

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü

ORTA GERİLİM ŞEBEKELERİNDE REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU ANALİZİ

T.C. YÖKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Faruk ERKEN

106517

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR
EYLÜL 2001

106517


T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne
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. Hafız ALISOY 

Üye : Doç. Dr. Mehmet CEBECİ 

Üye : (Danışman) Doç. Dr. Sabir RÜSTEMOV 

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

11/09/2001

Doç. Dr. Mehmet KILIÇ
Enstitü Müdürü A.

TEŞEKKÜR

Çalışma konumun seçimi ve hazırlanması esnasında tavsiye ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç.Dr. Sabir RÜSTEMOV'a teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmamda gerekli olan verilerin sağlanmasında yardımlarını gördüğüm TEDAŞ Batman Müessese Müdürlüğü İşletme Bakım Başmühendisi Abdulkadir ÖZER'e, TEAŞ Batman Grup Müdürlüğü'nde görevli teknisyen Geylani İLHAN'a ve diğer TEAŞ ve TEDAŞ çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmam sırasında bana destek olan mesai arkadaşlarıma ve ihmal ettiğim aileme sevgi ve şükranlarımı sunarım.



AMAÇ

Teknolojik gelişmelerin günlük yaşama yansması paralelinde, elektrik enerjisinin toplam enerji tüketimindeki payı gittikçe artmaktadır. Elektrik enerjisi pahalı, ancak vazgeçilmez bir enerji kaynağıdır. Bu bağlamda, bugün yaygın olarak kullandığımız elektrik enerjisinde verimliliği sağlamak, kalite ve güvenilirliğin azaltılmaması koşuluyla üretim maliyetlerini ve sistem kayıplarını en aza indirmek, elektrik enerji sistemlerinin planlanması ve işletilmesinde en önemli hedefler haline gelmiştir.

Enerji ihtiyacındaki artışı karşılamak, kayıpları en aza indirmek ve enerji sistemlerinde verimliliği sağlamak amacıyla hatların ve diğer işletme cihazlarının reaktif güçle boşuna yüklenmelerini engellemek, en önemli çözümlerden biridir. Reaktif gücün giderilmesi amacıyla Alçak Gerilimde yapılan kompanzasyon bazı teknik ve idari sebeplerden dolayı yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle dağıtık ve tüketici sayısı fazla olan Orta Gerilim Şebekelerinde kompanzasyon yapmak teknik bir zorunluluktur.

Bu çalışmada örnek bir Orta Gerilim dağıtım şebekesi incelenerek, bu şebekede Orta Gerilim seviyesinde yapılacak bir kompanzasyon incelenmiştir. Şebekenin aktif-reaktif güç durumu incelenerek şebekenin reaktif güç ihtiyacı, kompanzasyon tesisinin şekli ve bu kompanzasyonun şebekeye ve tüketiciye faydaları ile sakıncalarının araştırılması amaçlanmıştır.

ÖZET

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

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

Alçak Gerilimde yapılan kompanzasyon, güç katsayısını arzu edilen seviyeye getirmeye yetmemektedir. Bu nedenle Orta Gerilim seviyesinde kompanzasyon yapmak gereklidir. Tezde, Orta Gerilimde kompanzasyon ile ilgili temel bilgiler verilmekte ve Batman Orta Gerilim şebekesinin kompanzasyonu incelenmektedir. Bu amaçla Batman YG/OG indirici transformatör merkezinden çıkan hatların son bir yıl içinde tükettiği aylık aktif ve reaktif enerji miktarları ve buna göre hatların aylık $\cos\phi$ değişimleri tespit edilmiştir. Bu değerlerden güç katsayısının yaz aylarında en düşük değerini aldığı görülmüştür. Güç katsayısının en düşük olduğu aylardan olan Ağustos ayı için güç katsayısının 24 saatlik değişimi gösterilmiştir. Ayrıca bütün hatların puant yük değerleri tespit edilmiş ve hesaplamalarda bu değerler ile her hatta ait en düşük $\cos\phi$ baz alınmıştır. Kompanzasyonun eşit güçte iki kademeli olarak yapılması düşünülmüştür. Bu şekilde güç katsayısının en düşük olduğu aylarda puant saatleri dışındaki zamanlarda ve Mayıs, Haziran, Eylül ve Ekim aylarında da aşırı kompanzasyonun önlenmesi amaçlanmaktadır.

YG/OG indirici transformatör merkezinden sonra uzun bir OG dağıtım şebekesi bulunduğundan kompanzasyonun her fider için ayrı ayrı yapılması kararlaştırılmıştır. Kompanzasyon bataryalarının fider çıkışından sonra birden fazla hattın ayrıldığı noktadan önceki transformatör binasına konulması en uygun çözüm olarak düşünülmüştür. Bu şekilde hem rezonans olaylarının önüne geçilmesi, hem de Orta Gerilim hatlarının büyük bir kısmının reaktif güç yükünden kurtarılması amaçlanmıştır. Ayrıca bu bölümde kompanzasyon sonucu şebekede elde edilen kazançlar ele alınmıştır.

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 to harmonics.

When compensation is adjusted according to the low voltage, then power factor is not adequate to bring for the desired level. For this reason the compensation is also adjusted for medium voltage level. In this study is mentioned that basic information about compensation for medium voltage networks and Batman medium voltage networks compensation. For this aim, Batman transformer station 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. These quantities show that power factor takes the lowest quantity in summer months. Power factor changing of 24 hours for August is showed. Also pound loads of all lines have been determined and calculations have been done according to his quantities and lowest $\cos\phi$. It has considered to divide compensation in two ports equally power. The aim is the prevent over compensation on power factor of the lowest months and may, June, October, September, not is pound time.

After the HV/MV transformer station there is long medium voltage distribution network, so that it is decided to make compensation for each load differently. It is optimizes that compensation batteries should be established at end of exit line on transformer building before distribution line. Therefore preventing resonance events and decreasing the reactive power on the medium voltage lines are aimed. In addition to that the benefit of compensation is explained for network.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
	No
TEŞEKKÜR.....	i
AMAÇ.....	ii
ÖZET.....	iii
SUMMARY.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3. MATERYAL VE METOT.....	5
3.1. Reaktif Güç Kompanzasyonun Esasları.....	5
3.1.1. Reaktif Güç ve Güç Katsayısı.....	5
3.1.2. Reaktif Güç Üreticileri, Reaktif Güç Tüketicileri.....	7
3.1.2.1. Reaktif Güç Üreticileri.....	7
3.1.2.2. Reaktif Güç Tüketicileri.....	9
3.1.3. Güç Katsayısının Düzeltilmesinin Faydaları.....	10
3.1.3.1. Şebekedeki Faydaları.....	11
3.1.3.2. Tüketici Açısından Faydaları.....	14
3.1.4. Reaktif Güç İhtiyacının Tespiti.....	14
3.1.4.1. P_1 Gücünün Sabit Olması Hali.....	15
3.1.4.2. S_1 Görünür Gücünün Sabit Olması Hali.....	16
3.1.5. Kondansatör Gücünün Hesabı.....	16
3.2. Kompanzasyon Tesisleri.....	19
3.2.1. Kompanzasyon Tesislerinin Çeşitleri.....	20
3.2.1.1. Bireysel Kompanzasyon.....	20
3.2.1.2. Grup Kompanzasyon.....	25
3.2.1.3. Merkezi Kompanzasyon.....	26
3.2.2. Kondansatörlerin Otomatik Ayarı.....	27
3.3. Kompanzasyon Tesislerinde Harmonikler.....	29
3.3.1. Harmoniklerin Oluşması.....	29
3.3.1.1. Şebekede Harmonik Oluşturan İşletme Araçları.....	29
3.3.2. Harmoniklerin Kondansatörler Üzerine Etkisi.....	36
3.3.3. Harmoniklerin Elektrik Tesisleri Üzerindeki Etkileri.....	40

3.4. Kompanzasyon Tesislerinde Rezonans Olayları.....	41
3.4.1. Rezonans Devreleri.....	41
3.4.1.1. Seri Rezonans Devresi.....	41
3.4.1.2. Paralel Rezonans Devresi.....	44
3.4.2. Harmonik Rezonanslarına Karşı Tedbirler.....	46
3.4.3. Kritik Kondansatör Gücü.....	49
3.4.4. Kondansatörlerin Devreye Sokulup Devreden Çıkarılmaları.....	49
3.5. Orta Gerilimde Reaktif Güç Kompanzasyonu.....	52
3.5.1. Orta Gerilimde Kompanzasyonun Amacı.....	52
3.5.2. Tanımlar.....	53
3.5.3. Orta Gerilimde Kapasitörlerin Bağlantı Şekilleri.....	53
3.5.3.1. Nötrü Topraklı Yıldız Bağlantı.....	53
3.5.3.2. Nötrü Topraksız Yıldız Bağlantı.....	54
3.5.3.3. İki Eşit Parçalı Yıldız Bağlantı.....	54
3.5.4. Orta Gerilim Kompanzasyon Tesislerinin Korunması.....	55
3.5.4.1. Sigortalar.....	55
3.5.4.2. Aşırı ve Düşük Gerilim Rölesi.....	55
3.5.4.3. Reaktif Güç Rölesi.....	55
3.5.4.4. Aşırı Akım Rölesi.....	56
3.5.4.5. Dengesizlik Koruması (Diferansiyel Koruma).....	56
3.5.5. Kompanzasyon Devre Elemanlarının Seçimi.....	59
4. BULGULAR.....	60
4.1. Batman Orta Gerilim Dağıtım Sistemi.....	60
4.2. Batman Orta Gerilim Kompanzasyon Yöntemi.....	60
4.3. Kompanzasyonun Batman Orta Gerilim Şebekesine Faydaları.....	63
4.3.1. Batman OG Şebekesinin Güç Taşıma Kapasitesinin Artması.....	63
4.3.1.1. Batman YG/OG İndirici Transformatöründeki Kapasite Artışı.....	63
4.3.1.2. Hatların Güç Taşıma Kapasitesinde Artma.....	64
4.3.2. Batman OG Şebekesinde Isı Kayıplarındaki Azalma.....	64
4.3.3. Batman OG Şebekesinde Gerilim Düşümündeki Azalma.....	65
4.3.4. Reaktif Enerji Bedeli Ödenmemesi.....	66
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	80
6. KAYNAKLAR.....	82

TABLO LİSTESİ.....	83
ŞEKİL LİSTESİ.....	85
ÖZGEÇMİŞ.....	87



1. GİRİŞ

Dünyamızda son yıllarda karşılaşılan enerji krizi, araştırmaları yeni enerji kaynakları bulmaya ve mevcut enerji kaynaklarını daha verimli kullanma çalışmalarına yönlendirmiştir.

Elektrik enerjisi şüphesiz diğer enerjilere göre üstün yönleri sahiptir. Bunlar:

- Diğer enerji kaynaklarına dönüştürülebilmesi
- Taşınmasının kolay ve verimli olması
- Artık bırakmayan bir enerji olması
- Küçük parçalar halinde kullanılabilmesi

Bu üstünlükler elektrik enerjisinin, en çok kullanılan enerji türü olmasını sağlamıştır.

Sanayinin gelişmesi ve refah seviyesinin artması, tüm dünyada elektrik enerjisini ihtiyacını arttırmıştır. Bu artışı karşılamak için yeni santraller kurmak teknik ve ekonomik sebeplerden dolayı çok zordur. Bu nedenle mevcut elektrik enerjisi kaynaklarını verimli bir şekilde kullanmak gerekir. Bu amaçla alınan tedbirler; yaz saati uygulaması, puant zamanlarında enerji sarfiyatını azaltmak için yüksek ücretli tarife uygulamak ve en önemlisi güç katsayısının düzeltilmesi yani Reaktif Güç Kompanzasyonu'dur.

Elektrik enerjisi günümüzde artık alternatif akım olarak üretilir ve dağıtılır. Alternatif akım şebekelerinden beslenen tüketicilerin çoğu, yapıları gereği şebekeden aktif gücün yanında reaktif güç de çekerler. Uygulamada karşılaşılan yükler genellikle ohmik-endüktif karakterdedir. Bunlar bobinler, motorlar, transformatörler, ark fırınları vb. tüketicilerdir.

Tüketicilerin şebekeden çektiği aktif güç tüketici tarafından faydalı hale getirilir. Bu güç motorlarda mekanik güce, ısıtıcılarda termik güce ve aydınlatma gücüne dönüşür. Reaktif güç her ne kadar faydalı güce dönüştürülme de vazgeçilmezdir. Çünkü endüksiyon prensibine göre çalışan bütün cihazların çalışabilmesi için bu reaktif güce

ihtiyaçları vardır. Ancak bu reaktif güç, Şebeke dışında bir merkezde retilbilir. Bu da Şebekeyi büyük bir yükten kurtarmıŐ olur.

İdeal bir alternatif akım Şebekesine ulaŐmak için Reaktif Güç Kompanzasyonu yapmak kaçınılmazdır. Elektrik enerjisinin yaygın olarak kullanılmaya baŐladıĐı günden itibaren Şebekeler hızla büyümüŐ ve yük sayısı artmıŐ ve çeŐitlenmiŐtir. İlk zamanlarda üretim için kullanılan senkron generatörlerin uyarma akımı değiştirilerek yapılan kompanzasyon artık geçerli olmadığı gibi, Alçak Gerilimde sistemin tamamını kompanze etmek, kontrol ve uygulama zorlukları ile Şebekelerin dağınıklığı ve tüketicisi sayısının fazlalığı nedeniyle oldukça zordur. Ayrıca gerilim seviyesi yükseldikçe kondansatör maliyeti düŐmektedir. Bu nedenlerle reaktif güç ihtiyaı 2 MVAR'dan yüksek olan yerlerde Orta Gerilimde kompanzasyon yapmak kaçınılmazdır.

Orta Gerilimde kompanzasyonun faydaları yanında sakıncaları da vardır. Kompanzasyon tesisi kurulurken Şebekede var olan harmoniklerin sebep olduğu rezonans olayları araştırılmalı ve bunlara karşı önlemler alınmalıdır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Elektrik enerjisinin keşfinde büyük rolleri olan FRANKLİN, VOLTA, ORSTED, OHM gibi bilginler doğru akım tekniğinde büyük buluşlar yapmışlardır. Alternatif akım konusunda ilk olarak FARADAY 1831 yılında endüksiyonu açıklamıştır. Gelişmeler MAXWELL'in faz farkını bulmasıyla devam etmiştir.

Daha sonraları alternatif akımda üç fazlı sistemde gelişmeler olmuş, 1891 senesinde Frankfurt'ta elektroteknik kongresinde DOLİVO-DOBROWOLSKİ akımın komponentlerini "güçlü akım", "güçsüz akım", diye ortaya atmıştır. 1907 senesinde Alman, İsviçre ve Avusturya elektroteknik daireleri AEF adı altında bir oda kurmuş, 1909 senesinde de bu oda ilk defa alternatif akım terimlerini açıklamıştır. Akımın komponentlerini "leistungstrom" (güç akımı), "ouerstrom" (çapraz ters akım) diye belirlemiştir. 1913 senesinde yeni açıklamada bu komponentlere "wirkstrom" (aktif akım) ve "blindstrom" (kör akım, reaktif akım) diye isimler verilmiştir. Bu deyimlerin kullanılması günümüzde de devam etmektedir.

1879 ile 1891 seneleri arasında çok fazlı sistemin bulunuşunda TESLA (Avusturya), FERRARİS (İtalya), BRADLEY (USA), DOBROWOLSKİ (Almanya) gibi bilginlerin ayrı ayrı ve müştereken çalışmaları neticesinde aktif güç konusunu, 1922 senesinde BUCHHOLZ zahiri gücü yeniden açıklamış, W.OUADE 1934 ile 1939 seneleri arasında güç ile ilgili açıklamaları toplamıştır.

1950 yılında BLOONQUIST, CRAIG, PARTINGON ve WILSON tarafından kapasitörlerin kompanzasyonda kullanılması çalışmaları yapılmıştır.

Orta Gerilim Dağıtım şebekelerinde şönt kapasitörlerin kullanılması konusunda MILLER, 1976 yılında ilk incelemeyi yapmıştır.

Aynı yıl STEEPER ve STRATFORD, reaktif güç kompanzasyonu ve harmonik etkileri konusunda çalışmalar yapmışlardır. Elektronikte hız kazanan gelişmeler üzerine bundan sonraki çalışmalar daha çok otomatik kompanzasyon sistemleri oluşturmak, hızlı değişen olaylarda kompanzasyon ve kompanzasyon ekonomisi üzerine yapılmıştır.

Tristör kontrollü kompanzasyon konusunda ilk çalışmalar 1977 yılında SJOKVIST ve 1978 yılında GYUGYI tarafından yapılmıştır. Kompanzasyonda optimizasyon konusunda 1981 yılında GRAINGER tarafından araştırmalar yapılmıştır. Günümüzde reaktif gücün kontrolü amacıyla mikroişlemci ve yapay sinir ağıları kullanılarak kompanzasyonda verimliliğın artırılması için çalışmalar devam etmektedir.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Reaktif Güç Kompanzasyonunun Esasları

Üretilen elektrik enerjisi iletilmekte, dağıtılmakta ve son olarak yükler tarafından tüketilmektedir. Güç sistemlerinde aktif gücün yanında reaktif güç akışı da olmalıdır. Aktif güç, şüphesiz generatörler tarafından üretilecektir. Ancak reaktif güç için böyle bir zorunluluk yoktur. Sistemin ve yüklerin reaktif güç ihtiyaçlarının belirli teknikler kullanılarak karşılanması Reaktif Güç Kompanzasyonu olarak adlandırılır. Bu bölümde Reaktif Güç Kompanzasyonu ile ilgili tanımlar, matematiksel ifadeler ve kompanzasyonun faydaları incelenecektir.

3.1.1. Reaktif Güç ve Güç Katsayısı

Sinüsoidal alternatif akımda tüketiciler şebekeden \dot{I} gibi bir görünen akım çekerler. Bu akımın teorik olarak aktif akım ve reaktif akım olmak üzere iki bileşenden oluştuğu kabul olunur. Aktif akımın meydana getirdiği aktif güç, tüketici tarafından mekanik güç, ısı, aydınlatma gücü vb. gibi faydalı güçlere dönüştürülür. Reaktif akımın meydana getirdiği reaktif güç ise bazı işletme araçlarının ihtiyaç duyduğu magnetik alanı oluşturur. Reaktif güç, sürekli olarak şebeke frekansının iki katı bir frekansla salınır.

Bir elektrik devresinde görünür direnç Z , devreye uygulanan gerilimin, devreden geçen akıma oranı ile bulunmaktadır. Alternatif akımda Z empedansı aktif (R) ve reaktif (X) bileşenlerinden oluşur ve şu şekilde ifade edilir.

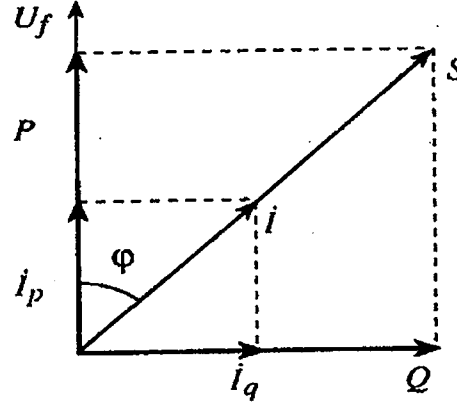
$$\dot{Z} = R + jX \quad (3.1)$$

Bu Z empedansı bir V gerilimi tarafından besleniyorsa yükten geçen akım

$$\dot{I} = \frac{\dot{V}}{R + jX} = \dot{V}(G + jB) \quad (3.2)$$

$$\dot{I} = I_p + I_q \quad (3.3)$$

şeklinde ifade edilir. Buna ilişkin fazör diyagramı Şekil 1’de gösterilmiştir. Fazör diyagramından da görüldüğü gibi akımın aktif bileşeni I_p ile V arasında 90° lik faz farkı vardır. Akım fazörü I ile, gerilim fazörü V arasındaki faz farkı ise φ kadardır.



Şekil 1. Fazör Diyagramı

Akım bileşenlerini

$$I_p = I \cdot \cos \varphi \quad (3.4)$$

$$I_q = I \cdot \sin \varphi \quad (3.5)$$

şeklinde ifade edersek güç ifadeleri

$$\dot{S} = \dot{V} \cdot \dot{I} \quad (3.6)$$

$$\dot{I} = I_p + jI_q \quad (3.7)$$

$$\dot{S} = \dot{V} \cdot I_p + j\dot{V} \cdot I_q \quad (3.8)$$

$$\dot{S} = V \cdot I \cdot \cos \varphi + jV \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (3.9)$$

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (3.10)$$

$$Q = V.I.\sin \varphi \quad (3.11)$$

$$\dot{S} = P + jQ \quad (3.12)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3.13)$$

olur. Burada aktif güç ile görünür güç arasındaki açı aynı zamanda akım ile gerilim arasındaki faz farkıdır. Bu açının kosinüsüne güç faktörü denir ve $\cos\varphi$ ile gösterilir.

3.1.2. Reaktif Güç Üreticileri, Reaktif Güç Tüketicileri

3.1.2.1. Reaktif Güç Üreticileri

Tüketicilerin ihtiyacı olan reaktif gücün bir yerde üretilmesi gerekir. Bu gücü aktif güç gibi senkron generatörde üretmek santralde bir enerji sarfiyatı gerektirmez. Sadece generatörün uyarılmasının artırılması ile generatör endüktif reaktif güç verecek duruma getirilir. Böylece santralde üretilen reaktif güç, transformatörler ve enerji nakil hattı üzerinden geçerek tüketiciye ulaşır. Bu esnada elektrik tesisleri reaktif güç tarafından fuzuli işgal edileceklerinden aktif güç bakımından bunların kapasitelerinden tam olarak yararlanmak mümkün olmaz ve işletme ekonomik olmaktan çıkmış olur. Günümüzde şebekelerin büyük ve dağınık bir hal almış olması nedeniyle tesisleri reaktif güçten kurtarmak, tesis elemanlarının 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 üretiminde iki işletme aracından faydalanılır.

- Dinamik faz kaydırıcılar
- Kondansatörler

a) Dinamik Faz Kaydırıcılar: Reaktif güç üretiminde kullanılan dinamik faz kaydırıcıların başında aşırı uyarılmış senkron makineler gelir. Genel olarak, enerji nakil hatlarının sonunda ve tüketim merkezlerinin başında şebekeye bir senkron makine paralel bağlanır ve bölgenin reaktif güç ihtiyacı bu makine tarafından sağlanır.

Şebekeye bağlanan makine şebekeden boştaki çalışma kayıplarını karşılayacak kadar cüzi bir aktif güç çeker ve şebekeye istenen reaktif gücü vererek bir reaktif güç üretici olarak çalışır. Bu esnada bunun ayrıca tahrik edilmesine de gerek yoktur. Senkron faz kaydırıcıların kayıpları kondansatörlere göre daha yüksek olduğu gibi bunların devamlı bir bakıma da ihtiyaçları vardır. Ayrıca bunların güçleri çok büyük olduğu takdirde bunların 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 transformatörler reaktif güçten kurtarıldıkları halde tüketim merkezine ait bir veya iki kademeli orta gerilim şebekeleri ile alçak gerilimli dağıtım şebekesi reaktif güç nakletmek zorunda kalırlar. Bu yönden dinamik faz kaydırıcılar bugün ancak özel hallerde ve ekonomik şartların gerçekleştiği yerlerde kullanılırlar.

b) Kondansatörler: Reaktif güç üretiminde statik faz kaydırıcılar adı verilen kondansatörlerin üstünlükleri sayılamayacak kadar çoktur. Bir kere kondansatörlerin kayıpları çok düşük olup, normal güçlerinin % 5'inin altındadır. Bakım masrafları yok denecek kadar azdır. Ayrıca kondansatörler ile istenen her güçte reaktif güç kaynağı teşkil edilebildiği gibi bunları tüketicilerin yanlarına kadar götürüp hemen bunların uçlarına bağlamak ve böylece orta ve alçak gerilim şebekelerini de reaktif gücün yükü altından kurtarmak mümkündür. Bu nedenlerle kondansatörler kompanzasyon için en uygun araçtır.

Kondansatörler bugün kuvvetli akım tesislerinde gittikçe artan bir önem kazanmıştır. Kondansatörlerin beher kilovar başına maliyet bedelleri orta büyüklükteki senkron kompanzasyonlardan daha düşük olduğu gibi bu fiyatta büyük bir artış olmadan bunların her güçte imali mümkündür. Kondansatörlerin tesisi kolaydır ve icabında kolaylıkla genişletilerek bunun gücü artırılabilir. Ayrıca bunların tüketici ihtiyacına göre rahat bir şekilde güç ayarı yapılabilir. Kondansatörlerin işletme emniyeti çok yüksektir, ömürleri uzundur ve bakımları kolaydır. Bunların yerleştirilecekleri yerde hemen hemen hiçbir özellik aranmadığından yer temini de bir sorun yaratmaz. Gerekli kapasiteyi temin maksadıyla birçok kondansatör elemanı bir araya getirilerek istenen değerde bir grup teşkil edilebilir. Bir arıza halinde zarar gören bir eleman gayet kısa zamanda teşhis edilip az bir masrafla yenisiyle değiştirilerek işletmeye fazla ara vermeden tamir yapılmış olur.

Kondansatör tesisleri birçok elemandan meydana geldiğinden bunların nakli kolay, tesisi ve bağlanması rahat ve istenen kapasitelerin elde edilmesi mümkündür.

3.1.2.2. Reaktif Güç Tüketicileri

Reaktif güç sarfiyatı bakımından tüketicileri iki ana guruba ayırmak mümkündür. Bunlardan birincisi sadece ısı enerjisi üreten tüketiciler; akkor flamanlı lambalar, elektroliz ve galvanoplasti tesisleridir. Bunlar sadece aktif güç tüketirler, reaktif güç çekmezler. İkinci guruba ise elektrik tesislerinde kullanılan magnetik veya statik alanla çalışan bütün işletme araçları girer. Bunlar aktif gücün yanında reaktif güç de çekerler. Bazı sanayi tesislerine ait düzeltilmemiş tipik güç katsayısı değerleri Tablo 1'de verilmiştir. [3]

Sanayi Tesisleri	Güç Katsayısı
Oto Parçaları	0,75-0,80
Meşrubat	0,75-0,80
Çimento	0,80-0,85
İlaç-Kimya	0,65-0,75
Kömür Madenleri	0,65-0,80
Konfeksiyon	0,35-0,60
Döküm	0,70-0,80
Hastane	0,75-0,80
Makine Üretimi	0,60-0,65
Metal	0,65-0,70
İnşaat	0,80-0,90
Petrol Pompaları	0,40-0,60
Boya	0,55-0,65
Plastik	0,75-0,80
Çelik	0,65-0,80
Tekstil	0,65-0,75
El Aletleri-Hırdavat	0,60-0,65

Tablo 1. Bazı sanayi tesislerinin güç katsayısı değerleri

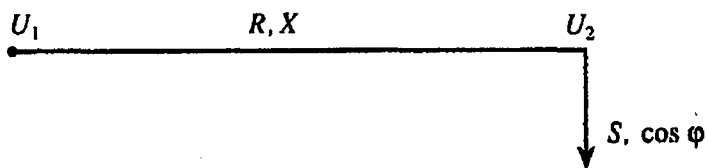
Reaktif güç çeken en önemli yükler şunlardır:

- Düşük uyarmalı senkron makineler
- Transformatörler
- Bobinler
- Reaktörler
- Havai hatlar
- Asenkron motorlar
- Redresörler
- Endüksiyon fırınları
- Ark ocakları
- Kaynak makineleri
- Deşarj lamba balastları
- Senkron motorlar

Görüldüğü gibi yüklerdeki çeşitlilik ve yüklerin işletmede lineer bir şekilde çalışmaması nedeniyle reaktif gücün statik kompanzatörler ile karşılanması en uygun çözümdür.

3.1.3. Güç Katsayısının Düzeltilmesinin Faydaları

Güç katsayısının düzeltilmesinin şebeke ve tüketici açısından faydaları ohmik direnci R , reaktif direnci X olan bir besleme hattı ele alınarak incelenecektir.



Şekil 2. 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

Güç kompanzasyonunun faydaları şebeke ve tüketici yönünden ayrı ayrı incelenecektir.

3.1.3.1. Şebekedeki Faydaları

Şebekedeki faydaları üç madde halinde incelemek mümkündür.

a) Şebekenin Güç Taşıma Kapasitesinin Artması: Hat sonundan çekilen P aktif gücünün sabit kaldığını kabul edersek, kompanzasyondan önce ve sonra çekilen güçler

$$S_1 = \frac{P}{\cos \varphi_1} \quad (3.14)$$

$$S_2 = \frac{P}{\cos \varphi_2} \quad (3.15)$$

şeklinde yazılabilir. Güçler arasındaki fark

$$\Delta S = S_1 - S_2 \quad (3.16)$$

olur. Buradan tesisin yükündeki azalma veya tesise eklenebilecek yeni bir yük oranı

$$\% \Delta S = \frac{\Delta S}{S_1} 100 = 100 \left(1 - \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \right) \quad (3.17)$$

olur. Benzer şekilde görünür güç sabit tutularak aktif güçteki artma oranı:

$$\% \Delta P = \frac{\Delta P}{P_1} 100 = 100 \left(\frac{\cos \varphi_2}{\cos \varphi_1} - 1 \right) \quad (3.18)$$

olarak bulunur. Görülüyor ki güç katsayısının düzeltilmesiyle şebekenin güç taşıma kapasitesinde önemli bir artış sağlanmaktadır.

b) Şebekenin Güç Kaybının Azalması: Hat üzerinden çekilen aktif gücün sabit olduğu kabul edilerek kompanzasyondan önceki ve sonraki faz başına güç kaybı:

$$P_{z1} = \frac{R.P^2}{U^2 \cdot \cos^2 \varphi_1} \quad (3.19)$$

$$P_{z2} = \frac{R.P^2}{U^2 \cos^2 \varphi_2} \quad (3.20)$$

Güç katsayısının düzeltilmesiyle elde edilen güç kaybı kazancı:

$$\%z = 100 \cdot \frac{P_{z1} - P_{z2}}{P_{z1}} = 100 \cdot \left(1 - \frac{\cos^2 \varphi_1}{\cos^2 \varphi_2}\right) \quad (3.21)$$

dir. Tam kompanzasyon yapılması halinde ($\cos \varphi_2=1$) çeşitli güç katsayıları için güç kayıplarında azalma oranları Tablo 2’de verilmiştir.

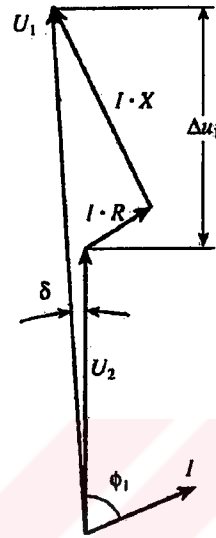
Cos φ_1	% z
1,0	0
0,9	19
0,8	36
0,7	51
0,6	64
0,5	75

Tablo 2. Çeşitli Güç Katsayıları İçin Şebeke Isı Kayıplarındaki Kazançlar

Hesaplanan bu kazanç şu istatistiki bilgiyle izah edilebilir. 1970 yılında TEK tarafından 5638887 MWh aktif enerjiyle birlikte 3782504 MVARh’lik reaktif enerji satılmıştır. Buna göre 1970 yılı için ortalama güç katsayısının 0,83 olduğu hesaplanır. Güç faktörünün 1 olması halinde şebeke kayıplarında sağlanan kazanç % 31,11’dir. Türkiye’de şebeke kayıplarının ortalama % 10 olduğu kabul edilir ise kompanzasyon olması halinde tasarruf edilecek enerji 175425 MWh olur. TEK istatistiklerine göre bu değer Kesikköprü Santrali’nin bir yıllık enerji üretimine eşdeğerdir.

Bu örnekten bir santralin yalnız şebeke kayıplarını karşılamak için çalıştığı sonucuna varılır.

c) Gerilim Düşümünün Azalması: Şekil 2'de bahsedilen besleme hattında hat başı gerilimi U_1 ve hat sonundaki gerilimi U_2 ise bu hat için hat üzerindeki enine ve boyuna gerilim düşümlerini gösteren aşağıdaki fazör diyagramı çizilebilir.



Şekil 3. Gerilim Düşümüne ait fazör Diyagramı

Bu fazör diyagramından faydalanılarak aşağıdaki denklemler yazılabilir.

$$\Delta U = R.I.\cos\varphi + X.I.\sin\varphi \quad (3.22)$$

$$\Delta U = R.I_p + X.I_q \quad (3.23)$$

$$\delta U = X.I.\cos\varphi - R.I.\sin\varphi \quad (3.24)$$

$$\delta U = X.I_p - R.I_q \quad (3.25)$$

Hat üzerinden çekilen P aktif gücünün sabit olduğu kabul edilerek hat üzerinde müsaade edilen bağıl kayıp güç

$$\%P_z = \frac{3.I^2.R}{P}.100 \quad (3.26)$$

olarak yazılabilir. Bağlı gerilim düşümü için de

$$\%\varepsilon = \frac{\Delta U}{U} = 100. \left(\frac{I.R.\cos\varphi + I.X.\sin\varphi}{U} \right) \quad (3.27)$$

Bu denklemde

$$P = U.I.\cos\varphi \quad (3.28)$$

ifadesi ile sadeleştirme yapılırsa

$$\%\varepsilon = 100. \left(P_z.\cos^2\varphi + \frac{P.X.\operatorname{tg}\varphi}{U^2} \right) \quad (3.29)$$

olarak elde edilir.

3.1.3.2. Tüketici Açısından Faydaları

Bir tesis kurulurken güç katsayısını düzeltecek önlemler alınırsa aşağıdaki yararlar sağlanır.

- Yatırım masrafları azalır.
- Kayıplar azalır.
- Gerilim düşümü azalır.
- Reaktif enerji bedeli ödenmez.

3.1.4. Reaktif Güç İhtiyacının Tespiti

Bir tüketicinin veya tesisin reaktif güç ihtiyacını tespit ederken o tüketicinin şebekeden çektiği S_1 görünür gücünün, buna ait $\cos\varphi_1$ güç katsayısının ve güç katsayısının çıkarılması istenen $\cos\varphi_2$ değerinin bilinmesi gereklidir. Gerekli olan reaktif gücü hesaplamak için iki yöntem vardır.

İlk yöntemde çekilen P_1 aktif gücü sabit kabul edilerek S_1 görünür gücü, S_2 görünür gücüne küçültülür.

İkinci yöntemde S_1 görünür gücü sabit kabul edilerek P_1 aktif gücü P_2 aktif gücüne yükseltilir.

3.1.4.1. P_1 Gücünün Sabit Olması Hali

Buna ait fazör diyagramı Şekil.4'te gösterilmiştir. Kompanzasyondan önceki reaktif güç

$$Q_1 = P_1 \cdot \text{tg}\phi_1 \quad (3.30)$$

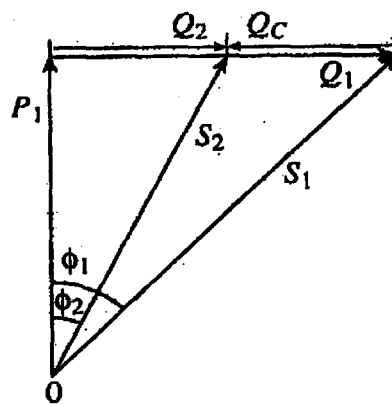
Kompanzasyondan sonraki reaktif güç

$$Q_2 = P_1 \cdot \text{tg}\phi_2 \quad (3.31)$$

Buna göre gerekli kondansatör gücü

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P_1 \cdot (\text{tg}\phi_1 - \text{tg}\phi_2) \quad (3.32)$$

olarak bulunur.



Şekil 4. Taşınan görünür gücün azaltılması

3.1.4.2. S_1 Görünür Gücünün Sabit Olması Hali

Buna ait fazör diyagramı Şekil 5'te gösterilmiştir. Kompanzasyondan önceki reaktif güç

$$Q_1 = S_1 \cdot \sin \varphi_1 \quad (3.33)$$

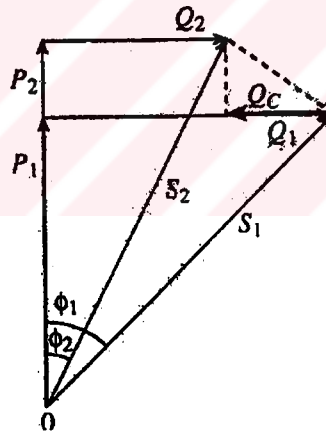
Kompanzasyondan sonraki reaktif güç

$$Q_2 = S_1 \cdot \sin \varphi_2 \quad (3.34)$$

Buna göre gerekli kondansatör gücü

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = S_1 \cdot (\sin \varphi_1 - \sin \varphi_2) \quad (3.35)$$

olarak bulunur.



Şekil 5. Taşınan görünür gücün sabit tutulması

3.1.5. Kondansatör Gücünün Hesabı

Alternatif akım şebekelerinde kondansatörler, reaktans olarak davranırlar. Ohm cinsinden kapasitif reaktans

$$X_c = \frac{1}{\omega.C} \quad (3.36)$$

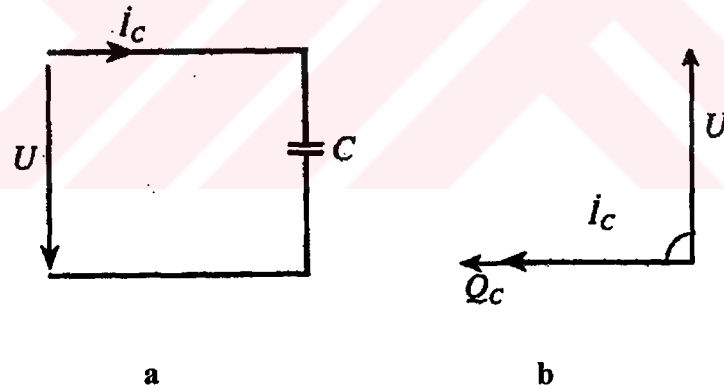
$$\omega = 2.\pi.f \quad (3.37)$$

olarak hesaplanır.

U gerilimli şebekeye bağlanan kondansatörün çektiği akım, Ohm Kanunu'na göre

$$I_c = \frac{U}{X_c} = U.\omega.C \quad (3.38)$$

dir. Bu I_c akımı U geriliminden 90° ileridedir. Şekil 6'da kondansatörün bir fazlı şebekeye bağlanması ve akım gerilim fazörleri gösterilmiştir.



Şekil 6. Kondansatörün şebekeye bağlanması a) Devre şeması b) Fazör diyagramı

Kondansatör gücü:

$$Q_c = U.I_c \quad (3.39)$$

(3.38)'deki eşitlik (3.39)'da yerine yazılırsa:

$$Q_c = U^2.\omega.C \quad (3.40)$$

veya akıma bağlı olarak:

$$Q_c = \frac{I^2}{\omega.C} \quad (3.41)$$

olarak bulunur.

Kapasitif reaktif güç ile endüktif reaktif güç arasında 180° faz farkı vardır. Yani bu güçler aynı doğrultuda, fakat ters yöndedirler. Böylece kapasitif gücün endüktif gücü karşılayarak kompanze ettiği görülür.

Üç fazlı alternatif akım tesislerinde kondansatörler şebekeye veya tüketici uçlarına üçgen veya yıldız olarak bağlanabilirler. Üçgen bağlamada her iki hat arasındaki kondansatörün kapasitesi C_Δ ile ve yıldız bağlamada her faza bağlanan kondansatörün kapasitesi C_Y ile gösterilirse, üçgen bağlama için:

$$Q_c = 3.U_h^2.\omega.C_\Delta = \sqrt{3}.I_h.I_c = \frac{I_c}{\omega.C_\Delta} \quad (3.42)$$

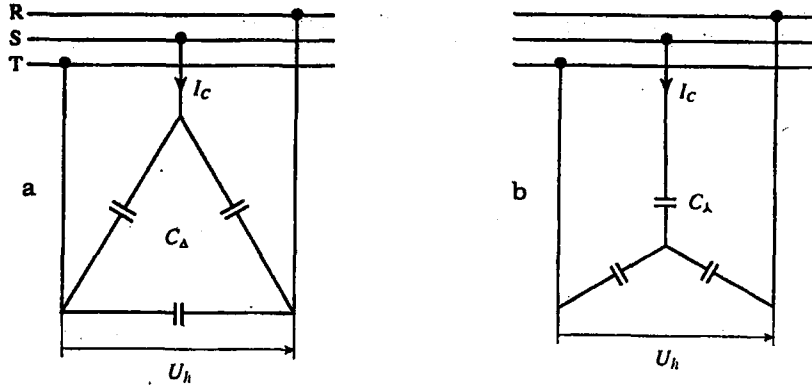
yıldız bağlama için ise:

$$Q_c = U_h^2.\omega.C_Y = \sqrt{3}.U_h.I_c = \frac{3.I_c}{\omega.C_Y} \quad (3.43)$$

yazılabilir. Her iki sistemde de Q_c gücünün eşit olduğu kabul edilirse:

$$C_Y = 3.C_\Delta \quad (3.44)$$

bulunur. Üçgen bağlama yıldız bağlamaya göre $1/3$ oranında daha ucuzdur. Bu sebeple kondansatörlerin üçgen bağlanması tercih edilir. [1,2]

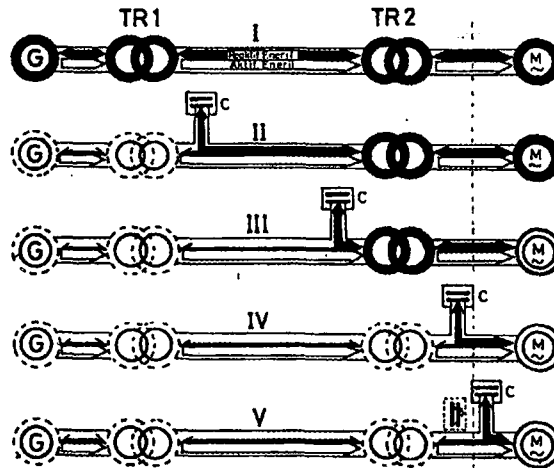


Şekil 7. Üç fazlı alternatif akım şebekesine kondansatörlerin bağlanması
 a)Üçgen bağlama b)Yıldız bağlama

3.2. Kompanzasyon Tesisleri

Kondansatörlerin kullanılacakları yere göre düzenlenme şekillerinin önemi büyüktür. Kurulacak tesisten en büyük faydayı sağlamak maksadıyla bunların yapacakları göreve göre tesis yerinin ve bağlama şeklinin uygun bir tarzda seçilmesi gerekir.

Şekil 8'de kompanzasyon kondansatörünün bağlama yerine göre hat, generatör ve transformatörlerdeki aktif reaktif enerji hareketi gösterilmiştir. I durumunda toplam reaktif enerji generatörden sağlanmakta, II durumunda Generatör ve TR1 Reaktif enerjinin büyük bir kısmından kurtarılmış bulunmakta, III, IV ve V durumunda kondansatörlerin bağlı bulunduğu noktalar ile generatör arasında kalan kesimlerde transformatörler ve hatlar reaktif enerjinin büyük bir bölümünden kurtarılmıştır. [6]



Şekil 8. Kondansatörlerin hattın değişik noktalarına bağlanması

3.2.1. Kompanzasyon Tesislerinin Çeşitleri

Genel olarak kompanzasyon tesisleri üç şekilde düzenlenir.

- Bireysel Kompanzasyon
- Grup Kompanzasyon
- Merkezi Kompanzasyon

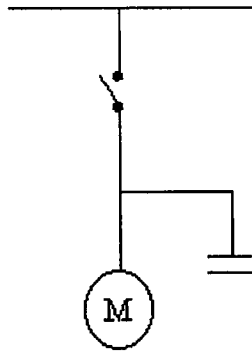
3.2.1.1. Bireysel Kompanzasyon

Devamlı olarak işletmede bulunan tüketicilerin reaktif güç ihtiyacını temin etmek için kondansatörler tüketicinin uçlarına doğrudan doğruya paralel bağlanırlar.

Kondansatörler tüketiciyle beraber devreye girip çıktığından ayrı bir açıcı cihaza, ayrı bir sigorta veya deşarj direncine gerek yoktur. Aşağıda bazı tüketiciler için kompanzasyon yöntemi açıklanacaktır.

a) Asenkron Motorların Kompanzasyonu: Asenkron motor, manyetik alanın üretilmesi için endüktif reaktif güç çeker. Motorların çektiği reaktif güç, motorun nominal gücüne ve devir sayısına bağlıdır. Yani belirli bir güçte düşük devirli motorlar daha yüksek mıknatıslanma akımı çekerler. Boşta çalışan motor ise şebekeden hemen hemen yalnız mıknatıslanma akımı çeker.

Asenkron motorların kompanzasyonu için kondansatörler motora paralel olarak bağlanırlar (Şekil 9).



Şekil 9. Asenkron motorun bireysel kompanzasyonu

Asenkron motorun bireysel kompanzasyonu için gerekli kondansatör gücü, boşa çalışma mıknatıslanma gücünün yaklaşık %90'ına eşittir.

$$Q_c = 0,9 \cdot \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_0 \quad (3.45)$$

Burada, I_0 boşa çalışma akımı, U_N motorun nominal çalışma gerilimidir. Eğer I_0 'ın ölçülmesi mümkün değilse kondansatör gücü motorun etiket değerleri yardımı ile yaklaşık olarak bulunabilir.

$$Q_c = 0,9 \cdot \frac{P_N}{\eta} \left(\frac{1 - \cos \varphi_N}{\cos \varphi_N \cdot \sin \varphi_N} \right) \quad (3.46)$$

Burada :

P_N : Motorun nominal çıkış gücü

η : Motorun verimi

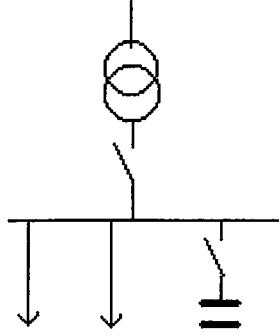
$\cos \varphi_N$: Motorun nominal güç katsayısı

Tablo 3'te asenkron motorların nominal güçlerine göre gerekli kompanzasyon kondansatörlerinin değerleri 1500 d/dk'lık motorlar için verilmiştir.

Motorun Nominal gücü (kW)	Kondansatörün gücü (kVAR)
1 ... 3	Motor gücünün yaklaşık %55'i
4 ... 4,9	2
5 ... 5,9	2,5
6 ... 7,9	3
8 ... 10,9	4
11 ... 13,9	5
14 ... 17,9	6
18 ... 21,9	8
22 ... 29,9	10
30 ... 39,9	Motor gücünün yaklaşık %40'ı
40'tan büyük	Motor gücünün yaklaşık %35'i

Tablo 3. Asenkron motorların nominal güçlerine göre kondansatör değerleri

b) Transformatörlerin Kompanzasyonu: Alternatif akım makinelerinin önemlilerinden biri olan ve en çok kullanılan transformatörler de bağlı buldukları üst gerilim şebekesinden endüktif reaktif güç çekerler. Bunlar da bireysel olarak kompanze edilirler. Kondansatörler ya üst gerilim ya da alt gerilim tarafına bağlanabilirlerse de hem pratik hem de ekonomik sebeplerle alçak gerilim tarafına bağlanmaları tercih edilir (Şekil 10).



Şekil 10. Transformatörlerin alt gerilim tarafına bağlanan kondansatörler ile bireysel kompanzasyonu.

Dağıtım transformatörleri normal olarak gece gündüz devrede kalırlar ve yapılış tipine göre farklı reaktif güç çekerler. Yüklü durumda çektikleri reaktif güç Q_T ise, bu güç boşa çalışma gücü Q_0 ile kısa devre reaktansı üzerindeki kaçak manyetik alan gücünün toplamına eşittir.

$$Q_T = Q_0 + \frac{u_k}{100} \left(\frac{S}{S_N} \right)^2 \cdot S_N \quad (3.47)$$

Burada:

u_k : Transformatörün bağıl kısa devre gerilimi (%)

S_N : Transformatörün nominal gücü (kVA)

S : Transformatörün yükü (kVA)

Transformatörün yükü daima değişebildiğinden, kompanzasyon için gerekli kondansatör gücü, en büyük reaktif güç ihtiyacına göre seçilmez; aksi halde düşük yüklü saatlerde aşırı kompanzasyon baş gösterebilir ve transformatörün sekonder

uçlarında gerilim yükselebilir. Ayrıca şebekede gerilimde harmoniklerin olması halinde, kondansatör şebekeden aşırı akım çekerek transformatörü aşırı yükleyebilir.

Eğer kondansatör gücü, transformatörün reaktif güç ihtiyacından büyükse, bu da kapasitif yüklenen transformatörün sekonder uçlarında aynı şekilde gerilim yükselmesine sebep olur.

Açıklanan bu sebeplerden dolayı elektrik idareleri, transformatörün yüküne bağlı olmadan nominal gücün % 5 - % 10 değerinde sabit bir kondansatör bağlanmasını tavsiye ederler.

Tablo 4'te transformatörlerin çektikleri reaktif güçlerin kompanzasyonu için sekonder tarafa bağlanacak olan sabit kondansatörlerin güçleri verilmiştir.

Transformatörlerin Nominal Güçleri (kVA)	Transformatörlerin Üst Gerilimleri		
	5 kV – 10 kV	15 kV – 20 kV	25 kV – 30 kV
	Kondansatör Güçleri (kVAR)		
25	2	2,5	3
50	3,5	5	6
75	5	6	7
100	6	8	10
160	10	12,5	15
250	15	18	22
315	18	20	24
400	20	22,5	28
650	28	32,5	40

Tablo 4. Transformatörlerin alt gerilim tarafına bağlanacak olan sabit kondansatörlerin güçleri

Böyle bir kompanzasyon tesisinde dikkat edilecek bir başka önemli konu da harmoniklerin üretildiği şebekelerde transformatör ile kondansatörün bir seri rezonans devresi oluşturmamalarıdır. Bunun için transformatörün kaçak reaktansı ile kondansatörün kapasitif reaktansı, rezonans frekansından farklı bir değerde olmalarıdır.

Şebekelerde genellikle 5. ve 7. harmoniklere daha sık rastlanır. Bunun dışında 11. ve 13. harmonikler de söz konusu olabilirler.

S_T transformatör gücü ile Q_C kondansatör gücünden yararlanarak rezonans frekansı şu şekilde hesaplanır.

$$\omega_r = \omega_N \sqrt{\frac{100.S_T}{u_k.Q_c}} \quad (3.48)$$

Burada ω_N , nominal dairesel şebeke frekansı, ω_r rezonans frekansı ve u_k transformatörün bağıl kısa devre gerilimidir.

Rezonans olmaması için kondansatörün gücü, en çok yaklaşık

$$Q_c < \frac{100.S_T}{v^2.u_k} \quad (3.49)$$

değerinde olmalıdır. Burada $v = \omega_r / \omega_N$ olup harmonik mertebesini gösterir.

e) Deşarj Lambaların Kompanzasyonu: Floresan lambalar, halojen, maden buharlı, civa buharlı, yüksek ve alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar ve neon lambaları gibi bütün deşarj lambaları, akım sınırlayıcı bir düzen aracılığıyla çalışırlar. Bu lambaların akım ve gerilim karakteristikleri yüzünden böyle bir sınırlamaya ihtiyaç vardır. Böylece akımın müsaade edilmeyecek kadar büyük değerlere çıkması ve lambanın zarar görmesi önlenir. Bugün kullanılan en uygun sınırlayıcı düzen balasttır. Balast, demir çekirdekli bir bobinden ibaret olup reaktif bir direnci vardır ve şebekeden reaktif akım çekerek güç katsayısının düşmesine sebep olur. $\cos\phi$ 'yi düzeltmek için lambaya seri veya paralel olarak kompanzasyon kondansatörleri bağlanırlar. Kondansatör gücü, lambanın gücüne bağlı olarak seçilir. Ancak alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar ile neon lambalarda akım sınırlayıcı direnç olarak kaçak akıllı transformatörler kullanılır. Bunlar da balastlar gibi endüktif karakterlidir. Bunların güç katsayıları ortalama 0,3 iken balastlarındaki tiplerine göre 0,4-0,6 arasında değişir. Floresan lambaların kompanzasyonu için gerekli kondansatör gücü ve kapasitesi Tablo 5'te verilmiştir.

Nominal Gerilim (V)	Lamba Gücü (W)	Kondansatör Gücü (VAR)	Kapasite (μF)
110	20	30	8
220	10	30	2
220	2 x 25	55	3,5
220	16	40	5,5
220	20	80	5
220	25	55	3,5
220	40	70	4,5
220	2 x 20	70	4,5
220	65	110	7

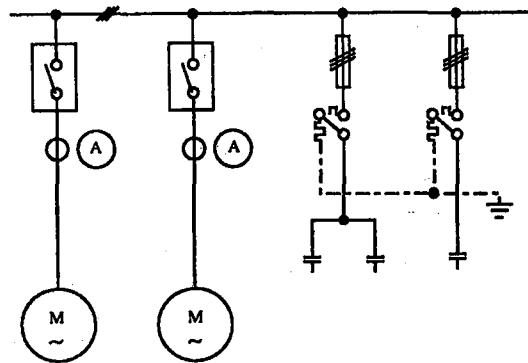
Tablo 5. Floresan lambaların kompanzasyonu için gerekli Kondansatör gücü ve kapasitesi

Bireysel kompanzasyonun üstünlükleri yanında sakıncaları da vardır. Bu kompanzasyon tipi pahalıdır ve ayara elverişli değildir. Ancak sabit bir güçle sürekli olarak çalışan tüketiciler için en uygun ve ekonomik çözümdür.

3.2.1.2. Grup Kompanzasyon

Bir tesiste birden fazla tüketicinin birlikte bulunması ve bunların ayrı ayrı kompanze edilmesi yerine müşterek bir kompanzasyon tesisi ile kompanze edilmesidir. Bu daha pratik ve ekonomik bir yoldur.

Bu durumda kondansatör özel anahtarlar üzerinden ve gerektiğinde kademeli olarak şebekeye bağlanırlar. Buna ait bir örnek Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. Grup kompanzasyon

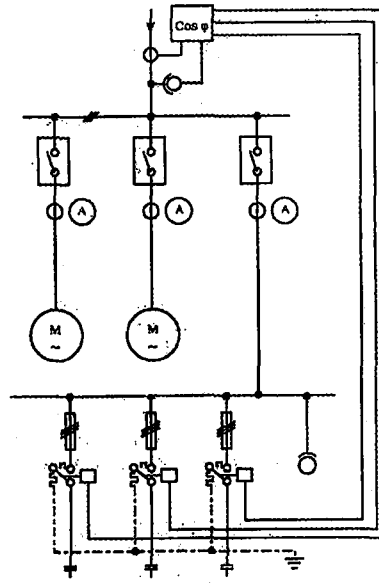
Burada kondansatörler açma ve kapama arklarını amortize etmek için özel anahtarlar ile donatılmıştır. Anahtar açıldığında hareket eden kontak, bir deşarj direnci üzerinden topraklanır.

Bazı hallerde kondansatörler başka bir motor koruma anahtarı veya yüksek gerilim güç anahtarı üzerinden şebekeye bağlanırlar. Tesisi kısa devreye karşı korumak için her bir kondansatör bir sigorta üzerinden baraya bağlanır. Böyle bir tesiste kademeli kompanzasyon imkanı yoktur.

3.2.1.3. Merkezi Kompanzasyon

Grup kompanzasyonun biraz daha genişletilmesi ile merkezi kompanzasyon elde edilir. Merkezi kompanzasyonda tüketici sayısı çok olduğundan ve bunların hepsinin de sabit güçle ve sürekli olarak devrede olması söz konusu olmadığından, kondansatör gücünü, değişen kompanzasyon gücüne uydurabilmek için merkezi kompanzasyonda genellikle bir ayar düzeni bulunur. Bu sayede hem düşük ve hem de aşırı kompanzasyondan sakınmak mümkün olur.

Şekil 12'de bir merkezi kompanzasyon sistemi gösterilmiştir. Burada güç katsayısını devamlı olarak kontrol eden bir cihaz (RGR) yardımıyla ihtiyaca göre kondansatör grupları devreye sokulup çıkarılırlar.



Şekil 12. Ayarlı Merkezi Kompanzasyon

3.2.2. Kondansatörlerin Otomatik Ayarı

Özellikle grup kompanzasyon ve merkezi kompanzasyonda reaktif güç ihtiyacı devamlı olarak değişir. Kompanzasyon için öngörülen kondansatör gücü sabit kalırsa reaktif güç ihtiyacının arttığı durumlarda kondansatörler gerekli reaktif gücü karşılayamaz ve güç katsayısı ($\cos\phi$) düşer. Düşük güçle çalışıldığında ise paralel bağlı kondansatör şebekeye gerekenden fazla reaktif güç verir ve aşırı kompanzasyon baş gösterir. Bu olay genellikle yüksek güç katsayısı ile çalışan tesislerde baş gösterir.

Bir transformatör istasyonu tarafından beslenen tüketicilere reaktif güç kompanzasyonu için büyük bir sabit kondansatör bataryası bağlanırsa, tüketici gücünde bir azalma olması halinde kondansatör, transformatör üzerinden yüksek gerilim tarafını reaktif güç ile besler. Bu durumda tüketici geriliminde önemli bir artış görülür (Şekil 13).

Aşırı kompanzasyonda ΔU gerilim artışı kondansatör gücü ile transformatör gücünün oranına bağlıdır. Gerilim artışı yüzde olarak

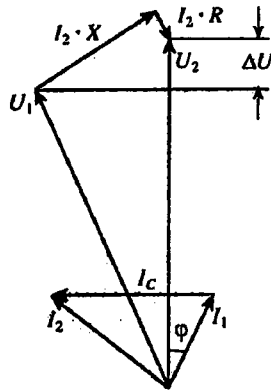
$$(\%) \frac{\Delta U}{U} = \frac{u_x}{100} \frac{Q_c}{S_T} \quad (3.50)$$

formülünden hesaplanır. Burada

u_x : Kondansatör yerine bağlı olarak trafo akımına indirgenmiş reaktans üzerindeki % gerilim düşümü

Q_c : Kondansatör gücü (kVAR)

S_T : Transformatör gücü (kVA)



Şekil 13. Aşırı kompanzasyonda gerilim artışı

Aşırı kompanzasyonda meydana gelen gerilim artışı o kadar büyük değerlere çıkabilir ki tesisler bundan zarar görebilir. Bunu önlemek için kompanzasyon kondansatörleri birkaç gruptan oluşturulur ve bu gruplar ihtiyaca göre devreye sokulup çıkarılırlar. Genellikle grup sayısının 3-5 olması yeterlidir.

Reaktif gücün ayarı iki ana sebepten zorunludur. Bunlardan en önemlisi aşırı gerilimi önlemek, ikincisi ise bara gerilimini sabit tutmaktır. Bu ayar işlemi o şekilde yapılır ki tüketici gücünün değişmesi halinde belirli bir kondansatör otomatik olarak devreye sokulur veya çıkarılır. Bu esnada $\cos\phi$ daima sabit tutulur ve şebekeye reaktif güç verilmesi de önlenir.

Ayar; gerilim değişimine, reaktif güç değişimine veya güç katsayısının değişimine göre yapılabilir. Ancak gerilim değişimine bağlı ayar, pek sağlıklı değildir. Bu durumda aktif güçte aşırı bir artma halinde gerilim azalacağından ilave kondansatörler devreye alınacağından aşırı kompanzasyona yol açılır. Bu nedenle otomatik ayarın reaktif güce veya güç katsayısına göre yapılması daha uygundur. Günümüzde kullanılan Reaktif Güç Rölelerinde güç katsayısına göre kondansatör grupları kontrol edilmektedir. Yapıları tamamen elektrondir.

Günümüzde kullanılan Reaktif Güç Röleleri tesisin sürekli olarak reaktif güç değerini ölçerek hedeflenen güç faktörünün sağlanabilmesi için kondansatör gruplarının devreye alınıp çıkarılmalarını sağlarlar. Genellikle bu rölelerde 7 adet kademe seçeneği

bulunmaktadır. Bu kademelerdeki kondansatör güçleri aynı olabileceği gibi farklı da olabilir. Böylece 7 grup kullanılarak farklı kombinasyonlar sağlanması ile 13 farklı reaktif güç kademesi elde edilebilir. [1,2,6,8]

3.3. Kompanzasyon Tesislerinde Harmonikler

Kompanzasyon tesislerinde ortaya çıkan en önemli sorun harmonikler ve bunların sebep oldukları rezonans olaylarıdır. Harmonikler, etkileri önlenmediği takdirde kompanzasyon kondansatörlerinde ısınma ve tahribata yol açarak kondansatörlerin çalışma ömrünü kısaltmaktadır. Bu bölümde harmoniklerin meydana gelişi, hesaplanması, kompanzasyon sistemine etkileri ve bunların önlenmesi için gerekenler anlatılacaktır.

3.3.1. Harmoniklerin Oluşması

Harmoniklerin oluşmasının temel sebebi, lineer olmayan elektrik devreleridir. Generatör, transformatör ve bobinler gibi demir çekirdek içeren cihazlarda doymanın meydana gelmesi, ark fırınlarında işletme gereği ark oluşması, güç elektroniği devrelerinde anahtarlama ve kıyıcı devreler nonlineer olaylardır. Bütün bu lineersizlikler şebekenin akım ve gerilim dalga şeklini sinüsten uzaklaştırarak şebekede harmonik oluşmasına sebep olurlar.

3.3.1.1. Şebekede Harmonik Oluşturan İşletme Araçları

Şebekede harmonik oluşmasına neden olan kaynaklar şunlardır.

- Generatörler
- Transformatörler
- Redresörler, tristörler
- Arkla çalışan işletme araçları

a)Generatörler: En temel harmonik üreticisidir. Zira generatörler, temel frekanslı gerilimin yanında ister istemez yüksek harmonikli gerilimler de üretir.

Dönen makinelerde harmonik üretimi bakımından en önemli faktör, alan eğrisinin şeklidir. Endüksiyon Kanununa göre stator sargılarında endüklenen emk, Φ akısı ile orantılıdır. emk'nın sinüs şeklinde olması Φ 'nin sinüs şeklinde olmasına bağlıdır.

Senkron generatörlerin oluşturduğu harmonikler 1,3,5,7,9,... vb. tek mertebeli sinüs şeklindeki harmoniklerdir. Harmonik derecesi v arttıkça bunların genlikleri düşer. 3 ve 3'ün katı harmoniklerin kompanzasyon sistemi üzerinde etkisi yoktur. Genellikle sistem üzerinde 5 ve 7. dereceden harmonikler etkili olur. Daha yüksek mertebeden harmoniklerde amplitüd azalacağından bunların etkisi incelenmeyecektir.

Senkron generatörde üretilen v . harmoniğin efektif değeri şu şekilde hesaplanır.

$$U_v = 4,44.v.f_1.w.k_v.\Phi_v \quad (3.51)$$

Burada

- v : Harmonik derecesi
- f_1 : Temel harmoniğin frekansı
- w : Bir faz sargısının sarım sayısı
- k_v : v . harmoniğin sargı faktörü
- Φ_v : Alan eğrisinin v . harmoniği

Senkron generatörlerde endüklenen emk'nın v . harmoniğinin efektif değeri ile temel harmoniğinin efektif değerinin oranı

$$\frac{U_v}{U_1} = \frac{v.k_v.\Phi_v}{k_1.\Phi_1} \quad (3.52)$$

elde edilir. Magnetik akı

$$\Phi_v = \frac{2.\tau.l.B_v}{\pi.v} \quad (3.53)$$

olduğuna gore

$$\frac{U_v}{U_1} = \frac{k_v B_v}{k_1 B_1} \quad (3.54)$$

elde edilir. Normal alternatif akım sargılarında kutup ve faz sargıları başına oluk sayısının çok buyuk ($q=\infty$) olduğu kabul edilirse sargı faktoru için $k_v=k_1/v$ olur. Boylice

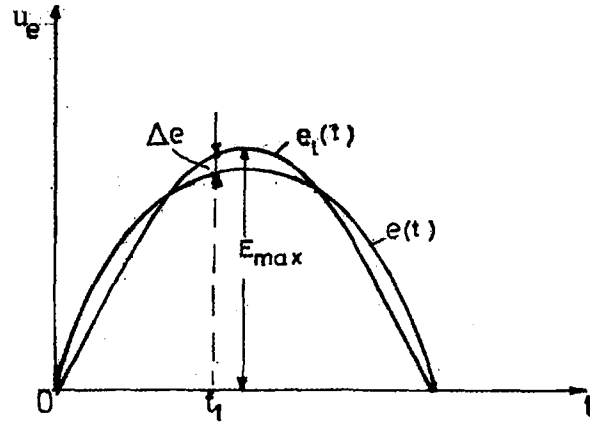
$$\frac{U_v}{U_1} = \frac{1}{v} \frac{B_v}{B_1} \quad (3.55)$$

bulunur.

Harmoniklere ait k_v sargı faktorleri çok kk olduklarından alan harmonikleri sargılarda bir nevi filtrelenirler ve gerilim eğrisine geçmezler. Normal üç fazlı bir sargıda v . harmonik gerilimin temel harmonik gerilimine oranı $1/v$ ile orantılı olarak azalır. Şu halde alan eğrisinde belirli harmonik değerleri bulunmasına rağmen, enduklenen gerilimde harmoniklerin etkisi çok dŐktr, yani gerilim eğrisi sinüs Őekline çok yakındır. Stator sargılarının zel bir Şekilde düzenlenmesi; sargı adımlarının uygun Őeilmesi ve kirifleme yolu ile harmonikler gerilim eğrisinde tamamen ortadan kaldırılabılır. Bunun dışında çıkık kutuplu senkron makinelerde kutuplara uygun Şekil verilmesi, hava aralığının belirli bir Şekilde düzenlenmesi, olukların meyilli yapılması gibi konstrüktif çarelere baŐvurarak gerilim eğrisinin tamamen sinüsoidal olması sağlanır. Pratik olarak bir gerilim eğrisinin sinüs Şeklinde kabul edilebilmesi için Şekil 14 eğrisi gz nne alınarak

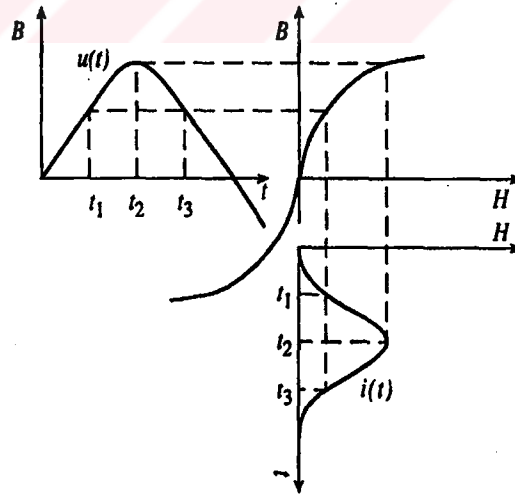
$$\varepsilon = \frac{|e_1 - e|}{E_{1 \max}} = \frac{|\Delta e|}{E_{1 \max}} < \%5 \quad (3.56)$$

olmalıdır. [4]



Şekil 14. Standart sinüs gerilimi

b) Transformatörler: Enerji tesislerinde en önemli harmonik üreticiler transformatörler, bobinler gibi demir çekirdekli sargılardır. Bunların harmonik üretme özelliği demir çekirdeğin mıknatıslanma karakteristiğinin lineer olmayışından kaynaklanır. Üç fazlı transformatörler şebekeden sinüs şeklinde bir gerilim ile beslendiklerinde şebekeden bir mıknatıslanma akımı çekerler. Demir çekirdeğin manyetik karakteristiği lineer olmadığından, bu mıknatıslanma akımı da sinüsoidal değildir. Şekil 15'te sinüsoidal şebeke gerilimi mıknatıslanma karakteristiği ve mıknatıslanma akımı gösterilmiştir.



Şekil 15. Sinüsoidal şebeke gerilimi ile transformatörün demir çekirdeğine ait mıknatıslanma eğrisi yardımı ile mıknatıslanma akımının elde edilmesi

Transformatörlerde doyma arttıkça harmoniklerin amplitüdüleri de büyür. Harmonik akımları hat, generatör reaktansları, ile transformatör primer reaktansı üzerinde gerilim düşümleri oluşturduğundan, transformatörün sinüsoidal akımla beslendiği yolunda yapılan kabul de yanlış olur. Mıknatıslanma akımı bundan da etkilenir.

Esasen mıknatıslanma akımının harmoniklerinin tepe değerleri, temel mıknatıslanma akımının tepe değerlerinden hayli küçüktürler. Ayrıca transformatörlerin mıknatıslanma akımları da nominal akımlarının % 1 - % 10'u kadardır. Buna rağmen reaktanslar frekansla orantılı olarak arttıklarından özellikle düşük yüklerde yüksek harmonik akımlarının reaktanslar üzerinde oluşturdukları reaktif gerilim düşümleri büyük değerler alır.

Mıknatıslanma akımındaki harmoniklerin şebekeye geçip geçmemesi şu faktörlere bağlıdır.

- Transformatörlerin bağlama grubuna
- Primeri yıldız bağlı transformatörlerde yıldız noktasının şebekenin nötr hattına bağlanıp bağlanmamasına
- Transformatörde mıknatıslanmanın serbest veya zorunlu olmasına

Modern transformatörlerde soğuk haddelenmiş ve kristalleri yönlendirilmiş sac kullanıldığından, magnetik akı ve bunun sonucu olarak mıknatıslanma akımı çok düşük değerler alır. Böylece şebekedeki harmonik tehlikesi geniş çapta önlenir.

Transformatörlerin sabit kompanzasyonunda; eğer transformatör kısa devre gerilimi % 6'dan büyük ise büyük bir aşırı kompanzasyonla, gerilim yükselmesi meydana gelmeyecek şekilde transformatör nominal gücünün % 10'una kadar kondansatör bağlanabilir. Transformatöre paralel bağlanacak kondansatör transformatörle beraber devreye sokulup çıkarılır. Yüklenmenin az olduğu hallerde; kondansatör büyük seçilmişse, aşırı kompanzasyon vuku bulur. Bu gerilim artışı U aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$U = u_k \frac{Q_c}{S_T} (\%) \quad (3.57)$$

Burada

- u_k : Nominal kısa devre gerilimi
 Q_c : Kondansatörün gücü (kVAR)
 S_T : Transformatörün nominal gücü (kVA)

Aşırı kompanzasyonda, ayrıca, meydana gelen harmonikler sonucu kondansatörler, ilave olarak bir akım çekmeye başlarlar. Bu akım da transformatörün boşa çalışma akımına ilave olarak şebekeden çekilecek, dolayısıyla transformatörde kayıplar artacak ve transformatör uzun zaman aşırı kompanzasyonla çalışmaya bırakılırsa ısınacaktır. Bu sebeple, genelde transformatör gücünün % 5 - % 10'u kadar kondansatör seçilebilir.

Eğer transformatöre paralel bağlanacak kondansatör gücü çok küçük, transformatörü aşırı akıma karşı koruyan cihazlar, kondansatör korumasına karşı çok büyük kalıyorsa, bu taktirde; kondansatör çıkışına sigorta konularak hem kondansatör kablosu, hem de kondansatör korunmuş olacaktır. Bu sigortaların, kondansatör akımının 1,5 – 2 katı mertebesinde seçilmiş olması, ayrıca kondansatör üzerinde boşalma dirençlerinin de bulunması gerekir. Sigorta attığı durumlarda, kondansatörler bu dirençler üzerinden boşalabilmelidir.

Transformatörün alçak gerilim kısmına bir kondansatör bağlandığı zaman, şebekede mevcut harmoniklerin (v) kontrolü gerekir. Zira, kondansatörün kapasitesi ile transformatörün reaktansı, esasen şebekede bulunan, genellikle 5. ve 7. harmoniklerde rezonans meydana getirebilirler.

Şebekede mevcut olabilecek harmoniklerden kaçınıcı (v) bu rezonansı meydana getirebilir, aşağıdaki formülle bulunabilir.

$$v = \sqrt{\frac{S_T \cdot 100}{Q_c \cdot u_k}} \quad (3.58)$$

Eğer şebekede bulunan harmonik 7 ise, bir rezonans meydana gelmemesi için (3.58) formülünde v 'nin 7'den büyük çıkması gerekir.

Transformatörlere sabit olarak bir kondansatör paralel bağlandığı zaman, transformatörle kondansatör bir şalterle beraber devreye alınıp çıkarılıyorsa, bu şalterin üç kutuplu seçilmesi ve üç fazın birden açılması sağlanmalıdır.

c) Redresörler: Günümüzde güç elektroniği devreleri geniş kullanma alanı bulmaktadırlar. Bunlar da harmonik ürettiklerinden şebekede sorunlara yol açmaktadırlar.

Redresörlerde harmonik üretilmesi, akımın periyodik olarak kesilmesi esasına dayanır. Sinüs şeklinde bir alternatif gerilime bağlı olan bir redresör, şebekeden I_1 temel harmonik akımı ile birlikte, yaklaşık olarak

$$I_v = \frac{I_1}{v} \quad (3.59)$$

harmonik akımları çeker. Redresörlerde darbe sayısı p olmak üzere, harmonik mertebeleri

$$v = n.p \mp 1 \quad (3.60)$$

değerini alır. Burada $n=1,2,3,\dots$ gibi tamsayılarıdır. Genellikle redresörlerde darbe sayısı 6,12,24 veya 36'dır. Mesela 6 darbeli bir redresörde $v = 5,7,11,13,\dots$ olup harmonik akımları $I_5=I_1/5$, $I_7=I_1/7$, $I_{11}=I_1/11$, $I_{13}=I_1/13,\dots$ gibi değerler alır. Buradan görülüyor ki darbe sayısı ne kadar büyük olursa harmonik mertebeleri de o kadar yüksek ve harmonik değerleri o kadar küçük olur.

Pratikte ölçülen harmonik akımları, yukarıda hesaplanan değerlerden daha küçüktür ve yukarıda verilen ifadenin k_v gibi bir katsayı ile çarpılmasından elde edilir.

$$I_v = \frac{I_1}{v} k_v \quad (3.61)$$

k_v katsayısı 1'den küçüktür ve redresörün kumandasına bağlı olarak, çeşitli harmoniklerde farklı değerler alır. Mesela kesişim açısı $\omega=20$, kumanda açısı $\alpha=5^\circ$ ve

endüktif doğru gerilim düşümü $d_x=4\%$ için $k_5=92\%$, $k_7=83\%$, $k_{11}=62\%$, $k_{13}=50\%$ gibi değerler verilmiştir.

Redresörlerde darbe sayısı ne kadar yüksek olursa, harmonik mertebeleri de o kadar yüksek ve harmonik akımlarının değeri de o kadar küçük olur. Böylece bunların zararlı tesirleri de o nispette azalır.

d) Arkla Çalışan İşletme Araçları: Arkla çalışan işletme araçlarında, özellikle ark fırınlarında yük değişimi frekansı çok yüksektir. Bu değişim, şebekeyi olumsuz yönde etkiler.

Ark fırınının aktif direnci sabit olmadığından çekilen akım tam sinüs değildir ve birçok harmonikler içerir. Özellikle ergitme safhasının başında akım harmonikleri çok fazladır.

Ark ocaklarının ve kaynak makinelerinin harmoniklerini ne efektif değer, ne de mertebe bakımından hesap yoluyla bulmak mümkün değildir. Zira arkın meydana gelişi o anda tesir eden birçok iç ve dış fiziki faktörlere bağlıdır. Harmonikler ark ocağının gücüne ve çalışma safhasına bağlı olarak da değişirler.

3.3.2. Harmoniklerin Kondansatörler Üzerine Etkisi

Bir elektrik tesisinde harmonik üreten cihazlar varsa, kompanzasyon kondansatörleri şebekeye paralel olarak bağlandıklarında bu harmonikli gerilim ile beslenirler. Bunun sonucu olarak şebekeden aşırı akım çekerler.

Kondansatör reaktansları, bobin reaktanslarının aksine frekans büyüdükçe daha küçük değer alırlar ve bu yüzden kondansatör akımındaki harmoniklerin amplitüdüleri kondansatöre uygulanan gerilimin amplitüdülerinden büyük olur. Kompanzasyon tesislerinde besleme iletkeninin kesitinin, sigortaların ve anahtarların seçiminde bu husus daima göz önünde bulundurulmalıdır.

Harmonikli bir şebekeye bağlı bir kondansatörün toplam gücünün tam olarak bulunması için, gerilimin ve akımın temel ve harmonik değerlerini ayırdıktan sonra ayrı ayrı temel ve harmonik güçleri hesaplanır ve bunların toplamı alınır. Zira şebeke işletmesinde

sadece temel harmoniğe ait güç, buna karşılık kondansatörün dielektrik kayıpları, yani termik zorlanması bakımından toplam kondansatör gücü geçerlidir. TS 804'e göre kondansatörlerin sürekli olarak nominal güçlerinin %135'i ile yüklenmelerine müsaade edilir. Önemli olan husus, kondansatör gücünün bu sınır değeri aşp aşmadığıdır. Sinüoidal bir U_{faz} geriliminde kondansatörün çektiği akımı ve faz başına gücü

$$I = \omega.C.U \quad (3.62)$$

$$Q = \omega.C.U^2 = \frac{I^2}{\omega.C} \quad (3.63)$$

dir. Eğer gerilim sinüsoidal değilse v . harmoniğin harmonik gerilimi altında kondansatör akımı ve gücü

$$I_v = \omega_v.C.U_v = v.\omega_1.C.U_v \quad (3.64)$$

$$Q_v = v.\omega_1.C.U_v^2 = \frac{I_v^2}{v.\omega_1.C} \quad (3.65)$$

olur. Burada ω_1 , temel harmoniğin ve ω_v , v . harmoniğin dairesel frekansdır ve

$$\omega_v = v.\omega_1 \quad (3.66)$$

dir. Kondansatör uçlarındaki sinüsoidal olmayan gerilimin efektif değeri

$$U_e = \sqrt{\sum_1^{\infty} U_v^2} \quad (3.67)$$

bağıntısından bulunur. Kondansatör akımının efektif değeri de

$$I_e = \sqrt{\sum_1^{\infty} I_v^2} = \omega_1.C.\sqrt{\sum_1^{\infty} (v.U_v)^2} \quad (3.68)$$

bağıntısından hesaplanır. Bu durumda kondansatör gücü

$$Q_c = \sum_1^{\infty} Q_v = \omega_1.C.\sum_1^{\infty} v.U_v^2 = \frac{1}{\omega_1} \sum_1^{\infty} \frac{I_v^2}{v} \quad (3.69)$$

ifadesinden hesaplanır. Denklem (3.67) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$U_1^2 = U_c^2 - \sum_2^{\infty} U_v^2 \quad (3.70)$$

(3.70) denklemi, (3.68)'de yerine yazılırsa

$$I_c = \omega_1.C.U_c \sqrt{1 + \sum_2^{\infty} (v^2 - 1) \left(\frac{U_v}{U_c}\right)^2} \quad (3.71)$$

elde edilir. Benzer şekilde

$$Q_c = \omega_1.C.U_c^2 \left[1 + \sum_2^{\infty} (v - 1) \left(\frac{U_v}{U_c}\right)^2 \right] \quad (3.72)$$

elde edilir.

U_c ile aynı efektif değerde olan ω_1 temel dairesel frekanslı bir gerilim altında kondansatörün çektiği akım

$$I_c = \omega_1.C.U_c \quad (3.73)$$

ise harmonikli gerilim altında kondansatörün çektiği akım, bu akımdan

$$\frac{I_c}{I_c} = \sqrt{1 + \sum_2^{\infty} (v^2 - 1) \left(\frac{U_v}{U_c}\right)^2} \quad (3.74)$$

oranı kadar daha büyüktür. Aynı şekilde U_c ile aynı efektif değerde olan dairesel frekanslı sinüsoidal bir gerilimin altında kondansatör gücü

$$Q_c = \omega_1 C U_c^2 \quad (3.75)$$

ise harmonikli gerilim altında kondansatörün kapasitif gücü, bu güç değerinden

$$\frac{Q_c}{Q_{c-}} = 1 + \sum_2^{\infty} (v-1) \left(\frac{U_v}{U_c}\right)^2 \quad (3.76)$$

oranı elde edilir. Bu oranlar kıyaslanırsa

$$\frac{I_c}{I_{c-}} > \frac{Q_c}{Q_{c-}} \quad (3.77)$$

olduğu görülür. Demek ki harmonikli gerilim altında kondansatör akımının, eşit efektif değerli sinüsoidal gerilim altında çekilen akıma göre artışı, harmonikli gerilim altındaki kondansatör gücündeki artıştan daha büyüktür.

Harmonikli bir gerilim altında kondansatörün çektiği gerçek güç, akımın ve gerilimin ölçülen efektif değerlerinin çarpımı ile bulunan güçten daha küçüktür.

Eğer harmonik mertebesi hakkında bir tahmin yapılabiliyorsa, şebekede temel harmonikten başka v' gibi bir harmonik olduğu kabul edilirse

$$Q_c = \frac{v'}{v'+1} \omega_1 C U_c^2 + \frac{1}{v'+1} \frac{I_c^2}{\omega_1 C} \quad (3.78)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifade kondansatör nominal gücü ile oranlanırsa ve $f/f_N = C/C_N = 1$ için

$$\frac{Q_c}{Q_{cN}} = \frac{v'}{v'+1} \left(\frac{U_c}{U_{cN}}\right)^2 + \frac{1}{v'+1} \left(\frac{I_c}{I_{cN}}\right)^2 \quad (3.79)$$

elde edilir. TS 804'e göre nominal gerilim altında kondansatör akımı, nominal akımın 1,3 katını aşmadığı sürece kondansatör, akım harmonikleri ile aşırı yüklenmiş olmaz.

Denklem (3.79)'da $I_c/I_{cN}=1,3$ değeri yerine yazılırsa

$$\frac{Q_c}{Q_{cN}} = \frac{v'}{v'+1} \left(\frac{U_c}{U_{cN}} \right)^2 + \frac{1,69}{v'+1} \quad (3.80)$$

ifadesi elde edilir.

Buradan görülüyor ki, kondansatörün verdiği güç daha çok gerilime göre artmaktadır. Bu sebeple kondansatör akımını ve gerilimini belirli sınırlarda tutmakla, harmonikli gerilimlerde dahi kondansatörler aşırı yüklemelere karşı en iyi şekilde korunmuş olur.

Küçük mertebeli bir harmonik nedeniyle meydana gelen akım artışı, kondansatörü, büyük mertebeli bir harmoniğin sebep olduğu eşit değerli bir akım artışından daha fazla yükler. Eğer hangi mertebedeki harmoniğin akım artışına sebep olduğu tam olarak bilinmiyorsa, emin olmak için sistemde mümkün olan en küçük harmonik esas alınır.

3.3.3. Harmoniklerin Elektrik Tesisleri Üzerindeki Etkileri

Harmoniklerin elektrik tesis ve cihazlarındaki bozucu etkileri aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Generatör ve şebeke geriliminin şeklinin bozulması,
- Hat, generatör ve kondansatör reaktanslarında gerilim düşümünün artması,
- Kondansatörlerin aşırı yüklenmesi,
- Hatlarda ve elektrik makinelerinde kayıplar,
- Dönen elektrik makinelerinde ısınma ve salınımlar,
- Endüksiyon sayaçlarında hatalı ölçümler,
- Kontrol cihazlarının yanlış çalışması,
- Yarıiletkenli işlemcilerde hatalı çalışma,
- Toprak teması halinde kompanzasyon bobininin görev yapmaması,
- Haberleşme tesislerinde parazitlerin oluşması,

- Rezonans olayları sonucu aşırı akımların oluşması. [1,2,9]

3.4. Kompanzasyon Tesislerinde Rezonans Olayları

Alternatif akım şebekelerinde meydana gelen reaktif güç genellikle endüktif karakterdedir. Bu reaktif gücü kompanze etmek için kapasitif reaktif güç üreten cihazlardan yararlanır. Bunlardan en önemlisi şönt kapasitörlerdir. Harmonik içermeyen bir tesiste kompanzasyon yapılması bir problem yaratmaz. Ancak birçok şebeke harmonik içerdiğinden kompanzasyon için kullanılan kondansatörler nedeniyle rezonans olayları oluşur. Rezonans sonucu devrede aşırı akımlar ve aşırı gerilimler oluşur ve bunlar tesislere büyük ölçüde zarar verirler.

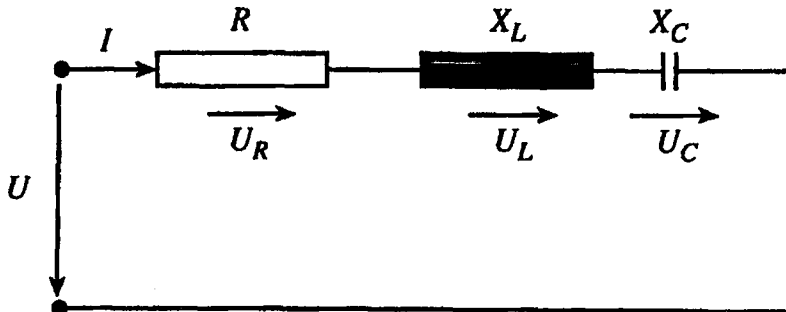
Alternatif akım tesis elemanlarının tabii bir X_L endüktif direnci, kompanzasyon kondansatörlerinin de bir X_C kapasitif direnci vardır. Bunlar bir arada bulduklarından bir titreşim devresi oluştururlar.

3.4.1. Rezonans Devreleri

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

3.4.1.1. Seri Rezonans Devresi

Seri rezonans devresi, R, L ve C elemanlarının seri bağlanması ile temsil edilir. Burada R ve L generatör, iletim ve dağıtım hatları ve transformatörlerin ohmik ve endüktif dirençlerini gösterir (Şekil 16).



Şekil 16. Seri rezonans devresi

Devre elemanlarının gerilimleri

$$U_R = I.R \quad (3.81)$$

$$U_L = I.j\omega L \quad (3.82)$$

$$U_c = I \frac{1}{j\omega C} \quad (3.83)$$

olduğuna göre şebeke gerilimi

$$\dot{U} = \dot{I} \left[R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \right] \quad (3.84)$$

olur. Devrenin toplam empedansı

$$\dot{Z} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (3.85)$$

veya mutlak değer olarak

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (3.86)$$

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

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad (3.87)$$

olacağından, buradan

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (3.88)$$

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

$$I_r = \frac{U}{R} \quad (3.89)$$

Kuvvetli akım tesislerinde ohmik dirençler, endüktif reaktanslara göre daha küçüktür. Bu nedenle seri rezonans devresinde rezonans halinde akım çok büyük değerler alır. Seri rezonansta aynı zamanda kondansatör gerilimi de büyük değerler alır. Kondansatör uçlarındaki gerilim

$$U_c = \frac{I}{\omega C} \quad (3.90)$$

olduğundan denklem (3.88) ve (3.89)'daki değerler yerine yazılırsa

$$U_c = \frac{U}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (3.91)$$

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

En çok karşılaşılan harmonik frekansları 150-750 Hz'dir. Bu da 3-15 mertebeli harmoniklere tekabül eder.

Herhangi bir v. Harmonik derecesi için devrenin eşdeğer reaktansı

$$X_v = v\omega L - \frac{1}{v\omega C} \quad (3.92)$$

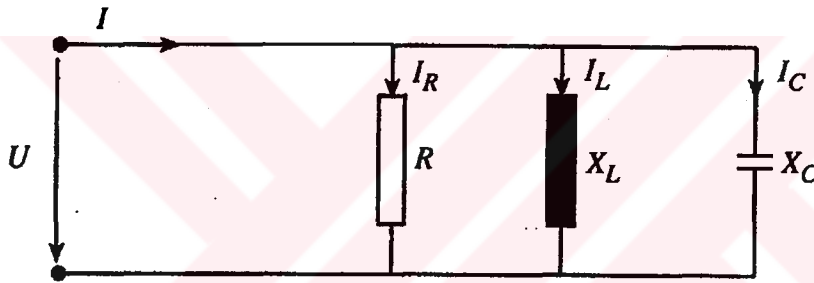
dir. Bu durumda rezonans frekansı

$$\omega_r = v\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (3.93)$$

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

3.4.1.2. Paralel Rezonans Devresi

Paralel rezonans devresi, R, L ve C elemanlarının birbirine paralel bağlanması ile gösterilen devredir. Böyle bir devre bireysel kompanzasyon yöntemine göre sargı uçlarına paralel kondansatörün bağlandığı transformatörün veya motorun teşkil ettiği sistemdir (Şekil 17).



Şekil 17. Paralel rezonans devresi

ω dairesel frekansına göre bobinin endüktif direnci ve kondansatörün kapasitif direnci

$$jX_L = j\omega L \quad (3.94)$$

$$jX_C = -j\frac{1}{\omega C} \quad (3.95)$$

olduğuna göre devrenin şebekeden çektiği akım

$$\dot{I} = \dot{U} \left[\frac{1}{R} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) \right] \quad (3.96)$$

olur. Buna göre devrenin empedansı

$$\dot{Z} = \frac{1}{\frac{1}{R} + j(\omega C - \frac{1}{\omega L})} \quad (3.97)$$

ve bunun mutlak değeri olarak ifadesi

$$Z = \frac{1}{\sqrt{(\frac{1}{R})^2 + (\omega C - \frac{1}{\omega L})^2}} \quad (3.98)$$

bağıntısından hesaplanır.

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

$$\omega_r C = \frac{1}{\omega_r L} \quad (3.99)$$

$$\omega_r = v\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (3.100)$$

Rezonans halinde reaktif dirençlerin toplamı sıfır olduğundan devrenin eşdeğer empedansı

$$Z_r = R \quad (3.101)$$

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

$$I_r = I_R = \frac{U}{R} \quad (3.102)$$

olur. Görülüyor ki rezonans halinde yüksek harmonikli gerilimlere rağmen enerji kaynağından ω_r frekanslı bir akım çekilmez; zira paralel rezonans devresi, rezonans halinde bir akım tıkaçı gibi tesir eder. Bu sebeple bu devreye tıkaç devresi adı verilir. Paralel rezonans devresi rezonans halinde şebekeden akım çekmediği halde devrenin içinde L ve C arasında ω_r rezonans frekanslı bir akım geçer. Bu nedenle bu devreye akım rezonans devresi de denir. Paralel reaktans uçlarında ω_r frekanslı U_r gerilimi bulunduğundan kondansatör tarafından

$$I_{cr} = \frac{U_r}{X_{cr}} \quad (3.103)$$

gibi bir akım, ve bobin tarafından

$$I_{Lr} = \frac{U_r}{X_{Lr}} \quad (3.104)$$

gibi bir akım çekilir. Rezonans halinde reaktanslar birbirine eşit olduğundan bu akımlar da birbirine eşittir. Bu akımlar temel harmonikli gerilim altında çekilen akımdan çok daha yüksektir. Bu sebeple kondansatörler ve transformatörler bu durumda aşırı yüklenip zarar görebilirler.

3.4.2. Harmonik Rezonanslarına Karşı Tedbirler

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

Bunu sağlamak için aşağıdaki yöntemler kullanılabilir:

1) Elektrik tesislerinde güç her zaman sabit değildir. Puant saatlerinde yük, en yüksek değerini alır. Tesisin yükünün düşük olduğu saatlerde tesisi besleyen transformatör 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 rezonansı baş gösterebilir. Bu yüzden tesis otomatik kompanzasyon sistemi ile donatılmalıdır.

2) Devreye ohmik direnç bağlayarak yüksek harmonik akımları sınırlanabilir. Bunu sağlamak için yapay dirençler yerine kompanzasyon tesisi baraya bir veya birkaç paralel kablo ile bağlanırlar, doğrudan bağlanmazlar.

3) Öz frekansı düşürmek amacıyla kondansatöre bir self bobini seri olarak bağlanır. Bobinin ısı kaybı çok düşük olduğundan bu ekonomik bir yöntemdir. Bağlanacak bobinin reaktif direncini hesaplamak için kondansatörün bağlı bulunduğu yerden santrale kadar bütün şebekenin direncini göz önünde tutmak gerekir. Bazen transformatörün direnci diğer direnç değerlerinden büyük olabilir. Bu durumda, kısa devre hesaplarında olduğu gibi diğer dirençler ihmal edilebilir.

Kondansatöre bir self bobininin seri bağlanması durumunda kondansatör gerilimi yükselir. Kondansatörde gerilim yükselmesi %10'u geçmemelidir. Kondansatör gerilimi şu şekilde hesaplanır.

$$U_{c1} = \sqrt{3} X_c I_{c1} \quad (3.105)$$

Kondansatöre seri bağlanacak bobinin reaktansı şu bağıntıdan hesaplanır.

$$X_b = \frac{f^2}{f_0^2} X_c - X_L \quad (3.106)$$

Burada

X_c : Kondansatör reaktansı

X_L : Şebekenin toplam endüktif reaktansı

f : Temel harmonik frekansı (50 Hz)

f_0 : Öz frekans

4) Şebekeden gelen harmonik akımlarını etkisiz hale getirmek ve rezonansı önlemek için, en belirgin harmonik frekansları için filtreler tesis edilebilir. Filtreler aktif veya pasif olabilirler. Pasif filtreler genellikle belirli bir harmonik frekansı için tasarlanırlar. Belirli bir harmonik akımı için filtre devresi, kompanzasyon için öngörülen kondansatörlerin bir kısmı ile söz konusu harmonik frekansına göre seçilmiş uygun bir self bobininin seri bağlanması ile elde olunur. Filtrenin temel frekans için reaktansı X_{b1}

olmak üzere, belirli bir harmonik frekansı için, filtre devresinin eşdeğer veya toplam reaktansı

$$X_{ev} = v \cdot X_{b1} - \frac{X_{c1}}{v} = 0 \quad (3.107)$$

yani, I_v akımı için kısa devre teşkil eder. Bu durumda harmonik akımları, devrelerini filtre üzerinden tamamlayarak şebekeye zarar vermezler.

Kondansatöre seri bağlanacak bobinlerin % olarak değerleri şu şekilde hesaplanır.

$$X_{b1} = \frac{X_c}{v^2} \quad (3.108)$$

Bu formüle göre bazı harmonikler için bobin reaktanslarının % değerleri aşağıda verilmiştir.

- 5. harmonik : $X_{b1} = \% 4 X_c$
- 7. harmonik : $X_{b1} = \% 2,04 X_c$
- 11. harmonik : $X_{b1} = \% 0,83 X_c$
- 13. harmonik : $X_{b1} = \% 0,6 X_c$

Aktif filtreler ise yarıiletkenlerden faydalanılarak 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 vermektir.

Filtre devreleri rezonans devrelerine paralel bağlanırlar.

Orta güçlü transformatörlerde 5. harmonikte rezonans çok sık baş göstermez. 7. harmonikte rezonans da oldukça zayıftır. Ancak YG/OG indirici transformatörlerde u_k değeri büyük olduğundan 5. ve 7. harmoniklerde rezonans olayları büyük önem kazanır. Bu nedenle rezonans olayları araştırılmalı ve buna karşı tedbirler alınmalıdır.

3.4.3. Kritik Kondansatör Gücü

Bu kısımda seri ve paralel rezonans devrelerinde rezonansın meydana gelebileceği kritik kondansatör gücünün hesabı yapılacaktır.

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

$$Q_c = \frac{1,1 \cdot S_k''}{v^2} \quad (3.109)$$

bağıntısından, seri rezonans ihtimalinin olduğu devrelerde ise

$$Q_c = \frac{S_T}{v^2 \cdot u_k \cdot \sin \varphi_k} \quad (3.110)$$

formülünden hesaplanır. Burada:

S_k'' : Tesisin kısa devre gücü

v : Harmonik derecesi

φ_k : Kısa devre faz açısı

3.4.4. Kondansatörlerin Devreye Sokulup Devreden Çıkarılmaları

Kompanzasyon tesislerinin işletilmesinde en önemli olaylardan biri de kondansatörlerin devreye sokulmaları, paralel bağlanmaları ve devreden çıkarılmalarıdır. Bu esnada baş gösteren geçici olaylar sonucu akım ve gerilim değerlerinde anormal değişimler olabilmektedir.

Kondansatörlerin devreye sokulması, kondansatörlerin yalnız başına devreye sokulmaları ve kondansatörlerin mevcut kondansatör gruplarına paralel bağlanması olarak ayrı ayrı incelenmelidir. İlk durum bireysel kompanzasyonda söz konusu olur ve

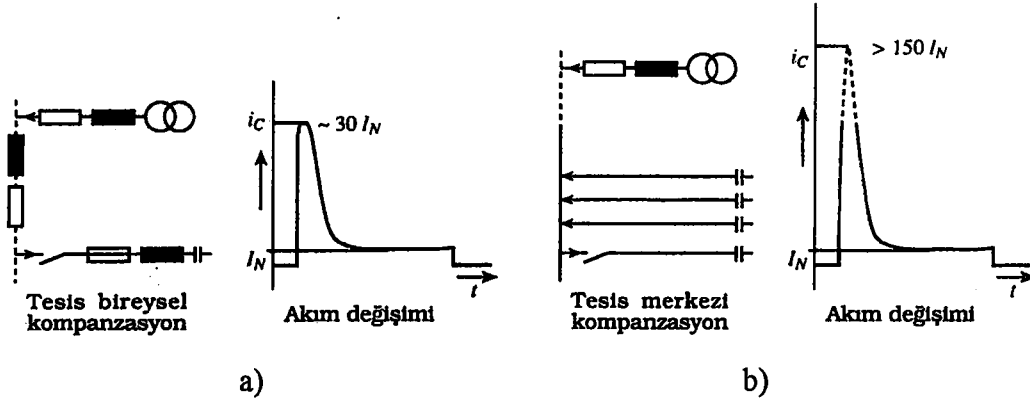
oldukça basittir. Fakat merkezi kompanzasyonda karşılaşılan ikinci hal, oldukça zor şartlar altında gerçekleşir.

Kondansatörlerin devreye sokuldukları an, pratik olarak bir kısa devreye tekabül eder. Daha sonra geçici olaylar baş gösterir. Bu durum, kondansatörler stasyonier 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. Bunlar 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 transformatörün nominal gücü büyüdükçe 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 sırasında meydana gelen olaylar şu şekilde özetlenebilir: Bilindiği gibi, kapasitif bir alternatif akım devresinde faz bakımından akım, gerilimden 90° ileridedir. Alternatif akım devrelerinin açılmasında en uygun an, akımın sıfırdan geçtiği andır. Eğer bundan sonra anahtar kontakları arasında yeniden bir ark tutuşması olmazsa, anahtar devreyi kesin açmış olur. Şimdi anahtarın kapasitif devreyi $i=0$ anında açmış olduğu kabul edilsin. Bu anda kondansatör gerilimi tepe değerindedir. Anahtarın açılmasından sonra kondansatörün bu yükü ve U_{max} değeri sabit kalır. Şebeke gerilimi sinüsoidal olarak değiştiğinden yarı periyot sonra anahtarın şebekeye bağlı kontakları $-U_{max}$ değerini alır. Böylece açık bulunan kontaklar arasında $2U_{max}$ gibi bir potansiyel farkı bulunmuş olur. Bu nedenle kontakların açılmasında yarı periyot sonra, yeniden bir 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 kondansatörler üzerine kısmen boşalırlar, yani devrede bulunan kondansatörler, yeni bağlananlar için ilave bir akım kaynağı oluştururlar. Paralel bağlamada oluşan akım darbesi, nominal akımın 150 katından daha büyük

değerlere ulaşabilir. Şekil 18'de bir şebekeye yalnız başına bağlanan bir kondansatörün ilk anda çektiği akım darbesi temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 18. Kondansatörlerin şebekeye bağlanmaları anında geçici akım darbeleri

- Kondansatörün devreye bağlanması
- Kondansatörün mevcut kondansatörlere paralel bağlanması

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

Kontakların hangi oranda yüklenip zorlanacağı, şu faktörlere bağlıdır.

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

Yukarıda açıklandığı gibi, şebekenin ohmik direnci ile reaktif direncini, kondansatörün kapasitesine seri bağlamakla bir titreşim devresi oluşur. Ancak rezonans olma ihtimali çok düşüktür.

Harmonikli kondansatör akımı, temel harmonik akımından yaklaşık %30 daha büyüktür; bu da kondansatörün aşırı yüklenmesine yol açabilir. Bu nedenle harmonikli akımın efektif değeri, anahtarın nominal işletme akımından hiçbir zaman 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 ve yüksek gerilim sigortaları kullanmaktır. [1,2,7,10]

3.5. Orta Gerilimde Reaktif Güç Kompanzasyonu

Elektrik şebekelerinde Alçak Gerilimde yapılan kompanzasyonun yeterli olmadığı durumlarda Orta Gerilimde kompanzasyon yapma yoluna gidilmektedir.

3.5.1. Orta Gerilimde Kompanzasyonun Amacı

İletim hatlarının toplam empedansı, ohmik, endüktif ve kapasitif değerlerinin vektörel toplamına eşittir. Hatlar, üzerinden geçen akımın karesiyle orantılı bir reaktif güç çekerler. Bu nedenle endüktif değerlerinden dolayı reaktif güç çekmekte, kapasitif değerlerinden dolayı da reaktif güç üretmektedirler. Bir hattan karakteristik güç denilen bir güç çekildiğinde hattın ürettiği ve tükettiği reaktif güç birbirine eşittir. Yani birbirlerini tamamen kompanze ederler. Dolayısıyla iletim hattından çekilen reaktif akış sifıra düşürüldüğünden, enerji kayıpları ve gerilim düşümü olmaz. Enerji iletimi için bu durum en ideal haldir. Ancak karakteristik güç, termik yükleme sınırının çok altında olduğundan ekonomik değildir. Hatlar genellikle karakteristik gücün üzerinde bir yükle yüklenirler.

İletim hattından karakteristik gücün altında bir güç çekildiğinde hattın ürettiği reaktif güç, tükettiği reaktif güçten fazladır. Bu gücün generatörler, reaktörler ve tüketiciler tarafından emilmemesi halinde reaktif akışın ve kayıpların azalması neticesinde sistemde gerilim yükselmesi meydana gelir. Karakteristik gücün üstünde bir güç çekilmesi halinde ise reaktif akışın artarak kayıpların artması neticesinde gerilim düşer.

İletim hatlarından genellikle gece 0-8 saatleri arasında minimum yük çekilmektedir. Bu yük ise karakteristik gücün altındadır. Bu durumda hattın ürettiği reaktif güç, tükettiğinden fazla olduğundan, reaktif gücün fazlalığı nedeniyle gerilim yükselir. Bunu önlemek için indirici merkezlerdeki şönt kapasitörler devre dışı edilir. Bu da yeterli

gelmediği takdirde iletim hatlarının sonuna reaktörler ilave edilerek, hattın ürettiği reaktif güç fazlası giderilmeye çalışılır.

Orta Gerilimde yapılan kompanzasyon tesisi belli bölgelerde toplandığı için işletme ve bakımı kolaydır. Ayrıca Orta Gerilimde otomatik kompanzasyon yapılması oldukça masraflı ve teferruatlı olduğundan çoğunlukla sabit yapılmaktadır. Bu durum ise düşük yük şartlarında aşırı kompanzasyona sebep verebilmekte, böylece kompanzasyondan yeterli verim alınamamaktadır. Bu mahsuru asgariye indirebilmek için birden fazla kademeli kondansatör tesis edilmelidir. Bu takdirde puant saatlerinde kondansatörlerin tamamı, puant zamanının dışında ise kısmi olarak devreye alınarak aşırı kompanzasyon önlenmeye çalışılacaktır.

3.5.2. Tanımlar

a) Kondansatör Elemanı: Kondansatörün bir dielektrik yardımıyla ayrılan armatürlerden oluşan, bölünmeyen parçasına denir.

b) Kondansatör Ünitesi: Tek bir tank içerisine konulmuş ve çıkış terminallerine bağlanmış bir veya daha fazla kondansatör elemanı topluluğuna denir. İçten ve dıştan sigorta ile korunabilir. Üniteler tek fazlıdır.

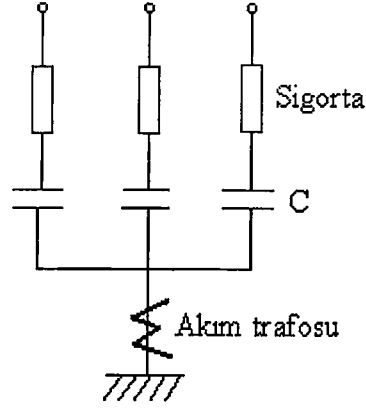
c) Kondansatör Bataryası (Kondansatör Bankı): Elektriksel olarak birbirine bağlanan üniteler topluluğuna denir. İstenilen gerilim ve gücü elde etmek için birçok ünitenin seri veya paralel bağlanması ile meydana getirilir. Her kondansatör ünitesinde gerilimi iki dakikadan daha kısa bir sürede 50 V'un altına düşürecek boşaltma dirençleri bulunmaktadır. [5]

3.5.3. Orta Gerilimde Kapasitörlerin Bağlantı Şekilleri

3.5.3.1. Nötrü Topraklı Yıldız Bağlantı

Küçük güçte banklar için en ekonomik ve en güvenilir bağlantı şeklidir. Ancak bağlantı noktasında yüksek harmonik akımlar ve gerilimler bekleniyorsa kullanılmaz. Yıldırım

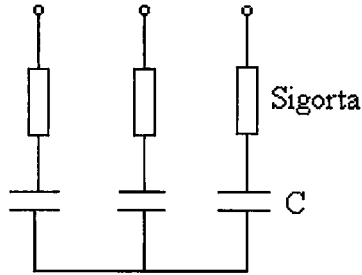
darbelerinde toprağa bir yol oluşturarak bağlandıkları baranın korunmasına yardımcı olurlar. Bu tip banklar geçici aşırı gerilimlerin büyümesine katkıda bulunurlar(Şekil 19).



Şekil 19. Nötrü topraklı yıldız bağlantı

3.5.3.2. Nötrü Topraksız Yıldız Bağlantı

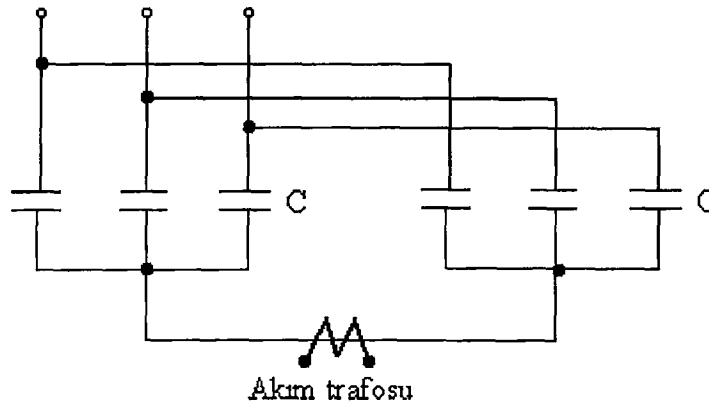
Sistemde harmonikler bekleniyorsa, orta büyüklükteki banklar için en uygun bağlantı şeklidir. Koruma sistemi maliyeti yüksektir. Aşırı gerilimlere karşı daha duyarlıdır. Buna karşılık kısa devre gücü yüksek olan yerlerde güvenli bir bağlantı şeklidir (Şekil 20).



Şekil 20. Nötrü topraksız yıldız bağlantı

3.5.3.3. İki Eşit Parçalı Yıldız Bağlantı

10 MVAR'dan büyük güçlerde ve yüksek gerilimlerde en ekonomik ve en güvenli bağlantı şeklidir. Bank, nötrü topraksız ve eşit güçte iki yıldız şeklinde düzenlenir. Dengesizlik koruması iki nötr noktası arasındaki akıma bağlı olarak yapılır. [2,5,6]



Şekil 21. İki eşit parçalı yıldız bağlantı

3.5.4. Orta Gerilim Kompanzasyon Tesislerinin Korunması

3.5.4.1. Sigortalar

Kapasitör üniteleri, anma akımının %135'ine kadar akımları sürekli olarak taşıyabilirler. Ünite içinde uzun süreli bir kısa devre oluşması durumunda, diğer ünitelerin ve tesisin zarar görmemesi için sigortalar kullanılır. Bu sigortaların, akımı frekans sıfırından önce kesebilmesi açısından akım sınırlayıcı tipte olması arzu edilir. Sigorta anma akımı genellikle ünite anma akımının 1,35-1,65 katı arasında seçilir. Aşırı gerilim yükselmelerinin ve harmoniklerin beklenmediği ünitelerde 1,35'lik sigorta faktörü uygun bir seçimdir.

3.5.4.2 Aşırı ve Düşük Gerilim Rölesi

Gerilimin, nominal gerilimin 1,1 katını aşması veya 0,91 katının altına inmesi durumunda kesiciye kumanda ederek ünitelerin devre dışı edilmesini sağlar.

3.5.4.3. Reaktif Güç Rölesi

Sistemden o noktada çekilen reaktif güç, ayarlanan değer altına düştüğünde kesiciye kumanda vererek kondansatör gruplarını otomatik olarak devre dışı bırakır. Bu esnada kapasitörlerin deşarj olmadan devreye alınmalarını önleyen zaman röleleri bulunmaktadır. Zaman rölesi 1-6 dakikaya ayarlanarak bu süre içinde kesiciye elle müdahale edilerek deşarj olmamış kondansatörlerin devreye alınmasını önler.

3.5.4.4. Aşırı Akım Rölesi

Kondansatör bataryası içinde oluşabilecek fazlar arası veya faz-toprak arızalarında bankı devre dışına alma amacıyla kullanılır. Bu sonuç, çoğunlukla iki bağımsız kontağı olan aşırı akım röleleriyle sağlanır. Röle sinyali bank terminal akımından alınır. Birinci kontak, anında açmada kullanılır ve duyarlılığı faz anma akımının 2-4 katı arasında bir değere ayarlanır. Bir zamanlayıcı röle, dengesizlik korumasının çalışma süresi içinde bu kontağı bloke eder. Eğer bu süre içinde dengesizlik koruması çalışmamışsa bankı devre dışına alır.

3.5.4.5. Dengesizlik Koruması (Diferansiyel Koruma)

Kapasitör üniteleri içerisinde bir arıza meydana gelmesi halinde görev yapar. Bunun için iki röle kullanılır. Birinci röle, bir kapasitör ünitesi arızalandığında alarm verir. İkinci röle ise iki kapasitör ünitesi arızalandığında kesiciye kumanda ederek kapasitörleri devre dışı bırakır.

Dengesizlik rölesinin ayarları şu şekilde yapılır:

a) Nötrü Topraksız Yıldız Bağlantı: 1-5 MVAR'a kadar olan kondansatörler nötrü izole yıldız şeklinde bağlanır. Batarya içinde bir veya birden fazla ünite arızalanırsa fazlarda dengesizlik oluşur. Bu dengesizlik nedeniyle nötr noktasında bir gerilim endüklenir. Endüklenen bu gerilim, gerilim trafosuyla düşürülerek dengesizlik rölesine verilir. Kondansatör bankında bir ünitenin veya iki ünitenin devreden çıkması halinde nötr noktasında endüklenen gerilimler hesaplanarak dengesizlik röleleri bu değerlere ayarlanır.

Genel hal için ünitelerden bir kısmının devreden çıkması halinde nötr noktasında endüklenen gerilim

$$e_{N0} = \frac{\frac{N_1}{M_1} \left(\frac{e_{c1}^2}{M_1 - N_1} \right) \cdot e_a}{3 \left[\frac{3(M_1 - N_1)e_{c1}^2}{3M_1(M_1 - N_1)} + \frac{e_{c1}^2}{M_2} + \dots + \frac{e_{cx}^2}{M_x} \right]} \quad (3.111)$$

formülünden hesaplanır. Burada:

x : Her fazdaki grup adedi

M : Her gruptaki ünite adedi

N : Her grupta devre dışı olan ünite adedi

e_c : Grup1'in nominal gerilimi

e_a : Faz-nötr gerilimi

Örneğin 5 MVAR'lık bir kapasitör bankında $x=1$, $M=8$, $e_c=e_a=19,92$ kV ise dengesizlik rölelerinin ayar gerilimi şu şekilde hesaplanır.

(3.111) formülü verilen değerler için sadeleştirirse $N=1$ için

$$e_{N0} = \frac{N \cdot e_a}{3M - N} = \frac{1 \cdot 19,92}{3 \cdot 8 - 1} = 0,86kV$$

$N=2$ için

$$e_{N0} = \frac{N \cdot e_a}{3M - N} = \frac{2 \cdot 19,92}{3 \cdot 8 - 2} = 1,81kV$$

Gerilim trafosu dönüştürme oranı

$$\ddot{u} = \frac{34,5}{0,1} = 345$$

1.Röle: $860 / 345 = 2,49$ V

2.Röle: $1810 / 345 = 5,24$ V değerlerine ayarlanmalıdır.

b) İki Eşit Parçalı Yıldız Bağlantı: 10 MVAR ve daha büyük güçlerde eşit parçalı yıldız bağlantı kullanılır. Batarya içindeki bir veya daha fazla ünite arızalanırsa fazlar arasındaki dengesizlikten dolayı nötr hattında bir akım meydana gelir. Bu akım, buradaki akım trafosu ile küçültülerek dengesizlik rölesine uygulanır.

Genel hal için ünitelerden bir kısmının devreden çıkması halinde bir ünitenin akımı cinsinden nötr iletkeninden geçen akım oranı

$$I_{N0}^* = \frac{1}{2} \left[\frac{e_{c1}^2}{\left(6 - \frac{N_1}{M_1}\right) \cdot e_{c1}^2} + \frac{e_{c1}^2}{6(M_1 - N_1)} + \frac{e_{c2}^2}{M_2} + \frac{e_{c3}^2}{M_3} \right] \cdot \left[\frac{N_1}{M_1 - N_1} \right] \quad (3.112)$$

formülünden hesaplanır.

Örneğin 10 MVAR'lık kapasitör bankında $x=2$, $M=8$, $e_{c1}=e_{c2}=e_a=19,92$ kV ise dengesizlik rölesinin ayar akımı

(3.112) formülü verilen değerler için sadeleştirilirse $N=1$ için

$$I_{N0}^* = \frac{3N}{6 - \frac{N}{M}} = \frac{3 \cdot 1}{6 - \frac{1}{8}} = 0,51$$

Bir ünitenin akımı

$$I = \frac{208kVAR}{19,92kV} = 10,44A$$

olduğuna göre nötrden geçen akım: $I_{N0} = 0,51 \cdot 10,44 = 5,32$ A

$N=2$ için

$$I_{N0}^* = \frac{3N}{6 - \frac{N}{M}} = \frac{3 \cdot 2}{6 - \frac{2}{8}} = 1,04$$

olduğuna göre nötrden geçen akım: $I_{N0} = 1,04 \cdot 10,44 = 10,85$ A

Akım trafosu dönüştürme oranı

$$ü = \frac{25}{5} = 5$$

1.Röle: $5,32 / 5 = 1,06$ A

2.Röle: $10,85 / 5 = 2,17$ A değerlerine ayarlanmalıdır. [2,5,6]

3.5.5. Kompanzasyon Devre Elemanlarının Seçimi

a) Kesici : Kapasitöre ait kapasitif akımları açıp kapamaya elverişli olmalıdır. Ayrıca kesicinin kısa devre açma gücü, bağlandığı baranın kısa devre gücünden küçük olmayacak ve gerilimi de bara gerilimine uygun olarak seçilecektir. SF₆ gazlı ve vakum kesiciler kapasitif akımları açıp kapamaya elverişlidir. Bu nedenle bu kesicilerden biri kullanılabilir. Ayrıca kompanzasyon kondansatörlerini anahtarlama üzere imal edilen ve fiyatları kesicilere nazaran daha ucuz olan vakum kontaktörler de bu amaçla kullanılabilir.

b) Akım Trafosu: Kondansatör nominal akımının 1,45 katına kadar seçilebilir.

c) Şok Bobini: Kapasitörün devreye alınması sırasında çekilen akımı sınırlamak amacıyla kullanılmaktadır. 5 MVAR'a kadar olan kondansatörlerde pratik olarak 50 µH'lik bobin yeterlidir.

d) Sigorta: Her kapasitör ünitesi için ayrı ayrı sigorta kullanılır. Ünite arıza olması durumunda o ünite devre dışı olur, diğer üniteler devrede kalabilir. Ünite anma akımının 1,35-1,65 katı arasında seçilir.

e) İletken Kablo: Kapasitörler için kullanılacak kablolar, kapasitör nominal akımının 1,4 katından küçük olmayacak şekilde seçilmelidir. [5]

4. BULGULAR

4.1. Batman Orta Gerilim Dağıtım Sistemi

Batman YG/OG indirici transformatör merkezinde, güçleri 100 MVA olan iki transformatör bulunmaktadır. Bu transformatörlere ait bazı etiket değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

	TR1	TR2
Gücü (MVA)	100	100
Gerilimi (kV)	154/33,6	154/33,6
Akımı (A)	375/1718	375/1718
Kısa Devre Gerilimi (%)	11,907	11,7

Tablo 6. YG/OG indirici transformatörlerin etiket değerleri

Transformatör merkezinden çıkan 12 adet fider, Batman şehir merkezi ile çevre ilçe ve köylerde bulunan dağıtım transformatörlerini beslemektedir. Bu fiderlerden 3'ü TPAO, TÜPRAŞ ve BOTAŞ gibi sanayi tesislerini beslemekte, 5 fider; Şehir1, Şehir2, Şehir3, Şehir4 ve Şehir6 fiderleri, Batman şehir merkezini, diğer 4 fider; Hasankeyf, Silvan, Beşiri ve Köyler fiderleri, çevre ilçe ve köyleri beslemektedir.

4.2. Batman Orta Gerilim Kompanzasyon Yöntemi

Batman'da tüketicilerin büyük bir kısmını konut ve işyerleri oluşturmaktadır. İşyerlerinin birçoğunu ticari işletmeler oluşturmakta, geri kalan kısmını ise kurulu gücü 10-15 kW'ı geçmeyen küçük ölçekli sanayi işletmeleri oluşturmaktadır. Büyük sanayi kuruluşları olan TÜPRAŞ, BOTAŞ ve TPAO ise ayrı fiderlerden beslenmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan 17.02.2000 tarih ve 23967 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "Güç Faktörü İyileştirme Tebliği" ve bu tebliğe bağlantılı 09.03.2000 tarih ve 23988 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "Elektrik Tarifeleri Yönetmeliğine göre Kurulu gücü ve besleme transformatörlerinin kurulu gücü 50 kVA'nın üstünde olan elektrik tesislerinde güç katsayısını 0.95 ile 1 arasındaki bir değere yükseltecek şekilde kompanzasyon tesisi kurma zorunluluğu getirilmiştir. Bu

nedenle tezde bu işletmeler için Orta Gerilimde kompanzasyon yöntemi incelenmemiştir. Bunlar için öncelikle Alçak Gerilimde kompanzasyon yöntemleri araştırılması gerekmektedir

Orta Gerilimde kompanzasyon için YG/OG indirici transformatör merkezinden çıkan tüm hatlardan son oniki ay içinde çekilen aktif ve reaktif enerji miktarları tespit edilerek her ay için ortalama bir güç katsayısı hesaplanmıştır. Bölüm sonunda her bir hat için yıllık $\cos\phi$ değişim grafikleri verilmiştir. Bu grafiklerden görüleceği gibi özellikle yaz aylarında güç katsayısının en düşük değerini aldığı görülmektedir. Bunun sebebi olarak, yaz aylarında güç katsayısı düşük olan klima cihazlarının kullanılması ve köylerde sulama amacıyla kullanılan asenkron motorlar en büyük faktör olarak görülmektedir. Kış aylarında ise güç katsayısında aşırı bir yükselme görülmektedir. Bu ise, % 50'lere varan yaygın kaçak elektrik tüketimi sonucu, güç katsayısı 1 olan rezistanslı ısıtıcı kullanımından kaynaklanmaktadır. Bunun sonucu olarak kış aylarında aşırı bir aktif güç tüketimi ve dolayısıyla gerçekçi olmayan yüksek bir güç katsayısı oluşmaktadır. Bu tüketim değeri kaçak elektrik kullanımından kaynaklanan bir tüketim olduğundan, alınan önlemlerle bu gücün ileride azalacağı düşünülerek hesaplamalarda yaz aylarına ait puant aktif güç değerleri baz alınmıştır. Ayrıca güç katsayısının en düşük değerini aldığı aylardan olan Ağustos ayı için YG/OG indirici transformatör merkezindeki TR1 ve TR2 transformatörlerinin toplam güç değerlerine göre, güç katsayısı ile aktif ve reaktif gücün 24 saatlik değişimi incelenmiştir. Buna göre, güç katsayısı gün içinde farklı değerler aldığı halde, aktif ve reaktif gücün puant zamanı dışında yaklaşık olarak 1/3 oranında azaldığı görülmektedir. Bu da kompanzasyon kondansatörlerinin iki eşit kademeli yapılması halinde puant zamanlarında kapasitörlerin tamamının, diğer zamanlarda ise yarısının devreye alınması sonucu hem kompanzasyonun sürekliliği sağlanmış olacak, hem de aşırı kompanzasyon önlenmiş olacağından sistemin daha verimli olacağı sonucunu doğurmaktadır. Bu yöntem ayrıca, reaktif güç tüketiminin nispeten daha az olduğu Haziran, Eylül aylarında da etkili olacaktır.

Kapasitörlerin konulacağı yerler olarak Orta Gerilim dağıtım merkezleri, OG/OG indirici transformatör merkezleri ve birden fazla hattın ayrıldığı noktalardan önceki transformatör binaları veya direkler seçilebilir. Batman Orta Gerilim sisteminde, özellikle çevre ilçeleri ve köyleri besleyen Orta Gerilim iletim hatlarının çok uzun olması nedeniyle, hatlardaki güç kayıplarını ve gerilim düşümünü azaltmak amacıyla

kapasitörlerin, her fider için birden fazla hattın ayrıldığı noktalardan önceki transformatör binasına konması uygun görülmüştür. [5]

Kondansatör gücünün hesabında güç katsayısının en düşük olduğu aydaki güç katsayısı değeri ile bu aya ait puant güç baz alınmıştır. Buna göre puant güçteki güç katsayısını 0,95'e yükseltecek kondansatör gücü hesaplanmıştır.

Kondansatör banklarında nötrü topraklı yıldız bağlantı kullanılacaktır. Her fider için iki eşit güçte kondansatör bankı tesis edilecektir. Bu banklar oluşturulurken 150 ve 200 kVAR'lık kapasitörler kullanılacaktır. İhtiyaç duyulan kondansatör bankları aşağıdaki şekilde oluşturulacaktır.

$$[3 \times 150] + [3 \times 150] = 900 \text{ kVAR}$$

$$[3 \times (2 \times 150)] + [3 \times (2 \times 150)] = 1800 \text{ kVAR}$$

$$[3 \times (2 \times 200)] + [3 \times (2 \times 200)] = 2400 \text{ kVAR}$$

$$[3 \times (3 \times 200)] + [3 \times (3 \times 200)] = 3600 \text{ kVAR}$$

Bankların bu şekilde dizayn edilmesindeki amaç, ileride reaktif güç ihtiyacında bir artma veya azalma olması halinde kondansatör banklarına yeni ünitelerin kolayca eklenip çıkarılmasını sağlamaktır.

Kondansatör bankları mikroişlemci kontrollü reaktif güç kontrol röleleri ile devreye alınıp çıkarılacaktır. Gereksiz devreye girip çıkmaları önlemek amacıyla adımlama zamanı yüksek tutulacaktır. Röle şebekede harmonik olması durumunda bunu tespit edebilecek, bu durumda grupları sırayla devreden çıkarabilecek özellikte olacaktır. Her kondansatör ünitesi sigortalarla korunacak, kondansatör bankı için aşırı ve düşük gerilim, aşırı akım ve nötr noktasında dengesizlik koruması yapılacaktır. Kapasitörlerin devreye alınması sırasında oluşması muhtemel akım darbelerini önlemek amacıyla şok bobinleri ve devreden çıkan kapasitörleri boşaltmak amacıyla deşarj dirençleri bulunacaktır. [2,5,6,11]

Kondansatörlerin devreye alınıp çıkarılmasında kapasitif akımları açmaya en elverişli kesici olan vakum kesici kullanılacaktır. Bu kesicinin anma değerleri 36 kV, 630 A, 16 kA olacaktır.

Kompanzasyon tesisi her fider için, birden fazla hattın ayrıldığı noktadan önceki transformatör binasına konulması ve işletme sırasında alınacak tedbirler, şebekede bulunması muhtemel harmonikler nedeniyle rezonans oluşmasını büyük ölçüde engelleyecektir. Bu nedenle hesaplanan kondansatör güçleri için harmonik rezonans incelemesi yapılmamıştır.

Bölüm sonunda Ağustos ayı için güç katsayısının 24 saatlik değişim grafiği ve tüm fiderlerin yıllık aktif güç, reaktif güç ve güç katsayısı değişimleri ile kompanzasyon için gerekli kondansatör güçlerinin hesabı verilmektedir.

4.3. Kompanzasyonun Batman Orta Gerilim Şebekesine Faydaları

4.3.1. Batman OG Şebekesinin Güç Taşıma Kapasitesinin Artması

Kompanzasyondan sonra reaktif güç azalacağından hatların ve transformatörlerin güç taşıma kapasitesinde artma olur.

4.3.1.1. Batman YG/OG İndirici Transformatöründeki Kapasite Artışı

Kompanzasyondan önce ortalama güç katsayısı 0,9013, kompanzasyondan sonra güç katsayısı 0,95 olduğundan (3.17) formülüne göre kompanzasyondan sonra transformatörlerdeki kapasite artışı % olarak

$$\% \Delta S = \frac{\Delta S}{S_1} 100 = 100 \left(1 - \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \right)$$

$$\% \Delta S = 100 \left(1 - \frac{0,9013}{0,95} \right) = \%5,13$$

olarak bulunur. Transformatörlerin toplam gücü 200 MVA olduğuna göre

$$S = 0,0513 \times 200 = 10,26 \text{ MVA}$$

Yani transformatörleri 10,26 MVA kadar daha fazla yüklemek mümkün olur.

4.3.1.2. Hatların Güç Taşıma Kapasitesinde Artma

Hatların güç taşıma kapasitesindeki artış miktarı (3.17) formülüne göre Tablo 7’de verilmektedir.

Fiderler	Kompanzasyondan Önceki Güç Katsayısı ($\cos\phi_1$)	Kompanzasyondan Sonraki Güç Katsayısı ($\cos\phi_2$)	Güç Taşıma Kapasitesindeki Artış ($\%\Delta S$)
Şehir1	0,8630	0,9665	%10,7
Şehir2	0,8992	0,9506	%5,4
Şehir3	0,9059	0,9558	%5,2
Şehir4	0,9231	0,9506	%2,9
Şehir6	0,8937	0,9673	%7,6
Beşiri	0,9021	0,9583	%5,9
Silvan	0,9154	0,9605	%4,7
Hasankeyf	0,9151	0,9522	%3,9
Köyler	0,8750	0,9543	%8,3

Tablo 7. Hatların güç taşıma kapasitesindeki artış oranları

Görüldüğü gibi hatların, kompanzasyon tesisinin konulacağı yere kadarki kısımlarında güç taşıma kapasitesinde artış sağlanmaktadır.

4.3.2. Batman OG Şebekesinde Isı Kayıplarındaki Azalma

Kompanzasyon sonunda akımdaki azalmadan dolayı hatlardaki ısı kayıplarında azalma sağlanacaktır. (3.21) formülüne göre her hat için ısı kayıplarındaki azalma miktarları Tablo 8’de verilmektedir.

Fiderler	Kompanzasyondan Önceki Güç Katsayısı ($\cos\phi_1$)	Kompanzasyondan Sonraki Güç Katsayısı ($\cos\phi_2$)	Isı kayıplarındaki Azalma Oranları % P_z
Şehir1	0,8630	0,9665	%20,3
Şehir2	0,8992	0,9506	%10,5
Şehir3	0,9059	0,9558	%10,2
Şehir4	0,9231	0,9506	%5,7
Şehir6	0,8937	0,9673	%14,6
Beşiri	0,9021	0,9583	%11,4
Silvan	0,9154	0,9605	%9,2
Hasankeyf	0,9151	0,9522	%7,6
Köyler	0,8750	0,9543	%15,9

Tablo 8. Hatların ısı kayıplarındaki azalma oranları

Hatlardaki ısı kayıpları akımın karesiyle orantılı olduğundan, ısı kayıplarında büyük bir azalma görülmektedir. Bu da dağıtım kayıpları çok yüksek olan şebekelerimiz için büyük bir kazançtır.

4.3.3. Batman OG Şebekesinde Gerilim Düşümündeki Azalma

Batman Orta Gerilim dağıtım şebekesinde enerji, özellikle köy ve ilçelere uzun hatlarla iletilmektedir. Bu durum, hatlarda aşırı gerilim düşümüne neden olmaktadır. Kompanzasyon sonucu gerilim düşümünde de bir azalma sağlanacaktır. (3.29) formülüne göre hatların kompanzasyon yapılan kısımlarında gerilim düşümündeki azalma oranları Tablo 9'da verilmektedir.

Fiderler	İletken Cinsi	Hattın Ohmik Direnci (Ω/km)	Hattın Endüktif Direnci (Ω/km)	Komp. Önceki Güç Katsayısı	Komp. Sonraki Güç Katsayısı	Gerilim Düşümündeki Azalma Oranı (% ΔU)
Şehir1	Hawk	0,1194	0,337	0,8630	0,9665	%34
Şehir2	Hawk	0,1194	0,337	0,8992	0,9506	%19
Şehir3	XLPE 240	0,0754	0,1885	0,9059	0,9558	%18.4
Şehir4	XLPE 240	0,0754	0,1885	0,9231	0,9506	%11
Şehir6	XLPE 240	0,0754	0,1885	0,8937	0,9673	%26.6
Beşiri	Pigeon	0,3366	0,373	0,9021	0,9583	%13
Silvan	Pigeon	0,3366	0,373	0,9154	0,9605	%11.2
Hasankeyf	Pigeon	0,3366	0,373	0,9151	0,9522	%8.9
Köyler	Swallow	1,0742	0,410	0,8750	0,9543	%7.6

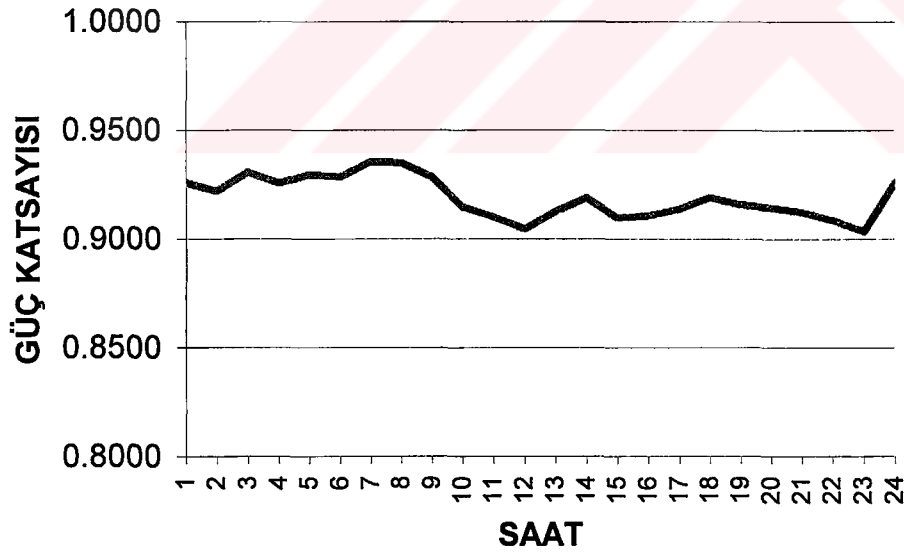
Tablo 9. Hatlarda gerilim düşümündeki azalma oranları

4.3.4. Reaktif Enerji Bedeli Ödenmemesi

Enerji dağıtım şirketleri, her ay için tüketilen aktif enerji miktarının 1/3'ünden fazla reaktif enerji tüketmeleri halinde, tüketilen reaktif enerjinin tamamının ücretini ödemek zorundadır. Bu nedenle kompanzasyon yapılması halinde güç katsayısının 0,95'in altına düştüğü aylarda ödenmesi gereken reaktif enerji bedeli ödeme yükümlülüğü ortadan kalkacaktır. Son oniki ayda alınan sayaç değerlerine göre, Batman dağıtım şebekesi için bu miktar 78052 MVARh'ı bulmaktadır.

Saat	Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVAR)	tgφ	cosφ	Saat	Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVAR)	tgφ	cosφ
1	125	51	0.4080	0.9259	13	145	66	0.4552	0.9102
2	119	50	0.4202	0.9219	14	155	73	0.4710	0.9047
3	117	46	0.3932	0.9307	15	143	64	0.4476	0.9128
4	115	47	0.4087	0.9257	16	149	64	0.4295	0.9188
5	111	44	0.3964	0.9296	17	149	68	0.4564	0.9097
6	120	48	0.4000	0.9285	18	150	68	0.4533	0.9108
7	135	51	0.3778	0.9355	19	144	64	0.4444	0.9138
8	145	55	0.3793	0.9350	20	140	60	0.4286	0.9191
9	145	58	0.4000	0.9285	21	155	68	0.4387	0.9158
10	145	64	0.4414	0.9148	22	167	74	0.4431	0.9143
11	125	51	0.4080	0.9259	23	165	74	0.4485	0.9124
12	119	50	0.4202	0.9219	24	148	68	0.4595	0.9087

Tablo 10. Batman YG/OG indirici transformatör merkezi Ağustos 2001
24 saatlik aktif güç, reaktif güç ve güç katsayısı değerleri



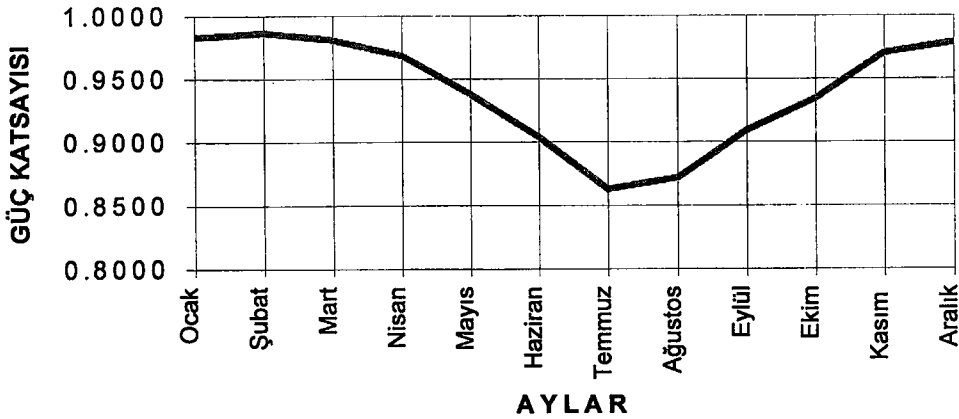
Şekil 22. Batman YG/OG indirici transformatör merkezi Ağustos 2001
24 saatlik güç katsayısı değişimi

	Aktif Enerji MWh	Reaktif Enerji MVARh	tgφ	cosφ
Ocak	6192	1152	0.1860	0.9831
Şubat	5256	864	0.1644	0.9868
Mart	4752	936	0.1970	0.9811
Nisan	3096	792	0.2558	0.9688
Mayıs	2736	1008	0.3684	0.9383
Haziran	2592	1224	0.4722	0.9042
Temmuz	2952	1728	0.5854	0.8630
Ağustos	10512	5904	0.5616	0.8719
Eylül	8496	3888	0.4576	0.9093
Ekim	6048	2304	0.3810	0.9345
Kasım	14832	3672	0.2476	0.9707
Aralık	12456	2592	0.2081	0.9790

Tablo 11. Şehir1 fiderine ait 12 aylık aktif ve reaktif enerji tüketimleri ile güç katsayısı değerleri

KONDANSATÖR GÜCÜNÜN HESABI			
Kompanzasyon Öncesi		Kompanzasyon Sonrası	
Aktif Güç (kW)	7500	Aktif Güç (kW)	7500
Reaktif Güç (kVAR)	4391	Reaktif Güç (kVAR)	1991
tgφ	0.5854	tgφ	0.2654
cosφ	0.8630	cosφ	0.9665
Hesaplanan Kondansatör Gücü (kVAR)			1925
Kullanılacak Kondansatör Gücü (kVAR)			2400

Tablo 12. Şehir1 fideri için kondansatör gücünün hesabı



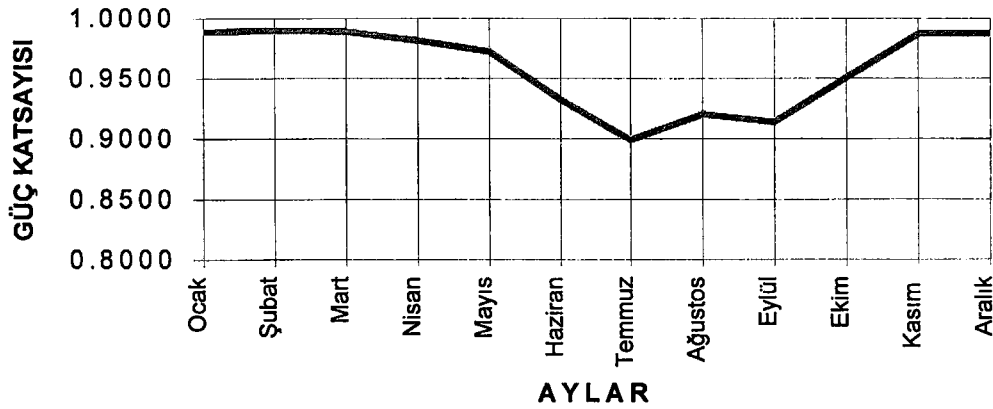
Şekil 23. Şehir1 fideri 12 aylık güç katsayısı değişimi

	Aktif Enerji MWh	Reaktif Enerji MVARh	tgφ	cosφ
Ocak	16146	2443	0.1513	0.9887
Şubat	13662	1904	0.1394	0.9904
Mart	12296	1822	0.1481	0.9892
Nisan	7493	1449	0.1934	0.9818
Mayıs	6914	1656	0.2395	0.9725
Haziran	5796	2236	0.3857	0.9330
Temmuz	6127	2981	0.4865	0.8992
Ağustos	10350	4388	0.4240	0.9207
Eylül	9977	4430	0.4440	0.9140
Ekim	11178	3643	0.3259	0.9508
Kasım	12793	2070	0.1618	0.9872
Aralık	15732	2484	0.1579	0.9878

Tablo 13. Şehir2 fiderine ait 12 aylık aktif ve reaktif enerji tüketimleri ile güç katsayısı değerleri

KONDANSATÖR GÜCÜNÜN HESABI			
Kompanzasyon Öncesi		Kompanzasyon Sonrası	
Aktif Güç (kW)	15000	Aktif Güç (kW)	15000
Reaktif Güç (kVAR)	7299	Reaktif Güç (kVAR)	4899
tgφ	0.4866	tgφ	0.3266
cosφ	0.8992	cosφ	0.9506
Hesaplanan Kondansatör Gücü (kVAR)			2368
Kullanılacak Kondansatör Gücü (kVAR)			2400

Tablo 14. Şehir2 fideri için kondansatör gücünün hesabı



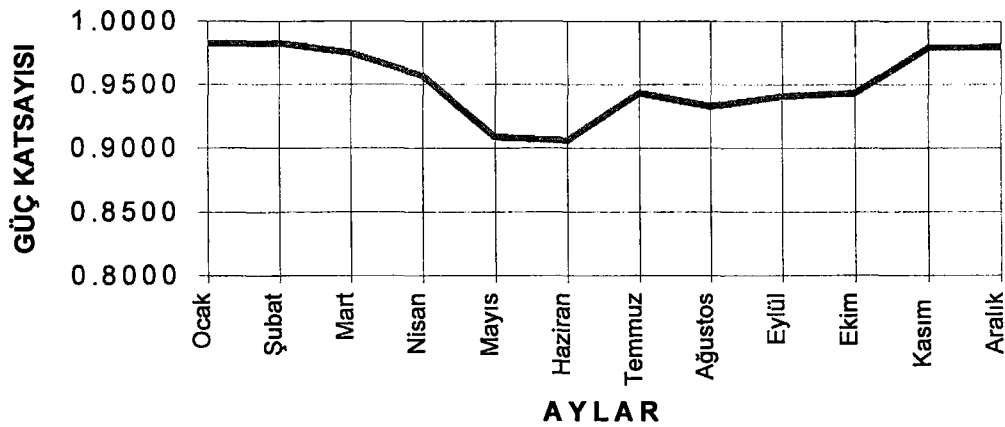
Şekil 24. Şehir2 fideri 12 aylık güç katsayısı değişimi

	Aktif Enerji MWh	Reaktif Enerji MVARh	tgφ	cosφ
Ocak	9770	1863	0.1907	0.9823
Şubat	8404	1573	0.1872	0.9829
Mart	7079	1615	0.2281	0.9750
Nisan	4637	1408	0.3036	0.9569
Mayıs	4057	1863	0.4592	0.9088
Haziran	3188	1490	0.4675	0.9059
Temmuz	2939	1035	0.3521	0.9432
Ağustos	3643	1408	0.3864	0.9328
Eylül	4595	1656	0.3604	0.9408
Ekim	5175	1822	0.3520	0.9433
Kasım	11758	2443	0.2077	0.9791
Aralık	11219	2277	0.2030	0.9800

Tablo 15. Şehir3 fiderine ait 12 aylık aktif ve reaktif enerji tüketimleri ile güç katsayısı değerleri

KONDANSATÖR GÜCÜNÜN HESABI			
Kompanzasyon Öncesi		Kompanzasyon Sonrası	
Aktif Güç (kW)	15000	Aktif Güç (kW)	15000
Reaktif Güç (kVAR)	7012	Reaktif Güç (kVAR)	4612
tgφ	0.4675	tgφ	0.3075
cosφ	0.9059	cosφ	0.9558
Hesaplanan Kondansatör Gücü (kVAR)		2082	
Kullanılacak Kondansatör Gücü (kVAR)		2400	

Tablo 16. Şehir3 fideri için kondansatör gücünün hesabı



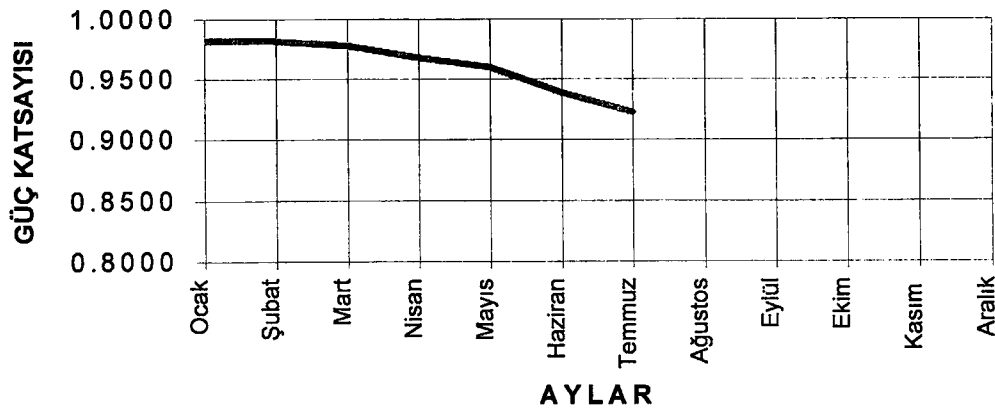
Şekil 25. Şehir3 fideri 12 aylık güç katsayısı değişimi

	Aktif Enerji MWh	Reaktif Enerji MVARh	tgφ	cosφ
Ocak	7838	1490	0.1901	0.9824
Şubat	6679	1297	0.1942	0.9817
Mart	6320	1352	0.2140	0.9779
Nisan	4692	1214	0.2588	0.9681
Mayıs	4637	1352	0.2917	0.9600
Haziran	4444	1628	0.3665	0.9389
Temmuz	662	276	0.4167	0.9231
Ağustos*				
Eylül*				
Ekim*				
Kasım*				
Aralık*				

Tablo 17. Şehir4 fiderine ait 12 aylık aktif ve reaktif enerji tüketimleri ile güç katsayısı değerleri

KONDANSATÖR GÜCÜNÜN HESABI			
Kompanzasyon Öncesi		Kompanzasyon Sonrası	
Aktif Güç (kW)	10000	Aktif Güç (kW)	10000
Reaktif Güç (kVAR)	4166	Reaktif Güç (kVAR)	3266
tgφ	0.4166	tgφ	0.3266
cosφ	0.9231	cosφ	0.9506
Hesaplanan Kondansatör Gücü (kVAR)			879
Kullanılacak Kondansatör Gücü (kVAR)			900

Tablo 18. Şehir4 fideri için kondansatör gücünün hesabı



Şekil 26. Şehir4 fideri 12 aylık güç katsayısı değişimi

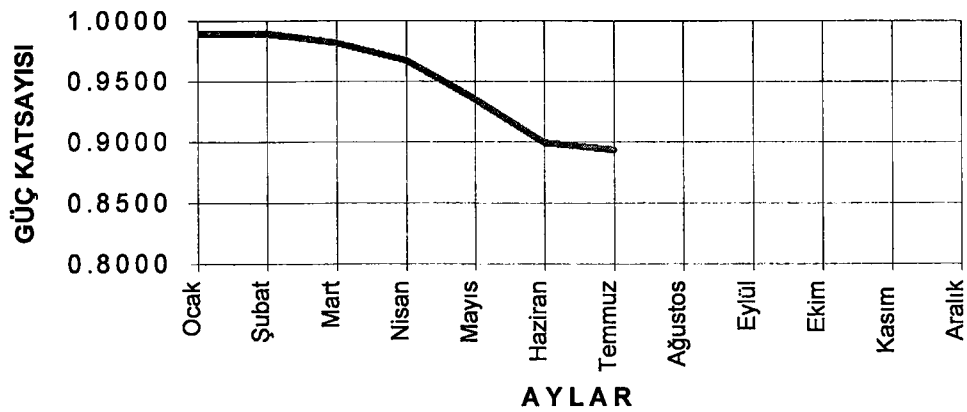
* Bu fider Ocak 2001'de devreye alındığından bu aylara ait veri bulunmamaktadır.

	Aktif Enerji MWh	Reaktif Enerji MVARh	tgφ	cosφ
Ocak	4085	607	0.1486	0.9891
Şubat	3422	497	0.1452	0.9896
Mart	2870	552	0.1923	0.9820
Nisan	2015	524	0.2603	0.9678
Mayıs	1904	718	0.3768	0.9358
Haziran	1932	938	0.4857	0.8995
Temmuz	6652	3340	0.5021	0.8937
Ağustos*				
Eylül*				
Ekim*				
Kasım*				
Aralık*				

Tablo 19. Şehir6 fiderine ait 12 aylık aktif ve reaktif enerji tüketimleri ile güç katsayısı değerleri

KONDANSATÖR GÜCÜNÜN HESABI			
Kompanzasyon Öncesi		Kompanzasyon Sonrası	
Aktif Güç (kW)	7500	Aktif Güç (kW)	7500
Reaktif Güç (kVAR)	3765	Reaktif Güç (kVAR)	1965
tgφ	0.5020	tgφ	0.2620
cosφ	0.8937	cosφ	0.9673
Hesaplanan Kondansatör Gücü (kVAR)			1300
Kullanılacak Kondansatör Gücü (kVAR)			1800

Tablo 20. Şehir6 fideri için kondansatör gücünün hesabı



Şekil 27. Şehir6 fideri 12 aylık güç katsayısı değişimi

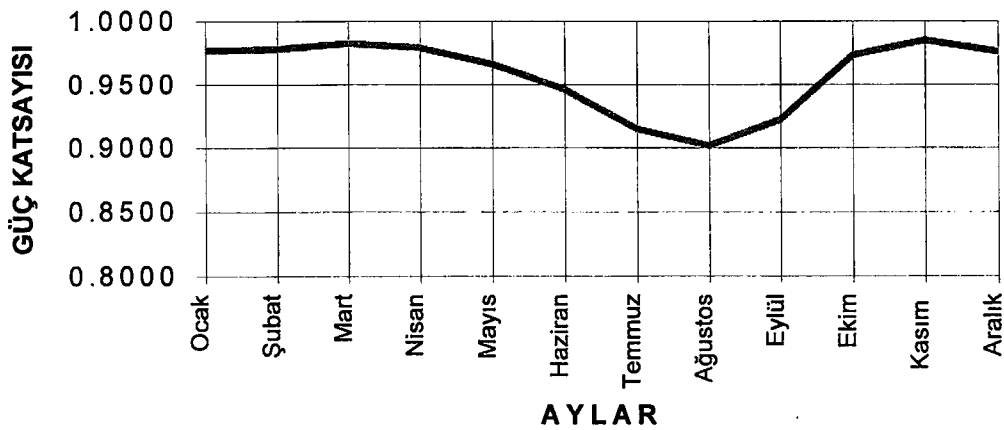
* Bu fider Ocak 2001'de devreye alındığından bu aylara ait veri bulunmamaktadır.

	Aktif Enerji MWh	Reaktif Enerji MVARh	tgφ	cosφ
Ocak	12793	2815	0.2201	0.9766
Şubat	10723	2277	0.2124	0.9782
Mart	10309	1946	0.1888	0.9826
Nisan	8239	1697	0.2060	0.9794
Mayıs	8280	2194	0.2650	0.9666
Haziran	6914	2360	0.3413	0.9464
Temmuz	8363	3685	0.4406	0.9151
Ağustos	8570	4099	0.4783	0.9021
Eylül	6831	2857	0.4182	0.9226
Ekim	6169	1449	0.2349	0.9735
Kasım	10019	1739	0.1736	0.9853
Aralık	12130	2691	0.2218	0.9763

Tablo 21. Beşiri fiderine ait 12 aylık aktif ve reaktif enerji tüketimleri ile güç katsayısı değerleri

KONDANSATÖR GÜCÜNÜN HESABI			
Kompanzasyon Öncesi		Kompanzasyon Sonrası	
Aktif Güç (kW)	20000	Aktif Güç (kW)	20000
Reaktif Güç (kVAR)	9567	Reaktif Güç (kVAR)	5967
tgφ	0.4784	tgφ	0.2984
cosφ	0.9021	cosφ	0.9583
Hesaplanan Kondansatör Gücü (kVAR)			2993
Kullanılacak Kondansatör Gücü (kVAR)			3600

Tablo 22. Beşiri fideri için kondansatör gücünün hesabı



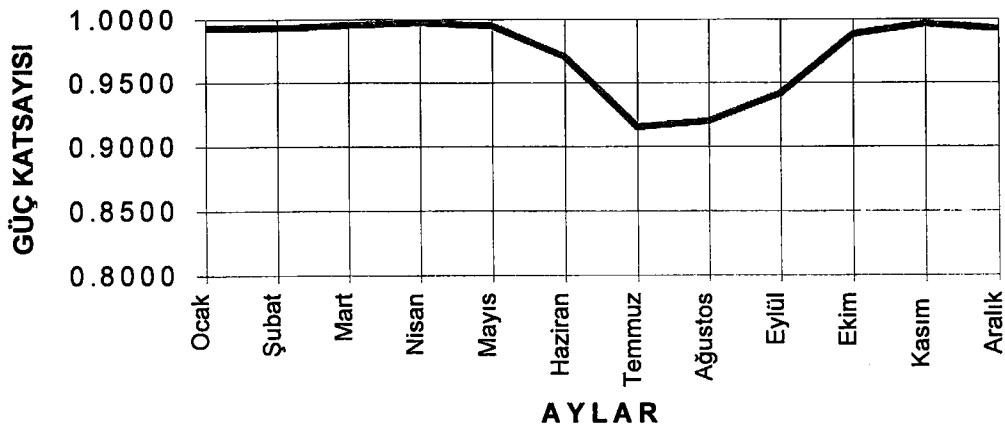
Şekil 28. Beşiri fideri 12 aylık güç katsayısı değişimi

	Aktif Enerji MWh	Reaktif Enerji MVARh	tgφ	cosφ
Ocak	7590	883	0.1164	0.9933
Şubat	6376	745	0.1169	0.9932
Mart	6127	580	0.0946	0.9956
Nisan	4361	304	0.0696	0.9976
Mayıs	3947	386	0.0979	0.9952
Haziran	3671	911	0.2481	0.9706
Temmuz	3892	1711	0.4397	0.9154
Ağustos	5713	2429	0.4251	0.9203
Eylül	4637	1656	0.3571	0.9417
Ekim	4140	635	0.1533	0.9884
Kasım	5465	442	0.0808	0.9968
Aralık	7038	856	0.1216	0.9927

Tablo 23. Silvan fiderine ait 12 aylık aktif ve reaktif enerji tüketimleri ile güç katsayısı değerleri

KONDANSATÖR GÜCÜNÜN HESABI			
Kompanzasyon Öncesi		Kompanzasyon Sonrası	
Aktif Güç (kW)	12000	Aktif Güç (kW)	12000
Reaktif Güç (kVAR)	5277	Reaktif Güç (kVAR)	3477
tgφ	0.4397	tgφ	0.2897
cosφ	0.9154	cosφ	0.9605
Hesaplanan Kondansatör Gücü (kVAR)			1333
Kullanılacak Kondansatör Gücü (kVAR)			1800

Tablo 24. Silvan fideri için kondansatör gücünün hesabı



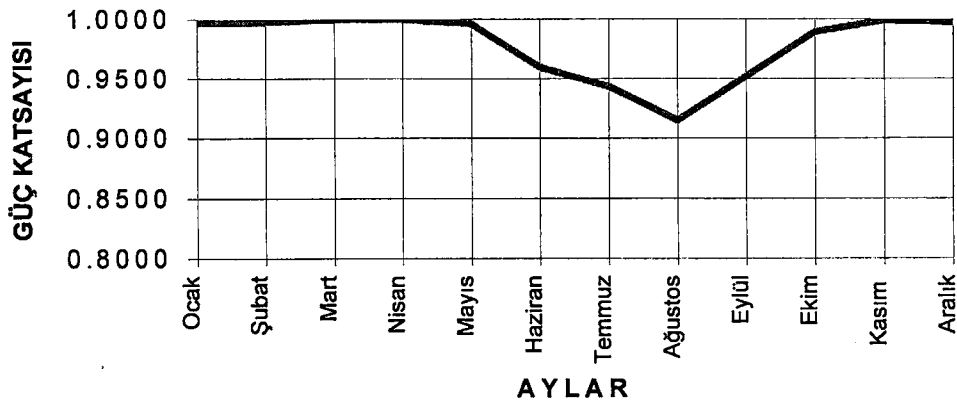
Şekil 29. Silvan fideri 12 aylık güç katsayısı değişimi

	Aktif Enerji MWh	Reaktif Enerji MVARh	tgφ	cosφ
Ocak	5519	416	0.0753	0.9972
Şubat	4347	302	0.0696	0.9976
Mart	3956	88	0.0223	0.9998
Nisan	3415	80	0.0234	0.9997
Mayıs	3377	301	0.0891	0.9961
Haziran	3100	905	0.2920	0.9599
Temmuz	3556	1247	0.3507	0.9437
Ağustos	2255	994	0.4407	0.9151
Eylül	2192	705	0.3216	0.9520
Ekim	2570	376	0.1463	0.9895
Kasım	4511	202	0.0447	0.9990
Aralık	4977	365	0.0734	0.9973

Tablo 25. Hasankeyf fiderine ait 12 aylık aktif ve reaktif enerji tüketimleri ile güç katsayısı değerleri

KONDANSATÖR GÜCÜNÜN HESABI			
Kompanzasyon Öncesi		Kompanzasyon Sonrası	
Aktif Güç (kW)	7500	Aktif Güç (kW)	7500
Reaktif Güç (kVAR)	3305	Reaktif Güç (kVAR)	2405
tgφ	0.4406	tgφ	0.3206
cosφ	0.9151	cosφ	0.9522
Hesaplanan Kondansatör Gücü (kVAR)			840
Kullanılacak Kondansatör Gücü (kVAR)			900

Tablo 26. Hasankeyf fideri için kondansatör gücünün hesabı



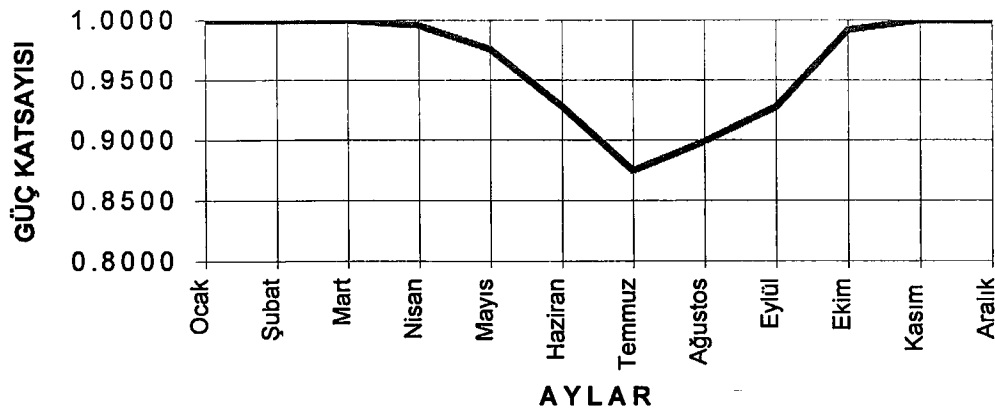
Şekil 30. Hasankeyf fideri 12 aylık güç katsayısı değişimi

	Aktif Enerji MWh	Reaktif Enerji MVARh	tgφ	cosφ
Ocak	2456	90	0.0365	0.9993
Şubat	1939	28	0.0142	0.9999
Mart	1822	14	0.0076	1.0000
Nisan	1256	117	0.0934	0.9957
Mayıs	1304	290	0.2222	0.9762
Haziran	1566	628	0.4009	0.9282
Temmuz	2394	1325	0.5533	0.8750
Ağustos	2070	1007	0.4867	0.8992
Eylül	1732	697	0.4024	0.9277
Ekim	1304	166	0.1270	0.9920
Kasım	1918	14	0.0072	1.0000
Aralık	2312	83	0.0358	0.9994

Tablo 27. Köyler fiderine ait 12 aylık aktif ve reaktif enerji tüketimleri ile güç katsayısı değerleri

KONDANSATÖR GÜCÜNÜN HESABI			
Kompanzasyon Öncesi		Kompanzasyon Sonrası	
Aktif Güç (kW)	7500	Aktif Güç (kW)	7500
Reaktif Güç (kVAR)	4150	Reaktif Güç (kVAR)	2350
tgφ	0.5533	tgφ	0.3133
cosφ	0.8750	cosφ	0.9543
Hesaplanan Kondansatör Gücü (kVAR)			1684
Kullanılacak Kondansatör Gücü (kVAR)			1800

Tablo 28. Köyler fideri için kondansatör gücünün hesabı

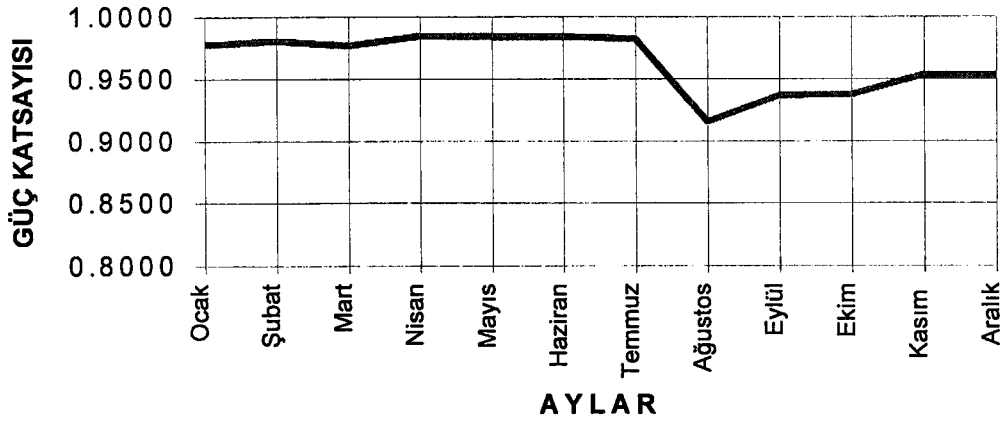


Şekil 31. Köyler fideri 12 aylık güç katsayısı değişimi

	Aktif Enerji MWh	Reaktif Enerji MVARh	tgφ	cosφ
Ocak	5544	1188	0.2143	0.9778
Şubat	5166	1026	0.1986	0.9808
Mart	4464	972	0.2177	0.9771
Nisan	5724	1008	0.1761	0.9848
Mayıs	6102	1098	0.1799	0.9842
Haziran	6048	1080	0.1786	0.9844
Temmuz	6174	1170	0.1895	0.9825
Ağustos	6066	2664	0.4392	0.9156
Eylül	5706	2124	0.3722	0.9372
Ekim	5400	1998	0.3700	0.9379
Kasım	5490	1728	0.3148	0.9539
Aralık	6318	1998	0.3162	0.9535

Tablo 29. TPAO fiderine ait 12 aylık aktif ve reaktif enerji tüketimleri ile güç katsayısı değerleri

TPAO fideri için kondansatör gücü hesabı yapılmamıştır.

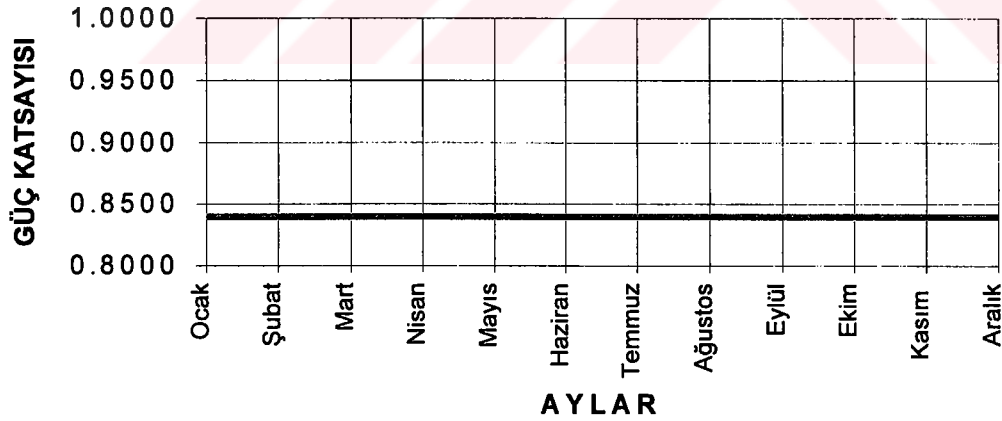


Şekil 32. TPAO fideri 12 aylık güç katsayısı değişimi

	Aktif Enerji MWh	Reaktif Enerji MVARh	tgφ	cosφ
Ocak*	34	22	0.6471	0.8396
Şubat*	34	22	0.6471	0.8396
Mart*	34	22	0.6471	0.8396
Nisan*	34	22	0.6471	0.8396
Mayıs*	34	22	0.6471	0.8396
Haziran*	34	22	0.6471	0.8396
Temmuz*	34	22	0.6471	0.8396
Ağustos*	34	22	0.6471	0.8396
Eylül*	34	22	0.6471	0.8396
Ekim*	34	22	0.6471	0.8396
Kasım*	34	22	0.6471	0.8396
Aralık*	34	22	0.6471	0.8396

Tablo 30. TÜPRAŞ fiderine ait 12 aylık aktif ve reaktif enerji tüketimleri ile güç katsayısı değerleri

TÜPRAŞ fideri için kondansatör gücü hesabı yapılmamıştır.



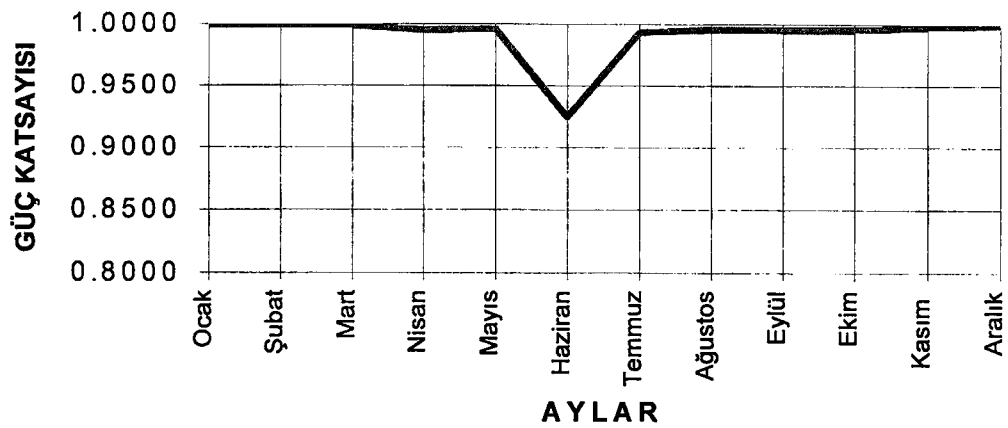
Şekil 33. TÜPRAŞ fideri 12 aylık güç katsayısı değişimi

* Bu fider için alınan sayaç endeksleri çok küçük olduğundan aylık enerji tüketimleri hassas olarak belirlenememiştir. Bu nedenle yıllık sarfiyatın aylara bölünmesi ile aylık tüketimler belirlenmiştir. Bu fider bir sanayi tesisine ait olduğundan böyle bir yaklaşım yanlış olmayacaktır.

	Aktif Enerji MWh	Reaktif Enerji MVARh	tgφ	cosφ
Ocak	450	12	0.0267	0.9996
Şubat	348	12	0.0345	0.9994
Mart	354	18	0.0508	0.9987
Nisan	360	36	0.1000	0.9950
Mayıs	420	36	0.0857	0.9963
Haziran	102	42	0.4118	0.9247
Temmuz	408	48	0.1176	0.9932
Ağustos	264	24	0.0909	0.9959
Eylül	306	30	0.0980	0.9952
Ekim	252	24	0.0952	0.9955
Kasım	342	24	0.0702	0.9975
Aralık	330	12	0.0364	0.9993

Tablo 31. BOTAŞ fiderine ait 12 aylık aktif ve reaktif enerji tüketimleri ile güç katsayısı değerleri

BOTAŞ fideri için kondansatör gücü hesabı yapılmamıştır.



Şekil 34. BOTAŞ fideri 12 aylık güç katsayısı değişimi

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Üretilen elektrik enerjisini tüketiciye ulaştırırken karşılaşılan en büyük sorunlar şebekede oluşan kayıplardır. Bu kayıpların bir çoğunu engellemek mümkün değildir. Ancak, bazı şebeke kayıplarını azaltmak ve tüketiciye kaliteli bir elektrik enerjisi sunabilmek, şebeke elemanlarını reaktif güç yükünden kurtarmakla mümkündür. Bunu sağlamak için Reaktif Güç Kompanzasyonu yapmak gereklidir.

Reaktif güç kompanzasyonunda esas olan reaktif enerjinin tüketildiği yerde üretilmesidir. Elektrik enerjisi ilk kullanılmaya başlandığı yıllarda üretilen elektrik enerjisi, üretim yerine yakın yerlerde tüketiliyordu. Bu nedenle tüketilen bu reaktif enerji, enerjiyi üreten generatörler ile sağlanmaktaydı. Ancak günümüzde elektrik enerjisi üretildiği yerden çok uzaklarda tüketilmektedir. Ayrıca tüketici sayısının fazlalığı nedeniyle şebekeler çok dağınık bir durumdadır. Tüketilen bu reaktif enerjiyi generatörlerden sağlamak, hatlarda kayıplara, gerilim düşümüne ve transformatör ve generatörlerde kapasite kaybına yol açmaktadır.

Kompanzasyonu Alçak Gerilimde yapmak en doğru ve en verimli çözüm olarak görünse de şu anda bu mümkün görülmemektedir. Zira bu, çok dağınık bir hal almış AG dağıtım şebekelerinde kontrol ve uygulama açısından çok zordur ve ekonomik değildir. Bu yüzden Orta Gerilimde kompanzasyon yapmak gereklidir.

Gerilim seviyesi yükseldikçe kompanzasyon sisteminin kontrol ve korunması zorlaşmakta ve maliyet yükselmektedir. Ancak sistemden elde edilecek kazançlar nedeniyle bu maliyet göz ardı edilecek düzeydedir. Kompanzasyon sisteminin sürekliliği için sistemde kondansatör ünitelerinin sigortalarla korunması, kondansatör bankları için aşırı ve düşük gerilim, aşırı akım ve nötr noktasında dengesizlik koruması yapılmalıdır. Ayrıca, kapasitörlerin devreye alınması sırasında oluşması muhtemel akım darbelerini önlemek amacıyla şok bobinleri ve devreden çıkan kapasitörleri boşaltmak amacıyla deşarj dirençleri bulunmalıdır.

Kompanzasyon sistemi tasarlanırken reaktif güç değişimi iyi analiz edilmeli, aşırı ve yetersiz kompanzasyonu önleyecek tedbirler alınmalıdır. Genellikle şebekeden çekilen reaktif güç, yaz aylarında puant saatlerinde en büyük değerini almakta, diğer

zamanlarda ise azalmaktadır. Bu durumda kompanzasyonun tek kademeli yapılması halinde aşırı veya düşük kompanzasyon olma ihtimali yüksek olacaktır. Bu nedenle kompanzasyon sistemini birden çok kademeli yapmak gereklidir. Kademe sayısı arttıkça kompanzasyon kondansatörlerini devreye alıp çıkaran kesici sayısı artacağından maliyet yükselecektir. Buna rağmen kompanzasyon sistemini iki kademeli olarak tesis etmek bu mahsurları ortadan kaldırmak için uygun bir çözümdür.

Orta Gerilimde kompanzasyon yapılırken kompanzasyon yerinin seçimi de dikkat edilmesi gereken bir husustur. Kapasitörlerin konulacağı yerler olarak Orta Gerilim dağıtım merkezleri, OG/OG indirici transformatör merkezleri ve birden fazla hattın ayrıldığı noktalardan önceki transformatör binaları veya direkler seçilebilir. Seçim yapılırken sistemin ekonomik olması, şebekenin büyük bir kısmının reaktif güç yükünden kurtarılması ve uygulama kolaylığı hedeflenmelidir.

Harmonikler ve bunların neden olduğu rezonans olaylarına karşı tedbir alınmalıdır. Bu tedbirler arasında filtre devreleri, self bobin ve omik direnç kullanmak ve şebekeyi analiz ederek harmonikleri tespit edebilecek ve bu durumda kondansatör gruplarını devreden çıkarabilecek mikroişlemci kontrollü reaktif güç kontrol röleleri kullanmak uygun çözümler olacaktır.

Sonuç olarak gelişmiş ülkelerde büyük oranda kullanılan Orta Gerilim kompanzasyon sistemleri ülkemizde de yaygınlaştırılmalıdır. Böylece şebeke kayıplarının azaltılması mümkün olacak ve tüketiciye daha kaliteli bir enerji sunulacaktır. Kompanzasyon tesisi kurulurken iyi bir analiz yapılmalı, kompanzasyonun sürekliliği sağlanmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- [1] BAYRAM, M., Reaktif Güç Kompanzasyonu, İzmir, 1995
- [2] TMMOB, Reaktif Güç Kompanzasyonu Seminer Notları, İstanbul, 1983
- [3] IEEE, Electric Power Distribution for Industrial Plants, July, New York, 1983
- [4] GÜZELBEYOĞLU, N., Elektrik Makinaları I-II, İstanbul, 1992
- [5] ESER, H., Orta Gerilimde Kompanzasyon, Türkiye Elektrik Kurumu Eğitim Dairesi Başkanlığı
- [6] KÖKSAL, M., Reaktif Güç Kompanzasyonu, Ankara, 1993, Kardelen Ofset
- [7] SCHNEİDER ELECTRIC, Harmonikler, İstanbul
- [8] MILLER, T.J.E., Reactive Power Control In Electric Systems, New York, John Wiley & Sons, 1982
- [9] ERTAN, U., Elektrik Şebekelerinde Harmonikler, Kaynak Dergisi, Sayı 4, 1994
- [10] ONAT, H., Güç Kompanzasyonu Yararları-Çeşitleri (Seminer Notları), DSI, Ankara, 1985
- [11] FEDERAL ELEKTRİK, Reaktif Güç Kontrol Rölesi Kataloğu

TABLO LİSTESİ

	Sayfa
	No
Tablo 1	Bazı Sanayi Tesislerinin Güç Katsayısı Değerleri..... 9
Tablo 2	Çeşitli Güç Katsayıları İçin Şebeke Isı Kayıplarındaki Kazançlar.... 12
Tablo 3	Asenkron motorların nominal güçlerine göre kondansatör değerleri 21
Tablo 4	Transformatörlerin alt gerilim tarafına bağlanacak olan sabit kondansatörlerin güçleri..... 23
Tablo 5	Fluoresan lambaların kompanzasyonu için gerekli Kondansatör gücü ve kapasitesi..... 25
Tablo 6	YG/OG indirici transformatörlerin etiket değerleri..... 60
Tablo 7	Hatların güç taşıma kapasitesindeki artış oranları..... 64
Tablo 8	Hatların ısı kayıplarındaki azalma oranları..... 65
Tablo 9	Hatlarda gerilim düşümündeki azalma oranları..... 66
Tablo 10	Batman YG/OG indirici transformatör merkezi Ağustos 2001 24 saatlik aktif güç, reaktif güç ve güç katsayısı değerleri..... 67
Tablo 11	Şehir1 fiderine ait 12 aylık aktif ve reaktif enerji tüketimleri ile güç katsayısı değerleri..... 68
Tablo 12	Şehir1 fideri için kondansatör gücünün hesabı..... 68
Tablo 13	Şehir2 fiderine ait 12 aylık aktif ve reaktif enerji tüketimleri ile güç katsayısı değerleri..... 69
Tablo 14	Şehir2 fideri için kondansatör gücünün hesabı..... 69
Tablo 15	Şehir3 fiderine ait 12 aylık aktif ve reaktif enerji tüketimleri ile güç katsayısı değerleri..... 70
Tablo 16	Şehir3 fideri için kondansatör gücünün hesabı..... 70
Tablo 17	Şehir4 fiderine ait 12 aylık aktif ve reaktif enerji tüketimleri ile güç katsayısı değerleri..... 71
Tablo 18	Şehir4 fideri için kondansatör gücünün hesabı..... 71
Tablo 19	Şehir6 fiderine ait 12 aylık aktif ve reaktif enerji tüketimleri ile güç katsayısı değerleri..... 72
Tablo 20	Şehir6 fideri için kondansatör gücünün hesabı..... 72
Tablo 21	Beşiri fiderine ait 12 aylık aktif ve reaktif enerji tüketimleri ile güç katsayısı değerleri..... 73

Tablo 22	Beşiri fideri için kondansatör gücünün hesabı.....	73
Tablo 23	Silvan fiderine ait 12 aylık aktif ve reaktif enerji tüketimleri ile güç katsayısı değerleri.....	74
Tablo 24	Silvan fideri için kondansatör gücünün hesabı.....	74
Tablo 25	Hasankeyf fiderine ait 12 aylık aktif ve reaktif enerji tüketimleri ile güç katsayısı değerleri.....	75
Tablo 26	Hasankeyf fideri için kondansatör gücünün hesabı.....	75
Tablo 27	Köyler fiderine ait 12 aylık aktif ve reaktif enerji tüketimleri ile güç katsayısı değerleri.....	76
Tablo 28	Köyler fideri için kondansatör gücünün hesabı.....	76
Tablo 29	TPAO fiderine ait 12 aylık aktif ve reaktif enerji tüketimleri ile güç katsayısı değerleri.....	77
Tablo 30	TÜPRAŞ fiderine ait 12 aylık aktif ve reaktif enerji tüketimleri ile güç katsayısı değerleri.....	78
Tablo 31	BOTAŞ fiderine ait 12 aylık aktif ve reaktif enerji tüketimleri ile güç katsayısı değerleri.....	79

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa
		No
Şekil 1.	Fazör Diyagramı.....	6
Şekil 2.	Bir besleme hattı.....	10
Şekil 3.	Gerilim Düşümüne ait fazör Diyagramı.....	13
Şekil 4.	Taşınan görünür gücün azaltılması.....	15
Şekil 5.	Taşınan görünür gücün sabit tutulması.....	16
Şekil 6.	Kondansatörün şebekeye bağlanması a) Devre şeması b) Fazör diyagramı.....	17
Şekil 7.	Üç fazlı alternatif akım şebekesine kondansatörlerin bağlanması a)Üçgen bağlama b)Yıldız bağlama.....	19
Şekil 8.	Kondansatörlerin hattın değişik noktalarına bağlanması.....	19
Şekil 9.	Asenkron motorun bireysel kompanzasyonu.....	20
Şekil 10.	Transformatörlerin alt gerilim tarafına bağlanan kondansatörler ile bireysel kompanzasyonu.	22
Şekil 11.	Grup kompanzasyon.....	25
Şekil 12.	Ayarlı Merkezi Kompanzasyon.....	26
Şekil 13.	Aşırı kompanzasyonda gerilim artışı.....	28
Şekil 14.	Standart sinüs gerilimi.....	32
Şekil 15.	Sinüsoidal şebeke gerilimi ile transformatörün demir çekirdeğine ait mıknatıslanma eğrisi yardımı ile mıknatıslanma akımının elde edilmesi.....	32
Şekil 16.	Seri rezonans devresi.....	41
Şekil 17.	Paralel rezonans devresi.....	44
Şekil 18.	Kondansatörlerin şebekeye bağlanmaları anında geçici akım darbeleri a) Kondansatörün devreye bağlanması b) Kondansatörün mevcut kondansatörlere paralel bağlanması.....	51
Şekil 19.	Nötrü topraklı yıldız bağlantı.....	54
Şekil 20.	Nötrü topraksız yıldız bağlantı.....	54
Şekil 21.	İki eşit parçalı yıldız bağlantı.....	55
Şekil 22.	Batman YG/OG indirici transformatör merkezi Ağustos 2001, 24 saatlik güç katsayısı değişimi.....	67

Şekil 23.	Şehir1 fideri 12 aylık güç katsayısı değişimi.....	68
Şekil 24.	Şehir2 fideri 12 aylık güç katsayısı değişimi.....	69
Şekil 25.	Şehir3 fideri 12 aylık güç katsayısı değişimi.....	70
Şekil 26.	Şehir4 fideri 12 aylık güç katsayısı değişimi.....	71
Şekil 27.	Şehir6 fideri 12 aylık güç katsayısı değişimi.....	72
Şekil 28.	Beşiri fideri 12 aylık güç katsayısı değişimi.....	73
Şekil 29.	Silvan fideri 12 aylık güç katsayısı değişimi.....	74
Şekil 30.	Hasankeyf fideri 12 aylık güç katsayısı değişimi.....	75
Şekil 31.	Köyler fideri 12 aylık güç katsayısı değişimi.....	76
Şekil 32.	TPAO fideri 12 aylık güç katsayısı değişimi.....	77
Şekil 33.	TÜPRAŞ fideri 12 aylık güç katsayısı değişimi.....	78
Şekil 34.	BOTAŞ fideri 12 aylık güç katsayısı değişimi.....	79



ÖZGEÇMİŞ

Faruk ERKEN 1974 yılında Batman'da doğdu. Lise öğrenimini 1990 yılında Ankara Mimar Sinan Lisesi'nde tamamladıktan sonra aynı yıl Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümüne girdi. 1994 yılında bu bölümden mezun oldu. 1995 yılında Dicle Üniversitesi Batman Meslek Yüksek Okulu'nda Öğretim Görevlisi olarak göreve başladı. Halen adı geçen kurumda Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.

