

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Güç Elektronikleriyle Reaktif Güç Ayar

Özcan Üretme

Yüksek Lisans Tezi

11/32
99

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜÇ ELEKTRONİĞİYLE REAKTİF GÜÇ AYARI
(STATİK KOMPAZATÖRLER)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELK-MÜH-ÖZCAN ÜRETME

İSTANBUL -1988

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
D.B. No 45376

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İçindekiler
Sayfa
Giriş

BÖLÜM I
Reaktif Güç Kompansasyonu

1.1. Genel Tanım
1.2. Kompansasyonun Amacı
1.3. Kompansasyonun Faydaları
1.4. Kompansasyonun Türleri

GÜÇ ELEKTRONİĞİYLE REAKTİF GÜÇ AYARI
(STATİK KOMPANZATÖRLER)

BÖLÜM II
Kompansasyonun Gerçekleştirilmesi

2.1. Statik Kompansatörlerin Yapısı

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELK-MÜH-ÖZCAN ÜRETME



İSTANBUL -1988

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
GENEL KİTAPLIĞI

R 152

99

Kot :

Alındığı Yer : ~~For Bilimleri Enst.~~

Tarih : 14/05/1991

Fatura : -----

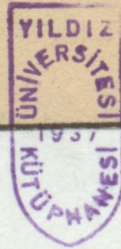
Fiati : 7000 TL

Ayniyat No : 1/3

Kayıt No : 47649

UDC : 621.3 378.242

Ek :



+

İÇİNDEKİLER

İçindekiler

Önsöz

Giriş

BÖLÜM 1

Reaktif Güç Kompanzasyonu $\alpha I - 1.5$

1.1. Temel tanımlar.....	3
1.2. Kompanzasyonun tanımı.....	3
1.3. Kondansatör gücünün hesabı.....	6
1.4. Reaktif güç ihtiyacının tesbiti ve sayısal örnek	9

BÖLÜM 2

Kompanzasyon Tesislerinin Sınıflandırılması $+ 2 \alpha II$

2.1. Tesis şekline göre.....	14
2.1.1. Teklif kompanzasyon.....	14
2.1.2. Grup kompanzasyonu.....	16
2.1.3. Merkezi kompanzasyon.....	16
2.2. Kondansatörlerin bağlama şekline göre.....	18
2.2.1. Seri kondansatörlerle kompanzasyon.....	18
2.2.2. Paralel kondansatörler ile kompanzasyon...	19
2.2.2.1. Sabit kondansatör ile.....	19
2.2.2.2. Sabit olmayan kondansatörle kombine kompanzasyon.....	26

BÖLÜM 3 $+ 4) \alpha III$

3.1. Statik faz kaydırıcı "Kompanstatör".....	33
3.1.1. A.A kıyıcısı.....	33
3.1.2. Stabilizatör.....	33
3.1.3. Filtre devreleri.....	33
3.2. A.A. kıyıcılarının sınıflandırılması.....	35
3.2.1. Bir fazlı omik yüklü A.A. kıyıcısı.....	35
3.2.2. Bir fazlı endüktif yüklü A.A. kıyıcısı....	36

3.2.3. Bir fazlı omik-endüktif yüklü A.A. kıyıcısı.....	39
3.2.4. Omik yüklü bağımlı gerilim kaynağından beslenen bir fazlı A.A. kıyıcısı.....	41
3.2.5. Üç fazlı omik yüklü A.A. kıyıcısı.....	43

BÖLÜM 4

Kompanzasyon Tesislerinde Rezonans Olayları

4.1. Titreşim devreleri.....	47
4.1.1. Seri titreşim devresi ve seri rezonans.	48
4.1.2. Paralel titreşim devresi ve paralel rezonans.....	52
4.2. Harmonikler.....	56
4.2.1. Harmonik mertebeleri.....	56
4.2.2. Harmoniklerin üretilmesi.....	57
4.2.2.1. Generatörler.....	58
4.2.2.2. Transformatörler.....	58
4.2.2.3. Redresörler (Doğrultucular)...	61
4.2.2.4. Arkla çalışan işletme araçları	62

BÖLÜM 5

A.A. Kıyıcısı Kullanarak Güç Kompanzasyonu $+3 \alpha \text{ H}$	
5.1. A.A. Kıyıcısı kullanarak reaktif güç kompanzasyonu.....	63
5.1.1. A.A. kıyıcısındaki akım ve gerilim.....	66
5.2. A.A. kıyıcısı ile değişken kapasite.....	67
5.3. A.A. kıyıcısında harmonikleri süzen filtre devreleri.....	72
5.4. A.A. kıyıcısı ile kompanzasyonda otomatik kontrol.....	76
5.5. Güç elektronik devrelerinin elektrik sistemlerini yüklemesi durumunda simetrisleme.....	80
5.6. A.A. kıyıcılarla simetrisleme.....	82
5.7. Otomatik kontrollü güç kompanzasyonu.....	84

BÖLÜM 6

 α IV

6.1. Tristör kontrollü kompanzasyonu.....	91
6.2. Reaktif gücün ölçümü ve gösterilmesi.....	96
6.3. Tristör kontrollü şönt kompanzatörleri.....	100
6.4. Kontrol sistemleri.....	102
6.5. Kayıpların ve güç kullanma kapasitelerinin incelenmesi.....	105

BÖLÜM 7

+4

Direkt Çeviricilerle Güç Kompanzasyonu

7.1. Direkt çeviriciler.....	107
7.2. Direkt çeviricilerle reaktif güç kompanzasyonu	108

KAYNAKLAR

SONUÇ

ÖNSÖZ

Günümüzdeki büyük teknolojik gelişmelerde güç elektroniğin ne derece önemli ve etkili bir yer aldığı, bu dalın devamlı bir gelişme ve değişme içinde olduğu, yapısı itibarıyla büyük bir dinamizm taşıdığı bilinmektedir.

Bu tez çalışmasında güç kompanzasyonu için gerekli bağıntılar tanımlanmış ve kompanzasyon tesisleri sınıflandırılmış, daha sonra kompanzasyon tesislerinde oluşan harmonikler, statik kompanzasyonun temel elemanlarından olan alternatif akım kısıyıcısının çalışma prensibi ve çeşitli yük durumlarına ait kısıyıcı kullanarak reaktif güç kompanzasyonu ve bunların çalışmaları anlatılmıştır. Diğer bölümlerde ise tristörlerle otomatik kontrolle ve direkt çeviricilerle reaktif güç kompanzasyonunun nasıl yapıldığı incelenmiştir.

Bu tez çalışması esnasında yardımlarını esirgemenen değerli hocam sayın Prof.Dr. Atif URAL'a teşekkür ederim.

PREFACE

In these day's great technological progress it is know that the power electronics has lot of importance and effect it is in continous progress and change and it carries great of dinamism due to it is structure.

In this thesis work, equations necessary for power compansation have been defined and compansation plants have been classified. Then the harmonics in compansation plants the operation principles of A.A. chopper which is one of the basic elements of static compansation and reactive power compansation using chopper for various loads and their operations are explained. In other sections the fact that how the reactive power compansation is achieved with direct converters and thristor aided authomatic control is examined.

Here I would like to Thank my valuable Mr.Prof.Dr.Atif URAL who helped me very much during the complition of this thesis work.

GİRİŞ

Dünyamızın son yıllarda karşı karşıya kaldığı enerji krizi araştırmacıları bir yandan yeni enerji kaynaklarına yöneltirken diğer yandan daha verimli sistemlerin tasarımı ve boşa giden elektrik enerjisinin kazanılması yönünden çalışmaların yoğunlaşmasına neden olmuştur.

Elektrik enerji sistem ve şebekelerinde reaktif yüklenme sebebi ile reaktif akım bileşenleri oluşur. Yani sistem veya şebeke gerilimi ile akım arasında bir faz farkı olur. Çeşitli sanayi dallarında kurulan tesisler üretim için şebekeye menfi tesir ederler. Dolayısıyla bir sistemde değişebilen endüktif yükün oluşturduğu gerilim ve reaktif akım dalgalanmalarını şebekeye aksettirmeden yok edip söndürmek maksadıyla kompanze edilmesi gerekir. Çünkü şebeke kısa devre gücü belirli sınırdan sonra büyütülememektedir.

Kompanze maksadıyla sanayide güç katsayısını ($\cos \phi$) düzeltmek ve maksimum yapabilmek için senkron makinalardan, mekanik veya elektronik kumandalı kondansatör gruplarından faydalanılmıştır.

1950 li yıllarda bulunan Tristör elemanı temin ettiği geniş imkanlarla geliştirilen güç elektroniği devreleri ile yapılan uygulamaları güç seviyesi maksat bakımından oldukça gelişmiş ve halen gelişmektedir.

Saf endüktif bir yükte yüklenen A.A. kıyıcısının belirli çalışma şartları altında değişken endüktans olarak çalışmasından hareket ederek, bu devrenin geliştirilmesi ile faz kontrollü reaktif güç kompanzasyonu üzerine yapılan çeşitli çalışmalar AA kıyıcıları için son birkaç senede yeni bir uygulama alanı açmıştır. Elektronik kontrolün hızlı cevap vermesi ile dinamik olaylarda kompanze edilebilmiştir.

Günümüzde elektrik enerjisi AA şeklinde üretilmektedir. Böyle bir elektrik şebekesine bağlı bulunan elemanlar

omik, endüktif ve kapasitiflik özelliklerine göre şebekeden faz farklı akımlar çekerler. Dolayısıyla şebekeden, bu akımların faz farkına göre şebekeler faz farklı akımlar çekerler. Dolayısıyla şebekeden bu akımların faz farkına göre iki tür güç alınmış olur.

$$P = S \cdot \cos \varphi \quad (W) \quad 1$$

ile belirtilen aktif güç değeri ise

$$Q = S \cdot \sin \varphi \quad (VAR) \quad 2$$

ile belirtilen reaktif güçtür. Bu iki gücün bileşkesi olan görünen güç de

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (VA) \quad 3$$

Burada söz konusu olan açı, gerilim ile çekilen yük akımı arasındaki faz açısıdır. $\cos \varphi$ ise güç faktörü olarak isimlendirilir. Bütün sanayi tesisleri veya şebekelerde reaktif güç fazlalığından dolayı aşırı yüklenmeler ve dalgalanmalar oluşur. Bunu önlemek maksadıyla da $\cos \varphi$ güç katsayısını ideal olarak maksimum yapmak için çalışılır. Bu da çeşitli reaktif güç kompanzasyonu metodlarıyla yapılır.

BÖLÜM - 1

1- REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU

1-1. TEMEL TANIMLAR

Tüketicilerin alternatif akım şebekelerinden çektikleri görünür güç (S), aktif güç (P) ve reaktif güç (Q) bileşenlerinden oluşur. Aktif güç bileşeni mekanik ısı ve ışık enerjisi şeklinde faydalı enerji şekillerine dönüştürülebilir. Reaktif güç bileşeni ise, endüksiyon prensibiyle çalışan generatör, motor, transformatör gibi tüm makinelerde gerekli magnetik alan oluşumunu sağlar. Güç katsayısı ($\cos \varphi$) ise aktif ve görünür güç arasındaki bağıntıyı sağlayan ve değeri 0 ile 1 arasında değişebilen bir çarpandır. Bu değer 1'e ne kadar yakınsa şebekeden çekilen faydalı aktif güç o kadar fazladır.

Bu temel tanımları diyagramlar ve matematiksel ifadeler yardımıyla ayrıntılı olarak inceleyelim.

1-2. KOMPANZASYONUN TANIMI

Tüketicilerin çalışması için zorunlu olan reaktif akımın ana enerji kaynağı yerine, tüketiciye olabildiğince yakın başka bir kaynaktan sağlanmasının birçok sakıncayı ortadan kaldıracığı söylenebilir.

Bir tüketicinin üç fazlı alternatif akım şebekesinden çektiği görünür güç:

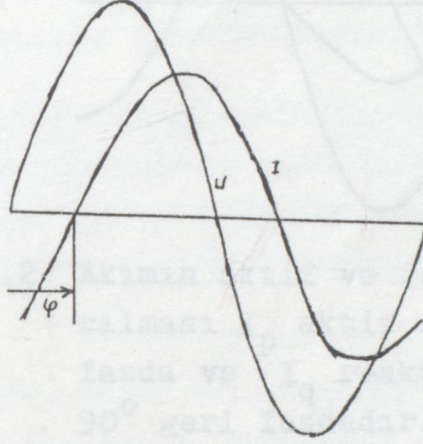
$$S = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I \quad (1.1)$$

dır.

Burada U_h : fazlar arası gerilim

I : faz akımıdır.

Omik-Endüktif bir tüketicide I faz akımı U_h geriliminden φ açısı kadar geridedir. (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Omik-Endüktif bir tüketicide akım ve gerilim arasındaki faz farkı.

Şebekeden endüktif reaktif güç çekilmesi halinde aktif, reaktif akımlar (I_p , I_q) ve güçler arasındaki bağıntılar şu şekildedir.

$$I_p = I \cdot \cos \varphi \quad (1.2)$$

$$P = S \cdot \cos \varphi \quad (1.3)$$

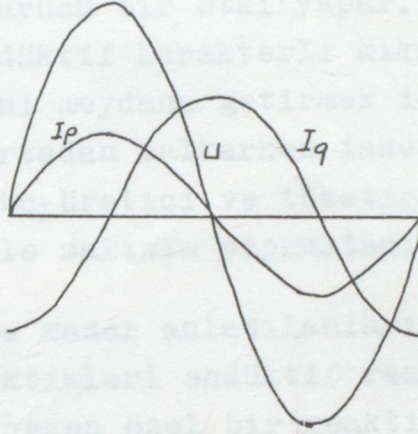
$$I_q = I \sin \varphi \quad (1.4)$$

$$Q = S \cdot \sin \varphi \quad (1.5)$$

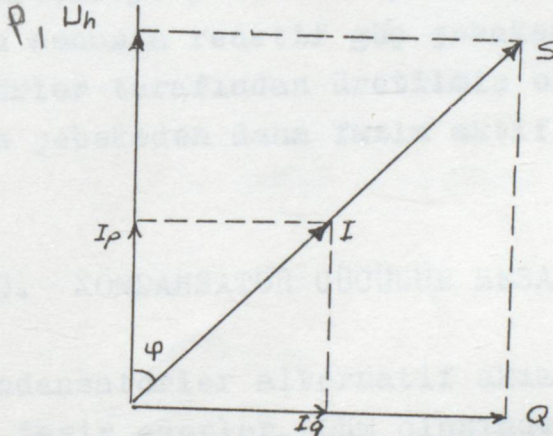
ve buradan:

$$I = \sqrt{I_p^2 + I_q^2} \quad (1.6)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1.7)$$



Şekil 1.2 Akımın aktif ve reaktif bileşenlerine ayrılması I_p aktif akımı gerilimle aynı fazda ve I_q reaktif akımı gerilimden 90° geri fazdadır.



Şekil 1.3 Aktif ve reaktif bileşenlere ilişkin fazör diyagramı.

Şekil 1.2 ve Şekil 1.3' de şebekeden çekilen reaktif gücün saf endüktif olduğu varsayılarak reaktif akım gerilimine göre 90° geri fazda çizilmiştir. Burada P aktif gücüyle S görünür gücü ya da I_p aktif akımıyla I faz akımı arasındaki φ faz açısının kosinüsü güç katsayısı ya da güç faktörü adını alır.

Yukarıda matematiksel ifadeleri verilen reaktif

akım, aktif akımda olduğu gibi doğrudan faydalı bir enerji şekline dönüştürülemediği için şebekeyi gereksiz yere yükleyici ve verimi düşürücü bir etki yapar. Reaktif güç tarafından oluşturulan endüktif karakterli mıknatıslama akımı gerekli magnetik alanı meydana getirmek için şebekeden çekilmekte ve bu alan ortadan kalkarken iade edilmektedir. İşte bu nedenle aktif güç, üretici ve tüketici arasında şebeke frekansının iki katıyla salınım yapmaktadır.

İşte şimdiye kadar anlatılanların ışığında tüketicilerin şebekeden çektikleri endüktif reaktif gücün, şebekeden kapasitif yük çeken özel bir reaktif güç üretici tarafından dengelenmesi olayını "Kompanzasyon" diye tanımlayabiliriz.

Statik faz kaydırma yöntemiyle yani güç kondansatörleriyle tüketiciye yakın bir yerde yapılan reaktif güç kompanzasyonu sonunda reaktif güç şebekeden çekileceği yerde kondansatörler tarafından üretilmiş olur. Böylelikle aynı koşullarda şebekeden daha fazla aktif güç çekilme olanağı doğar.

1-3. KONDANSATÖR GÜCÜNÜN HESABI

Kondansatörler alternatif akım şebekesinde bir reaktans gibi tesir ederler. Ohm cinsinden kapasitif reaktans,

$$X_c = \frac{1}{W.C} \quad (1.8)$$

olup burada C, Farad cinsinden kondansatörün kapasitesi ve

$$W = 2\pi f \quad (1.9)$$

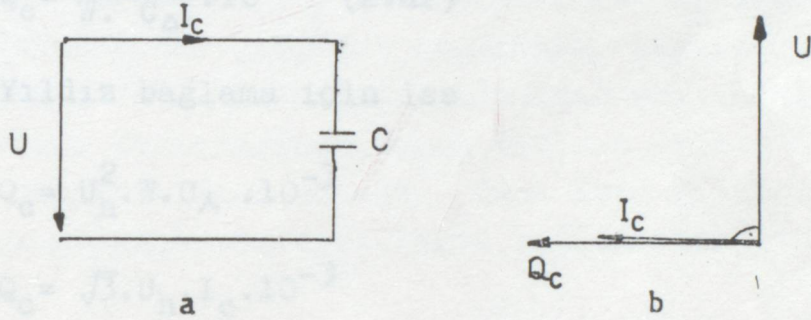
dairesel frekanstır.

Ohm kanununa göre U gerilimine bağlanan bir kondansatörün çektiği I_c kapasitif akım :

$$I_c = \frac{U}{X_c} = U \cdot W \cdot C \quad (1.10)$$

dir. Bu akım, U gerilimine göre 90° önde gider. Şu halde şebekeye bağlı bir kondansatörün şebekeden kapasitif bir akım çekmesi şebekeye endüktif akım vermesine eşdeğerdir.

Şekil 1.4' de bir fazlı, bir kondansatörün bağlanması gösterilmiştir.



Şekil 1.4 Bir fazlı kondansatörün bağlanması
a. Bağlama şeması
b. Fazör diyagramı

Kondansatörün gücü ise

$$Q_c = U \cdot I_c \cdot 10^{-3} \text{ (kvar)} \quad (1.11)$$

veya denklem (1.10) ile

$$Q_c = U^2 \cdot W \cdot C \cdot 10^{-3} = \frac{I_c^2}{W \cdot C} \cdot 10^{-3} \text{ (kvar)} \quad (1.12)$$

elde olunur. Q_c kapasitif reaktif güç endüktif reaktif güce göre 180° ileridedir, yani heriki reaktif güç aynı doğrultuda ve ters yöndedirler.

Üç fazlı alternatif akım şebekelerinde kondansatörler şebekeye veya tüketici uçlarına üçgen veya yıldız olarak bağlanabilirler. Üçgen bağlamada ner iki nat arasındaki

kondansatörün kapasitesi C_{Δ} ilâ ve yıldız bağlamada her iki faza bağlanan kondansatörün kapasitesi C_{λ} ile gösterilirse üçgen bağlama için

$$Q_c = 3 U_h^2 W.C \cdot 10^{-3} \quad (1.13)$$

$$Q_c = \sqrt{3} U_h \cdot I_c \cdot 10^{-3} \quad (1.14)$$

$$Q_c = \frac{I_c^2}{W \cdot C_{\Delta}} \cdot 10^{-3} \quad (\text{kvar}) \quad (1.15)$$

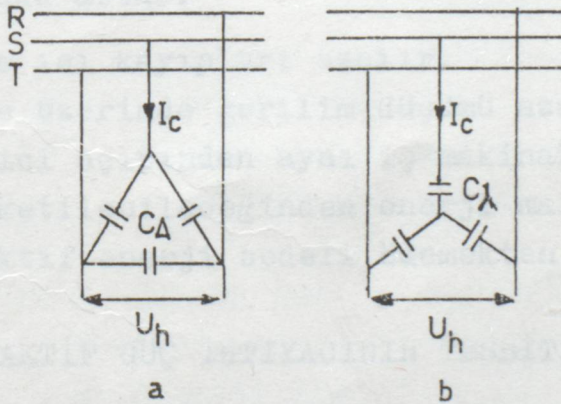
Yıldız bağlama için ise

$$Q_c = U_h^2 \cdot W \cdot C_{\lambda} \cdot 10^{-3} \quad (1.16)$$

$$Q_c = \sqrt{3} \cdot U_h \cdot I_c \cdot 10^{-3} \quad (1.17)$$

$$Q_c = 3 \cdot \frac{I_c^2}{W \cdot C_{\lambda}} \cdot 10^{-3} \quad (\text{kvar}) \quad (1.18)$$

yazılabilirler. Burada U_h : iki hat arasındaki gerilimi, I_c : kapasitif hat akımını gösterir. Şekil 1.5 te üçgen ve yıldız bağlamalar gösterilmiştir.



Şekil.5 Üç fazlı alternatif akım şebekesinde kondansatörlerin üçgen veya yıldız bağlanması.
a. Üçgen bağlama
b. Yıldız bağlama

Her iki sisteminde Q_c gücünün eşit olduğu kabul olunursa

$$C_{\lambda} = 3C_{\Delta} \quad (1.19)$$

bulunur. Buradan, yıldız bağlamada her bir faza bağlanan kondansatörün kapasitesi üçgen bağlamadaki kondansatör kapasitesinin üç katına eşittir, sonucu çıkarılır. 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 arasında 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 bağlanmaları tercih olunur.

Güç katsayısının düzeltilmesiyle :

- Şebekenin güç kapasitesi artar yani çekilebilecek aktifgüç

$$P = P_2 - P_1 \quad \text{ve} \quad (1.20)$$

$$\% P = 100 \left(\frac{\cos \varphi_2}{\cos \varphi_1} - 1 \right) \quad (1.21)$$

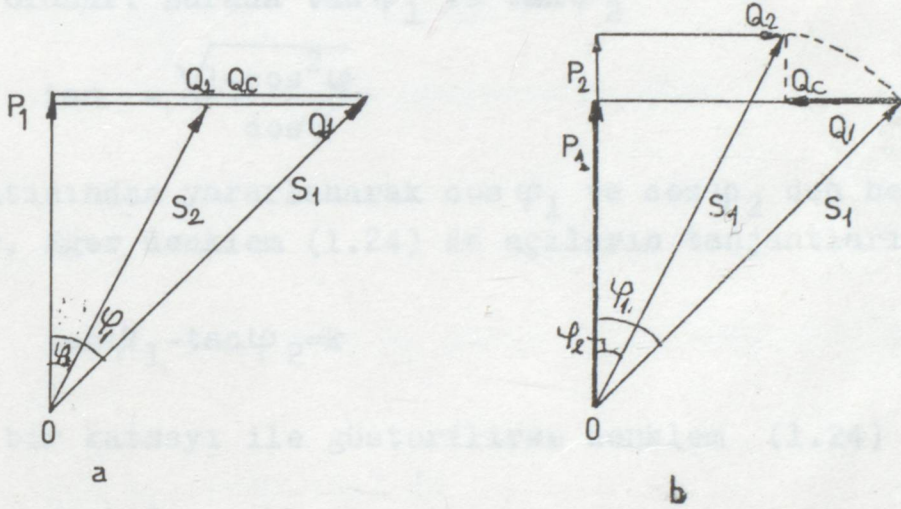
oranında artar.

- Şebeke ısı kayıpları azalır.
- Şebeke üzerinde gerilim düşümü azalır.
- Tüketici açısından aynı iş makineleriyle daha fazla aktif güç tüketilebileceğinden enerji maliyeti düşecek ve aboneler reaktif enerji bedeli ödemekten kurtulacaktır.

1.4 REAKTİF GÜÇ İHTİYACININ TESBİTİ VE SAYISAL ÖRNEK

Bir tüketicinin veya tesisin reaktif güç ihtiyacını tesbit için önce söz konusu tesisin veya tüketicinin şebekeden çektiği S_1 Zahiri gücün, buna ait $\cos \varphi_1$ güç katsayı-

sının ve bundan sonra güç katsayısının çıkarılması istenen $\cos \varphi_2$ değerinin bilinmesi gerekir. Güç katsayısını $\cos \varphi_2$ değerine çıkarmak için lâzım olan reaktif gücü veya kondansatör gücünü tayin etmek için iki yol vardır. Bunlardan birincisinde : $\cos \varphi_1$ güç katsayısı altında çekilmekte olan P_1 aktif gücü sabit tutulur ve buna göre şebekeden çekilen zahiri güç S_2 gibi daha küçük bir değere düşer. İkinci hesap yolunda ise S_1 zahiri güç $\cos \varphi_2$ güç katsayısında da aynı değeri muhafaza eder ve bu durumda şebekeden çekilmekte olan aktif güç P_2 gibi daha büyük bir değer alır. Bu iki hesap yoluna ait fazör diyagramı Şekil 1.6 da gösterilmiştir.



Şekil 1.6 Reaktif güç ihtiyacının tesbiti.

- Nakledilen zahiri gücün azaltılması, aktif güç sabit.
- Nakledilen aktif gücün artırılması, zahiri güç sabit.

Şekilde S Zahiri güç

P Aktif güç

Q Reaktif güç

Q_c Kondansatör gücü

$\cos \varphi$ Güç katsayısı olarak gösterilmiştir.

Şekil 1.6'ya göre kompanzasyondan önceki reaktif güç

$$Q_1 = P_1 \tan \varphi_1 \quad (1.22)$$

ve kompanzasyondan sonra ise

$$Q_2 = P_1 \tan \varphi_2 \quad (1.23)$$

buna göre kondansatör gücü

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P_1 (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (1.24)$$

elde olunur. Burada $\tan \varphi_1$ ve $\tan \varphi_2$

$$\tan \varphi = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi} \quad (1.25)$$

bağıntısından yararlanarak $\cos \varphi_1$ ve $\cos \varphi_2$ den hesaplanabilir. Eğer denklem (1.24) de açılarının tanjantları farkı

$$\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2 = k \quad (1.26)$$

gibi bir katsayı ile gösterilirse denklem (1.24)

$$Q_c = k \cdot P_1 \quad (1.27)$$

şeklini alır.

Şimdi yukarıdaki verilen hesap yöntemini sayısal bir örnek ile dahada açabiliriz.

Bir tüketicinin

$$\begin{aligned} \text{gücü} & : S_1 = 714 \text{ KVA} \\ \text{mevcut güç katsayısı} & : \cos \varphi_1 = 0,7 \\ \text{istenen güç katsayısı} & : \cos \varphi_2 = 0,9 \end{aligned}$$

Birinci yola göre aktif güç:

$$P_1 = S_1 \cdot \cos \varphi_1 = 500 \text{ KW}$$

olup bu değerin sabit kalması istenmektedir. Bu durumda çekilen reaktif güç

$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P_1^2} = 510 \text{ kvar}$$

dir. Güç katsayısının $\cos \varphi_2 = 0,9$ olması halinde tüketicinin çektiği reaktif güç

$$S_2 = \frac{P_1}{\cos \varphi_2} = 555,5 \text{ KVA}$$

değerine düşer. Bu durumda reaktif gücün

$$Q_2 = \sqrt{S_2^2 - P_2^2} = 242 \text{ kvar}$$

olması gerekir. Bu halde kondansatör gücü

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = 268 \text{ kvar}$$

olmalıdır.

İkinci yola göre S_1 sabit kalıp kompanzasyondan sonra aktif güç :

$$P_2 = S_1 \cdot \cos \varphi_2 = 643 \text{ KW}$$

değerine yükselir. Bu durumda reaktif gücün

$$Q_2 = \sqrt{S_1^2 - P_2^2} = 310 \text{ kvar}$$

olması gerekir. Buna göre

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = 510 - 310 = 200 \text{ kvar}$$

gücünde bir kondansatöre ihtiyaç vardır.

Bu örnekte görülüyor ki tüketicinin aktif güç ihtiyacı sabit kalırsa şebekeden çekilen aktif güç, 714 KVA'dan

510 KVA'ya düşer. Bu da % 28,6 kadar bir azalmaya tekabül eder.

GÖRÜLÜR - 2

Eğer Zahiri güç sabit tutulursa aktif gücü 500 KW dan 643 KW'a çıkartmak mümkündür. Bu da yine % 28,6 oranında bir artışa tekabül eder.

Görülüyor ki kompanzasyon sayesinde tesiste bir genişletmeye ve takviyeye lüzum kalmadan bu tesisten çekilebilecek gücü arttırmak mümkün olur.

Bu tür kompanzasyonda tesisteki alıcılar (motor, lamba, transformatör, v.s.) aynı kapasite çalışır. Böylece kompanzasyonla birlikte artmış güç kullanılır. Yani güç yükü parçalar halinde aynı enerji kullanılır. Böylece kompanzasyonda güç yükü parçaları aynı enerjiye girip çıktıklarından dolayı aynı enerji kullanılır. Yani kompanzasyonla birlikte güç yükü parçaları aynı enerji kullanılır. Böylece kompanzasyonda güç yükü parçaları aynı enerji kullanılır. Böylece kompanzasyonda güç yükü parçaları aynı enerji kullanılır. Böylece kompanzasyonda güç yükü parçaları aynı enerji kullanılır.

$$Q_1 (KVA) = 0,9 \cdot P_1 (KW) \cdot 10^3 \quad (2.1)$$

Burada

$$I_0 \text{ motorun boşta çalıştırma akımıdır.}$$

Bu tür kompanzasyonda motorun aynı enerji kullanır. Böylece kompanzasyonla birlikte artmış güç kullanılır. Yani güç yükü parçalar halinde aynı enerji kullanılır. Böylece kompanzasyonda güç yükü parçaları aynı enerjiye girip çıktıklarından dolayı aynı enerji kullanılır. Yani kompanzasyonla birlikte güç yükü parçaları aynı enerji kullanılır. Böylece kompanzasyonda güç yükü parçaları aynı enerji kullanılır. Böylece kompanzasyonda güç yükü parçaları aynı enerji kullanılır.

BÖLÜM - 2

KOMPANZASYON TESİSLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Tesise bağlı olan alıcıların durumuna göre çeşitli tip kompanzasyon yapılır.

2-1. TESİS ŞEKLİNE GÖRE

2-1.1. TEKLİ KOMPANZASYON

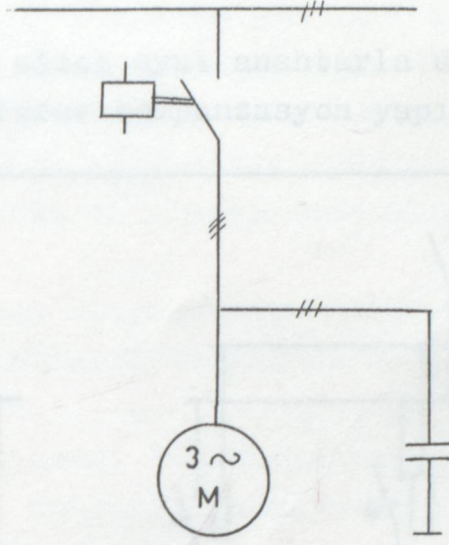
Bu tür kompanzasyonda tesisteki alıcılar (motor, lâmba, transformator, v.s.) ayrı ayrı kompanze edilirler. Böylece kompanzasyonda kontrol edilecek güç azalır. Yani güç küçük parçalar halinde ayrı ayrı kontrol edilmiş olur. Böylece kompanzasyonda büyük güçlü motorların devreye girip çıkmasından dolayı oluşan dalgalanmalar hemen yanındaki kompanzasyon ünitesinde süzülerek tesis şebekesinde salınmanın küçük mertebede kalması temin edilir. Bu durumda alıcı bir kısa devre motorlu (sincap kafes) asenkron motor ise, kompanzasyon gücü yaklaşık

$$Q_c (\text{KVAR}) = 0,9 I_0 (A) U (v) 10^{-3} \quad (2.1)$$

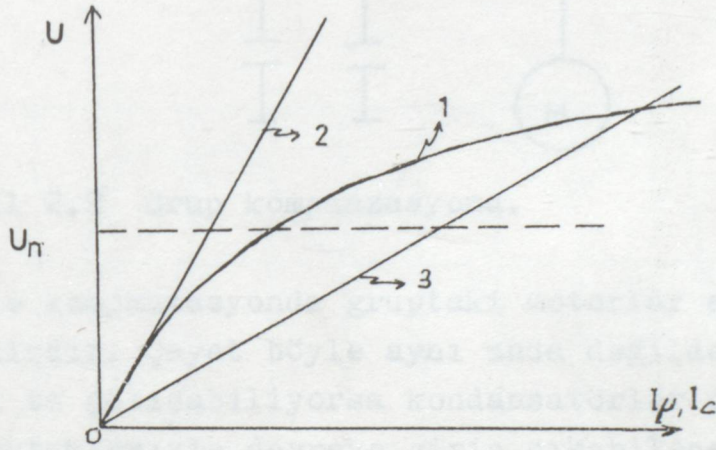
olur. Burada

I_0 : Motorun boşa çalışma akımıdır.

Böyle kompanzasyonda motorla aynı anda çalışan kondansatör, motor devreden çıkınca motora bağlı kondansatör motoru aşırı ikaz ederek kendi kendine ikazlanma olmasına ve bu ikazlanma gerilimi kondansatör gerilim toleransını aşabilir. Bu sebepten dolayı kondansatör gücü motorun boştaki reaktif gücünün % 90 nını geçmeyecek şekilde seçilmesi gerekir.



Şekil 2.1 a: Tekli. kompanzasyon.



Şekil 2.1 b: Motor mıknatıslanma akımı ve kondansatör akımı.

I_c : Kondansatör akımı

I_μ : Motor mıknatıslanma akımı (kendi kendine uyarma kesişim noktasında olabilir)

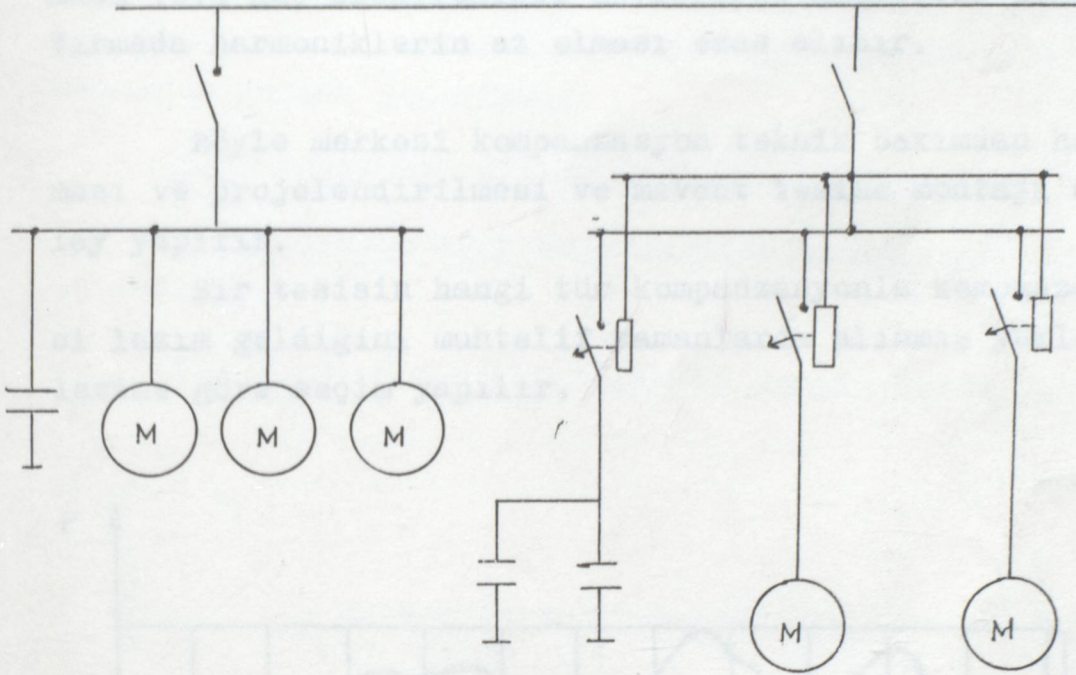
1 : Motor çalışma eğrisi

2,3 : Kondansatör eğrileri

U_n : Motor nominal gerilimi

2-1.2. GRUP KOMPAZASYONU

Birden fazla alıcı aynı anahtarla devre kumandası yapıldığında grup olarak kompanzasyon yapılabilir.



Şekil 2.2 Grup kompanzasyonu.

Böyle kompanzasyonda gruptaki motorlar aynı anda çalışıp durmalıdır. Şayet böyle aynı anda değilse her motor ayrı olarak çalışabiliyorsa kondansatörler de ayrı olarak bu motor kontaklarıyla devreye girip çıkabilecek şekilde dizayn edilir.

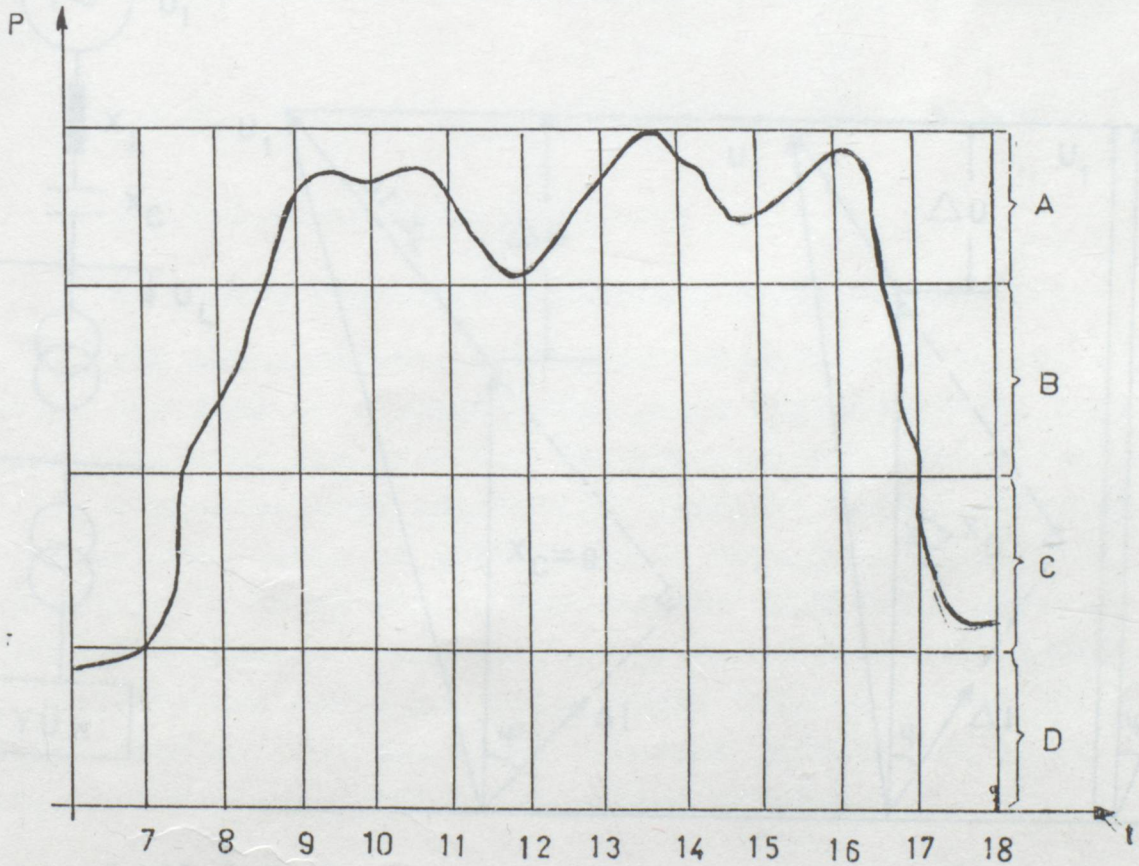
2-1.3. MERKEZİ KOMPAZASYON

Bu devreye bağlı olan birçok endüktif yük akımı çeşitli zamanlarda devreye girip çıkılıyorsa böyle bir sistemde çekilen yük durumuna göre ayarlı merkezi kompanzasyon yapılır. Bu ayarlı kompanzasyon klasik olarak reaktif yük rölesi ile devrede olan kondansatör grupları sayısını artırıp azaltarak sağlamaktadır. Fakat son zamanlarda gelişen yarı-iletken (tristör) kumandalı devrelerde ilerdeki bölümlerde

anlatılan güç elektronikli kompanzasyon metotlarıyla otomatik kumandalı olarak ayarlı bir şekilde yapmak mümkündür. İster klasik ister otomatik kumandalı olsun $\cos\phi$ seviyesini düzgün bir sınırdaki tutmak için kondansatör devreye sokmada veya güç elektronikli devrelerde kapasitif akımı arttırmada harmoniklerin az olması esas alınır.

Böyle merkezi kompanzasyon teknik bakımından hesaplanması ve projelendirilmesi ve mevcut tesise montajı daha kolay yapılır.

Bir tesisin hangi tür kompanzasyonla kompanze edilmesi lazım geldiğini muhtelif zamanlarda alınmış yükleme eğrilerine göre seçim yapılır.



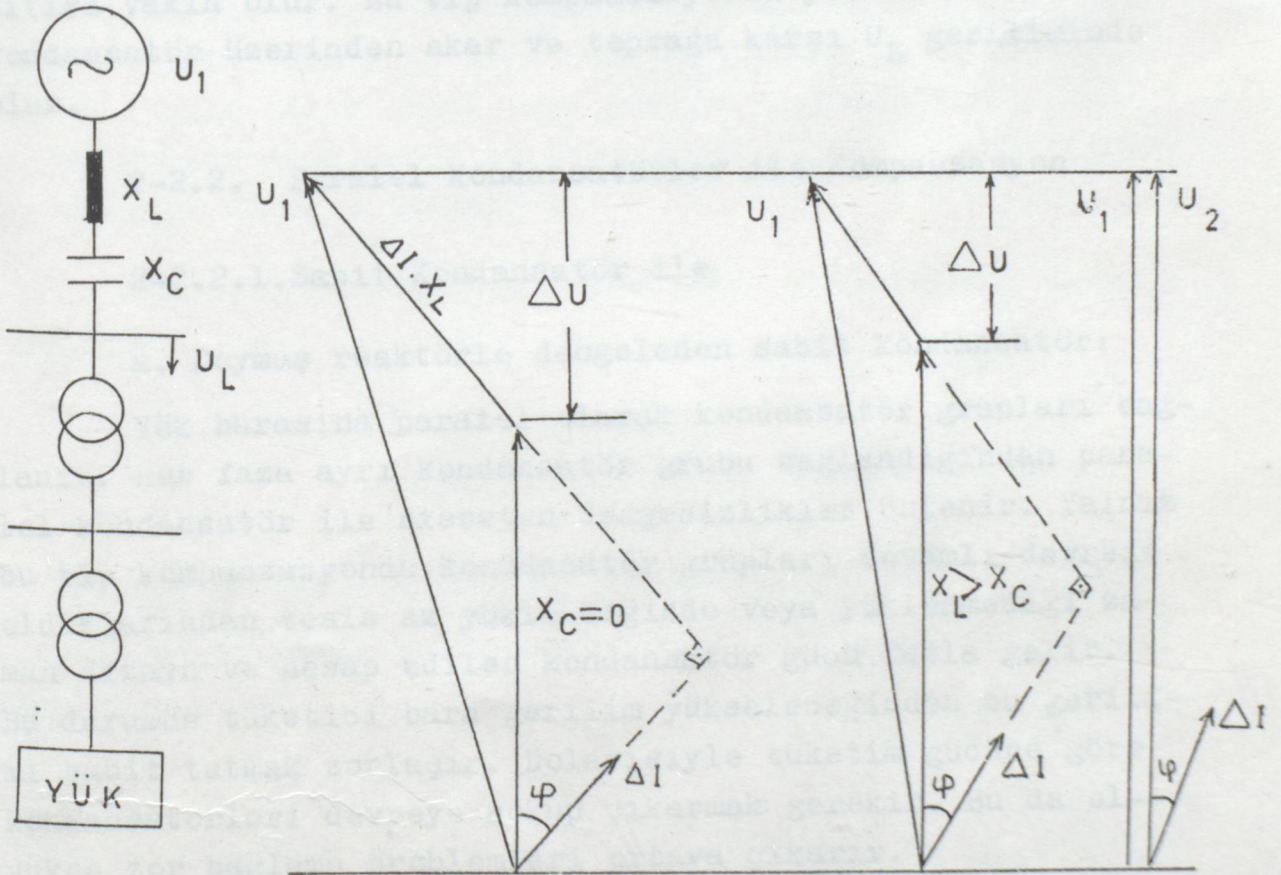
Şekil 2.3 Yükleme eğrisi örneği.

Prensip olarak şekilde A bölümünde otomatik merkezi kompanzasyon B ve C bölümleri için grup veya tek tek kompanzasyon D bölümü için sabit kompanzasyon yapılır. Fakat güç elektronikli devreli otomatik kontrollu kompanzasyondan endüktif akıma göre kapasitif akım tristörlerle sınırlandırıldığından bütün durumlar için güç elektronik devrelerle kompanzasyon yapmak geçerlidir.

2-2. KONDANSATÖRLERİN BAĞLAMA ŞEKLİNE GÖRE

Kompanzasyon seri veya paralel kondansatörlerle yapılabilir.

2-2.1. Seri Kondansatörlerle kompanzasyon



Şekil 2.4 Seri kondansatör ile kompanzasyon bağlama şeması ve fazör diyagramları.

$X_L = X_s$ şebeke reaktansı

X_e = seri kondansatör reaktansıdır.

yükün yüksek barasında ;

$$U_2 = U_1 - j\Delta I (X_L - X_C) \quad (2.2)$$

gerilimi görülür. Buradaki gerilim düşümü

$$U = \Delta I (X_L - X_C) \sin \varphi \quad (2.3)$$

dir. $X_L = X_C$ olması halinde yani şebeke reaktansına eşit reaktansa sahip bir kondansatör bağlandığında gerilim düşümü sıfıra yakın olur. Bu tip kompanzasyonda yük akımının tümü kondansatör üzerinden akar ve toprağa karşı U_L geriliminde olur.

2-2.2. Paralel Kondansatörler ile Kompanzasyon

2-2.2.1. Sabit Kondansatör ile

a. Doymuş reaktörle dengelenen sabit kondansatör:

Yük barasına paralel olarak kondansatör grupları bağlanır. Her faza ayrı kondansatör grubu bağlandığından paralel kondansatör ile nisbeten dengesizlikler önlenir. Yalnız bu tip kompanzasyonda kondansatör grupları devamlı devrede olduklarından tesis az yüklendiğinde veya yüklenmediği zaman dizayn ve hesap edilen kondansatör gücü fazla gelir. Bu durumda tüketici bara gerilim yükseleceğinden bu gerilimi sabit tutmak zorlaşır. Dolayısıyla tüketim gücüne göre kondansatörleri devreye sokup çıkarmak gerekir. Bu da oldukça zor bağlama problemleri ortaya çıkarır.

Bunu nisbeten önlemek için doymuş bir reaktörle dengeleme yapılır. Tüketici barasına kondansatör grubu ile beraber bir de doymuş reaktif paralel bağlanır. Tüketici is-

tenen yükün altında bir yükü yüklediğinde kondansatör gücü bir miktar ΔQ_c kadar ihtiyaktan fazla olur. Bu yüzden bara gerilimi biraz yükselir. Gerilim yükselmesi anında reaktörün doymalı karakteristiğinden dolayı demir çekirdekte ;

$$\phi = - \int \frac{U}{W} dt \quad (2.4)$$

kadar bir akı oluşur. Bu da endüktif yük özelliği göstererek bu ΔQ_c ye eşit olarak bunu dengeler.

U : Reaktör sargı uçlarına uygulanan gerilim

W : Reaktör sarım sayısıdır.

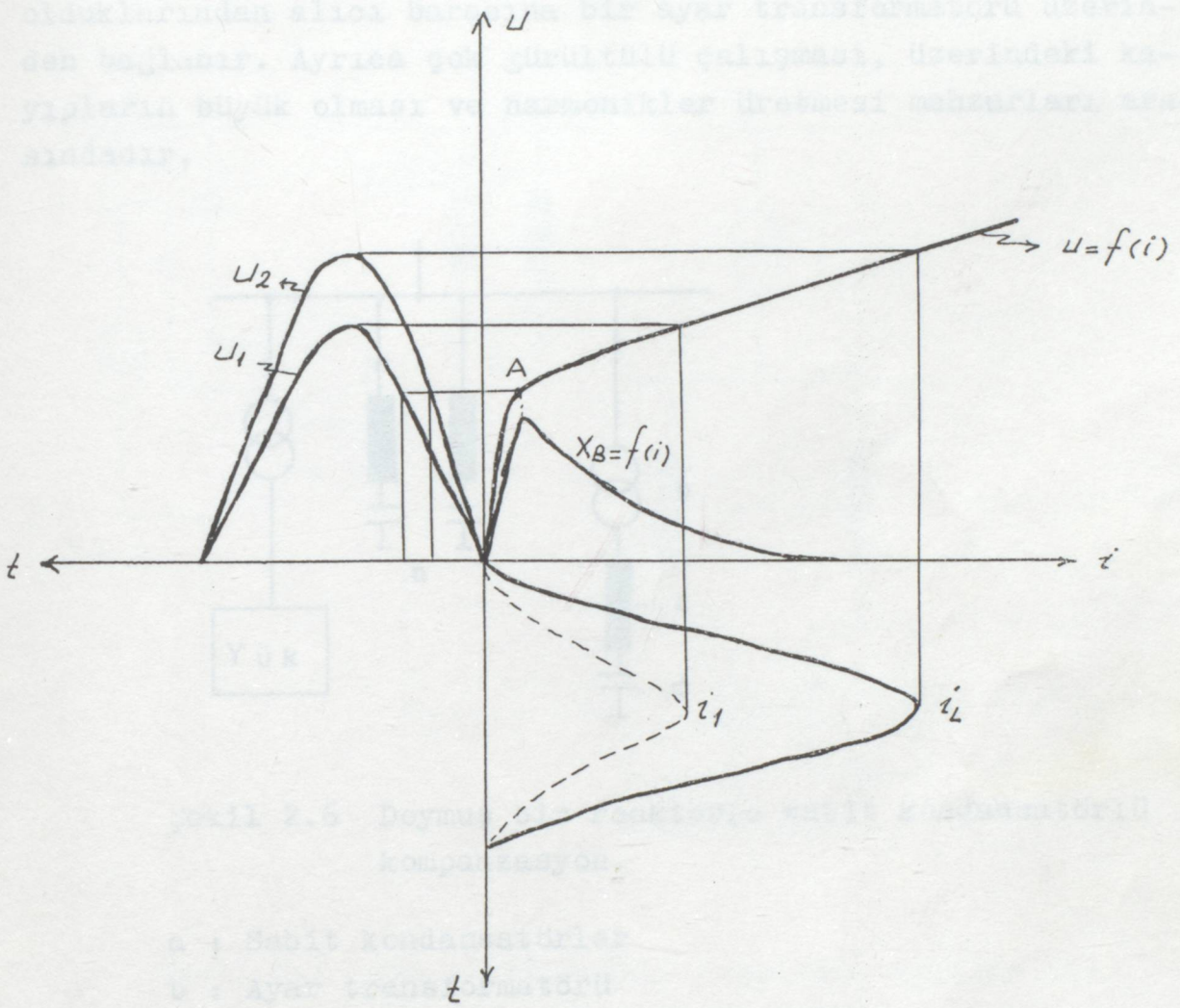
Şayet akı (dolayısıyla B) bir yarı periyot boyunca doyma değerine ulaşırsa bobinin reaktansı düşerek yaklaşık sıfır değerini alır. Bu anda reaktör şebekeden büyük bir endüktif akım çeker. Yani yarı periyot başında doyma esnasında reaktör akım çeker ve doyma sona erince akımda tekrar sıfır olur. Karakteristikte ;

U = f(i) eğrisi doymuş reaktörün mıknatıslama karakteristiği

A : Doymanın başlangıç noktası

$X_B = f(i)$ reaktörün reaktans karakteristiği

U_1 ; U_2 ; Reaktöre uygulanan gerilimler yük var olduğunda U_1 , yük değişiminde kondansatörlerden dolayı yükselen gerilim ise U_2 olur.



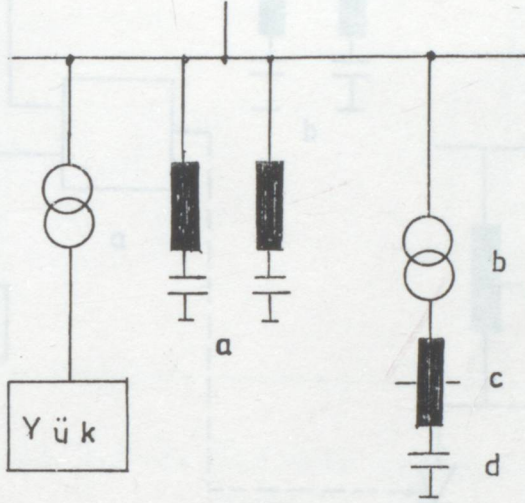
Şekil 2.5 Doymuş bir reaktörün yarı periyotta akım ve gerilim karakteristiği

i_1 , i_2 ; U_1 ve U_2 gerilimlerinin bulunduğu zaman reaktörün çektiği akımlardır.

Böyle çalışmakla otomatik bir ölçme ve ayar ünitesi görevini yapar. Böyle bir kompanzasyonda reaktör uçlarındaki gerilim değişimleri alıcı reaktif gücüne göre daha az olduğundan tam ideal bir kompanzasyon olmaz.

Doymuş reaktörler gerilim değişmelerine karşı hassas

olduklarından alıcı barasına bir ayar transformatörü üzerinden bağlanır. Ayrıca çok gürültülü çalışması, üzerindeki kayıpların büyük olması ve harmonikler üretmesi mahzurları arasındadır.



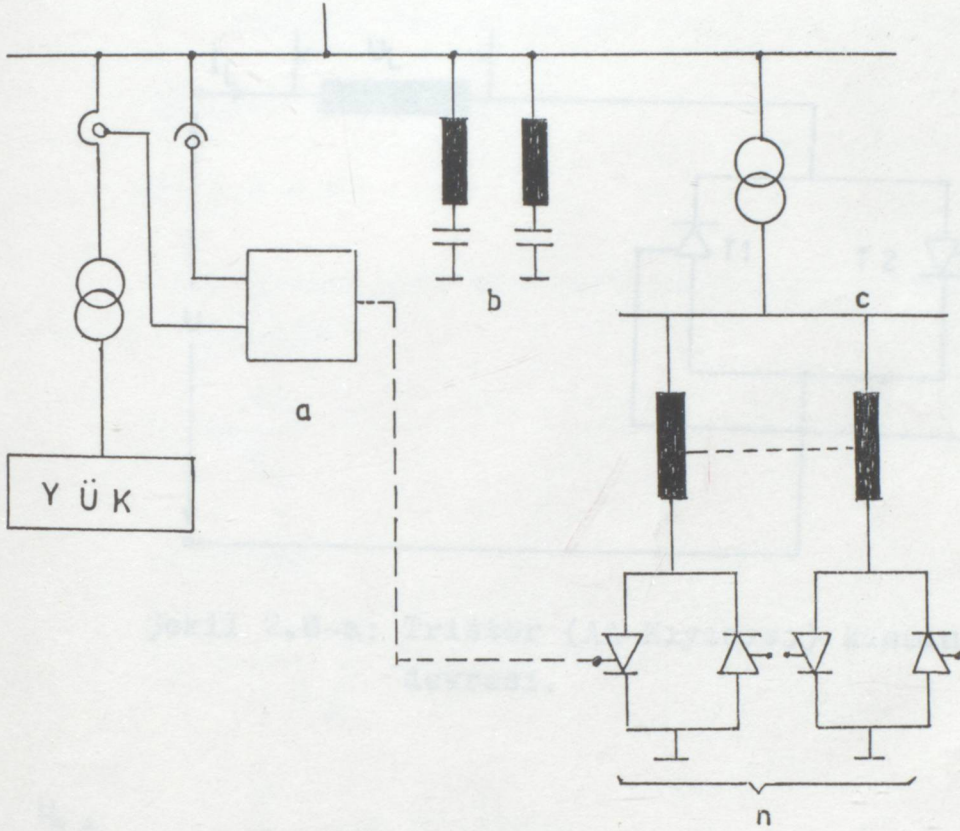
Şekil 2.6 Doymuş bir reaktörle sabit kondansatörlü kompanzasyon.

- a : Sabit kondansatörler
- b : Ayar transformatörü
- c : Doymuş reaktör
- d : Reaktör eğitimi ayarlayan kondansatör

b. Güç elektronikli Ayarlı Reaktörle dengelenen sabit kondansatörlü kompanzasyon :

Bu metotla doymalı reaktörden daha hassas kompanzasyon sağlanmış olur. Burada tüketicinin çektiği akım ve gerilim ölçülerek değerlendirilir ve daha sonra üçüncü bölümde bahsedilen tristör elemanından oluşmuş AA kıyıcısına tetikleme pulsları gönderilerek reaktörün çektiği akımın efektif değeri kontrol edilmiş olur.

Gerilimin tepe değerine tristör kapısına bir darbe sinyali gönderilerek, tristör tetiklenerek iletine geçer ve devreden bir i akımı çıkar.



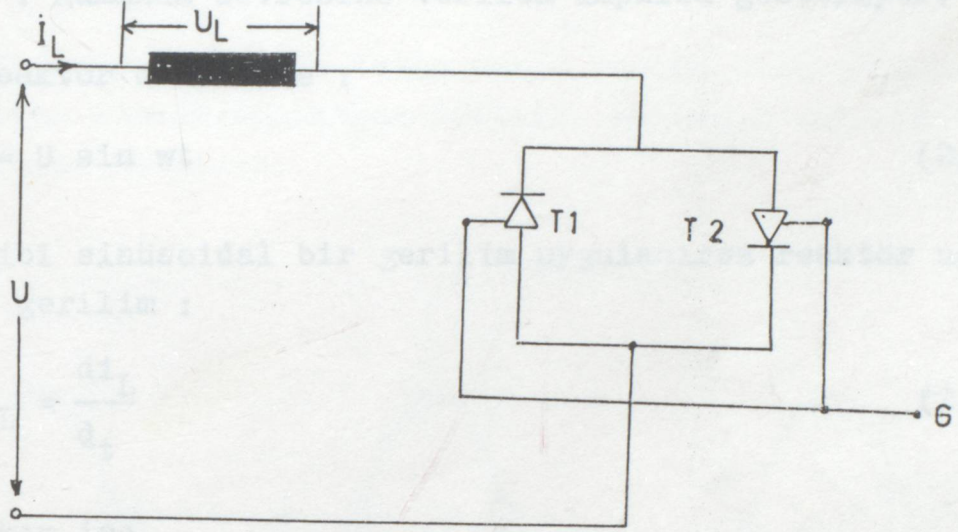
Şekil 2.7 Güç elektronikli kumandalı reaktör ile kompanzasyon prensip şeması.

Burada

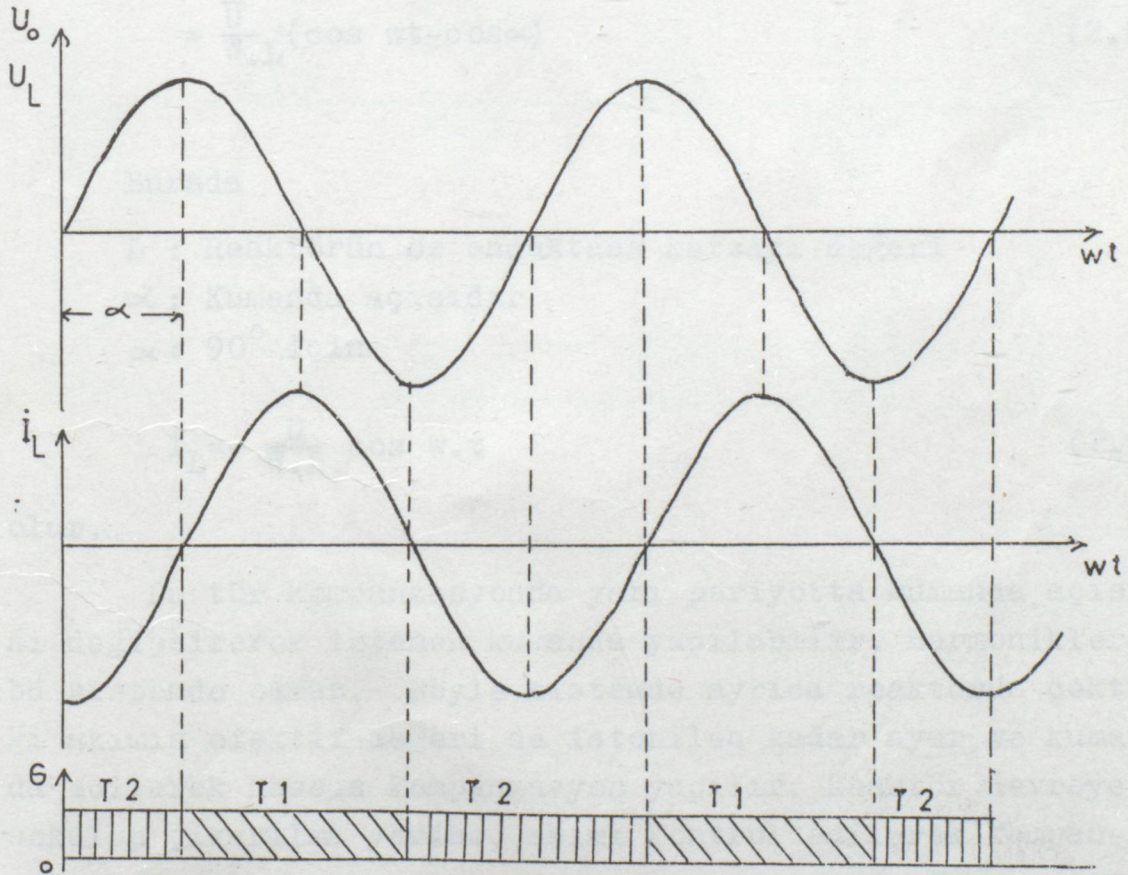
- a : Ölçme ve kumanda düzeni
- b : Sabit kondansatörler (Filtre devreleri)şeklindedir.
- c : Tristörle akımı kontrol edilebilen reaktör
- n : Reaktör sayısıdır.

Reaktörler tüketici barasına bir transformatör üzerinden bağlanır. Bu transformatör kaçak reaktansı büyük olarak özel imâl edilmişse reaktörlerin kullanılmasına gerek kalmaz. Primer sargılar üçgen bağlanır. Sekonder ise açık yıldız şeklinde üç adet bir fazlı tristör devresi ile yüklenirler. Böylece her faz ayrı olarak kompanze edilir ve eleme yapılmış olur. Aşırı bağlama gerilimlerinin oluşturulmaması için reaktör elemanları gerilimi (-) ve (+) tepe değerine devreye sokulup çıkarılır.

Gerilimin tepe değerine tristör kapısına bir darbe sinyali gönderilerek, tristör tetiklenerek ilettime geçer ve devreden bir i akımı çeker.



Şekil 2.8-a: Tristör (AA Kılıcısı) kısmındaki reaktör devresi.



Şekil 2.8-b: Reaktör devresi akım ve gerilimi ile impulsların zamana göre değişimi.

Burada

G : Kumanda devresine verilen impulsu gösteriyor.

Reaktör devresine :

$$U = U \sin \omega t \quad (2.5)$$

gibi sinüsoidal bir gerilim uygulanırsa reaktör uçlarındaki gerilim :

$$U_L = \frac{di_L}{dt} \quad (2.6)$$

akım ise

$$i_L = \frac{1}{\omega \cdot L} \int_{\alpha}^{\omega t} \bar{U} \sin \omega t \, d(\omega t) \quad (2.7)$$

$$= \frac{\bar{U}}{\omega \cdot L} (\cos \omega t - \cos \alpha) \quad (2.8)$$

Burada

L : Reaktörün öz endüktans katsayı değeri

α : Kumanda açısıdır

α : 90° için

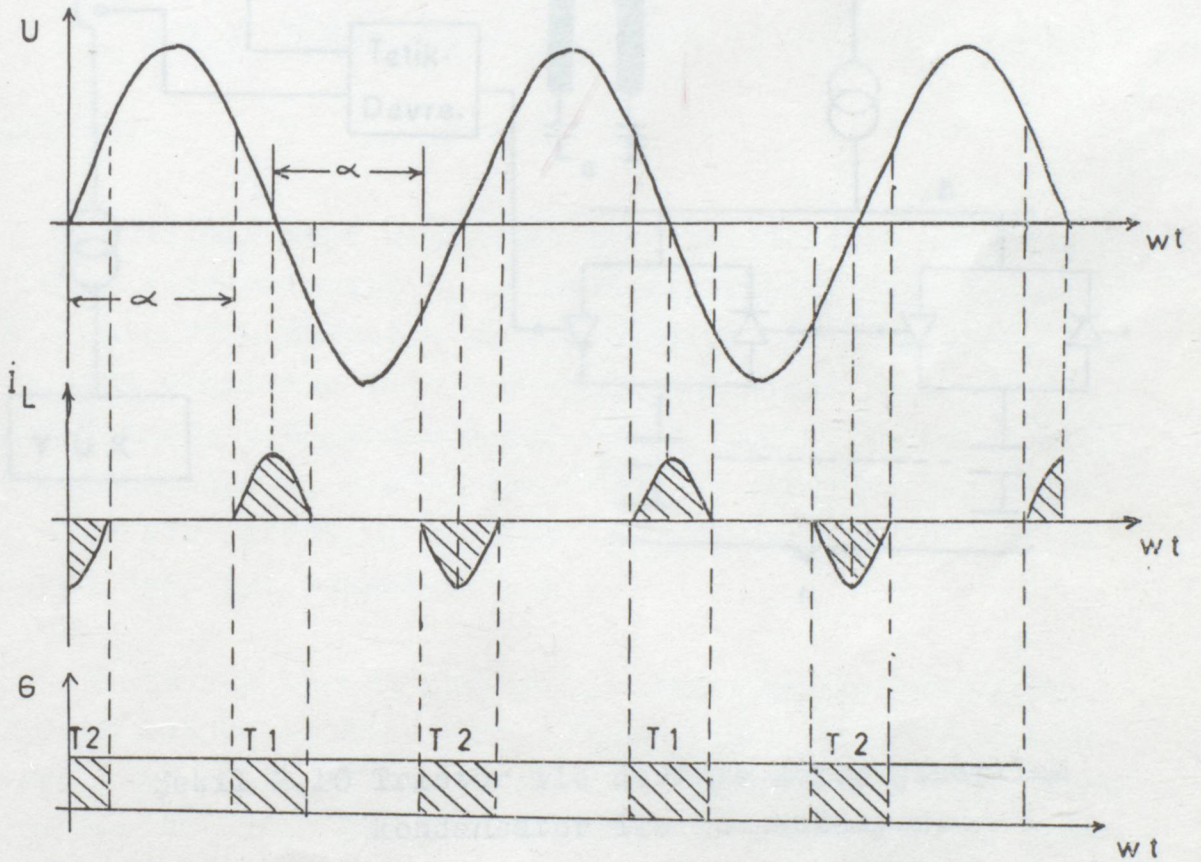
$$i_L = - \frac{U}{\omega \cdot L} \cos \omega t \quad (2.9)$$

ölür.

Bu tür kompanzasyonda yarı periyotta kumanda açısını değiştirerek istenen kumanda yapılabilir. Harmoniklerde bu sistemde olmaz. Böyle sistemde ayrıca reaktörün çektiği akımın efektif değeri de istenilen kadar ayar ve kumanda edilerek hassas kompanzasyon yapılır. Reaktör devreye sokulup çıkarılma yerine, akımı kontrol edilerek kompanzasyon yapılır.

Böyle sistemlerde tristör yalnız gerilim tepe değeri-
rinde değil de herhangi bir değerinde iken tetiklenerek ile-
time sokulması ile kompanzasyon akımı hassas ayar edilir.

Bu kompanzasyonda cevap verme zamanı ölçme zamanı
ile bekleme zamanı toplamına eşittir. Bu zaman ortalama
yarı periyot kadardır.



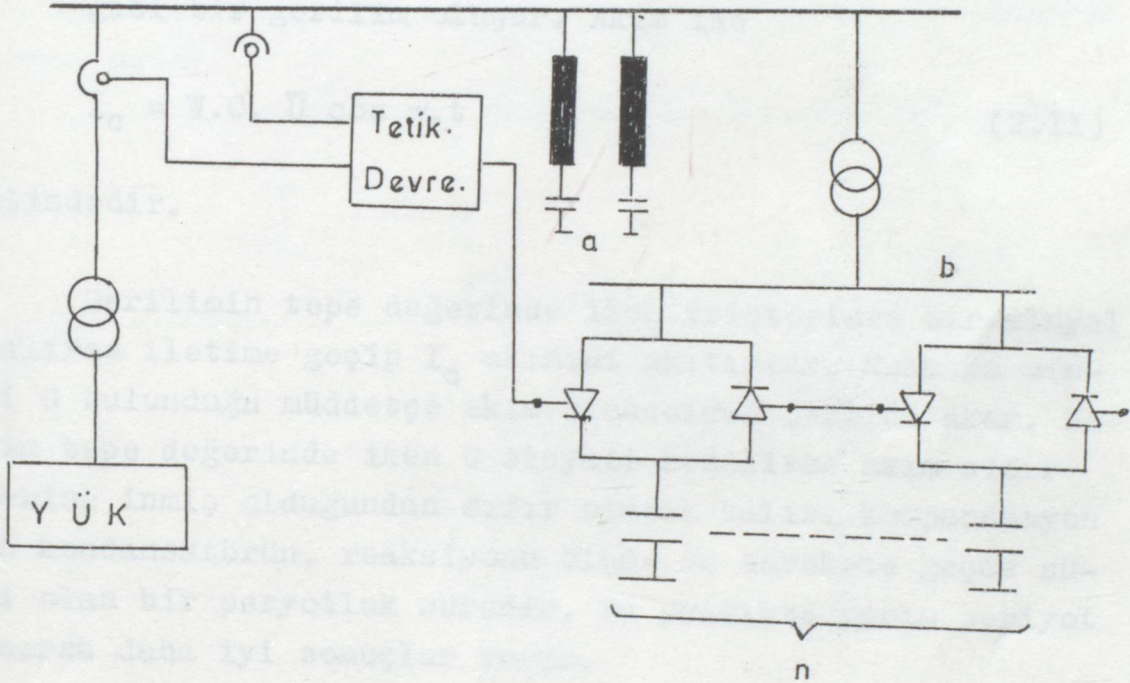
Şekil 2.9 Tristör kumandalı devrenin gerilimi ile
kumanda açısına göre akımın değişimleri.

2-2.2.2. Sabit Olmayan Kondansatörle Kombine Kompanzasyon.

a. Güç elektroniği devrelerle devreye sokulup çıkma-

rılan kondansatörle dengelenen kompanzasyon:

Bu çeşit kompanzasyonda her faza ayrı gruplar halinde tristör kontrollü kondansatör grupları bağlanır. Herbir fazdaki reaktif yüke göre tristörler bu faza ait kondansatör gruplarını devreye sokar veya çıkarırlar.



Şekil 2.10 Tristör ile devreye sokup çıkarılan kondansatör ile kompanzasyon.

a: Sabit kondansatörler

b: Tristörle devreye sokulup çıkarılan kondansatörler.

Burada kademeli olarak bir kompanzasyon söz konusudur. Önemli bir husus kademe değişikliğinde kondansatör kademe değeri, bu değişiklik anında bağlantı barasında gerilim % 0.25 mertebesinde değişebilecek kadar bir değerde seçilir. Bu değer yani % 0.25 değişme değeri hissedilme sınırının altındadır.

Kondansatörler gerilimin tepe değerinde akımın ise sıfır olduğu an tristörler vasıtasıyla devreye sokulurlar ve yine aynı şartlar altında devre dışı edilirler böylece aşırı gerilim ve geçici olaylar nisbeten önlenmiş olur. Kondansatör gerilimi sinüsoidal ise uçlarında ;

$$U_c = \frac{1}{C} \int i_c dt \quad (2.10)$$

gibi bir gerilim oluşur. Akım ise

$$i_c = W.C. \bar{U} \cos w.t \quad (2.11)$$

şeklindedir.

Gerilimin tepe değerinde iken tristörlere bir sinyal verilirse ilettime geçip I_c akımını akıtırlar. Kumanda sinyali G bulunduğu müddetçe akım sinusoidal şekilde akar. Gerilim tepe değerinde iken G sinyali kesilirse akım sıfır değerine inmiş olduğundan sıfır olarak kalır. Kompanzasyon için kondansatörün, reaksiyonu ölçme ve harekete geçme süresi olan bir periyotluk süredir. Bu pratikte yarım periyot alınırsa daha iyi sonuçlar verir.

Alıcı yük barası gerilimi, kompanzasyon (kondansatörle) esnasında düşmez. Dolayısıyla aktif güç artmış olur. Böylece kondansatörlü kompanzasyonlu tesisin masrafını kısa sürede amorti eder. Böyle kompanzasyonda mahzurlu tek tarafı, bağlamaların % 25 inde reaksiyon süresi bir periyot gibi uzun süre olmasıdır.

b: Kademesiz kompanzasyon :

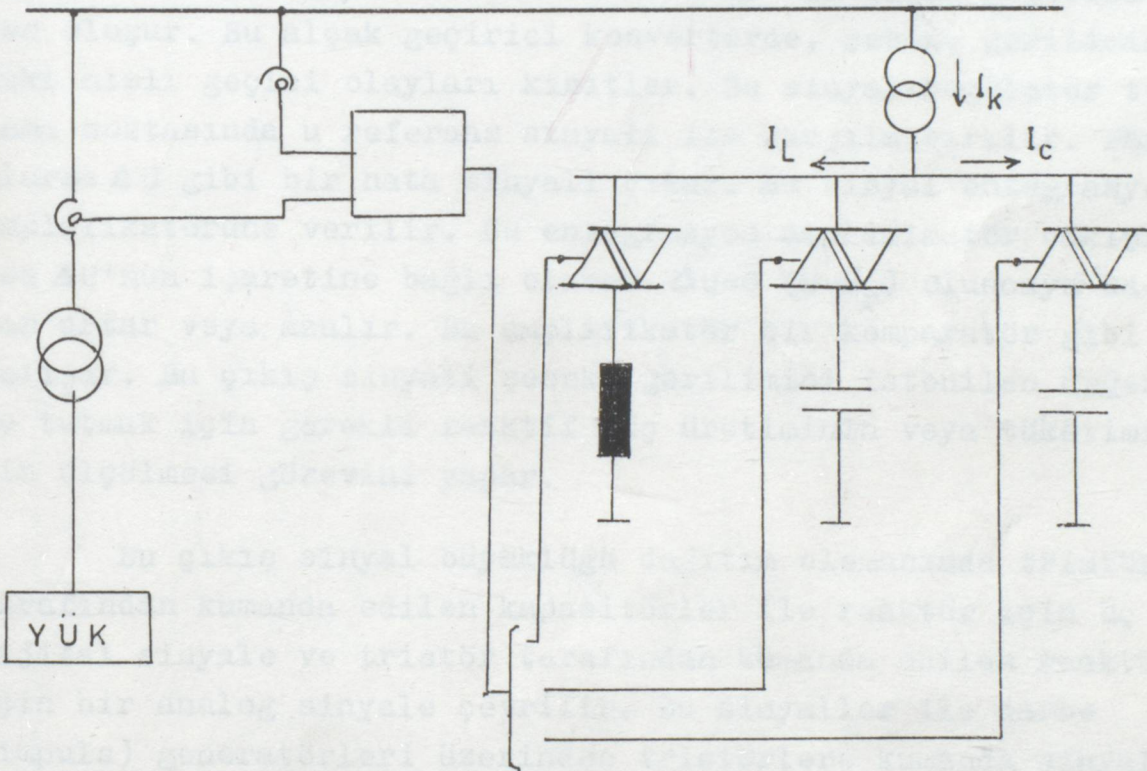
Önceki bölümde bahsedilen kompanzasyonda kompanze edilecek güç uygun kademelere bölünerek kademeli bir kompanzasyon yapılmaktadır.

Bu kompanzasyonda ise tristörle kumanda edilen kondansatörlere kombine olarak yine bir tristör kontrollü reaktör

bağlanır ve sürekli güç ayarı yapılır.

Böyle kompanzasyonda yavaş bir değişimde tam endüktif yükten tam kapasitif yüke kademesiz olarak bir ayar yapmak mümkündür.

Tristörler, kondansatörlerin ve reaktörlerin süratle devreye sokulup çıkarılmalarını temin ederler. Kademesiz ve sürekli kontrol yapabilir. Geçici parazit yok denecek kadar azdır.



Şekil 2.11 Tristörle devreye sokulup çıkartılan kondansatörle kombine edilen tristör kontrollu reaktörden oluşan kompanzasyon.

c: Otomatik kontrollu sürekli kompanzasyon:

Yük barasına paralel olarak bağlanan tristör kontrollu reaktör ve kondansatörlerden oluşur kompanzasyon için çeşitli büyüklükler ölçülerek bunlara bağlı olarak kompanzasyona uygun sinyaller vererek tristörler tetiklenir veya

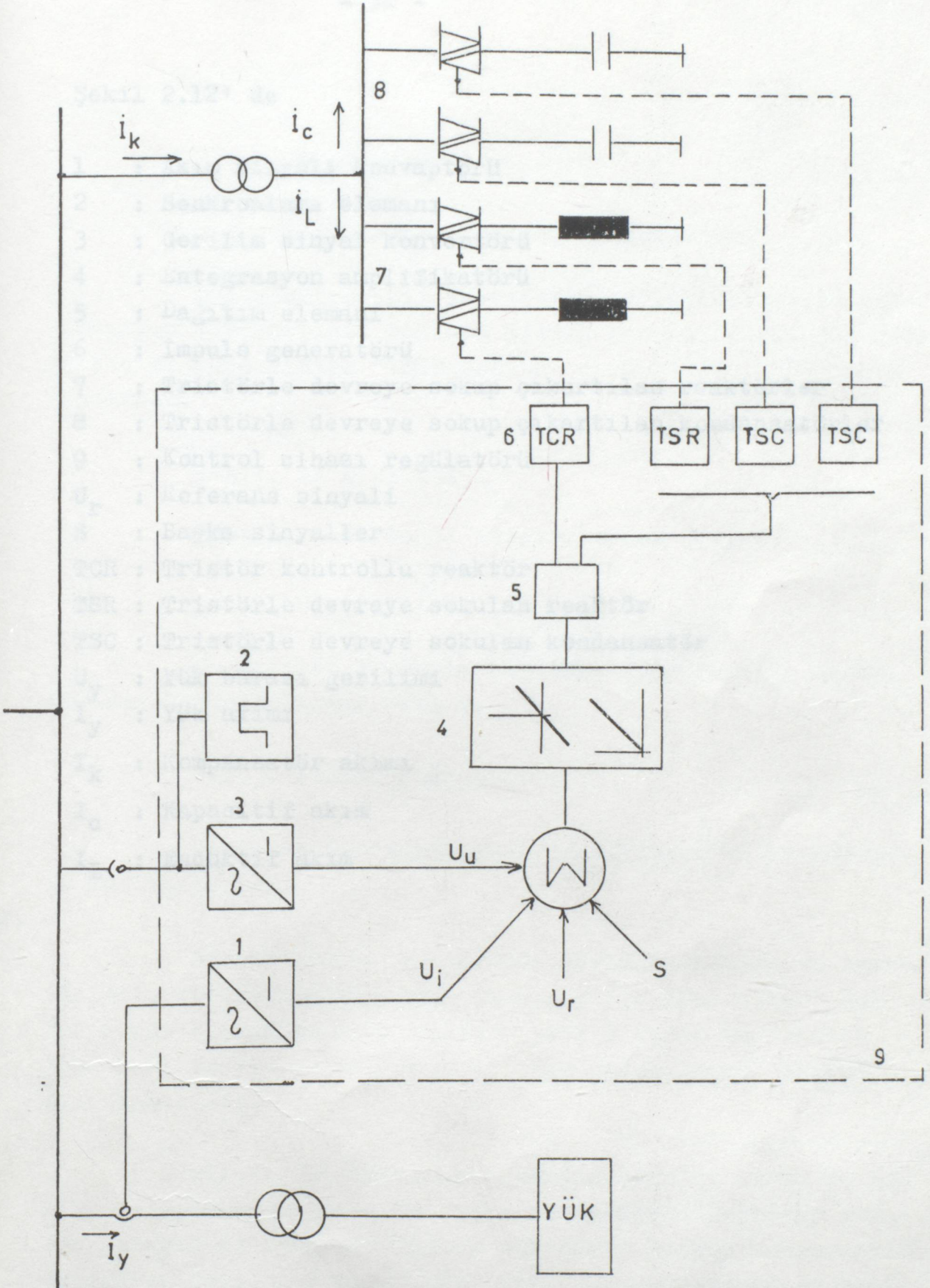
tetikleme sinyalleri kesilir. Bu ölçme, kontrol, kumanda ve ayar işlerini otomatik olarak yapan devreler dizayn edilerek bunlardan faydalanılır.

Regülatör girişi esas büyüklüğü yük barası gerilimidir. Bu gerilim baraya bağlı üç fazlı bir gerilim transformatörü ile ölçülerek konverter üzerinden u gibi bir Dc sinyaline dönüştürülür. Buradaki sinyal konverteri prensip olarak bir dönüştürücü transformatörü ile 6 darbeli bir redresör ve zaman sabitesi $1.5\mu s$ mertebesinde olan bir alçak geçiriciden oluşur. Bu alçak geçirici konverterde, şebeke gerilimindeki hızlı geçici olayları kısıtlar. Bu sinyal regülatör toplama noktasında u referans sinyali ile karşılaştırılır. Fark olursa ΔU gibi bir hata sinyali çıkar. Bu sinyal entegrasyon amplifikatörüne verilir. Bu entegrasyon amplifikatör çıkışı ise ΔU 'nun işaretine bağlı olarak $\Delta U=0$ ($U=U_r$) oluncaya kadar artar veya azalır. Bu amplifikatör bir komparatör gibi çalışır. Bu çıkış sinyali şebeke gerilimini istenilen değerde tutmak için gerekli reaktif güç üretiminin veya tüketiminin ölçülmesi görevini yapar.

Bu çıkış sinyal büyüklüğü dağıtım elemanında tristör tarafından kumanda edilen kapasitörler ile reaktör için üç dijital sinyale ve tristör tarafından kumanda edilen reaktör için bir analog sinyale çevrilir. Bu sinyaller ile darbe (impuls) generatörleri üzerinden tristörlere kumanda sinyali verilir.

Akımın ileri veya geri olması durumuna göre işareti farklı olan bu U_i sinyali regülatörün toplama noktasına verilir. Böylece akımın endüktif veya kapasitif olmasına göre referans gerilimi de artar, veya azalır.

Kontrol sistemindeki senkronlama elemanı regülatör sinyallerinin değerlendirilip tetikleme impulslarına tam zamanında verilmesine temin eder.



Şekil 2.12 Tristörle kontrollü konbine reaktör ve kondansatörlü kompanzasyon blok diyagramı.

Şekil 2.12' de

- 1 : Akım sinyali konvaptörü
 - 2 : Senkronlama elemanı
 - 3 : Gerilim sinyal konvertörü
 - 4 : Entegrasyon amplifikatörü
 - 5 : Dağıtım elemanı
 - 6 : İmpuls generatörü
 - 7 : Tristörle devreye sokup çıkartılan reaktörler
 - 8 : Tristörle devreye sokup çıkartılan kondansatörler
 - 9 : Kontrol cihazı regülatörü
- U_r : Referans sinyali
S : Başka sinyaller
TCR : Tristör kontrollü reaktör
TSR : Tristörle devreye sokulan reaktör
TSC : Tristörle devreye sokulan kondansatör
 U_y : Yük barası gerilimi
 I_y : Yük akımı
 I_k : Kompansatör akımı
 I_c : Kapasitif akım
 I_L : Endüktif akım

dır.

BÖLÜM - 3

3-1. STATİK FAZ KAYDIRICI "KOMPANSATÖR"

Güç elektronikli devrelerde gerçekleştirilen kompanzasyon devrelerinin başında STATİK FAZ KAYDIRICILARI gelmektedir. Buna kısaca "KOMPEMSATÖR" denmektedir. Üç grupta incelenir.

3-1.1. AA KIYICISI

Ters paralel bağlı tristörlerden oluşur.

3-1.2. STABİLİZATÖR

Bu tristör grubuyla birlikte önünde self, bobin ve transformatorlardan oluşur.

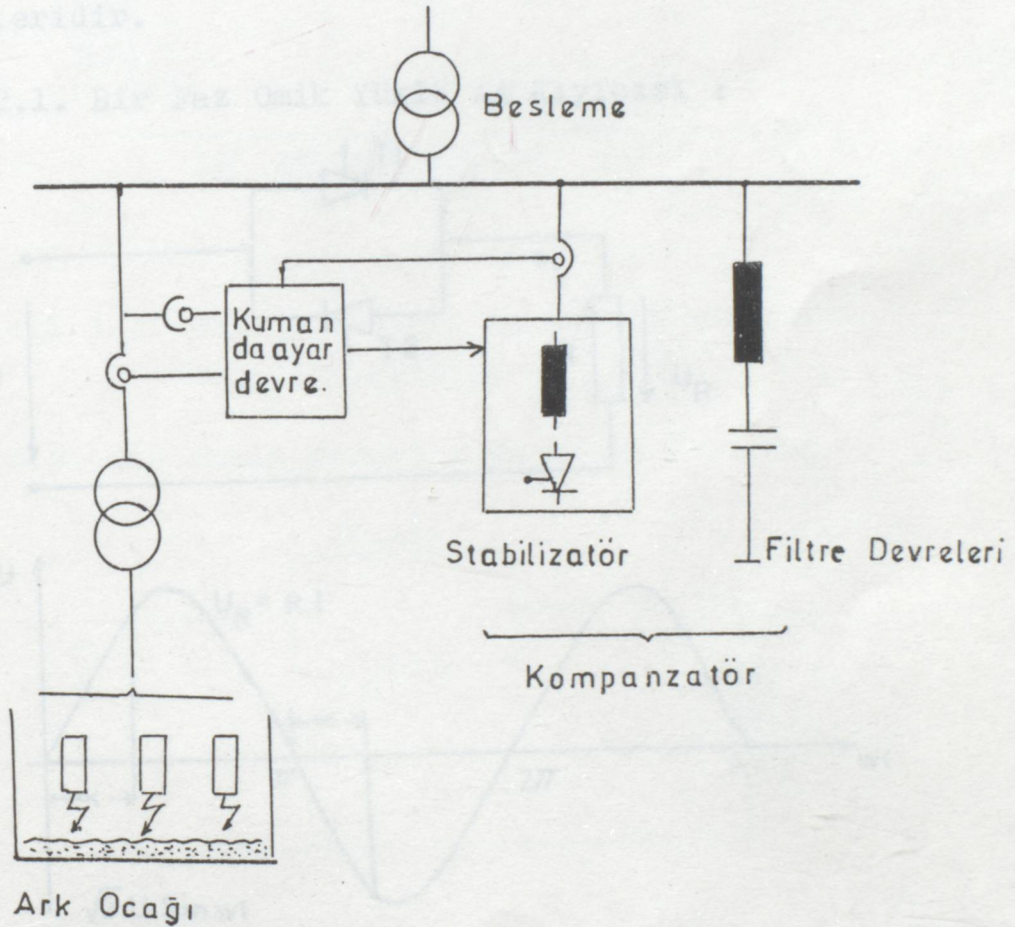
3-1.3. FİLTRE DEVRELERİ

Sistemde kapasitör yani kondansatörler bu maksatla kullanılırlar.

Stabilizatör, şebekeden, devamlı değişen ve tristörlerin tetiklemeyle ayarlanabilen bir akım çeker. Her faz kendi başına ayarlanabildiği gibi 9 fazda müştereken simetrik ve simetrisiz reaktif akım çekebilecek şekilde düzenlenebilir.

Filtre devrelerindeki kondansatörler sabit ve simetrik şebeke geriliminde, şebekeye reaktif^{güç} vermekle beraber şebekedeki harmonikleri de süzerler. Ayrıca kompensatör şebekeden çekilen reaktif güce göre şebekeden çekilen reaktif gücü sabit tutmaya çalışır.

Kompensatörün ayar hızı tristör sisteminin her yarı periyotta ateşleme (tetikleme) ve komutasyonuna bağlıdır. Kontrol sistemi de bazı düzenler üzerinden verilen V gerilimine göre değerlendirilerek ayar açısını istenilen değere çıkarmak için tristörleri tetikler. Tristörlerin kesintili çalışması ve yüklerden dolayı oluşan harmonikleri filtreler süzer.



Şekil 3.1 Bir tüketicide (ark ocağı) kompanzasyonun prensip şeması.

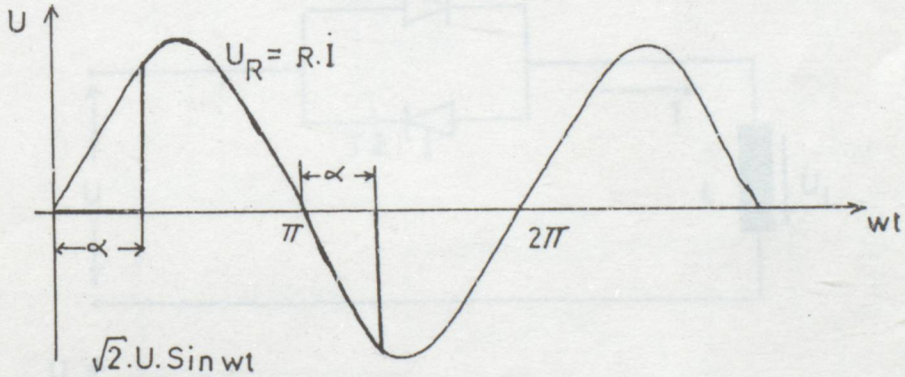
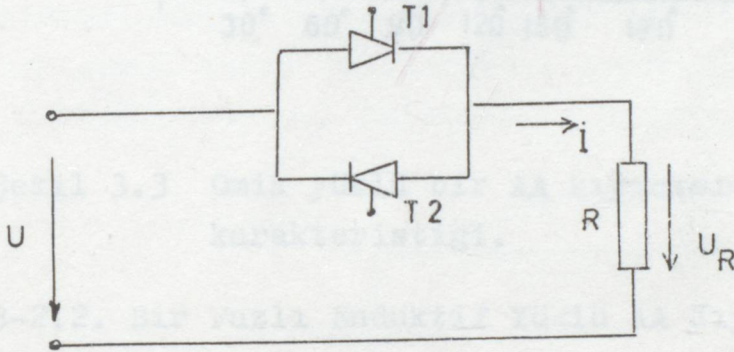
Ayrıca kontrol, şebekenin veriminin sabit tutulması istenen ark fırını gibi yerlerde 3 faz 2 faza dönüştürülerek kontrol daha hassas yapılabilmektedir.

Stabilizatörün özelliklerinden önemli olanı tristörlerin durumudur. "Seri" , "Paralel" ve "Seri Paralel" bağlanabilmektedir. Böyle bağlamalar neticesinde, 800-4000 amper'e kadar yapılan tristörler 30 KV'a (70 MVA ile 250 MVA) kadar bağlama yapılabilmektedir.

3-2. AA KIIYICILARININ SINIFLANDIRILMASI

Yük geriliminin efektif değerini ayar eden elektronik devreleridir.

3-2.1. Bir Faz Omik Yüklü AA Kıyıcısı :



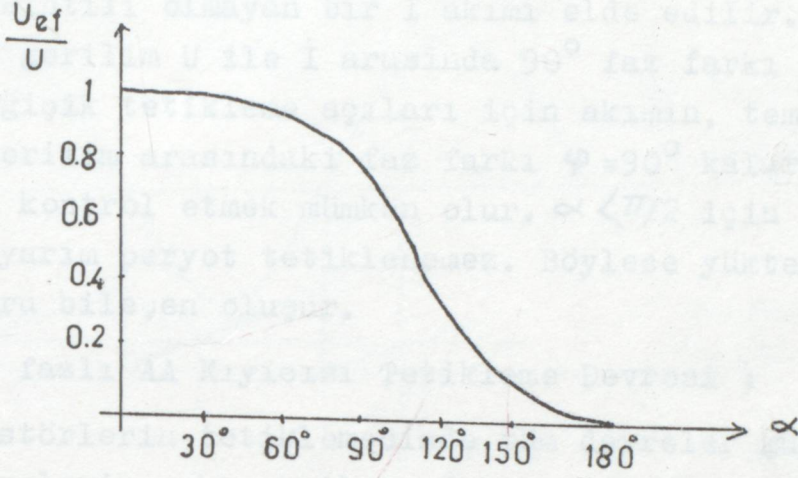
Şekil 3.2 Bir fazlı AA kıyıcısı ve çıkış gerilimi.

Böyle bir kıyıcıdan çıkan çıkış gerilimi efektif değeri kıyıcı tetikleme açısına bağlıdır.

$$U_{R_{ef}} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} 2 U^2 \sin^2 (w.t) d (w.t)} \quad (3.1)$$

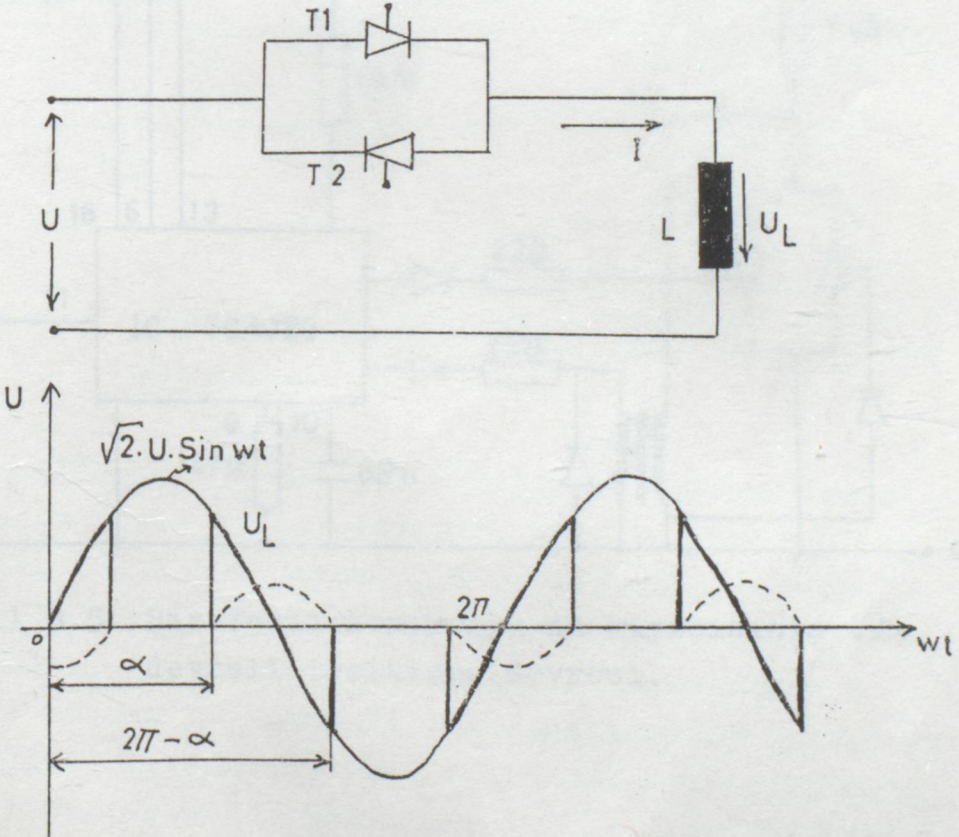
$$= U \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}} \quad (3.2)$$

buna göre kontrol karakteristiği aşağıdaki gibi olur.



Şekil 3.3 Omik yüklü bir AA kıyıcısı kontrol karakteristiği.

3-2.2. Bir Fazlı Endüktif Yüklü AA Kıyıcısı

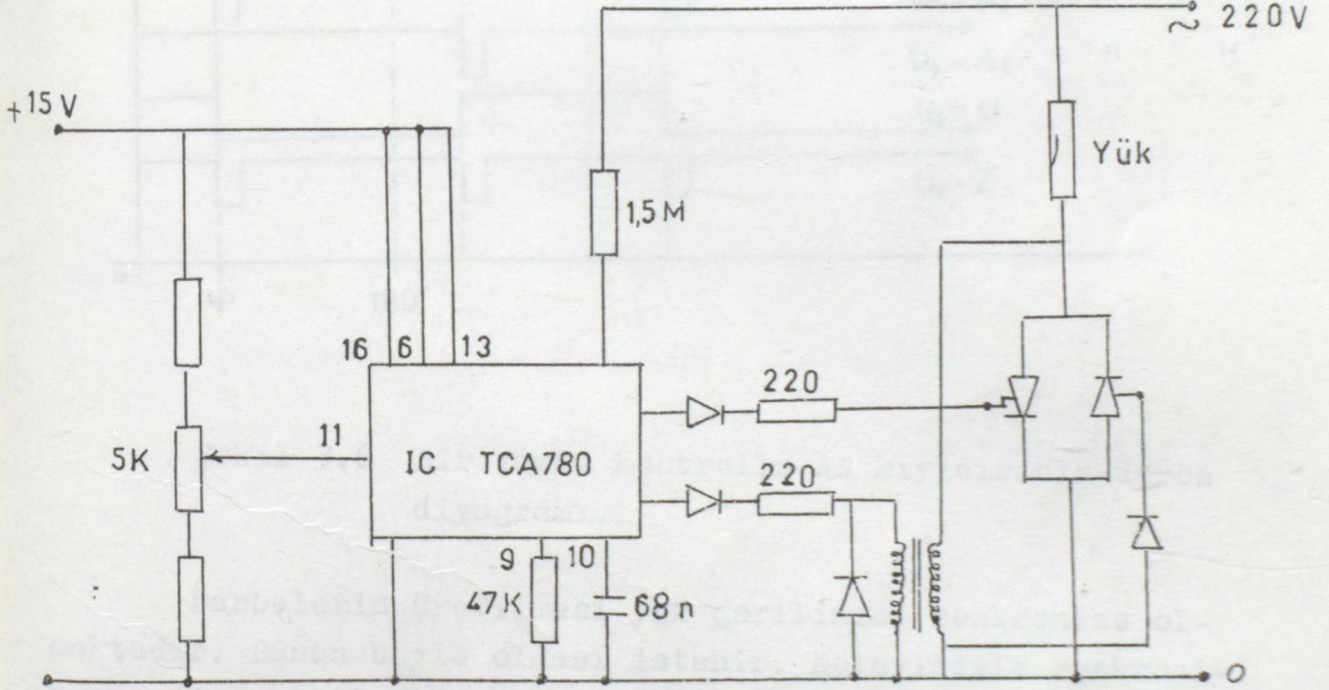


Şekil 3.4 Endüktif yüklü AA kıyıcısı ve çıkış büyüklüğü.

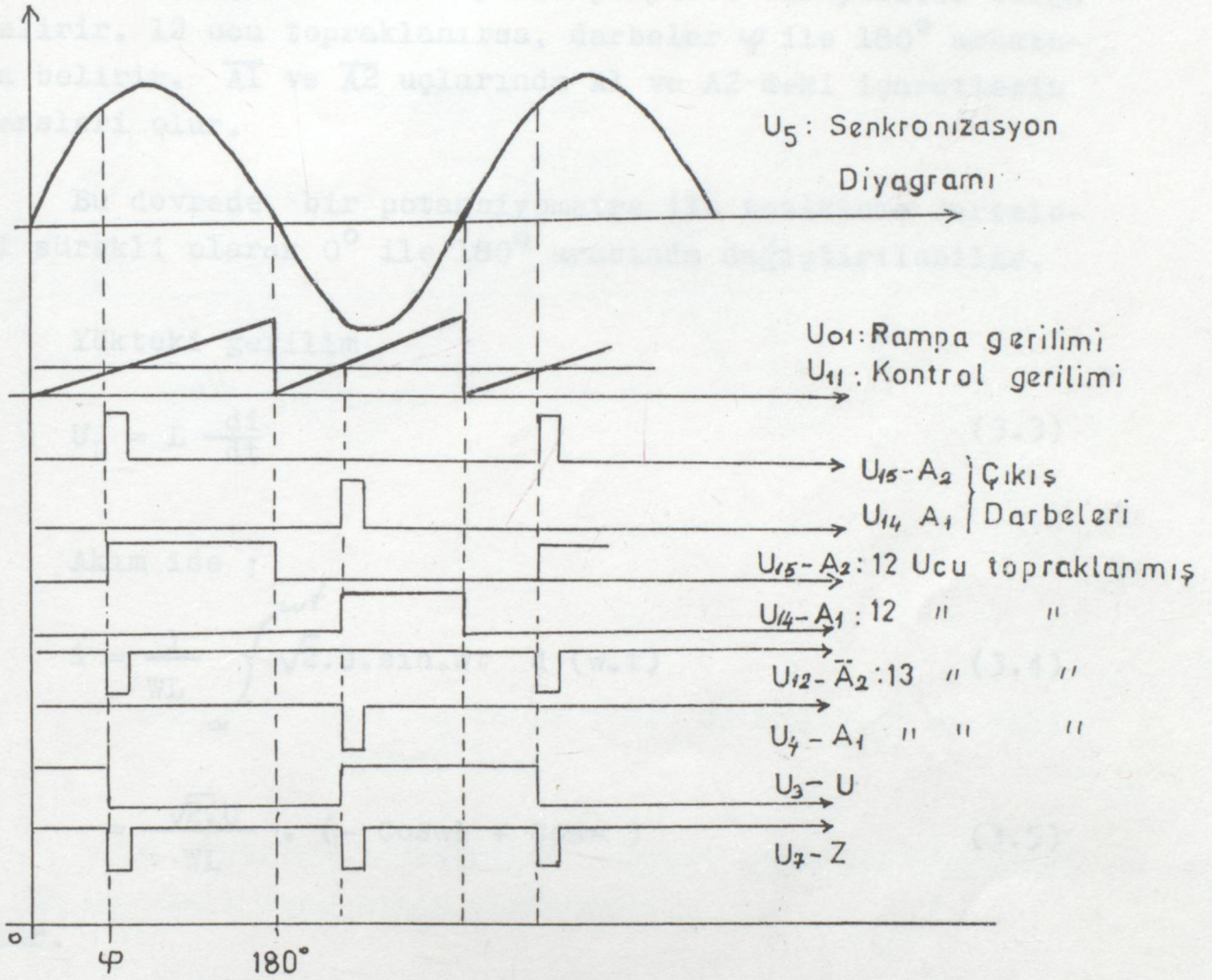
Böyle bir endüktif yük ile yüklenmiş bulunan AA kıyıcısında tetikleme açısı $\alpha > \pi/2$ dir, $\alpha_{\min} = \pi/2$ olur. Bu durumda kesintili olmayan bir \dot{I} akımı elde edilir. Bütün durumlarda gerilim U ile \dot{I} arasında 90° faz farkı vardır. Böylece değişik tetikleme açıları için akımın, temel bileşeni ile gerilim arasındaki faz farkı $\varphi = 90^\circ$ kalarak efektif değeri kontrol etmek mümkün olur. $\alpha < \pi/2$ için çıkış akımında bir yarım periyot tetiklenemez. Böylece yükten akan akımda doğru bileşen oluşur.

Bir fazlı AA Kıyıcısı Tetikleme Devresi :

Tristörlerin tetiklemesinde tüm devreler kullanılır. Bu tüm devrelerin çıkış katlarındaki lojik blok ise ayrıca, üretilen darbenin sayısal işlenmesini sağlar.



Şekil 3.5 Bir fazlı kontrollü AA kıyıcısının tüm devreli tetikleme devresi.



Şekil 3.6 Bir fazlı kontrollü AA kıyıcısının darbe diyagramı.

Darbelerin üretilmesi yük gerilimine senkronize olmaktadır. Bunun böyle olması istenir. Dolayısıyla senkronizasyon işareti büyük bir direnç ile şebeke geriliminden elde edilir. Bu gerilimin sıfırdan geçişi bir dedektör yardımıyla alınır. Bir rampa generatöründe 9 ucundaki R direnci sabit akımla 10 ucundaki C kondansatörünü doldurur. Rampa gerilimi 11 ucundaki U gerilimini geçerse lojik kata bir işaret iletir. Kontrol gerilimi olan 11 ucundaki U'ya

bağlı olarak φ açısı, 0° ile 180° arasında değiştirilebilir. A1 ve A2 çıkışlarında her yarım peryotta bir pozitif dalga belirir. 12 ucu topraklanırsa, darbeler φ ile 180° arasında belirir. $\overline{A1}$ ve $\overline{A2}$ uçlarında A1 ve A2 deki işaretlerin tersleri olur.

Bu devrede, bir potansiyometre ile tetikleme darbeleri sürekli olarak 0° ile 180° arasında değiştirilebilir.

Yükteki gerilim

$$U_L = L \frac{di}{dt} \quad (3.3)$$

Akım ise ;

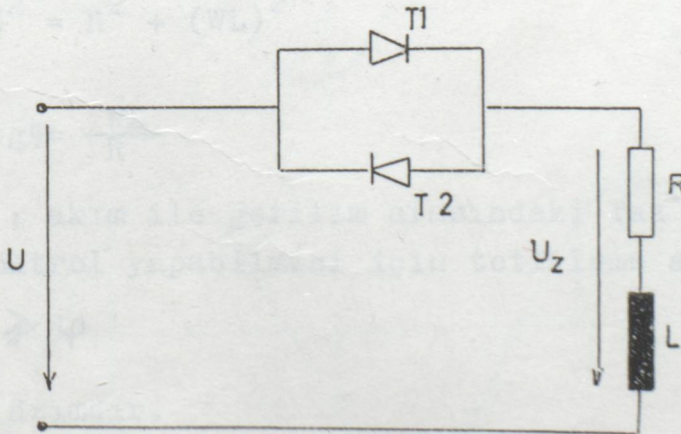
$$i = \frac{1}{WL} \int_{\alpha}^{\omega t} \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin \omega t \, d(\omega t) \quad (3.4)$$

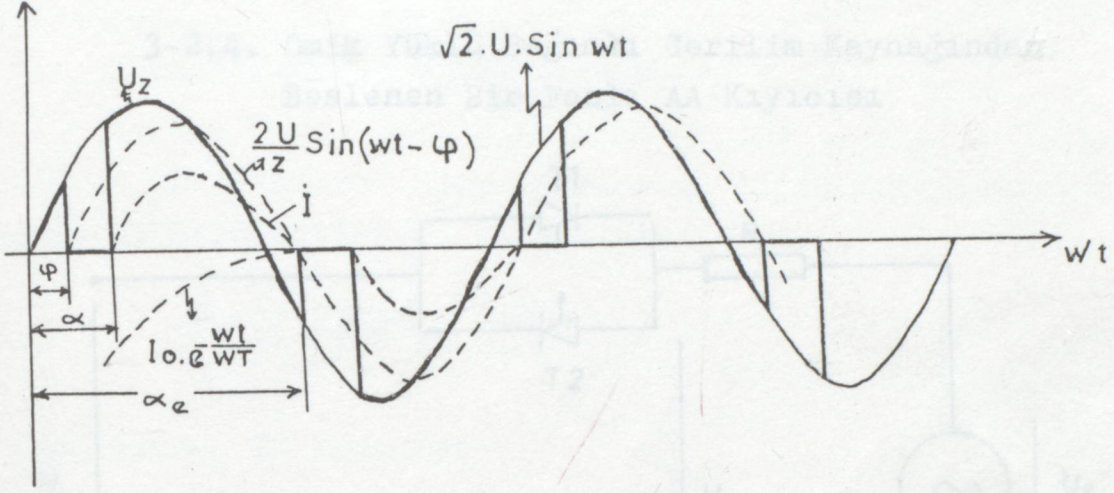
$$= \frac{\sqrt{2} \cdot U}{WL} \cdot (-\cos \omega t + \cos \alpha) \quad (3.5)$$

olur.

Görüldüğü gibi α 'ya bağlı olarak değişir.

3-2.3. Bir Fazlı Omik-Endüktif Yüklü AA Kılıcısı :





Şekil 3.7 Omik-Endüktif yüklü AA kıyıcısı ve çıkış büyüklükleri.

R-L yüklü AA kıyıcısında sürekli rejim ve iki tristörün de iletiminde olması durumunda

$$i = \frac{\sqrt{2} \cdot U}{Z} (\sin (wt - \varphi)) \quad (3.6)$$

dir. Burada

$$Z^2 = R^2 + (WL)^2 \quad (3.7)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{WL}{R} \quad (3.8)$$

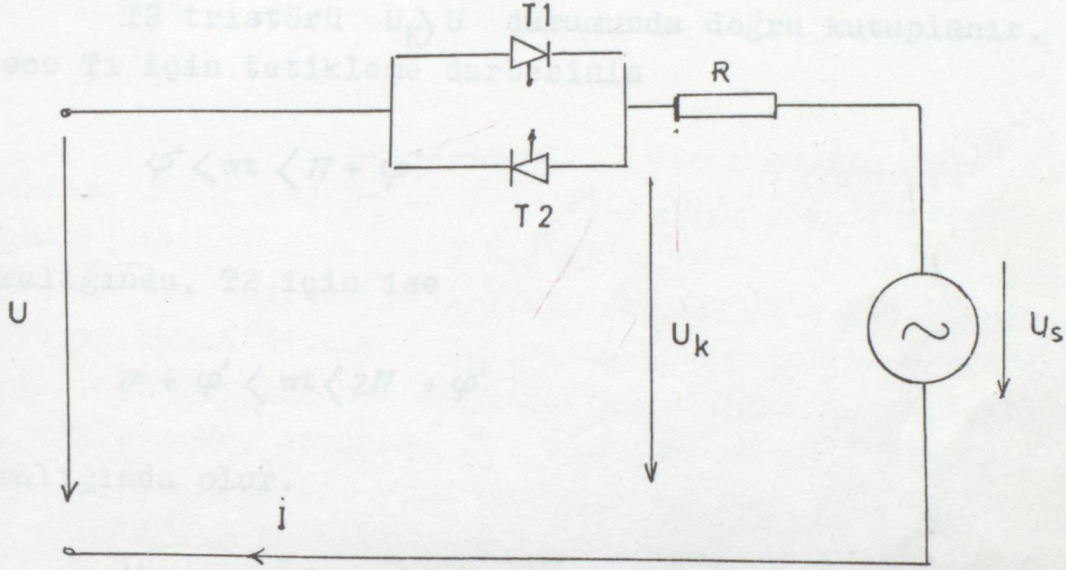
dir. φ ; akım ile gerilim arasındaki faz farkıdır. Tristörlerin kontrol yapabilmesi için tetikleme açısı , α ;

$$\alpha \geq \varphi$$

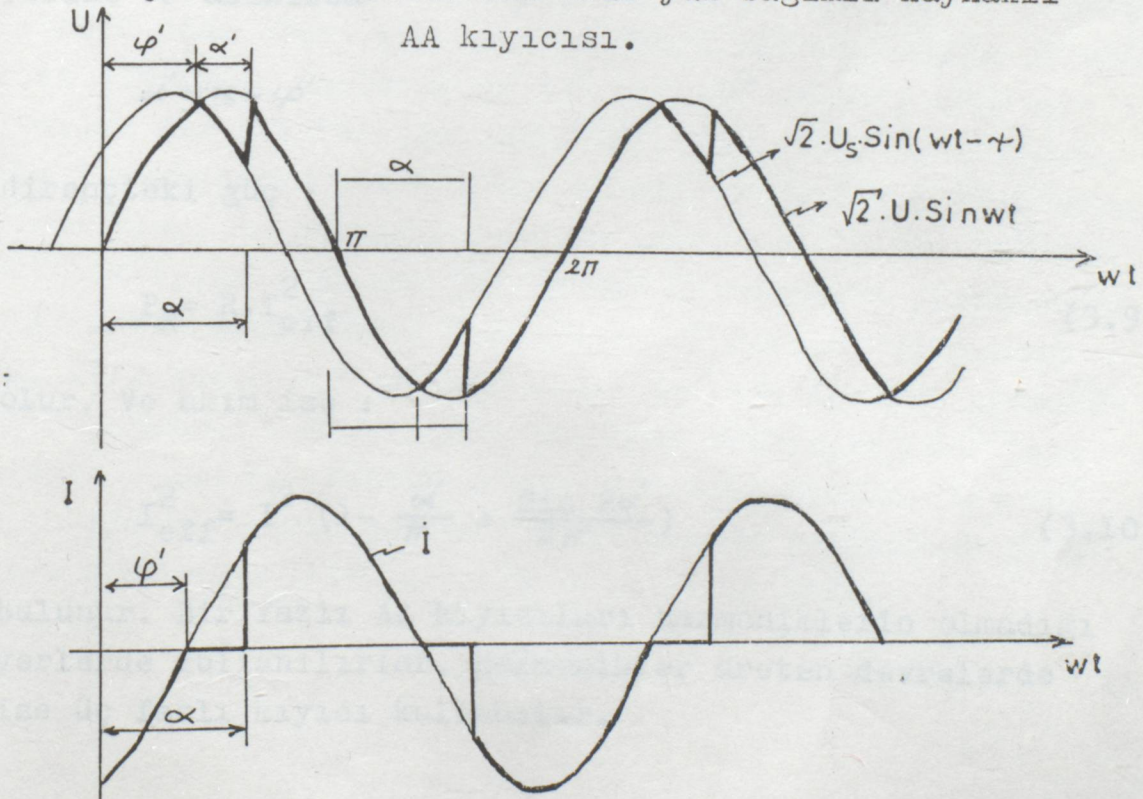
olması lâzımdır.

Şekilde α tetiklenen, α_e de kesime geçen kıyıcı için tetikleme açısıdır.

3-2.4. Omik Yüklü Bağımlı Gerilim Kaynağından Beslenen Bir Fazlı AA Kıyıcısı



Şekil 3.8.a: Bir faz omik yük bağımlı kaynaklı AA kıyıcısı.



Şekil 3.8.b: Bir faz, omik yük, bağımlı kaynaklı AA kıyıcısının yük gerilimi ve akımı.

Böyle bir kıyıcıda yük yerindeki bağımlı kaynağın frekansı şebeke frekansında gerilimin genliği U' dan küçük ve γ kadar öndedir. Bu durumda ;

T1 tristörü $U > U_K$ durumunda

T2 tristörü $U_K > U$ durumunda doğru kutuplanır. Böylece T1 için tetikleme darbesinin

$$\varphi' < \omega t < \pi + \varphi'$$

aralığında, T2 için ise

$$\pi + \varphi' < \omega t < 2\pi + \varphi'$$

aralığında olur.

Akımın sıfır olduğu α' süresi boyunca yük olan R ve kaynak uçlarında U_g gerilimi görülür. Tetikleme açısı α yerine α' alınırsa

$$\alpha' = \alpha - \varphi'$$

dirençteki güç :

$$P_R = R \cdot I_{\text{eff}}^2 \quad (3.9)$$

ölür. Ve akım ise :

$$I_{\text{eff}}^2 = I^2 \left(1 - \frac{\alpha'}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha'}{2\pi} \right) \quad (3.10)$$

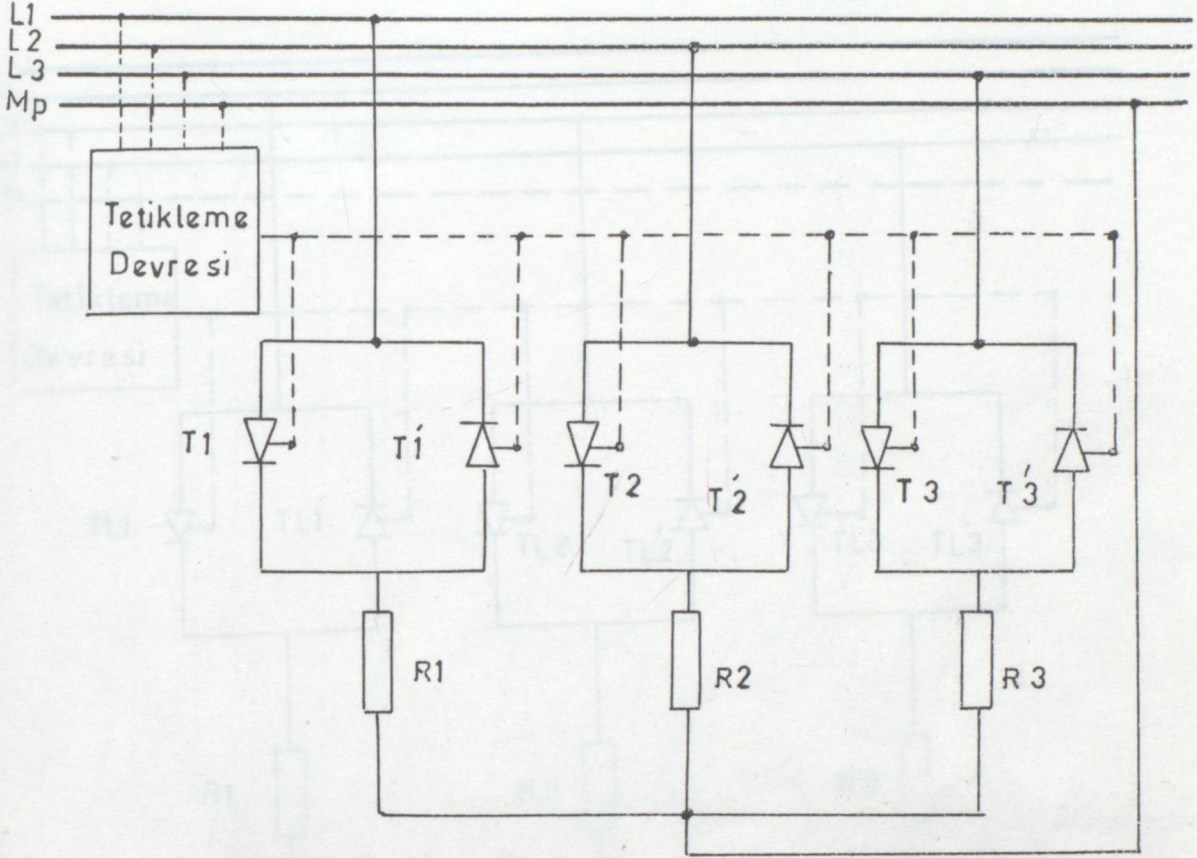
bulunur. Bir fazlı AA kıyıcıları harmoniklerin olmadığı yerlerde kullanılırlar. Harmonikler üreten devrelerde ise üç fazlı kıyıcı kullanılır.

3.2.5. Üç Fazlı Omik Yüklü AA Kıyıcısı

Üç fazlı sistemde her faza ayrı olarak bağımsız şekilde çalışan bir fazlı AA kıyıcıları bağlanarak oluşturulan kıyıcıları üç fazlı kıyıcılar denir. Her faza ayrı olarak bir fazlı kıyıcı bağlandıktan sonra kıyıcılar yıldız bağlanarak yıldız noktası şebekenin yıldız noktasıyla birleştirilir.

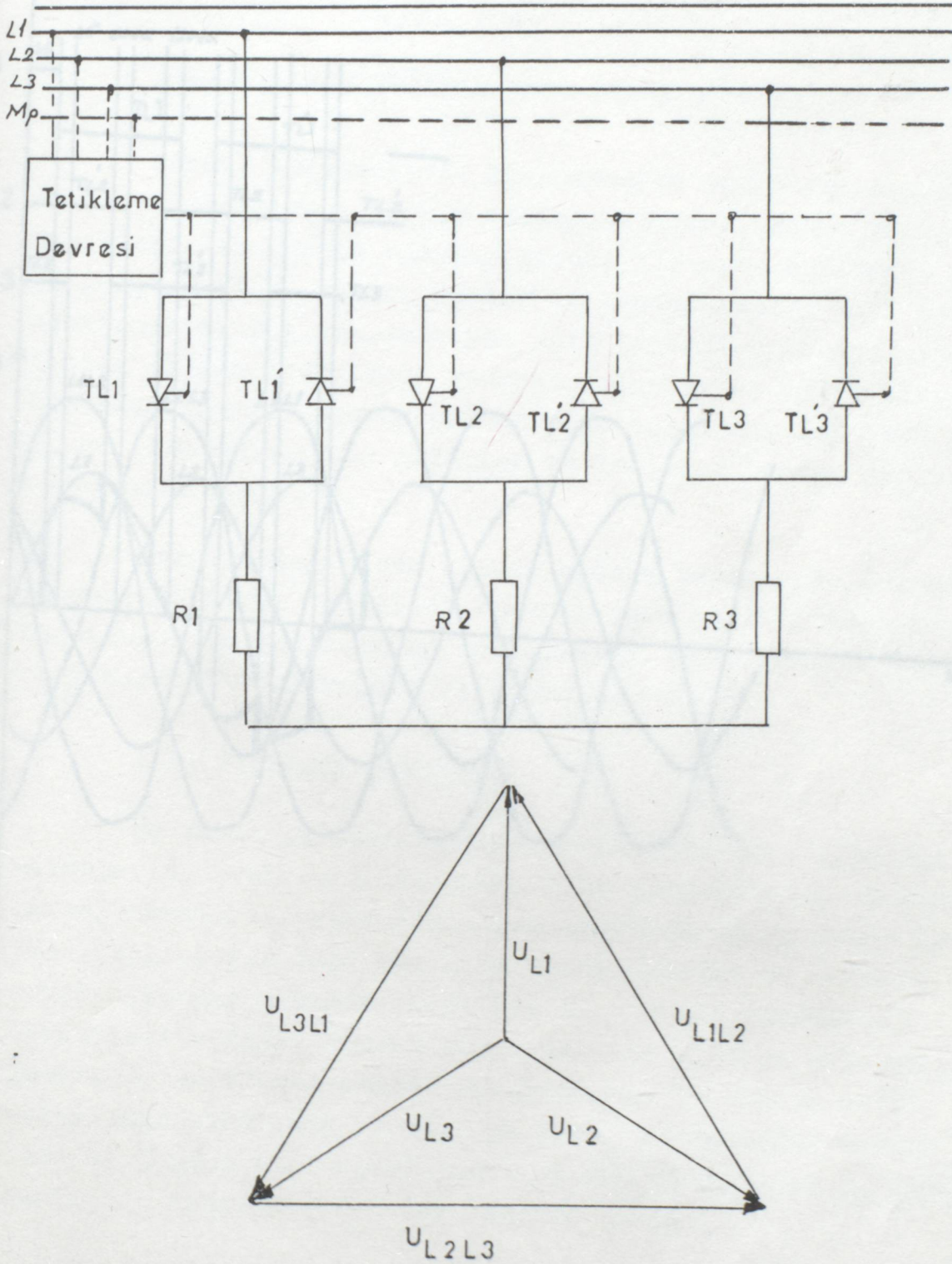
Bu tip kıyıcıda herhangi bir t anında yalnız bir tristör tetiklenirse de akım akar. Çünkü U_p 'ye doğru akma imkanı vardır. Böyle tip kıyıcılar Δ bağlı yükleri kolay bir şekilde besledikleri gibi Δ bağlı yükleride besleyebilirler. Fakat orta kutup olmayan bir bağlantı olacağından akımın akması bir fazdan diğerine olacaktır. Ve dolayısıyla bu tip devrede herhangi bir t anında en az 2 tristör iletimde olmalıdır. Δ Bir yükü besleyen üç fazlı bir AA kıyıcısında orta nokta topraklanmadığından devrede her an en az iki tristörün iletimde olması gerekir.

Tetikleme darbelerinin süreleri, o darbe ile tetiklenecek olan tristörün akım akıttığı süre kadardır. $\alpha = 45^\circ$ için şekildeki darbelerden 45° ile 60° arasında her bir kıyıcıdan bir tristör iletimde (TL1, TL2, TL3) ve dolayısı ile Y noktasının potansiyeli şebeke ortak kutup potansiyelinde olur. R2 ucundaki gerilim U_{L1} 'e eşit olur. 60° ile $60^\circ + \alpha$ açısı arasında TL1 ve TL2 tristörleri iletimdedir. U_{L1} ve U_{L2} gerilimleri farklıdır. R1 direnci uçlarında U_{L1} $L2/2$ kadar bir gerilim olur. $60^\circ + \alpha$ ile 120° arasında R1 direncinde ($-U_{L3}$ $L1/2$) gerilimi vardır. $\alpha > 60^\circ$ için hiçbir zaman üç tristör birden iletimde olamaz. $\alpha > 90^\circ$ için ise bir yarım periyot içinde akımda kesintiler oluşmaya başlar. $\alpha > 150^\circ$ için de akım sıfır olur.

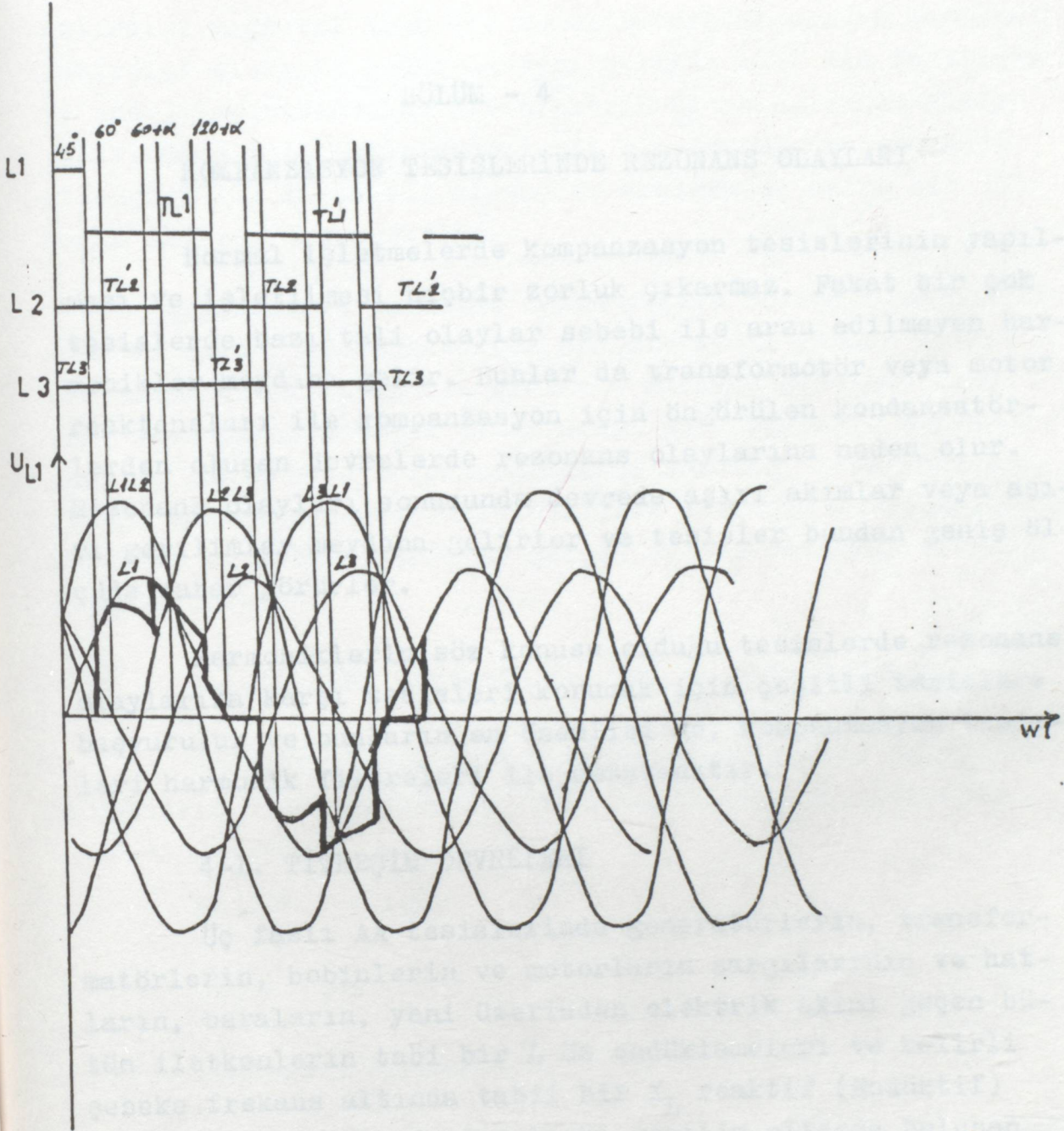


Şekil 3.9 Omik yüklü Y noktası topraklı üç fazlı bir AA kıyıcısı.

AA kıyıcılarında yapılan faz kontrolü sebebiyle tetikleme gecikmesinden dolayı akımın temel bileşeni ile ilgili faz gerilimi arasında faz farkına, dolayısıyla şebekenin reaktif yüklenmesine sebep olur.



Şekil 3.10 Y noktası topraklanmamış üç fazlı bir AA kıyıcısı.



Şekil 3.11 Y noktası topraklanmamış omik yüklü AA kıyıcısı tetikleme darbeleri ve bir faz gerilimi dalga şekli.

BÖLÜM - 4

KOMPANZASYON TESİSLERİNDE REZONANS OLAYLARI

Normal işletmelerde kompanzasyon tesislerinin yapılması ve işletilmesi hiçbir zorluk çıkarmaz. Fakat bir çok tesislerde bazı tali olaylar sebebi ile arzu edilmeyen harmonikler meydana gelir. Bunlar da transformotör veya motor reaktansları ile kompanzasyon için öngörülen kondansatörlerden oluşan devrelerde rezonans olaylarına neden olur. Rezonans olayları sonucunda devrede aşırı akımlar veya aşırı gerilimler meydana gelirler ve tesisler bundan geniş ölçüde zarar görürler.

Harmoniklerin söz konusu olduğu tesislerde rezonans olaylarına karşı tesisleri korumak için çeşitli tesislere başvurulur ve bunların en önemlisi de, kompanzasyon tesisleri harmonik filtreleri ile donatmaktır.

4-1. TİTREŞİM DEVRELERİ

Üç fazlı AA tesislerinde generatörlerin, transformatörlerin, bobinlerin ve motorların sargılarınının ve hatların, baraların, yani üzerinden elektrik akımı geçen bütün iletkenlerin tabii bir L öz endükleme ve belirli şebeke frekans altında tabii bir X_L reaktif (Endüktif) dirençleri vardır. Bundan başka gerilim altında bulunan generatör ve transformatör sargılarınının ve enerji nakil hatlarınının birbirine ve toprağa karşı kondansötür tesisleri ve C gibi bir kapasiteleri mevcut olup bu da X_C gibi tabii bir kapasitif dirence tekabül eder.

Gerilim altında bulunan bir endüktif direnç ile bir kapasitif direncin çektikleri akımlar arasında 180° lik bir faz farkı vardır. Bu yüzden bir bobindeki akımın meydana

getirdiği magnetik alan ile kondansatördeki akımın meydana getirdiği elektrik alanı da aynı şekilde 180° faz farklıdır ve enerji magnetik alan ile elektrik alanı arasında gidip gelir. Onun için tesislerde tabii olarak bulunan endüktif dirençler ile kapasitif dirençler aralarında daima bir titreşim devresi oluştururlar.

Şebekelerde cihazlar daima yalnız başına incelenebilmekleri halde, kondansatörler hiç bir zaman yalnız olarak ele alınamazlar; bunlarla birlikte mutlaka şebekede buna seri veya paralel bağlı cihazların, yani bunların empedansları da göz önünde bulundurulmaları gerekir. Zirâ kondansatörler endüktif dirençlerle birlikte titreşim devreleri oluştururlar ve belirli şartlar gerçekleşirse rezonans olayları başgösetirler.

4-1.1. Seri Titreşim Devresi ve Seri Rezonans

Endüktif karakterli işletme araçları ile kapasitif karakterli olan kondansatör seri bağlanırsa bir titreşim devresi oluşur.

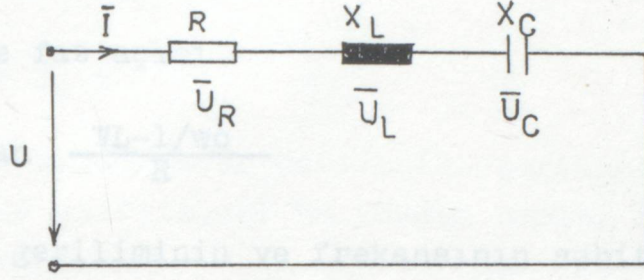
Endüktif direnç

$$jX_L = j\omega L \quad (4.1)$$

kapasitif direnç

$$jX_C = \frac{1}{j\omega C} \quad (4.2)$$

ile ve devrede tabii hali ile mevcut olan ve kayıplara yol açan ohmik direnç R ile gösterilirse Şekil 4.1 'deki seri titreşim devresi elde edilir.



Şekil 4.1 Seri titreşim devresi.

Burada

U_R : Ohmik gerilim

\bar{U}_L : Endüktif bileşeni

\bar{U}_C : Kapasitif bileşeni

\bar{I} : Devreden geçen akımı

\bar{U} : Şebeke gerilimini

gösterir. Bu devre için ohm kanununa göre

$$\bar{U} = \bar{I} \left[R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \right] \quad (4.3)$$

yazılabilir. Devrenin toplam empedansı ise

$$\bar{Z} = R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) = R + j(X_L - X_C) \quad (4.4)$$

olup bunun mutlak değeri

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} \quad (4.5)$$

dir. Şebeke geriliminin sinüzoidal olduğu kabul edilirse

$$U = U \cdot \sin \omega t \quad (4.6)$$

dir ve buna göre de şebekeden sinüzoidal bir akım geçer.

$$i(t) = I \sin(\omega t + \varphi) \quad (4.7)$$

dir. Buna göre faz açısı

$$\varphi = \arctan \frac{\omega L - 1/\omega C}{R} \quad (4.8)$$

Şebeke geriliminin ve frekansının sabit olduğu göz-
önüne alınır. empedansın yalnız L ve C'nin değerine bağlı
olarak değiştiği görülür. Eğer L_r ve C_r gibi belirli değer-
ler için

$$\omega L_r - \frac{1}{\omega C_r} = 0 \quad (4.9)$$

şartı gerçekleşirse yani

$$\omega_s = \omega = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}} = \omega_r \quad (4.10)$$

olursa rezonans olayı başgösterir. Bu değer aynı zamanda dev-
renin rezonans frekansıdır.

Bu durumda Empedans

$$Z_r = R \quad (4.11)$$

olur ve devreden geçen akım en büyük değerini alır.

$$I_{\max} = I_r = \frac{U}{R} \quad (4.12)$$

Eğer ohmik direnç ihmal edilecek olursa teorik olarak
toplam direnç sıfır olur ve akım sonsuz büyük değerler alır.
Şekil 4.2' de Z'ye bağlı olarak akımın ve X_L , X_C değerle-
rine bağlı olarak Z'nin değişimi gösterilmiştir.

Genel olarak ohmik direnç çok küçük olduğundan rezonans
halinde akım, çok büyük değerlere çıkar. Rezonans halinde dev-
reye uygulanan gerilim ancak ohmik direnç üzerindeki gerilim

düşümünü karşıladığından

$$U = U_{R_r} = I_r \cdot R \quad (4.13)$$

olur. Bobin ve kondansatör üzerindeki gerilimler ise birbirine ters yönde eşittirler. Bu yüzden bunlar daima birbirlerini götürürler.

$$U_{L_r} = U_{C_r}^* \quad (4.14)$$

Selfin ve kapasitenin büyük değerlerinde bu gerilimler de çok büyük değerlere çıkarlar.

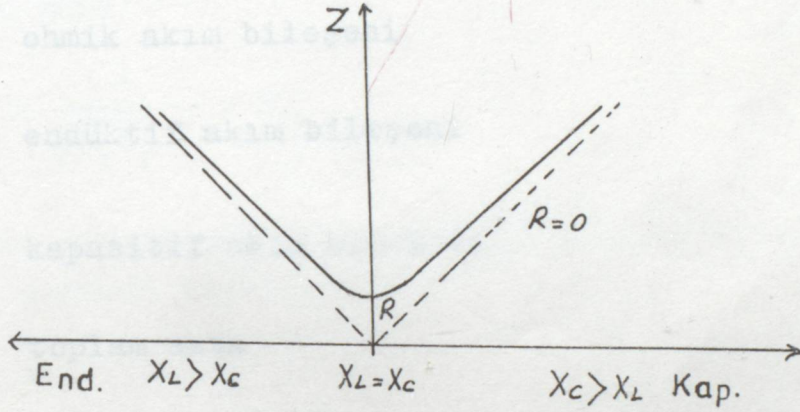
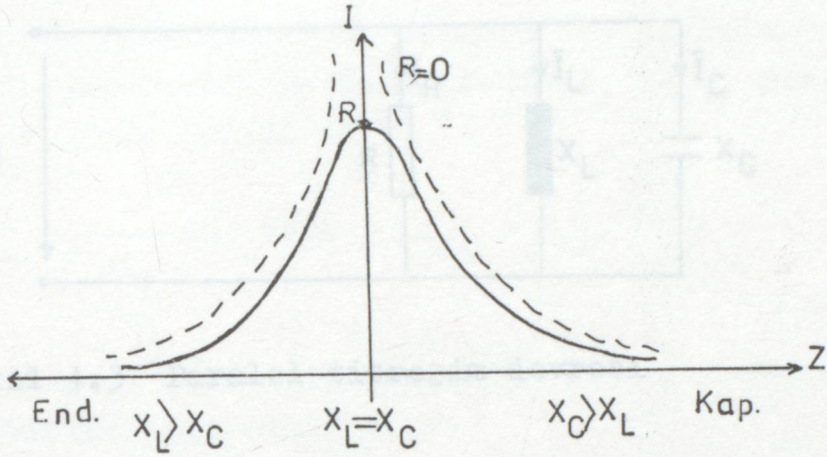
Özellikle kondansatör uçlarındaki gerilim

$$U_{C_r} = I_r X_c = \frac{I_r}{\omega C} = I_r \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (4.15)$$

$$U_{C_r} = \frac{U}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} = U \frac{X_c}{R} \quad (4.16)$$

değerini alır. Bu halde kondansatör uçlarındaki gerilim şebeke geriliminin X_c/R katına eşittir.

Ohmik direncin genellikle çok küçük olması yüzünden kondansatör ve bobin uçlarındaki gerilim şebeke geriliminin çok katına eşit olur. Bu yüzden seri titreşim devresindeki rezonansa gerilim rezonansı denir. Bu durumda devreden çok büyük bir akım geçer ve kondansatör bu akımdan zarar görebilir. Kompanzasyon tesislerinde kullanılan harmonik filtreleri belirli harmonik frekanslarına göre düzenlenmiş seri rezonans devreleridir.



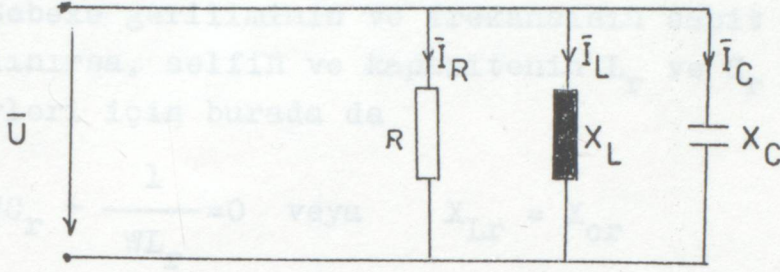
Şekil 4.2 Seri titreşim devresinde

- Akımın empedansa bağlı olarak değişimi.
- Empedansın endüktif ve kapasitif dirençlere bağlı olarak değişimi.

4.1.2 Paralel Titreşim Devresi ve Paralel Rezonans

Eğer gerilim kaynağına bobin ile kondansatör paralel bağlanırsa paralel titreşim devresi oluşur.

Paralel titreşim devresi pratikte en çok kullanılan ve en çok rastlanan devredir. Meselâ kompanzasyon için transformator sargı uçlarına veya motorlara kondansatörlerin paralel bağlanması ile paralel titreşim devreleri meydana gelir. Şekil 4.3' de paralel titreşim devresi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Paralel titreşim devresi

Burada

\bar{I}_R ohmik akım bileşeni

\bar{I}_L endüktif akım bileşeni

\bar{I}_C kapasitif akım bileşeni

\bar{I} toplam akım

\bar{U} şebeke gerilimi

Burada devreden geçen toplam akım

$$\bar{I} = \bar{U} \left[\frac{1}{R} + j \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right) \right] \quad (4.17)$$

Buna göre devrenin empedansı

$$\bar{Z} = \frac{1}{\frac{1}{R} + j \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right)} \quad (4.18)$$

ve faz açısı

$$\varphi = \arctan R \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right) \quad (4.19)$$

dir.

Şebeke geriliminin ve frekansının sabit olduğu göz-önüne alınır, selfin ve kapasitenin L_r ve C_r gibi belirli değerleri için burada da

$$WC_r - \frac{1}{WL_r} = 0 \quad \text{veya} \quad X_{Lr} = X_{Cr} \quad (4.20)$$

olur. Bu durumda şebeke frekansı ile devrenin rezonans frekansı birbirine eşit olmuş olur.

Buna göre

$$W_s = W = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}} = W_r \quad (4.21)$$

bulunur. Bu şartın gerçekleşmesi halinde rezonans baş gösterir. Bu durumda empedans

$$Z_r = R \quad (4.22)$$

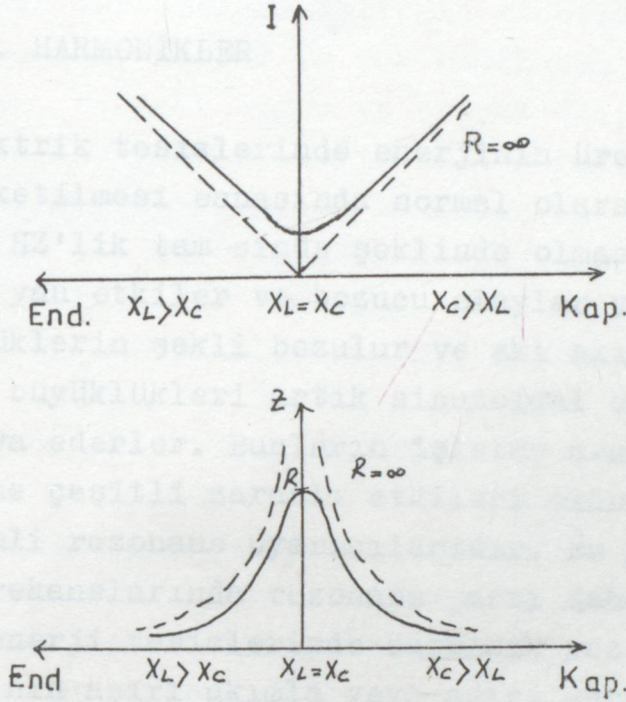
değerini alır. Devrenin şebekeden çektiği akım ise sadece

$$I_r = I_R = \frac{U}{R} \quad (4.23)$$

olup bu bir aktif akımdır. Paralel direnç genellikle büyük olduğundan şebekeden çekilen akım çok küçüktür. Teorik olarak R 'nin sonsuz olduğu düşünülürse devreden geçen akımda sıfıra eşit olur.

Bu açıklamadan anlaşıldığına göre rezonans halinde şebekeden artık endüktif veya kapasitif hiç bir akım çekilmez. Bu durumda $\cos \varphi = 1$ olur. Bu yüzden bu devreye tıkaç devresi adı verilir.

Şekil 4.4' de Z'ye bağlı akımın ve X_L ile X_C 'ye bağlı olarak Z'nin değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Paralel titreşim devresinde

- Akımın empedansa bağlı olarak değişimi
- Empedansın endüktif ve kapasitif dirençlere bağlı olarak değişmesi.

Rezonans halinde bobin üzerinden geçen akım

$$I_{Lr} = \frac{U}{X_{Lr}} \quad (4.24)$$

ve kondansatör üzerinden geçen akım

$$I_{cr} = \frac{U}{X_{cr}} \quad (4.25)$$

olup bu ikisi birbirine eşit ve 180° faz farklıdır. Şu halde rezonans halinde X_L ile X_C arasında sürekli olarak belirli bir akım şebeke frekansı ile gider gelir. Bu yüz-

den paralel rezonansa aynı zamanda akım rezonansı denir. Kuvvetli akım tesislerinde normal şebeke frekansında uygulanan stasyonere reaktif güç kompanzasyonu genel olarak bir akım rezonansıdır.

4-2. HARMONİKLER

Elektrik tesislerinde enerjinin üretilmesi iletilmesi ve tüketilmesi esnasında normal olarak akımın ve gerilimin 50 HZ'lik tam sinüs şeklinde olması arzu edilir. Fakat bazı yan etkiler ve bozucu olaylar yüzünden elektriksel büyüklüklerin şekli bozulur ve akı akım ve gerilim gibi işletme büyüklükleri artık sinüzoidal değildir ve harmonik ihtiva ederler. Bunların işletme araçları ve tesisleri üzerine çeşitli zararlı etkileri olduğu gibi ayrıca bunlar önemli rezonans uyarıcılarıdır. Bu yüzden çeşitli harmonik frekanslarında rezonans şartı daha kolay gerçekleşir, ve enerji tesislerinde harmonik rezonansları işletme araçlarının aşırı akımla veya aşırı gerilimle zorlanarak harap olmalarına yol açabilir. Bunların önlenmesi de temel frekans rezonansındaki kadar kolay değildir. Ancak başka frekans bölgelerine girmeden devre sabitelerinde küçük değişiklikler yapmak suretiyle belirli harmonik rezonansından kaçınılır, yahut da filtre kullanmak suretiyle harmonikler zararsız hale getirilebilir.

4-2.1. Harmonik Mertebeleri

Sinüs şeklinde olmayan periyodik büyüklüklerin, sonsuz sayıda yüksek frekanslı sinüzoidal büyüklüklerin toplamına eşit olduğu bilinmektedir. Bu gün bir çok tesislerde akımın ve gerilimin şekillerinin bozulduğu ve bunların birçok harmonikler ihtiva ettikleri bilinen bir gerçektir.

Harmoniklerin dairesel frekansını W_n ile gösterirsek genellikle

$$W_n = nW \quad (4.26)$$

dir. Burada temel harmoniğin frekansı olup $W=W_1$ dir.

Denklem (5.26) daki n değeri harmonik mertebesidir.

Teorik olarak harmoniklerin mertebeleri 1,2,3..... gibi ∞ 'a kadar tam sayılar alırlar. Fakat elektriksel büyüklüklerin pratikte en çok rastlanan şekillerine göre bazı harmonik mertebeleri belirgin olurken, bazıları hiç ortaya çıkmazlar. Meselâ en çok rastlanan periyodik eğriler dikdörtgen, eşkenar üçgen ve trapez dalga şekilleridir. Absis eksenine göre simetrik olan periyodik eğrilerin harmonik analizi yapıldığında bunların yalnız 1,3,5,7,9,11, 13.... gibi tek mertebeli sinüs eğrilerinin toplamından oluştuğu görülür. Bunlardan 3 ve 3'ün katları olan 9, 15,.... gibi harmoniklerin R,S,T fazlarındaki değerleri arasında 120° nin ve 240° nin 3 katına veya 3'ün katlarına eşit faz farkları bulduklarından bunlar daima 360° nin tam sayılı katlarına eşittir. Bu yüzden 3. ve 3'ün katlarına eşit olan harmonikler R,S,T fazlarında daima eşit fazlıdır ve cebirsel toplanırlar. Onun için bunlar sıfır bileşenini oluştururlar. Bunların dışında kalan 1,7,13.... gibi harmonikler sağa dönen doğru sisteme ve 5., 11.,17., gibi harmonikler ise sola dönen ters sisteme tekabül ederler. Pratikte en çok 5. ve 7. harmonikler kendilerini hissettirirler. 11. ve 13 harmoniklerin amplitüdüleri küçük olduğundan, bunlar ancak özel hallerde hesaba katılırlar. Buna karşılık normal şartlar altındaki çalışması farklı olan iş yerlerinde akım veya gerilim eğrileri belirgin bir geometrik şekilde olmadıklarından bunlarda tekli ve çiftli her mertebeden harmoniklere rastlamak mümkündür.

4-2.2. Harmoniklerin Üretilmesi

Arızasız bir işletmede harmonikler çeşitli sebeplerle ortaya çıkarlar. Bunların başında magnetik ve elektrik devrelerindeki lineersizlik gelir. Magnetik devrelerde doyma elektrik devrelerinde ark ve güç elektronığında sinüs eğrisinin kesilmesi lineer olmayan olaylardır. Meselâ generatör transformatör, motor ve bobin gibi demir çekirdek

ihativa eden cihazlar, doymanın başgöstermesi ile harmonikli akımlar üretilir. Ark fırınları ve kaynak makineleri gibi, normal işletmeleri gereği bir arkın oluşması sonucunda da harmonikler üretilirler. Nihayet redresörler ve tristörler sinüzoidal akım dalgasını keserlerken yine harmonikler oluşurlar. Şu halde karakteristiği lineer olmayan tüketiciler 50 Hz temel frekanslı aktif ve reaktif güç tüketirken, harmonik frekanslı akımlar üretirler. Bunlar devrelerini yakınlarında bulunan tüketiciler üzerinden kapatırlar ve harmonik frekanslı gerilimlerin meydana gelmesine sebep olurlar. Böylece başlangıçta saf sinüzoidal olan gerilimin dalga şekli bozulur. Normal çalışma şartlarının dışında yüksek gerilim hatlarındaki korona olayları iki fazlı kısa devreler ve arklı kısa devrelerde harmoniklerin meydana gelmesine sebep olurlar.

Harmonik üreten cihazlar ile ilgili olarak aşağıda kısaca bilgiler verilecektir.

4-2.2.1. Generatörler

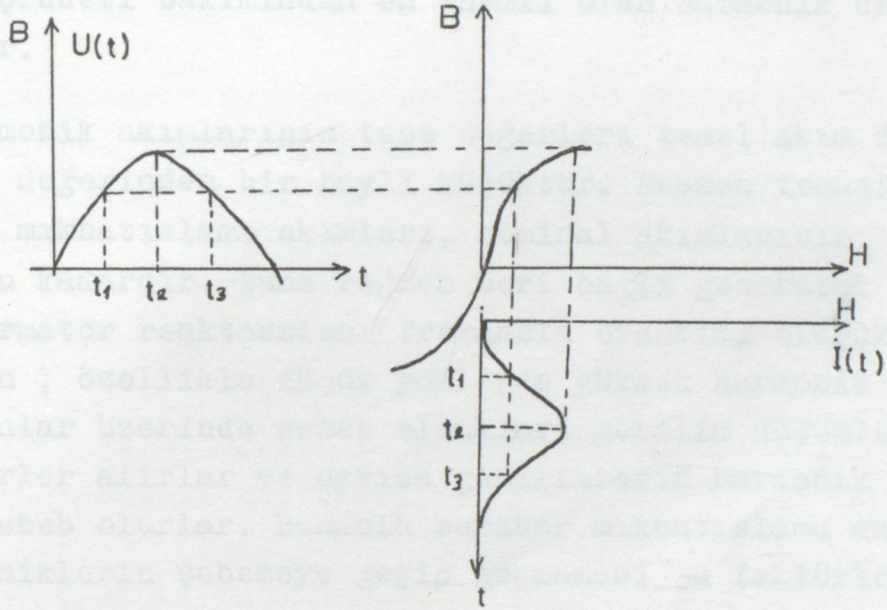
En tabii harmonik üreticisi generatörlerdir. Fakat oluk şekli sargı yapısı, uyarma sargısı ve kutuplar gibi hususlarda uygun konstrüktif tedbirler alınarak ve generatörü amortisman sargısı ile donatarak gerilim eğrisinin sinüzoidal olması sağlanır. Onun için generatörler önemli bir harmonik üreticisi sayılmazlar.

4-2.2.2. Transformatörler

Enerji tesislerinde en önemli harmonik üreticiler transformatörler, bobinler v.b. gibi demir çekirdeği bulunan sargılardır. Bunların harmonik üretme özellikleri demir çekirdeğin mıknatıslama karakteristiğinin lineer olmayışına dayanır.

Transformatörler şebekede sinüzoidal bir gerilimle beslendiklerinde şebekeden bir mıknatıslanma akımı çekerler.

Demir çekirdeğin magnetik karakteristiği lineer olmadığından bu mıknatıslanma akımı artık sinüzoidal değildir. Şekil 4.5' de şebeke gerilimini mıknatıslama akımının oluşması gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Transformatorün mıknatıslama karakteristiği yardımı ile mıknatıslama akımının elde edilmesi.

$U(t)$ şebeke gerilimi

$B(H)$ mıknatıslama karakteristiği

$i(t)$ mıknatıslama akımı.

Şebeke gerilimi belirli bir değerin üzerine çıkarsa, transformator doyma bölgesine girer. Eğer transformator mesele geceleyin düşük yükte çalışırsa şebekedeki gerilim düşümü azalacağından transformator gerilimi yükselir. Aynı şekilde kompanzasyon maksadı ile sabit paralel kondansatörlerin bağlı olması halinde düşük yükte transformator kapasitif yükleneceğinden gerilim yükselir. Aynı şekilde kom-

panzasyon maksadı ile sabit paralel kondansatörlerin bağlı olması halinde düşük yükte transformator kapasitif yükleneceğinden gerilim yükselir. Bu gibi durumlarda mıknatıslama akımı 1., 2., 3., 5., 7., 9., 11., 13., gibi tek mertebeli harmonikleri ihtiva eder. Bunlardan özellikle 5 ve 7 harmonikleri daha şiddetli olarak kendilerini hissettirirler. Akım şiddeti bakımından en önemli olan harmonik de 3. harmoniktir.

Harmonik akımlarının tepe değerleri temel akım dalgasının tepe değerinden bir hayli küçüktür. Esasen transformatorların mıknatıslama akımları, nominal akımlarının % 1- % 10'u kadardır. Buna rağmen seri bağlı generatör hat ve transformator reaktansları frekansla orantılı olarak atıklarından , özellikle düşük yüklerde yüksek harmonik akımlarının bunlar üzerinde sebep oldukları gerilim düşümleri büyük değerler alırlar ve ayrıca gerilimlerin harmonik kazanmalarına sebep olurlar. Bununla beraber mıknatıslama akımındaki harmoniklerin şebekeye geçip geçmemesi şu faktörlere bağlıdır.

- Transformator sargılarının bağlama grubu
- Primeri yıldız bağlı transformatorlerde yıldız noktasının şebekenin nötr hattına bağlı olup olması
- Transformatorlerde mıknatıslamanın serbest veya zorunlu olması

Akım şiddeti bakımından en önemli olan 3. ve 3'ün katlarına eşit olan 9. ve 15. harmoniklerin şebekeye geçmesini önlemek için transformatorün primer veya sekonder sargılarından biri üçgen bağlanır yahut da büyük güçlü transformatorlerde olduğu gibi transformator güçlü bir tersiyer sargı ile donatılır. Bununla beraber 5 ve 7. harmonik akımlarının şebekeye geçmesini önlemek mümkün değildir.

4-2.2.3. Redresörler

Enerji tesislerinde güç elektroniği gittikçe önem kazanmakta ve redresörler ile tristörler geniş uygulama alanı bulmaktadır. Fakat bunlar da transformatörler kadar ve hatta daha çok harmonik ürettiklerinden şebekelerde büyük sorunlara yol açmaktadır.

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

$$I_n = \frac{I_1}{n} \quad (4.27)$$

harmonik akımları çekerler. Redresörlerde darbe sayısı P olmak üzere, harmonik mertebesi

$$n = kp + 1 \quad (4.28)$$

değerini alır. Burada $k = 1, 2, 3, \dots$ gibi tam sayılar alırlar. Genellikle redresörlerde darbe sayısı 6, 12, 24 veya 36 dır. Meselâ 6 darbeleri bir redresörde $n = 5, 7, 11, 13, \dots$ olup harmonik akımları $I_5 = I_1/5$, $I_7 = I_1/7$, $I_{11} = I_1/11$, $I_{13} = I_1/13$, \dots gibi değer-

ler alırlar. Burada görülüyor ki darbe sayısı ne kadar büyük olursa harmonik mertebeleri o kadar yüksek ve harmonik değerleri o kadar küçük olur.

Pratikte ölçülen harmonik akımları yukarıda hesaplanan değerlerden daha küçüktür ve yukarıda verilen ifadenin, k gibi bir katsayı ile çarpılması ile elde olunur.

$$I_n = \frac{I_1}{n} l_n$$

l_n katsayısı 1 den küçüktür ve redresörün kumanda-

sına bağılı olarak çeşitli harmoniklerde farklı değerler alır.

Redresörde darbe sayısı ne kadar yüksek olursa, harmonik mertebeleri de o kadar yüksek ve harmonik akımlarının değerleri de o kadar küçük olur. Böylece bunların zararlı tesisleri o nisbette azalır.

4-2.2.4. Arkla Çalışan İşletme Araçları

Ark ocakları ve kaynak makineleri gibi normal çalışmalarını ark ile sürdüren cihazlarda ve tesislerde de önemli harmonikler meydana gelirler. Ark akım ile gerilim arasında lineer olmayan bir bağıntısının bulunduğu fiziksel bir olaydır. Ark ocaklarının ve kaynak makinelerinin ürettikleri akımların harmoniklerini ne mertebe ve ne de değer bakımından meselâ redresörlerde olduğu gibi hesap yolu ile tayin etmeye imkan yoktur. Zirâ arkin meydana gelişi o anda etkili olan birçok tesadüfi iç ve dış tesirlere bağlıdır. Onun için ark akımında tek veya çift her mertebeden harmonik bulunduğu gibi, bunların değerleri zamana bağılı olarak her an değişebilirler. Ayrıca harmonikler ark ocağının gücüne ve çalışma safhasına da bağlıdır.

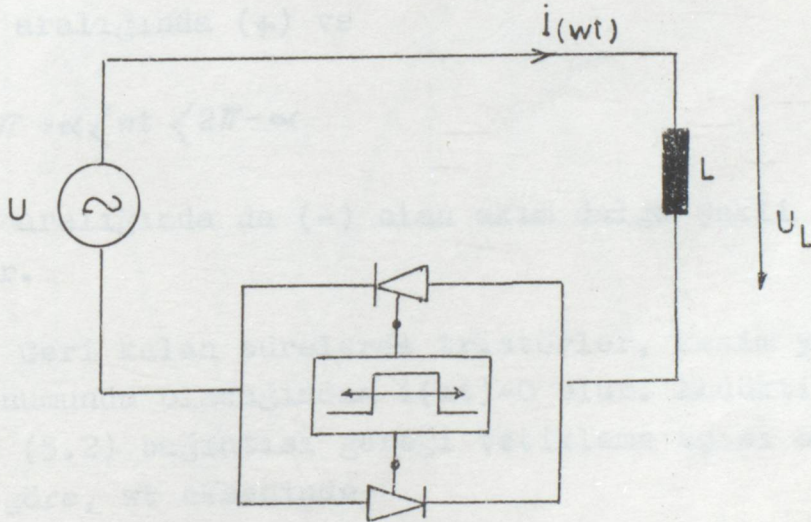
Harmonikler ark fırınının gücüne bağılı olarak değişirler ve özellikle ergime periyodunun ilk 15 dakikası esnasında çok büyük değerler alır.

BÖLÜM - 5

AA KIYICISI KULLANARAK GÜÇ KOMPANZASYONU

5-1. AA KIYICISI KULLANARAK REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU

AA kıyıcısı birbirine ters paralel bağlı iki adet tristörden oluşur. Bu kıyıcı AA devrelerinde genelde bir anahtar görevi yapar. Tetikleme açısının kontrol edilmesi ile çeşitli yükleme durumlarında yük akımının (etkin değerini) efektif değerini değiştirerek ayarlama yapılır.



Şekil 5.1 Endüktif yükle yüklenmiş AA kıyıcısı

Meselâ Şekil 5.1: deki gibi L endüktansı ile yüklenmiş ve besleme kaynak gerilimi

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

olan bir AA kıyıcısının akım bağıntısını yazarsak; tristörler birbirinden π kadar faz farklı olan tetikleme darbeleri ile simetrik bir şekilde tetiklendiklerini kabul edersek,

yani

$$0 \leq \alpha = \alpha_1 \leq \frac{\pi}{2}$$

ve

$$\pi \leq \alpha_1 + \pi = \alpha_2 \leq \frac{3\pi}{2} \quad \text{olmak üzere}$$

$$i(wt) = \frac{U_m}{WL} (\sin wt - \sin \alpha) \quad (5.2)$$

olur. Bu devrede $\alpha = 0$ olduğu zaman gerilim ile akım arasında $\pi/2$ kadar bir faz farkı olduğundan tetikleme açısı olan açısı $0 - \pi/2$ aralığında simetrik olarak değiştirilebilir.

(5.2) bağıntısındaki akım denklemi

$$\alpha < wt < \pi - \alpha$$

aralığında (+) ve

$$\pi + \alpha < wt < 2\pi - \alpha$$

aralığında da (-) olan akım dalga şekli için geçerlidir.

Geri kalan sürelerde tristörler, kesim ya da tıkama konumunda olacağından $i(wt) = 0$ olur. Endüktif yükte, yük akımı (5.2) bağıntısı gereği tetikleme açısı α 'nın konumuna göre, wt ekseninde

$$(U_m/WL) \sin \alpha$$

kadar ötelenmiş sinusoidal bir değişim izler. Yani

$$i(wt) = I_{\max} \sin \alpha \quad (5.3)$$

olur, veyahut da sıfır olur. (5.2) bağıntısından da görüldüğü gibi $\alpha = 0$ da maksimum etkin akım ve $\alpha = \pi/2$ de akımın sıfır olacağı görülür.

$$0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$$

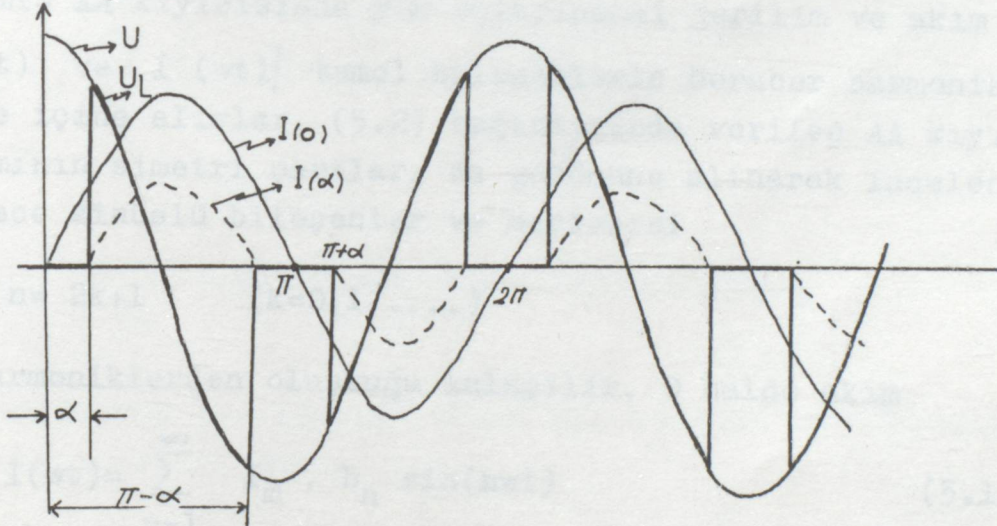
aralığında kontrol edilebilen akımın etkin değeri :

$$I_{\text{eff}}(\alpha) = \frac{U_m}{WL} \sqrt{\frac{1}{\pi} (\pi - 2\alpha) \left(1 - \frac{1}{2} \cos 2\alpha\right) - \frac{3}{2} \sin 2\alpha} \quad (5.4)$$

olur. Bu akımın maksimum etkin değeri $\alpha = 0$ da olacağından

$$I_{\text{eff}}(0) = I_{0\text{eff}} = \frac{U_m}{\sqrt{2WL}} \quad (5.5)$$

olur. Etkin değer değişiminin maksimum etkin değerine oranı, L2 ile yüklenmiş kıyıcının etkin akımı cinsinden kontrol karakteristiğini verir.



Şekil 5.2 L yüklü AA kıyıcısı U_r 'i şekilleri

$$\frac{I_{\text{eff}}(\alpha)}{I_{0\text{eff}}} = \sqrt{\frac{2}{\pi} (\pi - 2\alpha) \left(1 - \frac{1}{2} \cos 2\alpha\right) - \frac{3}{2} \sin 2\alpha} \quad (5.6)$$

$U_L(\alpha)$ geriliminin etkin değeri şekilden

$$U_{L\text{eff}}(\alpha) = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\pi - 2\alpha - \sin 2\alpha}{\pi}} \quad (5.7)$$

kontrol edilen bu gerilimin maksimum etkin değeri

$$U_{Leff(o)} = U_{Loeff} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad (5.8)$$

olduğundan kontrol karakteristiği kontrol edilen gerilim cinsinden

$$\frac{U_{Leff}}{U_{Loeff}} = \sqrt{\frac{\pi - 2\alpha - \sin(2\alpha)}{\pi}} \quad (5.9)$$

5-1.1. AA Kıyıcısındaki akım ve gerilim

Faz kontrolü yapılan kıyıcıda harmonikler oluşur L ile yüklenmiş AA kıyıcısında yük uçlarındaki gerilim ve akım

$[U_L(wt)$ ve $i(wt)]$ temel bileşenlerle beraber harmonikleri de içine alırlar. (5.2) bağıntısında verilen AA kıyıcısı akımının simetri şartları da gözönüne alınarak incelenirse, sadece sinüslü bileşenler ve mertebesi

$$n = 2k+1 \quad (k=0,1,\dots)$$

olan harmoniklerden oluştuğu anlaşılır. O halde akım

$$i(wt) = \sum_{n=1}^{\infty} I_m \cdot b_n \sin(nwt) \quad (5.10)$$

şeklinde olur. Burada b_n , akımdaki n harmoniğin genliğidir. Açınımında sadece sinüslü bileşenler olduğundan, α nın bütün değerleri u kaynak farkına göre gerilim ile akımın temel bileşeninin arasındaki faz açısı $\pi/2$ olur. Yükün saf endüktif olduğu bu şartlarda kıyıcı kaynaktan aktif güç çekmez.

n=1 için α 'ya bağlı olarak akımın temel bileşeninin genliği

$$\pi < \omega t < \pi - \alpha$$

olduğundan

$$\dot{I}_1(\alpha) = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi-\alpha} \frac{U_m}{WL} \left[(\sin \omega t - \sin \alpha) \sin \omega t \right] d(\omega t) \quad (5.11)$$

$$I_1(\alpha) = \bar{I}_1 = \frac{U_m}{WL} \cdot \frac{\pi - 2\alpha - \sin(2\alpha)}{\pi} \quad (5.12)$$

$$n > 1 \text{ için } n = 2k + 1 \quad (k = 1, 2, 3, \dots)$$

olmak üzere harmonik akımların genliğinin bağıntısı

$$\dot{I}_n(\alpha) = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi-\alpha} \frac{U_m}{WL} \left[(\sin \omega t - \sin \alpha) \sin(n\omega t) \right] d(\omega t) \quad (5.13)$$

$$\dot{I}_n = \bar{I}_n(\alpha) = \frac{4U_m}{WL} \left(\frac{\cos(n\alpha) \sin \alpha - n \sin(n\alpha) \cos \alpha}{n^3 - n} \right) \quad (5.14)$$

olur. Burada yük geriliminin temel bileşeninin ve harmoniklerinin bağıntıları ωt 'ye göre

$$U_1(\alpha, \omega t) = U_m \frac{\pi - 2\alpha - \sin 2\alpha}{\pi} \cos \omega t \quad (5.15)$$

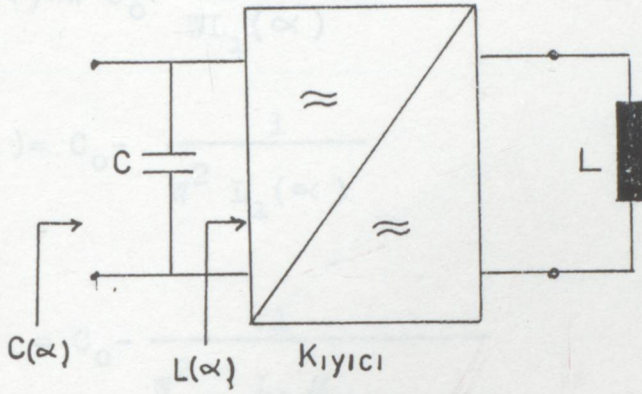
$$U_n(\alpha, \omega t) = \frac{4U_m}{\pi} \left(\frac{\cos(n\alpha) \sin \alpha - n \sin(n\alpha) \cos \alpha}{n^2 - 1} \right) \cos n\omega t \quad (5.16)$$

olur.

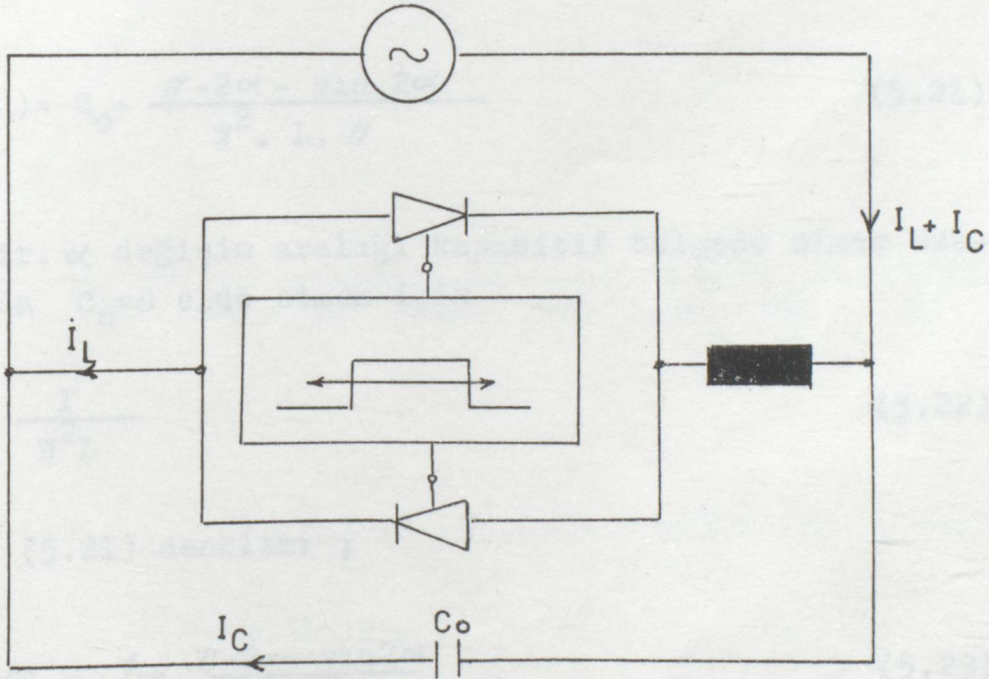
5-2. AA KIYICISI İLE DEĞİŞKEN KAPASİTE

Kıyıcıya bir endüktansı bağlanarak α 'ya bağlı olarak

bir $L(\alpha)$ değişken endüktans ; ve devreye paralel olarak bağlanan bir C kondansatörü ile de α 'ya bağlı bir $C(\alpha)$ değişken kapasite oluşturulabilir.



Şekil 5.3.a: Değişken kapasiteli AA kıyıcısı.



Şekil 5.3.b: AA kıyıcısı ile oluşturulan değişken kapasite model şeması.

Değişken endüktans

$$L_1(\alpha) = \frac{L \cdot \pi}{\pi - 2\pi \cdot \sin 2\alpha} \quad (5.17)$$

olarak burada C_0 in paralel bağlanmasından oluşan $C(\alpha)$ kapasitesi

$$Wc(\alpha) = W C_0 - \frac{1}{WL_1(\alpha)} \quad (5.18)$$

$$C(\alpha) = C_0 - \frac{1}{W^2 L_1(\alpha)} \quad (5.19)$$

$$= C_0 - \frac{1}{W^2 \frac{L \cdot \pi}{\pi - 2\alpha - \sin 2\alpha}} \quad (5.20)$$

$$C(\alpha) = C_0 - \frac{\pi - 2\alpha - \sin 2\alpha}{W^2 \cdot L \cdot \pi} \quad (5.21)$$

elde edilir. α değişim aralığı kapasitif bölgede olmak üzere $\alpha = 0$ ' da $C_0 = 0$ elde etmek için

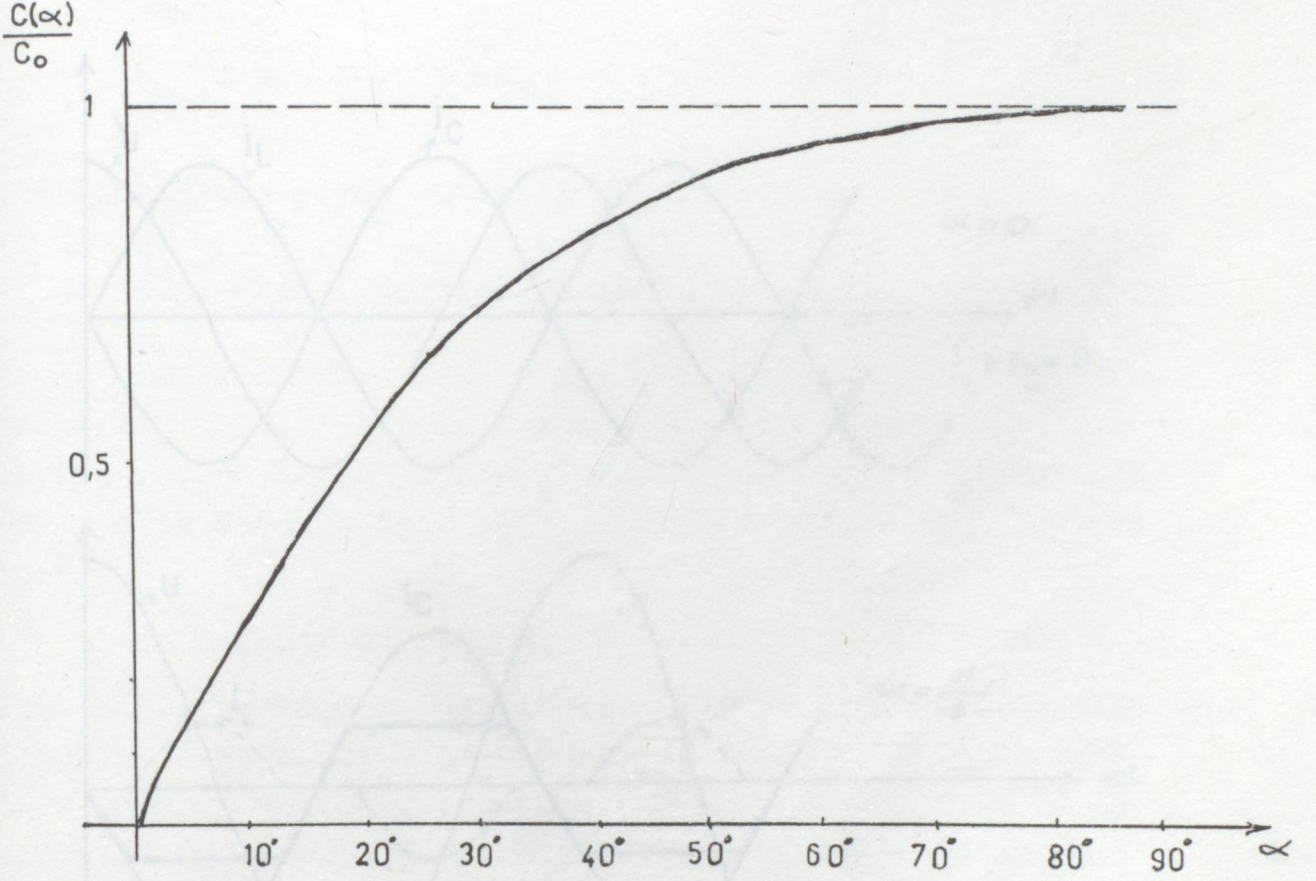
$$C_0 = \frac{1}{W^2 L} \quad (5.22)$$

seçilirse (5.21) denklemi ;

$$\frac{C(\alpha)}{C_0} = 1 - \frac{\pi - 2\alpha - \sin 2\alpha}{\pi} \quad (5.23)$$

$$\frac{C(\alpha)}{C_0} = \frac{C_0 - \frac{\pi - 2\alpha - \sin 2\alpha}{W^2 \cdot L \cdot \pi}}{C_0} \quad (5.24)$$

elde edilir. Bu da normalize kapasite olmuş olur.



Şekil 5.4 Normalize kapasite $\frac{C(\alpha)}{C_0}$ 'ın α 'ya göre değişimi.

bağıntı (5. 4) de görüldüğü gibi

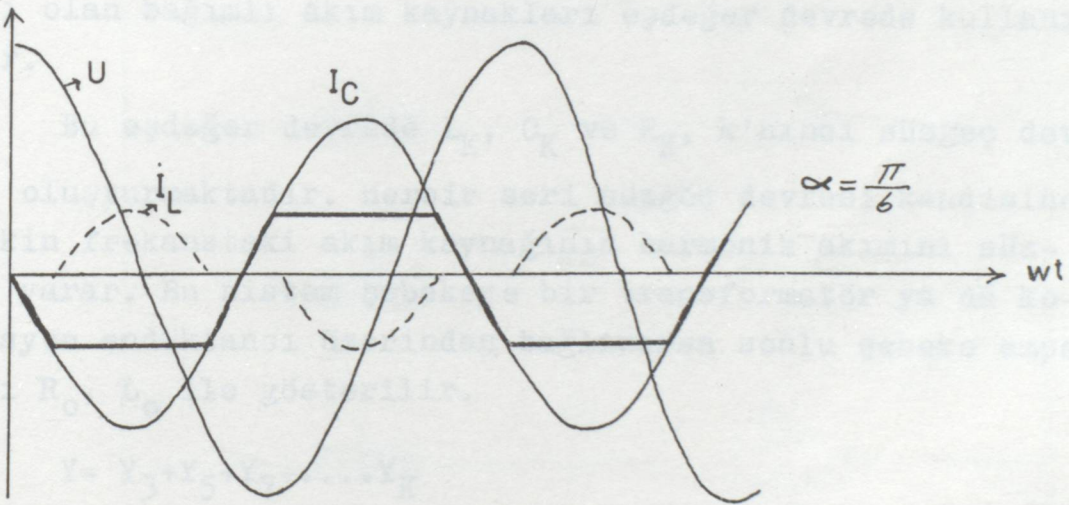
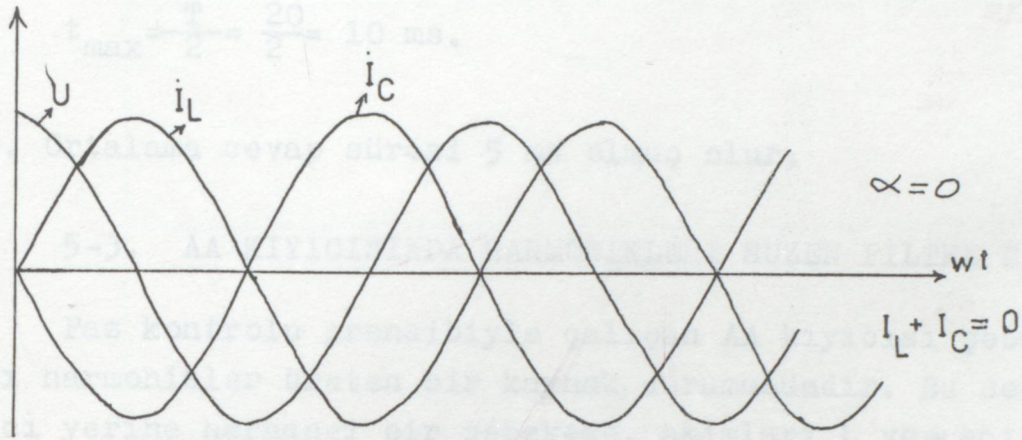
$$\alpha = 0 \text{ de } \text{---} 0$$

$$\alpha = 90 \text{ da } \text{---} 1$$

olur.

$$T = \frac{1}{50} = 20 \text{ ms.}$$

her periyotta iki ayar olabileceğine göre



Şekil 5.5 Kapasitif çalışan AA kıyıcısının $\alpha = 0$ ve $\alpha = \frac{\pi}{6}$ için akım, gerilim dalga şekilleri.

Bu tip çalışmada α 'nın büyük değişim aralığında $C(\alpha)$ kapasitesinin kontrolü imkanı doğar. Bu AA kıyıcısı $f=50$ Hz bir şebekede çalışırsa α her yarım periyotta bir değiştirilebileceğinden bu düzenin cevap süresi :

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 20 \text{ ms.}$$

her periyotta iki ayar olabileceğine göre :

$$t_{\max} = \frac{T}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ ms.}$$

olur. Ortalama cevap süresi 5 ms olmuş olur.

5-3. AA KIYICISINDA HARMONİKLERİ SÜZEN FİLTRE DEVRELER

Faz kontrolü prensibiyle çalışan AA kıyıcısı şebekeye karşı harmonikler üreten bir kaynak durumundadır. Bu sebeple, kıyıcı yerine herhangi bir şebekede, akımları L ve α açısına bağlı olan bağımlı akım kaynakları eşdeğer devrede kullanılabilir.

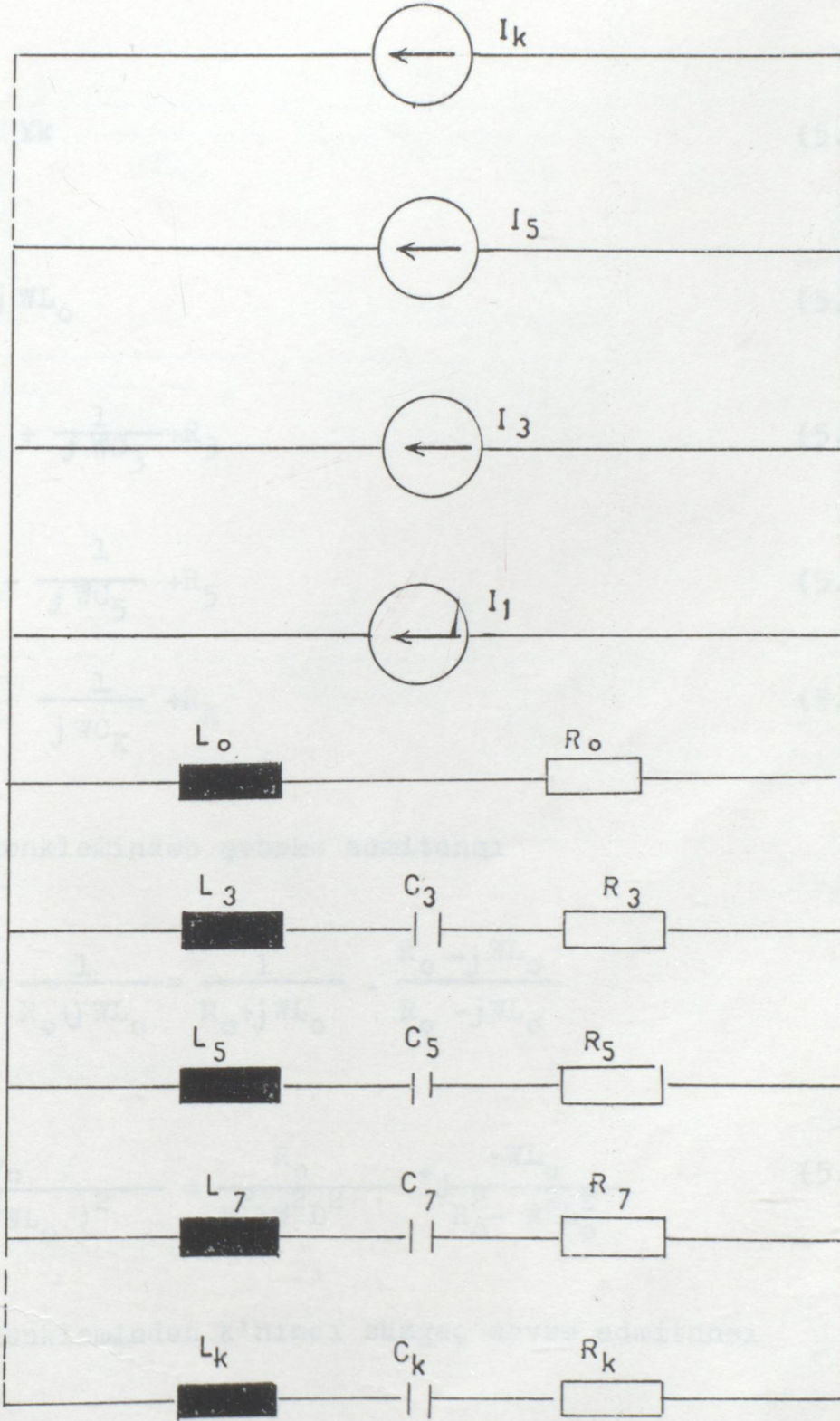
Bu eşdeğer devrede L_K , C_K ve R_K , k 'ninci süzgeç devreyi oluşturmaktadır. Herbir seri süzgeç devresi kendisine ilişkin frekanstaki akım kaynağının harmonik akımını süzmeye yarar. Bu sistem şebekeye bir transformatör ya da komutasyon endüktansı üzerinden bağlanırsa sonlu şebeke empedansı R_0 , L_0 ile gösterilir.

$$Y = Y_3 + Y_5 + Y_7 + \dots + Y_K$$

Burada

Y_K : k 'ninci süzgeç devresinin admitansı

$$k = 2n+1 \quad \text{ve} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$



Şekil 5.6 Kıyıcı yerine bağımlı kaynaklar konarak oluşturulan eşdeğer devre.

$$Y = \sum_{k=1}^n Y_k \quad (5.25)$$

$$Z_0 = R_0 + jWL_0 \quad (5.26)$$

$$Z_3 = jWL_3 + \frac{1}{jWC_3} + R_3 \quad (5.27)$$

$$Z_5 = jWL_5 + \frac{1}{jWC_5} + R_5 \quad (5.28)$$

$$Z_K = jWL_K + \frac{1}{jWC_K} + R_K \quad (5.29)$$

(5.26) denkleminde şebeke admitansı

$$\begin{aligned} Y_0 &= \frac{1}{Z_0} = \frac{1}{R_0 + jWL_0} = \frac{1}{R_0 + jWL_0} \cdot \frac{R_0 - jWL_0}{R_0 - jWL_0} \\ &= \frac{R_0 - jWL_0}{R_0^2 - (j^2WL_0)^2} = \frac{R_0}{R_0^2 + W^2L^2} + j \frac{-WL_0}{R_0^2 - W^2L_0^2} \end{aligned} \quad (5.30)$$

(5.29) denkleminde k'nıncı süzgeç devre admitansı

$$Y_K = \frac{1}{Z} = \frac{1}{jWL_K + \frac{1}{jWC_K} + R_K} \quad (5.34)$$

$$= \frac{1}{(R_K + j\omega L_K) + \frac{1}{j\omega C_K}} = \frac{1}{R_K + j\omega L_K - j\frac{1}{\omega C_K}}$$
$$= \frac{1}{R_K + j(\omega L_K - \frac{1}{\omega C_K})} \cdot \frac{R_K - j(\omega L_K - \frac{1}{\omega C_K})}{R_K - j(\omega L_K - \frac{1}{\omega C_K})}$$

$$Y_K = \frac{R_K}{R_K^2 + (\omega L_K - \frac{1}{\omega C_K})^2} + j \frac{\frac{1}{\omega C_K} - \omega L_K}{R_K^2 + (\omega L_K - \frac{1}{\omega C_K})^2} \quad (5.31)$$

$$Y_{sü} = \sum_{k=1}^{\infty} Y_K \quad (5.32)$$

Toplam admitans

$$Y_r = Y_{sü} + Y_o$$

Toplam empedans

$$Z_r = \frac{1}{Y_r} = \frac{1}{Y_{sü} + Y_o} \quad (5.33)$$

olur. Süzgeç devredeki kondansatörle arasında

$$C_o = C_3 + C_5 + \dots + C_K \quad (5.34)$$

$k=2n+1$, ($n=1,2,3,\dots$ olmak üzere)

Harmonik akımların temel bileşene göre maksimum genlikleri % olarak G_K ile gösterilirse

$$C_K = G_K C_0 \quad (5.35)$$

olur. K süzgeç devre endüktans değeri ise,

$$L_K = \frac{1}{(K.W)^2 \cdot C_K} \quad (k=3,5,7,\dots) \quad (5.36)$$

iyilik katsayısı da

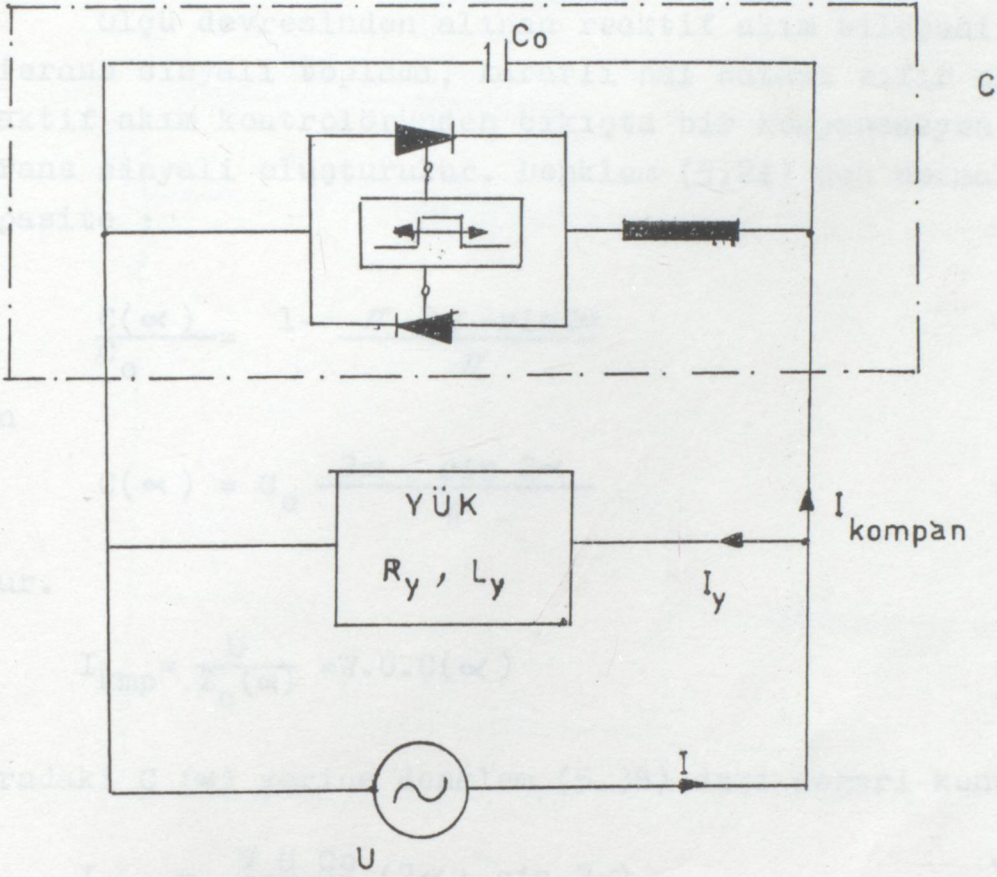
$$Q_K = \frac{k.W \cdot L_K}{R_K} \quad (5.37)$$

5-4. AA KIYICISI İLE KOMPANZASYONDA OTOMATİK KONTROL

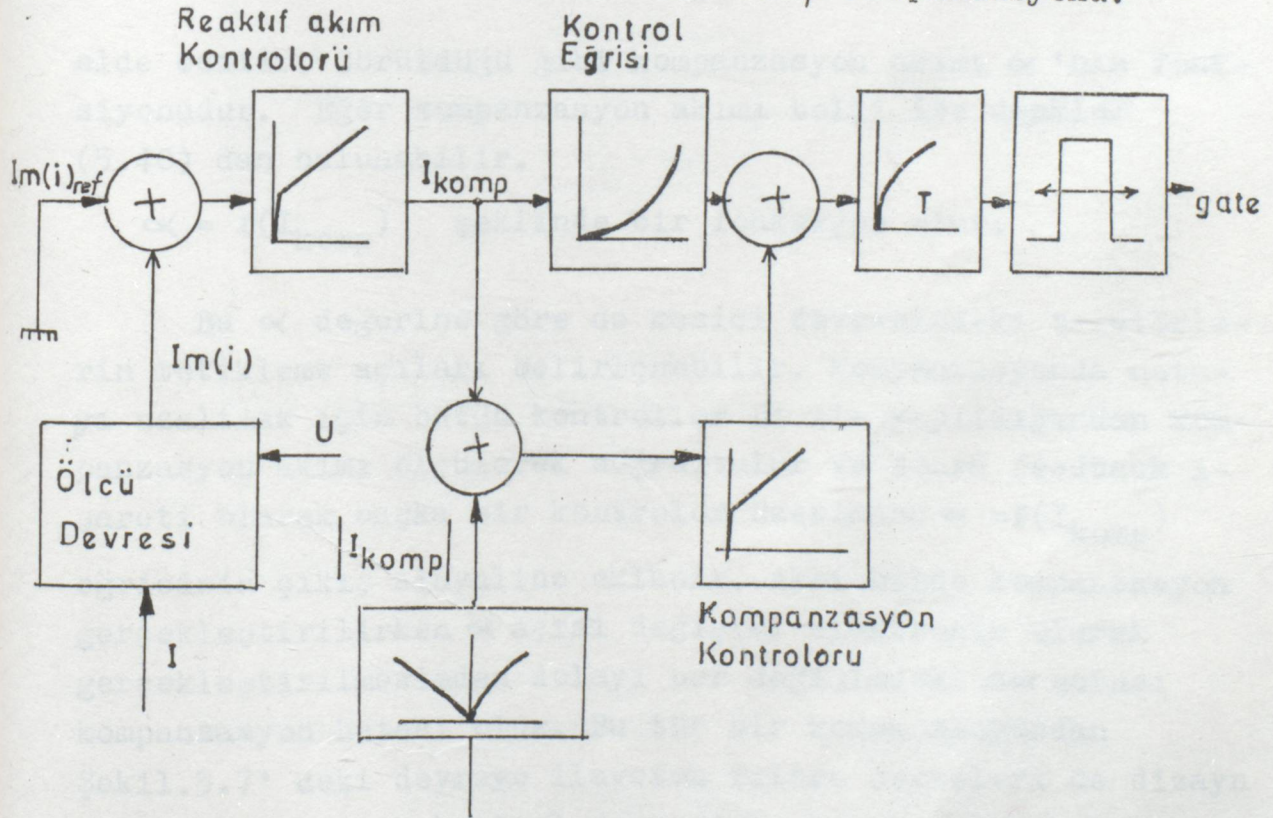
Şebekede endüktif yükleme olduğunda $\cos \varphi$ kompanzasyonunun kısa sürede gerçekleşmesi istenir. Endüktif bileşen reaktif güç kaybı olduğu gibi bazı şebeke dalgalanmalarını da doğurur. Bu bakımdan kompanzasyonun kısa sürede gerçekleşmesi için AA kıyıcısı ile kompanzasyon sistemi otomatik kontrol düzeni ile beraber dizayn edilir. (Şekil.5.7).

Burada U gerilimiyle beslenen yük (R_Y, L_Y) 'ün güç ve $\cos \varphi$ bölgesi geniş bir şekilde değişebilmektedir. Böyle bir yükte otomatik olarak $\cos \varphi$ kompanzasyonu gerçekleştirilebilir.

Otomatik kontrol düzeninde U kaynağından çekilen i akımı örnekleme alınarak bir ölçü devresinde ölçülmektedir. Bu i akımının reaktif bileşeni belirlenerek bu bileşen sıfır yapılmakta $\cos \varphi$ kompanzasyonu gerçekleştirilmiş olur.



Şekil 5.7 AA kıyıcısı ile $\cos \varphi$ kompanzasyonu.



Şekil 5.8 Otomatik kontrollü $\cos \varphi$ kompanzasyonu blok diyagramı.

Ölçü devresinden alınan reaktif akım bileşeni ile referans sinyali toplamı, kararlı hal hatası sıfır olan reaktif akım kontrolöründen çıkışta bir kompanzasyon referans sinyali oluşturulur. Denklem (5.24) den normalize kapasite :

$$\frac{C(\alpha)}{C_0} = 1 - \frac{\pi - 2\pi - \sin 2\alpha}{\pi}$$

den

$$C(\alpha) = C_0 \frac{2\alpha + \sin 2\alpha}{\pi} \quad (5.38)$$

olur.

$$I_{kmp} = \frac{U}{Z_c(\alpha)} = W \cdot U \cdot C(\alpha) \quad (5.39)$$

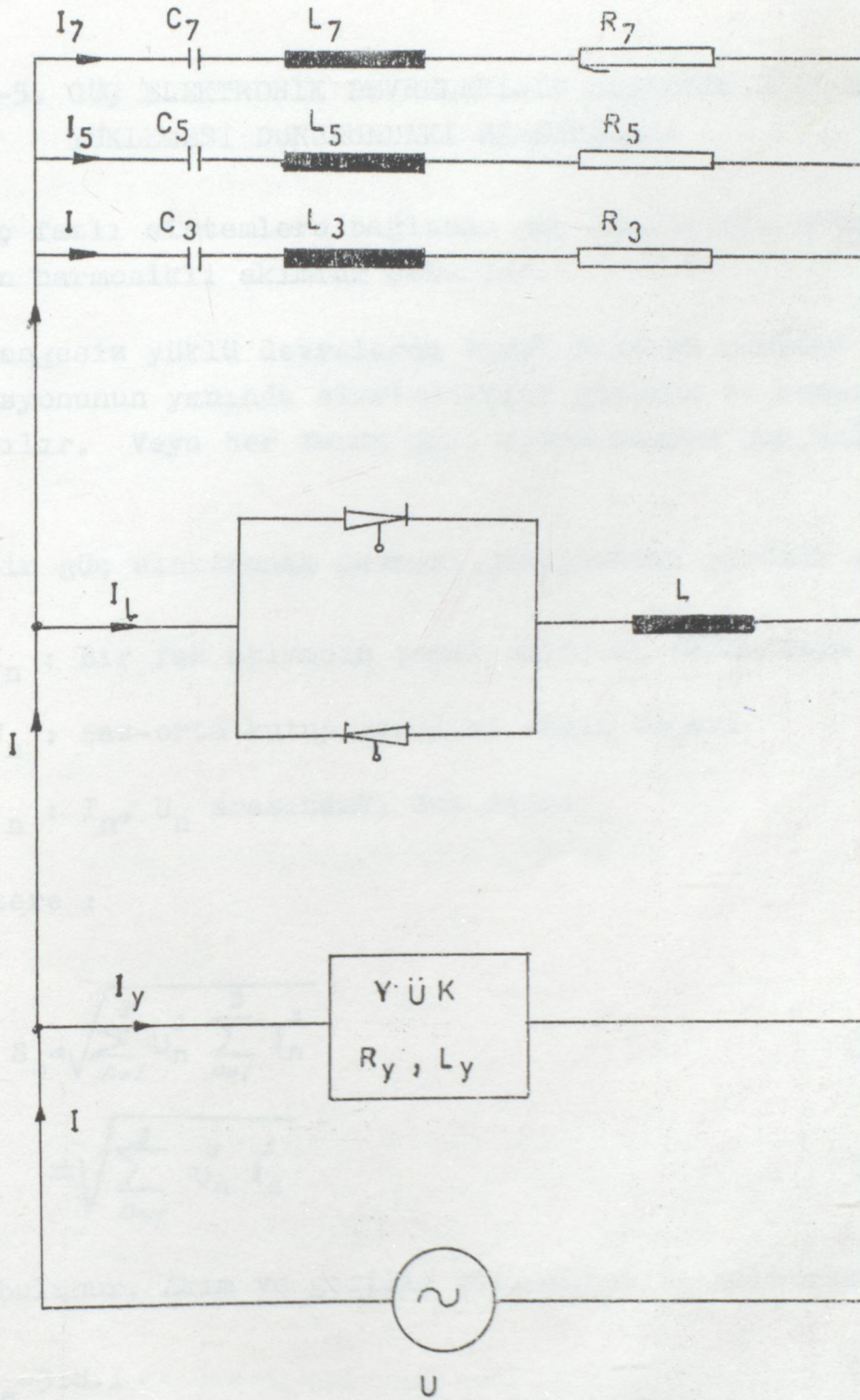
Buradaki $C(\alpha)$ yerine denklem (5.38) deki değeri konursa :

$$I_{komp} = \frac{W U C_0}{\pi} (2\alpha + \sin 2\alpha) \quad (5.40)$$

elde edilir. Görüldüğü gibi kompanzasyon akımı α 'nın fonksiyonudur. Eğer kompanzasyon akımı belli ise denklem (5.40) dan bulunabilir.

$\alpha = f(I_{komp})$ şeklinde bir fonksiyon olur.

Bu α değerine göre de kesici devresindeki tristörlerin tetikleme açıları belirlenebilir. Kompanzasyonda hatayı azaltmak için bütün kontroller DA ile yapıldığından kompanzasyon akımı ölçülerek doğrultulur ve sonra feedback işareti olarak başka bir kontrolör üzerinden $\alpha = f(I_{komp})$ eğrisinin çıkış sinyaline eklenir. Aksi halde kompanzasyon gerçekleştirilirken α açısı değişimi elektronik olarak gerçekleştirilmesinden dolayı her değişimdeki $\Delta\alpha$ hatası kompanzasyon hatası olur. Bu tür bir kompanzasyondan Şekil.5.7' deki devreye ilaveten filtre devreleri de dizayn edilerek otomatik kontrol devresiyle komple olarak tasarlanır.



Şekil 5.9 R_y, L_y değişken güç ve $\cos\varphi$ 'ye sahip yükü kompanse eden AA kıyıcısı ve filtre devreleri.

5-5. GÜÇ ELEKTRONİK DEVRELERİNİN ELEKTRİK SİSTEMLERİNİ YÜKLEMESİ DURUMUNDAKİ SİMETRİLEME

Üç fazlı sistemlere bağlanan güç elektronik devreler şebekeden harmonikli akımlar çekerler.

Dengesiz yüklü devrelerde temel bileşen reaktif güç kompanzasyonunun yanında simetrisizlik gücünün de kompanzasyonu yapılır. Veya her fazda ayrı kompanzasyon gerçekleştirilir.

Bir güç elektronik devresi girişindeki görünür güç :

I_n : Bir faz akımının temel bileşeni etkin değeri

U_n : Faz-orta kutup gerilimi etkin değeri

n : I_n , U_n arasındaki faz açısı

olmak üzere :

$$S_e = \sqrt{\sum_{n=1}^3 U_n^2 \sum_{n=1}^3 I_n^2} \quad (5.41)$$

$$= \sqrt{\sum_{n=1}^3 U_n^2 \cdot I_n^2}$$

olarak bulunur. Akım ve gerilim sinüsoidal ve simetrik ise:

$$S_e = 3 \cdot U \cdot I \quad (5.42)$$

olur. Gerilimler simetrik ve harmoniksiz fakat yük dengesiz ise :

$$S_e = \sqrt{3} \cdot U \cdot \sqrt{\sum_{n=1}^3 I_n^2} \quad (5.43)$$

olur.

Üç fazlı bir şebekeden beslenen bir tesiste hat akımları simetrik değilse, görünür güç akımları simetrik bileşenlere ayrılır. Görünür güç de iki bileşen olur.

$$S_e^2 = S_t^2 + S_{sims}^2 \quad (5.44)$$

S_t = Temel bileşen görünür gücü

$$S_t^2 = P^2 + Q^2$$

$$S_{sims} = \text{Simetrisizlik gücü} \quad (5.45)$$

$$U = U_R + U_S + U_T \quad (5.46)$$

olduğuna göre

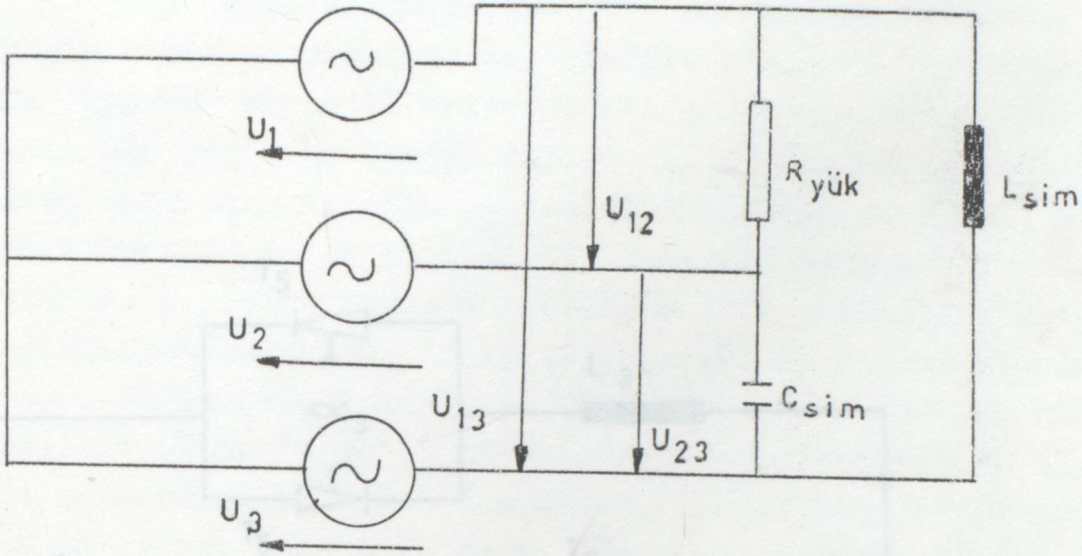
$$P = U \cdot (I_R \cdot \cos \varphi_R + I_S \cdot \cos \varphi_S + I_T \cdot \cos \varphi_T) \quad (5.47)$$

$$P = P_R + P_S + P_T \quad (5.48)$$

olur.

Simetrisizlik gücü şebeke frekansının iki katı ile değişir. Reaktif güçler : Q_R , Q_S , Q_T ise, simetrisizlik gücünün (S_{sims}) de kompanze edilmesi gerekir. Bunun da kompanzasyonda göz önüne alınması gerekir.

Dengesiz yüklü bir şebekede temel bileşende kompanzasyon yapılırsa simetrisizlikten dolayı güç katsayısı istenilen değerde olmayabilir. Fakat her fazda ayrı ayrı kompanzasyon yapıldığında simetrisizlik söz konusu olmayacağından güç katsayısı istenilen değerde yapılabilmektedir.



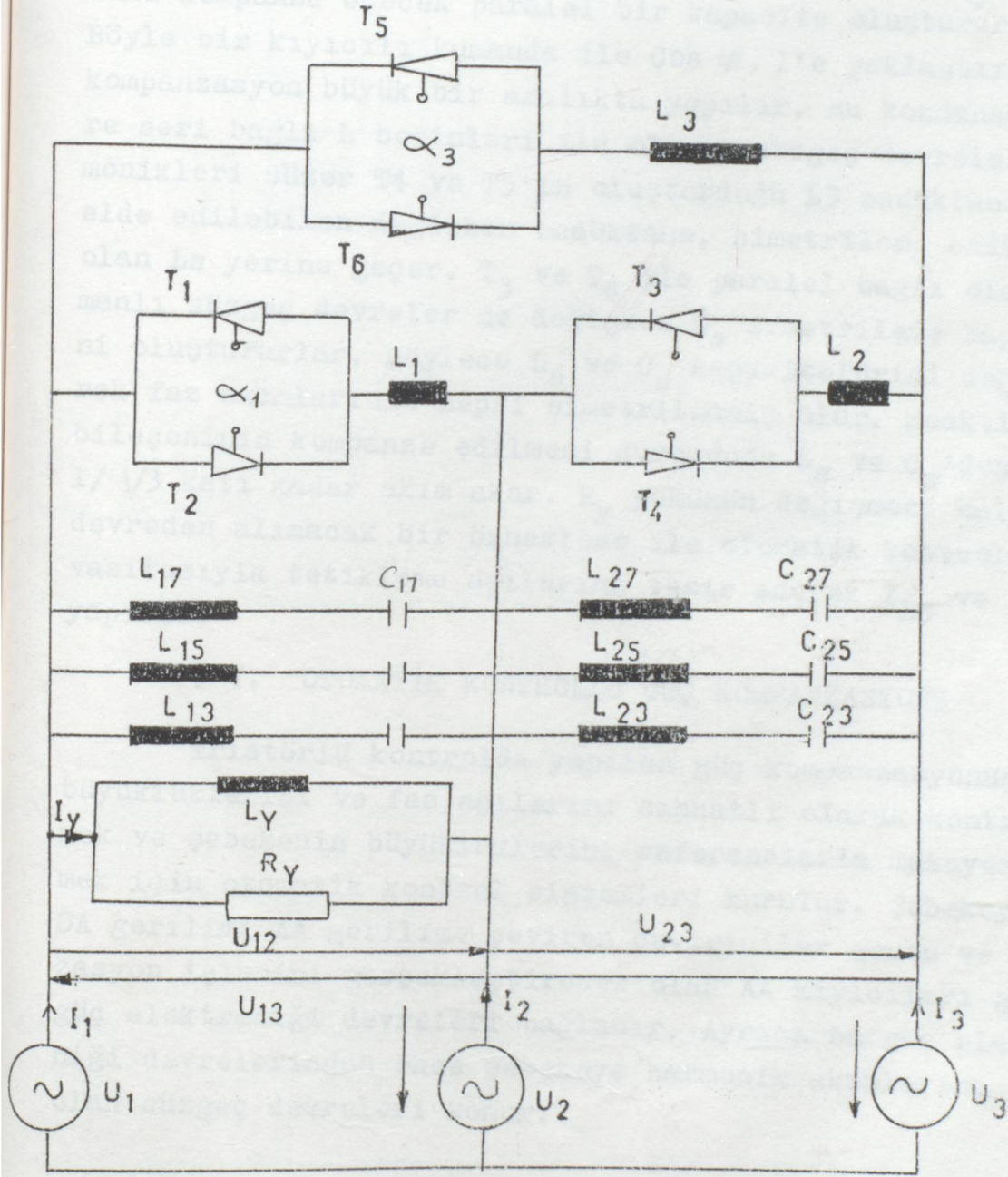
Şekil 5.10 Kompanzasyonu gerçekleştirilmiş bir yükün simetrlenmesi.

Kompanze edilecek yük sadece omik (R_y) değil de (Z_y) omik-endüktif bir empedansın olması halinde yine bu simetrlleme geçerlidir. Yalnız o zaman L_{sim} daha büyük C_{sim} daha küçük değerler olacaktır.

5-6. AA KIYICILARLA SİMETRİLEME

AA kıyıcılarıyla kompanzasyonu yapılmış bir R_y, L_y (Z_y) yükünün simetrik olmayan şebekeden beslenmesi durumunda bu sistemi simetrllemek gerekmektedir. Simetrlleme için yine bir AA kıyıcısı kullanılabilir. Kıyıcı tristörlerinin tetikleme açılarını değiştirerek simetrlleme büyük bir aralıkta hızlı olarak yapılabilir.

(R_y, L_y) (Z_y) yükü iki faz arasından beslenmiş olursa şebeke reaktif olarak simetrisiz yüklenir. Bu simetrisizlik kompanzasyonla beraber simetrlleme yapılır. Bunu AA kıyıcısıyla hem büyük aralıkta hem de hızlı ayarlama yapacak kıyıcı gruplarını her faza bağlanmış olarak yapmak mümkündür. Ayrıca kıyıcılar simetrlleme ile beraber kompanzasyonu da gerçekleştirmiş olurlar.

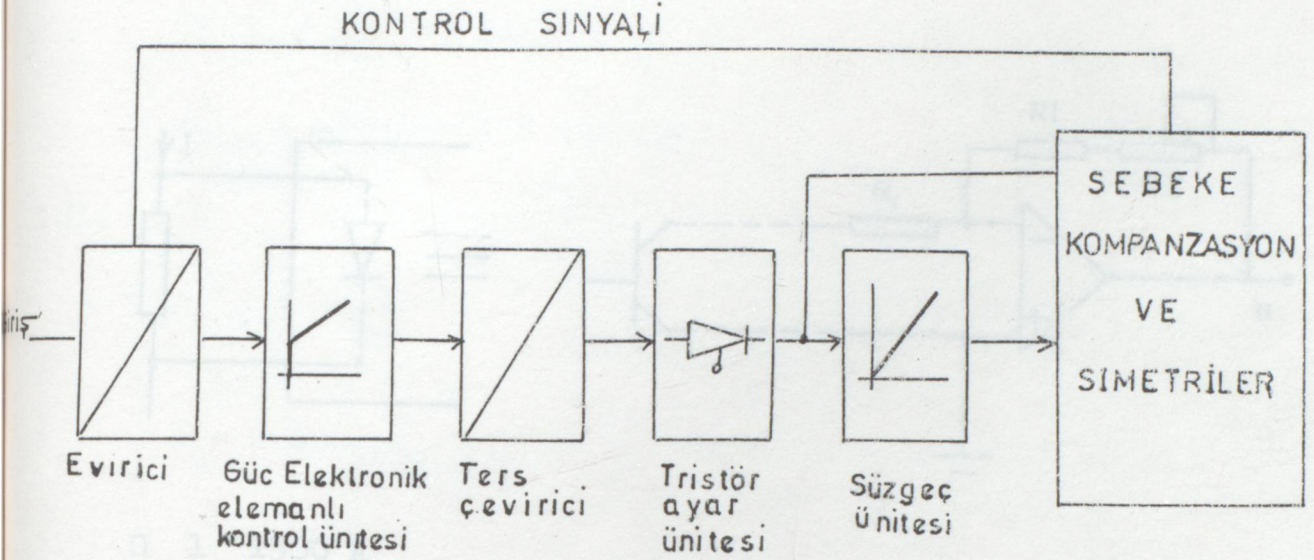


Şekil 5.11 AA kıyıcılarıyla dengesiz yüklenmiş üç fazlı şebekenin kompanzasyonu ve simetrlenmesi.

Şekil 5.11'de görüldüğü gibi üç fazlı simetrisiz yüklenmiş bir şebekeyi AA kıyıcısıyla kompanze ve simetrimleme yaparken T1 ve T2 tristörlerinin oluşturduğu kıyıcı L₁ ile bir değişken (α 'ya bağlı olarak) endüktans oluştururken buna paralel olan C₁₇ kondansatörleri de R_y, L_y yükünü kompanze edecek paralel bir kapasite oluştururlar. Böyle bir kıyıcılı kumanda ile Cos φ , 1'e yaklaştırılarak kompanzasyon büyük bir aralıkta yapılır. Bu kondansatörlere seri bağlı L bobinleri ile oluşan süzgeç devreleri harmonikleri süzer T4 ve T5'in oluşturduğu L3 endüktansı ile elde edilebilen değişken endüktans, simetrimleme endüktansı olan L_s yerine geçer. T₃ ve T₄ ile paralel bağlı olan C elemanlı süzgeç devreler de değişken C_s simetrimleme kapasitesini oluştururlar. Böylece L_s ve C_s kapasitelerini değiştirerek faz akımlarının hepsi simetrimlenmiş olur. Reaktif güç bileşeninin kompanze edilmesi durumunda L_s ve C_s'den I_{Ry}'nin $1/\sqrt{3}$ katı kadar akım akar. R_y yükünün değişmesi halinde bu devreden alınacak bir örnekleme ile otomatik kontrol devresi vasıtasıyla tetikleme açılarına tesir ederek I_{LS} ve I_{CS} ayarı yapılır.

5-7. OTOMATİK KONTROLLU GÜÇ KOMPANZASYONU

Tristörlü kontrolde yapılan güç kompanzasyonunda güç büyüklüklerini ve faz açılarını sıhhatli olarak kontrol etmek ve şebekenin büyüklüklerini referanslarla mukayese etmek için otomatik kontrol sistemleri kurulur. Şebekeye ; DA gerilimi AA gerilime çeviren çeviriciler grubu ve kompanzasyon işlemini gerçekleştirecek olan AA kıyıcıları gibi güç elektroniği devreleri bağlanır. Ayrıca bu güç elektroniği devrelerinden önce şebekeye harmonik akımlarını süzecek olan süzgeç devreleri konur.



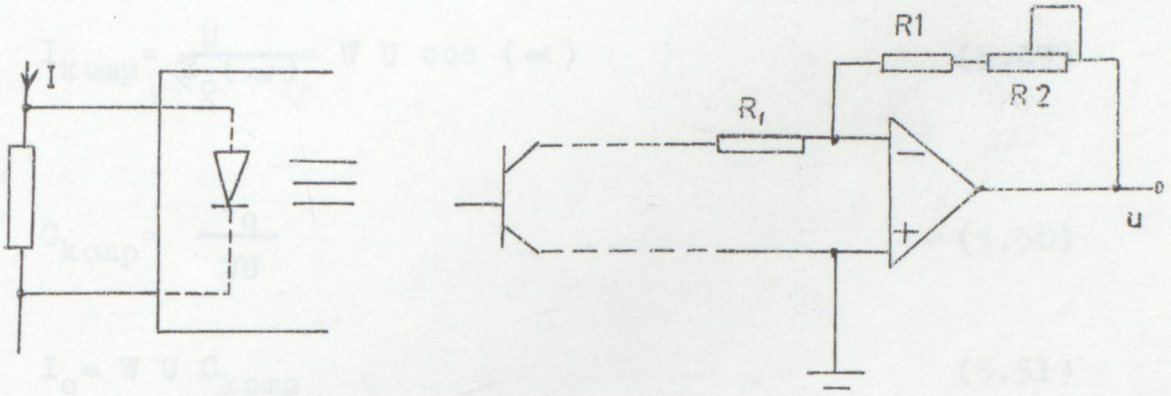
Şekil 5.12 Bir şebekede otomatik kompanzasyon ünitesi.

Süzgeç devresi harmonikleri süzdükten sonra çıkış gerilimi sinüzoidal olur. Bu tip kontrolde blok diyagramında görülen kontrol ünitesinden önceki evirici ünitesi kontrolden gelen sinyali doğrultarak doğru gerilime çevirir. Referans sinyal ile bu sinyal kontrol ünitesinde işleme sokulur ve sonra çıkışta tekrar AA dönüşümü yapan ters eviriciden AA olarak ayar ünitesine verilir.

Genelde güç kompanzasyonunda ve simetrimede kontrol ünitesi, üç fazlı sistemden alınan akım ve gerilim büyüklüklerini uygun şekilde işleme sokar. Kontrol AA kıyıcıları ile olduğundan kontrol ünitesi, simetrik olarak çalışacak olan her bir kıyıcı için ayrı birer tetikleme işareti verilir.

: Kontrol büyüklüğü olarak faz arası akımlar alınarak elektronik bir sinyal haline getirilir. Bu işlem optik kuplajlı devreler yardımıyla yapılır. Meselâ faz arası akımın max. değeri:

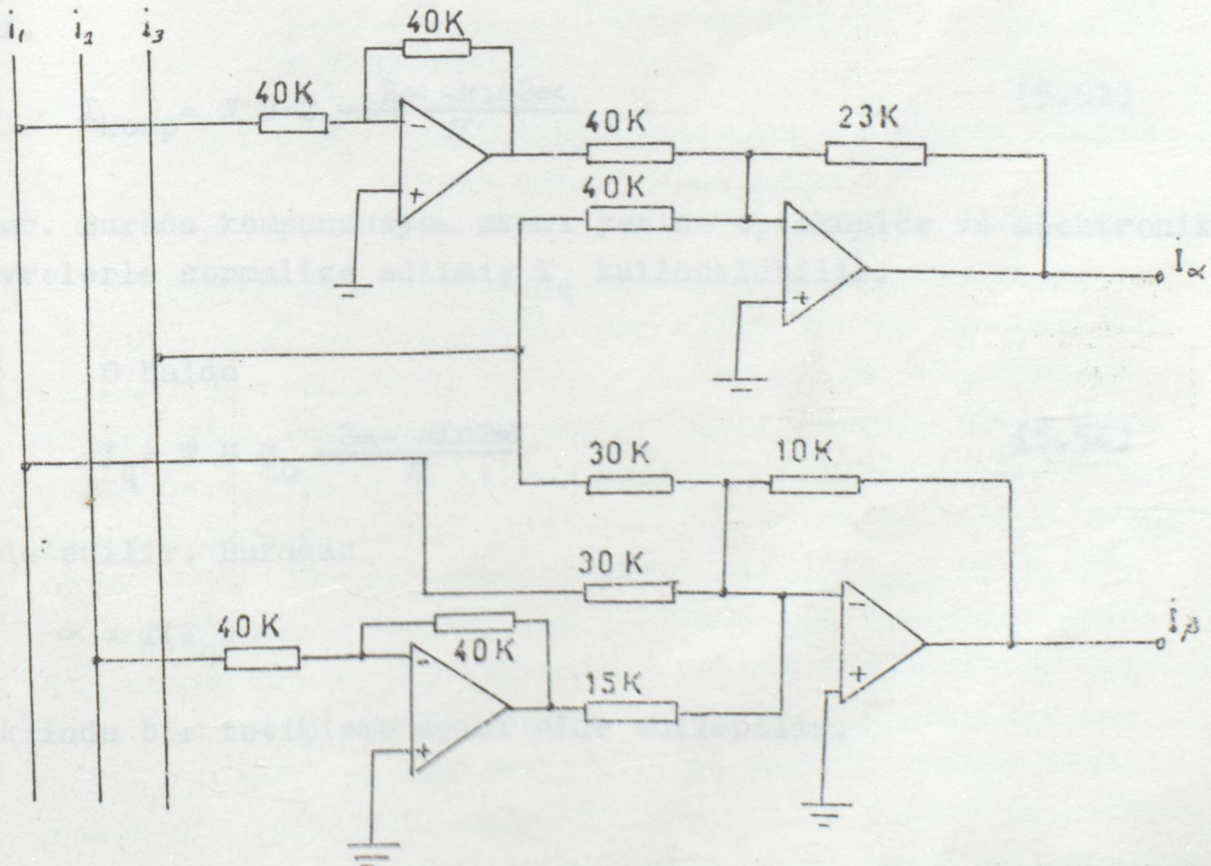
$I_{mx} = 1500 \text{ A}$ iken 10 Voltluk sinyal üretecek bir optokuplör devresi dizayn edilir.



0 1 1500 A

0 U 5 V

Şekil 5.13 Bir akımın normlaştırılarak elektronik bir gerilim sinyaline dönüştüren optokuplör Devresi.



Şekil 5.14 Üç fazlı fazlararası akımı iki bileşenli (dengeli ve dengesiz) sinyal sistemine dönüştüren elektronik devre.

Denklem (5.39) dan

$$I_{\text{komp}} = \frac{U}{Z_c(\alpha)} = W U \cos(\alpha) \quad (5.49)$$

idi.

$$C_{\text{komp}} = \frac{I_q}{WU} \quad (5.50)$$

$$I_q = W U C_{\text{komp}} \quad (5.51)$$

kompanzasyon kapasitesi (α)'ya bağılı olarak değiştirdiğinden denklem (5.38) den

$$C(\alpha) = C_{\text{komp}} = C_o \frac{2\alpha - \sin 2\alpha}{\pi} \quad (5.52)$$

idi.

$$I_{\text{komp}} = W U C_o \frac{2\alpha - \sin 2\alpha}{\pi} \quad (5.53)$$

olur. Burada kompanzasyon akımı yerine optokuplör ve elektronik devrelerle normalize edilmiş I_q kullanılabilir.

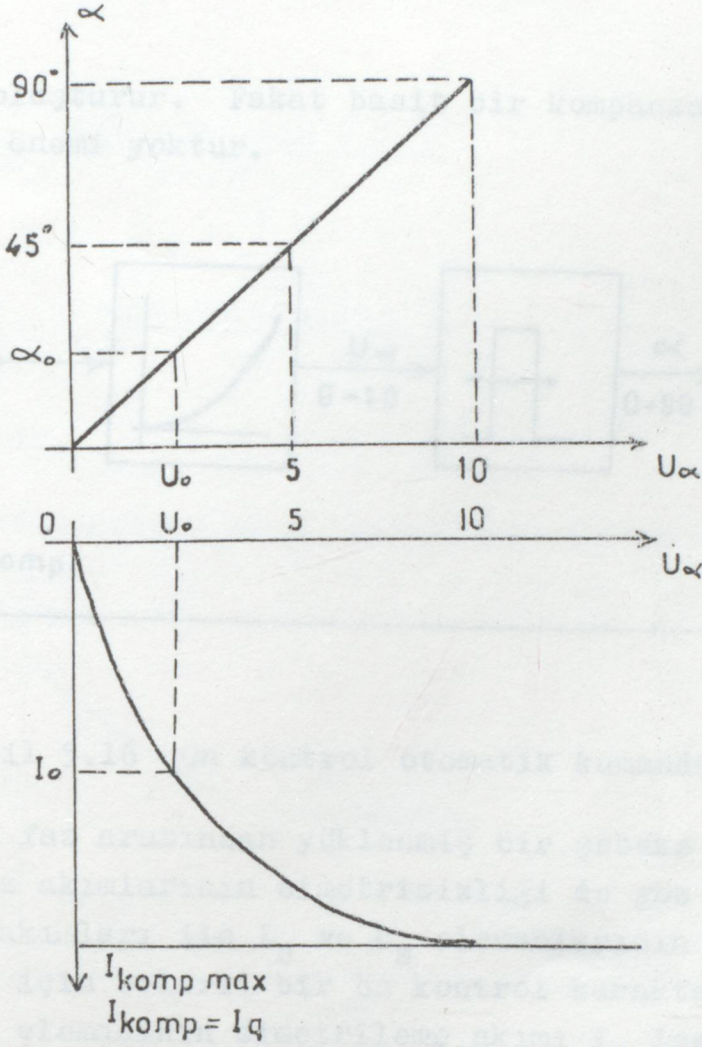
0 halde

$$I_q = W U C_o \frac{2\alpha - \sin 2\alpha}{\pi} \quad (5.54)$$

elde edilir. Buradan

$$\alpha = f(I_q)$$

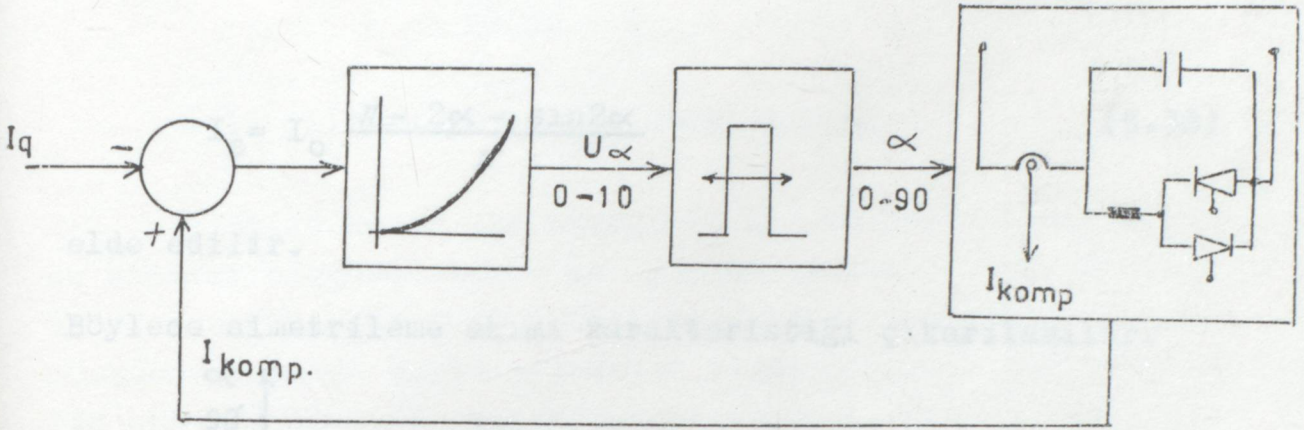
şeklinde bir tetikleme açısı elde edilebilir.



Şekil 5.15 Kompanzasyon akımında tetikleme açısına geniş temsil diyagramı.

Kompanzasyonun hassas olarak gerçekleştirilmesi işleminde kontrol çok önemli yer alır. Bir ön kontrol ile yapılan kompanzasyonda ön kontrol elemanları çekilen yük akımına göre kompanzasyon akımına tesir ederek artıp veya azalmasıyla kıyıcı tetikleme açısından kontrollü büyük ayar imkânını sağlar. Meslâ Şekil 5.15' deki ön kontrollü kompanzasyonda ön kontrol karakteristiği girişi I_{komp} ve I_q ile beslenerek endüktif yüklerde I_q belli bir tetikleme açısı oluşturacak ve bu açı kıyıcı devresinde kompanzasyon akımını büyütecek ve I_q küçülecektir. Bu iki akım arasındaki her farkta I_q sıfır olacak şekilde, ön kontrol karakteristiğinden bir tetikleme açısı üretilecektir. Burada ön kontrol eğrisinin lineer olmamasından dolayı bazı küçük $\Delta\alpha$ hataları doğabilir. Bunları da çok küçük de olsa belirli kompanzasyon

hataları oluşturur. Fakat basit bir kompanzasyon için bu küçük hataların önemi yoktur.



Şekil 5.16 Ön kontrol otomatik kumandalı kompanzasyon.

Tek faz arasından yüklenmiş bir şebeke kompanze ediliyorsa, faz akımlarının simetrisizliği de göz önüne alınır ve örnekleme akımları ile L_s ve C_s elemanlarının akımları her yük durumu için belirli bir ön kontrol karakteristiğinden elde edilir. L_s elemanının simetrisizleme akımı I_s ise

$$W \cdot L_s \cdot I_s = U \quad (5.55)$$

olur. Burada L_s yerine denklem (5.17) den

$$L_s = \frac{L_0 \cdot \pi}{\pi - 2\alpha - \sin 2\alpha} \quad (5.56)$$

ve

$$\frac{U}{W L_0} = I_0 \quad (5.57)$$

denirse

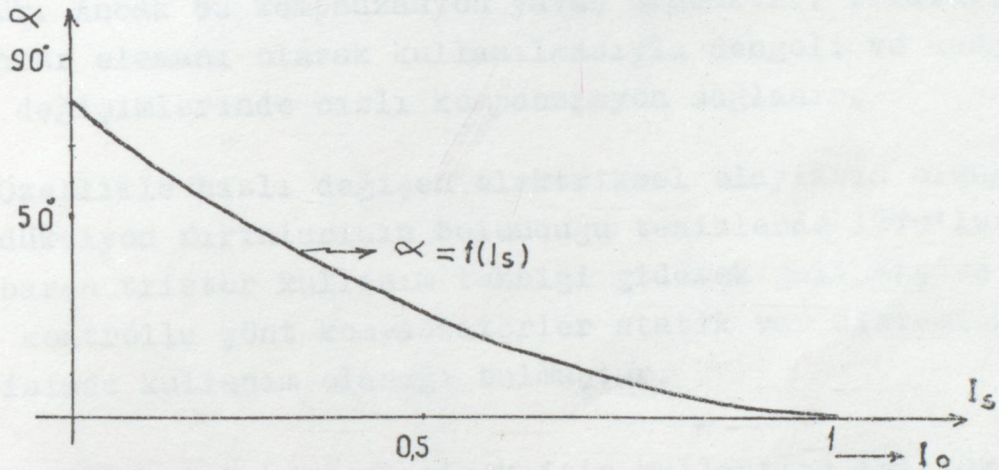
$$I_s = \frac{U}{W L_s} = \frac{U}{W \left(\frac{L_0 \cdot \pi}{\pi - 2\alpha - \sin 2\alpha} \right)}$$

$$I_s = \frac{U(\pi - 2\alpha - \sin 2\alpha)}{W \cdot L_0 \pi}$$

$$I_s = I_0 \frac{\pi - 2\alpha - \sin 2\alpha}{\pi} \quad (5.58)$$

elde edilir.

Böylece simetrisleme akımı karakteristiği çıkarılabilir.



Şekil 5.17 Simetrisleme akımı (I_0 'a bağlı) karakteristiği.

Bunun gibi C_s elemanı içinde ön kontrol karakteristiği verilebilir. Böylece dengesiz yüklü bir üç fazlı şebekede faz arası akımlar ön kontrol ile simetrislenmiş olurlar. Kompanzasyonda süzgeç devreleri salınımları süzerek kararlı çalışma sağlanmış olur. Ayrıca kontrol üniteleri için gerekli gerilim ve akım sinyalleri optokuplörler ile sağlandığından kontrol ve tetikleme devreleri optik olarak güç kısmından yalıtılmış olur.

Böyle durumlarda yük akımı reaktif bir akım, I_{komp} ise kapasitif bir akım olduğundan yük yaklaşık omik akım gibi bir akım çeker. Dolayısıyla $\cos \varphi$ 'e yaklaşır.

BÖLÜM - 6

6-1. TRİSTÖR KONTROLLU KOMPANZASYON

Şimdiye kadar söz ettiğimiz kompanzasyon tesislerinde anahtar elemanı olarak kullanılan kontaktörlerle dengeli ve dengesiz yük değişimleri için kompanzasyonu sağlamak mümkündür. Ancak bu kompanzasyon yavaş olacaktır. Tristörlerin anahtar elemanı olarak kullanılmasıyla dengeli ve dengesiz yük değişimlerinde hızlı kompanzasyon sağlanır.

Özellikle hızlı değişen elektriksel olayların olduğu ark, endüksiyon fırınlarının bulunduğu tesislerde 1970'lerden itibaren tristör kullanma tekniği giderek gelişmiş ve tristör kontrollü şönt kompanzatorler statik var sistemi-svs) endüstrisinde kullanım olanağı bulmuştur.

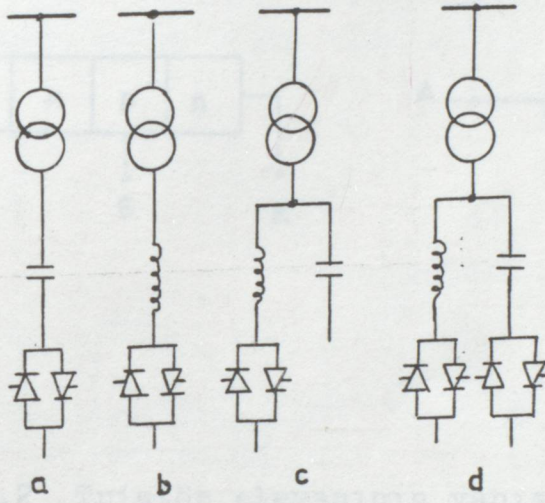
Reaktif gücü kontrol etmek için kullanılan tristör kontrollü SVS'lerinin uygulanmasında iki ana çizgi vardır. Bunlardan birinde reaktif güç tristörlerle devreye sokulup çıkarılan kondansatör adımlarıyla (TSC) değiştirilmektedir. (Şekil 6.1.a). Diğer yöntemse değişken reaktif gücün tristör kontrollü bir reaktör aracılığıyla (TCR) kontrol edilmesidir. (Şekil 6.1.b). Reaktif güç üretimi için sabit bir kondansatör bataryası kontrol edilen reaktörle paralel bağlanır. (Şekil 6.1.c). En ideal çözüm bu iki ana çizginin kombinasyonudur. (Şekil 6.1.d). Bu kombinasyonun dizaynında reaktör seçimi kompanzasyon tesisinin aynı zamanda harmonikler için filtre görevi göreceği şekilde yapılır.

Kompanzasyon tesislerinde tristör kullanımının getirdiği avantajları şöyle sıralayabiliriz.

- Anahtarlama anı, kapasite akımının sıfır geçişin-

den seçildiğinden geçici rejim olayları ortadan kalkar.

- Kontaktöre göre tristörün yüksek anahtarlama hızı (max. 20ms) kompanzasyonu hızlandırır.
- Tristörün hareketli kısmı yoktur, ömürleri çok uzundur ve kayıplar küçüktür.
- Dengesiz yük harcamalarında (reaktif güç) tristör kullanımını çok daha iyi sonuç verir.



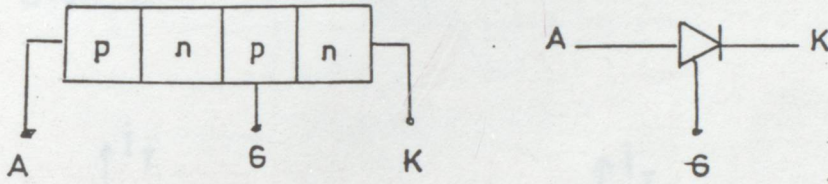
Şekil 6.1 Tristör kontrollü şönt kompanzasyon için (SVS) ana yollar,

- A) Tristör anahtarlama kondansatör (TSC)
- B) Tristör kontrollü reaktör (TCR)
- C) Sabit bir kondansatör bataryasıyla kombineli tristör kontrollü reaktör (TCR/FC)
- D) Tristör kontrollü reaktörle kombineli tristör anahtarlama kondansatör (TSC/TCR)

- Tristörlerle Kondansatörlerin Devreye Sokulup Çıkarılması

Burada önce tristör elemanının yapısı ve çalışma prensibinden kısaca söz edilecektir.

Tristör elemanı dört silisyum tabakadan oluşan üç uçlu bir p-n-pun yapısıdır. Uçlar anot, katot ve kontrol elektrodudur. (Şekil 6.1). Yarı iletken fonksiyonunda akım ancak p.....n yönünde akabileceğinden anottan katota akım aksaması ortadaki p tabakasının negatif taşıyıcılarla bastırılması sayesinde olur. Katot tarafındaki p tabakası kontrol elektrodundan bir yardımcı akım verilerek eleman iletime geçirilebilir.



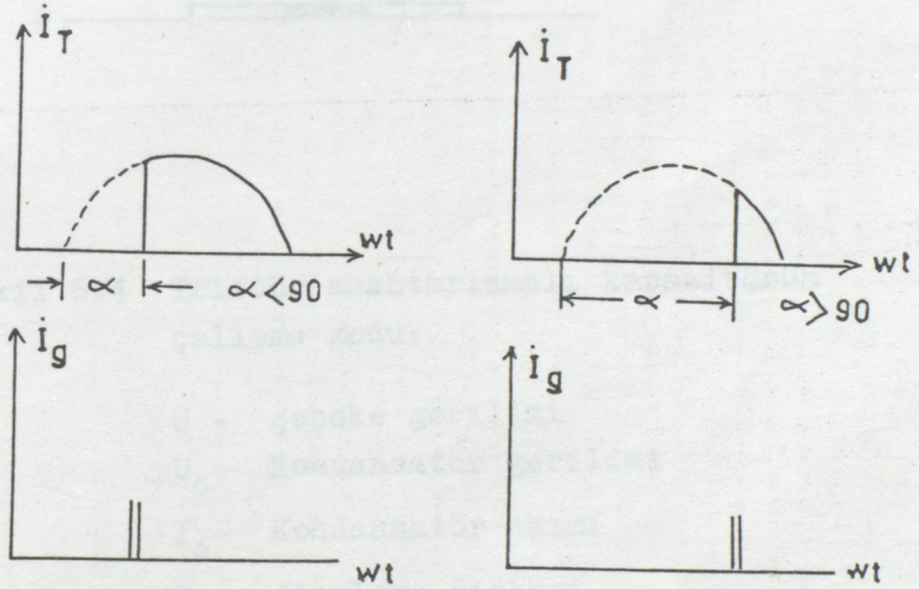
Şekil 6.2 Tristör elemanının yapısı ve sembolik gösterilimi.

Kontrol elektroduna uygulanan gerilimin değerine göre, elemanın iç yapısında iletime geçme kontrol edilerek elemanın istenilen zamanda tetiklenmesi sağlanır. Yani tristör kısaca, akım aktarabilme özelliği kontrol edilebilen bir diyot gibi davranır.

Alternatif akım devresinde elemanın iletime geçmesi anot-katot gerilimi $U_{ak} > 0$ ve yeterli kontrol gücüyle mümkün olduğundan elemanın akım akıtabilmesi gerilimin pozitif yarı periyotlarında mümkündür. O halde tristör diyot gibi çalışacak fakat iletime geçmesi, kontrol işaretinin fonksiyonu olarak (α) açısı kadar gecikecektir. $\alpha = \omega \cdot t_1$ dir. t_1 zamanında tetikleme işareti uygulanmaktadır. Tristörden

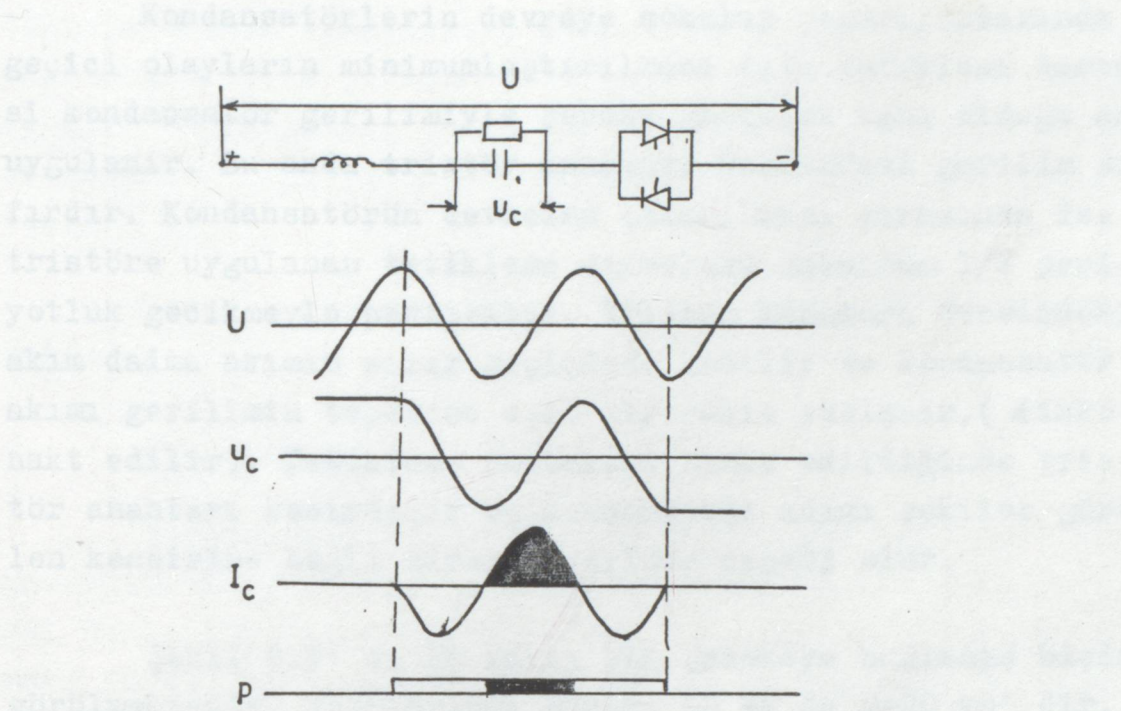
akan akım, tristör karakteristik tutma akımı I_H değerinin altına düşünce eleman kesime geçer. Bu aynı zamanda tristör gerilimininde pratik olarak pozitif değerden sifıra erişmesi demektir. Tristörlerin antiparalel bağlanmasıyla elemanın her iki aitanansta da akım akıtabilmesi mümkündür.

Kontrol genellikle yatay tetiklemeyle yapılır. Burada tetikleme, fazı kaydırılabilen bir tetikleme darbesiyle sağlanır. (Şekil 6.2). Tetikleme darbesinin yeri 0° ile 180° arasında değiştirilebilir. Seçilecek darbe, taşıdığı güç bakımından en küçük anot-katot geriliminde bile tristörü ilettime geçirecek kadar büyük olmalıdır.



Şekil 6.3 Yatay tetikleme.

Antiparalel tristörlerin kullanımıyla kondansatörler devreye sokulabilir ve çıkarılabilirler. (Şekil 6.4).



Şekil 6.4 Tristör anahtarlamalı kapasitörün çalışma modu:

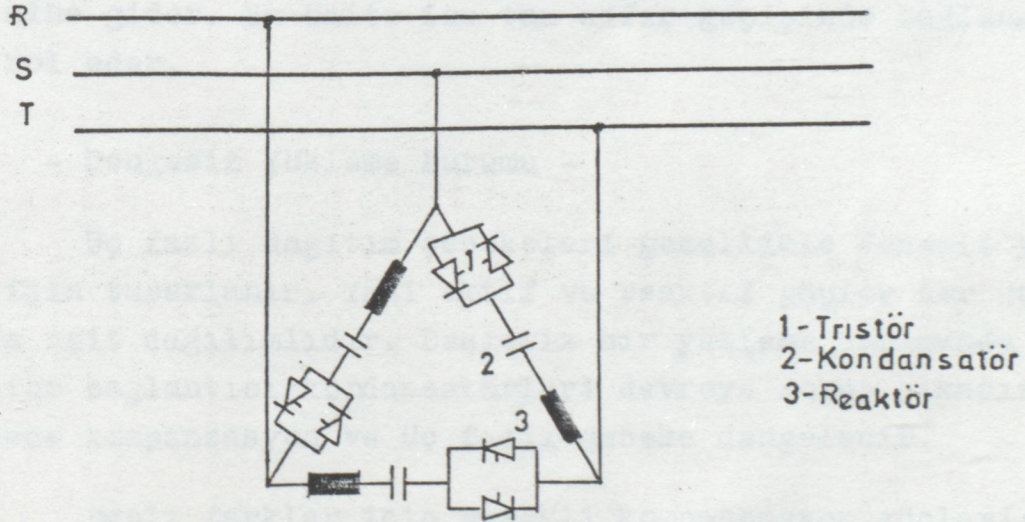
- U - Şebeke gerilimi
- U_c - Kondansatör gerilimi
- I_c - Kondansatör akımı
- P - Ateşleme darbesi
- t_1 - Kondansatörün devreye bağlanma anı
- t_2 - Kondansatörün devreden çıkma anı

Devrede kullanılan sari reaktörle, tristörlerin uygun olmayan bir faz pozisyonunda tetiklenmeleriyle tristörlerden akabilecek büyük akımların sınırlandırılması ve harmonik rezonansıyla ilgili problemlerin ortadan kaldırılması açıklanmıştır.

Kondansatörlerin devreye sokulup çıkarılmalarında geçici olayların minimumlaştırılması için tetikleme darbesi kondansatör gerilimiyle şebeke gerilimi aynı olduğu anda uygulanır. Bu anda tristör anahtarı üzerindeki gerilim sıfırdır. Kondansatörün devreden çıkarılması sırasında ise tristöre uygulanan tetikleme darbeleri maksimum 1/2 periyotluk gecikmeyle bastırılır. Tristör anahtarı üzerindeki akım daima akımın sıfır geçişinde kesilir ve kondansatör akımı gerilimin tepesine eşit bir yükü yüklenir, (diskonakt edilir). Tetikleme darbeleri bloke edildiğinde tristör anahtarı kesimdedir ve kondansatör adımı şekilde görülen kendisine bağlı direnç üzerinde deşarj olur.

Şekil 6.5' de Üç fazlı bir şebekeye bağlantı biçimi görülmektedir. Anahtarlama süresi 50 Hz de 0-20 ms' dir.

Dengeli kompanzasyon için her faza eşit güçte kondansatör bağlanmalıdır.



Şekil 6.5 Tristör ve seri reaktörle üç fazla kondansatörün temel bağlantı şekli.

6-2. REAKTİF GÜCÜN ÖLÇÜME VE GÖSTERİLMESİ

Reaktif güç hızlıysa ölçme sistemi kompanzasyon minimum gecikmeyle olacak şekilde tasarlanır. Magnetik alan

değişimlerinin elektriksel işaret değişimlerine dönüştürülmesi prensibiyle çalışan Hall generatörler devreye Var'metre gibi bağlanırlar. Çıkış DA' dir. Bu DA işaretin seviye ve polarite reaktif gücü üzerine binmiş alternatif gerilim verir.

Reaktif güç harcaması iki tip gösterime ve ölçüme bağlıdır.

- Dengeli Yükleme Duru -

Toplam reaktif güç iki varmetre gibi bağlanmış Hall generatörleriyle ölçülür ve çıkış sinyalleri toplanır. (Şekil 6.5). Yük tam dengeliyse çıkış hiçbir AA bileşkesi içermez. Küçük bir dengesizlik varsa az bir süzmeyle çıkışta yine DA alınabilir. Ölçme sinyali seviye göstermesi devresine verilir. Bunlar, bağlanacak kondansatör sayısını belirler. Seviye gösterme devresinden çıkan sinyal bir kontrol birimine gider. Bu ünite ise tam sıfır geçişinde bağlanmayı kontrol eder.

- Dengesiz Yükleme Durumu -

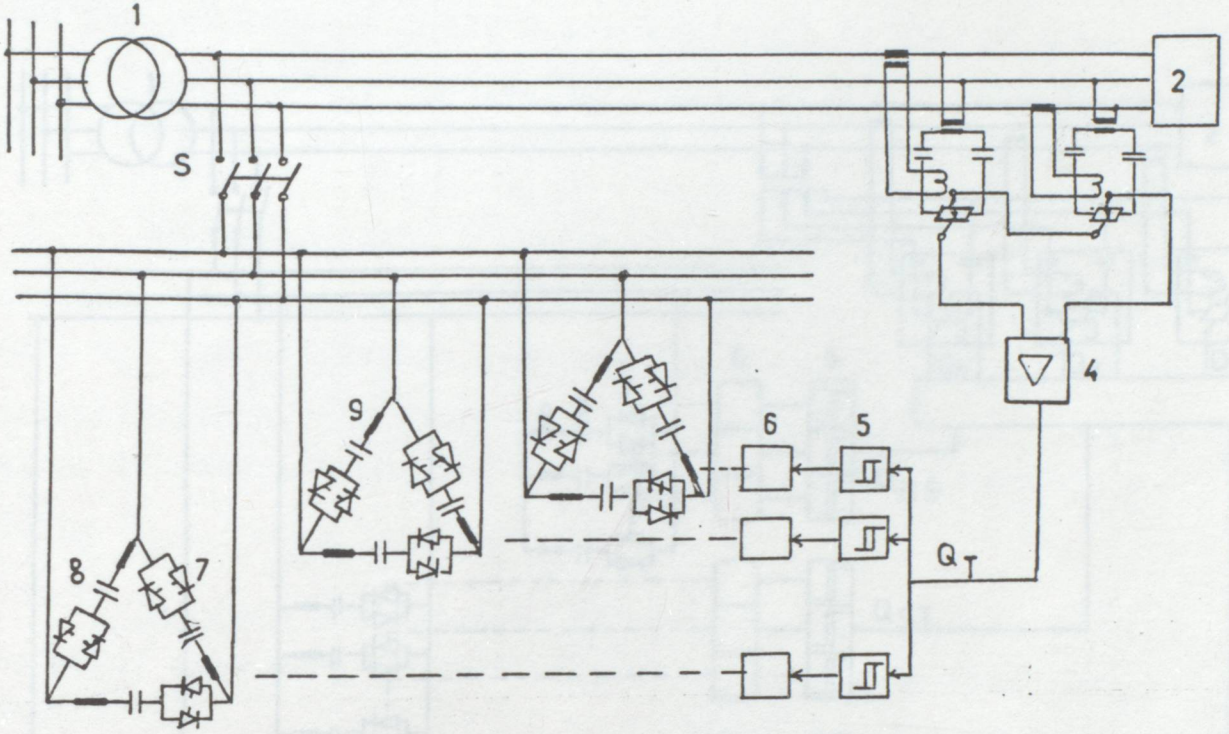
Üç fazlı dağıtım şebekeleri genellikle dengeli yükler için tasarlanır. Yani aktif ve reaktif güçler her üç fazda eşit dağılımlıdır. Dengesiz bir yükleme durumunda tristör bağlantısı kondansatörleri devreye sokup çıkarır, böylece kompanzasyon ve üç fazlı şebeke dengelenir.

Fazlı farklar için gerekli kompanzasyon güçleri:

$$Q_{RS} = Q_R + Q_S - Q_T \quad (6.1)$$

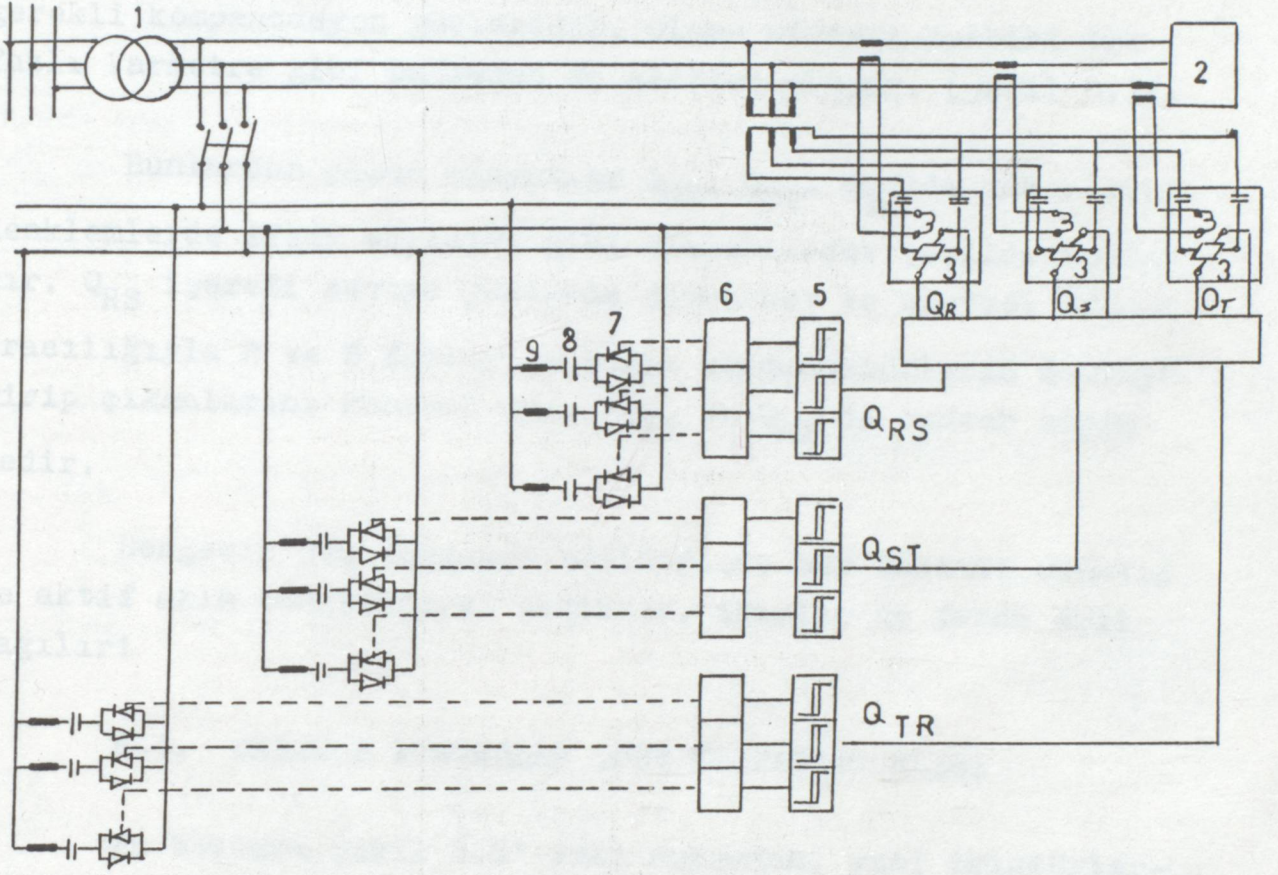
$$Q_{ST} = Q_S + Q_T - Q_R \quad (6.2)$$

$$Q_{TR} = Q_T + Q_R - Q_S \quad (6.3)$$



Şekil 6.6 Dengeli yük için ölçme ve gösterme aletleriyle birlikte üç fazlı tristör kontrollü kondansatör adımlarının şematik gösterilimi.

1. Şebeke transformatörü
2. Yük
3. Hall generatörü
4. Kuvvetlendirici
5. Seviye gösterme devreleri
6. Kontrol ünitesi
7. Tristör
8. Kondansatör
9. Reaktör
- Q. Toplam reaktif güç



Şekil 6.7 Dengesiz yük için ölçme ve gösterme aletleriyle birlikte tek fazlı tristör kontrolü kondansatör adımlarının şematik gösterimi.

1. Şebeke transformatörü
2. Yük
3. Hall generatörü
4. Toplama ünitesi
5. Seviye gösterme devreleri
6. Kontrol ünitesi
7. Tristör
8. Kondansatör
9. Reaktör
- Q. Reaktif güç

Burada Q_R , Q_S ve Q_T fazların reaktif gücü (her fazdan çekilen reaktif güç), Q_{RS} , Q_{ST} , Q_{TR} ' de fazlar için gerekli kompanzasyon güçleridir. Ölçme sistemi herbiri tek fazlı Varmetre gibi bağlanan üç aletten oluşur. (Şekil 6.7).

Bunlardan çıkan sinyaller Q_{RS} , Q_{ST} , Q_{TR} 'de yukarıdaki denklemlerde ifade edildiği gibi oluşabilecek şekilde toplanır. Q_{RS} işareti seviye gösterme devreleri ve kontrol birimi aracılığıyla R ve S fazlarına bağlı kondansatörlerin devreye girip çıkmalarını kontrol eder. Q_{ST} ve Q_{RT} de benzer biçimdedir.

Dengesiz yük kompanze edildiğinde her fazdaki reaktif ve aktif akım dengelenmesi sağlanır. Akımlar üç fazda eşit dağılır!

6-3. TRİSTÖR KONTROLLU ŞÖNT KOMPANZATÖRLERİ

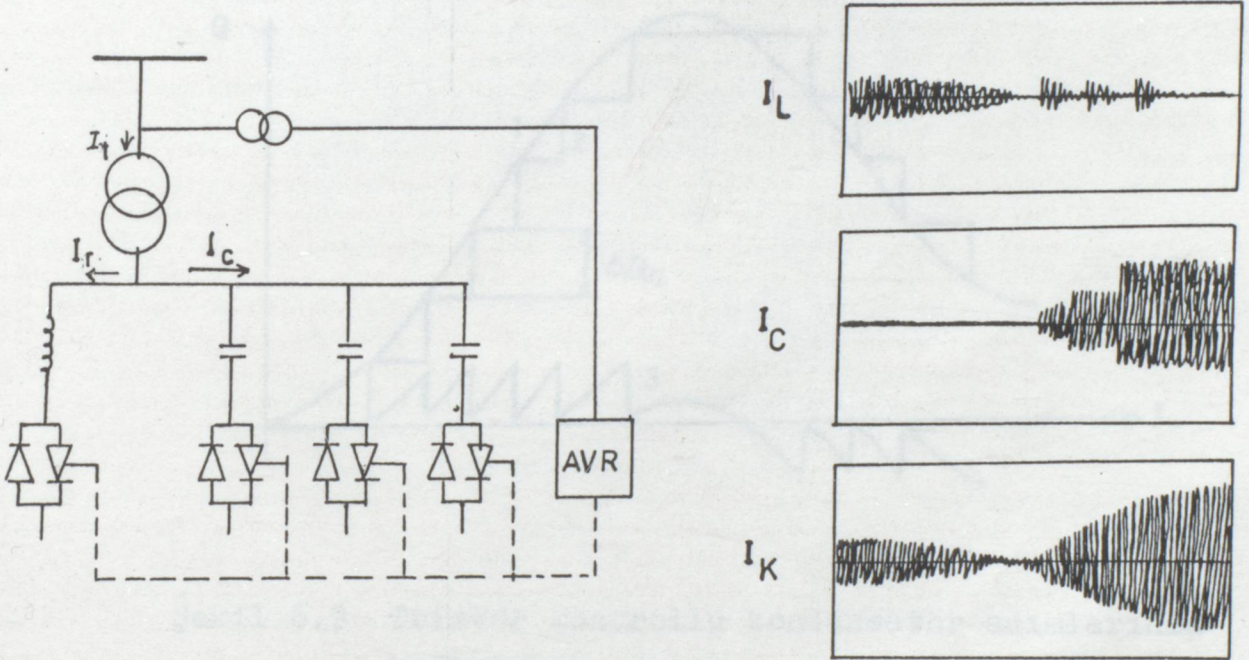
Bu bölümde Şekil 6.8' deki durumdan, yani tristörlerle devreye sokulup çıkarılan kondansatörlerle tristör kontrollü reaktörlerin kombinasyonundan söz edilebilecektir.

Yalnızca Şekil 6.8 deki sistem kullanıldığında reaktif güç uygun sayıda adımlara bölünmekte ve değişim adımsal olarak gerçekleşmektedir. Tristör kontrollü reaktörlerin sisteme katılmasıyla adımsız kontrol gerçekleştirilir. Şekil 6.8.a de böyle bir kombinasyonun uygulaması görülmektedir. Şekil 6.8.b de ise referanstaki yavaş bir değişimin sonucu görülmekte ve bu değişim maksimum endüktifler maksimum kapasitif kontrole doğru olmaktadır. Reaktör ve kondansatör adımları arasındaki kontrolün koordinesiyle tamamen adımsız bir kontrol elde etmek mümkündür.

Bu tür kombine bir sistemdeki reaktör gücü toplam kontrol edilebilir gücün küçük bir kısmını oluşturduğundan oluşan harmonikler temel akıma göre küçük olacaktır.

Tristör kontrollü reaktörlerin sistemde bulunmasının doğuracağı sonuçları şöyle açıklamak mümkündür.

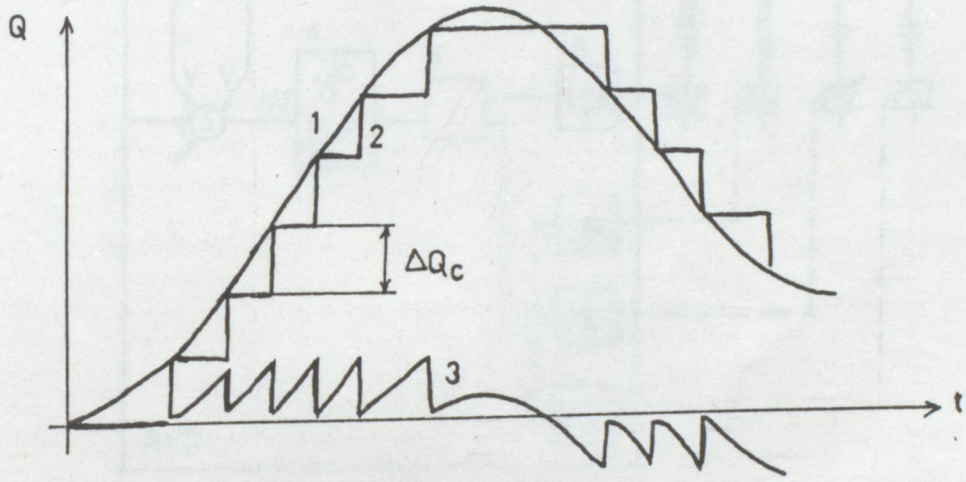
Reaktör kullanılması durumunda kompanzasyon tesisinden elde edilecek reaktif güç sürekli değil de adımlar halinde değiştirilebileceğinden üretilen ve harcanan reaktif güç arasındaki fark besleme şebekesini yükleyecektir.



Şekil 6.8 Tristör kontrollü reaktörle kombine olan TSC tipi bir statik kompanzasyon tesisi.

- a : Şematik diyagram
- b : Çalışma modu
- I_r : Reaktör akımı
- I_c : Kondansatör akımı
- I_t : Kompanzasyon akımı
- A_{VR} : Otomatik gerilim regülatörü

Şekil 6.9' da şebekeden alınan reaktif gücün kompanzasyonu için bir örnek verilmiştir. Burada, oluşan gerilim değişimi hesaba katılmalıdır. Çünkü besleme şebekesinde bazı maksimum gerilim değişimlerine izin verilebileceği kritik bir nokta vardır. Özellikle insan gözü besleme gerilimindeki değişimlere karşı duyarlıdır. 2-8 Hz' de duyarlık maksimumdur. Göz gerilimindeki % 0,3'lük bir değişimi algılar.



Şekil 6.9 Tristör kontrollü kondansatör adımlarının bağlanması.

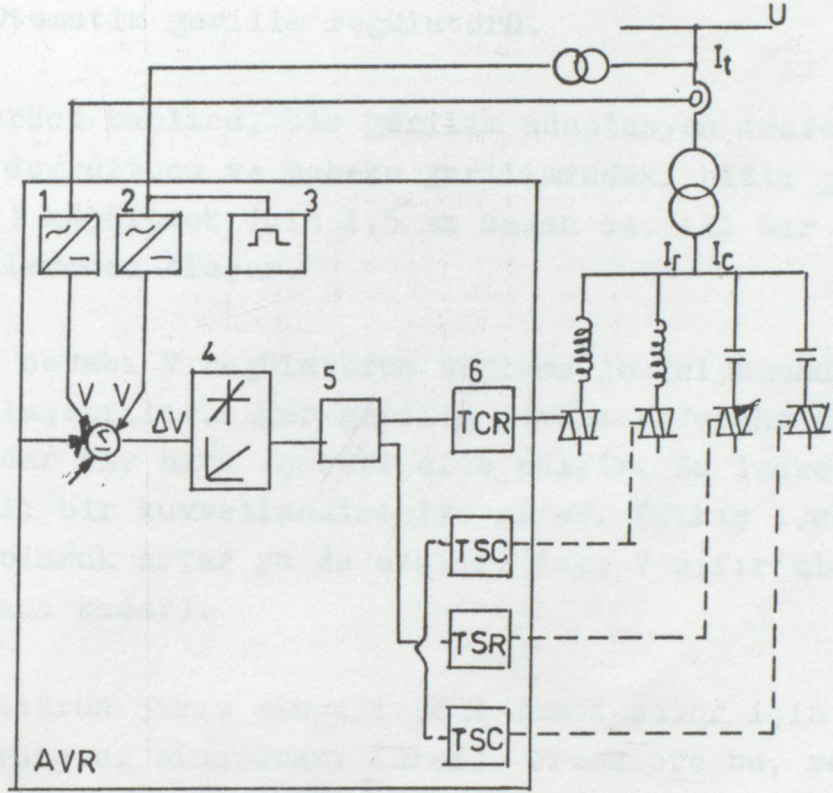
- 1 : Yüklein reaktif güç harcaması
- 2 : Kondansatörün reaktif güç üretimi
- 3 : Şebekenin bileşke reaktif gücü
- Q : Reaktif güç
- ΔQ_c : Kondansatör adımlarının boyu

6-4. KONTROL SİSTEMLERİ

Şekil 6.10' da tristör kontrollü şönt kompanzasyonun kontrolüne ilişkin basit blok şema görülmektedir.

Her faz için bir tane olmak üzere gerilim trafola-

riyla otomatik gerilim regülatörü (AVR) girişine gelen giriş sinyali buradaki bir çeviriciyle DC işarete dönüştürülür.



Şekil 6.10 Tristör kontrollü reaktör ile kombine biçimde TSC tipi tristör kontrollü bir şönt kompanzator (SVS) için kontrol sistemi.

- 1-2 : Sinyal çevirme birimi
- 3 : Senkronizasyon birimi
- 4 : Kontrol kuvvetlendiricisi birimi
- 5 : Dağıtım birimi
- 6 : Darbe üretici
- TCR : Tristör kontrollü reaktör
- TSR : Tristör anahtarlamalı reaktör
- TSC : Tristör anahtarlamalı kondansatör
- U : Şebeke gerilimi
- I_t : Toplam kompanzator akımı

I_r : Toplam reaktör akımı

I_c : Toplam kondansatör akımı

AVR : Otomatik gerilim regülatörü.

Dönüştürücü başlıca, bir gerilim adaptasyon trafosu bir 6 darbeleri doğrultucu ve şebeke gerilimindeki hızlı geçişleri (traslent) küçültmek için 1,5 ms zaman sabitli bir alçak geçiren filtreden oluşur.

Gerilim cevabı V regülatörün toplama jonksiyonunda V_{ref} ile karşılaştırılır. Eğer gerilim cevabı referanstan sapıyorsa V kadar bir hata işareti elde edilir. Bu işaret integral alıcılı bir kuvvetlendiriciye girer. (Çıkış işareti V 'ye bağlı olarak artar ya da azalır, taki V sıfır olana yani $V=V_{ref}$ olana kadar).

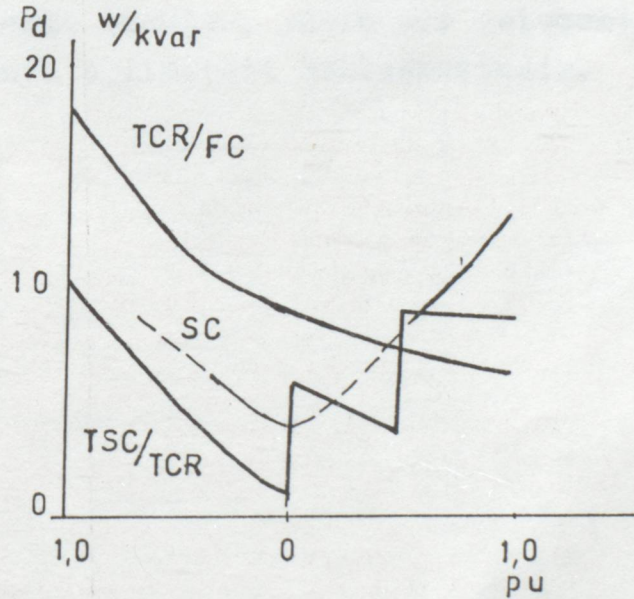
Entegratörün çıkış sinyali şönt kompanzator için suseptans referansını oluşturur. (Bref). Prensipte bu, reaktif güç üretimi ve şebeke gerilimini arzulanan düzeyde tutmak için gerekli absorsiyonun bir ölçüsüdür.

Bref, dağıtım ünitesinde sayısal işaretlere (TSC ve TSR için) ve aynı zamanda analog bir işarete (TCR için kontrol sinyali) çevirilir. Bunun genliği şönt kompanzator için etkin suseptansı tam olarak suseptans referansına karşı düşecek şekildedir. Bazı uygulamalarda şönt kompanzatorün akım-gerilim karakteristiğinin belli bir eğimi olması istenebilir. Bu şekilde gösterildiği gibi toplam akım I 'ya bir geri besleme vasıtasıyla elde edilebilir. Bu akım daha sonra bilinen akım trafolarıyla ölçülür ve bir işaret çeviricisine DC akım trafolarıyla ölçülür. Bu işaret, endüktif ve kapasitif akımlar için farklı işaretlere sahip toplama jonksiyonuna gönderilir. Öyleki endüktif ve kapasitif akımların durumlarına göre gerilim referansında bir artma (endüktif akım için) ve azalma (kapasitif akım için) karşı düşsün. Kontrol

Kontrol sistemi aynı zamanda senkronizasyon birimi içerir. Bu da regülatör işaretlerinin o andaki durumunun belirlenmesi ve tetikleme darbelerinin tam gerekli anda uygulanmasını sağlar.

6-5. KAYIPLARIN VE GÜÇ KULLANMA KAPASİTELERİNİN İNCELENMESİ

Farklı tipte tristör kontrollü şönt kompozatörlerinin karşılaştırılmasında gözönünde bulundurulacak hususlardan biri de kayıplardır. Şekil 6.11' de dinamik kontrol aralığı için (tamamen endüktiften tamamen kapasitife geçiş aralığı) kayıplar görülmektedir. Aşağı yukarı tüm kontrol aralığı boyunca kombine bir sistemdeki kayıpların azlığı şekilden açıkça belli olmaktadır.



Şekil 6.11 Farklı tipte kompozatörler için reaktif güç kayıplarının (P_d) değişimi. (Sola doğru endüktif, sağa doğru kapasitif). Kayıp eğrilerinde bir ara transformatörü de dahil edilmiştir.

- TCR/FC : Tristör kontrollü reaktör (2Pu) ve sabit kapasitör (1pu)
SC : Senkron kondansatör
TSC/TCR : Tristör anahtarlamalı kapasitör (2x0,5 Pu) ve tristör kontrollü reaktör (2x0,5Pu).

Güç tristörlerinin hızlı teknik gelişimi, özellikle bunların güç kullanma kapasitesi açısından belli bir tristör vanası boyutu için daha çok kullanma olanağını vermektedir. Güç kullanma kapasitesindeki bu artış silisyum pul boyutundaki artmaya ve rated geriliminin artmasına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Ayrıca diğer faktörler, örneğin geliştirilmiş üretim teknikleri ve daha etkin soğutma sistemleri bu gelişmeye önemli katkılarda bulunmuştur.

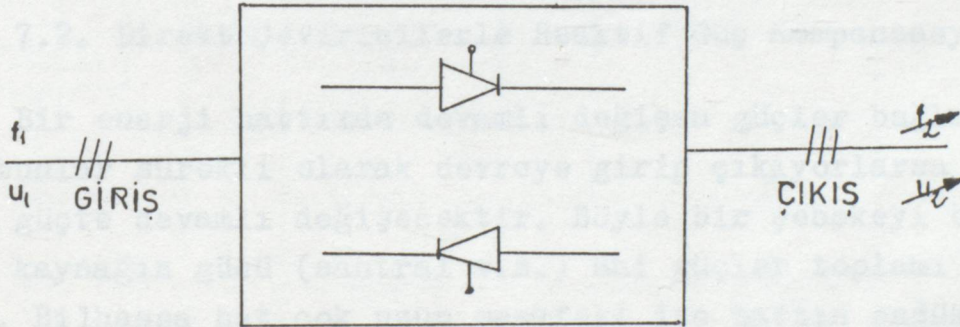
Yukarıda ana hatlarıyla incelediğimiz kompanzasyon tesislerinde tristör kullanımı oldukça ileri düzeyde bir teknolojiyi gerektirmesine ve kontrol sistemlerinin karmaşıklığına rağmen, özellikle hızlı reaktif güç değişimi gösteren tesislerde yadsınamayacak büyük avantajlar sağlamaktadır. Ülkemizde henüz bu tür kompanzasyon tesislerinin uygulanması görülmemekle beraber, yakın bir gelecekte yapımçı firmaların bu konuya eğilmeleri beklenmektedir.

BÖLÜM - 7

DİREKT ÇEVİRİCİLERLE GÜÇ KOMPANZASYONU

7.1. Direkt Çeviriciler

Direkt çeviriciler, bir frekanstaki değişken giriş gerilimi başka bir frekanstaki değişken gerilime çevirirler. En önemli özelliği, frekansı ve gerilim değiştirirken giriş gücünü doğrultmadan bir kat ile yaparlar. Çevirme işlemi tristörlerin tetiklenmesinin istenilen formda yapılmasıyla sağlanır.



Şekil.7.1 Faz kontrollü direkt çevirici blok gösterici

f_1 frekansında giren U_1 gerilimi ile çıkışta $0-U_2$ oranında değişirken gerilim ve $0-f_2$ oranında da değişken frekans elde etmek mümkündür.

Çeviriciyi oluşturan doğrultucu grubundan biri çıkışı akımını (+) yarı periyotunda, diğeri ise (-) yarı periyotunda doğrultma ve evirme yaparak U_2 gerilimini f_2 frekansında oluşturur. Bu doğrultucular tetikleme darbelerinin zamanla

değişen faz modülasyonu ile kontrol edilebilir.

Direkt çeviricilerde akım bir tristörden diğer tristöre tabii konitasyonla olur. Dolayısıyla elde edilecek faydalı çıkış frekansı giriş frekansından küçüktür.

Direkt çeviricide bir faz çıkışı için en az 12 tristör gerekir. Üç fazlıdan bu tristörler 36 olur. Yükün özelliğine, göre, yük akımının hem sıfırdan geçişinde diğer yani ikinci doğrultucu devresi devreye girer. Birinci doğrultucu ünitesi çalışmaz. Dört bölgeli çalışma özelliği ile hem doğrultucu hem de evirici tipi çalışma sağlanır.

Köprü doğrultucu çıkışlarındaki gerilimlerin sinüsoidal oluşuna göre tetikleme açısı her tristör için değişiktir.

90 için evirici bölgesinde çalışma elde edilir. Bu bölgede çalışma yükün endüktifliğine bağlıdır. Böyle çalışma ile omik yük durumunda şebekeden çekilen yük kontrol edilir.

7.2. Direkt Çeviricilerle Reaktif Güç Kompanzasyonu

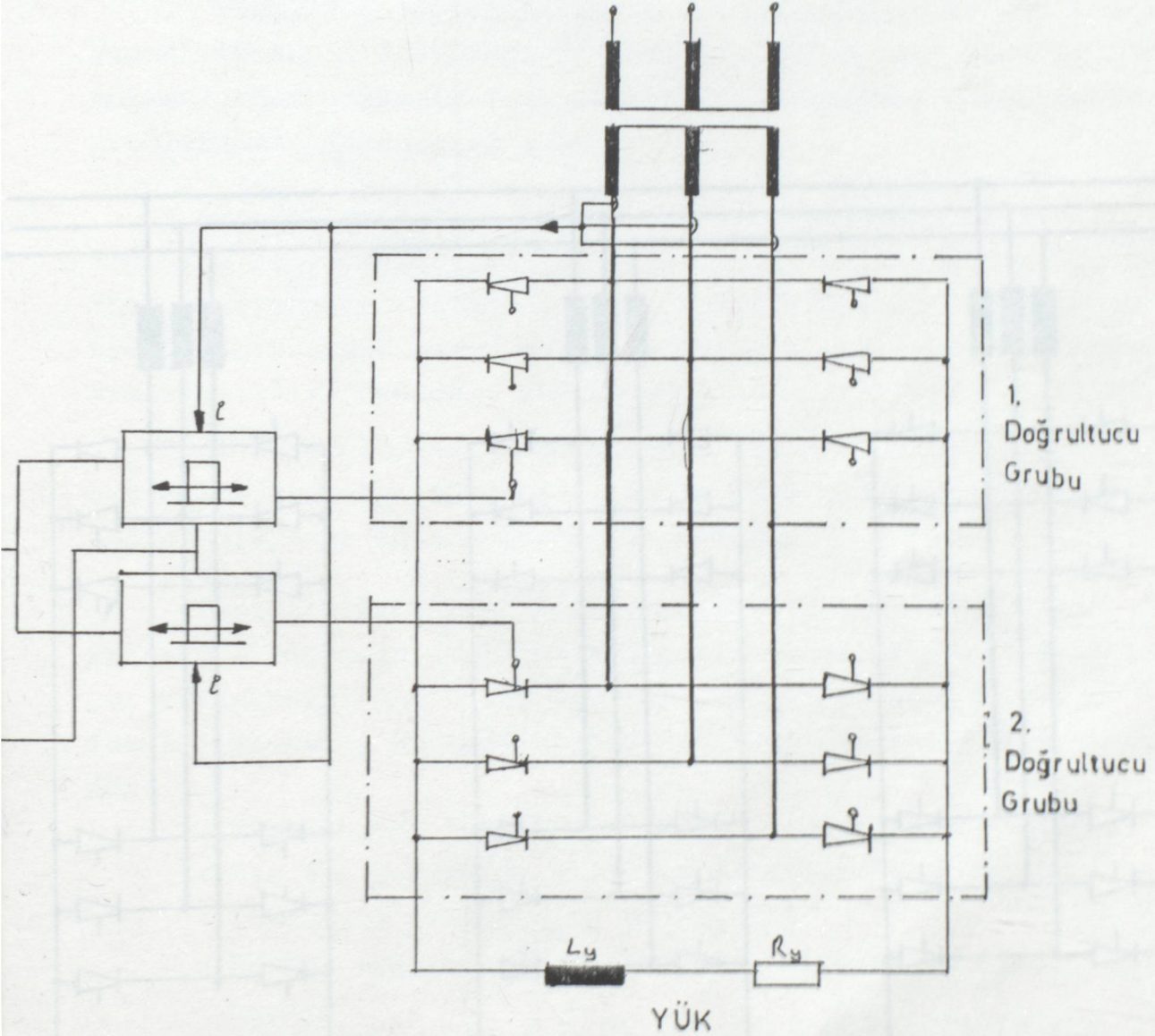
Bir enerji hattında devamlı değişen güçler bağlı ise ve bunlar sürekli olarak devreye girip çıkıyorlarsa çekilen güçte devamlı değişecektir. Böyle bir şebekeyi besleyen kaynağın gücü (santral v.s.) ani güçler toplamı olacaktır. Bilhassa hat çok uzun mesafeli ise hattın endüktif özelliği de büyük olacaktır. Dolayısıyla çekilen akım endüktif olur ve sürekli olarak aktif ve reaktif güç değişir. Bu durumda parazit akımlar ve reaktif bölgeler kondansatör bataryaları ile kompanzasyon edilir. Bu işlem direkt çeviricilerle yapılabilir. Çıkışı üç fazlı olan direkt çeviricilerde kompanzasyon yanından sistemlerde yapmak gerekir.

Çeviricilerde istenen frekansta çıkış geriliminin dalga şekli, giriş geriliminden faydalanarak tristörlerin uygun alanlarda iletmesini sağlayarak elde edilir. Bu çıkış gerilimi temel bileşen yanında harmonikleri de içine alır. Gerekli görülürse bu harmonikler süzülür.

Direkt çeviricilerle birkaç kw'dan birkaç M.V' a kadar

olan güçler kontrol edilebilir.

Direkt çeviricilerde frekans dönüştürücü temel olarak iki doğrultucudan oluşur.

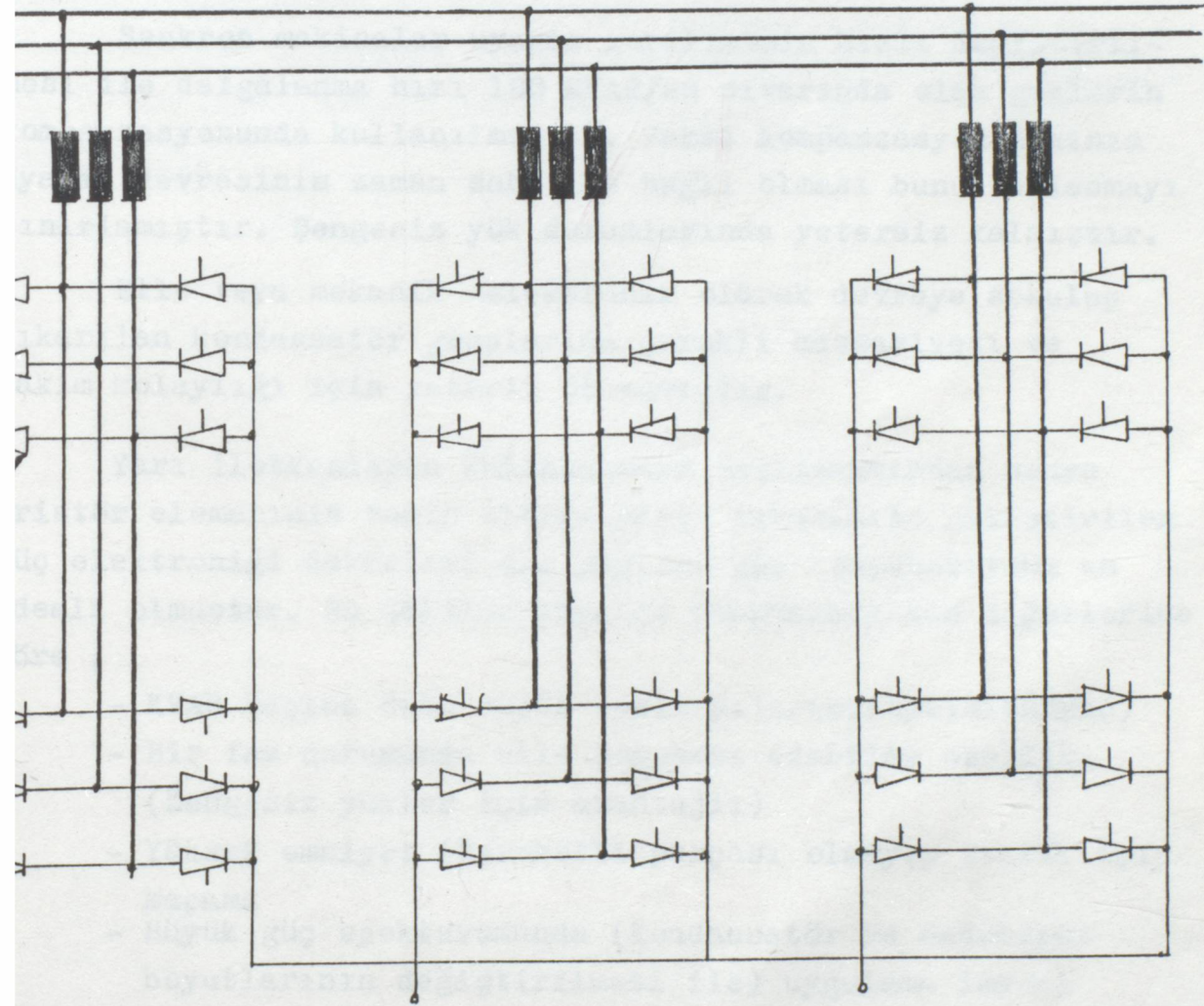


Şekil.7.2. Çıkış bir fazla ve omik endüktif yükü besleyen direkt çevirici.

Böyle kompanzasyon statik olduğundan dinamik kompanzasyon statik olduğundan dinamik kompanzasyonda birçok üstün yanı vardır.

Böyle kompanzasyonda yükü besleyen gerilim sinüsoidal kaynak gerilimi değil altı darbeleri olarak yapılan direkt

Çeviricinin vermiş olduğu besleme devresindeki harmoniklere modüle edilmiş gerilimdir.



Şekil 7.3. Bir altı darbeleri direkt çevirici .

Çevirici tristörleri tetikleme sinyalleri yine çıkış geriliminden örnekleme olarak doğrultulup modül edildikten sonra kontrol devresine verilir ve böylece kararsızlıklar kontrol devresine iletilmiş olur.

SONUÇ

Reaktif güç kompanzasyonu amacıyla sanayide güç katsayısını ($\cos \varphi$) düzeltmek ve maksimum yapabilmek senkron makinalardan, mekanik veya elektronik kumandalı kondansatör gruplarından faydalanılmıştır.

Senkron makinalar uyarma geriliminin hızlı değiştirilmesi ile dalgalanma hızı 100 MVAR/sn civarında olan güçlerin kompanzasyonunda kullanılmıştır. Fakat kompanzasyon hızının uyarma devresinin zaman sabitine bağlı olması bunu kullanmayı sınırlamıştır. Dengesiz yük durumlarında yetersiz kalmıştır.

Elle veya mekanik -elektronik olarak devreye sokulup çıkarılan kondansatör gruplarında gerekli hassasiyeti ve bakım kolaylığı için yeterli olamamıştır.

Yarı iletkenlerin kullanılmaya başlanmasından sonra Tristör elemanının temin ettiği geniş imkanlarla geliştirilen güç elektroniği devreleri ile yapılan güç kompanzasyonu en ideali olmuştur. Bu şekilde yapılan kompanzasyonun diğerlerine göre ;

- KVAR başına daha düşük tesis yatırımı (optimizasyon)
- Bir faz durumunda bile kompanse edebilme özelliği (Dengesiz yükler için avantajlı)
- Yüksek emniyet (Hareketli parçası olmayıp statik açıp kapama)
- Büyük güç spektrumunda (Kondansatör ve endüktans boyutlarının değiştirilmesi ile) uygulama imkanı
- Yüksek verim
- Kompanse edilen var başına düşük hacim
- Yüksek hızda cevap verme süresi (Maksimum yarı periyotta ortalama 1/4 periyot)

gibi pozitif özelliklere sahip olduğu yapıları incelemeler sonucunda görülmektedir.

Bir tristör elemanının şu andaki teknoloji ile ZMVA lik bir gücü $5 \mu s$ den kısa bir sürede statik olarak açıp kapayabileceği seri ve paralel tristörler kullanarak büyük güç sınırlarına erişebilmektedir. Mesela daha önceki bölümlerde anlatılan A.A. kıyıcısı (statik VAR generatör) kompanze işleminde, diğer kompanzasyon metotlarından farklılığı görülür. Ayrıca kontrol esnasında oluşan harmonikleri süzen süzgeç devresinin A.A. kıyıcısına bağlanmasıyla kontrol edilmesi GÜÇ ELEKTRONİĞİYLE kontrolü birçok kontrol sisteminde olduğu gibi reaktif güç kompanzasyonun da ön plana çıkarmıştır.

Thyristor Controlled Static VAR Compensator for Power Apparatus and Systems
Aug. 1981.

4- RAMSAY, R.S. "Static VAR Compensator for Power Apparatus and Systems"
Power For Electric Power, Vol. 1, No. 1, Aug. 1981.

5- ÇETİNKÖR, S. "A Static VAR Compensator for Power Apparatus and Systems"
I.T.U. Thesis, Istanbul, Turkey, 1981.

6- "Reaktif Güç Kompansasyonu İçin Statik VAR Kompansatör"
Elektrik Enerjisi, No. 1, Ocak 1981.

7- BAKIR, Mustafa. "Statik VAR Kompansatör"
Tezleri, İstanbul, Ocak 1981.
"I.T.U. Thesis, Istanbul, Turkey, 1981."

8- Husein W. Waldman, D. "Coordinating Transfer Control of Multi-Term Regulation Systems for the Compensation and Symmetrization of Three-Phase Systems"
IEEE Trans. PAS-97, No. 3, June 1977.

9- Hochstetler, W. "Properties of static compensators for power supply systems"
IEEE Trans. PAS-97, No. 8, Aug. 1977.

KAYNAKLAR

- 1- TORSENG, S., "Shunt-Connected Reactors and capacitors controlled by Thyristors", "IEEE Proc, Vol.128 Nov.1981
- 2- ZOHDY, AA.A, MAK, C., K. "A Model for Voltage and Reactive Power Control" Proceeding of the IEEE, Vol.70, No.11, Nov.1982.
- 3- OLWEGARD, A., Walve, K., Waglund, G., Frank H., Torseng, S. "Improvement of Transmission Capacity by Thyristor Controlled Reaktive Power" "IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems", Vol. PAS-100, No.8 Aug.1981.
- 4- RAMSHAW, R.S. "Power Electronics, Thyristor Controlled Power For Elektrik Motors", London, Chapman and Hall 1973.
- 5- ÇELTİKÇİGİL, U. "A.A Klyıcıları ile Reaktif Güçlerin Kompanzasyonu ve Bunun Bir Direkt Çeviriciyle Uygulanması", "İ.T.Ü. Elektrik Fakültesi, Doçentlik Tezi" Eylül.1981.
- 6- "Reaktif Güç Kompanzasyonu Seminer Notları", "TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, İSTANBUL Şubesi 1983.
- 7- BAYRAM Mustafa, "Elektro Teknik Mecmuası" "Kompanzasyon Tesislerinde Rezonans Olayları ve Bunların Önlenmesi" "İ.T.Ü. Sayı: 7,8,9 Temmuz.1985.
- 8- Meusel W, Waldmann, H, "Coordinate Transfer motions of Multi-Term Regulation Systems for the Compensation and Symmetrization of three-phase Supplies" Siemens Forsch Verlag 1977.
- 9- Hochstetter, W, "Properties of static compensators for Power Supply Systems" Reprint from "Siemens Review Vol XLIV. No.8 Aug.1977.

