

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BOLU - DÜZCE BÖLGESİ 154 kV / 34,5 kV İLETİM
VE DAĞITIM ŞEBEKESİNİN BİLGİSAYAR
ORTAMINDA MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik - Elektronik Müh. Sefer SOYSAL

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜH.
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Uğur ARİFOĞLU

Eylül 2008

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BOLU - DÜZCE BÖLGESİ 154 kV / 34,5 kV İLETİM
VE DAĞITIM ŞEBEKESİNİN BİLGİSAYAR
ORTAMINDA MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ


Elektrik-Elektronik Müh. Sefer SOYSAL


Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Bu tez 04 / 09 / 2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Uğur ARİFOĞLU
Jüri Başkanı


Yrd. Doç. Dr.
Yılmaz UYAROĞLU
Üye


Yrd. Doç. Dr.
İlyas ÇANKAYA
Üye

ÖNSÖZ

Bu çalışmada Bolu-Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesinin bilgisayar ortamında modellenmesi yapılmıştır. Gerçekleştirilen modelleme ile Bolu-Düzce bölgesi elektrik şebekesinin trafo merkezleri, iletim ve dağıtım hatlarıyla birlikte yük durumları incelenerek; akım-gerilim değişimleri, kısa devre akımları ve gerilim düşümleri gözlenmiştir. Yapılan çalışmada kullanılan veriler TEİAŞ, SEDAŞ ve özel sektörden temin edilmiş olup, bulunamayan değerler için gerçeğe en yakın değerler seçilmiştir.

Bu tez çalışmasında Matlab (Benzetim) yazılım programının 7.3.0.(R2007a) ve 7.3.0.(R2007b) sürümleri kullanılmıştır.

Bu çalışma elektrik şebekelerinde kullanılan trafo yük durumları ve kesici parametrelerinin tespit edilerek, kısa devre durumlarında can ve mal güvenliğinin sağlanması açısından önemlidir. Tez çalışmasında herhangi bir bölgede kısa devre sonucunda A noktasında açması istenen kesici yerine, B noktasındaki kesici açması gerçekleşmesi nedeniyle enerji iletim ve dağıtımında sıkıntılar yaşanmaktadır. Bu sıkıntılar röle koordinasyonu ile çözülmektedir. Bu nedenle tez çalışmamızda röle koordinasyonu hedeflenmiştir.

Tezimin hazırlanmasından önce ve aşamasında desteğini ve zamanını benden esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Uğur ARİFOĞLU 'na, çalışmalarım boyunca bana destek olan değerli mesai arkadaşlarıma, TEİAŞ 5. Bölge İletim Müdürlüğü çalışanlarına, Sayın Nihat KÖSEDAĞ 'a, Sayın İlker DURSUN 'a ve yaşamım boyunca her konuda destekçim olan aileme teşekkür ederim.

Sefer SOYSAL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xviii
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xx
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
SİSTEMLERİN ANALİZİ.....	2
2.1. Üretim Sistemi.....	3
2.2. İletim Sistemi.....	3
2.3. Dağıtım Sistemi.....	3
2.4. Genel Ağ Şebeke (Enterkonnekte) Sistemi.....	5
BÖLÜM 3.	
KISA DEVRE HESAPLAMALARI.....	7
3.1. Yüksüz Senkron Generatörde Üç Fazlı Kısa Devre Oluşması.....	7
3.2. Güç Sistemlerinde Kısa Devre.....	11
3.2.1. Kısa devre akımı hesaplama yöntemi.....	12
3.2.2. Enerji sistemi hata modeli.....	12
3.2.3. Üç fazlı kısa devre hesaplamaları.....	14

BÖLÜM 4.

GÜÇ AKIŞI.....	17
4.1. Güç Akışı Hesaplamaları.....	18
4.2. Gauss - Seidal Metodu ile Güç Akışı Algoritması.....	21
4.3. Newton-Raphson Yöntemi ile Güç Akışı Algoritması.....	24
4.4. Hızlı Ayrışık Güç Akışı.....	29

BÖLÜM 5.

BOLU-DÜZCE BÖLGESİ İLETİM VE DAĞITIM ŞEBEKESİNİN

MODELENMESİ	31
5.1. Hatlar.....	35
5.2. Trafolar.....	38
5.2.1. Y-Y Bağlantılı trafo.....	39
5.2.1.1. Kısa devre testi.....	41
5.2.1.2. Boşta çalışma testi.....	43
5.2.2. Δ -Y Bağlantılı trafo.....	46
5.2.2.1. Kısa devre testi.....	49
5.2.2.2. Boşta çalışma testi.....	51
5.3. Gerilim Kaynakları.....	53
5.4. Yükler.....	55
5.5. Kesici.....	56
5.6. Ölçü.....	58
5.7. Hata.....	60
5.8. Grafikselleştirilmiş Kullanıcı Arayüzü (Powergui).....	62

BÖLÜM 6.

GÜÇ AKIŞI VE KISA DEVRE ANALİZ GRAFİKLERİ.....	67
6.1. Güç Akışı Grafikleri.....	67
6.2. Kısa Devre Grafikleri.....	79

BÖLÜM 7.

SONUÇ VE ÖNERİLER.....	91
------------------------	----

KAYNAKLAR.....	94
EKLER.....	95
ÖZGEÇMİŞ.....	163

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Amper
A.G.	: Alçak Gerilim
E	: Gerilim kaynağı etkin değeri
F	: Farad
f	: Frekans
G.F.	: Güç Faktörü
H	: Henry
HES	: Hidro elektrik santrali
Hz	: Hertz
I	: Akım
I_{sc}	: Kısa devre akımı
I_o	: Boşta çalışma akımı
I_0	: Sıfır bileşen devre akım fazörü
I_1	: Doğru bileşen devre akım fazörü
I_2	: Ters bileşen devre akım fazörü
I_g	: Generatör Akımı
I'	: Geçici hata akımı
I''	: Alt geçici darbe hata akımı
$[I_{bara}]$: Bara akım matrisi
i	: Birim akım fazörü
$i(t)$: Ani akım değişimi
i_i^*	: i. bara akım fazörü eşlenik değeri
$[J]$: Jacobian matrisi
kA	: kilo amper
kVA	: kilo volt-amper
kVAR	: kilo volt-amper reaktif
kW	: kilo watt

L_m	: Magnetik endüktans
MVA	: Mega volt-amper
MVAR	: Mega volt-amper reaktif
MW	: Mega watt
mA	: Mili amper
mH	: Mili henry
m Ω	: Mili ohm
μ F	: Mikro Farad
ng	: sistem içindeki toplam generator sayısı
P	: Aktif güç
P_k	: Kayıp güç
PQ	: Yük barası
PV	: Generatör barası
p	: Birim aktif güç
p_g	: Generatör tarafından üretilen birim aktif güç
p_{gi}	: i. baraya bağlı generator aktif gücü
p_{hat}	: Hatta verilen birim aktif güç
p_i	: i. baradaki bağlı tüm hatlara verilen aktif güç değeri
p_y	: Yük tarafından çekilen birim aktif güç
P_{yi}	: i. baraya bağlı yükün aktif bileşeni
Q	: Reaktif güç
q	: Birim reaktif güç
q_{ci}	: i. baraya bağlı kontrol edilebilen şönt reaktif üreteç güç bileşeni
q_g	: Generatör tarafından üretilen birim reaktif güç
q_{gi}	: i. baraya bağlı generator reaktif gücü
q_i	: i. baraya bağlı tüm hatlara verilen reaktif güç değeri
q_y	: Yük tarafından çekilen birim reaktif güç
q_{yi}	: i. baraya bağlı yükün reaktif bileşeni
R	: Direnç
R_{eq}	: Eşdeğer direnç
S	: Kompleks güç veya görünür güç
SEDAŞ	: Sakarya Elektrik Dağıtım A.Ş.
T_A	: Armatür zaman sabiti

TM	: Trafo merkezi
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
T_d'	: Transiyent veya geçici darbe zaman sabiti
T_d''	: Alt geçici zaman sabiti veya subtransiyent
T	: Zaman
t_i	: Transformatör kademe ayarı
U	: Fazlar arası gerilim
u_k	: Yüzde gerilim değişimi
V	: Volt
V_o	: Sıfır gerilim bileşeni
V_d	: Doğru gerilim bileşeni
V_{pp}	: Faz faz gerilim değeri
V_t	: Ters gerilim bileşeni
[V_{bara}]	: Bara gerilim matrisi
V_0	: Sıfır bileşen devre gerilim fazörü
V_1	: Doğru bileşen devre gerilim fazörü
V_2	: Ters bileşen devre gerilim fazörü
VAr	: Volt-amper reaktif
v	: Birim gerilim fazörü
v_i	: i. baranın gerilim genlik değeri
v_j^*	: j. baraya ilişkin eşlenik bara gerilimi
$v(t)$: Ani gerilim değeri
W	: Watt
w	: Döngüsel frekans
X	: Reaktans
X_d	: Senkron reaktans
X_{eq}	: Eşdeğer Reaktans
X_o	: Boşta çalışma reaktansı
X_q	: Senkron makinanın enine eksen senkron reaktansı
X_d'	: Transiyent veya geçici reaktans
X_d''	: Alt geçici reaktans veya subtransient
Y-Y	: Yıldız yıldız bağlantılı
Y-Δ	: Yıldız-üçgen bağlantılı

$[Y_{\text{bara}}]$: Bara admintans matrisi
Z	: Empedans
Z_{eq}	: Eşdeğer empedans
Z_0	: Boşta çalışma empedansı
$[Z_{\text{bara}}]$: Bara empedans matrisi
Z_d	: Doğru empedans bileşeni
Z_t	: Ters empedans bileşeni
Z_0	: Sıfır empedans bileşeni
Δ -Y	: Üçgen yıldız bağlantılı
Ω	: Ohm
δ_i	: i. baranın gerilim açısı değeri

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Küçük güçlü generatör ile üretilen enerjinin gerilimin değerleri belli seviyeler altında belli bir bölgeyi besleme prensip şeması	2
Şekil 2.2.	Enerjinin dağıtılmasına ait alçak gerilim şebekesinin prensip şeması	4
Şekil 2.3.	Orta gerilim trafo postalarının dağıtım şebekesi prensip şeması	4
Şekil 2.4.	154 kV'luk bir genel ağ şebeke sistemi	6
Şekil 3.1.	Üç fazlı kısa devrede yüksüz senkron generatörün bir fazına ilişkin hata akımı değişimi	8
Şekil 3.2.	Enerji sistemi hata modeli gösterimi	13
Şekil 3.3.	Üç fazlı dengeli sistemde simetrik bileşen devre gösterimi	14
Şekil 3.4.	İletim hattında üç fazlı kısa devre gösterimi	14
Şekil 3.5.	Üç fazlı arızada bileşen devre bağlantıları	16
Şekil 4.1.	Genel amaçlı bir bara gösterimi	20
Şekil 4.2.	İki bara arasındaki hattan akan aktif ve reaktif güçler	28
Şekil 5.1.	Bolu-Düzce bölgesi 154 kV/34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesi	32
Şekil 5.2.	Bolu-Düzce bölgesi 154 kV / 34,5-31,5-6,3 kV iletim ve dağıtım şebekesi prensip şeması	32
Şekil 5.3.	Matlab Simulink ile Bolu-Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesi modellenmesi ana şeması	33
Şekil 5.4.	Bolu I TM alt sistem modellenmesi	34
Şekil 5.5.	Bolu I TM alt sistem modelinin iç şeması	35
Şekil 5.6.	Enerji nakil hattının π (pi) eşdeğer devresi	36
Şekil 5.7.	Enerji nakil hattı sembolü	36
Şekil 5.8.	Enerji nakil hattının alt sistem modelinin iç şeması	36
Şekil 5.9.	Enerji nakil hattının blok parametreleri	37
Şekil 5.10.	Yıldız-Yıldız bağlı trafo sargıları	39
Şekil 5.11.	Yıldız-Yıldız bağlı üç fazlı trafonun eşdeğer devresi	40

Şekil 5.12.	YN-YN bağlantılı trafo sembolü	40
Şekil 5.13.	154 / 34,5 kV, 50 MVA yıldız - yıldız bağlantılı Bolu II TRA parametreleri	41
Şekil 5.14.	Yıldız-Yıldız bağlı trafonun kısa devre eşdeğer devresi	42
Şekil 5.15.	Yıldız-Yıldız bağlı trafonun boştta çalışma eşdeğer devresi	44
Şekil 5.16.	Matlab'da yıldız -yıldız bağlantılı transformatörlerin kısa devre ve boştta çalışma test şeması	45
Şekil 5.17.	Üçgen-Yıldız bağlı trafonun sargıları	47
Şekil 5.18.	Üçgen-Yıldız bağlı üç fazlı trafonun eşdeğer devresi	47
Şekil 5.19.	Üçgen-Yıldız bağlantılı trafo sembolü	48
Şekil 5.20.	13.8 / 154 kV, 154 MVA üçgen - yıldız bağlantılı Sarıyar trafo parametreleri	48
Şekil 5.21.	Üçgen-Yıldız bağlı trafonun kısa devre eşdeğer devresi	49
Şekil 5.22.	Üçgen-Yıldız bağlı trafonun boştta çalışma eşdeğer devresi	51
Şekil 5.23.	Matlab 'da üçgen - yıldız bağlantılı transformatörlerin kısa devre ve boştta çalışma test şeması	53
Şekil 5.24.	380 kV kaynak sembolü	54
Şekil 5.25.	380 kV kaynağın bir fazına ilişkin parametreleri	54
Şekil 5.26.	Yük sembolü	55
Şekil 5.27.	Yük parametreleri	55
Şekil 5.28.	Kesici sembolü	57
Şekil 5.29.	Kesici parametreleri	57
Şekil 5.30.	Ölçü metre sembolü	58
Şekil 5.31.	Ölçü metre alt sistem modelinin iç şeması	58
Şekil 5.32.	Üç fazlı ölçü metre sembolü	59
Şekil 5.33.	Üç fazlı ölçü metre blok parametreleri	59
Şekil 5.34.	Üç fazlı watt metre sembolü	60
Şekil 5.35.	Üç fazlı watt metre blok parametreleri	60
Şekil 5.36.	Üç faz hata sembolü	60
Şekil 5.37.	Üç faz hata blok parametreleri	61
Şekil 5.38.	Powergui blok sembolü	62
Şekil 5.39.	Powergui blok parametreleri	64
Şekil 6.1.	Osmanca trafo merkezi 380 kV ana bara gerilim değerleri	67

Şekil 6.2.	Osmanca trafo merkezi 380 kV ana bara akım değerleri	68
Şekil 6.3.	Osmanca trafo merkezi 380 kV ana bara aktif ve reaktif güç değerleri	69
Şekil 6.4.	Osmanca trafo merkezi 154 kV çıkış barası gerilim değerleri ...	70
Şekil 6.5.	Osmanca trafo merkezi 154 kV çıkış barası aktif ve reaktif güç değerleri	70
Şekil 6.6.	Bolu I TM 154 kV giriş ana bara gerilim değerleri	71
Şekil 6.7.	Bolu I TM 154 kV giriş ana bara akım değerleri	72
Şekil 6.8.	Bolu I TM 154 kV giriş ana bara aktif ve reaktif güç değerleri .	73
Şekil 6.9.	Bolu I TM 154 / 34,5 kV, 25 MVA TRA çıkış bara gerilim değerleri	74
Şekil 6.10.	Bolu I TM 154 / 34,5 kV, 25 MVA TRA çıkış bara akım değerleri	74
Şekil 6.11.	Bolu I TM 154 / 34,5 kV, 25 MVA TRA çıkış bara aktif ve reaktif güç değerleri	75
Şekil 6.12.	Bolu I TM 154 / 34,5 kV, 25 MVA TRB çıkış bara gerilim değerleri	76
Şekil 6.13.	Bolu I TM 154 / 34,5 kV, 25 MVA TRB çıkış bara akım değerleri	77
Şekil 6.14.	Bolu I TM 154 / 34,5 kV, 25 MVA TRB çıkış bara aktif ve reaktif güç değerleri	78
Şekil 6.15.	Bolu I TM 154 kV giriş ana bara kısa devre gerilim değerleri ...	79
Şekil 6.16.	Bolu I TM 154 kV giriş ana bara kısa devre ortalama gerilim değerleri	80
Şekil 6.17.	Bolu I TM 154 kV giriş ana bara kısa devre akım değerleri	81
Şekil 6.18.	Bolu I TM 154 kV giriş ana bara kısa devre ortalama akım değerleri	81
Şekil 6.19.	Bolu I TM 154 kV giriş ana bara kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri	82
Şekil 6.20.	Bolu I TM 154 kV giriş ana bara kısa devre ortalama aktif ve reaktif güç değerleri	83
Şekil 6.21.	Bolu I TM 34,5 kV TRA çıkış bara kısa devre gerilim değerleri	84
Şekil 6.22.	Bolu I TM 34,5 kV TRA çıkış bara kısa devre akım değerleri ..	84

Şekil 6.23.	Bolu I TM 34,5 kV TRA çıkış bara kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri	85
Şekil 6.24.	Bolu I TM 34,5 kV TRA çıkış bara kısa devre ortalama aktif ve reaktif güç değerleri	86
Şekil 6.25.	Bolu I TM 34,5 kV TRA yıldız noktası akım değeri	86
Şekil 6.27.	Çimento TM 154 kV giriş bara kısa devre gerilim değerleri	87
Şekil 6.28.	Çimento TM 154 kV giriş bara ortalama kısa devre gerilim değerleri	88
Şekil 6.29.	Çimento TM 154 kV giriş bara kısa devre akım değerleri	88
Şekil 6.30.	Çimento TM 154 kV giriş bara ortalama kısa devre akım değerleri	89
Şekil 6.31.	Çimento TM 154 kV giriş bara kısa devre aktif ve reaktif değerleri	90
Şekil B.1.	Osmanca TM alt sistem modellemesi	100
Şekil B.2.	Osmanca TM alt sistem modelinin iç şeması	100
Şekil B.3.	Kaynaşlı TM alt sistem modellemesi	101
Şekil B.4.	Kaynaşlı TM alt sistem modelinin iç şeması	101
Şekil B.5.	Bolu II TM alt sistem modellemesi	102
Şekil B.6.	Bolu II TM alt sistem modelinin iç şeması	102
Şekil B.7.	Çimento TM alt sistem modellemesi	103
Şekil B.8.	Çimento TM alt sistem modelinin iç şeması	103
Şekil B.9.	Gerkonsan TM alt sistem modellemesi	104
Şekil B.10.	Gerkonsan TM alt sistem modelinin iç şeması	104
Şekil B.11.	Mudurnu TM alt sistem modellemesi	105
Şekil B.12.	Mudurnu TM alt sistem modelinin iç şeması	105
Şekil B.13.	Sarıyar Santralı alt sistem modellemesi	106
Şekil B.14.	Sarıyar Santralı alt sistem modelinin iç şeması	106
Şekil Ç.1.	154 / 34,5 kV, 50 MVA, YNyn0 bağlantılı transformatör test raporu	108
Şekil D.1.	Δ -Y bağlantılı transformatör test raporu (Devamı)	109
Şekil D.1.	Δ -Y bağlantılı transformatör test raporu (Devamı)	110
Şekil D.1.	Δ -Y bağlantılı transformatör test raporu (Devamı)	111
Şekil D.1.	Δ -Y bağlantılı transformatör test raporu (Devamı)	112

Şekil D.1.	Δ -Y bağlantılı transformatör test raporu (Devamı)	113
Şekil D.1.	Δ -Y bağlantılı transformatör test raporu (Devamı)	114
Şekil D.1.	Δ -Y bağlantılı transformatör test raporu (Devamı)	115
Şekil D.1.	Δ -Y bağlantılı transformatör test raporu (Devamı)	116
Şekil D.1.	Δ -Y bağlantılı transformatör test raporu (Devamı)	117
Şekil D.1.	Δ -Y bağlantılı transformatör test raporu (Devamı)	118
Şekil D.1.	Δ -Y bağlantılı transformatör test raporu (Devamı)	119
Şekil D.1.	Δ -Y bağlantılı transformatör test raporu (Devamı)	120
Şekil D.1.	Δ -Y bağlantılı transformatör test raporu (Devamı)	121
Şekil D.1.	Δ -Y bağlantılı transformatör test raporu	122
Şekil F.1.	Kaynaşlı TM 154 kV giriş ana bara gerilim değerleri	124
Şekil F.2.	Kaynaşlı TM 154 kV giriş ana bara aktif ve reaktif güç değerleri	124
Şekil F.3.	Kaynaşlı TM 34,5 kV çıkış bara gerilim değerleri	125
Şekil F.4.	Kaynaşlı TM 34,5 kV çıkış bara akım değerleri	125
Şekil F.5.	Kaynaşlı TM 34,5 kV çıkış bara aktif ve reaktif güç değerleri ..	126
Şekil F.6.	Bolu II TM 154 kV giriş ana bara gerilim değerleri	126
Şekil F.7.	Bolu II TM 154 kV giriş ana bara akım değerleri	127
Şekil F.8.	Bolu II TM 154 kV giriş ana bara aktif ve reaktif güç değerleri	127
Şekil F.9.	Bolu II TM 34,5 kV çıkış bara gerilim değerleri	128
Şekil F.10.	Bolu II TM 34,5 kV çıkış bara akım değerleri	128
Şekil F.11.	Bolu II TM 34,5 kV çıkış bara aktif ve reaktif güç değerleri ...	129
Şekil F.12.	Çimento TM 154 kV giriş ana bara gerilim değerleri	129
Şekil F.13.	Çimento TM 154 kV giriş ana bara akım değerleri	130
Şekil F.14.	Çimento TM 154 kV giriş ana bara aktif ve reaktif güç değerleri	130
Şekil F.15.	Çimento TM 6,3 kV TRB çıkış bara gerilim değerleri	131
Şekil F.16.	Çimento TM 6,3 kV TRB çıkış bara akım değerleri	131
Şekil F.17.	Çimento TM 6,3 kV TRB çıkış bara aktif ve reaktif güç değerleri	132
Şekil F.18.	Gerkonsan TM 154 kV giriş ana bara gerilim değerleri	132
Şekil F.19.	Gerkonsan TM 154 kV giriş ana bara akım değerleri	133

Şekil F.20.	Gerkonsan TM 154 kV giriş ana bara aktif ve reaktif değerleri	133
Şekil F.21.	Gerkonsan TM 31,5 kV çıkış bara gerilim değerleri	134
Şekil F.22.	Gerkonsan TM 31,5 kV çıkış bara akım değerleri	134
Şekil F.23.	Gerkonsan TM 31,5 kV çıkış bara aktif ve reaktif güç değerleri	135
Şekil F.24.	Mudurnu TM 154 kV giriş ana bara gerilim değerleri	135
Şekil F.25.	Mudurnu TM 154 kV giriş ana bara akım değerleri	136
Şekil F.26.	Mudurnu TM 154 kV giriş ana bara aktif ve reaktif güç değerleri	136
Şekil F.27.	Mudurnu TM 34,5 kV çıkış bara gerilim değerleri	137
Şekil F.28.	Mudurnu TM 34,5 kV çıkış bara akım değerleri	137
Şekil F.29.	Mudurnu TM 34,5 kV çıkış bara aktif ve reaktif güç değerleri	138
Şekil F.30.	Sarıyar Santrali 154kV çıkış ana bara gerilim değerleri	138
Şekil F.31.	Sarıyar Santrali 154kV çıkış ana bara akım değerleri	139
Şekil F.32.	Sarıyar Santrali 154kV çıkış ana bara aktif ve reaktif güç değerleri	139
Şekil G.1.	Osmanca TM 380 kV giriş ana bara kısa devre gerilim değerleri	140
Şekil G.2.	Osmanca TM 380 kV giriş ana bara kısa devre akım değerleri	140
Şekil G.3.	Osmanca TM 380 kV giriş ana bara ortalama kısa devre akım değerleri	141
Şekil G.4.	Osmanca TM 380 kV giriş ana bara kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri	141
Şekil G.5.	Osmanca TM 154 kV çıkış ana bara kısa devre gerilim değerleri	142
Şekil G.6.	Osmanca TM 154 kV çıkış ana bara ortalama kısa devre gerilim değerleri	142
Şekil G.7.	Osmanca TM, TRA yıldız noktası kısa devre akım değerleri ...	143
Şekil G.8.	Osmanca TM 154 kV çıkış ana bara kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri	143
Şekil G.9.	Osmanca TM 154 kV çıkış ana bara ortalama kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri	144
Şekil G.10.	Kaynaşlı TM 154 kV giriş ana bara kısa devre gerilim değerleri	144
Şekil G.11.	Kaynaşlı TM 154 kV giriş ana bara kısa devre akım değerleri ..	145

Şekil G.12.	Kaynaşlı TM 154 kV giriş ana bara kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri	145
Şekil G.13.	Kaynaşlı TM 154 kV giriş ana bara ortalama kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri	146
Şekil G.14.	Osmanca TM, TRB yıldız noktası kısa devre akım değerleri ...	146
Şekil G.15.	Kaynaşlı TM 34,5 kV çıkış ana bara kısa devre gerilim değerleri	147
Şekil G.16.	Kaynaşlı TM 34,5 kV çıkış ana bara kısa devre akım değerleri	147
Şekil G.17.	Kaynaşlı TM 34,5 kV çıkış ana bara kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri	148
Şekil G.18.	Kaynaşlı TM 34,5 kV çıkış ana bara ortalama kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri	148
Şekil G.19.	Bolu II TM 154 kV giriş ana bara kısa devre gerilim değerleri	149
Şekil G.20.	Bolu II TM 154 kV giriş ana bara ortalama kısa devre gerilim değerleri	149
Şekil G.21.	Bolu II TM 154 kV giriş ana bara kısa devre akım değerleri	150
Şekil G.22.	Bolu II TM 154 kV giriş ana bara ortalama kısa devre akım değerleri	150
Şekil G.23.	Bolu II TM 154 kV giriş ana bara kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri	151
Şekil G.24.	Bolu II TM 34,5 kV çıkış ana bara kısa devre gerilim değerleri	151
Şekil G.25.	Bolu II TM 34,5 kV çıkış ana bara kısa devre akım değerleri ...	152
Şekil G.26.	Bolu II TM, TRB yıldız noktası kısa devre akım değerleri	152
Şekil G.27.	Bolu II TM 34,5 kV çıkış ana bara kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri	153
Şekil G.28.	Gerkonsan TM 154 kV giriş ana bara kısa devre gerilim değerleri	153
Şekil G.29.	Gerkonsan TM 154 kV giriş ana bara kısa devre akım değerleri	154
Şekil G.30.	Gerkonsan TM 154 kV giriş ana bara kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri	154
Şekil G.31.	Gerkonsan TM 154 kV giriş ana bara ortalama kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri	155
Şekil G.32.	Gerkonsan TM 31,5 kV çıkış ana bara kısa devre gerilim	

	değerleri	155
Şekil G.33.	Gerkonsan TM 31,5 kV çıkış ana bara kısa devre akım değerleri	156
Şekil G.34.	Gerkonsan TM 31,5 kV çıkış ana bara ortalama kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri	156
Şekil G.35.	Mudurnu TM 154 kV giriş ana bara kısa devre gerilim değerleri	157
Şekil G.36.	Mudurnu TM 154 kV giriş ana bara ortalama kısa devre gerilim değerleri	157
Şekil G.37.	Mudurnu TM 154 kV giriş ana bara kısa devre akım değerleri	158
Şekil G.38.	Mudurnu TM 154 kV giriş ana bara kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri	158
Şekil G.39.	Mudurnu TM 154 kV giriş ana bara ortalama kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri	159
Şekil G.40.	Mudurnu TM 34,5 kV çıkış ana bara kısa devre gerilim değerleri	159
Şekil G.41.	Mudurnu TM 34,5 kV çıkış ana bara kısa devre akım değerleri	160
Şekil G.42.	Mudurnu TM 34,5 kV çıkış ana bara ortalama kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri	160
Şekil G.43.	Sarıyar Santralı 154 kV çıkış ana bara kısa devre gerilim değerleri	161
Şekil G.44.	Sarıyar Santralı 154 kV çıkış ana bara kısa devre akım değerleri	161
Şekil G.45.	Sarıyar Santralı 154 kV çıkış ana bara kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri	162
Şekil G.46.	Sarıyar Santralı 154 kV çıkış ana bara ortalama kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri	162

TABLolar LİSTESİ

Tablo 5.1.	Bolu-Düzce bölgesi 154 kV iletim hatları blok parametre değerleri	37
Tablo 5.2.	Bolu I TM dağıtım hatları blok parametre değerleri	38
Tablo 5.3.	Bolu-Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesi trafolarının parametreleri	46
Tablo 5.4.	Bolu I TM dağıtım hatları yük parametre değerleri	56
Tablo C.1.	Bolu-Düzce bölgesi 34,5- 31,5 ve 6,3 kV dağıtım hatları blok parametre değerleri	107
Tablo E.1.	Bolu-Düzce bölgesi iletim ve dağıtım şebekesi aktif ve reaktif yük tablosu	123

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Enerji, Enerji İletim Hatları, Güç Trafoları, Elektrik Dağıtım Şebekeleri, Yük Akışı Analizi, Kısa Devre Analizi, Matlab (Benzetim) ve Simulink Araç Kutusu (Toolbox) Yardımı ile Enerji İletimi ve Kısa Devre Analizi.

Günümüzde enerji, üretimin ana girdilerinden birisidir. Mevcut enerji kaynaklarını ekonomik ve güvenli bir şekilde kullanabilmek günümüzde çok önemli hale gelmiştir. Ülkemizde kullanılan teçhizatlarda farklı standartlar olduğu için elektrik enerjisinin üretim, iletim, dağıtım, tüketim ve kontrolünde sıkıntılar yaşanmaktadır. Bu sıkıntıları gidermenin en etkili yolu, tüm elektrik tesislerinde ar-ge çalışması yapılmış, ileri teknoloji ürünü otomasyon sistemleri kurmak ve geliştirmektir.

İleri teknoloji ürünü olan Matlab, temel matematik ve mühendislik dallarında kullanıcıya ciddi imkanlar sunar. Bu tez çalışmasında Bolu–Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV elektrik iletim ve dağıtım şebekesi, Simulink araç kutusu kullanılarak modellenmiş ve analiz edilmiştir.

Tezde kullanılan modelleme ile Bolu–Düzce bölgesinin elektrik iletim ve dağıtım güç akışı analizi, çeşitli baralardaki akım-gerilim değerleri ve kısa devre akım değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara dayanılarak, mevcut sistemin yük taşıma kapasitesi, röle koordinasyonu, gerilim yalıtım seviyelerinin kontrolü ve muhtemel akım kaçaklarına dönük test sonuçlarına ulaşılmıştır.

MODELLING OF BOLU–DUZCE REGION 154 kV / 34,5 kV TRANSMISSION AND DISTRIBUTION NETWORK AT COMPUTER

SUMMARY

Keywords : Energy, energy transmission lines, power transformers, electricity distribution network, load flowing analysis, short circuit analysis, energy transmission and short circuit analysis whereby matlab and simuling toolbox.

At the present day, energy is the main input of production and it has become much important to use the existing energy sources economically and safely. In our country, it is faced difficulties at the production, transmission and distribution of electrical energy due to the different standarsts used at equipment. It is done re-de working to find the most effective way of correcting these difficulties.

Matlab which is a high technology product presents serious possibilities to the user at basic maths and engineering. In this thesis study, Bolu-Düzce region 154 kV/34,5 kV electricity transmission and distribution network is modelled and analysed by using the Simulink toolbox.

Using the modelling at this thesis study, power flowing of electricity transmission and distribution is analysed and current-voltage and short circuit flowing values calculated at various baras of Bolu Düzce region. In light of these calculations, the load carrying capacity of current system, relay coordination, control of voltage isolation levels and test results of possible current leakage are obtained.

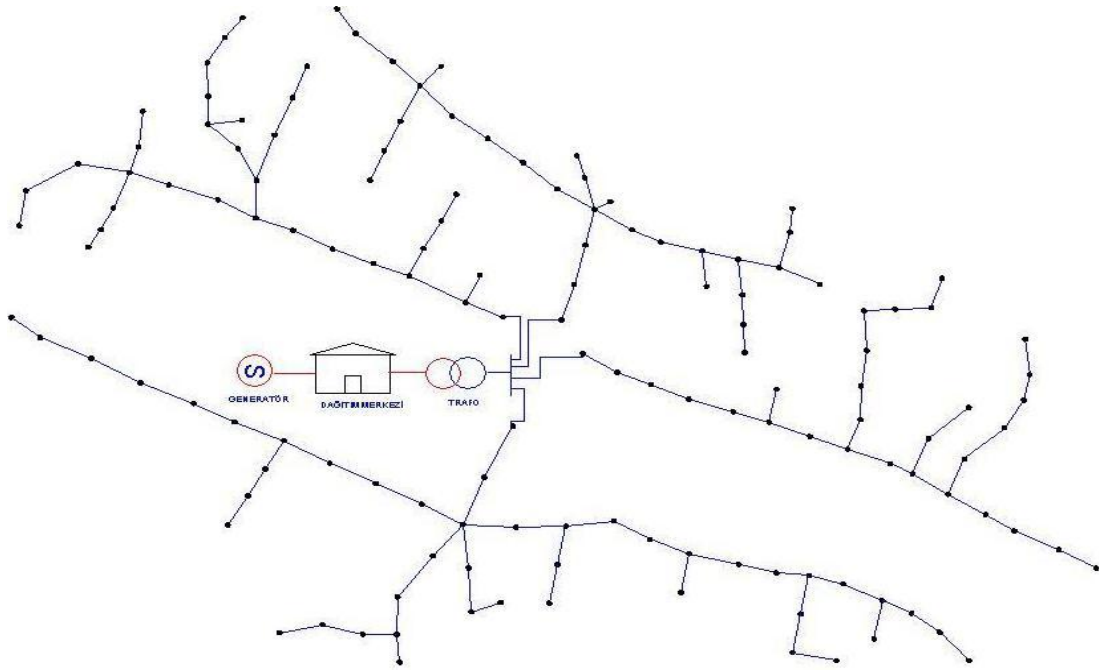
BÖLÜM 1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi üretim, iletim, dağıtım ve tüketim safhasından geçerek kullanılmaktadır. Termik, doğalgaz ve hidrolik santrallerde üretilen elektrik enerjisi çok yüksek gerilimlerde (örneğin 380, 154 ve 66 kV) genel ağ şebeke (enterkonnekte) sistemimizde enerji iletim hatlarıyla nakledilir. Arkasından belirli noktalarda ototrafolar ile 154 kV ve 66 kV gerilim seviyesinde yine iletim hatlarıyla tüketim noktalarına daha yakın olan transformatör merkezlerine nakledilir. Trafo merkezlerinden 34,5, 31,5 ve 15 kV gerilim seviyesine düşürülerek dağıtım hatlarıyla tüketim noktalarına ulaştırılır ve buralarda 34,5 / 6,3 kV ve 34,5 / 0,4 kV 'luk dağıtım trafoları yardımıyla gerilim seviyesi düşürülerek fabrika, işyeri, ticarethane ve evlerde tüketilir. Buradan anlaşılacağı üzere bahsedilen konu içinde birçok elektriksel eleman, mekanik teçhizat ve malzeme bulunmaktadır [2].

Bu nedenle çalışmamızda, Türkiye Elektrik Üretim A.Ş., Türkiye Elektrik İletim A.Ş. ve Sakarya Elektrik Dağıtım A.Ş. 'ne bağlı Bolu – Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesini oluşturan Sarıyar HES, bir tane 380 / 154 kV TM, beş tane 154 / 34,5 kV TM, bir adet 154 / 6,3 kV TM ile iletim ve dağıtım hatlarıyla birlikte yük durumları incelenmiş olup, Matlab (Benzetim) yazılım programından Simulink araç kutusu (Toolbox) kullanılarak güç akışı neticesinde gözlenen akım-gerilim değişimleri, kısa devre akımları ve gerilim düşümleri analiz edilmiştir. Bu çalışmalarda TEİAŞ, SEDAŞ, özel sektörden alınan gerçek veri ve parametreler kullanılmış olup, veri ve parametresi bulunmayan elemanlar için ise gerçeğe en yakın değerler seçilmiştir. Ayrıca güç akışının yapılacağı bölge sisteminin anlaşılır olabilmesi için bazı kabuller yapılarak, 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesi olarak modellenmiştir.

BÖLÜM 2. SİSTEMLERİN ANALİZİ

Geçmiş yıllarda, dünyada ve ülkemizde elektrik enerjisi üretimi için çeşitli enerji kaynakları ile çalışan elektrik santralleri kurulmuştur. Tüketimin daha az olduğu zamanlarda, santraller mahalli olarak çalışmakta ve belli bölgeyi beslemekteydi. Dolayısıyla bu üretim küçük güçlü generatörlerle yapılıyor ve gerilim değerleri belli seviyelerin altında kalıyordu. Aşağıda şekil 2.1.'de buna örnek prensip şeması bulunmaktadır.



Şekil 2.1. Küçük güçlü generatör ile üretilen enerjinin gerilim değerleri belli seviyeler altında belli bir bölgeyi besleme prensip şeması

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, sanayi tesislerinin kurulması neticesinde enerji ihtiyaçları artmış ve mahalli üretimler bunu karşılayamaz hale gelmiştir. Generatör güçleri arttırılmış, santrallerin üretimlerini birleştirme amacıyla uzun iletim hatları tesis edilmiş ve kayıpların azaltılması için de gerilim değerleri arttırılmıştır. Enerjinin kullanımı, üretim iletim ve dağıtım aşamalarından geçerek gerçekleşmektedir.

2.1. Üretim Sistemi

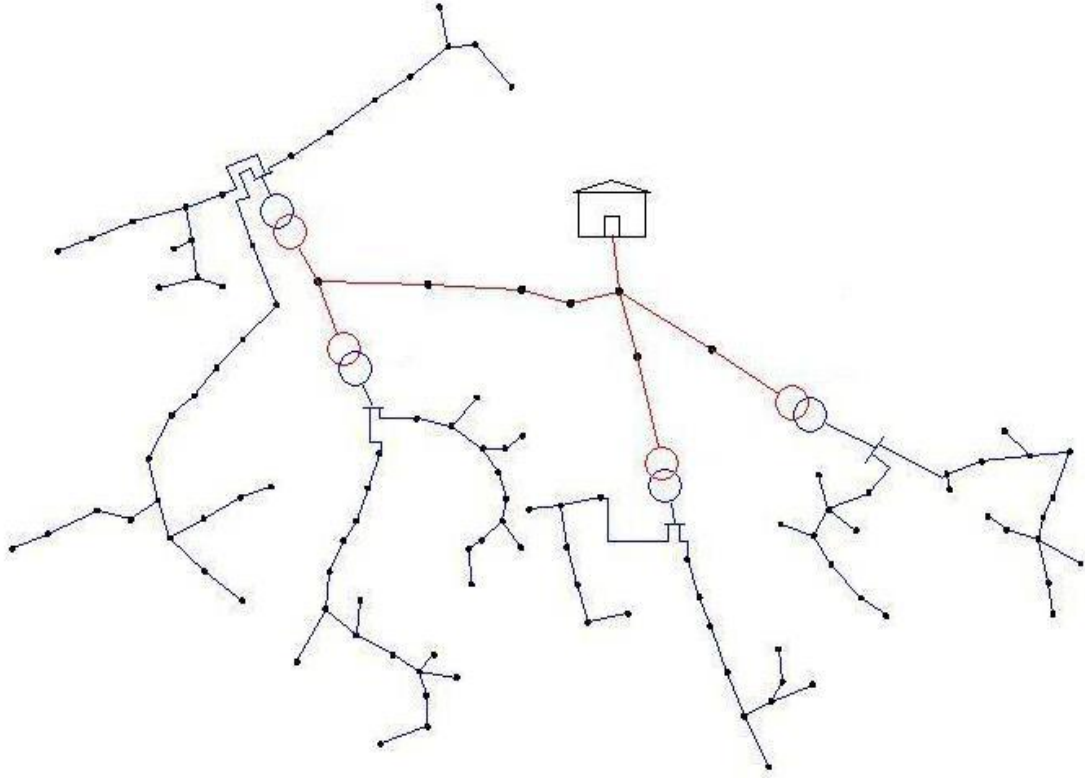
Üretim, kurulan enerji santrallerinde çeşitli güçteki senkron generatörlerce yapılmaktadır. Generatör sargıları yıldız bağlı olup, nötr (yıldız) noktası ya doğrudan doğruya toprağa bağlanır veya bir empedans üzerinden topraklanır ya da boşta bırakılır ki, bu takdirde, generatör nötrü yalıtımlı olarak çalışır. Büyük güçlü generatörlerde, yıldız noktaları doğrudan topraklanmaz. Aksi takdirde stator sargılarında oluşacak toprak arızalarında büyük akımlar geçerek generatöre zarar verir. Yıldız noktasının boşta bırakılması yani yalıtım edilmesi halinde ise, faz-toprak temaslarını hassas olarak algılamak zorlaşır ve yalıtım arızalanmaları söz konusu olabilir. Bu sakıncalardan dolayı genellikle direnç üzerinden topraklanırlar.

2.2. İletim Sistemi

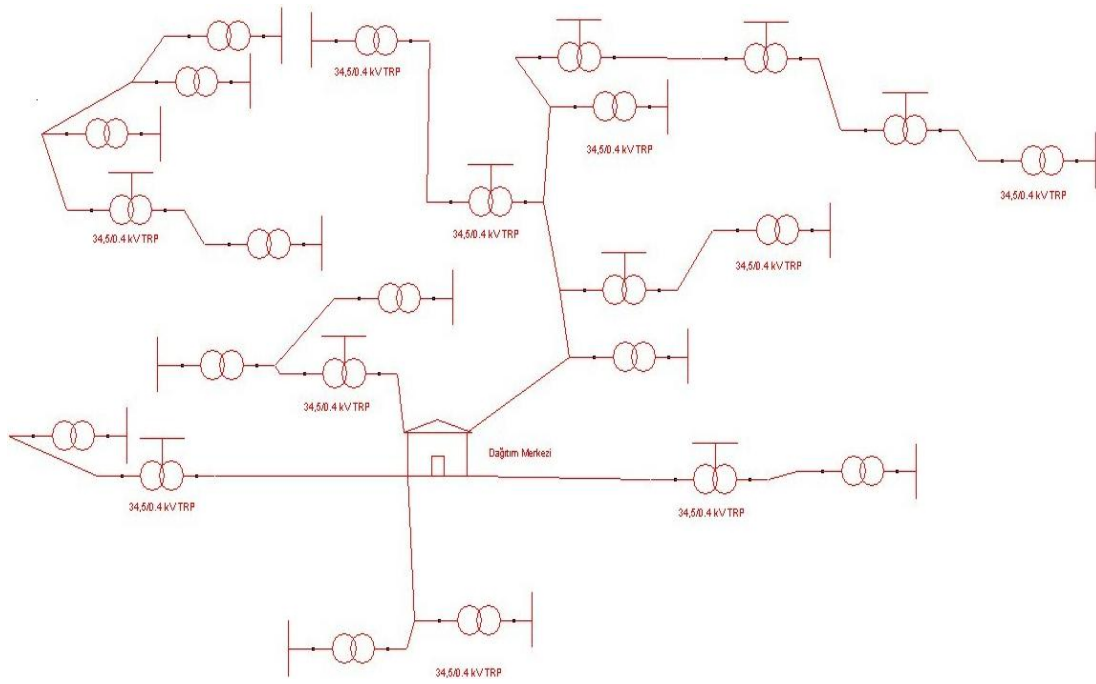
Belli bir mahalde üretilen enerjinin, başka bir yere nakli için enerji iletim hatlarının tesisi gerekir. Uzaklık ve taşınacak güç arttıkça, iletim gerilim değeri büyüyecektir. Nakledilen enerjinin dağıtımını için belli yerlerde indirici trafo merkezleri kurularak genel ağ şebekesi birleştirilir.

2.3. Dağıtım Sistemi

Yüksek gerilim ile gelen enerjinin küçük ünitelere kadar dağıtılabilmesi için gerilim seviyesinin uygun değere düşürülmesi zorunludur. Şekil 2.2.'de enerjinin dağıtılmasına ait alçak gerilim şebekesi prensip şeması bulunmaktadır. Ayrıca şekil 2.3.'de orta gerilim trafo postalarının dağıtım şebekesi prensip şeması bulunmaktadır. Bu maksatla, yani yüksek olan gerilim seviyesini uygun değere düşürmek için kullanılan elektrik makinaları yukarıda belirtildiği gibi güç transformatörleridir. Üç fazlı transformatörler çeşitli yapı ve bağlantı gruplarında imal edilirler [2]. Örneğin Y-Y bağlantı, Y- Δ bağlantı, Δ -Y bağlantı, Zikzak v.b.



Şekil 2.2. Enerjinin dağıtılmasına ait alçak gerilim şebekesinin prensip şeması



Şekil 2.3. Orta gerilim trafo postalarının dağıtım şebekesi prensip şeması

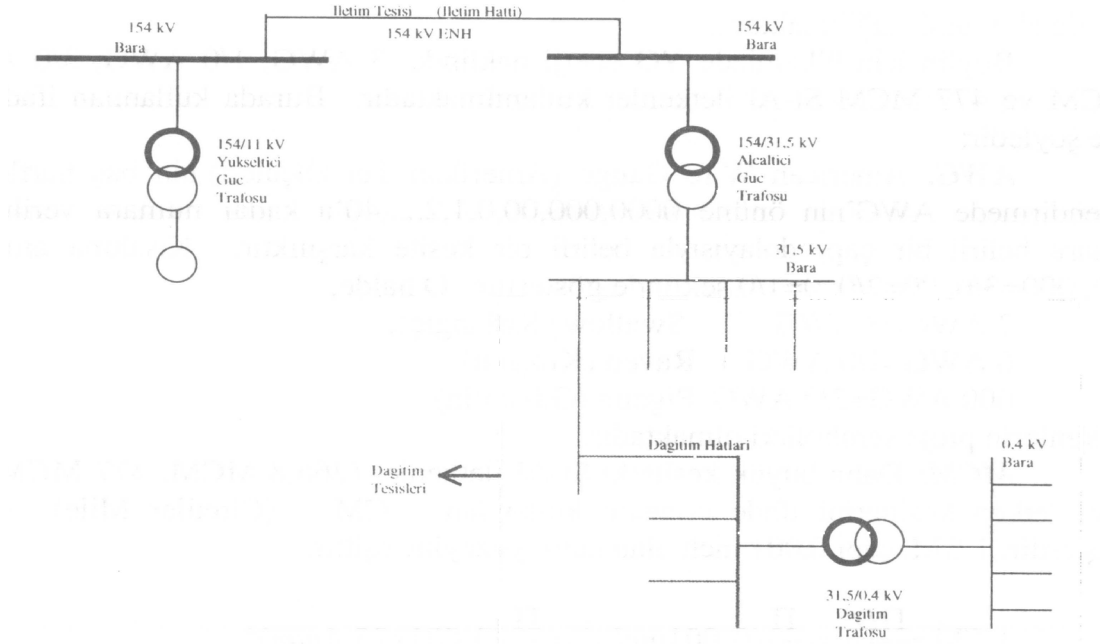
2.4. Genel Ağ Şebeke (Enterkonnekte) Sistemi

Enerji sektöründeki gelişmelere bağlı olarak her bir bölge için üretilen elektrik enerjisinin tüketim için uygun olmadığı görülmüştür. Buna bağlı olarak üretim için kurulan santrallerinin yerleri ve üretimde kullandıkları yer altı kaynaklarının ekonomik olması istenmektedir. Bu nedenle su santralleri su kuvvetinin ve inşaatının en müsait durum arz eden yere, termik santrallerin ise kömürün çıktığı yere kurulması gerekir. Aynı şekilde taşkömürü, doğalgaz, petrol, rüzgar ve jeotermal santraller içinde benzer veya özelliklerine göre farklılıklar bulunmaktadır.

Elektrik santralleri en müsait yerlerde, muhtelif tip ve kapasitelerde kurulur. Bunlar bir birlerine yüksek veya çok yüksek gerilim grubuna dahil olan gerilimlere haiz enerji nakil hatları ile birleştirilerek, mevcut bölgelerin elektrikle beslenmesi gerçekleştirilir. Böylece enerji nakil hatları, bütün bölgenin elektrikleştirilmesini temin edecek şekilde tertip ve tesis edilirler.

Bir memleketin tamamının veya belli bölgelerinin elektrik enerji ihtiyacını karşılayacak üretim ve tüketim merkezleri arasındaki enerji alışverişini temine yarayan enerji nakil hatlarının teşkil ettiği sisteme genel ağ sistemi (enterkonnekte sistem) denir. Genel ağ sistemini besleyen santraller, muhtelif tip ve kapasitede termik, taşkömürü, doğalgaz, petrol, rüzgar, jeotermal ve hidroelektrik santraller olabilirler. Bu santrallerdeki alternatörlerin çıkış gerilimleri de; 6,3, 6,9, 10,5, 10,8, 13,8 ve 14,4 kV tan biri olmaktadır. Bu nedenle alternatör çıkış gerilimleri, yükseltici trafolar yardımı ile yükseltilerek genel ağ sistemine bağlanmaktadır.

Aşağıdaki şekil 2.4.'te 154 kV 'luk bir genel ağ şebeke sistemi görülmektedir. Aşağıdaki şekilde belli yerdeki santralde üretilen elektrik enerjisi yükseltici trafo yardımıyla 154 kV 'luk genel ağ şebekesine bağlanarak, alçaltıcı trafolar vasıtasıyla elektrikleştirilen bölgeleri beslediği görülmektedir. Her bölgedeki enerji dağıtımını yukarıda izah edildiği şekilde yapılır. Belli bir yerdeki santral 154 kV 'luk genel ağ sistemini beslemekten başka, bir de kendi bara sistemleri üzerinden buldukları bölgeyi de doğrudan doğruya besleyebilirler. Buna benzer durumlar 380 kV ve 66 kV 'luk gerilimli şebekelerde de geçerlidir.



Şekil 2.4. 154 kV'lık bir genel ağ şebeke sistemi

Genel ağ şebeke sistemin üretim ve tüketim yönünden emniyetli, kaliteli ve ekonomik olarak işletilmesine devamlı olarak nezaret eden, işletme manevralarının koordinasyon ve kumandasını yapan işletme merkezine, yük tevzi merkezi adı verilir. Böylece bölge santrallerinin gücü, kendi bölgelerini beslemeye yeterli gelmediği zaman, bağlı bulunduğu genel ağ şebeke sisteminden lüzumu kadar enerji çekebilmesi ekonomik olarak sağlanmaktadır [3].

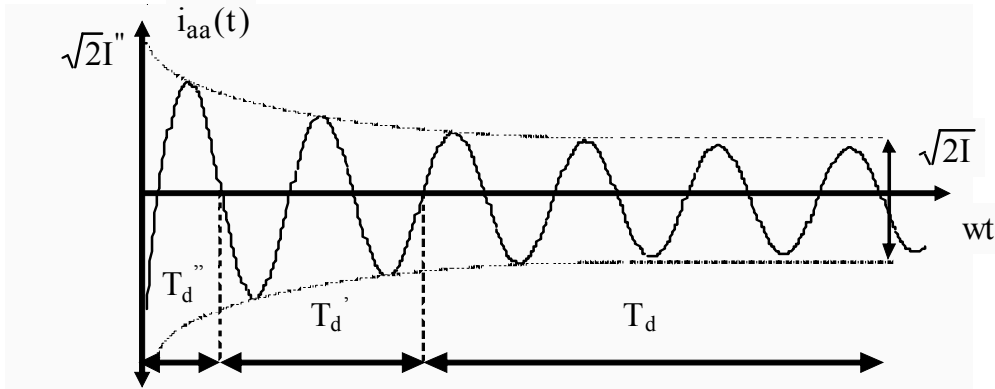
BÖLÜM 3. KISA DEVRE HESAPLAMALARI

Enerji sisteminde yıldırım düşmesi, açma kapama olayları, mekanik hatalar, buz yükü, toprak kayması, deprem, kuş, haşarat, nem, kir ve benzer sebebi ile meydana gelen aşırı gerilimler, üzerinde gerilim bulunan sistem parçalarını elektriksel olarak zorlar. Zorlama, gerilim yalıtım seviyesini aşarsa kısa devre oluşur. Kısa devre akımının değeri, hata noktasından sistemi besleyen kaynağa doğru bakıldığında görülen Thevenin eşdeğer devresi tarafından belirlenerek, hesaplanır. Normal çalışma akımlarından çok daha büyük değerlere ulaşabilen kısa devre akımları, sistem elemanları üzerinde aşırı ısınma, tahribat ile büyük değerlerde magnetik kuvvetler meydana getirirler. Eğer kısa devre noktası enerji sisteminden hızlı bir şekilde uzaklaştırılmazsa aşırı ısınma ve magnetik kuvvetler sistem üzerinde kalıcı ve ciddi zararlar oluşturarak, enerji sürekliliği ve kalitesinin bozulmasına sebep olmaktadır. Hata noktasının sisteme etkisini önlemek için seçilen yüksek gerilimli standart kesicilerin açması için üç periyotluk süre gerekir (50 Hz için 60 milisaniye). Gerilim seviyesi düştükçe kontrol kesicisinin açma süresi de artmaya başlar (5 ile 20 periyotluk süre). Kısa devre olayları dengeli ve dengesiz kısa devre olarak iki şekilde incelenir. Hata öncesi hat akımları birbirine eşit olan bir sistemde, hatadan sonra da hat akımları genlik olarak birbirlerine eşit değer alıyorsa, oluşan hata türü dengeli kısa devre olarak isimlendirilir. Eğer hata sonrası hat akımları ve genlik değerleri kendi aralarında birbirlerinden farklı değerler alıyorsa, hata türü dengesiz kısa devre olarak adlandırılır. Dengesiz kısa devreye ilişkin akım ve gerilim hesaplamaları dengeli sisteme göre daha uzun ve zordur [4].

3.1. Yüksüz Senkron Generatörde Üç Fazlı Kısa Devre Oluşması

Şekil 3.1'de yüksüz senkron generatörün çıkışında üç fazlı kısa devre hatası oluştuğunda, bir faza ilişkin hata akımının osilogramdan görülen değişimi verilmiştir (Kısa devre akımının doğru akım bileşeni gösterilmemiştir). Şekilde görüldüğü gibi

kısa devre akımının genlik değeri yüksek bir değerden sürekli haldeki değerine doğru azalan sinüzoidal bir değişim göstermektedir. X_d , senkron makinanın senkron reaktansı ise, bu reaktansın birbirine dik iki eksen takımında izdüşümü alınarak, boyuna eksen senkron reaktansı yani X_d ve enine eksen senkron reaktansı yani X_q oluşturulur. Armatür direnci küçük değerde olursa, kısa devre olayında X_q enine eksen reaktansı ihmal edilecek seviyededir. Senkron makinaların ani kısa devre koşulunda uyarma sargısı, amortisör sargısı ve fuko akım devreleri büyük önem kazanmaktadır. Ani kısa devrede stator akımının genliği değiştiği için endüvi reaksiyonu akısı da değişerek, rotor sargılarında yeni akımların oluşmasına yol açarak, tekrar stator akımlarına etki yapar.



Şekil 3.1. Üç fazlı kısa devrede yüksüz senkron generatörün bir fazına ilişkin hata akımı değişimi

Ani kısa devre olayında üç önemli süre söz konusu olmaktadır. Birinci süre, kaçak akımın relüktansı yüksek olan havadan yolunu kapattığı ve akımın yolunu daha çok duran (hareketsiz) kısımlardan tamamladığı zaman dilimidir ve T_d'' (subtransiyent veya alt geçici zaman sabiti) ile gösterilmektedir. Relüktansı yüksek olan bu yolun endüktansı (dolayısı ile reaktansı) ise oldukça düşük seviyededir. Bu sürede kısa devre akımının genliği bahsedilen kaçak akımın oluşturduğu küçük değerlerde olan reaktans tarafından sınırlandırılır. Bu nedenle başlangıç akım değeri yüksek olur. Ani kısa devre akımının oluşumunda etkili olan bu reaktansa, subtransiyent veya alt geçici darbe reaktansı adı verilir ve X_d'' ile gösterilmektedir.

İkinci süre kaçak akımın devresini demir içerisinden kapatan kısmının da etkili olduğu zaman dilimini içerir ve T_d' (transiyent veya geçici darbe zaman sabiti) ile gösterilir. Makinanın ataletinden dolayı bu süre içinde ortaya çıkan reaktans etkisini biraz geç göstermektedir. Bu sürede akımı sınırlayan reaktansa transient veya geçici reaktans adı verilir ve X_d' ile gösterilmektedir.

Üçüncü süre ise devre ataletinden dolayı etkisini en sonra gösteren endüvi reaksiyonunun da söz sahibi olduğu zaman dilimidir. Üçüncü sürenin başlangıcında sürekli kısa devre akımı oluşur ve bu değer kısa devre ortadan kaldırılıncaya kadar devam eder. Bu sürede kısa devre akımını sınırlayan reaktans, endüvi reaksiyonu reaktansı ile stator sargısı kaçak reaktansından meydana gelen X_d senkron reaktansıdır.

Yukarıdaki açıklamalara göre üç süreye ilişkin reaktanslar arasında $X_d'' < X_d' < X_d$ ilişkisi vardır. Enine senkron reaktans etkisinin ve armatür direncinin ihmal edilmesi ile elde edilen ani kısa devre akımına ilişkin fonksiyon;

$$i_{aa}(t) = \sqrt{2}E \left[\left(\frac{1}{X_d''} - \frac{1}{X_d'} \right) e^{t/T_d''} + \left(\frac{1}{X_d'} - \frac{1}{X_d} \right) e^{t/T_d'} + \frac{1}{X_d} \right] \sin(\omega t + \eta - \pi/2) \quad (3.1)$$

olur. Bu değişim şekil 3.1.'de görülmektedir. Son eşitlikte kullanılan E, yüksüz senkron generatörün hata öncesi faz-toprak etkin gerilim değeridir. $t=0$ anında kısa devre meydana geldiğinde $i_{aa}(t)$ 'nin etkin değeri;

$$I_{aa}(0) = \frac{E}{X_d''} = I'' \quad (3.2)$$

olur. I'' alt geçici darbe (subtransient) hata akımı etkin değeri olarak adlandırılır ve bu değer T_d'' süresince geçerlidir.

Eğer $T_d'' < t < T_d'$ aralığındaki bir anda kısa devre meydana gelirse, hata akımının etkin değeri;

$$I' = \frac{E}{X_d'} \text{ Amper} \quad (3.3)$$

olur. I' , geçici (transient) hata akımı etkin değeridir.

Eğer $t > T_d'$ şartına uyan zaman diliminde kısa devre meydana gelirse, hata akımının etkin değeri;

$$I_{aa}(\infty) = \frac{E}{X_d'} = I \quad (3.4)$$

olur. I sürekli hal kısa devre akımı etkin değeridir.

Yüksüz durumda kısa devre oluştuğunda, senkron generatörün her bir fazına ilişkin gerilim değişimleri arasında 120° faz farkı bulunur. Her bir fazdan akan kısa devre akımları arasında da 120° faz farkı vardır. Kısa devre akımının alternatif akım bileşenine ilaveten her bir fazdan akan doğru akım bileşen değeri de farklı değerler alır. Her bir fazdan akan doğru akım bileşeninin alabileceği maksimum değer ($\eta = 0$ için)

$$i_{da \max}(t) = \frac{\sqrt{2}E}{X_d''} e^{-t/T_A} = \sqrt{2} I'' e^{-t/T_A} \text{ Amper} \quad (3.5)$$

olmaktadır. Bu ifadede T_A armatür zaman sabiti olup, doğru akım bileşeninin alabileceği maksimum değer, I'' alt geçici darbe akım (subtransient) değerine bağlıdır. Makina reaktansları olan X_d'', X_d', X_d ve zaman sabitleri olan T_d'', T_d', T_A değerleri makina üreticileri tarafından kısa devre deneyleri yardımıyla elde edilerek, ürün kullanıcılarına sunulurlar.

3.2. Güç Sistemlerinde Kısa Devre

Fazların yapısı birbirlerine göre simetrik olan güç sistemlerinde kısa devre akım hesaplamaları, simetrik hatalar ve simetrik olmayan hatalar olarak iki ayrı bölümde incelenmektedir. Üç fazlı kısa devre simetrik bir hatadır. Bir faz-toprak kısa devresi, iki fazlı toprak temassız kısa devre ve iki fazlı toprak temaslı kısa devre hataları ise simetrik olmayan hatalardır. Hata esnasında sistemde dolaşan akımların fazlara göre genliklerinin değişmemesi nedeniyle hata simetrik olarak isimlendirilirken, hata akımlarının genliklerinin fazlara göre değişenleri ise simetrik olmayan olarak adlandırılmaktadır.

Simetrik hatanın incelenmesi simetrik olmayana göre kolaydır. Üç fazlı kısa devrede sistemin yalnızca doğru bileşen devresine ilişkin bara empedans ve admitans matrisleri kullanılır (zira bu hata türünde ters bileşen ve sıfır bileşen devreye ilişkin akım ve gerilim değerleri sıfırdır). Üç fazlı kısa devre hesaplamalarında hesap kolaylaştırıcı bazı kabuller yapılır. Bunlar;

- 1-) Transformatörlerin yalnızca reaktans değerleri göz önüne alınır, sarım dirençleri, şönt admitans değerleri ve faz kayması göz önüne alınmaz.
- 2-) İletim hatlarının yalnızca doğru bileşen devre reaktansları hesaba katılır, seri dirençleri ve şönt admitansları hesaba katılmaz.
- 3-) Senkron makina, geçici darbe reaktansının (subtransient) gerisindeki sabit gerilim kaynağı ile temsil edilir. Armatür direnci, çıkık kutup etkisi ve doyma ihmal edilir.
- 4-) Tüm dönmeyen yüklerin empedansları ihmal edilirler.
- 5-) 50 beygir gücünden az asenkron motorlar göz önüne alınmaz ya da senkron makina gibi temsil edilirler.

Yukarıda belirtilen kabuller hesap ve hesapları kolaylaştırmak için kullanılmakla beraber hesaplama sonuçlarında büyük hatalara neden olmazlar. Yine de bu kabuller her şartta da kullanılamazlar. Örnek olarak dağıtım sistemlerinde direnç etkisi hata akımını azaltır ve bu yüzden ihmal edilemez.

Simetrik olmayan hatanın incelenmesinde ise diğerinden farklı olarak dengesiz akım ve gerilim değerlerinden dolayı, sisteme ilişkin ters ve sıfır bileşen devre bara empedans ve admitans matrislerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür hatalarda sisteme ilişkin akım, gerilim, empedans ve parametreler dönüşüm matrisleri yardımıyla simetrik bileşen devre büyüklüklerine dönüştürülerek, hesaplamalar simetrik bileşen devre büyüklükleri kullanılarak yapılır. Bulunan değerler tekrar ters dönüşüm matrisleri yardımıyla gerçek değerlere dönüştürülürler.

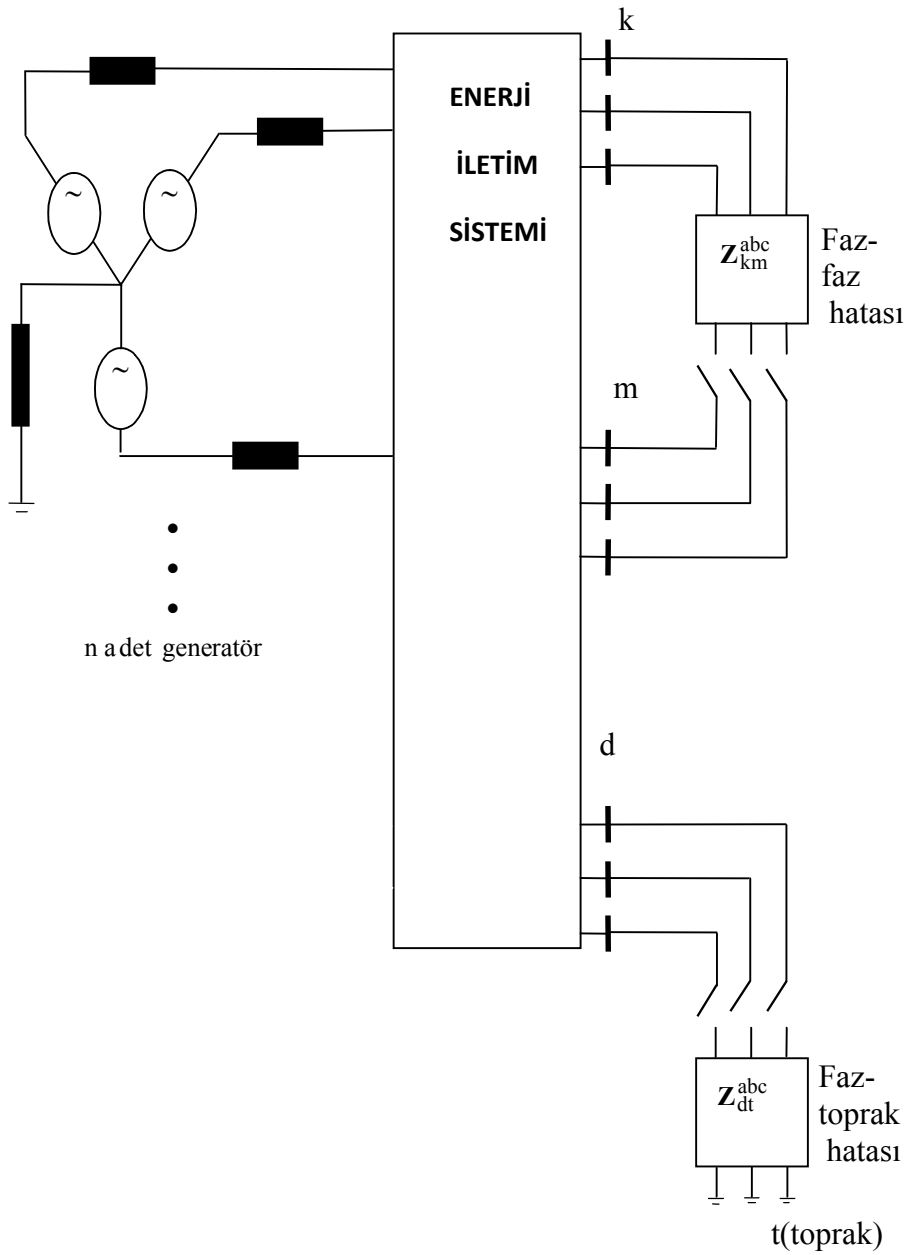
3.2.1. Kısa devre akımı hesaplama yöntemi

Büyük boyutlu veya çok devreli enerji sistemlerine ilişkin kısa devre hesaplamaları bellek kapasitesi geniş ve hızlı çalışan bilgisayarlarda yapılır. Sistemin doğru, ters ve sıfır bara empedans ile bara admitans matrislerinin oluşturulması kısa devre hesaplamaları için önemli gereksinimdir. Burada kullanılacak yaklaşımda sistemin bara empedans matrisi $[Z_{\text{bara}}]$ (doğru, ters ve sıfır bileşen devrelere ilişkin üç adet) kullanılacaktır. Bu matrisin oluşturulması için ise iki ayrı yaklaşım göze çarpmaktadır. Birinci yaklaşımda tüm sisteme ilişkin bara admitans matrisi $[Y_{\text{bara}}]$ oluşturularak, sonra bunun tersi $[Z_{\text{bara}}]$ elde edilmektedir. İkincisinde ise adım adım $[Z_{\text{bara}}]$ oluşturularak, $[Y_{\text{bara}}]$ matrisine gerek duyulmaz.

3.2.2. Enerji sistemi hata modeli

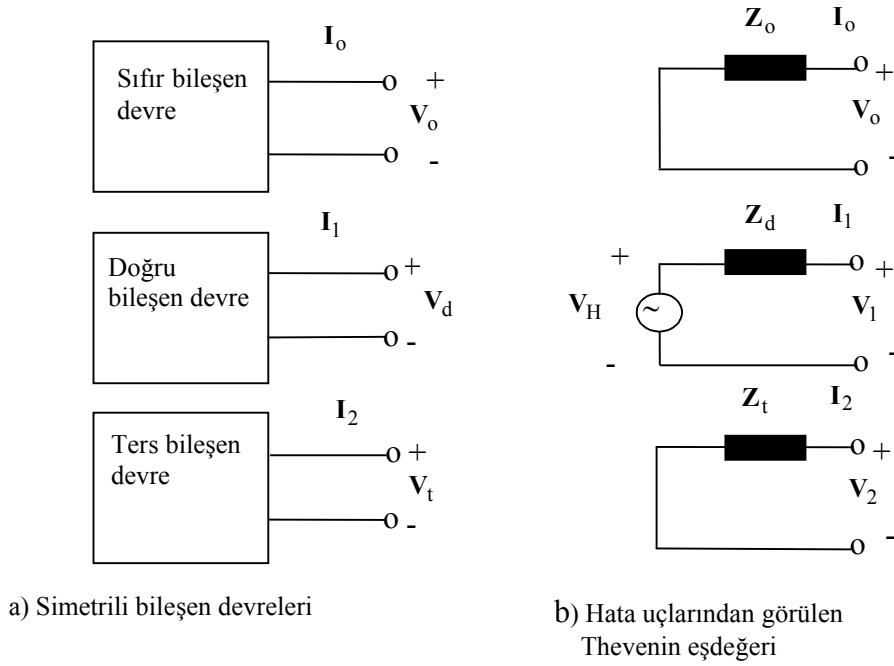
Önceden bahsedildiği gibi dengeli hatalarda sisteme ilişkin empedansların doğru bileşen değeri kullanılırken, simetrik olmayan hatalarda ise (akım ve gerilim değerleri dengesiz olduğundan) sistemdeki empedansların doğru bileşen değerlerine ilaveten ters ve sıfır bileşen değerleri de dikkate alınmaktadır.

Şekil 3.2.'de enerji sistemine ilişkin genel hata modeli gösterimi bulunmaktadır. Hata öncesi sistem dengeli olduğu için doğru, ters ve sıfır bileşen devreler arasında kuplaj bulunmamakta olup, dolayısıyla bu devrelere ilişkin I_1 , I_2 ve I_0 akımları da sıfırdır.



Şekil 3.2. Enerji sistemi hata modeli gösterimi

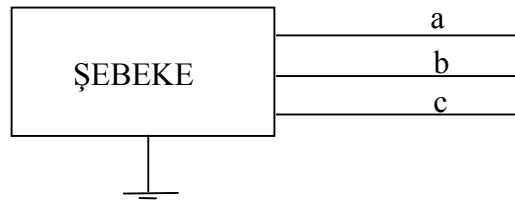
Şekil 3.3.'de bileşen devrelerin hata noktalarından bakıldığında görülen Thevenin eşdeğeri gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi yalnızca doğru bileşen devresinde, değeri hata öncesi gerilim değeri V_H 'ye eşit olan gerilim kaynağı vardır. Sistemde bir kısa devre meydana geldiğinde yukarıda verilen eşdeğer devreler birbirlerine hata noktalarında bağlanırlar. Bu bağlantının biçimi hata türüne göre değişmektedir.



Şekil 3.3. Üç fazlı dengeli sistemde simetrikli bileşen devre gösterimi

3.2.3. Üç fazlı kısa devre hesaplamaları

Şebekenin bir noktasında şekil 3.4.'de gösterildiği gibi üç fazlı bir kısa devre durumunda a, b ve c fazlarına sahip gerçek sistemin faz-nötr gerilim değerleri; formda yazılırsa;



Şekil 3.4. İletim hattında üç fazlı kısa devre gösterimi

$$V_a = 0, V_b = 0, V_c = 0 \quad (3.6)$$

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \text{ Volt} \quad (3.7)$$

olur. Ve (3.6) eşitliği ile verilen ilk koşullar (3.7) eşitliğinde kullanılırsa;

$$\begin{bmatrix} \mathbf{V}_0 \\ \mathbf{V}_1 \\ \mathbf{V}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \mathbf{a} & \mathbf{a}^2 \\ 1 & \mathbf{a}^2 & \mathbf{a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{V}_a \\ \mathbf{V}_b \\ \mathbf{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ Volt} \quad (3.8)$$

Elde edilmektedir. Şekil 3.3(b)'de tüm hata türlerinde kullanılabilecek bileşen devre gösterimleri bulunmaktadır. Bunlar matrisel formda,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{V}_0 \\ \mathbf{V}_1 \\ \mathbf{V}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \mathbf{V}_H \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \mathbf{Z}_0 & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{Z}_1 & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{Z}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_0 \\ \mathbf{I}_1 \\ \mathbf{I}_2 \end{bmatrix} \text{ Volt} \quad (3.9)$$

olarak yazılır. Buradan (3.8) eşitliğinin sonuçları (3.9) eşitliğinde yerine konulursa bileşen devre akımları;

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I}_0 \\ \mathbf{I}_1 \\ \mathbf{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \mathbf{V}_H / \mathbf{Z}_1 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ Amper} \quad (3.10)$$

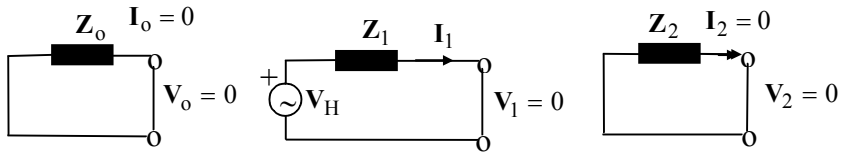
ifadesine eşit olur. Daha sonra (3.10) eşitliği şekil 3.3.(b)'de kullanılırsa, şekil 3.5. ile verilen bileşen devre gösterimleri elde edilir.

$$\mathbf{I}_a = \mathbf{I}_0 + \mathbf{I}_1 + \mathbf{I}_2 \quad (3.11)$$

$$\mathbf{I}_b = \mathbf{I}_0 + \mathbf{a}^2 \mathbf{I}_1 + \mathbf{a} \mathbf{I}_2 \quad (3.12)$$

$$\mathbf{I}_c = \mathbf{I}_0 + \mathbf{a} \mathbf{I}_1 + \mathbf{a}^2 \mathbf{I}_2 \quad (3.13)$$

(3.11), (3.12), (3.13) eşitlikleri (3.10) ifadesi ile birlikte ele alınırsa, gerçek sisteme ilişkin üç fazlı kısa devre akım değerleri bulunur.



Şekil 3.5. Üç fazlı arızada bileşen devre bağlantıları

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I}_a \\ \mathbf{I}_b \\ \mathbf{I}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \mathbf{a}^2 & \mathbf{a} \\ 1 & \mathbf{a} & \mathbf{a}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_0 \\ \mathbf{I}_1 \\ \mathbf{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\mathbf{V}_H}{\mathbf{Z}_1} \\ \mathbf{a}^2 \frac{\mathbf{V}_H}{\mathbf{Z}_1} \\ \mathbf{a} \frac{\mathbf{V}_H}{\mathbf{Z}_1} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

Son eşitlikte \mathbf{V}_H , kısa devre barasına ilişkin hata öncesi kısa devre noktasındaki gerilim vektörü, \mathbf{Z}_1 ise hatalı baradan devreye bakıldığında görülen Thevenin empedans değeridir [4].

BÖLÜM 4. GÜÇ AKIŞI

Güç akışı veya yük akışı bir sistemin sürekli hal koşullarını karakterize eder. Tipik yük akışı sonuçları bara gerilimleri ve hata akımlarıdır. Güç akışı hesaplaması güç sistem tasarımı ve analizinde temel bir çalışmadır. Ayrıca güç sistem mühendisliği problemlerinden biridir. Güç sistemi yükleri alt istasyonlarda, büyük tüketicilerde, tüm elektrik üretici, iletilici ve dağıtımcı kurumlarında yakın ve dikkatli olarak takip edilirler. Günlük, haftalık ve mevsimlik yük tahminleri yapılabilmektedir. Üretim ve planlama amaçları için yıllık tepe yük talebi ve elektrik şirketleri için enerji tahminleri yapılır. Yük akışı probleminin amacı; bara gerilimleri, hat, transformatör, kablo güç akışları, empedansları ve yükleri hesaplayarak, üretimleri belirleyerek enerji arzını karşılamaktır.

Sürekli hal koşulu altında, dengeli ve üç fazlı enerji sistemlerinde kullanılan güç akışı algoritması genellikle aşağıdaki kabuller üzerine bina edilmektedir;

- 1-) Generatörler sisteme bağlı tüm yük taleplerini ve iletim hatlarındaki toplam güç kaybını karşılar.
- 2-) Tüm bara gerilim genlikleri nominal gerilim sınırları civarındadır.
- 3-) Generatörler kendilerine ait aktif ve reaktif güç sınırlarını aşmazlar.
- 4-) İletim hatları ve transformatörler aşırı yüklenmezler.

Aksi bir durum belirtilmedikçe yük akışı programları dengeli, üç fazlı, sürekli hal koşulları altında yazılarak, oluşturulur. Algoritma bitirildiğinde sistemdeki tüm bara gerilim genlik ve açıları, gerilim düşümleri, iletim hatları üzerinden akan aktif ve reaktif güçler ve sisteme ilişkin toplam güç kaybı hesaplanmış olur. Sistem yükleri aktif ya da reaktif güç olarak verildiğinden, generatörler gerilim yada akım kaynağı yerine güç kaynağı olarak modellendiğinden bilinen düğüm ve çevre denklemleri çalışan yük veya güç akışı için uygun olmamaktadır. Bu nedenle aşağıda güç veya yük akışı hesaplamalarında kullanılan yöntemler tanıtılmıştır.

4.1. Güç Akışı Hesaplamaları

Bara sayısı n adet olan simetrik ve dengeli bir enerji sisteminde i . baradan alternatif akım hattına verilen kompleks güç birim değeri olarak (bir faz için);

$$s_i = p_i + jq_i = v_i i_i^* \quad (4.1)$$

ifadesi ile yazılır. Yukarıda verilen akım fazörü eşlenik değeri, bara gerilimleri ve sistem elemanlarının admitansları cinsinden yazılırsa;

$$i_i^* = \sum_{j=1}^n y_{ij}^* v_j^* \quad (i. \text{ bara için}) \quad (4.2)$$

olur. (4.1) ifadesindeki v_i ifadesi yerine,

$$v_i = v_i (\cos \delta_i + j \sin \delta_i) \quad (4.3)$$

ifadesi konulabilir. v_i ; i . baraya ilişkin kompleks değerde bara gerilimidir. v_j^* ise j . baraya ilişkin eşlenik bara gerilim değeridir. δ_i ; verilen bir referansa (genellikle salınım barasına) göre i . baranın gerilim faz açısıdır. (4.2) eşitliğinde kullanılan y_{ij} admitansı, $[y_{\text{bara}}]$ admitans matrisinin (i,j) elemanı olup,

$$y_{ij} = g_{ij} + jb_{ij} \quad (4.4)$$

ifadesiyle açıklanabilir. (4.2), (4.3) ve (4.4) eşitlikleri (4.1) ifadesinde yerine konularak, ifade düzenlenirse;

$$s_i = v_i \sum_{j=1}^n v_j (g_{ij} \cos \delta_{ij} + b_{ij} \sin \delta_{ij}) + jv_i \sum_{j=1}^n v_j (g_{ij} \sin \delta_{ij} + b_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (i=1,..n) \quad (4.5)$$

olur. (4.5) eşitliğinde kullanılan δ_{ij} ,

$$\delta_{ij} = \delta_i - \delta_j \quad (4.6)$$

değerinde olup, i. ve j. bara gerilim fazörlerinin açıları arasındaki faz farkıdır. Yukarıdaki (4.5) eşitliği reel ve sanal kısımlarına ayrılırsa, i. baradan alternatif akım hattına verilen aktif ve reaktif güç değerleri;

$$p_i = v_i \sum_{j=1}^n v_j (g_{ij} \cos \delta_{ij} + b_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (4.7)$$

$$q_i = v_i \sum_{j=1}^n v_j (g_{ij} \sin \delta_{ij} - b_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (4.8)$$

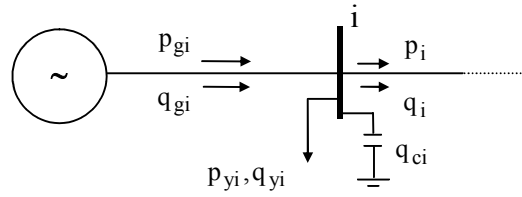
olur. i. baraya bağlı generatör aktif gücü p_{gi} , i. baraya bağlı yükün aktif bileşeni p_{yi} ve i. baraya bağlı tüm hatlara verilen aktif güç değeri p_i ise, i. baradaki aktif güç dengesinden,

$$p_{gi} = p_{yi} + p_i \quad (4.9)$$

ifadesiyle yazılabilir. i. baraya bağlı generatör reaktif gücü q_{gi} , i. baraya bağlı kontrol edilebilen şönt reaktif üreteç güç değeri q_{ci} (bu üreteç güç katsayısını düzeltici bir kapasite olabileceği gibi senkron bir makina da olabilir), i. baraya bağlı yükün reaktif bileşeni q_{yi} ve i. baraya bağlı tüm hatlara verilen reaktif güç değeri q_i ise, i. baradaki reaktif güç dengesinden,

$$q_{gi} + q_{ci} = q_{yi} + q_i \quad (4.10)$$

olur.



Şekil 4.1. Genel amaçlı bir bara gösterimi

Şekil 4.1’de genel amaçlı bir bara gösterimi bulunmaktadır. Güç veya yük akışı algoritması,

$$p_i - (p_{gi} - p_{yi}) = p_i - p_{hati} = g_{pi} = 0 \quad (i=2, \dots, n) \quad (4.11)$$

$$q_i - (q_{ci} - q_{yi}) = q_i - q_{hati} = g_{qi} = 0 \quad (i=ng+1, \dots, n) \quad (4.12)$$

denklemlerini sağlanması durumunda son bulur. (4.12) ’deki ifadede ng ; sistem içindeki toplam generatör sayısını göstermektedir. Enerji iletim sistemlerinde her bir baranın tüm özellikleri aşağıdaki dört değişken yardımı ile belirlenmektedir. Bunlar; p_{hati} , q_{hati} , v_i ve δ_i değerleridir. Güç veya yük akışında bu değişkenlerden her bir barada iki tanesinin bilindiği kabul edilerek, bilinmeyen diğer ikisi bulunmaya çalışılır. Buradaki değişkenlere bağlı olarak baraların üç grup içerisinde incelenmesi söz konusudur;

1. Serbest (salınım) bara olarak bilinen bara türünde v_i ve δ_i değerleri bilinir. Diğer bir ifade ile bu iki değer sabit tutulmaya çalışılarak, p_{hati} , q_{hati} değişkenleri hesaplanır.
2. Diğer bara türü p_{hati} ve v_i değerlerinin bilindiği için, q_{hati} ve δ_i değerlerinin arandığı PV olarak sembolize edilen gerilim kontrollü bara veya generatör barasıdır. Şayet bu baraya generatör bağlı ise p_{gi} (dolayısı ile p_{hati}), türbin karakteristikleri değiştirilir. Ve v_i ise makinanın uyarmasına etki yapan otomatik

gerilim regülatörleri yardımıyla ayarlanarak sabit tutulmaya çalışılmaktadır. Eğer barada şönt olarak bir reaktif güç üreticisi varsa, reaktif gücü ayarlayan kontrol devresi yardımıyla v_i sabit tutulabilir.

3. Üçüncü bara türü ise $p_{\text{hاتی}}$ ve $q_{\text{hاتی}}$ değerlerinin bilinip v_i ve δ_i değerlerinin arandığı PQ yük barasıdır. Bu baralar genellikle şehir ve sanayi baralarına karşı gelmektedir.

Güç veya yük akışı hesaplamalarında kontrol değişkenleri sabit kabul edilerek bu değişkenler yardımı ile durum değişkenleri bulunur. Durum değişkenleri olarak tüm baralara ilişkin δ_i gerilim açı değerleri (salınım barası hariç) ve yük bara gerilimlerinin v_i gerilim genlik değerleri seçilir. Kontrol değişkenleri olarak ise generatör baralarına ilişkin v_{gi} gerilim genlik değerleri, ayarlanabilir reaktörlerin q_{ci} reaktif güç değerleri ve sürekli ayarın yapılabildiği transformatörlerin t_i kademe ayar değerleri alınır.

4.2. Gauss - Seidal Metodu ile Güç Akışı Algoritması

Devreler teorisinden bilinen,

$$[I_{\text{bara}}] = [Y_{\text{bara}}][V_{\text{bara}}] \quad (4.13)$$

matris eşitliği açık formda yazılırsa;

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & \cdot & \cdot & Y_{1n} \\ Y_{12} & Y_{22} & Y_{23} & \cdot & \cdot & Y_{2n} \\ Y_{13} & Y_{32} & Y_{33} & \cdot & \cdot & Y_{3n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Y_{1n} & Y_{2n} & Y_{3n} & \cdot & \cdot & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ V_n \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

ifadesi elde edilir. Yukarıdaki (4.13) eşitliğinde bilinmeyen $[V_{\text{bara}}]$ elemanlarının olduğu kabul edilerek, (4.14) eşitliğinde gerilim değerleri yalnız bırakılırsa, (i+1). Gauss-Seidal iterasyonu sonunda;

$$V_1^{(i+1)} = \frac{1}{Y_{11}} \left(I_1^{(i)} - Y_{12} V_2^{(i)} - Y_{13} V_3^{(i)} - \dots - Y_{1n} V_n^{(i)} \right) \quad (4.15)$$

$$V_2^{(i+1)} = \frac{1}{Y_{22}} \left(I_2^{(i)} - Y_{21} V_1^{(i+1)} - Y_{23} V_3^{(i)} - \dots - Y_{2n} V_n^{(i)} \right) \quad (4.16)$$

$$V_3^{(i+1)} = \frac{1}{Y_{33}} \left(I_3 - Y_{31} V_1^{(i+1)} - Y_{32} V_2^{(i+1)} - \dots - Y_{3n} V_n^{(i)} \right) \quad (4.17)$$

$$V_n^{(i+1)} = \frac{1}{Y_{nn}} \left(I_n - Y_{n1} V_1^{(i+1)} - Y_{n2} V_2^{(i+1)} - \dots - Y_{nn} V_n^{(i)} \right) \quad (4.18)$$

ifadeleri elde edilir. Yukarıdaki (4.15), (4.16), (4.17) ve (4.18) eşitliklerinde görülen I_i (akım vektörü elemanları), güç cinsinden;

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (4.19)$$

olarak yazılabilir. Son ifade, gerilim eşitliklerinde yerine konulursa (4.15), (4.16), (4.17) ve (4.18) ifadeleri kısaca; (1 numaralı bara salınım barası olarak kabul edilirse)

$$V_k^{(i+1)} = \frac{1}{Y_{kk}} \left(\frac{P_k - jQ_k}{V_k^{(i)*}} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n Y_{kj} V_j^{(i)} \right) \quad (k=2, \dots, n) \quad (4.20)$$

olur. Salınım barası bir numaralı bara kabul edildiği için, bu baranın gerilim genlik ve açısı bilindiği kabul edilir. Ve (4.20) eşitliğine $k=2$ 'den başlanarak Gauss-Seidal metodu uygulanır.

Örnek olarak k . bara (PQ) yük barası olsun. Yük barasında P ve Q değerleri bilindiği için yalnızca V değerlerine ihtiyaç vardır. İlk döngüde ($i=0$ için) (4.20) eşitliği,

$$\mathbf{V}_k^{(1)} = \frac{1}{\mathbf{Y}_{kk}} \left(\frac{\mathbf{P}_k - j\mathbf{Q}_k}{\mathbf{V}_k^*(0)} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n \mathbf{Y}_{kj} \mathbf{V}_j(0) \right) \quad (4.21)$$

olur. Yakınsamayı daha hızlı sağlamak için aynı (k.) bara numarası için (4.18) işlemi bir kaç kere (genellikle iki kere) daha tekrarlanır. Ancak önceden yapılandan farklı olarak, (4.21) eşitliği ile elde edilen $\mathbf{V}_k^{(1)}$ değerinin eşleniği alınarak, (4.21) eşitliğinde, (tekrar edilen her iki iterasyonda da) $\mathbf{V}_k^*(0)$ yerine konulur. Bu işlem geri kalan PQ baraları ve aşağıda anlatılan şekliyle tüm PV baraları için (4.15), (4.16), (4.17) ve (4.18) eşitliklerinde gösterilen iterasyon adımlarıyla tekrar yapılır. Aşağıdaki (4.22) eşitsizliği sağlanınca algoritma biter.

$$|\mathbf{x}_k^{(i+1)} - \mathbf{x}_k^{(i)}(0)| \leq \varepsilon \quad (k=1,2,\dots,n) \quad (4.22)$$

PV generatör barası m. bara ise yukarıda anlatılan adımlar tümüyle aynen uygulanmaz. Çünkü (4.20) ifadesinde Q değeri bilinmemektedir (ilk iterasyonda tahmini bir değer konulsa bile sonraki iterasyonlarda Q yerine konulacak değer bilinemez). Generatör akımı;

$$\mathbf{I}_g = \frac{\mathbf{P}_g - j\mathbf{Q}_g}{\mathbf{V}_m^*} = \mathbf{Y}_{m1} \mathbf{V}_1 + \mathbf{Y}_{m2} \mathbf{V}_2 + \mathbf{Y}_{m3} \mathbf{V}_3 + \dots + \mathbf{Y}_{mn} \mathbf{V}_n \quad (4.23)$$

ya da

$$\mathbf{P}_g - j\mathbf{Q}_g = \mathbf{V}_m^{(i)*} \left[\sum_{j=1}^n \mathbf{Y}_{mj} \mathbf{V}_j^{(i)} \right] \quad (4.24)$$

eşitlikleri yardımıyla bulunabilir. Yukarıdaki (4.24) eşitliğinin sanal kısmı alınırsa;

$$\mathbf{Q}_g = -\text{Im} \left[\mathbf{V}_m^{(i)*} \left(\sum_{j=1}^n \mathbf{Y}_{mj} \mathbf{V}_j^{(i)} \right) \right] \quad (4.25)$$

ifadesi elde edilir. Yukarıdaki (4.25) eşitliğinde tüm gerilim değerleri yerlerine konularak (ilk iterasyonda $V(0)$, sonraki iterasyonlarda ise bir önceki iterasyondan elde edilen V değerleri kullanılarak) Q_g değeri bulunur. Eğer bulunan Q_g değeri veri dosyasında verilen $Q_{g\max}$ değerinden büyükse $Q_g = Q_{g\max}$ alınır. Şayet bulunan Q_g değeri veri dosyasında verilen $Q_{g\min}$ değerinden küçükse $Q_g = Q_{g\min}$ alınarak, bulunan Q_g değeri (4.20) denkleminde yerine konular. PV baralarına ilişkin gerilim fazörlerinin hesaplanması, PQ baralarına ilişkin gerilim fazörlerinin hesaplanması gibi yapılır. Hesaplanan gerilim genlik değeri veri dosyasında verilen $V_{g\max}$ değerinden büyükse $V_g = V_{g\max}$ alınır. Şayet bulunan V_g değeri veri dosyasında verilen $V_{g\min}$ değerinden küçükse $V_g = V_{g\min}$ alınır. Fakat her iki durumda da hesaplama sonunda elde edilen gerilim açı değeri muhafaza edilerek, bir sonraki iterasyonda aynen kullanılır.

Tüm bara gerilim genlik ve açıları bulunduktan sonra (4.7) ve (4.8) eşitliklerinde $i=1$ konularak salınım barasına ilişkin generatör aktif ve reaktif güç değerleri elde edilir.

4.3. Newton-Raphson Yöntemi ile Güç Akışı Algoritması

Giriş veri dosyasındaki sistem yükleri aktif ya da reaktif güç olarak verildiğinden, generatörler gerilim ya da akım kaynağı olarak değil de güç kaynağı olarak modellendiği için, devreler ve sistemler teorisinden bilinen düğüm ve çevre denklemleri, çalışılan yük akışı için uygun olmamaktadır. Güç ifadelerinin kullanılmasıyla lineer olmayan denklemler algoritmamızda yer almaktadır. Bu nedenle güç akışı algoritmasında Newton-Raphson yöntemi kullanılmaktadır.

Lineer olmayan bir matris denklemi;

$$\begin{bmatrix} f_1(x) \\ f_2(x) \\ \cdot \\ \cdot \\ f_n(x) \end{bmatrix} = [y] \quad (4.26)$$

olarak verilsin. Bu eşitlik Taylor serisine açılır, ikinci ve daha yüksek terimler ihmal edilir ise, (4.26) eşitliğini sağlayan x değerleri $(i+1)$. iterasyonda;

$$[x(i+1)] = [x(i)] + [J^{-1}(i)][y - f(x(i))] \quad (4.27)$$

eşitliği kullanılarak bulunur. Yukarıdaki (4.27) denkleminde geçen $[y - f(x(i))]$ vektör matrisi, (4.11) ve (4.12) eşitliklerinde verilen iki alt vektör matrisin, tek bir vektör matrisi olarak ifade edilmesiyle elde edilir. $[y]$ vektör matrisi (4.11) ve (4.12) eşitliklerinde görüldüğü gibi iterasyon adımından bağımsızdır. Yine de her hangi bir iterasyon sonunda,

$$|x(i+1) - x(i)| \leq \varepsilon \quad (4.28)$$

ifadesi sağlanırsa Newton-Raphson algoritması sona erer, aksi halde en son iterasyondaki x değerleri bir sonraki iterasyonda başlangıç değerleri olarak kullanılır. Ve algoritma kaldığı yerden devam eder. Yukarıdaki (4.27) ifadesindeki $[J]$, Jacobian matris olarak adlandırılır ve $(n*n)$ boyutundadır;

$$[J(i)] = \left[\frac{df}{dx} \right]_{x=x(i)} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix}_{x=x(i)} \quad (4.29)$$

Güç akışı algoritmasında yukarıda verilen kabuller altında Taylor açılımı kullanıldığı takdirde, (4.27)'de verilen ifadeler yukarıdaki bölüm 4.1'de verilen ifadelerle karşılaştırılmalıdır. Bu durumda;

$$[x]^T = [\delta_2 \quad \dots \quad \delta_n \quad v_{ng+1} \quad \dots \quad v_n] \quad (4.30)$$

$$[y]^T = [p_{\text{hat}2} \quad \dots \quad p_{\text{hat}n} \quad q_{\text{hat}(ng+1)} \quad \dots \quad q_{\text{hat}n}] \quad (4.31)$$

$$[f(x)]^T = [p_2 \quad \dots \quad p_n \quad q_{(ng+1)} \quad \dots \quad q_n] \quad (4.32)$$

olacaktır. Jacobian matris ifadesi yukarıda (4.29)'da gösterilmiş olup, Jacobian matris elemanları (matrisin ana köşegen ve ana köşegen dışı elemanları için);

$$[J] = \begin{bmatrix} \frac{\partial p_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial p_2}{\partial \delta_3} & \dots & \frac{\partial p_2}{\partial \delta_n} & \frac{\partial p_2}{\partial v_{ng+1}} & \frac{\partial p_2}{\partial v_{ng+2}} & \dots & \frac{\partial p_2}{\partial v_n} \\ \frac{\partial p_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial p_3}{\partial \delta_3} & \dots & \frac{\partial p_3}{\partial \delta_n} & \frac{\partial p_3}{\partial v_{ng+1}} & \frac{\partial p_3}{\partial v_{ng+2}} & \dots & \frac{\partial p_3}{\partial v_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial p_n}{\partial \delta_2} & \frac{\partial p_n}{\partial \delta_3} & \dots & \frac{\partial p_n}{\partial \delta_n} & \frac{\partial p_n}{\partial v_{ng+1}} & \frac{\partial p_n}{\partial v_{ng+2}} & \dots & \frac{\partial p_n}{\partial v_n} \\ \hline \frac{\partial q_{ng+1}}{\partial \delta_2} & \frac{\partial q_{ng+1}}{\partial \delta_3} & \dots & \frac{\partial q_{ng+1}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial q_{ng+1}}{\partial v_{ng+1}} & \frac{\partial q_{ng+1}}{\partial v_{ng+2}} & \dots & \frac{\partial q_{ng+1}}{\partial v_n} \\ \frac{\partial q_{ng+2}}{\partial \delta_2} & \frac{\partial q_{ng+2}}{\partial \delta_3} & \dots & \frac{\partial q_{ng+2}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial q_{ng+2}}{\partial v_{ng+1}} & \frac{\partial q_{ng+2}}{\partial v_{ng+2}} & \dots & \frac{\partial q_{ng+2}}{\partial v_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial q_n}{\partial \delta_2} & \frac{\partial q_n}{\partial \delta_3} & \dots & \frac{\partial q_n}{\partial \delta_n} & \frac{\partial q_n}{\partial v_{ng+1}} & \frac{\partial q_n}{\partial v_{ng+2}} & \dots & \frac{\partial q_n}{\partial v_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} \quad (4.33)$$

$$\frac{\partial p_i}{\partial \delta_i} = J1(i, i) = v_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n v_j (-g_{ij} \sin \delta_{ij} + b_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (4.34)$$

$$\frac{\partial p_i}{\partial \delta_j} = J1(i, j) = v_i v_j (g_{ij} \sin \delta_{ij} - b_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (4.35)$$

$$\frac{\partial p_i}{\partial v_i} = J2(i, i) = v_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n v_j (g_{ij} \cos \delta_{ij} + b_{ij} \sin \delta_{ij}) + 2v_i g_{ii} \quad (4.36)$$

$$\frac{\partial p_i}{\partial v_j} = J2(i, j) = v_i (g_{ij} \cos \delta_{ij} + b_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (4.37)$$

$$\frac{\partial q_i}{\partial \delta_i} = J3(i, i) = v_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n v_j (g_{ij} \cos \delta_{ij} + b_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (4.38)$$

$$\frac{\partial q_i}{\partial \delta_j} = J3(i, j) = -v_i v_j (g_{ij} \cos \delta_{ij} + b_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (4.39)$$

$$\frac{\partial q_i}{\partial v_i} = J4(i, i) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n v_j (g_{ij} \sin \delta_{ij} - b_{ij} \cos \delta_{ij}) - 2v_i b_{ii} \quad (4.40)$$

$$\frac{\partial q_i}{\partial v_j} = J4(i, j) = v_i (g_{ij} \sin \delta_{ij} - b_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (4.41)$$

olur. Newton-Raphson algoritması sona erdiğinde x durum değişkenleri vektörü elde edilmiş olur. PV baralarında ise q_g değerleri bilinmediğinden tüm PV (salınım barası dahil) baraları için (4.8) eşitliği kullanılarak Q_i ($i=1,..ng$) değerleri aranarak, bulunur. Daha sonra yine tüm PV baralarına (4.12) ifadesi uygulanarak bilinmeyen tüm q_g (salınım barası dahil) değerleri elde edilir. Salınım barasına ilişkin p_{g1} generatör aktif gücünü bulmak için önce (4.7) eşitliğinde $i=1$ için p_1 elde edilir. Ardından bulunan bu değer (4.11) ifadesinde $i=1$ için yerine konularak, p_{g1} elde edilir. Hatlarda kaybolan aktif güç değeri ise;

$$\sum_{i=1}^{ng} p_{gi} - \sum_{j=1}^n p_{yj} = \text{Toplam aktif güç kaybı} \quad (4.42)$$

ile bulunabilir. Güç akışı hesaplamaları sona erdikten sonra iki bara arasındaki hattın akan aktif ve reaktif güç değerlerini bulmak için aşağıdaki şekil 4.2.'den faydalanılabilir. i . ve j . baraların arasındaki hattın admitansı y_{ij} , hattın π eşdeğer devresi kullanıldığında, her bir baraya bağlanan hattın şönt admitans değeri y'_{ij} olarak alınırsa, i . ve j . baralar arasındaki hattın akan kompleks güç;

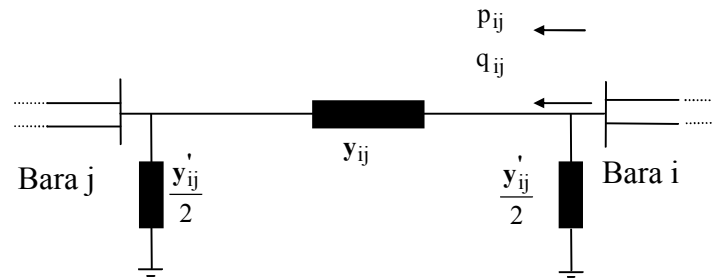
$$s_{ij} = p_{ij} + q_{ij} = v_i (v_i^* - v_j^*) y_{ij}^* + v_i v_i^* \left(\frac{y'_{ij}}{2} \right)^* \quad (4.43)$$

olarak ifade edilir. i. ve j. baralar arasındaki hattın aktif ve reaktif güç değeri;

$$p_{ij} = \operatorname{Re} \left\{ v_i (v_i^* - v_j^*) y_{ij}^* + v_i v_i^* \left(\frac{y'_{ij}}{2} \right)^* \right\} \quad (4.44)$$

$$q_{ij} = \operatorname{Im} \left\{ v_i (v_i^* - v_j^*) y_{ij}^* + v_i v_i^* \left(\frac{y'_{ij}}{2} \right)^* \right\} \quad (4.45)$$

denklemleri kullanılarak bulunur.



Şekil 4.2. İki bara arasındaki hattın aktif ve reaktif güçler

Güç akışı sonunda bazı değişken değerleri kendilerine ilişkin minimum ve maksimum sınırları aşarsa algoritmada bazı değişiklikler yapılması gerekir.

1-) Güç akışı çalışması sonucunda PQ baralarından birisinde, bara gerilim genlik değeri sınır değerlerinden uzaklaşmış ise (alt sınırın altına düşmüş yada üst sınırın üstüne çıkmış) bu bara için $v = v_{\min}$ yada $v = v_{\max}$ alınarak, q_y (bu baradan çekilen reaktif güç) değeri serbest bırakılır. Bu durumda bara, PQ yük barası olmaktan çıkarılıp, PV barası yapılmaktadır. Bu baraya ilişkin aktif güç değeri ise $p_y = p_{\text{gen}}$ alınarak, bu yeni değerler veri kabul edilerek güç akışı algoritmasının yeniden

hesaplanması gerekir. Hesaplama sonunda mevcut baranın AA sisteminden çektiği reaktif güç değeri ilgili formüllerle bulunur.

2-) Güç akışı çalışması sonucunda PV baralarından birisinde (bara gerilim genlik değeri sabit tutulmaya çalışılırken) bu baraya ilişkin reaktif güç değeri sınır değerlerinden uzaklaşmış ise (alt sınırın altına düşmüş yada üst sınırın üstüne çıkmış) bu bara için $q = q_{\min}$ yada $q = q_{\max}$ alınarak, v (bu baraya ilişkin bara gerilim genlik) değeri serbest bırakılır. Bunun sonucunda bara, PV barası olmaktan çıkarılıp PQ yük barası yapılmaktadır. Bu baraya ilişkin aktif güç değeri ise $p_{\text{gen}} = p_y$ alınarak, bu yeni değerler veri kabul edilerek güç akışı algoritması yeniden başlatılır. Hesaplama sonunda bu baranın gerilim genlik değeri bulunur.

3-) Güç akışı sonunda, salınım barasından AA sistemine aktarılan reaktif gücün sınır değeri aştığı görülürse $q_1 = q_{1\min}$ yada $q_1 = q_{1\max}$ alınarak, salınım bara gerilim genlik değeri v_1 sabit tutulmayarak değişken yapılır. Bu durumda (1 numaralı) salınım barası PQ (yük barası) olarak hizmet görmeye başlar. Salınım barası olarak PV baralarından güçlü (p_{gen} değeri büyük olan) bir bara alınır.

Yukarıda Newton-Raphson yöntemi ile güç akışı anlatılmıştır. Ek A 'da Matlab yazılım programında Newton-Raphson metodu kullanılarak yazılan güç akışı programı bulunmaktadır.

4.4. Hızlı Ayrışık Güç Akışı

Büyük boyutlu enerji sistemlerinin izlenmesi ve kontrolü amacıyla ana bilgisayarda sık sık güç ve yük akışı hesabı yapılır. Algoritma olarak Newton-Raphson metodu tercih edilmişse, sistemin büyümesi Jacobian matrisini de oldukça büyütür. Bu nedenle bilgisayar bellek gereksinimi artarak, algoritmanın yakınsaması uzar. Bu olumsuzlukları gidermek amacıyla hızlı ayrışık güç akışı çalışmaları başlamıştır.

Güç veya yük akışı algoritmasında kullanılan ve (4.33) ifadesiyle verilen Jacobian matrisi içinde, q - δ ve p - v arasındaki zayıf ilişki nedeniyle, hızlı ayrışık güç akışı yaklaşımında J_2 ve J_3 alt matrisleri ihmal edilmektedir. Bu şekilde güç akışı algoritması hem hızlandırılır, hem de bilgisayar bellek gereksinimi azaltılır. Güç

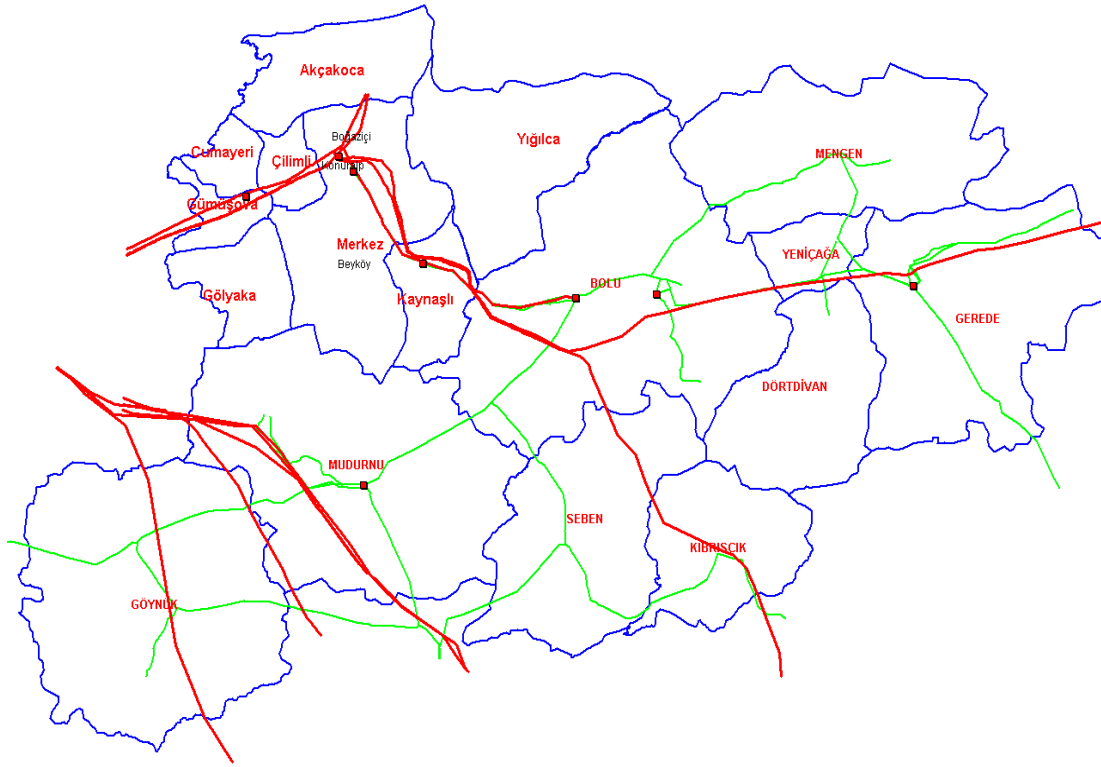
veya yük akışı algoritmasının daha da hızlandırılması için ilave olarak $v_i \approx v_k \approx 1$ b. kabul edilip, $\delta_i \approx \delta_k$ alınabilir. Bu son kabuller de kullanılırsa J1 ve J4 sabit matris özelliğini kazanır. Böylece Newton-Raphson algoritmasında her iterasyonda Jacobian matrisin tekrar hesaplanması gerekmez. Dolayısıyla da algoritmanın yakınsama hızı oldukça artar. Bu yaklaşımlar zaman kazanmanın daha önemli olduğu yerlerde kullanılmakta olup, yaklaşık sonuçlar üretmektedir [4].

BÖLÜM 5. BOLU – DÜZCE BÖLGESİ İLETİM VE DAĞITIM ŞEBEKESİNİN MODELLENMESİ

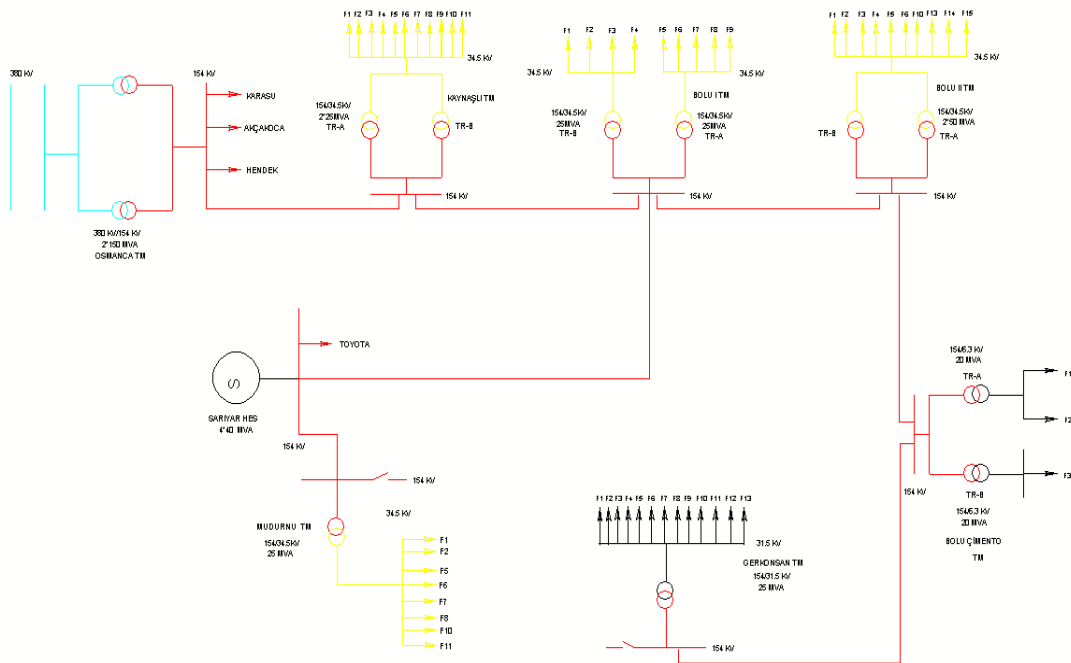
Bu bölüm çalışmamızda, Türkiye Elektrik Üretim A.Ş., Türkiye Elektrik İletim A.Ş. ve Sakarya Elektrik Dağıtım A.Ş.'ne bağlı Bolu – Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesini oluşturan Sarıyar HES, bir tane 380 / 154 kV TM, beş tane 154 / 34,5 kV TM, bir adet 154 / 6,3 kV TM, 154 kV iletim hatları, 34,5 - 31,5 ve 6,3 kV 'luk 54 adet dağıtım hatları ile şebeke yük durumları incelenmiştir. Burada güç akışının yapılacağı bölge sisteminin anlaşılır olabilmesi için bazı kabuller yapılarak, 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesi olarak modellenmiştir. Enerjinin teminin gerçekleştirildiği santralden tüketimlerin yapıldığı yere kadar Matlab yazılım programından Simulink araç kutusu kullanılarak güç akışı neticesinde gözlenen akım-gerilim değişimleri, kısa devre akımları ve gerilim düşümleri grafikleriyle birlikte incelenmiştir. Bu çalışmada gerçek veri ve parametreler kullanılmış olup, veri ve parametresi bulunmayan elemanlar için ise gerçeğe yakın değerlerden faydalanılmıştır.

Şekil 5.1.'deki şemada Bolu – Düzce bölgesinin 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebeke haritası görülmektedir. Şekilde Bolu ili sınırları içerisindeki 154 kV iletim hatları kırmızı, dağıtım hatları ise yeşil renkli olarak gösterilirken; Düzce ili sınırları içerisinde ise hepsi kırmızı renkli olarak gösterilmiştir.

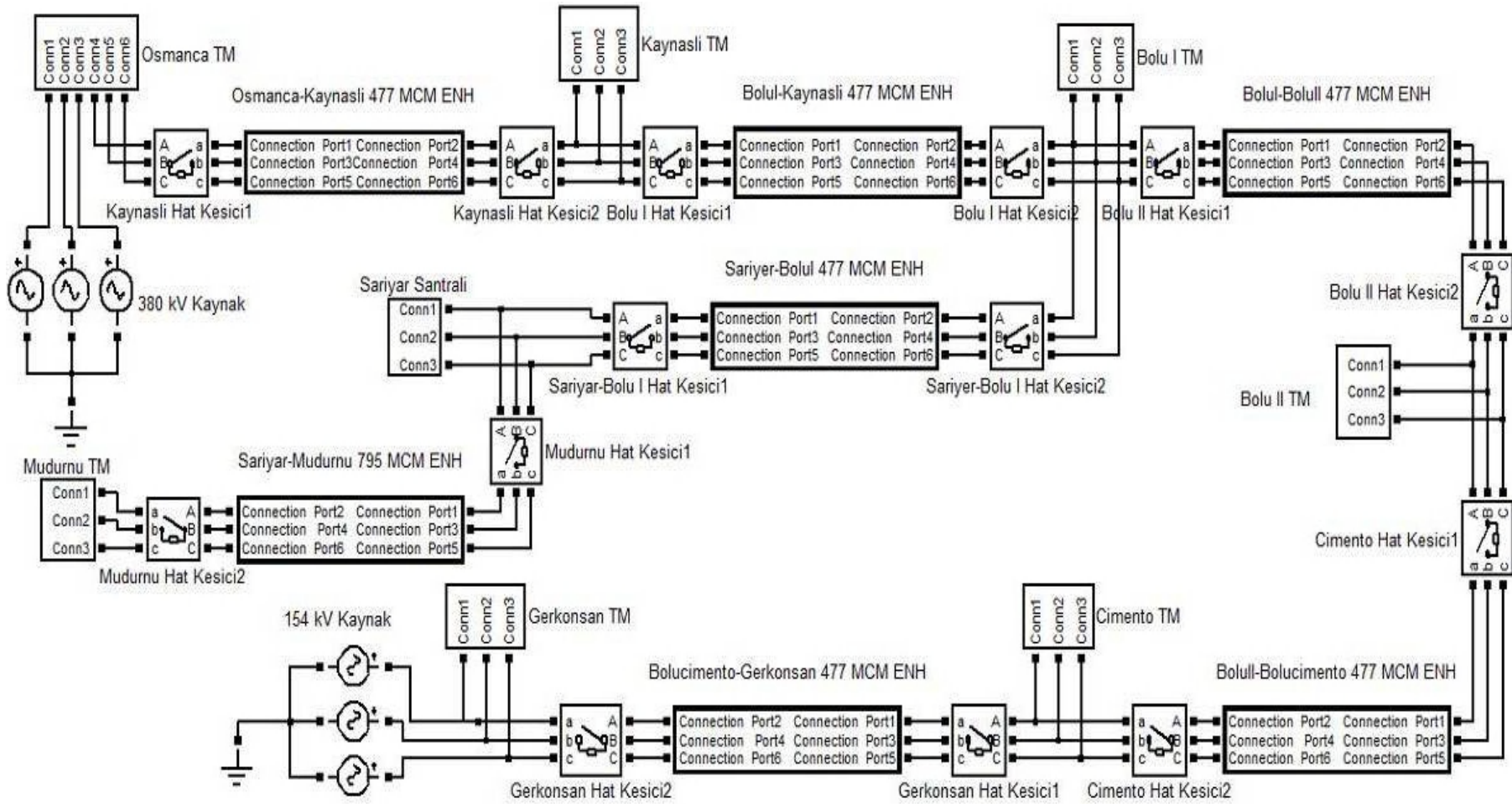
Şekil 5.2.'deki prensip şemasında, Bolu-Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesini oluşturan santral, trafo merkezleri, iletim hatları ile dağıtım fiderleri arasındaki bağlantı görülmektedir. Bu prensip şemasından hangi trafo merkezinin hangi kaynaktan beslendiğini, bu merkezlerin nereleri beslediği ve aralarındaki enerji iletim bağlantı noktalarını rahatça okuyabilmekteyiz. Ayrıca kırmızı renkli olarak gözükten 154 kV iletimde trafo merkezlerinin enerjinin sürekliliği için girdi-çıkı olarak tesis edildiğini şemadan anlayabiliriz.



Şekil 5.1. Bolu-Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesi



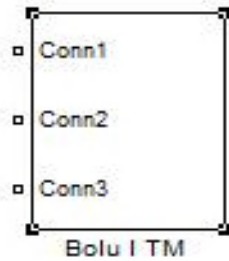
Şekil 5.2. Bolu-Düzce bölgesi 154 kV / 34,5-31,5-6,3 kV iletim ve dağıtım şebekesi prensip şeması



Şekil 5.3. Matlab'in Simulink araç kutusu ile Bolu-Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesi modellemesi ana şeması

Yukarıdaki şekil 5.3.'de Matlab yazılım programının Simulink araç kutusu kullanılarak gerçekleştirilen Bolu-Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesi modellemesinin ana şeması bulunmaktadır. Şekil 5.3.'de görüldüğü üzere Sarıyar Santrali, Osmanca TM, Kaynaşlı TM, Bolu I TM, Bolu II TM, Çimento TM, Gerkonsan TM ve Mudurnu TM modellemelerinde, Matlab yazılım programının Simulink araç kutusunun “Subsystem” fonksiyonundan yararlanılmıştır [5]. Bu fonksiyon sayesinde, istenilen sayıda uygulama iç içe kutucuklar halinde modellenerek, çok karmaşık ve elemanlı olan sistemler çok basit bir hale dönüştürülebilmektedir [9]. Ayrıca ölçü ve enerji nakil hatları gösteriminde de Subsystem fonksiyonundan yararlanılmıştır. Böylelikle ana prensip şemamızın basit olarak anlaşılabilir olması sağlanmıştır.

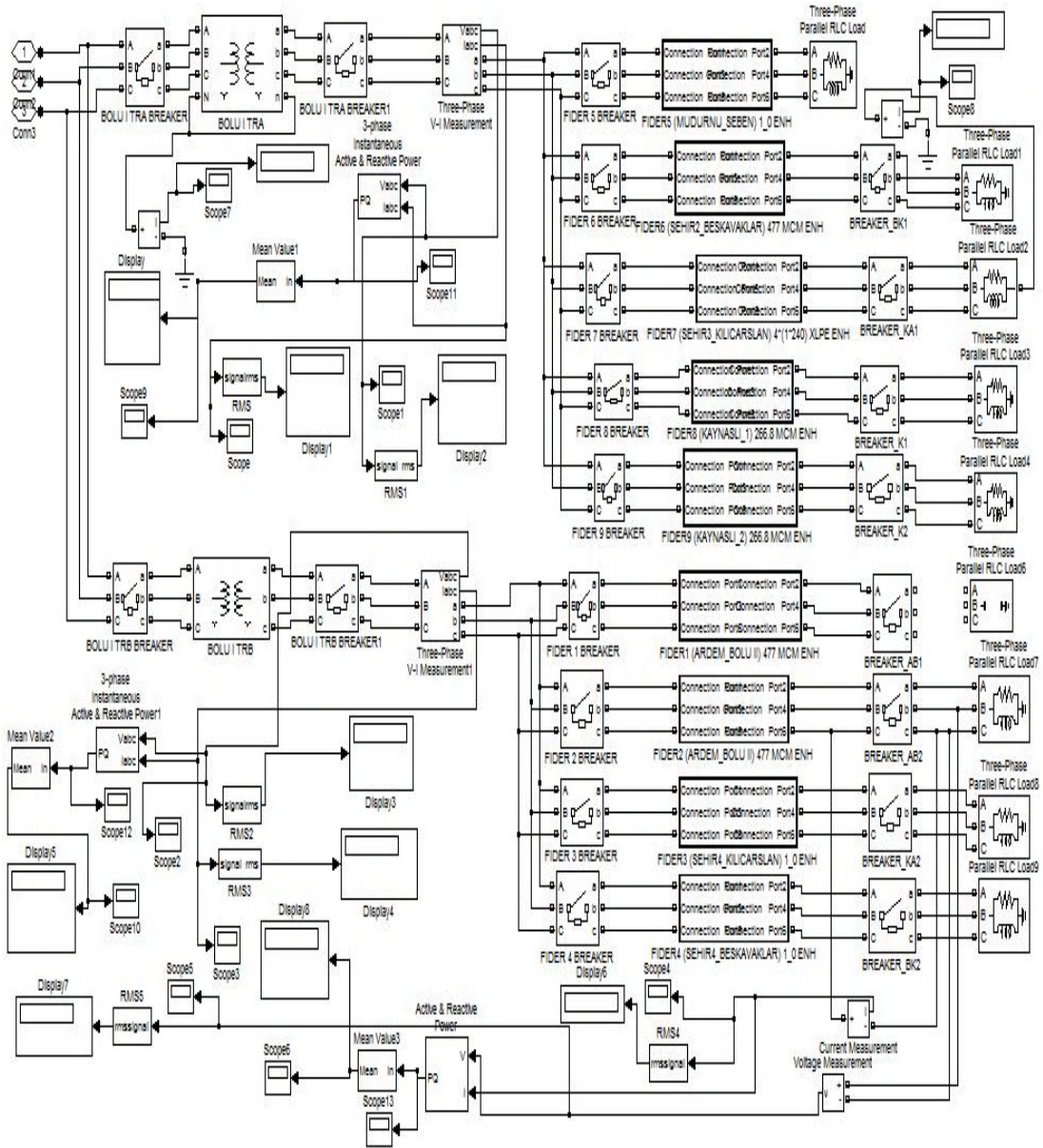
Yukarıdaki şekil 5.3.'de güç akışının yapılacağı Bolu-Düzce bölgesinin ana modelleme bileşenleri aşağıda detaylı olarak verilmiştir. Burada kullanılan simulasyon bileşenleri bir kez açıklanmıştır.



Şekil 5.4. Bolu I TM alt sistem modellemesi

Yukarıdaki şekil 5.4.'de güç akışının yapılacağı Bolu-Düzce bölgesinin ana şema modellemesinde sistemi basitleştirmek için kullanılan Bolu I TM'nin alt sistem modellemesi görülürken, şekil 5.5.'de ise Bolu I TM alt sistem modelinin iç yapısı görülmektedir.

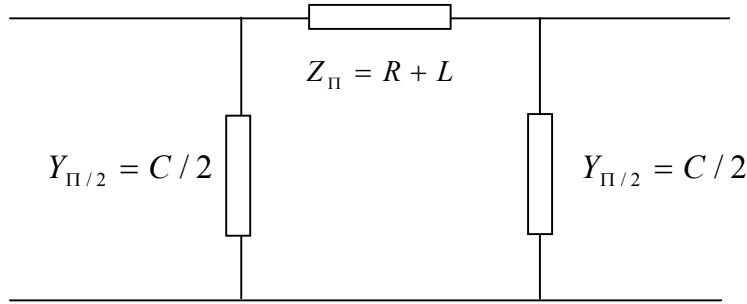
Bununla beraber Ek B'de Osmanca TM, Kaynaşlı TM, Bolu II TM, Çimento TM, Gerkonsan TM, Mudurnu TM ve Sarıyar Santralının alt sistem modellemesi ile alt sistem modelleme iç şemaları bulunmaktadır. Yukarıdaki ve Ek B bulunan şekiller ile ana prensip şemamız basitleştirilerek, anlaşılabilirliği kolaylaştırılmıştır.



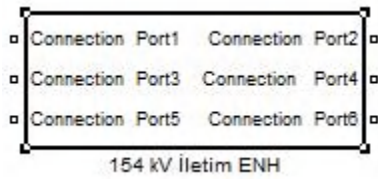
Şekil 5.5. Bolu I TM alt sistem modelinin iç şeması

5.1. Hatlar

Aşağıdaki şekil 5.6.'da enerji iletim ve dağıtım hatlarında kullanılan π (pi) eşdeğer devresi bulunmaktadır. Şekilde görüldüğü üzere devre sistem empedansı ile paralel yarım iki admittanstan oluşmaktadır. Devre empedansı iletkenin direnç ile reaktans değerleri toplamına, admittans (Y) ise kapasitans değerine eşittir.

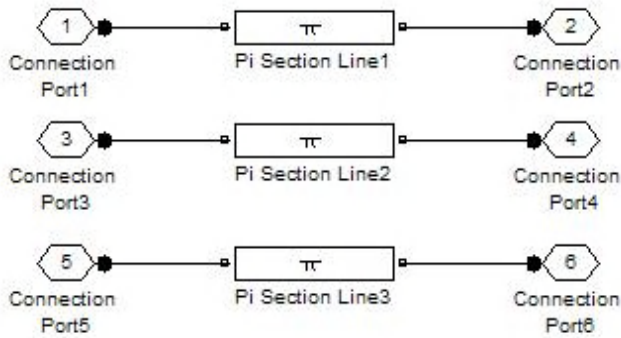


Şekil 5.6. Enerji nakil hattının π (pi) eşdeğer devresi



Şekil 5.7. Enerji nakil hattı sembolü

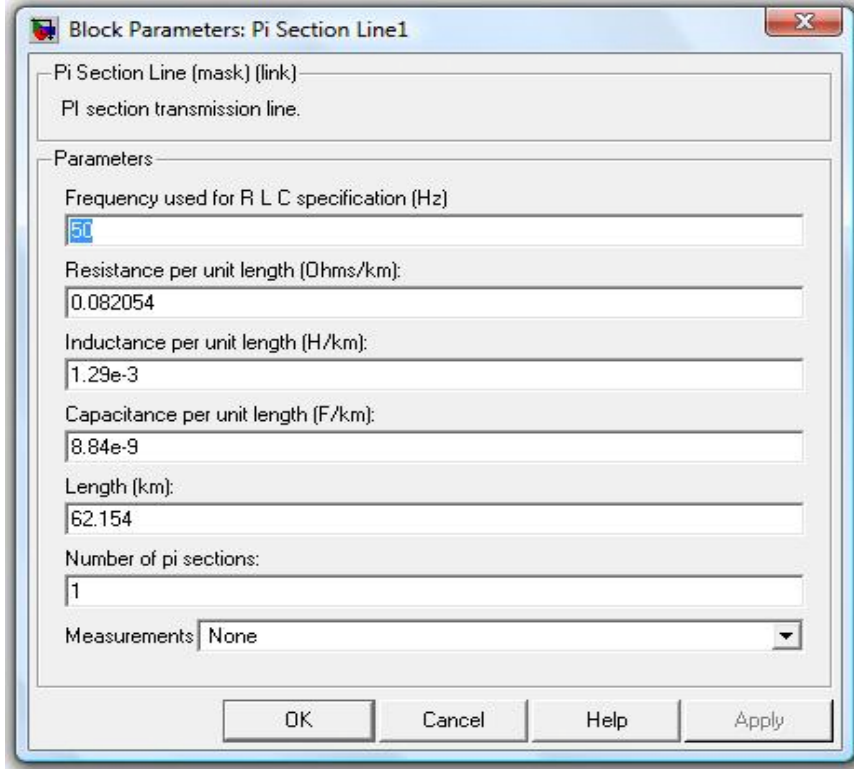
Yukarıdaki şekil 5.7.'de Bolu-Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesi modellemesinin ana şemasında kullanılan enerji nakil hattı sembolü görülürken, aşağıda şekil 5.8.'de ise π (pi) eşdeğer devresine ilişkin alt sistem modelinin iç şeması bulunmaktadır.



Şekil 5.8. Enerji nakil hattının alt sistem modelinin iç şeması

Aşağıda şekil 5.9.'de ise modellemede gösterilen enerji nakil hattına ilişkin Matlab yazılım programından Simulink araç kutusunda kullanılan blok parametre diyagramı bulunmaktadır. Şekil 5.9.'deki π (pi) eşdeğer devresine ilişkin blok diyagramda frekans, direnç, endüktans ve kapasitans bileşenleri ile hattın uzunluğu gibi parametreler bulunmaktadır. Şekil 5.9.'de Sarıyar-Mudurnu ENH 'na ait parametre

değerleri, karşılık gelen ilgili alana birimiyle birlikte girilmiştir. Parametre değerleri her bir faz için ayrı ayrı olarak simulasyon çalışmasına girilmiştir.



Şekil 5.9. Enerji nakil hattının blok parametreleri

Tablo 5.1. Bolu-Düzce bölgesi 154 kV iletim hatları blok parametre değerleri

İLETİM HATTININ ADI	UZUNLUK (km)	İLETKEN KESİTİ	R (Ohm/km)	L (H/km)	C (µF/km)
Osmanca TM_Akçakoca ENH	23,160	477 MCM	0,133851	0,001347590	0,008498069
Sarıyar_Bolu I TM ENH	81,753	477 MCM	0,134552	0,001371227	0,008355914
Bolu I TM_Kaynaşlı TM ENH	26,060	477 MCM	0,134305	0,001368718	0,008358956
Bolu I TM_Bolu II TM ENH	17,288	477 MCM	0,133040	0,001344771	0,008473902
Bolu II TM-Çimento TM ENH	5,119	477 MCM	0,136745	0,001368699	0,008585475
Çimento TM-Gerkonsan TM ENH	38,566	477 MCM	0,134834	0,001362541	0,008406467
Osmanca TM_Hendek ENH	41,800	477 MCM	0,133971	0,001371408	0,008350349
Osmanca TM_Karasu ENH	43,700	795 MCM	0,082380	0,001289918	0,008796222
Osmanca TM_Kaynaşlı TM	21,977	477 MCM	0,131956	0,001376656	0,008361376
Sarıyar_Mudurnu TM ENH	62,154	795 MCM	0,082054	0,001296349	0,008843864
Sarıyar_Toyoto ENH	120,000	795 MCM	0,082500	0,001297771	0,008840234

Yukarıdaki tablo 5.1.'de enerji nakil hattının blok parametrelerinde kullanılan değerler bulunmaktadır. Bununla birlikte tablo 5.1.'de tez çalışmamızda yer alan Bolu-Düzce bölgesinde bulunan 154 kV iletim hatlarının parametreleri yer almaktadır. Tablomuzda hattın uzunluğu, iletken kesiti, kilometre başına direnç,

endüktans ve kapasitans değerleri bulunmaktadır. Bu değerler TEİAŞ 'dan alınmıştır. Tabloda yer alan değerler her bir enerji nakil hattı için ayrı ayrı olarak tez çalışmamıza girilmiştir.

Aşağıdaki tablo 5.2.'de ise 34,5 kV Bolu I TM' nin dağıtım hatlarının tez çalışmasında kullanılan gerilim, hat uzunluğu, kilometre başına direnç, endüktans ve kapastans değerleri bulunmaktadır. Bu değerler tez çalışmamızda şekil 5.5.'de görülen enerji nakil hatları için ayrı ayrı olarak girilmiştir. Dağıtım hatlarında kullanılan bu değerler SEDAŞ 'dan alınmıştır.

Tablo 5.2. Bolu I TM dağıtım hatları blok parametre değerleri

T.M. ADI	GERİLİM	FİDER / ENH ADI	İLETKEN CİNSİ VE KESİTİ	UZUNLUK (km)	R (Ohm/km)	L (H/km)	C (µF/km)
BOLU T.M. I (TR-A)	154 / 34,5 kV	FİDER 5 / MUDURNU - SEBEN ENH.	1/0	3	0,67476	0,001479618	0,009808917
BOLU T.M. I (TR-A)	154 / 34,5 kV	FİDER 6 / ŞEHİR 2 - BEŞKAVAKLAR D.M.	477	1,1	0,134915	0,001097452	0,008407643
BOLU T.M. I (TR-A)	154 / 34,5 kV	FİDER 7 / ŞEHİR 3 - KILIÇARSLAN D.M.	1x240 mm ² XLPE	0,85	0,0754	0,006	0,2
BOLU T.M. I (TR-A)	154 / 34,5 kV	FİDER 8 / KAYNAŞLI-1	266	15	0,240474	0,001160828	0,008980892
BOLU T.M. I (TR-A)	154 / 34,5 kV	FİDER 9 / KAYNAŞLI-2	266	15	0,240474	0,001160828	0,008980892
BOLU T.M. I (TR-B)	154 / 34,5 kV	FİDER 1 / ARDEM D.M. - BOLU T.M. II	477	5,5	0,134915	0,001097452	0,008407643
BOLU T.M. I (TR-B)	154 / 34,5 kV	FİDER 2 / ARDEM D.M. - BOLU T.M. II	477	5,4	0,134915	0,001097452	0,008407643
BOLU T.M. I (TR-B)	154 / 34,5 kV	FİDER 3 / ŞEHİR 4 - KILIÇARSLAN D.M.	1/0	0,75	0,67476	0,001479618	0,009808917
BOLU T.M. I (TR-B)	154 / 34,5 kV	FİDER 4 / ŞEHİR 1 - BEŞKAVAKLAR D.M.	1/0	0,88	0,67476	0,001479618	0,009808917

Bolu-Düzce bölgesi 34,5 - 31,5 ve 6,3 kV dağıtım hatlarının tez çalışmasında kullanılan değerleri Ek C 'de ki tablo C.1.'de yer almaktadır. Ek C 'de ki tabloda bulunan parametre değerleri her bir dağıtım hattı için ayrı ayrı olarak modelleme ana şemamıza girilmiştir. Burada kullanılan hat uzunlukları Bolu-Düzce bölgesinde trafo merkezlerinden beslenen fiderlerin mevcut değerleridir.

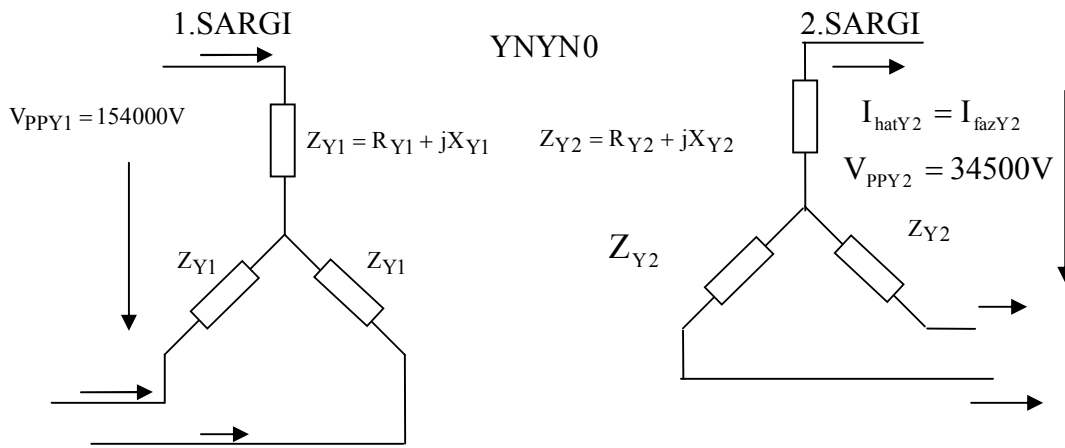
5.2. Trafolar

Basit olarak belirli bir gücü bir gerilim seviyesinden başka bir gerilim seviyesine çeviren cihazlar trafo olarak adlandırılmaktadır. Y-Y, Δ-Y ve Zikzak bağlantı gruplarında üretilerek, enerji iletim ve dağıtım sisteminin özelliklerine göre

bağlanırlar. Bunlarla beraber bir ve üç fazlı olarak imal edilirler. Bu kısımda tez çalışmamızda kullanılan Y-Y ve Δ -Y bağlantılı trafolar ele alınmıştır.

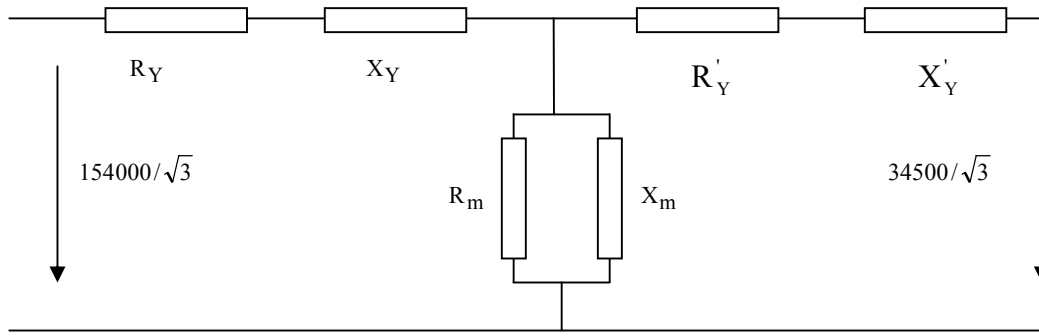
5.2.1. Y-Y Bağlantılı trafo

Birincil ve ikincil sargısı yıldız bağlı olan trafolardır. Yıldız bağlamanın bir avantajı, şebekeye sıfır noktası sağlayarak faz arası gerilimden faz-nötr geriliminin elde edilmesidir. Sadece yıldız sargı içeren transformatörlerde simetrik olmayan yüklerde olumsuz bir durum söz konusudur. Sinüs şeklinde bir akının meydana gelmesi için üç ve üçün katı harmonikler oldukça önemlidir. Yıldız bağlı trafolarda bu akılar aynı fazda olduklarından sıfır noktasında yığılırlar [4].



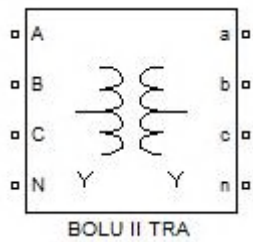
Şekil 5.10. Yıldız-Yıldız bağlı trafo sargıları

Yukarıdaki şekil 5.10.'da Y-Y bağlı trafonun sargıları verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere trafomuzun birinci ve ikinci sargısı yıldız bağlantılıdır. Aşağıdaki şekil 5.11.'de yıldız-yıldız bağlı üç fazlı trafonun eşdeğer devresi bulunmaktadır. Burada R'_Y ve X'_Y birinci devrenin R_Y ve X_Y değerlerine eşittir. R_m ve X_m ise trafonun magnetik parametreleridir.



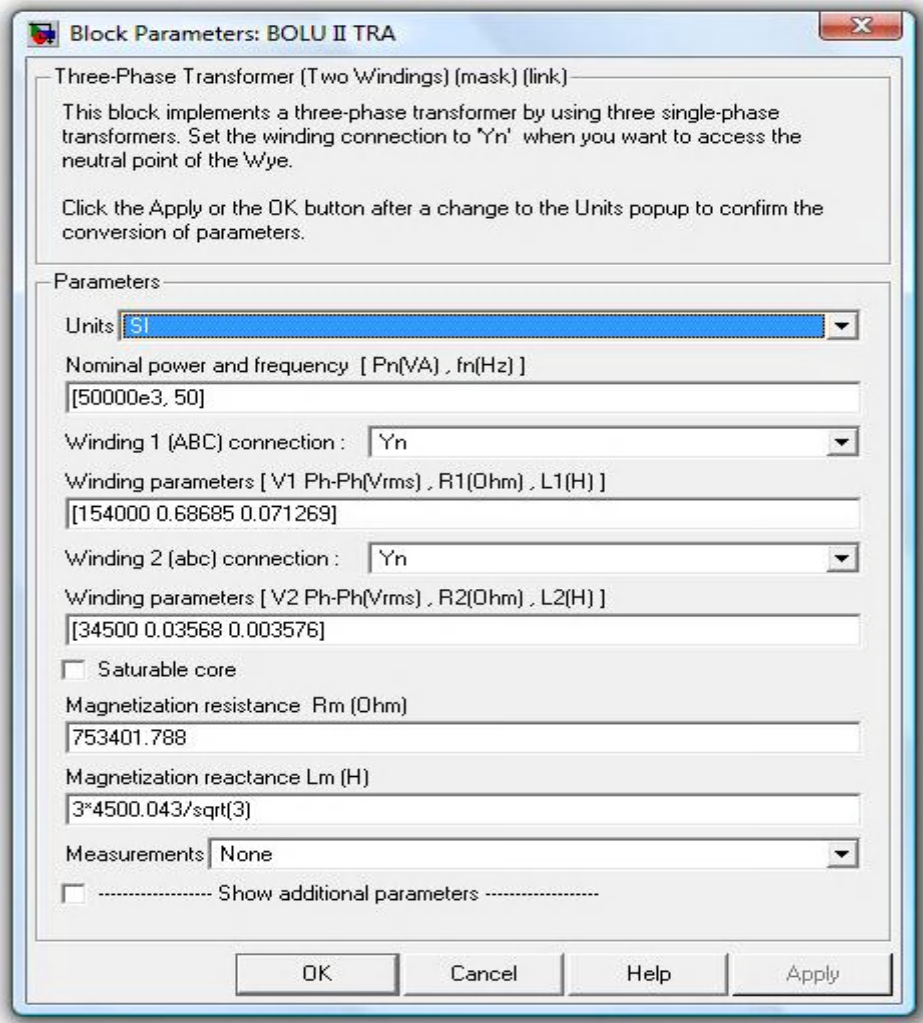
Şekil 5.11. Yıldız-Yıldız bağlı üç fazlı trafonun eşdeğer devresi

Tez çalışmamızda kullanılan Y-Y bağlı transformatör sembolü Matlab'ın Simulink araç kutusunda şekil 5.12.'de görüldüğü gibidir.



Şekil 5.12. YN-YN bağlantılı trafo sembolü

Şekil 5.12.'de görülen Y-Y bağlı trafo sembolünün simulasyonda kullanılan blok parametre değerleri aşağıda şekil 5.13.'de görülmektedir. Şekil 5.13.'de tez çalışmamızda yer alan Y-Y bağlı trafolardan 154 / 34,5 kV, 50 MVA, Bolu II TRA'nın blok parametreleri bulunmaktadır. Burada kullanılan parametreler Ek Ç'de yer alan trafo test raporundan alınan veriler sonucunda hesaplanarak, test modellemesi ile bilgisayar ortamında test edilmiştir. Blok parametre diyagramında görülen birinci ve ikinci sargı değerleri kısa devre test deney sonuçlarıyla hesaplanırken, magnetik direnç (R_m) ve reaktans (L_m) değerleri ise açık devre test sonuçlarıyla hesaplanmaktadır. Şekil 5.13.'de yer alan parametre değerlerinin hesaplanması aşağıda verilmiştir.

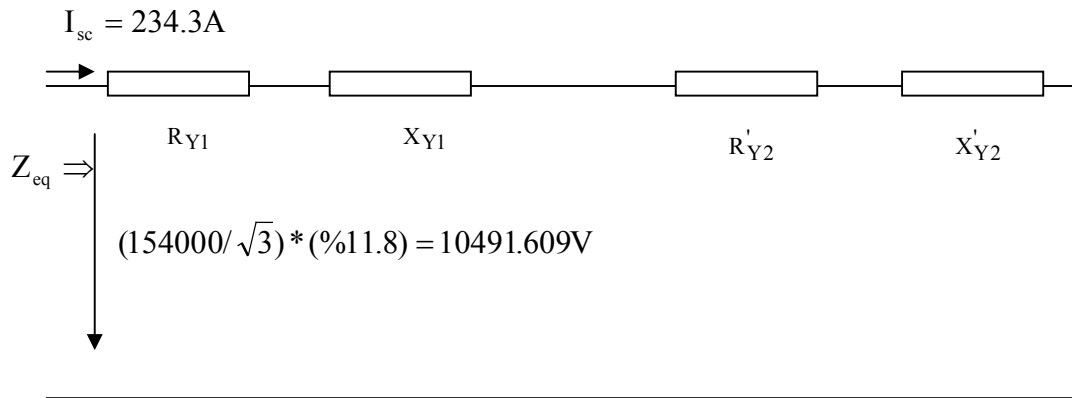


Şekil 5.13. 154 / 34,5 kV, 50 MVA Y-Y bağlantılı Bolu II TRA parametreleri

5.2.1.1. Kısa devre testi

Aşağıdaki şekil 5.14.'de yıldız-yıldız bağlı trafonun kısa devre testinde kullanılan eşdeğer devresi bulunmaktadır. Buradaki eşdeğer devre tüm Y-Y bağlı trafoların blok parametre hesaplamalarında kullanılmaktadır. Şekil 5.13.'deki blok parametrede bulunan birinci ve ikinci sargı değerleri Ek Ç 'deki test raporundan alınan kısa devre test sonuçları kullanılarak, aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Devremiz birinci sargı uçları arasından beslendiğinden, besleme gerilimi $U_k = 0.118 * 154000 / \sqrt{3} = 10491.609$ Volt olur. Ek Ç 'deki test raporundan alınan değerler aşağıdadır.



Şekil 5.14. Yıldız-Yıldız bağlı trafonun kısa devre eşdeğer devresi

$$S = 50 \text{ MVA}; \quad f = 50 \text{ Hz}; \quad V = 154 \text{ kV};$$

$$\sum_{i=1}^3 P_{sc_i} = 226220 \text{ Watt}, \quad I_{sc} = 234,3 \text{ Amper}, \quad \%u_k = 11.8$$

Verilen değerlerden;

$$\frac{\sum_{i=1}^3 P_{sc_i}}{3} = U_k * I_{sc} * \cos \varphi \Rightarrow 226220/3 = 10491.609 * 234.3 * \cos \varphi$$

$$\Rightarrow \cos \varphi = 0.030678 \Rightarrow \varphi = 88.242^\circ$$

$$Z_{eq} = \frac{V_{faz}}{I_{sc}} = \frac{10491.609}{234.3} = 44.778 \text{ } \Omega,$$

$$R_{eq} = Z_{eq} \cos \varphi = 44,778 * \cos(88.242^\circ) = 1.3737 \text{ } \Omega,$$

$$X_{eq} = Z_{eq} \sin \varphi = 44.778 * \sin(88.242^\circ) = 44.757 \text{ } \Omega,$$

$$R_{Y1} \cong R'_{Y2}; \quad X_{Y1} \cong X'_{Y2}$$

$$R_{Y1} = R_{eq} / 2 \Rightarrow R_{Y1} = 0.68685 \, \Omega; \quad X_{Y1} = X_{eq} / 2 \Rightarrow X_{Y1} = 22.3785 \, \Omega,$$

$$L_{Y1} = X_{Y1} / (2 * \pi * 50) = 0.071269 \, H,$$

$$X_{Y1} \cong X'_{Y2},$$

$$R'_{Y2} = \left(\frac{V_{Y1}}{V_{Y2}} \right)^2 R_{Y2} \Rightarrow \left(\frac{154000}{34500} \right)^2 R_{Y2} = 0.68685 \Rightarrow R_{Y2} = 0.3568 \, \Omega,$$

$$X'_{Y2} = \left(\frac{V_{Y1}}{V_{Y2}} \right)^2 X_{Y2} \Rightarrow \left(\frac{154000}{34500} \right)^2 X_{Y2} = 22.3785 \Rightarrow X_{Y2} = 1.1231 \, \Omega,$$

$$L_{Y2} = X_{Y2} / (2 * \pi * 50) = 0.003576 \, H,$$

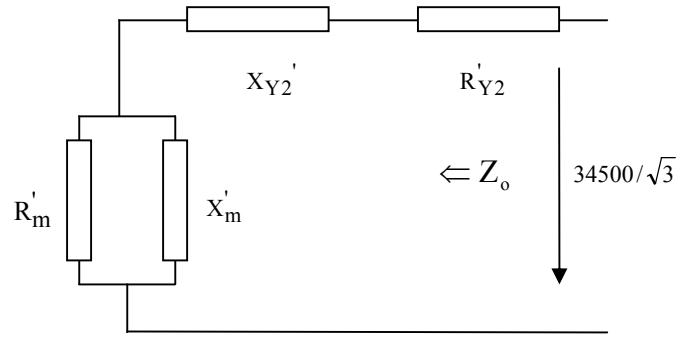
olarak birinci ve ikinci sargı değerleri hesaplanır.

5.2.1.2. Boşta çalışma testi

Aşağıdaki şekil 5.15.'de yıldız-yıldız bağlı trafonun açık devre testinde kullanılan eşdeğer devresi bulunmaktadır. Buradaki eşdeğer devre tüm Y-Y bağlı trafoların magnetik direnç ve reaktans değerlerinin hesaplamalarında kullanılmaktadır. Şekil 5.13.'deki blok parametrede bulunan magnetik resistans ve reaktans değerleri Ek Ç 'deki test raporundan alınan açık devre test sonuçları kullanılarak, aşağıda gibi hesaplanmıştır. Y-Y bağlı trafomuz ikinci sargı tarafından beslenmiş olup, Ek Ç 'deki test raporundan alınan değerler aşağıdadır.

$$\sum_1^3 P_o = 31480 \, \text{Watt}, \quad I_o = 0.597 \, \text{Amper},$$

Verilen değerlerden hareketle;



Şekil 5.15. Yıldız-Yıldız bağlı trafonun boşa çalışma eşdeğer devresi

$$\frac{\sum_{i=1}^3 P_{oi}}{3} = U_o * I_o * \cos\varphi_o \Rightarrow 31480/3 = 10493.33 = \frac{34500}{\sqrt{3}} * 0.597 * \cos\varphi_o$$

$$\Rightarrow \cos\varphi_o = 0.8824 \Rightarrow \varphi = 28.066^\circ$$

$$R_m \gg R'_{Y2}; X_m \gg X'_{Y2}$$

$$Z_o = \frac{V_{Y\text{faz}}}{I_o} = \frac{34500/\sqrt{3}}{0.597} = 33365.44 \Omega,$$

$$R_o = \frac{34500/\sqrt{3}}{0.597 * \cos(28.066^\circ)} = 37811.884 \Omega,$$

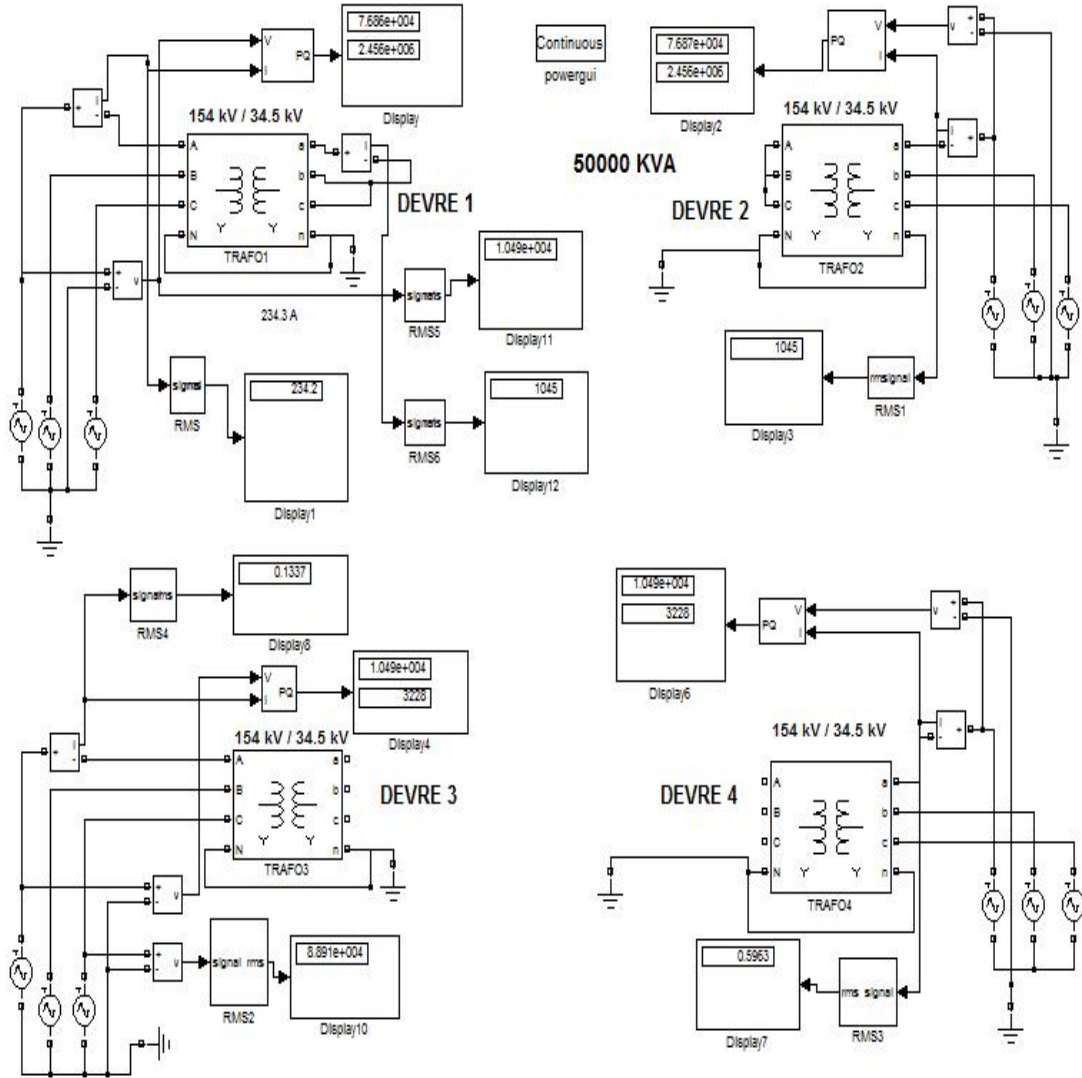
$$X_o = \frac{34500/\sqrt{3}}{0.597 * \sin(28.066^\circ)} = 70916.614 \Omega,$$

$$R_m = \left(\frac{154000}{34500}\right)^2 R'_m = \left(\frac{154000}{34500}\right)^2 37811.884 \Rightarrow R_m = 753401.788 \Omega,$$

$$X_m = \left(\frac{154000}{34500}\right)^2 X'_m = \left(\frac{154000}{34500}\right)^2 70916.614 \Rightarrow X_m = 1413013.552 \Omega,$$

$$L_m = X_m / (2 * \pi * 50) = 1413013.552 / (2 * \pi * 50) = 4500.043 \text{ H},$$

olarak trafonun magnetik parametreleri hesaplanır.



Şekil 5.16. Matlab'da Y-Y bağlantılı transformatörlerin kısa devre ve boşa çalışma test şeması

Yukarıdaki hesaplamalar sonucunda bulunan değerler ile trafo test raporundan alınan diğer parametreler şekil 5.13.'deki parametre bloğuna girilmiştir. Yapılan hesaplamaların doğruluğu aşağıda şekil 5.16.'de bulunan test devresinde denenmiştir. Yukarıdaki şekil 5.16.'de görülen "devre 1" ve "devre 2" kısa devre test sonuçlarını, "devre 3" ve "devre 4" ise açık devre test sonuçlarını göstermektedir. Gerçekleştirilen hesaplamalar, aşağıdaki test devresinde yapılan kısa devre ve boşa çalışma deney sonucunda bulunmuştur. Bulunan değerler ile Ek Ç 'de yer alan trafo test raporu birbirini sağladığı görülerek işlemin doğruluğu test edilmiştir.

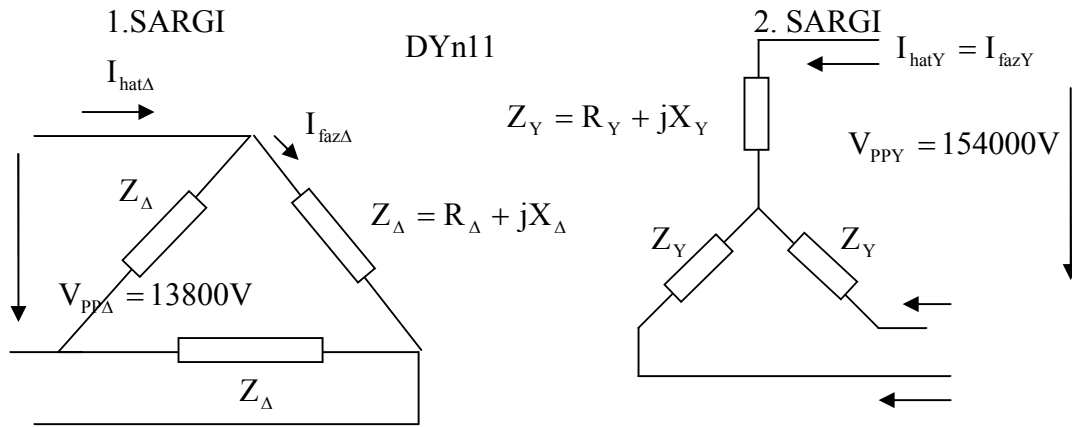
Aşağıdaki tablo 5.3.'deki değerler Bolu-Düzce bölgesi 154 kV / 34,5-31,5 ve 6,3 kV iletim ve dağıtım şebekesinde bulunan Y-Y bağlı trafoların Matlab yazılım programı Simulink araç kutusunda kullanılan parametreleridir. Tablodaki değerler her trafo için kısa devre ve boşa çalışma test raporlarına göre yukarıdaki bölümde anlatılan hesaplar doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Tablo 5.3.'deki R_1 ve L_1 üç fazlı trafonun birinci sargısına ait parametrelerini, R_2 ve L_2 ikinci sargı değerlerini, R_m ve L_m ise üç fazlı trafonun magnetik parametrelerini ifade etmektedir. Bu değerler yukarıdaki bölümde anlatıldığı şekilde bulunmuştur. Tablo 5.3.'deki değerler şekil 5.16.'da görülen test devresinde denenerek, kısa devre ve boşa çalışma test değerleri ile karşılaştırılarak doğruluğu tespit edilmiştir.

Tablo 5.3. Bolu-Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesi trafolarının parametreleri

BOLU-DÜZCE BÖLGESİ				1. SARGI PARAMETRELERİ		2. SARGI PARAMETRELERİ		MANYETİK PARAMETRELERİ	
TRAFO ADI	S (MVA)	BAĞLANTI GR.	GERİLİM (kV)	R1 (Ohm)	L1 (Henry)	R2 (Ohm)	L2 (Henry)	Rm (Ohm)	Lm (Henry)
Bolu I TRA	25	Yy0	154/34,5	0,08	0,00344	0,004	0,00172	750485,62	1149,06
Bolu I TRB	25	YNyn0	154/34,5	0,093	0,0362	0,00466	0,00181	849699,63	898,66
Kaynaşlı TRA	25	YNyn0	154/34,5	0,09	0,0332	0,0045	0,00166	849699,63	898,66
Kaynaşlı TRB	25	YNyn0	154/34,5	0,093	0,036	0,00466	0,0018	849699,63	898,66
Mudurnu	25	YNyn0	154/34,5	0,093	0,0373	0,00466	0,00187	849699,63	898,66
Gerkonsan	25	YNyn0	154/31,5	0,0914	0,0342	0,00458	0,00171	849710,4	995,27
Çimento TRA	20	YNyn0	154/6,3	0,0266	0,00623	0,00000445	0,0000104	1871916,24	10738,94
Çimento TRB	20	YNyn0	154/6,3	0,00316	0,00621	0,0000053	0,0000104	1867519,066	9.429,16
Bolu II TRA	50	YNyn0	154/34,5	0,68685	0,071269	0,03568	0,003576	753401,788	4.500,04
Bolu II TRB	50	YNyn0	154/34,5	0,687	0,070969	0,03447	0,003561	753401,788	4.500,04
Osmanca TRA	150	YNyn0	380/158	1,0126	0,1702	0,175069	0,029438	1860928,623	1.480,44
Osmanca TRB	150	YNyn0	380/158	1,0126	0,1702	0,175069	0,029438	1860928,623	1.480,44

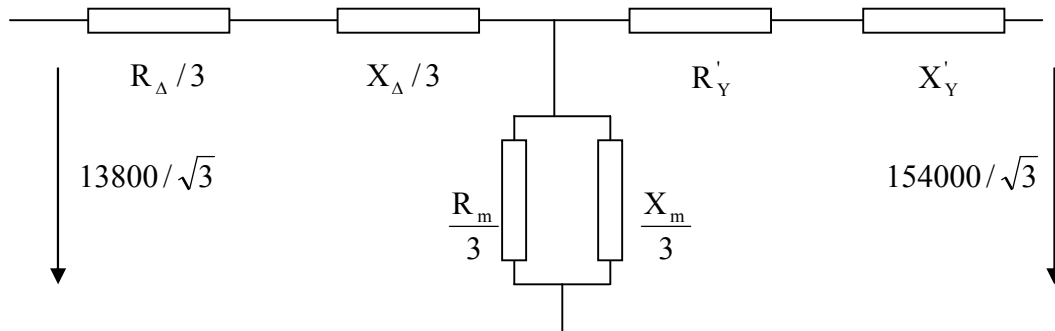
5.2.2. Δ-Y Bağlantılı trafo

Sargılarından biri üçgen, diğeri yıldız bağlı olan trafolardır. Üç fazlı transformatörler en çok görülen bağlantı şekillerindedir. Üçgen sargıda akıllar sargıların üzerinden geçtiğinden sinüs formunu elde etmede sorun meydana gelmez. Fakat üçgen sargıda sarımlar arası faz gerilimine maruz kaldığı için yıldız sargıya göre eşit değerde bir faz arası gerilim meydana getirilmek istenirse, %73 daha fazla sarım kullanılması gerekir. Ayrıca sargının her iki ucu da faz arası gerilime maruz kaldığı için yalıtım maliyeti yıldız sargıya göre daha fazla olacaktır. Bu yüzden yüksek gerilimlerde üçgen sargıdan kaçınılmaya çalışılmaktadır [4].



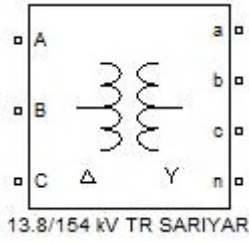
Şekil 5.17. Üçgen-Yıldız bağlı trafonun sargıları

Yukarıdaki şekil 5.17.'de Δ -Y bağlı trafonun sargıları verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere trafomuzun birinci sargısı üçgen, ikinci sargısı yıldız bağlantılıdır. Aşağıdaki şekil 5.18.'de üçgen-yıldız bağlı üç fazlı trafonun eşdeğer devresi bulunmaktadır. Burada R'_Y ve X'_Y birinci devrenin $R_\Delta/3$ ve $X_\Delta/3$ değerlerine eşittir. R_m ve X_m ise trafonun magnetik parametreleridir.



Şekil 5.18. Üçgen-Yıldız bağlı üç fazlı trafonun eşdeğer devresi

Tez çalışmamızda kullanılan Δ -Y bağlı transformatör sembolü Matlab'ın Simulink araç kutusunda şekil 5.19.'da görüldüğü gibidir.



Şekil 5.19. Üçgen-Yıldız bağlantılı trafo sembolü

Şekil 5.19.'da görülen Δ -Y bağlı trafo sembolünün simulasyonda kullanılan blok parametre değerleri aşağıda şekil 5.20.'de görülmektedir. Şekil 5.20.'de tez çalışmamızda yer alan Δ -Y bağlı 13,8 / 154 kV, 154 MVA, Sarıyar TR 'nin blok parametreleri bulunmaktadır. Burada kullanılan parametreler Ek D 'de yer alan trafo test raporundan alınan veriler sonucunda hesaplanarak, test modellemesi ile bilgisayar ortamında test edilmiştir. Şekil 5.20.'de yer alan parametre değerlerinin hesaplanması aşağıda verilmiştir.

Block Parameters: 13.8/154 kV TR SARIYAR

Three-Phase Transformer (Two Windings) (mask) (link)

This block implements a three-phase transformer by using three single-phase transformers. Set the winding connection to 'Yn' when you want to access the neutral point of the Wye.

Click the Apply or the OK button after a change to the Units popup to confirm the conversion of parameters.

Parameters

Units: SI

Nominal power and frequency [Pn(VA) , fn(Hz)]
[154e6, 50]

Winding 1 (ABC) connection: Delta (D11)

Winding parameters [V1 Ph-Ph(Vrms) , R1(Ohm) , L1(H)]
[13800, 0.002787, 6.438e-4]

Winding 2 (abc) connection: Yn

Winding parameters [V2 Ph-Ph(Vrms) , R2(Ohm) , L2(H)]
[154000, 0.11569, 0.02672]

Saturable core

Magnetization resistance Rm (Ohm)
9265.17

Magnetization reactance Lm (H)
3*1.7308/sqrt(3)

Measurements: None

Show additional parameters

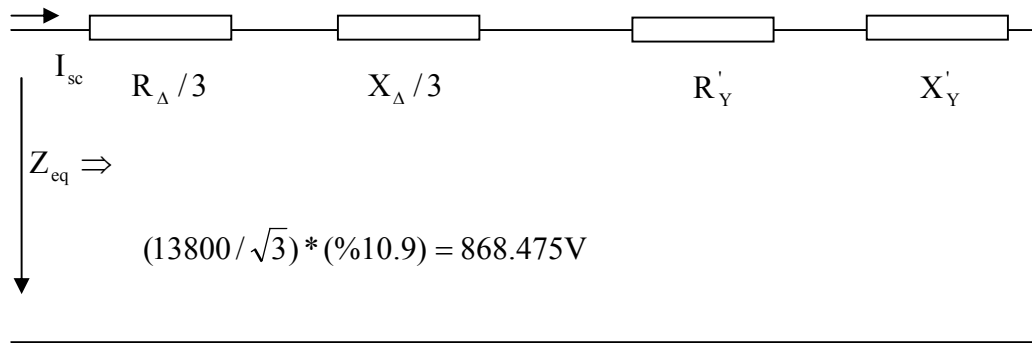
OK Cancel Help Apply

Şekil 5.20. 13.8 / 154 kV, 154 MVA üçgen / yıldız bağlantılı Sarıyar trafo parametreleri

5.2.2.1. Kısa devre testi

Aşağıdaki şekil 5.21.'de üçgen-yıldız bağlı trafonun kısa devre testinde kullanılan eşdeğer devresi bulunmaktadır. Buradaki eşdeğer devre tüm Δ -Y bağlı trafoların blok parametre hesaplamalarında kullanılmaktadır. Şekil 5.20.'deki blok parametrede bulunan birinci ve ikinci sargı değerleri Ek D'deki test raporundan alınan kısa devre test sonuçları kullanılarak, aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Devremiz birinci sargı uçları arasından beslendiğinden, besleme gerilimi $U_k = 0.109 * 13800 / \sqrt{3} = 868.475$ Volt olur. Ek D'deki test raporundan alınan değerler aşağıdadır.



Şekil 5.21. Üçgen-Yıldız bağlı trafonun kısa devre eşdeğer devresi

$S = 154$ MVA; $f = 50$ Hz; $13,8 / 154$ kV;

$$\sum_{i=1}^3 P_{sci} = 230529 \text{ Watt}, I_{sc} = 6443.08 \text{ Amper}, \%u_k = 10.9;$$

Verilen değerlerden;

$$\frac{\sum_{i=1}^3 P_{sci}}{3} = U_k * I_{sc} * \cos \varphi \Rightarrow 230529 / 3 = 76843 = 868.475 * 6443,08 * \cos \varphi$$

$$\Rightarrow \cos \varphi = 0.0137 \Rightarrow \varphi = 89.21^\circ,$$

$$Z_{eq} = \frac{V_{faz}}{I_{sc}} = \frac{868.475}{6443.08} = 0.13479 \Omega,$$

$$R_{eq} = Z_{eq} \cos \varphi = 0.13479 * \cos(89.21^\circ) = 0.001858 \Omega,$$

$$X_{eq} = Z_{eq} \sin \varphi = 0.13479 * \sin(89.21^\circ) = 0.13477 \Omega,$$

$$R_{\Delta} / 3 \cong R'_Y; \quad X_{\Delta} / 3 \cong X'_Y;$$

$$R_{\Delta} / 3 = R_{eq} / 2 \Rightarrow R_{\Delta} = 0.002787 \Omega; \quad X_{\Delta} / 3 = X_{eq} / 2 \Rightarrow X_{\Delta} = 0.202155 \Omega,$$

$$L_{\Delta} = X_{\Delta} / (2 * \pi * 50) = 0.0006438 \text{ H},$$

$$R_{\Delta} / 3 \cong R'_Y \Rightarrow R'_Y = \frac{0.002787}{3} = 0.000929 \Omega,$$

$$X_{\Delta} / 3 \cong X'_Y \Rightarrow X'_Y = \frac{0.202155}{3} = 0.067385 \Omega,$$

$$R'_Y = \left(\frac{V_{\Delta}}{V_Y} \right)^2 R_Y \Rightarrow \left(\frac{13800}{154000} \right)^2 R_Y = 0.000929 \Rightarrow R_Y = 0.11569 \Omega,$$

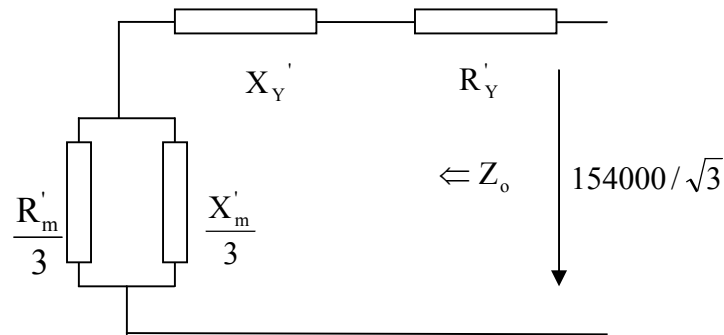
$$X'_Y = \left(\frac{V_{\Delta}}{V_Y} \right)^2 X_Y \Rightarrow \left(\frac{13800}{154000} \right)^2 X_Y = 0.067385 \Rightarrow X_Y = 8.3916 \Omega,$$

$$L_Y = X_Y / (2 * \pi * 50) = 0.02672 \text{ H},$$

olarak birinci ve ikinci sargı değerleri hesaplanır.

5.2.2.2. Boşta çalışma testi

Aşağıdaki şekil 5.22.'de üçgen-yıldız bağlı trafonun açık devre testinde kullanılan eşdeğer devresi bulunmaktadır. Buradaki eşdeğer devre tüm Δ -Y bağlı trafoların magnetik direnç ve reaktans değerlerinin hesaplamalarında kullanılmaktadır. Şekil 5.20.'deki blok parametrede bulunan magnetik resistans ve reaktans değerleri Ek D 'deki test raporundan alınan açık devre test sonuçları kullanılarak, aşağıda gibi hesaplanmıştır. Δ -Y bağlı trafomuz ikinci sargı tarafından beslenmiş olup, Ek D 'deki test raporundan alınan değerler aşağıdadır.



Şekil 5.22. Üçgen-Yıldız bağlı trafonun boşta çalışma eşdeğer devresi

$$\sum_1^3 P_o = 61651 \text{ Watt}, I_o = 3.948 \text{ Amper},$$

Verilen değerlerden hareketle;

$$\frac{\sum_{i=1}^3 P_{oi}}{3} = U_o * I_o * \cos \varphi_o \Rightarrow 61651/3 = 20550.33 = \frac{154000}{\sqrt{3}} * 3.948 * \cos \varphi_o$$

$$\Rightarrow \cos \varphi_o = 0.05854 \Rightarrow \varphi = 86.643^\circ,$$

$$R_m \gg R'_Y, \quad X_m \gg X'_Y,$$

$$Z_o = \frac{V_{Yf\ddot{a}z}}{I_o} = \frac{154000/\sqrt{3}}{3.948} = 22521.41 \Omega,$$

$$R_o = \frac{154000/\sqrt{3}}{3.948 * \cos \varphi_o} = 384605.498 = \frac{R'_m}{3},$$

$$X_o = \frac{154000/\sqrt{3}}{3.948 * \sin \varphi_o} = 22560.12 = \frac{X'_m}{3},$$

$$\frac{R_m}{3} = \left(\frac{13800}{154000} \right)^2 \frac{R'_m}{3} = \left(\frac{13800}{154000} \right)^2 * 384605.498 \Rightarrow R_m = 9265.17 \Omega,$$

$$\frac{X_m}{3} = \left(\frac{13800}{154000} \right)^2 \frac{X'_m}{3} = \left(\frac{13800}{154000} \right)^2 * 22560.12 \Rightarrow X_m = 543.474 \Omega,$$

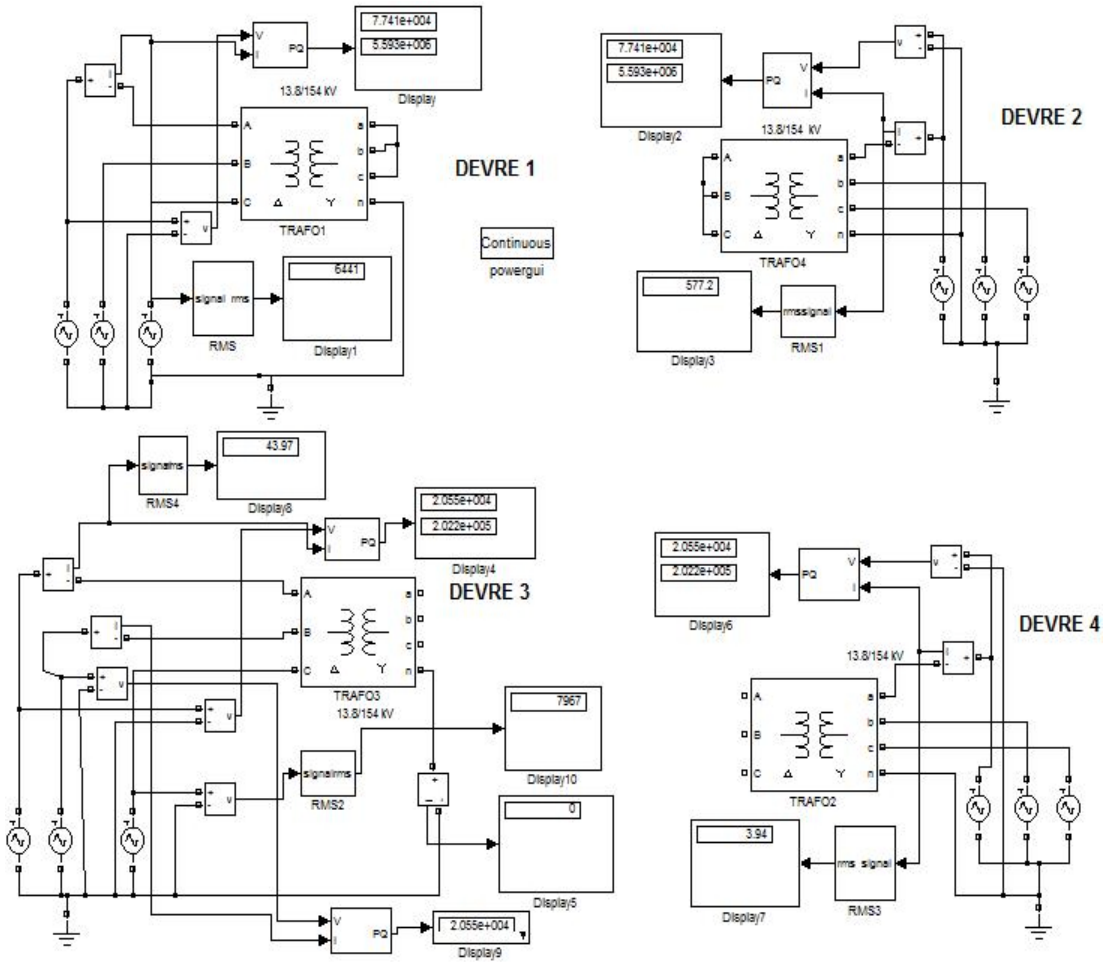
$$L_m = X_m / (2 * \pi * 50) = 543.474 / (2 * \pi * 50) = 1.7308 \text{ H},$$

olarak trafonun magnetik parametreleri hesaplanır.

Yukarıdaki hesaplamalar sonucunda bulunan değerler ile trafo test raporundan alınan diğer parametreler Şekil 5.20.'deki parametre bloğuna girilmiştir. Yapılan hesaplamaların doğruluğu aşağıda Şekil 5.23.'de bulunan test devresinde denenmiştir. Yukarıdaki Şekil 5.23.'de görülen ‘‘devre 1’’ ve ‘‘devre 2’’ kısa devre test sonuçlarını, ‘‘devre 3’’ ve ‘‘devre 4’’ ise açık devre test sonuçlarını göstermektedir. Gerçekleştirilen hesaplamalar, aşağıdaki test devresinde yapılan kısa devre ve boşta çalışma deney sonucunda bulunmuştur. Bulunan değerler ile Ek D 'de yer alan trafo test raporu birbirini sağladığı görülerek işlemin doğruluğu test edilmiştir.

Şekil 5.13. ve Şekil 5.20.'deki blok parametre değerlerine bakıldığında trafonun magnetik endüktans L_m değerinin 3 ile çarpılıp, $\sqrt{3}$ 'e bölündüğünü görmekteyiz. Bunun nedeni Matlab (Benzetim) yazılım programı 7.3.0.(R2007a) ve 7.3.0.(R2007b) sürümlerinin Simulink araç kutusu transformatör maskındaki $\sqrt{3}$

hatasından kaynaklanmaktadır. Bu tespit şekil 5.16. ve şekil 5.23.'de görülen test devresinde yapılan kısa devre ve boşa çalışma deney sonucunda bulunmuştur. Hesaplamalar sonucunda elde ettiğimiz verileri yukarıdaki gibi gerçekleştirdiğimizde test raporu değerlerini sağladığı görülmüştür.

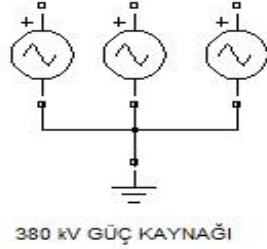


Şekil 5.23. Matlab'da Δ -Y bağlantılı transformatörlerin kısa devre ve boşa çalışma test şeması

5.3. Gerilim Kaynakları

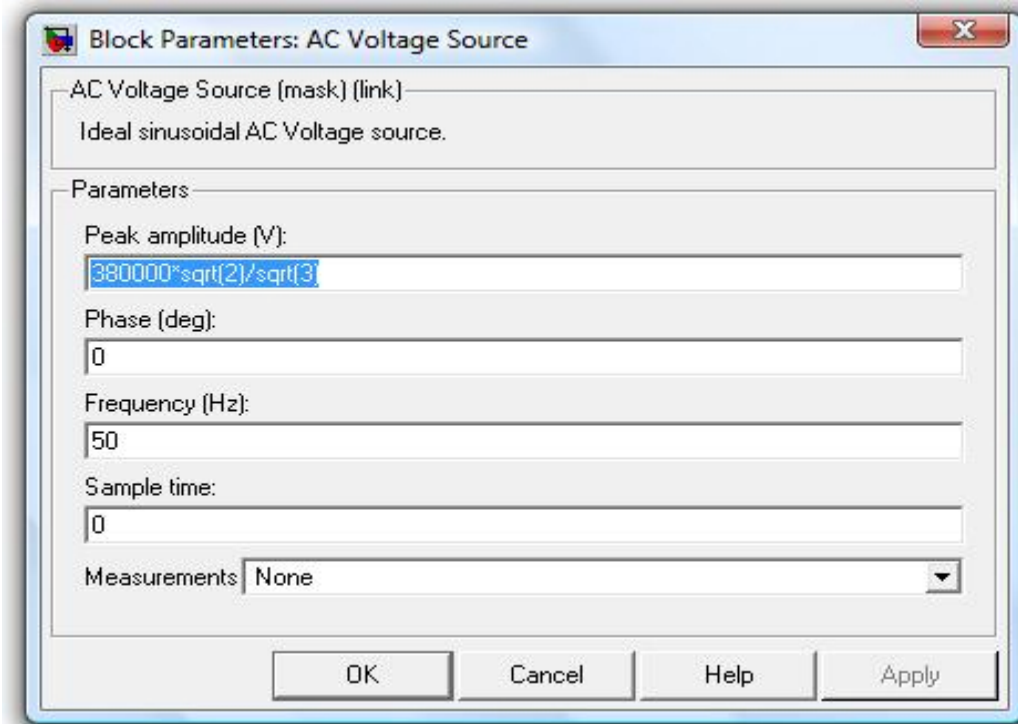
Yapılan tez çalışmasında gerilim kaynakları kullanılarak, sistemimizin modellenmesi basitleştirilmiştir. Bu şekilde sisteme eklenmesi gereken üretim, iletim ve dağıtım tesisleri devre dışı bırakılarak Bolu-Düzce bölgesi ile sınırlandırılma gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmamızda 380 kV ve 154 kV 'luk gerilim kaynakları

kullanılmıştır. Aşağıdaki şekil 5.24.'de Matlab 'de kullanılan 380 kV gerilim kaynağı sembolü bulunmaktadır.



Şekil 5.24. 380 kV kaynak sembolü

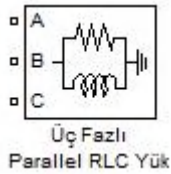
Aşağıdaki şekil 5.25.'de Matlab programı Simulink araç kutusunda kullanılan 380 kV gerilim kaynağının bir fazına ilişkin parametre değerleri bulunmaktadır. Blok parametre diyagramında tepe gerilim değeri, frekans değeri ve faz açısı yer almaktadır. Görüldüğü üzere faz açısı birinci faz olduğu için 0° olarak sisteme işlenirken, ikinci faz 120° , üçüncü faz 240° olarak girilmiştir. Sistemde kullanılan diğer gerilim kaynakları içinde aynı durum gerçekleştirilerek, faz sırası dikkate alınmıştır.



Şekil 5.25. 380 kV kaynağın bir fazına ilişkin parametreleri

5.4. Yükler

Bu tez çalışması  fazlı sistemlerde olduğu için  fazlı paralel RLC yükü kullanılarak karmaşık durumlar giderilerek, modelleme basitleştirilmiştir. Aşağıdaki şekil 5.26.'da Matlab programı Simulink araç kutusunda kullanılan  fazlı paralel RLC yükü bulunurken, şekil 5.27.'de ise bu yüke ilişkin blok parametre diyagramı yer almaktadır.



Şekil 5.26. Yük sembolü

Block Parameters: Üç Fazlı Paralel RLC Yük

Three-Phase Parallel RLC Load (mask) (link)
Implements a three-phase parallel RLC load.

Parameters

Configuration: Y (grounded)

Nominal phase-to-phase voltage V_n (Vrms): 34500

Nominal frequency f_n (Hz): 50

Active power P (W): 9e6

Inductive reactive Power Q_L (positive var): 0.96e6

Capacitive reactive power Q_C (negative var): 0

Measurements: None

OK Cancel Help Apply

Şekil 5.27. Yük parametreleri

Yukarıdaki şekil 5.27.'deki blok diyagram parametrelerinde yükün gerilim, aktif, indüktif reaktif ve kapasitif reaktif yk bileşenleri bulunmaktadır. Şekilde tez

çalışmamızda kullanılan yüklerden bir tanesinin blok parametre değerleri bulunmaktadır. Burada yükün gerilim, aktif ve indüktif reaktif güç değeri bulunmaktadır.

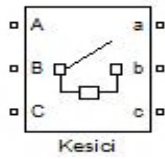
Aşağıdaki tablo 5.4.'de Bolu I TM ait dağıtım hatlarının yük parametre değerleri bulunmaktadır. Bu değerler Bolu I TM bulunan mevcut fider sayaçlarından alınmıştır. Üzerinde çalıştığımız tezde Bolu-Düzce bölgesi trafo merkezleri çıkışında bulunan bütün fiderler ile iletim hatlarının sonundaki yükler ve hat gerilimleri Ek E 'deki tablo E.1.'de verilmiştir. Dikkat edilirse tablo da sistemimizde aktif ve reaktif yükler bulunmaktadır. Bununla beraber hat gerilimi de bulunmaktadır.

Tablo 5.4. Bolu I TM dağıtım hatları yük parametre değerleri

T.M. ADI	GERİLİM	FİDER / ENH ADI	P (MW) (AKTİF GÜÇ)	Q (MVAR) (REAKTİF GÜÇ)
BOLU T.M. I (TR-A)	154 / 34,5 kV	FİDER 5 / MUDURNU - SEBEN ENH.	1,6	0,403
BOLU T.M. I (TR-A)	154 / 34,5 kV	FİDER 6 / ŞEHİR 2 - BEŞKAVAKLAR D.M.	5,5	1,21
BOLU T.M. I (TR-A)	154 / 34,5 kV	FİDER 7 / ŞEHİR 3 - KILIÇARSLAN D.M.	9	0,96
BOLU T.M. I (TR-A)	154 / 34,5 kV	FİDER 8 / KAYNAŞLI-1	0,1	0
BOLU T.M. I (TR-A)	154 / 34,5 kV	FİDER 9 / KAYNAŞLI-2	0,6	0
BOLU T.M. I (TR-B)	154 / 34,5 kV	FİDER 1 / ARDEM D.M. - BOLU T.M. II	0	0
BOLU T.M. I (TR-B)	154 / 34,5 kV	FİDER 2 / ARDEM D.M. - BOLU T.M. II	4,5	1,09
BOLU T.M. I (TR-B)	154 / 34,5 kV	FİDER 3 / ŞEHİR 4 - KILIÇARSLAN D.M.	6	1,323
BOLU T.M. I (TR-B)	154 / 34,5 kV	FİDER 4 / ŞEHİR 1 - BEŞKAVAKLAR D.M.	8	0,96

5.5. Kesici

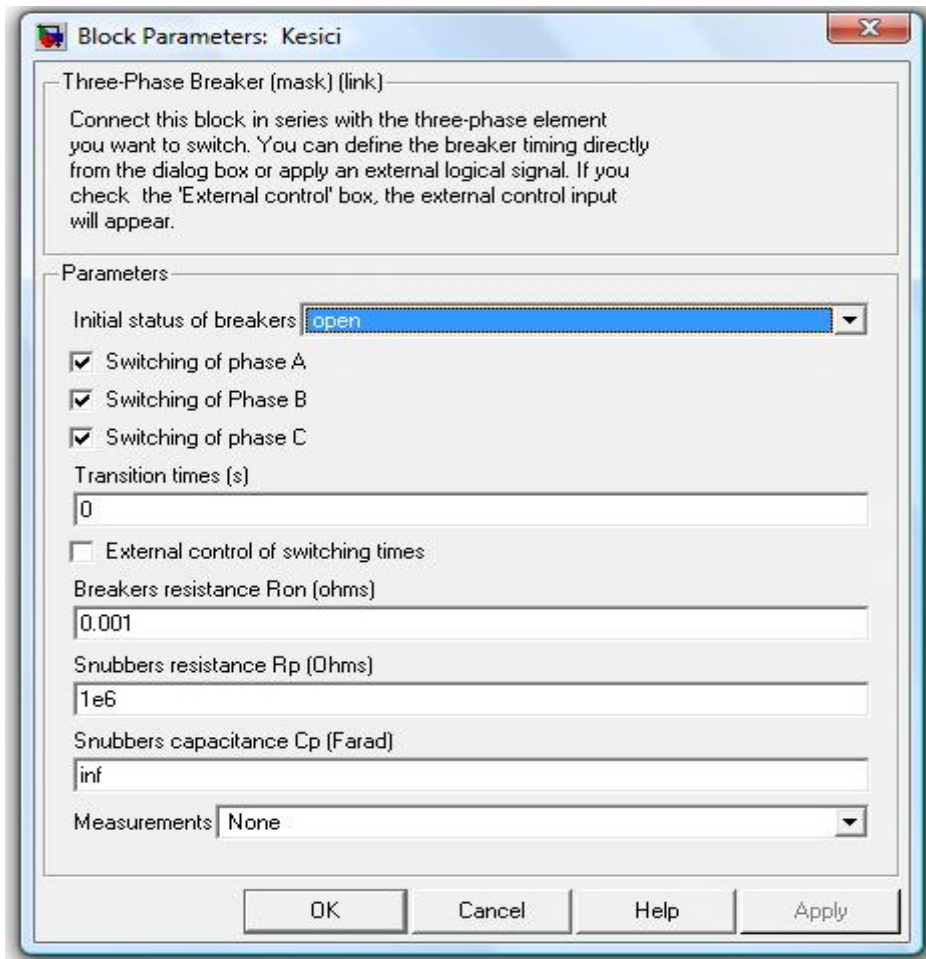
Hatlarda ve trafolarında çeşitli arızalar meydana gelmektedir. Arızalanan elektrik teçhizatın en kısa zamanda gerilimsiz hale getirilmesi gerekir. Şebekedeki arızalar röleler vasıtasıyla tespit edilerek, kesicilere açma kumandası verilir. Bunun için sistemde kesicilerin önemi büyüktür. Ayrıca bakım, manevra gibi nedenlerle yüklü olan bir hattın veya trafonun gerilimsiz bırakılmasını sağlayan anahtarlama elemanıdır. Bunlarla beraber kesiciler yük akımlarını ve kısa devre akımlarını da kesmeye yarayan cihazlardır. Ayrıca kesiciler şebekelerin girdi-çıkışı olarak tesis edilmesinde en çok faydalanılan teçhizatıdır.



Şekil 5.28. Kesici sembolü

Yukarıdaki şekil 5.28.'de Matlab yazılım programının Simulink araç kutusunda kullanılan kesicinin sembolü bulunmaktadır. Tez çalışmamızda kullanılan kesici sembolü şebeke giriş ve çıkışları arasında bağlantıyı sağlamaktadır.

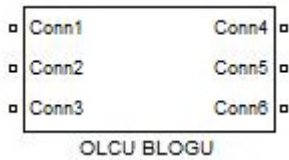
Aşağıdaki şekil 5.29.'da tez çalışmamızda kullanılan kesicinin blok parametre diyagramı bulunmaktadır. Kesicinin zaman ayarları aşağıdaki blok parametre diyagramından ayarlanmaktadır. Eğer kesici anahtarlama elemanı olarak kullanılmak isteniyorsa üç fazlı elemanlar arasında seri olarak bağlanır.



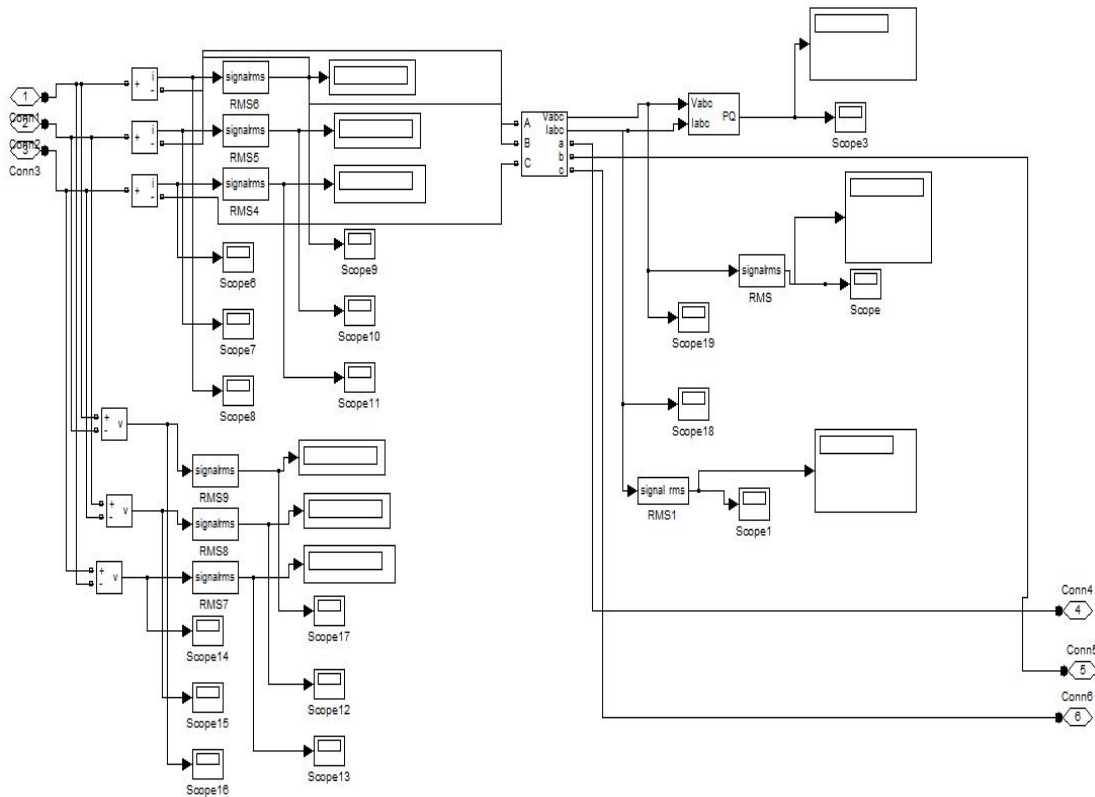
Şekil 5.29. Kesici parametreleri

5.6. Ölçü

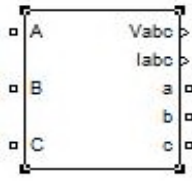
Bu çalışmadaki ölçü elemanları Bolu-Düzce bölgesinin iletim ve dağıtım şebekesinin bilgisayar ortamında analiz edilmesinde kullanılan en önemli görsel elemanlardır. Aşağıdaki şekil 5.30.'da tez çalışmasında kullanılan ölçü metre sembolü bulunurken, şekil 5.31.'de ise bu ölçü metreye ait alt sistem modelinin iç şeması bulunmaktadır. Şekil 5.30.'da ki ölçü metre, fazla eleman içeren tez çalışmasının basitleştirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.31.'deki alt sistem modelinde görüldüğü üzere ölçü metrede sayısal gösterge ve ekran çıkış görüntü elemanları bulunmaktadır.



Şekil 5.30. Ölçü metre sembolü

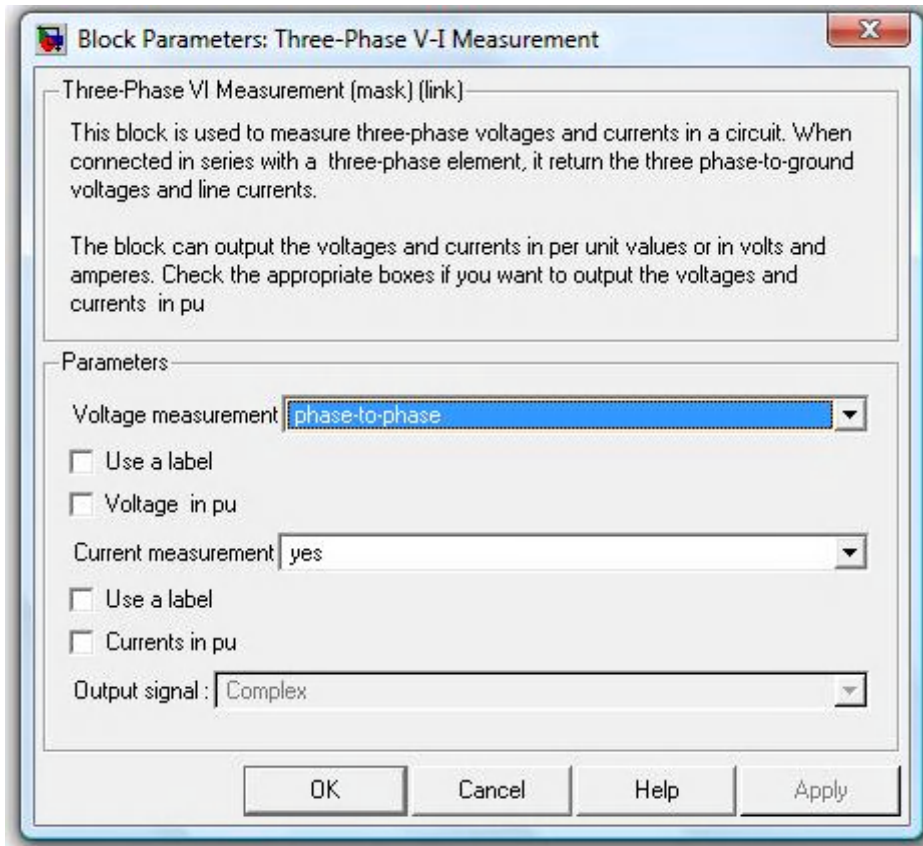


Şekil 5.31. Ölçü metre alt sistem modelinin iç şeması



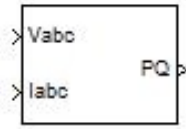
Şekil 5.32. Üç fazlı ölçü metre sembolü

Yukarıdaki şekil 5.32.'de Matlab yazılım programının Simulink araç kutusunda kullanılan üç fazlı ölçü metre sembolü bulunmaktadır. Bu sembol ile devredeki üç fazlı akım ve gerilim ölçümleri gerçekleştirilir. Aşağıdaki şekil 5.33.'de üç fazlı ölçü metrenin blok parametre diyagramı bulunmaktadır. Buradaki blok parametre değerleri değiştirilerek istenilen ölçüm sonuçlarına ulaşılmaktadır.

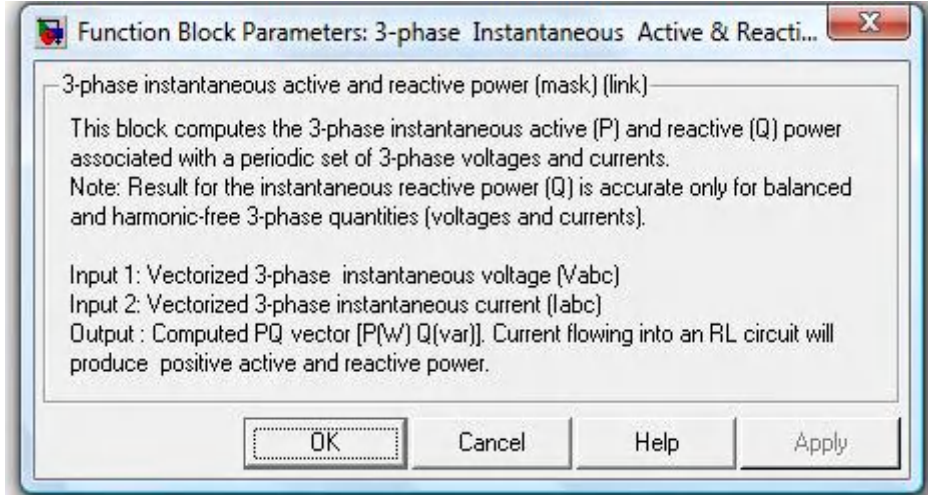


Şekil 5.33. Üç fazlı ölçü metre blok parametreleri

Aşağıdaki şekil 5.34.'de Matlab yazılım programının Simulink araç kutusunda kullanılan üç fazlı watt metre sembolü bulunurken, şekil 5.35.'de ise üç fazlı ölçü metrenin blok parametre diyagramı bulunmaktadır. Bu sembol ile devredeki üç fazlı güç ölçümleri gerçekleştirilir.



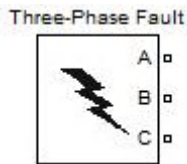
Şekil 5.34. Üç fazlı watt metre sembolü



Şekil 5.35. Üç fazlı watt metre blok parametreleri

5.7. Hata

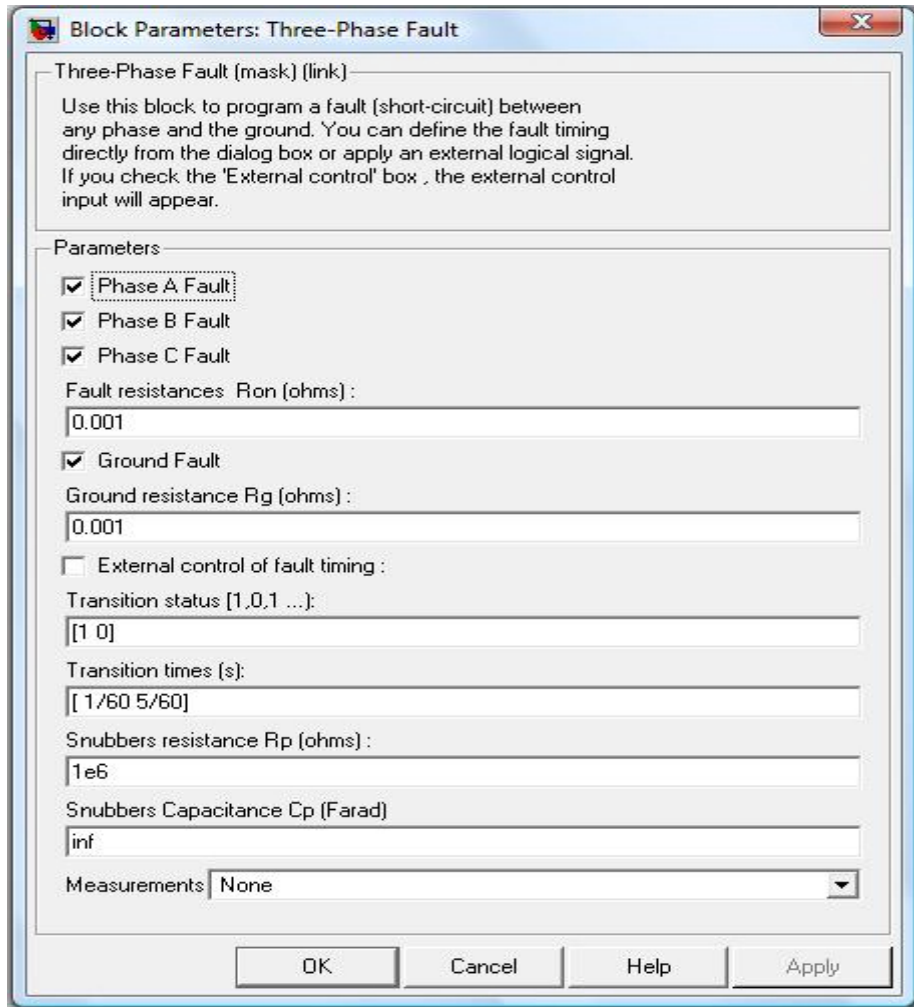
Trafolar ve enerji nakil hatlarında çeşitli arızalar oluşmaktadır. Bu arızalar sonucunda şebekede kısa devre, açma ve enerji kayıpları meydana gelmektedir. Mevcut enerji şebekelerinde oluşan arızalar hata olarak adlandırılmaktadır. Aşağıda şekil 5.36.'da üç faz hata sembolü bulunmaktadır. Üç faz hata sembolünde açılma ve kapanma zamanları dış simulink sinyali ya da iç kontrol zamanlayıcısı (iç kontrol modu) olan üç faz devre anahtarı ile yürütülür. Bununla beraber faz-faz ve faz-toprak hatalarında ayrı ayrı açılıp kapanan programı kullanır.



Şekil 5.36. Üç faz hata sembolü

Aşağıdaki şekil 5.37.'de Matlab yazılım programının Simulink araç kutusunda kullanılan üç fazlı hata blok parametre diyagramı bulunmaktadır. Şekil 5.37.'deki üç

faz hata blok parametre diyagramında bir hatayı programlamak için ilgili fazı seçmek ve toprak direncini küçük bir değer belirtmek gerekir. Üç faz hata bloğu dış kontrol moduna ayarlıysa blok ikonunda bir kontrol girdisi görülür. Kontrol sinyali açık anahtar için sıfır ya da kapalı anahtar için bir olması gereken dördüncü girdiye bağlıdır. Eğer üç faz hata bloğu iç kontrol moduna ayarlıysa anahtarlama zamanı ve durumu bloğun diyalog kutusunda belirtilir. Seri Rp-Cp tutucu devreleri modele dahil olup, fonksiyonel olarak hata anahtarlarına bağlanabilirler. Eğer üç faz hata bloğu indüktif devre, açık devre veya akım kaynağı ile birlikte seri bağlı ise, tutucu kullanmak gerekir.



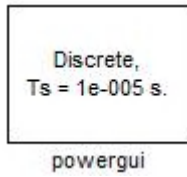
Şekil 5.37. Üç faz hata blok parametreleri

Yukarıdaki şekil 5.37.'deki üç faz hata blok parametre diyagramında hangi faz seçiliyse o faz hatası etkinleştirilmiş olurken, seçilmeyen faz başlangıç durumunda kalır. Faz hata iç dirençleri R_{on} ve toprak direnci R_g değeri sıfıra ayarlanamaz. Eğer

hata zamanlamasının dış kontrolü seçiliyse hata anahtarlarının zamanlarının kontrolü için üç faz hata bloğuna dördüncü bir giriş ilave eder. Buna bağlı olarak anahtarlama zamanları bir simulink sinyali tarafından tanımlanır. İç kontrol modunda üç faz anahtar bloğu kullanılırken, geçiş durumu anahtarlama durumunun vektörünü belirtir.

5.8. Grafıksel Kullanıcı Arayüzü (Powergui)

Aşağıda şekil 5.38.'de tez çalışmamızda kullanılan grafıksel kullanıcı ara yüz sembolü bulunmaktadır. Powergui bloğu, güç simülasyonu içeren her simulink araç kutusu modelinde gereklidir. Sistem modelinin durum boşluk denklemlerini ifade eden eşdeğer simulink devrelerini depolamak için kullanılır. En iyi performans için powergui bloğunu diyagramın üst seviyesine yerleştirir. Fakat alt sistemlerde uygun olan istenilen yere yerleştirilmesi çalışmasını etkilemez. Her model için en fazla bir blok kullanılabilir.



Şekil 5.38. Powergui blok sembolü

Powergui bloğunun ana amacı sistem modellerinde yararlı bir kullanıcı ara yüzü aracı sağlamaktır. Bir devreyi çözebilmek için takip eden metotlardan birini seçmenize olanak verir. Elektrik sisteminin sabit zaman adımlarında çözüm için farklı çözüm adımları kullanan sürekli metotlarından bir tanesidir. Powergui bloğu simulasyon devresindeki durum değişkenlerini gösterdiği gibi aynı zamanda ölçülen hazır durum değerlerinin akım ve gerilimlerini de gösterir. İlk durumda simülasyona başlamak için ilk elektrik durumunu belirler.

Elektrik durum değişkenlerinin adı kapasitör ya da indüktörün bulunduğu bloğun adıdır. Üç fazlı makineleri içeren devrelerde yükü akar ve üç faz ağını başlangıç durumuna getirerek, simülasyonu hazır duruma getirir. Bu durum basitleştirilmiş

senkronize makine veya senkronize olmayan makine bloklarını kapsayan devrelerde geçerlidir.

Empedans ölçüm bloğu devrede olduğu zaman akıma karşı direnç gösterir. Simülasyon sonuçlarının FFT analizini gerçekleştirir. Sistemin uzay durum modelini üretir (eğer kontrol sistemi aracınız yüklüyse), zaman ve frekans etki alanı karşılığı için LTI görüntüleyici ara yüzünü otomatik olarak açar. Ölçüm blokları, kaynakları ve lineer olmayan modellerin devre durumunu içeren hazır durum değerleri için bir rapor üretir. Üretilen rapor “.rep” uzantılı bir dosyaya kaydedilir. Modelin histerisiz bir karakteristiği vardır.

Aşağıdaki şekil 5.39.’da Matlab yazılım programının Simulink araç kutusunda kullanılan powergui blok parametre diyagramı bulunmaktadır. Şekil 5.39.’da ki powergui blok parametre diyagramındaki simülasyon tipleri aşağıda gibidir.

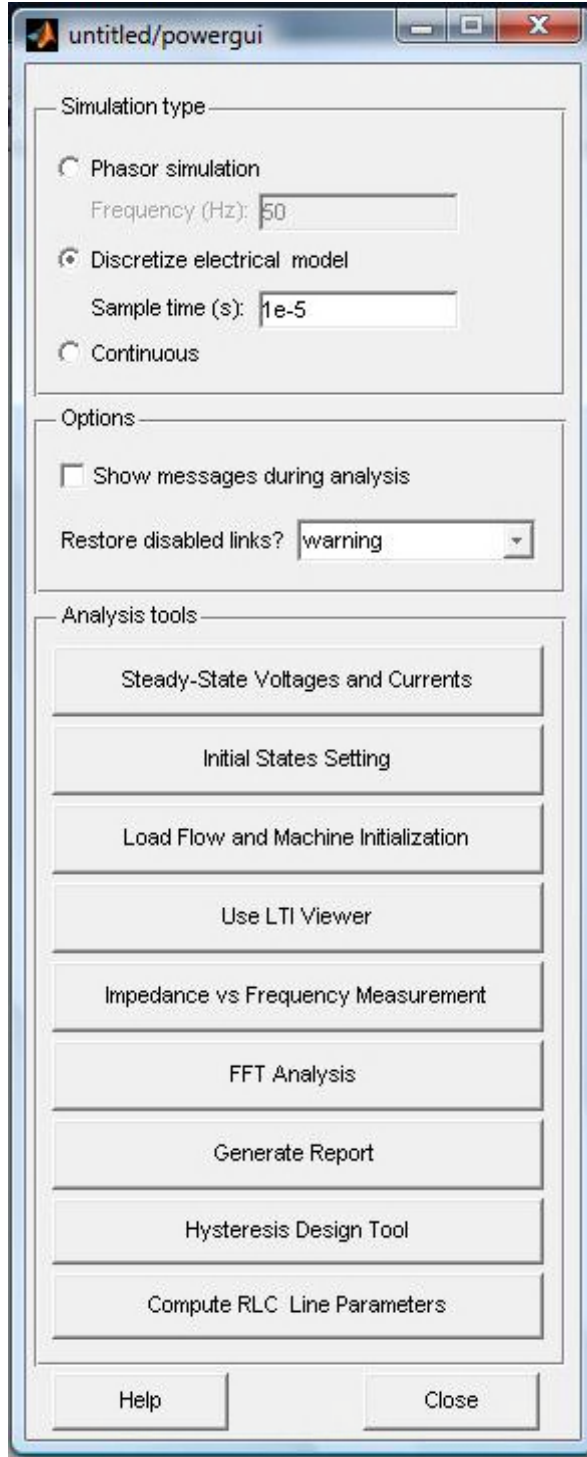
1-) Powergui bloğunda “fazör simülasyonu” seçiliyse güç simülasyon sistemi frekans parametresinde belirtilen frekansta, fazör simülasyonu yürütür. “Frekans (Hz)” modelin fazör simülasyonunu yürütmek için Simpower sistem tarafından kullanılan frekansı belirtir. Fazör simülasyonu seçili değilse, frekans alanı gridir.

2-) Powergui bloğunda “discretize (ayrık zaman) elektrik modeli” seçili ise Simpower sistem modelinin tahmini görüntüsünü yürütür. Eğer örnek zaman sıfır olarak belirtilmişse, ayrık zaman yürütülmez ve süregelen çözüm metodu kullanılır. Ayrık zaman elektrik model parametresi seçili değilse, örnek zaman alanı gri renklidir.

3-) Powergui bloğunda “ continuons (sürekli)” seçiliyse Simpower sürekli çözüm üretir.

Analiz sırasında mesajları göster seçili ise, kumanda çizgisi simpower sistemin mesajlarını yansıtır. “Ulaşılamayan hatları yeniden yapılandır” seçiliyse powergui bloğu simülasyon başlangıcında seçilemez, hattı olan ve hattı otomatik olarak yeniden yapılandıran simpower sistem blokları bulur. Eğer “uyarı” seçiliyse

powergui bloğu simülasyon başlangıcında erişilemez linki olan simpower sistem bloğu bularak uyarı gösterir. “Hayır” durumunda ise bloklar bulunmadığından tekrar bağlanmaz.



Şekil 5.39. Powergui blok parametreleri

Şekil 5.39.'da ki powergui blok parametre diyagramındaki analiz araçları aşağıda açıklanmıştır.

Hazır Durum (Steady-State Voltages and Currents) Gerilim ve Akımlar : Hazır durum gerilim ve model akımlarını gösteren bir pencere açar.

İlk Durum Ayarı (Initial States Setting) : Modelin indüktör akımları ve ilk kapasite gerilimini belirleyen ve gösteren bir pencere açar.

Yük Akışı ve Makine Kurulumu (Load Flow and Machine Initialization) : Yük akışı ve makine kurulumunu gösteren bir pencere açar.

LTI Görüntüleyicisi Kullanma (Use LTI Viewer) : Kontrol sistem araç kutusunun LTI görüntüleyicisini kullanmak için bir pencere açar.

Frekans Ölçümüne Karşı Empedans (Impedance vs Frequency Measurement) : Empedans ölçümü bloğu tarafından gerçekleştirilen frekans ölçümüne karşı empedansı gösteren pencere açar.

FFT Analizi (FFT Analysis) : FFT analiz aracını kullanmak için bir pencere açar. FFT aracının bir örneğini kullanarak harmonik analiz yürütümünde tanımlanmıştır.

Rapor Üret (Generate Report) : Bir pencere açarak ve hazır durum hesaplamalarını yapar.

Histerisiz Dizayn Aracı (Hysteresis Design Tool) : Dönüştürücü bloğu ve üç faz dönüştürücü bloğun histerisiz karakteristiğini tasarlamak için bir pencere açar.

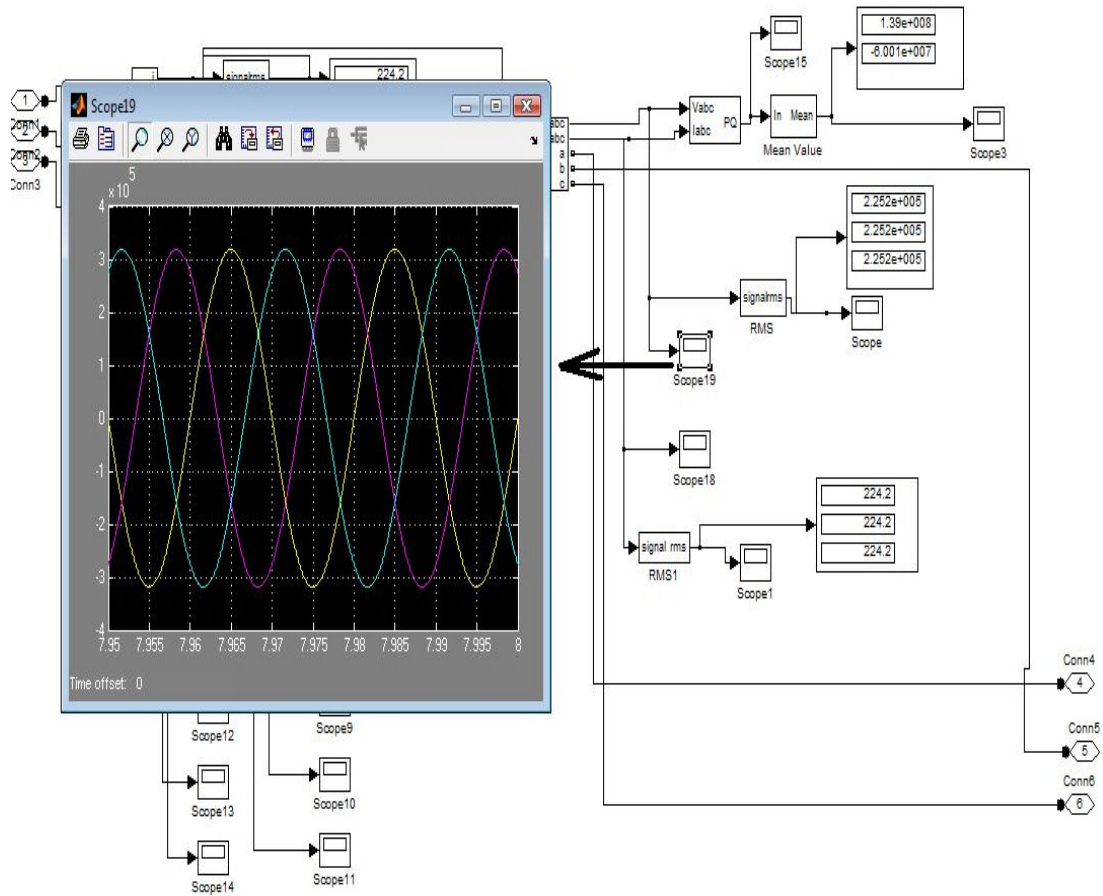
RLC Hat Parametrelerini Hesaplama (Compute RLC Line Parameters) : İletken karakteristiği ve kule geometrisine ek RLC yük hat akım parametrelerini hesaplamak için bir pencere açar.

Bölüm 5 'de çalışmamızı oluşturan Bolu-Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesinin Matlab (Benzetim) yazılım programından Simulink araç kutusu (Toolbox) ile modellenmesinde kullanılan elemanların tanıtımı yapılarak, parametrelerinin neler olduğu gösterilmiştir. Ayrıca sistemde kullanılan trafoların hesaplamaları ile hatların parametre tabloları da verilmiştir. Bu şekilde tez çalışmamızın nasıl modellendiği anlatılmıştır.

BÖLÜM 6. GÜÇ AKIŞI VE KISA DEVRE ANALİZ GRAFİKLERİ

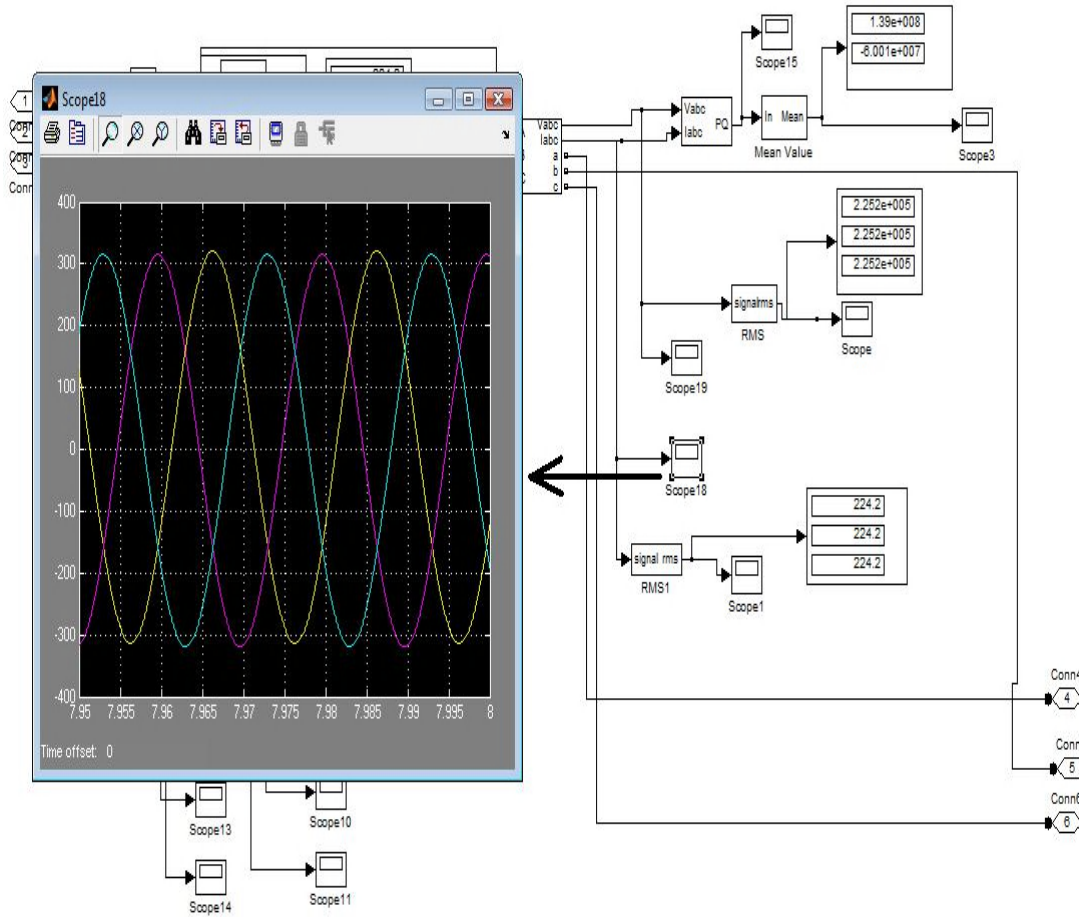
Bolu-Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesinin bilgisayar ortamında modellenmesinin simülasyon sonuçlarından elde edilen güç akışı ve kısa devre grafikleri aşağıda verilmiştir. Şekillerde bulunan göstergelerde (Display) etkin (efektif) değerler bulunmaktadır. Bu durum alternatif akımla çalışan ölçü aletlerinin tasarımından kaynaklanmaktadır. Buna karşın osiloskop (Scope) çıkışlarında sinüs dalgasının tepe değerleri görülmektedir.

6.1. Güç Akışı Grafikleri



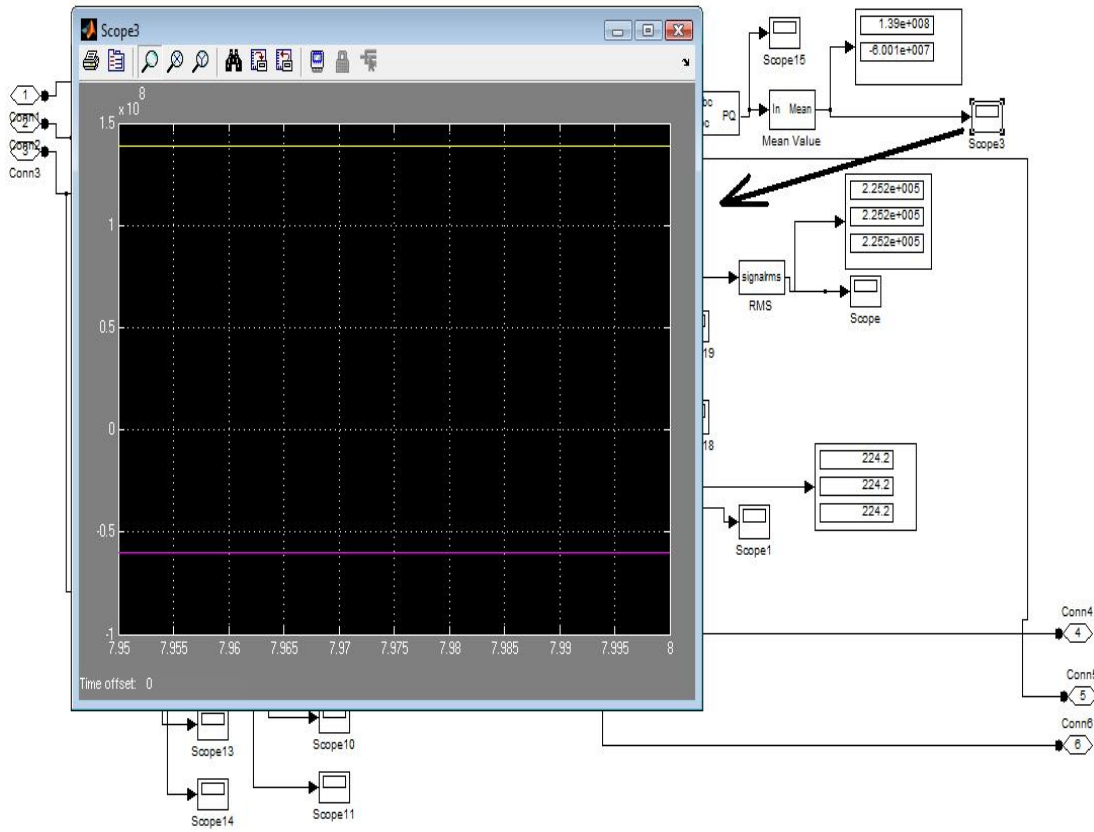
Şekil 6.1. Osmanca trafo merkezi 380 kV ana bara gerilim değerleri

Yukarıdaki şekil 6.1.'de Osmanca TM 'nin 380 kV kaynaktan beslenen ana bara gerilim değerlerinin değişimi görülmektedir. Güç akışı sonunda elde edilen gerilim değişim değerlerinin osiloskop görüntüsü bulunmaktadır. Göstergede $2,253 \times 10^5$ V olarak okunan değer, osiloskopda $3,186 \times 10^5$ V tepe değerine sahip sinüs dalgası olarak görülmektedir. Buna karşın gerilimler arasındaki faz açısı şeklindeki osiloskop çıkışından görülmektedir.



Şekil 6.2. Osmanca trafo merkezi 380 kV ana bara akım değerleri

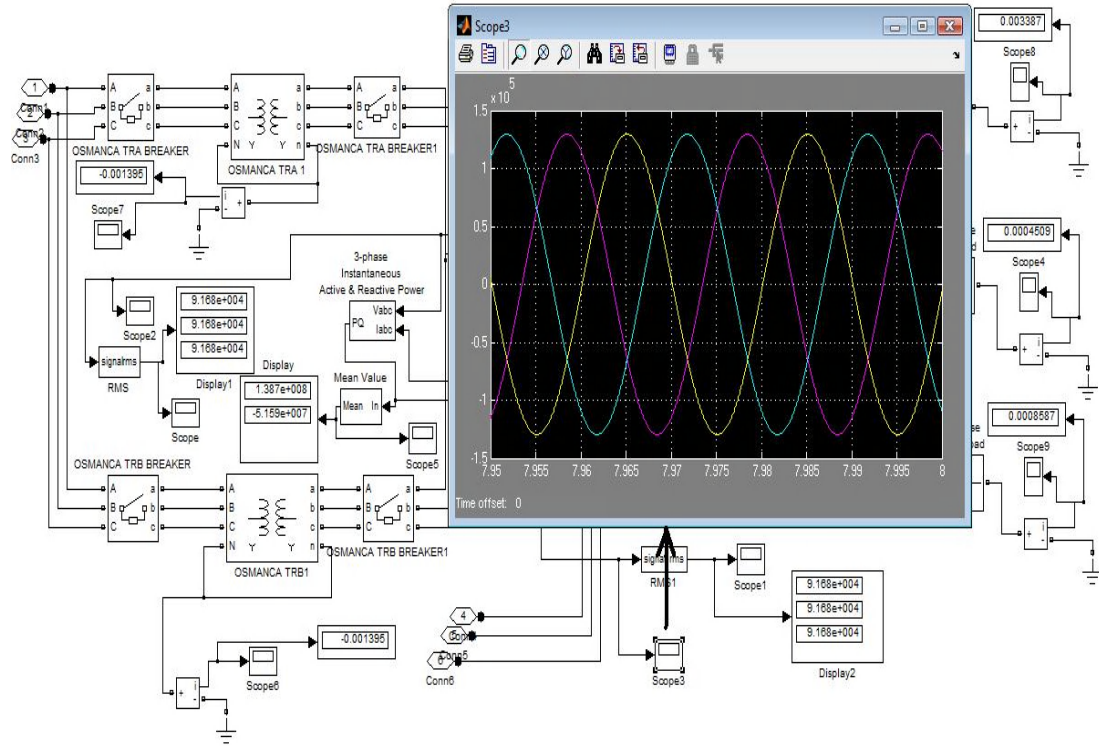
Yukarıdaki şekil 6.2.'de Osmanca TM 'nin 380 kV kaynaktan beslenen ana bara akım değerlerinin değişimi görülmektedir. Güç akışı sonunda elde edilen akım sonuç değerleri şekilde bulunan göstergede yer alırken, akım değişim değerleri osiloskop ekranından görülmektedir. Göstergede 224,2 A olarak okunan değer, osiloskopda 317 A tepe değerine sahip sinüs dalgası olarak görülmektedir. Buna karşın akımlar arasındaki faz açısı şeklindeki osiloskop çıkışından görülmektedir.



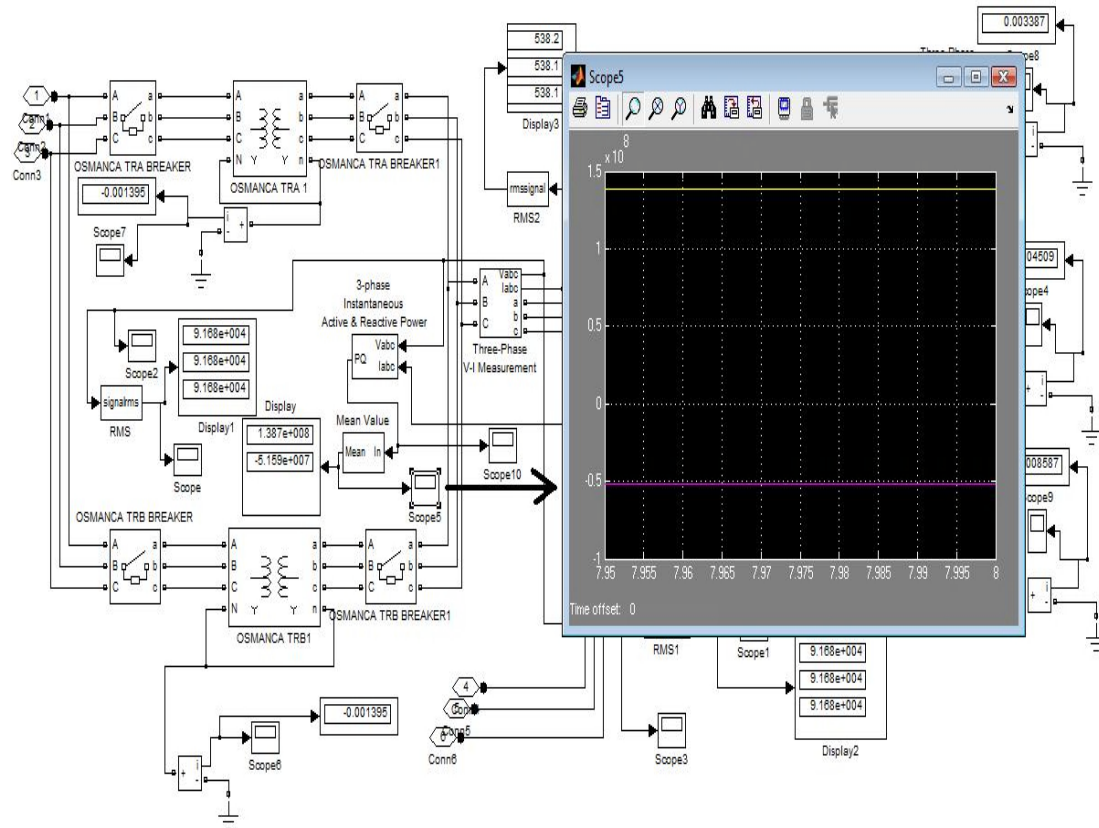
Şekil 6.3. Osmanca trafo merkezi 380 kV ana bara aktif ve reaktif güç değerleri

Yukarıdaki şekil 6.3.'de Osmanca TM 'nin 380 kV kaynaktan beslenen ana bara aktif ve reaktif güç değerlerinin değişimi görülmektedir. Tez çalışmamızda güç akışı sonunda elde edilen aktif ve reaktif güç sonuç değerleri şekil 6.3.'de bulunan göstergede yer alırken, aktif ve reaktif güç değişim değerleri osiloskop ekranından görülmektedir. Buradaki osiloskop çıkışı 380 kV kaynaktan beslenen iletim ve dağıtım şebekelerinin çektiği ortalama aktif ve reaktif güç değerleridir. Ekran görüntüsünün yukarı kısmında kalan sarı renkli değişim grafiği aktif gücü gösterirken, aşağı kısmında kalan bordo renkli değişim reaktif gücü göstermektedir.

Yukarıda bulunan şekillerde 380 kV gerilim kaynağı ana barasından beslenen Osmanca trafo merkezi ile buna bağlı iletim ve dağıtım şebekesinin güç akışı sonucundaki değişim değerleri görülmektedir. Aşağıdaki şekil 6.4. ve şekil 6.5.'de Osmanca TM 'de paralel olarak çalışan 2x150 MVA trafoların ikinci sargı çıkışından elde edilen gerilim, aktif ve reaktif güç değişim grafikleri bulunmaktadır.

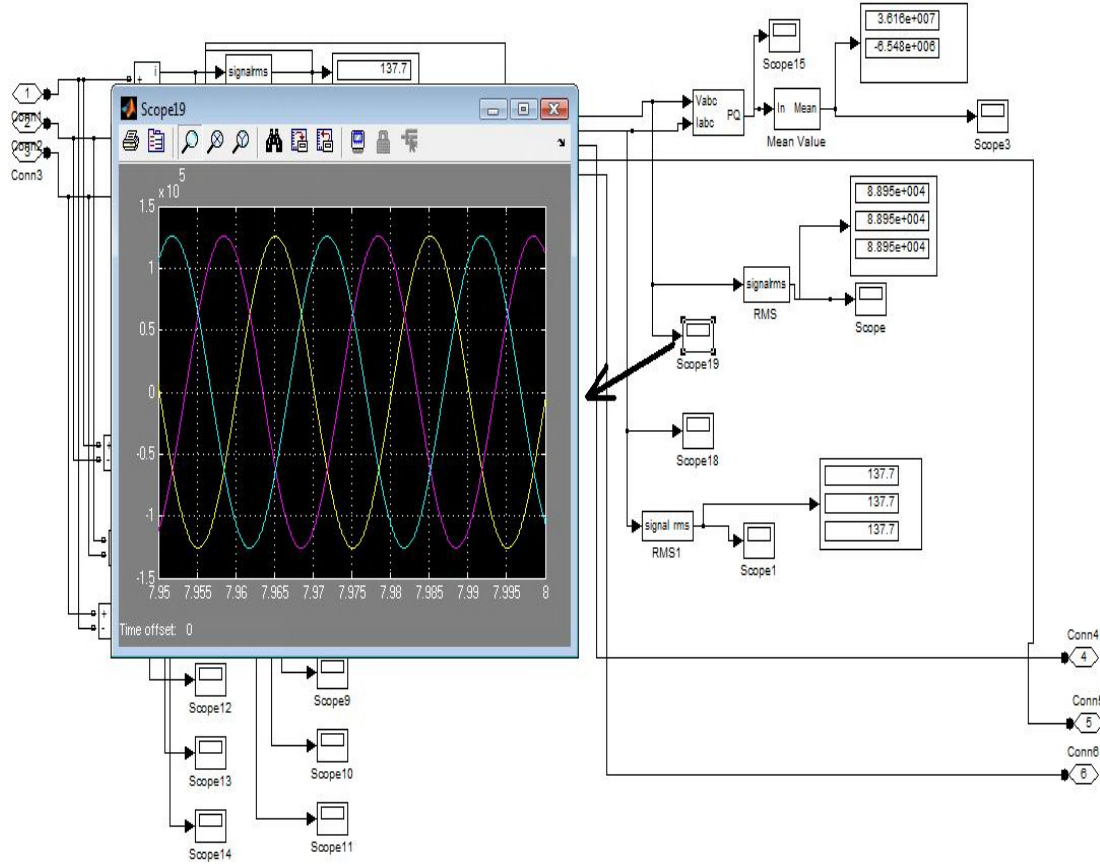


Şekil 6.4. Osmanca trafo merkezi 154 kV çıkış barası gerilim değerleri



Şekil 6.5. Osmanca trafo merkezi 154 kV çıkış barası aktif ve reaktif güç değerleri

Aşağıda şekil 6.6.'da Bolu I TM 'nin 154 kV iletim şebekesine bağlı birinci sargı ana bara gerilim değerlerinin değişimi bulunmaktadır.

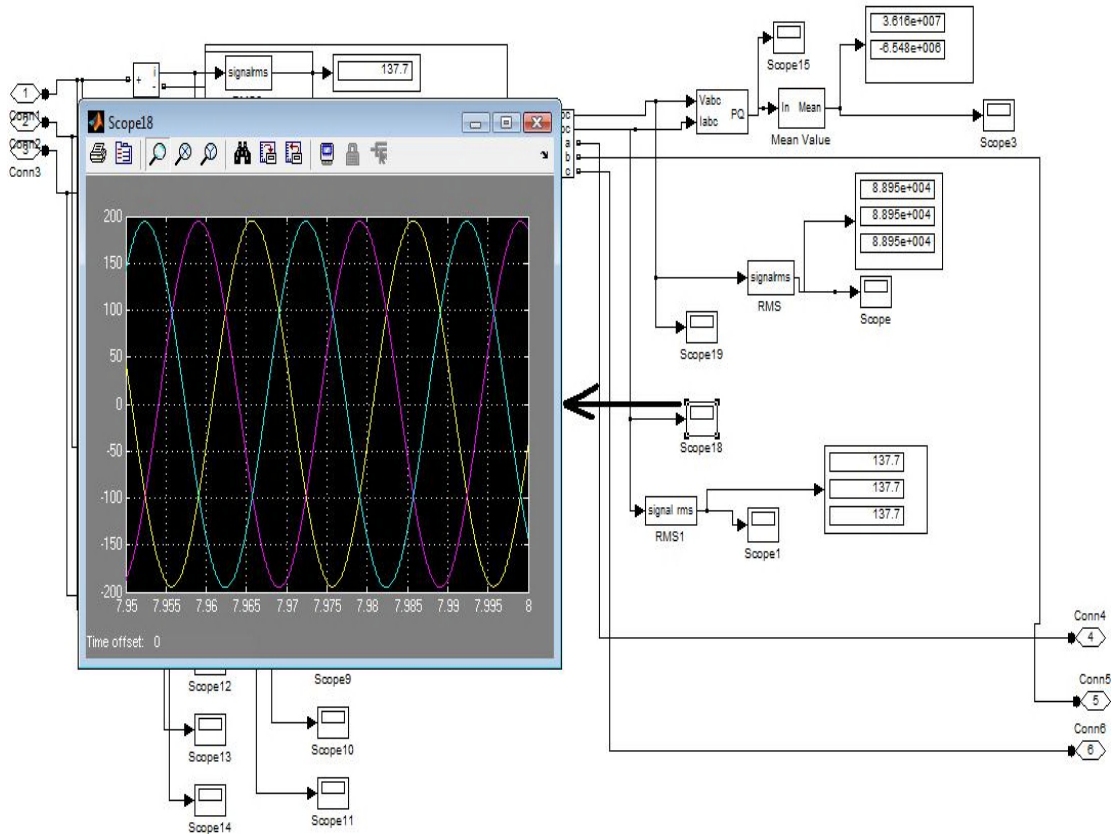


Şekil 6.6. Bolu I TM 154 kV giriş ana bara gerilim değerleri

Yukarıdaki şekilde göstergede $8,895 \times 10^4$ V olarak okunan ana bara giriş gerilim değeri osiloskopa $1,258 \times 10^5$ V tepe değerine sahip sinüs dalgası olarak görülmektedir. Göstergede $8,895 \times 10^4$ V olarak okunan gerilim değeri faz - nötr gerilimidir. Şekil 6.6.'da güç akışı sonucunda göstergede bulunan faz - nötr gerilim değerini $\sqrt{3}$ ile çarptığımız zaman faz - faz gerilim değerini $1,54 \times 10^5$ V olarak buluruz. Bolu I TM giriş ana bara gerilimleri arasındaki faz açısı şekildeki osiloskop çıkışında bulunan renkli sinüs dalga eğrilerinden görülmektedir.

Aşağıda şekil 6.7.'de Bolu I TM 'nin 154 kV iletim şebekesine bağlı birinci sargı taraf giriş ana bara akım değerlerinin değişimi bulunmaktadır. Aşağıda şekil 6.7.'deki göstergede 137,7 A olarak okunan etkin ana bara giriş akım değeri osiloskopa 194,7 A tepe değerine sahip sinüs dalgası olarak görülmektedir. Şekil 6.7.'de güç

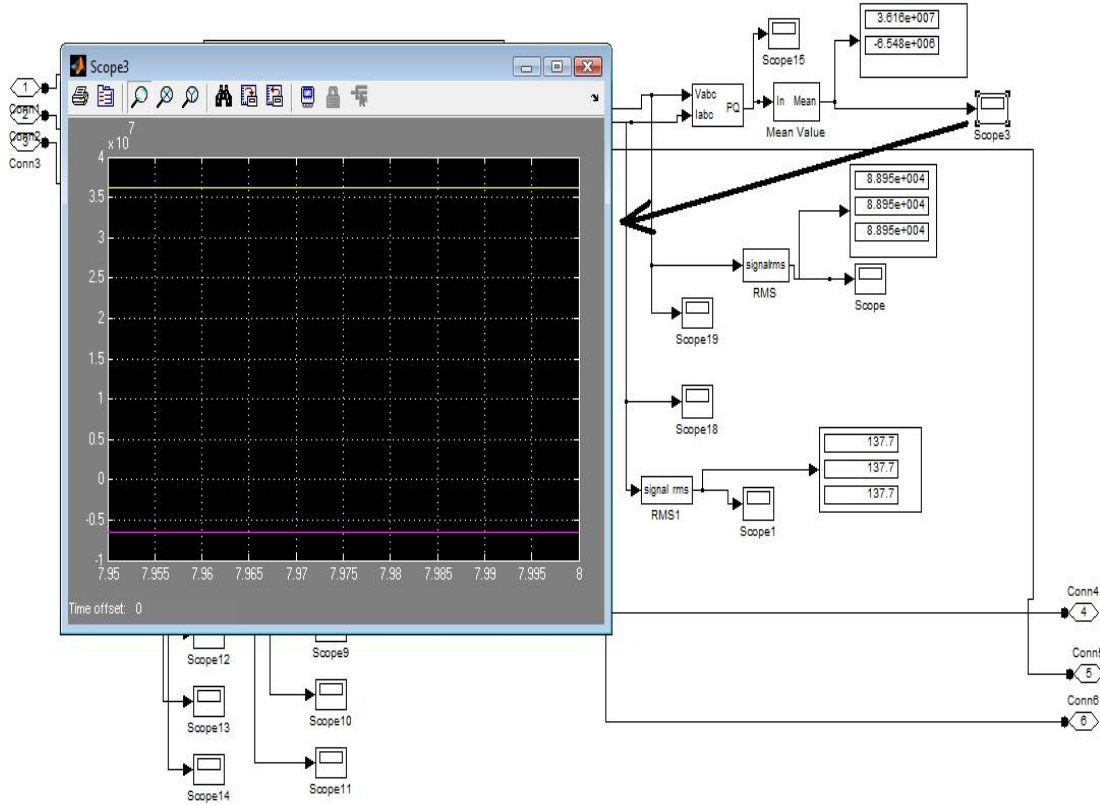
akışı sonucunda göstergede bulunan akım değerini $\sqrt{2}$ ile çarptığımız zaman akım değerini 194,7 A olarak buluruz. Bu durum alternatif akım ile çalışan ölçü cihazların tasarımından kaynaklanmaktadır. Bolu I TM giriş ana bara akımları arasındaki faz açısı şekilde bulunan osiloskop çıkışında bulunan renkli sinüs dalga eğrilerinden rahatlıkla görülmektedir.



Şekil 6.7. Bolu I TM 154 kV giriş ana bara akım değerleri

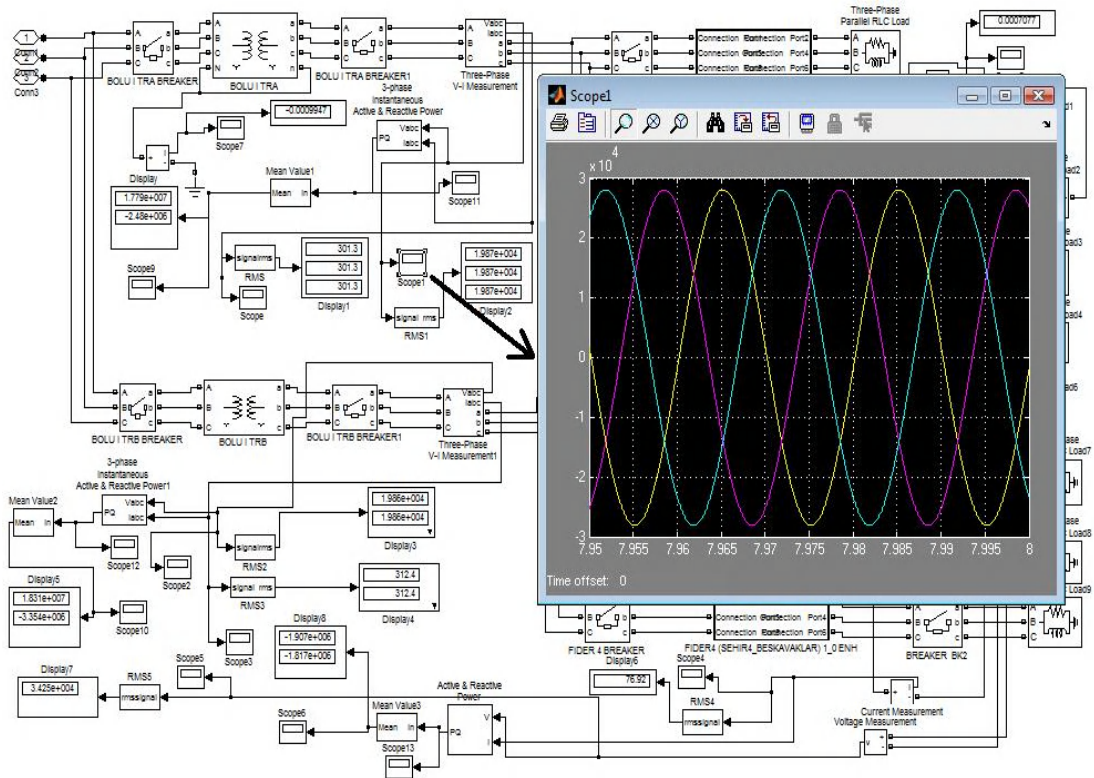
Aşağıda şekil 6.8.'de Bolu I TM 'nin 154 kV iletim şebekesine bağlı giriş ana bara aktif ve reaktif değerlerinin değişimi bulunmaktadır. Şekil 6.8.'de güç akışı sonucunda elde edilen ortalama aktif ve reaktif güçler bulunmaktadır. Grafikteki sarı renkli değişim ortalama aktif gücü, bordo renk ise ortalama reaktif gücü göstermektedir. Göstergede bulunan değerler Bolu I TM 'deki 154 / 34,5 kV, 2x25 MVA trafolarla bağlı yükler tarafından çekilen aktif ve reaktif yüklerdir. Bu yükleri Bolu I TM bağlı sanayi, ticarethane, şantiye, tarımsal sulama, aydınlatma ve mesken tüketici grupları oluşturmaktadır. Güç akışı sonucu elde edilen aktif ve reaktif güç

değerleri karşılaştırılarak, ilgili trafo merkezinin reaktif ceza oranına girmemesi için gerekli kondansatör ilavesi gerçekleştirilir.

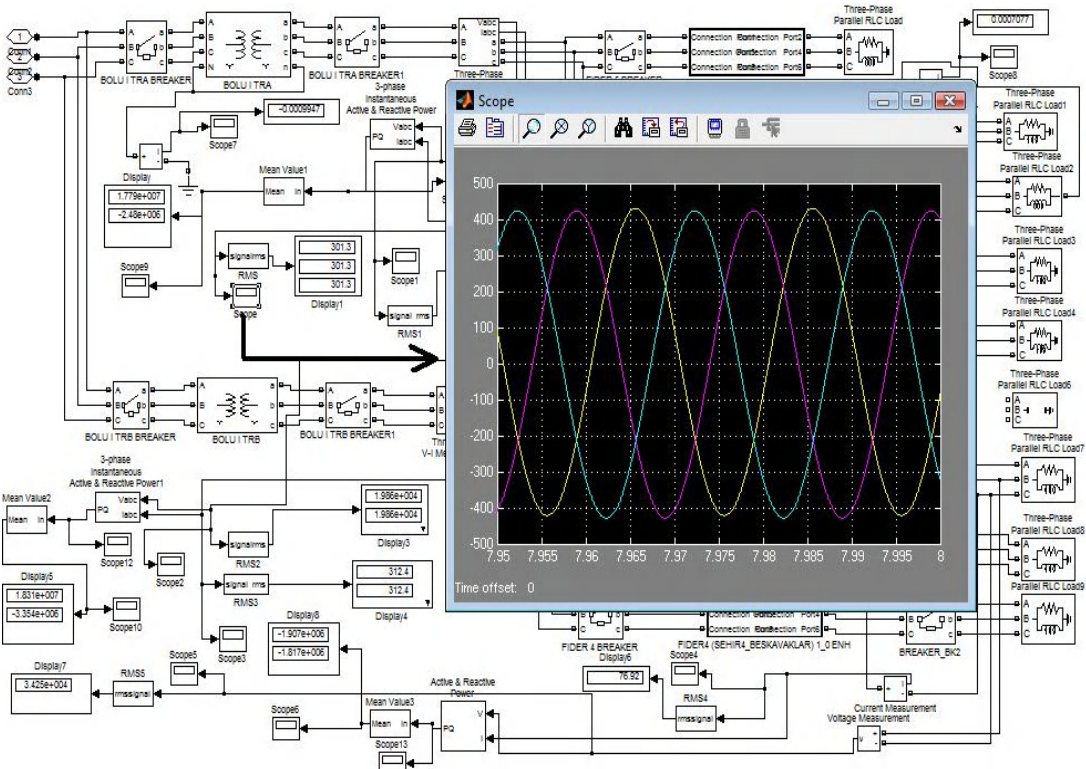


Şekil 6.8. Bolu I TM 154 kV giriş ana bara aktif ve reaktif güç değerleri

Aşağıdaki şekil 6.9.'da Bolu I TM 154 / 34,5 kV, 25 MVA TRA çıkış bara gerilim değişim grafiği bulunmaktadır. Aşağıdaki şekil 6.9.'da ok ile gösterilen osiloskopda $2,81 \times 10^4$ V tepe değerine sahip sinüs dalgası olarak görülmektedir. Osiloskopda görülen gerilimin tepe değerini $\sqrt{2}$ 'ye böldüğümüzde şekilde görülen göstergede $1,987 \times 10^4$ V olarak TRA çıkış gerilim değerini buluruz. Göstergede $1,987 \times 10^4$ V olarak okunan gerilim değeri Bolu I TM, TRA 'dan beslenen fider ile Ek E 'deki yüklerin faz - nötr gerilimi olup, bu değeri $\sqrt{3}$ ile çarpıldığında $3,44 \times 10^4$ V olarak faz - faz gerilim değeri bulunur. Şekilde TRA 'dan beslenen yüklerdeki gerilim değerleri ile çıkış bara gerilimi karşılaştırılırsa enerji nakil hattında oluşan gerilim düşümü ve hat kayıpları bulunur.

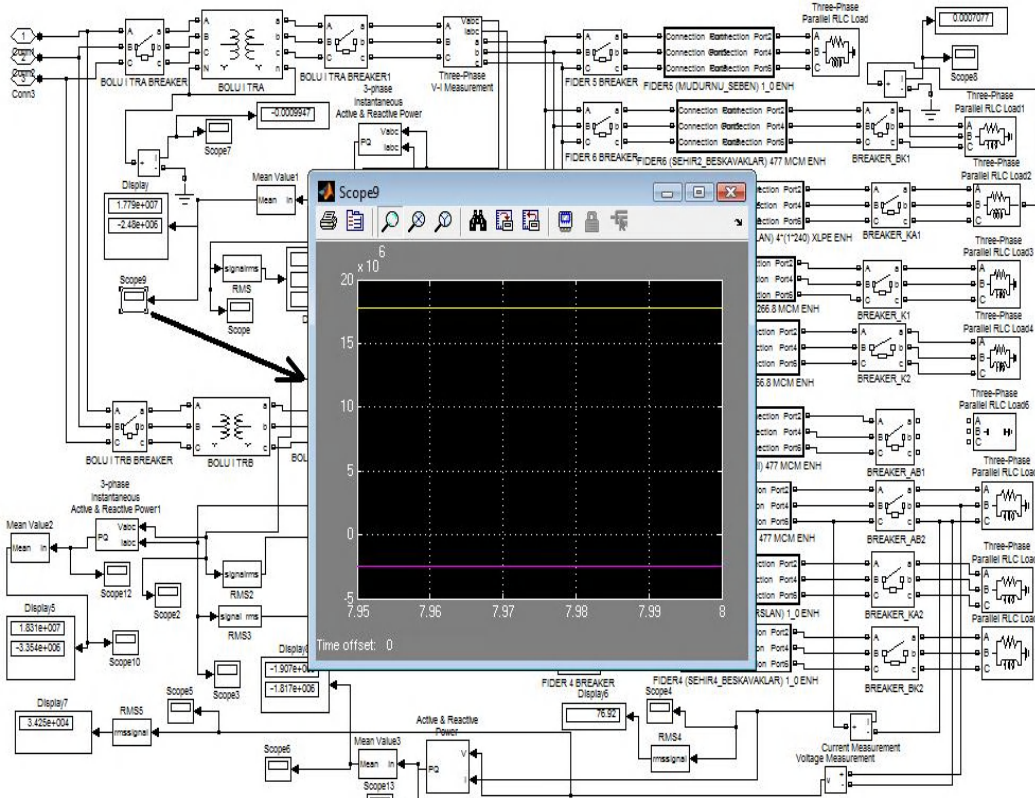


Şekil 6.9. Bolu I TM 154 / 34,5 kV, 25 MVA TRA çıkış bara gerilim değerleri



Şekil 6.10. Bolu I TM 154 / 34,5 kV, 25 MVA TRA çıkış bara akım değerleri

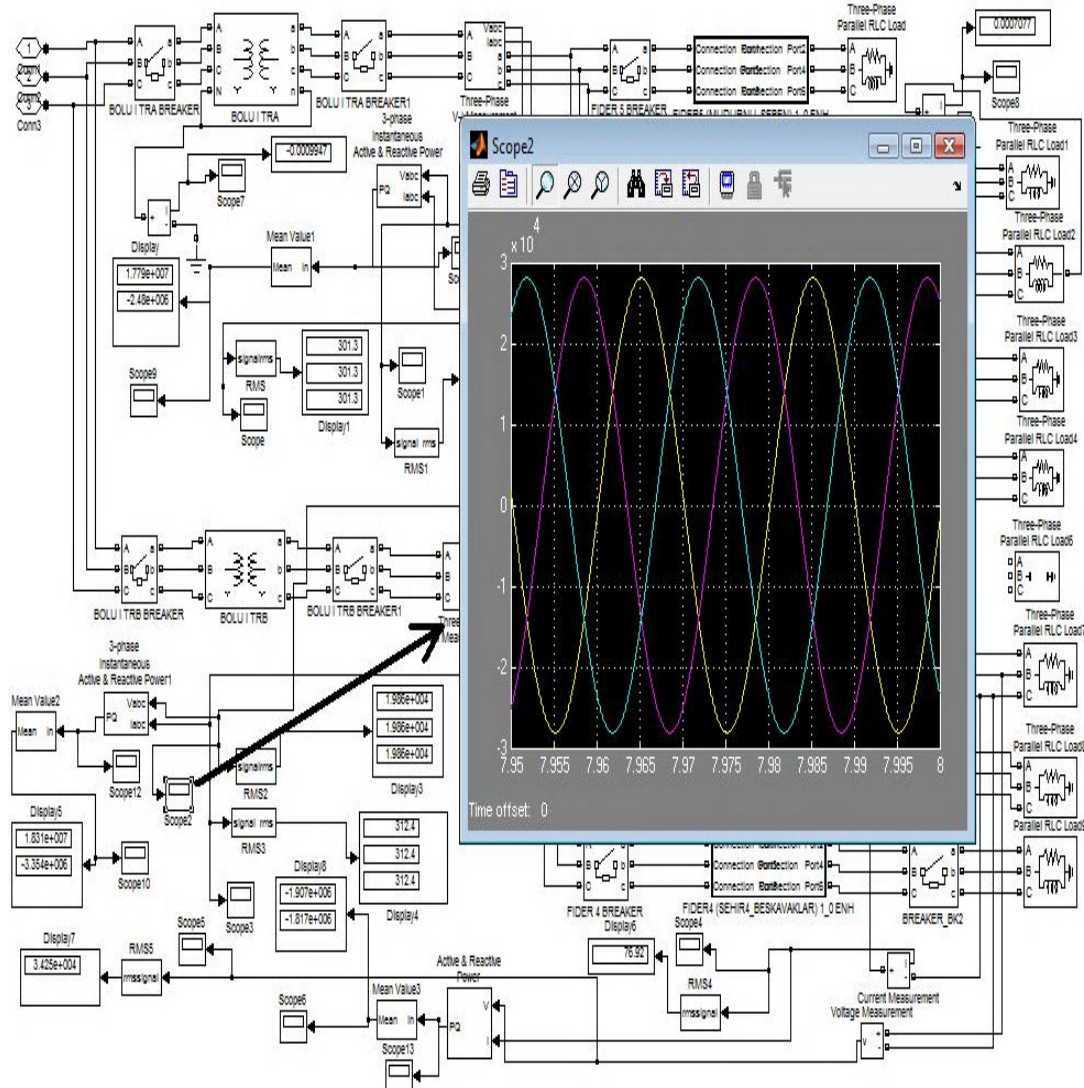
Yukarıdaki şekil 6.10.'da Bolu I TM 154 / 34,5 kV, 25 MVA TRA çıkış bara akım değişim grafiği bulunmaktadır. Şekil 6.10.'daki göstergede 301,3 A olarak okunan etkin ana bara giriş akım değeri ok ile gösterilen osiloskopda 426,1 A tepe değerine sahip sinüs dalgası olarak görülmektedir. Yukarıdaki grafikte görünen akım değeri 34,5 kV gerilim seviyesinde TRA beslenen yükler tarafından çıkış barasında çekilen akım değerleridir.



Şekil 6.11. Bolu I TM 154 / 34,5 kV, 25 MVA TRA çıkış bara aktif ve reaktif güç değerleri

Yukarıda şekil 6.11.'de Bolu I TM 154 / 34,5 kV, 25 MVA TRA çıkış bara aktif ve reaktif değerlerinin değişimi bulunmaktadır. Şekil 6.11.'de güç akışı sonucunda Bolu I TM, 154 / 34,5 kV, 25 MVA TRA çıkışından elde edilen ortalama aktif ve reaktif güçler bulunmaktadır. Göstergede bulunan aktif ve reaktif güç değerleri Bolu I TM, 25 MVA TRA 'ya bağlı yükler tarafından çekilmektedir. Güç akışı sonunda 25 MVA trafo çıkış bara aktif ve reaktif yükleri takip edilerek mevcut trafoya ilave edilebilecek güç bilgisine ulaşarak, enerji planlaması yapılmaktadır. Bununla birlikte trafonun yüklenme sınırına ulaşması durumunda, trafodan beslenen yüklerin mevcut ring dağıtım hatları vasıtasıyla kapasitesi uygun olan trafolarla aktarımı

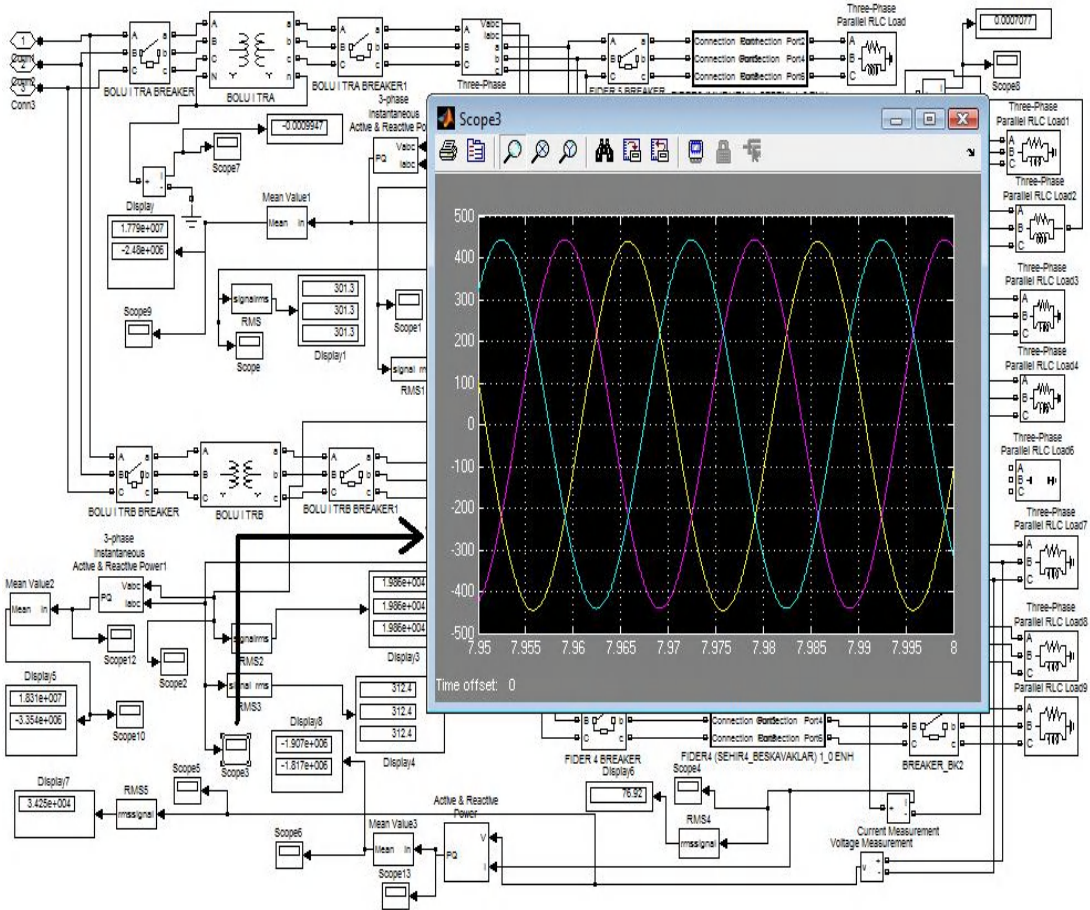
gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca fiderlere takılacak sayaçlar vasıtası ile de reaktif güç takibi yapılarak, gerekli yerlere kondansatör ilavesiyle enerji kalitesinin yükseltilmesi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 6.12. Bolu I TM 154 / 34,5 kV, 25 MVA TRB çıkış bara gerilim değerleri

Yukarıdaki şekil 6.12.'de Bolu I TM, 154 / 34,5 kV, 25 MVA TRB çıkış bara gerilim değişim grafiği bulunmaktadır. Yukarıda şekil 6.12.'de ok ile gösterilen osiloskopda 2.81×10^4 V tepe değerine sahip sinüs dalgası görülürken, bu değer in şekil 6.9. ile aynı olduğu görülmektedir. Göstergede $1,987 \times 10^4$ V olarak okunan gerilim değeri Bolu I TM, TRB 'dan beslenen fider ile Ek E 'deki yüklerin faz - nötr gerilimi olup, bu değeri $\sqrt{3}$ ile çarpıldığında $3,44 \times 10^4$ V olarak faz – faz gerilim değeri bulunur. Şekilde TRB 'den beslenen fider enerji nakil hatlarında oluşan gerilim düşümü ve

güç kayıp analizi ile işlem yapılan dağıtım hattının yük planlaması yapılarak, yatırım programı oluşturulabilmektedir.

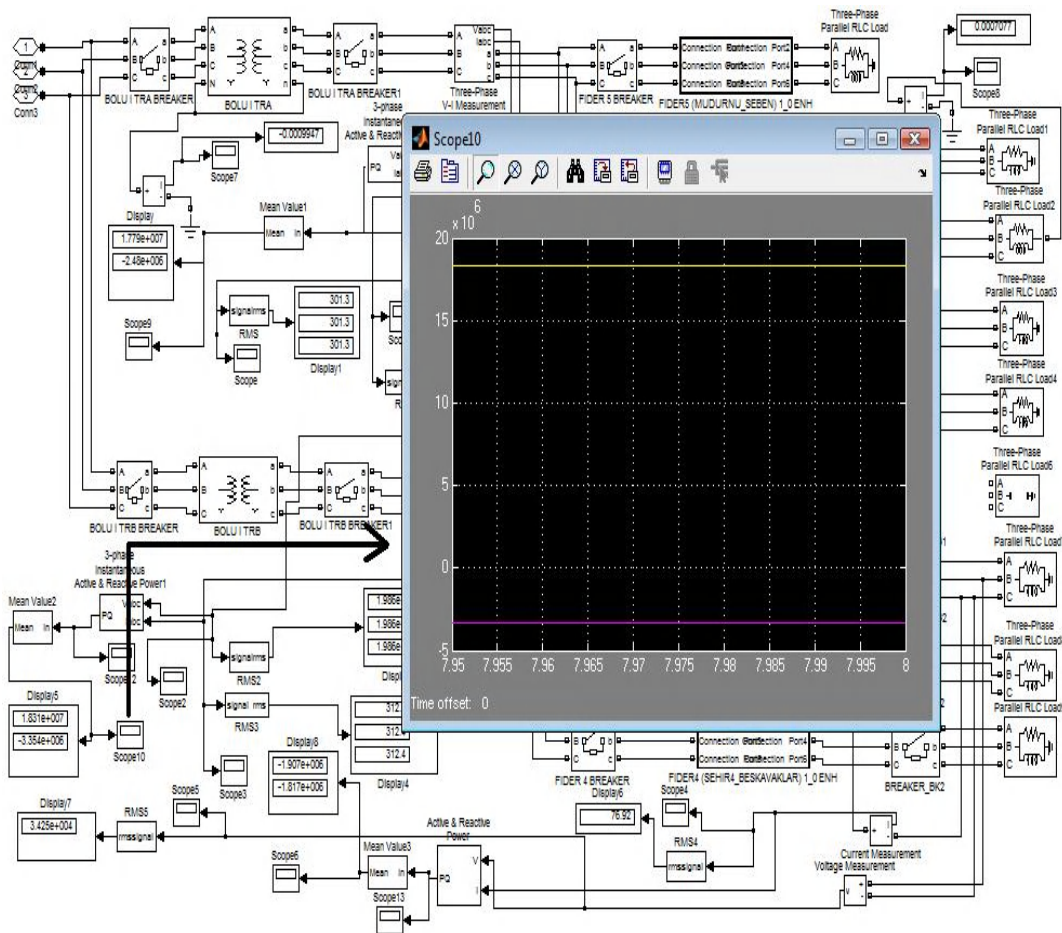


Şekil 6.13. Bolu I TM 154 / 34,5 kV, 25 MVA TRB çıkış bara akım değerleri

Yukarıdaki şekil 6.13.'da Bolu I TM 154 / 34,5 kV, 25 MVA TRB çıkış bara akım değişim grafiği bulunmaktadır. Şekil 6.13.'daki göstergede 312,4 A olarak okunan etkin ana bara giriş akım değeri ok ile gösterilen osiloskopda 441,8 A tepe değerine sahip sinüs dalgası olarak görülmektedir. Yukarıdaki şekil 6.13.'de görünen akım değeri 34,5 kV gerilim seviyesinde TRB beslenen yükler tarafından çıkış barasında çekilen akım değerleridir. Şekil 6.13. ve şekil 6.10. karşılaştırıldığında TRA ile TRB 'den çekilen akımların yaklaşık aynı olduğu görülmektedir. Buradan Bolu I TM 'de yüklerin TRA ve TRB 'ye dengeli olarak dağıtıldığı görülmektedir.

Aşağıdaki şekil 6.14.'de Bolu I TM, 154 / 34,5 kV, 25 MVA TRB çıkış bara aktif ve reaktif değerlerinin değişimi bulunmaktadır. Şekil 6.14.'de güç akışı sonucunda Bolu I TM, 154 / 34,5 kV, 25 MVA TRB 'den beslenen yükler tarafından çekilen ortalama aktif ve reaktif güçler bulunmaktadır. Şekildeki göstergeden TRB 'den 18,31 MW aktif, 3,354 MVAR reaktif gücün tüketiciler tarafından çekildiği görülmektedir.

Trafonun görünür gücünün $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ olduğundan hareketle TRB trafosunun kullanılan görünür gücü $\sqrt{((18,31)^2 + (3,354)^2)} = 18,61$ MVA olarak bulunur. Buradan mevcut 25 MVA trafonun 18,61 MVA 'sı kullanıldığından 6,39 MVA ilave yükleme yapılacağı bulunur. Yük akışı sonucunda TRA 'da yapılanlar TRB 'de de uygulanarak enerji verimliliği gerçekleştirilir.



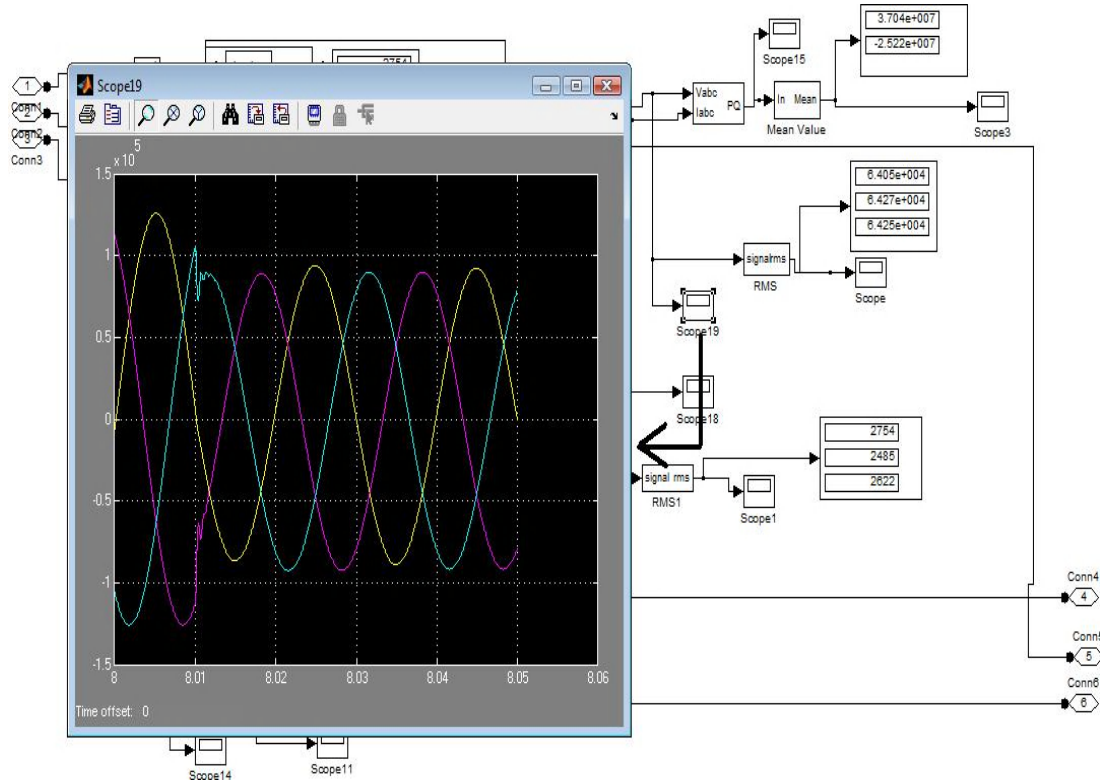
Şekil 6.14. Bolu I TM 154 / 34,5 kV, 25 MVA TRB çıkış bara aktif ve reaktif güç değerleri

Bolu I TM 'de 25MVA trafolar ayrı çalışmakta olup, her iki trafonun aktif ve reaktif güçleri toplandığında şekil 6.8.'deki aktif ve reaktif güç sonucunu vermektedir. Bu sonuca şekil 6.11., şekil 6.14. ve şekil 6.8.'deki grafiklere dikkatli bakıldığında ulaşılmaktadır.

Ek F 'de Kaynaşlı TM, Bolu II TM, Çimento TM, Gerkonsan TM, Mudurnu TM ile Sarıyar Santralının güç akışı sonucunda elde edilen giriş ve çıkış gerilim, akım, aktif ve reaktif güç değişim grafikleri bulunmaktadır.

6.2. Kısa Devre Grafikleri

Tez çalışmamız üç fazlı kısa devre hatası incelenmiştir. Bunun nedeni üç fazlı kısa devre durumunda devreden en büyük akımın geçmesidir. Şebekedeki üç fazlı kısa devre nedeniyle en büyük akım oluşur. Kısa devre analizinin yapılmasının amacı kesicilerin açma gücünü hesaplayarak, ilgili bölgedeki röle koordinasyonunu sağlamaktır.

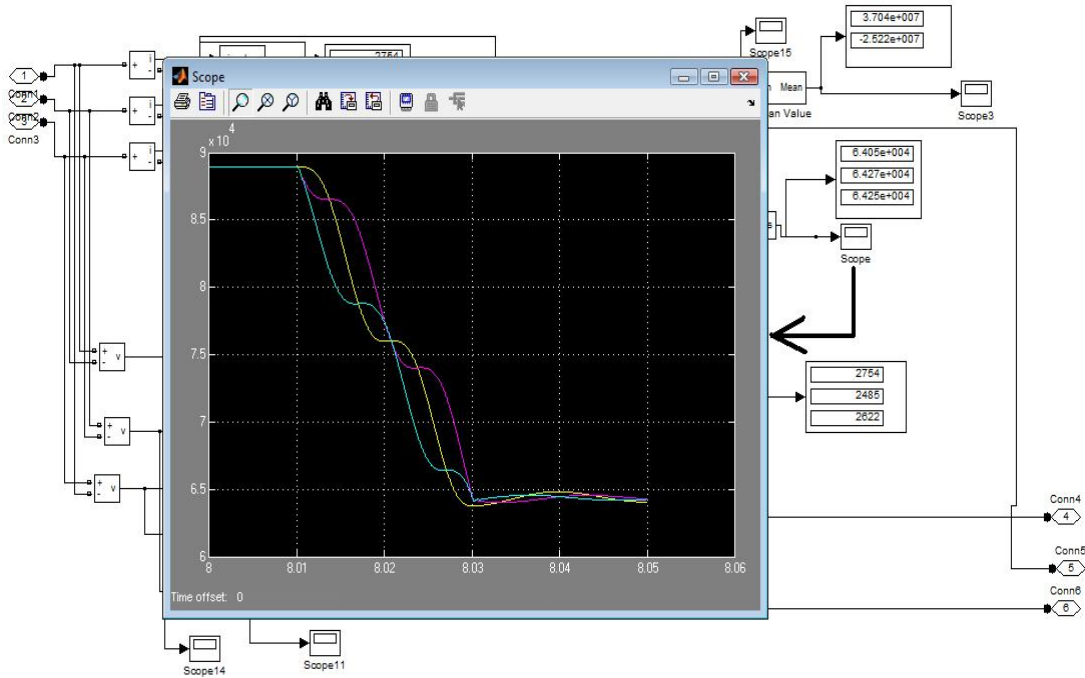


Şekil 6.15. Bolu I TM 154 kV giriş ana bara kısa devre gerilim değerleri

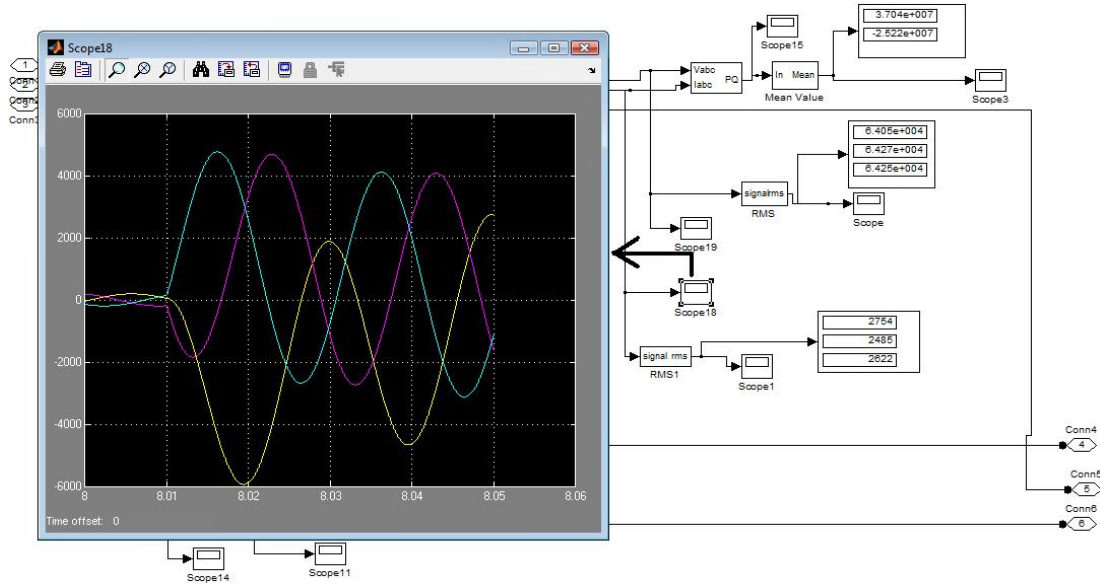
Tez çalışmamızın bu bölümünde Bolu I TM, TRA Fider 7 enerji dağıtım hattının sonunda 8,01 sn ile 8,05 sn arasında meydana gelen üç fazlı kısa devre analizi bulunmaktadır.

Yukarıdaki şekil 6.15.'de Bolu I TM giriş ana barası kısa devre sonucundaki gerilim değişim değerleri görülmektedir. Bolu I TM, TRA Fider 7 enerji nakil hattının sonunda oluşan kısa devrede Bolu I TM 'nin giriş kısmındaki gerilim grafiğinde gerilim çökmesinin olduğunu şekil 6.15.'den rahatlıkla görmekteyiz. Kısa devrenin şebekede gerçekleşmesi 8,01 saniyede başlamaktadır. Bu zaman dilimine kadar şebekede güç akışı sonucundaki gerilim değişimleri 154 kV seviyesinde iken, bu süreden sonra 111,3 kV seviyesine düştüğü görülmektedir. Şekil 6.15.'de bulunan göstergede kısa devre sonundaki gerilim değerleri $6,425 \times 10^4$ V olarak görülmektedir.

Aşağıdaki şekil 6.16.'da kısa devre sonucundaki gerilim değişimin ortalama değerleri bulunmaktadır. Şekil 6.16.'da kısa devre öncesinde $8,895 \times 10^4$ V (Bkz. Şekil 6.6) ortalama gerilim değeri görülürken, kısa devre sonunda $6,425 \times 10^4$ V olarak görülmektedir.

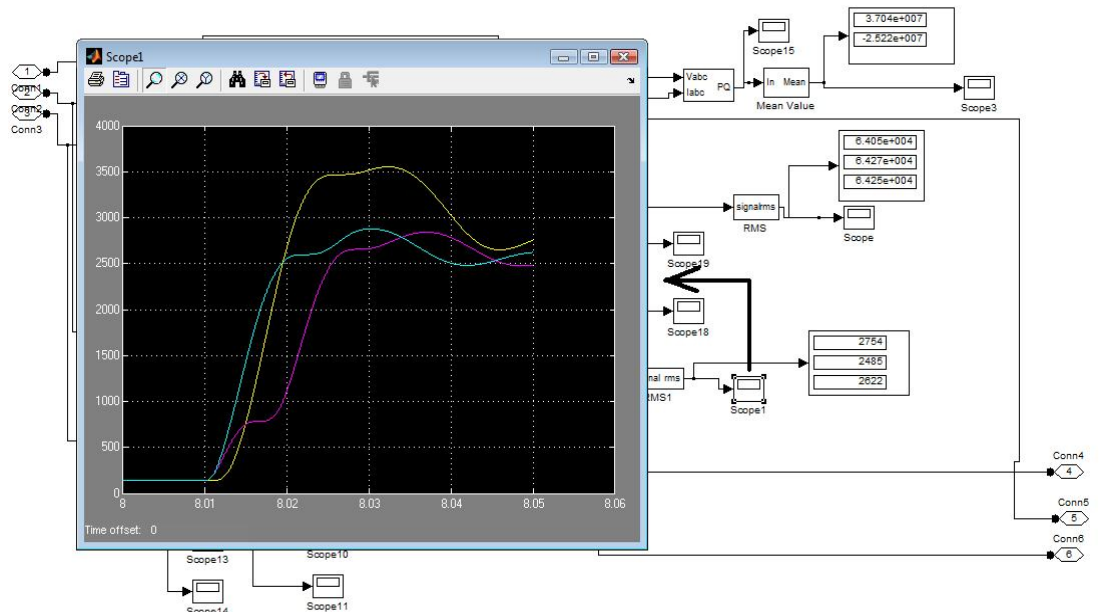


Şekil 6.16. Bolu I TM 154 kV giriş ana bara kısa devre ortalama gerilim değerleri



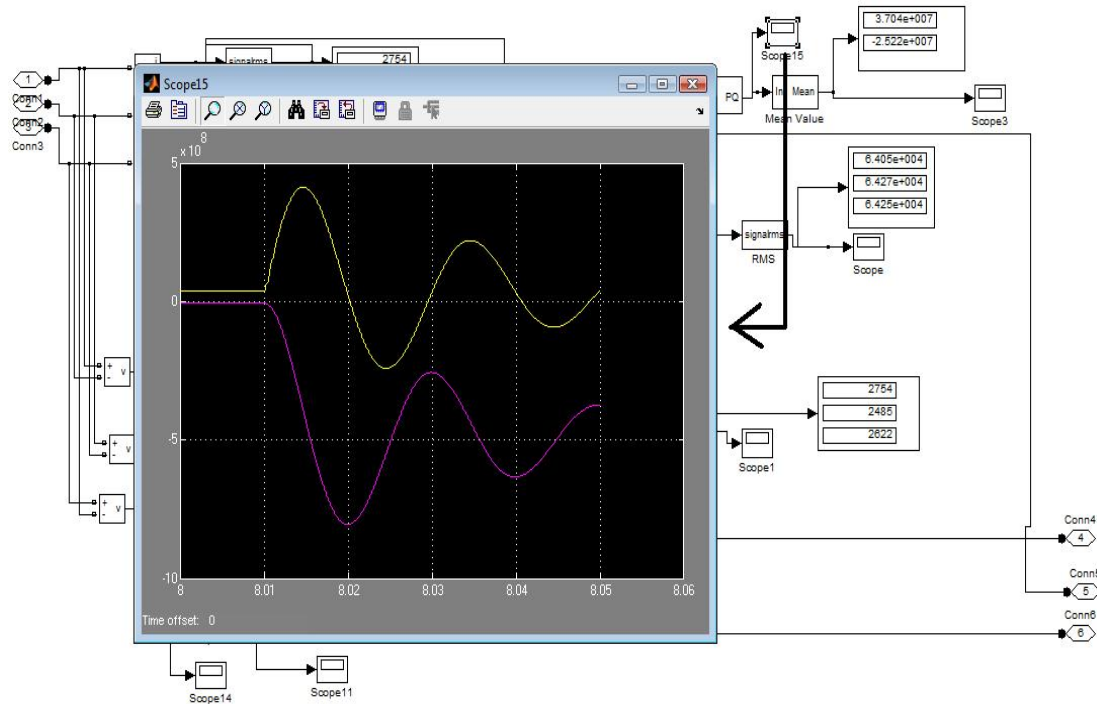
Şekil 6.17. Bolu I TM 154 kV giriş ana bara kısa devre akım değerleri

Yukarıdaki şekil 6.17.'de Bolu I TM 'nin giriş ana barasında üç faz hatasından dolayı akım değişim grafiği bulunmaktadır. Şekilde görüldüğü üzere kısa devreden önce akımlar dengeli iken, hatanın olduğu 8,01 sn ile 8,05 sn arasında dengenin bozulduğu ve akım değerlerinin yükseldiği görülmektedir. Kısa devreden önceden göstergede 137,7 A (Bkz. Şekil 6.7) olarak okunan değer, hata sonunda 2500 A seviyesine ulaşmıştır.



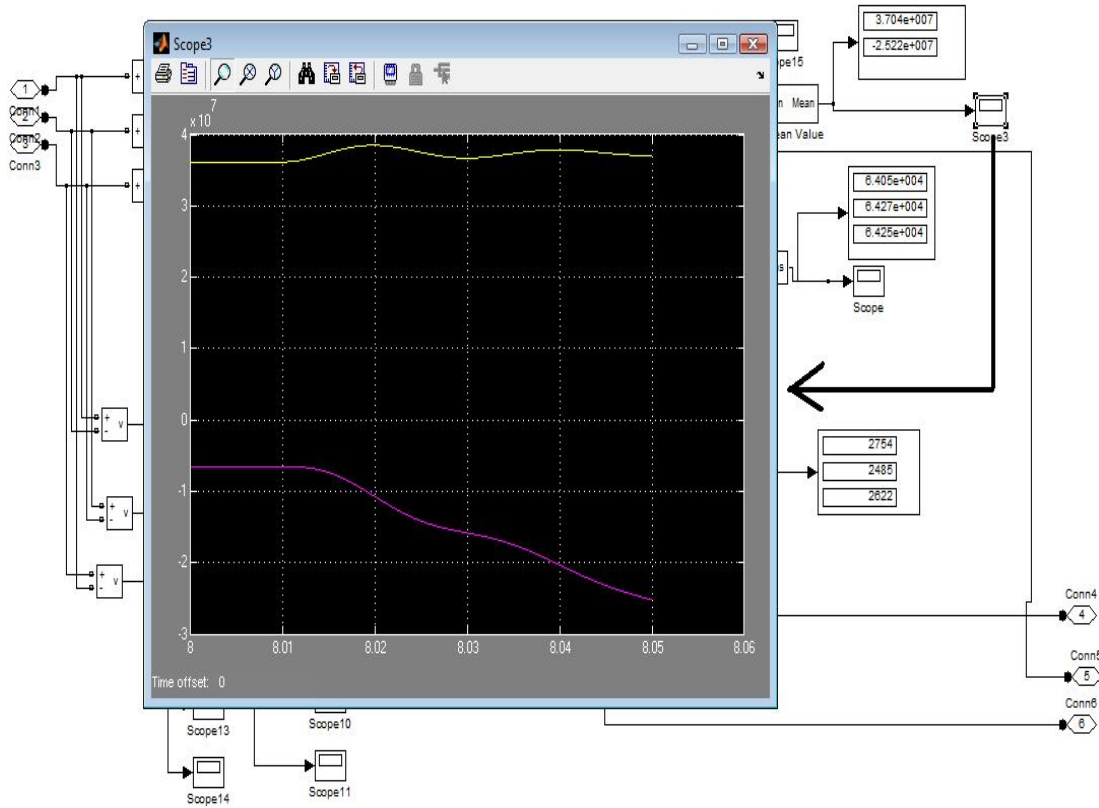
Şekil 6.18. Bolu I TM 154 kV giriş ana bara kısa devre ortalama akım değerleri

Yukarıdaki şekil 6.18.'de Bolu I TM 'nin giriş ana barasında üç faz hata sonucundaki ortalama akım değişimi bulunmaktadır. Şekilde görüldüğü üzere kısa devreden önce ortalama akımların dengeli iken, hatanın olduğu 8,01 sn ile 8,05 sn arasında dengenin bozulduğu ve ortalama akım değerlerinin değiştiği görülmektedir. Şekil 6.18.'deki osiloskop görüntüsüne baktığımızda kısa devre sonucunda akım değerini 20 kat yükseldiği görülmektedir. Bir trafoda kısa devre gerilim değeri ne kadar küçük ise o trafodan geçebilecek nominal kısa devre akım o derece büyük olur. Bu sonuç $I_k = I_n / u_k$ bağıntısından elde edilmektedir.



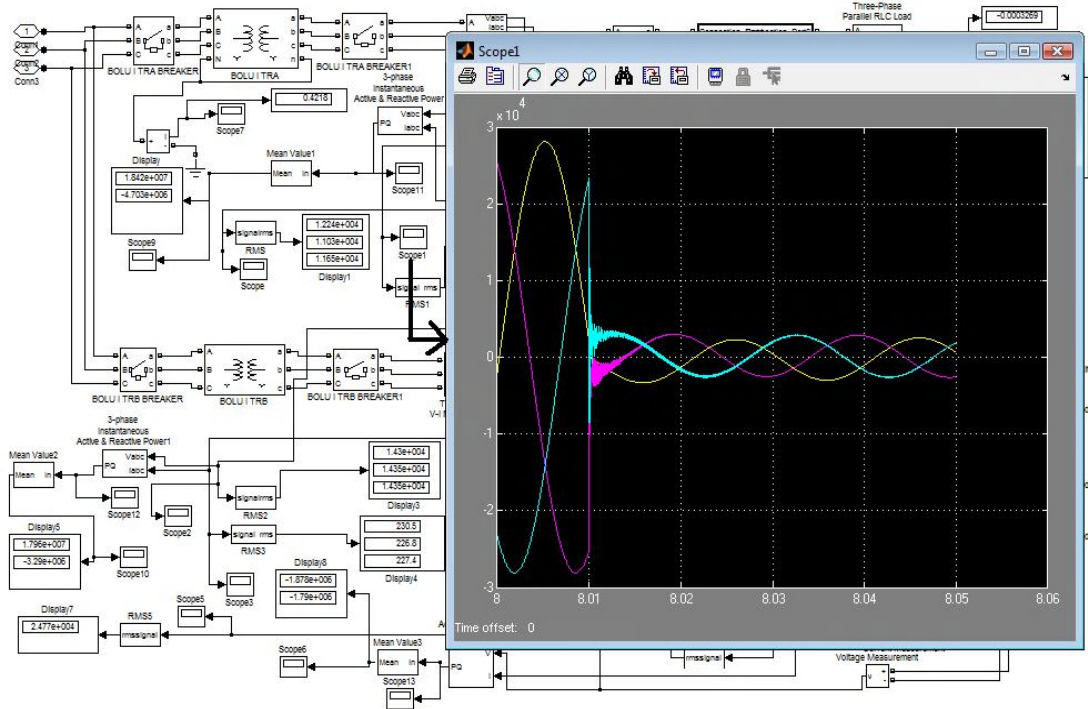
Şekil 6.19. Bolu I TM 154 kV giriş ana bara kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri

Yukarıdaki şekil 6.19.'da Bolu I TM 'nin giriş ana barasında üç faz hata sonucundaki aktif ve reaktif güç değişimi bulunmaktadır. Şekil 6.19.'da görüldüğü üzere Bolu I TM kısa devreden önce $3,616 \times 10^7$ W aktif, $6,543 \times 10^6$ VAR reaktif güç (Bkz. Şekil 6.11) çekerken, kısa devrenin sona erdiği 8,05 saniyede $3,754 \times 10^7$ W aktif, $2,522 \times 10^7$ VAR reaktif güç çekilmektedir. Bu durum kısa devre sonucunda oluşan gerilim çökmesi ve akım değerlerinin artması nedeniyle meydana gelmektedir. Aşağıdaki şekil 6.20.'de Bolu I TM giriş ana bara kısa devre ortalama aktif ve reaktif güç değişim grafiği bulunmaktadır. Bu iki şekilde kısa devre sonucunda giriş ana bara güç değişimleri daha ayrıntılı görünmektedir.

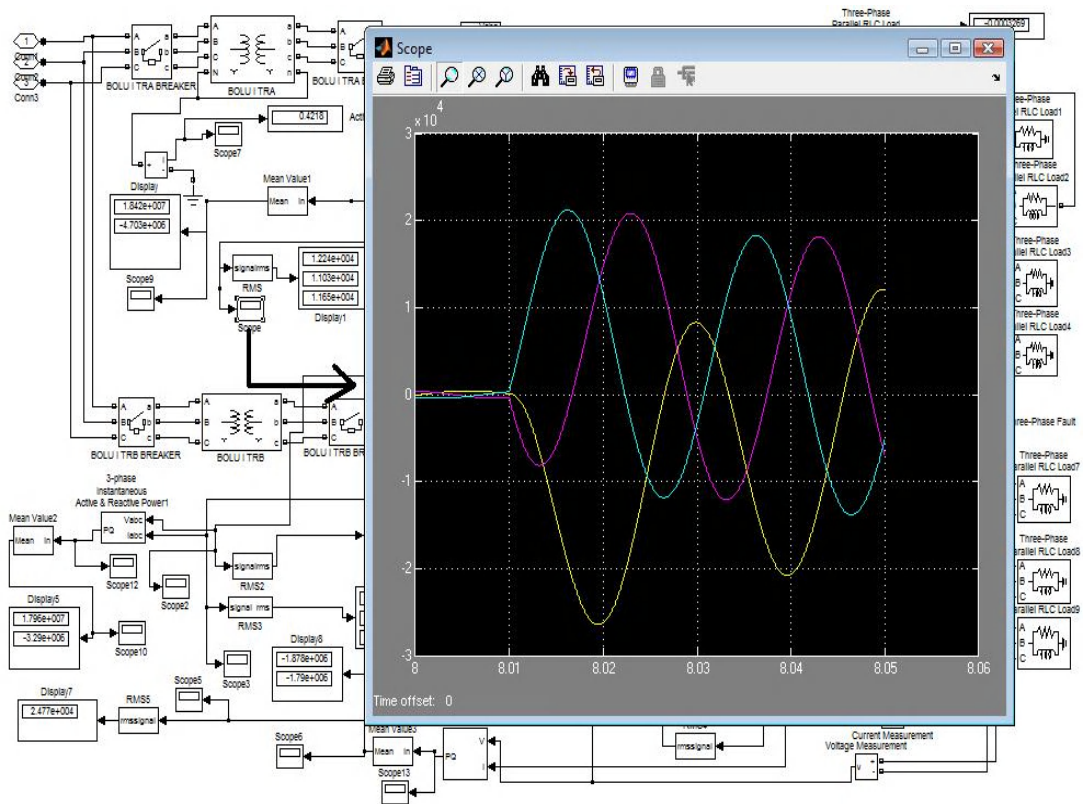


Şekil 6.20. Bolu I TM 154 kV giriş ana bara kısa devre ortalama aktif ve reaktif güç değerleri

Aşağıdaki şekil 6.21.'de Bolu I TM, 154 / 34,5 kV 25 MVA TRA' nın çıkış barasında kısa devre sonucu gerilim değişim değerleri görülmektedir. Bolu I TM, TRA Fider 7 enerji nakil hattında yükten önce oluşan kısa devrede TRA' nın 34,5 kV çıkış barasında gerilim çökmesi şekil 6.21.'deki osiloskop görüntüsünde 8,01 saniyeden sonra görülmektedir. Bu zaman dilimine kadar şebekede gerilim değişimleri $2,81 \times 10^4$ V (Bkz. Şekil 6.9) seviyesinde iken, bu süreden sonra $4,57 \times 10^3$ V seviyesine düştüğü görülmektedir. Bu çıkış barasındaki gerilim düşümünün büyük değerde olması kısa devrenin olduğu noktaya en yakın ve ilk besleme yeri olmasından kaynaklanmaktadır. Kısa devre hatasından 0,01 saniye sonra gerilim seviyesindeki çökmenin dengeli olarak kaldığı şekil 6.21.'de görülmektedir. Ayrıca sekilden 8,01 ile 8,02 saniye arasında gerilim çökmesinin hızlı ve değişkenliğinin sık olduğu görülmektedir.

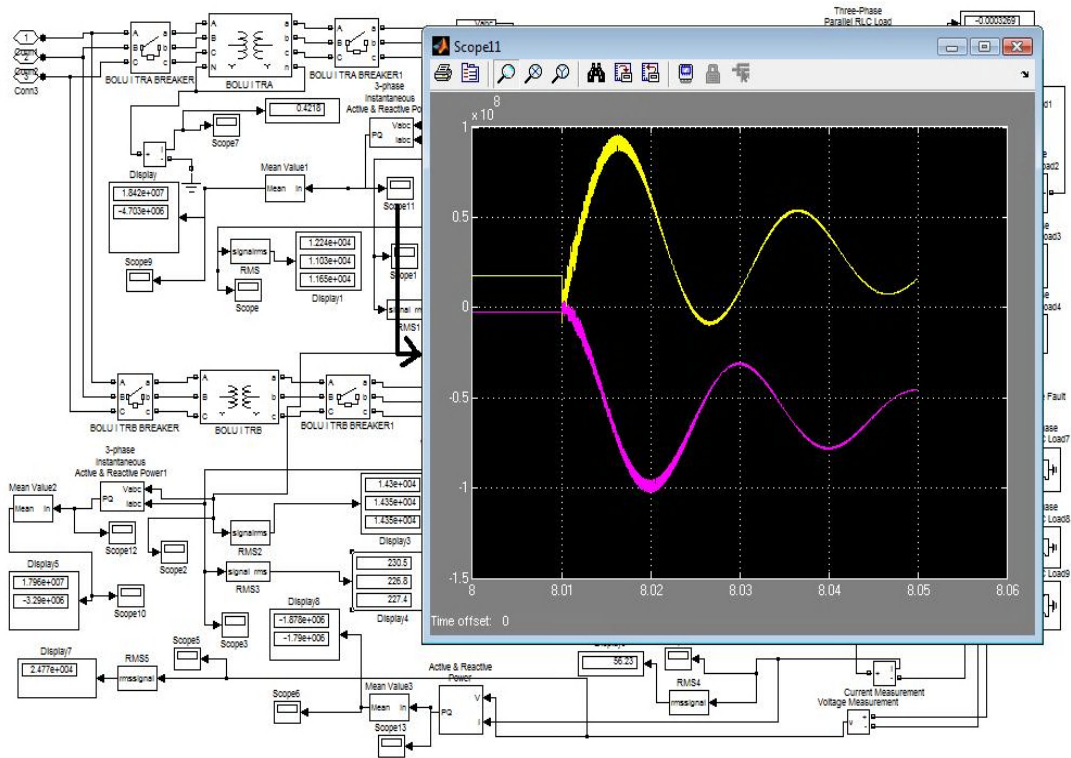


Şekil 6.21. Bolu I TM 34,5 kV TRA çıkış bara kısa devre gerilim değerleri



Şekil 6.22. Bolu I TM 34,5 kV TRA çıkış bara kısa devre akım değerleri

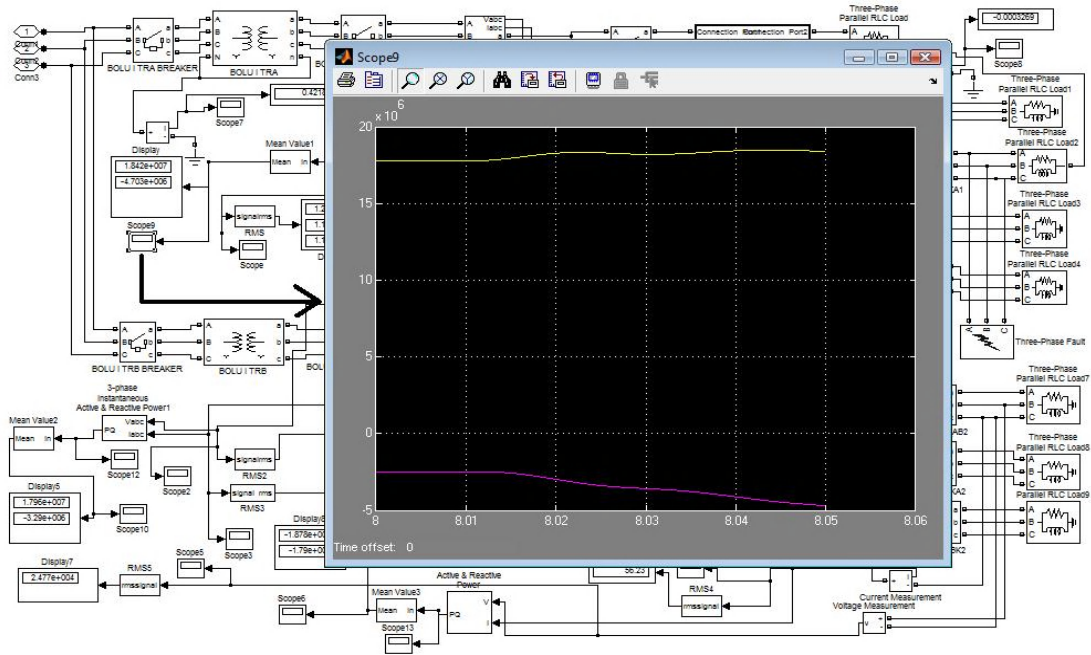
Yukarıdaki şekil 6.22.'de Bolu I TM, 34,5 kV 25 MVA TRA 'nın çıkış barasında üç faz hata sonucundaki akım değişim grafiği bulunmaktadır. Şekilde görüldüğü üzere kısa devreden önce akımlar dengeli iken, hatanın olduğu 8,01 sn ile 8,05 sn arasında dengenin bozulduğu ve akım değerlerinin çok hızlı yükselerek tepe değeri yaptığı görülmektedir. Kısa devre hatasından önce osiloskop çıkışından tepe değeri 426,1 A (Bkz. Şekil 6.10) olarak okunan değer, hatanın başlangıcında 2500 A seviyesinde iken, kısa devre sonunda 1731 A seviyesinde olduğu şekil 6.22.'de görülmektedir.



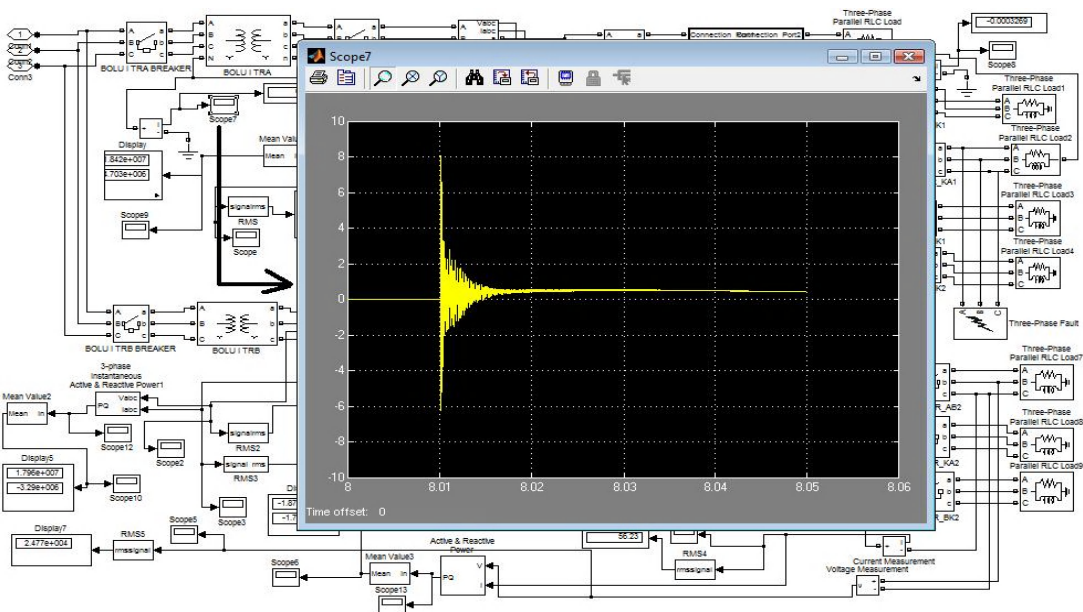
Şekil 6.23. Bolu I TM 34,5 kV TRA çıkış bara kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri

Yukarıdaki şekil 6.23.'de Bolu I TM, 34,5 kV 25 MVA TRA 'nın çıkış ana barasında üç faz hata sonucundaki aktif ve reaktif güç değişimi bulunmaktadır. Şekil 6.23.'de görüldüğü üzere Bolu I TM TRA kısa devreden önce $1,779 \times 10^7$ W aktif, $2,45 \times 10^6$ VAR reaktif güç (Bkz. Şekil 6.11) çekerken, kısa devrenin sona erdiği 8,05 saniyede $1,843 \times 10^7$ W aktif, $4,703 \times 10^6$ VAR reaktif güç çekilmektedir. Şekil 6.23.'de aktif ve reaktif güç değişim grafiğinde kısa devre hatasından sonra güç sinüs dalgalarındaki başlangıç değişimi hızlı ve çok değişken iken, hata sonunda güç eğrilerinin değişimi

dengeye gelmektedir. Bu durum kısa devre sonucunda oluşan gerilim çökmesi ve akım değerlerinin ani yükselmesi nedeniyle meydana gelmektedir. Aşağıdaki şekil 6.24.'de Bolu I TM, TRA giriş ana bara kısa devre ortalama aktif ve reaktif güç değişim grafiği bulunmaktadır. Bu iki şekilde kısa devre sonucunda giriş ana bara güç değişimleri ayrıntılı olarak görülmektedir.

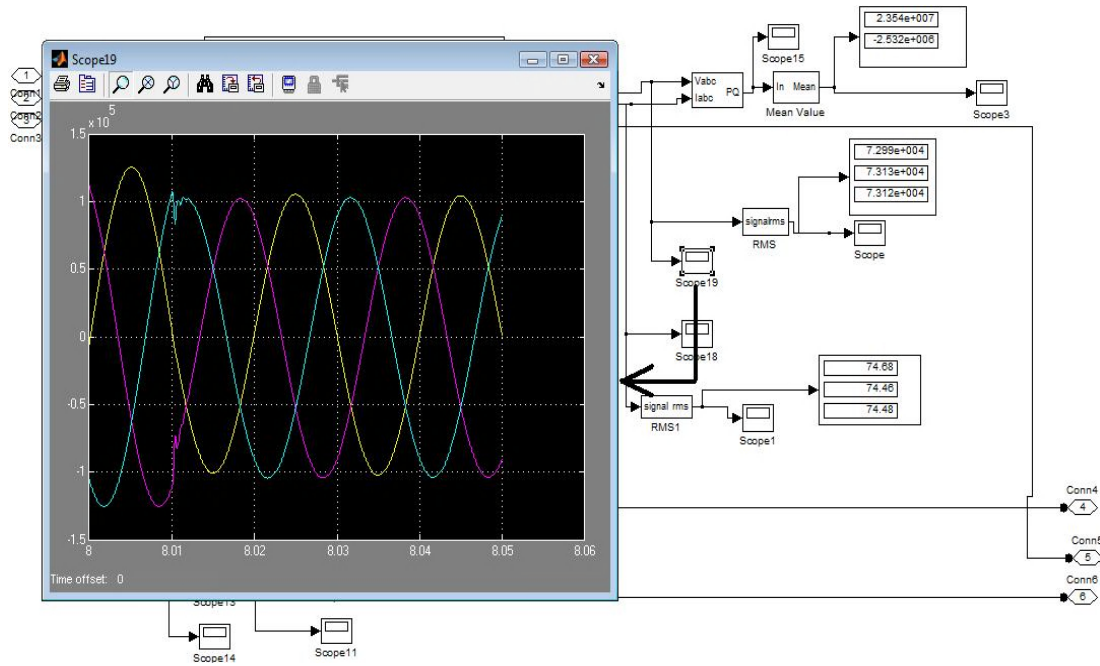


Şekil 6.24. Bolu I TM 34,5 kV TRA çıkış bara kısa devre ortalama aktif ve reaktif güç değerleri



Şekil 6.25. Bolu I TM 34,5 kV TRA yıldız noktası akım değeri

Yukarıdaki şekil 6.26.'da Bolu I TM, TRA 'nın yıldız noktasından kısa devre durumunda geçen akımın değişim grafiği bulunmaktadır. Şekilden görüldüğü üzere kısa devre öncesinde sıfır olan akım değeri, kısa devre hatasının başlamasıyla birlikte 10 A kadar yükselirken, kısa devre sonunda sıfır değerine yaklaşmaktadır.

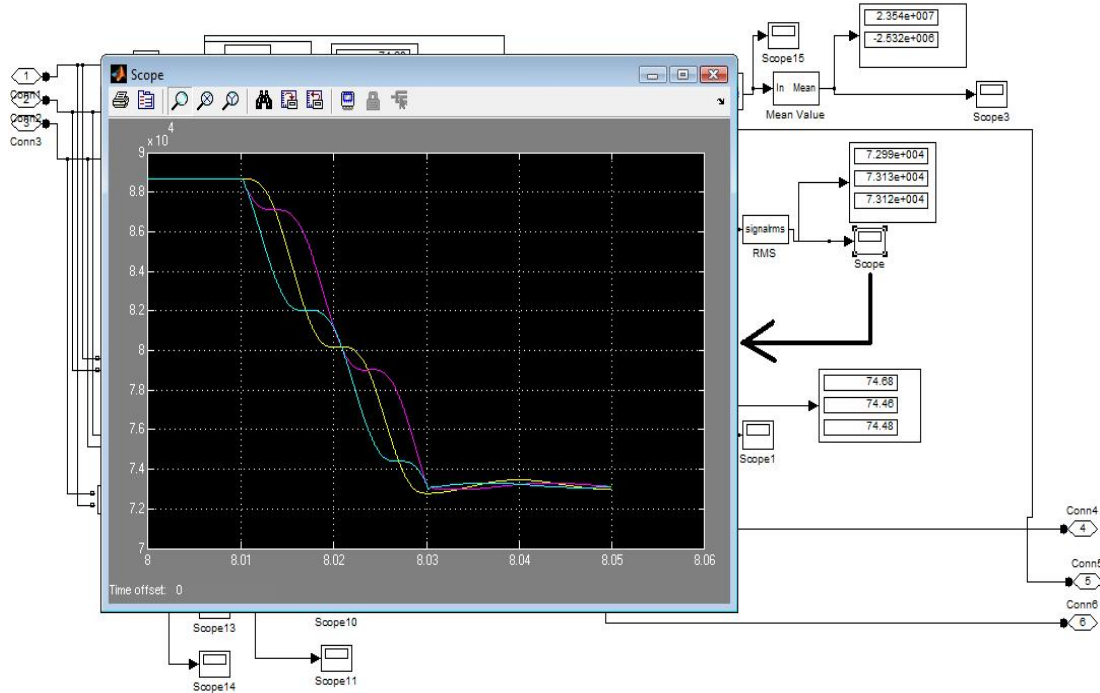


Şekil 6.27. Çimento TM 154 kV giriş bara kısa devre gerilim değerleri

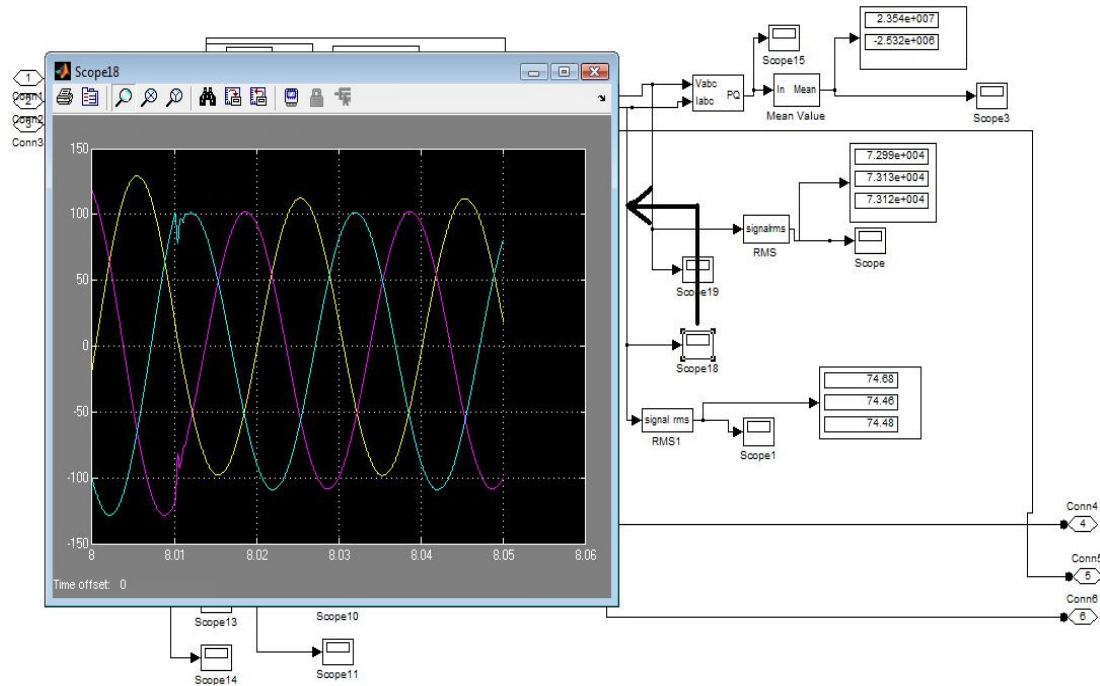
Yukarıdaki şekil 6.27.'de Çimento TM, 154 kV giriş ana bara kısa devre hatası sonucundaki gerilim değişim değerleri görülmektedir. Bolu I TM, TRA Fider 7 enerji nakil hattının sonunda oluşan kısa devrede Çimento TM 'nin giriş kısmında gerilim çökmesinin olduğunu şekil 6.27.'den görülmektedir. Kısa devrenin şebekede gerçekleşmesinden önce gerilim 154 kV seviyesinde iken, bu süreden sonra 126,6 kV seviyesine düştüğü görülmektedir. Şekil 6.27.'de bulunan göstergede kısa devre sonundaki gerilim değerleri $7,313 \times 10^4$ V olarak görülmektedir. Grafikte ise gösterge okunan değerlerin tepe değeri görünmektedir.

Aşağıdaki şekil 6.28.'de kısa devre hatası sonucunda gerilim değişiminin ortalama değerleri bulunmaktadır. Şekildeki grafikte gerilim seviyesindeki değişim daha belirgin olarak görünmektedir. Çimento TM 'de kısa devre sonucundaki gerilim seviyesi, Bolu I TM 'deki gerilim seviyesinden yüksektir. Bunun nedeni meydana

gelen kısa devre noktasının Çimento TM 'den beslenmemesi ve noktanın uzaklığıdır. Sonuç itibariyle genel ağ şebekede aynı yerden beslenen trafo merkezlerinde birinde meydana gelen kısa devre hatası sistemdeki tüm trafoları etkilemektedir.

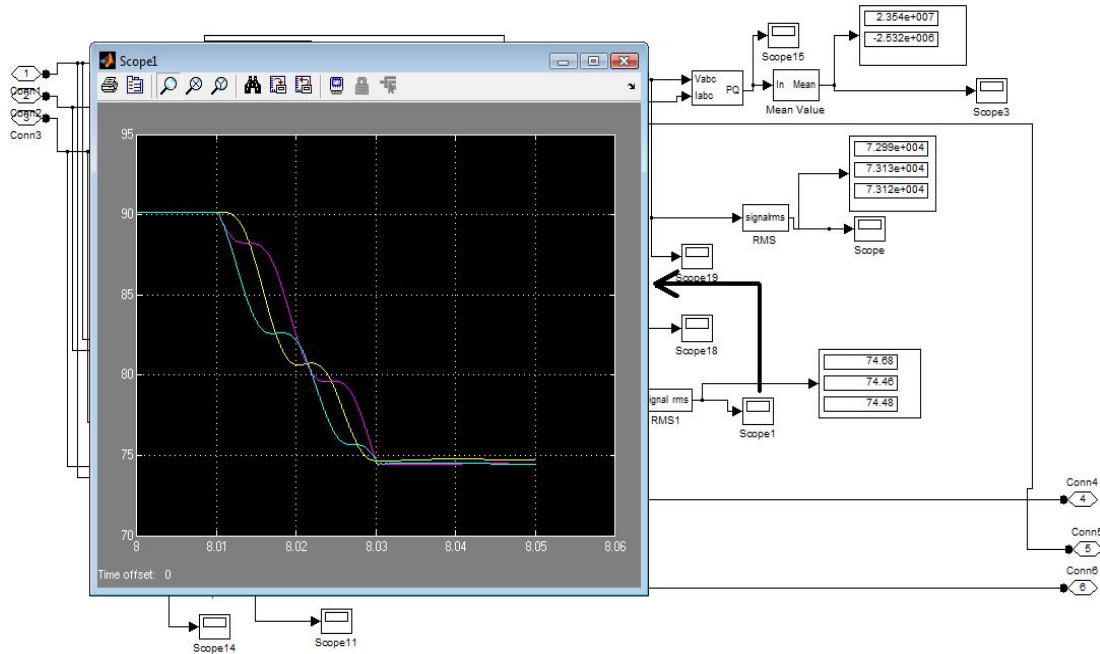


Şekil 6.28. Çimento TM 154 kV giriş bara ortalama kısa devre gerilim değerleri



Şekil 6.29. Çimento TM 154 kV giriş bara kısa devre akım değerleri

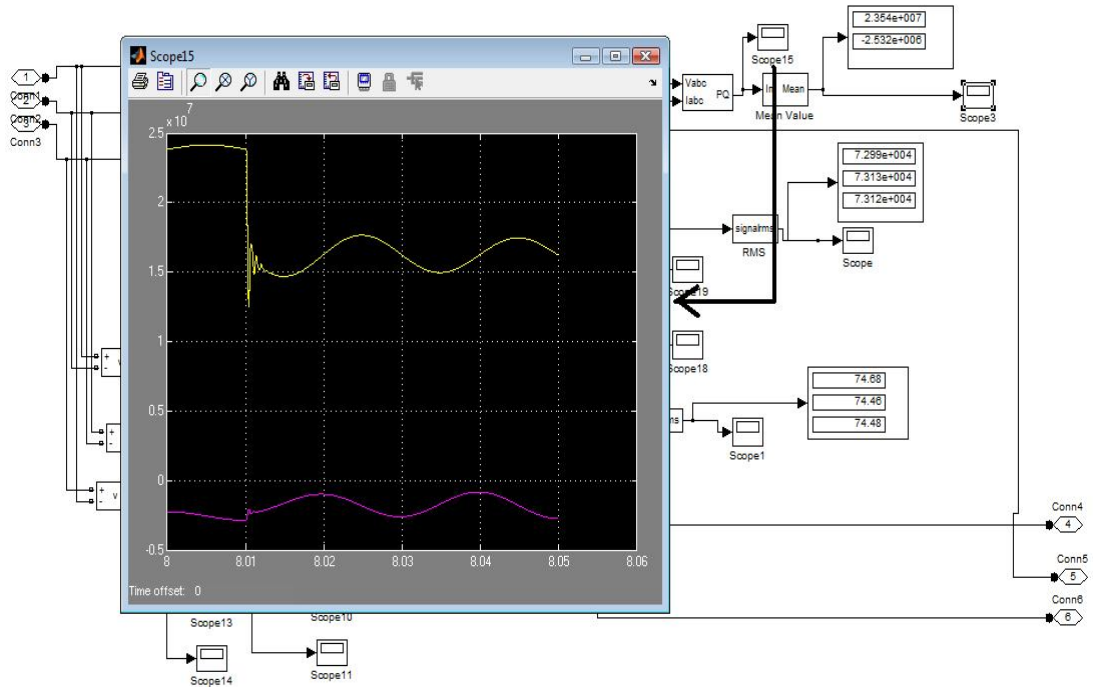
Yukarıdaki şekil 6.29.'da Çimento TM, 154 kV giriş ana barasında üç faz hata sonucundaki akım değişim grafiği, aşağıda şekil 6.30.'da ise Çimento TM giriş bara ortalama kısa devre akım değerleri bulunmaktadır. Şekilde görüldüğü üzere kısa devreden önce akımlar dengeli iken, hatanın olduğu 8,01 sn ile 8,05 sn arasında dengenin bozulduğu ve akım değerlerinin azaldığı görülmektedir. Kısa devreden önceden göstergede 90,17 A (Bkz. Şekil F.12) olarak okunan değer, hata sonunda 74,48 A seviyesine gerilemiştir.



Şekil 6.30. Çimento TM 154 kV giriş bara ortalama kısa devre akım değerleri

Aşağıdaki şekil 6.31.'de Çimento TM 154 kV giriş ana barasında üç faz kısa devre hata sonucunda aktif ve reaktif güç değişimi bulunmaktadır. Şekil 6.31.'de Bolu I TM, TRA Fider 7 dağıtım hattında oluşan kısa devre hatasından önce Çimento TM $2,385 \times 10^7$ W aktif, $2,565 \times 10^6$ VAR reaktif güç (Bkz. Şekil F.13) çekerken, kısa devre hatasından sonra $2,354 \times 10^7$ W aktif, $2,532 \times 10^6$ VAR reaktif güç çekilmektedir.

Bu durum aynı kaynaktan beslenen iletim ve dağıtım şebekesinde kısa devre sonucunda oluşan gerilim çökmesi, akım değerlerinin artması veya azalması nedeniyle meydana gelmektedir. Yukarıdaki değerler şekil 6.31.'deki göstergeler bulunmaktadır. Aynı yerden beslenen yüklerde meydana gelen kısa devre hatası genel ağ şebekesi iletim ve dağıtım hatlarına bağlı tüm tüketicileri etkilemektedir.



Şekil 6.31. Çimento TM 154 kV giriş bara kısa devre aktif ve reaktif değerleri

Kısa devre hatasında devreden akan en büyük değerli akım ile sistem anma gerilim değeri kullanılarak güç hesabından kesicinin açma gücü hesaplanır. Kısa devrenin olduğu Bolu I TM, TRA 34,5 kV çıkışına bağlı Fider 7 enerji nakil hattına bağlı yükü kumanda eden kesici yerine TRA'nın çıkış kesicisinin açmaması için bu iki kesici parametrelerinin doğru tespit edilmesi kısa devre analiziyle gerçekleştirilmektedir. Bu işlem ile röle koordinasyonu sağlanmaktadır.

Ek G'de Osmanca TM, Kaynaşlı TM, Bolu II TM, Gerkonsan TM, Mudurnu TM ile Sarıyar Santralının üç faz kısa devre hatası sonucunda elde edilen giriş ve çıkış gerilim, akım, aktif ve reaktif güç değişim grafikleri yer almaktadır.

BÖLÜM 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Matlab yazılım programının Simulink araç kutusu kullanılarak Bolu-Düzce 154 / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesinin güç akışı ve kısa devre olayları bilgisayar ortamında incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1-) Matlab (Benzetim) yazılım programının 7.3.0. (R2007a) ve 7.3.0. (R2007b) sürümleri Simulink araç kutusu transformatör maskında $\sqrt{3}$ hatası tespit edilmiştir. Tespit edilen tasarım hatası trafo magnetik parametrelerinden L_m değerinin 3 ile çarpılıp, $\sqrt{3}$ 'e bölünmesiyle ilgili trafoların test raporlarındaki verileri sağladığı görülerek çözülmüştür. Simulink araç kutusundaki bu hatanın tespitiyle bilgisayar ortamında yapılacak güç akışı ve kısa devre analizlerinde transformatör tasarımlarında yaşanan problem çözülerek, sonuçlara daha kısa sürede ulaşılmıştır.

2-) Güç akışı sonucunda Bolu - Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesinde bulunan trafo, enerji nakil hatları ve yüklerde akım, gerilim, aktif ve reaktif güç değişimleri gözlenmiştir. Tez çalışmasında yapılan güç akışı sonunda trafo merkezlerinde trafoların aktif ve reaktif yükler takip edilerek ilave edilecek güç miktarı tespit edilmektedir. Bu veriler doğrultusunda enerji alanında ilgili bölgeye yapılacak yatırım planlaması önceden gerçekleştirilebilir. Örneğin, Kaynaşlı TM 'nin kapasite sınırına ulaşması nedeniyle mevcut trafolarının gücünün artırılması yapılabilir.

3-) Güç akışı sonucunda bölgedeki trafoların kullanım kapasiteleri tespit edilerek, trafoların kapasite sınırına ulaşmasında ilgili trafodan beslenen yüklerin mevcut ring dağıtım hatları vasıtasıyla kapasitesi uygun olan trafo ve merkezlerine aktarımı gerçekleştirilerek, enerjinin sürekliliği sağlanmaktadır. Örneğin, Bolu I TM 'de

bulunan 25 MVA iki adet trafonun güç kapasite sınırına ulaşmasında, 2x50 MVA gücü bulunan Bolu II TM 'ye ring dağıtım hatları vasıtasıyla yük aktarımı yapılmaktadır.

4-) Güç akışı sonucu trafo merkezlerinde elde edilen aktif ve reaktif güç değerleri karşılaştırılarak, ilgili trafo merkezinin müşteri hizmetleri yönetmeliğinde belirtilen reaktif kullanım oranını geçmemesi için gerekli kondansatör ilavesi yapılmaktadır. İlgili trafo merkezlerinde müşterilerden kaynaklanan reaktif kullanım miktarı mevcut şebekenin kullanım kapasitesini sınırladığından enerjinin iletim ve dağıtım kalitesinin bozulmasına neden olarak enerji kayıplarına yol açmaktadır. Bu nedenle trafo merkezlerinin fiderlerine takılacak sayaçlar vasıtası ile de reaktif güç takibi yapılarak, gerekli yerlere kondansatör ilavesinin gerçekleştirilmesiyle mevcut teçhizatın kapasite kullanımını arttırılarak güç kalitesi yükseltilebilir.

5-) Güç akışı sonunda Bolu - Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesinde bulunan yüklerde gerilim değerleri ile beslendiği kaynaktaki ana bara gerilim değerleri karşılaştırılarak, enerji iletim ve dağıtım hatlarında oluşan gerilim düşümü ve hat kayıpları tespit edilmektedir. Bu veriler ışığında iletken kesitlerinin yükseltilmesi ve yeni hatların yapılması planlanabilir.

6-) Bolu - Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesinin bilgisayar ortamında modellenmesinde uygulanan kısa devre analizi sonucunda sistemdeki trafo merkezlerinin giriş ve çıkış gerilimler seviyelerinin normal çalışma durumlarına göre azaldığı görülmüştür. Gerilim seviyesinin kısa devre hata süresi boyunca düşmesi enerjinin sürekliliği ve kalitesinin bozulmasına neden olarak, şebekeden beslenen lambaların aydınlatmasının azalmasına, motorların momentlerinin yetersizliğine, asenkron makinaların rotorunun kaymasına ve ısınmasına yol açmaktadır. Sonuç olarak tez çalışmamızın yapıldığı bölgede bir noktada meydana gelen kısa devre sonucu gerilim düşümleri meydana geldiğinden kayıplar aşırı artmakta ve iletim şebekesinin kararlılık problemlerine neden olmaktadır.

7-) Bolu - Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesinin bilgisayar ortamında modellenmesinde uygulanan kısa devre analizi sonucunda sistemdeki trafo

merkezlerinin giriş ve çıkış akım seviyelerinin normal çalışma durumlarına göre değiştiği grafiklerden görülmüştür. Kısa devrenin olduğu yerdeki akımların normal çalışma akımlarından çok daha büyük değerlere ulaştığı Bolu I TM, TRA çıkış barasında görülmektedir. Bu akımlar şebeke üzerinde yer alan teçhizatlarda aşırı ısınma ve büyük magnetik kuvvetler meydana getirerek, mekanik kayıplara sebebiyet vermektedir.

8-) Bolu - Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesinin bilgisayar ortamında kısa devre hatasının incelenmesinde normal çalışma şartlarına göre aşırı akım akmaktadır. Sistemde oluşan bu akım ile sistem anma gerilim değeri kullanılarak güç hesabından kesicinin açma gücü hesaplanır. Kısa devre analizi sonucunda şebekede bulunan, yenilenmesi gereken ve ilave edilecek kesicilerin açma gücü tespit edilebilmektedir. Bunun sonucunda elektrik sistemlerinde A noktasında açması istenen kesici yerine, B noktasındaki kesicinin açmaması parametrelerin doğru tespit edilmesiyle mümkündür. Kısa devre sonucunda kesicilerin açma güçleri tespit edilerek üretim, iletim ve dağıtım şebekesinde kullanılanların röle ayarları yapılarak, sistemde röle koordinasyonu sağlanmaktadır.

9-) Bolu - Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesinin bilgisayar ortamında modellenmesinin en önemli faydası mevcut sistemin bilgisayar ortamında görülerek, gerçek sistemdeki manevra ve kumanda ayarlarını ekrandaki verilerden hesaplabilmek, sorunları grafiklerden ve analiz sonuçlarından muhakeme ederek gerçek sistemdeki problemlere önceden müdahale edilebilmesine olanak sağlayabilmesidir. Ayrıca geliştirilecek yeni tasarımların bilgisayar ortamında modellenmesi ile zaman, iş gücü, enerji ve malzemedan tasarruf edilmesine olanak sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.mathworks.com>, Aralık, 2007.
- [2] Türkiye Elektrik Kurumu, Elektrik Üretim İletim Müessesesi, Röle Ölçü Aletleri Grup Müdürlüğü, Orta Gerilim Elektrik Tesislerinde Koruma ve Kontrol, 1990.
- [3] UÇKU, K., Elektrikle Enerji Dağıtım ve Projesi – Birinci Kısım, Ankara Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi M.M.Y.O., Tisa Matbaacılık Sanayi, Ankara, 1974.
- [4] ARİFOĞLU, U., Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi, Alfa Yayınları, İstanbul, 2002.
- [5] ARİFOĞLU, U., Matlab 7.04 Simulink ve Mühendislik Uygulamaları, Alfa Yayınları, İstanbul, 2005.
- [6] TEİAŞ, Yük Tevzii Dairesi Başkanlığı, Etüt ve Raporlama Müdürlüğü, 2005 Puant (Kış) Yük Şartlarında Yük Akışı, Üç Faz ve Faz Toprak Kısa Devre Etüdü, Ankara, 2006.
- [7] TEİAŞ, Sistem Araştırma ve Kontrol Müdürlüğü, Türkiye Ulusal Elektrik Ağındaki Havai Hatların Trafoların ve Generatörlerin Elektriki Karakteristiği, Ankara, 2002.
- [8] DURSUN, İ., Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş. Beyoğlu İşletme Bölgesi 34,5 kV'luk Bir Besleme Hattının Simulink ile Modellenmesi, Yüksek Lisans, T.C., Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [9] <http://www.epdk.gov.tr>, Nisan, 2008.
- [10] <http://www.teias.gov.tr>, Ocak, 2008.
- [11] <http://www.tedas.gov.tr/sedas>, Şubat, 2008.

EKLER

Ek A. Matlab 'da Newton-Raphson Yöntemiyle Güç Akışı Yazılım Programı

```
nb = input('BARA SAYISINI GIRINIZ:');
ng = input('GENERATOR SAYISINI GIRINIZ:');
ybara=zeros(nb);
aci = input('AÇI DEĞERLERINI MATRIS OLARAK GIRINIZ. ÖRN:[0 2.56
3.3 ... ]:');
while length(aci)> nb || length(aci)< nb
    disp('!!!AÇI SAYISI EKSİK VEYA FAZLA GIRILDI.LÜTFEN DÜZELTİNİZ')
    aci = input('AÇI DEĞERLERINI MATRIS OLARAK GIRINIZ. ÖRN:[0 2.56
3.3 ... ]:');
end
gerilim = input('GERILIM DEĞERLERINI MATRIS OLARAK GIRINIZ. ÖRN:[0
1.08 1.1 .. ]:');
while length(gerilim)> nb || length(gerilim)< nb
    disp('!!!GERILIM SAYISI EKSİK VEYA FAZLA GIRILDI. LÜTFEN
DÜZELTİNİZ')
    gerilim = input('AÇI DEĞERLERINI MATRIS OLARAK GIRINIZ. ÖRN:[0
1.08 1.1 ... ]:');
end
tolerans = input('HATA TOLERANSINI GIRINIZ:');
hs = input('HAT SAYISINI GIRINIZ:');
hatno= input('HATLARIN BAĞLI OLDUĞU BARA NUMARALARINI İÇEREN MATRIS
GIRINIZ: (ÖRNEK: [1 2; 3 4; ...]):');
if size(hatno,1)>hs
    disp('!!! HAT SAYISINDAN DAHA FAZLA DEGER GIRDİNİZ. HATLARIN
BAĞLI OLDUĞU BARA NUMARALARINI TEKRAR GIRINIZ')
end
if size(hatno,1)<hs
    disp('!!!HAT SAYISINDAN DAHA AZ SAYIDA DEGER GIRDİNİZ.HATLARIN
BAĞLI OLDUĞU BARA NUMARALARINI TEKRAR GIRINIZ:')
end
emp = input('YUKARIDAKI SIRAYA GÖRE HATLARIN EMPEDANS DEĞERLERINI
MATRIS OLARAK GIR. ÖRNEK: [3+6I 2+I ...]:');
adm= input('YUKARIDAKI SIRAYA GÖRE HATLARIN ŞÖNT ADMITANS
DEĞERLERINI MATRIS OLARAK GIR. ÖRNEK: [0.2I 0.03I ...]:');
pg=input('GENERATOR AKTIF GÜÇLERINI SIRA ILE MATRIS OLARAK GIRINIZ:
ÖRN: [0 0.8 1 0 ...]');
while length(pg)>nb || length(pg)<nb
    disp('GENERATOR AKTIF GÜÇLERINI BARA SAYISINDAN FARKLI GIRDİNİZ.
LÜTFEN DÜZELTİNİZ.')
    pg=input('GENERATOR AKTIF GÜÇLERINI SIRA ILE MATRIS OLARAK
TEKRAR GIRINIZ: ÖRN: [0 0.8 1 0 ...]');
end
qq=input('GENERATOR REAKTIF GÜÇLERINI SIRA ILE MATRIS OLARAK
GIRINIZ: ÖRN: [0 0.8 1 0 ...]');
```

```

while length(qg)>nb || length(qg)<nb
    disp('GENERATOR REAKTIF GÜÇLERİNİ BARA SAYISINDAN FARKLI
GIRDİNİZ. LÜTFEN DÜZELTİNİZ.')
    qg=input('GENERATOR REAKTIF GÜÇLERİNİ SIRA İLE MATRİS OLARAK
TEKRAR GIRINIZ: ÖRN: [0 0.8 1 0 ...:]');
end
py=input('YÜK GÜÇLERİNİ SIRA İLE MATRİS OLARAK GIRINIZ: ÖRN: [0 0.8
1 0 ...:]');
while length(py)>nb || length(py)<nb
    disp('YÜK GÜÇLERİNİ BARA SAYISINDAN FARKLI GIRDİNİZ. LÜTFEN
DÜZELTİNİZ.')
    py=input('YÜK GÜÇLERİNİ SIRA İLE MATRİS OLARAK TEKRAR GIRINIZ:
ÖRN: [0 0.8 1 0 ...:]');
end
qc=input('ŞÖNT KOMPANZASYON GÜÇLERİNİ SIRA İLE MATRİS OLARAK
GIRINIZ: ÖRN: [0 0.8 1 0 ...:]');
while length(qc)>nb || length(qc)<nb
    disp('ŞÖNT KOMPANZASYON GÜÇLERİNİ BARA SAYISINDAN FARKLI
GIRDİNİZ. LÜTFEN DÜZELTİNİZ.')
    qc=input('ŞÖNT KOMPANZASYON GÜÇLERİNİ SIRA İLE MATRİS OLARAK
TEKRAR GIRINIZ: ÖRN: [0 0.8 1 0 ...:]');
end
qy=input('YÜKÜN REAKTİF GÜÇLERİNİ SIRA İLE MATRİS OLARAK GIRINIZ:
ÖRN: [0 0.8 1 0 ...:]');
while length(qy)>nb || length(qy)<nb
    disp('YÜKÜN REAKTİF GÜÇLERİNİ BARA SAYISINDAN FARKLI GIRDİNİZ.
LÜTFEN DÜZELTİNİZ.')
    qc=input('YÜKÜN REAKTİF GÜÇLERİNİ SIRA İLE MATRİS OLARAK TEKRAR
GIRINIZ: ÖRN: [0 0.8 1 0 ...:]');
end

% BARA ADMİTANS MATRİSİNİN HESAPLANMASI
for k=1:nb
    [satir,sutun]=find(hatno==k);
    for m=1:length(satir)
        ybara(k,k)=ybara(k,k)+adm(satir(m))+(emp(satir(m)))^(-1);
    end
end
for s=1:size(hatno,1)
    ybara(hatno(s,1),hatno(s,2))=-(adm(s)+(emp(s))^(-1));
    ybara(hatno(s,2),hatno(s,1))=ybara(hatno(s,1),hatno(s,2));
end
disp('=====')
disp('YBARA =')
disp(ybara)
for k=1:nb
    for l=1:nb
        g(k,l)=real(ybara(k,l));
        b(k,l)=imag(ybara(k,l));
    end
end
end

%BAŞLANGIÇ DEĞERLERİ
nn=(2*nb)-ng-1;
fark=ones(nn,1);
devam=1;
jac=zeros(nn);
bas1=zeros(1,nn);
bas2=zeros(1,nn);

```

```

for k=1:(nb-1)
    bas1(k)=aci(k+1);
end;
for k=nb:nn
    bas1(k)=gerilim(ng+1+k-nb);
end;

%ITERASYON BAŞLANGICI
iter_say=0;
while (devam>0)
    devam=0;
    if(iter_say>0)
        bas1=bas2;
    end;
    iter_say=iter_say+1;
    for k=2:nb
        aci(k)=bas1(k-1);
    end;
    for k=ng+1:nb
        gerilim(k)=bas1(k+nb-ng-1);
    end;
    for k=1:nb
        for l=1:nb
            delta(k,l)=(aci(k)-aci(l))*pi/180;
        end
    end
    for s=2:nb
        rastgele=0;
        for r=1:nb

rastgele=rastgele+gerilim(r)*(g(s,r)*cos(delta(s,r))+b(s,r)*sin(delta(s,r)));
        end
        p(s)=gerilim(s)*rastgele;
    end
    for s=ng+1:nb
        rastgele=0;
        for r=1:nb
            rastgele=rastgele+gerilim(r)*(g(s,r)*sin(delta(s,r))-
b(s,r)*cos(delta(s,r)));
        end
        q(s)=gerilim(s)*rastgele;
    end
    for k=2:nb
        gp(k)=-pg(k)+py(k)+p(k);
    end
    for k=ng+1:nb
        gq(k)=-qg(k)-qc(k)+qy(k)+q(k);
    end
    %y-f(x) hesabi
    fark1=[gp(2:nb) gq(ng+1:nb)];
    fark=fark1';
    jac1=zeros(nb-1,nb-1);
    jac2=zeros(nb-1,nb-ng);
    jac3=zeros(nb-ng,nb-1);
    jac4=zeros(nb-ng,nb-ng);

    %JACOBIEN MATRISININ OLUSTURULMASI
    %===== J1 =====
    for k=2:nb

```

```

for l=2:nb
    if k==1
        rastgele=0;
        for s=1:nb
            if s~=k
                rastgele=rastgele+gerilim(s)*(-
g(k,s)*sin(delta(k,s))+b(k,s)*cos(delta(k,s)));
            end
        end
        jac1(k-1,l-1)=gerilim(k)*rastgele;
    else
        jac1(k-1,l-
1)=gerilim(k)*gerilim(l)*(g(k,l)*sin(delta(k,l))-
b(k,l)*cos(delta(k,l)));
    end
end
end

%===== J2 =====
for k=2:nb
    for l=ng+1:nb
        if k==1
            rastgele=0;
            for s=1:nb
                if s~=k

rastgele=rastgele+gerilim(s)*(g(k,s)*cos(delta(k,s))+b(k,s)*sin(delt
a(k,s)));
                    end
                end
                jac2(k-1,l-
ng)=gerilim(k)*rastgele+2*gerilim(k)*g(k,k);
            else
                jac2(k-1,l-
ng)=gerilim(k)*(g(k,l)*cos(delta(k,l))+b(k,l)*sin(delta(k,l)));
            end
        end
    end
end
%===== J3 =====
for k=ng+1:nb
    for l=2:nb
        if k==1
            rastgele=0;
            for s=1:nb
                if s~=k

rastgele=rastgele+gerilim(s)*(g(k,s)*cos(delta(k,s))+b(k,s)*sin(delt
a(k,s)));
                    end
                end
                jac3(k-ng,l-1)=gerilim(k)*rastgele;
            else
                jac3(k-ng,l-1)=-
gerilim(k)*gerilim(l)*(g(k,l)*cos(delta(k,l))+b(k,l)*sin(delta(k,l))
);
            end
        end
    end
end
end

```

```

%===== J4 =====
for k=ng+1:nb
    for l=ng+1:nb
        if k==l
            rastgele=0;
            for s=1:nb
                if s~=k

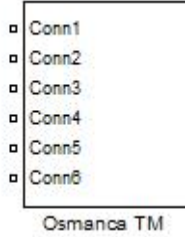
rastgele=rastgele+gerilim(s)*(g(k,s)*sin(delta(k,s))-
b(k,s)*cos(delta(k,s)));
                end
            end
            jac4(k-ng,l-ng)=rastgele - 2*gerilim(k)*b(k,k);
        else
            jac4(k-ng,l-ng)=gerilim(k)*(g(k,l)*sin(delta(k,l))-
b(k,l)*cos(delta(k,l)));
        end
    end
end
end
% genel jacobien matris
jac=-[jac1 jac2;jac3 jac4];
tersjac=inv(jac);
hata=tersjac*fark;
bas2=bas1+hata';
devam=0;
mutlak_fark=abs(fark);
for k=1:length(fark)
    if(mutlak_fark(k,1)>tolerans)
        devam=devam+1;
    end
end
end
disp('===== SİSTEM SONUÇLARI =====')
disp('=====')
disp('SON DURUMDA JACOBIEN MATRİS=')
disp(jac)
disp('=====')
disp('İTERASYON SAYISI =')
disp(iter_say)
disp('=====')
disp('AÇILAR (DERECE OLARAK)')
disp(aci);
p1=0;
q1=0;
for k=1:nb

p1=p1+gerilim(k)*(g(1,k)*cos(delta(1,k))+b(1,k)*sin(delta(1,k)));
    q1=q1+gerilim(k)*(g(1,k)*sin(delta(1,k))-
b(1,k)*cos(delta(1,k)));
end
p1=gerilim(1)*p1;
q1=gerilim(1)*q1;
disp(' ')
p(1)=p1;
pgen1=p(1)+py(1)
qgen1=q1+qy(1)
p
q
qq

```

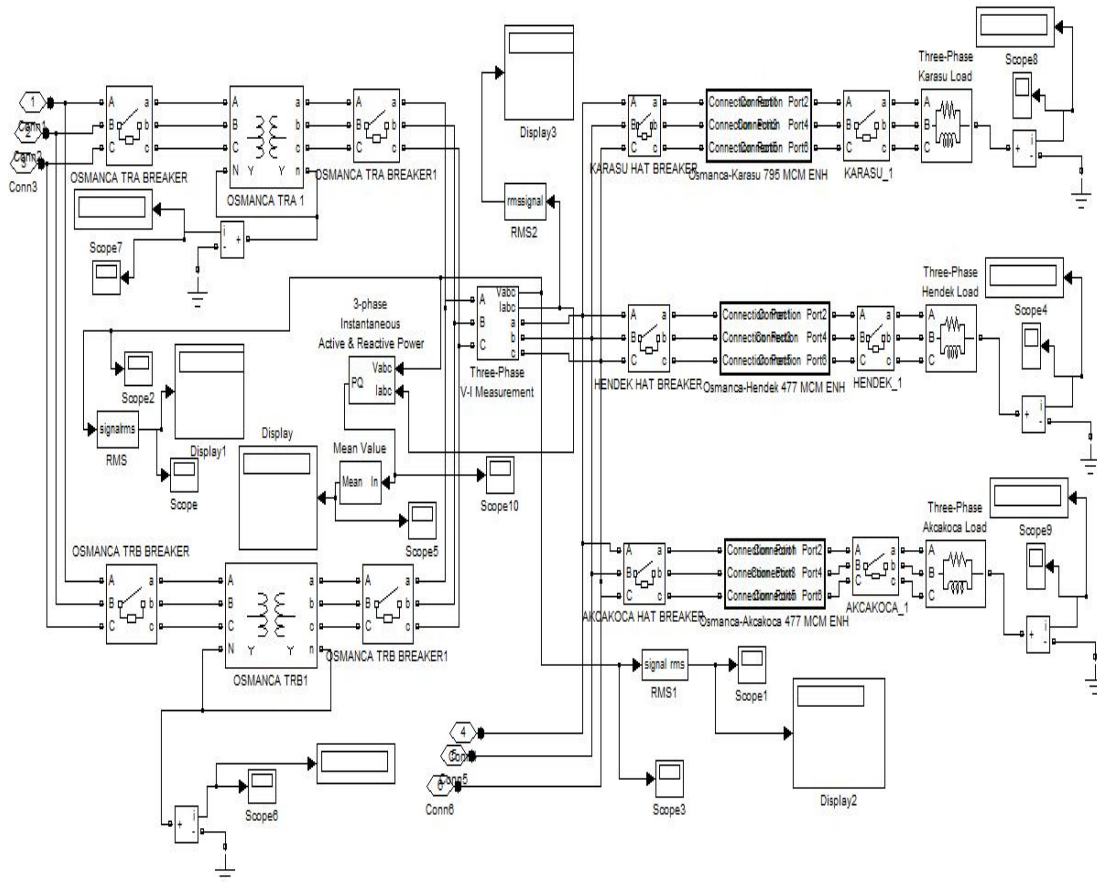
Ek B. Trafo Alt Sistem Model ve İç Şemaları

1. Osmanca TM



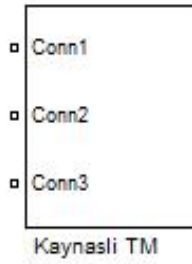
Şekil B.1. Osmanca TM alt sistem modellemesi

Yukarıdaki şekil B.1.'de Bolu-Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesi modellemesinin ana şemasında kullanılan Osmanca TM'nin alt sistem modellemesi görülürken, aşağıdaki şekil B.2.'de ise Osmanca TM alt sistem modelinin iç yapısı bulunmaktadır.



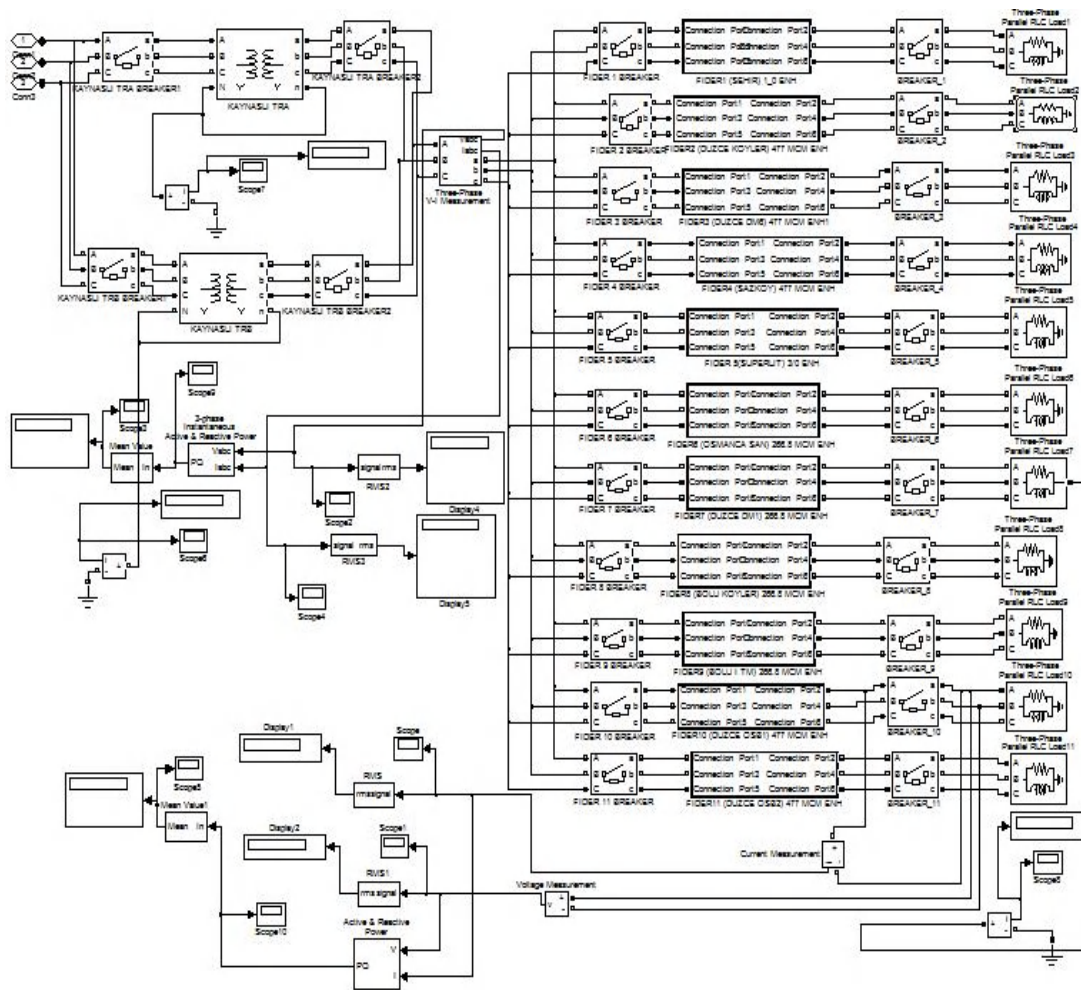
Şekil B.2. Osmanca TM alt sistem modelinin iç şeması

2. Kaynaşlı TM



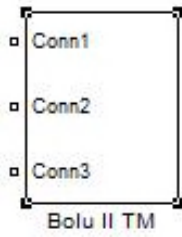
Şekil B.3. Kaynaşlı TM alt sistem modellemesi

Yukarıdaki şekil B.3.'de Bolu-Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesi modellemesinin ana şemasında kullanılan Kaynaşlı TM'nin alt sistem modellemesi görülürken, aşağıdaki şekil B.4.'de ise Kaynaşlı TM alt sistem modelinin iç yapısı bulunmaktadır.



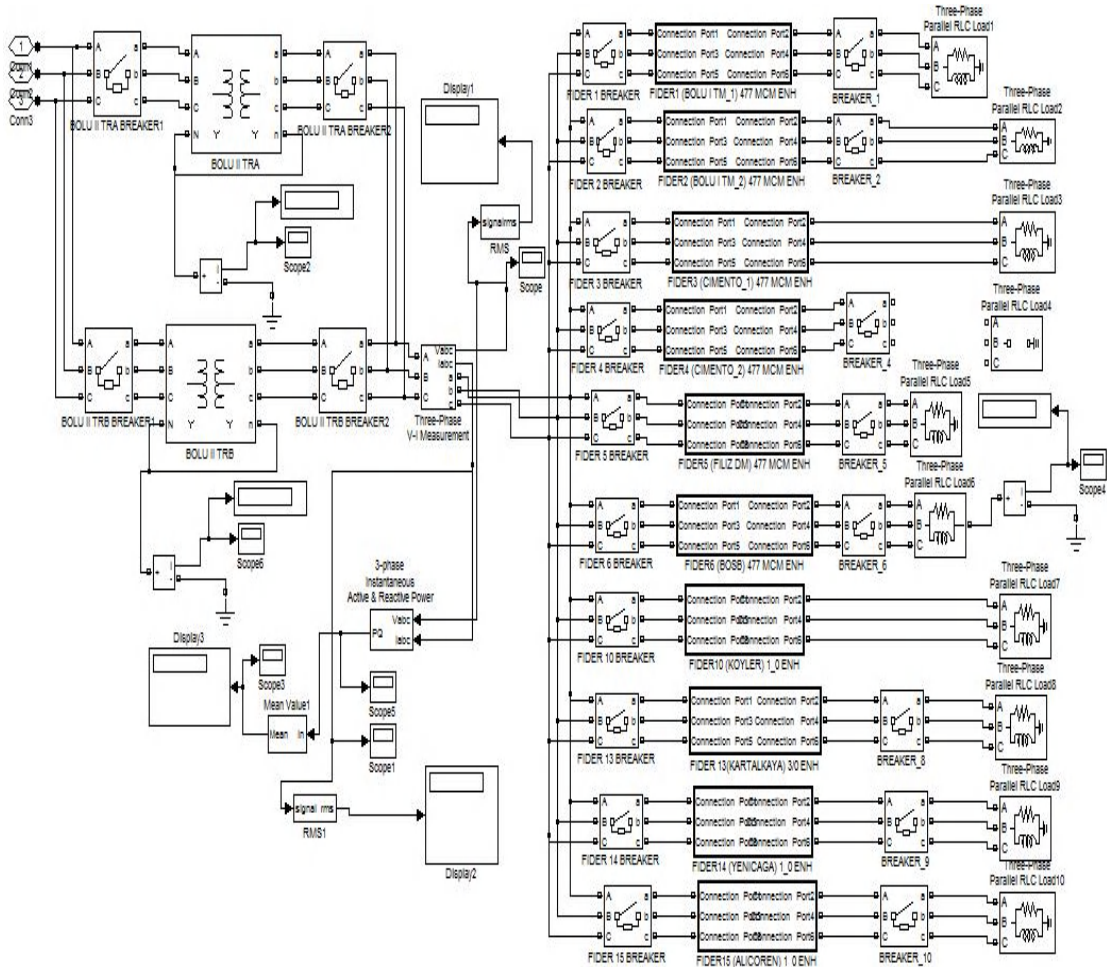
Şekil B.4. Kaynaşlı TM alt sistem modelinin iç şeması

3. Bolu II TM



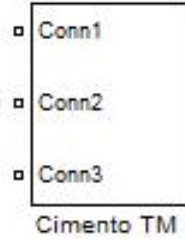
Şekil B.5. Bolu II TM alt sistem modellemesi

Yukarıdaki şekil B.5.'de Bolu-Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesi modellemesinin ana şemasında kullanılan Bolu II TM'nin alt sistem modellemesi görülürken, aşağıdaki şekil B.6.'da ise Bolu II TM alt sisteminin iç yapısı bulunmaktadır.



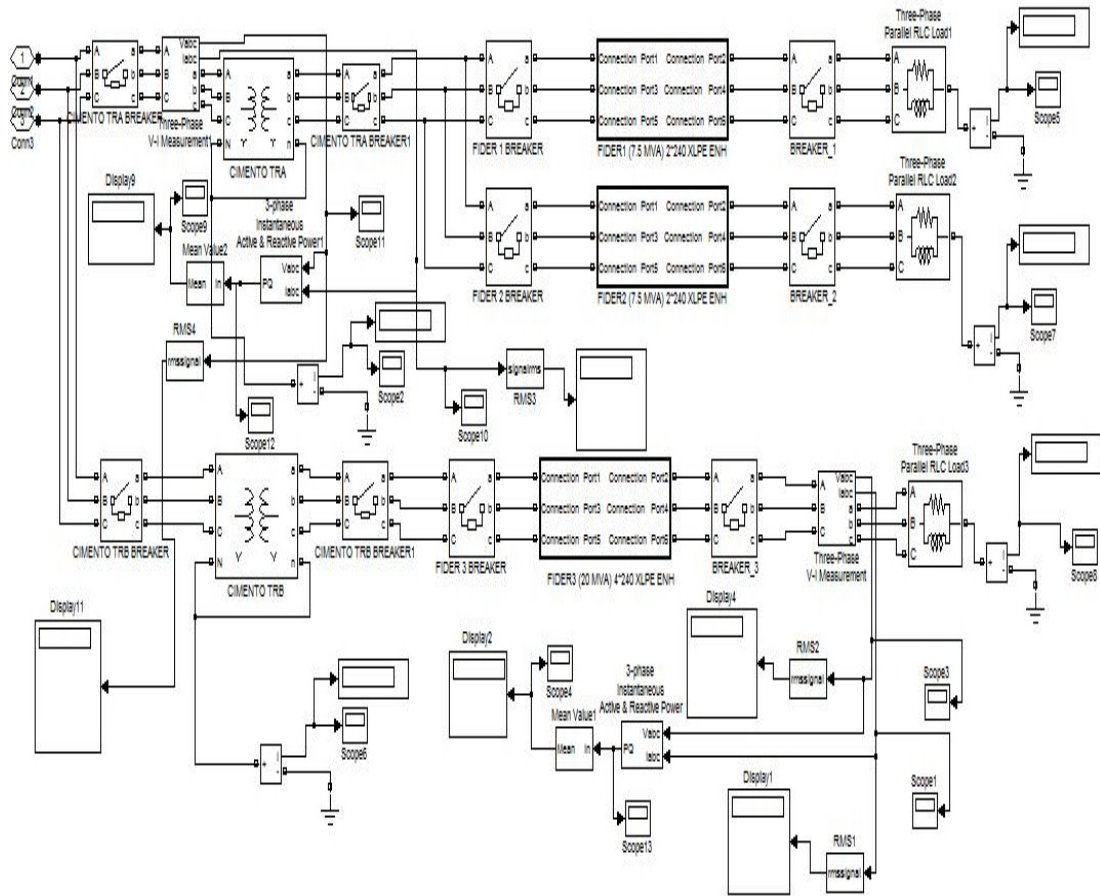
Şekil B.6. Bolu II TM alt sisteminin iç şeması

4. Çimento TM



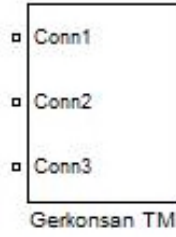
Şekil B.7. Çimento TM alt sistem modellemesi

Yukarıdaki şekil B.7.'de Bolu-Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesi modellemesinin ana şemasında kullanılan Bolu Çimento TM'nin alt sistem modellemesi görülürken, aşağıdaki şekil B.8.'de ise Bolu Çimento TM alt sistem modelinin iç yapısı bulunmaktadır.



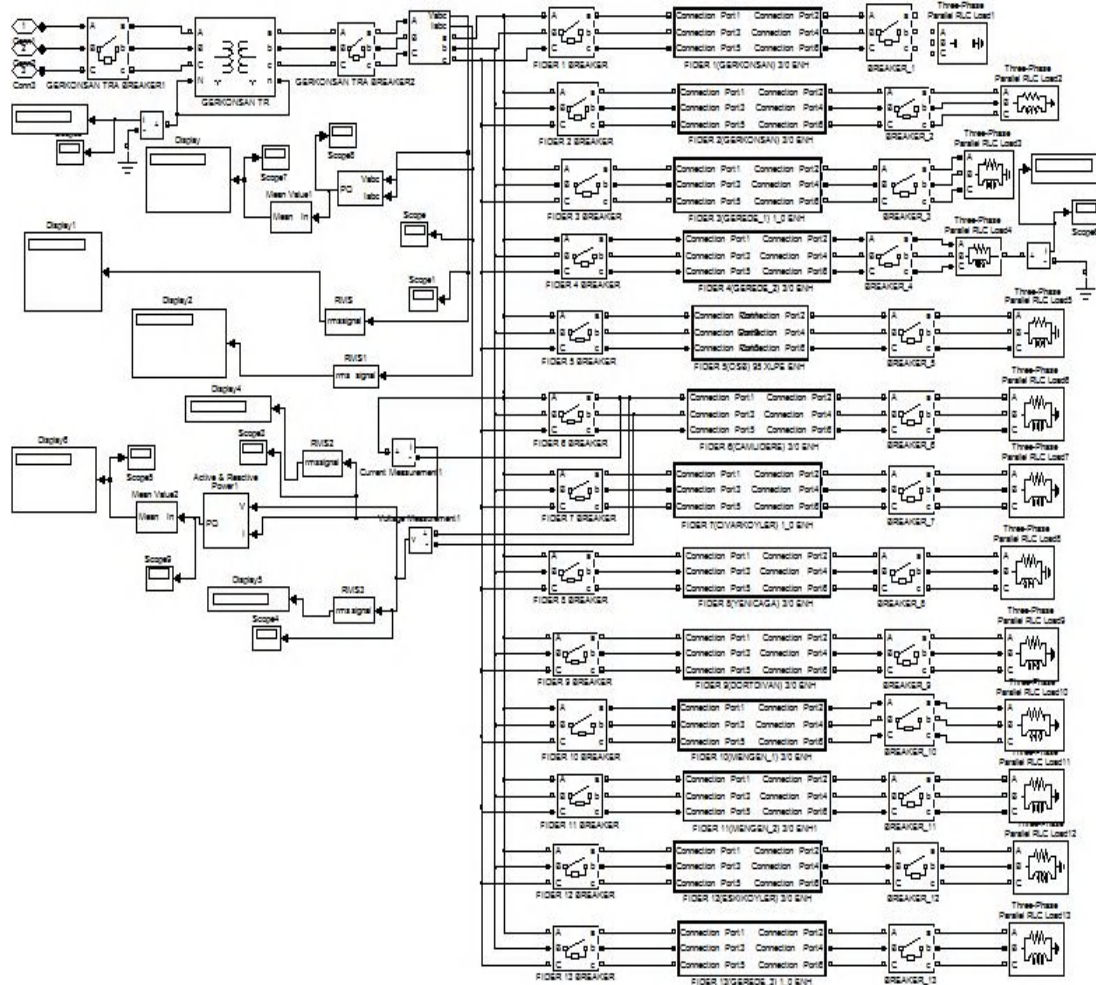
Şekil B.8. Çimento TM alt sistem modelinin iç yapısı

5. Gerkonsan TM



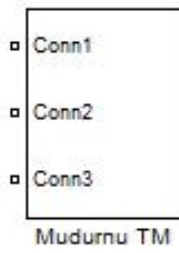
Şekil B.9. Gerkonsan TM alt sistem modellemesi

Yukarıdaki şekil B.9.'da Bolu-Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesi modellemesinin ana şemasında kullanılan Gerkonsan TM'nin alt sistem modellemesi görülürken, aşağıdaki şekil B.10.'da ise Gerkonsan TM alt sistem modelinin iç yapısı bulunmaktadır.



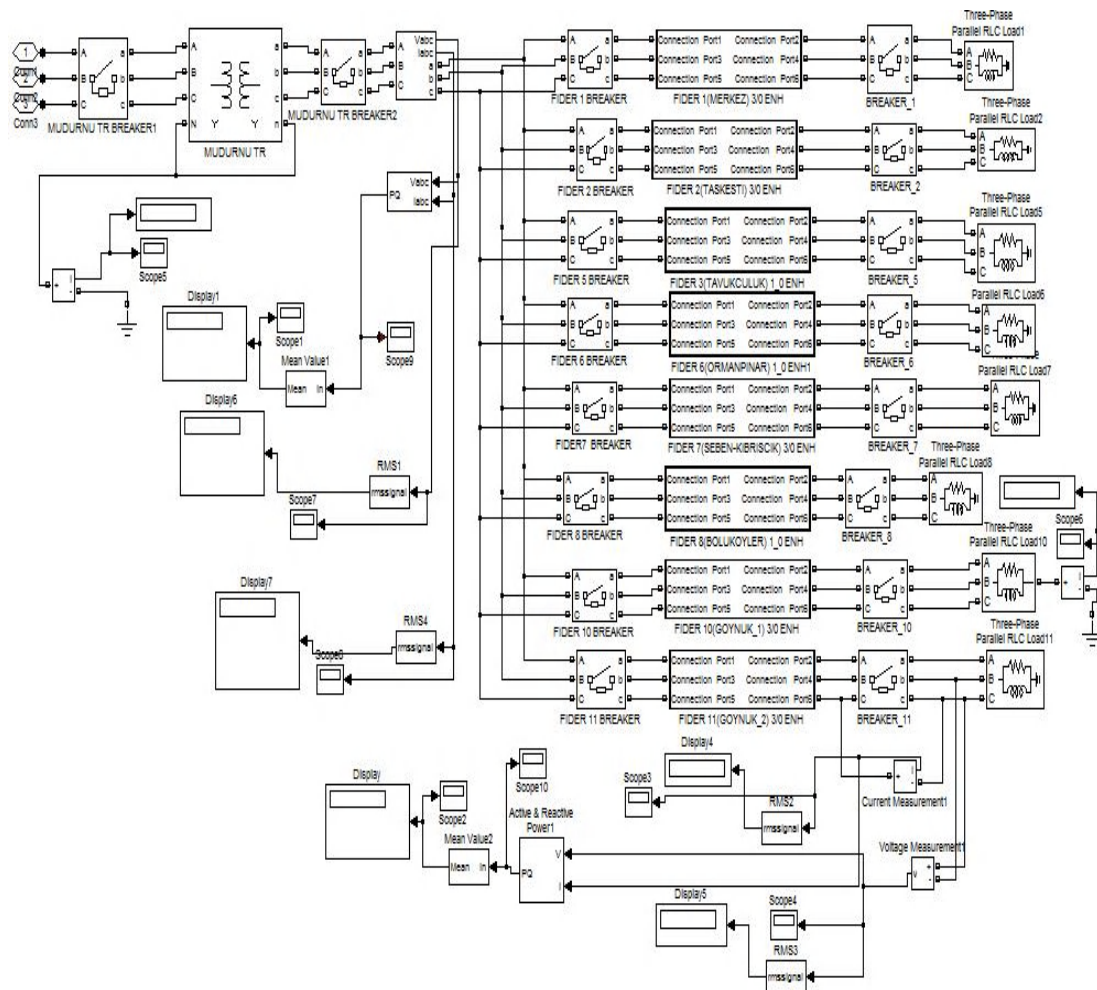
Şekil B.10. Gerkonsan TM alt sistem modelinin iç şeması

6. Mudurnu TM



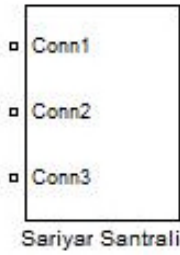
Şekil B.11. Mudurnu TM alt sistem modellemesi

Yukarıdaki şekil B.11.'de Bolu-Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesi modellemesinin ana şemasında kullanılan Mudurnu TM'nin alt sistem modellemesi görülürken, aşağıdaki şekil B.12.'de ise Mudurnu TM alt sistem modelinin iç yapısı bulunmaktadır.



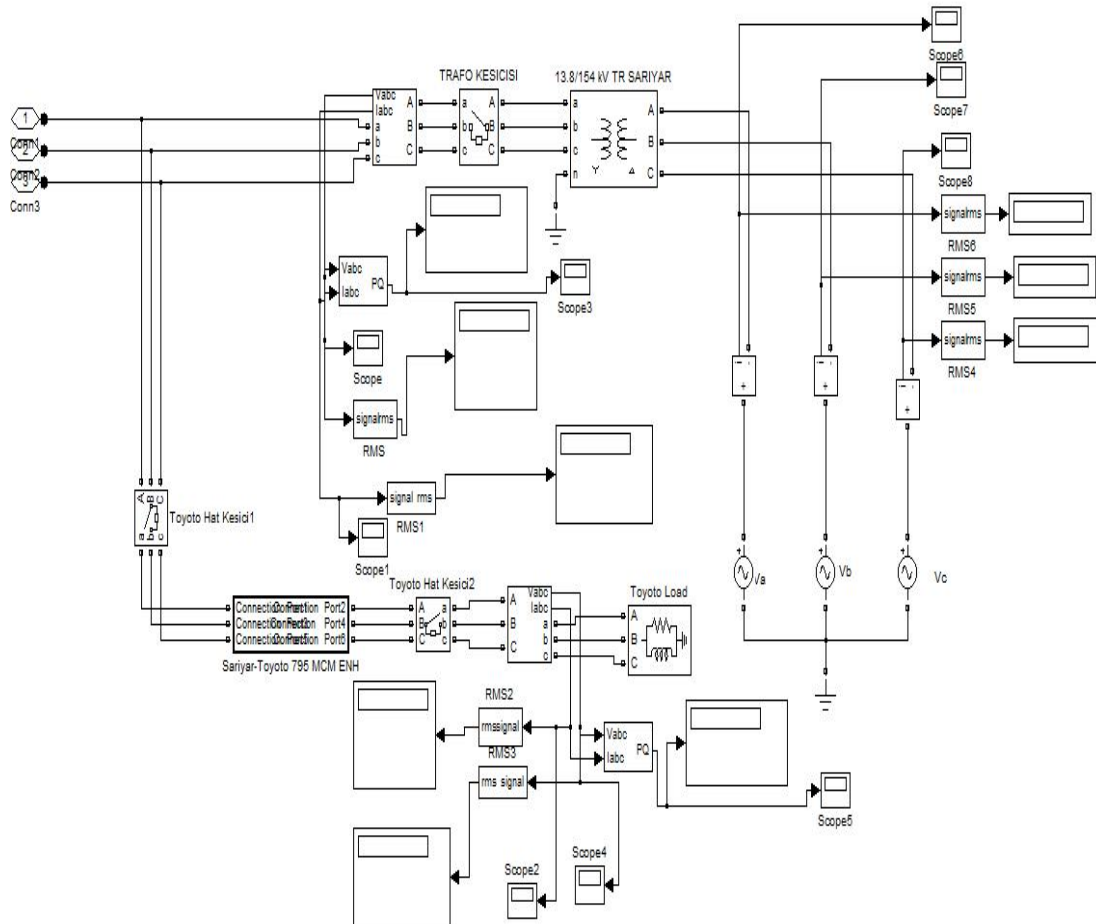
Şekil B.12. Mudurnu TM alt sistem modelinin iç yapısı

7. Sarıyar Santrali



Şekil B.13. Sarıyar Santrali alt sistem modellemesi

Yukarıdaki şekil B.13.'de Bolu-Düzce bölgesi 154 kV / 34,5 kV iletim ve dağıtım şebekesi modellemesinin ana şemasında kullanılan Sarıyar Santrali'nin alt sistem modellemesi görülürken, aşağıdaki şekil B.14.'de ise Sarıyar Santrali alt sistem modelinin iç yapısı bulunmaktadır.



Şekil B.14. Sarıyar Santrali alt sistem modelinin iç şeması

Ek C. Dağıtım Hatları

Tablo C.1. Bolu-Düzce bölgesi 34,5- 31,5 ve 6,3 kV dağıtım hatları blok parametre değerleri

T.M. ADI	GERİLİM	FİDER / ENH ADI	İLETKEN CİNSİ VE KESİTİ	UZUNLUK (km)	R (Ω/km)	L (H/km)	C (µF/km)
BOLUÇİMENTO (TR-A)	154 / 6,3 kV	FİDER 1	2x240 mm ² XLPE	0,10	0,0377	0,00029	0,9
BOLUÇİMENTO (TR-A)	154 / 6,3 kV	FİDER 2	2x240 mm ² XLPE	0,10	0,0377	0,00029	0,9
BOLUÇİMENTO (TR-B)	154 / 6,3 kV	FİDER 1	4x240 mm ² XLPE	0,07	0,01883	0,000143	1,8
BOLUT.M. I (TR-A)	154 / 34,5 kV	FİDER 5 / MUDURNU - SEBEN ENH.	1/0	3	0,67476	0,001479618	0,009 808917
BOLUT.M. I (TR-A)	154 / 34,5 kV	FİDER 6 / ŞEHİR 2 - BEŞKAVAKLAR D.M.	477	1,1	0,134913	0,001097432	0,008 407643
BOLUT.M. I (TR-A)	154 / 34,5 kV	FİDER 7 / ŞEHİR 3 - KILUÇARSLAN D.M.	1x240 mm ² XLPE	0,85	0,0734	0,006	0,2
BOLUT.M. I (TR-A)	154 / 34,5 kV	FİDER 8 / KAYNAŞLI-1	266	13	0,240474	0,001160828	0,008 980892
BOLUT.M. I (TR-A)	154 / 34,5 kV	FİDER 9 / KAYNAŞLI-2	266	13	0,240474	0,001160828	0,008 980892
BOLUT.M. I (TR-B)	154 / 34,5 kV	FİDER 1 / ARDEM D.M. - BOLU T.M. II	477	3,3	0,134913	0,001097432	0,008 407643
BOLUT.M. I (TR-B)	154 / 34,5 kV	FİDER 2 / ARDEM D.M. - BOLU T.M. II	477	3,4	0,134913	0,001097432	0,008 407643
BOLUT.M. I (TR-B)	154 / 34,5 kV	FİDER 3 / ŞEHİR 4 - KILUÇARSLAN D.M.	1/0	0,75	0,67476	0,001479618	0,009 808917
BOLUT.M. I (TR-B)	154 / 34,5 kV	FİDER 4 / ŞEHİR 1 - BEŞKAVAKLAR D.M.	1/0	0,88	0,67476	0,001479618	0,009 808917
BOLUT.M. II (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 1 / BOLUT.M. I - 2nci DEVRE	477	9,33	0,134913	0,001097432	0,008 407643
BOLUT.M. II (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 2 / BOLUT.M. I - 1nci DEVRE	477	9,33	0,134913	0,001097432	0,008 407643
BOLUT.M. II (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 3 / ÇİMENTO ENH. - 1	477	3	0,134913	0,001097432	0,008 407643
BOLUT.M. II (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 4 / ÇİMENTO ENH. - 2	477	3	0,134913	0,001097432	0,008 407643
BOLUT.M. II (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 5 / RİLİZ D.M.	477	4,5	0,134913	0,001097432	0,008 407643
BOLUT.M. II (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 6 / ORGANİZE SAN. ENH.	477	4,3	0,134913	0,001097432	0,008 407643
BOLUT.M. II (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 10 / KÖYLER ENH.	1/0	3	0,67476	0,001479618	0,009 808917
BOLUT.M. II (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 13 / KARTALKAYA ENH.	3/0	13,2	0,4333	0,001419743	0,009 490446
BOLUT.M. II (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 14 / YENİÇAĞA ENH.	1/0	10,3	0,67476	0,001479618	0,009 808917
BOLUT.M. II (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 15 / ALIÇÖREN ENH.	1/0	3,8	0,67476	0,001479618	0,009 808917
MUDURNU T.M.	154 / 34,5 kV	FİDER 1 / İLÇE MERKEZİ ENH.	3/0	0,2	0,4333	0,001419743	0,009 490446
MUDURNU T.M.	154 / 34,5 kV	FİDER 2 / TAŞKESTİ	3/0	14	0,4333	0,001419743	0,009 490446
MUDURNU T.M.	154 / 34,5 kV	FİDER 3 / TAVUKÇULUK	1/0	0,3	0,67476	0,001479618	0,009 808917
MUDURNU T.M.	154 / 34,5 kV	FİDER 6 / ORMANPINAR GRP. ENH.	1/0	0,2	0,67476	0,001479618	0,009 808917
MUDURNU T.M.	154 / 34,5 kV	FİDER 7 / SEBEN ENH.	3/0	46,6	0,4333	0,001419743	0,009 490446
MUDURNU T.M.	154 / 34,5 kV	FİDER 8 / BOLUGRP. KÖYLER ENH.	1/0	9,2	0,67476	0,001479618	0,009 808917
MUDURNU T.M.	154 / 34,5 kV	FİDER 10 / GÖYNÜK - 1 ENH.	3/0	38,3	0,4333	0,001419743	0,009 490446
MUDURNU T.M.	154 / 34,5 kV	FİDER 11 / GÖYNÜK - 2 ENH.	3/0	38,3	0,4333	0,001419743	0,009 490446
GERKON SAN T.M.	154 / 31,5 kV	FİDER 1 / GERKON SAN - 1	3/0	0,3	0,4333	0,001419743	0,009 490446
GERKON SAN T.M.	154 / 31,5 kV	FİDER 2 / GERKON SAN - 2	3/0	0,3	0,4333	0,001419743	0,009 490446
GERKON SAN T.M.	154 / 31,5 kV	FİDER 3 / GEREDE - 1	1/0	8,9	0,67476	0,001479618	0,009 808917
GERKON SAN T.M.	154 / 31,5 kV	FİDER 4 / GEREDE - 2	3/0	2,3	0,4333	0,001419743	0,009 490446
GERKON SAN T.M.	154 / 31,5 kV	FİDER 5 / O.S.B.	1x95 mm ² XLPE	0,1	0,193	0,0068	0,13
GERKON SAN T.M.	154 / 31,5 kV	FİDER 6 / ÇAMLIDERE ENH.	3/0	13	0,4333	0,001419743	0,009 490446
GERKON SAN T.M.	154 / 31,5 kV	FİDER 7 / CİVAR KÖYLER ENH.	1/0	0,8	0,67476	0,001479618	0,009 808917
GERKON SAN T.M.	154 / 31,5 kV	FİDER 8 / YENİÇAĞA - 1	3/0	13	0,4333	0,001419743	0,009 490446
GERKON SAN T.M.	154 / 31,5 kV	FİDER 9 / YENİÇAĞA - 2	3/0	13	0,4333	0,001419743	0,009 490446
GERKON SAN T.M.	154 / 31,5 kV	FİDER 10 / MBNGEN - 1	3/0	28,3	0,4333	0,001419743	0,009 490446
GERKON SAN T.M.	154 / 31,5 kV	FİDER 11 / MBNGEN - 2	3/0	28,3	0,4333	0,001419743	0,009 490446
GERKON SAN T.M.	154 / 31,5 kV	FİDER 12 / ESKİ KÖYLER ENH.	3/0	9,3	0,4333	0,001419743	0,009 490446
GERKON SAN T.M.	154 / 31,5 kV	FİDER 13 / GEREDE - 3	1/0	2,3	0,67476	0,001479618	0,009 808917
KAYNAŞLI T.M. (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 1 / ŞEHİR ENH.	1/0	1	0,67476	0,001479618	0,009 808917
KAYNAŞLI T.M. (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 2 / DÜZCE KÖYLER ENH.	477	3,3	0,134913	0,001097432	0,008 407643
KAYNAŞLI T.M. (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 3 / DÜZCE D.M.-6	477	7,3	0,134913	0,001097432	0,008 407643
KAYNAŞLI T.M. (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 4 / SAZKÖY KÖYLER ENH.	477	7,3	0,134913	0,001097432	0,008 407643
KAYNAŞLI T.M. (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 5 / SÜPERLİT - ANLAŞ ENH.	3/0	2,3	0,4333	0,001419743	0,009 490446
KAYNAŞLI T.M. (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 6 / OSMANCA SANAYİ ENH.	266	12	0,240474	0,001160828	0,008 980892
KAYNAŞLI T.M. (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 7 / BOLU KÖYLER ENH.	266	10	0,240474	0,001160828	0,008 980892
KAYNAŞLI T.M. (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 8 / DÜZCE D.M.-1	266	12	0,240474	0,001160828	0,008 980892
KAYNAŞLI T.M. (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 9 / BOLU T.M. I	266	10	0,240474	0,001160828	0,008 980892
KAYNAŞLI T.M. (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 10 / DÜZCE O.S.B.-1	477	10	0,134913	0,001097432	0,008 407643
KAYNAŞLI T.M. (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 11 / DÜZCE O.S.B.-2	477	10	0,134913	0,001097432	0,008 407643

Ek Ç. Y-Y Bağlantılı Trafo Test Raporu

Kabul Deney Raporu		AEG ETİ											
Tip : TLJN 7852		3-Fazlı Yağlı Transformatör					Sayfa No : 1 Toplam 21 Sayfa						
Müşteri : TEK		Fb No : 309950		Mak. No : 309950-01			Rapor No : 3309950						
Standart : IEC+TS		Poz.	YG (V)		AG 1		AG 2		Değerler , 75 °C				
Şekli : GT		1	138600						Pozisyon : 9				
İşletme : Sürekli									Po (kW)	Pk (kW)	Uk (%)		
Soğutma : ONAN+ONAF		9	Un(V)	154000	34500	31500			Garanti	42	285	12	
Anma Frekansı 50 Hz									Tolerans	0 %	0 %	10 %	
Sür.Kısa Dev.Ak. kA		17	169400						Fb.Testi	31.5	259	11.8	
Max.Kıs.Dev.Sür. sn		Anma Akımı (A)	187(234)		837(1046)		916(1146)		Kabul T.				
		SN (MVA)	50(62.5)						Toplam Ağırlık :	90 t			
		Uk (%)							Yağ Ağırlığı :	20 t			
		Pozisyon	9						Yağ Cinsi :	NYNAS NITRO 10XT			
		Bağ. Grubu	YNyn 0										
Sargı Dirençlerinin Ölçülmesi 17.6°C ohm													
Bağ. / Poz.	1	9	17						31.5kV		34.5kV		
A-B	1.07	1.219	1.359				a-b	0.04298	a-b		0.05120		
B-C	1.07	1.219	1.359				b-c	0.04289	b-c		0.05086		
C-A	1.07	1.219	1.359				c-a	0.04292	c-a		0.05183		
Çevirme Oranlarının Ölçülmesi													
İşaret plakasına göre çevirme oranları ve bağ. grubu													
Pozisyon													
Bağlantı / Çev. Oranı													
%													
% (Sayfa : 2)													
%													
Bağlantı : a-b-c Boştaki Kayıp ve Akımların Ölçülmesi Frk.: 50 Hz													
Ger. (V)	Akımlar (A)					Kayıplar (kW)							
U	Io a	Io b	Io c	Io ort.	Io/In	a1	a2	a3	Σa	Csc	Po	C	Po
31050	0.494	0.352	0.581	0.476	0.057								24.18
34500	0.64	.435	0.715	0.597	0.071								31.48
37950	1.26	0.893	1.3	1.15	0.14								43.13
39675	2.77	2.11	2.78	2.55	0.3								51.97
Bağlantı : A-B-C Kısa Devre Ger. ve Yük Kaybı Ölçülmesi 21.4°C 50 Hz													
Poz.	Akım (A)	Gerilim(V)		(%)	a1	a2	a3	Σa	Cp	Kayıplar (kW)			
	I	U	Imp.							Pk (In)	C	Pk 75 °C	
1	208.3	12540	9.05							146.96		169.51	
9	187.5	14480	9.4							144.78		165.64	
17	170.4	16620	9.81							145.33		164.12	
1	260.3	15674	11.3							229.62		264.87	
9	234.3	18100	11.8							226.22		258.81	
17	213.0	20778	12.3							227.08		256.46	
Yalıtım Deneyleri				kV	Hz	sn.	Kayıplar 21.4°C			Kayıplar 75 °C			
Uygulanan Gerilim		Y.G	38	50	60	Pk (In)= 226220 W			ΣIn²R = 226976 W				
Uygulanan Gerilim		A.G	70	50	60	ΣIn²R = 187731 W			Pz = 31834 W				
Endüklenen Gerilim		A.G	3*275	200	30	Pz = 38489 W			Pk = 258810 W				
Düşünceler : NYNAS NITRO 10XT DIN 51527'ye göre, Ölçülen toplam PCB<0.5 ppm.													
- Yükte kademe değiştirici deneyleri, IEC 76/1 Bölüm : 8.8 'e göre yapılmıştır.													
Tarih : 25.03.1194 <i>Orgeon</i> <i>[Signature]</i> <i>[Signature]</i>													

© Her hakkı mahfuzdur. Konva edilemez izinsiz çoğaltılamaz

Şekil Ç.1. 154 / 34,5 kV, 50 MVA, YNyn0 bağlantılı transformatör test raporu

Ek D. Δ -Y Bağlantılı Trafo Test Raporu


1 of 14	
 ABB ELEKTRİK SANAYİ A.Ş.	
TRANSFORMER TEST REPORT	
Transformer	: 136 / 154 / 171 MVA ; 140 / 15 kV ; YNd11 ; 50 Hz.
Standard	: IEC 60076
İstanbul , 28 February 2008	
Customer or representative	

ABB ELEKTRİK SANAYİ A.Ş. Esentepe Mahallesi, Milangaz caddesi No : 52 P.O. Box : 20 ; 34870 Kartal - İstanbul / TÜRKİYE Tel : +90 (0)216 528 2200 ; Fax : +90 (0)216 353 0480	

Şekil D.1. Δ -Y bağlantılı transformatör test raporu (Devamı)

69	TRANSFORMER TEST REPORT		HV -TEST LABORATORY																																
			Date : 28 February 2008 Page No : 2 of 14																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Contents</th> <th style="text-align: right;">Page number</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cover sheet</td> <td style="text-align: right;">1</td> </tr> <tr> <td>Contents sheet</td> <td style="text-align: right;">2</td> </tr> <tr> <td>Data of the transformer</td> <td style="text-align: right;">3</td> </tr> <tr> <td>Summary of test results</td> <td style="text-align: right;">4</td> </tr> <tr> <td>Efficiency and voltage regulation</td> <td style="text-align: right;">5</td> </tr> <tr> <td>Measurement of voltage ratio and check of phase displacement</td> <td style="text-align: right;">6</td> </tr> <tr> <td>Measurement of capacitance and dissipation factor</td> <td style="text-align: right;">7</td> </tr> <tr> <td>Measurement of insulation resistance</td> <td style="text-align: right;">7</td> </tr> <tr> <td>Measurement of short circuit current and no-load current at 400 Volts</td> <td style="text-align: right;">8</td> </tr> <tr> <td>Measurement of winding resistances</td> <td style="text-align: right;">9</td> </tr> <tr> <td>Measurement of load loss and short circuit impedance voltage</td> <td style="text-align: right;">10</td> </tr> <tr> <td>Measurement of zero sequence impedance</td> <td style="text-align: right;">11</td> </tr> <tr> <td>Measurement of no-load loss, no-load current and harmonics</td> <td style="text-align: right;">12</td> </tr> <tr> <td>Separate-source voltage withstand test</td> <td style="text-align: right;">13</td> </tr> <tr> <td>Induced over voltage withstand test</td> <td style="text-align: right;">14</td> </tr> </tbody> </table>			Contents	Page number	Cover sheet	1	Contents sheet	2	Data of the transformer	3	Summary of test results	4	Efficiency and voltage regulation	5	Measurement of voltage ratio and check of phase displacement	6	Measurement of capacitance and dissipation factor	7	Measurement of insulation resistance	7	Measurement of short circuit current and no-load current at 400 Volts	8	Measurement of winding resistances	9	Measurement of load loss and short circuit impedance voltage	10	Measurement of zero sequence impedance	11	Measurement of no-load loss, no-load current and harmonics	12	Separate-source voltage withstand test	13	Induced over voltage withstand test	14	
Contents	Page number																																		
Cover sheet	1																																		
Contents sheet	2																																		
Data of the transformer	3																																		
Summary of test results	4																																		
Efficiency and voltage regulation	5																																		
Measurement of voltage ratio and check of phase displacement	6																																		
Measurement of capacitance and dissipation factor	7																																		
Measurement of insulation resistance	7																																		
Measurement of short circuit current and no-load current at 400 Volts	8																																		
Measurement of winding resistances	9																																		
Measurement of load loss and short circuit impedance voltage	10																																		
Measurement of zero sequence impedance	11																																		
Measurement of no-load loss, no-load current and harmonics	12																																		
Separate-source voltage withstand test	13																																		
Induced over voltage withstand test	14																																		
Test Engineer	Chief, HV - Testing Laboratory	Customer or representative																																	

Şekil D.1. Δ -Y bağlantılı transformatör test raporu (Devamı)

	TRANSFORMER TEST REPORT	HV -TEST LABORATORY
		Date : 28 February 2008
		Page No : 3 of 14

Data of the transformer

Rated power [HV] : 136 / 154 / 171 MVA
 [LV] : 136 / 154 / 171 MVA

Rated voltage [HV] : 140 kV
 [LV] : 15 kV

Rated current [HV] : 560,9 / 635,1 / 705,2 A
 [LV] : 5234,6 / 5927,5 / 6581,8 A

Number of phase / Frequency : 3 / 50 Hz

Vector group : YNd 11

Insulation level [HV] : LI / AC 650 / 275 kV
 [HV - N] : LI / AC 650 / 275 kV
 [LV] : LI / AC 95 / 38 kV

Temperature rise [Oil / Winding / Hot spot] : 60 / 65 / 78 K

Type of cooling : ONAN / ONAF1 / ONAF2

Type of tap changer : --

Type of fan : FE080-NDL.6K.V7

Bushings [HV] : ABB ; GSA 145 - 00
 [HV - N] : ABB ; GSA 145 - 00
 [LV] : ABB ; GOH 170 / 70

Current transformers :

Location	Terminals	Ratio [A]	Burden [VA]	Class	Application
1V	S1 - S2	706 / 1,5	10	1Fs10	H.V. Thermal image
1N	1S1 - 1S2	100 / 1,0	15	5P10	Protection
	2S1 - 2S2	100 / 1,0	15	5P10	Protection
2U	S1 - S2	3800 / 1,5	10	1Fs10	L.V. Thermal image

Dimensions and weights :

Length : 8500 mm Active part : 93000 kg.
 Width : 5900 mm Oil : 31200 kg.
 Height : 6700 mm Total : 157000 kg.

Transport dimensions [LxWxH] : 5800 x 2950 x 4350 mm
 Transport weight : 112000 kg. [Without oil]

Type of insulating oil : NYNAS NYTRO 4000 X

Test Engineer	Chief, HV - Testing Laboratory	Customer or representative
---------------	--------------------------------	----------------------------

Şekil D.1. Δ-Y bağlantılı transformator test raporu (Devamı)

69	TRANSFORMER TEST REPORT				HV -TEST LABORATORY	
					Date : 28 February 2008	Page No : 4 of 14

Summary of test results

Load loss and impedance voltage						
Reference power [MVA]	Tap position No	Voltages [kV]	Load losses at 75 °C		S. circuit imp. voltage at 75 °C	
			Measured [kW]	Guaranteed [kW]	Measured [%]	Guaranteed [%]
136	--	140 / 15	223,973	--	9,62	--
154	--	140 / 15	287,183	--	10,90	--
171	--	140 / 15	354,087	355	12,10	12,0

No-load loss and no-load current					
Reference power [MVA]	Ur [%]	No-load loss		No-load current	
		Measured [kW]	Guaranteed [kW]	Measured [%]	Guaranteed [%]
171	90	47,532	--	0,04	--
	100	61,462	65	0,06	--
	110	88,046	--	0,20	--

Zero sequence impedance					
Reference power [MVA]	Impedance				
	Z [Ω / phase]	Zo [%]			
171	13,41	11,70			

Sound level						
Measurement conditions	Average sound pressure level		Average sound power level		Total sound power level	
	Measured [dBA]	Guaranteed [dBA]	Measured [dBA]	Guaranteed [dBA]	Measured [dBA]	Guaranteed [dBA]
At rated voltage	#BAŞV!	#BAŞV!	#BAŞV!	--	#####	#####
At rated current	#BAŞV!	#BAŞV!	#BAŞV!	--	#####	#####

Temperature rise								
Cooling condition	Top oil temperature rise [K]	Average winding temperature rise		Hot - spot temperature rise		Guaranteed		
		HV- winding [K]	LV- winding [K]	HV- winding [K]	LV- winding [K]	Top oil temp. rise [K]	Winding temp. rise [K]	Hot - spot temp. rise [K]
ONAF2	52,2	56,0	54,0	69,8	67,2	60	65	78

Test Engineer	Chief, HV - Testing Laboratory	Customer or representative
---------------	--------------------------------	----------------------------

Şekil D.1. Δ -Y bağlantılı transformatör test raporu (Devamı)


69	TRANSFORMER TEST REPORT	HV -TEST LABORATORY Date : 28 February 2008 Page No : 5 of 14
----	-------------------------	---

Reference power [MVA]	Tap position No	cos ϕ	Efficiency			
			Load factor and efficiencies [%]			
			1/4	2/4	3/4	4/4
171	--	0,80	99,76	99,78	99,75	99,70
		1,00	99,80	99,82	99,80	99,76

Reference power [MVA]	Tap position No	cos ϕ	Voltage regulation			
			Load factor and regulation [%]			
			1/4	2/4	3/4	4/4
171	--	0,80	1,88	3,83	5,82	7,88
		1,00	0,10	0,29	0,57	0,94

Test Engineer	Chief, HV - Testing Laboratory	Customer or representative
---------------	--------------------------------	----------------------------

Şekil D.1. Δ -Y bağlantılı transformatör test raporu (Devamı)

	TRANSFORMER TEST REPORT						HV -TEST LABORATORY		
							Date : 25 February 2008		
						Page No : 6 of 14			
Measurement of voltage ratio									
Tap position No	Voltages [Volt]		Calculated ratios	Measured ratios			Ratio errors [%]		
	U ₁	U ₂		$\frac{1U - 1N}{2U - 2W}$	$\frac{1V - 1N}{2V - 2U}$	$\frac{1W - 1N}{2W - 2V}$	$\frac{1U - 1N}{2U - 2W}$	$\frac{1V - 1N}{2V - 2U}$	$\frac{1W - 1N}{2W - 2V}$
--	140000	15000	5,389	5,392	5,392	5,392	0,06	0,06	0,06
Vector group : YNd11 [The vector group is checked by the test system.]									
Test Engineer			Chief, HV - Testing Laboratory			Customer or representative			

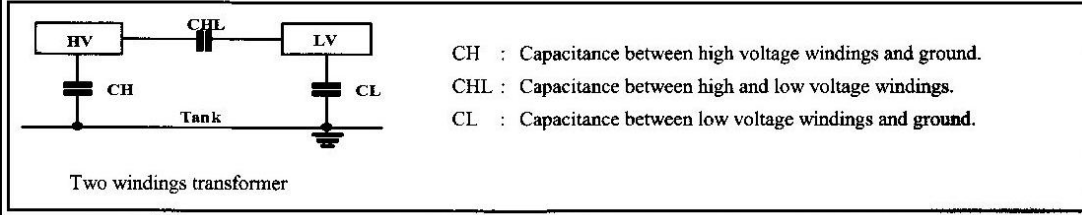
Şekil D.1. Δ-Y bağlantılı transformatör test raporu (Devamı)

69	TRANSFORMER TEST REPORT	HV -TEST LABORATORY
		Date : 25 February 2008 Page No : 7 of 14

Measurement of capacitance and dissipation factor

Transformer					Bushing					
Test kV	Measured		tan δ %		Bushing No	Test kV	Measured		tan δ %	
	Capacitance	[pF]	25,1 °C	20.0 °C			Cap	[pF]	25,1 °C	20.0 °C
10,0	CHL	9701,0	0,11	0,098	1ZSC334090	10,0	C1	410,8	0,30	0,286
"	CH + CHL	15060,0	0,15	0,133	1ZSC334091	"	"	411,3	0,31	0,295
"	CH	5360,0	0,21	0,187	1ZSC334092	"	"	410,5	0,29	0,276
"	CHL	9702,0	0,12	0,107	*1U	"	"	211,0	0,45	0,429
"	CHL + CL	28360,0	0,12	0,107	*1V	"	"	209,1	0,43	0,410
"	CL	18660,0	0,13	0,116	*1W	"	"	210,9	0,45	0,429
					*1N	"	"	199,1	0,38	0,362

* Test bushings



Measurement of insulation resistance

	Measured values at 25,1 °C					
	HV / LV	HV / Tank	LV / Tank	CL / CC	CL / Tank	CC / Tank
Test voltage	5000 V	5000 V	5000 V	1000 V	1000 V	1000 V
Earthing duration	1 minute	1 minute	1 minute	1 minute	1 minute	1 minute
at 15 seconds	M Ω	17800	29300	19600		
at 30 seconds	M Ω	27900	55500	20800		
at 45 seconds	M Ω	29400	57400	23300		
at 60 seconds	M Ω	31100	58300	25400	12600	13100

R ₆₀ /R ₁₅	M Ω	1,75	1,99	1,30
----------------------------------	------------	------	------	------

CL : Core lamination ; CC : Core clamp

Test Engineer	Chief, HV - Testing Laboratory	Customer or representative
---------------	--------------------------------	----------------------------

Şekil D.1. Δ -Y bağlantılı transformatör test raporu (Devamı)

69	TRANSFORMER TEST REPORT	HV - TEST LABORATORY
		Date : 25 February 2008 Page No : 8 of 14

Measurement of short circuit current at 400 Volts

Supplied terminals : 1U - 1N			Supplied terminals : 1V - 1N			Supplied terminals : 1W - 1N		
Shorted terminals : 2U - 2W			Shorted terminals : 2V - 2U			Shorted terminals : 2W - 2V		
Voltage [V]	Current [A]	Impedance [W]	Voltage [V]	Current [A]	Impedance [W]	Voltage [V]	Current [A]	Impedance [W]
399,81	29,074	13,751	400,90	29,363	13,653	400,48	29,301	13,668

Measurement of no-load current at 400 Volts

Supplied terminals : 1U - 1N			Supplied terminals : 1V - 1N			Supplied terminals : 1W - 1N		
Voltage [V]	Current [mA]		Voltage [V]	Current [mA]		Voltage [V]	Current [mA]	
370,8	8,285		372,90	6,819		373,1	8,897	

Test Engineer	Chief, HV - Testing Laboratory	Customer or representative
---------------	--------------------------------	----------------------------

Şekil D.1. Δ-Y bağlantılı transformatör test raporu (Devamı)

69	TRANSFORMER TEST REPORT	HV - TEST LABORATORY
		Date : 25 February 2008 Page No : 9 of 14

Measurement of winding resistances

Tap position No	Resistances of the HV-windings [mΩ]			Average resistances [mΩ]	
	1U - 1N	1V - 1N	1W - 1N	at 23,7 °C	at 75,0 °C
--	90,882	91,093	91,233	91,069	109,128
	1U - 1V	1V - 1W	1W - 1U		
--	180,802	181,051	181,022	180,958	216,842

Tap position No	Resistances of the LV-windings [mΩ]			Average resistances [mΩ]	
	2U - 2V	2V - 2W	2W - 2U	at 23,7 °C	at 75,0 °C
--	1,5660	1,5720	1,5810	1,5730	1,8849

Test Engineer	Chief, HV - Testing Laboratory	Customer or representative
---------------	--------------------------------	----------------------------

Şekil D.1. Δ-Y bağlantılı transformatör test raporu (Devamı)

69	TRANSFORMER TEST REPORT		HV -TEST LABORATORY
			Date : 25 February, 2008
			Page No : 10 of 14

Measurement of load loss and impedance voltage

Reference power [MVA]	Supplied winding	Short circuit winding	Tap position No	Voltages			Measured values			*Corrected values			Average temp. [°C]	Test frequency [Hz]
				HV [kV]	LV [kV]	Pm [kW]	Um [kV]	Im [A]	Pcorr. [kW]	Ucorr. [kV]				
171,0	HV	LV	--	140	15	319,319	16,896	703,450	320,903	16,938	23,70	50,0		

* Corrected to rated current [P(corr.) = (Irated / I measured)² * Pmeasured and U(corr.) = (Irated / I measured) * Umeasured]

Reference power [MVA]	Tap position No	Voltages			Load losses at 75 °C				Short circuit impedance voltage at 75 °C			
		HV [kV]	LV [kV]	Σ I ² *R [kW]	Other losses [kW]	Load losses [kW]	Guaranteed [kW]	Tolerance [%]	Measured [%]	Guaranteed [%]	Tolerance [%]	
136,0	--	140	15	179,789	44,184	223,973	--	--	9,62	--	--	--
154,0	--	140	15	230,529	56,654	287,183	--	--	10,90	--	--	--
171,0	--	140	15	284,235	69,853	354,087	355	--	12,10	12,0	10	10

Test Engineer	Chief, HV - Testing Laboratory	Customer or representative
---------------	--------------------------------	----------------------------

69	TRANSFORMER TEST REPORT	HV - TEST LABORATORY
		Date : 25 February 2008 Page No : 11 of 14

Measurement of zero sequence impedance

Reference power [MVA]	Tap position No	Supplied windings	Open circuit windings	Short circuit windings	Measured		Calculated		Figure No
					Voltage [V]	Current [A]	Z Ω / phase	Zo [%]	
171	--	HV	LV	--	999,27	223,61	13,41	11,70	1

Note :

The Z and Zo are calculated according to following formulae.

$$Z = 3 * U / I$$

$$Z_o = Z * I_r * 100 / U_r$$

Where :

- Z : zero-sequence impedance [Ω / phase]
 Zo : zero-sequence impedance [%]
 U : measured voltage [Volt]
 I : measured current [Amper]
 Ir : rated current per phase of the excited windings [Amper]
 Ur : rated phase to neutral voltage of the excited windings [Volt]

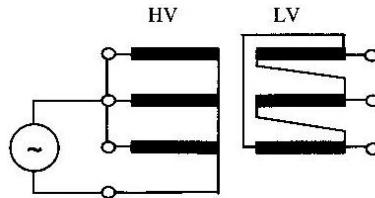


Figure : 1

Test Engineer	Chief, HV - Testing Laboratory	Customer or representative
---------------	--------------------------------	----------------------------

Şekil D.1. Δ -Y bağlantılı transformör test raporu (Devamı)

	TRANSFORMER TEST REPORT	HV -TEST LABORATORY
		Date : 25 February 2008 Page No : 12 of 14

Measurement of no-load loss and no-load current

Ur/ [%]	Measured values				No-load loss			No-load current		
	Pm [kW]	kV		Im [A]	Corrected [kW]	Guar. [kW]	Tol. [%]	Measur. [%]	Guar. [%]	Tol. [%]
		[kVrms]	[kVmean]							
90	47,539	13,506	13,504	2,567	47,532	--	--	0,04	--	--
100	61,651	15,046	15,000	3,948	61,462	65,0	0	0,06	--	--
110	90,077	16,872	16,500	12,900	88,046	--	--	0,20	--	--

Note : The no-load losses are corrected according to (1)

$$P_o = P_m * (1+d) \quad (1)$$

$$d = (U_{avg} - U_{rms}) / U_{avg}$$

Measurement of harmonics on no-load current

Phase	At 100 %Ur							
	3rd	5th	7th	9th	3rd	5th	7th	9th
	harmonic	harmonic	harmonic	harmonic	harmonic	harmonic	harmonic	harmonic
2U	25,9 %	28,0 %	12,6 %	1,5 %	-	-	-	-
2V	16,6 %	22,2 %	10,1 %	1,6 %	-	-	-	-
2W	8,7 %	23,4 %	10,8 %	0,4 %	-	-	-	-

Test Engineer	Chief, HV - Testing Laboratory	Customer or representative
---------------	--------------------------------	----------------------------

Şekil D.1. Δ-Y bağlantılı transformatör test raporu (Devamı)

69	TRANSFORMER TEST REPORT	HV -TEST LABORATORY
		Date : 26 February 2008 Page No : 13 of 14

Separate-source voltage withstand test

	*Um [kV]	Test voltage [kV]	Applied [kV]	Test duration [seconds]	Frequency [Hz]
HV - windings to other windings and tank	145,0	275	275	60	50
LV - windings to other windings and tank	17,5	38	38	60	

*Um :Highest voltage for equipment.

--

Short-duration AC withstand voltage test

Phase under test	Tap position	Energized terminals	Earthed terminals	Test voltage [kV]	Measured voltage [kV]	Test duration [seconds]	Frequency [Hz]
1U - 1V - 1W	--	2U - 2V - 2W	1N	See page 14 of 44			200

--

Test Engineer	Chief, HV - Testing Laboratory	Customer or representative
---------------	--------------------------------	----------------------------

Şekil D.1. Δ-Y bağlantılı transformatör test raporu (Devamı)

69	TRANSFORMER TEST REPORT		HV -TEST LABORATORY		
			Date : 26 February 2008 Page No : 14 of 14		
Short-duration induced AC withstand voltage test (ACSD) [Three phase test]					
Calibration : The PD measurement channels were calibrated at 500 pC .					
Measurement : [Um = 145 kV]					
Time [minutes]	Test voltage [kV]		Measured values [pC]		
	Phase-to-earth	Phase-to-phase	1U	1V	1W
5	$1.1 * 145 / \sqrt{3} = 92,1$	$1.1 * 145 = 159,5$	--	--	--
5	$U2 = 185 / \sqrt{3} = 106,8$	$U2 = 185,0$	--	--	--
30 s	$U1 = 275 / \sqrt{3} = 158,8$	$U1 = 275,0$	--	--	--
1	$U2 = 185 / \sqrt{3} = 106,8$	$U2 = 185,0$	36,6	41,0	35,3
2	"	"	32,5	42,8	34,0
3	"	"	39,4	42,3	32,3
4	"	"	35,3	42,3	33,2
5	"	"	37,6	44,6	37,4
5	$1.1 * 145 / \sqrt{3} = 92,1$	$1.1 * 145 = 159,5$	--	--	--
Note : The U1 and U2 are taken from page 105 of the IEC 60076-3 [2000] standard.					
Back ground noise level before test			21,6	19,4	19,4
Back ground noise level after test			20,7	18,9	20,6
Guaranteed values			300 pC at U2 Voltage		
Test Engineer		Chief, HV - Testing Laboratory		Customer or representative	

Şekil D.1. Δ-Y bağlantılı transformatör test raporu

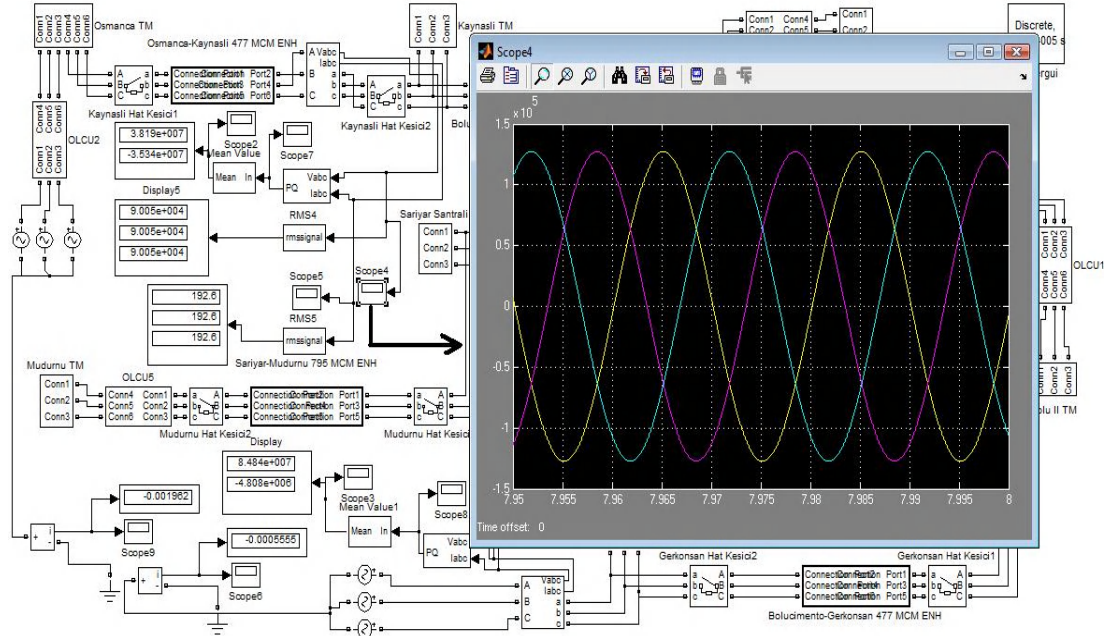
Ek E. Yükleler

Tablo E.1. Bolu-Düzce bölgesi iletim ve dağıtım şebekesi aktif ve reaktif yük tablosu

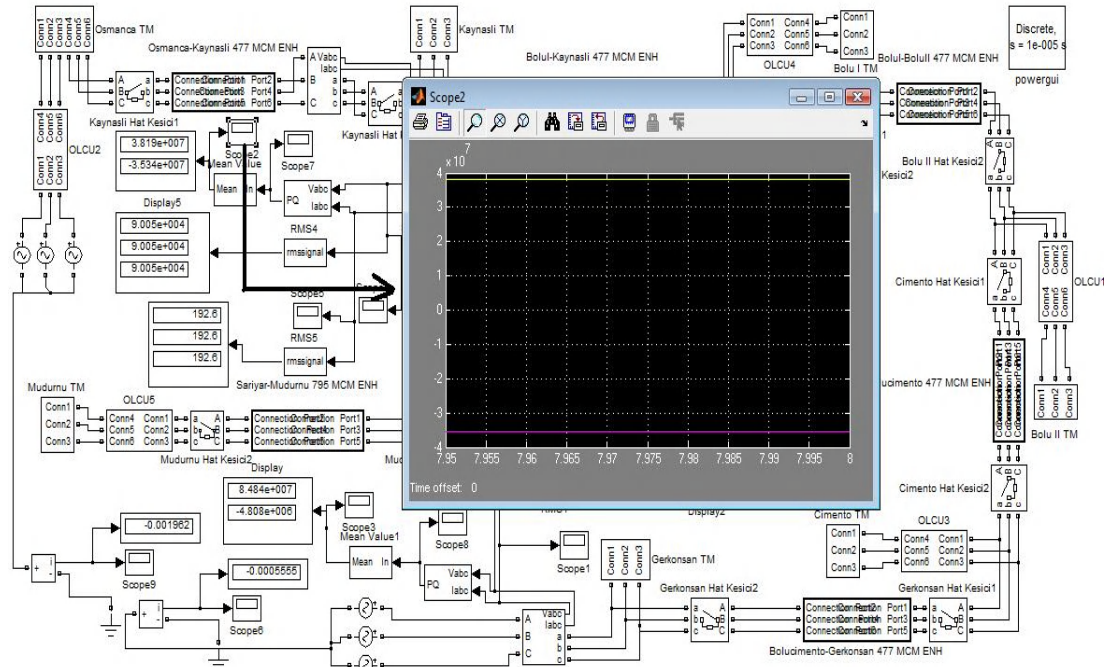
T.M. ADI	GERİLİM	FİDER / ENH ADI	P (MW) (AKTİF GÜÇ)	Q (MVAR) (REAKTİF GÜÇ)
BOLU ÇİMENTO (TR-A)	154 / 6,3 kV	FİDER 1	5,5	0,5
BOLU ÇİMENTO (TR-A)	154 / 6,3 kV	FİDER 2	4,5	0,5
BOLU ÇİMENTO (TR-B)	154 / 6,3 kV	FİDER 1	14	1,5
BOLU T.M. I (TR-A)	154 / 34,5 kV	FİDER 5 / MUDURNU - SEBEN ENH.	1,6	0,403
BOLU T.M. I (TR-A)	154 / 34,5 kV	FİDER 6 / ŞEHİR 2 - BEŞKAVAKLAR D.M.	5,5	1,21
BOLU T.M. I (TR-A)	154 / 34,5 kV	FİDER 7 / ŞEHİR 3 - KILIÇARSLAN D.M.	9	0,96
BOLU T.M. I (TR-A)	154 / 34,5 kV	FİDER 8 / KAYNAŞLI-1	0,1	0
BOLU T.M. I (TR-A)	154 / 34,5 kV	FİDER 9 / KAYNAŞLI-2	0,6	0
BOLU T.M. I (TR-B)	154 / 34,5 kV	FİDER 2 / ARDEM D.M. - BOLU T.M. II	4,5	1,09
BOLU T.M. I (TR-B)	154 / 34,5 kV	FİDER 3 / ŞEHİR 4 - KILIÇARSLAN D.M.	6	1,323
BOLU T.M. I (TR-B)	154 / 34,5 kV	FİDER 4 / ŞEHİR 1 - BEŞKAVAKLAR D.M.	8	0,96
BOLU T.M. II (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 1 / BOLU T.M. I - 2nci DEVRE	4,2	0,498
BOLU T.M. II (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 1 / BOLU T.M. I - 1nci DEVRE	4,4	0,613
BOLU T.M. II (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 3 / ÇİMENTO ENH. - 1	0,4	0
BOLU T.M. II (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 4 / ÇİMENTO ENH. - 2	0	0
BOLU T.M. II (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 5 / FİLİZ D.M.	5,7	0,86
BOLU T.M. II (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 6 / ORGANİZE SAN. ENH.	12,6	2,3
BOLU T.M. II (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 10 / KÖYLER ENH.	0,7	0,21
BOLU T.M. II (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 13 / KARTALKAYA ENH.	0,3	0
BOLU T.M. II (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 14 / YENİÇAĞA ENH.	0,3	0,058
BOLU T.M. II (TR - A/B)	154 / 34,5 kV	FİDER 15 / ALIÇÖREN ENH.	0,6	0,105
MUDURNU T.M.	154 / 34,5 kV	FİDER 1 / İLÇE MERKEZİ ENH.	2	0,552
MUDURNU T.M.	154 / 34,5 kV	FİDER 2 / TAŞKESTİ	0,9	0,069
MUDURNU T.M.	154 / 34,5 kV	FİDER 5 / TAVUKÇULUK	0,5	0,005
MUDURNU T.M.	154 / 34,5 kV	FİDER 6 / ORMANPINAR GRP. ENH.	0,6	0,08
MUDURNU T.M.	154 / 34,5 kV	FİDER 7 / SEBEN ENH.	2,5	0,067
MUDURNU T.M.	154 / 34,5 kV	FİDER 8 / BOLU GRP. KÖYLER ENH.	2,4	0,079
MUDURNU T.M.	154 / 34,5 kV	FİDER 10 / GÖYNÜK - 1 ENH.	3,7	0,75
MUDURNU T.M.	154 / 34,5 kV	FİDER 11 / GÖYNÜK - 2 ENH.	8,4	1,44
GERKONSAN T.M.	154/31,5 kV	FİDER 1 / GERKONSAN - 1	0	0
GERKONSAN T.M.	154/31,5 kV	FİDER 2 / GERKONSAN - 2	0,9	0,018
GERKONSAN T.M.	154/31,5 kV	FİDER 3 / GEREDE - 1	1	0,105
GERKONSAN T.M.	154/31,5 kV	FİDER 4 / GEREDE - 2	6,2	0,372
GERKONSAN T.M.	154/31,5 kV	FİDER 5 / O.S.B.	0,5	0,049
GERKONSAN T.M.	154/31,5 kV	FİDER 6 / ÇAMLIDERE ENH.	8,7	0,144
GERKONSAN T.M.	154/31,5 kV	FİDER 7 / CİVAR KÖYLER ENH.	0,7	0,042
GERKONSAN T.M.	154/31,5 kV	FİDER 8 / YENİÇAĞA - 1	1,6	0,145
GERKONSAN T.M.	154/31,5 kV	FİDER 9 / YENİÇAĞA - 2	1,5	0,167
GERKONSAN T.M.	154/31,5 kV	FİDER 10 / MENGEN - 1	2	0,001
GERKONSAN T.M.	154/31,5 kV	FİDER 11 / MENGEN - 2	3,7	0,274
GERKONSAN T.M.	154/31,5 kV	FİDER 12 / ESKİ KÖYLER ENH.	0,8	0,004
GERKONSAN T.M.	154/31,5 kV	FİDER 13 / GEREDE - 3	6	0,872
KAYNAŞLI T.M. (TR - A/B)	154/34,5 kV	FİDER 1 / ŞEHİR ENH.	1,2	0,33
KAYNAŞLI T.M. (TR - A/B)	154/34,5 kV	FİDER 2 / DÜZCE KÖYLER ENH.	6,5	2,12
KAYNAŞLI T.M. (TR - A/B)	154/34,5 kV	FİDER 3 / DÜZCE D.M.-6	10,2	2,478
KAYNAŞLI T.M. (TR - A/B)	154/34,5 kV	FİDER 4 / SAZKÖY KÖYLER ENH.	0,5	0,08
KAYNAŞLI T.M. (TR - A/B)	154/34,5 kV	FİDER 5 / SÜPERLÜT - ANLAŞ ENH.	3,2	0,44
KAYNAŞLI T.M. (TR - A/B)	154/34,5 kV	FİDER 6 / OSMANCA SANAYİ ENH.	1,6	0,049
KAYNAŞLI T.M. (TR - A/B)	154/34,5 kV	FİDER 7 / BOLU KÖYLER ENH.	1,6	0,042
KAYNAŞLI T.M. (TR - A/B)	154/34,5 kV	FİDER 8 / DÜZCE D.M.-1	12	0,35
KAYNAŞLI T.M. (TR - A/B)	154/34,5 kV	FİDER 9 / BOLU T.M. I	1	0
KAYNAŞLI T.M. (TR - A/B)	154/34,5 kV	FİDER 10 / DÜZCE O.S.B.-1	6	0,027
KAYNAŞLI T.M. (TR - A/B)	154/34,5 kV	FİDER 11 / DÜZCE O.S.B.-2	0,1	0
OSMANCA T.M.	154/154 kV	AKÇAKOCA ENH	14,3	5,4
OSMANCA T.M.	154/154 kV	HENDEK ENH	67	8
OSMANCA T.M.	154/154 kV	KARASU ENH	15	6
SARIYAR SANTRALI	154/154 kV	TOYOTO ENH	20	2

Ek F. Güç Akışı Grafikleri

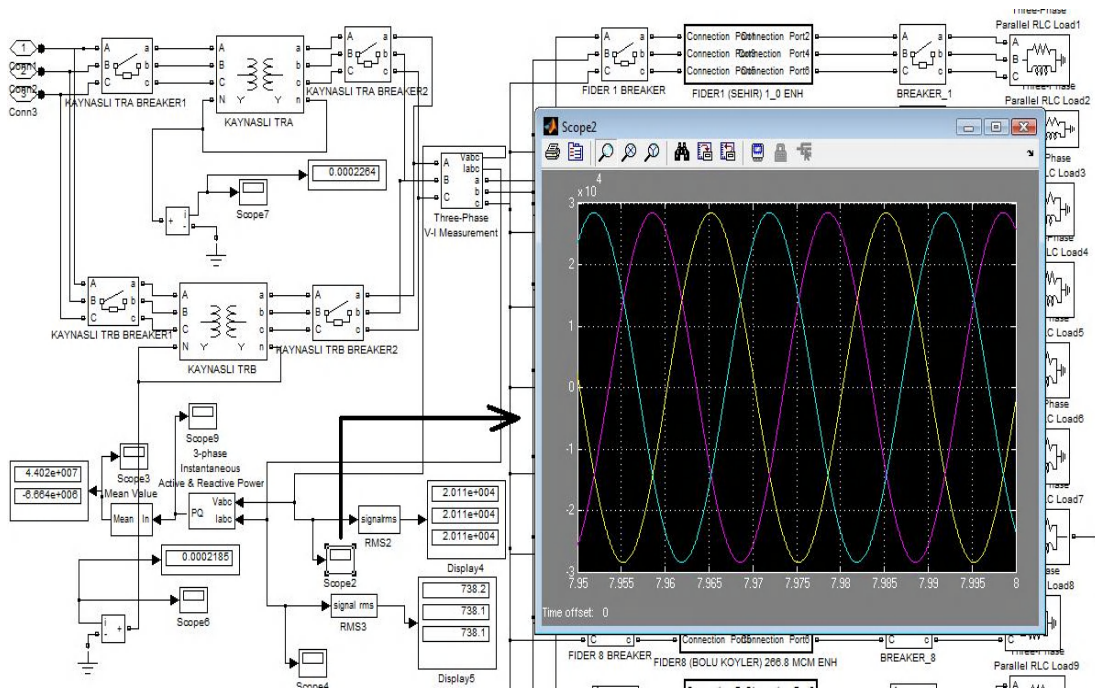
1. Kaynaşlı TM



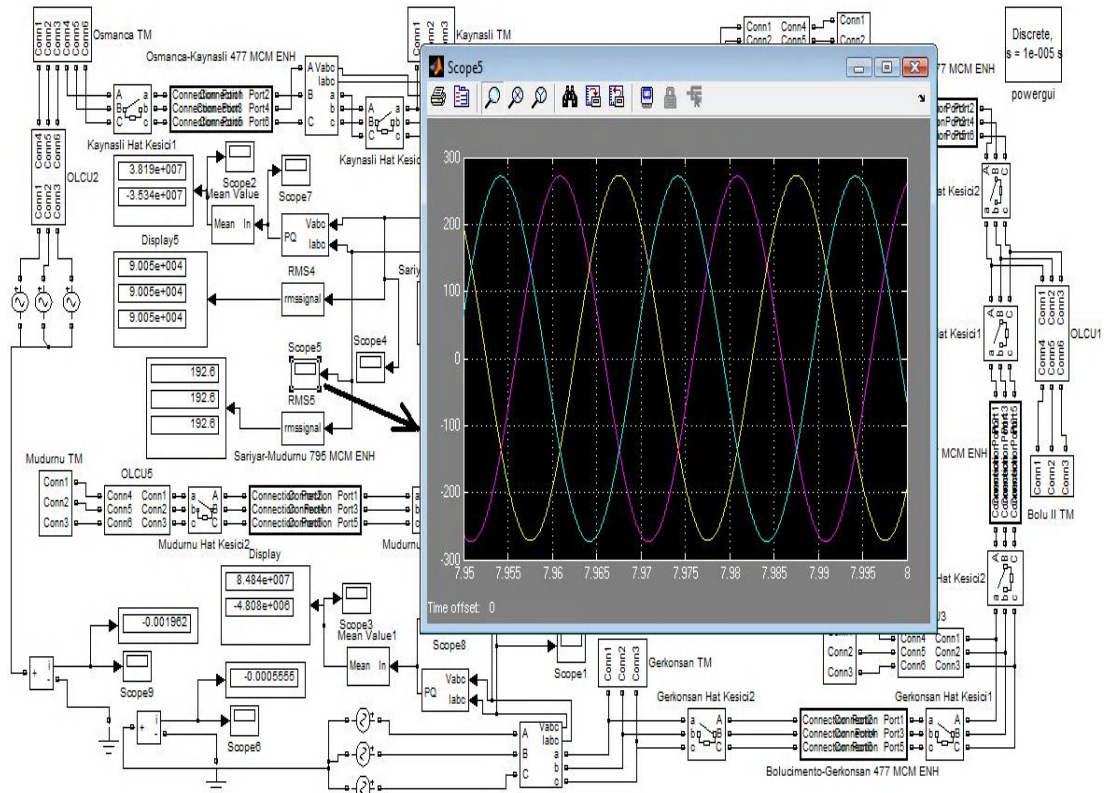
Şekil F.1. Kaynaşlı TM 154 kV giriş ana bara gerilim değerleri



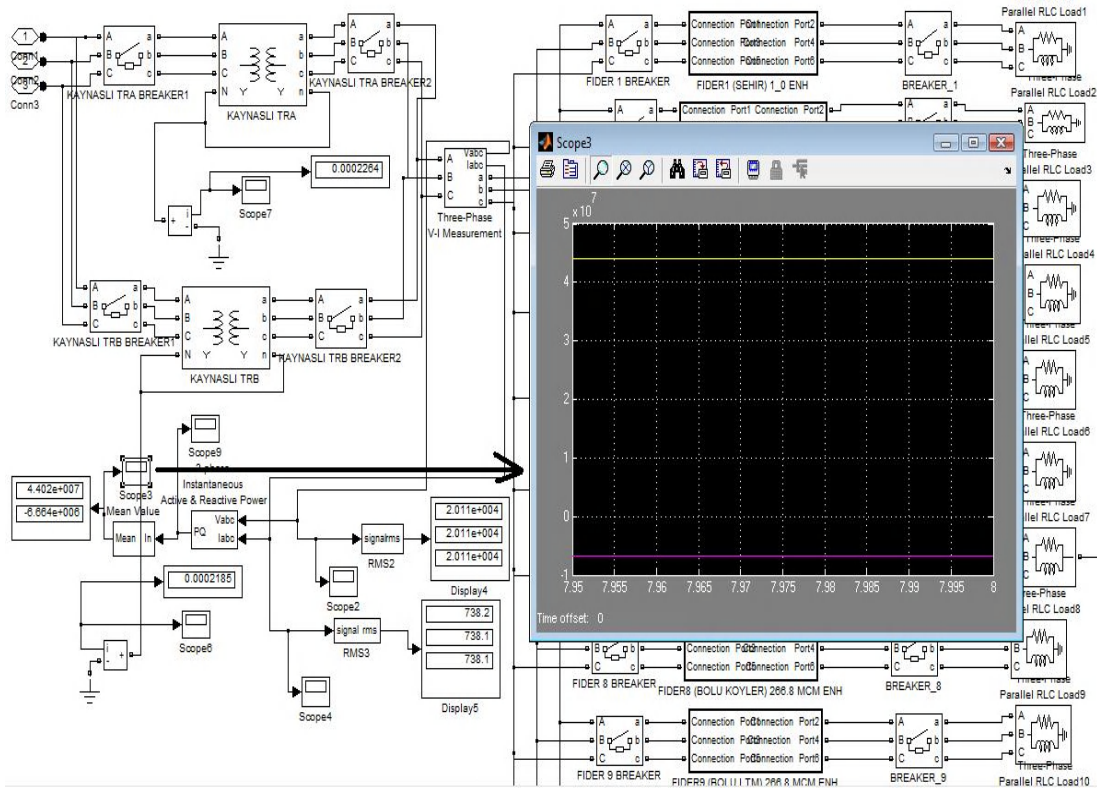
Şekil F.2. Kaynaşlı TM 154 kV giriş ana bara aktif ve reaktif güç değerleri



Şekil F.3. Kaynaşlı TM 34,5 kV çıkış bara gerilim değerleri

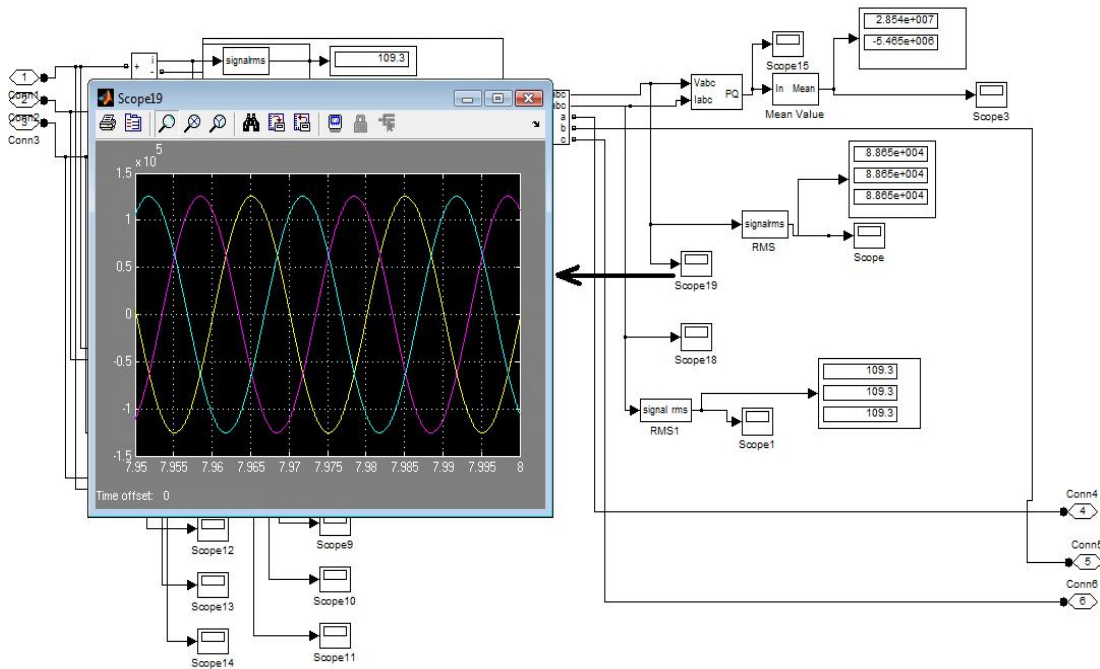


Şekil F.4. Kaynaşlı TM 34,5 kV çıkış bara akım değerleri

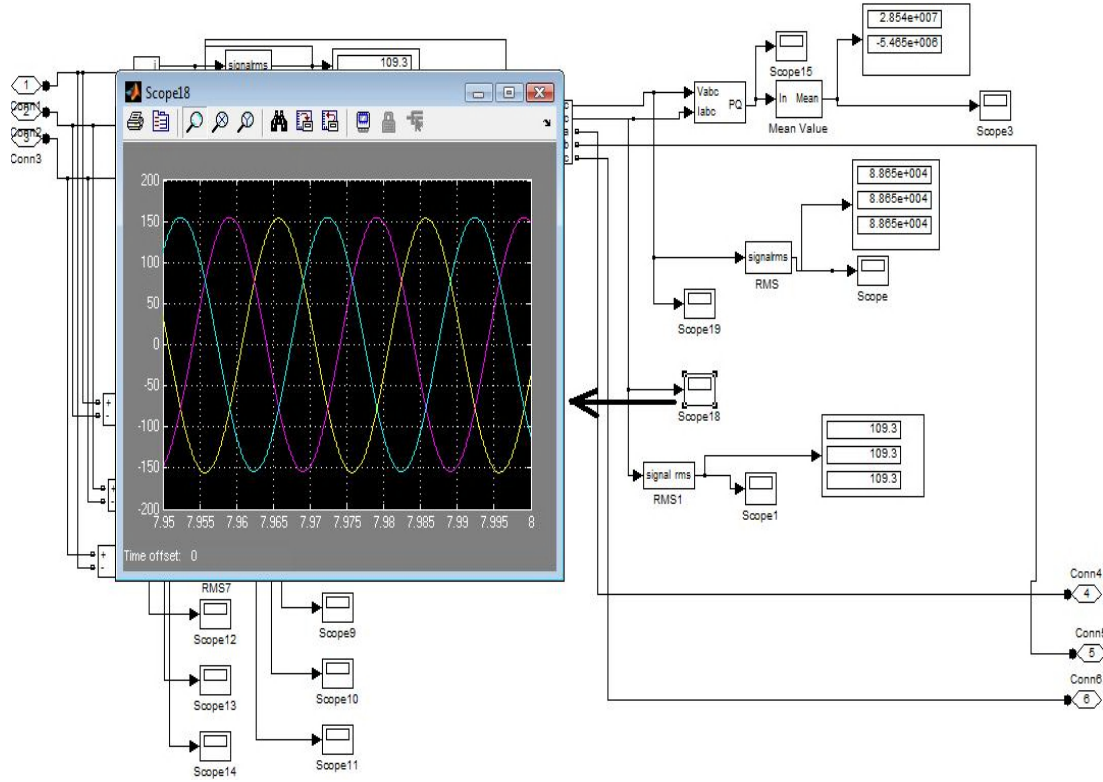


Şekil F.5. Kaynaşlı TM 34,5 kV çıkış bara aktif ve reaktif güç değerleri

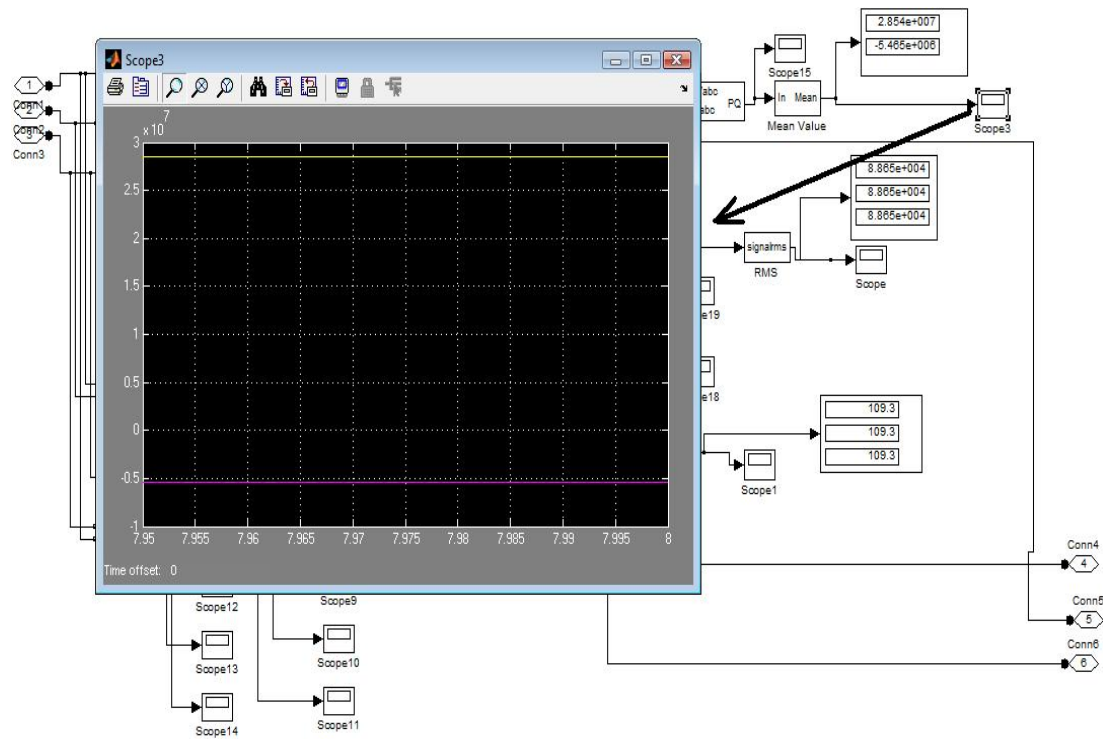
2. Bolu II TM



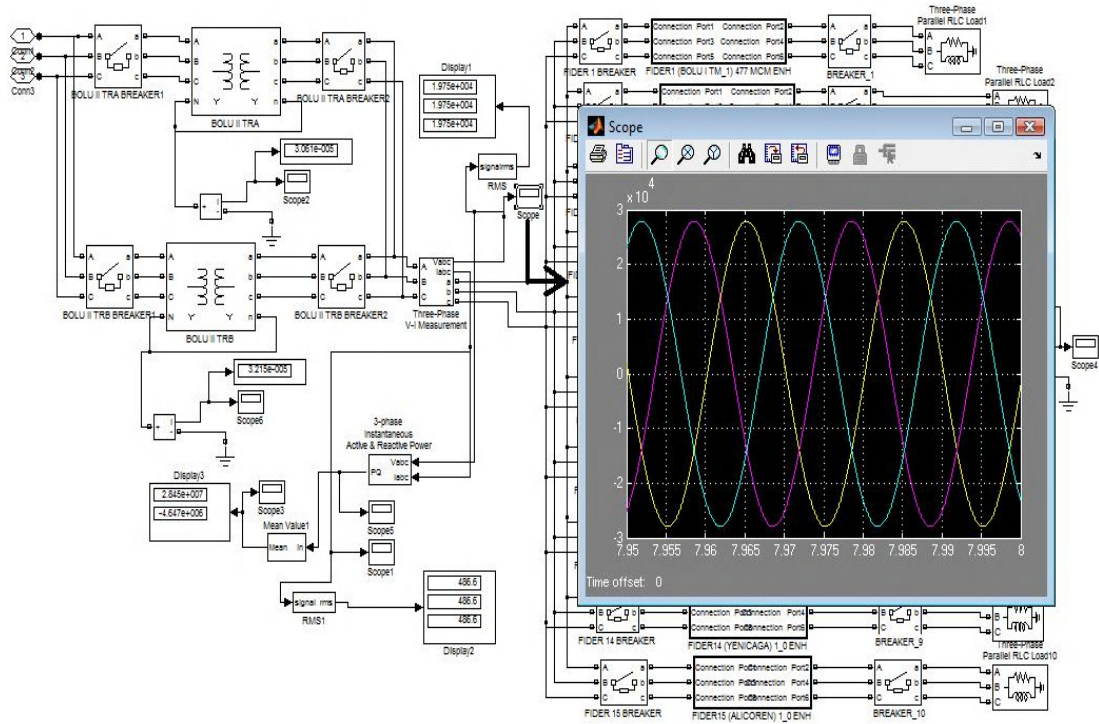
Şekil F.6. Bolu II TM 154 kV giriş ana bara gerilim değerleri



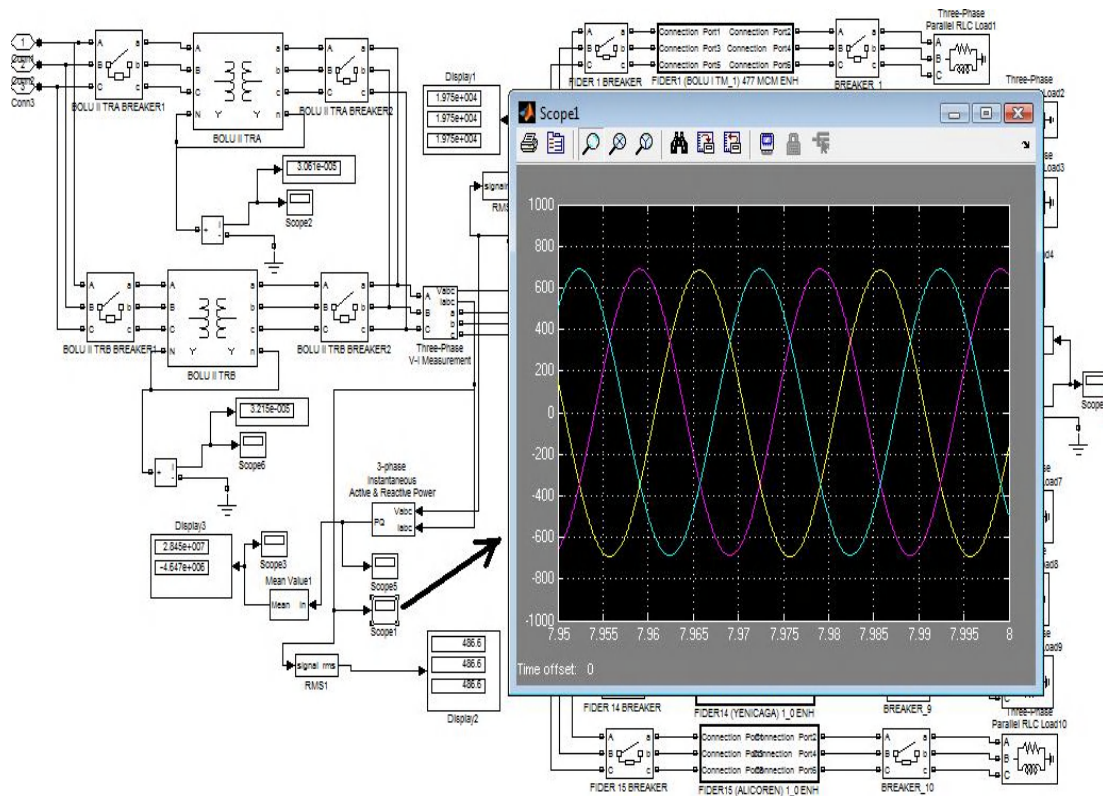
Şekil F.7. Bolu II TM 154 kV giriş ana bara akım değerleri



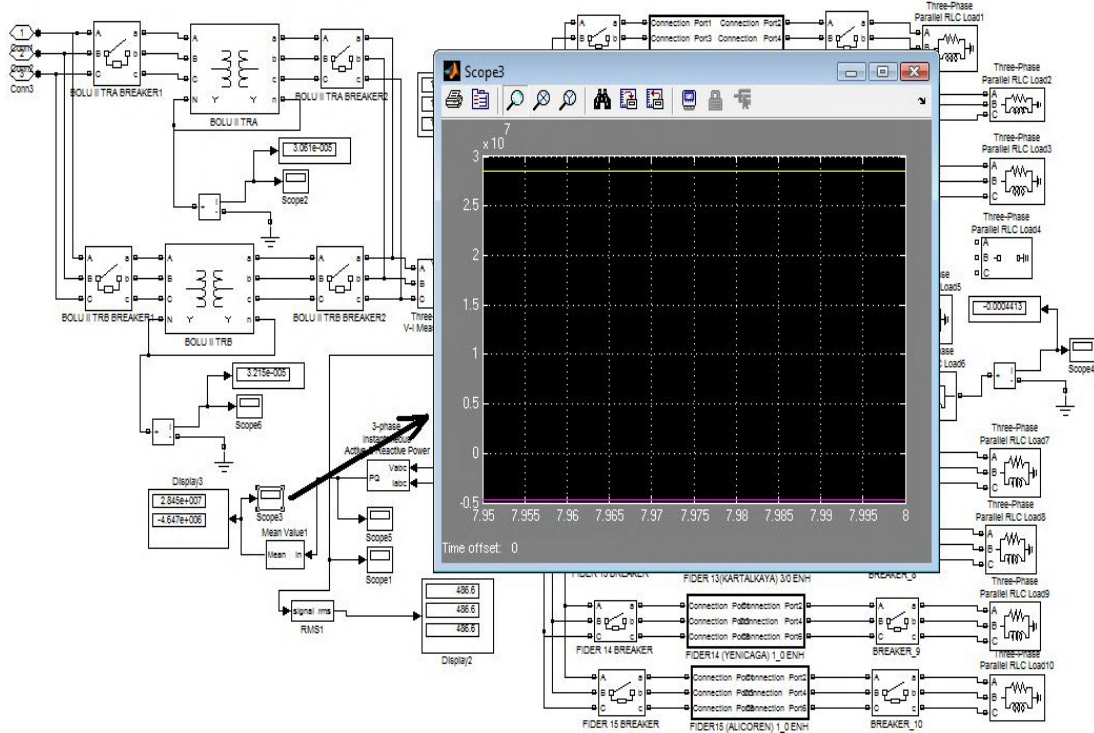
Şekil F.8. Bolu II TM 154 kV giriş ana bara aktif ve reaktif güç değerleri



Şekil F.9. Bolu II TM 34,5 kV çıkış bara gerilim değerleri

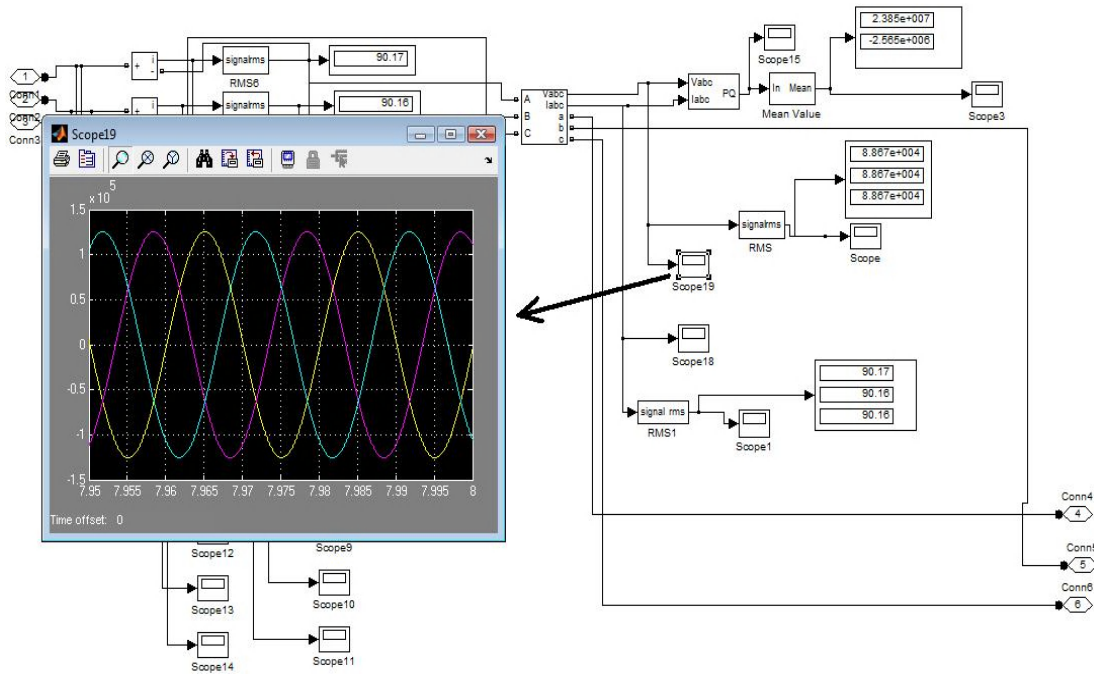


Şekil F.10. Bolu II TM 34,5 kV çıkış bara akım değerleri

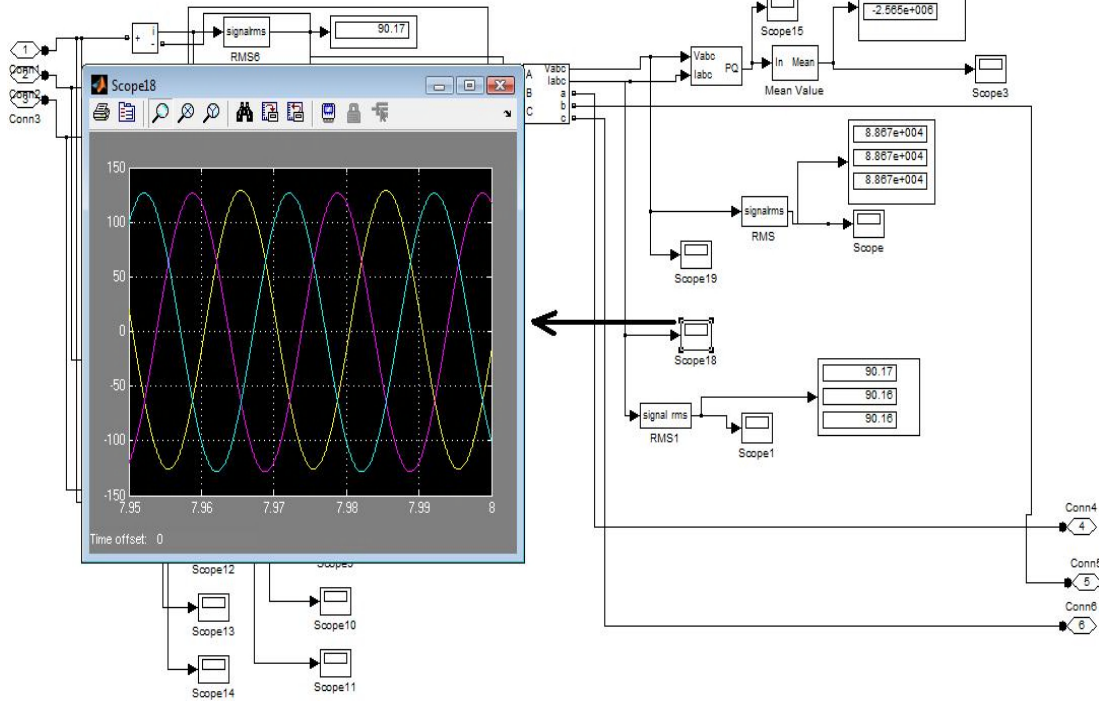


Şekil F.11. Bolu II TM 34,5 kV çıkış bara aktif ve reaktif güç değerleri

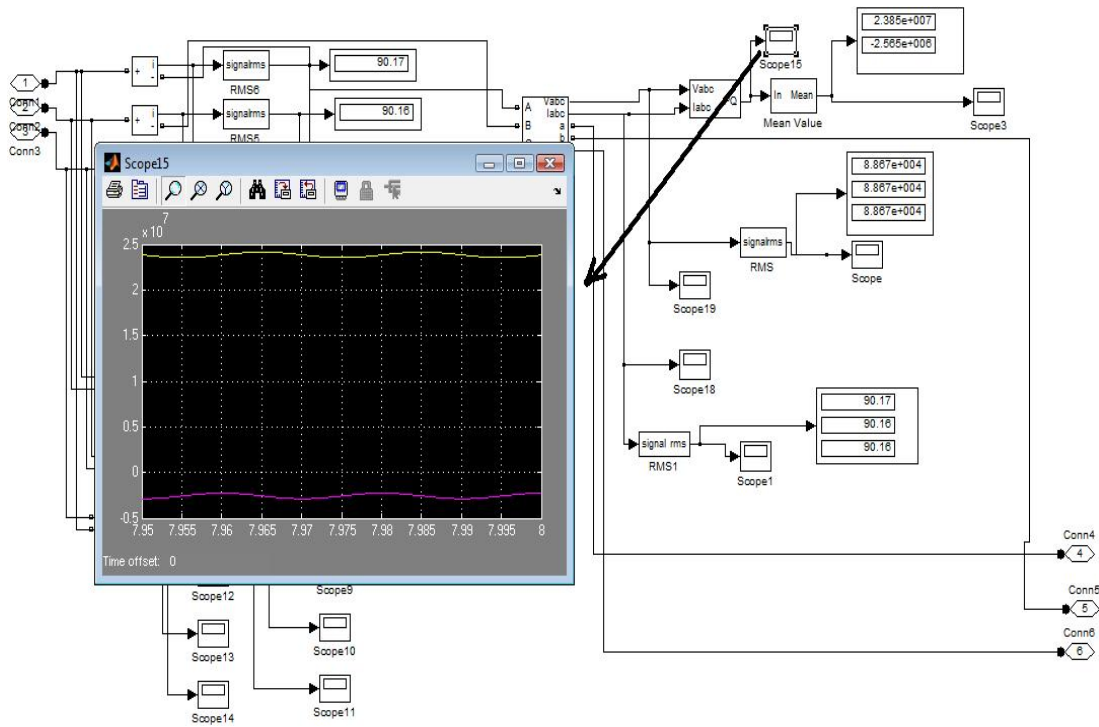
3. Çimento TM



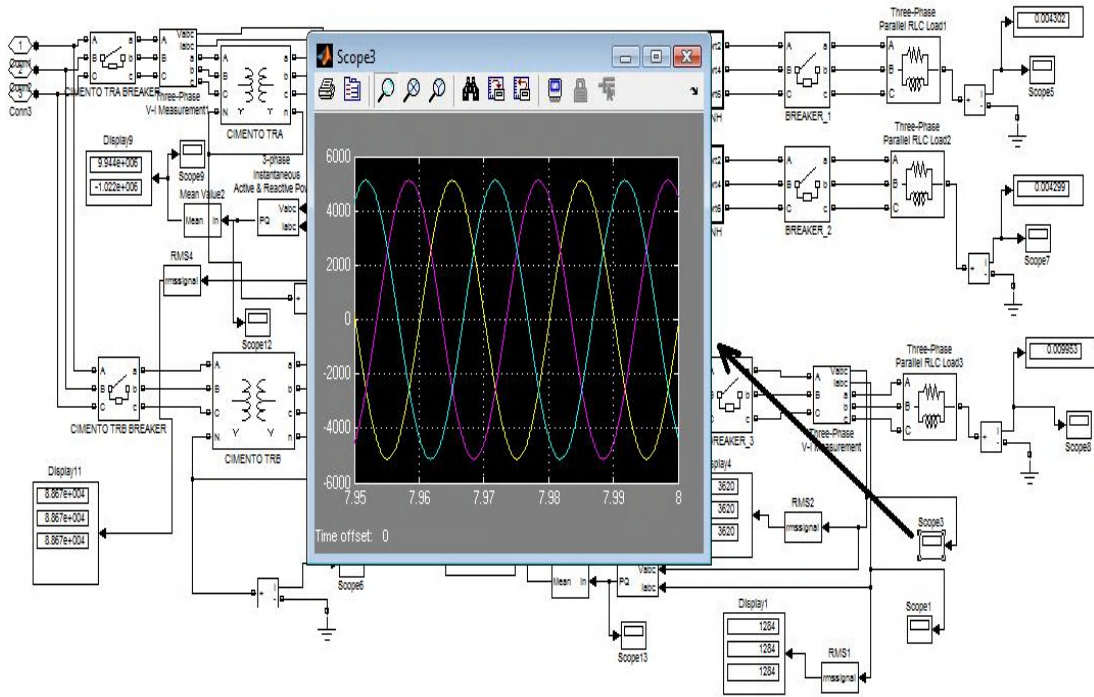
Şekil F.12. Çimento TM 154 kV giriş ana bara gerilim değerleri



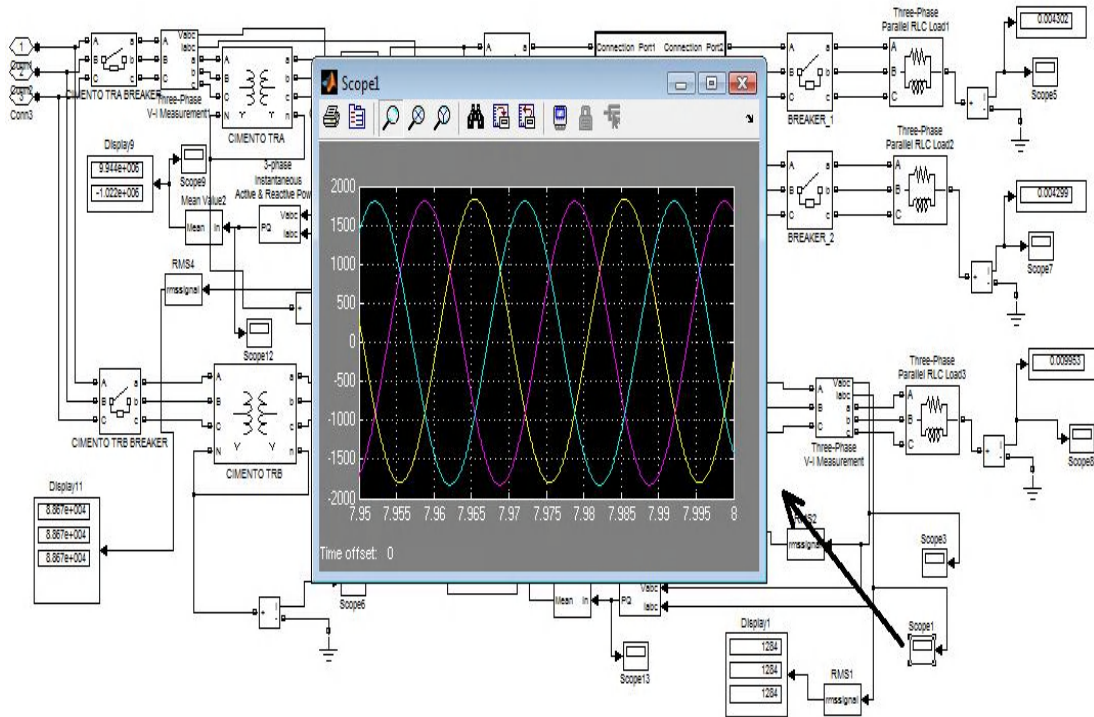
Şekil F.13. Çimento TM 154 kV giriş ana bara akım değerleri



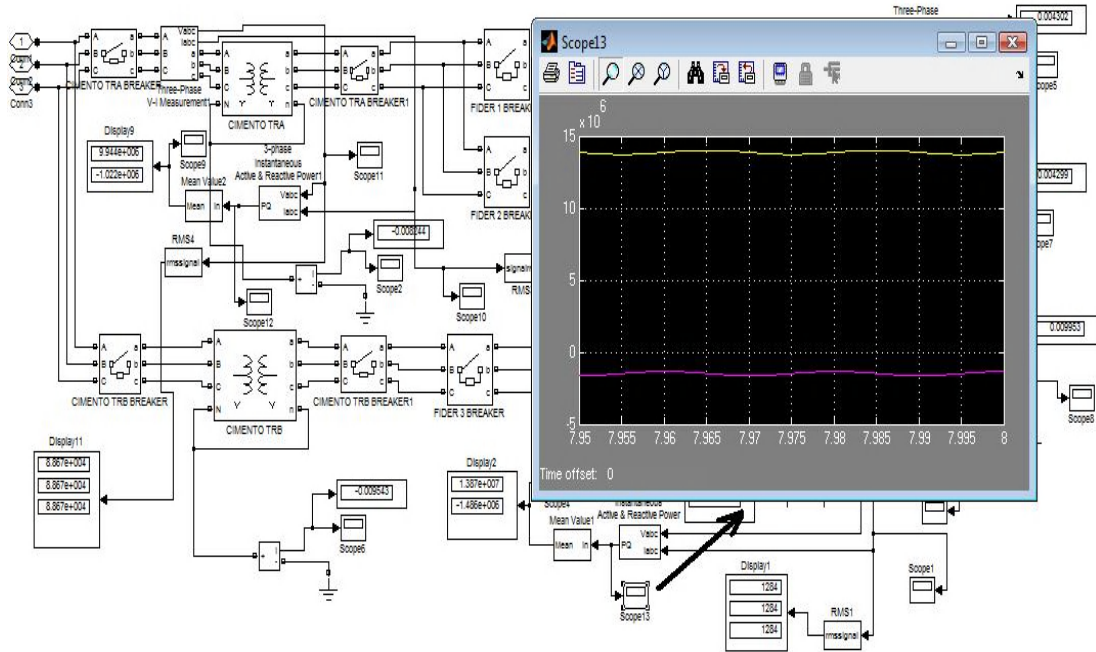
Şekil F.14. Çimento TM 154 kV giriş ana bara aktif ve reaktif güç değerleri



Şekil F.15. Çimento TM 6,3 kV TRB çıkış bara gerilim değerleri

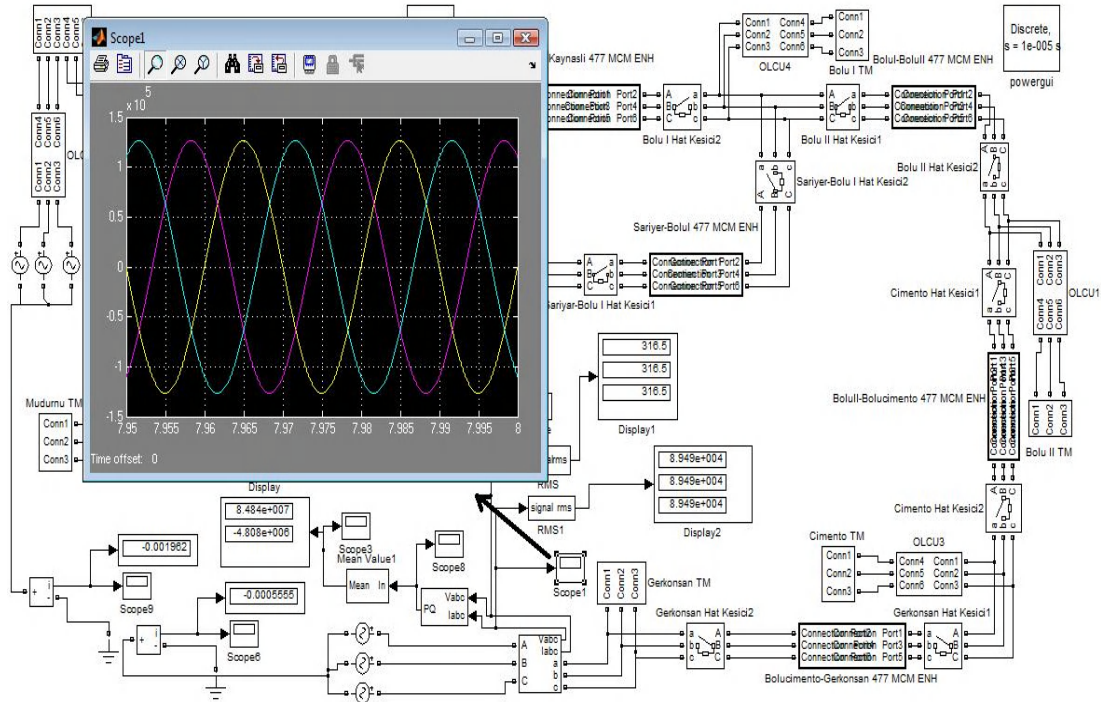


Şekil F.16. Çimento TM 6,3 kV TRB çıkış bara akım değerleri

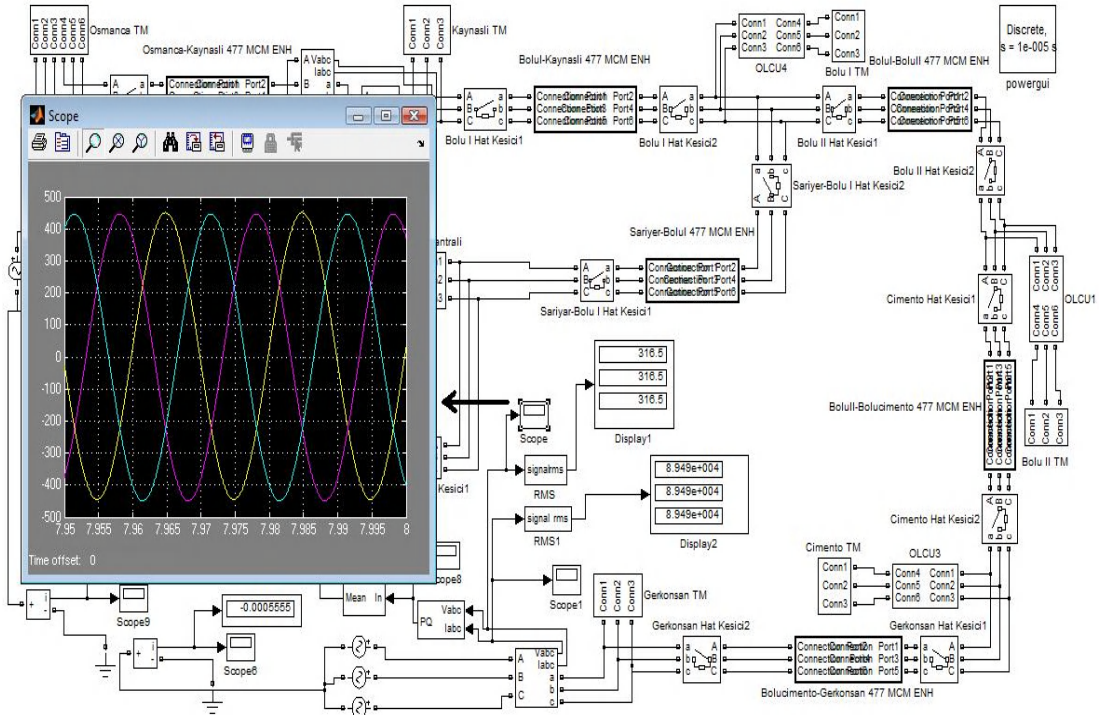


Şekil F.17. Çimento TM 6,3 kV TRB çıkış bara aktif ve reaktif güç değerleri

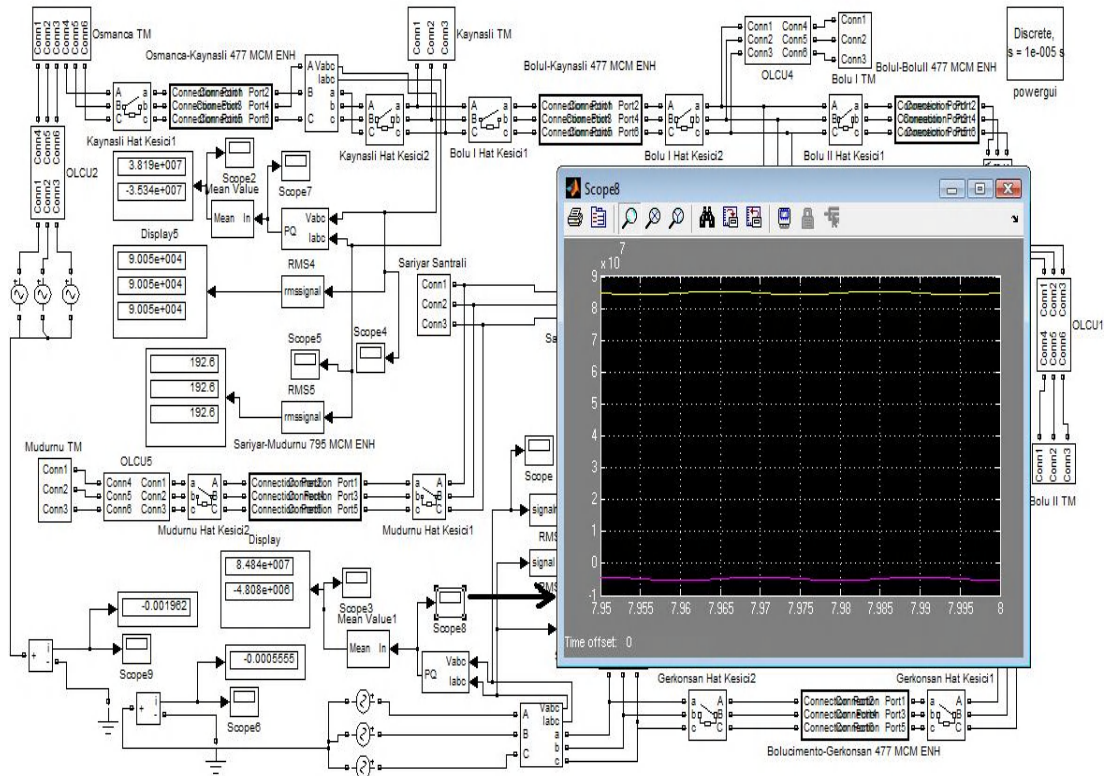
4. Gerkonsan TM



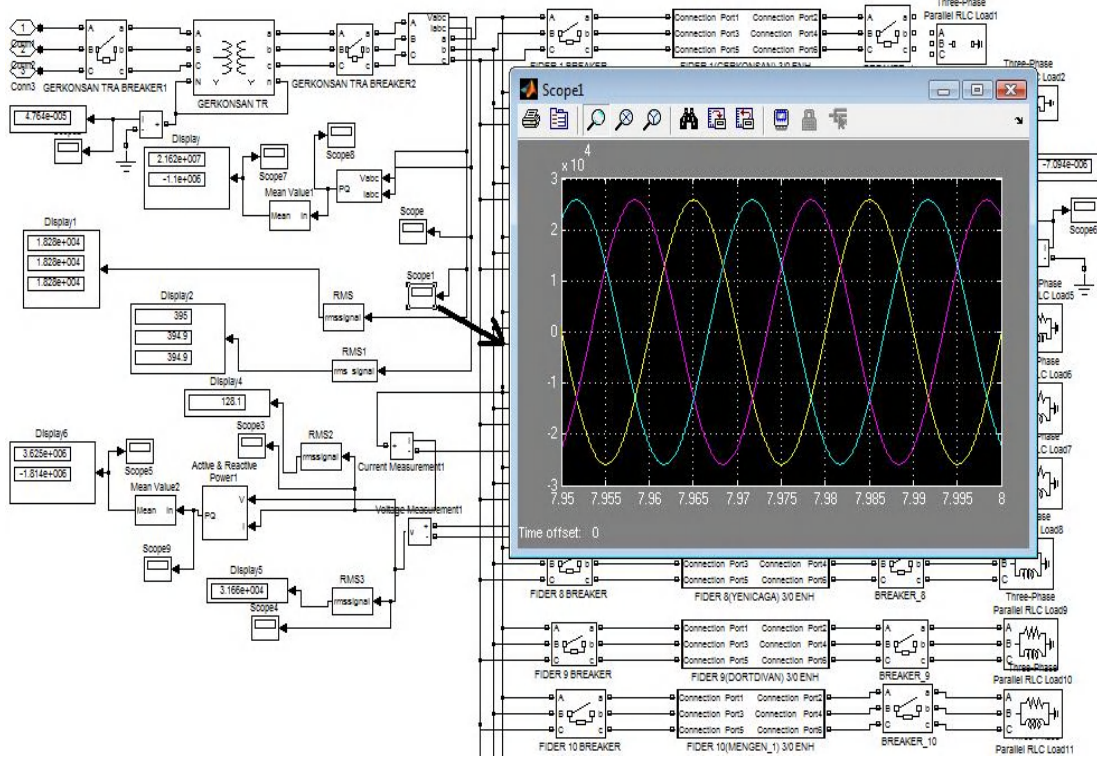
Şekil F.18. Gerkonsan TM 154 kV giriş ana bara gerilim değerleri



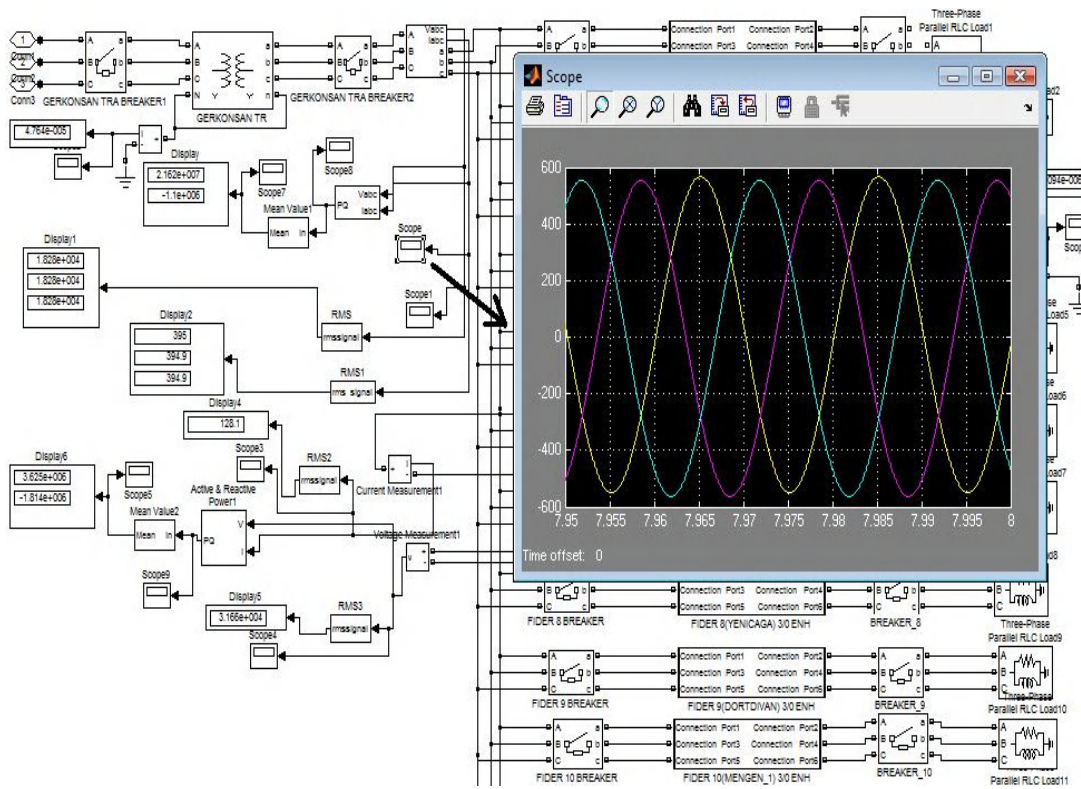
Şekil F.19. Gerkonsan TM 154 kV giriş ana bara akım değerleri



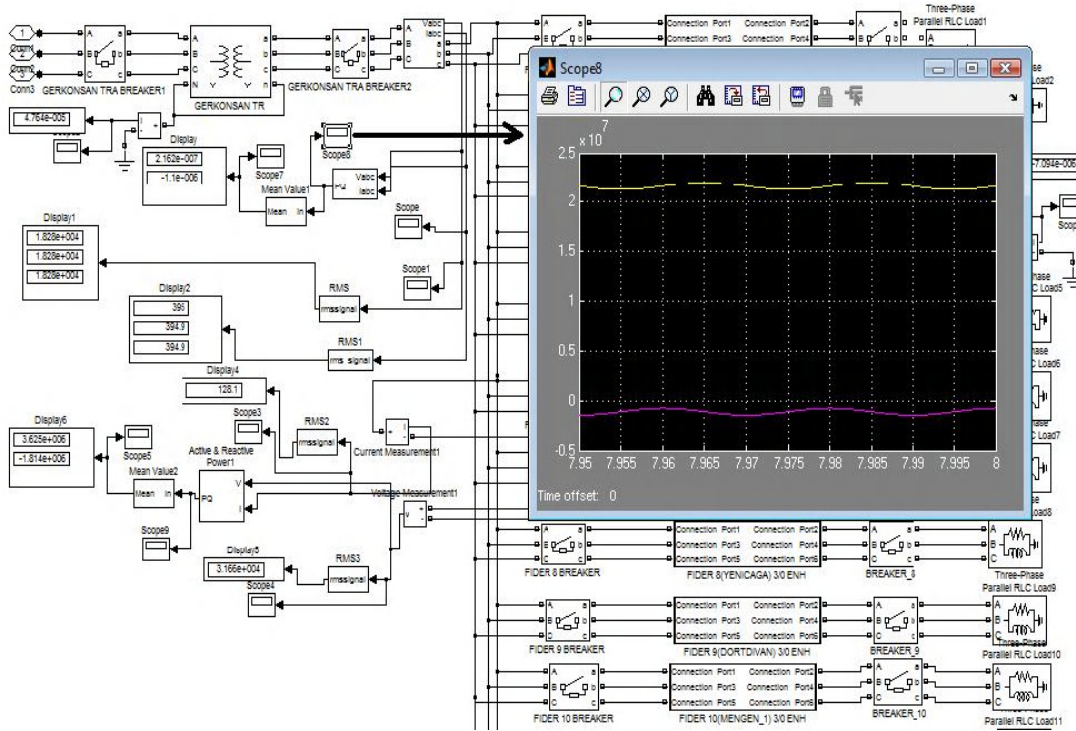
Şekil F.20. Gerkonsan TM 154 kV giriş ana bara aktif ve reaktif değerleri



Şekil F.21. Gerksan TM 31,5 kV çıkış bara gerilim değerleri

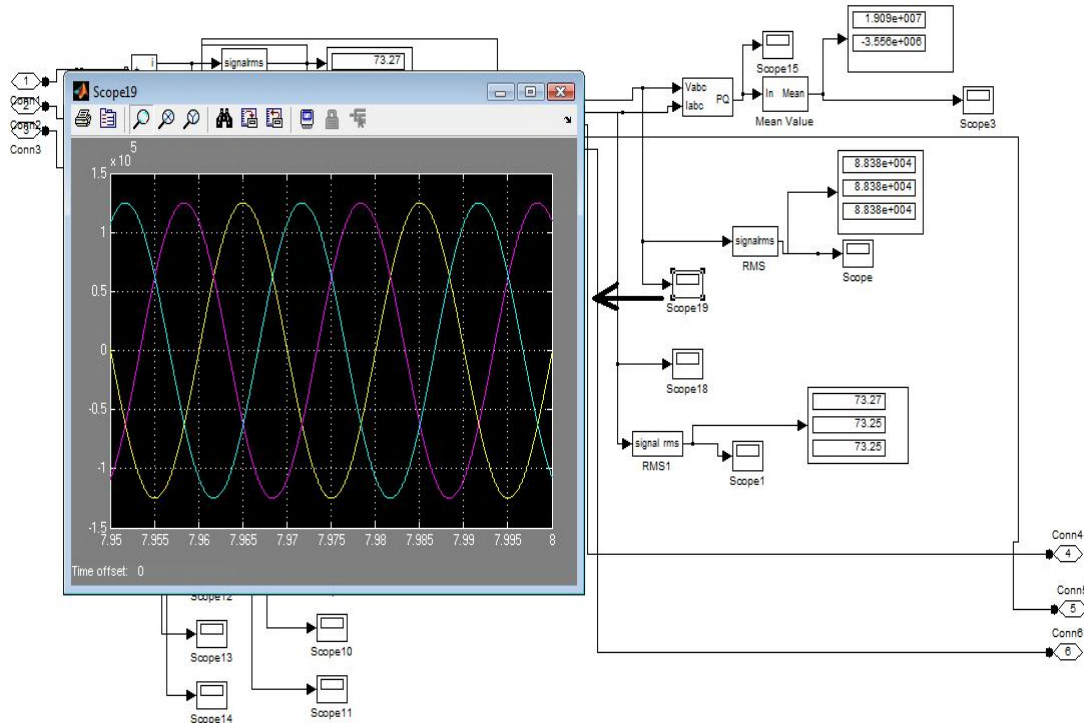


Şekil F.22. Gerksan TM 31,5 kV çıkış bara akım değerleri

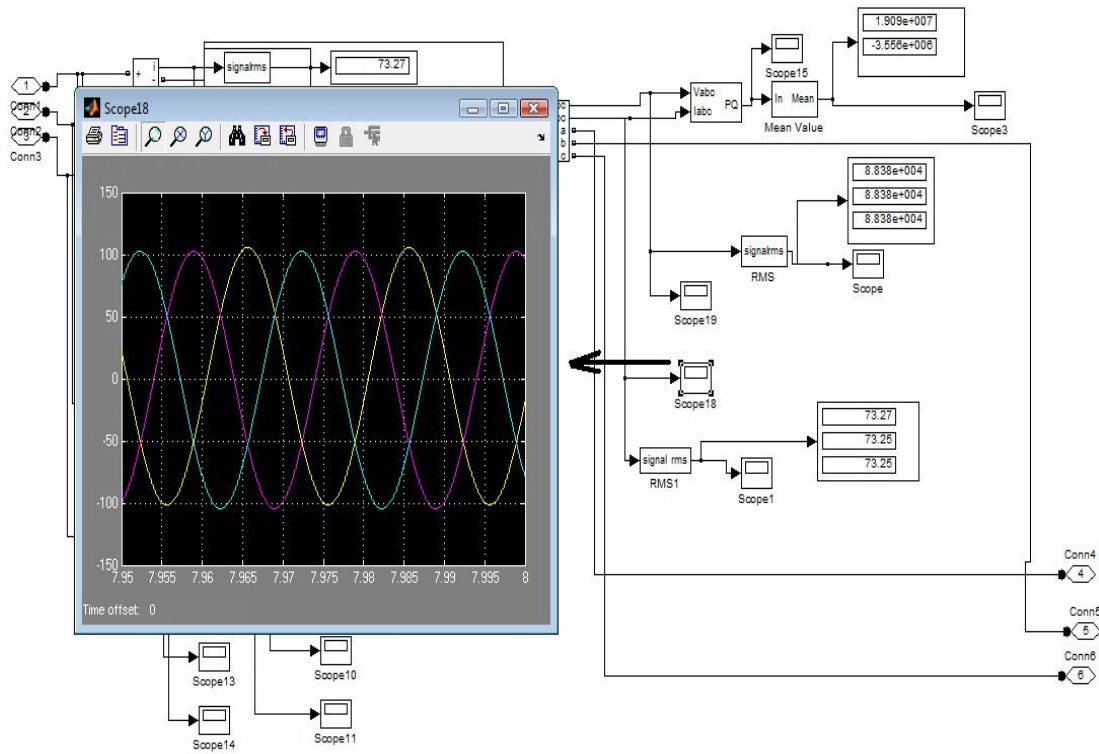


Şekil F.23. Gerksan TM 31,5 kV çıkış bara aktif ve reaktif güç değerleri

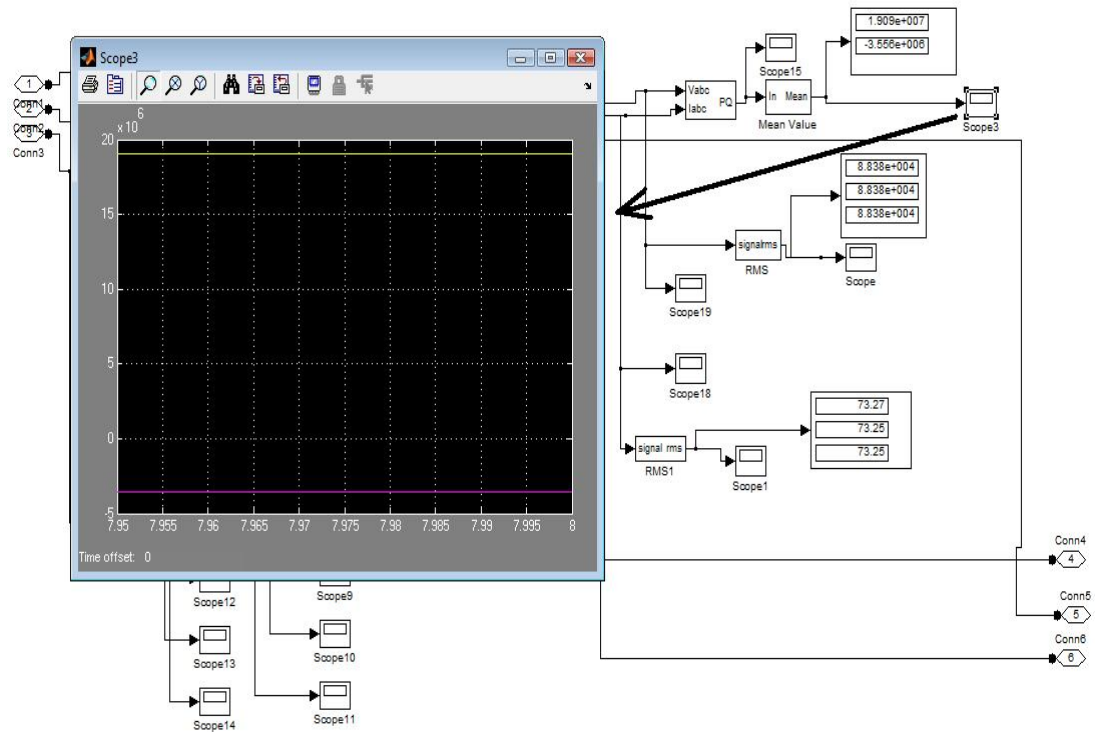
5. Mudurnu TM



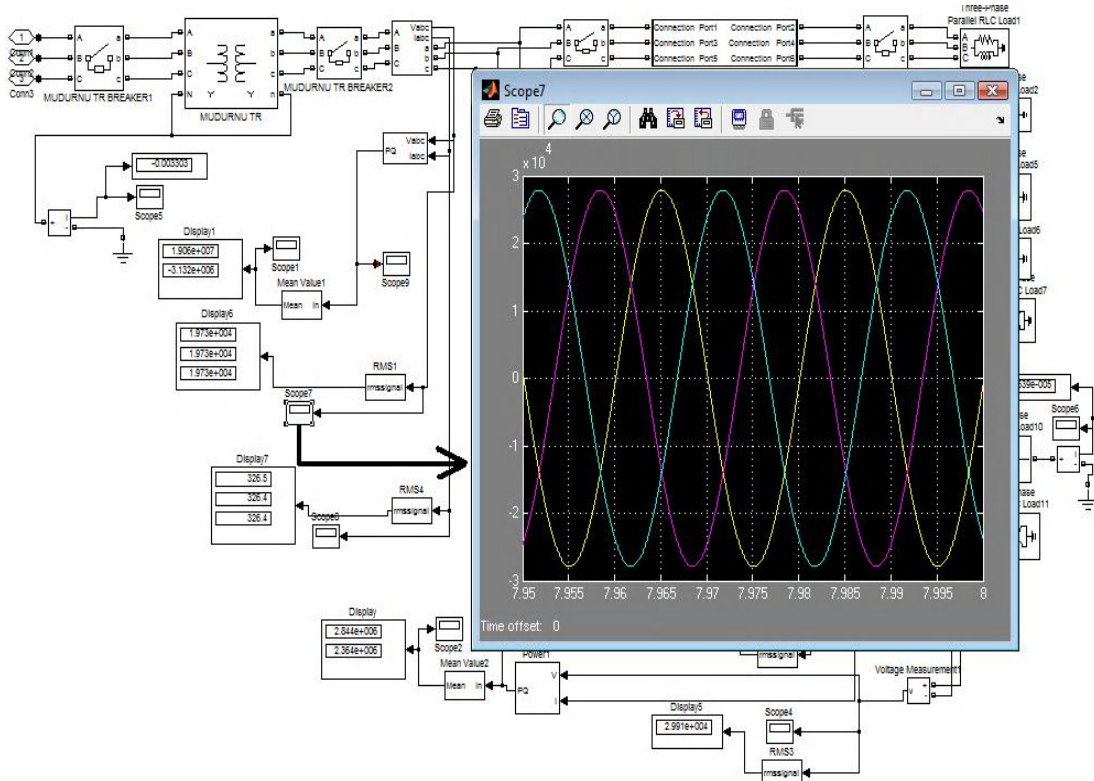
Şekil F.24. Mudurnu TM 154 kV giriş ana bara gerilim değerleri



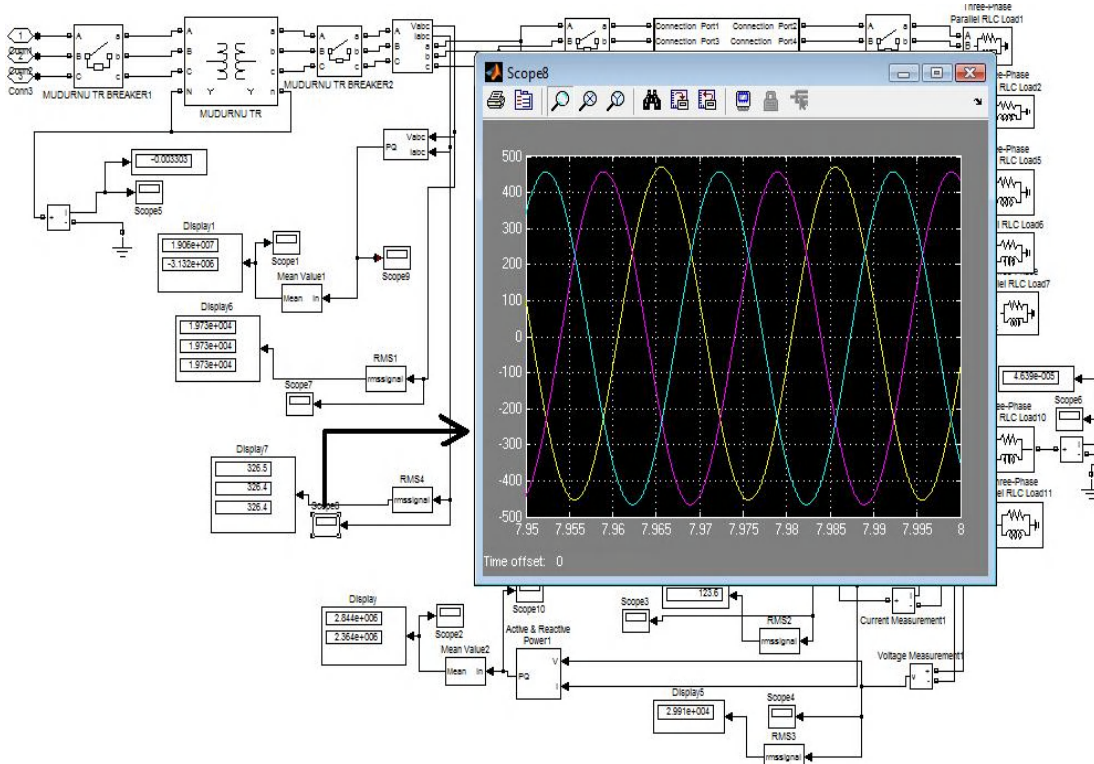
Şekil F.25. Mudurnu TM 154 kV giriş ana bara akım değerleri



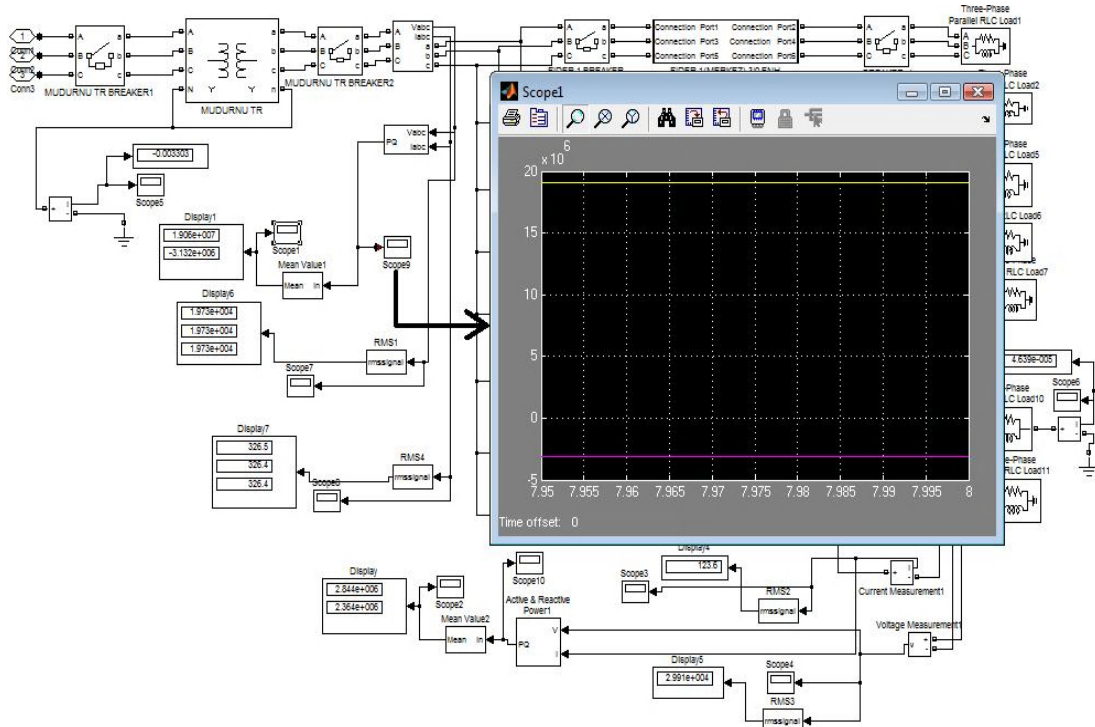
Şekil F.26. Mudurnu TM 154 kV giriş ana bara aktif ve reaktif güç değerleri



Şekil F.27. Mudurnu TM 34,5 kV çıkış bara gerilim değerleri

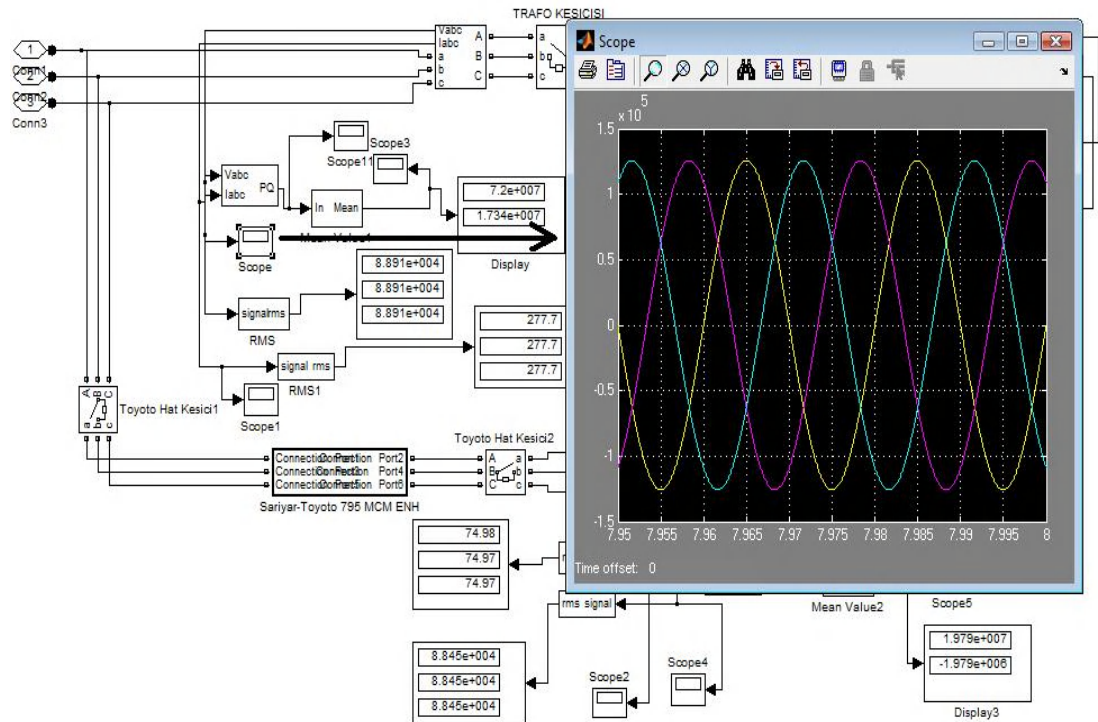


Şekil F.28. Mudurnu TM 34,5 kV çıkış bara akım değerleri

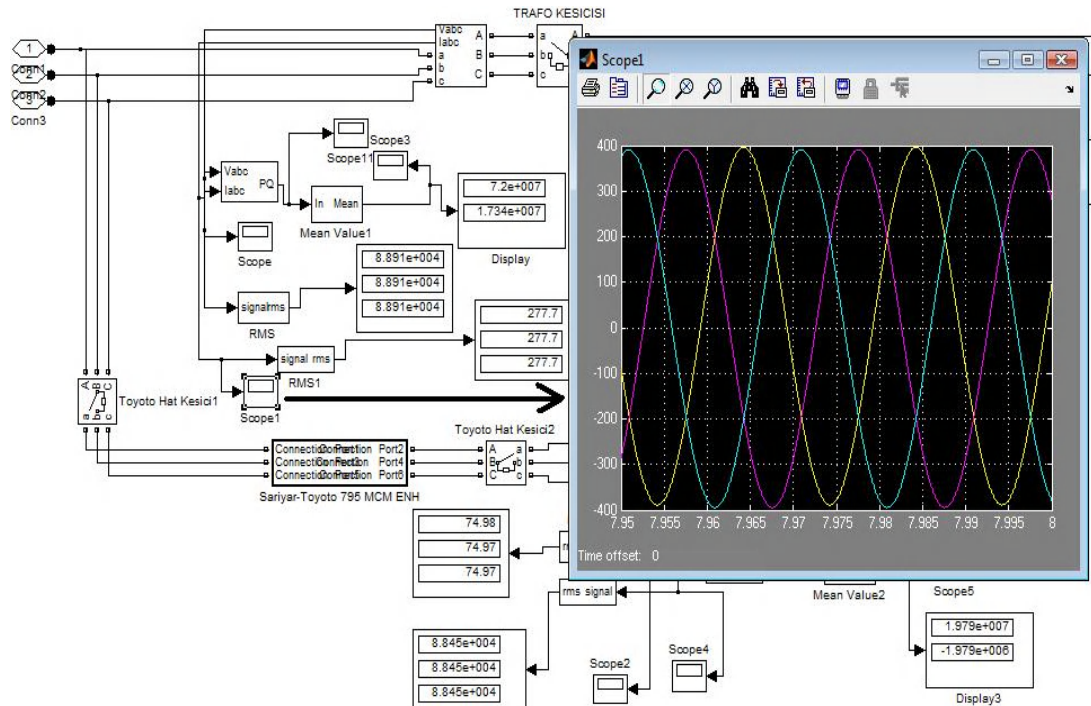


Şekil F.29. Mudurnu TM 34,5 kV çıkış bara aktif ve reaktif güç değerleri

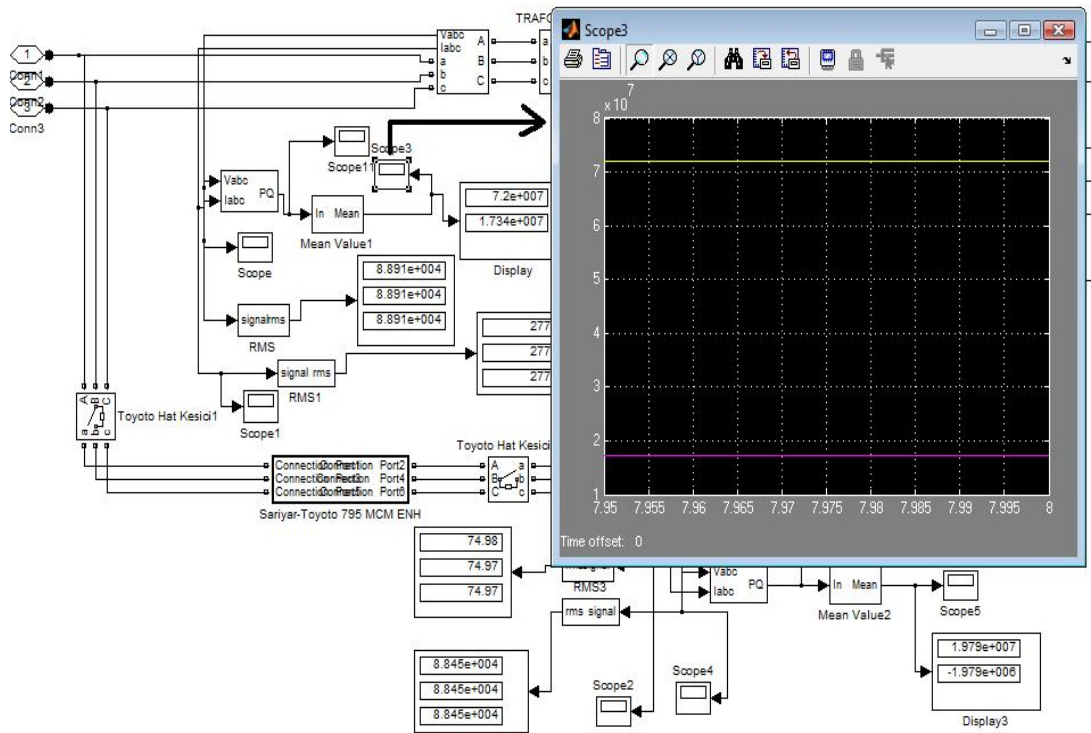
6. Sarıyar Santrali



Şekil F.30. Sarıyar Santrali 154kV çıkış ana bara gerilim değerleri



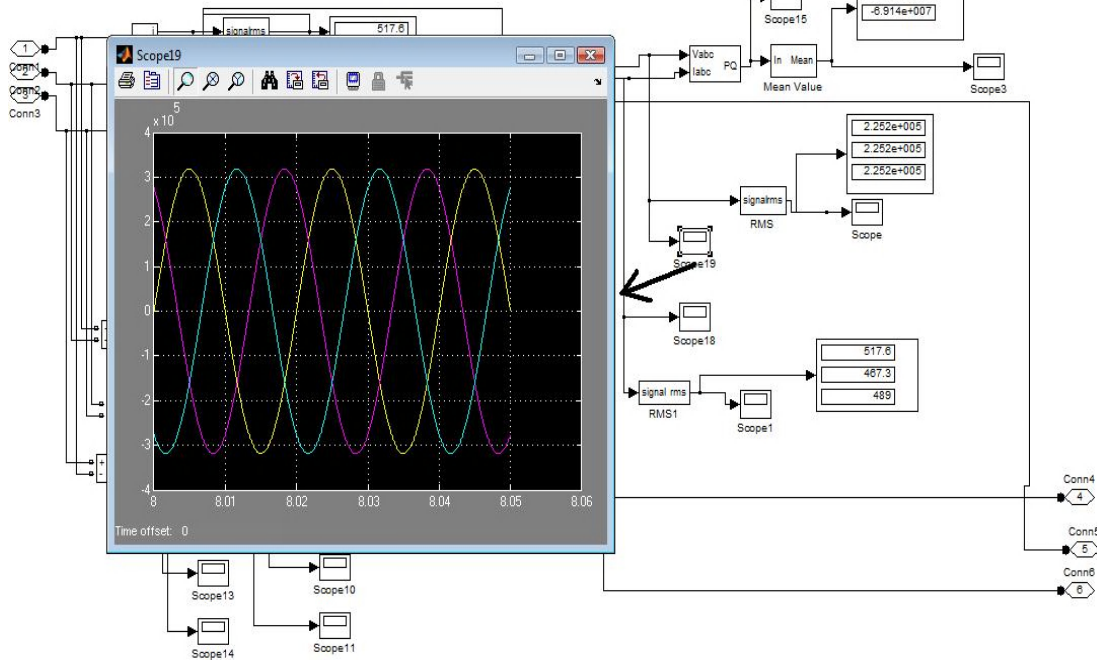
Şekil F.31. Sariyar Santrali 154kV çıkış ana bara akım değerleri



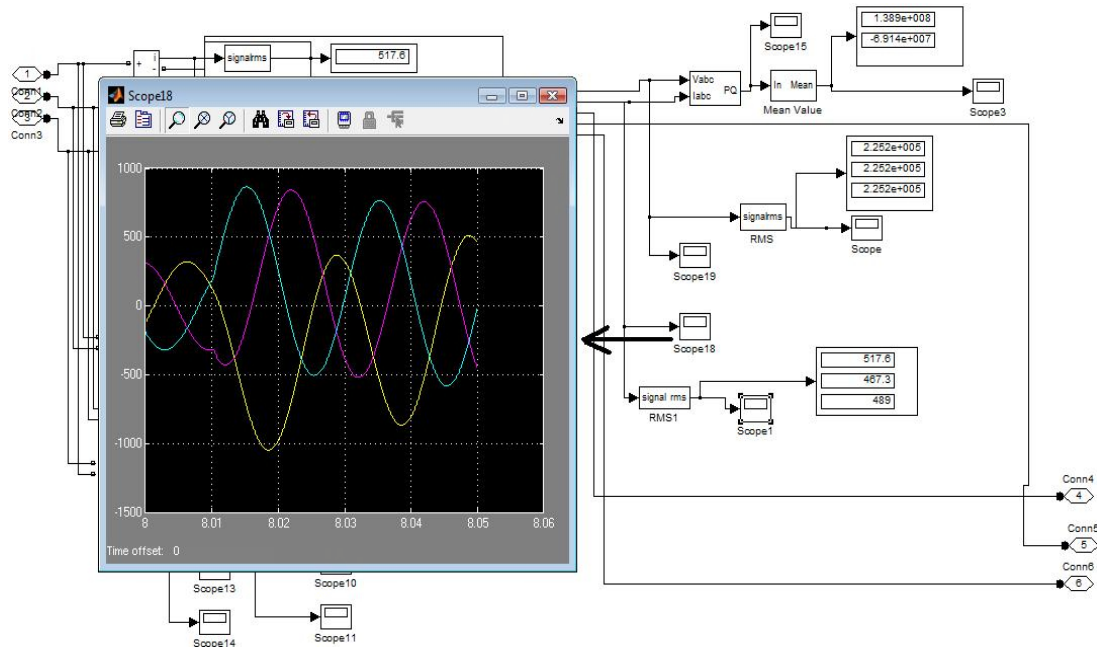
Şekil F.32. Sariyar Santrali 154kV çıkış ana bara aktif ve reaktif güç değerleri

Ek G. Kısa Devre Analiz Grafikleri

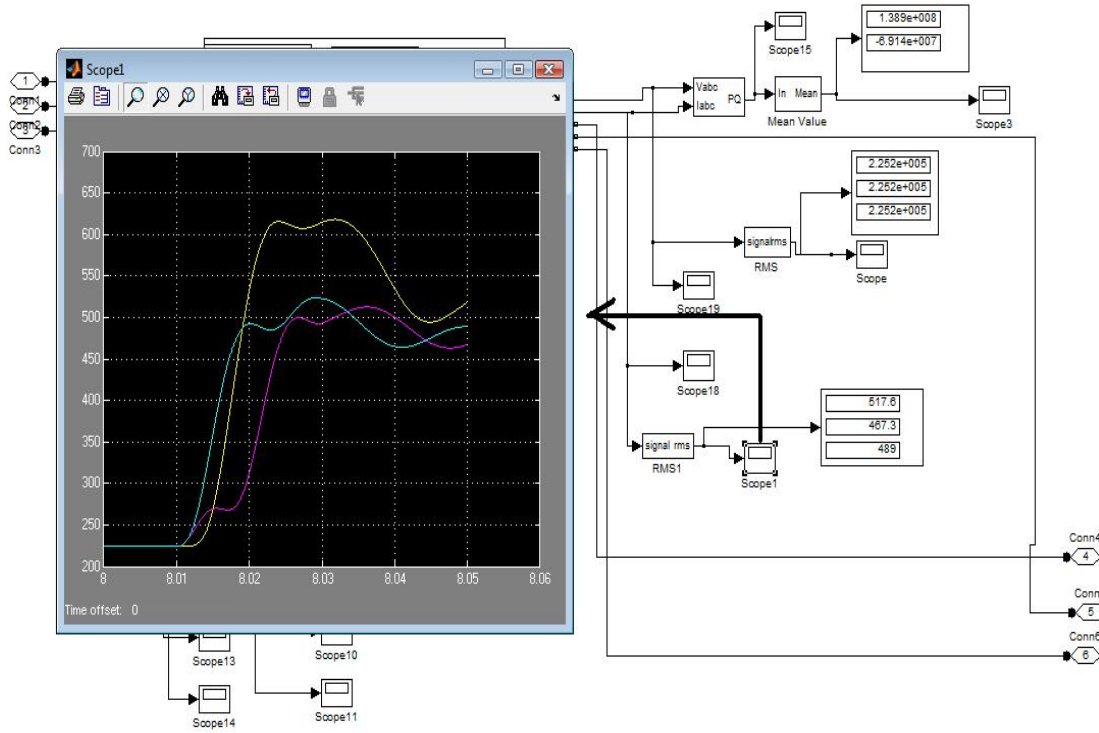
1. Osmanca TM



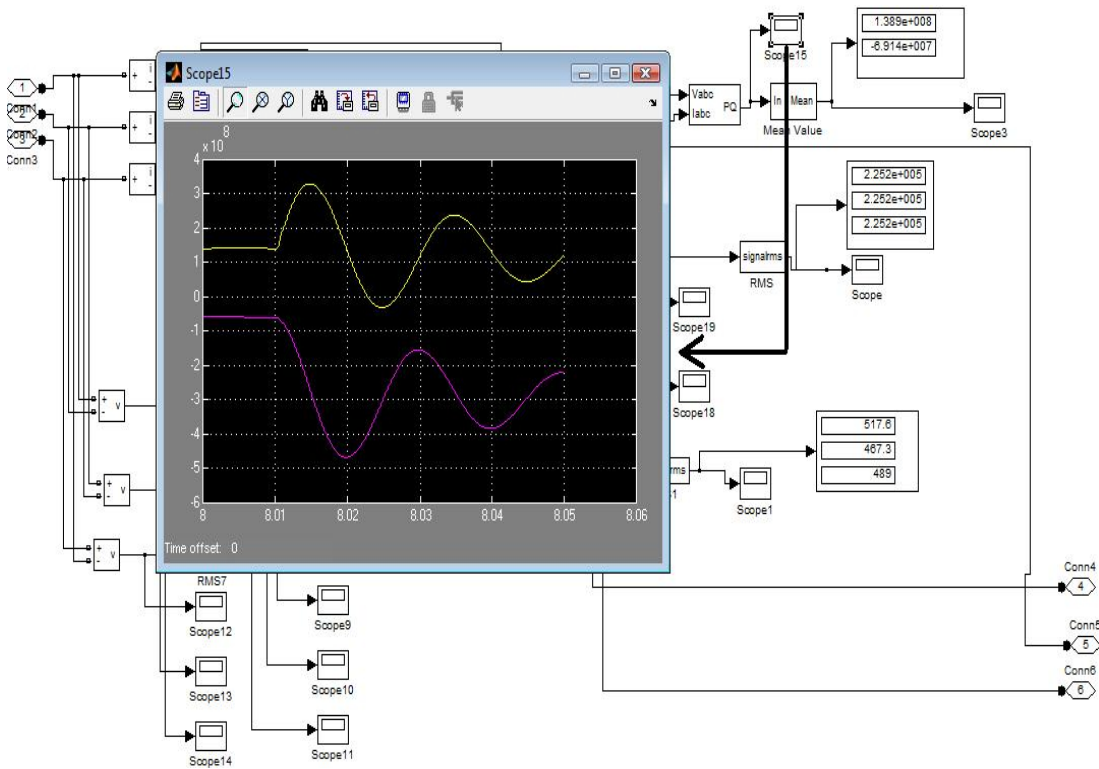
Şekil G.1. Osmanca TM 380 kV giriş ana bara kısa devre gerilim değerleri



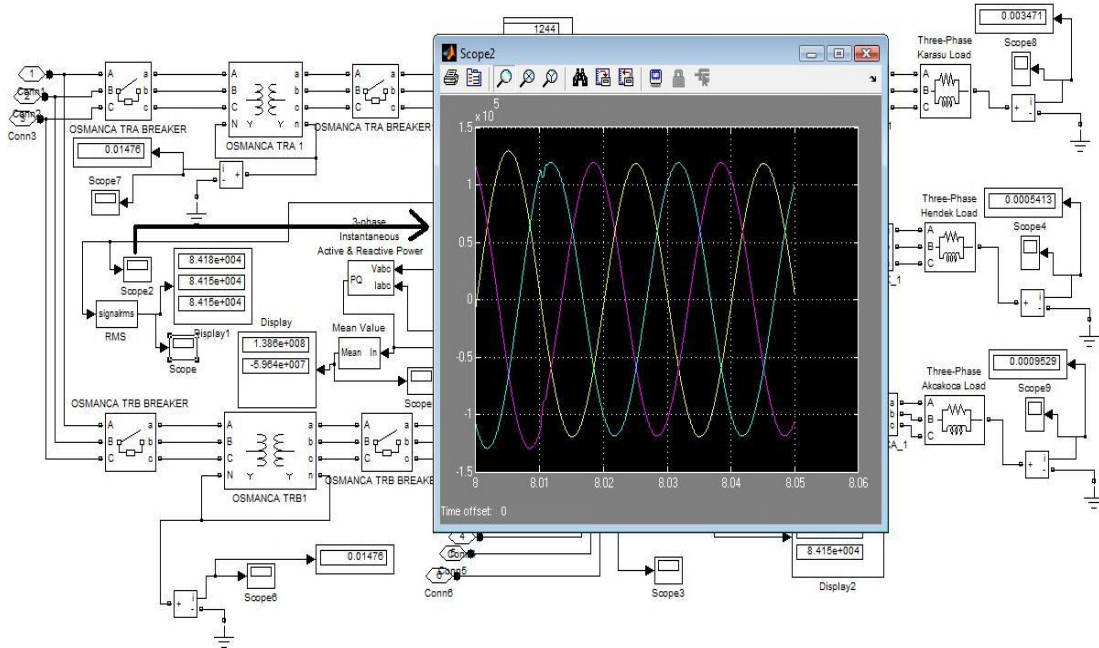
Şekil G.2. Osmanca TM 380 kV giriş ana bara kısa devre akım değerleri



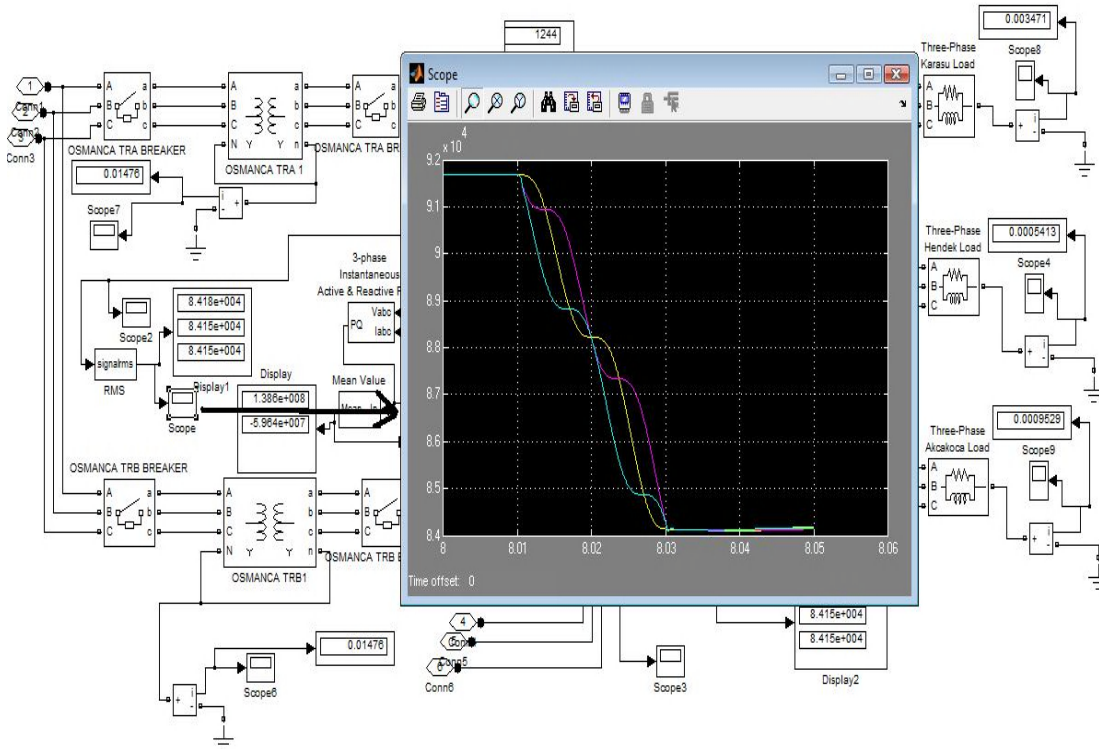
Şekil G.3. Osmanca TM 380 kV giriş ana bara ortalama kısa devre akım değerleri



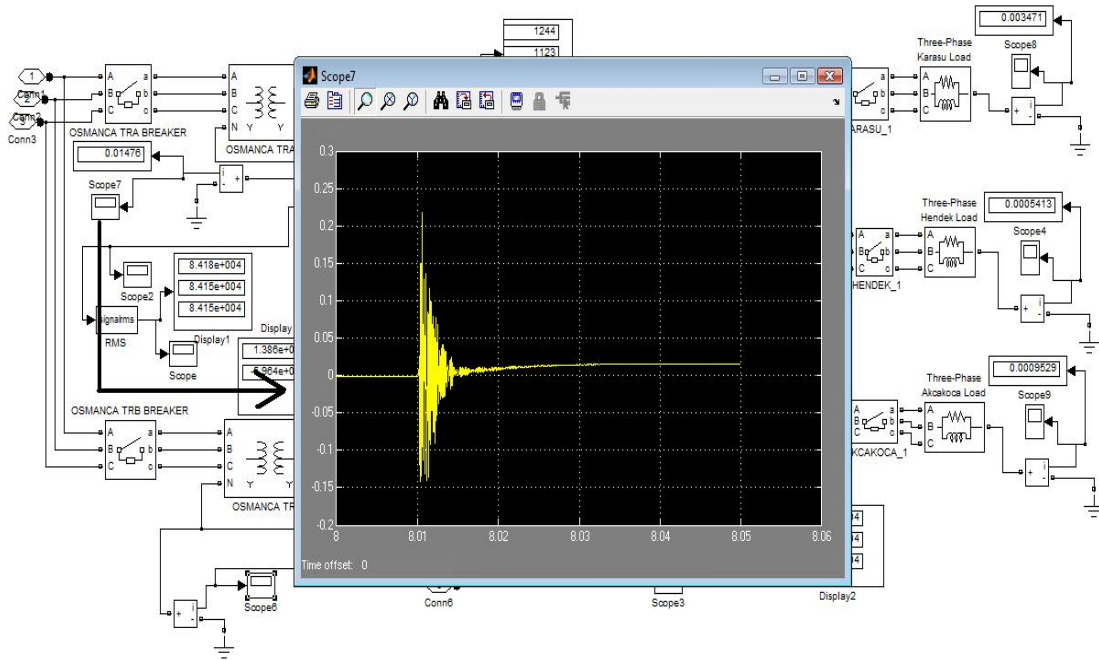
Şekil G.4. Osmanca TM 380 kV giriş ana bara kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri



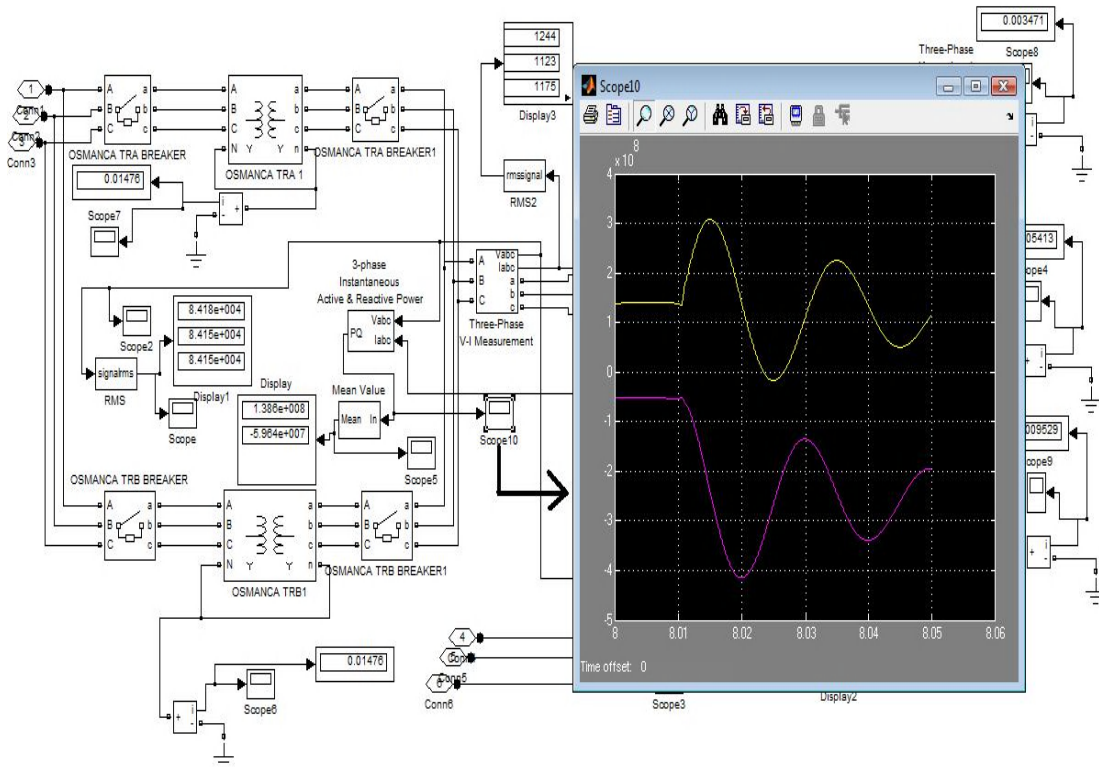
Şekil G.5. Osmanca TM 154 kV çıkış ana bara kısa devre gerilim değerleri



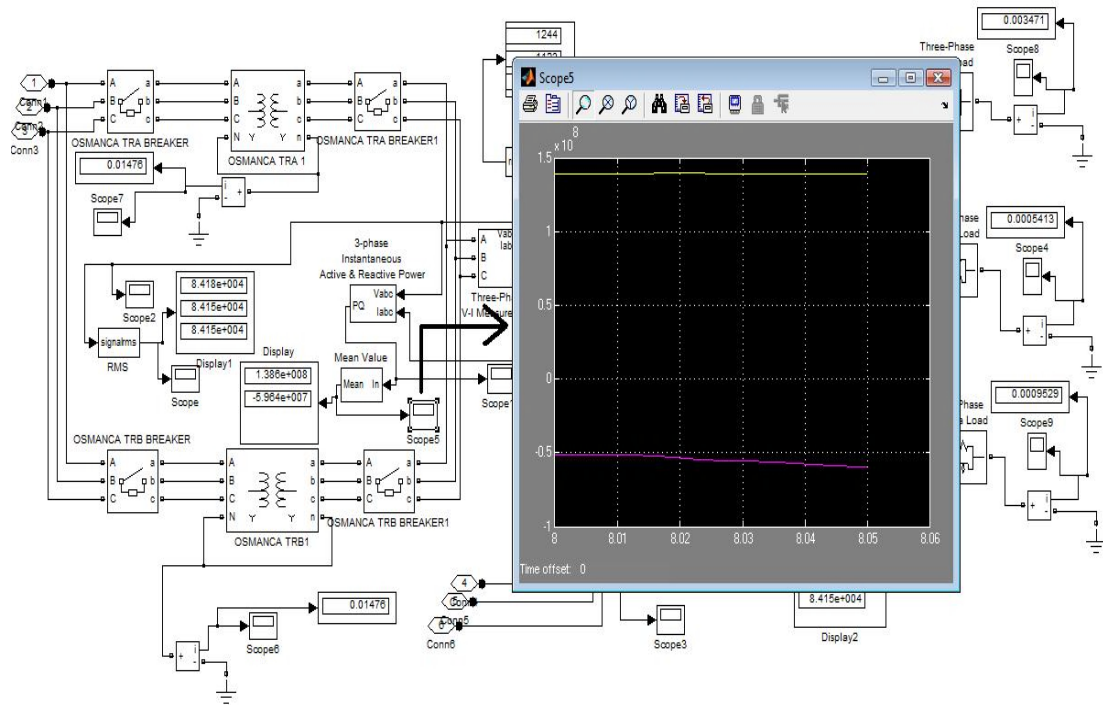
Şekil G.6. Osmanca TM 154 kV çıkış ana bara ortalama kısa devre gerilim değerleri



Şekil G.7. Osmanca TM, TRA yıldız noktası kısa devre akım değerleri

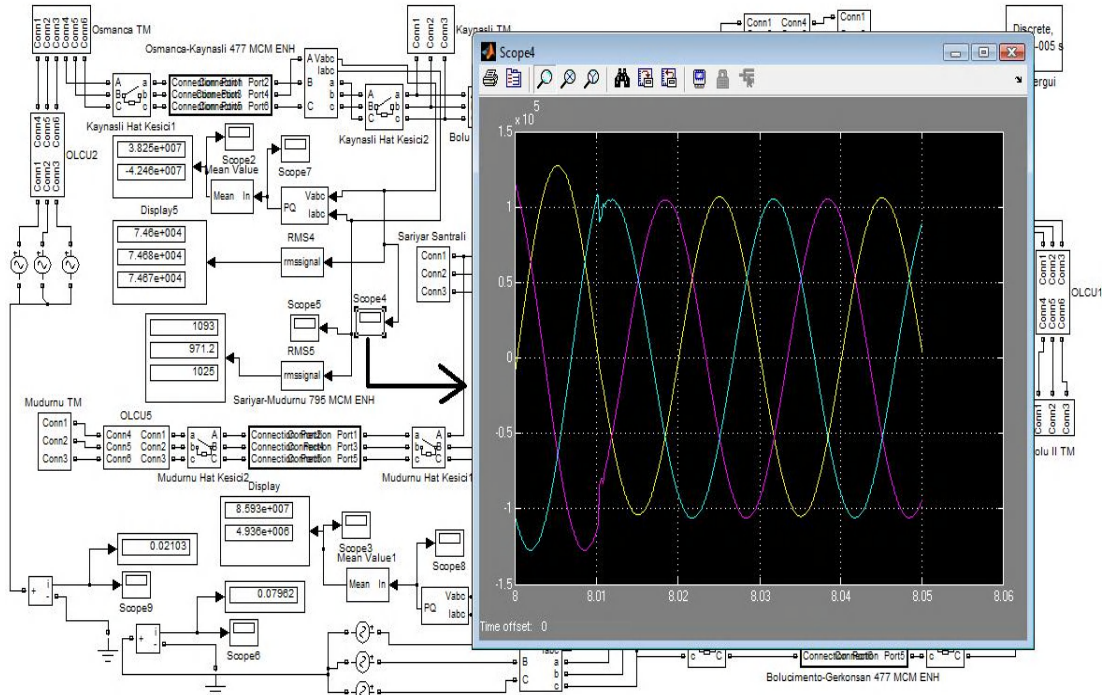


Şekil G.8. Osmanca TM 154 kV çıkış ana bara kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri

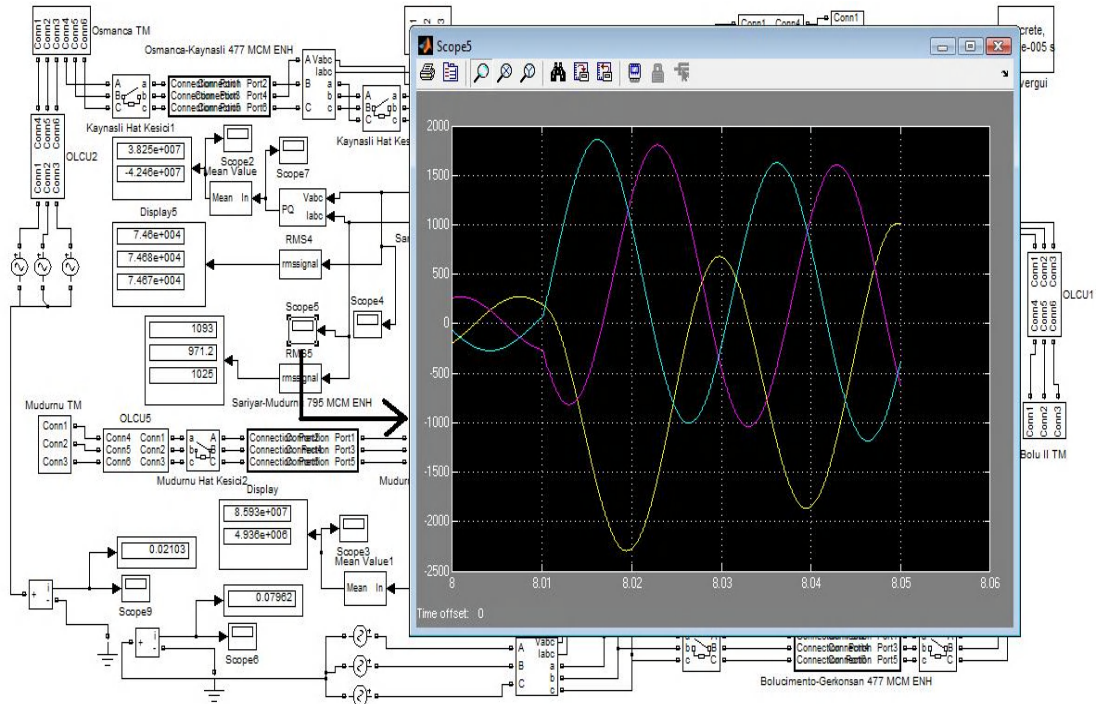


Şekil G.9. Osmanca TM 154 kV çıkış ana bara ortalama kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri

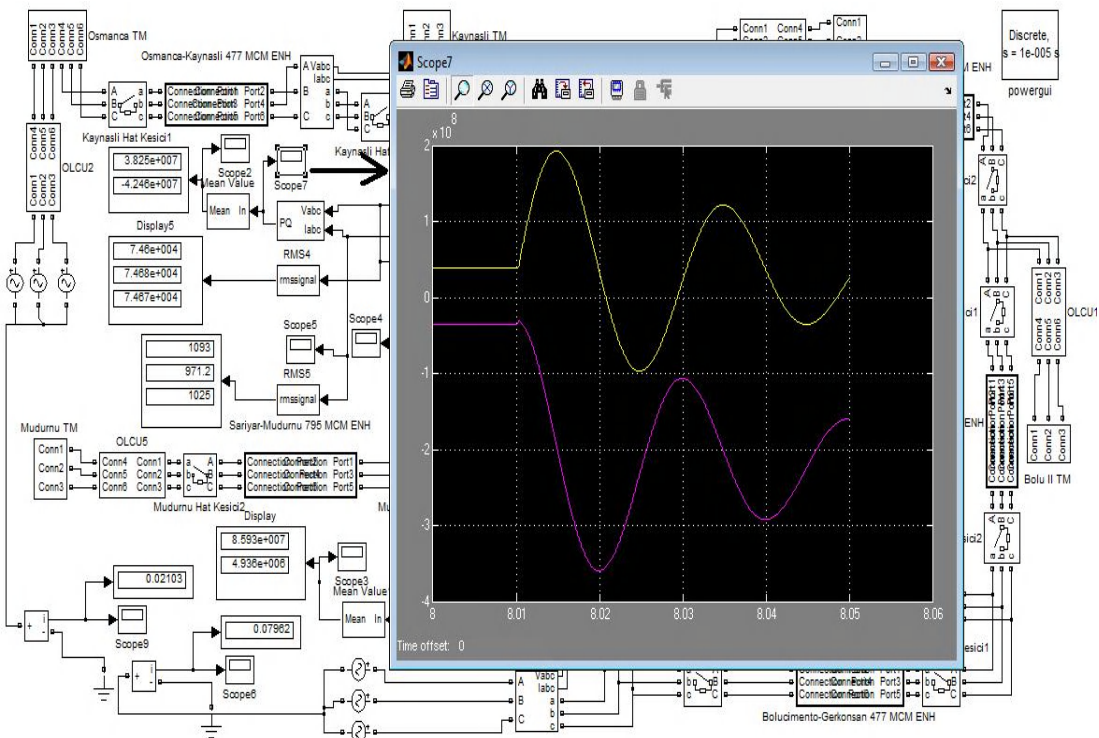
2. Kaynaşlı TM



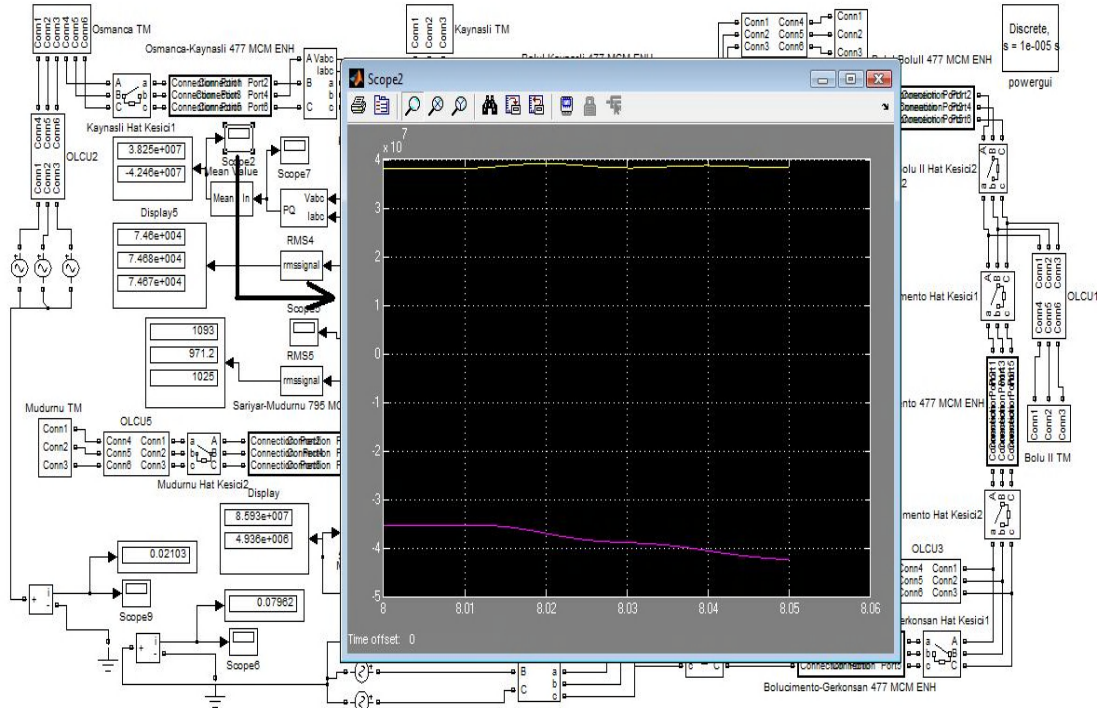
Şekil G.10. Kaynaşlı TM 154 kV giriş ana bara kısa devre gerilim değerleri



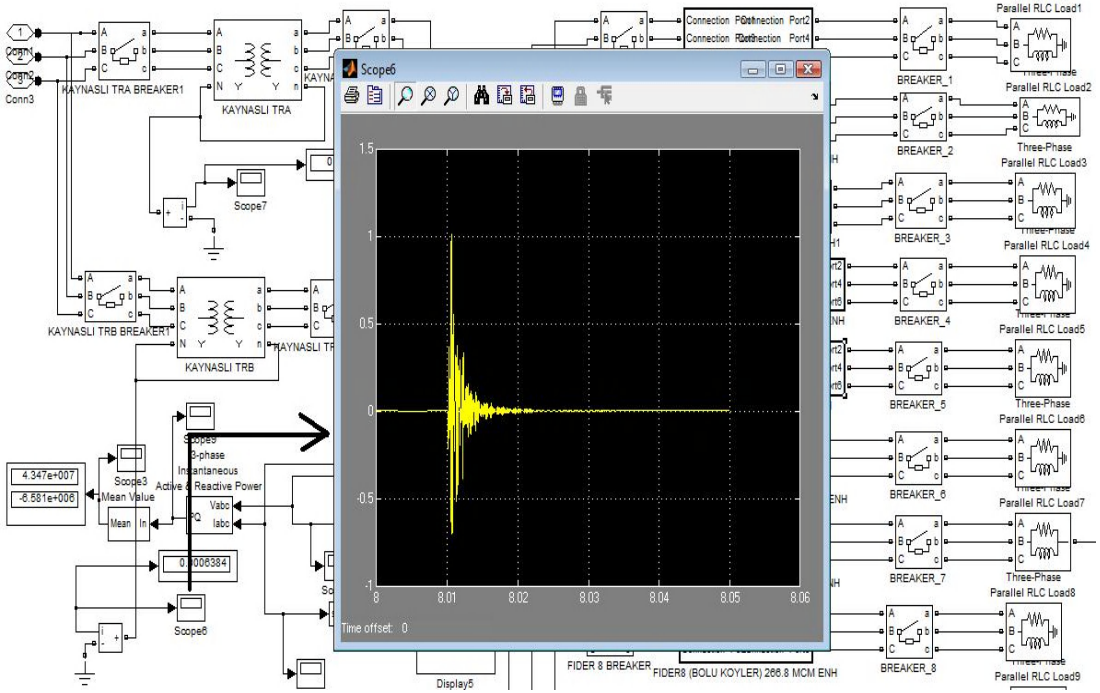
Şekil G.11. Kaynaslı TM 154 kV giriş ana bara kısa devre akım değerleri



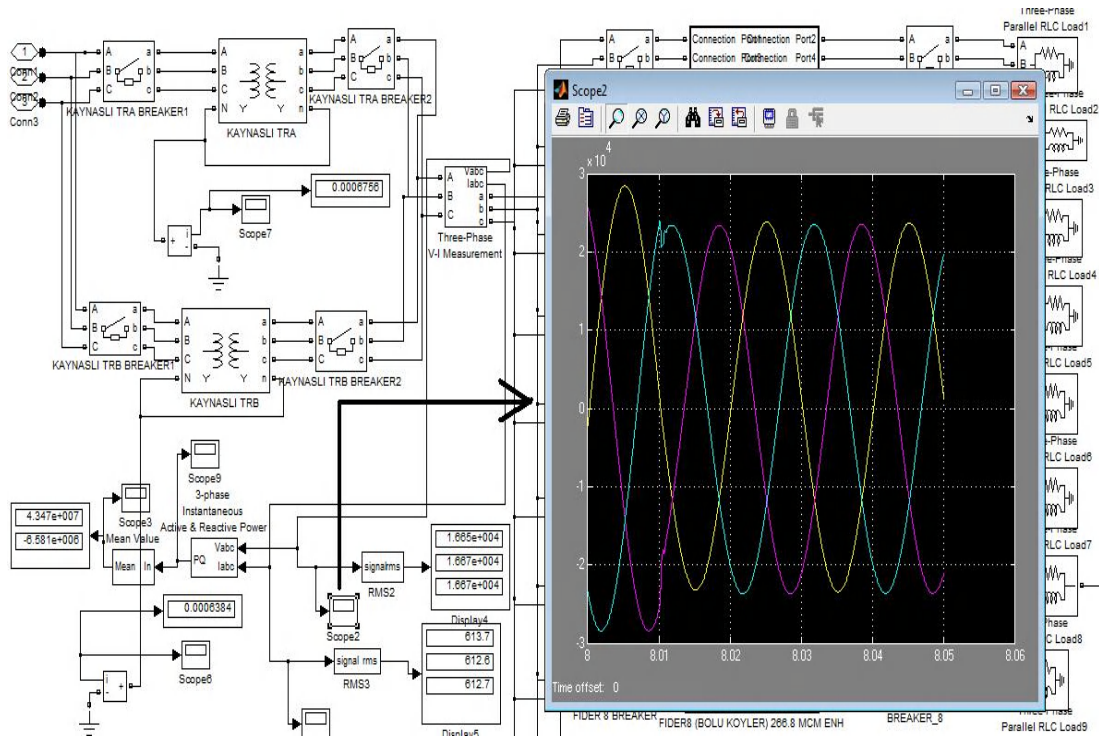
Şekil G.12. Kaynaslı TM 154 kV giriş ana bara kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri



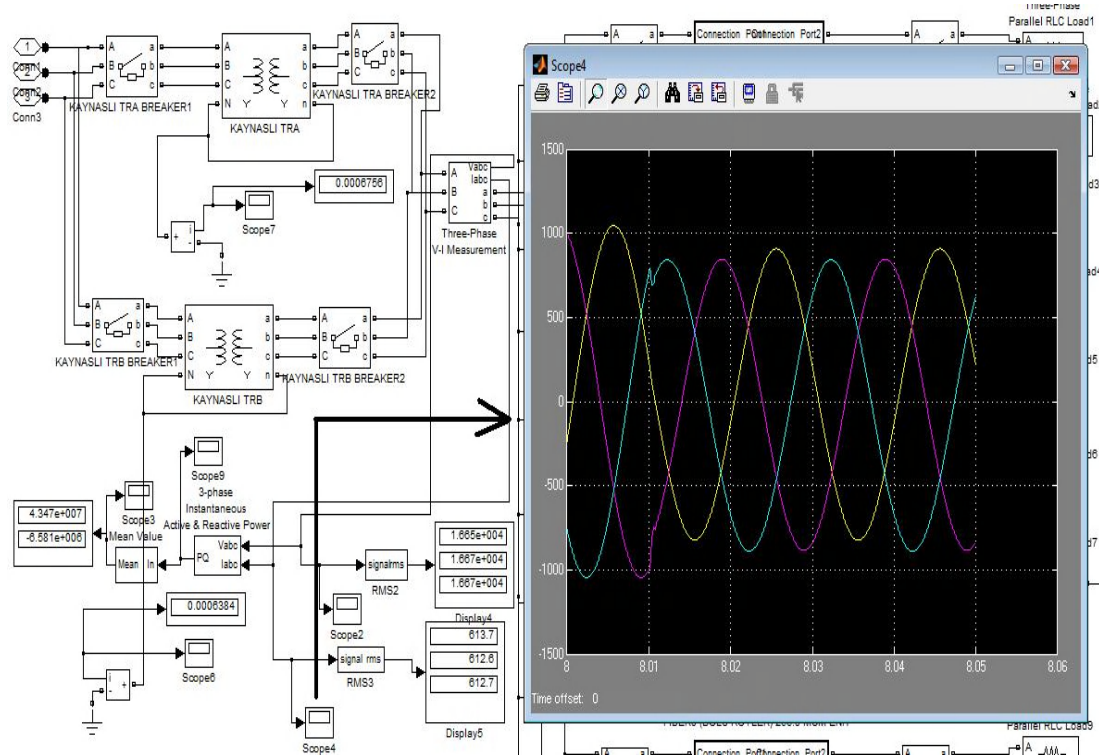
Şekil G.13. Kaynaslı TM 154 kV giriş ana bara ortalama kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri



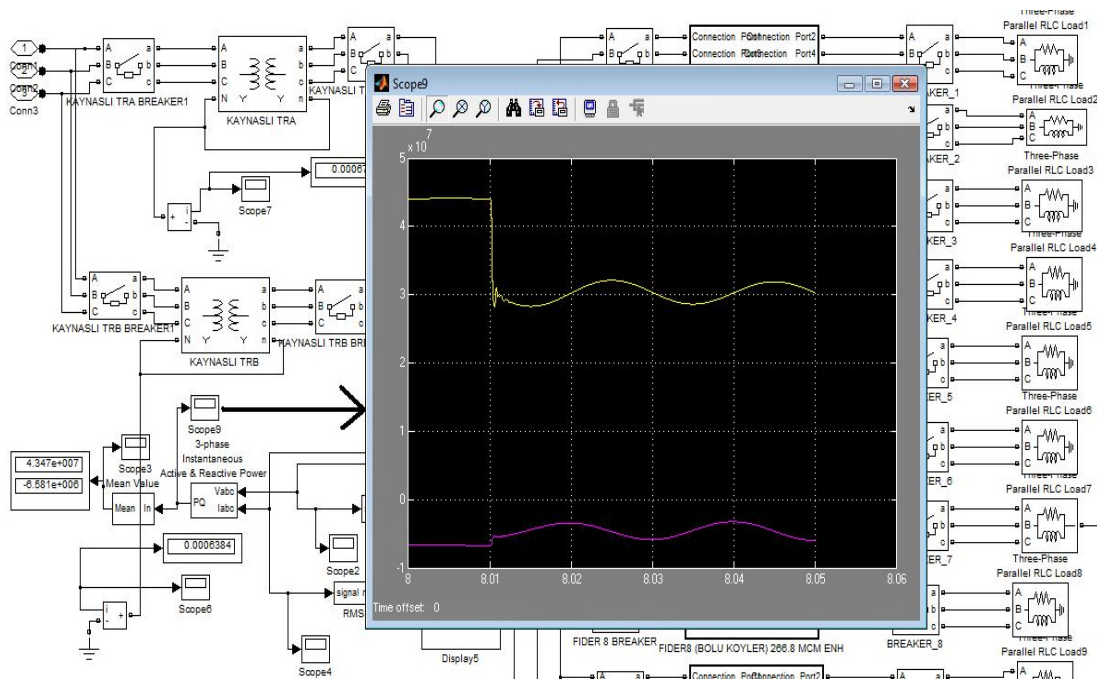
Şekil G.14. Osmanca TM, TRB yıldız noktası kısa devre akım değerleri



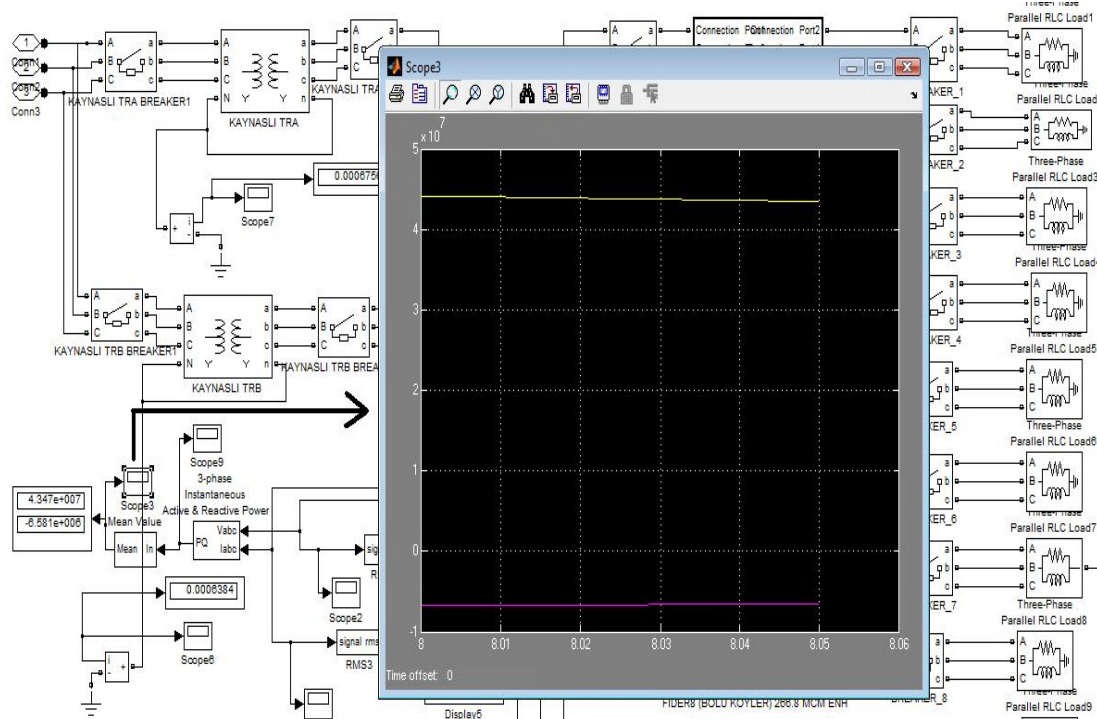
Şekil G.15. Kaynaşlı TM 34,5 kV çıkış ana bara kısa devre gerilim değerleri



Şekil G.16. Kaynaşlı TM 34,5 kV çıkış ana bara kısa devre akım değerleri

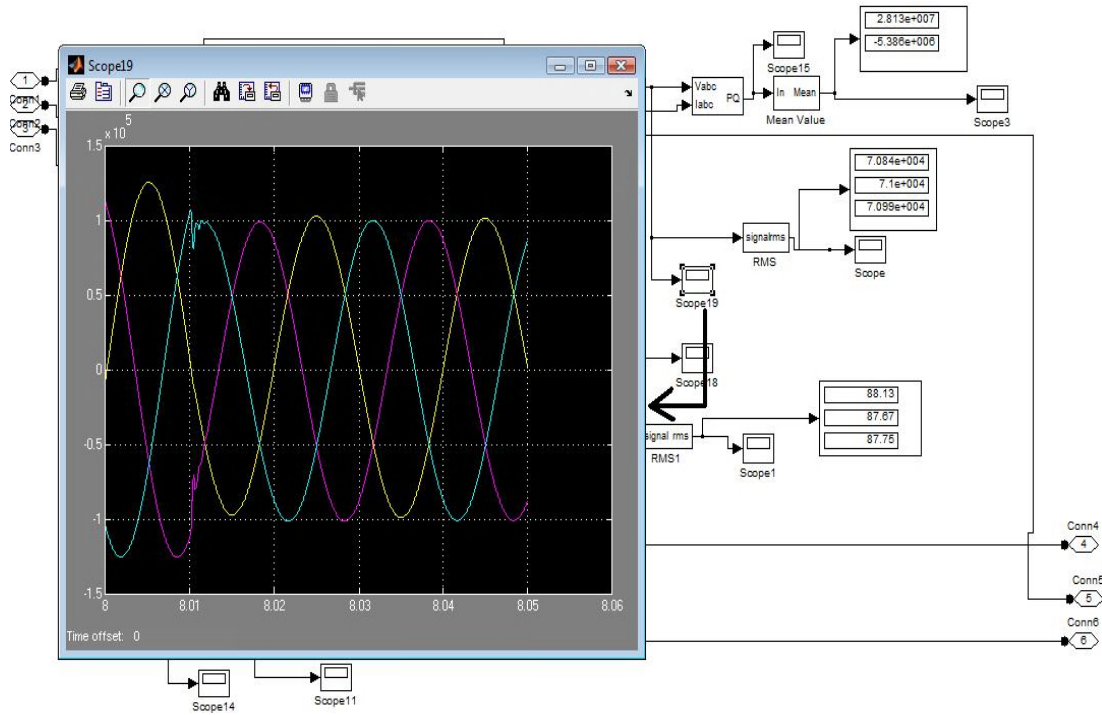


Şekil G.17. Kaynaşlı TM 34,5 kV çıkış ana bara kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri

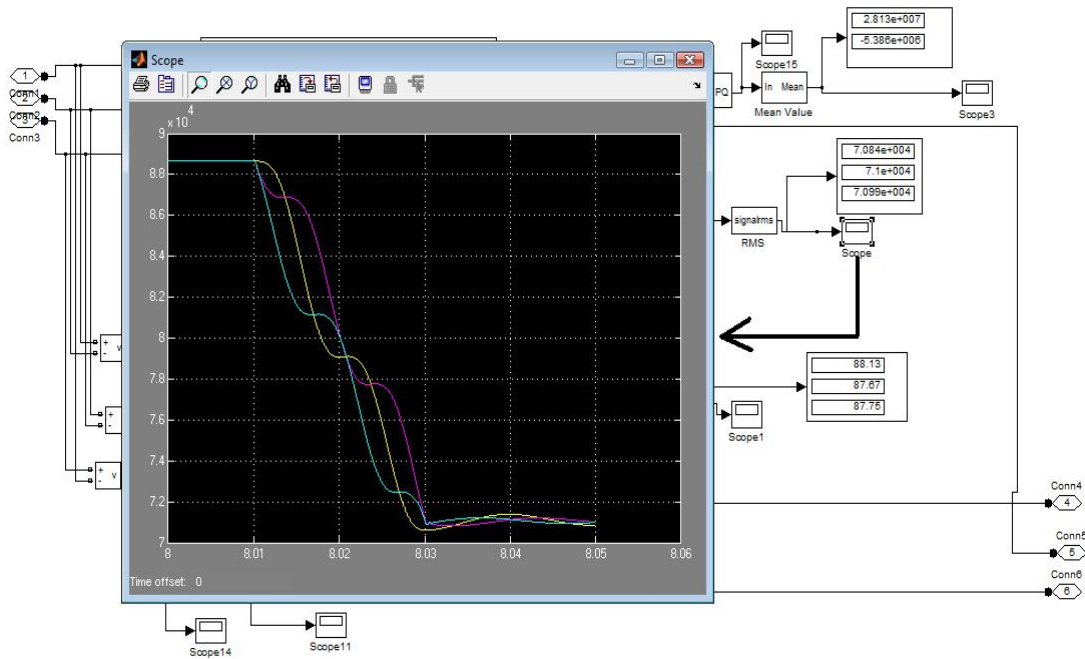


Şekil G.18. Kaynaşlı TM 34,5 kV çıkış ana bara ortalama kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri

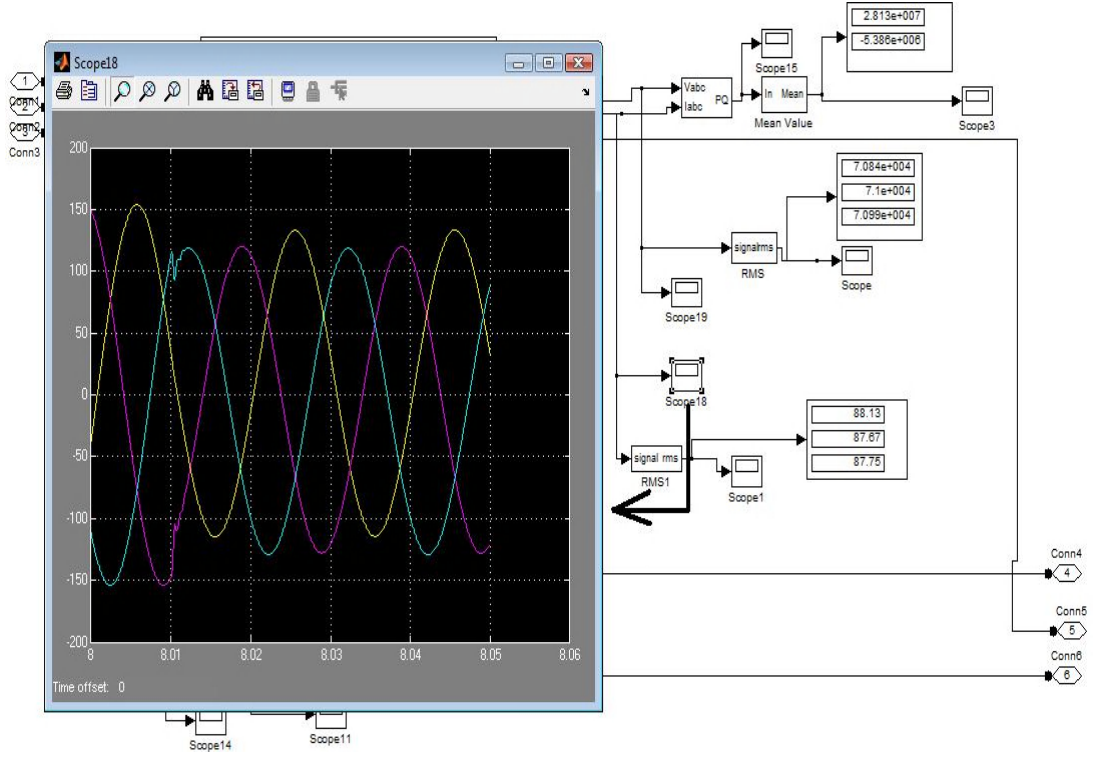
3. Bolu II TM



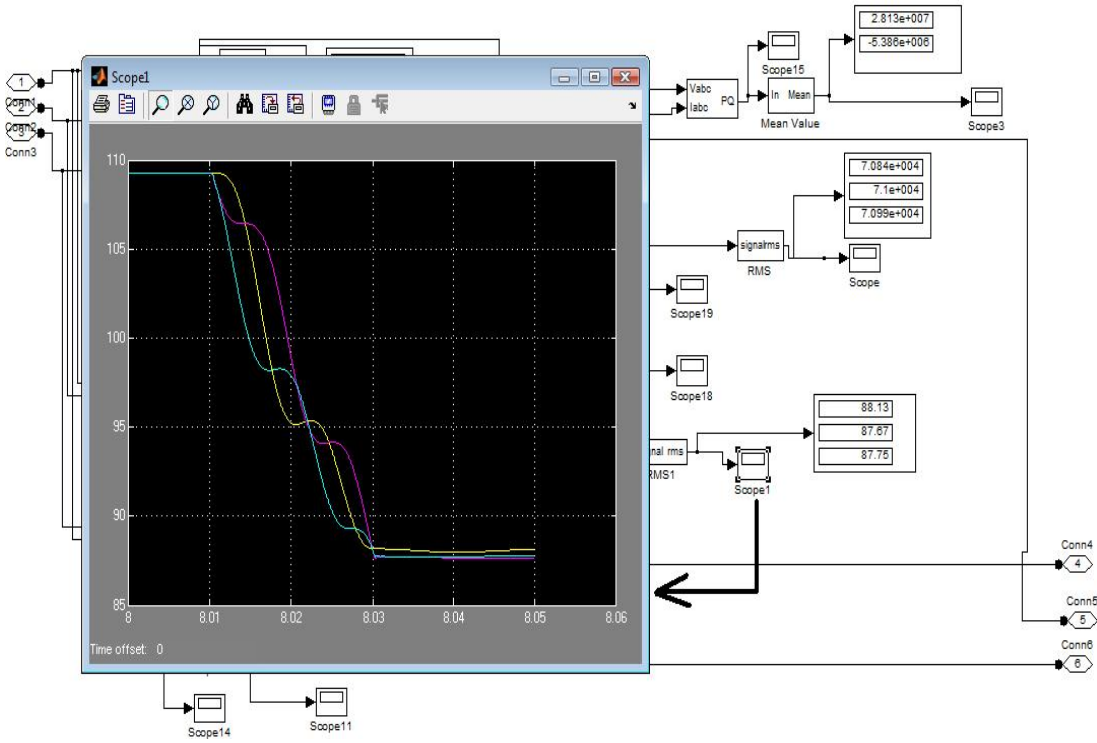
Şekil G.19. Bolu II TM 154 kV giriş ana bara kısa devre gerilim değerleri



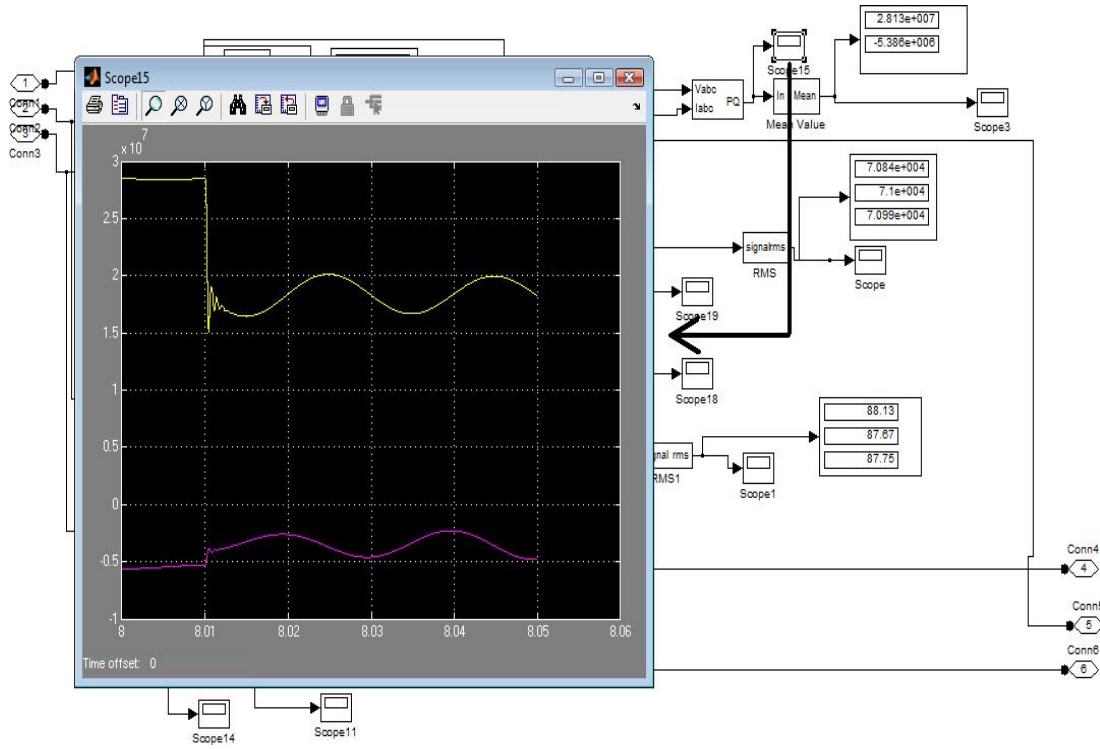
Şekil G.20. Bolu II TM 154 kV giriş ana bara ortalama kısa devre gerilim değerleri



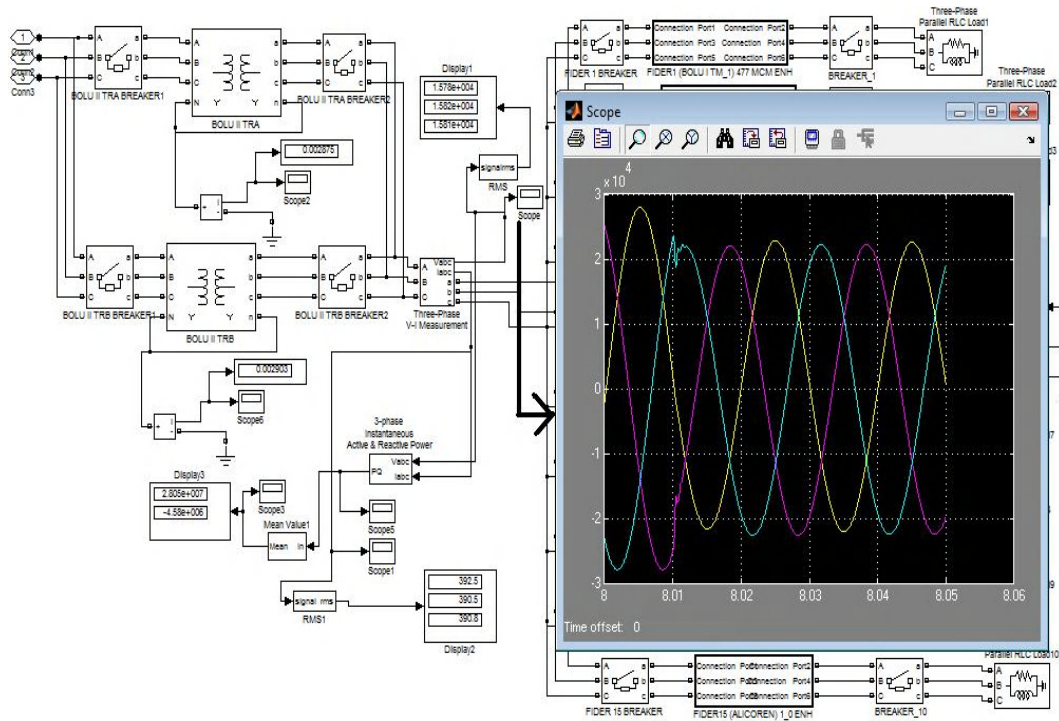
Şekil G.21. Bolu II TM 154 kV giriş ana bara kısa devre akım değerleri



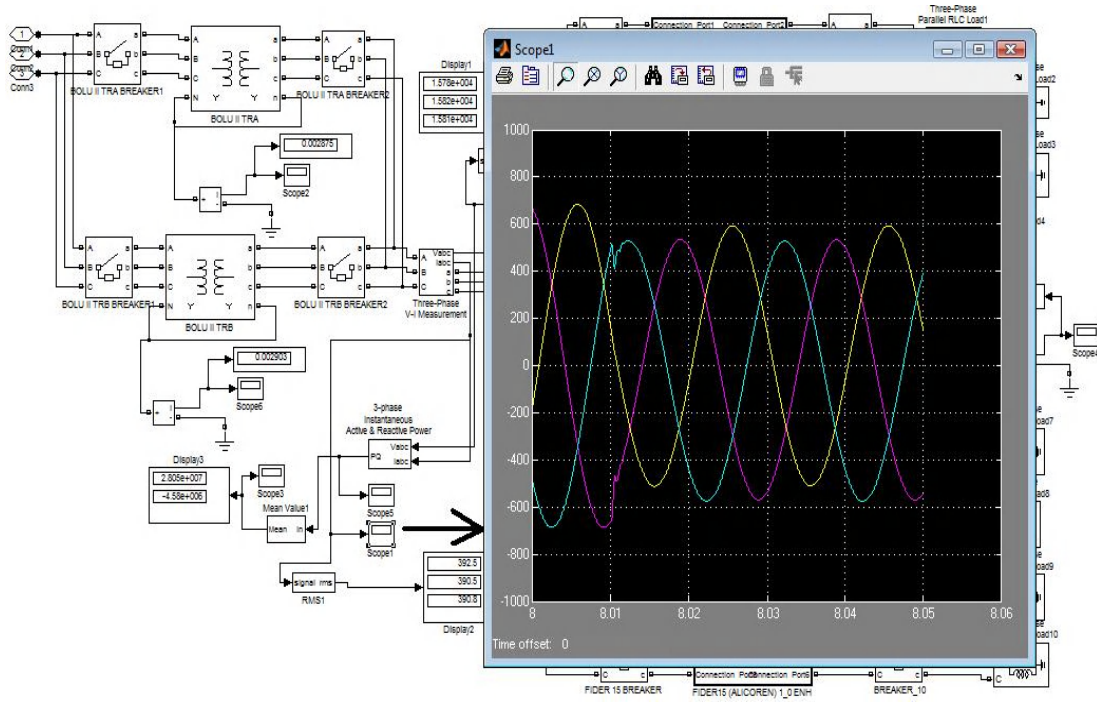
Şekil G.22. Bolu II TM 154 kV giriş ana bara ortalama kısa devre akım değerleri



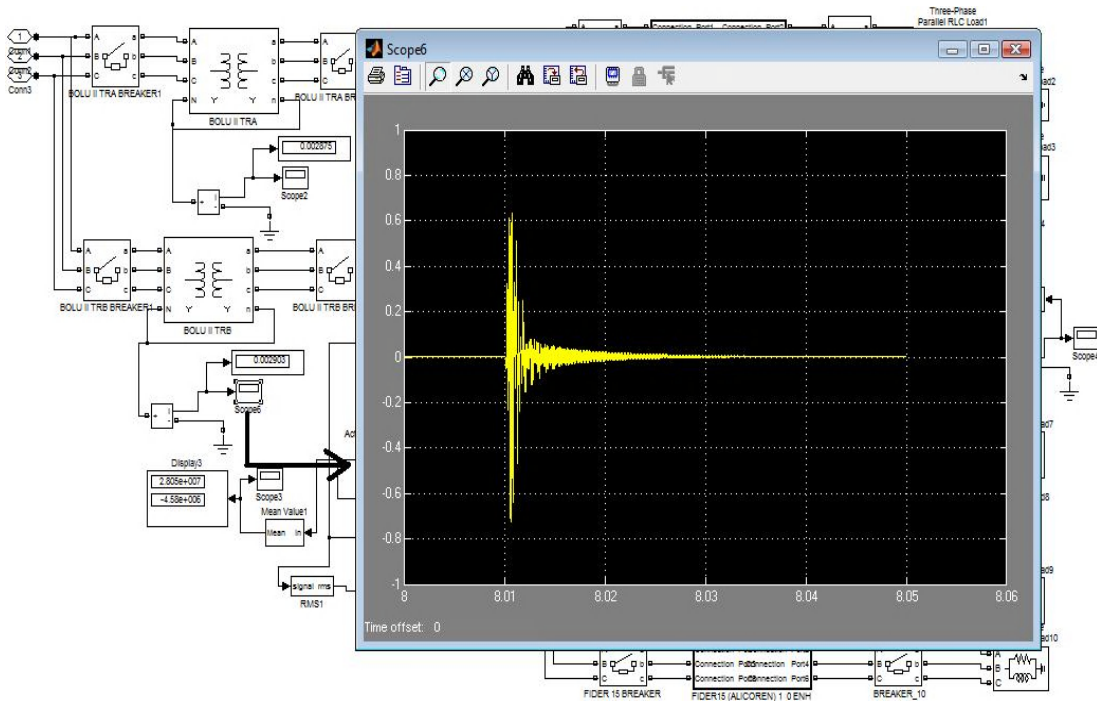
Şekil G.23. Bolu II TM 154 kV giriş ana bara kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri



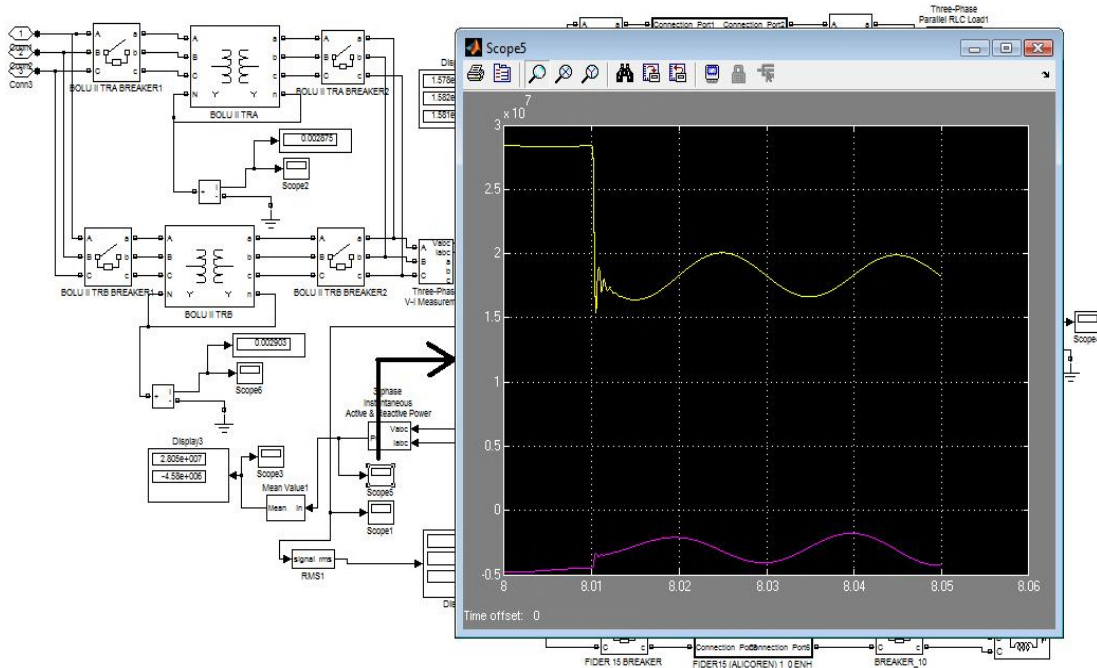
Şekil G.24. Bolu II TM 34,5 kV çıkış ana bara kısa devre gerilim değerleri



Şekil G.25. Bolu II TM 34,5 kV çıkış ana bara kısa devre akım değerleri

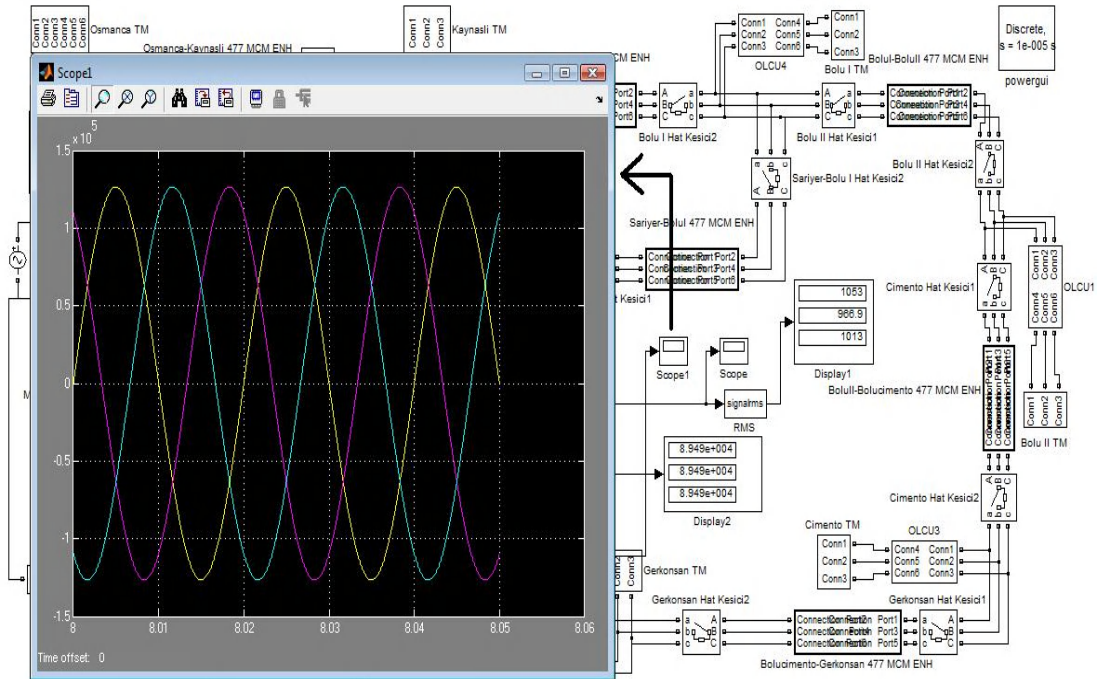


Şekil G.26. Bolu II TM, TRB yıldız noktası kısa devre akım değerleri

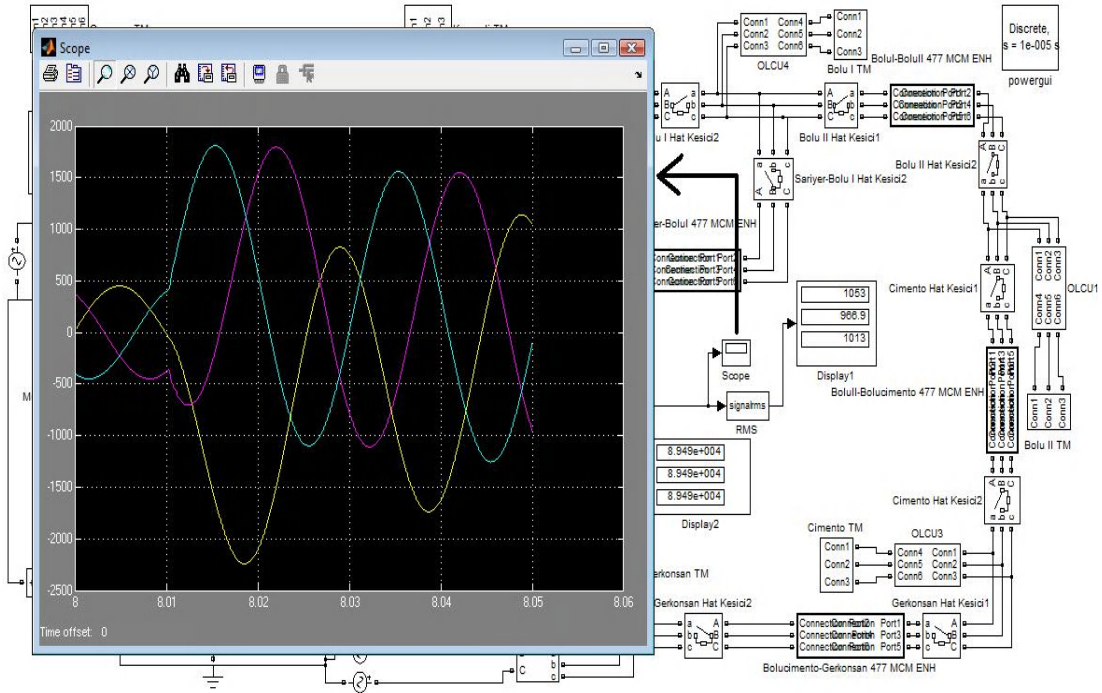


Şekil G.27. Bolu II TM 34,5 kV çıkış ana bara kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri

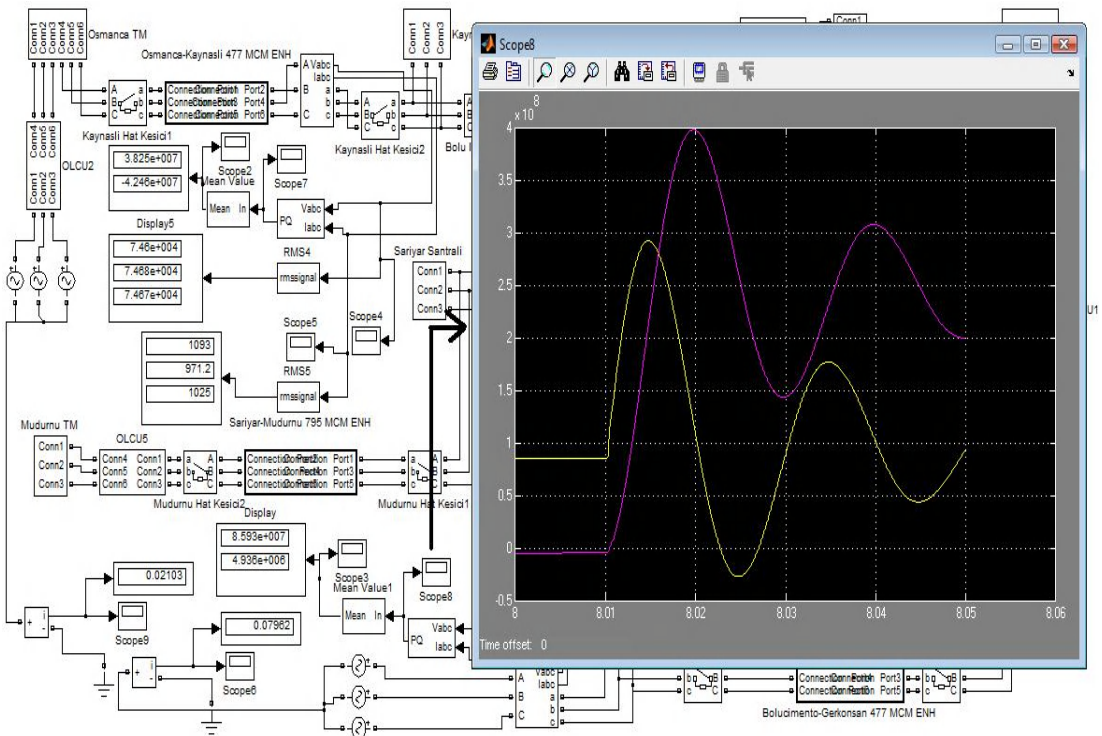
4. Gerkonsan TM



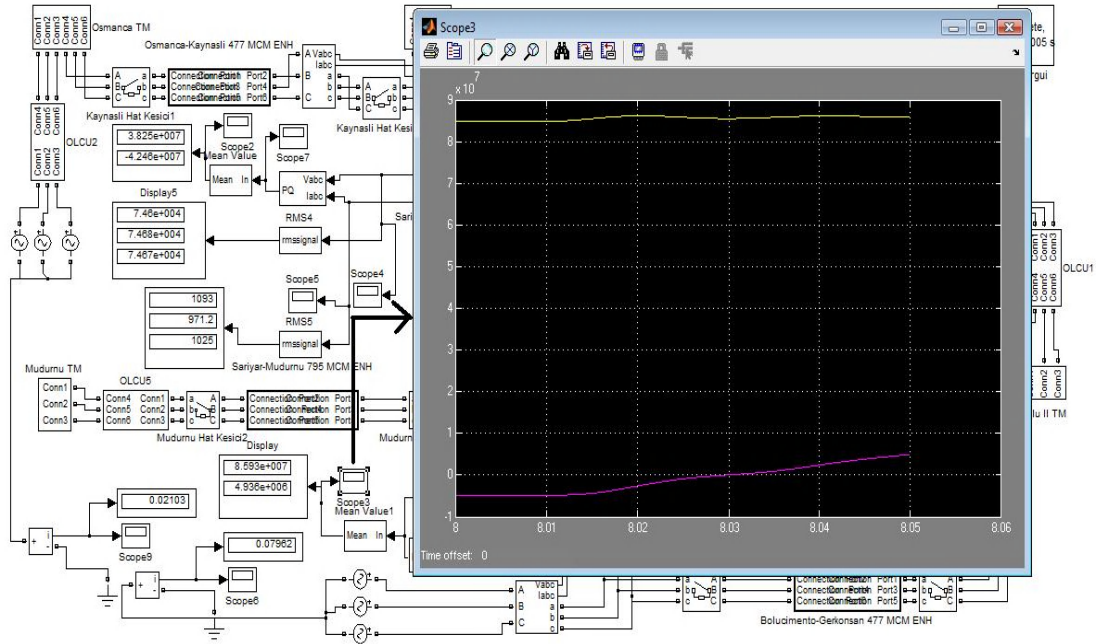
Şekil G.28. Gerkonsan TM 154 kV giriş ana bara kısa devre gerilim değerleri



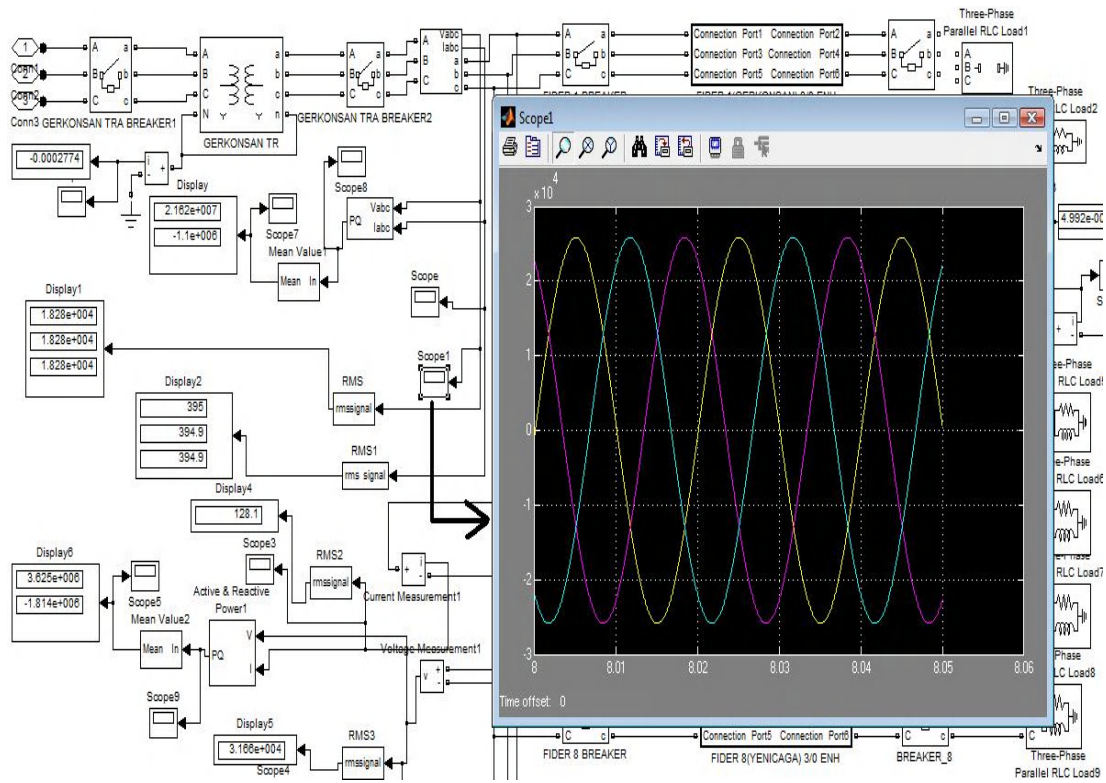
Şekil G.29. Gerkonsan TM 154 kV giriş ana bara kısa devre akım değerleri



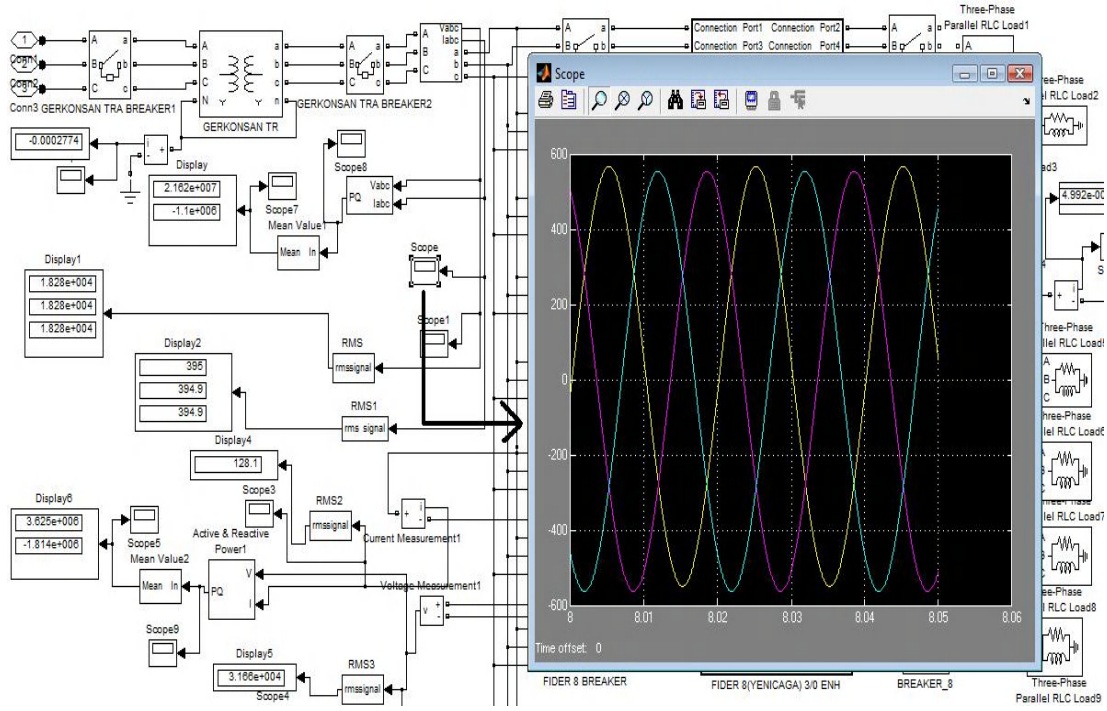
Şekil G.30. Gerkonsan TM 154 kV giriş ana bara kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri



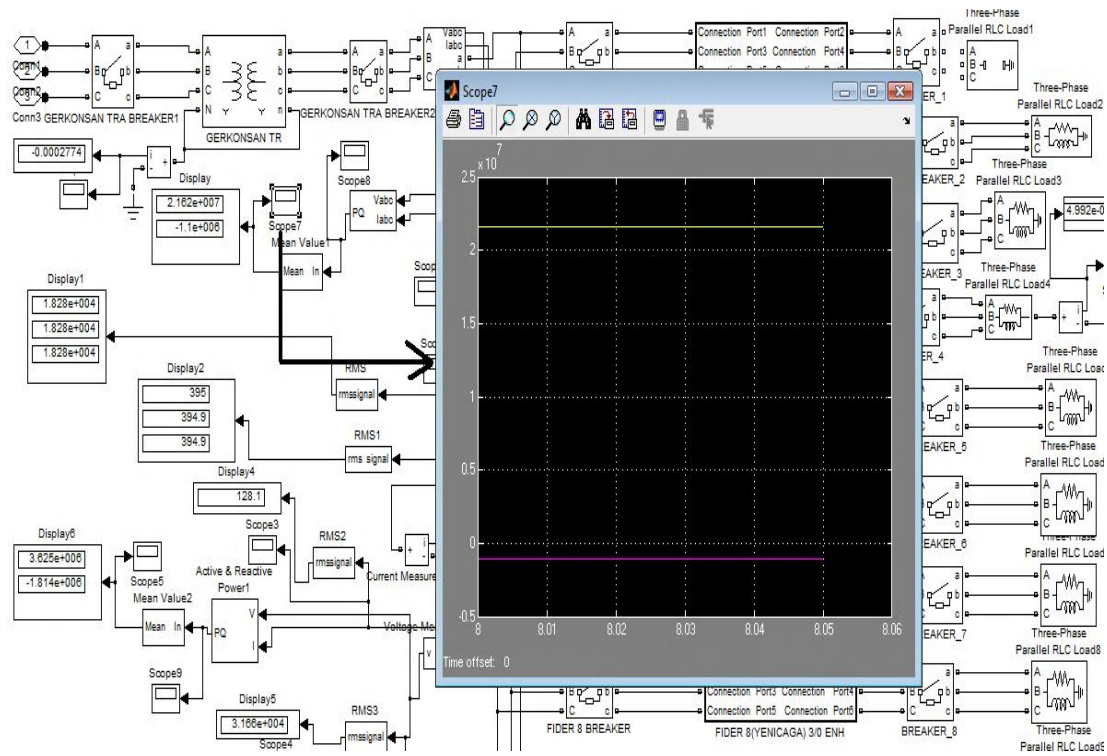
Şekil G.31. Gerksan TM 154 kV giriş ana bara ortalama kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri



Şekil G.32. Gerksan TM 31,5 kV çıkış ana bara kısa devre gerilim değerleri

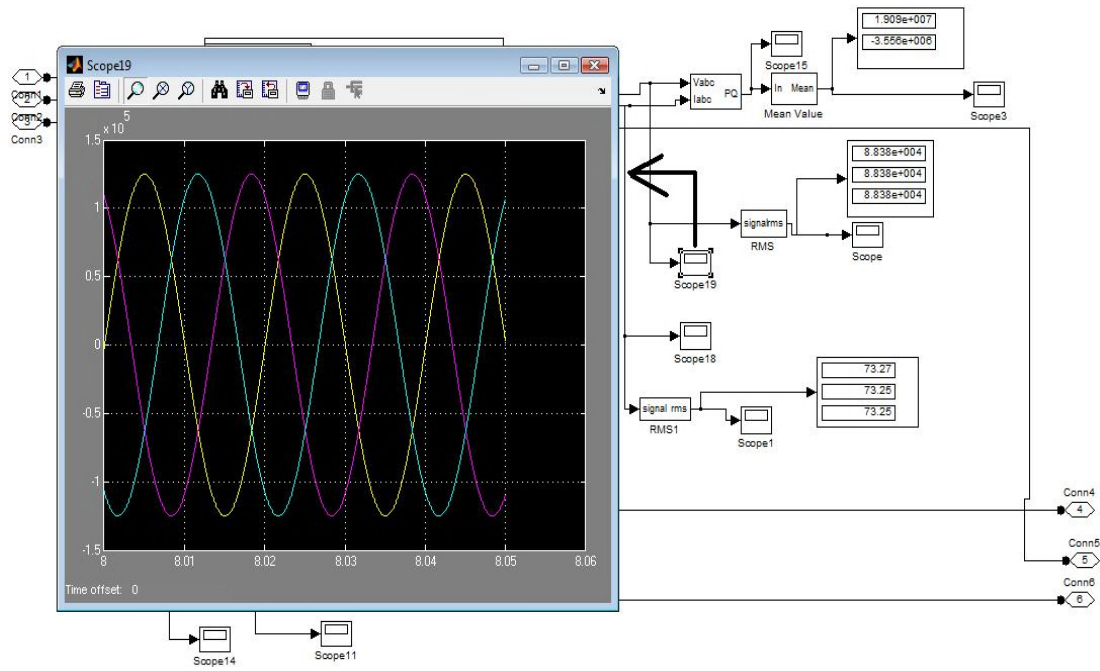


Şekil G.33. Gerkonsan TM 31,5 kV çıkış ana bara kısa devre akım değerleri

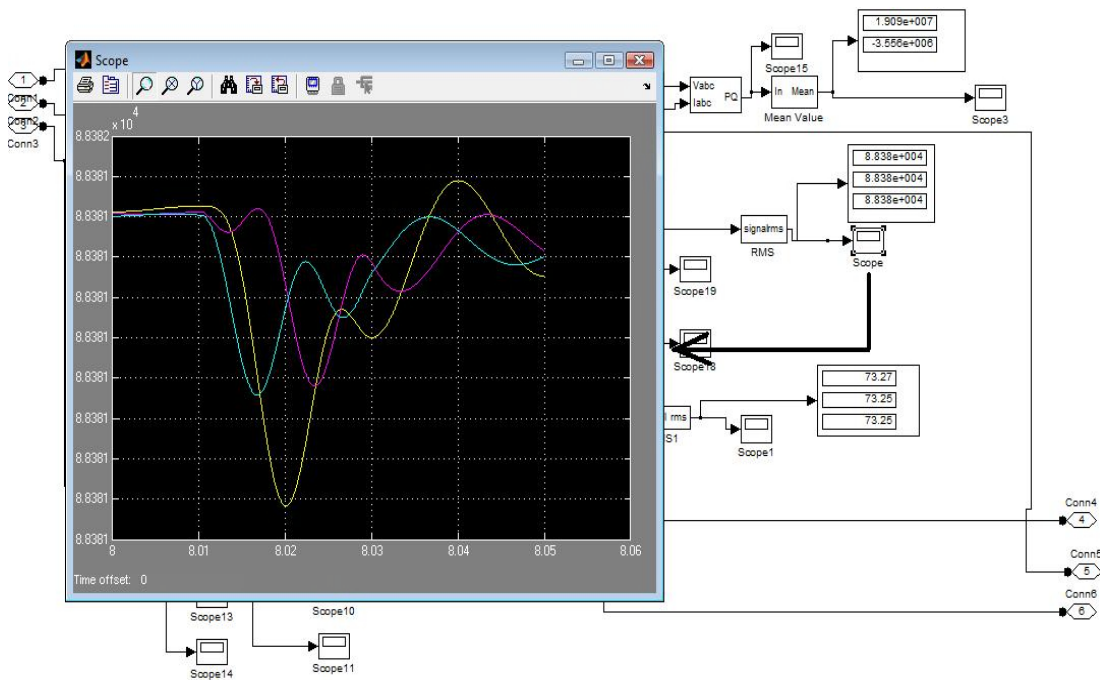


Şekil G.34. Gerkonsan TM 31,5 kV çıkış ana bara ortalama kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri

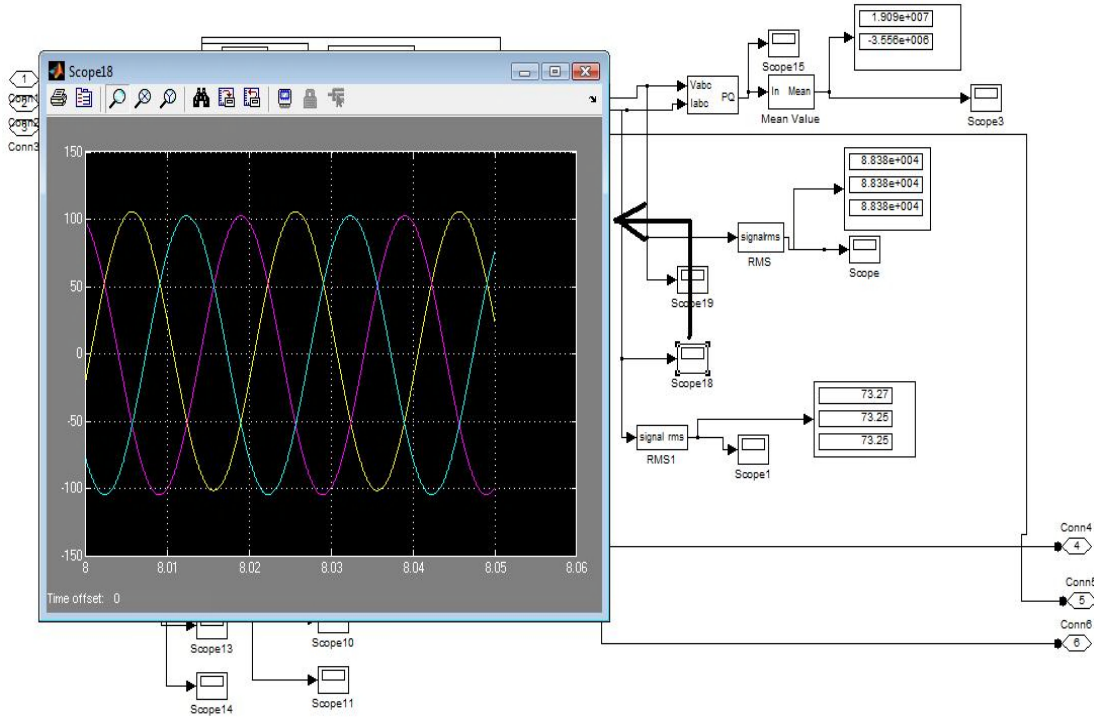
6. Mudurnu TM



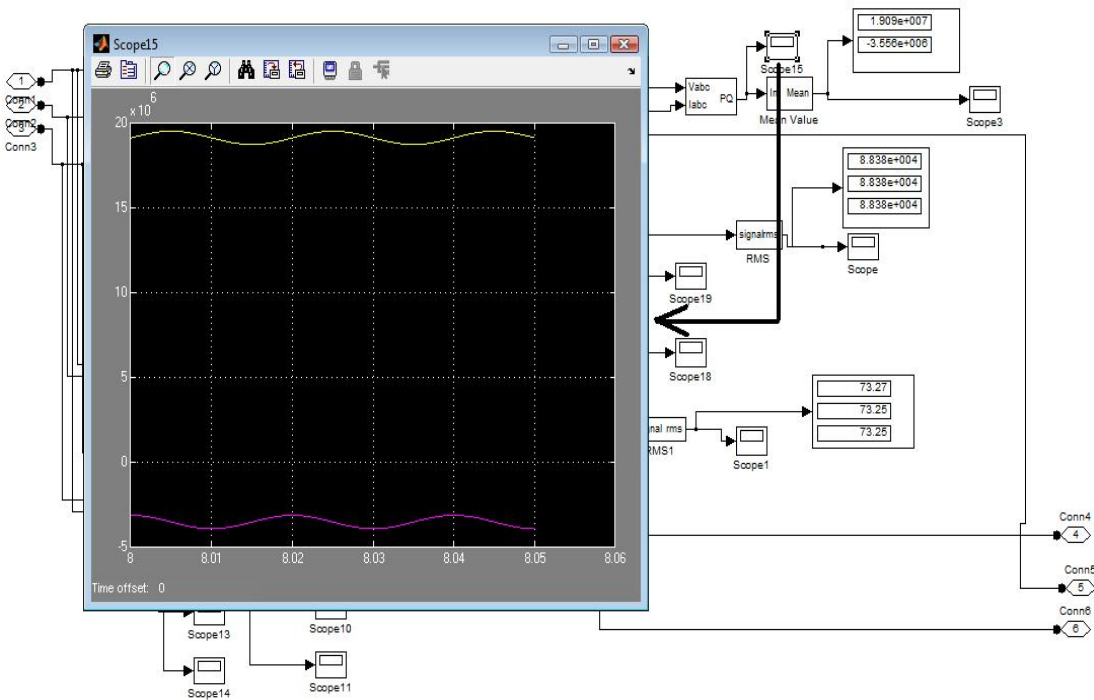
Şekil G.35. Mudurnu TM 154 kV giriş ana bara kısa devre gerilim değerleri



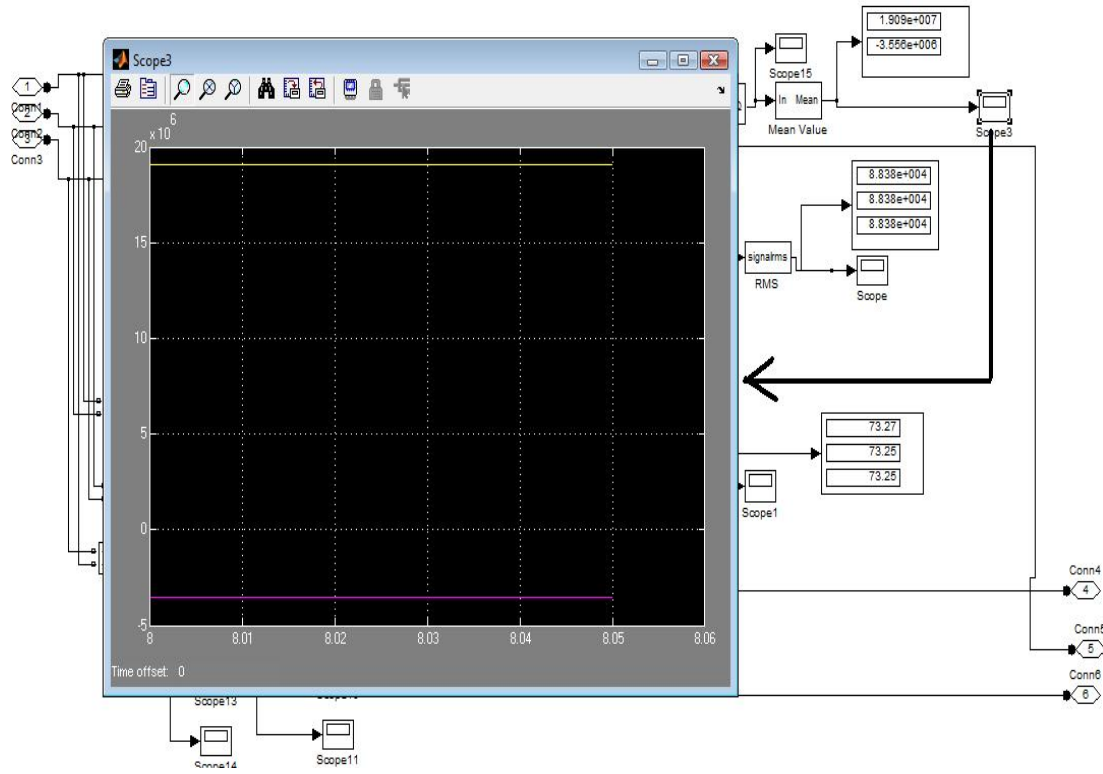
Şekil G.36. Mudurnu TM 154 kV giriş ana bara ortalama kısa devre gerilim değerleri



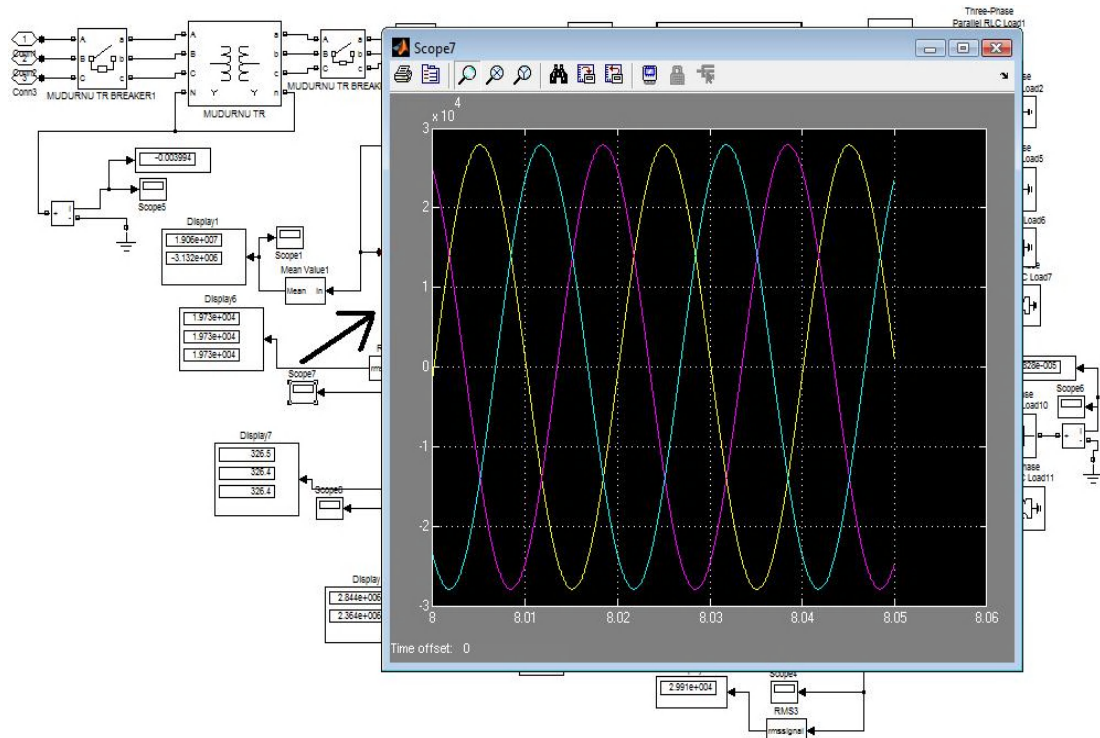
Şekil G.37. Mudurnu TM 154 kV giriş ana bara kısa devre akım değerleri



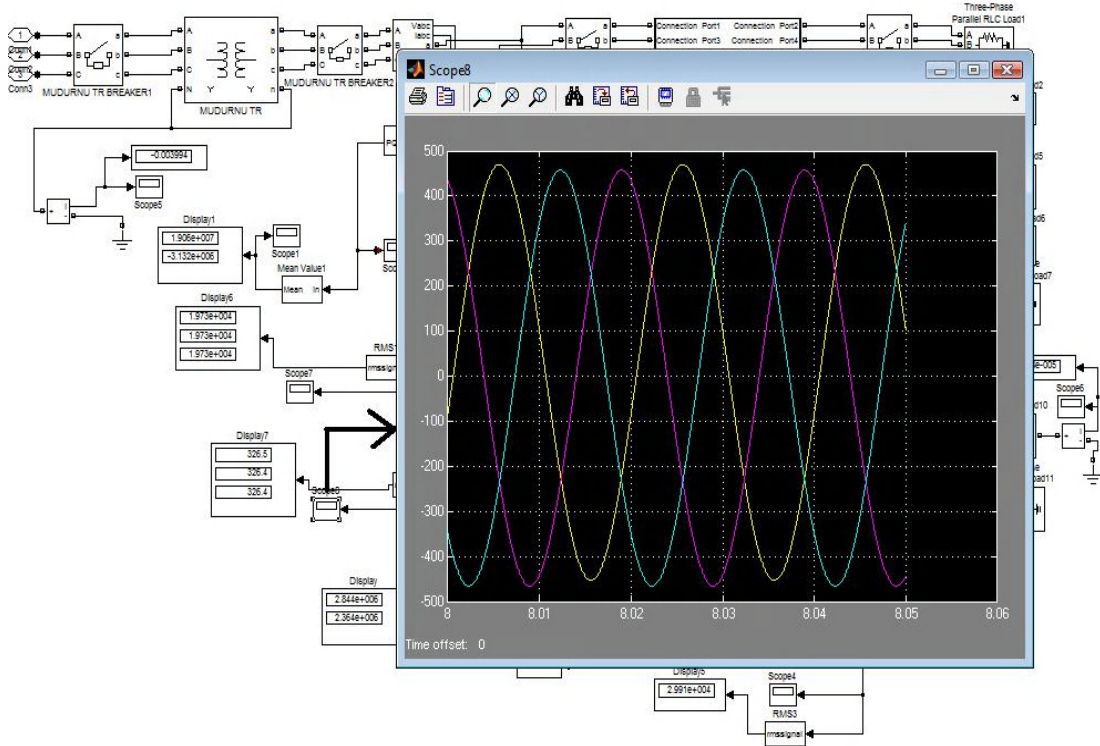
Şekil G.38. Mudurnu TM 154 kV giriş ana bara kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri



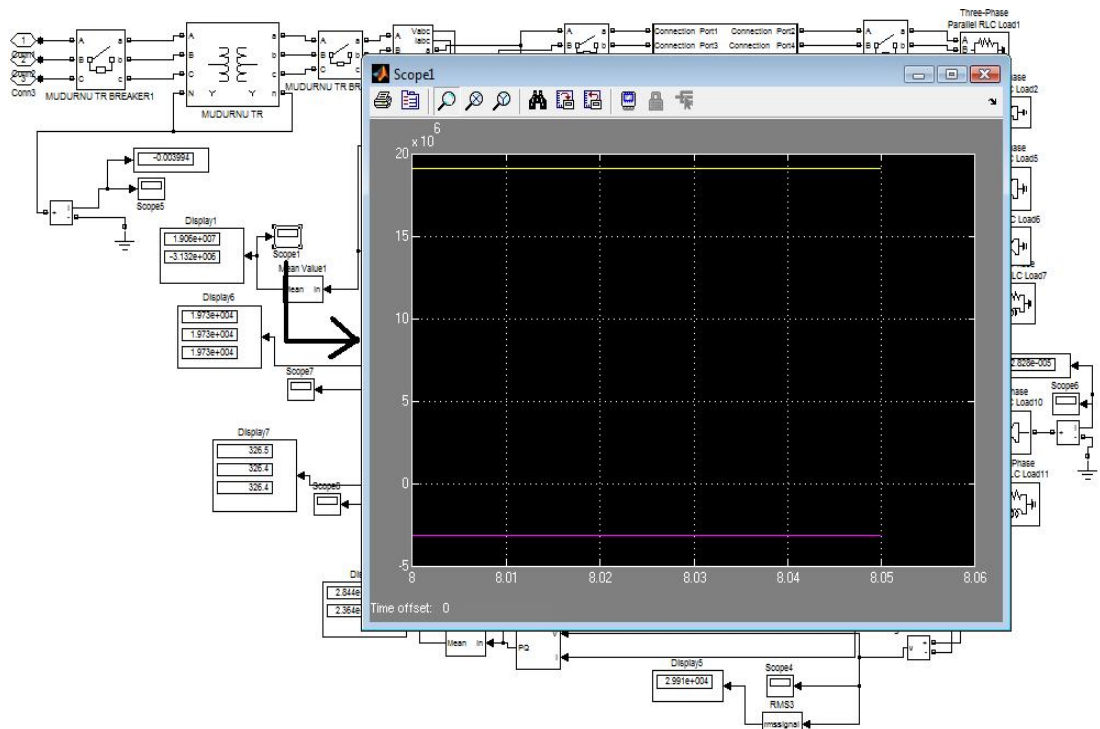
Şekil G.39. Mudurnu TM 154 kV giriş ana bara ortalama kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri



Şekil G.40. Mudurnu TM 34,5 kV çıkış ana bara kısa devre gerilim değerleri

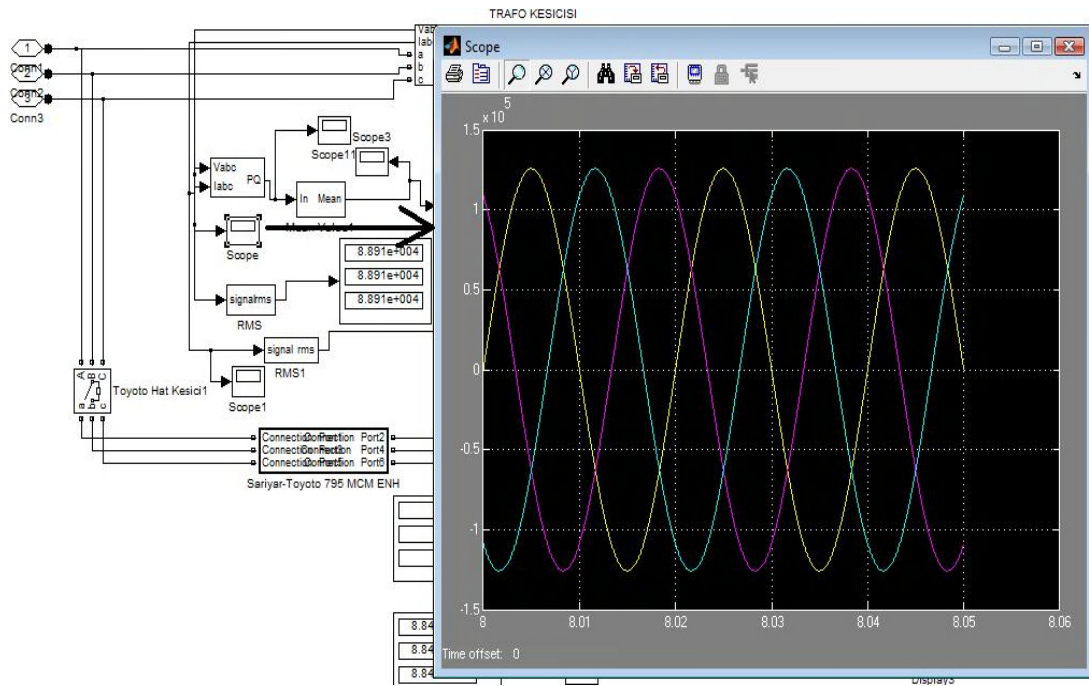


Şekil G.41. Mudurnu TM 34,5 kV çıkış ana bara kısa devre akım değerleri

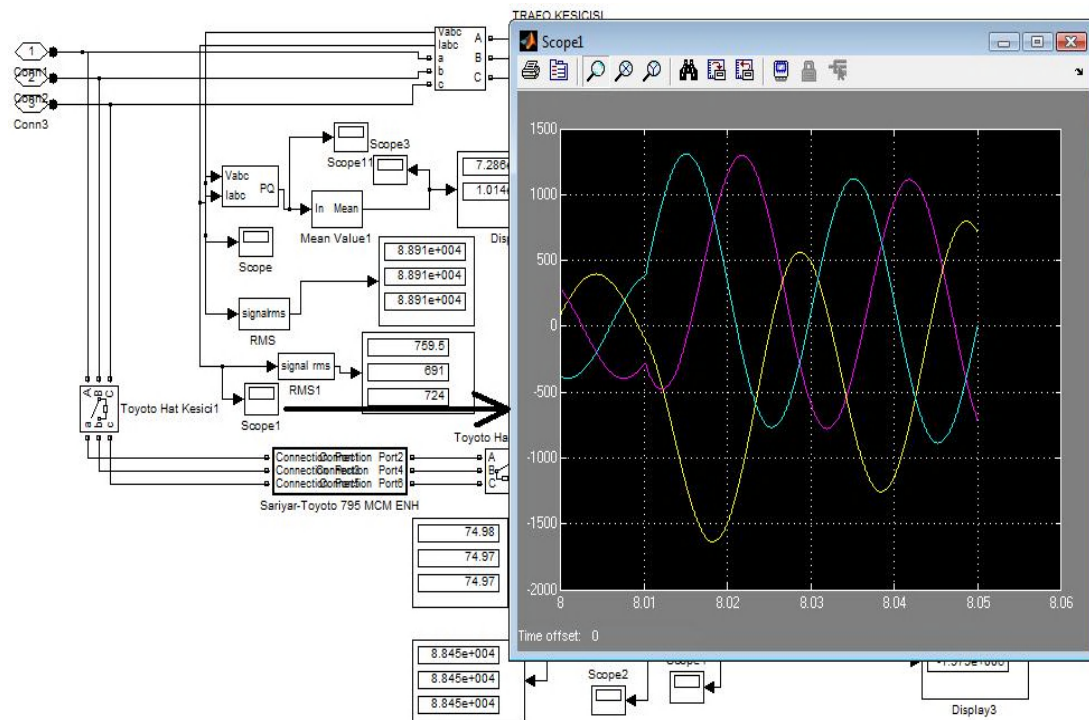


Şekil G.42. Mudurnu TM 34,5 kV çıkış ana bara ortalama kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri

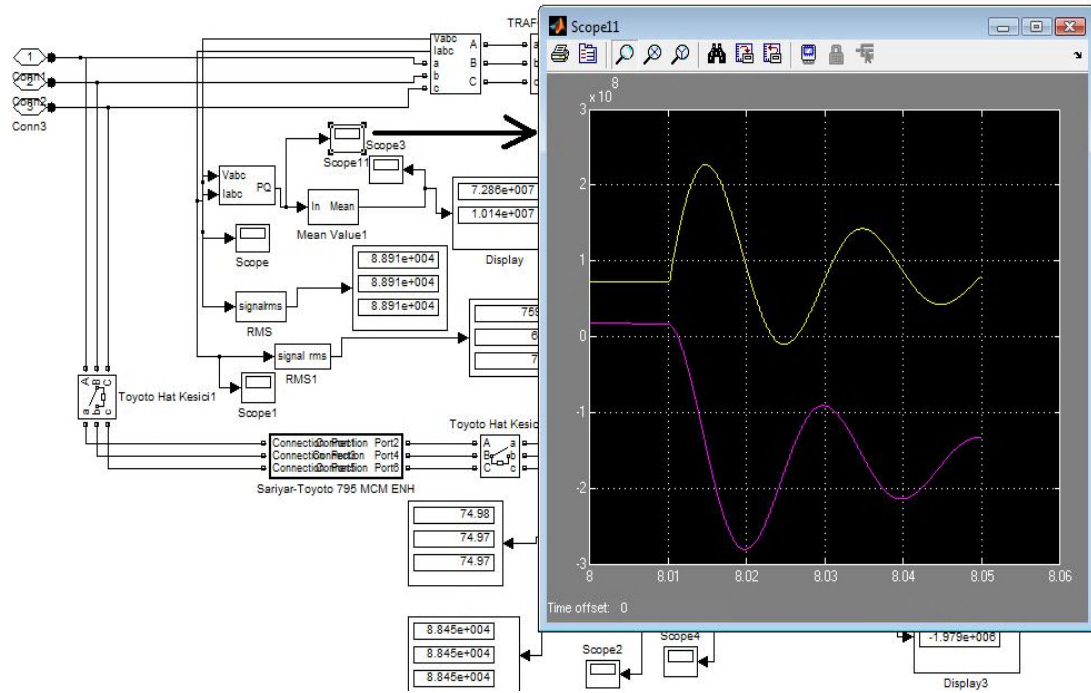
7. Sarıyar Santrali



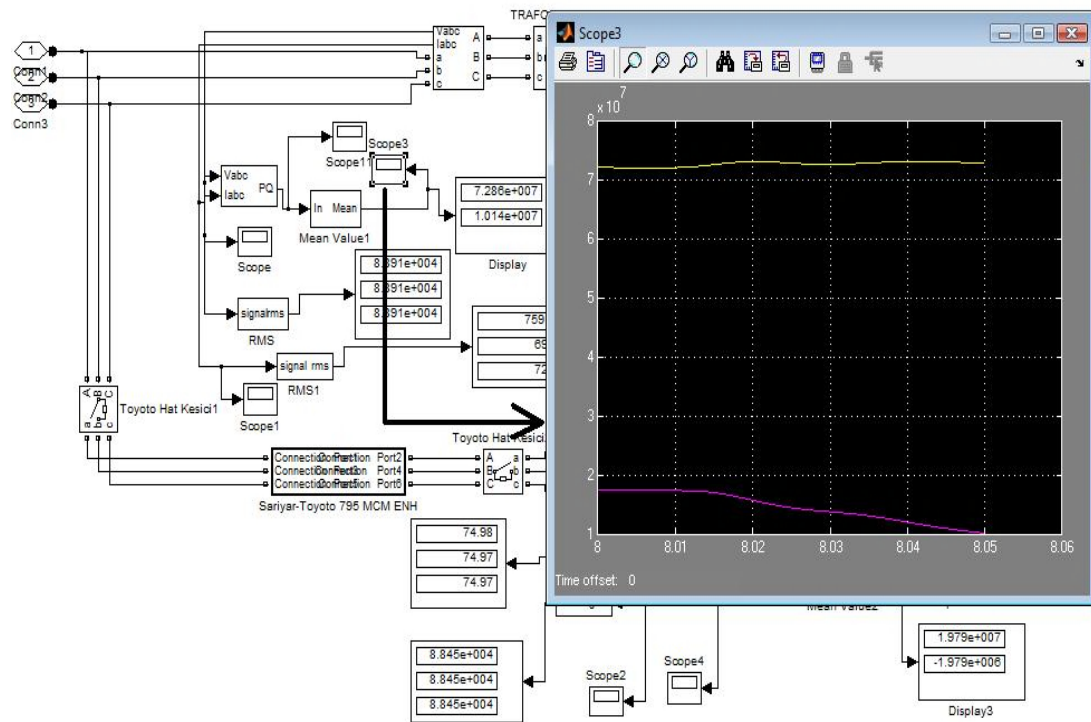
Şekil G.43. Sarıyar Santrali 154 kV çıkış ana bara kısa devre gerilim değerleri



Şekil G.44. Sarıyar Santrali 154 kV çıkış ana bara kısa devre akım değerleri



Şekil G.45. Sarıyar Santralı 154 kV çıkış ana bara kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri



Şekil G.46. Sarıyar Santralı 154 kV çıkış ana bara ortalama kısa devre aktif ve reaktif güç değerleri

ÖZGEÇMİŞ

Sefer SOYSAL, 14.04.1982 de Samsun ili, Havza ilçesinde doğdu. İlkokulu Dereköy, ortaokulu Vezirköprü Y.İ.B. Okulu ve lise eğitimini Samsun 50. Yıl Lisesi'nde tamamladı. 1999 yılında Samsun 50. Yıl Lisesinden mezun oldu. 1999 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliğini 2003 yılında bitirdi. 2004 yılında İntem A.Ş.'de mühendis olarak çalıştı. 2005 yılından itibaren Sakarya Elektrik Dağıtım A.Ş. Bolu İl Müdürlüğünde çalışmakta olup, 2007 yılından itibaren İşletme ve Bakım Başmühendisi olarak görev yapmaktadır.