

75431

**STATİK VAR KOMPANATÖRÜ İLE REAKTİF
GÜÇ KONTROLÜ VE KOMPANZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elek.Müh. Okan İhsan ÖZTÜRK

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 Ocak 1998

Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Şubat 1998

Tez Danışmanı : Prof.Dr.Nesrin TARKAN *N. Tarkan* 09.03.1998

Diğer Jüri Üyeleri: Doç.Dr.Aydoğan ÖZDEMİR *A. Özdemir* 9.3.98

Doç.Dr.Belgin TÜRKAY *Belgin* 9.3.1998

ŞUBAT 1998

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tezimin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Nesrin TARKAN'a değerli arkadaşlarım Y. Müh. H. Murat UÇAR, Y. Müh. Derya Ahmet KOCABAŞ ve Elek. Müh. Hakan EDİS'e, her zaman sevgi ve destekleri ile yanımda olan sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 1998
İstanbul

Okan İhsan ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
SEMBOL LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
TABLO LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU.....	3
2.1 KOMPANZASYONUN TANIMI VE GEREKLİLİĞİ.....	3
2.2 REAKTİF GÜÇ ÜRETİMİ	4
2.2.1 Dinamik Faz Kaydırıcılar	4
2.2.2 Kondansatörler.....	5
2.3 REAKTİF GÜÇ TÜKETİCİLERİ.....	6
2.4 MATEMATİKSEL İFADELER VE TANIMLAR.....	7
2.4.1 Reaktif Güç İle Gerilim Arasındaki İlişki.....	7
2.4.2 Kondansatörlerin Hesabı.....	8
2.4.3 Reaktif Güç İhtiyacının Tespit Edilmesi.....	11
2.4.4 Kompanzasyon Tesisinin Ekonomik Hesabı.....	13
2.5 REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONUNUN ŞEBEKE VE TÜKETİCİ AÇISINDAN FAYDALARI.....	15
2.5.1 Şebeke Açısından Faydaları.....	16
2.5.2 Tüketici Açısından Faydalar.....	19
BÖLÜM 3 KOMPANZASYON TESİSİNİN DÜZENLENMESİ.....	20
3.1 TEKİL KOMPANZASYON.....	22
3.1.1 Asenkron Motor.....	22
3.1.2 Transformatörler.....	25
3.2 GRUP KOMPANZASYON.....	28
3.3 MERKEZİ KOMPANZASYON.....	28

BÖLÜM 4 KOMPANZASYON PROBLEMİNİN MATEMATİKSEL İNCELENMESİ.....	30
4.1 YÜK KOMPANZASYONUNUN TEMELLERİ.....	30
4.2 SİMETRİLİ BİLEŞENLER CİNSİNDEN YÜK KOMPANZASYONU.....	36
4.3 KOMPANZASYON SUSEPTANSLARININ HAT AKIMLARI CİNSİNDEN İFADELERİ.....	40
4.4 OPTİMAL KONDANSATÖR HESABI.....	44
4.4.1 Problemin Minimize Edilmesi.....	44
4.4.2 Akımın Dengelenmesi	47
BÖLÜM 5 ALTERNATİF AKIM KİYİCİLERİNİN REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONUNDA KULLANILMASI.....	52
5.1 SAF ENDÜKTÜF YÜKLÜ ALTERNATİF AKIM KİYİCİSİ	52
5.2 AKIM VE GERİLİMDE HARMONİKLERİN İNCELENMESİ.....	55
5.3 TEMEL VE HARMONİK AKIMLARIN İNCELENMESİ ...	62
5.4 KİYİCİ İLE DEĞİŞKEN SELF ELDE EDİLMESİ.....	65
5.5 KİYİCİ İLE DEĞİŞKEN KAPASİTE OLUŞTURULMASI...	66
5.6 UYGULAMA.....	70
BÖLÜM 6 DİNAMİK PERFORMANS SİMÜLASYONU İÇİN STATİK VAR KOMPANZASYON MODELLERİ VE KONTROLÜ.....	74
6.1 STATİK VAR SİSTEMLERİNİN TEMEL TANIMI.....	75
6.2 GÜÇ AKIŞI MODELLERİ.....	77
6.2.1 Konvensiyonel Güç Akışı Kullanan Programlar.....	77
6.2.2 Güç Akışı Çalışmaları İçin Veri Değişiklikleri.....	78
6.3 DİNAMİK PERFORMANS İÇİN TEMEL DOĞRUSAL OLMAYAN MODELLER.....	78
6.3.1 Temel Modeller.....	79
6.3.1.1 Ölçme Modülleri.....	80
6.3.1.2 Temel Model 1 İçin Gerilim Ayarlayıcı Modül.....	81
6.3.1.3 Temel Model 2 İçin Gerilim Ayarlayıcı Modül.....	81
6.3.1.4 Tristör Suseptans Kontrol Modülü.....	82
6.3.1.5 İki Temel Modelin Parametreleri Arasındaki İlişki.....	83
6.3.1.6 Temel Modeller İçin Veri Değişiklikleri.....	83
6.4 STATİK VAR KOMPANZATÖRÜN KONTROLÜ.....	85
6.4.1 Statik Var Kompanzatörün Kontrol Yazılımı.....	85
6.4.2 Uygulama.....	92
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	96
KAYNAKLAR	98

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	ii
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1. Süreçler ve Süreçlerle Yönetim	1
1.2. Süreç Yönetimi	5
1.2.1. İmalat ve iş süreçleri	8
1.2.2. Süreç hiyerarşisi	9
1.2.3. Süreç odaklı bakış	10
1.3. Kilit Süreçlerin Geliştirilmesi	12
1.4. KİSAG Metodolojisi	15
1.4.1 KİSAG Metodolojisinin aşamaları	17
BÖLÜM 2 DEĞİŞİM MÜHENDİSLİĞİ İLE DEĞİŞEN SÜREÇ FELSEFESİ	20
2.1. Giriş	20
2.2. Değişimin Önemi	22
2.3. Değişim Mühendisliğinin Tanımı	23
2.4. Değişim Mühendisliğinin Getirdiği Değişiklikler	25
2.5. Neden Değişim Mühendisliği?	26
2.6. Değişim Mühendisliğinin Temel Prensipleri	27
2.7. Değişim Mühendisliği ve Diğer Kavramlar	28
2.8. Değişim Mühendisliği Uygulaması İçin Uyarılar, Yapılabilecek Hatalar, Uygulama Zorlukları ve Riskler	31
2.8.1. Uyarılar	31
2.8.2. Hatalar	33
2.8.3. Uygulamada karşılaşılabilecek zorluklar	33
2.8.4. Riskler	34
2.9. Sürekli İyileştirme ve Değişim Mühendisliğinin Karşılaştırması	34

BÖLÜM 3 PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ İLE SÜREÇ YÖNETİMİNİN ETKİNLİĞİNİN ARTIRILMASI	36
3.1. Giriş	36
3.1.1. Tanımlar	36
3.2. Strateji Geliştirme ve Hedeflerin Yayılımı	39
3.3. Süreç Yönetimi ve Ölçümü	41
3.4. Performans Değerlendirmesi ve Yönetimi	43
3.5. Performansın Ölçümü	45
3.6. Onurlandırma ve Ödüllendirme Sistemleri	48
3.7. Sonuç	48
BÖLÜM 4 ÖZDEĞERLENDİRME	50
4.1. Giriş	50
4.2. Özdeğerlendirme	51
4.3. Özdeğerlendirme Yapılırken Kullanılabilecek Yaklaşımlar	55
4.3.1. Ödül simülasyonu yaklaşımı	55
4.3.2. Özdeğerlendirme formu yaklaşımı	56
4.3.3. Matris şema yaklaşımı	58
4.3.4. Pratik uygulama yaklaşımı	60
4.3.5. Eş katılım yaklaşımı	63
4.3.6. Anket yaklaşımı	67
4.4. Alternatif Özdeğerlendirme Yaklaşımlarının Avantaj ve Dezavantajları	68
4.4.1. Ödül simülasyonu yaklaşımı	69
4.4.2. Özdeğerlendirme formu yaklaşımı	70
4.4.3. Matris şema yaklaşımı	71
4.4.4. Pratik uygulama yaklaşımı	72
4.4.5. Eş katılım yaklaşımı	73
4.4.6. Anket yaklaşımı	73
4.5. Farklı Yapılardaki Organizasyonlarda Özdeğerlendirme Uygulamaları - Etkiler ve Değerlendirmeleri	74
4.5.1. Özdeğerlendirme yöntemi	76
4.5.2. Özdeğerlendirme sürecinin uygunluğu	77
4.5.3. Ödül süreciyle ilişkisi	78
4.6. Başarılı Bir Özdeğerlendirme Yapmak	79
BÖLÜM 5 SÜREÇ ÖZDEĞERLENDİRMESİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ	81
5.1. Modelin Açıklaması	81
BÖLÜM 6 SÜREÇ ÖZDEĞERLENDİRMESİ MODELİNİN ARÇELİK A.Ş.'YE UYGULANMASI	87
6.1. Arçelik A.Ş.'ye Genel Bir Bakış	87

Q	: Reaktif güç
Q_c	: Kondansatör gücü
R	: Hattın ohmik direnci
S	: Görünür güç
S_T	: Transformatör anma gücü
T	: Örnekleme periyodu
U_1	: Hat başındaki faz-nötr gerilimi
U_2	: Hat sonundaki faz-nötr gerilimi
U_f	: Faz gerilimi
U_h	: Hat gerilimi
ω	: Açısal frekans
X	: Hattın reaktif direnci
Z	: Empedans



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Fazör diyagramı	7
Şekil 2.2	Bir fazlı kondansatörün bağlama şeması	9
Şekil 2.3	Üç fazlı alternatif akım şebekesinde kondansatörlerin üçgen ve yıldız bağlanması	10
Şekil 2.4a	Görünür gücün azalması	11
Şekil 2.4b	Aktif gücün artırılması	12
Şekil 2.5	Hattın sonundan beslenen bir tüketici	15
Şekil 2.6	Endüktif bir tüketicinin boyuna ve enine gerilim düşümleri	18
Şekil 3.1	Kompanzasyon tesisi için en uygun yerin seçilmesi	21
Şekil 3.2	Şebekeye bağlanan kısa devre rotorlu bir asenkron motorun bireysel kompanzasyonu	22
Şekil 3.3	Normal yıldız üçgen anahtarları ile yol alan asenkron motorun kompanzasyonu	24
Şekil 3.4	Yıldız üçgen anahtarları ile yol alan asenkron motora üçgen konumunda kondansatörlerin paralel bağlanması	25
Şekil 3.5	Transformatörün alt gerilim tarafına bağlı kondansatörler ile tekil kompanzasyonu	25
Şekil 3.6	Grup kompanzasyon	28
Şekil 3.7	Merkezi kompanzasyon	29
Şekil 3.8	Bir işletmenin günlük yükleme eğrisi	29
Şekil 4.1	Üç fazlı dengesiz yükler	30
Şekil 4.2	Y_{ab} admitansının reaktif kısmının $-B_{ab}$ suseptansı ile kompanzasyonu	31
Şekil 4.3	Kompanze edilmiş üçgen bağlı yük	32
Şekil 4.4	B_{bc} ve B_{ca} kapasitif ve endüktif kompanzasyon suseptanları ile reel G_{ab} yükünün dengelenmesi	33
Şekil 4.5	Yük akımları $I_{R,ab}$ ile kompanzasyon akımları $I_{L,ca}$, $I_{C,ca}$ ve hat akımları I_a, I_b, I_c arasındaki ilişkileri gösteren fazör diyagramı	33

Şekil 4.6	Y_{bc} yükünün $-B_{bc}$, $B_{ca}^{(bc)}$ ve $B_{ab}^{(bc)}$ suseptansları ile kompanzasyonu	34
Şekil 4.7	Y_{ca} yükünün $-b_{ca}$, $B_{ca}(ca)$ ve $B_{ab}(ca)$ suseptansları ile kompanzasyonu	34
Şekil 4.8	Bir fazlı yük kompanzasyonu prensibinin üç fazlı dengesiz bir yüke uygulanması	35
Şekil 4.9	Üçgen bağlı dengesiz yük ve kompanzatör	37
Şekil 4.10	Reaktif güç kompanzasyon diyagramı	44
Şekil 4.11	Üç fazlı sistemin akım ve geriliminin fazör diyagramı	45
Şekil 4.12	Üçgen bağlı yük için optimal kompanzasyon ve dengelenmiş akım değerlerinin bulunmasını gösteren akış diyagramı	50
Şekil 4.13	Optimal kontrol kompanzatörü ile gerçekleştirilen kompanzasyonda kompanze edilmiş akımların tepe değerlerinin değişimleri	51
Şekil 4.14	Optimal kompanzasyondan önce ve sonra hat kayıplarının zamana göre değişimleri	51
Şekil 5.1	Endüktif yüklü alternatif akım kısıyıcı (TCR)	52
Şekil 5.2	Yükü L elemanından oluşan alternatif akım kısıyıcıda gerilim ve akım dalga şekilleri	53
Şekil 5.3	Harmonik akımların ($n=3,5,7,9$) α 'ya göre değişimleri	59
Şekil 5.4	Üçgen bağlı TCR ve filtreler	60
Şekil 5.5	İki ayrı reaktörden oluşan TCR	60
Şekil 5.6	Sekonderi çift sargılı transformatör ile TCR'nin ayarlanması	61
Şekil 5.7	Maksimum genliğe normalize edilmiş temel bileşen akımının ve akımın toplam harmonik distorsiyonunun ateşleme açısına göre değişimleri	62
Şekil 5.8	Normalize saf endüktansın α ile değişimleri	65
Şekil 5.9	Tristör kontrollü reaktör ve sabit kapasite	66
Şekil 5.10	B suseptansının endüktif ve kapasitif bölgede α 'ya bağlı değişimleri	67
Şekil 5.11	$Q(\alpha)$ reaktif gücünün endüktif ve kapasitif bölgede α 'ya bağlı değişimleri	69
Şekil 5.12	TCR/FC kompanzatörün suseptans -frekans karakteristiği	70

Şekil 5.13	Farklı kapasite değerleri için suseptansın. α ile değişimi	71
Şekil 5.14	Değişik reaktif güçlerin α ile değişimleri	72
Şekil 5.15	Kompanzatör suseptansının frekans ile değişimi	73
Şekil 6.1	Tipik Statik VAr sistemi	75
Şekil 6.2	Yüksek gerilim barasındaki SVK statik karakteristikleri	76
Şekil 6.3	SVK modelleri	78
Şekil 6.4	Temel model 1	79
Şekil 6.5	Temel model 2	80
Şekil 6.6	Ölçme modülü	81
Şekil 6.7	Temel model 1 için gerilim ayarlayıcı model	81
Şekil 6.8	Temel model 2 için gerilim ayarlayıcı model	82
Şekil 6.9	Tristör suseptans kontrolü	82
Şekil 6.10	Statik reaktif güç kompanzatörünün gerilim-güç değişimi	83
Şekil 6.11	Yük ve kompanzatörden oluşan bir fazlı devre şeması	85
Şekil 6.12	Bir fazlı yükün reaktif gücünün gerilim kontrolü ile kompanzasyonu	87
Şekil 6.13	Gerilim regülasyonu için kontrol modülü	88
Şekil 6.14	Fazör diyagramı	93
Şekil 6.15	Kompanzatör ve yük karakteristiği	93
Şekil 6.16	Statik reaktif kompanzatör ile reaktif güç kontrolü yapılması için gerekli akı diyagramı	94

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1	Asenkron motorların nominal güçlerine göre kondansatör değerleri	23
Tablo 3.2	Transformatörlerin alt gerilim ucuna bağlanacak olan sabit kondansatörlerin güçleri	27
Tablo 5.1	TCR'deki harmonik akımların maksimum genlikleri	58



ÖZET

Alternatif akım sistemlerinde fazların dengeli olması ve reaktif gücün kontrolü kayıpların minimize edilmesi ve sistemin enerji kapasitesinin artırılabilmesi için gereklidirler. Tezde, bunların gerçekleştirilmesi için gerekli matematiksel ifadeler çıkartılmış, tristör kontrollü statik VAR kompanzatörleri ele alınmış, dengesiz yüklerin dengelenmesi incelenmiştir. Tezde yapılan çalışmalar şöyle özetlenebilir.

Birinci bölümde, reaktif güç kompanzasyonunun gerekliliği vurgulanmış ve izlenen yöntem hakkında genel bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde, reaktif güç kompanzasyon tanımı, matematiksel esaslar ve temel tanımlar verilmiş, şebeke ve tüketiciler açısından faydaları incelenmiştir.

Üçüncü bölümde, kompanzasyon tesislerinin kurulmasının temel ilkeleri incelenmiştir.

Dördüncü bölümde, yük kompanzasyonunun temel esasları verilmiş olup simetrik bileşen akımları cinsinden matematiksel ifadeler çıkartılmıştır. Aynı zamanda optimum kondansatör hesabı için akış diyagramı oluşturulmuş ve EK-B'de bu akış diyagramını kullanarak yazılan MATLAB programı bir örnekle verilmiştir.

Beşinci bölümde, alternatif akım kıyıcısı ile kompanzasyon anlatılmış ve statik kompanzatörün çeşitli karakteristikleri incelenmiştir.

Altıncı bölümde statik kompanzatör için gerekli kontrol devresi incelenmiş, bir fazlı devre modeli verilmiş ve PID kontrolör kullanılarak kapalı çevrimli reaktif güç kontrolünü sağlayan bir sistemin akış diyagramı çıkarılmış ve MATLAB programı yapılarak bir örnek üzerine uygulanmıştır.

SUMMARY

REACTIVE POWER CONTROL BY STATIC VAR COMPENSATOR AND ITS COMPENSATION

In recent years, there has been greatly increased demand for reactive power compensation network to improve the power systems quality. This thesis concerns the application of static reactive compensators (SVCs) to power transmission systems. Emphasis is placed on controlling the SVC systems.

The static VAR compensator (SVC) is an integrated system of static electrical components (e.g. capacitors, reactors, transformers...) combined in such manner to provide rapid, continuously controllable shunt reactive power compensation.

In this thesis static VAR compensators, namely Thyristor controlled reactor-fixed capacitor is used as reactive devices. Therefore its possible to control large and rapid variation in the reactive power due to the loads and generation.

Two types of compensation problems are normally encountered in practically applications. The first type compensation is load compensation where the requirements are usually to reduce or cancel reactive power demand of large fluctuating industrial loads such as electric arc furnaces, rolling mills, etc. and to balance the real power drawn from the ac supply lines. This types of heavy industrial loads are normally concentrated in one plant and served from one network terminal and therefore can be handled best by a local compensators connected to the same terminal.

The second type of compensation is related to the voltage support of transmission lines at a given terminal in the face of disturbance of both loads and generation. Here the load is not localized several loads and generation units may be tied by transmission network and the objective is the simply to regulate the voltage at the compensator terminal.

In the second chapter the load compensation requirements and reactive power relationship are discussed. Load compensation is the management of reactive power to improve the quality of supply in ac power systems. The term load compensation is used where the reactive power management is affected for a single load, the compensating equipment usually being installed on the consumer's own premises near to the load. The techniques used, and indeed some of the objectives, differ considerably from those met in the compensation of bulk supply networks (transmission compensation).

In load compensation there are three main objectives:

1. Power factor correction
2. Improvement of voltage regulation
3. Load balancing

Power factor correction and load balancing are desirable even when the supply voltage is very "stiff" (constant and independent of the load). These requirements are supplied by compensators.

In the third chapter the local and center compensation are explained. Local compensations specially for the asynchronous motors. transformers are examined in this section.

In the forth chapter reactive power problem is considered by using mathematical equaitons. A general three phase delta connected load can be considered with compensators show in figure 1.

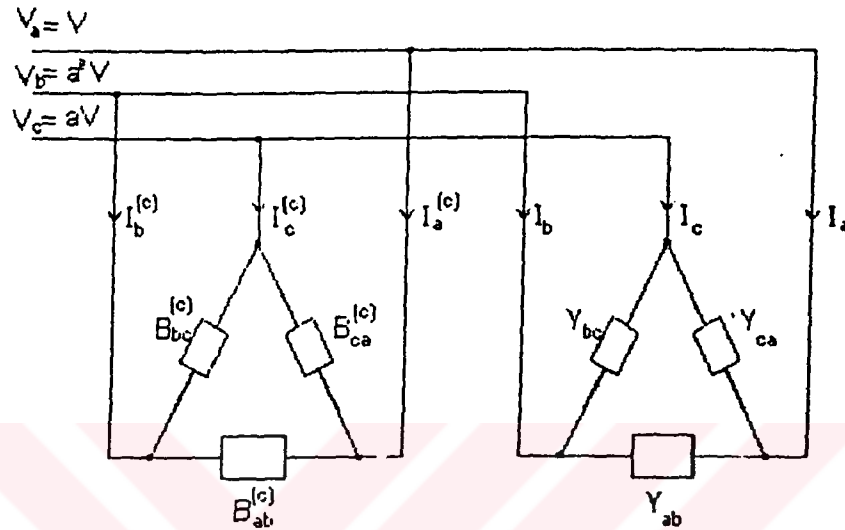


Figure 1. Three phase unbalanced loads represented by delta connected admittance and th delta connected compensator.

If the load admittance are composed of real component and reactive component.

$$\begin{aligned} Y_{ab} &= G_{ab} + j B_{ab} \\ Y_{bc} &= G_{bc} + j B_{bc} \\ Y_{ca} &= G_{bc} + j B_{ca} \end{aligned} \quad (1)$$

The reactive parts can as a first step of the compensation, be cancelled by an appropriate compensating suseptance -B_{ab}, -B_{bc}, -B_{ca}.

As a second step of the compensation, real admittance has to be complemented with a reactive admittance network so as to obtain a resultant balanced load on the ac supply. This reactive admittances are

$$\begin{aligned} B_{bc}^{(ab)} &= j \frac{G_{ab}}{\sqrt{3}} \quad , \quad B_{ca}^{(ab)} = -j \frac{G_{ab}}{\sqrt{3}} \\ B_{ca}^{(bc)} &= j \frac{G_{bc}}{\sqrt{3}} \quad , \quad B_{ab}^{(bc)} = -j \frac{G_{bc}}{\sqrt{3}} \end{aligned} \quad (2)$$

$$B_{ab}^{(ca)} = j \frac{G_{ca}}{\sqrt{3}}, \quad B_{bc}^{(ca)} = -j \frac{G_{ca}}{\sqrt{3}}$$

Superscript (ab), (bc), (ca) are used to indicate that the susceptances are needed to compensate phases ab, bc and ca. Subscript ab, bc and ca are shown reactive susceptances which are connected to the phases.

The three susceptances required to compensate a general unbalanced load, can be expressed in terms of the real and reactive parts of the load admittance, that is,

$$\begin{aligned} B_{ab}^{(c)} &= -jB_{ab} + j(G_{ac} - G_{bc})/\sqrt{3} \\ B_{bc}^{(c)} &= -jB_{bc} + j(G_{ab} - G_{ca})/\sqrt{3} \\ B_{ca}^{(c)} &= -jB_{ca} + j(G_{bc} - G_{ab})/\sqrt{3} \end{aligned} \quad (3)$$

This equation transforms any linear unbalanced reactive load into a balanced real load.

It is difficult to measure load admittances; therefore, it can be used symmetrical component analysis to determine compensator susceptances. The objectives of load compensation can be stated in terms of the symmetrical line current components as follows:

- Eliminate the negative sequence components (balancing).
- Eliminate the reactive part of the positive sequence components

The compensation requirements can be formulated mathematically as follows:

$$\begin{aligned} I_{a2} - I_{a2}^{(c)} &= 0 \\ \text{Im } I_{a1} - I_{a1}^{(c)} &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

I_{a1} and I_{a2} are positive and negative sequence components of line currents. $I_{a1}^{(c)}$ and $I_{a2}^{(c)}$ are positive and negative sequence components of compensators.

The symmetrical components analysis gives the susceptances in terms of complex line currents as follows:

$$\begin{aligned} B_{ab}^{(c)} &= -\frac{1}{3V} \text{Im } I_{a2} + \frac{1}{3V} \text{Re } I_{a2} - \frac{1}{3V} \text{Im } I_{a1} \\ B_{bc}^{(c)} &= \frac{2}{3V} \text{Im } I_{a2} - \frac{1}{3V} \text{Im } I_{a1} \\ B_{ca}^{(c)} &= -\frac{1}{3V} \text{Im } I_{a2} - \frac{1}{3V} \text{Re } I_{a2} - \frac{1}{3V} \text{Im } I_{a1} \end{aligned} \quad (5)$$

The results in (5) are the same as (3) but compensator suseptances are defined with respect to line currents and voltages.

The transmission network compensation requires a different approach than load compensation. It may not be possible or practical to measure the quantities that would meaningfully characterize the load. The primary interest at the terminal of a transmission line is generally the voltage. The objectives of compensation may be stated as follows:

- Eliminate the negative sequence voltage .
- Stabilize the positive sequence voltage at the terminal,

Mathematically this means that,

$$V_{a2} = 0 ,$$

$$V_{a1} = V = \text{constant} \quad (6)$$

The structure of the used static compensator is shown in figure 2. The basic components of the compensator are: A thyristor controlled inductance and fixed capacitor.

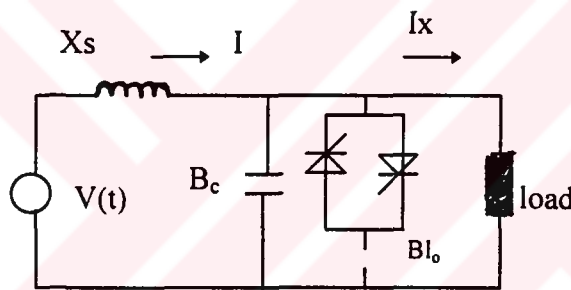


Figure 2. Static Reactive compensator

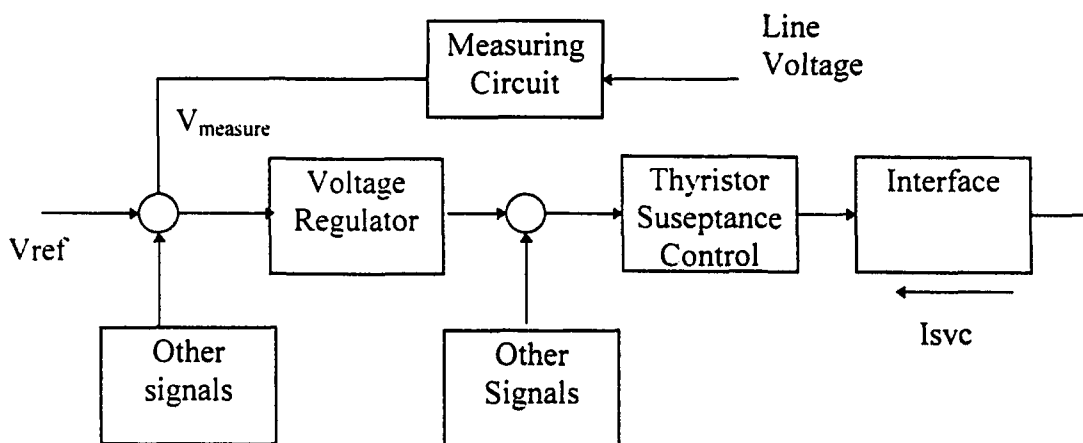


Figure 3. Control Block Diagram

A fixed capacitor thyristor controlled reactor type controlled reactor type VAR compensator is shown in figure 2. The current in the reactor and total compensating current is varied by changing angle control.

In the fifth chapter static VAR compensator control block diagram are presented (figure 3).

Software control technique is used to control static VAR compensator. When the firing delay of thyristors is changed from α to $\alpha + \Delta\alpha$ the effective susceptance will be changed from $B(\alpha)$ to $B(\alpha) + \Delta B(\alpha)$.

Figure 4 shows the modular organisation of the static TCR/FC compensator control system.

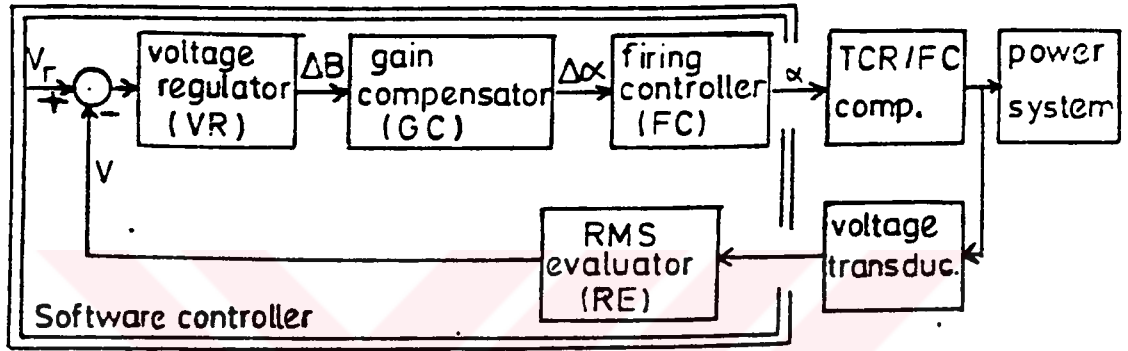


Figure 4. Software control module

The voltage transducer samples the voltage, N times per cycle $v(1), v(2), \dots, v(k), \dots, v(N)$ so that the RMS values can be computed by the software module,

$$V(1), V(2), \dots, V(k), \dots, V(N)$$

Assume that nominal and actual RMS values of a voltage are $V_r(k)$ and $V(k)$, then the error signal

$$V(k) = V_r(k) - V(k)$$

passes into the VR module. VR module is discrete PID control algorithm.

$$\Delta B(k) = (K_p + K_i T + K_d/T) \Delta V(k) - (K_p + 2K_d/T) \Delta V(k-1) + (K_d/T) \Delta V(k-2) \quad (7)$$

It computes $\Delta B(k)$ and $\Delta \alpha(k)$ is computed by (GC) module. FC module will add $\Delta \alpha(k)$ to α_j to find new firing angle α_{j+1} . α_j is the value of firing angle in the last control interval. Thus

$$\alpha_{j+1} = \alpha_j + \Delta \alpha(1) + \dots + \Delta \alpha(k) + \dots + \Delta \alpha(N) \quad (8)$$

This control algorithm can be examined on the single phase circuit where the load is only inductive and have only line reactance. The compensator is connected parallel to the load.



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Elektrik tesislerinde gerilim ve reaktif güç kontrolü önemli bir problemdir. Bu problem, ideal bir alternatif akım şebekesine sahip olabilmek için çözümlenmelidir. Elektrik tesislerinin ve yükün ihtiyacı olan reaktif gücün belli teknikler kullanılarak karşılanması reaktif güç kompanzasyonu olarak isimlendirilir. İdeal bir alternatif akım şebekesinin, her noktasında gerilim ve frekans sabit ve harmoniksiz olmalıdır. Ayrıca güç faktörü de 1 olmalıdır. Bir alternatif akım şebekesinin kalitesi beş ana ölçüt ile tanımlanabilir:

- Gerilim ve frekansın sabitliği
- Güç faktörünün bire yakınlığı
- Faz gerilim ve akımlarının dengeliliği
- Sürekli enerji verebilmesi
- Harmonik miktarının belirli sınırlar arasında kalması

Bu kaliteyi sağlamak için reaktif güç kompanzasyon cihazlarının kullanılması gerekir. Önceleri enerji üretimi için kullanılan senkron generatörlerde aktif güç yanında, uyarma akımı değiştirilerek yükün ihtiyacı olan reaktif güç temin edilebiliyordu. Şebekenin büyümesi ile yük sayısının artması ve generatörlerin yüklerden uzak noktalarda bulunması bu tip bir kontrolün ekonomik olmaması sonucunu ortaya çıkarmıştır. Çünkü kayıplar, iletim sistemi boyutlarını arttırmaktadır. 1940'lı yıllardan itibaren günümüzde de kullanılan senkron motorlar, küçük senkron kompanzatörler ve iletim sistemlerinde büyük senkron kompanzatörler gibi dinamik elemanlar kullanılmaya başlanmıştır. Yüksek gerilim hatlarının kurulmasıyla seri kapasiteler ve şönt reaktörler önemli kompanzasyon cihazları oldular.

Bir yükün hemen yanında kurulan tesisler, yük kompanzasyonu başlığı altında incelenir. Enerji iletim sistemlerindeki uygulamalar gerilim kontrolü başlığı altında incelenir. Yük kompanzasyonunda yükü karakterize eden akım ve gerilimler ölçülerek kompanzasyon yapılır. Enerji iletimde kompanzasyon sistemi empedans ya da akımları cinsinden gerçekleştirilemez. Enerji sistemine bir çok generatörler ve yükler bağlı olduğundan sistemin empedansları ve akımları her an değişmektedir. Sabit olması gereken tek büyüklük gerilimdir.

Tezde bölümlere göre izlenen yol aşağıda açıklanmıştır.

İkinci bölümde kompanzasyon tanımı ve gerekliliği anlatılarak reaktif güç kompanzasyonu için gerekli matematiksel bağıntılar verilmiştir.

Üçüncü bölümde tekil ve grup reaktif güç kompanzasyonu ayrıntılarıyla incelenmiştir.

Dördüncü bölümde enerji sisteminin reaktif güç ihtiyacının matematiksel olarak incelenmesi yapılmış bu ihtiyacı giderecek optimum kondansatör hesabı incelenmiştir. Buna ilişkin olarak bir bilgisayar programı hazırlanmış ve ekte verilmiştir.

Beşinci bölümde, kullanılan tristör kontrollü reaktörün güç elektroniği açısından genel incelenmesi yapılmış, sadece temel bileşen akımı göz önüne alınarak ve tristör kontrollü reaktör sabit kapasite ile birleştirilerek oluşan sistemin α ateşleme açısına bağlı olarak suseptans ifadeleri ve reaktif güç karakteristikleri çıkarılmaktadır. Tristör kontrollü reaktör ve sabit kapasiteden oluşan statik kompanzatörün yüksek frekanslarda ya da geçici olaylar sırasında suseptans değişimi incelenmektedir.

Altıncı bölümde, statikVar kompanzatörlerin modellenmesi için gerekli temel modeller verilmiş olup, seçilen kompanzatörün gerilim reaktif güç bağıntısı kullanılarak statik kompanzatörü kontrol etmek için uygulanan teknikler tanıtılmakta ve kompanzatörün kontrolü için yazılım kontrol modülü ve algoritması oluşturulmaktadır. Bir fazlı basit bir devrede gerilim değişimlerinde kontrol sisteminin harekete geçerek kompanzatör için gerekli işareti ürettiği gösterilmiştir.

BÖLÜM 2

REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU

2.1 KOMPANZASYONUN TANIMI VE GEREKLİLİĞİ

Kullanılan tüm elektriksel aygıtlar birer enerji dönüştürücüsüdür. Bu aygıtlar elektrik enerjisini, ısı, ışık, hareket gibi enerjilere dönüştürmekte ve dönüştürdükleri enerji ile bir iş yapmaktadırlar. Yapılan iş ile tüketilen aktif enerji arasında doğrudan bir ilişki vardır.

Reaktif enerji, elektrik ya da manyetik alan yaratan elektrikli aygıtlarca tüketilmektedir ve reaktif enerji olmadan bu aygıtlar işlevlerini yerine getiremezler, bir elektrik motoru dönmez, bir transformatör çalışmaz. Reaktif enerji doğrudan bir iş elde edilemese de çoğu elektrikli aygıtın çalışabilmesi için kaçınılmaz bir gereksinimdir. Ancak reaktif enerji gereksinimi, enerji sisteminin dışındaki kaynaklar ile de karşılanabilir. Reaktif enerjinin gereksinildiği yerde ve gereksinildiği miktarda üretilmesi " reaktif enerji kompanzasyonu " adıyla anılmaktadır. Bir başka deyişle yük kompanzasyonu, çeşitli karakteristiklerdeki yükleri besleyen elektrik şebekesinin geriliminin, güç faktörünün, sistemin dengeli olmasını, sürekli ve geçici hal durumunda uygun sınırlar dahilinde kalmasını sağlamak için gerekli olan gücün kontrol edilmesidir. Stasyonier işletmelerde bu gücün kontrolu artık bilinen bir konudur. Buna karşılık bazı sanayi dallarında modern teknolojinin uygulanması ile yeni sorunlar ortaya çıkmış ve özellikle hızlı değişen olaylarda reaktif güç kompanzasyonu tekrar söz konusu olmaktadır. Hızlı değişen olayların gözlendiği işletmeler haddehaneler, tahrik sistemleri, kaldırma makineleri, elektrikli ark ve kaynak makinalarıdır. Yük değişimlerinin kararsız olduğu bu tür uygulamalarda kompanzatör her türlü olumsuz etkene cevap verebilecek, biçimde uygun dizayn edilmiş olmalıdır.

Elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtım sistemleri oldukça büyük yatırımı

gerektirirler. Yapılan yatırımlardan en ekonomik biçimde yararlanılması ise kaynakların akılcı kullanımının bir gereğidir. Kurulu enerji sisteminden yararlanılarak maksimum işi elde etmek, ancak kurulu sistemden alınabilecek olan maksimum aktif enerji ile gerçekleştirilebilir. Oysa reaktif enerjinin sistemden karşılanması sistemden alınabilecek olan aktif enerjinin sınırlandırılmasına neden olacaktır. Enerji iletim hatlarında akan reaktif akım, hatlarda görünen akımın artmasına ve hatlarda aktif kayıpların büyümesine neden olmaktadır.

2.2 REAKTİF GÜÇ ÜRETİMİ

Reaktif güç ihtiyacını karşılamak için reaktif gücün bir yerde üretilmesi gerekir. Bunun için en eski ve en klasik yol, aktif güç gibi reaktif gücün de senkron generatör tarafından üretilmesidir. Reaktif güç üretimi, aktif güç gibi, santralde su kuvveti, akaryakıt, kömür ve benzeri ham enerji maddesinin sarfını gerektirmez; sadece generatör uyarmasının artırılması ile generatör endüktif reaktif güç verecek duruma getirilir. Böylece santralde üretilen reaktif güç, generatör, transformatör ve enerji nakil hatlarından geçerek tüketiciye ulaşır. Bu 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 yararlanmak ve ekonomik bir işletme sağlamak amacıyla reaktif gücün santralde değil de tüketim merkezlerinde üretilmesi en uygun ve ekonomik yoldur.

Reaktif güç üretimi için iki işletme aracından yararlanılabilir:

- Dinamik faz kaydırıcılar
- Kondansatörler.

2.2.1 Dinamik Faz Kaydırıcılar

Reaktif güç üretiminde kullanılan dinamik faz kaydırıcılarının başında aşırı uyarılmış senkron makineler gelir. Genel olarak santrallerden gelen enerji nakil

hatlarının sonunda ve tüketim merkezlerinin başında şebekeye bir senkron makine paralel bağlanır ve bölgenin reaktif güç ihtiyacı bu makine tarafından sağlanır.

Şebekeye bağlanan senkron makine, şebekeden boşa çalışma kayıplarını karşılayacak kadar az bir aktif güç çeker ve şebekeye istenen reaktif gücü vererek bir reaktif güç üretici (generatörü) olarak çalışır ve bu esnada bunun ayrıca tahrik edilmesine de gerek yoktur. Senkron faz kaydırıcıların kayıpları kondansatörlere göre daha yüksek olduğu gibi bunların devamlı bir bakıma ihtiyacı vardır. Ayrıca bunların güçleri çok büyük olduğu taktirde bunların ekonomik olarak inşası ve temini mümkün olur. Bundan başka bu gibi üreticiler bir tüketim merkezinin civarına yerleştirildiğinden, sadece generatörler ve yüksek gerilim enerji hatları ile buna ait transformatörler reaktif güçten kurtarıldıkları halde tüketim merkezlerine ait bir veya iki kademeli orta gerilim şebekeleri ile alçak gerilimli dağıtım şebekesi reaktif güç nakletmek zorunda kalırlar. Bu yüzden dinamik faz kaydırıcılar bugün ancak özel hallerde ve ekonomik şartların gerçekleştiği yerlerde kullanılırlar.

2.2.2 Kondansatörler

Reaktif güç üretiminde statik faz kaydırıcıda adı verilen kondansatörlerin üstünlükleri sayılamıyacak kadar çoktur. Bir kere kondansatörlerin kayıpları çok düşük olup nominal güçlerinin % 0.5 'inin altındadır; bakım masrafları yok denecek kadar küçüktür. Ayrıca kondansatörler ile istenen her güçte reaktif güç kaynağı teşkil edilebildiği gibi bunları tüketicilerin yanlarına kadar götürüp hemen bunların uçlarına bağlamak ve böylece orta ve alçak gerilim şebekelerini de reaktif gücün yükü altından kurtarmak mümkün olur. Onun için kondansatörler kompanzasyon için en uygun araçtır.

Kondansatörler bugün enerji tesislerinde gittikçe artan bir önem kazanmıştır. Kondansatörlerin beher kvar başına maliyet bedelleri, orta büyüklükteki senkron kompanzatörlerinkinden daha düşük olduğu gibi, bu fiyatta büyük bir artış olmadan bunların her güçte imalı mümkündür. Kondansatörlerin tesisi kolaydır ve icabında kolaylıkla genişletilerek bunun gücü artırılabilir. Ayrıca bunlarda tüketici ihtiyacına göre, rahat bir şekilde güç ayarı yapılabilir. Kondansatörlerin işletme emniyeti çok büyüktür, ömürleri uzundur, bakımları kolay ve basittir. Bunların yerleştirilecekleri

yerlerde hemen hemen hiç bir özellik aranmadığından yer temininde bir sorun yaratmaz. Gerekli kapasiteyi temin maksatı birçok kondansatör elemanı bir araya getirilerek istenen değerde bir grup teşkil edilebilir. Bir arıza halinde zarar gören bir eleman gayet kısa zamanda teşhis edilip az bir masrafla yenisi ile değiştirilerek, işletmeye fazla ara vermeden tamir yapılmış olur.

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

2.3 REAKTİF GÜÇ TÜKETİCİLERİ

Reaktif güç sarfıyatı bakımından iki ana gruba ayırmak mümkündür. Bunlardan birincisi sadece ısı enerjisi üreten tüketiciler ile akkor flamanlı lambalar, elektroliz ve galvanoplasti tesisleridir. Bunlar sadece aktif güç tüketirler. İkinci grub ise manyetik veya statik alan ile çalışan bütün işletme araçlarıdır. Bunlar aktif güç yanında reaktif güçte çekerler.

Endüstride kompanzasyonu gerektiren en önemli yükler şunlardır ;

- Asenkron motorlar
- Bobinler
- Darbeli büyük güç ile çalışan yüksek enerji fizik tesisatı
- Düşük uyarmalı senkron makinalar
- Endüksiyon kaynak makinaları
- Elektrik ark ocakları
- Endüksiyon Fırınları
- Havai hatlar
- Haddehaneler
- Haddehanelerin elektrik tesisatı
- Kaynak makinaları
- Lamba balastları
- Redresörler
- Senkron Motorlar
- Transformatörler

Bu yükler işletmede lineer olmayan özellik gösterirler ki harmonik üretirler, darbeleri çalışırlar. Bu tip yüklerde reaktif güçlerde değişme çok hızlı birkaç periyot ve reaktif güç ihtiyacı da büyük değerler arasında değişir. Bu durumlarda kullanılan kompanzatör çok kısa bir zamanda gerekli reaktif gücü verebilmelidir. En uygun kompanzatör tipi ise tristör kontrollü statik kompanzatörlerdir.

2.4 MATEMATİKSEL İFADELER VE TANIMLAR

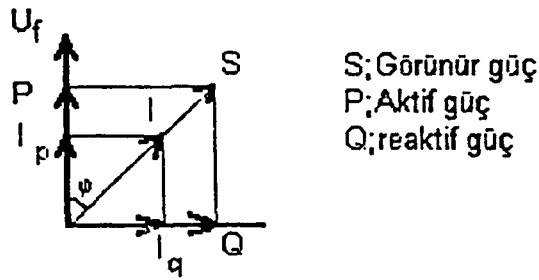
2.4.1 Reaktif Güç ve Gerilim Arasındaki İlişki

Bir tüketicinin şebekeden çektiği zahiri güç

$$S = \sqrt{3} U_h . I \quad (2.1)$$

formülü ile bulunabilir. Aktif güç ile aktif akım, gerilim ile aynı fazda oldukları halde, çekilen gücün endüktif olması halinde, S görünür gücü ve I hat akımı, gerilimden ϕ açısı kadar geride kalırlar.

Şekil 2.1'de akım, gerilim ve güçlerin birbirine göre durumları fazör diyagramı olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Fazör diyagramı

S : Görünür güç

P : Aktif güç

Q : Reaktif güç

U_f : Faz gerilimi

I_q : Reaktif akım

I_p : Aktif akım

U_h : Hat gerilimi

I : Hat akımı

φ : Faz açısı

olmak üzere güç ifadesi için denklemler aşağıdaki şekildedir.

$$S = P + jQ \quad (2.2)$$

$$S = 3 \cdot U \cdot I = \sqrt{3} \cdot U_h \cdot I \quad (2.3)$$

$$I_p = I \cos \varphi \quad (2.4)$$

$$I_q = I \sin \varphi \quad (2.5)$$

$$P = S \cos \varphi \quad (2.6)$$

$$Q = S \sin \varphi \quad (2.7)$$

$$I = \sqrt{I_p^2 + I_q^2} \quad (2.8)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.9)$$

Faz gerilimi doğrultusundaki I_p akımı (veya P aktif gücü) ile I hat akımı (veya S zahiri gücü) arasındaki φ açısına faz açısı ve bunun cosinüsüne güç katsayısı denir ve $\cos \varphi$ ile gösterilir.

2.4.2 Kondansatörlerin Hesabı

Kondansatörler alternatif akım şebekelerinde bir reaktans gibi davranırlar. Şekil 2.2a 'de bir fazlı kondansatörün bağlama şeması ve Şekil 2.2b'de fazör diyagramı gösterilmektedir. Ohm cinsinden kapasitif reaktans ;

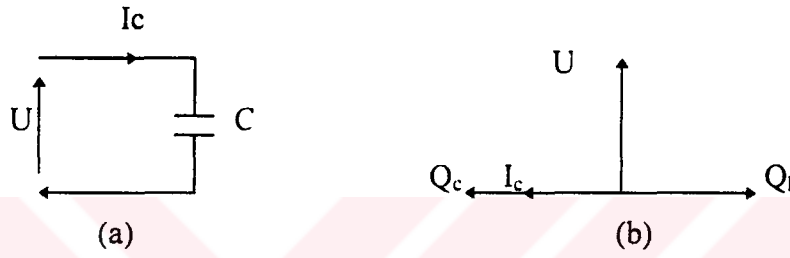
$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad (2.10)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (2.11)$$

olup C Farad cinsinden kondansatörün kapasitesi ve ω ise dairesel frekanstır. Ohm kanununa göre bağlanan bir kondansatörün çektiği I_c kapasitif akım,

$$I_c = \frac{U}{X_c} = U\omega C \quad (2.12)$$

formülü ile bulunur. Bu akım U gerilimine göre 90° öndedir. Buna göre şebekeye bağlı bir kondansatörün, şebekeden kapasitif bir akım çekmesi şebekeye endüktif akım vermesine eşdeğerdir. Kondansatörün bu özelliği onun statik kompanzasyon elemanı olarak kullanılmasına neden olan yanıdır



Şekil 2.2 Bir fazlı kondansatörün bağlama şeması ve fazör diyagramı

(a) Bağlama şeması

(b) Fazör diyagramı

U = Gerilim

I_c = Kapasitif akım

C = Kapasite

$$Q = U \cdot I_c \quad (2.13)$$

(2.11)'deki eşitlik (2.12)'de yerine yazılırsa kondansatör gücü

$$Q = U \cdot U \cdot \omega \cdot C = U^2 \cdot \omega \cdot C \quad (2.14)$$

elde edilir. Eşitlik (2.13)'de U gerilimini yerine $\frac{I_c}{\omega \cdot C}$ eşiti yerine konursa kondansatör gücü akıma bağlı olarak

$$Q_c = \frac{I^2}{\omega \cdot C} \quad (2.15)$$

olarak bulunur.

Q_c kapasitif reaktif güç, endüktif reaktif güce göre 180° ileridedir, yani her iki reaktif güç aynı doğrultuda fakat ters yöndedirler. Böylece kapasitif gücün, endüktif gücü götürerek kompanzasyonu gerçekleştirdiği kolayca anlaşılır.

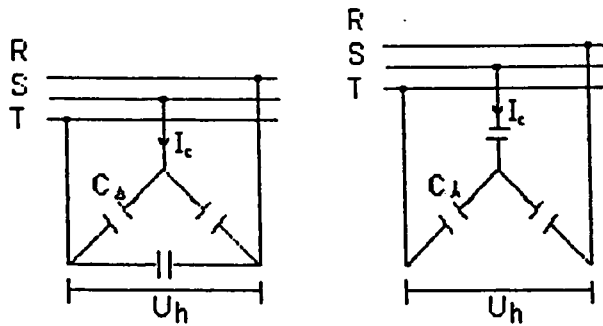
Üç fazlı alternatif akım tesislerinde kondansatörler şebekeye veya tüketici uçlarına üçgen veya yıldız olarak bağlanabilirler. Üçgen bağlamada her iki hat arasındaki kondansatörün kapasitesi C_∇ ile ve yıldız bağlamada ise C_λ ile gösterilirse, üçgen bağlama için ;

$$Q_c = 3 U_h^2 \omega C_\nabla = \sqrt{3} U_h I_c = \frac{I_c^2}{\omega \cdot C_\Delta} \quad (2.16)$$

yıldız bağlama için :

$$Q_c = U_h^2 \omega C_\lambda = \sqrt{3} U_h I_c = \frac{3 I_c^2}{\omega \cdot C_\lambda} \quad (2.17)$$

olarak bulunur.



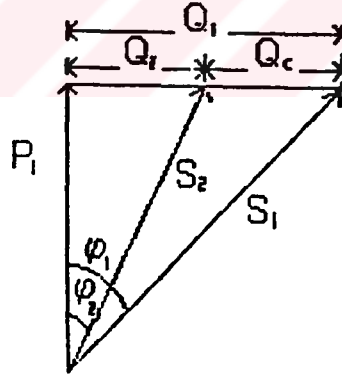
Şekil 2.3 Üç fazlı alternatif akım şebekesinde kondansatörlerin üçgen ve yıldız bağlanması

Her iki sisteminde Q_c gücünün eşit olduğu kabul olunursa $C_\lambda = 3 C_\Delta$ bulunur. Buradan çıkan sonuç şudur: Yıldız bağlamada her bir faza bağlanan kondansatörün kapasitesi, üçgen bağlamada kondansatör kapasitesinin, üç katına eşittir. Yıldız bağlamada C_λ kondansatörünün uçlarına faz nötr gerilimi uygulandığı halde üçgen bağlamada C_Δ kondansatörünün uçlarına $\sqrt{3}$ kadar daha büyük olan hat gerilimi uygulanır. Faz ve hat gerilimleri arasındaki farkın izolasyon bakımından çok önemli olmadığı alçak gerilim tesislerinde üçgen bağlama, yıldız bağlamaya göre 1/3 oranında daha ucuzdur. Onun için ekonomik sebeplerden dolayı kondansatörlerin üçgen bağlamaları tercih olunur.

2.4.3 Reaktif Güç İhtiyacının Tespit Edilmesi

Bir tesisin veya tüketicinin reaktif güç ihtiyacının tespiti için şebekeden çekilen S_1 gücü ve buna ait $\cos \varphi_1$ ile yeni güç faktörü $\cos \varphi_2$ değerinin bilinmesi gereklidir. Reaktif gücü veya kondansatör gücünü hesaplamak için iki yol vardır.

1- P_1 gücünün sabit olması hali : Bu durumda Şekil 2.4a 'da görüldüğü gibi sistemden çekilen görünür güç azalır.



Şekil 2.4a Görünür gücün azaltılması

Kompanzasyondan önceki reaktif güç

$$Q_1 = P_1 \tan \varphi_1 \quad (2.18)$$

kompanzasyondan sonraki reaktif güç

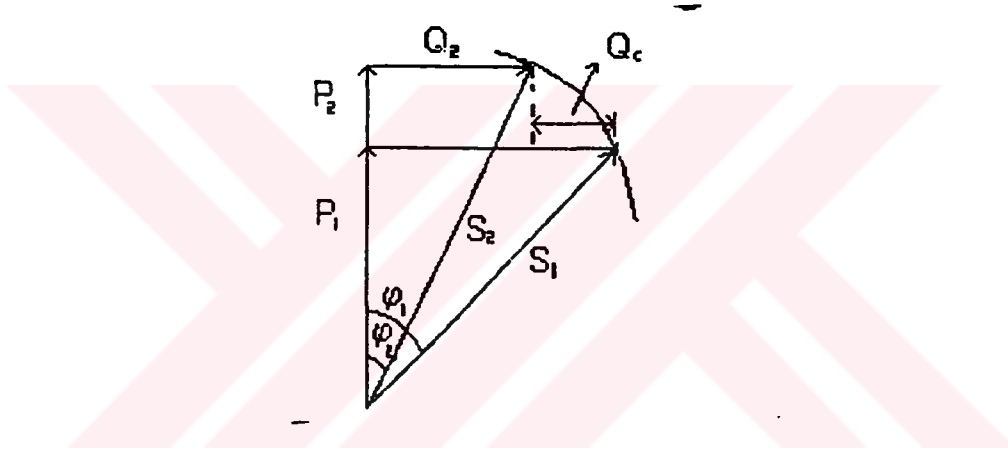
$$Q_2 = P_1 \cdot \tan \varphi_2 \quad (2.19)$$

olduğuna göre gerekli kondansatör gücü

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P_1 (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (2.20)$$

olarak bulunur.

2-S1= görünür gücünün sabit kalması : Bu durumda Şekil 2.4b'de görüldüğü gibi sistemden çekilen aktif güç artırılır.



Şekil 2.4b Aktif gücün artırılması

Kompanzasyondan önceki reaktif güç

$$Q_1 = S_1 \cdot \sin \varphi_1 \quad (2.21)$$

kompanzasyondan sonraki reaktif güç

$$Q_2 = S_1 \cdot \sin \varphi_2 \quad (2.22)$$

olmak üzere gerekli kondansatör gücü

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = S_1 (\sin\phi_1 - \sin\phi_2) \quad (2.23)$$

olarak bulunur. Bu durumda aktif güçteki artma ise

$$P_2 - P_1 = S_1 (\cos\phi_2 - \cos\phi_1) \quad (2.24)$$

kadar olacaktır.

Yukarıda verilen formüllerden de görüleceği gibi bir işletmede gerekli kondansatör gücünü hesaplayabilmek için görünür aktif ve reaktif güçlerden herhangi ikisinin ya da bunlardan biri ile güç katsayısının bilinmesi gerekir.

Proje aşamasındaki bir tesiste tüketicilerin etiket değerleri, verimleri ve eş zamanlılık katsayısı (aynı anda devreye alınacak tüketicilerin yüzde oranı) yardımı ile hesap yapılabilir. Bir örnek olarak, güç katsayısı 0,7 olarak bulunan ve 0,9'a yükseltmek istenen böyle bir tesiste gerekli kondansatör gücü, sürekli çekilen aktif gücün (verim ve eş zamanlılık gözönüne alınarak) yaklaşık % 50' si kadardır

2.4.4 Kompanzasyon Tesisinin Ekonomik Hesabı

Bir tesiste tüketiciler, şebekeden aktif enerji yanında reaktif enerji çekerler. Genellikle aboneler elektrik idaresine, belirli bir birim fiyata ve tarife göre çektikleri aktif enerjinin karşılığı bir parayı ödedikleri gibi, başka bir fiyat tarifesine göre de reaktif enerji tüketiminin bedeline karşılırlar.

Aboneler aktif enerjiyi şebekeden çekmek zorundadırlar. fakat reaktif enerjiyi, gerekirse kendileri de üretebilirler. Söz konusu işletmede uygun bir kondansatör tesisi kurmakla, gerekli reaktif enerji ihtiyacının daha ucuz bir fiyatla üretilmesi mümkündür.

Reaktif enerjinin abone tarafından üretilmesinin daha ucuza mal olacağı, aşağıda açıklanacaktır.

Toplam aktif gücü P (kw) olan bir işletmede bir yılda elektrik idaresi tarafından fatura edilen reaktif enerji miktarı A_q (kvarh) dir. Reaktif enerji fiyatı f_q (TL/kvarh) olup bir yılda ödenen reaktif enerji bedeli

$$M_q = f_q \cdot A_q \quad (\text{TL}) \quad (2.25)$$

dır. Burada bir yılda çekilen en büyük reaktif güç $Q_{\max}$ (kvar) dır. Düzenlenmiş yıllık reaktif yük eğrisine göre işletme süresi h_q (saat) dir. (Böyle bir kuruluştaki yıllık işletme süresi, ortalama 4000 - 5000 saat arasında değerler alır.) Buna göre bir yılda sarfedilen toplam reaktif enerji

$$A_q = Q_{\max} h_q \quad (\text{kvarh}) \quad (2.26)$$

dir. Burada güç katsayısı $\cos \varphi_1$ ' dir. Bu değer basit ölçümlerle ve basit hesaplarla tespit edilebilir. Genellikle güç katsayısı 0.6 - 0.7 gibi değerler alır. Bu işletmede kompanzasyon tesisi yapılarak güç katsayısının $\cos \varphi_2 = 0.9$ değerine çıkarılması istenmektedir. Gerekli kondansatör gücü :

$$Q_c = P (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (\text{kvar})$$

veya

$$Q_c = Q_{\max} \frac{\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2}{\tan \varphi_1} \quad (\text{kvar})$$

değerindedir.

Komple kompanzasyon tesisatının birim fiyatı f_c ise, tesisin toplam maliyet bedeli

$$S_c = Q_c \cdot f_c \quad (\text{TL}) \quad (2.27)$$

dir. Kompanzasyon tesisi için S_c tutarında bir yatırım yapıldıktan sonra ,birinci yılda M_q reaktif enerji bedelinin ödenmesine artık gerek kalmaz. Genellikle $S_c > M_q$

olduğundan, bunu takip eden n yıl sonra tasarruf edilen nM_q değeri ile S_c bedeli karşılanacağından $nM_q=S_c$ olur ve böylece n süresi

$$n = \frac{S_c}{M_q} \quad (2.28)$$

ifadesi ile belirlenir.

Genellikle elde edilen bilgi ve tecrübelerle göre n süresi en çok 2 yıl gibi bir değer alır. Birçok hallerde ise bir yıl hatta daha kısa bir süre içinde artık elektrik idaresine ödenmeyen nM_q ' lar ile yapılan yatırımlar karşılanır olur.

Ancak S_c tutarındaki sermaye yatırımının her yıl ödenmesi gereken

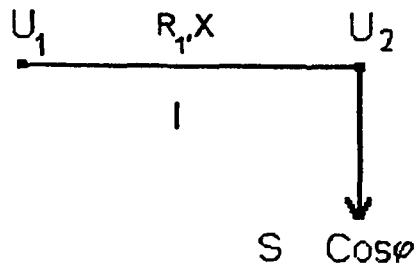
$$m = p \cdot S_c \quad (2.29)$$

gibi sabit bir masrafı vardır. Buda sermayenin yüzdesi olarak ifade edilen faiz, amortisman, tamir, bakım ve idari masrafları gösteren p ' nin S_c yatırım bedeli ile çarpılmasından elde edilir. Sabit masraflar kondansatör tesisinin ömür süresi olan yaklaşık 20 yıl boyunca ödenir. Ancak bunun yıllık tutarı , her yıl ödenmesi gereken reaktif enerji bedelinin % 1' i kadardır.

Yukardaki hesaplarda, kompanzasyon tesislerinde meydana gelen enerji kayıpları ihmal edilmiştir.

2.5 REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONUNUN ŞEBEKE VE TÜKETİCİ AÇISINDAN FAYDALARI

Hesaplarda kullanılmak üzere Şekil 2.5 'deki hat ile bu hattın sonunda beslenen tüketici örnek olarak alınmış olsun.



Şekil 2.5 Hattın sonundan beslenen bir tüketici

R: Hattın ohmik direnci

X: Hattın reaktif direnci

U_1 : Hattın başındaki faz gerilimi

U_2 : Hattın sonundaki faz gerilimi

S: Hattın sonundan çekilen görünür güç

$\cos\phi$: güç faktörü

olmak üzere

2.5.1 Şebeke Açısından Faydalar

Güç katsayısının düzeltilmesi ile üretim, iletim ve dağıtım tesislerinde hissedilir derecede bir rahatlama meydana gelir. Bunu üç madde halinde gözlemek mümkündür.

1-Şebekenin güç kapasitesi artar:

Hattan çekilen P aktif gücün sabit kalması halinde;

Kompanzasyondan önce çekilen görünür güç;

$$S_1 = \frac{P_1}{\cos\phi_1} \quad (2.30)$$

Kompanzasyondan sonra çekilen görünür güç

$$S_2 = \frac{P_1}{\cos\phi_2} \quad (2.31)$$

olur. Buna göre ikisi arasındaki fark

$$\Delta S = S_1 - S_2 \quad (2.32)$$

Kompanzasyondan önceki değere oranı :

$$\% \Delta V = \frac{\Delta S}{S_1} 100 = 100 \left(1 - \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \right) \quad (2.33)$$

olarak elde edilir. Bu formüle göre kompanzasyon sayesinde tesisin yükü % ΔS oranında azalır ya da gerekirse tesisi aşırı yüklenmeden % ΔS oranında yeni bir tüketicinin beslenmesi mümkün olur.

Hat sonunda hattın çekilen görünür gücün sabit kalması halinde:
kompanzasyondan önce çekilen aktif güç

$$P_1 = S_1 \cos \varphi_1 \quad (2.34)$$

kompanzasyondan sonra çekilen aktif güç

$$P_2 = S_1 \cos \varphi_2 \quad (2.35)$$

olmak üzere aralarındaki fark

$$\Delta P = P_2 - P_1 \quad (2.36)$$

dir. Bu değer kompanzasyondan önceki değere oranı

$$\% \Delta P = \frac{\Delta P}{P_1} 100 = 100 \left(\frac{\cos \varphi_2}{\cos \varphi_1} - 1 \right) \quad (2.37)$$

şeklindedir.

2-Şebekenin ısı kayıpları azalır :

Sistem enerji kayıplarının azaltılması kompanzatör tesisi kurmak için yeterli bir neden değilse de, buda önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Genellikle endüstriyel ve iç dağıtım sistemlerinde, $I^2 R_L$ enerji kayıpları puant ve minimum yük saatlerinde iletken kesitlerine ve uzunluklarına bağlı olarak toplam

kullanılan enerjinin %2.5-7.5 arasında bir değeri oluşturmaktadır. Kayıplar akımın karesine akımda güç faktörüne doğrudan bağlı olduğundan, dolayısıyla kayıplar güç faktörünün karesinin tersi ile orantılıdır. kW kayıplar ve kayıplardaki azalma oranı aşağıdaki gibi ifade edilir:

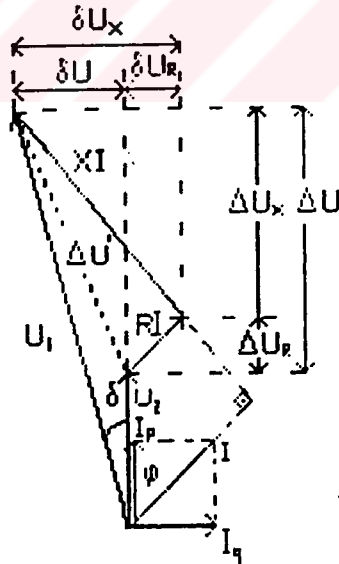
$$kW \text{ kayıplar} \propto (\text{orjinal güç faktörü} / \text{düzeltilmiş güç faktörü})^2 \quad (2.38)$$

$$\text{kayıplardaki azalma oranı} = 1 - \left(\frac{\text{orjinal güç faktörü}}{\text{düzeltilmiş güç faktörü}} \right) \quad (2.39)$$

Eğer güç faktörü düzeltilecek sistem kapasitesinde bir artış getirilip kullanılmışsa, kVA değeri her iki durumda da aynı kalacağından sistemdeki kayıplarda bir değişiklik olmayacak fakat aktif gücün büyümesi ile % kayıplar azalacaktır.

3- Gerilim düşümü azalır:

Güç sistemlerinde gerilim kontrolü ilk aşamada generatörler ve transformatörler kademeleri ile yapılmalıdır, eğer bunlar yetersiz ise güç faktörü kompanzasyonuna gidilmelidir. Şekil 2.6' da boyuna ve enine gerilim düşümleri gösterilmektedir.



Şekil 2.6 Endüktif bir tüketicinin boyuna ve enine gerilim düşümleri

Yukardaki fazör diyagramından şu denklemler yazılabilir :

ΔU = Boyuna gerilim düşümü

$$\Delta U = U_1 - U_2 \quad (2.40)$$

$$\Delta U = \Delta U_R + \Delta U_x \quad (2.41)$$

$$\Delta U = R I \cos \varphi + X I \sin \varphi \quad (2.42)$$

$$\Delta U = R I_p + X I_q \quad (2.43)$$

δU = Enine gerilim düşümü

$$\delta U = \delta U_R - \delta U_x \quad (2.44)$$

$$\delta U = X I \cos \varphi - R I \sin \varphi \quad (2.45)$$

$$\delta U = X I_p - R I_q \quad (2.46)$$

Hat üzerinde çekilen p aktif gücünün sabit kaldığı kabul edilirse;

$$\%P_z = 100 \frac{3 \cdot I^2 \cdot R^2}{P} \quad (2.47)$$

$$\%\varepsilon = \% \frac{\Delta U}{U} = 100 \left(\frac{I \cdot R \cdot \cos \varphi}{U} + \frac{I \cdot X \sin \varphi}{U} \right) \quad (2.48)$$

şeklinde yazılır. Bu eşitlikteki birinci terimde U yerine ; $U = P / I \cos \varphi$ ikinci terimde I yerine $I = P / U \cos \varphi$ konursa bağıl gerilim düşümü;

$$\%\varepsilon = 100 \left(P_z \cos^2 \varphi + \frac{P \cdot X \tan \varphi}{U^2} \right) \quad (2.49)$$

olarak elde edilir.

2.5.2 Tüketici Açısından Faydalar

Bir işletmede tüketicilerin şebekeden çektikleri reaktif enerji bedeli normal şartlar altında reaktif enerji tarifesine göre ödenir. Fakat, işletmede güç katsayısı 0.9 olacak şekilde bir kompanzasyon tesisi kurulursa, elektrik idaresine hiç bir reaktif enerji bedeli ödenmez, fakat buna karşılık kompanzasyon tesisi için ilave bir yatırım yapmak gerekir. İşletmenin cinsine ve başlangıçtaki güç katsayısına göre karşılaştırma hesabı yaparak hangi işletme şeklinin daha ekonomik olduğu tespit edilir.

BÖLÜM 3

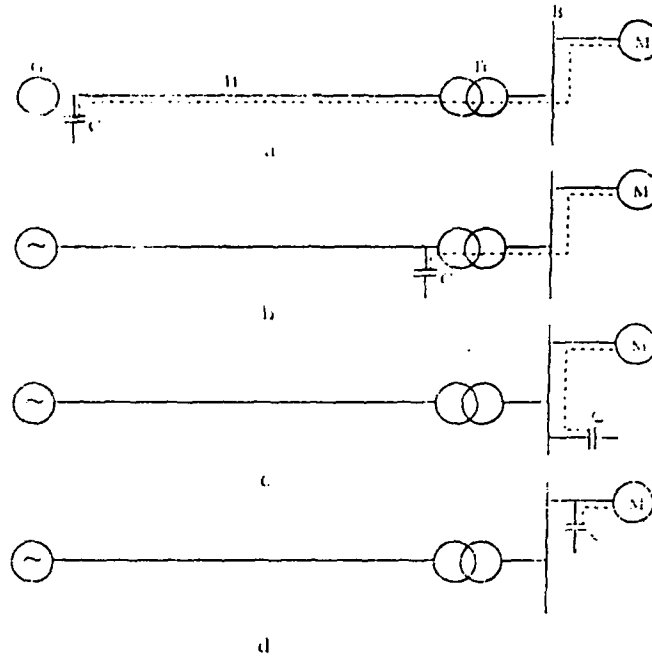
KOMPAZASYON TESİSİNİN DÜZENLENMESİ

Kondansatörlerin kullanılacakları yerlere göre tertiplenme şekillerinde önemi büyüktür. Kondansatör tesislerinden en büyük yararlanmayı sağlamak amacıyla, bunların yapacakları göreve göre tesis yerinin ve bağlama şeklinin uygun bir tarzda seçilmesi gerekir. Kompanzasyon için kullanılan kondansatörlerin yerleştirilmeleri bakımından uygun yerin seçilmesi için Şekil 3.1'de bir örnek verilmiştir. Burada bir B barasına bağlı bir M kuvvet tüketicisinin, Tr transformatörü ve H besleme hattı üzerinden bir santraldeki G generatörü tarafından beslendiği kabul edilmiştir.

Şekil 3.1a'da hiçbir kompanzasyon tesisi ön görülmemiştir: tüketicinin ihtiyacı olan P aktif gücü (dolu çizgi) ile Q reaktif gücü (kesik çizgi) generatör tarafından üretilir. Şu halde reaktif güç santralde üretildiğini işaret etmek için generatörün yanına bir kondansatör paralel bağlanmıştır. Şekil 3.1b 'de kompanzasyon tesisi transformatörün yüksek gerilim tarafına bağlanmıştır ; Bu durumda her ne kadar generatör ve besleme hattı reaktif güçten kurtulmuş ise de transformatör hala reaktif akımla yüklenmektedir. Şekil 3.1c 'de kondansatör alçak gerilim barasına yerleştirilmiştir ve son olarak Şekil 3.1d 'de kondansatör doğrudan doğruya tüketici ucuna bağlanarak tesis reaktif akımdan kurtarılmıştır.

Buradan elde edilen sonuca göre, kondansatörün bağlanacağı en uygun yerin, kompanzasyonu yapılacak tüketicinin hemen yanı olduğu görülür.

Bu nedenden dolayı şu noktaya değinmekte fayda vardır: Belirli bir kondansatör gücü elde etmek için Şekil 3.1 b ve Şekil 3.1 c'de işaret edildiği gibi, yüksek veya alçak gerilim tesisine bağlı olan kondansatörlerin izolasyon özellikleri farklı olacağı gibi bunların kapasiteleri de farklı olur.



Şekil 3.1 Kompanzasyon tesisi için en uygun yerin seçilmesi

- (a)kompanzasyon tesisi yoktur,
- (b)kondansatör yüksek gerilim tarafına bağlanmıştır,
- (c)kondansatör alçak gerilim tarafına bağlanmıştır,
- (d)kondansatör tüketicinin uçlarına bağlanmıştır.

Bilindiği gibi, transformatörün primer tarafındaki empedansın sekonder tarafındaki empedansa oranı, transformatörün çevirme oranının karesine eşittir :

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \bar{u}^2 \quad (3.1)$$

Buna göre transformatörün primer tarafına yerleştirilecek olan kondansatörün kapasitesi C_1 ve aynı işi yapmak için sekonder tarafa yerleştirilen kondansatör kapasitesi C_2 ise

$$\frac{C_2}{C_1} = \bar{u}^2 \quad (3.2)$$

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

3.1 TEKİL KOMPAZASYON

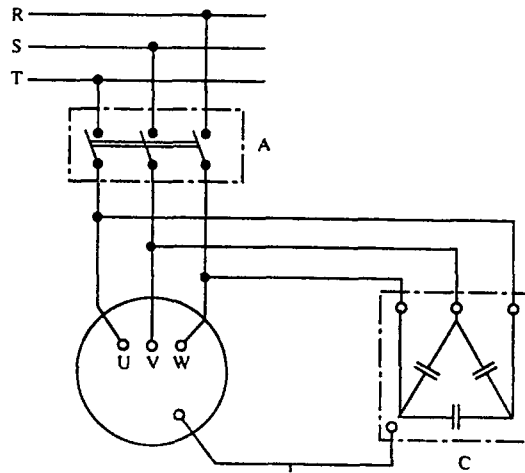
Devamlı olarak işletmede bulunan oldukça büyük güçlü tüketicilerin reaktif güç ihtiyacını temin etmek için kondansatörler tüketicinin uçlarına doğrudan doğruya paralel bağlanırlar ve müşterek bir anahtar üzerinden tüketici ile işletmeye sokulup çıkartılırlar.

Aşağıda en önemli tüketicilerin kompanzasyonu açıklanacaktır.

3.1.1 Asenkron Motor

Asenkron motor manyetik alanın üretilmesi için endüktif reaktif güç çeker. Motorların çektikleri reaktif güç, motorun nominal gücüne ve dönme sayısına bağlıdır; yani verilen belirli bir güçte, düşük devirli motorlar, daha yüksek mıknatıslanma akımı çekerler. Boşta çalışan motorlar ise, şebekeden hemen hemen yalnız mıknatıslanma akımı çeker. Buna göre genellikle düşük devirli motorların güç katsayıları da daha düşüktür.

Asenkron motorların kompanzasyonu için kondansatörler, motora paralel bağlanırlar. Şekil 3.2'de kısa devre rotorlu direk yol alan bir asenkron motorun bireysel kompanzasyon bağlaması gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Şebekeye bağlanan kısadevre rotorlu bir asenkron motorun bireysel kompanzasyonu

Bir asenkron motorun bireysel kompanzasyonu için gerekli kondansatör gücü motorun boşa çalışma mıknatıslama gücünün yaklaşık % 90'nına eşittir:

$$Q_c = 0.9 \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_0 \quad (3.3)$$

Burada I_0 motorun boşa çalışma akımıdır. Eğer I_0 akımının ölçülmesi mümkün olmaz ise bunun yerine motorun plaka değerleri yardımıyla Q_c yaklaşık olarak bulunabilir :

$$Q_c = 0.9 \frac{P_N}{\eta} \left(\frac{1 - \cos \varphi_N}{\cos \varphi_N \sin \varphi_N} \right) \quad (3.4)$$

Burada

P_N Motorun nominal aktif gücü , (mildeki güç)

η Motorun verimi,

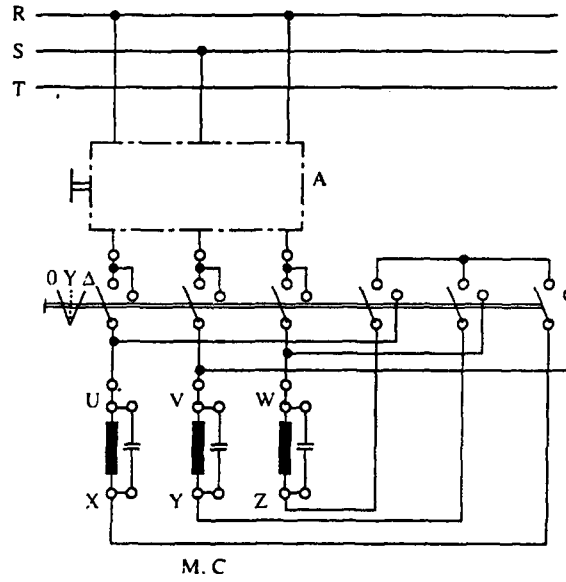
$\cos \varphi_N$ Motorun nominal güçte güç katasayısıdır.

Tablo 3.1 'de asenkron motorların nominal güçlerine göre gerekli kompanzasyon kondansatörlerin değerleri verilmiştir.

Tablo 3.1 Asenkron motorların nominal güçlerine göre kondansatör değerleri

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

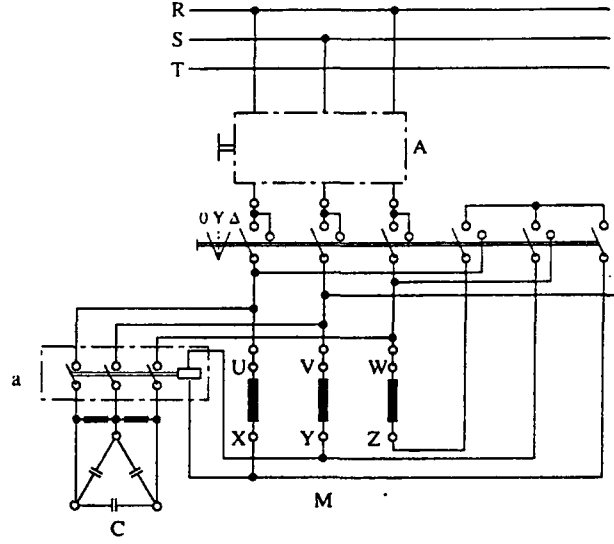
Yıldız - üçgen anahtarları ile yol verilen asenkron motorlara ait kondansatörler, motor sargılarının uçlarına paralel bağlanırlar. Şekil 3.2 'de kondansatörlerde motor sargıları ile birlikte devreye sokulup çıkarılırlar.



Şekil 3.3 Normal yıldız üçgen anahtarları ile yol alan asenkron motorun kompanzasyonu

Yıldız üçgen anahtarlar ile yol verilen kompanzasyon kondansatörleri ile donatılan motorlarda şu şekilde tehlikeli bir olayda baş gösterebilir: Yıldız bağlama durumunda şebekeye bağlanan motorun uçlarında kondansatörler dolmuş durumda iken üçgen bağlamaya geçme esnasında çok kısa süreli olarak şebekeden ayrılırlar ve üçgen durumunda fazları ters olarak yeniden şebekeye bağlanırlar. Bu nun sonucu büyük dengeleme akımları geçer. Bu da motorun, kondansatörün, ve bağlama elemanlarının aşırı zorlanmasına yol açar. Uygun kontaktör kombinasyonları kullanmakla bu gibi olaylar önlenir. Kondansatörlerle donatılan asenkron motorlarda baş gösteren ve arzu edilmeyen başka bir olayda kendi kendini uyarmadır.

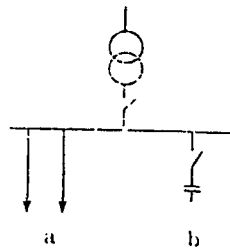
Yukardaki sakıncaları ortadan kaldırmak için kondansatörler Şekil 3.4 de gösterildiği gibi, motor üçgen bağlandıktan sonra ayrı bir anahtar üzerinden sargı uçlarına paralel bağlanır.



Şekil 3.4 Yıldız üçgen anahtarı ile yol alan asenkron motora üçgen konumunda kondansatörlerin paralel bağlanması

3.1.2 Transformatörler

Alternatif akım makinalarının en önemlilerinden biri olan ve en çok kullanılan transformatörlerde bağlı bulundukları üst gerilim şebekesinden endüktif reaktif güç çekerler. Bunlar da bireysel olarak kompanze edilirler. Kondansatörler ya üst gerilim ya da alt gerilim tarafına bağlanabilirlerse de, hem pratik ve hem de ekonomik sebeplerle alçak gerilim tarafına bağlanmaları tercih edilir.



Şekil 3.5 Transformatörün alt gerilim tarafına bağlı kondansatörler ile tekil kompanzasyonu

Dağıtım transformatörleri normal olarak gece gündüz devrede kalırlar ve yapılış tipine göre fazla reaktif güç çekerler. Yüklü durumda çektikleri reaktif güç Q_t ise bu

gücü boşta çalışma gücü Q_0 ile kısa devre reaktansı üzerindeki kaçak manyetik alan gücünün toplamına eşittir:

$$Q_T = Q_0 + \frac{u_k}{100} \left(\frac{S}{S_N} \right)^2 S_N \quad (3.5)$$

Burada

u_k Transformatörün bağıl kısa devre gerilimi (%)

S_N Transformatörün nominal gücü (kVA)

S Transformatörün yükü (kVA)

Transformatörün yükü daima değişebildiğinden, kompanzasyon için gerekli kondansatör gücü, en büyük reaktif güç ihtiyaına göre seçilmez. Çünkü aksi halde düşük yüklü saatlerde aşırı kompanzasyon baş gösterebilir ve transformatör sekonder

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

Eğer kondansatör gücü, transformatörün reaktif güç ihtiyaından büyükse bu da kapasitif yüklenen transformatörün sekonder uçlarında aynı şekilde gerilim yükselmesine neden olur.

Açıklanan bu sebeplerden dolayı, elektrik idareleri transformatör yüküne bağlı olmadan, nominal gücün % 5 -% 10 değerinde sabit bir kompanzatör bağlanması tavsiye ederler.

Tablo 3.2' de transformatörlerin çektikleri reaktif glerin kompanzasyonu için sekonder tarafa bağlanacak sabit kondansatörlerin güçleri verilmiştir.

Tablo 3.2 ' Transformatörlerin alt gerilim ucuna bağlanacak olan sabit kondansatörlerin güçleri

Transformatörlerin Nominal güçleri (kVA)	Transformatörlerin üst gerilimleri		
	5 kV - 10 kV	15 kV - 20 kV	25 kV - 30 kV
	Kondansatör güçleri (kvar)		
25	2	2,5	3
50	3,5	5	6
75	5	6	7
100	6	8	10
160	10	12,5	15
250	15	18	22
315	18	20	24
400	20	22,5	28
650	28	32,5	40

Böyle bir kompanzasyon tesisinde dikkat edilecek önemli konu harmoniklerin üretildiği şebekelerde, transformatör ile kondansatör bir seri rezonans devresi oluşturmamalıdır. Bunun için transformatör kaçak reaktansı ile kondansatörün kapasitif reaktansı, rezonans frekansından farklı değerde olmalıdır. Şebekelerde genellikle 5. ve 7. harmoniklere daha sık rastlanır. Bunun dışında 11. ve 13. harmonikte söz konusu olabilir.

S_T transformatör gücü ile Q_c kondansatör gücünden yararlanılarak rezonans frekansı şu şekilde hesaplanır :

$$\omega_r = \omega_N \sqrt{\frac{100 \cdot S_T}{u_k \cdot Q_c}} \quad (3.6)$$

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

Rezonans olmaması için kondansatör gücü, en çok yaklaşık

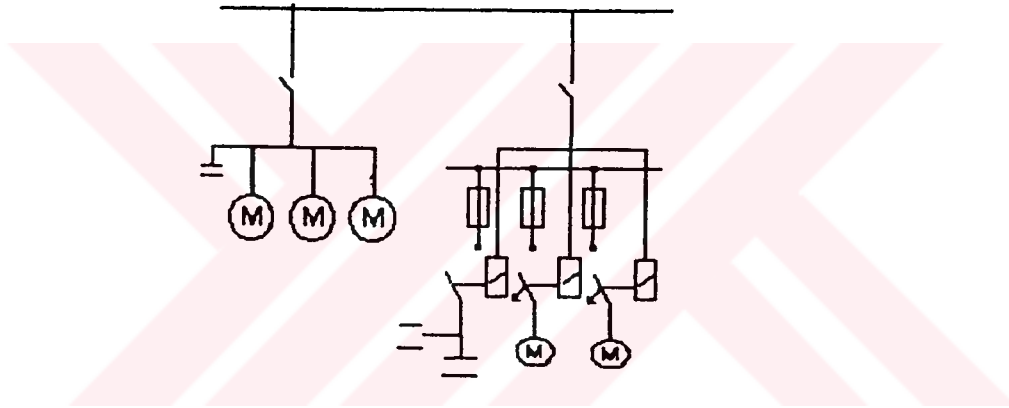
$$Q_c < \frac{100 \cdot S_T}{v^2 \cdot u_k} \quad (3.7)$$

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

3.2 GRUP KOMPANZASYON

Beraber ve aynı kontaktör üzerinden devreye girip çıkan motor, lamba ve transformatörler beraber kompanze edilirler. Sigorta ve deşarj dirençlerine ihtiyaç yoktur. Bir çok tüketicinin bulunduğu tesiste her tüketicinin ayrı ayrı kondansatörlerle donatılacağı yerde bunların ortak bir kompanzasyon tesisi tarafından beslenmesi pratik ve ekonomik olur. Bu durumda kondansatörlerin özel anahtarlar üzerinden ve gerektiğinde kademeli olarak şebekeye bağlanması gerekir.

Eğer bir grupta her motor ayrı ayrı kontaktörle devreye sokulup çıkarılıyorsa kondansatörleri de yine ayrı kontaktörlerle fakat motor kontaklarıyla paralel görebilecek şekilde bağlamak gerekir. Bu durumda ayrı sigortalama ve deşarj dirençlerine gerek yoktur. Şekil 3.6' da grup kompanzasyon gösterilmektedir.

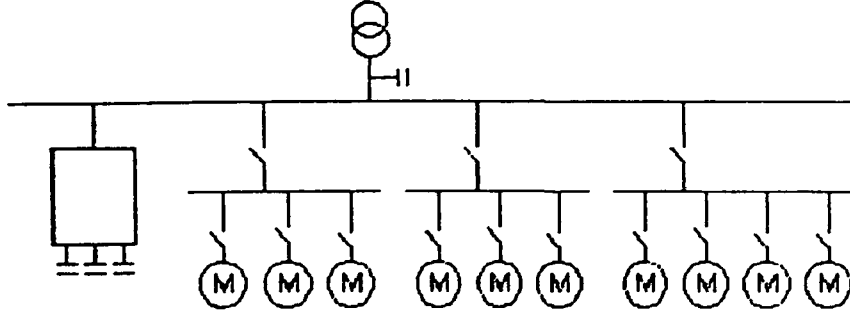


Şekil 3.6 Grup kompanzasyon

3.3 MERKEZİ KOMPANZASYON

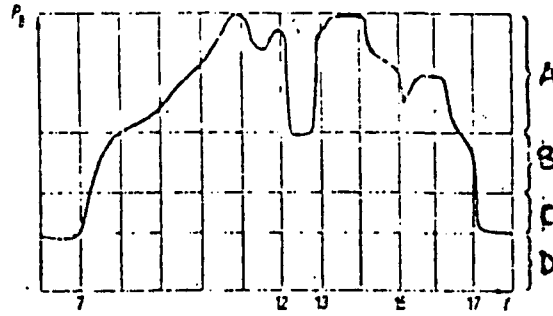
Merkezi ayar düzeniyle, çok sayıda bulunan ve değişik zamanlarda devreye girip çıkan tüketicilerin reaktif güç gereksinimlerine uygun olarak kondansatörlerin devreye sokulup çıkartılmasıdır. El ve otomatik çalışma durumları daima düzgün bir $\cos\phi$ seviyesini tutmaya çalışır. Kademeli olarak kondansatör devreye sokup çıkarma az salınımla gerilim darbeleri oluşturur. Aynı zamanda hem düşük hemde aşırı kompanzasyondan sakınmak mümkün olur. Projelendirme ve hesaplamaları kolaydır. Mevcut tesislere bağlanması problemsiz olup çok az zamanda montaj ve

işletmeye almak m¼mk¼nd¼r. Tek veya paralel çalışan transformat¼rleri de toplama akım trafoları ¼zerinden kompanze etmek m¼mk¼nd¼r. Kullanılan elektronik reglerin hassasiyet sınırı ve çalışacağı end¼ktif veya kapasitif b¼lgenin potansiyometrelerle hariçten ayarlanabilmeleri her tesise uygun bir kompanzasyon tesisinin kolayca işletmeye girmesini sağılar. şekil 3.7' de merkezi kompanzasyon sistemi g¼r¼lmektedir.



şekil 3.7 Merkezi kompanzasyon

Bir tesisin hangi çeşit kompanzasyonla donatılması gerektiğı işletmenin belli zamanlarda alınmış y¼kleme eğırlerine g¼re seçilmelidir. şekil 3.8' de g¼nl¼k bir y¼klenme eğırlisi g¼r¼lmektedir. Burada A b¼l¼m¼ için otomatik merkezi kompanzasyon B ve C b¼l¼mleri için grup veya tek tek kompanzasyon, D b¼l¼m¼ için sabit bir kompanzasyon d¼ř¼n¼lebilir.



şekil 3.8 Bir işletmenin g¼nl¼k y¼kleme eğırlisi

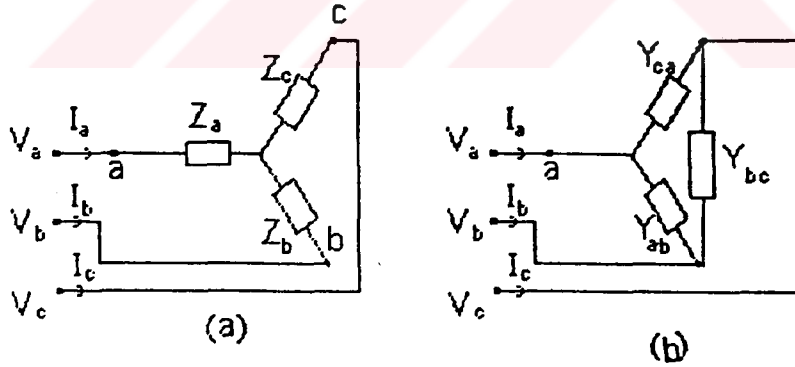
BÖLÜM 4

KOMPANZASYON PROBLEMİNİN MATEMATİKSEL İNCELENMESİ

4.1 YÜK KOMPANZASYONUNUN TEMELLERİ

Büyük ve ani değişen yüklerin kompanzasyonu için genelde iki temel neden vardır. Bunlar, alternatif akım sisteminin yük uçlarındaki gerilim değişimini bir seviyede tutmak için çok zayıf olması ve alternatif akım sisteminden reaktif güç çekmenin ekonomik ve pratik olmamasıdır. Burada bu tip yükler tanımlanacak, hem yük kompanzasyonu hem de iletimde kompanzasyonun şartları oluşturulacaktır.

Nötr noktası topraklanmış, yıldız bağlı dengesiz bir yük, dengesiz üçgen bağlı bir yüke dönüştürülebilir ve hesaplar yıldız bağlı yük yerine eşdeğeri olan üçgen bağlı yük üzerinde yapılabilir. Şekil 4.1 'de sözü geçen bu dönüşüm gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Üç fazlı dengesiz yükler

(a) Dengesiz üç fazlı yıldız bağlı yük

(b) Yükün üçgen bağlı admitans eşdeğeri

Şekil 4.1 'de Z_a , Z_b , Z_c yükün empedansları, Y_{ab} , Y_{bc} , Y_{ca} ise üçgen bağlı eşdeğerin admitanslarıdır. Yükün bağlı olduğu alternatif akım şebekesinin nõtüre göre gerilimleri

$$V_a=V, \quad V_b=V.e^{-j2\pi/3}, \quad V_c=V.e^{j2\pi/3}=V.e^{-j4\pi/3} \quad (4.1)$$

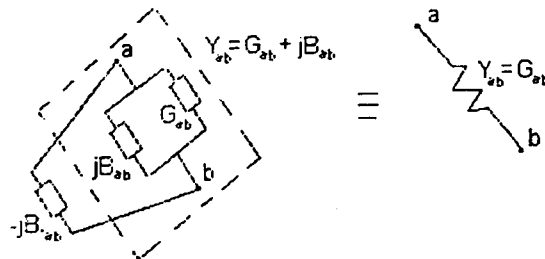
olacak şekilde seçilmiştir. V ise faz-nötr geriliminin efektif değeridir. Genelde Y_{ab} , Y_{bc} , Y_{ca} zamanın fonksiyonlarıdır. Bu parametrelerin zamana göre değişimlerinin yavaş olduğu ve değişim hızının şebeke frekansına göre küçük kaldığı varsayılarak yapılan incelemenin zamana göre değişen yükler içinde geçerli olduğu kabul edilecektir. Literatürde "quasistationary" (yarı sürekli çalışma) olarak tanımlanan ve değişme hızı düşük olan bu gibi olaylarda elektro magnetik alanlar, elektrik ve magnetik alanlara ayrıştırılabilir. Böylece elemanlar ya magnetik özellik ya da elektrostatik özellik gösterirler. Başka bir deyim ile selfler ve kapasiteler birbirinden ayrı düşünülebilir.

Kompanzasyon elemanı kayıpsız, üç fazlı bir kontrol elemanıdır. Yükün dengesiz olan reaktif bileşenini kompanze edecek ve yükü ayrıca dengeli üç fazlı bir yük haline getirecektir. Üçgen bağlı admitans eşdeğerini kullanarak üç fazlı admitans yükü bir fazlı gibi ayrı ayrı kompanze edebiliriz. ab fazını örnek olarak alalım. Y_{ab} admitansı reel ve sanal iki bileşenden oluşur.

$$Y_{ab} = G_{ab} + jB_{ab} \quad (4.2)$$

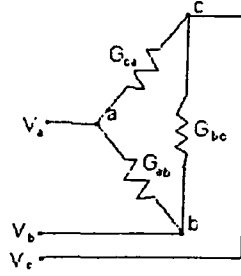
G_{ab} yük kondüktansı ve B_{ab} yük suseptansıdır.

Kompanzasyonun ilk adımı Y_{ab} yüküne paralel bir $-jB_{ab}$ kompanzasyon suseptansı bağlayarak yükün sanal kısmını yok etmektir.



Şekil 4.2 Y_{ab} admitansının reaktif kısmının $-B_{ab}$ suseptansı ile kompanzasyonu

Böylece Şekil 4.1 b. Şekil 4.3 ' deki hale gelir.



Şekil 4.3 Kompanze edilmiş üçgen bağlı yük

Kompanzasyonun ikinci adımı olarak, reel admitans G_{ab} reaktif admitans ile tamamlanmalıdır ki devre kaynağa karşı dengeli reel bir yük oluştursun .

Buna göre b - c fazları arasında kapasitif suseptansı

$$B_{bc} = j \frac{G_{ab}}{\sqrt{3}} \quad (4.3)$$

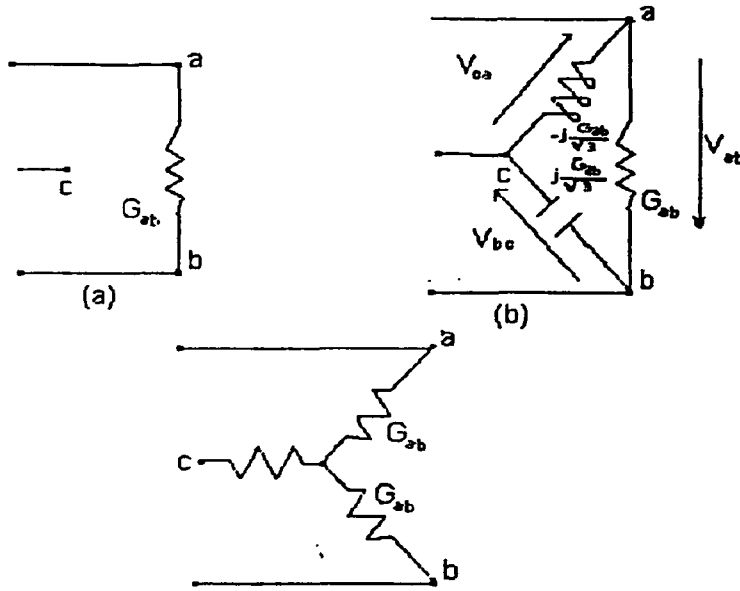
ve c - a fazları arasında endüktif suseptans

$$B_{bc} = -j \frac{G_{ab}}{\sqrt{3}} \quad (4.4)$$

bağlanır. Burada (ab) : ab fazını kompanze etmek için gereken suseptanları belirtmek için kullanılır. Kompanzasyondan önce alternatif akım kaynağından sağlanan bir faz reel güç.

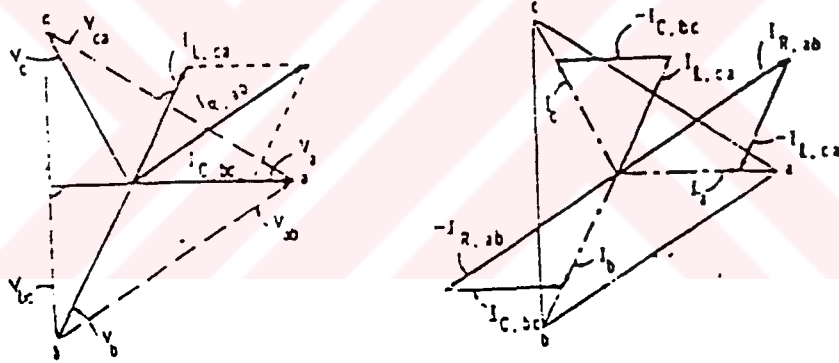
$$P = (\sqrt{3} V)^2 G = 3 V^2 G \quad (4.5)$$

kompanzasyondan sonraki üç faz reel güç miktarına eşit olmalıdır. Kompanze edilen yük üç fazlı yıldız bağlı ve G_{ab} dirençlerden oluşan dengeli yük olarak gösterilebilir.



Şekil 4.4 B_{bc} ve B_{ca} kapasitif ve endüktif kompanzasyon suseptansları ile reel G_{ab} yükünün dengelenmesi

Şekil 4.5 ise Şekil 4.4 'deki işlemi fazör diyagramı ile açıklamaktadır.



Şekil 4.5 Yük akımları $I_{R,ab}$ ile kompanzasyon akımları $I_{L,ca}$ $I_{L,bc}$ ve hat akımları I_a , I_b , I_c arasındaki ilişkileri gösteren fazör diyagramı

Şekil 4.5 'de hat akımları I_a , I_b , I_c faz arası gerilimleri pozitif bileşenleri V_{ab} , V_{bc} , V_{ca} ile gösterilmiştir. Hat akımları yalnız dengeli değil aynı zamanda V_a , V_b , V_c faz gerilimleri ile aynı fazdadırlar. Yıldız bağlı yükün her fazı gerekli aktif gücün üçte birini sağlayacak ve reaktif güç kullanmayacaktır. Her faz G_{ab} kondüktansından meydana gelecek ve toplam güç (4.5) denklemindeki gibi olacaktır.

Burada V dengeli halde faz nötr gerilimi efektif değeridir. Güç faktörüde bire eşit olacaktır. Şekil 4.4 de üçgen devredeki faz arası akımlar dengesiz olmalarına rağmen üçgen içinde bir reaktif denge vardır. Yani bc fazı arasındaki

kapasitenin ürettiği reaktif gücü , ca arasındaki self tüketecektir. Böylece şebekeye herhangi bir reaktif güç verilmeyecek ve alınmayacaktır.

bc ve ca fazlarındaki etkin admitanslar aynı işlemlerle dengeli yapılabilirler. İlk önce B_{bc} ve B_{ca} suseptansları , zıt işaretli $-jB_{bc}$ ve $-jB_{ca}$ iki kompanzasyon suseptansı tarafından yok edilir. İkinci adımda G_{bc} ve G_{ca} kondüktansları iki çift suseptans tarafından,

$$B_{ca}^{(bc)} = j G_{bc} / \sqrt{3} \quad (4.6)$$

$$B_{ab}^{(bc)} = -j G_{bc} / \sqrt{3} \quad (4.7)$$

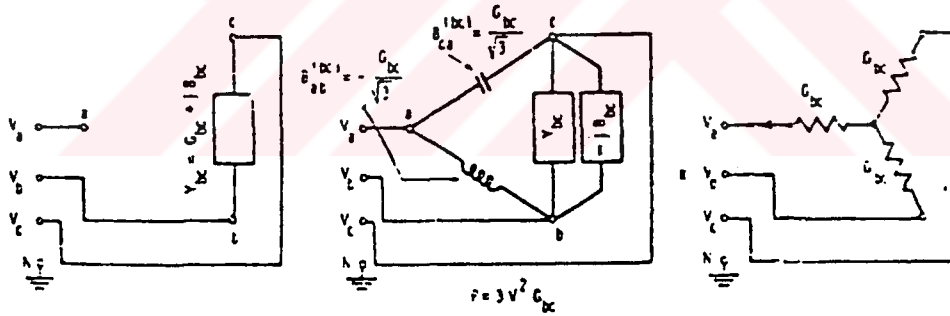
ve

$$B_{ab}^{(ca)} = j G_{ca} / \sqrt{3} \quad (4.8)$$

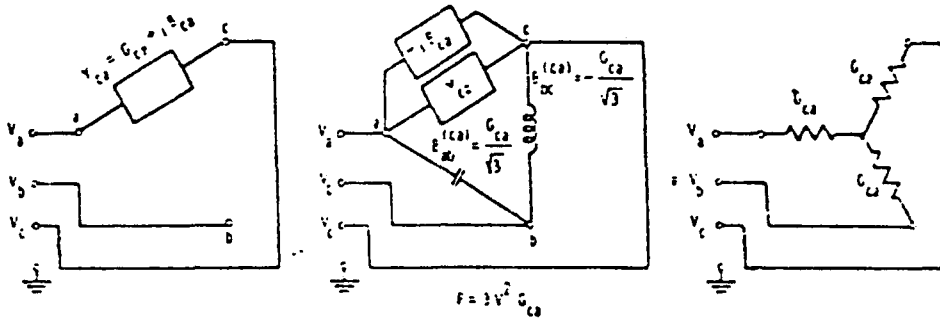
$$B_{bc}^{(ca)} = -j G_{ca} / \sqrt{3} \quad (4.9)$$

olacak şekilde dengelenir.

Y_{bc} ve Y_{ca} admitansların kompanzasyonu Şekil 4.6 ve Şekil 4.7' de gösterilmiştir.

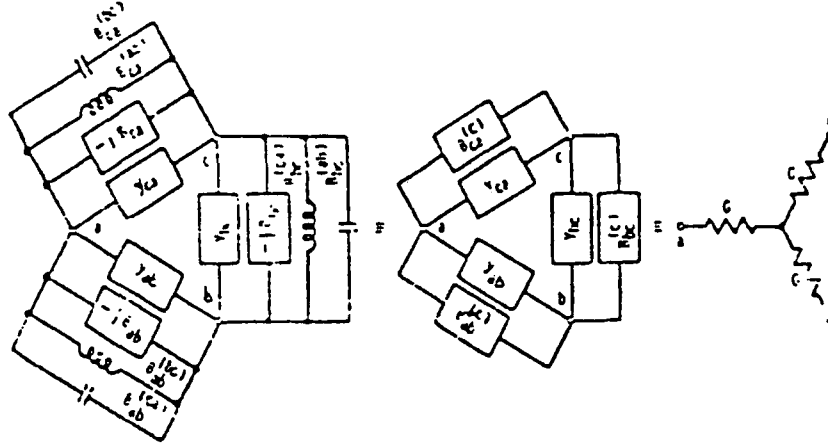


Şekil 4.6 Y_{bc} yükünün $-B_{bc}$, $B_{ca}^{(bc)}$ ve $B_{ab}^{(bc)}$ suseptansları ile kompanzasyonu



Şekil 4.7 Y_{ca} yükünün $-B_{ca}$, $B_{ab}^{(ca)}$ ve $B_{bc}^{(ca)}$ suseptansları ile kompanzasyonu

Üç fazlı yükün tam kompanzasyonu Şekil 4.8'de gösterildiği gibi bütün kompanzasyon suseptansları her faza eklenir.



Şekil 4.8 Bir fazlı yük kompanzasyonu prensibinin üç fazlı dengesiz bir yüke uygulanması

Böylece elde edilen kompanzasyon suseptansları $B_{ab}^{(c)}$, $B_{bc}^{(c)}$, $B_{ca}^{(c)}$ her bir fazı kompanze etmek için kullanılan suseptansların toplamıdır ve aşağıdaki denklemler ile ifade edilirler.

$$\begin{aligned} B_{ab}^{(c)} &= -B_{ab} + B_{ab}^{(bc)} + B_{ab}^{(ca)} \\ B_{bc}^{(c)} &= -B_{bc} + B_{bc}^{(ca)} + B_{bc}^{(ab)} \\ B_{ca}^{(c)} &= -B_{ca} + B_{ca}^{(ab)} + B_{ca}^{(bc)} \end{aligned} \quad (4.10)$$

Burada (c) indisi kompanzasyonu gösterir.

Denklemlerde ilk terim ele alınan fazdaki yükün reaktif bileşenini, ikinci ve üçüncü terimler bu yükün diğer iki fazdaki reel kısmını dengelemek için kullanıldığını gösterirler. Genel dengesiz bir yükü kompanze etmek için gerekli kompanzasyon suseptansları, yük admitansının reel ve reaktif kısımları cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilirler.

$$\begin{aligned} B_{ab}^{(c)} &= -jB_{ab} + j(G_{ca} - G_{bc})/\sqrt{3} \\ B_{bc}^{(c)} &= -jB_{bc} + j(G_{ab} - G_{ca})/\sqrt{3} \\ B_{ca}^{(c)} &= -jB_{ca} + j(G_{bc} - G_{ab})/\sqrt{3} \end{aligned} \quad (4.11)$$

Eğer yükün reel kısmı dengeli ise ($G_{ab}=G_{bc}=G_{ca}$) kompanzasyon probleminin

her fazda, yükün reaktif kısmının yok edilmesine indirgendiği görülebilir. Genelde(4.11) de verilen kompanzasyon suseptansları , herhangi bir dengesiz lineer yükü dengeli lineer yüke dönüştürürler . Yük alternatif akım kaynağı tarafından bakıldığında yıldız bağlı ve sadece dirençlerden oluşmuş olduğu görülür.

Buradaki temel düşüncelerden aşağıdaki sonuçlar elde edilir.

1- Herhangi bir dengesiz, topraklanmamış lineer yük kaynak ve yük arasında reel güç alışverişi değişmeksizin, üç fazlı dengeli bir yüke dönüştürülebilir

2- Bu dönüşüm her fazdaki reaktif yük gücünün uygun bir şekilde değiştirilmesini gerektirir. Bu işleme genelde **yük kompanzasyonu** denir.

3-Yük kompanzasyonu birbirinden ayrılabilir iki olay içerir ; güç faktörünün düzeltilmesi, yükün dengelenmesi . Her ikisi birden gerçekleşirse kompanzasyon için gerekli reaktif güç ihtiyacını birlikte saptarlar.

4-Herhangi bir lineer sürekli yük, üç faz arasına bağlanmış (kapasitif veya endüktif) üç uygun reaktif empedans tarafından kompanze edilir.

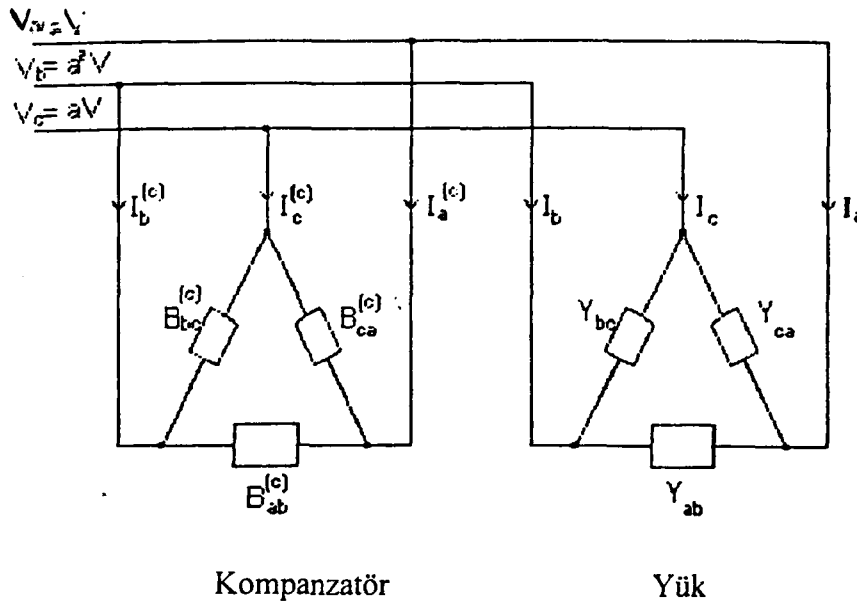
5-Eğer yük zaman içinde değişir ise kompanzasyon yükün değişimi ile uyarılıp ayarlanabilen değişken reaktanslar gerektirir.

4.2 SİMETRİLİ BİLEŞENLER CİNSİNDEN YÜK KOMPANZASYONU

Bu bölümde dengesiz bir yükün kompanzasyonu simetrik bileşenler cinsinden ele alınacaktır.

Örnek olarak Şekil 4.9'daki sistemi ele alalım. Burada yük üç fazlı ve dengesizdir.

Kaynak gerilimleri, dengeli ve pozitif faz dönüş yönünde olmak üzere $V_a=V$ $V_b= a^2V$, $V_c= aV$ 'dir.



Şekil 4.9 Üçgen bağlı dengesiz yük ve kompanzatör

Burada

$$a = e^{j2\pi/3} = (-1/2) + j \sqrt{3}/2 \quad (4.12)$$

faz arası gerilimler

$$V_{ab} = V_a - V_b = (1 - a^2) V \quad (4.13a)$$

$$V_{bc} = V_b - V_c = (a^2 - a) V \quad (4.13b)$$

$$V_{ca} = V_c - V_a = (a - 1) V \quad (4.13c)$$

şeklindedir.

Yük tarafından çekilen hat akımları

$$I_a = [Y_{ab} (1 - a^2) - Y_{ca} (a - 1)] V \quad (4.14a)$$

$$I_b = [Y_{bc} (a^2 - 1) - Y_{ab} (1 - a^2)] V \quad (4.14b)$$

$$I_c = [Y_{ca} (a - 1) - Y_{bc} (a^2 - a)] V \quad (4.14c)$$

denklemleri ile elde edilir.

Hat akımlarının simetrik bileşenleri

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$

$$I_0 = (I_a + I_b + I_c)/\sqrt{3} \quad (4.15a)$$

$$I_1 = (I_a + aI_b + a^2I_c)/\sqrt{3} \quad (4.15b)$$

$$I_2 = (I_a + a^2I_b + aI_c)/\sqrt{3} \quad (4.15c)$$

şeklindedir.

Burada

I_0 ; sıfır akımı bileşeni

I_1 ; doğru (pozitif akım bileşeni

I_2 ; ters (negatif)akım bileşenidir

I_a , I_b , I_c yerine değerleri yazılırsa

$$I_0 = 0 \quad (4.16a)$$

$$I_1 = (Y_{ab} + Y_{bc} + Y_{ca})V \sqrt{3} \quad (4.16b)$$

$$I_2 = -(a^2 Y_{ab} + Y_{bc} + Y_{ca})V \sqrt{3} \quad (4.16c)$$

olarak bulunur.

Dengeli yük durumunda $Y_{ab} = Y_{bc} = Y_{ca}$ olacaktır ve $a^2 + a + 1 = 0$ olduğundan $I_2 = 0$ olacaktır.

Üçgen bağlı bir reaktif kompanzatörün hat akımlarının simetrik bileşenleri benzer şekilde yazılabilir.

$$I_0^{(c)} = 0 \quad (4.17a)$$

$$I_1^{(c)} = j (B_{ab}^{(c)} + B_{bc}^{(c)} + B_{ca}^{(c)}) \sqrt{3} V \quad (4.17b)$$

$$I_2^{(c)} = -j (a^2 B_{ab}^{(c)} + B_{bc}^{(c)} + a B_{ca}^{(c)}) \sqrt{3} V \quad (4.17c)$$

Eğer negatif (ters) akım

$$I_2 + I_2^{(c)} = 0 \quad (4.18)$$

olursa kompanzasyonlu yük dengelenmiş olur.

Eğer pozitif (doğru) akım bileşenin sanal kısmı

$$I_m(I_1 + I_1^{(c)}) = 0 \quad (4.19)$$

ise kompanze edilen yükün tek bir güç faktörü olacaktır.

(4.16) ve (4.17) ifadeleri incelenirse $I_1^{(c)}$ 'nin sadece sanal kısmının bulunduğunu gösterir. Buradan anlaşılabacağı gibi

$$I_1 + I_1^{(c)} \neq 0 \quad (4.20)$$

şeklindedir.

Böylece $I_2 + I_2^{(c)} = 0$ ifadesinin reel ve sanal kısımlarını ayrı ayrı

$$\text{Re} I_2 + \text{Re} I_2^{(c)} = 0 \quad (4.21)$$

$$\text{Im} I_2 + \text{Im} I_2^{(c)} = 0 \quad (4.22)$$

olmak üzere sıfıra eşitlemek mümkündür.

(4.19), (4.21), (4.22) denklemleri birlikte yük kompanzasyonu denklemlerini sağlarlar. (4.16) ve (4.17) ifadelerinin reel ve sanal kısımları (4.18), (4.20), (4.21)'de yerine konur ve üç kompanzasyon suseptansı cinsinden elde edilen denklemler çözülürse şu ifadeler bulunur:

$$B_{ab}^{(c)} = -\frac{1}{3.V} \text{Im} I_1 - \frac{1}{3.V} \text{Im} I_2 + \frac{1}{3.V} \text{Re} I_2 \quad (4.22a)$$

$$B_{bc}^{(c)} = -\frac{1}{3.V} \text{Im} I_1 - \frac{2}{3.V} \text{Im} I_2 \quad (4.22b)$$

$$B_{ca}^{(c)} = -\frac{1}{3.V} \operatorname{Im} I_1 - \frac{1}{3.V} \operatorname{Re} I_2 - \frac{1}{3.V} \operatorname{Im} I_2 \quad (4.22c)$$

Denklem yük akımının simetrlili bileşenleri cinsinden kompanzasyon suseptanslarını verir.

4.3 KOMPANZASYON SUSEPTANSLARININ HAT AKIMLARI CİNSİNDEN İFADELERİ

Bir önceki bölümde kompanzasyon suseptansları yük akımının simetrlili bileşenleri cinsinden ifade edilmişti. Bu bölümde kompanzasyon suseptansları direkt ölçülebilir yük akımları veya güçleri cinsinden verileceklerdir.

Hat akımları reel ve imajiner kısımlardan oluşmaktadır. Temel ifade olan (4.22)'deki simetrlili bileşenler akımı (4.15) ifadesi kullanılarak hat akımları cinsinden ifade edilebilirler. (4.16)'daki sıfır bileşeni $I_0 = 0$ olacağı dikkate alınmalıdır.

$$\operatorname{Re} I_a + \operatorname{Re} I_b + \operatorname{Re} I_c = 0 \quad (4.23a)$$

$$\operatorname{Im} I_a + \operatorname{Im} I_b + \operatorname{Im} I_c = 0 \quad (4.23b)$$

$$\operatorname{Re} I_1 = \frac{1}{3} \operatorname{Re} I_a - \frac{1}{6} \operatorname{Re} I_b - \frac{1}{6} \operatorname{Re} I_c - \frac{\sqrt{3}}{6} \operatorname{Im} I_b + \frac{3}{6} \operatorname{Im} I_c \quad (4.24a)$$

$$\operatorname{Im} I_1 = \frac{1}{3} \operatorname{Im} I_a - \frac{1}{6} \operatorname{Im} I_b - \frac{1}{6} \operatorname{Im} I_c - \frac{\sqrt{3}}{6} \operatorname{Re} I_b + \frac{3}{6} \operatorname{Re} I_c \quad (4.24b)$$

$$\operatorname{Re} I_2 = \frac{1}{3} \operatorname{Re} I_a - \frac{1}{6} \operatorname{Re} I_b - \frac{1}{6} \operatorname{Re} I_c - \frac{\sqrt{3}}{6} \operatorname{Im} I_b + \frac{3}{6} \operatorname{Im} I_c \quad (4.25a)$$

$$\operatorname{Im} I_2 = \frac{1}{3} \operatorname{Im} I_a - \frac{1}{6} \operatorname{Im} I_b - \frac{1}{6} \operatorname{Im} I_c - \frac{\sqrt{3}}{6} \operatorname{Re} I_b + \frac{3}{6} \operatorname{Re} I_c \quad (4.25b)$$

ifadeleri elde edilir. (4.24) ve (4.25) ifadeleri (4.22)'de kullanılırsa kompanzatör suseptans ifadeleri

$$\begin{aligned}
B_{ab}^{(c)} &= \left(\frac{1}{3\sqrt{3}} \operatorname{Re} I_a - \frac{1}{6\sqrt{3}} \operatorname{Re} I_b - \frac{1}{6\sqrt{3}} \operatorname{Re} I_c - \frac{2}{9} \operatorname{Im} I_a + \frac{5}{18} \operatorname{Im} I_b - \frac{1}{18} \operatorname{Im} I_c \right) \frac{1}{V} \\
B_{bc}^{(c)} &= \left(-\frac{1}{2\sqrt{3}} \operatorname{Re} I_b + \frac{1}{2\sqrt{3}} \operatorname{Re} I_c + \frac{1}{9} \operatorname{Im} I_a - \frac{1}{18} \operatorname{Im} I_b - \frac{1}{18} \operatorname{Im} I_c \right) \frac{1}{V} \\
B_{ca}^{(c)} &= \left(-\frac{1}{3\sqrt{3}} \operatorname{Re} I_a + \frac{1}{6\sqrt{3}} \operatorname{Re} I_b + \frac{1}{6\sqrt{3}} \operatorname{Re} I_c - \frac{2}{9} \operatorname{Im} I_a - \frac{1}{18} \operatorname{Im} I_b + \frac{5}{18} \operatorname{Im} I_c \right) \frac{1}{V}
\end{aligned} \tag{4.26}$$

olacak şekilde elde edilir

(4.26) ifadeleri (4.23)' de yerine konursa kompanzasyon suseptanslarının hat akımları cinsinden ifadesi , V faz nötr geriliminin değeri olmak üzere

$$B_{ab}^{(c)} = \left(-\frac{1}{2\sqrt{3}} \operatorname{Re} I_a - \frac{2}{9} \operatorname{Im} I_a + \frac{5}{18} \operatorname{Im} I_b - \frac{1}{18} \operatorname{Im} I_c \right) \frac{1}{V} \tag{4.27a}$$

$$B_{bc}^{(c)} = \left(-\frac{1}{2\sqrt{3}} \operatorname{Re} I_b + \frac{1}{2\sqrt{3}} \operatorname{Re} I_c - \frac{1}{6} \operatorname{Im} I_a \right) \frac{1}{V} \tag{4.27b}$$

$$B_{ca}^{(c)} = \left(-\frac{1}{2\sqrt{3}} \operatorname{Re} I_a - \frac{2}{9} \operatorname{Im} I_a - \frac{1}{18} \operatorname{Im} I_b + \frac{5}{18} \operatorname{Im} I_c \right) \frac{1}{V} \tag{4.27c}$$

Kompanzasyon kontrol işaretleri özel elektronik ya da mikro işlemci devreleri ile gerçekleştirileceğinden fazör değerler yerine gerçek ani akım ve gerilim değerlerine göre suseptansları ifade etmek gerekir. Bunun için örneğin I_a hat akımı ile $i_a(t)$ ani değerleri arasındaki ilişki kurulmalıdır.

$$I_a = I_{ac} e^{-j\varphi_a} \tag{4.28}$$

ve $i_a(t)$ ani akımı için is

$$i_a(t) = \sqrt{2} I_{ac} \cos (wt - \varphi_a) \tag{4.29}$$

$$i_a(t) = \sqrt{2} I_{ac} \operatorname{Re} [e^{j(wt - \varphi_a)}] = \sqrt{2} \operatorname{Re} I_a [e^{j(wt)}] \tag{4.30}$$

yazılabilir. Burada I_{ae} hat akımının efektif değeri, φ_a akım ve gerilim fazörleri arasındaki açı, ω şebekenin açısal frekansıdır.

$$I_a = I_{ae} e^{-j\varphi_a} = I_{aReel} + j I_{aIm} \quad (4.31)$$

I_{aReel} ve I_{aIm} , I_a hat akımı fazörünün reel ve sanal kısımlarıdır.

$$ia(t) = \sqrt{2} \text{ Reel } [(Re I_a + j Im I_a) e^{j\omega t}] \quad (4.32)$$

$$ia(t) = \sqrt{2} \text{ Reel } [(Re I_a + j Im I_a) (\cos \omega t + j \sin \omega t)]$$

$$ia(t) = \sqrt{2} (Re I_a \cos \omega t - Im I_a \sin \omega t)$$

ifadesi elde edilir. (4.32)'den $Re I_a$ ve $Im I_a$ 'nın bulunması gerekir. $\omega t = \pi/2$ için $\cos \omega t = 0$ ve $\sin \omega t = -1$ olacağı denklem 4.32'den açıkça görülmektedir. Buradan sanal kısım ;

$$Im I_a = \frac{ia(t)}{\sqrt{2}} \bigg|_{\omega t = -\pi/2} \quad (4.33)$$

şeklinde bulunabilir. Benzer şekilde (4.32)'den $\omega t = 0$ için $\cos \omega t = 1$ ve $\sin \omega t = 0$ olacağı açıktır. Reel kısım için

$$Re I_a = \frac{ia(t)}{\sqrt{2}} \bigg|_{\omega t = 0} \quad (4.34)$$

olacaktır. I_a hat akımı için faz nötr geriliminin ani değeri referans olarak alınırsa ;

$$V_a(t) = \sqrt{2} V \cos \omega t = \sqrt{2} \text{ Reel } (V e^{j\omega t}) \quad (4.35)$$

ulunacaktır. Bu ifadenin türevi ; bulunacaktır. Bu ifadenin türevi :

$$\frac{dV_a(t)}{dt} = -\sqrt{2} V \omega \sin \omega t \quad (4.36)$$

olacaktır. $\omega t = -\pi/2$ için $V_a(t)=0$ ve $dV_a(t)/dt > 0$ olacağı açıktır. Akımın sanal kısmını belirlemek için koşul ;

$$\text{Im } I_a = \frac{ia(t)}{\sqrt{2}} \quad \left| \begin{array}{l} V_a(t) = 0 \\ dV_a(t)/dt > 0 \end{array} \right. \quad (4.37)$$

şeklinde olacaktır. Bunun anlamı ani akımın, referans gerilim sıfır ve türevi pozitif iken ölçülen değerinin imajiner akımı vereceğidir.

Akımın reel kısmı $\omega t = 0$ anında belirleniyordu (4.35) ve (4.36)'ya göre $\omega t = 0$ iken $v_a(t) = \sqrt{2} V = V_{\max}$ ve $dv_a(t)/dt = 0$ olacağı açıktır. Reel akım :

$$\text{Re } I_a = \frac{ia(t)}{\sqrt{2}} \quad \left| \begin{array}{l} V_a(t) = V_{\max} \\ dV_a(t)/dt = 0 \end{array} \right. \quad (4.38)$$

Ani akımın . referans gerilim maksimum ve türevinin sıfır olduğu (gerilim tepe değerinde) anda alınan değeri reel akımı verecektir. b ve c fazları içinde (4.37) ve (4.38) benzeri ifadeler bulunabilir. (4.27) ifadesi hat akımları ani değerleri cinsinden yazılırsa

$$B_{ab}^{(c)} = \frac{1}{\sqrt{2} V} - \frac{1}{2\sqrt{3}} i_a(t) \quad \left| \begin{array}{l} V_a(t) = V_{\max} \\ dV_a(t)/dt = 0 \end{array} \right. - \frac{2}{9} i_a(t) \quad \left| \begin{array}{l} V_a(t) = 0 \\ dV_a(t)/dt > 0 \end{array} \right. + \frac{5}{18} i_b(t) \quad \left| \begin{array}{l} V_b(t) = 0 \\ dV_b(t)/dt > 0 \end{array} \right.$$

$$- \frac{1}{18} i_c(t) \quad \left| \begin{array}{l} V_c(t) = 0 \\ dV_c(t)/dt > 0 \end{array} \right.$$

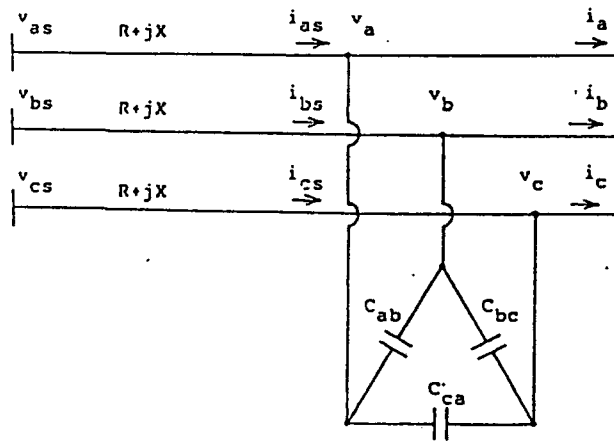
$$\begin{aligned}
B_{bc}^{(c)} &= \frac{1}{\sqrt{2} \cdot V} - \frac{1}{2\sqrt{3}} i_b(t) \left| \begin{array}{c} V_b(t) = V_{max} \\ + \frac{1}{2\sqrt{3}} i_c(t) \\ dV_b(t)/dt = 0 \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} V_c(t) = V_{max} \\ + \frac{1}{6} i_a(t) \\ dV_c(t)/dt > 0 \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} V_a(t) = 0 \\ dV_a(t)/dt > 0 \end{array} \right| \\
B_{ca}^{(c)} &= \frac{1}{\sqrt{2} \cdot V} - \frac{1}{2\sqrt{3}} i_a(t) \left| \begin{array}{c} V_a(t) = V_{max} \\ - \frac{2}{9} i_a(t) \\ dV_a(t)/dt = 0 \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} V_a(t) = 0 \\ - \frac{1}{18} i_b(t) \\ dV_a(t)/dt > 0 \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} V_b(t) = 0 \\ dV_b(t)/dt > 0 \end{array} \right| \\
&+ \frac{5}{18} i_c(t) \left| \begin{array}{c} V_c(t) = 0 \\ dV_c(t)/dt > 0 \end{array} \right| \quad (4.39)
\end{aligned}$$

ifadeleri kompanzasyon devresinin üç fazlı elemanları suseptanslarının, faz akım ve gerilimleri cinsinden nasıl hesaplanacağını gösterir.

4.4 OPTİMAL KONDANSATÖR HESABI

4.4.1 Problemin Minimize Edilmesi

Burada ele alınan üç fazlı güç sisteminin kompanzasyonu üçgen bağlantı ile gerçekleştirilecektir. Şekil (4.10) Akım ve gerilimlerin fazör diyagramları Şekil (4.11)'de gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Reaktif güç kompanzasyon diyagramı

Kompanze edilmemiş akımların i_a , i_b , i_c olduğunu ve V_{ab} , V_{bc} , V_{ca} hat gerilimlerinin gerçek sinisoidal olduğunu düşünelim. Bu durumda tepe değerlerinin de I_a , I_b , I_c ve V_{ab} , V_{bc} , V_{ca} olduğunu kabul edelim. Öyleyse $V_{ab} = V_{bc} = V_{ca} = V$ yazılabilir. Bu şartlar altında (4.41) denklemlerini (4.40) ' da yerine yazalım :

$$J(C) = 1/2 (I_a^2 + I_b^2 + I_c^2 + \omega^2 V^2 (2C_{ab}^2 + 2C_{bc}^2 + 2C_{ca}^2 + C_{ab}C_{bc} + C_{bc}C_{ca} + C_{ca}C_{ab}) + 2\omega V (X_{ab}C_{ab} + X_{bc}C_{bc} + X_{ca}C_{ca})) \quad (4.42)$$

$$\begin{aligned} X_{ab} &= -I_a \sin \varphi_{ab} + I_b \sin (2\pi/3 + \varphi_{ab}) \\ X_{bc} &= -I_b \sin \varphi_{bc} + I_c \sin (2\pi/3 + \varphi_{bc}) \\ X_{ca} &= -I_c \sin \varphi_{ca} + I_a \sin (2\pi/3 + \varphi_{ca}) \end{aligned} \quad (4.43)$$

φ_{ab} : V_{ab} ile i_a arasındaki faz açısı

ω : Güç sisteminin açısal frekansı

ifadeleri bulunur.

$J(C)$ fonksiyonunun optimal şartlara ulaşabilmesi için C_{ab} , C_{bc} , C_{ca} ' yı içeren terimler ayrı ayrı sıfıra eşitlenmelidir. Buna göre aşağıdaki sonuçlar elde edilir.

$$\begin{aligned} \omega V (4C_{ab} + C_{bc} + C_{ca}) + 2X_{ab} &= 0 \\ \omega V (C_{ab} + 4C_{bc} + C_{ca}) + 2X_{bc} &= 0 \\ \omega V (C_{ab} + C_{bc} + 4C_{ca}) + 2X_{ca} &= 0 \end{aligned} \quad (4.44)$$

Buna göre, üç faz için optimal reaktif güç kompanzasyonun sonuçları aşağıdaki denklemlerdir.

$$\begin{aligned} C_{ab} &= 1/(2\omega V) [I_a (\sin \phi_{ab} + f_1 \cos \phi_{ab}) + I_b (f_2 \sin \phi_{bc} - f_3 \cos \phi_{bc}) + I_c (-f_2 (\sin \phi_{ca} + f_1 \cos \phi_{ca}))] \\ C_{bc} &= 1/(2\omega V) [I_a (-f_2 \sin \phi_{ab} + f_1 \cos \phi_{ab}) + I_b (\sin \phi_{bc} + f_1 \cos \phi_{bc}) + I_c (f_2 (\sin \phi_{ca} - f_3 \cos \phi_{ca}))] \end{aligned} \quad (4.45)$$

$$C_{ab} = 1/(2\omega V) [I_a (-f_2 \sin \phi_{ab} + f_1 \cos \phi_{ab}) + I_b (\sin \phi_{bc} + f_1 \cos \phi_{bc}) + I_c (\sin \phi_{ca} + f_1 \cos \phi_{bc})]$$

Burada. $f_1 = 1/3\sqrt{3}$, $f_2 = 1/3$, $f_3 = 5/(3\sqrt{3})$ şeklinde sabit sayılardır. (4.45) ifadelerinin çözümünde terimlerden birinin negatif çıkması halinde, o kapasite yerine self kullanılması gerektiği anlaşılır.

4.4.2 Akımın Dengelenmesi

Üç fazlı sistemde dengelenmiş hat gerilimlerinin aşağıdaki gibi olduklarını düşünelim.

$$\begin{aligned} V_{ab} &= V \cos(\omega t + \pi/6) \\ V_{bc} &= V \cos(\omega t + \pi/2) \\ V_{ca} &= V \cos(\omega t + 5\pi/6) \end{aligned} \quad (4.46)$$

Yazdığımız (4.46) nolu ifadeleri (4.41) denklemlerinde yerine koyarsak aşağıdaki sonuçlar bulunur :

$$\begin{aligned} i_{as} &= i_a + C_{ab} \omega V \cos(\omega t + 2\pi/3) - C_{ca} \omega V \cos(\omega t - 2\pi/3) \\ i_{bs} &= i_b + C_{bc} \omega V \cos(\omega t) - C_{ab} \omega V \cos(\omega t + 2\pi/3) \\ i_{cs} &= i_c + C_{ca} \omega V \cos(\omega t - 2\pi/3) - C_{bc} \omega V \cos(\omega t) \end{aligned} \quad (4.47)$$

Yukardaki (4.47) nolu ifade de fazörel olarak aşağıdaki gibi açıklanabilir

$$I_{as} = I_a \left[\cos(\phi_{ab} - \pi/6) \right] + C_{ab} \omega V \left[\cos(2\pi/3) \right] - C_{ca} \omega V \left[\cos(2\pi/3) \right] \quad (4.48a)$$

$$I_{bs} = I_b \left[\cos(\phi_{bc} - \pi/2) \right] + C_{bc} \omega V \left[0 \right] - C_{ab} \omega V \left[\cos(2\pi/3) \right] \quad (4.48b)$$

$$I_{cs} = I_c \left[\cos(\phi_{ca} - 5\pi/6) \right] + C_{ca} \omega V \left[\cos(2\pi/3) \right] - C_{bc} \omega V \left[0 \right] \quad (4.48c)$$

(4.45) ifadelerindeki C_{ab} , C_{bc} , C_{ca} optimal kapasite değerleri (4.48a) denkleminde yerine konur ve bazı cebirsel işlemlerden sonra I_{as} denkleminin reel ve sanal kısımları aşağıdaki gibi ayrılır.

$$I_{as}(\text{Reel}) = 1/3 [2 I_a \sin(\varphi_{ab} + \pi / 3) + I_b \sin(\varphi_{bc} + 2\pi / 3) + I_c \sin \varphi_{ca}] \quad (4.49a)$$

$$I_{as}(\text{Reel}) = 1/3 [I_a \sin(\varphi_{ab} + 5\pi / 6) + I_b \sin(\varphi_{bc} - \pi / 2) + I_c \sin(\varphi_{ca} + \pi / 6)] \quad (4.49b)$$

ve Şekil (4.11)'den

$$\begin{aligned} \varphi_{ab} &= \pi / 6 - \varphi_{ia} \\ \varphi_{bc} &= -\pi / 2 - \varphi_{ib} \\ \varphi_{ca} &= 5\pi / 6 - \varphi_{ic} \end{aligned} \quad (4.50)$$

ifadeleri yazılabilir. Burada φ_{ia} , φ_{ib} , φ_{ic} referans eksene göre akımın faz açılarıdır. (4.50) ifadeleri (4.49b)'de yerine konduğunda I_{as} (Im) ifadesi aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$I_{as}(\text{Im}) = I_a \sin \varphi_{ia} + I_b \sin \varphi_{ib} + I_c \sin \varphi_{ic} \quad (4.51)$$

Bulunan bu denklemden, $I_a + I_b + I_c = 0$ ifadesi de kullanılırsa denklem ve dolayısıyla I_{as} ile referans ekseni arasındaki açı sıfır olur. Buna göre I_{as} 'nin mutlak değeri (4.49a) ifadesinde kullanılarak aşağıdaki gibi açıklanabilir

$$|I_{as}| = 1/3 [2 I_a \sin(\varphi_{ab} + \pi / 3) + I_b \sin(\varphi_{bc} + 2\pi / 3) + I_c \sin \varphi_{ca}] \quad (4.52)$$

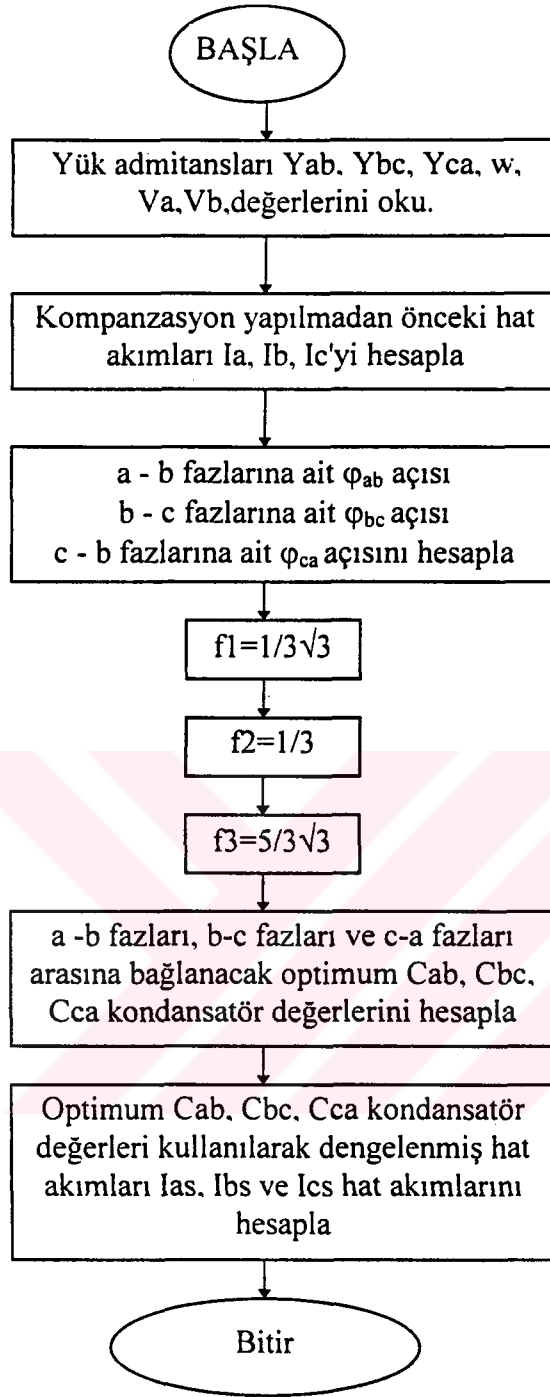
Burada $|I_{as}|$ kompanze edilmiş i_{as} akımının tepe değeridir.

Benzer şekilde (4.45) ifadesi (4.48b) ve (4.48c) eşitliklerinde yerine konursa i_{bs} ve i_{cs} kompanze edilmiş akımların tepe değerleride aşağıdaki gibi olur.

$$\left| I_{bs} \right| = \left| I_{cs} \right| = \left| I_{as} \right|$$

ve I_{bs} ve I_{cs} akımının faz açıları referans eksene göre $-2\pi/3$ ve $2\pi/3$ tür. Bu ifade üç fazın dengelenmesi ve güç faktörünün bir yapılmasını sağlayabilir.





Şekil 4.12 Üçgen bağlı yük için optimal kompanzasyon ve dengelenmiş akım değerlerinin bulunmasını gösteren akış diyagramı

Ek B' de bu akış diyagramı kullanılarak üçgen bağlı bir yükün optimal kondansatör ve akım değerlerinin hesabını yapan bir bilgisayar programı yazılıp bir örnek üzerine uygulaması yapılmıştır.

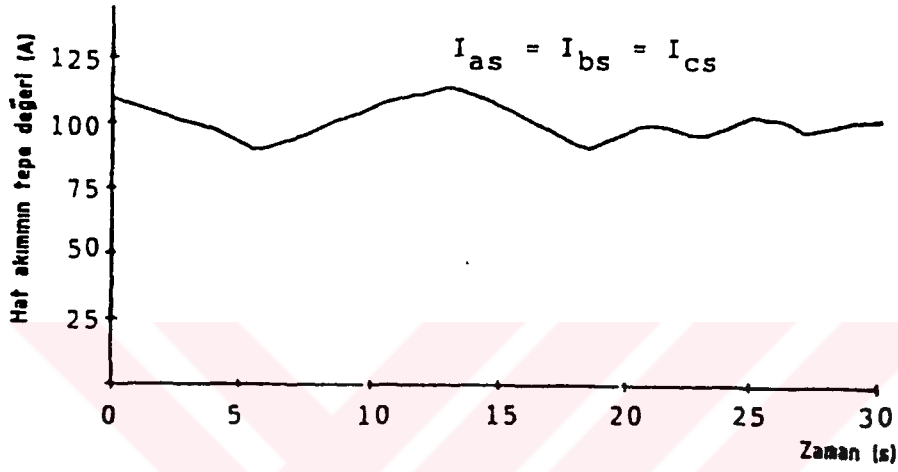
Kompanze edilmemiş hat akımlarının tepe değerlerinin

$$I_a = 146.20 \text{ A} ; -47.50^\circ$$

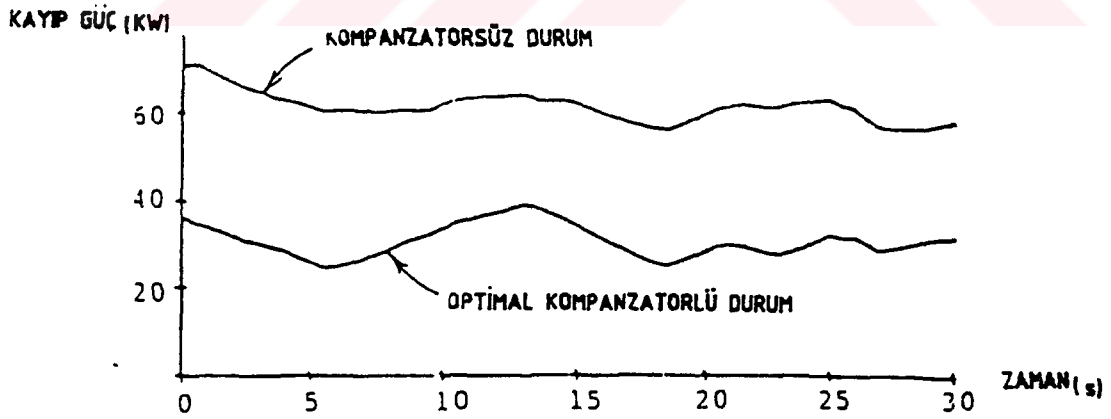
$$I_b = 144.50 ; -47.40^\circ$$

$$I_c = 145.58 ; -46.87^\circ$$

olduğu bir sistemde kompanze edilmiş hat akımlarının tepe değerlerinin değişimini gösteren ve optimal kompanzasyondan önce ve sonra hat kayıplarının zamana göre değişimini gösteren şekiller aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.13 Optimal kontrol kompanzatörü ile gerçekleştirilen kompanzasyonda , kompanze edilmiş akımların tepe değerlerinin değişimleri



Şekil 4.14 Optimal kompanzasyondan önce ve sonra hat kayıplarının zamana göre değişimleri

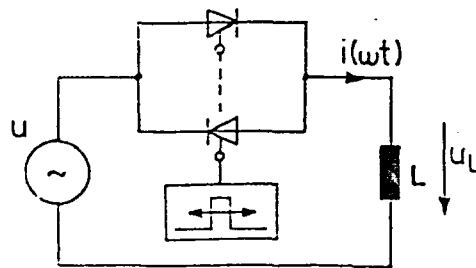
BÖLÜM 5

ALTERNATİF AKIM KİYİCİLARININ REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONUNDA KULLANILMASI

Büyük ve ani değişen yükleri kompanze etmek ancak statik reaktif kompanzatörler ile mümkündür. Statik reaktif kompanzatörler, statik Var kompanzatör olarak geçer. Statik kelimesi, bu tip cihazlarda, senkron kondansatörlerde olduğu gibi hareketli kısım bulunmadığı için kullanılmıştır. Güç elektroniği elemanları tristörler " statik kompanzasyon" için kullanılırlar. Kompanzasyon için alternatif akım kıyıcılarından, eviricilerden ve doğrultuculardan faydalanılabilir. Bu bölümde alternatif akım kıyıcılar ile kompanzasyon anlatılacaktır. Sadece alternatif akım kıyıcılar ile gerçekleştirilen tristör kontrollü reaktör bu bölümün konusu olacaktır.

5.1 SAF ENDÜKTİF YÜKLÜ ALTERNATİF AKIM KİYİCİ

Birbirine ters bağlı iki tristörden oluşan alternatif akım kıyıcı, alternatif akım devrelerinde genel olarak bir anahtar görevi yapar. Tetikleme açısının uygun seçilmesi ile, çeşitli yüklerde, yük akımının efektif değeri ayarlanabilir. Eğer alternatif akım kıyıcıya seri saf endüktif L yükü bağlanırsa oluşan devreye tristör kontrollü reaktör (TCR) denir. Şekil 5.1' de böyle bir devre gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Endüktif yüklü alternatif akım kıyıcı (TCR)

Besleme gerilimi

$$u = U_m \cos \omega t \quad (5.1)$$

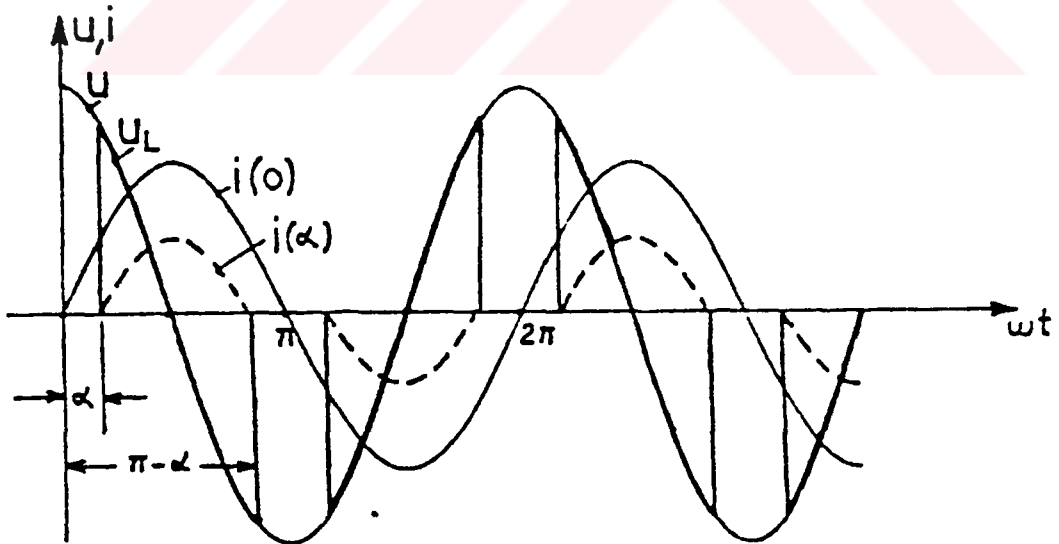
olan bir alternatif akım kıyıcının akım bağıntısı, tristörlerin birbirinden π kadar faz farklı tetikleme darbeleri ile simetrik tetikleme darbeleri ile simetrik tetiklenmesi koşulu ile $0 \leq \alpha \leq \pi/2$ ve $\pi \leq \alpha \leq 3\pi/2$ olmak üzere

$$u = L \frac{di(\omega t)}{dt} \quad (5.2)$$

bağıntısı kullanılarak ve $i(\omega t)$ ani akımın ilk koşulu $I(\alpha)=0$ olmak üzere

$$i(\omega t) = \frac{U_m}{\omega L} (\sin \omega t - \sin \alpha) \quad (5.3)$$

şeklinde bulunabilir. Burada α tristörlerin tetikleme açısı U_m besleme geriliminin maksimum değeri, ω sistemin açısal frekansıdır.



Şekil 5.2 Yüğü L elemanından oluşan alternatif akım kıyıcıda gerilim ve akım dalga şekilleri

Devrede $\alpha=0$ da gerilim ile akım arasında $\pi/2$ faz farkı olduğundan, tetikleme açısı α 0 ile $\pi/2$ aralığında simetrik olarak değiştirilebilir. (5.3) ifadesi, $\alpha < \omega t < \pi - \alpha$ aralığında pozitif ve $\pi + \alpha < \omega t < 2\pi - \alpha$ aralığında ise negatif akım dalga şekilleri için geçerlidir. Geri kalan süreler içinde tristörler, kesim ya da tıkama konumunda olduklarından $i(\omega t)=0$ dır. L yükü saf endüktif olduğundan gerilimin sıfırdan geçişinde tristörler kesime gidemeyecek ve bir süre daha iletimde kalacaklardır. İletimde kalma süresi her yarı peryotta eşit süreler alacaktır. Endüktif yükte yük akımı (5.3) uyarınca, tetikleme açısı α 'nın konumuna göre ωt ekseninden

$$\frac{U_m}{\omega \cdot L} \sin \alpha$$

kadar ötelenmiş sinüzoidal bir değişim izler, ya da sıfırdır. (5.3) ifadesinde $i(\omega t)$ gözönüne alınarak akımın efektif değerini hesaplayabiliriz. Efektif değer tanımı

$$I_{\text{eff}}(\alpha) = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int i(\omega t)^2 d(\omega t)} \quad (5.4)$$

şeklinde yapılırsa $i(\omega t)$ akımının efektif değeri

$$I_{\text{eff}}(\alpha) = \frac{U_m}{\omega \cdot L} \sqrt{\frac{1}{\pi} [(\pi - 2\alpha)(1 - 1/2 \cos 2\alpha) - (3/2 \sin 2\alpha)]} \quad (5.5)$$

elde edilir. Bu akımın alacağı maksimum efektif değer

$$I_{\text{eff}}(0) = I_{0\text{eff}} = \frac{U_m}{\sqrt{2} \omega \cdot L} \quad (5.6)$$

olacağından efektif değer değişiminin, maksimum efektif değerine oranı, L ile yüklü kıyıcının efektif akım cinsinden kontrol karakteristiğini verir.

$$\frac{I_{eff}(\alpha)}{I_{0eff}} = \sqrt{\frac{2}{\pi} \left[(\pi - 2\alpha)(1 - 1/2 \cos 2\alpha) - (3/2 \sin 2\alpha) \right]} \quad (5.7)$$

L saf endüktansı ucunda kontrol edilen $U_L(\alpha)$ geriliminin efektif değeri (5.1) kullanılarak tanımdan bulunabilir:

$$U_{Leff}(\alpha) = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\pi - 2\alpha - \sin 2\alpha}{\pi}} \quad (5.8)$$

Bu gerilimin maksimum efektif değeri:

$$U_{Leff}(0) = U_{Loeff} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad (5.9)$$

Kontrol edilen gerilimin, kontrol karakteristiği

$$\frac{U_{Leff}}{U_{Loeff}} = \sqrt{\frac{\pi - 2\alpha - \sin 2\alpha}{\pi}} \quad (5.10)$$

şeklinde yazılabilir.

5.2 AKIM VE GERİLİMDE HARMONİKLERİN İNCELENMESİ

Kıyıcıda ateşleme açısı sonucu harmonikler oluşur. Çünkü α , 0 ile $\pi/2$ arasında kontrol edilirken akım ve gerilimin dalga şeklinin sinüs formu bozulmaktadır. α 'nın değiştirilmesi ile L yükü ucundaki gerilim $U_L(\omega t)$ ve yük akımı $i(\omega t)$ ifadesi. simetrik ateşleme koşullarında göz önüne alınarak incelenirse, sadece tek dereceden sinüslü bileşenlerin bulunacağı görülür.

Harmonik incelemesi şu şekilde yapılacaktır.

$f(x)$ gibi periyodik bir fonksiyonun Fourier açılımı yapılırsa $y = f(x) + Aa_1 \sin x + a_2 \sin 2x + \dots + a_n \sin nx + b_1 \cos x + b_2 \cos 2x + \dots + b_n \cos nx$ ifadesi elde edilir.

Burada, Fourier katsayıları,

$$A = 1/2\pi \int_0^{2\pi} f(x) dx$$

$$a_n = 1/\pi \int_0^{2\pi} f(x) \sin nx dx$$

$$b_n = 1/\pi \int_0^{2\pi} f(x) \cos nx dx$$

olacaktır. Gerekli koşullar:

- 1- Pozitif ve negatif yarı peryotta $f(x)$ 'nin kapladığı alanlar eşit ise $A = 0$ 'dır.
- 2- $f(x+\pi) = -f(x)$ ise iki ve ikinin katı harmonikler bulunmayacaktır.
- 3- $f(-x) = -f(x)$ ise cosinüslü terimler bulunmayacak, $b_n = 0$ olacaktır.
- 4- $f(-x) = f(x)$ ise sinüslü terimler bulunmayacak, $a_n = 0$ olacaktır.

İşte bu analiz (5.3)'deki $i(\omega t)$ akımına yapılırsa,

$$i(\omega t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_n \sin \omega t \quad (5.11)$$

bulunur. Burada $n = 2k+1$, ($k = 0, 1, 2, \dots$) şeklindedir. I_n , n . harmonik akımının genliğidir. Açınımında sadece sinüslü bileşenlerin bulunması nedeniyle, α 'nın bütün değerlerinde, seçilen u kaynak fonksiyonlarına göre, akımın temel bileşenin gerilim ile arasındaki faz açısının $\pi/2$ olduğu açıktır. Yükün saf endüktif olması durumunda, bu koşullara göre, kıyıcının kaynaktan aktif güç çekmeyeceği anlaşılır.

$n = 1$ için akımın temel bileşenin genliği, α 'ya bağlı olarak

$$a_1 = I_1(\alpha) = I_1 = 2/\pi \int_{\alpha}^{\pi-\alpha} \frac{U_m}{\omega L} ((\sin \omega t - \sin \alpha) \sin \omega t) d(\omega t)$$

$$I_1 = \frac{U_m}{\omega L_1(\alpha)} \quad (5.12)$$

şeklinde bulunur. $n > 1$ için ve $n = 2k + 1$, $k = 1, 2, 3, \dots$ olmak üzere harmonik akımlarının genlik bağıntıları için,

$$a_n = I_n(\alpha) = I_n = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi-\alpha} \frac{U_m}{wL} ((\sin wt - \sin \alpha) \sin(nwt)) d(wt)$$

$$I_n = \frac{4U_m}{\pi \cdot \omega \cdot \alpha} \left[\frac{\cos(n\alpha) \sin \alpha - n \sin(n\alpha) \cos \alpha}{n^3 - n} \right] \quad (5.13)$$

elde edilir. Yük gerilimi, $U_L(wt, \alpha)$, ilişkin temel ve harmonik bileşenler ise harmonik analizine göre, $n=2k+1$ harmonikler ile yalnız kosinüslü terimlerden meydana gelir. Temel bileşen,

$$U_{L,1}(\alpha, wt) = U_m \frac{\pi - 2\alpha - \sin 2\alpha}{\pi} \cos(wt) \quad (5.14)$$

ve harmonik bileşenler ise

$$U_{L,n}(\alpha, wt) = \frac{4U_m}{\pi} \left[\frac{\cos(n\alpha) \sin \alpha - n \sin(n\alpha) \cos \alpha}{n^3 - n} \right] \cos(nwt) \quad (5.15)$$

biçiminde olur. Aslında kontrol gerilimi U_L 'ye ilişkin temel ve harmonik bileşenler (5.13) ve (5.14) 'den direkt olarak yazılabilir.

Akımın temel bileşeninin $\alpha=0$ da maksimum değeri,

$$I_1(0) = I_{1\alpha=0} = \frac{U_m}{w \cdot L} \quad (5.16)$$

değerini kullanarak temel bileşeni normalize edebiliriz. Bu şekilde:

$$\frac{I_1}{I_{1\alpha=0}} = \frac{\pi - 2\alpha - \sin 2\alpha}{\pi} \quad (5.17)$$

Normalize eden bileşen akımı (5.17)'deki gibi bulunur. Aynı şekilde harmonikler normalize edilirse :

$$\frac{I_n}{I_{1\alpha=0}} = \frac{4}{\pi} \left[\frac{\cos(n\alpha) \sin \alpha - n \sin(n\alpha) \cos \alpha}{n^3 - n} \right] \quad (5.18)$$

ifadesi elde edilir. Şekil 5.3 'de normalize harmonik akımlar verilmiştir. Buradan görüldüğü üzere $\alpha=30^\circ$ civarında kuvvetli bir üçüncü harmonik mevcuttur. Yine de α ateşleme açısı 90° 'ye yaklaştıkça harmonik akımlarının etkisi azalmaktadır. Şimdiye kadar yapılan incelemelerde Şekil 5.1'de olduğu gibi tristör kontrollü reaktör için yalnız bir faz dikkate alınmıştır. Pratikte karşılaşılan durum kompanzatörün üçgen bağlı halidir.

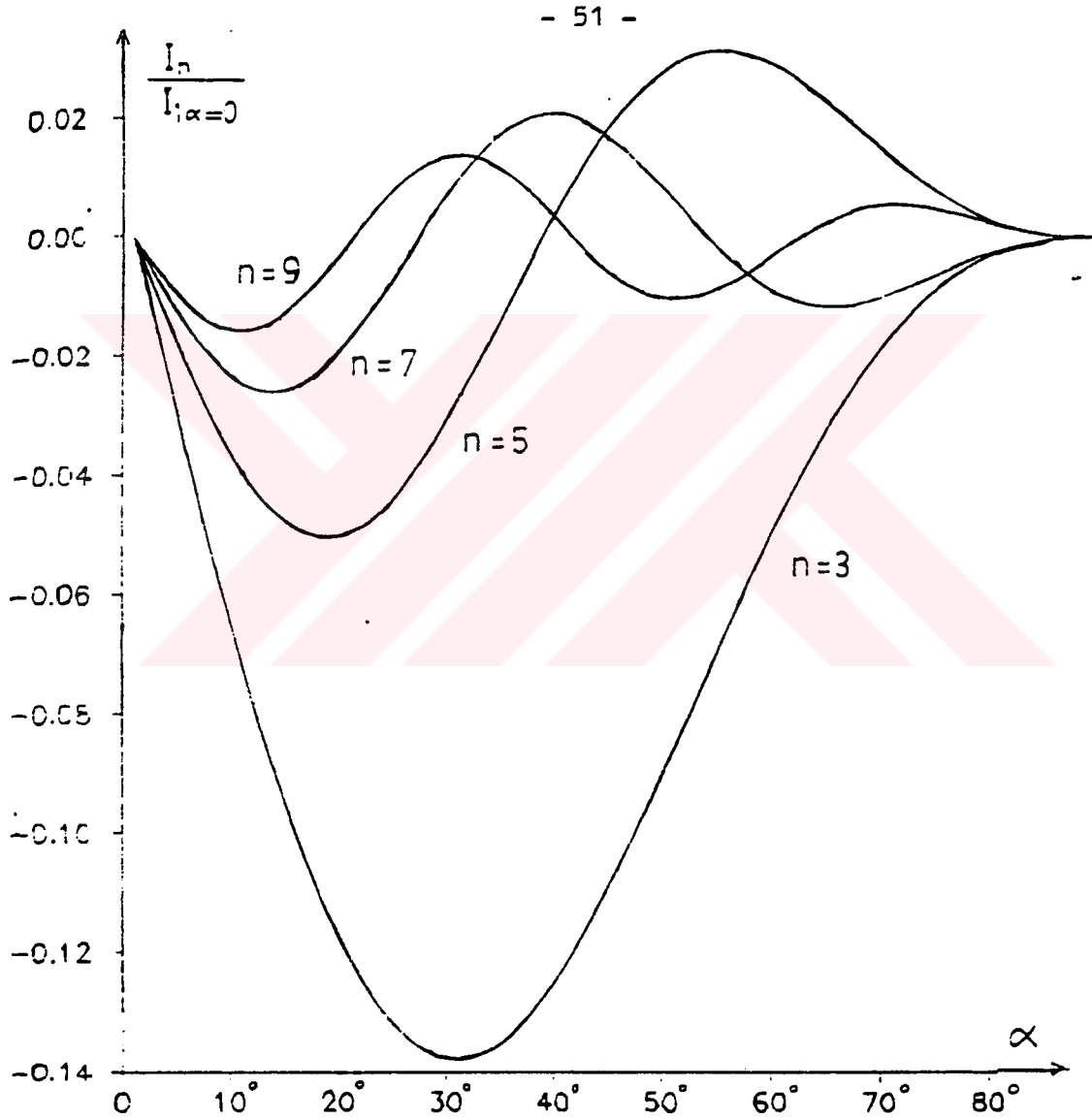
Sistem dengeli ise, üç ve katı harmonikler sadece üçgen devrede dolaşacak, fakat hat akımlarında görülmeyecektir. Tablo 5.1'de harmonik akımların, temel bileşenin tam iletimdeki ($\alpha=0$) değerine oranını yüzde cinsinden verir. Burada temel bileşen yüzde olarak tam yani 100 alınmıştır. Harmonik akımların bu oranlarını Şekil 5.3'de görmek mümkündür. Özellikle 30° civarında bu değerler açıkça görülmektedir.

Tablo 5.1 TCR'deki harmonik akımların maksimum genlikleri

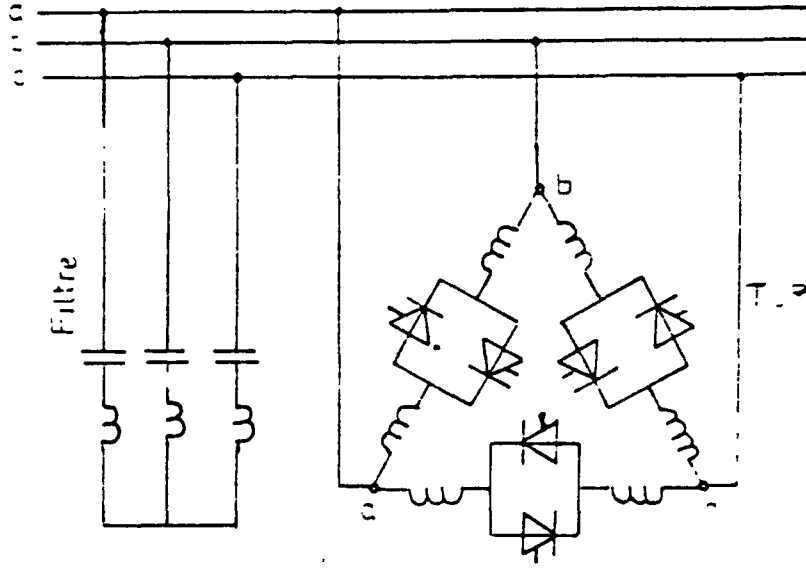
Harmonik derecesi (n)	Yüzde ($I_n/I_{1\alpha=0}$)
1	100
3	(13.78)
5	5.05
7	2.59
9	(1.57)
11	1.05
13	0.75
15	(0.57)

Tablo 5.1' de parantez içinde verilen değerler dengeli durumda hat akımlarında görülmeyecektir. Burada hemen belirtmelidir ki yukarıda verilen

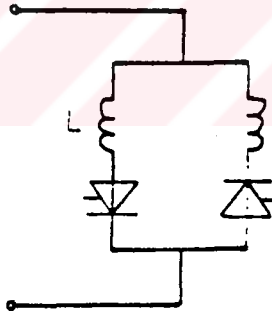
oranlar hat akımları ve üçgen devredeki faz akımları için aynıdır. Yalnız dalga şekilleri aynı formda değildir. Tristörlerin her iki yarıperiyotta simetrik tetiklenmesi önemlidir. Aksi durumda istenmeyen harmonikler, akımın doğru bileşeni gibi meydana gelecektir. Tristör kontrollü reaktörlerde, Şekil 5.1 veya Şekil 5.4 görülen alışılmış yapılardan farklı formlar kurularak harmonikler önlenilmeye çalışılmıştır. Bir örnek selfin iki ayrı selfe bölünmesidir. Şekil (5.5)



Şekil 5.3 Harmonik akımların ($n=3,5,7,9$) α' ya göre değişimleri

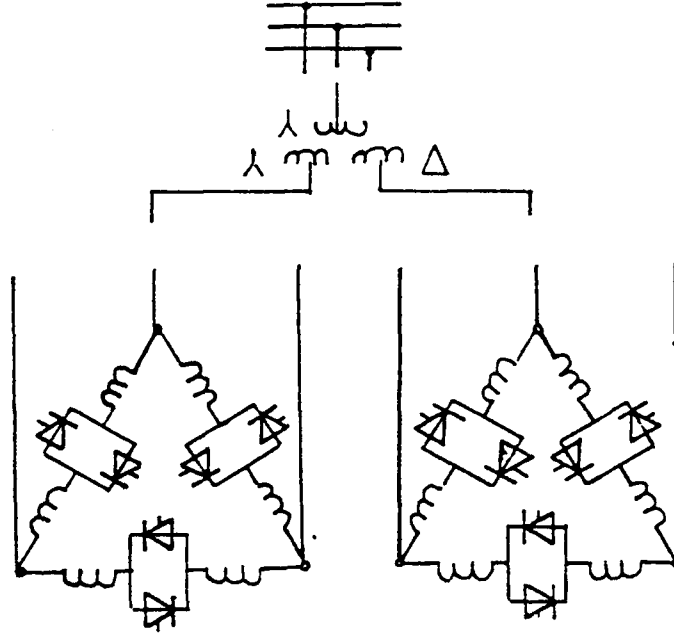


Şekil 5.4 Üçgen bağlı TCR ve filtreler.(Tristörleri reaktör kısa devrelerinden korumak için, reaktörler iki parçaya bölünmüş.)



Şekil 5.5 İki ayrı reaktörden oluşan TCR

5. ve 7. harmonikleri önlemek için sekonderi yıldız ve üçgen bağlı bir transformatörün sekonderine iki üçgen bağlı devre bağlanabilir. (Şekil 5.6)



Şekil 5.6 Sekonderi çift sargılı transformator ile TCR 'nin ayarlanması

İki TCR devresinin akımları ve gerilimleri arasında 30° faz farkı vardır. Bu 5. ve 7. harmonikleri yok eder. Etkin olan 11.ve 13. harmonikler için Şekil 5.4'de olduğu gibi filtre kullanmak gerekir. Bunun dışında Şekil 5.4 deki yapıda kalmak şartı ile 3.5.7..... şeklinde harmonikler için ayrı ayrı filtreler kurulabilir.

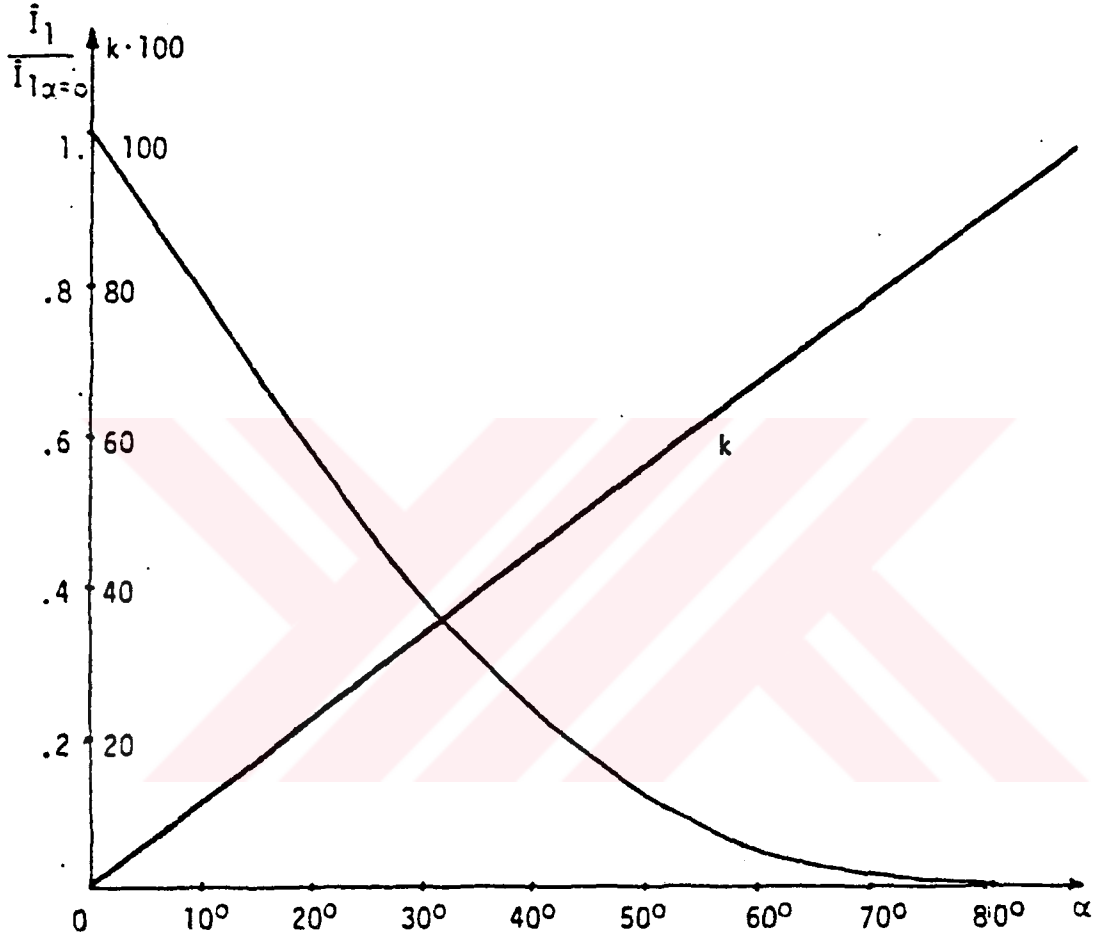
Normalize temel bileşen bağıntısı (5.17) göre, akımın temel bileşeni, α 'ya göre değiştirilebilirken, (5.18) ile verilen harmonikler meydana gelmektedir.

$$k(\alpha) = \sqrt{1 - (I_{1eff} / I_{eff})^2} \quad (5.19)$$

şeklinde ifade edilebilir. (5.12) ile verilen temel bileşenin genliğinin efektif değeri ve (5.5) ile verilen kıyıcı akımının efektif değeri (5.19)'da yerine konursa :

$$k(\alpha) = \sqrt{1 - \frac{(\pi - 2\alpha - \sin 2\alpha)^2}{2\pi[(\pi - 2\alpha)(1 - 1/2 \cos 2\alpha) - 3/2 \sin 2\alpha]}} \quad (5.20)$$

elde edilir. Toplam harmonik distorsiyonun ateşleme açısına göre değişiminden, ateşleme açısı büyüdükçe veya faz kontrolunda gecikme arttıkça, distorsiyonun da arttığı izlenmektedir. (Şekil 5.7)



Şekil 5.7 Maksimum genliğe normalize edilmiş temel bileşen akımının ve akımın toplam harmonik distorsiyonun ateşleme açısına göre değişimleri

5.3 TEMEL VE HARMONİK EMPEDANSLARIN ELDE EDİLMESİ

(5.12) bağıntısında, kıyıcı ve L endüktansının beraberce, herhangi bir ateşleme açısında gösterdiği temel bileşen empedansı,

$$Z_1(\alpha) = w.L_1(\alpha)$$

olarak tanımlanırsa, (5.12) ifadesi.

$$I_1 = \frac{U_m}{wL} \frac{\pi - 2\alpha - \sin 2\alpha}{\pi} \quad (5.21)$$

yazılabilir. (5.12) ve (5.21) ifadeleri eşitlenip $L_1(\alpha)/L$ 'ye göre çözülmesi sonucu L endüktansına normalize edilmiş olarak normalize temel bileşen endüktansı elde edilmiş olur.

$$\frac{L_1(\alpha)}{L} = \frac{\pi}{\pi - 2\alpha - \sin(2\alpha)} \quad (5.22)$$

(5.18), harmonik akımlarının genliklerinin, α 'nın fonksiyonu olarak, temel bileşenin maksimum değerine normalize edilmiş değişimini vermektedir. n . harmonik akıma karşı devrenin gösterdiği empedans $Z_n(\alpha)$ ile tanımlanırsa, ve temel bileşen empedansı

$\alpha=0$ için $Z_{1\alpha=0}=wL$ olduğundan,

$$\frac{I_1}{I_{1\alpha=0}} = \frac{Z_{1\alpha=0}}{Z_1(\alpha)} \quad (5.23)$$

ve harmonik akımları için benzer şekilde .

$$\frac{I_n}{I_{n\alpha=0}} = \frac{Z_{n\alpha=0}}{Z_n(\alpha)} \quad (5.24)$$

yazılabilir. (5.24) ifadesi $Z_n(\alpha)/wL$ göre düzenlenirse.

$$\frac{Z_n(\alpha)}{wL} = \frac{\pi}{4} \left(\frac{n^3 - n}{\cos(n\alpha) \sin \alpha - n \sin(n\alpha) \cos \alpha} \right) \quad (5.25)$$

harmonik empedanslar ifadesi bulunur.

Kıyııcı akımının efektif değeri I_{eff} , temel bileşen ve harmoniklerin genlikleri I_1 ve I_n şeklindeydi. I_1 ve I_n akımlarının efektif değerleri I_{1eff} ve I_{neff} yazılırsa,

$$I_{eff}^2 = I_{1eff}^2 + I_{3eff}^2 + \dots + I_{neff}^2 \quad (5.26)$$

yazılabilir. (5.6)'da akımın maksimum efektif değeri ifadesine dönülürse $\alpha=0$ için minimum efektif empedansın $Z_{0eff}=wL$ olduğu görülür. (5.7)'de olduğu gibi normalize efektif değer tanımından ;

$$\frac{I_{eff}(\alpha)}{I_{0eff}} = \frac{Z_{0eff}}{Z_{eff}(\alpha)} \quad (5.27)$$

yazılabilir. (5.27)'den efektif empedans:

$$\frac{Z_{eff}(\alpha)}{wL} = \sqrt{\frac{1}{2/\pi[(\pi - 2\alpha)(1 - 1/2 \cos 2\alpha) - 3/2 \sin 2\alpha]}} \quad (5.28)$$

bulunur. (5.26) ifadesi normalize değerler olarak,

$$\frac{I_{eff}^2}{I_{0eff}^2} = \frac{I_1^2(\alpha)}{I_{1\alpha=0}^2} + \frac{I_3^2(\alpha)}{I_{3\alpha=0}^2} + \frac{I_5^2(\alpha)}{I_{5\alpha=0}^2} + \dots + \frac{I_n^2(\alpha)}{I_{n\alpha=0}^2} \quad (5.29)$$

elde edilir. (5.23), (5.24) ve (5.28) ifadeleri kullanılırsa:

$$\left(\frac{wL}{Z_{eff}(\alpha)}\right)^2 = \left(\frac{wL}{Z_1(\alpha)}\right)^2 + \left(\frac{wL}{Z_3(\alpha)}\right)^2 + \left(\frac{wL}{Z_5(\alpha)}\right)^2 + \dots + \left(\frac{wL}{Z_n(\alpha)}\right)^2$$

ve wL ifadeleri denklemlerden düşünülür. $Z_n = w_n L_n(\alpha)$ ve $w_n = n.w$ ifadeleri kullanılırsa

$$\left(\frac{1}{Z_{eff}(\alpha)}\right)^2 = \left(\frac{1}{w_1 L_1(\alpha)}\right)^2 + \left(\frac{1}{w_3 L_3(\alpha)}\right)^2 + \left(\frac{1}{w_5 L_5(\alpha)}\right)^2 + \dots + \left(\frac{1}{w_n L_n(\alpha)}\right)^2 \quad (5.30)$$

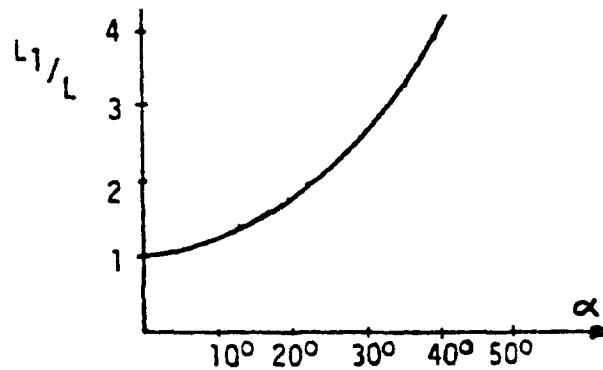
bağıntısı elde edilir. L selfi ile yüklü kıyıcı, şebekeye karşı $Z_{eff}(\alpha)$ efektif empedansını gösterirken, bu empedans içinden akan $i_n(w_n t)$ harmonik akımları yüzünden oluşan harmonik empedanslar cinsinden (5.30)'da olduğu gibi verilebilir.

5.4 KIYICI İLE DEĞİŞKEN SELF ELDE EDİLMESİ

Temel bileşen endüktansı (5.22) bağıntısı ile normalize edilmiş olarak verilmişti

$$\frac{L_1(\alpha)}{L} = \frac{\pi}{\pi - 2\alpha - \sin(2\alpha)}$$

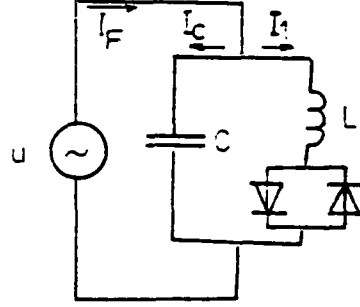
$L_1(\alpha)$, kıyıcı devrede, değişik tetikleme açılarında $i(wt)$ akımının temel bileşeni üzerinden saptanan endüktans değeridir. Yüklü saf bir endüktansdan oluşan bir alternatif akım kıyıcı, akımın sadece temel bileşeni göz önüne alındığında, α tetikleme açısına bağlı olarak, $L_1(\alpha)$ eşdeğer saf endüktansına dönüşür.



Şekil 5.8 Normalize saf endüktansın α ile değişimi

5.5 KIYICI İLE DEĞİŞKEN KAPASİTE OLUŞTURULMASI

Alternatif akım kıyıcı ve seri selfden meydana gelen tristör kontrollü reaktörde akım daima endüktif karakterlidir. Bu sisteme uygun boyutlarda sabit paralel kapasite bağlanırsa, tetikleme açısına bağlı olarak, toplam sistem endüktif veya kapasitif karakterli yapılabilirler. Şekil(5.9)



Şekil 5.9 Tristör kontrollü reaktör ve sabit kapasite (TCR/FC)

Şekil (5.9) deki devrede toplam empedans bulunmalıdır. $L_1(\alpha)$ temel bileşen endüktansı esas alınacaktır. Diğer harmonik akımlarının süzülmesi varsayılacaktır. α 'ya bağlı olarak $L_1(\alpha)$ ifadesi (5.22) 'de verilmiştir.

Tetikleme açısının $0 < \alpha < \pi/2$ aralığında kontrol edildiği biliniyor. $\alpha=0$ için $L_1(\alpha) = L$ ve $\alpha = \pi/2$ $L_1(\alpha) \gg L$ şeklindedir. Paralel devrenin empedansları $\omega L_1(\alpha)$ ve $1/\omega C$ dir. j operatöründe göz önüne alınırsa kompleks admitans ifadesi,

$$Y = j \frac{\omega^2 L_1(\alpha) C - 1}{\omega L_1(\alpha)} \quad (5.31)$$

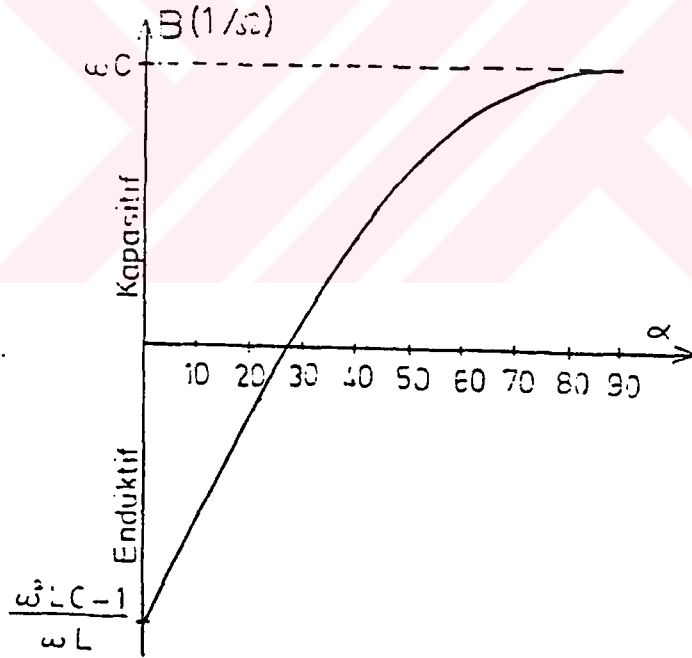
bulunur. Bu ifadenin modülü devre kayıpsız olduğundan B suseptansına eşit olacaktır.

$$B(\alpha) = \frac{\omega^2 L_1(\alpha) C - 1}{\omega L_1(\alpha)} \quad (5.32)$$

$L_1(\alpha)$ eşdeğeri (5.32) de yerine konursa

$$B(\alpha) = \frac{\omega^2 LC - \pi + 2\alpha + \sin 2\alpha}{\omega L \pi} \quad (5.33)$$

toplam suseptansı bulunacaktır. (5.33), kompanzatörün kontrol karakteristiğini verdiğinden çok önemlidir. Bundan sonra (5.33) ifadesi tüm kontrol işlemlerinde esas olarak alınacaktır. İstenen özellik B suseptansının geniş bir aralıkta, hem endüktif hem de kapasitif bölgede değişmesini sağlamaktadır. Bunun için $\omega L < 1/\omega C$ veya $\omega^2 LC < 1$ koşulu (5.33) ifadesini sağlamasıdır. Aksi durumda $\omega^2 LC = 1$ veya $\omega^2 LC > 1$ ise, kompanzatör sadece kapasitif bölgede kalacak ve değişen bir kapasite gibi davranacaktır. Endüktif bölgede çalışmak için L endüktansının gücü, C kapasitesinden büyük tutulmalıdır.



Şekil 5.10 B suseptansının endüktif ve kapasitif bölgede α 'ya bağlı değişimi

B suseptansı Şekil 5.10 deki gibi değişirken devrenin α 'ya bağlı reaktif güç değişiminin bilinmesi yararlıdır. Şekil 5.9'dan faydalanılarak devrenin çektiği I_r

akımı. kaynak fonksiyonu $u = U_m \cos \omega t$ ve gerilimin efektif değeri $U_{eff} = U_m / \sqrt{2}$ olduğuna göre kompleks ifade olarak,

$$I_F = j U_{eff} \left(\omega C - \frac{1}{\omega L_1(\alpha)} \right) \quad (5.34)$$

şeklinde yazılabilir. Reaktif gücün kompleks ifadesi,

$$Q = I_m (U \cdot I_F^*) \quad (5.35)$$

yazılabilir.

$$Q = \text{Im} \left[U_{eff} \left(-j U_{eff} \left(\omega C - \frac{1}{\omega L_1(\alpha)} \right) \right) \right] \quad (5.36)$$

$$Q = -U_{eff}^2 \left(\omega C - \frac{1}{\omega L_1(\alpha)} \right)$$

elde edilir.

(5.32) ifadesine bakılırsa

$$B(\alpha) = \omega C - \frac{1}{\omega L_1(\alpha)}$$

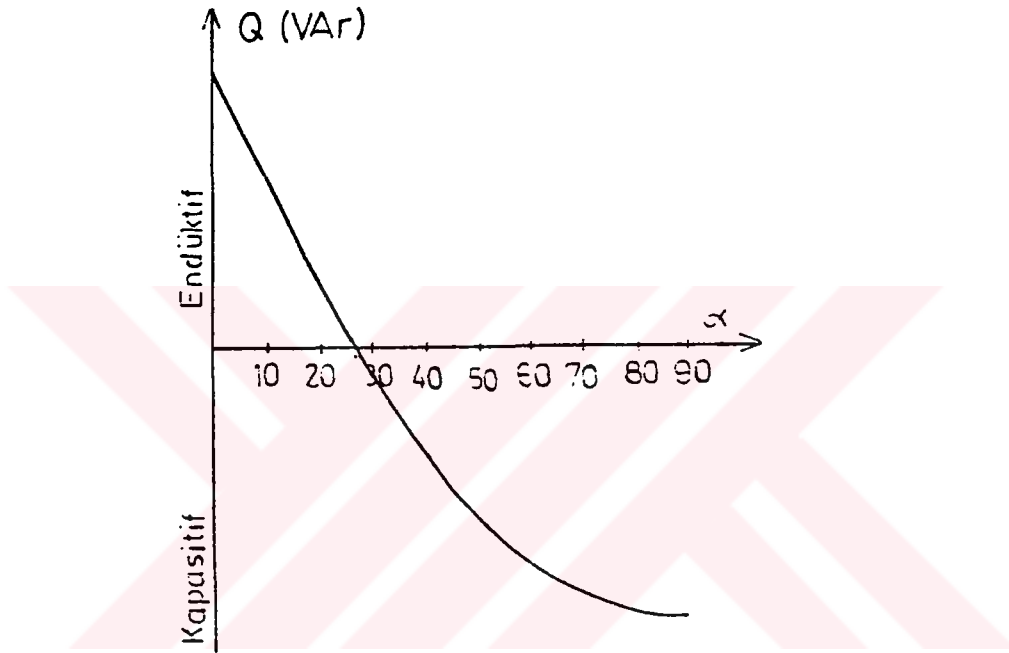
olduğu görülür. Öyleyse,

$$Q(\alpha) = -B(\alpha) U_{eff}^2 \quad (5.37)$$

bağıntısı elde edilir. Burada $B(\alpha)$, (5.33) ile verilmiştir. α tetikleme açısına göre $Q(\alpha)$ nın değişimi gösterilebilir. (5.37) ifadesi ile belirlenen ve Şekil 5.10'da gösterilen karakteristik. eğer reaktif güç referans alınır, kompanzatör kontrolü için bir kontrol karakteristiği olarak kullanılabilir.

Tristör kontrollü reaktör ve sabit kapasiteden (TCR/ FC) oluşan kompanzatör suseptans bağıntısı $B(\alpha)$ (5.33) ile verilmiştir. Şimdi tetikleme açısı α sabit iken ω sistem frekansı değiştiğinde $B(\omega)$ nın değişimini gözlemek, yüksek frekanslarda kompanzatörün nasıl davranacağı hakkında bilgi verecektir.

$$B(\omega) = \frac{\omega^2 LC - \pi + 2\alpha + \sin 2\alpha}{\omega L \pi} \quad \left| \quad \alpha = \text{sbt} \right. \quad (5.38)$$

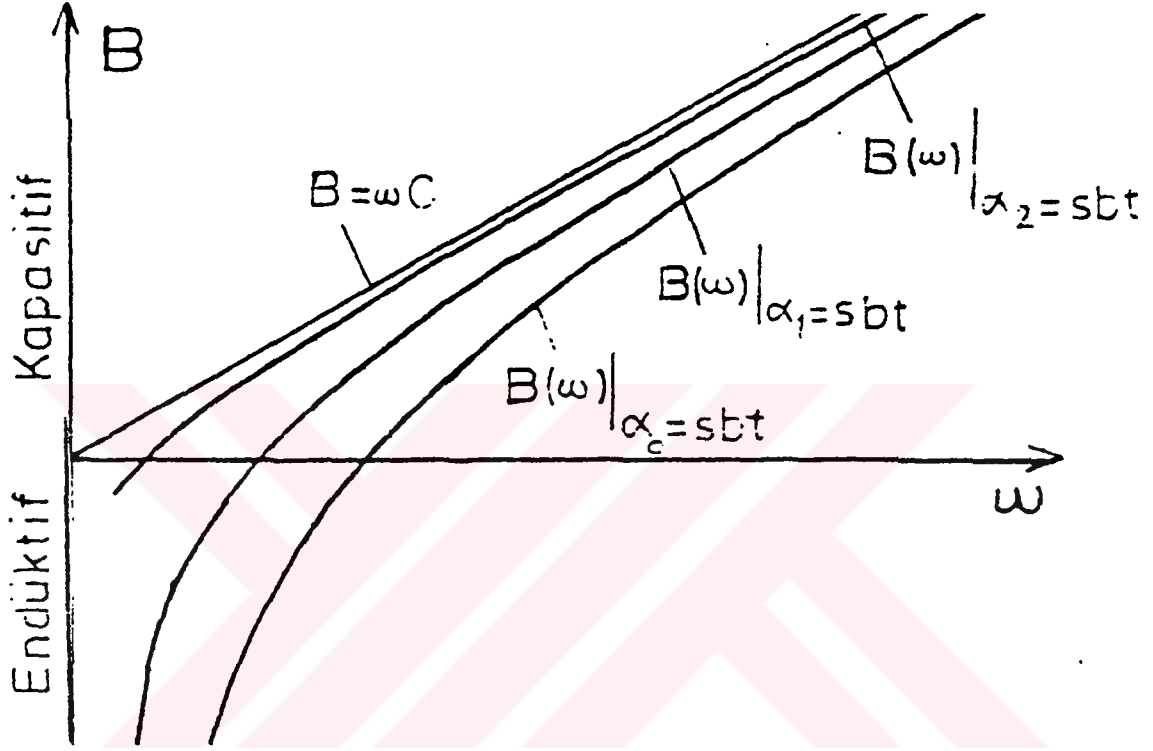


Şekil 5.11 $Q(\alpha)$ reaktif gücünün endüktif ve kapasitif bölgede α ' ya bağlı değişimi

Eğer $C = 0$ ise veya sadece tristör kontrollü reaktör için

$$B_L(\omega) = \frac{2\alpha + \sin 2\alpha - \pi}{\omega L \pi} \quad \left| \quad \alpha = \text{sbt} \right. \quad (5.39)$$

ifadesi bulunacaktır. Şekil 5.9 ile verilen TCR / FC kompanzatörün bir güç sistemine bağlı olduğu düşünülürse, yüksek frekanslarda kapasitif davrandığı ve tetikleme açısından bağımsız olduğu söylenebilir.



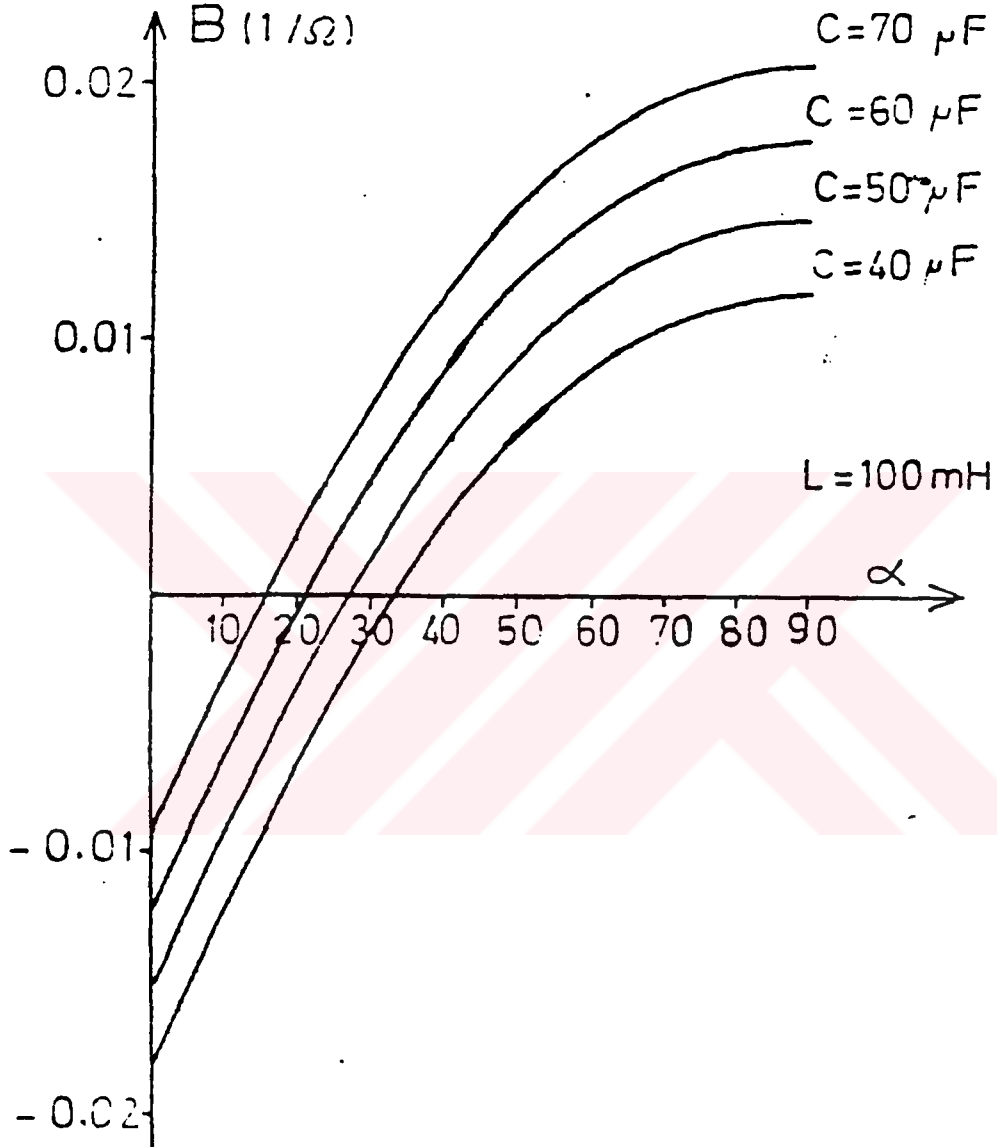
Şekil 5.12 TCR/ FC kompanzatörün suseptans- frekans karakteristiği

5.6 Uygulama

Şekil 5.9 ile verilen TCR/FC devresi kullanılarak önce $B(\alpha)$ değişimi daha sonra $Q(\alpha)$ değişimi ve son olarak $B(\omega)$ eğrileri çizilecektir.

Kaynak fonksiyonu $u = U_m \cos \omega t$ olarak verildiğine göre tetikleme açısı $0 < \alpha < \pi/2$ aralığında değişecektir. (5.33) ifadesine göre α değişirken $B(\alpha)$ değişimi değişik kapasite değerleri için elde edilsin. Burada selfin değeri $L = 100 \text{ mH}$ C

kapasitesinin değeri $40 \mu F$ ' dan $70 \mu F$ kadar değiştirilecektir. Kaynağın açısal frekansı $\omega=2\pi f$ ve $f = 50 \text{ Hz}$ ' dir.

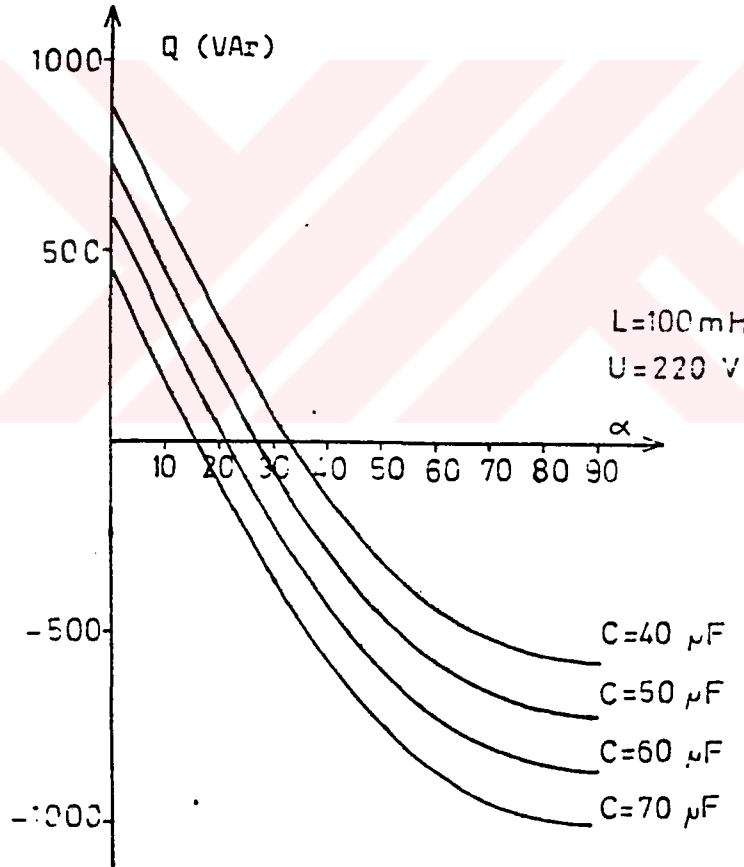


Şekil 5.13 Farklı kapasite değerleri için suseptansın. α ile değişimi

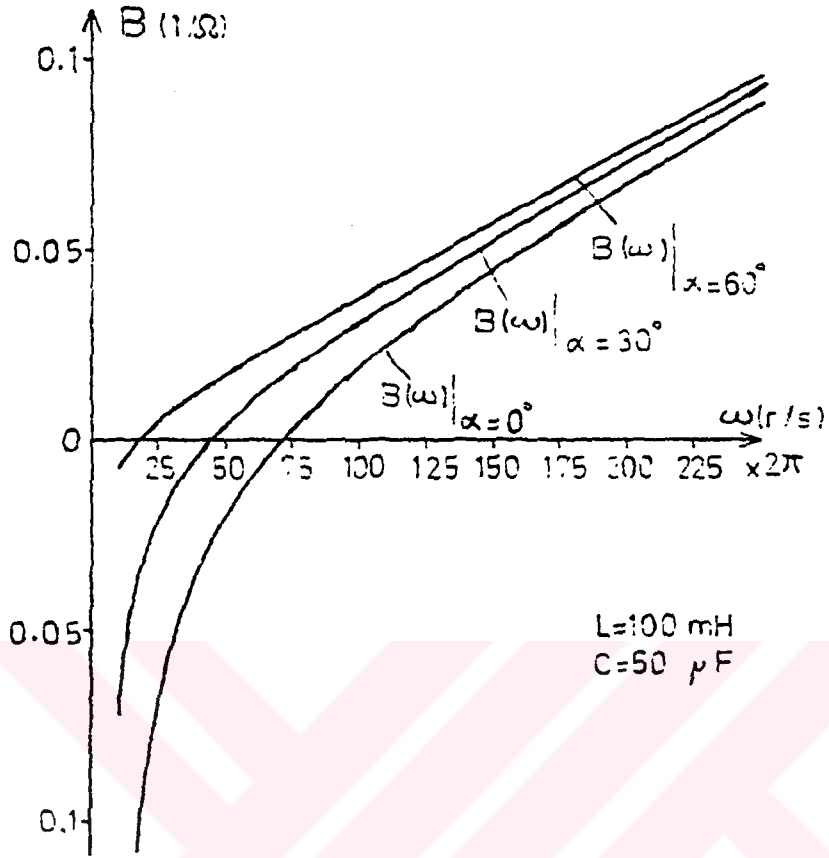
Değişen kapasite değerleri için farklı suseptans eğrileri bulunmuştur.

α tetikleme açısına göre reaktif güç değişimi (5.37) ile verilmiştir. Yukarıda seçilen değerler için (5.33) dan faydalanılarak $Q(\alpha)$ reaktif gücünün α tetikleme açısına göre değişimini elde edebiliriz. Burada $U_{\text{eff}} = U_m / \sqrt{2}$ ve $U_{\text{eff}} = 220 \text{ V}$ dir. Şekil (5.13) ve Şekil.(5.14) den görüldüğü gibi kapasitenin değeri değiştirilerek istenen reaktif güç elde edilebilir. α tetikleme açısına göre farklı eğriler elde edilmektedir. Böylece istenirse kapasitif reaktif güç veya endüktif reaktif gücün etkisi artırılabilir.

Tetikleme açısı sabit iken sistem açısal frekansı ω değiştirildiğinde suseptansların değişimi (5.38) ifadesi ile verilmiştir. $L = 100 \text{ mH}$, $C = 50 \mu\text{F}$ değerleri için ve tetikleme açısı $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ değerlerinde sabit olmak koşulu ile $B(\omega)$ eğrileri elde edilecektir.



Şekil 5.14 Değişik reaktif güçlerin α ile değişimleri



Şekil 5.15 Kompanzator suseptansının frekans ile değişimi

BÖLÜM 6

DİNAMİK PERFORMANS SİMÜLASYONU İÇİN STATİK VAR KOMPANZASYON MODELLERİ VE KONTROLÜ

Statik Var kompanzatör, iletim uygulamaları için yaygın olarak kullanılan yerleşmiş teknolojidir. Bu bölümde temel modellerin standardizasyonu için gerekli ihtiyaçlar ve öneriler verilmiştir.

Statik Var sistemleri birkaç amaç için iletim uygulamalarındaki faydalarından dolayı uygulanır. İlk amacı bir şebekedeki zayıf noktalardaki, gerilimin genellikle hızlı kontrolüdür. Yerleştirilmeleri , yük alanı içinde veya enterkonnekte şebekenin orta nokta sında olabilir.

Bir statik Var sisteminin elemanları :

- (a) Güç elektroniği elemanlarının olduğu orta gerilim barası ile yüksek gerilim şebeke barasının arasına transformatör bağlanır. Genellikle ayrılmış bir transformatör kullanılır.
- (b) Orta gerilim barasına bağlanmış tristör- kontrollü reaktör (TCR)
- (c) Orta gerilim barasına bağlanmış tristör-anahtarlama reaktör (TARs)
- (d) Orta gerilim barasına bağlanmış tristör- anahtarlama kapasiteler (TAKs)
- (e) Orta gerilim barasına bağlanmış doymuş reaktör (DR)
- (f) Sabitleştirilmiş kapasiteler (FC)
- (g) Orta gerilim barasına bağlanmış harmonik filtreler. Temel frekansta filtreler kapasitifdir.
- (h) Mekaniksel anahtarlama, kapasitörler veya (MAKs) veya reaktörler (MARs) genellikle yüksek gerilim barasına bağlanır.
- (i) Kontrol sistemi, genellikle ayarlı hat gerilimin birincil fonksiyonudur.

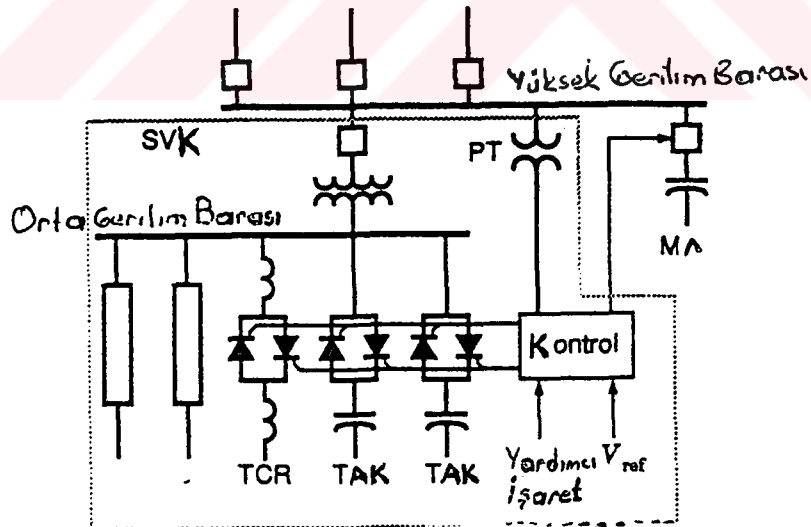
Burada temel frekans, ve dinamik programlar (özdeğer,geçicihal) ,güç akış programları için pozitif faz sırası modelleri tanımlanır. Generatör, stator, ve şebeke

elemanları sinüzoidal kararlı hal içinde modellenir. Bu programlar gerilim kararlılığı ve rotor açısı kararlılığı için kullanılır.

Bu bölümde temel modeller verilmiş olup, daha detaylı modeller için bir iskelet oluşturulmuştur. Modeller, mümkün olan mesafeler için standartize edilmeye ihtiyaç duyarlar. Temel standart modeller, veri değiştirme parametreleri ile beraber tanımlanmış olmaya ihtiyaç duyarlar. Bu bölüm programcılar ve kullanıcılar tarafından statik Var sistemlerinin daha iyi modellenmesini sağlamak ve büyük dereceli simülasyon için farklı bilgisayar programları arasında veri değişikliklerini kolaylaştırmak için gerekli işlemleri kapsar.

6.1 STATİK VAR SİSTEMLERİNİN TEMEL TANIMI

Şekil 6.1, iletim uygulaması için tipik bir statik Var sisteminin tek hat diyagramıdır. Bir tane MAK ile beraber, bir tane TCR ve iki TAK göz önüne alınmıştır. TCR reaktif güç oranı tipik olarak, ayrı TAK ve MAK bloklarından az daha büyüktür. Bu durum giriş SVS üzerinde devamlı kontrole izin verir. Harmonik filtreler, TCR oranının %10-30'unun reaktif güç sağlaması durumunda temel frekansda kapasitifdirler.

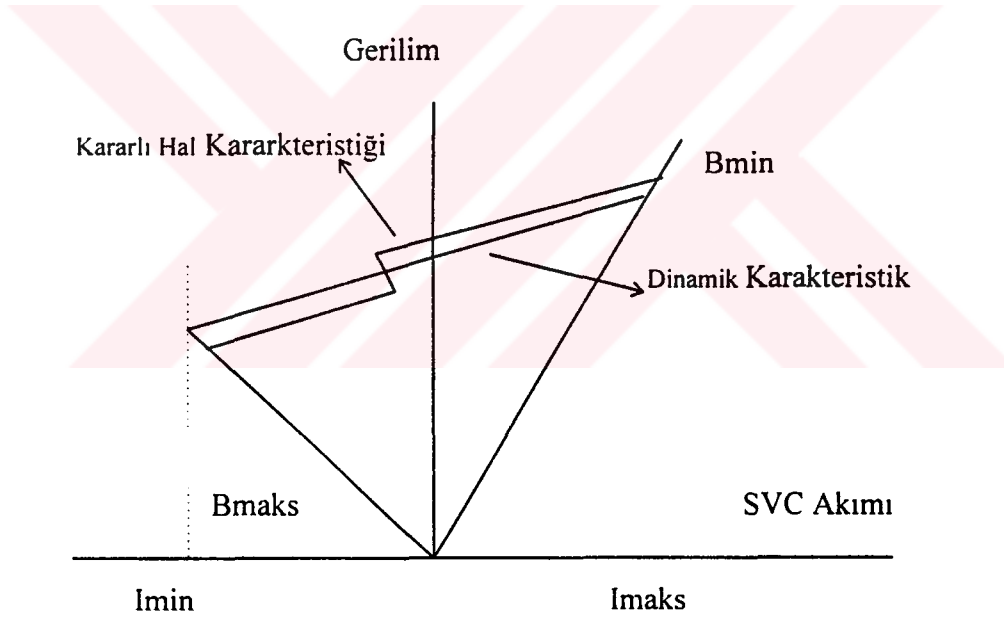


Şekil 6.1 Tipik Statik Var Sistemi

Şekil 6.2, sistemin kararlı hal ve dinamik gerilim akım karakteristiklerini gösterir. Aktif kontrol oranı içinde akım / suseptans ve reaktif güç, bir eğim

karakteristiğine göre gerilimi ayarlamak amacıyla değiştirilir. Eğim değeri değişik kaynaklar vesistemin diğer ihtiyaçları arasında reaktif güç üretiminin istenilen payına, istenilen gerilim ayarına bağlıdır. Eğim tipik olarak %1-5'dir. Kapasitif limitde SVK bir şönt kapasitör olur. Endüktif limitte ise SVK bir şönt reaktör olur. (akım ve reaktif güç sınırlandırılmışda olabilir.)

Dinamik karakteristik tarafından gösterilen cevap çok hızlıdır ve normal olarak geçici hal simülasyonu içinde gösterilmiş cevaptır. Bazı SVK, istenilen kararlı hal işletme noktası için SVK'yi yavaşca döndürmek amacıyla bir suseptans/akım/reaktif güç ayarlayıcısına sahiptirler. Bu durum SVK'yi normal işletme durumları esnasında, sınırlarına doğru sürüklenmesini engeller. Normal işletme esnasında gerilim, suseptans ayarlayıcının çıkışı üzerindeki sınırlar tarafından saptanmış bir ölü bandı aşan gerilim olmaksızın ayarlanamaz. Şekil (6.2)



Şekil 6.2 Yüksek gerilim barasındaki SVK statik karakteristikleri

6.2 GÜÇ AKIŞI MODELLERİ

Çoğu güç akışı programları özel bir statik Var kompanzatör modelleri içermezler. SVK sıklıkla reaktif güç limitli konvansiyone PV(generatör)barası olarak modellenir. Eğer SVK bir kapasitör veya reaktör olarak işletim sınırları üzerinde ise, bu büyük bir hata içinde sonuçlanır. Eğer düşük gerilim temel amaç ise SVK, SVK (şönt kapasitörlü PV bara)'nın bir TCR-FC tipi olarak modellenebilir. Örneğin düşük gerilim problemleri için bir ± 200 MVar 'lık SVC 200 MVar, 400 MVar 'lık endüktif limitli ve sıfır kapasitif limitli bir PV barası olarak gösterilebilir. Kapasitif sınır doğru bir şekilde gösterilebilir ancak endüktif limit gösterilemez

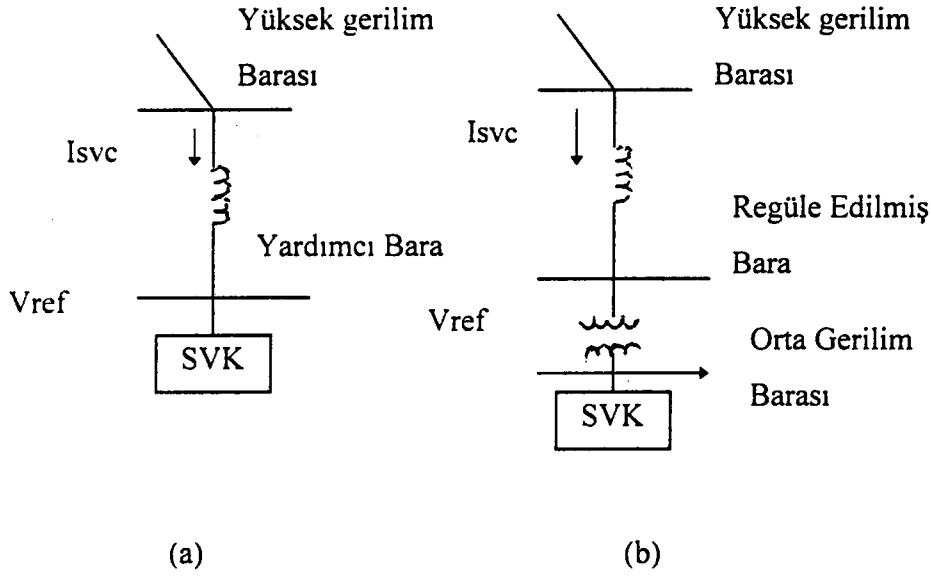
Konvensiyonel güç akışı programları ile suseptans ayarlayıcı bir SVK, gerilim sınırlı bir PQ (yük) barası tarafından gösterilebilir.

SVC eğim değeri özellikle sistem performansını simüle etmek için gösterilmiş olmalıdır. Güç akışı simülasyonu uygun eğim değerinin saptanması için başlıca araçtır. Eğimin ifadesi zayıf sistemler olduğunda gerçektir. Çünkü SVK şebeke içinde kritik noktalara yerleştirilir ve yüksek kenar tarafındaki hat geriliminin ayarlanmasından dolayı, SVK eğiminin ifadesi generatör eğiminden daha önemlidir.

6.2.1 Konvensiyonel Güç Akışı Programları Kullanan Modeller

Bir konvensiyonel güç akışı programı ile eğim, birim eğime eşit bir reaktans tarafından yüksek gerilim barası tarafından ayrılmış yardımcı bir baraya SVK bağlanmasıyla ifade edilebilir. Yardımcı bara PV barasından sonradır. Eğer SVK transformatör yerleştirilirse, yüksek gerilim barası ile yardımcı bara arasındaki reaktans, transformatör kaçak reaktansının bir kısmıdır. Orta gerilim barası bir yardımcı bara ayarlamalı PV baradır.

Şekil 6.3 bir yardımcı bara kullanılan SVK eğim modellenmesi kavramını gösterir.



Şekil 6.3 (a).Konvensiyonel güç akış PV baraları kullanılan eğim ifadeli SVK modelleri. Şekil 6.3(b) Transformatör içeren SVK modelleri

6.2.2 Güç Akışı Çalışmaları İçin Veri Değişiklikleri

Temel modeller için veri değiştirme parametreleri, reaktif güç kontrol modülü için gerilim ölü bandı, yüksek kenar reaktif güç değeri, eğim, gerilim kurma değeri, ve yüksek gerilim barasındaki bir birim kapasitif ve endüktif reaktif güç değerleridir. Eğim kesin olarak belirtilmiş SVK temeli üzerindeki birim içinde olmalıdır.

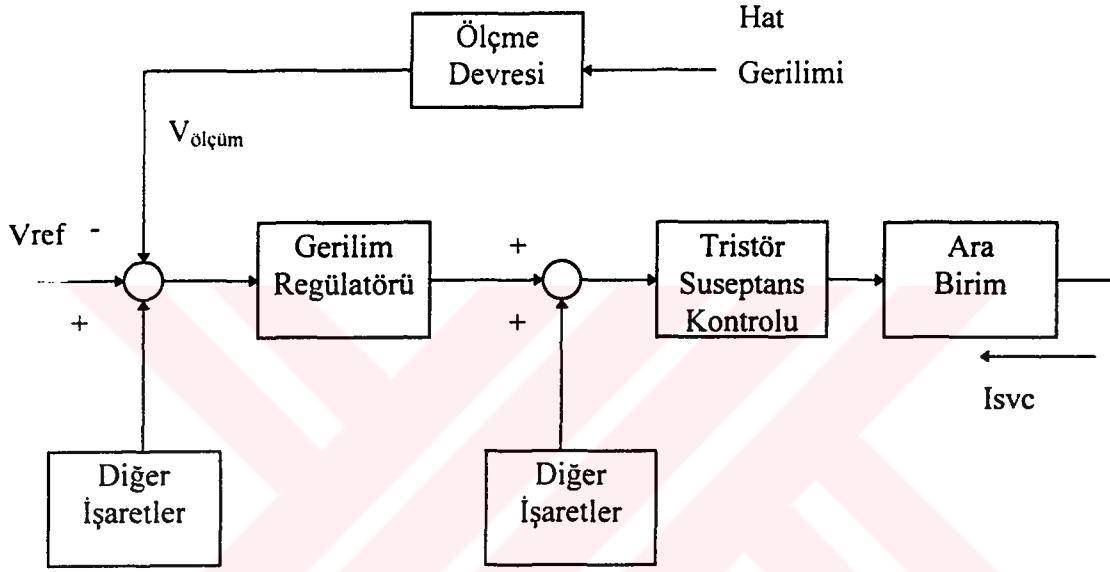
Orta gerilim barasında daha detaylandırılmışlık içinde gösterilmiş SVK için veri değiştirme parametreleri, standart transformatör verisi ve kontrollü olması için MSRs veya yüksek gerilim MAKs 'i içerir. Bir birim orta gerilim barasındaki reaktif güç alanına ihtiyaç duyulur.

6.3 DİNAMİK PERFORMANS İÇİN TEMEL DOĞRUSAL OLMAYAN MODELLER

Geçici hal programları için iki temel model, standart modeller olarak tavsiye edilir. Temel modellerin bireysel modülleri daha detaylı modellerin bloklarını yapar. Diğer fonksiyonlar için model modülleri aşağıdaki kısım içinde tanımlanmıştır.

6.3.1 Temel Modeller

Temel model 1 ve Temel model 2' nin yapıları ifade edilen eğimin metodu hariç benzerdir. İlk model daha basittir ve çoğu var olan geçici hal programları içindeki modellere benzerdir. Sürekli kontrollü SVK için herikiside uygundur. Modeller. kompanzatörün TSC / TAR tiplerinin yerleştirilmeleri için modifiye edilebilir.

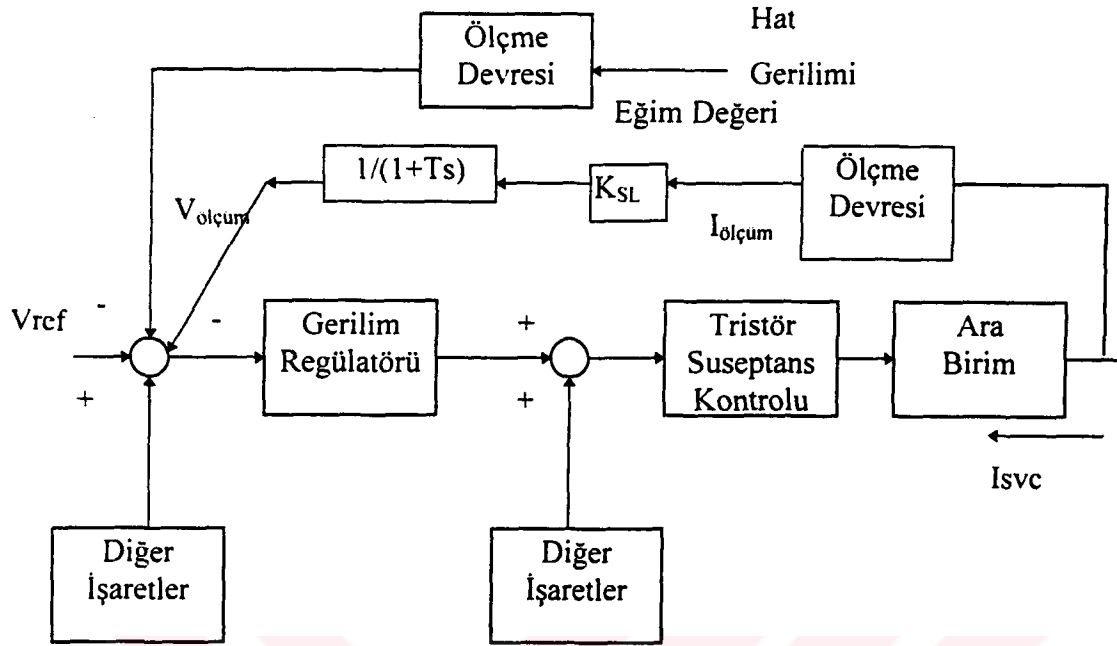


Şekil 6.4 Temel Model 1

Şekil 6.4 Temel model 1' i gösterir .Gerilim ayarlayıcı modül oransal tiptir ve kazanç K_R eğimin tersidir. 100 (p.u)' luk bir kazanç, SVK temeli üzerinde $B_{svc} / \Delta V(p.u)$ %1 eğim anlamındadır. Bu model başlangıç çalışmaları için çokca kullanılır.

Şekil 6.5 Temel Model 2' yi gösterir. Gerilim ayarlayıcı integral veya oransal artımlı integral tiptir.ve eğim K_{SL} ,akım geri beslemesi boyunca gerçekleştirilir. Kazanç ve eğim değerleri bağımsızdırlar. Bazı malzemeler içinde akım, gerilim ve suseptansın çarpımı tarafından saptanır. Diğer malzemeler içinde akımdan ziyade reaktif güç ölçülür. Saf integral kontrolü çok yaygındır. Zaman sabiti T_s (0.01-0.05)sn SVK kontrol kararlılığını geliştirmek için en az bir üretici tarafından kullanılır.

Temel model 2 çoğu yerleştirilmiş SVK 'lerin fiziksel yapısını gösterir fakat hepsini göstermez.



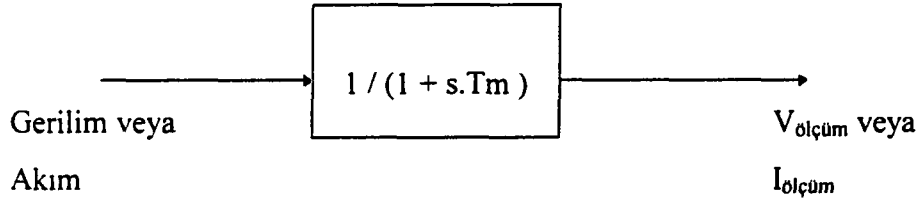
Şekil 6.5 Temel Model 2

İki model arasındaki temel fark eğim gerçekleştirme metodu içindedir. Model 1 gerilim suseptans lineer ilişkisini verir. Model 2 ise akım ile gerilim arasındaki lineer ilişkiyi verir. Bir birime yakın gerilim ve eğimin alışılmış küçük değerleri için çok fazla fark yoktur. Her iki tipte kullanılmaktadır.

6.3.1.1 Ölçme Modülleri

Ölçme modülleri, üç fazlı akım ve geriliminin ölçülmüş değerlerini, temel frekans kavramı ve pozitif sıranın genliği ile orantılı olan bir yarı da kontrol işaretine dönüştürür. Bu, dönüştürücü, A/D dönüştürücü hesabı ve filtreler tarafından yapılır. Temel frekans simülasyonu için model, 1-8 ms 'lik zaman sabitli tek düşük geçiş filtresidir. Şekil 6.6 zaman sabiti kullanılan gerçek filtreye bağlıdır. Eğer şebeke temel frekansa yakın güçlü rezonans gösteriyorsa, SVC kontrol kararlılığını sürdürebilmek için daha ayrıntılı filtreler gerekebilir. Bu tip filtrelerin düşük frekans cevapları modellenmiş olmalıdır.

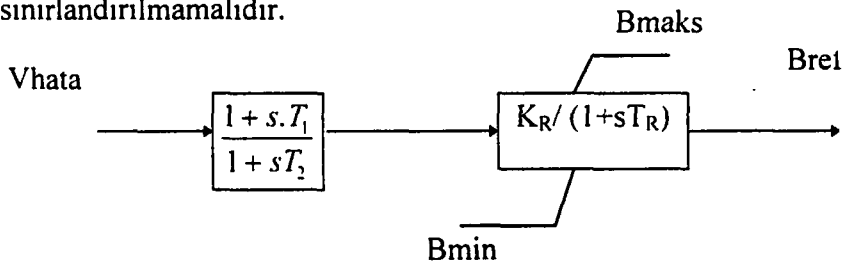
Ölçme modelleri Şekil 6.4 ve Şekil 6.5 'de içinde tamamlanmadan gösterilmiştir. Küçük zaman sabitlerinden dolayı, bunlar temel modellerin bir parçası olarak düşünülmemiştir. Çoğu durumda, modüller gösterilmiş olmaya ihtiyaç duymazlar ve büyük dereceli simülasyonlar içinde normal olarak kullanılmış integrasyon adım boyutlarıyla uygun olmayabilir.



Şekil 6.6 Ölçme modülü

6.3.1.2 Temel Model 1 İçin Gerilim Ayarlayıcı Modül

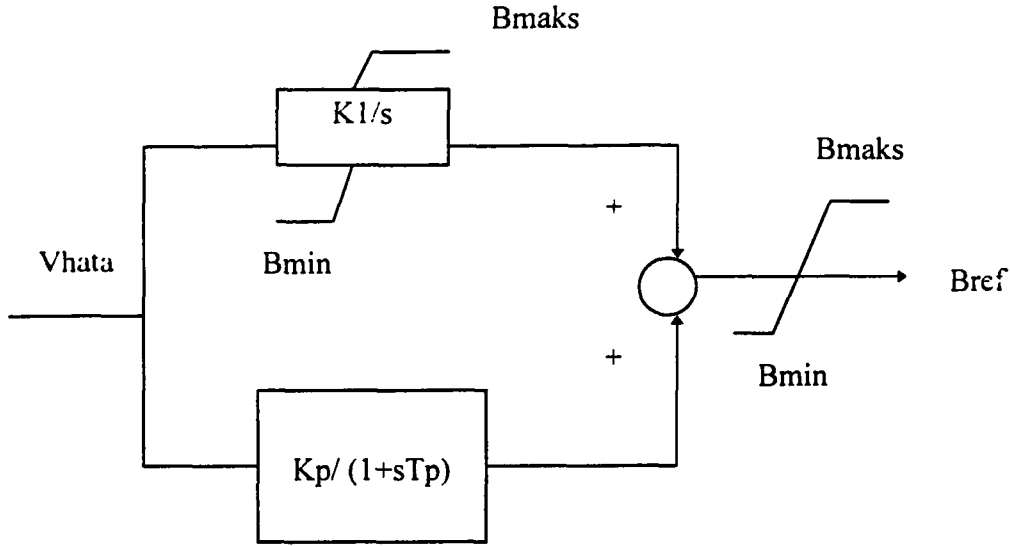
Şekil 6.8 modeli gösterir. Kazanç K_R , eğim değerinin tersidir. K_R , genellikle SVC temeli üstünde 20 birim (%5 eğim) ve 100 birim (%1 eğim) arasındadır. Zaman sabiti T_R , genellikle 20 ms ile 150ms arasındadır. Önceki ve sonraki terimler sıfırdır. Birinci simülasyon için faz kayması, salınımın sönmesinin gelişmesi için kullanılabilir. Yüksek kararlı hal kazancı kullanıldığında, önceki ve sonraki terimleri uygun faz ve kazanç sınırlarının sağlanması için de kullanılabilir. İntegratör sınırlandırılmamalıdır.



Şekil 6.7 Temel model 1 için gerilim ayarlayıcı model

6.3.1.3 Temel Model 2 İçin Gerilim Ayarlayıcı Modül

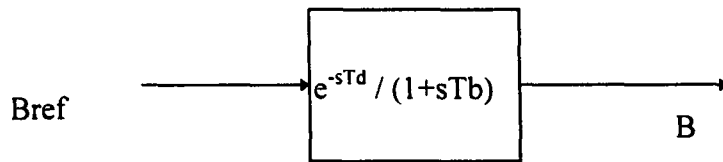
Şekil 6.8 modeli gösterir. Oransal kazanç kullanılırsa daha hızlı cevapla sonuçlanır. Zaman sabiti $T_p = 0$ olabilir.



Şekil 6.8. Temel Model 2 İçin gerilim Ayarlayıcı Model

6.3.1.4 Tristör Suseptans Kontrol Modülü

Tristör iletme geçişindeki gecikmeyi modellemek üzere şekil 6.9 'da verilen blok diyagram kullanılmaktadır. Burada T_d 1ms olarak, T_b ise 3...6 ms arasında seçilmesi uygundur. Bu transfer fonksiyonu kontrol sisteminin yaklaşık bir ifadesidir. Kararlılık programının band genişliğinin sınırlandırılmasından dolayı tristör suseptans kontrolü normal olarak gösterilmez. B_{ref} ve tristör ateşleme açısı arasındaki doğrusal olmayan ilişki, tristör suseptans kontrolü içindeki doğrusal fonksiyon tarafından dengelenir. Ateşleme açısı temel frekans modelleri içinde açık olarak gösterilmediği için doğrusal fonksiyonda açık olarak gösterilmez.



Şekil 6.9 Tristör Suseptans Kontrol

6.3.1.5 İki Temel Modelin Parametreleri Arasındaki İlişki

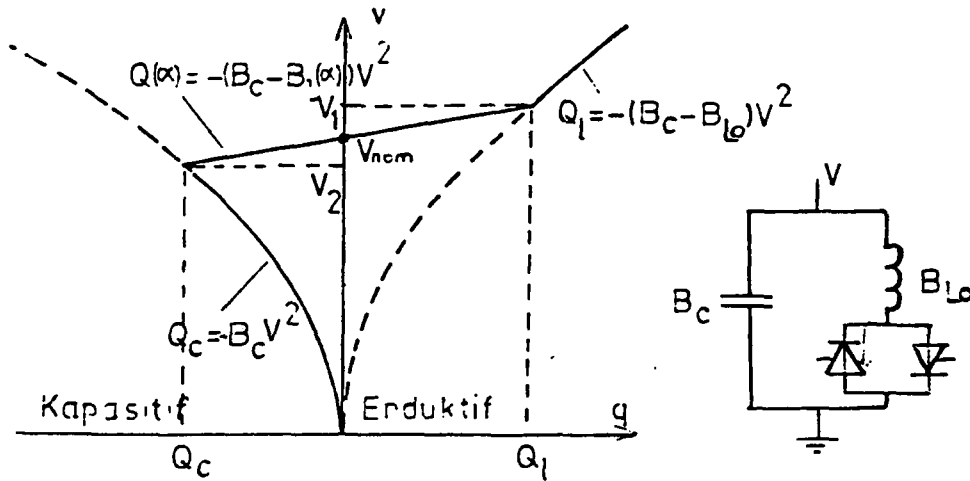
Bazı basitleştirmeler yapılarak iki model arasındaki ifadeler çıkarılabilir. Bu basitleştirmeler $T_m=T_1=T_2=T_p=T_d=T_b=T_s=K_p=0$ ve $K_R=1/K_{SL}$ $T_r=1/(K_{SL}.K_I)$ şeklindedir.

6.3.1.6 Temel Modeller için Veri Değişiklikleri

1. Yüksek gerilim tarafına ait, birim değer olarak maksimum reaktif güç [MVar]. Bu suseptansın minimum değerine karşılık gelir.
2. Yüksek gerilim tarafına ait, birim değer olarak minimum reaktif güç [MVar]. Bu suseptansın maksimum değerine karşılık gelir.
3. Gerilim ayarlayıcı parametreler: Temel model 1 için: K_R , T_R T_1 , T_2 ; Temel model 2 için: K_{SL} , K_I , K_P ve T_P 'dir.

6.4 STATİK VAR KOMPANZATÖRÜN KONTROLU

Statik Var kompanzatörü genelde iki amaç için kullanılır: Yük kompanzasyonu ve enerji iletim sisteminde gerilim desteklenmesi. Kompanzatör bir noktada enerji iletim sistemine bağlanacaktır. Yük dolayısıyla gerilim değişmesi meydana gelecektir. Bu sebepten kompanzatörün reaktif gücü ile uç gerilimi arasındaki ilişki bilinmelidir.



Şekil 6.10 Statik Reaktif Güç Kompanzatörün Gerilim Güç Değişimi

Kompanzatörün kontrolunda üç bölge vardır:

Birinci bölge gerilimin V_1 ve V_2 arasında kontrol edildiği alandır. Bu bölgede gerilim ile reaktif güç arasında doğrusal bir ilişki vardır. Tristörlerin ateşleme açısı α 'ya göre $\alpha=0$ iken (Q_L, V_1) noktasından, $\alpha= \pi/2$ olduğunda (Q_C, V_2) noktasına kadar doğrusal olarak bir değişim yaptırılabilir. Bu bölgede kompanzatör kapasitif veya endüktif karakterde olabilir. α 'ya bağlı suseptans bağıntısı,

$$B(\alpha) = B_c - B_L(\alpha) \quad (6.1)$$

şeklindedir. 6.1 bağıntısı suseptansın α ile değişimini veren 5.32 bağıntısı ile eşdeğerdir. Reaktif gücün α ile değişimi,

$$Q(\alpha) = -(B_c - B_L(\alpha)) \cdot V^2 \quad (6.2)$$

şeklindedir. Burada B_c sabit kapasitenin suseptans değeri, $B_L(\alpha)$ yalnızca tristör kontrollu reaktörün α ile değişen suseptansı ve çıkış gerilimidir. Birinci bölgedeki doğrusal değişimin bir eğimi vardır. Bu eğim α ateşleme açısının uygun şekilde kontrolu ile sağlanır. Aynı zamanda bu eğim gerilimdeki değişmeye göre kompanzatörün ne kadar reaktif gücü devreye sokacağını gösterir. Eğer gerilim anma değerinin üzerinde ise ($V > V_{anma}$) kompanzatör endüktif karakterde olacak şebekeden endüktif güç alacaktır ($Q(\alpha) > 0$). Eğer $V < V_{anma}$ ise kompanzatör kapasitif karakterde olacaktır ($Q(\alpha) < 0$) ve sisteme kapasitif güç verecek endüktif güç alacaktır. Gerilim V_1 'den büyükse ($V > V_1$) kontrol sınırları dışına çıkmıştır. $\alpha=0$ ile kontrol elemanı sınırlanmıştır. Suseptans ifadesi.

$$B(0) = B_c - B_L(0) \quad (6.3)$$

$$B_L = B_c - B_{Lo} \quad (6.4)$$

Suseptans endüktif karakterlidir. Reaktif güç ise,

$$Q_L = -(B_c - B_{Lo}) V^2 \quad (6.5)$$

şeklinde değişir. Görüldüğü gibi artık kompanzatör gerilim değişmelerini kontrol edememektedir. Gerilim V_2 'den küçükse $\alpha=\pi/2$ dir. Yine kontrol sınırları dışındadır. Suseptans :

$$B(\pi/2)=B_c \quad (6.6)$$

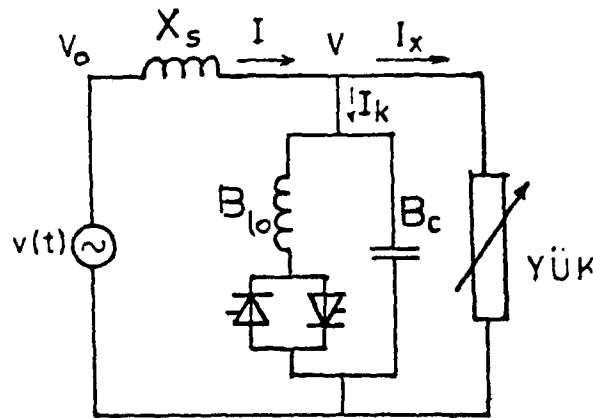
ve reaktif güç,

$$Q_c = - B_c \cdot V^2 \quad (6.7)$$

şeklinde verilebilir.

6.4.1 Statik VAR Kompanzatörün Kontrol Yazılımı

Tristör kontrollü reaktör ve sabit kapasiteden oluşan statik Var kompanzatörünün performansını görebilmek için bir fazlı devre ele alınacaktır. Yük endüktif karakterli olacak ve yükün değişimi şebeke frekansı yanında yavaş olacaktır. Statik kompanzatör nedeniyle oluşan tüm harmonikler filtre devreleriyle süzülecek ve hesaplar temel bileşen üzerinde yapılacaktır.



Şekil 6.11 Yük ve Kompanzatörden Oluşan Bir Fazlı Devre Şeması

$v(t)=\sqrt{2} V_o \cos\omega t$ kaynak fonksiyonu. V_o gerilimin anma efektif değeri, V yük uçlarındaki gerilimin değişen efektif değeri, I_x değişken endüktif yük akımının efektif

değeri, I_k kompanzatör akımı efektif değeri, X_s şebeke reaktansı, B_{Lo} selfin maksimum suseptansı, B_c sabit kapasitenin suseptansıdır. I_x akımı yüzünden X_s reaktansı üzerinde bir gerilim düşümü olur. Eğer kompanzatör $I_k = -I_x$ akımını üretebilirse yük uçlarındaki gerilim (V) V_o 'a yaklaştırılabilir. Yükün çektiği reaktif güç,

$$Q = V I_x \quad (6.8)$$

kompanzatörün olmadığı düşünülerek yük uçlarındaki gerilim (V),

$$V = V_o - X_s I_x \quad (6.9)$$

olarak yazılabilir. Saf endüktif yük etkisiyle sadece boyuna reaktif gerilim düşümü ΔV vardır.

$$\Delta V = V_o - V \quad (6.10)$$

(6.8), (6.9) ve (6.10) ifadelerinden,

$$\Delta V = \frac{X_s Q}{V} \quad (6.11)$$

devrede kompanzatörün de olduğunu düşünerek

$$I = I_x - I_k \quad (6.12)$$

$$V = V_o - X_s I \quad (6.13)$$

$$V = V_o - X_s I_x + X_s I_k \quad (6.14)$$

yazılabilir.

$$V_d = X_s I_x \quad (6.15)$$

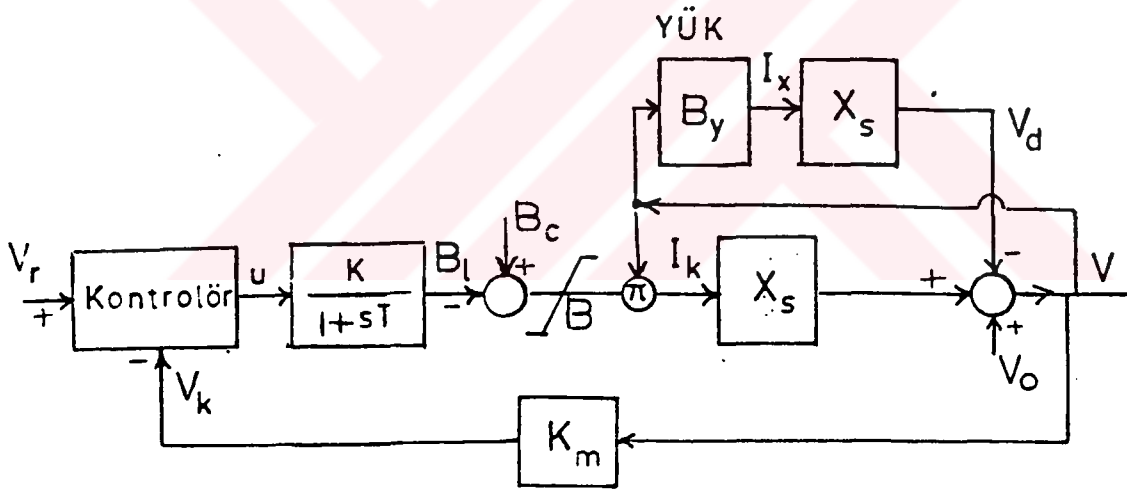
yazılırsa, (6.14) ifadesinden

$$V = V_0 - V_d + X_s I_k \quad (6.16)$$

elde edilir. V_s kompanzasyon sonucu ulaşılan gerilim, V_i ise kompanzatör harekete geçmeden önceki gerilim ise,

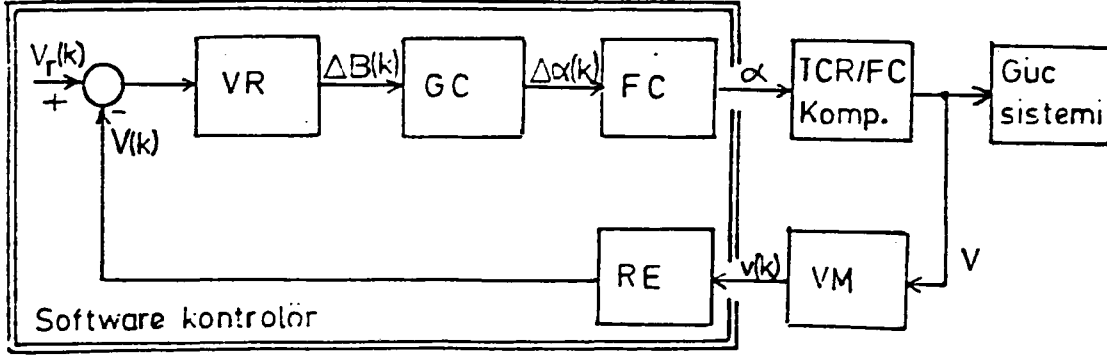
$$V_s = V_0 - V_d + X_s B(\alpha) V_i \quad (6.17)$$

dir. Yük dolayısıyla V_d 'deki bir değişim, V_0 sabit olduğuna göre kompanzatör uçlarındaki gerilimi $V=V_i$ yapar. Bir sonraki kontrol aralığında bu değişimi farkedenden kontrolör gerekli suseptans B_a 'yı hesaplar ve (6.17) ifadesinden kompanzasyon sonucu ulaşılan gerilim $V=V_s$ olur. Amaç belirli bir toleransla $V_s=V_0$ yapmaktır.



Şekil 6.12 Bir fazlı Yükenin Reaktif Gücünün Gerilim Kontrolü İle Kompanzasyonu

Temel yaklaşım kompanzatörün bağlı olduğu ucta gerilimi kontrol ederek yükün ihtiyacı olan reaktif gücü sisteme verebilmek dolayısıyla da gerilim düşümünü önlemektir. Yazılım ile kontrolde amaç bir kontrol aralığında $B(\alpha)$ meydana gelen $\Delta B(\alpha)$ değişimine karşı düşen $\Delta \alpha$ 'nin hesap edilmesidir. Geliştirilen bir yazılım kontrol modülü şekil 6.13' de verilmiştir.



Şekil 6.13 Gerilim Regülasyonu İçin Kontrol Modülü

Sistemi meydana getiren bölümler,

VM: Gerilim ölçüm devresi

RE : Efektif değer hesaplayıcısı

VR : Gerilim regülatörü

GC : Kazanç kompanzatorü

FC : Ateşleme Açısı Kontrolörü

VM gerilim ölçme modülü sistem için durum değişkeni olan gerilimi her periyotta N defa olmak üzere örnekler. Ölçme aralığı 1 periyottur. Örneklenen değerler v gerilimin ani değeri olmak üzere

$v(1), v(2), \dots, v(N)$ ' dir.

T örnekleme periyodu, ve T_s sistemin periyodu ise örnek sayısı,

$$N = T_s / T \quad (6.18)$$

Örneklenen her değer RE efektif değer hesaplayıcısına gider. Efektif değer ölçülen büyüklüğün karesel ani değerinin bir periyot üzerindeki ortalamasının kareköküdür. $V(k)$ örneklenen efektif değer olmak üzere,

$$V(1) = \sqrt{(v(1))^2}$$

$$V(2) = \sqrt{[(v(1))^2 + (v(2))^2] / 2}$$

$$V(k) = \sqrt{[(v(1))^2 + (v(2))^2 + \dots + (v(k))^2] / k} \quad (6.19)$$

$$V(N) = \sqrt{[(v(1))^2 + (v(2))^2 + \dots + (v(N))^2] / k}$$

Yazılım kontrol modülünde referans gerilim,

$$V_r = \sqrt{2} \ V_r \cos \omega t \quad (6.20)$$

şeklinde programlıdır. RE sistem gerilimini (6.19) daki gibi örneklerken (6.20)'den faydalanarak yazılım kontrol programı benzer şekilde kendi içinde referans gerilimi örnekler. Ani referans gerilimi değerleri

$$v_r(1), v_r(2), \dots, v_r(k), \dots, v_r(N)$$

ve efektif değerler,

$$V_r(1) = \sqrt{(v_r(1))^2}$$

$$V_r(2) = \sqrt{[(v_r(1))^2 + (v_r(2))^2] / 2}$$

(6.21)

$$V_r(k) = \sqrt{[(v_r(1))^2 + (v_r(2))^2 + \dots + (v_r(k))^2] / k}$$

$$V_r(N) = \sqrt{[(v_r(1))^2 + (v_r(2))^2 + \dots + (v_r(N))^2] / k}$$

Toplam noktasında (6.19) ve (6.21) karşılaştırılarak hata hesaplanır.

$$\Delta V(1) = V_r(1) - V(1)$$

$$\Delta V(2) = V_r(2) - V(2)$$

.....

$$\Delta V(k) = V_r(k) - V(k)$$

.....

$$\Delta V(N) = V_r(N) - V(N) \quad (6.22)$$

$\Delta V(k)$ değerleri VR gerilim regülatörü modülüne yüklenir. VR bir PID kontrolördür. En genel şekliyle Oransal, İntegral ve Türev elemanlarının kullanılması sistemin geçici hal ve sürekli hal davranışının tam bilinemesindendir. Bir PID algoritmasının z dönüşümü genel olarak,

$$D(Z) = \frac{U(z)}{E(Z)} = K_p + K_i T_z / (z - 1) + K_d (z - 1) / T_z \quad (6.23)$$

şeklindedir. K_p , K_i ve K_d sırasıyla oransal, integral ve türev elemanlarının sabitleri $E(z)$ giriş işareti, $U(z)$ işlenmiş çıkış işaretidir. $U(z)$ işaretin zaman domeninde ayrık ifadesi:

$$u(k) = K_p e(k) + K_i T \sum_{n=0}^k e(n) + K_d T^{-1} [e(k) - e(k-1)] \quad (6.24)$$

şeklinde verilen algoritma kullanılmayacak bunun yerine $U(k)$ 'daki değişimi hesap eden $\Delta u(k)$ algoritması kullanılacaktır.

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1) \quad (6.25)$$

$$u(k-1) = K_p e(k-1) + K_i T \sum_{n=0}^{k-1} e(n) + K_d T^{-1} [e(k-1) - e(k-2)]$$

$$\Delta u(k) = K_p [e(k) - e(k-1)] + K_i T e(k) + K_d T^{-1} [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (6.26)$$

(6.24) ve (6.26) ifadeleri (6.25) de yerine konursa

$$\Delta u(k) = [K_p + K_i T + K_d T^{-1}] e(k) - [K_p + 2K_d T^{-1}] e(k-1) + K_d T^{-1} e(k-2) \quad (6.27)$$

elde edilir. İlgilenilen olayda giriş işareti gerilim çıkış işareti suseptans olacaktır.

$$\Delta B(k) = \Delta u(k)$$

$$\Delta V(k) = e(k)$$

yazılmalıdır.

$$\Delta B(k) = [K_p + K_i T + K_d T^{-1}] \Delta V(k) - [K_p + 2K_d T^{-1}] \Delta V(k-1) + K_d T^{-1} \Delta V(k-2) \quad (6.28)$$

(6.28) ile verilen algoritma girişteki hata işareti için zamanın ayırık anlarında çıkış suseptansını hesaplar. Bir periyot içinde her örnekleme anında hesap edilen $\Delta B(1)$, $\Delta B(2)$, $\Delta B(k)$ $\Delta B(N)$ değerleri GC kazanç kompanzatörüne yüklenir.

Tristör kontrollü reaktör ve sabit kapasiteden oluşan kompanzatörün α ateşleme açısı ve $B(\alpha)$ suseptansı arasındaki transfer fonksiyonu doğrusal değildir. Kompanzatörün kontrol sisteminin doğrusal bir sistem gibi davranabilmesi için bir doğrusal olmayan kompanzasyon modülü GC sisteme eklenir. Kompanzatörün suseptansı,

$$B(k) = \frac{w^2 LC \pi - \pi + 2\alpha(k) + \sin 2\alpha(k)}{wL\pi} \quad (6.29)$$

k. ayırık andaki değerdir. Bir sonraki (k+1). aralıktaki değer,

$$\Delta B(k) = \frac{2}{wL\pi} (1 + \cos 2\alpha(k)) \Delta \alpha(k) \quad (6.30)$$

(6.30)'dan görüldüğü gibi $\Delta B(k)$ kadar fark edecektir.

$$\Delta \alpha(k) = \frac{wL\pi}{2(1 + \cos 2\alpha(k))} \Delta B(k) \quad (6.31)$$

yazılırsa $\Delta B(k)$ farkına karşılık gelen $\Delta\alpha(k)$ ateşleme açısı değeri bir örnekleme aralığında hesaplanır. Bir periyot içinde her örnekleme anında

$$\Delta B(1), \Delta B(2), \dots, \Delta B(k), \dots, \Delta B(N)$$

hesaplanır ve bunlara karşı düşen ateşleme açıları (6.31) ifadesinden

$$\Delta\alpha(1), \Delta\alpha(2), \dots, \Delta\alpha(k), \dots, \Delta\alpha(N)$$

şeklinde hesaplanır.

FC ateşleme açısı kontrolü bir periyotta her örnekleme anında hesaplanan $\Delta\alpha(k)$ değerlerini hesaplar ve bir sonraki kontrol aralığındaki ateşleme açısını belirler. Ölçüm ve hesap yapılan andaki ateşleme açısı,

$$\alpha_{j+1} = \alpha_j + \Delta\alpha(1) + \Delta\alpha(2) + \dots + \Delta\alpha(k) + \dots + \Delta\alpha(N) \quad (6.32)$$

bulunur. α_{j+1} ateşleme açısı zamanlayıcısına yüklenir. Devrenin amacı şebeke ile senkronizasyon sağlamaktır.

6.4.2 Uygulama

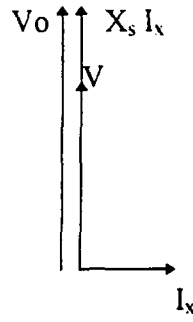
Şekil 6.11 deki devre esas alınarak akış diyagramında tanımlanan kontrol algoritmasının işleyişi gösterilecektir. Yük değişimi şebeke frekansı yanında yavaş olacaktır.

Şebeke reaktansı $X_s = 10.7 \text{ ohm}$

Anma Gerilimi Efektif Değeri = 34500 V

Yükün Çektiği Maksimum Raaktif Güç (Q) = 10 MVar

Kompanzatör sistemde bulunmazken seçilen eleman değerlerine göre maksimum reaktif güçte $\Delta V = 3450 \text{ V}$ gerilim düşümü meydana gelir. Yük saf endütf ise sadece boyuna gerilim düşümü vardır. I_x reaktif yük akımıdır.



Şekil 6.14 Fazör Diyagramı

Yükün uçlarına statik Var kompanzatorünün de bağlı olduğunu düşünelim. $Q=10$ MVar güç en azından statik kompanzator tarafından, $Q_c=10$ MVar kapasitif reaktif güç ile karşılanmalıdır. Tristör kontrollü reaktör ve sabit kapasiteden oluşan kompanzatorde ateşleme açısı $\alpha=0$ iken tam iletimde endüktif güç kompanzator kapasitif gücünün iki katı seçilirse $Q_L=10$ MVar reaktif olur ve V_o anma gerilimi civarında $\pm\% 10$ 'luk bir kısmı kontrol eder. V efektif değer olmak üzere

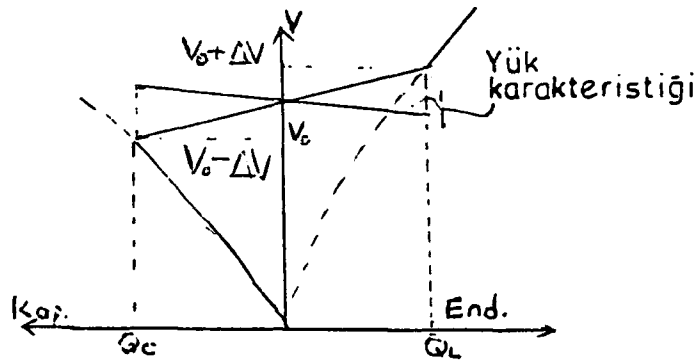
$$B = -q / V^2 \quad (6.33)$$

kullanılırsa .

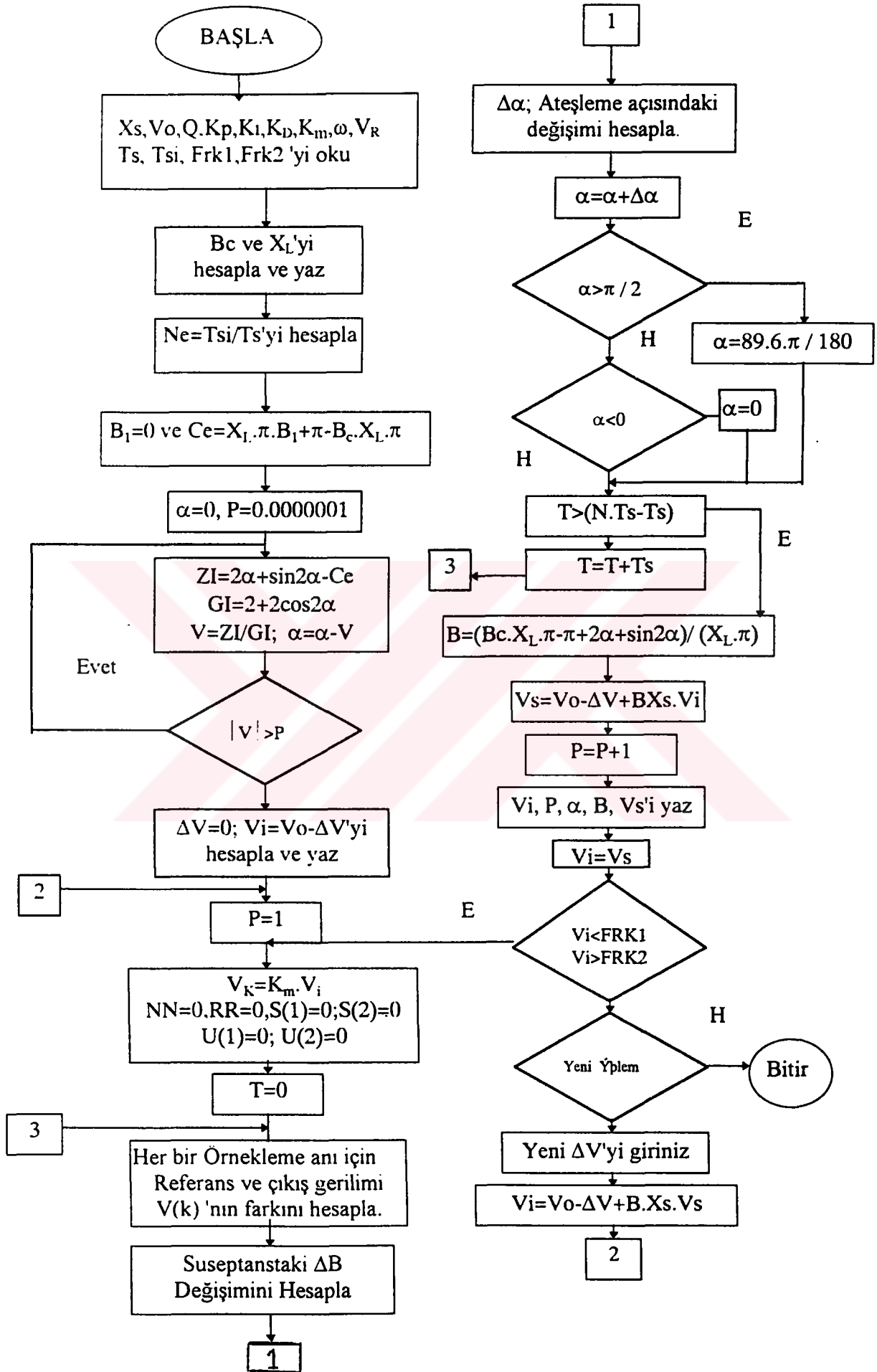
$$V_o - \Delta V = 31050 \text{ V} \quad Q_c = -10 \text{ MVar} \quad \text{ise} \quad B_c = 0.010372 \text{ (1/ohm)}$$

$$V_o + \Delta V = 37950 \text{ V} \quad Q_L = 10 \text{ MVar} \quad \text{ise} \quad B_L = -0.017315 \text{ (1/ohm)}$$

şeklinde eleman değerleri bulunmuş olur.



Şekil 6.15 Kompanzator ve Yük Karakteristiği



Şekil 6.16 Statik reaktif kompanzator ile reaktif güç kontrolü yapılması için gerekli

Kontrol devresi yük uçlarındaki Vgerilimini bir ölçü transformatörü üzerinden ölçecektir. Transformatörün küçültme oranı $K_m = 0.0001$ olarak alınmıştır. Buna ilişkin bilgisayar programı Ek'de verilmiştir. Seçilen PID kontrolörün kazançları $K_p = 0.008$, $K_i = 0.004$, $K_D = 10^{-5}$ olarak alınmıştır. Sistemin sürekli hal denklemi bilgisayar programında $V_s = V_o - V_d + X_s.B(\alpha)V_i$ şeklinde alınmıştır. Yük değişimi ile oluşan gerilim değişmesi V_d ile sisteme gerilim cinsinden giriş olarak verilmiş ve kompanzatörün kontrol işlemi sonunda gerilimi anma değerlerine yaklaştırdığı görülmüştür.



SONUÇ VE ÖNERİLER

Üç fazlı şebekelerde reaktif ve dengesiz yükler şebekeden dengesiz reaktif akım çekerler. Böylece bağlı oldukları noktalarda dengesiz gerilimler meydana getireceklerdir. Bunu dengelemek amacıyla kompanzatörün, kompanzasyonu ideale yakın bir şekilde gerçekleştirebilmesi için, önce problemin matematiksel olarak ortaya konulması gereklidir. Bu yaklaşımdan hareketle simetrik bileşenler cinsinden yük kompanzasyonu, kompanzasyon suseptanslarının hat akımları cinsinden ifadeleri matematiksel olarak incelenmiştir. Dengesiz akım ve gerilimler nedeni ile inceleme sırasında simetrik bileşenler yöntemi kullanılabilir. Dengesiz yüklerin kompanzasyonunda öncelikle dengesizliğin giderilmesi gerekir. Bunun için de simetrik bileşen akımı sıfır yapılmalıdır.

Endüktif yük akımları hat reaktansı üzerinde boyuna gerilim düşümü oluştururlar. Ayrıca reaktif akımın büyük olması hatlarda kayıplar olmasına, hatların tel kesitinin ve direk boylarının artmasına neden olurlar. Mevcut sistemlerden daha iyi bir şekilde yararlanabilmek ve olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için reaktif güç kompanzasyonu yapmak bir zorunluluk haline gelmiştir.

Bir alternatif akım kaynağından beslenen ve bir L endüktansı ile yüklü alternatif akım kısıcısında, ateşleme açısının değiştirilmesi ile kısıcının reaktif akımı kontrol edilebilir. Kısıcının bu özelliğinden hareket ederek, böyle bir çalışma koşulunda kısıcının analizi yapılmış, gerilim ve akımın temel bileşeni ile harmonikleri normalize olarak elde edilmiştir. Buradan, kısıcı ile L endüktansından oluşan güç elektroniki devresinin şebekeye karşı normalize bileşen empedansı ve harmonik empedansları türetilmiş, bunların α ateşleme açısına göre değişimleri incelenmiştir. Normalize etkin akımın analizi sonucu kısıcı devrenin α 'ya göre değişen etkin empedansı ile, yine α 'ya göre değişen temel bileşen empedansı ve harmonik empedansları arasındaki bağıntı bulunmuştur.

Reaktif gücü optimal olarak kontrol edilen bir sistem ile reaktif gücü kontrol edilmeyen sistemler arasında önemli farklar vardır. Kompanzatörsüz sistemdeki kayıplar, optimal kompanzatörlerin kullanılması ile yaklaşık olarak yarı yarıya düşer. Tezde, EK B'de yapılan bilgisayar programı ile üçgen bağlı bir yük için gerekli olan

optimal kompanzatör değerlerinin bulunması sağlanır ve bu değerler kullanarak dengelenmiş hat akımları elde edilir.

Statik VAr sisteminin modellenmesi güç akışı, geçici hal kararlılığı için önemlidir. Statik Var kompanzatörün kontrol kararlılığı için en kötü durum zayıf sistemlerdir. Kararlılık sınırı ve statik VAr kompanzatör cevabı, en zayıf şebeke durumları için kontrol edilmelidir. Eğer çok hızlı cevap isteniyorsa, değerler bir EMTP,TNA veya daha detaylandırılmış modeller kullanan frekans domenindeki çalışmalar tarafından kontrol edilmiş olmalıdır. Dinamik performans simülasyonu için verilmiş olan doğrusal olmayan modellerden olan Temel Model 1, Temel Model 2' ye oranla daha basittir ve çoğu var olan geçici hal programları içindeki modellere benzerdir. Sürekli kontrollü SVK için her ikiside uygundur.

Statik VAr kompanzatörleri kullanarak gerçekleştirilen kompanzasyon, aşağıda yazılı üstünlükleri sağlar:

- KVar başına daha düşük tesis yatırımı
- Bir faz durumunda bile kompanze edilebilme özelliği
- Yüksek emniyet
- Büyük güç spektrumlarına uygulanabilirlik,
- Kompanze edilen VAr başına düşük hacim
- Yüksek hızda cevap verme süresi
- Yüksek Verim

Tezde EKA'da Bölüm 6'da oluşturulmuş akış diyagramını temel alarak yazılmış olan programdan görüleceği üzere statik VAr kompanzatör değişim meydana geldikten sonra bir peryot boyunca yeni gerilimi ölçmekte ve iki peryotta gerilimi nominal değere yaklaştırmaktadır. Gerilim değişimi kompanzatörün kontrol edebileceği güç sınırlarına yaklaşınca değişimi hissettikten sonra ancak üç peryotta kontrol edebilmektedir. Kompanzatörün efektif değerine verdiği cevap eksponansiyel bir artış veya azalıştır. Çünkü kompanzatör birinci dereceden bir sistemdir.

KAYNAKLAR

- [1] **BAYRAM,M.,** Kuvvetli Akım Tesislerinde Reaktif güç kompanzasyonu TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası,1995
- [2] **BARNES H.C.,** Modelling of Static Shunt VAR Systems for System Analysis, Electra,No 51,pp.45-74,1977
- [3] **FRANK,H.,IVNER,S.,** Thyristor-Controlled Shunt Compensation in power networks,ASEA Journal ,Vol.54, No.5-6,1981
- [4] **GYUGYI,L.,** Reactive Power Generation and control by Thyristor circuits, IEEE Trans.on IA.,15,no.5,Sept/Oct 1979
- [5] **GYUGYI,L.,** Characteristic of Static Thyristor-Controlled Shunt Compensators for Power System Appl.,IEEE PAS 99w Sept/Oct.,1980
- [6] **GYUGYI,L.,OTTO,R.A.,PUTMANW T.H.** Principles and Applications of Static Thyristor-Controlled Shunt Compensators,IEEE Trans.on Power System, Sept/Oct 1979
- [7] **GYUGYI,L.,** Power Electronics in Electric Utilities Static VAR Compensators .IEEE,Vol 76,April,1988
- [8] **HSO P.T.,TSO K.,** Software Control of Static Reactive Power Compensation ,IEEE Proc.,Vol.135,Nov..1988
- [9] **IEEE Special Stability Control Working Group,** Static VAR Compesator models for power flow and Dynamic performance Simulation IEEE Trans. On P.S., Vol 9,No:1,Feb.1994
- [10] **LIN,C.E.,CHEN ,T.C.,HUANG,C.L.,** A Real Time Calculation method for Optimal Reactive Power Compensators,IEEE Trans.on Power System May/June 1989
- [11] **MILLER T.J.,** Reactive power control in electric systems, John Willey and sons, 1982

- [12] **PETERSSON T.W.,** Reactive Power Compesnsation ,ASEA Information NR 500-028E.Jan. 1984
- [13] **TORSENG ,S.,** Thyristor-Controlled Static Shunt Compensators.ASEA Information NR 500-007e.Jan.1984
- [14] **YILDIRIM,E.,** Reaktif Enerji Kompanzasyonu ,Kaynak Dergisi .S.61.1990



EK-A

f=50;
Xs=10.7;
V0=34500;
Q=10e6;
Kp=0.008;
Ki=0.004;
Kd=1e-5;
Km=0.0001;
w=2*pi*f;
Vr=3.45;
Ts=0.001;
Tsi=0.02;
Fark1=34400;
Fark2=34600;
B1=0;

```

veri;

delta=V0^2-4*Xs*Q;

Ix1=(V0+sqrt(delta))/(2*Xs);
Ix2=(V0-sqrt(delta))/(2*Xs);

deltav1=Xs*Ix1;
deltav2=Xs*Ix2;

if deltav2<deltav1;
V3=deltav2;
else;
V3=deltav1
end;

V4=V0-V3;
V5=V0+V3;

Qc=-Q;
Ql=Q;

Bc=-Qc/V4^2;

Xl=-1/(-Q/V5^2-Bc);

Ne=Tsi/Ts;

Ce=Xl*pi*B1+pi-Bc*Xl*pi;

alfa=0;

P=1e-6;
V=pi/20;

while abs(V)>P;
ZI=2*alfa+sin(2*alfa)-Ce;
GI=2+2*cos(2*alfa);
V=ZI/GI;
alfa=alfa-V;
end;

```

```

deltav=0;
Vi=V0-deltav;

okan=0;
mat=1;
soru=1;

while soru==1;

okan=okan+1;

p=1;

if okan==1;
Vi=Vi;
else;
Vi=Vs;
end;

Vk=Km*Vi;
NN=0;
RR=0;
S(1)=0;
S(2)=0;
U(1)=0;
U(2)=0;

T=0;
Vu=sqrt(2)*Vk*cos(w*T);
V1=sqrt(2)*Vr*cos(w*T);
N(T/Ts+1)=NN+Vu^2;
NN=N(T/Ts+1);

R(T/Ts+1)=RR+V1^2;
RR=R(T/Ts+1);

VR(T/Ts+1)=sqrt(R(T/Ts+1)/(T/Ts+1));
Vref(1)=VR(T/Ts+1);
V(T/Ts+1)=sqrt(N(T/Ts+1)/(T/Ts+1));
Vcikis(1)=V(T/Ts+1);
S(T/Ts+3)=N(T/Ts+1);
U(T/Ts+3)=R(T/Ts+1);
D=sqrt(S(T/Ts+3)/(T/Ts+1));

```

```

G=sqrt(U(T/Ts+3)/(T/Ts+1));
FD=G-D;
E=sqrt(S(T/Ts+2)/(T/Ts+1));
H=sqrt(U(T/Ts+2)/(T/Ts+1));
FE=H-E;
F=sqrt(S(T/Ts+1)/(T/Ts+1));
I=sqrt(U(T/Ts+1)/(T/Ts+1));
FF=I-F;
FB=(Kp+Ki*Ts+Kd/Ts)*FD-(Kp+2*Kd/Ts)*FE+Kd/Ts*FF;
FA=pi*Xl*FB/(2*(1+cos(2*alfa)));
alfa=alfa+FA;

```

```

    if alfa>(pi/2);
        alfa=89.6*pi/180;
    else;
        if alfa<0;
            alfa=0;
        end;
    end;
end;

```

```

while T<(Ne*Ts-Ts);
mat=mat+1;
T=T+Ts;
Vu=sqrt(2)*Vk*cos(w*T);
Vl=sqrt(2)*Vr*cos(w*T);
N(T/Ts+1)=NN+Vu^2;
NN=N(T/Ts+1);

```

```

R(T/Ts+1)=RR+Vl^2;
RR=R(T/Ts+1);

```

```

VR(T/Ts+1)=sqrt(R(T/Ts+1)/(T/Ts+1));
Vref(mat)=VR(T/Ts+1);
V(T/Ts+1)=sqrt(N(T/Ts+1)/(T/Ts+1));
Vcikis(mat)=V(T/Ts+1);
S(T/Ts+3)=N(T/Ts+1);
U(T/Ts+3)=R(T/Ts+1);
D=sqrt(S(T/Ts+3)/(T/Ts+1));
G=sqrt(U(T/Ts+3)/(T/Ts+1));
FD=G-D;
E=sqrt(S(T/Ts+2)/(T/Ts+1));
H=sqrt(U(T/Ts+2)/(T/Ts+1));
FE=H-E;

```



```

F=sqrt(S(T/Ts+1)/(T/Ts+1));
I=sqrt(U(T/Ts+1)/(T/Ts+1));
FF=I-F;
FB=(Kp+Ki*Ts+Kd/Ts)*FD-(Kp+2*Kd/Ts)*FE+Kd/Ts*FF;
FA=pi*Xl*FB/(2*(1+cos(2*alfa)));
alfa=alfa+FA;

```

```

    if alfa>(pi/2);
    alfa=89.6*pi/180;
    else;
        if alfa<0;
        alfa=0;
        end;
    end;
end;
end;

```

```

B=(Bc*Xl*pi-pi+2*alfa+sin(2*alfa))/(Xl*pi);
Vs=V0-deltav+B*Xs*Vi;

```

```

for QA=mat/20:(mat/20+19);
Vim(QA)=Vi;
Vsm(QA)=Vs;
end;
Alfa=alfa*180/pi;
B;
Vi;
Vs;

```

```

dongu=1;
while Vs<Fark1, Vs>Fark2;
dongu=dongu+1;

```

```

p=p+1;

```

```

okan=okan+1;

```

```

if okan==1;
Vi=Vi;
else;
Vi=Vs;
end;

```

```

mat=mat+1;

```

```

Vk=Km*Vi;
NN=0;
RR=0;
S(1)=0;
S(2)=0;
U(1)=0;
U(2)=0;

T=0;
Vu=sqrt(2)*Vk*cos(w*T);
Vl=sqrt(2)*Vr*cos(w*T);
N(T/Ts+1)=NN+Vu^2;
NN=N(T/Ts+1);

R(T/Ts+1)=RR+Vl^2;
RR=R(T/Ts+1);

VR(T/Ts+1)=sqrt(R(T/Ts+1)/(T/Ts+1));
Vref(mat)=VR(T/Ts+1);
V(T/Ts+1)=sqrt(N(T/Ts+1)/(T/Ts+1));
Vcikis(mat)=V(T/Ts+1);
S(T/Ts+3)=N(T/Ts+1);
U(T/Ts+3)=R(T/Ts+1);
D=sqrt(S(T/Ts+3)/(T/Ts+1));
G=sqrt(U(T/Ts+3)/(T/Ts+1));
FD=G-D;
E=sqrt(S(T/Ts+2)/(T/Ts+1));
H=sqrt(U(T/Ts+2)/(T/Ts+1));
FE=H-E;
F=sqrt(S(T/Ts+1)/(T/Ts+1));
I=sqrt(U(T/Ts+1)/(T/Ts+1));
FF=I-F;
FB=(Kp+Ki*Ts+Kd/Ts)*FD-(Kp+2*Kd/Ts)*FE+Kd/Ts*FF;
FA=pi*Xi*FB/(2*(1+cos(2*alfa)));
alfa=alfa+FA;

if alfa>(pi/2);
    alfa=89.6*pi/180;
else;
    if alfa<0;
        alfa=0;
    end;

```

```

end;

while T<(Ne*Ts-Ts);
mat=mat+1;
T=T+Ts;
Vu=sqrt(2)*Vk*cos(w*T);
Vl=sqrt(2)*Vr*cos(w*T);
N(T/Ts+1)=NN+Vu^2;
NN=N(T/Ts+1);

R(T/Ts+1)=RR+Vl^2;
RR=R(T/Ts+1);

VR(T/Ts+1)=sqrt(R(T/Ts+1)/(T/Ts+1));
Vref(mat)=VR(T/Ts+1);
V(T/Ts+1)=sqrt(N(T/Ts+1)/(T/Ts+1));
Vcikis(mat)=V(T/Ts+1);
S(T/Ts+3)=N(T/Ts+1);
U(T/Ts+3)=R(T/Ts+1);
D=sqrt(S(T/Ts+3)/(T/Ts+1));
G=sqrt(U(T/Ts+3)/(T/Ts+1));
FD=G-D;
E=sqrt(S(T/Ts+2)/(T/Ts+1));
H=sqrt(U(T/Ts+2)/(T/Ts+1));
FE=H-E;
F=sqrt(S(T/Ts+1)/(T/Ts+1));
I=sqrt(U(T/Ts+1)/(T/Ts+1));
FF=I-F;
FB=(Kp+Ki*Ts+Kd/Ts)*FD-(Kp+2*Kd/Ts)*FE+Kd/Ts*FF;
FA=pi*Xl*FB/(2*(1+cos(2*alfa)));
alfa=alfa+FA;

    if alfa>(pi/2);
    alfa=89.6*pi/180;
    else;
        if alfa<0;
        alfa=0;
        end;
    end;
end;

B=(Bc*Xl*pi-pi+2*alfa+sin(2*alfa))/(Xl*pi);
Vs=V0-deltav+B*Xs*Vi;

```

```
end;
```

```
p  
Alfa  
B  
Vi  
Vs
```

```
soru=input('Başka hesap yapmak ister misiniz?(e=1/h=0)' )
```

```
if soru==1;
```

```
deltav=input('Yenigerilim düşümü değerini giriniz  ')
```

```
Vi=V0-deltav+B*Xs*Vs;
```

```
else;  
end;  
end;
```



$p=1$
 $\text{Alfa}=18.7002$
 $B=0$
 $V_i = 34500$
 $V_s = 34500$

Başka hesap yapmak ister misiniz?($e=1/h=0$)1

$\text{soru} = 1$
 Yenigerilim düşümü değerini giriniz 1000
 $\text{deltav} = 1000$

$p = 2$
 $\text{Alfa} = 18.7002$
 $B = 0.0026$
 $V_i = 33500$
 $V_s = 3.4428e+004$

Başka hesap yapmak ister misiniz?($e=1/h=0$)1

$\text{soru} = 1$
 Yenigerilim düşümü değerini giriniz 1500
 $\text{deltav} = 1500$

$p = 2$
 $\text{Alfa} = 27.2478$
 $B = 0.0040$
 $V_i = 3.4025e+004$
 $V_s = 3.4466e+004$

Başka hesap yapmak ister misiniz?($e=1/h=0$)1

$\text{soru} = 1$
 Yenigerilim düşümü değerini giriniz 2000
 $\text{deltav} = 2000$

$p = 2$
 $\text{Alfa} = 31.8341$
 $B = 0.0054$
 $V_i = 3.4019e+004$
 $V_s = 3.4452e+004$

Başka hesap yapmak ister misiniz?(e=1/h=0)1

soru =1

Yenigerilim düşümü değerini giriniz 3400

deltav =3400

p =3

Alfa =37.0868

B = 0.0094

Vi =3.4117e+004

Vs =3.4530e+004

Başka hesap yapmak ister misiniz?(e=1/h=0)0

soru =0



EK-B

```
Yab=1+4.5*i;  
Ybc=2+2*i;  
Yca=6+5*i;  
f=50;  
w=2*pi*f;  
a=-0.5+sqrt(3)/2*i;  
V=1;  
Va=V;  
Vb=a^2*V;  
Vc=a*V;
```

```
veri2;
```

```
Iab=(Va-Vb)*Yab;
```

```
Ibc=(Vb-Vc)*Ybc;
```

```
Ica=(Vc-Va)*Yca;
```

```
Ia=Iab-Ica;
```

```
Ib=Ibc-Iab;
```

```
Ic=Ica-Ibc;
```

```
Fab=pi/6-angle(Ia);
```

```
Fbc=-pi/2-angle(Ib);
```

```
Fca=5*pi/6-angle(Ic);
```

```
f1=1/(3*sqrt(3));
```

```
f2=1/3;
```

```
f3=5/(3*sqrt(3));
```

```
Cab=1/(2*w*V)*(abs(Ia)*(sin(Fab)+f1*cos(Fab))+abs(Ib)*(f2*sin(Fbc)-  
f3*cos(Fbc))+abs(Ic)*(-f2*sin(Fca)+f1*cos(Fca))));
```

```
Cbc=1/(2*w*V)*(abs(Ia)*(-  
f2*sin(Fab)+f1*cos(Fab))+abs(Ib)*(sin(Fbc)+f1*cos(Fbc))+abs(Ic)*(f2*si  
n(Fca)-f3*cos(Fca))));
```

```
Cca=1/(2*w*V)*(abs(Ia)*(f2*sin(Fab)-f3*cos(Fab))+abs(Ib)*(-  
f2*sin(Fbc)+f1*cos(Fbc))+abs(Ic)*(sin(Fca)+f1*cos(Fca))));
```

```
Ias=Ia+Cab*w*V*a-Cca*w*V*a^2;
```

```
Ibs=Ib+Cbc*w*V-Cab*w*V*a;
```

```
Ics=Ic+Cca*w*V*a^2-Cbc*w*V;
```

```
fprintf('HAT AKIMLARI')
```

```
Ia,Ib,Ic
```

```
fprintf('GENLİKLERİ')
```

```
abs(Ia),abs(Ib),abs(Ic)
```

```
fprintf('FAZ AÇILARI')
```

```
Fab,Fbc,Fca
```

```
fprintf('OPTİMUM KONDANSATÖR DEĞERLERİ')
```

```
Cab,Cbc,Cca
```

```
fprintf('KOMPANZASYON SONUCU DENGELENMİŞ HAT  
AKIMLARI')
```

```
Ias,Ibs,Ics
```

```
fprintf('DENGELENMİŞ AKIMLARIN GENLİKLERİ')
```

```
abs(Ias),abs(Ibs),abs(Ics)
```



```
fprintf('KONDANSATÖR DEĞERLERİ NEGATİF ÇIKARSA SELF  
KULLANINIZ')
```



HAT AKIMLARI

$$I_a = 10.9330 + 9.9199i$$

$$I_b = 5.8612 - 11.0801i$$

$$I_c = -16.7942 + 1.1603i$$

GENLİKLERİ

$$ans = 14.7626$$

$$ans = 12.5349$$

$$ans = 16.8343$$

FAZ AÇILARI

$$F_{ab} = -0.2133$$

$$F_{bc} = -0.4866$$

$$F_{ca} = -0.4546$$

OPTİMUM KONDANSATÖR DEĞERLERİ

$$C_{ab} = -0.0121$$

$$C_{bc} = -0.0269$$

$$C_{ca} = -0.0244$$

KOMPANZASYON SONUCU DENGELENMİŞ HAT AKIMLARI

$$I_{as} = 9.0000 - 0.0000i$$

$$I_{bs} = -4.5000 - 7.7942i$$

$$I_{cs} = -4.5000 + 7.7942i$$

DENGELENMİŞ AKIMLARIN GENLİKLERİ

$$ans = 9.0000$$

$$ans = 9.0000$$

$$ans = 9.0000$$

DENGELENMİŞ AKIMLARIN FAZ AÇILARI

$$ans = 0.0000$$

$$ans = -120.0000$$

$$ans = 120.0000$$

KONDANSATÖR DEĞERLERİ NEGATİF ÇIKARSA SELF
KULLANINIZ

ÖZGEÇMİŞ

Okan İhsan ÖZTÜRK 1973 Yılında Tokat'ın Reşadiye ilçesinde doğdu. Lise öğrenimini İstanbul Haydarpaşa Lisesi'nde tamamladıktan sonra 1990 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği bölümüne girdi. 1994 yılında aynı bölümden mezun oldu ve Yüksek Lisans programına başladı.

