

## GÜÇ ELEKTRONİĞİ DEVRELERİ İLE KUMANDA EDİLEN STATİK KOMPAZASYON YÖNTEMLERİ

Elk.Yük.Müh. Nurettin ABUT  
Yıldız Üniversitesi Kocaeli Müh. Fak.  
Elektrik Müh. Böl. Araştırma Görevlisi

### GİRİŞ:

Elektrik enerji sistem ve şebekelerinde reaktif yüklenme nedeniyle, reaktif akım bileşenleri oluşur ve Sistem veya şebeke gerilimi ile akımı arasında bir faz farkı oluşur. Çeşitli endüstri dallarında üretim için kurulan tesisler, şebekeye olumsuz etki ederler, örneğin, Demir çelik endüstrisinde kullanılan ark fırınları bunların başında gelir. Burada oluşan kararsız akım, sıfır değeri ile kısa devre değeri arasında değişir. Bu olay, şebekede dalgalanmaları ve zararlı gerilim değişimlerini doğurur, örneğin üç Hz ile on Hz'lik frekans bölgesinde, yüzde 0,5 'lik gerilim değişimi, aydınlatmada zararlı olur ve dalgalanma insan gözü ile hissedilir. Dolayısıyla bir sistemde değişebilen endüktif yükün oluşturduğu gerilim ve reaktif akım dalgalanmalarını şebekeye ulaştırmadan yok edip söndürmek amacıyla kompanze edilmesi gerekir. Çünkü şebeke kısa devre gücü belirli sınırdan sonra büyütülememektedir.

Endüstride, kompanzasyon amacıyla güç katsayısını düzeltmek ve maksimum yapabilmek için; senkron makinelerden, mekanik veya elektronik kumandalı kondansatör gruplarından faydalanılmaktadır.

Senkron makineler, uyarma geriliminin hızlı değişmesi ile, dalgalanma hızı 100 MVar/s dolayında olan güçlerin kompanzasyonunda kullanılır. Fakat kompanzasyon hızının, uyarma devresinin zaman sabitine bağlı olması, bunu kullanmayı sınırlamıştır. Dengesiz yük durumlarında da yetersiz kalmıştır. Sürekli rejimde, senkron makinenin kompanze ettiği reaktif güçte KVar başına yapılan sabit yatırım ve hareketli parçalardan dolayı sürekli bakım-arıza giderleri ekonomik ve teknik olarak bunu kullanmayı sınırlamıştır.

Elle veya mekanik-elektronik olarak devreye sokulup çıkarılan kondansatör grupları da hassasiyet ve bakım yönünden yeterli olamamıştır.

Bütün bu olumsuz nedenler ve ayrıca :

- KVar başına daha düşük tesis yatırımı.
- Bir faz durumunda bile kompanze edebilme özelliği.
- Yüksek emniyet,
- Büyük **bir** güç spektrumunda uygulama olanağı,

- Yüksek verim,
- Kompanze edilen VAr başına düşük hacim,
- Yüksek hızda cevap verme süresi gibi

üstünlüklerinden dolayı Güç elektroniği Devreleri ile (THYRISTOR'larla) güç kompanze etmek en ideal çözümlü olmuştur.

Şu anki teknoloji ile tek bir tristör elemanının 2 MVA'lık bir gücü, 5/is'den kısa bir sürede statik olarak açıp kapayabileceği göz önüne alınırsa, seri ve paralel tristörler kullanarak büyük güç sınırlarına erişmek mümkündür.

Şebekenin, sürekli ya da dinamik endüktif yüklenmesi durumunda **Costp** kompanzasyonunun kısa bir sürede gerçekleşmesi istendiğinden, böyle bir sistem Otomatik Kontrol düzenleriyle birlikte düşünüldüğü dizayn edilir.

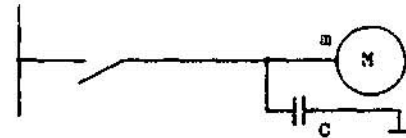
1950 yıllarında bulunan tristör elemanının sağladığı geniş imkanlarla geliştirilen güç elektroniği devreleri ile yapılan uygulamalar, güç seviyesi ve amaç bakımından oldukça gelişmiş ve halen gelişmektedir. Bu devreler elektrik enerjisinin şeklinin değiştirilmesinde de diğer elemanların yerini almaktadır.

### Kompanzasyon Tesislerinin Sınıflandırılması :

#### 1. Tesis Şekline Göre :

##### 1.1. Ferdi (Bireysel) Kompanzasyon :

Her bir eleman; (motor, transformatör, lamba v.s. gibi elemanlar) ayrı ayrı kompanze edilir. Şekil 1'de görüldüğü gibi, kompanze edilecek güç böylece küçük tutulmuş olur. Büyük güçlü elemanların devreye girip çıkması ile oluşan dalgalanmalar hemen yanında süzülüp şebekeye yansıtılmaz, veya salınımların küçük mertebede kalması sağlanır.



ŞEKİL 1. Ferdi kompanzasyonun tek hat bağlantısı

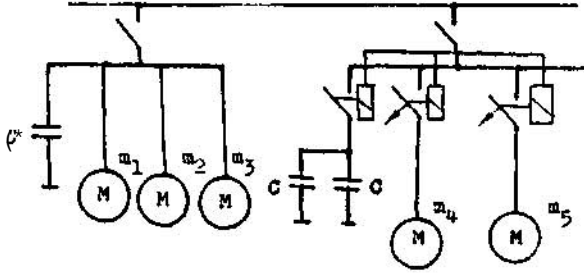
Böyle kompanzasyonda motor devreden çıkınca, motora bağlı kondansatör, motoru aşırı ikaz ederek kendine uyarılmasına ve dolayısıyla oluşan gerilimin, kondansatörün gerilim tolerans sınırının üstüne çıkmasına sebep olur. Bu sebeple; kondansatör gücü motorun boştaki gücünün % 90'ını geçmeyecek şekilde seçilir. Yaklaşık olarak pratikte :

$$Q_c \text{ (KVar)} = 0,90 I_o \text{ (A)} U \text{ (V)} 10^{-3} \quad (1)$$

olarak alınabilir. Burada  $I_o$ ; boşta çalışma akımıdır.

## 1.2. Grup Kompanzasyonu :

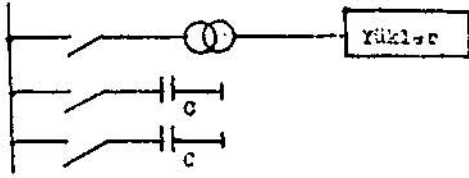
Böyle kompanzasyonda, Şekil 2'de görüldüğü gibi, motorlar tümü grup olarak aynı anda çalışır veya duruyor olmalıdır. Aksi halde ferdi kompanzasyon yapılır.



ŞEKİL 2. Grup kompanzasyonun tek hat bağlantısı

## 1.3. Merkezi Kompanzasyon :

Kompanzasyon, merkezi bir baradan, devamlı değişen reaktif akımların tesirini azaltmak için yapılır. Akıma göre kondansatör grupları devreye alınır veya devre dışı edilir.



ŞEKİL 3. Merkezi kompanzasyonun YG barasına bağlanması

## 2. Kondansatörlerin Bağlama Şekline Göre :

### 2.1. Seri Kondansatörlü Kompanzasyon :

Seri kondansatörün devreye bağlanması Şekil 4'deki gibidir.

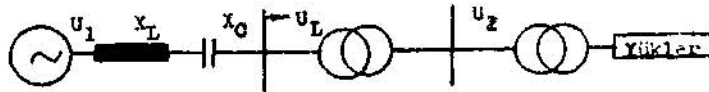
Buradaki gerilim :

$$U_2 = U_1 - j I (X_L - X_C) \quad (2)$$

ve gerilim düşümü :

$$\Delta U = I (X_L - X_C) \sin \phi \quad (3)$$

$X_L = X_C$  halinde, yeni şebeke reaktansına eşit reaktansa sahip bir kondansatör bağlandığında, gerilim düşümü sıfıra yakın olur. Bu tip kompanzasyonda yük akımının tümü kondansatör üzerinden akar.



ŞEKİL 4. Seri kondansatörün hatta bağlanması

## 2.2. Paralel Kondansatörler İle Kompanzasyon :

### 2.2.1. Sabit Paralel Kondansatörlü Kompanzasyonlar :

#### 2.2.1.1. Doymuş Reaktör Dengeli, Paralel Kondansatörler :

Yük barasında her faza ayrı kondansatör grupları bağlanarak yapılır. Böylece dengesizlikler de nisbeten önlenmiş olur. Kondansatörler devamlı devrede olacağından, tesis az yüklendiğinde, yük barası gerilimi yükselir. Bunun sabit tutulması ideal olduğundan sabit tutmak zorlaşır. Kondansatör gruplarının, her yük değişiminde devreye alınıp çıkarılması gerekir. Yük altında yapılan bu işlem bağlama zorlukları çıkarır.

Nisbeten bu gerilim değişimlerini önlemek için doymuş reaktörle dengeleme yapılır. İhtiyaç fazlası kondansatörlerin gücünden dolayı, gerilim yükselince, aynı baraya bağlı reaktörün karakteristiğinden dolayı, demir çekirdeğinde :

$$i > = - \int \frac{U}{dt} dt \quad (4)$$

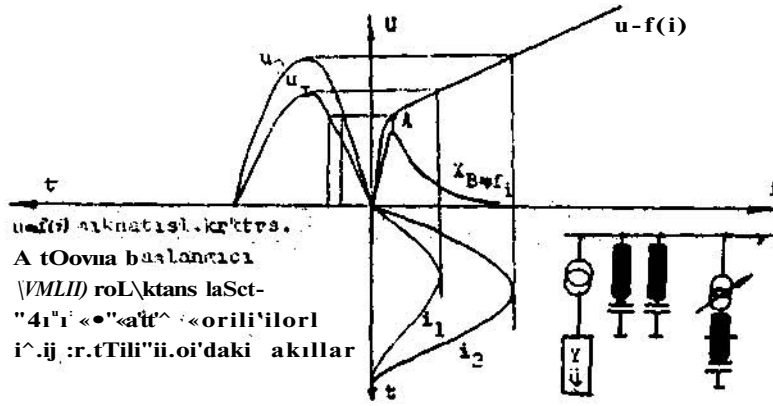
kadar bir akı oluşur. Burada  $C$ ; sarım sayısıdır. Bu akı yükselmesi endüktif yük özelliği göstererek  $Q_c$ 'ye eşit olarak kondansatörü dengeler.

Şayet akı bir yarı periyot boyunca doyma eğrisine ulaşırsa, bobin reaktansı düşerek sıfır olur. Bu anda reaktör şebekeden büyük bir endüktif akım çeker. Yarı periyot başında, doyma esnasında reaktör akım çeker ve doyma sona erince, akım da tekrar sıfıra iner. Reaktör bir ayar ünitesi gibi çalışır. Doymuş reaktörler gerilim değişimlerine hassas olduklarından, bir ayarlı transformator üzerinden baraya bağlanırlar. Çok gürültülü çalışması, üzerindeki kayıpların büyük olması ve harmonikler üretmesinden dolayı ideal bir kompanzasyon değildir.

#### 2.2.1.2. Güç Elektronik Devresi ile Ayarlanan Reaktörle Kompanzasyon :

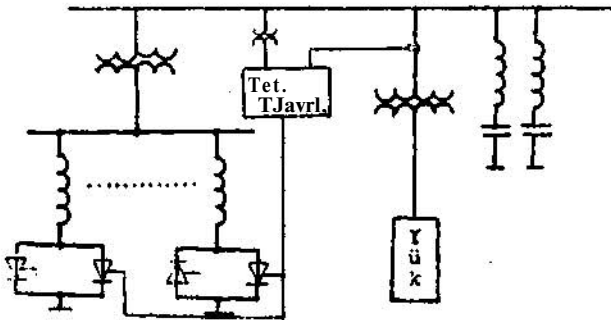
Bu kompanzasyonda, doymalı reaktörden daha hassas kompanzasyon sağlanabilir. Tüketici akım ve gerilimi ölçülerek değerlendirilir. AC kuyucısına tetikleme palsları gönderilerek reaktörün endüktif akımı kontrol edilmiş olur.

Reaktör baraya transformator üzerinden bağlanır. Transformatorun kaçak reaktansı büyük olarak imal edilmişse, reaktörlerin kullanılmasına gerek kalmaz. Primeri A, se-

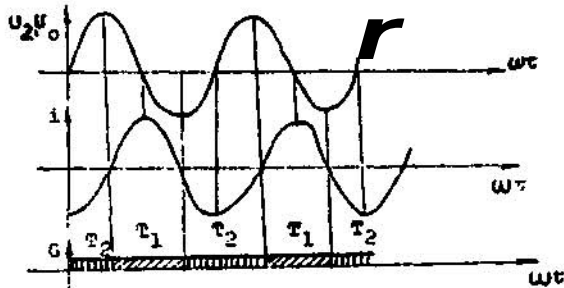


ŞEKİL 5. Doymuş reaktör karakteristiği ve tek hat bağlantısı

konderi açık Y şeklinde üç adet bir fazlı tristör devresi ile yüklenirler. Böylece, her faz ayrı olarak kompanse edilerek dengesizlik önlenir. Aşırı bağlama gerilimlerinin oluşmaması için reaktör elemanları, gerilimin (+, -) tepe değerlerinde devreye alınıp çıkarılır.



ŞEKİL 6. Güç elektroniği devresi ile ayarlanan reaktörle kompanzasyon



ŞEKİL 7. Reaktörün devreye girme zamanları

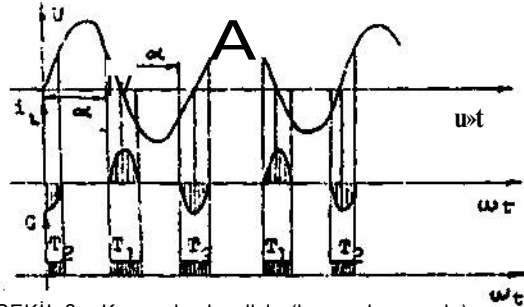
$$i_L = \frac{1}{\omega L} \int U \sin(\omega t - \alpha) d(\omega t) = \frac{U}{\omega L} (-\cos \omega t + \cos \alpha)$$

$$(-\cos \omega t + \cos \alpha)$$

$$a = 90^\circ \text{ için;}$$

$$i_L = \frac{U}{\omega L} (-\cos \omega t) \quad (5)$$

Bu kompanzasyonda tetikleme açısıyla, kompanzasyon akımı hassas olarak ayar edilebilir.



ŞEKİL 8. Kumanda sinyaliyle (kumanda açısıyla) kompanzasyon akımının değişimi

Cevap verme zamanı; ölçme zamanı ile bekleme zamanı toplamıdır. Bu süre yarı periyot dolayındadır.

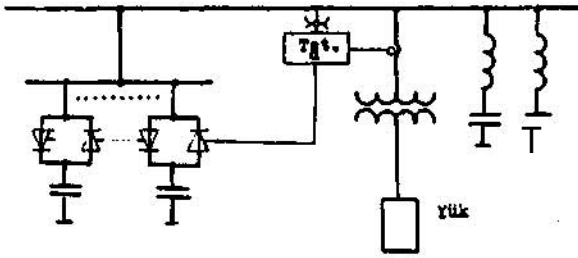
### 2.2.2. Sabit Olmayan Kombine Kompanzasyon :

#### 2.2.2.1. Güç Elektroniği Düzenleri ile Kumanda Edilen Kompanzasyon :

Bu tip kompanzasyonda her bir faza ayrı olarak tristör kontrollü kondansatör grupları bağlanır. Kondansatörler,

gerilimin tepe değerinde olduğu zaman, verilen gate puls-ları ile ilettime geçen tristörlerle devreye alınır veya devre dışı edilirler. Kumanda sinyali G olduğu sürece akım sinüsoidal şekilde akar. Alıcı yük barası gerilimi kompanzasyon anında düşmez ve dolayısıyla şebekenin aktif güç kapasitesi arttırılmış olur.

Aslında, kompanzasyon yaparken aktif gücün değişmesi söz konusu değildir. Ancak belli bir güç kapasitesine sahip şebekede, reaktif güç kompanze edilirse aktif güç kapasitesi artar. Yani o şebeke, kompanzasyon yapılmadan önceki karşıladığı aktif güçten daha fazla aktif yükü yüklenabilir.

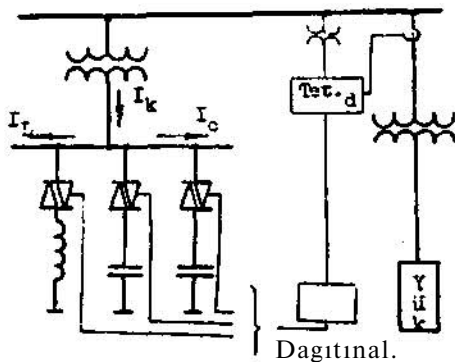


SEKİ L 9. Güç elektroniği şalteri ile (TSC: Thyristor Switched Capacitof) Kompanzasyon bara bağlantısı

Kısaca, kompanzasyon ünitesi bir aktif güç kaynağı gibi düşünülemez. Şayet öyle olsaydı, zaten generatörlere ihtiyaç kalmaz, santral kurmak gereksiz olurdu. Çünkü çok küçük güçlü şebekelerin, kompanzasyonla kapasitesini büyütüp çok daha ekonomik güç üretimi yapılabilirdi ki; bu da imkansızdır.

### 2.2.2.2. Kademesiz Kompanzasyon :

Bu tür kompanzasyonda tristörle kumanda edilen kondansatörlerle kombine olarak, yine tristör kontrollü reaktör bağlanarak sürekli ve kademesiz güç ayarı yapılabilir. Parazitler yok denecek kadar azdır.



ŞEKİL 10. Kademesiz kompanzasyon bağlantısı

### 2.2.2.3. Otomatik Kontrollü Sürekli Kompanzasyon :

Yük barasına paralel olarak kondansatörler ve reaktörler bağlanarak yine tristörlerle kontrol yapılır. Kompanzasyon için yük akımı ve gerilimi ölçülerek, istenilen referans sinyalleri verilerek tristörlerin tetiklenmesi sağlanır. Regülatör girişi esas büyüklüğü, yük barası gerilimidir. Bu gerilim baraya bağlı üç fazlı bir gerilim transformatoru ile alınarak ölçülür ve konverterde U gibi bir OC sinyali-ne dönüştürülür. Konverter, prensip olarak; bir dönüştürücü transformator ile 6 darbeli bir redresör ve zaman sabiti 1,5 /IS mertebesinde olan bir alçak geçiriciden oluşmuştur. Alçak geçirici, şebeke gerilimindeki hızlı geçici olayları kısıtlar. Bu sinyal, toplama noktasında  $u_r$  referans sinyali ile karşılaştırılır. Fark olunca  $A_u$  gibi bir hata sinyali çıkar. Bu sinyal integrasyon amplifikatöründe  $A_u = 0$ , ( $U = u_r$ ) oluncaya kadar artar veya azalır. Amplifikatör bir komparatör gibi çalışır. Çıkış sinyali şebeke gerilimini ayarlamak için güç üretim veya tüketiminin ölçülmesi görevini yapar.

Daha sonra Şekil 11'de görüldüğü gibi, dağıtım elemanından bir reaktör ve iki kapasitör için 3 ayrı digital sinyal ve bir reaktör için analog sinyale dönüştürülür. Bu sinyaller ile darbe generatörleri üzerinden tristörlere kumanda sinyali verilir. Bu sistemde Iy yük akımı ile ayrıca bir geri besleme yapılır. Akım transformatoru ile alınan akım, örnekleme konvertörü ile UJ gibi bir DC sinyale çevrilir. Akımın ileri veya geri fazda olmasına göre referans gerilimi de artar veya azalır.

TCR: Thyristor Controlled Reactor

TSR: Thyristor Switched Reactor (Tristörle anahtarlı reaktör)

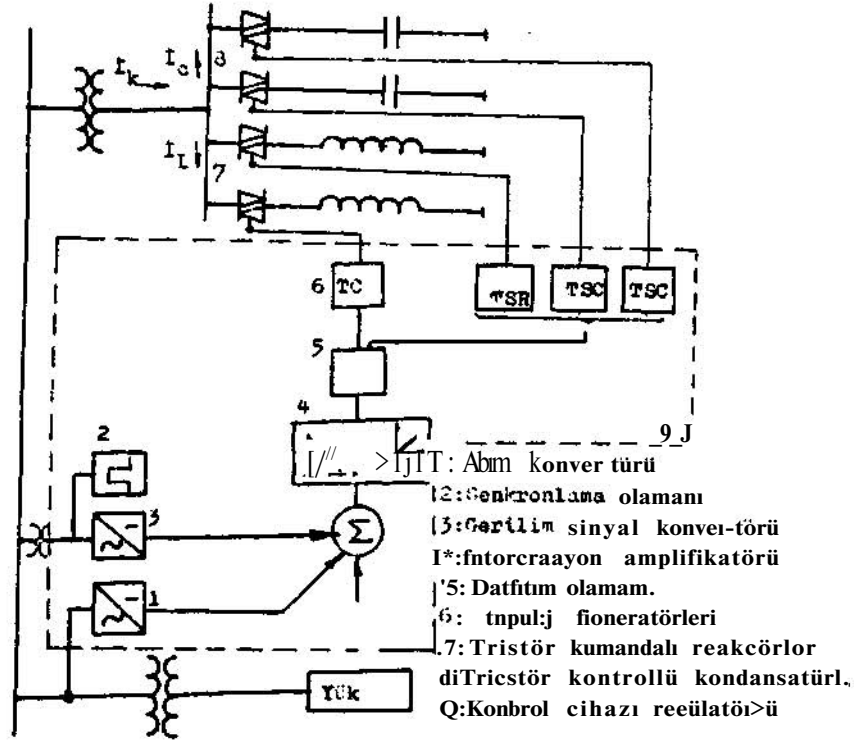
TSC: Thyristor Switched Capacitor

### 3. ÂC Kıyıcısı kullanarak Yapılan Güç Kompanzasyonu:

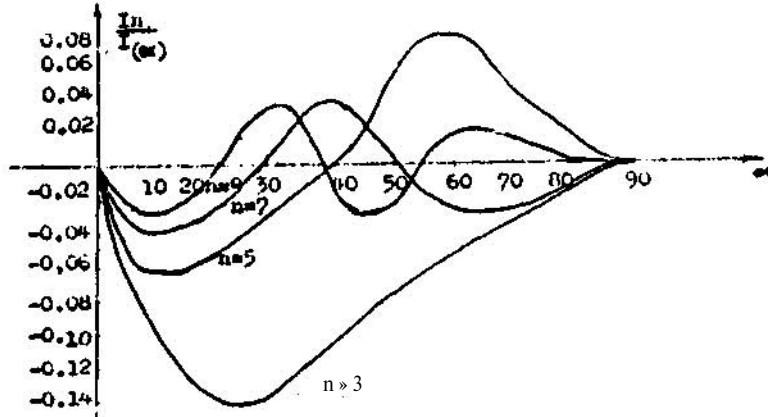
Birbirine ters paralel bağlı iki tristörden oluşan tek fazlı bir kıyıcının kapasitif bölgede tetiklenmesiyle kompanzasyon yapılır. Genelde bir statik şalter görevini yapan bu elemanla, yük akımının efektif değeri ayarlanabilir.

AC kıyıcısı tristörleri,  $ir$  kadar faz farklı sinyaller ile tetiklenirler. Tetikleme açısı kompanzasyon esnasında  $0 - \pi/2$  arasında değişir,  $a = 0$ 'da maksimum etkin değeri olmasına karşılık,  $a = \pi/2$ 'de etkin değer sıfır olur. Bu sebeple ve simetri şartlarından dolayı AC kıyıcısının kontrolü esnasında oluşan harmonikler, Fourier açılımında sinüsli ve üssü tek olan bileşenlerden oluşur.

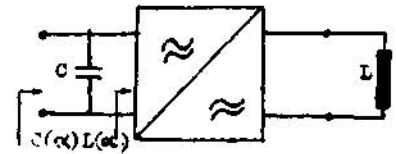
Kıyıcıya bir L bağlanarak a'ya bağlı bir L(a) değişken endüktansı ve paralel olarak bağlanan bir C kondansatörü ile de değişken bir C(a) kapasitesi elde etmek mümkündür.



ŞEKİL 11. Otomatik kontrollü kompanzasyon prensibi



ŞEKİL 12. Harmonik akımdaki değişimler



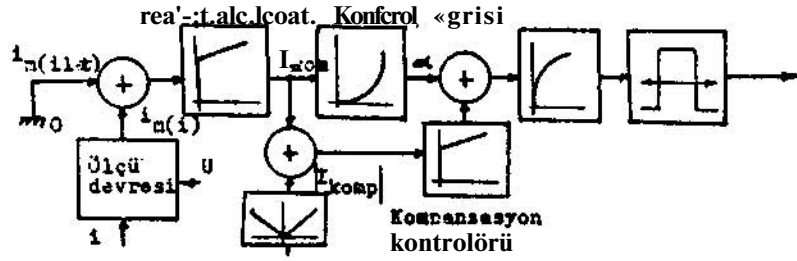
ŞEKİL 13. Bir AC kıyıcısının blok bağlantısı

Kıyıcı kontrol yaparken devreye her giriş çıkışta harmonik üreten kaynak gibi çalışır. Kompanzasyon kıyıcılarla yapılırken kısa sürede gerçekleşmesi istenir. Çünkü endüktif bileşenin reaktif güç kaybı ve aynı zamanda dalgalanmalar olur. Bu bakımdan otomatik kontrol düzeyleriyle dizayn edilirler.

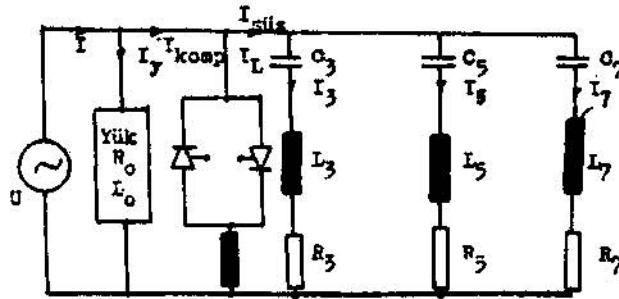
U kaynağından çekilen  $i$  akımı, örnekleme alınarak bir ölçü devresinde ölçülmektedir. Bu  $i$  akımının reaktif bileşeni belirlenerek, sıfır yapılmasıyla kompanzasyon gerçekleştirilmiş olur.

ölçü devresinden alınan reaktif akım bileşeni ile referans sinyali toplamı, kararlı hal hatası sıfır olan reaktif akım kontrolöründen çıkışta bir kompanzasyon referans sinyali oluşturulur. Kontrol komparatöründe kompanzasyon akımının değerine bağlı olarak, belli değeriyle kesici tristörlerin tetikleme açıları belirlenir.

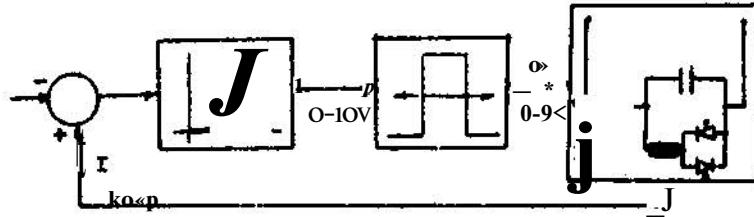
Daha hassas bir kompanzasyon için örneklemeden alınan bu sinyalle kompanzasyon akımı bir ön kontrole tabi tutulur. Bu kontrolde  $\alpha$  tetikleme açısı  $I_q$ 'nın değişimlerini sıfır yapacak şekilde ayar edilir.  $I_q$  örneklemeden verdiği akımdır.



ŞEKİL 14. Kompanzasyonda otomatik kontrol blok diyagramı



ŞEKİL 15. Kapasitif AC kıyıcısıylı kompanzasyon ve harmonik sOzgtç davranır



ŞEKİL 16. ön kontrollü otomatik kumandalı kompanzasyon

Kontrol için gerekli gerilim ve akım sinyalleri optokuplörler ile (optik kuplaj ile) sağlandığından kontrol ve tetikleme devreleri, optik olarak güç kısmından yalıtılmış olur.

Kompanzasyonda yük akımı reaktif,  $I_{comp}^{ise}$  kapasitif bir akım olduğundan, yük yaklaşık olarak omik bir akım çekiyormuş gibi kabul edilebilir.  $\cos \phi = 1$ 'e yaklaşır.

#### REFERANSLAR :

- 1- OLVYERGAD, A., Walwe, K., Yvaglund, C, Frank, H., Torseng, S. "Improvement of Transmission Capacity by Thyristor Controlled Reactive Power". IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No. 8, Aug. 1981.
- 2- OİİVER, GUY. STEFANOVIÇ, V.R. "Thyristor Current Source With an Improved Power Factor" IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. IE-29, No. 4, November 1982.
- 3- FRANK, H., SUNER S. • Thyristor-Controlled Shunt Compensation in Power Network". ASEA Journal No. 5-6, 1981.
- 4- "Reaktif Güç Kompanzasyonu Seminer Notları" TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi 1983.
- 5- ÇELTEKİGİL, U. "Alternatif Kıyıcıları ile Reaktif Güçlerin Kompanzasyonu ve Bunun Bir Direkt Çeviriciye Uygulanması". Doçentlik Tezi, İTO Elektrik Fakültesi, Eylül 1981.
- 6- ABUT, N. "Güç Elektronikli Statik Kompanzasyon". Yüksek Lisans Tezi. YILDIZ ÜNİVERSİTESİ Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 1985.