

**REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU EĞİTİMİ İÇİN
SANAL BİR LABORATUVARIN OLUŞTURULMASI**

Ali Osman GÖKCAN

**Yüksek Lisans Tezi
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Resul ÇÖTELİ**

OCAK-2016

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

REAKTİF GÜÇ KOMPAZASYONU EĞİTİMİ İÇİN
SANAL BİR LABORATUVARIN OLUŞTURULMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali Osman GÖKCAN

(122135106)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Aralık 2015

Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Ocak 2016

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Resul ÇÖTELİ (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Sami EKİCİ (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÜSTÜNDAĞ (B.Ü)

OCAK-2016

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, enerji sistemleri ve elektrik-elektronik mühendisliğinin önemli bir konusu olan reaktif güç kompanzasyonu ile ilgili Matlab tabanlı arayüz (GUI) kullanılarak sanal bir laboratuvar oluşturulmuştur. Kompanzasyon ile ilgili sistemleri öğrenip test etmek için kullanılan yazılımların öğrenilmesi ve uygulaması hem zaman kaybına neden olmakta hem de asıl amaçtan uzaklaşılmasına neden olmaktadır. Bu amaçla Matlab GUI ile hazırlanan arayüz ve bu arayüzden erişilebilen Simulink uygulamaları, kullanıcıların çok iyi bir matematik, güç elektroniği ve programlama bilgisine ihtiyaç duymadan, kompanzasyon eğitimine imkân sağlamıştır.

Bu tez çalışması süresince, sadece değerli fikirleriyle bana yol göstermekle kalmayıp, aynı zamanda beni sürekli yüreklendiren kıymetli danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Resul ÇÖTELİ'ye çok teşekkür ederim.

Yine çalışma boyunca, gösterdikleri sabır ve desteklerinden dolayı biricik eşime, aileme ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi bir borç bilir, şükranlarımı sunarım.

Ali Osman GÖKCAN

ELAZIĞ-2015

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
SEMBOLLER LİSTESİ	VII
KISALTMALAR	VIII
1. GİRİŞ	1
2. REAKTİF GÜÇ VE REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU	5
2.1 Reaktif Güç	5
2.2 Reaktif Güç Kompanzasyonu	6
3. GÜÇ ELEKTRONİĞİ TABANLI KOMPANZATÖRLER	13
3.1 Seri Bağlı Kompanzatörler	14
3.1.1 Statik Senkron Seri Kompanzatör (SSSC)	14
3.1.2 Tristör Kontrollü Seri Kapasitör (TCSC)	15
3.1.3 Tristör Kontrollü Seri Reaktör (TCSR)	17
3.1.4 Tristör Anahtarlama Seri Kapasitör (TSSC)	17
3.1.5 Tristör Anahtarlama Seri Reaktör (TSSR)	17
3.2 Paralel Bağlı Kompanzatörler	18
3.2.1 Statik Var Kompanzatör (SVC)	18
3.2.2 Statik Senkron Kompanzatör (STATCOM)	19
3.2.3 Dağıtım STATCOM (D-STATCOM)	20
3.3 Seri-Paralel Kompanzatörler	21
3.3.1 Birleştirilmiş Güç Akış Kontrolcüsü (UPFC)	21
4. MATLAB GUIDE İLE ARAYÜZ HAZIRLAMA	23
4.1. Matlab GUI Nesneleri ve Nesne Özellikleri	25
4.2. Handle ve Callback Fonksiyonları	27
4.3. Matlab GUI üzerinden Matlab Simulink'in Kontrolü	28
5. MATERYAL VE TANITILMASI	32
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	42
6.1 Sonuçlar	43
6.2. Öneriler	43
KAYNAKLAR	45
EK-A DETAYLI SVC ŞEMASI	49
EK-B DETAYLI STATCOM ŞEMASI	49
EK-C DETAYLI D-STATCOM ŞEMASI	51
EK-D DETAYLI SSSC ŞEMASI	52
EK-E DETAYLI TCSC ŞEMASI	52
EK-F DETAYLI UPFC ŞEMASI	54
ÖZGEÇMİŞ	54

ÖZET

Günümüzde enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Buna karşılık enerjinin elde edildiği fosil kaynaklar giderek azalmaktadır. Bu nedenle var olan enerjiyi mümkün olduğu kadar yüksek verimle kullanmak gerekmektedir. Elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması konusunda var olan sistemlerin daha verimli kullanılabilmesi için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların başında reaktif güç kompanzasyonu gelmektedir.

Reaktif güç iletim hatlarında kayıpları arttırır, hattın güç iletim kapasitesini azaltır ve hat sonundaki gerilimin genliğinde büyük değişmelere sebep olur. Bu nedenle AC güç sistemlerinde iletilebilir gücü arttırmak ve kayıpları azaltmak için reaktif güç kompanzasyonu yapmak gerekmektedir. Ayrıca, uzun iletim hatlarındaki aşırı gerilim dalgalanmaları, hattın belli noktalarında güç akış kontrolörleri ile kompanzasyon yaparak kontrol edilmektedir. Uzun süreden beri geleneksel kondansatör ve reaktör grupları ile kompanzasyon yapılsa da bu sistemlerin en büyük dezavantajı sistemde oluşan değişmelere hızlı cevap verememeleridir. Bu nedenle iletim sistemlerinin hızlı kompanzasyon ihtiyacına cevap verebilen güç elektroniği elemanları tercih edilmeye başlanmıştır. FACTS (Flexible Alternating Current Transmission Systems, Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri) olarak adlandırılan bu aygıtlar geleneksel kompanzasyon sistemlerine göre çok daha esnek ve kontrol edilebilirdir. 1980'li yıllarda ortaya atılmış olan FACTS kavramı yeni bir kavram olduğundan, laboratuvar ortamlarında uygulama imkânı olmadığından ve bu alanda hazırlanmış eğitim materyali yetersizliğinden dolayı lisans düzeyindeki öğrenciler tarafından yeterince bilinmemektedir.

Teknik hesaplar için yüksek seviyeli programlama dili niteliğindeki Matlab (Matrix Laboratory) programı mühendislik alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kontrol sistemleri, güç sistemleri, havacılık, otomotiv, savunma alanı ve bilimsel hesaplamaların olduğu birçok alanda kullanılabileceği gibi diğer programlama dillerinde fazla sayıda işlem ile yapılan problem çözümleri Matlab ile daha kısa şekilde çözülebilmektedir. Ayrıca birçok araç kutusu içermektedir. Matlab'ın grafiksel kullanıcı arayüzü olan Matlab GUI (Graphical User Interface) de bu araçlardan bir tanesidir. İçerdiği nesneler ve nesnelerin kullanım kolaylığı, diğer Matlab araçlarıyla ilişkilendirilebilmesi ve esnek yapısı sayesinde her türlü arayüz çalışmasında kullanılabilecek bir araçtır.

Bu çalışmada, enerji sistemleri ve elektrik-elektronik mühendisliğinin önemli bir konusu olan reaktif güç kompanzasyonu ile ilgili Matlab tabanlı arayüz (GUI) kullanılarak sanal bir laboratuvar oluşturulmuştur. Kompanzasyon ile ilgili sistemleri öğrenip test etmek için kullanılan yazılımların öğrenilmesi ve uygulaması hem zaman kaybına neden olmakta hem de asıl amaçtan uzaklaşılmasına neden olmaktadır. Bu amaçla Matlab GUI ile hazırlanan arayüz ve bu arayüzden erişilebilen Simulink uygulamaları, kullanıcıların çok iyi bir matematik, güç elektroniği ve programlama bilgisine ihtiyaç duymadan, kompanzasyon eğitimine imkân sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Matlab, GUI, Simulink, Reaktif Güç, Kompanzasyon, FACTS, STATCOM, D-STATCOM, SVC, SSSC, TCSC, UPFC, Sanal Laboratuvar.

SUMMARY

A Virtual Laboratory for Education on Reactive Power Compensation

Today, need for energy has been increasing. On the other hand, main energy resources such as fossil fuels have been decreased. For this reason, we need to use energy use as efficiently as possible. Many works have been carried out to increase efficient usage of electric energy. Reactive Power Compensation is one main topic of these works.

Reactive power increases the losses and decreases the transmission capacity of transmission lines and takes place significant changes in voltage amplitude at the end of the line. The reactive power compensation is required to increase transmittable power in AC systems and to reduce losses. Besides, excessive voltage fluctuations in long transmission lines should be controlled by power transmission controllers at certain points of line. Although compensation has been carried out with conventional condenser and reactor systems for decades, main disadvantage of these systems is their lack of responsiveness to the changes in the system. Thus, in order to satisfy transmission lines' need for quick compensation, suitable power electronics equipment has started to be used. Such equipments named FACTS (Flexible Alternating Current Transmission Systems) are much more flexible and controllable with respect to conventional compensation systems. Undergrad students are not familiar with FACTS concept, first started to emerge in 1980's, because it is relatively new and it does not have any lab applications and educational materials.

Matlab (Matrix Laboratory), a high degree programming language for technical calculations, has been in use widely in engineering fields. It is not only used in control systems, power systems, aviation, automotive, defense industry and scientific calculations, but it gives efficient solutions in short time to the problems requiring numerous iterations in other programming languages. It also includes many tools. Matlab GUI (Graphical User Interface) is one of these tools. Matlab GUI is a very flexible tool that can be used in many interface based works with its user friendly objects and easy associating capability with other tools.

In this study, a virtual laboratory is formed by using Matlab GUI for education of reactive power compensation which is a very important subject of Energy Systems and Electric-Electronic Engineering. Learning and using of current education and testing softwares for compensation systems causes time loss and makes one to deviate from the main purpose. This virtual lab created by using Matlab GUI and Simulink applications that can be reach via this user interface makes it possible to educate students who does not necessarily have extensive mathematics, power electronics and programming knowledge.

Key Words: Matlab, GUI, Simulink, Reactive Power, Compensation, FACTS, STATCOM, D-STATCOM, SVC, SSSC, TCSC, UPFC, Virtual Laboratory

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 Endüktif karakterli yük ve fazör gösterimi.....	6
Şekil 2.2 AA şebeke güç vektörleri	6
Şekil 2.3 Kompanzasyon yapılmamış şebekede güç dolaşımı	7
Şekil 2.4 Kompanzasyon yapıldıktan sonra şebekede güç dolaşımı	8
Şekil 2.5 Bireysel kompanzasyonun genel gösterimi.....	9
Şekil 2.6 Grup kompanzasyonun genel gösterimi	10
Şekil 2.7 Merkezi kompanzasyonun genel gösterimi.....	10
Şekil 3.1 SVC'nin genel gösterimi	18
Şekil 3.2 STATCOM'un genel gösterimi.....	20
Şekil 3.3 D-STATCOM'un genel gösterimi.....	21
Şekil 3.4 SSSC'nin genel gösterimi	15
Şekil 3.5 TCSC'nin genel gösterimi.....	16
Şekil 3.6 UPFC'nin genel gösterimi.....	21
Şekil 4.1 Araç çubuğunda Guide.....	17
Şekil 4.2 Start butonunda Guide.....	23
Şekil 4.3 Guide açılış ekranı.....	24
Şekil 4.4 Guide çalışma alanı	24
Şekil 4.5 GUI nesneleri özellikler penceresi	27
Şekil 4.6 Simulink scope bloğu paramaters menüsü	29
Şekil 5.1 KESL çalışma dosyası görünümü	32
Şekil 5.2 KESL Ana sayfası	33
Şekil 5.3 KESL Statcom ekranı.....	35
Şekil 5.4 KESL D-Statcom ekranı.....	36
Şekil 5.5 KESL SSSC ekranı.....	38
Şekil 5.6 KESL SVC ekranı	39
Şekil 5.7 KESL TCSC ekranı	40
Şekil 5.8 KESL UPFC ekranı	42

SEMBOLLER LİSTESİ

Q	: Reaktif güç
P	: Aktif güç
S	: Reaktif güç
V	: Gerilim
I	: Akım
X_L	: Endüktif reaktans
X_C	: Kapasitif reaktans
φ	: Akım ve gerilim arasındaki açı
f	: Frekans
L	: Bobin değeri
Z	: Empedans

KISALTMALAR

AA	: Alternatif Akım
D-STATCOM	: Distrubuted Static Synchronous Compensator
EPRI	: Electric Power Research Institute
FACTS	: Flexible Alternating Current Transmission Systems
GUI	: Graphical User Interface
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
KESL	: Kompanzasyon Eğitimi Sanal Laboratuvarı
MWS	: Matlab Web Server
STATCOM	: Static Synchronous Compensator
SSR	: Senkronaltı Salınım Rezonansları
SSSC	: Static Synchronous Series Compensator
SVC	: Static Var Compensator
TCR	: Thyristor Controlled Reactor
TCS	: Thyristor Switched Capacitor
TCSC	: Thyristor Controlled Series Compensator
TCSR	: Thyristor Controlled Series Reactor
TSSC	: Thyristor Switched Series Capacitor
TSSR	: Thyristor Switched Series Reactor
UPFC	: Unified Power Flow Controller
VAR	: Volt-Amper Reaktif
VSC	: Voltage Source Converter

1. GİRİŞ

Modern endüstri ve yük talebinin büyümesi ile artan enerji ihtiyacı, yenilebilir enerji kaynaklarına eğilimi arttırdığı gibi var olan enerji kaynaklarının da daha verimli ve kaliteli bir şekilde kullanılması yönünde çalışmalar yapılmasına sebep olmuştur. En yaygın enerji biçimi olan elektrik enerjisi de bu çalışmalardan nasibini almıştır. Elektrik enerji verimini yükseltmek ve minimum kayıpla enerji iletimi sağlamak için reaktif güç kompanzasyonu üzerinde daha fazla durulmaya başlanmıştır. Ancak geleneksel kompanzasyon sistemleri enerji iletim sistemlerinin kararlılığının, denetlenebilirliğinin, güç taşıma kapasitesinin ve verimliliğinin artırılmasında yetersiz kalmaktadır. Bu nedenlerden dolayı yapılan çalışmalar Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri (FACTS, Flexible Alternating Current Transmission Systems) üzerinde yoğunlaşmaya başlamıştır.

Güç elektroniğinin önemli bir konusu olan reaktif güç hem soyut kavramlardan oluşması, hem ilgili hesaplamalarında karmaşık işlemler içermesi, hem de laboratuvar ve uygulama yapma imkânlarının yetersiz olmasından dolayı öğrenilmesinde zorluklar çekilebilmektedir. Bu nedenle reaktif güç kompanzasyonu ile ilgili lisans ve lisansüstü derslerde görsel arayüzlü uygulamaların kullanımı konuyla ilgili kavramların somutlaştırılmasını ve konunun etkili öğrenilmesini kolaylaştıracaktır. Ayrıca GUI (Graphical User Interface) tabanlı bu uygulamalar ile anında geri dönüt alınacağı için öğrenme zamanından tasarruf sağlanacak, kaçırılan veya ders anında etkin olarak öğrenilemeyen konuların istenildiği zaman tekrarı yapılabilecek, öğretmenin işi kolaylaşacak ve ders daha zevkli hale gelecektir.

Eğitim amaçlı kullanıcı arayüzlü çalışmalar incelendiğinde, Matlab tabanlı çalışmaların oldukça fazla sayıda olduğu görülmektedir. Çeşitli teknik konularla ilgili arayüz tasarımlarının yer aldığı başlıca çalışmalar aşağıda sıralanmıştır.

DeMoyer ve Mitchell, hazırlamış oldukları çalışmada GUI kullanılarak yapılan uygulamaların eğitim açısından öneminden bahsetmiş ve bazı kontrol sistemlerine yönelik bir görsel arayüz tasarlamıştır [1].

McClellan ve Rosenthal, sinyal işlemede yer alan teorik kavramların görsel animasyonlarla öğrenilmesine yönelik bir çalışma yapıp, bu çalışmanın öğrenciler üzerinde ne gibi etkileri olduğuna yer vermiştir [2]. Mutlu ve Yalçınöz, enerji sistemlerinin analizinde önemli bir yeri olan bir yük akış konusunda eğitim amaçlı bir program

hazırlamıştır. Güç sistemlerinin temelini oluşturan yük akış analizinin öğrenciler tarafından daha iyi kavranması amacıyla Matlab GUI ile hazırlanan bu programda, yük akışı analizi Gauss-Seidel, Newton-Raphson ve Fast-Decoupled yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir [3].

Şefkat ve Yüksel, farklı tiplerdeki elektromıknatısların statik ve dinamik karakteristikleri ile ilgili problemlerin ele alındığı bir GUI uygulaması tasarlamıştır [4].

Biçen, yeraltı güç kablolarını bilgisayar destekli analiz etmek amacıyla Matlab Simulink üzerinde yeraltı güç kablolarını modellemiş, ardından GUI araç kutusunu kullanarak hazırladığı bir arayüzle Simulink üzerinde hazırladığı modelin denetimini sağlamıştır [5].

Savaş, yüksek lisans tezinde ise Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi öğrencilerinin kontrol derslerinde görmüş oldukları teorik bilgileri pekiştirmek üzere laboratuvar deneylerini kendi kendilerine yapabilecekleri web tabanlı bir uygulama hazırlamıştır. Bu uygulamasında Matlab GUI ile birlikte Matlab Web Server (MWS) araç kutusunu da kullanmıştır [6].

Ak, elektronğin önemli konularından olan doğrultma devrelerinin öğretimi için GUI tabanlı bir eğitim programı hazırlamıştır. Hazırladığı program kullanıcılara, doğrultma devreleri hakkında teorik bilgilerin yanı sıra, her bir devre için simülasyon (benzetim) yapma imkanı sağlamaktadır [7].

Kaplan, Matlab Robotics Toolbox komutlarının Matlab editörü olmadan işletilmesini sağlamak için görsel bir arayüz hazırlamıştır. GUI ile geliştirilen ara yüz kullanıcıya gerekli parametrelerin her biri için bir alan ayırdığından kullanıcının komuttaki parametre sayısı ve hangi parametreler olduğu gibi bilgileri önceden ayarlamadan daha hızlı komut işleme ve sonuç almasına yardımcı olmaktadır. [8]

Yalçın, yüksek lisans tez çalışmasında Elektrik-Elektronik Mühendisliği alanındaki Güç Elektroniği dersine yönelik sanal laboratuvar tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu sanal laboratuvar, güç elektroniğinin doğrultucu devreleri, konvertörler, invertörler, frekans dönüştürücüler ve güç kaynakları konularına yöneliktir. Hesaplama ve analiz kısımları Matlab ile hazırlanmış bu laboratuvarın görsel arayüzü ise ASP .NET ile hazırlanmıştır [9].

Ayas öğrencilerin, doğrusal sistemlerin durum uzayı modellerini test edebileceği, sonuçlarını gözlemleyebileceği ve bu sistemlere klasik ya da bulanık mantık tabanlı denetleyiciler tasarlayabileceği görsel özellikli bir sanal laboratuvar ortamı geliştirilmiştir.

Bu çalışmasını yukarıda bahsedilen diğer çalışmalardan farklı olarak Matlab yerine C++ programı yardımıyla hazırlamıştır [10].

Gökcan, güç faktörü düzeltme prensiplerini ve hesaplamalarını GUI arayüzünde hazırladığı uygulama ile görselleştirmiş, hazırladığı sabit bir kompanzasyon devresi ile öğrencilere güç faktörü düzeltme konusunu simule etme imkânı sunmuştur [11].

Yavuz, Başol, Ertay ve Yücedağ Matlab GUI kullanarak hazırladığı eğitim aracında fotovoltaiik eşdeğer devrelerinin analizi konusunu işlemiştir. Çalışmada kullanılan FV devreleri Simulink ortamında hazırlanmıştır. Bu araç ile kullanıcılara, ilgili FV devresini seçtikten sonra ona ait sıcaklık ve ışıınım değerlerini girdirerek devre karakteristiğini inceleme imkânı sunmuştur [12].

Tosun, yüksek lisans tezinde güç sistemleri eğitimi için Matlab GUI tabanlı bir yük akış simülatörü hazırlamıştır. Bu simülatörde, bara empedans ve bara admitans matrisleri yardımıyla yük akış analizleri yapılmıştır [13].

Koç, yüksek lisans tez çalışmasında enerji iletim hatları için Matlab GUI tabanlı bir arıza analiz programı geliştirmiştir. Yapılan arayüz yardımıyla simetrik ve asimetrik arızaların hesaplanması ve sinyallerin çizdirilmesi sağlanmıştır [14].

Karagöl, Başol ve Yücedağ çalışmasında güç elektroniği sistemlerinden dönüştürücü devre modellerinin karakteristiklerinin incelenmesi amacıyla Matlab GUI yardımıyla bir arayüz tasarlamıştır. Yapılan çalışma ile sürücü devrelerine ait simülasyonların arayüz kullanılarak yapılması amaçlanmıştır [15].

Sefa, Altın ve Asa ise yaptıkları çalışmada enerji kalitesi ve harmonikler konusunda verilecek eğitimlerde kullanılmak üzere Matlab tabanlı bir simülatör geliştirmiştir. Sayısal verilerin girişi, hesaplamaların sayısal ve grafiksel gösterimi için Matlab GUI kullanılarak görsel bir arayüz hazırlanmıştır [16].

Bu tez çalışmasında Matlab GUI tabanlı sanal bir laboratuvar hazırlanarak; öğrencilerin reaktif güç kompanzasyonunun amacını daha iyi kavramaları, reaktif güç kompanzasyonunda kullanılan geleneksel ve güç elektroniği tabanlı yöntemleri öğrenmeleri ve daha kolay anlamaları, çözümü uzun süren problemlerde daha hızlı ve doğru bir biçimde sonuca ulaşılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, geleneksel yöntem ve güç elektroniği tabanlı aygıtlara ilişkin Matlab Simulink modelleri kullanılmış ve bu modeller Matlab GUI'de hazırlanan kullanıcı arayüzü ile ilişkilendirilmiştir. Böylece benzetim modeline ait grafik ve sonuçların arayüz ekranından takip edilebilmesi sağlanmıştır. Bu tez çalışmasında statik var kompanzatör (SVC), statik senkron kompanzatör (STATCOM), dağıtım statik senkron

kompanzatörü (D-STATCOM), statik senkron seri kompanzatör (SSSC), tristör kontrollü seri kompanzatör (TCSC) ve birleştirilmiş güç akış filtresi (UPFC) olmak üzere toplam 6 adet FACTS aygıtına ait benzetim modeli kullanılmıştır. Kullanıcı bu modellere ait bazı sonuçları Matlab GUI arayüzünde takip edebilmektedir. Ayrıca bu modellerin çalışma prensipleri ve devre modelleri de arayüze yerleştirilmiş olup kullanıcı bu bilgilere KESL sayfalarındaki “Description” butonu ile ulaşabilmektedir.

Hazırlanan tez çalışması ile konunun öğrenilmesindeki verim ve kalitenin artırılması, öğrenci motivasyonunun üst seviyeye çıkarılması, öğrencinin öğretmene olan bağımlılığının en aza indirilerek bireysel çalışma yeteneğinin de gelişmesine imkan sağlanmıştır.

Bu tez çalışmasının organizasyonu aşağıdaki gibidir.

Birinci bölümde genel olarak tez çalışmasının konusundan, gerekliliğinden, tezin hazırlanmasında kullanılan yöntem ve faydasından bahsedilmiştir.

İkinci bölümünde reaktif güç ve reaktif güç kompanzasyonu ile ilgili bilgiler verilmiştir. Ayrıca konuya temel oluşturan hesaplamalardan ve reaktif güç terimleri arasındaki ilişkiden bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümünde FACTS aygıtları, bu aygıtların kompanzasyondaki yeri ve önemi, kullanım alanları ve KESL’ye konu olan çeşitleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde Matlab GUI’de arayüz hazırlama konusu açıklanmıştır. GUI arayüzü nesneleri, nesnelerin özellikleri ve çalışma mantıkları, Simulink ile GUI nesneleri arasındaki ilişki, Matlab komut satırı veya GUI üzerinden Simulink modelinin nasıl ilişkilendirilebileceği, Simulink’te elde edilen verilere GUI üzerinden nasıl erişilebileceği açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, bir önceki bölümde verilen bilgiler eşlinde hazırlanan KESL arayüzü tanıtılmıştır. Tezin asıl amacı olan bu bölümde KESL’nin tüm sayfaları, işlevleri ve tasarım süreci anlatılmıştır.

Tezin altıncı bölümünde ise eğitim amaçlı hazırlanan bu arayüzün eğitim-öğretim faaliyetlerine olan katkısı açıklanmış, çalışmanın geliştirilmesi için neler yapabileceği konusunda potansiyel araştırmalara önerilerde bulunulmuştur.

2. REAKTİF GÜÇ VE REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU

Reaktif güç elektrik tesislerine istenmeyen bir şekilde etki eder; generatörleri, transformatörleri, hatları, bobinleri gereksiz yere meşgul eder. Ayrıca bunların üzerinde ilave ısı kayıplarına ve gerilim düşümlerine yol açar. Reaktif güç kompanzasyonu ile reaktif güç minimum seviyeye indirilir ve elektrik enerjisi en az kayıpla en verimli şekilde kullanılmış olur.

2.1 Reaktif Güç

Elektrik şebekelerinden çekilen alternatif akımın, aktif ve reaktif olmak üzere iki bileşeni bulunmaktadır. Alternatif akım şebekelerinde gerilim ve akımın reaktif bileşenlerinin çarpımları reaktif gücü vermektedir ve bu bağıntı denklem (2.1)' deki gibi ifade edilmektedir.

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

Denklem 2.1'de:

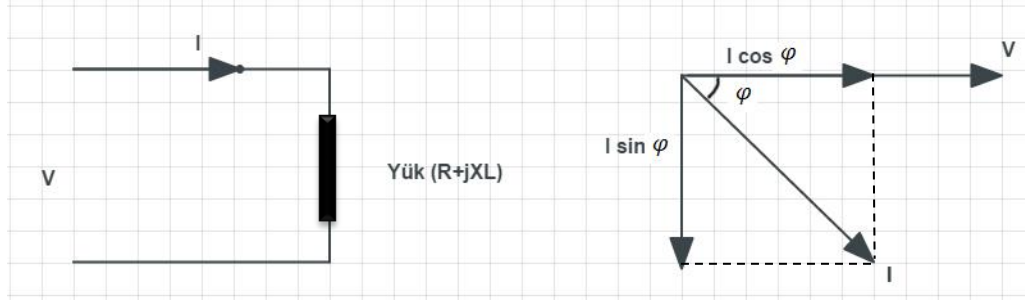
Q : Reaktif güç, birimi Volt-Amper Reaktif (VAR),

V : Şebeke geriliminin etkin değeri, birimi Volt,

I : Şebeke akımının etkin değeri, birimi Amper,

φ : Akım ve gerilim arasındaki açı, radyan veya derece olarak ifade edilir.

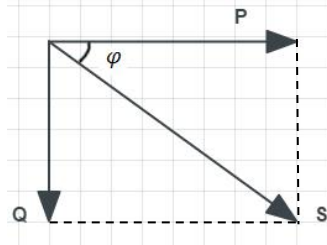
Şebekeye bağlı yükler endüktif veya kapasitif karakterlerde bulunabilirler. Şekil 2.1' de endüktif karakterli yüke ait devre ve bu devreye ilişkin akım-gerilim fazör diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.1 Endüktif karakterli yük ve fazör gösterimi

Şekil 2.1'deki yük; direnç ve endüktif reaktanstan oluşan bir omik endüktif yükten oluşmaktadır. Böyle bir devrede, fazör diyagramından da görüleceği gibi akım gerilimden φ açısı kadar geridedir. Yani bu devrede, reaktif güç endüktif karakterdedir. Endüktif bir yükün kaynaktan çektiği reaktif güç pozitif, kapasitif bir yükün çektiği reaktif güç ise negatiftir.

Tüm AA (Alternatif Akım) elektrik şebekelerinde tüketilen aktif güç ve reaktif güç arasında Şekil 2.2'deki vektörel ilişki mevcuttur. Şekil 2.2'de P aktif ve S; aktif ve reaktif gücün vektörel bileşkesi olan görünür gücü belirtmektedir. φ açısının kosinüs değeri şebekeye ait güç faktörünü (P/S) verir [17].



Şekil 2.2 AA şebeke güç vektörleri

2.2 Reaktif Güç Kompanzasyonu

Senkron ve asenkron motorlar, bobinler, transformatörler, redresörler, ark fırınları, kaynak makineleri, flüoresan ve neon lambaların balastları gibi manyetik veya statik alanla çalışan elektrikli cihazlar, şebekeden hem aktif güç hem de reaktif güç çeker. Fiziksel anlamda iş yapmayan bu reaktif güç, iletim hatlarını gereksiz yere meşgul etmekte ve gereksiz kayıplara neden olmaktadır [18]. Şekil 2.3'te şebeke içinde güç dolaşımı blok şema ile gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Kompanzasyon yapılmamış şebekede güç dolaşımı

Reaktif güç şebekenin güç kalitesini olumsuz yönde etkileyen temel güç kalitesi problemlerindendir. Bu problem giderilmediği takdirde; sistemin güç katsayısının düşmesi, enerji kayıplarının azalması, verimin düşmesi, nötr akımı fazlalığı, trafo, bara ve kablolar gibi sistem elemanlarının aşırı ısınmaları, rezonans olayları gibi birçok olumsuzluğa da neden olmaktadır. Bahsedilen olumsuzlukların giderilmesi için reaktif güç kompanzasyonu işlemi yapılmaktadır. Enerji sistemindeki endüktif ve kapasitif yüklerin dengelenmesi ile reaktif gücün tekrar kaynağa iade edilmesi için gereken ve yapılan sistemler ya da şebekenin ve yükün ihtiyacı olan reaktif gücün belli teknikler kullanılarak karşılanması işlemi reaktif güç kompanzasyonu olarak adlandırılır [19]. Yapılan kompanzasyon işlemi şebekenin güç kapasitesinin artmasını, ısı kayıplarının, gerilim dalgalanmalarının ve faz gerilim uyumsuzluklarının azalmasını sağlamaktadır [20]. Ayrıca:

- Şebekenin güç kapasitesinin artmasıyla birlikte ülke ekonomisi için önemli bir kazanç sağlaması,
- Akımın azalmasıyla ısı kayıplarının da beraberinde azalması,
- Tesisattaki gerilim düşümlerinin azalması,
- Harmoniklerin azalması,
- Tüketicinin elektrik faturasından tasarruf etmesi,
- İletken kesitlerinin azalması ile birlikte montaj boyutlarının azalması,
- Yüksek güç faktörü yardımıyla, bileşenlerin daha iyi kullanılması ve dolayısıyla elektrik tesisatının uygun hale getirilmesi,
- Elektrik enerjisinin kalitesizliği sebebiyle doğabilecek olan arıza risklerinin en aza indirgenmesi gibi başka faydaları da bulunmaktadır [17].

Şekil 2.4'te kompanzasyon yapıldıktan sonra şebekedeki güç dolaşımı yer almaktadır.



Şekil 2.4 Kompanzasyon yapıldıktan sonra şebekede güç dolaşımı

Genel olarak, 3 tür kompanzasyon vardır:

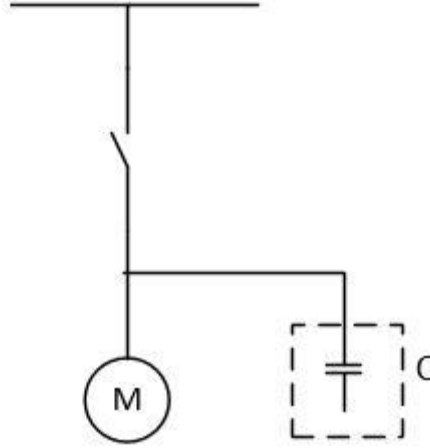
1. Bireysel Kompanzasyon
2. Grup Kompanzasyon
3. Merkezi Kompanzasyon

Büyük fabrikalarda üç kompanzasyon türü de görülebilmektedir. İlk kural, tüketicilerin reaktif gücünü kompanzasyon yaparak besleme kabloları, kablo ve bakırların üstündeki yükü azaltmaktır. Dolayısıyla kompanzasyon bankının yeri indüktif yüklere yakın olmalıdır. Örneğin, Floresan tüplerindeki akım limitleyen indüktörler, ekipmanın içindeki sabit kapasitöre bağlanmalıdır. Çünkü genellikle bunlar çok küçük (0.6'dan küçük) güç faktörüne sahiptirler. Bir parça reaktif güç, bir parça aktif gücü önemli ölçüde artırır. Yani, büyük bir ofis binasındaki tüm floresanları ya da lambaları ilk kata yerleştirilmiş bir otomatik bank ile kompanze etmek mantıklı değildir. Kompanzasyon işleri için, güç kapasitörleri, floresan ve lamba kapasitörleri (1.5 kvar'dan küçük) arasındaki farkı iyi ayırmak gerekir[21].

1. Bireysel Kompanzasyon: Şekil 2.5 motora paralel bağlanmış tipik bir bireysel kompanzasyonu göstermektedir. Burada reaktif güç, kapasitör ve motor arasında kısa bir kablo ile gidip gelmektedir. Uygun bir anahtar ile bileşenler doğrudan bağlanmıştır. Bireysel kompanzasyonun bazı avantajları aşağıdaki gibidir[21]:

- Kapasitör için ayrı bir kontaktörden kurtarır.
- Reaktif güç tarafından besleme hatlarının tamamen ya da kısmi deşarjı
- İki bileşeni de tek bir kasada birleştirme
- Besleme kablolarındaki aktif güç kayıplarını azaltır.
- Otomatik güç faktörü rölesi kurulumunu gereksiz hale gelir.

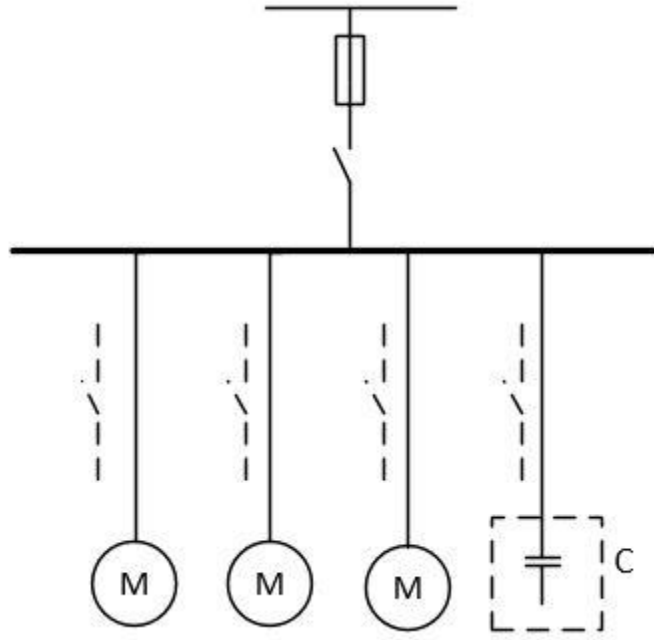
- Asenkron motorlar, (kaynak) transformatörleri ya da seri indüktörlü floresan lambalarının kompanzasyonunda bireysel yöntem tercih edilmektedir.



Şekil 2.5 Bireysel kompanzasyonun genel gösterimi

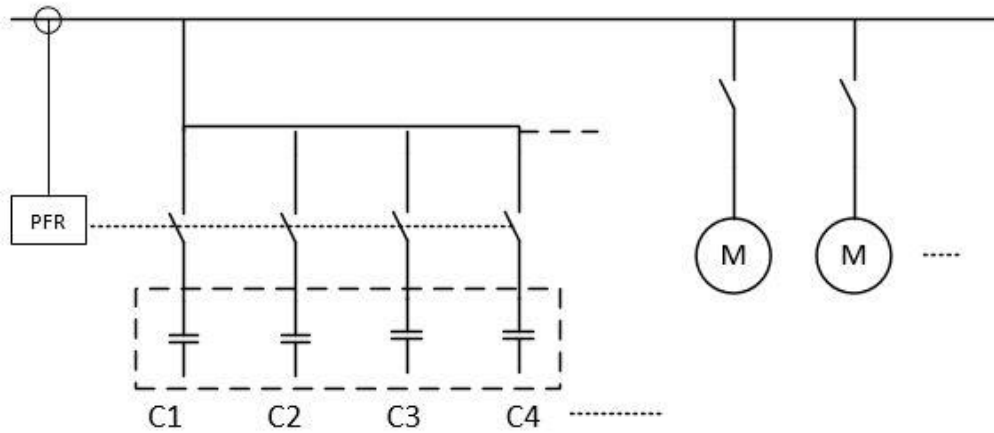
2. Grup Kompanzasyon: Bu kompanzasyon metodu, çoğu zaman paralel çalışan ve lokal olarak çok yakın olan her türlü indüktif tüketicilerde kullanılabilir. Toplam reaktif güç talebi dolayısıyla, bir kapasitör yeterlidir. Kişi, iki değiştirme modu arasındaki farkı ayırt etmelidir: Ya tüm tüketiciler sürekli paralel çalışıyor ya da bazı yükler aralıklarla çalışıyor olmalıdır.

İlk durumda, kompanzasyon kapasitörü dâhil olmak üzere tüm tüketiciler bir kontaktör tarafından açılıp kapatılınca, kapasitör için ayrı bir kontaktöre gerek kalmaz. İkinci durumda (Şekil 2.6'daki kesik çizgi) Kapasitör kendi kontaktörüne sahiptir. Fakat kapasitör orantılı olarak küçük olabilir çünkü tüm tüketiciler aynı anda açılıp kapatılmaz. Genellikle grup kompanzasyonun alt dağıtım seviyesinde yerleştirilmesi daha uygun olmaktadır. Kişi, tüketiciler tarafından talep edilen reaktif gücün kompanzasyon ile dalgalanacağını unutmamalıdır. Bu, doğal olarak daha geniş kesitli kablolar gerektirir. Grup kompanzasyon genellikle ekonomik sebeplerle, ofis binaları, alışveriş merkezleri ve fabrikalarda kullanılır[21].



Şekil 2.6 Grup kompanzasyonunun genel gösterimi

3. Merkezi kompanzasyon: Yüksek dalgalanmalı tüketicilerin olduğu büyük fabrikalarda, otomatik güç faktörü rölesi tarafından kontrol edilen merkezi kompanzasyon kullanılmaktadır. Güç faktörü rölesi, gerekli hedef güç faktörünü sağlamak için bir ya da birden fazla kapasitörü kontrol eder. Şekil 2.7’de görüldüğü üzere otomatik kompanzasyon bankları, ana ya da alt dağıtım panellerine yerleştirilir.



Şekil 2.7 Merkezi kompanzasyonunun genel gösterimi

Araba fabrikaları gibi büyük fabrikalarda ana odak yüküne göre birden fazla LV dağıtım paneli kurulur. Bireysel tüketici grupları, otomatik kontrol edilen kompanzasyon bankları ile alt dağıtım panelleri tarafından beslenir. Güç faktörü rölesi reaktif gücü dağıtım panelinin besleme noktasında sürekli kontrol eder ve farklı ya da eşit boyuttaki kapasitörleri açar ya da kapar. Güç faktörü rölesi sabit bağlı kapasitörü de korur, örneğin floresan lambaların lokal kompanzasyonu. Fakat, bunların aşırı kompanzasyon durumunda bağlantısı kesilemez. Böylece tek tip kapasitörün belirlenmesinde, istenen güç faktörü $\cos\phi$ 'nin altında olmalıdır. Dağıtım panelinin besleme noktasında daha yüksek güç faktörüne erişmek istenirse, güç faktörü rölesi daha önceden ayarlanmış hedefe göre bunu otomatik olarak yapar [21].

Tüketici ve kompanzasyon arasında reaktif gücün sürekli dalgalandığı doğrudur ve kablolar kompanzasyon yapılmamış yükü de iletmek zorundadır. Fakat bu merkezi kompanzasyon metodu bireysel kompanzasyondan daha ekonomiktir. Çünkü otomatik olarak kontrol edilen kompanzasyon tüketicinin talep faktörünü dikkate alır ve daha az reaktif güç yüklemesine ihtiyaç duyar. Merkezi kompanzasyon avantajları[21]:

- Merkezi konumu dolayısıyla kolay kontrol
- Birimin genişletilmesi kolaydır.
- Kapasitör bankının reaktif gücü talep edilene göre ayarlanır.
- Tüketicilerin talep faktörünü dikkate aldığımızda, bireysel kompanzasyona göre daha az kapasitans yüklemesi gerektirir.

Karışık Kompanzasyon: Kompanzasyon türlerinden hangisinin kullanılacağı tüketicilerin lokal düzenlemelerine göre değişir. Yukarıda değinildiği gibi, bir tarafta bireysel kompanzasyon ile indüktif tüketicilerin reaktif gücünü kompanzasyon yapmak kolayken, diğer yandan sabit bağlı kapasitörlerin toplamı gerçek talebi artırabilir. Bu yüzden karışık kompanzasyon daha çok seçenek sunmaktadır. Bir kurumun aydınlatması grup kompanzasyonu ile çözülüp, geri kalan tüketiciler otomatik kontrollü merkezi kompanzasyonla kontrol edilebilir[21].

Geleneksel kompanzasyon sistemleri gerilim genliğinin, gerilimin faz açısının ve hat empedansının kontrolüne ilişkin yavaş yük değişimlerinde ve sürekli halde yeterli olabilirler. Fakat dinamik sistem şartlarında yetersiz kalmaktadırlar [22]. Katı hal yarı iletken teknolojisinin hızlı gelişimi ile AA sistemini daha etkin bir şekilde kontrol etmek için güç elektroniği elemanlarını içeren aygıtlar geliştirilmektedir. FACTS olarak

adlandırılan bu aygıtlar, güç sistemlerinin hassas ve hızlı bir şekilde kontrol edilmesinde, geleneksel kompanzasyon sistemlerinin yerini almaktadır[23].

3. GÜÇ ELEKTRONİĞİ TABANLI KOMPANZATÖRLER

Güç elektroniği teknolojisinin enerji sistemlerine uygulanma tarihi oldukça kısadır. Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri kavramı 1980’li yıllarda Elektrik Gücü Araştırma Enstitüsü (EPRI, Electric Power Research Institute) tarafından ortaya atıldıktan sonra güç elektroniği teknolojisini temel alan aygıtlarla beraber gelişmiş ve dünyaya yayılmıştır [24].

Tristör öncesi dönem olan 1930–1980 yıllarında enerji sistemlerinde sorunlar, kontrolsüz seri kondansatörler, senkron kondenserler, anahtarlı paralel kondansatörler, mekanik kademe değiştiricili transformatörler yardımıyla çözülmekteydi. 1980–2000 yılları arasında ise bunların yerini tristör kontrollü seri kondansatörler, tristör kontrollü statik VAr kompanzatörleri, tristörlü kademe değiştiricili transformatörler aldı. 1990’lı yılların sonu ve 2000’li yıllardan itibaren statik senkron seri kompanzatörler, statik senkron kompanzatörler, birleştirilmiş güç akışı kontrolörleri kullanıma girdi [25]. Bu dönemde ABD, Brezilya, Kanada, Çin, Hindistan gibi geniş topraklara sahip ve enerjiyi iç bölgelerde üretip liman kentlerine veya enerji yoğun bölgelere taşımak zorunda olan ülkelerde FACTS aygıtları kullanımının hızla arttığı görülmektedir [26].

Amerikan Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE) tarafından FACTS, güç sisteminin kontrol edilebilirliğini kolaylaştırmak ve güç iletim kapasitesini arttırmak için kullanılan, güç elektroniği tabanlı bir sistem ya da statik donanım olarak tanımlanmıştır [23].

FACTS aygıtlarının temel kullanım amaçları aşağıdaki şekilde sıralanabilir [27]:

1. İletim sistemlerinin güç transfer yeteneğini arttırmak. Seri hat empedansı üzerinden geçen akımın zorlanarak hat üzerindeki güç akışını ısı sınırı kadar arttırabilmektir. Aynı zamanda sistem kararlılığını da uygun gerçek zamanlı kontrol ile sağlamaktır.
2. Güç akışını istenen hat üzerinden istenen ölçüde sağlamak. Etkin hat empedansını değiştirerek, hat akımının kontrolü ile güç akışının seçilmiş hat üzerinden geçmesini sağlamaktır.

FACTS aygıtlarının kullanılmasıyla birlikte geçmişte gerçekleştirilemeyen birçok önemli işlemsel fonksiyon artık rahatlıkla gerçekleştirilebilmektedir. Bu fonksiyonlardan bazıları ise şunlardır;

1. İletim hatlarında gücün sürekli kontrolü,

2. İletim hatlarının aşırı yükleme olmadan tam kapasiteli kullanılması,
3. Sistem kayıplarını azaltmak için aşırı yüklü iletim hatlarının rahatlatılması,
4. Sistem güvenliğini ve kararlılığının artırılması,
5. Sistemdeki problemlerin ve donanım bozukluklarının etkilerini sınırlandırarak ard arda oluşan sistem kesilmelerinin önlenmesi,
6. Güç sistemi salınımlarının sönümlenmesi [28].

Güç elektroniği tabanlı kompanzatörler hatta bağlantı şekline göre üç gruba ayrılırlar:

- Seri bağlı
- Paralel bağlı
- Seri- paralel bağlı

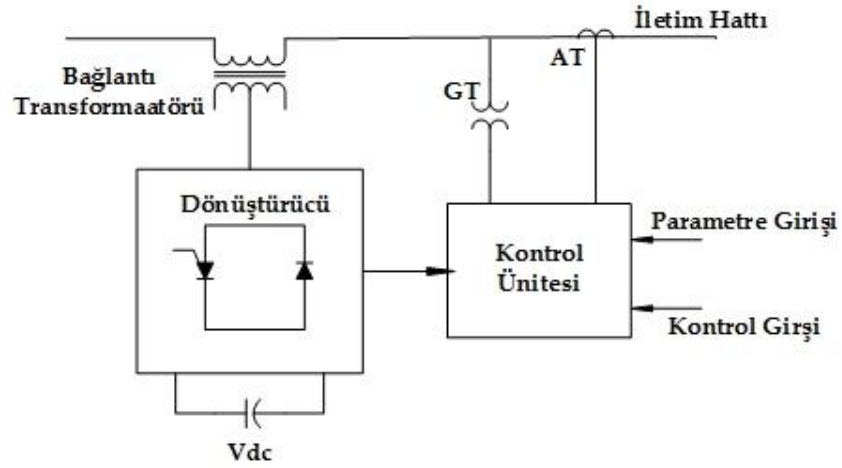
3.1 Seri Bağlı Kompanzatörler

Seri kompanzasyonda, FACTS aygıtları güç sistemi ile seri halde bağlanır ve kontrol edilebilir bir gerilim kaynağı olarak çalışır. Tüm AC iletim hatları seri endüktans içerir. Uzun hatlar, yüksek akımlarda büyük bir gerilim düşüşüne neden olur. Kompanzasyon için seri kapasitörler bağlanarak endüktans etkisi azaltılır. Ayrıca seri hatlarda seri kapasitörler bağlanarak, alıcı ucu ve gönderme ucu arasındaki endüktif reaktans azaltılıp sistemin güç faktörünün düzeltilmesi sağlanır. Fakat bu kompanzasyon yönteminin etkisi şönt kapasitörü ile kıyaslandığında çok düşüktür[29].

3.1.1 Statik Senkron Seri Kompanzatör

Statik senkron seri kompanzatör Şekil 3.4'te görüldüğü gibi iletim hattına seri bağlı senkron bir gerilim kaynağıdır. İletim hattına uygun bir gerilim enjekte ederek hattın etkin empedansını değiştirebilmektedir. Hatta seri bağlı bir kapasite hat akımına göre 90° geri fazda bir gerilim oluştururken hat endüktansı ise hat akımına göre 90° ileri fazda bir gerilim oluşturur. Sonuç olarak hat endüktansının meydana getirdiği gerilimin etkisini azaltmak için hatta seri bir kapasite eklenmelidir. SSSC'nin çalışması ise böyle bir kapasitenin hat akımına göre 90° geri fazda bir gerilimi oluşturmaya dayanır. Normalde SSSC'nin çıkış gerilimi hat akımına göre 90° geri fazda olup etkin seri kompanzasyon sağlanır[30].

SSSC ile aktif ve reaktif güç kontrolü yapılabilmektedir. SSSC, yeterli büyüklükte bir DC depolama aygıtı ile bağlanırsa aktif güç kontrolü, küçük bir DC kapasitör ile bağlanırsa reaktif güç kontrolü yapılabilir.



Şekil 3.1 SSSC'nin genel gösterimi

Fiziksel kapasiteler iletim hatlarına seri olarak bağlandıklarında güç sistem generatörleri arasında sistem frekansından daha düşük frekanslarda güç alışverişinin olmasına sebep olur. Senkronaltı salınım rezonansları (SSR) olarak adlandırılan bu güç alışverişleri düşük frekanslı salınımlar şeklindedir ve generatör şaftlarında zorlayıcı etkide bulunarak hasarlara sebep olur. SSSC hat üzerinde SSR oluşmasına izin vermediği için fiziksel kapasitelerin bu etkileri oluşmaz. Bunun aksine, SSSC yardımı ile bir hatta bağlı diğer seri kapasitelerin oluşturduğu SSR'ler sönmümlendirilebilmektedir. Bunu yapabilmek için hatta uygun genlik, frekans ve faz açılarında senkronaltı gerilimler verilir. Bu gerilimler SSSC tarafından temel frekansta verilen gerilim ile beraber aynı anda üretilip iletim hattına enjekte edilir[30].

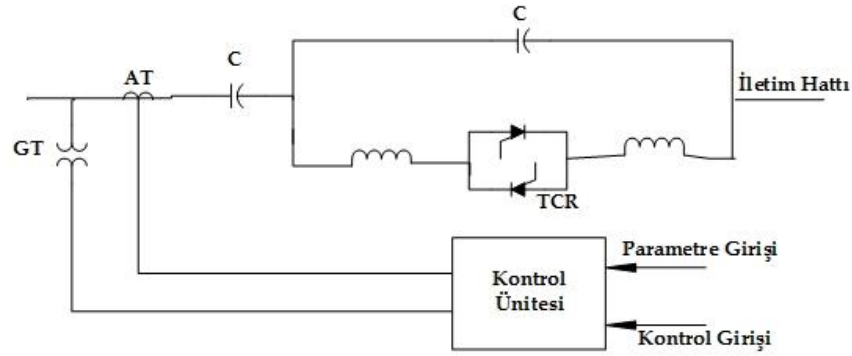
SSSC'nin yapabildiği fonksiyonlar şu şekilde sıralanabilir[31]:

- 1- Güç salınımlarının azaltılması
- 2- Hattın seri kompanzasyonunun yapılması
- 3- Kısa devre akımlarının sınırlandırılması
- 4- Etkin ve tepkin güç akışlarının denetimi
- 5- Faz akımlarının dengelenmesi
- 6- Senkron altı rezonanslarının sönmümlendirilmesi
- 7- Sistem geçici kararlılık sınırının arttırılması.

3.1.2 Tristör Kontrollü Seri Kapasitör

Tristör kontrollü seri kompanzatör reaktans değeri kontrol edilebilen tipik seri bir FACTS aygıtıdır. TCSC'nin yapısında kapıdan kesimli tristör yoktur. Bu aygıt AC

sistemlerde iletim hattına seri bağlanarak hattın empedansını kompanze eder. Bu şekilde tüm sistemin bara admitans yapısı değiştirilebilir. TCSC hattaki güç transfer kapasitesini artırırken reaktif güç kayıplarını azaltır. Geçici kararlılığı düzeltmek için hat reaktansını düşürür, hattaki gerilim regülasyonunda ve sistem kararlılığında gelişme sağlar [32].



Şekil 3.2 TCSC'nin genel gösterimi

Şekil 3.5'den görüleceği gibi TCSC, sabit bir kapasite, her iki alternansta iletim sağlayabilen zıt yönlü ve paralel bağlı iki tristör valfi ile tristör valfine seri bağlı reaktörden oluşmaktadır. Tristör valfi ve reaktörden oluşan bölüm ise tristör kontrollü reaktör (TCR) olarak adlandırılmaktadır.

TCSC aygıtı 4 modda çalışabilir [33]:

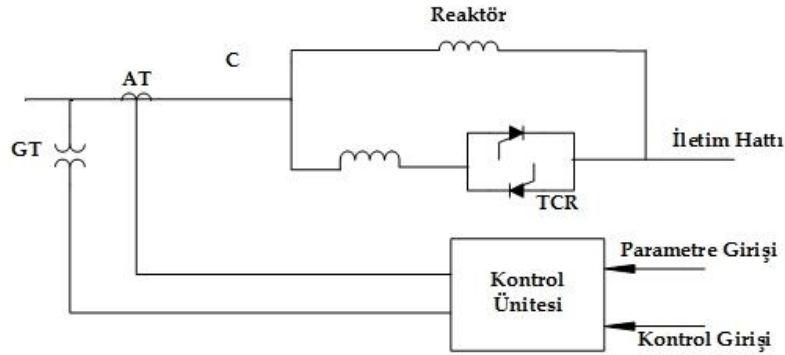
- 1- Bloklama mod
- 2- By-Pass mod
- 3- Kapasitif boost mod
- 4- Endüktif boost mod

TCSC sabit kapasite reaktansına göre, reaktöre ait etkin reaktans değerini uygun şekilde ayarlar ve böylece eşdeğer reaktansın esnek bir şekilde ayarlanmasını sağlar. Reaktörün etkin reaktans değerini istenen değere getirmek için reaktöre seri bağlı tristörlerin tetikleme açılarını uygun şekilde ayarlayıp, reaktör uçlarındaki gerilim ve reaktörden geçen akım kontrol edilir. TCSC'yi olası aşırı gerilimlerden korumak için TCR'ye şönt olarak bir varistör bağlanabilir. Varistör genellikle metal oksitten yapılan doğrusal olmayan bir dirençtir. Nominal çalışma durumunda ideal olarak sonsuz dirence

sahiptir. Aşırı gerilim durumunda varistör direnç değeri hızlı bir şekilde düşer ve TCSC aşırı gerilimden korunmuş olur [34].

3.1.3 Tristör Kontrollü Seri Reaktör

Tristör kontrollü seri reaktör, seri bağlı endüktif reaktans kompanzatorüdür. Prensipde düzgün, değişken ve endüktif bir seri reaktans elde amacı bulunmaktadır. Tetikleme açısı 180° iken iletim durur ve kontrolsüz reaktör hata akımı sınırlayıcısı olarak görev yapar. 180° 'nin altına düşüldüğünde ise açı 90° 'ye gelene kadar net endüktans azalır. Bu aralıkta sistem iki şönt reaktörden oluşur [35]. Şekil 3.6'da TCSR'nin genel gösterimi yer almaktadır. Denetimli reaktör sayısı bir veya daha fazla sayıda olabilmektedir.



Şekil 3.6 TCSR'nin genel gösterimi

3.1.4 Tristör Anahtarlama Seri Kapasitör

Tristör anahtarlama seri kapasitör yapısı TCSC yapısı ile aynıdır. Ancak TSSC'nin çalışma prensibi reaktör gruplarının devreye tamamen alınması veya devreden tamamen çıkartılması şeklindedir. Bu şekilde TCSC'nin denetlenebilme kabiliyetinden taviz verilmiş olursa da hem maliyetler hem de anahtarlama kayıpları düşürülmüş olmaktadır[30].

3.1.5 Tristör Anahtarlama Seri Reaktör

Tristör anahtarlama seri reaktör ile TCSR yapısı arasında hiçbir fark yoktur. Şönt bağlı reaktansların kademeli bir şekilde devreye alınması veya devreden çıkarılması şeklinde bir çalışma prensibi vardır. Böylece TCSR nin sürekli denetim özelliğinden ödün verilerek maliyeti ve anahtarlama kayıpları düşük bir aygıt elde edilmiş olur [30].

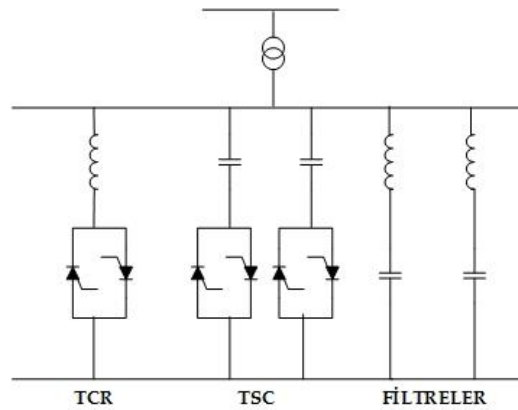
3.2 Paralel Bağlı Kompanzatörler

Paralel kompanzasyonda, FACTS aygıtları güç sistemine şönt (paralel) bağlanır ve kontrol edilebilir bir akım kaynağı olarak çalışır. İki çeşit paralel kompanzasyon vardır [29]:

- Şönt kapasitif kompanzasyon: Bu yöntem güç faktörünü düzeltmek için kullanılır. İletim hattına bir endüktif yük bağlandığında yük akımının gecikmesinden dolayı güç faktörü geriler. Kompanzasyon için, şönt kapasitör bağlanarak kaynak gerilimi ileri faza çekilir.
- Şönt endüktif kompanzasyon: Bu yöntem ya iletim hattı yüklenmesi esnasında ya da alıcı uçta çok düşük bir yük olduğunda kullanılır. Bu çok düşük ya da hiç olmayan yük durumunda çok düşük bir akım iletim hattına akar. İletim hattındaki şönt kapasite gerilim amplifikasyonuna (Ferranti etkisi) yol açar. Kompanzasyon için şönt indüktörler iletim hattı boyunca bağlanır.

3.2.1 Statik Var Kompanzatör

Bu aygıt ilk olarak ortaya çıkan FACTS aygıtıdır. Ark fırını kompanzasyonu için 1970’li yılların başında geliştirilmiş ileriki zamanlarda iletim uygulamalarına uyarlanmıştır[36]. Genel olarak iki tip SVC yapısı bulunmaktadır. Birinci tip SVC, tristör kontrollü reaktör ve buna şönt bağlı kapasitörden oluşmaktadır. İkinci tip SVC ise tristör kontrollü reaktör ve buna seri bağlı kapasitörden oluşmakta ve tristör anahtarlamalı kapasitör olarak adlandırılmaktadır. TCR ve şönt bağlı kapasitörden oluşan SVC yapısı uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. İdeal bir SVC aktif ve reaktif güç kaybı olmayan, gerilimi referans gerilime eşit ve çok hızlı cevap verebilen kontrolör olarak tanımlanmaktadır[37].



Şekil 3.3 SVC'nin genel gösterimi

SVC'nin çalışma prensibi; kondansatör ve/veya reaktörlerin, hesaplanan tetikleme açılarına göre şebekeye sokup çıkarılarak değişken değerli şönt empedans elde etmeye dayanır. Uygun tetikleme ile SVC'nin bağlı bulunduğu barada maksimum kapasitif reaktif güç değerinden maksimum endüktif reaktif güç değerine kadar geniş bir aralıkta reaktif güç ayarı yapılabilmektedir [38].

En yaygın SVC'ler şunlardır [26]:

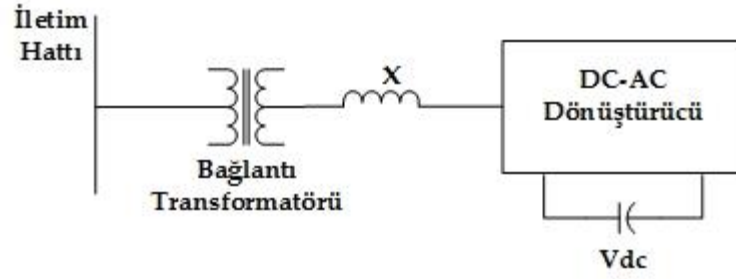
- Tristör Kontrollü Reaktör (Thyristor Controlled Reactor) : Tristörün yarı iletim kontrolüyle sürekli halde etkin reaktansı değiştirilen şönt bağlı bir reaktördür.
- Tristör Anahtarlama Reaktör (Thyristor Switched Reactor) : Tristörün sıfır veya tam iletim halinde çalışmasıyla etkin reaktansı değiştirilen şönt bağlı reaktördür.
- Tristör Anahtarlama Kapasitör (Thyristor Switched Capacitor) : Tristörün sıfır veya tam iletim halinde çalışmasıyla etkin reaktansı, kademeli biçimde değiştirilen şönt bağlı kondansatördür.

3.2.2 Statik Senkron Kompanzatör

STATCOM iletim hattına şönt olarak bağlanan bir FACTS aygıtıdır. STATCON ya da ASVC (Gelişmiş Statik Var Kompanzatör) olarak da adlandırılmaktadır [39]. STATCOM'un çalışma karakteristiği senkron kondenser ile aynıdır [40].

Elektrik sisteminde baraya şönt bağlanan ve çıkışının kontrol edilebilirliği sayesinde elektrik sistemde var olan parametreleri denetleme imkânı sunan STATCOM, gerektiğinde reaktif güç üretimi veya tüketimi yaparak hızlı bir şekilde kompanzasyon yapabilen bir FACTS aygıtıdır[41]. Bu aygıtların asıl fonksiyonu iletim hattından kontrollü bir reaktif akım çekerek bağlantı noktasında iletim hattının gerilimini düzenlemektir[40].

Şekil 3.2'de STATCOM'un genel devre yapısı verilmiştir. Basit olarak STATCOM, bağlantı transformatörü, DC-AC dönüştürücü ve bir DC kapasitörden oluşmaktadır. Aygıt, üzerindeki gerilim kaynaklı dönüştürücüde (VSC, Voltage Source Converter) kullanılan GTO, IGBT gibi yarı iletken anahtarlama elemanları sayesinde üç fazlı gerilimler üzerinde hızlı genlik ve faz kontrolü sağlamaktadır. Endüktif empedans üzerinde oluşan gerilim farkı STATCOM ve sistem arasında reaktif güç transferi yaparak, STATCOM'un bağlı olduğu barada gerilim iyileştirmesi sağlamaktadır [41].



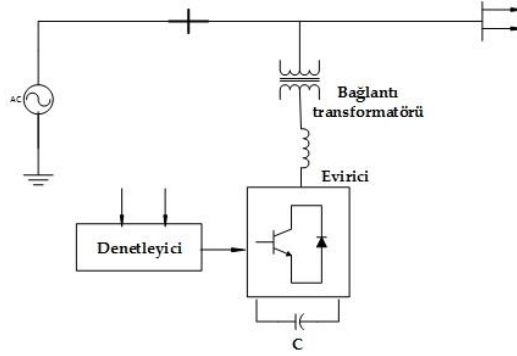
Şekil 3.4 STATCOM'un genel gösterimi

STATCOM'un çalışma prensibi şu şekilde açıklanabilir: DC-AC dönüştürücü sayesinde endüktif empedansın önünde kontrol edilebilir bir AC gerilim (V_c) elde edilir. Bu gerilim sistem bara gerilimi ile karşılaştırılır. Eğer AC bara gerilimi DC-AC dönüştürücü tarafından elde edilen gerilimden büyük ($V_s > V_c$) ise elektrik sistemi STATCOM' u baraya şönt bağlı bir reaktör olarak algılar. Bu durumda STATCOM bağlı olduğu noktadan reaktif güç tüketmeye başlar. Dönüştürücü tarafından elde edilen gerilimin bara geriliminden büyük olduğu ($V_c > V_s$) durumda ise STATCOM şönt kapasitör olarak çalışır ve sisteme reaktif güç verir. Bu iki gerilimin eşit olması durumunda ise güç alış veriş sıfırdır. STATCOM'un DC tarafında bir enerji depolama aygıtı bulunacak olursa sisteme aktif güç (P) transferi sağlanabilir. Bu ise STATCOM terminal gerilimi ile AC sistem arasındaki faz açısı ayarlanarak yapılır. AC sistemin faz açısı dönüştürücü tarafından üretilen gerilimin faz açısından ileride olduğu durumda (leading) STATCOM sistemden aktif güç çeker. AC sistemin faz açısı dönüştürücü tarafından üretilen gerilimin faz açısından gerisinde ise (lagging) STATCOM sisteme aktif güç sağlar [36].

3.2.3 Dağıtım STATCOM

D-STATCOM reaktif güç kompanzasyonu ve dağıtım sistemindeki dengesiz yüklemelere, düşük maliyetli çözümler sunan ve iyi bilinen bir yöntemdir. İletim hatlarına paralel olarak bağlanan D-STATCOM, güç faktörü ile reaktif güç kompanzasyonunu düzeltmek ve harmonikleri azaltmak için sisteme akım enjekte edebilir.

D-STATCOM uygulamaları genelde sistem gerilimlerindeki dalgalanmalardan fazla etkilenen hassas yükler içindir. Bu aygıtlarda gerilim kaynaklı dönüştürücüler (VSC), darbe genlik modülasyonu (PWM) ile birlikte kullanılarak gerilim dalgalanmalarını azaltır. Bununla birlikte diğer modülasyon teknikleri ve diğer dönüştürücüler de D-STATCOM ile birlikte kullanılabilir[42].



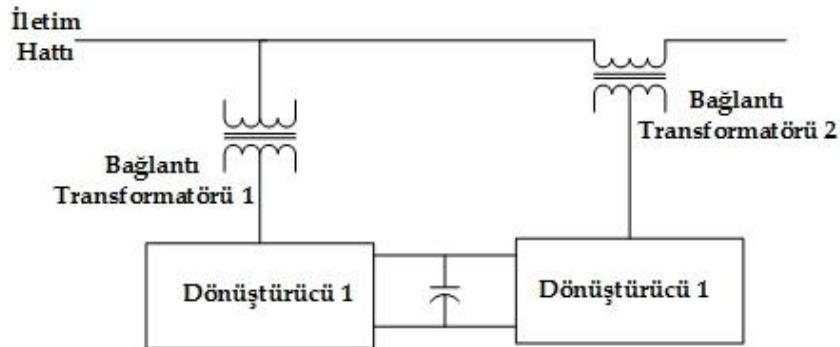
Şekil 3.5 D-STATCOM'un genel gösterimi

3.3 Seri-Paralel Kompanzatörler

Seri ve paralel kompanzatörlerin birleşimidir. Bu aygıtlar paralel kısmı ile sisteme akım verirken seri kısmı ile hatta gerilim verirler. Bu iki kompanzatörün arasında gerçek güç transferi yapan bir güç hattı bulunmaktadır[26].

3.3.1 Birleştirilmiş Güç Akış Kontrolcüsü

Birleştirilmiş güç akış kontrolörü Şekil 3.6'dan da görüldüğü üzere STATCOM'un (Converter1) iletim hattına şönt bağlı çıkış uçları ile SSSC'nin (Converter2) hatta seri bağlı çıkış uçları arasında çift yönlü güç akışına izin veren ve ortak bir DC kapasiten çalışan FACTS aygıtıdır. UPFC açısal sınırlama olmadan iletim hattına gerilim enjekte edebilir ve hattaki aktif ve reaktif güç akışını kontrol edebilir. Aynı zamanda her bir dönüştürücü (converter) kendi çıkış terminalinde bağımsız olarak şönt reaktif kompanzasyon yapılabilir [27].



Şekil 3.6 UPFC'nin genel gösterimi

UPFC'nin, birbirinden bağımsız olarak iletim hattındaki aktif ve reaktif güç akış denetimi, gerilim regülasyonu, seri ve şönt kompanzasyon işlevlerinin yanında faz kaydırma işlevi de vardır. Faz kaydırma işlevini hat başı ve hat sonu gerilimleri arasındaki etkin faz açısını kontrol etmek için seri enjekte edilen gerilimin genliğini değiştirerek yapar. UPFC ile SSSC arasındaki en büyük fark hatta verilen gerilim ile hat akımının arasında 90° lik faz farkı sınırlaması olmamasıdır[27]. Ayrıca UPFC'nin aşırı yüklenmiş hatlar ile paralel hatlar arasındaki yük paylaşımı, döngü akış denetimi, sistemlerin dinamik ve geçici rejim koşullarında kararlılık denetimi gibi problemlerin de çözümünde kullanılması amaçlanmıştır [43].

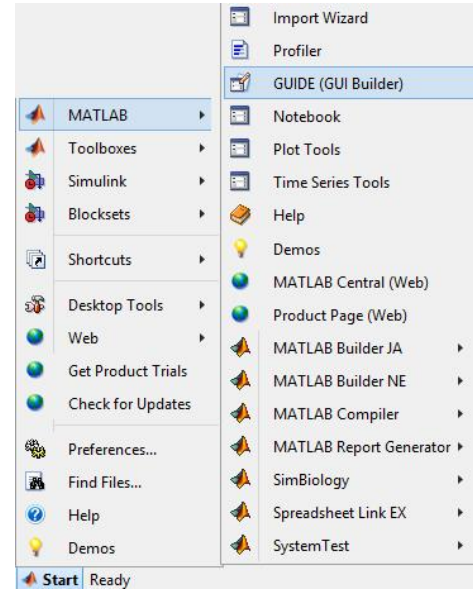
4. MATLAB GUIDE İLE ARAYÜZ HAZIRLAMA

Matlab’da grafiksel arayüz GUI iki şekilde hazırlanabilmektedir. Birinci yolda bir m-file dosyası oluşturulur ve programlama kodları kullanılarak tüm tasarım ve arayüzde gerçekleşmesi istenilen olaylar için gerekli kodlar programcı tarafından yazılır. İkinci yol ise Matlab Guide aracı yardımıyla arayüz oluşturmaktır. Burada radyo butonlar, paneller, liste kutuları gibi Guide aracında bulunan nesnelerden faydalanılır. Sürükle bırak yöntemiyle yapılan arayüz tasarımı callback’ler (işlevler) ile istenen olaylar ile ilişkilendirilir [8].

Bu çalışmada grafiksel kullanıcı arayüzü oluşturmak için Guide aracı kullanılmıştır. Matlab Guide ekranına, Matlab komut satırına “guide” yazarak, araç çubuğundaki ikon (Şekil 4.1) veya Start butonundan GUIDE seçeneği (Şekil 4.2) tıklanarak ulaşılabilir.

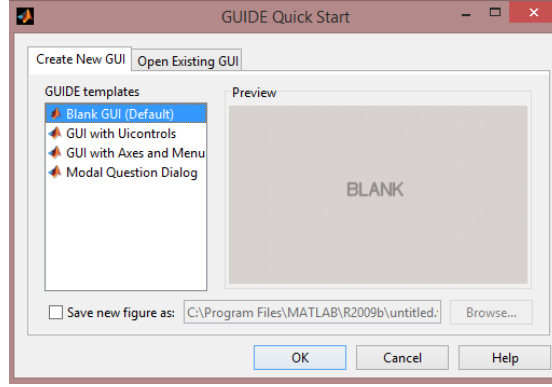


Şekil 4.1 Araç çubuğunda Guide



Şekil 4.2 Start butonunda Guide

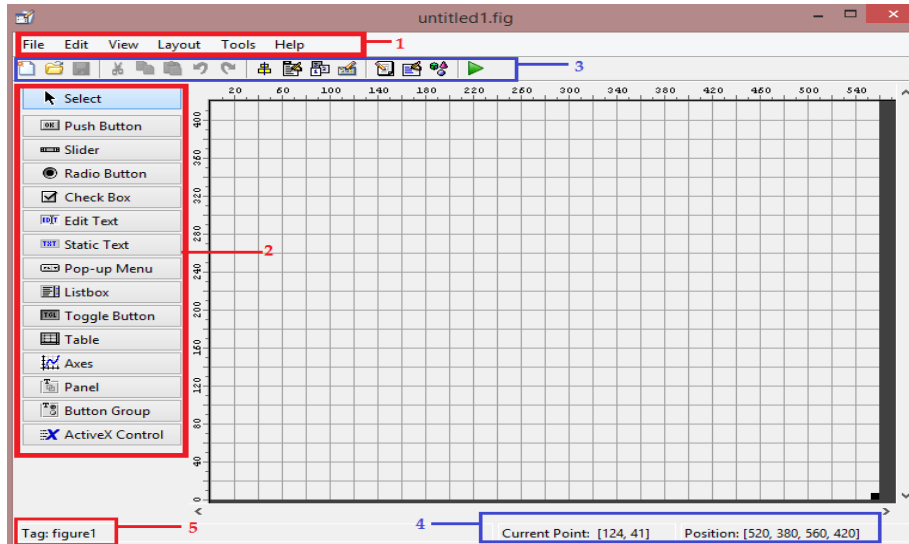
Bir sonraki adımda Şekil 4.3’de gösterilen ekran gelir. Bu ekranın Create New GUI sekmesinde yer alan Blank GUI (Default) seçeneği yeni bir GUI çalışma sayfası açmak için kullanılırken diğer üç seçenek ise çeşitli GUI şablonlarını içermektedir. Open Existing GUI sekmesi ise daha önceden yapılmış GUI çalışmasını açmak için kullanılmaktadır.



Şekil 4.3 Guide açılış ekranı

Blank GUI seçeneği ile yeni sayfamızı açtığımızda karşımıza Şekil 4.4 ekranındaki Guide Layout Editor (Guide Çalışma Alanı) gelecektir. Bu ekranda işaretli alanlardan;

- 1 : Menü çubuğunu,
- 2 : Nesne tablosu,
- 3 : Kısa yolları,
- 4 : Durum çubuğu (imleç konumu ve çalışma alanı bilgileri),
- 5 : Nesnelere ait etiket (tag) bilgisini göstermektedir.



Şekil 4.4 Guide çalışma alanı

4.1. Matlab GUI Nesneleri ve Nesne Özellikleri

Şekil 4.4'te 2 numaralı işaretli alanda gösterilen GUI nesneleri ile istenen programın görsel tasarımı gerçekleştirilir. Nesneler ve bu nesnelere ait özellikler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Select : Seçim nesnesidir. Çalışma alanında kullanılan nesneleri seçmek, hareket ettirmek ve nesne özelliklerine ulaşmak için kullanılır.

Push Button : Basmalı buton nesnesidir. Normal buton özelliğindedir. Gerçekleşmesini istediğimiz bir olay olduğunda kullanılır. Nesneyi oluşturduğumuzda otomatik olarak callback fonksiyonu oluşur.

Slider : Kaydırak nesnesidir. Belirlenen aralıktaki 2 değer arasında yine belirlenen basamaklarda değer belirlemek için kullanılır. Örneğin 0° ile 360° arasında 1°'lik ara ile herhangi bir değer belirlemek için bu nesne kullanılabilir.

Radio Button : Radyo buton yani tek seçimli düğme denilebilir. Birden fazla seçeneğin olduğu ancak bu seçeneklerden yalnızca birinin seçilebileceği durumlarda kullanılır.

Check Box : Onay kutusu yani çok seçimli düğme de denilebilir. Birden fazla seçeneğin olduğu ve bu seçeneklerden bir veya daha fazlasının seçilmesine imkan verildiği durumlarda bu nesne kullanılır.

Edit Text : Veri giriş alanı diyebileceğimiz bu nesne kullanıcı ile etkileşim olacak durumlarda kullanılır. Eğer kullanıcıdan yaş bilgisi, hesaplanacak bir açı değeri vb. herhangi bir veri girişi istenildiğinde bu nesne kullanılır.

Statik Text : Kullanıcıya bir bilgi verme, herhangi bir sonucu veya değeri göstermek amacıyla bu nesne kullanılır. Kullanıcı burada gördüğü bilgileri edit text nesnesindeki gibi değiştiremez.

Pop-up Menu : Açılır menü nesnesidir. Kullanıcıdan alınmak istenilen bilgileri açılan bir listeden seçme özelliği taşıyan bir nesnedir.

Listbox : Pop-up menüde olduğu gibi bir seçim nesnesidir. Ancak burada seçenekler fare yardımıyla açılmak yerine otomatik olarak bir liste halinde görünür durumdadır.

Toggle Button : Geçişli düğme nesnesidir. İki farklı durum için kullanılan bu nesne ilk basıldığında bir olayı ikinci basıldığında ise başka bir olayı gerçekleştirir.

Table : GUI arayüzüne tablo eklemek istenildiğinde bu nesne kullanılır. Çalışma alanına ilk eklenildiğinde otomatik olarak 4 satır 2 sütunluk bir tablo ile karşılaşılır. Tüm çalışma alanı nesnelerinde olduğu gibi bu nesnede de özellikler kısmına girilerek tablo özellikleri değiştirilebilir.

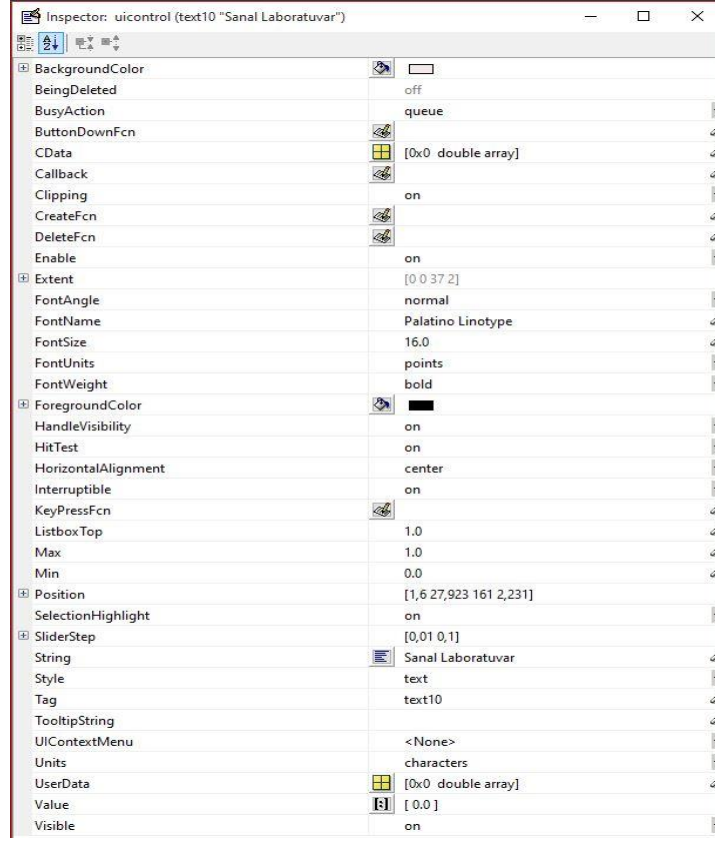
Axes : GUI çalışmasında gösterilmesini istediğimiz bir grafik varsa axes nesnesi ile bu işlem gerçekleştirilebilir.

Panel : Çalışma alanı nesnelerinin toplu olarak, düzenli bir şekilde gösterilmek istenildiğinde kullanılabilecek nesnedir.

Button Group : Radio veya toggle tipteki buton nesnelerinin bir arada kullanılarak kullanıcının birden fazla seçenekten sadece bir tanesini seçmesini sağlamak amacıyla kullanılan bir nesnedir.

ActiveX Control : GUI ile hazırlanan çalışmalar bahsedilen nesneler ile sınırlı değildir. Tasarımcı ve programcı ayrıca, ActiveX adı verilen ve değişik alternatifleri olan nesnelerin kullanılmasına da imkân verir. Böylece hem tasarımcı hem tasarlanılacak GUI arayüzünün kullanımı bakımından kullanıcıya esneklik sağlanmış olunur.

GUI nesneleri çalışma alanına eklendikleri gibi kullanılmak zorunda değildir. Nesnelerin etiketleri (tag), boyutları, renkleri, isimleri, görünürlük özellikleri gibi birçok özelliği değiştirilebilmektedir. Nesne özellikler penceresini (Şekil 4.5) açmak için çalışma alanına eklenen nesnenin üzerini fare ile çift tıklamak veya nesnenin üzerinde farenin sağ tuşunu tıklayıp “Property Inspector” seçeneğini seçmek veya nesneyi seçtikten sonra View menüsünden “Property Inspector” seçeneğini seçmek yeterlidir.



Şekil 4.5 GUI nesneleri özellikler penceresi

4.2. Handle ve Callback Fonksiyonları

GUI tasarımlarında nesne kullanımı gayet basittir. Bölüm 4.1 içerisinde anlatılmış olan nesnelerden ihtiyaca uygun olanı, fare yardımıyla sürükleyip bırak yöntemiyle çalışma alanına yerleştirilir ve bu nesnelerin özellikleri istenilen şekilde değiştirilir. Burada en önemli kısım nesnelerin istenilen olaylar ile ilişkilendirilmesidir. Örneğin listbox nesnesi içerisine yazılan seçeneklerden biri tıklandığında istenen grafiğin görüntülenmesi, toggle buttona tıklandığında istenen resmin açılması-kapanması veya bu çalışmada olduğu gibi push buttona tıklandığında Simulink ortamında var olan verilerin axes nesnesine çekilerek çizdirilmesi işlemleri gerçekleştirilebilir. Bu ilişkilendirilmeleri yapmak için nesnelerin etiketlerinden ve bu etiketleri tutmayı sağlayan handle yapılarından faydalanılmaktadır. Bir GUI uygulamasındaki nesnenin handle numarası varsayılan olarak GUI handles yapısının içinde yer alan “output” isimli değişkende de tutulmaktadır.

GUI uygulamalarında handle numaralarını öğrenmek amacıyla sıklıkla kullanılan standart değişkenler şunlardır:

Gcfv: Geçerli figure nesnesinin handle numarasını verir.

Gca : Geçerli axes (grafik çizim) nesnesinin handle numarasını verir.

Gco : Nesne_handle=gco(fig_handle) kullanımı ile GUI alanında en sok tıklanmış ya da en son aktif olan nesnenin handle numarasını verir.

Gcbf : figure_bo = gcbf; kullanımı ile hangi figure nesnesine ait bir callback (veya figürün içerdiği bir nesne callback çalışıyor olabilir) bu figure nesnesine ait handle numarası döner.

Gcbo : Aktif olarak hangi nesnenin callback i çalışıyor ise o nesneye ait handle numarası döner. Nesne_handle = gcbo olarak kullanılabileceği gibi [nesne_handle, figure_handle] = gcbo şeklinde kullanım ile aktif nesnenin bulunduğu figure handle numarası da elde edilebilir.

GUI tasarımı içerisinde istenilen olayın gerçekleşmesi için çalışması gereken fonksiyon ve alt programcıklar için callback fonksiyonundan faydalanılmaktadır. GUI uygulamalarında sık karşılaşılan callback türlerinden bazıları şunlardır:

Callback : Nesnenin temel olayıdır. Örneğin bir push button tıklandığında ya da bir menü öğesi seçildiğinde oluşur.

KeyPressFcn : Figure veya bir nesne focus (aktif) olduğunda veya klavyeden herhangi bir tuşa basıldığında oluşur.

ButtonDownFcn : Fare imleci Figure veya bir nesnenin kenarlarından 5 piksel içerde olduğunda fare butonu tıklandığında oluşur.

CreateFcn : Nesne oluşturulduğunda initializing için kullanılabilir. Bu olay nesne create edilince ancak nesne GUI alanında gözükmeden önce icra edilir.

DeleteFcn : Bir nesnenin kaldırılması anında oluşur. Herhangi bir nesne veya figure yok edilmeden önce temizlemeye dayalı operasyonlarda kullanılabilir.

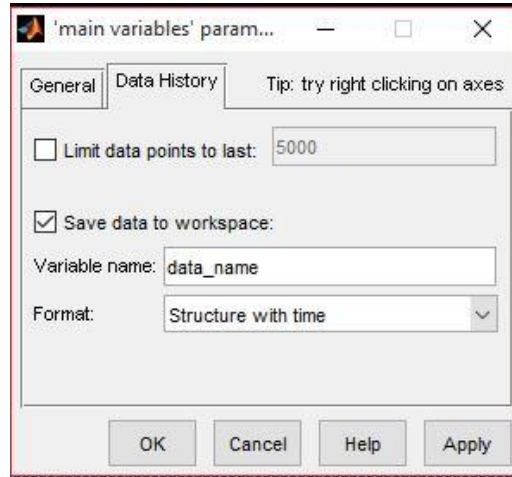
CloseRequestFcn : Figure kapanmadan önce çalıştırılır [8].

4.3. Matlab GUI üzerinden Matlab Simulink'in Kontrolü

Bir Simulink dosyasını (.mdl) açma-kapatma, Simulink nesnelerinin özelliklerini değiştirme, scope görüntülerini çizdirme gibi işlemler Matlab komut satırı kullanılarak yapılabildiği gibi aynı işlemler GUI üzerinde kullanılan nesnelerle de yapılabilmektedir. Örneğin bir push butona tıklandığında Simulink dosyası açılıp kapatılabilir, bu çalışmada olduğu gibi Simulink devresine ait sonuçlar bir veya daha fazla axes nesnesi üzerinde çizdirilebilmektedir. Bu işlemlerin nasıl yapılacağına dair ayrıntılı bilgi aşağıdaki kısımda anlatılmıştır.

Simulink modelindeki verilere ulaşma: Simulink'te okunan bir değere ulaşmak istendiğinde veya Simulink içindeki bir grafik GUI üzerinden izlenmek istendiğinde öncelikle bu verilerin Matlab Workspace alanına gönderilmesi gerekmektedir. Bunun için Simulink'te “To Workspace” bloğu kullanılabilir. Eğer bir scope bloğuna ait verilere ulaşmak isteniyorsa scope ekranı açıldıktan sonra “Parameters” menüsünden Şekil 4.6'da gösterilen “Data History” tabındaki “Save data to workspace” seçeneği seçilmelidir. Açılan pencerede “Variable name” kısmına verilerin workspace alanına hangi isimle kaydedileceği yazılmalıdır. Aynı pencerenin “Format” kısmında ise scope ekranındaki çıkış değerlerinin workspace alandaki formatı seçilir. Burada 3 tip format bulunmaktadır [44]:

- Array: Veriler matris tipinde olduğunda kullanılır. Matrisin her bir satırı her bir simülasyon adımına karşı gelen değerleri gösterir.
- Structure with time: Veriler, yapı tipinde olduğunda kullanılır. Veri yapısı içinde time ve signals alanları yer almaktadır. Time alanı, simülasyon zamanlarını gösteren bir vektör içerir. Signals alanı ise modelin her bir giriş-çıkış ucuna ilişkin bir alt yapı içerir. Her bir kapı (port) girişi, o kapıya karşı gelen işaret verisi (signal) içerir.
- Structure: Veriler yapı tipinde olduğunda kullanılır. Her bir kapı için alt yapılar içerir. Her bir kapı girişi, o kapıya karşı gelen işaret verisi (signal) içerir.



Şekil 4.6 Simulink scope bloğu paramaters menüsü

Simulink modelini açıp-kapatma: Simulink'te hazırlanan modeller .mdl uzantılıdır. Bir Simulink modelini açmak için “open_system”, kapatmak için ise “close_system” komutu kullanılır. Bu komutların örnek kullanım şekli şu şekildedir:

`open_system('kompanzasyon.mdl')` şeklinde bir kullanım kompanzasyon.mdl devresinin açılmasını sağlayacaktır. Burada sadece model, çalıştırılmaya hazır durumda açılır.

`close_system('kompanzasyon.mdl', 0)` şeklindeki bir kullanım açık olan kompanzasyon.mdl dosyasını kaydetmeden kapatır.

`close_system('kompanzasyon.mdl', 1)` şeklindeki kullanım ise açık olan kompanzasyon.mdl dosyasını kaydederek kapatır. Eğer Simulink dosyası ile GUI arayüz dosyası farklı klasörlerde yer alıyorsa bu durumda Simulink dosya yolu komut içinde belirtilmelidir. Aksi takdirde program, modeli bulamayacaktır.

Simulink modelini çalıştırma: Simulink modelini çalıştırmak için “sim” komutu kullanılabileceği gibi model özelliklerini değiştirmek için kullanılan “set param” komutu da kullanılabilir.

`sim('kompanzasyon')` şeklindeki kullanım ile Simulink modeli çalıştırılabilir. Bu komut için Simulink dosyasının açılıp açılmamış olması fark etmez, her iki durumda da simülasyon çalışır.

`set_param('kompanzasyon', 'SimulationCommand', 'Start')` komutu ile de simülasyon çalıştırılabilir. Ancak bu kullanım şeklinde Simulink modelinin daha önceden açık olması gerekmektedir.

Simulink modelindeki parametre ve özellikleri yönetme: Simulink modeli parametreleri ve modelde yer alan bloklara ait özellikler de GUI üzerinden değiştirilebilmektedir. Örneğin:

`set_param('kompanzasyon', 'SimulationCommand', 'Start')` komutu simülasyonu çalıştırır.

`set_param('kompanzasyon', 'SimulationCommand', 'Pause')` komutu ise simülasyonu durdurur.

`set_param('kompanzasyon', 'SimulationCommand', 'Continue')` kullanımı durdurulmuş simülasyonun çalışmasını devam ettirir.

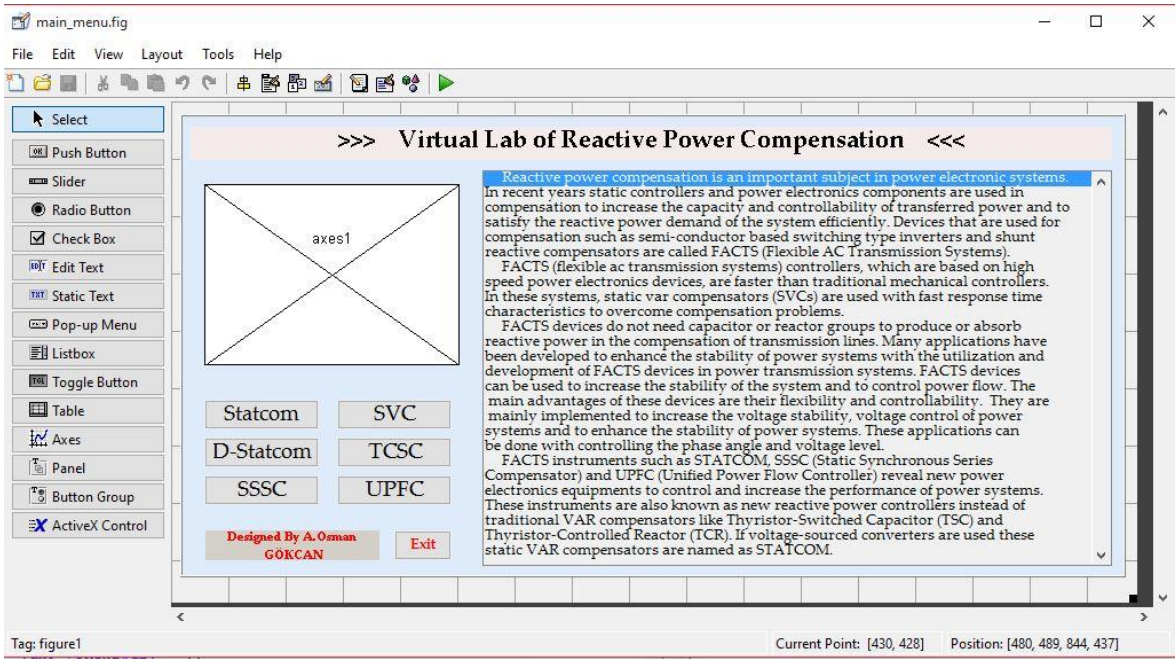
`set_param('kompanzasyon', 'SimulationCommand', 'Stop')` kullanımı ise çalışmakta olan simülasyonu sonlandırır.

`set_param('kompanzasyon/kapasite1', 'Capacitance', '3e-3')` şeklindeki bir kullanım kompanzasyon modelindeki kapasite1 isimli bloğun capacitance parametre değerini $3 \cdot 10^{-3} \text{F}$ yani 3mF olarak değiştirir.

`get_param('kompanzasyon/kapasite2', 'Capacitance')` komutu ise kapasite2 isimli bloğun capacitance parametresinin değerini okur.

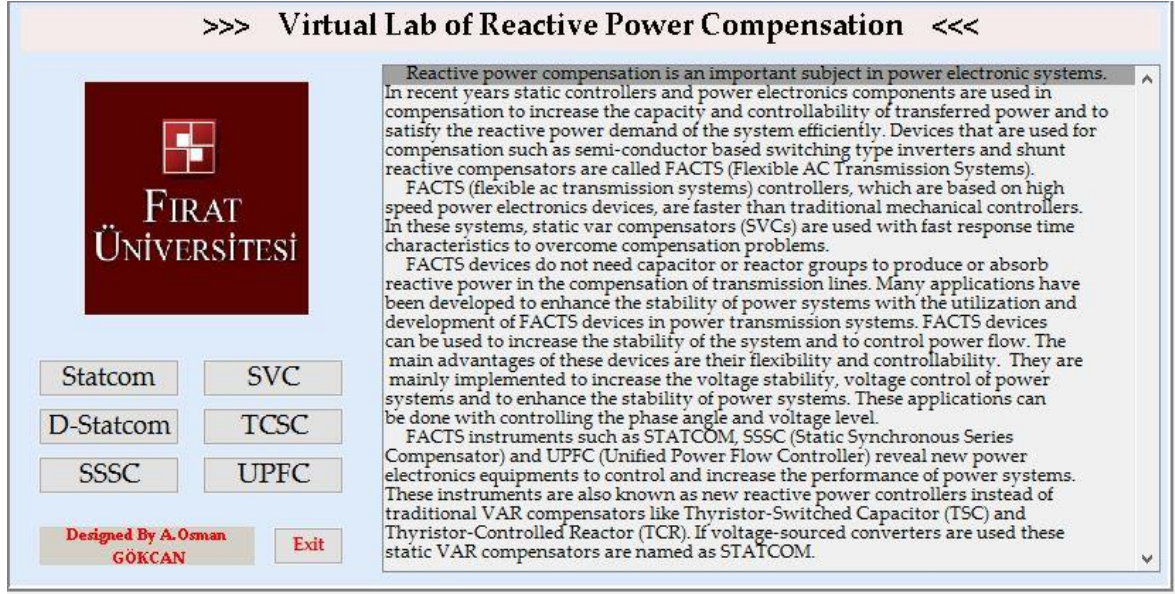
5. MATERYAL VE MATERYALİN TANITILMASI

Günümüz eğitim sisteminde; öğretim süreci içerisinde yaparak-yaşayarak öğrenme ve öğrenciden geri dönüt alma giderek önem kazanmaktadır. Gerçek hayattaki uygulamaların benzetim yoluyla sanal olarak meydana getirilmesi sanal laboratuvar kavramını ortaya çıkarmıştır. Sanal laboratuvar, eğitimde uygulama deneyimi kazanmak için yapılması gereken deneylerde etkileşimli bir gerçek zamanlı simülasyon olanağı sağlayan bilgisayar ortamı olarak tanımlanabilir [45]. Bu tez çalışmasında reaktif güç kompanzasyonu ve FACTS aygıtları eğitimi için sanal bir laboratuvar tasarlanmıştır. Tasarlanan arayüz bir ana ekran ve ana ekrana bağlı 6 alt ekrandan oluşmaktadır. Bu ana ekranın GUI çalışma sayfasındaki görüntüsü Şekil 5.1’de, çalıştırıldığında elde edilen görüntüsü ise Şekil 5.2’de yer almaktadır.



Şekil 5.1 KESL çalışma dosyası görünümü

Şekil 5.1 de yer alan çalışma hazırlanırken push buttonlar, axes, static text ve list box nesnesinden faydalanılmıştır. GUI de hazırlanmış olan .fig uzantılı bu çalışma çalıştırıldığında Şekil 5.2’de yer alan sayfa açılmaktadır.



Şekil 5.2 KESL Ana sayfası

Şekil 5.2’de yer alan ana sayfada konular altı başlık altında toplanmıştır. Bu konular STATCOM, SVC, D-STATCOM, TCSC, SSSC ve UPFC’dir. İstenen konu başlığı fare aracılığıyla tıklanarak açılabilir. Ana sayfada reaktif güç kompanzasyonu ve FACTS aygıtları hakkında bir açıklama yer almaktadır. Kullanıcı bu kısmı okuyarak reaktif güç kompanzasyonu ve FACTS aygıtları hakkında bir ön bilgi edinebilir.

Ana sayfada Statcom butonuna tıklandığında Şekil 5.3’deki pencere ekrana gelir. Açılan bu pencerenin üst kısmında Statcom hakkında bir bilgilendirme yazısı bulunmaktadır. Burada Statcom’un çalışma prensibi, avantajları ve dezavantajları gibi bilgiler yer almaktadır. Tüm sayfalarda yer alan bu bilgi kısımları seçilen aygıtı ait genel nitelikte olup simülasyon sırasında kullanılan detaylı devre şemasının açıklaması değildir.

Şekil 5.3 deki pencerede yer alan bir başka kısım ise “Basic Structure of STATCOM” dur. Bilgilendirme kısmının hemen altında yer alan bu kısım Statcom’un genel görünümüdür yani tek hat şemasıdır.

Tek hat şemasının altında ise “Statcom Control Menu” yer almaktadır. Bu kısımda yer alan “Open Simulink File” butonu ile kullanıcı Statcom’un Simulink’te hazırlanmış detaylı bir bağlantı şemasına (devre şeması) ulaşabilir. Açılan .mdl uzantılı dosya model dosyası olarak adlandırılmaktadır ve “Start the Simulation” butonuna tıklanarak çalıştırılır. Devreyi kapatmak isteyen kullanıcı, devre açıldıktan sonra ortaya çıkan “Close Simulink File” butonunu kullanabilir.

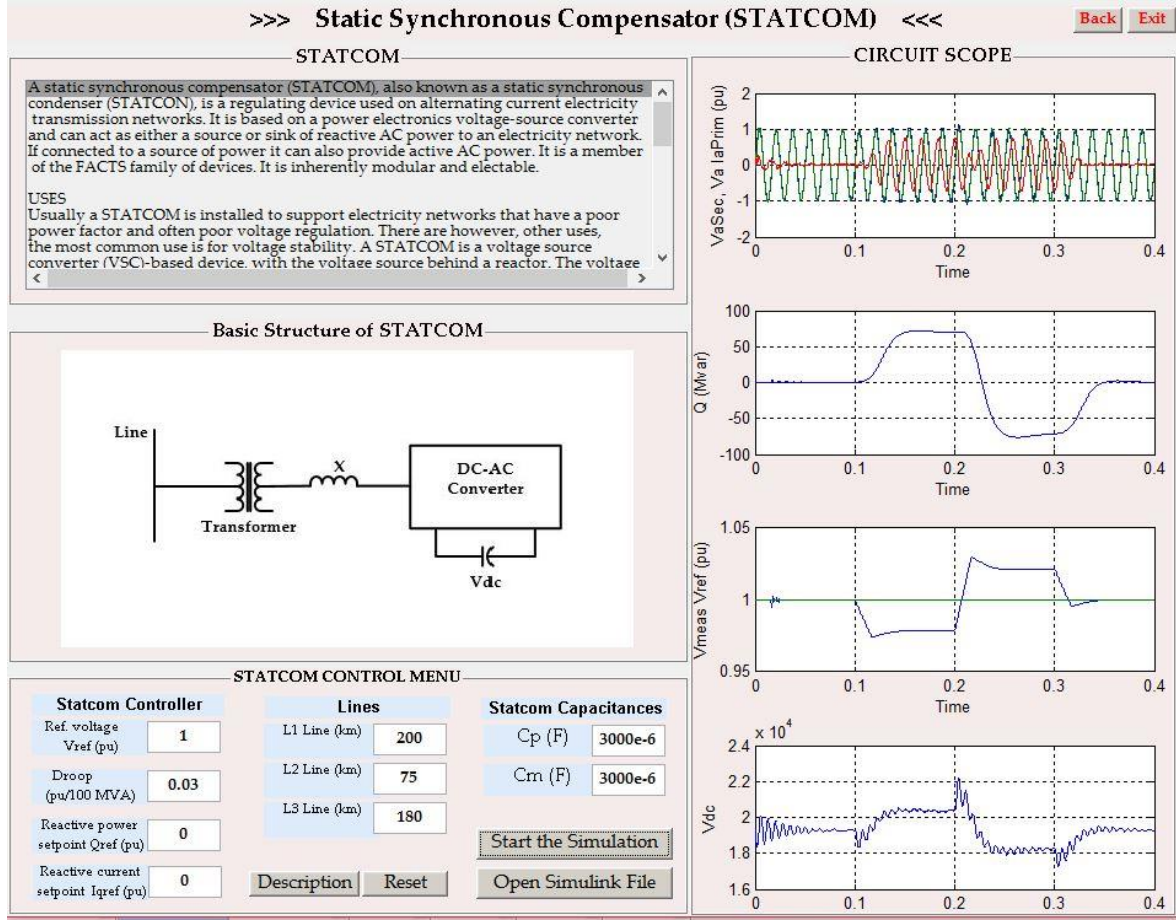
Simülasyonu yapılan Statcom Simulink modelinin kontrolü de yine Şekil 5.3'deki "Statcom Control Menu" kısmından yapılabilmektedir. Bu kısımda yer alan parametreler üç başlık altında toplanmıştır;

- 1- Statcom Controller: Bu başlık altında yer alan "Ref. Voltage – Vref (pu)" parametresi ile Statcom'un bağlı olduğu noktanın geriliminin bu değerde sabit tutulması sağlanır, "Droop (pu/100 MVA)" parametresi ile iç empedanstaki gerilim düşümü kompanze edilir, "Reactive power setpoint Qref(pu)" parametresi ile referans reaktif güç değeri ve "Reactive current setpoint Iqref(pu)" parametresi ile de reaktif akım bileşeni için referans değeri kontrol edilmektedir.
- 2- Lines: Lines altındaki L1 line (km), L2 line (km) ve L3 line (km) parametreleri Statcom'un bağlı bulunduğu sistemdeki iletim hatlarına ait uzunluklar kontrol edilebilir.
- 3- Statcom Capacitance: Bu başlıktaki Cp(F) ve Cm(F) parametreleri simulink modelindeki Statcom kapasitelerini kontrol etmek için kullanılır.

Kullanıcı burada yer alan parametre değerlerini girdikten sonra hiçbir işlem yapmasına gerek kalmadan sadece "Start the Simulation" butonu ile devreye ait sonuçları arayüz üzerindeki "CIRCUIT SCOPE" kısmından gözlemleyebilir.

Kullanıcı simülasyonda kullanılan Statcom'un detaylı şemasını görmek, bu şemada yer alan devrenin nasıl çalıştığını öğrenmek için "Description" butonunu kullanır. Bu buton tıklandığında Microsoft Word ortamında hazırlanmış bir dosya açılacaktır.

Statcom sayfasından çıkıp Şekil 5.2'deki ana sayfaya dönüş için "Back" butonu ve KESL'den tamamen çıkış için "Exit" butonu yerleştirilmiştir.



Şekil 5.3 KESL Statcom ekranı

Şekil 5.2'deki Ana sayfada D-STATCOM butonuna tıklandığında Şekil 5.4'deki pencere ekrana gelir. Açılan bu pencerenin üst kısmında D-Statcom konusunun anlatıldığı bir bilgilendirme yazısı bulunmaktadır. Aynı pencerede yer alan "Basic Structure of D-STATCOM" kısmında ise D-Statcom'un tek hat şeması yer almaktadır.

Tek hat şemasının altında ise "D-Statcom Control Menu" yer almaktadır. Bu kısımda yer alan "Open Simulink File" butonu ile kullanıcı D-Statcom'un Simulink'te hazırlanmış detaylı bir bağlantı şemasına ulaşabilmektedir. Açılan devre şeması "Start the Simulation" butonu tıklanarak çalıştırılır. Simülasyonu yapılan devre şemasının kontrolü de yine Şekil 5.4'deki "DStatcom Control Menu" kısmından yapılabilmektedir. Bu kısımda yer alan parametreler üç başlık altında toplanmıştır;

- 1- Load: Bu başlık altında yer alan "Feeder Line (km)" parametresi ile yük besleme hattı mesafesinin kontrolü yapılmaktadır, "Active Power P(W)" parametresi ile yüke ait aktif güç değeri, "QL (positive var)" parametresi ile yük endüktansının

reaktif gücü ve “QC (negative var)” parametresi ile de yük kapasitesinin reaktif gücü kontrol edilmektedir.

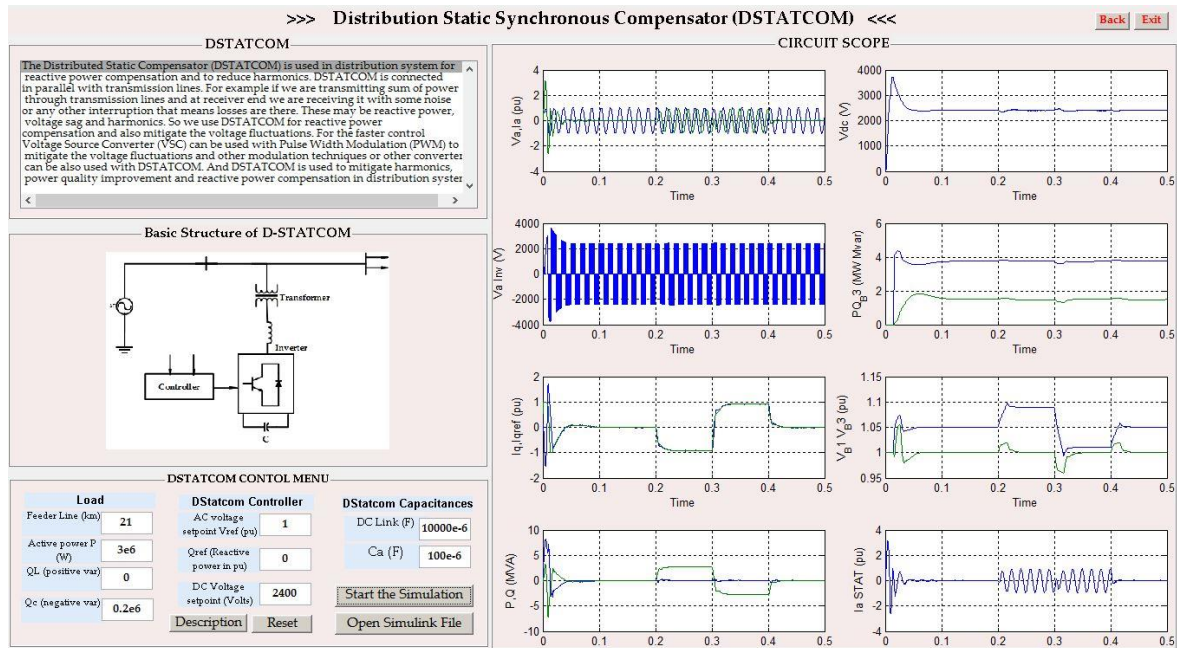
2- D-Statcom Controller: Burada yer alan “AC voltage setpoint Vref (pu)” parametresi ile bağlantı noktasının gerilim değerinin, “Qref (Reactive power in pu)” parametresi ile referans reaktif güç değerinin, “DC voltage setpoint (Volt)” parametresi ile de DC hat gerilim değerinin kontrolü yapılabilmektedir.

3- D-Statcom Capacitances: Burada yer alan parametreler ile DC hat kondansatör değerleri belirlenebilmekte ve bu değerlere göre DC hat gerilimindeki değişimler gözlemlenebilmektedir.

Kullanıcı, yukarıda anlatılan bu parametrelerden hiçbir Simulink bilgisi olmadan istediği parametreyi değiştirerek girdiği bu değerlere göre çizdirilen grafikleri “CIRCUIT SCOPE” kısmından okuyup yorumlayabilir ya da varsayılan parametrelere göre yeni sonucun nasıl değiştiğini görebilmektedir.

Kullanıcı simülasyonda kullanılan D-Statcom’un detaylı şemasını görmek, bu şemada yer alan devrenin nasıl çalıştığını öğrenmek için “Description” butonunu kullanır. Bu buton tıklandığında Microsoft Word ortamında hazırlanmış bir dosya açılacaktır.

D-Statcom sayfasından çıkıp Şekil 5.2’deki ana sayfaya dönüş için “Back” butonu ve KESL’den tamamen çıkış için “Exit” butonu yerleştirilmiştir.



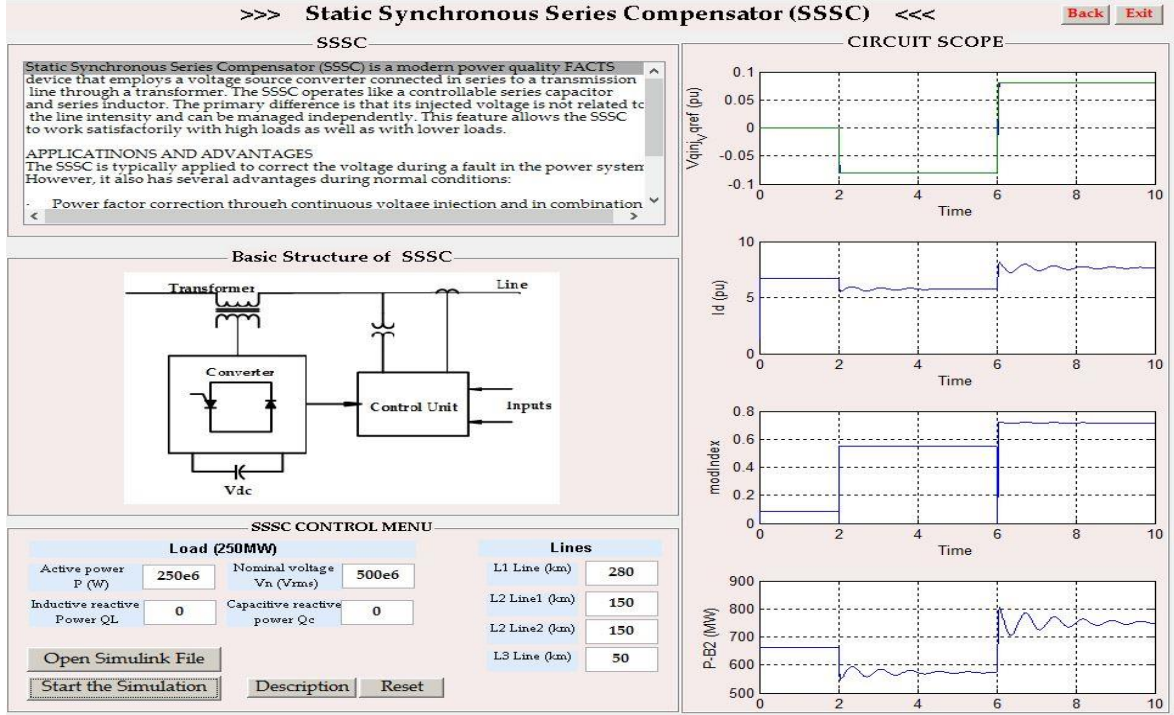
Şekil 5.4 KESL D-Statcom ekranı

Şekil 5.2'deki Ana sayfada SSSC butonuna tıklandığında Şekil 5.5'deki pencere ekrana gelir. Açılan bu pencerenin üst kısmında SSSC'nin anlatıldığı bir bilgilendirme yazısı bulunmaktadır. Aynı pencerede yer alan “Basic Structure of SSSC” kısmında SSSC'nin tek hat şeması yer almaktadır.

Tek hat şemasının altındaki “SSSC Control Menu”de yer alan “Open Simulink File” butonu ile kullanıcı SSSC'ye ait detaylı devre şemasına ulaşabilmektedir. Açılan devre şeması “Start the Simulation” butonuna tıklanarak çalıştırılır. Simülasyonu yapılan devre şemasının kontrolü de yine Şekil 5.5'deki “SSSC Control Menu” kısmından yapılabilmektedir. Bu kısımda yer alan parametreler ise iki başlık altında toplanmıştır;

- 1- Load (250MW): Bu başlık altında yer alan “Active power P (W)” parametresi ile yüke ait aktif güç değeri kontrol edilebilir. “Inductive reactive power QL” parametresi ile yükün endüktif reaktif güç değeri, “Nominal voltage Vn (Vrms)” parametresi ile yükün nominal gerilim değeri, “Capacitive reactive power QC” ile de yükün kapasitif reaktif güç değeri kontrol edilmektedir.
- 2- Lines: Lines altındaki “L1 line (km)” ve “L2 line (km)” parametreleri SSSC'nin bağlı bulunduğu sistemdeki iletim hatlarına ait uzunluklar kontrol edilebilir.

Kullanıcı simülasyonda kullanılan SSSC'nin detaylı şemasını görmek, bu şemada yer alan devrenin nasıl çalıştığını öğrenmek için “Description” butonunu kullanır. SSSC sayfasından çıkıp Şekil 5.2'deki ana sayfaya dönüş için “Back” butonu ve KESL'den tamamen çıkış için “Exit” butonu yerleştirilmiştir.



Şekil 5.5 KESL SSSC ekranı

Şekil 5.2'deki Ana sayfada SVC butonuna tıklandığında Şekil 5.6'daki pencere ekrana gelir. Açılan bu pencerenin üst kısmında SVC'nin anlatıldığı bir bilgilendirme yazısı bulunmaktadır. Aynı pencerede yer alan "Basic Structure of SVC" kısmında SVC'nin tek hat şeması yer almaktadır.

Tek hat şemasının altındaki "SVC Control Menu" kısmında yer alan "Open Simulink File" butonu ile kullanıcı SVC'ye ait devre şemasına ulaşabilmektedir. Açılan devre şeması "Start the Simulation" butonuna tıklanarak çalıştırılır. Simülasyonu yapılan devre şemasının kontrolü de yine Şekil 5.6'daki "SVC Control Menu" kısmından yapılabilmektedir. Bu kısımda yer alan parametreler ise üç başlık altında toplanmıştır;

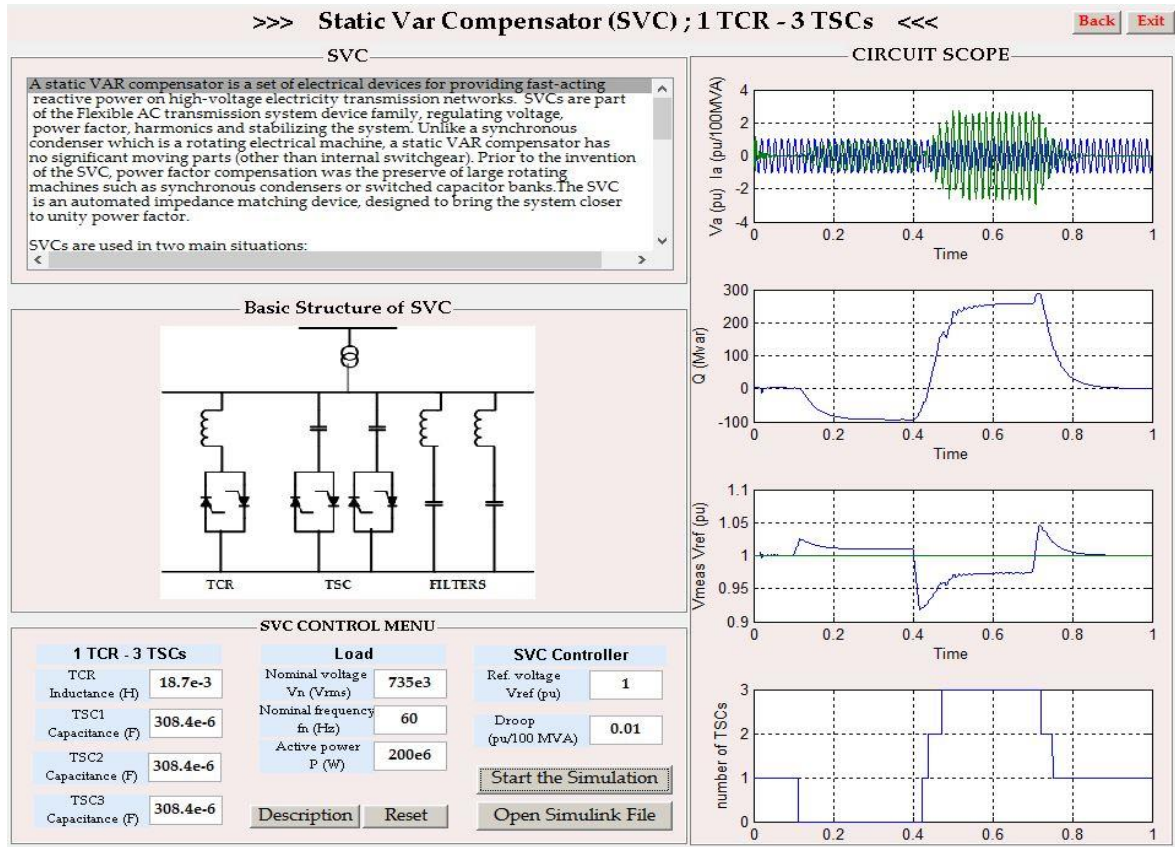
1- 1TCR 3TSCs: Bu başlık altında yer alan "TCR(H)" parametresi ile SVC üzerindeki endüktans değeri, "TSC(C)" parametreleri ile SVC üzerindeki kapasite değerleri kontrol edilmektedir.

2- Load: Burada yer alan "Nominal voltage Vn (Vrms)" parametresi yükün nominal gerilim değerinin, "Nominal frequency fn (Hz)" ile yükün nominal frekans değerinin, "Active power P(W)" parametresi ise yüke ait aktif gücün kontrolü için kullanılmaktadır.

3- SVC Controller: Bu başlık altında yer alan "Ref. Voltage – Vref (pu)" parametresi ile SVC'nin bağlı olduğu noktanın geriliminin bu değerde sabit tutulması sağlanır, "Droop

(pu/100 MVA)” parametresi ile iç empedanstaki gerilim düşümü kompanse edilir. Kullanıcı yukarıda anlatılan bu parametre değerlerinin girişini yaparak “Start the Simulation” butonuna tıklayarak sonuçları “CIRCUIT SCOPE” kısmından gözlemleyebilir.

Kullanıcı simülasyonda kullanılan SVC’nin detaylı şemasını görmek, bu şemada yer alan devrenin çalışması hakkındaki bilgileri okumak için “Description” butonunu kullanır. SVC sayfasından çıkıp Şekil 5.2’deki ana sayfaya dönüş için “Back” butonu ve KESL’den tamamen çıkış için “Exit” butonu yerleştirilmiştir.



Şekil 5.6 KESL SVC ekranı

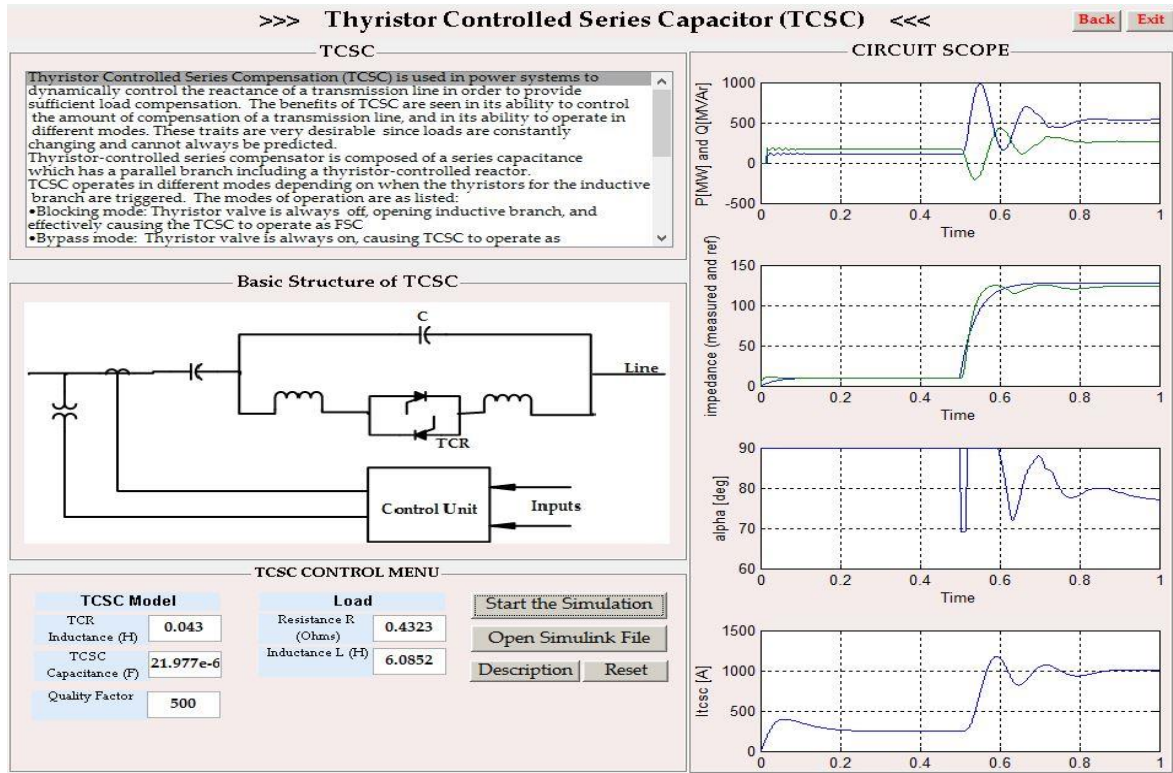
Şekil 5.2’deki Ana sayfada TCSC butonuna tıklandığında Şekil 5.7’deki pencere ekrana gelir. Açılan bu pencerenin üst kısmında TCSC’nin anlatıldığı bir bilgilendirme yazısı bulunmaktadır. Aynı pencerede yer alan “Basic Structure of TCSC” kısmında bu FACTS aygıtına ait tek hat şeması yer almaktadır.

TCSC’ye ait devre şemasına “TCSC Control Menu” kısmında yer alan “Open Simulink File” butonu ile ulaşılabilir. Açılan devre şeması “Start the Simulation” butonuna tıklanarak çalıştırılır. Simülasyonu yapılan devre şemasının kontrolü Şekil

5.7'deki "TCSC Control Menu" kısmından yapılmaktadır. Bu kısımda yer alan parametreler ise iki başlık altında toplanmıştır;

- 1- TCSC Model: Bu başlık altındaki "TCR Inductance (H)" parametresi ile TCSC üzerindeki endüktans değeri, "TSCS Capacitance (C)" parametresi ile TCSC üzerindeki kapasite değeri, "Quality Factor" parametresi ile de kalite faktörü belirlenmektedir.
- 2- Load: Burada yer alan "Resistance R (Ohms)" parametresi yük direncini kontrol etmek, "Inductance L (H)" parametresi ise yüke ait endüktans değerini kontrol etmek için kullanılmaktadır. Kullanıcı anlatılan bu parametre değerlerini girdikten sonra "Start the Simulation" butonu ile devreyi yeni değerlere göre çalıştırıp sonuçları "CIRCUIT SCOPE" kısmından gözlemleyebilir.

Kullanıcı "Description" butonu ile simülasyonda kullanılan TCSC'nin detaylı şemasını görüp, bu şemada yer alan devrenin çalışması hakkındaki bilgileri okuyabilir. TCSC sayfasından çıkıp Şekil 5.2'deki ana sayfaya dönüş için "Back" butonu ve KESL'den tamamen çıkış için "Exit" butonu yerleştirilmiştir.



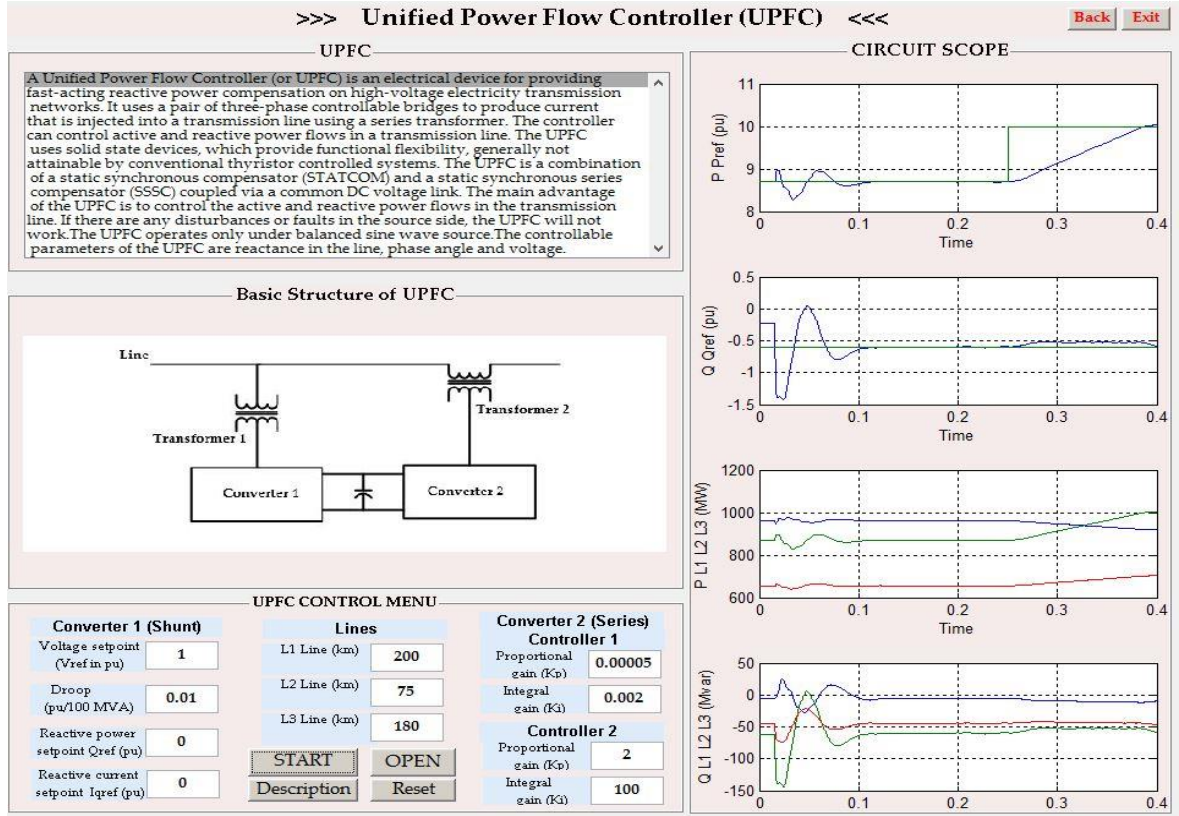
Şekil 5.7 KESL TCSC ekranı

Şekil 5.2'deki Ana sayfada UPFC butonuna tıklandığında ise Şekil 5.8'deki pencere ekrana gelir. Açılan bu pencerenin üst kısmında UPFC'nin anlatıldığı bir bilgilendirme yazısı bulunmaktadır. Aynı pencerede yer alan “Basic Structure of UPFC” kısmında UPFC'nin tek hat şeması bulunmaktadır.

UPFC'ye ait devre şemasına Şekil 5.8'deki “UPFC Control Menu” kısmında yer alan “OPEN” butonu ile ulaşılmaktadır. Açılan devre şeması “START” butonu ile çalıştırılır. Simülasyonu yapılan devre şemasının kontrolü bu kısımda üç başlık altında toplanmış parametreler ile yapılmaktadır. Bu başlıklar;

- 1- Converter1 (Shunt): Bu başlıktaki “Voltage setpoint (Vref in pu)” parametresi ile Converter1'in (Statcom) bağlı olduğu noktanın geriliminin bu değerde sabit tutulması sağlanır, “Droop (pu/100 MVA)” parametresi ile iç empedanstaki gerilim düşümü kompanze edilir,, “Reactive power setpoint Qref(pu)” parametresi; reaktif güç için referans değeri, “Reactive current setpoint Iqref(pu)” parametresi ise reaktif akım bileşeni için referans değeri belirtmektedir. Bu iki parametre bahsedilen menüler yardımı ile belirlenebilmektedir.
- 2- Lines: Lines altındaki L1 line (km), L2 line (km) ve L3 line (km) parametreleri ile UPFC'nin bağlı bulunduğu sistemdeki iletim hatlarına ait uzunluklar kontrol edilebilir.
- 3- Converter2 (Series): Bu başlık altında yer alan parametrelerden “Proportional gain (Kp)” ; oransal + integral denetleyicinin oransal kazancını, ‘Integral gain (Ki) ise oransal + integral denetleyicinin integral kazancını belirlemek için kullanılmıştır.

Kullanıcı “Description” butonu ile simülasyonda kullanılan UPFC devre şemasını görüp, bu devrenin çalışması hakkındaki bilgileri okuyabilir. UPFC sayfasından çıkıp Şekil 5.2'deki ana sayfaya dönüş için “Back” butonu ve KESL'den tamamen çıkış için “Exit” butonu yerleştirilmiştir.



Şekil 5.8 KESL UPFC ekranı

Ayrıca kullanıcılar KESL arayüzünde yer alan “Reset” butonu ile devre şemasına ait ilk değerlere (varsayılan) geri dönebilmekte ve sonuçları tekrar çizdirebilmektedir. .

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Bu çalışmada bilgisayar destekli eğitim yöntemi olan sanal bir laboratuvar uygulaması hazırlanmıştır. Kompanzasyon eğitimi için hazırlanmış olan bu sanal laboratuvar Matlab GUI tabanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada reaktif güç kompanzasyonunda kullanılan FACTS aygıtlarına ait devreler için simülasyon ortamı hazırlanmıştır. Görsel arayüz aracılığı ile devreye ait akım, gerilim ve güç değerleri grafikler ile gösterilmiştir. Kullanıcıların sadece hazırlanan arayüzü kullanarak konuyla bağlantılı devre şemalarını simüle etmesi, devreye ait parametreleri değiştirip yeni sonuçları gözlemlemesi sağlanmıştır.

KESL’de FACTS aygıtlarına ait devrelerin simülasyonlarının yanı sıra, ilgili konuya ait teorik bilgiler de yer almaktadır. Böylece kullanıcı, her bir arayüzde yer alan butonlar yardımıyla uygulama öncesi veya sonrasında ihtiyaç duyduğu bilgilere kolayca ulaşabilmektedir.

İmkân tanınan tüm işlemleri, kullanıcıların Matlab Programlama Dili, GUI, Simulink ile herhangi bir formül veya komut bilmeksizin yapmaları sağlanmıştır. Bir diğer nokta ise kullanıcının en az hata ile görsel bir platformda işlemlerini gerçekleştirebilmesidir. Kullanıcı konuyu istediği kadar tekrar edebilecek ve değerleri değiştirerek sonuçlar arası kıyaslama yaparak konuyu pekiştirebilecektir.

Çalışmada reaktif güç kompanzasyonu, FACTS aygıtları, Matlab GUI’nin nasıl kullanılacağı, GUI-Simulink entegrasyonu ile ilgili gerekli açıklamalar getirilmiştir.

6.2. Öneriler

Reaktif güç ve FACTS aygıtlarına yönelik hazırlanan bu eğitim materyalinin kapsamı konunun tamamını kapsayacak şekilde genişletilebileceği gibi daha karmaşık devreleri veya güç sistemlerine ait başka konuları da içerecek şekilde genişletilebilir. Ayrıca her bir FACTS aygıtı için yapılmış arayüzlerde kontrol edilen parametre değerlerinin sayısı, tüm parametreleri kapsayacak şekilde artırılabilir. Bu arayüzler ve çizdirilen grafik ekranları daha da esnek hale getirilerek kullanıcının tercih sınırları genişletilebilir.

Bunula birlikte arayüze ölçme-değerlendirme gibi işlevler de eklenerek eğitimsel özellikleri artırılabilir. Bunların dışında, Matlab Web Sunucusu kullanılarak, arayüzün

internet üzerinden kontrolü sağlanabilir. Böylece çalışma, uzaktan eğitim kapsamında bir sanal reaktif güç laboratuvarı olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

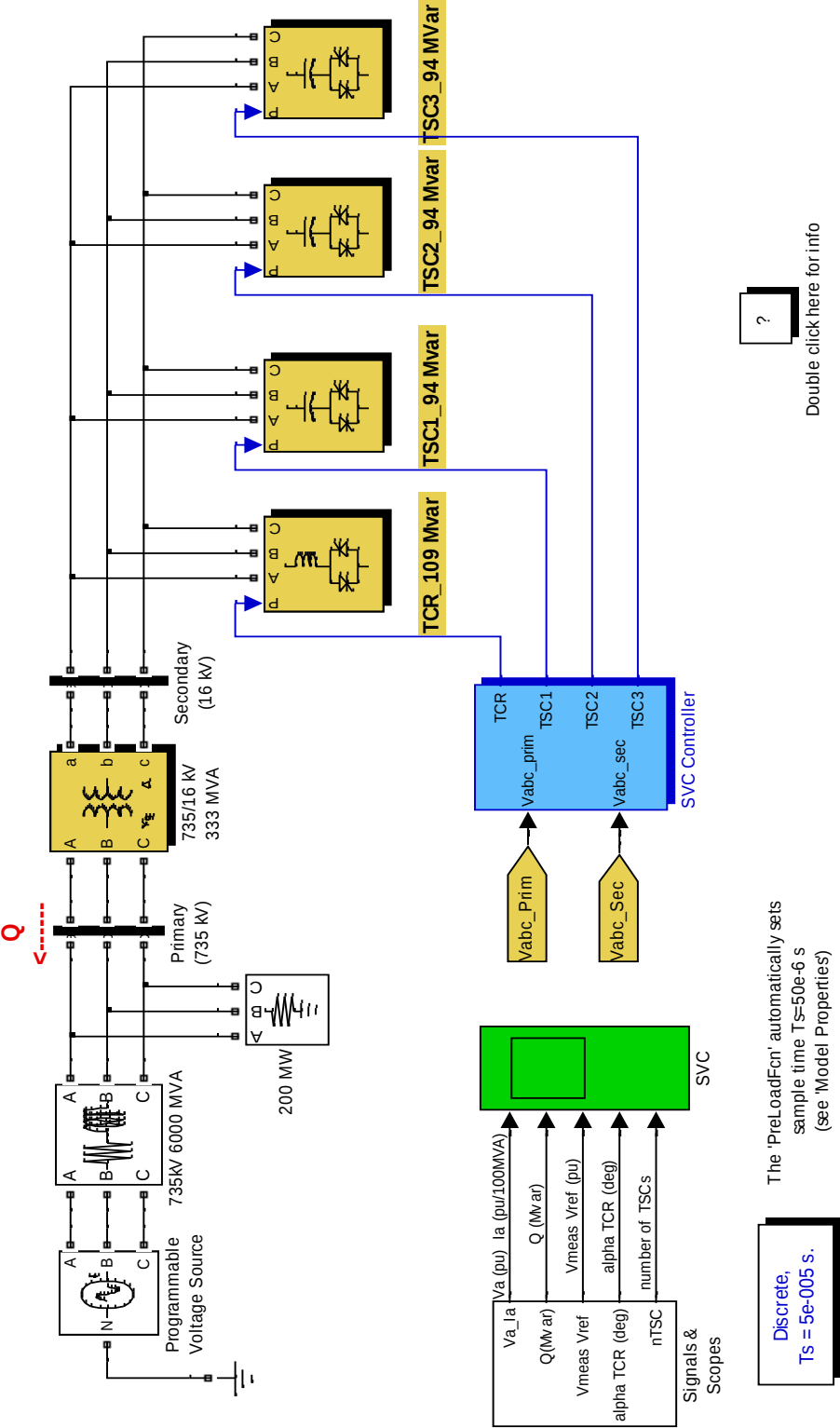
- [1] **DeMoyer, R., Mitchell, E.**, 1999. Use of the Matlab graphical user interface development environment for some control system applications, *29th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, SAN JUAN, 12b3,10 – 13.
- [2] **McClellan, J. H., Rosenthal, J.**, 2002. Animating theoretical concepts for signal processing courses, *Proceedings of the 2002 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*, Session 3320.
- [3] **Mutlu, A., Yalçınöz, T.**, 2004. Eğitim amacıyla kullanılmak üzere Matlab GUI’de geliştirilen yük akış programı, *ELECO'2004 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, BURSA.
- [4] **Şefkat G. ve Yüksel, İ.**, 2005. Matlab GUI tabanlı elektromıknatıs devre tasarımı ve analizi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **Cilt: 11, Sayı: 1**, 123-129.
- [5] **Bıçen, Y.**, 2006. Yer altı güç kablolarının bilgisayar destekli analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [6] **Savaş, K.**, 2010. Kontrol eğitimi için Matlab ile web tabanlı uygulama araçlarının geliştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] **Ak, M.**, 2009. Güç elektroniği devrelerinin kullanıcı arayüzü tasarlanarak mesleki eğitime aktarılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [8] **Kaplan, S.**, 2010. Grafiksel kullanıcı arayüzü yardımıyla görsel robotik araç kutusu tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- [9] **Yalçın, N.**, 2014. Web tabanlı güç elektroniği sanal laboratuvarı, *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [10] **Ayas, M.Ş.**, 2012. Doğrusal sistem simülasyonu ve kontrolü için interaktif sanal laboratuvar, *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [11] **Gökcan, A.O.**, 2015. Eğitim amaçlı Matlab GUI tabanlı güç faktörü düzeltme uygulaması, *İlk Bildiriler Konferansı 2015*, Ankara, 12-13 Haziran.
- [12] **Yavuz, A., Başol,D., Ertay,M., Yücedağ,İ.**, 2013. Fotovoltaik eşdeğer devrelerinin analizi için bir eğitim aracı, *ISITES2013*, Sakarya, 7-9 Haziran.

- [13] **Tosun,İ.**, 2008. Güç sistemleri eğitimi için Matlab GUI tabanlı bir yük akış simülatörü, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [14] **Koç,Savaş.**, 2008. Enerji iletim hatları için Matlab GUI tabanlı bir arıza analiz programı geliştirme, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [15] **Karagül,A.B., Başol,D., Yücedağ,İ.**, 2014. Güç elektroniği dönüştürücü modelleri eğitim modülü, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **2**, 79-87.
- [16] **Sefa,İ., Altın,N ve Asa,E.**, 2008. Matlab tabanlı bir enerji kalitesi simülatörü, *ELECO2008*, Bursa, 26-30 Kasım.
- [17] **Uçar, F.**, 2012. Paralel aktif güç filtresi kullanarak harmonik ve reaktif güç kompanzasyonu yapılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [18] **Kıyan, M. ve Kayabaşı, M.**, 2006. Alçak gerilim reaktif güç kompanzasyon sistemlerinin deneysel karşılaştırılması, *EMO-ELECO'2006*, Bursa, 6-10 Aralık.
- [19] **Gelen, A. ve Yalçınöz, T.** 2009. Tristör anahtarlama kapasitör (TSC) ve tristör anahtarlama reaktör tabanlı statik VAR kompanzasyonun PI ile kontrolü, *Gazi Üniversitesi Mim.Müh.Fak.Dergisi*, **24**, 237-244.
- [20] **Arifoğlu, U.** 2002. Güç sistemlerinin bilgisayar destekli analizi, Alfa, İstanbul.
- [21] **Hofmann,W., Schlabbach,J., Just, Wolfgang.** 2012. Reactive Power Compensation, Wiley, 87-112.
- [22] **Moore, P., Ashmole, P.H.**, 1995. Flexible AC Transmission Systems, *Power Engineering Journal*, December, 282-286.
- [23] **Edris, A., Adapa, R., Baker, M.H., Bohmann, L., Clark, K., Habashi, K., Gyugyi, L., Lemay, J., Mehraban, A.S., Meyers, A.K., Reeve, J., Sener, F., Torgerson, D.R., Wood, R.R.**, Proposed terms and definitions for flexible ac transmission system (FACTS), *IEEE Transactions on Power Delivery*, **12(4)**, 1848-1853.
- [24] **Matsuno, K., Iyoda, I. and Oue, Y.**, 2002. An experience of FACTS development 1980s and 1990s, *Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002: AsiaPacific*. IEEE/PES, 6-10 October, **2**, 1378-1381.
- [25] **Ashmole, P.H.**, 1994. Introduction to FACTS, Flexible AC Transmission Systems (FACTS) - The Key to Increased Utilisation of Power Systems, IEE Colloquium on 12 January, 1/1-1/2.

- [26] **Kaya,K.**, 2006. Esnek alternatif akım iletim sistemleri kontrolörlerinin incelenmesi ve şebeke üzerindeki etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [27] **Karadeniz,K.**, 2006. Elektrik enerji sisteminde FACTS-UPFC cihazının etkilerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [28] **Hingorani,N.,G.**, 1993. Flexible AC transmission, *IEEE reprinted from IEEE Spectrum*, **30(4)** , 40-45.
- [29] https://en.wikipedia.org/wiki/Flexible_AC_transmission_system 12 Aralık 2015.
- [30] **Dirik, H.**, 2006. Statcom ve SSSC denetleyicilerinin güç sistemi gerilim kararlılığı üzerine etkisinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, 19 Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- [31] **R. M. Mathur, R. K. Varma**, 2002. Thyristor-based facts controllers for electrical transmission systems, *Incorporated, IEEE Press Series on Power Engineering*, February 2002
- [32] **Moghavvemi, M., Farugue, M.O.**, 2000. Effects of facts devices on static voltage stability, *TENCON 2000 Proceedings*, **2**, 357-362, September 24-27.
- [33] **Gabriela Glanzmann**, 2005. FACTS flexible alternating current transmission systems, *Power Systems Laboratory ETH*, Zurich, January 14.
- [34] **Yalçın, F.**, 2013. FACTS cihazları içeren AA-Da sisteminde optimal güç akış hesabı için yeni bir yaklaşım, *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [35] **Yan, P., Sekar, A.**, 2005. Steady-state analysis of power system having multiple facts devices using line-flow-based equations, *IEE Proc.Gener. Transm. Distrib.*, **152(1)**, 31-39.
- [36] **Song Yong Hua, Johns Allan T.**, 1999. Flexible ac transmission systems (FACTS). *IEEE Power and Energy Series*, New York Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- [37] **Eminoğlu U.**, 2003. FACTS elemanları kullanılan güç akis sistemlerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- [38] **Tosun,S., Öztürk,A., Yalçın,M.A., Döşoğlu,K., Güvenç,U.**, 2011. Güç sisteminde SVC ve STATCOM denetleyici etkilerinin incelenmesi, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ.
- [39] **Ertay,M.M., Aydoğmuş,Z.**, 2010. Statcom ile bir enerji iletim sisteminde gerilim kontrolü, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **21**, 91-105.

- [40] **Çöteli,R.**, 2006. Statcom ile güç akış kontrolü, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [41] **Behpoor,H.**, 2010. Fazların bağımsız olarak kontrol edildiği üç seviyeli bir Statcom'un reaktif güç kompanzasyonu amacıyla tasarlanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [42] **Sharma, A.**, 2014. Review paper on applications of d-statcom in distribution system. *International Journal of Science and Modern Engineering (IJISME) ISSN: 2319-6386*, 2, Issue-11, October 2014.
- [43] **Ertay,M.M., Aydoğmuş,Z.**, 2012. Güç sistemlerinde FACTS uygulamaları, *SDU International Technologic Science*, **4(2)**, 40-58.
- [44] **Arifoğlu, U.** 2012. Matlab 7.14 Simulink ve mühendislik uygulamaları, Alfa, İstanbul.
- [45] **Taşdelen, K.**, 2004. Mühendislik eğitimi için internete dayalı interaktif sanal mikro denetleyici laboratuvar tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

EK-A DETAYLI SVC ŞEMASI

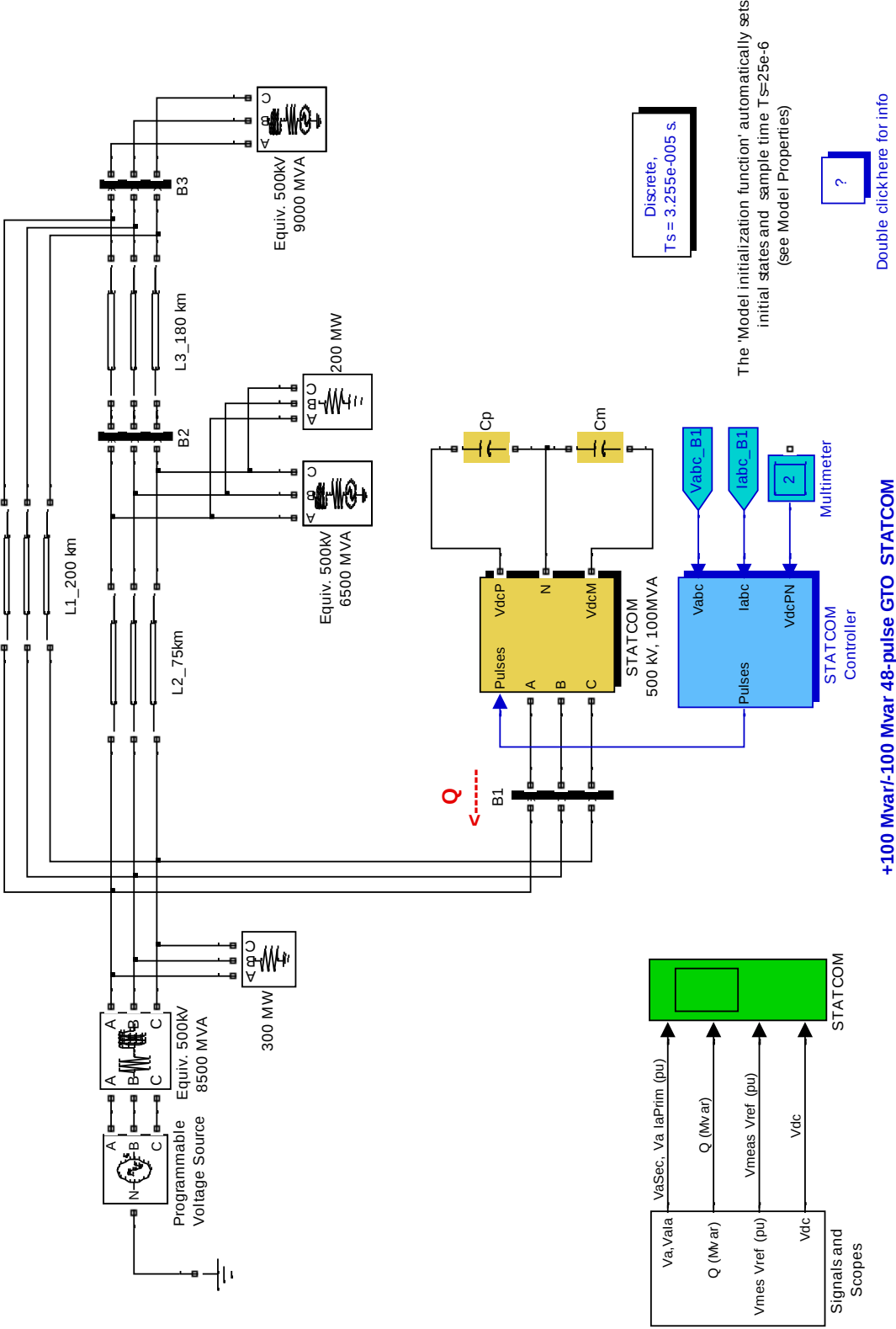


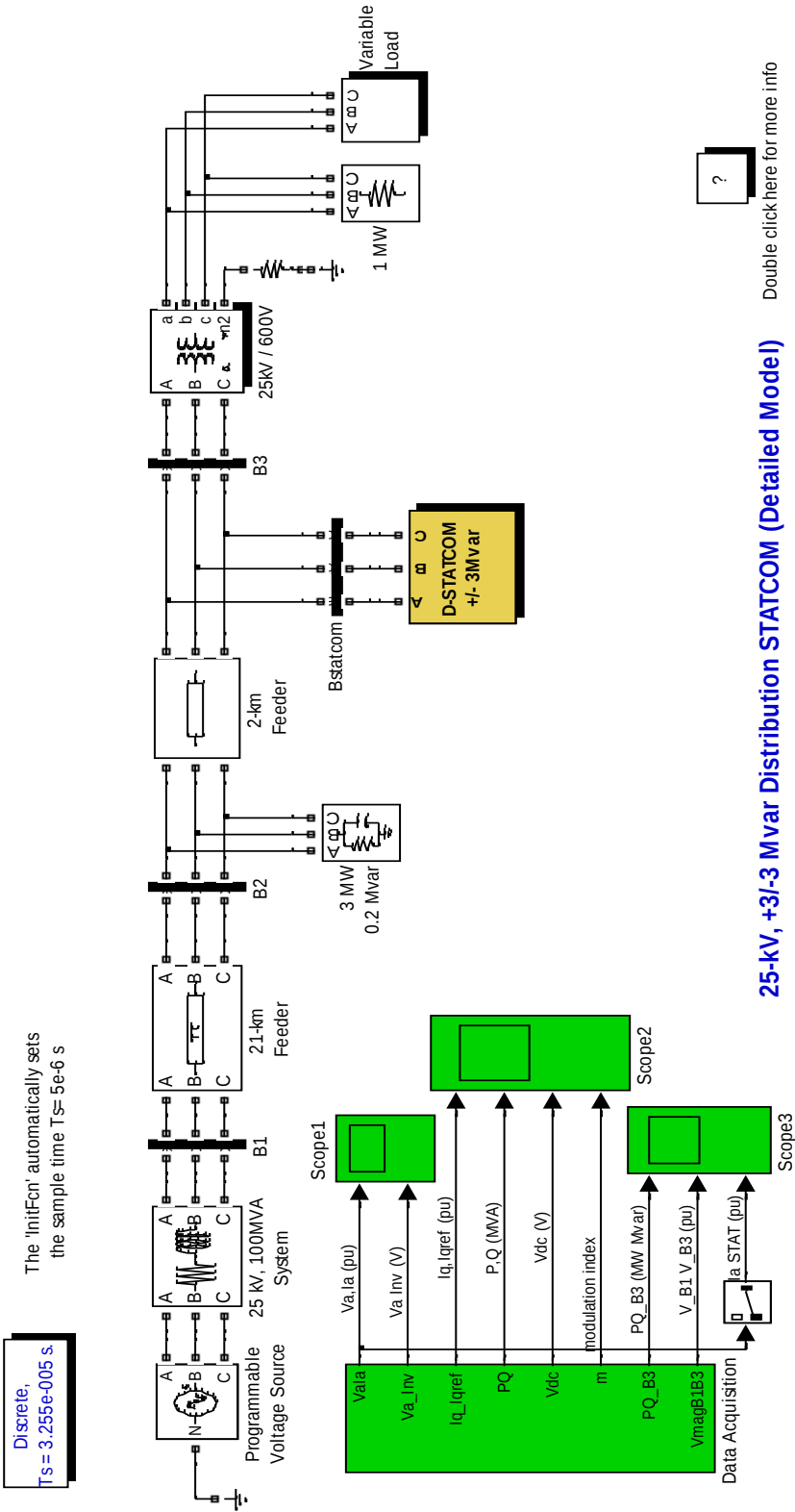
SVC (Detailed Model)
+300 Mvar/-100 Mvar Static Var Compensator (SVC) ; 1 TCR - 3 TSCs

The 'PreLoadFcn' automatically sets
sample time Ts=50e-6 s
(see 'Model Properties')

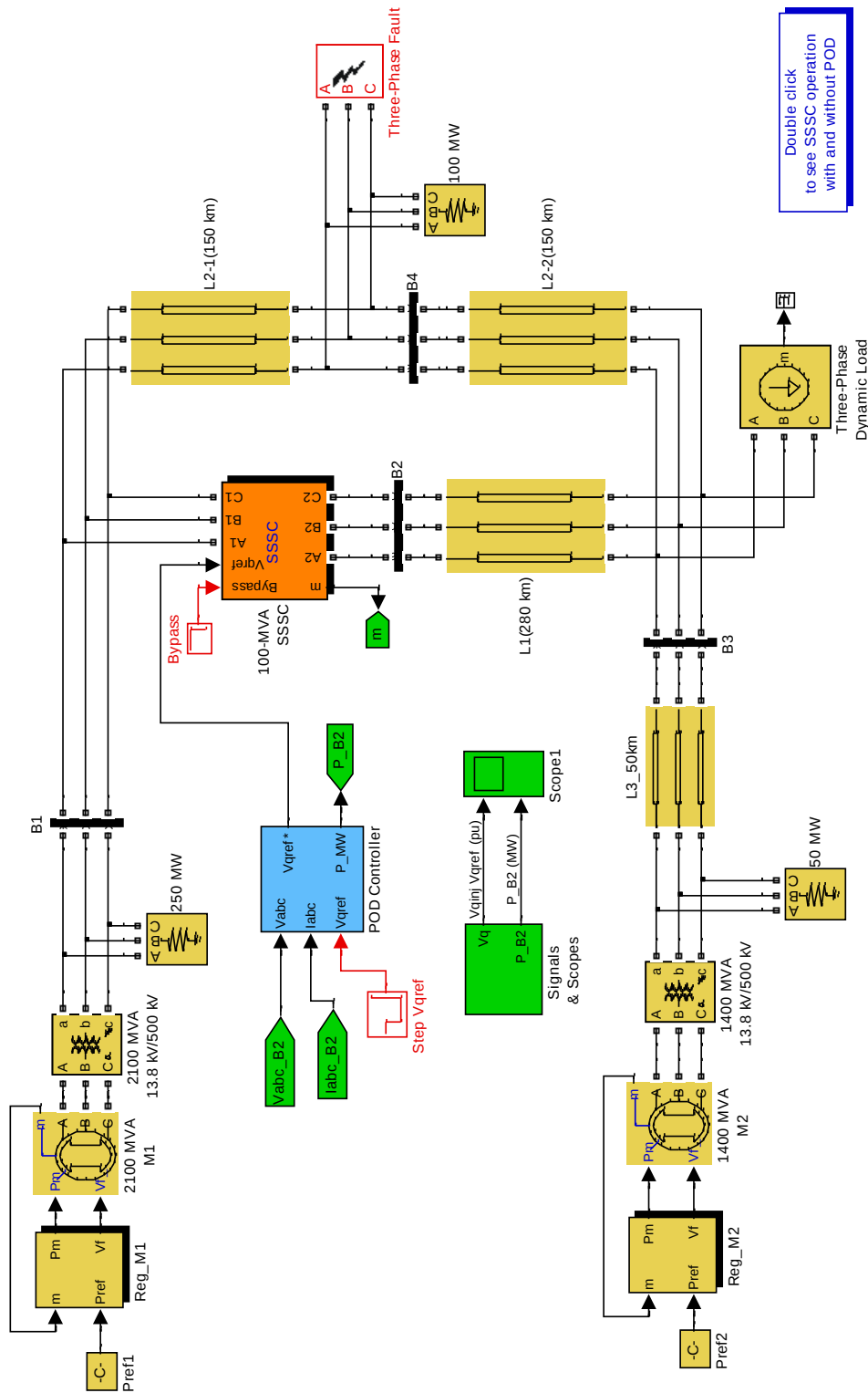
Discrete,
Ts = 5e-005 s.

EK-B DETAYLI STATCOM ŞEMASI





EK-D DETAYLI SSSC ŞEMASI

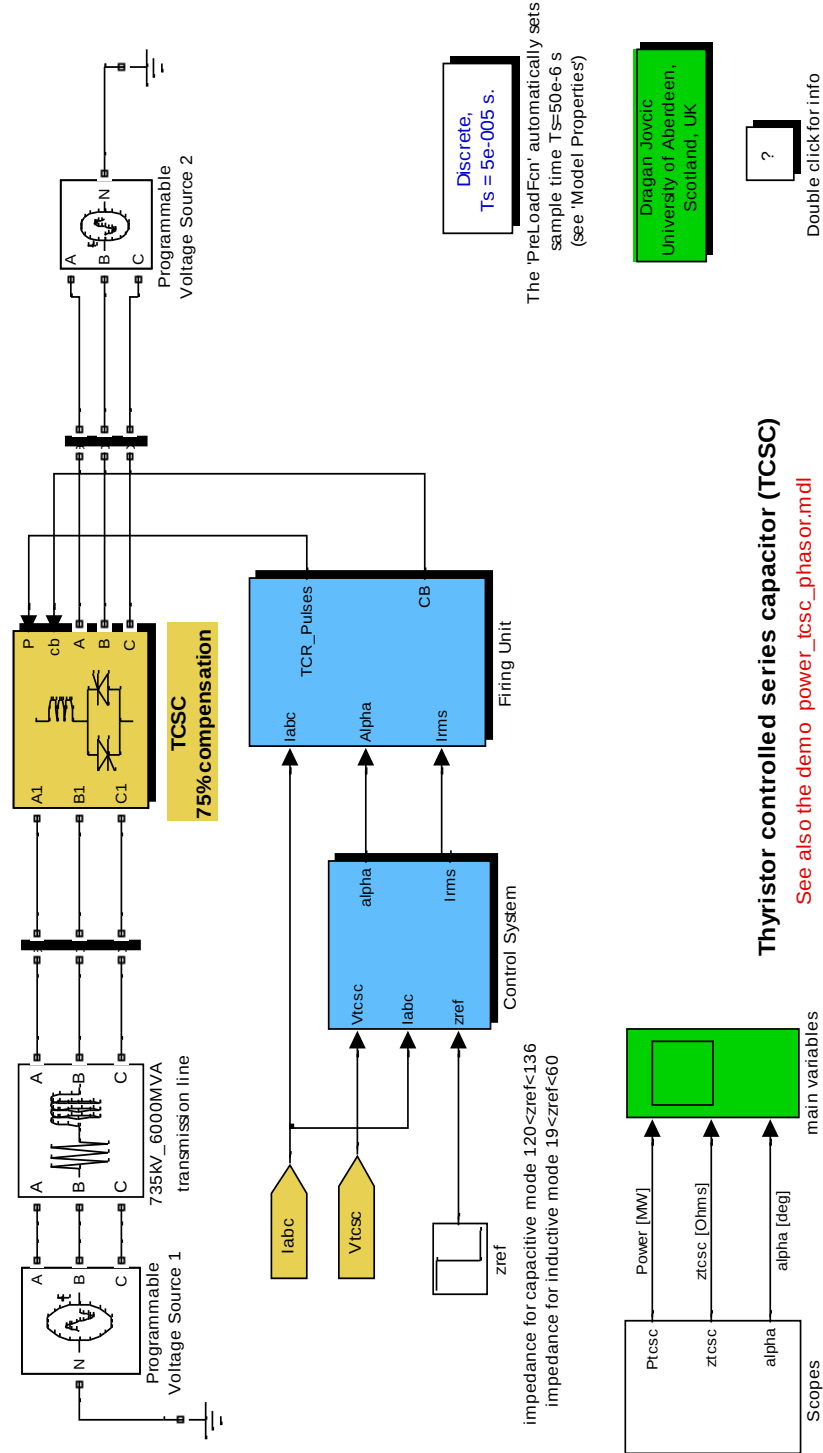


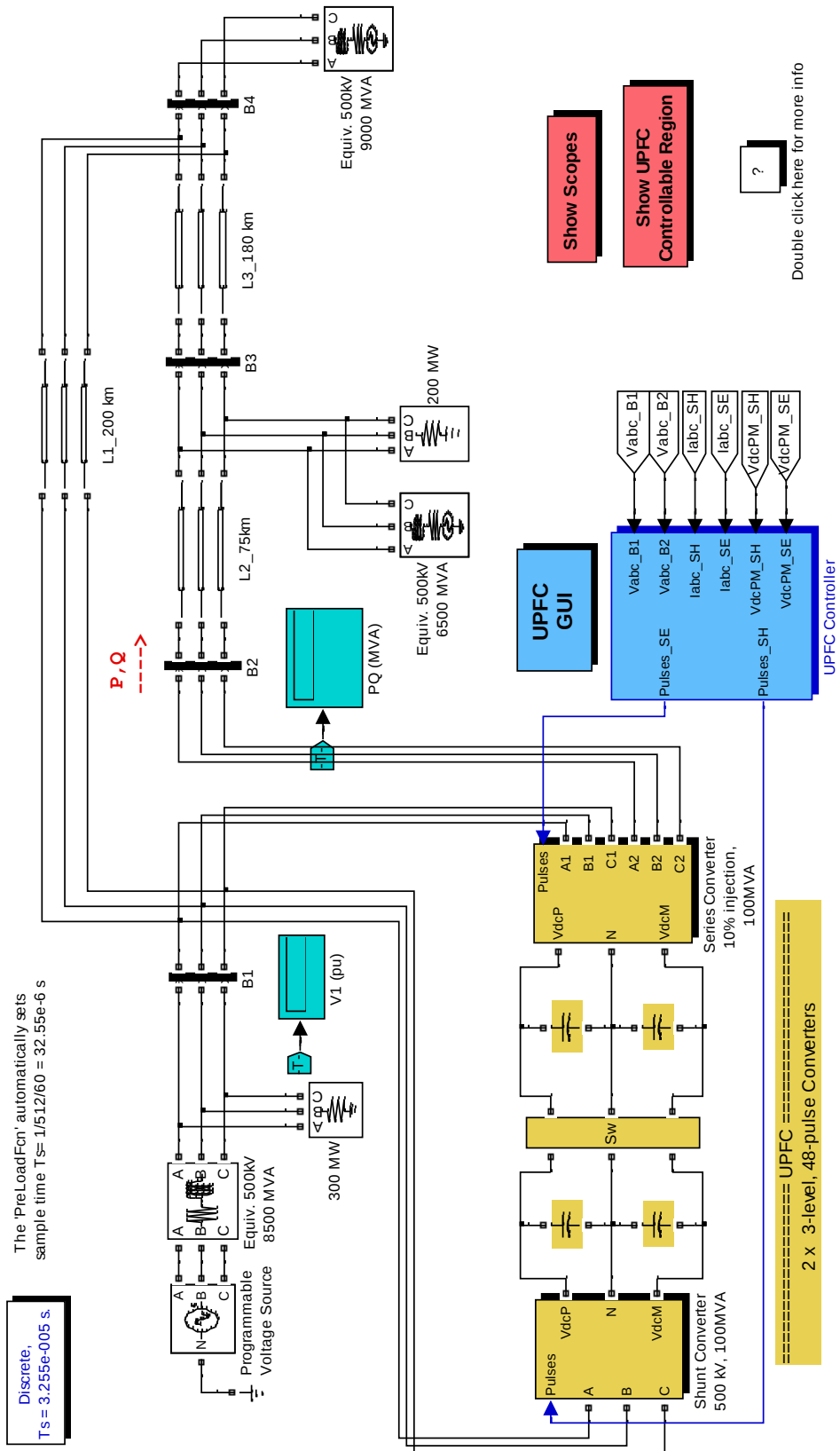
SSSC (Phasor Model)

Static Synchronous Series Compensator (SSSC) used for power oscillation damping

Phasors

powergui





UPFC (Detailed Model)
48-Pulse, GTO-Based Unified Power Flow Controller (500kV, 100 MVA)

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında İzmir’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İzmir’de gördü. 2001 yılında Bornova Mimar Sinan Endüstri Meslek Lisesi Elektronik Bölümünden mezun oldu. 2003 yılında kazandığı Kocaeli Üniversitesi Elektronik Öğretmenliği Bölümünden 2008 yılında mezun oldu. 2008-2012 yılları arasında basın ve sağlık sektöründe bilgi işlem yöneticiliği yaptıktan sonra 2012’nin Temmuz ayında Şırnak Üniversitesi Cizre MYO’da öğretim görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2012-2013 öğretim yılının bahar döneminde Fırat Üniversitesi Enerji Sistemleri Anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine başladı ve halen devam etmektedir. Ayrıca evli ve ikiz çocuk babasıdır.