

**STATİK VAR KONTROL SİSTEMİNİN ANALİZİ
SİMÜLASYONU VE ENDÜSTRİYEL
UYGULAMASI**

**2018
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

Samet KOYUNCU

**STATİK VAR KONTROL SİSTEMİNİN ANALİZİ SİMÜLASYONU VE
ENDÜSTRİYEL UYGULAMASI**

Samet KOYUNCU

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünde
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Aralık 2018**

Samet KOYUNCU tarafından hazırlanan “STATİK VAR KONTROL SİSTEMİNİN ANALİZİ SİMÜLASYONU VE ENDÜSTRİYEL UYGULAMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Selim ÖNCÜ

Tez Danışmanı, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 03/12/2018

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Ersagun Kürşat YAYLACI (KBÜ)



Üye : Doç. Dr. Selim ÖNCÜ (KBÜ)



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Adem DALCALI (BÜ)



...../...../2018

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.





“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Samet KOYUNCU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

STATİK VAR KONTROL SİSTEMİNİN ANALİZİ SİMÜLASYONU VE ENDÜSTRİYEL UYGULAMASI

Samet KOYUNCU

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Selim ÖNCÜ

Aralık 2018, 76 sayfa

Endüstride bulunan kompanzasyon sistemlerdeki en büyük beklenti, yük değişimlerinin hızlı ve sürekli olduğu tesislerde güç katsayısına karşı cevabın çok hızlı ve doğru yapılabilmesidir. Bu beklentiye karşılayabilmek için klasik kompanzasyon sistemlerinin yerine, tristör kontrollü statik VAR kontrol kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında statik VAR kontrol (SVC) sistemlerinin analiz, simülasyon ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Devre tasarımı SVC sistemlerinden biri olan sabit kondansatörlü tristör kontrollü reaktör (FC-TCR) tercih edilmiştir. Belirli sürelerde devreye alınan doğrusal olmayan yükler için hem teorik hem de uygulamada elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Devrenin analizi MATLAB M-File’da yazılan programda yapılmıştır. Aktif ve reaktif güçler, Fourier analizi ile hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar MATLAB Simulink’te oluşturulan simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Uygulamada, statik VAR kontrol için üretilen SVC röle kullanılmıştır. Şönt reaktörün kontrolü için endüktif yük sürücüsü kullanılmıştır. Çalışmaların tüm evresinde tek fazlı gücü 1000 VAR olan reaktör, ölçümleri yapılan faza ait 350 VAR gücünde sabit bir kondansatör kullanılmıştır. Sistemin güç katsayısı 0,37’den SVC ile 0,999’a çıkarılmıştır.

Sonuç olarak farklı yüklerde yapılan deneyler için analiz, simulasyon ve uygulama sonuçlarının birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Reaktif güç kompanzasyonu, SVC, FC-TCR, SVC röle.

Bilim Kodu : 905.1.150

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

ANALYSIS SIMULATION AND INDUSTRIAL APPLICATION OF STATIC VAR CONTROL SYSTEM

Samet KOYUNCU

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical-Electronics Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Selim ÖNCÜ

December 2018, 76 pages

The biggest expectation in the industrial compensation systems is that the load response can be made very fast and accurate in response to the power coefficient at fast and continuous installations. In order to provide this expectation, instead of conventional compensation systems, a thyristor-controlled static VAR control called SVC has begun to be used.

In this thesis, analysis, simulation and application of static VAR control (SVC) systems have been realized. In circuit design, a thyristor-controlled reactor (FC-TCR) one of the SVC systems, is preferred. Both theoretical and experimental results are compared for nonlinear loads loaded on certain times.

Analysis of the circuit is done with MATLAB M-File program. Active and reactive powers are calculated by Fourier analysis. Obtained results are compared with

MATLAB Simulink simulation results.

SVC Relay produced for static VAR control is used in the application. An inductive load driver is used to control the shunt reactor. The reactor with single phase power of 1000 VAR in all stage of the operation, a constant capacitor is used in 350 VAR power of the phases where measurements are made. The power factor of the system was increased from 0,37 to 0,999 with SVC.

As a result, for different load conditions analysis, simulation and experimental results are good agreement with each other.

Key Word : Reactive power compensation, SVC, FC-TCR, SVC relay.

Science Code : 905.1.150

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Selim ÖNCÜ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili eşim Gamze'ye, aileme ve ailesine, kızım Asel'in dünyaya gelmesiyle yaşadığım tarifsiz mutlulukla birlikte tüm kalbimle teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında görüş alışverişinde bulunduğum mesai arkadaşım Öğr. Gör. Gökhan BAHADIR'a ve teknik desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen GRUP ARGE firmasına teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
GÜÇ KATSAYISININ DÜZELTİLMESİ	4
2.1. AKTİF, REAKTİF VE GÖRÜNÜR GÜÇ ARASINDAKİ İLİŞKİ	5
2.2. KOMPANZASYON GÜCÜ HESABI VE ŞEBEKE UYGULAMALARI.....	6
2.2.1. Reaktif Güç Kompanzasyon Metodları	9
2.2.1.1. Bireysel (Tekli) Kompanzasyon	10
2.2.1.2. Grup (Toplu) Kompanzasyon	10
2.2.1.3. Merkezi (Ortak) Kompanzasyon.....	11
2.3. REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONUN FAYDALARI	12
2.3.1. Üretici Yönünden Faydaları	12
2.3.2. Tüketici Yönünden Faydaları	13
BÖLÜM 3	14
ESNEK ALTERNATİF AKIM İLETİM SİSTEMİ	14
3.1. STATİK VAR KONTROL SİSTEMİ.....	15
3.1.1. Tristör Kontrollü Reaktör	17

Sayfa

3.1.1.1. Sabit Kondansatörlü Tristör Kontrollü Reaktör.....	22
3.2. DİĞER STATİK VAR KONTROL SİSTEMİ UYGULAMALARI.....	25
3.3. FACTS UYGULAMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	29
3.3.1. SVC ile STATCOM Uygulamalarının Karşılaştırılması.....	30
 BÖLÜM 4	 31
FC-TCR SİSTEMİ ANALİZİ VE SİMÜLASYONU	31
4.1. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI	32
4.1.1. Şebeke Gerilimi ve Tristör Palsleri.....	34
4.1.2. Tetikleme Açı Değeri (α) 0° ile 90° Arasında Olduğu Durumlar	35
4.2. ANALİZ ÇALIŞMALARI.....	36
4.3. SİMÜLASYON VE ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	38
4.3.1. Kompanzasyon Öncesi Durum	38
4.3.1.1. Sistemdeki Reaktif Güçlerin Değişimi	38
4.3.1.2. Endüktif Yükler Devrede İken Şebeke Gerilimi ve Yük Akımı.....	39
4.3.2. Kompanzasyon Yapıldıktan Sonraki Durum.....	40
4.3.2.1. Tristör Tetikleme Açısı	40
4.3.2.2. Şebeke Gerilimi ve Tristör Kontrollü Reaktör Akımı	41
4.3.2.3. Tristör Kontrollü Reaktör Gerilimi ve Akımı	43
4.3.2.4. Şebeke Gerilimi, Reaktör Gerilimi ve Tristör Gerilimi	44
4.3.2.5. Kompanzasyon Sonrası Kaynaktan Çekilen Reaktif Güç	45
4.3.2.6. Kompanzasyon Sonrası Şebekenin Güç Katsayısı	46
4.3.2.7. Kompanzasyon Sonrası Şebeke Gerilimi ve Akımı.....	48
 BÖLÜM 5	 50
UYGULAMA DEVRESİ VE UYGULAMA SONUÇLARI	50
5.1. UYGULAMA DEVRESİNDE KULLANILAN DEVRE ELEMANLARI ..	50
5.1.1. SVC Röle	50
5.1.2. Endüktif Yük Sürücüsü.....	51
5.1.3. Şönt Reaktör	52
5.1.4. Kompanzasyon Kondansatörleri.....	52
5.1.5. Akım Trafosu.....	53

	<u>Sayfa</u>
5.1.6. Yük Direnci	54
5.2. FARKLI YÜKLENMELERDE SİSTEM KARAKTERİSTİKLERİ	54
5.2.1. Kompanzasyon Öncesi Farklı Yük Gruplarındaki Şebeke Gerilimi ve Şebeke Akımı	54
5.3. AYNI YÜK DEĞERLERİ KULLANILARAK OLUŞTURULAN SİMÜLASYON, ANALİZ VE UYGULAMA SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	56
 BÖLÜM 6	 62
SONUÇLAR	62
KAYNAKLAR	64
 EK AÇIKLAMALAR A.	 69
MATLAB M-FİLE KODLARI (ANA PROGRAM)	69
EK AÇIKLAMALAR B.	72
ANALİZ ÇALIŞMASINDA YÜKE AİT GÜÇ DEĞERLERİNİ BULMAK İÇİN KULLANILAN DEVRE	72
EK AÇIKLAMALAR C.	74
MATLAB M-FİLE KODLARI (TRİSTÖR TETİKLEME AÇISI BULMA KODLARI)	74
 ÖZGEÇMİŞ	 76

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Şebeke gerilimi ve akımı.....	5
Şekil 2.2. Güç üçgeni.	6
Şekil 2.3. Kompanzasyon öncesi ve sonrası gerilim-akım vektör diyagramı.	7
Şekil 2.4. Kompanzasyon öncesi ve sonrası güç vektör diyagramı.	7
Şekil 2.5. Bireysel (tekli) kompanzasyon için örnek sistem.	10
Şekil 2.6. Grup (toplu) kompanzasyon için örnek sistem.	11
Şekil 2.7. Merkezi kompanzasyon için örnek sistem.	12
Şekil 3.1. FACTS bölümleri.....	14
Şekil 3.2. TCR devre şeması.	16
Şekil 3.3. TSC devre şeması.....	16
Şekil 3.4. Tetikleme açısına bağlı olarak TCR'ye ait süseptans değişimi (p.u.).....	20
Şekil 3.5. Farklı tetikleme açısı değerlerine göre TCR'ye ait akım karakteristikleri.	21
Şekil 3.6. FC-TCR devre şeması.	22
Şekil 3.7. Gerilim-akım grafikleri.	23
Şekil 3.8. Sürekli halde kompanzatorün gerilim-reaktif güç ilişkisi.....	24
Şekil 3.9. $\alpha=100^\circ$ için reaktör gerilimi, tristör gerilimi ve reaktör akımı.	24
Şekil 3.10. $\alpha=150^\circ$ için reaktör gerilimi, tristör gerilimi ve reaktör akımı.	25
Şekil 3.11. TSR devre şeması.	26
Şekil 3.12. TCT devre şeması.	27
Şekil 3.13. SSSC devre şeması.	27
Şekil 3.14. TCSC devre şeması.....	28
Şekil 3.15. TCPST devre şeması.....	28
Şekil 3.16. UPFC devre şeması.....	29
Şekil 3.17. STATCOM devre şeması.....	29
Şekil 3.18. Gerilim-akım karakteristikleri.	30
Şekil 4.1. Tasarlanan sistemin devre şeması.	31
Şekil 4.2. Kompanzasyon öncesi yüklere ait güç katsayısı.	32
Şekil 4.3. FC-TCR için simülasyon devre şeması.....	33
Şekil 4.4. Şebeke gerilimi, sıfır geçiş anı ve tristörlere ait pals grafikleri.	34

Şekil 4.5. $\alpha=30^\circ$ için reaktör gerilimi, tristör gerilimi ve reaktör akımı.	35
Şekil 4.6. $\alpha=60^\circ$ için reaktör gerilimi, tristör gerilimi ve reaktör akımı.	35
Şekil 4.7. $\alpha=90^\circ$ için reaktör gerilimi, tristör gerilimi ve reaktör akımı.	36
Şekil 4.8. Analiz akış şeması.	37
Şekil 4.9. Sistemdeki reaktif güçlerin değişimi.	38
Şekil 4.10. Kompanzasyon öncesi endüktif yük için şebeke gerilimi ve akımı.	39
Şekil 4.11. Tristörler için tetikleme açıları (α).	41
Şekil 4.12. Şebeke gerilimi ve tristör kontrollü reaktör akımı.	42
Şekil 4.13. Tristör kontrollü reaktör gerilimi ve akımı.	43
Şekil 4.14. Şebeke gerilimi, reaktör gerilimi ve tristör gerilimi.	45
Şekil 4.15. Kompanzasyon sonrası kaynaktan çekilen reaktif güç.	46
Şekil 4.16. Kompanzasyon sonrası şebekeye ait güç katsayısı.	47
Şekil 4.17. Kompanzasyon sonrası kaynak gerilimi ve akımı.	48
Şekil 5.1. SVC sistem uygulama devresi.	50
Şekil 5.2. Smart SVC Röle.	51
Şekil 5.3. Endüktif yük sürücüsü.	51
Şekil 5.4. Şönt reaktör.	52
Şekil 5.5. Kompanzasyon kondansatörü.	53
Şekil 5.6. Akım trafosu.	53
Şekil 5.7. Değişken direnç.	54
Şekil 5.8. Kompanzasyon öncesi omik yük için şebeke gerilimi ve akımı.	54
Şekil 5.9. Kompanzasyon öncesi endüktif yük için şebeke gerilimi ve akımı.	55
Şekil 5.10. Simülasyon, analiz ve uygulama için kullanılan yük değerleri.	56
Şekil 5.11. Şebeke gerilimi ve tristörlere ait pals grafikleri.	57
Şekil 5.12. Tristör kontrollü reaktör gerilimi.	58
Şekil 5.13. Tristör kontrollü reaktör akımı.	59
Şekil 5.14. Kaynak akımı.	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. TSR ve TCR nin performans karşılaştırılması.....	26
Çizelge 5.1. Simülasyon, analiz ve uygulama sonuçları.....	61



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

R	: Direnç (Ω)
L	: Bobin (H)
C	: Kondansatör (F)
X_L	: Endüktif reaktans (Ω)
X_C	: Kapasitif reaktans (Ω)
P	: Aktif güç (W)
Q	: Reaktif güç (VAR)
S	: Görünür güç (VA)
T_1	: Birinci tristör
T_2	: İkinci tristör
α	: Tetikleme açısı
σ	: İletim açısı
$^\circ$	: Derece
ω	: Açısal hız
f	: Frekans
B	: Süseptans
Δ	: Değişim
φ	: Faz farkı
I	: Alternatif akım (A)
I_e	: Alternatif akımın aktif bileşeni (A)
I_r	: Alternatif akımın reaktif bileşeni (A)
I_L	: Reaktör akımı (A)
I_{dc}	: Doğru akım (A)
V	: Kaynak gerilimi (V)
V_c	: Kondansatör gerilimi (V)
V_L	: Reaktör gerilimi (V)

V_T : Tristör çifti gerilimi(V)
 V_{DC} : DC kondansatör gerilimi (V)
 V_{eff} : Efektif gerilim (V)
 V_{max} : Maksimum gerilim (V)
 V_0 : STATCOM çıkış gerilimi (V)
 VD : Gerilim düşümü (V)
 t : Zaman (s)

KISALTMALAR

AA : Alternatif Akım
ASVC : Advanced Static VAR Control (Gelişmiş Statik VAR Kontrol)
CIGRE : Conference Internationale des Grands Reseaux Electriques (Büyük Elektrik Sistemleri Uluslararası Kurulu)
DC : Direct Current (Doğru Akım)
FACTS : Flexible Alternative Current Transmission Systems (Esnek Alternatif Akım İletim Sistemi)
FC : Fixed Capacitor (Sabit Kondansatör)
FC-TCR : Fixed Capacitor-Thyristor Controlled Reactor (Sabit Kondansatörlü Tristör Kontrollü Reaktör)
GTO : Gate turn-off Thyristor (Kapı Tetiklemeli Tristör)
HVDC : High Voltage Direct Current (Yüksek Gerilim Doğru Akım)
IEC : International Electrotechnical Commission (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu)
IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
SSSC : Static Sencron Series Compansator (Statik Senkron Seri Kompanzator)
STATCOM : Static Compensator (Statik Kompanzator)
SVC : Static VAR Control (Statik VAR Kontrol)
TCPAR : Thyristor Controlled Phase Angle Regulator (Tristör Kontrollü Faz Açık Regülatörü)
TCPST : Thyristor Control Phase Shifting Transformer (Tristör Kontrollü Faz Kaydırmalı Transformatör)

TCR	: Thyristor Controlled Reactor (Tristör Kontrollü Reaktör)
TCSC	: Thyristor Controlled Series Capacitor (Tristör Kontrollü Seri Kapasitör)
TCT	: Thyristor Controlled Transformer (Tristör Kontrollü Transformatör)
TSC	: Thyristor Switched Capacitor (Tristör Anahtarlamaalı Kapasitör)
TSR	: Thyristor Switched Reactor (Tristör Anahtarlamaalı Reaktör)
UPFC	: Unified Power Flow Controller (Birleştirilmiş Güç Akış Kontrolörü)
VAR	: Volt Amper Reaktif
VSC	: Voltage Source Converter (Gerilim Kaynaklı Dönüştürücü)



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Endüstriyel tesisler geliştikçe ve daha karmaşık hale geldikçe elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtımının aynı şekilde talebe hızlı ve kararlı bir şekilde cevap vermesi gerekmektedir. Alternatif akım (AA) şebekelerini, gerilim düşümünü ve kayıplarını en aza indirgeyerek kullanabilmek için reaktif güç kompanzasyonu yapılmalıdır.

Büyük güçte olan ve çok hızlı devreye girip çıkan yüklerin güç katsayısı iyileştirilmesi, geleneksel kompanzasyon sistemleri ile gerçekleştirilmesi mümkün değildir. Sebebi geleneksel kompanzasyon yönteminin yükün ani değişimine karşın ihtiyaç duyulan reaktif gücü hemen verememesidir [1].

Güç elektroniği devre elemanları, anahtarlama hızlarının yüksek olmasından dolayı pek çok yerde kullanılmaktadır. Bu kullanım alanlarından bir tanesi de kompanzasyon sistemleri olmuştur. AA şebekelerinde iletilebilir güç kapasitesini ve kontrolünü verimli bir şekilde yapabilmek için güç elektroniği devre elemanlarının kullanılması esnek alternatif akım iletim sistemini (FACTS, Flexible Alternative Current Transmission Systems) ortaya çıkarmıştır [2]. Genel bir tabirle FACTS'ler; şebekedeki yüksek gerilim ile güç elektroniği devre elemanlarını ve uygulanan yöntemlerini optimize eden elektronik denetleyicili sistemlerdir. Bu sistemlerin uygulama ayağında gerekli standartlar oluşabilmesi ve dikkat edilmesi gereken hususların belirlenebilmesi için 1980'lerde büyük elektrik sistemleri uluslararası kurulu (CIGRE, Conference Internationale des Grands Reseaux Electriques) başta olmak üzere birçok kuruluş çalışmalarını gerçekleştirmektedir [3,4]. Güç elektroniği tabanlı kontrolör isimlendirilmelerinde, "tristörlü kontrolör" veya daha yaygın kullanılan "Statik VAR Kontrol (SVC)" kullanılmaktadır. Tristör tabanlı FACTS uygulamalarından Tristör kontrollü statik VAR kontrol (TCSVC), ilk gerçekleştirilen FACTS uygulamasıdır [5]. Reaktif güç çeken en önemli aygıtlardan bir tanesi ark

fırınlarıdır. 1970'lerin başında ark fırınlarının kompanzasyonu için tasarlanan TCSVC, teknoloji geliştikçe enerji iletim ve dağıtım şebekeleri için kullanılmıştır [6].

SVC sistemlerinin şebeke içerisinde belirlenen optimum noktalara kurulması güç kaybını azaltabilir ve düzgün bir gerilim profilini korur. Bu nedenle SVC'nin sistem operatörleri adına mevcut ağı kullanımlarını iyileştirmek için kullanımına büyük ilgi vardır [7]. SVC kullanılan sistemlerinin hedefi, şebeke ihtiyacına göre uyarlanmış endüktif veya kapasitif reaktif gücü mümkün olduğunca hızlı bir şekilde şebekeye aktarabilmektir. Buna ek olarak, güç iletim sisteminin iletim kalitesini ve verimliliğini arttırmak için de kullanılırlar [8].

SVC sistemlerinin kullanımı, son zamanlarda özellikle elektrik gücünün iletim ve dağıtımında önemli ölçüde artmıştır. Bu sistem, reaktif güç akışının esnek kontrolünü sağlar ve geleneksel sistem geliştirmelerinden daha düşük bir maliyetle daha fazla güç aktarmaya izin verir. Daha ucuz bir çözüm olmasının yanı sıra, SVC eşit miktarda gerilim kararlılığı sağlayan diğer yöntemlere göre daha kolay kurulabilir [9,10]. Nispeten düşük maliyet ve rahat kurulumu sayesinde reaktif güç tüketiminin yüksek olduğu, dağıtım sisteminin nominal gerilim sağlama alanının zayıf olduğu endüstriyel yapılarda kullanımı gittikçe artmaktadır.

Literatüre bakıldığında, SVC sistemlerinin simülasyonu ile ilgili genellikle MATLAB Simulink kullanıldığı gözlemlenmiştir. Uygulamada, PIC16F877 denetleyici [11–13], PIC16C71 denetleyici [14], Dspace gömülü kontrol ünitesi [15,16], TDA4863 entegresi [17] gibi pek çok denetleyici birimi kullanılmıştır. Enerji kalitesini izlemek, kontrol edilebilirliği arttırabilmek son derece önemlidir. Yapılan bir diğer çalışmada ise PIC denetleyicisi kullanılarak Visual Studio C# programı sayesinde gerçekleştirilen enerji kalitesinin izlenmesi ve değerlerinin kontrol edilmesi gerçekleştirilmiştir [18]. Ayrıca elektrik şebekelerindeki gerilim kararlılığına etkisi [19], elektrik dağıtım hattının SVC uygulaması olarak gerilim kalitesinin [20] ve harmonikler bakımından incelenmesi gibi çalışmalar gerçekleştirilmiştir [21].

Taranan makalelerden farklı olarak bu tez çalışmasında SVC sistemlerinden olan sabit kondansatörlü tristör kontrollü reaktörün hem MATLAB Simulink programı ile

simülasyonu hem de MATLAB M-File ile analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz hesaplamalarında aktif, reaktif ve görünür güç değerleri hesaplanmıştır. Güç değerleri bulunurken Fourier analizi kullanılmıştır.

SVC sisteminin uygulanmasında 12 kademeli SVC Röle, endüktif yük sürücüsü, tristörlerle kontrol edilebilen tek fazlı 1000 VAR gücünde şönt reaktörler ve üç fazlı 1000 VAR gücünde kondansatör kullanılmıştır. Farklı yüklenmelerde sistemi deneyebilmek için ikinci ve üçüncü kademelerine 1500 VAR ve 2500 VAR güçlerinde kondansatörler kullanılmıştır. Böylece endüstride kullanılan sistemler, simulasyon ve analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Tezin ikinci bölümünde reaktif güç kompanzasyonu ve temel kavramlar hakkında bilgiler verilmektedir.

Üçüncü bölümde esnek alternatif akım iletim sistemleri çeşitleri hakkında bilgiler verilmektedir.

Dördüncü bölümde tasarlanan devrenin Matlab Simulink programı ile simülasyonu ve Matlab M-File programı ile analiz çalışmaları sunulmuştur.

Beşinci bölümde endüstride kullanılan SVC sistemleri tanıtılıp, yapılan uygulamanın sonuçları sunulmuştur. Ayrıca analiz, simülasyon ve uygulama sonuçları karşılaştırılmıştır.

Altıncı bölümde elde edilen bulgularla ilgili sonuç ve öneriler sunulmuştur.

BÖLÜM 2

GÜÇ KATSAYISININ DÜZELTİLMESİ

Elektrik enerjisi AA olarak üretilir, iletilir ve son kullanıcıya ulaştırılmak için dağıtılır. AA devreleri aktif güç (W), reaktif güç (VAR) ve görünür güç (VA) olmak üzere üç farklı güç içerir [22].

Akım ve gerilim arasında omik yüklerde faz farkı oluşmaz. Endüktif veya kapasitif yüklerin oluşturduğu etki sonucunda akım ve gerilim arasında faz farkı oluşur. Akım ve gerilim arasındaki faz farkını olabildiğince azaltma işlemine reaktif güç kompanzasyonu denir [23].

Reaktif güç kompanzasyonu güç sisteminin iletim kayıplarını indirmek, iletim kabiliyetlerini artırmak, sistemi daha kararlı hale getirmek ve kaynak geriliminin sürekliliğini sağlamak amacıyla yapılmaktadır [24]. Güç katsayısının düzeltilmesi için pek çok yöntem uygulanmaktadır [23,25–29]. Bu yöntemler;

- Endüktif reaktif bir yüke kondansatör kullanarak kapasitif reaktif güç üretmek veya kapasitif reaktif bir yüke reaktör kullanarak endüktif güç üretmek (klasik kompanzasyon),
- Senkron makineleri fazlaca uyararak elektrik şebekesine kapasitif güç vermek,
- Statik VAR kontrol yöntemlerini kullanmak,
- Aktif güç katsayısı düzeltme yöntemleri kullanmak, (Darbe genişlik modülasyonu (PWM) ile güç katsayısı düzeltme tekniği, rezonans yöntemi, yumuşak anahtarlama güç katsayısı düzeltme tekniği vb.)
- Buck, boost ve flyback dönüştürücülü sistemler kullanmak,
- Pasif güç katsayısı düzeltme yöntemleri kullanmak,
- Tepe akım kontrol metodunu kullanmak,

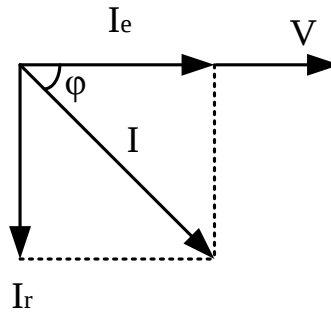
- Ortalama akım kontrol metodunu kullanmak,
- Histerizis kontrol metodunu kullanmak.

Güç katsayısının hassas olarak düzeltilebilmesi, uzun ömürlü olmaları, kurulum ve bakım kolaylığı, işletme güvenliğinin yüksek olması, güç kayıplarının az olması, uygun maliyetli olması gibi pek çok nedenden dolayı kondansatörler kullanılır. Sisteme paralel kondansatör eklenerek kapasitif reaktif güç arttırılabilir.

Kaynak gerilimi ile kaynak akımı arasındaki faz farkının kosinüsü ($\cos\varphi$); güç faktörü veya güç katsayısı olarak adlandırılır. Aralarındaki faz farkı arttıkça güç katsayısı azalır. Güç katsayısı 0 ile 1 arasında değişen bir değere sahiptir. Saf reaktif yüklerde $\varphi=90^\circ$, $\cos\varphi=0$ değerini, saf rezistif yüklerde $\varphi=0^\circ$, $\cos\varphi=1$ değerini alır. $\cos\varphi$ değerinin 1'e yaklaşması o devrenin rezistif karakterinin arttığını, 0'a yaklaşması ise o devrenin reaktif karakterinin arttığını gösterir [22].

2.1. AKTİF, REAKTİF VE GÖRÜNÜR GÜÇ ARASINDAKİ İLİŞKİ

Şekil 2.1'deki vektör diyagramında, şebeke gerilimi ile akımı verilmiştir.



Şekil 2.1. Şebeke gerilimi ve akımı.

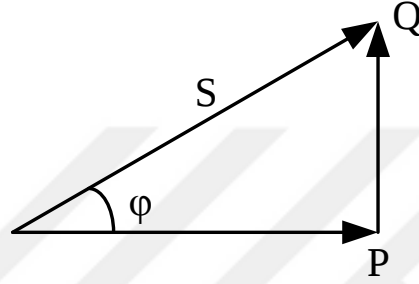
Akımın bileşenleri formülünde Eşitlik 2.1 akımın reel değerini, Eşitlik 2.2 akımın sanal (imajiner) değerini, Eşitlik 2.3 ise yük akımının değerini vermektedir.

$$I_e = I \cos \varphi \quad (2.1)$$

$$I_r = I \sin \varphi \quad (2.2)$$

$$I = \sqrt{I_e^2 + I_r^2} \quad (2.3)$$

Şekil 2.2’de güç üçgeni verilmiştir. Güç üçgeni temel alınarak Eşitlik 2.4, Eşitlik 2.5, ve Eşitlik 2.6’da aktif, reaktif ve görünür güce ait formüller verilmiştir.



Şekil 2.2. Güç üçgeni.

$$P = S \cdot \cos \varphi \quad (2.4)$$

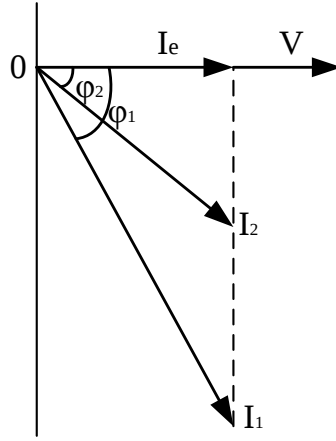
$$Q = S \cdot \sin \varphi \quad (2.5)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.6)$$

Eşitlikler bir faz içindir. Tam kapasitif reaktif akım, gerilimden 90° ileride, tam endüktif reaktif akım gerilimden 90° geridedir.

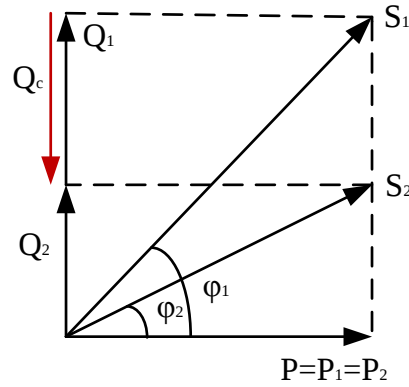
2.2. KOMPANZASYON GÜCÜ HESABI VE ŞEBEKE UYGULAMALARI

Tam endüktif reaktif güç ile tam kapasitif reaktif güç birbirine zıt etki eder. Aralarında 180°lik faz farkı vardır. Şekil 2.3’te kompanzasyon yapılmış bir sistemin gerilim-akım vektör diyagramı gösterilmektedir. Kompanzasyon öncesi akım I_1 , kompanzasyon sonrası akım olan I_2 ’ye dönüşecektir.



Şekil 2.3. Kompanzasyon öncesi ve sonrası gerilim-akım vektör diyagramı.

Kompanzasyon öncesi reaktif yük Q_1 , kompanzasyon sonrası reaktif yük Q_2 'ye dönüşecektir. Kompanzasyon sonunda Q_1 endüktif gücüne zıt yönde etki eden Q_c kapasitif güç Q_1 gücünü düşürerek Q_2 yapmakta ve faz açısını ϕ_1 'den ϕ_2 'ye küçültürerek güç katsayısını iyileştirmektedir. Kompanzasyon sadece reaktif gücü en aza indirmek olduğu için kompanzasyon öncesi aktif güç, kompanzasyon sonrası aktif güce eşit olur. Şekil 2.4'te güç vektör diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.4. Kompanzasyon öncesi ve sonrası güç vektör diyagramı.

Vektör diyagramından da anlaşılacağı üzere kondansatör bağlanmadan önce görünür güç S_1 değeri daha büyük, $\cos\phi_1$ değeri daha küçüktür. Kompanzasyon yapıldıktan sonra $\cos\phi_2$ değeri büyüyerek görünür güç S_2 küçülmüştür. Bunun sonucunda şebekeden daha az akım ve güç çekilmektedir.

Kompanzasyon öncesi ve sonrasına ait açı ve güç değerleri arasındaki ilişki Eşitlik 2.7’de verilmiştir.

$$\tan \varphi_2 = \frac{Q_2}{P} = \frac{Q_1 - Q_c}{P} = \frac{Q_1}{P} - \frac{Q_c}{P} = \tan \varphi_1 - \frac{Q_c}{P} \quad (2.7)$$

Eşitlik 2.7 kullanılarak kompanzasyon için gerekli olan kondansatör gücü (Q_c), Eşitlik 2.8 ile elde edilir.

$$Q_c = P(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (2.8)$$

Endüktif reaktif güç çeken bir sistemin güç katsayısını düzenleyebilmek için şebekeye kapasitif yük eklenir. Yani devreye hesaplanan güç kadar kondansatör eklenir.

Reaktif güç kompanzasyonu paralel ve seri kompanzasyon olmak üzere 2 çeşittir [23,30–32].

Reaktif güç talebinin arttığı sistemlerde, gerilim kontrolü, gecikmeli bir yüke paralel bağlanmasıyla yapılabilir. Kondansatör grupları, yüke ait reaktif gücün bir kısmını veya tamamını sağlar. Böylece yük için gerekli olan kaynak akımının büyüklüğünü azaltır. Sonuç olarak, kaynak ile yük arasındaki gerilim düşümü azalır ve güç faktörü iyileşir. Yük talebine bağlı olarak kapasitörler sisteme kalıcı olarak bağlanabildikleri gibi manuel ya da otomatik olarak açık kapalı duruma getirilerek değiştirilebilirler [31,32].

Genel maliyetin düşük olması, kurulum aşamalarının kolay olması, verimlerinin yüksek olması, daha az bakım gerekliliği ve uzun ömürlü olmasından dolayı, paralel kompanzasyon sistemi tercih edilen bir yöntemdir [23].

Seri kompanzasyonda ise, AA güç sistemi, direnç değerine göre yüksek bir endüktif reaktans değerine sahip olduğunda, bu reaktans, küçük gerilim düşümüne neden olan seri kapasitörler eklenerek azaltılabilir [33].

Reaktansı X_C olan bir kapasitans devreye seri bağlandığında devrenin reaktansı $X_L - X_C$ 'ye indirilir ve bunun sonucunda gerilim düşümü azalır. Ayrıca hat tarafından çekilen reaktif güç de azalır.

Seri kompanzasyon için gerilim düşümü (VD), Eşitlik 2.9'da verildiği gibi bulunabilir.

$$VD = I.(R \cos \varphi + (X_L - X_C) \sin \varphi) \quad (2.9)$$

Seri kompanzasyonda kapasitörler tam olarak yalıtılmış bir platform üzerine, aşırı gerilim koruma düzenekleri ile kurulması gerekmektedir. Koruma düzenekleri kısa devre akımına da dayanması gerektiğinden dolayı tasarımı önemli bir faktördür [24,27].

2.2.1. Reaktif Güç Kompanzasyon Metodları

Genel olarak, şebekeye bağlı yüke ait reaktif güçten oluşan güç faktörü değeri, kapasitif davranışı olan yükler vasıtasıyla düzeltilebilir. Pratik olarak, AA şebekelerinde, doğal ve yapay olmak üzere iki reaktif güç kompanzasyon yöntemi vardır. Doğal yöntemler aşağıdaki maddeler gibi sıralanabilir [34].

- Tam yüklü olmayan motorları, daha küçük güçte olanlarla yer değiştirmek,
- Transformatörlerin ve elektrik motorlarının boşa çalışmalarını önlemek,
- Asenkron motorları senkron motorlarla yer değiştirmek.

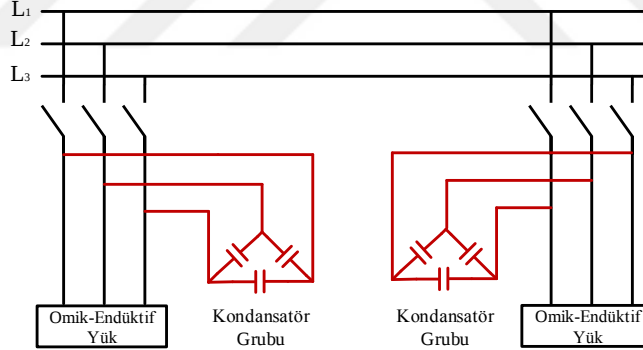
Endüktif yükün az bulunduğu karmaşık elektrik şebekeleri için doğal kompanzasyon yöntemleri yeterince iyi olabilir. Büyük güç şebekeleri söz konusu olduğunda, doğal yöntem yeterli olmayacaktır. Bu nedenle yapay reaktif güç kompanzasyon yöntemi ile şebeke parametrelerini iyileştirmeye ihtiyaç vardır.

2.2.1.1. Bireysel (Tekli) Kompanzasyon

Her yüke uygun bir değerde kondansatör bağlanarak uygulanır. Endüktif gücün üretildiği noktada kompanzasyon yapıldığı için teorik olarak kompanzasyon için en iyi metottur.

Bu sistem, kontrol cihazlarını ortadan kaldırır. Çünkü her yük için özel olan kondansatör yükle aynı anahtarla açılıp kapatılır. Bu yüzden kompanzasyon rölesi kullanılmaz ve ayrı bir donanıma gerek yoktur [35].

Büyük güçte kondansatör yerine dağıtılmış küçük güçlerde kondansatör grubu kullanılacağı için maliyetli olup bakımı ve kontrolü zordur. Transformatörlere, asenkron motorlara ve aydınlatma elemanlarına (floresan lamba gibi) uygulanır [34]. Şekil 2.5'te örnek bir AA şebekesine ait bireysel (tekli) kompanzasyon sistemi verilmiştir.

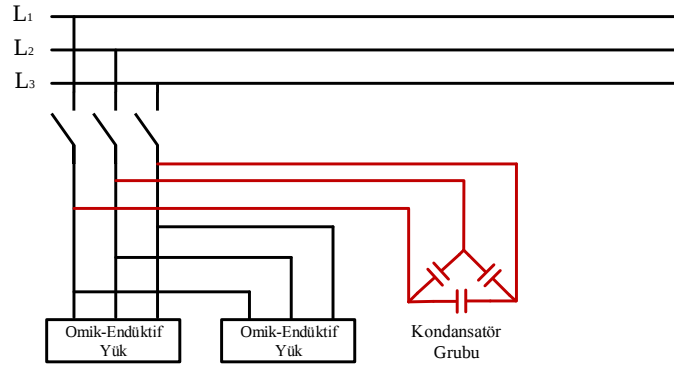


Şekil 2.5. Bireysel (tekli) kompanzasyon için örnek sistem.

2.2.1.2. Grup (Toplu) Kompanzasyon

Ortak yükler için tekli kompanzasyon yerine grup kompanzasyon uygulanabilir. Bu sistem için genellikle 10 kW'tan küçük motorlar için daha uygundur. Bireysel kompanzasyonda olduğu gibi kondansatörler de yüklerle beraber girer ve çıkarlar [14].

Şekil 2.6'da örnek bir grup (toplu) kompanzasyon sistemi verilmiştir.



Şekil 2.6. Grup (toplu) kompanzasyon için örnek sistem.

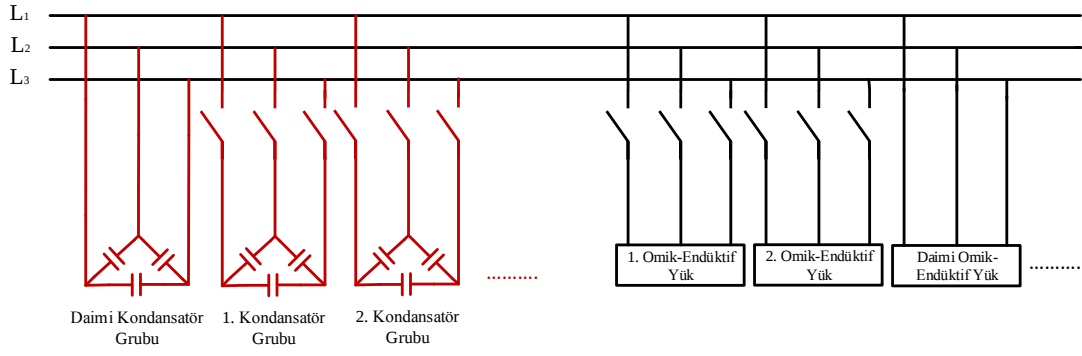
Küçük güçteki kondansatörlerin yerine büyük güçlü tek kondansatör kullanıldığı için maliyeti ucuz, denetlenmesi ve bakımı kolaydır. Kondansatör için ek donanım gerekmez [25]. Transformatörlerden ve besleme kablolarından çekilen akım azalacağından, gerilim düşümü ve güç kaybı azalır.

2.2.1.3. Merkezi (Ortak) Kompanzasyon

Merkezi kompanzasyon bir noktaya bağlı çok sayıda tüketicinin ve zamanla değişen reaktif güç isteğinin olduğu durumlarda kullanılır [36]. Kondansatörler değişik yüklenme koşullarına göre denetleyici tabanlı cihaz tarafından otomatik olarak devreye girer ve çıkarlar [12].

Kondansatörlerden elde edilen verimin yüksek olması, tek bir noktadan istenilen güç katsayısına ulaşılabilmesi, kurulumu ve geliştirilebilir olması, kolay denetlenebilir olması, aşırı kompanzasyonun önlenebilir olması, kurulum maliyetinin düşük olması gibi faktörler merkezi kompanzasyon sistemlerinin avantajlarındandır [14,34].

Şekil 2.7’de merkezi kompanzasyon için örnek bir sistem verilmiştir.



Şekil 2.7. Merkezi kompanzasyon için örnek sistem.

2.3. REAKTİF GÜÇ KOMPAZASYONUN FAYDALARI

AA şebekelerinde reaktif güç kompanzasyonun faydaları üretici ve tüketici açısından incelenebilir.

2.3.1. Üretici Yönünden Faydaları

Reaktif akım, kompanzasyon elemanlarıyla karşılanacağı için şebekeden daha küçük akım çekilecektir. Bu sayede şebekeden çekilen güç azaltılıp, sistem yorulmalarını ortadan kaldırarak güç kapasitesini artırır. Kompanzasyon öncesi görünür güç S_1 , kompanzasyon sonrası görünür güç S_2 ve aralarındaki fark ΔS olarak tanımlanırsa;

$$S_1 = P / \cos \varphi_1 \quad (2.10)$$

$$S_2 = P / \cos \varphi_2 \quad (2.11)$$

$$\Delta S = S_1 - S_2 \quad (2.12)$$

$$\% \Delta S = \frac{\Delta S}{S_1} 100 = 100 \left(1 - \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \right) \quad (2.13)$$

Eşitlik 2.13’de belirtildiği gibi kompanzasyon sayesinde sistemin yükü $\% \Delta S$ kadar azalacaktır. Dolayısıyla sistem $\% \Delta S$ kadar fazla yüklenebilecektir [35]. Güç artışı dışında üreticiler için faydaları maddeler halinde çeşitlendirilebilir.

- Şebekeye ait ısı kayıpları azalır.

- Enerji nakil hatları üzerindeki gerilim düşümü azalır.
- Fazlar arasındaki gerilim dengesizlikleri azalır [37].

2.3.2. Tüketici Yönünden Faydaları

Reaktif güç kompanzasyonun tüketici yönünden faydaları aşağıdaki gibi sıralandırılabilir.

- Güç faktörü düzenlendiği için şebekeden daha az reaktif güç çekilir. Bu sayede tüketim maliyeti azalır. Ayrıca endüktif reaktif güç sayacında Q/P oranı belirli bir değeri geçmediği için ceza ödemek zorunda kalınmaz.
- Enerji kalitesi ile alakalı arıza riski azalır.
- Tüketici bazlı kompanzasyon yatırımı gereksinimi ortadan kalkar.
- Gerilim düşümü ve kayıplar azalacağı için optimum sistem kurulur [35,37].

BÖLÜM 3

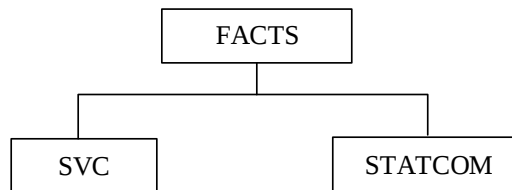
ESNEK ALTERNATİF AKIM İLETİM SİSTEMİ

Reaktif güç kompanzasyon yöntemlerinden birisi de yarı iletkenlerle yapılan esnek alternatif akım iletim sistemi cihazlardır. FACTS cihazlarında; direnç, endüktans veya kapasitans dışında güç elektroniği devreleri de kullanılır. Modern kontrol teknikleri ve yeni geliştirilmiş güç yarı iletken cihazların tanıtımı ile FACTS cihazlarının gelişimi hızla artmaktadır [38,39].

Narain Hingorani ve Laszlo Gyugyi, FACTS çalışma grubunu, kontrol edilebilirliği ve güç aktarma kapasitesini arttırmak için güç elektroniği tabanlı ve diğer statik kontrolleri içeren AA iletim sistemleri olarak tanımlamaktadırlar. Bu cihazların ilk uygulamaları yüksek güçlü tristör kullanarak statik VAR kontrol ve tristör kontrollü seri kapasitör (TCSC) olarak pek çok uygulama alanlarında yapılmıştır [40]. FACTS sistemlerinin olası faydaları maddeler halinde incelenirse;

- Gerilim ve güç akışının istenen şekilde kontrolü yapılabilir.
- Enerji nakil hatlarının yüklenme kapasitelerini artırır.
- Sisteme geri besleme yapma süreleri oldukça kısadır.
- Kurulum maliyeti düşük olup verimleri yüksektir.

Şekil 3.1’de esnek AA iletim sistemi cihazlara ait bölümler verilmiştir. Şekil 3.1’de verilen sistemler ve açıklamaları alt başlıklar halinde incelenecektir.



Şekil 3.1. FACTS bölümleri.

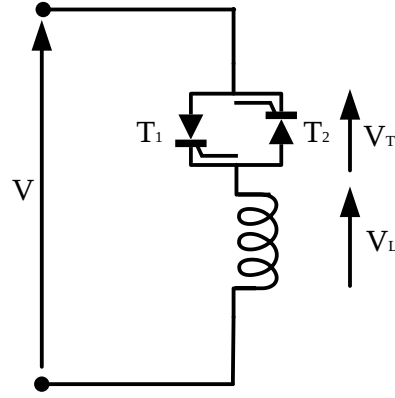
3.1. STATİK VAR KONTROL SİSTEMİ

Statik VAR kontrol, Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE) ve Büyük Elektrik Sistemleri Uluslararası Kurulu'na (CIGRE) göre elektriksel sistemin belirli parametrelerini korumak veya kontrol etmek için çıkışları kapasitif veya endüktif akımla değiştirerek sistem gereksinimlerini yerine getirilmesi demektir [40].

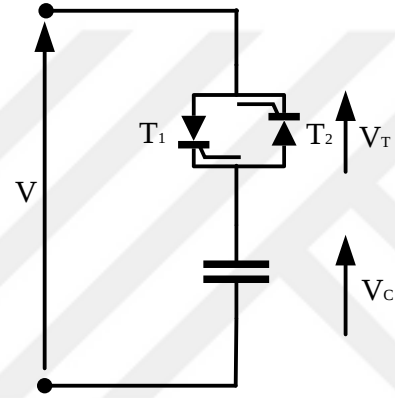
Kompanzasyon sistemlerinde yük karakteristikleri çok önemlidir. Kompanzasyon yapmadan önce, sistemin bileşenlerinin ve cihazlarının bilinmesi gerekmektedir. Bazı yükler sabit ve değişmez özelliklere sahiptir. Bu tür yükler için klasik kompanzasyon metotları kullanılabilir. Ancak, bu teknik zamanla değişen yükler için kullanılamaz. Bu tür yükler için SVC sistemler kullanılmalıdır. SVC, kararlı, güvenli, kontrollü, yüksek kaliteli elektrik gücü sağlamak için kullanılır. Bu yöntem statik olarak adlandırılmaktadır. Çünkü döner makineler ve kontaktörler yerine kapasitörler, reaktörler ve tristörler kullanılmaktadır [41].

SVC, FACTS cihazlardan ilkidir. Bir veya daha fazla elemanın bir ayar noktasını korumak için reaktif gücü yok eden veya sisteme enjekte eden paralel veya seri bağlı elemanları kullanır. SVC'nin temel mantığında, besleme noktasında gerilimi düzenlemesi vardır. Günümüzde diğer gelişmiş güç yarı iletken cihazların yanı sıra, güç anahtarları olarak çalıştırılan tristörlerin kullanımıyla kontrol kabiliyetleri mümkündür. Tristör bir reaktöre bağlandığında tetikleme açısını (α) değiştirerek veya bir kondansatör durumunda açılma süresini değiştirerek akım kontrolü sağlar [42].

SVC sistemler çok uzun süre önce kullanılmaya başlandı ve FACTS cihazları arasında kendine büyük bir yer edindi. Güç elektroniği ve gömülü sistemlere dayandığı için şebekeden çekilen veya kaynağa verilen hızlı reaktif gücü kontrol edebilir ve etkileyebilirler [41]. SVC sistemleri temel olarak ikiye ayrılır. Bunlardan birtanesi Şekil 3.2'de verilen tristör kontrollü reaktör (TCR), diğeri ise Şekil 3.3'de verilen tristör anahtarlama kapasitör (TSC) dir.



Şekil 3.2. TCR devre şeması.



Şekil 3.3. TSC devre şeması.

Hem pozitif alternansta hem de negatif alternansta iletimi sağlayabilmek için birbirine ters paralel bağlı tristör çiftleri kullanılır. Her iki tristörde iletim durumunda korunmalıdır. İlgili döngüyü kontrol eden tristördeki her bir yarım periyodun başında bir tetikleme darbesinin sağlanması gerekir. Tetikleme darbesi kesintiye uğrarsa tristörden geçen akım hemen kesilmez. Tristör, gerilimin sıfır geçişinde kesime geçer. Bu durum diğer tristörün tetiklenebileceği andır [43].

SVC sistemlerinin temelini her ne kadar TCR ve TSC oluşturuyorsa bile bunları çeşitlendirmek mümkündür. SVC çeşitleri maddeler halinde incelenirse [15,30,38,40–44];

- Tristör kontrollü reaktör (TCR)
- Sabit kondansatörlü tristör kontrollü reaktör (FC-TCR)

- Tristör anahtarlama kapasitör (TSC)
- Tristör anahtarlama reaktör (TSR)
- Tristör kontrollü transformatör (TCT)
- Statik senkron seri kompanzatör (SSSC)
- Tristör kontrollü seri kapasitör (TCSC)
- Tristör kontrollü faz kaydırmalı transformatör (TCPST)
- Birleştirilmiş güç akış kontrolü (UPFC)

3.1.1. Tristör Kontrollü Reaktör

Tristör kontrollü reaktör, tristör tabanlı SVC'lerin en önemli yapı taşlarından biridir. Sistem içerisinde tek başına kullanabilirler fakat reaktif gücün hızlı ve sürekli kontrolünü sağlamak için sabit veya tristör anahtarlama kapasitörler ile birlikte daha sık kullanılır. Şekil 3.2'de gösterildiği gibi temel bir TCR sabit bir reaktörden ve çift yönlü tristörden oluşmaktadır. Birbirine paralel bağlı tristör çifti, iki yönlü bir anahtar gibi davranır. T_1 tristörü pozitif yarım periyotta, T_2 tristörü ise negatif yarım periyotta iletimde olur. Tristörlerin tetikleme açısı, terminalleri boyunca gerilimin sıfır geçişinden ölçülür [43,44]. TCR'nin kontrolü 90° ile 180° arasında yapılmalıdır. 90° nin altındaki tetiklemeler birbirine ters-paralel bağlı tristörlerin simetrik çalışmasını bozarak akımdaki DC bileşenleri ortaya çıkarır [15,41]. Bölüm 4'te tetikleme açısı değerleri örnekleri verilerek bu durum açıklanacaktır.

Çift yönlü sistemin çalışma prensipleri ile ilgili olarak T_1 ve T_2 tristörlerinin komutu ardışıktır. Yani bir tristör iletim modundayken diğeri kesim durumdadır.

Tetikleme açısı gerilimin sıfır geçiş anına göre ölçülürse, $\alpha=90^\circ$ için maksimum iletim (akım en yüksek değerde iken), $\alpha=180^\circ$ için minimum iletim (akım en düşük değerde iken) sağlanır. Bu yüzden TCR, $\pi/2 \leq \alpha \leq \pi$ aralığında kullanılır.

Tristörlerin α tetikleme açıları veya iletim açısı σ uygun seçildiği takdirde, reaktör akımının etkin değeri istenilen sınırlar içerisinde düzenlenebilir. Tetikleme açısı α ile iletim açısı σ arasında Eşitlik 3.1'deki gibi bağlantı olduğundan tetikleme açısının artması iletim açısının azalmasına sebep olur.

$$\sigma = 2(\pi - \alpha) \quad (3.1)$$

Şekil 3.2'deki elektrik devresi dikkate alınarak oluşturulan gerilim formülü Eşitlik 3.2'de verilmiştir.

$$v(t) = V_m \sin \omega t \quad (3.2)$$

Uygulanan gerilimin tepe değeri ve kaynağın açısal frekansı TCR endüktansı kullanılarak TCR akımı aşağıdaki eşitlikler kullanılarak bulunabilir [43].

$$L \frac{di}{dt} - v(t) = 0 \quad (3.3)$$

$$i_L(\omega t) = \frac{1}{L} \int v(\omega t) dt + C \quad (3.4)$$

$$i_L(\omega t) = -\frac{V}{\omega L} \cos \omega t + C \quad (3.5)$$

i_L akımı Fourier serisi ile yazılabilir.

$$i_L(\omega t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(n\omega t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(n\omega t) \quad (3.6)$$

$a_0=0$, x eksenine simetri olduğundan dolayı;

$b_n=0$, $f(x)=-f(-x)$ tek periyodun simetrisinden dolayı;

$a_n=0$, $n=2,4,6,8,\dots$ Her yarım dalgadaki simetriden dolayı $f(x+T/2)=-f(x)$

Sıfır olmayan terimleri yazılırsa;

$$a_n = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} i_L(\omega t) \sin(n\omega t) d(\omega t) \quad (3.7)$$

TCR'deki akımın temel bileşenlerini Eşitlik 3.7 kullanılarak tekrar düzenlenirse Eşitlik 3.8 elde edilir [43].

$$\begin{aligned}
 i_{L(\omega t)} &= \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} i(\omega t) \cdot \sin \omega t \cdot d(\omega t) = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha}^{\beta} \frac{\sqrt{2}V}{X_L} (\sin \omega t - \sin \alpha) \cdot \sin \omega t \cdot d(\omega t) = \\
 &= \frac{\sqrt{2}V}{X_L} \frac{2}{\pi} \left[\int_{\alpha}^{\pi-\alpha} \sin^2 \omega t \cdot d(\omega t) - \sin \alpha \int_{\alpha}^{\pi-\alpha} \sin \omega t \cdot d(\omega t) \right] = \\
 &= \frac{2\sqrt{2}V}{\pi X_L} \left[\int_{\alpha}^{\pi-\alpha} \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \cdot d(\omega t) + \sin \alpha \cos \omega t \Big|_{\alpha}^{\pi-\alpha} \right] = \\
 &= \frac{2\sqrt{2}V}{\pi X_L} \left[\frac{\pi - 2\alpha}{2} - \frac{1}{4} \sin 2\omega t \Big|_{\alpha}^{\pi-\alpha} + \sin \alpha (-\cos \alpha - \cos \alpha) \right] = \\
 &= \frac{2\sqrt{2}V}{\pi X_L} \left\{ \frac{\pi - 2\alpha}{2} - \frac{1}{4} [\sin(2\pi - 2\alpha) - \sin 2\alpha] - 2 \sin \alpha \cos \alpha \right\} = \\
 &= \frac{2\sqrt{2}V}{\pi X_L} \left(\frac{\pi - 2\alpha}{2} + \frac{1}{2} \sin 2\alpha - \sin 2\alpha \right) = \frac{\sqrt{2}V}{X_L} \left(1 - \frac{2\alpha}{\pi} - \frac{\sin 2\alpha}{\pi} \right)
 \end{aligned} \tag{3.8}$$

TCR sistemlerindeki reaktörün temel akımı olan I_{L1} 'in değeri, α açısının bir fonksiyonu olarak Eşitlik 3.9'da verilmiştir [15,43,44].

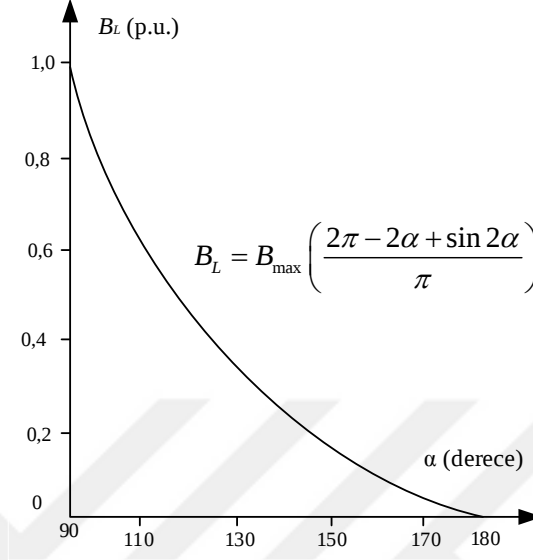
$$I_{L1} = \frac{V}{\omega L} \left(1 - \frac{2\alpha}{\pi} - \frac{\sin 2\alpha}{\pi} \right) \tag{3.9}$$

Eşitlik 3.10'da süseptansın maksimum formülü verilmiştir. Eşitlik 3.11 de ise Eşitlik 3.9 kullanılarak, TCR için reaktif admitans B_L denklemi verilmiştir [41,43,45].

$$B_{\max} = \frac{1}{\omega L} \tag{3.10}$$

Şekil 3.4'te tetikleme açısı değerine bağlı olarak süseptans değişimi per unit (p.u.) cinsinden gösterilmektedir [41,44]. Süseptans değeri ile reaktör akım değeri arasında doğru orantı vardır. TCR, akımın temel bileşenini sıfırdan, maksimum değere kadar sürekli olarak kontrol eder. Şekil 3.4'te gösterildiği gibi tristör tetikleme açısı 90° ye yakın noktalarda, reaktörün süseptansı yüksektir. Tetikleme açısı 180° ye yaklaştıkça reaktörün süseptans değeri azalır.

$$B_L = B_{\max} \left(1 - \frac{2\alpha}{\pi} - \frac{\sin 2\alpha}{\pi} \right) \quad (3.11)$$



Şekil 3.4. Tetikleme açısına bağlı olarak TCR'ye ait süseptans değişimi (p.u.).

Eğer tetikleme açısı gerilim kaynağındaki sıfır geçiş anında ölçülürse Eşitlik 3.9'a benzer şekilde $\alpha' = \alpha + \pi/2$ olur. Dolayısıyla yeni tetikleme açısı $\alpha = \alpha' - \pi/2$ dir. Yeni tetikleme açısı Eşitlik 3.8'de kullanılırsa, Eşitlik 3.12 elde edilir.

$$I_{L1'} = \frac{V}{\omega L} \left(1 - \frac{2}{\pi} (\alpha' - \pi/2) - \frac{\sin[2(\alpha' - \pi/2)]}{\pi} \right) \quad (3.12)$$

$$I_{L1'} = \frac{V}{\pi \omega L} (2\pi - 2\alpha' + \sin(2\alpha'))$$

Sonuç olarak akımın temel bileşenleri gerilimin sıfır geçiş anında ölçüldüğünde yani $(\pi/2 < \alpha < \pi)$ aralığında Eşitlik 3.12 kullanılarak Eşitlik 3.13 elde edilir.

$$I_{L1} = \frac{V}{\omega L \pi} (2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha) \quad (3.13)$$

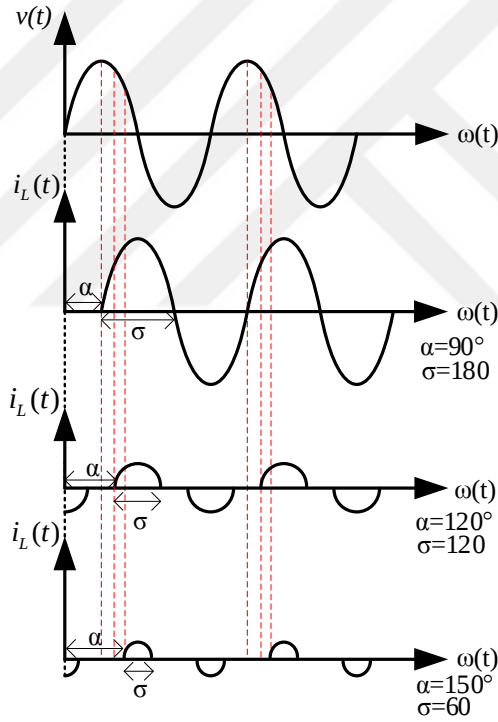
Süseptans formülü için Eşitlik 3.14 kullanılır.

$$B_L = B_{\max} \left(\frac{2\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha}{\pi} \right) \quad (3.14)$$

Değişken reaktörün, yüke aktaracağı reaktif güç ifadesini bulabilmek için Eşitlik 3.15 kullanılır.

$$Q_L = \frac{V^2}{\pi X_L} (2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha) \quad (3.15)$$

Farklı tetikleme açısı değerlerine göre TCR'ye ait akım değerleri Şekil 3.5'te gösterilmektedir.



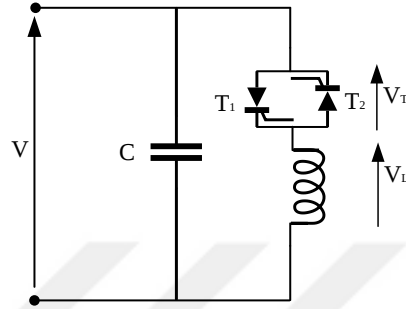
Şekil 3.5. Farklı tetikleme açısı değerlerine göre TCR'ye ait akım karakteristikleri.

Eşitlik 3.1, Eşitlik 3.9'da yerine koyulursa reaktör akımının iletim açısı ile değişimi için Eşitlik 3.16 elde edilir.

$$I_{L1} = \frac{V}{\omega L} \left(1 - \frac{2\pi - \sigma}{\pi} - \frac{\sin(2\pi - \sigma)}{\pi} \right) \quad (3.16)$$

3.1.1.1. Sabit Kondansatörlü Tristör Kontrollü Reaktör

Şekil 3.6’da gösterildiği gibi sabit kondansatörlü tristör anahtarlama reaktör (FC-TCR) sabit bir kondansatör grubunun, tristör çiftine seri bağlı reaktörle elde edilen gruba paralel bağlanmasıyla elde edilir.

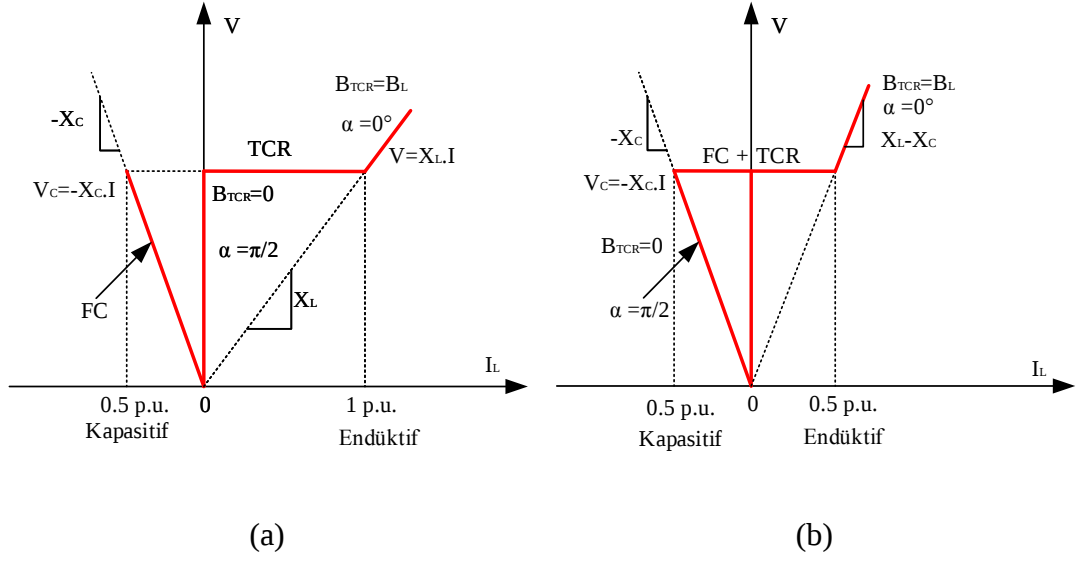


Şekil 3.6. FC-TCR devre şeması.

Devre tasarımı yapılırken tristör kontrollü reaktör değeri doğru hesaplanması gerekir. İşaretleri dikkate alınarak hesaplanacak olan reaktif yüklerin toplam değerinden daha büyük değerde reaktör seçilir. Sabit kondansatör grubu tüm sistemi kompanze etmeye çalışırken değişken reaktör ise kondansatör grubunu kompanze etmeye çalışır [45].

Reaktördeki akım tetikleme açısı veya iletim açısı ile değişir. Bu sayede sisteme ne kadar endüktif güç vereceği belirlenir. Doğru açı değeri sayesinde endüktif güç ile kapasitif güç birbirine eşitlenir ve sistem tam kompanze edilir [15,46].

Sabit kondansatör sürekli olarak sabit kapasitif güç çekecektir. Sistem gereksinimleri göz önüne alınarak tristör kontrollü reaktör bir kısmını sönümlendirecektir. Şekil 3.7 (a)’ da FC ve TCR için ayrı ayrı ele alınarak gerilim akım karakteristikleri verilmiştir. Şekil 3.7 (b)’ de ise FC-TCR için toplanmış gerilim akım grafiği verilmiştir.



Şekil 3.7. Gerilim-akım grafikleri. a) FC ve TCR için b) FC-TCR için.

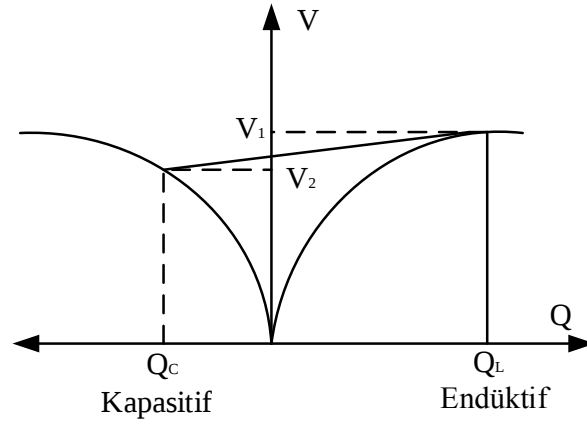
T1 Tristör, şebeke geriliminin pozitif yarı dalgasında, T2 tristör ise şebeke geriliminin negatif yarı dalgasında iletimde olur. TCR sadece gecikmeli güç faktörü aralığında kontrol edilebilir reaktif güç sağlar. Kalan güç faktörü aralığını kontrol etmek için FC-TCR kullanılır [41,47].

Sabit kondansatör grubu, tetikleme açısına bağlı değildir. Dolayısıyla FC-TCR'nin süseptansını bulmak için Eşitlik 3.13'den faydalanarak Eşitlik 3.17 elde edilir.

$$B_{L(FC-TCR)} = B_C - B_{\max} \left(\frac{2\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha}{\pi} \right) \quad (3.17)$$

Elde edilen süseptans değerini reaktif güç cinsinden ifade edilmek istenirse, Eşitlik 3.14'e benzer şekilde yazılırsa Eşitlik 3.18 elde edilir.

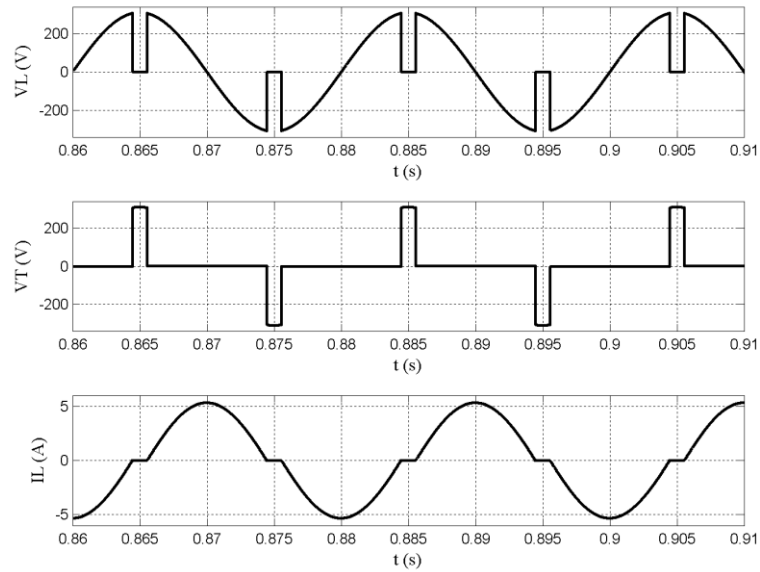
$$Q_{L(FC-TCR)} = \left[B_C - B_{\max} \left(\frac{2\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha}{\pi} \right) \right] V^2 \quad (3.18)$$



Şekil 3.8. Sürekli halde kompanzatorün gerilim-reaktif güç ilişkisi.

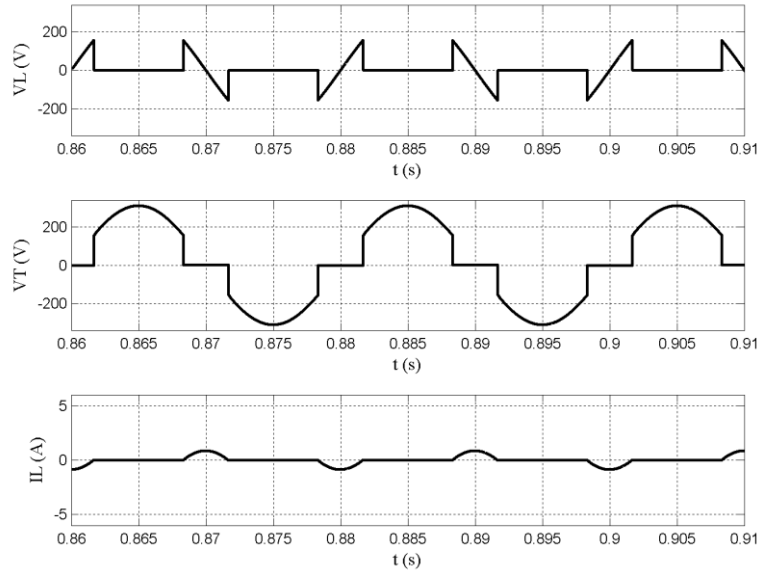
Şekil 3.8’de gösterildiği gibi kompanzatorün kontrolü V_1 ve V_2 gerilimler arasındaki bölgede yapılır. Reaktif güç ile gerilim arasında doğrusal bir değişim vardır. Tristörlerin tetikleme açısına göre $\alpha=0$ iken (Q_L-V_1) noktasından, $\alpha=\pi/2$ değerini aldığıında (Q_C-V_2) noktasına kadar doğrusal olarak değişim gerçekleşecektir [15,21,30].

Şekil 3.9’da $\alpha=100^\circ$ için, Şekil 3.10’da $\alpha=150^\circ$ için reaktör gerilimi, tristör gerilimi ve reaktör akımı grafikleri verilmiştir.



Şekil 3.9. $\alpha=100^\circ$ için reaktör gerilimi, tristör gerilimi ve reaktör akımı.

Tristörlerin iletimde olduğu anlarda üzerinden akım akacağı için tristör kontrollü reaktörün akımı ve gerilimi olacaktır. Tristörlerin kesimde olduğu zamanlarda üzerinden akım akmayacağı için gerilimi kendi üzerinde tutar. Reaktöre ait gerilim ve tristöre ait gerilimin toplamı şebeke gerilimine eşit olur.



Şekil 3.10. $\alpha=150^\circ$ için reaktör gerilimi, tristör gerilimi ve reaktör akımı.

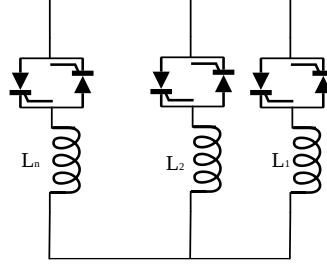
$\alpha=150^\circ$ için, $\alpha=100^\circ$ 'ye göre tristörlerin kesimde kalma sürelerinin uzun olduğu görülmektedir. Tetikleme açısının artması, Eşitlik 3.12'de belirtildiği gibi tristör kontrollü reaktöre ait akım değerinin azalması demektir.

3.2. DİĞER STATİK VAR KONTROL SİSTEMİ UYGULAMALARI

Tristör Anahtarlama kapasitör (TSC), elektrik güç sistemlerinde reaktif gücü dengelemek için kullanılan SVC yöntemlerinden bir tanesidir. Şekil 3.3'te gösterildiği gibi, tristör çifti ile seri bağlı bir güç kondansatöründen oluşur [2,43,48].

TSC içeren kompanzasyon sistemleri güvenli bir şekilde çalışır ve geniş aralıklarda tetikleme açısı ayarlanabilir. Harmonik oluşturmaz ve düşük kayıplara sahiptir. Bunlara ek olarak kısa tepki süresine sahiptir ve kolayca kontrol edilebilir [49].

Tristör Anahtarlamaalı Reaktör (TSR), tetikleme açısı kontrol seçeneğinin kullanılmadığı TCR'nin özel bir durumudur. Sistem sadece tamamen açık veya tamamen kapalı durumlarında çalıştırılır [44]. Şekil 3.11'de TSR devre şeması gösterilmektedir.



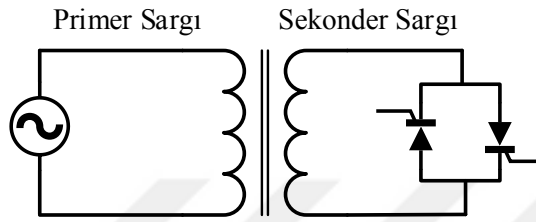
Şekil 3.11. TSR devre şeması.

TSR ve TCR yöntemlerini daha iyi kavrayabilmek için Çizelge 3.1'de her iki yöntem karşılaştırılmaları yapılmıştır [50].

Çizelge 3.1. TSR ve TCR nin performans karşılaştırılması.

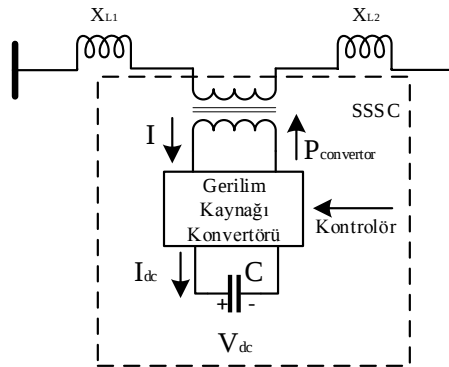
Kompanzator	Pozitif Yönleri	Negatif Yönleri
TSR	Harmonik üretimi yoktur. Cevap süresi hızlıdır. Anahtarlamaalı yapıdadır. Basit çalışma prensibine sahiptir. Güç sistemlerinde salınımların dengelenmesi, regülasyon ve kompanzasyon için kullanılır.	Aşırı gerilim değerlerini önleyemez. Düşük frekanslarda sistemle etkileşimde olabilir. Performansı değişkendir.
TCR	Hızlı tepki süresine sahiptir. Kontrollü yapıdadır. Kontrol aralığı geniştir. Güç sistemlerinde salınımların dengelenmesi, regülasyon ve kompanzasyon için kullanılır.	Harmonik üretir. Performansı değişkendir. Çalışma prensibi karmaşıktır.

Tristör Kontrollü Transformatör (TCT), yüksek gerilim ana sargısı (primer sargı) ile alçak gerilim kontrol sargısı (sekonder sargı) arasındaki, çok yüksek oranda kaçak reaktans (yaklaşık olarak %100) ile tasarlanmış özel bir transformatördür. Reaktif değer, açı değeri değiştirilerek açık devre reaktansı ve kısa devre reaktansı arasında ayarlanabilir. Tepki süresi TCR'ye benzer [44,51]. Şekil 3.12'de TCT devre şeması gösterilmiştir.



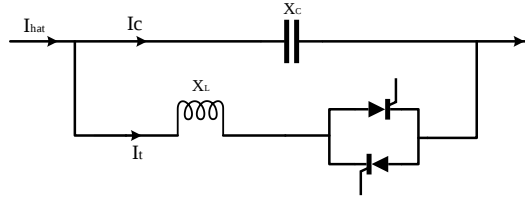
Şekil 3.12. TCT devre şeması.

Statik senkron seri kompanzator (SSSC), bazı kaynaklarda S³C olarak adlandırılan sistem, hat akımına göre uygun bir faz açısı içeren bir gerilimi enjekte ederek iletim hattının etkin empedansını değiştirebilen seri bağlı bir senkron gerilim kaynağıdır. Hem aktif hem de reaktif güç değişimi yapabilme özelliğine sahiptir [44]. Şekil 3.13'teki SSSC'ye ait tek hat devre şemasında görüldüğü gibi, SSSC seri bir transformatör, gerilim kaynağı dönüştürücü ve bir DC bağlantılı kondansatörden oluşur [52].



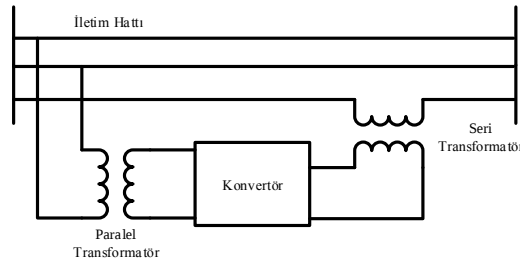
Şekil 3.13. SSSC devre şeması.

Şekil 3.14'te tristör kontrollü seri kapasitör (TCSC) devre şeması verilmiştir. Sistemin kontrolü, hatta seri bağlı ana kapasite gruplarının uçları arasındaki tristörlerin tetikleme açısına bağlı olarak gerçekleştirilir [30].



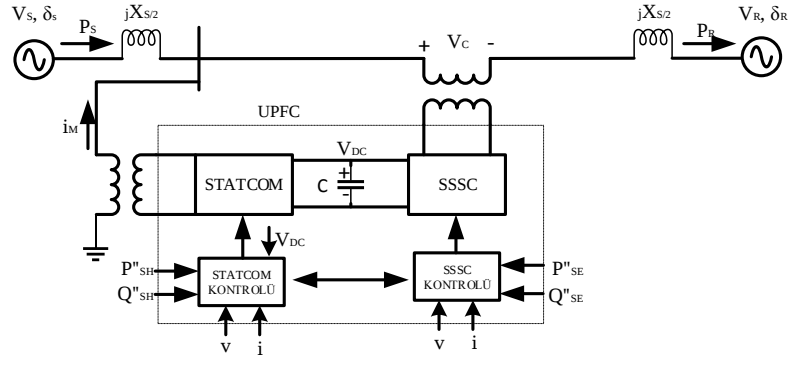
Şekil 3.14. TCSC devre şeması.

Tristör Kontrollü Faz Kaydırmalı Transformatör (TCPST) için devre şeması Şekil 3.15'te verilmiştir. İletim hattındaki faz gerilimlerine dikey olarak faz bileşenlerinin eklenmesi veya çıkarılması ile faz kaydırması yapılabilir [15]. TCPST'nin asıl amacı iletim açısını değiştirerek güç akışını kontrol etmektir. Bu denetleyici aynı zamanda tristör kontrollü faz açısı regülatörü (TCPAR) olarak da adlandırılır [53,54].



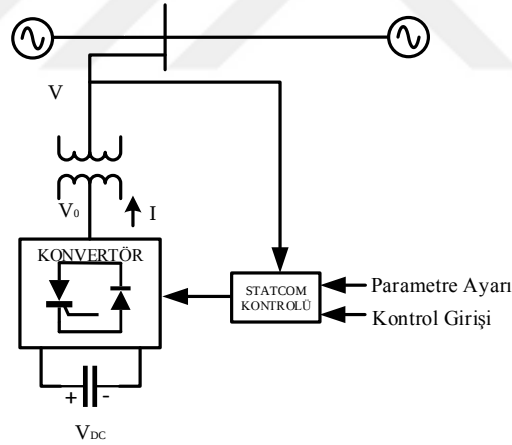
Şekil 3.15. TCPST devre şeması.

Birleştirilmiş Güç Akış Kontrolü (UPFC), Şekil 3.16'da gösterildiği gibi ortak bir DC bağlantı ile statik senkron seri kompanzatör (SSSC) ve statik senkron kompanzatör'ün (STATCOM) kombinasyonundan oluşan bir gerilim kaynaklı konvertör (VSC) tabanlı seri-paralel kompanzatördür [55]. UPFC, voltaj regülasyonu, seri kompanzasyonu ve faz kayması ile ilgili tüm yetenekleri içeren, şimdiye kadar geliştirilen en çok yönlü FACTS kontrol cihazıdır. Bir iletim hattındaki hem aktif hem de reaktif güç akışlarını bağımsız ve çok hızlı bir şekilde kontrol edebilir [44].



Şekil 3.16. UPFC devre şeması.

Statik senkron kompanzator (STATCOM), iletim hattına paralel bağlanan bir FACTS cihazıdır [44,56,57]. Literatürde statik kondansatör (STATCON) veya gelişmiş statik VAR kontrol (ASVC) olarak adlandırılan çalışmalar da bulunmaktadır. Şekil 3.17’de STATCOM devre şeması gösterilmektedir. STATCOM, bağlantı transformatörü, konvertör ve bir DC kapasitörden oluşmaktadır [57].



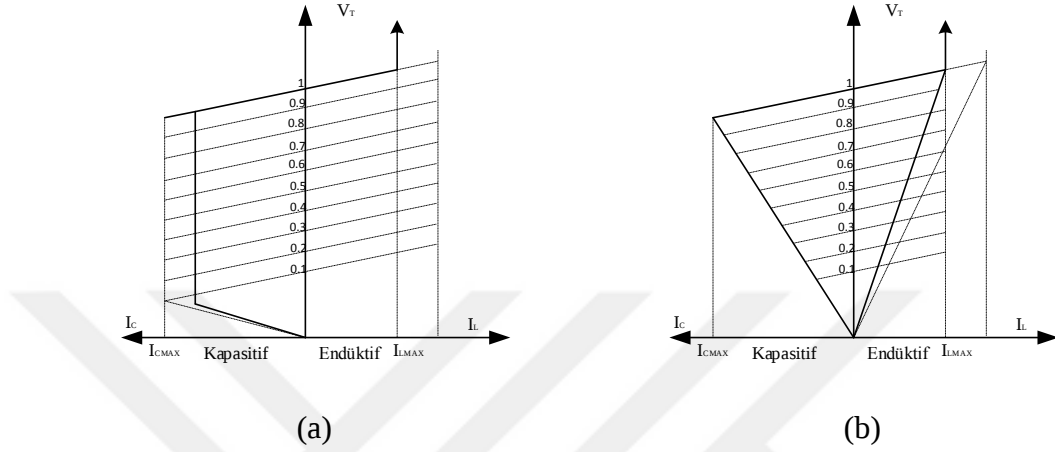
Şekil 3.17. STATCOM devre şeması.

3.3. FACTS UYGULAMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI

FACTS uygulamaları için özelliklerine göre karşılaştırmalar verilmiştir. Spesifik bir durum, birkaç FACTS denetleyicileri tarafından gerçekleştirilebilir. Bu yüzden hangi uygulama, sistem için en uygunsa o tercih edilmelidir [44].

3.3.1. SVC ile STATCOM Uygulamalarının Karşılaştırılması

Şekil 3.18’de STATCOM ve SVC için gerilim akım (V-I) karakteristikleri verilmiştir [30].



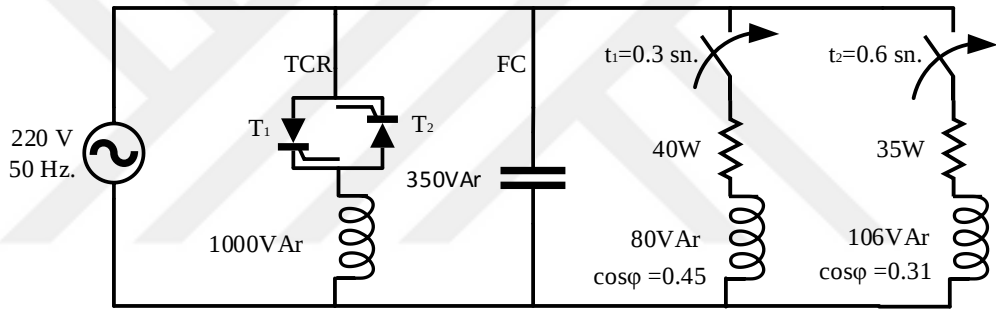
Şekil 3.18. Gerilim-akım karakteristikleri. a) STATCOM için b) SVC için.

Alçak gerilim uygulamalarda STATCOM’un akım sağlama kapasitesi SVC’ye göre daha iyidir. STATCOM’dan sağlanan reaktif güç miktarı SVC’ye göre daha fazladır. Çünkü SVC’de reaktif güç, gerilimin karesi ile orantılı olarak azalırken ($M_{\text{VAR}}=f(BV^2)$), STATCOM’da gerilim ile reaktif güç doğrusal olarak azalır ($M_{\text{VAR}}=f(VI)$). Bu da STATCOM’un reaktif güç denetlenebilirliğini SVC’den daha üstün olduğunu göstermektedir [57,58].

BÖLÜM 4

FC-TCR SİSTEMİ ANALİZİ VE SİMÜLASYONU

Bu bölümde, Bölüm 3’te teorik denklemleri verilen, SVC sistemleri içerisinde yer alan FC-TCR için MATLAB M-File ile yapılan analiz sonuçları ve MATLAB Simulink ile yapılan simülasyon sonuçları sunulmuştur. Şekil 4.1’de hem simülasyon hem de analiz için kullanılacak değerler gösterilmektedir. Her iki yöntem için adım aralığı 10^{-6} olarak tanımlanmıştır.

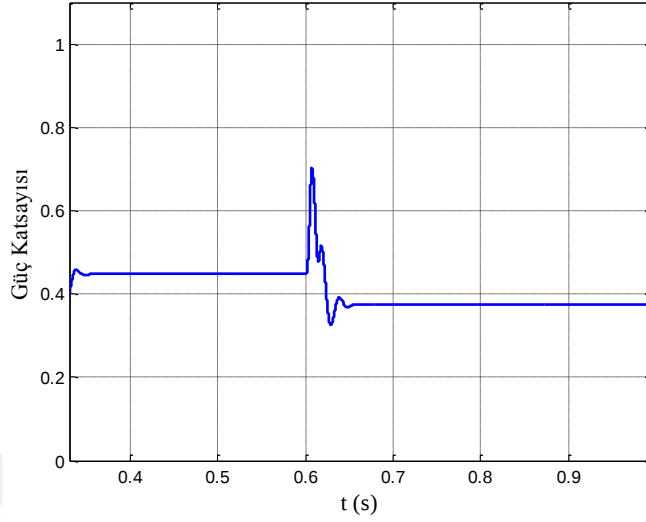


Şekil 4.1. Tasarlanan sistemin devre şeması.

Tasarlanan FC-TCR devresinin analiz ve simülasyonunun gerçekleştirilmesinde kompanzasyon öncesi yük durumuna bakıldığında; 0,3. saniyede aktif gücü $P_1=40W$, reaktif gücü $Q_1=80 \text{ VAR}$ ve güç katsayısı $\cos\phi_1 \cong 0,45$ olan omik-endüktif bir yük, 0,6. saniyede ise aktif gücü $P_2=35 \text{ W}$, reaktif gücü $Q_2=106 \text{ VAR}$ ve güç katsayısı $\cos\phi_2 \cong 0,31$ olan diğer omik-endüktif yük devreye alınmıştır. Yüke ait toplam güç katsayısı $\cos\phi_y \cong 0,37$ olmuştur. Sabit kondansatör $Q_c=350 \text{ VAR}$ olarak seçilmiştir. Kondansatör güç değeri yüklere ait toplam endüktif reaktif güçten daha büyük güç olması gerekmektedir. Tristör kontrollü reaktör için $Q_L=1000 \text{ VAR}$ ’lık değer kullanılmıştır.

Şekil 4.2’de kompanzasyon öncesi yüklere ait (tristör kontrollü reaktör ve sabit kondansatör devrede olmadığı zaman) güç katsayısı grafiği verilmiştir. Yüklerin

devreye alma sürelerinin kısa tutulması sistemin simülasyon ve analiz performanslarını karşılaştırabilmek için önemlidir.

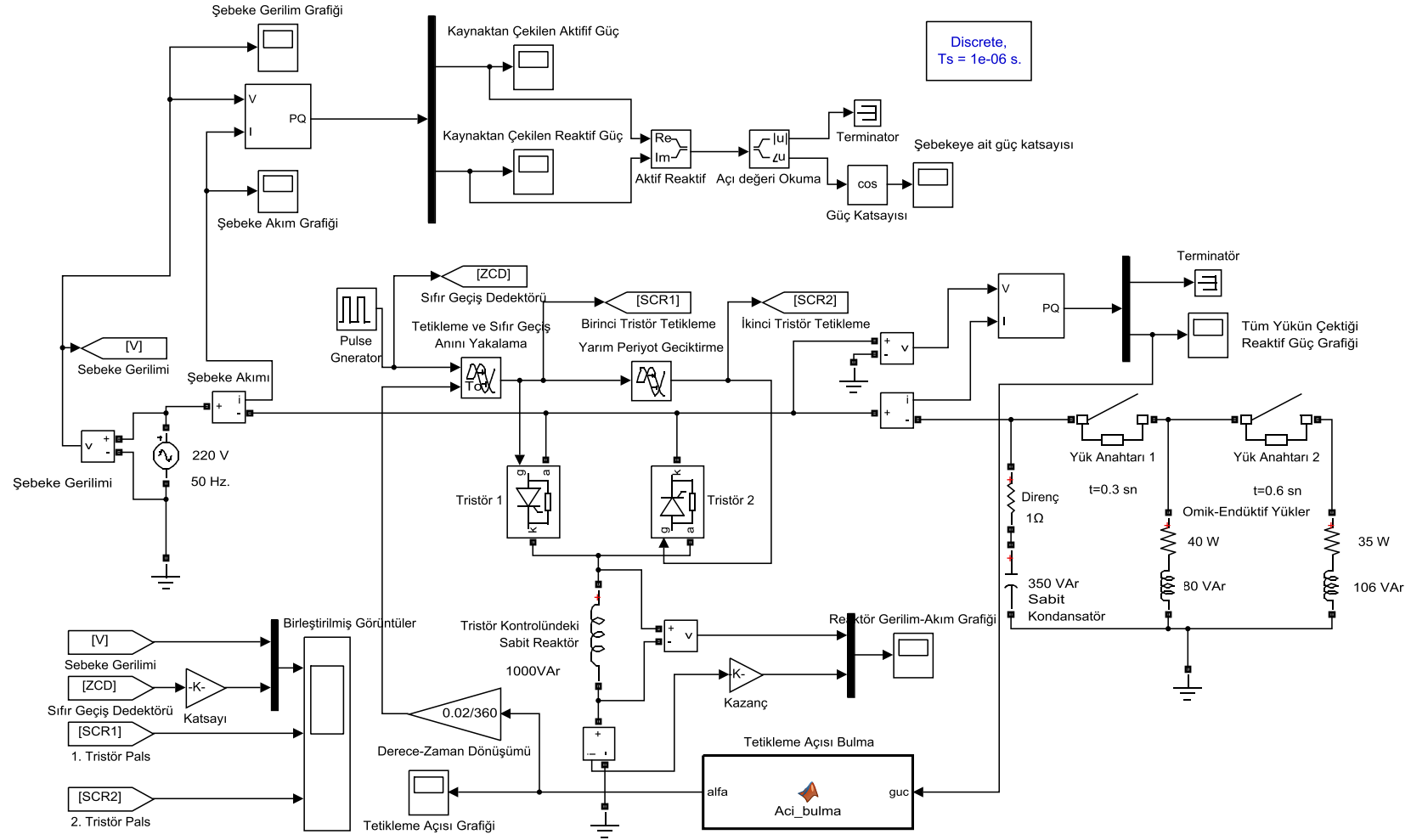


Şekil 4.2. Kompanzasyon öncesi yüklere ait güç katsayısı.

Şekil 4.2’de gösterildiği gibi birinci omik endüktif yük sisteme dâhil edildiğinde $\cos \phi$, 0,45 değerini almıştır. İkinci omik endüktif yükün devreye girmesiyle birlikte yüklerin toplam $\cos \phi$ değeri 0,37 olmuştur.

4.1. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

Şekil 4.3’de FC-TCR için yapılan MATLAB Simulink programında simülasyonu gerçekleştirilen sistemin devre şeması verilmiştir. Sisteme ait simülasyon görüntüleri, sistemin analiz görüntüleri ile karşılaştırma yapabilmek için daha sonra verilecektir.

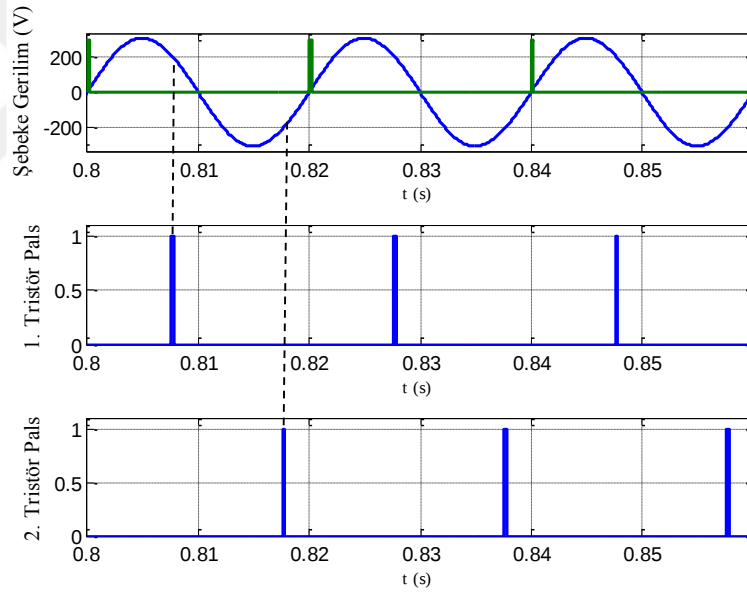


Şekil 4.3. FC-TCR için simülasyon devre şeması.

Çalışma bir fazlı sistem için tasarlanmıştır. Yükleri değişken tutabilmek için ayrı zamanlarda omik-endüktif yükler (R-L) sisteme dâhil edilmiştir. Şebeke geriliminin sıfır geçiş anını yakalayabilmek için pals generatör'ün gecikme saniye değeri, 0 alınmıştır. Yüklerle bağlı olarak değişen tristör tetikleme açılarını bulabilmek için MATLAB Simulink kütüphanesinde yer alan Embedded MATLAB Function bloğu kullanılmıştır. Yüklerin değişken olması, tristör tetikleme açılarının sürekli hesaplanmasını zorunlu kılmaktadır.

4.1.1. Şebeke Gerilimi ve Tristör Palsleri

Şekil 4.4'te şebeke gerilimi, sıfır geçiş anı ve tristörlere ait pals grafikleri gösterilmektedir ($\alpha=136^\circ$).

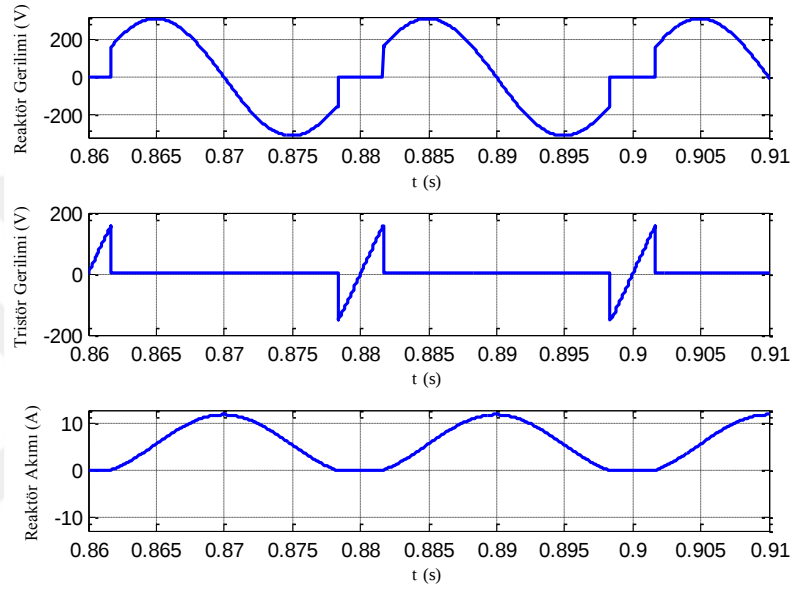


Şekil 4.4. Şebeke gerilimi, sıfır geçiş anı ve tristörlere ait pals grafikleri.

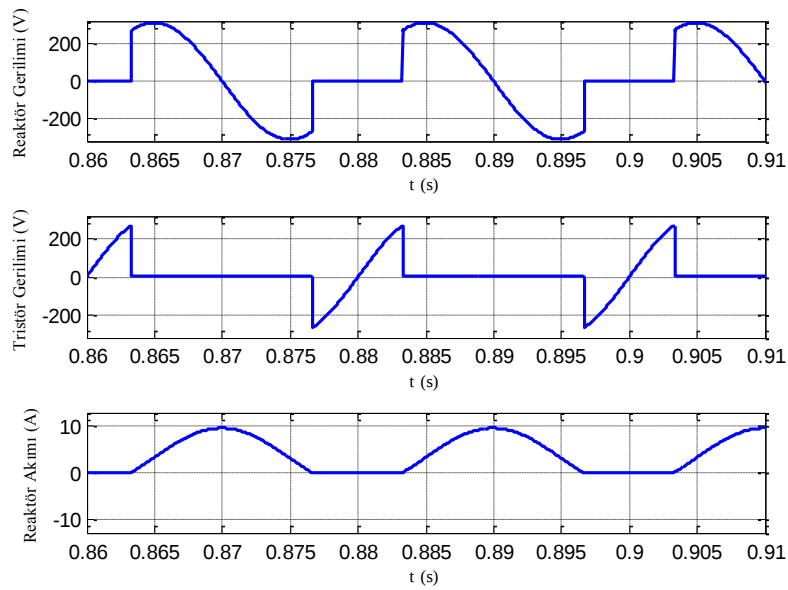
Şebeke geriliminin sıfır geçiş anı yakalatıldıktan sonra belirli bir tetikleme açısıyla pozitif alternansta çalışan birinci tristörün gate ucuna tetikleme gönderilir. Yarım periyot süresince birinci tristör devrede kalır ve süre sonunda devreden çıkar. Birinci tristörün devreden çıkmasıyla yarım periyot süresince devrede kalacak olan ikinci tristör tetiklenir ve devreye girer. Periyot devam ettikçe tristörler ardışık olarak devreye girer ve çıkarlar.

4.1.2. Tetikleme Açı Değeri (α) 0° ile 90° Arasında Olduğu Durumlar

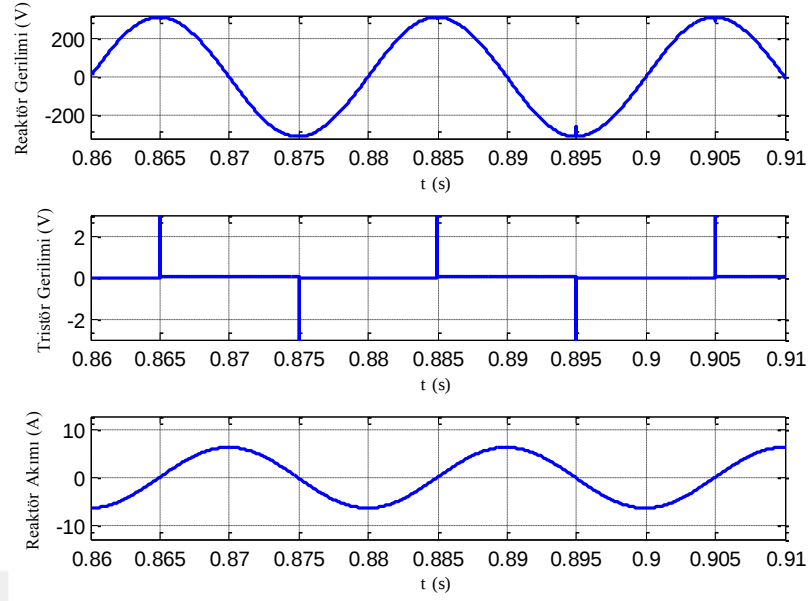
Bölüm 3’te tristörlerin tetikleme açılarının $90^\circ < \alpha < 180^\circ$ arasında olması gerektiği aksi takdirde tristörlerin çalışma yapısının bozulacağı belirtilmişti. Şekil 4.5’te $\alpha=30^\circ$ için, Şekil 4.6’da $\alpha=60^\circ$ için, Şekil 4.7’de $\alpha=90^\circ$ için reaktör gerilimi, tristörler gerilimi ve reaktör akım grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.5. $\alpha=30^\circ$ için reaktör gerilimi, tristör gerilimi ve reaktör akımı.



Şekil 4.6. $\alpha=60^\circ$ için reaktör gerilimi, tristör gerilimi ve reaktör akımı.



Şekil 4.7. $\alpha = 90^\circ$ için reaktör gerilimi, tristör gerilimi ve reaktör akımı.

Reaktörde, akım gerilimden 90° geridedir. 90° 'nin altındaki tetikleme açılarında reaktör akımı sürekli ve kontrol edilebilirliği yoktur. Dolayısıyla sistem içerisinde tristör yerine diyot kullanılmış gibi olur. Tetikleme açısı gerilimin sıfır geçiş noktalarında ölçülür. Bu yüzden tristör tetikleme açısı 90° ile 180° arasında kontrol edilebilir.

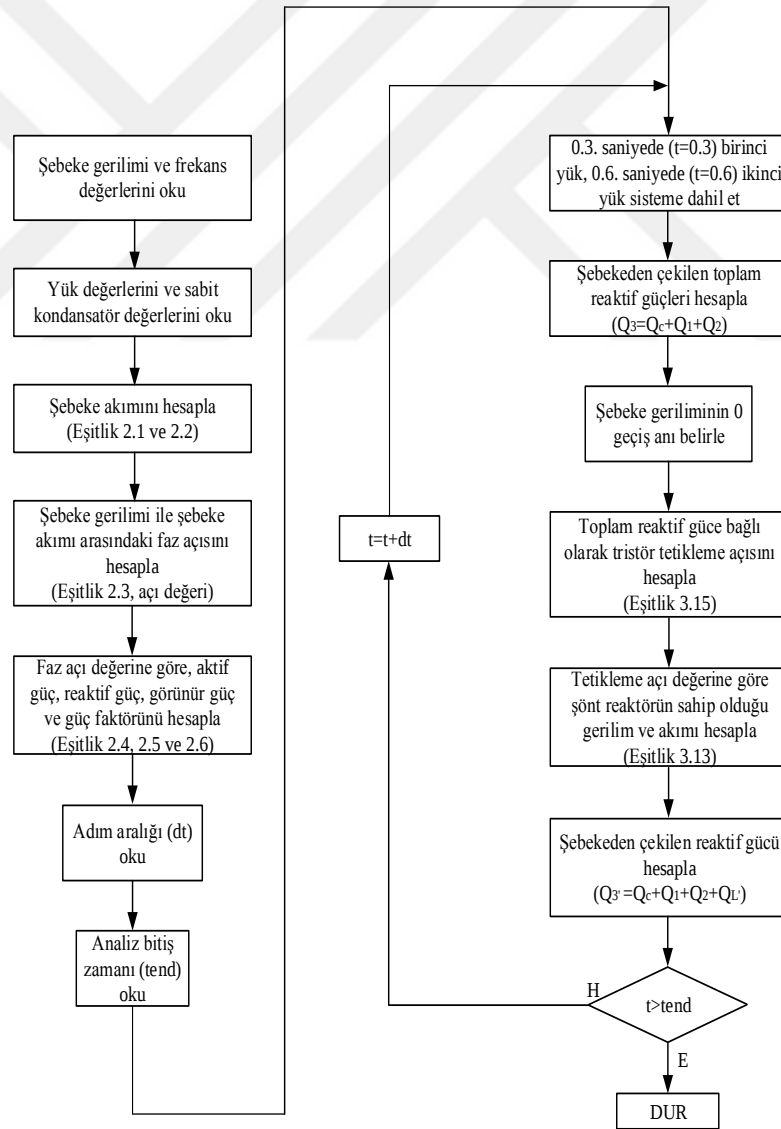
Sinüsoidal gerilim, 0° ile 90° aralığında tristör grubunun üzerinde, 90° ile 180° aralığında yükün üzerindedir.

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da reaktöre ait akım değeri negatif alternansta 0 olmaktadır. Şekil 4.7'de, $\alpha=90^\circ$ olduğu için reaktöre ait akım tam sinüs olmaktadır ve maksimum akım değerine ulaşmaktadır. Tetikleme açısı arttıkça, reaktöre ait akım grafiği sinüs formundan uzaklaşır ve akımın genliği azalır.

4.2. ANALİZ ÇALIŞMALARI

MATLAB M-File kullanılarak Bölüm 3'teki teorik denklemlerin yardımıyla sistemin analizi gerçekleştirildi. MATLAB M-File'de yazılan programın bir bölümü EK AÇIKLAMALAR A'da verilmiştir. Ana program dosyasının biraz daha hızlı

çalışabilmesi ve sağlıklı çalışma yapılabilmesi için, sistemde bulunan tüm yüklerin, sabit devre elemanlarının aktif ve reaktif güçleri farklı program dosyasında hesaplatıldı. Hesaplama için kullanılan devre EK AÇIKLAMALAR B’de verilmiştir. MATLAB Simulink kütüphanesinde yer alan aktif ve reaktif güç bloğunun içerisinde bulunan bu devredeki değişkenler, ana program dosyasından farklı dosyada çalışacağı için global olarak tanımlandı. Hesaplama gerçekleştirilirken ve süseptans formülleri çıkarılırken, Fourier seri açılımından faydalandı. Analiz programında, simülasyon kısmında da belirtildiği gibi adım aralığı 10^{-6} olarak tanımlanmıştır. Simülasyon için kullanılan değerler analiz çalışmalarında da kullanılmıştır. MATLAB M-File’de yazılan kodlara ait analiz akış diyagramı Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



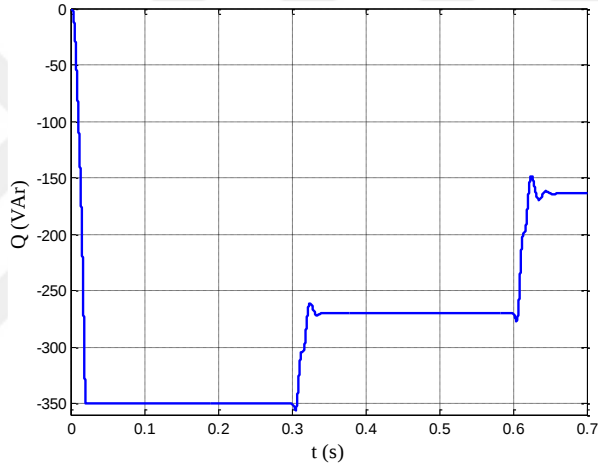
Şekil 4.8. Analiz akış şeması.

4.3. SİMULASYON VE ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

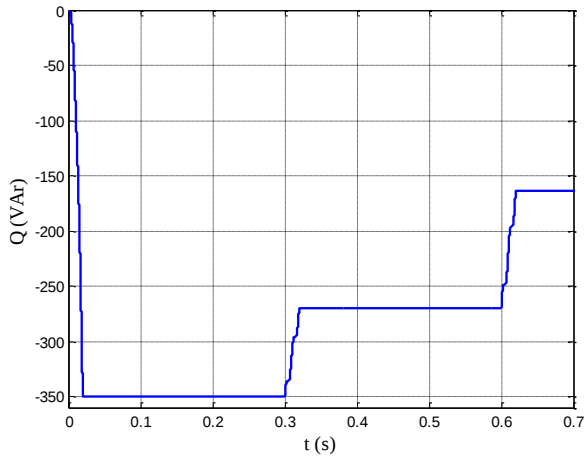
4.3.1. Kompanzasyon Öncesi Durum

4.3.1.1. Sistemdeki Reaktif Güçlerin Değişimi

Sistem içerisinde bulunan reaktif güçlere bakıldığında; sabit kondansatörün gücü 350 VAR, birinci yük 0,3. saniyede 80 VAR ikinci yük 0,6.saniyede 106 VAR devreye girmiştir. Sonuç olarak sistemde -164 VAR'lık bir reaktif güç kalmıştır. Bu durum Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



(a)

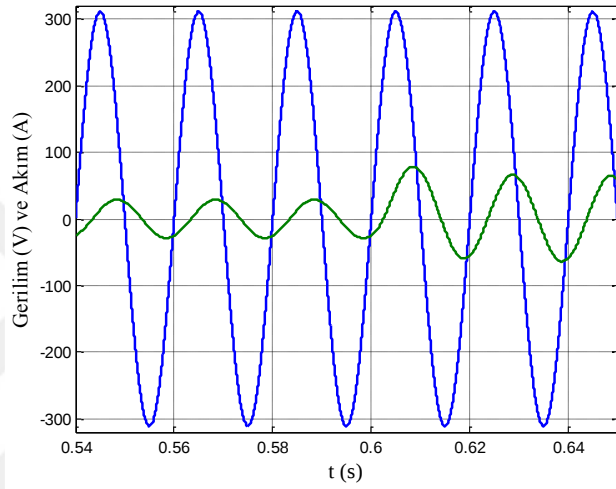


(b)

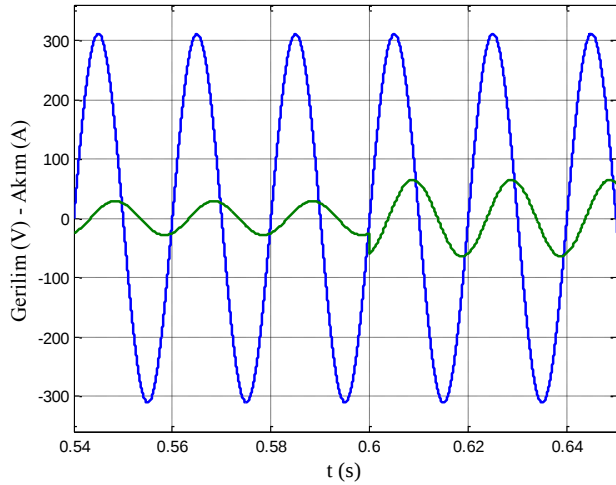
Şekil 4.9. Sistemdeki reaktif güçlerin değişimi. a) simülasyon sonucu b) analiz sonucu.

4.3.1.2. Endüktif Yükler Devrede İken Şebeke Gerilimi ve Yük Akımı

Şekil 4.1’de belirtilen endüktif yük grupları devrede iken şebeke gerilimi ve yük akım karakteristikleri Şekil 4.10’da gösterilmektedir. Sadece yük durumları incelendiği için sabit kapasitör ve reaktör hesaplamalara dâhil edilmemiştir. Şebeke gerilimi ile yüklerin çektikleri akım aynı grafikte bulunduğu için değerlerinin okunabilmesi adına akım 50 kat artırılarak çizilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.10. Kompanzasyon öncesi endüktif yük için şebeke gerilimi ve akımı. a) simülasyon sonucu b) analiz sonucu.

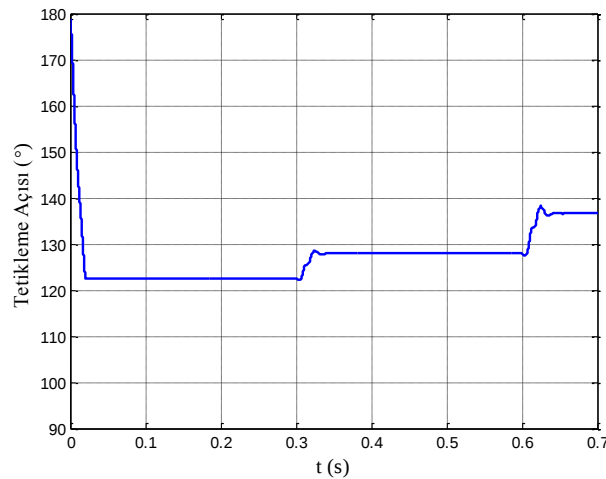
Her iki grafikte de şebeke gerilimi maksimum değeri 311,12 V olarak ölçülmektedir. 0,3 ile 0,6 saniyeleri arasında devrede sadece birinci yük olduğu için şebekeden çekilen akımın maksimum değeri yaklaşık olarak 0,57 A, akımın etkin değeri ise 0,4 A dır. Şekil 4.2’de gösterildiği gibi birinci yükün faz açısı $\varphi=63,25^\circ$ olup güç katsayısı $\cos\varphi=0,45$ tir. 0,6. saniyede ikinci yük devreye alındığı için akımın maksimum değeri 0,57 A’den 1,29 A’e çıkmaktadır. Etkin değeri ise 0,91 A olarak bulunmaktadır. İkinci yükün faz açısı $\varphi=71,94^\circ$ olup güç katsayısı $\cos\varphi=0,31$ dir. Her iki yük devreye alındığında şebekeye ait faz açısı $\varphi=68,28^\circ$, güç katsayısı $\cos\varphi=0,37$ olarak hesaplanmaktadır.

4.3.2. Kompanzasyon Yapıldıktan Sonraki Durum

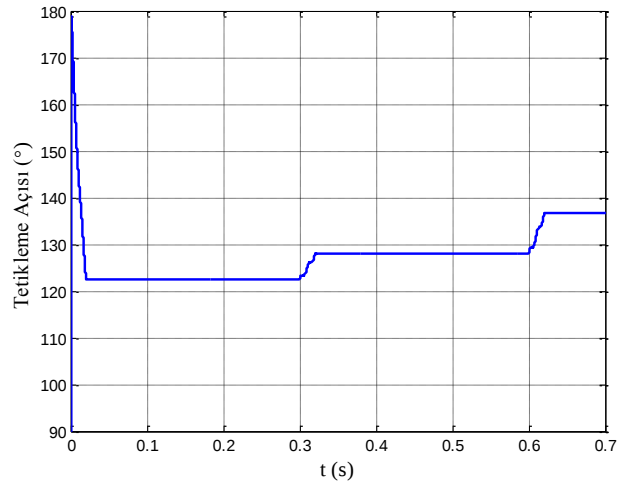
Bu kısımdan itibaren tristör kontrollü reaktör ve sabit kondansatör devrede iken kompanzasyon sistemine ait değişim grafikleri açıklanmaktadır.

4.3.2.1. Tristör Tetikleme Açısı

Şekil 4.11’de tristörlerin tetiklenmesi için gerekli olan tetikleme açısı (α) gösterilmektedir.



(a)



(b)

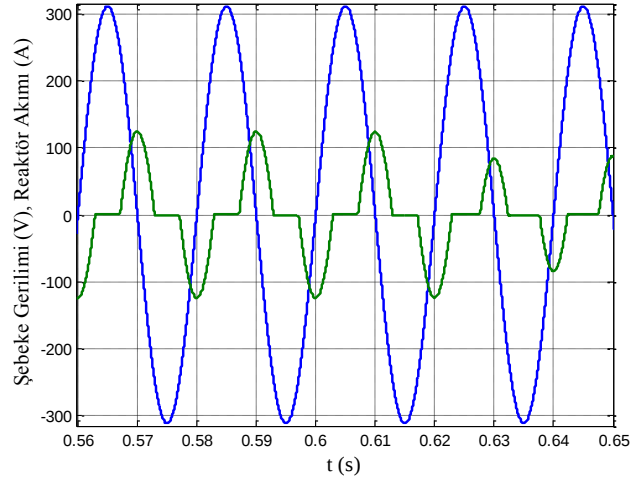
Şekil 4.11. Tristörler için tetikleme açıları (α). a) simülasyon sonucu b) analiz sonucu.

Eşitlik 3.15 kullanılarak tristörler için gerekli olan tetikleme açısı hesaplanır. Tetikleme açısı hesaplanırken sistemdeki tüm reaktif güçler, işaretleri gözetilerek toplanmalıdır. Ayrıca denklem yapısı doğrusal olmadığı için hesaplamalarda Newton Raphson metodu kullanılmıştır. 90° nin altındaki tetiklemeler birbirine ters-paralel bağlı tristörlerin simetrik çalışmasını bozarak akımdaki DC bileşenleri ortaya çıkardığı için tetikleme açısı 90° ile 180° arasında tutulmuştur. EK AÇIKLAMALAR C [45] bölümünde tetikleme açısı hesaplama kodları verilmiştir.

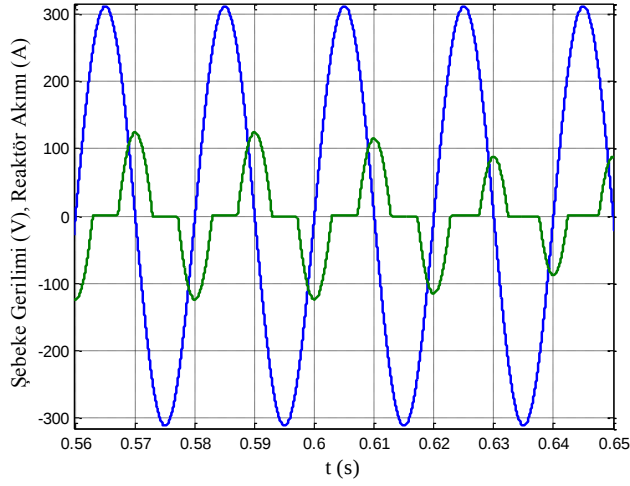
Sabit bulunan reaktörün ve sabit kondansatörün varlığıyla tristör tetikleme açısı 122° olarak ölçülmüştür ve 0.3. sn kadar sabitlenmektedir. Birinci yük devreye girince yeni tetikleme açısı 128° olarak ölçülmüştür. 0.6.sn'de ikinci yük de eklenince tetikleme açısı 136° olarak değişmiştir. Yük değerleri arttıkça tetikleme açısı artmaktadır. Tristör tetikleme açıları 90° ile 180° arasında olacağı için grafik sütun değerleri o değerler baz alınarak çizdirilmiştir.

4.3.2.2. Şebeke Gerilimi ve Tristör Kontrollü Reaktör Akımı

Şekil 4.12'de şebeke gerilimi ile tristör kontrollü reaktör'e ait akım grafiği görülmektedir.



(a)



(b)

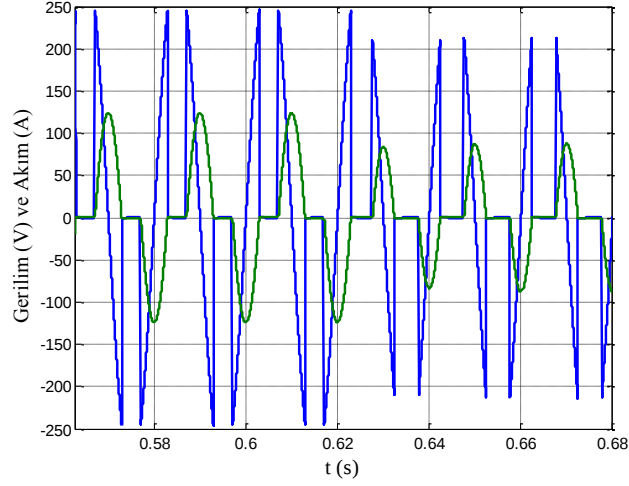
Şekil 4.12. Şebeke gerilimi ve tristör kontrollü reaktör akımı. a)simülasyon sonucu
b)analiz sonucu.

Sisteme birinci yük dâhil olana kadar sabit kondansatörün etkisinden dolayı reaktör'e ait akımın maksimum değeri 2,97 A olarak ölçülmüştür. Birinci yük sisteme eklenince maksimum akım değeri 2,48 A'e düşmektedir. İkinci yük sisteme dâhil edilince ise akımın maksimum değeri 1,75 A olarak ölçülmektedir.

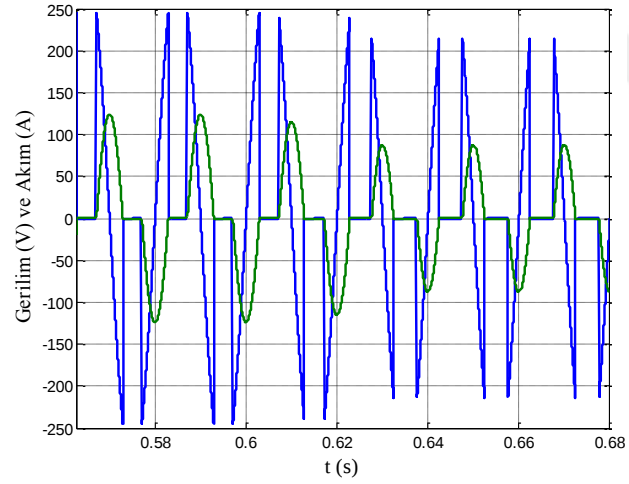
Eşitlik 3.13'te belirtildiği gibi tristör tetikleme açısı arttıkça tristör kontrollü reaktöre ait akım değerinin azaldığı görülmektedir.

4.3.2.3. Tristör Kontrollü Reaktör Gerilimi ve Akımı

Şekil 4.13'te tristör kontrollü reaktör için gerilim akım grafiği görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4.13. Tristör kontrollü reaktör gerilimi ve akımı. a)simülasyon sonucu b)analiz sonucu.

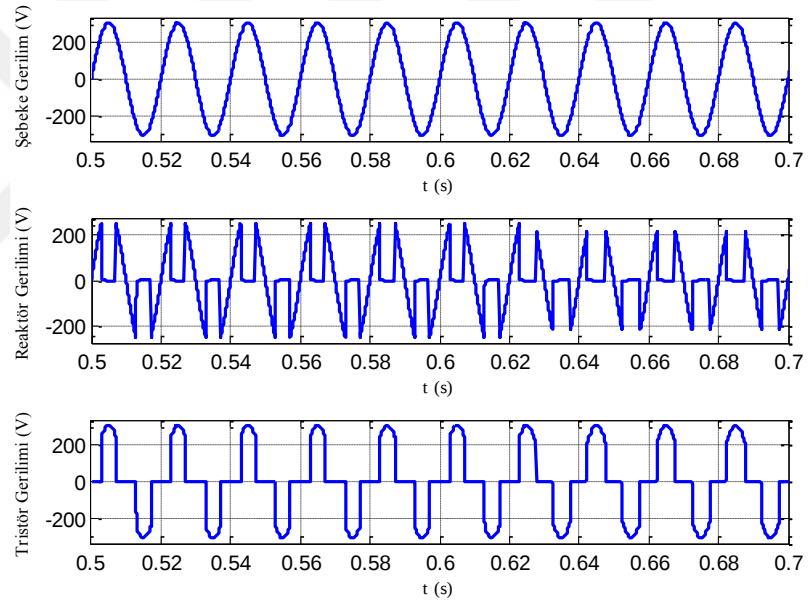
Tristörlerin kesimde olduğu zamanlarda tristör kontrollü reaktöre ait gerilim ve akım değerlerinin 0, iletimde olduğu zamanlarda ise belli bir değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Birinci yük devrede iken reaktör üzerindeki gerilimin maksimum değeri 245 V olarak ölçülmektedir. İkinci yükün devreye alınması ile birlikte 213 V'a gerilemektedir.

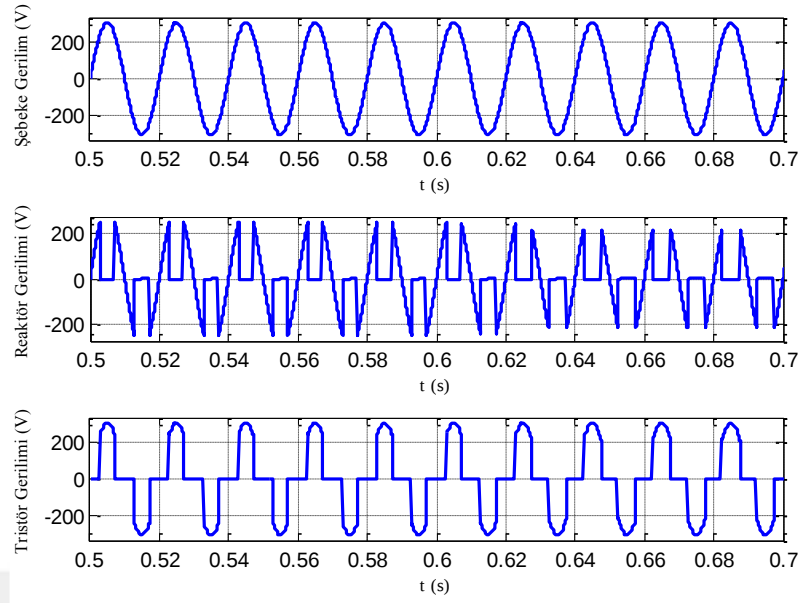
Eşitlik 3.13'te belirtildiği gibi tetikleme açısı arttıkça tristör kontrollü reaktöre ait gerilim ve akım değeri azalmaktadır. Buna bağlı olarak endüktif reaktif güç değeri de Eşitlik 3.15'te belirtildiği gibi azalmaktadır.

4.3.2.4. Şebeke Gerilimi, Reaktör Gerilimi ve Tristör Gerilimi

Şekil 4.14'te 0,6.saniyeye kadar $\alpha=128^\circ$ için 0,6.saniye sonrasında $\alpha=136^\circ$ için şebeke gerilimi, reaktör gerilimi ve tristör gerilimine ait grafikler verilmektedir.



(a)



(b)

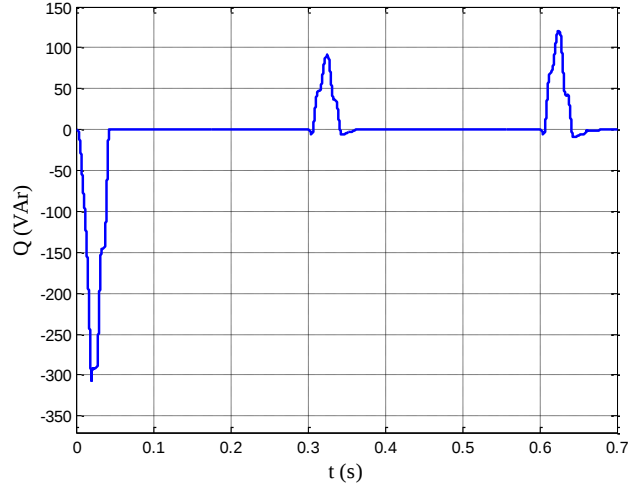
Şekil 4.14. Şebeke gerilimi, reaktör gerilimi ve tristör gerilimi. a) simülasyon sonuçları
b) analiz sonuçları.

Tristörlerin iletimde olduğu noktalarda tristör gerilimi 0'a eşit olmaktadır.

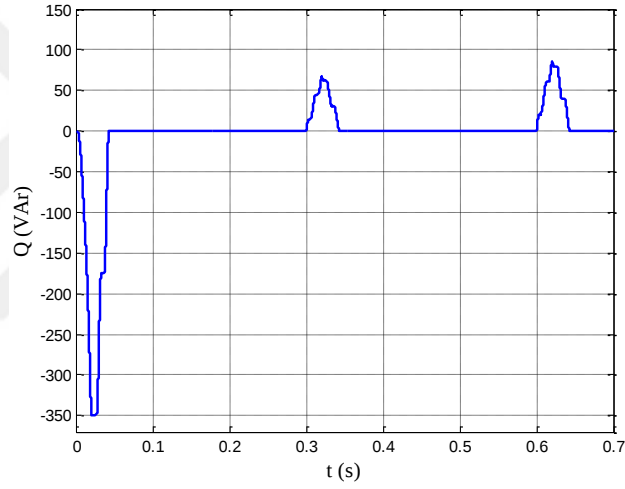
Reaktöre ait gerilim tristörün iletimde olduğu durumlarda oluşmaktadır. Tristör ve reaktör gerilimlerinin toplamı şebeke gerilimine eşit olmaktadır.

4.3.2.5. Kompanzasyon Sonrası Kaynaktan Çekilen Reaktif Güç

Şekil 4.15'te kompanzasyon sonrası kaynaktan çekilen reaktif güç sonuçları gösterilmektedir. Sabit kondansatörün varlığıyla oluşan reaktif güç değeri 0,04 saniye gibi kısa bir süre içerisinde tristör kontrollü reaktör sayesinde yaklaşık olarak 0,64 VAR değerine çekilmektedir. Birinci yük ve ikinci yük devreye girdiği anda tekrar 0,04 saniyeye yakın bir zamanda yaklaşık olarak 0,39 VAR'a çekilmektedir. Sonuç olarak güç katsayısı 0,37'den 0,999'a yükseltilmiştir.



(a)



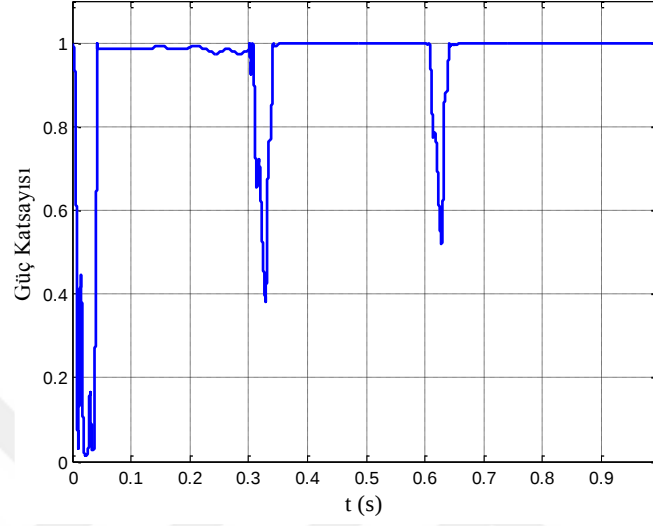
(b)

Şekil 4.15. Kompanzasyon sonrası kaynaktan çekilen reaktif güç. a) simülasyon sonucu b) analiz sonucu.

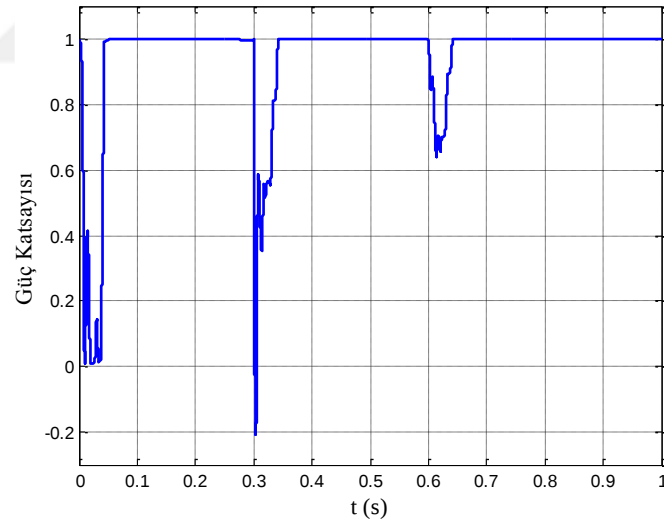
4.3.2.6. Kompanzasyon Sonrası Şebekenin Güç Katsayısı

Şekil 4.16’da kompanzasyon sonrası şebekeye ait güç katsayısının değişimleri gösterilmektedir. Sistemde sabit bulunan kondansatörden dolayı 0,3. saniyede eklenecek olan birinci endüktif yük devreye alınmadan önce şebekenin güç katsayısı 0,1 değerini almaktadır. Tristör kontrollü reaktör sayesinde çok kısa bir zaman diliminde şebekeye ait güç katsayısı 1’e yakın bir değere ulaşmıştır. Birinci endüktif yük 0,3. saniyede devreye girmesiyle güç katsayısı 0,38’e gerilemiştir. Kompanzasyon

sistemi sayesinde güç katsayısı 1'e tekrar yaklaştırılmıştır. İkinci endüktif yük 0,6 saniyede devreye girmesiyle yeni güç katsayısı 0,52 olmaktadır. Bu değer de çok kısa zaman içerisinde yükseltip şebekeye ait güç katsayısı 1'e tekrar yaklaştırılmıştır.



(a)

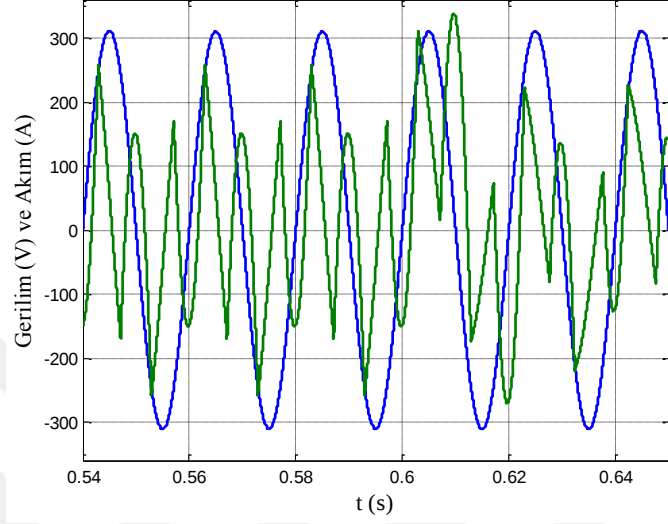


(b)

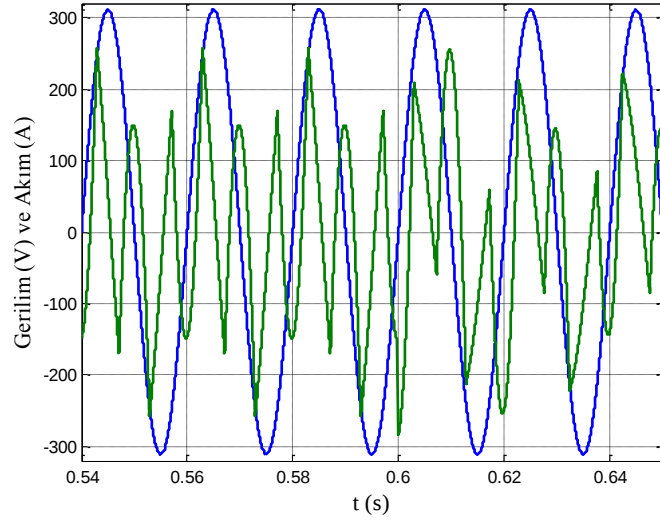
Şekil 4.16. Kompanzasyon sonrası şebekeye ait güç katsayısı. a) simülasyon sonucu
b) analiz sonucu.

4.3.2.7. Kompanzasyon Sonrası Şebeke Gerilimi ve Akımı

Şekil 4.17’de kaynak gerilimi ve kompanzasyon sonrası kaynaktan çekilen akım grafikleri gösterilmektedir. Akım değeri 200 kat arttırılarak çizdirilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.17. Kompanzasyon sonrası kaynak gerilimi ve akımı. a) simülasyon sonucu b) analiz sonucu.

Şebeke akımının maksimum değeri kompanzasyon öncesinde 1,29 A olarak ölçülmüştür. Sabit kondansatörün, tristör kontrollü reaktörün ve yüklerin sistemde

olduğu durumda yükün çektiği maksimum akım değeri 1,29 A'den 1,11 A'e düşürölmüşür. Akım grafiğinin tam sinüs çıkmaması tristörlerin anahtarlanmalarından ötürü oluşun harmoniklerden kaynaklanmaktadır. Harmonik filtreler kullanılarak bu sorun ortadan kaldırılabilir.

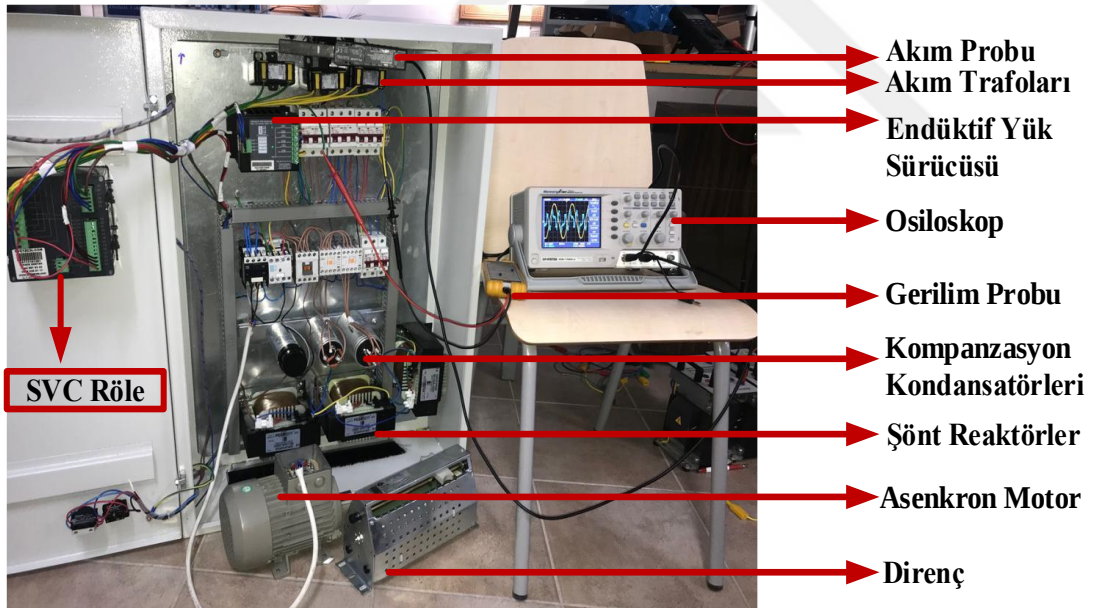


BÖLÜM 5

UYGULAMA DEVRESİ VE UYGULAMA SONUÇLARI

5.1. UYGULAMA DEVRESİNDE KULLANILAN DEVRE ELEMANLARI

Tez çalışmasının bu bölümünde, dördüncü bölümde analiz ve simülasyon çalışmaları sunulan FC-TCR içeren kompanzasyonun uygulama çalışmaları ile uygulama sonuçları verilmiştir. Şekil 5.1’de, uygulaması gerçekleştirilen sistemin görseli bulunmaktadır. Uygulama devresi; SVC röle, endüktif yük sürücüsü, şönt reaktör, kondansatör, akım trafoları ve koruma elamanlarından oluşmaktadır.



Şekil 5.1. SVC sistem uygulama devresi.

5.1.1. SVC Röle

Klasik reaktif güç kontrol rölesine nazaran çok daha hızlı, güvenli ve zorlanmalara dayanıklı SVC rölelerinden 12 kademeli Smart SVC röle kullanılmıştır. 24 bit

Şekil 5.2. Smart SVC Röle [59].

SVC sisteminde, birbirine ters ve paralel bağılı tristör çifti ile anahtarlamalarının yapılması gerekmektedir. Bu işlemi endüktif yük sürücüler ile gerçekleştirilebilir. Kullanılan sürücü, 230 V nominal çalışma gerilimine, 7,2 A nominal çalışma akımına sahip 1 kVAR veya 1,5 kVAR şönt reaktör bağlanabilen bir endüktif yük sürücüsüdür. Şekil 5.3'te, kullanılan endüktif yük sürücüsü gösterilmektedir.

Çok hızlı anahtarlama yapabilme yeteneğiyle değişken yüklerin reaktif ihtiyacını karşılamaktadır. Tristörler sayesinde belirli tetikleme açılarıyla kontrol edilmektedir. Ayrıca tristörlerin soğutulması için soğutucu fan sistemi bulunmaktadır [59].

5.1.3. Şönt Reaktör

Teknolojilerin gelişmesiyle birlikte işletmelerin yük gereksinimleri de değişmektedir. Geleneksel kompanzasyon sistemlerinde, sistemi kompanze edebilmek için sadece kondansatör kullanmak yeterliydi. Kapasitif yüklerin yoğun olduğu yerlerde kondansatörler tek başlarına yeterli olamayacaklardır. FC-TCR tip SVC sistemlerinde kondansatörlerle birlikte reaktörler kullanılmaktadır. Şekil 5.4'te, kullanılan şönt reaktör gösterilmektedir. Tek fazlı üç adet IP00 koruma sınıfına sahip, 1 kVAR'lık reaktörler kullanılmıştır. Dolayısıyla hem tek fazlı, hem de üç fazlı yükler için kullanılabilirliği arttırılmaktadır.



Şekil 5.4. Şönt reaktör [59].

5.1.4. Kompanzasyon Kondansatörleri

Uygulama devresi için üç kademe kullanılması tercih edilmiştir. Birinci kademede 1 kVAR, ikinci kademede 1.5 kVAR, üçüncü kademede ise 2.5 kVAR güçlerine sahip üç fazlı kompanzasyon kondansatörleri kullanılmıştır. Üç fazlı kondansatör kullanılmasının sebebi, üç fazlı endüktif yüklerde (asenkon motor vb.) çalışma durumunu incelemek ve röle test kısımlarından olan trafo testinde ilk kademelerin üç fazlı olması önerildiği içindir. Ayrıca SVC sistemlerinin özelliklerinden bir tanesi de tek fazlı kondansatörlerin kullanımını azaltarak pano boyutunu küçültmek ve üç fazlı kondansatörlerle reaktif yüklerle çok hızlı cevap verebilmektir. Modellenen sistem tek fazlı olduğu için yükün bağlı olduğu fazdaki kondansatör değeri, röle üzerinden 350 VAR olarak okunup simülasyon ve analiz çalışmaları bu değer üzerinden gerçekleştirilmiştir. Uygulanan yükler için rölenin birinci kademesi yeterli olacaktır.

SVC sistemi sayesinde kondansatörlerin deşarj sürelerini beklemeden hızlı bir şekilde anahtarlama yapıp güç katsayısı düzeltilmektedir. Şekil 5.5'te, kullanılan kompanzasyon kondansatörü gösterilmektedir.



Şekil 5.5. Kompanzasyon kondansatörü [59].

5.1.5. Akım Trafosu

Uygulama devresinde röleye akım bilgilerini aktarabilmek için üç adet tek fazlı akım trafoları kullanılmıştır. Bu akım trafoları seçilirken, 5 VA gücünde, 30/5 çevirme oranına sahip, nominal termik kısa devre akımı primer akımın 60 katı olan ve hata (doğruluk) sınıfı 1 olan akım trafoları tercih edilmiştir. Hata sınıfı, primer nominal akım akarken, sekonder akımın olması gerekeninden % olarak ne kadar sapabileceğini ifade eder. Doğruluk sınıfı 1 olduğu için sekonderinden, nominal akımının %99'u ile %101'i arasında bir akım akar. Şekil 5.6'da kullanılan akım trafosu gösterilmektedir.



Şekil 5.6. Akım trafosu [60].

5.1.6. Yük Direnci

Yük direnci için 0-250 Ω arasında direnç değeri değişebilen, 500 W gücünde reosta kullanılmıştır.



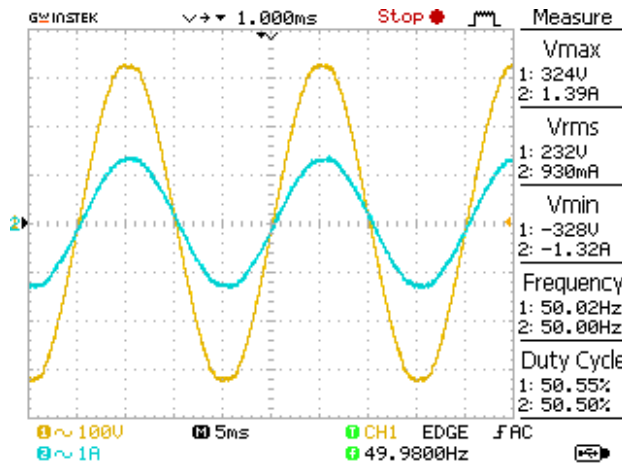
şekil 5.7. Değişken direnç [61].

5.2. FARKLI YÜKLENMELERDE SİSTEM KARAKTERİSTİKLERİ

Uygulama çalışmasında, kompanzasyon öncesi omik ve endüktif yük altında şebeke gerilim ve akım karakteristikleri ile kompanzasyon sonrası sistem karakteristikleri incelenmiştir. Uygulama sonuçları için, FLUKE marka yalıtımlı akım probu ve PICO marka yalıtımlı gerilim probu kullanılmıştır.

5.2.1. Kompanzasyon ncesi Farklı Yük Gruplarındaki şebeke Gerilimi ve şebeke Akımı

şekil 5.8’de kompanzasyon öncesi omik yük için şebeke gerilimi ve akım grafikleri gösterilmektedir.

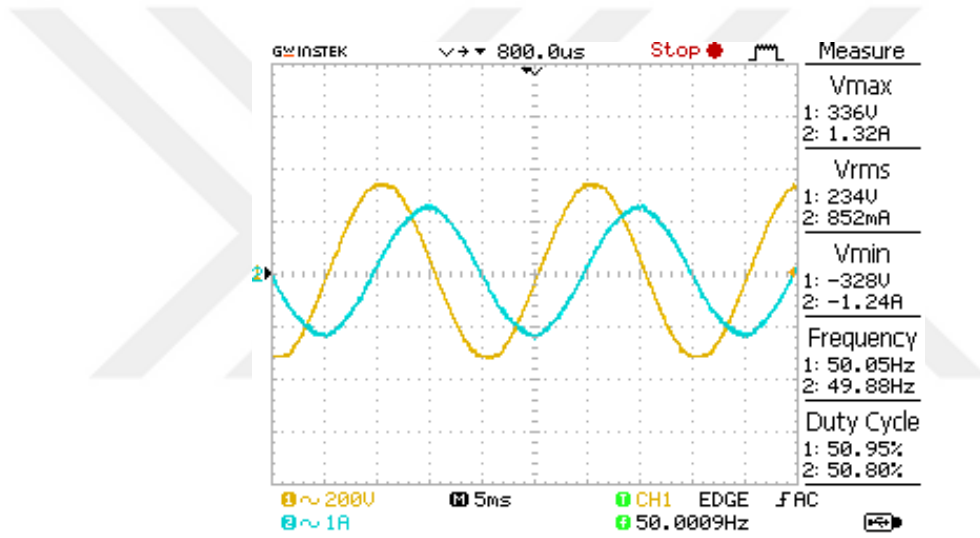


şekil 5.8. Kompanzasyon ncesi omik yük için şebeke gerilimi ve akımı.

Şebeke gerilimi maksimum değeri 324 V, etkin değeri ise 232 V olarak ölçülmektedir. Şebeke gerilimine 200 Ω değerinde direnç bağlandığında çekilen maksimum akım değeri 1,39 A etkin değeri ise 0,93 A olarak bulunmaktadır.

Şekil 5.8’de görüldüğü gibi omik yüklerde şebeke gerilimi ile akımı arasındaki faz farkı 0’a eşittir. Dolayısıyla şebekeden reaktif güç talep etmez.

Şekil 5.9’da kompanzasyon öncesi endüktif yük için şebeke gerilim ve akım grafikleri gösterilmektedir. 250 W gücünde $\cos\phi$ değeri 0,72 olan üç fazlı yüksüz asenkron motor kullanılmıştır.



Şekil 5.9. Kompanzasyon öncesi endüktif yük için şebeke gerilimi ve akımı.

Şebeke gerilimi maksimum değeri 336 V, etkin değeri 234 V olarak ölçülmektedir. Şebeke akımı maksimum değeri 1,32 A, etkin değeri ise 0,852 A olarak ölçülmektedir.

Şekil 5.9’da görüldüğü gibi endüktif yüklerde yük üzerindeki gerilim yükün çektiği akımdan ileri fazdadır. Faz farkını 0’a indirebilmek için kompanzasyon sistemine ihtiyaç vardır.

5.3. AYNI YÜK DEĞERLERİ KULLANILARAK OLUŞTURULAN SİMÜLASYON, ANALİZ VE UYGULAMA SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Endüktif yük için kullanılan yüksüz asenkron motorun birinci fazındaki aktif ve reaktif güç değerleri enerji analizörüyle ölçülüp Şekil 5.10'da gösterilmektedir.

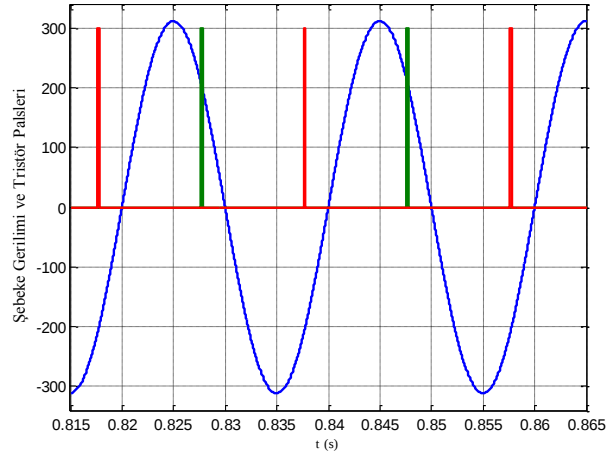
Bu bölümde Bölüm 4'te kullanılan yükler toplamı olan değerler kullanılmıştır. ($P_T=75W$, $Q_T=186 VAR$). Uygulama devresinde şebeke geriliminin etkin değeri yaklaşık olarak 230 V ölçüldüğü için simülasyon ve analiz çalışmalarında şebeke gerilimi etkin değeri 230 V olarak alınmıştır. Ayrıca, simülasyon çalışmasının yapılabilmesi için sabit kondansatöre seri bir direnç gerekmektedir. Seri direnç değeri 1 Ω seçilmiştir. Çok küçük değerde direnç değeri tercih edilmesinin sebebi, simülasyon ve analiz sonuçlarının uygulama sonuçları ile daha doğru karşılaştırma yapılabilmesi içindir.



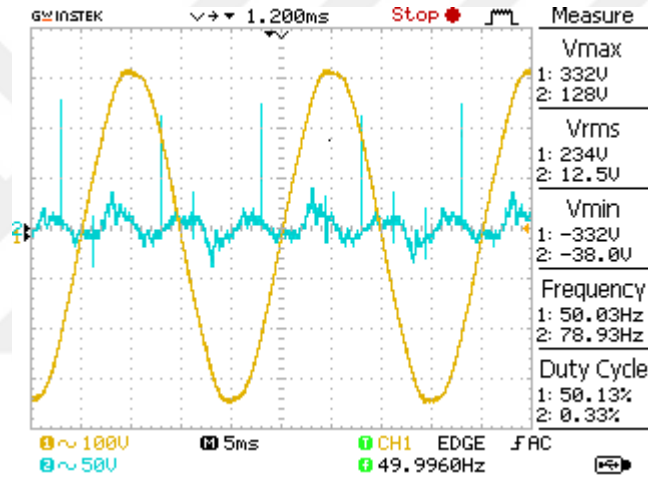
Şekil 5.10. Simülasyon, analiz ve uygulama için kullanılan yük değerleri.

Kullanılan yük değerine ait güç katsayısı Şekil 4.2'de gösterildiği gibi 0,37 olarak bulunmuştur.

Şekil 5.11'de MATLAB Simulink ve uygulama devresine ait şebeke gerilimi ve tristör pals grafikleri verilmiştir. Şekil 4.11'de belirtildiği gibi tetikleme açısı 136° olarak hesaplanmıştır.



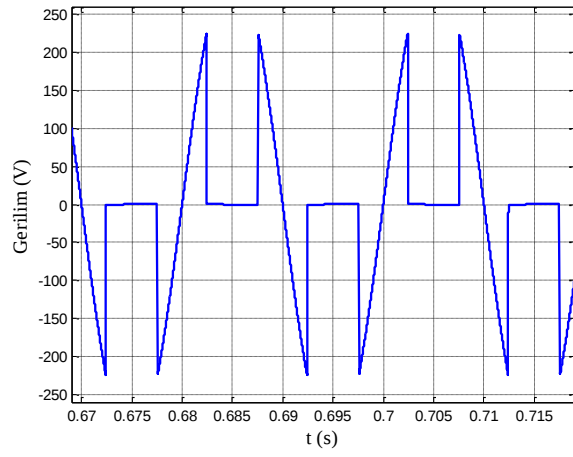
(a)



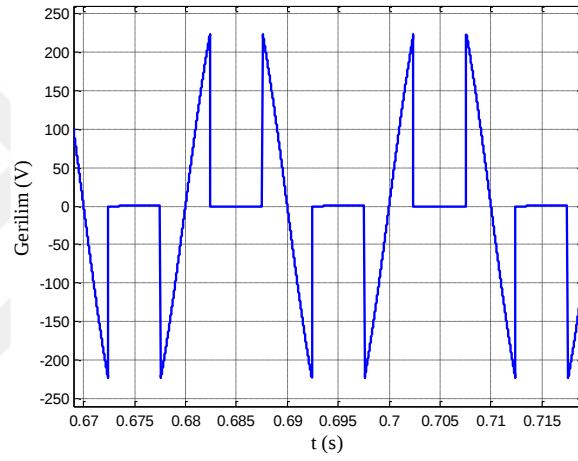
(b)

Şekil 5.11. Şebeke gerilimi ve tristörlere ait pals grafikleri. a) simülasyon sonucu b) uygulama sonucu.

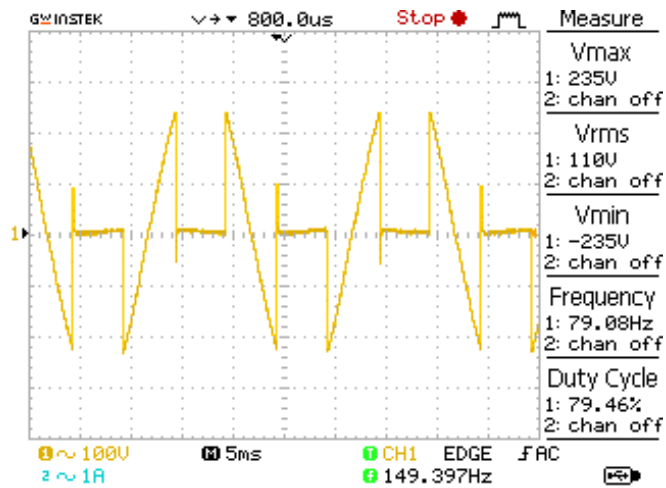
Şekil 5.12’de MATLAB Simulink, Matlab M-File ve uygulama devresine ait tristör kontrollü reaktör gerilimi görülmektedir.



(a)



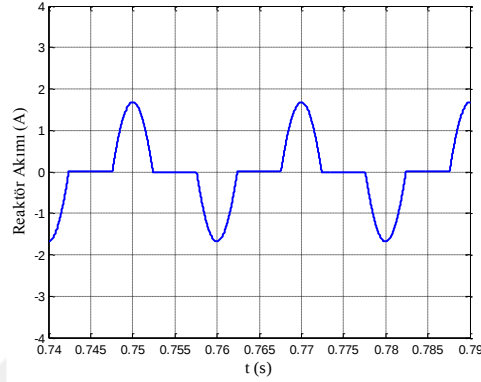
(b)



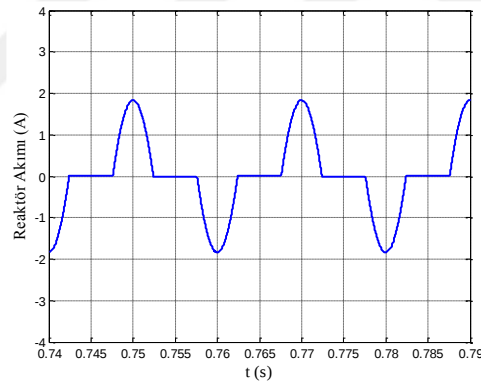
(c)

Şekil 5.12. Tristör kontrollü reaktör gerilimi. a) simülasyon, b) analiz c) uygulama sonuçları.

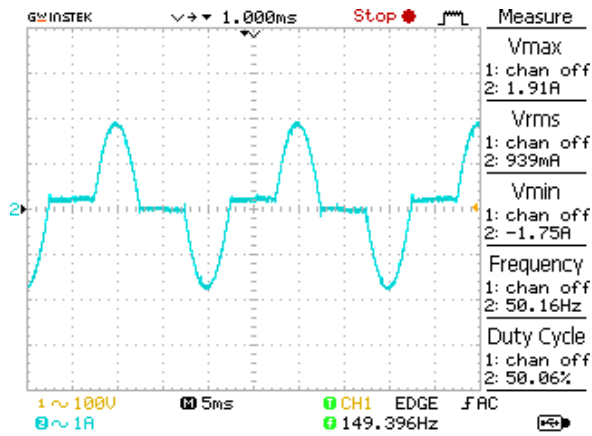
Şekil 5.12’de gösterildiği gibi simülasyon ve analiz sonuçlarında reaktör gerilimi maksimum değeri 223 V, etkin değeri ise 93,3 V olarak ölçülmüştür. Uygulama çalışmasında ise maksimum reaktör gerilimi 235 V, etkin değeri ise 110 V olarak ölçülmüştür. Şekil 5.13’te MATLAB Simulink, Matlab M-File ve uygulama devresine ait tristör kontrollü reaktör akımı görülmektedir.



(a)



(b)

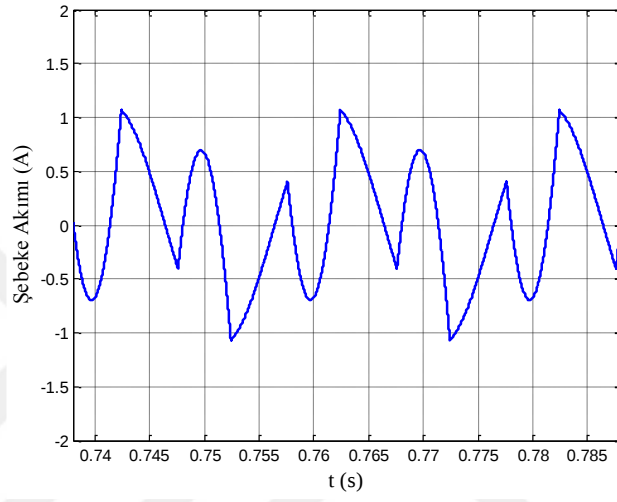


(c)

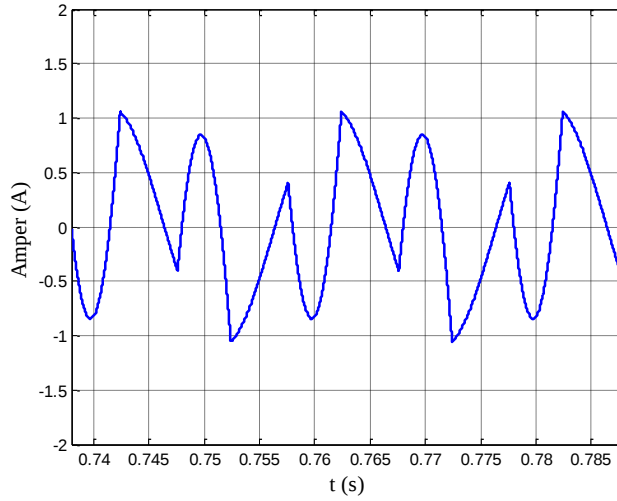
Şekil 5.13. Tristör kontrollü reaktör akımı. a) simülasyon b) analiz c)uygulama sonuçları.

Şekil 5.13'te görüldüğü gibi simülasyon sonucunda maksimum reaktör akımı 1,68 A, etkin değeri 0,85 A, analiz sonucunda maksimum reaktör akımı 1,83 A, etkin değeri 0,92 A ve uygulama sonucunda reaktör akımı 1,91 A, etkin değeri 0,93 A olarak ölçülmüştür.

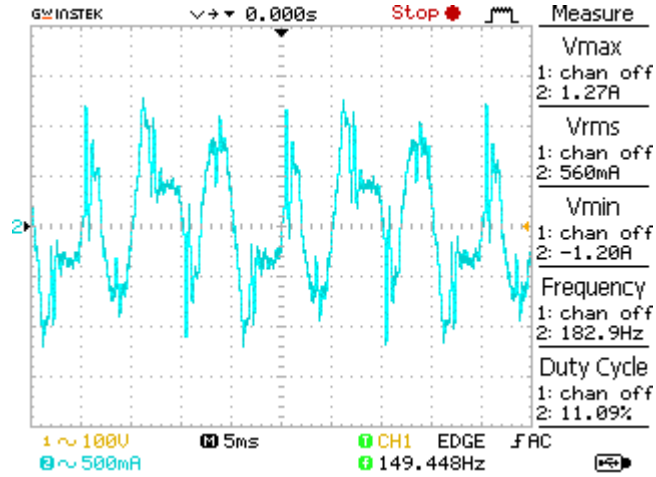
Şekil 5.14'te kaynaktan çekilen akım görülmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.14. Kaynak akımı. a) simülasyon b) analiz c) uygulama sonuçları.

Simülasyon ve analiz yöntemlerinde şebekeden çekilen maksimum akım değeri 1,06 A, etkin değeri 0,57 A, uygulama devresinde ise maksimum akım değeri 1,27 A, etkin değeri 0,56 A olarak ölçülmektedir. Akım grafiğinin tam sinüs çıkmaması oluşan harmoniklerden kaynaklanmaktadır. Harmonik filtreler kullanılarak bu sorun ortadan kaldırılabilir.

Bu tez çalışmasında yapılan deneyler ve ölçümler doğrultusunda, simülasyon, analiz ve uygulama sonuçları Çizelge 5.1’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.1. Simülasyon, analiz ve uygulama sonuçları.

	Simülasyon Sonuçları		Analiz Sonuçları		Uygulama Sonuçları	
	Max değer	Etkin değer	Max değer	Etkin değer	Max değer	Etkin değer
Kompanzasyon öncesi akım (A)	1,23	0,87	1,23	0,87	1,32	0,85
Tristör kontrollü reaktör gerilimi (V)	223	93,3	223	93,3	235	110
Tristör kontrollü reaktör akımı (A)	1,68	0,85	1,83	0,92	1,91	0,93
Kompanzasyon sonrası şebekeden çekilen akım (A)	1,06	0,57	1,06	0,57	1,27	0,56

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında sistemdeki güç katsayısını hızlı ve etkin düzeltilmesine yönelik çalışmalar ele alınmıştır. Yöntem olarak Statik VAR kontrol sistemlerinden, sabit kondansatörlü tristör kontrollü reaktör tercih edilmiştir. Uygulanabilirliği kolay olması, endüktif ve kapasitif yüklerde kolaylıkla çalışabilmesi, maliyetinin uygun ve endüstriyel tesislerde en çok kullanılan sistem olması gibi etkenler yöntem seçiminde önemli olmuştur.

Analiz çalışmaları, diferansiyel denklemlerin çözüm yöntemlerinden birisi olan Fourier yakınsama metodu yardımıyla güç değerlerini ve ana programı MATLAB M-file programı ile yapılarak farklı yüklerde akım, gerilim dalga şekilleri ve kompanzasyon sonrası kaynaktan çekilen yükler çizdirilmiştir. Devrenin simülasyonu MATLAB Simulink programı ile gerçekleştirilmiş ve yine her bir gerilim, akım ve güç değerleri için sonuçlar alınmıştır.

Analiz ve simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında güç faktörünün 1'e yakın, kaynaktan çekilen reaktif gücün 0'a yakın olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla tam kompanzasyon gerçekleştirilerek sistem kararlı hale getirilmiştir. Farklı karakteristiğe sahip yükler altında devre elemanlarının doğru seçimi ile hem analiz yöntemi, hem de simülasyon yöntemi ile sonuçların benzer ve tutarlı olduğu gözlemlenmiştir. Analiz sonuçlarının simülasyon sonuçlarına göre daha kararlı ve salınımların daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışmanın uygulama kısmında ise endüstriyel tesislerde son yıllarda kullanımı artan tristör kontrollü reaktörü barındıran SVC röle kullanılmıştır. Sonuçlar osiloskop yardımıyla alınmıştır.

Enerji kalitesi konusu geçmişten günümüze kadar önemini arttırarak ilerlemiştir. Enerji kalitesini etkileyen parametreler tristör kontrollü sistemin yardımcı devre elemanlarıyla beraber kullanılmasıyla büyük ölçüde giderilebilir.

4. Bölümde yapılan analiz ve simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında endüktif yüklere ait toplam güç katsayısı 0,37'den 0,999'a çıkarılmıştır. Verilen yük değerleri için sabit kondansatörlü tristör kontrollü reaktör uygulamasında reaktör gerilimi yaklaşık olarak 213 V, reaktör akımı 1,75 A, kompanzasyon sonrası kaynaktan çekilen akım ise yaklaşık olarak 1,11 A olarak bulunmuştur.

5. Bölümde, 4. Bölümdeki yük değerlerinin toplamı kullanılarak analiz, simülasyon ve uygulama devresinden alınan sonuçların akım ve gerilim dalga karakteristikleri sunulmuştur. Her üç uygulamada da güç katsayısı 0,37'den 0,999'a çıkarılmıştır.

FC-TCR sistemlerinin büyük miktarda harmonik bileşen içeren akımlar çektiği görülmüştür. Dolayısıyla FC-TCR sistemlerinin harmonik filtreler ile beraber kullanılması önerilmektedir. Veya harmonik etkileri azaltmak için TSC ve TCR yöntemlerinin birlikte kullanılacağı sistemler kullanılabilir.

Yapılan tez çalışması, son yıllarda önemini iyice arttıran üniversite-sanayi iş birliği çerçevesinde yapılan çalışmalara bir örnek olarak gösterilebilir. Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen araştırma, analiz, simülasyon ve uygulama örnekleri ileride yapılacak olan geniş kapsamlı çalışmalara ön hazırlık olarak değerlendirilebilir.

Üç kademeli olarak tasarlanan, tek fazlı veya üç fazlı yükler için bağlantı noktaları oluşturulan uygulama devresi, farklı koşullar altında sistem karakteristiklerinin durumunu inceleyebilmek için deney seti olarak kullanılabilir.

SVC sistemi önümüzdeki yıllarda sadece hızlı devreye girip çıkan yüklerin kontrolü için değil, öne çıkan özellikleri sayesinde tüm yükler için gerekli hale gelecektir. Tristör kontrollü kompanzasyon alçak gerilim kompanzasyon uygulamalarının yanı sıra, yüksek gerilim kompanzasyon uygulamaları için de önemini gittikçe arttıracaktır.

KAYNAKLAR

1. Çöteli, R. ve Aydoğmuş, Z., "DGM-Statcom ile Reaktif Güç Kompanzasyonu", *Politeknik Dergisi*, 10 (2): 123–128 (2007).
2. Gelen, A. ve Yalçınöz, T., "Tristör Anahtarlama Kapasitör (Tsc) Ve Tristör Anahtarlama Reaktör-Tabanlı Statik Var Kompanzator'un (Tsr-Tabanlı Svc) P1 İle Kontrolü", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24 (2): 237–244 (2009).
3. Kara, A. ve Yalçınöz, T., "Aç-Kapa Kontrollü Facts Cihazları İle Yük Kompanzasyonu", *III. Otomasyon Sempozyumu Ve Sergisi Bildirileri*, Denizli, 68-73 (2005).
4. Acha, E., Claudio R. Fuerte, E., Perez, H. A., ve Comacho, C. A., "FACTS Modelling And Simulation In Power Networks", *John Wiley & Sons, LTD*, England, 10-12 (2004).
5. Hingorani, N. G., "Flexible ac transmission", *IEE Spectrum*, 30 (4): 40–45 (1993).
6. Mustafa, K., "Statik Senkron Kompanzatorün PID Kontrolör ile Kontrolü", Yüksek Lisans Tezi, *İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Malatya (2011).
7. Zhang, X., Shi, D., Wang, Z., Huang, J., Wang, X., Liu, G., ve Tomsovic, K., "Optimal Allocation of Static Var Compensator via Mixed Integer Conic Programming", *2017 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)*, Chicago, 16-20 (2017).
8. Fernando, W. A. M., "Power Quality Improvement In Power Systems Using a Static Var Compensator", M. Sc. Thesis, *California State University, Long Beach*, California, USA (2017).
9. Lockley, B., Philpott, G., Ave, J., ve Tj, A., "Static Var Compensators, a Solution To The Big Motor/Weak System Problem", *IEEE Industry Applications Society Forty-Seventh Annual Conference. 2000 Petroleum And Chemical Industry Technical Conference*, San Antonio, TX, USA 307-313 (2000).
10. Taylor, J. A., "Thyristor Switched Capacitor Mitigation System For Customer Side Applications", M.Sc. Thesis, *Mississippi State University In Partial Fulfillment*, Mississippi, USA (2002).
11. Memiş, R., "Statik Var Sistemlerinin Endüstriyel Ortamda Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya (2007).

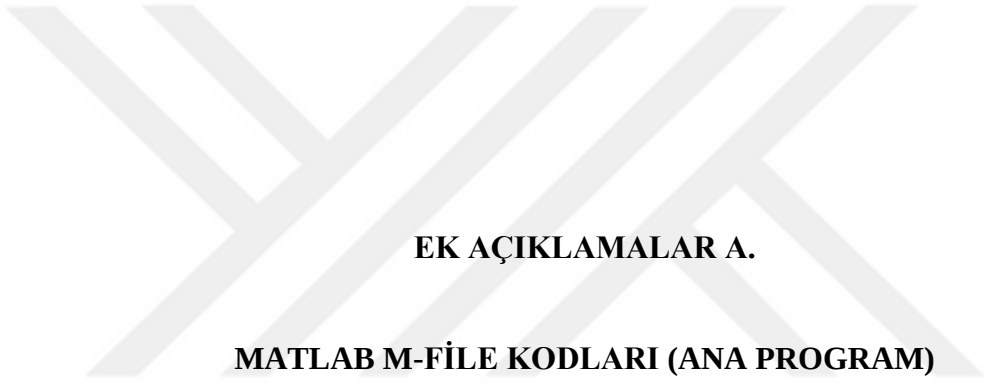
12. İpek, A., "Mikrodenetleyici Tabanlı Reaktif Güç Kompanzasyonu", Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya (2005).
13. Zemerick, S., Klinkhachorn, P., ve Feliachi, a., "Design of a microprocessor-controlled personal static VAr compensator (PSVC)", **IEEE Power Engineering Society Summer Meeting**, 3: 1468–1473 (2002).
14. Sevim, Ü., "Reaktif Güçlerin Mikroişlemcilerle Kontrol Edilmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul (1999).
15. Bostancı, A., "Statik Var Kompanzasyon Sistemi Tasarımı ve Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul (2008).
16. Haw, L. K., Dahidah, M. S. A., ve Almurib, H. A. F., "A new reactive current reference algorithm for the STATCOM system based on cascaded multilevel inverters", **IEEE Transactions On Power Electronics**, 30 (7): 3577–3588 (2015).
17. Mert, T., "Güç Faktörü Düzeltme Yöntemlerinin İncelenmesi ve Bir Uygulama Devresinin Gerçekleştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul (2007).
18. Köse, A., "Sabit Kondansatörlü Tristör Kontrollü Reaktör ile Güç Katsayısının Düzeltilmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara (2014).
19. Hamidkargari, M., "Elektrik Şebekelerinde Statik VAR Kompansatör ve Tap Ayarlı Transformatörün Gerilim Kararlılığına Etkisinin Analizi", Yüksek Lisans Tezi, **Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir (2016).
20. Latran, M. B., "Uzun Dağıtım Hatlarının Gerilim Kalitesi Sorunlarının Statik Var Kompanzator ile Giderilmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara (2012).
21. Koyuncu, M. A., "Statik Var Kompanzasyon Sistemlerinin Harmonikler Bakımından İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul (2012).
22. Arifoğlu, U., "Elektrik-Elektronik Mühendisliğinin Temelleri Alternatif Akım Devreleri Cilt-II", **Alfa Basım Yayın Dağıtım**, İstanbul, 65-67,124-125 (2000).
23. Saner, Y., "Güç Kompanzasyonu", **Birsan Yayınevi**, Kocaeli, 1-3, 26-33, 33-38, 176-179, 186-188 (2016).
24. Özdemir, Ş., Kuşdoğan, Ş., ve Özdemir, E., "Gelişmiş Statik Var Kompanzastörün (Gvsk) Anlık Güç Teorisi Tabanlı Denetimi", **ELECO 2002 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu**, Bursa, 130-134 (2002).

25. Bilki, F., "Reaktif Güç ve Kompanzasyon Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi", **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul (2008).
26. Lopamudra Mitra, D. C. K. P., "Power Factor Improvement Using Active", **International Journal Of Electrical Engineering And Technology (IJEET)**, 1: 32–46 (2010).
27. Ajenikoko, G. A., Adigun, O., ve Rafiu, A. O., "Control Techniques and Power Factor Correction Methods : A Review", **Journal Of Engineering Research And Reports**, 2 (1): 1–13 (2018).
28. Wu, K., "The comparison and choice of several power factor correction methods", **2006 IEEE Vehicle Power And Propulsion Conference, VPPC 2006**, (2006).
29. Powniker, S. ve Shelar, S., "Development of Active Power Factor Correction Controller Using Boost Converter", **WIECON-ECE 2016 - 2016 IEEE International WIE Conference On Electrical And Computer Engineering**, (December): 212–216 (2017).
30. Dixon, J., Morán, L., Rodríguez, J., ve Domke, R., "Reactive Power Compensation Technologies , State- of-the-Art Review", **Proceedings Of The IEEE**, 93 (12): 2144–2164 (2005).
31. Ersamut, R., "Statik Var Kompanzasyon Sistemlerinin İncelenmesi ve Kararlaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul (2009).
32. Kiran, I. K. ve Laxmi, J., "Shunt versus Series compensation in the improvement of Power system performance", **International Journal Of Applied Engineering Research, Dindigul**, 2 (1): 28–37 (2011).
33. Rajaraman, R., Alvarado, F., Maniaci, A., Camfield, R., ve Jalali, S., "Determination of ocation and Amount of Series Compensation to Increase Power Transfer Capability", **IEEE Transactions On Power Systems**, 13 (2): 294–300 (1998).
34. Kepka, J., "Reactive Power Compensation, M. Sc. Thesis", **Wroclaw University Of Technology, Faculty Of Electrical Engineering**, Wroclaw, Poland (2012).
35. Kesginci, C., "Orta Gerilim Dağıtım Şebekelerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul (1998).
36. Şekkeli, M. ve Tarkan, N., "Reaktif Güç Kontrol Rölesinde Minimum Anahtarlama sayısı ve Optimal Reaktif Güç Seçimi", **İtü Dergisi**, 4 (6): 15–22 (2005).
37. Pekparlak, Ü., "Statik Reaktif Güç Kompanzasyonu", Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya (2004).

38. Lakkireddy, J., "Steady State Voltage Stability Enhancement Using Shunt and Series FACTS Devices", M. Sc. Thesis, **New Orleans University**, New Orleans, USA (2014).
39. Akagi, H., "Prospects of new technologies for power electronics in the 21st century", **IEEE/PES Transmission And Distribution Conference And Exhibition**, 2: 1399–1404 (2002).
40. Narain, H. ve Gyugyi, L., "Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems", **IEEE Press EBook**, 5-10 (2000).
41. Pekdemir, A. ve Yıldız, A. B., "Analysis and Modelling of FC-TCR Based on Static VAR Compensator", **IEEE 5th International Conference On Electrical And Electronics Engineering**, İstanbul, 115-118 (2018).
42. Munoz, J., Mendoza, P., Cotos, J., ve Palma, R., "Lab-Scale Three-Phase TCR-Based SVC System For Educational Purpose in Dynamic And Steady-State Analysis", **IEEE 39th North American Power Symposium**, Las Cruces, NM, USA, 636-643 (2007).
43. Eremia, M., Gole, A., ve Toma, L., "Static Var Compensator", *Advanced Solutions in Power Systems:HVDC, FACTS, and Artificial Intelligence*, **John Wiley & Sons, LTD**, 271–338 (2016).
44. Mathur, M. R. ve Varma, R. K., "Principles of Conventional Reactive- Power Compensators", *Thyristor Based FACTS Controllers for Electrical Transmission Systems*, **IEEE Press EBook**, 40-48,56-65,67-92 (2002).
45. Arifoğlu, U., "Matlab 9.1 Simulink ve Mühendislik Uygulamaları", **Alfa Basım Yayın Dağıtım**, İstanbul, 18-157 (2016).
46. Dash, J. K., "Control Strategy for Reactive Power Using Fc-Tcr By", **International Journal Of Electronics And Electrical Engineering (IJEET)**, 2 (4): 39–43 (2015).
47. Moh, M., Aung, M., ve Aung, Y., "A Fuzzy Logic Approach for Improvement of Power Quality Using FC-TCR", **American Scientific Research Journal For Engineering, Technology, And Sciences (ASRJETS)**, 26 (2): 239–256 (2016).
48. Tang, S., "The Impact Of Static Var Compensator (Svc) On Power System Stability", M. Sc. Thesis, **California State University Department Of Electrical & Electronic Engineering**, California, USA (2015).
49. Li, H., Gu, R., Wen, C., ve Zhang, X., "Study on Control Strategy of TSC Reactive Power Compensator based on Fuzzy Control", **IEEE International Conference On Fuzzy Theory And Its Applications(IFuzzy)**, Taichung, Taiwan, (2017).
50. Gelen, A. ve Yalçınöz, T., "Experimental studies of a scaled-down TSR-based SVC and TCR-based SVC prototype for voltage regulation and compensation",

Turkish Journal Of Electrical Engineering And Computer Sciences, 18 (2): 147–157 (2010).

51. Kang Ming-cai ve Dong Xin-zhou, "Research of new controlled series compensation using variable structure control based on TCT", **2011 IEEE International Conference On Advanced Power System Automation And Protection (APAP)**, Beijing, China, 1618-1624 (2011).
52. Hu, W., Su, C., Fang, J., ve Chen, Z., "Comparison Study of Power System Small Signal Stability Improvement Using SSSC and STATCOM", **Industrial Electronics Society, IECON 2013-39th Annual Conference Of The IEEE**, Vienna, Austria, 1996-2001 (2013).
53. Biswas, P., "The Influence of Thyristor Controlled Phase Shifting Transformer on Balance Fault Analysis", **International Journal Of Modern Engineering Research (IJMER)**, 2 (4): 2472–2476 (2012).
54. Bhaskar, M. A., C, S., Kumar, M. J., ve Dr.S.S.Dash, "Voltage Profile Improvement Using FACTS Devices : A Comparison between SVC , TCSC and TCPST", **2009 International Conference On Advances In Recent Technologies In Communication And Computing**, Kottayam, Kerala, India, 890-892 (2009).
55. Tabatabaei, N. M., Aghbolaghi, A. J., ve Bizon, N., "Reactive Power Control in AC Power Systems Fundamentals and Current Issues", **Springer Nature**, 290-310 (2017).
56. Yang, Z., Shen, C., Zhang, L., Crow, M. L., ve Atcitty, S., "Integration of a StatCom and Battery Energy Storage", **IEEE Transactions On Power Systems**, 16 (2): 254–260 (2001).
57. Ertay, M. M. ve Aydoğmuş, Z., "Statcom İle Bir Enerji İletim Sisteminde Gerilim Kontrolü", **Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, (21): 91–105 (2010).
58. Parseba, J. J., Reed, G. F., Takeda, M., ve Aritsuka, T., "FACTS and Custom Power Equipment for the Enhancement of Power Transmission System Performance and Power Quality", **Symposium Of Specialists In Electric Operational And Expansion Planning (VII SEPOPE)**, Curitiba, Brazil, 1-12 (2000).
59. Internet: Grup Arge, "Dokümanlar", <http://www.gruparge.com/dokumanlar#faydali-bilgiler> (2018) .
60. Internet: Entes, "Alçak Gerilim Akım Trafoları", https://www.entes.com.tr/alcak_gerilim_akim_trafolari_ud.asp?livecatID=36&livecataID=49&urunID=2 (2018) .
61. Internet: CSK, "Reosta", <http://www.cskelektronik.com.tr/urun/14/reosta> .



EK AÇIKLAMALAR A.

MATLAB M-FİLE KODLARI (ANA PROGRAM)

```

clc
clear
clear all
%Sabit değerler
global i v f ip t w
%Yükler öncesi güç değeri hesabı için sabit değerler
global itop Vsa Vca dt iL1 isa ica;
%Sabit konsatör öncesi güç değeri hesabı için sabit değerler
global itop2 Vsa2 Vca2 isa2 ica2;
%Şebekeden çekilen güç hesabı için değerler
global itop3 Vsa3 Vca3 isa3 ica3;
%Sabit değerler belirlendi
Vetkin=220;
Vm=Vetkin*sqrt(2);
f=50;
w=2*pi*f;
%Birinci RL yük için
PL1=40;QL1=80;SL1=PL1+j*QL1;ZL1=Vetkin^2/conj(SL1);
iL1max=abs(conj(SL1)/Vetkin)*sqrt(2);
iL1angle=angle(conj(SL1)/Vetkin);
%İkinci RL yük için
PL2=35;QL2=106;SL2=PL2+j*QL2;ZL2=Vetkin^2/conj(SL2);
iL2max=abs(conj(SL2)/Vetkin)*sqrt(2);
iL2angle=angle(conj(SL2)/Vetkin);
%Sabit Kondansatör RC için
PC1=2.55;QC1=350;SC1=PC1-j*QC1;ZC1=Vetkin^2/conj(SC1);
iC1max=abs(conj(SC1)/Vetkin)*sqrt(2);
iC1angle=angle(conj(SC1)/Vetkin);
%Simülasyon adım aralığı
dt=0.000001;
%Bitiş zamanı
tend=1;
%Dizi boyutu ve tüm diziye sıfır atama
tend=tend-1e-10;
lngth=ceil(tend/(dt))+1;
t=zeros(lngth,1);
iL1=t;iL2=t;iC1=t;v=t;period=t;
%Yükler öncesi güç değeri hesabı için sabit değerler
itop=t;Vs=t;Vh=t;Vc=t;Vsa=t;Vca=t;
is=t;ih=t;ic=t;isa=t;ica=t;
P1=t;Q1=t;
itop2=t;
Vs2=t;Vh2=t;Vc2=t;Vsa2=t;Vca2=t;
is2=t;ih2=t;ic2=t;isa2=t;ica2=t;
P2=t;Q2=t; a=t;
%Şebekeden çekilen güç hesabı için
itop3=t;
Vs3=t;Vh3=t;Vc3=t;Vsa3=t;Vca3=t;
is3=t;ih3=t;ic3=t;isa3=t;ica3=t;

```

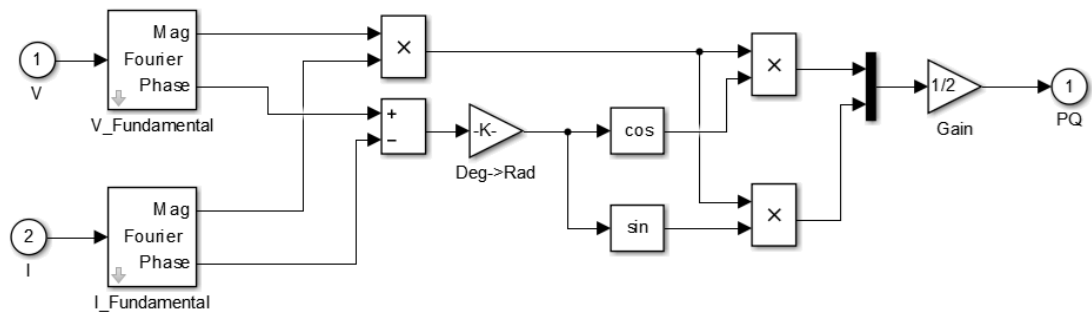
```

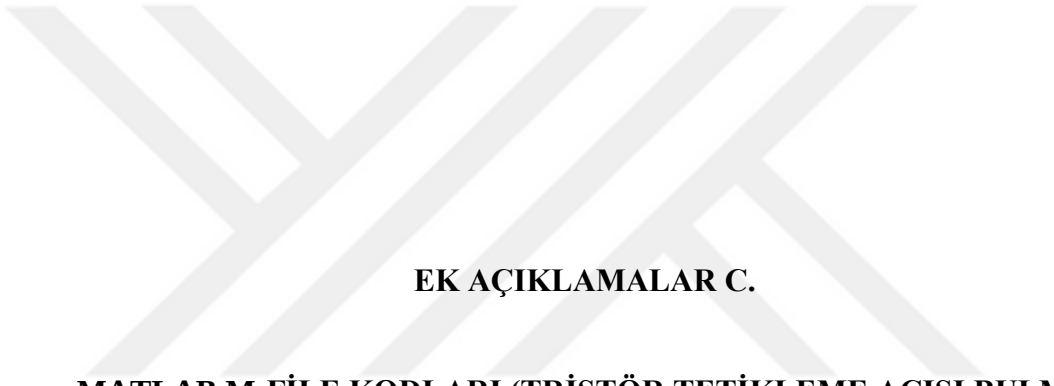
P3=t;Q3=t;
%Tetikleme açısı başlangıç vektörü
tetikaci=t; tetiksani=t; tetikv=t; tetik1=t;tetik2=t; ipgeri=t;tetiktop=t;
%Tristör başlangıç vektörü
vt=t; v1=t; v2=t; it1=t; it2=t; it=t;
%Dizi artırım değerleri
i=1;
%Dizi artırım değerleri bir period öncesini buldurmak için
ii=1;
while t(i)<tend
v(i)=Vm*sin(w*t(i));
ip=i+1;
%Birinci yük 0.3 saniye sonra devreye girsin
if t(i)<0.3
iL1(ip)=0;
end
if t(i)>=0.3
iL1(ip)=iL1max*sin(w*t(i)+iL1angle);
end
%İkinci yük 0.6 saniye sonra devreye girsin
if t(i)<0.6
iL2(ip)=0;
end
if t(i)>=0.6
iL2(ip)=iL2max*sin(w*t(i)+iL2angle);
end

```


EK AÇIKLAMALAR B.

**ANALİZ ÇALIŞMASINDA YÜKE AİT GÜÇ DEĞERLERİNİ BULMAK İÇİN
KULLANILAN DEVRE**





EK AÇIKLAMALAR C.

MATLAB M-FILE KODLARI (TRİSTÖR TETİKLEME AÇISI BULMA KODLARI)

```

function alfa = Aci_bulma(guc)
guc=abs(guc);
Vetkin=220;
B=guc/Vetkin^2;
alfa=pi/2;
epsilon=0.00001; max1=20; x1=pi/2; y=0;
XL=(Vetkin^2)/1000;
for k=1:max1
a=2-2*cos(2*alfa);
x1=alfa-(B*pi*XL-(2*(pi-alfa)+sin(2*alfa)))/a;
alfa=x1;
y=B*pi*XL-(2*(pi-alfa)+sin(2*alfa));
if abs(y)<epsilon
break
end
end
alfa=alfa*180/pi;
if alfa<90;
alfa=90;
else
end
if alfa>180;
alfa=180;
else
end
end

```

ÖZGEÇMİŞ

Samet KOYUNCU 1990 yılında AFYONKARAHİSAR/Bolvadin’de doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı ilçede tamamladı. Bolvadin Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. 2008 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği’nde öğrenime başlayıp, 2012 yılında mezun oldu. 2012 yılında transformatör nüvesi üreten bir fabrikada üretim mühendisi olarak çalıştı. Aynı sene içerisinde KOSGEB Arge-İnovasyon Programı kapsamında desteklenen proje ile sorumlu mühendis olarak çalışmasına 2014 yılına kadar devam etti. 2014 yılında elektrik dağıtım firmalarına master plan hazırlayan bir şirkette mühendis olarak çalıştı. 2015 yılında Kastamonu Üniversitesi Tosya Meslek Yüksekokulunda Öğretim Görevlisi olarak işe başladı ve aynı kurumda çalışmasına devam etmektedir. Yüksek lisansını Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda tamamladı.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Kastamonu Üniversitesi
Tosya Meslek Yüksekokulu
Tosya / Kastamonu

Tel : (544) 820 3261

E-posta : sametskoyuncu03@hotmail.com