

T . C

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

Y Ü K S E K L İ S A N S T E Z İ

E L E K T R İ K T E S İ S L E R İ N D E R E A K T İ F
G Ü Ç K O M P A N Z A S Y O N U

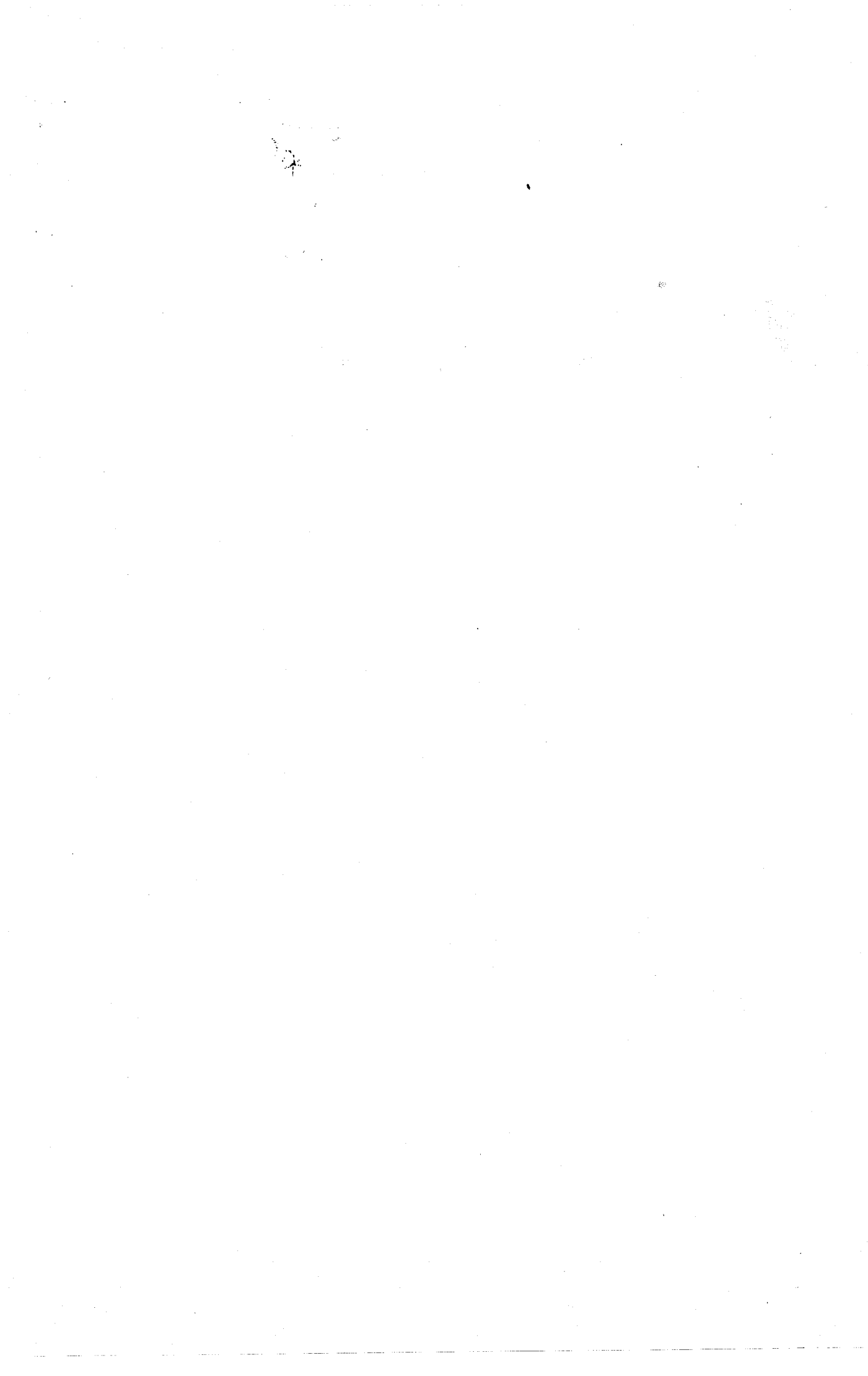
Tez Yöneticisi:

Doç. Dr. Nesrin TARKAN

Tezi Hazırlayan:

Osman SOYDAL

İstanbul - 1986



İ Ç İ N D E K İ L E R

Sayfa

ADAY

I

TEŞEKKÜR

II

KULLANILAN SEMBOLLER

III-IV-V

GİRİŞ

1

BÖLÜM-1 TEMEL KAVRAMLAR

- 1.1 Alternatif akım devrelerinde güç 3
- 1.1.1 Alternatif akım devrelerinde aktif güç 8
- 1.1.2 Alternatif akım devrelerinde reaktif güç 9
- 1.2 Enerji iletim şebekelerinde gerilim düşümü ve reaktif güç.
- 1.2.1 Enerji iletim şebekelerinde parametreler 11
- 1.2.2 Enerji iletim şebekelerinin sınıflandırılması 12
- 1.2.3 Enerji iletim şebekelerinde, reaktif gücün gerilim düşümüne etkileri 14
- 1.2.4 Reaktif güç ile gerilim ayarı 18
- 1.2.5 Parametrelerin iletim şebekelerine etkisinin örneklerle incelenmesi 21

BÖLÜM-2 ELEKTRİK ENERJİSİ EKONOMİSİ

- 2.1 Memleketimizde uygulanan enerji ekonomisi yöntemleri 25
- 2.2 Elektrik ekonomisi yönünden, reaktif gücün önemi 25
- 2.3 Enerji ekonomisi yönünden yaz saati uygulaması 26
- 2.4 Enerji ekonomisi yönünden puant zamanlarında yüksek tarifeli ücret uygulamak 26
- 2.5 Reaktif güç sarfiyatı ve kompanzasyon 26

BÖLÜM-3 REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU

- 3.1 Kompanzasyonu gerektiren yükler 28
- 3.2 Yük kompanzasyonu 28
- 3.2.1 Gerilim kontrolü 29
- 3.2.2 Güç faktörü kontrolü 30
- 3.2.3 Yük kompanzasyon sisteminin amaçları 30
- 3.2.4 Yükün dengelenmesi 32
- 3.2.5 Yük kompanzasyonunun matematiksel olarak incelenmesi 32

BÖLÜM-4 ALICILARDA YAPILAN KOMPANZASYONUN YARARLARI

- 4.1 Şebekedeki yararları 42
- 4.1.1 Şebeke güç kapasitesinin artırılması 42
- 4.1.2 Şebeke ısı kaybının azalması 43
- 4.1.3 Gerilim düşümünün azalması 44
- 4.2 Tüketiciye yararları 46
- 4.3 Sanayi motorlarında güç katsayısının ve verimin düşme nedenleri 49

BÖLÜM-5 REAKTİF GÜÇ ÜRETİMİ

- 5.1 Dinamik faz kaydırıcılar 50

5.1.1	Senkron motorların çalışma prensibi, yol verme sistemleri ve kullanıldığı yerler	51
5.1.2	Yükün değişmesinin senkron makinaya etkisi	52
5.1.3	Uyarma akımı değişmesinin senkron makinaya etkileri	55
5.1.4	Senkron makinalarla güç katsayısının düzeltilmesi	57
5.1.4.1	Senkron kompanzatorlarla yapılan kompanzasyonun örneklerle incelenmesi	59
5.1.4.2	Senkron makinaların dinamik faz kaydırıcı (senkron kompanzator) olarak kullanılmasının uygulamadaki yeri ...	62
5.2	Statik faz kaydırıcılar	63
5.2.1	Kondansatörlerin fiziki yapıları	63
5.2.1.1	Kondansatörlerin yapılışı	64
5.3	Kondansatörlerin gücü ve akımı	65
BÖLÜM-6	REAKTİF GÜÇ İHTİYACININ TESBİTİ	
6.1	Projesi yapılan bir tesisin, reaktif güç kompanzasyonu için gerekli kondansatör gücü hesabı	69
6.2	İşletmede olan tesislerdeki ölçü aletlerinin çeşitlerine göre, reaktif güç hesap yöntemleri	69
BÖLÜM-7	KOMPANZASYON TESİSLERİNİN ÇEŞİTLERİ	
7.1	Kompanzasyon tesislerinin düzenlenmesi	71
7.2	Tek tek kompanzasyon	72
7.2.1	Motorların tek tek kompanzasyonu	72
7.2.2	Kompanze edilen motorların korunması	73
7.2.3	Transformatörlerin tek tek kompanzasyonu	74
7.3	Gurup kompanzasyonu	75
7.4	Merkezi kompanzasyon	76
7.4.1	Reaktif güç rolelerinin bölümleri	77
7.4.2	Reaktif güç rolelerinin ayarları	80
7.4.3	Reaktif güç rolesinin bağlantısı ve kademe seçimi	80
7.4.4	Merkezi kompanzasyonda planlama	84
BÖLÜM-8	KOMPANZASYON TESİSLERİNİN PLANLANMASI	
8.1	Orta ve yüksek gerilimde kompanzasyon	86
8.1.1	Orta ve yüksek gerilimde kapasitör bağlantıları	87
8.1.2	Bankların korunması	88
8.2	Alçak gerilimde kompanzasyon	89
8.2.1	Alçak gerilim kompanzasyon tesislerinde koruma	91
BÖLÜM-9	REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONUNDA MODERN YÖNTEMLER	
9.1	Reaktörlerin ve kondansatörlerin tiristörler tarafından kontrol edilmesi	92
9.2	Alışlagelmiş ve modern reaktif güç kompanzasyon sistemlerinin karşılaştırılması	94
9.3	Tiristörlü statik var kompanzatorları	95
BÖLÜM-10	KOMPANZASYON TESİSLERİNDE REZONANS OLAYLARI	
10.1	Yüksek harmoniklerin üretilmesi	102
10.2	Yüksek harmoniklerin etkileri	103
10.3	Rezonans olayları	104

10.3.1	Paralel rezonans olayları	104
10.3.2	Seri rezonans olayları	108
10.4	Yüksek harmoniklere karşı alınan önlemler	113
BÖLÜM-11	UYGULAMALAR	
11.1	Ark ocaklarında reaktif güç kompanzasyonu	115
11.1.1	Ark ocaklarının çalışma prensibi	115
11.1.2	Ark ocaklarında reaktif güç ve özellikleri	117
11.1.3	Ark ocaklarında kullanılan kompanzasyon sistemleri	118
11.1.4	Ark ocaklarının oluşturdukları harmonikler, rezonans o- layları ve alınacak önlemler	119
11.2	Alçak gerilim tesislerinde merkezi kompanzasyon	125
11.2.1	Alçak gerilim tesislerinde merkezi kompanzasyon için ge- rekli elemanlar ve özellikleri	125
11.2.2	Kompanzasyon tesislerinde dikkat edilecek önemli teknik konular	128
11.2.3	Uygulaması yapılmış iki ayrı merkezi kompanzasyon proje- si ve malzeme listesi	128
	SONUÇ,.....	134
	YARARLANILAN KAYNAKLAR	137

A D A Y

20 Temmuz 1956 da doğdu. Lise öğrenimini Adana Teknik Lisesinde gören aday, öğrenimini, Haziran 1975 de okul birincisi olarak tamamladı. Bir yıl İskenderun Demir - Çelik fabrikasında çalıştıktan sonra, 1976 da Ankara Yüksek Teknik Öğretmen Okuluna katıldı. (A.Y.T.Ö) Okulunu Haziran - 1980 de Teknik Öğretmen sıfatıyla ve pek iyi derece ile mezun oldu.

Ekim - 1980 de İstanbul - Haydarpaşa Endüstri Meslek Lisesine elektrik bölümü öğretmeni olarak tayin edildi.

Lisede bu görevde bulunurken, Mart - 1984 tarihinde, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde, Elektrik Eğitimi Bölümünde yüksek lisans eğitimine katıldı.

T E Ő E K K Ő R

Bana yŐksek lisans tezi olarak ilgimi çeken, Elektrik Sistemlerinde Reaktif GŐc Kompanzasyonu konusunda çalışma olanağını veren, şimdiye kadar bilgilerinden çok istifade ettiğim ve tez çalışmam sŐresince'de özellikle yardımlarına esirgemeyen, İ.T.Ő. Elektrik FakŐltesi Őđretim Őyesi, Danışmanım, saygı değer Hocam Doç. Dr. Nesrin TARKAN'a özellikle burada en içten saygı ve teřekkŐrlerimi sunmayı bir borç bilirim.

İstanbul - 1986

Osman SOYDAL

KULLANILAN SEMBOLLER

- a.a : Alternatif akım.
- A : Ampermetre.
- a_n : Harmonik geriliminin nominal gerilime oranı.
- A_p : Aktif enerji tüketimi (kWh)
- A_q : Reaktif enerji tüketimi (kVARh)
- B_{SR}^C : Fazlar arası kapasitif süseytans.
- C : Kondansatörün kapasitesi.
- C_{Δ} : Üçgen bağlamada her bir kondansatörün kapasitesi.
- C_Y : Yıldız bağlamada her bir kondansatörün kapasitesi.
- C_p : Aktif sayaç sabitesi (Dönme sayısı/kWh)
- C_q : Reaktif sayaç sabitesi (Dönme sayısı/kVARh)
- $\cos\varphi$: Güç faktörü.
- d.a : Doğru akım.
- d : Kondansatördeki yalıtkan kalınlığı.
- e : Gerilim düşümü yüzdesi.
- E : Endüktansta oluşan zıt e.m.k
- ϵ_0 : Havanın dielektrisite sabitesi.
- ϵ_r : Yalıtkanın rölatif dielektrisitesi.
- E_R : Senkron makinanın bileşke gerilimi.
- g : Kondüktans.
- G_{SR} : S-R Fazları arasındaki kondüktans.
- i : Akımın ani değeri.
- I_m : Akımın maksimum değeri.
- I : Akımın etkin değeri.
- I_c : Kapasitif akım.
- I_{cn} : n. Harmonikte kondansatör akımı.
- I_0 : Boşta çekilen akım.
- I_p : Akımın etkin (Aktif) bileşeni.
- I_q : Akımın tepkin(Reaktif) bileşeni.

- I_e : Boşta çekilen akımın etkin bileşeni.
 I_m : Boşta çekilen akımın tepkin (mıknatıslama akımı) bileşeni.
 I_1 : Kompanzasyondan önceki (Hat başı akımı) çekilen akım.
 I_2 : Kompanzasyondan sonraki (Hat sonu akımı) çekilen akım.
 I_s : Senkron makinanın akımı.
 I_r : Rezonans akımı.
 I_{cr} : Kondansatörün rezonans akımı.
 I_{lr} : Reaktörün rezonans akımı.
 k : Akım transformatörünün çevirme oranı.
 L : Endüktans.
 M : Motor.
 n_p : Aktif sayacın dakikadaki devir sayısı.
 n_q : Reaktif sayacın dakikadaki devir sayısı.
 n : Harmonik sayısı.
 $O-\Delta$: Yıldız üçgen şalter.
 P : Etkin (Aktif) güç.
 P_s : Senkron makinanın etkin gücü.
 P_z : Hat üzerinde kabul edilen mutlak kayıp.
 Q : tepkin güç.
 Q_c : Kondansatör gücü.
 Q_{cr} : Kritik kondansatör gücü.
 Q_s : Senkron makinanın tepkin gücü.
 Q_1 : Kompanzasyondan önceki tepkin güç.
 Q_2 : Kompanzasyondan sonraki tepkin güç.
 Q_L : Reaktörün tepkin gücü.
 Q_{Ln} : n. Harmonikteki reaktörün gücü.
 Q_{cn} : n. Harmonikteki kondansatörün gücü.
 Q_m : Maksimum reaktif güç istemi.
 R : Omik direnç.
 R_L : Bobin sargı direnci.
 S : Görünür güç.
 S_k : Tesisin kısa devre gücü.
 S_m : Senkron makina.

- S_t : Transformatörün nominal gücü.
 T : Zaman sabitesi.
 T_{rf} : Transformatör.
 u : Gerilimin ani değeri.
 U_m : Gerilimin maksimum değeri.
 U_n : Nominal gerilim.
 U_k : Transformatörün mutlak kısa devre gerilimi.
 U_{nr} : Rezonansa yol açan n. harmonik gerilimi.
 Δu : Hat üzerindeki boyuna gerilim düşümü.
 $\int u$: Hat üzerindeki enine gerilim düşümü.
 \ddot{u} : Transformatörün dönüştürme oranı.
 V_1 : Hat başı gerilimi. (Faz nötr arası)
 V_2 : Hat sonu gerilimi (" " ")
 Y : Admitans.
 Y_{SR} : S-R Fazları arası admitansı.
 X_c : Kapasitif reaktans.
 X_{cr} : Rezonans frekansındaki kapasitif reaktans.
 X_{cn} : n. Harmonikteki kapasitif reaktans.
 X_L : Endüktif reaktans.
 X_{Lr} : Rezonans frekansındaki endüktif reaktans.
 X_{Ln} : n. Harmonikteki endüktif reaktans.
 $X_{\mathcal{S}n}$: Şebekenin n. harmonikteki endüktif reaktans.
 X_k : Transformatörün kaçak reaktansı
 W : Açısal hız.
 W_0 : Öz frekans.
 W_r : Rezonans frekansı.
 $W_{\mathcal{S}}$: Şebekenin rezonans frekansı.
 z : Mutlak ısı kaybı cinsinden elde edilen kazanç.
 Z : Empedans.
 Z_{SR} : S-R Fazları arasındaki empedans.

G İ R İ Ő

Son yıllarda Dünyamızda ve bilhassa Türkiye'mizde enerji açığının giderek büyük boyutlara ulaştığı bir gerçektir. Günümüzde alternatif akım ile çalışan alıcıların büyük bir çoğunluğu endüktif olup, güç katsayıları 0,85 in çok altındadır. Durum böyle olunca, alıcı aktif gücün yanında; büyük ölçüde reaktif güç çekmekte ve enerji iletim hatlarını, transformatörleri boş yere yüklemekte ve büyük çapta gerilim düşümlerine, güç kaybına sebep olmaktadır. Ayrıca dengesiz yük çeken alıcılar, şebekede dengesizliklere, frekans değişimlerine, filiker olaylarına sebep olmaktadır. Bu enerji açığını kapatmak ve hızla büyüyen sanayinin gereksinimi olan enerjiyi karşılayabilmek için, bir çok çalışmalar yapılmaktadır. Bunlardan ilk akla gelen, yeni enerji merkezleri kurarak, üretimi artırmak olmaktadır. Ancak teknik ve ekonomik sebeplerden dolayı bunun gerçekleşmesi çok zordur. Ve hatta bazen imkansızdır. İşte büyük sıkıntıya düşmeden, mevcut tesislerle ihtiyacı karşılamak için bazı teknik tedbirlere baş vurulur. Bunların en önemlisi Reaktif Güç Kompanzasyonudur.

Bir çok Avrupa ülkeleri, bu reaktif güç kompanzasyonu konusunda bizden çok önce işe başlayarak, teknolojik gelişmeler ışığı altında yenilikler getirmişler ve reaktif güç kompanzasyonunda, ilkel yöntemlerin yerine, modern kompanzasyon sistemlerini geliştirerek uygulamaya koymuşlardır. Bu sayede enerji açığının büyük bir çoğunluğunu kapatmayı başarmışlardır.

Çalışmalarında; reaktif güç kompanzasyonunda kullanılan tanımlar ve iletim şebekelerinde reaktif gücün etkisi, yük kompanzasyonu, dengesiz yüklerin dengelenmesi, alıcıların ve sistemlerin reaktif güç istemleri, senkron kompanzatoryerle güç katsayısının düzeltilmesi, modern yöntemlerle yapılan kompanzasyon sistemleri ve karşılaştırılması, harmonikler ve rezonans olayları gibi konular üzerinde durulmuştur. Tez 11 bölümden oluşmaktadır. Her bölüm uygun tanımlar, ilkeler, teoriler ve şemalarla aydınlatılmakta, örnek

problem çözümleri ile pekiştirilmektedir. Aynı zamanda örnek problemlerle her bölümün konusuna tam bir açıklama getirilmeye çalışılmıştır.

Son bölümde tezin ana konusu olan reaktif güç kompanzasyonu konusundaki uygulamalara değinilmektedir. Uygulamalar bölümünde verilen şemalar ve değerler, uygulaması yapılmış ve halen çalışır durumdaki tesislerde bizzat yaptığım incelemeler verilmiştir.

İstanbul - 1986

Osman SOYDAL

1.

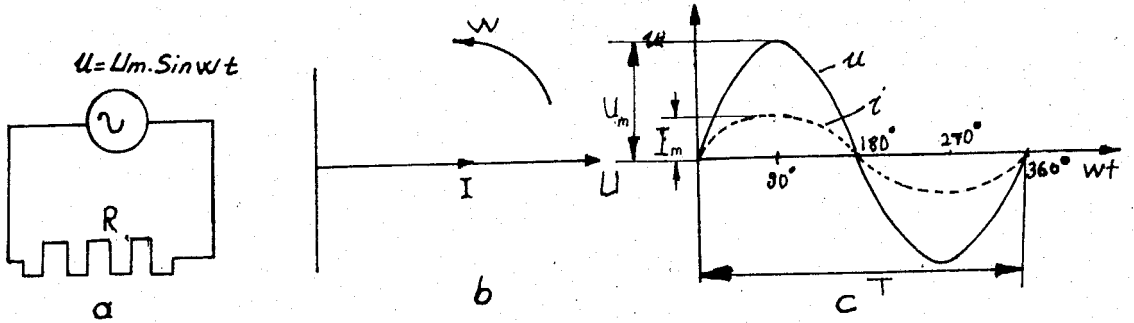
TEMEL KAVRAMLAR

1.1. ALTERNATİF AKIM DEVRELERİNDE GÜÇ "1"

1° - Omik devrede : Akım sinüzoidal olarak değiştiğinden gerilimde sinüzoidal olarak değişir. Akım ve gerilim, her ikisinde aynı fazda ve sinüzoidal

$$u = r \cdot i = r \cdot I_m \cdot \sin \omega t \dots\dots\dots(1.1)$$

olduğu için başlangıç noktaları, yönü ve doğrultuları aynıdır. Şekil.1.1 de akım ve gerilim eğrileri görülmektedir.



Şekil.1.1 A. Akım omik devresine ait : a) Devre şeması b) (Akım - Gerilim) vektör diyagramı c) (Akım - Gerilim) değişim eğrileri

(R) direnci uçlarına $u = U_m \cdot \sin \omega t$ bir alternatif gerilim uygulanırsa devreden geçen akım :

$$i = \frac{U}{R} = \frac{U_m \cdot \sin \omega t}{R} = \frac{U_m}{R} \cdot \sin \omega t \dots\dots\dots(1.2)$$

olur. Akımın maksimum değeri ($I_m = U_m/R$) olduğuna göre, ani değeri :

$$i = I_m \cdot \sin \omega t \dots\dots\dots(1.3)$$

olur. Formülden de anlaşıldığı gibi akımda sinüzoidal olduğu anlaşılır.

Akımın etkin değeri ise :

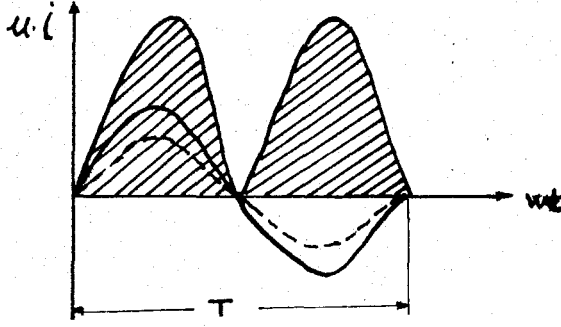
$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{U_m}{R \cdot \sqrt{2}} = \frac{1}{R} \cdot \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{U}{R} \dots\dots\dots(1.4)$$

" " İçindeki sayılar çalışmanın sonunda verilen kaynak numaralarını gösterir.

Devrenin gücü periyodik olarak değişen bir büyüklük olduğundan değeri :

$$p = u.i = (U_m \cdot \sin \omega t) \cdot (I_m \cdot \sin \omega t) = \frac{U_m \cdot I_m}{2} (1 - \cos^2 \omega t) \dots (1.5)$$

olur. Ani güç ise her zaman pozitif kalır ve a.a' mın bir periyodu süresinde tam iki değişim yapar (Şekil. 1.2). Dirençten geçen a.a' mın ortalaması



Şekil. 1.2 Omik devrede akım, gerilim ve güç eğrileri

Ortalama güç : gerilim ve akım genliklerinin çarpımına eşittir. Buna göre güç ifadesi :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u.i \cdot dt = \frac{U_m \cdot I_m}{2} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_m}{\sqrt{2}} = U \cdot I \dots \dots \dots (1.6)$$

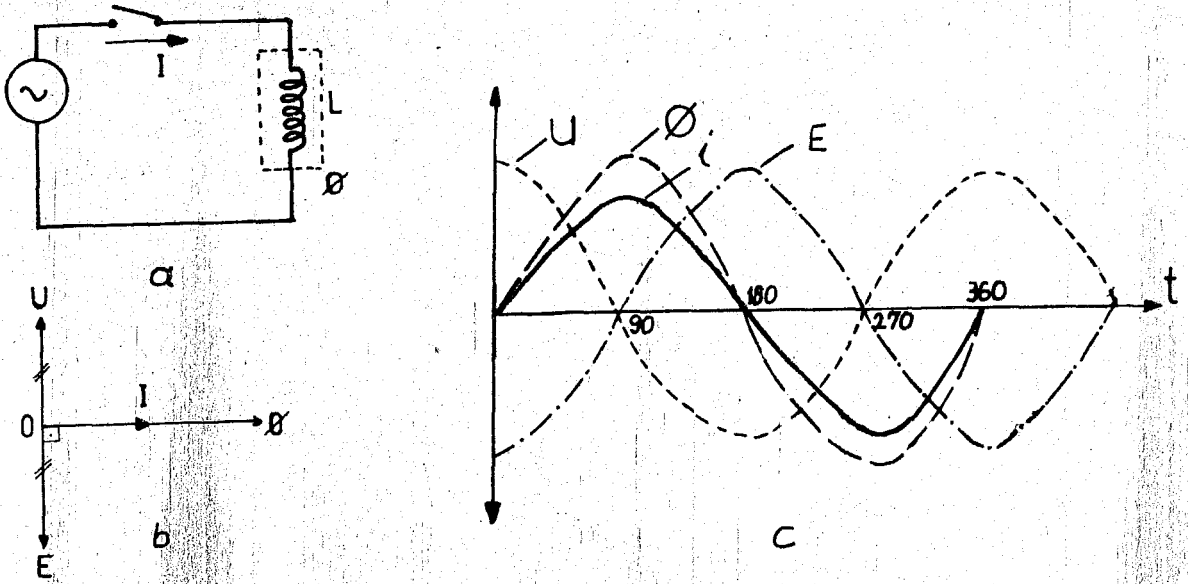
2°- Endüktif devrede. i(t) a.akımının bobinden geçmesi ile bobinde yön ve büyüklük bakımından akımla aynı fazda alternatif bir akı oluşur.

$$\phi = \frac{L}{\omega} \cdot I_m \cdot \sin \omega t = \phi_m \cdot \sin \omega t \dots \dots \dots (1.7)$$

Akım dt süresinde (di) kadar değişmişse manyetik akı bobinde,

$$e_1 = - \frac{d\phi}{dt} = -L \frac{di}{dt} = -\omega L \cdot I_m \cdot \cos \omega t = \omega L \cdot I_m \cdot \sin(\omega \cdot t - \frac{\pi}{2}) \dots (1.8)$$

gibi bir emk oluşturur. Endüklenen bu emk akıma göre (1/4) periyod geridedir. Şekil. 1.3 de endüklenen emk'nin değişim eğrisi gösterilmektedir. Lenz kanununa göre bu emk' nin yönü her an akımın değişmesine mani olacak şekilde olduğuna göre yalnız reaktansı olan bu bobinden i(t) akımının geçebilmesi için bu bobinin uçlarına her an, endüklenen emk'ye eşit ve ters yönde bir gerilim uygulanması gerekir (Şekil. 1.3)



Şekil.1.3. Saf bir endüktif devreye ait a)Devre şeması b)Vektör diyagramı c) Akım, gerilim, manyetik akı ve zıt. e.m.k eğrileri.

Gerilim vektörü akım vektörüne göre (90°) ileridedir. Gerilimin değeri

$$U = \omega L I_m \sin(\omega t + \pi/2) = U_m \cdot \sin(\omega t + \pi/2) \dots \dots \dots (1.10)$$

Sonuç olarak reaktansın uçlarında $u(t)$ gibi sinüsoidal gerilim bulunduğu da akım değişimi de sinüsoidaldir. Yani

$$i = I_m \cdot \sin(\omega t - \pi/2) = U_m / \omega L \cdot \sin(\omega t - \pi/2) \dots \dots \dots (1.11)$$

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

$$I_m = \frac{U_m}{\omega L} = \frac{U_m}{2\pi f L} \dots \dots \dots (1.12)$$

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

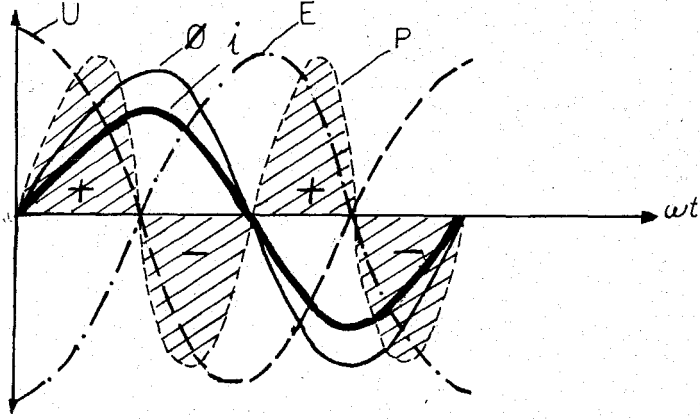
$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{U_m}{\omega L \sqrt{2}} = \frac{U}{\omega L} \dots \dots \dots (1.13)$$

bu bağıntıdan (ωL) büyüklüğüne özendüklemenin tepkin direnci veya özendüklemenin reaktansı denir. (X_L) ile gösterilir. Birimi ohm dur ve sabit bir değer olmayıp a.akımın frekansı ile orantılı değişir. Reaktansdaki a.akımın gücü

$$P = U \cdot i = U_m \cdot \sin \omega t \cdot I_m \cdot \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = \frac{U_m \cdot I_m}{2} \cdot \cos \frac{\pi}{2} - \frac{U_m \cdot I_m}{2} \cdot \cos(2\omega t - \frac{\pi}{2}) \dots (1.14)$$

olur. Periyot sayısı iki kat olan bir sinüsoid ile gösterilir. Şekil.1.4 de görüldüğü gibi enerjinin toplama süresi bobinden geri verilme süresine eşittir. Bobinde kayıp olmadığına göre bobine verilen enerji bobin tarafından geri verilir. Bu şekilde bobinde ortalama gücün sıfır olduğunu görürüz.

$$P = \frac{U_m \cdot I_m}{2} \cdot \cos \frac{\pi}{2} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cdot \cos \frac{\pi}{2} = U \cdot I \cdot \cos 90^\circ = 0 \dots\dots\dots(1.15)$$



Şekil. 1.4 Saf bir endüktif devrede akım, gerilim, manyetik akı, zıt. e.m.k ve güç eğrileri.

3^o Kapasitif devrede. Kapasitesi (C) olan bir kondansatöre u(t) gibi sinüsoidal bir gerilim uygulayalım. Bu durumda uygulanan gerilim ile kondansatörün iç gerilimi ters yönde ve eşittir. (u=-e)

Herhangi bir u(t) gerilimi kondansatör pilakalarına uygulanırsa

$$q = c \cdot U = c \cdot U_m \cdot \sin \omega t \dots\dots\dots(1.16)$$

kadar bir yük oluşur. Sonsuz küçük (dt) zamanında uygulanan gerilim (du) kadar değişmiş ise pilakalardaki elektrik miktarı

$$dq = c \cdot dU = \omega c \cdot U_m \cdot \cos \omega t dt = \omega c \cdot U_m \cdot \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) dt \dots\dots(1.17)$$

kadar değişecektir. Ve bu anda geçen akımın ifadesi

$$i = \frac{dq}{dt} = c \frac{dU}{dt} = \omega c \cdot U_m \cdot \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) = I_m \cdot \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \dots\dots(1.18)$$

şeklinde olacaktır. u, e₀ = -u ve (i) nin zamana göre değişim eğrileri şekil. 1.5 de görülmektedir.

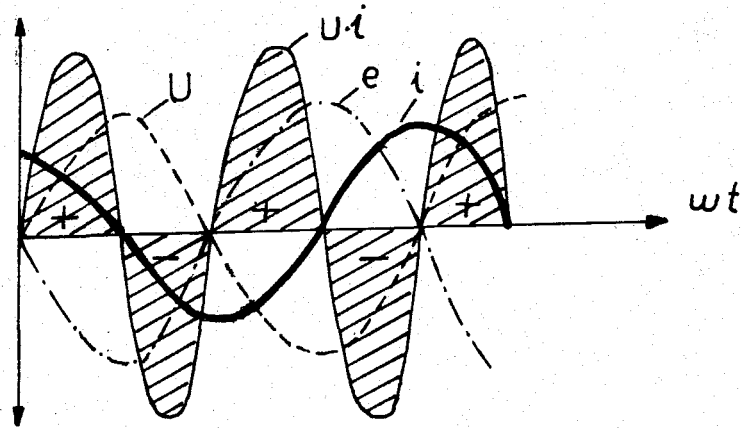
Kondansatörden geçen akım uygulanan gerilim gibi sinüsoidaldir. Ancak akım gerilime göre (90^o) ileridedir. Gerilim maksimum değere ulaştığında (T/4) anında kondansatörün yüklenmesi sona ermiştir ve akım sıfırdır. Bundan sonraki (T/4) periyotta uygulanan gerilim küçülür. Kondansatör boşalır, yani akım negatif olur.

Kondansatörden geçen akımı efektif değer cinsinden yazarsak

$$I = \omega c \cdot U = U / 1/\omega c = \frac{U}{X_c} \dots\dots\dots(1.19)$$

elde edilir. Kondansatörden geçen akım kondansatör kapasitesi ve f frekansla

orantılıdır. Kondansatörün reaktansı ise $1/\omega c = X_c$.. dur. Kondansatör



Şekil. 1.5 Kapasitif bir devrede akım, gerilim ve güç eğrileri

uçlarındaki gerilim $U = Q/c$ dir. Akım ifadesinden kondansatör plakalarına uygulanan gerilimin değeri,

$$U = \int_{i=I_m}^{i=i} \frac{i dt}{c} \dots\dots\dots (1.20)$$

olduğu görülür. Akım (i) iken U' nun bilinmesi için istenen zaman (t) olarak alınırsa kondansatör uçlarındaki gerilim:

$$U = \int_{T/4}^t \frac{i dt}{c} = \int_{t=T/4}^{t=t} \frac{I_m \sin \omega t d(\omega t)}{\omega \cdot c} = -\frac{I_m}{\omega \cdot c} \left[\cos \omega t \right]_{T/4}^t = -\frac{I_m}{\omega \cdot c} \cos \omega t$$

$$= \frac{I_m}{\omega c} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = U_m \cdot \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \dots\dots\dots (1.21)$$

olarak bulunur. Burada kapasite ve frekans ne kadar büyük ise gerekli gerilimin de o kadar küçük ve bu gerilimin akıma nazaran ise 90° geride olduğu görülür.

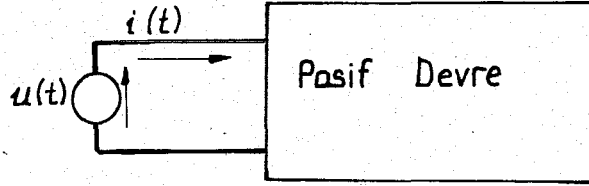
Yalnız kapasiteye sahip olan bir a. akım devresinin ani gücü ise,

$$P = U \cdot i = U_m \cdot \sin \omega t \cdot I_m \cdot \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) = \frac{U_m \cdot I_m}{2} \cos(-\frac{\pi}{2}) - \frac{U_m \cdot I_m}{2} \cos(2\omega t + \frac{\pi}{2}) \dots$$

Bu gücü gösteren eğrinin frekansı Şekil. 1.5 de görüldüğü gibi akımın frekansının iki katı olur ve kondansatörün yüklenip boşalması enerji kaybına sebep olmaz yani ortalama güç sıfır olur.

1.1.1 ALTERNATİF AKIMDA AKTİF GÜÇ

Bir alternatif akım devresinde saf omik direnç varsa burada harcanan gücün tamamı aktif güçtür (1.5). Devreye ait şema Şekil. 1.1 de verilmiştir. Alıcıların büyük bir çoğunluğu omik olmadığından bu durumda aktif gücü incelemek için Şekil. 1.6 daki pasif devreyi inceleyelim : Uygulanan



Şekil. 1.6 Pasif devre

gerilim ($U_m \cdot \sin \omega t = u$) için akım $i = I_m \cdot \sin(\omega t + \varphi)$ dir. Devrenin kapasitif veya endüktif özelliğine göre faz açısı pozitif veya negatiftir. Bu durumda ani güç,

$$P = u \cdot i = U_m \cdot I_m \cdot \sin \omega t \cdot \sin(\omega t + \varphi) \dots \dots \dots (1.23)$$

$$\sin a \cdot \sin b = 1/2 [\cos(a-b) - \cos(a+b)] \quad ; \quad \cos(-a) = \cos a$$

$$\begin{aligned} \sin \omega t \cdot \sin(\omega t + \varphi) &= 1/2 [\cos(\omega t - \omega t - \varphi) - \cos(\omega t + \omega t + \varphi)] \\ &= 1/2 [\cos \varphi - \cos(2\omega t + \varphi)] \end{aligned}$$

$$P = \frac{U_m \cdot I_m}{2} [\cos \varphi - \cos(2\omega t + \varphi)] \dots \dots \dots (1.24)$$

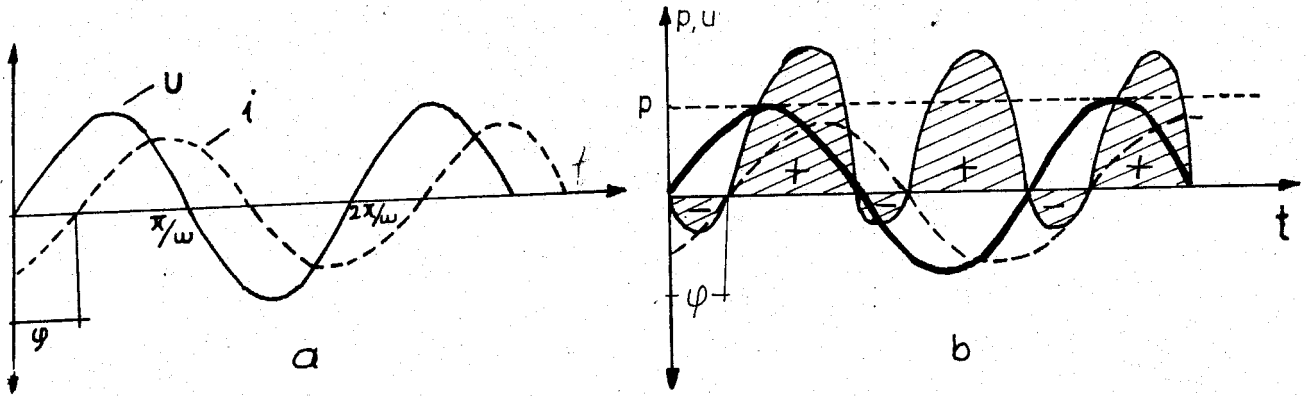
dir. Ani güç değeri (p), ortalama değeri sıfır olan, $-1/2 U_m \cdot I_m \cdot \cos(2\omega t + \varphi)$ terimiyle $1/2 U_m \cdot I_m \cdot \cos \varphi$ sabit terimlerini içerir. Ohalde p 'nin ortalama değeri,

$$P = \frac{1}{2} U_m \cdot I_m \cdot \cos \varphi \dots \dots \dots (1.25)$$

dir. Etkin değerleri $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$, $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ yerine koyarsak,

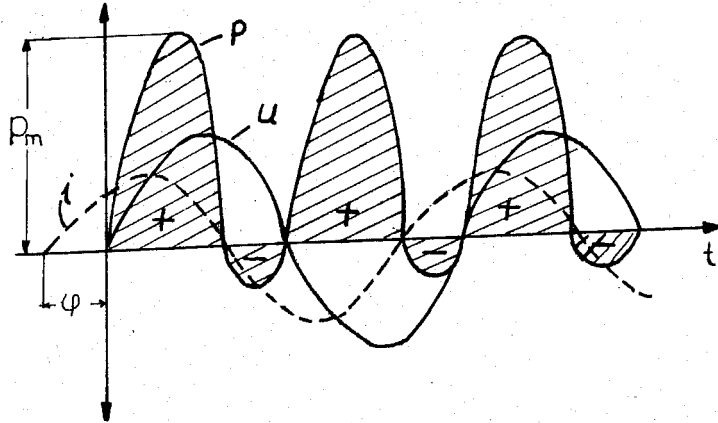
$$P = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cdot \cos \varphi = U \cdot I \cdot \cos \varphi \dots \dots \dots (1.26)$$

Şekil. 1.7 de endüktif bir devrenin akım, gerilim ve güç eğrileri verilmiştir. Bu devrede akım, $i = I_m \sin(\omega t - \varphi)$, gerilim " $u = U_m \sin \omega t$ " ve $p = u \cdot i$ şeklindedir.



Şekil. 1.7 Endüktif devrede a) Akım ve gerilim b) Akım, gerilim ve güç eğrileri

Şekil. 1.8 de kapasitif bir devrenin gerilim, akım ve güç eğrileri verilmiştir. Bu devrede akım $i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$, gerilim $u = U_m \sin \omega t$ güç ise $p = u \cdot i$ şeklinde olur.



Şekil. 1.8 Kapasitif bir devrede akım, gerilim ve güç eğrileri güç eğrileri

1.1.2. ALTERNATİF AKIMDA REAKTİF GÜÇ

Birçok cihazlar (transformatör, motor, balast vb. gibi) oldukça büyük reaktansa sahiptirler. Bu tip cihazlar elektromanyetik enerjiyi depo edip sonra geri verirler. Diğer bir deyişle reaktif güç tüketirler. Şimdi bu reaktif gücün ifade edilmesini inceleyelim.

Bir sinüzoidal gerilim ile beslenen endüktif devreyi ele alalım. Bu

devrede gerilimden (ϕ) açısı kadar geride bir akım geçtiğini düşünelim. Bu

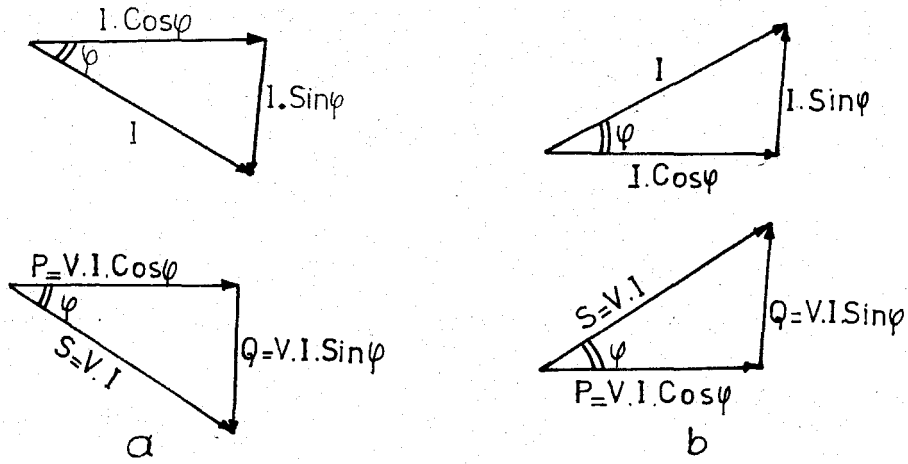
$$i = I_m \sin(\omega t - \phi) = I_m \left[\sin \omega t \cos \phi - \sin \phi \cos \omega t \right] \dots \dots \dots (1.27)$$

| $\sin(a-b) = \sin a \cos b - \sin b \cos a$ | dan

$$i' = I_m \cos \phi \sin \omega t \dots \dots \dots (1.28)$$

$$i'' = - I_m \sin \phi \cos \omega t = I_m \sin \phi \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \dots \dots \dots (1.29)$$

şeklindedir. O haldede (i) akımı, etkin değeri $I \cos \phi$ ve $I \sin \phi$ olan iki akımın toplamı olarak düşünülebilir. Bunlardan $I \cos \phi$ gerilimle aynı fazda diğeri $I \sin \phi$ ise gerilimden (90°) geri fazdadır. Şekil. 1.9.a da endüktif bir devreye sinüzoidal bir gerilim, Şekil. 1.9 b. de ise kapasitif devreye sinüzoidal bir gerilim uyguladığımızda elde edilen vektörler görülmektedir.



Şekil. 1.9 a) Endüktif devrede akımlar ve güçler vektörü b) Kapasitif devrede akımlar ve güçler vektörü.

(P) Aktif gücü, (Q) Reaktif gücü, (S) Görünür gücü temsil eder. Q ve P görünür gücün bileşenleridir.

Reaktif güç vatmetrenin duyabileceği enerji ile ilgili bir güç değildir. (Gerçekten $\phi = \frac{\pi}{2}$ için) Çünkü çekilen reaktif güç tekrar şebekeye verilir. Ve volt amper reaktif (Var) ile ifade edilir.

Manyetik akı ve alanların meydana gelmesini sağlayan $I \sin \phi$ bileşeni uygulanan gerilimden ($\pi/2$) kadar geri fazdadır. Bu bileşen aynı zamanda mıknatıslama akımı adıyla da tanınır. Şekil 1.9 dan P, Q, S, ϕ arasındaki bağıntılar yazılabilir.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots \dots \dots (1.30)$$

Endüktif devrenin direnç ve reaktansı sıra ile (R) ve (L) ile gösterildiğine göre, empedans

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} \dots\dots\dots(1.31)$$

şeklinde olur. Böyle bir devreden sinüzoidal bir akım geçtiğinde bu devrenin çektiği aktif ve reaktif güçler

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi = (Z \cdot I) \cdot (I \cdot \cos \varphi) = Z \cdot I^2 \frac{R}{Z} = R \cdot I^2 \dots\dots\dots(1.32)$$

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi = (Z \cdot I) \cdot (I \cdot \sin \varphi) = Z \cdot I^2 \frac{\omega L}{Z} = I^2 \cdot \omega L \dots\dots\dots(1.33)$$

$R \cdot I^2$ = Joule olayı ile harcanan güç

$L \cdot \omega \cdot I^2$ = Endüktif devrede depo edilen ve elektromanyetik enerjiye teka-bül eden self indüksiyon gücüdür.

(L) endüktans yerine bir (C) kondansatörüne ($-1/\omega C$ kapasitesine) sahip olan eleman bağlarsak, kondansatörün reaktif enerjisi (veya elektrostatik enerji)

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi = (Z \cdot I) \cdot (I \cdot \sin \varphi) = \frac{1}{\omega C} \cdot Z \cdot I^2 = -\frac{I^2}{\omega C} \dots\dots(1.34)$$

şeklindedir.

1.2. ENERJİ İLETİM ŞEBEKELERİNDE GERİLİM DÜŞÜMÜ VE REAKTİF GÜÇ "2"3"

1.2.1. ENERJİ İLETİM ŞEBEKELERİNDE PARAMETRELER

1.) (r) Omik direnç: Hatların uzunluğu, öz direnci ve kesitine bağlı bir özelliktir. Hatların doğru akım ve alternatif akım dirençleri ayrı ayrı de-ğerdedir. Frekans yükseldikçe bu iki direnç arasındaki fark büyür. Bu direnç iletim tesislerinde bir gerilim düşümüne sebep olur. Omik direnç hava hatlarında 0,07 ile 0,20 (ohm/km) arasındadır. Büyük iletim hatlarında bazen ihmal edilebilir.

2.) (L) Endüktans: İçinden akım geçen bir iletkenin çevresinde bir man-yetik alan oluşur. Bu alan bir değişgen alan olduğu zaman iletken üzerinde ters bir e.m.k. oluşturarak iletkenin alternatif akıma karşı olan direncini artırır. Bu etkiye endüktif reaktans diyoruz. Enerji iletim ve dağıtım hatla-rında endüktif reaktans bir gerilim düşümü oluşturur. Ancak güç kaybına se-bep olmaz. $X_L = 2\pi \cdot L$ eşitliğinde (L) hatların endüktansı (Henri) dir.

Havaî hat enerji iletim hatlarında, iletkenlerin birli, ikili, üçlü, dörtlü olarak paralel bağlanmaları durumunda endüktansları değişmektedir. Bu değerler aşağıda verilmiştir.

(.) Bir iletkende 0,39 ile 0,41 (ohm/km)

(..) Aynı faza ait ikili paralel iletken olursa 0,33 ile 0,34 (ohm/km)

(.°.°) Aynı faza ait üçlü paralel iletken olursa 0,29 (ohm/km)

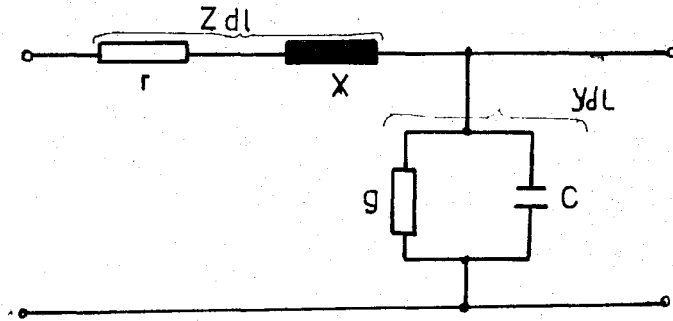
(∴) Aynı faza ait dörtlü paralel iletken olursa 0,24 (ohm/km)

3.°) (C) Kapasitans: Enerji taşıma hatlarını oluşturan iletkenler kendi aralarında kondansatör özelliği gösterdiği gibi iletkenlerle toprak arasında da kondansatör özelliği gösterir.

Admitans cinsinden $Y = j\omega C$ veya $X = \frac{1}{\omega C}$

Kapasite yüksek gerilimli hatlarda bilhassa yeraltı kablolarında oldukça etkili olup hatta boşta çalışan gerilim sistemlerinde aşırı gerilim yükselmeleri olabilir. Kapasite yüksek gerilim hatlarında ve yeraltı kablosu hatlarında oldukça etkili olmaktadır.

4.°) (g) Kondüktans: Hatlar arasında oluşan bir kaçak yani sızıntı akımıdır. Yüksek gerilimli hatlarda ve nemli havalarda kaçak akım daha büyüktür. Buna korona kaybı da denir. Korona kayıpları aktif kayıptır. Korona kayıplarına hava koşullarının ve gerilim yükselmesinin etkisi büyüktür.



Şekil.1.1.10 Büyük enerji nakil hattının şematik olarak gösterilişi

$$Z' = (r + j\omega L) \dots \dots \dots (1.35)$$

$$Y' = (g + j\omega C) \dots \dots \dots (1.36)$$

Bunların integrali alınırsa $Z = \int z \cdot dl$, $Y = \int y \cdot dl$ formüllerinden Z ve Y bulunur.

Parametreler bütün hatlarda aynı etkiyi göstermezler. Genellikle Kapasitans ve kondüktans orta ve uzun hatlarda daha büyük etki gösterirler.

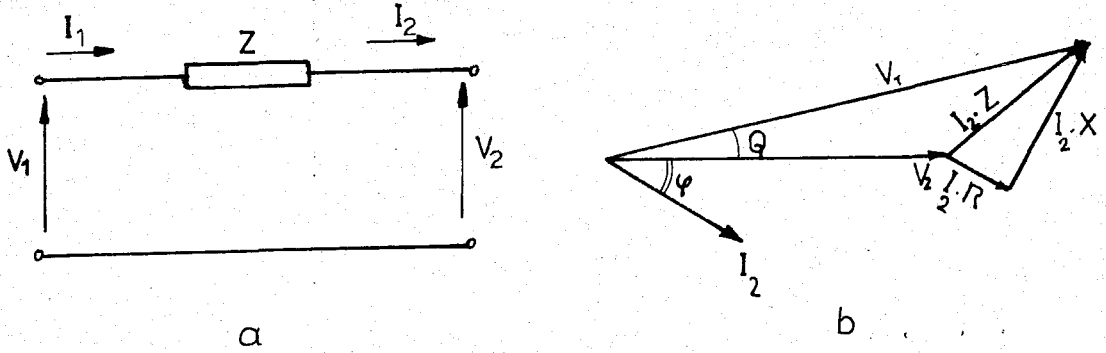
1.2.2. İLETİM ŞEBEKELERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Genellikle enerji iletim şebekelerinde kurulan hatlar üç grupta incelenebilir.

- 1.° Kısa hatlar
- 2.° Orta uzunlukta hatlar
- 3.° Uzun hatlar

1^o - Kısa hatlar:

Genelde 100 km.ye kadar olan hatlar olarak kabul edilebilir. Genellikle orta gerilimle enerji iletimi yapılır. Bu hatlarda $Z = (r + jx)$ empedansının yanında azda olsa $Y = (g + j\omega c) \cdot \ell$ admitansı vardır. Genellikle kısa hatların (Z) empedansı yanında (Y) admitansı çok küçük olduğu için yok kabul edilir. Kısa hatların eşdeğer şeması ve vektör diyagramı şekil.1.11 de görülmektedir.



Şekil.1.11 Kısa hatların şematik olarak gösterilmesi

a) Prensip şeması

b) Vektör diyagramı

V_1 ve I_1 in değerini matris cinsinden yazarsak

$$V_1 = V_2 + Z \cdot I_2$$

$$I_1 = 0 \cdot V_2 + I_2$$

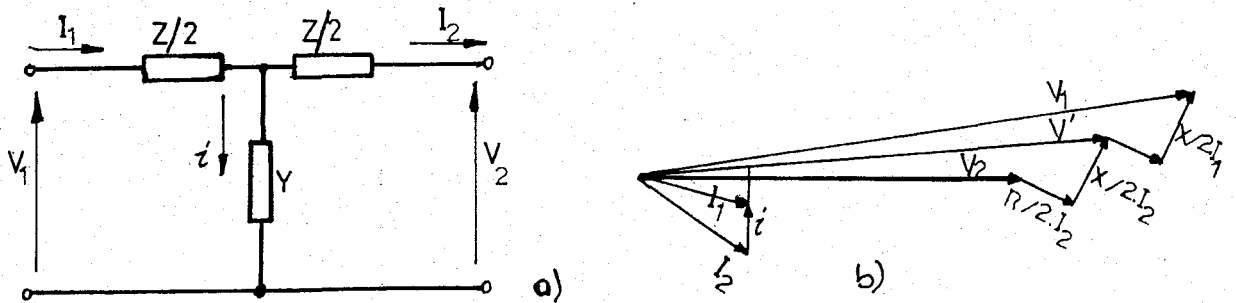
$$Z = (r + jx) \ell$$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

2^o - Orta uzunluktaki hatlar:

Genel olarak 100 km ile 250 km arasındaki hatlara denir. Empedans (Z) ve admitans (Y) her ikisinde etkilidir. (π) ve (T) eşdeğer devrelerde çözülebilir.

Şekil.1.12 de orta uzunluktaki bir iletim hattının (T) eşdeğer devresi ve vektör diyagramı görülmektedir.

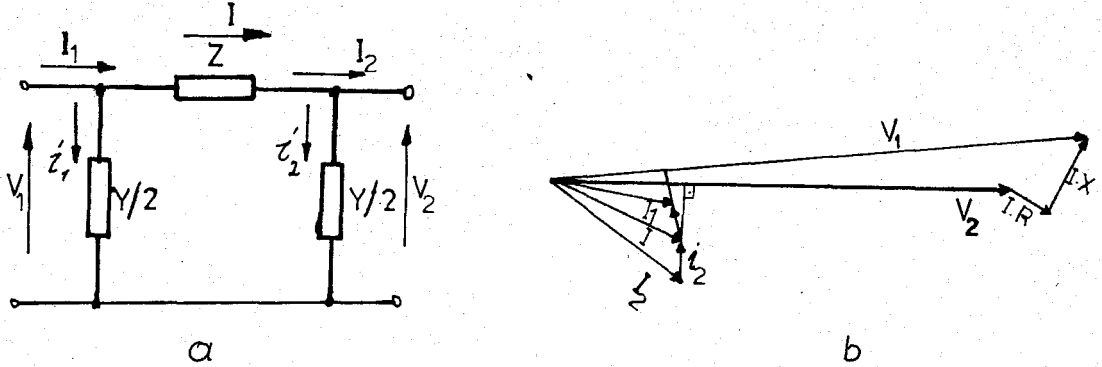
Şekil.1.12 Orta uzunluktaki hatların a) (T) eşdeğeri b) Vektör diyagramı

V_1 ve I_1 matris olarak yazarsak

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z/2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & Z/2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \text{ bu işlemi çarparsak,}$$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+YZ/2 & Z(1+YZ/4) \\ Y & 1+YZ/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \text{ elde edilir.}$$

Aynı orta uzunluktaki hattın (π) eşdeğerini ve vektör diyagramını çizerek Şekil.1.13 daki gibi olur.



Şekil.1.13 Orta uzunluktaki hatların a) (π) eşdeğeri b) Vektör diyagramı

V_1 ve I_1 matris olarak yazarsak

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y/2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y/2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \text{ bu terimleri çarparsak}$$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+YZ & Z \\ Y(1+YZ/4) & 1+YZ/4 \end{bmatrix} \text{ şeklinde olur.}$$

3°- Uzun hatlar:

250 km den fazla olan hatlardır.Hesaplama bunlarda (π) ve (τ) eşdeğer devre ile hesap edilir.

1.2.3 İLETİM ŞEBEKELERİNDE REAKTİF GÜCÜN GERİLİM DÜŞÜMÜNE ETKİLERİ

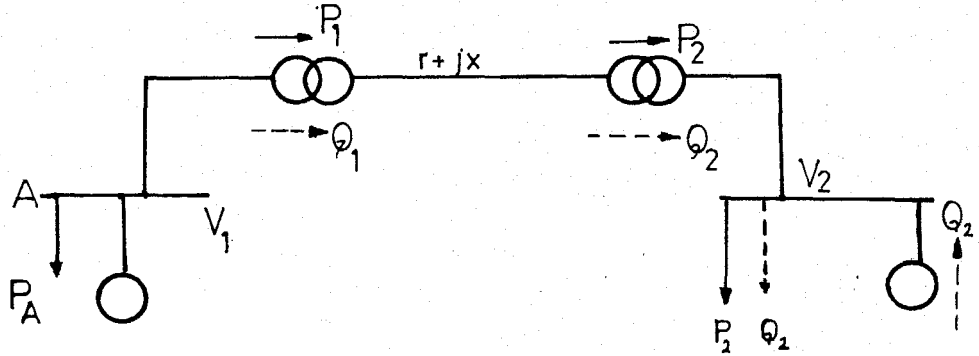
Motor, lamba, ısıtıcı gibi cihazlar belirli bir gerilim altında işlemek için yapılmışlardır. Gerilim değerleri belirli bir genliği aştığında, genellikle arızalı çalışmalar olur. Eğer gerilim çok yüksek ise, motorun demiri doyar ve ısınır. Lambaların dayanma süresi azalır. Bunun tersi gerilim çok düşükse, lamba kötü aydınlatır, motor momenti yetersizdir, rotorun kayması artar ve ısınma tehlikesine girer. O halde bir dağıtım şebekesinin belirli bir noktasındaki gerilim mümkün olduğu kadar sabit tutulmalıdır. Buna karşılık enerji iletim şebekelerinde ise daha fazla gerilim değişmelerine müsaade edilebilir. Çünkü bu iletim hatlarına direkt olarak bağlanmış kullanma cihazları kesin olarak yoktur. Diğer yandan büyük güçteki generatör ve transformatörler, gerilim nominal değerinin % 5' i civarında değiştiğinde güçlerin

tamamını devreye vermeye yeteneklidir. Tam yükte çalışmadıkları zaman daha çok gerilim değişmelerine dayanabilirler.

Sonuç olarak yüksek gerilim değerlerinde izalasyonların bozulması, transformatörlerin doymasına neden olur. Çok alçak gerilim değerlerinde ise; kayıpların artması ve iletim stabilitesinin zarara uğraması gibi tehlikeli bir duruma sokmamak şartı ile iletim şebekesinin belirli bir noktasındaki gerilimin oldukça geniş sınırlar arasında alınmasının prensip olarak sakıncası yoktur. Ayrıca iletim şebekesindeki gerilim dalgalanmaları dağıtım şebekelerine kısmen ulaştığından iletim şebekesi tarafından beslenen dağıtım şebekeleri üzerinde kurulmuş ayar düzenlerinin olanaklarını aşmaması gerekir.

Gerilim değişimleri ve reaktif güç çok büyük boyutlarda ise şebekenin çeşitli organlarında rahatsız edici olabilen yer değiştirmelerine sebep olur. Bu nedenlerden dolayı şebekenin belirli bir noktasındaki gerilim değişimlerini, genellikle nominal gerilimden farklı olan ortalama değerinin en fazla % 10' muna eşit genişlikteki bir bantın içinde tutmaya çaba gösterilir.

Kısa hat olarak kabul ettiğimiz, makina ve yüklerle birlikte çalışan iki A ve B istasyonuna bağlı hatlar ve transformatörler topluluğu görülmektedir.



Şekil.1.14 (A) ve (B) İstasyonuna bağlı hatlar ve transformatörler topluluğu

Burada A B bağlantısını bir $(r + jx)$ empedansı ile gösterebiliriz. Bu bağlantı, (A) dan (B) ye doğru, (A) dan çıkışta $P_1 + jQ_1$ ve (B) ye varışta $P_2 + jQ_2$ ye eşit, bir görünür güç taşır. Bu güçler (A) dan (B) ye doğru gittikleri zaman aktif ve reaktif güçlerin pozitif olduklarını kabul edeceğiz.

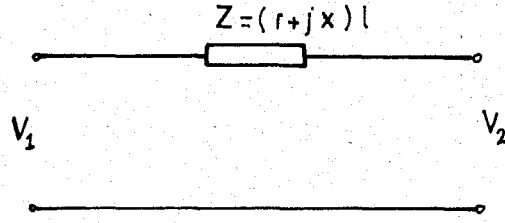
$$V_2 \cdot I_2 = P_2 + jQ_2 \quad \dots \dots \dots (1.37)$$

$$I_1 = \frac{P_2 + jQ_2}{V_2} = I_a + jI_r \quad \dots \dots \dots (1.38)$$

Admitans etkisini ihmal ettiğimiz için hattaki akım (I_a) aktif akım ile (I_r) reaktif akımın bileşeni olarak $I = I_a - jI_r$ (A B) iletim hattı boyunca aynıdır.

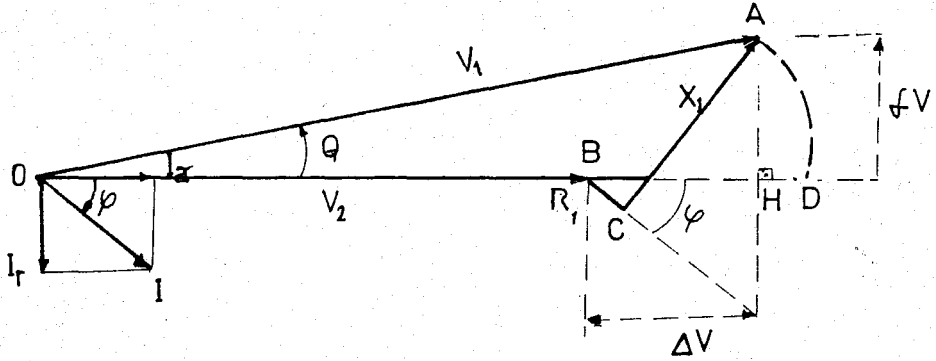
V_1 : 1faz gerilimi, P ve Q lerde 1 faz başına güçlerdir.

Şekil.1.14 deki şemayı en basit haliyle Şekil.1.15 deki gibi eşdeğer şema olarak gösterebiliriz.



Şekil.1.15 (A) ve (B) istasyonlarının eşdeğeri

(B) istasyonu $P_2 + jQ_2$ görünen gücünü aldığı anda (B) deki gerilim (V_2) iken, (A) ya bağlı makinelerin uyarmalarının uygun bir biçimde işe karışması ile (A) daki (V_1) geriliminin bir sabit değerde tutulduğunu varsayalım. Şekil.1.16 (A) ile (B) arasındaki akımlar ve gerilimler diyagramını gösteriyor. Fazların başlangıcı olarak (B) de (V_2) gerilimi olarak alındı. (ΔV) gerilim düşümünün (V_2) doğrultusundaki bileşeni ve (δV) de bu doğrultuya dik bileşen olsun. (ΔV) gerilimlerin değerler arasındaki cebirsel farkıdır. (δV) ise (θ) faz farkına bağlıdır.



Şekil.1.16 (A) ve (B) istasyonunun akımlar ve gerilimler diyagramı

Buradan

$$\Delta V = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi \quad \dots \dots \dots (1.39)$$

$$\delta V = - R \cdot I \cdot \sin \varphi + X \cdot I \cdot \cos \varphi \quad \dots \dots \dots (1.40)$$

Burada (φ) açısı, akımın gerilime göre faz farkıdır.

($I \cdot \cos \varphi = I_a$), ($I \cdot \sin \varphi = I_r$) olduğundan

$$\Delta V = R \cdot I_a + X \cdot I_r \quad \dots \dots \dots (1.41)$$

$$\delta V = X \cdot I_a - R \cdot I_r \quad \dots \dots \dots (1.42)$$

olur. Bu ifadeler faz başına alınan (P_1) aktif güç ile (Q_1) reaktif gücü sokarsak. Bu ifadeler

$$\Delta V = \frac{R \cdot P_1 + X \cdot Q_1}{V_2} \dots\dots\dots (1.43)$$

$$\delta V = \frac{X P_1 - R \cdot Q_1}{V_2} \dots\dots\dots (1.44)$$

olur. Aynı şekilde 3 fazlı güçler ($P_{1t} = 3P_1$) ($Q_{1t} = 3Q_1$) koyulabilirdi. (U) fazlararası gerilim ve (ΔU) ile (δU) fazlar arası gerilim düşümleri olarak formülde yerine konulursa

$$\Delta U = \frac{R + P_{1t} + X \cdot Q_{1t}}{U_2}, \quad \delta U = \frac{X \cdot P_{1t} - R \cdot Q_{1t}}{U_2}$$

elde edilir.

Bu bağıntılar V, P, Q büyüklüklerinin birbirinden bağımsız olarak seçilemeyeceği sonucu çıkar.

R, X 'in yanında yeter derecede küçükse, belirli biçimde ΔV ye indirgenen V_1 ile V_2 geriliminin modülleri arasındaki fark özellikle A dan B ye doğru reaktif güç taşınmasına bağlı olur. Halbuki (θ) faz farkını belirleyen δV özellikle aktif gücün iletimine bağlıdır.

(θ) açısı küçük değerde kaldıkça δV bileşeninin iletim koşullarını etkilememektedir. Buna karşı ΔV gerilim düşümü belirli sınırlar arasında kalmalıdır.

ΔV gerilim düşümlerinin önemini azaltmak için kısa hatlar söz konusu değilse reaktif gücün taşınmasından sonra sakınmak gerekir. Olanaklar ölçüsünde reaktif güç harcadığı yerde elde edilmelidir. Göz önüne alınan örnekte B de çekilen Q gücünü A değil B istasyonu vermelidir.

Öte yandan V_1 gerilimi sabit tutularak B de alınan (P_2) ne olursa olsun V_2 nin ve bunun sonucunda $\Delta V = V_1 - V_2$ gerilim düşümünün sabit kalması istenirse bunun için B de alınan (Q_2) nin reaktif gücünün P_2 fonksiyonu olarak

$$Q_2 = \frac{V_2^0 (V_1^0 - V_2^0) - R \cdot P_2}{X} = \frac{V_2^0 \cdot \Delta V - R \cdot P_2}{X} = K - \frac{R}{X} P_2 \dots\dots\dots (1.45)$$

bağıntısı ile değiştirilmesi gerekir. Bağıntıdaki V_2^0 , U geriliminin sabit gerilimi ve (K) başka bir sabittir.

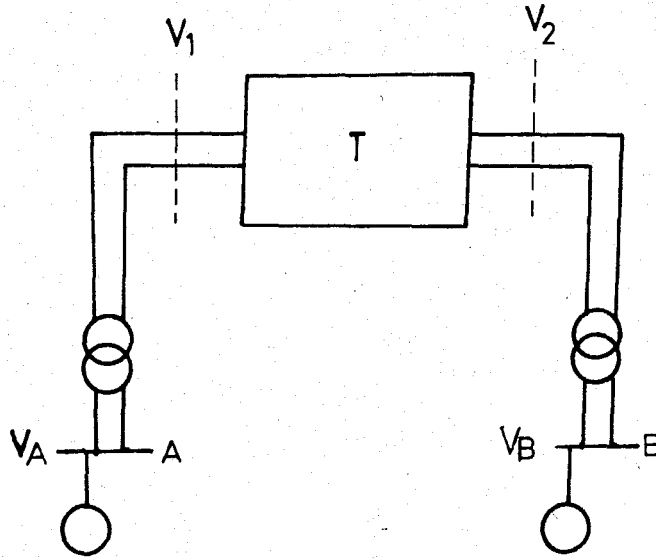
Şu halde hattın varışı olan B de, 0 reaktif gücünün kontrolü işi ile V_2 geriliminin ayarı sağlandığı görülür. Bu kontrol kesin olarak B de reaktif güç üretimi üzerine etki ederek yapılır ve bu gerilim ayar yöntemi, reaktif güç sokulması ile ayar adını taşır. Regülatörün oynadığı rol dolayısıyla bu güce kompanzasyon gücü denir. Bunun yanında bazı yöntemler kullanılarak gerilim ayarı yapılabilir.

Özet olarak bir iletim çıkış gerilimi belirli bir değerde tutularak varıştaki gerilim ayarını gerçekleştirmek için üç yol kullanılır.

- 1° - Alıcı ucuna reaktif güç sokulması
- 2° - Uygun olarak seçilmiş bir noktada ek gerilim verilmesi
- 3° - Bir seri kondansatör vasıtasıyla reaktansın değiştirilmesi

1.2.4 REAKTİF GÜÇ İLE GERİLİM AYARI

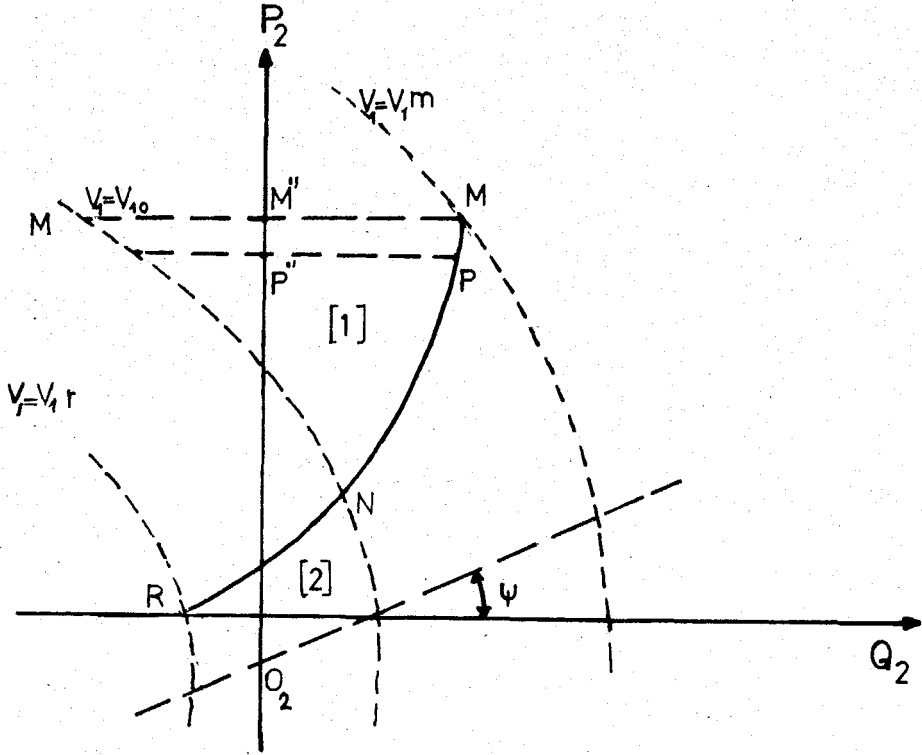
Biri tüketim, diğeri üretim merkezi olmak üzere (A) ve (B) merkezini birbirine bağlayan, içinde hatlar ve trafoların bulunabildiği bir iletim şebekesi yerine, bu şebekeyi gösterebilen ideal trf. larla birlikte olan veya olmayan bir (T) dört uçlusunu göz önüne alacağız. İletilen güç Şekil.1.17 de ne olursa 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 düşümünde sabit kalmalıdır. Çoğu kez bunun sıfır olması şart değildir.



Şekil.1.17 Hatlar ve trf. lar topluluğunu sembolize eden bir enerji iletim sistemi

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 arasındaki bağıntıyı veren MNR eğrisini çizelim. Şekil.1.21 de iletim şebekesi diyagramında sırayla (R) ve (M) noktaları ile gösterilmiştir. Tüketicinin cinsine göre şebeke az yükte çalıştığı zaman reaktif güç üretebilir veya aktif güç çekebilir. (Çok sayıda boşa çalışan küçük transformatörlü şebeke) R noktası ($O_2 Q_2$) eksenini üzerinde birinci halde (O) noktası ($O_2 Q_2$) nin solunda ikinci halde ise 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}) ra eşit olacaktır. Buna göre işlemeyi gösteren noktası (V_{10}) ra ilişkin olan eşit çıkış gerilim dairesi üzerinde yer değiştirmelidir. Bu sonuca varmak için işlemeyi gösteren noktayı (P) den (P') ye getirmek yani (P), ($V_1=V_{10}$) dairesinin eğrisiyle kesiştiği (N) noktası ve (M) noktası arasında olduğu zaman B alıcı istasyonundan şebekeye reaktif güç sokmak gerek-

lidir. Bunun tersine olarak işlemeyi gösteren nokta (N) ile (R) arasında bulunursa (B) den reaktif güç almak gerekir. Varıştaki bu reaktif gücün değeri



Şekil.1.18 (Şekil.1.17) deki iletim şebekesinin diyagramı

büyüklik ve işaret olarak (PP') doğru parçası ile verilmiştir. Bu reaktif güç varış istasyonundan gözönüne alınan şebekeye doğru yönelince, yani [1] olarak işaretlenmiş bütün bölgede negatif olur ve alıcı ucunda paralel olarak bir kondansatör bağlanmış gibi olur. Bu reaktif güç şebekeden alıcı uca doğru yöneldiği zaman pozitifdir ve bunun karşılığı paralel olarak bir self indüksiyon bobini bağlanması durumudur. Bu da [2] ile işaretlenmiş bölgede meydana gelir.

Çıkış ve varış gerilimlerinin istenen değerde kalması için (B) alıcı ucunda üretilmesi gerekli olan (PP') reaktif gücünün fazla yüklerde ikiye ayrıldığını gösterir. Bunlardan biri (PP'') alıcılar tarafından çekilen reaktif gücü, diğeri de (P''P') iletim şebekesi tarafından alınan reaktif gücü göstermektedir. Genel olarak bu son kısım olan (P''P') birinciden (P''P) çok daha azdır.

Şekil.1.19 da (ψ) Açısı (AB) iletimindeki direncin reaktansa (R/X) oranına bağlıdır ve bu oranla artar. Şekil.1.21 ve Şekil.1.22 ün basit bir karşılaştırılmasını gösterir ki (V_{10}) ve (V_2) gerilimlerinin aynı değerleri için (B) de sokulması gerekli reaktif güç (R/X) ile artar.

(R/X) oranı küçük olduğu zaman reaktif güç sokulmasıyla gerilim ayarı kolaylıkla olur. Bu, iletimin hava hatları ve transformatörler ile olduğu du-

Bu kısımdan şu sonuçları çıkarabiliriz.

1°- Gerilimin modülünün (V) olduğu bir noktadan geçen (P) aktif gücü ile (Q) reaktif gücü bağımsız değişkenler değildir. Bir $(P, Q, V) = 0$ denklemi ile birbirlerine bağlanmışlardır. Admitansız empedansı $Z = R + jX$ olan basit bir hat durumunda bu fonksiyon

$$V_1 - V = \frac{RP_2 + XQ_2}{V} \text{ veya } \Phi(P, Q, V) = (V_1 - V)V - RP_2 - XQ_2 = 0 \dots (1.46)$$

şeklindedir.

Böylece, aktif gücün verilmiş bir değeri için, her reaktif güç değişimi bir gerilim değişimine neden olur ve karşıt olarak şebekenin belirli bir noktasında herhangi bir nedene bağlı olarak bir gerilim değişimi meydana gelirse, bundan bu noktada sonlanan hatlardan geçen reaktif güçlerin değerinde bir değişim olduğu sonucu çıkar. (B) varış istasyonunda reaktif güç bir (ΔQ_2) farkı kadar artırılırsa (B) deki gerilimin sabit kalması için Şekil.1.21'deki diyagramın gösterdiğine göre, çıkış gerilimi (ΔV) kadar artırmak yani ek bir gerilim düşümü kabul etmek gerekir. Bunun tersi olarak alıcı uçtarafında bir (ΔQ_2) reaktif güç sokulması bir (ΔV_1) gerilim düşümü azalmasına neden olur. Bunun sonucunda aynı oranda çıkış gerilimi azalabilir.

Şu halde reaktif güç artışı, kendi akış yönünde, önceden var olan gerilim düşümü ile pozitif veya negatif olarak bileşen bir gerilim düşümüne neden olur.

2°- Reaktans etkisinin üstün olduğu şebekelerde (ΔV) gerilim düşümü başlıca reaktif gücün iletimine bağlıdır.

3°- Taşınan güç ne olursa olsun, alıcı istasyonun (V_2) gerilimini bu alıcı istasyona gelen reaktif güç üzerinde etki ederek belirli bir değerde tutmak olanaklıdır. O halde alınan reaktif güç belli bir değeri aştığı zaman, iletim şebekesine reaktif güç sokmak gerekir. Bu gücün altında bunun tersine olarak, reaktif gücü çekmek gerekir. Bu ayar yolunda iletim direncinin reaktansına R/X oranı ne kadar küçükse o kadar reaktif güç işe karışır.

1.2.5 - İLETİM ŞEBEKELERİNDE PARAMETRİLERİN ŞEBEKELERE ETKİSİNİN ÖRNEKLERLE İNCELENMESİ

Örnek 1. Büyük bir enerji iletim hattının toplam direnci 20 (ohm/faz), reaktansı 180 (ohm/faz), şönt admitansı $18 \cdot 10^{-4}$ (1/ohm), alıcı ucundaki gerilim 380 (kV), alıcı ucundan çekilen güçler P 800 (MW), Q 300 (MVAR) (Not : Bu özellik Keban hattına uygundur.)

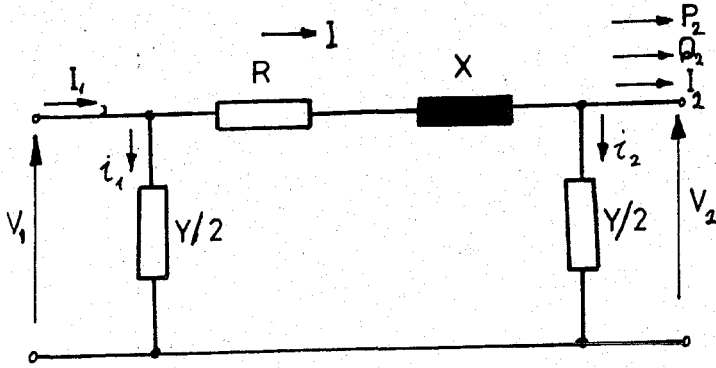
Verici ucundaki gerilimi ve güçleri bulunuz.

$$\begin{aligned} r_{TOP} &= 20 \Omega & U_2 &= 380 \text{ kV} & V_2 &= 220 \text{ kV} \\ X_{TOP} &= 180 \Omega & S_2 &= 854.4 \text{ MVA} & \varphi_2 &= 20.5^\circ & S_{21} &= \frac{S_2}{3} = 284.8 \text{ MVA} \\ Y_{TOP} &= 18 \cdot 10^{-4} / 90^\circ \text{ } \Omega^{-1} & I_2 &= \frac{S_{21}}{220 \cdot 10^3} = \frac{284.8 \cdot 10^6}{220 \cdot 10^3} = 1294.5 \Rightarrow I_2 = 1294.5 / -20.5^\circ \text{ A} \\ P_2 &= 800 \text{ MW} \\ Q_2 &= 300 \text{ MVAR} \end{aligned}$$

$$Z = 20 + j180 = 181.1 / 83.66^\circ$$

$$I_2 = V_2 \cdot Y / 2 = 220 \cdot 10^3 / 2 \cdot 9 \cdot 10^{-4} / 90^\circ = 198 / 90^\circ \text{ A} \quad (I_2 \perp V_2)$$

$$I = 1240 / -12^\circ \text{ Vektörden bulundu.}$$



$$I \cdot Z = 1240 / -12^\circ \cdot 181,1 / 83,66^\circ$$

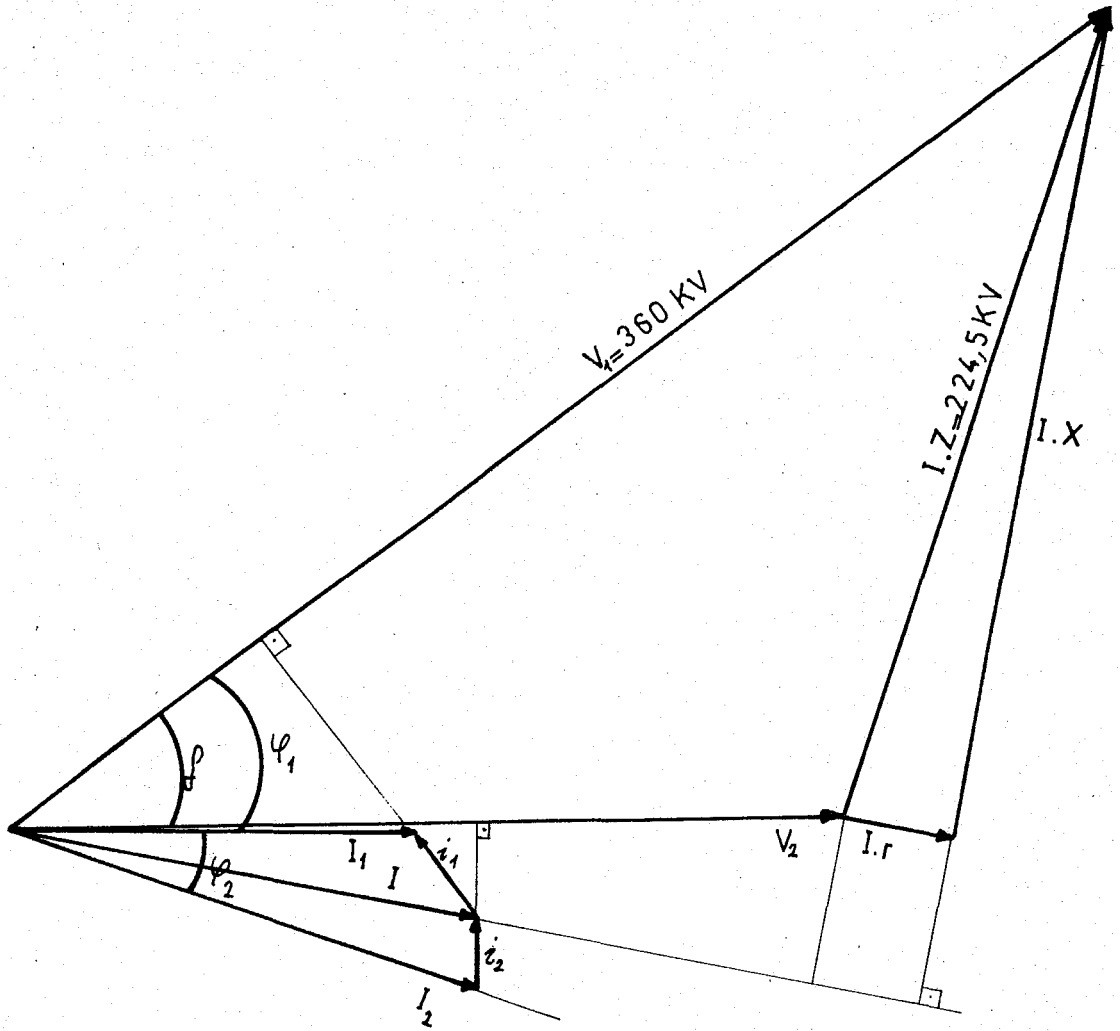
$$= 224,5 / 71,66^\circ \text{ kV} \quad V_1 = 360 / 36^\circ \text{ kV}$$

$$i = V_1 \cdot Y/2 = 360 \cdot 10^3 / 36^\circ \cdot 9 \cdot 10^{-4} / 90^\circ$$

$$= 324 / 126^\circ \text{ A} \quad i \perp V_1$$

$$r \cdot I = 24,8 \text{ kV} \quad x \cdot I = 223 \text{ kV} \quad z \cdot I = 224,5 \text{ kV}$$

Şekil.20 a) Örnek 1 deki hattın (π) eşdeğer devresi.



Şekil.1.20 b (Şekil.1.20 a) daki devrenin vektör diyagramı

Burada iletilen reaktif güç çok büyük olduğu için ($X \cdot I$) gerilim düşümü çok fazla olmakta, bundan dolayı $V_1 = 360 \text{ kV}$ veya $U_1 = 630 \text{ kV}$ admitans kapasitesi bile çok az gelmektedir.

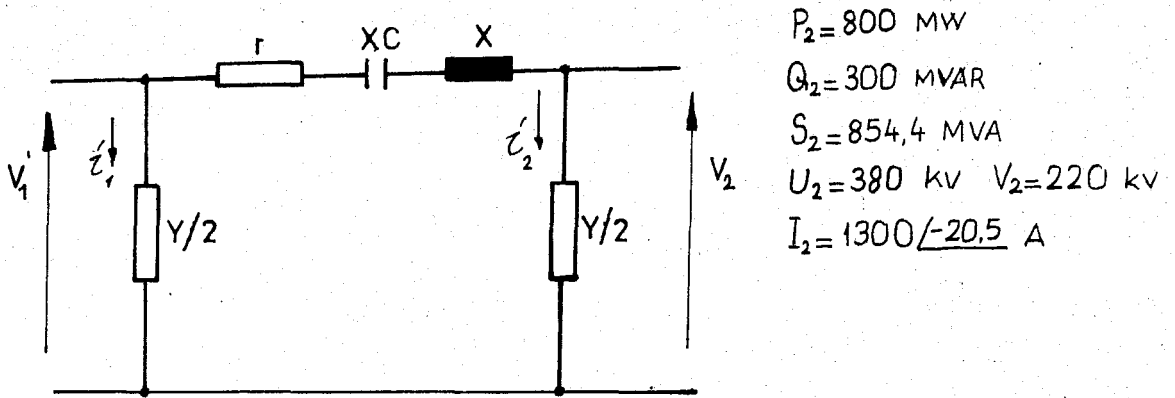
Halbuki şebekenin belli bir noktasındaki gerilim değişikliklerini genellikle nominal gerilimden farklı olan ortalama değerlerin en fazla $\pm 10\%$ na eşit genişlikteki bir bantın içinde tutmaya çalışılırdı. Halbuki buradaki

örnekte hattın endüktansının çok büyük olması ve çekilen reaktif gücünde büyük olması dolayısıyla gerilim düşümü bu sınırı çoktan aşmaktadır.

İşte bu gerilim düşümünü ayarlanabilir alan içine sokmak için hatta seri kompanzatorlar konabilir. Böylece hattın endüktansı seri kompanzator ile biraz olsun kompanse edilebilir.

Örnek 1 de hatta seri olarak 50 (ohm/faz) değerinde bir kondansatör bağlandığı durumu inceleyelim.

Örnek 2 : Örnek 1 de verilen $r=20$ (ohm/faz), $x=180$ (ohm/faz), $Y=18 \cdot 10^{-4} / 90$ (1/ohm x faz) değerindeki hatta seri olarak 50 (ohm/faz) değerinde bir seri kondansatör konursa ne gibi değişimler olur inceleyelim.



Şekil.1.21 a. Örnek 2 de verilen hattın (π) eşdeğer devresi

$$i_2 = V_2 \cdot Y/2 = 220 \cdot 10^3 / 0^\circ \cdot 9 \cdot 10^{-4} / 90^\circ = 198 / 90^\circ \text{ A}$$

$$I = 1240 / -12^\circ \text{ A bulunur.}$$

$$r \cdot I = 20 / 0^\circ \times 1240 / -12^\circ = 24,8 / -12 \text{ kV} \quad I \cdot r // I$$

$$x \cdot I = 180 / 90^\circ \cdot 1240 / -12^\circ = 223 / 78^\circ \text{ kV} \quad x \cdot I \perp I$$

$$x_c \cdot I = 50 / -90^\circ \cdot 1240 / -12^\circ = 62 / -102 \text{ kV} \quad x_c \cdot I \perp I$$

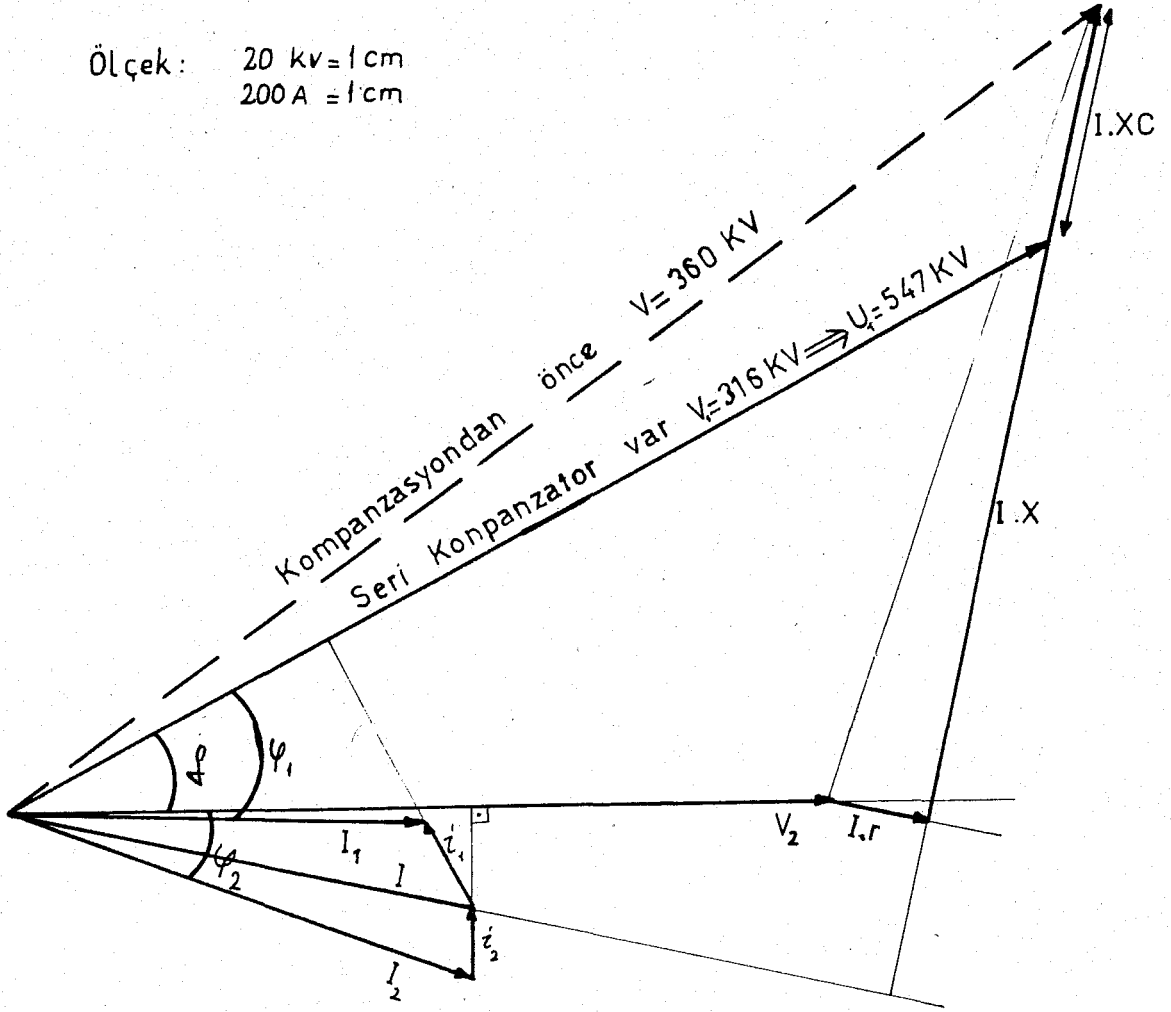
$$i_1 = V_1 \cdot Y/2 = 316 \cdot 10^3 \cdot 9 \cdot 10^{-4} = 284 \text{ A} \quad i_1 \perp V_1$$

Seri kompanzasyon yapıldığı için aynı yükte $V_1 = 360$ (kV) dan $V_1 = 316$ (kV) ta indi. Bu durum Şekil. 1. 21 b de görülmektedir. Böylece

$$\frac{U_1 - U_2}{U_1} \cdot 100 = \frac{630 - 547}{630} \cdot 100 = \frac{83}{630} \cdot 100 = \% 13 \text{ lük bir kompanzasyon sağ-}$$

lanmıştır.

Ölçek: 20 kv = 1cm
200 A = 1cm



Şekil. 1. 21.b. Örnek 2 deki seri kompanzasyonu bulunan (π) eşdeğerin vektör diyagramı.

Şu ana kadarki bilgilerden şu sonucu çıkarabiliriz.

1. Reaktans etkisinin yüksek olduğu şebekelerde (ΔV) gerilim düşümü başlıca reaktif gücün iletimine bağlıdır.

2. Taşınan güç ne olursa olsun, alıcı istasyonun (V_2) gerilimi bu alıcı istasyona gelen reaktif güce etki ederek belirli bir değerde tutmak olanaklıdır.

3. Şebekenin boşta, az veya çok yüklü olmasına göre hattaki gerilim düşümü değişir. Hatta şebeke boştayken veya az yüklü durumda kapasitif reaktif enerji üretebilir.

2.1. MEMLEKETİMİZDE UYGULANAN ENERJİ EKONOMİSİ YÖNTEMLERİ

Memleketimiz bir sanayi kalkınma hamlesi içerisinde dir. Sanayi kalkınmasının en önemli maddesi enerjidir. Özellikle elektrik enerjisidir. Ayrıca her yıl elektrik enerjisine olan ihtiyaç %10 artmaktadır. Türkiye sanayi hamlesi içinde olduğu için %12, %16 oranında artmaktadır.

Memleketimizdeki enerji üretimi ve tüketimi göz önüne alınırsa enerji ihtiyacındaki artışı karşılayabilmek için yılda takriben 500 Mw gücünde bir santral kurmak gerekir. Fakat teknik ve ekonomik sebeplerden dolayı bunun gerçekleştirilmesi çok zordur. ve hatta imkansızdır. Onun için büyük sıkıntıya düşmeden mevcut tesislerle ihtiyacı karşılayabilmek amacıyla bazı idari ve teknik tedbirlere başvurulur.

Bu tedbirler

a) Yaz saati uygulaması

b) Enerji ihtiyacının büyük olduğu puant zamanlarında enerji sarfiyatını sınırlamak ve kısıtlamak için yüksek tarifeli ücret uygulanmaktadır.

c) En önemli teknik tedbir olan tesislerin kompanzasyonu (Güç katsayısının düzeltilmesi) dir. Tesis ve sistemlerin kompanzasyonunun çok çeşitli yararları vardır. Bu ileriki konularda anlatılacaktır.

1) Burada söz konusu olan üç olayda ya tesislerin daha küçük güçlere göre yapılmasına yani bunların daha ucuza mal edilmesine yolaçarlar.

2) Yahutta yapılmış tesislerden daha büyük güç çekme imkanı doğururlar. Enerji sıkıntısı çeken ülkeler için ikinci şık olan mevcut tesislerden daha büyük güç çekme önem kazanır. Hiç olmazsa belli bir süre mevcut tesislerin kapasitelerinden daha iyi yararlanarak daha büyük tüketici kitleleri beslenebilmektedir.

2.2 ENERJİ EKONOMİSİ YÖNÜNDEN REAKTİF ENERJİNİN ÖNEMİ

Günümüzde a.a. enerjisiyle enerji iletimi teknolojisi en doruk noktasına ulaşmıştır. Bu nedenle elektrik enerjisi iletimi hep a.a. ile yapılır. Ancak günümüzde d.a. ile enerji iletimi gündeme gelmiş ve Avrupa'da birçok ülkeler deneme çalışmalarına girişmişlerdir. Hatta birçok ülkede uygulamasına bile geçilmiştir. Fakat Türkiye'de henüz böyle bir enerji iletimi yoktur.

Doğru akım ile enerji iletimi yeni gelişen bir teknoloji olduğu için halen birçok teknolojik bilgiler doruk noktasına ulaşmamıştır. Doğru akım ile enerji iletiminde reaktif güç söz konusu değildir. Ancak, alternatif akımı doğru akıma, doğru akımı alternatif akıma çeviren konvertörlerde reaktif güç ve harmonikler oluşmakta ve çok büyük mahsurlar yaratmaktadır. Bu da en aza indirilmeye çalışılmaktadır.

Günümüzde elektrik enerjisi iletimi ve dağıtımı büyük çoğunlukla a.a. ile yapılmaktadır. Tüketicilerin şebekeden çektikleri a.a. mın biri aktif diğeri

reaktif akım olmak üzere iki bileşenden oluşur. Aktif akım aktif gücü, reaktif akım reaktif gücü doğurur.

Aktif güç tüketici tarafından faydalı hale getirilir. Mesela motorlarda mekanik güce, ısı tüketicilerinde termik güce aydınlatma tüketicilerinde aydınlatma gücüne dönüşür. Reaktif güç ise faydalı güce çevrilemez. Reaktif güç yalnız alternatif akıma bağlı bir özellik olup, elektrik tesislerine istenmeyen bir şekilde tesir eder. Generatörleri, transformatörleri, hatları, bobinleri gereksiz olarak işgal eder. Vs lüzumsuz yere yükler. Ayrıca bunların üzerinde ilave kayıplarına ve gerilim düşümlerine yol açar. Aktif güç enerjisi normal sayaçlarla ölçülemediği halde reaktif enerji böyle bir sayaçla kontrol edilemezler. Reaktif enerjiyi kontrol edebilmek için ayrı bir reaktif güç sayacına ihtiyaç vardır.

2.3. ENERJİ EKONOMİSİ YÖNÜNDEN YAZ SAATI UYGULAMASI

Bu yöntem enerjinin çok çekildiği saatlerde birazcık olsun yükü azaltarak, şebeke elemanlarını azda olsa rahatlatmak ve enerji talebine normal gerilim altında karşılayabilmek için alınmış bir yöntemdir. Fakat burada reaktif güçte bir değişme olmadığı için yaz saati uygulaması enerji ekonomisi yönünden köklü bir çözüm değildir.

2.4. ENERJİ EKONOMİSİ YÖNÜNDEN PUANT ZAMANLARINDA YÜKSEK TARİFELİ ÜCRET UYGULAMAK

Şu anda yükün fazla olduğu akşam saatlerinde zamlı ücret uygulanarak ve reaktif sayaç bağlayıp, reaktif enerji bedeli olarak elektrik idaresinin zararı karşılanabilir.

Ancak enerji darboğazında olan ülkemiz için buda köklü bir çözüm değildir. Bunun için en etkili yöntem lüzumsuz yere hatları yükleyen reaktif gücün kompanzasyonudur. Ancak müşterilerin reaktif güç kompanzasyonu yaptırmaya teşvik için, reaktif güç sayacı koyarak zamlı ücret almak bir geçiş dönemi için uygun olabilir.

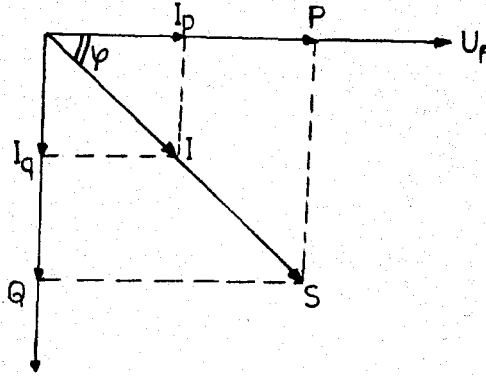
2.5. REAKTİF GÜÇ SARFIYATI VE KOMPANZASYON

Reaktif güç üretiminin santralda ek ham enerji maddesine bağlı olmadığı gerekçesinden hareket edilerek, reaktif güç sarfiyatı kontrolsüz ve başı boş bırakılırsa; güç katsayısı o kadar düşebilir ki, nihayet bütün üretici, iletilici ve dağıtıcı tesisler, aktif güç bakımından normal kapasitelerinin çok daha altında çalışmak zorunda kalırlar. Böylece bir taraftan ekonomik olmayan bir işletme meydana geleceği gibi, diğer taraftan enerji sıkıntısı baş gösterir. İşte bu sorumsuz ve ekonomik şartlar bakımından kötü duruma bir son vermek için elektrik idareleri müşterilerine güç katsayısını belirli bir değer altına düşmemesini şart koşar. Güç katsayısı bu değer altına düşerse sarfedilen reaktif enerji artar. Bu artan reaktif enerjiyi ölçüp ek bir ücret alınması için elektrik idareleri ayrı bir reaktif güç sayacı bağlarlar.

Aboneler için en iyi durum elektrik idaresinin şart koştuğu güç katsayısının altına inmemektir. Bunun için en geçerli yol reaktif enerjinin kompanzasyonudur.

Her ne kadar reaktif gücün bu kadar zararlarından bahsetsekte bazı faydalı noktaları vardır. Zira elektrodinamik prensibe göre çalışsan, Generatör ,

trafo, bobin, motor gibi bütün işletme araçlarının normal çalışması için gerekli olan manyetik alan reaktif akım tarafından meydana getirilir. Bilindiği gibi endüksiyon prensibine göre çalışan bütün makineler ve cihazlar manyetik alanın meydana getirilmesi için bir mıknatıslama akımı çekerler. İşte bu mıknatıslama akımıdır. Onun için faydalı aktif gücün yanında mutlaka reaktif gücede ihtiyaç vardır. Bu sebeple bütün a.a. tesisleri aktif gücün yanında reaktif gücünde çekileceği göz önünde bulundurularak boyutlandırılır.



Aktif akım $I_p = I \cdot \cos \varphi$
Aktif güç $P = S \cdot \cos \varphi$
Reaktif akım $I_q = I \cdot \sin \varphi$
Reaktif güç $Q = S \cdot \sin \varphi$
olup

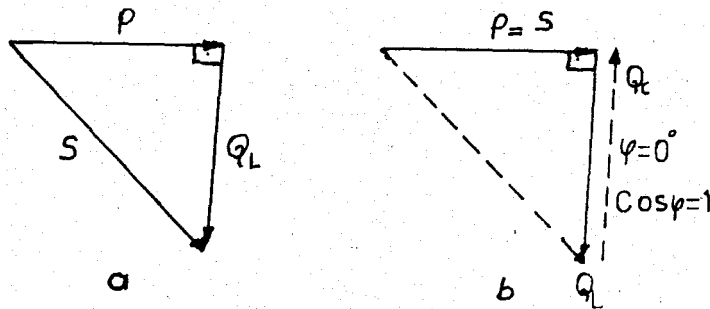
Şekil.2.1 Endüktif bir devrenin güçler ve akımlar vektörü

$$S = 3 \cdot U_f \cdot I = \sqrt{3} \cdot U_h \cdot I \quad \dots \dots \dots (2.1)$$

$$I = \sqrt{I_p^2 + I_q^2} \quad \dots \dots \dots (2.2)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad \dots \dots \dots (2.3)$$

Şekil.2.2 a. da görüldüğü gibi alıcının çektiği reaktif güç üretici, iletili ve dağıtıcı tesislerin tamamından geçmekte ve hattı boş yere yüklemektedir. Bu reaktif güçten vazgeçemeyeceğimize göre en uygun yol ihtiyaç olan reaktif gücü abonenin bulunduğu mahalde karşılamak yani tesisleri kom-



Şekil.2.2 a) Kompanzasyonu yapılmayan b) Kompanzasyonu yapılan bir alıcının güçlerinin vektör diyagramı

panze etmek gereklidir. Şekil 2.2 b de görüldüğü gibi alıcıya uygun güçte kondansatör bağlamak suretiyle gerekli reaktif güç üretimi o bölgede karşılanır ve güç katsayısı istenilen değerde tutulabilir. İleriki konularda hesap yoluyla geniş şekilde açıklanacaktır.

3. REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU "6"7"

Büyüyen ve karmaşıklaşan elektrik sistemlerinin üretim, iletim ve dağıtım kapasitelerinin artırılması, reaktif güç akışının neden olduğu kayıpların, en alk düzeye indirilmesi ve kullanıma sunulan elektrik enerjisinin daha nitelikli hale getirilmesi amaçlarıyla, reaktif güç kompanzasyonu gün geçtikçe daha yaygın bir biçimde uygulanmaktadır.

Son yıllarda tristör denetimli güç kompanzasyon düzenleri, gerek endüstriyel sistemlerin güç katsayılarını dinamik olarak düzenlemekte, gerekse terminal geriliminin kararlılığını sağlamada yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

3.1. KOMPANZASYON GEREKTİREN YÜKLER

Gerçekte güç kompanzasyonunun yapılip yapılmayışı; düşük güç faktörü ile satılmasına izin verilebilecek enerji fiyatına, yükün 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, veya büyük ve kompanze edilemeyen reaktif güçler nedeniyle, değiştiği bilinmektedir. Gerilim değişimleri çoğunlukla gerilim düşümü şeklinde olmaktadır. Örneğin güç faktörü 1 e yükseltirirse, gerilim düşümü azalır. Eğer güç faktörü kompanze edilmişse, düşük değerde olan gerilimi normal değerde sabit tutmak için yurdu-muzda regülatör kullanılmaktadır. Regülatörler gerilimi düzenlemek için a.a. şebekesinden daha çok reaktif güç çekeceklerinden, kompanzasyon ihtiyacında artırarak gerilimin dahada çok düşmesine neden olurlar.

Endüstride kompanzasyonu gerektiren yükler şunlardır.

- 1^o - Elektrik ark ocakları
- 2^o - İndüksiyon ocakları
- 3^o - İndüksiyon kaynak makinaları
- 4^o - Haddehaneler
- 5^o - Asenkron motorlar
- 6^o - Darbeli güçle çalışan yüksek Fizik tesisatı (synchrotron)

3.2. YÜK KOMPANZASYONU

Yük kompanzasyonu, belirli bir yükü besleyen elektrik şebekesinin özellik ölçüsü olarak verilen

- 1^o - Gerilimin
- 2^o - Güç faktörünün
- 3^o - Faz büyüklüklerinin dengeliliğinin hem sürekli ve hem de geçici hal çalışmalarında istenilen sınırlar arasında kalmasını sağlamak anlamına gelir.

Bugün modern teknolojinin endüstride uygulanmasıyla elektrik şebekelerine bağlanan yüklerin, değişgen değerde büyük reaktif güç çektikleri ve bunların dengesiz oldukları bilinmektedir. Özellikle büyük kapasiteli olan ve çelik endüstrisinde kullanılan elektrik ark ocakları, dengesiz ve değişgen yük oluşturan büyük değerde reaktif güç çeken alıcılardır. Bu fırınların bağlı olduğu şebekelerde eşdeğer iç empedansları ya da kısa devre açma güçleri yeteri kadar büyük değilse gerilim değişimleri, fliker olayı ve faz dengesizlikleri, düşük güç faktörleri görülmektedir. Ayrıca haddehaneler, bir fazlı trenlerin oluşturduğu yüklerde büyük reaktif güçlerin ve düşük güç faktörlerinin oluşmasına neden olur. Sonuç olarak bu tip yükler şebeke dengesizliklerine yol açmaktadır.

Bir şebekenin gerilimi, şebekenin gücü çok büyük yada iç empedansı sıfır olduğu kabul edilerek 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 görüleceği gibi yük kompanzasyonu bir bakıma a.a. güç sisteminin özellik ölçütlerini iyileştirmek için, reaktif gücün kontrol edilmesidir. Kompanzasyonu gerçekleştirecek kontrol sistemi, yükün bağlı olduğu yerde kurularak şebekeye bağlanır ve yüklerin reaktif güçlerini kontrol eder.

Kompanzasyon kontrolü yapan düzenlerin çalışma düzenlerini çalışma prensiplerini incelemeyen önce güç faktörü kompanzasyonu, gerilim kontrolü ve yük kompanzasyonu hakkında inceleme yapalım.

3.2.1. GERİLİM KONTROLÜ

Eğer bir a.a. şebekesinin iç empedansı sıfır ya da gücü sonsuz olsaydı, bu şebekeye ne değerde değişgen yük bağlanırsa bağlansın gerilim yüke bağlı olmaksızın sabit kalırdı.

Bir şebekenin kısa devre açma gücü fırın gücünün 80 - 100 katından büyükse, elektrik ark fırınları bağlı olduğu şebekede gerilim değişimlerine neden olmayabilir. İç empedansı sıfır yada çok küçük olan bir a.a. şebekesiye ancak enerji üreten jeneratörlerin gücü ve sayısını artırmak, daha sonra bunları birbirleri arasında bağlayarak, enterkonnekte sistem elde etmek yoluyla gerçekleştirilebilir. Gerilimin şebekelerde sabit kalmasını bu yol ile sağlamaya çalışmak iki nedenle sakıncalıdır.

1^o - Sistemin ekonomik olmamasına yolaçar.

2^o - Kısa devre açma gücü çok büyük olduğundan tesis masraflarının artması sorununu getirir.

İşte bu nedenlerle gerilim değişimlerini kompanze etmek, başka bir deyimle gerilimi sabit tutmak için, yük veya yüklerin reaktif gücünü kompanze edecek birimleri, yükün olduğu yere bağlamak ve gerekli gücü bunların yardımıyla sağlamak, hem pratik hem de ekonomik tek çözüm olarak görülmektedir. Ayrıca bu çözüm sisteminin kısa devre açma gücünü büyütmez. Bu durumda a.a. şebekelerinde kurulu güçler, enerji iletim hatlarındaki aktif güç kayıplarında göz önünde tutularak, alıcıların maksimum aktif güç isteklerinin toplamı alınarak bulunur.

Kompanze edilmemiş bir yükün aldığı reaktif güç yada ani reaktif güç değişimleri, iç empedansı sıfır olmayan sonlu güçlü gerçek bir şebekede ge-

rilim değişmelerine neden olur. Bu gerilim değişmeleri aynı noktaya bağlı diğer alıcıları olumsuz yönde etkiler. Gerilim değişmelerine neden olan yükünde optimum çalışma noktalarını bozar. Bu gerilim değişmeleri çok büyükse alıcıların çalışmama durumu meydana gelir. Elektrik şebekesinden sorumlu kuruluşlar, gerilimlerini belirli sınırlar arasında tutmakla yükümlüdürler. Bundan başka modern ark ocaklarının aldıkları rektif güçler, 2 Hz - 10 Hz lik değişmeler göstermektedir. Yapılan deneylerde insan gözünün, 2 Hz - 10 Hz lik frekans ve % 0,25 - % 0,4 lük gerilim değişimlerini algılayabildiği, bunların insan gözünü rahatsız ettiği saptanmıştır. Fliker olayı olarak bilinen, bu durumda elektrik ark ocağını kompanze edecek kompanzasyon düzenine girilmesi zorunludur.

3.2.2. GÜÇ FAKTÖRÜ KONTROLU

Basit bir deyimle güç faktörü kontrolü, bir yükün zamana göre sabit veya değişgen olan reaktif gücünü, hemen yükün yanında, güç faktörü kompanzasyon sistemiyle üretmektir. Böylece enerji iletim hatları, reaktif güçle yüklenmemiş olur. Çünkü reaktif gücün santrallarda üretilmesi halinde, genellikle uzun iletim hatlarıyla, alıcı yüklere bağlı olan sistemin hatlarında istenmeyen kayıplara yolaçar. Endüstride kullanılan yük veya alıcıların çoğu endüktif reaktif güç alırlar, güç faktörleri çok küçüktür. Reaktif gücün var olması, enerji iletim hatlarının daha büyük akım taşımalarına yol açar. Böylece güç faktörü küçük olan alıcı, belirli bir reaktif güç için, tesisatını daha büyük seçmesinin yanında, ek jül kayıplarının bedelini ödemek zorundadır. İşte bu nedenle enerji üreterek bu enerjiyi ileten ve satan kuruluşlar, güç faktörünün ideal olarak 1 veya 0,95 civarında olmasını isterler. Bunu yapmadıkları takdirde enerjiyi satın alanlardan, aldıkları düşük güç faktörlü enerjiden yüksek ücret alırlar. Belli bir reaktif güç için, küçük güç faktörü büyük reaktif güce karşı düşer. Daha öncede açıklandığı gibi reaktif güç, gerilim değişmelerine yolaçar. Bu açıdan bakıldığında güç faktörü kontrolü aynı zamana gerilim kontrolü demektir.

3.2.3. YÜK KOMPANZASYON SİSTEMİNİN AMAÇLARI

Bundan önce güç faktörü kompanzasyonu, gerilim kontrolü ve üç fazlı dengersiz yüklerin dengeleştirilmesi konularına değinilmişti. Şimdi ise elektrik şebekelerinde verilen bir yükü kompanze eden kontrol sisteminin amaçlarını ele alalım. Kompanzasörler hem sürekli hem geçici hal çalışmalarında ;

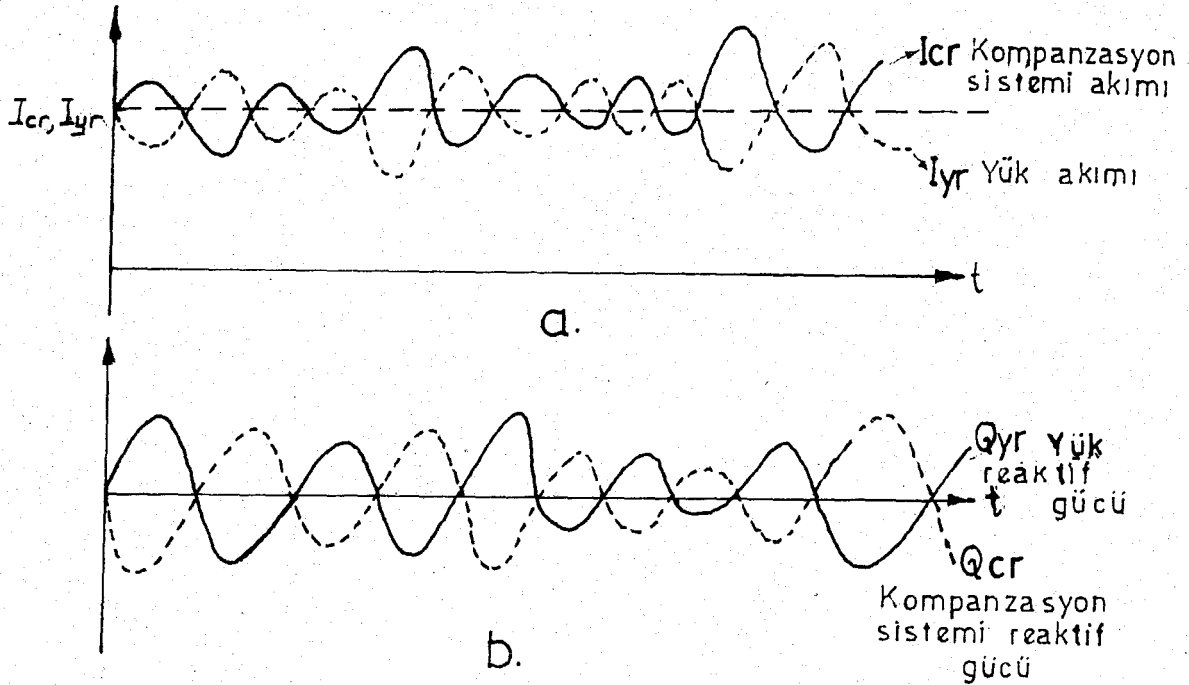
- 1^o - Güç faktörünün değerini 1 civarında tutabilmelidir.
- 2^o - Gerilim değişimlerini belli sınırlar arasında kalacak şekilde kontrol edebilmelidir.
- 3^o - Yük akımlarını ve gerilimlerini dengeleyebilmeli bu kontrolü üç faz için ayrı ayrı yapabilmelidir.
- 4^o - Şebekeden aktif güç almamalıdır. Kayıpsız olmalıdır.
- 5^o - Harmonik üretmemeli veya üretiyorsa süzölebilmelidir.

Gerçekte, gerilim kontrolü ve güç faktörü kompanzasyonu birbirlerine bağlı kontrol işlemleridir. Reaktif güçlere ilişkin reaktif akımların, reaktanslar üzerindeki gerilim düşümleri, boyuna gerilim düşümü oluştururlar. Boyuna gerilim düşümleriyse gerilim değişmelerine yolaçar. Yükün vatlı gücüne karşı düşen vatlı akımlar, reaktanslarda enine gerilim düşümü meydana getirirler ki,

bunların neden olduğu gerilim değişimleri ise ihmal edilecek kadar küçüktür. İşte bu nedenlerle gerilim kontrolü, reaktif güçlerin kompanse edilmesini, reaktif güçlerin kompanse edilmesiyse güç faktörü kontrolü sonucunu doğurduğundan, gerilim kontrolü ve güç faktörü kontrolü birbirinden ayrılmaz iki kontrol işlemidir.

Daha öncede açıkladığımız gibi bir a.a. güç sisteminin iç empedansı sıfır olsaydı 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 değişgen gerilim düşümlerinin neden olacağı, gerilim değişmelerini kompanse etmek için şu yol izlenebilir. Gerilim düşümlerine reaktif gücü oluşturan, reaktif akımlar neden olmaktadır. Eğer kompanzasyon kontrol sistemi, yükün reaktif gücüne yada reaktif akımına eşit genlikte ve ters işarette bir akımı (t) anında üretebilirse yük akımlarının oluşturduğu gerilim değişimleri kompanse edilir. Bu durumda reaktif güçlerin şebekeden alınmayıp, kompanzasyon kontrol sistemi tarafından sağlandığı için, şebekenin güç faktöründe kontrol edilmiş örneğin 1 civarına getirilmiş olacaktır.

Yukarıdaki açıklamalarımızın ışığı altında, yükün değişgen olan reaktanslarını, veya bunların değişmesi sonucunda oluşacak reaktif akımları ve reaktif güçleri ölçmek, kompanzasyon kontrol sisteminde bunların değişimleriyle ters yönde olan aynı genlikli reaktif güç veya akımlarını üretmesi gerekmektedir. Bu açıdan kompanzasyon kontrol sistemi kayıpsız olmalıdır. Şekil.3.1 de yük ve kompanzasyon sisteminin reaktif akım ve güçlerinin değişimi gösterilmiştir.



Şekil.3.1 a) Yük ve kompanzasyon akımlarının reaktif bileşenlerinin değişimi b) Yük ve kompanzasyon reaktif güçlerinin değişimi.

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

3.2.4 YÜKÜN DENGELENMESİ

Alternatif akımda güç sistemleri üç fazlı olarak çalışırlar. Bunlara bağlı yüklerde çoğunlukla üç fazlı dengeli yüklerdir. Bununla beraber elektrikli trenler gibi bir fazlı yüklerin, 3 fazlı sistemleri dengesiz olarak yüklediği ve ayrıca 3 Fazlı yüklerin 3 Fazlı sistemlere dengesiz olarak (Çalışma özellikleri sonucu) yük uyguladıkları bilinen bir olaydır.

Fazların dengesizliği, simetrik bileşenler cinsinden pozitif, negatif ve sıfır bileşenlerinin meydana gelmesine yolaçar. Bir elektrik şebekesinde pozitif, negatif ve sıfır bileşenleri olması şu istenmeyen sonuçları doğurur.

- 1^o - Nötr iletkenlerinden büyük akımların akması
- 2^o - Doğrultucuların çıkış geriliminde artan sivri gerilim tepelerinin olması
- 3^o - Motor, Generatör ve trafolarında kayıpların artması
- 4^o - Alternatif akım makinalarında momentin dengesiz olması

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

Bir a.a. 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 olmaktadır.

Aynı şekilde şebekede harmoniklerin kompanze edilmesi, başlı başına bir konudur. Harmonikler a.a. motorları üzerinde olumsuz etkiler doğuracağı gibi, beklenmeyen rezonans olaylarına, aşırı kayıp ve ısınmalara yolaçar. Harmoniklerin kompanze edilmesi gerçekte gerilim kontrolü, güç faktörü kompanzasyonu ve yük dengeleme kompanzasyonundan farklıdır. Bunun için ayrıca özel olarak tanımlanmış (L - C) filitreleri kullanılır.

3.2.5 YÜK KOMPANZASYONUNUN MATEMATİKSEL OLARAK İNCELENMESİ

Burada incelemeye önce nötr hattı toplanmamış, yıldız bağlı dengesiz bir yükün, dengesiz üçgen bağlı bir eşdeğer yüke dönüştürülebileceğini göstererek başlayalım. Hesaplar yıldız bağlı yük yerine eşdeğeri olan üçgen bağlı yük üzerinde yapılacaktır.

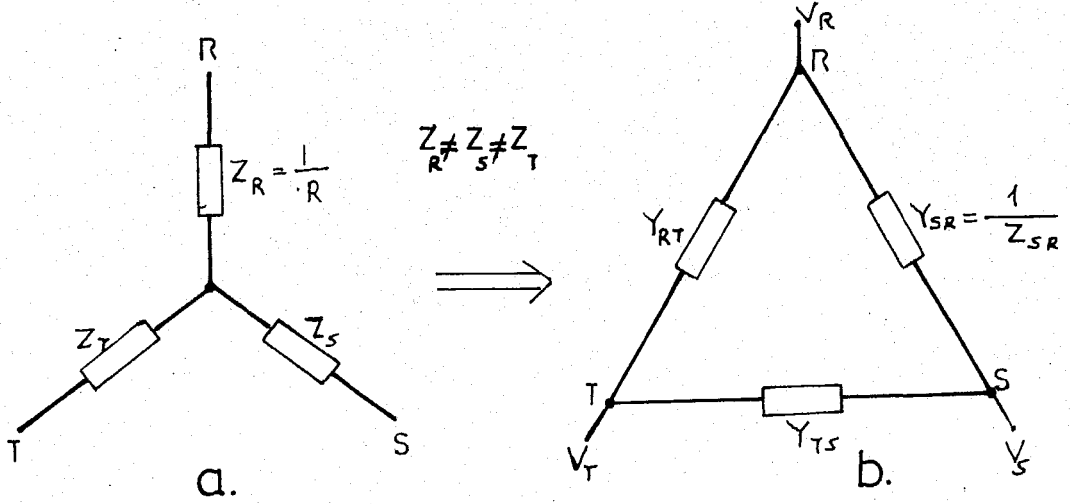
Yıldız bağlı yükün empedanslarıyla, eşdeğeri üçgen bağlı yükün empedansları arasında şu bağıntılar vardır.

$$Z_R = \frac{Z_{RT} \cdot Z_{SR}}{Z_{RT} + Z_{TS} + Z_{SR}} \dots \dots \dots (3.1)$$

$$Y_R = \frac{Y_{RS} \cdot Y_{TS} + Y_{RT} \cdot Y_{SR} + Y_{RT} \cdot Y_{TS}}{Y_{TS}} \dots \dots \dots (3.2)$$

$$Z_{SR} = \frac{Z_R \cdot Z_S + Z_R \cdot Z_T + Z_S \cdot Z_T}{Z_T} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$Y_{SR} = \frac{Y_R \cdot Y_S}{Y_R + Y_S + Y_T} \dots\dots\dots (3.4)$$



Şekil.3.2 a) Dengesiz üç fazlı yıldız bağlı bir yük b) Bu yükün eşdeğeri olan üçgen bağlı bir yük.

Yükün parametrisininin zamana göre değişimlerinin yavaş, olduğu ve bu değişme hızının şebeke frekansına göre küçük kaldığı varsayılarak yapılan incelemenin zamana göre değişen yükler içinde, geçerli olduğu kabul edilecektir. Yarı sürekli çalışma olarak tanımlanan ve değişme hızı düşük olan bu gibi olaylarda elektromagnetik alanlar, elektrik ve magnetik alanlara ayrıştırılabilir. Böylece elemanları ya magnetik yada elektostatik özellik gösterir. Başka bir deyimle self ve kapasiteler, birbirinden ayrı düşünülebilir. Birbirlerine etkileşme yapmazlar.

Kompanzasyon elemanının kayıpsız üç fazlı bir kontrol elemanı olduğunu, yükün dengesiz olan reaktif bileşenini kompanze edeceğini ve yükü ayrıca dengeli 3 fazlı bir yük haline getireceğini daha önce anlatmıştık. Bu bakımdan kompanzasyon elemanı, yükün reaktif bileşenini yok edecek ve dengeleyecek 3 fazlı bir reaktif devre olarak düşünülebilir. Aşağıdaki incelemelerde empedanslar (Z) ile, admitanslar (Y) ile gösterilebilir. 3 fazlı dengesiz yükün ifadelerini

$$Y_{RT} = G_{RT} + jB_{RT} ; Y_{TS} = G_{TS} + jB_{TS} ; Y_{SR} = G_{SR} + jB_{SR}$$

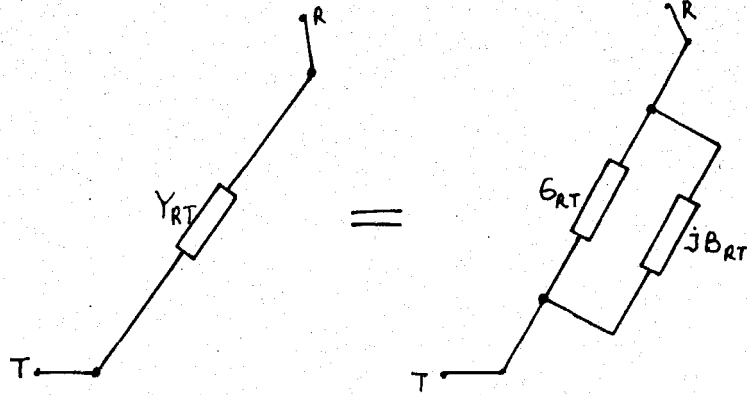
$$G_{TS} \neq G_{RT} \neq G_{ST} ; B_{TS} \neq B_{RT} \neq B_{SR}$$

olarak gösterelim. Burada (G) ler kondüktansları, (B) lerse süseptansları gösterir.

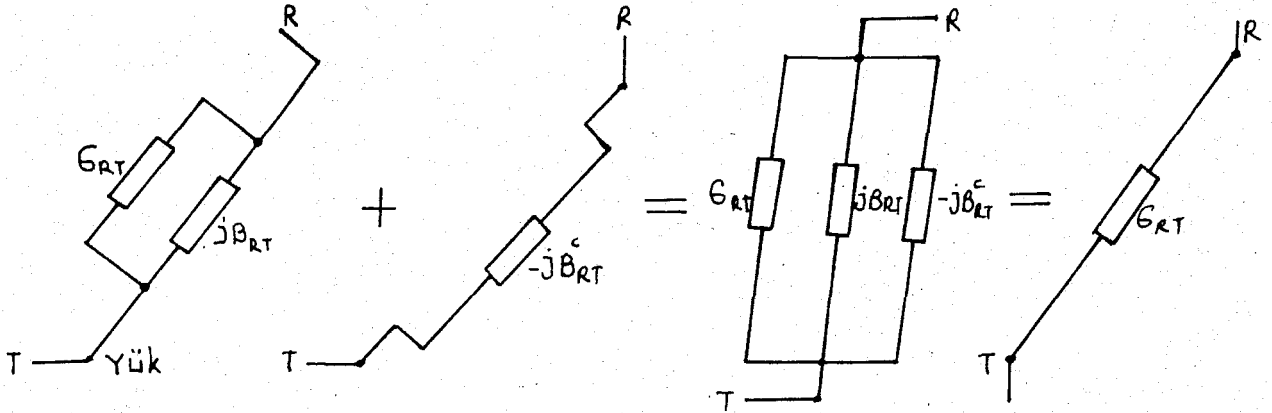
Burada yalnız (Y_{RT}) admitansını göz önüne alalım.

Bu admitansın reaktif kısmı olan süseptansa süseptansa aynı değerde paralel ve ters işaretli bir süseptans bağlayabilirsek (Y_{RT}) yük admitansının

sadece reel kısmı olan (G_{RT}) kondüktansı kalır. Böylece yükün RT fazları arasındaki bileşeni kompanse edilmiş olur. (jB_{RT}) ye paralel bağlanacak süseptans kompanzasyon kontrol elemanı tarafından eklenmiş olacağından bu süseptans ($-jB_{RT}^c$) ile gösterilecektir. Şekil.3.4 de ($-jB_{RT}^c$) nin Şekil.3.3 e eklenmesiyle elde olunan ve yükün RT bileşenlerinin kompanse edilmiş durumu gösterilmiştir.



Şekil.3.3 (Y_{RT}) admitansının kondüktans ve süseptans cinsinden gösterilişi.



Şekil.3.4 Yükün yalnız RT fazları arasındaki elemanın reaktif bileşenin kompanse edilmesi.

Böylece kompanse edilmiş yük, bir fazlı faz arasında bağlı bir yük olmuş olur. Bu yükü dengelemek için, RT fazları dışında kalan TS ve SR fazları aşağıda değerleri verilen admitansları bağlamak gerekir. Bu admitanslarda kompanzasyon sistemi tarafından devreye sokulacaktır.

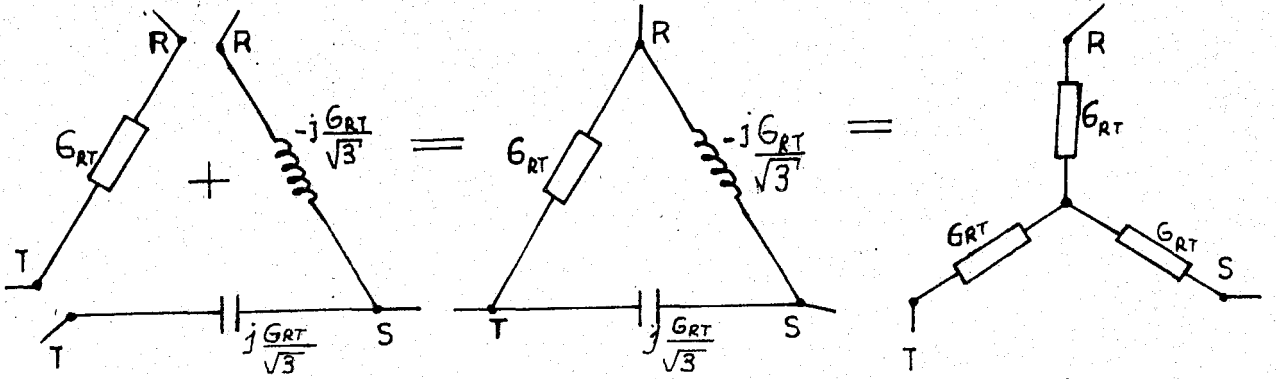
$$B_{TS}^c = jG_{RT} \frac{1}{\sqrt{3}} \quad (\text{Kapasitif süseptans}) \quad \dots \dots \dots (3.5)$$

$$B_{SR} = -jG_{RT} \frac{1}{\sqrt{3}} \quad (\text{Endüktif süseptans}) \quad \dots \dots \dots (3.6)$$

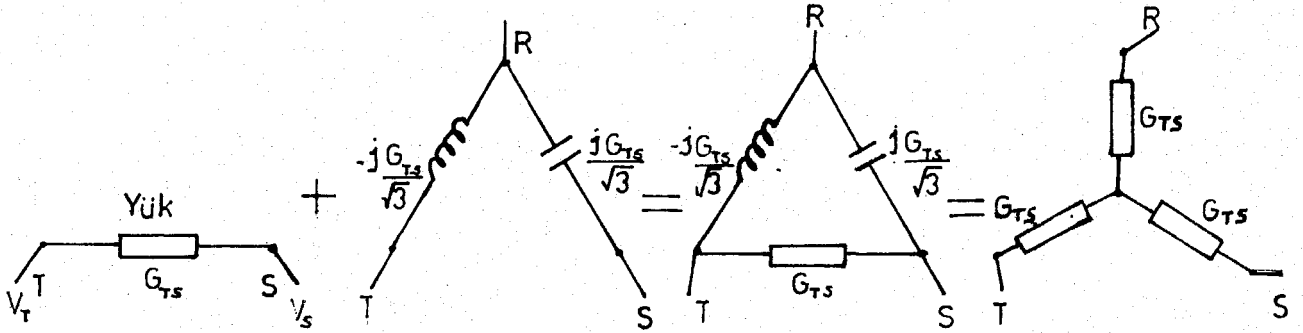
Bu sayede Şekil.3.4 deki bağlantının kullanılmasıyla yükün reaktif kısmı kompanse edilmiş olacaktır.

Şekil.3.5 a da RT fazları arasında bağlı bir (G_{RT}) yükünün, dengeli üç fazlı sisteme dönüştürülmesi için, diğer fazlara eklenmesi gereken endük-

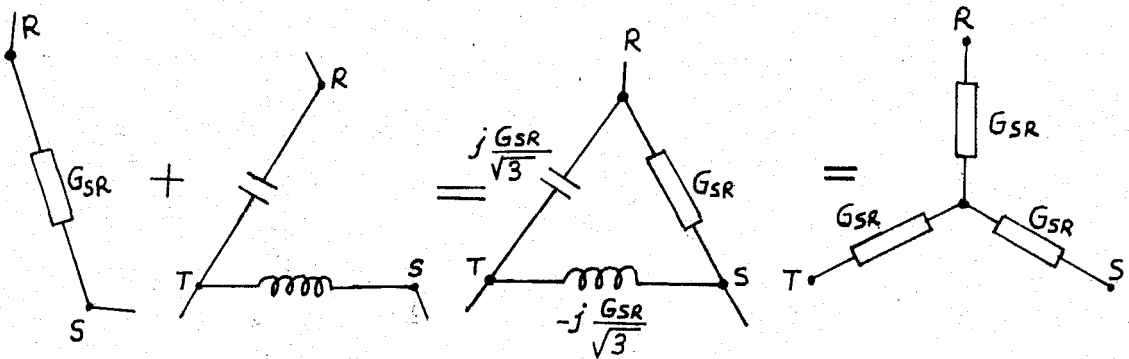
tans ve kapasitanslar görülmektedir. Benzer şekilde TS ve SR fazları arasında bağlı olan (G_{TS}) ve (G_{SR}) kondüktanslarının da aynı şekilde dengeli üç fazlı yüke dönüştürebiliriz. Bu durumlar 3.5. b ve c de görülmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil.3.5 Üç fazlı dengesiz bir yükün a) RT fazları arasında bağlı (G_{RT}) b) TS fazları arasında bağlı (G_{TS}) c) SR fazları arasında bağlı (G_{SR}), yüklerini üç fazlı dengeli yüklere dönüştürmek için, kompanzasyon sistemi tarafından eklenecek, kapasitif ve endüktif admitanslar.

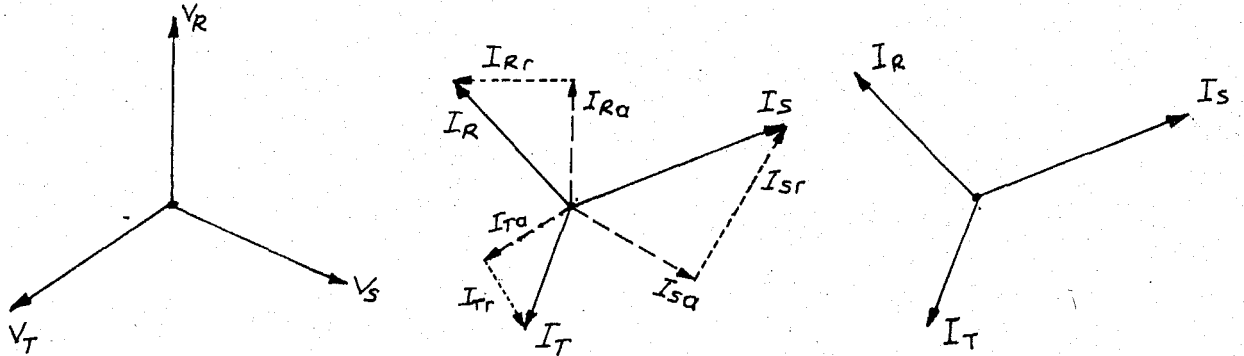
Burada her iki faz arasına bağlı yükün ayrı bir üç fazlı dengeli sisteme dönüştürülmesi verilmiştir. Bu sayede Şekil.3.5 a, b, c şekilleri sanki her biri bağımsız 3 fazlı dengeli yük görünümündedir. Böylece dengesiz 3 fazlı bir yük, dengeli hale sokulmuştur. Bu devreye ait komplike şema Şekil 3.13 de gösterilmiştir.

Şekil.3.5 a da görüldüğü gibi, (G_{RT}) yükünü dengeli 3 fazlı sisteme dönüştürmek için, TS fazları arasına ($jG_{RT}/\sqrt{3}$), SR fazları arasına ise ($-jG_{RT}/\sqrt{3}$) değerlerinde, kapasitif ve endüktif admitanslar eklenmektedir. Bunların kontrol edilmesi, tamamen kompanzasyon kontrol sistemleri tarafından sağlanır. Diğer (G_{TS}) ve (G_{SR}) yüklerini dengelemek için bağlanacak kapasitif ve endüktif admitansların bağlanış sırası ise saat ibresinin ters yönünde kaydırılarak yapılır. Bunların bağlanış sırası Şekil.3.5 a, b ve c de görülmektedir.

Dengesiz yükün kompanse edilmesini vektöryel olarak açıklamaya çalışalım. Şekil.3.2 a da dengesiz yük ve 3.2 b de bu dengesiz yükün üçgen bağlı eşdeğeri görülmektedir.

Bu dengesiz yükün dengeli bir 3 fazlı şebekeye ait V_R, V_S, V_T gerilim sisteminden beslendiğini varsayalım.

$$V_R = V \quad V_S = \alpha^2 V \quad V_T = \alpha V \quad \text{dir.}$$

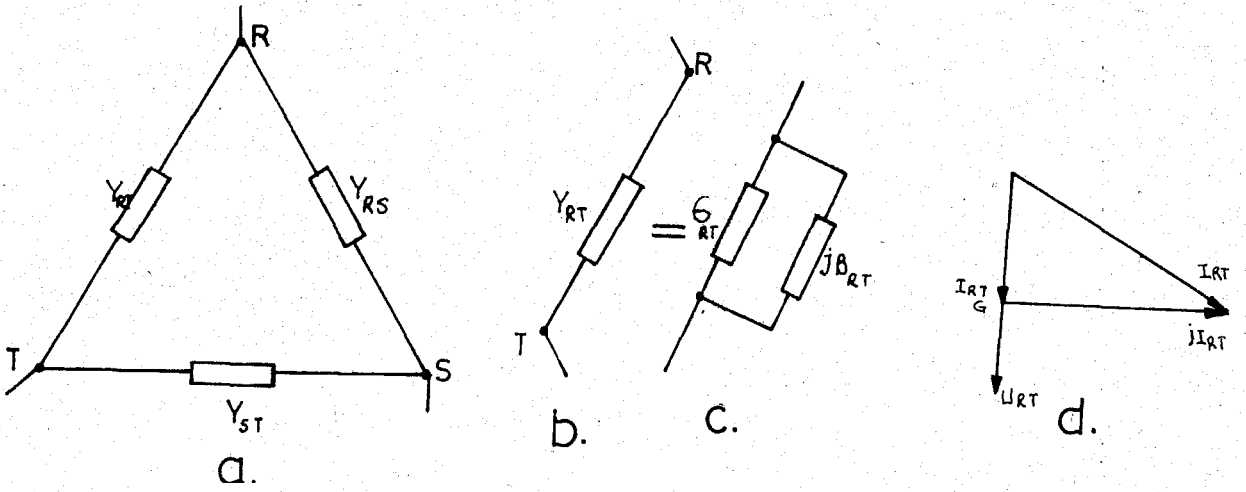


Şekil.3.6 a) Dengeli şebeke gerilimi vektör diyagramı. b) Dengesiz yükün aktif ve reaktif akımlarının bileşkesi. c) Dengesiz yükün şebekeden çektiği akımın vektör diyagramı.

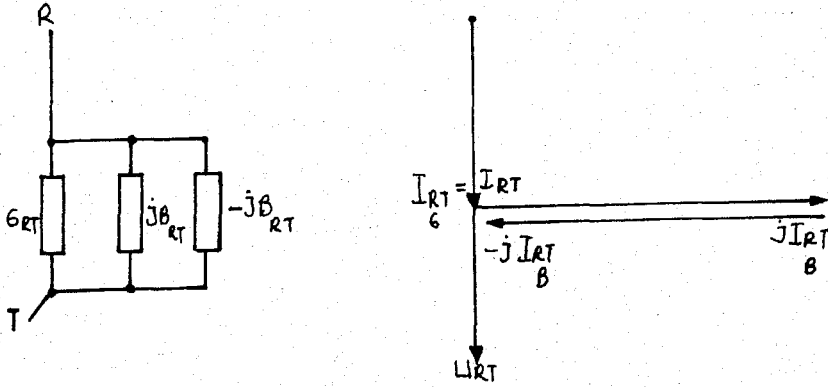
Şebekeden çekilen yük akımları dengesiz olduğu için üç faz akımının vektöryel toplamı artık (0) değildir. Yani sıfır hattından bir akım çekilir. Faz akımları arasındaki 120°'lik açı bozulmuştur.

Dengesiz yükün kompanse edilmesi ve dengelenmesi için üçgen eşdeğerini bunun da yalnız iki faz arasına bağlanmış yük kısmını öncelikle ele almıştık. Şekil.3.7 de RT fazlarına bağlı yükün kondüktans ve süseptans ile akım vektör diyagramı görülmektedir.

Şekil.3.8 de ise bu dengesiz yükün süseptansının kompanse edilmesi ve akımın vektör diyagramı gösterilmiştir.

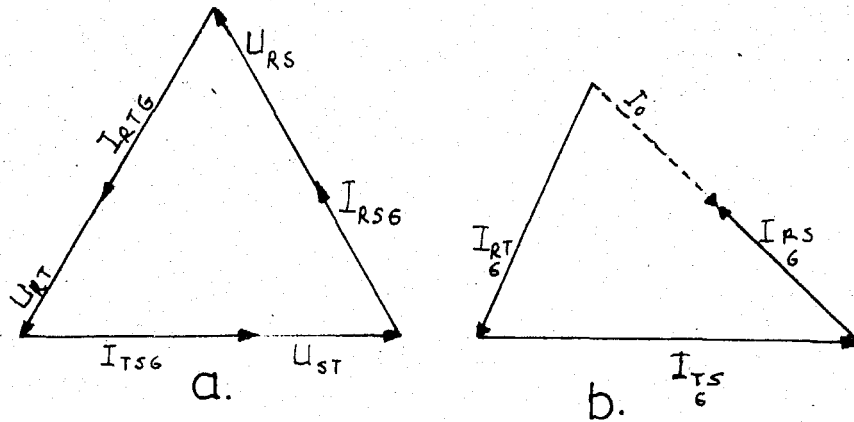


Şekil.3.7 a) Dengesiz yükün üçgen eşdeğeri b) Dengesiz yükün iki faz arası- na bağlanan (Y_{RT}) admitansı. c) RT fazları arasında bağlanan admitansın kondüktans ve süseptansı d) kondüktans ve süseptansın akımları görülmektedir.



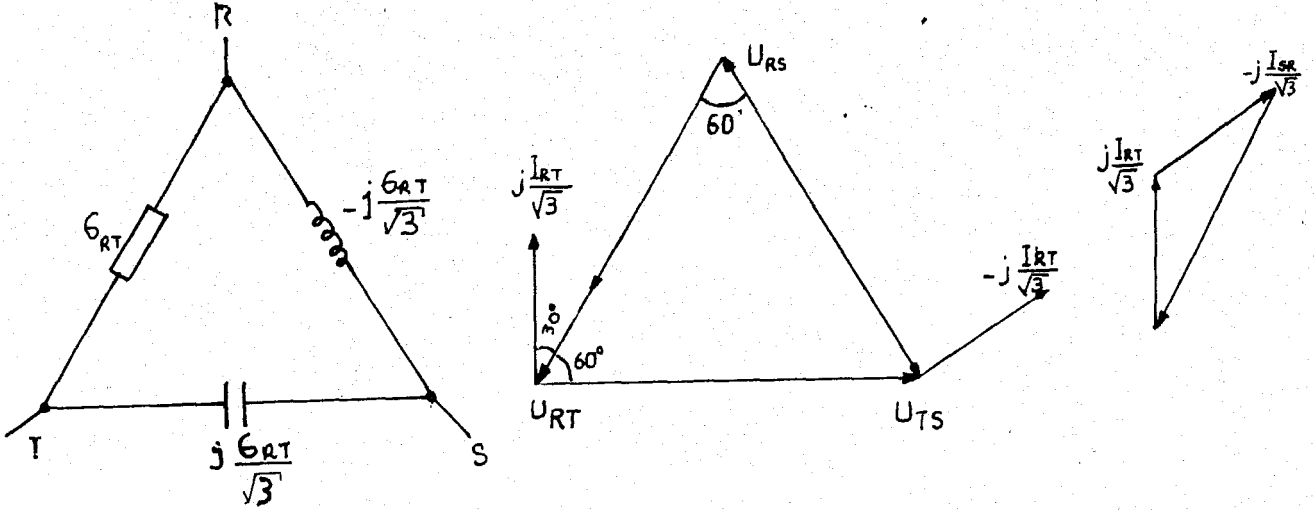
Şekil. 3.8 RT fazları arasında bağlanan dengesiz yükün a) kompanse edilişi b) akımların vektör diyagramı.

Ayrıca Şekil.3.8 de olduğu gibi TS ve SR fazlarına bağlı yüklerinde re- aktif bileşenleri olan süseptansları kompanse edilirse,sadece gerilimle ay-



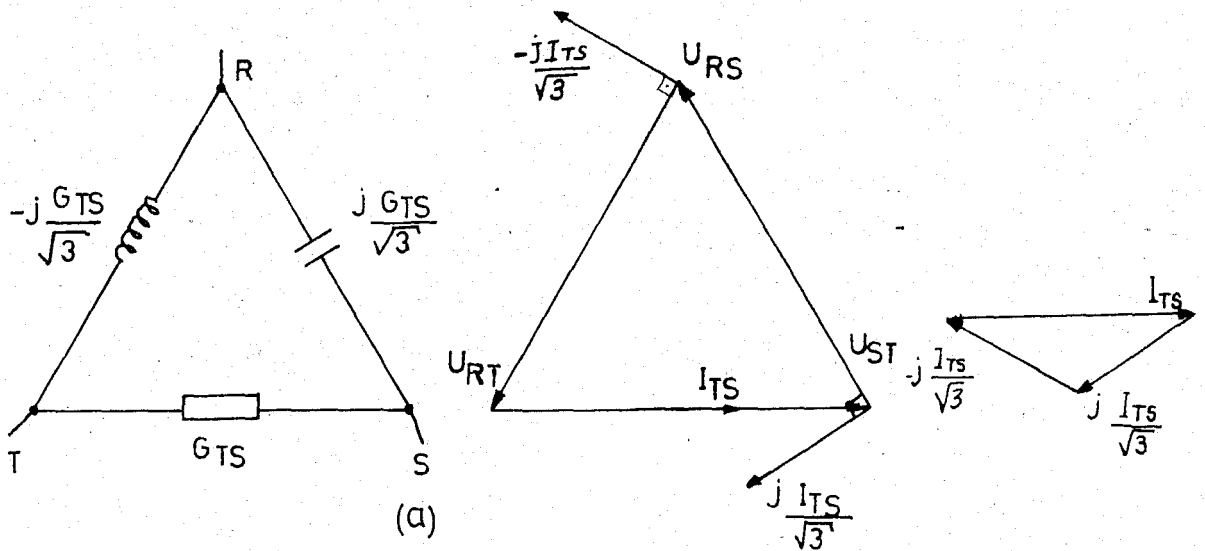
Şekil.3.9 Reaktif akımları kompanse edilmiş dengesiz bir yükün gerilim ve akım vektörleri.

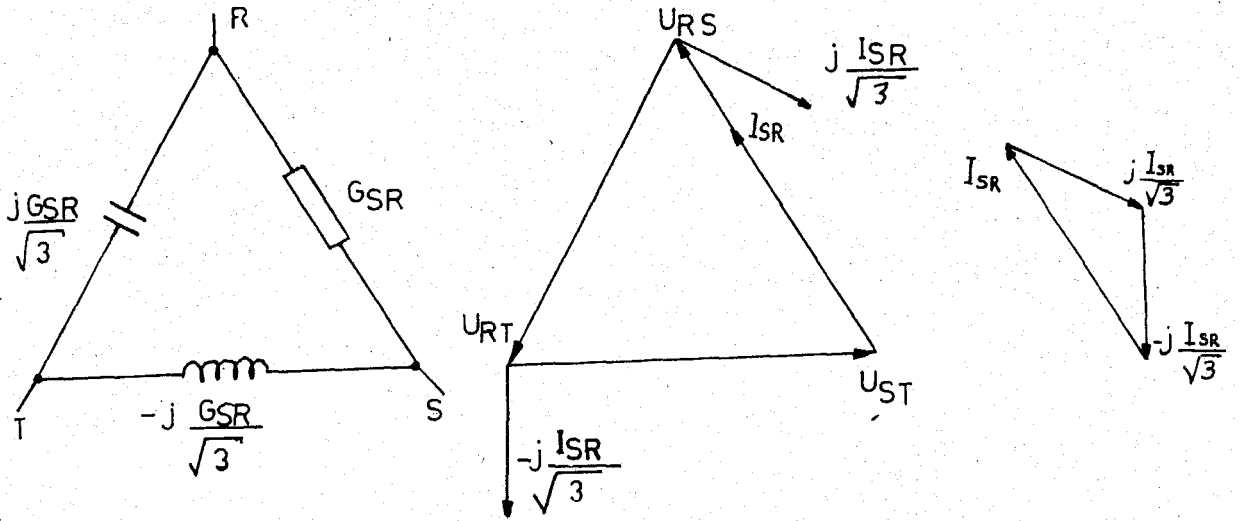
Buradaki çekilen akımları dengelemek için RT fazına bağlanan ve reaktif gücü kompanse edilen (G_{RT}) kondüktansını ele alalım. Daha önce açıklanmış gibi bu kondüktansın yanına TS fazlarına ($j\frac{G_{RT}}{\sqrt{3}}$) kapasitif, SR fazlarına ($-j\frac{G_{RT}}{\sqrt{3}}$) endüktif süseptanslarını bağlar ve vektör diyagramını çizersek Şekil.3.10 elde edilir.



Şekil.3.10 a) (G_{RT}) yükünün dengelenmesi için bağlanan kompanzasyon sistemi. b) (G_{RT}) ve kompanzasyon sisteminin gerilim ve akım vektörleri. c) (G_{RT}) ve kompanzasyon sisteminin akımlarının vektöryel toplamı.

Şekil.3.10 c'de görüldüğü gibi RT fazları arasına bağlanan yükün akımı ile TS arasına bağlanan kapasitif süseptans ve SR fazları arasına bağlanan endüktif süseptans akımlarının vektöriyel toplamı sıfır olmaktadır. Aynı yöntemle, TS ve SR fazlarına bağlanan yüklerin ve kompanzasyon sistemlerinin akımları Şekil.3.11(a) ve (b) deki gibi toplanırsa, vektöriyel toplamı sıfır olur. Böylece üç fazlı devredeki her yük parçasının, çektiği akımların vektöriyel toplamı sıfır olduğu için, bütün yükün akımlarının vektöriyel toplamında sıfır olur. Yani yük dengelenmiştir. Böylece dengesiz yükün hem reaktif güç kompanzasyonu, hemde dengesiz yükün kompanzasyonu yapılmış olur. Böy-

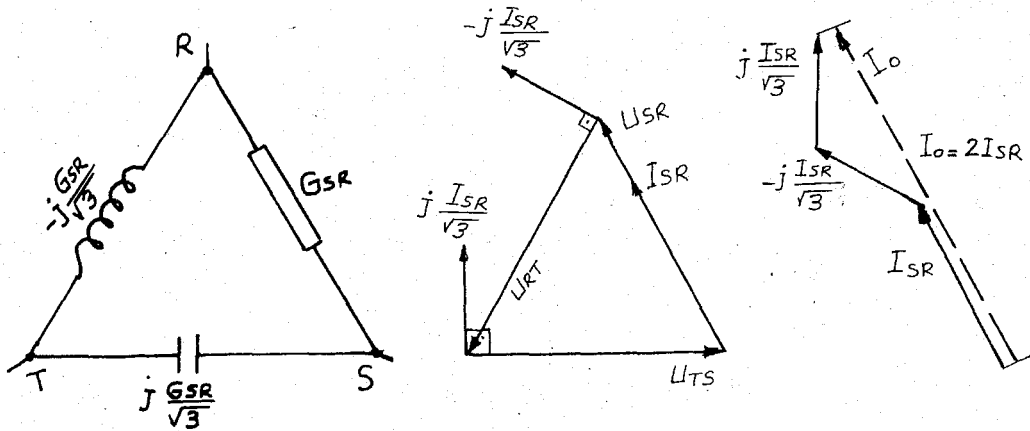




Şekil. 3.11 a) Dengesiz (G_{TS}) yükünün b) Dengesiz (G_{SR}) yükünün, kompanzasyon sistemi ile dengelenmesi, akım ve gerilimin vektör diyagramı.

le işi gerçekleştiren sistemin prensip şeması şekil.3.13 de verilmiştir.

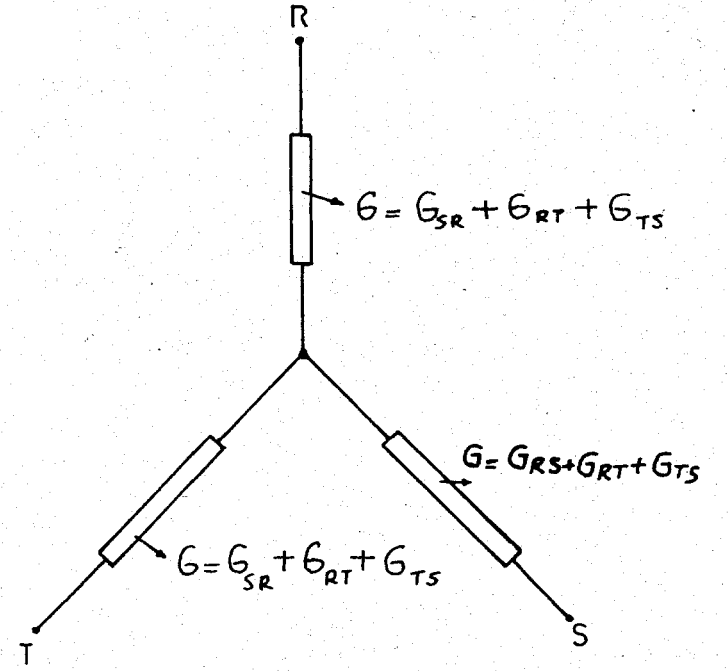
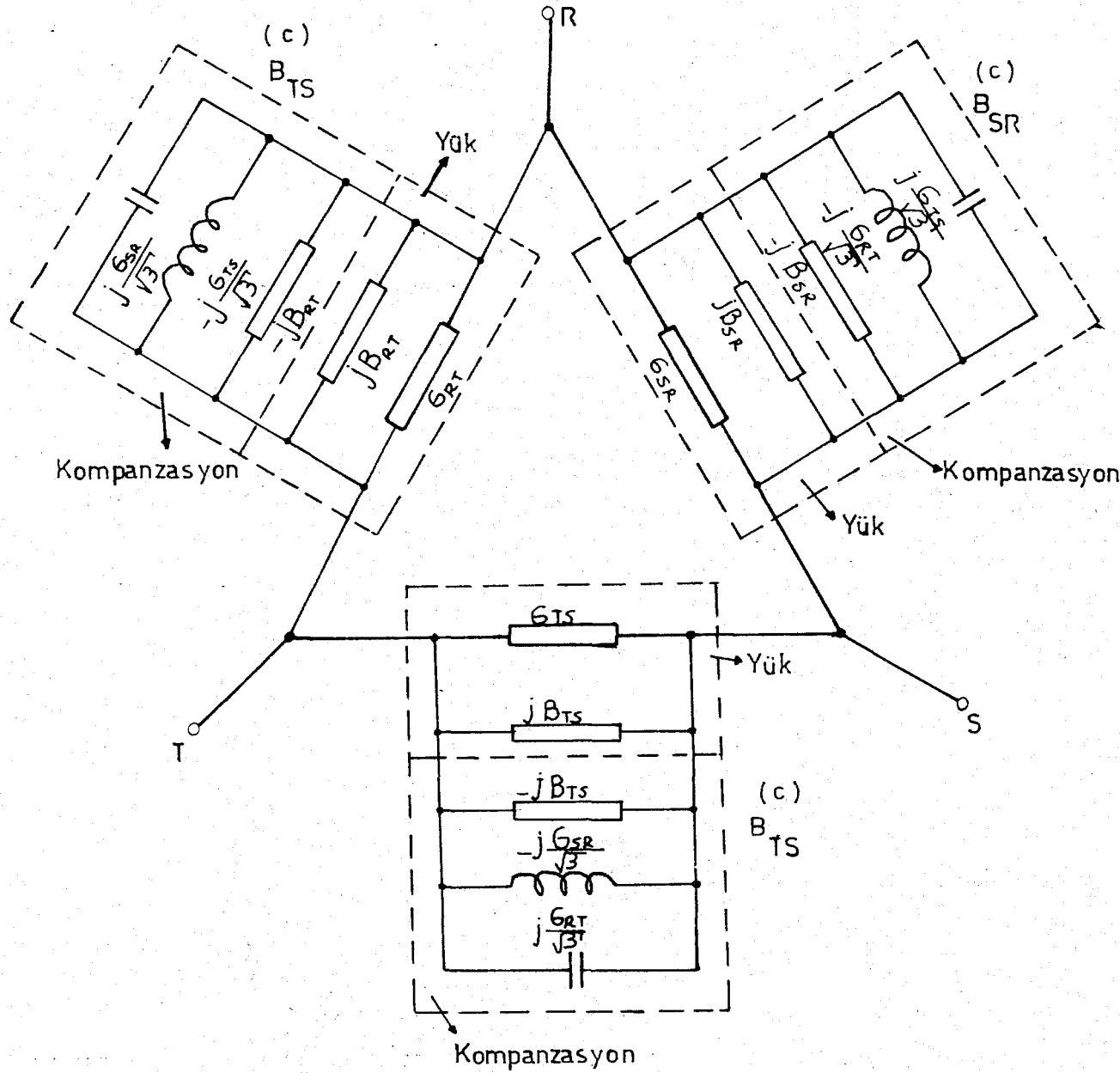
Eğer (G_{RT}), (G_{TS}), veya (G_{SR}) yüklerinin dengelenmesi sırasında, kapasitif ve endüktif admitansların yerleri değişecek olursa, çekilen akımların vektöriyel toplamı sıfır olmayacağından dengesizliği dahada artırır. Bu duruma dikkat edilmelidir. Bununla ilgili örnek, şekil.3.12 de verilmiştir. Burada (G_{SR}) yükünü kompanse ederken, elemanları ters bağladığımızı düşünürsek



Şekil. 3.12. (G_{SR}) yüküne ait kompanzasyon elemanlarının a) Ters bağlanmış şeması b) Gerilim ve akım vektörleri c) Akımların vektöriyel toplamı.

Şekil. 3.12 c de görüldüğü gibi akımların vektöriyel toplamı sıfır değil, ($2I_{SR}$) kadar olmaktadır. Burada dengesiz yükleri dengelemek yerine, dengesizlik artırılmış olur. Yani üç akımın toplamı ($2I_{SR}$) kadar olmuştur. Bu akım kompanzasyon elemanları içinde tehlikelidir. Bundan dolayı kompanzasyon elemanlarının yerleri kesinlikle değiştirilmemelidir.

Şekil. 3.13 de kompanzasyon sisteminin faz sırasına ilave edeceği admitanslar görülmektedir. Bu ifadelerin değerleri



Şekil.3.13 Üç fazlı dengesiz yükün kompanze edilmesi ve dengeleştirilmesi
(Yük bu durumda dengeli ve yalnız aktif güç çeker.)

$$B_{RT}^C = -jB_{RT} - j \frac{G_{TS}}{\sqrt{3}} + \frac{G_{SR}}{\sqrt{3}} \dots \dots \dots (3.7.)$$

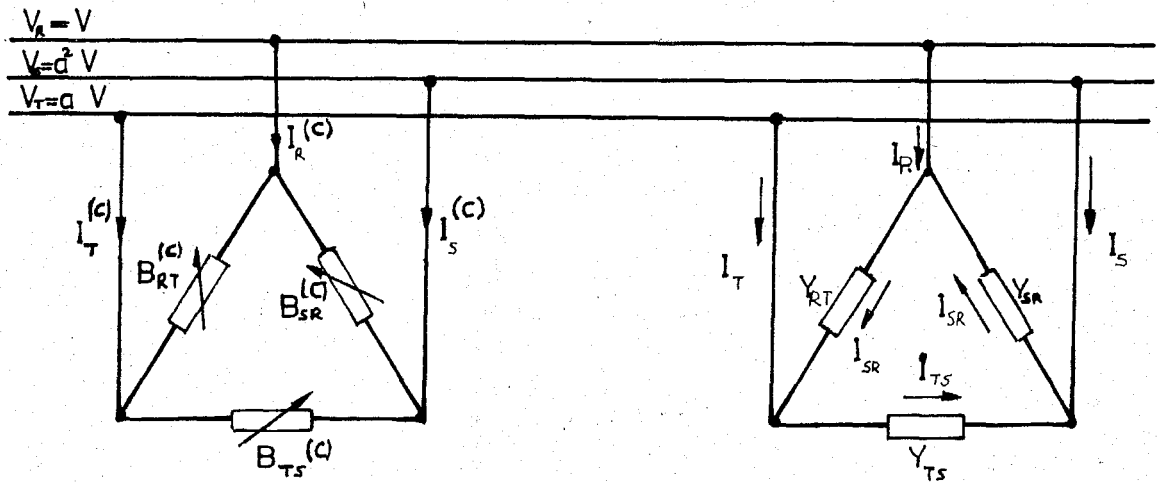
$$B_{TS}^C = -jB_{TS} - j \frac{G_{SR}}{\sqrt{3}} + \frac{G_{RT}}{\sqrt{3}} \dots \dots \dots (3.8.)$$

$$B_{SR}^C = -jB_{SR} - j \frac{G_{RT}}{\sqrt{3}} + \frac{G_{TS}}{\sqrt{3}} \dots \dots \dots (3.9.)$$

şeklindedir. Bu ifadelerdende görüleceği gibi kompanzasyon sistemi kayıpsızdır. Eğer yükün elemanları zamanla yavaş değişme koşulu altında değişirse, kompanzasyon elemanlarının parametrelerinde değişmesi gerektiği, bu bağlantılardan anlaşılabilir.

Kompanzasyon sistemini yükün her fazına paralel bağlı olarak ekliyeceği, reaktif elemanlar yada admitans değerleri, yukarıdaki üç eşitlikte verilmiştir. Bu işlemi otomatik olarak yapacak kontrol sisteminin önce, her (t) anında admitans değerlerini her faz için ölçmek, yukarıdaki eşitliklere göre $(B_{RT}^C), (B_{TS}^C), (B_{SR}^C)$ admitans değerlerini hesaplamak ve örneğin; tistristor kontrollü endüktif admitanslar, bu hesaplanan değerlere eşit olunca yadek değiştirmesi gerekir. Admitans ölçümü, akım ve gerilim ölçümüne göre daha güçtür. İşte bu nedenlerle kompanzasyon kontrol sisteminin, akım ve gerilimlerin ölçülmesi yolu ile kontrol işaretlerini üretmesi ve her faz kompanzasyon elemanlarına, buna göre kumanda etmesi daha pratik olmaktadır. Akım ve gerilimlere göre bu tür kontrol işlemi üretecek (microprocesor) ler ve elektronik devreleri yapmak güç ve pahalı değildir. Kompanzasyon kontrol sisteminin eleman değerlerini; akım, gerilim, yada ani reaktif güçte göre kontrol eden $(B_{RT}^C), (B_{TS}^C), (B_{SR}^C)$ ifadeleri simetrik bileşenler kullanılarak bulunabilir. Burada bu konuya girilmeyecektir.

Şekil.3.14 de üç fazlı dengesiz üçgen bağlı eşdeğeri ile gösterilen yük ve elemanları kontrol edilecek kompanzasyon sistemi görülmektedir.



Üç fazlı kompanzasyon sistemi
(Elemanları, belli kontrol kuralına göre değiştirilir.)

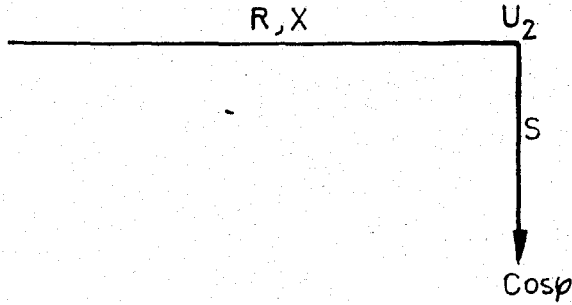
Üç fazlı dengesiz ve reaktif gücü
kompanze edilen yük.

Şekil. 3.14

4.

ALICILARDA YAPILAN KOMPANZASYONUN YARARLARI "4"5"8"

Alicılarda yapılan kompanzasyonun, hem şebeke hemde tüketici bakımından, çeşitli yararları vardır. Bu yararları açıklamaya çalışacağız. Aşağıdaki şekil.4.1 deki hattın sonunda, bir tüketicinin beslendiğini kabul ediyoruz.



R = Hattın omik direnci (Ω)

X = Hattın endüktansı (Ω)

U_1 = Hat başı faz gerilimi (V)

U_2 = Hat sonu faz gerilimi (V)

S = Hattın sonundan çekilen görünür güç (kVA)

$\cos \phi$ = Güç katsayısı

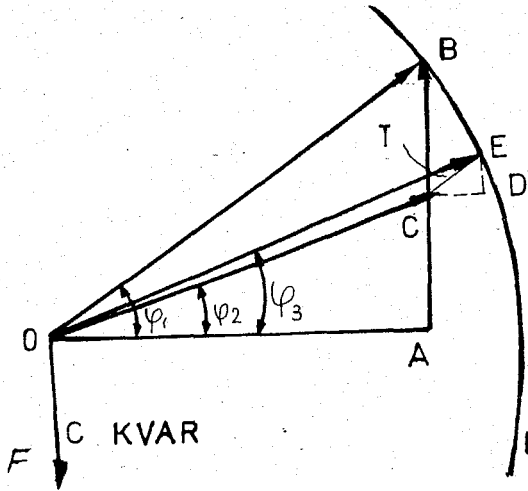
Şekil.4.1 Bir tüketicinin enerji aldığı hat.

4.1 ŞEBEKEDKİ YARARLARI

Alicılarda yapılan kompanzasyon, yani güçkatsayısının iyileştirilmesiyle; bütün üretim, iletim ve dağıtım tesislerinde hissedilir derecede bir ferahlama meydana gelir. Bunu üç yönden inceleyebiliriz.

4.1.1 ŞEBEKE GÜÇ KAPASİTESİNİN ARTIRILMASI

Reaktif güç kompanzasyonu yapıldığında reaktif akım kompanzatorlarla karşılaşacağından, sistemden daha küçük bir değerde akım çekilecektir. Bu ise transformatörlerin ana ve tali fiderlerin daha düşük seviyede yüklenmelerini sağlayacaktır. Dolayısıyla kompanzatorlar, mevcut sistemlerdeki aşırı yüklenmeleri önleyeceklerdir veya bu durum yoksa, ilave sistem kapasitesi yaratılmasını sağlayacaktır.



$\cos \phi_1$ = Orijinal güç faktörü

$\cos \phi_2$ = Orijinal yükün BC = OF kapasitif reaktif güç ilavesiyle düzeltilmiş güç faktörü.

$\cos \phi_3$ = Toplam güç faktörü.

Şekil.4.2 Termik sınırına dayanmış bir elemanda güç faktörünün düzeltilmesiyle meydana çıkan sistemin kapasitesi.

Termik sınırına dayanmış bir elemanda güç faktörünün düzeltilmesiyle meydana çıkan sistemin kapasitesi Şekil.4.2 de görülmektedir. Burada ilave edilen (T) yükü kompanzasyon yapılmadan önceki güç faktöründe kullanılacağı varsayılmıştır.

a) Hat sonundan çekilen (P) aktif gücü sabit olsun. Kompanzasyondan önce çekilen görünür güç (Şekil.4.2 de OB kadardır).

$$S_1 = \frac{P}{\cos \varphi_1}, \quad S_2 = \frac{P}{\cos \varphi_2} \quad \dots \dots \dots (4.1)$$

ve kompanzasyondan sonra çekilen görünür güç (Şekil 4.2 de OC kadardır) bu ikisi arasındaki fark ($\Delta S = S_1 - S_2$) olur.

Bunun başlangıçtaki değerine oranı

$$\% \Delta S = \frac{\Delta S}{S_1} \cdot 100 = 100 \cdot \left(\frac{S_1 - S_2}{S_1} \right) = 100 \cdot \left(1 - \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \right) \quad \dots \dots \dots (4.2)$$

dir. Şu halde kompanzasyon sayesinde tesisin yükü (% ΔS) oranında azalır veya tesisi aşırı yüklenmeden (% ΔS) oranında yeni bir tüketicinin beslenmesi mümkün olur.

b) Çekilen 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

$$\% \Delta P = \frac{\Delta P}{P_1} \cdot 100 = 100 \cdot \left(\frac{P_2 - P_1}{P_1} \right) = 100 \cdot \left(\frac{\cos \varphi_2}{\cos \varphi_1} - 1 \right) \quad \dots \dots \dots (4.3)$$

oranına artmasına neden olur.

Örnek : Güç katsayısının 0,6 dan 0,9 a çıkması durumunda sistemde kapasite artışı.

$$\% \Delta P = 100 \left(\frac{0,9}{0,6} - 1 \right) = 50 \quad \% \Delta P = \% 50 \text{ olur.}$$

Sonuç : Hattan çekilen görünür güç sabit kalmak şartıyla güç katsayısı 0,6 dan 0,9 a çıkarıldığı zaman hattan çekilen aktif güç % 50 artmıştır.

4.1.2 ŞEBEKEDEN ISI KAYBININ AZALMASI

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

$$P_{z1} = \frac{R \cdot P^2}{U^2 \cos \varphi_1} \quad (4.4)$$

ve kompanzasyondan sonraki ısı kaybı

$$P_{z2} = \frac{R \cdot P^2}{U^2 \cos \varphi_2} \quad \dots \dots \dots (4.5)$$

dir. Güç katsayısının düzeltilmesiyle çekilen aktif güce göre mutlak ısı kaybı cinsinden elde edilen kazanç aşağıdaki gibi

$$\% Z = 100 \cdot \frac{P_{z1} - P_{z2}}{P_{z1}} = 100 \left(1 - \frac{\cos^2 \varphi_1}{\cos^2 \varphi_2} \right) \quad (4.6)$$

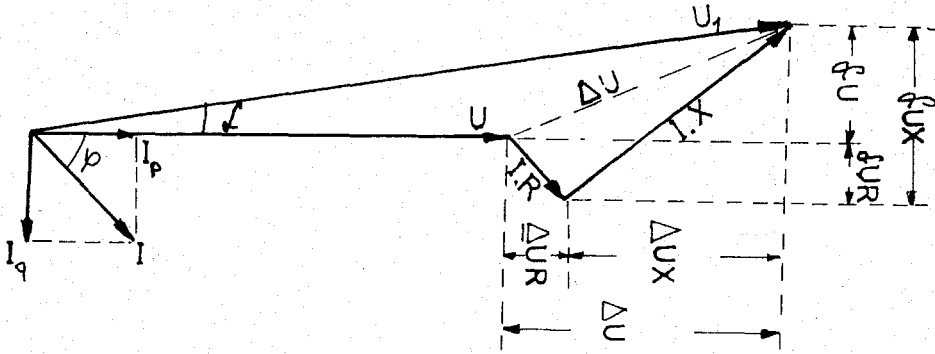
dır. Tam kompanzasyon yapılması halinde ($\cos \varphi = 1$) göre çeşitli güç katsayıları için, şebeke ısı kayıplarının hangi oranda azalacağı tabloda verilmiştir.

Cos	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
% Z	0	19	21	36	64	75

Tablo 1

4.1.3 GERİLİM DÜŞÜMÜNÜN AZALMASI

Şekil.4.1 de gösterilen besleme hattının başındaki gerilim U_1 ve sonundaki gerilim U_2 ise hat üzerindeki gerilim düşümü



Şekil.4.3 Alıcı hattındaki enine ve boyuna gerilim düşümleri.

$$\vec{\Delta U}' = U_1 - U_2 \quad (4.7)$$

$$\Delta U = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi = R \cdot I_P + X \cdot I_Q \quad (4.8)$$

$$\sqrt{U} = \sqrt{U_X} - \sqrt{U_R} = X \cdot I \cdot \cos \varphi - R \cdot I \cdot \sin \varphi = X \cdot I_P - R \cdot I_Q \quad (4.9)$$

Şekil.4.3 de endüktif bir tüketiciye ait boyuna ve enine gerilim düşümleri görülmektedir.

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

$$\% P_z = 100 \frac{3 I^2 R}{P} \quad (4.10)$$

olduğu gözönüne alınarak gerilim düşümündeki yüzde oranı bulunur.

$$\% \frac{\Delta U}{U} = \% \xi = 100 \cdot \left(\frac{I \cdot R \cdot \cos \varphi}{U} + \frac{I \cdot X \cdot \sin \varphi}{U} \right) \quad (4.11)$$

Bu eşitliklerin birinci teriminde (U) nun $U \equiv P / I \cdot \cos \varphi$, ikinci teriminde I'nın $I = P / U \cdot \cos \varphi$ eşitlikleri denklem 4.11 de yerine koyduğumuzda

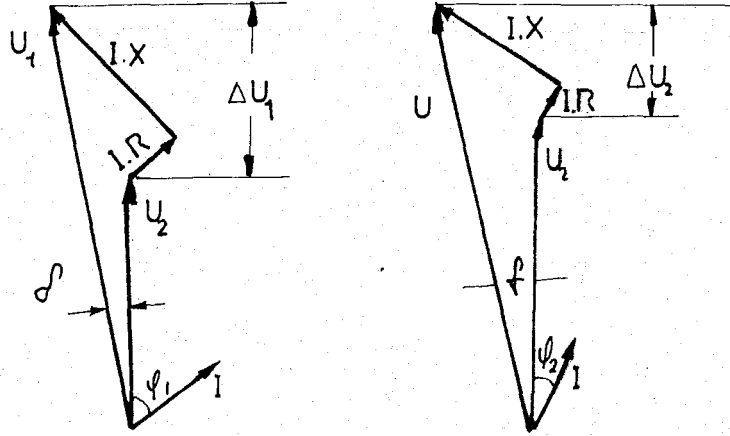
$$\% \xi = 100 \left(P_z \cdot \cos^2 \varphi + \frac{P_X}{U^2} \tan \varphi \right) \quad (4.12)$$

elde edilir.

Örnek : Şebeke değerleri $P_z = \% 8$, $P = 3$ MW, $U = 10$ kV, $\chi = 2$ (ohm/faz) olan besleme hattı için güç katsayısına bağlı olarak hesaplanan gerilim düşümü değerleri cetvelde verilmiştir.

	ENDÜKTİF					OMİK	KAPASİTİF				
Cos φ	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
(%) Σ	12,4	10,88	10,04	9,62	9,39	8	3,57	0,62	-2,20	-5,12	-8,4

Tablo.2



Şekil.4.4 Endüktif bir devrenin a) Güç katsayısı düzeltilmemiş b) Güç katsayısı düzeltilmiş vektör diyagramları.

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

$$\epsilon = U_k \frac{Q_c}{S_{Tr}} \dots \dots \dots (4.13)$$

($Q_c = \text{KVAR}$) cinsinden kondansatörün gücü, ($S_{Tr} = \text{KVA}$) cinsinden trafo gücü

Genellikle tüketici uçlarında gerilim 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 yapıldığı taktirde gerilim yükselmesi önlenmiş olur.

4.2 TÜKETİCİYE YARARLARI

Kurulacak Tesiste

- 1°- Alıcı transformatörün varsa kumanda, koruma ve kontrol donanımının gereğinden daha büyük olmamasını
- 2°- İletkenlerin daha küçük kesitte çekilmesini sağlar.
- 3°- Kullanılan malzemelerin akım kapasitesi normaldeki duruma göre küçük olacağından maliyet oldukça azalır.

Kurulu bir tesiste

- 1°- Transformatör (varsa) ve tesisatın kapasitesinin, veriminin yükselmesini sağlar.
- 2°- Şebekeden daha çok aktif güç çekilmesini sağlar.
- 3°- Kayıpların ve gerilim düşümünün azalmasını sağlar.

sonuçta enerjinin birim maliyeti düşerek görülen hizmet ve ürünün ekonomik almasını sağlarız.

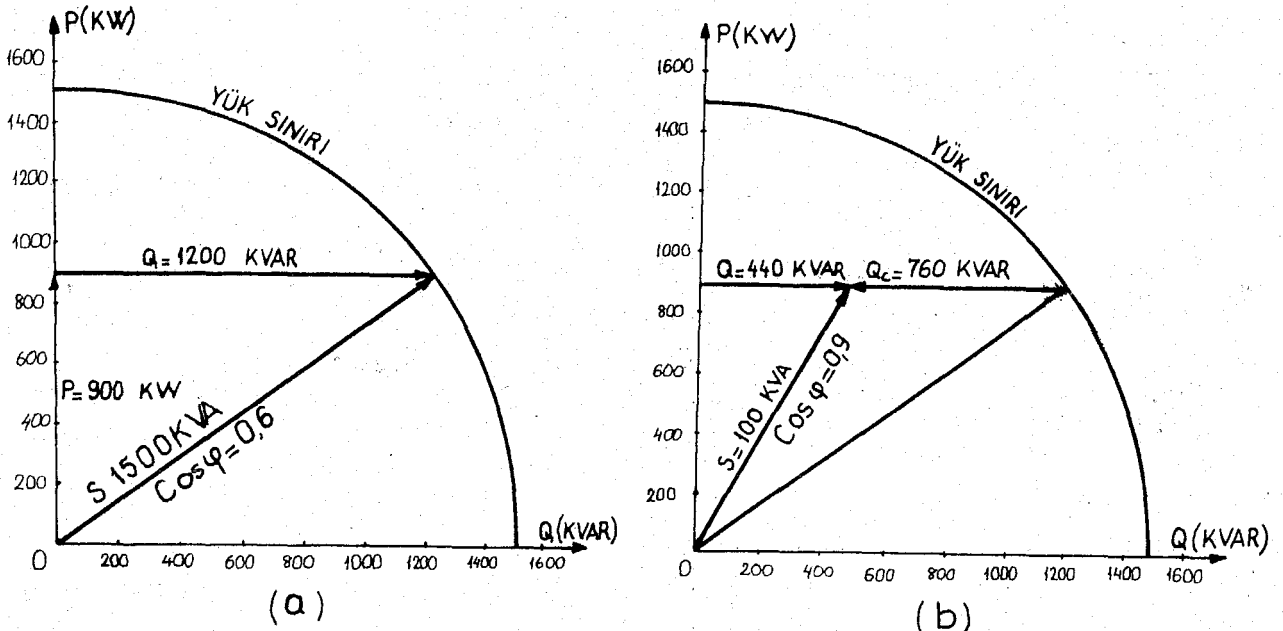
Buraya kadar verilen bilgilerin ışığı altında kompanzasyonun tüketiciye yararlarını grafiksel ve sayısal örneklerle açıklayalım.

Grafiksel örnek 1 : 1500 kVA. lik transformatörden $\cos\phi = 0,6$ ind. olması durumunda istifade edilebilecek maksimum güç 900 kW dır. Bununla ilgili grafikler Şekil.4.5 de gösterilmiştir.

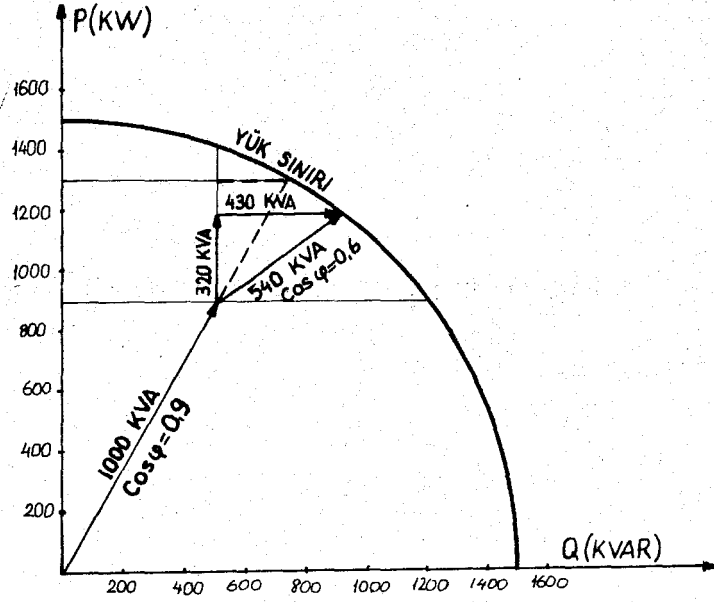
Şekil.4.5 a ya bakılırsa 1500 kVA.lik bir trafodan $\cos\phi = 0,6$ durumunda 900 kW.lık maksimum güç elde edilebileceği görülüyor.

Şekil.4.5 b de aynı 1500 kVA.lik trafonun yüküne 760 kVA.lik bir kondansatör bağlanıyor.900 kW.lık enerji için şebekeden çekilen görünür güç 1000 kVA. ya iniyor. Bu anda trafomuzun gücü 500 kVA azalmış oluyor.

Şekil.4.5 c de trafodan 1000kVA ve 0,9 güç katsayılı bir yük çekilirken trafomuzu tam kapasite ile yüklemek istersek



Şekil.4.5



Şekil.4.5 1500 kVA.lik bir trafonun a) 0,6 geri güç katsayılı durumda yüklenmiş grafiği b) 760 kVA.lik bir kondansatör bağlanarak kompanze edilmiş grafiği c) 1000 kVA. ve $\text{Cos } \varphi = 0,9$ ind. yüklü durumdan tam kapasiteyle yüklenme durumunun grafiği.

Trf.muza 560 kVA ve $\text{Cos } \varphi = 0,6$ olan bir yük eklenirse trf.muzun aktif aktif gücü 320 kW artmış olur.

Eğer 500 kVA $\text{Cos } \varphi = 0,9$ olan bir yük eklenirse trf.muz aktif gücü 450 kW artmış olur.

Örnek : $S_1 = 1000$ kVA ($P_1 = 700$ kW $Q_1 = 714$ kVAR) $\text{Cos } \varphi = 0,7$ (% $P_z = \%8$), $u = 15$ V $X = 2$ 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.

$\text{Cos } \varphi_1$	$\text{Cos } \varphi_2$	P_1	$\text{tg } \varphi_1 - \text{tg } \varphi_2$	Q_c (kVAR)	S_2 (kVA)	ΔS_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	485	736,8	35,7	230

Tablo.3

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 kVA artırmak olanağı elde edilmektedir. Diğer bir anlamla sistemin mevcut durumundan % 35,7 daha fazla yüklenmesi mümkün olur.

b) Hat sonundan çekilen (S₁) görünür gücünün sabit kalması durumunda yapılan hesaplamalar sonucu tablo 4 deki değerler elde edilir.

$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$	S_1 (kVA)	$\sin\varphi_1 - \sin\varphi_2$	Q_c (kVAR)	P_2 (KW)	P_2 (KW)	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

Tablo. 4

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

2°- Isı kaybının azalması

Denklem 4.6 ya göre aşağıdaki hesaplama yapılırsa

$\cos 0,7$ de çalışmasına göre ısı kaybında

$$\cos\varphi_2 = 0,85 \text{ de } \% 32,18$$

$$\cos\varphi_2 = 0,90 \text{ da } \% 39,51$$

$$\cos\varphi_2 = 0,95 \text{ de } \% 45,71$$

oranında azalma olacaktır. Dolayısı ile kayıplar için ödenen ücretlerde bu oranda azalmış olur.

3°- Gerilim düşümünün azalması

Denklem 4.12 ye göre hesaplama yapılırsa, hattaki gerilim düşümlerinin alıcı ucundaki gerilime göre, yüzde oranları eşitliğinden faydalanarak $\cos 0,7$ için ve aşağıdaki \cos lere göre gerilim düşümü azalması elde edilir.

$$\% \Sigma = 100 \cdot \left[8 \cdot (0,7)^2 + \frac{700 \cdot 2}{15^2} \cdot 1,0202 \right] = \% 10,27$$

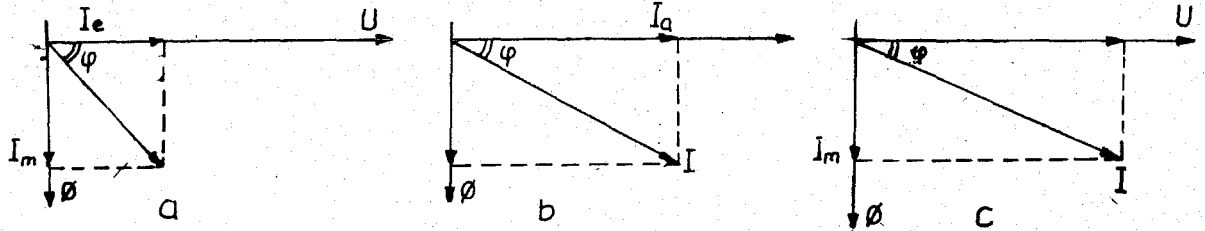
$$\cos\varphi_2 = 0,85 \text{ için } \% \Sigma = \% 9,6$$

$$\cos\varphi_2 = 0,90 \text{ için } \% \Sigma = \% 9,49$$

Bu durumda güç faktörünün 0,9 a çıkarılması ile, gerilim düşümündede % 0,78 lik bir azalma olduğu görülür.

4.3 SANAYİ MOTORLARINDA GÜÇ KATSAYISI VE VERİMİN DÜŞME NEDENLERİ

Sanayide kullanılan motorların büyük bir çoğunluğu asenkron (İndüksiyon) motoru olduğunu biliyoruz. Asenkron motorların şebekeden çektikleri akımı, iki bileşene ayırabiliriz. Buna ait şema şekil. 4.6 da verilmiştir. Mıkna-



Şekil. 4.6 Bir asenkron motorun a) Boşta b) Yarı yükte c) Tam yükte çalışma vektör diyagramları.

tıslamayı sağlayan reaktif bileşen yani (I_m) akımı her yükte sabittir. Ancak motora yük bindikçe, motorun çektiği aktif akım artmakta, böylece bileşke akımda artmaktadır. Ancak ($\sin \varphi = I_m / I$) den I büyüdükçe ($\sin \varphi$) küçülmemekte, dolayısıyla ($\cos \varphi$) artmaktadır.

T.E.K. nun yapmış olduğu istatistiğe göre, güç katsayılarına göre % olarak işyerlerini sınıflandırmıştır.

Güç katsayısı $\cos \varphi = 0,8$ ve üzerinde olan atelyeler	% 5
" " $\cos \varphi = 0,7 \sim 0,8$ arasında	" " % 35
" " $\cos \varphi = 0,7$ nin altında	" " % 60

Bir asenkron makinanın milinden alınan güce göre, $\cos \varphi$ nin yanında verimde değişmektedir. Aşağıdaki tablo. 5 de bir asenkron motorun çeşitli yüklerinde verimi ve $\cos \varphi$ si gösterilmiştir.

	Boşta	1/4 Yük	1/2 Yük	3/4 Yük	4/4Yük
VERİM %	0	75	82	86	86
COS φ	0,17	0,55	0,73	0,80	0,86

Tablo. 5

Tam yükünün altında çalışmış sanayi motorlarında verim ve güç katsayısı düşmektedir. Az yükte çalışma nedeni ise motorun gereğinden büyük güçte seçilmiş olmasındandır.

Şekil.4. 6 ya bakılırsa, motorun mıknatıslama akımı daima sabit olduğu için, az yüklerde güç katsayısı ve verim düşüktür.

Reaktif güç ihtiyacını karşılamak için, reaktif gücün bir yerde üretilmesi gerekir. Bunun için en eski ve en klasik yol, aktif güç gibi reaktif gücünde, senkron generatör tarafından üretilmesidir. Reaktif güç üretimi, aktif güç gibi santrallerde su, akaryakıt, kömür ve benzeri gibi ham enerji sarfiyatı gerektirmez. Sadece generatör uyarmasının artırılması ile generatör endüktif reaktif güç verecek duruma getirilir. Böylece santrallerde üretilen reaktif güç, generatör, traf ve enerji nakil hattı üzerinden geçerek tüketiciye ulaşır. Bu esnada elektrik tesisleri reaktif güç tarafından gereksiz yere işgal edileceklerinden, aktif güç bakımından bunların kapasitelerinden tam olarak yararlanmak mümkün olmaz ve işletme ekonomik olmaktan çıkar. Onun için tesisleri reaktif güçten kurtarmak, tesis elemanlarının kapasitelerinden tam olarak faydalanmak ve ekonomik bir işletme sağlamak amacıyla reaktif gücün, santralde değil, tüketim merkezlerinde üretilmesi en uygun ve ekonomik yoldur.

Tüketicilerin normal olarak şebekeden çektikleri endüktif gücün, 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 kaydırıcılar ve kondansatörlerdir.

5.1 DİNAMİK FAZ KAYDIRICILAR

Reaktif güç üretiminde kullanılan dinamik faz kaydırıcıların başında aşırı uyarılmış senkron makineler gelir. Genel olarak santrallerden gelen, enerji nakil hatlarının sonunda ve tüketim merkezlerinin başında, şebekeye bir senkron makina paralel bağlanır ve bölgenin reaktif güç ihtiyacı, bu makina tarafından sağlanır. Şebekeye bağlanan senkron makina, şebekeden boşta çalışma kayıplarını karşılayacak kadar, çok küçük bir aktif güç çeker ve şebekeye istenen reaktif gücü vererek bir reaktif güç üreticisi (generatör) olarak çalışır. Bu esnada bunun ayrıca tahrik edilmesine de gerek yoktur. Senkron faz kaydırıcıların kayıpları kondansatörlere göre yüksek olduğu gibi bunların devamlı bakımlara ihtiyaçları vardır. Ayrıca bunların güçleri çok büyük olduğu takdirde ekonomik olarak inşası ve temini mümkün olur. Bundan başka bu gibi üreticiler bir tüketim merkezinin civarında yerleştirildiğinden, sadece generatörler ve yüksek gerilim enerji nakil hatlarıyla, buna ait transformatörler bir veya iki kademeli orta gerilim şebekeleriyle alçak gerilimli dağıtım şebekesi reaktif güç nakletmek zorunda kalır. Onun için dinamik faz kaydırıcılar bugün ancak özel hallerde ve ekonomik şartların gerçekleştiği yerlerde kullanılır. Örneğin : Büyük atölyelerde senkron motordan mekanik güç alınırken aynı zamanda senkron motor aşırı uyarımlı çalıştırılabilir. Hem mekanik mil gücü alınırken hem de şebekeye reaktif güç verir. Ayrıca şalt merkezlerinde de aşırı uyarımlı senkron makina çok kullanılmaktadır.

5.1.1 SENKRON MAKİNALARIN ÇALIŞMA PRENSİBİ YOL VERME SİSTEMLERİ VE KULLANILDIĞI YERLER "9"

Çalışma prensibi :

Bir yükü beslemekte olan paralel bağlanmış iki alternatörden birinin döndürücü makinasından bu alternatöre verilen mekanik enerji kesilecek olursa, bu alternatör kendi kayıplarını karşılayacak kadar bir akım çeker ve motor olarak senkron devrinde dönmesine devam eder. Buna senkron makina denir. Yapı olarak alternatörden farksızdır. (d.a.) dinamosu nasıl (d.a) motoru olarak çalışabiliyorsa, alternatörde senkron motor olarak çalışabilir.

Senkron makinaların hemen hepsi çıkıntılı kutuplu olup, alternatörlerde olduğundan daha fazla, amortisör (söndürüm) sargısı vardır. Bunlardan başka yapı bakımından herhangi bir fark yoktur.

Senkron kompanzatör olarak kullanılan senkron makinalar ise, genellikle yuvarlak kutuplu olarak yapılmışlardır.

Asenkron motorlarda statorda meydana gelen döner alan, rotor sargılarında bir e.m.k.endükleyerek rotor akımını ve alanını meydana getiriyor. Bu iki alanın etkisi ile, rotorda dönme momenti meydana getiriyordu. Senkron makinada ise endüvi sargılarında meydana gelen döner alan ile, endüktör (d.a.) sargılarının oluşturduğu alanın kutupları kilitlenir. Rotor senkron hızla bu iki alan tarafından sürüklenerek döndürülür. Senkron makinaların uyarma akımları değiştirilerek, şebekeden çektikleri akımın açısı değişmektedir. Ayrıca senkron makinanın üzerindeki yükün değişmesi çeşitli etkilere yolaçmaktadır. Bunlar ileriki konularda açıklanacaktır.

Yolverme sistemleri :

Bilindiği gibi senkron makinalar ataletlerinden dolayı, kendi kendilerine yol alamazlar. Onun için özel yolverme sistemleri geliştirilmiştir. Bunlar ;

- 1° - Alternatör olarak çalıştırıp yolvermek.
- 2° - Aynı milde bulunan uyartım dinamosunu motor olarak çalıştırarak yol vermek.
- 3° - Yardımcı bir döndürme makinasıyla yolverme.
- 4° - Senkron makinayı sincap kafesli asenkron motor olarak çalıştırarak yolverme.
- 5° - Senkron makinayı, rotoru sargılı asenkron motor olarak çalıştırarak yolverme.
- 6° - Senkron makinaya, otomatik olarak yolvermek.
- 7° - Frekans değiştiricilerle senkron makinaya yol vermek.

Bu yol verme sistemlerinden hangisi uygunsa o kullanılır. Ancak altıncı ve yedinci şıklar yeni geliştirilmiş bir yöntemdir. Bundan dolayı altıncı yol verme sisteminin şemasını ve kısaca açıklamasını verelim.

Senkron makinalara otomatik yolverme sistemi :

Senkron makinalara otomatik olarak birkaç şekilde yol verilebilir. Bunlardan biride, frekansa dayanan senkronizasyonlu tam gerilimle yol ver-

medir. Gerilim düşürücü yol verme düzenleri, başlangıçta motoru azaltılmış bir gerilime bağlar ve senkron hızın hemen altında tam gerilme dönüştürülür. Bu dönüştürme bir zaman gecikmeli röle veya bir frekans rölesiyle kontrol edilir.

Şekil.5.1 deyse makinanın doğrudan doğruya şebeke gerilimiyle çalıştırılıp, seçilen frekansta bir röleyle senkronize etmek için düzenlenmiş, senkron makina kontrol devresinin basitleştirilmiş bir bağlantısı görülmektedir. Başlatma butonuna basıldığı zaman (LV) rölesi ve (M) kontaktörü enerjilenir, senkron motor emüvi sargıları şebekeye bağlanır. Bu anda rotor uyarma sargılarında şebeke frekansında bir gerilim indüklenir. (R) direnci ve (FRA) rölesinden bir akım geçer.

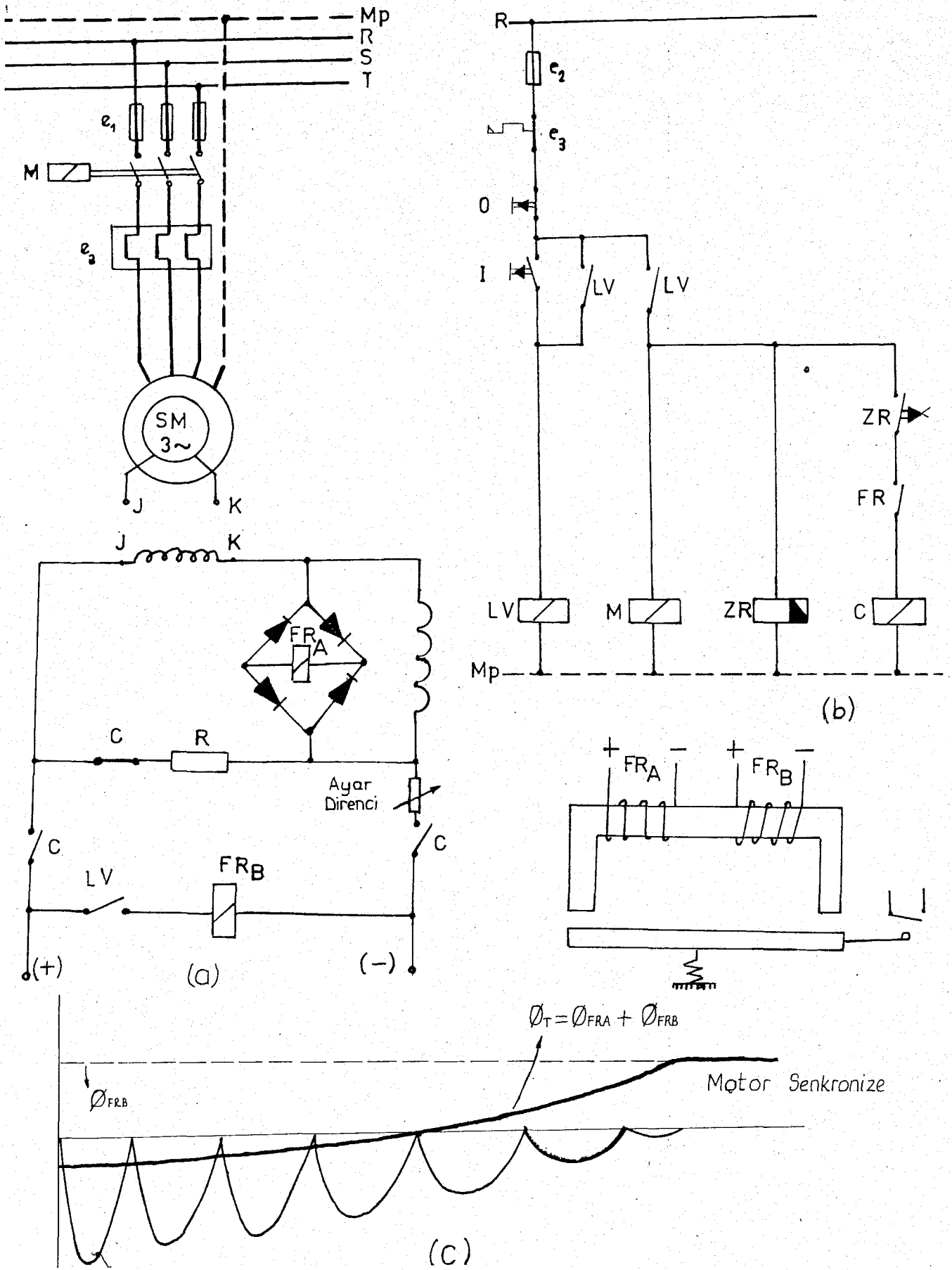
Uyarma devresinde meydana gelen gerilim, X ile belirtilen reaktans üzerinden de, çok küçük bir akım geçirir. Çünkü rotorda indüklenen gerilimin frekansı, ilk önce büyük olduğu için $X = 2\pi f l$ eşitliğine göre geçen akım küçüktür. (FR_B) rölesi derhal enerjilenmek ister. Ancak (\emptyset) ve (\emptyset) manyetik alanları birbirine ters yönde olduğu için (FR) rölesi paletini çekemez bu durum Şekil.5.1 b ve c de görülmektedir. Ne varki senkronmakina asenkron gibi yol alırken kayma azalıp rokorda endüklenen e.m.k. değeri ve frekansı azalır. Senkron devire yaklaştığı zaman endüklenen gerilimin, hem genliği hem de frekansı dahada azalır. Uyarma devresinde akımın büyük bir kısmı, X reaktansı üzerinden geçer. Dolayısıyla (FR_A) bobininden geçen akım, çok küçük olur. ($\emptyset FRB \gg \emptyset FRA$) olunca, (FR) rölesi paletini çeker. C kontaktörünü enerjilendirir. (Bu an motorun senkron devre çok yaklaştığıdır) C kontaktörü kapalı kontaklarını açıp, açık kontaklarını kapayınca Senkron makinanın uyarma devresine d.a. enerjisi verilmiş olur. Böylece senkron makina otomatik olarak yol almış olur. Kumanda devresine konmuş olan zaman rölesi C kontaktörünün hemen enerjilenmesini sağlar. (FR) rölesinin çalışma prensibi Şekil.5.1 c de verilmiştir.

Senkron Makinaların Kullanıldığı Yerler :

Senkron makinaların, ek bir yol verme düzeni gerektirmesi ve bir d.a. şebekesi gerektirmesi, devir sayısının ayarlanamaması, asenkron motorlara göre daha pahalı olması gibi nedenlerden çok yaygın bir kullanma alanına sahip değildir. Fakat yol vermede karşılaşılan güçlükler giderildikten sonra kullanma sahaları biraz genişlemiştir. Bu gün çok büyük güçlü senkron makinalar kullanılmaktadır. Örneğin kompresörlerde, vantilatör ve aspiratörlerde, su pompa istasyonlarındaki su pompalarında, gemi pervanelerinin döndürülmesinde, hadde makinalarında, kağıt endüstrisinde, baskı tekniğinde, d.a. generatörlerinin döndürülmesinde ve benzeri yerlerde kullanılır. Senkron makinaların en büyük özelliklerinden biride, uyarma akımının ayarlanmasıyla makinanın endüktif, omik ve kapasitif çalışmasının sağlanabilmesidir. Makinaların uyarma akımını ayarlayarak, şebekelerin, fabrikaların veya işletmelerin güç faktörünün düzeltilmesinde kullanılır. Güç faktörünün ($\cos\phi$) nin düzeltilmesi işinde kullanılan senkron makinalara dinamik kondansatör, kompanzatör veya senkron kompanzatör gibi isimler verilmektedir.

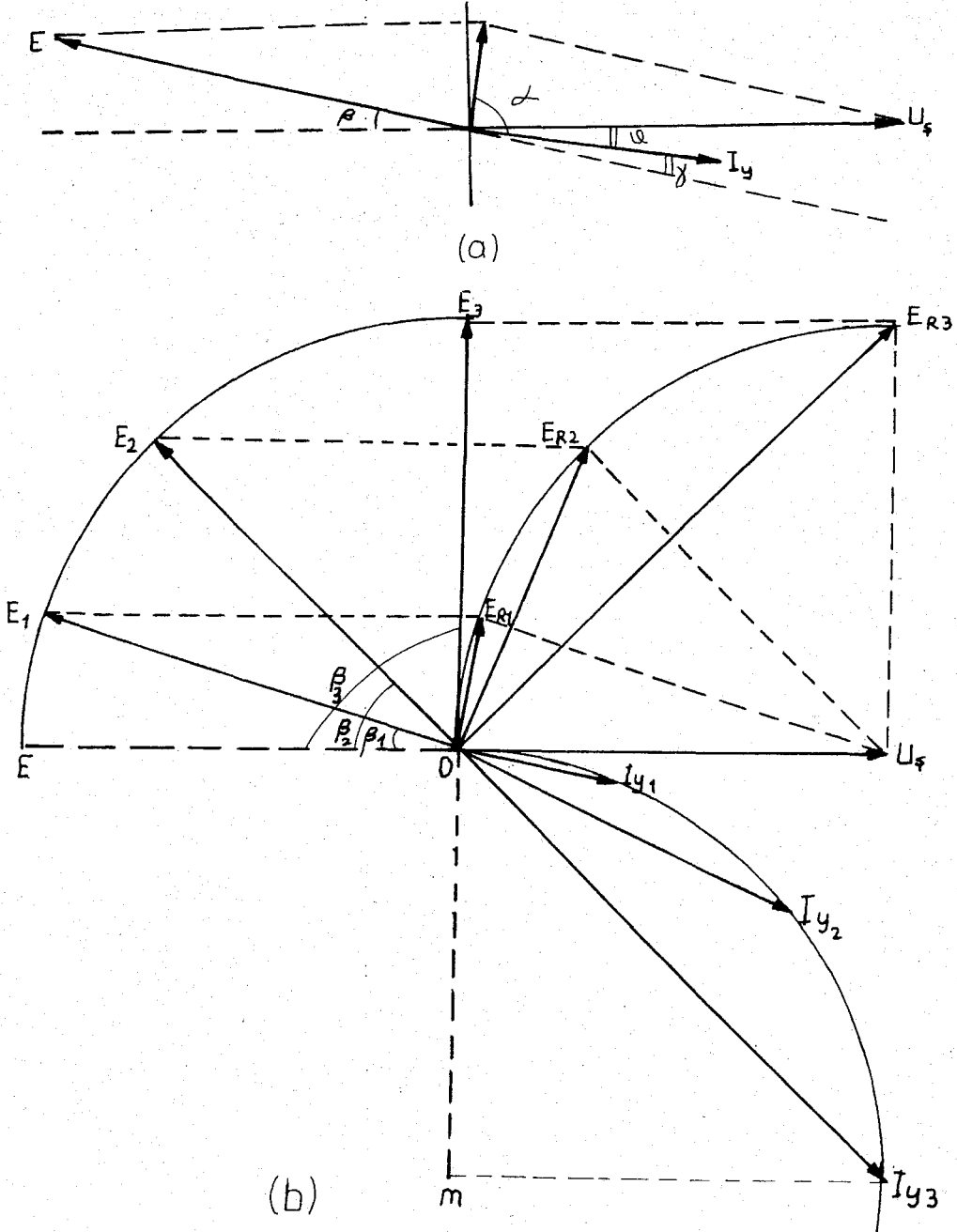
5.1.2 YÜKÜN DEĞİŞMESİNİN SENKRON MAKINAYA ETKİSİ

Bir senkron makina alternatör olarak şebekeyle paralel bağlanırsa, al-



Şekil. 5.1. Bir senkron makinaya şebeke gerilimi ile yol vermenin a) Güç devresi b) Kumanda devresi c) (FR) rolesinin prensip şeması ve çalışma grafiği.

ternatör gerilimi (E) ile şebeke gerilimi (U_{ϕ}) birbirine eşit ve (180°) faz farklıdır. Bunun için bu anda şebekeden hiç bir akım çekilmez. Döndürücü makinasından bu alternatöre verilen mekanik enerji kesilirse, (U_{ϕ}) ile (E) nin arasındaki açı (180°) değil ($180-\beta$) kadar olmakta ve senkron makina olarak çalışmaktadır. (U_{ϕ}) ve (E) gerilimlerinin bileşkesi (E_R), kendisinden (90°) geride (I_Y) akımının geçmesine neden olur. Buna ait vektör diyagramı şekil.5.2 a da gösterilmiştir. (β) açısının meydana gelmesinin sebebi, makinanın boş çalışma durumundaki sürtünme, rüzgar vedemir kayıplarıdır. (β) açısından dolayı, makinanın hızında herhangi bir azalma söz konusu değildir. (β) açısının büyüklüğü uyarma akımına ve makinanın yüküne bağlıdır. Burada uyarma akımının, her an ($U_{\phi}=E$) olacak şekilde ve sabit olduğunu varsayarak, (β) geri kalma açısı yalnız makinaya uygulanan yüklerle değişir.



Şekil. 5.2 Yük değişiminin senkron makinaya etkisinin vektöriyel görünümü.

Makinanın yükü arttıkça, (β) geri kalma açısı da büyür. Her yük artışı $(U_s = E)$ olduğundan (E) nin yük ile değişimi bir daire çizer. Şekil.5.2 b de (O) noktası dairenin merkezi olmak üzere (E) nin dairesel olarak değiştiği görülmektedir. Bileşke e.m.k olan (E_R) gerilimide dairesel olarak değişir. Çünkü sabit değerde olan (U_s) ile, dairesel olarak değişen (E) nin vektöriyel bileşkesi (E_R) yi dairesel olarak değiştirecektir. (E_R) nin çizdiği dairenin yarıçapı, (E_s) veya (U_s) olup, merkezi (N) noktasıdır. Senkron makinanın endüvi sargılarının direnci (R) , reaktansına göre çok küçük olduğundan dikkate almazsak, (β) açısı (90°) ye kadar büyüyebilir. (β) açısının daha fazla büyümesi ise motor miline uygulanan yüke bağlı olduğundan motor kilitleme durumundan ayrılma durumuna geçebilir. Hatta endüvinin omik direnci dikkate alınacak olursa (β) açısı 90° dahi olamaz. Yoksa senkron makina kilitleme durumundan kopabilir. Bu anda rotorda kısa devre çubukları yoksa; senkron makina durur ve şebekeye kısa devre olur. Kısa devre çubukları varsa, asenkron motor olarak çalışmaya devam eder. (Elbetteki bu anda milindeki gücü karşılayabilmelidir.) Şekil.5.2 b deki vektör diyagramında görüldüğü gibi (I_y) ninde değişmeside daireseldir. Çünkü $(I_y = E_R/Z \approx E_R/X_c)$ dir. (Z) veya (X_s) sabit olduğuna göre; dairesel olarak değişen (E_R) , dairesel olarak değişen (I_y) akımının geçmesine neden olur. (I_y) nin çizdiği dairenin merkezide (M) noktasıdır. (E) ile (U_s) nin herhangi bir (β) açısındaki bileşkesi daima (E_R) nin çizdiği yay üzerindedir.

Motorun gidiş gücü

$$P_{GİRİŞ} = U_s \cdot I_y \cdot \cos \varphi \text{ (1 Fazlı mot)} \dots\dots\dots (5.1)$$

$$P_{GİRİŞ} = 3 U_s \cdot I_y \cdot \cos \varphi \text{ (3 Fazlı mot)} \dots\dots\dots (5.2)$$

$$P_{MEK} = 3 E \cdot I_y \cdot \cos \delta \dots\dots\dots (5.3)$$

Senkron makina, artan mekanik yükünü, hızını azaltmadan, fakat endüvi döner alan eksenini ile, kutup eksenini arasındaki geri kalma açısının büyümesi suretiyle karşılar.

$$P_{MİL GÜCÜ} = P_{MEKANİK} - P_{BOŞ KAYIPLAR} \dots\dots\dots (5.4)$$

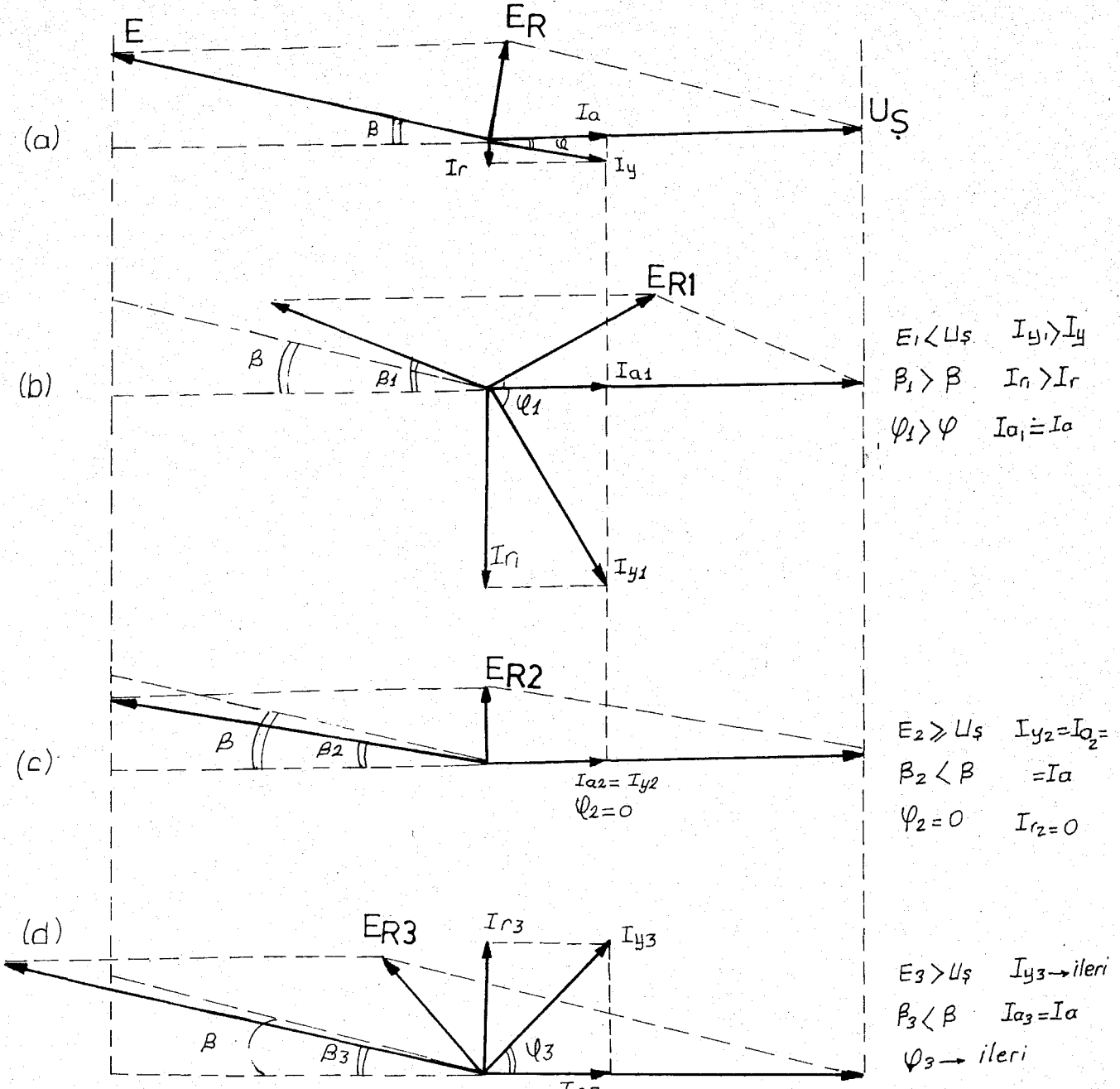
$$P_{MEKANİK} = P_{GİRİŞ} - P_{CU} \dots\dots\dots (5.5)$$

5.1.3 UYARMA AKIMI DEĞİŞMESİNİN SENKRON MAKINAYA ETKİLERİ

Bundan önce uyarma akımının motorda endüklenen zıt e.m.k. (E) yi, motora uygulanan sabit şebeke gerilimi (U_s) yeseit yapacak şekilde ayarlanmış olduğunu varsayarak, yük değişmesinin senkron motordaki etkilerini incelemiştik. Bu durumdaki uyarıma %100 uyarım denir.

Şekil.5.3 de bir senkron makinanın devresine göre çizilmiş, vektör diyagramı görülmektedir. Budiyagramda, şebeke gerilimi (U_s) sabittir. Senkron makinanın geri güç katsayılı sabit bir yükü vardır.

Motor şekil.5.3 a da %100 uyarım veya tam uyarımlı olarak çalışmaktadır. Bu senkron motorun uyarımının azaltılması ile endüvideki zıt e.m.k. (E) de azalır. Şekil.5.3 b bileşke e.m.k. (E_R) fazlalaştığından (I_y) akımı da fazlalaşmış ve (I_{y1}) durumunu almıştır. Şekile dikkat edilirse, bu akı-



Şekil.5.3 Sabit yüklü senkron motorda uyarım akımı değişmesi ile meydana çıkan a) Normal b) Endüktif c) Omik d) Kapasitif çalışma durumları için vektör diyagramı.

mında aktif bileşenin (I_a) ya eşit olduğu görülür. ($I_a = I_{a1}$) Burada akımın artmasına rağmen, (I_y) ile ($U_{\text{ş}}$) arasındaki açı (φ) büyüdüğünden (yani katsayısı küçüldüğünden) güç sabit kalmıştır. (I_y) akımı ($U_{\text{ş}}$)den geride olduğundan senkron makina endüktif çalışır.

$$U_{\text{ş}} \cdot I_y \cdot \cos \varphi = U_{\text{ş}} \cdot I_y \cdot \cos \varphi_1 \quad \dots \dots \dots (5.6)$$

$$I_{y1} > I_y \quad \cos \varphi_1 < \cos \varphi$$

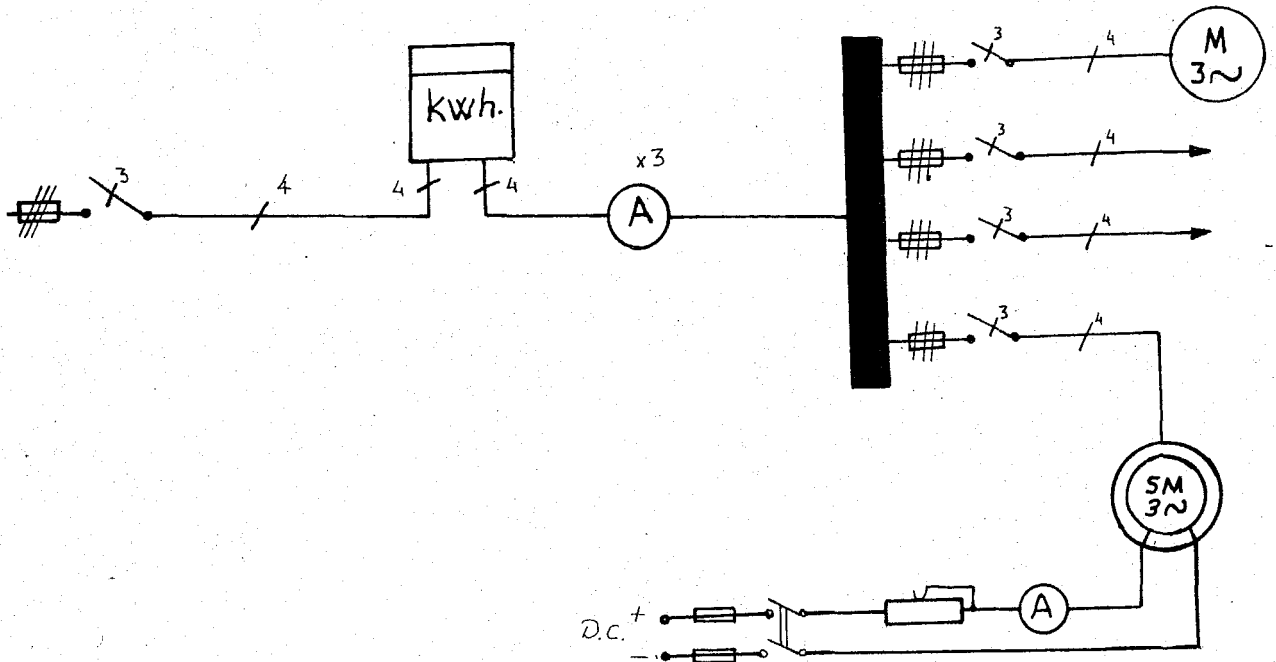
Makinanın uyarım akımını artıracak olursak, şekil.5.3 c de endüvi sarımsının zıt e.m.k artar ve (E_2) olur. ($E_2 \geq E_1$), (E_2) ile ($U_{\text{ş}}$) nin vektöriyel bileşkesi olan (E_R) gerilimide (E_{R2}) değerini alır. Yük akımı (I_y) azalarak (I_{y2}) olmasına rağmen, aktif bileşen değişmediğinden ($I_{a2} = I_a$) motor yükü

Yalnız (I_{y2}) akımının reaktif bileşeni olmadığından ($\phi_2=0$) ve ($\cos\phi_2$) değerini almış olup (U_3) ile (I_{y2}) aynı fazdadır. (β) açısı biraz küçülmüş ve (β_2) olur. Senkron makinanın uyarmasını daha fazla artırırsak, omik çalışma durumunda kapasitif çalışma durumuna geçebilir. Bu sırada zıt e.m.k (E) artarak ($E_3 \gg U_3$) olur. Yük akımının (I_{y3}) aktif bileşeni ($I_{a3}=I_a$) olduğundan motor yükünde bir değişme olmamıştır. Yük akımının reaktif bileşeni (I_{r3}) bu defa (U_3) den ileri geçtiğinden (β) açısı biraz küçülmüş ve (β_3) değerini almıştır. Çünkü iç reaksiyonlar, etkin uyarımı ($E=U_3$) olacak şekilde düzenler. Motor akımı (I_{y3}) şebeke gerilimi (U_3) den (ϕ_3) kadar ileride olduğundan makine kapasitif çalışmaya başlar. Bu çalışma durumları nedeniyle (β) açısındaki değişmeler, oldukça küçük olup, (β) sabit olarak kabul edilebilir.

Yukarıdaki açıklamalardan şunu söyleyebiliriz. Senkron makinaların uyarma akımı ayarlanmak sureti ile, kapasitif, omik ve endüktif çalışma durumları elde edilir. Burada senkron makina, veya sabit yükte çalıştığı anda bu vektörler geçerlidir. Yükün değişmesi ile daha önce kapasitif çalışan bir senkron makina, yükün artması ile endüktif çalışır. Senkron makina omik çalışırken, çektiği yük akımı en küçük değerdedir. Şebekenin $\cos\phi$ nin düzeltilmesinde kullanılan senkron makinalarda, uyarma akımı ayarlanarak ve motor gücünün yeterli olması durumunda, istenen $\cos\phi$ değeri elde edilir.

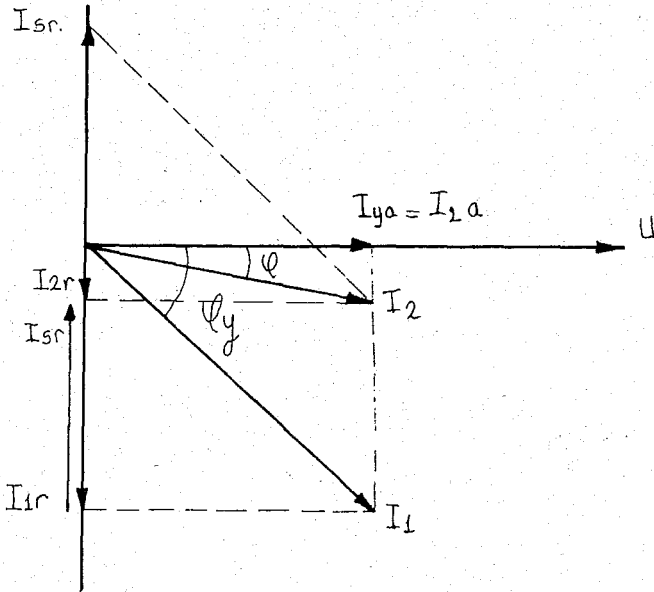
5.1.4 SENKRON MAKİNALARLA GÜÇ KATSAYISININ DÜZELTİLMESİ

Genellikle şebekeye bağlı olan alıcıların, endüktif olduğunu, bunların şebekeye ve aboneye olan zararlarından bahsettik. Bu zararları önlemek için, alıcıların çektikleri reaktif akımları hattan değilde, alıcı yakınına konan



Şekil. 5.4 Aşırı uyarmalı bir senkron makinanın, senkron kompanzator olarak alıcı devresine bağlanması.

bir reaktif güç üretici tarafından sağlanmak gerektiğini gördük. İşte bir senkron makina aşırı uyarmalı çalıştırılıp şebekeye bağlanırsa, alıcılar için gerekli olan reaktif akımı karşılar. Tabii ki makinanın gücü uygun değerde seçilmelidir. Şekil.5.4 de senkron kompanzatorün alıcılar ucuna bağlanması görülmektedir. Bu şekilde yapılan bağlantıdan sonra, şebekeden çekilen akımın reaktif bileşeni küçülmüştür. Ancak yük sabit kalmış vesistemin güç katsayısı değişmiştir. Şebekeden çekilen reaktif akımın bileşeni azaldığından çekilen akım küçülmüştür. Buradaki senkron makinanın fazla uyarmalı olarak boşta çalıştırıldığını ve boş çalışma kayıplarında dikkate alınmadığı durumu şekil.5.5 deki vektör diyagramı ile gösterebiliriz. Endüktif yüklerin çektiği akım (I_1) şebeke gerilimi (U) dan (φ) kadar geridedir.



U = Şebeke gerilimi
 I_1 = Endüktif yüklerin akımı
 I_{1a} = Endüktif yüklerin aktif akımı
 I_{1r} = " " reaktif "
 $\cos \varphi_1$ = " " güç katsayısı
 I_{sr} = Senkron makinanın reaktif akımı
 I_2 = Sistemin akımı
 I_{2a} = Sistemin aktif akımı
 I_{2r} = " reaktif "
 $\cos \varphi_2$ = " güç katsayısı

Şekil. 5.5 Aşırı uyarmalı ve kayıpları ihmal edilen senkron makinanın kompanzator olarak kullanılmasının vektör diyagramı.

(I_{sr}) ile (I_{1r}) akımları 180° faz farklı durumda olduğundan ($I_{2r} = I_{1r} - I_{sr}$) dir. Bu sırada devreden başka güç çekilmediğinden, aktif bileşen sabit kalmıştır, Bu anda şebekeden çekilen akım ($I_2 = I_{2a} + I_{2r}$) olmaktadır. Böylece ($\cos \varphi_1 \cdot I_{1a} = \cos \varphi_2 \cdot I_{2a}$, $I_1 > I_2$, $\cos \varphi_2 > \cos \varphi_1$) durumu meydana gelir. Şebekeden çekilen akımın güç faktörünün bir olması istenirse ($I_{sr} = I_{1r}$) olmalıdır. Bunun için senkron makinanın uyarması biraz daha artırılır. Şayet şebekeden çekilen akımın kapasitif olması istenirse ($I_{sr} > I_{1r}$) yapılmalıdır. Dolayısı ile uyarma akımı biraz daha artırılıp aşırı uyarmalı yapılmalıdır.

Enerji iletim hattı sonunda çekilen yük omik, endüktif veya kapasitif olabilir. Bu durumlara göre senkron makinanın uyarma akımı otomatik olarak ayarlanır ve kompanzasyon sağlanır. Örneğin hattın sonunda ileri güç katsayılı bir akım çekilirse, çekilen akımın büyüklüğüne göre hat sonu gerilimi hat başı geriliminden büyük olabilir. Bu durumda hat sonundaki senkron makinanın uyarması azaltılarak gerilimin belli bir değerde tutulması sağlanır.

Standart senkron kompanzatorler ileri faz açısında verdikleri yük akımının % 50 sini geri faz açısında verebilecek şekilde bir uyarma düzenine sahiptirler.

5.1.4.1 SENKRON KOMPANZATÖRLERLE YAPILAN KOMPANZASYONUN ÖRNEKLERLE İNCELENMESİ "2"9"

Örnek: 1. Toplam 500 kw ve 0,6 geri güç katsayılı bir asenkron motor grubunun, güç katsayısını 0,9 yapmak ve aynı zamanda milinden 100 kw lık bir mekanik enerji almak için, fazla uyarmalı bir senkron makina bağlanacaktır. Motorlar 1100 V luk bir sisteme bağlanmışlardır. Bu iş için gerekli senkron makinanın kVA olarak görünür gücünü bulunuz.

Çözüm:

P_1 = Asenkron motorların gücü

P_s = Senkron makinanın aktif gücü

S_s = " " görünür "

I_s = " " akımı

I_{sa} = " " aktif akımı

I_{sr} = " " reaktif "

I_1 = Asenkron motorların akımı

I_{1a} = " " aktif "

I_{1r} = " " reaktif akımı

I_2 = kompanzasyondan sonraki hattın akımı

I_{2a} = " " aktif akımı

I_{2r} = " " reaktif "

$$I_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{5 \cdot 10^5}{\sqrt{3} \cdot 1100 \cdot 0,6} = 438 \text{ A.}$$

$$I_{1a} = I_1 \cdot \cos \varphi_1 = 438 \cdot 0,6 = 263 \text{ A.}$$

$$I_{1r} = I_1 \cdot \sin \varphi_1 = 438 \cdot 0,8 = 350 \text{ A.}$$

$$P_s = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_s \cdot \cos \varphi_s ; I_s \cdot \cos \varphi_s = I_{sa}$$

$$P_s = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{sa} \Rightarrow I_{sa} = \frac{10^5}{\sqrt{3} \cdot 1100} = 52,5 \text{ A.}$$

$$I_{2a} = I_{1a} + I_{sa} = 263 + 52,5 = 315,5 \text{ A.}$$

$$\cos \varphi_2 = 0,9 \Rightarrow \varphi_2 = 25,8^\circ \Rightarrow \tan \varphi_2 = 0,484$$

$$I_{2r} = I_{2a} \cdot \tan \varphi_2 = 315,5 \cdot 0,484 = 152,7 \text{ A.}$$

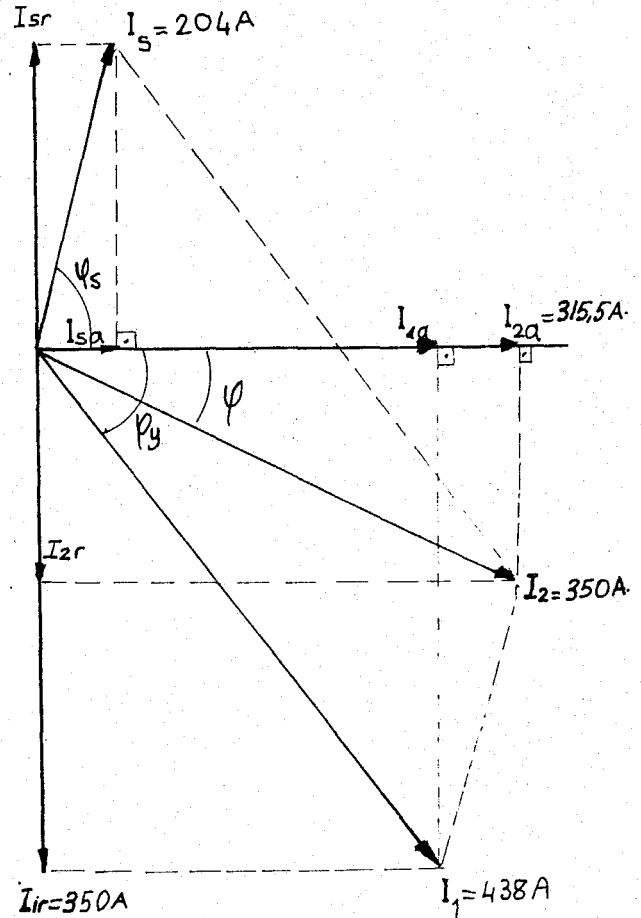
$$I_{sr} = I_{1r} - I_{2r} = 350 - 152,7 = 197,3 \text{ A.}$$

$$I_s = \sqrt{I_{sa}^2 + I_{sr}^2} = 204 \text{ A.}$$

$$S_s = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_s = \sqrt{3} \cdot 1100 \cdot 204 = 389 \text{ kVA}$$

$$\cos \varphi_s = \frac{I_{sa}}{I_s} = \frac{52,5}{204} = 0,257 \text{ ileri}$$

$$S_s = 389 \text{ kVA} , \varphi_s = 75^\circ \text{ ileri.}$$



Şekil. 5.5 Örnek birdeki problemin vektör diyagramı.

Sonuç: Şekil. 5.5 dede görüldüğü gibi, asenkron motorların çektiği akım (438 A) iken, senkron makina devreye bağlanıp ve milinden (100 kw) lık mekanik güç alındığı halde, sistemin güç faktörü (0,9) yapılmış ve sistemin akımı (350 A) inmiştir. Böylece reaktif enerji bedeli ödenmeyecek, hattın yükü azalacak ve maliyet düşecektir.

Örnek: 2 (80 km) uzunluğunda ve direnci (0,20 ohm/km), reaktansı (0,40 ohm/km) olan bir enerji nakil hattının sonundan, ($P_2 = 20 \text{ Mw}$), ($Q_L = 12 \text{ Mvar}$) geri fazda yükler çekilmekte ve hat sonu gerilimi (66 kV) da sabit tutulması istenmektedir. a) Hat başı işletme koşullarını bulunuz. b) Aynı şebeke sonundaki şalt sahasına, aşırı uyarmalı ve boşa çalısın bir senkron makina bağlanıyor. Senkron makinanın gücü (10 mVA), güç faktörü (0,1) ileri durumda olduğuna göre, hat başı işletme koşullarını ve hattaki etkilerini bulunuz.

Çözüm: a)

$$L = 80 \text{ m.}$$

$$r = 0,20 \text{ ohm/km}$$

$$X = 0,40 \text{ ohm/km}$$

$$U_2 = 66 \text{ kv}$$

$$P_2 = 21 \text{ MW}$$

$$Q_2 = 12 \text{ MVAR.}$$

$$P_{21} = \frac{21}{3} = 7 \text{ MW.} ; Q_{21} = \frac{12}{3} = 4 \text{ MVAR.}$$

$$S_{21} = \sqrt{P_{21}^2 + Q_{21}^2} = \sqrt{7^2 + 4^2} = 8,06 \text{ MVA.}$$

$$V_2 = \frac{U_2}{\sqrt{3}} = \frac{66}{\sqrt{3}} = 38,15 \text{ kv.}$$

$$I_2 = \frac{S_{21}}{V_2} = \frac{8,06 \cdot 10^6}{38,15 \cdot 10^3} = 212 \text{ A.}$$

$$\tan \varphi_2 = \frac{Q_2}{P_2} = \frac{4}{7} = 0,577 \Rightarrow \varphi_2 = 30^\circ$$

$V_2 = 38,15 \angle 0^\circ$ kv. referans olarak alındı. $I_2 = 212 \angle -30^\circ$ A. bulundu.

$$V_1 \angle \varphi = V_2 \angle 0^\circ + Z \cdot I_2 \angle -\varphi_2$$

$$Z = (r + jx)l = (0,20 + j0,40)80 = (16 + j32) = 35,78 \angle 63^\circ \text{ ohm}$$

$$Z \cdot I_2 \angle -\varphi_2 = 35,78 \angle 63^\circ \cdot 212 \angle -30^\circ = 7,59 \angle 33^\circ \text{ kv.}$$

$$V_1 \angle \varphi = V_2 \angle 0^\circ + Z \cdot I_2 \angle 33^\circ = 38,15 \angle 0^\circ + 7,59 \angle 33^\circ = 45 \angle 6^\circ \text{ kv.} \Rightarrow U_1 = 78 \angle 6^\circ \text{ kv.}$$

$$P_1 = 3 \cdot V_1 \cdot I_1 \cdot \cos(\varphi_2 + \varphi) = 3 \cdot 45 \cdot 10^3 \cdot 212 \cdot \cos 36^\circ = 23,15 \text{ MW.}$$

$$Q_1 = 3 \cdot V_1 \cdot I_1 \cdot \sin(\varphi_2 + \varphi) = 3 \cdot 45 \cdot 10^3 \cdot 212 \cdot \sin 36^\circ = 16,8 \text{ MVAR.}$$

b)

$$P_2 = 21 \text{ MW}$$

$$Q_2 = 12 \text{ MVAR.}$$

$$S_s = 10 \text{ MVA.}$$

$$\cos \varphi_s = 0,1 \text{ ileri.}$$

$$\varphi_s = 84^\circ, \sin \varphi_s = 0,99$$

$$P_s = S_s \cdot \cos \varphi_s = 10 \cdot 0,1 = 1 \text{ MW.} ; \Sigma P_2 = P_2 + P_s = 21 + 1 = 22 \text{ MW.}$$

$$Q_s = S_s \cdot \sin \varphi_s = 10 \cdot 0,99 = 9,9 \text{ MVAR.} ; \Sigma Q_2 = Q_2 - Q_s = 2,1 \text{ MVAR.}$$

$$\Sigma P_{21} = \frac{22}{3} = 7,33 \text{ MW.} , \Sigma Q_{21} = \frac{2,1}{3} = 0,7 \text{ MVAR.} , \Sigma S_{21} = 7,36 \text{ MVA.}$$

$$\tan \varphi = \frac{\Sigma Q_2}{\Sigma P_2} = \frac{2,1}{22} \Rightarrow \varphi = 5,5^\circ$$

$$I_2 = \frac{\Sigma S_{21}}{V_1} = \frac{7,36 \cdot 10^6}{38,15 \cdot 10^3} \approx 193 \text{ A.} \quad I_2 = 193 \angle -5,5^\circ \text{ A.}$$

$$Z \cdot I_2 \angle \varphi = 35,78 \angle 63^\circ \cdot 193 \angle -5,5^\circ = 6,9 \angle 57,5^\circ \text{ kv.}$$

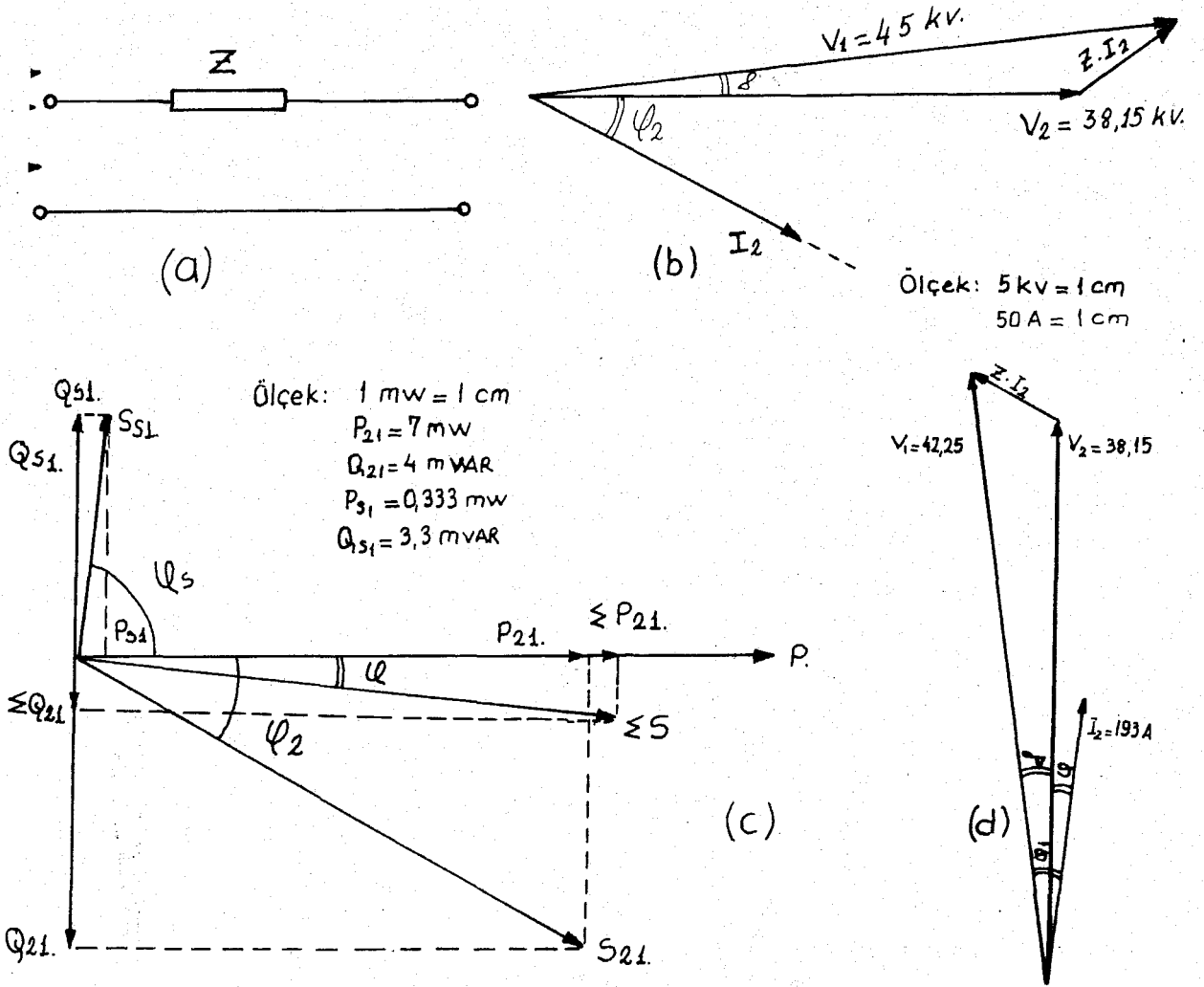
$$V_1 \angle \varphi = V_2 \angle 0^\circ + Z \cdot I_2 \angle -\varphi = 38,15 (\cos 0^\circ + j \sin 0^\circ) + 6,9 (\cos 57,5^\circ + j \sin 57,5^\circ)$$

$$V_1 = 41,85 + j 5,8 \text{ kv} = 42,25 \angle 7,9^\circ$$

$$P_1 = 3 \cdot V_1 \cdot I_1 \cdot \cos(\varphi + \varphi) = 3 \cdot 42,25 \cdot 193 \cdot \cos 14,4^\circ = 23,7 \text{ MW.}$$

$$Q_1 = 3 \cdot V_1 \cdot I_1 \cdot \sin(\varphi + \varphi) = 3 \cdot 42,25 \cdot 193 \cdot \sin 14,4^\circ = 6,08 \text{ MVAR.}$$

$$U_1 = \sqrt{3} \cdot V_1 = 42,5 \cdot \sqrt{3} = 73 \angle 7,9^\circ \text{ kv.}$$



Şekil 5.7 : a) Hattın eşdeğer devresi b) Hattın vektör diyagramı c) Senkron makina bağlandığı zaman, alıcı ucundaki yüklerin vektör diyagramı d) Senkron makina bağlandıktan sonra hattın vektör diyagramı

Sonuç : Hesaplamalardan ve şekil 5.7 deki vektör diyagramlarından da görüldüğü gibi, şebekeye senkron makina bağlanmadan önce,

$P_2 = 21 \text{ mW}$, $Q_2 = 12 \text{ mVAR}$, $S_2 = 24 \text{ MVA}$, $U_2 = 66 \text{ kV}$ luk bir yükü beslemek için hat saşından

$P_1 = 23,15 \text{ mW}$, $Q_1 = 16,8 \text{ mVAR}$, $S_1 = 28,6 \text{ mVA}$, $U_1 = 78 \text{ kV}$ luk özelliklerinde bir enerji sağlanması gerekiyordu.

Şebekeye senkron makina bağlandıktan sonra ;

$\sum P_2 = 22 \text{ mW}$, $\sum Q_2 = 2,1 \text{ mVAR}$, $\sum S_2 = 22,1 \text{ mVA}$ ve $U_2 = 66 \text{ kV}$ luk değerlerde bir yük çekilmektedir. Bu yükü karşılamak içinde

$P_1 = 23,7 \text{ mW}$, $Q_1 = 6,08 \text{ mVAR}$, $S_1 = 24,46 \text{ mVA}$ ve $U_1 = 73 \text{ kV}$ luk değerinde bir enerji sağlanması gerekiyor.

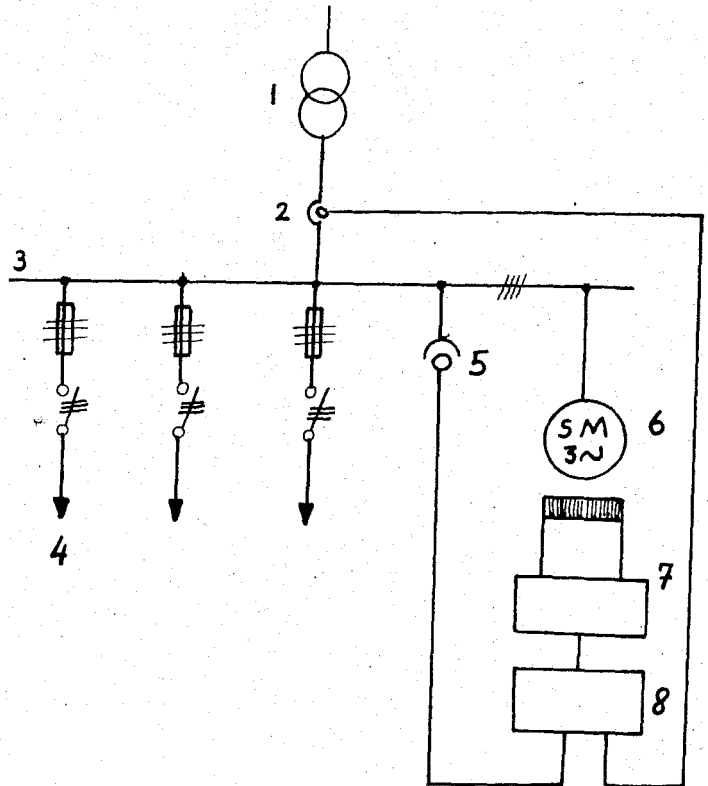
Böylece hattaki (5 kV) luk gerilim düşümü önlenerek, alıcıların daha verimli çalışması sağlanıyor. Ayrıca hattın yükü (4 mVA) lik kadar azalıyor. Böylece gerektiğinde, (4 mVA) lik güç daha sağlanabilir.

5.1.4.2. SENKRON MAKİNALARIN DİNAMİK FAZ KAYDIRICI (SENKRON KOMPANZATÖR) OLARAK KULLANILMASININ UYGULAMADAKİ YERİ "6"

Senkron makinanın dinamik kompanzatör olarak kullanılması en eski bir yöntemdir. Senkron kompanzatör, kompanzasyon için en çok bilinen ve gayet güvenilen bir araçtır. Uyarma akımının hızlı regülatörler aracılığı ile ayarlanması halinde, hızlı kompanzasyon yapılması istenen yerlerde, gerilim değişiminin yaklaşık %50 oranında azaltılması mümkündür. Senkron makinenin en büyük özelliklerinden biride akım harmoniğinin üretilmemesidir.

Senkron faz kaydırıcının en önemli sakıncası, dengesiz yükü karşılamamasıdır. Bilindiği gibi uyarma ayarı ile, her üç fazda da gerilim aynı zamanda değiştirilir. Halbuki ark fırınlarında baş gösteren dengesizlikler, her üç fazın ayrı ayrı işlem görmesini gerektirir. Bu yüzden senkron faz kaydırıcılar, yük dengesizliği olmayan (veya çok az olan) tesislerde kullanılır. Örneğin haddehanelerde, fabrikalarda, atölyelerde. Senkron makina gerekiyorsa, o zaman bu makinanın biraz daha büyük güçlü seçilerek, hem mekanik güç üretici, hende senkron faz kaydırıcı olarak kullanılması oldukça ekonomiktir. Bununla ilgili vektör diyagramı şekil 5.6 da görülmektedir. Ayrıca senkron faz kaydırıcılar trf. merkezlerin ve şalt sahalarında da aşırı uyarmalı olarak çalıştırılarak hem merkezi kompanzasyon yapılmakta, hem de gerilim düşümleri azaltılmaktadır. Şekil.5.7 de bu durum görülmektedir. Ancak senkron makinaların kayıplarının yüksek ve tesis masraflarının fazla olması ikinci bir sakıncadır. Ayrıca senkron kompanzatörde oluşacak bir arızanın kompanzasyon olanağının tamamını ortadan kaldırmasında diğer

1. Fabrikaya enerji sağlayan trf.
2. Akım trf.su
3. Enerji dağıtım barası
4. Alıcılar
5. Gerilim trf. su
6. Senkron makina
7. Uyarma düzeni
8. Ölçme ve ayar düzeni



Şekil 5.8. Senkron kompanzatörle, bir tesisin otomatik kompanzasyon işleminin yapılması için bir kutuplu bağlama şeması.

bir sakıncasıdır. Bunlara rağmen yukarıda da belirtildiği gibi, hızlı kompanzasyon gerektirmeyen ve harmonikten sakınılması gereken yerlerde, senkron makina ideal bir faz kaydırıcı olarak güvenle kullanılabilir.

Proje safhasındaki atölye ve fabrikalarda senkron makina kullanılacaksa, bunların dizaynı ona göre yapılarak, kondansatör gurupları gibi senkron makina gurupları konarak, çekilen yükün durumuna göre otomatik olarak senkron makineler kapasitif, omik ve endüktif durumda çalıştırılabilirler. Böyle bir devreye ait şema şekil. 5.8 de görülmektedir.

Reaktif güç üretmek ve kompanzasyon için, günümüzde en çok kullanılan, en pratik, en ekonomik araç kondansatördür diyebiliriz. Bir çok kondansatörün paralel bağlanması ile, istenilen güçte bir bataryanın tesis edilmesi mümkün olduğu gibi, bir veya birkaç kondansatör gurubunun, arızalanması halinde, işletmeye ara verilmeden, bunların kısa zamanda yenileri ile değiştirilmesi imkanı vardır. Bundan başka bugün sanayi tesislerinde, mesela ark fırınlarında gerekli reaktif güçlerin kondansatörler sayesinde üretilmesi daha ekonomiktir.

5.2 STATİK FAZ KAYDIRICILAR "1"4"

Reaktif güç üretiminde statik faz kaydırıcı adı verilen kondansatörlerin üstünlükleri sayılamayacak kadar çoktur. Birkere kondansatörlerin kayıplara çok düşük olup, nominal güçlerin % 0,5 nin 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. Böylece orta ve alçak gerilim şebekelerinde reaktif yükü altından kurtarmış oluruz. Bunun 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 kompanzatorlerden daha düşük olduğu gibi, bu fiyatta büyük bir artış olmadan her güçte imalleri mümkündür. Kondansatörlerin tesisi kolaydır. Gerekliğinde kolaylıkla genişletilerek gurubun gücü artırılabilir. Ayrıca sistemde tüketicilerin ihtiyacına göre rahat bir şekilde güç ayarında yapılabilir. Kondansatörlerin işletme emniyeti çok büyüktür, ömürleri uzundur, bakımları kolay ve basittir. Kapasitör guruplarının yerleştirilecekleri yerde 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 eleman gayet kısa zamanda teşhis edilip, işletmeye fazla ara vermeden tamir yapılır.

Kondansatör tesisleri birçok elemandan meydana geldiğinden bunların nakli kolay, tesisi ve bağlanması rahat, istenen kapasitenin sağlanması mümkün olur.

5.2.1 KONDANSATÖRLERİN FİZİKİ YAPILARI

Çok genel anlamda her kondansatör aynı zamanda birgüç kondansatörüdür. Yeter ki a.a gerilimi uygulayabilelim. Örneğin yapısı itibarı ile elektro-

litik 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 dediğimiz tüp kondansatörlerde gerçek anlamda kompanzasyon kondansatörleridir.

Kondansatör sarımı genellikle iki iletken tabaka ve bunları birbirinden yalıtan tabakaların bir sargı haline getirilmiş şeklindedir. Şekil. 5.9. da görüldüğü gibi bir kondansatörün değeri

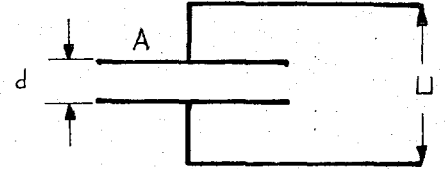
$$\epsilon_0 = \text{Havanın dielektrik sabitesi} \\ (8,85419 \cdot 10^{-12} \text{ F/m})$$

$$\epsilon_r = \text{Kullanılan yalıtkanın relatif dielektrik sabitesi}$$

$$A = \text{Kullanılan iletken yüzeyi (m}^2\text{)}$$

$$d = \text{Yalıtkan kalınlığı, olmak üzere}$$

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} \dots \dots \dots (5.8)$$



Şekil. 5.9

formülü ile hesap edilir. Görüldüğü gibi kapasite (A) ve (ϵ_r) ile doğru (d) ile ters orantılı olarak 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 varılır. Ancak bu yönde istinilen değere varmak mümkün değildir. Çünkü

- Yalıtkanın inceliği uygulanacak gerilimle sınırlıdır.

- Dielektrik sabitesinin yüksekliği ise büyük kayıplar gibi arzulanan sakıncayı beraberinde getirirler. dolayısı ile iyi, yani hem boyutları ufak, gerilim dayanıklılığı yüksek, hemde kapasitesi büyük ve kayıpları düşük değerlerde bir kondansatör elde etmek için, ancak yüzey dielektrik sabiti ve kalınlık, bir optimuma varmakla mümkün olacaktır. Bu özellikler ise görüldüğü gibi yalıtkanın cinsine bağlı olmaktadır.

5.2.1.1 KONDANSATÖRLERİN YAPILIŞI

Bugün şebekelerde güç katsayısının düzeltilmesi için kullanılan kuvvetli akım güç kondansatörleri, dielektriği kağıt veya polipropilen film yada, bunların karşılığı olan kondansatörlerdir. Burada kullanılan kağıt üstün kaliteli selulozdan özel olarak imal edilmiştir.

Kondansatör imali için gayet ince dielektrik şeritler kullanılırlar, ve emniyeti artırmak amacıyla işletme gerilimine göre bunlardan birkaç kat üst üste sarılırlar. Bu şeritlerin her iki tarafı alüminyum folye ile kaplanırlar. Bundan sonra şeritler bir çekirdek veya mekik üzerine sarılırlar. Çekirdek çekildikten sonra, sargı sıkıştırılır. Bu şekilde elde edilen sargılardan birkaçı, sağıt yapılmış bir muhafaza içine yerleştirilirler ve aralarında paralel bağlanırlar. Dielektriğin yüksek elektriksel dayanımını korumak için buna bir sıvı emdirilir. Bu maksatla bütün muhafaza nebati veya madeni yağ yahut klor gazında sentetik yanmaz yağ ile doldurulur. Kondansatör sargı katları arasındaki rutubetin alınması, sargı katları arasına dielektrik sıvı konulması için kesinlikle emprenye işlemi yapılır. Bu

emprenye işlemi ile, 100 C° ye kadar ısıtılarak 3×10^{-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 dielektriğin homojen olarak elektrotlar arasındaki tüm boşluk ve hacimleri doldurması gerekir. Eğer bu işlem gereği şekilde homojen olarak yapılmazsa fayda yerine zarar verir.

Yaklaşık 400 V ta kadar olan gerilim bölgesinde kondansatörler gayet ekonomik şekilde inşaa olunabilirler. Bu bölge içinde beher kVAR için gerekli olan hacim sabittir. Daha yüksek gerilimlerde bu hacim değeri daha küçüktür. Zira alçak gerilimde dielektrik tabakasının kalınlığı, mekanik dayanım bakımından belirli bir değeri altına düşürülmez. Yüksek gerilimlerde çoğunlukla 1,15 kV luk kondansatörlerden birkaçı seri bağlanır. Bu taktirde kondansatör levhaları ile madeni muhafaza arasında yüksek gerilimlerin meydana gelmemesi için, muhafazalar birbirlerine ve toprağa karşı izolatörler yardımı ile yalıtılırlar.

Ekseriye kaynakla imal edilen saç muhafazalar, havanın ve gazların girmeyeceği bir şekilde kapatılırlar. Bu demir muhafazalar bir topraklama klemensi ile donatılır ve buradan topraklanır. Bu günkü imalata göre kondansatörlerin geçiş izolatörleri, sıvı (yağ), hava sızmaz bir şekilde tesbit edilirler.

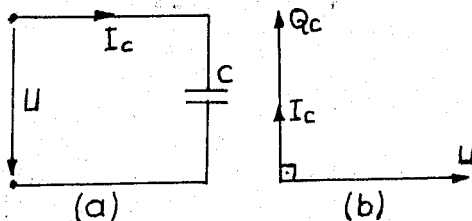
Kondansatörler, imal edici fabrikalara göre çeşitli güç ve gerilim kademelerine göre yapıldıklarından, arzu edilen kapasiteyi elde etmek için bunlardan belirli sayıda eleman bir araya getirilerek bir batarya teşkil edilir. Normalize gerilim kademeleri, alçak gerilimde 230, 400, 525, 600 V.dur. Yüksek gerilim kademeleri ise 3,3 ; 6,6 ; 10,5 ; 15,75 ve 30 kV. dur. Kondansatörler devamlı olarak bu gerilimlerin % 10 fazlasına ve bir günde 6 saat süre ile % 15 fazlasına bağlanabilirler. Bu taktirde güçleri % 21 veya % 32 oranında artırılmış olur.

Kondansatörler genellikle bina içine yerleştirilirler. Bu gibi kondansatörlere dahili tip kondansatörler denir. Yüksek gerilim tesislerinde bunlar, açık havayada tespit edilebilirler.

Kondansatörlerin ömürleri sıcaklık derecesine bağlıdır. İç tesislerde kullanılan kondansatörler, normal olarak -10 C° ile -35 C° arasındaki sıcaklıklarda kullanılacak şekilde yapılırlar. Eğer kendi kendine soğuma şartları gerçekleşmezse ve kondansatörlerin yerleştirildikleri yerde sıcaklık derecesi çok yükselirse bu durumda özel havalandırma yapılır.

5.3. KONDANSATÖRLERİN GÜCÜ VE AKIMI

Kondansatör a.a. şebekesinde bir reaktans gibi tesir eder. Şekil 5.10 da



Şekil. 5.10

X_c = Kapasitif reaktans.....(ohm)

C = Kondansatörün kapasitesi.....(Farad)

$\omega = 2\pi f$ Dairesel frekans.....

I_c = Kondansatörün çektiği akım..(Amper)

Q_c = Kondansatörün gücü.....(Var)

bir fazlı bir şebekeye bağlı kondansatörün fazör diyagramı verilmiştir.

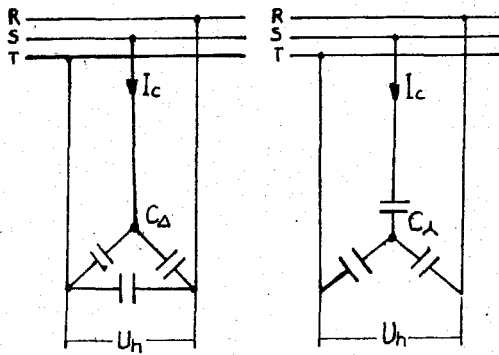
$$X_c = 1/WC \quad \dots\dots\dots (5.9)$$

$$I_c = U/X_c = U \cdot WC \quad \dots\dots\dots (5.10)$$

$$Q_c = U \cdot I_c = U \cdot WC = I_c^2 / WC \quad \dots\dots\dots (5.11)$$

Q_c kapasitif reaktif güç, endüktif reaktif güce göre 180° ileridedir. Yani her iki reaktif güç aynı doğrultuda ve ters yöndedir. Böylece kapasitif gücün endüktif gücü yok ederek, kompanzasyon yaptığı anlaşılır.

Üç fazlı a.a tesislerinde kondansatörler şebekeye veya tüketici uçlarına üçgen veya yıldız olarak bağlanabilirler. Üç fazlı a.a şebekesinde yıldız ve üçgen bağlı kondansatörler şekil. 5.11 de görülmektedir.



U_h = İki hat arası gerilim

I_c = Kapasitif hat akımı

C_Δ = Üçgen bağlamada her bir kondansatörün kapasitesi

C_λ = Yıldız bağlamada her bir kondansatörün kapasitesi olmak üzere üçgen bağlama için

Şekil.5.11 Kondansatörlerin yıldız ve üçgen bağlanması.

$$Q_c = 3U_h^2 \cdot WC_\Delta = \sqrt{3} \cdot U_h \cdot \sqrt{3} \cdot U_h \cdot WC_\Delta = \sqrt{3} U_h I_c = \frac{I_c^2}{WC_\Delta} \quad \dots\dots\dots (5.12)$$

Yıldız bağlama için

$$Q_c = 3 \frac{U_h}{\sqrt{3}} \cdot \frac{U_h}{\sqrt{3}} \cdot WC_\lambda = 3 \frac{U_h^2}{3} \cdot WC_\lambda = U_h^2 WC_\lambda =$$

$$\sqrt{3} U_h \cdot \frac{U_h}{\sqrt{3}} \cdot WC_\lambda = \sqrt{3} \cdot U_h \cdot I_c = \sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{I_c}{WC_\lambda} \cdot I_c = 3 \cdot \frac{I_c^2}{WC_\lambda} \quad \dots\dots\dots (5.13)$$

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

$$\frac{I_c^2}{WC_\Delta} = 3 \cdot \frac{I_c^2}{WC_\lambda} \Rightarrow \frac{1}{C_\Delta} = \frac{3}{C_\lambda} \quad \dots\dots\dots (5.14)$$

$$C_\lambda = 3C_\Delta \quad \dots\dots\dots (5.15)$$

bulunur. Buradan çıkarılan sonuç şudur. Yıldız bağlamada her bir faza bağlanan kondansatörün kapasitesi, üçgen bağlamadaki kondansatör kapasitesinin üç katına eşittir. Yani yıldız bağlamada aynı kapasiteyi elde etmek için, üçgendekinin üç katı kapasiteli bir kondansatör bağlamak gerekir.

Yıldız bağlamada C_λ kondansatörünün uçlarına faz-nötr gerilimi bağlandığı halde, üçgen bağlamada C_Δ 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 nedenlerden dolayı kondansatörlerin üçgen bağlanmaları tercih edilir.

6. REAKTİF GÜÇ İHTİYACININ TESBİTİ "4"5"

Bir tüketicinin reaktif güç ihtiyacının tesbiti için, önce tesisin şebekeden çektiği S_1 görünür gücünün ve buna ait güç faktörünün ($\cos \varphi_1$), çikarılması istenen yeni güç faktörünün ($\cos \varphi_2$) bilinmesi gerekir. Güç faktörünün ($\cos \varphi_2$) değerine çikarılması için gerekli reaktif güçü veya kondansatör gücünü bulabilmek için iki yöntem vardır.

a) P_1 aktif gücünün sabit kalması

Bu durumda ($\cos \varphi_1$) güç faktörü ile çekilen P_1 aktif gücü sabit tutulduğunda ($\cos \varphi_2$) güç faktörü ile çekilen S_2 görünür gücü azalır.

Şekil.6.1 a ya göre kompanzasyondan önceki reaktif güç

$$Q_1 = P_1 \cdot \tan \varphi_1 \dots\dots\dots(6.1)$$

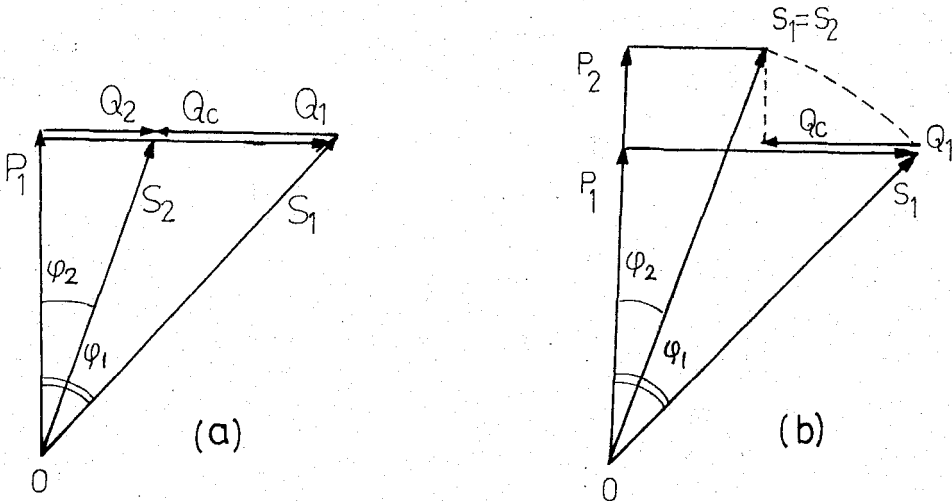
ve kompanzasyondan sonraki reaktif güç ise

$$Q_2 = P_1 \cdot \tan \varphi_2 \dots\dots\dots(6.2)$$

dir. Buna göre gerekli kondansatör gücü için

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P_1 (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \dots\dots\dots(6.3)$$

bulunur.



Şekil. 6.1 Endüktif durumdaki bir alıcının a) Aktif gücü b) Görünür gücü sabit alınarak güç faktörünün düzeltilmesi ile ilgili vektörler.

b) S_1 görünür gücünün sabit kalması :

Bu durumda ($\cos \varphi_1$) ile çekilen S_1 görünür gücü sabit tutulduğundan ($\cos \varphi_2$) ile çekilen P_2 gücü artar. Şekil.6.1 b ye göre kompanzasyondan önceki reaktif güç

$$Q_1 = S_1 \cdot \sin \varphi_1 \dots\dots\dots(6.4)$$

ve kompanzasyondan sonraki reaktif güç ise

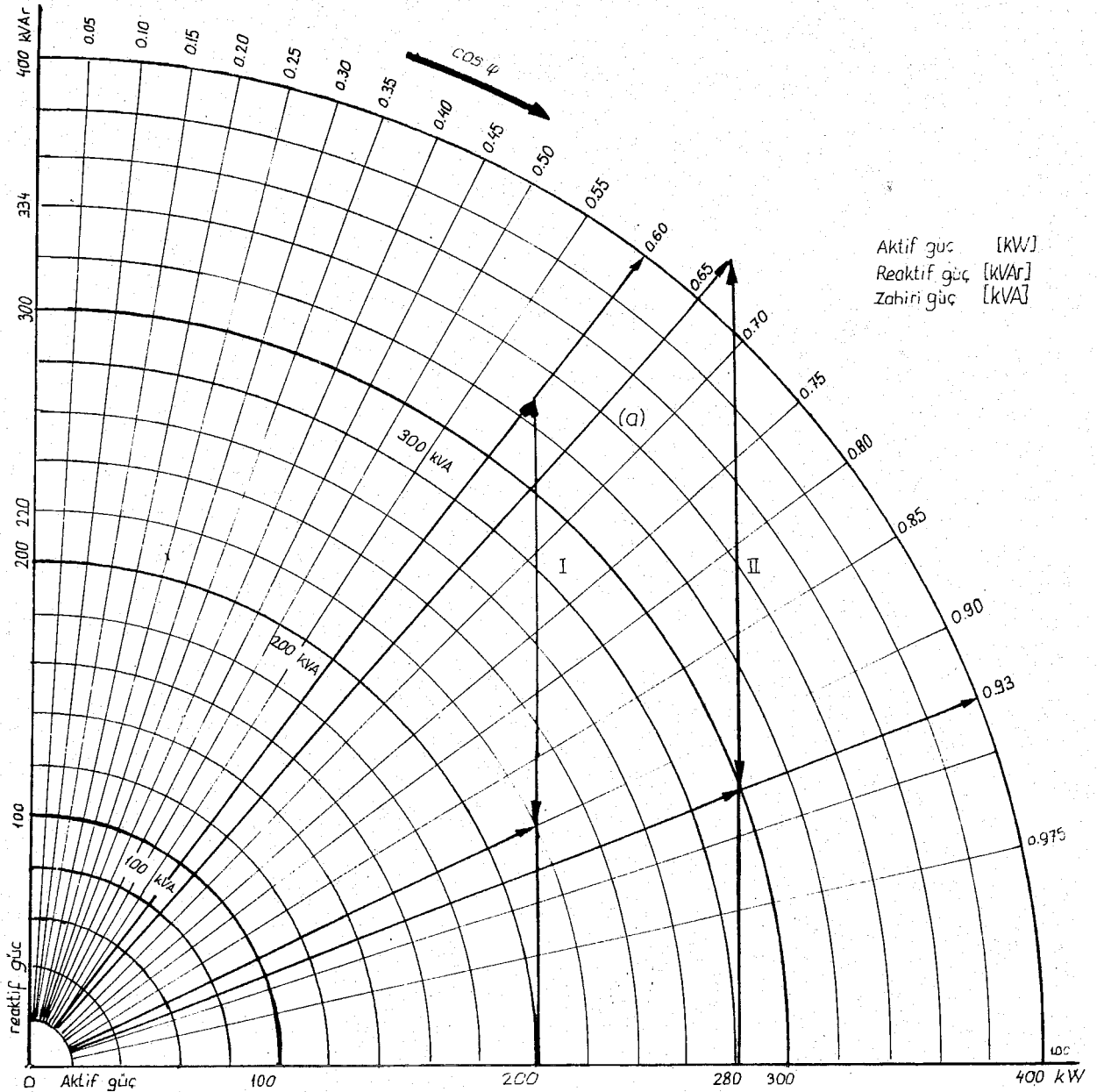
$$Q_2 = S_1 \cdot \sin \varphi_2 \dots \dots \dots (6.5)$$

dir. Buna göre gerekli kondansatör gücü için

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = S_1 (\sin \varphi_1 - \sin \varphi_2) \dots \dots \dots (6.6)$$

bulunur.

Hipotenüs görünür güç olmak üzere, yatay eksen aktif gücü, dikey eksen reaktif gücü gösterecek şekilde düzenlenmiş bir abak yardımı ile verilen bir aktifgüç ve güç katsayısından hareket ederek; görünür gücü, reaktif güç-ile kondansatör gücünü hesap edebiliriz. Şekil.6.2 de böyle bir abak görülmektedir.



Şekil. 6.2 Kompansasyon için gerekli kondansatör gücünün hesabı için kullanılan abak.

Şekil. 6.2 deki abağı kullanarak kompanzasyon için gerekli kondansatör gücünün hesabı:

Örnek: Aktif gücü 200 kW, güç faktörü 0,6 olan tesisin güç faktörü 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 170 kVAR buluruz.

Aynı abaktan şu şekilde de yararlanabiliriz.

Örnek: Tesisin trf gücü $S_1 = 300\text{kVA}$, $\cos\phi_1 = 0,65$ çekilirken aktif güç $P_1 = 195\text{ kW}$ olsun. Hangi $\cos\phi_2$ değerinde çekilen aktif gücün $P_2 = 280\text{ kW}$ olabileceğini bulunuz. Bu iş için gerekli kondansatör gücü nedir?

Aktif güç ekseninden 280 kW tan bir dik çıkılır. Bu dikmenin 300 kVA çemberini kestiği nokta (O) 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 değer abaktan 215 kVAR buluruz.

6.1 PROJESİ YAPILAN BİR TESİSİN REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU İÇİN GEREKLİ KONDANSATÖR GÜCÜ HESABI

Tesis proje safhasında olduğundan herhangi 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 400 kW lık bir tahrik gücüne ihtiyaç vardır. Bunun için asenkron motorlardan yararlanılmaktadır. Asenkron motorların verimleri $\eta = \% 80$ ve güç katsayıları $\cos\phi_1 = 0,7$ dir. İşletmede eş zamanlılık katsayısı $q = \% 70$ dir. Güç katsayısı 0,9 a çıkarılmak istenmektedir. Gerekli kondansatör gücünü bulunuz.

$$P_1 = \frac{P_m}{\eta} = \frac{400}{0,80} = 500\text{ kW elektrik gücüne ihtiyaç vardır.}$$

Eş zamanlılık katsayısı göz önüne alınırsa aktif güç ihtiyacı

$$P_1' = P_1 \cdot q = 500 \cdot 0,7 = 350\text{ kW tır.}$$

Güç katsayısı 0,7 iken reaktif güç ihtiyacı aktif güce eşittir. Yani $Q_1 = 350\text{ kVAR}$ olur. Güç katsayısı 0,9 a çıkarıldığında çektiği aktif enerjinin 0,60 katına kadar reaktif enerji bedeli ödenmediği için; buna göre kondansatör gücü

$$Q_c = 0,40 \cdot P_1' = 0,40 \cdot 350 = 140\text{ kVAR bulunur.}$$

6.2 İŞLETMEDE OLAN TESİSLERDEKİ ÖLÇÜ ALETLERİNİN ÇEŞİTLERİNE GÖRE REAKTİF GÜÇ HESAP YÖNTEMLERİ

1^o - Tesisde aktif ve reaktif sayaçların bulunması durumunda:

Bir kronometre vasıtası ile nominal yükte iki sayacın disklerinin bir dakikadaki dönme sayıları okunur.

$$\text{Aktif sayaç diskinin dönme sayısı } n_p(d/dk)$$

Reaktif sayaç diskinin dönme sayısı n_q (d/dk)
 Aktif sayaç sabitesi c_p (d/kwh)
 Reaktif sayaç sabitesi c_q (d/kvarh) ise

$$\text{Aktif güç } P_1 = \frac{n_p \cdot 60}{c_p} \text{ kW} \dots\dots\dots(6.7)$$

$$\text{Reaktif güç } Q_1 = \frac{n_q \cdot 60}{c_q} \text{ kVAR} \dots\dots\dots(6.8)$$

olur. Arzu edilen güç katsayısı $\cos \phi_2$ değerine göre kondansatör gücü

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = Q_1 - P_1 \cdot \tan \phi_2 \text{ kVAR} \dots\dots\dots(6.9)$$

olarak bulunur.

2°-T.E.K. Tarafından aktif ve reaktif sayaçlar için düzenlenmiş fatura-ya göre:

Bu yöntemle uzun bir dönemde aktif ve reaktif sarfiyat gözlenebildiği için güvenli bir güç hesabı yapılabilir.

Eğer belli bir t_y (h) işletme süresi içinde harcanan

A_p = Aktif enerji sarfiyatı (kwh)

A_q = Reaktif enerji sarfiyatı (kvarh) ve

$\cos \phi$ = Arzu edilen yeni güç katsayısı ise

$$\text{Kondansatör gücü } Q_c = \frac{A_q - A_p \cdot \tan \phi}{t_y} \text{ kvar} \dots\dots\dots(6.10)$$

olarak bulunur.

3°- Tesiste aktif sayaç, toplam akımı ölçen ampermetre ve voltmetre bulunuyorsa:

Tesis nominal yükte çalışırken akım ve gerilim değerleri okunur. Görünür güç $S_y = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_y$ kVA $\dots\dots\dots(6.11)$

olarak bulunur. Bir kronometre yardımı ile aktif sayaç diskinin bir dakikadaki dönme sayısı (n_p) sayılır ve sayaç sabitesi c_p (d/kwh) okunur.

$$\text{Aktif güç } P_1 = \frac{n_p \cdot 60}{c_p} \text{ kW} \dots\dots\dots(6.12)$$

bulunur. Buradan $\cos \phi_1 = P_1 / S_1$ olup arzu edilen güç, güç faktörü $\cos \phi_2$ değerine göre kondansatör gücü denklem 6.13 deki gibi bulunur.

$$Q_c = P_1 \cdot (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \text{ kVAR} \dots\dots\dots(6.13)$$

4°- Tesiste toplam akımı ölçen ampermetre, voltmetre ve $\cos \phi$ metre bulunuyorsa:

Tesisin nominal yükte akım, gerilim ve \cos değerleri ölçülür. Buradan aktif güç $P_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_1 \cdot \cos \phi_1$ kW $\dots\dots\dots(6.14)$

hesaplanarak arzulanan \cos güç katsayısına göre

$$Q_c = P_1 \cdot (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \text{ kVAR} \dots\dots\dots(6.15)$$

5°- Tesiste aktif ve reaktif vatmetreler varsa

Tesis normal yükte çalışırken, vatmetrelerden okunan değerler ve arzu edilen yeni \cos değerine göre kondansatör gücü

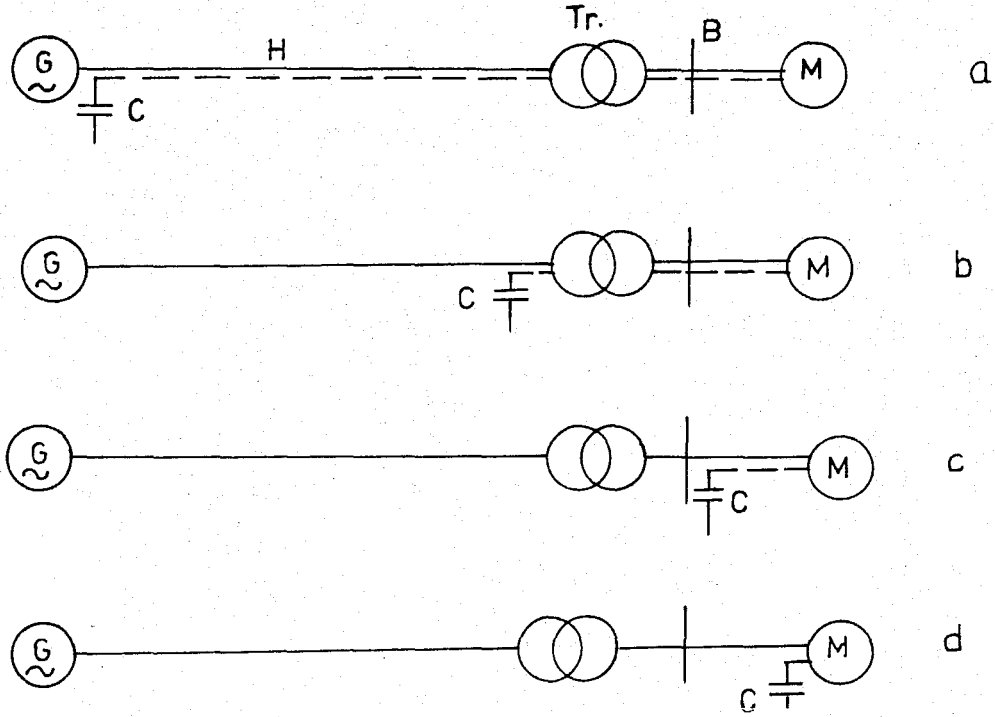
$$Q_c = Q_1 - Q_2 = Q_1 - P_1 \cdot \tan \phi_2 \dots\dots\dots(6.16)$$

olarak bulunur.

7. KOMPANZASYON TESİSLERİNİN ÇEŞİTLERİ "1"4"6"10"

7.1 KOMPANZASYON TESİSLERİNİN DÜZENLENMESİ

Kondansatörlerin kullanılacakları yerlere göre düzenleme şekillerinde önemi büyüktür. Kondansatör tesislerinden en büyük yararlanmayı sağlamak amacıyla, bunların yapacakları göreve göre tesis yerinin ve bağlama şeklinin uygun bir tarzda seçilmesi gerekir. Kompanzasyonda en uygun yerin seçilmesi için şekil.7.1 deki şekli inceleyelim.



Şekil.7.1 Alıcıların kompanzasyonu için kondansatörlerin çeşitli yerlere bağlanmaları.

Burada M tüketicinin, B barasından, Tr trafosundan, H hattından faydalanarak G generatöründen enerji aldığını kabul edelim. Kesiksiz çizgi P aktif gücü, kesik çizgi Q reaktif gücü sembolize ettiğine göre:

Şekil.7.1 a da aktif gücün yanında reaktif güçte hat, trf ve bara üzerinden geçerek tüketiciye ulaşır. Reaktif yükün generatör tarafından üretildiğini belirtmek için, generatörün yanına bir kondansatör konmuştur.

Şekil.7.1 b de kompanzasyon tesisi trf' nun yüksek gerilim kısmına bağlanmıştır. Burada generatör ve hat reaktif yükten kurtarıldığı halde trf reaktif akımla yüklüdür.

Şekil.7.1 c de kompanzasyon tesisi alçak gerilim barasına bağlanmış ve trf'da reaktif akımdan kurtarılmıştır.

Şekil.7.1 d de kompanzasyon tesisi doğrudan doğruya tüketicinin uçlarına bağlanmış ve tüm tesis reaktif akımdan kurtarılmıştır.

Belli bir kompanzasyon gücü elde etmek için şekil.7.1 b ve c deki trf. nun yüksek ve alçak gerilim tesislerine bağlı olan kondansatörlerin izolasyonları ve kapasiteleri farklıdır.

$Z_1 = \text{Trf'nun primer empedansı}$
 $Z_2 = \text{Trf'nun sekonder empedansı}$
 $u = \text{Trf'nun dönüştürme oranı ise}$

$$u^2 = \frac{Z_1}{Z_2} \dots \dots \dots (7.1)$$

olmaktadır. Bu orana göre

$C_1 = \text{Primer tarafa takılan kondansatör kapasitesi}$
 $C_2 = \text{Sekonder tarafa takılan kondansatör kapasitesi ise}$

$$u^2 = \frac{C_1}{C_2} \dots \dots \dots (7.2)$$

olduğu görülür.

Genellikle kompanzasyon tesisleri üç guruba toplanmış ve buna göre adlandırılmıştır.

Her alıcı için ayrı bir kondansatör konmuşsa tek tek kompanzasyon, belli bir alıcı gurubu için herhangi bir sabit kondansatör gurubu konursa grup kompanzasyonu, belli alıcı guruplarına toplu olarak kompanze etmek ve çekilen reaktif gücün büyüklüğüne göre, kondansatör gurupları otomatik olarak değiştiriliyorsa, bunada merkezi kompanzasyon adı verilir. Bunların birbirlerine göre üstünlük ve sakıncaları vardır.

7.2. TEK TEK KOMPANZASYON

Devamlı olarak işletmede kalan tüketicilerin reaktif güç ihtiyacını karşılamak için ; kondansatörler tüketicilerin uçlarına paralel bağlanırlar. Ortak bir anahtardan tüketici ile birlikte işletmeye sokulup çıkartılırlar. Bu şekilde her motor, lamba ve transformatör kendine paralel bağlı belli güçte kondansatörlerle tek tek kompanze edilir.

7.2.1. Motorların Tek Tek Kompanzasyonu

Motora bağlanacak kondansatörler uygun değerde seçilmelidir. Çoğunlukla motor olarak kısa devre çubuklu asenkron motor kullanılır. Bu motorlara direk yol verdiğimizde, şebekeden çektikleri reaktif akım kısmında olsa paralel bağlı kondansatör tarafından karşılanır. Bu şekilde çekilen yol verme akımında %10 ile %15 azaltılabilir. Bu nedenle kondansatör gücü motorun baştaki gücünün %90 nını geçmemelidir. Motorun boşta çektiği görünür güce göre kondansatör gücü

$$Q_c = 0,9 \cdot I_o \cdot U_n \quad (\text{Bir faz için}) \dots \dots \dots (7.3)$$

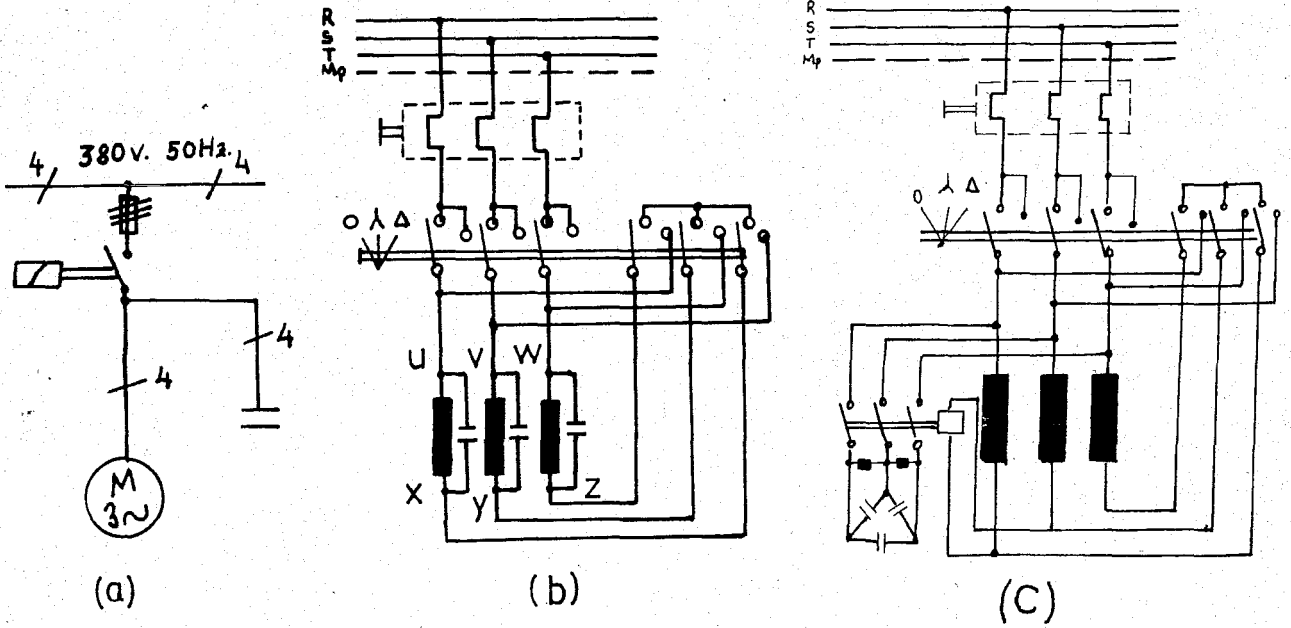
formülü ile hesaplanır.

$Q_c = \text{Kondansatör gücü}$
 $I_o = \text{Motorun boş çalışma akımı}$
 $U_n = \text{Motorun nominal çalışma gerilimi}$

Şekil.7.2. a da kısa devre rotorlu bir asenkron motorun uçlarına bağlı kondansatör bataryası ile, kompanzasyon sistemi görülmektedir.

Şekil.7.2. b de yıldız-üçgen şalterle çalıştırılan asenkron motorların kompanzasyonu görülmektedir. Kondansatör, motor sargıları ile beraber devre-

ye girer çıkarlar. Yıldızdan üçgene geçme anında dolmuş kondansatörler, çok kısa süreli olarak şebekeden ayrılır. Ve fazları ters olarak tekrar şebekeye bağlanırlar. Bu da darbe akımlarının geçmesine neden olur.



Şekil.7.2 a) Şaltere direk bağlı b) Yıldız-üçgen şalterle yol alan c) Yıldız-üçgen yol alıp üçgene geçtikten sonra, motorların tek tek kompanzasyonu

Ayrıca devreden ayrılan motorun rotoru, kinetik enerji ile dönerken kondansatör tarafından uyarılır. Ve bir süre daha generatör olarak çalışmaya devam eder. Bu sırada yıldız bağlı duruma gelen motor sargılarında, nominal gerilimin iki katı kadar gerilim oluşur. Bu nedenle butip bağlamalar ancak 25 kw'ta kadar olan güçteki motorlarda kullanılır. Bu sakıncaları ortadan kaldırmak için, kondansatörler şekil.7.2. c deki gibi, motor üçgen bağlandıktan sonra ayrı bir anahtarın üzerinden sargı uçlarına paralel bağlanır.

Avantajları: Kondansatör alıcı ile devreye beraber girip çıktığından, ayrı bir güç kontrol rölesine, sigortaya ve özel panoya gerek yoktur. Büyük motorların devreye girip çıkmasında gerilim dalgalanması küçük olur.

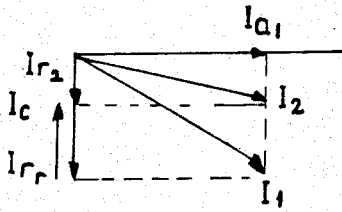
Sakıncaları: Ayarı elverişli olmadığı gibi pahalı bir kompanzasyondur. Ancak sabit güçte devamlı çalışan tüketici için uygun ve ekonomik olabilir.

7.2.2. KOMPANZE EDİLEN MOTORLARIN KORUNMASI

Şekil.7.2. de asenkron motorun uçlarına bağlanan kondansatörlerle kompanzasyonunda; bu motoru koruyan termik ayarının yeniden yapılması ve sigortaların değiştirilmesi gerekir. Aksi halde termik koruyucu görev yapamaz ve motor yanar.

Örnek : Nominal değerleri $I = 30 \text{ A}$, $\cos\varphi = 0,8$ $U = 380 \text{ V}$, $I_b = 11 \text{ A}$ olan üç fazlı asenkron motorun kompanzasyonu için gerekli kondansatör gücünü ve kompanzasyondan sonraki akımını bulalım.

$$I_a = I \cdot \cos\varphi = 30 \cdot 0,8 = 24 \text{ A}$$



$$I_{r1} = I \cdot \sin \phi = 30 \cdot 0,6 = 18 \text{ A}$$

$$Q_c = 0,9 \cdot \sqrt{3} \cdot U \cdot I_b = 0,9 \cdot \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 11 = 6516 \text{ VAR}$$

$$Q_c = 6,5 \text{ kVAR}$$

Bu senkron motoru kompanse etmek için 6,5 kVAR'lık bir kondansatör gereklidir. Kondansatörün akımı

$$I_c = \frac{6500}{\sqrt{3} \cdot 380} = 9,9 \text{ A}$$

Kompanzasyondan sonraki motorun akımı ise

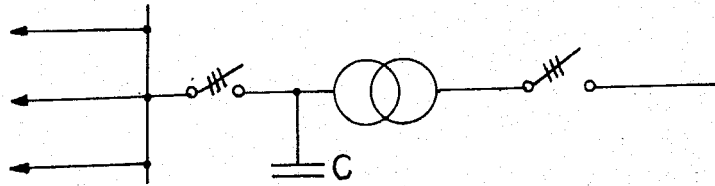
$$I_{r2} = I_{r1} - I_c = 18 - 9,9 = 8 \text{ A}$$

$$I_2 = \sqrt{I_{r2}^2 + I_{Q1}^2} = \sqrt{8^2 + 24^2} = 25,3 \text{ A}$$

Budurumda önce 30 A göre ayarlanan termik ayarı kompanzasyondan sonra 25,3 A göre ayarlanmalıdır.

7.2.3 TRANSFORMATÖRLERİN TEK TEK KOMPAZASYONU

Burada kullanılacak kondansatöründe, trafonun boşta çektiği reaktif gücü karşılayacak değerde olması gerekir. Aksi halde boşta çalışan trf'nun uçlarında gerilim yükselmeleri ve boşta çalışma rezonans olayları meydana gelebilir. Şekil.7.3. a bir trf'nun sabit kompanzasyonu görülmektedir.



Şekil.7.3 a) Transformatorlerin sabit kompanzasyonu.

Trf'nun sabit kompanzasyonunda eğer trf. kısa devre gerilimi % 6'dan büyükse, aşırı kompanzasyon olmayacak şekilde trf'nun nominal gücünün % 10'nuna kadar güçde kondansatör bağlanabilir. Boşta çalışan bir trf'nun alçak gerilimde kompanzasyonu için

I_o = Trf'nun nominal akımına göre yüzde olarak boştaki akım

S_t = Trf'nun nominal görünür gücü olmak üzere

$$Q_c = \frac{I_o \cdot S_N}{100} \dots \dots \dots (7.4.)$$

formülü ile hesaplanabilir.

Kondansatör büyük seçilmişse; yükün az olduğu durumlarda aşırı kompanzasyon olur. Bu anda gerilim artışı

U_k = Trf'nun nominal kısa devre gerilimi

Q_c = Kondansatörün gücü

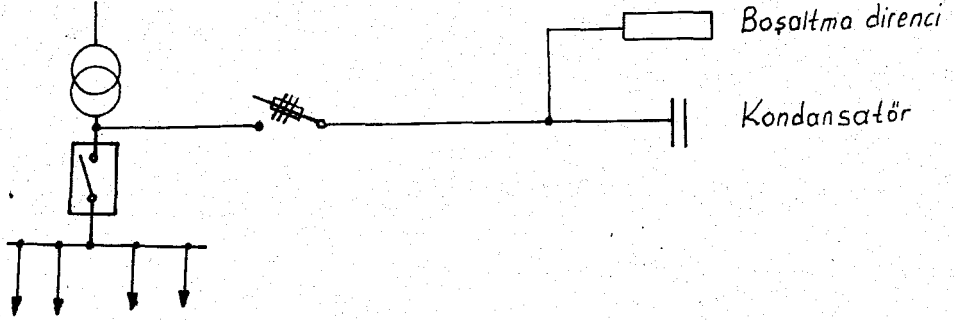
S_t = Trf'nun nominal gücü olmak üzere

$$U = U_k \cdot \frac{Q_c}{S_t} \dots \dots \dots (7.5.)$$

formülü yüzde cinsinden bulunur.

Aşırı kompanzasyonda ayrıca meydana gelen harmoniklerle; kondansatörler ek bir akım çekmeye başlar. Bu akımda trf'nun boşta çalışma akımına ek ola-

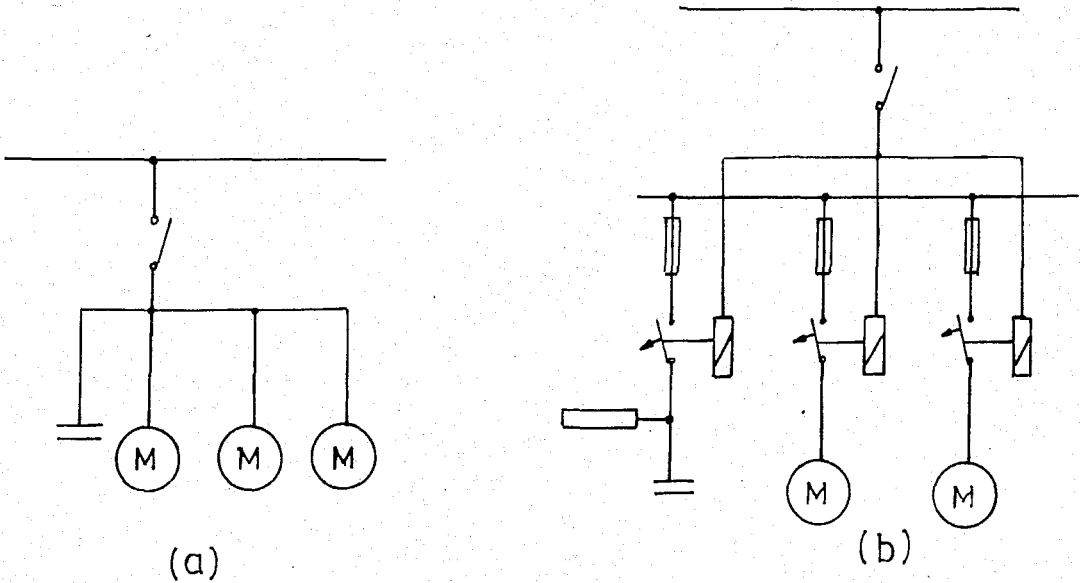
rak şebekeden çekileceğinden trf. ısınır. Bu nedenle genelde trf. gücünün %5-10 kadar güçte seçilebilir. Eğer trf. ya paralel bağlanacak kondansatör gücü çok küçükse bu taktirde kondansatör çıkışına sigorta konularak, kondansatör kablosuyla birlikte korunmuş olur. Bu sigortaların kondansatör akımının 1,5-2 katı değerinde seçilmeli ve kondansatör üzerinde deşarj dirençleri bulunmalıdır. Şekil. 7.3 b de bir trf. nun sigortalı ayırıcı ile korunmuş sabit kompanzasyon bağlantı şeması görülmektedir.



Şekil. 7.3 b: Bir trf. nun sigortalı ayırıcı ile korunmuş sabit kompanzasyonu.

7.3 GURUP KOMPANZASYONU

Beraber aynı kontaktör veya şalter üzerinden devreye devreye girip çıkan motor, lamba ve trf. lar, birlikte kompanze edilebilirler. Bunların birlikte kompanze edilmesi daha pratik ve ekonomiktir. Sigorta ve deşarj deşarj dirençlerine gerek yoktur. Şekil. 7.4 a da bu durum görülmektedir.



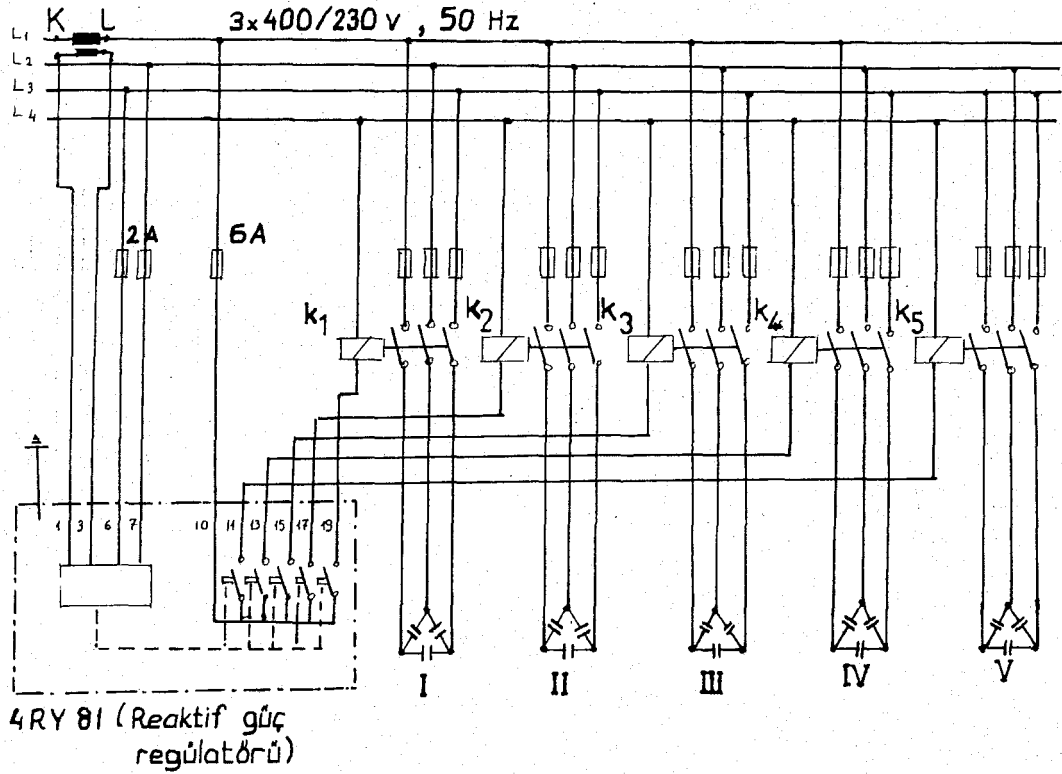
Şekil.7.4 a) Aynı şalterle çalışan b) Ayrı ayrı kontaktörle çalışan motorların grup kompanzasyonu.

Eğer bir grupta her motor ayrı ayrı kontaktörle devreye girip çıkıyorsa, kondansatörleride yine ayrı ayrı kontaktörlerle fakat motor kontaklarıyla paralel girebilecek şekilde bağlamak gerekir. Bu durumda ayrı sigortalara ve deşarj dirençlerine ihtiyaç vardır. Buna ait şema şekil. 7.4 b de görülmektedir.

7.4 MERKEZİ KOMPANZASYON

Gurup kompanzasyonunun bir kademe geliştirilmesi ile merkezi kompanzasyon elde edilir. Merkezi kompanzasyonda tüketici sayısı çok olduğundan, bunların hepsinde sabit güçle ve sürekli olarak devrede bulunması söz konusu değildir. Bu nedenle kondansatör gücünü, değişgen kompanzasyon gücüne uydurabilmek için, merkezi kompanzasyonda bir ayar düzeni gerekir. Bu sayede düşük ve aşırı kompanzasyondan korunabiliriz.

Tabloya bağlı çok sayıda motor veya endüktif yük çeken alıcı bulunuyor ve bunlar belirli belirsiz zamanlarda devreye girip çıkıyorlarsa, çekilen yük durumuna göre ayarlı kompanzasyon, merkezi kompanzasyon sistemiyle sağlanabilir. El ve otomatik çalışma durumları ile düzgün bir kompanzasyon sağlanabilir. Buna ait basit bir şema şekil.7.5 de görülmektedir.



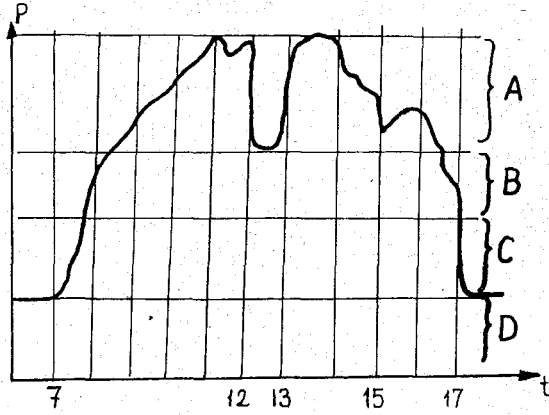
Şekil.7.5 Beş kademeli merkezi kompanzasyon tesisi bağlantı şeması

Kademeli olarak devreye kondansatör girip çıkması, az salınımla gerilim darbeleri yaratır. Bu sistemin projelendirilmesi ve hesaplanması kolaydır. Mevcut tesislere bağlanması problemsiz olup, çok az zamanda montaj ve işletmeye almak mümkündür. Kullanılan elektronik regler vasıtası ile 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 yetlidir.

Bir tesisin hangi çeşit kompanzasyonla donatılması gerektiği, işletmenin muhtelif zamanlarda alınmış yüklenme eğrilerine göre seçilmelidir.

Şekil.7.6 da günlük bir yükleme eğrisi görülmektedir. Burada A bölümü için



Şekil.7.6 Bir alıcı gurubunun günlük yükleme eğrisi.

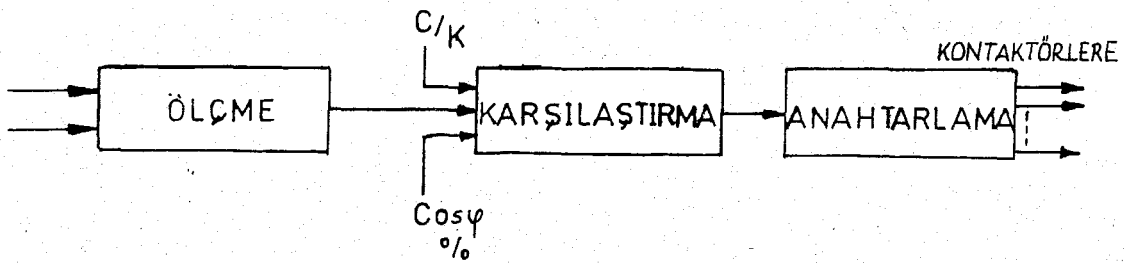
otomatik merkezi kompanzasyon B ve C bölümleri için grup veya tek tek kompanzasyon, D bölümü için de sabit kompanzasyon düşünülebilir.

Kondansatör tesislerinin çıkış gücünü ayarlı yapmayı zorunlu kılan iki neden vardır. Bunlar gerilimin sabit tutulmasını kolaylaştırmak ve yüksek frekanslı akımların, kondansatörler tarafından yutulmasını önlemektir.

Merkezi kompanzasyon tesislerini denetleyen ve alıcının reaktif güç gereksinimini ölçerek, buna göre kondansatörleri devreye sokan veya devreden çıkaran reaktif güç rölesidir. Reaktif güç rölesi, veri toplar, bunları değerlendirir, ayar değerleri ile karşılaştırır. Kontaktörler aracılığı ile kondansatör gruplarını denetler.

7.4.1 REAKTİF GÜÇ RÖLELERİNİN BÖLÜMLERİ

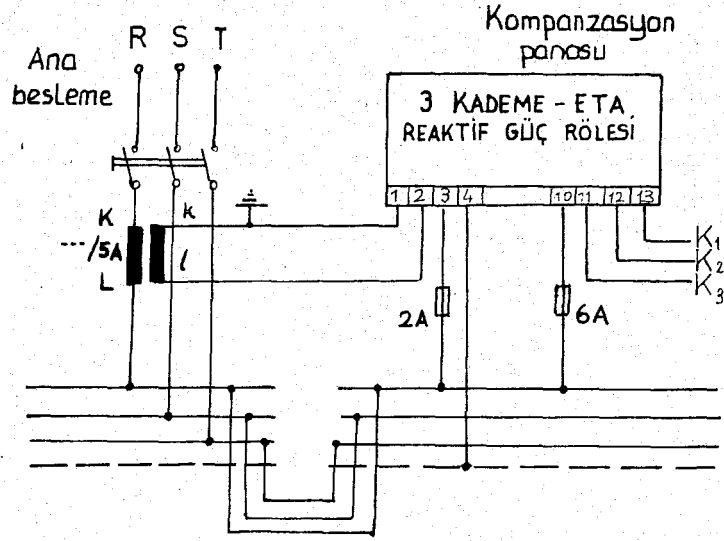
Reaktif güç röleleri ölçme, karşılaştırma ve anahtarlama olmak üzere üç bölümden oluşur. Her bölüme giren ve çıkan sinyaller şekil.7.7 de görülmektedir.



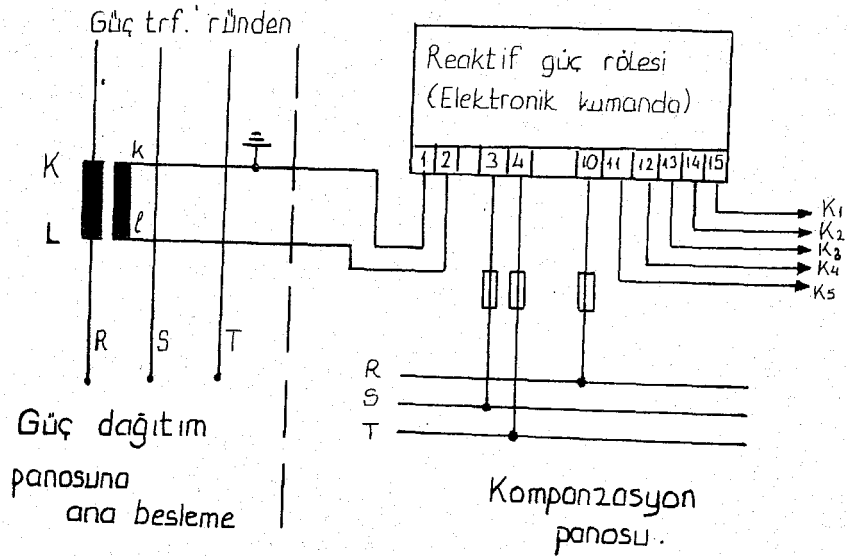
Şekil.7.7 Reaktif güç rölesinin bölümleri.

Ölçme bölümü: Kompanze edilecek sistemin reaktif güç gereksinimini, belirleyebilmesi için röleye akım ve gerilim bilgilerinin verilmesi gerekir. Gerilim bilgisi üç fazda çalışan rölelerde iki fazdan, tek fada çalışan rölelerde ise faz-nötr geriliminden sağlanır. Bunlara ait bağlantı şeması şekil.7.8 ve 7.9 da görülmektedir. Tek faz bağlı rölelerde gerilim bağlantısı kesinlikle akım trafusunun bulunduğu fazdan yapılmalıdır. Üç faz bağlantılı rölelerde faz sırasının doğru belirlenmesi gerekir. Akım trafusunun bulunduğu fazın dışındaki iki faz arasındaki gerilim, ölçmede referans olarak alınır. Üçüncü faz bağlantısı kontaktörleri beslemek için kullanılır. Hangi fa-

za R denildiği değil, RST sırasının bilinmesi gerekir. Akım trafusunun bulunduğu fazı R kabul edersek ST'yi bir faz sırası göstergesi kullanarak belirlemek gerekir. Üç fazlı rolelerin, üçfazdanda çekilen toplam reaktif gücü



Şekil.7.8 Gerilim bilgisi tek fazda çalışan reaktif güç kontrol rölesinin bağlantı şeması.



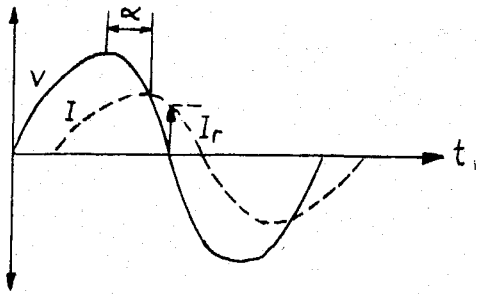
Şekil.7.9 Gerilim bilgisi iki fazdan çalışan reaktif güç kontrol rölesinin bağlantı şeması.

ölçtüğü kanısı doğru değildir. Üç veya tek fazda çalışan rolede akım trafusunun bulunduğu fazdaki akımı ölçer ve tüm fazların dengeli olduğu varsayımına göre çalışır. Buna karşılık tek fazda çalışma, bağlantı kolaylığı ve malzeme ekonomisi yönünden daha uygundur. Faz sırasının yanlış bağlama olasılığını ortadan kaldırır.

Akım bilgisini sağlayan akım trafusunun seçimi, yeri ve bağlantısı, rölenin gereği gibi çalışması için önemlidir. Akım trafolarının primer akımı anma değerinden uzaklaştıkça, kesinliklerini kaybederler. Akım trafusundan geçen akım, anma akımının %20'sinin altına düştüğünde çevirme oranının doğru-

sallığı kaybolur. Primer ve sekonder devre akımları arasındaki faz hatası büyür. Sekonder devreye bağlı araçların (ampermetre, Cosφ metre, röle gibi) tükettikleri güç, akım traf. sunun anma gücünü aşarsa, yine kesinlik azalır. Ve rölenin yanılmasına neden olabilir. Kompanze edilecek sistemin çektiği gerçek akımı belirleyerek, buna uygun, hata sınıfı küçük bir akım traf. su seçmek ve bu traf. ile röleyi beslemek hata olasılığını en aza indirir.

Akım ve gerilim bilgilerini alan röle, şebekeden çekilen reaktif güç ölçülebilir. Bu işlemede iki yaklaşım söz konusudur. Birinci yöntem, gerilimin sıfır olduğu anda, akımın büyüklüğünü ölçmek prensibine dayanır. Buna ait prensip grafik şema şekil.7.10 da görülmektedir.



Şekil.7.10 Endüktif devrede (reaktif güç oluşturan) gerilim ve akım eğrisi.

Gerilim sıfır olduğu anda ölçülen akım I_r yükün sadece reaktif bileşenince yaratılır. Güç faktörü 1 olması durumunda V ve I dalgalarının düzeyini ayarlamak için, gerilimin referans dalgası \emptyset derece kaydırılır. I_r belirli bir değere ulaşana kadar röle işleme geçirilmez. Yük akımının harmonikleri yüksek olması durumunda, bu yöntem hatalı sonuç verebileceği için besleme akımı süzülerek, ölçmede sadece temel harmonik kullanılır.

İkinci yöntemde ise, röle akım gerilim dalgalarının çarpımını elde eder ve bunu ölçtüğü faz açısı α 'nın sinüsü ile çarparak doğrudan çekilen reaktif gücü belirler. Kendi içinde $\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \sin \alpha$ veya $3 \cdot V_1 \cdot I_1 \cdot \sin \alpha$ 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 gereksinimini veya fazlalığını belirtir. Bu bölüme C/k ayarı ile, rölenin ne zaman işleme geçmesi gerektiği, $\cos \varphi$ (veya %) ayarlarıyla da ulaşılmak istenen kompanzasyon düzeyi bilgi olarak verilir. Otomatik kompanzasyon tesisleri, çekilen reaktif gücü ancak basamaklar halinde değiştirebilirler. Buna karşılık gereksinme sürekli değişmektedir. Ayarlanan kompanzasyon düzeyi ancak zaman içinde ortalama olarak sağlanabilir.

Ayar noktasının türüne göre röleler, kalıntı reaktif güç ayarlı röleler ve $\cos \varphi$ ayarlı röleler olmak üzere ikiye ayrılabilirler.

Kalıntı reaktif güç ayarlı rölelerde, kompanzasyon sonucunda şebekeden çekilen net reaktif güç, bir basamak kondansatör gücünün yüzdesi olarak ayarlanarak, ortalama güç katsayısının 1 olması isteniyorsa yüzde ayarı %0'a getirilir. Her basamakta devreye giren reaktif güce Q_c dersek, çekilen reaktif güç $0,60 Q_c$ 'yi aşarsa anahtarlama bölümüne (devreye kondansatör ekle) komutu, $-0,60 Q_c$ 'nin altına düşerse, (devreden kondansatör çıkar) komutu verilir. $\cos \varphi$ ayarlı rölelerde ölçme devresinden gelen $\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \sin \alpha$ sinyali, bir faz kaydırıcı ile $\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \sin(\alpha - \varphi)$ sinyaline dönüştürülür. Ve röle bunu sıfırlama yönünde bir işleme geçer. İstenilen ortalama güç açısı φ , röle üzerinden bir potansiyometre ile ayarlanır.

Anahtarlama bölümü: Karşılaştırma bölümünden gelen sinyale göre, kademe kontaktörlerini denetler. Kaç kademenin devrede olduğunu role belleğinde tutar ve karşılaştırma bölümünden gelen sinyalin türüne göre ya bir 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 boğalmadan, yeniden devreye alınma olanağını ortadan kaldırır. Çok hızlı değişim gösteren reaktif güç gereksinimi durumunda, kontaktörlerin çok sayıda açma kapama yapmasını engelleyerek ömürlerini uzatır.

Kontaktör besleme yolunu açıp kapatmakta elektromanyetik minyatürler kullanılır. Sayıcıdan gelen bir sinyal güçlendirildikten sonra, minyatür rolenin uçlarına verilir. Elektrik kesintisi 20 , 40 mili saniyeyi aştığında kontaktör besleme yollarını açan bütün kademeleri devre dışına alan bir (No-Volt release) gerilimsizlik rolesi kullanılır.

7.2.4 REAKTİF GÜÇ ROLELERİNİN (REGLERİN) AYARLARI

C/k ayarı: Bu ayar şebekeden çekilen reaktif güce göre devreye kondansatör sokma ve çıkarma sınırlarını belirler. Burada (C) kapasiteyi değil birinci kademedeki kondansatörün kVAR biriminden gücünü gösterir. (k) ise kullanılan akım trf. sunun çevirme oranıdır. Bir basamak kondansatör devreye sokulduğunda üretilecek ek reaktif güç ve yok edeceği reaktif akım

$$C(\text{kVAR}) = 3 \cdot U_1 \cdot I_c \quad \dots \dots \dots (7.6)$$

$$I_c = \frac{C(\text{kVAR})}{3 \cdot U_1} \quad \dots \dots \dots (7.7)$$

dir. Bunun rölenin iç devresine yansımaları ile (Ic/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 kademe devreye alınır. Bu katsayıya göz önüne alırsak roleyi işlemeye geçirip akımın değeri denklem 7.8 deki gibi

$$I_A = 0,6 \cdot \frac{C(\text{kVAR})}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot k} = 0,6 \cdot (1/\sqrt{3} \cdot 380)(C/k) \quad \dots \dots \dots (7.8)$$

olur. Görüldüğü gibi sadece C/k oranını vermekle katsayıyı iç devrede bir çarpan olarak yaratmakla, röle gerekli bilgiyi almış olur. Bazı kullanıcılar C/k'yı olması gerekenden daha küçük değerlere ayarlamaktadır. Bu anda röle gereğinden fazla anahtarlama yapmaya ve belirli bir sıklıkta sürekli kondansatör sokup çıkarmaya başlar. C/k'nın çok yüksek ayarlanması durumunda ise röle reaktif güç gereksinimini yeteri kadar yakından izlemez. Ve kapasitif bölgede uzun süreli çalışmaya neden olabilir. Sonuçta kompanzasyon yetersiz kalabilir.

7.4.3. REAKTİF GÜÇ RÖLESİNİN BAĞLANTISI VE KADEME SEÇİMİ

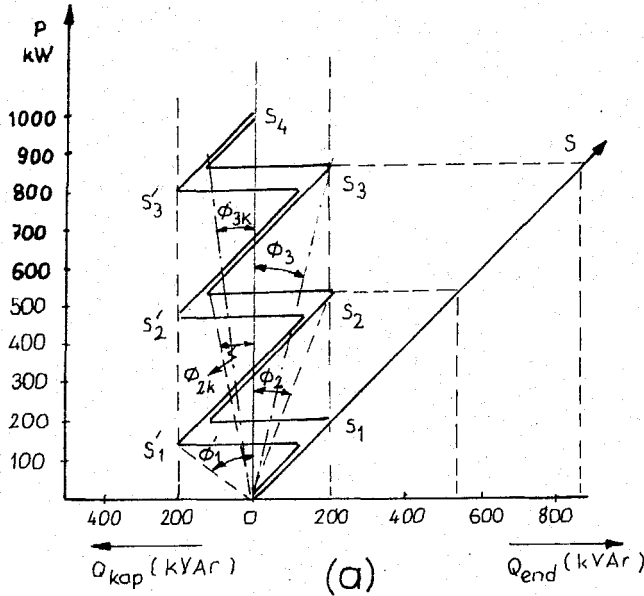
Üç faz bağlantılı rölelerde faz sırası belirlenmeli ve bağlantılar röle üzerinde doğru girişlere yapılmalıdır. Akım trf.'sunun (k) ucu topraklanmalıdır. Aynı kaynaktan beslenen birkaç güç panosu varsa; reaktif güç rölesinin akımı, yük akımının tamamının ölçüldüğü noktaya bağlanan akım trf.'sun-

dan sağlanmalıdır. ana giriş kolunda uygun akım trafosu yoksa ve kompanzasyon ana girişten yapılmak isteniyorsa; çok devreli bir akım trafosu ile pano a-kımları toplanır. Röle akımı bu trafodan beslenir. Budurunda C/k'nın hesaplanmasında eşdeğer (k) belirlenerek kullanılır. Buna ait şema uygulamalar kısmında verilmiştir.

Kompanzasyon tesisi röle devre dışındayken elle çalıştırılabilen şekilde tasarlanıyorsa el-otomatik seçme anahtarı, (el) konumunda rölenin gerilim besleme kolunu kesecek şekilde bağlanmalıdır.

Kompanzasyon tesislerinde; kademe sayısını yüksek tutarak daha çok basamakta kompanzasyon sağlamak ilk bakışta daha etkili oluyor 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 hiçbir yarar sağlamaz. Bunu örneklerle açıklayalım.

1000 kVA'lık bir trafodan beslenen alıcıların kompanzasyonunu düşünelim. Bu trafoya bağlanacak maksimum güç $\cos\phi = 1$ değerinde 1000 kw olacaktır. Hesaplarımızı kolaylaştırmak için bu trafoya bağlanan bütün alıcılarında ayrı ayrı $\cos\phi = 0,7$ düzeyinde olduğunu kabul edelim. Bu trafoyu, üç ve beş kademeli olarak merkezi kompanzasyon ile kompanse edelim. Gerekli kondansatörün gücü $Q_c = P \cdot \tan\phi = 1000 \cdot 1 = 1000 \text{ kVAR}$ olacaktır. Bununla ilgili şema şekil.7.11. a da görülmektedir.



- 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 kısmıyla ilgili yüzde artışı
- 6 : Transformatorün gücünden yararlanma yüzdesi

1	2	3	4	5	6
	S (kVA)	P (kW)	$\cos\phi$	S-P . 100 %	S . 100 %
				S	S _T
S ₄	286	200	0,70	30 %	29 %
S ₃	569	533	0,936	6 %	57 %
S ₂	888	866	0,975	2,5 %	89 %
S ₁	1000	1000	1	0 %	100 %
S' ₄	825	800	0,97	3 %	82,5 %
S' ₃	507	466	0,92	8 %	50,7 %
S' ₂	237	133	0,56	44 %	23,7 %

Şekil.7.11 3 kademeli bir merkezi kompanzasyon sisteminde kondansatörlerin, kademeli olarak devreye girip, çıkarken oluşturduğu diyagram.

Örnek.1: Merkezi kompanzasyon 3 kademeli olsun. Her bir kademenin (1000/3)

333KVAR)reglerin ayar durumuna göre, yarı endüktif, yarı kapasitif çalışması isteniyorsa; ilk kademe 333 KVAR'ın %60 değerinde devreye girecektir. (200 KVAR) $\cos\phi = 0,7$ durumunda çekilen aktif ve reaktif güçlerin birbirine oranı 1/1 derecesindedir. Birinci kademenin devreye gireceği S₁ noktasında bir 200 kw'lık aktif güç vardır. Trafodan elde edilecek maksimum aktif güç 1000kw olduğuna göre bu gücün %20'sinde ilk kademe devreye giriyor. 133kw'da

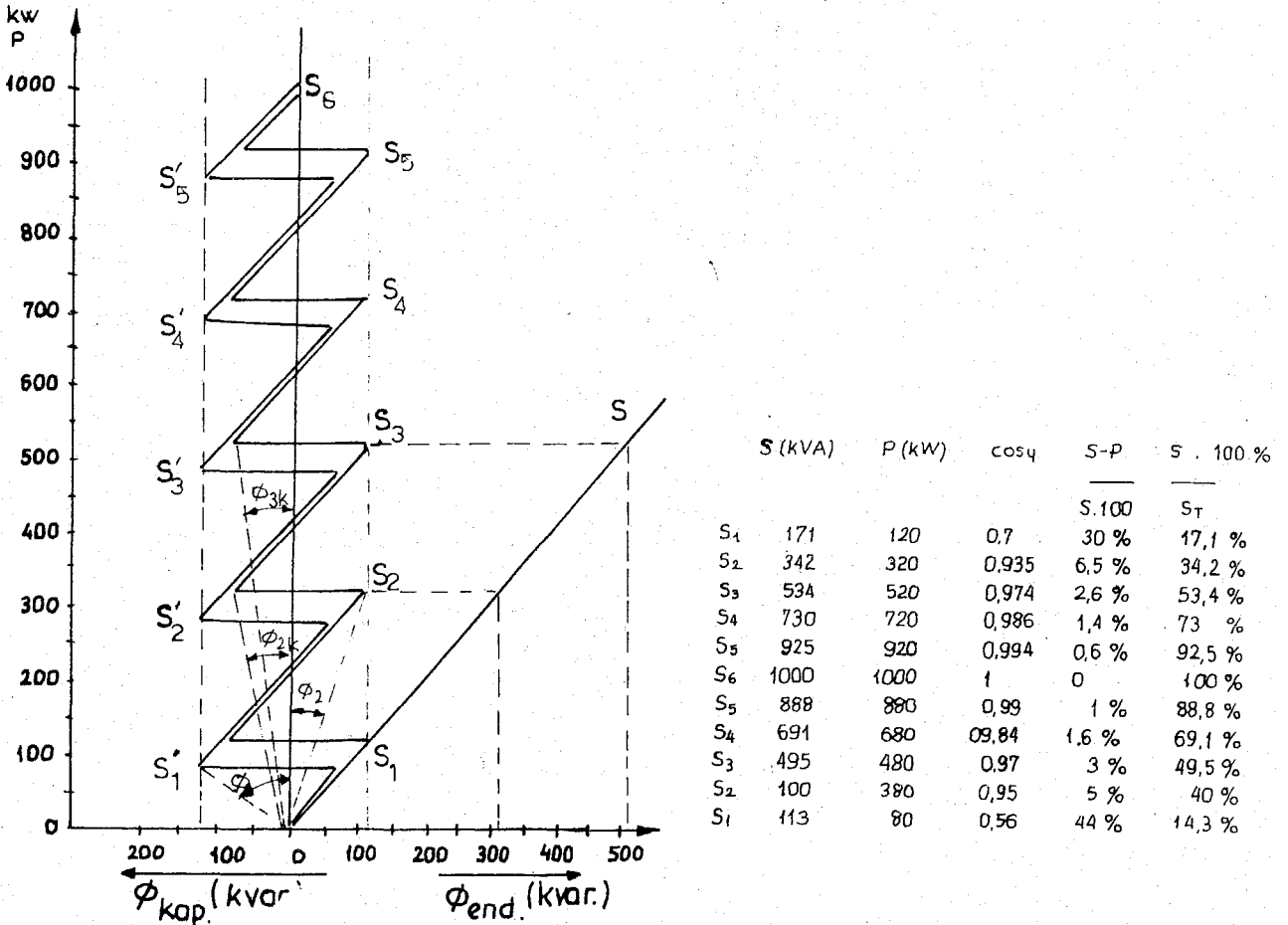
kademeyi devre dışı ediyor demektir. Devreden çıkarmada maksimum güç olan 1000 kw'ın %13,3'ünde gerçekleşmektedir. Bu şu demektir ki; merkezi güçlerin azalmasıyla, örneğin hafta sonlarında veya geceleri son kademede devre dışı edilebiliyor. İkinci kademe yüklerin artmasıyla 333+200 533 KVAR'da devreye girecek, bu kademeden devreye gireceği anda $\cos\phi_2=0,936$ endüktif, ikinci kademeden devreye girmesinden sonra hemen ölçülecek değeride $\cos\phi_2=0,97$ kapasitif olacaktır. Üçüncü kademe 666+200=866 kVAR da devreye girecek, burada da kademeden girmeden önce $\cos\phi_3=0,975$ endüktif iken, girdikten sonraki değeride $\cos\phi_3=0,985$ kapasitif olacaktır. Görüldüğü gibi S_1, S_2, S_3 de kademelerin devreye sokulduğu noktalarla, S'_1, S'_2, S'_3 kademelerinin devreden çıkarıldığı anlarda en normal değerler elde edilmektedir.

Şekil.7.11 a daki diyagram ve tablodan görüleceği gibi 3. kademede $\cos\phi=0,975$ endüktif iken $\cos\phi=0,985$ kapasitif değerine yükselmiştir. Yani çok küçük bir alanda değişmiştir. Daha ince bir ayarlanma istendiğine 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 halinde, trf.nun en fazla aktif gücü vermesini sağlamalıdır.

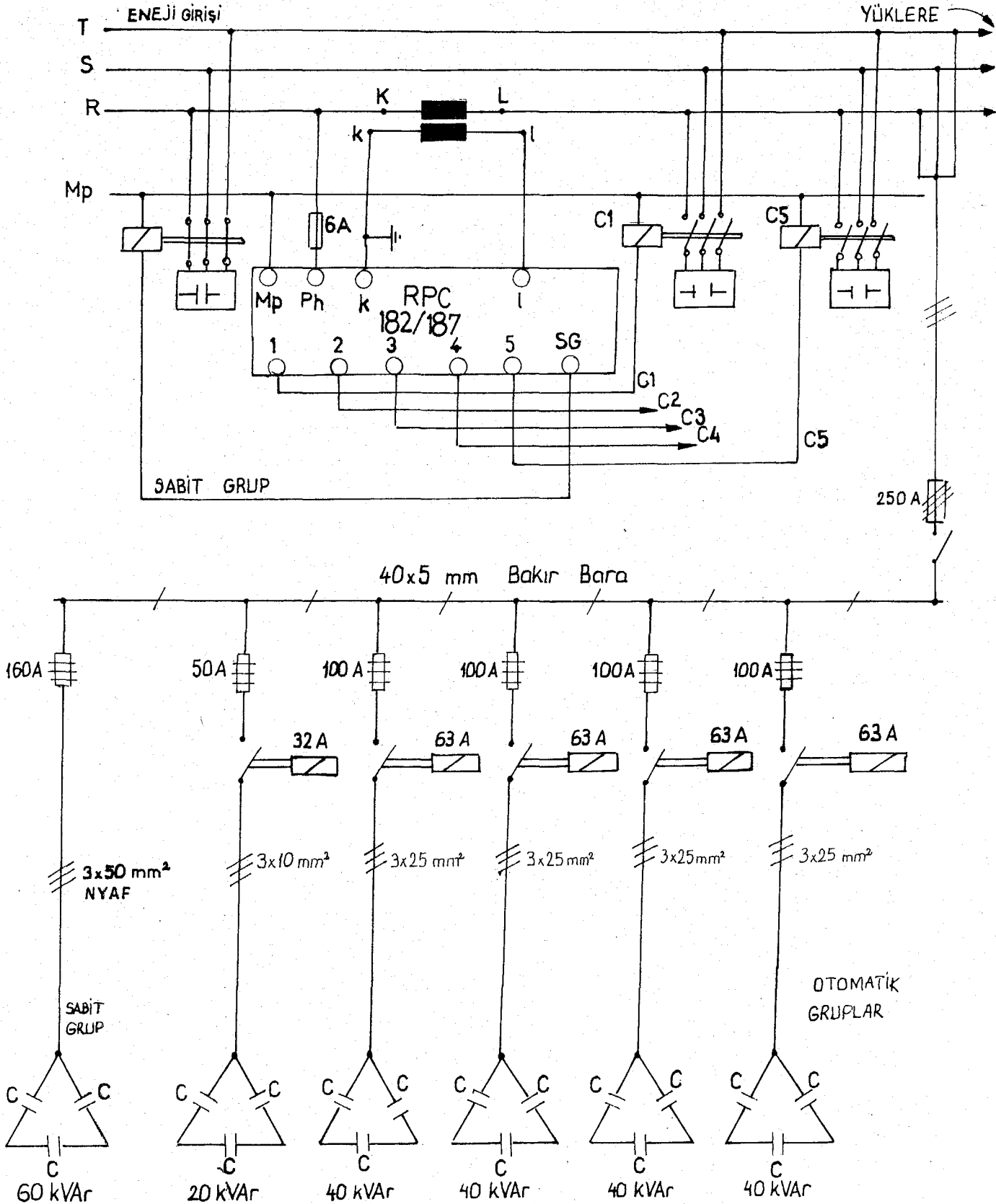
2°- Trf.nun yarı yük ile tam yük arasında çalıştırılmasında $\cos\phi=0,9$ değerine ulaşabilmelidir.



Şekil.7.11.b 5 kademeli bir kompanzasyon sisteminde kondansatörlerin kademeli olarak devreye girerken oluşturduğu diyagram.

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

4^o-Reaktif güç regleri olabildiğince az kademede yapılabilirdir. Çoğu kez seçilen aşırı kademe sayısı, şebekede dengesizlik oluşturmakta ve arıza sayısını artırmaktadır. Az kademe sayısı reglerinde hatasız çalışma



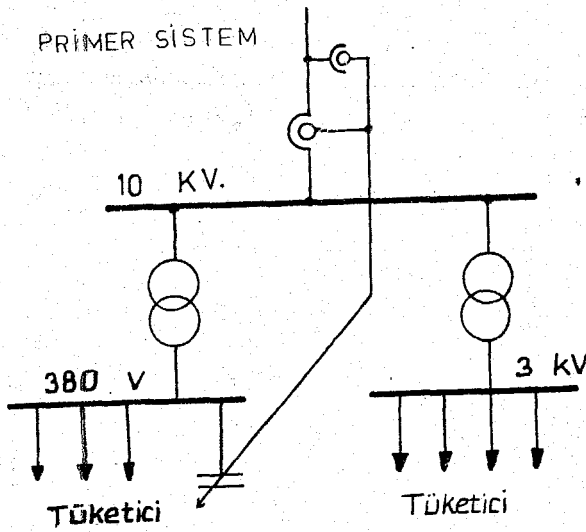
Şekil.7.12 5 kademeli bir merkezi kompanzasyona ait kontrol ve kompanzasyon tek hat şeması

yüzdesini artırmakta, kademelerin devreye sokulup çıkartılması reglerin hassasiyet sınırları içerisinde daha kolay olabilmektedir. Bir merkezi kompanzasyon tesisinde $\cos\phi$ değerini 0,95'den 0,96'ya 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 200 kVAR) İlk kademe bu değerlerin %60'unda devreye girsin. $200 \cdot \%60 = 120 \text{ kVAR}$ dır. Bu anda şebekeden çekilen aktif güçte 120 kw tır. İkinci kademe $120 + 200 = 320 \text{ kVAR}$ reaktif güce erişebildiğinde devreye girecektir. Bu ikinci kademe henüz devreye girmeden $\cos\phi_2 = 0,935$ endüktif iken, ikinci kademelerin devreye girmesiyle $\cos\phi_2 = 0,97$ kapasitif olacaktır. Şekil.7.11.b'deki grafik ve tablodan görüleceği gibi üçüncü kademeden sonra $\cos\phi_3 = 0,99$ kapasitif olmakta ve bu seviyede kalmaktadır. Çünkü 4. ve 5.kademeler artık $\cos\phi$ nin düzeltilmesinde büyük düzeyde yardımcı olmamaktadır. Şekil.7.12 de 5 kademeli merkezi kompanzasyon şeması görülmektedir.

7.4.4 MERKEZİ KOMPANZASYONDA PLANLAMA

Kondansatör tesisatı, otomatik kontrollü 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 trf.'ları veya diğer elemanlar üzerinden kondansatörlerin primer devreye reaktif güç vermesine dikkat edilmelidir.Şekil.7.13. 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.

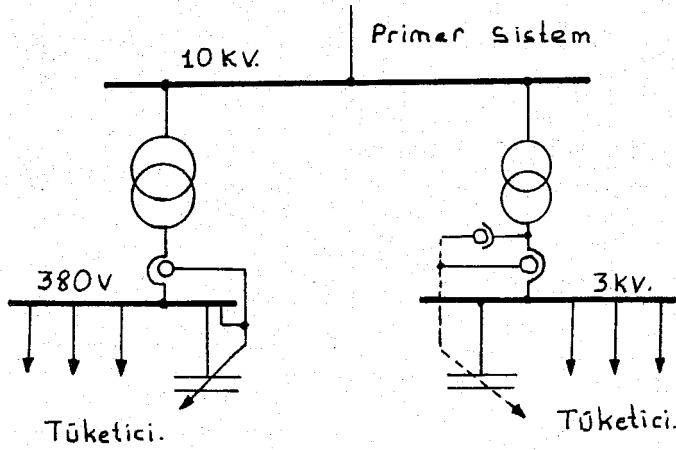


Şekil.7.13 İki ayrı gerilimde çalışan alıcıların hatalı kompanzasyonu

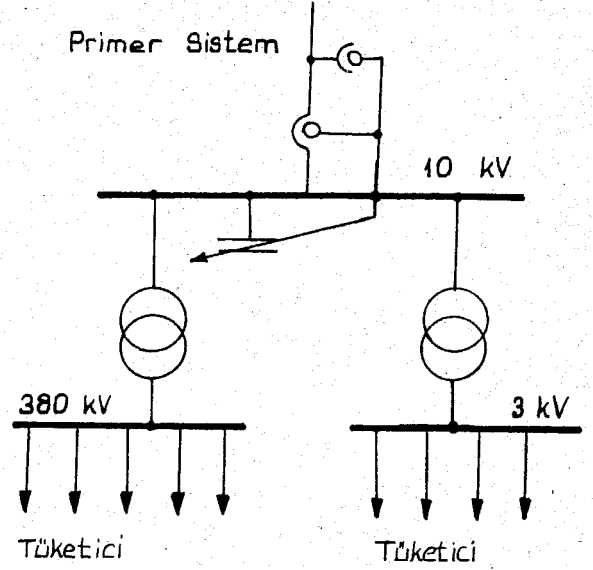
Örneğimizde 3 kV luk tüketicilerde vardır. Fakat 380 V luk ayarlı kondansatörler tesisin girişinden kumanda almaktadır. 3kV luk kısımda reaktif güç tüketimi oldukça, 380 V tarafında reaktif güç tüketimi azalsada kondansatör gurubu devrede kalacaktır. Kondansatör gurubu 380 V luk sistem ve transformatörler üzerinden 3 kV luk baraya reaktif güç vereceklerdir. Sonuçta 380 V tarafında gerilim artar ve 380 V luk kondansatörler harmonikler tarafından zorlanır, Böyle özel durumda kontrol şekil.7.14. daki gibi yapıldığında 380 V un akım ve geriliminden etkilenmez. 3 kV luk sistemde ayrı bir otomatik kontrol sistemi ve kondansatör gurubu ile kompanse edilmelidir.

Şekil.7.15. de görüldüğü gibi 10 kV luk baraya kondansatör gurubu koyarak 380 V ve 3 kV luk sistemler birlikte kompanse edilebilir. Kondansatörlerden bakıldığında reaktif gücün aktif güçle aynı doğrultuda 380 V ve 3 kV luk tesislere aktığı görülür. Bu sistemin otomatik kontrolü için regleri

sistemin girişine bağlamalıyız.

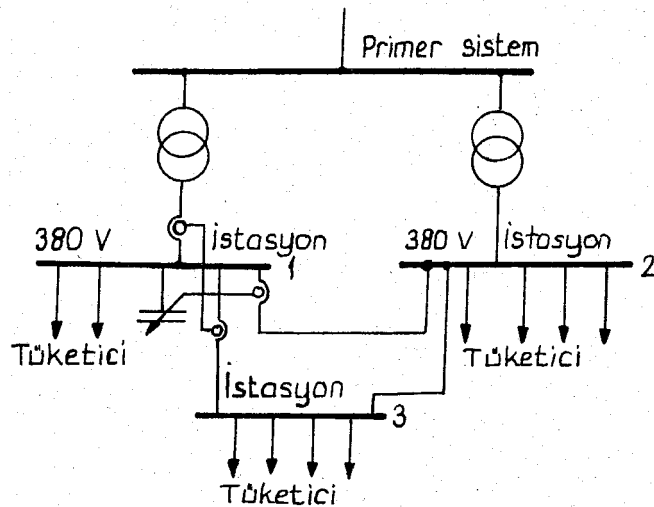


Şekil.7.14 İki ayrı gerilimde çalışan alıcıların iki ayrı yerden kompanzasyonu.



Şekil.7.15 İki ayrı gerilimde çalışan alıcıların bir yerden kompanzasyonu.

Şekil.7.16 da yüksek gerilim sisteminden iki transformatörle beslenen ve transformatörlerin sekonderleri halka şeklinde bağlanmış bir tesis gözönüne alınmıştır. Eğer (1)nolu istasyonun reaktif gücü ayrı olarak düzeltilcekse, 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 otomatik kontrolü 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 istasyonda da ayrı bir kompanzasyon için aynı yol izlenmelidir.



Şekil.7.16 İki trf. ile beslenen alıcıların tek yerden kompanzasyonu

Bir sanayi tesisinde kompanzasyon yapılmadan önce mutlaka bir inceleme yaparak ne şekilde yapılmasının uygun olacağını araştırılıp belirlenmesi gerekir.

Bu amaçla hem yüksek hem de alçak gerilim tesisleri bulunan, büyük sanayi kuruluşlarında kompanzasyonu, alçak gerilim tarafında, yüksek gerilim tarafında yapılacağı, kompanzasyonun şekli sabitmi, ayarlı mı 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 veyillik çalışma programı.

3°-Kompanzasyondan önce tesisin güç katsayısı.

4°-Kompanzasyondan sonra tesiste istenilen güç katsayısı.

Bu bilgilere dayanarak kompanzasyon tesisi için gerekli kondansatör gücü hesaplanır. Tesis gereçlerinin seçiminde, açma ve kapama sırasında olabilecek olayların etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Kondansatörler devreye sokulurken meydana gelen geçici rejimler 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 1 veya 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 izolasyonunun 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.

8.1 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 VAF 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 boşaltmaya ve kesmeye uygun olmalıdır. Bu yapıdaki kesiciler oldukça pahalıdır. Bakım aralıkları açma kapama sayılarıyla orantılı olduğundan, 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. Trf. merkezlerinde de trf.'ların 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 trf. merkezlerine konulacak bataryaların denetim ve bakımında trf. merkezi personeli tarafından yapılabilir.

8.1.1. ORTA VE YÜKSEK GERİLİMDE KAPASİTÖR BAĞLANTILARI

Orta ve yüksek gerilimde bir batarya için istenilen gerilim ve gücü sağlamak için; seri-paralel bağlanmış birçok üniteden oluşur. İstenilen faz gerilimini elde etmek için üniteler seri, gücü elde etmek için de paralel bağlanır. Orta ve yüksek gerilim bankları, elektriksel olarak çeşitli bağlantı şekilleriyle düzenlenebilirler. Bağlantı şeklinin seçiminde alıcı, gerilim düzeyi, kapasitör gücü, sistemdeki diğer kapasitörler, bağlantı noktasındaki kısa devre gücü, tercih edilen koruma yöntemi ve sistemin topraklama şekli gibi birçok etkenleri göz önüne alınır.

Üçgen bağlama (Delta bank): Alçak gerilim kapasitörlerinde 220 V. için üretilen bir ünite 380 V. gerilim altında da kullanılabilir. Yalıtkanlar buna uygundur. Üçgen bağlı sistemlerde, üç ve üçün katları olan harmonikler, kolları dönerler ve kapasitör yalıtkanlarını aşırı zorlayabilirler. Üçgen bağlı bankların kaynak tarafında bir faz kesik olsa bile, yük tarafında üç fazda gerilim oluşur. Buda tehlikeli rezonans şartları yaratabilir. Delta bağlantılar yüksek gerilimde tercih edilmezler.

Nötürü topraklı yıldız bağlama: Küçük güçteki banklar için en ekonomik ve güvenilir bağlantı şeklidir. Ancak bağlantı noktasında, yüksek harmonik akım ve gerilimleri bekleniyorsa kullanılmaz. Koruma masrafı düşüktür. Yıldırım darbelerinde kapasitörler toprağa bir yol oluşturarak, bağlandıkları baranın korunmasına yardımcı olurlar.

Nötürü topraksız yıldız bağlama: Sistemde harmonik bekleniyorsa, orta büyüklükte banklar 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 güvenilir bağlantıdır. Bank nötrü topraksız ve eşit güçte, iki yıldız şeklinde düzenlenir. Dengesizlik koruması iki nötr noktasındaki akıma bağlı olarak yapılır. Akım trf. su, birbirinin aynı olan iki yıldız arasındaki farkı ölçtüğü için, alçak yalıtım seviyesinde de olabilir ve koruma, yıldırım, harmonik gibi etkilerden bağımsız çalışır. Buna ait örnek şekil.11. de verilmiştir.

8.1.2 BANKLARIN KORUNMASI

Kondansatör banklarının korunmasında, birlikte koordine edilmesi gereken birçok sistem vardır. Bunlar; bireysel ünite koruması, dengesizlik 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 kısa devre oluşması durumunda, aşırı akım çok artar ve yalıtkan sıvının gaza dönüşmesi, kapasitör kabını patlatabilir. Üniteler içten veya dıştan bağlı sigortalarla korunur. 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 ve gereksiz açmaları önlemek açısından da tembel olması istenir. Ünite anma akımının 1,35 katı ile 1,65 katı arasında değişen bir sigorta akımı sınırı belirlenir. Aşırı gerilim yükselmelerinin ve harmoniklerinin beklenmediği noktalardaki banklarda, 1,35'lik bir sigorta faktörü uygun bir seçimdir. Ünite sigortalarının dıştan konulması, atmış sigortaların gözle görülebilmesi açısından tercih edilir.

Dengesizlik koruması: Bir seri gurupta bir kapasitörün devre dışı kalması halinde, paralel bağlı diğer kapasitörler üzerindeki gerilim yükselmesinin önlenmesi amacını taşır. Seri gurupta bir sigortanın açması durumunda diğerlerindeki gerilim yükselmelerini, bankın bağlantı şekli, her fazdaki seri grup sayısı ve seri guruptaki paralel kapasitör sayısı belirler. Bir seri grup içindeki kısa devreler sonucu, sağlam kapasitörlerin uzun süre yüksek gerilim altında kalmalarını dengesizlik koruması engeller. Orta ve yüksek gerilim bank tasarımında şu noktalar tespit edilebilir.

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

b) Her seri guruptaki paralel ünite sayısını artırarak, bu aşırı geri-

lim sınırlandırılabilir. Fakat bu durumda da bankın gücü büyütülmelidir. Küçük güçte bir bankı düşük gerilimli ünitelerde tasarlamak için gerekli yol, ünite gücünü azaltmaktır. Bu ünite sayısının ve dolayısıyla maliyetin artmasına neden olur.

Kısa devre koruması: Bank içindeki faz-faz veya faz-toprak kısıdevrelerinde bankı devreden çıkarır. Buçoğunlukla iki bağımsız kontağı olan aşırı akım röleleriyle sağlanır. Röle sinyali, banka terminal akımından alınır. Birinci kontağın duyarlılığı faz anma akımının 2-4 katı arasında olup, anında açmada kullanılır. İkinci kontak, gecikmeli olarak dengesizlik korumasını yedeklemekte kullanılır. Bu kontağın duyarlılığı faz anma akımının 1,2-1,7 katı arasında ayarlanacağından bir zamanlayıcı röle, dengesizlik korumasının çalışma süresi içinde, bu kontağı bloke eder. Eğer bu süre içinde dengesizlik koruması çalışmamışsa, bankı devreden çıkarır.

Terminal yüksek gerilim koruması: Terminal geriliminin anma gerilimini %10 aşması durumunda, kesicinin çalışmasını önliyerek, bankın devreye alınmasını engeller.

Darbe gerilim koruması: Bu koruma sistemi, yıldırım ve diğer geçici durum gerilim darbelerinden bankın korunmasıdır. Darbe gerilim koruması, nötr topraklı yıldız banklarda gereksiz olabilir. Diğer banklarda, kaynak tarafındaki hatlara uygun seçilmiş parafudurların konmasıyla sağlanır.

8.2. ALÇAK GERİLİMDE KOMPANZASYON

Büyük sanayi tesislerinde orta gerilim şebekesinden sonra geniş bir alçak gerilim şebekesi bulunur. Orta gerilimde yapılan merkezi kompanzasyonla alçak gerilim trf.'ları ve alçak gerilim şebekesi, reaktif akımın yükünden kurtulmuş olamazlar. Bundan dolayı 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 vekolay olduğu görülür .

Basit alçak gerilim tesislerinde, ayrı bir anahtar kullanmadan kompanzasyon yapılması tercih olunur. Butek tek kompanzasyonda uygulanır. Alıcı, kondansatörle birlikte devreye sokup çıkarılır. 500 V.'a kadar olan 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 hatların uzun tutulmasıdır. Böylece hat empedansı büyütülmüş olur. Bu nedenlerle kondansatörlerin devreye sokup çıkarılmalarında kontaktörler kullanılmaktadır. Kondansatörler devreden çıkarıldıklarında üzerinde bir elektrik yükü kalır. Bu yükün normal yoldan izolasyon 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 üzerinden kapanan ve anah-

tar 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 500 V. gerilimde 800 ampere kadar olan kondansatör akımları ve bu anahtarlarla kursuz 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 magnetik açıcıların ve manyetik üfleyicilerin bobinleri devreye seri girdiklerinden, bunların reaktif dirençleri kapama akım darselerine 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 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 termik röle ile korunurlarsa, hat kesitleri sigortalara uygun olarak seçilen kesitlerden 3 kademe daha küçük seçilebilir.

Tek tek kompanzasyonda, motor veya trf. uçlarına sabit olarak bağlanan kondansatörler için bir deşarj direncine gerek yoktur. Çünkü motor veya trf. devreden çıktığında kondansatör, bunların sarguları üzerinden boşalır. Bir sigorta ve anahtar üzerinden bağlanan kondansatörler ise devreden çakarıldıklarında bir boşalma direnci üzerinden topraklanır. 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

$$U_1 = U_2 \cdot e^{-t/T} \text{ dir.....(8.1)}$$

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 50 V.'a düşmesi öngörülür. Ayrıca kondansatörlerin arta toleransta oldukları, doldurma geriliminin maksimum değerinde olduğu ve işletme geriliminin nominal gerilimden %15 kadar daha büyük olduğu kabul edilir. Buna göre boşalma direnci için gerekli olan değer denklem 8.2 deki gibi bulunur.

$$R = \frac{1}{C} \cdot \frac{60. s}{In. 1,5. U_n - In. 50/\sqrt{2}} \text{ (8.2)}$$

Kondansatörlerin boşaltılması için direnç yerine bobin kullanılabilir. Bunların endüktif dirençleri çok yüksek olduğundan, kondansatör uçlarına sürekli olarak bağlı kalabilirler. Omik dirençleri ise çok küçük olduğu için bunlar üzerinde büyük kayıplar meydana gelmez. Bobin hesaplanmasında da boşalma direncinde olduğu

gibi, kondansatör geriliminin bir dakikada 50 V. a düşmesi ve kondansatör yeniden devreye sokulmadan önce uçlarındaki gerilim, artık gerilimin % 10'ununa düşmesi şart koşulur. Kondansatör enerjisi kesildiği zaman, üzerinde kalan gerilimin frekansı sıfır olduğundan, boşalma zamanı, bobinin sadece omik direnci ile orantılıdır. Bunlara ait şema Şekil.8.1 de görülmektedir.

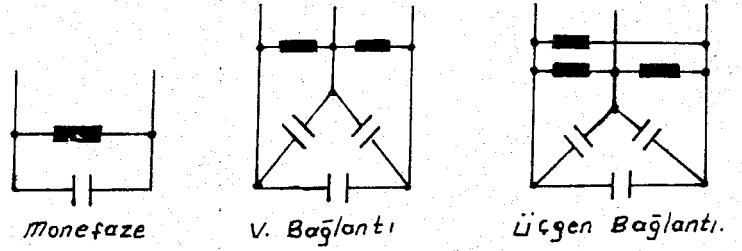
8.2.1 ALÇAK GERİLİM KOMPANZASYON TESİSLERİNDE KORUMA

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

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

Manyetik açıcılarda kapama olayı, anında eyleme geçmemelidirler. 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 öngörülmüşse; 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 kondansatörleri 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 kısa devreye karşı korumadan başka koruyucu önlemlere gerek yoktur. Ancak büyük ve önemli tesislerde kondansatörlerin sürekli olarak aşırı yüklenmelerine 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 nominal kondansatör akımının en az 1,4 katına ayarlanır. Aşırı kompanzasyon halinde veya kendi kendini uyarma olaylarında veya rezonans olayları dolayısı ile kompanzasyon tesislerinde gerilim yükselmeleri meydana gelir. Aşırı gerilimlerde makinalar, aygıtlar ve aydınlatmada kullanılan lambalar için çok zararlıdır. Bu nedenle büyük ve merkezi kompanzasyon tesislerinde aşırı gerilim rölesi kullanılır. Röle ayar edilerek gerilimin %10 veya %15'e kadar yükselmesi durumunda kondansatörler gecikmesiz olarak devreden çıkarılır. Aşırı gerilimler aşırı akımlara yol açarlar. Onun için aşırı gerilim rölesiyle, kondansatör tesislerini aynı zamanda aşırı yüke karşı korumuş oluruz.



Şekil.8.1 Kondansatörlerin çeşitli bağlantı durumlarına göre, bobinlerin deşarj direnci olarak kullanılması.

9. REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONUNDA MODERN YÖNTEMLER "6"7"11"

Son yıllarda tristör denetimli güç kompanzasyon düzenleri, gerek endüstriyel sistemlerin güç katsayılarını dinamik olarak düzeltmede, gerekse terminal geriliminin kararlılığını sağlamada yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Uygulamada başlıca iki tür kompanzasyon problemi ile karşılaşılmaktadır. Bunlardan birincisi öteki konularda görüldüğü gibi, reaktif gücün olduğu yerde karşılanarak güç katsayısının düzeltilmesi ve bozucu etkenlerle karşılaşan iletim hatlarındaki gerilimin düzenlenmesi, kararlılığın sağlanması idi. İkincisi ise reaktif güç sistemi hızlı biçimde dalgalanan büyük endüstriyel yüklerin (ark ocakları, hadde makinaları) bu istemlerini karşılamaya yönelik yük kompanzasyonudur. Bu işlemi (L) ve (C) lerin tristörlerle kontrol edilmesi sonucu çok kolay gerçekleştirilebilir.

9.1. REAKTÖRLERİN VE KONDANSATÖRLERİN TRİSTÖRLER TARAFINDAN KONTROL EDİLMESİ

Endüktansların $X_L = \omega L$ ve kondansatörlerin $X_C = 1/\omega C$ ohm gibi bir dirençleri olduğunu ve bu dirençler a.a. devresine bağlandıkları zaman bir akım çektiklerini, bu akım değerinde frekansla değiştiğini inceledik. Burada frekans değiştirmeden endüktans ve kondansatörlerin akımlarının (yani reaktif güçlerin) nasıl değiştiğini ele alacağız.

1.) Reaktörlerin (endüktansların) tristör tarafından kontrol edilmesi Şekil.9.1 de bir reaktörün (saf endüktans) tristörle devreye bağlantısının prensip şeması ve akım ile gerilimin zamana göre değişimi verilmiştir.

Bir reaktörün devreden çektiği akımın gerilimden 90° geride olduğunu biliyoruz. Ohalde (U) gerilimi tepe değerinde iken akım ise sıfırdan geçmektedir. İşte bu anda tristörün kumanda devresine bir darbe sinyal verilirse tristör iletime geçer, reaktörden bir I_L akımı geçer. Tristörün kumanda devresindeki sinyal kaldırılırsa tristör yalıtıma geçer.

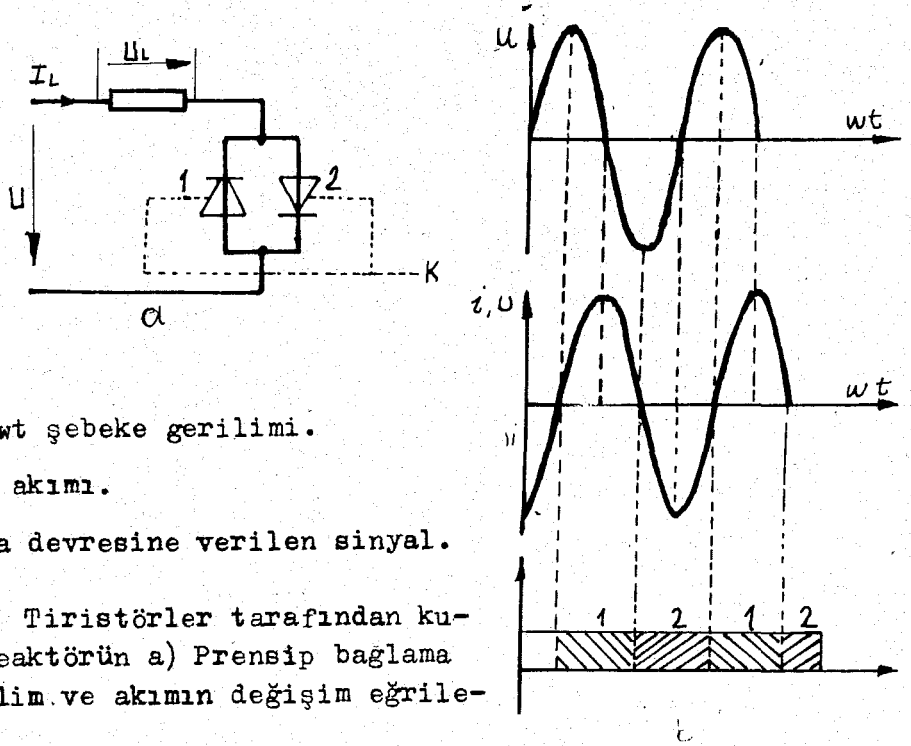
Tristörün kumanda açısı değiştirilirse reaktörden geçen akım değişir.

$$I_L = \frac{1}{\omega L} \int_{\alpha}^{\omega t} U_m \sin \omega t \cdot d(\omega t) = \frac{U}{\omega L} (\cos \omega t + \cos \alpha) \dots \dots \dots (9.1.)$$

Burada (α) tristörün kumanda açısıdır. Şekil.9.2 de $\alpha = 90^\circ$ alındığı için

$$I_L = -\frac{U}{\omega L} \cdot \cos \omega t \dots \dots \dots (9.2)$$

dir. Görülüyor ki (α) kumanda açısını değiştirmekle reaktör akımını sıfır ile en büyük değeri arasında değiştirmek mümkündür. $\alpha = 90^\circ$ için akım en büyük $\alpha = 180^\circ$ için akım sıfır olur. Burada akım değiştiği için reaktörün çekmiş olduğu (Q_L) reaktif yüküde değişmektedir.



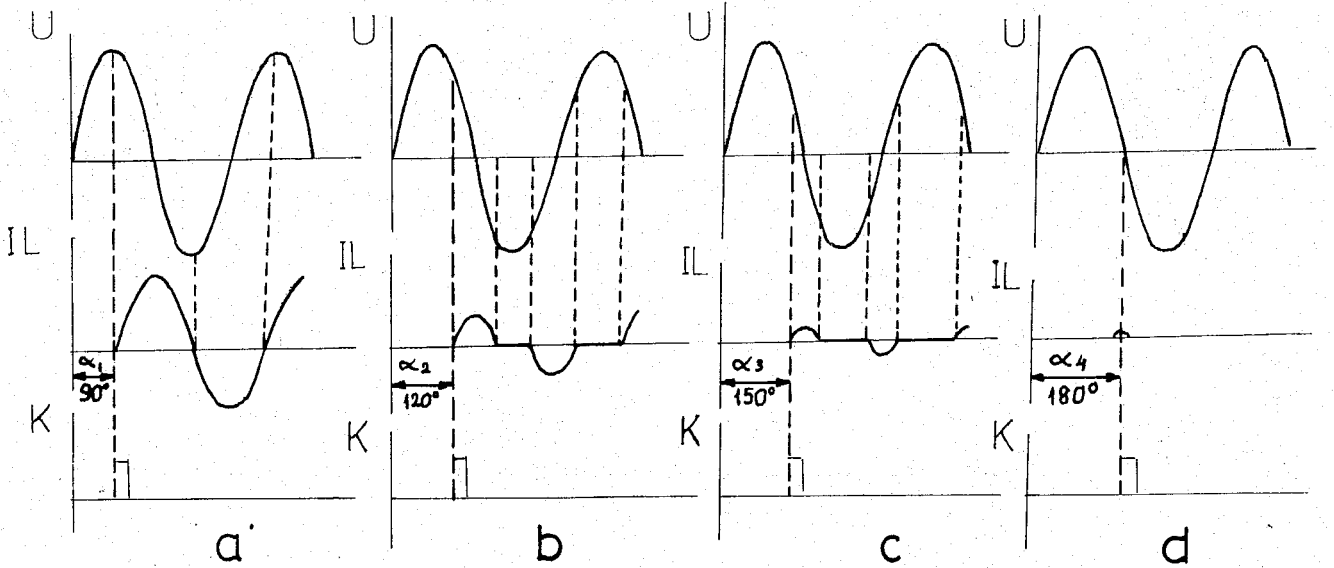
U $u \cdot \sin \omega t$ şebeke gerilimi.

I Reaktör akımı.

K Kumanda devresine verilen sinyal.

Şekil.9.1 Tiristörler tarafından kumanda edilen reaktörün a) Prensipteki bağlama şeması b) Gerilim ve akımın değişim eğrileri.

Şekil.9.2 de Çeşitli (α) kumanda açılarına göre ayarlanan akım eğrileri görülmektedir.



U Sinüs şeklinde şebeke gerilimi.

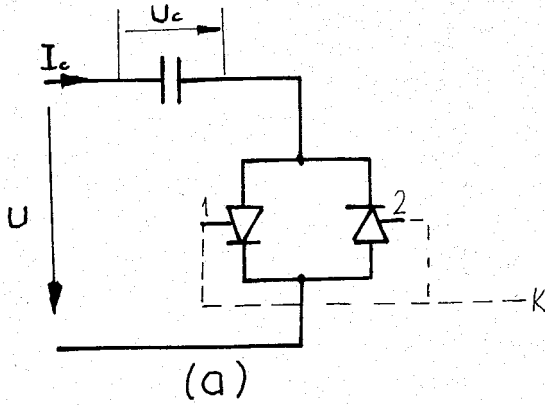
I_L Çeşitli kumanda açılarına göre kumanda akımı.

K Kumanda sinyali.

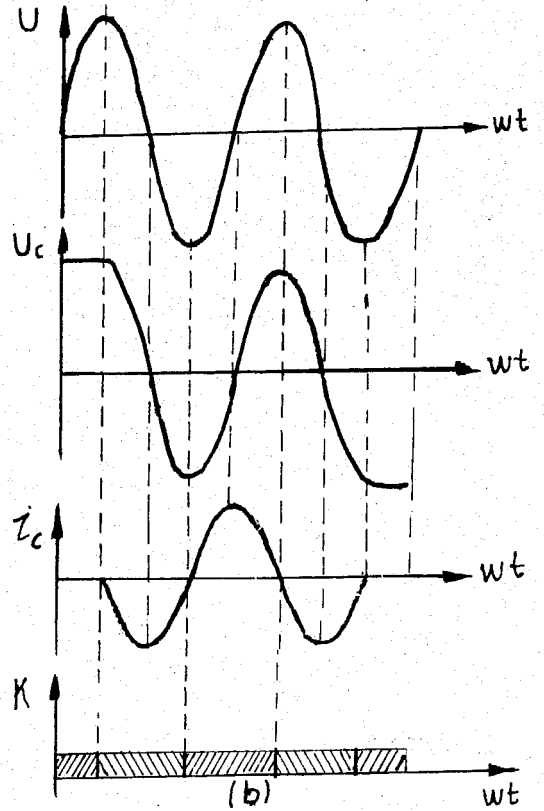
Şekil.9.2 Tiristörlere değişik açılı kumanda sinyalleri vererek, reaktöre kumanda edilmesi ile ilgili akım ve gerilim eğrileri.

2°- Kondansatörlerin tiristörler tarafından kontrol edilmesi

Şekil.9.3 de bir kapasitörün tiristörle devreye sokulup çıkarılmasına ait prensip şeması ve akım ile gerilimin zamana göre değişimi verilmiştir.



U: Şebeke gerilimi
 U_c : Kondansatör uçlarındaki gerilim
 I: Devreden geçen akım



Şekil.9.3 Bir kondansatörün tiristörle kontrol edilmesinin a) Prensipte bağlama şeması b) Akım, gerilim eğrileri ve kumanda sinyali.

9.2 ALIŞILAGELMİŞ VE MODERN REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYON SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Yük kompanzasyonu probleminin çözümünde kullanılan alışlagelmiş yöntemler şunlardır.

- 1° Senkron kompanzator kullanmak.
- 2° Elektrik sisteminin kısa devre gücünü (mVA) artırmak.
- 3° Mekanik olarak anahtarlanan şönt kompanzator gurupları kullanmak
- 4° Yük ile bara arasına reaktör bağlamak.

Yük kompanzasyonu problemi çözümünde yukarıdaki alışlagelmiş yöntemler yerine, modern kompanzasyon yöntemlerini kullanmak en uygun çözüm olmaktadır. Modern kompanzasyon yöntemlerini oluşturan, tiristörlü statik reaktif güç kompanzatorlarının çok kısa zamanda tepki gösterme yeteneği, her fazı ayrı ayrı denetliyebilmesi ve dengesiz yükleri kompanse etme yeteneği göz önüne alındığında üstünlüğü daha iyi anlaşılır.

Uygun bir yük kompanzasyonu ile şu yararlar sağlanabilir.

- 1° Ark ocakları ve hadde makinalarının neden olduğu düşük sıklıklı gerilim oynamalarının (filiker) azaltılması
- 2° Endüksiyon ocakları gibi tek fazlı yüklerin veya ark ocaklarının neden olduğu dengesizlikleri en alt düzeye indirilmesi.
- 3° Reaktif yüklerin güç faktörünün iyileştirilmesi

Büyük değişken yüklerin kompanzasyonunun genellikle iki nedeni vardır.

- 1° Sistemin büyük yük değişimleri anında, şebekedeki olumsuz etkilerin azaltılması

2°- Reaktif gücün şebekeden çekilmesi yerine, yük noktalarına bağlanan kompanzasyon sistemlerinden sağlanmasıdır.

Burada hedeflenen amaç, tek tek yüklerin şebekeye olan kötü etkilerinin en aza indirilmesidir.

Yük kompanzasyonunun matematiksel olarak incelenmesi ve yükün dengelenmesini konusunu, bölüm 3'de geniş şekilde incelemiştik.

Yük kompanzasyonunda özellikle şunların bilinmesi gerekir:

- 1°- Yükün reaktif gücünün zamana göre değişimi ve güç faktörü maksimum, minimum değerleri
- 2°- Gerilimin hangi sınırlar içinde sabit tutulacağı
- 3°- Belli yük darbelerine karşı kompanzasyon sisteminin tepkisi (respon-su).
- 4°- Nominal gerilim, frekans ve bunların değişimi.
- 5°- Kompanzasyon kontrol sistemi devrede iken izin verilebilecek harmoniklerin bozucu etki sınırları.
- 6°- Kompanzasyon kontrol sisteminin koruma düzeni.
- 7°- Aşırı yüklere karşı responsu.
- 8°- Sisteme yol verme ve kumanda etme düzenleri, bakım, yedek parça ve gelecekteki gelişmelere göre sistemin durumu.
- 9°- Sistemin çalıştığı ortamın sıcaklık değişimi, nem, toz, açık havada yada kapalı yerde çalışacağı.
- 10°- Dengesiz yükleri dengelemedeki özellikleri.

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

- 1°- Her üç fazında ayrı ayrı kontrol edilebilmesi için, yükün gerilimleri ve akımları her üç faz için sistemdeki hesaplayıcıya verilmeli
- 2°- Kompanzasyon kontrol sisteminin akımlarında ölçülmeli hesaplayıcıya verilmelidir.
- 3°- Kontrol sisteminin bütün girişleri istenilen biçimde kontrol edilerek işaretlerin üretilmesini sağlayacak bir kontrolün bulunması gerekir.

Şekil.9.7. de böyle bir kontrol sisteminin blok diyagramı verilmiştir.

9.3 . TİRİSTÖRLÜ STATİK VAR KOMPANZATÖRLERİ

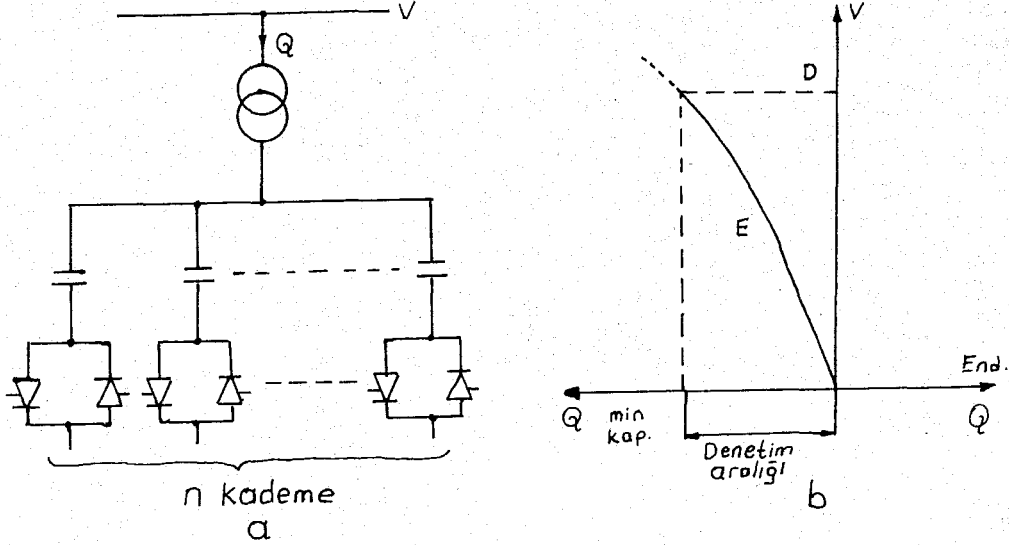
Bir statik VAR kompanzatorü (S V K), kapasitör, reaktör, trf. gibi elemanların hızlı, sürekli ve denetlenebilir bir şönt reaktif güç kompanzasyonu sağlamak amacı ile bir araya getirilmesinden oluşan bir sistemdir. Çok çeşitli statik VAR kompanzatorü olmasına rağmen, bunların kullanılan belli başlıları şöyle sıralanabilir.

- 1°- Tiristör anahtarlama kapasitörler (T A K)
- 2°- Tiristör anahtarlama reaktörler (T A R)
- 3°- Sabit kapasitör-tiristör denetimli reaktör (S K/T D R)
- 4°- Tiristör anahtarlama kapasitörler-tiristör denetimli reaktör (T A K/T D R)
- 5°- Tiristör anahtarlama kapasitörler-tiristör anahtarlama reaktörler-tiristör denetimli reaktör (TAK/TAR/TDR)

Aşağıda bu kompanzatorlerle ilgili kısa bilgiler verilmiştir.

1°- Tiristör anahtarlamalı kapasitör (TAK)

Böyle bir sistemin şematik gösterilmesi şekil. 9.4 de verilmiştir. Kapasitörlerin devreye girip çıkmaları kontaktörler, ayırıcılar veya kesiciler yerine tiristörlerle sağlanmaktadır. Tiristörlerin anahtarlama elemanı olarak kullanılmasında sayısız yararlar vardır.



Şekil. 9.4 Tiristör anahtarlamalı kapasitörlerden oluşan kompanzatorlerin şematik gösterimi ve V/Q karakteristiği.

Böyle bir sistem otomatikolarak çalışacak ve geri besleme mekanizması için gereken sinyal, yükün terminal geriliminden, reaktif gücünden veya güç faktöründen alınabilecektir. Her bir ünitenin devreye girişi, gerilimin tepe değerinde iken olacak, diğer taraftan transiyet akımı yok etmek için devre dışında olan üniteler, zaman zaman kısa süreler için ateşlenerek, gerilimin tepe değerine kadar sarj etmeleri ve bu değerde kalmaları sağlanacaktır.

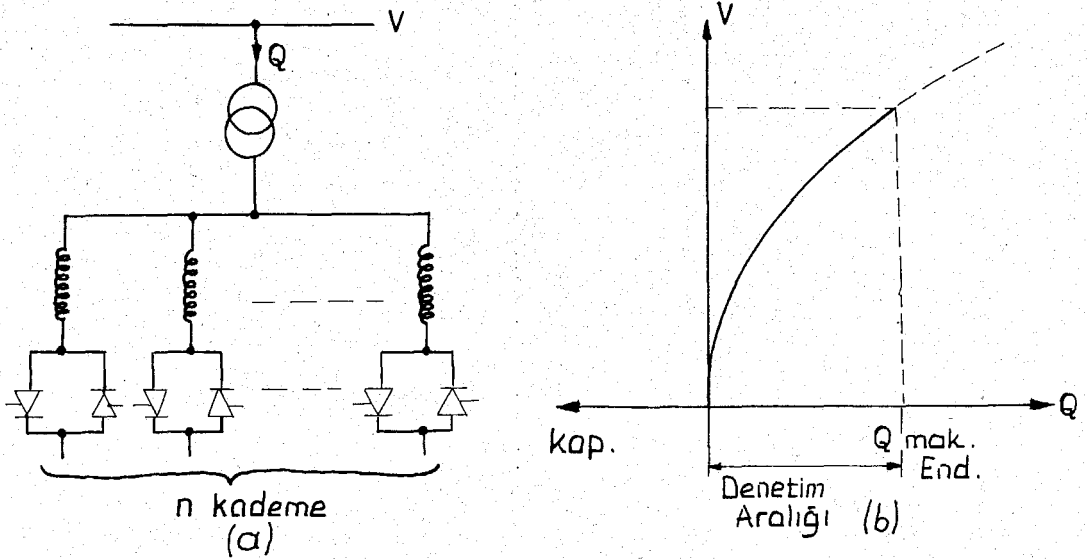
Bu kompanzatorün reaktif reaktif güç karakteristiği şekil. 9.4.b de gösterilmiştir. (E) eğrisi tüm kapasitörler devreye alındığında, kapasitörün kapasitif reaktif güç üretimini ($Q = Y.V^2$) göstermektedir. (D) doğru parçası ise, kapasitörün denetim aralığını simgelemektedir. Bu doğru parçasının sol uç noktasında tüm kapasitörler devrede, sağ uç noktasında ise tümü devre dışıdır. Kompanzatorün V/Q karakteristiği şekilde koyu ve kesintisiz çizgi ile gösterilmiştir.

Bu tip kompanzatorlerin temel özellikleri

- Kademeli denetim yapılacaktır
- En fazla 10 msn. de sistemde olan reaktif güç değişmelerine tepki gösterebilecektir.
- Pratikte transiyet meydana gelmeyecektir.
- Harmonik üretmeyecektir.
- Denetimde ve işletmede esneklik sağlayacaktır.
- Sadece kapasitif reaktif güç üretebilecektir.

2°- Tiristör anahtarlamalı reaktörler (TAR)

Böyle bir sistemin şematik gösterimi ve reaktif güç karakteristiği şekil. 9.5 de verilmiştir.

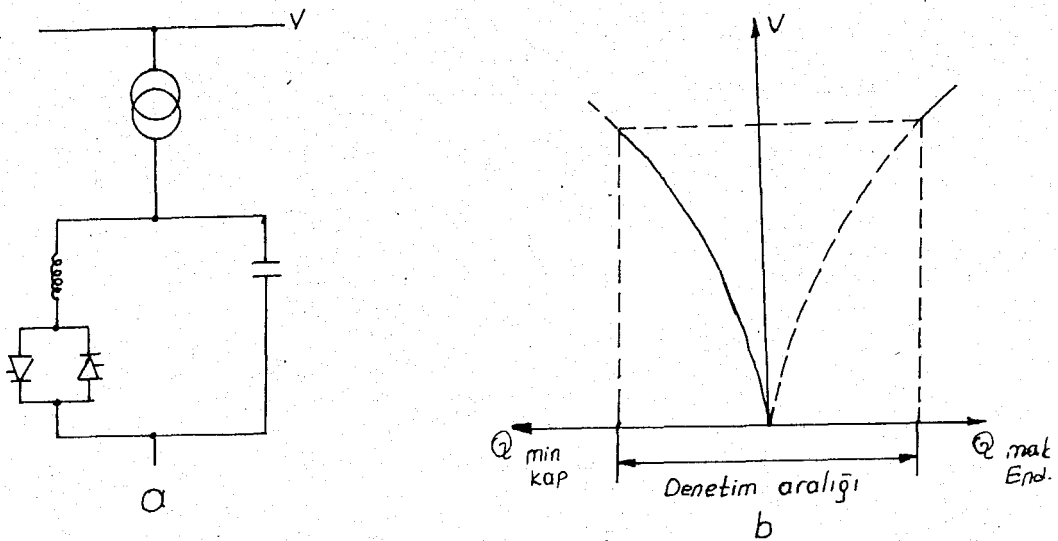


Şekil. 9.5 Tiristör anahtarlamalı reaktörden oluşan kompanzatorün şematik gösterimi ve V/Q karakteristiği.

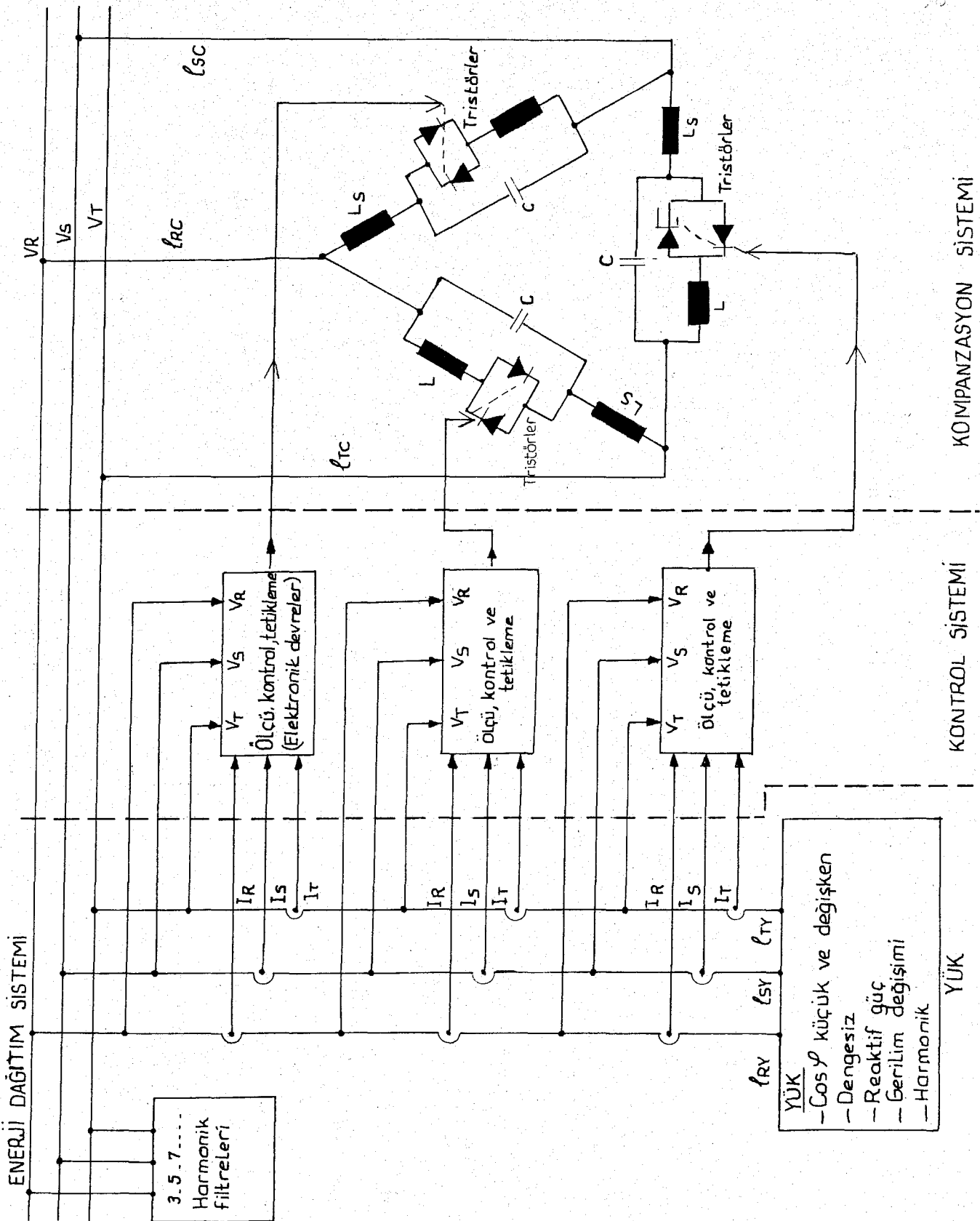
Bu tip bir kompanzator çalışma ilkeleri ve temel özellikleri açısından yukarıda anlatılan TAK a benzerlik gösterirler. Başlıca ayırım, tiristör anahtarlamalı reaktörlerin sadece endüktif reaktif güç üretebilmesidir.

3°- Sabit kapasitörler - tiristör denetimli reaktör.

Bu sistemin şematik gösterimi ve reaktif güç karakteristiği şekil. 9.6 a ve b de verilmiştir. Şekil. 9.7 de ise böyle bir sistemin kontrol ve blok diyagramı verilmiştir. Bir yandan sabit kapasitörler reaktif güç üretirken diğer taraftan, tiristör denetimli reaktör güç tüketecektir. Belli bir gerilim seviyesinde, kapasitör gurubunun reaktif güç üretimi sabit olduğundan, sistemin reaktif güç üretimi tiristörlerin ateşleme açılarının değiştirilmesi ile, reaktör akımının ana bileşenine, dolayısı ile endüktif VAR ın büyüklüğünü denetliyecektir.



Şekil. 9.6 Sabit kapasitör-tiristör denetimli reaktörden oluşan kompanzatorün şematik gösterimi ve V/Q karakteristiği.



Şekil. 9.7 Değişken ve küçük değerli $\cos \phi$ si olan, dengesiz ve şebekede gerilim değişmelerine yol bir yükü kompanse eden kontrol sisteminin blok diyagramı.

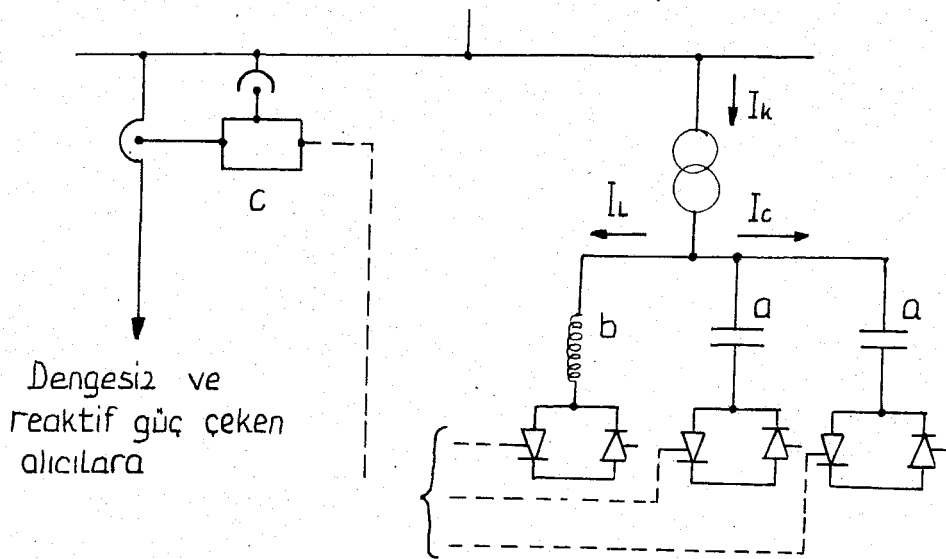
Tiristör kumandalı (L), paralel bağlı olduğu (C) ye değişken bir self etkisi uygular. (Ls) ler kapasite akımını sınırlar ve rezonansı önlerler.

Bu tip bir kompanzatorün temel özellikleri şöyle sıralanabilir.

- Sürekli kesintisiz denetim.
- En fazla 10 msn de sistemde olan değişmelere tepki gösterebilecektir.
- Pratikte transiyet meydana gelmeyecektir.
- Harmonik üretmeyecektir.
- Kayıplar daha yüksek olacaktır.(Özellikle düşük seviyelerde reaktif güç üretirken veya tüketirken.)
- Hem kapasitif, hemde endüktif reaktif güç üretebilecektir.

4°- Tiristör anahtarlamalı kapasitörler-tiristör denetimli reaktör.

Bu tip bir kompanzatorün çalışma ilkeleri ve özellikleri yukarıda anlatılan SK/TDR tipi kompanzatoré çok yakındır. Sabit kapasitör gurubu yerine tiristör anahtarlamalı kapasitörler kullanılmıştır. Şekil. 9.8 de bu kompanzasyon sistemine ait şema görülmektedir.



Şekil. 9.8 Tiristör anahtarlamalı kapasitörler-tiristör denetimli reaktör (TAK/TDR) den oluşan statik kompanzator şeması

- a Tiristör anahtarlamalı kapasitörler.
- b Tiristör denetimli reaktör.
- c Kontrol cihazı (Regülatör)

Bu sistemle sağlanabilecek yararlar şöyle sıralanabilir.

- Endüktif bölgenin denetim aralığı genişliyecektir.
- Kayıplar azalacaktır.

Bu yararlarına karşın, böyle bir sistemin daha yüksek yatırım bedeli gerektireceği açıktır.

5°-Tiristör anahtarlamalı kapasitörler-tiristör anahtarlamalı reaktörler-tiristör denetimli reaktörler.(TAK/TAR/TDR)

SK/TDR ve TAK/TDR tipi kompanzatorlerin ürettikleri harmoniklerin büyüklüklerini azaltmak amacı ile TAK/TAR/TDR tipi bir kompanzator tasarlanabilir. Bu kompanzatorlerdeki TDR gurubunun kVAR gücü oldukça küçük olacağı gibi, kayıplar düşük bir düzeyde gerçekleşecek ve geniş bir denetim aralığı meydana gelecektir. Bu devrelerin normal çalışabilmeleri için çeşitli büyüklüklerin ölçülmesi ve buna göre tiristörlere uygun kumanda verilmesi gerekir.

-Kompanzatörün kararlı ve geçici durumlarda başarısının kuramsal olarak saptanması.

Bu aşamalar tamamlandığında, problemin niteliğine en uygun olan kompanzatöre ilişkin veriler ortaya çıkmış olur.

Statik kompanzatörlerin senkron kapasitöre göre olan üstünlükleri ise şöyle sıralanabilir.

- Genellikle daha düşük yatırım maliyeti.
- Genellikle daha az kayıp.
- Daha düşük bakım ve onarım giderleri.
- Eşit yada daha yüksek güvenilirlik.
- Daha kısa zamanda tepki gösterme yeteneği.
- Her fazın ayrı ayrı denetlenebilirliği.
- Eylemsizlik momentinin olmaması.
- Kendinden uyarım almaması.

Senkron kapasitörlerin ise şu üstünlükleri vardır.

- Bağlandığı noktadaki kısa devre kapasitesini artırır.
- Kısa süreler için anma yükünün üzerinde reaktif güç üretebilir.

Son yirmi yıl içinde güç elektroniğinde olan gelişmeler sonucu statik kompanzatörler yaygın bir kullanım düzeyine erişmişlerdir. Ark ocakları ve hadde motorları gibi, darbeli yüklerin elektrik sistemine olan olumsuz etkilerinin giderilmesinde en uygun seçenek olan SK'lerin uygulamalarından bahsetmek gerekir. Bu konu, uygulamalar bölümünde ele alınmıştır.

10. KOMPANZASYON TESİSLERİNDE REZONANS OLAYLARI "4"6"12"

Reaktif güç kompanzasyonunun 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 birçok 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 tesbiti gerekir. Önce yüksek harmoniklerin ne şekilde meydana geldiklerini daha sonrada rezonans olaylarını inceliyelim.

10.1 YÜKSEK HARMONİKLERİN ÜRETİLMESİ

Rezonans konusuna gelinceye kadar şebekelerde ve sanayi kuruluşlarında kompanzasyon amacı ile kondansatörler yerleştirilirken, şebeke geriliminin sinüs şeklinde olduğu, yani 1. harmoniğin etki ettiği kabul edilmiş ve şebeke frekansı olarak $f = 50 \text{ P/sn.}$ etki ettiği kabul edilmiş ve 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 yüklenmelerine neden olurlar.

Simetrik güçlü üç fazlı a.a. şebekelerinde stasyoner durumda birinci temel harmoniklerden başka, yine sinüs şeklinde ve sadece tek sayılı 3,5,7,9, ...n. derceden yüksek harmonikler beklenebilirler. Üç ve üçün katı harmonikler simetri nedeni ile ihmal edilebilirler. Apsis eksenine göre simetrik olan gerilim eğrileri için, çift dereceli harmonikler söz konusu değildirler. Onun için pratikte sadece 5. ve 7. harmonikler göz önüne alınır. Daha yüksek harmoniklerde derece yükseldikçe maksimum değeri düştüğünden bunlar artık göz önüne alınmazlar.

Yüksek harmonikler, kuvvetli akım tesislerinde, aşırı doymuş trf.'lar, aşırı doymuş reaktans bobinleri, ark fırınları, ark kaynak makinaları ve arkla çalışan cihazlar, redresörler, güç elektronikli devreler ve elektrik makinaları tarafından üretilirler.

Yüksek harmonik üreticilerini üç grupta inceleyebiliriz.

1^o - Trf. ve reaktans bobinlerinde yüksek harmoniklerin meydana gelmesindeki başlıca neden, mıknatıslama karakteristiği yüzünden doyma etkisi ile mıknatıslama akımının yüksek harmonikleri içermesidir. Günümüzde soğuk hadelenmiş sac kullanılarak trf.'ların ve reaktans bobinlerinin mıknatıslama akımlarında yüksek harmonikler çok azaltıldıklarından, yüksek harmonik üreticisi olarak trf.'lar daha az önem taşırlar.

2°- Arkla çalışan aygıtlarda akım ile gerilim arasında sabit bir oran-
tı yoktur. Bunlar için ohm kanunu geçerli değildir. Bu yüzden, bu gibi ay-
gıtlarda akımlar tam sinüs şeklinde olmayıp, yüksek harmonikler içerirler.
Bu tip yüksek harmonik üreticileri arasında en önemlisi ark fırınları ve
redresörlerdir. Önceleri redresörler bir trf. üzerinden orta gerilim şebe-
kesine bağlanıyordu. Onun için redresörler tarafından üretilen yüksek har-
monikler yalnız orta gerilim şebekelerinde kalırdı. Geçmiş yıllardaki bu
tip uygulamalar yerine, günümüzde tristörler tarafından kontrol edilen ayar-
layıcılar daha çok alçak gerilim tarafına bağlanmaktadır. Ayrıca tristör
kumandalı çeviriciler şebekeden büyük reaktif güç çektiklerinde, alçak ge-
rilim şebekelerinde kompanzasyona gerek duyulur. Bu nedenle çevirici ler ta-
rafından üretilen yüksek harmonikler, alçak gerilim şebekelerindeki kompan-
zasyon tesislerinde rezonans bakımından dikkat etmemizi gerektirir.

3°- Yüksek harmonik üreticisi elektrik makinaları olarak, kollektörlü
a.a. makinaları, senkron ve asenkron generatörler ile motorlardır. Bu maki-
nalarda alan bozulması, olukların veya kollektörün titreşmesi, yüksek har-
moniklerin meydana gelmesine neden olur. Fakat modern senkron generatörler-
de uygulanan sargı şekline kutup tekniği sayesinde, boşa çalışmada sinüs
şeklindeki birinci harmonikten en fazla %5 kadar fark meydana getiren e.m.k.
indüklenir. Ayrıca modern generatörler amortisman sargıları ile donatıldık-
larından, hem nominal yükte hemde arıza hallerinde yüksek harmoniklerin önem-
li kısmı söndürülür. Bu nedenle eski generatörler önemli derecede yüksek har-
monikler üretirler.

10. 2. YÜKSEK HARMONİKLERİN ETKİLERİ

Şebeke geriliminin sinüs şeklinde olmaması, yani yüksek harmonikler i-
çermesi, 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 hat-
larında ve motorlarda ek ısı kayıpları oluşur. Yüksek harmoniklerin bulundu-
ğu 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 böy-
le bir şebekeden yüksek harmonikli aşırı akım çekerler. Ve aşırı yüklenebi-
lirler. Kondansatör üretim sınıfına uygun ortam sıcaklığında, sinüs şeklin-
deki nominal gerilimde ve nominal frekansta nominal akımlarının 1,3 katı i-
le sürekli olarak yüklenebilirler. Bu yükte gerilim 1,1 U_n 'dan büyük olmama-
lıdır. Yüksek harmoniklerin etkisi ile artan kondansatör akımında bu değe-
rin üstüne çıkmasına izin verilmez. Bilindiği gibi frekansın artması kondan-
satörün kapasitif direncini azaltacağından

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \dots\dots\dots (10.1.)$$

akım daha büyük olacaktır. Örneğin U_1 birinci harmonikten başka bunun %20'si
kadar 5. harmonik U_5 içerirse, kondansatörün çektiği akımın efektif değeri
birinci harmonikte çektiği akımın %141'ine çıkar. Böylece kondansatörün di-
elektriğide izin verilen değerden %10-%15 kadar daha fazla zorlanır. Ayrıca
kompanzasyon amacıyla kullanılan kondansatörler nedeni ile belirli şartlarda
akım ve gerilim rezonansları meydana gelebilirki buda şebekeye zarar verir.

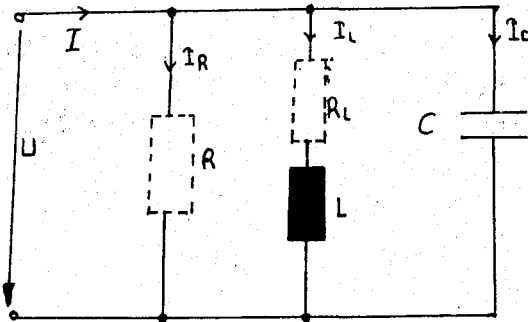
Yüksek harmonikler içeren şebeke gerilimi U yerine 1. 3. 5. ve 7. harmonik gerilimleri olan U_1, U_3, U_5 , ve U_7 gerilimlerini üreten temel ve yüksek harmonik generatörlerinin seri bağlanmış olarak devreye uygulandıkları kabul edilir. Aktif güç sadece U_1 temel harmonik generatöründen verilir. Yüksek harmonik generatörlerinin verdikleri akımlar ise reaktif akımlar olarak kabul edilir. Böyle bir şebekeden çekilen P aktif gücü değişmez. Buna karşılık birinci harmonikte Q_L olan endüktif reaktif güç, yüksek harmoniklerin etkisi ile $Q_{Ln} = Q_L/n$ 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 katı olduğunu gösterir.

10.3 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 devreye kayıpsız bir titreşim devresi denir. Bu ideal bir durumdur. Gerçekte kondansatörde bir dielektrik kaybı vardır. Bu kayıp seri ve 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 girer. R-L-C elemanlarının şekillerine göre çeşitli titreşim devreleri elde edilir.

10.3.1 PARALEL REZONANS OLAYI

R-L-C elemanlarının birbirine paralel bağlanması ile şekil.10.1 de görülen paralel titreşim devresi elde edilir.



- R Omik direnç
- R_L Bobin 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

Şekil. 10.1

Böyle bir devre tek tek kompanzasyon metoduna göre sargı uçlarına paralel bağlanan kondansatörün, trf. veya motor ile oluşturduğu bir sistemdir.

-L Trf. veya motor sargılarının selfi

-C Kompanzasyon kondansatörünün kapasitesi

-R Bobinin demir kayıpları ile kondansatörün dielektrik kayıplarına karşı gelir.

Burada bobine ait olan ve (L) ye seri girecek olan sargı direnci çok küçük olduğu için ihmal edilmiştir. Devrenin şebekeden çektiği akım

$$I = U \left[\frac{1}{R} + j \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right) \right] \dots \dots \dots (10.2)$$

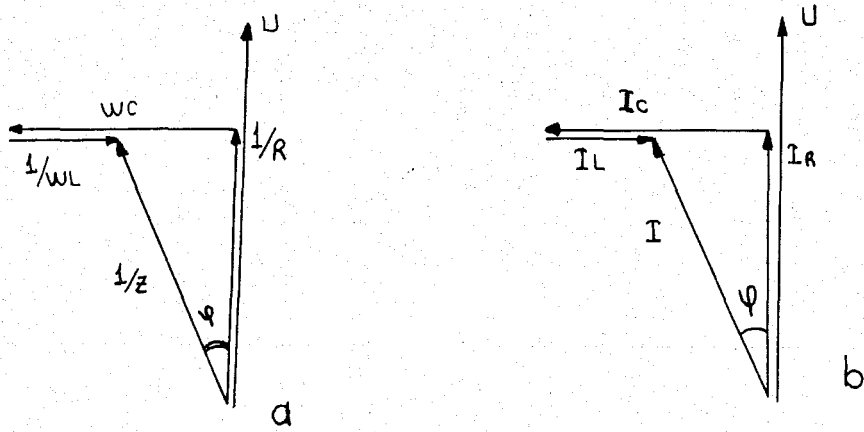
dir. Buna göre devrenin eşdeğer empedansı ve faz açısı

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{R} + j(\omega C - \frac{1}{\omega L})} = \frac{1}{\sqrt{(\frac{1}{R})^2 + (\omega C - \frac{1}{\omega L})^2}} \dots\dots\dots(10.3)$$

$$\tan \varphi = (\omega C - \frac{1}{\omega L}) / \frac{1}{R} = R \cdot (\omega C - \frac{1}{\omega L}) \dots\dots\dots(10.4)$$

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

Şekil. 10.2 de belirli bir frekans için, eşdeğer empedansın fazör diyagramı ve sabit bir gerilime göre şebekeden çekilen akımın fazör diyagramı gösterilmiştir. Burada $\omega C > 1/\omega L$ olduğu kabul edilmiştir.



Şekil. 10.2 Belirli bir frekans ve gerilim için a) Eşdeğer empedansın b) Çekilen akımın fazör diyagramları

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

$$\omega R = 1/\omega L \dots\dots\dots(10.5)$$

olduğundan , rezonans frekansı için buradan

$$\omega R = n \cdot \omega = 1/\sqrt{L \cdot C} \dots\dots\dots(10.6)$$

bulunur. Rezonans frekansı genellikle devrenin R, L,C gibi karakteristik değerlerine bağlı olduğundan, buna aynı zamanda devrenin ω_0 = Öz frekansı adı

$$\omega_0 = \omega \sqrt{X_C/X_L} \dots\dots\dots(10.7)$$

verilir ve şuhalde rezonans şartı $\omega R = \omega_0$ dır. Rezonans halinde, denklem 10.3'e bakarsak ,devrenin eşdeğer empedansı $Z_R = R$ dir. Yani saf omik dirence eşittir. Bu durumda titreşim devresinin şebekeden çektiği akım en küçük değerini alır. Daha önce R_L nin sıfır olduğunu kabul etmiştik. Eğer R direncinde sonsuz olduğunu kabul edersek, sadece L ve C nin paralel bağlanması ile elde olunan kayıpsız ideal bir titreşim devresi elde edilir ve reaktansı

$$Z_e = X_e = \frac{X_L \cdot X_C}{X_C - X_L} = \frac{\omega L}{1 - \omega^2 LC} \dots\dots\dots(10.8)$$

dir.

Kondansatörün değerine göre burada üç özel durum düşünülebilir. Bunlardan birincisi, C nin sonsuz büyük olmasıdır. Bu durumda $X_C=0$ ve $X_e=0$ olur. Ve kondansatör bataryası sir kısa devre gibi etki eder. Her ne kadar böyle bir kısa devre durumu, rezonansa yol açan ve bu nedenle istenmeyen harmonikleri 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 $W=Wr$ olmak üzere $X_{Lr}=X_{Cr}$ olur ve rezonans frekansında devrenin eşdeğer reaktansı $X_e=\infty$ olur. Şu halde ideal paralel titreşim devresinde, rezonans halinde devreden çekilen akım

$$I_r=U_r/X_{er}=0 \quad \dots\dots\dots (10.9)$$

sıfır olur. Görüldüğü gibi rezonans durumunda yüksek harmonikli gerilimlere rağmen, enerji kaynağından n.W frekanslı bir akım çekilmez. Zira paralel titreşim devresi, rezonans durumunda bir akım tıkacı gibi etki eder. Bu nedenle bu devreye tıkaç devresi adı verilir. Rezonans durumunda şebekeden akım çekilmediği halde, devrenin içinde L ve C arasında n.W frekanslı bir akım geçer. Onun için bu devreye akım rezonans devresi de denir. Paralel reaktans uçlarına W_r frekanslı U_r gerilimi bulunduğundan kondansatör tarafından

$$I_{cr}=U_r/X_{cr} \quad \dots\dots\dots (10.10)$$

şeklinde bir akım çekilir. Bobin tarafından ise

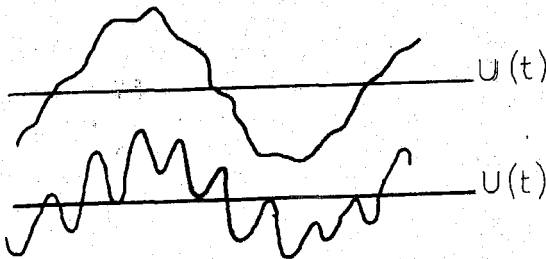
$$I_{Lr}=U_r/X_{Lr} \quad \dots\dots\dots (10.11)$$

gibi bir akım çekilir. Rezonans nedeni ile $X_{cr}=X_{Lr}$ olduğundan $I_{cr}=I_{Lr}$ dir. Şu halde W_r frekansında her iki akım, hem değer ve hem faz bakımından birbirini tamamen kompanze eder. Böylece hatlar reaktif akım yükünden kurtulurlar. I_{cr} ve I_{Lr} akımı, rezonans frekansının değerine göre, birinci harmonikli gerilim altında çekilen akımdan çok daha çok daha büyüktür. Bu nedenle kondansatörler veya buna bağlı trf. lar ve motorlar aşırı yüklenirler.

Yukarıda şebeke frekansının değiştiği kabul edilerek, L ve C arasında rezonans olayı incelenmiştir. Aslında şebeke frekansı sabittir ve bunun sabit tutulmasına gayret gösterilir. Eğer şebeke gerilimi birinci harmonikten başka, örneğin 3.,5.,7., harmonikleri içeriyorsa

$$n=W_0/W_ş \quad \dots\dots\dots (10.12)$$

dir. Şebeke geriliminin içerdiği yüksek harmonikleri bulmak için, gerilimin zamana bağlı olarak değişimi osilograf ile belirlenir. Ve bunun harmonik analizi yapılır. Şekil.10.3 te oldukça yüksek bir 7. harmonik içeren bir şebeke geriliminin ve rezonans akımının zamana bağlı olarak değişimi gösterilmiştir.

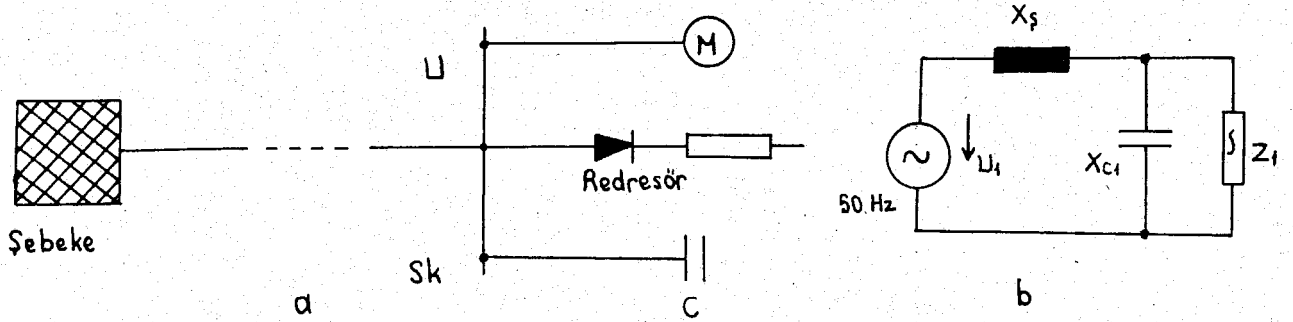


Şekil. 10.3 7. harmonik içeren bir şebeke geriliminin ve rezonans akımının zamana bağlı olarak değişimi.

Paralel titreşim devresini bir tesise uygulayalım. Kısa devre gücü S_k olan bir şebekeye bağlı olan bir tesiste, U gerilimi ile bir baradan motor ve redresör beslenmektedir.

özellikle redresörler büyük reaktif güç çektiğinden, tesiste güç katsayısını düzeltmek için merkezi kompanzasyon uygulanmıştır. Bu tesise ait bir kutuplu prensip şeması şekil. 10.4 de verilmiştir. Redresörler gerilim eğrisinin şeklini bozduklarından yüksek harmonikler meydana gelmektedir. Bu tesiste rezonans meydana gelmemesi için gerekli şartları inceleyelim.

Birinci harmonik esas alınmak şartı ile güç katsayısının düzeltilmesi için gerekli kapasite ve kondansatör gücü şekil. 10.4 b den hesap edilebilir.



Şekil. 10.4 Bir redresör devresine ait a) Merkezi kompanzasyonunun tek kutuplu prensip bağlama şeması b) Eşdeğer devre şeması.

Tesiste kısa devre gücü verildiğine göre 1. harmonik için şebeke reaktansı $X_{\text{ş}} = U^2 / S_k$ ifadesi yardımı ile bulunur. Buradanda

U kV cinsinden faz gerilimi

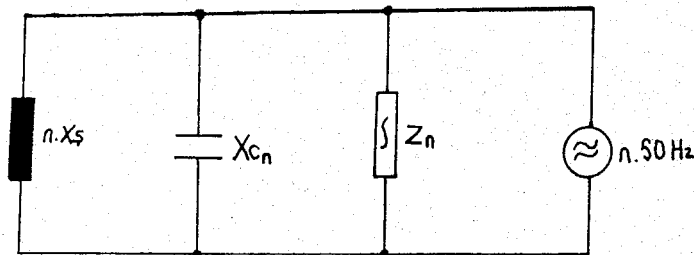
S_k mVA cinsinden kısa devre gücü

X_{c1} Kondansatörün 1. harmonik için kapasitif direnci

Z₁ Tesisteki motor ve benzeri tüketicilerin empedansları

Şebekenin omik direnci, reaktif direncine göre çok küçük olduğundan hesaba katılmaz.

Redresörler, yüksek harmonik üreticisi gibi etki ettiklerinden, sistemi yüksek harmonik açısından incelerken, kondansatöre sadece tüketici empedansının değil, şebeke reaktansınında paralel olduğu görülür. Bu tesiste yüksek harmoniklerin etki ettiği titreşim devresi şekil.10.5 de gösterilmiştir.



Şekil.10.5 Yüksek harmoniklerin etki ettiği titreşim devresi.

$$X_{\text{şn}} = n \cdot X_{\text{ş1}} = n \cdot \frac{U^2}{S_k} \dots \dots \dots (10.14)$$

değerindedir. Kondansatörün reaktansı ise

$$X_{\text{cn}} = \frac{1}{n} \cdot X_{\text{c1}} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U^2}{Q_c} \dots \dots \dots (10.15)$$

dir. Eğer belli bir harmonik değerinde, şebeke reaktansı ile kondansatör arasında rezonans olursa $X_{\text{şn}} = X_{\text{cn}}$ yani

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

$$\omega_0^n = \sqrt{\frac{X_{\text{cn}}}{X_{\text{şn}}}} = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{X_{\text{c1}}}{X_{\text{ş1}}}} \dots \dots (10.13)$$

redresörün ürettiği yüksek harmoniklerden küçük ise hiç bir rezonans tehlikesi yoktur. n. harmonik için şebeke reaktansı

$$n.(U^2/S_k) = (1/n).(U^2/Q_{cr}) \dots\dots\dots(10.16)$$

veya

$$Q_{cr} = S_k/n^2 \dots\dots\dots(10.17)$$

elde edilir. Şebekedeki harmoniğin derecesi bilinirse, rezonans olayına yol açacak olan kritik kondansatör gücü bu şekilde bulunur. Eğer S_k ve Q_{cr} verilmişse $n = \sqrt{\frac{S_k}{Q_{cr}}}$

$$\dots\dots\dots(10.18)$$

formülü ile rezonansın oluşacağı harmonik derecesi bulunabilir.

Örnek: Kompanzasyon tesisinin yapıldığı noktadaki kısa devre gücü 100 mVA dir. Şebekedeki harmoniklerin dereceleri 5, 7 ve 13 tür. Bu harmoniklere göre rezonansın oluşacağı kondansatör güçleri şunlardır.

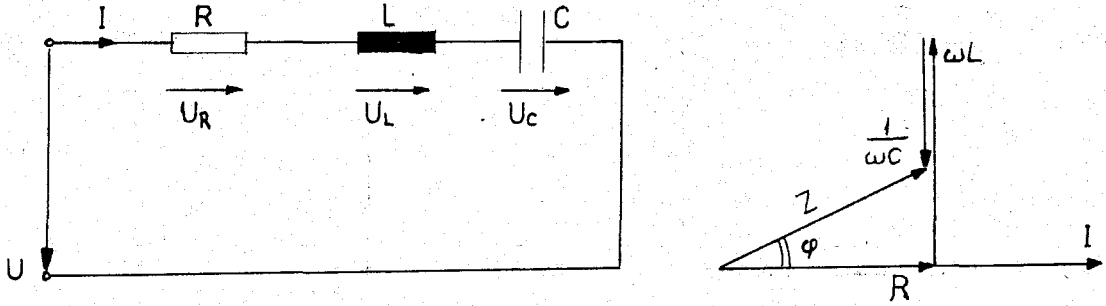
$$5. \text{ Harmonikte } Q_{cr} = 100/25 = 4 \text{ mVAR}$$

$$7. \text{ Harmonikte } Q_{cr} = 100/49 = 2 \text{ mVAR}$$

$$13. \text{ Harmonikte } Q_{cr} = 100/169 = 0,6 \text{ mVAR}$$

10.3.2 SERİ REZONANS OLAYI

R, L ve C elemanlarının seri bağlanması ile ilgili titreşim devresi şekil 10.6 da görülmektedir. Şemada R ve L şebekeden generatöre kadar olan tesisin toplam omik ve endüktif dirençlerini gösterir. Böyle bir devre, mesela orta



Şekil. 10.6 R, L, C elemanlarının seri bağlanması ile ilgili a) Titreşim devresi b) Vektör diyagramı.

gerilim şebekesine bağlı iki trf. tarafından beslenen, tüketim merkezindeki kompanzasyon tesislerine tekabül eder.

Elemanların üzerindeki gerilimlerin toplamı şebeke gerilimine eşit

$$U = \dot{I} \left[R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \right] \dots\dots\dots(10.19)$$

olup devrenin toplam empedansı

$$Z = R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} \dots\dots\dots(10.20)$$

şeklindedir ve faz açısı aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\varphi = \text{Ark tan} \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) / R \dots\dots\dots(10.21)$$

Temel harmonikte rezonans olması halinde $\omega = \omega_0 = 2 \pi f = 314 \text{ 1/sn}$ ile $\omega L - 1/\omega C = 0$ olacağından

$$\omega = 1/\sqrt{LC} \dots\dots\dots(10.22)$$

bulunur. Bu anda $Z=R$ olacağından, $f=50$ Hz de devreden geçen akım en büyük değerini alır. $I_r=U/R$ olur.

Kuvvetli akım tesislerinde omik dirençler endüktif dirence göre, çok küçük olduğundan, seri titreşim devrelerinde seri rezonans ve büyük akımlar meydana gelebilir. Aynı zamanda kondansatör üzerinde aşırı gerilimlere yol açar. Bu gerilim $U_c=I/WC$ dir. Temel harmonikte rezonans olması durumunda geçen akımın ve W nın denklem 10.22 deki değeri yerine konursa

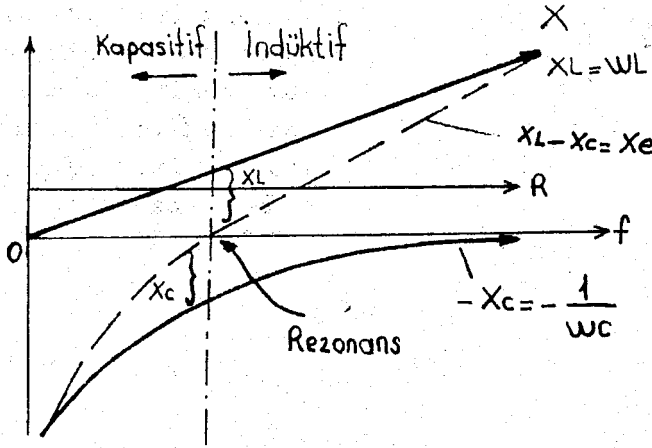
$$U_c = \frac{I}{WC} = \frac{I}{1/\omega L} = \frac{U}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \dots \dots \dots (10.23)$$

elde edilir. Bu gerilim etkisi ile kondansatör aşırı zorlanır.

Seri rezonansda gerilimin yükselmesi nedeni ile buna gerilim rezonansı adı verilir. 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. ve 15. harmoniklere karşı gelir. Onun için bu tesislerde yüksek harmoniklere göre rezonans ihtimalinin kontrol edilmisi gerekir. Titreşim devresinin bağlı bulunduğu şebeke geriliminin, yüksek harmonikleri içermesi halinde örneğin n. harmonikte devrenin eşdeğer reaktansı için

$$X_{en} = n \cdot \omega L - \frac{1}{n \cdot \omega C} = X_{Ln} - X_{cn} \dots \dots \dots (10.24)$$

elde edilir. Frekansın değerine göre eşdeğer reaktans, endüktif veya kapasitif karakterde olabilir. Buna ait grafik şekil.10.7 de görülmektedir.



Şekil.10.7 Endüktif ve kapasitif reaktansların değişen frekansa göre, değişim grafiği.

Burada yine üç özel durum göz önünde tutulabilir. Eğer kondansatörün gücü sonsuz büyüklükte ise $X_{cn}=0$ $X_{en}=X_{Ln}$ olur. Kondansatör kısa devre gibi etki gösterir. Devreden geçen akımı sadece R ve X_L belirler. Bu durumda yüksek harmonik gerilimlerde kısa devre edildiğinden, şebeke bakımından istenen durumdur. Fakat teknik ve ekonomik bakımdan bunun gerçekleşmesi olanaksızdır. Kondansatörün devreden çıkarılmasında ise $X_{cn}=X_{en}=\infty$ olur ve devreden hiç akım çekilmez. En önemli durum ise reaktansların eşit $X_{cn}=X_{Ln}$ yani $X_{en}=0$ olmasıdır. Buda ancak $\omega L = 1/\omega C$

değerinde mümkündür. Seri titreşim devresinin öz frekansı denklem 10.7 gibidir. Eğer titreşim devresinin kayıpsız olduğu ($R=0$) olduğu kabul edilirse rezonans durumunda devreden geçen akım sonsuz olur. Bu akım bobin ve kondansatör uçlarında aynı şekilde sonsuz büyüklükte aşırı gerilimler meydana getirir. Fakat yüksek harmonik üreticileri hiçbir zaman bu büyük akımları verecek güçte olmadıkları gibi, devrede bulunan omik dirençlerden rezonans durumlarında çok büyük kondansatör akımı geçer. Yüksek harmonikle rezonans durumunda kondansatör akımı

$$I_{nr} = \frac{U_{nr}}{\sqrt{3} R} = \frac{a_{nr} \cdot U_N}{\sqrt{3} R} = \dots \dots \dots (10.25)$$

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

Eğer I_N nominal kondansatör akımının meydana getirdiği gerilim düşümü % cinsinden

$$\xi = \frac{3 \cdot I_N \cdot R}{U_N} \cdot 100 \quad \dots \dots \dots (10.26)$$

ise

$$I_{nr} = \frac{a_{nr} \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot R} = 100 \cdot \frac{a_{nr}}{\xi} \cdot I_N \quad \dots \dots \dots (10.27)$$

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

$$I_{5r} = (100/2) \cdot (10/100) \cdot I_N = 5 \cdot I_N \quad \text{nominal değerinin 5 katına çıkabilece-}$$

görülür. Gerçekte bu akım, ilâtken dirençleri, geçiş dirençleri gibi dikka- te alınmayan direnç değerleri yüzünden daha küçüktür. Bu dirençleride göz önüne aldığımızda akımın $3 \cdot I_N$ olduğu kabul edilirse bile, tehlikeli bir de- ğerdir. Çünkü kondansatörler sürekli olarak ancak $1,3 \cdot I_N$ aşırı akımda çalı- şabilirler.

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

$$I_{cn} = \frac{a_n \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R^2 + X_{en}^2}} = \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot Z_{en}} \quad \dots \dots \dots (10.28)$$

dir. Temel harmoniğin meydana getirdiği kondansatör akımı $n=1$ alınarak ya- zılırsa

$$I_{c1} = \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R^2 + (WL - 1/WC)^2}} \quad \text{elde edilir.}$$

Öz frekanstan farklı diğer harmonikler için denklem 10.28 e göre konda- nsatörün $I_{c5}, I_{c7}, \dots \dots I_{cn}$ gibi diğer akım şiddetleri hesaplandıktan sonra kondansatörün çektiği toplam akımın efikas değeri şu şekilde bulunur.

$$I_{cef} = \sqrt{I_{c1}^2 + I_{c5}^2 + I_{c7}^2 + \dots \dots I_{cn}^2} \quad \dots \dots \dots (10.29)$$

Seri rezonansın olabileceği bir tesiste, frekansın artması ile endüktif güç azalır, Q_L/n değerini alır. Artan frekansta X_c azaldığından kapasitif güç artar ve $n \cdot Q_c$ değerini alır. $Q_{cn} > Q_{Ln}$ olduğundan reaktif güç artık ka- pasitif olur.

$$Q_n = Q_{cn} - Q_{Ln} = n \cdot Q_c - Q_L/n \quad \dots \dots \dots (10.30)$$

Her nekadard aynı baraya paralel bağlı motorların endüktif dirençleri ile kondansatörlerin kapasitif direnci, kendi aralarında paralel bir titreşim devresi oluştururlarsada böyle bir devrede n.f frekansında bir rezonans he- men hemen söz konusu değildir. Zira $Q_{cn} > Q_{Ln}$ olduğundan, rezonans şartı ger- çekleşmez. Onun için motor ve kondansatörlerden oluşan paralel titreşim dev- resi, çektiği aktif güce tekabül eden bir R_p etkin direnç ile, çektiği kapa- sitif güce karşı gelen X_c kapasitif direncinden oluşan seri bir devre ola- rak göz önüne alınmalıdır. Burada söz konusu olan R_p ile X_c ye, şebeke trf. sunun X_k kaçak reaktif direnci ile R_k omik direncide seri bağlıdır. Şu hal- de seri titreşim devresinin direnci R_h olmak üzere toplam omik direnci için

$$R = R_p + R_k + R_h \dots \dots \dots (10.31)$$

toplam endüktif direnç için $WL = X_k$, toplam kapasitif direnç için $1/WC = X_c$ elde edilir. Paralel motor-kondansatör devresinin n.f frekansında gerilimi U_n , zahiri gücü S_{2n} olduğuna göre bu devrenin eşdeğer empedansı

$$Z = \frac{U_n^2}{S_{2n}} = \frac{U_n^2}{\sqrt{P^2 + Q_n^2}} = \sqrt{R_p^2 + X_{en}^2} \dots \dots \dots (10.32)$$

olup buradan

$$R_p = U_n^2 \frac{P}{P^2 + Q_n^2} = U_n^2 \frac{P}{S_{2n}^2} \dots \dots \dots (10.33)$$

$$X_c = U_n^2 \frac{Q_n}{P^2 + Q_n^2} = U_n^2 \frac{Q_n}{S_{2n}^2} \dots \dots \dots (10.34)$$

elde edilir. Tesisi besleyen trf. nun gücü S_{Tr} ise kaçak reaktansı ve omik direnci

$$X_k = n \cdot u_k \cdot \frac{U_n^2}{S_{Tr}} \cdot \sin \phi_k \dots \dots \dots (10.35)$$

$$R_k = u_k \cdot \frac{U_n^2}{S_{Tr}} \cdot \cos \phi_k \dots \dots \dots (10.36)$$

dir. Burada u_k trf. nun nisbi kısa devre gerilimi ve ϕ_k trf. nun kısa devre faz açısıdır.

Genellikle şebeke trf. ları ile dağıtım trf. ları küçük güçlü olduklarından bunların omik dirençleri ihmal edilmez. Rezonans durumunda reaktif güçlerin toplamı sıfıra eşit olmalıdır. Endüktif dirençler pozitif, kapasitif dirençler negatif alınmak şartıyla $X_k - X_c = 0$ şartı elde edilir.

n.f frekansında rezonansın meydana gelebileceği kondansatör gücü için

$$Q_{Cr} = \frac{S_{Tr} + 2 u_k \cdot Q_L \cdot \sin \phi_k + \sqrt{S_{Tr}^2 - (2 n u_k \cdot P \cdot \sin \phi_k)^2}}{2 n^2 \cdot u_k \cdot \sin \phi_k} \dots \dots \dots (10.37)$$

elde edilir. Eğer motor gurubu devrede bulunmassa, $P = Q_L = 0$ olduğundan yalnız kondansatör ile trf. dan meydana gelen özel seri devre için

$$Q_{Cr} = \frac{S_{Tr}}{n^2 \cdot u_k \cdot \sin \phi_k} \dots \dots \dots (10.38)$$

bulunur. Şebeke ve dağıtım trf. ları 100 , 400 kVA gücünde küçük ve orta güçte yapılırlar. Bu gibi trf. lar da genellikle $u_k = \%4$ ve $\cos \phi_k = 0,7$ alınabilir.

Örnek: Bir iş yerinde puant zamanında çekilen vatlı gücün $P = 94$ kW ve reaktif gücün 176 kVAR olduğu tesbit edilmiştir.

1°- Güç katsayısı ve gerekli trf. gücü ne kadardır?

2°- Güç katsayısının 0,95 e çıkarılması için gerekli kondansatör gücü ve kompanzasyon yapılması halinde, gerekli trf. gücü ne kadardır?

3°- Şebeke geriliminin 5. ve 7. harmonikleri içerdiği tesbit edildiğine göre, rezonans ihtimali araştırmasına yapınız? Kullanılacak trf. için $u_k = \%4$ ve $\cos \phi_k = 0,71$ alınacaktır.

4°- Tesiste işletme gerilimi 380 V. olduğuna göre normal trf. akımı ne kadardır? Trf. dan tüketiciye kadar hat üzerinde $\%2$ kadar gerilim düşümüne müsaade edildiğine 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. harmoniğin gerilim katsayısı $a_5 = \%10$ ve 7. harmoniğinki $a_7 = \%4$ alınacaktır.

Cözüm:

1°- Güç katsayısı $\tan\varphi_1=176,6/94=1,88$ buradan $\cos\varphi_1=0,47$

Trf. gücü $S_1=P_1/\cos\varphi_1=94/0,47=200$ kVA.

2°- $\cos\varphi_2=0,95$ için $\tan\varphi_2=0,33$

$Q_c=Q_1-Q_2=P_1.\tan\varphi_1-P_1.\tan\varphi_2=94(1,88-0,33)=145,7$ kVAR.

Trf. gücü $S_2=P_1/\cos\varphi_2=94/0,95=100$ kVA.

3°- 100 kVA. trf. gücü ve $n=5$, $\sin\varphi_k=0,7$ ile kritik kondansatör gücü
 $Q_{cr}=\frac{S_{Tr}}{n^2 \cdot U_k \cdot \sin\varphi_k}=\frac{100}{25 \cdot 0,04 \cdot 0,7}=143$ kVAR. bulunur.

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

4°- Nominal trf. akımı $I_N=\frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380}=152$ Amper.

Hat direnci $R_h=\frac{380}{\sqrt{3} \cdot 152} \cdot 0,02=0,029$ ohm.

Trf. direnci: $u_k=4\%$ ve $\cos\varphi_k=0,71$ olduğuna göre

$R_k=u_k \cdot \frac{U_n^2}{S_{Tr}} \cdot \cos\varphi_k=0,04 \cdot (380^2/100) \cdot 10^{-3} \cdot 0,71=0,041$ ohm.

$n=5$ için reaktif güç $Q_5=Q_{c5}-Q_{L5}=5 \cdot Q_c - Q_{L5}=5 \cdot 145,7 - 176,6/5=693,2$ kVAR.

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

Etkin direnç $R_p=380^2 \cdot (94/700^2) \cdot 10^{-3}=0,0277$ ohm.

Toplam direnç $R=0,029+0,041+0,0277 \approx 0,1$ ohm.

5°- Birinci harmonikteki trf. akımı $I_N=152$ A.

1. harmonikteki kondansatör akımı $I_{c1}=\frac{145,7}{\sqrt{3} \cdot 380} \cdot 10^3=221,4$ A $=1,46 I_N$.

5. Harmonikteki kondansatör akımı $I_{c5}=\frac{Q_5 \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot Z_{e5}}=\frac{0,1 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot 0,1}=220$ A $=1,45 I_N$.

7. Harmonikteki kondansatör akımı

$Q_{c7}=7 \cdot 145,7 - (176,6/7) \approx 995$ kVAR. ; $S_7=\sqrt{995^2+94^2}=1000$ kVA.

$X_{c7}=U_n^2 \cdot (995/1000^2) \cdot 10^{-3}=U_n^2 \cdot 10^{-6}$; $U_n=0,04 \cdot 380=15,2$ V. ; $U_n^2=231$ V²

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

$I_{c7}=\frac{0,04 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot 0,1}=88=0,58 \cdot I_N$

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

Yukarıdaki hesaplamalardanda anlaşılacağı gibi, kondansatör bataryasına motor veya motorlar paralel bağlı olduğu sürece meydana gelebilen yüksek harmonik rezonansı çok tehlikeli değildir. Buna karşılık kondansatör devrede iken, paralel bağlı motorlar devreden çıkarsa rezonans akımında ani yükselme görülür. Onun için tek tek kompanzasyonda, kondansatör motor şalteri ile beraber olarak devreye sokulup çıkarılır. Motor çalışmazken kondansatör hiç bir zaman yalnız şebekeye bağlı kalmaz. Buna karşılık merkezi ve grup kompanzasyonunda yukarıdaki bahsedilen tehlike dahada büyüktür. Zira öğle tatillerinde, vardiya değişmelerinde motorlar devreden çıktıklarında bunların çek-

tikleri güçler sıfıra düşerler. Bunun üzerine ani olarak yükselen kapasitif akımlar, $\cos\phi$ - regülatörünü faaliyete geçirip yeni yük durumuna göre kondansatörleri ayarlayıncaya kadar, çok zaman sigortaları eritirler. Veya güç anahtarlarının açılmasına sebep olurlar.

Orta güçlü trf.larda 5. harmonikle rezonans sık sık baş göstermez. 7. harmonik rezonansa ekseriya, o kadar zayıftır ki bunun tesiri hemen hemen hiç hissedilmez. Buna karşılık uk değeri büyük olan trf. larda 5. ve 7. harmonikte rezonans olayları daha büyük önem kazanır.

10.4 YÜKSEK HARMONİKLERE KARŞI ALINAN ÖNLEMLER

Rezonansın elektrik tesislerinde oluşturacağı zararları önlemek amacı ile, yüksek harmoniklerin bulunduğu, yani rezonansa eğimli 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 frekansı, rezonansa yol açabilecek olan şebeke frekansının altında tutmak gerekir. Bu sağlamak için çeşitli yöntemler vardır. En önemli pratik yöntemleri açıklayalım.

1°- Kompanzasyon için gerekli olmayan kondansatör bataryaları devreden çıkarılmalıdır. Yükün az olduğu saatlerde tesisi besleyen trf. lar ile, kompanzasyon için konan kondansatörlerin tamamı devrede kalırsa, aşırı kompanzasyon nedeni ile gerilim yükselir. Ve trf. doyma bölgesinde çalışmaya başlar. Doyma anında mıknatıslama akımının şekli bozulacağından, trf. bir harmonik üretici gibi çalışır. Bunun sonucu yüksek harmonik rezonansı baş gösterebilir. Onun için kondansatör gücünü kompanzasyon ihtiyacına göre ayarlamak amacı ile, 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 açacağından, mümkün olduğu kadar yapay bir direnç artırma yoluna gidilmez. Buna karşılık doğal olarak devrede bir omik direncin bulunmasını sağlamak amacı ile kompanzasyon tesisleri bir veya birkaç kablo üzerinden bağlanırlar. Ve hiçbir zaman doğrudan doğruya baraya bağlanmazlar.

3°- Öz frekansı düşürmek amacı ile kondansatöre bir self bobini bağlanır. Bobinin ısı kaybı çok düşük olduğundan bu önlem aynı zamanda ekonomiktir. Bobinin gerekli reaktif direncini hesaplamak için kondansatörün bağlı bulunduğu yerden santrala kadar bütün şebekenin öz direncini göz önünde tutmak gerekir. Bazen trf.nun direnci, diğer dirençlerden büyük olabilir. Bu gibi durumlarda, kısa devre hesaplarında olduğu gibi yalnız trf. direnci göz önünde bulundurulur, diğerleri ihmal edilir.

Kondansatöre bir self bobin seri bağlanması durumunda kondansatör gerilimi yükselir. Kondansatör gerilimi şu şekilde hesaplanır.

$$U_{c1} = \sqrt{3} \cdot X_c \cdot I_1 \dots\dots\dots (10.39)$$

Kondansatörde gerilim yükselmesi %10 nu geçmemelidir.

Örnek: 2 Bara gerilimi 6 kV. olan bir santralda, gerilim bir yükseltici trf. üzerinden 30 kV. ta çıkarılmakta ve belirli bir uzaklıkta bulunan bir sanayi tesisi, bir çift havai hat tesisi üzerinden beslenmektedir. Sanayi tesisinde gerilim; bir alçaltıcı transformatör üzerinden 6 kV.ta düşürül-

mehtedir. Merkezi kompanzasyon maksadı ile 6 kV. luk baraya 1 mVAR gücünde ayarlı kondansatör bataryası bağlanmıştır. Düşük yüklerde trf.nun 7. harmonik ürettiği tesbit edilmiştir.

1°- Rezonans olup olmayacağını ?

2°- Rezonansın söz konusu olması halinde, bunu önlemek için kondansatöre bağlanacak bobinin reaktansını bulunuz ?

Seri reaktans bağlanınca kondansatör gerilimini hesaplayınız.

Çözüm: Santralden kondansatör tesisine kadar generatörlerin, trf.ların ve hatların 6 kV. referans gerilimine göre faz başına toplam direnç değerleri

Toplam end. direnci $X_L=0,70$ ohm ; Toplam omik direnci $R=0,3$ ohm.

Kondansatör reaktansı $X_C=U^2/Q_C=6^2/1=36$ ohm.

Öz frekans: $f_0=f\sqrt{X_C/X_L}=352$ Hz.

17 Yüksek harmonik mertebesi $n=f_0/f=352/50=7,02$ dir.

Buna göre 7. harmonikte rezonans olabilir.

Nominal kondansatör akımı $I_{CN}=Q_C/\sqrt{3}\cdot U_N=1000/\sqrt{3}\cdot 6=96$ A.

Rezonans akımı $I_{C7}=\frac{Q_7\cdot U_N}{\sqrt{3}\cdot R}=\frac{0,04\cdot 6000}{\sqrt{3}\cdot 0,3}=462$ A. = 4,8 · I_N

I_{C7} 5·I_N bulunduğuna göre rezonans mutlaka önlenmelidir.

1- Rezonansı önlemek için öz frekans 200 Hz olması şartı koşulmuştur.

Buna göre kondansatöre seri bağlanacak bobinin 50 Hz. deki reaktansı faz başına X_b ise, bunun değeri

$$\frac{f_0}{f}=\sqrt{\frac{X_C}{X_L+X_b}}=\frac{200}{50}=\sqrt{\frac{36}{0,7+X_b}}=4$$

$$X_b=(36/16)-0,7=2,25-0,7=1,55$$
 ohm veya

$$L_b=X_b/\omega=\frac{1,55\cdot 10^3}{314}=5$$
 mH olmalıdır.

3- Öz frekansı f_0 200 için yüksek harmonik akımları

$$X_{en}=n\cdot\omega\cdot L-1/n\cdot\omega\cdot C$$
 ; $\omega L=X_L+X_b=0,7+1,55=2,25$ ohm.

$$X_{e1}=36-2,25=33,75$$
 ohm. ; $X_{e5}=5\cdot 2,25-36/5=4,05$ ohm. ; $X_{e7}=7\cdot 2,25-36/7=10,6$ ohm.

$$I_{C1}=\frac{U_N}{\sqrt{3}\cdot\sqrt{R^2+X_{e1}^2}}=\frac{6000}{\sqrt{3}\cdot\sqrt{0,3^2+33,75^2}}\cong 103$$
 A.

$$I_{C5}=\frac{Q_5\cdot U_N}{\sqrt{3}\cdot\sqrt{R^2+X_{e5}^2}}=\frac{0,1\cdot 6000}{\sqrt{3}\cdot\sqrt{0,3^2+4,05^2}}=85$$
 A.

$$I_{C7}=\frac{Q_7\cdot U_N}{\sqrt{3}\cdot\sqrt{R^2+X_{e7}^2}}=\frac{0,04\cdot 6000}{\sqrt{3}\cdot\sqrt{0,3^2+10,6^2}}=13,1$$
 A.

$$\text{Toplam akım } I_{Ct}=\sqrt{103^2+85^2+13,1^2}=134,2$$
 A = 1,4 · I_N.

Toplam akıma bakıldığı zaman, aşırı akımın %40 değerinde olduğu görülür. Bu değer müsaade edilen sınırın üstündedir.

Kondansatör uçlarındaki gerilim ise

$$U_{C1}=\sqrt{3}\cdot X_C\cdot I_{C1}=\sqrt{3}\cdot 36\cdot 103=6422,2$$
 V.

elde edilir. Bu gerilim nominal gerilimden %7 kadar farklıdır. Bu fazlalık müsaade edilen sınırın içindedir.

11.

UYGULAMALAR "6"7"11"13"14"

11.1. ARK OCAKLARINDA REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU.

Ark ocakları yoğun elektrik enerjisi tüketen yerlerdir. Bu özelliğın yanısıra, darbeli ve dengesiz güç çekmeleri, elektrik iletim ve dağıtım sistemlerinde çeşitli problemlerin doğmasına neden olabilirler. Ark ocaklarına uygulanacak reaktif güç kompanzasyonu; reaktif enerji bedeli ödemekten kurtulmak, kayıpları azaltmak, tesisin iletim ve dağıtım kapasitesini artırmak gibi doğal yararların yanısıra, elektrik enerjisinde doğabilecek problemlerin çözümünde de etkili olacaktır. Reaktif güç kompanzasyonuna geçmeden önce ark ocaklarının yapısını, çalışma prensibini biraz inceliyelim.

11.1.1. ARK OCAKLARININ ÇALIŞMA PRENSİBİ.

Bilindiği gibi son yıllarda iyi kaliteli çelik üretiminde daha ziyade, ark fırınlarından yararlanılmaktadır. Büyük güçlü ark fırınları, gerek tesis ve işletme masrafları ve gerekse verim bakımından daha ekonomik olduklarından, bunların kapasiteleri 120 - 250 ton ve buna bağlı olarak güçleri 50 - 100 mW değerlerini bulmaktadır. (Maksimum kapasite 400 ton ve maksimum güç 160 mVA dir.) Bütün dünyada çelik üretiminin yaklaşık % 25'i ark ocakları ile sağlanmaktadır. 50 mVA lik bir fırının karakteristik değerleri şunlardır.

Kapasite120 ton

Fırın çapı6,4 m

Sekonder gerilim590.- 164 V. 26 kademe.

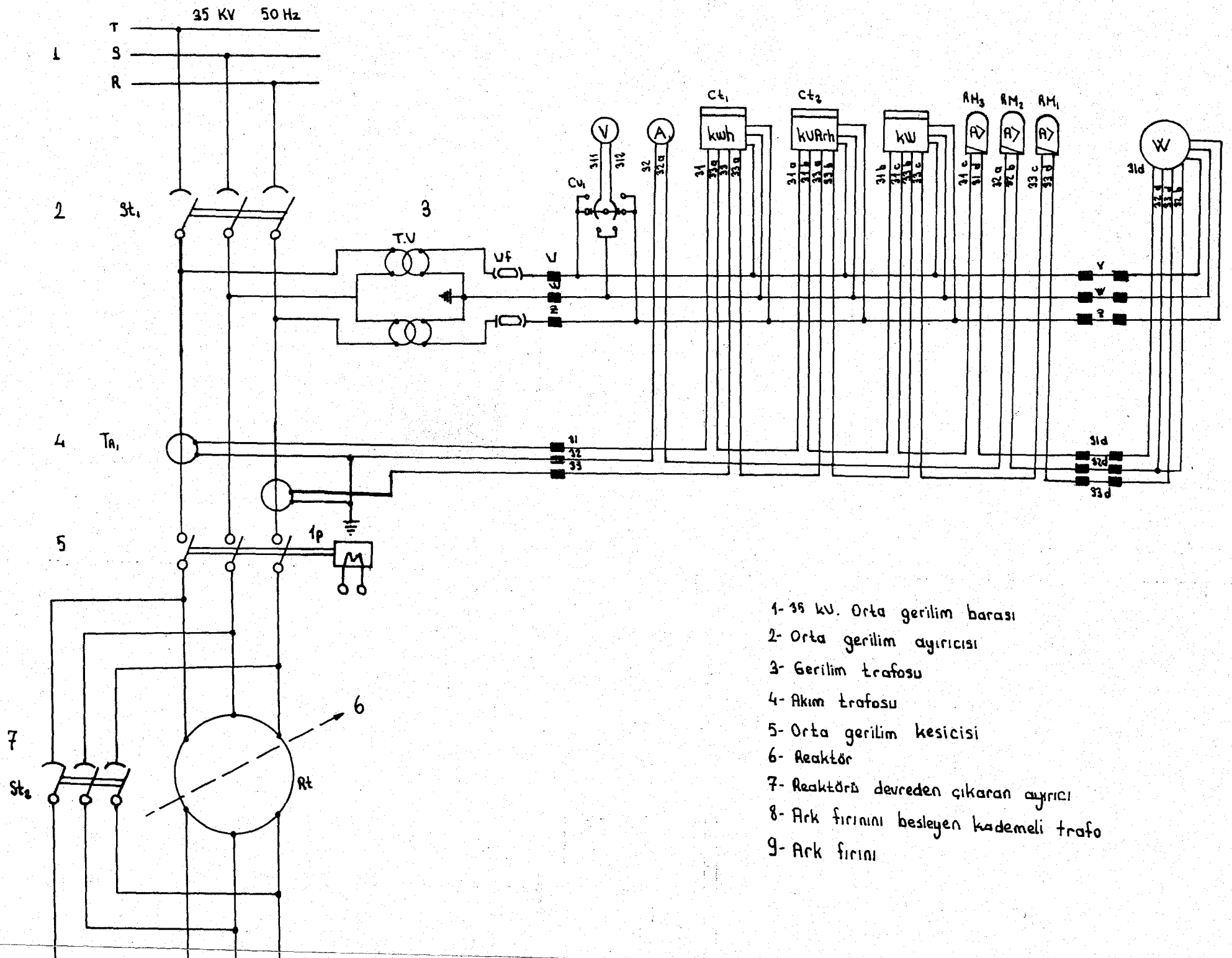
Elektrot çapı60 cm

Elektrot akımı66 kA.

Ark fırınının bir çalışma periyodu 2 - 8 saattir. Bu süre hurda demirin kalitesine bağlıdır.

Şekil.11.1 de 12 mVA lik bir ark fırınının bağlantı şeması verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi ocak transformatörlerinin 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 değiştirilmesi ile ark akımı denetlenmektedir. Bu denetleme, ark akımının büyüklüğüne göre, elektrotlar, elektrik ve hidrolik kumanda sistemi düzenleri ile otomatik olarak yapılmaktadır. Ayrıca ark ocağının elektriksel işleme koşullarının (eritme, arıtma, bekleme vb) gerektirdiği ayar kademesi, yukarıda bahsedilen kademelerin değiştirilmesi ile gerçekleştirilir.

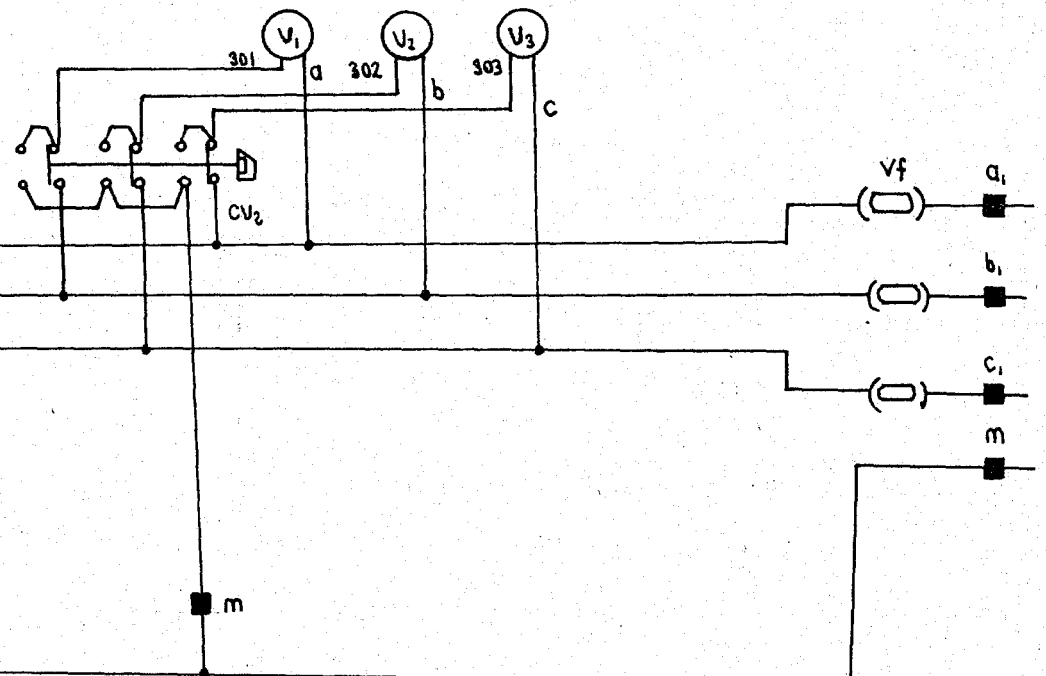
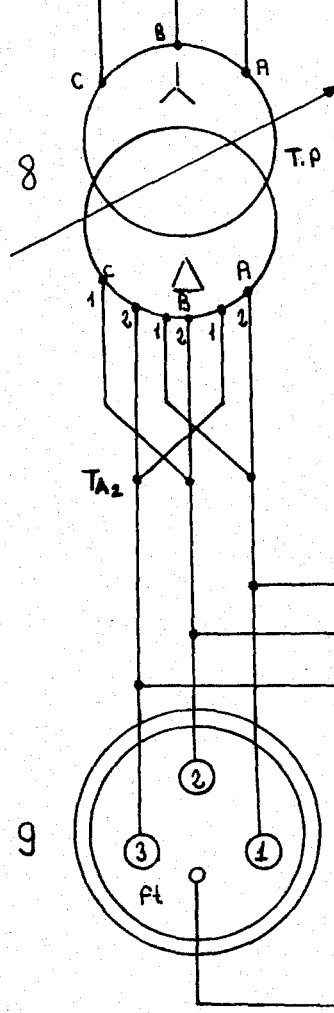
Ark fırınının çalışması; ergitme, arıtma ve bekleme olarak üç bölümde incelenebilir. En önemli çalışma safhası, ergitme olayıdır. Hurda demir, ark yolu ile verilen elektrik enerjisi ile eritilir. Hurda demir çok yer kapladığından, fırın bir defa doldurulmaz. Birçok kısmi şarj yapılması gerekir. Bir evvelki şarjın erimesinden sonra, bunu takip eden şarjın doldurulması



- 1- 35 kV. Orta gerilim barası
- 2- Orta gerilim ayırıcısı
- 3- Gerilim trafosu
- 4- Akım trafosu
- 5- Orta gerilim kesicisi
- 6- Reaktör
- 7- Reaktörün devreden çıkaran ayırıcısı
- 8- Ark fırını besleyen kademeli trafo
- 9- Ark fırını

Sekonder Voltaj Ayarı

POZİSYON	VOLT
1	119,6
2	133,3
3	147
4	160,7
5	174,4
6	188,1
7	201,8
8	215,5
9	229,2
10	243,9
11	257,6
12	271,3
13	285
14	298,7
15	312,4
16	326,1
17	339,8



Şekil 11.1 12 MVA lık bir ark fırınının bağlantı şeması.

için, fırın birçok defa devreden çıkarılır. Ergitme 1 - 1,5 saat sürer. En büyük güç bu esnada çekilir ve ark çok hareketlidir. Bu ani arklar sırasında şebekeyi pek rahatsız etmemek için, şekil.11.1 de de görüldüğü gibi reaktör devreye sokulur.

Bir gaz ortamında, elektriksel bir boşalma olan ark; ancak akımın doğal sınırında sönebilir. Bunu izleyen sürede, elektrot uçları ile metal parçacıkları arasındaki gerilim, trf. nun sekonder gerilimine eşit olacaktır. Arkın tekrar başlayacağı an, bu gerilim tarafından belirlenecektir. Belirli bir elektrot açıklığı için arkın tekrar başlayabilmesi, ancak gerilimin belirli bir değere ulaşması ile mümkün olacaktır. Bu nedenle, trf. sekonder gerilimi ile ark akımı arasında bir faz farkı olacak ve ark ocağı kaynaktan aktif güç ile birlikte, reaktif güç ihtiyacında da bulunacaktır.

Ark ocağının aktif ve reaktif güç ihtiyacı, arkın özellikleri dolayısı ile, belli bir çalışma koşulundaki gerilim ve akım kademeleri ile ilişkili olacaktır. Bu nedenle ocağın aktif ve reaktif güç ihtiyacı, zamanla değişecektir. Kararlı bir ark elde edebilmek için, akımın sınırında gerilimin yeterli düzeyde olması istenir. Bu koşul düşük güç faktöründe çalışmayı simgelemektedir.

11.1.2 ARK OCAKLARINDA REAKTİF GÜÇ VE ÖZELLİKLERİ

Bir ark ocağının ergitme süresince, güç faktörü 0,7 dolayında olduğunda, ortalama reaktif güç ihtiyacı, aktif güce eşit kabul edilebilir. Arkları kararlı hale getirmek için, güç faktörünün 0,7 dolaylarında seçilmesine rağmen her bir fazdaki akım eşit olmayacaktır. Dolayısı ile her fazın reaktif güç ihtiyacı, değişik zamanlarda çok çabuk değişim göstererek, elektrik sistemi için değişik bir yük oluştururlar. Ocağın reaktif gücünün çok hızlı değişen hareketine rağmen, ortalama reaktif güç değişiminin alt ve üst sınırlarından söz etmek mümkündür. Bundan dolayı ark ocaklarında kullanılması gereken reaktif güç kompanzatorü ile ilgili şu sonuçlara ulaşmak mümkündür.

10- Ocağın dengesiz elektriksel özellikleri göz önüne alınarak her faz ayrı ayrı denetlenmelidir.

20- Reaktif güç sistemlerinin sabit ve değişgen kısımları ayrı ayrı kompanze edilebilir.

30- Reaktif güç değişimleri çok hızlı olduğundan, bu değişmelere çok kısa zamanda değişim gösterebilecek kompanzatorler seçilmelidir.

Bu tür özellikleri gösteren kompanzatorün devreye alınması, ile aşağıda açıklanacak olumsuz etkiler, en aza indirilebilecektir.

a- Ergitme sırasında ark ocaklarının özelliği, elektrotlarla metal arasında kısa devre oluşmakta ve bu kısa devreler genellikle iki elektrot arasında meydana geldiğinden, elektrik sistemi sık sık simetrik olmayan darbelerle maruz kalmaktadır. Bu büyük akım dalgalarının sonucu olarak, gerilim dalgalanmaları gözlenecektir. Bu esnada ark ocakları ile diğer alıcıların belli bir noktaya beraberce bağlandıkları düşünülürse, gerilim dalgalanmaları diğer alıcıları etkiliyecektir. Bu ortak noktaya bağlanan şebekenin kısa devre gücü büyükse, gerilim dalgalanmaları küçük boyutlarda kalacaktır. MVA olarak kısa devre gücü küçük olan bir yere bağlanmışlarsa, gerilim dalgalanmalarının büyümesine sebep olacaktır. 4 - 10 Hz frekans aralığında akkor flemanlı lambalarda fliker olayına, 20 Hz'in üzerinde flüoresant lamba-

ların etkilenmesine ve televizyon alıcılarının resim kalitelerinin bozulmasına neden olur. Özellikle bu frekans değişikliğinden en çok etkilenenlerden biriside asenkron motorlardır.

Bu tür olaylarla karşılaşmamak için, gerilim dalgalanmalarının % 2 sınırının altında kalması gerekir.

b- Ark ocaklarının bir diğer özelliğide, elektrik sistemine harmonik üretmeleridir. Bu harmoniklerde, sistem elemanları üzerinde birçok olumsuz etkilere yol açarak ve hatta rezonans olaylarına bile yol açabilecektir.

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

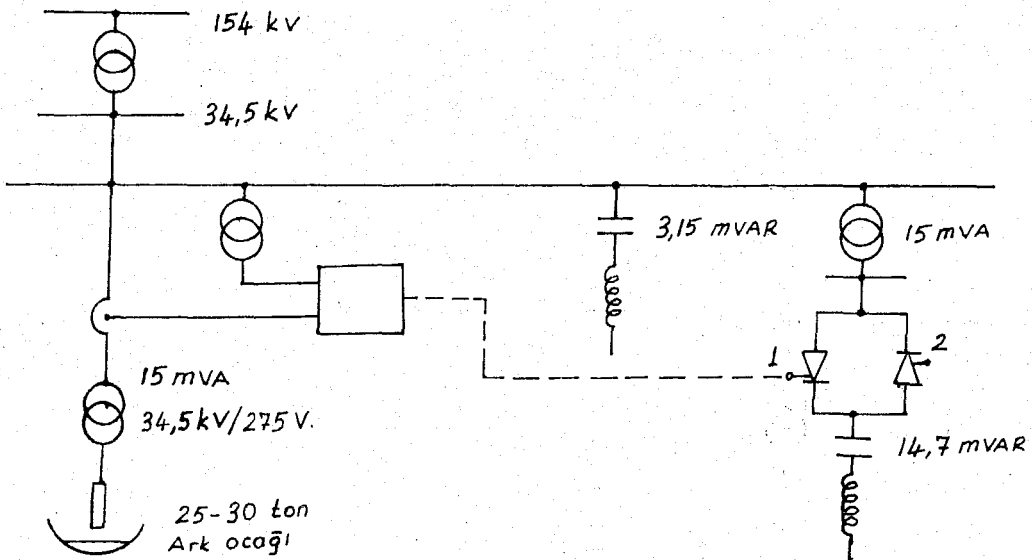
11.1.3 ARK OC AKLARINDA KULLANILAN KOMPANZASYON SİSTEMLERİ

Bu bölümde ark ocaklarında kullanılan kompanzasyon sistemlerinin isimleri verilecektir. Bu konuların açıklaması 9. bölümde (reaktif güç kompanzasyonunda modern yöntemler adı altında) yapılmıştır. Ancak günümüzde; ark ocaklarında en çok kullanılan kompanzasyon sistemlerinden biri, şekil.11.2 ve şekil.11.4 de örnek uygulama şekilleri ile verilmiştir.

Ark ocaklarında kullanılan kompanzasyon sistemlerini şu şekilde sıralayabiliriz.

- 1- Senkron kapasitörler.
- 2- Tiristör anahtarlamalı kapasitör.(TAK)
- 3- Sabit kapasitör-tiristör denetimli reaktör.(SK/TDR)
- 4- Sabit kapasitör-tiristör anahtarlamalı reaktör.(SK/TAR)
- 5- Tiristör anahtarlamalı kapasitör-tiristör denetimli reaktör.(TAK/TDR)

Bu kompanzasyon çeşitlerini geniş bir şekilde incelemiştik. Günümüzde ark ocaklarına en uygun olarak kullanılan kompanzasyon sistemlerinden biri, sabit kapasitör-tiristör denetimli reaktör (SK/TDR) dir. Bu kompanzasyon çeşidi ile, tiristörlerin ateşleme açılarının değiştirilerek, reaktif gücün sürekli denetimi mümkündür.



Şekil.11.2 Bir ark fırınının SK/TDR ile kompanzasyonunun prensip şeması.

Harmonik etkilerinin yok edilmesi için filtre düzenlerine gerek vardır. Ark ocaklarından kaynaklanan problemleri en alt düzeye indirdiklerinden, mevcut çözümlerin en uygunlarından. Şekil.11.2 de bu yöntemle ark ocağının kompanzasyonu görülmektedir.

Gebze-Diliskelesi mevkiinde bir metalurji sanayi tesisinde, ark ocakları ile çeşitli demir ve demir ürünleri üretilmektedir. Bu tesislerdeki kompanzasyon sistemini inceledim. Sözü edilen fabrikada, ark ocaklarının bir kısmı İtalyan firmaları tarafından kurulmuş. Daha sonra yeni ark ocaklarını ve kompanzasyon tesislerini, bir İsveç firması olan ASEA şirketi kurmuştur. Bu sanayi tesisinde şekil.11.1 de verilen ark ocağından 4 adet bulunmaktadır. Burada uygulanan kompanzasyon sisteminde de SK/TDR sistemi vardır.

Şekil.11.3 de, bahsedilen metalurji sanayinde bulunan, ark ocakları tesisinin tek hat şeması verilmiştir. Şekil.11.4 de bu ark ocaklarına ait tek hatlı merkezi kompanzasyon şeması verilmiştir.Şekil.11.5 a,b,c,d de ise bu merkezi kompanzasyondaki kısımların şemaları verilmiştir.

Buradaki kompanzasyon tesislerinin bir kısmı açık havada, bir kısmı ise kapalı mahalde monte edilmiş bulunmaktadır. Baralar içi boş, boru şeklinde aliminyumdan yapılarak kullanılmıştır. Böylece baralar aliminyumdan yapılarak, hafif ve daha ekonomik olması sağlanmış, aynı zamanda içi boş olduğu için kesitten tasarruf edilmiş ve soğuması kolaylaştırılmıştır.

11.1.4 ARK OCAKLARININ OLUŞTURDUKLARI HARMONİKLER, REZONANS OLAYLARI VE ALINACAK ÖNLEMLER.

1°- Ark fırını trf.larının primerlerinin paralel çalışma durumunda hızlı açılıp kapama yada, vakum güç açıcılarının açma ve kapama olayları sonucu; çok yüksek frekanslarda (10 kHz, 1 MHz gibi) değişik rezonans olayları meydana gelmekte ve bunun sonucunda, nominal gerilimlerin 10 - 15 katına çıkan aşırı gerilimler oluşmaktadır. Bu ise yalıtkanlığın, özellikle trf. larında delinmesine ve çalışmaz hale gelmesine neden olmaktadır. Bu olaylara meydana vermemek için ark fırını trf. larının girişine yüksek frekansları süzen R-L-C filtresi kullanılmalıdır.

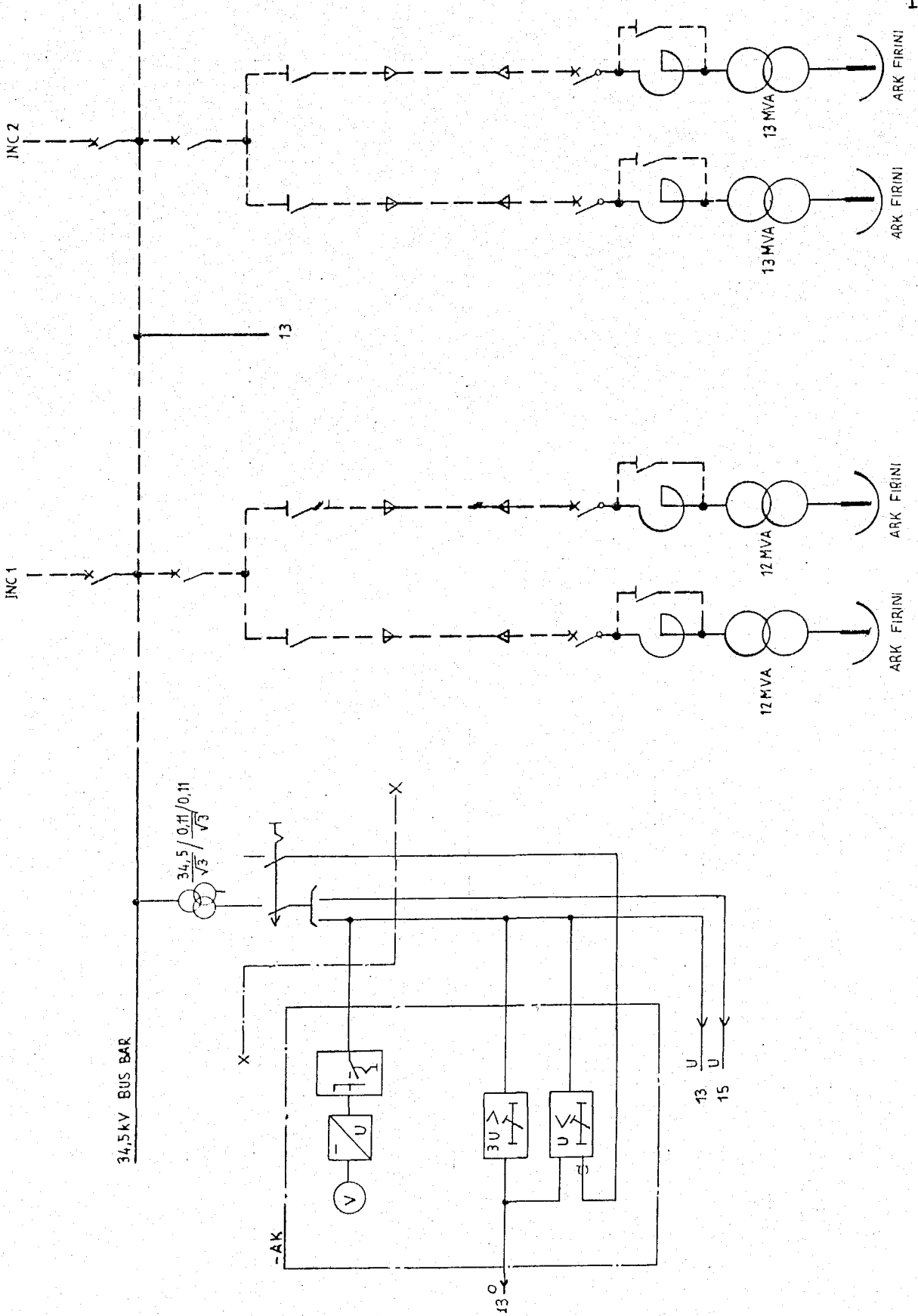
2°- Ark fırını trf. larının güçlerinin büyümesi ve endüktif reaktif güçlerinin de düşük güç faktörü nedeni ile artması, kompanzasyon için gereken kapasitenin değerini arttırmıştır. Bunun sonucunda şebekede rezonans frekansı da küçük değerlere düşmektedir.

3°- Bu gün güçlü trf.lar, kristalleri yönlendirilmiş trf saçları kullanılarak imal edilmektedir. Bu trf.lar yaklaşık olarak 20000 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 girmedi çift harmoniklerin oluşmasına neden olur.

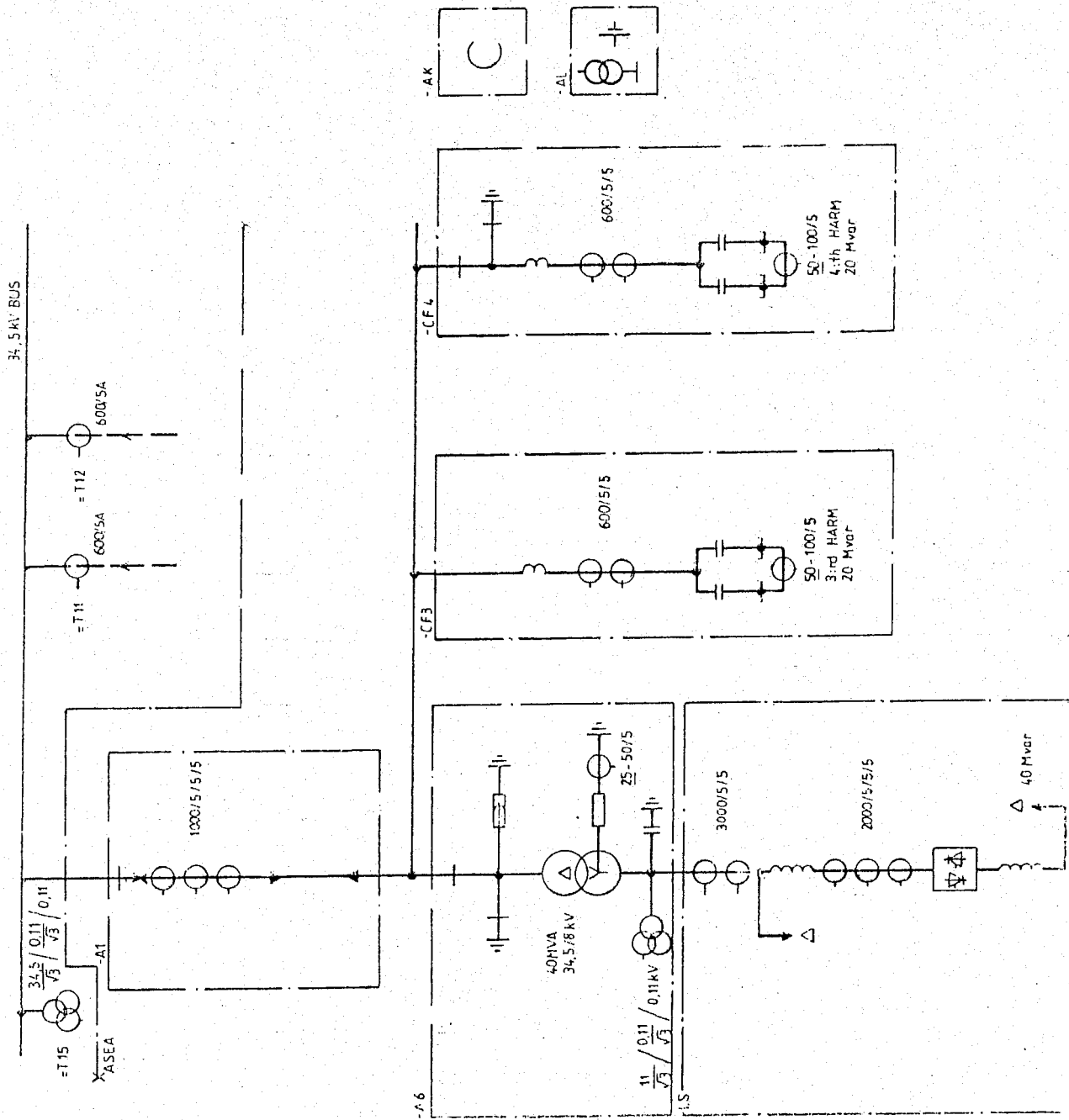
4°- Şebeke rezonans frekansının, ark fırınının sürekli çalışması halinde akımın frekansına eşit olması, aşırı akım yada gerilim rölelerinin çalışmasına yol açar.

5°- Fırın devreden çıktığı zaman, kompanzasyon kapasiteleri şebeke endüktansı ve ara trf.larının mıknatıslama akımı harmonik frekansları ile seri rezonans meydana getirebilir.

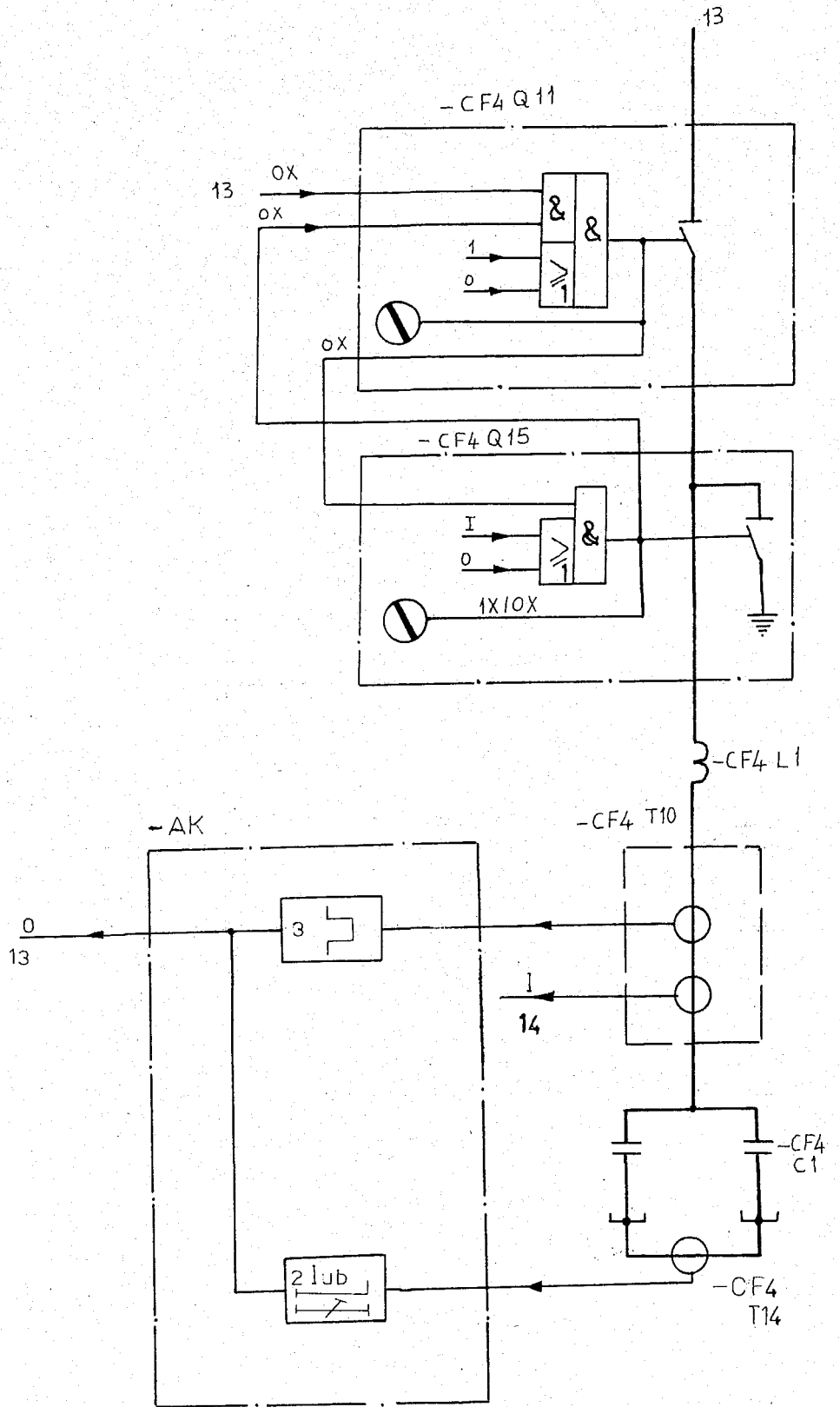
6°- Ark fırını trf. su yada bunun yanındaki diğer trf devreye alındığın-



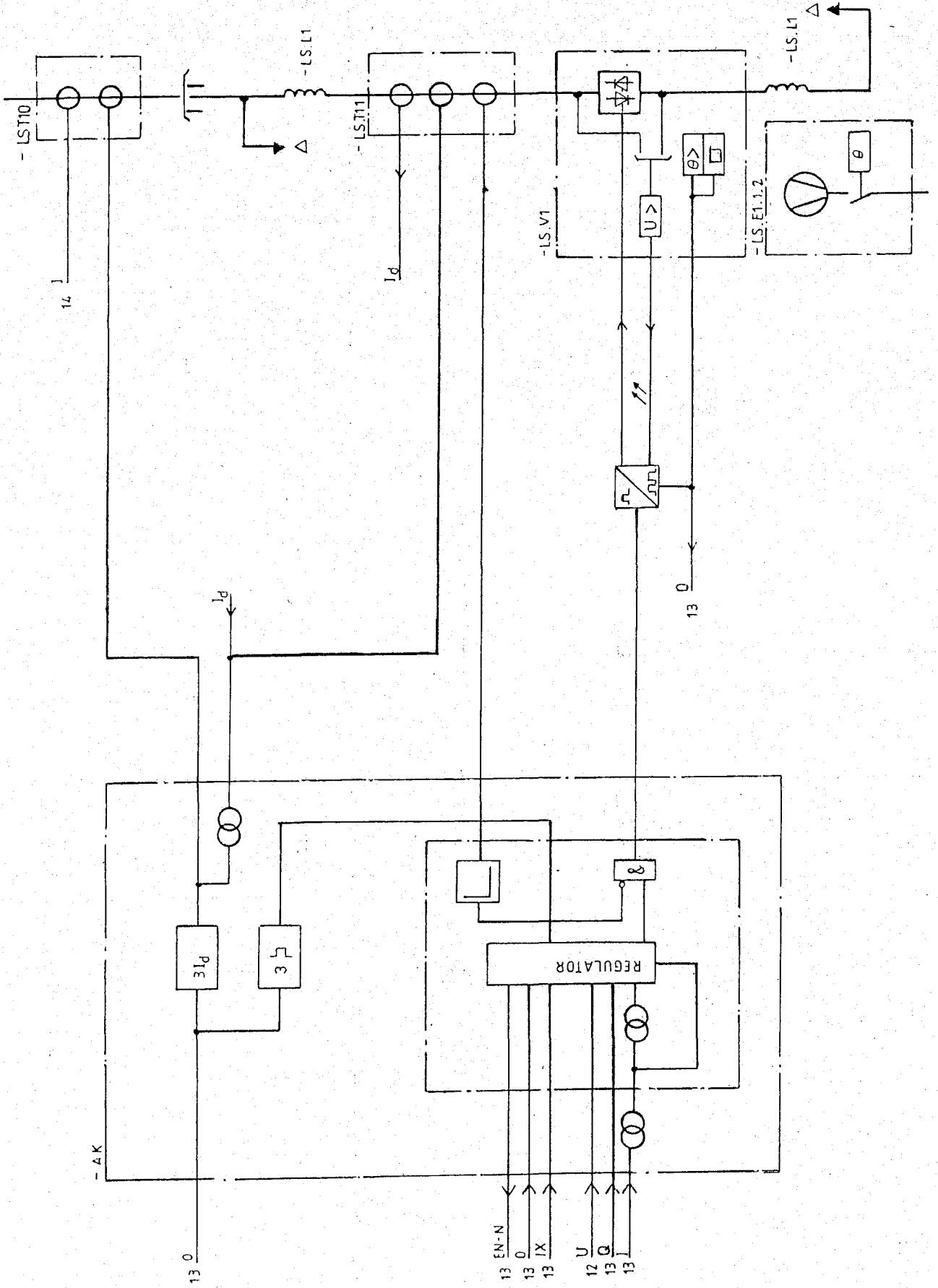
Şekil.11.3 4 adet ark fırını bulunan bir metalurji sanayiindeki ark ocaklarının tek hat bağlantı şeması.



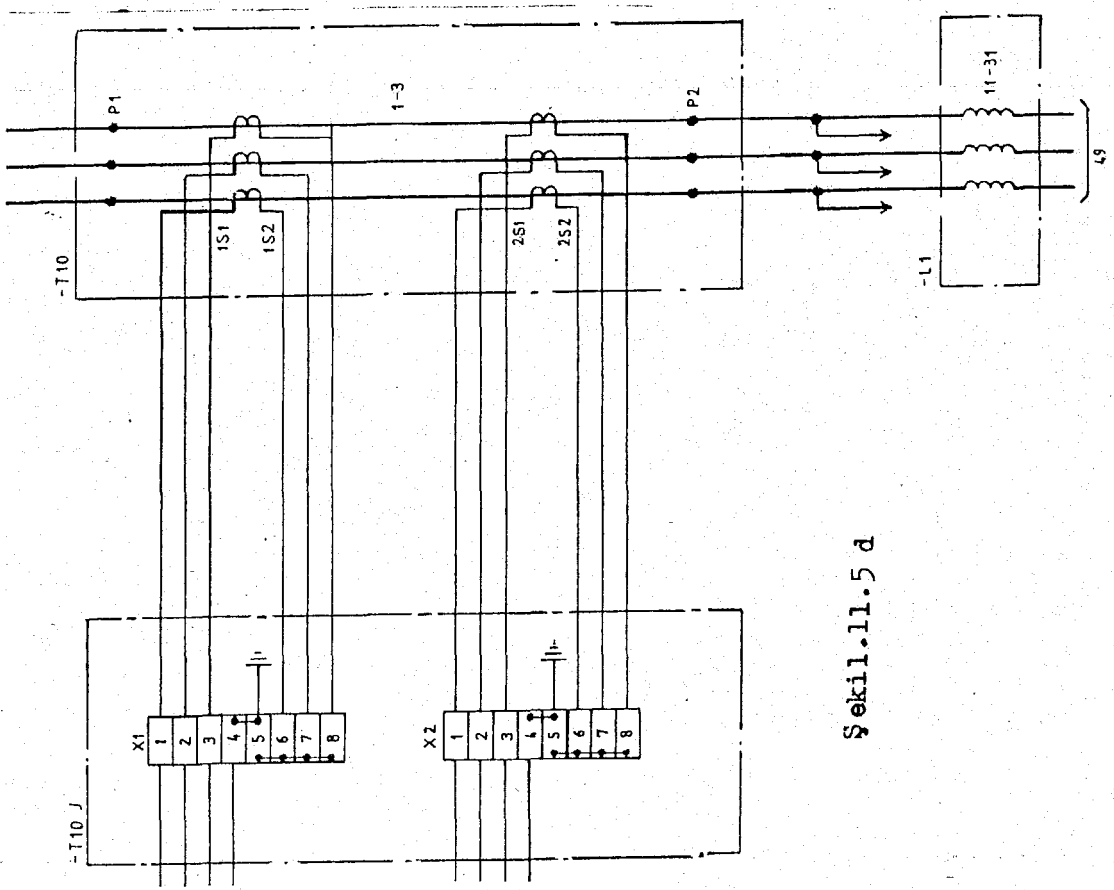
Şekil.11.4 (Şekil.11.3 deki) Ark ocaklarına ait kompanzasyon sisteminin tek hat şeması.



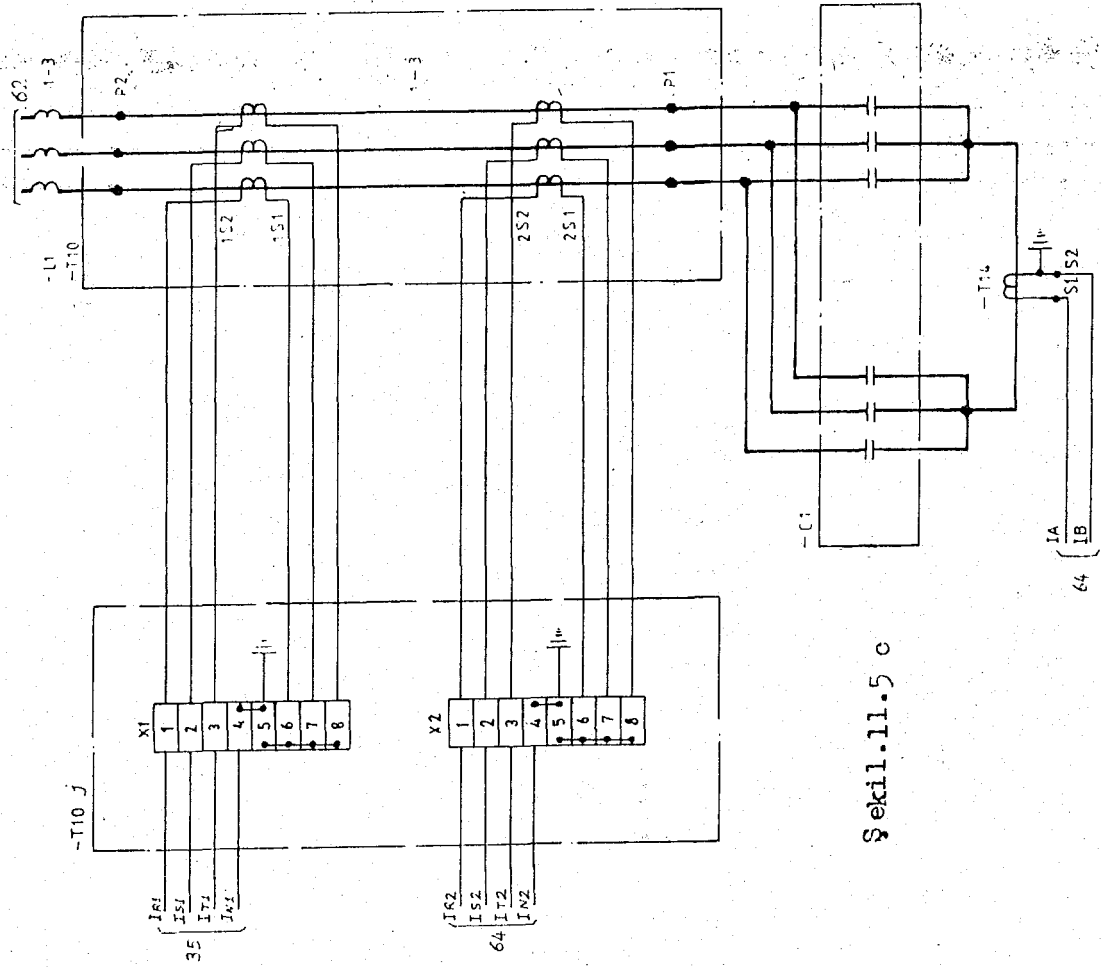
Şekil.11.5 a (Şekil.11.4)de verilen kompanzasyon şemasındaki sabit kondansatörlerin tek hat bağlantı şeması.



Şekil.11.5 b (Şekil.11.4)de verilen kompanzasyon şemasındaki tiristör denetimli reaktörlerin tek hat şeması.



Şekil.11.5 d



Şekil.11.5 c

Şekil.11.5 c (Şekil.11.4)deki kompanzasyon sisteminde sabit kapasitörlerin bağlantı şeması

Şekil.11.5 d (Şekil.11.4)deki kompanzasyon sisteminde, tırstör denetimli reaktörün, açık bağlantı şeması.

da mıknatıslama akımının harmonikleri, kapasiteler ve şebeke endüktansları ile rezonans meydana getirebilir.

7°- Ark fırınları dengesiz, değişken ve güç faktörü çok düşük bir yük oluştururlar. Eger şebekenin kısa devre gücü, nominal fırın gücünün 80-100 katı büyük değilse, gerilim değeri değişmelerinin ve filiker olayının oluşması söz konusudur. Kısa devre gücü küçük olan elektrik şebekelerinde, mümkünse enterkonnekte sistemden ayrı bir şebeke ile sistemin beslenmesi düşünülebilir. Böylece diğer alıcılaryukarıda enılan 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 kompanze etmelidir.

Ark fırınlarının güç faktörü 0,95-1'e çıkarmalı, fliker olayını kompanz etmeli, dengesiz yükü dengeleyerek harmonikleri süzecek kompanzasyon düzenlerini kurmalıdırlar. Sistemin kısa devre açma gücünü çok büyük değerlere çıkarmaya çalışmalıdır. Sistemin gerilimini sabit veya belirli toleranslar içinde tutacak kompanzasyon düzenleri kurulmalıdır.

11.2. ALÇAK GERİLİM TESİSLERİNDE MERKEZİ KOMPANZASYON

Bilindiği gibi merkezi kompanzasyon daha çok, büyük tesislerde ve gücün, günün saatlerine göre devamlı değişiklik gösteren işyerlerinde kullanılır. Yüksek gerilim merkezi kompanzasyon sistemleri ile, alçak gerilim de merkezi kompanzasyon sistemleri, prensip olarak pek fark olmamakla birlikte; kullanılan elemanların özellikleri ve çekilen yüklerin durumuna göre farklılıklar arzeder. Bölüm 11.1 de ark fırınlarında reaktif güç kompanzasyon sistemi incelenmiştir. Bu bir orta gerilimde merkezi kompanzasyon sistemine örnektir. Burada yük kompanzasyonu yapıldığı için, tiristörlerle kumanda edilen reaktör ve kondansatör gurupları kullanılmıştır.

Alçak gerilim tesislerinde de, kompanzasyonu yapılacak aşırı dengesiz yük çeken yerler bulunabilir. Orada da yine, modern kompanzasyon sistemleri (tiristörler) ile reaktif güç kompanzasyonu ve dengesiz yüklerin kompanzasyonu yapılabilir. Ve sistem hemen hemen aynıdır.

Dengeli (veya çok az dengesiz) güç çeken alçak gerilim tesisleri, sayı olarak en çok olan tesisler diyebiliriz. Bu tesislerde de tiristör denetimli kompanzasyon düzenleri kurulabilir. Ancak tiristör denetimli kompanzasyon düzenlerinin, şu anda uygulaması, Avrupa firmaları tarafından yapıldığı için, oldukça pahalıya temin edilmektedir. Dengeli güç çeken alçak gerilim tesislerinde, maliyeti azaltmak için, kontaktör denetimli kompanzasyon tesislerinin uygulaması yapılmaktadır. Onun için bu bölümde kontaktör denetimli kompanzasyon tesisleri elemanlarını inceleyerek, uygulaması yapılmış olan iki ayrı proje üzerinde duralım.

11.2.1 ALÇAK GERİLİM TESİSLERİNDE MERKEZİ KOMPANZASYON İÇİN GEREKLİ ELEMANLAR VE ÖZELLİKLERİ.

Bu kompanzasyon sistemi için gerekli elemanları, ana eleman ve yardımcı eleman olarak iki gruba ayırarak inceleyebiliriz. Ana eleman; kompanzasyon işleminde direk görev alan cihazlar, yardımcı eleman ise; kompanzasyon işleminde direk görev almayıp, fakat kullanılması gerekli olan cihazlar diye tanımlayabiliriz.

Ana elemanlar

- 1-Kompanzasyon panosu
- 2-Reaktif güç rolesi
- 3-Kontaktörler ve NH tipi sigortalar.
- 4-Akım transformatörü.
- 5-Ana şalter ve paket şalterler.
- 6-Kondansatör gurupları
- 7-Daşarj dirençleri.
- 8-Kablolar ve bakır baralar.
- 9-Aktif ve reaktif sayaçlar.

Yardımcı elemanlar

- 1-Sinyal lambaları
- 2-Voltmetre komitatörü
- 3-Ampermetreler
- 4-Voltmetre
- 5-Cos ϕ metre
- 6-Topraklama levhası ve kabloları.
- 7-Çeşitli montaj elemanları

Kompanzasyon panosu.

Dahili tip kompanzasyon panosu 2 mm DKP saçtan ve gerektiğinde profil demirleri ile takviye edilmeli, fırınlı boya ile boyanmalıdır. Gerektiği kadar kondansatör bataryası, reaktif güç rolesi, Cos metre, W otomat ve bıçaklı sigortalar ile, kontaktörleri monte etmeye elverişli olmalıdır. Panonun kapısı lastik contalı ve neme, toza karşı korunmalıdır. Pano kapılarına mikro siviç konulmalı ve pano kapağı açılınca kondansatör gurupları, otomatik devreden çıkmalıdır. Panonun gövdesi mutlaka topraklanmalıdır. Harici tip panoda, bunlara ek olarak 2,5 mm DKP saçtan yapılmalı, çatısı izole edilmeli ve çatı iki yüzünde de % 30 meyilli yapılmalıdır.

Reaktif güç rolesi

Daha önce açıklandığı gibi, akım traf. sundan gelen akımın reaktif bileşenine göre, elektronik sinyal üreterek, kondansatör guruplarını devreye sokar veya çıkarır. Regülatörler 1 faz veya 2 fazlı çalışacak şekilde imal edildiklerinden, bağlantısına dikkat edilmeli ve kaç kademeli bir kompanzasyon gerekiyorsa, ona göre regülatör seçilmelidir. Regülatörün kataloğuna dikkat ederek, özelliklerine göre işlem yapmak gerekir. Aşağıda Mikrotek-RPC 182 ve RPC 187 rölelerinin teknik özellikleri aşağıya çıkarılmıştır.

TEKNİK ÖZELLİKLER

Basamak Sayısı	: 7 (1:1:1... bağlamada)
	: 15 (1:2:2... bağlamada)
Çalışma Gerilimi	: 230 V a.c., + % 10, - % 20, tek faz
Çalışma Frekansı	: 50 Hz, \pm % 5
Akım Yolu	: x/5 A akım trafoları için
Akım Yolunda Tüketilen Güç	: 5 A'de 2.5 W
C/k Oranı	: 0.05 - 1.2 arası ayarlanabilir
Güç Faktörü (Cos ϕ ayarı)	: 0.85 - 1.0 endüktif arası ayarlanabilir
Cos ϕ metre Duyarlığı	: En çok % 2 hata
Cos ϕ metre Çözünürlüğü	: 0.5 endüktif - 0.5 kapasitif sınırları arasında 5 ^o
Toplam Güç Tüketimi	: 12 VA
Kontrol Kontaklarının Kumanda Gücü	: 2500 VA, max 250 V, 10 A
Anahtarlama Gecikmesi	: 20 sn (1:1:1... bağlamada)
	: 10 sn (1:2:2... bağlamada)
Çalışma Çevre Sıcaklığı	: -10 C ^o - + 60 C ^o
Ön Panel	: 144 x 144 mm
Pano Pencere Kesimi	: 138x138 mm
Derinlik	: 160 mm
Ağırlık	: 2.5 kg

RPC 182 ve RPC 187 reaktif güç kontrol rolesinin teknik özellikleri

Ayrıca genel olarak güç kontrol rolesinin şu özelliklere sahip olması gerekir.

1°- Çalışma gerilimi ($- \%20$, $+ \%10$) toleranslı ,frekansı 50Hz ve çalışma akımı/5 A. akım trf. suna uygun olarak $I_n = 5$ A. olacaktır.

2°- Röleler, kondansatörleri şalt şemasında belirtildiği şekilde, devreye sokup çıkarmaya elverişli olacaktır.

3°- Röleler a, a, a,a veya a, 2a, 2a,2a birim değerinde kondansatör ünitelerine kumanda etmeye elverişli olacaktır.

4°- Röle üzerinde sistemin $\cos\phi$ sinin endüktif veya kapasitif yönde olduğunu gösterir, ışıklı diyotlar veya mikro $\cos\phi$ metre bulunacaktır.

5°- Röle üzerindeki kondansatör gücü (C), akım trf. su oranı (K) ile ilgili C/K 0,05 A.1,2 A. arasında ayarlanabilecektir.

6°- Röle üzerinde, sistemin $\cos\phi$ sini stabil tutabilmek için, asgari 0,8-1 kademeleri arasında ayr. imkanı sağlanmalıdır.

7°-Röle içerisinde, kademe kontaktörlerine kumanda etmek için 250 V.da 6 A.(1500 VA) sürekli kontak akımına haiz yardımcı röleler bulunacaktır.

8°- Yardımcı rölelerde kontak teması tam sağlanacak, kontak temas direnci minimum olacak ve açma kapama olayı net bir şekilde gerçekleşecektir.

9°- Röle, bünyesindeki yardımcı rölelere emir verirken, çevrede oluşabilecek elektro manyetik gürültüden etkilenmeyecektir.

10°- Röle sıfır gerilim sistemine haiz olacaktır. Enerji kesilmelerinde röle evvelce ne kadar kademe devreye almışsa, tümünü devre dışı edecek ve enerjinin tekrar gelmesi lsn. gibi kısa sürede gerçekleşmiş olsa dahi, kademeler 1. kademeden başlayarak, yeniden sistemin ihtiyacı kadar devreye girecektir.

11°- Kademeler arasındaki giriş ve çıkıştaki zaman gecikmesi, geçici rejim darbelerinden etkilenmemesi için, 8 ile 15 sn arasında olacaktır.

12°- Röle çerçeve ölçüsü, tablo tipi ölçü aletleri standardına uygun olarak 144x 144 mm ebadında olacaktır.

Kontaktörler ve sigortalar:

1°- Kontaktörler kondansatör bataryalarını emniyetli bir şekilde, devreye sokup çıkaracak kontaklara sahip olacak ve iki açık iki kapalı yardımcı kontağı bulunacaktır.

2°- Kontaktör bobinlerinin çalışma gerilimi 220 V. olacaktır.

3°- 50 ve 100 kVAR güçteki kondansatörlere kumanda eden 110 A. ile 170 A.lik kontaktörler için, ayrıca yardımcı kontaktör tesis edilecektir.

4°- Kontaktörler devre dışı kaldığı zaman, en geç 7sn. de kondansatörlerin deşarjını sağlayacak, aşağıdaki listede belirtilen deşarj dirençleri , kontaktörün normalde kapalı iki yardımcı kontağı üzerinden, V bağlantısında devreye sokulacaktır.

<u>Kondansatör gücü</u>	<u>Deşarj direnci</u>	
	<u>KVAR</u>	<u>K</u>
25	1,5	6
30	1,5	6
40	1,5	6
50	1,5	6
60	1	12
80	1	12
100	1	12

5° - Sigortalar gecikmeli tip olacak, ayrıca kondansatör nominal akımının 1,5 - 1,7 katı büyüklükte seçilecektir.

Akım trf.ları

Akım trf.sunun sekonderi genelde 5 A. dir. Bu akım trf.sunun, tabloya a-na girişte bulunması gerekir. Tablolar bazen birden fazla yerden beslenebilir. Bu durumda, her girişte mevcut akım trf.sunun, bir toplayıcı akım trf.su üzerinden reglere verilmelidir. Ancak, toplama akım trf.suna bağlanacak, her iki akım trf.sununda aynı fazdan alınmasının şart olduğu bilinmelidir.

Akım trf.sunun gücü, çalıştırdığı cihazların gücüne göre seçilmelidir. Örneğin bir akım trf.su aşağıdaki cihazları çalıştıracaksa: Sekonderi 5 A. akım trf.su kullanıldığına göre

<u>Kullanılacak cihazın ismi</u>	<u>Cihazın gücü</u>
Ampermetre	0,2 VA
Cosφ metre	3,5 VA
Sayç	0,5 VA
50 m. 2,5 mm ² kablo	18 VA
Toplam	22,2 VA

Buna göre seçilecek akım trf.sunun gücü 25 VA olmalıdır.

11.2.2. KOMPANZASYON TESİSLERİNDE DİKKAT EDİLECEK ÖNEMLİ TEKNİK KONULAR

1° - Kompanzasyon tesislerinin otomatik ayar kademeli yapılmaması halinde (özellikle küçük tesislerde) kompanzasyonun, her alıcı için tek tek yapılmasına özen gösterilecektir.

2° - Gerek tek tek ve gerekse merkezi kompanzasyon tesislerinde, elektrik kesilmesi halinde, bu kompanzasyonun şebeke ile irtibatını kesecek şekilde gerekli önlem alınmalıdır.

3° - Kompanzasyon tesisi, yukarıda belirtilen güç katsayısı (0,85- 1) sınırında kalacak şekilde yapılmalıdır. Aşırı kompanzasyonların tesiste gerilim yükselmelerine neden olabileceği unutulmamalıdır.

4° - Kondansatörler devreden çıkarken, büyük arklar meydana getirirler. Bu sebeple seçilecek anahtarların açma hızları büyük olması gerekmektedir.

5° - Açma olayı esnasındaki ark tesiri ile kontakların yanmasını önlemek için, yük anahtarları nominal kondansatör akımının 1,25 ile 1,8 katına göre seçilmelidir.

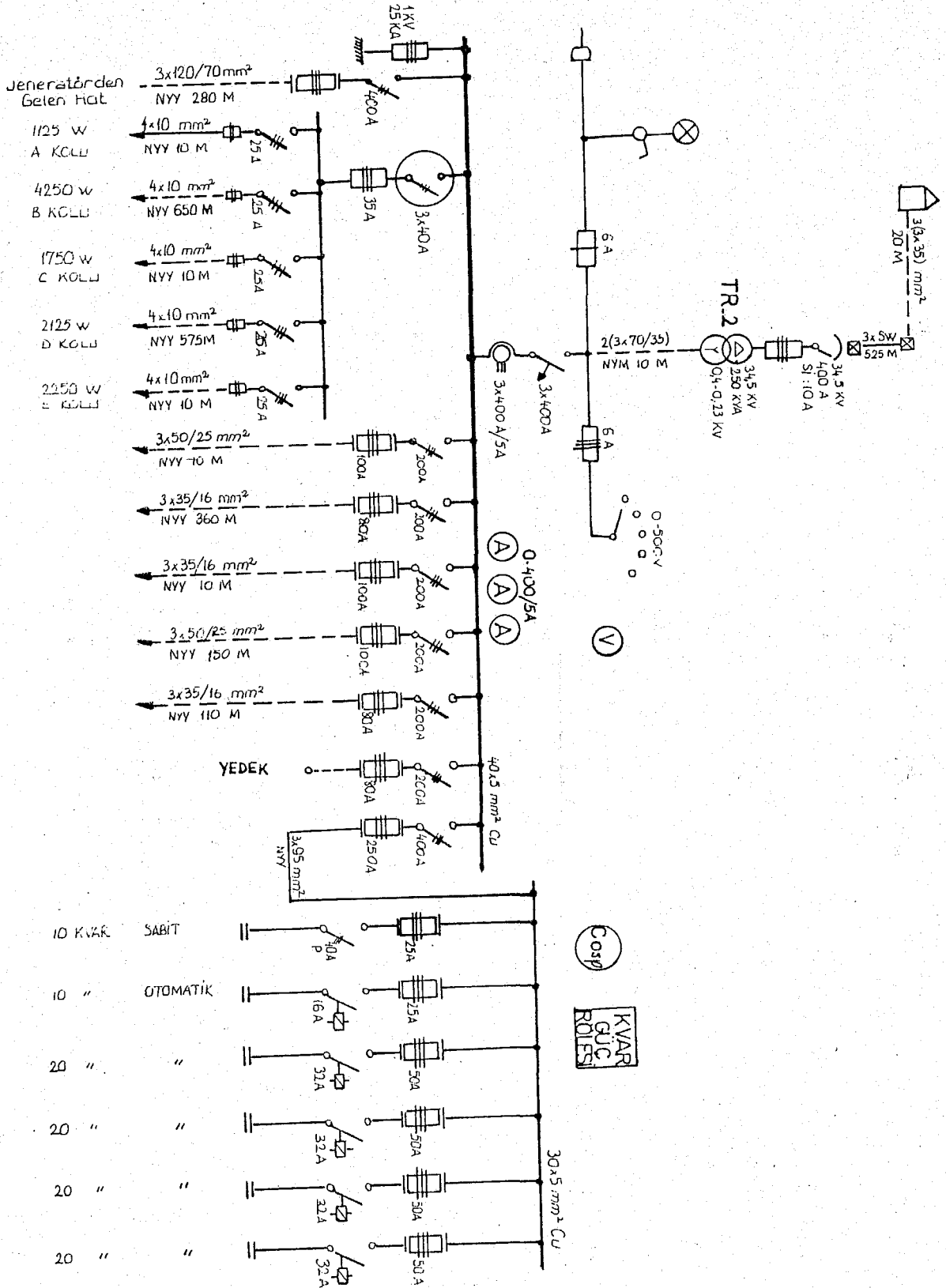
6° - Kondansatör tesislerinde, yüksek harmoniklerin tesiri göz önüne alınarak, sigorta akımları, nominal kondansatör akımından % 70 kadar büyük seçilmelidir. Ayrıca, aynı sebepten dolayı gecikmeli tip sigortalar tercih edilmelidir.

7° - Başlangıç darbe akımları göz önüne alınarak, kondansatör tesislerinde kullanılan iletkenlerin kesitleri, bir akım şiddeti için seçilen nominal kesitlerden ,daha büyük alınmalıdır.

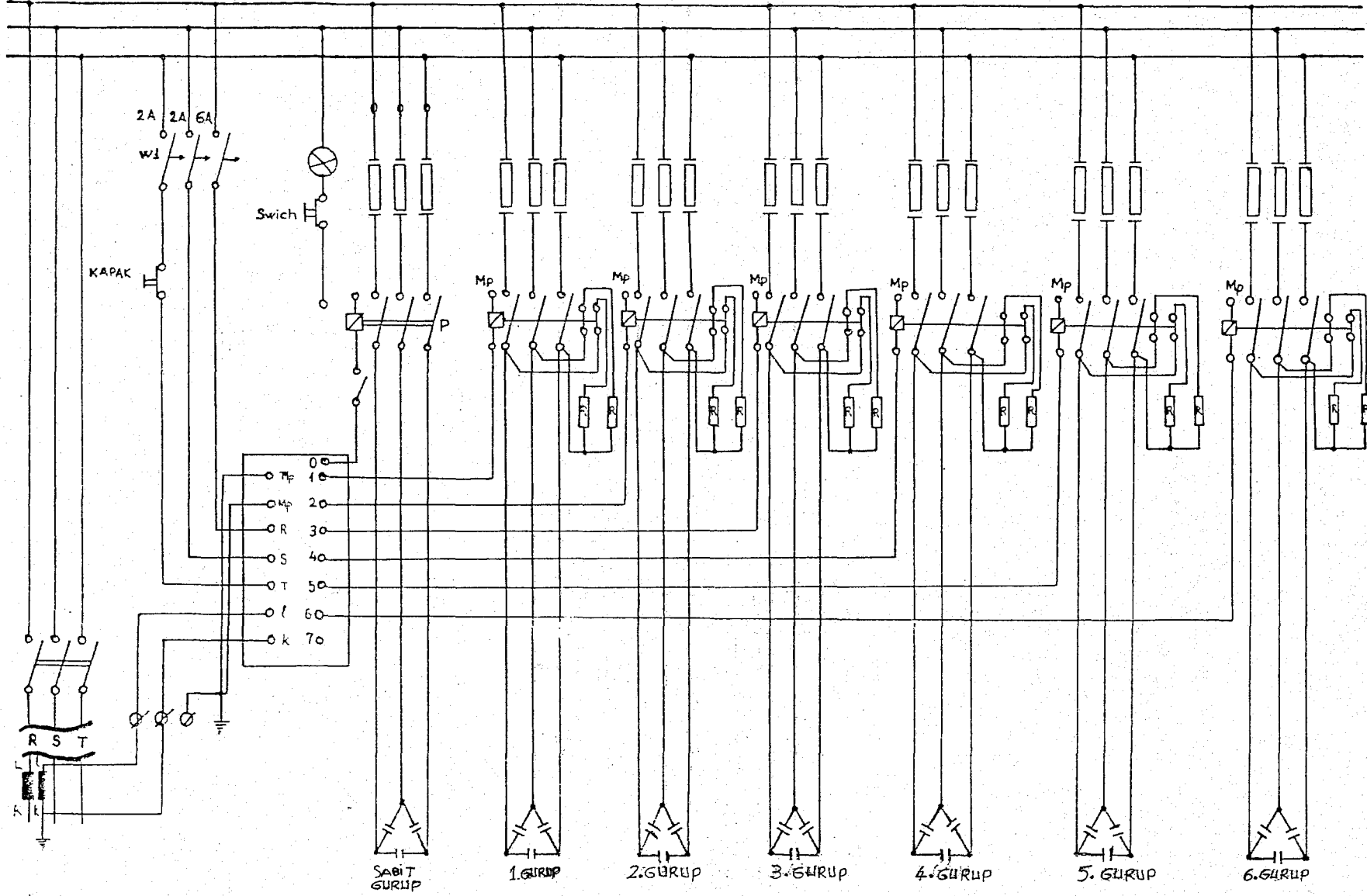
8° - Harmonik akımlarının belirli ölçülerde amortize edilmesi maksadı ile ,kompanzasyon tesisleri, bir veya birkaç paralel kablo üzerinden baralara bağlanmalıdır.

11.2.3. UYGULAMASI YAPILMIŞ İKİ AYRI MERKEZİ KOMPANZASYON PROJESİ VE MALZEME LİSTESİ

Şekil.6 a da 34,5/0,4 - 0,23 kV, 250 KVA (Δ/Δ bağlı) lık bir trf.dan beslenen bir fabrikanın tek hatlı bağlantı şeması ile, tek hatlı merkezi kompan-

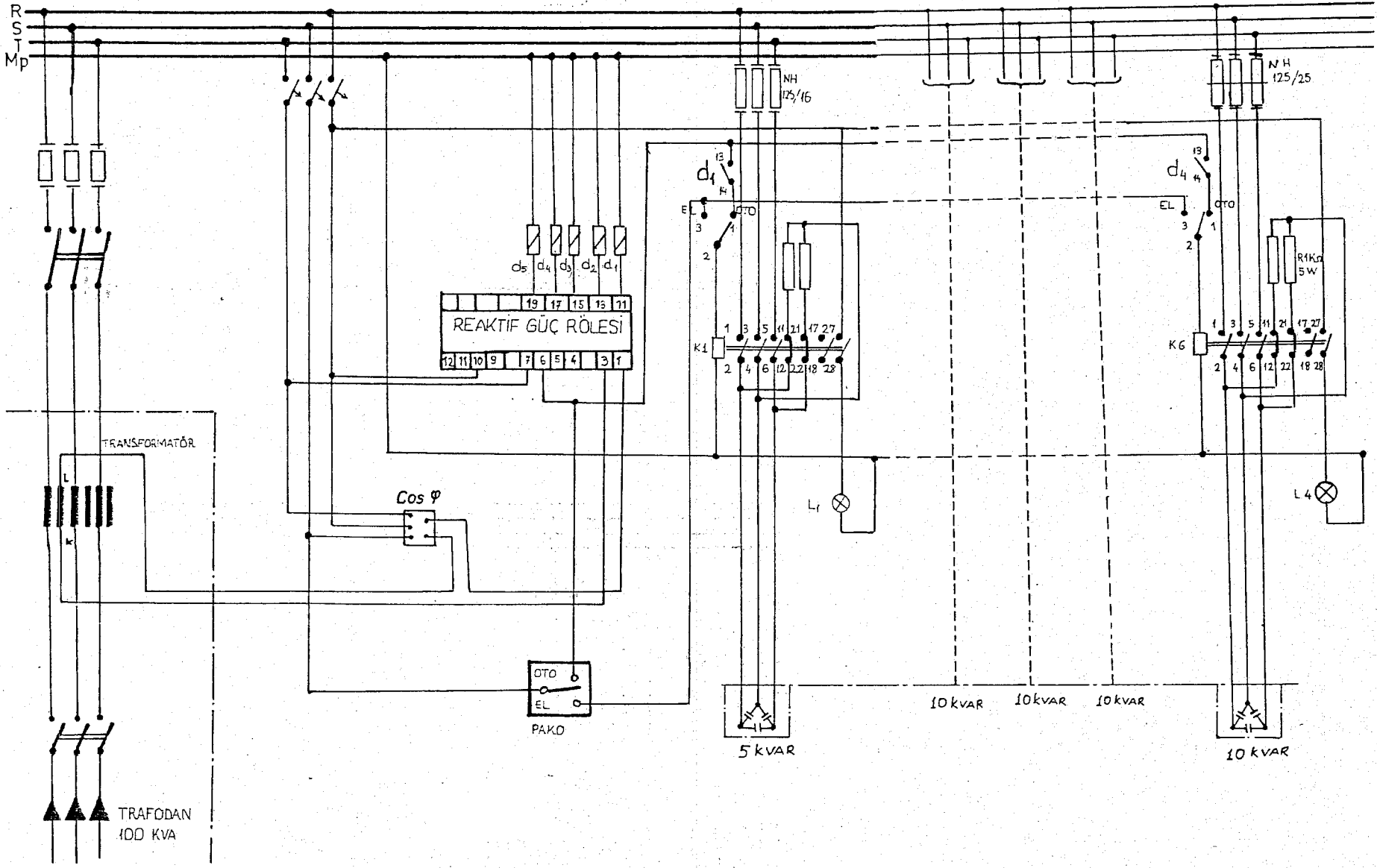


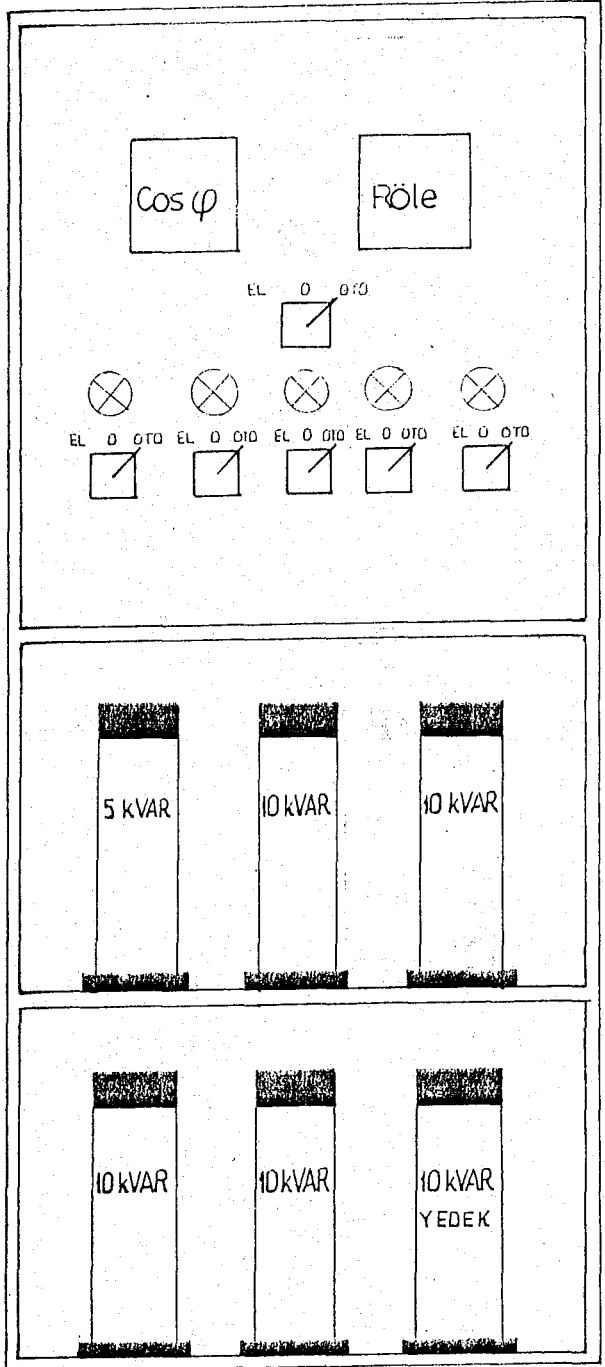
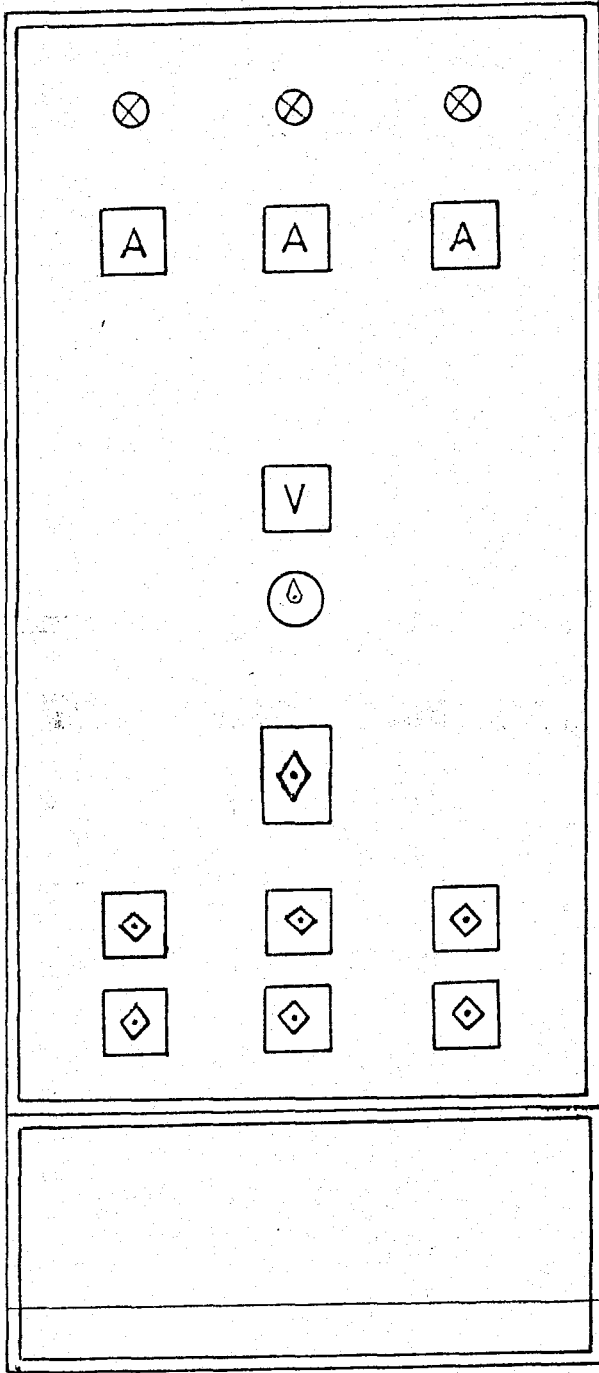
Şekil.11.6 a 34,5/0,4-0,23 kV, 250kVA (Δ/Δ) bir trf.dan beslenen bir fabrikanın tek hatlı bağlantı şeması ve tek hatlı merkezi kompanzasyon şeması.



Şekil.11.6 b (Şekil.11.6 a) da verilen kompanzasyon tesisinin ağık bağlantı şeması.

Şekil.11.7 a 100 KVA lık bir traf.dan beslenen bir tesisin, merkezi kompan-
 zasyon projesinin açık geması.





Şekil.11.7 b Tesise ait dağıtım panosunun önden görünüşü.

Şekil.11.7 c Kompanzasyon tesisine ait panonun önden görünüşü.

zasyon şeması görülmektedir. Şemanın üzerindeki değerler gerçek değerler olup, uygulaması yapılmış bir projedir. Aynı zamanda projeye bakılırsa, ana girişte birim kesitten daha büyük akım çekebilmek için 3 lü paralel ve 2 li paralel hatlar çekilmiştir. Kompanzasyon panosunda, 400 A.lik bir şalter ve $3 \times 95 \text{ mm}^2$ NYY kablosu ile, kuvvet panosundan ayrılmıştır. Tesiste 10 kVAR lık bir sabit kondansatör bulunmakta ve 5 adet de regler tarafından kumanda edilen, kontaktörlerle devreye sokulan, kondansatör gurupları görülmektedir.

Şekil.11.6 b de ise şekil.11.6 a da verilen kompanzasyonun açık bağlantı şeması görülmektedir. Burada kontaktörün normalde kapalı olan iki kontağına (V) bağlı deşarj dirençleri görülmektedir. Aynı zamanda akım trf.suda ana girişe bağlanmıştır.

Şekil.11.7. a da 100 kVA lık bir trf.dan beslenen bir tesisin, merkezi kompanzasyon projesinin açık şeması verilmiştir. Burada'da yine 5 kademeli regler ve 5 gurup halinde kondansatör bulunmaktadır.

Şekil.11.7 b de tesise ait dağıtım panosu , Şekil.11.7 c de'de kompanzasyon tesisine ait pano görülmektedir.

Bu kompanzasyon tesisinde kullanılacak malzeme listesi aşağıya çıkarılmıştır.

Malzeme listesi

1°- 45 kVAR kondansatör. (5 10 10 10 10)	5 gurup.
2°- 5 kademeli röle (Entes)	1 Adet.
3°- Dijital $\cos\phi$ (Entes)	1 Adet.
4°- 3 TA 21 Siemens kontaktör	4 Adet.
5°- 3 TA 20 Siemens kontaktör	1 Adet.
6°- C 6 A212 pako seçici	1 Adet.
7°- C 6 A210 " "	5 Adet.
8°- 200/5 KL 3 10 VA Akım trf.su	1 Adet.
9°- Deşarj direnci	10 Adet.
10°- Sinyal lambası 22 ϕ	8 Adet.
11°- 3 TA 68 Siemens kontaktör	5 Adet.
12°- 6 A. W otomat Siemens	3 Adet.
13°- Boy NH tipi sigorta Siemens	15 Adet.
14°- 1800 x 1200 x 450 pano	1 Adet.
15°- Bakır bara ve izalatörler	
16°- 200 A. Özengili şalter Siemens	1 Adet

Yukarıdaki malzemelerin birim fiyatları alınarak maliyet hesabı yapılabilir. Çıkan ücretin yaklaşık % 30 u alınıp toplanırsa. (İşçilik ve yerine montaj), kompanzasyon tesisinin teklif ücreti elde edilir.

S O N U Ç

Modern teknolojinin endüstriye uygulanması ile, elektrik şebekelerine bağlanan yüklerin, çok değişgen değerlerde ve büyük ölçüde reaktif güç çektikleri, ve bazende büyük dengesizliklere yol açtıkları bilinmektedir. Büyük reaktif güç çekilmesinin; güç faktörünün düşmesine, büyük gerilim değişmelerine, şebeke dengesizliklerine ve alıcıların verimli çalışmamlarına yol açtığı bir gerçektir.

Şebeke gerilimi, şebekenin gücü çok büyük (iç empedansı sıfır) olduğu için sabit bile kalsa, güç faktörünün kompanzasyonu ve yükün dengeli yapılması önem taşır. Sonuç olarak alternatif akım güç sisteminin işleyişini optimize etmek için, reaktif güç kontrol edilmelidir. İşte bu olaya reaktif güç kompanzasyonu diyoruz.

Gerilim değişmeleri, elektrikli alıcıların optimum çalışmasını bozar. Çok büyük gerilim değişmelerinde, alıcılar rahat çalışamaz. Ark fırınlarının çektikleri reaktif güçler; 2 ile 10 Hz gibi değişmeler göstermektedir. İnsan gözü bu frekans değişimlerini ve %0,25 - %0,4 lük gerilim değişmelerini algılayabildiğinden, filiker olayı denen bu durum kompanzasyon tesislerince giderilir.

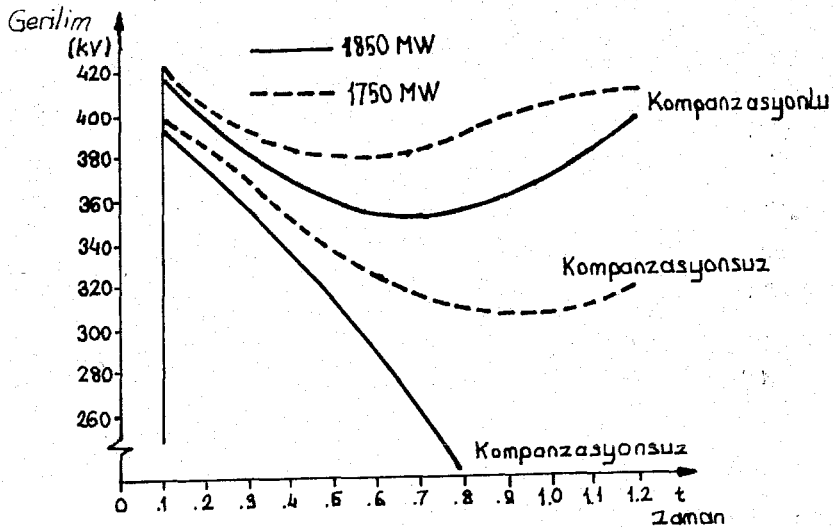
Çekilen bütün yükler hattın parametreleri üzerinde büyük etkiler yapmaktadır. Reaktif yükün büyük çapta olması, bu etkiyi artırarak çok büyük gerilim değişmelerine neden olmaktadır. Bu durumda ise, alternatör uyarma akımı değiştirilmekte, hatlarda büyük kayıplar oluşmakta ve hat sonu geriliminin sabit tutulması çok güçleşmektedir. Bundan dolayı, hattın çeşitli kısımlarında seri kompanzasyon sistemi ve transformatör merkezlerinde ise şönt kompanzasyon sistemleri kullanılmaktadır.

Reaktif güç üretimi için iki işletme aracı kullanılır. Dinamik faz kaydırıcı olarak aşırı uyarımlı senkron makineler kullanılır. Ancak senkron faz kaydırıcıların kayıpları yüksek olduğu gibi, bunların devamlı bir bakım ihtiyaçları da vardır. Ancak güçleri çok büyük olup'da, aynı zamanda milinden mekanik enerji alınması gereken yerlerde ekonomik olurlar. Ayrıca senk-

ron faz kaydırıcılar, bir tüketim merkezinin civarına yerleştirildiğinden, yalnız generatör, yüksek gerilim hatları ve buna ait transformatörler reaktif güçten kurtarıldığı halde; tüketim merkezine ait orta ve alçak gerilim şebekesi, reaktif güç iletmek zorunda kalır. Reaktif güç üretiminde statik faz kaydırıcısı adı verilen ve kayıpları, bakım masrafları çok az olan kondansatörler daha elverişlidir. Kondansatörlerle istenilen her güçte bir reaktif güç kaynağı oluşturulabildiği gibi, bunları tüketicilerin yanlarına götürüp, uçlarına bağlamak mümkündür. Böylece orta ve alçak gerilim şebeke lerinide, reaktif güçten kurtarabiliriz. Bu nedenle kondansatörler kompanzasyon için en uygun araçtır.

Reaktif yüklerin kompanzasyonu, yüklerin özelliğine göre, tek tek kompanzasyon veya merkezi kompanzasyon sistemleri ile yapılabilir. Her ne şekilde olursa olsun, kompanzasyonu yapılan sistemlerin'de, aşırı kompanzasyon, gerilim dalgalanmaları ve harmoniklerin meydana gelmemesi için, gereklilikler mutlaka alınmalıdır.

Kompanzasyonu yapılan bir sistemden, daha büyük güçler çekilebilir. Aynı zamanda güç kaybı azalır ve verim yükselir. Aşağıda verilen şekilde, kompanzasyonlu ve kompanzasyonsuz yüklerin zamana göre gerilim eğrileri verilmiştir. Örneğin (---) 1750 MW. la kompanzasyonsuz çalışma durumunda; 100MW lık bir güç arttığı zaman, gerilim 8 sn. içinde hızla düşmektedir. Kompanzasyon yapıldığında ise çekilen güç arttığı halde, gerilimde çok az bir değişim ile sistem kararlı çalışmasını sürdürmektedir.



Bir enerji nakleden hattın; kompanzasyonu yapılmadan ve yapıldıktan sonra ki, yükün büyüğüne bağlı olarak, gerilimin zamana göre değişim eğrilerini gösteren grafik

Günümüzde kompanzasyon sistemleri, en çok kondansatör gurupları aracılığı ile yapılmaktadır. Bilhassa günün saatlerine göre gücü değişen sistemler için, en uygun kompanzasyon tipi merkezi kompanzasyon sistemidir. Tirisörlerin bu sahada kullanılması ile, modern kompanzasyon sistemleri geliştirilmiştir. Bu tip kompanzasyon sistemi, ani yük değişimleri olan, ark fırınları gibi alıcılarda mutlaka kullanılmalıdır.

Sonuç olarak, her reaktif güç çeken alıcı gurubu, kompanzasyon sistemi ile donatılarak, reaktif gücü kendisi karşılamalıdır. Böylece sistemin kararlı çalışmasına, enerji ekonomisine ve gerilim dalgalanmalarının önlenmesine yardımcı olmuş olur. Ayrıca kompanzasyon tesislerinin maliyeti bir yılda ödenecek enerji ücretinden azdır. İkinci yıldan itibaren tesisi amorti edeceğinden, kondansatör gurupları ile kompanzasyon tesisleri kurmak optimum bir çözümdür.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

1. Yöneten Doç. Dr. Tarkan, Nesrin - STATİK KOMPANZATÖRLERLE GÜÇ KATSAYISININ DÜZELTİLMESİ
M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü yüksek lisans tezi.
İstanbul-1984 Hazırlayan: Yaşar Birbir
2. Doç. Dr. Tarkan, Nesrin - M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü YÜKSEK LİSANS DERS NOTLARI - 1984
3. Henriët, Piere - Tarkan, Nesrin - ELEKTRİK İLETİM ŞEBEKELERİNİN İŞLEMESİ VE KORUNMASI
İ.T.Ü. Elektrik Fakültesi, Teknik Üniversite matbaası - 1975
4. Bayram, Mustafa - GÜÇ KATSAYISININ DÜZELTİLMESİ VE GÜÇ KONDANSATÖRLERİ.
İ.T.Ü. Elektrik Fakültesi, Elektroteknik Mecmuası
Mart - 1977 Sayı: 3
5. T.E.K. Elektrik Enerjisi Tasarruf Programı. 2.Baskı
6. T.M.M.O.B. Elektrik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi - REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU SEMİNER NOTLARI. 3.6.1983
7. Sarıoğlu, M.Kemal - YÜK KOMPANZASYONU VE GERİLİM KOMPANZASYONU.
İ.T.Ü. Elektrik Fakültesi
T.E.K. İletim Şebeke İşletmeleri Dairesi Başkanlığı
Sistem Araştırma Kontrol Müdürlüğü
8. Ede Yayınları - Kemerburgaz/İstanbul
9. Peşint, M.Adnan - SANKRON MAKİNALAR
Yüksek Teknik Öğretmen Okulu - ANKARA - 1975
10. e t a Elektrik Araştırma - eta Reaktif Güç Rolesi Mühendislik İmalat ve Tic. LTD. ŞTİ. K.Maltepe/İstanbul
11. ASEA - Power Transmission and Distribution Division S-721 83 VASTERAS, SWEDEN Tel. + 4621 100000
12. Coşkun, İsmail - ALTERNATİF AKIM DEVRELERİ VE TEOREMLERİ
Yüksek Teknik Öğretmen Okulu Ankara - 1979
13. Çolakoğlu Metalurji A.Ş. Ark fırınları ve Yük kompanzasyon tesisleri (Gözlem) Diliskelesi/Gebze
14. Piyasadaki Çeşitli Firmaların yaptığı işlerin araştırılması ve kurdukları alçak gerilim, Merkezi kompanzasyon tesislerinin incelenmesi. (Gözlem)

