

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**STATİK VAR SİSTEMLERİNİN ENDÜSTRİYEL  
ORTAMDA UYGULANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elektrik ve Elektronik Müh. Recep MEMİŞ**

**Enstitü Anabilim Dalı : ELK. – ELEKTR. MÜH.**

**Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. UĞUR ARİFOĞLU**

**Eylül 2007**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

## STATİK VAR SİSTEMLERİNİN ENDÜSTRİYEL ORTAMDA UYGULANMASI

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik ve Elektronik Müh. Recep MEMİŞ

Enstitü Anabilim Dalı : ELK. – ELEKTR. MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Bu tez 04 / 09 / 2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Uğur ARİFOĞLU Prof.Dr. Ertan YANIKOĞLU Yrd.Doç.Dr. Kürşat AYAN  
Jüri Başkanı Üye Üye

## ÖNSÖZ

Sanayinin gelişmesi ile birlikte elektrik enerjisi büyük önem kazanmış ve zamanla elektrik enerjisinin üretimi, dağıtımı ve tüketimi üzerine hem maliyeti düşürmek hem de daha kaliteli enerji sunabilmek adına birçok proje geliştirilmiştir. Bu projelerden bir tanesi de reaktif güç kompanzasyonudur. Bu proje sayesinde tüketilen enerjinin bir kısmı yerinde sağlanarak, hem iletim hem de üretimde maddi açıdan çok fazla kazanç sağlanmaktadır.

Bununla birlikte, yarı iletken teknolojisinin gelişmesi enerjinin tüketimini farklı bir boyuta taşımış, enerji tüketen cihazların tüketim süresi birkaç milisaniye gibi çok kısa zaman aralığına inmiştir. Teknoloji bu hızlı gelişmeye cevap bulmakta gecikmemiştir, statik var kompanzasyonu.

Bu çalışmada, statik var kompanzasyonu konusunu inceledikten sonra, endüstriyel ortamda uygulanması yapılacaktır.

Bu konuda bana çalışma olanağı veren ve her türlü yardımı sağlayan değerli hocam Prof. Dr. Uğur ARİFOĞLU 'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, projemi gerçekleştirebilmem için maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Aktif Mühendislik Dış Ticaret Ltd. Şti. Genel Müdürü Sn. Ahmet GÜVENMAN 'a teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET .....	ix
SUMMARY .....	x
BÖLÜM 1.	
Giriş.....	1
BÖLÜM 2.	
REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU .....	4
2.1. Giriş .....	4
2.2. Reaktif Güç .....	5
2.3. Reaktif Güç Kompanzasyonu .....	7
2.3.1. Reaktif güç kompanzasyonu hesabı .....	9
2.3.2. Dinamik faz kaydırıcılar .....	11
2.3.3. Statik faz kaydırıcılar .....	13
2.3.3.1. Konvansiyonel kompanzasyon sistemleri .....	16
2.3.3.2. Statik kompanzasyon sistemleri.....	21

BÖLÜM 3.	
STATİK VAR SİSTEMLERİ .....	22
3.1. Giriş .....	22
3.2. Statik Var Sistemleri .....	22
3.3. Tristör Anahtarlamaalı Kondansatör.....	23
3.3.1. İki faz kontrollü sistemler .....	24
3.3.2. Üç faz kontrollü sistemler .....	27
3.3.3. İki faz kontrollü sistemler ile üç faz kontrollü sistemlerin mukayesesi .....	31
BÖLÜM 4.	
UYGULAMA MODELİ.....	34
4.1. Tristör – Diyot Modülü .....	34
4.2. Kondansatör .....	36
4.3. Harmonik Filtre Reaktörü.....	38
4.4. Kontrol Kartı.....	39
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	45
KAYNAKLAR.....	47
ÖZGEÇMİŞ.....	48

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

SVK	Statik VAr Kompanzasyonu
TKR	Tristör Kontrollü Reaktör
TAK	Tristör Anahtarlamaalı Kondansatör
TAR	Tristör Anahtarlamaalı Reaktör
DR	Doymuş Reaktör
CF	Crest Factor (Tepe Faktörü)

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Endüktif yük gösterimi .....	5
Şekil 2.2.	Kapasitif yük gösterimi.....	6
Şekil 2.3.	Asenkron motorun reaktif güç değişimi .....	7
Şekil 2.4.	Aşırı uyarılmış senkron motor ile reaktif güç katsayısının düzeltilmesi .....	12
Şekil 2.5.	Üç fazlı sistemlerde kullanılan yıldız ve üçgen kapasite bağlantısı .....	15
Şekil 2.6.	Reaktif güç değeri sürekli olarak değişen tüketici gösterimi .....	15
Şekil 2.7.	Şekil 2.7. Standart kontaktör ile anahtarlanan kondansatörün simulink devre şeması.....	16
Şekil 2.8.	Şekil 2.8. Standart kontaktör ile anahtarlanan kondansatörün üzerindeki gerilime ait dalga şekli.....	17
Şekil 2.9.	Şekil 2.9. Standart kontaktör ile anahtarlanan kondansatörün çekeceği akıma ait dalga şekli.....	18
Şekil 2.10.	Kompanzasyon kontaktörü ile anahtarlanan kondansatörün simulink devre şeması.....	19
Şekil 2.11.	Kompanzasyon kontaktörü ile anahtarlanan kondansatörün üzerindeki gerilime ait dalga şekli.....	19
Şekil 2.12.	Kompanzasyon kontaktörü ile anahtarlanan kondansatörün çekeceği akıma ait dalga şekli.....	20
Şekil 3.1.	İki faz kontrollü tristör anahtarlamalı kondansatör yapısı .....	24
Şekil 3.2.	İki faz kontrollü tristör anahtarlamalı kondansatörün simulink devre şeması .....	25
Şekil 3.3.	İki faz kontrollü tristör anahtarlamalı kondansatörün a fazının akım dalga şekli.....	26

Şekil 3.4.	İki faz kontrollü tristör anahtarlamaalı kondansatörün b fazının akım dalga şekli .....	26
Şekil 3.5.	İki faz kontrollü tristör anahtarlamaalı kondansatörün c fazının akım dalga şekli .....	27
Şekil 3.6.	Üç faz kontrollü tristör anahtarlamaalı kondansatör yapısı .....	28
Şekil 3.7.	Üç faz kontrollü tristör anahtarlamaalı kondansatörün simülink devre şeması .....	29
Şekil 3.8.	Üç faz kontrollü tristör anahtarlamaalı kondansatörün a fazının akım dalga şekli .....	30
Şekil 3.9.	Üç faz kontrollü tristör anahtarlamaalı kondansatörün b fazının akım dalga şekli .....	30
Şekil 3.10.	Üç faz kontrollü tristör anahtarlamaalı kondansatörün c fazının akım dalga şekli .....	31
Şekil 3.11.	Üç faz altı kutuplu kondansatörün gösterimi .....	32
Şekil 4.1.	Semikron Tristör – Diyot Modülü .....	34
Şekil 4.2.	Soğutucu yüzey üzerine yerleştirilmiş tristör – diyot modülü .....	35
Şekil 4.3.	Alpivar marka kondansatörün görünümü .....	37
Şekil 4.4.	Aşırı basınç valfi yapısı .....	38
Şekil 4.5.	Asset marka harmonik filtre reaktörünün görünümü .....	39
Şekil 4.6.	Kontrol kartı ana bölümleri .....	39
Şekil 4.7.	PIC 16F877'nin 40 pin PDIP kılıf yapısı .....	40
Şekil 4.8.	PIC 16F877'nin akış diyagramı .....	41
Şekil 4.9.	Yazılımın akış diyagramı .....	42
Şekil 4.10.	PIC programlama kartı .....	43
Şekil 4.11.	Kontrol kartı görünümü .....	44



## TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Güç kalitesizliğinin kaynağı ile ilgili sorunlar .....	03
Tablo 2.1. Katsayı tablosu .....	10

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Kondansatör, statik kompanzasyon, tristör

Dünyamızın son yıllarda karşı karşıya kaldığı enerji krizi, araştırmacıları bir yandan yeni enerji kaynaklarına yöneltirken diğer yandan daha verimli sistemlerin tasarlanması ve kurulmuş olan enerji kaynaklarının en verimli şekilde kullanılması yönünde çalışmaların yoğunlaşmasına neden olmuştur.

Güç sistemlerinde işletmeyi kolaylaştırmak, verimliliği arttırmak ve enerji tutumluluğunu sağlamak amacıyla geliştirilen en etkin önlemlerinden birisi reaktif güç kompanzasyonudur. Günümüzde kullanılan en yaygın kompanzasyon malzemesi kondansatörlerdir.

Reaktif güç değeri yaklaşık olarak sabit olan tüketicilerin kompanzasyonu sabit kondansatörler ile yapılabilir. Ancak çekilen reaktif güç değeri sürekli olarak değişen tüketiciler için sabit kondansatör çözüm olamaz. Bu nedenle sürekli değişen reaktif güce çözüm, kondansatörlerin belirli teknikler kullanılarak anahtarlanan otomatik kompanzasyon sistemleri kurmaktır. Bu tekniklerden en önemlileri konvansiyonel (kontaktör anahtarlmalı) kompanzasyon sistemi ve statik (tristör anahtarlmalı) kompanzasyon sistemidir.

# **APPLICATION OF STATIC VAR COMPENSATION FOR INDUSTRIAL PLANTS**

## **SUMMARY**

Keywords: Capacitor, static var compensation, thyristor

Energy crisis which we have lived in last recent years cause to discover new energy resources also concentration to design efficient systems and to study about usage of existing energy recourses more efficiently.

One of the most effective precautions for surging productivity and saving energy is reactive power compensation.

It is possible to compensate the reactive power which is stable with using fixed capacitors. But it is not suitable solution for variable reactive power continuously. The best solution for frequently varying reactive power is automatic compensation systems. There are basically two different systems as to changing period which is the first one, conventional (contactor switching) compensation system for low changing and the second one static (thyristor switching) compensation system for fast changing.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

İnsanoğlunun yaşamında enerji gereksinimi her zaman var olmuştur. Çok çeşitli enerji türleri içerisinde bugüne kadar en çok kullanılan enerji, insan yaşamına sağladığı katkılar nedeniyle elektrik enerjisidir. Yaşamın önemli bir parçası haline gelen bu enerji türü, insanoğlu tarafından sürekli kullanılmakta, ancak bazı problemleri de halen aşılammış görünmektedir. Örneğin, elektrik enerjisi ekonomik olarak depolanamamakta ve kullanım esnasında kalitesi tamamen güvence altına alınamamaktadır.

Elektrik enerjisine olan talep, teknolojideki gelişmelere ve nüfus artışına bağlı olarak her geçen gün artmış ve kişi başına tüketilen enerji miktarı ülkelerin gelişmişlik düzeyinin bir göstergesi olmuştur[1]. Elektrik enerjisine olan talepteki artış, daha güvenilir ve daha kaliteli bir enerji kavramını ortaya çıkarmıştır.

Elektrik enerjisinin, istenilen her noktaya istenilen düzeyde ulaştırılması için, elektrik enerjisinin üretiminde, iletiminde ve dağıtımında elektrik enerjisi kalitesi açısından kontrol edilmesi gereğini ortaya çıkarmıştır.

Her şeyde olduğu gibi elektrik enerjisinde de toplam kalite çok önemlidir. Enerji kalitesine yaklaşım üretici, iletilici, dağıtıcı ve tüketici firma arasında bir ekip çalışması ile halledileceğinden, her birinin sorumluluklarını bilmesi ve yerine getirmeye çalışması gerekmektedir.

Elektrik enerjisi bir ürün olarak değerlendirilmeli ve belirli kalite kriterlerini sağlamalıdır. Enerji ve sistem kapasitenin optimum kullanılmasını sağlamak için, enerji kalitesi problemleri giderilmeli ve kalitesizliğe neden olan problemler kaynağında temizlenmelidir. Elektrik enerjisi kalitesizliğine neden olan, bu kalitesizliği gidermede ve etkilerini azaltmada da sorumludur. Sistemdeki

kalitesizlikler kaydedilmeli ve doküman haline getirilmelidir. Bozucu etkiler üretim, iletim, dağıtım ve tüketici girişlerinde kaydedilmelidir. Elde edilen veriler uzmanlar tarafından analiz edilmelidirler.

Kaliteli bir elektrik enerjisi sağlayabilmek için;

- Enerjinin sürekliliği (kararlı hal),
- Gerilim ve frekans sabitliği,
- Güç faktörünün bire yakınlığı,
- Faz gerilimlerinin dengeli olması,
- Akım ve gerilimdeki Harmonik miktarlarının belirli değerlerde kalması

gibi bir takım kriterlerin göz önüne alınması gereklidir[4]. Daha güvenli ve daha kaliteli bir elektrik enerjisi için gerekli olan bu kriterler, elektrik enerjisinin üretim, iletim ve dağıtımında, mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

Elektrik kalitesinin ekonomik etkisi yadırganmayacak seviyededir. Genişlememiş olan Avrupa Birliği ülkelerinde yapılan bir araştırmada, elektrik enerjisi kalite problemlerinin endüstride ve ticari alanlarda meydana getirdiği zararın 10 Milyar Euro olduğu tahmin edilmektedir[1]. Kalite problemlerinin giderilmesi için yapılan harcamalar ise tahminen bu rakamın %5'i civarındadır[1].

Güç kalitesi, tüketici odaklı olan bir konudur ve bakış açısı olarak son kullanıcı temel alınmalıdır. Bu yüzden, güç kalitesi için şu ifade kullanılabilir: Gerilimin, akım veya frekans değişimlerinde kendini gösteren herhangi bir güç problemi, tüketicinin donanımında arızaya veya kötü işletmeye yol açtığında güç kalitesi problemi ortaya çıkar.

Bir başka deyişle, güç kalitesi sorunu “kullanıcı aletlerinin yanlış veya hiç çalışmamasına neden olacak gerilim, akım ve frekanstaki değişmeler” olarak tanımlanabilir.

Bugüne kadar güç kalitesi ile ilgili bazı çalışmalar yapılmıştır. Georgia Power Co. tarafından yapılan güç kalitesizliğinin kaynağı ile ilgili bir araştırma sonucu aşağıda Tablo 1.1.'de verilmiştir.

Tablo 1.1. Güç kalitesizliğinin kaynağı ile ilgili sonuçlar [1]

	Doğal (%)	Üretici (%)	Müşteri (%)	Komşu (%)	Diğer (%)
Müşteri açısından	60	17	12	8	3
Üretici açısından	66	1	25	8	0

Sonuç olarak, elektrik enerjisinin, asrımızın en yaygın kaynaklarından biri olarak üretildiği, santralden en küçük alıcıya kadar dağıtımında en az kayıpla taşımının yolları ve hesapları yapılmaktadır.

Dünyamızda elektrik enerjisine olan ihtiyacın her geçen gün biraz daha artması, enerji üretiminin biraz daha pahalılaşması, taşınan enerjinin de kaliteli, ucuz ve hakiki iş gören aktif enerji olmasını daha zorunlu kılmaktadır.

Güç sistemlerinde işletmeyi kolaylaştırmak, verimliliği arttırmak ve enerji tutumluluğunu sağlamanın en etkin önlemlerinden birini Reaktif Güç Kompanzasyonu oluşturmaktadır.

## **BÖLÜM 2. REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU**

### **2.1. Giriş**

Reaktif güç kavramı son zamanlarda enerji sarfiyatının artmasıyla ve enerjinin daha uzun mesafelere taşınmasıyla birlikte büyük önem kazanmıştır. Sanayinin büyümesi ve yaygınlaşması mevcut iletim hatlarından daha fazla güç talebini doğurmuştur. Daha önce göz ardı edilen reaktif gücün, az önce bahsedilen sebeplerden dolayı, tesislerin kurulduğu yerlerde karşılanması zorunlu hale gelmiştir.

Reaktif gücün karşılanması, ilk zamanlarda senkron motorların uyarım akımlarının kontrolü ile sağlanmıştır. Bu uygulama reaktif güç kompanzasyonun ilk aşaması olan dinamik kompanzasyondur. Ancak bu uygulamanın (dinamik kompanzasyon) gerek kurulum ve bakım maliyetleri, gerekse aktif kayıplarının yüksek olması ve reaktif güç değişimine cevap verme süresinin uzun olması reaktif gücün karşılanmasında farklı arayışlara neden olmuştur. Bu arayışlar sonucunda üretim maliyeti düşük ve bakım gerektirmeyen kondansatör adı verilen cihazlar kullanılmaya başlanmıştır.

Kondansatörler boyutları açısından da senkron motorlara göre çok avantajlıdır. Bu sayede yükün yanında kompanzasyon sistemleri kurularak reaktif enerjini yarattığı kayıpların minimuma indirilmesini sağlamıştır.

Ancak yarıiletken teknolojisinin gelişmesi, yüklerin kontrolünü yeni bir boyuta taşımıştır. Tristör, IGBT ve CTO gibi yarıiletken malzemeler akım ve gerilimi kontrol ederek yüklerin hızını çok daha fazla arttırmıştır.

Yarıiletken malzemelerin kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte, daha hızlı değişen reaktif gücü karşılamak için yarıiletken malzeme kontrollü kompanzasyon sistemleri

geliştirilmiştir. Statik kompanzasyon sistemlerinde kondansatörler genellikle tristörler ile anahtarlanırlar.

## 2.2. Reaktif Güç

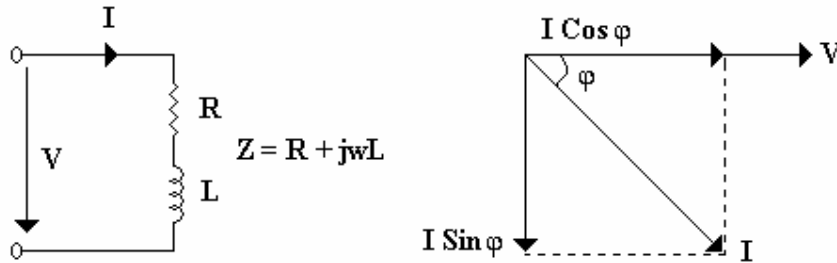
Elektrodinamik prensibine göre çalışan jeneratör, trafo, bobin ve motor gibi elektrik cihazlarının çalışması için gerekli olan manyetik alanı sağlayan mıknatıslanma akımına reaktif akım ve dolayısıyla çekilen güce reaktif güç denir[5].

Reaktif güç, bir alternatif akım şebekesinde, gerilim ile akımın reaktif bileşenin çarpımına eşittir;

$$Q = V \times I \times \sin\phi \quad (2.1.)$$

(2.1) ifadesinde Q reaktif gücü simgelemektedir ve birimi Volt – Amper reaktifdir (Var). V; gerilim etkin fazörünün genliği (volt), I; akım etkin fazörünün genliğidir (amper).  $\sin\phi$ ; akım ile gerilimin arasındaki açının ( $\phi$ ) sinüsüdür.

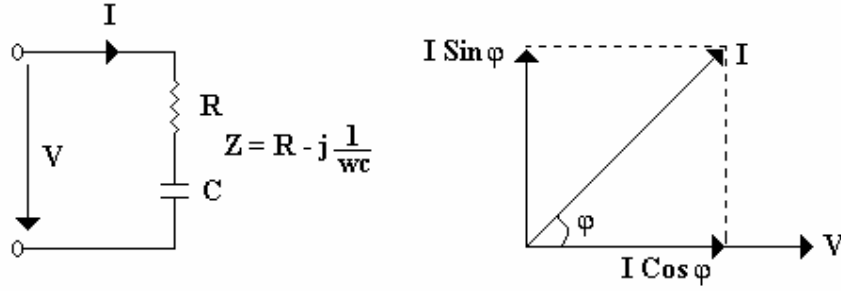
Reaktif güç işareti,  $\phi$  açısının (gerilim fazörü ile akım fazörü arasındaki açı) yönünün tanımlanmasına bağlıdır. Şekil 2.1.'de gösterildiği gibi endüktif karakterdeki bir yük için akım fazörü gerilim fazörüne göre geri fazdadır ( $\phi$  açısı V ekseninin altında).



Şekil 2.1. Endüktif yük gösterimi



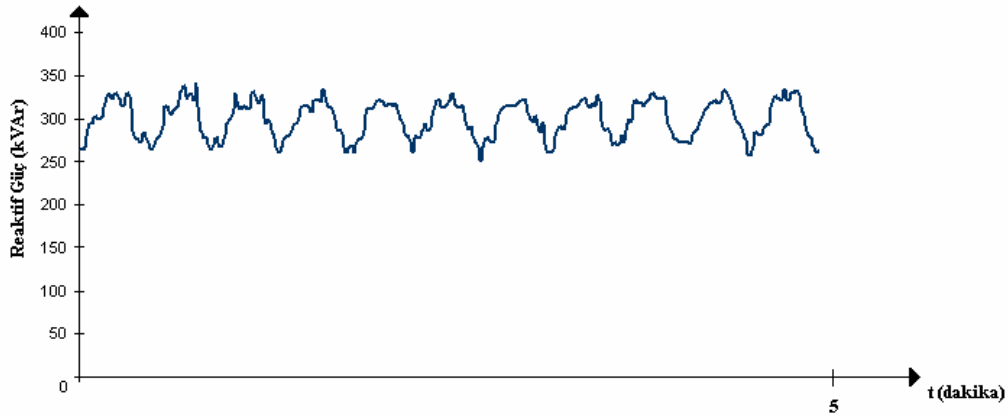
Şekil 2.2.'de gösterildiği gibi, kapasitif karakterdeki yüklerde akım fazörü gerilim fazörüne göre ileri fazdadır ( $\varphi$  açısı V ekseninin üstünde). Reaktif güç, endüktif ya da kapasitif karakterde olabilir.



Şekil 2.2. Kapasitif yük gösterimi

Elektrik tesislerinde kullanılan bütün işletme araçları aktif güç ile birlikte reaktif güçte çekerler. Bu cihazlarından bir kısmı aşağıdadır[4];

- Düşük uyarmalı senkron makineler,
- Transformatörler,
- Bobinler,
- Havai hatlar,
- Asenkron motorlar (Şekil 2.3.),
- Doğrultucular,
- Endüksiyon ve ark fırınları,
- Kaynak makineleri
- Floresan lamba.



Şekil 2.3. Asenkron motorun reaktif güç değişimi

Yukarıdaki tüketiciler söz konusu olana reaktif güç endüktif karakterlidir. Kapasitif güç çeken yükler ise, boşta çalışan havai hatlar, yeraltı hatları (kablo), aşırı uyarılmış senkron motorlar, kondansatörler olarak sıralanabilir.

### 2.3. Reaktif Güç Kompanzasyonu

Tesislerde elektro dinamik prensibine göre çalışan yüklerin çekeceği reaktif gücün, tüketim merkezlerinde özel bir reaktif güç üreticisi tesis edilerek karşılanmasına reaktif güç kompanzasyonu denir[5].

Tüketicilerin çektiği reaktif güç, iletim hatlarını fiziksel anlamda işe yaramayan bir güç ile yüklenmesi ve hat kesitinin bir kısmını bu faydasız güce tahsil edilmesi anlamına gelmektedir. Tüketicilerin hızla artması karşısında iletim hatlarının kesitlerinin artırılması söz konusu olmuştur. Ancak tüm iletim hatlarının kesitlerinin artırılması maddi açıdan büyük bir yük getirmektir. Bunun yerine yasalar çıkartılarak, tüketicilerin şebekeden çektikleri reaktif gücün bir kısmını kompanzasyon sistemleri ile karşılamaları istenmiştir. 19 Şubat 2003 tarihli ve 25025 sayılı resmi gazetede yayımlanan reaktif güç tarifesine göre reaktif enerjinin aktif enerjiye oranı;

$$-0.20 < E_r / E_a < 0.33$$

(2.2.)

Buna göre, müsaade edilen reaktif güç katsayısı endüktif olarak 0.95, kapasitif olarak ise 0.98'dir. Aboneden çektiği aktif enerjinin %33 katına kadar endüktif reaktif enerji bedeli alınmaz. Bu sınır aşıldığı takdirde çekilen endüktif reaktif enerjinin tamamına endüktif reaktif enerji tarifesi uygulanır. Abonenin sisteme vereceği kapasitif reaktif enerji aktif enerji miktarının %20'sinden fazla olmamalıdır. Bu sınır aşıldığı takdirde verilen kapasitif enerjinin tamamına kapasitif reaktif enerji tarifesi uygulanır.

Reaktif güç üretimini zorunlu kılan bir diğer olay ise, müşteri baralarının gerilim genlik değerlerini (değişik yük durumlarında dahi) sabit tutma ihtiyacıdır. Tüketicilerin bağlı olduğu baranın gerilim genlik değeri nominal değerde sabit tutulamaz ise tüketici cihazlarına gelen gerilim bu cihazların verimli bir şekilde çalışmasını mümkün kılmaz, hatta zarar bile verebilir. Bu tehlikeyi ortadan kaldırmak için enterkonnekte sistemin uygun yerlerine kompanzasyon cihazları bağlanarak sisteme reaktif güç pompalanır ve gerilim genlik değeri sabit tutulmaya çalışılır. Reaktif güç kompanzasyonun şebeke açısından faydaları[4];

- Şebekenin güç kalitesi artar,
- Şebekenin ısı kayıpları azalır,
- Gerilim düşümü azalır,
- İletim hatlarının geçici durum kararlılığı iyileşir,
- Faz gerilim dengesizlikleri azaltılmış olur,
- Gerilim dalgalanmaları (flikler olayları) azalır,
- Harmonikler azalır.

Reaktif güç kompanzasyonun tüketici açısından faydaları ise[4];

- İşletme maliyetleri azalır,
- Güç katsayısı düzeltildiği için müşteri şebekeden daha az reaktif güç çeker ve daha az para öder,
- Elektrik enerjisinin kalitesizliğinden doğabilecek arıza riski en aza indirilmiş olunur.
- Enerji kalitesi ile üretim kalitesi direkt bağlantılı olacağı için işletmenin ürün kalitesi de artar.

### 2.3.1. Reaktif güç kompanzasyonu hesabı

Kurulacak yeni bir tesiste güç faktörünü düzeltmek ve yasaların öngördüğü sınırların içerisinde tutabilmek için gerekli kompanzasyon gücü aşağıdaki gibi hesaplanabilir[5];

$$Q_c = S \times \%D \times \cos\phi_1 \times ( \operatorname{tg}\phi_1 - \operatorname{tg}\phi_2 ) \quad (2.3.)$$

Burada;

- S : Trafonun nominal gücü (kVA),
- $Q_c$  : Gerekli kompanzasyon gücü (kVAr),
- $\%D$  : Yüklerin trafo gücüne oranı,
- $\cos\phi_1$  : Yüklerin nominal güç katsayısı,
- $\cos\phi_2$  : Talep edilen güç katsayısı

'ını temsil etmektedir.  $\operatorname{tg}\phi_1$  ve  $\operatorname{tg}\phi_2$ 'yi Tablo 2.1.'dan yararlanarak bulunabilir.

Örnek olarak, 1600 kVA gücünde bir trafonun yüklenme oranı %75 olduğu kabul edilsin. Yüklerin nominal güç katsayısı  $\cos\phi_1 = 0.7$ , talep edilen güç katsayısı  $\cos\phi_2 = 0.99$  olduğu kabul edilsin. Tablo 2.1.'dan faydalanılarak  $\operatorname{tg}\phi_1 = 1.020$  ve  $\operatorname{tg}\phi_2 = 0.142$  bulunur. (2.3.) eşitliğinden gerekli kompanzasyon gücü;

$$Q_c = 1600 \times 0.75 \times 0.7 \times ( 1.020 - 0.142 ) \quad (2.4.)$$

$$Q_c \cong 810 \text{ kVAr} \quad (2.5.)$$

bulunur. Buna göre ilgili trafo altında güç faktörünü 0.7'den 0.99'a yükseltebilmesi için minimum 810 kVAr gücünde kompanzasyon sistemi kurulmalıdır.

Tablo 2.1. Katsayı tablosu[5]

Güç Faktörü		Yük için kW başına gereken reaktif güç (kVAr) katsayısı tablosu										
Cos $\Phi$	Cos $\Phi_2$	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00
Cos $\Phi_1$	$\frac{\text{tg}\Phi_2}{\text{tg}\Phi_1}$	0.484	0.456	0.426	0.395	0.363	0.329	0.292	0.251	0.203	0.142	0.000
0.40	2.291	1.807	1.836	1.865	1.896	1.928	1.963	2.000	2.041	2.088	2.149	2.291
0.41	2.225	1.740	1.769	1.799	1.829	1.862	1.896	1.933	1.974	2.022	2.082	2.225
0.42	2.161	1.676	1.705	1.735	1.766	1.798	1.832	1.869	1.910	1.958	2.018	2.161
0.43	2.100	1.615	1.644	1.674	1.704	1.737	1.771	1.808	1.849	1.897	1.957	2.100
0.44	2.041	1.557	1.585	1.615	1.646	1.678	1.712	1.749	1.790	1.838	1.898	2.041
0.45	1.985	1.500	1.529	1.559	1.589	1.622	1.656	1.693	1.734	1.781	1.842	1.985
0.46	1.930	1.446	1.475	1.504	1.535	1.567	1.602	1.639	1.680	1.727	1.788	1.930
0.47	1.878	1.394	1.422	1.452	1.483	1.515	1.549	1.586	1.627	1.675	1.736	1.878
0.48	1.828	1.343	1.372	1.402	1.432	1.465	1.499	1.536	1.577	1.625	1.685	1.828
0.49	1.779	1.295	1.323	1.353	1.384	1.416	1.450	1.487	1.528	1.576	1.637	1.779
0.50	1.732	1.248	1.276	1.306	1.337	1.369	1.403	1.440	1.481	1.529	1.590	1.732
0.51	1.687	1.202	1.231	1.261	1.291	1.324	1.358	1.395	1.436	1.484	1.544	1.687
0.52	1.643	1.158	1.187	1.217	1.247	1.280	1.314	1.351	1.392	1.440	1.500	1.643
0.53	1.600	1.116	1.144	1.174	1.205	1.237	1.271	1.308	1.349	1.397	1.458	1.600
0.54	1.559	1.074	1.103	1.133	1.163	1.196	1.230	1.267	1.308	1.356	1.416	1.559
0.55	1.518	1.034	1.063	1.092	1.123	1.156	1.190	1.227	1.268	1.315	1.376	1.518
0.56	1.479	0.995	1.024	1.053	1.084	1.116	1.151	1.188	1.229	1.276	1.337	1.479
0.57	1.441	0.957	0.986	1.015	1.046	1.079	1.113	1.150	1.191	1.238	1.299	1.441
0.58	1.405	0.920	0.949	0.979	1.009	1.042	1.076	1.113	1.154	1.201	1.262	1.405
0.59	1.368	0.884	0.913	0.942	0.973	1.006	1.040	1.077	1.118	1.165	1.226	1.368
0.60	1.333	0.849	0.878	0.907	0.938	0.970	1.005	1.042	1.083	1.130	1.191	1.333
0.61	1.299	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048	1.096	1.157	1.299
0.62	1.265	0.781	0.810	0.839	0.870	0.903	0.937	0.974	1.015	1.062	1.123	1.265
0.63	1.233	0.748	0.777	0.807	0.837	0.870	0.904	0.941	0.982	1.030	1.090	1.233
0.64	1.201	0.716	0.745	0.775	0.805	0.838	0.872	0.909	0.950	0.998	1.058	1.201
0.65	1.169	0.685	0.714	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.919	0.966	1.027	1.169
0.66	1.138	0.654	0.683	0.712	0.743	0.775	0.810	0.847	0.888	0.935	0.996	1.138
0.67	1.108	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.966	1.108
0.68	1.078	0.594	0.623	0.652	0.683	0.715	0.750	0.787	0.828	0.875	0.936	1.078
0.69	1.049	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798	0.846	0.907	1.049
0.70	1.020	0.536	0.565	0.594	0.625	0.657	0.692	0.729	0.770	0.817	0.878	1.020
0.71	0.992	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992
0.72	0.964	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964
0.73	0.936	0.452	0.481	0.510	0.541	0.573	0.608	0.645	0.686	0.733	0.794	0.936
0.74	0.909	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909
0.75	0.882	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882
0.76	0.855	0.371	0.400	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.605	0.652	0.713	0.855
0.77	0.829	0.344	0.373	0.403	0.433	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.686	0.829
0.78	0.802	0.318	0.347	0.376	0.407	0.439	0.474	0.511	0.552	0.599	0.660	0.802
0.79	0.776	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.634	0.776
0.80	0.750	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.608	0.750
0.81	0.724	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724
0.82	0.698	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.556	0.698
0.83	0.672	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421	0.469	0.530	0.672
0.84	0.646	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646
0.85	0.620	0.135	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620
0.86	0.593	0.109	0.138	0.167	0.198	0.230	0.265	0.302	0.343	0.390	0.451	0.593
0.87	0.567	0.082	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567
0.88	0.540	0.055	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.540
0.89	0.512	0.028	0.057	0.086	0.117	0.149	0.184	0.221	0.262	0.309	0.370	0.512
0.90	0.484	0.000	0.029	0.058	0.089	0.121	0.156	0.193	0.234	0.281	0.342	0.484

Tüketiciler reaktif güç ihtiyaçların genelde tip sistem kullanarak karşılarlar;

- Dinamik faz kaydırıcılar,
- Statik faz kaydırıcılar.

### 2.3.2. Dinamik faz kaydırıcılar

Dinamik faz kaydırıcılar adını, bünyesinde hareketli parçalar bulduklarından dolayı alırlar. Reaktif güç üretiminde kullanılan dinamik faz kaydırıcıların başında, aşırı uyarılmış senkron makineler gelir. Senkron makineler tüketim merkezlerinin başına paralel olarak bağlanır ve tüketicinin ihtiyacı olan reaktif güç bu makine tarafından sağlanır.

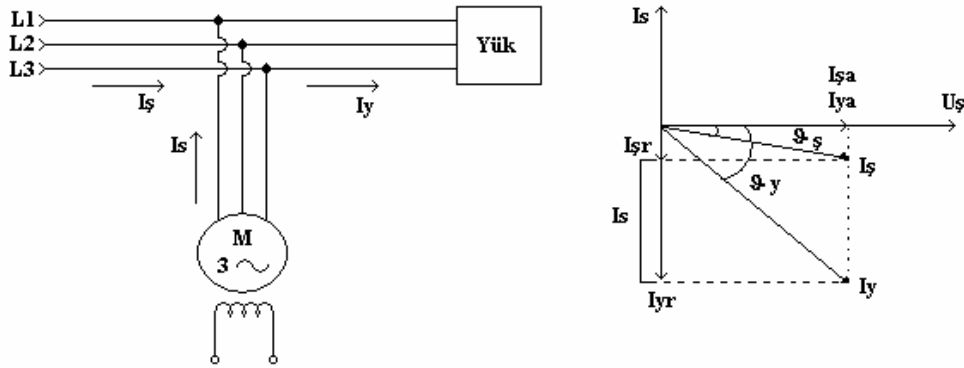
Şebekeye bağlanan senkron makinelerin millerine yük bağlanmaz ve böylece şebekeden boşta kayıplarını karşılayacak kadar bir aktif güç çekerler. Aynı zamanda şebekeye gerekli reaktif gücü vererek bir reaktif güç üreticisi olarak çalışırlar.

Senkron makinelerin dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Aktif kayıpları statik faz kaydırıcılarına göre çok fazladır,
- Hareketli parça içerdikleri için bakım gerektirirler,
- Kurulum maliyetleri yüksektir,
- Reaktif güç değişimine cevap verme zamanı yüksektir,
- Her faz ayrı ayrı kontrol edilememektedir.

Şekil2.4. 'da üç fazlı şebekeye bağlı senkron motor ve akım ve gerilim fazör diyagramları görülmektedir. Bu senkron motorun boşta çalıştırıldığı ve aşırı uyarım akımı uygulandığı kabul edilsin. Buna göre senkron motorun akımının geriliminden  $90^\circ$  ileride olduğu ve şebekeye kapasitif reaktif akım ( $I_s$ ) verdiği söylenebilir. Şebekeye bağlı yükün akımı ise ( $I_y$ ) şebeke geriliminden  $\phi_y$  açısı kadar geride olduğu kabul edilsin.

Şekil 2.4.'da gösterilen fazör diyagramı incelendiğinde, senkron motor şebekeye bağlı değil iken şebekeden çekilen akım ( $I_{\phi}$ ) yük akımına ( $I_y$ ) eşit olacaktır. Senkron motorun devreye girmesi ile birlikte şebekeden çekilen reaktif akım ( $I_{\phi r}$ ) senkron motorun şebekeden çekeceği akım kadar ( $I_s$ ) azalacaktır. Dolayısıyla senkron motorun devreye girmesiyle birlikte şebekeden çekilen akım ile şebeke gerilimi arasındaki faz farkı  $\phi_{\phi}$  açısına düşecektir ve böylece şebekeden çekilen gücün güç katsayısı düzelecektir.



Şekil 2.4. Aşırı uyarılmış senkron motor ile güç katsayısının düzeltilmesi

Örnek olarak, 250 kVA gücünde 6300 V şebeke gerilimine bağlı bir yükün güç faktörü 0.6 kabul edilsin. Bu güç faktörünü 1'e çekebilmek için gerekli senkron motorun gücü aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

Yükün çekeceği akım;

$$I_y = \frac{S}{\sqrt{3} \times U_{\phi}} = \frac{250000}{\sqrt{3} \times 6300} = 22.9A \quad (2.6.)$$

Yükün çekeceği reaktif akım;

$$I_{yr} = I_y \times \sin \phi = 22.9 \times 0.8 = 18.3A \quad (2.7.)$$

Şebekeye bağlanacak senkron motorun boşa kayıpları göz ardı edildiğinde, şebekeden çekeceği akımın tamamı reaktif akım olacaktır. Buna göre güç faktörünü 0.6'dan 1'e yükseltebilecek aşırı uyarılmış senkron motorun gücü;

$$S_s = \sqrt{3} \times U_s \times I_{yr} = \sqrt{3} \times 6300 \times 18.3 \cong 200 \text{ kVA} \quad (2.8.)$$

olarak bulunur.

### 2.3.3. Statik faz kaydırıcılar

Statik faz kaydırıcılar adını, bünyesinde hareketli parça içermediklerinden dolayı alırlar. Statik faz kaydırıcı olarak genelde kondansatörler kullanılır.

Reaktif güç kompanzasyonunda kondansatörlerin üstünlükleri sayılamayacak kadar fazladır. Öncelikle kondansatörlerin kayıpları senkron motorlara göre çok düşük olup, nominal güçlerinin yaklaşık %1'inden de düşük seviyelerdedir.

Kondansatörler ile gerekli her güçte reaktif güç kaynağı teşkil edilebildiği gibi, boyutları açısından küçük oldukları için yükün hemen yanında Kompanzasyon yapmak mümkündür. Yük başında yapılacak kompanzasyon ile kablolar da aşırı ısınma sorunu ortadan kalkar ve böylece kayıplar azalır. Yük başındaki gerilim düşmeleri ortadan kalkar.

Günümüzde kondansatörler, kuvvetli akım tesislerinde gittikçe artan bir önem kazanmıştır. Kondansatörlerin kVAr başına maliyet bedelleri, orta büyüklükteki senkron motorlarınkinden daha düşük olduğu gibi, fiyatta büyük bir artış olmadan kondansatörleri her güçte imal etmek mümkündür.

Kondansatörlerin tesisi kolaydır ve gerektiğinde kolaylıkla genişletilerek kompanzasyon gücü artırılabilir. Kondansatörlerin işletme emniyeti çok fazladır, ömürleri uzundur, bakımları kolay ve basittir. Yer temini açısından hemen hemen hiç bir sorunla karşılaşmaz. Gerekli kapasiteyi temin edebilmek maksadı ile birçok kondansatör bir araya getirilerek istenen değerde bir grup teşkil edilebilir. Bir



arıza halinde zarar içeren bir eleman şayet kısa zamanda teşhis edilirse az bir masrafla yenisi ile değiştirilerek, işletmeye fazla ara vermeden tamir yapılmış olur.

Üç fazlı sistemlerde kondansatörler yıldız veya üçgen bağlanırlar. Her iki bağlama şeklinin de kullanıldığı durumlar, maliyet, sistem gerilimi ve koruma gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Kompanzasyon amaçlı olarak kullanılan kondansatörler üçgen bağlandıklarında her elemana hattın faz arası gerilimi, yıldız bağlamada ise bu değer  $1/\sqrt{3}$  katı kadar gerilim gelmektedir.

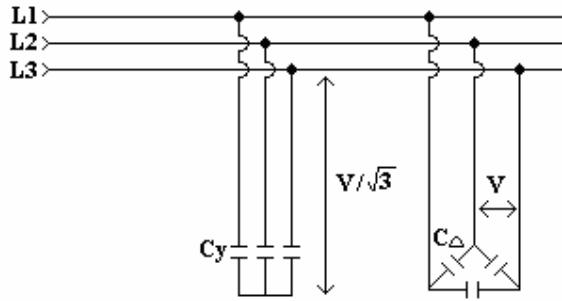
Şekil 2.5.'de  $V$  (volt); faz arası (etkin)gerilimi,  $Q_c$  (VAR); bir kondansatörün gücü ve  $f$  (hz) ise şebekenin frekansı olmak üzere, kondansatörler yıldız olarak bağlandığında her bir faz ile nötr arasına konulan kapasite değeri;

$$C_y = \frac{Q_c}{2\pi f V^2} \text{ (farad)} \quad (2.9.)$$

ve üçgen bağlamada ise iki faz arasına bağlanacak kapasite değeri;

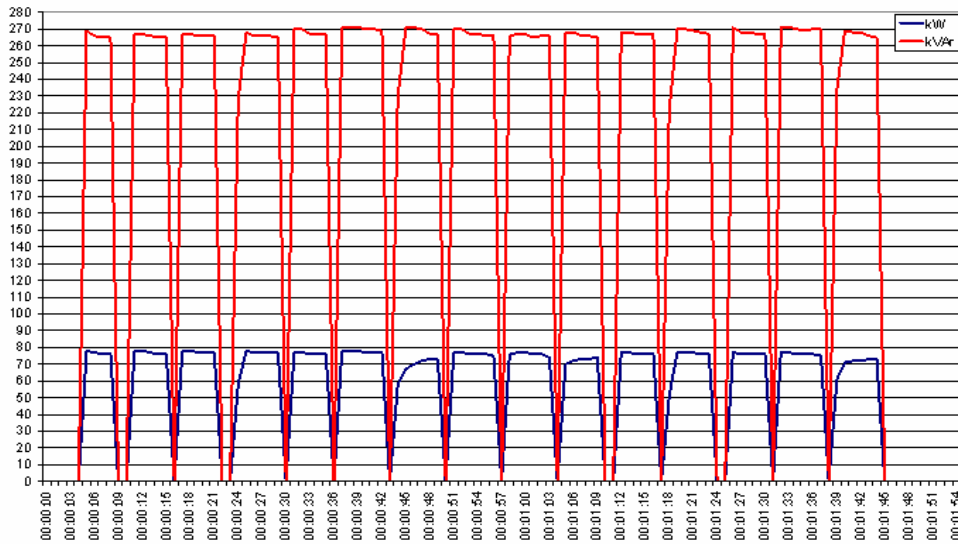
$$C_{\Delta} = \frac{Q_c/3}{2\pi f V^2} \text{ (farad)} \quad (2.10.)$$

olarak bulunur. Son iki ifadeden anlaşıldığı gibi iki kapasite arasında  $C_y/C_{\Delta} = 3$  oranı bulunmaktadır. Kompanzasyon sistemini inşa edecek olan kişi için iki alternatif bulunmaktadır; ya üçgen bağlamayı tercih edip  $C$  değeri düşük fakat uçları arasına gelen gerilim değeri (dolayısıyla yalıtım maliyeti) yüksek bir kapasite kullanacaktır, yada yıldız bağlamayı tercih edip  $C$  değeri yüksek ancak gerilim değeri (dolayısıyla yalıtım maliyeti) düşük kapasitede kullanacaktır. Şekil 2.5.'de üç fazlı yıldız ve üçgen kapasite bağlantısı gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Üç fazlı sistemlerde kullanılan yıldız ve üçgen kapasite bağlantısı

Statik faz kaydırıcıları olarak kullanılan kondansatörler, tüketim merkezlerinde yük başlarında sabit olarak kullanılabilir. Ancak Şekil 2.6.'te görüldüğü gibi şebekeden çekilen reaktif güç değeri sürekli olarak değişen tüketicilere pratikte daha sık rastlanır. Bu tür tüketicilerin reaktif güç kompanzasyonu için sabit kapasiteli Kompanzasyon çözüm olamaz.



Şekil 2.6. Reaktif güç değeri sürekli olarak değişen tüketici gösterimi

Reaktif güç değeri sürekli değişen yüklerin kompanzasyonu yapabilmek için kondansatörler genelde bir cihaz aracılığı anahtarlanırlar. Kondansatörleri anahtarlamak için genelde iki tip cihaz kullanılır. Bunlardan ilk kontaktörler, diğeri ise tristör adı verilen yarı iletken malzemelerdir.

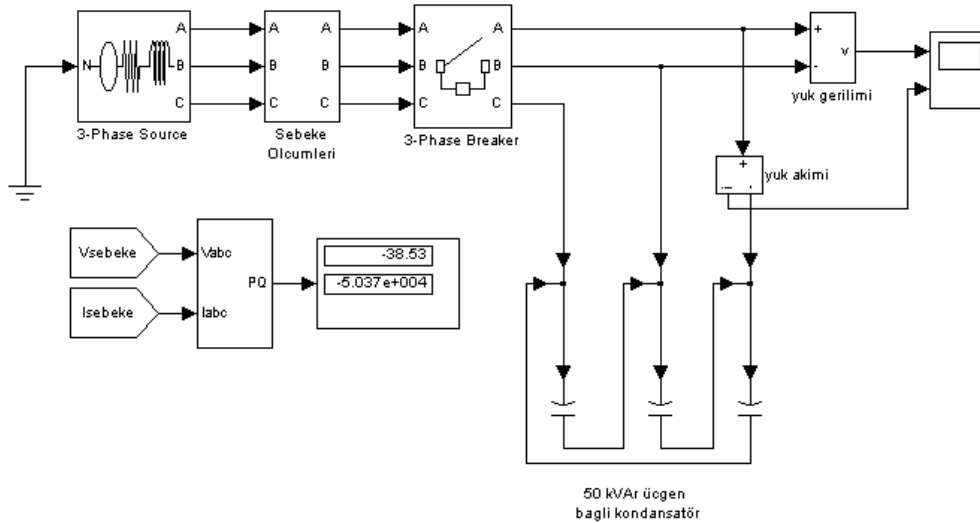
### 2.3.3.1. Konvansiyonel kompanzasyon sistemleri

Kontaktör gibi içerisinde mekanik parçalar içeren anahtarlama elemanları ile kurulan kompanzasyon sistemleri konvansiyonel kompanzasyon sistemleri olarak adlandırılır.

Konvansiyonel kompanzasyon sistemleri kurulum maliyeti açısından avantajlı olmasına rağmen, bakım maliyetleri göz önüne alındığında bu avantajı ortadan kalkmaktadır.

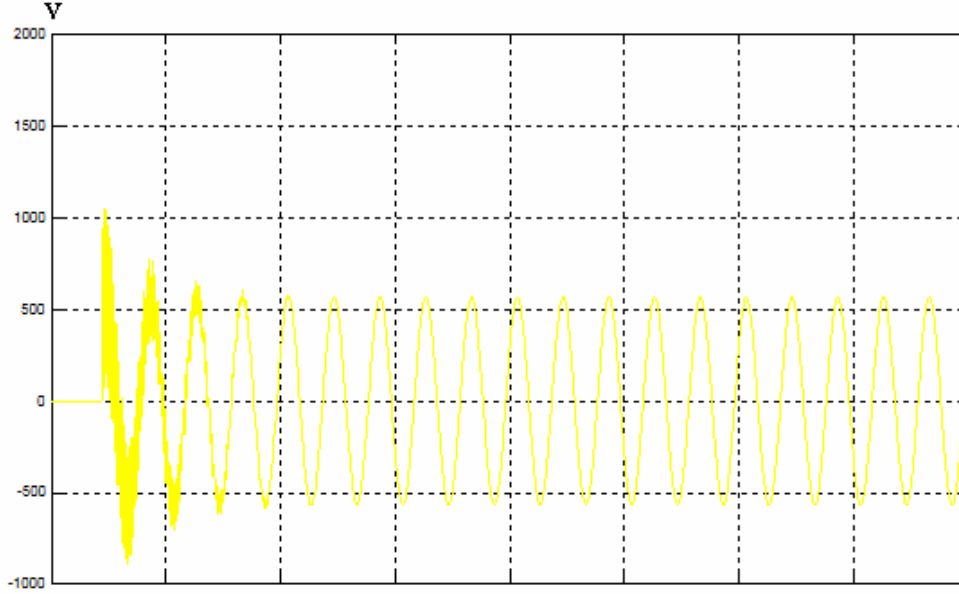
Bunun dışında, standart bir kontaktörle yapılan bir anahtarlama işleminde, kondansatörler devreye girdikleri anda şebekeden inrush adı verilen darbe akım çekerler.

Şekil 2.7.'de 50 kVAr gücünde üçgen bağlı bir kondansatörün 1000 kVA, %Uk=%6 bir transformatörün sekonderine ( $U_n = 400V$ ) bağlanarak standart kontaktörle anahtarlansını gösteren bir simulink çizimi görülmektedir. Bu simülasyonda standart kontaktörle anahtarlanan bir kondansatörün şebekeden çekeceği aşırı akım ve şebeke gerilimini nasıl etkilediği tespit edilecektir.



Şekil 2.7. Standart kontaktör ile anahtarlanan kondansatörün simulink devre şeması

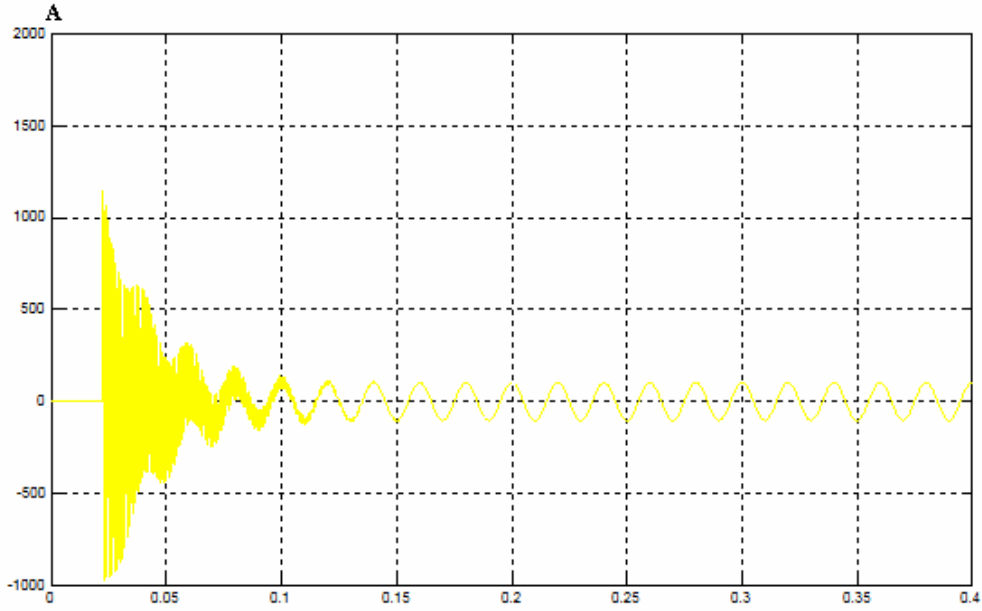
Şekil 2.8.'de şekil incelendiğinde, ilgili kondansatörün standart kontaktör ile devreye girmesi anında 400 V olan şebeke gerilimi anlık olarak 1000 V pik yaptığı ve hemen hemen iki period boyunca dalgalandığı tespit edilmektedir.



Şekil 2.8. Standart kontaktör ile anahtarlanan kondansatörün üzerindeki gerilime ait dalga şekli

Şekil 2.9.'da şekil incelendiğinde ise, ilgili kondansatörün standart kontaktör ile devreye alınması sırasında şebekeden yaklaşık olarak 1200 A akım çektiği tespit edilmiştir. 50 kVAr 400 V kondansatör yaklaşık olarak 77 A akım çekmektedir. Buradan ilgili kondansatörün devreye girerken nominal akımının yaklaşık olarak 15 katı kadar inrush adı verilen darbe akımı çektiği anlaşılmaktadır.

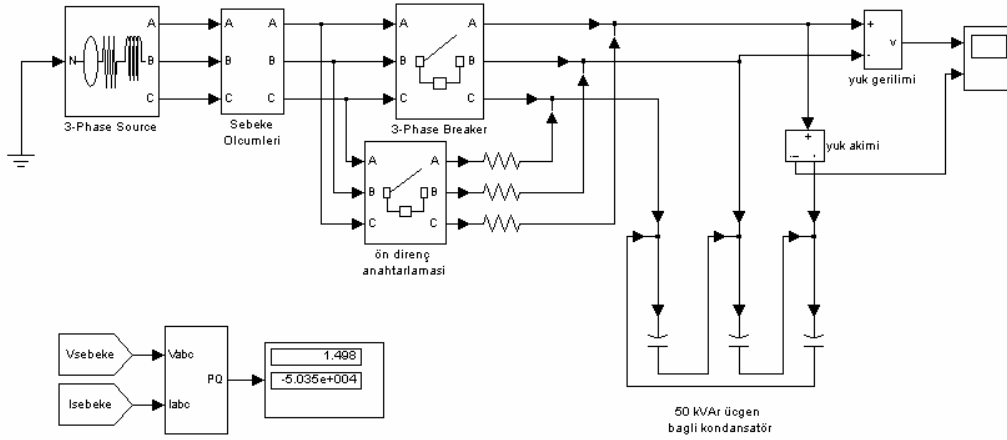
Dikkat edilmesi gereken bir diğer konu, kondansatörün ne zaman devreye girdiğidir. Bu simülasyonda kondansatör sıfır geçişten yaklaşık iki milisaniye sonra devreye girmektedir. Bu zaman en iyi anahtarlama zamanı kabul edilebilir ki kondansatör gerilimin tepe yaptığı noktada da devreye girebilir. Bu durumda şebekeden çekeceği akım çok daha büyük seviyelere ulaşabilir.



Şekil 2.9. Standart kontaktör ile anahtarlanan kondansatörün çekeceği akıma ait dalga şekli

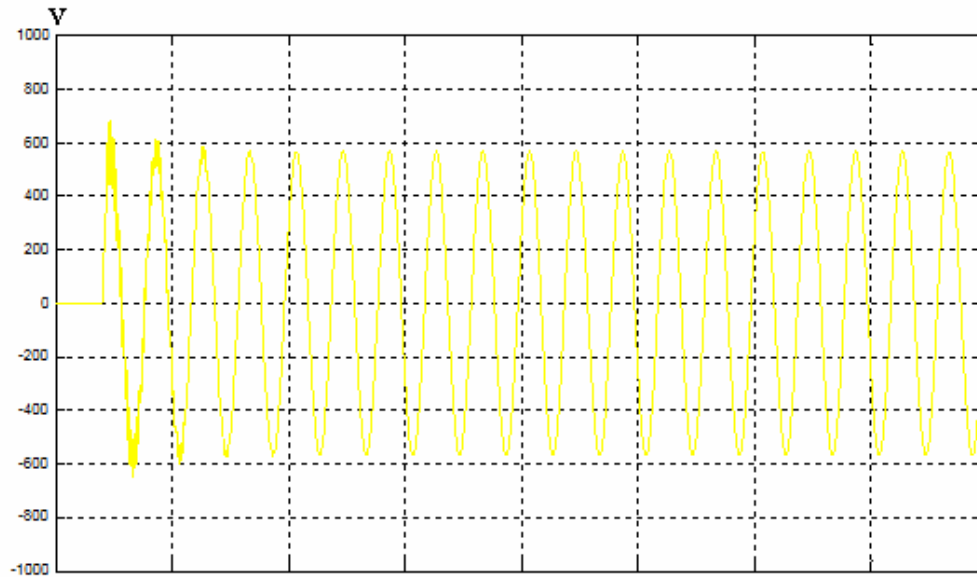
Standart kontaktör kullanılarak yapılan anahtarlama sonucunda akımda ve gerilimde meydana gelen bozulmaların bastırılması için, kompanzasyon kontaktörleri adı verilen özel tip kontaktörler üretilmiştir. Kompanzasyon kontaktörlerinde ana kontaklar devreye girmeden önce yardımcı kontaklar kullanılarak direnç ya da bobin devreye girerler. Ana kontaklar devreye girdikten birkaç saniye sonra ise devreden çıkarlar. Bu sayede devreye giren kondansatörün sistemde oluşturacağı bozulmaların kısmi olarak önüne geçilmiş olunur.

Şekil 2.10.'da 50 kVAr gücünde üçgen bağlı bir kondansatörün standart kontaktörlü devredeki aynı koşullar altında kompanzasyon kontaktörü ile anahtarlanmasını gösteren bir simulink çizimi görülmektedir. Bu simülasyon ile standart kontaktör ile kompanzasyon kontaktörü arasındaki anahtarlama farkı görülecektir.



Şekil 2.10. Kompanzasyon kontaktörü ile anahtarlanan kondansatörün simulink devre şeması

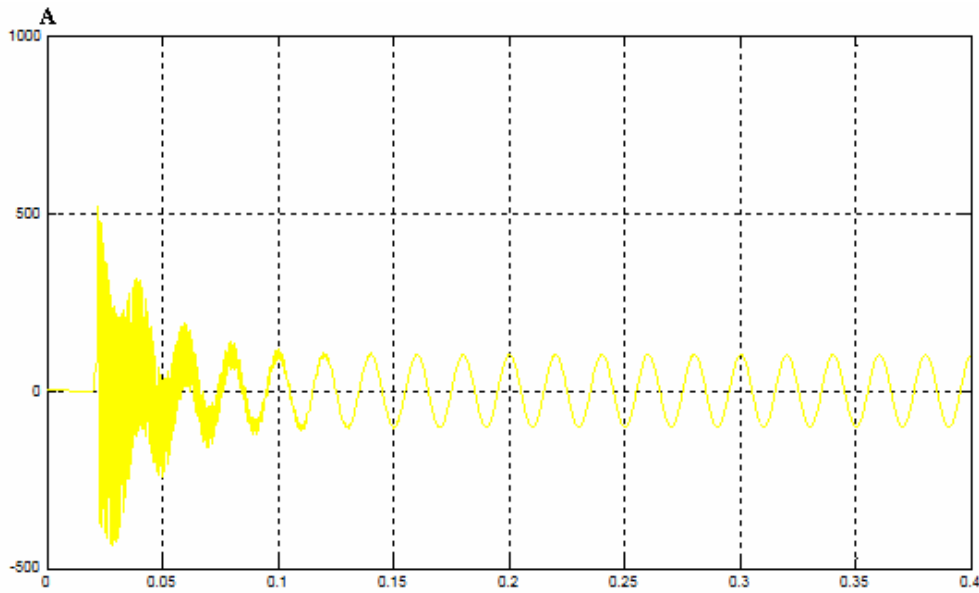
Şekil 2.10.'da ön dirençler 1 ohm olarak alınmıştır. Ana kontaktör devreye girmeden 2 ms önce ön dirençlere devreye girecek ve devreye girdikten 2 ms sonra devreden çıkacaklardır.



Şekil 2.11. Kompanzasyon kontaktörü ile anahtarlanan kondansatörün üzerindeki gerilime ait dalga şekli

Şekil 2.11.'de kompanzasyon kontaktörü ile anahtarlanan kondansatörün üzerindeki gerilim değişimi gözükmektedir. Buna göre, kondansatör devreye girdiğinde standart kontaktörlüdeki durumun aksine, gerilimde çok az bozulma meydana geldiği ve yaklaşık olarak 650 V'a pik yaptığı tespit edilmiştir.

Şekil 2.12.'de ise kompanzasyon kontaktörü ile anahtarlanan bir kondansatörün şebekeden çekeceği akım değişimi gözükmektedir. Kondansatör devreye girdiğinde, yaklaşık olarak 500 A darbe akımı çektiği tespit edilmiştir.



Şekil 2.12. Kompanzasyon kontaktörü ile anahtarlanan kondansatörün çekeceği akıma ait dalga şekli

Sonuç olarak, kompanzasyon sistemlerinde kondansatörleri anahtarlama kullanılan kompanzasyon kontaktörleri de gerilimde ve akımda bozulmalara neden olmaktadır. Bununla birlikte, standartlara göre kondansatörler tekrar devreye girebilmeleri için minimum 60 sn geçmesi gerekmektedir. Eğer daha kısa süre içerisinde devreye girdikleri zaman kondansatör üzerinde gerilim kalacağından dolayı, devreye girerken çok daha fazla darbe akımı çekeceklerdir.

### 2.3.3.2. Statik kompanzasyon sistemleri

Günümüzde yarı iletken teknolojisinin gelişmesi, yüklerin devreye giriş ve çıkış sürelerini birkaç saniye gibi çok kısa zaman aralığına indirmiştir. Dolayısıyla, kontaktör anahtarlama kompanzasyon sistemleri, reaktif gücü hızlı değişen yüklerin kompanzasyonunu karşılayamaz hale gelmiştir. Bu nedenle, kondansatörlerin devreye girmesinde değişik bir anahtarlama sisteminin kullanılması zorunlu hale gelmiştir.

Statik kompanzasyon sistemlerinde, kondansatörler yarı iletken malzemeler ile anahtarlanır. Böylece reaktif güç değişimine cevap verme süresi birkaç perioda kadar düşmektedir. Konuyla ilgili detaylı bilgi ileriki bölümlerde verilecektir.



## **BÖLÜM 3. STATİK VAR SİSTEMLERİ**

### **3.1. Giriş**

Alternatif akımla çalışan enerji sistemlerinde reaktif güç kompanzasyonun önemi bilinmektedir. Bu yüzden güç faktörünü düzeltmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Kompanzasyon sistemlerinde yükün özelliği çok önemlidir. Güç ve güç katsayısı sabit kalan bir yükün varlığı halinde uygun olarak seçilmiş bir kondansatör grubu sorunu çözer. Fakat yük her an sistemden farklı aktif ve reaktif güç çekebiliyor ise yukarıda önerilen yaklaşım burada geçerli olmaz. Sürekli değişim gösteren reaktif güç üretimi, aşırı veya düşük uyarılmış senkron makineler ve sonraları da doymalı reaktörler ve bunlara bağlı kondansatörler ile yapılmaktaydı[4].

Özellikle son yıllarda yüksek güçlü yarı iletkenlerin (tristörlerin) üretilmesi ve bunların reaktif güç kompanzasyon sistemlerinde kullanılması yaygınlık kazanmıştır. Yarı iletkenlerin kullanılmasıyla gerçekleştirilen kompanzasyon sistemine statik var kompanzasyonu (SVK) denir.

Bu bölümde, alçak gerilimde kullanılan statik kompanzasyon sistemlerinin özellikleri anlatılacaktır. Bununla birlikte, günümüzde kullanılan statik kompanzasyon sistemlerinin tipleri detaylı olarak anlatılacaktır.

### **3.2. Statik Var Sistemleri**

Statik VAR sistemleri adını, kondansatör ve/veya reaktör gruplarının anahtarlanması için kullanılan ekipmanın hareketli parça içermemesinden alır. Yani statik Var sistemlerinde anahtarlama elemanı olarak yarı iletkenler kullanılır. Statik var sistemlerine statik kompanzasyon sistemleri de denilmektedir.

Statik kompanzasyon sistemlerinin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Birkaç periyot içerisinde kondansatörler devreye girerler, böylece reaktif güç ihtiyacı hızlı bir şekilde karşılanmış olur,
- Kondansatörler sıfır geçişte devreye girdiği için geçici aşırı akım çekmezler ve ark oluşturmazlar,
- Çok hızlı devreye girdikleri için şebekede gerilim dalgalanması oluşmaz,
- Hareketli parçalar içermediklerinden dolayı uzun ömürlü olurlar,
- Bakım gerektirmezler.

Statik VAr sistemleri dört ana başlık altında incelenebilir[4];

- TKR – Tristör kontrollü reaktör
- TAK – Tristör anahtarlamalı kondansatör
- TAR – Tristör anahtarlamalı reaktör
- DR – Doymuş reaktör

Bu çalışmada, pratikte uygulaması yapıldığından dolayı sadece Tristör anahtarlamalı kondansatörler ile ilgili detaylı bilgi aktarılacaktır.

### **3.3. Tristör Anahtarlamalı Kondansatör**

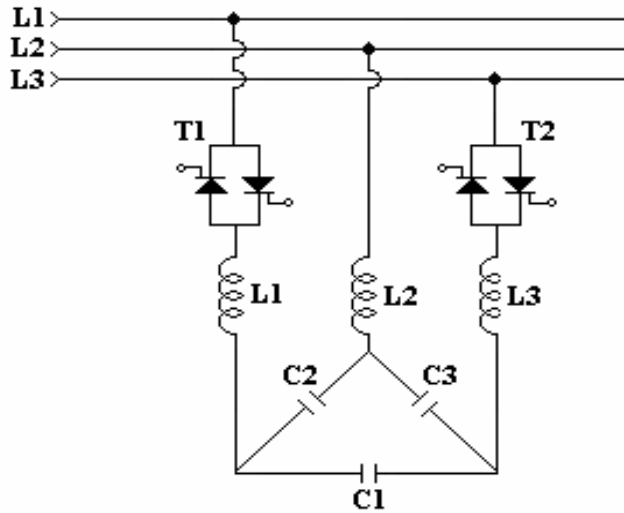
Tristör anahtarlamalı kompanzasyon sistemlerinde asıl amaç, hızlı değişen reaktif g karşılayabilmektir. Ancak, yarı iletken teknolojisinin getirdiği avantajlar sayesinde, her fazı ayrı ayrı kontrol ederek, kondansatörlerin devreye girişi sırasında darbe akımının oluşması engellenmiş olup, gerilimde de oluşabilecek dalgalanmanın önüne geçilmiştir.

Bununla birlikte, değişen reaktif g çok hızlı bir şekilde cevap verildiğinden dolayı, şebeke geriliminde aşırı yüklenme sonucu oluşabilecek çöküntülerin de önüne geçilmiştir.

Statik kompanzasyon sistemlerinde kondansatörler genelde iki farklı tipte anahtarlanırlar. Bunlardan ilki, iki faz kontrollü sistemler, diğeri ise üç faz kontrollü sistemlerdir. Her iki sistemin yapısı detaylı olarak anlatılacak ve aralarındaki farklar tespit edilip, birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları belirlenecektir.

### 3.3.1. İki faz kontrollü sistemler

Şekil 3.1.'de iki faz kontrollü tristör anahtarlamalı kondansatör yapısı gösterilmiştir. Bu bağlantı tarzında, kondansatörler üçgen bağlı olup, tristör grupları kondansatörler ile şebeke arasına seri bağlanmıştır. Tristörler ile kondansatörler arasına bir reaktör bağlanmaktadır. Eğer harmonikli ortamlarda kompanzasyon yapılıyor ise harmonik filtre reaktörü, haramonik olmayan ortamlarda kompanzasyon yapılıyor ise akım sınırlama reaktörü kullanılır.

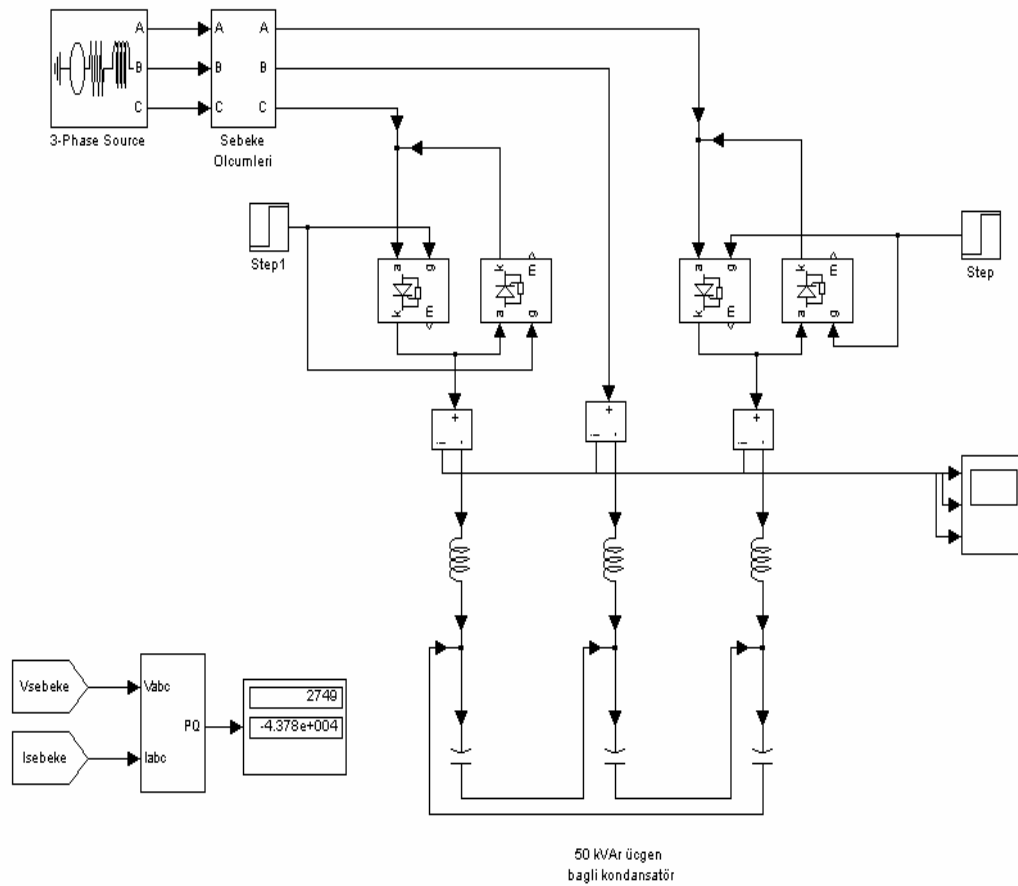


Şekil 3.1. İki faz kontrollü tristör anahtarlamalı kondansatör yapısı

İki faz kontrollü sistemlerde, üç fazdan ikisine tristör grubu bağlanır, bir faz direk bağlanır. Tristörler tek yönde akım geçirdikleri için, her bir modül birbirine paralel iki adet tristörden oluşur.

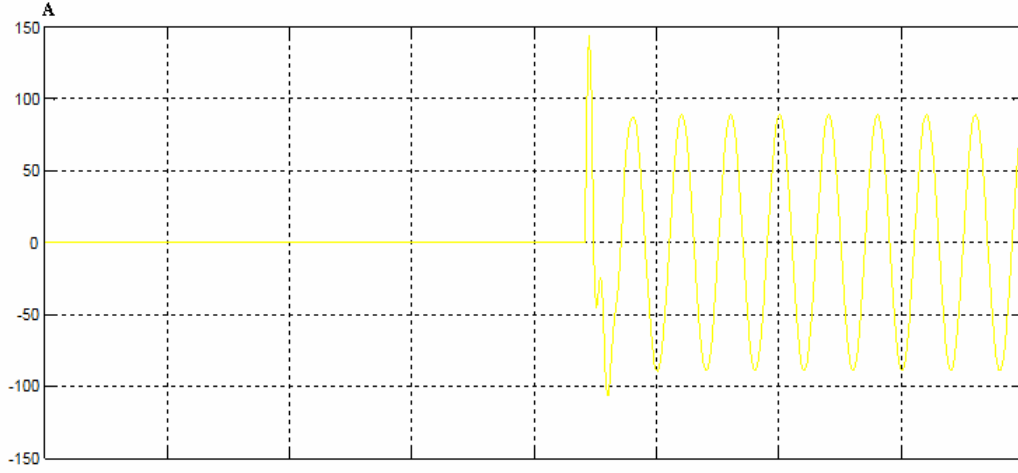
Bu tarz sistemlerde üç fazdan birisi mutlaka geçici aşırı akım oluşturarak devreye girer. Şekil 3.1.'de görüldü gibi,  $L_2$  fazı direk,  $L_1$  ve  $L_3$  fazı tristör grupları üzerinden kondansatöre bağlanmıştır. Burada  $T_1$  tristör bloğunun anahtarlama koşulu  $C_2$  kondansatörünün üzerindeki gerilimin sıfır olduğu noktadır.  $T_2$  tristör bloğunun anahtarlama koşulu ise  $C_1$  ve  $C_3$  kondansatörlerinin üzerlerindeki gerilimin aynı anda sıfır oldukları andır. Bu koşul elektriksel olarak mümkün değildir. Dolayısıyla, ya  $C_3$  kondansatörü ya da  $C_1$  kondansatörü sıfır geçişte giremeyecektir.

Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi, yukarıda bahsedilen sistem simule edilmiştir. Buna göre B fazı kondansatöre direk bağlanmıştır. A fazı ve C fazı tristör blokları üzerinden kondansatöre bağlanmıştır.

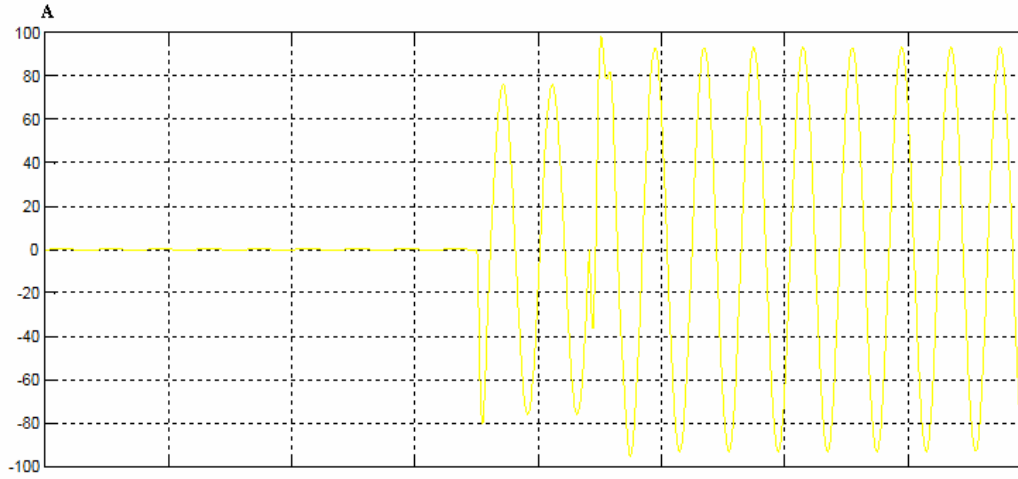


Şekil 3.2. İki faz kontrollü tristör anahtarlama kondansatörünün simulink devre şeması

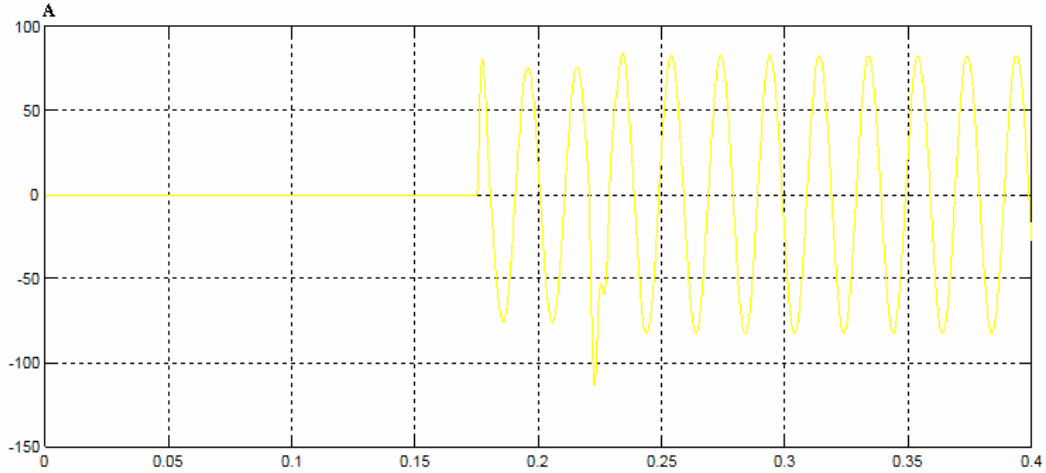
Şekil 3.2.'de görülen sistemde, ilk olarak C fazı, daha sonra A fazı devreye girecektir. A fazına bağlı tristör grupları, A-B fazı arasındaki kondansatörün üzerindeki gerilimin sıfır olduğu noktada devreye gireceklerdir. Dolayısıyla, A-C fazı arasındaki kondansatör kontrolsüz olarak devreye girecektir.



Şekil 3.3. İki faz kontrollü tristör anahtarlamalı kondansatörün a fazının akım dalga şekli



Şekil 3.4. İki faz kontrollü tristör anahtarlamalı kondansatörün b fazının akım dalga şekli



Şekil 3.5. İki faz kontrollü tristör anahtarlamalı kondansatörün c fazının akım dalga şekli

Şekil 3.3. , Şekil 3.4. ve Şekil 3.5.'deki dalga şekilleri incelendiğinde, C fazına bağlı tristör bloğu devreye girerken şebekeden hiç aşırı akım çekmemektedir. Ancak A fazına bağlı tristör bloğu devreye girdiğinde, yaklaşık olarak 150 A tepe yapmaktadır.

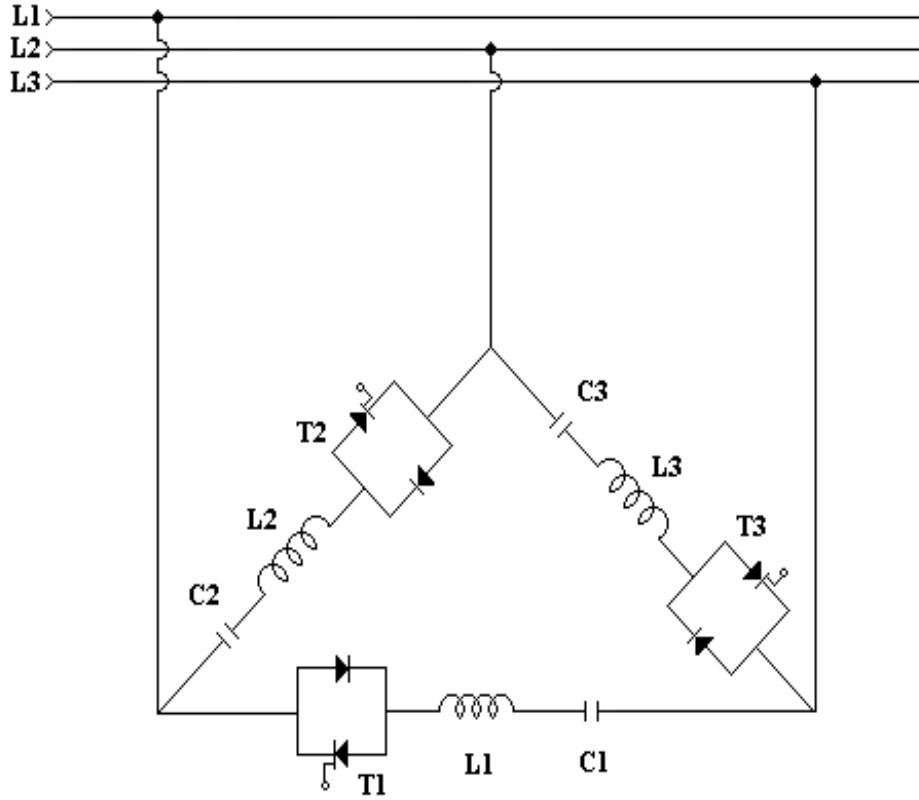
### 3.3.2. Üç faz kontrollü sistemler

Şekil 3.6.'da üç faz kontrollü tristör anahtarlamalı kondansatör yapısı gösterilmiştir. Şekil 3.6.'da görüldüğü gibi, iki faz kontrollü tristör anahtarlamalı kondansatör yapısından farklı olarak, tristör – diyot modülü reaktör ve kondansatörler seri olarak üçgen bağlanmaktadır.

İki faz kontrollü sistemde tristör – tristör bloğu kullanılmasına karşın, üç faz sistemde tristör – diyot bloğu kullanılmıştır. Böylece kondansatörler şebeke geriliminin tepe değerine eşit dc gerilim ile doldurulmaktadır. Bu sayede kondansatörler devreye girerken aşırı gerilim meydana gelmez ve aynı kademe ikinci kez devreye gireceği zaman kondansatörün boşalması beklenmez. Çünkü ilgili kondansatör devre dışı kaldığı anda şebeke geriliminin tepe değerine eşit dc gerilimle dolmuş olur.

Şekil 3.6.' görülen ve kondansatör ve tristör – diyot bloğuna seri olarak bağlanan reaktör iki farklı amaç için kullanılır. Eğer sistemde harmonik var ise, ilgili reaktör harmonik filtre reaktörü olarak kullanılır ve aynı zamanda kondansatörün anahtarlanması sırasında oluşabilecek geçici aşırı akımları da sınırlamış olur. Bu amaçla kullanılan reaktörlerin endüktans değerleri milihenry mertebesinde olur.

Ancak sistemde harmonik yok ise, ilgili reaktör akım sınırlama reaktörü olarak kullanılır ve yalnızca kondansatörün anahtarlanması sırasında oluşabilecek geçici aşırı akımları sınırlar. Bu amaçla kullanılan reaktörlerin endüktans değerleri ise mikrohenry mertebesinde olur.

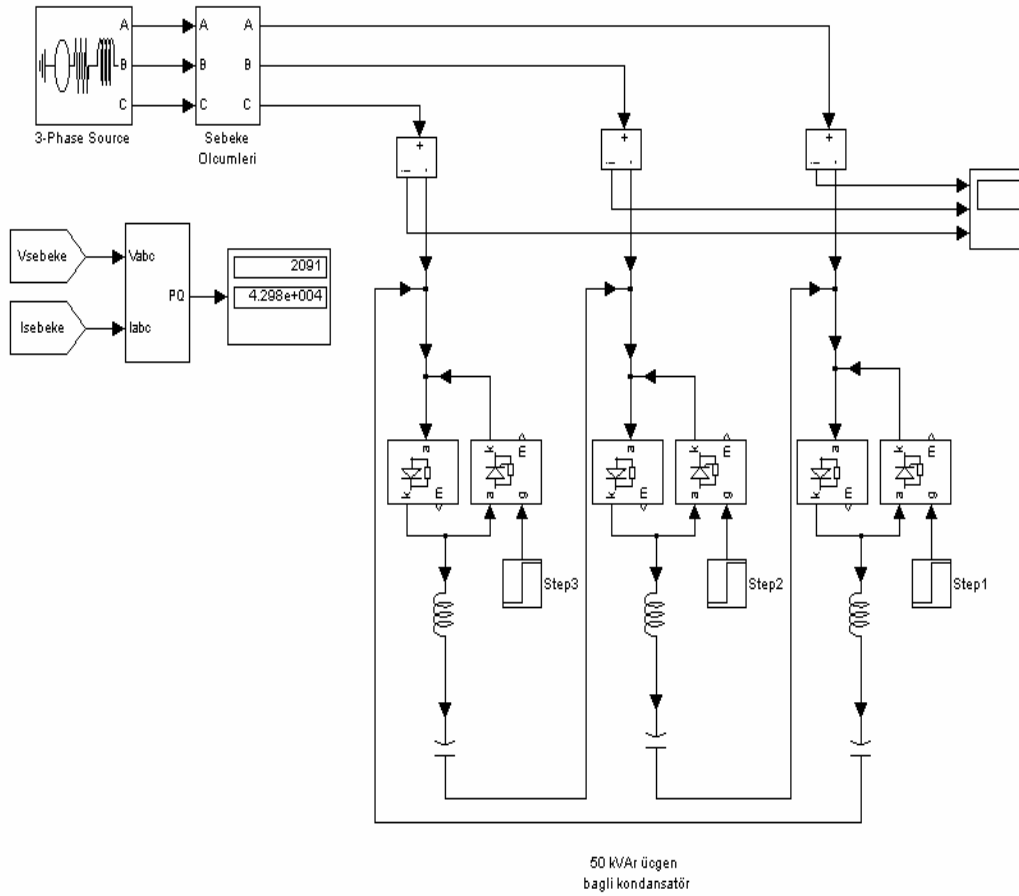


Şekil 3.6. Üç faz kontrollü tristör anahtarlamalı kondansatör yapısı

Şekil 3.7.'de üç faz kontrollü tristör anahtarlamalı kondansatör sisteminin simulink devresi gösterilmiştir. Buna göre, yukarıda bahsedildiği gibi, tristör – diyot modülleri kondansatör ve reaktörler ile seri olarak üçgen bağlanmıştır. Bir başka deyişle, tristör – diyot blokları ve reaktörler üçgenin içerisine sokulmuştur. Bu tür bağlantıyı

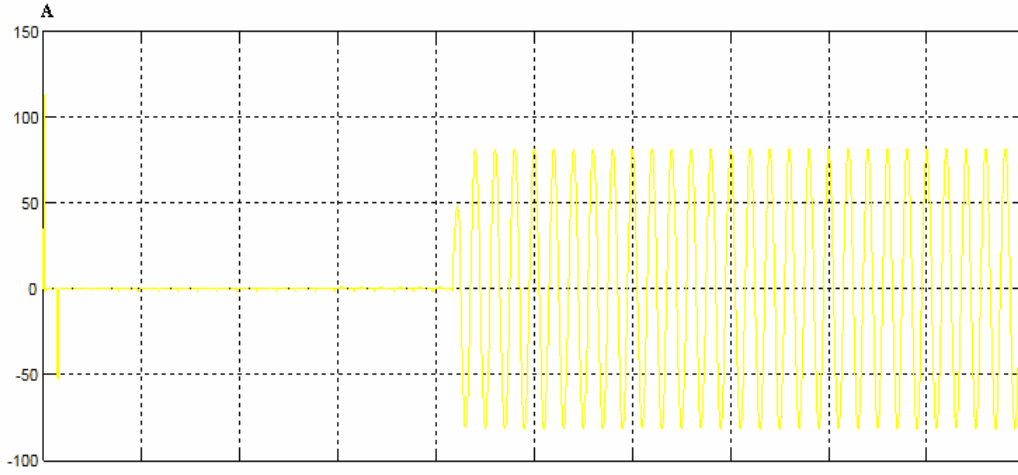
yapabilmek için altı kutuplu kondansatör kullanılması gerekmektedir. Genelde kondansatörlerin üçgen bağlantısı üretim sırasında yapılıp dışarıya üç uç bırakıldığı için, bu sistemi kurabilen firma sayısı sınırlıdır.

Şekil 3.7.'de kurulan sistemdeki, iki faz kontrollü sistemdeki koşullar ile aynıdır. Kullanılan reaktörler harmonik filtre reaktörleridir. Harmonik filtre nedeniyle kondansatörün üzerinde gerilim yaklaşık 20 V civarında artacağından dolayı kondansatörlerin nominal gerilim seviyesi 440 V seçilmiştir. Toplamda verilen güç 44 kVAr civarında olacaktır.

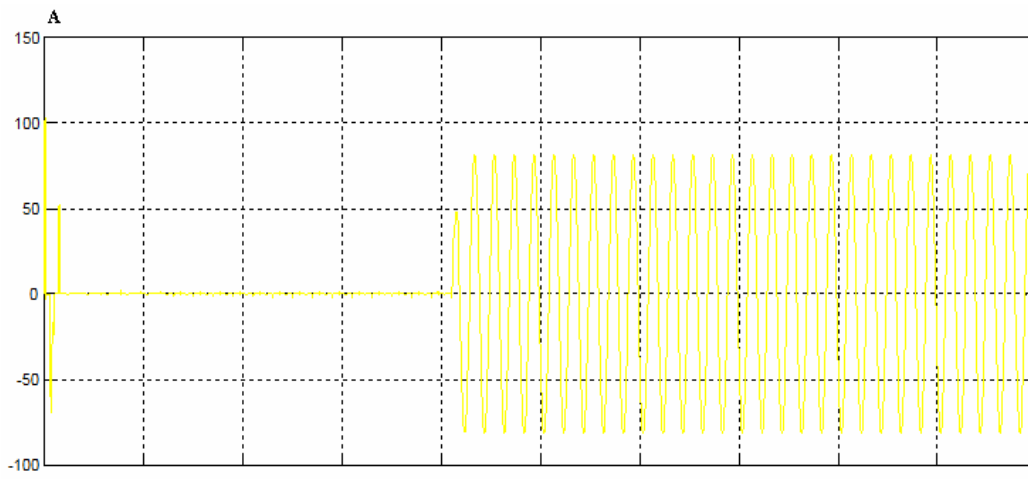


Şekil 3.7. Üç faz kontrollü tristör anahtarlamalı kondansatörün simulink devre şeması

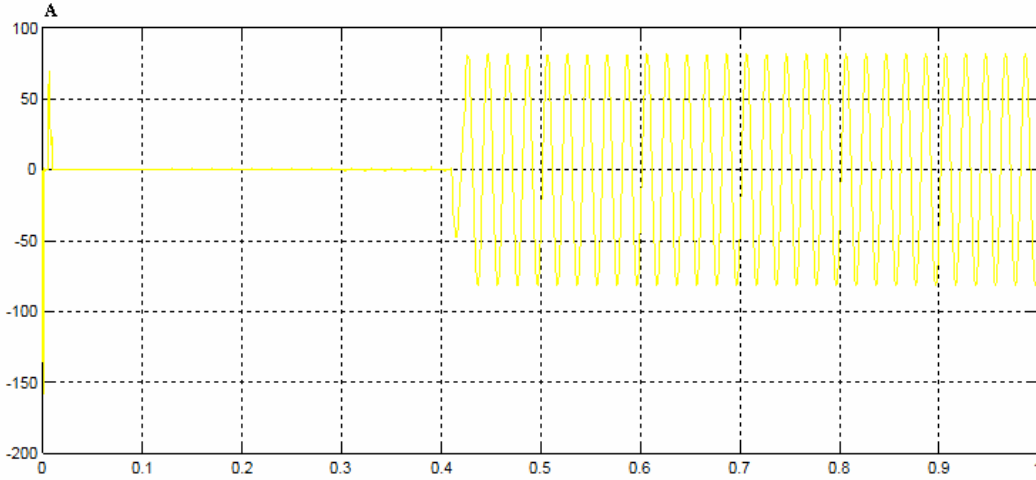




Şekil 3.8. Üç faz kontrollü tristör anahtarlama kondansatörün a fazının akım dalga şekli



Şekil 3.9. Üç faz kontrollü tristör anahtarlama kondansatörün b fazının akım dalga şekli



Şekil 3.10. Üç faz kontrollü tristör anahtarlama kondansatörün c fazının akım dalga şekli

Şekil 3.8. , Şekil 3.9. ve Şekil 3.10.'daki dalga şekilleri incelendiğinde, her üç fazdan akımda herhangi bir geçici aşırı akım oluşmadığı tespit edilmiştir. Kondansatör üzerindeki gerilim farkının sıfır olduğu nokta, şebeke geriliminin tepe değerine ulaştığı andaki noktadır. Kondansatörün akımı geriliminden  $90^\circ$  ileride olduğu için, gerilim tepe değerine ulaştığında akım sıfır noktasında başlayacaktır. Kondansatörler aynı şekilde akımın sıfırdan geçtiği anda devreden çıkartılır.

### 3.3.3. İki faz kontrollü sistemler ile üç faz kontrollü sistemlerin mukayesesi

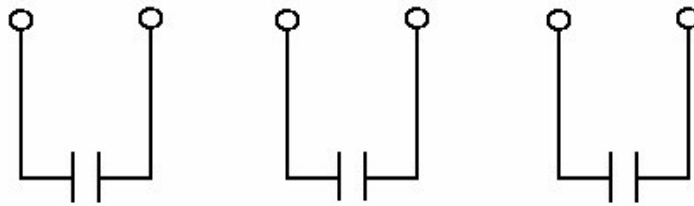
İki faz kontrollü sistemlerin yapısında iki adet tristör – tristör modül kullanılır. Üç faz kontrollü sistemlerde ise üç adet tristör – diyot modül kullanılır. Maddi açıdan iki faz kontrollü sistemler üç faz kontrollü sistemlere göre daha avantajlıdır.

Ayrıca tristör – diyot modülü, hem yurt dışındaki üreticisi hem de Türkiye'deki ithalatçısı tarafından stok tutulmayan bir ürün grubudur. Bu nedenle bu malzemelerin teslim süreleri yirmi hafta civarındadır. Bu süre çok uzun olduğu için, üç faz kontrollü sistemi tercih eden firmalar, ilgili ürünleri stoklarında tutmak zorundadırlar. Ancak iki faz kontrollüde kullanılan tristör – tristör modüller hem üretici hem de distribütör firmaların stoklarında sürekli bulundurmaktadırlar. Dolayısıyla stok maliyeti açısından da iki faz kontrollü sistemler üç faz kontrollü sistemlere göre daha avantajlıdır.

İki faz kontrollü sistemler, hemen hemen her kondansatör üreticisinin standart olarak ürettiği üç faz üç kutuplu (kondansatör üretim sırasında içeriden üçgen yapılı ve dışarıya üç uç bırakılır) kondansatörler ile kurulabilmektedir. Ancak üç faz kontrollü sistemlerin kurulabilmesi için üç faz altı kutuplu kondansatörlerin kullanılması gerekmektedir (Şekil3.11).

Her iki sistemde de, tristör blokları ile kondansatörler arasında bir self kullanılması gerekmektedir. Harmonikli ortamlarda harmonik filtre reaktörü, harmonik olmayan ortamlarda ise akım sınırlama reaktörü kullanılmaktadır.

İki faz kontrollü sistemlerde, üç fazdan herhangi biri mutlaka darbe yaparak girmektedir. Oysa üç faz kontrollü sistemlerde tüm fazlar darbe yapmadan girmektedir. Bu durum, üç faz kontrollü sistemlerin iki faz kontrollü sistemlere göre en büyük avantajı olarak kabul edilmektedir.



Şekil 3.11. Üç faz altı kutuplu kondansatörün gösterimi

Ayrıca iki faz kontrollü sistemlerde kondansatör tekrar devreye gireceği zaman, üzerinde kalan gerilim ile şebeke geriliminin eşit olduğu (sıfır geçiş) zaman kontrol edilmelidir. Dolayısıyla, hem kondansatörün üzerindeki gerilimin değişmesi hem de şebeke geriliminin değişmesi kontrolü zorlaştırmaktadır.

Üç faz kontrollü sistemlerde ise, kondansatörlerin üzerinde sürekli olarak şebeke geriliminin tepe değerine eşit dc gerilim mevcuttur. Kondansatör, akımın sıfır olduğu noktada devreden çıktığında şebeke gerilim tam tepe değerine ulaşmaktadır. Dolayısıyla, kondansatör devre dışı kaldığı anda tekrar şebeke geriliminin tepe değerine eşit dc gerilim ile dolmaktadır. Sonuç olarak üç fazlı sistemlerde şebeke geriliminin tepe noktası kondansatörler için giriş koşulu olmaktadır ve kontrol açısından büyük kolaylık sağlamaktadır.

Sonuç olarak, yukarıda bahsedilen her iki sistem de günümüzde kullanılmaktadır. Ticari açıdan iki faz kontrollü sistemler, teknik açıdan ise üç faz kontrollü sistemler daha avantajlıdır.

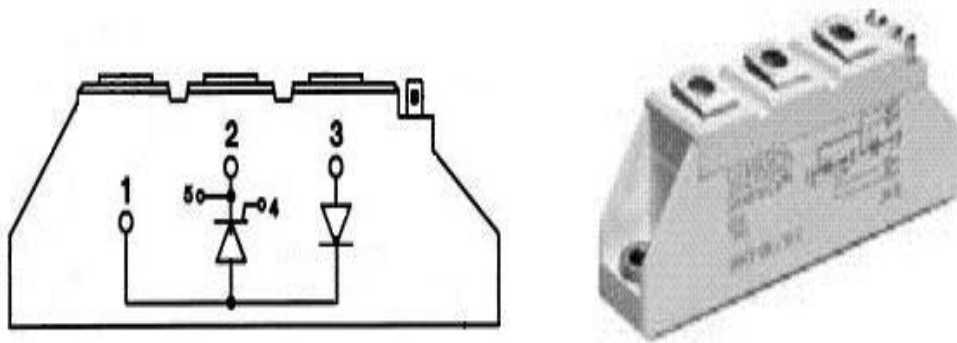
## BÖLÜM 4. UYGULAMA MODELİ

Bu uygulamada, üç faz kontrollü tristör anahtarlamalı kondansatör pratik olarak gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamada kullanılan temel elamanlar aşağıdaki gibidir;

- Tristör – Diyot modülü,
- Kondansatör,
- Harmonik filtre reaktörü,
- Kontrol kartı.

### 4.1. Tristör – Diyot Modülü

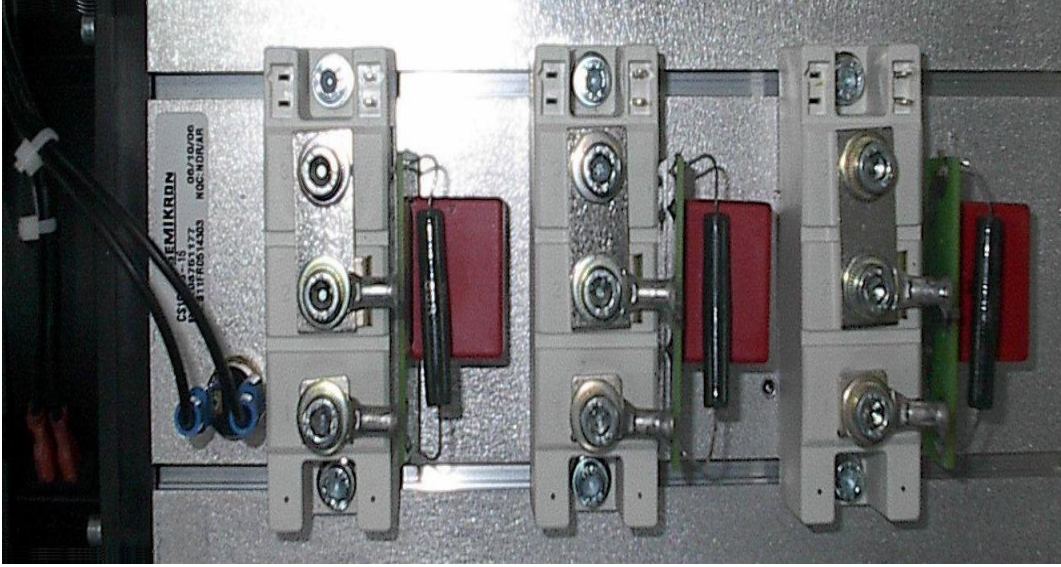
Şekil 4.1.'de Semikron marka tristör- diyot modülü görünmektedir. Aynı modül içerisine bir adet tristör ve bir adet diyot yerleştirilmiştir.



Şekil 4.1. Semikron Tristör – Diyot Modülü [2]

Yarı iletken malzemelerin en büyük dezavantajı enerji altında çok fazla ısınmalarıdır. Bu nedenle tristör – diyot modülleri mutlaka bir soğutucu yüzey üzerine monte edilmelidirler. Ayrıca soğutucu yüzey üzerinde hava dolaşımını gerçekleştirecek fan yerleştirilmelidir. Şekil 4.2.'de semikron marka soğutucu yüzey üzerine yerleştirilmiş

üç adet tristör- diyot modülü ve fan görülmektedir. Soğutucu yüzeyin boyutları kullanılan tristör – diyot modülün katalogundan bulunabilir.



Şekil 4.2. Soğutucu yüzey üzerine yerleştirilmiş tristör – diyot modülü

Şekil 4.2.'de görüldüğü gibi, tristör – diyot modüllerin uçlarında snubber devreleri kullanılmaktadır. Yarı iletken malzemelerin bir diğer dezavantajı, anlık olarak gerilim darbelerinden çok fazla etkilenmeleri ve hatta delinme diye tabir edilen kısa devre olmalıdır ( $dV/dt$ ). İşte bu nedenden dolayı, şebekeden gelecek anlık gerilim darbelerini sönmöndirmek için snubber devreleri kullanılır.

Tristör – diyot modüllerinin seçiminde en önemli etmen akım ve gerilim dayanımıdır. Akım değerinin hesabı alternatif akım devrelerinde çok basittir. Kullanılacak kondansatörün çekeceği nominal akım ile harmonik akımları hesaplanarak tristör – diyot modüllerin akım seviyesi seçilebilir.

Gerilim dayanımının hesabı ise biraz daha karmaşıktır. Pratik olarak bir tristör – diyot modülün gerilim seviyesi aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$U_t = U_{rms} \times CF \times 2 \times 1.1 \quad (4.1.)$$

(4.1.) eşitliğinde,  $U_t$  : Tristör – diyot modülün minimum gerilim seviyesi,  $U_{rms}$  : şebekenin nominal gerilim seviyesi, CF(Crest Factor) : Şebeke geriliminin tepe noktasını ifade etmektedir.

Harmonik içermeyen saf bir sinüsün tepe noktası (crest factor) rms değerinin  $\sqrt{2}$  kadarıdır. Ancak harmonik içeren sistemlerde bu değer 1.8 hatta 2 civarına çıkabilmektedir. Bu nedenle, tristör – diyot modülün gerilim seviyesinin belirlerken en önemli etmen CF olmaktadır.

(4.1.) eşitliğindeki 2 çarpanı bir sinüs dalgasının pozitif ve negatif tepe noktasından gelmektedir. 1.1 çarpanı ise, yasaların izin verdiği gerilim dalgalanmasından gelmektedir. Yasalara göre şebeke gerilimi nominal geriliminin %10'u kadar artış gösterebilir. Üreticiler şebekede yaşanabilecek bu dalgalanmaya ürünün dayanabilmesini garanti etmelidirler.

Harmonik içermeyen ve şebeke gerilimi 400 Vrms olan bir sistemde kullanılacak tristör – diyot modülün gerilim seviyesi;

$$U_t = 400 \times \sqrt{2} \times 2 \times 1.1 = 1245 \text{ V} \quad (4.2.)$$

olarak hesaplanmaktadır. Buna göre tristör – diyot modülü standart olarak 1400 V seçilebilir. Ancak bu tip sistemler genelde yoğun harmonik içeren tesislerde kullanılır. Bu nedenle uygulamada kullanılacak tristör – diyot modüllerinin gerilim seviyesi 1600 V olarak seçilmiştir (CF yaklaşık 1.8 kabul edilmiştir).

## 4.2. Kondansatör

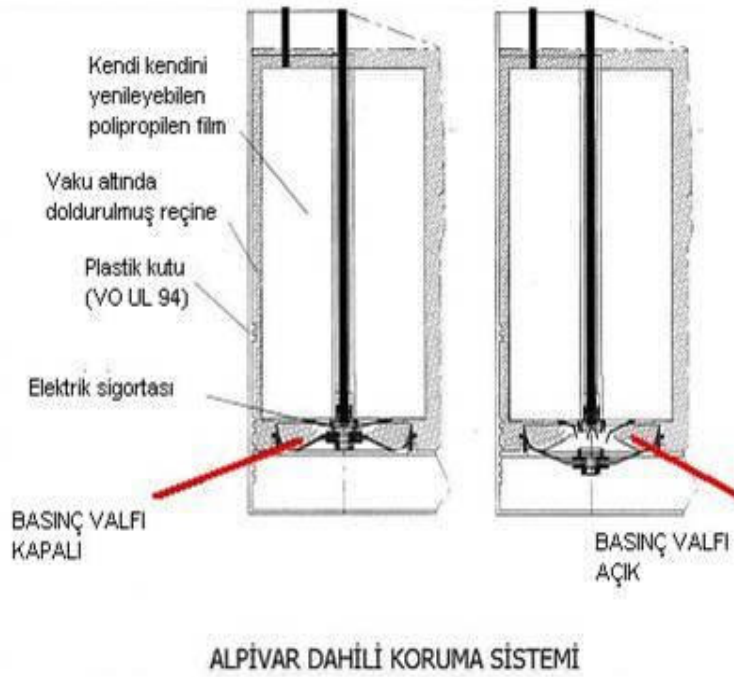
Kondansatör olarak, Alpes Technology firmasının Alpivar marka 6 kutuplu kondansatör kullanılmıştır. Kondansatör tamamen reçine içine gömdürülmüş yapıda olup, topraklama gerektirmeyen bir dizayna sahiptir. Nominal geriliminin 1.18 katı gerilim altında sürekli çalışabilmektedir. Akım olarak ise, nominal akımının 1.5 katı akıma sürekli dayanabilmektedir. Uygulamada kullanılan kondansatör Şekil 4.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Alpivar marka kondansatörün görünümü [5]

Alpivar marka kondansatörün bir diğer özelliği aşırı basınç valfi içermesidir. Kondansatörün patlamasına aşırı gerilim veya aşırı akımdan kaynaklanan basınç neden olur. Kondansatörün alt kısmına yerleştirilen basınç valfları sayesinde basınç arttığı anda valf açarak kondansatörü devre dışı bırakır. Aşırı basınç valfinin yapısı Şekil 4.4.'te gösterilmiştir. Aşırı basınç valfi açıldığında dışarıya zehirli gaz çıkışı olmamaktadır.





Şekil 4.4. Aşırı basınç valfi yapısı [5]

### 4.3. Harmonik Filtre Reaktörü

Bu uygulamada, Aktif Mühendislik firmasının Asset marka harmonik filtre reaktörleri kullanılmıştır. Önceki konularda bahsedildiği üzere tristör anahtarlamalı kompanzasyon sistemlerinde ya harmonik filtre reaktörü ya da akım sınırlama reaktörleri kullanılmaktadır.

Bu uygulamada harmonik filtre reaktörünün kullanılmasının nedeni, statik kompanzasyon ihtiyacı olan sistemlerin genelde yoğun harmonik içermesidir. Dolayısıyla pratikte statik kompanzasyon sistemlerinde harmonik filtre reaktörleri kullanılmaktadır. Uygulamada kullanılan harmonik filtre reaktör Şekil 4.5.'te gösterilmiştir.

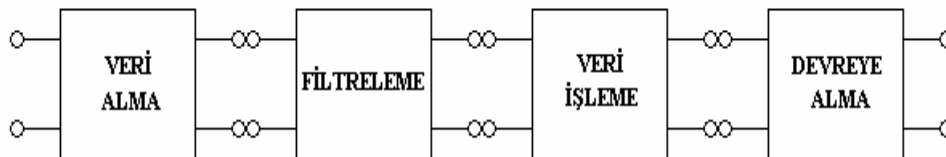


Şekil 4.5. Asset marka harmonik filtre reaktörünün görünümü[5]

#### 4.4. Kontrol Kartı

Statik kompanzasyon sistemlerinde en önemli eleman kontrol kartıdır. Kontrol kartının temel olarak görevi, kondansatör uçlarından aldıkları gerilim bilgilerini işleyerek, reaktif güç kontrol rölesinden gelecek komut ile kondansatörleri aşırı gerilim ve aşırı akım oluşturmayacak şekilde devreye almaktır.

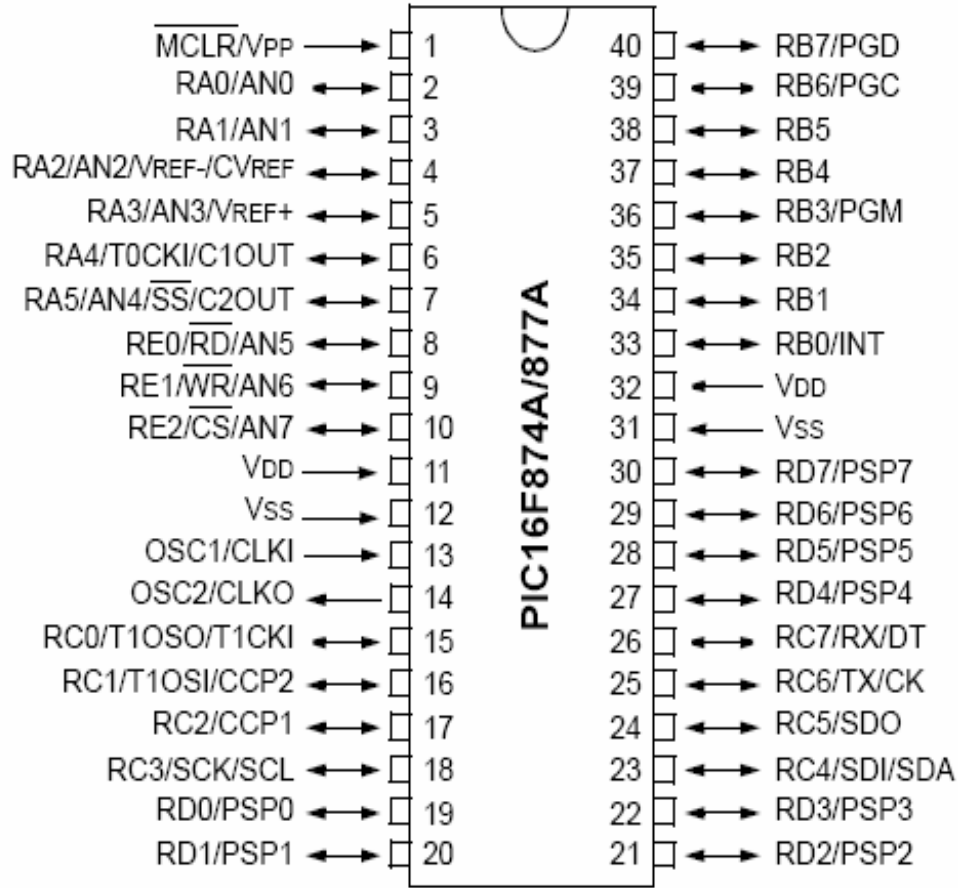
Kontrol kartı tasarlanırken, kart dört ana bölüme ayrılmıştır (Şekil 4.6.). İlk bölümde, gerilim bilgisi dış ortamdan gerilim bölücü devreler kullanılarak elektronik ortama aktarılmıştır.



Şekil 4.6. Kontrol kartı ana bölümleri

Dış ortamdan alınan gerilim bilgisi 5 V seviyelerine düşürüldükten sonra, gerilim bölücü devrelere paralel bağlanan yüksek geçiren filtre ile gürültülerden temizlenmiştir.

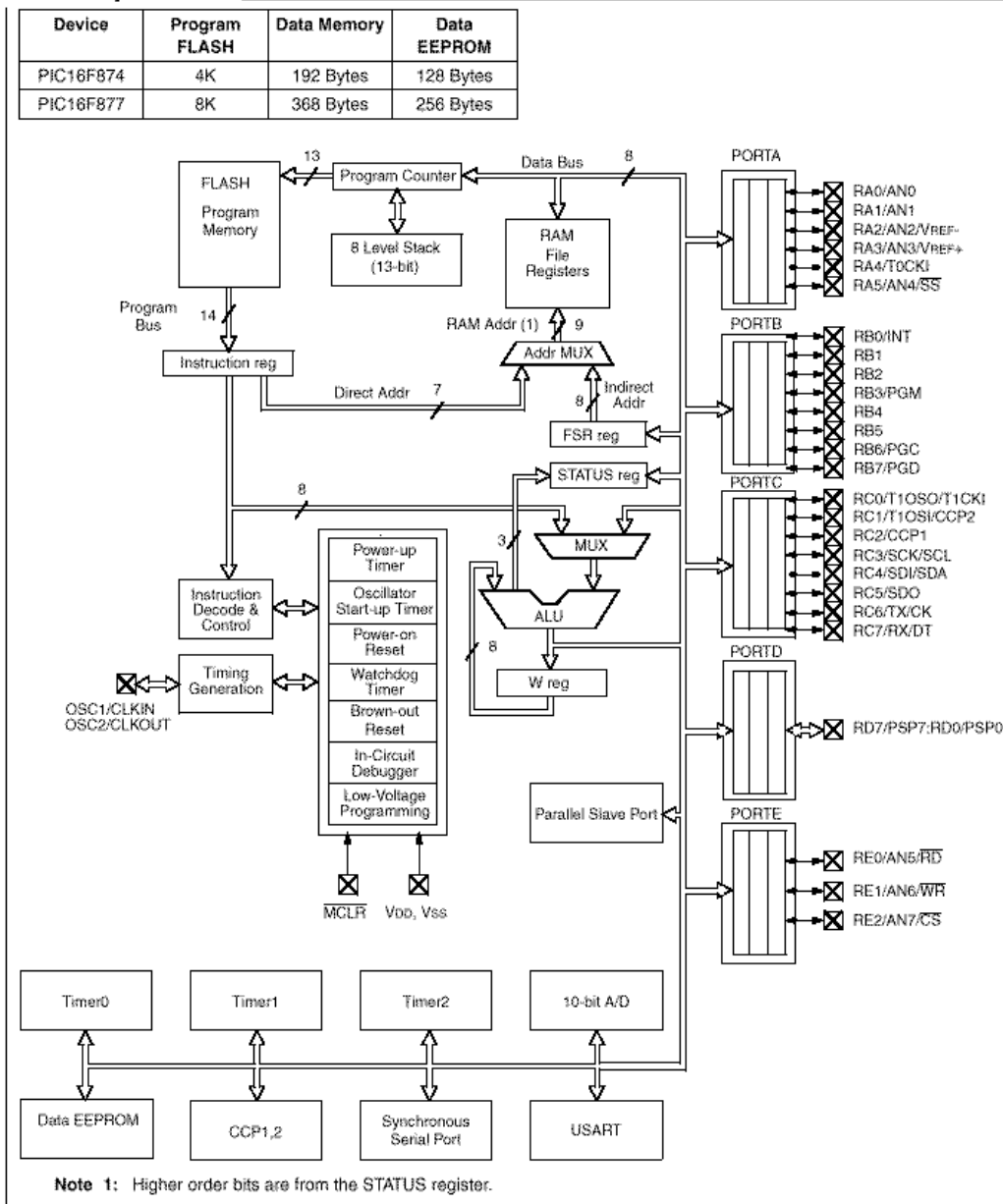
Yüksek geçiren filtre ile muhtemel gürültülerden temizlenen gerilim bilgileri bünyesinde dahili Analog – Dijital çevirici mevcut olan mikro işlemcide işlenmiştir. Mikroişlemci olarak PIC 16F877 kullanılmıştır.



Şekil 4.7. PIC 16F877'nin 40 pin PDIP kılıf yapısı

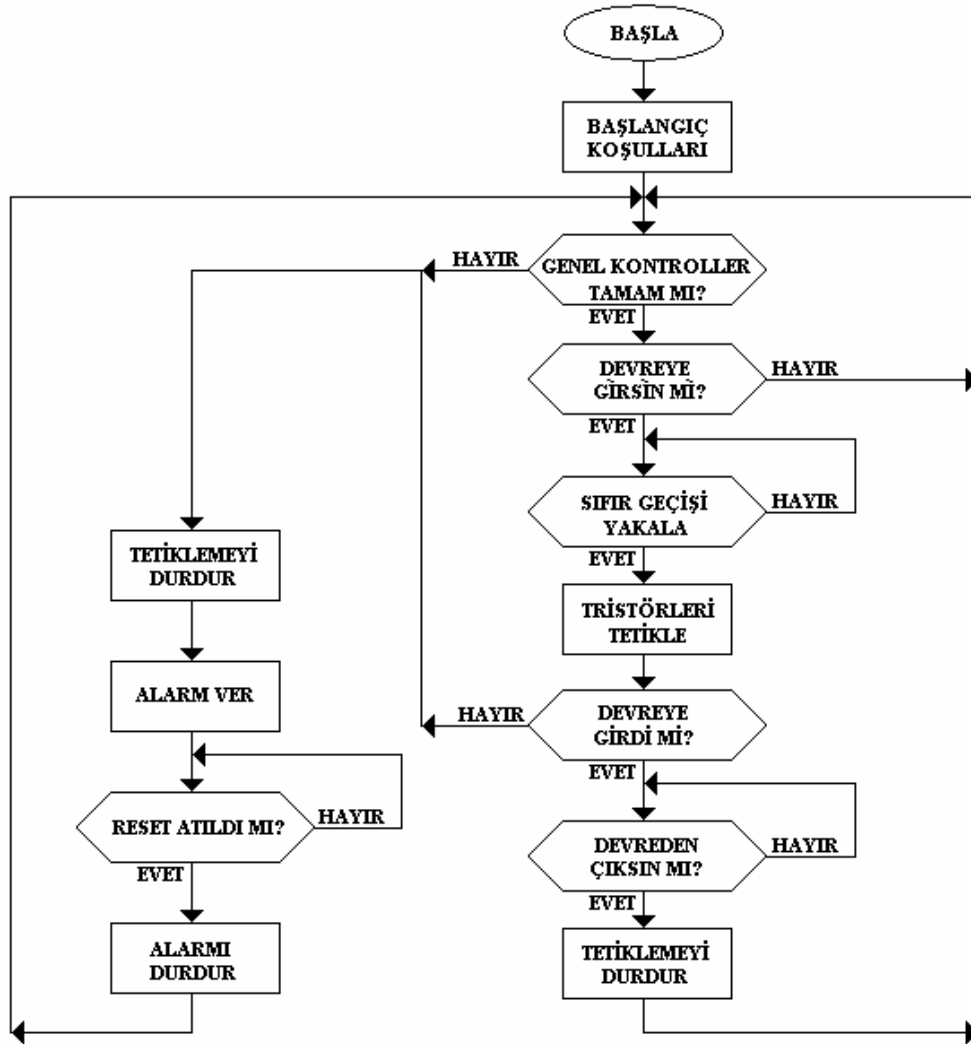
İçerisinde 10 bitlik 8 adet ADC mevcuttur olup, 5 mV'luk hassasiyetle analog veriyi dijital bilgiye çevirebilmektedir. Mikroişlemcinin çalışma frekansı 20 MHz'dir. Bir diğer deyişle çalışma süresi 50 ns'dir. Çalışma frekansı çok yüksek olduğu için, verinin işlenmesinde bir gecikme yaşanmamıştır. Bu uygulamada PIC 16F877'nin kullanılmasının amacı hem 5 mV hassasiyetle veri çevirebilen 8 adet ADC'nin bulunması hem de çok yüksek frekansta işlem yapabilmesidir. PIC 16F877'nin akış diyagramı Şekil 4.8.'de gösterilmiştir.

PIC F877 AKIŞ DİYAGRAMI



Şekil 4.8. PIC 16F877'nin akış diyagramı

PIC 16F877 içerisindeki yazılım, dış ortamdan alınan ve gerekli işlemler gerçekleştirilerek PIC'e girilen bilgileri kullanarak kondansatörleri sıfır geçiştir devreye sokacak tetikleme sinyalini üretir. Aynı zamanda sistemde kullanılan tristörlerin ve sigortaların sağlamlıklarını kontrol eder. Yazılımı akış diyagramı Şekil 4.9.'da verilmiştir.

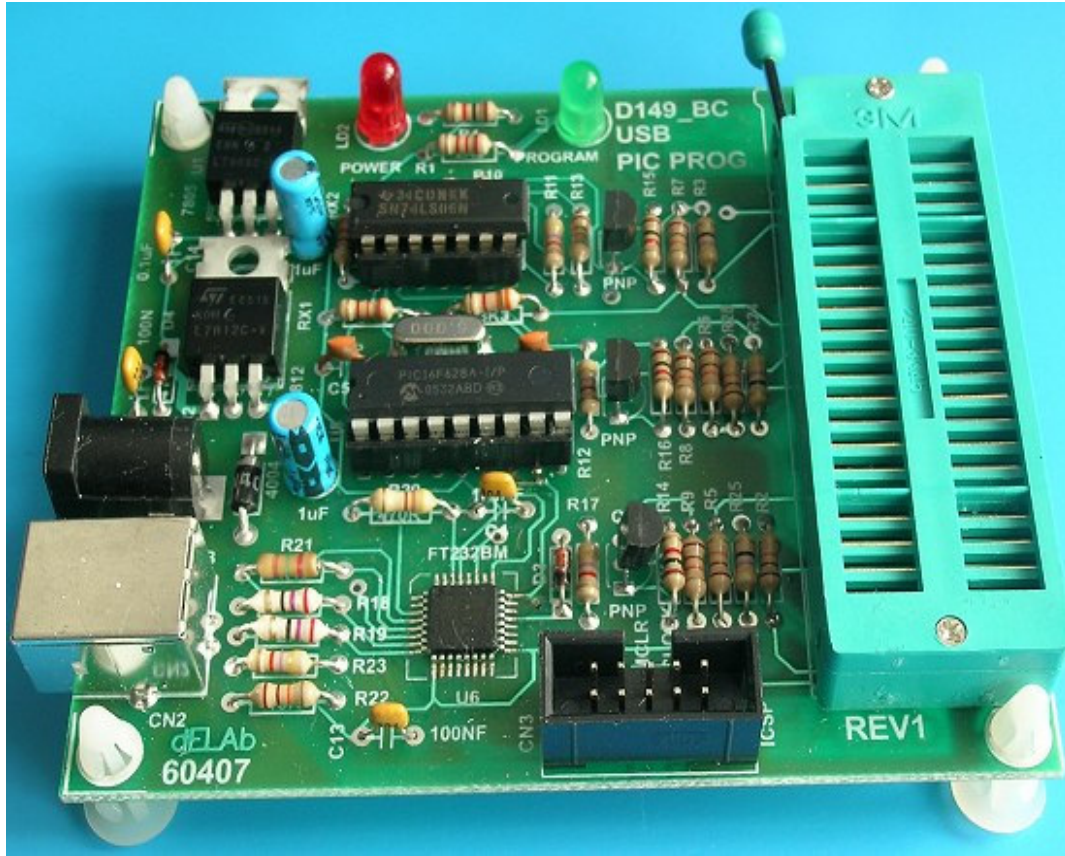


Şekil 4.9. Yazılımın akış diyagramı

Kontrol kartı enerjilendikten sonra, tristör anahtarlama sistemdeki gerilim seviyesini, tristörlerin ve sigortaların kontrolünü yaptıktan sonra, reaktif güç kontrol rölesinden gelecek gir komutunu bekler. Reaktif güç kontrol rölesinden gir komutu geldiğinde, tristörleri devreye sokacak tetikleme sinyalini üretir. Tetikleme sinyali üretildikten sonra, en fazla 20 ms sonra tristörler devreye gireceklerdir. Eğer 20 ms sonra tristörler devreye girmezse program hata alt yazılımına dallanır ve reset gelene kadar hata alt yazılımında çıkmaz.

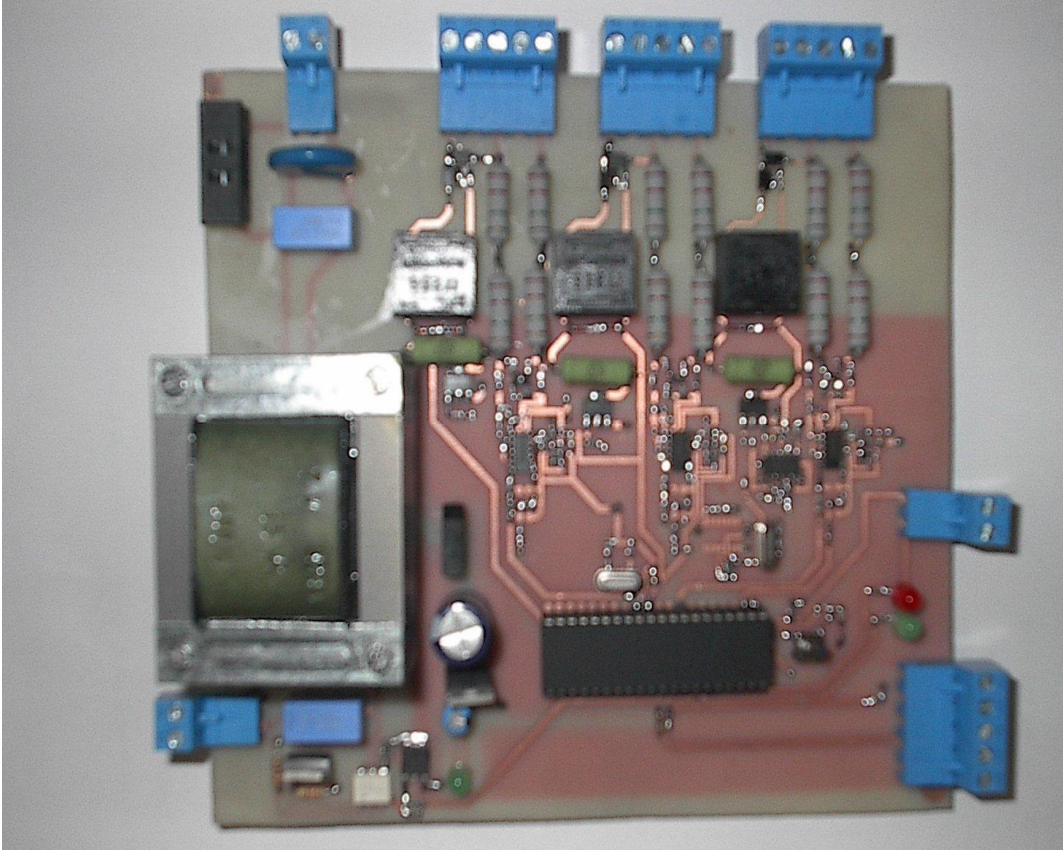
Tristörler devreye girdikten sonra, reaktif güç kontrol rölesinden çık komutu beklenir. Reaktif güç kontrol rölesinde çık komutu gelir gelmez, 10 ms içerisinde tristörler devreden çıkar. Yazılım bu şekilde sonsuz döngüye girer.

Yazılım MicroC dilinde yazılmıştır. Şekil 4.10.'da gösterilen PIC programlayıcısı ile mikroişlemciye yüklenmiştir.



Şekil 4.10. PIC programlama kartı [6]

Şekil 4.11.'de tasarlanan kontrol kartı görünmektedir.



Şekil 4.11. Kontrol kartının genel görünümü

## BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkelerin gelişmişlik düzeyi arttıkça, elektrik enerjisi tüketimi de aynı orantıda artmaktadır. Günümüzde elektrik enerjine olan ihtiyaç, her geçen gün öneminin artmasına neden olmaktadır. Elektrik enerjisinin üretiminde, iletiminde ve tüketiminde enerji kalitesinin kontrol edilmesi kaçınılmaz olmuştur.

Teknolojideki akıl almaz gelişmeler, tüketicilerin çektikleri aktif ve reaktif gücü farklı bir boyuta taşımıştır. Birkaç periyot gibi çok kısa zaman dilimlerinde çok büyük güçler tüketilebilecek cihazlar geliştirilmiştir. Bu kısa zaman diliminde gerçekleşen olaylar, enerji kalitesini büyük ölçüde etkilemiştir.

Yine aynı teknoloji, enerji kalitesinde yaşanan bu etkilere cevap vermekte gecikmemiştir. Hem alçak gerilimde hem de yüksek gerilimde yarı iletken malzemeler kullanarak güç faktörünü 1'e yakın değerlerde tutulabilmektedir.

Mühendisliğin görevi yalnızca teknik açıdan en doğru olanı bulmak değil, hem teknik açıdan hem de ticari açıdan en doğru olanı bulmaktır. Teknik açıdan bu konuya yaklaşıldığında en doğru çözüm tristör kontrollü kondansatör yapısıdır. Ancak güç faktörünü milisaniyeler mertebesinde 1'de tutabilmesine rağmen ticari açıdan bu çözüm çok pahalı olmaktadır. Bu nedenle alçak gerilimde güç faktörünü 1'e yakın tutulabilmek amacıyla geliştirilen teknikler içerisinde, hem teknik hem de ticari açıdan en doğru olanı tristör anahtarlama kompanzasyon sistemleridir.

Tristör anahtarlama kompanzasyon sistemlerinde de iki farklı çözüm söz konudur. İki faz kontrollü ve üç faz kontrollü tristör anahtarlama kompanzasyon sistemleri. İlk bölümlerde detaylı olarak açıklandığı üzere, iki faz kontrollü sistemler teknik açıdan doğru sistemler değildir. Ancak üç faz kontrollü sistemleri tasarlayabilmek için 6 kutuplu kondansatörlere ihtiyaç vardır. Günümüzde kondansatör üreticilerinin



büyük bölümü üçgen bağlantıyı üretim sırasında oluşturdukları için, bu sistemi kurmaları imkânsızdır. Zaten 6 kutuplu kondansatöre sahip firmalar üç faz kontrollü sistemi tercih etmektedirler. Maddi açıdan iki faz kontrollü sistemler daha avantajlıdır. Ancak üç faz kontrollü sistemler ile arasında uçurum söz konudur değildir. Dolayısıyla tercih sebebi yalnızca 6 kutup kondansatör yapısına sahip olup olmamasıdır.

Özellikle önümüzdeki yıllarda yasalarda yapılacak olan yeni düzenlemeler ile tristör anahtarlamalı kompanzasyon sistemlerinin önemi daha da artacaktır. Yalnızca birkaç saniye içerisinde devreye girip ve çıkabilen yükler dışında hemen hemen tüm yükler için gerekli hale gelecektir. Bu nedenle, bu uygulamada tristör anahtarlamalı kompanzasyon sistemlerinin pratikte uygulanması tercih edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] KOCATEPE, C., UMURKAN, N., ATTAR, F., UZUNOĞLU, M., YUMURTACI, R., KARAKAŞ, A., ARIKAN, O., BAYSAL, M., Enerji Kalitesi ve Harmonikler, Kurs Notları, İstanbul 2005
- [2] MARTIN, F., Semikron İnnovation + Service, Power Electronics, Deutschland 2004
- [3] UZUNOĞLU, M., Her Yönü İle Matlab, Türkmen Kitabevi, İstanbul 2003
- [4] ARİFOĞLU, U., Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi, Alfa Yayınları, İstanbul 2002
- [5] Aktif Mühendislik Dış Ticaret Ltd. Şti., Teknik Bilgiler Katalogu
- [6] Pic Programlama Kartı ile ilgili web sayfası;  
[http://www.denizelektronik.com/usb\\_pic.htm](http://www.denizelektronik.com/usb_pic.htm)

## ÖZGEÇMİŞ

Recep Memiş, 19.05.1982'de Sakarya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Adapazarı'nda tamamladı. 2000 yılında Mithatpaşa Süper Lisesi'nden mezun oldu. 2000 yılında Sakarya Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü'ne girdi ve 2004 yılında mezun oldu. 2004 – 2005 yılları arasında Hilkar Elektroteknik San. Tic. Ltd. şti.'nde elektrik mühendisi olarak çalıştı. şu anda Aktif Mühendislik Dış Tic. Ltd. şti.'nde enerji kalitesi departmanında çalışmaktadır.