklarından bir titreşim devresi oluştururlar. Bunlar bir taraftan normal şebeke frekanslı gerilimin etkisi altında oldukları gibi diğer taraftan harmonik üreticileri tarafından harmonikli akımlarla beslenirler.

### 5.1. Rezonans Devreleri

Kondansatörlerin ve şebekelerdeki endüktif dirençlerin kaynağa bağlantı şekillerine göre seri veya paralel rezonans devreleri oluşur.

#### 5.1.1. Seri Rezonans Devresi

Seri rezonans devreleri R, L ve C elemanlarının seri bağlanması ile temsil edilirler. Burada, R ve L generatör, iletim ve dağıtım hatları ve transformatörlerin ohmik ve endüktif dirençlerini gösterirler. (Şekil-12' de seri rezonans devresi verilmiştir.)



Şekil 12. Seri Rezonans Devresi

Devre elemanlarının gerilimleri

$$U_R = I \cdot R \quad (5.1)$$

$$U_L = I \cdot j \omega L \quad (5.2)$$

$$U_C = I \cdot \frac{1}{j \omega C} \quad (5.3)$$

olduğuna göre şebeke gerilimi;

$$\dot{U} = \dot{I} \left[ R + j \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \right] \quad (5.4)$$

olur. Devrenin toplam empedansı,

$$\dot{Z} = R + j \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \quad (5.5)$$

veya mutlak değer olarak,

$$Z = \sqrt{R^2 + \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} \quad (5.6)$$

olur. Rezonans anında endüktif ve kapasitif dirençler birbirine eşittir. Temel harmonikte rezonans olması halinde ( $\omega=314$  rad/s)

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad (5.7)$$

olacağından, buradan da

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (5.8)$$

olur. Rezonans anında devrenin toplam reaktansı sıfıra eşit olacağı için devrenin empedansı devrenin ohmik direncine eşit olur ve devreden geçen akım en büyük değerini alır.

$$I_r = \frac{U}{R} \quad (5.9)$$

Kuvvetli akım tesislerindeki ohmik dirençler, endüktif reaktanslara göre daha küçüktür. Bunu için, seri rezonans devresinde rezonans halinde akım çok büyük değerler alır. Seri rezonans ta aynı zamanda kondansatör gerilimi de en büyük değerler alır. Kondansatör uçlarındaki gerilim

$$U_C = \frac{I}{\omega C} \quad (5.10)$$

olduğundan denklem (5.8) ve (5.9)' daki değerler yerine yazılacak olursa,  $U_C$  için,

$$U_C = \frac{U}{R} \cdot \frac{\sqrt{L}}{\sqrt{C}} \quad (5.11)$$

elde edilir. Bu aşırı gerilim nedeniyle kondansatör zarar görebilir, ancak temel harmonikte rezonans olması çok az rastlanan bir durumdur.

En sık karşılaşılan harmonik frekanslar 150-750 Hz olup, bu da 3-15 mertebeli harmoniklere tekabül eder.

Herhangi bir  $v$  harmonik derecesi için devrenin eşdeğer reaktansı;

$$X_v = v \cdot \omega \cdot L - \frac{1}{v\omega C} \quad (5.12)$$

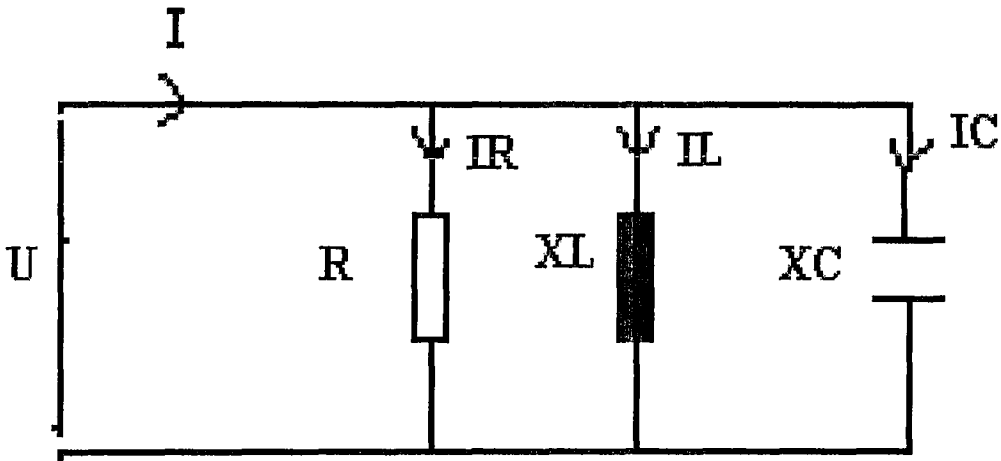
dir. Bu durumda rezonans frekansı

$$\omega_r = v \cdot \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (5.13)$$

olur. Demek oluyor ki rezonans anında akım ve kondansatör geriliminde aşırı bir artma olduğundan rezonans olması engellenmelidir. Aksi takdirde boşta kondansatör olmak üzere sistemde büyük zararlara yol açılabilir.

### 5.1.2. Paralel Rezonans Devresi

Paralel rezonans devresi, R, L ve C elemanlarının birbirlerine paralel bağlanmaları ile gösterilen devredir. Böyle bir devre bireysel kompanzasyon yöntemine göre sargı uçlarına paralel kondansatörün bağlandığı transformatörün veya motorun teşkil ettiği sistemdir. Şekil 13' te paralel rezonans devresi gösterilmiştir.



Şekil 13. Paralel Rezonans Devresi

$\omega$  dairesel frekansına göre bobinin endüktif direnci ve kondansatörün kapasitif direnci,

$$j X_L = j \omega L \quad (5.14)$$

$$j X_C = -j \frac{1}{\omega C} \quad (5.15)$$

olduğuna göre devrenin şebekeden çektiği akım,

$$\dot{I} = \dot{U} \left[ \frac{1}{R} + j \left( \omega C - \frac{1}{\omega L} \right) \right] \quad (5.16)$$

olur. Buna göre devrenin empedansı

$$\dot{Z} = \frac{1}{\frac{1}{R} + j \left( \omega C - \frac{1}{\omega L} \right)} \quad (5.17)$$

ve bunun mutlak değer olarak ifadesi,

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\left( \frac{1}{R} \right)^2 + \left( \omega C - \frac{1}{\omega L} \right)^2}} \quad (5.18)$$

bağlantısından hesaplanır.

Bir  $v$  harmonik derecesinde ( $\omega_r = v\omega$ ) dairesel frekansında endüktif ve kapasitif reaktanslar birbirine eşit olur. Bu frekans değerine rezonans frekansı denilir.

$$\omega_r \cdot C = \frac{1}{\omega_r \cdot L} \quad (5.19)$$

$$\omega_r = v \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (5.20)$$

Rezonans halinde reaktif dirençlerin toplamı sıfır olduğundan devrenin eşdeğer empedansı,

$$Z_r = R \quad (5.21)$$

yani, ohmik bir dirence eşit olur. Bu durumda rezonans devresinin şebekeden çektiği akım en küçük değerini alarak

$$I_r = I_R = \frac{U}{R} \quad (5.22)$$

olur. Buradan da görüldüğü üzere rezonans halinde yüksek harmonikli gerilimlere rağmen enerji kaynağında  $\omega_r$  frekanslı bir akım çekilmez, paralel rezonans devresi, rezonans halinde bir akım tıkaçı gibi tesir eder. Bu nedenle bu devreye tıkaç devresi adı da verilmektedir.

Paralel rezonans devresi rezonans durumunda şebekeden akım çekmediği halde devrenin için de L ve C arasında  $\omega_r$  rezonans frekanslı bir akım geçer. Bunun için bu devreye akım rezonans devresi de denir. Paralel reaktans uçlarında  $\omega_r$  frekanslı  $U_r$  gerilimi bulunduğundan kondansatör tarafından,

$$I_{cr} = \frac{U_r}{X_{cr}} \quad (5.23)$$

gibi bir akım ve bobin tarafından,

$$I_{Lr} = \frac{U_r}{X_{Lr}} \quad (5.24)$$

gibi akım çekilir. Rezonans halinde reaktanslar birbirine eşit olduğu için bu akımlarda birbirine eşit olur. Bu akımlar temel harmonikli gerilim altında çekilen akımdan çok daha yüksektir. Bu sebeple kondansatörler ve transformatörler bu durumda yüklenip zarar görebilirler.

## 5.2. Harmonik Rezonanslarına Karşı Alınan Tedbirler

Şayet kompanzasyon tesislerinin yapılacağı şebekede harmonik üretici alıcılar var ise öncelikle bu şebekede yüksek mertebeden harmoniklerin varlığı osilograf yolu ile araştırılıp analizör vasıtası ile genlikleri tespit edilmelidir.

Elektrik tesislerini harmonik rezonanslarına karşı korumak için kompanzasyon tesisinin öz frekansını rezonansa yol açabilecek şebeke frekansının altında tutmak gerekir.

Bunun sağlanması için;

- 1) Elektrik tesislerinde güç her zaman sabit olmayıp, puant saatlerinde yük, en yüksek değerini alır. Tesisin yükünün düşük olduğu saatlerde tesisi besleyen transformatörler ile kompanzasyon için öngörülen kondansatörlerin tamamı devrede kalırsa aşırı kompanzasyon baş gösterir. Bu durumda gerilim yükselir ve transformatör doyma bölgesinde çalışmaya başlar. Doyma halinde mıknatıslanma akımının şekli bozulur ve transformatör harmonik üretmeye başlar. Böylece harmonik rezonans baş gösterebilir. Bu nedenle tesis otomatik kompanzasyon sistemi ile donatılmalıdır.
- 2) Devreye ohmik bir direnç bağlayarak teorik olarak yüksek harmonik akımlar sönmülenebilir, fakat direnç kayıplara yol açtığından yapay olarak direnç artırma yoluna gidilmez. Buna karşın, doğal olarak devrede bir ohmik direncin bulunmasını sağlamak için kompanzasyon tesisleri bir veya birkaç paralel kablo üzerinden bağlanırlar. Hiçbir zaman doğrudan bağlanmazlar.
- 3) Öz frekansı düşürmek amacıyla kondansatöre bir self bobini (reaktör) seri olarak bağlanır. Bobin ısı kaybı düşük olduğundan aynı zamanda ekonomik yöntemlerden biridir. Bağlanacak olan bobinin reaktif direncinin hesaplanabilmesi için kondansatörün bağlı bulunduğu yerden santrale kadar bütün şebekelerin direncini göz önünde tutmak

gerekir. Bazen transformatörün direnci diğer direnç değerlerinden büyük olabilir. Bu gibi durumlarda yalnız transformatör direncinin göz önünde bulundurulması büyük bir hataya neden olmaz. Bu durumda, kısa devre hesaplarında olduğu gibi diğer dirençler ihmal edilebilir. Self bobininin seri bağlanmasından dolayı kondansatörde meydana gelen gerilim yükselmesinin %10' u geçmemesi gerekir.

Kondansatör gerilimi;

$$U_C = 3 \cdot X_C \cdot I_C \quad (5.24)$$

ile hesaplanır.  $X_C$ ; kondansatör reaktansı,  $X_L$ ; şebekenin toplam endüktif reaktansı ve  $X_B$ , seri bağlanacak bobin reaktansı olmak üzere;

$$f_Y = \frac{X_C}{X_L + X_B} \quad (5.25)$$

buradan da;

$$X_B = \frac{X_C \cdot f^2}{f^2 - X_L} \quad (5.26)$$

bulunur.

4- Harmonik rezonanslarına karşın proje aşamasında alınacak etkin önlemlerden biridir. Harmoniklerin rezonanslarını önlemek için, bobin kondansatör çiftleri kullanılır. Yapı olarak, küçük iç dirençli bobinlerin seri bağlandığı kondansatörlerdir. Kondansatörlerin önüne konulan bobinler yardımıyla bir seri rezonans devresi oluşturulur, böylelikle belli bir harmonik frekansında bu seri rezonans devresinin reaktansı yaklaşık olarak sıfırlanarak harmonik akımlarının büyük bir kısmı bu devrede süzdürülür. Böylelikle harmonik akımlarının çok az bir kısmı şebekeye akacağından herhangi bir etkin gerilim bozulmasına yol açmayacaktır. Ayrıca filtre devreleri temel harmonik frekansında daima kapasitif görünümünde olacağı için reaktif güç kompanzasyonu engel oluşturmayacaktır. Filtre devreleri tasarlanmadan önce toplam kondansatör gücü çeşitli harmoniklere göre gruplandırılır. Pratikte toplam kondansatör gücünün %50' si 5. harmonik, %25' i 7. harmonik, %25' i 11. ve 13. harmonikler için kullanılır. Çoğu



kez sadece 5. harmonik için filtre devresi oluşturmak yeterlidir. Bu aşamadan sonra kondansatörlerin önüne konulacak bobinlerin reaktansları;

$$X_L (\%) = 100 \cdot X_C / n^2 \quad (5.27)$$

formülü ile hesaplanır.

Bu durumda çeşitli harmonikler için bobin reaktansları,

5. harmonik için  $X_L = \% 4 X_C$

7. harmonik için  $X_L = \% 2.04 X_C$

11. harmonik için  $X_L = \% 0.83 X_C$

13. harmonik için  $X_L = \% 0.6 X_C$

olur. Filtre sistemleri rezonans problemleri için en iyi teknik çözümlerden biridir. Aktif filtreler ise yarı iletkenlerden faydalanarak yapılır. Birden fazla harmonik akımını filtrelemek amacıyla kullanılabilir. Genelde yük tarafından üretilen harmonikleri yok ederler.

### **Çalışma Şekli;**

Saf sinüs dalgası oluşturacak şekilde şebekeye, var olan harmoniklere oranla ters fazda ve eşit genlikte harmonik akımları vermektedir. Filtre devreleri rezonans devrelerine paralel bağlanırlar.

Orta büyüklükteki transformatörlerde 5. harmoniklerin rezonansı çok sık görülmez. 7. harmoniklerin tesiri ise büyük değildir. Bu sebeple genellikle kompanzasyon tesirlerinde büyük tehlike yoktur. Fakat  $\% U_K$  ' sı büyük olan transformatörlerde bu tehlike büyüktür ve kompanzasyon tesisi projelendirilmesine dikkat etmek, rezonans olayının gerçekleşmesine mani olacak şekilde tedbirler almak gerekir.

### **5.3. Harmonik Kirlenmeye Sebep Olan Cihazlar**

- 1- Alternatif akım doğru akıma çeviren cihazlar
- 2- Kaynak makineleri
- 3- Elektronik hız kontrol cihazları

- 4- Tristör kontrollü devreler
- 5- Ark fırınları
- 6- Manyetik çekirdekli cihazlar
- 7- Elektrik arkı ile çalışan cihazlar
- 8- Ark ocaklarında kullanılan Tristör kontrollü reaktif güç kontrol üniteleri
- 9- Kesintisiz güç kaynakları
- 10- Aydınlatma sistemleri
- 11- Doymaya uğramış reaktörler

#### 5.4. Şebeke Üzerine Etkileri

- 1- Manyetik çekirdekli cihazlarda (Motor, trafo vb) aşırı ısınmalar,
- 2- Kapasitör banklarında sigorta atmaları, yalıtkan içinde oluşan kısmi deşarjlar sonucu kısa sürede bankların arızalanması,
- 3- Sayaç ve ölçü aletlerinde hatalı okuma,
- 4- Koruma rölelerinin hatalı çalışması,
- 5- Her türlü redresör, hız kontrol ünitesi, Kesintisiz güç kaynağı gibi cihazlarda performans düşmesi oluşabilir.

#### 5.5. Kritik Kondansatör Gücü

Bir Tesisin kompanzasyonu için hesaplanan kondansatör gücü, belirli bir harmonikte kritik kondansatör gücüne eşit ya da yakın çıkarsa rezonans olasılığı var demektir. Paralel rezonans olasılığının söz konusu olduğu devrelerde kritik kondansatör gücü,

$$Q_C = \frac{1,1 \cdot S_K''}{V^2} \quad (5.28)$$

bağıntısından, seri rezonans ihtimalinin olduğu devrelerde ise;

$$Q_C = \frac{S_T}{V^2 \cdot U_K \cdot \sin U_K} \quad (5.29)$$

formülünden hesaplanır. Burada;

$S_K$  ; Tesisin kısa devre gücü,

$V$  ; Harmonik derecesi,

$U_K$  ; Kısa devre faz açısı

## 5.6. Kondansatörlerin Devreye Sokulup Devreden Çıkarılmaları

Kompanzasyon tesislerinin sağlıklı işletilmesinin en önemli unsurlarından biri de kondansatörlerin devreye sokulmaları, paralel bağlanmaları ve devreden çıkarılmalarıdır. Bu durumda, geçici olaylar sonucu akım ve gerilim değerlerinde anormal değişimler olabilmektedir. Kondansatörlerin devreye sokulması ve mevcut kondansatör gruplarına kondansatörlerin paralel bağlanması olarak ayrı ayrı incelenmelidir. İlk durum bireysel kompanzasyonda söz konusu olur ve oldukça basittir. Fakat merkezi kompanzasyonda karşılaşılan ikinci hal oldukça zor şartlar altında gerçekleşir.

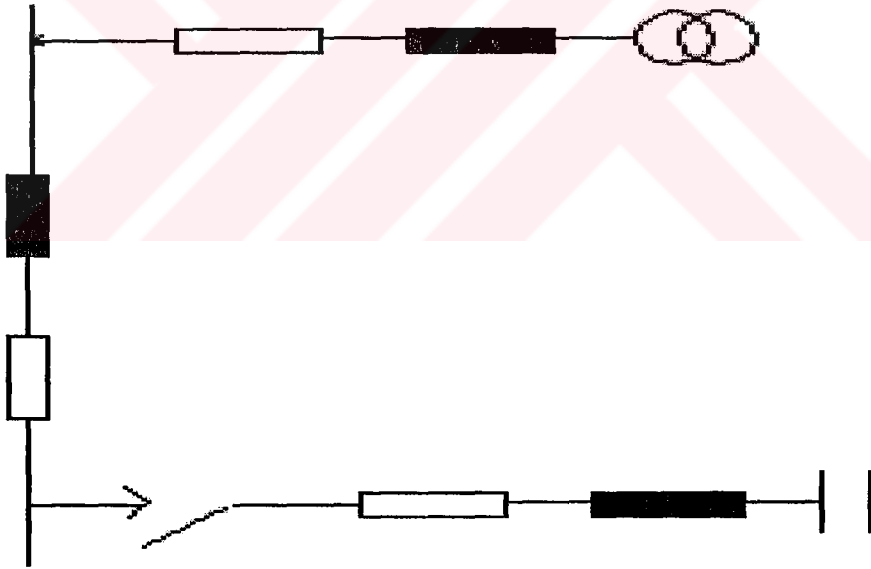
Kondansatörlerin devreye sokuldukları an, pratik olarak bir kısa devreye tekabül eder. Daha sonra geçici olaylar baş gösterir. Bu durum, kondansatörler stasyonær yük değerine doluncaya kadar devam eder. Geçici olaylar esnasında değişen akımın frekansı, devrenin karakteristik değerlerine göre, birkaç yüz hertz ile birkaç bin hertz arasında değerler alır ve bununla birlikte, nominal akımın 30 katına kadar çıkan çok büyük akım darbeleri görülür. Bunlarda kontaktörleri aşırı derecede zorlarlar. Kondansatörleri devreye sokarken oluşan geçici olaydaki akımın amplitüdünü ve frekansını, kondansatörün kapasitesi, kapanan devredeki reaktanslar, şebeke geriliminin amplitüdü ve bağlanmanın gerçekleştiği andaki gerilim tayin eder. Besleyen transformatorün nominal gücü arttıkça ve buna bağlı olarak kısa devre reaktansı düştükçe, besleme hattının reaktif direnci azaldıkça ve kondansatörün gücü arttıkça kondansatöre ait bağlama elemanları daha fazla zorlanırlar.

Kondansatörlerin devreden çıkarılması esnasında ise meydana gelen olaylar şu şekilde özetlenebilir. Bilindiği üzere, kapasitif bir alternatif akım devresinde faz bakımından akım, gerilimden  $90^\circ$  ileridedir.

Alternatif akım devrelerinin açılmasından en uygun an, akımın sıfırdan geçtiği andır. Şayet bundan sonra anahtar kontakları arasında yeniden bir ark tutuşması olmazsa, anahtar devreyi kesin açmış olur.

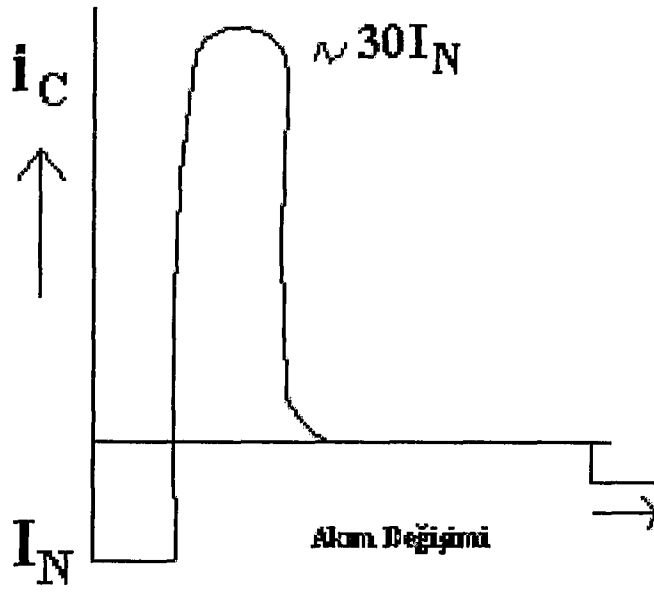
Şimdi anahtarların kapasitif devreyi  $i=0$  anında açmış olduğu kabul edilsin. Bu anda kondansatör gerilimi tepe değerindedir. Anahtarın açılmasından sonra kondansatörün bu yüke ve  $U_{max}$  değeri sabit kalır. Şebeke gerilimi sinüzoidal olarak değiştiğinden yarı periyot sonra anahtarın şebekeye bağlı kontakları  $U_{max}$  değerini alır. Böylece açık bulunan kontaklar arasında  $2 U_{max}$  gibi bir potansiyel farkı bulunmuş olur. Bunun için kontakların açılmasında yarı periyot sonra, yeniden ark tutuşması olmadan kontaklar bu gerilime dayanmalıdır. Bu yüzden anahtar nominal akımın gerektirdiğinden daha büyük seçilir.

Kondansatörlerin diğer kondansatör gruplarına paralel bağlanmaları, genellikle ayarlı merkezi kompanzasyon sistemlerinde görülür. Bu durumda, ilk anda devrede bulunan kondansatörler, yeni bağlanan kondansatörleri üzerine kısmen boşalırlar, yani devredeki kondansatörler, yeni bağlananlar için ilave bir akım kaynağı oluştururlar. Paralel bağlama da oluşan akım darbesi, nominal akımın 150 katından daha büyük değerlere ulaşabilir. Şekil 14' te yalnız başına şebekeye bağlanan bir kondansatörün ilk anda çektiği akım darbesi gösterilmiştir.

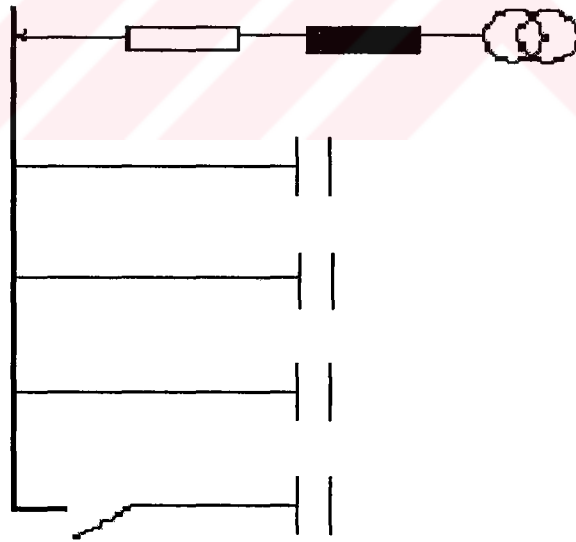


### Tesis Bireysel Kompanzasyon

a)

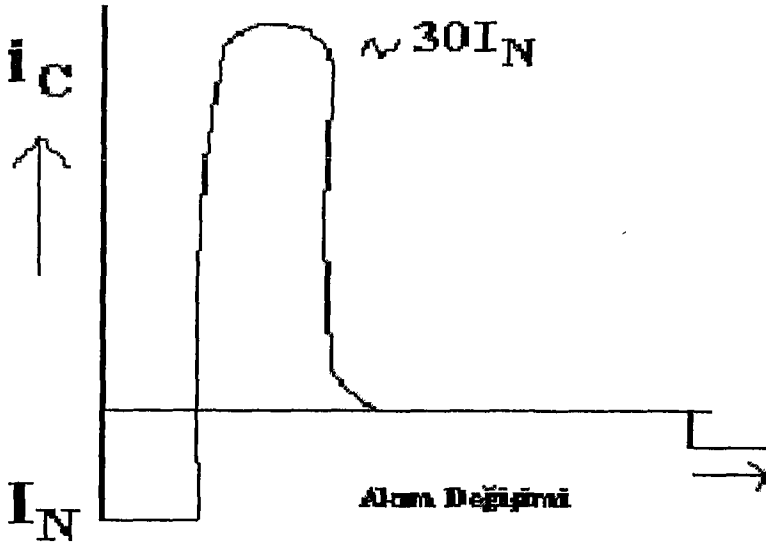


b)



Tesis Merkezi Kompanzasyon

c)



d)

**Şekil 14.** Kondansatörlerin Şebekeye Bağlanmaları Anında Geçici Akım Darbeleri

Kapama esnasında baş gösteren akım darbelerini düşürmek için kondansatör reaktanslarından veya kondansatör kolları arasında bağlanan reaktanslardan yararlanır.

Kontakların hangi oranlarda yüklenip zorlanacağı şu faktörlere bağlıdır.

- Şebekeye bağlı bulunan anahtarların güçleri ile bunlara paralel bağlanacak olan kondansatörlerin güçleri arasındaki oran,
- Kondansatörler arasındaki bağlantılı iletkenlerinin uzunluğu, yani direnç ve self etkisi,
- Kondansatörlerin öz endüktansına,

Şebekenin ohmik direnci ile reaktif direncini, kondansatörün kapasitesine seri bağlamak ile bir titreşim devresi oluşur. Ancak rezonans olma ihtimali çok düşüktür.

Harmonikli kondansatör akımı, temel harmonik akımından yaklaşık %30 daha büyük olup, bu da kondansatörün aşırı yüklenmesine yol açabilir. Bunun için harmonikli akımın efektif değeri, anahtarın nominal işletme akımından hiçbir zaman daha büyük olmamalıdır. Bu yüzden kondansatöre kumanda edecek olan anahtarlar, nominal kondansatör gücünden 1/3 oranında daha büyük seçilirler.

Kondansatörleri devreye alıp çıkarırken akımları makul sınırlar içinde bırakmak için ilave tedbirler gereklidir. Bunlar arasında en önemli olanları, anahtar ile kondansatör arasına ilave endüktanslar yerleştirmek gerekir.



## BÖLÜM 6. KOMPANZASYON TESİSLERİNİN TASARLANMASI VE KOMPANZASYON UYGULAMALARI

Reaktif güç kompanzasyonu amacıyla yapılan tesislerde normal işletme koşullarının yanı sıra bir takım faktörlerinde göz önünde bulundurulmaları gerekir. İşte bu faktörler, kondansatörlerin devreye sokulması ve çıkarılması sırasında meydana gelen geçici rejim olayları ile rezonans olaylarıdır. Bu faktörlerden dolayı elemanlar nominal değerlerinin üzerinde boyutlandırılırlar.

### 6.1. Kondansatörler

Reaktif güç üretiminde statik faz kaydırıcı olarak kullanılan kondansatörlerin kayıpları nominal güçlerinin %50' sinin altında ve bakım masrafları ihmal edilecek kadar azdır. Ayrıca, kondansatörlerle istenilen her güçte bir reaktif güç kaynağı teşkil edilebileceği gibi bunları tüketicilerin yanlarına kadar götürüp hemen bunların uçlarına bağlamak ve böylece orta ve alçak gerilim şebekelerini de reaktif gücün yükü altından kurtarmak mümkün olur.

Kondansatörlerin birim kVAR başına maliyeti, orta büyüklükteki senkron kompanzatörlerin kinden daha düşük olduğu için de kondansatörler tercih sebebidir. Kondansatörlerin tesisi kolay olup, kolayca genişletilerek gücü arttırılabilir. Tüketici ihtiyacına göre güç ayarı yapılabilir, işletme emniyeti çok büyük, ömürleri uzun, bakımları kolay ve basittir.

Günümüzde şebekelerde güç katsayısının düzeltilmesi için kullanılan kuvvetli akım güç kondansatörleri 4 ayrı şekilde üretilmektedirler.

1-Kağıt yalıtkanlı tip (Sade kağıt+Askarel (Saf kağıtlı emprenyeli teknoloji));

En eski ve ilk uygulanan tip olup kayıplarının büyüklüğü ve büyük hacim gerektirmesi nedeniyle bugün artık kullanılmamaktadırlar.

2- Karma dielektrik yani düz polipropilen film+kağıt+Askarel teknoloji (Emprenyeli);

Gerilim dalgalanmalarına dayanıksızlığı ve emprenye zorlukları nedeniyle fazla tercih edilmezler. Kayıpları 1,5 W/kVar' dır.



3- Metalize polipropilen film+ilaveten epoksi veya poliüretan reçineli veya bitkisel yağlı (Emprenyesiz);

Son yıllarda oldukça geniş kullanım alanı bulan bu tip kondansatörler, kendi kendini onaran olarak ta adlandırılır. Polipropilen film üzerine alüminyum püskürtmek suretiyle tek katta hem iletken, hem de yalıtkan elemanların elde edilmesi mümkündür. Gerilim dalgalanmalarından etkilenen alüminyum yoğunlaşması ilkesine dayanan kendi kendini onarma özelliği, avantajlı yanı olmak ile birlikte giderek kapasite değerinin düşmesi dezavantajı da vardır.

Kondansatörün gücü kapasiteyle doğru orantılı olduğundan, bu tip kondansatörlerin zamanla kVar gücü zayıflar. Kayıpları 0.5 W/kVar' dır.

4- %100 Pütüklü polipropilen film+non polar sıvılı teknoloji (Emprenyeli);

Bu sistemle hem kapasite kaybı önlenmiş, hem de kayıplar düşürülerek daha küçük hacimlere sığabilme özelliği kazanılmıştır. Bu sayede gerek görülen reaktif güç uzun yıllar aynı değerde tutulabilir. Kayıpları 0.2 W/kVar' dır.

Yaklaşık olarak 400 Volta kadar olan gerilim kademelerinde kondansatörler gayet ekonomik bir şekilde imal edilmektedirler. Bu bölge içinde her bir kVar için gerekli olan hacim sabittir. Daha yüksek gerilimlerde bu hacim değeri daha küçüktür. Yüksek gerilimlerde genellikle 1.15 kW' lık kondansatörün bir kaçı seri bağlanır, bu durumda kondansatör levhası ile inadeni muhafaza arasında birbirine ve toprağa karşı izolatörler ile yalıtılmaktadırlar. Böylece 110 KV' tan daha yüksek gerilimler için kondansatör bataryaları imal edilebilir.

Kondansatörler çeşitli güç ve gerilim kademelerine göre imal edilirler. Dolayısıyla istenilen kapasiteyi elde etmek için bunlardan belirli sayıda eleman bir araya getirilerek bir batarya oluşturulabilir. Normalize gerilim kademeleri; alçak gerilimde 230,400,525 ve 600 voltur. Yüksek gerilim kademeleri; 3,3 . 6,6 . 10,5 .15,75 ve 30 KV' tur. Kondansatörler devamlı olarak bu gerilimlerin %10 fazlasına ve bir günde 6 saat süre ile %15 fazlasına bağlanabilir. Bu durumda güçleri, nominal güce göre %21 veya %32 oranında artmış olur.

Kondansatörlerin ömürleri sıcaklık derecelerine bağlı olduğundan iç tesislerde kullanılan kondansatörler nominal olarak -10<sup>0</sup>C ile +35<sup>0</sup>C arasındaki sıcaklıklarda kullanılacak şekilde

yapılırlar. Eğer kendi kendine soğutma şartları gerçekleşmezse özel havalandırma yapılması gerekir.

## 6.2. Anahtarlar

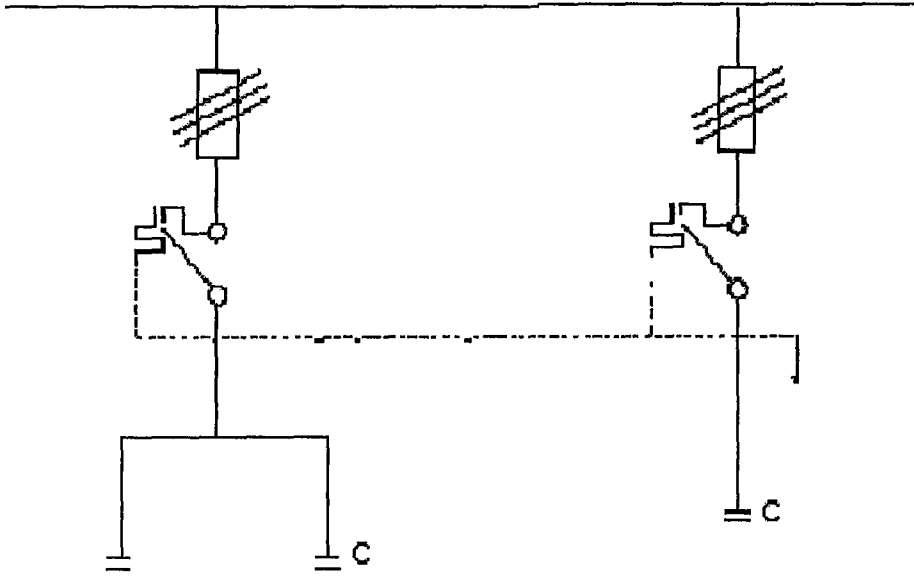
500 V' a kadar olan alçak gerilim tesislerinde kondansatörler için yük anahtarları kullanılır. Açma sırasında ark tesiriyle kontakların yanmasını önlemek için yük anahtarları nominal akımının 1,25 -1,8 katında göre seçilirler.

Kondansatörlerin kapama akımları çok büyük olduğundan bunu sınırlandırmak için kondansatöre seri bir direnç bağlanır, geçici olaydan sonra bu direnç devreden çıkarılır. Kondansatöre gelen hatların uzun tutulmasıyla hattın empedansı büyütülmüş olur ve bu sorun çözülebilir.

Bir diğer sorunda kondansatörler devreden çıkarıldıklarında madeni folyeler üzerinde bir elektrik yükünün kalmasıdır. Bu yükün normal yoldan, izolasyon direnci üzerinden kendiliğinden boşalması uzun zaman alacaktır ve bu yükler işletme personeli için tehlikeli olmaktadır.

Ayrıca henüz boşalmamış bir kondansatörün tekrar devreye verilmesi şiddetli dengeleme akımları meydana getirir. Bu gibi tehlikeli durumların meydana gelmemesi için devreden çıkan kondansatörlerin en kısa zamanda boşalması istenir. Bunu için kontaktör kapanırken bir ön direnç üzerinden kapanan ve açılırken kondansatör uçlarını bir boşalma direnci üzerinden topraklayan özel kondansatör anahtarları vardır.

Şekil 15' te kondansatörlerin anahtarlar üzerinden devreye bağlantısı gösterilmiştir.



Şekil 15. Kondansatörlerin Anahtarlar Üzerinden Devreye Bağlanması

### 6.3. Sigortalar

Kondansatörleri genellikle kısa devrelere karşı sigortalar korur. Kondansatörün devreye girerken çektiği akımın büyük olduğu, otomatik olarak ayarlanan tesislerde kondansatörlerin devreye girip çıkma frekansının oldukça yüksek oluşu ve tristörle kumanda edilen tesislerde meydana gelen yüksek harmoniklerin tesiri göz önüne alınarak, sigorta akımları, nominal kondansatör akımından %70 kadar daha büyük seçilir. Gecikmeli tip sigorta tercih edilir, aynı zamanda sigortanın aşırı yükte devreyi kesmesi istenir.

Kondansatörler işletmeye alınırken çektikleri akım ve ilave şebeke harmonikleri göz önüne alınarak, sigortalar kondansatör nominal akımının 1,7 katı kadar bir değerde seçilmelidir. Örnek olarak; 50 kVAR'lık bir üçgen bağlı kondansatörü koruyan sigorta,

$$Q_C = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad (6.1)$$

$$I_C = \frac{Q_C}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{50.000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 76 \text{ A}$$

$$I_{\text{Sigorta}} = (1,7) \cdot (76) = 129 \text{ A}$$

yani yaklaşık olarak 125 A olarak seçilebilir.

#### 6.4. İletkenler

Kondansatör tesislerinde kullanılan iletkenlerin kesitleri başlangıç darbe akımları göz önüne alınarak, belirli bir akım şiddeti için normal tesislerde seçilen kesitlerden daha büyük seçilir.

Şayet kondansatörler sigortalara ilave olarak bir de bimetal termik röle ile korunurlarsa, VDE' ye göre hat kesitleri, sigortalara uygun olarak seçilen kesitlerden 3 kademe daha büyük seçilebilir.

#### 6.5. Boşaltma Dirençleri

Tekli kompanzasyonda olduğu gibi motor veya transformator uçlarına sahip olarak bağlanan kondansatörler için bir boşaltma direncine ihtiyaç yoktur, motor veya transformator devreden çıktığında, söz konusu kondansatörde bunların sargısı üzerinden boşalır. Bir sigorta ve anahtar üzerinden bağlanan kondansatörler ise devreden çıkarıldıklarında bir boşalma direnci üzerinden topraklanırlar. Dolu bir kondansatör bir direnç üzerine bağlanırsa, zamana bağlı olarak e fonksiyonuna göre,

$$U_1 = U_2 \cdot e^{-t/T} \quad (6.2)$$

$$\tau = R \cdot C \quad (6.3)$$

şeklinde boşalır. Burada;

$U_1$  : Dolu kondansatörün gerilimini,

$U_2$  : Boşalmış kondansatörün artık gerilimi

$t$  : Boşalma zamanını

$\tau$  : Boşalma zaman sabitesini

$R$  : Boşalma direncini

$C$  : Kondansatörün kapasitesini

gösterirler.

Teorik olarak kondansatör sonsuz zamanda boşalırsa da pratikte yaklaşık olarak  $5 \tau$  zamanı içinde boşaldığı kabul edilir. VDE' ye göre boşaltma direncini hesaplamak için kondansatör

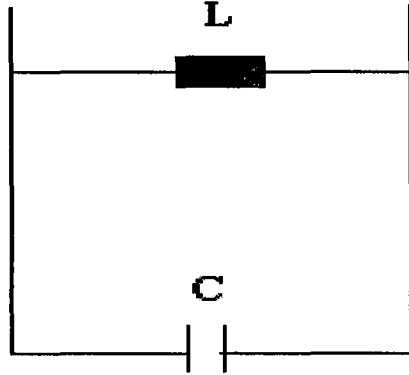
uçlarındaki gerilimin bir dakikada 50 V' a düşmesi ön görülür. Kondansatör işletme geriliminin nominal geriliminden %15 fazla olduğu da göz önüne alınarak boşaltma direnci

$$R = \frac{1}{C} \cdot \frac{60 \text{ s}}{I_N \cdot 1,15 \cdot U_N - I_N \cdot \frac{50}{\sqrt{2}}} \quad (6.4)$$

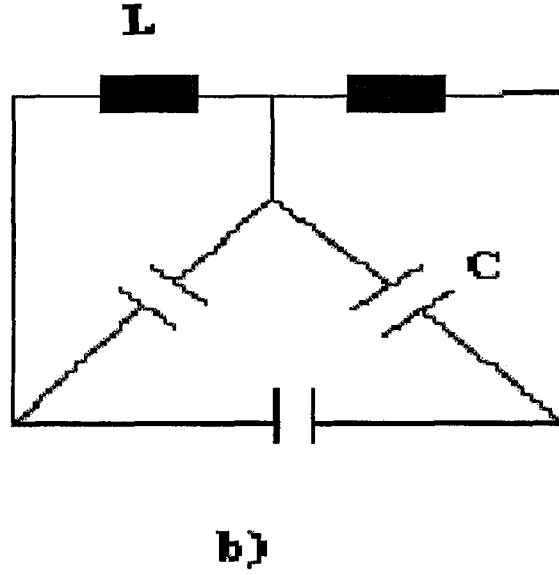
denklemleri ile hesaplanır.

Boşaltma direnci yerine bobinlerde kullanılabilir. 1 dakikada 50 V gerilim seviyesine düşebildiği gibi gerilimin %10 mertebesine düşmeden de temin edilebilir. Boşaltmada kondansatörle paralel bağlı bobin bir salınım devresi teşkil eder.

Kondansatör üzerinde toplanmış bir gerilim, kondansatörün devreden çıkmasıyla bir akım kaynağı gibi düşünülebilir. Bu frekansın sıfır olması demektir. Dolayısıyla  $X_L = 2 \pi f L$  de sıfır olacak ve kondansatör direnci sıfır olan bobin üzerinden boşalacaktır. Bobin (endüktif direnç) kondansatör devredeyken yüksek direnç göstereceğinden kondansatörle devrede kalabilirler. Dirençlere göre daha az kayıpları vardır. Bobinlerin bağlantı şekilleri Şekil 16' da gösterilmiştir.



a)



**Şekil 16. Bobinlerin Bağlantı Şekilleri**

- a) Bir fazlı bağlantı
- b) V bağlantı

## 6.6.Kontaktörler

Küçük güçteki elektromanyetik anahtarlara, röle veya yardımcı kontaktör, büyük güçteki elektromanyetik anahtarlara kontaktör denir. Kumanda yöntemlerine göre Kontaktörler üç tipe ayrılırlar.

### 1- Elektromanyetik Kontaktör ;

Elektromanyetik kontaktör, ana kontaklarının kapama ya da açma işlemleri için gerekli kuvvetin bir elektromıknatis tarafından sağlandığı kontaktöre denir.

### 2- Basıncılı Havalı Kontaktör;

Basıncılı havalı kontaktör, ana kontaklarının kapama ya da açma işlemleri için gerekli kuvvetin, elektriksel bir araç kullanılmaksızın, basıncılı hava ile sağlandığı kontaktör dür.

3- Elektrik Basınçlı Havalı Kontaktör (Elektro – Pnömatik) ;

Elektro Pnömatik kontaktör, ana kontaklarının kapama ya da açma işlemleri için gerekli kuvvetin, elektrikle çalıştırılan valfler ile kontrol edilen basınçlı hava ise sağlandığı kontaktör dür.

### 6.7. Kompanzasyon Tesislerinin Tasarlanması

Kompanzasyon tesisleri tasarlanmadan önce tesisin şebekeden çekmiş olduğu görünür (zahiri) gücün ve buna ait  $\cos \Phi_1$  güç katsayısının bilinmesi gerekir. Ayrıca, güç katsayısının düzeltilmesi için planlanan değer olan  $\cos \Phi_2$  değerinin bilinmesi gerekir. İşte bilinen bu değerlere göre sistemin ihtiyacı olan kondansatör toplam gücünün hesabı yapılır. Sistemdeki yüklerin ayrı ayrı güçlerinin bilinmesi de önem kazanmaktadır, çünkü yükler düşük güçlü yüklerden oluşuyor ve değişken ise bu da kondansatör bataryalarının dizilişi için önemlidir. Bir kompanzasyon panosunun tasarlanmasını isterseniz bir örnek ile açıklayalım.

Mevcut tesisteki güçler şu şekilde olsun;

Aydınlatma gücü ( $P_a$ ) = 8 kW,

Çevre aydınlatma gücü ( $P_ç$ ) = 9,6 kW,

Su motoru ( $P_{su}$ ) = 1,5 kW,

Kazan dairesi ( $P_k$ ) = 15 kW,

Sirkülasyon pompası ( $P_s$ ) =  $2 \times 7,5 = 15$  kW,

Pis su motoru ( $P_{ps}$ ) = 4,5 kW,

Priz gücü ( $P_p$ ) = 4 kW,

Asansör gücü ( $P_{as}$ ) = 7,5 kW,

Klima gücü ( $P_{kl}$ ) = 3 kW olsun.

Tesisin toplam aktif gücü  $P_1$  ise;

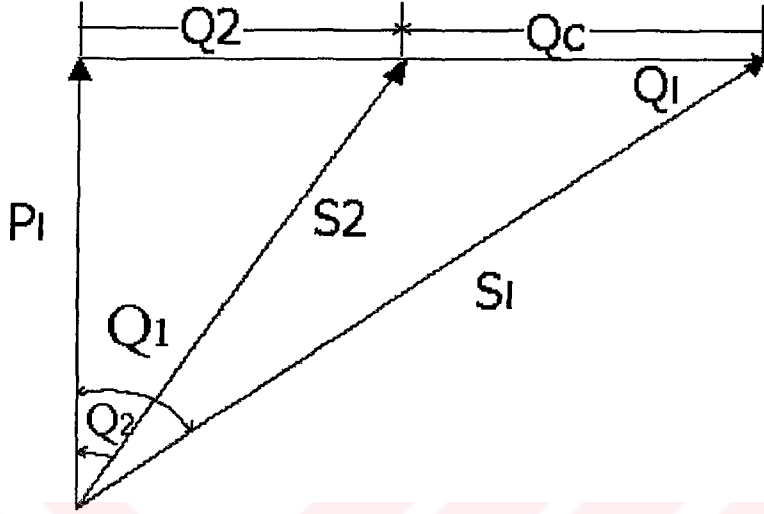
$$\begin{aligned} P_1 &= P_{\text{Toplam}} = P_a + P_ç + P_{su} + P_k + P_s + P_{ps} + P_p + P_{as} + P_{kl} \\ &= 8 + 9,6 + 1,5 + 15 + 15 + 4,5 + 4 + 7,5 + 3 \\ &= 68,1 \text{ kW} \end{aligned}$$

Mevcut güç katsayısı,  $\cos \Phi_1 = 0,70$  ve

Yükseltilecek güç katsayısı,  $\cos \Phi_2 = 0,90$  olsun,

Buna göre;

Sistemde kurulacak olan kompanzasyonda kullanılması gereken kondansatör gücü  $Q_c$ ; Şekil 17' deki fazör diyagramına göre hesaplanabilir.



Şekil 17. Fazör Diyagramı

Kompanzasyondan evvelki reaktif güç,

$$Q_1 = P_1 \cdot \tan \Phi_1$$

kompanzasyondan sonraki reaktif güç,

$$Q_2 = P_1 \cdot \tan \Phi_2$$

dir. Buna göre kondansatör gücü için

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P_1 \cdot (\tan \Phi_1 - \tan \Phi_2)$$

elde olunur. Burada  $\tan \Phi_1$  ve  $\tan \Phi_2$

$$\tan \Phi = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \Phi}}{\cos \Phi}$$

bağıntısından yararlanarak  $\cos \Phi_1$  ve  $\cos \Phi_2$  hesaplanabilir. Eğer açılarının tanjantlarının farkı,



$$\tan \Phi_1 - \tan \Phi_2 = k$$

gibi bir katsayı ile gösterilirse,

Kondansatör gücü  $Q_c$ ,

$$Q_c = P_1 \cdot k = P_1 \cdot (\tan \Phi_1 - \tan \Phi_2)$$

bulunur. Burada  $k$  katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanabileceği gibi Tablo 1' den de hesaplanan değeri alınabilir.

Örneğe göre;

$$\tan \Phi_1 = \frac{\sqrt{(1 - \cos^2 \Phi_1)}}{\cos \Phi_1} = \frac{\sqrt{(1 - 0,70^2)}}{0,70} = 1,02$$

$$\tan \Phi_2 = \frac{\sqrt{(1 - \cos^2 \Phi_2)}}{\cos \Phi_2} = \frac{\sqrt{(1 - 0,90^2)}}{0,90} = 0,48$$

bulunur.

$$Q_c = P_1 \cdot (\tan \Phi_1 - \tan \Phi_2) = k \cdot P_1 \text{ olduğundan,}$$

$$Q_c = (68,1) \cdot (1,02 - 0,48) = (68,1) \cdot (0,54) = 36,7 \text{ kVAR}$$

bulunur.  $k$  katsayısının Tablo 1' e bakılırsa 0,54 katsayısında olduğu görülmektedir.

35 kVAR olarak otomatik kompanzasyon grubu yapılabilir. Çünkü kondansatörler standart olarak (2,5), (5),(7,5),(10),(15) ve (20) kVAR olarak üretilmektedirler. 1 ve 1,5 kVAR değerlerindeki kondansatörler özel olarak üretilmektedirler.

Bu örnekte verilen sistemde güçlerin değişken ve birbirinden bağımsız güçlerden oluştuğu görülmektedir. Bunun için en iyi kompanzasyon şekli otomatik yani merkez kompanzasyondur.

Bu aşamadan sonra kondansatör bataryalarının kaç kademeli olacağı belirlenir. Bu sistemde küçük güçlü yükler olduğundan fazla adımlı batarya grubu kullanılması daha uygun olacaktır. Bu

adımlama yapılırken seçilecek reaktif güç kontrol rölesine göre seçim yapılır. Mesela bu sistem için en ideali 8 kademeli reaktif güç kontrol rölesinin seçilmesidir. Buna göre;

1. Grup : 2,5 kVAR
2. Grup : 2,5 kVAR
3. Grup : 5 kVAR
4. Grup : 5 kVAR
5. Grup : 5 kVAR
6. Grup : 5 kVAR
7. Grup : 5 kVAR
8. Grup : 5 Kvar şeklinde dizilebilir.

Sigorta seçimi yapılacak olursa;

2,5 kVAR için,

$$I_c = \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3} \cdot 380} = 3,8 \text{ A}$$

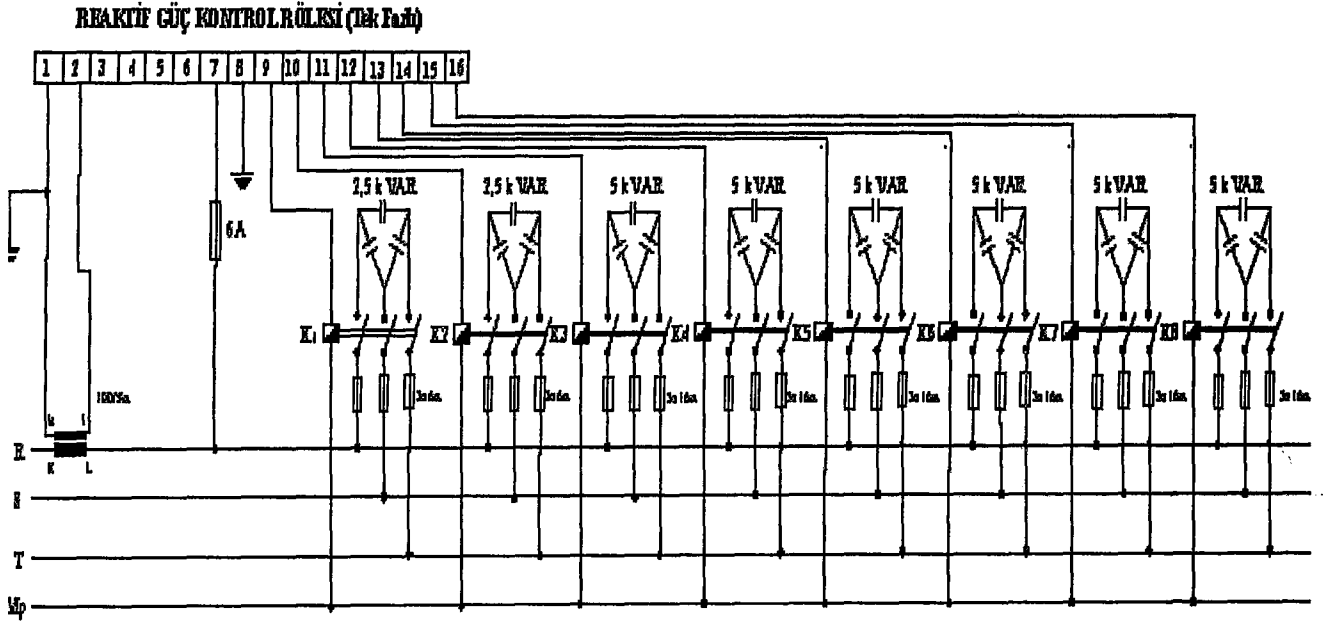
I sigorta = (1,7) . (3,8) = 6,46 A olur ve standart değerlikli olan sigortalardan 6 A' lik grup sigorta seçilebilir.

5 kVAR için hesaplanırsa;

$$I_c = \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3} \cdot 380} = 7,6 \text{ A}$$

I sigorta = (1,7) . (7,6) = 12,9 A olur ve standart değerlikli olan sigortalardan 16 A' lik grup sigorta seçilebilir.

2,5 kVAR için 9A' lik kontaktör, 5 kVAR için 16 A' lik kontaktör kullanılmalıdır. 2,5 ve 5 kVAR' lık kondansatör bağlantıları için 3x2,5 mm<sup>2</sup>' lik kablo kullanılmalı yeterlidir. Şekil 18' de tesis için tasarlanan kompanzasyon panosunun bağlantı şeması görülmektedir.



**Şekil 18. 8 Kademeli Tek Fazlı Reaktif Güç Kontrol Röleli Kompanzasyon Bağlantı Şeması**

Röleye gerekli olan akım bilgisini sağlayacak olan akım trafosu,

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{68,1}{\sqrt{3} \cdot 380} = 103 \text{ A}$$

yani 100/5 A olarak seçilebilir.

Röle üzerindeki C/k ayarı ise,

1-Grup kondansatör gücü = 2,5 kVAR

Akım trafosu dönüştürme oranı  $k = 100/5 = 20$

olduğuna göre,

$$C = \frac{2,5}{k} = 0,125 \text{ ' e ayarlanmalıdır.}$$

$k \quad (100/5)$

Bazı rölelerde  $\cos \Phi$  ayarı da bulunmaktadır. Bu ayar yükseltilecek güç katsayısı olan  $\cos \Phi_2$  değerine ayarlanmalıdır.

Kompanzasyon gücüne göre kompanzasyon devresi üzerine bir kesici şalterin kullanılması gerekir, bu şalter genellikle termik-manyetik şalterdir. Unların seçimi ise;

$$I = \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot \cos \Phi} = \frac{35000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,90} = 59,1 \text{ A}$$

$$I_{\text{Termik}} = (1,7) \cdot (59,1) = 100,4 \text{ A}$$

Bu değere göre 80-100 A Termik ayarlı termik-manyetik şalter seçilmelidir.

Kullanılacak bara ve kablo kesitleri maksimum akımı taşıyacak şekilde, mesela termik şalterin akımının üstündeki akımı taşıyabilecek şekilde seçilmelidir. Örneğin, 120 A' taşıyan bara kesiti 20/5 Cu olarak, kablo kesiti ise 3x25/16 mm<sup>2</sup> NYY olarak seçilebilir.

Bu sistem hesaplanan değerlere göre montajı yapıldıktan sonra röleyi devreye vermeden önce;

- Akım trafosunun k, l uçları kontrol edilmelidir.
- C/k ayarı yapılmalı,
- Cos  $\Phi$  değeri ayarlanmalı,
- Akım trafosu ile rölenin faz ucunun (tek fazlı röle için) aynı fazda olduğuna dikkat edilmelidir.
- Üç fazlı rölelerde akım trafosunun R fazına bağlı olup olmadığına ve röleye gelen fazların sırasına dikkat edilmelidir.

Bu kontrol ve ayarlar yapıldıktan sonra kompanzasyon tesisi devreye verilmelidir.

**Rölenin Çalışma Şekli;**

Röle çalışmaya başlayınca önce akım trafosu yarımıyla gelen akım bilgisi ile gerilim bilgisini kontrol ederek sistemin o andaki güç katsayısını hesaplar. Hesapladığı bu değer yükseltilmesi gereken değer altında ise şebekeden reaktif güç çekildiğine karar verecek ve ilk önce "baştan al baştan bırak" prensibine göre ilk grup kondansatör bataryasını devreye verecektir.

Bunda sonra da tekrar aynı işlemleri yapacaktır, şayet Cos  $\Phi$  istenilen değere yükselmemiş ise bu sefer ikinci grup devreye verilecektir ve bu işlem Cos  $\Phi$  istenilen değere yükselineye kadar devam edecektir.

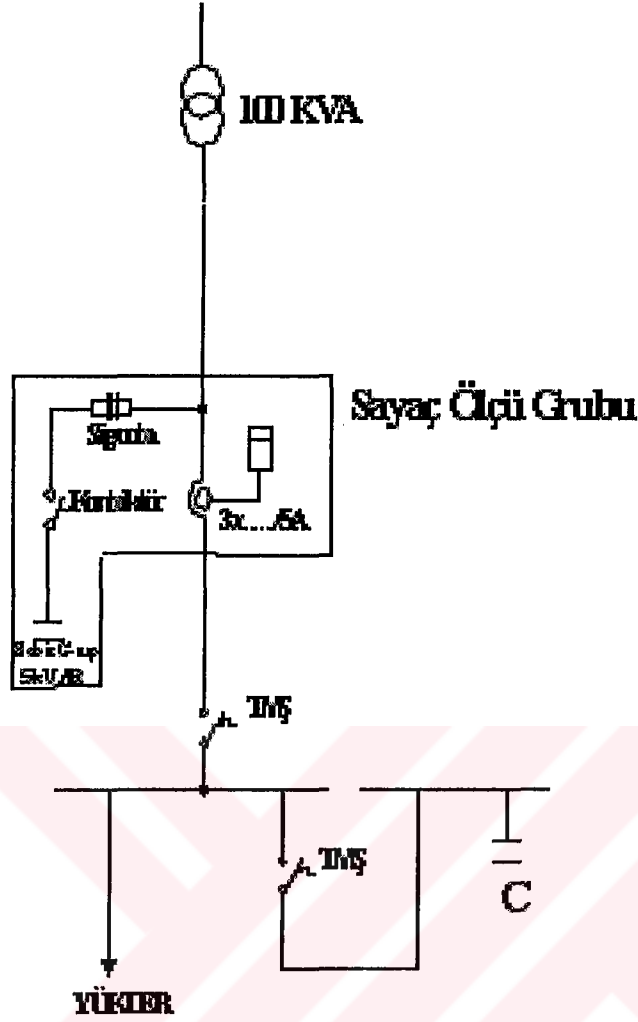
Mesela, şebekedeki yük azaldığı eğer reaktif güç tüketiminin azaldığının röle tarafından algılanması durumunda röle ilk aldığı grup olan 1. gruptan başlayarak devre dışı bırakacaktır.

Örneğin, 1.2. ve 3. grupların devrede olduğunu düşünelim. İhtiyaç azalır 1. grup devre dışı bırakılacaktır. Yani sadece 2. ve 3. gruplar devrede kalacaktır. Tekrar ihtiyaç olursa 1. grup tekrar devreye alınacak, daha sonra 4, 5 vs. devam edecektir. Yani ihtiyaç azaldığında röle bunu algılayınca baştan alınan grubu devreden çıkararak aşırı kompanze yapılmasını önlemiş olacaktır.

### 6.8. Sabit Kondansatör Grubu

Sabit kondansatör grubu trafolu tesislerde trafo kayıplarının karşılanması amacıyla sürekli devrede kalacak şekilde bağlantısı yapılan kompanzasyon grubudur. Trafo gücünün %5 - %10' u arasında bir değere seçilir. Genellikle TEDAŞ tarafından kabul edilen değer olan %5 olarak seçilmektedir.

Örneğin, 100 KVA gücündeki Trafolu bir tesiste sabit kondansatör gücü %5' i olan 5 kVAR olarak tesis edilir. Tesise bağlantısı ise trafo devrede olduğu sürece devrede kalacak şekilde yapılır. Bağlantı şeması Şekil-19' da gösterilmiştir.



Şekil 19. Sabit Kondansatör Grubunun Bağlantı Şeması

## 6.9. Alçak Gerilim Tesislerinde Kompanzasyon Uygulamaları

### 6.9.1. Diyarbakır İl Telekom Müdürlüğü Santral Binası Dağıtım Sistemi

Diyarbakır Türk Telekom İl Müdürlüğü Merkez Santral binasını besleyen 1 adet 1250 KVA gücünde 17.5 /0.4-0.231 KV işletme geriliminde bir adet bina tipi transformatör bulunmaktadır.

Transformatöre ait bazı etiket değerleri Tablo 3' te verilmiştir.

	Tr
<b>Gücü (KVA)</b>	<b>1250</b>
<b>Gerilimi (KV)</b>	<b>17,5/0,4-0,231</b>
<b>Akımı (A)</b>	<b>41/2000</b>
<b>Kısa Devre Gerilimi (%)</b>	<b>5</b>

Tablo 3. Trafo Etiket Değerleri

Dağıtım transformatörleri ile her iki binada bulunan Cross-Bar ve Sistem 12 Santrallerine ait Redresörler ile tüm binadaki iç tesisat, ısıtma ve soğutma sistemleri, 5 adet asansör, sistem klimaları, kesintisiz güç kaynakları, kazan dairesi ve motorları, brülörler, kompresörler, kule pompaları, sirkülasyon pompaları vs beslenmektedir.

#### 6.9.2. Diyarbakır İl Telekom Müdürlüğü Santral Binası Kompanzasyon Sistemi

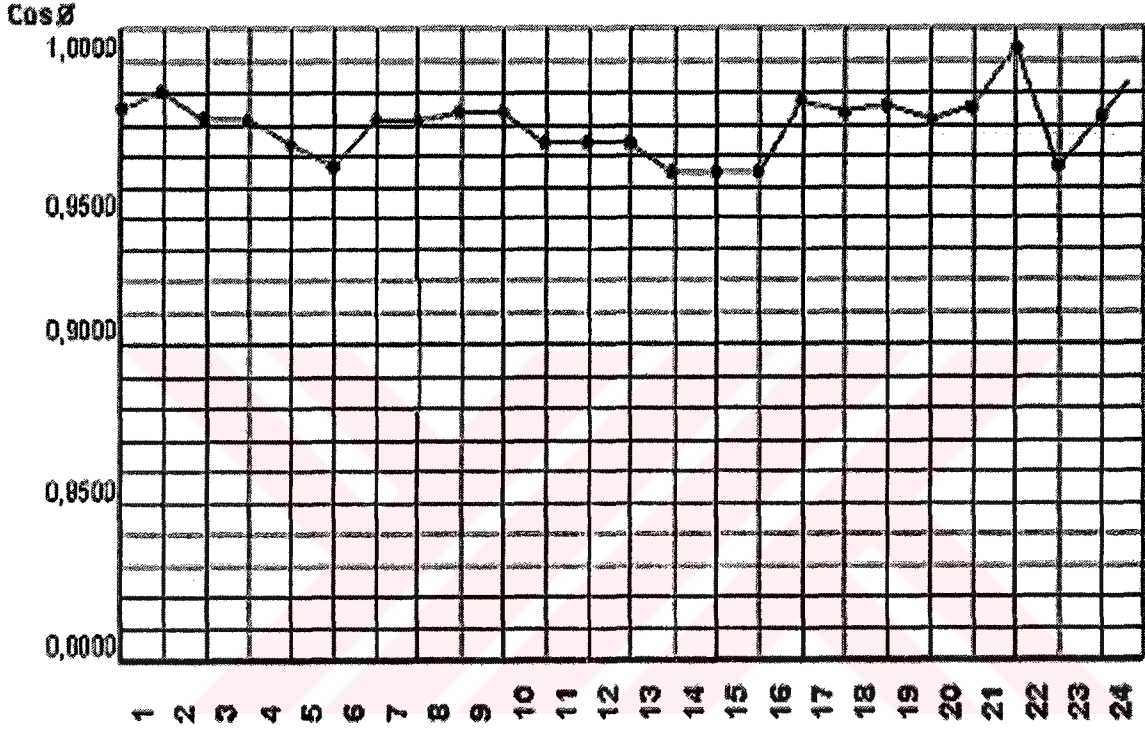
Santral binasına ait 1250 KVA gücündeki transformatörün çıkış yüklerinden en önemlisi telefon santrallerini besleyen Redresör ve bunlara ait santral klimaları oluşturmaktadır. Geri kalan kısmı ise motorlar, iç ve dış aydınlatmalar, kazan dairesi motorları, asansörler, klimalar, vb güçler oluşturmaktadırlar. Enerji ve Tabii Kaynakları Bakanlığı tarafından hazırlanan 17/02/2000 Tarih ve 23967 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan “Güç Faktörü İyileştirme Tebliği” ne göre kurulu gücü 50 KVA ve üzerinde olan elektrik tesislerinde güç katsayısını 0.95-1 arasındaki değere yükseltecek şekilde kompanzasyon tesislerinin kurulması zorunluluğu getirilmiştir.

Bu nedenle tez çalışmamda tarafımdan yapılan ve tek hat şeması üzerinde kompanzasyon hesabı yapılarak çizilen Şekil 21’ deki projede de görüldüğü gibi Diyarbakır İl Telekom Santral binasına yapılan kompanzasyon şeması anlatılmıştır.

Bu kısımda ayrıca, yine İl Telekom Müdürlüğümüze bağlı 7 adet santral binasına da tarafımdan hesaplamaları yapılarak projeleri çizilen kompanzasyon tesisleri anlatılmıştır. Tüm santral

binaları için elektrik faturalarına göre aylık aktif ve reaktif tüketimler ve her ay için ortalama güç katsayısı hesaplanmıştır.

Ayrıca santral binasına ait 1250 KVA gücündeki transformatörün toplam güç değerlerine göre, güç katsayısının 24 saatlik değişimi incelenmiştir. Güç katsayısının gün içinde farklı değerler aldığı görülmektedir.



Şekil 20. Kasım 2002 Ayı 24 Saatlik Güç Katsayısı Değişimi



Saat	Aktif Güç (kW)	Reaktif Güç (kVAR)	Cos Q	Saat	Aktif Güç (kW)	Reaktif Güç (kVAR)	Cos Q
1	502	110	0,9768	13	368	116	0,9537
2	479	86	0,9842	14	465	144	0,9552
3	615	141	0,9747	15	511	126	0,9709
4	643	151	0,9735	16	523	142	0,9650
5	524	142	0,9651	17	605	124	0,9796
6	544	168	0,9554	18	196	48	0,9712
7	725	173	0,9726	19	188	42	0,9759
8	735	174	0,9731	20	388	94	0,9718
9	524	115	0,9767	21	475	102	0,9777
10	413	110	0,9663	22	190	22	0,9933
11	375	106	0,9622	23	470	138	0,9594
12	453	118	0,9677	24	268	164	0,9726

**Tablo 4. 24 Saatlik Aktif, Reaktif Güç ve Güç Katsayıları Değerleri**

Kondansatör gücünün hesabında tüm güçlerin devrede olabileceği ve sürekli eklenen yüklerin olduğu da göz önüne alınarak aşağıdaki şekilde hesaplaması yapılmıştır.

Kondansatörler mikroişlemci kontrollü 12 kademeli reaktif güç kontrol rölesi ile devreye alınıp çıkarılacaktır. Seçilen röle şebekedeki harmonikleri görebilecek kapasitede olduğundan, bu durumda grupları sırayla devreden çıkarabilecek özelliktedir. Her kondansatör ünitesi sigortalar ile korunmaktadır. Röle aşırı ve düşük gerilim korumalı olduğundan ayrıca gerilim koruması

yapılmamıştır. Devreden çıkan kondansatörleri boşaltmak amacıyla kondansatörlerin uçları arasına deşarj dirençleri bağlanmıştır.

Bölüm içerisinde Kasım ayı için güç katsayısının 24 saatlik değişim grafiği ve tüm fiderlerin yıllık aktif güç, reaktif güç ve güç katsayısı değişimleri ile kompanzasyon için gerekli olan kondansatör güçlerinin hesabı verilmiştir.

İl Telekom Müdürlüğü Santral binasına ait kompanzasyon hesabı řu şekilde yapılmıştır;

Transformatör gücü (KVA) : 1250,

Tesisin kurulu gücü ( $P_1$ )= 850 kW,

Başlangıç güç katsayısı ( $\text{Cos } \Phi_1$ ) = 0.74,

Yükseltilecek güç katsayısı ( $\text{Cos } \Phi_2$ ) = 0.90,

Gerekli kondansatör gücü (kVAR) =  $Q_c$ ,

$$Q_c = k \cdot P_1$$

ve k katsayısının  $\text{Tan } \Phi_1 - \text{Tan } \Phi_2 = k$  olduğu ve bu katsayısının da Tablo 1' den alınan değerine göre,

$$k = 0.43$$

olduğu görölmektedir.

$$Q_c = (0.43) \cdot (850) = 365,5 \text{ kVAR}$$

olarak bulunur.

Sistemde sayaç ölçü sistemi OG üzerinde olduğundan, sabit kondansatör grubu olan %5' lik 62.5 kVAR' lık kondansatörde toplam gücüne dahil edilmiştir.

Seçilen kondansatör gücü 362,5 kVAR' dır. Rölenin kumandası için kullanılan akım trafosunun değeri ise,

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{850 \text{ kW}}{\sqrt{3} \cdot 380} = 1291 \text{ A}$$

üst değeri olan 1600/5 A' lik akım trafosu seçilmiştir.



### 6.9.3. Diyarbakır İl Telekom Santral Trafosunun Güç Kapasitesinin Artması

Kompanzasyon yapıldıktan sonra reaktif güç azalacağından transformatörün güç taşımasında önemli ölçüde bir artma olacaktır.

#### 6.9.3.1. Transformatördeki Kapasite Artışı

Kompanzasyondan önce ortalama güç katsayısı  $\text{Cos } \Phi_1=0,74$ , kompanzasyondan sonraki güç katsayısı  $\text{Cos } \Phi_2 = 0,90$  olduğundan (2.12) formülüne göre, kompanzasyondan sonraki transformatördeki kapasite artışı % olarak,

$$\% \Delta S = \frac{\Delta S}{S_1} \cdot 100 = 100 \cdot \left( 1 - \frac{\text{Cos } \Phi_1}{\text{Cos } \Phi_2} \right)$$

$$\% \Delta S = 100 \cdot \left( 1 - \frac{0,74}{0,90} \right) = \% 17,77$$

olarak bulunur. Transformatörün toplam gücü 1250 KVA olduğuna göre

$$S = (0,1777) \cdot (1250) = 222,12 \text{ KVA}$$

Yani transformatörü 222,12 KVA kadar fazla yüklenecek olur.

#### 6.9.3.2. Santral Transformatörlerindeki Isı Kayıplarındaki Azalma

Kompanzasyon sonunda akımdaki azalmadan dolayı ısı kayıplarında azalma sağlanacaktır. (2.19) formülüne göre her santral trafo hattı için ısı kayıplarındaki azalma miktarı Tablo 5' te verilmektedir.

Santral Adı	Kompanzasyondan Önceki Güç Katsayısı Cos Q1	Kompanzasyondan Sonraki Güç Katsayısı Cos Q2	Isı Kayıplarındaki Azalma Oranı % Z
İl Müd.Santral	0,74	0,90	32,40
Bağlar Santral	0,78	0,95	32,58
Tevsii Santral	0,88	0,99	26,56
Huzurevleri Santral	0,84	0,98	36,11
Talattepe R/L	0,91	0,99	18,35
Pirinçlik R/L	0,92	0,99	15,79
Bismil	0,85	0,95	19,94

**Tablo 5. Isı Kayıplarındaki Azalma Oranları**

Isı kayıpları akımın karesiyle orantılı olduğu için, ısı kayıplarında büyük bir azalma olduğu gözlenmektedir. Bu da dağıtım kayıpları çok yüksek olan şebekelerimiz için büyük bir kazançtır.

### 6.9.3.3. İl Müdürlük Santral Binasındaki Gerilimin Yükselmesi Durumu

Transformatörlerde kompanzasyon yapılmadan önce yükleme esnasında yük durumuna göre bir gerilim düşümü olmaktadır. Kompanzasyon yapılırken aşırı kompanzasyon yapılırsa bu da şebekede gerilim yükselmesine sebebiyet verebilir. İşte bu durumun önlenmesi için aşırı kompanzasyondan daima sakınmak gerekir.

Bir transformatörün çıkışına kompanzasyon yapıldığı zaman, transformatörün düşük güç çekildiğinde veya hiç güç çekilmediği zaman çekilen endüktif akım düşer. Kondansatör tam değeri ile gerilime bağlı olduğu takdirde kapasitif akımın fazlası transformatör üzerinden şebekeye geçer. Bu durumda kondansatörün bağlı olduğu taraftaki gerilim yükselir. Transformatörün bağlı kısa devre gerilimi %  $U_k$  ise, (1250 KVA için %  $U_k = 5$ ), bu gerilim yükselmesi yüzde cinsinden yaklaşık olarak şöyle hesaplanır. (2.25) formülünden,

$$\% \varepsilon = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{Q_c}{S_{Tr}}$$

$$\% \varepsilon = \frac{5}{100} \cdot \frac{(362,5)}{1250} = \% 1,45$$

Burada  $Q_c$  KVAR cinsinden kondansatör gücünü,  $S_{Tr}$  KVA cinsinden transformatör gücünü gösterir. İşte bu tip gerilim yükselmelerinin önlenmesi için otomatik kompanzasyon yapmak gereklidir.

#### 6.9.3.4. Reaktif Enerji Bedeli Ödenmesi

17/02/2000 Tarih ve 23967 Sayılı Resmi Gazetede yayınlanan tebliğe göre, her ay için tüketilen aktif enerji miktarının 1/3' ünden (%33) fazla reaktif enerji tüketilmesi halinde, reaktif enerjinin tamamı ücretlendirilir denilmektedir. Ayrıca, tüketicinin de ihtiyacı olan reaktif akımı sağlamak amacıyla yapacağı kompanzasyon ile sisteme vereceği kapasitif reaktif akımın o aydaki tüketilen aktif enerji miktarının %20' sini geçmemesi gerekir. Aksi takdirde kapasitif reaktif enerji tüketimi tahakkuk ettirilmektedir.

#### 6.9.4. Bağlar Santral Binası Kompanzasyon Panosu Tasarımı

Bu kısımda, Bağlar Santral binasına ait 400 KVA gücündeki trafo üzerindeki yüklerin şebekeden (dolayısıyla trafodan geçen) çektikleri reaktif gücün karşılanması amacıyla gereken kompanzasyon panosunun yapımı anlatılmış olup, projesi Şekil 22' te gösterilmiştir.

Tesisin kurulu gücü ( $P_1$ ) = 140 kW,

$\text{Cos } \Phi_1 = 0,78$ ,

$\text{Cos } \Phi_2 = 0,95$ , (İstenilen güç katsayısı değeri)

Buna göre Tablo 1' den alınan k değeri  $k=0.47$  olacaktır.

Tesisin reaktif güç ihtiyacının karşılanması için gerekli kondansatör gücü;

$$Q_c = k \cdot P_1 = 0,47 \cdot 140 \text{ kW} = 65,8 \text{ kVAR}$$

Tasarlanan kompanzasyon panosunun kondansatör gücü 62,5 kVAR olarak seçilmiştir.

Trafo gücü 400 KVA olduğuna göre, sabit kondansatör gücü,

$$400 \cdot \%5 = 20 \text{ kVAR}$$

olarak seçilmiştir.

Tablo 8 ve Tablo 9' de Bağlar Santral binasının 12 aylık aktif, reaktif enerji tüketimleri ile güç katsayısının değerleri elektrik faturalarından çıkarılmış olup tablolarla gösterilmiştir.

Bağlar Santral binasına kompanzasyon yapıldıktan sonra transformatördeki kapasite artışının % olarak ifadesi ise;

$$\% \Delta S = \frac{\Delta S}{S_1} \cdot 100 = 100 \cdot \left( 1 - \frac{\text{Cos } \Phi_1}{\text{Cos } \Phi_2} \right)$$

$$\% \Delta S = 100 \cdot \left( 1 - \frac{0,78}{0,95} \right) = \% 17,89$$

olduğu görülmüştür.

== Güç katsayısının düzeltilmesi ile bağıl ısı kaybı cinsinden elde edilen kazanç; (2.19)

$$\begin{aligned} \% Z &= 100 \cdot \left(1 - \frac{\cos^2 \Phi_1}{\cos^2 \Phi_2}\right) \\ &= 100 \cdot \left(1 - \frac{(0,78)^2}{(0,95)^2}\right) = \% 32,58 \end{aligned}$$

olduğu görülmektedir.







### 6.9.5 Diyarbakır İl Telekom Müdürlüğü Santral Binaları İle İlgili Tablolar

Diyarbakır İl Telekom Müdürlüğüne bağlı 7 Santral Binasına ait 12 aylık elektrik faturalarından alınan aktif- reaktif enerji tüketimlerine göre Tg Ø ve Cos Ø değerleri hesaplanarak aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

	Aktif Enerji Miktarı (Kwh)	Reaktif Enerji Miktarı (Kvarh)	Tg Ø	Cos Ø
Ocak	93600	1232	0,0131	0,9999
Şubat	93376	2176	0,0233	0,9997
Mart	86176	96	0,0011	0,9999
Nisan	94288	1536	0,0163	0,9998
Mayıs	109344	4992	0,0456	0,9989
Haziran	107008	4912	0,0459	0,9989
Temmuz	106224	4032	0,0379	0,9992
Ağustos	126880	4960	0,0391	0,9992
Eylül	101856	5168	0,0507	0,9987
Ekim	106096	13232	0,1247	0,9923
Kasım	98512	11984	0,1216	0,9926
Aralık	97245	10696	0,1099	0,994

**Tablo 6- İl Müdürlük Santral Binasına Ait 12 Aylık Aktif ve Reaktif Enerji Tüketimleri ile Güç Katsayısı Değerleri**

<b>Kondansatör Gücünün Hesabı</b>			
Kompanzasyon Öncesi		Kompanzasyon Sonrası	
Aktif Güç (Kw)	850	Aktif Güç (Kw)	850
Reaktif Güç (Kvar)	772	Reaktif Güç (Kvar)	411
Tg Ø	0,9089	Tg Ø	0,4843
Cos Ø	0,74	Cos Ø	0,9
Hesaplanan Kondansatör Gücü (Kvar)		365,5	
Kullanılan Kondansatör Gücü (Kvar)		362,5	

**Tablo 7- Kondansatör Gücünün Hesabı**

	Aktif Enerji Miktarı (Kwh)	Reaktif Enerji Miktarı (Kvarh)	Tg Ø	Cos Ø
Ocak	59072	4208	0,0712	0,9974
Şubat	89184	4320	0,0484	0,9988
Mart	32352	1088	0,0336	0,9994
Nisan	64960	8960	0,1379	0,9906
Mayıs	73840	592	0,008	0,9999
Haziran	92848	14464	0,2301	0,9745
Temmuz	96544	15008	0,1554	0,9881
Ağustos	33328	7216	0,2165	0,9773
Eylül	51916	9644	0,1857	0,9832
Ekim	42328	11025	0,2605	0,9677
Kasım	55554	10904	0,1963	0,9812
Aralık	43528	9822	0,2256	0,9758

**Tablo 8-** Bağlar Santral Binasına Ait 12 Aylık Aktif ve Reaktif Enerji Tüketimleri ile Güç Katsayısı Değerleri

Kondansatör Gücünün Hesabı			
Kompanzasyon Öncesi		Kompanzasyon Sonrası	
Aktif Güç (Kw)	140	Aktif Güç (Kw)	140
Reaktif Güç (Kvar)	59,6	Reaktif Güç (Kvar)	28,42
Tg Ø	0,4259	Tg Ø	0,2030
Cos Ø	0,78	Cos Ø	0,95
Hesaplanan Kondansatör Gücü (Kvar)		65,8	
Kullanılan Kondansatör Gücü (Kvar)		62,5	

**Tablo 9-** Kondansatör Gücünün Hesabı

	Aktif Enerji Miktarı (Kwh)	Reaktif Enerji Miktarı (Kvarh)	Tg Ø	Cos Ø
Ocak	22125	4770	0,2156	0,9775
Şubat	13447	1725	0,1283	0,9918
Mart	9382	1793	0,1911	0,9822
Nisan	8220	1658	0,2017	0,9802
Mayıs	4552	4096	0,8998	0,7433
Haziran	43590	12780	0,2932	0,9596
Temmuz	88762	20737	0,2336	0,9737
Ağustos	93778	14495	0,1545	0,9882
Eylül	23707	7545	0,3182	0,9529
Ekim	4687	4218	0,8999	0,7433
Kasım	7972	3007	0,3772	0,9356
Aralık	12486	4478	0,3586	0,9413

**Tablo 10-** Tevsii Santral Binasına Ait 12 Aylık Aktif ve Reaktif Enerji Tüketimleri ile Güç Katsayısı Değerleri

<b>Kondansatör Gücünün Hesabı</b>			
Kompanzasyon Öncesi		Kompanzasyon Sonrası	
Aktif Güç (Kw)	55	Aktif Güç (Kw)	55
Reaktif Güç (Kvar)	29,68	Reaktif Güç (Kvar)	7,8
Tg Ø	0,5397	Tg Ø	0,1425
Cos Ø	0,88	Cos Ø	0,99
Hesaplanan Kondansatör Gücü (Kvar)		29,7	
Kullanılan Kondansatör Gücü (Kvar)		30	

**Tablo 11-** Kondansatör Gücünün Hesabı

	Aktif Enerji Miktarı (Kwh)	Reaktif Enerji Miktarı (Kvarh)	Tg Ø	Cos Ø
Ocak	10945	60	0,0054	0,9999
Şubat	11215	445	0,0396	0,9992
Mart	11335	585	0,0516	0,9986
Nisan	10950	575	0,0525	0,9986
Mayıs	12250	760	0,0620	0,9981
Haziran	13930	860	0,0617	0,9981
Temmuz	15625	1025	0,0656	0,9978
Ağustos	19025	17122	0,8999	0,7433
Eylül	19455	155	0,0079	0,9999
Ekim	11830	1475	0,1246	0,9923
Kasım	8230	1505	0,1828	0,9836
Aralık	14824	2828	0,1907	0,9823

**Tablo 12 - Bismil Santral Binasına Ait 12 Aylık Aktif ve Reaktif Enerji Tüketimleri ile Güç Katsayısı Değerleri**

<b>Kondansatör Gücünün Hesabı</b>			
Kompanzasyon Öncesi		Kompanzasyon Sonrası	
Aktif Güç (Kw)	120,5	Aktif Güç (Kw)	120,5
Reaktif Güç (Kvar)	74,67	Reaktif Güç (Kvar)	47,62
Tg Ø	0,6197	Tg Ø	0,3952
Cos Ø	0,85	Cos Ø	0,93
Hesaplanan Kondansatör Gücü (Kvar)		31,33	
Kullanılan Kondansatör Gücü (Kvar)		35	

**Tablo 13- Kondansatör Gücünün Hesabı**

	Aktif Enerji Miktarı (Kwh)	Reaktif Enerji Miktarı (Kvarh)	Tg Ø	Cos Ø
Ocak	15152	384	0,0253	0,9996
Şubat	10264	568	0,0553	0,9984
Mart	9256	1032	0,1115	0,9938
Nisan	8176	1292	0,1580	0,9877
Mayıs	7376	1440	0,1952	0,9814
Haziran	11016	2296	0,2084	0,9789
Temmuz	13232	2568	0,1941	0,9816
Ağustos	19208	2968	0,1545	0,9882
Eylül	7800	2800	0,3589	0,9412
Ekim	6304	568	0,0901	0,9959
Kasım	5288	360	0,068	0,9977
Aralık	7325	2324	0,3172	0,9531

**Tablo 14 - Huzurevleri Santral Binasına Ait 12 Aylık Aktif ve Reaktif Enerji Tüketimleri ile Güç Katsayısı Değerleri**

<b>Kondansatör Gücünün Hesabı</b>			
Kompanzasyon Öncesi		Kompanzasyon Sonrası	
Aktif Güç (Kw)	76,7	Aktif Güç (Kw)	76,7
Reaktif Güç (Kvar)	49,5	Reaktif Güç (Kvar)	15,57
Tg Ø	0,6459	Tg Ø	0,203
Cos Ø	0,84	Cos Ø	0,98
Hesaplanan Kondansatör Gücü (Kvar)		48,3	
Kullanılan Kondansatör Gücü (Kvar)		50	

**Tablo 15- Kondansatör Gücünün Hesabı**

	<b>Aktif Enerji Miktarı (Kwh)</b>	<b>Reaktif Enerji Miktarı (Kvarh)</b>	<b>Tg Ø</b>	<b>Cos Ø</b>
<b>Ocak</b>	17568	1968	0,112	0,9937
<b>Şubat</b>	19132	1764	0,0922	0,9957
<b>Mart</b>	16012	2028	0,1266	0,9921
<b>Nisan</b>	16176	1376	0,0850	0,9964
<b>Mayıs</b>	15236	608	0,0399	0,9992
<b>Haziran</b>	18432	220	0,1119	0,9999
<b>Temmuz</b>	17816	1068	0,0599	0,9982
<b>Ağustos</b>	20244	252	0,0124	0,9999
<b>Eylül</b>	20408	56	0,0027	0,9999
<b>Ekim</b>	19752	812	0,0411	0,9991
<b>Kasım</b>	11548	92	0,0077	0,9999
<b>Aralık</b>	14366	1428	0,0994	0,9951

**Tablo 16 – Talattepe R/L Santral Binasına Ait 12 Aylık Aktif ve Reaktif Enerji Tüketimleri ile Güç Katsayısı Değerleri**

<b>Kondansatör Gücünün Hesabı</b>			
<b>Kompanzasyon Öncesi</b>		<b>Kompanzasyon Sonrası</b>	
Aktif Güç (Kw)	48,9	Aktif Güç (Kw)	48,9
Reaktif Güç (Kvar)	22,27	Reaktif Güç (Kvar)	6,96
Tg Ø	0,4556	Tg Ø	0,1425
Cos Ø	0,91	Cos Ø	0,99
Hesaplanan Kondansatör Gücü (Kvar)		48,3	
Kullanılan Kondansatör Gücü (Kvar)		50	

**Tablo 17- Kondansatör Gücünün Hesabı**

	Aktif Enerji Miktarı (Kwh)	Reaktif Enerji Miktarı (Kvarh)	Tg Ø	Cos Ø
Ocak	6792	480	0,0706	0,9975
Şubat	8112	248	0,0500	0,9995
Mart	8742	522	0,0597	0,9982
Nisan	8366	884	0,1056	0,9944
Mayıs	8396	1438	0,1712	0,9856
Haziran	8598	1516	0,1763	0,9848
Temmuz	8710	1280	0,1469	0,9894
Ağustos	12090	1540	0,1274	0,9919
Eylül	10606	1596	0,1505	0,9888
Ekim	9392	1196	0,1273	0,9919
Kasım	5876	454	0,0772	0,9970
Aralık	12818	1286	0,1003	0,9950

**Tablo 18 – Pirinçlik R/L Santral Binasına Ait 12 Aylık Aktif ve Reaktif Enerji Tüketimleri ile Güç Katsayısı Değerleri**

<b>Kondansatör Gücünün Hesabı</b>			
<b>Kompanzasyon Öncesi</b>		<b>Kompanzasyon Sonrası</b>	
Aktif Güç (Kw)	46,5	Aktif Güç (Kw)	46,5
Reaktif Güç (Kvar)	19,8	Reaktif Güç (Kvar)	6,62
Tg Ø	0,4259	Tg Ø	0,1424
Cos Ø	0,92	Cos Ø	0,99
Hesaplanan Kondansatör Gücü (Kvar)		19,99	
Kullanılan Kondansatör Gücü (Kvar)		20	

**Tablo 19- Kondansatör Gücünün Hesabı**



## SONUÇ

Sonuç olarak Alçak Gerilim Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyonun Tüketici merkezlerine en yakın noktalardan yapılması gerektiği, yapılan kompanzasyon nedeniyle hattın gerilim düşümünün ve toplam kayıplarının azaldığı, gereksiz yere yatırım yapılmayacağı ve reaktif enerji bedelinin ödenmeyeceği için ekonomik olarak kazanç sağlanacağı anlaşılmaktadır.

Ayrıca, uygulamada yapılan Diyarbakır İl Telekom Müdürlüğüne bağlı Santral Binalarının toplam kurulu gücü üzerinden hesaplanan değerlere göre kurulan kompanzasyon panoları nedeniyle mevcut trafodan daha fazla yüklerin beslenebileceği, gerilim düşümünün ve ısı vb. kayıplarının azaldığı, aşırı akım ve gerilimlere karşı otomatik kompanzasyon sistemlerinin kurulmaları gerektiği ve sağlıklı çalışma neticesinde reaktif enerji bedelinin ödenmeyeceği görülmektedir.

**TABLO LİSTESİ**

Tablo 1. Hedef Cos  $\Phi$  Çizelgesi

Tablo 2. C/k Seçim Tablosu

Tablo 3. Trafo Etiket Değerleri

Tablo 4. 24 Saatlik Aktif, Reaktif Güç ve Güç Katsayıları Değerleri

Tablo 5. Isı Kayıplarındaki Azalma Oranları

Tablo 6. İl Müdürlük Santral Binasına Ait 12 Aylık Aktif ve Reaktif Enerji Tüketimleri ile Güç Katsayısı Değerleri

Tablo 7. Kondansatör Gücünün Hesabı

Tablo 8. Bağlar Santral Binasına Ait 12 Aylık Aktif ve Reaktif Enerji Tüketimleri ile Güç Katsayısı Değerleri

Tablo 9. Kondansatör Gücünün Hesabı

Tablo 10. Tevsii Santral Binasına Ait 12 Aylık Aktif ve Reaktif Enerji Tüketimleri ile Güç Katsayısı Değerleri

Tablo 11. Kondansatör Gücünün Hesabı

Tablo 12. Bismil Santral Binasına Ait 12 Aylık Aktif ve Reaktif Enerji Tüketimleri ile Güç Katsayısı Değerleri

Tablo 13. Kondansatör Gücünün Hesabı

Tablo 14. Huzurevleri Santral Binasına Ait 12 Aylık Aktif ve Reaktif Enerji Tüketimleri ile Güç Katsayısı Değerleri

Tablo 15. Kondansatör Gücünün Hesabı

Tablo 16. Talattepe R/L Santral Binasına Ait 12 Aylık Aktif ve Reaktif Enerji Tüketimleri ile Güç Katsayısı Değerleri

Tablo 17. Kondansatör Gücünün Hesabı

Tablo 18. Pirinçlik R/L Santral Binasına Ait 12 Aylık Aktif ve Reaktif Enerji Tüketimleri ile Güç Katsayısı Değerleri

Tablo 19. Kondansatör Gücünün Hesabı

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Görünür Gücün Azaltılması

Şekil 2. Aktif Gücün Arttırılması

Şekil 3. Bir Besleme Hattı

Şekil 4. Fazör Diyagramları

Şekil 5. Kompanzasyon Tesisi İçin En Uygun Yerin Seçilmesi

Şekil 6. Bireysel Kompanzasyon

Şekil 7. Grup Kompanzasyonu

Şekil 8. Bir İşletmenin Günlük Yük Eğrisi

Şekil 9. Merkezi Kompanzasyon

Şekil 10. 7 Kademeli Reaktif Güç Kontrol Rölesi Bağlantı Şeması

Şekil 11. Endüktif Balastlı Bağlantı Şeması

Şekil 12. Seri Rezonans Devresi

Şekil 13. Paralel Rezonans Devresi

Şekil 14. Kondansatörlerin Şebekeye Bağlanmaları Anında Geçici Akım Darbeleri

Şekil 15. Kondansatörlerin Anahtarlar Üzerinden Devreye Bağlanması

Şekil 16. Bobinlerin Bağlantı Şekilleri

Şekil 17. Fazör Diyagramı

Şekil 18. 8 Kademeli Tek Fazlı Reaktif Güç Kontrol Röleli Kompanzasyon Bağlantı Şeması

Şekil 19. Sabit Kondansatör Grubunun Bağlantı Şeması

Şekil 20. Kasım 2002 Ayı 24 Saatlik Güç Katsayısı Değişimi

Şekil 21. İl Müdürlük Santral Binası Kompanzasyon Tek Hat Şeması

Şekil 22. Bağlar Santral Binası Kompanzasyon Tek Hat Şeması

**KAYNAKLAR**

- 1) Prof Dr. Mustafa BAYRAM : Kuvvetli Akım Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu
- 2) Cevat KESGİNCİ : OG Dağıtım Şebekelerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu  
Ve Uygulaması
- 3) Zafer ÜRGÜPLÜ : Elektro bank
- 4) Mahmut ALACACI : Elektrik Meslek Resmi (Proje)
- 5) Önder GÜLER : Reaktif Güç Kompanzasyonu ve Sakıncaları (Y.Lisans  
Tezi)
- 6) Faruk ERKEN : OG Şebekelerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu

## ÖZGEÇMİŞ

Okay VURAL 1975 yılında Diyarbakır' da doğdu. Lise öğrenimini 1993 yılında Anadolu Meslek Lisesinde tamamladı. 1994 yılında Dicle Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümüne girdi. 1998 yılında aynı bölümden mezun oldu ve Şubat 2000' de Yüksek Lisans Programına başladı. 2001 yılı bahar döneminde Yüksek Lisans derslerini tamamlayıp, aynı yıl içerisinde askerlik hizmetini tamamlamak üzere Yüksek Lisans' a ara verdi. Askerliğini Ankara Mamak' taki 28. Mekanize Piyade Barış Gücü Tugay Komutanlığında kısa dönem olarak tamamladı. 2002 Yılı Bahar döneminden itibaren askerlik hizmeti nedeniyle ara verdiği Yüksek Lisans programına yeniden kayıt yaptırdı. Halen 1998 yılı sonunda göreve başladığı Türk Telekom İl Müdürlüğü Yapı İşleri Müdürlüğünde görev yapmaktadır.

