

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

**ALÇAK GERİLİM TESİSLERİNDE  
REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hüseyin ATMACA**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**Tez Danışmanı: Dr.Öğr.Üyesi Evren İŞEN**

**EYLÜL 2020**

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

**ALÇAK GERİLİM TESİSLERİNDE  
REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hüseyin ATMACA  
(1178203106)**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**Tez Danışmanı: Dr.Öğr.Üyesi Evren İŞEN**

**EYLÜL 2020**

*Eşime ve Aileme,*

## ÖNSÖZ

Bu çalışmamım tamamlanmasında bana sağladıkları imkanlar, gösterdikleri aydınlatıcı yöntemler ve katkılarından dolayı aşağıda bahsi geçen kişilere tüm kalbimle teşekkürü borç bilirim.

Sayın tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Evren İŞEN'e çalışmam boyunca sağladığı katkılardan ve yönlendirmelerinden ötürü teşekkür ederim.

Sayın Sinan TOKLU, Hakan YÜRÜK ve Sayın Murat VATANSEVER çalışmamım uygulama aşamasındaki yöntemleri sunmuşlardır. Ağabeyim Hasan ATMACA'ya sağladığı yazılım desteği için müteşekkirim.

Bana her zaman destek olan canım eşim Özlem ATMACA'ya Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlığındaki mesai arkadaşlarıma ve Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğretim üyelerine ayrıca teşekkür ederim.

Eylül 2020

Hüseyin ATMACA  
Elektrik Elektronik Mühendisi

## KISALTMALAR

<b>AA/AC</b>	: Alternatif Akım
<b>ASAP</b>	: İlgili Asansöre Ait Güç Panosu
<b>CIGRE</b>	: Büyük Elektrik Sistemleri Uluslararası Kurulu
<b>DC</b>	: Doğru Akım
<b>EPRI</b>	: Elektrik Güç Araştırma Enstitüsü
<b>F</b>	: Farad
<b>FACTS</b>	: Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri
<b>Hz</b>	: Hertz
<b>kA</b>	: Kilo Amper
<b>KDP</b>	: Kazan Dairesi Panosu
<b>kVA</b>	: Kilo Volt Amper
<b>kVAR</b>	: Kilo Volt Amper Reaktif
<b>kV</b>	: Kilo Volt
<b>kW</b>	: Kilo Watt
<b>kWh</b>	: Kilo Watt Saat
<b>MAK</b>	: Mekanik Anahtarlama Kondansatör
<b>MAR</b>	: Mekanik Anahtarlama Reaktör
<b>Mcc-01</b>	: Güç Dağıtım Tablosu 1
<b>NH</b>	: Bıçaklı Tip Sigorta
<b>OG</b>	: Orta Gerilim
<b>P</b>	: İlgili Makineye Ait Güç
<b>P-ADP</b>	: Ana Dağıtım Panosu Gücü
<b>PSCAD</b>	: Güç Sistemleri Simülasyon Programı
<b>RGKR</b>	: Reaktif Güç Kontrol Rölesi
<b>SK</b>	: Sabit Kondansatör
<b>STATKOM</b>	: Statik Senkron Kompanzator
<b>SVC</b>	: Statik Var Kompanzasyon
<b>TAK</b>	: Tristör Anahtarlama Kondansatör
<b>THD</b>	: Toplam Harmonik Distorsiyonu
<b>TKR</b>	: Tristör Kontrollü Reaktör
<b>TKR SK</b>	: Tristör Kontrollü Reaktör ve Sabit Kondansatör
<b>UPS DP</b>	: Kesintisiz Güç Kaynağı Dağıtım Panosu
<b>VA</b>	: Volt Amper
<b>VAr</b>	: Volt Amper Reaktif
<b>W</b>	: Otomat Tip Sigorta
<b>XLPE</b>	: Orta Gerilimde Kullanılan Kablo Türü
<b>YSP</b>	: Yangın Santrali Panosu

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 3.1 : İstenilen $\cos \varphi$ 'ye ulaşmak için “k” faktörü değerleri.....	19
Çizelge 4.1: Akım trafosuna göre kademe gücü seçimi.....	40
Çizelge 6.1 : Kat dağıtım panoları güçleri. ....	55
Çizelge 6.2 : Asansörlere ait yükler. ....	56
Çizelge 6.3 : Mcc-01 panosuna ait yükler.....	56
Çizelge 6.4 : Mcc-02 panosuna ait yükler.....	56
Çizelge 6.5 : Kondansatör kademe güçleri. ....	57
Çizelge 6.6 : Marmara Ereğlisi Hükümet Konağı aktif, reaktif tüketim oranları. ....	59
Çizelge 6.7 : Temmuz ayı tüketim miktarları. ....	65
Çizelge 6.8 : Temmuz ayı R, S, T fazlarında ölçülen değerler. ....	66
Çizelge 6.9 : Ağustos ayı tüketim miktarları. ....	68
Çizelge 6.10 : Ağustos ayı R, S, T fazlarında ölçülen değerler. ....	69
Çizelge 6.11 : Kasım ayı tüketim miktarları. ....	70
Çizelge 6.12 : Kasım ayında R, S ve T fazlarında ölçülen değerler. ....	71
Çizelge 6.13 : Aralık ayı tüketim miktarları. ....	72
Çizelge 6.14 : SVC kompanzasyonu iyileşme değerleri.....	73
Çizelge 7.1 : Simülasyondaki sistem parametreleri. ....	82
Çizelge 8.1 : SVC-TKR ile gözlenen değişimler. ....	92
Çizelge 8.2 : Şebeke ve yük harmoniklerinin düşürülmesi.....	93

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
KISALTMALAR.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı.....	2
1.2 Literatür Araştırması.....	3
<b>2. KOMPANZASYON GÜÇ HESAPLARI.....</b>	<b>9</b>
2.1 Nonsinüsoidal Dalgalar ve Fourier Transformasyonu.....	9
2.2 Ayrık Fourier Dönüşümü.....	10
2.3 Tek faz Sistemlerde Frekans Domeni Güç Teorisi.....	10
2.4 Budea ve Fryze'nin Güç Anlatımı.....	11
2.5 Güç Katsayısının Tanımı ve Hesabı.....	12
2.6 Güç Katsayısı Düzenlemesinin Faydaları.....	13
2.6.1 Şebekedeki üzerindeki faydaları.....	13
2.6.2 Tüketiciye faydaları.....	14
2.7 Reaktif Güç Tüketici Cihazlara Örnekler.....	15
<b>3. REAKTİF GÜÇ İHTİYACI TESPİTİNİN YAPILMASI.....</b>	<b>17</b>
3.1 Aktif Gücün Sabit Olması Durumu.....	17
3.2 Görünen Gücün Sabit Olması Durumu.....	18
3.3 k Faktörü Vasıtasıyla Güç Faktörünün Yükseltilmesi.....	19
3.4 Klasik Reaktif Güç Kompanzasyonu Metotları.....	20
3.4.1 Dinamik faz kaydırıcılar.....	20
3.4.2 Kondansatörle kompanzasyon metodu.....	20
3.5 Kompanzasyon Tesislerinin Planlanması.....	21
3.5.1 Alçak gerilim tarafında kompanze işlemleri.....	21
3.5.2 Bireysel kompanzasyon.....	23
3.5.3 Grup kompanzasyon.....	24
3.5.4 Merkezi kompanzasyon.....	24
<b>4. HARMONİKLERİN KOMPANZASYON ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ.....</b>	<b>27</b>
4.1 Harmonikli Elektriksel Büyüklükler.....	27
4.2 Harmoniklerin Üretilmesi.....	29
4.3 Harmoniklerin Kondansatörler Üzerindeki Etkisi.....	29
4.4 Harmoniklerin Elektrik Tesisleri Üzerindeki Etkileri.....	31
4.4.1 Güç faktörü üzerindeki etkileri.....	32
4.4.2 Reaktanslara olan etkileri.....	32
4.5 Harmoniklerin Yok Edilmesi Metodları.....	32
4.5.1 Pasif filtreler.....	33
4.5.2 Aktif filtreler.....	34
4.6 Harmonik Bileşenlerle Rezonans Oluşumu.....	36

4.6.1 Rezonansların meydana gelmesi .....	36
4.6.2 Rezonansın önüne geçilmesi .....	36
4.6.3 Kondansatörler .....	37
<b>5. STATİK VAR KOMPANZASYONU .....</b>	<b>41</b>
5.1 Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri .....	41
5.2 Statik VAR Kompanzasyonu Metodolojisi .....	42
5.2.1 Statik VAR kompanzasyonu avantajları.....	43
5.2.2 Statik VAR kompanzasyonunda güç akışı analizi.....	43
5.2.3 Paralel statik VAR kompanzasyonunun çalışma ilkesi .....	44
5.2.4 Tristör kontrollü reaktör (TKR).....	46
5.2.5 Tristör anahtarlı kondansatör (TAK).....	49
5.2.6 Tristör kontrollü reaktör ve sabit kondansatör (TKR-SK) .....	51
5.2.7 İleri SVC kompanzasyonu STATKOM uygulamaları .....	52
<b>6. SÜLEYMANPAŞA HÜKÜMET KONAĞI'NIN KOMPANZASYONU .....</b>	<b>55</b>
6.1 Tesisin Elektrik Yükleri ve Kompanzasyon İhtiyacının Analizi.....	55
6.2 Sabit Kondansatör Grubu Hesaplamaları .....	63
6.3 Alçak Gerilim Tesisinin Elektriksel Yükleri .....	63
6.4 Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD) .....	67
6.5 Tesiste Endüktif Sürücülü Ölçüm Değerleri ve Analizi .....	70
6.5.1 Statik VAr kompanzasyonunda iyileşme değerleri .....	72
<b>7. SVC SİSTEMİNİN SİMÜLASYON ORTAMINDA TASARIMI.....</b>	<b>75</b>
7.1 Pscad Ortamında SVC Sisteminin Benzetimi.....	75
7.2 Alçak Gerilim Barasında Tesisin Diğer SVC Ölçümleri.....	78
7.3 STATKOM Kullanılarak Harmoniklerin Düşürülmesi .....	81
<b>8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>91</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>97</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>101</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>107</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Gerilim akım ve güçlerin gösterimi (Engin, 2008). .....	10
Şekil 3.1: Taşınan görünür gücün azaltılması. ....	17
Şekil 3.2 : Taşınan aktif gücün artırılması. ....	18
Şekil 3.3 : Kondansatör ve endüktans grubu. ....	21
Şekil 3.4 : Deşarj reaktörü bağlantı şeması (ARGE, 2019). ....	21
Şekil 3.5 : Reaktif güç üretimindeki kullanılan sigortalar. ....	22
Şekil 3.6 : Bireysel kompanzasyon. ....	23
Şekil 3.7 : Grup kompanzasyon. ....	24
Şekil 3.8 : Merkezi kompanzasyon (Bilki, 2008). ....	25
Şekil 3.9 : Günlük yüklenme eğrisine bir örnek (Kocabaş, 2006). ....	25
Şekil 4.1 : Temel bileşen ve tek harmonikler (Kürker & Taşaltın, 2016). ....	27
Şekil 4.2 : a) Sinüzoidal b) Nonsinüzoidal durumu (Kocatepe Celal ve diğ, 2003). ..	30
Şekil 4.3 : Aktif filtre ile harmonik önlenilmesi (Kocatepe Celal ve diğ, 2003). .....	35
Şekil 4.4 : Kompanzasyon kondansatörleri. ....	37
Şekil 4.5 : Üçgen ve yıldız bağlantı. ....	38
Şekil 4.6 : Reaktif güç rölesi. ....	39
Şekil 5.1 : Tristör kontrollü reaktör ve sabit kondansatöre ait (a) basit güç .....	44
Şekil 5.2 : AA iletim hattına ait (a) paralel SVC uygulanmış. ....	45
Şekil 5.3 : MAK ve tristör kontrollü reaktörün devre konfigürasyonları. ....	46
Şekil 5.4 : Temel elemanlar ve akım dalga şekli. ....	46
Şekil 5.5 : Kapasitif bölgenin genişletilmesi. ....	48
Şekil 5.6 : 6 darbeli TKR (Zeynelgil & Demirören, 2004). ....	48
Şekil 5.7 : a) Tek fazlı ve b) üç fazlı birim. ....	49
Şekil 5.8 : TAK'ın anahtarlama işlemi. ....	50
Şekil 5.9 : TAK'ın temel modeli. ....	50
Şekil 5.10 : TAK'ın ve güç sisteminin V/I özelliği. ....	51
Şekil 5.11 : a) Basit devre modeli ve b) akım dalga şekilleri. ....	52
Şekil 5.12 : Akım kaynaklı. ....	53
Şekil 5.13 : Gerilim kaynaklı. ....	53
Şekil 5.14 : Gerilim kaynaklı STATKOM (Balaman, 2012). ....	53
Şekil 6.1 : Tesisin genel görünümü (12.12.2018). ....	55
Şekil 6.2 : Tesiste kullanılan 18 kademeli rölenin bağlantı uçları (ARGE, 2019). ....	59
Şekil 6.3 : Tesise ait kondansatör dizilimleri tek hat şeması. ....	60
Şekil 6.4 : Tesisin enerji ölçüm odası. ....	62
Şekil 6.5 : Tesise ait sirkülasyon pompaları, temiz su pompaları ve kazanlar. ....	64
Şekil 6.6 : Tesise ait hidrafor motorları. ....	64
Şekil 6.7 : Tesise ait harmonik distorsiyon akımı değerleri (tek harmonikler). ....	73
Şekil 6.8 : Tesise ait (a) SVC'siz $\cos \varphi$ değerleri (b) SVC'li $\cos \varphi$ değerleri. ....	73
Şekil 6.9 : Tesise ait (a) SVC öncesi THD (v) b) SVC dahil edilmiş THD (v). ....	74
Şekil 6.10 : Tesise ait a) SVC öncesi oranlar b) SVC sonrası oranlar. ....	74
Şekil 7.1 : Tesise ait SVC sisteminin benzetim modeli. ....	75

Şekil 7.2 : SVC kontrol algoritması. ....	76
Şekil 7.3 : SVC tarafından ölçülen reaktif güç değeri. ....	76
Şekil 7.4 : SVC tarafında sistemdeki voltage (pu) değeri. ....	77
Şekil 7.5 : Tristörün tetikleme açısı değişimleri. ....	77
Şekil 7.6 : Kondansatör bankası kullanımı. ....	78
Şekil 7.7 : SVC tarafından ölçülen akım değişimi. ....	78
Şekil 7.8 : Sistemde TKR'siz durumda reaktif güç. ....	78
Şekil 7.9 : Sistem değişkenleri. ....	79
Şekil 7.10 : Sistemde $P$ değişimi. ....	79
Şekil 7.11 : Tesiste SVC-TKR tarafından güç telafisi. ....	80
Şekil 7.12 : Reaktif güç telafisi. ....	80
Şekil 7.13 : Referanslama işlemi. ....	80
Şekil 7.14 : Benzetimi yapılan devrenin bağlantı şeması. ....	81
Şekil 7.15 : STATKOM devresi. ....	82
Şekil 7.16 : Filtre etkin ve kaynak omik empedans. ....	83
Şekil 7.17 : Kompanzasyonlu ve kaynak omik empedanslı. ....	84
Şekil 7.18 : Filtre etkin değil ve kaynak omik empedans. ....	84
Şekil 7.19 : Kompanzasyonsuz ve kaynak omik empedanslı. ....	85
Şekil 7.20 : Filtre etkin değil ve kaynak endüktif empedans. ....	86
Şekil 7.21 : Kompanzasyonsuz ve kaynak endüktif empedanslı. ....	87
Şekil 7.22 : Filtre etkin ve kaynak endüktif empedans. ....	87
Şekil 7.23 : Kompanzasyonlu ve kaynak endüktif empedanslı. ....	88
Şekil 7.24 : Filtre etkin ve kaynak kapasitif empedans. ....	88

## ALÇAK GERİLİM TESİSLERİNDE REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU

### ÖZET

Son yıllarda, sanayileşmenin artış göstermesiyle birlikte işletmeye alınan cihazlar ve bunun sonucunda da reaktif güç karşılanma gereksinimleri de artmaktadır. Üretilen ve tüketilen elektrik enerjisinin istenilen bazı şartlarda olması beraberinde pek çok olumlu sonuçlar getirecektir. Elektrik sistemlerinde istenilen bu şartlar ise, sabit frekans, gerilim kararlılığı ve kaliteli güç gibi faktörlerinden oluşmaktadır. Bu nedenle sistemlerde oluşan reaktif güç neticesinde oluşan kayıpların en aza indirilmesi gerekmektedir. Elektrik sisteminin reaktif güce ihtiyaç duyulan yerlerinde belirli yöntemler kullanarak karşılanması “reaktif güç kompanzasyonu” olarak isimlendirilir. Bunun sonucunda tesislerde güç katsayısı ( $\cos \varphi$ ) düzeltilecek ve 0,95 ile 1 değeri arasında bir değere getirilecektir.

Genel olarak ideal bir kompanzasyon sisteminden beklenenler gerçekleşmediğinde, iletim hatları aşırı yüklenecek ve ısı kayıpları oluşacağı gibi Enerji Dağıtım Şirketine tesis tarafından reaktif bedel ödenmesi durumuyla karşılaşılacaktır. Günümüzde klasik kompanzasyon yöntemleri, gelişen yarı iletken teknolojisi temeline sahip bileşenler devrede olduğunda yeterince hızlı ve güvenilir cevap veremediği görülmektedir. Yapılan bu tez çalışmasıyla, özellikle bir kamu binasının reaktif güç gereksinimi analiz edilmiş, kompanzasyon sistemi yakın inceleme altına alınarak, gerekli raporlamalar yapılmıştır. Sahada incelenen alçak gerilim tesisinin kompanzasyon sorunu *SVC-TKR* statik var kompanzasyonu yöntemiyle çözülmüş, bununla birlikte tesisin harmonik değerlerinin düşürülmesine yönelik bilgisayar ortamında çalışmalarda bulunulmuştur. Sistemde kullanılan endüktif yük sürücüsünün(*SVC-TKR*) etkinliği denetlenilmiş, tesiste dinamik yükler de bulunduğundan Statik Var reaktif güç düzenleme çeşitlerine de değinilmiştir.

Bir tesisi kurmadan önce tesis hakkında teorik bilgilerin analiz edilmesi, gerekli karşılaştırılmaların nicel olarak yapılması, tesis bilgileri hakkında gerekli bilgisayar

programlarıyla analizlerinin ve matematiksel modellerinin gerçeklenmesi, zaman ve ekonomik aılardan olumlu yararlar sağlayacaktır.

Ayrıca bu tez çalışmasıyla alçak gerilim tesislerinde reaktif güç kompanzasyonu konusu detaylarıyla irdelenmiştir. Kompanzasyonun tanımı ve sayısal olarak ne anlam ifade ettiği, neden kompanzasyon işlemi tesislere uygulanmalıdır, kompanzasyon çeşitlerinin ne olduğu, reaktif güç kompanzasyonun enerji üretici – enerji tüketici taraflarına ne gibi faydalar sağladığı ayrıca kompanzasyonun önemi ve harmonikler konusu da açıklanmıştır.

Aktif olarak çalışılan bir kamu binasında (alçak gerilim tesisi) kompanzasyon takip altına alınmış, projesi hayata geirilmış kompanzasyon için gerekli hesaplamaları incelenilmiştir. İlerleyen zamanlarda, meydana gelen arıza sonrasında tesisin kompanzasyon ihtiyacı belirlenmiş tesis için kademe ayarları hesaplanılmış, kullanılacak olan röle ve kontaktör, kondansatör seçimi yapılmış, alçak gerilim tesisinin yük karakteristiğine göre uygun reaktif güç kompanzasyonu uygulanarak; tesise ait omik yük, kapasitif yük ve endüktif yük incelenmiştir. Tesis enerji altında kompanzasyon sistemi devredeyken ölçümler yapılmış; sonuçları analiz edilerek raporlandırılmıştır. Kamu binalarında uygulanmış kompanzasyonlar revize edilerek, sistemin takibi için gerekli çalışmaların yapılması gerekliliği görölmüştür. Alınan ölçüm sonuçları simülasyon programına girilerek; SVC-TKR kompanzatör ile ölçülen gerçek gerilim harmoniklerinde, simülasyon ortamında ise STATKOM aktif filtre alışmasıyla tesisin kaynak ve yük akım harmoniklerinin düşürülmesinde verimli sonuçlar alınmıştır.

## **REACTIVE POWER COMPENSATION IN LOW VOLTAGE PLANTS**

### **SUMMARY**

In recent years, with the increase of industrialization, the devices that have been put into operation and as a result, reactive power requirements have also been increasing. The production and consumption of electrical energy in some desired conditions will bring with it many positive results. These conditions required in electrical systems consist of factors such as constant frequency, voltage stability and quality power. Therefore, losses due to reactive power in systems should be minimized. Meeting the electric system using certain methods in areas where Reactive Power is needed is called “reactive power compensation”. As a result, the power coefficient (  $\cos$  ) in the plants will be corrected and brought to a value between 0.95 and 1.00.

In general, when what is expected from an ideal compensation system is not realized, transmission lines will be overloaded and heat losses will occur, as well as reactive costs will be paid to the Energy Distribution Company by the plant. Today, classical compensation methods fail to respond quickly and reliably when components based on the evolving semiconductor technology are in operation. With this thesis, the reactive power requirement of a public building was analyzed, the compensation system was placed under close scrutiny and the necessary reports were made. The compensation problem of the low voltage facility investigated in the field was solved with the method of static var compensation, however, studies were carried out on computer environment to reduce the harmonic values of the facility. The effectiveness of the inductive load driver used in the system was controlled and the types of reactive power regulation controlled by thyristor were also mentioned.

Analyzing the theoretical information about the facility before setting up a facility, making the necessary comparisons quantitative, realizing the necessary computer programs and mathematical models about the facility information, will provide positive benefits from time and economic aspects.

In addition, the subject of reactive power compensation in low voltage plants was examined in detail with this thesis. Numerical definition of compensation and what it means, why facilities should be applied to the compensation process, the compensation varieties are a manufacturer of reactive power compensation energy – energy compensation and harmonics that also provide benefits to the consumer the importance of the issue is also discussed.

Compensation in an actively working public building (low voltage facility) has been followed and the calculations necessary for compensation have been examined. In the following periods, after the failure of the facility, the compensation requirement of the facility was determined for the stage settings were calculated, the relay and contactor, capacitor were selected, the appropriate reactive power compensation was applied according to the load characteristics of the low voltage facility and the omic load, capacitive load and inductive load were examined. Measurements were made while the facility was under energy compensation system was activated; the results were analyzed and reported. The compensations applied in public buildings were revised and the necessary studies were observed to be carried out for the follow-up of the system. Measurement results obtained by entering the simulation program; Real voltage harmonics measured with SVC-TKR compensator and efficient results were obtained in the source and load current harmonics of the plant by statkom active filter work in the simulation environment.

## 1. GİRİŞ

Sanayi kalkınma hamlesi içinde bulunan ülkemiz için enerji özellikle, elektrik enerjisinin ne denli önemli olduğu açıktır. Diğer taraftan ülkemizde yıldan yıla artmakta olduğu elektrik enerjisi ihtiyacının yeni yatırımlarla karşılanmasının yanı sıra, mevcut kaynakların en verimli bir şekilde kullanılması tartışılmaz bir gerçektir (Güntürkün , 2003).

Elektrik enerjisine olan ihtiyacın gün geçtikçe artış göstermesinden dolayı günümüzde enerji krizi ile karşı karşıya kalınmaması için bir yandan yeni enerji kaynakları araştırılırken; diğer yandan mevcut sistemlerden daha faydalı bir şekilde yararlanmak için bir takım çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalardan bir tanesi de reaktif gücün kompanze edilmesidir. Konu, özellikle ülkemizde elektrik enerjisi ihtiyacının giderek arttığı ve mevcut kaynakların bu ihtiyacı yeterli ölçüde karşılayamadığı son yıllarda giderek önem kazanmıştır (Kocabaş, 2006).

Güç sistemlerinde aktif güç, reaktif güç, empedans ve gerilim kontrolü için esnek alternatif akım sistemleri yaygınlaşmaktadır. Son yıllarda, verimli enerji kullanımında esnek AC iletim sistemi (FACTS) teknolojisi kullanılmıştır. Bu sayede güç kalitesi iyileştirme, talep kontrolü, harmonik azalma, gerilim regülasyonu, reaktif güç telafisi, geçici hal, kararlı durum ve gerilim kararlılığı geliştirme, güç kaybı azaltma gibi faydalar sağlanmıştır (Carlak & Kayar , 2019).

Reaktif güç kompanzasyonu, reaktif akım; kurulan reaktif güç kompanzasyon sistemi aracılığı ile karşılanacağı için; şebekeden daha düşük değerde akım çekilecektir. Bunun sonucu olarak da transformatörler ve hatlar daha az yüklenecektir. Ayrıca aşırı yüklenmeler önlenmiş olacaktır. Aşırı yüklenme durumu yoksa tesisin yüklenme kapasitesi artmış olacaktır (Ersamut Rıza, 2009).

Dinamik faz kaydırıcılar yapıları sebebiyle hızlı değişen yüklerin bulunduğu tesislerde yetersiz kalmaktadır. Günümüzde gelişmekte olan teknolojiyle beraber olarak güç elektroniği tabanlı elemanlar daha yüksek güçlerde üretilmektedirler

(Bilki, 2008). Bununla birlikte Şebeke tarafında meydana gelen harmonik oluŐumları, önemli problemler yaratmaktadır.

Buradan anlaşılmaktadır ki enerjinin verimli biçimde kullanılması için sistem kompanze edilirken Şebeke harmoniklerinin de elimine edilmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında örnek bir alçak gerilim tesisinin reaktif güç kompanzasyon ihtiyacı incelenmiştir. Alçak gerilim tesisine ait kompanzasyon hesaplamaları yapılarak; sisteme ait mekaniksel güçlere, aydınlatma elamanları ve diŐer yük karakterisliği olan cihazlar analiz edilmiştir. Uygulanan projede gerekli ölçüm sonuçları alınarak gerekli raporlamalar ve kayıtlar alınarak sistemin reaktif güç ihtiyacı belli zaman aralıklarında ölçülmüştür. Böylelikle aktif olarak iŐletilen bir kamu kurumunda reaktif güç kompanzasyonunda enerji verimliliği üzerine dikkat çekilmiş ve sistemin izin verilen sınırlar dahilinde endüktif ya da kapasitif durumu araştırılmıştır. Böylelikle uygulanan örnek bir reaktif güç kompanzasyonunda enerji verimliliği üzerine dikkat çekilmiş ve sistemin endüktif yada kapasitif cezada olup olmadığı araştırılmıştır. Kompanzasyon sistemlerindeki harmonikler incelenmiş, harmoniklerin önlenmesi için gerekli tedbirler araştırılmıştır. Tesis üzerinden elde edilen sonuçlar yapılan SVC-TKR'li ve SVC-TKR'ün gelişmiş türü olan Statkom'lu simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

## **1.1 Tezin Amacı**

Günümüzde bütün ülkeler, dünyamızda mevcut olan enerji kaynaklarının en verimli şekilde kullanılmasının yöntemlerini araŐtırmaktadırlar. Tüm insanlığın en çok ihtiyaç duyduğu enerji türü olan elektrik enerjisinin daha düşük maliyetli olmasında, üreticiden en küçük alıcıya kadar olan dağıtımında en yüksek verim ile kullanılmasının yöntemleri araŐtırılmaktadır (Vural, 2003).

Elektrik enerjisine olan ihtiyaç, teknolojiye yaŐanan gelişmeler neticesinde gün geçtikçe yükselmiş ve kiŐi başına tüketilmekte olan enerji miktarı ülkelerin çağdaŐlık seviyesi haline gelmiştir (Koyuncu, 2012).

Enerji artıŐındaki ihtiyacı karşılayabilmek, var olan kayıpları en aza indirmek ve enerji sistemlerinde verimliliği sağlamak amacıyla hatların ve diŐer işletme cihazlarının reaktif güçle boş yere yüklenmelerini engellemek en önemli çözümlerden biridir.



Bahsedilen enerji verimliliği, alçak gerilim tesislerinde yapılan kompanzasyon sistemleriyle mümkün olmaktadır (Vural, 2003).

Yapılan bu tez çalışması ile alçak gerilim tesislerindeki kompanzasyon konusu irdelenecek, “Bir tesisin sahip olduğu yük karakteristiğine göre hangi kompanzasyon çeşidi uygulanmalıdır ?” sorusunun yanıtı alınacaktır. Bir alçak gerilim tesisinde, yönetmeliklere uygun ceza sınırlarını aşmadan verimli ve doğru kompanzasyonun uygulanması gösterilecektir. Böylelikle elektrik enerjisinden daha verimli faydalanarak, tesisin ve üretici santrallerin boş yere reaktif güçle yüklenilmelerinin önüne geçilmiş olunacaktır. Enerji verimliliğine dikkat çekilerek, tesislerdeki reaktif güç kompanzasyonunu geniş bir açıdan ele almamız gerekliliğini göstererek; alçak gerilim tesisindeki aktif gücü, reaktif gücü ve uygulanacak kompanzasyon çeşidini belirleyerek, sisteme ait gerekli hesaplamaları yapabileceğiz. Ayrıca yeni nesil Statik VAR kompanzasyonu türlerinden, tristörlü kompanzasyon ve şönt reaktörlü kompanzasyon sistemleri de incelenerek, harmonik önleme yöntemleri araştırılacaktır.

## **1.2 Literatür Araştırması**

Alçak gerilim tesislerinde reaktif güç kompanzasyonu ve enerji kalitesi, verimliliği ve kompanzasyon uygulama metodları incelendiğinde daha önce gerçekleştirilen yönetsel çalışmalar ve yapılan çalışmalardan bazılarının bilgisayar ortamında simüle edilmiş durumları ve gerçekleştirilen araştırmalardan bazıları sıralanmıştır.

Vural, kompanzasyonun; tanımını yapmış ayrıca matematiksel ifadeleri sunmuştur. Çalışmada harmonikleri, ve bu harmoniklere karşı alınacak tedbirleri sunmuştur. Ayrıca kompanzasyon tesislerinin kurulmasının esasları anlatılarak incelemiştir (Vural, 2003).

Bilki, reaktif gücün tanımını yaparak, neden gerektiği, faydaları ve nasıl kompanze edileceğini anlatmıştır. Son yıllarda teknolojinin gelişimiyle önemli bir konu haline gelen Statik Var Kompanzasyon (Svc) ’dan bahsetmiş, güç sistemine ve tesislere etkide bulunan harmoniklerden bahsetmiştir (Bilki, 2008).

Sesveren, senkron motor yardımıyla gerçekleştirilen Reaktif Güç Kompanzatorü (RGK) denetiminde bir yapay sinir ağıları modelinin (YSA) tasarlanması ve gerçekleştirilmesi çalışmalarını yapmıştır (Sesveren, 2008).

Şekkeli, orta gerilim motorlarında uygulanan merkezi ve bireysel kompanzasyon sistemlerinin şebekede meydana getirdiği etkileri incelemiştir. Metot olarak orta gerilim motorlarının kompanzasyon sistemlerinin devreye alınması ve devreden çıkarılması durumlarını incelemiştir. Enerji kalitesi daha çok akım ve gerilim genliklerinin harmonik analizi olarak incelemiştir (Şekkeli, 2004)

Mutlu, doğrusal olmayan yüklerin oluşturduğu reaktif gücü ve harmonikleri yok etme amacıyla aktif güç filtrelerini incelemiştir. DSP tabanlı, gerilim kaynaklı aktif filtre gerçekleştirmiş ve akım kontrolünde yükte uyum için histeresiz band yöntemi sunulmuştur. Aktif filtreyi Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir (Mutlu, 2011). Uçar, harmonik ve reaktif güç kompanzasyonu işlemlerini aynı anda yapabilen iki seviyeli evirici tabanlı bir Paralel Aktif Güç Filtresinin (PAGF) benzetim modeli Matlab/Simulink programını kullanarak gerçekleştirilmiştir. Referans sinyal eksiltme metodlarından frekans alanında Fourier metodu ve zaman aralığında ise anlık reaktif güç teoremi (ARGT) ve eş zamanlı referans çatı yöntemi kullanılmıştır (Uçar , 2012). Erdem, alternatif güç sistemlerinde iletilen güç miktarını arttırmak ve kayıp miktarlarını düşürmek için, en uygun seviyeli bir güç kompanze işlemi üzerine çalışmalarda bulunulmuştur. Kompanzasyonsuz, kompanzasyonlu ve harmonik filtreli olmak üzere sisteme ait üç aşamalı en uygun seviyeli reaktif ihtiyaç durumlu bir çalışma tasarlanmıştır. Filtreli güç telafisinin hem üretici, hemde tüketici açısından üstün özellikleri olduğunu çalışmasıyla gösterilmiştir (Erdem, 2013).

Baş, harmonik bozulma problemlerini araştırmış, endüstriyel bir sistemde nonlinear yükler sebebiyle meydana gelen harmonik bozulmaların pasif filtre yardımıyla harmoniklerden arındırılmasına yönelik Matlab/Simulink ortamında pasif filtre tasarımı yapmıştır. Elde edilen sonuçlar, tablo ve grafikler halinde sunulmuştur (Baş, 2014).

Gökcan, enerji sistemleri Elektrik Mühendisliği'nin en önemli konularından biri haline gelen reaktif güç kompanzesi ile ilgili Matlab tabanlı arayüz (GUI) vasıtasıyla sanal bir laboratuvar oluşturmuştur. Kompanze sistemlerinin uygulanması ve öğrenilmesi zaman aldığından, çalışmasıyla yüksek seviye yazılım, güç elektroniği ve matematik bilgisine gereksinim duyulmadan kompanze eğitime olanak getirilmiştir (Gökcan, 2015).

Balaman, üç faza sahip sistemler için sıkça tercih edilen anlık reaktif güç teorisinin tek faz bir sistem için şeklini tekrar oluşturmuş reaktif güç kompanzasyonu için uygulanmıştır. Tek faz darbe genişlik modülasyon yöntemini (PWM) doğrultucu ile birlikte tasarlayarak simülasyonlarını yapılmıştır. Histerezis akım kontrolünün performans analizi incelenilmiştir (Balaman, 2012).

Biçer, alçak gerilim düzeyinde reaktif güç kontrolü çalışmalarında geleneksel çözüme oranla :

- i) daha hızlı geçici tepki meydana getirilmesi
- ii) akım harmonik seviyelerinin bozulmasının düşürülmesi
- iii) güç kayıplarının azaltılması

depolama alanlarının küçültülmesinin başarımı için Akım Kaynaklı Çevirgece (AKÇ) dayalı dağıtım tipi Statik Senkron Kompanzatorünün (D-STATKOM) incelenmesi, tasarlanması gerekmektedir. Uzak vektörü darbe genişliği metodu sayesinde IGBT'lerin 3 kHz frekansında anahtarlanmasıyla meydana çıkacak olan frekans akım dalga formunun oluşturulmasında AÇD-D-STATKOM'un analizi ve kontrolü dq-senkron frekans bölgesinde gerçekleştirilmiştir (Biçer, 2010).

Parlak, 12 darbeli tristör kontrollü reaktörlü voltaj regülasyonu ayarındaki reaktif güç kompanzasyon sisteminin incelenmesi, simülasyonu ve sahadaki uygulaması yapılmıştır. Ayrıca uygulamanın, zayıf ve güçlü taraflarını tartışılmıştır. Güç kalitesi bakımından optimal düzeyde çözüm sunabilmek amacıyla pek çok algoritma üzerinde çalışılmış ve testleri yapılmıştır. Sistemin beslendiği şebeke sistemi EMTDC/PSCAD programı yardımıyla simülasyon uygulamalarını gerçekleştirmiştir. Saha sonuçlarıyla simülasyon çıktıları karşılaştırılmıştır (Parlak, 2014).

Alwan, dengeli olmayan sistemlerden, dengeli bir sistem oluşturmak ve dağıtım ağının çalışma verimini yükseltmek amacıyla Statik Var Kompanzator (SVK) kullanılmıştır. SVK, gerilimi önceden belirlenmiş bir değere ayarlanabilmesi amacıyla otomatik biçimde reaktif gücü çeken ve enjekte işlemini gerçekleştiren denetleme elemanıdır. Anahtarlama cihazları içeren kompanzatorün çalışması harmoniklerin sistemine aktarılmasına sebep olur. Önerilen model Bağdat şebekesi bir kaynağa aktarılmıştır. Öneride bulunan model Matlab programı altyapısı

kullanılarak hazırlanmıştır. Yazılımın etkinliği SVK parametreleri kullanılarak gösterilmiştir (Alwan, 2017).

Gültekin, ETİ Alüminyum Fabrikasında, on iki darbeli elektroliz amaçlı doğrultucuların kullanılmasından kaynaklanan güç kalitesi problemlerine yönelik bir şönt bağlı reaktif güç kompanzasyonu sisteminin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmada sahada toplanan veriler ile EMTDC/PSCAD, PSPICE ve MATLAB programlarında yapılan detaylı simülasyon sonuçlarına dayanmaktadır. Tasarlanan 10,5 kV , 7,5 MVar şönt bağlı pasif reaktif güç sistemleri sönümlü bir on birinci harmonik filtre ile beşinci harmoniğe ayarlanmış ve sönümlü direnç kullanımı opsiyonel bir yenilenmiş filtreden oluşturulmuştur (Gültekin, 2003).

Keçecioglu, FACTS'lar genel olarak AA iletim sistemlerinde dinamik gerilim, empedans ve faz açısı kontrolü sağlayan sistemler olarak tarif edilebilir. Son yıllarda enerji tesislerinde güç kalitesi yükseltmek amacıyla SVC, STATKOM, SSSC ve aktif harmonik filtreli yöntemlerin tercihi gün geçtikçe artmaktadır. Prensip olarak, yarı iletken güç bileşenleri kullanarak reaktif güç ihtiyacının telafi edilmesine Statik Var kompanzasyonu ve bunu gerçekleştiren sisteme Statik Var kompanzasyon sistemi adı verilir. Bu çalışmadaki amaç temel güç bileşenlerini yeni bir yaklaşım ile ölçümlemek ve hesaplamaktır. Bu amaç için genelde hızlı fourier dönüşümleri(HFD) kullanılır. Goertzel algoritması harmonikler içeren dalga şekli bozulmuş bir şebekedeki güç hesaplamaları için kullanılmıştır. Aktif, reaktif, görünür güç ve güç faktörü parametreleri HFD algoritması yerine Goertzel algoritması kullanılarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada Goertel algoritması Statik Var kompanzasyon sistemine uygulanmıştır. Güç parametreleri sistemlerinde ilk kez uygulanan bu teknikle, SVK tabanlı sabit kondansatör Tristör Kontrollü Reaktör sistemine ilk kez uygulanmıştır. Bu çalışmanın hem deneysel çalışmaları hem de bilgisayar benzetimi gerçekleştirilmiştir (Keçecioglu, 2012).

Koyuncu, son zamanlarda önemli bir konu haline gelen statik var kompanzasyon elemanları ve bu elemanların enerji kalite seviyesi üzerinde önemli tesirlerde bulunan akım ve gerilim harmonikleri üzerine etkisi incelenilmiş, bununla beraber SVC' nin farklı karakterde yüklerdeki harmoniksel tesirlerini sunabilmek amacıyla laboratuvarında kurulan bir prototip aracılığıyla deneyler yapılmış ve aynı zamanda , deneysel değerler üzerinde çalışılmıştır. Gerçeklenen bu çalışmayla, SVC

bileşenlerinin filtreler kullanmadan devreye alındıklarında yüksek düzeylerde harmonikler meydana getirdiği görülmüştür (Koyuncu, 2012).

Yoldaş, delta bağlı indüktör-kondansatör-indüktör (*LCL*) pasif bağlayarak filtre invertör çıkışında, yüksek derece harmonikler tarafından oluşturulan değişimlerin Dstatkomun üstün filtreleme performansı sayesinde ortadan kaldırılabileceğini göstermek amacıyla 300 *kVA*'lık bir hassas yükü koruyan seri bağlı senkron kompanzatörün analizi, modellenmesi ve simülasyonunu yapmıştır. Önerilen sistemin performansı ve verimliliği PSCAD/EMTDC ortamında farklı simülasyon çalışmalarıyla incelenilmiştir (Yoldaş, 2015).



## 2. KOMPANZASYON GÜÇ HESAPLARI

### 2.1 Nonsinüsoidal Dalgalar ve Fourier Transformasyonu

Güç sistemlerinde akım ve gerilim dalga formunun sinüzoidal yapıda olması istenmektedir. Fakat bazı etkiler ve donanımsal bileşenler nedeniyle akım ve gerilim dalga şekillerindeki sinüzoidal yapı bozulmaktadır. Sinüzoidal formdan uzaklaşmış bu dalgalara nonsinüzoidal dalga adı verilir.

J.Fourier, nonsinüsoidal periyodik dalga oluşumlarının genlik ve frekansları aynı yapıda olmayan sinüzoidal dalgaların toplamı biçiminde meydana geldiğini, diğer bir ifadeyle temel dalga frekansının tam katları şeklinde sinüzoidal dalgalara ayrılacağını sunmuştur.

Bir periyodik dalganın Fourier serisi olarak yazılabilmesinde bazı şartlar bulunmaktadır. Bu şartlar, bir periyotta sonlu sayıda süreksizlik olması, sonlu sayıda maksimum ve minimumların olması ve ortalamasının sonlu değerde olmasıdır. Elektrik enerji sistemlerinde her daim bu şartlar sağlandığından Fourier bileşenlerinin oluşturulması olanaklıdır . Bir  $f(t)$  fonksiyonunun Fourier değişimi,

$$F(w) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (2.1)$$

şeklinde tanımlanır ve  $F(w)$  'nin ters Fourier değişimi,

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(w)e^{j\omega t} dt \quad (2.2)$$

şeklinde tanımlanabilir. (2.1) ve (2.2) denklemleri Fourier dönüşüm ikilisi olarak bilinir ve zaman ve frekans domeninde verilen fonksiyonların birbirine dönüşümünde kullanılırlar (Kocatepe Celal ve diğ, 2003).

## 2.2 Ayrık Fourier Dönüşümü

Sonlu büyüklükteki dizilerin Fourier transformunda kullanılır. Zaman domeni ve frekans domeni spektrumu her ikisi de  $N$  adet periyodik biçimde örneklenmiş fonksiyonlar olduklarında (2.1) ve (2.2) eşitlikleri Ayrık Fourier dönüşüm ikilisi olarak isimlendirilir ve denklem (2.3)'deki gibi ifade edilebilir:

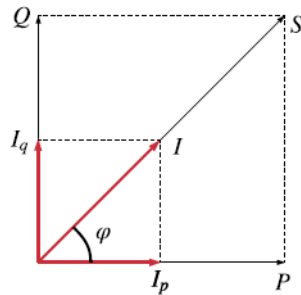
$$F(k\Delta\Omega) = \sum f(n\Delta T)e^{-j2\pi kn/N} \quad (2.3)$$

$$F(n\Delta T) = \sum f(k\Delta\Omega)e^{-j2\pi kn/N} \quad (2.4)$$

Burada  $k, n = 0, 1, \dots, N-1$ ,  $\Delta\Omega = \frac{2\pi}{\Delta T}$  ve  $\Delta T = \frac{T}{N}$ . Ölçüm bilgisi örnekleme zaman fonksiyonu şeklinde daima yazılabileceğinden, DFT harmonik ölçümlerinde sıkça kullanılır.

## 2.3 Tek faz Sistemlerde Frekans Domeni Güç Teorisi

Alternatif akımın güç sistemlerinde kullanılmaya başlanmasıyla, kaynaktan çekilen enerjinin bir kısmı faydalı akımı taşımakta olan “aktif akım” diğer kısmının ise enerji taşımayan “reaktif akımdan oluştuğunu ve akımın reaktif bileşeninin enerji taşımasına rağmen hat kayıplarını çoğalttığı gözlemlenmiştir. Bu oluşuma göre, Aktif akımdan çekilen aktif güç ( $P$ ), Reaktif akım sebebiyle çekilen reaktif güç ( $Q$ ), ve bu güçlerin vektör toplamı olan Görünür güç ( $S$ ) tanımları yapılmıştır. Aktif güç ile görünür gücün oranı olan sistem verimi ise güç faktörü ( $gf$ ) olarak isimlendirilmiştir (Mehmet Hakan Hocaoglu ve diğ, 2009). Şekil 2.1’de akımların ve güçlerin birbirine göre durumları gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Gerilim akım ve güçlerin gösterimi (Engin, 2008).



Böylece Şekil 2.1'e göre aşağıdaki eşitlikler elde edilebilir.

$$S = P + jQ \quad (2.5)$$

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

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

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

$$I_p = I \cdot \cos \varphi \quad (2.9)$$

$$I_q = I \cdot \sin \varphi \quad (2.10)$$

Bu eşitliklerde kullanılan kısaltmalar  $P$  :Aktif güç,  $Q$  :Reaktif güç,  $S$  :Görünür güç,  $I_p$  :Aktif akım,  $I_q$  :Reaktif akım,  $I$  :Görünür akım ve  $\varphi$  :Faz açısı şeklindedir.

#### 2.4 Budea ve Fryze'nin Güç Anlatımı

Budeanu, görünür gücü iki dik bileşene ayırarak aktif ve reaktif olarak tanımlamıştır. Aktif gücü frekans domeninde konvolusyon işlemiyle bulunabilir, ve aktif gücü zaman domeninde anlık gücün ortalaması olarak ifade etmiş ,

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T V(t) \cdot i(t) dt = V_0 \cdot I_0 + \sum_{n \in N^+} V_n \cdot I_n \cdot \cos \varphi_n \quad (2.11)$$

Budeanu aktif olmayan gücü reaktif ve bozulma gücü olarak iki temel bileşen olarak açıklamıştır. Reaktif gücü her bir harmoniğe ait reaktif güçlerin toplamı biçiminde ifade etmiştir.

$$Q_b = \sum_{n \in N^+} V_n \cdot I_n \cdot \sin \varphi_n \quad (2.12)$$

Bozulma gücünü ise ,

$$D_b = \sqrt{S^2 - P^2 - Q_b^2} = \sqrt{\sum_{n \neq k} V_n^2 \cdot I_k^2 + V_k^2 \cdot I_n^2 - 2 \cdot V_n \cdot V_k \cdot I_n \cdot I_k \cdot \cos(\varphi_n - \varphi_k)} \quad (2.13)$$

olarak tanımlamıştır. Budea'nın güç anlatımı harmonikler karşısında hesaplama yapmak ve ölçü aletleri kullanmak gerektirmektedir. Buna karşın, Fryze aktif ve reaktif olarak akımı iki dik bileşene ayırmaktadır.

Aktif akım aktif güç ile ilintili açıklanmıştır;

$$i_a(t) = \frac{P}{V^2} V(t) \quad (2.14)$$

Reaktif akım ise (2.15)'deki eşitlikle açıklanmıştır.

$$i_r(t) = i_t - i_a(t) \quad (2.15)$$

Bu eşitliklere dayanarak görünür güç ifadesi

$$S^2 = P^2 + Q_f^2 \quad (2.16)$$

şeklindedir. Buradaki aktif güç,

$$P = I.V_a \quad (2.17)$$

olurken, reaktif güç ( $Q_f$ ) ise

$$Q_f = V.I_r \quad (2.18)$$

eşitliği ile açıklanmıştır. Fryze güç anlatımının avantajlı yanı kaynak verimi hakkında bilgi sunabilmesi, olumsuz yönü ise kompanzasyon güç hesabı için uygun olmamasıdır (Mehmet Hakan Hocaoğlu ve diğ, 2009).

## 2.5 Güç Katsayısının Tanımı ve Hesabı

Güç faktörü ifadesi, alternatif akım güç sistemlerinde kullanılan akımın yük bölgesinde ne derecede verimli olarak kullanıldığının tespit edilmesinde kullanılır. Sinüzoidal ve nonsinüzoidal şartlarda toplam güç faktörü,

$$GF = \frac{P(\text{Aktif güç})}{S(\text{Görünür güç})} \quad (2.19)$$

eşitliği ile tanımlanmaktadır. Burada aktif gücün ani güç eşitliği

$$P(t) = V(t).I(t) \quad (2.20)$$

Olurken  $P(t)$ 'nin  $T$  periyodundaki ortalama güç ifadesi ,

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t).d(t) \quad (2.21)$$

şeklindedir. Görünür gücün Budea ve Fryze'nin anlatımlarıyla birlikte, kabul görmüş en genel tanımı ise

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2 \quad (2.22)$$

şeklinde ifade edilirken burada distorsiyon gücünü temsil eden  $D$

$$D = (S^2 - P^2 - Q^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2.23)$$

denklemleri yazılır. Distorsiyon gücü aktif bir güç olmayıp sinüzoidal dalgalı sistemlerde sıfırdır (Kocatepe Celal ve diğ., 2003).

## 2.6 Güç Katsayısı Düzenlemesinin Faydaları

### 2.6.1 Şebekedeki üzerindeki faydaları

Yeni kurulacak bir tesiste güç katsayısı düzenlemesiyle;

- Generatör ve transformatörlerin düşük güçlerde kullanılması
- İletkenlerin daha ince kesitli, dolayısıyla kullanılan cihazlarının daha küçük boyutlu olması

sağlanmaktadır.

Kurulu bir tesiste ise güç katsayısı düzenlemesiyle;

- Elektrik enerjisi kullanımında kapasite ve verimin yükselmesi
- Kablolarda ve ileticilerde kayıplar ile gerilim düşümünün azalması
- Gerilimde kararlılık ve işletmeciliğin daha da basitleşmesi

sağlanmaktadır. Böylece üretim maliyetleri güç katsayısı düzenlemesiyle önemli oranlarda azalmaktadır. Şayet şebekenin güç taşıma kapasitesinin artması için, hat sonunda çekilen  $P$  aktif gücün değişken olmadığını varsayalım;

Kompanzasyondan önceki görünür güç

$$S_1 = P / \cos \varphi_1 \quad (2.24)$$

iken kompanzasyondan sonraki görünür güç ise

$$S_2 = P / \cos \varphi_2 \quad (2.25)$$

ikisi güç arasındaki fark

$$\Delta_s = S_1 - S_2 \quad (2.26)$$

veya başlangıçtaki değere oranı

$$\% \Delta_s = \frac{\Delta_s}{S_1} \cdot 100 = 100 \cdot \left(1 - \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2}\right) \quad (2.27)$$

olur. Böylece tesisin yükü %  $\Delta_s$  oranında azalır.

Görünür güç sabit tutulursa şebekeden çekilen aktif güç  $P_1 = S \cdot \cos \varphi_1$  değerinden  $P_2 = S \cdot \cos \varphi_2$  değerine çıkar.

Aşırı yüklenmeden sonra çekilen aktif yükün,

$$\Delta_p = P_2 - P_1 \quad (2.28)$$

$$\% \Delta_p = \frac{\Delta_p}{P_1} \cdot 100 = 100 \cdot \left(\frac{\cos \varphi_1 - 1}{\cos \varphi_2}\right) \quad (2.29)$$

oranında artmasına tekabül eder. Mesela,  $\cos \varphi_1 = 0,7$  'den  $\cos \varphi_2 = 0,9$  'a çıkarılması durumunda güç yeteneğindeki artış (Vural, 2003) %  $\Delta_p = 28,5$  değerinde olacaktır.

## 2.6.2 Tüketicilere faydaları

Bir işletmede tüketicilerin şebekeden çektikleri reaktif gücün enerji bedeli normal şartlar altında reaktif güç enerji tarifesine göre hesaplanır. Fakat işletmede güç katsayısı 0,96 olacak şekilde bir kompanzasyon tesisi kurulursa, elektrik idaresine hiçbir reaktif enerji bedeli ödenmez (Öztürk, 1998).

Yeni yapılacak bir tesiste yük trafosu ile donanımlarının ve iletkenlerin küçük kesitli seçilmesini sağlar. Böylece iletken maliyeti azalmış olur.

İşletmede olan tesislerde ise transformatör mevcut ise, o tesiste kapasite ve verimin yükselmesini, şebeke tarafında daha düşük reaktif güç kullanılmasını ve kayıpların düşmesini sağlamaktadır. Sonuç olarak ekonomik açıdan iyileşmeler artacaktır. İletim

hatlarındaki gereksiz kayıplar azalacak ve iletim hatlarının gereksiz yere meşgul edilmesinin önüne geçilmiş olunacaktır.

## **2.7 Reaktif Güç Tüketici Cihazlara Örnekler**

Elektrik ile çalışmakta olan ve manyetik alan üreten tüm cihazlar tükettikleri aktif güç yanında reaktif güç te tüketmektedirler. Reaktif güç tüketen cihazlardan bazılarını

- Enerji dağıtım trafoları
- Ark ocakları
- Neon lamba trafoları
- Az uyarımlı eş zamanlı motorlar
- Cıva oluşumlu armatür balastları
- Elektronik balastlı lambalar
- Sanayide kullanılan ocaklar,
- Fırın tipi ısıtıcılar
- Asenkron motorlar
- Led aydınlatma elemanları

olarak sıralamak mümkündür.

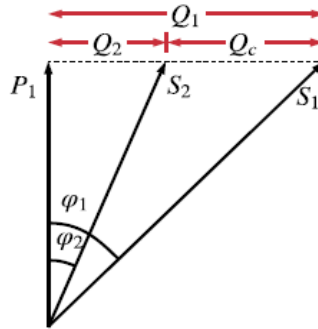


### 3. REAKTİF GÜÇ İHTİYACI TESPİTİNİN YAPILMASI

Resmi kurumlarda genellikle elektrik tüketiminin büyük bir bölümünü aydınlatma yükleri meydana getirmekte ve bunun sonucunda güç kavramı aydınlanma çeşidine göre değişkenlik göstermektedir. Floresan aydınlatma tercih edilmesi durumunda güç faktörü 0,5 değerine düşerken, flemalı aydınlanma tercih edilmesi durumunda ise güç faktörü değeri artmaktadır (Bayram, 2000).

#### 3.1 Aktif Gücün Sabit Olması Durumu

$\cos \varphi_1$  güç katsayısı altında çekilmekte olan  $P_1$  aktif gücü sabit tutulur ve güç açısının düşürülmesiyle şebekeden çekilen görünen güç  $S_2$  gibi daha küçük değerde olur. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi  $S_2$  vektörü ile  $P_1$  vektörü arasındaki açı azalmış yani güç faktörü yükselmiştir. Bu durumda daha düşük değerli yeni görünür güç vektörü  $S_2$  meydana gelmektedir. Aktif gücün sabit olması durumunda güç faktörü yükselinde görünür güç azalmış olmaktadır. Aktif ve reaktif güçlerin vektörel toplamalarının görünür gücü vermesi eşitliğinden de reaktif güçte de azalma meydana gelmektedir. Şekil 3.1’de taşınan görünür gücün azaltılması gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Taşınan görünür gücün azaltılması.

Bu durumda Şekil 3.1’e göre kompanzasyondan önceki reaktif güç

$$Q_1 = P_1 \cdot \tan \varphi_1 \quad (3.1)$$

olmaktadır. Kompanzasyondan sonra ise

$$Q_2 = P_1 \cdot \tan \varphi_2 \quad (3.2)$$

olacaktır. Böylece gereken kondansatör gücü olarak

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P_1(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (3.3)$$

elde edilir. Burada  $\tan \varphi_1$  ve  $\tan \varphi_2$  değerleri

$$\tan \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} / \cos \varphi \quad (3.4)$$

bağıntısından yararlanarak hesaplanabilir. Eğer denklem (3.3)'de açıların tanjantlarının farkı

$$(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) = k \quad (3.5)$$

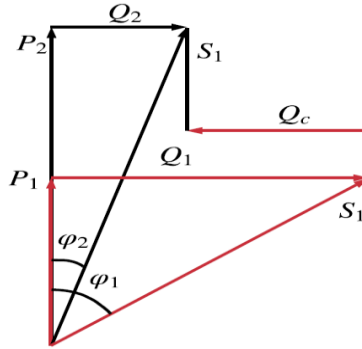
katsayısıyla ifade edilirse, denklem (3.3) yerine yazılırsa

$$Q_c = k \cdot P_1 \quad (3.6)$$

eşitliği elde edilir.

### 3.2 Görünen Gücün Sabit Olması Durumu

$S_1$  görünen gücünün sabit olması durumunda yapılan reaktif güç kompanzasyonunda Şekil 3.2'de görüldüğü gibi sistemden çekilen aktif yük artmaktadır (Ersamut Rıza, 2009).



**Şekil 3.2 :** Taşınan aktif gücün artırılması.

Bu durumda kompanze işleminden evvel reaktif güç

$$Q_1 = S_1 \cdot \sin \varphi_1 \quad (3.7)$$

olurken kompanzasyondan sonraki reaktif güç



$$Q_2 = S_1 \cdot \sin \varphi_2 \quad (3.8)$$

olacak ve azalacaktır. Kompanzasyon için gerekli kondansatör gücü ise

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = S_1 (\sin \varphi_1 - \sin \varphi_2) \quad (3.9)$$

olarak bulunur.

### 3.3 k Faktörü Vasıtasıyla Güç Faktörünün Yükseltilmesi

Pratikte hesap yapılmadan denklem (3.6)'daki  $k$  katsayısını gösteren cetvel vasıtasıyla enerji kullanıcısının reaktif güç gereksinimi ortaya çıkar. Bu cetvel, belirli bir  $\cos \varphi_1$  güç katsayısının, arzu edilen  $\cos \varphi_2$  güç katsayısına yükseltmek amacıyla kW başına gereken  $k$  katsayısını vermektedir. Çizelgeden görüldüğü üzere güç faktörü 0,8'den 0,97'e yükseltmek istediğimizde  $k$  katsayısı 0,5 olmaktadır. Tesis gücü 100 kW ise gerekli kondansatör gücü 50 kVar olmaktadır.

**Çizelge 3.1 :** İstenilen  $\cos \varphi$  'ye ulaşmak için "k" faktörü değerleri.

	Cos $\varphi_2$	0,70	0,75	0,80	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,90	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97
	tan $\varphi_2$	1,02	0,88	0,75	0,70	0,64	0,62	0,59	0,57	0,53	0,48	0,43	0,36	0,33	0,29	0,25
Cos $\varphi_1$	tan $\varphi_1$															
0,45	1,98	0,96	1,10	1,23	0,28	1,34	1,36	1,39	1,41	1,45	1,50	1,55	1,62	1,65	1,69	1,73
0,50	1,73	0,71	0,85	0,98	1,03	1,09	1,11	1,14	1,16	1,20	1,25	1,30	1,37	1,40	1,44	1,48
0,52	1,64	0,62	0,76	0,89	0,94	1,00	1,02	1,05	1,07	1,11	1,16	1,21	1,28	1,31	1,35	1,39
0,54	1,56	0,54	0,68	0,81	0,86	0,92	0,94	0,97	0,99	1,03	1,08	1,13	1,20	1,23	1,27	1,31
0,56	1,48	0,46	0,60	0,73	0,78	0,84	0,86	0,89	0,91	0,95	1,00	1,05	1,12	1,15	1,19	1,23
0,58	1,41	0,39	0,53	0,66	0,71	0,77	0,79	0,82	0,84	0,88	0,93	0,98	1,05	1,08	1,12	1,16
0,60	1,33	0,33	0,45	0,58	0,63	0,69	0,71	0,74	0,76	0,80	0,85	0,90	0,97	1,00	1,04	1,08
0,62	1,27	0,25	0,39	0,52	0,57	0,63	0,65	0,68	0,70	0,74	0,79	0,84	0,91	0,94	0,98	1,02
0,64	1,20	0,18	0,32	0,45	0,50	0,56	0,58	0,61	0,63	0,67	0,72	0,77	0,84	0,87	0,91	0,95
0,66	1,14	0,12	0,26	0,39	0,44	0,50	0,52	0,55	0,57	0,61	0,66	0,71	0,78	0,81	0,85	0,89
0,68	1,08	0,06	0,20	0,33	0,38	0,44	0,46	0,49	0,51	0,55	0,60	0,65	0,72	0,75	0,79	0,83
0,70	1,02		0,14	0,32	0,32	0,38	0,40	0,43	0,45	0,49	0,54	0,59	0,66	0,69	0,73	0,77
0,72	0,96		0,08	0,27	0,26	0,32	0,34	0,37	0,39	0,43	0,48	0,53	0,60	0,63	0,67	0,71
0,74	0,91		0,03	0,22	0,21	0,27	0,29	0,32	0,34	0,38	0,43	0,48	0,55	0,58	0,62	0,66
0,76	0,86			0,16	0,16	0,22	0,24	0,27	0,29	0,33	0,38	0,43	0,50	0,53	0,57	0,61
0,78	0,80			0,11	0,10	0,17	0,18	0,21	0,23	0,27	0,32	0,37	0,44	0,47	0,51	0,55
0,80	0,75			0,05	0,05	0,11	0,13	0,16	0,18	0,22	0,27	0,32	0,39	0,42	0,46	0,50

### **3.4 Klasik Reaktif Güç Kompanzasyonu Metotları**

Tesis ve işletmelerin reaktif gücünü düşürmek için iki yöntemden faydalanılır. Bunlar dinamik faz kaydırıcı ve kondansatör kullanımı yöntemleridir. Kondansatörler sıkça tercih edilmesinin nedenlerinin başında bakım ve montaj kolaylığı gelmektedir.

#### **3.4.1 Dinamik faz kaydırıcılar**

Dinamik faz kaydırıcılar reaktif güç telafisinde kullanılmakta olup , en önde gelenleri uyarılmış senkron makinelerdir. Santral bölgelerinden aktarılan enerji nakil hatları sonunda ve tüketim bölgelerinden önce şebeke tarafına aşırı uyarılmış senkron makine bağlanmaktadır. Böylece bölgelerin reaktif güç gereksinimleri bu makine ile ortadan kaldırılır (Öztürk, 1998).

Bu noktaların reaktif gereksinimi bu yöntemle karşılanmaktadır. Bir reaktif güç oluşturucusu olarak görev yapıp şebekenin ihtiyaç duyduğu reaktif gücü sağlamaktadır.

Aşırı uyarılmış senkron makineleri, bazı durumlarda ve gerekli koşullar gerçekleştiğinde kullanılabilirler. Ekonomik açıdan incelendiklerinde diğer yöntemlere göre maliyetlerinin yüksek olduğu söylenebilir. Düşük miktarda güç kullanmakla birlikte, her bölgenin reaktif güç ihtiyacı değişkenlik göstermektedir.

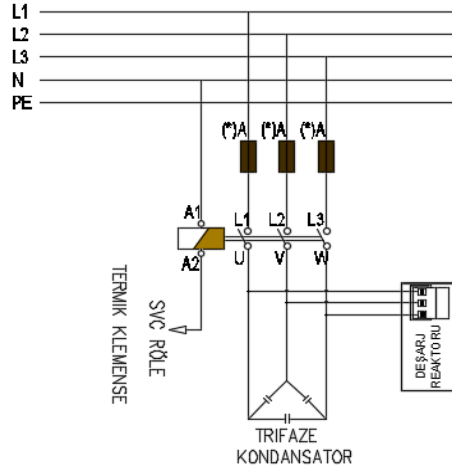
#### **3.4.2 Kondansatörle kompanzasyon metodu**

Kondansatör, dielektrik malzemeler vasıtasıyla elektrik enerjisini depolamaya yarayan devre bileşenidir. Bununla beraber kompanze işleminde kullanılmakta olan güç kondansatörleri, diğer üretimi yapılan kondansatörlerden farklı şekilde üretilir. Kondansatörlerin güç kayıpları çok az olmakta ve kondansatörlerin güçleri yeterli gelmediğinde güç yükseltme işlemi de yapılabilir. Kondansatörler mekanik anahtar olan kontaktörler ile devreye alınırlar. Bobinlerine yeterli enerji verildiğinde bir elektro miktatis olarak çalışır ve kontaklarını yer değiştirir. Günümüzde en çok tercih edilen yöntemlerden biri kondansatörlerin kontaktörlerle anahtarlandığı sistemlerdir (Özsan, 2013).



Şekil 3.3 : Kondansatör ve endüktans grubu.

Kondansatörlerin uçlarında deşarj dirençleri yer almaktadır. Bu dirençler temasta bulunan insanlar için güvenlik oluşturmaktadır. Bu amaçla yapılan bağlantı yapısı Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : Deşarj reaktörü bağlantı şeması (ARGE, 2019).

### 3.5 Kompanzasyon Tesislerinin Planlanması

#### 3.5.1 Alçak gerilim tarafında kompanze işlemleri

Alçak gerilim bölümünde kompanzasyon yapılması hem ucuz hem de daha kolaydır. Bu sebeplerden kompanzasyon alçak gerilim kısmında gerçekleştirilmektedir. Ayrıca kompanzasyon işlemleri alçak gerilimde yapıldığında kullanıcıya daha az maliyet getirecektir (Bayram, 2000).

Tesislerde kompanzasyon işlemini sağlayan bazı devre elemanları vardır. Bu elemanlar detaylı olarak aşağıda açıklanmıştır.

- **Kontaktör:** Demir nüve üzerine sarılmış bobinin enerjilendirilmesiyle kontaklarının elektromanyetik güç ile konum değiştirdiği bu devre elemanı ile kondansatörler devreye alınmaktadır. Enerjilenen bobinin enerjisi kesilerek kontakların açılması ve kondansatörlerin devreden alınması sağlanmaktadır. Kompanzasyon panolarında bu amaçla bulunmaktadır. Kontaktör akım kapasitesi kondansatör akım kapasitesinin en az 1,25 katı olmalıdır.
- **Sigortalar:** Kondansatörlerin devreye girmesi sırasında yüksek akımların çekilmesi ve tristörlerden dolayı oluşan harmoniklerin etkileri düşünüldüğünde sigorta akım değeri nominal kondansatör akımının 1,7 katı kadar kullanılmalıdır. Sigortanın bir güvenlik sağlayıcı devre elemanı olmasından dolayı sınırlar dahilinde olmayan yüksek akımlarda devreyi koruması beklenir. Kompanzasyonda pratik olduklarından otomat tipi sigortalar kullanılsa da, gecikmeli türde sigortalarda kompanzasyon için uygundur. Şekil 3.5’de kompanzasyonda kullanılan sigortalar görülmektedir.

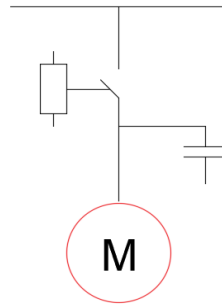


Şekil 3.5 : Reaktif güç üretimindeki kullanılan sigortalar.

- **İletken ve baralar** : Kompanzasyon işlemlerinde tercih edilen baralar, sistemde bulunan toplam kondansatör gücünü taşıyabilecek düzeyde olmalıdır. Baralar ile kondansatör grupları arasındaki bağlantılar iletkenler kullanılarak yapılmaktadır.
- **Boşaltma direnci** : Trafo bölümü tarafında, bu devre elemanına gerek yoktur. Motorlar devre dışı kaldıklarında kondansatörler de bu boşaltma dirençleri sayesinde boşalır. Merkezi kompanzasyon yönteminde kondansatörlerin daha hızlı şekilde devrede bulunması gerekmektedir.
- **Akım Trafosu** : Akım trafosu kompanzasyon dışında işletmenin farklı noktalarında bulunabilmektedir. Fakat kompanzasyon işlemi için işletme akım trafolarından farklı akım trafolarına gereksinim duyulur. Kompanzasyon için seçilen akım trafolarının doğru değerde olması önem teşkil eder.
- **Reaktif güç kontrol rölesi (RGKR)** : Bu röle devrede sistemi kontrol eden en önemli devre elemanlarından biridir. Rölede yapılan ayarlama ile belirlenen güç faktörü katsayısına ulaşmak için otomatik olarak kondansatörler devreye alınıp çıkarılır.

### 3.5.2 Bireysel kompanzasyon

Bireysel kompanzasyon türünde her motor, her aydınlatma elemanı veya transformatör kendine bağlanan belirli güçte kondansatörle tek tek kompanze edilirler. Kondansatörler her alıcı ile birlikte devreye girip çıktığından ayrı bir açıcı cihaza (ayrı bir sigorta veya deşarj direnci) gerek yoktur (Kocabaş, 2006). Şekil 3.6'da bir motorun bireysel kompanzasyonu görülmektedir.



Şekil 3.6 : Bireysel kompanzasyon.

Bireysel kompanzasyon için kondansatör gücü

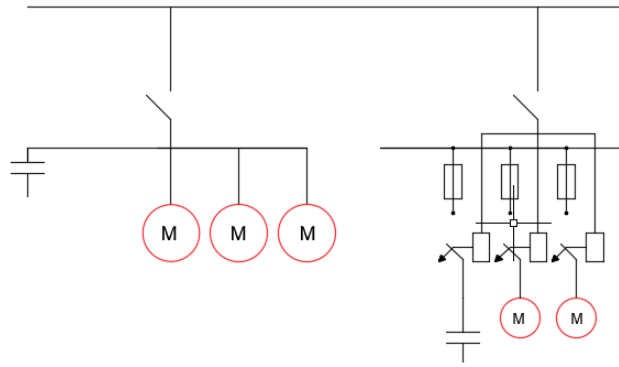
$$Q_c (kVAR) = 0,9.I_0(A).Un(V).10^3 \quad (3.10)$$

denklemini ile hesaplanır.

$I_0$  akımından dolayı alınan akım (yol verme durumu haricinde) sabit değerde olmalıdır. Tekli kompanzasyon tipi maliyetlidir ve ayar yapılmaya elverişli değildir. Değişmeyen güç ile çalışan tüketiciler için uygun ve ekonomik olabilir (Uyar, 1991).

### 3.5.3 Grup kompanzasyon

Birden fazla sayıda tüketici grubunun mevcut olduğu bir tesis için, her bir tüketici grubunun tek tek kondansatörlerle reaktif güç ihtiyacının karşılanması yerine bu tüketiciler için ortak şekilde kompanzasyon sistemi yardımıyla donatılması daha kolay ve ekonomik olur (Bilki, 2008). Şekil 3.7’de grup kompanzasyon biçimi gösterilmiştir.

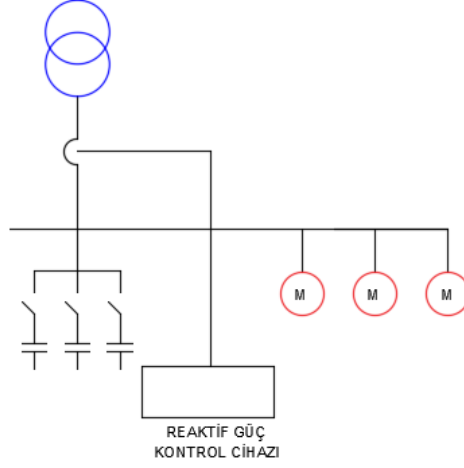


Şekil 3.7 : Grup kompanzasyon.

Aydınlatmada, aynı anda bir anahtarla kumanda edilen aygıt grubunun çektiği endüktif akımların bileşkesi, bir fazlı veya üç fazlı kondansatör grubuyla kompanze edilir. Grup devre dışı edildiğinde, kondansatörlerde devreden çıkacağından aşırı kompanzasyon meydana gelmez, yani bileşke reaktif akım kapasitif olmaz.

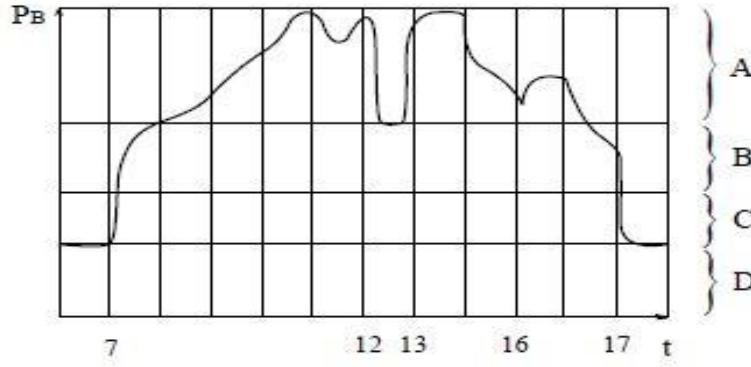
### 3.5.4 Merkezi kompanzasyon

Merkezi ayarlama yöntemiyle pekçok sayıda ve değişik sürelerde devreye alınan ya da devreden çıkan yüklerde tüketicilerin reaktif güç ihtiyaçlarına uygun biçimde kondansatörlerin sisteme girip çıkartılmasıdır. Sistem manuel ve otomatik bir şekilde, ayarlanmış bir  $\cos \varphi$  düzeyinde kalmaya çalışmaktadır (Öztürk, 1998). Şekil 3.8’de merkezi kompanzasyon şekli gösterilmiştir.



**Şekil 3.8 :** Merkezi kompanzasyon (Bilki, 2008).

Yük analizi tesis için önem arz etmektedir. Bir tesisin hangi türde kompanzasyonla yapılması gerektiği işletmenin belli sürelerde alınan yüklenme eğrilerine göre seçilmelidir. Şekil 3.9’da günlük bir yüklenme eğrisi örneği gösterilmiştir.



**Şekil 3.9 :** Günlük yüklenme eğrisine bir örnek (Kocabaş, 2006).

Merkezi kompanzasyon yöntemi, birden fazla sayıda yükün değişken reaktif güç ihtiyacının olduğu hallerde genelde kullanılmaktadır. Kompanzasyon tesisine otomatik düzenleme yapabilmek için güç kontrol rölesi bağlanır. Bu röle sisteme kondansatör devreye almak ve devreden çıkarmakta görev almaktadır. Bunun sonucunda tesiste ihtiyaç duyulan reaktif güç düzenlemesi gerçekleşmiş olacaktır (Mustafa Şekkeli, 2006). Günümüzde uygulanmakta olan merkezi reaktif güç kompanzasyon sistemlerinde, kompanzasyon sisteminin kademe sayısı arttırılmıştır. Böylece daha hassas kompanzasyona imkan sağlanmıştır. Merkezi kompanzasyonun dezavantajı ise kurulum maliyetlerinin yüksek olmasıdır (Özsan, 2013).

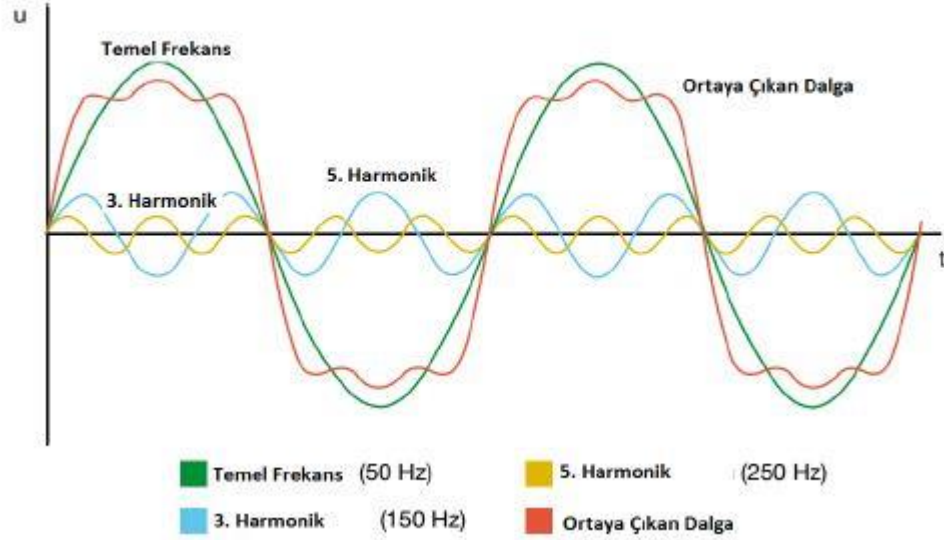




## 4. HARMONİKLERİN KOMPANZASYON ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

### 4.1 Harmonikli Elektriksel Büyüklükler

Nonsinüzoidal periyodik dalgaların genlik ve frekansları aynı olmayan sinüzoidal dalgaların toplamından oluşan matematiksel ifadeler Fourier serileri adı verilmektedir. Fourier serisindeki frekansı farklı sinusoidal terimlerden her biri harmonik olarak tanımlanmıştır. Nonsinüzoidal yapıda olan periyodik bir dalgaının harmonik mertebeleri Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1 : Temel bileşen ve tek harmonikler (Kürker & Taşaltın, 2016).

Fourier serisi yardımı ile nonsinüzoidal akım  $i(t)$  ve gerilim dalga  $v(t)$  formları ;

$$i(t) = I_{da} + \sum_1^{h maks} \sqrt{2} \cdot I_h \cdot \sin(w_h \cdot t - \varphi_h) \quad (4.1)$$

$$V(t) = V_{da} + \sum_1^{h maks} \sqrt{2} \cdot V_h \cdot \sin(w_h \cdot t) \quad (4.2)$$

şeklinde yazılabilir. Denklemlerde  $V_h$  gerilimi  $h$ . harmonik geriliminin etkin değeri olup,  $I_h$  akımı  $h$ . harmonik akım değerinin etkin değeridir. Burada  $\varphi_h$  ise  $h$ .harmonik faz açısı olmaktadır.

Harmonik bozunma değerleri çalışılan şartlar ve indisler ile ortaya çıkarılmaktadır.

Kullanılan indis  $k$  harmonik faktörü olursa;

$$k = \sum_1^{h_{maks}} h^2 \cdot \left( \frac{I_h}{I_{anma}} \right)^2 \quad (4.3)$$

biçiminde açıklanabilen akım sinyal şeklinin etkin değerleri ve harmonik dereceleri de öneme alınarak transformatör gibi şebeke elemanlarının oluşturduğu ısıl etkiyi ortaya çıkarabilmek için yazılan bir indis olmaktadır (Elmaslar & Balcı, 2009).

Sonlu olmayan serideki herhangi trigonometrik terimin periyodu, temel periyodun bir tamsayı katı yani harmonik bileşeni olarak açıklanabilir.

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \text{Cos}(nw_0t) + B_n \text{Sin}(nw_0t) \quad (4.4)$$

Yukarıdaki denklemde,  $A_0$ ,  $A_n$  ve  $B_n$  Fourier katsayılarını ifade eder. Fonksiyon periyodik olduğunda  $f(t)$ 'nin temel frekansı  $w_0$  olmaktadır. Harmonikli durumlarda  $2w_0$ ,  $3w_0$ ,  $4w_0$ , ...,  $nw_0$   $f(t)$  fonksiyonunda harmonik frekanslarını göstermektedir.

Harmonikler, elektrik güç dağıtım sistemlerinde akım ve gerilimi etkileyerek sinüzoidal sistemi bozarlar. Bununla birlikte güç kalitesi de bozulmaktadır.

İşletmelerdeki makinaların harmoniklerden dolayı oluşturduğu ısı kayıpları, işletmeye kayıp bedel şeklinde yansımaktadır. Oluşan ısı kayıplarının değeri ise  $860kCal \approx 1kWh$ 'a karşılık gelmektedir. Harmoniğe bağlı olarak oluşan bu kayıp bedel, işletme tarafından ödenmektedir.

Elektrik tesislerinde nonlinear elemanlar, iletim ve dağıtımda istenmeyen harmoniklerin meydana gelmesine neden olmakta, bunun sonucunda tüketicinin kullandığı enerjinin kalitesini önemli miktarlarda değiştirmektedirler. Kaliteli ve verimli bir enerji için kompanzasyon sorunlarının, harmoniklerin etkinliğine göre projelendirilmesi gerekmektedir.

Harmonik bileşenleri yüksek frekanslara sahip olduklarından dolayı, skin effect (deri etkisi) olarak adlandırılan bir etki açığa çıkarırlar. Alternatif akımda bir iletken direnci, doğru akımdakine göre daha fazladır. Bahsedilen direnç değeri harmonikli

bileşenlerde daha fazla yükselmektedir. İletkenin yüzeyinden akan yüksek frekanslı harmonik akımları, yoğun şekilde iletkenin dış yüzeyinden geçeceğinden, böylece akımın iletilebilmesi için gereken kesitin düşmesi ve direncin yükselmesine sebebiyet verecektir. Deri etkisi neticesinde iletkenlerde kayıplar çoğalır ve bununla beraber ısınma meydana gelir (Kürker & Taşaltın, 2016).

## 4.2 Harmoniklerin Üretilmesi

Tesislerde ve işletmelerde temel akım ve gerilim dalgalarının sinüzoidal formdan uzaklaşmasına neden olan harmonikler, akım gerilim karakteristiği lineer olmayan elemanlar tarafından oluşturulur. Harmoniklerin oluşumuna sebep olan elemanlar,

- Generatörler
- Motorlar
- Senkron makinelerin uyarılmasında kullanılan diyot ve tristörlü dönüştürücüler
- Elektronik balastlar
- Frekans dönüştürücüleri
- Ark fırınları
- Bilgisayarlar

olarak sıralanabilir.

## 4.3 Harmoniklerin Kondansatörler Üzerindeki Etkisi

Harmonik mertebelerinin fazla olduğu tesislerde harmonik filtreli kompanzasyon çeşitleri kullanılmalıdır. Eğer tesislerde harmonik filtreli kompanzasyon tercih edilmez ise bu seçim zaten sistemde mevcut olan harmoniklerin daha fazla yükselmesine neden olmaktadır.

Bir kondansatör grubunun reaktansı, yükselen frekans değeriyle beraber ters orantılı olarak azalacaktır. Bir kondansatörün  $n$ . harmonik için akım değeri ,

$$I_n = 2\pi \cdot f_n \cdot C \cdot V_n = n \cdot \omega_1 \cdot C \cdot V_n \quad (4.5)$$

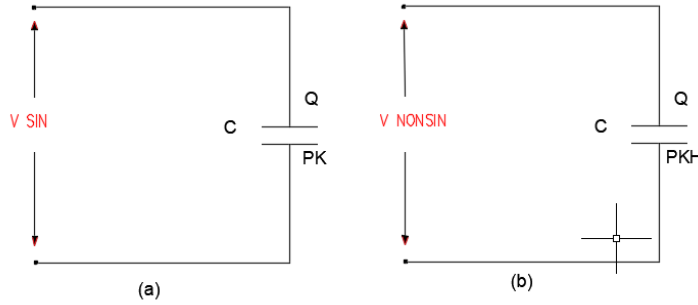
denklemleriyle bulunur.

Denklem (4.5)'den görüldüğü üzere bir harmoniğin akımdaki miktarı gerilimdeki miktarından daha da yüksek olmaktadır. Kondansatörlerin ve bobinlerin bir arada kullanıldığı sistemlerde harmonikli yapılar rezonans etkisi yapabilirler.

Bir alçak gerilim güç sisteminin rezonans frekansına ait harmonik derecesi,

$$n = \frac{Q_s}{Q_c} \quad (4.6)$$

ilişkisiyle bulunur. Bir kondansatördeki reaktif güç, kondansatöre uygulanan gerilim değeriyle bağlantılı olarak değişecektir.



**Şekil 4.2 :** a) Sinüzoidal b) Nonsinüzoidal durumu (Kocatepe Celal ve diğ., 2003).

Harmonikli akımlar sistemlerin kayıplarındaki artış sonucu ısı miktarının yükselmesine sebep olmaktadır. Isı miktarındaki bu değişimler kondansatör ömrünün azalmasına sebep olur. Nominal olarak,  $Q$  reaktif güce sahip kondansatöre uygulanmakta olan harmonik bileşene sahip gerilim uygulanması halinde reaktif güç

$$Q_T = Q + \sum_{n=2}^N W_n \cdot C \cdot V_n^2 \quad (4.7)$$

denklemleriyle bulunur.

Kondansatörün ideal olmadığını, kayıp gücünün olduğunu ve iç direncinin olduğunu kabul edelim. Bu durumda kondansatörün aktif güç kaybı

$$Pk = \sum_{n=1}^N C \cdot (\tan \delta) \cdot W_n \cdot V_n^2 \quad (4.8)$$

olacaktır. Denklemde

$$\tan \delta = R \cdot (1 / \omega C) \quad (4.9)$$

ile açıklanan kayıp faktörüdür.  $W_n=2\pi fn$   $n$ . harmonik için açısal frekans değeri olup  $V_n$  ifadesi  $n$ . harmonik geriliminin efektif değeridir. IEEE Std 18-1992 kondansatör grupları için bazı sınırlamalar koymuştur. Bu sınırlamalar kullanılarak harmonik dereceleri belirlenebilir (Kocatepe Celal ve diğ, 2003).

#### 4.4 Harmoniklerin Elektrik Tesisleri Üzerindeki Etkileri

Günümüzde anahtarlama elemanlarının kullanımının artmasıyla birlikte, harmonikli akımların sadece yüklerde dalga şekillerinde bozucu etkileri bulunmayıp güç sistemine bağlanılan bileşenler üzerinde de zararlı etkileri görülmektedir.

Harmoniklerin tesislerde meydana getirdiği sorunlar;

- Gerilim dalga şeklinin bozulması
- Elektrik güç sisteminde ilave kayıpların oluşumu
- Güç iletiminde , üretiminde ve dağıtımında verimin azalması
- Devre kesicilerde istenmeyen sebebi belirsiz açılmalar
- Gerilim düşümünün artması
- Kondansatörlerde yalıtım zorlanması sebebiyle hasar oluşumu
- Toprak kısa devre akımlarının daha büyük değerlere çıkması
- Koruma sistemlerinde hataların oluşması
- Aydınlatma cihazlarında ve monitörlerde görüntü titreşimi
- Endüksiyon tipi sayaçlarda yanlış ölçümler
- Elektrik cihazlarının ömrünün azalması
- Sesli ve görüntülü iletişim araçlarının parazitli çalışması
- Mikroişlemcilerin doğru çalışmaması
- Harmonik kaynaklı oluşan gürültü nedeniyle kontrol sistemlerinin hatalı işletimi

olarak sıralanabilir.

Boşta çalışmada ve küçük yüklerde harmoniklerin etkisi, şebekelerin tam yüklenmesi durumuna kıyasla daha fazla olmaktadır.

#### 4.4.1 Güç faktörü üzerindeki etkileri

Genel anlamda güç faktörünü, gücü kullanabilme derecesi olarak açıklamak mümkündür. Bir devrenin aktif gücünün, görünür gücüne oranı olarak da tanımlanabilir.

Şebekenin sinüzoidal durumda olması ve bu şebekeye nonlineer yüklerin bağlanmasıyla oluşacak harmonikler nedeniyle güç faktörü

$$GF = \frac{V \cdot I_1 \cdot \cos \varphi}{V \cdot \left[ \sum_{n=1}^N I_n^2 \right]^{\frac{1}{2}}} = \frac{I_1}{I} \cdot \cos \varphi \quad (4.10)$$

eşitliğiyle ifade edilebilir. Denklemden birinci ifade akımın distorsiyon faktörü, ikinci ifade ise kayma faktörü şeklinde isimlendirilir. Birinci ifade her zaman 1'den küçük değer alacağından dolayı  $GF$  sinüzoidal olduğu haldeki değerinden daha küçük değer alır. Buradan anlaşılacağı üzere, harmonik akımları güç faktörü değerini düşürmektedir.

#### 4.4.2 Reaktanslara olan etkileri

Elektrik şebekelerinin sahip olduğu elemanların tasarlanmasında reaktansların oldukça önemli bir yer tuttuğu söylenebilir.

Temel bileşendeki değeri  $X_L$  olan bir endüktif reaktans,  $n$ . harmonikte

$$X_{Ln} = n \cdot X_L \quad (4.11)$$

şeklinde olacaktır. Aynı biçimde temel frekanstaki değeri  $X_c$  olan bir kapasitif reaktans,  $n$ . harmonikte olduğunda

$$X_{cn} = \frac{X_c}{n} \quad (4.12)$$

değerini alır.

#### 4.5 Harmoniklerin Yok Edilmesi Metodları

Harmoniklerin azaltılması amacıyla filtreler kullanılmaktadır. Bu filtreler pasif ve aktif filtreler olarak sınıflandırılmaktadır.

#### 4.5.1 Pasif filtreler

Harmoniklerin yok edilmesi amacıyla kullanılan pasif filtreler, düşük ayarlı ve ayarlı filtreler olarak ikiye ayrılmaktadır.

##### 4.5.1.1 Düşük ayarlı filtreler

Temel harmonik frekans değerinden daha küçük değerde bir frekansta endüktans bobini yapılarak kondansatörlerin önüne seri bağlanan filtre çeşididir. Kondansatörlerden kaynaklanan paralel rezonansı bastırmak, empedans değerini merkez frekansında düşük tutmak ve harmoniklerden ötürü oluşacak gerilimleri en düşük düzeye getirmek üzere tasarlanırlar. Fakat tesisin kendi oluşturduğu harmonik akım mertebelerine karşı başarılı olamazlar.

Seri rezonans frekansı aşağıdaki ifade ile hesaplanmaktadır. Harmonik geriliminin ve kondansatör akımının sıfıra indirilmesi işlemleri sıralanmaktadır.

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4.13)$$

Seri rezonans şartı

$$X_L = X_C \quad (4.14)$$

eşitliği sağlanmaktadır.

$$Z_H = \sqrt{X_L^2 + X_C^2} = 0 \quad (4.15)$$

$$I_{TH} = I_H + I_{CH} \quad (4.16)$$

$$I_{CH} = 0 \quad (4.17)$$

$$I_{TH} = I_H + 0 = I_H \quad (4.18)$$

$$V_{TH} = Z_H \cdot I_{TH} = 0 \cdot I_H = 0 \quad (4.19)$$

Denklemlerde  $I_{ch}$  kondansatör üzerindeki akımı,  $V_{TH}$  harmonik gerilimini,  $I_{TH}$  harmonik akımını,  $Z_H$  harmonik empedansı ifade etmektedir.

Düşük ayarlı filtreler, harmonik gerilimini sıfır değerine düşürdüğünden ekonomik ve başarılı bir metottür. Seri rezonans devresi meydana getirilerek paralel rezonansın

etkisi ortadan yok edilmektedir. Bobin ve seri bağı kondansatörün toplam reaktansı böylece sıfır olmaktadır. Bu sayede paralel rezonansın kondansatörler ve devredeki diğer noktadaki etkisi yok edilmiş olmaktadır.

Bu metod değişken yük karakteristiğinin olmadığı durumlarda uygulanmaktadır. Dinamik yüklere ilişkin bilgi olmadığından, bu tip yüklerin bulunması durumunda tesis harmoniklerden etkilenmektedir (Akçay & Arifoğlu, 2019).

#### **4.5.1.2 Ayarlı filtreler**

Bu yöntemde endüktans değeri, tesiste en etkili frekansta harmoniği filtreleyecek şekilde belirlenir. Merkezi frekans ayarlı filtre çeşidi, harmonik filtre ayarlı kompanzasyona nazaran daha etkin ve maliyetli bir sistemdir. Yapılan ölçümlere dayanarak, sistemde hangi mertebede harmonik değeri baskın olursa, merkezi frekans ayarlı filtre o harmonik frekanslarına göre dizayn edilirler. Sistemde 6 darbeli olarak isimlendirilen anahtarlama elemanları mevcut ise 11. ile 13.harmoniksel mertebelerin baskın olması beklenir. Tesiste 550 Hz değerinden daha yüksek frekansta bir filtreleme yapılıyorsa (rezonans oluşturuluyorsa) tesisin 13.harmonik mertebesine sahip olduğu söylenebilir.

Merkezi frekans değerlerinin 245 Hz, 345 Hz ve 545 Hz değerlerinde seçilmesi kullanılacak kondansatörlerin daha uzun vadede sorunsuz çalışabilmelerini sağlayacaktır.

Bu ayarlı filtreler kullanılarak,  $X_c$  ve  $X$  değerlerinin birbirine eşitlenmesi sağlanır. Böylece tesiste harmoniklerin oluşturduğu gerilimler filtrelenir.

#### **4.5.2 Aktif filtreler**

Harmoniklerin ortadan kaldırılması için geliştirilmiş güç elektroniği devreleri aktif filtre olarak tanımlanır. Günümüzde teknolojinin artmasıyla kullanım alanı artan aktif filtre düşüncesini Bird vd.(1969) ortaya atmış atmış, daha sonra Ametani (1972) tarafından geliştirilmiştir. Aktif filtreler ileri güç elektroniğine dayanırlar ve pasif filtrelerden daha maliyetlidirler.

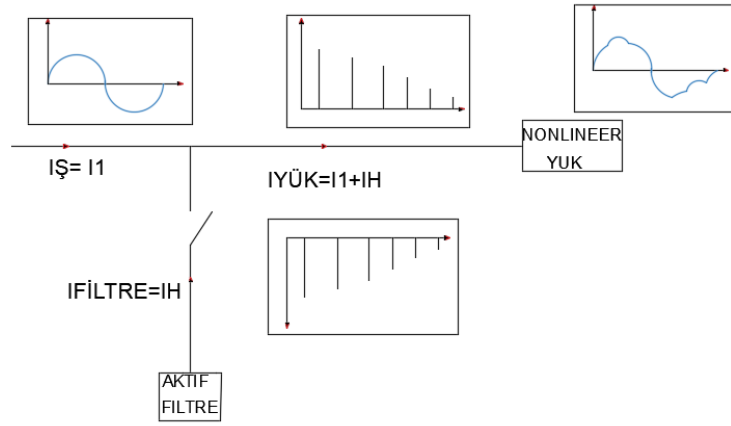
Harmoniklerin filtrelenmesi için pasif filtrelerde karşılaşılan problemlerden birisi sisteme montajlarının zorluk çıkartabilmesidir. Aktif filtrelerin en önemli avantajlarından birisi mevcut sistemde farklılıklar yapıldığı anlarda dahi harmonik



kompanze etmeye devam edebilirler (Kocatepe Celal ve diğ, 2003). Bu filtreler nonlineer yükün çekebileceği temel akım bileşeni dışındaki akımı karşılarlar. Yük tarafından çekilen harmonikleri tanımlayarak yüke enjekte ederler. Nonlineer yük şebekeye bağlandığında  $I_s$  gibi bir şebeke akımı çeker. Sinüzoidal formda olmayan bu akımın içinde harmonik akımları da mevcuttur.

$$I_s = I_1 + \sum_{n=2}^N I_n = I_1 + I_H \quad (4.20)$$

Harmonik bileşen akımlarının sağlanması durumunda, şebeke tarafında sadece temel bileşen akım çekilecektir. Aktif filtreler nonlineer yükün çekmekte olduğu harmonik akımları tedarik ederler. Aktif filtre akımı için filtre akımı, hattın akımına eşitlendiğinde şebeke akımı sinüzoidal olmaktadır.



**Şekil 4.3 :** Aktif filtre ile harmonik önlenilmesi (Kocatepe Celal ve diğ, 2003).

Aktif filtreler sayesinde harmonikler şebekeden çekilmeyeceklerdir. Günümüzde aktif filtreler seri ve şönt olmak üzere ikiye ayrılırlar. Şönt aktif filtreler pasif filtreler ile birlikte kullanılabilirler. Aktif filtreler pasif filtreler ile kıyaslanınca aktif filtrelerin üstünlükleri daha fazladır. Birden fazla frekansa ayarlanabilmeleri, harmonik sıralarının kontrolü, empedansın etkisinden etkilenmemeleri gibi özellikler aktif filtrelerin üstün taraflarındandır .

Bu yöntemde basit yöntemden farklı olarak bütün frekanslardaki harmonikler bastırılarak akım ve gerilim sinüzoidal form biçimini alır. Aktif filtre uygulama şekli daha çok dinamik karakteristikli sistemlerde kullanılmaktadır. Bir diğer avantajı da sistemde ayrıca reaktif güç telafisine ihtiyaç kalmamasıdır (Akçay & Arifoğlu, 2019).

## 4.6 Harmonik Bileşenlerle Rezonans Oluşumu

Tesisler inşa edilirken, sistemin temel frekansı 50 Hz olan rezonans oluşumunu engelleyecek şekilde dizayn edilirler. Fakat tesiste nonlinear karakteristiğe sahip ve harmonik üreten yükler varsa sistem bundan etkilenir. Bunun sonucu olarak  $L$  ve  $C$  değerlerine bağlı olarak tesis temel frekanstan farklı bir değerdeki frekansta rezonansa girebilir.

Rezonans frekansında endüktif reaktans ile kapasitif reaktans birbirine eşit olmaktadır. Endüktif reaktansın frekans ile değişimi incelendiğinde, endüktif reaktansın frekans ile doğrusal olarak arttığı, kapasitif reaktansın ise frekans değişimiyle birlikte ters orantılı olduğu sonucuna varılabilir. Rezonans meydana geldiğinde, elektriksel sistem rezonansı, harmonik frekanslardan birine yakın değerde ise bu durumda yüksek seviyede harmonik akım ve gerilimleri ortaya çıkacaktır (Bayram, 2000).

Reaktif güç üretimi ve gerilim regülasyonu amacıyla kullanılan kondansatörler, nonlinear yüklerin oluşturduğu harmoniklerin zararlı etkilerini artırır.

### 4.6.1 Rezonansların meydana gelmesi

Merkezi reaktif güç önleme yönteminde yada bireysel kompanzasyonda rezonans meydana gelerek tesislerdeki akımların yükselmesine neden olmaktadır. Böylece sigortalar zarar görebilir. Bunun nedeni motorlara paralel bağlanılan kondansatörlerin şebeke tarafındaki harmoniklerde kapasitif etkide olmalarındandır. Bunun neticesinde rezonans durumu oluşacaktır. Şebeke tarafındaki yüklerin her zaman endüktif karakterde olmalarından dolayı 50 Hz frekansında problem ortaya çıkmamaktadır.

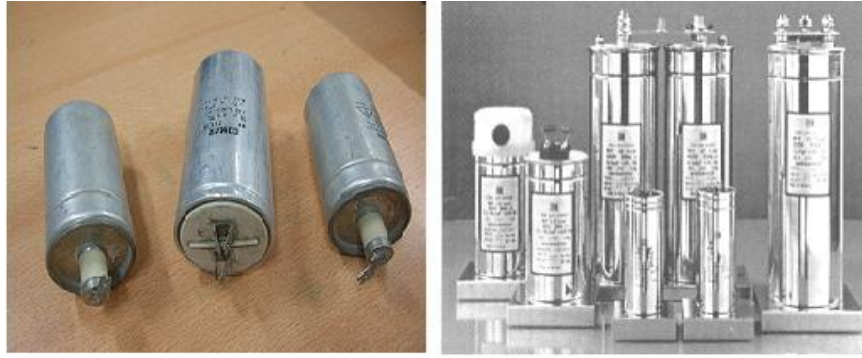
### 4.6.2 Rezonansın önüne geçilmesi

Bir tesiste motorlar ile kondansatörler aynı anda devrede oluyorsa rezonans olayı oluşmamaktadır. Rezonans olayı oluşabilecek harmonik frekanslarından, genlik değeri yüksek olanların etkisini ortadan kaldırabilmek için harmonikleri süzecek filtreler gerekmektedir. Kurulan kompanzasyon tesisinde harmonik frekanslarından kaçınılmalıdır. Tesisin rezonans frekansı, sistemdeki harmonik frekans bilgisiyle aynı değerde olmamalıdır. Sabit kompanzasyon yapılarak aşırı kompanzasyon yapılması önlenmelidir. Harmoniklerin oluşumuna engel olmak için transformatörlerin üçgen

bağlı olarak tesis edilebilir olması ve yüksek darbeli dönüştürücülerin kullanımı gereklidir. Kondansatöre seri bir bobin yerleştirilerek rezonans frekansı düşürülebilir. Böylece harmonik akımların tesise yaptığı olumsuz etki azalacaktır. Kondansatör akımı, harmonik derecesiyle arttığından yine bobinin endüktif reaktansı sayesinde sınırlanacaktır. Nonlineer elemanların olduğu devrelerde harmonik analizlerinin sürekli incelenilmesi gerekmektedir. Özellikle büyük güçte nonlineer elemanların bulunduğu sistemlerin rezonans analizinin yapılması dikkate alınmalıdır.

#### 4.6.3 Kondansatörler

Kondansatörler, iletken iki tabaka ile bunların arasında bulunan yalıtıktan imal edilmektedirler. Yalıtkan özel kağıt ve bunların arasına sızdırılmış farklı tiplerde yağ ve kimyasallardan oluşmaktadır. Kullanılan kağıt üstün kaliteli selülozdan imal edilirler.



Şekil 4.4 : Kompanzasyon kondansatörleri.

##### 4.6.3.1 Standart güç değerleri

0,5  $kVAr$  gücünden başlayarak 100  $kVAr$  gücüne kadar üretilebilirler. Daha yüksek güçlü kondansatöre ihtiyaç duyulursa özel üretim yapılmaktadır.

##### 4.6.3.2 Alçak gerilim kondansatörleri

Alçak gerilim tesislerinde kondansatörler bakım gerektirmez. Tesiste baskın harmonik derecesi tespit edilerek, harmonik oluşumlarına uygun kondansatörler tercih edilmelidir. Kondansatör deşarj direçleri, kondansatör tekrar devreye alındığında şebeke tarafındaki gerilimle örtüşmenin önüne geçebilmek için kullanılırlar.

Günümüzde üç ayrı yapıda güç kondansatörü üretilmektedir.

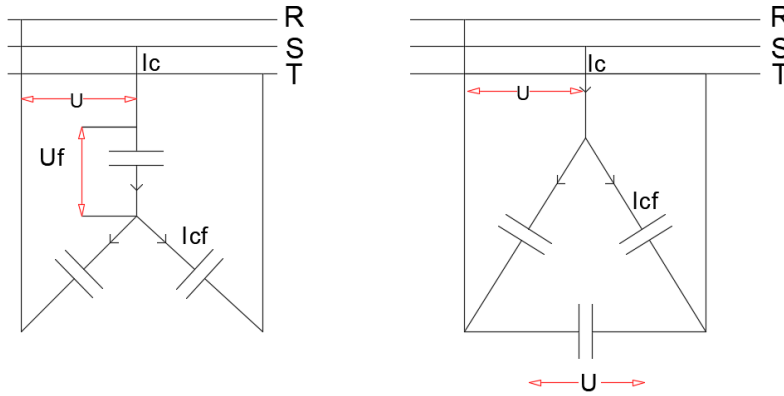
- **Polipropilen yalıtkanlı tip:** Günümüzde pek fazla kullanılmazlar.
- **Metalize polipropilen kuru tipi:** Kendi kendini onaran yapıda olduğundan kullanımları yaygınlaşmaktadır.
- **Karma yalıtkanlı yağlı tip:** Küçük hacime sahip olmakla birlikte kayıpların da azaltılması sağlanmıştır. Kondansatörler bu özellikleri itibariyle uzun seneler kompanzasyonun aynı değerinde kalmasını sağlamaktadır.

#### 4.6.3.3 Kondansatör adımının belirlenmesi

Kondansatör adımı seçiminde önemli olan 1.kademedeki kondansatör değeri diğer kademe değerliklerinden küçük alınmasıdır. Örnek olarak 45kVAR'lık kondansatörler uygulanacak güç katsayısı yükseltme işlemi, 5 adımlı röle tercih edilmesi ile adımlar sırasıyla 5kVAR, 10kVAR, 10kVAR, 10kVAR, ve 10kVAR olabilir.

Burada dikkat edilmesi gereken konulardan birisi, tesiste gece saatlerinde yük düşecek ve sadece aydınlatma devrede olacağından küçük değerlikli kondansatör bulunmuyor ise sistemin endüktif cezaya girebileceğidir.

Konsansatörlerin bağlanmaları Şekil 4.5'te görülmektedir.



Şekil 4.5 : Üçgen ve yıldız bağlantı.

Üç fazlı tesislerde kondansatör değeri, yıldız ve üçgen bağlantı yapıldığında aşağıdaki eşitlikle bulunabilir. Formülde verilen yıldız ve üçgen bağlantı durumlarında  $U$  (hat gerilimi) ve  $I_c$  (kondansatör akımı) ve  $U_f$  (faz gerilim) faktörleri farklı değerlerde olabilmektedir.

$$Q_C = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot I}{1000} \text{ kVAR} \quad (4.21)$$

Yıldız bağlamada  $C\lambda$  kondansatörünün uçlarına faz nötr gerilimi uygulandığı hâlde üçgen bağlamada  $C\Delta$  kondansatörünün uçlarına  $\sqrt{3}$  kat 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 nazaran 1/3 oranında daha düşer. Maliyetin azalması nedeniyle kondansatörlerin üçgen bağlanmaları tercih edilir (Bayram, 2000).

#### 4.6.3.4 Aşırı kompanzasyonun zararları

Her ne kadar reaktif güç istenmeyen bir güç olsa da bundan tamamıyla vazgeçmek mümkün değildir. Diğer bir ifade ile elektrodinamik kanununa göre çalışan generatör, transformatör, bobin ve motor gibi bütün tesis donanımlarının normal olarak çalışmasında gerekli olan manyetik alan reaktif akım sayesinde açığa çıkar. Endüksiyon ilkesine dayanarak çalışmakta olan tüm cihazlar, manyetik alanın ortaya çıkmasında mıknatıslanma akımı kullanırlar. Onun içindir ki faydalı aktif güçle birlikte kesinlikle reaktif güce de ihtiyaç duyulur. Bu nedenle tüm alternatif akım tesisleri, aktif gücün yanında reaktif gücün de tüketileceği gözönünde bulundurularak tasarlanır. Aşırı kompanzasyon biçimi manyetik alanı meydana getiren reaktif akımı yok edeceğinden işletme araçlarının çalışma verimliliğini düşürecektir. Reaktif güç rölesi, akım değerini bir akım trafosu yardımıyla ölçmektedir. Alçak gerilim tesislerinde röle, doğrudan alçak gerilim barasına bağlanır. Şekil 4.6'da bir reaktif güç kontrol röle ekranı görülmektedir.



Şekil 4.6 : Reaktif güç rölesi.

#### 4.6.3.5 Kondansatörlerin kademe güçlerinin tespiti ve hesaplamaları

Reaktif güç kontrol rölesinde kademeler 1, 2 ve 3 faza sahip kondansatörlerden yapılabilir. Röle çeşidine ve tesise uygun kondansatörler Çizelge 4.1’de gösterildiği şekilde belirlenir.

**Çizelge 4.1:** Akım trafosuna göre kademe gücü seçimi.

Akım Trafo değeri	Faz Başına Kullanılabilen En Küçük Kondansatör Değeri	Faz Başına Kullanılması Önerilen Kondansatör Güvenli Alt Değeri
X/5	X	2X
100/5	0.1 kVAr	0.2 kVAr
500/5	0.5 kVAr	1 kVAr)
2500/5	2.5 kVAr	5 kVAr
10000/5	10 kVAr	20 kVAr

X sütunu ile yazılan ortadaki değerler, ilgili akım trafosu değeri için röle tarafından kabul edilen, kondansatörün sıfır olması alt sınırıdır. İlgili akım trafosunda bu değerden küçük kondansatör değeri kullanmak pek sağlıklı olmayacaktır.

Çizelgede önerilen kondansatör güvenli alt değeri, kullanılan akım trafosu değeri için röle yardımıyla akım trafosu ile ölçümü gerçekleştiren reaktif güç kontrol rölesi kademelerine bu değere eşit veya daha yüksek güçte kondansatör kullanmak gereklidir.

Kompanzasyon sisteminde kullanılacak olan kondansatör güç değerleri eğer sistem kararlı ise küçük güçten büyük güce ara değerlikleri oluşturacak biçimde dizilmelidir. Etkili bir kompanzasyon işleminde en dikkat edilmesi gereken nokta, ilk 3 kademelerin kondansatörler arasındaki adım aralıklarının belirlenmesinin önemidir .

## 5. STATİK VAR KOMPANZASYONU

### 5.1 Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri

Günümüze tristör kontrollü reaktif güç kompanzasyon sistemleri, gerek endüstriyel sistemlerin güç katsayılarının bire yakın bir değerde tutulmasında, gerekse sistem geriliminin kararlılığının artırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Uygulamalarda karşı karşıya kalınan kompanzasyon sorunlarından biri, büyük ve dengesiz yükler tarafından çekilen reaktif güçteki hızlı değişimleri karşılama zorluğudur. Yük kompanzasyonu amacıyla klasik yöntemlerin yerine, “Esnek AA İletim Sistemleri - FACTS (Flexible AC Transmissions Systems)” olarak ifade edilen modern kompanzasyon yöntemlerinin kullanımı uygun bir çözümdür. Bu sistemler sahip oldukları, hızlı cevap verebilme, her fazı ayrı ayrı kontrol edebilme ve dolayısıyla dengesiz yükleri kompanze edebilme yetenekleriyle, yukarıda bahsedilen problemin çözümü olurlar (Ersamut Rıza, 2009).

FACTS kontrolörlerinin farklı tipleri IEEE, CIGRE ve EPRI dökümanlarında tanımlanmaktadır. Esnek AA iletim sistemlerini,

1. Tristöre Dayalı FACTS Sistemi
  - Statik VAR Kompanzatör (SVC)
  - Tristör Anahtarlama Kondansatör (TAK)
  - Tristör Anahtarlama Reaktör (TAR)
  - Tristör Kontrollü Kondansatör (TKK)
  - Tristör Kontrollü Reaktör (TKR)
  - Tristör Kontrollü Seri Kondansatör (TKSK)
  - Tristör Kontrollü Faz Değiştirici (TKPV)
2. GTO Kontrollü FACTS Sistemi
  - Statik Kompanzatör (STATKOM)
  - Birleştirilmiş Güç Akış Cihazları (UPFC)

Alternatif akım iletim sistemlerinde, harmoniklerin yok edilmesi, gerilim ve frekans kararlılığı gibi kalite ile ilgili durumlar isteniyorsa yukarıda bahsedilen FACTS yöntemlerinden biri sistemin şartları da incelenerek uygulanmaktadır (Gelen & Yalçınöz, 2009).

FACTS kavramının arkasında yatan temel düşünce, mekanik kontrolörlerin yerini daha güvenli ve daha hızlı olan güç elektroniği bileşenlerinin alması, böylelikle güç sisteminin kapasitesinin kullanımını en uygun hale getirmek ve denetlebilirliği artırmaktadır. Geleneksel mekanik kontrolörlerle kıyaslanınca daha hızlı çalışırlar. Bu kontrolörler uygun ayarlanıldıklarında sistemlerde kararlı çalışma sınırları da genişlemektedir. FACTS sistemlerinin amaçları güç transfer kapasitesini yükseltmek ve güç akışını kontrol altında tutabilmektir.

Güç elektroniği temellerine dayandırılan kontrolör türleri yukarıda sıralanmıştır. En son geliştirilen FACTS cihazları senkron gerilim kaynağı ilkesine göre çalışmakta olan konvertör tabanlı olanlardır. En sık kullanılanları ise STATKOM, hat arası güç akış kontrolü (IPFC) ve birleştirilmiş güç akış kontrolü olan UPFC'dir (Deniz, Tuncer, & Gençoğlu, 2020).

## **5.2 Statik VAR Kompanzasyonu Metodolojisi**

Bir işletmede yüklerin devreye alınmasında veya devreden çıkarılmasında sistem geriliminde ve reaktif güç bileşenlerinde oynamalar ve bozulmalar meydana gelebilir. Bu durum güç sistemlerinde aktif güç isteğinde ani değişimlere neden olur. Aktif güç isteğindeki ani değişimler, güç üreticilerinin hızlarında değişimlere, geçici frekans ve güç salınımlarına, gerilim yükselmelerine, toplam kayıpların artışına ve hatta güç sistemlerinde bozunumlara sebep olur.

İlk statik VAR kompanzasyonu, 1978'de Minnesota Güç ve Aydınlatma sisteminin Shannon İstasyonunda (Shannon Substation of the Minnesota Power and Light (MP&L)) 40 MVar değerinde kurulmuştur. 1978'den beri, güç sistemi uygulamalarında statik VAR kompanzasyonunun kullanılması artış olmuştur. 2000'li yılların başına kadar, kurulu halde 41 tane iletim hattı kompanzasyonu ve bu sayının da üzerinde henüz tasarımı devam eden projeler vardı (Gyugyi, 1988).



### 5.2.1 Statik VAR kompanzasyonu avantajları

Alternatif akım güç sistemlerine statik VAR kompanzasyon yöntemlerinin kullanılması iletim hatlarında kararlı durumdaki aktif güç taşıma kapasitelerinin artmasını, değişken yük durumu ve hattın devreye alınması gibi çalışma şartlarında gerilim dalgalanmasının en aza indirilmesini, her fazın ayrı ayrı kompanse edilebilmesini, yüksek emniyet ve güvenlik, verimin artıp kayıpların azalmasını, düşük hacim sayesinde yüksek güç yoğunluğu elde edilmesini, cevap verme süresinin kısalmasını ve kondansatörlerin gerilimlerinin sıfır geçiş noktalarında tristörlerle devreye alınarak kontaktörlü sistemlerde oluşan piklerin oluşmamasını sağlamaktadır.

### 5.2.2 Statik VAR kompanzasyonunda güç akışı analizi

*SVK* sisteminde AA güç sisteminin paralel reaktansı ayarlanarak, gerilim ve reaktif güç kontrolü yapılmaktadır. *SVC* sisteminin iki popüler konfigürasyonu, tristör kontrollü reaktör (*TKR*) ile sabit kondansatör (*SK*) kombinasyonu ve tristör kontrollü reaktör (*TKR*) ile tristör anahtarlamalı kondansatör (*TAK*) kombinasyonudur. Tristör kontrollü reaktör ve sabit kondansatör (*TKR-SK*) modeli Şekil 5.1(a)'da gösterilmektedir.

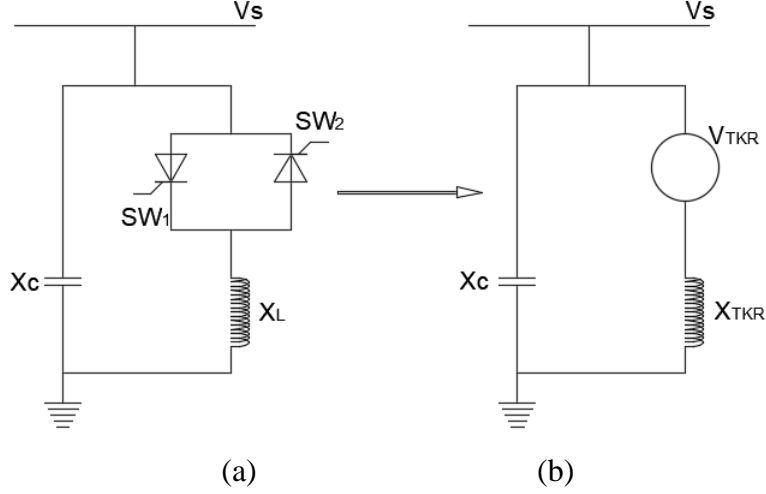
Güç akış analizinde, *SVC*'nin toplam süseptansı, gerilim ve reaktif güç kontrol denklemi için temel alınacaktır. Şekil 5.1(a)'daki *SVC* modeli, güç akış analizi için Şekil 5.1(b)'de gösterilen eşdeğer devreye dönüştürülür (Ersamut Rıza, 2009).

Şekil 5.1(b)'deki  $Z_{TKR}$  ifadesi

$$Z_{TKR} = j(X_{TKR_{min}} + X_{TKR_{max}}) / 2 \quad (5.1)$$

eşitliği ile ifade edilebilir.

Burada,  $X_{TKR}$  ve  $TKR_{min}$  ile  $TKR_{max}$  Şekil 5.1'de *TKR* kolunun değişken reaktansının alt ve üst sınırlarıdır. Şekil 5.1(a)'da *TKR* kolunun değişken reaktansı  $Z_{TKR}$  empedansı ile değişken gerilim kaynağı  $V_{TKR}$  birbirine seridir.



**Şekil 5.1 :** Tristör kontrollü reaktör ve sabit kondansatöre ait (a) basit güç sistemi modeli ve (b) güç akış analizi için eşdeğer gösterimi.

Değişken gerilim kaynağı  $V_{TKR}$ 'ın alt ve üst sınırları aşağıdaki (5.2) eşitliğinde verilmiştir.

$$V_{TKR\min} \leq V_{TKR} \leq V_{TKR\max} \quad (5.2)$$

TKR kolunun değişken reaktansı  $X_{TKR}$ 'nin alt ve üst sınırları aşağıdaki (5.3) eşitliğinde verilmiştir.

$$X_{TKR\min} \leq X_{TKR} \leq X_{TKR\max} \quad (5.3)$$

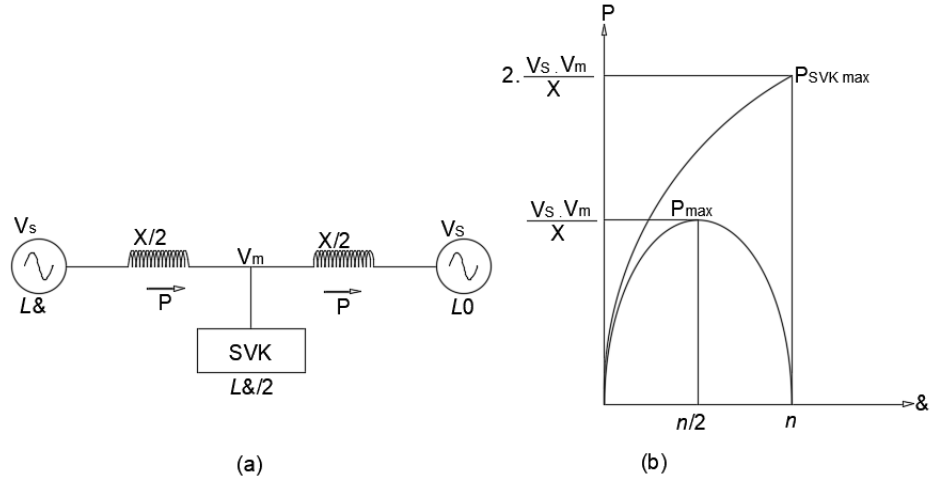
$X_{TKR}$  ifadesi,

$$X_{TKR} = |V_{TKR} \cdot Z_{TKR} / (V_i - V_{TKR})| \quad (5.4)$$

eşitliği ile ifade edilir.

### 5.2.3 Paralel statik VAR kompanzasyonunun çalışma ilkesi

Paralel SVC'nin çalışma prensibi Şekil 5.2'de gösterilmektedir. Statik VAR kompanzasyon sistemi AA iletim hattının ortasında, reaktif güç üretir veya çeker. Eğer eşit şekilde ikiye bölünmüş AA iletim hattı için  $V_M$  gerilimi, tüm güç seviyelerinde kontrol edilebilir ve sabit tutulabilirse, Şekil 5.2(b)'de gösterilen SVC'li ve SVC'siz durumlardaki güç ile güç açısı arasındaki ilişki elde edilir.



**Şekil 5.2 :** AA iletim hattına ait (a) paralel SVC uygulanmış.

basit güç sistemi modeli ve (b) güç iletim karakteristiği.

Şekil 5.2(a)' dan yararlanarak aşağıda gösterilen (5.5) eşitliği elde edilir.

$$P = \frac{V_s \cdot V_m}{\frac{X}{2}} \cdot \sin\left(\frac{\delta}{2}\right) = \frac{V_m \cdot V_R}{\frac{X}{2}} \cdot \sin\left(\frac{\delta}{2}\right) \quad (5.5)$$

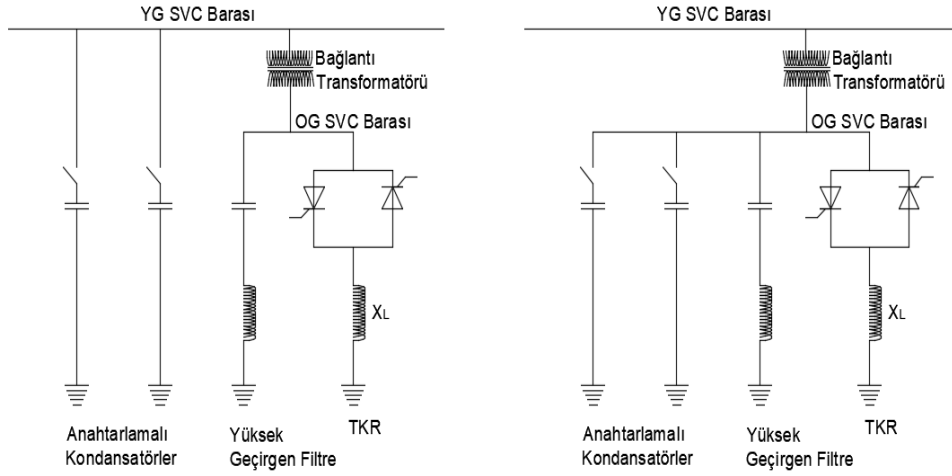
Şekil 5.2(b)'de SVC kullanılması sonucu, maksimum güç limiti  $P_{max}$ 'ın iki katı olan, teorik maksimum güç limiti  $P_{SVKmax}$ 'a ulaşılmıştır. Hattın güç açısı bu güç seviyesinde yüksektir (Koyuncu, 2012).

Statik VAR kompanzasyon sistemlerinin yaygın olarak kullanılmasından önce, gerilim kontrolü generatör uçlarında yapılmaktaydı. Mekanik anahtarlamalı paralel reaktörler (MAR) ve kondansatörler (MAK), aşırı gerilimleri veya düşük gerilimleri sınırlayabilmekteydiler.

Şekil 5.3'te mekanik anahtarlamalı kondansatör ve tristör kontrollü reaktör (MAK TKR) devre konfigürasyonları gösterilmektedir.

MAK-TKR'nin önemli bir dezavantajı, kondansatörün şarjlı kalmasıdır. Kondansatörler üzerindeki enerji, uçlarına yerleştirilmiş dirençler vasıtasıyla, yaklaşık 5 dakika içinde harcanır. Eğer kondansatör deşarj sırada tekrar devreye alınırsa, kondansatör içinde kalan enerji anahtarlama sırasındaki geçici olaylarda artışa yol açar. MAK'lar, sadece kondansatörler enerjisiz oldukları zaman devreye alınırlar (Ersamut Rıza, 2009).

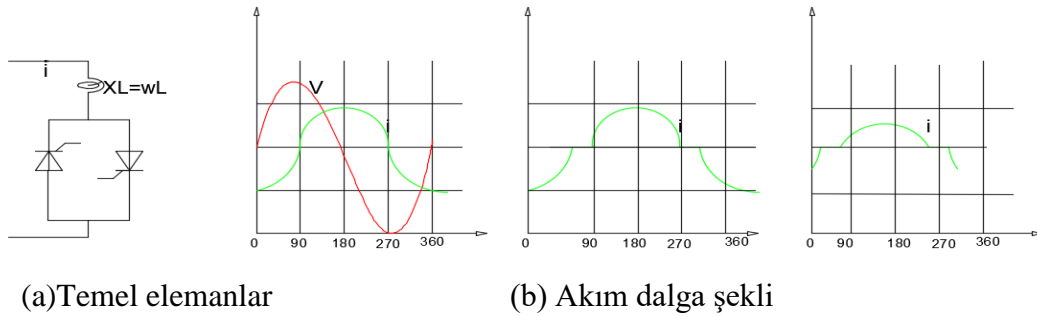
Mekanik anahtarlar 2000 ila 5000 arasında açma kapama yaparlarken, tristörler teorik olarak sonsuz anahtarlama yapabilirler.



Şekil 5.3 : MAK ve tristör kontrollü reaktörün devre konfigürasyonları.

#### 5.2.4 Tristör kontrollü reaktör (TKR)

TKR'nin temel elemanları Şekil 5.4'de gösterildiği gibi iki yönlü tristör anahtarla seri bağlı bir reaktördür.



Şekil 5.4 : Temel elemanlar ve akım dalga şekli.

Tristör, gerilimin sıfırdan geçişinde ölçülen  $\sigma$  tetikleme açısına bağlı olarak kaynak frekansının değiştiği yarım periyotta iletir. Tam iletim  $90^\circ$ 'lik tetikleme açısıyla elde edilir. Akım esasen sünüzoidal ve reaktiftir. Kısmi iletim, Şekil 5.4(b)'den görüldüğü gibi tetikleme açısı  $90^\circ$  ile  $180^\circ$  arasında iken elde edilir. DC bileşene sahip asimetrik akımlar ürettiği için  $0^\circ$  ile  $90^\circ$  arasındaki tetikleme açılarına izin verilmez. İletim açısı  $\sigma$  ile tetikleme açısı  $\alpha$  arasında aşağıdaki bağıntı vardır.

$$\sigma = 2(\pi - \alpha) \quad (5.6)$$

Ani akım  $i$  aşağıdaki bağıntı ile verilir.

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\sqrt{2}V}{X_L} (\cos \alpha - \cos \omega t) & \alpha < \omega t < \alpha + \sigma \\ 0 & \alpha + \sigma < \omega t < \alpha + \pi \end{cases} \quad (5.7)$$

$$I_l = \frac{V}{X_L} = \frac{\sigma - \sin \sigma}{\pi} \quad (5.8)$$

Burada  $I_l$  ve  $V$  efektif değerler,  $X_L$  ise temel frekansdaki reaktörün reaktansdır. Artan  $\sigma$ 'nın etkisi (yada  $\sigma$ 'nın azalmasının)  $I_l$  temel bileşenini azaltmaktadır. Bu reaktörün etkin endüktansının artırılmasına eşdeğerdir.

Etki olarak, temel frekanslı akım bileşeni ile ilgilenildiği sürece, *TKR* kontrol edilebilir bir süseptanstır. Ateşleme açısının bir fonksiyonu olarak etkin süseptans değeri (5.9) ile hesaplanabilir.

$$B(\alpha) = \frac{I_l}{V} = \frac{\sigma - \sin \sigma}{\pi X_L} = \frac{2 \cdot (\pi - \alpha) + \sin 2\alpha}{\pi X_L} \quad (5.9)$$

Etkin süseptansın maksimum değeri tam iletimdeki değerdir ( $\alpha=90^\circ$ ,  $\sigma=180^\circ$ ) ve  $1/X_L$  'ye eşittir. Minimum değeri sıfırdır ve  $\alpha=180^\circ$ ,  $\sigma=0$  iken elde edilir. Bu süseptansın kontrol prensibi faz kontrolü olarak bilinir. Süseptans, her yarım periyotluk kontrol edilebilen kısım için sistemde anahtarlanır. *TKR* akımında olduğu kadar, süseptanstaki değişim de düzgün ya da süreklidir.

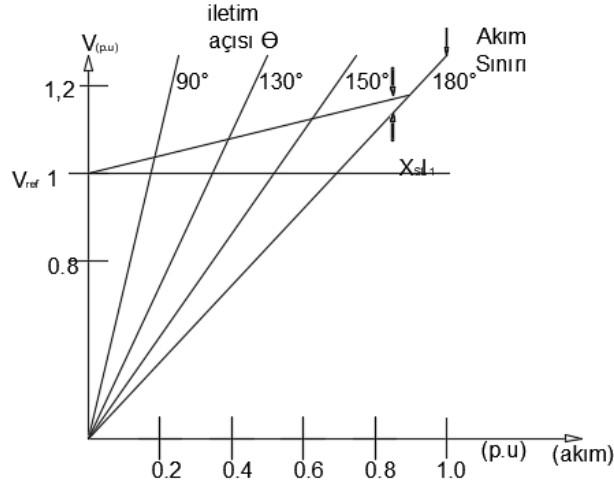
*TKR* gerilimin sıfırdan geçmesinin ölçüldüğü ateşleme anlarını belirleyen bir kontrol sistemine ihtiyaç duyar. Bazı tasarımlarda, kontrol sistemi doğrudan istenen süseptansı gösteren bir işarete cevap verir. Diğerlerinde, kontrol gerilim sapması gibi yardımcı kararlı kılıcı işaretlerdeki değişimlere karşı düşer. Sonuç olarak Şekil 5.5'de gösterilen ve

$$V = V_{ref} + X_{SL} \cdot I_l \quad (5.10)$$

eşitliği ile verilen sürekli durum  $V/I$  karakteristliğidir. Burada  $X_{SL}$  kontrol sistemi kazancıyla belirlenen kayma reaktansdır.

Anahtarlı kondansatörleri gösteren şekildeki gibi, *TKR* gerilim kontrol özelliği paralel sabit bir kondansatör grubu yada anahtarlı kondansatör grupları eklenerek kapasitif bölge genişletilebilir (Zeynelgil & Demirören, 2004).

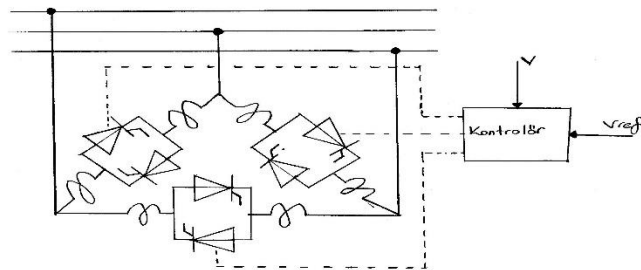
Bu kompanzasyon sisteminde reaksiyon zamanı, ölçme zamanı ile bekleme zamanının toplamına eşittir ve ortalama yarım periyot kadardır. Bu kompanzasyon sisteminde her faz ayrı ayrı kontrol edilebilir ve dengesiz yük karşılanabilir. Buna karşılık *TKR*'nin en büyük sakıncası harmonik üretmesidir (Gelen & Yalçınöz, 2005).



**Şekil 5.5 :** Kapasitif bölgenin genişletilmesi.

$\alpha$  açısı  $90^0$ 'den  $180^0$ 'ye arttırılırken, dalga şekli daha az sinüzoidaldir, başka bir deyişle *TKR* harmonik üretir. Uzakta göz önüne alınan tek fazlı yük için, eğer tristörün ateşlemesi simetrik ise (her iki tristör için eşitse) tek harmonikler üretilir. Filtreler çoğu zaman harmonikleri kaldırmak için kullanılır.

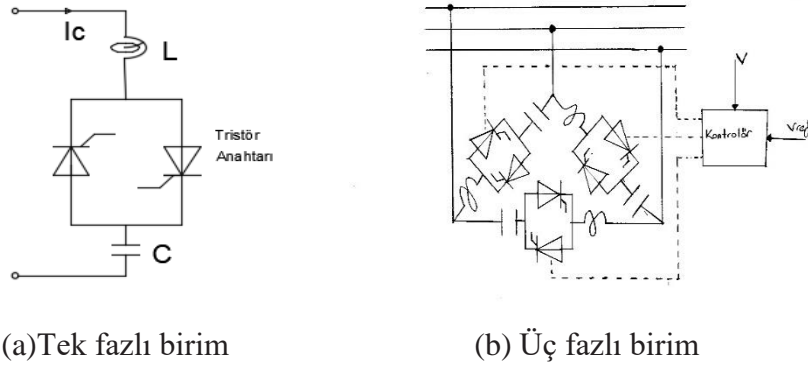
*TKR* 5 ila 10 ms. civarında cevap vermektedir. Bunun nedeni kontrol devrelerindeki gecikmeler ve ölçümlerdir. Kontrol çevrimi kararlılığını sağlamak için, cevap hızı sınırdır olmalıdır. Bu nedenlerden, cevap zamanları besleme kaynağı periyodunu 1 ila 5 periyodu kadardır. Şekil 5.5'da 6 darbeli *TKR* gösterilmiştir.



**Şekil 5.6 :** 6 darbeli *TKR* (Zeynelgil & Demirören, 2004).

### 5.2.5 Tristör anahtarlı kondansatör (TAK)

TAK yaklaşık aynı hacimli birimlere ayrılmış, her biri tristör anahtarları kullanılarak devreleri kapanıp açılan bir kondansatör grubundan ibarettir. Her bir tek fazlı birim Şekil 5.7'de görüldüğü gibi bir kondansatör  $C$  ona seri iki yönlü tristör anahtarı ve küçük değerli endüktanstan ( $L$ ) oluşmaktadır.



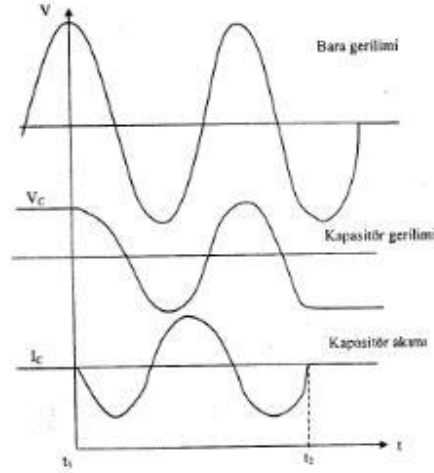
Şekil 5.7 : a) Tek fazlı ve b) üç fazlı birim.

Endüktansın amacı anahtarlama geçicilerini sınırlamak, ani olmayan akımları söndürmek, ve şebekedeki rezonansı önlemektir. Üç fazlı uygulamalarda, temel birimler Şekil 5.7'de görüldüğü gibi üçgen bağlıdır.

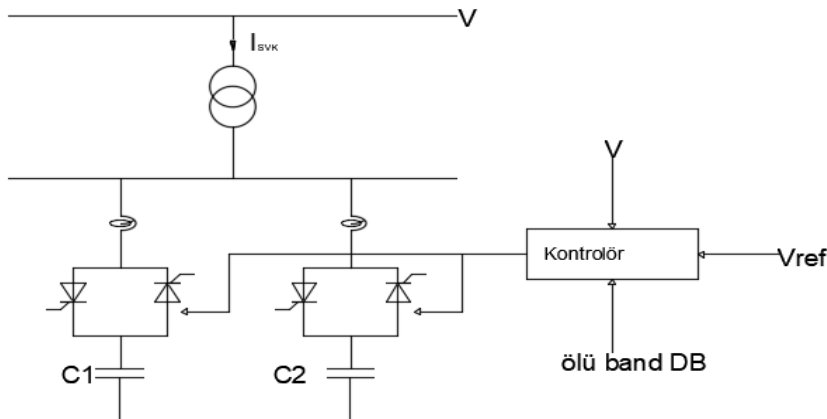
Kondansatörlerin anahtarlama dış sistemle kondansatörlerin rezonans frekansına bağlı olarak küçük değerli veya büyük değerli olabilen geçici durumlara neden olabilir. Tristör ateşleme kontrolleri anahtarlama sonucu oluşan geçici hali minimize etmek için tasarlanır. Bu, tristör anahtarı üzerindeki gerilimin minimum, ideal olarak sıfır olduğundaki anın, anahtarlama anı olarak seçilmesi ile elde edilir. Şekil 5.8'de çalışma prensibini görülmektedir.

$t_1$  anı anahtarın devreye alınma zamanıdır. Bu anda bara gerilimi maksimum değerinde ve kondansatör gerilimi ile aynı polaritede olmaktadır.  $t_2$  anında sıfır akımda anahtar kesime sokulur. Kondansatör o zaman ya pozitif yada negatif olarak tepe gerilim değerinde yüklü halde bir sonraki açma işlemine kadar kalır. TAK kullanıldığında süseptans kontrol prensibi integral periyodlu kontrol olarak adlandırılır. Süseptans birkaç paralel birime bölünür ve süseptans değeri iletimdeki birimlerin sayısı kontrol edilerek değiştirilir. Yükleme her yarım periyot için yapılabilir. Bu yöntemle yapılan kontrolör harmonik üretmez. Şekil 5.9, bir kontrolör ve bağlı TAK elemanlarının

paralel durumlarından ibaret olan *TAK*'ın temel modelini gösterir. Bara gerilimleri her iki yönde de ölü bandın ötesinde referans değerinden ( $V_{ref}$ ) saparsa, gerilim ölü band içindeki yere geri götürülünceye kadar kontrol bir yada daha fazla kondansatör gruplarını devreye sokar.



**Şekil 5.8 :** *TAK*'ın anahtarlama işlemi.

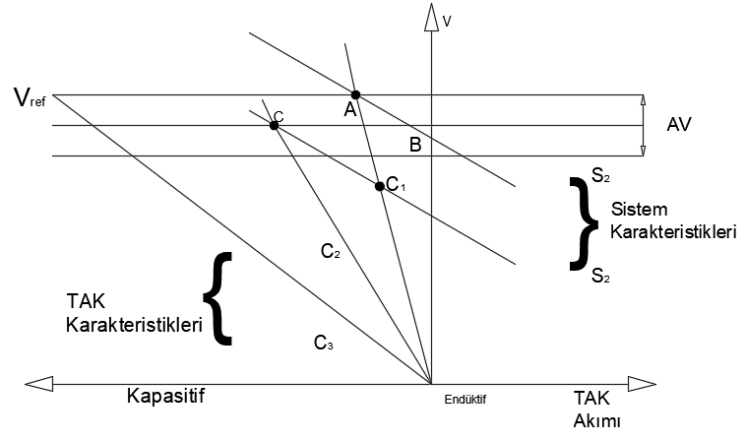


**Şekil 5.9 :** *TAK*'ın temel modeli.

Şekil 5.10'da *TAK*'ın  $V/I$  özelliği gösterilmektedir. Sağlanan gerilim kontrolü süreksizdir. Paralel bağlı birimlerin sayısı ve nominal değerleriyle belirlenir. Yüksek gerilim uygulamalarında, şönt kondansatör gruplarının sayısı triyotların yüksek maliyetleri nedeniyle sınırlıdır. Güç sistemi  $V/I$  karakteristikleri sistem koşulları değişirken, *TAK*'ın  $V/I$  karakteristikleri ile farklı noktalarda kesişecektir. Bara gerilimi  $V$ ,  $V_{ref} + \Delta V/2$  bölgesi dahilinde kontrol edilir. Burada  $\Delta V$  ölü bandıdır. Sistem özellikleri  $S_1$  doğrusu ile ifade edilerek şekilde çalıştığında,  $C_1$  kondansatörü devrede olacaktır ve A çalışma noktasında çalışılacaktır. Eğer sistem karakteristiği aniden  $S_2$



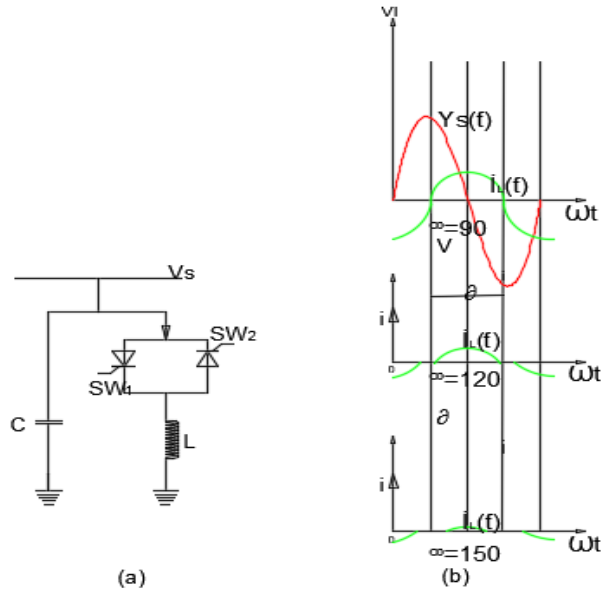
olursa, bara gerilimi başlangıçta B noktasını C'ye getirir, bu şekilde gerilim istenen bölge dahilinde yer almış olur. Burada kompanzator akımı ayrı adımlarla değişebilir.



Şekil 5.10 : TAK'ın ve güç sisteminin V/I özelliği.

### 5.2.6 Tristör kontrollü reaktör ve sabit kondansatör (TKR-SK)

Bu uygulamada iki ters paralel tristör ile seri endüktans ve bu elemanlara paralel kondansatör bulunur. Tristörlerin tetikleme açılarıyla endüktans akımının temel bileşeni bulunabilir. Tristör kontrollü reaktör ve sabit kondansatör birlikte kullanılarak, kapasitif ve endüktif yüklerin getireceği reaktiflik azaltılır. Kondansatörün gücü, endüktif gücün tamamını kompanze edebilecek şekilde seçilir (Alwan, 2017). Eğer yükün endüktif reaktif yükünde bir azalma olursa, kondansatör yükü kompanze etmekle birlikte sisteme fazladan kapasitiflik kazandırır. Bunun sonucunda tristör kontrollü reaktör devrede olacak ve reaktif güç kompanzasyonunu sağlayacaktır. Sabit kondansatörlü yapıdan farklı olarak, kondansatörler sürekli olarak devrede olmayıp, yalnızca endüktif bölgede devreye alınırlar. Bu durumda reaktörlerin kullanımını azaltmış olur. Şekil 5.11'de *TKR-SK*'nin basit devre modeli ve reaktör akımı davranışları gösterilmiştir.



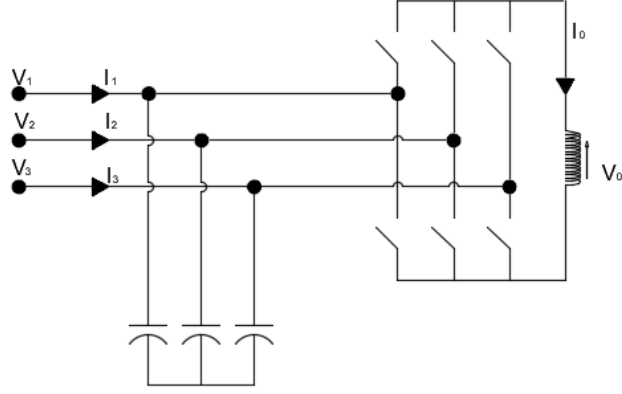
Şekil 5.11 : a) Basit devre modeli ve b) akım dalga şekilleri.

### 5.2.7 İleri SVC kompanzatorü STATKOM uygulamaları

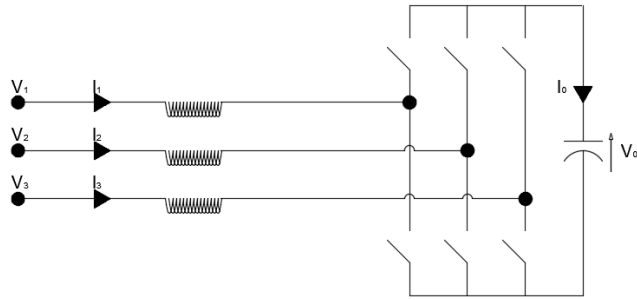
Statik senkron kompanzatorler (STATKOM) olarak adlandırılırlar. Aralarında en çok tercih edilen STATKOM denetleyicilerdendir. STATKOM güç elektroniği bileşenlerini kullandığı için, üç fazlı faz açısını ve voltajı kontrol edebilen çok hızlı, şönt bağlantılı bir reaktif kontrol elemanıdır. “1 kV – 69 kV aralığındaki gerilim değerlerinde izin verilen THD değeri IEEE-519-2014 standartlarına göre %5 olarak belirlenmiştir” (Akçay & Arifoğlu, 2019).

(Deniz, Tuncer, & Gençoğlu, 2020) STATKOM iletim hattından kontrollü bir reaktif akım çekerek, bağlantı noktasında iletim hattının gerilim değerini düzenler. Bu STATKOM’un asıl görevidir.

Yarı iletken güç teknolojisinin gelişmeye başlamasıyla birlikte, büyük kondansatör yada reaktör bankaları kullanmadan reaktif gücü çekmek veya üretmek için kullanılırlar. Gerilim kaynaklı dönüştürücüler ve akım kaynaklı dönüştürücüler gibi birçok yaklaşımlar mevcuttur. Şekil 5.12 ve Şekil 5.13’te temel topolojiler görülmektedir.

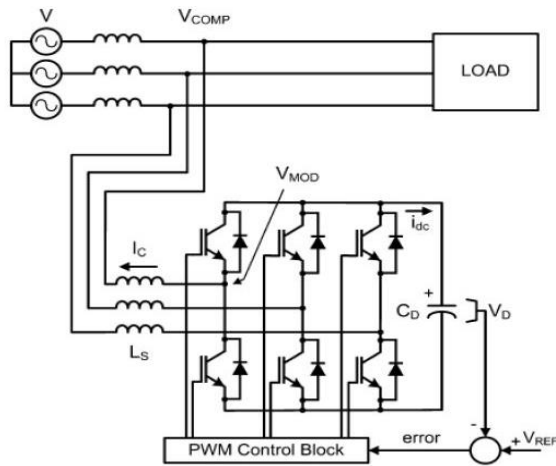


Şekil 5.12 : Akım kaynaklı.



Şekil 5.13 : Gerilim kaynaklı.

STATKOM genellikle güç faktörünü ve voltajı iyileştirmek için kullanılır. Genellikle bir voltaj kaynağı, bir reaktör, bir voltaj kaynağı dönüştürücüsü ve anahtarlama cihazlarından oluşur. Şekil 5.13’de gerilim kaynağı dönüştürücü tabanlı STATKOM örneği gösterilmiştir. İnvörtör, yarı iletken cihazları ve DC kondansatör ile yapılan bu cihaza bağlantı reaktörü ile paralel olarak devreye bağlanılmaktadır.



Şekil 5.14 : Gerilim kaynaklı STATKOM (Balaman, 2012).

Burada reaktif güç kontrolü, çıkış genliğini düzenleyerek yapılır.  $V_{MOD_{ÇIKIŞ}}$  geriliminin genliği,  $V_{COMP}$ 'dan daha büyük olduğunda, kapasitif ve reaktif güç STATKOM tarafından üretilir. Fakat  $V_{MOD}$ 'un genliği  $V_{COMP}$ 'dan daha küçük olduğunda STATKOM endüktif olur ve reaktif güç onun tarafından emilir. Böylece sistemin iletim kapasitesi ve gerilim kararlılığı sağlanmış olur.

Günümüzde diğer SVC sistemleriyle kıyas edildiklerinde, STATKOM sistemleri daha hızlı uygulamalardır. Bununla birlikte düşük gerilim seviyelerinde diğer SVC'lerden daha iyi reaktif güç telafisi yapabilmektedir (Balaman, 2012).

## 6. SÜLEYMANPAŞA HÜKÜMET KONAĞI'NIN KOMPANZASYONU

### 6.1 Tesisin Elektrik Yükleri ve Kompanzasyon İhtiyacının Analizi

Bu bölümde Tekirdağ İli Süleymanpaşa İlçesi'nde resmi hizmet binası olarak kullanılan 6 katlı bir Hükümet Konağı, kompanzasyon altyapısının kurulum aşamasından devreye alınma aşamasına kadar tüm yönleriyle incelenecektir. Kompanzasyon tesisi tasarlanmadan önce tesise ait zahiri gücün, buna ait güç faktörü değeri olan  $\cos\phi_1$  değerinin ve kompanzasyon sonrası çıkarılacak  $\cos\phi_2$  değerinin bilinmesi gerekmektedir. Tesiste kurulu güce dayalı olarak bulunan güçlerin hangi cihazlara bağlı olarak tüketileceğinin analiz edilmesi gerekmektedir. Tesisin genel görünümü Şekil 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1 : Tesisin genel görünümü (12.12.2018).

Tesisin proje aşamasında iken yükler belirlenmiştir. *P-ADP* panel kurulu gücü 1080 kVA'dır. Binada kat dağıtım panoları güçleri ise,

Çizelge 6.1 : Kat dağıtım panoları güçleri.

$BK - TP1 = 11,82 kW$	$ZK - TP1 = 27,34 kW$	$1K - TP1 = 29,23 kW$
$BK - TP2 = 6,65 kW$	$ZK - TP2 = 22,46 kW$	$1K - TP2 = 22,71 kW$
$2K - TP1 = 31,03 kW$	$3K - TP1 = 31,81 kW$	$4K - TP1 = 31,04 kW$
$2K - TP2 = 21,52 kW$	$3K - TP2 = 19,59 kW$	$4K - TP2 = 19,73 kW$
$5K - TP1 = 27,65 kW$	$6K - TP1 = 14,45 kW$	$YSP = 62 kVA$
$5K - TP2 = 20,99 kW$	$UPS - DP = 200 kVA$	

Sadece yangın anında devrede olup diğer zamanlarda devre dışı olan *YSP*'ye ait yükler ise ;  $P_{\text{sığınak\_duman\_atım\_fan}}=9$  kW,  $P_{\text{sığınak\_taze\_hava}}=1,1$  kW ve  $P_{\text{yangın\_pompa}}=40$  kW şeklindedir.

**Çizelge 6.2 : Asansörlere ait yükler.**

$ASAP - 1 = 8 \text{ kW}$	$ASAP - 2 = 8 \text{ kW}$	$ASAP - 3 = 8 \text{ kW}$
$ASAP - 4 = 10 \text{ kW}$	$KDP = 4,03 \text{ kW}$	

Mcc-01 panosu kurulu gücü 78 kVA olan panoya ait yükler Çizelge 6.3'te verilmiştir.

**Çizelge 6.3 : Mcc-01 panosuna ait yükler.**

$P_{\text{ksh}}=5$ kW	$P_{\text{brulor}}=1,1$ kW	$P_{\text{sıcak\_su\_sirkülasyon}}=0,5$ kW
$P_{\text{boiler\_ısıtma}}=1,5$ kW	$P_{\text{radyatör\_ısıtma}}=1,1$ kW	$P_{\text{egzoz\_fan}}=1,1$ kW
$P_{\text{hava\_perdesi}}=15$ kW	$P_{\text{hava\_perdesi2}}=15$ kW	$P_{\text{hava\_perdesi3}}=15$ kW
$P_{\text{jokey\_pompa}}=4$ kW		

Mcc-02 panosu kurulu gücü 500 kVA olan panoya ait yükler Çizelge 6.4'de verilmiştir.

**Çizelge 6.4 : Mcc-02 panosuna ait yükler.**

$P_{\text{fan\_cihazı}}=1$ kW	$P_{\text{wam\_cihazı}}=4$ kW	$P_{\text{waw\_cihazı}}=1$ kW
$P_{\text{waw\_ısıtıcı}}=11$ kW	$P_{\text{waw\_fan}}=1$ kW	$P_{\text{waw\_ısıtıcı}}=4$ kW
$P_{\text{waw\_fan}}=1$ kW	$P_{\text{waw\_ısıtıcı}}=9$ kW	$P_{\text{egzoz\_fan1}}=1,5$ kW
$P_{\text{egzoz\_fan2}}=1,1$ kW	$P_{\text{egzoz\_fan3}}=0,3$ kW	$P_{\text{egzoz\_fan4}}=1,1$ kW
$P_{\text{vrf4}}=28$ kW	$P_{\text{vrf5}}=43$ kW	$P_{\text{vrf14}}=25$ kW
$P_{\text{vrf}}=25$ kW	$P_{\text{vrf}}=15$ kW	$P_{\text{vrf3}}=40$ kW
$P_{\text{vrf6}}=29$ kW	$P_{\text{vrf7}}=36$ kW	$P_{\text{vrf8}}=28$ kW
$P_{\text{vrf9}}=21$ kW	$P_{\text{vrf10}}=25$ kW	$P_{\text{vrf11}}=25$ kW
$P_{\text{vrf12}}=43$ kW	$P_{\text{vrf13}}=22$ kW	$P_{\text{çevre\_aydınlatma}}=5$ kW

Toplam kurulu güç,

$$\begin{aligned}
 S_{\text{toplām}} &= S_{\text{mcc-01}} + S_{\text{mcc-02}} + (S_{\text{ups}} - DP) + S_{\text{çevreaydınlatma}} + SYSP_{\text{yangınpanosu}} \\
 S_{\text{toplām}} &= (78 + 500 + 200 + 5 + 62) \text{ kVA} \\
 S_{\text{toplām}} &= 845 \text{ kVA}
 \end{aligned} \tag{6.1}$$

eşitliğinde görüldüğü gibi 845 kVA olmaktadır. Buradan kVA birimini kW birimine çevirirsek  $P_{toplam}=845/0,9=938$  kW bulunacaktır.

Tesis için averaj güç faktörü 0,77 alınmış ve bu değer 0,99'a yükseltilmesi hedeflenmiştir. Bu dönüşüm için gerekli güç katsayısı  $k$  ise;

$$k = tg((Arc\ cos(0,77) - tg(Arc\ cos(0,99))) = 0,83 - 0,14 = 0,69 \quad (6.2)$$

olarak bulunmaktadır. Tesisi besleyen 1250 kVA transformatörün nominal aktif gücü 1250kVA . 0,77=963 kW olarak hesaplanmıştır.

Gerekli olan kondansatör gücü  $963.0,69=665$  kVAr olmaktadır. (675 kVAr seçilir)

Diğer taraftan trafonun boştaki reaktif kayıplarını karşılamak için sabit kompanzasyon grubu seçiminin de yapılması gereklidir. Bunun için yüksüz halde görünen kayıp güç trafo gücünün %5'i alınabilir. Böylece ,

$$Q = \%5.S.Sin\ \varphi = 0,05.Sin(Arccos(0,8)) = 0,03S \quad (6.3)$$

eşitliği kullanılarak 1250 kVA transformatör için seçilen sabit kondansatör grubu gücü  $1250.0,03=38$  kVAr (40 kVAr seçilen güç) olur.

Bu durumda tesis için gerekli kondansatör gücü  $40+675=715$  kVAr olmaktadır.

Yükleri incelediğimizde birbirinden bağımsız birçok yükün nonlineer (değişken yük) olduğu görülmektedir. Bu durumda yapılabilecek en uygun kompanzasyon türü merkezi kompanzasyondur. Böylece kompanzasyon için seçilecek kondansatör gruplarının dizilimi ayarlanabilir. Sistemde küçük yük grupları da çok bulunduğundan kademe aralığı 18 adımlı seçilmiştir. 40 kVAr güçlü sabit kondansatör transformatör mahalinde olmak üzere Çizelge 6.5'de verilmiştir.

**Çizelge 6.5 : Kondansatör kademe güçleri.**

1.adım: 25kVAr (2,5+5+7,5+10) paralel	2.adım: 25kVAr	3.adım: 25 kVAr	4.adım: 50 kVAr
5.adım: 50kVAr	6.adım : 50kVAr	7.adım: 50kVAr	8.adım: 50kVAr
9.adım: 50kVAr	10.adım: 50kVAr	11.adım: 50kVAr	12.adım: 50kVAr
13.adım: 50kVAr	14.adım: 50kVAr	15.adım: 50kVAr	16.adım: 10kVAr
17.adım: 10kVAr	18.adım: 10kVAr		

İlgili kademelerden çekilebilecek akım ;

$$Q_c = I_c \cdot \sqrt{3} \cdot U \quad (6.4)$$

$$I_{sigorta} = I_{nominal} \cdot 1,7 \quad (6.5)$$

formülüyle hesaplanabilir. (6.4) ve (6.5) eşitlikleri kullanılarak kullanılacak sigorta değeri 25 kVAr güç için;

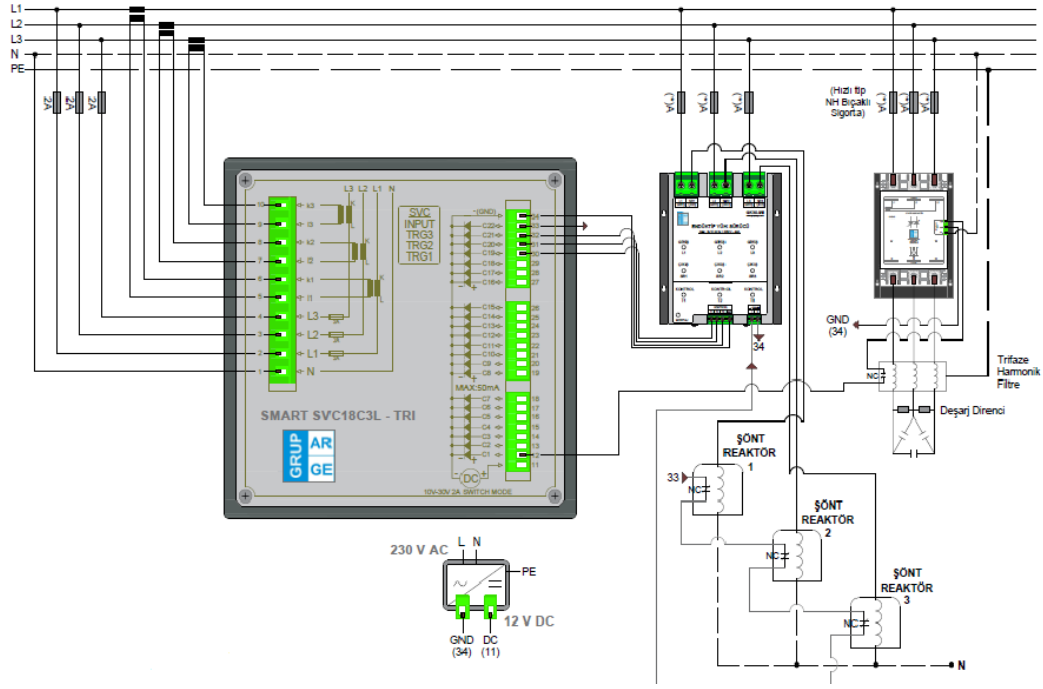
$$I_c = \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{25 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3} \cdot 380} = 22,35 \text{ A} \quad (6.6)$$

$$I_{sigorta} = 22,35 \cdot 1,7 = 38 \text{ A} \quad (6.7)$$

eşitlikleri ile hesaplanabilir. Elde edilen sonuca göre standart değerli sigortalardan 40A'lık sigorta seçilebilir. Aynı eşitlikler kullanılarak 50 kVAr için hesaplama yapıldığında sigorta akımı 74,8 A çıkmaktadır ve standart değerli sigortalardan 80 A'lık sigorta seçilebilir. Aynı hesaplama yöntemi ile 10 kVAr güç için ise 25 A'lık sigorta kullanılabilceği hesaplanmaktadır. Sistemde kullanılacak kontaktörler de sigortaların bir alt değer olan 32 A, 63 A ve 16 A değerlerinde alınabilir.

Tesise ait kompanzasyon dizilimi tek hat şeması Şekil 6.3'de görülmektedir. Sıralanan adım kondansatör değerleri kontak dizilişleri ve ilgili gruplara ait sigorta değerleri gösterilmiştir. Diğer tek hat şeması olan Şekil 6.2 incelendiğinde 18 kademeli olarak seçilen kompanzasyon rölesinin fazları, nötr hattı ve endüktif yük sürücüsü, şönt reaktör grupları ve harmonik filtre bağlantı elemanları görülmektedir. Bağlantı uçları ters yada yanlış bağlanması söz konusu olduğunda sistemin kompanzasyonu tam yapılamayacak ve ölçümlerde hatalı sonuçlar vererek, tesisin elektrik faturasında reaktif güç tüketim değerlerinde hatalı ölçümler meydana getirecektir. Bu durumda elektrik dağıtım şirketine fazladan ücret ödenecektir. Tekirdağ İli ve İlçelerindeki resmi hükümet konaklarının belirli zaman aralıklarında elektrik faturaları dönemsel olarak kayıt altına alınarak, toplam sistemin ne kadar enerji tükettiği, sistemde enerji dağıtım şirketine ödenmiş reaktif enerji tüketim bedeli var ise arıza sebepleri bu tez kapsamında araştırılmıştır. Belirtilen örnekte Marmara Ereğlisi Hükümet Konağı'ndan alınan elektrik faturalarına göre kullanım bedelleri görülmektedir. Pratikte böyle bir reaktif kullanım sözkonusu değildir. Tesiste kablo bağlantı yönleri, Tredaş yetkilileri tarafından ayarlanılarak sistemin doğru polaritede çalışması sağlanmıştır. Çizelge 6.6 'da ilgili tesise ait reaktif tüketim miktarları, elektrik faturaları üzerinden alınmıştır.



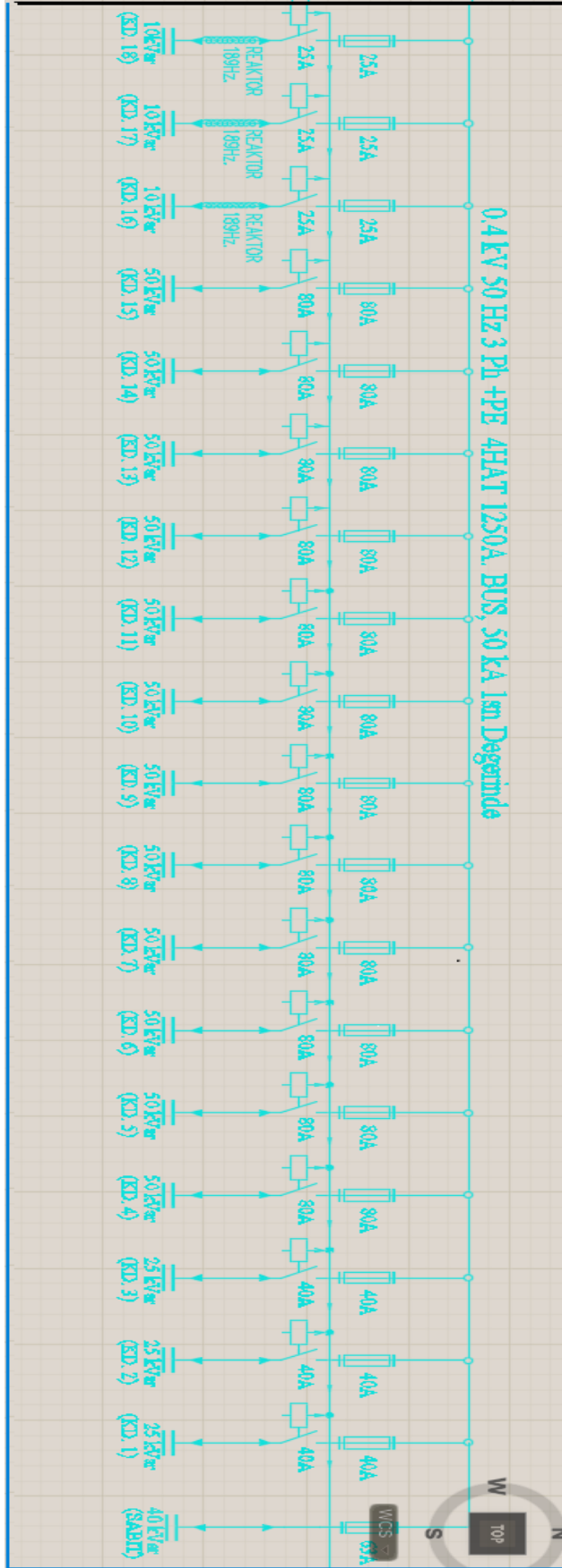


Şekil 6.2 : Tesiste kullanılan 18 kademeli rölenin bağlantı uçları (ARGE, 2019).

Tesiste daha hassas bir kompanzasyon için 18 kademe kullanılmıştır.

Çizelge 6.6 : Marmara Ereğlisi Hükümet Konağı aktif, reaktif tüketim oranları.

AY	AKTİF (kW.h)	KAPASİTİF (kVAR.h)	ENDÜKTİF (kVAR.h)	KAPASİTİF %	ENDÜKTİF %
OCAK	5.669,500	50	10.528,600	0,88	185,7
ŞUBAT	6.354,850	150	11.885,550	2,36	187,0
MART	5.225,750	0	9.744,000	0	186,4
NİSAN	4.652,150	0	8.876,900	0	190,8
MAYIS	4.160,150	150	7.709,400	3,60	185,3
HAZİRAN	5.353,750	0	9.748,400	0	182,0
TEMMUZ	1.250,500	0	2.299,500	0	183,8



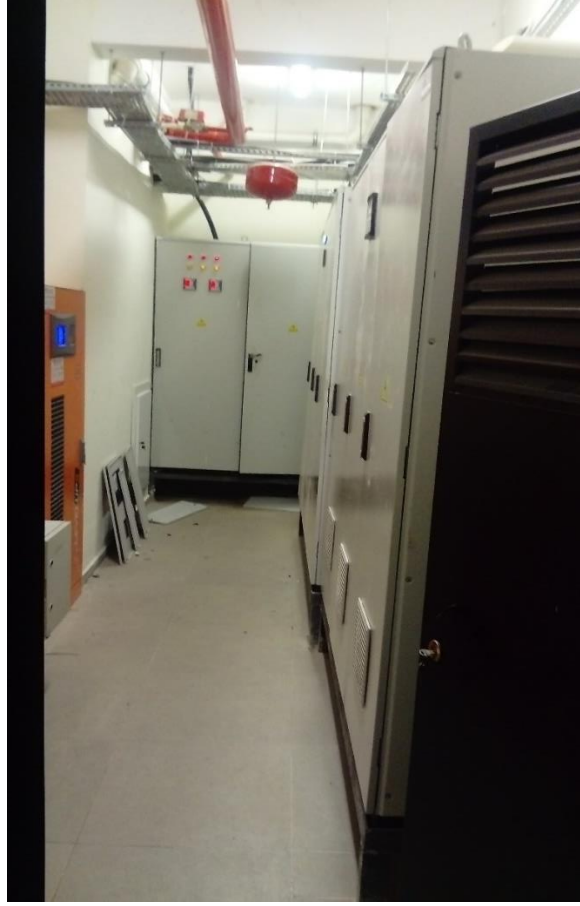
**Şekil 6.3 :** Tesise ait kondansatör dizimleri tek hat şeması.

Enerji tüketim miktarları incelendiğinde Ocak ayında kapasitif tüketimin %0,88 olduğu, endüktif tüketim değerinin ise %185,7 değerlerine ulaştığı görülmektedir. Hesaplanan değerlerde bu sonuçların ortaya çıkması uygulama açısından mümkün olmamaktadır. Diğer kullanım aylarına bakılırsa %187 %186,4 %190,8 %185,3 %182 ve %183,8 değerlerinde endüktif reaktif kullanımların olduğu sayaç tarafından kayıt edilmiştir. Bir tesiste reaktif tüketim değeri, aktif tüketim değerinin yaklaşık 2 katına yakın değerde çıkabilmesi uygulanabilirlik açısından pek te mümkün görünmemektedir. Mart, Nisan, Haziran ve Temmuz aylarına ait kapasitif reaktif kullanım durumları incelendiğinde, işletme sayacının herhangi bir kapasitif değer okumadığı görülmüştür. Kompanzasyon sistemi reaktif kompanze işleminde bulunsa dahi, bu değerleri okuyabilmek pek te anlamlı değildir. Bu sebeplerle enerji dağıtım şirketi tesise herhangi bir reaktif kullanım ücreti tahsis etmemiş ve yetkililerce problemin çözümü sağlanmıştır. Fakat rölenin ve sayacın gerçekten arızalı olup olmadığına tespiti adına tesis sayacı, elektrik dağıtım şirketi yetkilerince belirli bir süre laboratuvar test işlemlerine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak sayacın arızalı olduğu tespiti kayıtlara düşülmüştür. Marmara Ereğlisi Hükümet Konağı kompanzasyon inceleme olayı bize reaktiflik açısından iyi bir örnek teşkil etmektedir. Gösterge ve sayaç kaynaklı arızalar, yada röle kaynaklı problemlerde yılda iki kez belgelendirmek şartıyla, elektrik dağıtım şirketine bildirimde bulunulursa herhangi bir reaktif ceza sözkonusu olmayacak ve gerekli prosedür tarafınıza lehinde uygulanacaktır. Aktif ve reaktif güç analizlerinin yapıldığı tesisin enerji sistem odası Şekil 6.4'de görülmektedir. Alçak gerilim tesisinde kompanzasyon rölesine akım bilgisini sağlayan akım trafosu seçimi için

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}.U} = \frac{938kW}{1,73.380} = 1425 A \quad (6.8)$$

eşitliği kullanılarak akım trafosu bir üst değer 1600/5 A seçilebilir.

Kullanılacak röle için c/k ayarı hesabında c : 1.adım kondansatör gücü, k : akım trafosu dönüştürme oranı kullanılarak  $\frac{C}{k} = \frac{25}{1600/5} = 0,078$  olarak hesaplanmaktadır.



**Şekil 6.4 :** Tesisin enerji ölçüm odası.

Kompanzasyon panosu tesisin şebekeden aldığı enerji kesildiğinde ve jeneratör devreye girdiğinde devre dışı kalabilecek şekilde yapılmalıdır. Bu işlemi transfer panosunda bulunan 4 kutuplu, uygun akım değerinde olan mekaniksel kontaktör yapmakta ayrıca kompanzasyon panosu üzerine monte edilen bir kompakt kesici aracılığıyla da yapılabilmektedir. Kesici manuel olarak da kullanılabilir.

Kullanılacak bu kesici şalter genelde termik olarak kullanılır. Bu şalter seçiminde

$$I = \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot \cos \varphi} = \frac{675000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot \cos 0,95} = 1139 \text{ A} \quad (6.9)$$

eşitliği kullanılarak termik manyetik şalter değeri 1250 A olmalıdır. Seçilecek akımı taşıyabilen bara ölçüleri ise şalterin çekebileceği akımın en yüksek düzeyde olduğu miktarı karşılaması gereklidir. Bu durumda boyalı olarak 40x10 ölçülerinde bakır 2'li bara veya çıplak olarak 50x10 ölçülerinde bakır 2'li bara kullanmak gerekli akım taşıma miktarını karşılayacaktır. Tesis için trafodan besleme kablosu ise 3.(4(1.240)) + 2.(1.240) 'lik XLPE türü kablo uygun olacaktır.

Kısa devre hesabına göre seçilebilecek minimum OG kablo kesiti hesabı

$$I = 226 \cdot \frac{S}{\sqrt{t}} \cdot \sqrt{L_n \cdot \frac{234 + Q_f}{234 + Q_i}} \quad (6.10)$$

eşitliği ile yapılmaktadır. Bu eşitlikte

$I$  : İzin verilen max kısa devre akımı  $A = 16 \text{ kA}$

$S$  : Kullanılacak iletkenin kesit alanı ( $\text{mm}^2$ )

$t$  : Kısa devreye maruz kalma süresi ( $s$ ) =  $1 \text{ s}$

$Q_f$  : Kabul edilebilen üst sıcaklık ( $250$  santigrat)

$Q_i$  : Başlangıç sıcaklık değeri ( $90$  santigrat)

parametreleri kullanılmıştır.

$$16000 = 226 \cdot \frac{S}{\sqrt{1}} \sqrt{L_n \cdot \frac{234 + 250}{234 + 90}} \quad 16000 = 143071 \cdot S \text{ ise}$$

$S = 111,75 \text{ mm}^2$  hesaplanıp kesit bir üst değer olan  $S = 120 \text{ mm}^2$  olarak seçilir.

## 6.2 Sabit Kondansatör Grubu Hesaplamaları

Transförmator ile beslenen tesislerde, trafodaki bakır kayıplarını önlemek için bir kompanzasyon sisteminin kurulması gerekmektedir. Sabit kondansatör grubunun, trafolu tesislerde sürekli devrede kalacak şekilde bağlantı durumunda olması şarttır. Tesise ilave edilecek kondansatör gücü trafo gücünün %5 ila %10 değeri arasında seçilmektedir. Genellikle TEDAŞ tarafından kabul edilen %5 seçilmektedir (Vural, 2003).

İncelediğimiz tesisi besleyen transformatör  $1250 \text{ kVA}$  gücünde olduğundan aşağıdaki eşitlikle transformatör için seçilen sabit kondansatör grubu  $38 \text{ kVAR}$  hesaplanmaktadır.

$$Q = \%5 \cdot S \cdot \sin \varphi = 0,05 \cdot \sin(\text{Arc cos}(0,8)) = 0,03 \cdot S \quad (6.11)$$

## 6.3 Alçak Gerilim Tesisinin Elektriksel Yükleri

Süleymanpaşa Hükümet Konağı'nın enerjisini temin ettiği  $1250 \text{ kVA}$  gücündeki özel kendi tesisine ait servis ve yük asansörleri, üç fazlı elektrik motorları, bahçe ve bina aydınlatmaları, tüm mekaniksel güçler (pompalar, havalandırma fanları ve motorları, vrf sistem ısıtma-soğutma klimaları, temiz su motorları, kirli su pompaları, ısı geri kazanım cihazları gibi elektriksel yükler) tesisin toplamda sahip olduğu 6 katta mevcut

aydınlatma elemanları şebeke enerji kesilmelerinde kullanılan 250 kVA güç değerindeki kesintisiz güç kaynağı ve tesisin diğer güç ihtiyaçları beslenmektedir. Tesiste bulunan yüklere ait endüktif, kapasitif ve aktif güçler izlenerek tesisteki kompanzasyon detaylı bir biçimde incelenmiştir. Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'de pompalar ve hidrafor motorları görülmektedir.



**Şekil 6.5 :** Tesise ait sirkülasyon pompaları, temiz su pompaları ve kazanlar.



**Şekil 6.6 :** Tesise ait hidrafor motorları.

Tesiste kompanzasyon takibine 08.07.2019 tarihinde başlanmış, resmi tatiller ve haftasonları hariç tüm günlerde ölçümler kayıt altına alınmıştır. Çizelge 6.7'de Temmuz ayı ölçüm sonuçları yer almaktadır.

**Çizelge 6.7 : Temmuz ayı tüketim miktarları.**

TARİH	AKTİF W.h	ENDÜKTİF VAR.h	KAPASİTİF VAR.h	ENDÜKTİF ORAN	KAPASİTİ FORAN	GÜNLÜK AKTİF TÜKETİM W.h	GÜNLÜK ENDÜKTİF TÜKETİM VAR.h	GÜNLÜK KAPASİTİF TÜKETİM VAR.h
8.07.2019	157.944,343	26.929,299	10.570,910					
9.07.2019	159.195,200	27.105,935	10.170,286	0,14121	0,032027	1250,857	176.636	40.062
10.07.2019	158.313,643	27.989,102	10.160,365	0,01325	0,01125	881.557	11.683	9.921
11.07.2019	159.609,886	27.180,720	10.195,524	0,01478	0,02712	1296,243	19.161	35.159
12.07.2019	160.061,883	27.252,102	10.221,312	0,15792	0,05705	451.997	71.382	25.788
13.07.2019	160.101,745	27.273,202	10.234,431	0,52932	0,32911	39.862	21.100	13.119
14.07.2019	160.768,341	27.451,321	10.279,830	0,02671	0,06810	666.596	17.811	45.399
15.07.2019	161.224,519	27.602,873	10.324,330	0,03322	0,09754	456.178	15.155	44.500
16.07.2019	161.542,873	27.779,961	10.353,930	0,05562	0,09297	318.354	17.708	29.600
17.07.2019	161.873,241	27.852,442	10.373,640	0,21939	0,05966	330.368	72.481	19.710
18.07.2019	162.105,344	27.899,982	10.378,330	0,20482	0,02020	232.103	47.540	4.690
19.07.2019	162.363,622	27.953,202	10.380,441	0,20605	0,00817	258.278	53.22	2.111
20.07.2019	163.051,149	27.981,435	10.387,621	0,04106	0,01044	687.527	28.233	7.180
21.07.2019	163.102.433	28.100,322	10.390,147	0,02318	0,00492	512.840	11.888	2.526
22.07.2019	163.552,594	28.104,458	10.392,645	0,00918	0,00554	450.161	41.360	2.498
23.07.2019	164.136,146	28.193,304	10.411,609	0,15225	0,03249	583.552	88.846	18.964
24.07.2019	164.675,676	28.280,050	10.426,918	0,16078	0,02837	539.530	86.746	15.309
25.07.2019	165.228,953	28.376,041	10.439,689	0,17349	0,02308	553.277	95.991	12.771
26.07.2019	165.728,640	28.457,045	10.452,556	0,16210	0,02575	499.687	81.004	12.867
29.07.2019	166.756,824	28.685,936	10.511,866	0,07878	0,05768	102.818	81.004	59.310
30.07.2019	167.683,600	28.834,241	10.550,010	0,24697	0,04115	926.776	228.891	38.144

Temmuz ayı'nda yapılan ölçümlere göre 13.07.2019-17.07.2019-18.07.2019-19.07.2019 ve 30.07.2019 tarihlerinde kompanzasyon sistemi normal sınır değer olan endüktif ceza %20'yi aşarak %52,9- %21,9 -%20,4- %20,6 ve %24,6 olarak reaktif tüketime girmiştir. Çizelgede soldaki değerler kümülatif toplam değerler olmakta, sağdaki değerler ise günlük tüketim değerlerini göstermektedir. Kapasitif tüketimde ise sadece 13.07.2019 tarihinde sınır değer olan %15'i aşarak %32,9 civarlarında kapasitif tüketim gerçekleşmiştir. Fakat günlük oranda değil toplam aylık orandaki tüketim cezaya düşerse elektrik faturasına yansacaktır. Alınan ölçümler *Wh* ve *Varh* cinsinden yazılmıştır. Kırmızı ile taranmış günler sistemin cezada olduğu günleri göstermektedir. Ayrıca Çizelge 6.8'de görüldüğü gibi her 3 fazda da toplam harmonik değerleri,  $\cos \varphi$ , aktif ve reaktif anlık tüketim değerleri de kayıt altına alınmıştır.

Toplam harmonik distorsiyonu bir tesiste verimli kompanzasyon yapılabilmesi için önemli kriterlerden birtanesidir. Bu sebeple faz 1 (R), faz 2 (S) ve faz 3 (T) harmonik değerleri de aynı ölçüm saatlerinde izlenmiştir.

**Çizelge 6.8 : Temmuz ayı R, S, T fazlarında ölçülen değerler.**

Tarihler	THD V %			cos φ			P <sub>aktif</sub> (kW)			Q <sub>reaktif</sub> (kVAr)		
	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T
08.07.19	42	44	39	0,99	0,98	0,99	17,3	20,5	18,6	2,5	0,8	3,2
10.07.19	44	45	43	0,98	0,97	-0,93	12,1	9	12,4	1,4	2,2	733
11.07.19	30	36	24	0,98	0,97	-0,99	9,7	7,9	10,8	1,5	2,1	1,3
12.07.19	24	35	25	0,98	0,96	-0,99	9,6	6,8	10,5	1,3	1,7	1,1
22.07.19	42	45	42	0,98	0,98	0,97	18	14,8	18,3	2,5	2,8	3,9
23.07.19	44	52	45	0,98	0,99	0,99	16,6	13,1	16,9	8	2,1	533
24.07.19	36	45	33	0,98	0,97	-1,00	11,5	9,3	11,5	1,5	2,0	843
25.07.19	42	44	44	0,97	0,98	-1,00	12,9	10	11,5	1,8	2,1	466
26.07.19	42	45	41	-1,00	-0,99	0,99	14,4	12,9	14,5	200	633	600
29.07.19	42	47	42	0,99	0,97	1,00	17,6	14,8	21,9	1,6	3,4	1,0
30.07.19	43	45	42	-0,99	0,99	0,99	18,5	15,2	20,1	933	500	1,1

Değerler incelendiğinde toplam harmonik gerilim distorsiyonunun her bir fazda yüksek değerlerde olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda trafodaki sabit kompanzasyon kademe dizilimi tekrar incelenilmelidir. cos φ değerlerine bakıldığında - işareti ilgili fazın kapasitif olarak çalışmakta olduğunu, + işareti ise sistemin endüktif olarak çalışmakta olduğunu belirtmektedir. Çizelgedeki sonuçlara göre sistem çoğunlukla endüktif yönde çalışmaktadır.  $Q_{reaktif}$  değerleri iki basamaklı değerler  $kVAr$  olarak alınmış, üç basamaklı değerler ise  $VAr$  cinsinden yazılmıştır. Aktif ortalama tüketimi faz başına 9  $kW$  ile 25  $kW$  arasında değiştiği anlaşılmakta, buna karşın reaktif faz başına tüketimin 1  $kVAr$  ile 933  $Var$  arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

08.07.2019 tarihinde alınan veriden

$$\%reaktif = \frac{Q_{reaktif}}{P_{aktif}} \cdot 100 \quad (6.12)$$



eşitliğine göre  $\% \text{ anlık ölçüm} = \frac{2,5}{17,3} = \% 14 < \% 20$  endüktif olduğundan anlık ölçüm

bazında bakıldığında R fazındaki tüketim değerinin ceza sınır değeri %20'yi aşmadığı anlaşılmaktadır. Toplam reaktif değerlerdeki cezaların takibi için elektrik faturaları analiz edilmelidir.

Toplam harmonik distorsiyon (THD) gerilim değerleri % 45 seviyelerine ulaştığından ayrıca harmonik konusunu matematiksel olarak incelemek gerekmektedir.

#### 6.4 Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD)

Sinüzoidal olmayan harmonik bozulma miktarını anlayabilmek için gerilim veya akım dalga şekilleri ve harmonik bozunum ile ilgili sınırları belirleme parametreleri IEEE ve IEC standartlarında tanımlanmıştır. En çok kullanılan parametrelerden biri de toplam harmonik distorsiyonu ifadesidir. (Yoldaş, 2015).

THD, bir akım veya gerilim dalgasının sinüzoidal dalga formundan uzaklaşım harmonikler ile ne kadar bozulduğunu % değer cinsinden gösteren ifadedir. Gerilim için toplam harmonik bozulumu

$$THD_V = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + V_5^2 + \dots}}{V_1} \cdot 100\% \quad (6.13)$$

ile hesaplanırken akım için ise

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2}}{I_1} \cdot 100\% \quad (6.14)$$

eşitliği kullanılmaktadır.

Yukarıdaki gerilim veya akımın toplam harmonik bozulmaları, harmonikli bileşenlerinin etkin değerlerinin temel bileşenin etkin değerine oranı olarak hesaplanabilir. Bu oran ideal bir sinüzoidal dalga için sıfır olmaktadır. Bu değer büyümeye ile sinyalin dalga formu sinüzoidalden uzaklaşmaktadır (Özsan, 2013).

Toplam harmonik distorsiyonunun (gerilim için) diğer ifadeleri ise

$$THD = \frac{\sqrt{[V^2 - V_1^2]}}{V_1} \cdot 100\% \quad (6.15)$$

$$THD = \sqrt{\left[\left(\frac{V}{V_1}\right)^2 - 1\right]} \cdot 100\% \quad (6.16)$$

şeklindedir. Toplam harmonik bozulum yerine istenilen  $k$ .harmoniğin bozulumunu görmek için;

$$HD_V = \frac{V_k}{V_1} \quad (6.17)$$

$$HD_I = \frac{I_k}{I_1} \quad (6.18)$$

eşitlikleri yazılabilir.

“Günümüzde harmonik problemlerinin can sıkıcı duruma gelmelerinden dolayı, standartlarda harmonik bozulumun belli sınırlara getirilmesi amaçlanmaktadır. IEEE 519 standardına göre akım harmonik bozulumu %5, gerilim harmonik bozulumu ise %3 olarak belirlenmiştir” (Mutlu, 2011).

**Çizelge 6.9 : Ağustos ayı tüketim miktarları.**

TARİH	AKTİF W.h	ENDÜKTİF VAR.h	KAPASİTİF VAR.h	GÜNLÜK AKTİF TÜKETİM W.h	GÜNLÜK ENDÜKTİF TÜKETİM VAR.h	GÜNLÜK KAPASİTİF TÜKETİM VAR.h	ENDÜKTİF ORAN	KAPASİTİF ORAN
5.08.2019	170.223,764	29.290,203	10.649,067	-	-	-	-	-
6.08.2019	168.118,212	29.451,520	10.678,940	2105,55	161,317	29,873	0,07661	0,014188
7.08.2019	171.611,462	29.541,343	10.687,443	3493,25	898,23	85,030	0,2571330	0,0243412
8.08.2019	171.863,627	29.587,125	10.698,610	252,165	45,782	11,167	0,1815557	0,0442845
15.08.2019	173.954,702	30.070,513	10.882,900	2091,075	483,388	184,29	0,2311672	0,0881317
16.08.2019	174.576,578	30.165,339	10.908,488	621,876	94,826	25,588	0,1524837	0,0411464
19.08.2019	175.550,583	30.404,035	10.977,657	974,005	238,69	69,169	0,2450665	0,0710150
20.08.2019	176.054,500	30.494,750	10.991,438	503,917	90,715	13,781	0,1800197	0,0273477
21.08.2019	176.531,216	30.578,046	11.008,055	476,716	83,296	16,617	0,1747287	0,0348572
22.08.2019	177.141,050	30.640,857	11.033,197	609,834	62,811	25,142	0,1029968	0,0412276
23.08.2019	177.673,970	30.731,021	11.047,133	532,920	90,164	13,936	0,1691886	0,0261502
26.08.2019	178.729,386	30.994,048	11.114,229	1055,416	263,027	67,096	0,2492164	0,0635730
27.08.2019	179.478,115	31.060,524	11.133,179	748,729	66,476	18,950	0,0887851	0,0253095
28.08.2019	180.079,669	31.153,891	11.150,328	601,554	93,367	17,149	0,1552096	0,0285078
29.08.2019	180.582,153	31.242,698	11.164,539	502,484	88,807	14,211	0,1767359	0,0282814

Çizelge 6.9’da Ağustos ayı değerleri analiz edildiğinde 07.08.2019-15.08.2019-19.08.2019 ve 26.08.2019 tarihlerinde sistemin endüktif ceza sınır değerini aşmış olduğu görülmektedir. Çizelgede kırmızı ile belirtilen hücrelerde görüldüğü gibi

%25,7- %23,1- %24,5 ve %24,9 değerleri ile ceza sınırı aşılmıştır. Böylelikle Temmuz ve Ağustos aylarındaki alınan ölçüm sonuçlarına dayanarak sistemde şebekeden normal sınır değerleri olan endüktif reaktif tüketim yüzdesinin aşıldığı, şebekeden endüktif gücün çekildiği görülmektedir. Ayrıca Tense firmasına durum kayıtları bildirilerek kompanzasyon sisteminin analizi için randevu alınmıştır. Cezaya düşülen tarihler haftasonlarına geldiğinden, haftasonları binada elektriksel yükün azaldığı varsayılmıştır. Buradan çıkarılabilecek sonuç kompanzasyon sisteminin küçük reaktif tüketimleri tolere edemediğidir. Küçük reaktif yükleri tolere edebilecek kondansatör kademeleri sisteme eklenilmesi gerekmektedir. Ayrıca endüktif yük sürücüsünün sisteme yeterli geldiğinin tespiti sistemin cezaya girmemesi açısından yerinde inceleme olacaktır.

**Çizelge 6.10 : Ağustos ayı R, S, T fazlarında ölçülen değerler.**

Tarihler	THD v %			cos $\varphi$			Paktif (kW)			Qreaktif (kVAR)		
	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T
01.08.19	42	44	47	0,99	0,96	-0,99	4,5	10,7	14,4	1,2	3,1	3,2
02.08.19	42	41	42	0,99	0,97	-1,00	12,1	11,9	14,8	1,2	2,1	100
05.08.19	39	45	39	0,98	-1,00	-0,99	10,4	9,7	13,4	1,7	336	1
06.08.19	42	51	42	0,99	0,99	-1,00	10,1	10,6	13,6	1,2	600	733
09.08.19	42	45	39	0,99	0,97	-0,97	16,3	14,8	20,2	1,8	3,3	4,2
15.08.19	41	42	39	0,99	0,97	0,99	18,9	17,5	21,6	1,6	3,5	1,4
16.08.19	42	45	41	0,99	0,96	0,99	16	13,5	18,8	1,6	3,3	1
19.08.19	42	49	44	0,99	0,96	-0,99	12,6	12,4	15,2	1,5	3,2	600
20.08.19	44	47	42	0,99	0,96	0,99	14,4	12,9	14,5	1,3	2,9	66
21.08.19	39	45	40	0,99	0,96	-0,99	12,4	10,8	14,1	1,4	2,9	133
22.08.19	45	45	42	-0,99	0,99	0,99	12,0	11,7	13,4	1	233	333
23.08.19	42	47	42	0,99	0,96	1,00	15	13	18,5	1,8	3,4	1,2
26.08.19	41	44	39	0,99	0,97	0,99	17,1	16	20,6	1,9	3,3	633
27.08.19	47	52	47	-0,99	0,99	0,99	14,1	13	16,2	633	625	400
29.08.19	41	42	36	-0,99	0,98	0,98	16,5	13,9	13,6	666	400	396

Çizelge 6.10'da Ağustos ayı değerleri her bir faz başına ölçülen değerlere bakıldığında toplam harmonik gerilim değerlerinin Temmuz ayı gibi yüksek değerlerde olduğu görülmüştür. R, S ve T fazları incelendiğinde sistemin endüktif eğiliminde olduğu

görülmektedir. Bu durumda endüktif yük sürücü gücünün düşük geldiği sonucuna varılabilir. Kompanzasyon sistemine 20 *kVAr* ilave endüktif yük sürücü eklenebilir.

## 6.5 Tesiste Endüktif Sürücülü Ölçüm Değerleri ve Analizi

Süleymanpaşa Hükümet Konağı kompanzasyon panosu sistemine, ilave toplamda 20 *kVAr* endüktif yük sürücüsü (*SVC-TKR*) eklendikten sonra röleden alınan ölçüm verileri Çizelge 6.11’de görülmektedir.

**Çizelge 6.11 : Kasım ayı tüketim miktarları.**

TARİH	AKTİF kW.h	ENDÜKTİF kVAR.h	KAPASİTİF kVAR.h	GÜNLÜK AKTİF TÜKETİM kW.h	GÜNLÜK ENDÜKTİF TÜKETİM kVAR.h	GÜNLÜK KAPASİTİF TÜKETİM kVAR.h	ENDÜKTİF ORAN	KAPASİTİF ORAN
4.11.2019	8.773,854	126,667	216,844				0,049437	
6.11.2019	9.229,626	132,881	227,470	455,772	6,214	10,626	0,013634	0,023314
8.11.2019	9.700,500	139,253	236,688	470,874	6,372	9,218	0,013532	0,019576
11.11.2019	10.189,149	148,329	246,585	488,649	9,076	9,897	0,018573	0,020253
12.11.2019	10.397,791	151,096	250,991	208,642	2,767	4,406	0,013261	0,021117
13.11.2019	10.601,415	154,019	254,986	203,624	2,923	3,995	0,014354	0,019449
15.11.2019	10.994,493	160,355	262,631	393,078	6,336	7,645	0,016118	0,019449
18.11.2019	11.325,146	169,061	272,325	330,653	8,706	9,694	0,026329	0,029317
21.11.2019	11.939,942	178,223	283,490	614,796	9,162	11,165	0,014902	0,018160
22.11.2019	12.163,940	181,073	287,124	223,998	2,850	3,634	0,012723	0,016622
25.11.2019	12.596,140	189,928	296,534	432,200	8,855	9,410	0,020488	0,021772
26.11.2019	12.821,991	192,209	300,490	225,851	2,281	3,956	0,010099	0,017515
27.11.2019	13.098,457	194,623	306,347	276,466	2,414	5,857	0,008731	0,021185
28.11.2019	13.491,223	199,322	313,089	392,766	4,699	6,742	0,011963	0,017165
29.11.2019	13.624,555	201,685	318,571	133,332	2,363	5,482	0,017722	0,041115
30.11.2019	13.844,462	204,068	322,843	219,907	2,383	4,272	0,010836	0,019426

Kasım ayı enerji tüketim miktarları incelendiğinde hem kapasitif hemde endüktif reaktif tüketim miktarlarından kaynaklı herhangi bir cezai durumun olmadığı görülmektedir. Bu sonuç, sisteme ilave edilen 20 *kVAr*’lık endüktif yük sürücüsünün daha önceki aylarda özellikle haftasonları devreye giren küçük değerdeki yüklerin, artık endüktif yük sürücü tarafından tolare edildiği ve sistemin sağlıklı bir şekilde çalışmakta olduğunu göstermektedir. Ölçülen aktif güç değerleri *kWh* cinsinden, kapasitif ve endüktif güç değerleri ise *kVAr* cinsinden hesaplanmıştır. Yapılan ölçümlere göre kompanzasyon sistemine uyguladığımız çözümün işe yaradığı

görülmüş olup, endüktif yük sürücünün harmonik değerleri üzerine etkisi incelenecektir. Çizelge 6.12’de güç değerleri ve harmonikler görülmektedir.

**Çizelge 6.12 :** Kasım ayında R, S ve T fazlarında ölçülen değerler.

Tarihler	THD v %			cos $\varphi$			Paktif (kW)			Qreaktif (kVAR)		
	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T
04.11.19	2,2	2,4	2,3	-0,99	0,99	-0,99	7,1	4,6	8,2	-0,605	-0,217	-0,412
06.11.19	2,1	2,3	2,2	1,00	0,99	1,00	6,8	4,6	7,3	-0,217	0,222	-0,222
08.11.19	1,7	2,0	2,1	1,00	1,00	-0,99	6,4	3,7	6,7	0,222	0,00	-0,217
11.11.19	2,1	2,2	2,5	-0,99	-0,99	1,00	6,1	3,6	6,9	-0,222	-0,212	0,222
12.11.19	2,4	2,3	2,1	-1,00	1,00	-0,99	5,1	3,7	5,9	-0,222	0,00	-0,222
13.11.19	2,6	2,5	3,3	0,99	1,00	-0,99	5,1	3,8	5,8	0,00	-0,222	-0,222
15.11.19	2,3	2,1	2,1	-0,99	1,00	-1,00	7,1	5,5	8,2	-0,224	0,00	-0,222
18.11.19	2,4	2,3	2,2	1,00	-0,99	1,00	4,1	4,2	9,3	0,00	-0,222	0,222
21.11.19	2,2	2,1	1,9	-0,99	1,00	1,00	5,1	4,3	6,4	-0,222	0,206	0,222
22.11.19	2,1	1,9	1,9	1,00	1,00	-1,00	6,4	4,2	7,9	0,00	-0,222	-0,222
25.11.19	1,9	1,6	2,3	1,00	0,99	-1,00	8,4	5,7	9,6	0,217	0,202	0,00
26.11.19	2,2	2,2	2,1	-0,99	1,00	1,00	6,5	3,7	6,2	-0,443	0,00	-0,443
27.11.19	2,0	1,3	1,8	-0,99	1,00	-1,00	7,7	5,5	9,9	-0,217	0,222	0,206
29.11.19	2,1	2,2	2,1	1,00	-0,99	-0,99	4,2	3,8	6,1	-0,222	0,222	0,00

Kasım ayında yapılan ölçümlerde sisteme eklenen endüktif yük sürücüsünün etkileri önceden alınan verilere göre farklılıklar göstermektedir. Faz başına düşen gerilim harmonik değerleri %45 seviyelerinden %2 seviyelerine düşmüştür. Güç katsayısı değerleri bazı günlerde 1 seviyesine yükselirken, sisteme basılan reaktif güç değerleri ise *MVAR* değerlerinden 0,222-0,444 *kVAR* aralıklarına düştüğü tespit edilmektedir. Hatta bazı ölçümlerde 3 fazın birinde 0,00 *kVAR* değer olarak ideal bir reaktif tüketim gerçekleştirdiği kompanzasyonun mükemmel olarak yapıldığı sonucuna varılabilir. Sonuçların doğrulanması için Aralık ayı’nda da tesis güç değerleri kayıt altına alınarak ölçüm takibine son verilmiştir. Çizelge 6.13’de alınan ölçüm değerleri görülmektedir.

**Çizelge 6.13 : Aralık ayı tüketim miktarları.**

TARİH	AKTİF kW.h	ENDÜKTİF kVAR.h	KAPASİTİF kVAR.h	GÜNLÜK AKTİF TÜKETİM kW.h	GÜNLÜK ENDÜKTİF TÜKETİM kVAR.h	GÜNLÜK KAPASİTİF TÜKETİM kVAR.h	ENDÜKTİF ORAN	KAPASİTİF ORAN
2.12.2019	13.849,368	206,940	321,433				0,049437	
3.12.2019	14.136,133	209,435	328,973	286,765	2,495	7,540	0,008700	0,026293
4.12.2019	14.491,574	211,280	332,452	355,441	1,845	3,479	0,005190	0,009787
5.12.2019	14.890,189	213,072	340,294	398,615	1,792	7,842	0,004495	0,019673
11.12.2019	16.039,362	224,607	369,922	1149,173	11,535	29,628	0,010037	0,025782
12.12.2019	16.322,275	225,188	374,719	282,913	0,581	4,797	0,002053	0,016955
13.12.2019	16.891,029	228,938	387,326	568,754	3,750	12,607	0,006596	0,022166
17.12.2019	17.452,287	236,581	402,161	561,258	7,643	14,835	0,013612	0,026431
18.12.2019	17.663,641	238,561	405,323	211,354	1,980	3,162	0,009368	0,014960
19.12.2019	17.873,854	240,321	410,271	210,213	1,760	4,948	0,008372	0,023538
20.12.2019	18.151,023	242,121	417,787	277,169	1,800	7,516	0,006494	0,027117
23.12.2019	18.455,574	247,858	429,110	304,551	5,737	11,323	0,018837	0,037179
26.12.2019	19.634,861	253,225	448,868	1179,287	5,367	19,758	0,004551	0,016754
30.12.2019	20.946,744	261,975	482,816	1311,883	8,750	33,948	0,006669	0,025877

Aralık ayı aktif, reaktif güç tüketimi değerleri incelendiğinde, herhangi bir günde reaktif ceza sınırı aşılmadığı, alınan değerlerin normal yüzdesel sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir. Sonuç olarak kompanzasyon sisteminin sağlıklı bir biçimde çalışmakta olduğu tespit edilmiştir.

### **6.5.1 Statik VAR kompanzasyonunda iyileşme değerleri**

Alçak gerilim tesisinde kompanzasyon sistemine eklenen endüktif yük sürücüsü sayesinde tesisin elektriksel ölçüm değerlerinde iyileşmeler görülmektedir. Bu iyileşme değerleri, iletim hatlarındaki kayıpların azalmasını ve kaliteli enerji kullanımını getirecektir. Harmonik distorsiyon değerleri azaldığından, kullanılan cihazların ömürleri daha fazla olacak arıza riskleri de düşecektir. Çizelge 6.14’de statik VAR kompanzasyonu sonucu takiplerde alınan verilerle birlikte yüzdesel iyileşme sonuçları gösterilmiştir. Gerilim harmonik değerleri kabul edilebilir değer olan %5 sınırının altına inmiştir. Statik Var (SVC-TKR) kompanzasyonunun harmonikler, cos değeri, toplam endüktif ile kapasitif kullanım oranları ve reaktif güç tüketim değerleri üzerindeki etkisi Çizelge 6.14’de görülmektedir.

**Çizelge 6.14 : SVC kompanzasyonu iyileşme değerleri.**

	THD <sub>(v)</sub>	cos φ	Reaktif Tüketim
SVC-TKR'siz	%24-%52	0,95-1,00	1,1 kVAr- 933 VAr
SVC-TKR'li	%1,7-%2,6	0,99-1,00	0,222 kVAr- 0,444 kVAr
% Değişim	%-92	%5	%-52,41

SVC-TKR kompanzasyon sisteminin tesise uygulanması ile cos φ değeri 0,95 değerinden 1,00 değerine yükselerek %5 değerinde bir iyileşme gerçekleştirilmiş, toplam gerilim harmonik distorsiyon değerleri %24 seviyelerinden %1,7 seviyesine düşürülerek, %92 azalma sağlanmıştır. En yüksek reaktif güç tüketim değerleri incelendiğinde, 933 VAr değerinden 444 VAr değerine kadar düşüş sağlanarak %52,41'lik bir başarı gerçekleştirilmiştir.

Reaktif güç kontrol rölesinden alınan SVC-TKR'lü iyileştirilmiş veriler Şekil 6.7 - Şekil 6.10'da görülmektedir.



**Şekil 6.7 : Tesise ait harmonik distorsiyon akımı değerleri (tek harmonikler).**



**Şekil 6.8 : Tesise ait (a) SVC'siz cos φ değerleri (b) SVC'li cos φ değerleri.**



(a)

(b)

**Şekil 6.9 :** Tesise ait (a) SVC öncesi THD (v) b) SVC dahil edilmiş THD (v).



(a)

(b)

**Şekil 6.10 :** Tesise ait a) SVC öncesi oranlar b) SVC sonrası oranlar.

SVC-TKR kompanzasyonunun tesise uygulanması ile  $\cos \phi$   $R=0,99$   $S=0,95$  ve  $T=0,99$  değerlerinden  $R=1,00$   $S=1,00$  ve  $T=1,00$  değerlerine yükselmiştir.  $THD(v)=\%42$ ,  $\%52$ ,  $\%45$  değerlerinden faz başına  $\%1,4$ ,  $\%1,4$  ve  $\%1,3$  değerlerine kadar düşürülerek iyileşme sağlanmıştır. Aylık reaktif endüktif tüketim değeri  $\%11,1$  değerinden  $\%1,1$  değerine, aylık kapasitif reaktif tüketim değeri ise  $\%4,6$  değerinden  $\%2,2$  değerine kadar düşürülerek önemli oranlarda iyileştirme değerleri elde edilmiştir.

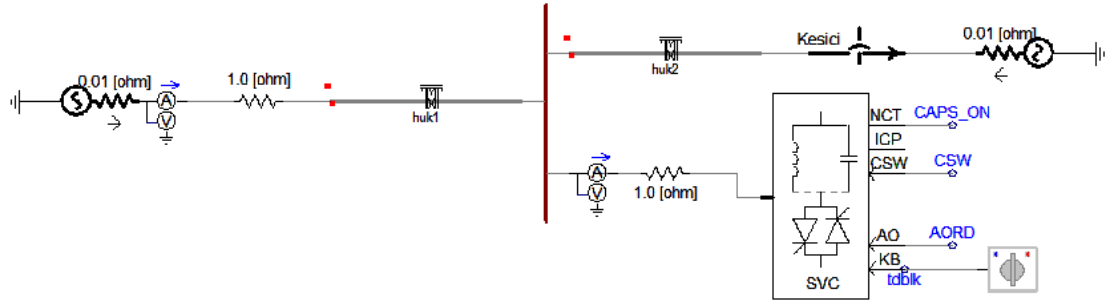


## 7. SVC SİSTEMİNİN SİMÜLASYON ORTAMINDA TASARIMI

Süleymanpaşa Hükümet Konağı kompanzasyon sisteminde statik var kompanzasyon ilavesi yapıldığından ve günümüzde klasik yöntemlere göre daha üstün özellikleri bulunan statik var kompanzasyonu EMTDC/PSCAD Güç Sistemleri Simülasyon programı ile tasarlanacaktır. Tristör kontrollü reaktör ile kompanzasyon ölçümleri alınarak raporlanan veriler karşılaştırılıp tesisin harmonik değerlerinin düşürülmesine yönelik çalışmalar analiz edilmiştir. Yapılan simülasyonlar ile birlikte SVC kompanzasyon çeşidiyle sistemin davranış modelleri ve sistem çıktıları incelenmiştir.

### 7.1 Pscad Ortamında SVC Sisteminin Benzetimi

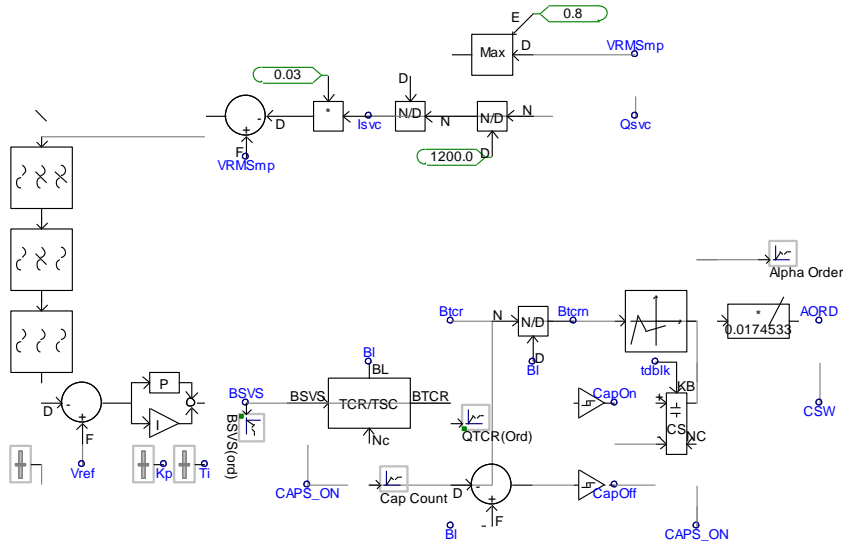
Kompanzasyon sisteminin 6 ay boyunca incelendiği Tekirdağ Süleymanpaşa Hükümet Konağı'nın statik var kompanzasyon sistemi eklendiğinde hem endüktif cezaya düşmesi önlenmiş, hem de sistem için ölçülen değerlerde iyileşmeler gerçekleşmiştir. Sistemin tristör kontrollü reaktör modeli Şekil 7.1'de görülmektedir.



Şekil 7.1 : Tesise ait SVC sisteminin benzetim modeli.

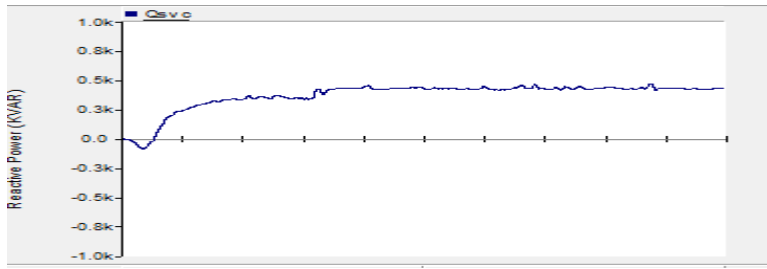
Gerçekleştirilen çalışma ile tesisin SVC kontrollü reaktör denetimiyle verdiği cevaplar ve sistemin reaktif güç ihtiyacının karşılanma durumu incelenmiştir. Bu işlem bir  $Q_{SVC}$  referans değerlendirme butonuyla gerçekleştirilmiştir. Sistemin reaktif güç için istenilen reaktif gücün sınırları tespit edilmiştir. Sistem için tetikleme açısının değişim değerleri ve sistem kondansatörlerinin kullanılması incelenilmiştir.

Şekil 7.2'de tristör kontrollü reaktörün kontrol algoritması görülmektedir. Nominal reaktif güç değeri filtre edildikten sonra bir kontrol denetleyicisi vasıtasıyla, tristör kontrollü reaktör bloğunda istenilen güç faktörüne göre düzenleme işlemi yapılır.



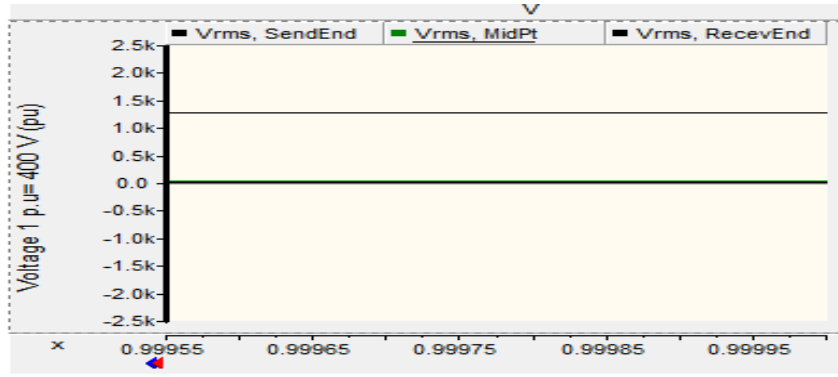
**Şekil 7.2 :** SVC kontrol algoritması.

Tesiste genel olarak Kasım ayı'nda alınan ölçümlerde her bir faz başına tüketilen reaktif güçlere bakıldığında 04.11.2019 tarihinde R fazında  $-0,605 \text{ kVAR}$ , S fazındaki değer  $-0,217 \text{ kVAR}$  ve T fazında tüketilen reaktif güç değeri  $-0,412 \text{ kVAR}$  değerindedir. 06.11.2019 tarihinde ise R fazında  $-0,217 \text{ kVAR}$ , S fazında  $0,202 \text{ kVAR}$ , T fazında ise  $-0,222 \text{ kVAR}$  değerinde reaktif güç tüketimi görülmüştür. Şekil 7.3'de görüldüğü üzere simülasyon ortamında sistemin SVC sürücülü tüketim değerleri sistemden çekilen reaktif tüketim  $0,00 \text{ kVAR}$  ve  $0,5 \text{ kVAR}$  değerleri arasında değişmektedir. Sistemin stabilitesi ve kararlılığı açısından SVC'nin reaktif güç değerleri sağlıklı görünmektedir. Kompanzasyonun tam ve kararlı olarak iyi bir şekilde yapıldığı alınan ölçüm değerleriyle de ispatlanmış olmaktadır.

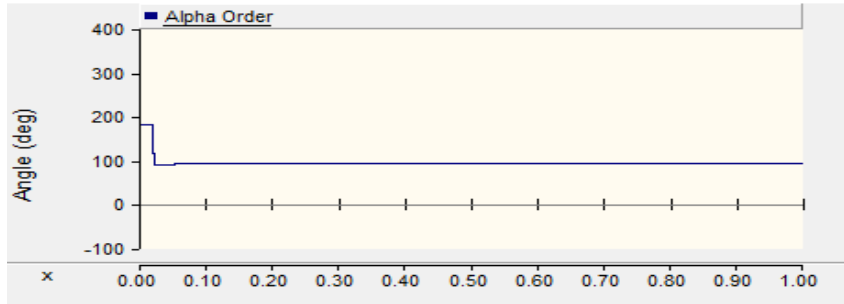


**Şekil 7.3 :** SVC tarafından ölçülen reaktif güç değeri.

Şekil 7.4'de per unit gösteriminde  $1.0 \text{ k (p.u)}=400 \text{ V}$  bara sonrası gerilim değeri görülmektedir. Şekil 7.5'de ise tristörlerin tetikleme açısına bağlı iletim değişimi görülmektedir.



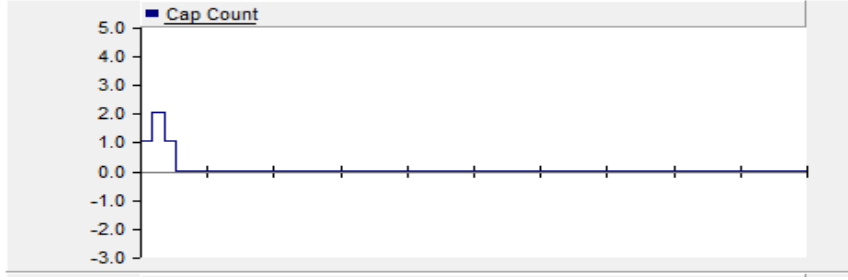
Şekil 7.4 : SVC tarafında sistemdeki voltage (pu) değeri.



Şekil 7.5 : Tristörün tetikleme açısı değişimleri.

Tristör, gerilimin sıfırdan geçişinde ölçülen  $\alpha$  tetikleme açısına bağlı olarak beslenme frekansının değiştiği yarım periyotta iletir. Tam iletim  $90^\circ$  lik tetikleme açısıyla elde edilir. Akım esasen sünüsoidal ve reaktiftir. Kısmi iletim, görüldüğü gibi tetikleme açısı  $90^\circ$  ile  $180^\circ$  arasında iken elde edilir. Bir DC bileşene sahip asimetrik akımlar ürettiği için  $0^\circ$  ile  $90^\circ$  arasındaki tetikleme açılara izin verilmez. Tetikleme açısı,  $90^\circ$  den  $180^\circ$  ye arttırılırken, dalga şekli daha az sinüzoidaldir. Simülasyonda alınan açı değerleri teorik olarak anlatılan verilerle kıyaslama yapıldığında benzer sonuçların alındığı görülmüştür. Tristörün tetikleme açısı güç iletimi açısından sistem için doğru açılarda ( $100^\circ$  de) çalışmaktadır.

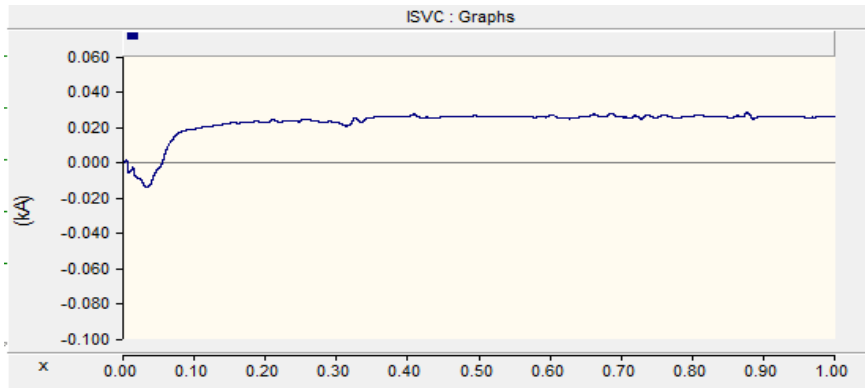
Şekil 7.6'da kullanılan kondansatör kademesi görülmektedir. Kompanze edilen sistemde 1.kademe 2,5 kVAr kondansatör mevcuttur. Simülasyondan alınan sonuçlara göre tasarlanan SVC'de 1. kademe ve 2. kademe değerleri aralığında kondansatör gücü kullanıldığı görülmektedir. Böylece gerçek değerler ile simülasyon sonucu değerleri yakınsallık göstermiştir. SVC'nin her bir fazda 10 kVAr endüktif ve 7,5 kVAr kapasitif değerine kadar reaktif ihtiyacı karşılaması beklenen durumdur. Böylelikle endüktif yük sürücüsünün küçük değerlerdeki reaktif tüketimleri dahi karşıladığı sonucuna ulaşılabilir. (Sahadaki sorunlu kademelerde çalışma yapılmıştır).



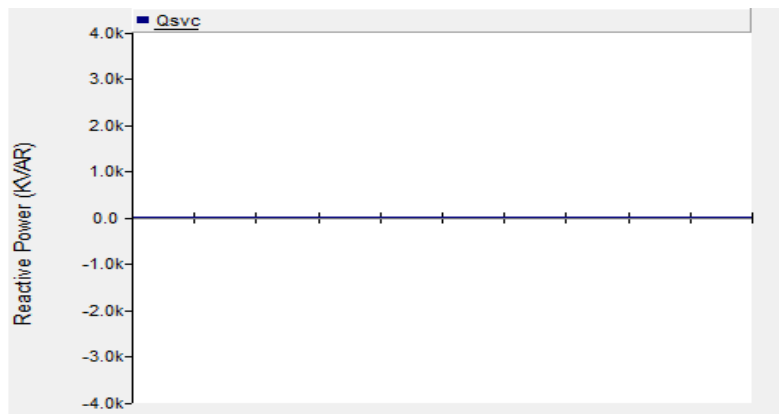
Şekil 7.6 : Kondansatör bankası kullanımı.

## 7.2 Alçak Gerilim Barasında Tesisin Diğer SVC Ölçümleri

Tesis kendisine ait 1250 kVA gücündeki transformatörden beslenmektedir. Ayrıca iletim hattı boyunca 0,4 kV gücünde iletim hattı boyunca bara eklenilmiş ve binanın tristör kontrollü reaktör tarafından kompanze edilmesi durumlarında alınan sonuçların değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Tesiste SVC, referans güç kullanımını örneklenerek ihtiyaç duyulan reaktif güç telafisi gerçekleştirmektedir. Şekil 7.7’de statik var kompanzasyon sisteminde ölçülen akım değişimi ve Şekil 7.8’de tristör kontrollü reaktörün devre dışı bırakılması durumu görülmektedir.

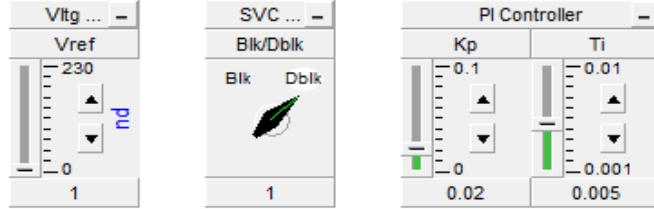


Şekil 7.7 : SVC tarafından ölçülen akım değişimi.

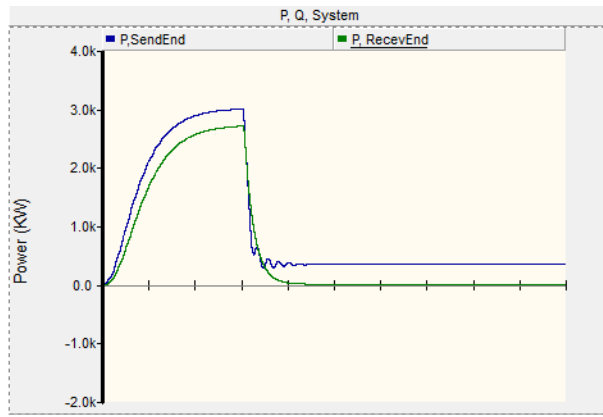


Şekil 7.8 : Sistemde TKR’siz durumda reaktif güç.

Şekil 7.8’de SVC-TKR devre dışı bırakıldığında herhangi bir reaktif güç değeri ölçülmemiştir.  $V_{ref}$  değeri 400 Volt, SVC’li durum devrede olacak ve PI kontrolör değerleri aşağıdaki Şekil 7.9’da görüldüğü değerlerde kontrol edecek şekilde sistemin simülasyonu yapılmıştır. SVC Blk konumunda ise SVC-TKR devre dışı kalmaktadır.



Şekil 7.9 : Sistem değişkenleri.



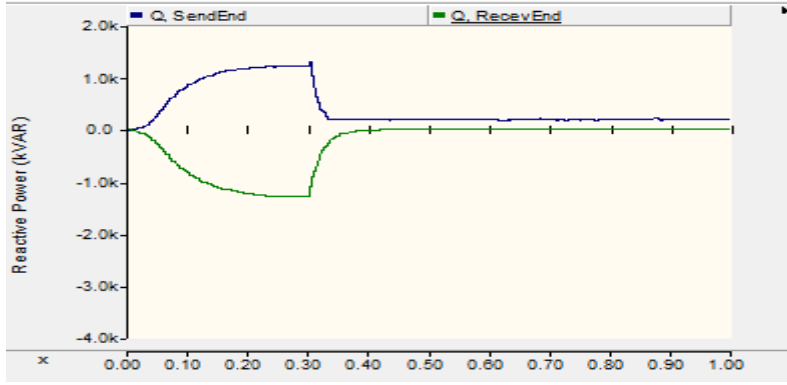
Şekil 7.10 : Sistemde  $P$  değişimi.

Çizelge 6.12’de görüldüğü gibi Kasım ayı, sahada alınan ölçüm değerlerinde SVC-TKR’li aktif güç 3,6 kW ile 9,9 kW değerleri arasında değişkenlik gösterirken simülasyondan alınan değerlerin etkin değeri 3 kW düzeylerinde olup, belirli zaman yani 0,4.sn’de 0,0 kW değerine ulaştığı gözlenilmiştir. Ölçüm 1 sn süresinde tamamlanmış, zaman aralığı ise 0,1 sn adımdır.

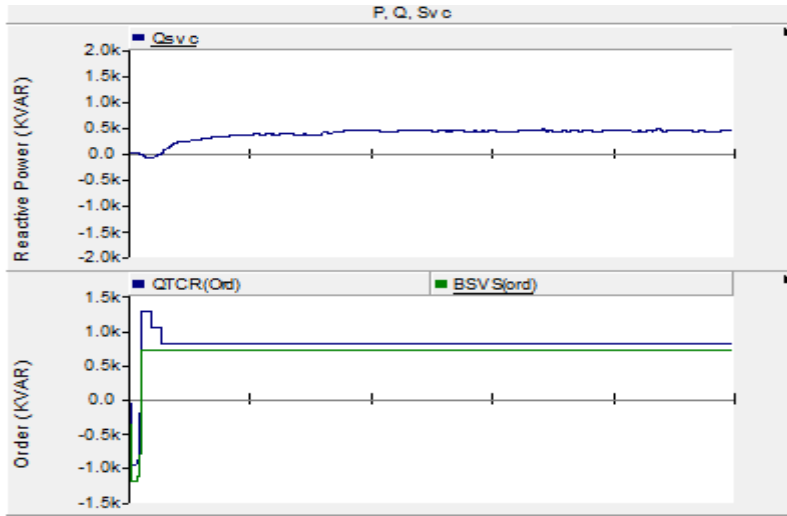
Şekil 7.11’de görüldüğü gibi  $Q_{svc-TKR}$  tarafından ölçülen değerlere bakıldığında sisteme aktarılan reaktif güç değerlerinin 0,0 kVAR düzeylerini izlediği görülmektedir. SVC-TKR reaktif ihtiyacı 0,0 kVAR değerine düşürmektedir. Şekil 7.12’de bahsedilen bu işlem görülmektedir. Şekil 7.13’de ise kapasitör grubundan kullanılacak güç görülmektedir.



Şekil 7.11 : Tesiste SVC-TKR tarafından güç telafisi.



Şekil 7.12 : Reaktif güç telafisi.



Şekil 7.13 : Referanslama işlemi.

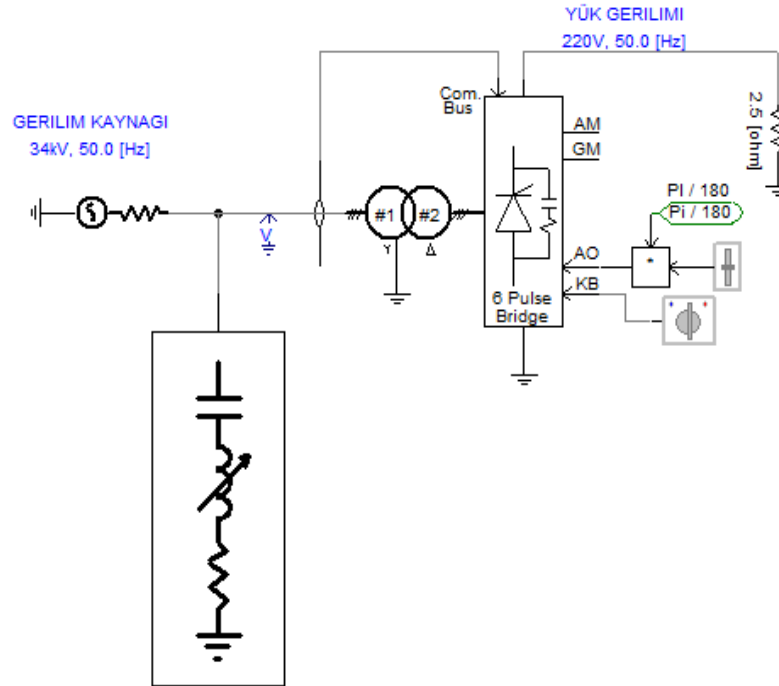
Şekil 7.12'deki  $Q_{send}$  sisteme gönderilen reaktif gücü,  $Q_{recev}$  ise gönderilen güce zıt işaret üretilerek yapılan güç telafisidir.  $Q_{TCR}$ , tristör kontrollü reaktörden talep edilen reaktif güç değerini ifade etmektedir.  $BSVS$  değeri ise kapasitör bankasının üreteceği güç değeridir. Tüm ölçümler  $t=1$  sn boyunca aynı zaman aralığında izlenmiştir.

Reaktif güç kontrol rölesindeki değerler incelendiğinde; reaktif tüketim değerlerinin örneğin 04.11.2019 tarihinde Çizelge 6.12 verilerinden;  $Q_r = -0,605 \text{ kVAR}$ ,  $Q_s = -0,217$

$kVAr$  ve  $Q_t = -0,412 kVAr$  olduğu görülmüştür. Şekil 7.12’de görüldüğü üzere reaktör reaktif üretiminin  $-1,00 kVAr$  değerlerinde görülmesi gerçek veriler ile simülasyon verileri kıyaslandığında ölçümlerin paralellik gösterdiği sonucunu verecektir.

### 7.3 STATKOM Kullanılarak Harmoniklerin Düşürülmesi

Tesiste eski kompanzasyon rölesi ile alınan ve endüktif yük sürücüsü (*SVC-TKR*) dahil edilmemiş sistemde, gerilim harmonik değerlerinin oldukça yüksek değerlerde olduğu ( $THD(v)=\%52$ ) görülmüştür. Yeni reaktif güç kontrol rölesi sisteme dahil olduğunda harmonik değerleri kabul edilebilir sınır değerlere ulaşmıştır. Bu çalışmada yeni röle üzerinden bir statkom uygulaması gerçekleştirilerek harmonik derecelerini izleyebilmek ve *SVC-TKR* eklenmiş rölede 5.derece akım harmonik değeri ( $THD_I=\%24,6$ ) düşürebilmek için  $1250 kVA$ ,  $220 V$ ,  $Y-\Delta$  transformatöründen iletim hattına statkom bağlanmıştır. Kaynak empedansının omik, endüktif ve kapasitif olduğu ve transformatör kayıplarının ihmal edildiği çalışmada, kaynak akımı yük akımı ve filtre akımının değişimleri gözlenmiş; kaynak ve yük tarafındaki harmoniklerin filtreli ve filtersiz durumlardaki değişimleri analiz edilmiştir. Filtre devresi 5, 7, 11, 13 ve 15 dereceli harmonikleri de elimine edebilmektedir. Şekil 7.14’de benzetimi yapılan devrenin bağlantı şeması görülmektedir.



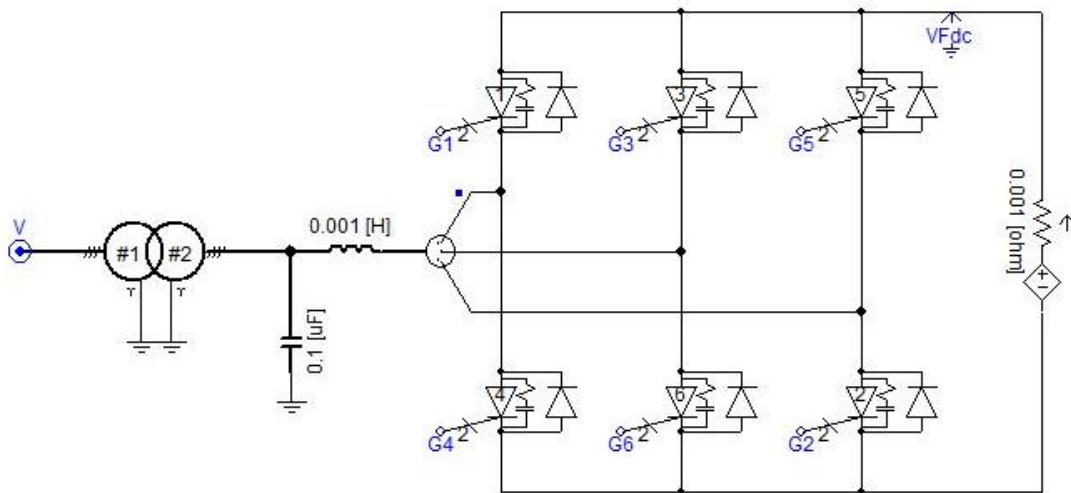
Şekil 7.14 : Benzetimi yapılan devrenin bağlantı şeması.

Çizelge 7.1’de ise sistem parametreleri ve değerleri görülmektedir.

**Çizelge 7.1** : Simülasyondaki sistem parametreleri.

Sistem Parametreleri	Değeri	Birimi
Yük voltaj değeri	220	Volt
Frekans	50	Hz
Kaynak empedans tipi	R,L ve C	Ohm
3 faz transformatör	1,25	MVA
Demir kayıpları	0,0	pu
Boşta çalışma kayıpları	0,0	pu
Mıknatıslanma akımı	1	%
Hava çekirdek reaktansı	0,2	pu
Filtre seri indüktörü	0,001	H
Filtre kondansatörü	0,1	uF
$V_{dc}$ direnci	0,001	ohm
$V_{dc}$ kaynak çevirme oranı	0,185	kV
Filtre faz açısı	[-360,+360]	Deg

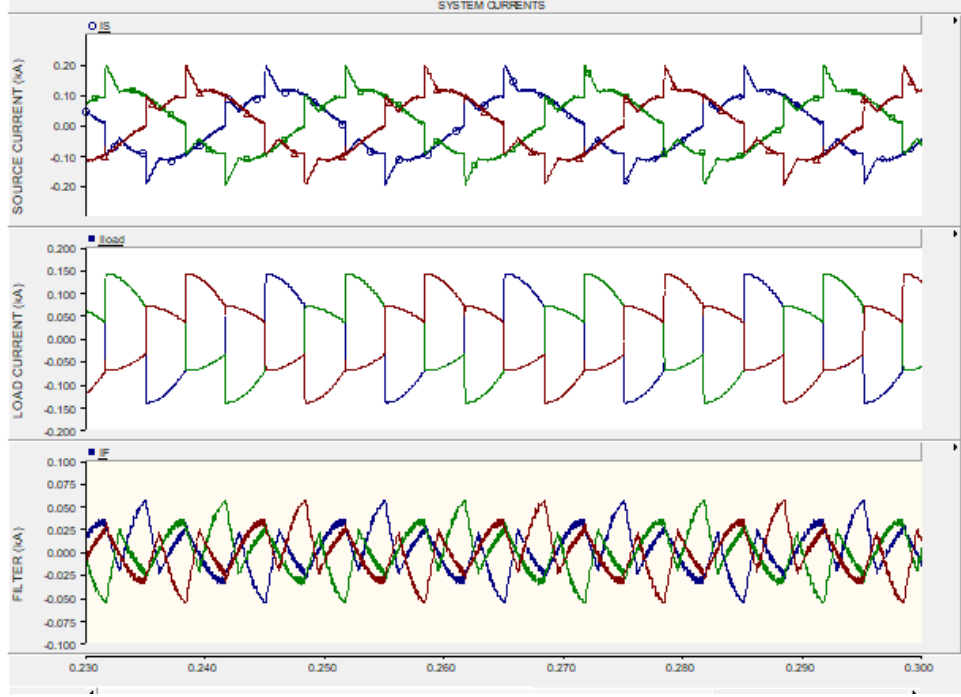
Tesis için tasarlanan STATKOM devre topolojisi Şekil 7.15’de görülmektedir. Sistem 6 adet tristörlü ve gerilim kaynaklı olarak tasarlanmıştır. Harmonik eliminesi, voltaj kararlılığı ve hattın reaktif güç ihtiyacı kontrolünü sağlamaktadır.



**Şekil 7.15** : STATKOM devresi.



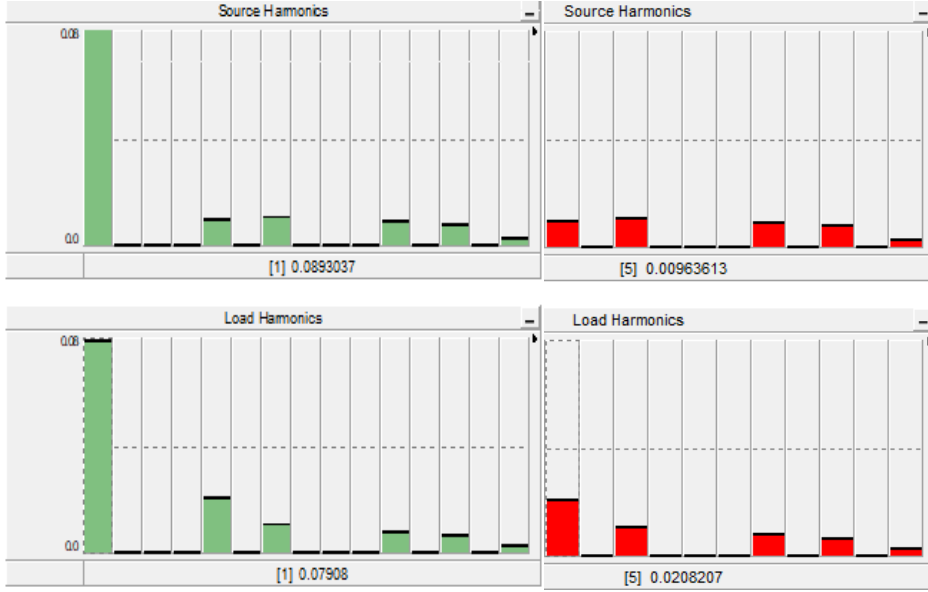
Güç sisteminde doğrultucu devrenin faz açısı  $30^0$  ve omik empedanslı kaynak, filtre etkinken yapılan ölçümde alınan veriler Şekil 7.16’da gösterilmiştir.



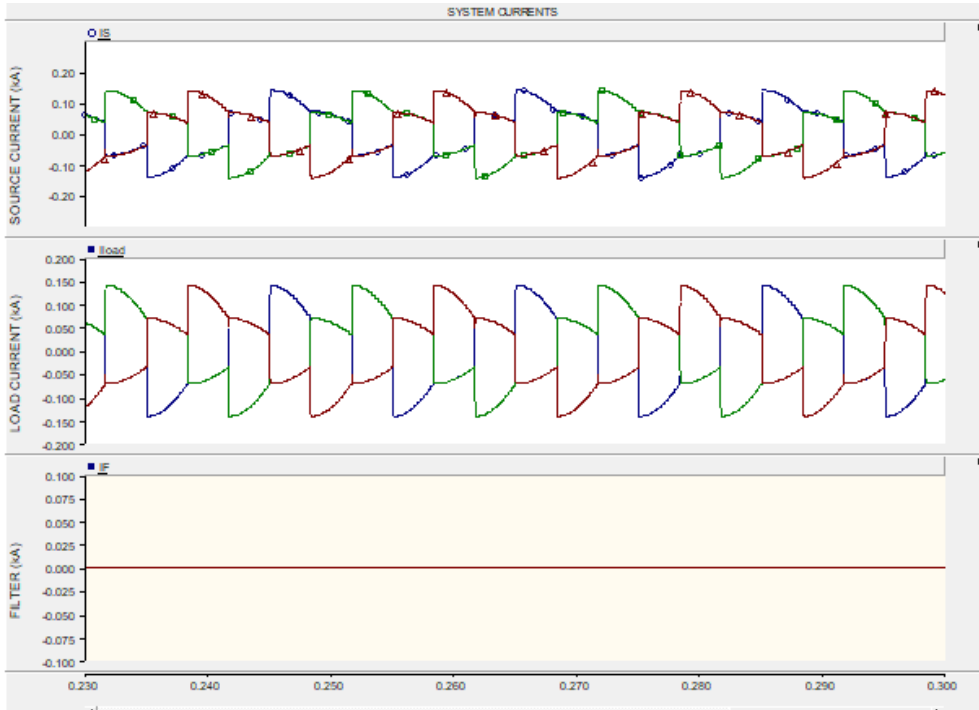
**Şekil 7.16 :** Filtre etkin ve kaynak omik empedans.

Şekil 7.16’dan anlaşılacağı üzere, filtre tarafından (faz a, faz b, ve faz c akımlarının) elimine edilmiş şekli görünmekte olup, filtrenin etkinliğinin harmonikler üzerindeki etkisinin incelenilmesi gerekmektedir. Filtrenin etkinliği omik empedanslı kaynak referans alınarak diğer yükler çalıştırıldığında ne gibi değişimlerin izlendiği araştırılacaktır. Filtre devrede olduğunda kaynak omik empedansta iken, kaynak ve yük harmonik dereceleri değişimleri Şekil 7.17’de görülmektedir.

Filtre devrede olduğunda, temel bileşen akım genliğinin optimum değerlere ulaştığı sonucuna varılabilir. Ayrıca yük akımının sahip olduğu 5. ve 7. harmonik dereceleri yükselmeye çalışsa da önemsiz miktarlarda yükselme görülmüştür. Kaynak tarafında temel bileşen akım değeri 0,0893037 kA iken, yük tarafında temel bileşende akım 0,07908 kA değerinde ölçülmektedir. Diğer harmonik derecelerinde yükselme eğilimi olsada filtre görevini gerçekleştirmiş, *SVC-TKR* ile tesiste ölçülen reel değerler (5.harmonik bozunumun=24,6 Şekil 6.7) kadar yükselmelere izin vermemiştir. Faz açısı  $30^0$  filtre devrede yok iken sistem çalıştırıldığında, omik empedanslı akım değişimleri Şekil 7.18’de gösterilmiştir.



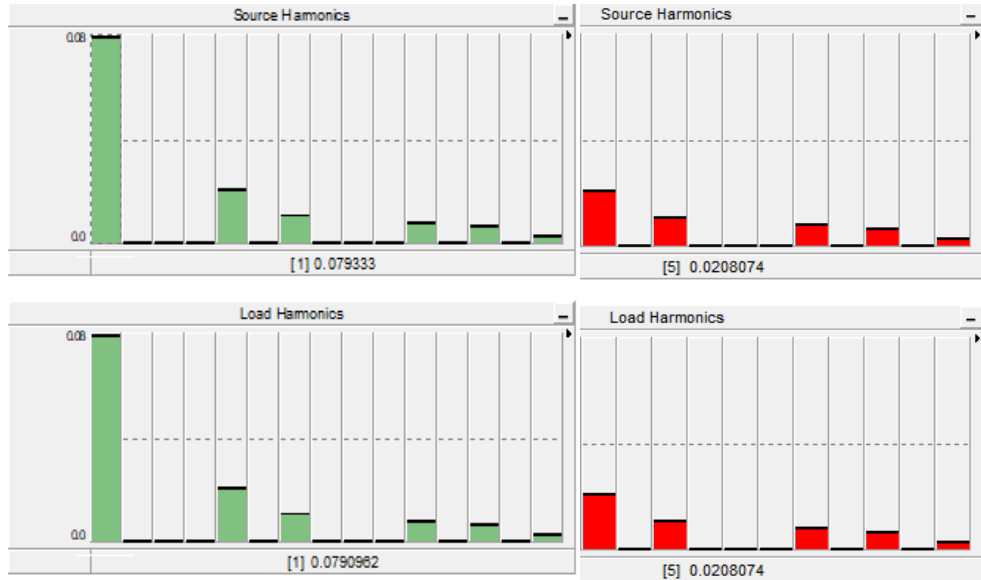
Şekil 7.17 : Kompanzasyonlu ve kaynak omik empedanslı.



Şekil 7.18 : Filtre etkin değil ve kaynak omik empedans.

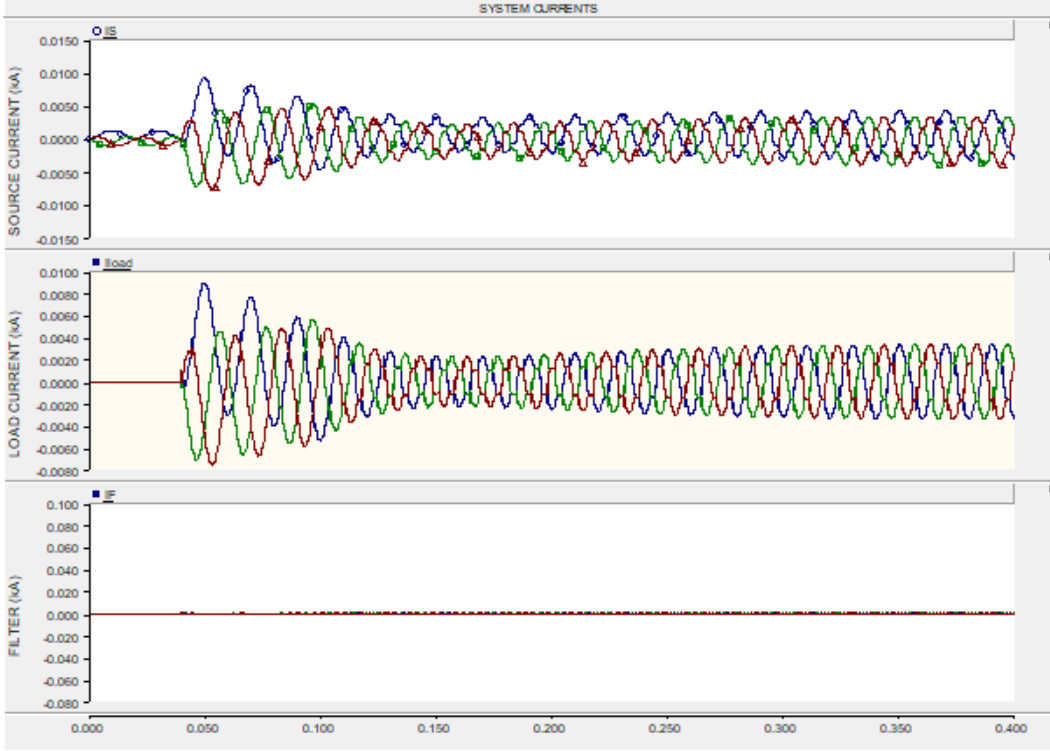
0,23-0,30 sn boyunca yapılan ölçümlerde kaynak akımı ve yük akımı maksimum değerinin 0,20 kA'den düşük olduğu, yük akımı aktif filtreden geçen akım değerinin ise 0,0 kA seviyelerinde olduğu görülmüştür. Filtre çalışmadığında, filtre üzerinde herhangi bir akım değişimi görülmemesi beklenen bir durumdur. Harmonik içeren tesislerde kullanılan elektriksel cihazların, harmoniklerden kaynaklanan etkileri artacağından, daha uzun ömürlü olacağını söylenemez. Şekil 7.19'da filtresiz

durumdaki kaynak ve yük harmonikleri görülmektedir. Simülasyondan alınan verilere göre, kaynak tarafı akımının temel bileşen genliği 0,07933 kA değerinde ölçülmüştür. Oysa fitreli durumda temel bileşen akımı daha etkindir ve sistemde 5, 7, 11 ve 13. harmonik yükselmeye çalışsa da filtre harmonikleri elimine etmektedir. Yük harmonik değerleri ise 5. ve 7. harmonikte etkin olmaya çalışsa da belli bir değere kadar çıkabilmiş, örneğin 5. dereceden harmoniği en fazla 0,0208 kA değerine kadar elimine etmeyi başarabilmiştir. Oysa fitreli durumda 0,0096 kA değerine kadar düşmüştür. Genelde sistemde 6 darbeli doğrultucu mevcutsa, 11. ve 13. harmoniğin de baskın olması gözlenilir ancak burada bu harmonik derecelerinin de filtre tarafından elimine edildiği açıkça görülmektedir. Şekil 7.19'da görüleceği üzere filtre etkin değilken, 5. harmoniğin değeri (kaynak tarafında) yükselmektedir.



**Şekil 7.19** : Kompanzasyonsuz ve kaynak omik empedanslı.

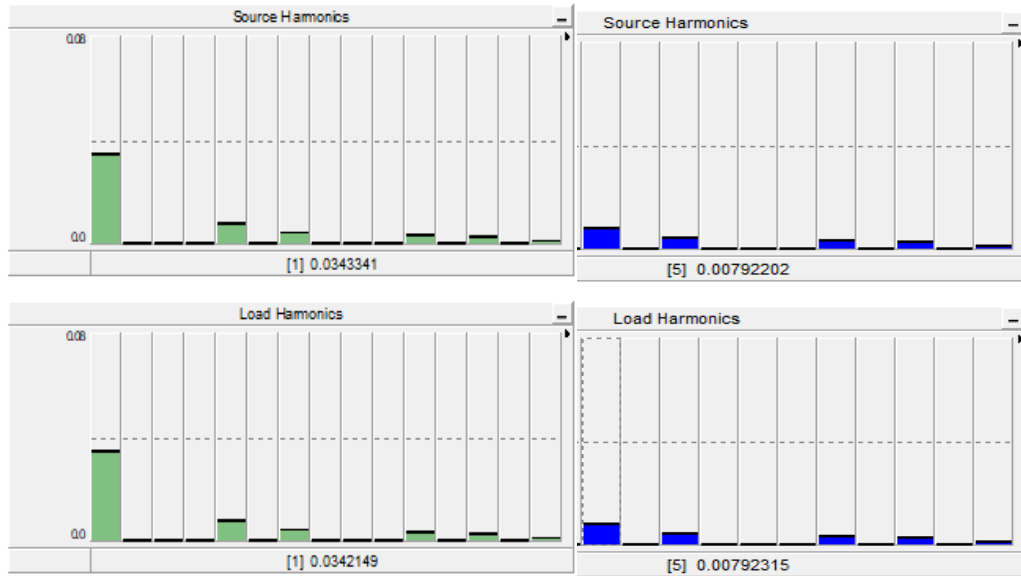
Kaynak akımındaki temel bileşen değerinin 0,0893037 kA değerinden 0,079333 kA değerine düşmesi yük akımı harmoniği tarafında da herhangi bir değişikliğe uğramaması bize filtrenin harmonik etkinliğini açıkça göstermektedir. Aktif filtremizin kaynak ve yük harmonikleri üzerindeki etkisini daha iyi analiz edebilmek amacıyla, filtre pasif konuma getirilmiş ve simülasyon çalıştırılmıştır. Şekil 7.20'de faz açısının  $30^\circ$  olması ve kaynağın endüktif empedansta olması durumunda alınan ölçüm sonuçları görülmektedir. En ideal ölçüm kıyaslamalarının yapılabilmesi için açı değeri değiştirilmemiştir.



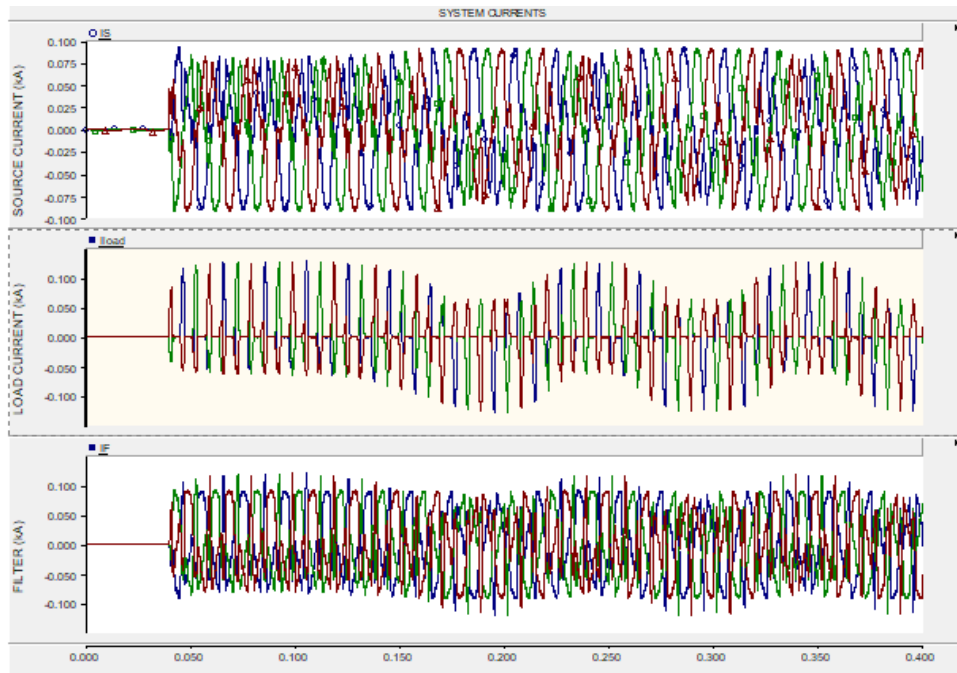
**Şekil 7.20 :** Filtre etkin değil ve kaynak endüktif empedans.

Filtre etkin değil ve endüktif empedanslı kaynaktan alınan ölçümlerde, Şekil 7.20’de kaynak akımının, yaklaşık 0,0100 kA seviyelerine yükseldiği yük akımı değerinin ise kaynak akımına yakınsallık gösterdiği anlaşılmaktadır. Oysa filtre etkin olmadığında kaynak ve yük harmonikleri tarafında harmonik değerlerinde yükselmeler oluşmaktadır. Kaynak tarafı temel bileşen akım değerinin omik empedansa göre daha az yükseldiği, kaynak tarafında temel bileşenin akım değerinin 0,0343341 kA olarak ölçüldüğü görülmektedir. Sonuç olarak anlaşılmaktadır ki filtre devrede iken harmonik değerleri azalmış, filtre etkin olmadığında kaynak ve yük harmonikleri yükselme göstermiştir. STATKOM harmonikler üzerinde önemli oranlarda elimine özelliği göstermiştir. Filtresiz durumda, kaynak ve yük harmonikleri Şekil 7.21’de görülmektedir.

Kaynak tarafı akımın temel bileşenin 0,0343341 kA değerlerinde iken 5.harmoniğin etkisinin ise çok düşük olduğu açıkça görülmektedir. Faz açısı  $30^\circ$ , filtre etkin ve kaynağın endüktif empedansta olması durumunda simülasyon sonuçları Şekil 7.22’deki gibi olmaktadır. Filtre aktifken, faz açısı  $30^\circ$  ve kaynak empedans tipi endüktif olarak sistem çalıştırıldığında ani değişimler gerçekleşmiştir. Böylece görülmektedir ki yükün sistem verimliliği incelendiğinde rezistif empedanslı kaynak ile daha yüksek performans elde edilmektedir.

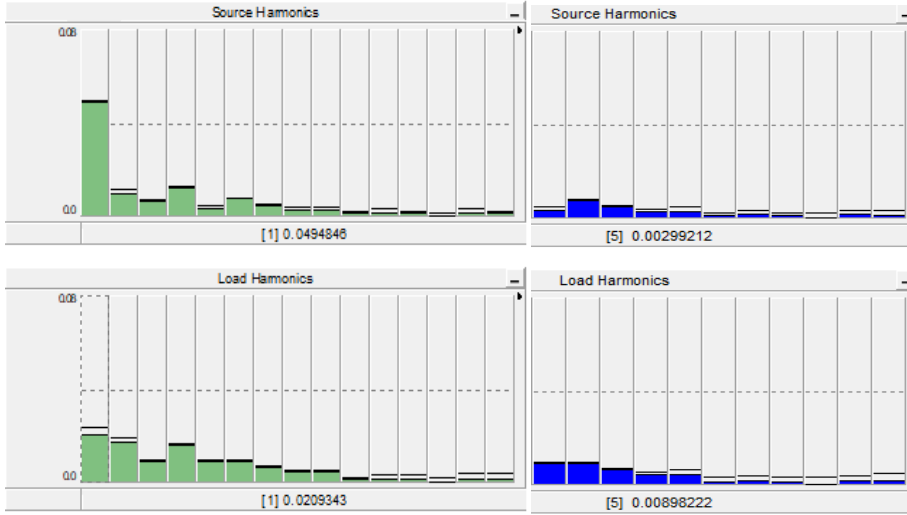


Şekil 7.21 : Kompanzasyonsuz ve kaynak endüktif empedanslı.



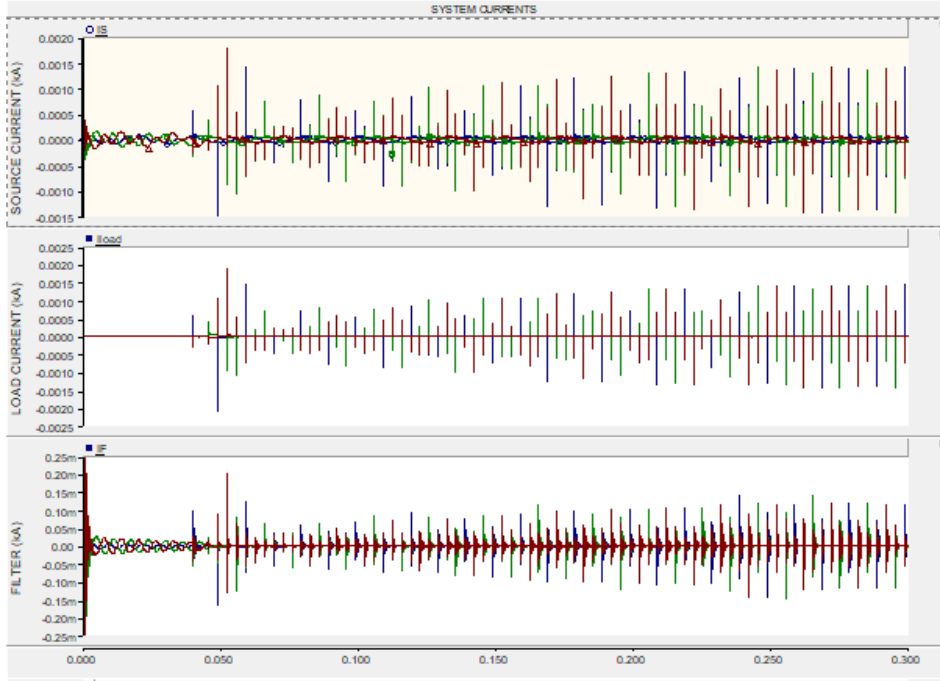
Şekil 7.22 : Filtre etkin ve kaynak endüktif empedans.

Filtre etkin ve kaynak empedansının endüktif olması şartında sistemdeki kaynak ve yük harmoniklerine bakıldığında, Şekil 7.23’de görüldüğü gibi sadece temel bileşen akımı etkin olmaya çalışmaktadır. Akımın kaynak tarafı değeri 0,0494846 kA, yük tarafı ise 0,0209343 kA olarak ölçülmüştür. Temel bileşen akımı omik empedansa kıyasla hem kaynak tarafında hem de yük tarafında azalmıştır.



**Şekil 7.23 :** Kompanzasyonlu ve kaynak endüktif empedanslı.

Burada dikkati çekmekte olan değişim çift harmoniklerin de ölçülmesi olmaktadır. Çalışma koşulları değiştirilmiş, kaynak empedansının kapasitif yapılması durumunda filtrenin devrede etkin olması ile kaynak akımı belirli periyotta değişirken , yük akımı ve filtre akım değerlerinin çok hızlı stabil olmayan davranışlar izlediği görülmüştür. Şekil 7.24'te bu değişimler verilmiştir.



**Şekil 7.24 :** Filtre etkin ve kaynak kapasitif empedans.

Kaynağın kapasitif empedansta olması ve ölçümün faz açısının  $90^0$ 'ye yükseltilmesi faz açısının  $30^0$  olması durumuna göre herhangi bir değişiklik yaratmamıştır. Ancak kaynağın empedansının omik olarak değiştirilmesi durumunda meydana gelen ölçüm değerlerinde hem kaynak ve yük akımları dengeli değişimler göstermiş, hemde filtre üzerinden akan akım daha kararlı olmuştur. Kaynağın kapasitif empedans olması şartında kaynak ve yük harmonik değerlerinde ise herhangi bir anlamlı ölçüm değeri alınamamıştır. Bu nedenle harmoniksel değişim grafiği eklenmemiştir. Kaynak empedansı kapasitif olduğunda STATKOM endüktif davranış göstermekte, kaynak endüktif empedansta olduğunda ise STATKOM kapasitif davranış özelliği göstermektedir. STATKOM kaynak ve yük tarafındaki harmonikleri düşürmüş böylece çalışmanın amacına ulaşılmıştır. Tristör kontrollü reaktör kullanıldığında (SVC-TKR) güç katsayısında da iyileşmeler görülmüştür. Aktif filtre kullanımı, pasif filtreye göre daha üstün avantajlı olmakla birlikte, aktif filtre kullanımıyla harmonikler şebekeden çekilmeyecektir. İletim hatlarında STATKOM kullanımı şebeke ve yük harmoniklerini düşürmektedir.





## 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasıyla, aktif güç, güç katsayısı, reaktif güç bileşenleri, harmonik gibi terimlerin tanımlamaları yapılarak, bir tesiste güç katsayısının düzeltilmesinin hem üretici hem de tüketici yönünden hangi faydaları sağladığı açıklanmaktadır. Tesise ait güç değerlerinin tespitinin hangi yöntemlerde analiz edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Gerçekleştirilecek kompanzasyon ile iletim hatlarının gereksiz yere yüklenmelerinin önüne geçilerek ilave yatırımlara gerek duyulmadan daha az görünür güç ile daha fazla aktif güç kullanımı mümkün olduğu ortaya konmuştur. Hattın gerilim düşümü ile birlikte aşırı ısınmalar ve zorlanmalar azalacaktır. Kompanzasyon kademelerinin sistemde aktif olarak görev almasından sonra kondansatörlerin akımı, devreden çekilen akımın reaktif bileşenini düşüreceğinden açığı değerini düşürecektir. Böylelikle güç katsayısı 1 (bir) değerine yaklaşır. Bunun sonucunda ilgili elektrik dağıtım şirketine reaktif enerji kullanım bedeli ödenmeyecektir.

Reaktif güç kontrol rölesi ayarlarının doğru yapılması, hassas bir kompanzasyon işlemi anlamına geldiğinden reaktif güç kontrol rölesi seçimi doğru yapılarak kompanzasyon sisteminin verimli çalışması sağlanmaktadır. Tesisin sahip olduğu elektriksel yükler analiz edilerek gerekli kademe sayısı, endüktif ve kapasitif yüklerin oranları belirlenerek tesise gerekli olan reaktif gücü tedarik edecek olan kondansatörler tespit edilmiştir. Dinamik yükün fazla olduğu sistemlerde kademe sayısı fazla tutulmalıdır. Bununla birlikte kullanılan yükün, incelenilen tesiste gece ve haftasonları düştüğü görüldüğünden çok küçük reaktif yükleri tolere edebilecek küçük değerli kondansatörler sisteme dahil edilmiştir. Günümüzde yapılan uygulama hatalarından biri de ilk kademedeki büyük güçte kondansatör kullanımınıdır. Unutulmaması gerekenlerden birisi de tesise konulan yüksek güçlü kesintisiz güç kaynakları, enerji kullanımını olmadığı zamanlarda bile sistemi kapasitif cezaya sokabilir. Ayrıca günümüzde değişken yük çeşitleri klasik kompanzasyon yöntemlerinden modern kompanzasyon yöntemlerine geçişi hızlandırmaktadır. Tesiste kayıt altına alınan 6 aylık ölçüm sonuçlarından, endüktif cezaya düşüldüğü görülmüş olup sisteme uygun güçte endüktif yük sürücü (30 kVAr şönt SVC-TKR) eklenildiğinde hem

kompanzasyon işlemi sağlıklı çalışmaya başlamış hemde şebeke geriliminden gelen yüksek mertebeli harmonikler düşürülmüştür. Dolayısıyla kaliteli enerji kullanılmış ve harmoniklerin olumsuz etkilerinden uzaklaşmıştır. Tesiste SVC-TKR kullanımıyla elde edilen iyileşme değerleri Çizelge 8.1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 8.1 : SVC-TKR ile gözlenen değişimler.**

ÖLÇÜM	THD(v)	Cos φ	REAKTİF TÜKETİM	ENDÜKTİF ORAN %	KAPASİTİF ORAN %	AKTİF MİN.- MAK. (kW)	SİSTEM DURUMU	CEZA DURUMU AYLIK
SVC-TKR’siz	%24-%52	0,95-1,00	1,1 kVAR-933 VAr	11,1	4,6	6,8-21,9	ENDÜKTİF CEZADA	2.580 TL
SVC-TKR’li (Tesis)	%1,7- %2,6	0,99-1,00	222 VAr-444 VAr	1,1	2,2	3,6-9,9	CEZA YOK	0,000 TL
% DEĞİŞİM	%-95	%5	%-52,41	%-90	%-52,17	%-54,79		-
PSCAD-SVC-TKR	-	-	0,00-2,00 kVAr	-	2,00	3,0		-

Tesiste SVC-TKR kullanımı ile meydana gelen değişim miktarları incelendiğinde, THD(v) değerleri %52 seviyelerinden %2,6 seviyesine düşerek %95 oranında bir iyileşme gerçekleştirilmiştir. Cosφ değerleri 0,95 değerinden 1,00 değerine yükselerek %5 iyileşmiş, reaktif tüketim SVC-TKR devrede değilken 933 VAr iken SVC-TKR devrede olduğunda 444 VAr değerine düşerek reaktif tüketimde %52,41 oranında iyileşme meydana gelmiştir. Endüktif oran %11,1 seviyesinden, %1,1 seviyesine düşerek %90 oranında bir iyileşme gerçekleşmiştir. Kapasitif oran ise %4,6 seviyesinden %2,2 seviyesine düşerek %52,17 değerinde iyileşme görülmüştür. Aktif güç kullanım değeri 21,9 kW maksimum değerinden 9,9 kW maksimum değerine inmesi bize %54,79 oranında bir iyileşme olduğunu göstermektedir. Buradan çıkarılabilecek diğer bir sonuç ise aynı iş miktarı artık daha düşük bir güç değeriyle karşılanmakta ve doğru kompanzasyonun etkinliğini göstermektedir. SVC-TKR öncesinde endüktif ve aylık ortalama 2.580 TL cezada çalışmakta olan sistem SVC-TKR kompanzasyonu kullanımıyla hem normal çalışmaya geçmiş hem de aylık ceza miktarı sıfıra düşürülmüştür. SVC-TKR ile yapılan 5.derece akım harmonik değeri %24,6 gibi oldukça yüksek değerde olduğundan STATKOM ile bu değer düşürülmesine yönelik çalışmalar Çizelge 8.2’de gösterilmektedir.

**Çizelge 8.2 : Şebeke ve yük harmoniklerinin düşürülmesi.**

<b>KAYNAK EMPEDANSI</b>	<b>ŞEBEKE AKIMI TEMEL BİLEŞEN GENLİĞİ(kA)</b>	<b>YÜK AKIMI TEMEL BİLEŞEN GENLİĞİ (kA)</b>	<b>ŞEBEKE AKIMI 5.HARMONİK GENLİĞİ (kA)</b>	<b>YÜK AKIMI 5.HARMONİK GENLİĞİ (kA)</b>	<b>YÜK AKIMI 7.HARMONİK GENLİĞİ (kA)</b>
OMİK EMPEDANS ; FİLTRE ETKİN	0,0893037	0,07908	0,00963613	0,0208207	0,0010245
OMİK EMPEDANS ; FİLTRE DEVRE DIŞI	0,079333	0,0790962	0,0208074	0,0208074	0,010260
ENDÜKTİF EMPEDANS ; FİLTRE DEVRE DIŞI	0,0343341	0,0342149	0,00792202	0,00792315	0,00015628
ENDÜKTİF EMPEDANS ; FİLTRE ETKİN	0,0494846	0,0209343	0,00299212	0,00898222	0,00283454
KAPASİTİF EMPEDANS ; FİLTRE ETKİN	ÖLÇÜM YOK	ÖLÇÜM YOK	ÖLÇÜM YOK	ÖLÇÜM YOK	ÖLÇÜM YOK

SVC-TKR kompanzasyonu ile tesiste ölçülen 5.harmonik bozunum değerinin (%24,6) düşürülmesine yönelik bu çalışma ile omik empedans devrede ve filtre kullanılmadığında 0,079333 kA olan temel bileşen akımı, filtre kullanımıyla 0,0893037 kA değerine yükselerek daha sinüsoidal hale getirilmiş aynı zamanda şebeke tarafındaki 5.harmonik akım bozunumu değeri filtre devre dışı olduğunda 0,0208074 değerinde iken filtre kullanımıyla 0,007922 değerine kadar düşmektedir. Aynı inceleme endüktif empedanslı kaynak ile yapıldığında filtre devrede yok iken 0,0343341 kA olan temel bileşen akım değeri filtre kullanımıyla 0,0494846 kA değerine yükselerek daha sinüsoidal olmakta, şebeke tarafı 5.harmonik değeri filtre devre dışı olduğunda 0,007922 kA değerinde iken filtrenin devreye alınmasıyla 0,00299212 kA değerine düşürülmektedir. Endüktif empedanslı yük tarafında gözlenen temel bileşen akım değeri filtre devrede değilken 0,0342149 kA değerinden filtre kullanımıyla 0,0209343 kA değerine düşmüştür. Kapasitif karakterli kaynak empedansında ise herhangi anlamlı bir ölçüm değeri alınamamıştır. STATKOM 5.derece şebeke ve yük akımı harmonikleri üzerinde SVC-TKR'ye göre daha yüksek oranlarda elimine özelliği göstermektedir.

Günümüz anahtarlama ve yarı iletken teknolojisindeki gelişmelerle birlikte, tesiste bulunan ani yük değişimlerine cevap verebilen FACTS'ler geliştirilmiştir. Tesisin zaman zaman ani gerilim değişimleri, fazlar arasındaki değişimler gibi sonuçların doğuracağı durumlar, sistemlere zarar vermektedir. Bu durumların önlenmesine yönelik güç elektoniği tabanlı statik var kompanzator aygıtları kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları ;

- Tristör Kontrollü Reaktör (TKR),
- Tristör Anahtarlı Kondansatör (TAK),
- Tristör Kontrollü Reaktör ve Sabit Kondansatör (TKR SK),
- Paralel Statik VAR Kompanzasyonu,
- STATKOM Kullanılarak Kompanzasyon türleridir.

Yakın zamanda, gerek akademik gerekse endüstriyel anlamda statik var kompanzasyon metodlarında ilerlemeler yaşanmakta ve giderek önemli bir konu haline gelmektedir. Statik var kompanzasyonu ile hızlı ve değişken yüklerde çok hızlı cevap alınabilmekte, güç dalgalanmaları azaldığı gibi, yüksek frekanslı dönüştürücülerin kullanılmasıyla harmoniklerin etkinliği azalmaktadır. Ayrıca tesisin geçici durumları azalarak daha güvenli bir kompanzasyon işlemini kullanıcılarına sunmaktadır.

Tesisimizin reaktif güç kullanımının takibi sonucunda, tesise uygun kompanzasyon çeşidi olarak SVC-TKR seçilmiş ve uygulanmıştır. Tesisin hem kış ayları dönemlerinde hemde yaz aylarındaki reaktiflik durumu gerçek zamanlı takip edilerek, analizleri yapılmıştır. Gerçekleştirilen reaktif güç analizleri gerçek zamanlı sahadan alınmış veriler olup, veri sentezlemesi sonucu reaktif çözüme ulaşılmıştır. Yapılan simülasyon benzetim çalışmalarıyla da statik var kompanzasyon sistemi ve sahada alınan ölçüm sonuçlarının ilişkisi incelenilmiştir. Simülasyondan alınan veriler gerçek zamanlı reaktiflik sonuçlarıyla yakınsallık göstermektedir. Ayrıca eski reaktif güç kontrol rölesinden alınan yüksek harmonik değerliklerinin STATKOM yaklaşımı ile simülasyonu yapılarak kaynak ve yük harmonikleri düşürülmüştür. Filtreli ve filtresiz durumlarda alınan sonuçlara göre en optimal kullanım, kaynağın omik karakterde olduğu ve faz açısının  $30^\circ$  konumuna getirildiği durumdur. STATKOM diğer durumlarda endüktif ve kapasitif davranışlar göstermekte, kaynak ve filtre akımı tam iletim sağlayamamaktadır. Filtresiz durumlar ile karşılaştırma yapıldığında yük harmoniklerinin yükseldiği görüldüğünden, aktif filtreli kullanımlar önerilmektedir.

Ekonomik açıdan bakıldığında her ne kadar pahalı olsalarda, aktif filtrelerin uzun dönemlerde kullanılmaları daha avantajlı olmaktadır. Klasik reaktif güç önleme yöntemleri yerine modern reaktif güç düzeltme yöntemlerinin kullanılmasının etkileri, bu çalışmayla da ispatlanıldığından modern ve yarı iletken güç anahtarlamalı, statik var kompanzasyon metodlarının kullanılması reaktif gereksinimi karşılamada daha verimli olmaktadır. SVC kompanzasyonu kullanımı, hızlı cevap süresi, büyük ve dengesiz yüklerde gerilim kararlılığı açısından da üstünlükleri olduğu görülmektedir. SVC-TKR etkin değilken  $THD_v$  değerleri %52 seviyelerinde iken, SVC-TKR devrede olduğunda  $THD_v$  değerleri düşerek %1,7 seviyelerine kadar inmiştir. Tesiste 1 yıl, aylık ortalama 2500 TL, endüktif tüketim bedeli ödenirken endüktif yük sürücüsünün (SVC-TKR) sağlıklı çalıştırılmasıyla, bu rakam sıfıra düşmüştür. Ayrıca STATKOM ile simülasyon ortamında akım harmoniklerin düşürülmesine yönelik çalışmada, verimli sonuçlar alınmıştır. Filtre devrede olduğunda, 5. derece harmonik genliği 0,00963613 kA değerlerine düşmüş, filtre devrede olmadığıda 0,0208074 kA değerine yükselmiştir. STATKOM kaynak ve yük harmoniklerini elimine etmiştir. Analiz ve takibi yapılan alçak gerilim tesisi bir kamu binası olduğundan, ülkemizdeki kamu binalarında reaktif güç bedeli ödenmemesi için gerekli önlem ve düzenlemelerin yapılması gerektiği de anlaşılmaktadır. Kamu tesislerinde kompanzasyon sistemleri için gereken alt yapılar hazırlanarak, tesislerin güç kullanımlarının uzaktan haberleşmeli portallar üzerinden takiplerinin yapılması önerilmektedir.



## KAYNAKLAR

- Akçay, M. T., & Arifoğlu, U. (2019). Anlık Güç Kuramı İle Dengesiz Yükler İçin SAGF Uygulaması. *Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2/1: 1-16.
- Alwan, M. (2017). Yüksek Lisans Tezi. *Güç Dağıtım Ağında Reaktif Güç Kompanzasyonunun İncelenmesi*. Ankara: Türk Hava Kurumu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ARGE, G. (2019). *Grup ARGE*. Retrieved 08 16, 2019, from <https://www.gruparge.com/dokumanlar.html>
- Balaman, O. (2012). Yüksek Lisans Tezi. *Reaktif Güç Kompanzasyonu*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Baş, Z. (2014). Yüksek Lisans Tezi. *Güç Sistemlerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu ve Harmoniklerin Analizi*. Sakarya: Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bayram, M. (2000). *Kuvvetli Akım Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Biçer, N. (2010). Yüksek Lisans Tezi. *Düşük Gerilimde Reaktif Güç Kompanzasyonu İçin Akım Kaynaklı Çevirgece Dayalı STATCOM*. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bilki, F. (2008). Yüksek Lisans Tezi. *Reaktif Güç Kompanzasyonu Eğitim Seti Tasarımı*. Ankara: Gazi Üniversitesi.
- Carlak, H., & Kayar, E. (2019). Volt VAR/Regulation In Energy Transmission Systems Using SVC and STATKOM Devices. *Balkan Journal Of Electrical & Computer Engineering*, 424-433.
- Deniz, E., Tuncer, S., & Gençoğlu, M. T. (2020). *Statkom İle İletim Hatlarında Reaktif Güç Kompanzasyonu*. Retrieved from <https://www.academia.edu>
- Elmaslar, B., & Balcı, M. E. (2009). Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü. *Aktif Enerji Ölçen Sayaçların Sinüsoidal Olmayan Şartlarda Performans Analizi*.
- Engin, B. (2008). Yüksek Lisans Tezi. *Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Kopanzasyon ve Enerji Kalitesi Sorunları*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü.
- Erdem, U. (2013). Yüksek Lisans Tezi. *Optimal Reaktif Güç Kompanzasyonu ve Harmoniklerin Güç Faktörlerine Etkisi*. Tunceli: Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ersamut Rıza. (2009). Yüksek Lisans Tezi. *Statik Var Kompanzasyonu Sistemlerinin İncelenmesi ve Karşılaştırılması*, 26-32. İstanbul, Türkiye: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gelen, A., & Yalçınöz, T. (2005). II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi MGGAK . *Esnek AC İletim Sistemlerinde Kullanılan Cihazlar ve TCR,SVC,TSR Yapılı Paralel Kompanzatorlerin Yük Gerilimine Etkisinin Matlab Ortamında İncelenmesi*. İstanbul: Niğde Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi.
- Gelen, A., & Yalçınöz, T. (2009). Tristör Anahtarlamalı Kapasitör (TSC) ve Tristör Anahtarlamalı Reaktör Tabanlı Statik VAR Kompanzatorün PI İle Kontrolü. *Gazi Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(2), pp. 237-244.
- Gökcan, O. (2015). Yüksek Lisans Tezi. *Reaktif Güç Kompanzasyonu Eğitimi İçin Sanal Bir Laboratuvarın Oluşturulması*. Elazığ: Fırat Üniversitesi.

- Gültekin, B. (2003). Yüksek Lisans Tezi. *Sahada Toplanan Verileri Kullanarak Bir Reaktif Güç Kompanzasyonu ve Harmonik Filtre Sisteminin Tasarımı*. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Güntürkün, R. (2003). Doktora Tezi. *İleri Beslemeli ve Elman Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları Kullanarak Harmoniklerin Kompanzasyonu*. Sakarya: Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gyugyi, L. (1988). Power Electronics in Electric Utilities: Static VAR Compensators. IEEE.
- Keçecioğlu, F. (2012). Yüksek Lisans Tezi. *Tristör Kontrollü Reaktif Güç Kompanzasyon Sistemi Denetimi ve Uygulaması*. Kahramanmaraş: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü.
- Kocabaş, E. (2006). Yüksek Lisans Tezi. *Reaktif Güç Kompanzasyonu ve Simülasyonu*. İstanbul, Türkiye: Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kocatepe Celal ve diğ. (2003). *Elektrik Tesislerinde Harmonikler*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Koyuncu, M. (2012). Yüksek Lisans Tezi. *Statik Var Kompanzasyon Sistemlerinin Harmonikler Bakımından İncelenmesi*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kurumu, E. P. (2015). Dağıtım Lisansı Sahibi Tüzel Kişiler ve Görevli Tedarik Şirketlerinin Tarife Uygulamalarına İlişkin Usul ve Esaslar. 5999-3 Sayılı Kurul Kararı.
- Kürker, F., & Taşaltın, R. (2016). Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. *Elektrik Tesislerinde Harmoniklerin Meydana Getirdiği Kayıpların Analizi*, pp. 21-38.
- Mehmet Hakan Hocaoglu ve diğ. (2009, Ocak). Harmonikli Sistemlerde Güç Akışı İçin Yeni Bir Yük Modeli. Kocaeli: 3e Electrotech and Istanbul University-Journal of Electrical.
- Mustafa Şekkelı, S. A. (2006). Yeni Bir Yaklaşımla Reaktif Güç Kontrol Rölesi Dizaynı ve Uygulaması. *KSÜ.Journal of Science and Engineering*, 9(1), 56-60.
- Mutlu, H. (2011). Yüksek Lisans Tezi. *PSP Tabanlı Paralel Aktif Güç Filtresi İle Harmonik ve Reaktif Güç Kompanzasyonu*. Konya: Selçuk Üniversitesi.
- Özsan, A. (2013). Yüksek Lisans Tezi. *Dinamik Reaktif Güç Denetleyicisi Tasarımı*. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Öztürk, O. İ. (1998). *Statik VAR Konpanatörü İle Reaktif Güç Kontrolü ve Kompanzasyonu*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Parlak, D. (2014). Yüksek Lisans Tezi. *12 Darbeli Tristor Kontrollü Reaktör Tabanlı Reaktif Güç Kompanzasyon Sistemlerinin Gerilim Regülasyonu İçin Tasarım, Uygulama, Mühendislik Yönleri*. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sesveren, Ö. (2008). Yüksek Lisans Tezi. *Yapay Sinir Ağları Temelli Reaktif Güç Kompanzasyonu Eğitim Seti Tasarımı*. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Şekkelı, M. (2004). Doktora Tezi. *Reaktif Güç Kontrol Rolesinde Optimal Anahtarlama İçin Yeni Bir Yöntem*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- TREPAŞ. (2019). *Tekirdağ Süleymanpaşa Hükümet Konağı Mayıs ve Aralık Ayına Ait Elektrik Faturaları Raporları*. Tekirdağ.



- Uçar , F. (2012). Yüksek Lisans Tezi. *Paralel Aktif Güç Filtresi Kullanarak Harmonik ve Reaktif Güç Kompanzasyonu Yapılması*. Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Uyar, N. (1991). *Enterkonnekte Elektrik Şebekeelerinde Şönt Kompanzasyon* . İzmir, Türkiye: Kondaş Yayınları.
- Vatansever, M. (2019, Kasım 14). kişisel görüşme.
- Vural, O. (2003). Yüksek Lisans Tezi. *Alçak Gerilim Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu*. Diyarbakır: Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü.
- Yoldaş, Y. (2015). MSc Thesis. *Design and Simulation of Statkom For Power Quality Improvements*. Adana: Cukurova University Institute Of Natural and Applied Sciences.
- Zeynelgil, L., & Demirören, A. (2004). *Elektrik Enerji Sistemlerinin Kararlılığı Kontrolü ve Çalışması*. İstanbul: Birsen Yayınevi.



## **EKLER**

**EK A:** Enerji Piyasası Yönetmeliği

**EK B:** Endüktif Yük Sürücüsüz ve Sürücülü Elektrik Faturaları

## **EK A**

*(31/12/2015 tarihli ve 29579 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.)*

**Enerji Piyasası Düzenleme Kurumundan : 5999-3 sayılı Kurul Kararı**

### **DAĞITIM LİSANSI SAHİBİ TÜZEL KİŞİLER VE GÖREVLİ TEDARİK ŞİRKETLERİNİN TARİFE UYGULAMALARINA İLİŞKİN USUL VE ESASLAR**

#### **BİRİNCİ KISIM**

##### **Ortak Hükümler**

##### **Amaç, Kapsam, Dayanak, Tanımlar ve Uygulanacak Tarifeler**

##### **Amaç,kapsam,dayanak ve tanımlar**

**Madde 1-** (1) Bu Usul ve Esasların amacı, dağıtım lisansı sahibi tüzel kişiler ve görevli tedarik şirketlerinin tarife uygulamalarına ilişkin usul ve esasların belirlenmesidir. Bu Usul ve Esaslar Elektrik Piyasası Kanunu, Elektrik Piyasası Tarifeler Yönetmeliği ve diğer ikincil mevzuata dayanılarak hazırlanmıştır. Bu Usul ve Esaslarda geçmekle birlikte tanımlanmamış diğer kavramlar ilgili mevzuattaki anlam ve kapsama sahiptir.

##### **Uygulanacak tarifeler**

**MADDE 2 –** (1) Bu Usul ve Esaslarda sayılan abone grupları itibarıyla; dağıtım sistemi kullanıcısı tüketiciler ve üreticiler ile görevli tedarik şirketinden düzenlemeye tabi tarifeler üzerinden enerji alan tüketicilere bağlantı durumları da dikkate alınarak ait olduğu yıla ait tarife çizelgelerindeki ilgili bileşenler için kWh, kW, kVarh bazında veya abone, fatura ya da okuma başına Kurul onaylı tarifeler uygulanır.

#### **İKİNCİ BÖLÜM**

##### **Reaktif Enerji Tarifesi**

## **Reaktif enerji tarifesi uygulamanın kapsamı**

**MADDE 13** – (1) Mesken aboneleri, aydınlatma aboneleri, tek fazla beslenen aboneler, bağlantı gücü 9 (dokuz) kW'a (dahil) kadar olan aboneler ile sisteme enerji veren üreticilere veriş yönünde 16'ncı maddenin üçüncü fıkrasında belirtilen durumlarda reaktif enerji tarifesi uygulanmaz.<sup>1</sup>

(2) Yukarıda belirtilenler dışında, tüm dağıtım sistemi kullanıcıları ile sisteme enerji veren üreticilere çekiş yönünde 16 'ncı maddenin dördüncü fıkrasında belirtilen durumlarda aşağıdaki şartlar dâhilinde reaktif enerji tarifesi uygulanır. Ancak kullanıcıya ait kompanzasyon tesisinde arıza sonucu oluşan ihlalin yılda (takvim yılı) bir kez olması halinde reaktif enerji bedeli faturalamada dikkate alınmaz. Reaktif enerji ölçüm sistemleri dağıtım şirketi tarafından tesis edilir. Reaktif enerji ölçüm sistemi tesis edilmemiş kullanıcılara reaktif enerji bedeli uygulanmaz.<sup>2</sup>

(3) Kurulu gücü 50 kVA'nın altında olan müşteriler, çektikleri aktif enerji miktarının yüzde otuzüçünü aşan şekilde endüktif reaktif enerji tüketmeleri veya aktif enerji miktarının yüzde yirmisini aşan şekilde kapasitif reaktif enerji vermeleri halinde; kurulu gücü 50 kVA ve üstünde olanlar ise, çektikleri aktif enerji miktarının yüzde yirmisini aşan şekilde endüktif reaktif enerji tüketmeleri veya aktif enerji miktarının yüzde onbeşini aşan şekilde sisteme kapasitif reaktif enerji vermeleri halinde, reaktif enerji tüketim bedeli ödemekle yükümlüdür.

(4 Endüktif reaktif enerjiye ilişkin oranların aşılması halinde reaktif enerji bedeli alınmaz. Bu sınır aşılsa, çekilen reaktif enerjinin tamamına (endüktif sayaçta ölçülen değer) reaktif enerji tarifesi uygulanır.

(5) Kapasitif reaktif enerjiye ilişkin oranların aşılması halinde reaktif enerji bedeli alınmaz. Bu sınır aşılsa, sisteme verilen reaktif (kapasitif sayaçta ölçülen değer) enerjinin tamamına reaktif enerji tarifesi uygulanır.

(6) Endüktif ve kapasitif reaktif sınırların ikisini birden aşan müşteriye, endüktif reaktif ve kapasitif reaktif sayaçlardan en yüksek değeri kaydeden sayaç değerinin tamamına reaktif enerji tarifesi uygulanır.

---

<sup>1</sup> 28/01/2016 tarihli ve 6087-3 sayılı Kurul Kararıyla değiştirilmiştir.

<sup>2</sup> 28/01/2016 tarihli, 6087-3 sayılı ve 26/12/2016 tarihli, 6808 sayılı Kurul Kararları ile değiştirilmiştir.

## **Endüktif ve kapasitif sayaçların her ikisinin birden değer kaydetmemesi**

**MADDE 14 – (1)** Endüktif ve kapasitif sayaçların her ikisinin birden kullanıcı kusuru sebebiyle değer kaydetmemesi (sıfır değer kaydetmesi) halinde, çekilen aktif enerjinin 0.90 katı (yüzde doksanı) kadar endüktif reaktif enerji miktarı üzerinden reaktif enerji bedeli fatura edilir.

(2) Müşterinin fatura son ödeme tarihine kadar itiraz etmiş olması ve her iki reaktif sayacın sayaç ayar istasyonu tarafından doğru çalıştığıının belgelenmesi koşuluyla, sayaçların doğru çalıştığıının belgelendiği fatura dönemini izleyen ilk fatura döneminde tahakkuk ettirilen reaktif enerji bedeli fatura tutarından mahsup edilir veya müşterinin talebi halinde üç iş günü içerisinde nakden iade edilir (Kurumu, 2015).

## EK B



TRAKYA ELEKTRİK PERAKENDE SATIŞ A.Ş.  
100.Yıl Mh. Barbaros Cd. No:14/1A  
59100 Süleymanpaşa/ TEKİRDAĞ  
Tel: 0282 264 59 59 Fax: 0282 293 32 14  
Web Sitesi: www.trepas.com.tr  
E-Posta: bilgi@trepas.com.tr  
Vergi Dairesi: Namık Kemal  
VKN: 8590574185  
IBAN: TR240006400000143990048549

e-Fatura



e-FATURA

**SAYIN**  
SÜLEYMANPAŞA KAYMAKAMLIĞI HÜKÜMET KONAĞI  
100.YIL Mah.Atatürk Bulvarı, No:122 S.Paşa/Tekirdağ  
TEKİRDAĞ - OG/ TEKİRDAĞ  
E-Posta: irfan.meta@icisleri.gov.tr  
Tel: Fax:  
/ Vergi Dairesi: NAMIK KEMAL V.D.  
VKN: 7850286419

Özelleştirme No:	TR1.2
Senaryo:	TEMELFATURA
Fatura Tipi:	SATIS
Fatura No:	TP42019000060334
Fatura Tarihi:	30-11-2019
Son Ödeme Tarihi:	02-01-2020

ETTN: dc97b005-5f11-4101-b46f-3ba4b4db8096

Sıra No	Mal Hizmet	Miktar	Birim Fiyat	Mahsup/İlave Tutar	Mal Hizmet Tutarı
1	Enerji Tüketim Bedeli Tümü	32.523,75 KWH	0,717103 TRY	0,00 TRY	23.322,88 TRY
2	ENERJİ BEDELİ (ENDUKTİF)	1 KWH	0,000000 TRY	0,00 TRY	0,00 TRY
3	ENERJİ BEDELİ (KAPASİTİF)	1 KWH	0,000000 TRY	0,00 TRY	0,00 TRY

<b>Mal Hizmet Toplam Tutarı</b>	23.322,88 TRY
<b>Hesaplanan BTV</b>	0,00 TRY
<b>Hesaplanan TRT Fonu</b>	350,03 TRY
<b>Hesaplanan Enerji Fonu</b>	175,01 TRY
<b>Toplam Mahsup</b>	0,00 TRY
<b>Toplam İlave</b>	0,06 TRY
<b>Hesaplanan KDV</b>	4.292,62 TRY
<b>KDV Dahil Toplam Tutar</b>	28.140,60 TRY
<b>Ödenecek Tutar</b>	28.140,60 TRY

**Fatura Türü:** Elektrik Tüketim Faturası  
**Hesap Açıklaması:** IBAN NO  
**Ödeme Koşulu:** ISBANKASI TR240006400000143990048549 IBAN NO TR240006400000143990048549  
**Ticari Sicil No:** 8505  
**Tahakkuk Yuvarlama:** 0,00  
**Önceki Yuvarlama:** 0,00

1/2

**B 1: Endüktif yük sürücülü elektrik faturası (ceza yok) (TREPASŞ, 2019).**

Faks : 0 282 293 32 14  
www.trepaş.com.tr  
e-posta: bilgi@trepaş.com.tr  
TRAKYA ELEKTRİK PERAKENDE SATIŞ A.Ş.  
100. Yıl Mah. Barbaros Cad. No: 24/2 B Blok Süleymanpaşa / TEKİRDAĞ  
Namık Kemal Vergi Dairesi / 8590574185  
Tekirdağ Tic. Sic. Müd.: 8505  
Namık Kemal 100. Yıl Mah. 100. Yıl Mah. Süleymanpaşa

SIRA NO: 085384  
T.C. İL KODU 59  
444 88 35 ÇAĞRI MERKEZİ 8505

İMZA İMZA

MÜŞTERİNİN ADI SÜLEYMANPAŞA KAYMAKAMLIĞI HÜKÜMET KONAĞI  
ADRESİ 100. YIL Mah. Atatürk Bulvarı. No:122 S. Paşa/Tekirdağ  
İŞLETME ADI TEKİRDAĞ  
FATURA NO Tahakkuk Makbuz No 127092 | 201906011713211TY | Müşteri Sınıfı: Son Kaynak Tarifeli ST  
MÜŞTERİ GRUBU Dağıtım Sistemi Kullanıcısı: R.KGY ŞNT.VE GEÇİCİ ABONELER: TİCARETHANE  
TARİFE KODU 10680 FATURA TARİHİ 31.05.2019 İŞL. KODU 59.2.0.0.0 SAYAÇ BİLGİSİ SERİ NO. MARKA / TİP  
DOSYA NO 10005,00 FATURA DÖNEMİ 2019/05 AKTİF S. 51222709 LAN  
SIRA NO 460,00 İLK OKUMA TARİHİ 01.05.2019 REAKTİF S. 51222709 LAN  
KUR. GÜÇ.(kVA) 1.250,00 SON OKUMA TARİHİ 31.05.2019 KAPASİTİF S. 51222709 LAN  
A. TRF. ORANI - SONRAKI OK. DÖNEMİ - DEMAND S. -  
G. TRF. ORANI - GÜN. ORT. TÜK. (kWh) 1.075,515

PERAKENDE SATIŞ BEDELİ								
AKTİF	SON ENDEKS	İLK ENDEKS	ÇARPAN	TÜK. (kWh)	İLAVE TÜKETİM	BİRİM FİYAT	TOPLAM	
ÇOK ZAMANLI								
GÜNDÜZ	244,121	231,846	1575,000	0,000	0,00	0,000000	0,00	
PUAN	51,196	47,923	1575,000	0,000	0,00	0,000000	0,00	
GECE	75,213	70,275	1575,000	0,000	0,00	0,000000	0,00	
TEK ZAMANLI								
AKTİF	370,530	350,044	1575,000	32.265,450	0,00	0,396676	12.798,93	
TÜK. TOPLAMI				32.265,450	0,000			
							1131948	
TRAFO KAYBI (Fe/Cu)				Akt. TK 0,000kWh Rea. TK 0,000kV.			0,00	
KAÇAK TAHAKKUK BEDELİ							-	
K/K BEDELİ							-	
PERAKENDE SATIŞ HİZMET BEDELİ							0,000000	
PERAKENDE SATIŞ HİZMET BEDELİ (SAYAÇ OKUMA)							0,000000	
İLETİM BEDELİ							0,000000	
							0,00	
DAĞITIM SİSTEM KULLANIM BEDELİ								
DAĞITIM BEDELİ						0,146879	4.739,12	
GÜÇ	kw	MAX.DEMANT	ÇARPAN	TÜK. (kW)				
SÖZ GÜCÜ	-	0,000	0	0,000		0,000000	0,00	
FİLLİ GÜÇ	-	0,000	0	0,000		0,000000	0,00	
GÜÇ ÖZGÜMÜ	-	0,000	0	0,000		0,000000	0,00	
REAKTİF	SON ENDEKS	İLK ENDEKS	ÇARPAN	TÜK. (kVarh)	İLAVE TÜKETİM			
ENDÜKTİF	67,178	60,518	1575,000	10.489,500	0,00	0,246597	2.586,68	
KAPASİTİF	86,102	86,093	1575,000	14,175	0,00	0,000000	0,00	
EMREAMADE KAPASİTE BEDELİ								
EMREAMADE KAPASİTE BEDELİ				kw	-			
Tahakkuk Yuvarlama: 0,06, önceki Yuvarlama: 0,02				Danga Vergi:			0	
ÖDEME YERLERİ: TREPAŞ VEZNELERİ, PTT, ANLAŞMALI BANKALAR							TOPLAM	20.124,77
E-fatura mükellefiyseniz lütfen en yakın Müşteri Hizmetleri Merkezimize başvurunuz.							ENERJİ FONU	127,99
..							TRT PAYI	255,98
Faturalarınızı www.epdk.gov.tr adresinden kontrol edebilirsiniz							ELEKTRİK TÜKETİM VERGİSİ	0,00
SON ÖDEME TARİHİ 10.06.2019							MUHTELİF İLAVE / GEÇİKME ZAMMI / vb.	0,00
Yıpranmış Birlik Yüz TL. Utuz Kr. TL.							SAYAÇ SÖKME/TAKMA BEDELİ	0,00
ESKİ BORÇ (GEÇİKME ZAM. HARİÇ) 216.589,08							KESME-BAĞLAMA / USULSÜZ KULLANIM BEDELİ	0,00
							SAYAÇ AYAR-BAKIM BEDELİ	0,00
							KATMA DEĞER VERGİSİ	3.691,56
							FATURA TUTARI	24.200,30
							MUHTELİF TENZİL	0,00
							ÖDENECEK TUTAR (TL)	24.200,30

B 2: Endüktif yük sürücüsüz elektrik faturası (endüktif cezada) (TREPAŞ, 2019).



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad** : Hüseyin ATMACA  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Tekirdağ 1988  
**E-Posta** : hseyinatmaca@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik, EEM
- **Yükseklisans** : 2020, Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri, EEM

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Tekirdağ Valiliği Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlığı-Yapı Denetim
- Türk Eğitim Vakfı 2013 Yılı Bahar Dönemi Yüksek Onur Ödülü (3.77/4.00)