

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

F E N B İ L İ M L E R İ E N S T İ T Ü S Ü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PROGRAM: ELEKTRİK-ELEKTRONİK

KONU: STATİK KOMPANSATÖRLERLE

$\cos\phi$ 'NİN DÜZELTİLMESİ

(Reaktif güç kompanzasyonu)

YÖNETEN: Doç. Dr. Nesrin TARKAN

HAZIRLAYAN: Yaşar Birbir, B.S.

İSTANBUL - 1984



DEĞERLENDİRME KURULU ÜYELERİ

(Adı ve soyadı)

(İmza)

Başkan: .....

Üye : .....

Üye : .....

Tez'in kabul edildiği tarih: .....

## İ Ç İ N D E K İ L E R

	ÖNSOZ	I
	GİRİŞ	II
	KULLANILAN SEMBOLLER	III-IV-V
	GÜÇ FAKTORÜ ( $\cos \varphi$ ) NİN TARİHÇESİ	VI
BÖLÜM-1	ALTERNATİF AKIMDA GÜÇ	Sayfa
1.1	ALTERNATİF AKIM DEVRESİNDE DİRENÇ.....	
1.2	ALTERNATİF AKIM DEVRESİNDE REAKTANS.....	
1.3	ALTERNATİF AKIM DEVRESİNDE KONDANSATÖR.....	
1.4	AKTİF GÜÇ.....	
1.5	REAKTİF GÜÇ.....	
BÖLÜM-2	REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU	
2.1	İLETİM ŞEBEKELERİNDE GERİLİM VE REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU.....	
	2.1.1 Reaktif güç ile gerilim ayarı.....	
2.2	YÜK KOMPANZASYONU.....	1
	2.2.1 Gerilim kontrolü.....	1
	2.2.2 Güç faktörü kontrolü.....	1
2.3	KOMPANZASYONU GEREKTİREN YÜKLER.....	1
2.4	KOMPANZASYON SİSTEMİNİN AMAÇLARI.....	1
BÖLÜM-3	YÜK KOMPANZASYONUNUN YARARLARI	
3.1	ŞEBEKEDKİ YARARLARI.....	2
	3.1.1 Şebeke güç kapasitesinin artması.....	2
	3.1.2 Şebekede ısı kaybının azalması.....	2
	3.1.3 Gerilim düşümünün azalması.....	2
3.2	TÜKETİCİYE YARARLARI .....	2

BÖLÜM-4	REAKTİF GÜÇ ÜRETİMİ	
4.1	DİNAMİK FAZ KAYDIRICILAR.....	2
4.2	STATİK FAZ KAYDIRICILAR .....	2
4.2.1	Kondansatörlerin fiziki yapıları.....	2
4.3	KONDANSATÖR GÜCÜ VE AKIMI.....	3
BÖLÜM-5	REAKTİF GÜÇ İHTİYACININ TESPİTİ.....	3
5.1	PROJESİ YAPILAN BİR TESİSİN REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU İÇİN GEREKLİ KONDANSATÖR GÜCÜ HESABI.....	38
5.2	İŞLETMEDE OLAN TESİSLERDEKİ ÖLÇÜ ALETLERİNİN ÇEŞİTİNE GÖRE REAKTİF GÜÇ HESAP YONTEMLERİ.....	39
5.3	KOMPANZASYON TESİSİNİN DÜZENLENMESİ.....	40
5.4	KOMPANZASYON TESİSLERİNİN ÇEŞİTLERİ.....	42
5.4.1	Tek-tek kompanzasyon.....	42
5.4.2	Gurup kompanzasyonu.....	47
5.4.3	Merkezi kompanzasyon.....	48
5.4.3-1	Reaktif güç rölelerinin bölümleri.....	49
5.4.3-2	Reaktif güç rölelerinin ayarları.....	52
5.4.3-3	Reglerin bağlantısı ve kademe seçimi.....	56
5.4.3-4	Merkezi kompanzasyonda planlama.....	61
BÖLÜM-6	KOMPANZASYON TESİSLERİNİN PLANLANMASI.....	63
6.1	ORTA VE YÜKSEK GERİLİMDE KOMPANZASYON.....	64
6.1.1	Orta ve yüksek gerilimde kapasitör bağı..	65
6.1.2	Banka tasarım basamakları.....	66
6.1.3	Bankaların korunması.....	67
6.2	ALÇAK GERİLİMDE KOMPANZASYON.....	70
6.2.1	Alçak gerilim kompanzasyon tesislerinde koruma.....	72

BÖLÜM-7	KOMPANZASYON TESİSLERİNDE REZONANS OLAYLARI	
7.1	YÜKSEK HARMONİKLERİN ÜRETİLMESİ.....	71
7.2	YÜKSEK HARMONİKLERİN ETKİLERİ.....	76
7.3	REZONANS OLAYLARI.....	77
7.3.1	Paralel rezonans olayı.....	77
7.3.2	Seri rezonans olayı.....	85
7.4	YÜKSEK HARMONİK REZONANSINA KARŞI ÖNLEMLER.....	92
BÖLÜM-8	UYGULAMALAR	
8.1	ARK OCAKLARINDA REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU.....	92
8.1.1	Ark ocağının reaktif güç istemi.....	94
8.1.2	Ark ocaklarında kullanılan komp.sistemleri.....	95
8.1.3	Ark ocaklarının oluşturdukları harmonikler, Rezonans olayları ve alınacak önlemler..	97
8.2	ENDÜKSİYON OCAKLARINDA KOMPANZASYON.....	99
8.2.1	Endüksiyon ocaklarının sınıflandırılması	100
8.3	TRİSTORLÜ SİSTEMLERİN KOMPANZASYONU.....	100
8.3.1	Temel frekanslı reaktif güç ve harmonik akımlar.....	101
8.3.2	Temel frekans güç kompanzasyonu ve harmonik filtreleri.....	102
	SONUÇ.....	103
	YARARLANILAN KAYNAKLAR.....	104
EK I)	KONDANSATORLERİN SOĞUTULMASI.....	105
EK II)	YERLEŞİM MERKEZLERİNDEKİ DAĞITIM SİSTEMLERİNDE KOMP.TESİSLERİNİN YAPILABİLECEĞİ NOKTALAR.....	107

## Ö N S Ö Z

Tez, incelenecek konu, kuram ve uygulamadaki belirgin alanları kapsayan bölümlerden oluşmuştur. Her bölüm uygun tanımlar, ilkeler ve teorilerle birlikte örnekli ve açıklayıcı konularla başlamaktadır. Bunu, konuya uygun dizilmiş çözümlü ek problemler izlemektedir. Çözümlü problemler kuramı örneklemeye ve genişletmeye yaramaktadır. Analiz yöntemleri ile uygulamadan örnekler verilmektedir. Ayrıca temel ilkelerin doğru ve güvenli kullanılabilmesine yarayacak püf noktalarını bir araya getirmektedir. Örnek problemler aynı zamanda her bölümün konusunun tam bir tekrarına yaramaktadır.

İçerilen konular temel devre ve dalga şekillerinin analizini, fazörel gösterimini, güç katsayısı düzeltimi, rezonans olaylarını ve rezonansa karşı alınan önlemleri kapsamaktadır. Son bölümde güç katsayısı düzeltilmesi konusundaki çeşitli uygulamalara değinilmektedir. Tezin ana konusunu reaktif güç kompanzasyonunun kondansatörlerle yapılan uygulamaları oluşturmaktadır.

Bana çok yararlı olduğuna inandığım bu çalışma olanağını verecek ve devamı süresince yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Nesrin TARKAN'A içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

İstanbul, Temmuz 1984

## G İ R İ Ő

Dünyamızın son yıllarda karşı karşıya kaldığı enerji krizi araştırırmacıları bir yandan yeni kaynaklara yöneltirken, daha verimli sistemlerin tasarlanması ve kaybolan elektrik enerjisinin kazanılması yönünde çalışmaların yoğunlaşmasına neden olmuştur.

Güç sistemlerinde işletmeyi kolaylaştırmak, verimliliği arttırmak ve enerji tutumluluğunun en etkin önlemlerinden biri Reaktif güç kompanzasyonudur. Bu çalışmada reaktif güç kompanzasyonunda kullanılan tanımlar, alıcıların ve sistemin reaktif güç istemleri ve kompanzasyonun yararlarına değinilecektir. Elektrik enerjisi üreten ve dağıtan kuruluşlar ile bu kuruluşlarda çalışanlar uzun zamandır beri yüksek gerilim enerji sistemlerinde veya normal gerilimli sistemlerde gerilim ve reaktif güç akışı kontrolü sorununu çözmeye çalışmışlardır. Çünkü enerji üreten bu kuruluşlarda çalışanlar ideal bir enerji üreten ve dağıtan alternatif akım şebekesine sahip olmak isterler. İdeal bir alternatif akım şebekesinde, şebekenin her noktasında gerilim ve frekans sabit ve harmoniksiz olmalıdır. Ayrıca güç faktörü de 1'e yakın olmalıdır. Alternatif akım şebekesine bağlı olan aygıtlar veya yükler belli bir gerilim ve frekansta optimum çalışacak biçimde tasarlanırlar. Gerilim veya frekansın değişmesi durumunda optimum olarak çalışamazlar. Bir alternatif akım şebekesinin kalitesi şu beş ana ölçütle tanımlanabilir.

1. Gerilimin ve frekansın sabitliği
2. Güç faktörünün 1'e yakınlığı
3. Faz gerilim ve akımlarının dengeliliği
4. Enerjinin sürekli verilebilmesi (kesintisizliği)
5. Harmonik miktarının belirli sınırlar arasında kalması

Verilen bu ölçütler ani yük değişmelerinde, günlük, haftalık ve yıllık çalışmalarda geçerli olmalıdır. Çok uçlu yani bir çok generatörün bulunduğu enterkonnekte bir sistemde yukarıdaki ölçütleri belirli sınırlar arasında tutacak bir kompanzasyon ile karakteristilleri ne olursa olsun bir yükün kompanzasyonunu birbirinden ayırmal gerekir. Çünkü yüksek gerilimli bir alternatif akım enterkonnekte sistemindeki kompanzasyon yöntemiyle, bir yükteki kompanzasyon yöntemi birbirinden farklı olacaktır. Yük kompanzasyonundaki yöntemde; yük akımları, yük süseptansları vb. ölçülerek kompanzasyon sağlama yoluna gidilir. Yüksek gerilimli enterkonnekte sistemindeki kompanzasyon; sistemin empedans, süseptans ve akımları cinsinden gerçekleştirilemez.

Çünkü böyle bir sistemde, sisteme bağlı generatörler ve yükler değişebilir. Bu nedenle admitanslar kolayca çözülemez. Ayrıca böyle bir sistemde kompanzasyon, yük akımı cinsinden gerçekleştirilemez. Ayrıca bir enerji sisteminde önemli olan, iletim hattının ucundaki gerilimdir. Çünkü hattın ucundaki gerilim :

- a) Hattın iletebileceği gücü belirler.
- b) Alıcılar için sabitliği istenen ve şebekenin kalitesini belirleyen büyüklük olarak düşünülebilir.

Hazırlanan bu tezin konusunu da yük kompanzasyonu oluşturmaktadır.



## KULLANILAN SEMBOLLER

- a : Yardımcı kontaktör
- $a_n$  : n.ci harmonik geriliminin nominal gerilime oranı
- A : Ampermetre
- $A_p$  : Aktif enerji tüketimi(kWh)
- $A_q$  : Reaktif enerji tüketimi(kVARh)
- $\bar{A}$  : Termik koruyucu
- C : Kapasite
- $C_1$  : Primere bağlı kondansatör
- $C_2$  : Sekondere bağlı kondansatör
- $C_\lambda$  : Yıldız bağlamada kondansatör kapasitesi
- $C_\Delta$  : Üçgen bağlamada kondansatör kapasitesi
- $C_p$  : Aktif sayaç sabitesi(Dönme sayısı/kWh)
- $C_q$  : Reaktif sayaç sabitesi(Dönme sayısı/kWh)
- $\cos\varphi$  : Güç faktörü
- d : Kondansatördeki yalıtkan kalınlığı
- e : Gerilim düşümünün yüzdesi
- $\epsilon_0$  : Havanın dielektrisite sabitesi
- $\epsilon_r$  : Yalıtkanın dielektrisite sabitesi
- $I_c$  : Kapasitif akım
- $I_{cef}$  : Kondansatörün çektiği akımın efektif değeri
- $I_{cn}$  : Aşırı kondansatör akım bileşeni
- $I_L$  : Endüktif akım
- $I_0$  : Boşta çekilen akım

$I_h$	::	Hat akımı
$I_p$	:	Akımın etkin bileşeni
$I_q$	::	Akımın tepkin bileşeni
$I_{R_0}$	:	Omik akım
$k$	:	Akım trafosu çevirme oranı
$L$	:	Self
$n_p$	:	Aktif sayacın dakikadaki devri
$n_q$	::	Reaktif sayacın dakikadaki devri
$n$	::	Harmonik sayısı
$\eta$	:	Asenkron motorun verimi
$0-\lambda-\Delta$	:	Yıldız üçgen anahtar
$P$	:	Etkin güç
$P_z$	:	Hat üzerinde kabul edilen mutlak kayıp
$Q$	::	Tepkin güç
$Q_c$	:	Kondansatör gücü
$Q_{cr}$	:	Kritik kondansatör gücü
$Q_m$	::	Kapasitif artık reaktif güç
$Q_{kd}$	:	Kararlı çalışmadaki reaktif güç istemi
$Q_{m'}$	::	max.reaktif güç istemi
$Q_{cs}$	:	Simetrisleme kondansatörü reaktif gücü
$Q_{LS}$	:	Simetrisleme bobini reaktif gücü
$R$	:	Omik direnç
$R_L$	:	Bobin sargı direnci
$S$	:	Görünür güç
$S_k$	:	Tesisin kısa devre gücü
$t$	:	Kondansatörün boşalma zamanı
$T$	:	Zaman sabitesi
$tg$	:	Kondansatör kayıp faktörü

- V
- Tr : Transformator
- $U_n$  : Nominal gerilim
- $U_k$  : Transformator nisbi kısa devre gerilimi
- $U_{nr}$  : Rezonansa yol açan n.harmonik geriliminin efektif değeri
- $\Delta_u$  : Hat üzerindeki boyuna gerilim düşümü
- $\delta_u$  : Hat üzerindeki enine gerilim düşümü
- $\dot{u}$  : Transformator dönüştürme oranı
- X : Reaktans
- $X_e$  : Eşdeğer reaktans
- $X_c$  : Kapasitif reaktans
- $X_L$  : Endüktif reaktans
- W : Açısal frekans
- $W_0$  : Öz frekans
- z : Mutlak ısı kaybı cinsinden elde edilen kazanç
- Z : Empedans
- $Z_1$  : Transformatorün primer empedansı
- $Z_2$  : Transformatorün sekonder empedansı
- $Z_e$  : Eşdeğer empedans

## GÜÇ FAKTÖRÜ ( $\cos\phi$ ) NÜN TARİHÇESİ

Elektrik enerjisinin bulunmasında büyük rolleri olan Franklin, Volta, Örsted doğru akım tekniğinde büyük buluşlar yapmışlardır. Alternatif akım konusunda Faraday 1831 yılında endüksiyonu açıklamış ardından bir çok bilgin generatörü bulmaya çalışmıştır.

Max Well'in alternatif akım konusundaki matamatiksel açıklamaları, "Faz farkı" nı bulmasıyla gelişmeler yavaş yavaş ilerlemiştir. Hatta 1881 yılında Amerika'da patent dairesi transformatörü bulan bilginin patent isteğine böyle buluş olmaz diye karşı çıkmıştır.

Daha sonraları alternatif ve trifaze sistemde gelişmeler olmuş 1891 yılında Frankfurt'ta elektroteknik kongresinde Dolivo-Dobrowolski akımın bileşenlerini "güçlü akım", "güçsüz akım" diye ortaya atmıştır. Bu yıllarda akımın bileşenlerine çeşitli isimler konmak istenmiştir.

1907 yılında Alman-İsviçre-Avusturya elektroteknik daireleri birlikte "AEF" adı altında bir oda kurmuş, 1909 yılındada bu oda il defa Alternatif akım terimlerini açıklamıştır. Ve akımın bileşenlerini "Leistungsstrom" (Güç akımı), "Querstrom" (Çapraz ters akım) diye belirlemiştir.

1913 yılındaki yeni açıklamada ise bu bileşenlere "Wirkstrom" (Aktif akım) ve "Blindstrom" (Kör akım, reaktif akım) isimleri verilmiştir. Bu deyimler günümüze değin kullanılagelmiştir.

1879 ile 1891 yılları arasında çok fazlı sistemin bulunuşunda Tesla (Avusturya), Ferraris (İtalya), Bradley (USA), Dobrowolski (Almanya) adlarında ki bilginlerin ayrı ayrı ve birlikte çalışmaları sonucu aktif güç konusunu, 1922 yılındada Buchholz "Görünür güç" ü yeniden açıklamıştır. W. Ouade 1934-1939 yılları arasında güç ile ilgili açıklamaları toplamıştır.

Bu gün IEC'de dahî kesin açık tanımlar henüz bulunmamaktadır. Buchholz akım, gerilim ve güç değerlerinin ortalaması ile ilgili ortalama güç faktörü terimini ortaya atmış fakat bu tutulmamıştır. Daha sonra zamanla değişen ortalama değerlerden bahsedilmiş, ancak 1967 yılında kör güç ile ilgili problemler VDE de görüşülmüş, harmoniklerin yarattığı kör güce "Modulationsleistung" denilmesi önerilmiştir.

Görüldüğü gibi bütün bu çalışmalar yeni terimler bulmak için yapılmamış, eksikliklere ve sorulara yanıt vermek amaçlanmıştır.

## I) ALTERNATİF AKIMDA GÜÇ "1"

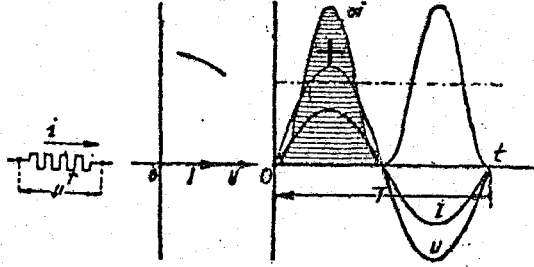
### I.1.-ALTERNATİF AKIM DEVRESİNDE DİRENÇ:

Akım sinüsoidal olarak  $i(t)$ , değiştiğinde gerilim de sinüsoidal olarak değişecektir.

$$u = ri = rI_m \sin \omega t = U_m \sin \omega t.$$

Akım ve gerilim fazları her an aynı olup, ya başlangıç noktalarını aynı iki sinüs eğrisiyle veya doğrultu ve yönleri aynı olan iki vektörle gösterilebilirler. Şekil 1-1. Genliklerle efektif değerler kendi aralarında yalnız 1,41 çarpanı ile ayırt edildiklerinde dolay, vektör diyagramında her ikisinde ölçek farkı ile aynı vektörle gösterilebilir.

Akım genliği, gerilim genliğinin dirence bölünmüş değeridir. Bu büyüklüklerin efektif değerleri arasında da aynı bağıntı vardır.



Şekil.1-1

Alternatif akımın gücü periyodik olarak değişen bir büyüklüktür ( $t$ ) anında değeri  $r$  olan dirençten  $i$  akımı geçiyorsa ve aynı anda direncin uçlarındaki gerilim  $u$  ise bu anda güç veya ani güç ifadesi

$$p = ui = U_m \sin \omega t I_m \sin \omega t = \frac{U_m I_m}{2} (1 - \cos 2\omega t)$$

dir. Ani güç her an pozitif kalır ve alternatif akımın bir periyodu süresinde sıfır ile  $U_m I_m$  limitleri arasında değişerek, tam iki değişim yapar. Şekil 1-1.

Alternatif akımın gücü denilince, bu gücün ortalama değeri anlaşılır. Sürekli rejimde bu büyüklük her periyot için aynı kalır. Dirençten geçen alternatif akımın ortalama gücü, gerilim ve akım genliklerinin çarpımına eşittir.

Genliklerin yerine efektif değerleri alarak,

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T ui \cdot dt = \frac{U_m I_m}{2} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_m}{\sqrt{2}} = UI$$

elde edilir. yani devrede yalnız direnç bulunduğu takdirde alternatif akımın gücü, gerilim ile akımın çarpımına eşittir.

(X:Kroşe " " içindeki sayılar tezin sonunda verilen kaynakları gösterir.)

## I.2.-ALTERNATİF AKIM DEVRESİNDE REAKTANS:

$i(t)$ , alternatif akımın bobinden geçmesinde, bu bobinde yön ve b yükülük bakımından alternatif bir akı oluşur. İfadesi

$$\Phi = \frac{L}{\omega} I_m \sin \omega t = \Phi_m \sin \omega t$$

olan bu akı, akımla aynı fazdadır. Bu nedenle doğrusal diyagramda b nu gösteren sinüs eğrisi, akım sinüs eğrisinin ölçek farkı ile aynıdır. Vektör diyagramında da akımın doğrultusunda bir vektör ile gösterilir. Akım  $dt$  süresinde  $di$  kadar değişmiş ise magnetik akı bobinde

$$e_L = -\omega \frac{d\Phi}{dt} = -L \frac{di}{dt} = -\omega L I_m \cos \omega t = \omega L I_m \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

gibi bir emk oluşturur. İndüklenen bu emk akıma göre  $1/4$  periyot geridedir. Bu emk şekil 1-2 de akım vektörüne göre  $90^\circ$  geri gösterilmektedir. Lenz kanununa göre bu emk in yönü her an akımın değişmesine engel olacak şekilde olduğuna göre, yalnız reaktansı olan bu bobinden  $i(t)$  akımının geçebilmesi için, bu bobinin uçlarına her an indüklenen emk 'e eşit ve ters yönde

$$u = -e_L = - \left( -L \frac{di}{dt} \right) = L \frac{di}{dt} = \omega L I_m \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right) = \omega L I_m \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

gibi bir gerilimin uygulanması gerekir. Bu şekilde uygulanan gerilimi indüklenen emk'e zıt sinüs eğrisi veya vektör olarak gösterebiliriz. Gerilim vektörü akım vektörüne göre  $90^\circ$  ilerdedir. Gerilimin değeri

$$u = \omega L I_m \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) = U_m \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

dir. Sonuç olarak reaktansın uçlarında  $u(t)$  gibi sinüsoidal gerilim bulunduğu akım değişimide sinüsoidaldir. Yani

$$i = I_m \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right) = \frac{U_m}{\omega L} \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

ve bunun vektörü gerilim vektörüne göre  $1/4$  periyot kadar geride kalacaktır. Akımın genliği

$$I_m = \frac{U_m}{\omega L} = \frac{U_m}{2\pi f L}$$

gerilimin genliği ile doğru, frekansla ters orantılıdır. Akım ve gerilimin efektif değerleri arasındaki

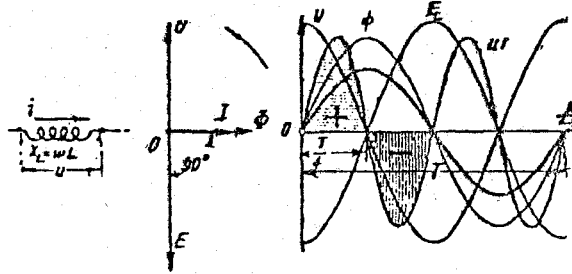
$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{U_m}{\omega L \sqrt{2}} = \frac{U}{\omega L}$$

bu bağıntıdan,  $\omega L$  büyüklüğünün, direnç birimi ohm'dur.  $\omega L$  büyüklüğüne öz indüklemenin tepkin direnci veya öz indüklemenin reaktansı denir.  $X_L$  ile gösterilir. Bu sabit bir değer olmayıp alternatif akımın frekansı ile orantılı değişir. Reaktanstaki alternatif akımın gücü,

$$p = ui = U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right) = \frac{U_m I_m}{2} \cos \frac{\pi}{2} - \frac{U_m I_m}{2} \cos \left( 2\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

periyot sayısı iki kat olan bir sinüsoid ile gösterilir. Şekil-2 de görüldüğü gibi enerjinin toplanma süresi, bobinden geri verilme süresine eşittir. Bobinde kayıp olmadığına göre bobine verilen enerji bobin tarafından geri verilir. Bu şekilde bobinde ortalama gücün sıfır olduğunu görmüş oluruz,

$$P = \frac{U_m I_m}{2} \cos \frac{\pi}{2} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cos \frac{\pi}{2} = UI \cos 90^\circ = 0$$



Şekil.1.1-2

### -I.3.-ALTERNATIF AKIM DEVRESİNDE KONDANSATOR

Kapasitesi C olan bir kondansatöre u(t) gibi sinüsoidal bir gerilim uygulayalım. Bu durumda uygulanan gerilim ile kondansatörün iç gerilimi birbirine ters yönde ve eşittir.  $u_m = -e_c$

Her hangi bir u(t) gerilimiyle kondansatör plakalarında

$$q = Cu = CU_m \sin \omega t$$

bir yük oluşur.

Sonsuz küçük bir (dt) zamanında uygulanan gerilim (du) kadar değişmiş ise, plakalardaki elektrik miktarı

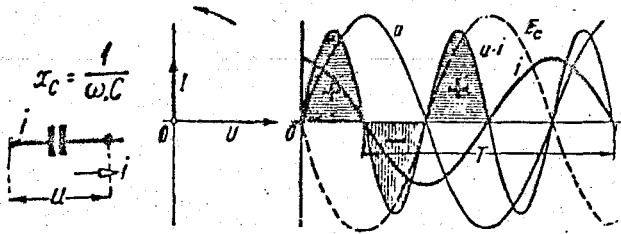
$$dq = Cdu = \omega CU_m \cos \omega t dt = \omega CU_m \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) dt$$

kadar değişecektir. Ve bu anda geçen akımın ifadesi,

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} = \omega CU_m \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) = I_m \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

olacaktır.

u,  $e_c = -u$  ve i nin zamana göre değişim eğrileri Şekil.1.1-3 te



Şekil.1.1-3

te gösterilmiştir. Gerilimin yükselmesi sırasında 1/4 periyot süresinde kondansatör yüklenir. Devredeki akım uygulanan gerilimin yönünde olur.

Gerilim maksimum değere ulaştığında (T/4) anında kondansatörün yüklenmesi sona ermiştir, ve akım sıfırdır. Bundan sonraki 1/4 periyottan uygulanan gerilim küçülür kondansatör boşalır yani akım negatif olur.

$u = 0$  olduğu anda gerilimin ve elektrik miktarının değişimi maksimum olduğuna göre, bu anda akım negatif maksimum değere varır. Uygulanan gerilimin bundan sonraki değişiminde kondansatör ters yönde yüklenecek ve yüklenme bitmedikçe akım negatif kalacaktır.

Kondansatörden geçen akım uygulanan gerilim gibi sinüsoidaldir. Ancak akım gerilime göre  $90^\circ$  ilerdedir. Kondansatörden geçen akımın genliği  $I_m = \omega C \cdot U_m$  dir. Efektif değer cinsinden yazarsak

$$I = \omega C U = \frac{U}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{U}{x_C}$$

elde edilir.

Uygulanan gerilim için kondansatörden geçen akım, kondansatörün kapasitesi ve frekansla orantılıdır. Gerilim ve akım değerleri orar

$$\frac{1}{\omega C} = x_C$$

birimi ohmdur. Bu büyüklüğe kondansatörün reaktansı denir ve  $X$  ile gösterilir. Kondansatörün plakaları arasındaki gerilim belirli iken akım bulunabiliyordu. Eğer kondansatörden sinüsoidal akım geçiyorsa kondansatörün plakalarına uygulanan gerilimin; plakalardaki elektrik miktarının kondansatörün kapasitesine bölümüne eşit olması gerekir.

Akımın ifadesinden kondansatör plakalarına uygulanan gerilim

$$u = \int_{i=I_m}^{i=i} \frac{i dt}{C}$$

ye eşit olduğu görülür.

Gerilim ve akımın değişimi sinüsoidal ise akım değeri maksimum olduğu anda uygulanan gerilim ve kondansatördeki elektrik miktarının sıfır olduğu şekil.1-3 te görülmektedir.

Bundan sonra sürekli rejimde ( $\int i dt$ ) integralinin limitleri, ( $u$ ) nun negatiften pozitive geçerken sıfır olduğu, veya akımın pozitif maksimuma vardığı noktadadır. Akım ( $i$ ) iken ( $u$ ) nun bilinmesi istenen  $t$  anı olarak alınır.

$$u = \int_{\frac{T}{4}}^t \frac{i dt}{C} = \int_{\frac{T}{4}}^{t=T} \frac{I_m \sin \omega t d(\omega t)}{\omega C} = -\frac{I_m}{\omega C} \left| \cos \omega t \right|_{\frac{T}{4}}^t = -\frac{I_m}{\omega C} \cos \omega t$$

$$= \frac{I_m}{\omega C} \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right) = U_m \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

Buradan sinüsoidal akımda; kapasite ve frekans ne kadar büyük ise gerekli gerilimde okadar küçük, ve bu gerilimin akıma nazaran  $90^\circ$  geride olduğu görülür.

Yalnız kapasite olan alternatif akım devresinin ani gücü, akım ile gerilim anı değerlerinin çarpımına eşittir.

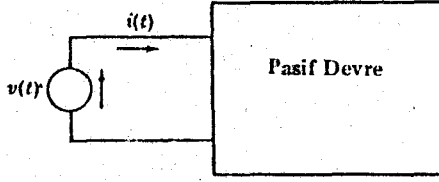
$$p = ui = U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) = \frac{U_m I_m}{2} \cos \left( -\frac{\pi}{2} \right) - \frac{U_m I_m}{2} \cos \left( 2\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

Bu gücü gösteren eğrinin frekansı, akımın frekansının iki katı olur. ( $u$ ) nun 0'dan  $U_m$  değişimine kadar  $1/4$  periyot süresinde kondansatörde toplanan enerji, bundan sonra gelen  $1/4$  periyot süresinde serbest kalıp üretece iade edilmektedir. Kondansatörün yüklenip boşalması enerji kaybına neden olmaz, yani ortalama güç sıfırdır.



#### I.4.-AKTİF GÜÇ "2"

Aktif gücü incelemek için pasif devre ele alalım. Şekil.1-4



Şekil.1-4

Uygulanan gerilim ( $v = V_m \sin \omega t$ ) için akım ( $i = I_m \sin(\omega t + \theta)$ ) dir. Devrenin kapasitif veya endüktif özelliğine göre faz açısı pozitif veya negatif tir. Bu durumda ani güç;

$$p = v \cdot i = V_m \cdot I_m \sin \omega t \cdot \sin(\omega t + \theta)$$

$$\sin a \cdot \sin b = \frac{1}{2} [\cos(a-b) - \cos(a+b)]$$

$$\cos - a = \cos a$$

$$\sin \omega t \cdot \sin(\omega t + \theta) = \frac{1}{2} [\cos(\omega t - \omega t + \theta) - \cos(\omega t + \omega t + \theta)]$$

$$= \frac{1}{2} [\cos \theta - \cos(2\omega t + \theta)]$$

$$p = \frac{V_m \cdot I_m}{2} \cos \theta - \cos(2\omega t + \theta)$$

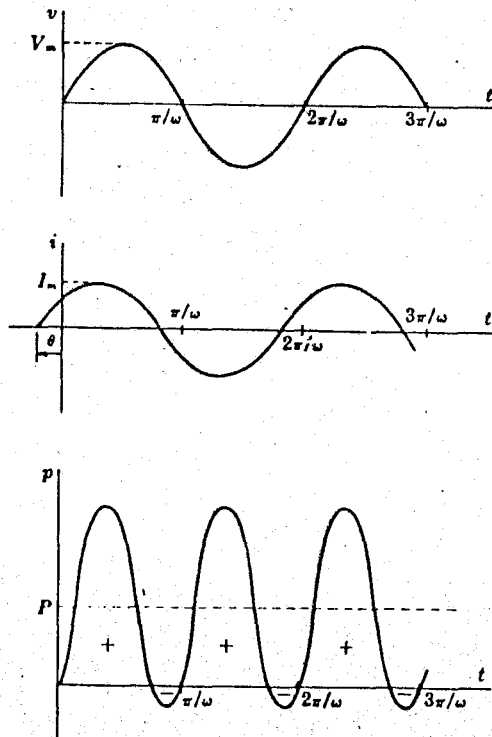
dir. Ani güç değeri  $p$ , ortalama değeri sıfır olan  $-\frac{1}{2} V_m I_m \cos(2\omega t + \theta)$  terimiyle  $\frac{1}{2} V_m I_m \cos \theta$  sabit terimini içerir.

O halde  $p$  nin ortalama değeri;

$$p = \frac{1}{2} V_m \cdot I_m \cdot \cos \theta$$

Btkin değerler  $V = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$ ,  $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$  olduğundan

$$p = V \cdot I \cdot \cos \theta$$



Şekil.1-5

### I.5.-REAKTİF GÜÇ"3"

Bir çok cihazlar(Transformatörler,motorlar gibi)oldukça büyük reaktansa sahiptirler.Bunlar elektromanyetik enerjiyi depo ederler sonra geri verirler.Diğer bir deyişle reaktif enerji tüketirler.Enerjinin birimsel tüketiminin,diğer bir deyişle reaktif gücün ifadesini inceleyelim.

Bir sinüsoidal gerilim ile beslenen endüktif devreyi ele alalım.Bu devreden gerilimin faz açısı kadar geri fazda bir akımın geçtiğini düşünelim.Yani,

$$i = I_m \cdot \sin(\omega t - \theta)$$

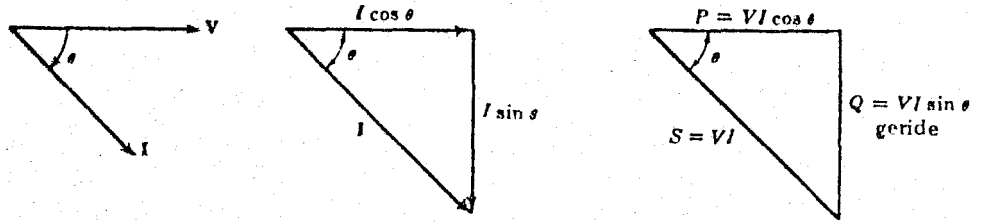
$$\left[ \sin(a-b) = \sin a \cdot \cos b - \sin b \cdot \cos a \right] \text{ dan}$$

$$i = I_m \cdot [\sin \omega t \cdot \cos \theta - \sin \theta \cdot \cos \omega t]$$

$$i' = I_m \cdot \cos \theta \cdot \sin \omega t$$

$$i'' = -I_m \cdot \sin \theta \cdot \cos \omega t = I_m \cdot \sin \theta \cdot \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

dir.0 halde  $i$  akımı,etkin değerleri  $I \cdot \cos \theta$  ve  $I \cdot \sin \theta$  olan iki akımın toplamı olarak düşünülebilir.Bunlardan birincisi gerilimle aynı fazda,diğeri ise gerilimden  $90^\circ$  geri fazdadır.Şekil.1-6.a

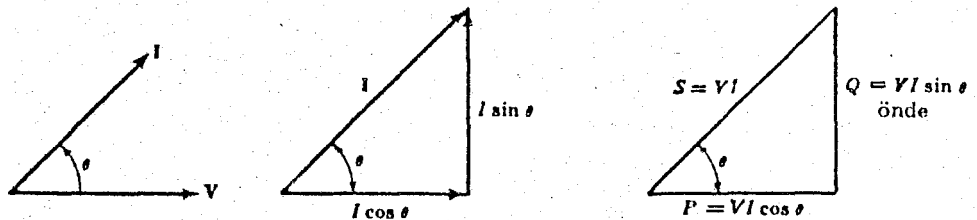


( $i'$ ) etkin değerinin oluşturduğu güç(Aktif güç): $P = V \cdot I \cdot \cos \theta$

( $i''$ ) etkin değerinin oluşturduğu güç(Reaktif güç): $Q = V \cdot I \cdot \sin \theta$

Şekil.1-6 da görüldüğü gibi aktif ve reaktif güçlerin bileşkesi  $S = V \cdot I$  görünür gücü verir.Birimi Volt-Amper' dir,

Yine şekil 1-6.b de görüldüğü gibi sinüsoidal bir gerilim ile kapasitif bir devreyi ele aldığımızda güç üçgeninin  $Q$  bileşeni yatay eksenin üzerindedir.



Şekil.1-6.b

## 2) REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU

### 2.1-İLETİM ŞEBEKELERİNDE GERİLİM-REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU"4"

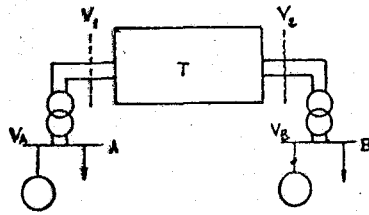
Motor, lamba, ısıtıcı, gibi cihazlar belirli bir gerilim altında işlemek için yapılmışlardır. Gerilim değerleri belirli bir genliği aştığında genellikle arızalı çalışmalar olur. Eğer gerilim çok yüksek ise, motorun demiri doyar ve ısınır. Lambanın dayanma süresi azalır. Bunun tersi gerilim çok düşükse lamba kötü aydınlatır. Motor momenti yetersizdir, rotor kayar ve ısınma tehlikesine girer. O halde bir dağıtım şebekesinin belirli bir noktasındaki gerilim mümkün olduğu kadar sabit bir değerde tutulmalıdır. Bu zorunluluk, zaten, cer istasyonlarını besleyen şebekeler gibi diğer şebekelerde yayılır. Komütatrisler ve redresörler değişken bir gerilime iyi uyamazlar, bu nedenle bu istasyonlarda gerilim ayarı gereçleri kullanmak oldukça zordur.

Buna karşılık tam anlamıyla iletim şebekeleri denen şebekeler üzerinde, daha büyük gerilim değişimleri kabul edilebilir. Çünkü bu lara direk bağlanmış kullanma cihazları kesin olarak yoktur. Diğer yandan büyük güçteki generatör ve transformatörler, gerilim nominal değerinin  $\pm 5$  civarında değiştiğinde güçlerin tamamını devreye vermeye yeteneklidir. Tam yükte işlemedikleri zaman daha çok gerilim değişimlerine dayanabilirler. Sonuç olarak yüksek gerilim değerlerinde izolasyonların bozulması, transformatörlerin doymasına neden olur. Çok alçak gerilim değerlerinde ise; kayıpların artması ve iletim stabilitesinin zarara uğraması gibi tehlikelere sokmamak şartı ile iletim şebekesinin belirli bir noktasındaki gerilimin oldukça geniş sınırlar arasında alınmasının prensip olarak sakıncası yoktur. Ayrıca iletim şebekesindeki değişimlerin genliğinin, bu değişimler dağıtım şebekesine kısmen ulaştığından, iletim şebekesi tarafından beslenen dağıtım şebekeleri üzerine kurulmuş ayar düzenlerinin olanaklarını aşmaması gerekir. Gerilim değişimleri reaktif gücün şebekenin çeşitli organları arasında, çok büyük ise rahatsız edici olabilen yer değiştirmelerini gerektirir. Bu nedenlerden şebekenin belirli bir noktasındaki gerilim değişimlerini, genellikle nominal gerilimden farklı olan ortalama değer en fazla  $\pm 10$  na eşit genişlikteki bir bantın içinde tutmaya çaba gösterilir.

Bir dağıtım şebekesi veya iletim şebekesi ele alındığında gerilim ayar probleminin yönetiliş biçimi değişir. Bu durumda gerilimi sabit tutmaya zorunlu kılacak, ikinci durumda ise yukarıda belirtile sakıncaları önlemek için gevşek bir gerilim kontrolü yeterlidir.

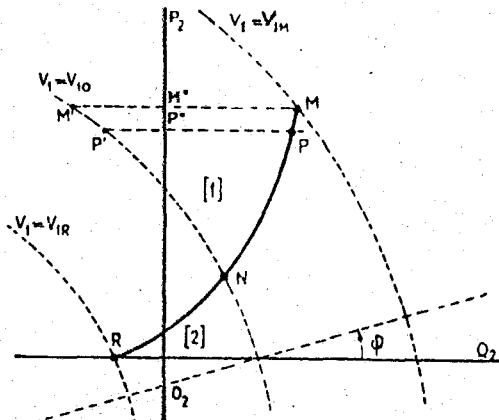
### 2.1.1) REAKTİF GÜÇ İLE GERİLİM AYARI

Biri tüketim, diğeri üretim merkezi olmak üzere A ve B merkezler birbirine bağlayan, içinde hatlar ve transformatörlerin bulunabildiği bir iletim şebekesi yerine, bu şebekeyi gösterebilen, ideal transformatörlerle birlikte olan veya olmayan bir (T) dört uçlusunu göz önüne alacağız. İletilen güç şekil, 2.1 de ne olursa olsun  $V_A$  ve  $V_B$  gerilimlerinin sabit tutulmalarının gerektiğini kabul edelim. (T) dört uçlusunun giriş ve çıkışındaki  $V_1$  ve  $V_2$  gerilimlerinde sabittir. Bu nedenle (T)'nin uçları arasındaki gerilim düşümü de sabit kalmalıdır. Çoğu kez bunun sıfır olması da zorunlu değildir.



Şekil.2-1

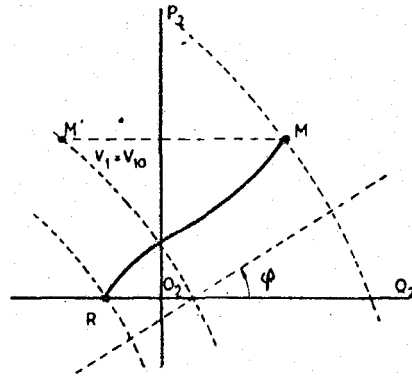
Temel gerilim olarak  $V_2$  ile kurulmuş (T) dört uçlusunun diyagramı üzerinde,  $V_2$  sabit gerilimi altında tüketim şebekesi tarafından çekilen aktif ve reaktif güçler arasında ki bağıntıyı veren MNR eğrisini çizelim. Şekil.2.2 de iletim şebekesi, diyagramda sırayla R ve M noktaları ile gösterilmiştir. Tüketicinin cinsine göre şebeke az yükte çalıştığı zaman reaktif güç üretebilir. (Kablo şebekesi gibi) Veya aktif güç çekebilir. (Çok sayıda boşta çalışan küçük transformatörlü şebeke) R noktası  $O_2Q_2$  ekseninde, birinci halde O noktası  $O_2Q_2$  nin solunda ikinci halde sağında bulunur. Varıştaki aktif gücün sıfır olduğu işlemeyen tam yükte işlemeye geçtiği zaman  $V_2$  sabit kaldığı için,  $V_1$  gerilimi  $V_{1R}$  ile  $V_{1M}$  arasında değişmelidir.  $V_1$  in sabit kalmasını istediğimizden  $V_{10}$  a eşit olacaktır. Buna göre işlemeyi gösteren noktası  $V_{10}$  a ilişkin olan eşit çıkış gerilim dairesi üzerinde yer değiştirmelidir. Bu sonuca varmak için işlemeyi gösteren noktayı P den P'ye getirmek gerekir.



Şekil.2-2

Şekil.2-2 de çıkış ve varış gerilimlerinin istenen değerde kalması için B alıcı ucunda üretilmesi gereken PP'reaktif gücünün fazla yüklerde ikiye ayrıldığını gösterir.Bunlardan biri PP"alıcılar tarafından çekilen reaktif gücü,diğeri P"P'iletim şebekesi tarafından alınan reaktif gücü göstermektedir.Genel olarak iletim şebekesi tarafından alınan,alıcılar tarafından alınan reaktif güçten azdır.

Şekil.2-2 deki  $\varphi$  açısı AB iletimindeki direncin reaktansı  $R/X$  oranına bağlıdır,ve bu oranla artar Şekil.2-2 ve 2-3 ün basit karşılaştırması gösterir ki; $V_1$  ve  $V_2$  gerilimlerinin aynı değerleri için B de sokulması gerekli reaktif  $R/X$  ile artar. $R/X$  oranı küçük olduğu zaman reaktif güç sokulması ile gerilim ayarı kolaylıkla olur.Bu iletimin hava hatları ve transformatörler ile olduğu durumdur.Direnç teriminin reaktans terimine eşit olduğu veya üstelik geçtiği yeraltı kabloları veya orta gerilim hatlarında da durum başka türlü de olabilir.



Şekil.2-3

Alınan  $P_2$  aktif gücü sabit kalarak,gerilim düşümünü verilmiş  $\Delta v$  değerinde tutmak için varışta sokulması gereken  $Q_2$ reaktif gücü  $R/X$  oranı ne kadar küçük ise mutlak değer okadar azdır.

Sabit degerde tutulması için uğraşılan  $V_1$ - $V_2$  gerilim düşümü pozitif veya sıfır üstelik negatif te olabilir.Çünkü yalnız X reaktansındaki gerilim düşümü değil, $R$  direncindeki gerilim düşümünde kompanse edilmekte ve bunun ilerisine de gidilmektedir.Genel olarak nominal gerilimin % de bir kaçına kadar pozitif değer kabul edilir.

Kompanzasyon reaktif gücünü üreten cihazların önemini azaltmak için,iletim süresince belirli bir gerilim eğimi kabul edilir.Buna karşılık,taşınan güç küçük olduğunda çekilmesi gerekli reaktif güçte arttırılır.Gücün günün saatlerine göre A dan B ye,yada B den A ya doğru aktığı durumda bir sıfır gerilim eğimi kabul edilmelidir.

Yani P, V<sub>1</sub>=V<sub>10</sub> dairesinin eğri ile kesdiği N noktası ve M noktası arasında olduğu zaman B alıcı istasyonundan şebekeye reaktif güç sokmak gerekir.

Variştaki bu reaktif gücün değeri büyüklük ve işaret olarak PP' doğru parçası ile verilmiştir. Bu reaktif güç variş istasyonundan göz önüne alınan şebekeye doğru yönelince yani (1) ile işaretlenmiş bölgede negatif olur. Alıcı ucuna paralel olarak bir kondansatör bağlanmış gibi olur. Reaktif güç şebekeden alıcı ucuna doğru yöneldiği zaman pozitifdir. Bunun karşılığı paralel olarak bir selindüksiyon bobini bağlanması durumudur. Buda (2) ile işaretlenmiş bölgede meydana gelir.

şimdiye kadar olan gözlemlerimizin sonuçlarını özetleyelim:

1<sup>o</sup>. Gerilimin modülünün V olduğu bir noktadan geçen P aktif gücü ile Q reaktif gücü bağımsız değişkenler değildir. Bir  $\Phi(p, q, v) = 0$  denklemi ile birbirine bağlanmışlardır. Admitanssız, empedansı  $Z = R + jX$  olan basit bir hat durumunda bu fonksiyon

$$V_1 - V = \frac{RP_2 + XQ_2}{V} \text{ veya } \Phi(P, Q, V) = (V_1 - V)V - RP_2 - XQ_2 = 0$$

Böylece, aktif gücün verilmiş bir değeri için, her reaktif güç değişimi bir gerilim değişimine neden olur. Ve karşıt olarak şebekenin belirli bir noktasında her hangi bir nedene bağlı olarak bir gerilim değişimi meydana gelirse; bundan bu noktada sonlanan hatlardan geçen reaktif güçlerin değerinde bir değişme olduğu sonucunu çıkarırız.

şu halde reaktif güç artışı, kendi artış yönünde, önceden var olan gerilim düşümü ile pozitif veya negatif olarak bileşen bir gerilim düşümüne neden olurlar. Diğer bir deyişle reaktif güç akımı, bu akımın yönünde iletimin eğimini arttırmaya yönelir.

2<sup>o</sup>. Reaktans etkisinin yüksek olduğu şebekelerde  $\Delta v$  gerilim düşümü başlıca reaktif gücün iletimine bağlıdır.

3<sup>o</sup>. Taşınan güç ne olursa olsun, alıcı istasyonunun V<sub>2</sub> gerilimi, bu alıcı istasyona gelen reaktif güce etki ederek belirli bir değerde tutmak olanaklıdır. O halde alınan aktif güç belirli bir değeri aştığı zaman iletim şebekesine reaktif güç sokmak gerekir. Bu ayar yolunda iletim direncinin reaktansına R/X oranı ne kadar küçük ise o kadar az reaktif güç işe karışır.

## 2.2)YÜK KOMPANZASYONU "5"

Yük kompanzasyonu, belli bir yükü besleyen elektrik şebekesinin özellik ölçütü olarak verilen,

1<sup>o</sup>.Gerilimin

2<sup>o</sup>.Güç faktörünün

3<sup>o</sup>.Faz büyüklüklerinin dengeliliğinin, hem sürekli ve hemde geçici hal çalışmalarında istenilen sınırlar arasında kalmasını sağlamak işlemi anlamına gelir.

Bugün modern teknolojinin endüstride uygulanması ile elektrik şebekelerine bağlanan yüklerin değişken değerinde büyük reaktif güç aldıkları, bunların dengesiz oldukları bilinmektedir. Özellikle büyük kapasiteli olan çelik endüstrisinde kullanılan elektrik ark ocakları, dengesiz ve değişken yük oluşturan büyük değerinde reaktif güç çeken alıcılardır. Bu fırınların bağlı olduğu şebekelerde eşdeğer iç empedansları yada kısa devre açma güçleri yeteri kadar büyük değilse gerilim değişimleri, flicker olayı ve faz dengesizlikleri, düşük güç faktörleri görülmektedir. Ayrıca haddehanelerde, bir fazlı trenlerin oluşturdukları yükler gene büyük reaktif güçlerin ve düşük güç faktörlerinin oluşmasına neden olur. Sonuç olarakta gerilim değişmelerine ve bir fazlı değişken yük oluşturan trenler ise şebeke dengesizliklerine yol açmaktadır.

Bir şebekenin gerilimi, şebekenin gücü çok büyük yada iç empedansı sıfır olduğu için sabit olsa bile, güç faktörü kompanzasyonu ve yükün dengeli yapılması söz konusudur. Burada yükün dengeli yapılması özellikle, şebekeden alınan aktif gücün dengeli olması anlamına gelmektedir.

Açıkça görülebileceği gibi yük kompanzasyonu bir bakıma, alternatif akım güç sisteminin özellik ölçütlerini iyileştirmek için reaktif gücün kontrol edilmesidir. Bu yük kompanzasyonu işlemide, buna göre yük yada yüklerin reaktif güçlerini şebekeye bağlı olduğu noktada kontrol etmektir. Kompanzasyonu gerçekleştirecek kontrol sistemi yükün bağlı olduğu yerde kurularak şebekeye bağlanır.

Kompanzasyon kontrolü yapan düzenlerin çalışma prensiplerini incelemeden önce güç faktörü kompanzasyonu, gerilim kontrolü ve yük kompanzasyonu konusunda inceleme yapalım.

## 2.2.1-)GERİLİM KONTROLU

Eğer bir alternatif akım şebekesinin iç empedansı sıfır veya gücü sonsuz olsa idi, bu şebekeye ne değer ve değişim özelliğindeki olan yük bağlanırsa bağlansın gerilim ve yüke bağlı olmaksızın sabit kalırdı.

Bir şebekenin kısa devre açma gücü, fırın gücünün 80-100 katından büyükse, elektrik ark fırınları bağlı olduğu şebekede gerilim değişmelerine neden oluyabilir. İç empedansı sıfır yada çok küçük olan bir alternatif akım şebekesi ise ancak enerji üreten generatörlerin gücü ve sayısını arttırmak, sonra bunları birbirleri arasında bağlayarak enterkonnekte sistem elde etmek yolu ile gerçekleştirilir. Gerilimin şebekelerde sabit kalmasını bu yolla sağlama ya çalışmak iki nedenle sakıncalıdır.

1°. Sistemin ekonomik olmamasına yol açar.

2°. Kısa devre açma gücü çok büyük olduğundan tesis masraflarının artması sorununu getirir. İşte bu nedenlerle gerilim değişmelerini kompanse etmek, başka bir deyimle gerilimi sabit tutmak için yük yada yüklerin reaktif güçlerini kompanse edecek birimleri yükün olduğu yere bağlamak ve gerekli gücü bunlar yardımıyla sağlamak, hem pratik hemde ekonomik tek çözüm olarak görülmektedir. Ayrıca bu çözüm sistemin kısa devre açma gücünü de büyütmez. Bu durumda Alternatif akım şebekelerinde kurulu güçler, enerji iletim hatlarındaki aktif güç kayıplarının da göz önünde tutularak, enerji alılarının maksimum aktif güç isteklerinin toplamı alınarak bulunur.

Kompense edilmemiş bir yükün aldığı reaktif güç yada ani reaktif güç değişimleri, iç empedansı sıfır olmayan sonlu güçlü gerçek bir şebekede gerilim değişmelerine neden olur. Bu gerilim değişimleri aynı noktaya bağlı diğer alıcıları olumsuz yönde etkiler, gerilim değişmelerine neden olan yükün de optimum çalışma koşullarını bozar. Bu gerilim değişimleri çok büyük ise alıcıların çalışmama durumu meydana gelir. Elektrik şebekesinden sorumlu kuruluşlar, gerilimlerini belirli sınırlar arasında tutmakla yükümlüdürler. Bundan başka modern ark ocaklarının aldıkları reaktif güçler 2Hz-10Hz lik değişmeler göstermektedirler. Yapılan deneylerde, insan gözünün 2Hz ile 10Hz lik %0,25-%0,4 lük gerilim değişmelerini algılayabildiği ve bunların insan gözünü rahatsız ettiği saptanmıştır. Flicker olayı olarak bilinen bu durumda elektrik ark ocağını kompanse edecek kompanzasyon düzenince giderilmesi zorunludur.



### 2.2.2-)GÜÇ FAKTORU KONTROLU

Basit bir deyimle güç faktörü kontrolü, bir yükün zamana göre sabit yada değişken olan reaktif gücünü, hemen yükün yanında güç faktörü kompanzasyon sistemi ile üretmektir.

Böylece enerji iletim hatları reaktif güçle yüklenmemiş olur. Çünkü reaktif gücün santrallarda üretilmesi halinde, genellikle uzun iletim hatları ile alıcı yüklere bağlı olan sistemin hatlarını da istenmeyen kayıplara yol açar. Endüstride kullanılan yük yada alıcıların çoğunluğu, endüktif reaktif güç alırlar ve güç faktörleri çok düşüktür. Elektrik enerjisinin faydalı enerjisi aktif güçle orantılıdır. Reaktif gücün var olması, enerji iletim hatlarının daha büyük akım taşımalarına yol açar. Böylece güç faktörü küçük olan alıcı, belli bir aktif güç için, tesisatını daha büyük boyutta seçmenin yanında ek joul kayıplarının bedelini ödemek durumundadır. İşte bu nedenle enerji üreterek bu enerjiyi ileten ve satan kuruluşlar güç faktörünün ideal olarak 1 yada 0,95 civarında olmasını isterler (Enerji satılan kurumlardan). Bunu yapmadıkları takdirde enerjiyi satın alanlardan, aldıkları düşük güç faktörlü enerjiden yüksek ücret alırlar. Belli bir aktif güç için, küçük güç faktörü, büyük reaktif güce karşı düşer. Daha önce de açıklandığı gibi reaktif güç gerilim değişmelerine yol açar. Bu açıdan bakıldığında güç faktörü kontrolü aynı zamanda gerilim kontrolü demektir.

### 2.2.3-)YÜKÜN DENGELENMESİ

Alternatif akımda güç sistemleri üç fazlı olarak çalışırlar. V bunlara bağlı yüklerde çoğunlukla üç fazlı dengeli yüklerdir. Bunu la beraber elektrikli trenler gibi bir fazlı yüklerin üç fazlı sistemleri dengesiz olarak yüklediği ve ayrıca üç fazlı yüklerin üç fazlı sistemlere dengesiz olarak (çalışma özellikleri sonucunda) uygulanadıkları bilinen olaydır.

Fazların dengesizliği, simetrik bileşenler cinsinden, pozitif, negatif ve sıfır bileşenlerin meydana gelmesine yol açar. Bir elektrik şebekesinde pozitif, negatif ve sıfır bileşenlerin olması şu istenmeyen sonuçları doğurur.

- 1° .Nötr iletkenlerinden büyük akımların akması
- 2° .Doğrultucuların çıkış gerilimlerinde artan sivri gerilim tepelerinin oluşmasına
- 3° .Motor , generatör ve trafolarda kayıpların artması
- 4° .Alternatif akım makinalarında momentin dengesiz olması

İdeal bir şebeke kompanzasyonu sisteminin, bu dengesizlikleri kontrol edebilecek nitelikte olması gerekir.

Bir alternatif akım şebekesinin kesintisiz ve güvenilir olması, o şebekenin iyiliği açısından en önemli kriterlerden biridir. Ancak bu kriter başlı başına inceleme gerektiren bu çalışmaların dışında ayrı bir konu olmak niteliğindedir.

Aynı şekilde şebekede harmoniklerin kompanse edilmesi başlı başına bir konudur. Harmonikler alternatif akım motorları üzerinde olumsuz etkiler doğuracağı gibi, beklenmeyen rezonans olaylarına, aşırı kayıp ve ısınmalara yol açar. Harmoniklerin kompanse edilmesi gerçekte gerilim kontrolü, güç faktörü kompanzasyonu ve yük dengeleme kompanzasyonundan farklıdır. Bunun için ayrıca özel olarak tasarlanmış L-C elemanlı filtreler kullanılır.

### 2.3) KOMPANZASYON GEREKTİREN YUKLER

Gerçekte güç faktörü kompanzasyonun yapılıp yapılmayışı düşük güç faktörü ile satılmasına izin verilebilecek enerji fiyatına, yılın büyüklüğüne ve güç faktörünün değerine bağlıdır. Ancak ülkemizde enerji kullanma isteklerinin sürekli olarak artması ve gerilim değerlerinin düşük değerlerde olduğu göz önünde tutulursa güç faktörü kompanzasyonunun zorunlu olarak yapılması gerektiği ortadadır.

Şebeke geriliminin, özellikle düşük güç faktörü yada büyük ve kompanse edilmeyen reaktif güçler nedeni ile değiştiği bilinmektedir. Gerilim değişimleri çoğunlukla gerilim düşümü şeklinde olmaktadır. Örneğin güç faktörü 1'e yükseltirse gerilim düşümü azdır. Eğer güç faktörü kompanse edilmemişse düşük değerde olan gerilimi normal değerde sabit tutmak için yurdumuzda regülatörler kullanılmaktadır. Regülatörler gerilimi düzenlemek için alternatif akım şebekesinden daha çok reaktif güç çekeceklerinden kompanzasyon ihtiyacında arttırarak gerilimin daha da düşmesine neden olurlar.

Endüstride kompanzasyonu gerektiren yük türleri şunlardır.

1. Elektrik ark ocakları
2. İndüksiyon fırınları
3. İndüksiyon kaynak makinaları
4. Haddehaneler
5. Asenkron motorlar
6. Darbeli güçle çalışan yüksek fizik tesisatı (synchrotron)

## 2.4) KOMPANZASYON SİSTEMİNİN AMAÇLARI

Daha önce güç faktörü kompanzasyonu, gerilimin kontrolü ve üç fazlı dengesiz yüklerin dengeleştirilmesi ele alınmıştı. Şimdi ise elektrik şebekelerinde verilen bir yükü kompanse eden kontrol sisteminin amaçlarını ele alalım. Kompansatörler, hem sürekli ve hemde geçici hal çalışmalarında;

1°. Güç faktörünün değerini bir civarında tutabilmelidir.

2°. Gerilim değişmelerini belli sınırlar arasında kalacak şekilde kontrol edebilmelidir.

3°. Yük akımlarını ve gerilimlerini dengeleyebilmeli, bu kontrolü üç faz için ayrı ayrı yapabilmelidir.

4°. Şebekeden aktif güç almamalıdır, kayıpsız olmalıdır.

5°. Harmonik üretmemeli veya harmonik üretiyorsa süzebilmelidir.

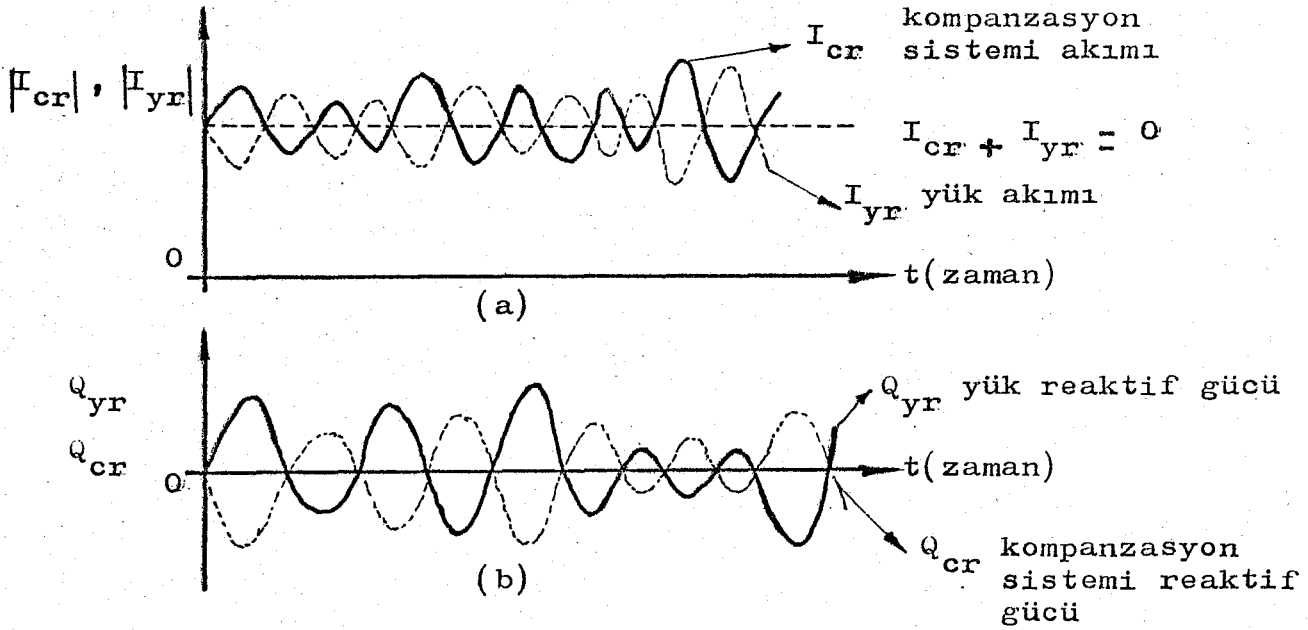
Gerçekte, gerilim kontrolü ve güç faktörü kompanzasyonu birbirlerine bağlı kontrol işlemleridir. Bilindiği gibi akımın Wattsız ya da reaktif bileşeni, yükün reaktif gücüne karşı düşer. Reaktif güçlere ilişkin bu reaktif akımların reaktanslar üzerindeki gerilim düşümleri, boyuna gerilim düşümleri oluştururlar. Boyuna gerilim düşümleri ise gerilim değişmelerine yol açarlar.

Yükün Wattlı gücüne karşı düşen Wattlı akımlar, reaktanslarda enine gerilim düşümü meydana getirirlerki, bunların neden olduğu gerilim değişimleri ise ihmal edilecek kadar küçüktür. İşte bu nedenlerle gerilim kontrolü, reaktif güçlerin kompanse edilmesi ve reaktif gücün kompanse edilmesi ise güç faktörü kontrolü sonucunu doğurduğundan gerilim kontrolü ve güç faktörü kontrolü birbirlerinden ayrılmaz iki kontrol işlemidir.

Daha öncede açıkladığımız gibi bir alternatif akım güç sisteminin iç empedansı sıfır olsa idi yük akımlarının değişmesi, herhangi bir gerilim değişmesi meydana getirmezdi. Oysa iç empedansı sıfır olan bir şebeke sonsuz büyük ve ekonomik açıdan gerçekleştirilmesi olanaksız olan bir şebeke olurdu. Bu nedenlerle fiziksel bir şebekede; bir iç empedans her zaman söz konusu olacağına göre, bu empedans üzerinde yük akımlarının oluşturacağı değişken gerilim düşümlerinin neden olacağı gerilim değişimlerini kompanse etmek için şu yol izlenebilir. Gerilim değişmelerine wattsız güçlere ilişkin Wattsız akımlar neden olmaktadır. Eger kompanzasyon kontrol sistemi yükün reaktif (Wattsız güç) yada reaktif akıma eşit genlikte ve ters işarette bir akımı her (t) anında üretebilirse, yük akımlarının oluşturduğu gerilim değişimleri kompanse edilir.

Reaktif güçlerin şebekeden alınmayıp, kompanzasyon kontrol sistemi tarafından sağlandığı için, şebekeden görülen sürekli yada an güç faktöründe kontrol edilmiş, örneğin bir civarına getirilmiş olacaktır.

Yukarıdaki açıklamalarımızın ışığı altında, yükün değişken olan reaktanslarını, yada bunların değişmesi sonucunda oluşacak reaktif akımları, reaktif güçleri ölçmek; kompanzasyon kontrol sisteminin bunların değişimleri ile ters yönde olan aynı genlikli reaktif güç yada akımlarını üretmesi gerekmektedir. Bu açıdan da kompanzasyon kontrol sistemi kayıpsız olmalıdır. Şekil 2-4 te yük ve kompanzasyon kontrol sisteminin reaktif akım ve güçlerinin değişimi gösterilmiştir.



Şekil 2.4-a) Yük ve kompanzasyon akımlarının reaktif bileşenleri değişimi.

b) Yük ve kompanzasyon reaktif güçlerinin değişimi.

İdeal bir kompanzasyonda yükün reaktif gücü yada reaktif akımı kompanzasyon kontrol sistemince aynı büyüklük ve ters fazda olmak üzere üretilirse, yükün Wattsız akımının meydana getireceği gerilim düşümünde yok edilmiş olur.

Yük kompanzasyonunda özellikle şunların bilinmesi gerekir:

- 1.)Yükün reaktif gücünün zamana göre değişimi ve güç gaktörü maksimum ,minimum değerleri,
- 2.)Gerilimin hangi sınırlar arasında sabit tutulacağı,
- 3.)Belli yük darbelerine karşı kompanzasyon sisteminin respon
- 4.)Nominal geirlim,frekans.ve bunların değişimleri, (tepkis
- 5.)Kompanzasyon kontrol sistemi devrede iken izin verilebilec harmoniklerin bozucu etki sınırları,
- 6.)Kompanzasyon kontrol sisteminin koruma düzeni,
- 7.)Aşırı yüklerle karşı responsu
- 8.)Sisteme yol verme ve kumanda etme düzenleri,bakım yedek pa ça ve gelecekteki gelişmelere göre sistemin durumu,
- 9.)Sistemin çalışacağı ortamın sıcaklık değişimi ,nem ,toz,aç havada yada kapalı yerde çalışacağı,
- 10.)Dengesiz yükleri dengelemedeki özellikler,

Güç faktörü kompanzasyonu ve gerilim kontrolü yapan düzenin, basit kontrol prensiplerine göre blok diyagramını ele alalım. Bu genel bir prensip diyagramdır. Kontrol düzeninde şu esas elemanla olmalıdır:

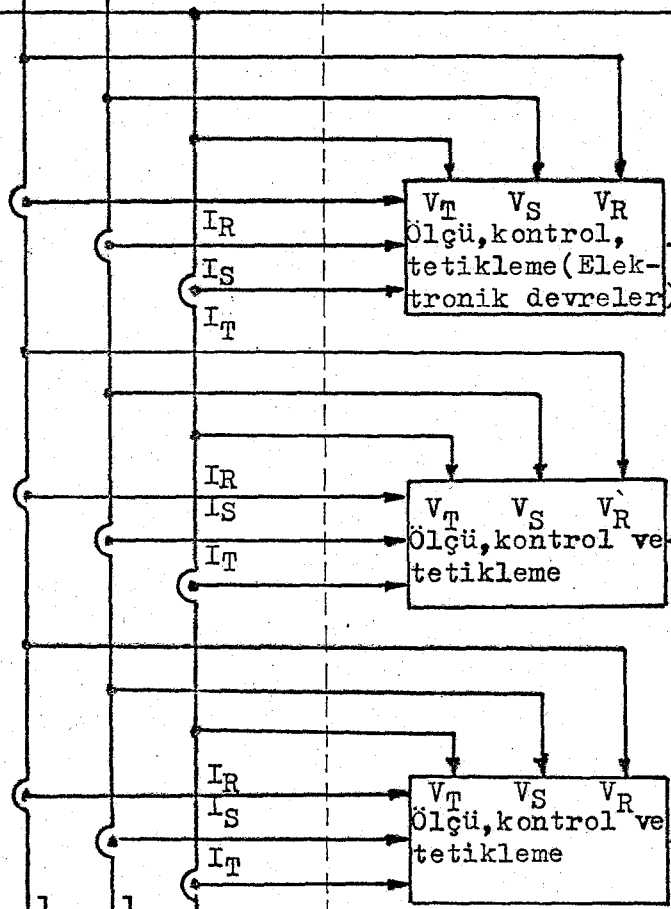
- 1.)Her üç faz için ayrı kontrol uygulayabilme açısından yükün gerilim ve akımları her üç fazda ölçülmeli ve sistemdeki hesa layıcıya verilmeli.
- 2.)Kompanzasyon kontrol sisteminin akımları da ölçülmeli ve hesaplayıcıya verilmelidir.
- 3.)Kontrol sisteminde bütün girişleri istenilen biçimde kontrol edebilecek işaretlerin üretilmesini sağlayacak bir kontrolörü bulunması gereklidir.

şekil 2-5 te böyle bir kontrol sisteminin blok diyagramı verilmiştir.şimdi bu kontrol sisteminin çalışma prensibini ele alalım.Büyüyen ve karmaşıklaşan elektrik sistemlerinin üretim,iletim ve dağıtım kapasitelerinin arttırılması,reaktif güç akışının neder olduğu kayıpların en alt düzeye indirilmesiyle sağlanabilir.Kullanıma sunulan elektrik enerjisinin daha nitelikli hale getirilmesi amacıyla güç kompanzasyonu modern yöntemlerle yapılır.

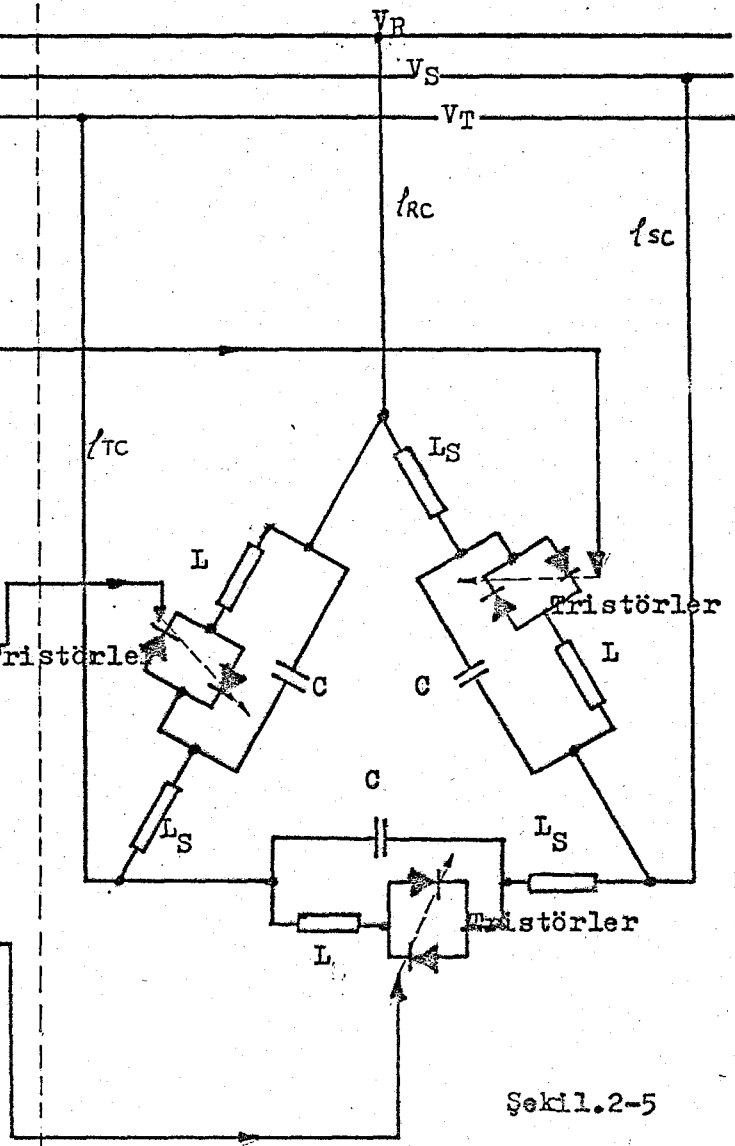
ENERJİ DAĞITIM SİSTEMİ

3,5,7....  
Harmonik  
filtreleri

$I_{RY}$   $I_{SY}$   $I_{TY}$   
yük  
-Cos küçük ve değişken  
-Dengesiz  
-Reaktif güç  
-Gerilim değişimi  
-Harmonik



KONTROL SİSTEMİ

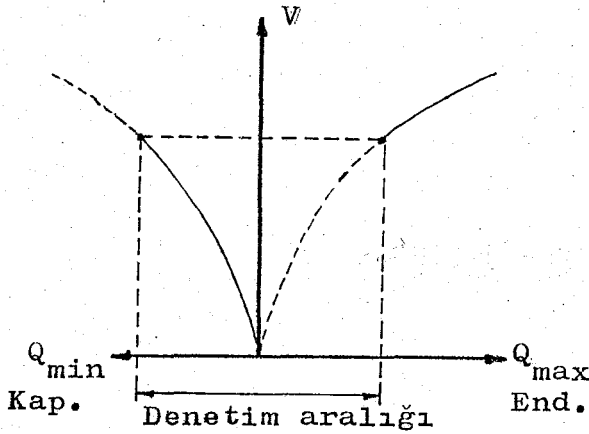


KOMPANZASYON SİSTEMİ

Şekil.2-5

Bu nedenle son yıllarda tristör denetimli güç kompanzasyonu düzenleri gerek endüstriyel sistemlerin güç katsayılarını dinamik olarak düzenlemede, gerekse terminal geriliminin kararlılığını sağlamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Buda-yük kompanzasyonu amacıyla alışla gelmiş yöntemler yerine modern kompanzasyon yöntemlerinin kullanımının en uygun çözüm olduğunu ortaya koyar. Modern kompanzasyon yöntemlerini oluşturan Tristörlü Statik Reaktif güç kompensatörlerinin çok kısa zamanda tepki gösterme yeteneği (yarım çerim) her fazın ayrı ayrı denetlenebilirliği özelliği ve dolayısıyla dengesiz yükleri kompanse etme özelliği göz önüne alındığında yük rıdaki ayırım anlaşılır.

Bir statik var kompensatörü (SVK) Kapasitör, reaktör, transformator ve statik anahtarlar gibi elemanların hızlı, sürekli ve denetlenebilir bir şönt reaktif güç kompanzasyonu sağlamak amacıyla bir araya getirilmesinden oluşan komplike sistemdir. Çok değişik yapıda statik var kompensatör sistemleri olmasına rağmen bunlardan en yaygın kullanılanlardan birinin çalışmasını kontrol sisteminin blok diyagram şemasından açıklamaya çalışalım.

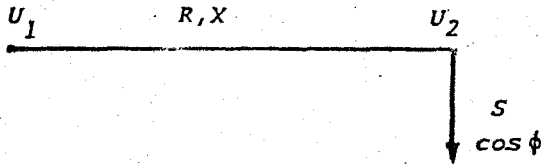


Şekil.2-6

Şekil 2-6 da tristör denetimli reaktif güç karakteristik eğrisinde görüldüğü gibi, bir yandan sabit kapasitörler reaktif güç üretirlerken diğer yandan tristör denetimli reaktörler güç tüketeceklerdir. Belli bir gerilim düzeyinde kapasitör grubunun reaktif güç üretimi sabit olduğundan, sistemin reaktif güç üretimi tristörlerin ateşleme açılarının değiştirilmesi reaktör akımının ana bileşenini dolayısıyla endüktif VAR'ın büyüklüğünü denetleyecektir. Şemadaki "LS"ler kapasite akımını sınırlayarak rezonansı önlerler

### 3)YÜK KOMPANZASYONUNUN YARARLARI "6"

Güç katsayısının düzeltilmesinin hem şebeke ve hemde tüketici bakımından çeşitli yararları vardır.Bu yararları matematiksel olarak inceleyip açıklayalım.Hesaplamalarımıza esas olmak üzere omik direnci R,Reaktif direnci X olan bir besleme hattı ele alınacak ve bunun sonunda bir tüketicinin beslendiği kabul edilecektir.şekil: 3.1 de besleme hattı görülmektedir.



şekil 3-1

R: Hattın omik direnci

X: Hattın reaktif direnci

$U_1$ :Hat başındaki faz gerilimi

$U_2$ :Hat sonundaki faz gerilimi

S: Hattın sonundan çekilen görünür güç

$\cos \phi$ :Güç katsayısı

#### 3.1-) ŞEBEKEDKİ YARARLARI:

Güç katsayısının düzeltilmesi ile,burada kısaca şebeke diye işaret edilen bütün üretim,iletim ve dağıtım tesislerinde hisseditir derecede bir ferahlama meydana gelir.Bunu üç yönden inceleyebiliriz.

#### 3.1.1-) ŞEBEKE GÜÇ KAPASİTESİNİN ARTMASI:

a)Hat sonundan çekilen P aktif gücü sabit olsun.Kompanzasyondan önce çekilen görünür güç

$$S_1 = \frac{P}{\cos \phi_1}$$

ve kompanzasyondan sonra çekilen görünür güç

$$S_2 = \frac{P}{\cos \phi_2}$$

olduğuna göre bu ikisi arasındaki fark

$$\Delta S = S_1 - S_2$$

olur.Bunun başlangıçtaki değere oranı,

$$\% \Delta s = \frac{\Delta S}{S_1} 100 = 100 \left( 1 - \frac{\cos \phi_1}{\cos \phi_2} \right)$$

dir.şu halde kompanzasyon sayesinde tesisin yükü  $\% \Delta s$  oranında azalır,veya tesisi aşırı yüklemeyen  $\% \Delta s$  oranında yeni bir tüketicinin beslenmesi mümkün olur.



b) Çekilen S görünür gücü sabit tutulursa, şebekeden çekilebilecek aktif güç

$$P_1 = S \cdot \cos \varphi_1$$

değerinden

$$P_2 = S \cdot \cos \varphi_2$$

değerine çıkar. Bu da şebeke yüklenmeden çekilen aktif yükün

$$\Delta P = P_2 - P_1$$

kadar olduğunu veya

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

oranında artmasına neden olur.

Örnek: Güç katsayısının 0,7 den 0,9'a çıkması durumunda kapasite artışı,

$$\% \Delta p = \% 28,5 \quad \text{olur.}$$

### 3.1.2-) ŞEBEKEDEN ISI KAYBININ AZALMASI:

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

$$P_{z1} = \frac{R P^2}{U^2 \cos^2 \varphi_1}$$

ve kompanzasyondan sonraki ısı kaybı

$$P_{z2} = \frac{R P^2}{U^2 \cdot \cos^2 \varphi_2}$$

dir. Güç katsayısının düzeltilmesi ile çekilen aktif güce göre mutlak ısı kaybı cinsinden elde edilen kazanç

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

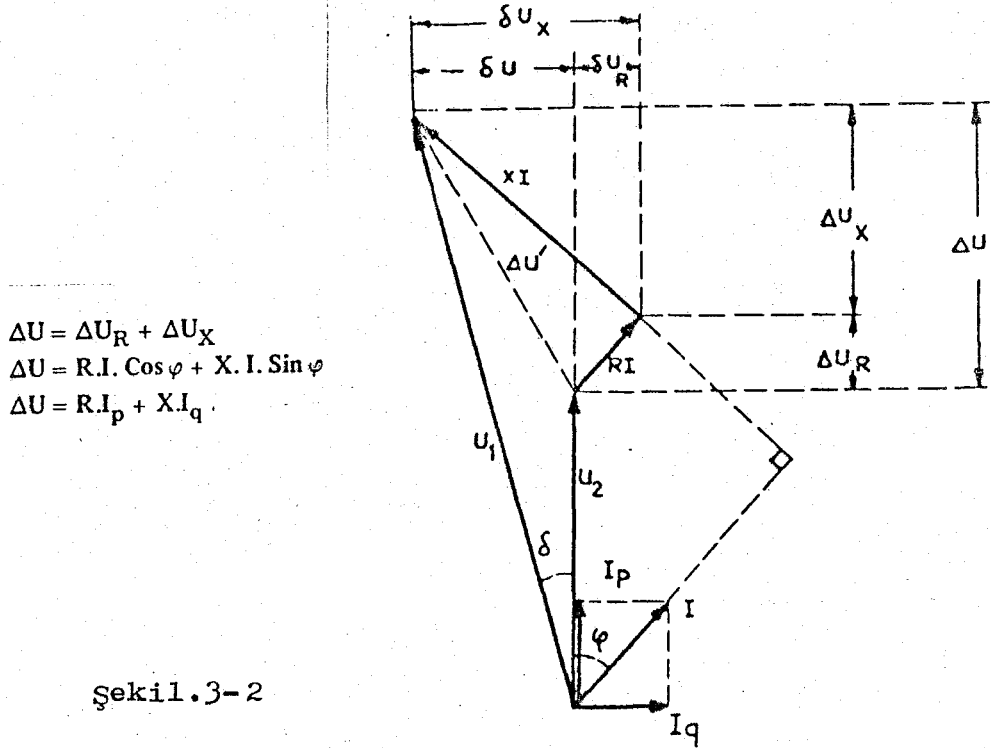
dir.

Tam kompanzasyon yapılması halinde ( $\cos \varphi = 1$ ) göre, çeşitli güç katsayıları için, şebeke ısı kayıplarının hangi oranda azalacağı aşağıdaki cetvelde verilmiştir.

$\cos \varphi_1$	% z
1.0	0
0.9	19
0.8	21
0.7	36
0.6	64
0.5	75

### 3.1.3-) GERİLİM DÜŞÜMÜNÜN AZALMASI:

Şekil 3-1 de gösterilen besleme hattının başındaki gerilim  $U_1$  ve sonundaki gerilim  $U_2$  ise hat üzerindeki boyuna gerilim düşümü  $\Delta U$ ,  $U_1$  ile  $U_2$  arasındaki  $\Delta U'$  geometrik farkının apsis ekseni üzerindeki izdüşümüdür.



$$\begin{aligned}\Delta U &= \Delta U_R + \Delta U_X \\ \Delta U &= R.I \cos \varphi + X.I \sin \varphi \\ \Delta U &= R.I_p + X.I_q\end{aligned}$$

Şekil.3-2

Geometrik farkın ordinat ekseni üzerindeki iz düşümü  $\delta U$  ya ise enine gerilim düşümü denir. Şekil 3-2 de endütf bir tüketicide boyuna ve enine gerilim düşümleri görülmektedir.

$$\begin{aligned}\delta U &= \delta U_X - \delta U_R \\ \delta U &= X.I \cos \varphi - R.I \sin \varphi \\ \delta U &= X.I_p - R.I_q\end{aligned}$$

Hat üzerinden çekilen P aktif gücünün sabit olduğunu kabul edelim. Hat üzerinde kabul edilen mutlak kayıp gücü

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

olduğu göz önüne alınarak, gerilim düşümündeki yüzde oranı

$$\% \frac{\Delta U}{U} = \% \Sigma = 100 \left( \frac{IR \cos \varphi}{U} + \frac{IX \sin \varphi}{U} \right)$$

olur. Bu eşitliğin birinci teriminde U yerine ikinci teriminde I yerine değerlerini koyduğumuzda

$$\% \Sigma = 100 (P_z \cdot \cos^2 \varphi + \frac{PX}{U^2} \operatorname{tg} \varphi)$$

elde edilir.

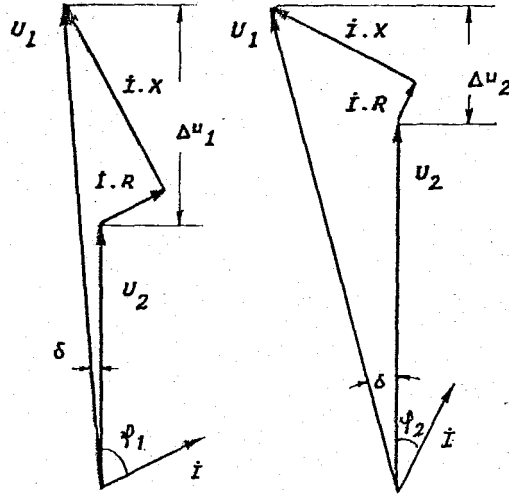
$$U = \frac{P}{I \cos \varphi}$$

$$I = \frac{P}{U \cos \varphi}$$

Örnek: Şebekâ değerleri  $P_z = \%3$ ,  $P = 3\text{MW}$ ,  $U = 10\text{KV}$ ,  $X = 2\text{ Ohm/faz}$  olan besleme hattı için güç katsayısına bağı olarak hesaplanan gerilim düşümü değerleri cetvelde verilmiştir.

	Endüktif					Omik	Kapasitif				
$\cos \varphi$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
(%) $\epsilon$	12,4	10,8	10,0	9,6	9,39	8	3,57	0,62	2,20	5,12	8,4

Veya gerilim düşümündeki düzelme şü şekilde hesaplayabiliriz. Şekil 3-3teki fazör diyagramlarında görüldüğü gibi  $\Delta U_1$  ve  $\Delta U_2$  hesap edilerek, bunların  $\Delta U_1 - \Delta U_2$  farkı gerilim düşümündeki mutlak düzelme ve bu farkın  $U_1$  gerilimine oranından yüzde düzelmede bulunabilir.



Şekil.3-3

İstenildiğinde boyuna gerilim düşümü sıfır olacak şekilde bir enerji nakli yapmakta mümkündür. Bu durumda  $\Delta u = I.R \cos \varphi + I.X \sin \varphi$  göre reaktif akımın değeri

$$I_q = -I_p \frac{R}{X}$$

veya

$$\tan \varphi = -\frac{R}{X}$$

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

Alçak gerilim şebekelerinde reaktif direnç ihmal edildiğinden gerilim düşümü, hat akımının aktif bileşeni ile hattın omik direncinin çarpımına eşit, yani

$$\Delta u = I_p \cdot R$$

olduğundan reaktif akımın etkisi görülmez.

Bilindiği gibi bir endüktif direnç üzerinden kapasitif bir akım geçerse, çıkış gerilimi, giriş geriliminden daha büyük olur. Bu duruma aşırı kompanzasyon durumunda rastlanır. Örneğin; uygulamada şöyle bir durumla karşılaşılabilir. Bir transformatörün çıkışına kompanzasyon amacıyla bir kondansatör bağlanmıştır. Fakat tesis küçük güçle çalıştığı veya hiç güç çekmediği zaman, Transformatörden çekilen endüktif akımın akımın değeri düşer. Kondansatör tam değer ile gerilime bağlı olduğundan kapasitif akım kompanse edilemez. Kapasitif akımın fazlası fazlası transformatör üzerinden geçer. Bu durumda kondansatörün bağlı bulunduğu taraftaki gerilim yükselir, transformatörün mutlak kısa devre gerilimi  $\% U_k$  ise, bu gerilimin yükselmesi yüzde cinsinden yaklaşık olarak şöyle hesaplanır.

$$\epsilon = u_k \frac{Q_c}{S_{Tr}}$$

$Q_c = kVar$  cinsinden kondansatör gücü,  $S_{Tr} = kVa$  cinsinden trafo gücü

Genellikle tüketici uçlarında gerilimin yükselmesi arzulanmaz Zira gerilimin nominal değerinin üstüne çıkması sakıncalı sonuçlar doğurur. Onun için aşırı kompanzasyondan sakınmak gerekir. Bu nedenle yükün zamana bağlı değiştiği tesislerde otomatik kompanzasyon yapılması ile gerilim yükselmesi önlenmiş olur.

### 3.2-) TÜKETİCİYE YARARLARI :

#### Kurucak tesiste:

- Alıcı transformatörün (varsa) kumanda, koruma ve kontrol donanımının gereğinden daha büyük olmamasını

- İletkenlerin daha kalın kesitte seçilmemesini sağlar.

#### Kurulu bir tesiste:

- Transformatör (varsa) o tesisin kapasite ve veriminin yükselmesine

- Şebekeden daha çok aktif güç çekilmesini sağlar

- Kayıpların ve gerilim düşümünün azalmasını sağlar

Sonuçta + enerjinin maliyeti düşerek görülen hizmet ve ürünün ekonomik olmasını sağlamış oluruz.

Buraya kadar verilen bilgilerin ışığında kompanzasyonun tüketiciye yararlarını sayısal bir örnekle açıklayalım.

**ÖRNEK:**  $S_1=1000\text{KVA}$  ( $P_1=700\text{KW}$ ,  $Q_1=714,1\text{KVAR}$ )  $\cos \phi_1=0,7$   $\%P_2=8$ ,  
 $U=15\text{KV}$   $X=2\text{ Ohm/faz}$  değerleri olan bir tüketicinin güç faktörü  
 $0,85; 0,90; 0,95$  durumunda

1° Şebekeden daha çok güç çekilmesi

a) Hat sonundan çekilen  $P_1$  aktif gücünün sabit kalması durumunda  
 Yapılan hesaplamalar sonucu tablodaki değerler elde edilir

$\cos \phi_1$	$\cos \phi_2$	$P_1$ (kW)	$\text{tg} \phi_1 - \text{tg} \phi_2$	$Q_c$ (kVAr)	$S_2$ (kVA)	$\Delta S_2$ (%)	$Q_2$ (KVAR)
0,7	—	700	—	—	1000	—	714,1
0,7	0,85	700	0,4005	280	823,5	21,4	433,8
0,7	0,90	700	0,5359	375	778	28,5	339,1
0,7	0,95	700	0,6915	484	736,8	35,7	230,0

Tablodaki değerlerden görüldüğü gibi aktif güç sabit kalmak suretiyle, güç faktörünün 0,7 den 0,95 e çıkarılması halinde görünür gücü  $1000 - 736,8 = 263,2\text{ KVA}$  arttırmak olanağı elde edilmektedir. Diğer bir anlamda sistemin mevcut durumundan %35,7 daha fazla yüklenmesi mümkün olur.

b) Hat sonundan çekilen  $S_1$  görünür gücünün sabit kalması durumunda  
 Yapılan hesaplamalar sonucu tablodaki değerler elde edilir

$\cos \phi_1$	$\cos \phi_2$	$S_1$ (kVA)	$\sin \phi_1 - \sin \phi_2$	$Q_c$ (kVAr)	$P_2$ (kW)	$\Delta P_2$ (kW)	$\Delta P_2$ (%)	$Q_2$ (kVAr)
0,7	—	1000	—	—	700	—	—	714,1
0,7	0,85	1000	0,1873	187,3	850	150	21,4	526,8
0,7	0,90	1000	0,2782	278,2	900	200	28,5	435,9
0,7	0,95	1000	0,4019	401,9	950	250	35,7	312,2

Bu tablodaki değerlerden de görüldüğü gibi görünen güç sabit kalmak suretiyle, güç faktörünün 0,7 den 0,9 a çıkarılmasıyla, sırayla 150, 200, 250KW aktif güç kazanılmıştır, diğer bir deyimle mevcut tesisten %35,7 aktif güç çekilmesi mümkün olacaktır.

2° Isı kaybının azalması

Denklem 3. göre  $\cos \phi_1=0,7$  de çalışmasına göre ısı kaybın

$\cos \phi_2=0,85$  de % 32.18

$\cos \phi_2=0,90$  da % 39.51

$\cos \phi_2=0,95$  de % 45.71

oranında azalma olacaktır. Dolayısıyla kayıplar için ödenen ücretle bu oranda azalmış olur.

### 3°-Gerilim düşümünün azalması

$$\% \Sigma = 100 \cdot \left( P_2 \cdot \cos^2 \varphi + \frac{P_X}{U^2 \cdot Z} \cdot \operatorname{tg} \varphi \right)$$

denkleminde, hattaki gerilim düşümlerinin, alıcı ucundaki gerilime göre yüzde oranları

deşitliğinden faydalanarak  $\cos \varphi_1 = 0,7$  için

$$\% \Sigma = 100 \left[ 8x(0,7)^2 + \frac{700.2}{(15)^2} \cdot 1,0202 \right] = \% 10,27$$

$\cos \varphi_2 = 0,85$  için

$$\% \Sigma = 100 \left[ 8x(0,85)^2 + \frac{700.2}{(15)^2} \cdot 0,6197 \right] = \% 9,6$$

$\cos \varphi_3 = 0,90$  için

$$\% \Sigma = 100 \left[ 8x(0,90)^2 + \frac{700.2}{(15)^2} \cdot 0,4843 \right] = \% 9,49$$

Bu durumda güç faktörünün 0,90' a çıkarılması ile gerilim düşümünde de %0,78lik bir azalma olduğu görülür.

#### 4) REAKTİF GÜÇ ÜRETİMİ "6"7"8"9"10"

Reaktif güç ihtiyacını karşılamak için reaktif gücün bir yerd üretilmesi gerekir. Bunun için en eski ve klasik yol, aktif güç gib reaktif gücünde senkron generatör tarafından üretilmesidir. Reakti güç üretimi, aktif güç gibi santrallerde su, akaryakıt, kömür ve benz ri ham enerji maddesinin sarfını gerektirmez. Sadece generatör (sen ron makina) ün uyartım akımının arttırılması ile generatör reaktif güç verecek duruma getirilir. Böylece santralda üretilen reaktif gü generatör, transformatör ve enerji nakil hattı üzerinden geçerek t keiciye ulaşır. Bu arada tesisleri reaktif güç tarafından gereksiz yükleneceklerinden, aktif güç bakımından hatlardan tam olarak yara lanamayız. İşletme ekonomik olmaktan çıkar. Onun için tesisleri rea tif güç ten kurtarmak, tesis elemanlarının kapasitelerinden tam ol rak yararlanmak ve ekonomik bir işletme sağlamak amacıyla reaktif gücün santralde degilde tüketim merkezlerinde üretilmesi en uygun ve ekonomik yoldur.

Tüketicilerin normal olarak şebekeden çektikleri endüktif gü cün, kapasitif yük çekmek suretiyle özel bir reaktif güç üreticisi tarafından dengelenmesine kompanzasyon denir. Böylece tüketicinin şebekeden çektiği reaktif güç çok azalır. Reaktif güç üretimi için iki işletme aracından yararlanılabilir. Bunlar dinamik faz kaydırıcı lar ve kondansatörlerdir.

##### 4.1-) DİNAMİK FAZ KAYDIRICILAR:

Reaktif güç üretiminde kullanılan dinamik faz kaydırıcıların başında aşırı uyarılmış senkron makineler gelir. Genel olarak sant rallerden gelen enerji nakil hatlarının sonunda ve tüketim merkez lerinin başında şebekeye bir senkron makina paralel olarak bağlan Bölgenin reaktif güç ihtiyacı bu senkron makina tarafından sağla nabilir. Senkron makina, şebekeden boşta çalışma kayıplarını kadar çak az aktif güç çeker, şebekeye istenen reaktif gücü vererek bir r aktif güç generatörü olarak çalışır. Bu çalışma sırasında makinanın ayrıca tahrik edilmesine gerek yoktur. Ancak senkron generatörlerin kayıpları kondansatörlere göre yüksek olduğu gibi devamlı bakıma ihtiyaçları vardır. Ayrıca güçleri çok büyük olduğu takdirde ekono mik inşası mümkündür. Bu tür üreticiler bir tüketim merkezinin ci varına yerleştirildiklerinden sadece generatörler, yüksek gerilim enerji nakil hatları vebuna ait trafolar reaktif güçten kurtulurlar. Alçak gerilimli dağıtım şebekesi reaktif güç iletmek zorundadır.

#### 4.2-)STATİK FAZ KAYDIRICILAR

Reaktif güç üretiminde statik faz kaydırıcı adı verilen kondansatörlerin üstünlükleri sayılamayacak kadar çoktur. Bir kere kondansatörlerin kayıpları çok düşük olup ,nominal güçlerinin %0,5 inin altındadır. Bakım masrafları yok denecek kadar küçüktür. Ayrıca kondansatörlerle istenilen her güçte bir reaktif güç kaynağı teşkil edilebildiği gibi bunları tüketicilerin yanlarına kadar götürüp hemen bunların uçlarına bağlamak mümkündür. Ve böylece orta ve alçak gerilim şebekelerini de reaktif gücün yükü altından kurtarmış olurlar. Onun için kondansatörler kompanzasyon için en uygun araçlardır.

Kondansatörler bugün kuvvetli akım tesislerinde gittikçe artan bir önem kazanmıştır. Kondansatörlerin beher KVAR başına maliyet bedelleri, orta büyüklükteki senkron kompanzatörlerdendaha düşük olduğu gibi, bu fiyatta büyük bir artış olmadan her güçte imalleri mümkündür. Kondansatörlerin tesisi kolaydır. Gerektiğinde kolaylıkla işletilerek gunubun gücü arttırılır. Ayrıca sistemde tüketicinin ihtiyacına göre, rahat bir şekilde güç ayarında yapılabilir. Kondansatörlerin işletme emniyeti çok büyüktür, ömürleri uzundur, bakımları kolay ve basittir. Kapasitör guruplarının yerleştirilecekleri yerden hemen hemen hiç bir özellik aranmadığından yer sağlanmasında bir sorun yaratmaz. Gerekli kapasiteyi sağlamak amacıyla bir çok kondansatör elemanı bir araya getirilerek istenen değerde bir gurup oluşturulabilir. Bir arıza halinde zarar gören bir eleman gayet kıs zamanda teşhis edilip, az bir masrafla yenisi ile değiştirilip, işletmeye fazla ara vermeden tamir yapılmış olur.

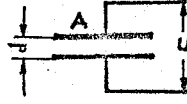
Kondansatör tesisleri birçok elemanlardan meydana geldiğinden bunların nakli kolay, tesisi ve bağlanması rahat, istenen kapasitenin elde edilmesi mümkündür.

#### 4.2.1-)KONDANSATÖRLERİN FİZİKİ YAPILARI:

Çok genel anlamda hemen her kondansatör aynı zamanda güç kondansatörüdür. Yeterki alternatif gerilim uygulayabilelim. Örneğin; yapısı itibariyle elektrolitik olan ilk hareket kondansatörleri bile monofaze motorların ilk hareketinde gerekli momentin sağlanabilmesi için güçleri oranında faz kaydırması yaparlar. Bunun yanı sıra aydınlatmada, gerekse motorların kompanzasyonunda kullanılan daimi devre kondansatörleri dedigimiz tüp kondansatörlerde , gerçek anlamda kompanzasyon kondansatörleridir.



Kondansatör sarımı, genellikle iki iletken tabaka ve bunları birbirlerinden yalıtan tabakaların bir sargı haline getirilmiş şeklindedir. Şekil 4-1 de görüldüğü gibi bir kondansatörün değeri



$\epsilon_0$  = Havanın dielektrisite sabitesi ( $8,85419 \cdot 10^{-12}$  F/m)

$\epsilon_r$  = Kullanılan yalıtkanın relatif dielektrisite sabiti

$A$  = Kullanılan iletken yüzeyi ( $m^2$ )

$d$  = Yalıtkan kalınlığı

olmak üzere

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

formülüyle hesaplanır. Görüldüğü kapasite  $A$  ve  $\epsilon_r$  ile doğru orantılı,  $d$  ile ters orantılı değişmektedir. Amaç her zaman en küçük hacimde mümkün olabilecek en büyük kapasiteyi elde etmektir. İlk bakışta bu amaca ulaşmak için çok ince ve çok yüksek dielektrik sabitesi olan yalıtkanı kullanmak gerektiği sonucuna varılabilir. Ancak bu yönde istenilen değere varmak mümkün değildir. Çünkü

— Yalıtkanın inceliği uygulanacak gerilimle sınırlıdır.

— Dielektrik sabitesinin yüksekliği ise yüksek kayıplar gibi artıran zulanmayan sakıncayı beraberinde getirirler.

Dolayısıyla iyi, yani hem boyutları ufak, hemde gerilim dayanıklılığı yüksek, hemde kapasitesi büyük ve kayıpları düşük değerlerde bir kondansatör elde etmek için; ancak yüzey, dielektrik sabitesi ve kalınlık bir optimuma varmakla mümkün olacaktır. Bu özellikler ise görüldüğü gibi yalıtkanın cinsine bağlı olmaktadır.

Genel olarak uygulanan değişik kondansatör sarımları:

1<sup>o</sup> -) Metalize sarımlar:

Sarımı oluşturan yalıtkan aynı zamanda üzerinde metallenmiş iletkenide (kalay veya alüminyum) taşımaktadır. Yani elektrot ve dielektrik yüzeyleri birleşik durumdadır. Malzeme cinsine göre sarımları metalize kağıt, polipropilen, polikarbonat, polietilen terafitalat vs diye ayırmakta mümkündür. Bu sarım şekli kendi kendini onarır. Ancak bu onarma işlemi sırasında çok azda olsa değer kaybeder.

Kendini kendini onarma ,yani kısa devre olduktan sonra çalışmaya devam edebilme özelliğinden dolayı yalıtkan ince tutulabilir. Ucuzdur.Endüktif etkisi yok edildiğinden kontaktörlere zarar veriler.Orta ve yüksek gerilimde kullanılmazlar.Çünkü kendi kendini onarma iyonizasyona neden olur.

### 2°-)Metal iletkenli sarımlar:

Geleneksel sarım tipi olan bu sarımlarda metal iletkenler ve arasındaki yalıtkanlar ayrı ayrı olup birlikte sarılırlar.İletken malzeme olarak 5-10 mikron kalınlığında alüminyum folyo,yalıtkan olarak sarımın cinsine göre yalnızca kağıt ,kağıt ve propilen yani karma yalıtkan kullanılabilirdiği gibi yalnızca propilende kullanmak mümkündür.Görüldüğü gibi iletken olarak alüminyum % 99,9 saflıkta olup,yalıtkan olarak ise güç kondansatörlerinde kağıt ve propilen kullanılmaktadır.Değer stabilitesi yüksektir.Ancak kısa devre olması halinde etrafına zarar vermemesi için iletken olarak sigorta teli kullanılarak sigortalanabilir.Orta ve yüksek gerilimlerde,özellikle karma yalıtkan olarak kullanılırlar.Gerilimin aşırı yükselebildiği çevrelerde alçak gerilim dede tercih edilmelidirler.

Kondansatörlerde kullanılan kağıt ve propilenin önemli özellikleri vardır.Kayıpların az olması,daha ince kullanılabilmesi açısından propilen daha avantajlı gibi görünüyorsa da,kağıt da empreyede edilerek stabilite kazanabilmesi,gerekse yüksek dielektrisite sabitesi nedeniyle küçümsenmeyecek bir yalıtandır.EN büyük dezavantaj ise kayıplarının yüksek olmasıdır.Propilenin emprenye edilemediği için havayla ilişkisinin kesilmesi şarttır.Bu dezavantajının giderilmeside ancak karma yalıtkan tekniği ile mümkündür.Karma yalıtkan tekniğinin en büyük özelliğide kayıplarının kağıda göre çok az olmasına karşılık en az okadar stabil olmasıdır.Böylece yalnız kağıt veya polipropilen yalıtkan yerine karma yalıtkan kullanmak daha faydalıdır.

Kondansatörün kapasitesi,sistemin iletken plakalarının özelliğine bağlı olmayıp plakaların arasındaki dielektriğin özelliğine bağlıdır.Dielektrik tabakanın kalınlığı uygulanan gerilime bağlıdır.Kondansatörlerde genellikle selüloz esaslı dielektrikler ve plastik filmler dielektrik olarak kullanılırlar.Ancak plastik film(dielektrik)lerin yüksek gerilim değerlerine dayanma üstünlükleri yüksek izolasyon direnci ve düşük dielektrik kayıp faktörlerine sahip olmaları,ayrıca bunların reaktif güçlerde yüksek hacimsel efikaste,

rutubete karşı selüloz (Kağıt) dielektriklere nazaran bir direnç göstermelerinden dolayı günümüzde kondansatör teknolojisi kağıt dielektriği çok özel uygulamalar dışında terk etmektedir. Plastik dielektrik filmlerde çok çeşitli olup Örneğin; poliester, polikarbonat polisülfon, polistiren, polipropilen, poli vinil klorid, polivinil florid, polietilen, polifonilen oksit gibi sayabiliriz. Herbirinin kullanılma ve uygulanma yerleri farklıdır. Güç kondansatörlerinde istenen özelliklerin tümünü yerine getiren tek malzeme polipropilendir.

Güç kondansatörlerinde sıvı dielektriklerde büyük önem taşımaktadır. Bunlar aktif dielektrik olarak kullanıldıkları zaman kondansatörün anma gerilim değeri artar. Kısmi deşarj ve korona deşarjlarının başladığı ve bittiği gerilim değerleri yükselir. Kenar elektrot statik alan şiddetleri azalır. Katı dielektrik malzemenin delirme gerilimi seviyesi yükselir. Ayrıca soğumaya olumlu etkide bulunur. Selülozun, kristalize veya serbest durumda rutubet ihtiva etmesi, birim alan başına iletken parçacıkların bulunması özellikle gözenekli yapıda olması nedeniyle sıvı dielektriğin kağıtlı kondansatörler için kullanılması kaçınılmazdır. Plastik filmler için durum aynı değildir. Çünkü bunların elektriksel ve yapısal özellikleri kağıt dielektriğe nazaran çok üstün ve farklıdır. Özetle şun diyebilirizki sıvı dielektrikler, gerek yalnız kağıtlı, gerekse, yalnız propilen filmlili veya karma yalıtkanlı güç kondansatörlerinin elektroteknik yönünden performanslarını arttırır.

Metalize polipropilen, önceden korona gibi bir dizi elektriksel proseslere tabi tutulmuş film yüzeyinin, vakum altında ve belirli bir yüzey direncinde son derece saflaştırılmış alüminyum veya çinko ile kaplanması sonucu elde edilir. Metalize polipropilenin üstünlükleri şunlardır. Oto generatif özellikleri, kalıcı kısadevelere girmemeleri, film ve folyo gibi konvansiyonel dizaynlarda kötü sonuçlar oluşturabilen olayların metalize filmlili dizaynlarda daha önceden giderilme özellikleri, daha yüksek gerilim darbelerine dayanma özelliği, homojen akım dağılıma özelliği sonucu elektrot kayıplarının en düşük seviyede kalması, element aktif kayıplarının en düşük seviyede kalmasıdır.

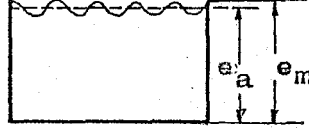
Oto generasyon denilen kendi kendini yenileme olayı şöyle olmaktadır. Dielektrik malzemenin yapısı içinde, kısa devreye yol açan herhangi bir olayda oluşan termik enerjinin (Joul enerjisi) sonucu alüminyum veya çinko tabakasını buharlaştırır.

Bunun sonucunda  $m^2$ 'nin ortalamamilyonda biri kadar yüzeyde metalizasyon tabaka yerini yalıtkan tabakaya terk ediyor. Bu olay 0,5 ile 5 mikro saniyelik zaman içerisinde olur. Bu süre içinde dielektrik malzeme tekrar eski duruma döner. Böylelikle element olayın başlangıç anındaki teknik boyutlara yeniden kavuşur. Bu olay sonucunda bir kapasite kaybı söz konusudur. Ancak imalat uygun sarım tekniğinde yapıldığında ve kısmideşarjların boşalma seviyeleri elementin anma geriliminin çok üstüne çıkarıldığı takdirde bu kayıplar çok düşüktür. Zira kapasite kaybına yol açan olay; filmin cinsi ve kalitesinden başka, metalizasyon yüzeyi, elementin mikrofaraat değeri, boyutları, sarım ve sıcaklık değeri vs bir çok faktörden kaynaklanır. Oto generezasyon olayının olumsuz etkilerini bilinçli bir şekilde azalttığımız takdirde bir çok avantajlar sağlayan olaydır. Deşarj sonucu meydana gelecek olan kısa devre akımlarının şiddeti konvansiyonel dizayndaki elementi kalıcı kısa devreye sokar. Bu element alçak gerilim kondansatör bataryasına aitse bu batarya arızalanıp devre dışı olacaktır. Eğer bu element bir orta gerilim kondansatör bataryasına aitse, elementin ait olduğu seri bataryalardaki diğer elementler aşırı ve sürekli gerilimlerle çalışmaya zorlanacaklardır. Buna karşılık aynı olay metalize filmlili bir elementte olduğunda kendini yenileme olayı böyle tehlikeleri yok eder.

Kondansatörlerin sarımı sırasında uygun aralıklarla elektrotlar üzerine bayrakçıklar yerleştirilir. Bayrakçıkların elektrot üzerindeki akım dağılımını homojen yapacak uzaklıklarda yerleştirilmesi gerekir. Bu şekilde sarılan kondansatör elementleri istenilen gücü elde edecek şekilde aralarında paralel bağlanarak ve sıvı dielektrik kullanıldığında göz önünde tutularak preslenir. Kondansatör sargı katları arasındaki rutubetin alınması, sargı katları arasına dielektrik sıvı konulması için kesinlikle emprenye işlemi yapılır. Bu emprenye işlemiyle  $100^{\circ}\text{C}$  a kadar ısıtılarak  $3 \times 10^{-3}$  Milibar vakum altında kondansatör sargı katları arasındaki rutubet dışarı atılır. Aynı vakum ve ısı değerlerinde rutubeti ve gazı alınan sıvı dielektrik rutubeti alınmış sargı katları arasına vakum altında doldurulur. Ancak bu sıvı dielektrigin homojen olarak elektrotlar arasındaki tüm boşluk ve hacimleri doldurması gerekir. Eğer bu işlem gerektiği şekilde homojen olarak yapılamazsa fayda yerine zarar verir. Özellikle katı dielektrik olarak poli propilen film kullanıldığında homojen bir emprenye yapılması filmlerin yapıları nedeniyle oldukça zordur.

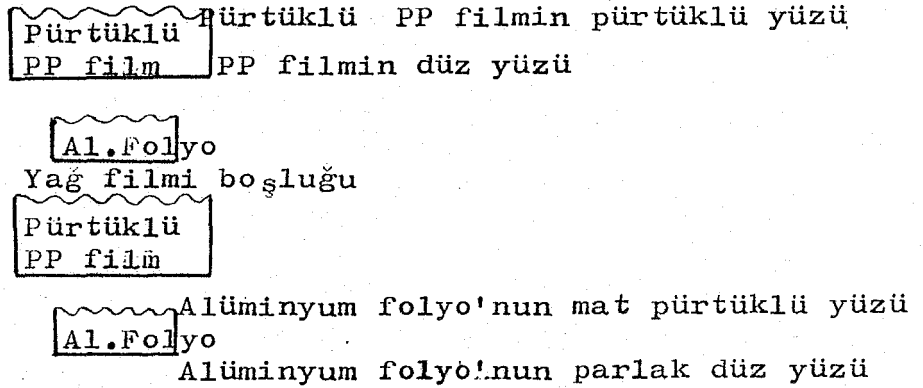
Bu amaçla güç kondansatör üretiminde pürtük yüzeyli polipropilen filmler ve kanallı (pürtüklü) alüminyum folyolar ile yüksek diepersyon özellikli sıvı dielektrikler kullanılır. Her güç kondansatöründe kullanılan dielektrik yağ aynı değildir. Uygun şekilde seçimi yapılmalıdır. Günümüzde 400V, 50Hz de güç kondansatörü üretiminde kullanılan Pürtüklü polipropilen film kesidi şekil 4-2 deki gibidir.

Şekil.4-2

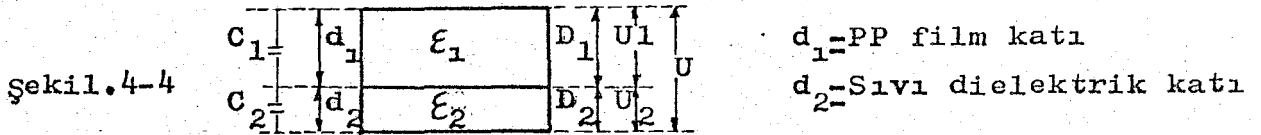


Sargı elementi ; pürtüklü polipropilen filmin düz yüzü alüminyumun (mat) pürtüklülü yüzüne, pürtüklü polipropilen filmin pürtüklü yüzü alüminyumun (parlak) düz yüzüne gelecek şekilde katlar arasında 1,2 mikron boşluk kalacak şekilde sarım makinalarında sarılır. Bu boşluklara  $3 \times 10^{-3}$  Mlibar vakumda, sıvı dielektrik doldurulur. (Emprenye edilerek). Dielektrik yağ ancak vakum altında sargı katları arasındaki boşluğa doldurulabilir. Bu tipte imal edilmiş kondansatörün sargı kesiti şekil 4-3 te görülmektedir.

Şekil.4-3



Şekil 4-3te görülen sargı kesitinin elektroteknik eşdeğeri şekil 4-4 te görüldüğü gibi seri bağlı seri bağlı iki kondansatördür.



alan yoğunluğu her iki dielektrikte de eşittir.

$$D_1 = D_2 = \frac{C_1 U_1}{S} = \frac{C_2 U_2}{S} \text{ olduğundan } \frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2}{C_1} \text{ ayrıca } U = U_1 + U_2 \text{ dir}$$

#### 4.3-)KONDANSATÖR GÜCÜ VE AKIMI:

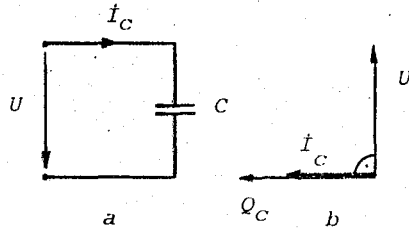
Kondansatörler Alternatif akım şebekesinde bir reaktans gibi etki gösterirler.Ohm cinsinden kapasitif reaktans

$$X_c = \frac{1}{\omega C}$$

olup, burada C, Farad cinsinden kondansatörün kapasitesi ve  $\omega = 2\pi f$  dairesel frekanstır.Ohm kanununa göre U gerilimine bağlı bir kondansatörün çektiği  $I_c$  kapasitif akım

$$I_c = \frac{U}{X_c} = U \cdot \omega C$$

dir.Bu akım, Ugerilimine göre  $90^\circ$  önde gider.şebekeye bağlı bir kondansatörün şebekeden kapasitif bir akım çekmesi ,şebekeye endüktif akım vermesine eşdeğerdir.şekil 4-5 te bir fazlı şebekeye bağlı kondansatörün fazör diyagramı verilmiştir.



şekil.4-5

Kondansatörün gücü için

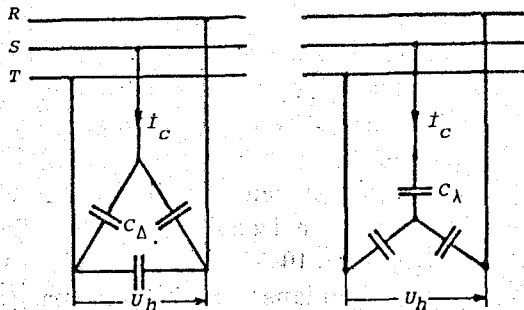
$$Q_c = U \cdot I_c$$

veya

$$Q = U^2 \cdot \omega C = \frac{I_c^2}{\omega C} \text{ (VAR)}$$

elde edilir. $Q_c$  kapasitif reaktif güç ,endüktif reaktif güçe göre  $180^\circ$  ilerde dir.Yani her iki reaktif güç aynı doğrultuda ve ters yöndedirler.Böylece kapasitif gücün endüktif gücü yok ederek kompanzasyon yaptığı anlaşılır.

Üç fazlı alternatif akım tesislerinde kondansatörler şebekeye veya tüketici uçlarına üçgen veya yıldız olarak bağlanabilirler.Üç fazlı alternatif akım şebekesinde yıldız ve üçgen bağlı kondansatörler(şekil 4-6 )de görüldüğü gibi



şekil.4-6

$U_h$  İki hat arası gerilim

$I_c$  Kapasitif hat akımı

$C_\Delta$  Üçgen bağlamada her bir kondansatörün kapasitesi

$C_\lambda$  Yıldız bağlamada her bir kondansatörün kapasitesi

olmak üzere

Üçgen bağlama için

$$\begin{aligned} Q_c &= 3 U_h^2 \cdot \omega \cdot C_\Delta \\ &= \sqrt{3} \cdot U_h \cdot I_c \\ &= \frac{I_c^2}{\omega C_\Delta} \end{aligned}$$

Yıldız bağlama için ise

$$\begin{aligned} Q_c &= 3 U_h^2 \cdot \omega \cdot C_\lambda \\ &= \sqrt{3} U_h \cdot I_c \\ &= 3 \frac{I_c^2}{\omega C_\lambda} \end{aligned}$$

yazılabilirler. Her iki sistemde  $Q_c$  gücünün eşit olduğu kabul edilirse

$$C_\lambda = 3 C_\Delta$$

bulunur. Buradan çıkarılan sonuç şudur: Yıldız bağlamada her bir faza bağlanan kondansatörün kapasitesi, üçgen bağlamadaki kondansatör kapasitesinin üç katına eşittir.

Yıldız bağlamada  $C_\lambda$  kondansatörünün uçlarına faz nötr gerilimi uygulandığı halde üçgen bağlamada  $C_\Delta$  kondansatörünün uçlarına  $\sqrt{3}$  katı büyük olan hat gerilimi uygulanır. Faz ve hat gerilimleri arasındaki farkın izalasyon bakımından çok önemli olmadığı alçak gerilim tesislerinde üçgen bağlama yıldız bağlamaya göre 1/3 oranında daha ucuzdur. Onun için ekonomik nedenlerle dolaylı kondansatörlerin üçgen bağlanmaları tercih edilir.

### 5) REAKTİF GÜÇ İHTİYACININ TESPİTİ: "6"7"11"

Bir tüketicinin reaktif güç ihtiyacının tespiti için önce testin şebekeden çektiği  $S_1$  görünür gücünün ve buna ait  $\cos \phi_1$  güç katsayısıyla çıkarılması istenen yeni  $\cos \phi_2$  güç katsayısının bilinmesi gerekir. Güç faktörünün  $\cos \phi_2$  değerine çıkarılması için gerekli reaktif gücü veya kondansatör gücünü bulmak için iki yöntem vardır

a.)  $P_1$  aktif gücünün sabit kalması:

Bu durumda  $\cos \phi_1$  güç faktörü ile çekilen  $P_1$  aktif gücü sabit tutulduğunda  $\cos \phi_2$  güç faktörü ile çekilen  $S_2$  görünür gücü azalır. (şekil 5-1.a)ya göre kompanzasyondan önceki reaktif güç

$$Q_1 = P_1 \cdot \tan \phi_1$$

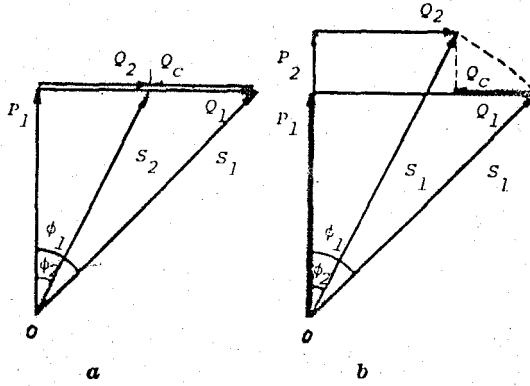
ve kompanzasyondan sonraki reaktif güç ise

$$Q_2 = P_1 \cdot \tan \phi_2$$

dir. Buna göre gerekli kondansatör gücü için

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P_1 \cdot (\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$

bulunur.



şekil.5-1

b.)  $S_1$  görünür gücünün sabit kalması:

Bu durumda  $\cos \phi_1$  ile çekilen  $S_1$  görünür gücü sabit tutulduğundan  $\cos \phi_2$  ile çekilen  $P_2$  aktif gücü artar.

(şekil 5-1.b)ye göre kompanzasyondan önceki reaktif güç

$$Q_1 = S_1 \cdot \sin \phi_1$$

ve kompanzasyondan sonraki reaktif güç ise

$$Q_2 = S_1 \cdot \sin \phi_2$$

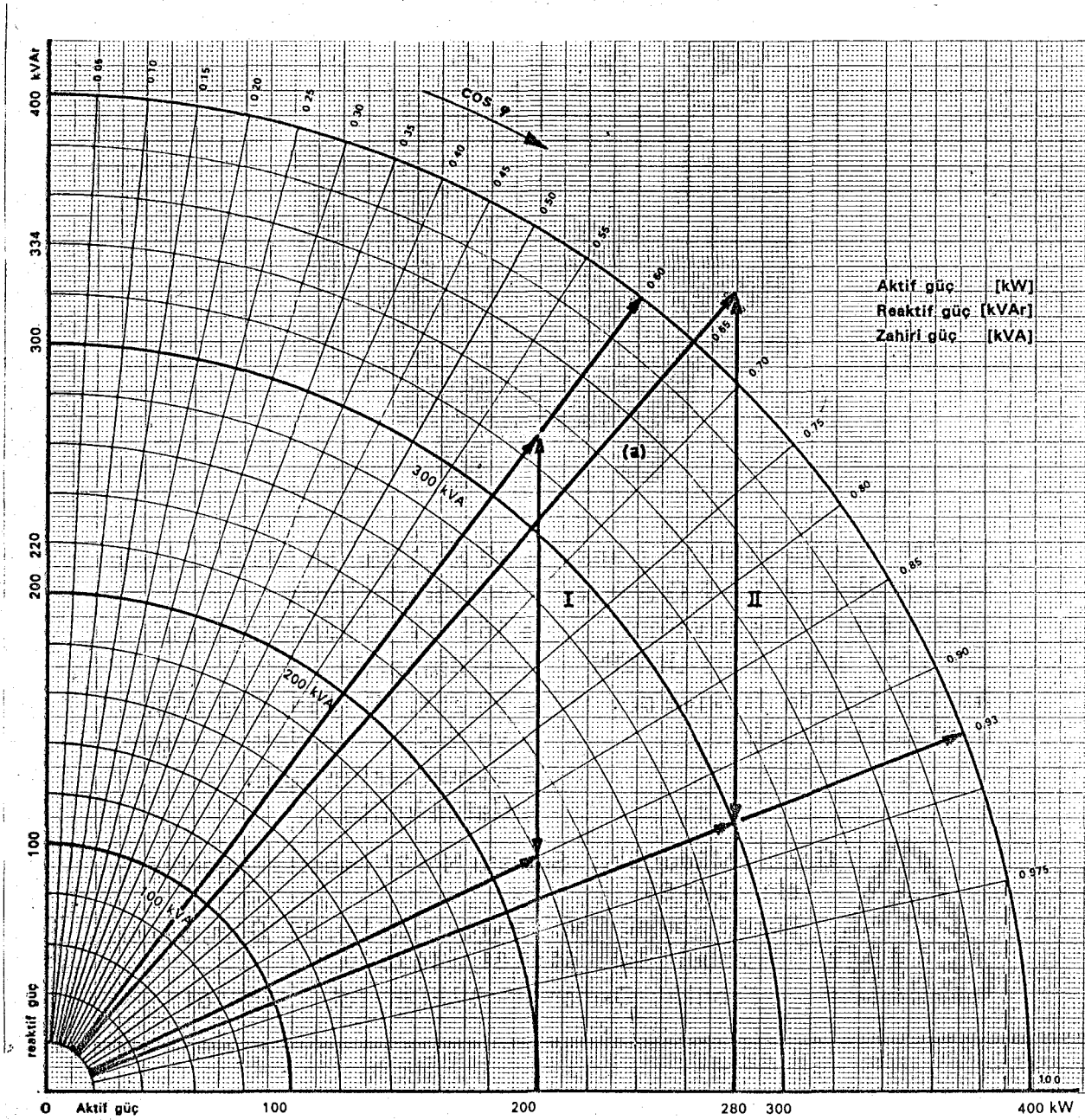
dir. Buna göre gerekli kondansatör gücü için

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = S_1 \cdot (\sin \phi_1 - \sin \phi_2)$$

bulunur.



Aktif ve Reaktif güçler birbirine diktir. Görünür güç aktif güç ile  $\phi$  açısı oluşturur. Görünür güç hipotenüs olmak üzere bunların bir dik üçgen oluşturmalarından yararlanılarak abak düzenlenir. Bu şekilde düzenlenmiş bir abak yardımıyla verilen bir aktif güç ve güç katsayısından hareket ederek görünür gücü, reaktif güç ile kondansatör gücünü hesaplayabiliriz.



Abacı kullanarak kompanzasyon için gerekli kondansatör gücünü hesabı:

Örnek: Aktif gücü 200kW, güç katsayısı 0,6 olan tesisin güç katsayısı 0,9 a çıkarılmak istensin. Gerekli kondansatör gücü nedir?

200kW değerinden çıkılan dik doğrunun 0,6 ve 0,9 yarım doğruları arasında kalan parçanın uzunluğu gerekli kondansatör gücünü verir. Bu değeri abaktan 170kVAR buluruz.

Aynı abaktan şu şekilde yararlanılabiliriz.

Örnek: Tesisin trafo gücü  $S=300\text{KVA}$ ,  $\cos \phi_1=0,65$  çekilebilen aktif güç  $P_1=195\text{KW}$  olsun. Hangi  $\cos \phi_2$  değerinde, çekilen aktif gücün  $P_2=280\text{KW}$  olabileceğini bulunuz. Gerekli kondansatör gücü nedir?

Aktif güç ekseninde 280KW tan bir dik çıkılır. Bu dikmenin 300 KVA çemberini kestiği nokta (0) ile birleştirilir. Bulunan yarım doğru,  $\cos \phi_2=0,93$  tür. Gerekli kondansatör gücü dikmenin  $\cos \phi_2=0,93$  yarım doğrusu ile  $\cos \phi_1=0,65$  arasındaki parçanın uzunluğu gerekli kondansatör gücünü verir. Bu değeri abaktan 215KVAR buluruz.

### 5.1-) PROJESİ YAPILAN BİR TESİSİN REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU İÇİN GEREKLİ KONDANSATOR GÜCÜ HESEBİ:

Tesis proje safhasında olduğundan her hangi bir ölçü değeri yoktur. Yalnız kurulacak olan tesise ait nominal veya etiket değerleri ve bu arada normal güç katsayısı bilinmektedir. Güç katsayısının 0.9 a çıkacak şekilde kompanzasyon gücünü hesaplamalıyız.

ÖRNEK: Bir atölyede 500 KWlık bir tahrik gücüne ihtiyaç vardır. Bunun için asenkron motorlardan yararlanılacaktır. Asenkron motorların verimleri  $\eta=84\%$  ve güç katsayıları  $\cos \phi=0,7$  dir. İşletmede emsal zamanlık katsayısı  $q=70\%$  tir. Güç katsayısının 0.9 a çıkarılması istenmektedir. Toplam mekanik güç  $P_m=500\text{KW}$  için

$$P = \frac{P_m}{\eta} = \frac{500}{0,84} = 600\text{KW} \text{ elektrik gücüne gerek vardır.}$$

$E_s$  zamanlık katsayısı göz önüne alınırsa aktif güç ihtiyacı  $P' = P \cdot q = 600 \cdot 0,7 = 420\text{KW}$  tir.

Güç katsayısı 0,7 iken reaktif güç ihtiyacı aktif güce eşittir. Güç katsayısı 0,9 a çıkarıldığında, çektiği aktif enerjinin 0,60 katına kadar reaktif enerji bedeli ödenmediği için ; Buna göre , kondansatör gücü  $Q_c = 0,40 \cdot 420 = 168 \text{ KVAR}$  bulunur.

5.2-) İŞLETMEDE OLAN TESİSLERDEKİ ÖLÇÜ ALETLERİNİN ÇEŞİTLERİNE GÖRE REAKTİF GÜÇ HESAP YÖNTEMLERİ:

1<sup>o</sup>. Tesiste aktif ve reaktif sayaçlar bulunuyorsa;

Bir kronometre yardımıyla bir dakikada diskin dönme sayısı olarak aktif sayaç üzerinde  $n_p$  (d/dk) ve reaktif sayaç üzerinde ise  $n_q$  (d/dk) sayılır. Ayrıca aktif sayaç üzerindeki sabite  $c_p$ , reaktif sayaç sabitesi  $c_q$  ise ,

$$\text{Aktif güç, } P_1 = \frac{n_p \cdot 60}{c_p} \text{ KW}$$

$$\text{Reaktif güç, } Q_1 = \frac{n_q \cdot 60}{c_q} \text{ KVAR}$$

olup, arzu edilen güç katsayısı  $\cos \phi_2$  değerine göre

$$\text{Kondansatör gücü, } Q_c = Q_1 - Q_2 = Q_1 - P_1 \cdot \text{tg } \phi_2 \text{ VAR bulunur.}$$

2<sup>o</sup>. Aktif ve reaktif sayaçlara göre düzenlenmiş faturaya göre;

Eğer belirli bir  $t_1$  (h) işletme süresi içinde aktif enerji sarfiyatı  $A_p$  (kWh) ve reaktif enerji sarfiyatı  $A_q$  (kvarh) olmak üzere ve ayrıca arzulanan güç katsayısı  $\cos \phi_2$  verilmiş ise ;

$$\text{Kondansatör gücü } Q_c = \frac{A_q - A_p \cdot \text{tg } \phi_2}{t_1} \text{ bulunur.}$$

3<sup>o</sup>. Tesiste aktif sayaç, Toplam akımı ölçen ampermetre ve Voltmetre bulunuyorsa;

Tesis nominal yükte çalışırken akım ve gerilim değerleri okunur

$$\text{Görünür güç; } S_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \text{ KVA}$$

bulunur. Bir kronometre yardımıyla aktif sayaç diskinin bir dakikadaki dönme sayısı ( $n_p$ ) sayılır ve sayaç sabitesi  $c_p$  (D/KWh) okunur.

$$\text{Aktif güç, } P_1 = \frac{n_p \cdot 60}{c_p} \text{ KW}$$

bulunur.

$$\text{Buradan, } \cos \phi_1 = \frac{P_1}{S_1} \text{ olup}$$

arzu edilen güç katsayısı  $\cos \phi_2$  değerine göre

$$\text{Kondansatör gücü, } Q_c = P_1 \cdot (\text{tg } \phi_1 - \text{tg } \phi_2) \text{ VAR bulunur.}$$

4° Tesiste toplam akımı ölçen ampermetre, voltmetre ve Cos  $\phi$  metre bulunuyorsa;

Tesis, nominal yükte çalışırken akım, gerilim ve Cos  $\phi_1$  değerleri ölçülür. Buradan

$$\text{Aktif güç, } P_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \text{Cos } \phi_1 \text{ den}$$

hesaplanarak arzulanan Cos  $\phi_2$  güç katsayısı değerine göre

$$\text{Kondansatör gücü, } Q_c = P_1 (\text{tg } \phi_1 - \text{tg } \phi_2) \text{ bulunur.}$$

5° Tesiste toplam akımı ölçen Ampermetre, Voltmetre ve Wattmetre bulunuyorsa;

Tesis nominal yükte çalışırken ölçü aletlerinden okunan değerlerden

$$\text{Görünür güç, } S_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$$

$$\text{değeri bulunur. Buradan, } \text{Cos } \phi_1 = \frac{P_1}{S_1}$$

hesaplanır. Arzulanan güç katsayısı Cos  $\phi_2$  değerine göre

$$\text{Kondansatör gücü, } Q_c = P_1 (\text{tg } \phi_1 - \text{tg } \phi_2) \text{ bulunur.}$$

6° Tesiste aktif ve reaktif Wattmetreler varsa;

Tesis nominal yükte çalışırken Wattmetrelerden okunan değerler ve arzulanan güç katsayısı Cos  $\phi_2$  değerine göre

$$\text{Kondansatör gücü, } Q_c = Q_1 - P_1 \cdot \text{tg } \phi_2 \text{ bulunur.}$$

### 5.3-) KOMPANZASYON TESİSİNİN DÜZENLENMESİ:

Kondansatörlerin kullanılacakları yerlere göre düzenlenme şekillerinde önemi büyüktür. Kondansatör tesislerinden en büyük yararlanmayı sağlamak amacıyla, bunların yapacakları göreve göre tesis yerinin ve bağlama şeklinin uygun bir tarzda seçilmesi gerekir. Kompansasyon için kullanılan kondansatörlerin yerleştirilmesi bakımından en uygun yerin seçilmesi için Sekil 5-2'deki örneği inceleyelim. Burada bir B barasına bağlı bir M kuvvet tüketicisinin, Tr transformatörü ve H besleme hattı üzerinden bir santraldaki G generatörü tarafından beslendiği kabul edilmiştir.

### 5.4-) KOMPANZASYON TESİSLERİNİN ÇEŞİTLERİ:

#### 1° Tek tek kompanzasyon:

Devamlı olarak işletmede bulunan tüketicilerin reaktif güç ihtiyacını karşılamak için kondansatörler tüketicinin uçlarına paralel olarak bağlanırlar. Ortak bir anahtardan tüketici ile birlikte işletmeye sokulup çıkarılırlar. Bu şekilde her motor, lamba ve transformator kendine paralel bağlı belli güçte kondansatörlerle tektel kompanse edilir.

Avantajları: Kondansatörler alıcı ile beraber devreye girip çıktığından ayrı bir açıcı cihaza, sigortaya veya deşarj direncine gerek yoktur. Büyük motorların devreye girip çıkmalarında gerilim düşüşü küçük değerlerde kalır. Motora bağlanacak kondansatörün uygun seçilmesi gerekir. Motor devreden çıktığında aşırı kompanzasyon, motorların kendi kendilerini uyarımlarına neden olabilir. Motor olarak çoğunlukla kısa devre çubuklu asenkron motor kullanılır. Bu motorlara direk yol verdığımızda şebekeden çektikleri reaktif akım kısmen de olsa paralel bağlı kondansatör tarafından karşılanır. Bu şekilde çekilen yol verme akımında %10-15 azaltılabilir. Bu nedenle kondansatör gücünün motorun boştaki reaktif gücünün % 90 nını geçmemelidir. Buna göre;

$Q_c$  = Gerekli kondansatör gücü

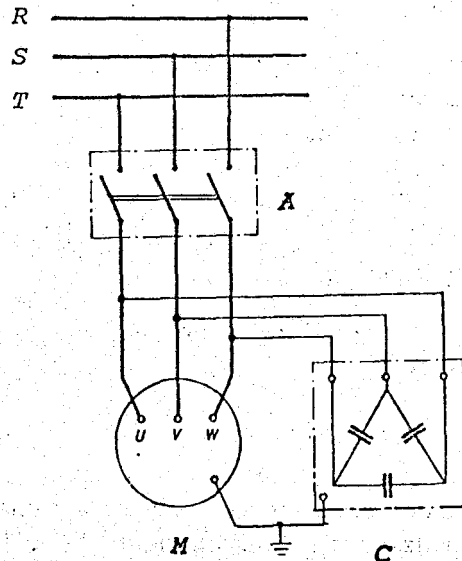
$I_o$  = Motorun boş çalışma akımı

$U_n$  = Motorun nominal çalışma gerilimi

olmak üzere motorun boşta çektiği görünür güce göre kondansatör gücü,

$Q_c = 0,9 \cdot I_o \cdot U_n$  formülüyle hesaplanabilir. (Bir fazda)

Şekil 5-3 te kısa devre rotorlu bir asenkron motorun uçlarına bağlı kondansatör bataryası ile kompanzasyonu görülmektedir.



Şekil.5-3

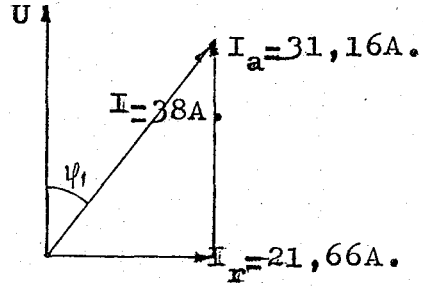
### Kompanse edilen motorların korunması:

Şekil 5-3 teki gibi bir asenkron motorun uçlarına bağlanan kondansatörle kompanzasyonunda, bu motoru daha önce koruyan termik ayarının gözden geçirilmesi, sigartanın değiştirilmesi gerekir. Aksi durumda termik koruyucu görev yapamaz ve motor yanar. Örnekle açıklayalım.

ÖRNEK:  $P=18\text{KW}$  ,  $\cos \phi =0,82$  ,  $\eta=0,88$  ,  $U=380\text{ V}$  .  $I_b=14\text{ A}$  . olan üç fazlı asenkron motorun kompanzasyondan önce fazör diyagramını iç Motorun nominal güçteki toplam akımını bulalım.

$$I_t = \frac{P \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \phi} = \frac{18 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,82 \cdot 0,88} = 38\text{ A. görünen akım değeri di.}$$

Fazör diyagramı çizilip aktif, reaktif akım bulunur.



Kompanzasyon için gerekli kondansatör gücü:

$$Q = \frac{0,9 \cdot I_b \cdot U \cdot \sqrt{3}}{1000} = \frac{0,9 \cdot 14 \cdot 380 \cdot \sqrt{3}}{1000} = 8,3\text{ kVAR}$$

38 A.lik akım kompanzasyondan önce termik üzerinden geçiyordu. Bu akımın reaktif bileşenide 21,66A. idi. Kompanzasyonda, 8kVAR lık kondansatör

$$I_c = \frac{8000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 12,16\text{ A.}$$

değerinde reaktif akımı motora vereceğinden, kompanzasyondan sonra termikten geçen reaktif akım ,

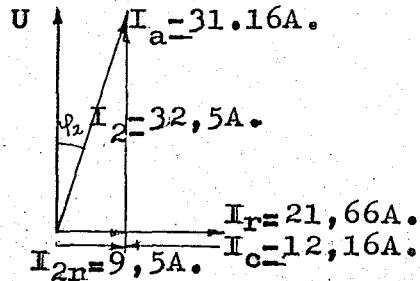
$$I_{2r} = 21,66 - 12,16 = 9,5\text{ A.}$$

olacaktır. Kompanzasyondan sonra termikten geçen görünür akımı fazör diyagramını çizerek hesapladığımızda

$$I_2 = \sqrt{(I_{2a})^2 + (I_{2r})^2}$$

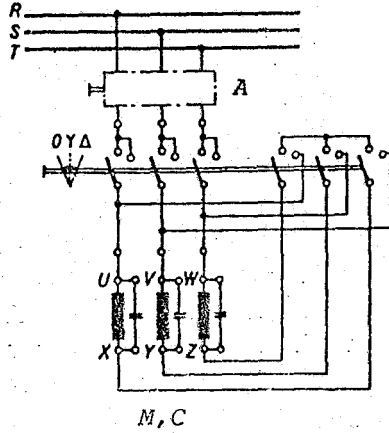
$$I_2 = \sqrt{(31,16)^2 + (9,5)^2}$$

$$I_2 = 32,5\text{ A. olur.}$$



Bu durumda önce 38A.e göre olan termik ayarına kompanzasyondan sonra 32,5 ampere göre olmalıdır.

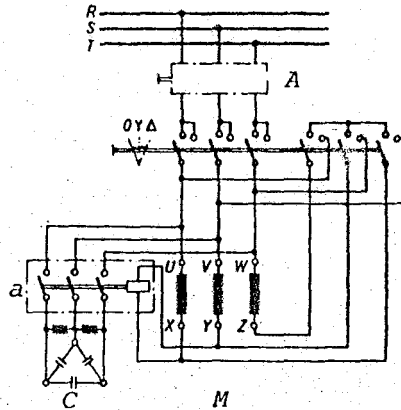
Yıldız-Üçgen şalterle çalıştırılan asenkron motorların kompanzasyonunda kondansatörler motor sargılarının uçlarına paralel bağlanırlar. Şekil 5-4 de görüldüğü gibi kondansatörler motor sargılarıyla birlikte devreye girer çıkarlar. Yıldızdan üçgene geçme anında dolmuş kondansatörler, çok kısa süreli olarak şebekeden ayrılır ve fazları ters olarak tekrar şebekeye bağlanırlar. Buda darbe akımının geçmesine neden olur.



Şekil.5-4

Bundan başka devreden ayrılan motorun rotoru kinetik enerjisi ile dönerken, kondansatör tarafından uyarılır, ve bir süre daha generatör olarak çalışmaya devam eder. Bu sırada yıldız bağlı duruma gelen motor sargılarından ötürü motor uçlarında nominal gerilimin iki katı kadar gerilim oluşur, Bu nedenle butip bağlamalar ancak 25 KW 'a kadar güçteki motorlarda kullanılır.

Yukarıda anılan sakıncaları ortadan kaldırmak için kondansatörler Şekil 5-5 te görüldüğü gibi, motor üçgen bağlandıktan sonra ayrı bir anahtarın üzerinden sargı uçlarına paralel bağlanırlar.

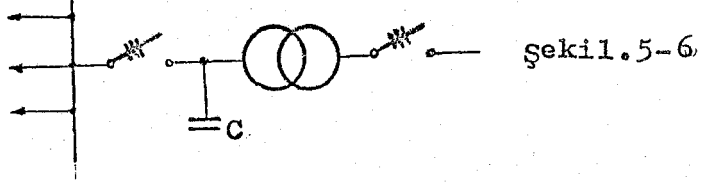


Şekil.5-5

Tek tek kompanzasyonun üstünlükleri yanında şu sakıncaları vardır. Ayara elverişli olmadığı gibi pahalı bir kompanzasyondur. Sabit güçte sürekli çalışan tüketiciler için uygun ve ekonomik olabilir.

### Transformatörlerin tek-tek kompanzasyonu:

Bu amaçla kullanılacak kondansatörün, transformatörün boşta çalıştığı reaktif gücü karşılayacak değerde olması gerekir. Aksi halde çalışırken transformatörün uçlarında gerilim yükselmeleri ve boşta çalışma rezonans olayları doğabilir.



Şekil 5-6 da görüldüğü gibi 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 na kadar güçte kondansatör bağlanabilir. Transformatörlere paralel bağlanacak kondansatör transformatörlerle beraber devreye söküpeçikarılır. Yükün az olduğu durumlarda , kondansatör büyük seçilmişse aşırı kompanzasyon olur. Bu gerilim artışı

$U_k$  = Nominal kısa devre gerilimi

$N_k$  = Kondansatör gücü

$N_t$  = Transformatör nominal gücü olmak üzere

$$U = U_k \cdot \frac{N_k}{N_t}$$

formülüyle gerilim artışı % de cinsinden bulunur.

Aşırı kompanzasyonda ayrıca meydana gelen harmoniklerle, kondansatörler ek bir akım çekmeye başlarlar. Bu akımda trafonun boşta çalışma akımına ek olarak şebekeden çekileceğinden transformatörde kayıplar artacaktır. Transformatör uzun zaman aşırı kompanzasyonla çalışırsa ısınır. Bu nedenle genelde trafo gücünün %5-10 kadar güçte kondansatör seçilebilir.

Eğer transformatöre paralel bağlanacak kondansatör gücü çok küçük, transformatörü aşırı akıma karşı koruyan cihazlar kondansatör korumasına karşı büyük kalıyorsa; butakdirde kondansatör çıkışına sigorta konularak kondansatör kablosuyla birlikte kondansatör korunmuş olur. Bu sigortaların kondansatör akımının 1,5-2 katı değerinde seçilmeleri gerekir. Kondansatör üzerinde deşarj dirençleri bulunmalıdır. Sigortanın attığı durumlarda kondansatör bu dirençler üzerinden boşalabilmelidir.



Transformatörün alçak gerilim kısmına bir kondansatör bağlandığında zaman, şebekedeki harmoniklerin (n) kontrolü gerekir. Transformatörün reaktansı ile kondansatörün kapasitansı şebekede genellikle (5 ve 7) harmoniklerde bir rezonans oluşturabilirler. Şebekede mevcut olacak harmoniklerin kaçınıncısı (n) nin bu rezonansı meydana getirebileceğini

$$n = \sqrt{\frac{N_t \cdot 100}{N_k \cdot U_k}}$$

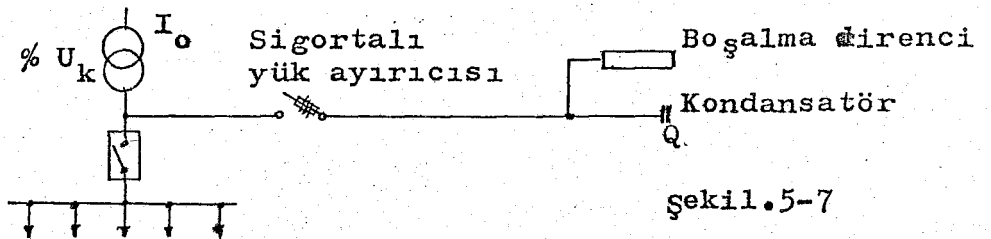
formülüyle bulabiliriz.

Bir transformatöre bağlanacak kondansatör gücünün tespitinde sadece transformatörün reaktansı değil, kondansatörlerden önce bulunan bütün toplam endüktivitelerin dikkate alınması gerekir. Eğer bir şebekede 7 ci harmonik bulunuyorsa ; bir rezonans meydana gelmemesi için yukarıdaki formülden bulunacak (n) nin 7 den büyük olması gerekir.

ÖRNEK:  $N_t = 100$  KVA ,  $U_k = \%5$  , olan bir transformatörde  $n = 7$  ci harmonikte rezonans meydana gelmemesi için bağlanması gerekli kondansatör gücü  $N_k =$  ne olmalıdır.

$$n = \sqrt{\frac{N_t \cdot 100}{N_k \cdot U_k}} \quad \text{den,} \quad N_k = \frac{N_t \cdot 100}{n^2 \cdot U_k} = \frac{100 \cdot 100}{49 \cdot 5} = 40,8 \text{ KVAR olmalı}$$

Transformatörlere sabit olarak bir kondansatör paralel bağlandığında, yani transformatörle kondansatör bir şalterle beraber devreye alınıp çıkarılıyorsa bu şalterin üç kutuplu seçilmesi gerekir. Eğer sadece bir fazın kesilmesi halinde transformatörün simetrik olmayan bir yüklenmesi gerekirse bu durumda diğer fazlarda, faz döner alanının değişmesine neden olabilir. Bunun sonucunda transformatör azda olsa bir yüke bağlı ise; (Örneğin küçük güçlü bir motor gibi) bu motorun ters dönmesine neden olabilir. Sigortalı ayırıcıların kondansatör akımının 1,6-1,8 katı büyük seçilmesi gerekir.

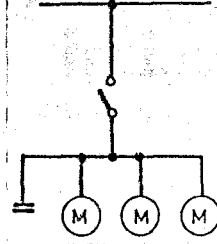


şekil.5-7

Boşta çalışan bir trafonun alçak gerilimde kompanzasyonu için  $I_0$  - Trafonun nominal akımına göre % de olarak boştaki akım,  $S_N$  - Trafonun görünür gücü olmak üzere , kondansatör gücü,  $Q_c = \frac{I_0 \cdot S_N}{100}$  formülüyle hesaplanabilir.

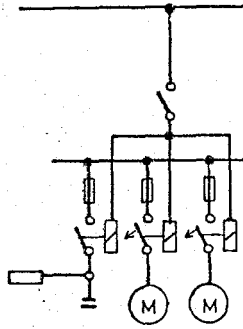
## 2°. Gurup kompanzasyonu:

Bir çok tüketicinin bulunduğu bir tesiste her tüketicinin ayrı kondansatör ile donatılması yerine, bunların birlikte bir kompanzasyon tesisi tarafından beslenmesi daha pratik ve ekonomiktir. Beraber aynı kontaktör veya şalter üzerinden devreye girip çıkan motor, lamba ve transformatörler birlikte kompanse edilebilirler. Sigorta ve deşarj dirençlerine gerek yoktur. Şekil 5-8de görülmektedir.



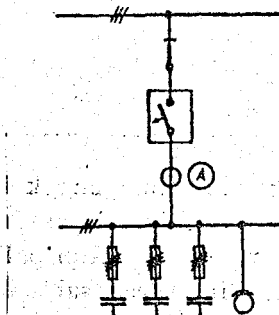
Şekil.5-8

Eğer bir gurupta her motor ayrı ayrı kontaktörlerle devreye girip çıkıyorsa; Kondansatörleride yine ayrı kontaktörlerle, fakat motor kontaktörleriyle paralel girebilecek şekilde kompanzasyon yapılır. Durumda ayrı sigorta ve deşarj dirençlerine gerek vardır. Burada kondansatörler, açma kapama arklarını amortize etmek için özel anahtarlarla donatılmalıdır. Anahtar açıldığında hareket eden kontak bir deşarj direnci üzerinden topraklanır. Şekil 5-9 da görülmektedir.



Şekil.5-9

Bazı durumlarda kondansatörler toplu bir motor koruma anahtar veya yüksek gerilim güç anahtarı üzerinden şebekeye bağlanırlar. Tesisi kısıta karşı korumak için her bir kondansatör bir sigorta üzerinden baraya bağlanır. Buna sabit kondansatörlü grup kompanzasyonuda denir. Şekil 5-10 da görüldüğü gibi böyle bir tesis akım ve gerilim ölçme cihazlarıyla donatılabilir.



Şekil.5-10

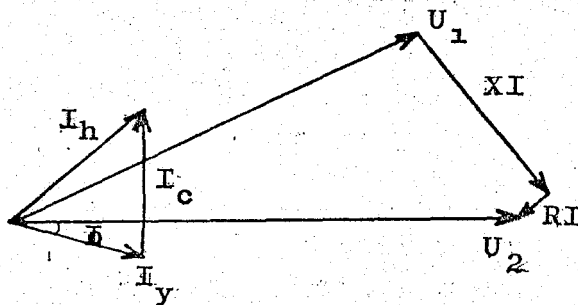
### 3<sup>o</sup> Merkezi kompanzasyon:

Gurup kompanzasyonunun bir kademe genişletilmesiyle merkezi kompanzasyon elde edilir. Merkezi kompanzasyonda tüketici sayısı ç olduğundan ve bunların hepsinde sabit güçle ve sürekli olarak d rede bulunması söz konusu değildir. Bu nedenle kondansatör gücünü değişen kompanzasyon gücüne uydurabilmek için merkezi kompanzasyon da bir ayar düzeni gerekir. Bu sayede düşük ve aşırı kompanzasyonda korunabiliriz.

Tabloya bağlı çok sayıda motor veya endüktif yük çeken alıcı bulunur, bunlar belirsiz zamanlarda devreye girip çıkıyorlarsa çekilen yük durumuna göre ayarlı kompanzasyon merkezi kompanzasyon sistemiyle sağlanabilir. El ve otomatik çalışma ile düzgün bir kompanzasyon sağlanabilir. Kademeli olarak devreye kondansatör girip-çıkması az salınımla gerilim darbeleri yaradır. Bu sistemin projelendirilmesi ve hesaplanması kolaydır. Mevcut tesislere bağlanması problemlisiz olup çok az zamanda montaj ve işletmeye almak mümkündür. Tel veya paralel çalışan transformatörleride toplama akım trafoları üzerinden kompanse etmek mümkündür. Kullanılan elektronik reglerin hassasiyet sınırı ve çalışacağı endüktif veya kapasitif bölgenin potansiyometrelerle ayarlanabilmeleri, her bölüme uygun bir kompanzasyon tesisinin işletmeye girmesini sağlar.

Otomatik olarak ayarlanması istenen kondansatör bataryaları, çeşitli sayıda birimden yapılmış olup, kontrol kademeli bağlama ile gerçekleşir. Reaktif güç ihtiyacındaki dalgalanmalara yaklaşmak için kaba bir kontrol yeterlidir.

Kondansatör tesislerinin çıkış gücünü ayarlı yapmayı zorunlu kılan iki neden vardır. Gerilimin sabit tutulmasını kolaylaştırmak ve yüksek frekanslı akımların kondansatörler tarafından yutulmasını önlemek için, transformatörün sekonder tarafına büyük bir kondansatör bağlanırsa; yükte azalma halinde aşırı kompanzasyon oluşur. Şekil 5-11 alıcının gerilimi şebeke gerilimini aşar, şebekeye trafo üzerinden kapasitif akım akar.



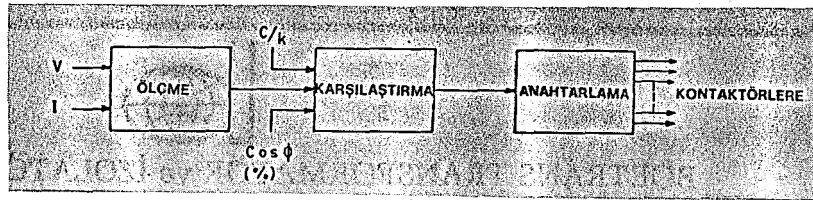
Şekil.5-11

### Çalışma prensibi:

Merkezi kompanzasyon tesislerini denetleyen ve alıcının reaktif güç gereksimini ölçerek buna göre kondansatörleri devreye sokan veya devreden çıkaran reaktif güç röleleridir. Reaktif güç rölesi veri toplar, bunları değerlendirir, ayar değerleriyle karşılaştırır, ve kontaktörler aracılığıyla kondansatör guruplarını denetler.

### 5.4.3-1 REAKTİF GÜÇ RÖLELERİNİN BÖLÜMLERİ:

Reaktif güç röleleri ölçme, karşılaştırma ve anahtarlama olmak üzere üç bölümden oluşur. Her bölüme giren -çıkan sinyaller şekil 5-12 de görüldüğü gibidir.



Şekil.5-12

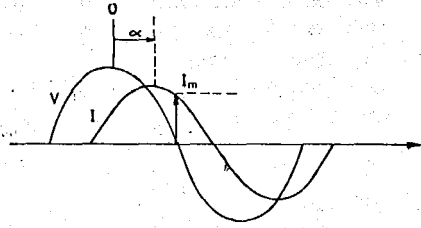
### Ölçme bölümü:

Kompanse edilecek sistemin reaktif güç gereksimini belirleyebilmesi için röleye akım ve gerilim bilgilerinin verilmesi gerekir. Gerilim bilgisi üç fazda çalışan rölelerde iki fazdan, tek fazda çalışan rölelerde ise faz-nötr geriliminden sağlanır. Üç faz bağlantılı rölelerde faz sırasının doğru belirlenmesi gerekir. Akım trafosunun bulunduğu fazın dışındaki iki faz arasındaki gerilim, ölçmede referans olarak alınır. Üçüncü faz bağlantısı kontaktörleri beslemek için kullanılır. Hangi faza R denildiği değil, R S T sırasının bilirmesi gerekir. Akım trafosunun bulunduğu fazı R kabul edersek S ve T yi bir faz sırası göstergesi kullanarak belirlemek gerekir. Tek faz bağlantılı rölelerde gerilim bağlantısı kesinlikle akım trafosunun bulunduğu fazdan yapılmalıdır. Üç fazlı rölelerin, üç fazdanda çekilen toplam reaktif gücü ölçtüğü kanısı doğru değildir. Üç veya tek fazda çalışan rölede, akım trafosunun bulunduğu fazdaki akımı ölçer ve tüm fazların dengeli olduğu var sayımına göre çalışır. Buna karşılık tek fazda çalışma, bağlantı kolaylığı, ve malzeme ekonomisi yönünden daha uygundur, faz sırasının yanlış bağlama olasılığını ortadan kaldırır.

Akım bilgisi, fazlardan birine bağlanan akım trafosu aracılığıyla alınır. Akım trafosunun seçimi, yeri ve bağlantısı rölenin gereği gibi çalışması açısından çok önemlidir. Akım trafoları primer akım anma değerinden uzaklaştıkça kesinliklerini kaybederler.

Trafodan geçen akım ,anma akımının % 20 sinin altına düştüğünde çevirme oranının doğrusallığı kaybolur.Primer ve Sekonder devre akımları arasındaki faz hatası büyür.Sekonder devreye bağlı araçların(ampermetre,Cos $\phi$  metre vb)röle ile birlikte tükettikleri toplam güç akım trafosunun anma gücünü aşarsa,yine kesinlik azalır,ve rölenin yanılmasına neden olabilir.Bu araçlardan birinin akım yolu da oluşabilecek açık devre ,seri bağlı reaktif güç rölesinin akım beslemesini keser ve röle denetimini kaybeder.Kompanse edilecek sistemin çektiği gerçek akımı belirleyerek buna uygun hata sınıfı küçük bir akım trafosu seçmek ve bu trafoyla röleyi beslemek hata olasılığını en aza indirir.

Akım ve gerilim bilgilerini alan röle,şebekeden çekilen reaktif gücü ölçebilir.Bu işlemde iki yaklaşım söz konusudur.Birinci yöntem,gerilimin sıfır olduğu anda akımın büyüklüğünü ölçmek,ikinci yöntemde ise akım ve gerilim dalgalarının çarpımını elde ederek doğrudan reaktif gücü belirlemek temeline dayanır.Birinci yaklaşım şekil 5-13 te görülmektedir.



Şekil.5-13

Gerilim sıfır olduğu anda ölçülen akım  $I_m$  yükün sadece reaktif bileşenince yaratılır.Güç faktörünün(1) olması durumunda V ve I dalgalarının fazları çakışarak  $I_m$  sıfıra düşecektir.İstenilen kompanzasyon düzeyini ayarlamak için gerilimin referans dalgası  $\phi$  derece kaydırılır. $I_m$  belirli bir değere ulaşana kadar r öle işleme geçirmez.

Yük akımının harmonik içeriğinin yüksek olması durumunda bu yöntem hatalı sonuç verebileceği için besleme akımı süzülerek, ölçümede sadece temel harmonik kullanılır.İkinci yöntemde röle, akım gerilim dalgalarının çarpımını elde eder,bunu ölçtüğü faz açısı  $\alpha$ 'nın sinüsüyle çarpılarak doğrudan çekilen reaktif gücü belirler.Kendi içinde  $\sqrt{3} \cdot V_1 \cdot I_1 \cdot \sin$  veya  $(3 \cdot V_p \cdot I_p \cdot \sin)$  ile orantılı bir sinyal üreterek bunu küçültücü yönde işleme geçer.Çarpım yöntemi şebekeden çekilen gerçek reaktif gücü ölçtüğü için daha sağlıklı sonuç verir.

### Karşılaştırma bölümü:

Ölçme bölümünden karşılaştırma bölümüne gelen sinyal, sistemin reaktif güç geneksimini veya fazlalığını belirtir. Bu bölüme  $c/k$  a yarıyla Rölenin ne zaman işleme geçmesi gerektiği,  $\cos\phi$  (veya%) ay rıyla ulaşılmak istenen kompanzasyon düzeyi bilgi olarak verilir. Otomatik kompanzasyon tesisleri, çekilen reaktif gücü ancak basama lar halinde değiştirebilirler. Buna karşılık gereksinme sürekli de ğişmektedir. Ayarlanan kompanzasyon düzeyi ancak zaman içinde orta lama olarak sağlanabilir.

Ayar noktasının türüne göre röleler kalıntı reaktif güç ayarlı röleler ve  $\cos\phi$  ayarlı röleler olmak üzere ikiye ayrılabilir. Kalı tı reaktif rölelerde, kompanzasyon sonucunda şebekeden çekilen net reaktif güç bir basamak kondansatör gücünün % si olarak ayarlanır. Ortalama güç katsayısının (1) olması isteniyorsa % de ayarı % 0'a ge tirilir. Her basamakta devreye giren reaktif güce  $Q^c$  (veya- C) dersel çekilen reaktif güç  $0,60Q^c$  yi aşarsa anahtarlama bölümüne (devreye kondansatör ekle) komutu,  $-0,60 Q^c$  yi aşarsa (devreden kondansatör ç kar komutu verilir. % de ayarıyla bu dönüm noktaları endüktif yönd ve en çok bir basamak kondansatör gücü kaydırılabilir.  $\cos\phi$  ayarlı rölelerde, ölçme devresinden gelen  $\sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \sin\alpha$  sinyali bir faz kaydırıcıyla  $\sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \sin(\alpha - \phi)$  sinyaline dönüştürülür ve röle bu nu sıfırlama yönünde bir işleme geçer. İstenilen ortalama güç açısı  $\phi$  röle üzerinde bir potansiyometre ile ayarlanır.

### Anahtarlama bölümü:

Karşılaştırma bölümünden gelen sinyale göre kademe kontaktörle rini denetler. Girişte bulunan bir aşağı-yukarı sayıcı (Up-down cour ter) kaç kademenin devrede olduğunu sürekli olarak belleğinde tutar ve karşılaştırma bölümünden gelen sinyalin türüne göre ya bir ka- deme kondansatör daha devreye sokar, veya bir kademe kondansatörü devreden çıkarır.

İki anahtarlama arasındaki zaman gecikmesi bu bölümde yaratılır. Röle tipine göre 8-20 saniye arasında değişen bu geciktirmenin iki işlevi vardır. Devreden ayrılan bir kondansatör gurubunun üzerindeki kalıntı yük boşalmadan yeniden devreye alınması olasılığını ortadan kaldırır. Ve çok hızlı değişim gösteren reaktif güç gereksin- mesi durumunda kontaktörlerin çok sayıda açma kapama yapmasını en- gelleyerek ömürlerini uzatır.

Kontaktör besleme yolunu açıp kapatmakta elektromanyetik minyatür röleler kullanılır. Sayıcıdan gelen bir sinyal güçlendirici devreden geçirildikten sonra minyatür rölenin sargısına verilir. Bu rölelerin sürekli çalışma gücü röle tipine göre 1100-1800 VA arasında değişir. Ve kısa süreyle bunun iki katına kadar zarar görmeden dayanabilirler. Çok sayıda açma-kapamanın zaman içinde kontaklarda yaratabileceği bozulma göz önüne alınarak kontaktör sargısının sürekli çekebileceği güç minyatür rölenin çalışma gücünün yarısını aştığında yardımcı kontaktör kullanılmalıdır.

Yabancı rölelerin tümünde şebeke elektrik kesintisi 20-40 mili saniyeyi aştığında kontaktör besleme yollarını açan bütün kademele ri devre dışına alan bir (gerilimsizlik) No-volt release rölesi kullanılır. Sanayide kullanılan motorların koruma düzenleri elektrik kesilmesinde motorları devre dışına alırlar. Elektrik yeniden geldiğinde kondansatörler devrede iseler uzunca bir süre için aşırı kompanzasyon oluşabilir. Gerilimsizlik rölesinin işlevi, kesinti anında tüm kondansatörleri devreden çıkarmaya ve ancak 2-3 saniye geçtikten sonra yeniden devreye almaya izin vermektedir. Türkiyesisteminde bugün için hızlı tekrar kapama (High speed reclosing) yaygın bir şekilde uygulanmamaktadır. Elektrik kesintisinden sonra en hızlı yeniden gelme birkaç saniye sonra olabilir. Minyatür rölenin elektrik kesintisinden sonra kontaktör sargı besleme devresini açma süresi, güçlendirici devresindeki kondansatörün boşalmasıyla belirlenir. Ve bu süre 0,5-1 saniye dolayındadır. Ülkemizdeki reaktif güç rölelerinde gerilim rölesi bulunması zorunlu değildir. Gerekirse bu röleler kompanzasyon tesislerine eklenebilirler.

#### 5.4.3-2 REGLERİN (REAKTİF GÜÇ RÖLELERİNİN) AYARLARI:

##### C/k ayarı:

Bu ayar şebekeden çekilen reaktif güce güce göre devreye kondansatör sokma ve çıkarma sınırlarını belirler. C yaygın olarak kapasite belirtmesinde kullanılır. Fakat buradaki C 1. ci kademedeki kondansatörün KVAR biriminden gücünü gösterir. (k) ise kullanılan akım trafosunun çevirme oranıdır. Üç fazlı bir elektrik alıcısının çektiği görünen güç  $\sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L$  dir.  $I_L$ , hat akım trafosundan geçerek çevirme oranıyla bölünmüş olarak röle içine aktarılır. Rölenin iç devresi gördüğü her akıma karşılık hattın ne kadar akım çekildiğini, dolayısıyla akım trafosunun çevirme oranını bilmelidir.

Bir basamak kondansatör devreye sokulduğunda üretilecek ek reaktif güç,

$$C(\text{KVAR}) = \sqrt{3} \cdot V_1 \cdot I_c$$

ve yok edeceği reaktif akım

$$I_c = \frac{C(\text{KVAR})}{\sqrt{3} \cdot V_1}$$

dir. Bunun rölenin iç devresine yansımaları ile

$$\frac{I_c}{k} = \frac{C}{\sqrt{3} \cdot V_1 \cdot k}$$

olacaktır. Kontaktör anahtarlama sayısını azaltmak için şebekeden çekilen reaktif akımın belirli sınırlar içinde oynamasına izin verilmelidir. Genellikle yok edilecek reaktif akım bir basamak kondansatör akımının %60 ile 70 arasında bir değere ulaştığında ek bir k deme devreye alınır. Bu katsayıya göz önüne alırsak röleyi işlem geçirici akımın değeri,

$$I_A = 0,6C / \sqrt{3} \cdot V_1 \cdot k$$

olur. Rölenin çalıştığı gerilim belirli ve değişmez olduğundan  $V_1$  yerine bunu koyarsak

$$I_A = 0,6(1/\sqrt{3} \cdot 400) \cdot \left(\frac{C}{k}\right)$$

olur. Görüldüğü gibi sadece  $C/k$  oranını vermekle ve katsayıyı iç devrede bir çarpan olarak yaratmakla röle gerekli bilgiyi almış olur.

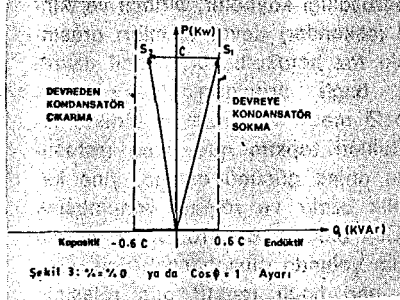
Reaktif güç rölelerinin çoğunda işlem geçirici akımın değeri endüktif ve kapasitif yönlerde aynıdır. Bazı rölelerde ise iki yönde ayrı ayrı ayar potansiyometreleri bulunabilir. Bu tür rölelerde iki ayar değerinin toplamı hesaplanan  $C/k$  oranının tam iki katı olmalıdır. Bazı kullanıcılar  $C/k$  yı olması gerekenden daha küçük değerlere ayarlamak eğilimindedirler.  $C/k$  hesaplanandan çok düşük değere ayarlandığında, röle gereğinden fazla anahtarlama yapmaya veya belirli bir sıklıkta sürekli kondansatör sokup çıkarmaya başlayabilir.  $C/k$  nın çok yüksek ayarlanması durumunda ise röle reaktif güç gereksinmesini yeteri kadar yakından izleyemez. Ve kapasitif bölgede uzun süreli çalışmaya neden olabilir. Sonuçta kompanzasyon yetersiz kalır.



### Cos $\phi$ veya % Ayarı:

Merkezi otomatik kompanzasyon tesisinin sağlayacağı ortalama kompanzasyon düzeyi Cos  $\phi$  veya % ayarıyla belirlenir. Kalıntı reaktif güç ayarlı rölelerde bir % ayar potansiyometresi, Cos  $\phi$  ayarlı rölelerde ise bir güç faktörü ayar potansiyometresi bulunur.

Ortalama güç katsayısı 1'e veya kalıntı reaktif güç % 0'a ayarlanırsa şekil 5-14 te görülen çalışma bölgesi elde edilir.

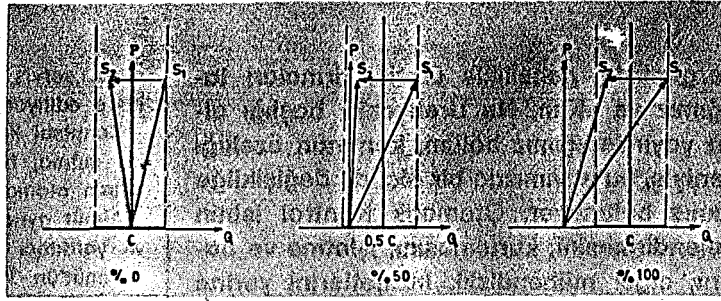


Şekil.5-14

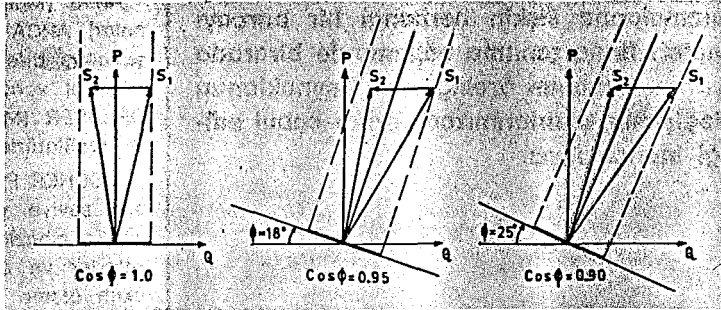
Bu durumdaki şebekeden en çok, bir basamak kondansatör gücünün % 60'ı kadar reaktif güç çekmesine izin verilir. Görünen güç faktörü  $S_1$  endüktif sınırını aşarsa 1.ci basamak kondansatör devreye sokulur. Ve çalışma noktası  $S_2$  ye kayar, artık şebekeye reaktif enerji beslemektedir, ve güç katsayısı kapasitifdir. Burada sözü edilen bir basamak kondansatör gücü C/k nı hesaplanmasında kullanılan 1.ci kademe kondansatörünün KVAR değeri olduğuna dikkat edilmelidir.

"Kondansatör sok" ve "Kondansatör çıkar" sınırlarını C/k ayarıyla belirliyorduk. 0,6 ile 0,7 arasında değişen sınır çarpanı her rölede içeriden ayarlanmıştır. C/k yı hesaplanandan yüksek değerlere ayarlamak bu sınırları iki yana genişletir, düşük ayarlama ise daraltır. Sınır çarpanını 0,5 ten küçük yapacak bir C/k ayarı (hesaplananın % 80 inin altında) salınımına neden olur. "Kondansatör sok" sınırı aşıldığında röle yeni bir basamağı devreye sokar. İkinci konumda  $S_2$  noktası "Kondansatör çıkar" sınırının soluna kayar bu durumda röle sokulan basamağı devreden alır, sistem baştaki konumuna döner. Bu çevrim yinelenerek anahtarlama gecikmesinin iki katı bir salınım oluşur.

Kademe gücü doğru seçilmezse ve C/k olması gerekenden çok yüksek ayarlanırsa, kalıntı reaktif gücü sıfıra veya güç katsayısını 1'e ayarlamak için kapasitif bölgede uzun süre çalışmaya neden olabilir. Sürekli güvenli bölgede kalarak kompanzasyonu en yüksek tutabilmek için genellikle çalışma aralığının orta noktası endüktif yönde C ile orantılı olarak kaydırılır. Veya istenilen ortalama güç açısı kadar döndürülür. Bu ayarın çalışma bölgesine etkisi iki tür röle içinde şekil 5-15 te görülmektedir.



— Kalıntı Reaktif Güç % Ayarı



— Güç Katsayısı (Cos φ) Ayarı

Şekil.5-15

$\cos \phi$  ve % ayarları, şebekeden çekilmesine izin verilen net reaktif güç açısından yaklaşık eşdeğerdirler. Ayırım, kalıntı reaktif güç ayarlı rölelerin çekilen aktif güçten bağımsız olarak reaktif gücü belirlenen sınırın altında tutmaya çalışması, buna karşılık  $\cos \phi$  ayarlı rölelerin çekilmesine izin verilen reaktif gücü aktif güçle arttırarak belirlenmiş oranı değişmez tutmaya çalışmasındandır. % de ayarlı röleler toplam görünen gücü en aza indirmekte daha etkilidir. Ve faturalamanın KVA üzerinden yapıldığı durumlarda daha kullanışlıdır.  $\cos \phi$  ayarlı röleler ise kullanıcı tarafından daha iyi anlaşılır. Faturalamaların reaktif enerjinin aktif enerjiye oranı üzerinden yapıldığı durumlarda daha elverişlidir. Büyük güçteki kompanzasyon tesislerinde basamak gücü düşük tutulmuşsa % de ayarlı röle gereğinden çok sayıda anahtarlama yaparak kontaktör ve kondansatörlerin ömrünü azaltır. Bu nedenlerle röle bağlantıları yapılmadan önce tanıtıcı özellikleri öğrenilmelidir. Gerilim bağlantıları önerilen sigortalarla korunmalıdır. Kontaktör besleme kolundaki sigorta, tüm kademe kontaktörlerinin çekeceği toplam güce rölenin gücü tüketimi eklenerek belirlenecek akıman bir üstündeki standart sigorta veya W otomat olmalıdır.

### 5.4.3-3 REAKTİF GÜÇ RÖLESİNİN BAĞLANTISI VE KADEME SEÇİMİ:

Üç faz bağlantılı rölelerde faz sırası belirlenmeli ve bağlantılar röle üzerinde doğru girişlere yapılmalıdır. Bara ile röle arasındaki bağlantıların gözle izlenmesi yanıltıcı olabilir. Bir alternatif akım voltmetresi kullanarak bara ile röle üzerinde karşılık gelen faz girişi arasındaki gerilimin sıfır olduğu görülmelidir.

Akım yolunun (k) ucu topraklanmalıdır. Bazı rölelerde akım yolu röle kabı üzerinden topraklanır, bunlarda röle kabı topraklanırsa ayrıca (k) ucu topraklanmasına gerek yoktur. Aynı kaynaktan beslenen birkaç güç panosu varsa; kompanzasyon tesisi rölenin bağlı bulunduğu akım trafosunun ölçtüğü akımın tümünün geçtiği noktaya bağlanmalıdır. Ana giriş kolunda uygun bir akım trafosu yoksa ve kompanzasyon ana girişten yapılmak isteniyorsa; ya bu kola bir akım trafosu eklenir, veya çok devreli bir akım trafosuyla pano akımları toplanır. röle akımı bu trafodan beslenir. Bu durumda C/k 'nin hesaplanmasında eşdeğer (k) belirlenerek kullanılır.

Kompanzasyon tesisi röle devre dışındayken elle çalıştırılabilir şekilde tasarlanıyorsa El-Otomatik seçme anahtarı, El konumunda rölenin gerilim besleme kolunu kesecek şekilde bağlanmalıdır. Röle panodan söküldüğünde, el konumunda çalışma isteniyorsa; röleden kontaktör sarım beslemesine giden kollar bir yardımcı kontaktörden geçirilerek röle devreden çıkarıldığında bu kolların kesilmesi sağlanması sağlanmalıdır. Aksi takdirde elle devreye alınan kontaktörlerin bobin uçlarından röle bağlantı kablolarına enerji beslenir. Röleden sökülmüş olan bu kablolarda kısa devreye neden olabilir. Hemen hemen tüm rölelerde kontaktör sarım beslemesi röle dışından yapılan bir köprüyle sağlanır. Kontaktörlerin rölenin bağlı olduğu kaynaktan başka bir yerden (örneğin bir doğru akım kaynağı) gibi bir kaynaktan beslenmesi gerekiyorsa bu köprü açılır ve kaynak kontaktör sarım besleme girişine bağlanır.

Kademe sayısını yüksek tutarak daha çok basamakta kompanzasyon sağlamak ilk bakışta daha etkili olur gibi görünüyorsa da değildir. Genellikle 4-6 basamak uygulamak yeterlidir. Fazla kademe %de ayarlı rölelerde gereksiz açma kapama yaparak kondansatör ve kontaktörün ömrünü kısalttığı gibi pratik hiç bir yarar sağlamaz. Bunu örneklerle açıklayalım.

1000 KVA lık bir transformatörden beslenen alıcıların kompanza-  
yonunu düşünelim. Bu transformatöre bağlanacak maksimum güç  $\cos \phi$   
değerinde 1000KW olacaktır. Hesaplarımızı kolaylaştırmak için bu  
transformatöre bağlanan bütün alıcılarında ayrı ayrı  $\cos \phi = 0,7$  dü-  
zeyinde olduğunu kabul edelim. Bu transformatörü ,3-ve5 kademeli o-  
larak merkezi kompanzasyon ile kompanse edelim. Gerekli kondansatö-  
gücü  $Q_c = P \cdot \tan \phi = 1000 \cdot 1 = 1000 \text{KVAR}$  olacaktır. Şekil 5-16

Örnek:1

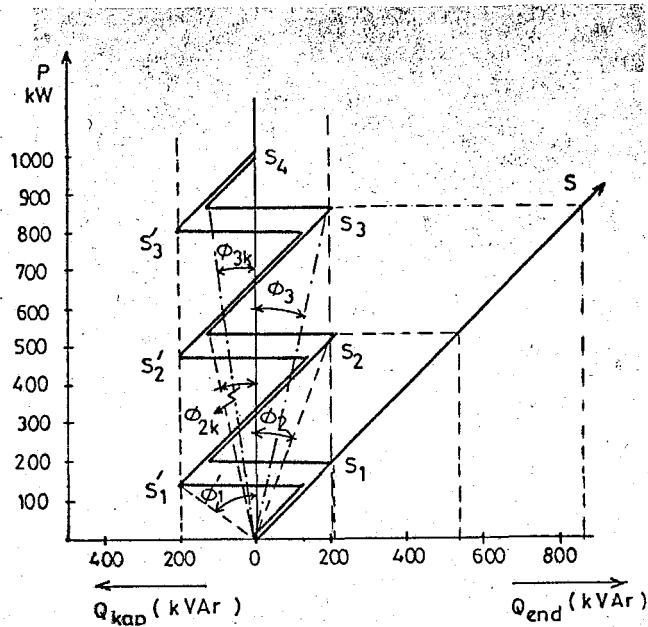
Merkezi kompanzasyon 3 kademeli olsun. Her bir kademenin (1000/  
=333 KVAR) reglerin ayar durumuna göre ,yarı endüktif, yarı kapasit  
çalışması isteniyorsa ; ilk kademe 333KVAR'ın %60 değerinde devreye  
girecektir. (200KVAR)  $\cos \phi = 0,7$  durumunda çekilen aktif ve reaktif g-  
lerin birbirine oranı 1/1 derecesindedir. İlk kademenin devreye gi-  
receği  $S_1$  noktasında bir 200KWlık aktif güç vardır. Transformatörd-  
elde edilecek maksimum aktif güç 1000KW olduğuna göre bu gücün %2  
sinde ilk kademe devreye giriyor. 133KW ta kademeyi devre dışı edi-  
yor demektir. Devreden çıkarmada maksimum güç olan 1000KW'ın %13,  
ünde gerçekleşmektedir. Bu şu demektir ki; merkezi güçlerin azalması  
la örneğin hafta sonlarında veya geceleri son kademe devre dışı  
edilebiliyor. İkinci kademe yüklerin artmasıyla 333+200=533KVAR da  
devreye girecek , bu kademenin devreye gireceği anda  $\cos \phi = 0,936$   
endüktif, ikinci kademenin devreye girmesinden sonra hemen ölçüle-  
cek değeride  $\cos \phi = 0,97$  kapasitif olacaktır. Üçüncü kademe 666+200  
=866KVAR da devreye girecek , buradada kademenin girmeden önce  $\cos \phi = 0,975$   
endüktif iken, girdikten sonraki değeride  $\cos \phi = 0,985$  Ka-  
pasitif olacaktır.

1	2	3	4	5	6
	S (kVA)	P (kW)	$\cos \phi$	S-P . 100 %	S . 100 %
			S		S <sub>T</sub>
$S_1$	286	200	0,70	30 %	29 %
$S_2$	569	533	0,936	6 %	57 %
$S_3$	888	866	0,975	2,5 %	89 %
$S_4$	1000	1000	1	0 %	100 %
$S'_3$	825	800	0,97	3 %	82,5 %
$S'_2$	507	466	0,92	8 %	50,7 %
$S'_1$	237	133	0,56	44 %	23,7 %

TABLO : 1

- 1 : Kademelerin girdiği ve çıktığı noktalar
- 2 : kVA olarak zahiri güç
- 3 : kW olarak aktif güç
- 4 : S ve S' noktalarındaki  $\cos \phi$  değerleri
- 5 : Zahiri gücün reaktif güç kısmı ile ilgili yüzde artışı
- 6 : Transformatörün gücünden yararlanma yüzdesi

Görüldüğü gibi  $S_1, S_2, S_3$  de kademelerin devreye sokulduğu nok-  
talarla,  $S'_1, S'_2, S'_3$  kademelerin devreden çıkarıldığı anlarda en  
normal değerler elde edilmektedir.



şekil.5-16 a

Diyagram: 1

Gerek tablo lve diyagram 1 den görüleceği gibi 3.cü kademede  $\cos \phi_3:0,975$  endüktif iken  $\cos \phi_3:0,985$  kapasitif değerine yükselmiştir.Yani çok küçük bir alanda değişmiştir.Daha ince bir ayarlanma istenmediğine göre üç kademeli bir tesis kompanzasyonunda istenilen tüm şartlar yerine gelmiş olduğundan kademe sayısı yeterli görülebilir.

İyi bir kompanzasyondan beklenen sonuçlar şunlardır:

1°Kompanzasyon tesisi ,işletmenin tam yükte çalışması anında, transformatörün en fazla aktif gücü vermesini sağlamalıdır.

2°Transformatörün yarı yük ile tam yük arasında çalıştırılması sırasında  $\cos \phi=0,9$  değerine ulaşabilmelidir.

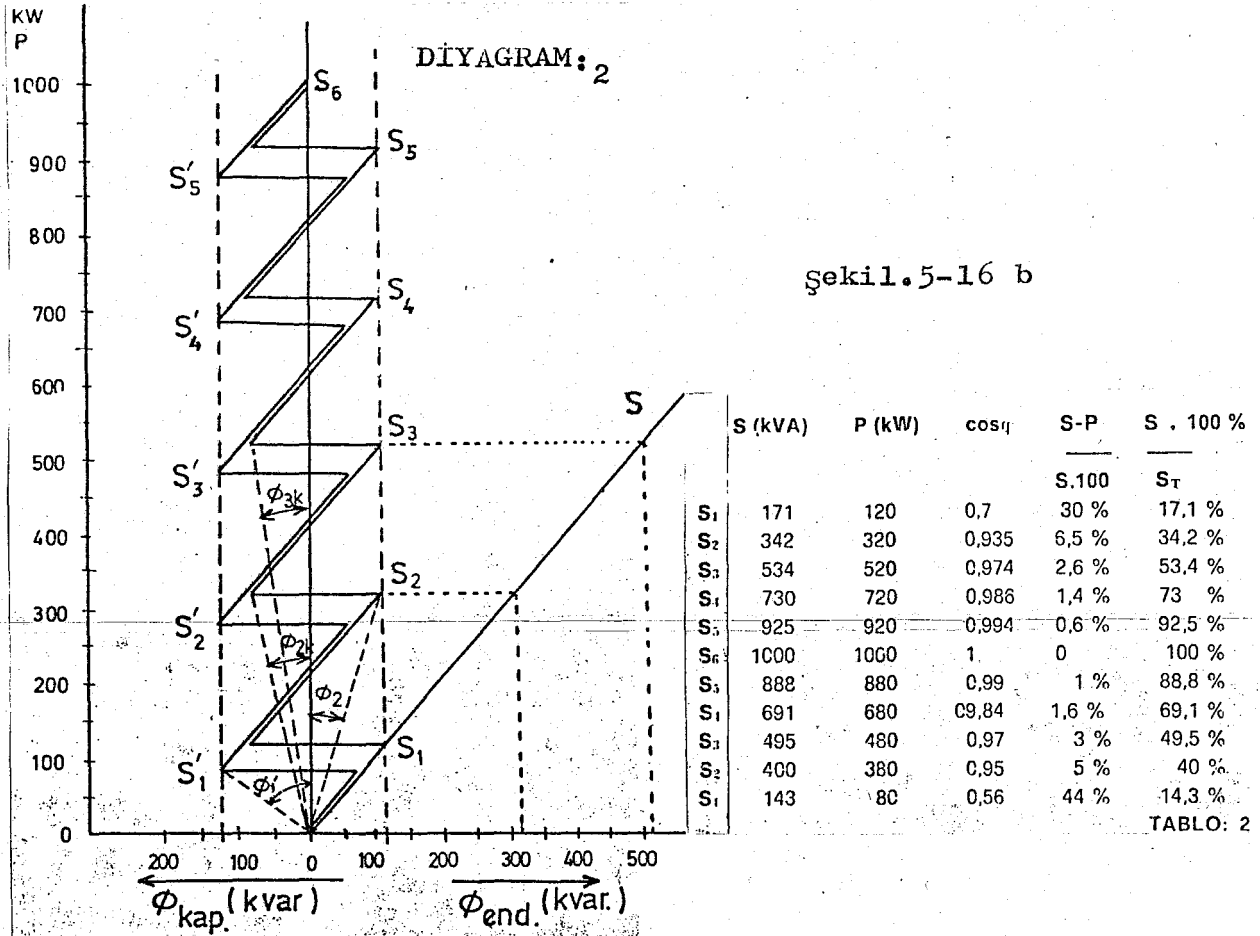
3°Yükün az olduğu zamanlarda(geceleri -hafta sonları)kompanzasyon tesisinin aşırı kompanzasyonuna engel olmak için devre dışı edilebilmelidir.Örneğimizde bu,sistem gücünün %13 değerindedir.

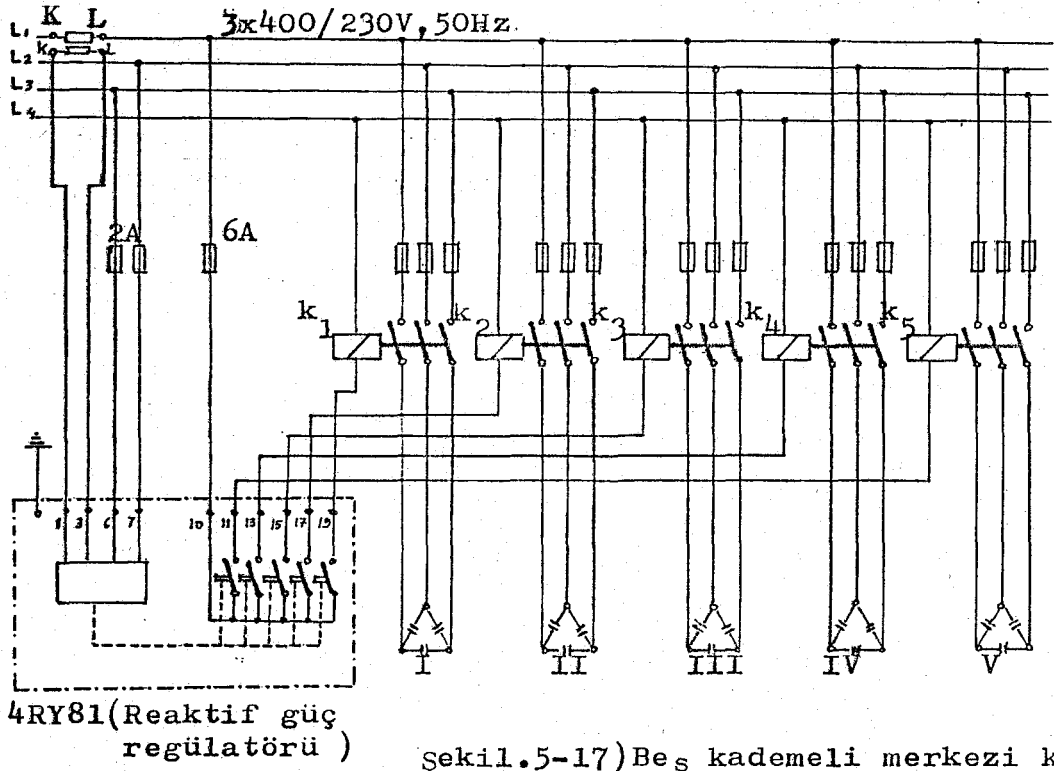
4°Reaktif güç regleri olabildiğince az kademede yapabilmelidir.Çoğu kez seçilen aşırı kademe sayısı ,şebekede dengesizlik oluşturmakta ve arıza sayısını arttırmaktadır.Az kademe sayısı reglerinde hatasız çalışma yüzdesini arttırmakta ,kademelerin devreye sokulması çıkartılması reglerin hassasiyet sınırları içersinde daha kolay olabilmektedir.Bir merkezi kompanzasyon tesisinde  $\cos \phi$  değerini 0,95 ten 0,96 değerine çıkarmak için konulacak ek kademelerin yarardan çok zarar getireceği kesindir.

## Örnek: 2

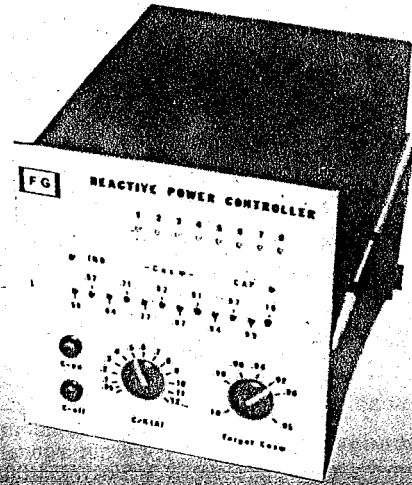
Birinci örnekteki tesisi 5 kademeli bir merkezi kompanzasyon tesisi ile kompanse edelim (kademe gücü 200KVAR) İlk kademe bu değerin %60 ında devreye girsin.  $200 \cdot \%60 = 120\text{KVAR}$  dır, bu anda şebekeden çekilen aktif güçte 120KW tır. İkinci kademe  $120 + 200 = 320\text{KVAR}$  reaktif güce erişildiğinde devreye girecektir. Bu ikinci kademe henüz devreye girmeden  $\cos\phi_2 = 0,935$  endüktif iken, ikinci kademenin devreye girmesiyle  $\cos\phi_2 = 0,97$  kapasitif olacaktır.

Diyagram 2 ve Tablo 2 den görüleceği üzere üçüncü kademedен sonra  $\cos\phi_3 = 0,99$  kapasitif olmakta ve bu seviyede kalmaktadır. Çünkü 4 ve 5. ci kademeler artık  $\cos\phi$  nin düzeltilmesinde büyük düzeyde yardımcı olmamaktadırlar.





şekil.5-17) Beş kademeli merkezi kompanzasyon tesisi bağlantı şeması



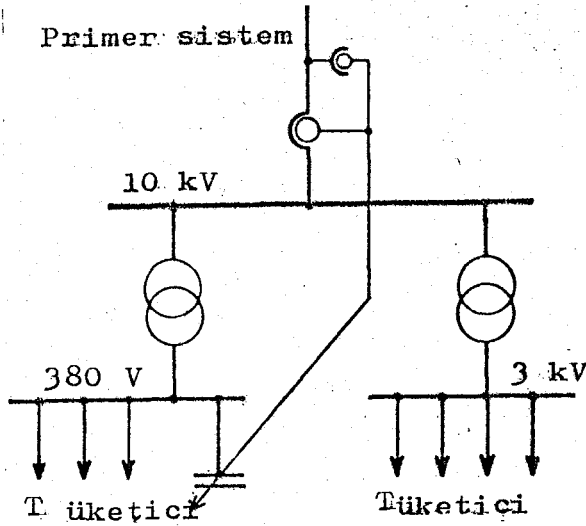
Tek Faz bağlantı  
LED Cos φ Metre  
LED Kademe Göstergesi

#### TEKNİK ÖZELLİKLERİ

- 1) 220 V, ± %10 - %20
- 2) 7 Kademe 1, 1, 1,
- 3) 15 Kademe 1/2, 2,
- 4) 12 VA ciltli çıkartım
- 5) 0,05 - 1,20/1K Avar
- 6) 0,05 - 1,00/0,5 Avar
- 7) 20 Sn Gecikme 1/0,1,
- 8) 10 Sn Gecikme 1/2,2

### 5.4.3-4\_MERKEZİ KOMPANZASYONDA PLANLAMA:

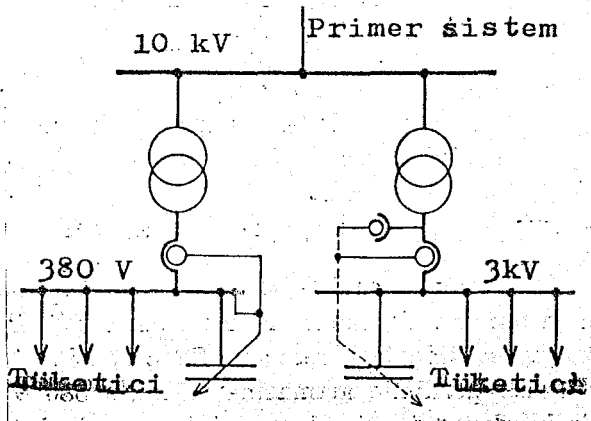
Kondansatör tesisatı, Otomatik kontrollu merkezi tipte planlanırken tesis edildiği yerde ortaya çıkacak reaktif güç gereksimini karşılayacak değerde olmalıdır. Bir kuruluşun reaktif güç gereksimini ölçülürken sistem üzerinde rahatsız edici etkilerden sakınmak için, dağıtım trafoları veya diğer elemanlar üzerinden kondansatörlerin primer devreye reaktif güç vermemesine dikkat edilmelidir. Şekil 5-18 de kondansatör gurubu doğru kapasitede seçilmiş, doğru yere bağlanmış olsa dahi eğer reaktif güç röleleri göz önüne alınan tesisin girişindeki ölçü transformatörlerine bağlandığında şu sakıncalar vardır.



Şekil.5-18

Örneğimizde 3 KV luk tüketicilerde vardır. Fakat 380V. luk ayarlı kondansatörler tesisin girişinden kumanda almaktadır. 3 KV luk kısımda reaktif güç tüketimi oldukça, 380V. tarafında reaktif güç tüketimi azalsada kondansatör gurubu devrede kalacaktır. Kondansatör gurubu 380V. luk sistem ve transformatörler üzerinden 3KV. luk baraya reaktif güç vereceklerdir. Sonuçta 380V. tarafında gerilim artar ve 380V. luk kondansatörler harmonikler tarafından zorlanır.

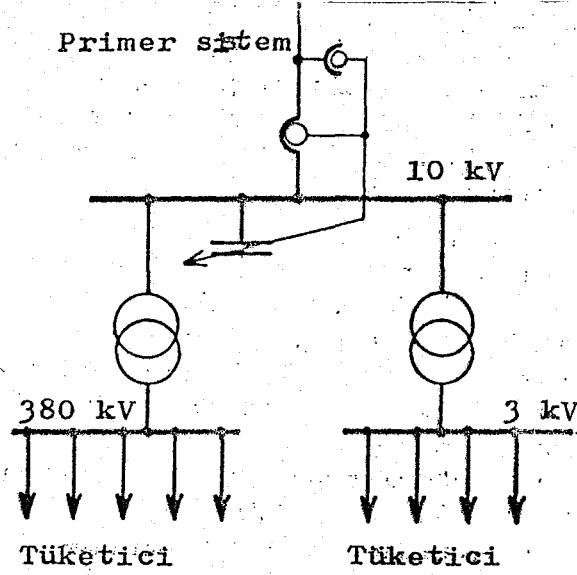
Böyle özel durumda otomatik kontrol şekil 5-19 daki gibi yapıldığında 380V. un akım ve geriliminden etkilenmez. 3KV. luk sistemde ayrı bir ot. kontrol sistemi ve kondansatör gurubu ile kompanse edilmelidir.



Şekil.5-19

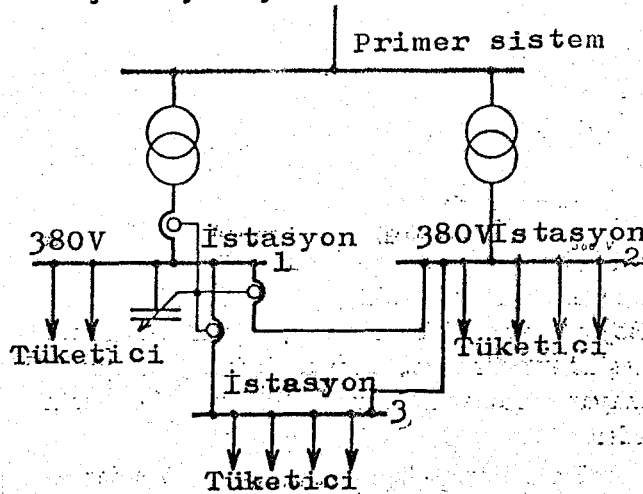


şekil 5-20 de göfüldüğü gibi 10KV.luk baraya kondansatör gurubu koyarak 380V.ve 3KV.luk sistemler birlikte kompanse edilebilir. Kondansatörlerden bakıldığında reaktif gücün aktif güçle aynı doğrultuda 380V.ve 3KV.luk tesislere aktığı görölür.Bu sistemin otomatik kontrolu için reğleri sistemin girişine bağlamalıyız.



şekil.5-20

şekil 5-21 de yüksek gerilim sisteminden iki transformatorle beslenen ve transformatorlerin sekonderleri halka şeklinde bağlanmış bir tesis gözönüne alınmıştır.Eğer(1) nolu istasyonun reaktif gücü ayrı olarak düzeltilecekse;uygun güçteki kondansatör gurubu bu istasyona tesis edilmelidir.Kompanzasyon yokken bu istasyonun reaktif gücü,bu istasyondaki trafo ile diğer trafo ve 2 ile 3 nolu istasyonlara olan kablo bağlantıları üzerinden primer devreden gelir.Kondansatörlerin ot.kontrolu çekilen toplam güce göre olmalıdır.Akım trafoları bütün besleme yolları üzerine konmalı ve bunların sekonderleri KVAR rölelerinin çalıştırılması için toplam montajına göre bağlanmalıdır.Yine 2 ve 3 nolu istasyondada ayrı bir kompanzasyon için aynı yol izlenmelidir.



şekil.5-21

## 6) KOMPANZASYON TESİSLERİNİN PLANLANMASI "6" 7"

Bir sanayi tesisinde kompanzasyon yapımandan önce mutlaka bir inceleme yapar, ne şekilde yapılmasının uygun olacağını araştırılıp belirlenmesi gerekir.

Bu amaçla hem yüksek ve hemde alçak gerilim tesisleri bulunan büyük sanayi kuruluşlarında kompanzasyonun , alçak gerilim tarafındamı , yüksek gerilim tarafındamı yapılacağı, kompanzasyonun şekli , sabitmi ayarlımı olacağı ve nihayet otomatik olup olmaması araştırılıp kararlaştırılmalıdır. Kompanzasyon tesisi yapılması söz konusu olan bir iş yeri veya sanayi kuruluşunda inceleme ve hesapları yapabilmek için şu bilgilere gerek vardır.

1° Tesisin elektrik bağlantı şeması ile makina ve cihazların karakteristik değerleri.

2° Tesisin günlük, haftalık, aylık ve yıllık çalışma programı.

3° Kompanzasyondan önce tesisin güç katsayısı.

4° Kompanzasyondan sonra tesiste istenilen güç katsayısı.

Bu öğillere dayanarak kompanzasyon tesisi için gerekli kondansatör gücü hesaplanır. Tesis gereçlerinin seçiminde açma ve kapama sırasında olabilecek olayların etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Kondansatörler devrele sokulurken meydana gelen geçici rejim sırasında kısa devre akımı gibi büyük akım çekerler. Bu akımların değeri ve süresi , kondansatör gücüne, şebekenin endüktif direncine ve frekansına bağlıdır. Anahtar, gerilimin en büyük değerinde kapanırsa en büyük akım darbesi olur, kondansatör nominal akımın 15 katına kadar akım çekebilir. Bu akımın etkisi bazen 1veya 2 periyottan daha fazladır. Bu anda meydana gelen aşırı bağlama gerilimleri en çok şebeke geriliminin iki katına çıkar. Bu nedenlerle kondansatörlerin atmosferik veya bağlama aşırı gerilimlerine dayanabilmeleri için madeni folyenin kondansatör kabına karşı izalasyonunun nominal gerilimin maksimum değerinin 3,5 katına eşit olması öngörülür.

Kondansatörler devreden çıkarken, kapasitif akım kesilmesinin zorluğu nedeniyle, büyük arkların meydana gelmemesi için anahtarların açma hızının büyük olması gerekir. Sigorta ve hat bağlama elemanlarının seçiminde de bu özellikler dikkate alındığından, kompanzasyon tesislerinde kullanılan elemanlar normal tesislerdekilere göre biraz farklıdır. Kondansatör gücüne göre nominal akımdan büyük seçilirler. Bu nedenle alçak ve yüksek gerilimde yapılan kompanzasyon tesisleri arasında büyük farklar oluşur.

### 6.1-) ORTA VE YÜKSEK GERİLİMDE KOMPANZASYON

Büyük sanayi kuruluşlarında alçak gerilim tesislerinden önce geniş bir orta ve yüksek gerilim şebekesi bulunur. Büyük güçlü motorlar buradan beslenirler, böylece enerji tüketimi orta gerilim tarafından sağlanır.

Reaktif güç tüketimini azaltmak için kondansatörlerinde orta gerilim tarafında merkezi yerleştirilmesi düşünülebilir. Ancak, çok fazla reaktif gücü gerektiren durumda, bağlanması gereken kondansatörlerin kapasite değerleri ve ürettikleri reaktif akım çok artar. Bu artış kondansatörleri devreye sokup çıkarmak için gerekli yüksek akımları kesebilen elemanların fiyatlarını arttırır. Bu nedenle büyük reaktif güç ihtiyacı için orta gerilimde kompanzasyonun ekonomik yönü araştırılmalıdır. Reaktif gücün gereksinilen yerde ve gerilim düzeyinde üretilmesi temel ilkedir.

Gerilim değerleri arttıkça gerekli yalıtım, koruma ve ekipman giderleri artar. Buna karşılık daha az bir kapasite ile daha fazla bir VAR üretimi mümkündür. Bakım giderleri azalır ve büyük bloklar halinde reaktif güç üretimi sağlanabilir. Orta ve yüksek gerilim kapasitör tesislerinde, sistemi devreden ayıran kesici maliyeti arttırır. Kesici kondansatör bataryası tarafından oluşabilecek her türlü faz kısa devrelerini kesebilecek yetenekte, aşırı akım korumalı, kapasitif akımları başlatmaya ve kesmeye uygun olmalıdır. Bu yapıdaki kesiciler oldukça pahalıdır, bakım aralıkları açma kapama sayılarıyla orantılı olacağından orta ve yüksek gerilim kompanzasyon bataryalarının sık sık devreye girip çıkmaları istenmez. Bunun için batarya günde bir kez devreye sokulur ve çıkarılır. Veya ikiye bölünerek bir kısmı sürekli devrede bırakılır, bir kısmı ise devreye sokup çıkarılır.

Orta ve yüksek gerilim trafo merkezlerinden çekilen yük değişimi genellikle yavaş ve önceden bilinen değerde olduğundan, otomatik kontrol sistemi ekonomik olmayıp gereksizdir. Trafo merkezlerinde trafoların indirici tarafına konulacak bataryalar, üretim merkezlerinden bu noktalara kadar olan kayıpları azaltmak, gerilim düzenlemesi sağlamak ve reaktif güç üretebilmek açılarından çok uygundur. Ancak koruma yönünden biraz sorunlu olabilirler. Bu bataryalar ekonomik ve teknik yönden idealdirler, verimlidirler. İndirici trafo merkezlerine konulacak bu bataryaların denetim ve bakımında trafo merkezi personeli tarafından yapılabilir.

### 6.1.1-) ORTA VE YÜKSEK GERİLİMDE KAPASİTÖR BAĞLANTILARI

Orta veya yüksek gerilimde bir batarya istenilen gerilim ve güçü sağlamak için seri ve paralel bağlanmış bir çok ünitelerden oluşur. Ünite bir kap içinde bulunan, bir yada iki buşingli, içten veya dıştan korunabilen birimdir. İstenilen faz gerilimini elde etmek için üniteler seri, gücü elde etmek paralel bağlanır. Böylece seri gruplar oluşur ve her seri grupta en az iki paralel ünite vardır.

Orta ve yüksek gerilim bankaları elektriksel olarak çeşitli bağlantı şekilleriyle düzenlenebilirler. Bağlantı şeklinin seçiminde lıncı, gerilim düzeyi, kapasitör gücü, sistemdeki diğer kapasitörler bağlantı noktasındaki kısa devre gücü, tercih edilen koruma yöntem ve sistemin topraklama şekli gibi bir çok etkenleri göz önüne alınmalıdır. Bağlantı şekillerini olumlu ve olumsuz yönleriyle inceleyelim.

#### Delta banka (Üçgen bağlama):

Alçak gerilim kapasitörlerinde 220 V. için üretilen bir ünite 3 V. gerilim altında kullanılabilir. Yalıtkanlar buna uygundur. Orta ve yüksek gerilimde kapasitörleri fazlar arasına bağlamak en az iki seri grup yada standart dışı gerilimde üniteler gerekir. Bu iki seçenekte maliyeti arttırıcı ve korumayı zorlaştırıcıdır. Üçgen bağlantı sistemlerinde üç ve üçün katları harmonikler kolları dönerler, kapasitör yalıtkanlarını aşırı zorlayabilirler. Delta bağlantı bankalarının kaynak tarafında bir faz kesik olsa bile yük tarafında üç fazda gerilim oluşur, bu tehlikeli rezonans şartları yaratabilir. Delta bağlantılar yüksek gerilimlerde tercih edilmezler.

#### Nötrü topraklı yıldız bağlama:

Küçük güçte bankalar için en ekonomik ve güvenilir bağlantı şeklidir. Ancak bağlantı noktasında yüksek harmonik akım ve gerilimler bekleniyorsa kullanılamaz. Koruma masrafı düşüktür. Yıldırım darbelerinde kapasitörler toprağa bir yol oluşturarak bağlandıkları bankanın korunmasına yardımcı olurlar. Nötrü topraklı yıldız bankalar, topraklanmamış üç fazlı sistemlerde koruyucu rölelerin yanılmasına neden olabilirler, bazı durumlarda geçici aşırı gerilimlerin büyümesine katkıda bulunabilirler.

#### Nötrü topraksız yıldız bağlama:

Sistemde harmonikler bekleniyorsa, orta büyüklükte bankalar için en uygun bağlantıdır. Orta ve yüksek gerilimde kullanılabilir. Koruma sistemi maliyeti daha yüksek, aşırı gerilimlere karşı daha duyarlıdır. Kısa devre gücü yüksek noktalarda güvenli bir bağlantıdır.

### İki eşit parçalı yıldız bağlama:

Büyük güçler ve yüksek gerilimlerde en ekonomik, en güvenlidir bağlantıdır. Banka, nötrü topraksız ve eşit güçte iki yıldız şeklinde düzenlenir. Dengesizlik koruması iki nötr noktasındaki akıma bağlı olarak yapılır. Akım trafosu, birbirinin aynı olan iki yıldız arasındaki farkı ölçtüğü için alçak yalıtım seviyesinde de olabilir ve koruma, yıldırım, harmonik gibi etkilerden bağımsız çalışır.

### 6.1.2-) BANKA TASARIM BASAMAKLARI:

1° Sistemin topraklama yöntemi, kapasitör bankasında istenilen koruma düzeni, bankanın bağlanacağı noktadaki kısa devre gücüne göre elektrikli bağlantı şekli belirlenir.

2° Üretilecek reaktif güç ve fazlar arası gerilim belirlenir.

3° Kapasitör ünite gerilimini; eldeki ünite gerilimleri, çeşitli ünite gerilimlerindeki deneyler, diğer kapasitör üniteleriyle değiştirme ve yedekleme gibi etkenler göz önüne alınarak belirlenir. Bu seçimle her fazdaki seri grup sayısını ve buna bağlı olarak düzenlenebilecek en küçük banka gücünü belirleyecektir. Ünite gerilimini yüksek tutarak seri grup sayısını azaltmak koruma yönünden yararlıdır.

4° Her fazdaki seri grup sayısı, faz-toprak gerilimi ünite gerilimine bölünerek belirlenir. Delta bağlantıda Faz-faz gerilimi ünite gerilimine bölünür. Seri grup sayısı, bir grupta kapasitörlerden birinin devre dışı kalması sonucu diğerleri üzerindeki gerilim yükselmelerini belirler. Bu yükselme seri gruptaki kapasitör sayısı arttırılarak sınırlandırılabilir. Bir seri grup sayısı ve ünite gücü için gerilimin yükselmesini % 10 'un altında tutan bir banka gücünü sağlamak üzere ünite gücü azaltılabilir. Fakat maliyet artar.

5° Fiziksel yerleştirme düzeni belirlenir. Bankayı oluşturacak üniteler, seri grup sayısı, eldeki alan, kapalı yada açık ortamda çalışma şekli gibi bir çok etken göz önüne alınarak çelik yada alüminyum iskelete tutturulur. Üniteler dikey yada yatık bağlanabilirler. Tek buşingli üniteler kullanmak ve iskeleti devrenin bir parçası olarak kullanmak maliyeti düşürür.

6° İskeletler arasındaki izolatörlerin seçimi; bağlantı şekli, iskeletlerin fiziksel yerleştirilmesi, seri grup sayısı ve işletme gerilimi gibi faktörlere göre yapılır. Her banka için ayrı hesap yapılmalıdır.

### 6.1.3-)BANKALARIN KORUNMASI:

Kapasitör bankalarının korunmasında birlikte koordine edilmesi gereken birçok sistem vardır. Bunlar; bireysel ünite koruması, dengeleme koruması, kısa devre koruması, terminal yüksek gerilim koruması, darbe gerilim koruması gibi sistemlerdir.

#### Ünite koruması:


Kapasitör üniteleri, standartlara göre anma akımının % 135 ine kadar aşırı akımları sürekli taşıyabilirler. Ünite içinde uzun süreli bir kısadevre oluşması durumunda aşırı akım çok artar ve yalıtım sıvısının gaza dönüşmesi kapasitör kabını patlatabilir. Çevre kirliliği, yangın tehlikesi ve yakınındaki sağlam ünitelerin zarar görmesi açısından önlenmesi gereken bir durumdur. Üniteler içten veya dıştan bağlı sigortalarla korunurlar. Sigortaların akımı, normal frekans sıfırından önce kesebilmesi açısından akım sınırlayıcı tipte olması arzu edilir. Sigorta anma akımının seçilmesi iki sınırdan etkilenir. Sağlam elemanlardaki zararları azaltmak ve kabın patlamasının önlenmesi için sigortaların yeteri kadar hızlı olması gerekir. Buna karşılık yanlış algılamaları, gereksiz açmaları önlemek açısından da tembel olması istenir. Ünite anma akımının 1,35 katı ile 1,6 katı arasında değişen bir sigorta akımı bu sınırları yansıtır. Kullanıcı özel şartlarını, gereksinimlerini göz önüne alarak seçimini yapar. Aşırı gerilim yükselmelerinin ve harmoniklerin beklenmediği noktalardaki bankalarda 1,35 lik bir sigorta faktörü uygun bir seçimdir. Sigortanın kesebileceği enerji büyüklüğünün seçilmesinde, paralel ünitelerden gelecek enerji belirleyici rol oynar. Ünite sigortalarının dıştan konulması atılmış sigortaların gözle görünebilmesi açısından tercih edilir. Ünite koruması, seri bağlı akım sınırlayıcı tipte sigortalarla ünite içindeki kısa devrelerin ünite kabını patlatmasının engellenmesi ve ünite buşinglerindeki atlamaların paralel bağlı kapasitörleri kısa devre ederek zorlamasının sınırlandırılması işlevlerini görür.

#### Dengesizlik koruması:

Bir seri gurupta bir kapasitörün devre dışı kalması halinde paralel bağlı diğer kapasitörler üzerindeki gerilim yükselmesinin önlenmesi amacıyla taşır. Dengesizlik koruması, ünite gerilimi anma geriliminin %110'nu aştığı zaman bankanın devreye alınmasıdır. Bankanın bağlantı şekli, her fazdaki seri gurup sayısı ve seri guruptaki

paralel kapasitör sayısı, seri gurupta bir sigortanın açması durumu da diğerlerindeki gerilim yükselmelerini belirler. Bir seri gurup içindeki kısa devreler sonucu sağlam kapasitörlerin uzun süre yüksek gerilim altında kalmalarını dengesizlik koruması engeller. VE bir seri gurubun terminallerinin uzun süre kısa devre olması halinde barınma kayı devre dışına alır. Dengesizlik korumasını nötrü topraklı bir banka üzerinde açıklayalım.

Empedansı ve kondüktansı bir birim olan kapasitör ünitelerinden 10 tanesini paralel bağlayıp bu gurubun uçlarına 1 birimlik gerilim uygulayalım. Toplam 10 birim akım geçecektir. 2 birimlik bir gerilim uyguladığımızda toplam akım 20 birimdir. Bir seri gurup üzerinden üzerinden üzerinden geçen akım, bu guruba uygulanan gerilim ile guruptaki paralel kapasitör sayısının çarpımına eşit olduğu görülür. Bir çok seri gurubun oluşturduğu bir kolda, her seri guruptaki kapasitör sayısı ile bu gurup üzerinde düşen gerilimin çarpımı sabittir. Çünkü tüm seri guruplardan aynı akım geçmektedir. Onlu paralel kapasitörden oluşan iki seri gurubu faz-toprak arasına bağladığımızı düşünelim. Birinci guruptan bir sigortanın açmasıyla bu guruptaki kapasitör sayısı 9'a düşer.

	<u>Kap.sayısı</u>	<u>Gerilim</u>	<u>Çarpım</u>	<u>Anma gerilimi</u>	<u>p.u Gerilim</u>
	9	10	90	9,5	$10/9,5=1,05$
	10	9	90	9,5	$9/9,5=0,95$

Seri gurupların empedanslarının oranına göre artık, 1. seri gurup üzerinde 10 birim gerilim varsa 2. gurupta 9 birim gerilim düşecektir, ve her iki guruptaki akım aynı olacaktır. Yani buradaki faz gerilimi 19 birim alınmıştır. Her iki guruptaki akımlar aynı olduğu için 1. guruptaki 9 ünite ve 10 birim gerilimin çarpımı 90 dır. Yine 2. guruptaki 10 ünite ile 9 birim gerilim çarpımı da 90 dır. Toplam faz gerilimi 19 birim alındığına göre sigorta açısından önce , yani her gurupta 10'er kapasitör varken her seri gurup üzerinde  $19/2=9,5$  gerilim vardır. Bu gerilim kapasitörün anma gerilimi olduğu için sigorta açması sonucu oluşan yüksek gerilim  $10/9,5=1,052$  birimdir. Kapasitör üzerinde %5,2 lik bir aşırı gerilim oluşmuştur. Bu koldaki akım değişiminide aynı yöntemle hesaplayabiliriz. Önce 9,5 gerilim altında 9,5 birim akım geçiren ikinci guruptaki bir kapasitör 9 birim gerilim altında 9 birim akım geçirecektir.

Yeni akımın eski (anma) akımına oranı p.u olarak  $9/9,5=0,95$  dir. Diğer iki kol kendi aralarında dengeli olduğu için, topraktan nötre kollardaki anma akımının %5,3ü kadar bir akım akacaktır.

Önceki analizi üç seri gurup için tekrarladığımızda; birinci grupta bir ünitenin devre dışı kalmasıyla diğerleri üzerindeki gerilim yükselmesi %7,1dir. İki ünitenin devre dışı kalması durumunda ise %15,4 tür. Birinci durumda akım değişimi %3,57 iken ikinci durumda %7,69dur. Görüldüğü gibi bir seri gurupta bir ünite devreden çıkarsa banka devrede kalabilir. Ancak iki sigortanın açması durumunda banka devreden alınmalıdır. Nötr toprak arasına bağlanacak bir kım trafosuyla dengesizliği algılayabiliriz. Bir sigortanın atması sırasında faz gerilimi kalan iki seri gurup üzerinde üzerinde düşüceği için hatalı kolda bir süre çok yüksek bir akım geçecektir. Dengesizlik koruma rölesinin yanılmasını önlemek için hatalı ünite devreden çıkıncaya dek röle akım kontrollü zamanlayıcı ile bloke edilir. Yaptığımız bu analiz yöntemleri sonucunda orta ve yüksek gerilim banka tasarımımda şu noktalar belirlenebilir.

a-Fazlardaki seri gurup sayısı arttıkça, bir seri gurupta bir veya daha çok ünitenin devre dışı kalması durumunda diğerleri üzerindeki gerilim yükselmesi artmaktadır.

b-Her seri guruptaki paralel ünite sayısını arttırarak bu aşırı gerilim sınırlandırılabilir. Fakat bu durumdada banka gücü büyütülmelidir. Küçük güçte bir bankayı düşük gerilimli ünitelerde tasarlamak için bir yol, ünite gücünü azaltmaktır. Bu ünite sayısını sonuçta maliyeti arttırır.

#### Kısa devre koruması:

Banka içindeki faz-faz veya Faz - toprak kısadevrelerinde bankayı devreden çıkarır. Bu çoğunlukla iki bağımsız kontağı olan aşırı röleleriyle sağlanır. Röle sinyali banka terminal akımından alınır. Birinci kontağın duyarlılığı fazlanma akımının 2-4 katı arasında olup anında açmada kullanılır. İkinci kontak gecikmeli olarak dengesizlik korumasını yedelemek için kullanılır. Bu kontağın duyarlılığı faz anma akımının 1,2-1,7 katı arasında ayarlandığından bir zamanlayıcı röle dengesizlik korumasının çalışma süresi içinde bu kontağı bloke eder. Eğer bu süre içinde dengesizlik koruması çalışmıyorsa bankayı devreden çıkarır.

#### Terminal yüksek gerilim koruması:

Terminal geriliminin anma gerilimini %10 aşmasında kesicinin çalışmasını önleyerek bankanın devreye alınmasını engeller.



### Darbe gerilim koruması:

Bu koruma sistemi, yıldırım ve diğer geçici durum gerilim darbelerinden bankanın korunmasıdır. Darbe gerilim koruması nötrü topraklı yıldız bankalarda gereksiz olabilir. Diğer bankalarda kaynak tarafındaki hatlara uygun seçilmiş parafudurların konmasıyla sağlan

### 6.2-) ALÇAK GERİLİMDE KOMPANZASYON

Büyük sanayi tesislerinde orta gerilim şebekesinden sonra geniş bir alçak gerilim şebekesi bulunur. Orta gerilimde yapılan merkezi kompanzasyonla; alçak gerilim transformatörleri ve alçak gerilim şebekesi reaktif akımın yükünden kurtulmuş olamazlar. Alçak gerilim tesislerinin kompanzasyonunda önemlidir. Kompanzasyonun sağladığı avantajlardan yararlanmak için alçak gerilim tarafında da kompanzasyon yapılması gerekir. Bundan başka ekonomik açıdan alçak gerilim bağlama cihazlarının ucuz, tesisin işletilmesinin daha az masraflı ve kolay olduğu görülür.

Basit alçak gerilim tesislerinde ayrı bir anahtar kullanmadan kompanzasyon yapılması tercih olunur. Bu tek tek kompanzasyonda uygulanır. Alıcı kondansatörle birlikte devreye sokup çıkarılır. 500V a kadar alçak gerilim tesislerinde kondansatörler için yük anahtarları kullanılır. Açma olayı sırasında kontakların yanmasını önlemek için yük anahtarları, nominal kondansatör akımının 1,25- 1,8 katı değerine göre seçilirler. Kondansatörlerin kapama akımları çok büyük olduğundan bunu sınırlandırmak amacı ile ilk anda kondansatöre seri bir direnç bağlanır. Geçici olaydan sonra bu direnç devreden çıkarılır. Diğer bir çözüm yoluda kondansatöre gelen hatları uzun tutulmasıdır. Böylece hat empedansı büyütülmüş olur. Bu nedenlerle kondansatörler devreye sokup çıkarılmalarında kontaktörler kullanılmaktadır. Kondansatörler devreden çıkarıldıklarında üzerinde bir elektrik yükü kalır. Bu yükün normal yoldan izalasyon direnci üzerinden kendiliğinden boşalması çok uzun zaman alabilir. Bu yükler hayati tehlike oluşturdukları gibi ayrıca boşalmamış bir kondansatör yeniden devreye sokulduğunda şiddetli dengeleme akımları oluşur. İşte bu gibi sakıncaları gidermek için devreden çıkan kondansatörlerin en kısa sürede boşalması istenir. Açma kapama olayları göz önüne alınarak, kontaklar kapanırken bir ön direnç üzerinde kapanan ve anahtar açılırken kondansatör uçlarını bir boşalma direnci üzerinden topraklayan özel kondansatör anahtarları vardır.

Modern kompanzasyon tesislerinde kondansatör anahtarı olarak kontaktörler veya motor koruma anahtarları kullanılmaktadır. Bunların açma hızları büyük olduğundan ve ark söndürme hücreleri ile donatıldıklarından 500V. gerilimde 800 Ampere kadar olan kondansatör akımları bu anahtarlarla kusursuz bir şekilde kesilebilir. Ayrıca kontaktörlere uzaktan kumanda edilebildiği için otomatik kompanzasyon tesislerinde kullanılmaları çok uygundur. Kontaktörler manyetik ve termik açıcılarla ayrıca manyetik üfleyicilerle donatılabilirler. Manyetik açıcılar nominal akımın 5-10 katı, termik açıcılar 1,2 - 1,5 katına göre seçilirler. Kontaktörlere ait manyetik açıcıların manyetik üfleyicilerin bobinleri devreye seri girdiklerinden bunların reaktif dirençleri kapama akım darbelerine yeteri kadar sınırlayıcı etki yaparlar.

Kondansatörler genellikle kısa devreye karşı sigortalarla korunurlar. Devreye girme sırasında kondansatörün başlangıçta çektiği akımın büyük olduğu, otomatik olarak ayarlanan tesislerde kondansatörlerin devreye girip çıkma frekansının oldukça yüksek oluşu ve tristörle kumanda edilen tesislerde meydana gelen yüksek harmoniklerin etkisi göz önüne alınarak, sigorta akımları nominal kondansatör akımından %70 kadar daha büyük seçilir. Ayrıca aynı nedenlerle gecikmeli tip sigortalar tercih edilir. Bununla birlikte sigortanın aşırı yükte devreyi kesmesi istenir. Başlangıç darbe akımları göz önüne alınarak, kondansatör tesislerinde kullanılan iletkenlerin kesitleri belirli bir akım şiddeti için normal tesislerde seçilen kesitlerden daha büyük alınır. Eğer kondansatörler sigortalara ek olarak birde bimetal termik röle ile korunurlarsa, hat kesitleri sigortalara uygun olarak seçilen kesitlerden 3 kademe daha küçük seçilebilir.

Tek tek kompanzasyonda, motor veya transformatör uçlarına sabit olarak bağlanan kondansatörler için bir deşarj direncine gerek yoktur. Çünkü motor veya transformatör devreden çıktığında kondansatör bunların sargıları üzerinden boşalır. Bir sigorta ve anahtar üzerinden bağlanan kondansatörler ise devreden çıkarıldıklarında bir boşalma direnci üzerinden topraklanırlar. Dolu bir kondansatör bir direnç üzerine bağlanıyorsa, zamana bağlı olarak (e) fonksiyonuna göre boşalır.

$U_1$  = Dolu kondansatör gerilimi

$U_2$  = Boşalmış kondansatörün artık gerilimi

$t$  = Boşalma zamanı

$T$  = Boşalma zaman sabitesi,  $T = R.C$

$R$  = Boşalma direnci

$C$  = Kondansatörün kapasitesi, olmak üzere

$$U_1 = U_2 \cdot e^{-\frac{t}{T}} \text{ dir.}$$

Teorik olarak kondansatör sonsuz zamanda boşalırsa da yaklaşık olarak  $5.T$  zamanı içinde boşaldığı kabul edilmektedir. Boşalma direncinin hesabında kondansatör uçlarındaki gerilimin bir dakika içinde  $50V$ .a düşmesi öngörülür. Ayrıca kondansatörlerin artı tole-  
ransta oldukları, doldurma geriliminin maksimum değerinde olduğu v  
işletme geriliminin nominal gerilimden %15 kadar daha büyük oldu  
gu kabul edılır. Buna göre boşalma direnci için,

$$R = \frac{1}{C} \cdot \frac{60 \text{ s}}{\ln 1,15 U_n - \ln \frac{50}{\sqrt{2}}}$$

elde edilir.

Kondansatörlerin boşaltılması için direnç yerine bobinde kul-  
lanılabilir. Bunların reaktif dirençleri çok yüksek olduğundan kon-  
dansatör uçlarına sürekli olarak bağlı kalabilirler. Omik dirençle  
ri ise çok küçük olduğu için bunlar üzerinde büyük kayıplar meyda  
na gelmez. Bobinin hesaplanmasında da boşalma direncinde olduğu gi-  
bi kondansatör geriliminin bir dakikada  $50V$ .a düşmesi ve kondansa  
tör yeniden devreye sokulmadan önce uçlarındaki gerilimin artık  
gerilimin %10 nuna düşmesi şart koşulur. Boşalma zamanı omik direnç  
ile orantılıdır. Bobinin omik direnci çok küçük olduğundan, boşal  
ma zamanında saniyenin onda biri kadardır.

## 6.2, 1-) ALÇAK GERİLİM KOMPANZASYON TESİSLERİNDE KORUMA:

Alçak gerilim kompanzasyon tesislerinin kısa devre ve aşırı  
yükte karşı korunması gerekir. Tesisin kısa devreye karşı korunması  
için sigortalar ve manyetik açıcılar kullanılır. Kondansatörlerin  
devreye sokulmaları veya paralel bağlanmaları sırasında meydana g  
len yüksek akım darbelerini göz önüne alarak gecikmeli sigortalar  
kullanılmalıdır.

Sürekli açıp kapamalar, aşırı gerilimler yüzünden meydana gele: aşırı akımlar, rezonans olayları ve kondansatör toleransları nede niyle sigortalar , nominal kondansatör akım şiddetine göre 1,5-1,7 katı olarak seçilirler.

Manyetik açıcılarda kapama olayı anında eyleme geçmemelidirle. Bu nedenle manyetik açıcılar kapama olayları için nominal akımın 5 katına ve paralel bağlama olayları için 10 katına ayarlanmalıdır. Eğer manyetik açıcı bir kondansatör gurubunun korunması için öngör rülmüşse; bu durumda açma akımının, nominal kondansatör akımlarının toplamının 5 katına eşit olması yeter. Bu durumda kondansatörler hep birlikte değil, teker teker devreye sokulmalıdır. Aşırı yük kondansatörler için önemli sorun yaratmaz. Zira kondansatörler aşırı yüke dayanıklı olduklarından motorlar gibi kondansatörlerin aşırı yüke karşı korunmaları zorunlu değildir.

Motorlarda olduğu gibi yük değişimleri kondansatörlerde söz konusu olmaz. Onun için küçük ve basit tesislerde kısadevreye karşı korumadan başka koruyucu önlemlere gerek yoktur. Ancak büyük ve önemli tesislerde kondansatörlerin sürekli olarak aşırı yüklenmelerine gerek izin verilmez. Bu nedenle bu gibi tesislerde aşırı yüke karşı termik açıcı öngörülür. Bunun için kontaktör bir termik açıcı ile donatılır veya sigortaya ek olarak bir termik röle yerleştirilir. Bimetal termik açıcı veya röle nominal kondansatör akımının en az 1,4 katına ayarlanır.

Aşırı kompanzasyon halinde veya kendi kendini uyarma olayları da yahut rezonans olayları dolayısıyla kompanzasyon tesislerinde gerilim yükselmeleri meydana gelebilir. Aşırı gerilimler de makina, aygıtlar ve aydınlatmada kullanılan lambalar için çok zararlıdır. Bu nedenle büyük ve otomatik merkezi kompanzasyon tesislerinde bir aşırı gerilim rölesi kullanılır. Röle ayar edilerek gerilimin %10 veya %15 'e kadar yükselmesi durumunda kondansatörler gecikmesiz olarak devreden çıkarılırlar. Aşırı gerilimler aşırı akımlara yol açarlar. Onun için aşırı gerilim rölesiyle kondansatör tesislerini aynı zamanda aşırı yüke karşı korumuş oluruz.

## 7) KOMPANZASYON TESİSLERİNDE REZONANS OLAYLARI:"6"

Reaktif güç kompanzasyonun yapıldığı elektrik tesislerinde , yüksek harmoniklerin bulunması halinde, rezonans olayları baş gösterebilir. Bunun sonunda meydana gelen büyük akımlar veya gerilimler kompanzasyon tesislerini zorlayarak çeşitli arızalara yol açabilirler. Diğer taraftan, şebekelerde bir çok nedenlerle çeşitli derecelerden yüksek harmoniklerin meydana gelmesi beklenebilir. Onun için kompanzasyon tesislerinin rezonans açısından da incelenmesi, hangi durumlarda rezonansın meydana gelebileceğinin araştırılması ve buna göre alınabilecek önlemlerin tespiti gerekir. Önce yüksek harmoniklerin ne şekilde meydana geldiklerini daha sonra da rezonans olaylarını inceleyelim.

### 7.1) YÜKSEK HARMONİKLERİN ÜRETİLMESİ:

Rezonans konusuna gelinceye kadar şebekelerde ve sanayi kuruluşlarında kompanzasyon amacıyla kondansatörler yerleştirilirken şebeke geriliminin sinüs şeklinde olduğu, yani sadece birinci harmoniğin etki ettiği kabul edilmiş ve şebeke frekansı olarak  $f=50$  p/sn veya dairesel olarak  $\omega=2\pi f=1/s$  alınmıştır. Bu kabul genel olarak doğrudur ve geçerlidir. Fakat bazı özel durumlarda şebeke geriliminde yüksek harmonikler meydana gelebilirler. Bunlar sadece kondansatörlerin zorlanmaları ile kalmayıp geri kalan şebeke kısmının endüktif direnci ile kondansatör kapasitesi arasında rezonansa yol açarlar, böylece şebekelerin aşırı yükselmelerine neden olurlar.

Simetrik yüklü üç fazlı alternatif akım şebekelerinde stasyonlar durumunda birinci temel harmoniklerden başka yine sinüs şeklinde ve sadece tek sayılı 3., 5., 7., 9., ... n. dereceden yüksek harmonikler beklenebilirler. Üç ve üçün katı harmonikler simetri nedeniyle ihmal edilebilirler. Apsis eksenine göre simetrik olan gerilim eğrileri için çift dereceli harmonikler söz konusu değildirler. Onun için pratikte sadece 5 ve 7ci harmonikler göz önüne alınır. Daha yüksek harmoniklerde derece yükseldikçe maksimum değeri düştüğünden bunlar artık göz önüne alınmazlar.

Yüksek harmonikler, kuvvetli akım tesislerinde aşırı doymuş transformatörler, aşırı doymuş reaktans bobinleri, ark fırınları, ark kaynak makinaları ve arkla çalışan cihazlar, redresörler ve elektrik makinaları tarafından üretilirler. Yüksek harmonik üreticilerini üç grupta inceleyebiliriz.

Transformatörler ve reaktans bobinlerinde yüksek harmonikleri meydana gelmesindeki başlıca neden, mıknatıslama karakteristiği yüzünden doyma etkisi ile mıknatıslama akımının yüksek harmonikleri içermesidir. Günümüzde soğuk haddelenmiş sac kullanılarak transformatörlerin ve reaktans bobinlerinin mıknatıslama akımlarında yüksek harmonikler çok azaltıldıklarından yüksek harmonik üreticisi olarak transformatörler daha az önem taşımaktadırlar.

Arkla çalışan aygıtlarda akım ile gerilim arasında sabit bir orantı yoktur ve bunlar için ohm kanunu geçerli değildir. Bu yüzde bu gibi aygıtlarda akımlar tam sinüs şeklinde olmayıp yüksek harmonikler içerirler. Bu tip yüksek harmonik üreticileri arasında en önemlisi redresörlerdir. Önceleri redresörler bir transformatör üzerinden orta gerilim şebekesine bağlanıyordu. Onun için redresörler tarafından üretilen yüksek harmonikler yalnız orta gerilim şebekesinde kalırlardı. Geçmiş yıllardaki bu tip uygulamalar yerine günümüzde çeviriciler ve tristörler tarafından kontrol edilen ayarlayıcılar daha çok alçak gerilim tarafına bağlanmaktadır. Ayrıca tristör kumandalı çeviriciler şebekeden büyük reaktif güçler çektiklerinde alçak gerilim şebekelerinde kompanzasyona gerek duyulur. Bu nedenle çeviriciler tarafından üretilen yüksek harmonikler, alçak gerilim şebekelerindeki kompanzasyon tesislerinde rezonans bakımından dikkat etmemizi gerektirir.

Yüksek harmonik üreticisi elektrik makinaları olarak, kollektörlü alternatif akım makinaları, senkron ve asenkron generatörler ile motorlardır. Bu makinalarda alan bozulması, olukların veya kollektörün titreşmesi yüksek harmoniklerin meydana gelmesine neden olur. Fakat modern senkron generatörlerde uygulanan sargı tekniği v kutup şekli sayesinde boşta çalışmada sinüs şeklindeki birinci harmonikten en fazla % 5 kadar fark meydana getiren EMK indüklenir. Ayrıca modern generatörler amortisman sargıları ile donatıldıklarından, hem nominal yükte hemde arıza hallerinde yüksek harmoniklerin önemli kısmı söndürülür. Bu nedenle yalnız eski generatörler önemli derecede yüksek harmonik üretirler.

## 7.2) YÜKSEK HARMONİKLERİN ETKİLERİ

Şebeke geriliminin sinüs şeklinde olmaması, yanibunun yüksek harmonikler içermesi, şebekeye bağlı tüketiciler üzerine zararlı bir şekilde etki eder. Bu arada böyle bir şebekeye paralel bağlı, yüksek harmonik üretmeyen modern generatörler, şebekenin yüksek harmoniklerinden etkilendiği gibi iletim hatlarında ve motorlarda ek ısı kayıpları oluşur. Yüksek harmoniklerin bulunduğu bir şebekede toprak kısa devre akımları da daha büyük efektif değerlere yükselirler. Bunların dışında şebekedeki yüksek harmoniklerin en şiddetli şekilde etki ettikleri tesis elemanı kondansatörlerdir. Kondansatörler böyle bir şebekeden yüksek harmonikli akım çekerler ve aşırı yüklenebilirler. Kondansatörler üretim sınıfına uygun ortam sıcaklığında sinüs şeklindeki nominal gerilimde ve nominal frekansta, nominal akımlarının 1,3 katı ile sürekli olarak yüklenebilirler. Bu yükte gerilim  $1,1 U_N$ 'den büyük olmamalıdır. Yüksek harmonikleri etkisi ile artan kondansatör akımının da bu değer üstüne çıkmasına izin verilmez. Kondansatörün kapasitif direnci frekans arttıkça azaldığından, yüksek frekanslı gerilim harmoniklerine karşı kondansatörün direnci daha küçük ve bu nedenle çektiği akım daha büyüktür. Onun için kondansatörler, şebeke geriliminin küçük distorsyonunda dahi büyük akımlar çekerler. Örneğin  $U_1$  birinci harmonikten başka bunun %20 si kadar 5. ci harmonik  $U_5$  içerirse, kondansatörün çektiği akımın efektif değeri, birinci harmonikte çektiği akımın %141'ine çıkar. Böylece kondansatörün dielektirgide izin verilen değerden %10-%15 kadar daha fazla zorlanır. Ayrıca kompanzasyon amacıyla kullanılan kondansatörler nedeniyle belirli şartlarda akım ve gerilim rezonansları meydana gelebilirki buda şebekeye zarar verir.

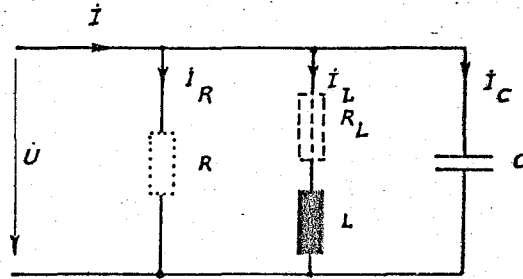
Yüksek harmonikler içeren şebeke gerilimi  $U$  yerine, 1., 3., 5., v 7. harmonik gerilimleri olan  $U_1, U_3, U_5$  ve  $U_7$  gerilimlerini üreten temel ve yüksek harmonik generatörlerinin seri bağlanmış olarak devreye uygulandıkları kabul edilir. Aktif güç sadece  $U_1$  temel harmonik generatöründen verilir; yüksek harmonik generatörlerinin verdikleri akımlar ise reaktif akımlar olarak kabul edilir. Böyle bir şebekeden çekilen  $P$  aktif gücü değişmez. Buna karşılık birinci harmonikte  $Q_1$  olan endüktif reaktif güç, yüksek harmoniklerin etkisi ile  $Q_{Ln} = Q_1/m$  değerlerini ve birinci harmonikte  $Q_c$  olan kapasitif güç yüksek harmoniklerin etkisi ile  $Q_{Cn} = n \cdot Q_c$  değerini alır. Burada  $n$  harmoniğin derecesi olup, harmonik frekansının şebeke frekansının kaç kat olduğunu gösterir.

### 7.3) REZONANS OLAYLARI:

Bir gerilimin uygulandığı kondansatörden ve bobinden meydana gelen bir devreye titreşim devresi denir. Eğer devrede saf endüktif L ve saf kapasitif C varsa bu devre kayıpsız bir titreşim devresidir. Bu ideal bir durumdur. Gerçekte kondansatöründe bir dielektrik kaybı vardır, bu kayıp seri veya paralel bir dirençle ifade edilir. Bobinin sargı direnci, endüktif dirence seri bağlanır. Demir kayıpları ise reaktansa paralel bir dirençle ifade edilir. Bunun dışında şebekeye ait toplam endüktif ve omik titreşim devresine seri giren R, L-C elemanlarının bağlanış şekline göre çeşitli titreşim devreleri elde edilir.

#### 7.3.1-) PARALEL REZONANS OLAYI

R, L, C elemanlarının birbirine paralel bağlanması ile Şekil 7-1 de görülen paralel titreşim devresi elde edilir.



Şekil.7-1

- R Omik direnç
- $R_L$  Bobinin sargı direnci
- L Bobinin self katsayısı
- C Kondansatörün kapasitesi
- U Şebeke gerilimi
- I Devrenin şebekeden çektiği akım
- $I_R$  Omik akım bileşeni
- $I_L$  Endüktif akım bileşeni
- $I_C$  Kapasitif akım bileşeni

Böyle bir devre tek tek kompanzasyon metoduna göre sargı uçlarına paralel kondansatörün bağlandığı transformatorün veya motorun oluşturduğu bir sistemdir.



L, tranformatör veya motorun sargılarının selfi, C kompanzasyon kondansatörünün kapasitesidir. R de bobinin demir kayıpları ile kondansatörün dielektrik kayıplarına karşı gelir. Burada bobine ait olup L ye seri girecek olan sargı direnci çok küçük olduğu için ihmal edilmiştir. Devreye uygulanan gerilime ait dairesel frekans  $\omega$  olduğuna göre bobinin endüktif reaktif direnci

$$jX_L = j\omega L$$

ve kondansatörün kapasitif reaktif direnci

$$jX_C = -\frac{j}{\omega C}$$

dir. Bobinin çok küçük olan sargı direnci ihmal edilirse her üç koldan geçen akımlar

$$I_R = \frac{\dot{U}}{R},$$

$$I_L = \frac{\dot{U}}{jX_L} = \frac{\dot{U}}{j\omega L} = -j \frac{\dot{U}}{\omega L},$$

$$I_C = \frac{\dot{U}}{jX_C} = j\dot{U}\omega C.$$

bulunur. Devrenin şebekeden çektiği akım, kol akımlarının toplamıdır

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

Buna göre devrenin eşdeğer empedansı

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

olup bunun mutlak değeri

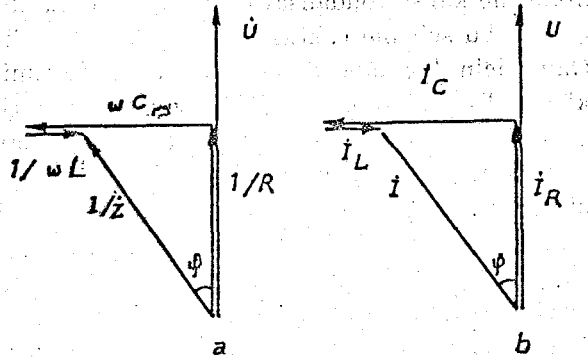
$$Z = \frac{1}{\sqrt{\left( \frac{1}{R} \right)^2 + \left( \omega C - \frac{1}{\omega L} \right)^2}}$$

ve faz açısı

$$\varphi = \arctan R \left( \omega C - \frac{1}{\omega L} \right)$$

dir. R, L, C büyüklükleri sabit olduğuna göre; Sabit bir şebeke frekansı için empedans, sabit bir gerilim için akımlar sabittir.

Şekil 7-2 de belirli bir frekans için eşdeğer empedansın faz diyagramı ve sabit bir gerilime göre şebekeden çekilen akımın faz diyagramı gösterilmiştir, burada kapasitif reaktans endüktif reaktandan büyük alınmıştır



Şekil.7-2

Frekans değişirse, endüktif direnç doğru kapasitif direnç ters orantılı olarak değişir. Onun için frekansa göre devre ya endüktif veya kapasitif olur. Frekansın belirli bir  $\omega_r = n\omega$  değerinde endüktif ve kapasitif reaktanslar birbirine eşittir, bunlar birbirlerine ters yönde etki ettiklerinden bunların toplamı sıfır olur. Frekansın bu değerine rezonans frekansı adı verilir. Bu durumda

$$\omega_r C - \frac{1}{\omega_r L} = 0$$

veya

$$\omega_r C = \frac{1}{\omega_r L}$$

olduğundan, rezonans frekansı için buradan

$$\omega_r = n\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

bulunur. Rezonans frekansı genellikle devrenin R, L ve C gibi karakteristik değerlerine bağlı olduğundan, buna aynı zamanda devrenin

$$\omega_s = \omega \sqrt{\frac{X_C}{X_L}}$$

$\omega_s$  = öz frekansı adı verilir. Şu halde rezonans şartı

$$\omega_r = \omega_s$$

dir. Rezonans halinde reaktif dirençlerin toplamı sıfır olduğundan, devrenin eşdeğer empedansı  $Z_{T} = R$  dir, saf omik dirence eşittir. Bu durumda titreşim devresinin şebekeden çektiği akım en küçük değerini alır.

Genellikle R paralel direnci çok büyük olduğundan, şebekeden çekilen akım çok küçüktür. Hesapları kolaylaştırmak için çoğunlukla R'nin sonsuz olduğu kabul edilir. Eğer buna karşılık bobin sargısının  $R_L$  direnci ihmal edilmezse, şebekeden çekilen akım için

$$I = \dot{U} \left( \frac{1}{R_L + j\omega L} + j\omega C \right)$$

ve devrenin empedansı için

$$\dot{Z} = \frac{R_L + j\omega L}{1 - \omega^2 LC + j\omega CR_L}$$

bulunur. Rezonans durumunda akım ile gerilim aynı fazda olacağından empedansın imajiner kısmı sıfıra eşit olmalıdır. Bu şarta göre rezonans frekansı veya devrenin öz frekansı

$$\omega_r = \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R_L^2}{L^2}}$$

olur. Rezonans durumunda devreden çekilen akım

$$I_r = U_r \frac{R_L}{R_L^2 + \omega_r^2 L^2}$$

değerini alır. Eğer R'nin sonsuz  $R_L$ 'nin sıfır olduğu kabul olunursa sadece L ve C'nin paralel bağlanması ile elde olunan kayıpsız ideal bir titreşim devresi için reaktans

$$Z_e = X_e = \frac{X_L \cdot X_C}{X_L - X_C} = \frac{\omega L}{1 - \omega^2 LC}$$

dir.

Kondansatörün değerine göre burada üç özel durum düşünülebilir. Bunlardan birincisi, kondansatör gücünün yani kapasitenin sonsuz büyüklükte olmasıdır. Bu durumda  $X_C = 0$  ve  $X_e = 0$  olur ve kondansatör bataryası bir kısa devre gibi etki eder. Her ne kadar böyle bir kısa devre durumu, rezonansa yol açan ve bu nedenle istenmeyen harmonikler yok etmek için çok uygun bir yol isede, bunun teknik ve ekonomik bakımdan gerçekleşmesi olanaksızdır. İkinci özel durum ise kondansatörün devreden çıkmasıdır. Böylece  $X_C = \infty$  ve  $X_e = X_L$  olur, yani devrede sadece endüktif direnç kalır. Üçüncü ve en önemli özel durum, rezonans durumudur. Yani  $\omega = \omega_r$  olmak üzere  $X_{Lr} = X_{Cr}$  olur. Endüktif ve kapasitif dirençlerin rezonans frekansında devrenin eşdeğer reaktansı sonsuz olur.

$$X_{er} = \frac{j\omega_r L \cdot \frac{1}{j\omega_r C}}{j\omega_r L - \frac{1}{j\omega_r C}} = \frac{L/C}{0} = \infty.$$

şu halde ideal paralel titreşim devresinde rezonans halinde devre den çekilen akım sıfır olur.

$$I_r = \frac{U_r}{X_{er}} = 0.$$

Görüldüğü gibi, rezonans durumunda yüksek harmonikli gerilimlere rağmen enerji kaynağından  $\omega$  frekanslı bir akım çekilmez; zira paralel titreşim devresi, rezonans durumunda bir akım tıkaçı gibi etki eder. Bu nedenle bu devreye tıkaç devresi adı verilir. Paralel titreşim devresi rezonans durumunda şebekeden akım çekmediği halde devrenin içinde L ve C arasında  $\omega$  rezonans frekanslı bir akım geçer. Onun için bu devreye akım rezonans devresi de denir. Paralel reaktans uçlarında  $\omega$  frekanslı  $U_r$  gerilimi bulunduğu için kondansatör tarafından

$$I_{Cr} = \frac{U_r}{X_{Cr}}$$

gibi bir akım ve bobin tarafından

$$I_{Lr} = \frac{U_r}{X_{Lr}}$$

gibi bir akım çekilir. Rezonans nedeniyle

$$X_{Cr} = X_{Lr}$$

olduğundan

$$I_{Cr} = I_{Lr}$$

dir. Şu halde  $\omega$  frekansında her iki akım, hem değer ve hem faz bakımından birbirini tamamen kompanse eder. Böylece hatlar reaktif akım yükünden kurtulurlar.  $I_{Cr}$  veya  $I_{Lr}$  akımı, rezonans frekansının değerine göre, birinci harmonikli gerilim altında çekilen akımdan çok daha yüksektir. Bu nedenle kondansatörler veya buna paralel bağlı trafolar veya motorlar aşırı yüklenirler.

Yukarıda şebeke frekansının değiştiği kabul edilerek bunun devreye ait  $\omega_0$  öz frekans değerine eşit  $\omega_r$  rezonans frekansı değeri alındığında L ile C arasında rezonans olayının meydana geldiği kabul edilmiştir. Aslında şebekenin frekansı sabittir ve bunun sabit tutulmasına da gayret edilir. Burada söz konusu olan frekans değişmesinin, şebekenin  $U_1$  ile işaret edilebilecek olan temel harmoniklerinden başka  $U_3, U_5, U_7 \dots U_n$  gibi yüksek harmoniklerin bulunduğu kabul edilmelidir. Eğer şu halde şebeke gerilimi  $\omega_n$  frekanslı harmoniklerinden, örneğin  $\omega_r$  harmonik frekansı söz konusu devrenin  $\omega_0$  öz frekansına eşit olursa bu durumda rezonans baş gösterir.

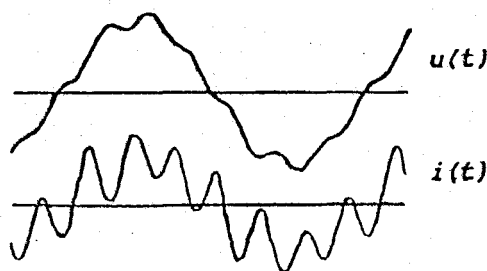
Onun için genel olarak bir kompanzasyon tesisinde rezonans olayının meydana gelip gelmeyeceğini belirlemek için önce, kompanzasyon da kullanılan kondansatörlerle buna paralel ve seri bağlı motor, hat v.b. elemanların oluşturduğu titreşim devresinin  $\omega_0$  öz frekansı hesaplanır. Bundan sonra şebeke geriliminde bu frekansa eşit bir harmoniğin bulunup bulunmadığı araştırılır. Eğer şebeke gerilimi birinci harmonikten başka örneğin 3., 5., 7. harmonikleri içeriyorsa,

$$n = \frac{\omega_0}{\omega_f}$$

oranı alınır. Eğer  $n$ ; 1, 3, 5, 7 gibi harmonik sayılarından birine eşitse bu durumda rezonans frekansı,

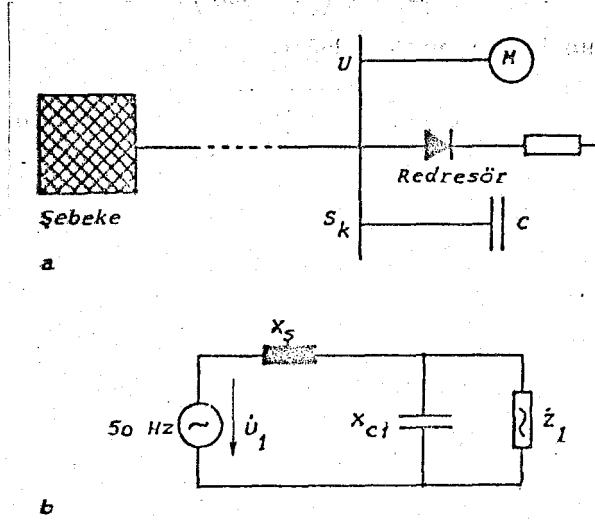
$$\omega_r = \omega_0 = n \cdot \omega_f$$

dır. Şebeke geriliminin içerdiği yüksek harmonikleri bulmak için gerilimin zamana bağlı olarak değişimi osilograf ile belirlenir ve bunun harmonik analizi yapılır. Şekil 7-3 te oldukça yüksek bir 7. harmonik içeren bir şebeke geriliminin ve rezonans akımının zamanla bağlı olarak değişimi gösterilmiştir.



Şekil.7-3

Paralel titreşim devresini bir tesise uygulayalım. Kısa devre gücü  $S_k$  olan bir şebekeye bağlı olan bir tesiste  $U$  gerilimi ile birbirlerinden motorlar ve redresörler beslenmektedir. Özellikle redresörler büyük reaktif güç çektiğinden, tesiste güç katsayısını düzeltmek için merkezi kompanzasyon uygulanmıştır. Redresörler gerilim eşitsizliğinin şeklini bozduklarından burada yüksek harmonikler meydana gelmektedir. Bu tesiste rezonansın meydana gelmemesi için gerekli şartları inceleyelim. Tesise ait bir kutuplu prensip şeması ve Kompanzasyon tesisinde temel harmoniğe göre kondansatör ile tüketici arasında meydana gelen paralel titreşim devresi Şekil 7-4 te görülmektedir.

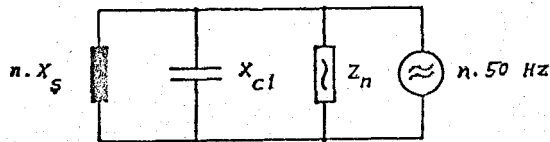


Şekil.7-4

Birinci harmonik esas alınmak şartı ile, güç kat sayısının düzeltilmesi için gerekli kapasite ve kondansatör gücü şekil 7-4.b' ye göre hesaplanabilir. Tesiste kısa devre gücü verildiğine göre, şebeke reaktansı, birinci harmonik değeri için

$$X_s = \frac{U^2}{S_k}$$

ifadesi yardımı ile bulunur. Burada  $U$ , kV cinsinden faz gerilimi ve  $S_k$ , MVA cinsinden kısa devre gücüdür. Şebekenin omik direnci, reaktif direncine göre çok küçük olduğundan hesaba katılmaz. Tesisteki motor ve benzeri tüketicilerin endüktif karakterdeki empedansları, kondansatöre bağlı bir eş değer  $Z_1$  empedansı ile gösterilmiştir. Redresörler bir yüksek harmonik üreticisi gibi etki ettiklerinden sistemi yüksek harmonik açısından incelerken, kondansatöre sadece tüketici empedansının değil şebeke reaktansının da paralel olduğu görülür. Bu tesiste yüksek harmoniklerin etki ettiği titreşim devresi Şekil 7-5 te gösterilmiştir.



Şekil.7-5

Eğer burada şebeke reaktansı ile kompanzasyon kondansatörünün oluşturdukları titreşim devresine ait öz frekans,

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{X_{Cn}}{X_{sn}}} = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{X_{C1}}{X_{s1}}}$$

redresörün ürettiği yüksek harmoniklerden küçük ise hiç bir rezonans tehlikesi yoktur.

n. harmonik için şebeke reaktansı

$$X_{sn} = n \cdot X_{s1} = n \frac{U^2}{S_k}$$

ve kondansatörün reaktansı

$$X_{Cn} = \frac{1}{n} X_{C1} = \frac{1}{n} \frac{U^2}{Q_C}$$

dır. Eğer belirli bir harmonik değerinde şebeke reaktansı ile kondansatör arasında rezonans olursa  $X_{sn} = X_{Cn}$  yani

$$n \frac{U^2}{S_k} = \frac{1}{n} \frac{U^2}{Q_{Cr}}$$

veya

$$Q_{Cr} = \frac{S_k}{n^2}$$

elde edilir. Şebekedeki harmoniğin derecesi bilinirse, rezonans olayına yol açacak olan kritik kondansatör gücü bu şekilde bulunur.

Eğer  $S_k$  ve  $Q_{Cr}$  verilmişse,

$$n = \sqrt{\frac{S_k}{Q_{Cr}}}$$

formülüyle rezonansın oluşacağı harmonik derecesi bulunabilir.

**ÖRNEK:** Kompanzasyon tesisinin yapıldığı noktadaki kısa devre gücü 100MVA dır. Şebekedeki harmoniklerin dereceleri 5, 7 ve 13 tür. Bu harmoniklere göre rezonansın oluşacağı kondansatör güçleri şunlardır:

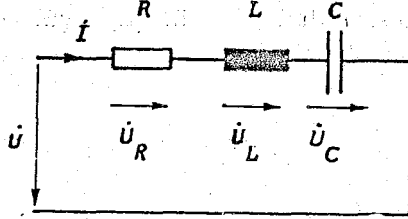
$$5. \text{ harmonikte } Q_{Cr} = \frac{100}{25} = 4 \text{ MVAR}$$

$$7. \text{ harmonikte } Q_{Cr} = \frac{100}{49} \approx 2 \text{ MVAR}$$

$$13. \text{ harmonikte } Q_{Cr} = \frac{100}{169} \approx 0,6 \text{ MVAR}$$

### 7.3.2-)SERİ REZONANS OLAYI

R, L ve C elemanlarının seri bağlanması ile şekil 7-6 da görülen seri titreşim devresi elde edilir.



Şekil.7-6

Burada R ve L, örneğin şebekeden generatöre kadar olan tesisin toplam omik ve endüktif dirençlerini gösterir. Böyle bir devre, aynı anda gerilim şebekesine bağlı iki transformatör tarafından beslenen tüketim merkezlerindeki kompanzasyon tesislerini içerir. Devrenin elemanlarındaki gerilimler

$$\dot{U}_R = I \cdot R$$

$$\dot{U}_L = I \cdot j\omega L$$

$$\dot{U}_C = I \cdot \frac{1}{j\omega C}$$

olur ve bunların toplamıda şebeke gerilimine eşit olduğuna göre

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

elde edilir. Devrenin toplam empedansı

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

olup bunun mutlak değeri

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

ve faz açısı

$$\varphi = \arctan \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

dır.

Temel harmonikte rezonans olması durumunda,  $\omega = \omega_s = 2 \pi f = 314 \text{ 1/s}$  ile

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$$

olacağından, buradan

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

bulunur.



Seri bağılı bobinin ve kondansatörün toplam reaktansı sıfıra eşit olunca, devrenin direnci sadece  $Z=R$  olacağından  $f=50$  Hz de devreden geçen akım en büyük değerini alır.  $I_r = U/R$  olur. Kuvvetli akım tesislerinde omik dirençler, endüktif reaktanslara göre çok küçüktür. Onun için seri titreşim devresinde rezonans durumunda büyük akımla geçebilir. Seri rezonans yalnız aşırı akımlara değil, kondansatörler de aşırı gerilimlere de yol açar. Kondansatör uçlarındaki gerilim  $U_c = I / \omega C$  dir. Temel harmonikte rezonans olması durumunda geçen akımın değeri yerine konulursa

$$U_c = \frac{U}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

elde edilir. Bu gerilimin etkisi ile kondansatör aşırı zorlanır. Seri rezonansda gerilimin yükselmesi nedeniyle buna gerilim rezonansı denir. Fakat genellikle kuvvetli akım tesislerinde temel harmonikte rezonans çok az olur.

Kuvvetli akım tesislerinde seri titreşim devresinin öz frekansları 150-700 Hz arasındadır. Buda 3-15 dereceli yüksek harmoniklere karşı gelir. Kuvvetli akım tesislerinde baş gösteren yüksek harmoniklerde bu derecelerden olduğundan yüksek harmoniklere göre rezonans olasılığının kontrol edilmesi gerekir. Titreşim devresinin bağılı bulunduğu şebeke geriliminin yüksek harmonikleri içermesi halinde, örneğin n. harmonikte devrenin eşdeğer reaktansı için

$$X_{en} = n \omega L - \frac{1}{n \omega C} = X_{Ln} - X_{Cn}$$

elde edilir. Frekansın değerine göre eşdeğer reaktans, paralel titreşim devresinde olduğu gibi, endüktif veya kapasitif karakterde olabilir. Burada da yine üç özel hal göz önünde tutulabilir. Eğer kondansatörün gücü sonsuz büyüklükte ise  $X_{Cn} = 0$ ,  $X_{en} = X_{Ln}$  olur, böylece kondansatör kısa devre gibi etki eder, ve devreden geçen akımı sadece R ve  $X_L$  belirler. Bu durumda yüksek harmonik gerilimleri de kısa devre edildiğinden şebeke bakımından istenen durumdur. Fakat teknik ve ekonomik bakımından bunun gerçekleşmesi olanaksızdır. Kondansatörün devreden çıkarılmasında ise  $X_{Cn} = X_{en} = \infty$  Sonsuz olur ve devreden hiç akım geçmez. En önemli durum ise reaktansların eşit  $X_{Cn} = X_{Ln}$ , yani eşdeğer reaktansın  $X_{en} = 0$  sıfır olmasıdır, buda ancak belirli  $\omega = \omega_r$  değerinde mümkündür. Bu duruma rezonans hali denir. Seri titreşim devresinin öz frekansı da

$$\omega_s = \omega \sqrt{\frac{X_C}{X_L}}$$

dir.

Eğer titreşim devresinin kayıpsız, yani ideal bir devre ( $R=0$ ) olduğu kabul edilirse, rezonans durumunda devreden geçen akım sonsuz olur. Bu akım, bobin ve kondansatör uçlarında aynı şekilde sonsuz bir yükte aşırı gerilimler meydana getirir. Fakat yüksek harmonik üreticileri hiç bir zaman bu büyük akımları verecek güçte olmadıkları gibi devrede mevcut omik dirençlerden rezonans durumlarında çok büyük kondansatör akımı geçer. Yüksek harmonikle rezonans durumunda kondansatör akımı

$$I_{nr} = \frac{U_{nr}}{\sqrt{3} R}$$

dır. Burada  $U_{nr}$ , rezonansa yol açan  $n$ . harmonik geriliminin efektif değeri olup, bu değer,  $U_N$  nominal gerilim cinsinden yaklaşık olarak  $U_{nr} = a_{nr} \cdot U_N$  dir. Buna göre

$$I_{nr} = \frac{a_{nr} \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot R}$$

elde edilir. Eğer  $I_N$  nominal kondansatör akımının meydana getirdiği gerilim düşümü yüzde cinsinden

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{3} I_N \cdot R}{U_N} \cdot 100$$

ise

$$I_{nr} = 100 \frac{a_{nr}}{\varepsilon} \cdot I_N$$

bulunur. Örneğin 5. ci harmoniğin rezonans yaptığı durumda  $a_5 = \% 10$  ve  $\varepsilon = \% 2$  olduğuna göre bu harmonikteki rezonanstaki kondansatör akımının

$$I_{sr} = \frac{100}{2} \cdot \frac{10}{100} \cdot I_N = 5 I_N$$

nominal değerinin 5 katına çıkabileceği görülür. Gerçekte bu akım, iletken dirençleri, geçiş dirençleri gibi dikkate alınmayan direnç değerleri yüzünden daha küçüktür. Bu dirençleri de göz önüne aldığımızda akımın  $3I_N$  olduğu kabul edilse bile tehlikeli bir değerdir. Çünkü kondansatörler sürekli olarak ancak  $1,3I_N$  aşırı akımda çalışabilirler.

Şebeke geriliminde yüksek harmoniklerin bulunması halinde, tam rezonans olmasa dahi, öz frekanstan farklı her harmonik küçük bir aşırı akım meydana getirir. Örneğin  $n$ . ci harmoniğin gerilim oranı  $a_n$  ise, bunun meydana getirdiği aşırı kondansatör akım bileşeni

$$I_{Cn} = \frac{a_n \cdot U_N}{\sqrt{3} \sqrt{R^2 + X_{en}^2}} = \frac{U_n}{\sqrt{3} Z_{en}}$$

dir.

Temel harmoniğin meydana getirdiği kondansatör akımı  $n=1$  alınarak

$$I_{C1} = \frac{U_N}{\sqrt{3} \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

dır. Öz frekanstan farklı diğer harmonikler için kondansatörün  $I_{C5}$ ,  $I_{C7}$ , ..  $I_{Cn}$  gibi diğer akım bileşenleri hesaplandıktan sonra kondansatörün çektiği toplam akımın efektif değeri

$$I_{Cef} = \sqrt{I_{C1}^2 + I_{C5}^2 + I_{C7}^2 + \dots + I_{Cn}^2}$$

bulunur.

Seri rezonansın olabileceği bir tesiste kritik kondansatör gücünün hesabı şu şekilde yapılır. Frekansın artması ile endüktif direnç arttığından endüktif reaktif güç azalır,  $Q_L/n$  değerini alır. Aynı frekansla kapasitif direnç azaldığından kapasitif güç artar ve  $n \cdot Q_C$  değerini alır. Şu halde normal frekansta yapılan kompanzasyon da  $Q_{L2}$  gibi artık bir endüktif yük kaldığı halde, devre elemanları da herhangi bir değişiklik olmamasına rağmen  $n \cdot f$  frekansında  $Q_{Cn}$  büyük  $Q_{Ln}$  olduğundan artık reaktif güç kapasitif olur,

$$Q_n = Q_{Cn} - Q_{Ln} = n \cdot Q_C - \frac{Q_L}{n}$$

Her ne kadar aynı baraya paralel bağlı motorların endüktif direnci ile kondansatörün kapasitif direnci kendi aralarında paralel bir titreşim devresi oluştururlarsa da böyle bir devrede  $n \cdot f$  frekansında bir rezonans hemen hemen söz konusu değildir. Zira  $Q_{Cn} > Q_{Ln}$  olduğu için rezonans şartı gerçekleşemez. Onun için motor ve kondansatörden oluşan paralel titreşim devresi, çektiği aktif güce tekabül eden bir endüktif reaktif direnç ile çektiği kapasitif güce karşı gelen  $X_C$  kapasitif direncinden oluşan seri bir devre olarak gözönüne alınmalıdır. Burada söz konusu olan  $R_p$  ile  $X_C$  ye şebeke transformatörünün  $X_k$  kaçak reaktif direnci ile  $R_k$  omik direncide seri bağlıdır. Şu halde seri titreşim devresinin  $R_h$  direnci olmak üzere, toplam omik direnci için,

$$R = R_p + R_k + R_h,$$

toplam endüktif direnci için

$$\omega L = X_k$$

ve toplam kapasitif direnci için

$$\frac{1}{\omega C} = X_C$$

elde edilir.

Paralel motor-kondansatör devresinin n.f frekansında geriliri  $U_n$ , zahiri gücü  $S_{2n}$  olduğuna göre bu devrenin eşdeğer empedansı

$$Z = \frac{U_n^2}{S_{2n}} \frac{U_n^2}{\sqrt{P^2 + Q_n^2}} = \sqrt{R_p^2 + X_c^2}$$

olup, buradan

$$R_p = U_n^2 \frac{P}{P^2 + Q_n^2} = U_n^2 \frac{P}{S_{2n}^2}$$

$$X_c = U_n^2 \frac{Q_n}{P^2 + Q_n^2} = U_n^2 \frac{Q_n}{S_{2n}^2}$$

elde edilir. Tesisi besleyen transformatörün gücü  $S_{Tr}$ , ise bunun kaçak reaktansı

$$X_k = n \cdot u_k \frac{U_n^2}{S_{Tr}} \sin \varphi_k$$

dır. Burada  $u_k$  transformatörün nisbi kısa devre gerilimi ve  $\varphi_k$  transformatörün kısa devre faz açısıdır. Transformatörün omik direnci de

$$R_k = u_k \frac{U_n^2}{S_{Tr}} \cos \varphi_k$$

dır. Genellikle şebeke transformatörleri ile dağıtım transformatörleri oldukça küçük güçlü olduklarından, bunların omik dirençleri ihmal edilemez. Rezonans durumunda reaktif dirençlerin toplamı sıfıra eşit olmalıdır. Endüktif dirençler pozitif ve kapasitif dirençler negatif alınmak şartıyla  $X_k - X_c = 0$  şartı elde edilir.

n.f frekansında rezonansın meydana gelebileceği kondansatör gücü için

$$Q_{Cr} = \frac{S_{Tr} + 2u_k Q_L \cdot \sin \varphi_k + \sqrt{S_{Tr}^2 - (2nu_k P \sin \varphi_k)^2}}{2n^2 u_k \sin \varphi_k}$$

elde edilir. Eğer motor gurubu devrede bulunmazsa,  $P = Q_L = 0$  olduğunda yalnız kondansatör ile transformatörden meydana gelen özel seri devre için

$$Q_{Cr} = \frac{S_{Tr}}{n^2 u_k \sin \varphi_k}$$

bulunur. Şebeke ve dağıtım transformatörleri 100-400 KVA gücünde küçük ve orta güçlü transformatörler kullanılırlar. Bu gibi transformatörlerde genellikle  $u_k = \%4$  ve  $\cos \varphi_k = 0,7$  alınabilir.

ÖRNEK: Bir iş yerindeki aktif güç  $P=94$  KW ve reaktif güç  $Q=176$  KVAR olduğuna göre;

1. Güç kat sayısı ve gerekli transformatör gücü ne kadardır ?
2. Güç katsayısını 0,95'e çıkarmak için gerekli kondansatör gücü ve kompanzasyon yapılması halinde gerekli transformatör gücü nekadardır?
3. Şebeke geriliminin 5.ve 7. içerdiği belirlendiğine göre rezonans olasılığının araştırmasını yapınız.
4. Tesisin gerilimi 380 V olduğuna göre nominal transformatör akımı nekadardır? Transformatörden tüketiciye kadar hat üzerinde %2 kadar bir gerilim düşümüne göz yumulduğuna göre hat direnci ne kadardır? Tüketicilerin etkin direnci ve toplam direnç ne kadardır?
5. Temel harmonik, 5.harmonik, ve 7.harmonikteki kondansatör akımları ne kadardır? Toplam kondansatör akımını bulunuz. 5.ci harmoniğin gerilim katsayısı  $a_5=\%10$  ve 7.harmoniğinki  $a_7=\%4$  alınacaktır.

ÇÖZÜM:

1. Güç katsayısı,

$$\tan \phi_1 = \frac{176,6}{94} = 1,88 \quad \cos \phi_1 = 0,47$$

Transformatör gücü,

$$S_1 = \frac{94}{0,95} = 100 \text{ KVA}$$

2.  $\cos \phi_2 = 0,95$  için  $\tan \phi_2 = 0,33$

Kondansatör gücü,

$$Q_c = 94(1,88 - 0,33) = 94 \cdot 1,55 = 145,7 \text{ KVAR}$$

Transformatör gücü,  $S_2 = \frac{94}{0,95} \approx 100 \text{ KVA}$

3. 100 KVA transformatör gücü ile  $n=5$  ve  $\sin \phi_k = 0,7$  ile kritik kondansatör gücü

$$Q_{Cr} = \frac{100}{25} \cdot 0,04 \cdot 0,7 \approx 143 \text{ KVAR bulunur.}$$

$Q_c \approx 146$  KVAR olduğuna göre rezonans meydana gelebilir.

4. Nominal transformatör akımı,

$$I_N = \frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 152 \text{ Amper}$$

Hat direnci,

$$R_h = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 152} \cdot 0,02 = 0,029 \text{ Ohm}$$

Transformatörün direnci,  $u_k = 4\%$  ve  $\cos \phi_k = 0,71$  olduğuna göre

$$R_k = 0,04 \cdot \frac{380^2}{100} \cdot 10^{-3} \cdot 0,71 = 0,041 \text{ ohm}$$

$$n=5 \text{ için reaktif güç } Q_{C5} = 5 \cdot 145,7 \cdot \frac{176,6}{5} = 693,2 \text{ KVAR}$$

$$\text{Görünür güç } S_5 = \sqrt{94^2 + 693,2^2} \approx 700 \text{ KVA}$$

$$\text{Etkin direnç, } R_p = 380^2 \cdot \frac{94}{700^2} \cdot 10^{-3} = 0,0277 \text{ ohm}$$

$$\text{Toplam direnç } R = 0,029 + 0,041 + 0,0277 = 0,0977 \approx 0,1 \text{ ohm}$$

5. Birinci harmonikte transformatör akımı,  $I_N = 152$  Amper.

$$\text{1.ci harmonikte kondansatör akımı, } I_{C1} = \frac{147,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 221,4 \text{ A} = 1,46 I_N$$

$$\text{5.ci harmonikte kondansatör akımı, } I_{C5} = \frac{0,1 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot 0,1} = 220 \text{ A} = 1,45 I_N$$

7.ci harmonikte kondansatör akımı,

$$Q_{C7} = 7 \cdot 145,7 \cdot \frac{176,6}{7} = 994,67 \text{ KVAR}$$

$$S_7 = \sqrt{994,67^2 - 94^2} = 1000 \text{ KVA}$$

$$X_{C7} = U_n^2 \cdot \frac{994,67}{1000^2} \cdot 10^{-3} = U_n^2 \cdot 10^{-6}$$

$$X_{k7} = 7 \cdot 0,04 \cdot 0,7 \cdot \frac{U_n^2}{10^5} = 2U_n^2 \cdot 10^{-6}$$

$$U_n = 0,04 \cdot 380 = 15,2 \text{ V}, \quad U_n^2 = 231 \text{ V}^2$$

$$X_e = 2U_n^2 \cdot 10^{-6} - U_n^2 \cdot 10^{-6} = 231 \cdot 10^{-6} \text{ ohm, bu değer çok küçük olduğundan R yanında ihmal edilir. Buna göre } Z \approx R = 0,1 \text{ alınır.}$$

$$I_{C7} = \frac{0,04 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot 0,1} = 88 \text{ A} = 0,58 I_N$$

$$\text{Toplam kondansatör akımı, } I_C = I_N \sqrt{1,46^2 + 1,45^2 + 0,58^2} = 2,14 I_N$$

#### 7.4) YÜKSEK HARMONİK REZONANSINA KARŞI ÖNLEMLER

Rezonansın elektrik tesislerinde oluşturabileceği zararları önlemek amacıyla, yüksek harmoniklerin bulunduğu, yani rezonansa eğilimi olan şebekeler tarafından beslenen kompanzasyon tesislerinde bazı önlemler alınabilir. Az bir emek ve masrafla yerine getirilebilen önlem, tesisi büyük zararlardan koruyabilir. Rezonansı önlemek için kompanzasyon tesisinin öz frekansını, rezonansa yol açabilecek olan şebeke frekansının altında tutmak gerekir. Bunu sağlamak için çeşitli yöntemler vardır. En önemli pratik önlemleri açıklayalım.

1) Kompanzasyon için gerekli olmayan kondansatör bataryaları devreden çıkarılmalıdır. Bilindiği gibi tesisin yükünün düşük olduğu saatlerde, tesisi besleyen transformatör ile kompanzasyon için öngörülen kondansatörlerin tamamı devrede kalırsa, aşırı kompanzasyon nedeni ile gerilim yükselir, ve transformatör doyma bölgesinde çalışmaya başlar. Doyma halinde mıknatıslama akımının şekli bozulduğundan, böylece transformatör bir harmonik üreticisi gibi çalışır. Bunun sonunda da yüksek harmonik rezonansı baş gösterebilir. Bunun için kondansatör gücünü kompanzasyon ihtiyacına göre ayarlamak amacıyla tesisin otomatik  $\cos\phi$ -regülatörü ile donatılması uygun olur.

2) Devreye omik direnç yerleştirmekle teorik olarak yüksek harmonik akımlarını amortize etmek mümkündür. Fakat devredeki her ek direnç, kayıplara yol açtığından mümkün olduğu kadar yapay bir direnç arttırma yoluna gidilmez. Buna karşılık doğal olarak devrede belirli bir omik direncin bulunmasını sağlamak amacı ile kompanzasyon tesisleri bir veya bir kaç kablo üzerinden bağlanırlar ve hiçbir zaman doğrudan doğruya baraya bağlanmazlar.

3) Öz frekansı düşürmek amacıyla kondansatöre bir self bobini seri bağlanır. Bobinin ısı kaybı çok düşük olduğundan, bu önlem aynı zamanda ekonomiktir. Bobinin gerekli 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 gibi durumlarda, kısa devre hesaplarında olduğu gibi, yalnız transformatör direnci göz önünde bulundurulur, diğerleri ihmal edilir.

Kondansatöre bir self bobinin seri bağlanması durumunda kondansatör gerilimi yükselir; kondansatör gerilimi şu şekilde hesaplanır

$$U_{C1} = \sqrt{3} X_c \cdot I_{C1}$$

Kondansatörde gerilim yükselmesi % 10'u geçmemelidir.

## 8) UYGULAMALAR "7" "11" "12"

### 8.1) ARK OCAKLARINDA REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU:

ARK ocakları yoğun elektrik enerjisi tüketen yerlerdir. Bu özelliğinin yanı sıra darbeli ve dengesiz güç çekmeleri elektrik iletim ve dağıtım sistemlerinde çeşitli problemlerin doğmasına neden olabilmektedirler. Ark ocaklarına uygulanacak reaktif güç kompanzasyonu; reaktif enerji bedeli ödemekten kurtulmak, kayıpları azaltmak, sistemin iletim ve dağıtım kapasitesini arttırmak gibi doğal yararlarının yanı sıra elektrikli sistemde doğabilecek problemlerin çözümünde etkili olacaktır.

Ocak transformatörleri sekonder gerilimleri geniş bir aralıkta değişebilecek biçimde tasarımlanır. Böylece yüksek kademelerde yoğun bir enerji tüketimi, düşük kademelerde ise arıtmaya veya beklemeye alınan ocağın enerji tüketimini karşılamak mümkün olur. Gerilim kademelerine ek olarak ark boyunu ayarlayan kademelerin değiştirilmesiyle ark akımı denetlenmektedir. Diğer bir deyişle ark ocağının elektrikli davranışı uygulanan gerilim ve akım kademelerine bağlı olacak elektrikli işletme koşullarının (eritme, arıtma, bekletme vb) gerektirdiği elektrikli çalışma koşulları bu kademelerin değiştirilmesiyle gerçekleştirilebilecektir.

Bir gaz ortamında elektrikli bir boşalma olan ark ancak akımı doğal sıfırında sönebilir. Bunun izlenen sürede elektrot uçları ile metal parçacıkları arasındaki gerilim transformatörün sekonder gerilimine eşit olacaktır. Arkın tekrar başlayacağı an bu gerilim, tarafından belirlenmektedir. Belirli bir elektrot açıklığı için, arkın tekrar başlatılabilmesi ancak gerilimin belirli bir değere ulaşmasıyla mümkün olacaktır. Bu nedenle transformatör sekonder gerilimi ile ark akımı arasında bir faz farkı olacak ve ark ocağı kaynaktan aktarılan güç ile birlikte reaktif güç istemindedir bulunacaktır.

Ark ocağının aktif ve reaktif güç istemi arkın özellikleri dolayısıyla belirli çalışma koşulundaki gerilim ve akım kademeleri ile ilişkili olacaktır. Bu nedenle ocağın aktif ve reaktif güç istemi zamanla değişecektir. Ark akımı doğal sıfırına eriştiği zaman, sekonder gerilimi arkın yeniden başlamasına yeterli olmayan bir düzeyde ise akım kesikli bir yapı gösterecek ve bu durum yüksek güç faktörünü simgeleyecektir. Kararlı bir ark elde edebilmek için akımın sıfırında gerilimin yeterli düzeyde olması istenir. Bu koşul düşük güç faktöründe çalışmayı simgelemektedir.



### 8.1.1-)ARK OCAĞININ REAKTİF GÜÇ İSTEMİ:

Bir ark ocağının eritme süresince ortalama reaktif güç ihtiyacı, güç faktörü 0,7 dolayında olduğunda, aktif güç istemine eşit kabul edilebilir. Arkları kararlı hale getirmek için güç faktörünün 0,7 dolaylarında seçilmesine rağmen her bir fazdaki akım sabit olmayacaktır, dolayısıyla her bir fazın reaktif güç istemi değişik zamanlarda çok çabuk değişim göstererek elektrik sistemi için dengesiz bir yük oluşturacaktır.

Ocağın reaktif gücünün çok hızlı değişken karakterine rağmen; ortalama reaktif güç ve değişiminin alt ve üst sınırlarından söz etmek mümkündür. Eritme süresinde 0,7 güç faktörü ile çalışan bir ocak için reaktif güç değişimleri şu eşitlikte verilebilir.

$$Q = Q_{kd}(1 \pm 0,7)$$

Bu eşitlikte  $Q$  ocağın belli bir andaki reaktif güç istemi,  $Q_{kd}$  ise kararlı durum çalışma koşullarındaki ortalama reaktif güç istemi olup ve ocağın ortalama aktif güç tüketimine eşit alınmalıdır. Buradan ocağın max reaktif güç istemi  $Q_m = 1,7 Q_{kd}$  ve reaktif güç dalgalanmaları  $Q = 1,4 Q_{kd}$  olarak bulunur. Bu kuramsal bilgilerden, kullanılması gereken reaktif güç kompensatörü ile ilgili şu sonuçlara ulaşmak mümkündür.

1°. Ocağın dengesiz elektriksel özellikleri göz önüne alınarak her faz ayrı ayrı denetlenmelidir.

2°. Reaktif güç istemlerinin sabit ve değişken kısımları ayrı ayrı kompanse edilebilir.

3°. Reaktif güç değişimleri çok hızlı olduğunda, bu değişmelere çok kısa zamanda değişim gösterebilecek kompensatörler seçilmelidir.

Bu tür özellikleri gösteren bir kompensatörün devreye alınmasıyla ark ocaklarına özgü şu ek yararlar sağlanabilecektir.

a\_. Eritme sırasında ark ocaklarının özelliği sık sık elektrotlarla metal arasında olan kısa devrelerdir. Bu olayı izleyen sürede elektrotlar uzaklaştırılmakta ve ark temizlenmektedir. Genellikle bu kısa devreler iki elektrot arasında olmakta, diğer elektrot ise açık devre özelliği göstermektedir. Bu nedenlerle elektrik sistemi sık sık simetrik olmayan darbelere maruz kalmaktadır. Bu büyük akım dalgalarının sonucu olarak, gerilim dalgalanmaları gözlenecektir.

Elektrik sisteminde, ark ocaklarının ve diğer kullanıcıların b li bir noktaya beraberce bağlandıkları düşünülürse bu gerilim dalgalanmalarının diğer kullanıcıları etkileyebileceği söylenebilir, Bu aşamada eklenmesi gereken özellik, bu ortak noktanın kısa devre MVA gücünün ne boyutlarda olduğudur. Yüksek kısa devre MVA gücü gerilim dalgalanmalarının düşük boyutlarda kalmasına neden olacak ve ark ocaklarının diğer yüklere etkileri azalacaktır. Diğer taraftan düşük bir MVA kısa devre gücü gerilim dalgalanmalarının büyümesini dolayısıyla 4-10 Hz frekans aralığında akkor flemalı lambalarda fliker olayına, 20 HZ 'in üzerinde floresant lambaların etkilenmesine ve televizyon alıcılarının resim kalitelerinin bozulmasına neden olur. Bu tür olaylarla karşılaşmamak için gerilim dalgalanmalarının % 2 sınırının altında kalması gerekir. Reaktif güç kompensatörünün devreye alınmasıyla gerilim dalgalanmaları azaltılarak olumsuz etkileri yok edilebilecektir.

b. Ark ocaklarının bir diğer özelliği ise elektrik sistemine harmonik üretmeleridir. Bu harmonikler sistem elemanlarında kayıplara neden olacak, onların verimlerini etkileyecek ve hatta rezonans olayına yol açabileceklerdir. Reaktif güç kompensatörünün devreye alınması ile harmonik üretimi azalacak, ek bir dizi önlemlerle rezonans olaylarının önüne geçilebilecektir.

Ark ocaklarının anılan bu olumsuz etkilerinin giderilebilmesi için kesin çözüm çok kısa zamanda tepki gösterebilen her fazın ayrı ayrı denetlenebildiği filitrelerle donatılmış bir statik kompensatör kullanmaktır.

#### 8.1.2-) ARK OCAKLARINDA KULLANILAN KOMPANZASYON SİSTEMLERİ:

Bu bölümde ilk önce alışıl gelmiş ve modern kompanzasyon yöntemleri karşılaştırılacaktır. Daha sonra da tüm olasılıklar için kompanzasyonun ocak transformatörünün primerinin bağlı olduğu b radan yapılmış bir örnek uygulama şekil 8-1 de verilecektir.

a) Sabit kapasitörler: En sık uygulanan ve en ucuz seçenektir. Kapasitörler; ocağı eritme süresinde kısmen kompanse edecek biçimde seçilir. Reaktif gücün kompanse edilmeyen bölümü kaynaktan çekilecektir. Ocak düşük güçte çalışırken yada ocak devreden çıkarıldığında aşırı kompanzasyon durumu doğacak ve şönt kapasitörler sisteme reaktif güç vereceklerdir.

Bu nedenle bu kapasitörlerin sürekli devrede bırakılmaları sistem yüksüz iken ciddi gerilim yükselmelerine neden olabilecektir. Bu tip bir kompanzasyonun ark ocağından kaynaklanan gerilim titreşimleri, harmonikler ve ters bileşen akımı problemlerine çözüm olmadığı açıktır.

b) Senkron kapasitör: Ana baraya bağlanan bir senkron kapasitör ocağın reaktif güç ihtiyacını karşılar, ana baradaki kısa devre MVA gücünde arttıracaktır. Ocağın aktif gücü salınacağından, senkron makinanın yük açısında dolayısıyla ürettiği reaktif güç salınacaktır. Bu olgu alan akımı denetleyicisi yavaş tepki gösteren makinelerde gözlenecek ve senkron kapasitörden beklenen yarar tam olarak sağlanamayacaktır. Bu nedenle ark ocaklarının kompanzasyonunda kullanılan senkron kapasitörlerin alan sargısı akımını denetleyen sistemler, tristörlerin kullanıldığı hızlı uyarıcılardan seçilmelidir. Böylece gerilim oynamalarını % 50 oranında (Yavaş denetim mekanizmalarına oranla) düşürmek mümkündür. Ark ocağı dengesiz bir yük olduğundan, bu tip kompansatör, alan sargısı akımının denetlenmesiyle her bir fazı eşit biçimde etkileyemeyecektir. Bu durum senkron kapasitörün en önemli dezavantajını oluşturur.

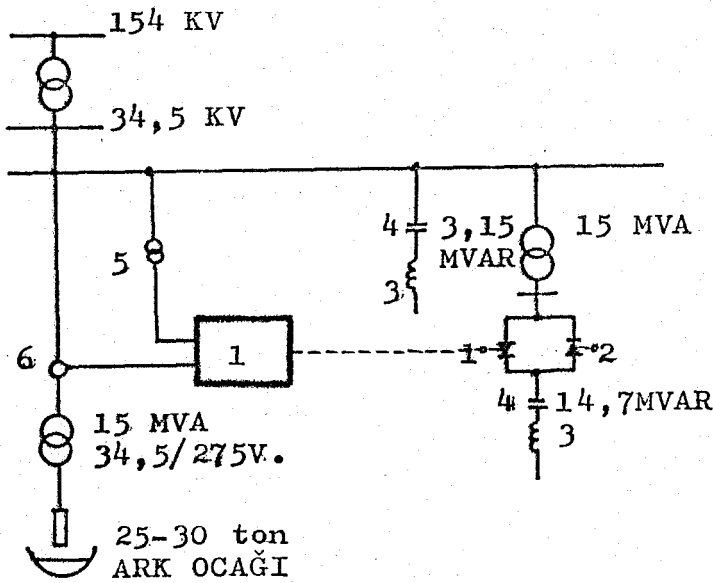
c) Sabit kapasitör-Doyumlu reaktör: Ana baraya bağlanan sabit bir kapasitör ve doyumlu reaktörden oluşan sistem ark ocağının reaktif güç ihtiyacını karşılamakta kullanılabilir. Bu tip kompansatör için ölçme ve denetim düzeneklerine gerek duyulmayacaktır. Reaktif güç değişimlerine 1-2 çevrim içersinde tepki gösterebilecektir.

Öte yandan, denetim hassas olmayacak, kayıplar yüksek olacak, harmonik üretecek ve gürültüye neden olacaktır.

d) Sabit kapasitör-Tristör anahtarlamalı reaktörler: Ocağın maksimum güç istemi ana baraya bağlanan sabit kapasitörlerle karşılanmakta, ocağın reaktif güç istemi düştüğünde ise gerekli sayıda reaktör tristörlerle anahtarlanarak devreye alınmakta; böylece ocak, reaktörler ve kapasitörler arasındaki reaktif güç dengesi kurulmaktadır. Bu dolaylı kompanzasyon yöntemi ancak kademeli denetim sağlayabilir.

e) Tristör anahtarlamalı kapasitörler: Bu tip kompansatörler ana baraya bağlanarak, ocağın reaktif güç isteminin değişken kısmı karşılanabilir; reaktif güç isteminin değişmeyen kısmının karşılanması için aynı baraya sabit bir kompansatör bağlanacaktır. Uygun büyüklükteki reaktörlerin kapasitörlerle seri bağlanmasıyla harmonizasyon problemi çözülmekte ve sistemin harmoniklerinin süzülmesi sağlanabilmektedir.

f) Sabit kapasitörler-Tristör denetimli reaktör: Ark ocaklarına en uygun sistemlerden biri olup ateşleme açılarının değiştirilmesi le reaktif gücün sürekli denetimi mümkündür. Yatırım maliyeti yüksektir. Sisteme harmonik üretirler. Harmonik etkilerinin yok edilebilmesi için filtre düzenlerine gereksinim vardır. Ark ocaklarından kaynaklanan problemleri en alt düzeye indirebildiklerinden mevcut çözümlerin en uygunlarından biri olduğu söylenebilir. Şekil 8-1 de sabit kapasitör -tristör anahtarlamalı kapasitör ile ark ocağının ko panzasyonu görülmektedir.



Şekil.8-1

### 8.1.3-) ARK OCAKLARININ OLUŞTURDUKLARI HARMONİKLER-REZONANS OLAYLARI VE ALINACAK ÖNLEMLER:

1°. Ark fırını trafolarının primerlerinin paralel çalışması durumunda hızlı açıp kapama yada vakum güç açıcılarının açma olaylarında meydana gelen tekrar kapama olayları sonucu, çok yüksek frekanslarda 10kHz- 1 MHz değişik rezonans olayları meydana gelmektedir. bunun sonucunda nominal gerilimlerin 10-15 katına çıkan aşırı gerilimler oluşmaktadır. Bu ise yalıtkanlığın özellikle trafolarında delirmesine ve trafonun çalışamaz hale gelmesine neden olmaktadır. Bu olaylara meydan vermemek için ark fırını trafolarının girişine yüksek frekansları süzen R-L-C filtresi kullanmalıyız.

2°. Ark fırını trafolarının güçlerinin büyümesi ve endüktif reaktif güçlerinin de düşük güç faktörü nedeni ile artması, kompanzasyon için gereken kapasitenin değerini arttırmıştır. Bunun sonucunda şebekede rezonans frekansı da küçük değerlere düşmektedir.

3°. Bu gün güçlü trafolar, kristalleri yönlendirilmiş trafo saçları kullanılarak imal edilmektedir. Bu trafolar yaklaşık 2 Tesla-20 000 gausta doyma bölgesinde çalışmaktadır. Gerilimin küçük bir değerde de olsa artması, mıknatıslama akımının büyük değerler almasına neden olur. Bu da nominal gerilimle çalışmada tek harmoniklerin oluşmasına ve devreye girmede çift harmoniklerin oluşmasına neden olur.

4°. Şebeke rezonans frekansının, ark fırınının sürekli çalışması halinde akımın frekansına eşit olması aşırı akım yada gerilim rölelerinin çalışmasına yol açar.

5°. Fırın devreden çıktığı zaman, kompanzasyon kapasiteleri şebeke endüktansı ve ara trafolarının mıknatıslanma akımı harmonik frekansları ile seri rezonans meydana getirebilir.

6°. Ark fırını trafosu yada bunun yakınındaki diğer trafo devreye alındığında mıknatıslama akımının harmonikleri, kapasiteler ve şebeke endüktansları ile rezonans meydana getirebilir.

7°. Ark fırınları dengesiz, değişken ve güç faktörü çok düşük bir yük oluştururlar. Eğer şebekenin kısa devre gücü, nominal fırın gücünün (80-100) katı büyük değilse, gerilim değişmelerinin ve fliker olayının oluşması söz konusudur. Kısa devre gücü küçük olan elektrik şebekelerinde, mümkünse, enterkonnekte sistemden ayrı bir şebeke ile sistemin beslenmesi düşünülebilir. Böylece diğer alıcılar yukarıda anılan olumsuz etkileri görmezler.

8°. Dengesiz yük enerji üreten generatörlerde ek kayıplar meydana getirir.

Ark ocaklarında oluşan bu olaylara karşı şu önlemler alınmalıdır.

Her alıcı güç faktörünü kompanse etmelidir.

Ark fırınları güç faktörünü 0,95-1'e çıkarmalı, Fliker olayını kompanse etmeli, dengesiz yükü dengeleyerek harmonikleri süzecek kompanzasyon düzenlerini kurmalıdırlar. Sistemin kısa devre açma gücünü çok büyük değerlere çıkarmaya çalışmamalıdır. Sistemin gerilimini sabit veya belirli toleranslar içinde tutacak kompanzasyon düzenleri kurulmalıdır.

## 8.2) ENDÜKSİYON OCAKLARINDA KOMPANZASYON:

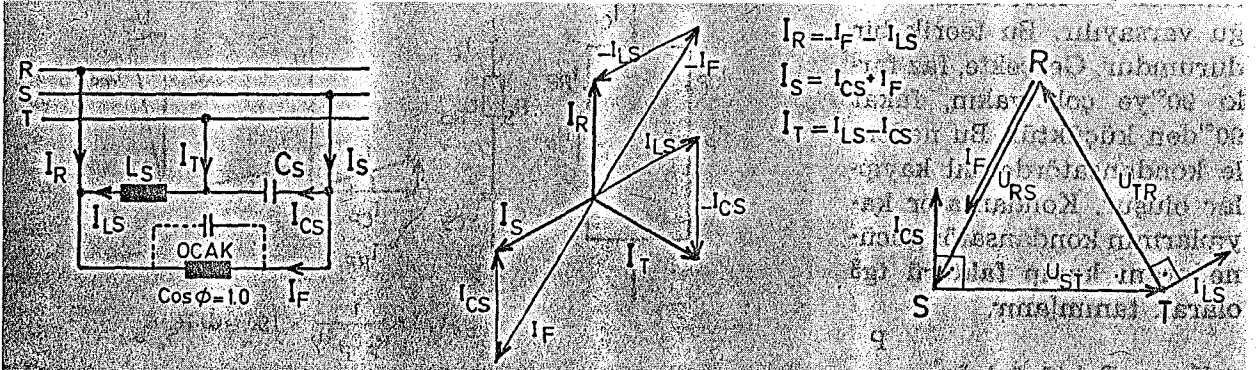
Endüksiyon ocakları yapıları gereği çok düşük güç faktörleri ile çalışan tüketicilerdir. Güç faktörleri 0,1-0,3 dolaylarındadır. Kompense edilmedikleri takdirde çalışabilmeleri olanaksızdır.

Örneğin, teknik karakteristikleri 450KW, 50HZ, 600V. olan bir endüksiyon ocağının güç faktörü 0,2 kabul edilecek olursa kompanzasyonuz durumda, sistemden çekilen akım 3750 Amperdir. Oysa güç faktörü 1'e çıkarıldığında, kaynaktan 750 Amper çekilmesi yeterli olur. Bu durumda şebekeden 750 Amper çekilmesine rağmen, ocak devresinde 3750 Amper akmaktadır, ve akımın reaktif bileşeni 2200KVAR gücünde ki kondansatörler tarafından sağlanmaktadır. Tam kompanse edilmiş endüksiyon ocağı besleme kaynağına göre omik yüküdür.

Dengesiz yükler, transformatörlerde anormal çalışmalara, aşırı ısınmalara ve ek kayıplara neden olur, gerilim dengesi bozulur. Şebeke besleme transformatörünün üç fazlı simetrik yük ile yüklenebilmesi için, şebeke frekanslı endüksiyon ocaklarında özel bir simetrimleme bağlaması kullanılır. Bu bağlamada da kondansatör ve bobinlerden yararlanılarak şekil 8-2 deki gibidir. Sistemin simetrik olabilmesi için endüksiyon ocağı güç faktörü(1) olmalı ve fırın aktif gücü ile simetrimleme bobini ve simetrimleme kondansatörünün gücü arasında ;

$$P_F = \sqrt{3} Q_{CS} - \sqrt{3} Q_{LS}$$

sağlanmalıdır. Endüksiyon ocakları her zaman sabit yüklerle yüklenmediklerinden, gerek kompanzasyon, gerekse simetrimleme kondansatörleri kademeli yapılırlar ve gereği kadarı otomatik devreye girer. Düşük kademelerde simetrimleme bobinine, simetrimleme kondansatörlerinden bir kısmı paralel bağlanarak bobin gücü ayarlanır. Endüksiyon ocaklarının da güç kondansatörleri kompanzasyon ve simetrimlemenin dışında, harmonik filtre ve gerilim ayar düzenlerinde de kullanılırlar. Şekil. 8-2



### 8.2.1-) ENDÜKSİYON OCAKLARININ SINIFLANDIRILMASI:

#### Frekansa göre:

- a) ŞEBEKE FREKANSI: 50-60 Hz.
- b) ORTA FREKANS: 150-450 Hz.
- c) YÜKSEK FREKANS: 450Hz'den yukarı

#### Soğutma şekline göre:

- a) CEBRİ SOĞUMALI:
  - 1° Cebri su soğumalı
  - 2° Cebri hava soğumalı
- b) KENDİ KENDİNE SOĞUMALI:
  - Gerilimine göre,
  - 1° Alçak gerilim  $\leq$  660V.
  - 2° Orta gerilim  $>$  660V.

Şebeke frekanslı endüksiyon ocaklarının kullanımı yaygındır. Bunlarda kullanılan kondansatörler çoğunlukla kendi kendine soğumalı olup, su ile soğutmalı olanları da vardır.

### 8.3) TRİSTÖRLÜ SİSTEMLERİN KOMPANZASYONU:

Endüstriyel uygulamalarda kesikli çalışan cihazlar ve doğrusal olmayan yükler güç sistemine harmonik gönderirler. Büyük güçlerde çalışabilecek tristörlerin geliştirilmesi ile harmonik akımlarının nereden karşılanacağı sorunu ve sistem üzerindeki olumsuz etkileri konusu üzerine ciddiyele eğinilmesini kaçınılmaz hale getirmiştir.

Üç fazlı tristörlü bir köprü ile sürülen bir yükte 5,7,11 ve 13 üncü harmonikler üzerinde durulmaya değer büyüklükte olacaklardır. Oluşan harmonikler ya güç sistemi tarafından yutulacaklardır, yada yük barasında filtre edileceklerdir. Bu tür yükün oluşturacağı harmoniklerin sisteme etkisi aşağıda tanımlanacak kısa devre oranıyla belirlenir. Eğer kısa devre oranı 20 veya üstünde olursa harmonik problemi çoğunlukla yoktur.

Kısa devre MVA

$KDO = \frac{\text{Kısa devre MVA}}{\text{Çevirgeç MW}}$

Çevirgeç MW

Güç elektroniğinin sürekli gelişmesi konvertörle beslenen yüklerin sayısını devamlı arttırmaktadır. Böylece kontrol ve kumanda hassasiyeti artmaktadır. Ancak konvertörler üç fazlı sistemlerden, aktif güce ek olarak endüktif reaktif güç ve sinüzoidal olmıyan b. akım çekerler.

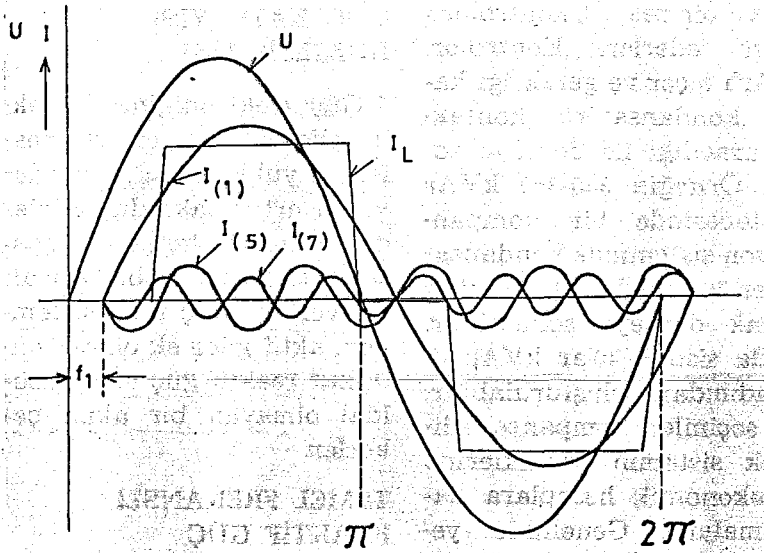
### 8.3.1-) TEMEL FREKANSLI REAKTİF GÜÇ VE HARMONİK AKIMLAR:

Bir konvertörün gerilimi, faz açısı kontrolü kullanılarak süreli değiştirilebilir. Bu kumanda kontrol açısı  $X'$ 'in büyümesine paralel olarak konvertör akımlarının daha fazla büyümesine neden olur. Böylece konvertör bir reaktif gücün oluşmasına neden olur. Buna konvertör akımlarının son yükselmesinden doğan ve aynı zamanda kontrol edilemeyen konvertör tarafından emilen reaktif güç eklenir.

Sonuç olarak bir  $U$  açısı boyunca bir konvertör aşağıdaki temel frekanslı reaktif gücü oluşturur.

$$Q(\omega) = P(\omega) \tan \left( \alpha + \frac{U}{2} \right)$$

Köşeli konvertör akımı sinüzoidal değildir. Temel frekans ve harmonik serileri yardımıyla sinüzoidal bileşenlere ayrılabilir. Şekil 8-3 te görülmektedir.



şekil.8-3

Bir üç fazlı köprü bağlantısı temel frekansın katları şeklinde harmonikler üretir.

$$V = 6k + 1 \quad (k = 1, 2, 3, \dots)$$

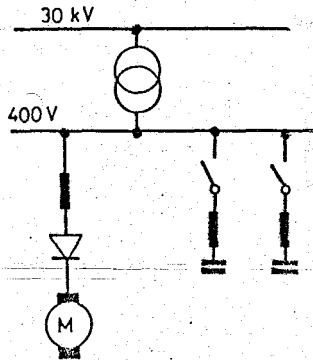


Harmonik akımlarının genlikleri; temel frekansın, bunun katı ola sayıların, bağlantı kollarındaki reaktansların, doğru akımının düzgünlüğünün ve kontrol açısının fonksiyonları olarak değişir. 5'inci harmonik temel akımın % 25i, 7'inci harmonik % 13 ü, 11'ci harmonik % 9 u ,13'cü harmonik temel akımın % 7si gibi...

Eğer doğru akım yeterince düzgün elde edilmediyse (5)inci harmonik daha yüksek bir genliğe sahip olabilir. Daha yüksek harmonikler genelde daha önemsizdir. Harmonik akımlar sistem geriliminin düzgünlüğünü bozar, kayıplara neden olur, aynı zamanda rezonans etkileri doğabilir. Konvertör içeren sistemin güç kat sayısının düzeltilmesinde güç kondansatörleri kullanımı dikkat isteyen konudur. Zira kondansatörler ve kompanse edilen sistemin reaktansı, beraber rezonans devresi oluştururlar. Bu devre içindeki kondansatörlerin oranına bağlı olarak, bireysel harmonik akımlar önemli ölçüde genlik kazanabilirler.

### 8.3.2-) TEMEL FREKANS GÜÇ KOMPANZASYONU VE HARMONİK FİLTRELERİ:

Konvertör içeren sistemin reaktif güç kompanzasyonu için kondansatörlere seri reaktörler bağlamak bir çözümdür. Seri rezonans devreleri o şekilde oluşturulmalıdır ki, bunlar 5.ci harmoniğin altında ve 200-220 Hz civarında titreşsin. Böylece rezonans noktası gelişemez ve güç katsayısının düzeltilmesi kolaylığına erişilir. Bu çözüm bütün harmonik akımları için geçerlidir. Şekil 8-4



Şekil.8-4

Filtre devreleride rezonans devreleridir. Konvertör akımının bireysel harmoniklerine ayarlanmışlardır. Yani bunlar, bu frekanslarla çok küçük bir empedans oluştururlar. Böylece harmonik akımlar geniş anlamda filtre devreleri tarafından emilirler, ve temel sistemdeki etkileri önlenmiş olur. Bunların temel frekansa ilişkin kapasitif etkileri, yalnızca reaktif gücü azaltmakla kalmaz aynı zamanda temel frekans reaktif gücüne kompanse edici olarak katılır.

## S O N U Ç

Günümüzde modern teknolojinin endüstriye uygulanmasıyla elektrik şebekelerine bağlanan yüklerin değişken değerlerde büyük reaktif güç aldıkları, bunların dengesiz oldukları bilinmektedir. Büyük reaktif güçler düşük güç faktörlerinin oluşmasına neden olurlar. Sonuç olarak gerilim değişmesine ve şebeke dengesizliklerine yol açarlar.

Bir şebekenin gerilimi, şebekenin gücü çok büyük yada iç empedansı sıfır olduğu için sabit olsa bile, güç faktörü kompanzasyonu ve yükün dengeli yapılması söz konusudur. Alternatif akım güç sisteminin özellik ölçütlerini iyileştirmek için reaktif güç kontrol edilmelidir. Bu işlemden yüklerin şebekeye bağlı olduğu noktada yapılmalıdır. Gerilim değişimleri elektrikli alıcıları etkiler ve gerilim değişmelerine neden olan yükün optimum çalışma koşullarını bozar. Gerilim değişimleri çok büyük ise alıcıların çalışmama durumu da meydana gelir. Ark fırınlarının aldıkları reaktif güçler 2 H ile 10Hzlik, değişimler göstermektedirler. İnsan gözü bu frekans değişimleri ve %0,25-%0,4 lik gerilim değişmelerini algılayabildiğinden fliker olayı denen bu durum kompanzasyon düzenince giderilir.

Reaktif güç üretimi için iki işletme aracı kullanılabilir. Dinamik faz kaydırıcı olarak aşırı uyarılmış senkron makineler kullanılır. Bu makina, şebekeden boşta çalışma kayıplarını karşılayacak kadar az aktif güç çeker. Şebekeye reaktif güç verir. Senkron faz kaydırıcıların kayıpları kondansatörlere göre yüksek olduğu gibi bunların devamlı bir bakıma ihtiyaçları vardır. Ancak güçleri çok büyük ise ekonomik olurlar. Ayrıca, bu tip üreticiler, bir tüketim merkezinin civarına yerleştirildiğinden, yalnız generatörler ve yüksek gerilim enerji iletim hatları ile buna ait trafolar reaktif güçleri kurtuldukları halde tüketim merkezine ait orta ile alçak gerilim şebekesi reaktif güç iletmek zorundadır. Reaktif güç üretiminde statik faz kaydırıcı adı verilen kondansatörlerin kayıpları çok düşük olup bakım masrafları da çok azdır. Kondansatörlerle istenen her güçte bir reaktif güç kaynağı oluşturulabildiği gibi bunları tüketicilerin yanlarına götürüp uçlarına bağlamak mümkündür. Böylece orta ve alçak gerilim şebekelerini de reaktif yükün etkisinden kurtarabiliriz. Bu nedenle kondansatörler kompanzasyon için en uygun araçtır. Ayrıca, kompanzasyon tesisinin maliyeti bir yılda ödenecek reaktif enerji ücretinden azdır. İkinci yıldan itibaren tesisi amorti edeceğinden kompanzasyon tesisleri yapmak daha optimum çözümdür.

## KAYNAKLAR

1. İkizli, Osman - ELEKTROTEKNİĞİN ESASLARI II  
Ari kitabevi İstanbul 1971
2. Edminister, Joseph A.- ELECTRIC CIRCUITS  
Shaum's Outline Series, McGraw-Hill Book Company  
New York 1965
3. Fawraud, J.-Sogukpınar, Kamil- REAKTİF GÜCÜN ÜRETİLMESİ  
TEK İletim Şebeke İşletmeleri Dairesi Başkanlığı  
Sistem Araştırma Kontrol Müdürlüğü
4. Henriot, Pierre- Tarkan, Nesrin- ELEKTRİK İLETİM ŞEBEKELERİNİN  
İŞLEMESİ VE KORUNMASI  
İTÜ Elektrik Fakültesi, Teknik Üniversite Matbaa  
1975
5. Sarıoğlu, M. Kemal- YÜK KOMPANZASYONU VE GERİLİM KOMPANZASYONU  
İTÜ Elektrik Fakültesi  
TEK İletim Şebeke İşletmeleri Dairesi Başkanlığı  
Sistem Araştırma Kontrol Müdürlüğü
6. Bayram, Mustafa- GÜÇ KATSAYISININ DÜZELTİLMESİ VE GÜÇ KONDANSA-  
TÖRLERİ  
İTÜ Elektrik Fakültesi  
Elektroteknik Mecmuası Mart 1977 Sayı:3
7. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi-  
REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU SEMİNER NOTLARI  
3.6.1983
8. Ünal- Hasan - ELEKTROTEKNİĞE GİRİŞ I (Elektrostatik)  
İTÜ Elektrik Fakültesi  
Teknik Üniversite Matbaası 1979
9. Akhunlar, Ahmet- TEORİK ELEKTRO TEKNİĞE GİRİŞ  
İTÜ Elektrik Fakültesi  
Teknik Üniversite Matbaası 1964
10. Kondaş Yayınları - Gebze / İSTANBUL
11. Timpako A.Ş yayınları- KAYNAK Elektroteknik Araç Gereç sanayii  
dergileri  
Sayı:6 Kasım 1981  
Sayı:17 Mayıs 1983  
İSTANBUL
12. Brehler, Robert.  
Kleinsorge, Norbet- STATIC COMPENSATORS-  
VAR-Control Using Thyristors  
Siemens, West Germany.  
30TH ANNUAL POWER DISTRIBUTION CONFERENCE  
Department of Electrical Engineering  
The University of Texas at Austin  
October 24-26 , 1977

EK: I

## KONDANSATÖRLERİN SOĞUTULMASI

Kondansatör akımının gerilimden  $90^\circ$  ileri olduğu kabul edilir. Bu teorik varsayımdır. Gerçekte, faz farkı  $90^\circ$  ye çok yakın, fakat  $90^\circ$  den küçüktür. Bu nedenle kondansatörde ısı kayıpları oluşur. Kondansatör kayıplarının kondansatör gücüne oranı kayıp faktörü  $\text{tg } \delta$  olarak tanımlanmıştır.

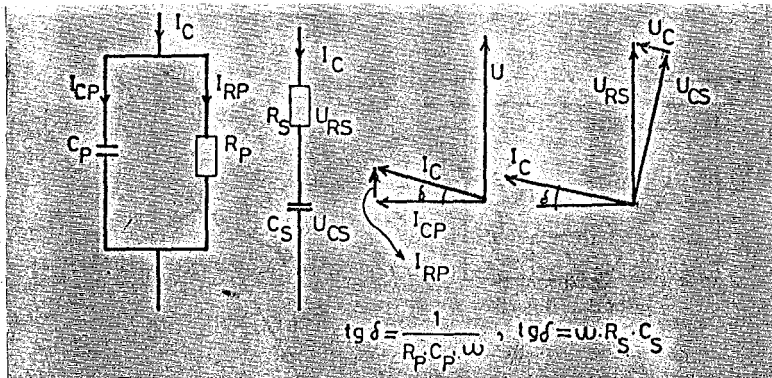
$$\text{Kayıp faktörü } \text{tg } \delta = \frac{P}{Q_c}$$

Kondansatör kayıpları, dielektrik malzeme, elektrot, iletken cinsi ve nitelikleri, uygulanan gerilimin saflığı ve frekans ile değişir. Kondansatör gücü frekansla orantılıdır.

$$Q_c = 2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot U_c^2$$

Frekans arttıkça kondansatör kayıpları, dolayısıyla kayıp faktörde artar. Soğutma zorlaşır. Çünkü artan kayıp faktörüyle birlikte joule kayıpları artar. Kondansatör kayıplarının nedeni, iletkenlik ve korona kayıplarından başka dipol ve dielektrik histeresiz kayıplarıdır. İletkenlik kaybı, iletkenlerin öz ve temas dirençleri ile dielektriğin dirençlerinden oluşur. Dipol kaybı ise dielektrik madde içersindeki dipollerin elektrik alanı doğrultusuna yönelmeleri sırasında moleküllerin birbirlerine sürtmelerinden ileri gelir. Bu kayıp büyük ölçüde, maddenin dielektrik sabitine ve gerilimin frekansına bağlıdır. Dielektrik histeresiz kaybı ise, katı yalıtkan maddenin, dielektrik sabitleri ve iletkenlikleri farklı olan parçacıklardan oluşmasından kaynaklanır.

Dielektrik madde yalnız iletkenlik kaybı göz önüne alınarak, ya paralel bağlı  $C_p$  kapasitesi ve  $R_p$  direnci ile veya seri bağlı  $C_s$  kapasitesi ve  $R_s$  direnci ile gösterilir. Şekil 1. de görülmektedir,



Şekil 1.1

Paralel eşdeğer devre için:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_R}{I_C}$$

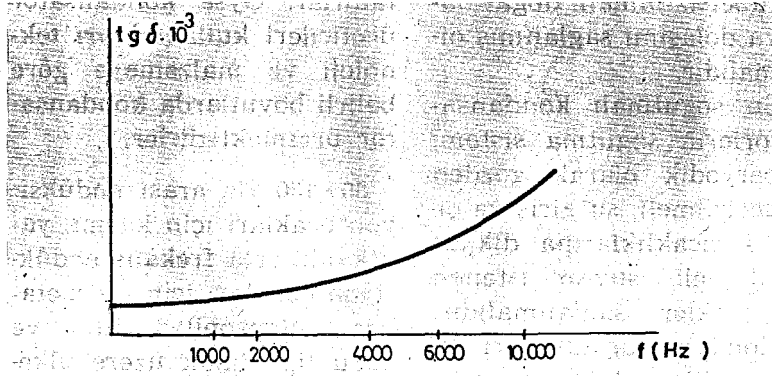
$$I_C = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot U$$

$$P = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_p \cdot U^2 \cdot \operatorname{tg} \delta$$

$d$  = elektrotlar arası açıklık olmak üzere

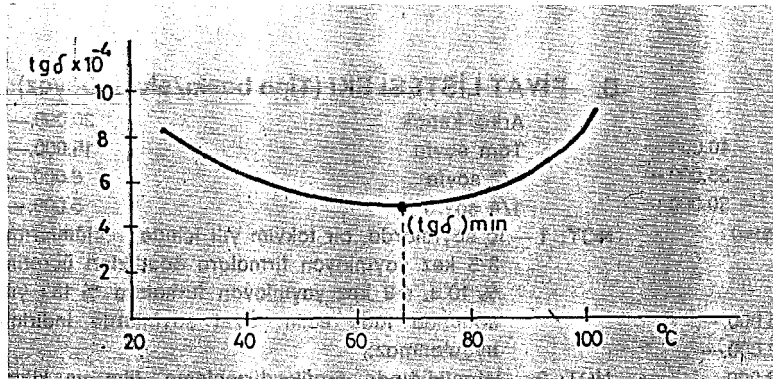
$$P = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot \frac{U^2}{d} \quad (\text{w/cm}^3) \text{ özgül güç kaybıdır.}$$

Dielektrik maddenin histeresiz kaybı ve kondansatörlerde kullanılan iletkenlerin ve elektrotların kayıba deri olayı nedeniyle frekans ile artar.  $\operatorname{tg} \delta$  nın frekans ile değişimi şekil 2 de dir.



şekil.2

Belirlenen sıcaklık derecesinin üstünde ısınan bir kondansatör de kayıplar ve ısınma artar, kondansatörün termik stabilitesi bozulur. Bu kondansatörün kendi kendini tahribine yol açar. Şekil 3 te görüldüğü gibi kayıp faktörü belli bir sıcaklık için minimumdur. Kondansatörün ortam üstü ısınması bu sıcaklığı aşmamalıdır. Kondansatörün termik stabilitesi, soğuma yüzeylerine, dolayısıyla hacmine de bağlıdır.



şekil.3