

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**154 kV BİR İLETİM ŞEBEKESİNİN KAPALI (RING) SİSTEME
DÖNÜŞMESİYLE ÇİFT TARAFLI BESLENEN TRAFO MERKEZLERİNDE
BARA KISA DEVRE İNCELEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilal ERİM

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**154 kV BİR İLETİM ŞEBEKESİNİN KAPALI (RING) SİSTEME
DÖNÜŞMESİYLE ÇİFT TARAFLI BESLENEN TRAFO MERKEZLERİNDE
BARA KISA DEVRE İNCELEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Bilal ERİM
(504071003)**

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ayşen DEMİRÖREN

MAYIS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504071003 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Bilal ERİM**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**154 kV BİR İLETİM ŞEBEKESİNİN KAPALI (RING) SİSTEME DÖNÜŞMESİYLE ÇİFT TARAFLI BESLENEN TRAFO MERKEZLERİNDE BARA KISA DEVRE İNCELEMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ayşen DEMİRÖREN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. H. Lale Zeynelgil**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet BAYRAK
Sakarya Üniversitesi

Teslim Tarihi : **4 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **27 Mayıs 2015**

Sevgili Anneme ve Babama,

ÖNSÖZ

Açık sistem bir iletim şebekesinin kapalı sisteme dönüşmesini incelediğim bu tez çalışmamda değerli katkılarını sunan, desteğini ve zamanını benden esirgemeyen değerli Hocam Sayın Prof. Dr. Ayşen DEMİRÖREN'e öncelikle teşekkürü bir borç bilirim. Tez çalışmamda kullandığım verileri edinmeme ve çalışmama olan katkılarından dolayı değerli mesai arkadaşlarım TEİAŞ 5. Bölge Müdürlüğü çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2015

Bilal ERİM
Elektrik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
SEMBOL LİSTESİ	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Araştırması	2
2. KISA DEVRE	5
2.1 Kısa Devrenin Tanımı	5
2.2 Kısa Devre Akımı Karakteritiği	5
2.2.1 Darbe kısa devre akımı (i_p).....	6
2.2.2 Başlangıç kısa devre akımı (I_k).....	7
2.2.3 Sürekli kısa devre akımı (I_k).....	7
2.2.4 Kısa devre açma akımı (I_b).....	7
2.2.5 Kısa devre açma gücü (S_b).....	7
2.3 Seri R-L Devresinde Kısa Devre	8
3. SİMETRİLİ BİLEŞENLER.....	11
3.1 Simetrik Bileşenler'in Tanımı	11
3.2 Simetrik Bileşenler Yöntemi	11
3.3 Yük Empedansının Simetrik Bileşen Devresi.....	14
3.4 Seri Empedansların Bileşen Devre İfadesi	16
4. KISA DEVRE ÇEŞİTLERİ	19
4.1 Faz-Toprak Kısa Devresi.....	20
4.2 Faz-Faz Kısa Devresi	21
4.3 İki Faz-Toprak Kısa Devresi	23
4.4 Üç Faz Kısa Devresi	24
5. İLETİM SİSTEMİ ANA ELEMANLARI	27
5.1 Güç Transformörü	27
5.1.1 Kısa devre testinden sargı direnci ve kaçak reaktansların belirlenmesi....	28
5.1.2 Boşta çalışmada nüveyi temsil eden direnç ve reaktansın belirlenmesi....	29
5.1.3 Üç fazlı iki sargılı transformörün bileşen devre eşdeğeri.....	30
5.2 İletim Hattı.....	32
6. SAKARYA BÖLGESİNDE İLETİM ŞEBEKESİNİN KAPALI SİSTEME DÖNÜŞMESİYLE ÇİFT TARAFLI BESLENEN MERKEZLERİN KISA DEVRE ANALİZİ	35
6.1 Sakarya Bölgesi İletim Şebekesinin ve İncelenen Kısımın Tanıtılması.....	35
6.2 Açık Sistem İletim Şebekesinin Kapalı Sisteme Dönüşmesi	38

6.3 İletim Şebekesinin MATLAB (Simulink) ile Modellenmesi	39
6.3.1 Güç transformatörü bloğu	40
6.3.1.1 25 MVA güç transformatörü bloğu.....	40
6.3.1.2 50 MVA güç transformatörü bloğu.....	42
6.3.1.3 100 MVA güç transformatörü bloğu.....	43
6.3.2 İletim hattı bloğu	43
6.3.3 Güç kaynağı bloğu	45
6.3.4 Yük bloğu.....	46
6.3.5 Kısa devre (arıza) bloğu	48
6.4 Açık Sistem Şebeke Durumu İncelemesi	50
6.4.1 Açık sistem şebeke durumu kısa devre analizi.....	50
6.4.2 Açık sistem şebeke durumunda gerilim değerleri	53
6.5 Kapalı Sistem Şebeke Durumunda Farklı Koşulların İncelenmesi	53
6.5.1 Kapalı sistem şebeke durumunda farklı koşullar için kısa devre analizi ..	53
6.5.2 Kapalı sistem şebeke durumunda farklı koşullarda gerilim değerleri	59
6.6 Trafo Merkezlerinin Orta Gerilim Barasında Kısa Devre Analizi	60
6.7 Maksimum Gerilim Seviyesinde Hata Akımları ve Sistem Empedansları	63
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
KAYNAKLAR.....	71
EKLER	73
ÖZGEÇMİŞ.....	95

KISALTMALAR

EGAT	: Electricity Generating Authority of Thailand
EMTDC	: Electromagnetic Transient Including Direct Current
EMTP	: Electromagnetic Transient Program
IEC	: International Electrotechnical Commission
IEEE	: Institute of Electrical and Electronical Engineers
MATLAB	: Matrix Laboratory
OG	: Orta Gerilim
PSB	: Power System Blockset
PSCAD	: Power System Computer-Aided Design
PWS	: Power World Simulator
SPICE	: Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TM	: Trafo Merkezi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 6.1	: İletim hatları bilgisi.	45
Çizelge 6.2	: İncelenen şebekede bulunmayan 154 kV fiderlerin güç değerleri.	47
Çizelge 6.3	: Güç transformatörlerinden çekilen ortalama güç değerleri.	48
Çizelge 6.4	: Açık sistem şebeke durumunda kısa devre akımı değerleri.	50
Çizelge 6.5	: Açık şebeke durumunda merkezlerin 154 kV bara gerilim değerleri.	53
Çizelge 6.6	: Kapalı sistem şebeke durumunda kısa devre akımı değerleri.	55
Çizelge 6.7	: Kapalı sistem şebekede hat fiderlerinden gelen kısa devre akımları.	56
Çizelge 6.8	: Alternatif fiderden beslenildiğinde oluşan kısa devre akımları.	58
Çizelge 6.9	: Kapalı sistem şebekede merkezlerin 154 kV bara gerilim değerleri.	59
Çizelge 6.10	: Alternatif fiderden beslenildiğinde oluşan bara gerilimleri.	59
Çizelge 6.11	: Orta gerilim barasındaki üç faz kısa devresi akımları.	60
Çizelge 6.12	: En büyük ve en küçük hata akımı hesabındaki gerilim faktörü (c).	64
Çizelge 6.13	: En büyük üç faz kısa devresi akımları.	64
Çizelge 6.14	: Trafo merkezleri sistem empedansı.	65
Çizelge D.1	: Havai hat elektriki karakteristiklerinin alındığı TEİAŞ'a ait kitaptan örnek sayfa görünümü.	92
Çizelge D.2	: 2014 yılı maksimum yük şartlarında Adapazarı TM 154 kV barasında kısa devre akımı değerleri.	93
Çizelge D.3	: 2014 yılı maksimum yük şartlarında Osmanca TM 154 kV barasında kısa devre akımı değerleri.	94

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Generatöre yakın kısa devrenin kararlı duruma gelme süreci grafiği.	6
Şekil 2.2	: Seri R-L devresinde kısa devreyi gösteren şema.	8
Şekil 2.3	: Kısa devre akımının bileşenleri.	9
Şekil 3.1	: Sıfır, pozitif ve negatif bileşenler kümesi ve faz gerilimleri.	12
Şekil 3.2	: Yıldız bağlı yük empedans gösterimi.	14
Şekil 3.3	: Yıldız bağlı yüke ait pozitif (1), negatif (2), sıfır (3) bileşen devre.	16
Şekil 3.4	: Üç fazlı seri empedans.	16
Şekil 3.5	: Seri empedans pozitif (1), negatif (2), sıfır (3) bileşen devresi.	18
Şekil 4.1	: Dengeli sistem pozitif (1), negatif (2), sıfır (3) bileşen Thevenin eşdeğeri.	19
Şekil 4.2	: Faz-toprak kısa devresi.	20
Şekil 4.3	: Bir faz-toprak kısa devresinin bileşen devre gösterimi.	21
Şekil 4.4	: Faz-faz kısa devresi.	21
Şekil 4.5	: Faz-faz kısa devresinin bileşen devre gösterimi.	22
Şekil 4.6	: İki faz-toprak kısa devresi.	23
Şekil 4.7	: İki faz-toprak kısa devresinin bileşen devre gösterimi.	24
Şekil 4.8	: Üç faz kısa devresi.	24
Şekil 5.1	: Transformatorün sekonder sargısının primer sargıya indirgenmiş modeli.	28
Şekil 5.2	: Transformator kısa devre testi eşdeğer devre modeli.	28
Şekil 5.3	: Transformator boşa çalışma testi eşdeğer devre modeli.	29
Şekil 5.4	: YNyn0 bağlı transformator şematik gösterimi.	30
Şekil 5.5	: İdeal transformatorün pozitif (1), negatif (2), sıfır (3) bileşen eşdeğeri.	31
Şekil 5.6	: Gerçek transformatorün pozitif (1), negatif (2), sıfır (3) bileşen eşdeğeri.	32
Şekil 6.1	: İncelenen iletim şebekesinin iletim haritasındaki uzak-yakın gösterimi.	36
Şekil 6.2	: İncelenen iletim şebekesinin şematik gösterimi.	37
Şekil 6.3	: Simulink'te güç transformatorü bloğu.	40
Şekil 6.4	: Simulink'te 25 MVA güç transformatorü bloğu parametreleri.	41
Şekil 6.5	: Simulink iletim hattı bloğu.	44
Şekil 6.6	: Simulink iletim hattı bloğu parametreler bölümü.	44
Şekil 6.7	: Simulink güç kaynağı bloğu parametreler bölümü.	46
Şekil 6.8	: Simulink yük bloğu parametreler bölümü.	47
Şekil 6.9	: Simulink arıza bloğu.	48
Şekil 6.10	: Simulink 3 faz arıza bloğu parametreler bölümü.	49
Şekil 6.11	: Simulink'te incelenen iletim şebekesinin açık sistem durumunun modellenmesi.	51
Şekil 6.12	: Açık sistem şebeke durumunda Karasu TM'de faz-toprak arızası.	52
Şekil 6.13	: Açık sistem şebeke durumunda Karasu TM'de üç faz arızası.	52

Şekil 6.14 : Simulink'te incelenen iletim şebekenin kapalı sistem durumunun modellenmesi.	54
Şekil 6.15 : Kapalı sistem şebeke durumunda Kaynarca TM'de faz-toprak arızası.	55
Şekil 6.16 : Kapalı sistem şebeke durumunda Kaynarca TM'de üç faz arızası.	56
Şekil 6.17 : Sakarya TM'de oluşan üç faz arızasında Kaynarca fideri akımları.	57
Şekil 6.18 : Sakarya TM'de oluşan üç faz arızasında Adapazarı fideri akımları.	57
Şekil 6.19 : Trafo merkezlerinin 154 kV barasındaki arıza akımları grafiği.	58
Şekil 6.20 : Simulink modellerinde görülen Sakarya Trafo Merkezi (Sakarya TM) kutucuğunun iç yapısının gösterimi.	61
Şekil 6.21 : Trafo merkezlerinin orta gerilim barasında oluşan kısa devre grafiği.	62
Şekil 6.22 : Açık sistem şebekede Kaynarca TM OG barası üç faz arızası akımları.	62
Şekil 6.23 : Kapalı sistem şebekede Kaynarca TM OG barası üç faz arızası akımları.	63
Şekil A.1 : Açık sistem şebeke Simulink modelinde kısa devre simülasyonu.	74
Şekil A.2 : Kapalı sistem şebeke Simulink modelinde kısa devre simülasyonu.	75
Şekil A.3 : Kaynarca Trafo Merkezi'nin Sakarya Hat Fideri açıkken yapılan kısa devre simülasyonu.	76
Şekil A.4 : Karasu Trafo Merkezi'nin Melen Hat Fideri açıkken yapılan kısa devre simülasyonu.	77
Şekil A.5 : Sakarya Trafo Merkezi'nin Adapazarı Hat Fideri açıkken yapılan kısa devre simülasyonu.	78
Şekil A.6 : Melen Trafo Merkezi'nin Osmanca Hat Fideri açıkken yapılan kısa devre simülasyonu.	79
Şekil A.7 : Orta gerilim barasında oluşturulan kısa devre simülasyonu.	80
Şekil B.1 : Açık sistem şebeke durumunda Kaynarca TM'de faz-toprak arızası.	81
Şekil B.2 : Açık sistem şebeke durumunda Sakarya TM'de faz-toprak arızası.	81
Şekil B.3 : Açık sistem şebeke durumunda Melen TM'de faz-toprak arızası.	82
Şekil B.4 : Açık sistem şebeke durumunda Kaynarca TM'de üç faz arızası.	82
Şekil B.5 : Açık sistem şebeke durumunda Sakarya TM'de üç faz arızası.	83
Şekil B.6 : Açık sistem şebeke durumunda Melen TM'de üç faz arızası.	83
Şekil B.7 : Kapalı sistem şebeke durumunda Karasu TM'de faz-toprak arızası.	84
Şekil B.8 : Kapalı sistem şebeke durumunda Sakarya TM'de faz-toprak arızası.	84
Şekil B.9 : Kapalı sistem şebeke durumunda Melen TM'de faz-toprak arızası.	85
Şekil B.10 : Kapalı sistem şebeke durumunda Karasu TM'de üç faz arızası.	85
Şekil B.11 : Kapalı sistem şebeke durumunda Sakarya TM'de üç faz arızası.	86
Şekil B.12 : Kapalı sistem şebeke durumunda Melen TM'de üç faz arızası.	86
Şekil B.13 : Açık sistem şebekede Karasu TM OG barası üç faz arızası akımları.	87
Şekil B.14 : Açık sistem şebekede Sakarya TM OG barası üç faz arızası akımları.	87
Şekil B.15 : Kapalı sistem şebekede Karasu TM OG barası üç faz arızası akımları.	88
Şekil B.16 : Kapalı sistem şebekede Sakarya TM OG barası üç faz arızası akımları.	88
Şekil C.1 : Kaynarca TM'de oluşan üç faz arızasında Sakarya fideri akımları.	89
Şekil C.2 : Kaynarca TM'de oluşan üç faz arızasında Karasu fideri akımları.	89
Şekil C.3 : Karasu TM'de oluşan üç faz arızasında Kaynarca fideri akımları.	90
Şekil C.4 : Karasu TM'de oluşan üç faz arızasında Melen fideri akımları.	90
Şekil C.5 : Melen TM'de oluşan üç faz arızasında Karasu fideri akımları.	91
Şekil C.6 : Melen TM'de oluşan üç faz arızasında Osmanca fideri akımları.	91

SEMBOL LİSTESİ

a	: Bir f�z�r� saat yönünün tersinde 120� döndüren operatör
c	: Gerilim faktörü
C	: Kapasitans elemanı
G	: Konduktans
i_{ac}	: Kısa devre akımının alternatif akım bileşeni
i_{dc}	: Kısa devre akımının doğru akım bileşeni
i_p	: Darbe kısa devre akımı
I	: Etkin akım f�z�r�
I_b	: Kısa devre açma akımı
I_k	: Sürekli kısa devre akımı
I_k''	: Başlangıç kısa devre akımı
I_{fe}	: Demir direnci akımı
[I_p]	: Gerçek sistem akım matrisi
I_m	: Manyetik reaktans akımı
[I_s]	: Simetrik bileşen devre akım matrisi
I₀	: Sıfır bileşen devre akım f�z�r�
I₁	: Pozitif bileşen devre akım f�z�r�
I₂	: Sıfır bileşen devre akım f�z�r�
K(�)	: Asimetri katsayısı
L	: Endüktans elemanı
P_k	: Transformatör kısa devre kaybı
P₀	: Transformatör boşta çalışma kaybı
r₁	: Primer sargı direnci
r₂'	: Primere indirgenmiş sekonder sargı direnci
R	: Direnç elemanı
R_{fe}	: Demir direnci
R_k	: Transformatör kısa devre sargı direnci
S_b	: Kısa devre açma gücü
T	: Zaman sabiti
V	: Gerilim f�z�r�

$V_{aa'}$: Hat uçları arasındaki A fazı gerilim farkı
 V_{ag} : Hat başı A faz-nötr gerilimi
 $V_{a'g}$: Hat sonu A faz-nötr gerilimi
 V_f : Arıza öncesi gerilimi
 $[V_p]$: Gerçek sistem gerilim matrisi
 $[V_s]$: Simetrik bileşen devre gerilim matrisi
 V_{kn} : Transformatör kısa devre deneyi faz-nötr gerilimi
 V_0 : Sıfır bileşen devre gerilim fazörü
 V_1 : Pozitif bileşen devre gerilim fazörü
 V_2 : Sıfır bileşen devre gerilim fazörü
 x_1 : Primer sargı kaçak reaktansı
 x_2' : Primere indirgenmiş sekonder sargı kaçak reaktansı
 X : Reaktans
 X_k : Transformatör kısa devre kaçak reaktansı
 X_m : Manyetik reaktans
 Y : Admitans
 Z_f : Hata empedansı
 $[Z_p]$: Gerçek sistem empedans matrisi
 Z_g : Nötr empedansı
 Z_k : Transformatör kısa devre empedansı
 Z_y : Yıldız bağlı yükün empedansı
 ω : Açısal frekans
 κ : Darbe kısa devre akımı katsayısı

154 kV BİR İLETİM ŞEBEKESİNİN KAPALI (RİNG) SİSTEME DÖNÜŞMESİYLE ÇİFT TARAFLI BESLENEN TRAFO MERKEZLERİNDE BARA KISA DEVRE İNCELEMESİ

ÖZET

Elektrik üretimi, iletimi ve dağıtımı sektörü, teknolojik gelişmeler sonucu artan bireysel elektrik kullanımı ve sanayi tesislerinin enerji talebi nedeniyle hızla gelişmektedir. Üretim ve tüketim merkezlerinin birbirine bağlanarak enerji alışverişinin gerçekleştiği ve arz-talep dengesinin kurulduğu ana kısım iletim sistemidir ve enterkonnekte şebeke yapısına sahiptir. İletim sistemi artan üretim ve tüketim merkezleri doğrultusunda elektrik enerjisinin kaliteli, dengeli ve sürekli temini için sürekli büyümektedir; çünkü üretim-iletim-tüketim zincirinin dengeli şekilde gelişmesi gerekmektedir. Enerji arzı ile ilgili gerekli koşulların sağlanması ve büyüyen enerji tüketim bölgelerinin talebinin karşılanması için yeni iletim hatları ve trafo merkezleri tesis edilmektedir. Böylece iletim sisteminde birtakım yenilik ve gereklilikler planlanıp gerçekleştirilerek iletim şebekesinde yapılan değişiklikler sonucu enerji arzının kalitesi ve güvenilirliği arttırılmaktadır. Bu değişiklikler sonucu iletim şebekesinde oluşacak yeni durum mevcut durumla karşılaştırılarak bazı öngörüler sunulmalıdır. Bu çalışmada bir iletim şebekesinin, tek hat fiderinden beslenen (radyal) iki trafo merkezi arasında tesis edilen iletim hattının devreye girmesiyle kapalı sisteme dönüşmesi durumunda, kısa devre akımlarındaki değişimler incelenmiştir.

Güç sistemlerinin incelenmesi işletme verimliliğinin sağlanması ve sistemle ilgili planlamaların yapılması açısından önemlidir. Güç sisteminde kesintiye neden olan, elektriksel teçhizatlara ve meydana geldiği arıza noktasının çevresine hasar veren, iletim şebekesinde gerilimi düşürerek arıza noktasına uzak tüketicileri etkileyen en önemli unsur kısa devre arızasıdır. Bu nedenle güç sistemlerinde en önemli inceleme kısa devre analizidir. Kısa devre hesaplamaları yapılarak bara kısa devre gücü, elektrik teçhizatının kısa devre dayanımı sınıfı, kesicilerin kısa devre akımı kesme kapasitesi ve koruma cihazlarının ayar değerleri belirlenmektedir. Bu çalışmada ele alınan iletim şebekesinde incelenmesi gereken trafo merkezlerinin yüksek gerilim ve orta gerilim barasında kısa devre akımı analizi ve arıza esnasında şebekenin kaynağı konumunda olan trafo merkezlerinin bara gerilimi analizi MATLAB/Simulink programında oluşturulan şebeke modelleri kullanılarak yapılmıştır.

Kısa devre arızaları geniş kapsamda simetrik ve simetrik olmayan arıza olarak iki farklı grupta incelenirler. Simetrik arıza güç sisteminde kısa devrenin üç fazda da meydana geldiği dengeli üç faz arızasıdır. Bu arıza türünün meydana gelme sıklığı en düşüktür, fakat bu arıza sonucu çok büyük değerlerde kısa devre akımları oluşur. Simetrik olmayan arıza türleri ise tek faz-toprak, faz-faz ve iki faz-toprak arızasıdır. Güç sistemlerinde meydana gelme sıklığı en yüksek olan tek faz-toprak arızasıdır. Bu çalışmada simetrik bileşenler yöntemi anlatılmıştır ve kısa devre arıza türleri bu yöntemle oluşturulan arızanın bileşen eşdeğer devresi kullanılarak açıklanmıştır. İncelenen iletim şebekesinde tek-faz toprak ve üç faz arızalarının simülasyonu yapılmıştır.

Türkiye’de iletim sistemi gerilim seviyeleri 400 kV, 154 kV ve 66 kV’tur. Bu çalışmada incelenen 154 kV gerilim seviyesindeki iletim şebekesi TEİAŞ 5. Bölge Müdürlüğü sorumluluk alanında bulunmaktadır. Bu iletim şebekesinde kaynak konumunda olan 2 adet 400 kV trafo merkezi bulunmaktadır. Bu iletim şebekesinde 5 adet 154 kV trafo merkezi bulunmaktadır. Bu merkezlerden Kaynarca ve Karasu Trafo Merkezleri aktif durumda tek hat fiderine sahip olan radyal merkezlerdir. Sakarya ve Melen Trafo Merkezleri ise iki adet hat fiderine sahip olmasına rağmen hat fiderlerinden biri radyal trafo merkezlerine bağlı olduğu için mevcut durumda tek hat fiderinden enerji alabilmektedir. İncelenen iletim şebekesi bu nedenle açık sistem şebeke olarak işletilmektedir. Karasu ve Kaynarca Trafo Merkezleri arasında yaklaşık 48 km uzunluğunda bir iletim hattı tesis edilmiştir; ancak henüz devreye alınmamıştır. Bu iletim hattının devreye alınmasıyla Kaynarca ve Karasu Trafo Merkezleri arasında enerji alışverişi olacak ve iletim şebekesi kapalı sisteme dönüşecektir. İletim şebekesinin kapalı sisteme dönüşmesiyle açık sistem şebeke durumunda radyal merkez olan Kaynarca ve Karasu Trafo Merkezleri; tek hat fiderinden enerji alabilen Sakarya ve Melen Trafo Merkezleri iki hat fiderinden de enerji alabilecek konuma ulaşacaktır.

Bu çalışmada ilk önce ana taslak olarak Simulink’te yedi trafo merkezi alt sistem kutucukları şeklinde oluşturularak iletim hatlarını temsil eden bloklarla şebekedeki yapıya uygun olarak birbirine bağlanmıştır. İletim şebekesinin kaynağı konumunda olan Adapazarı ve Osmanca Trafo Merkezleri’nde güç kaynağı bloğu oluşturulmuştur. Trafo merkezlerini temsil eden alt sistem kutucuklarına güç transformatörü blokları ve transformatörlerin çıkışına dağıtım fiderlerini temsil eden yük blokları yerleştirilmiştir. Ayrıca iletim şebekesi modelinde belirli noktalara akım ve gerilim değerleri dijital olarak okunan ve osilografik görünüm elde edilen ölçüm blokları kullanılmıştır. İncelenen iletim şebekesindeki iletim hattı ve güç transformatörlerine ait bilgiler elde edilmiş ve güncel değerlerine yakın olarak Simulink’te bu elemanları temsil eden bloklara girilmiştir. Güç kaynağı bloklarına ise Adapazarı ve Osmanca Trafo Merkezlerinin 154 kV barasından bakıldığında görülen Thevenin eşdeğer sistem empedansına ait direnç ve endüktans değerleri girilmiştir. Yük bloklarına ise güç transformatörlerinden maksimum aktif enerjinin çekildiği 2014 yılı Ağustos ayına ait ortalama aktif ve reaktif güç değerleri girilmiştir.

Bu çalışmada öncelikle açık sistem iletim şebekesinin Simulink modeli oluşturulmuş ve model çalıştırılarak şebekede noktasal akım ve gerilim değerleri ölçü ekranlarından izlenmiştir. Kaynarca, Karasu, Sakarya ve Melen Trafo Merkezleri’nin 154 kV barasında kısa devre (arıza) bloğu kullanılarak tek faz-toprak ve üç faz kısa devre simülasyonları yapılmıştır. Simülasyonlar sonucu kısa devre akımı değerleri ve bu akımlara ait osilografik görünüm elde edilmiştir. Ayrıca kısa devre öncesinde ve esnasında Adapazarı ve Osmanca Trafo Merkezleri’nin bara gerilimleri incelenmiştir.

İletim şebekesi modeline Kaynarca-Karasu İletim Hattı’nı temsil eden iletim hattı bloğu eklenerek model kapalı sistem şebeke durumuna dönüştürülmüştür. Kapalı sistem iletim şebekesi Simulink modelinde ilk olarak sistem kısa devre oluşturmadan çalıştırılarak noktasal akım ve gerilim değerleri ölçü ekranlarından izlenmiştir. Kaynarca, Karasu, Sakarya ve Melen Trafo Merkezleri’nin 154 kV barasında tek faz-toprak ve üç faz kısa devre simülasyonları yapılmıştır. Simülasyonlar sonucu kısa devre akımı değerleri ve bu akımlara ait osilografik görünüm elde edilmiştir. Ayrıca kısa devre öncesinde ve esnasında Adapazarı ve Osmanca Trafo

Merkezleri'nin bara gerilimleri incelenmiştir. İletim sisteminin kapalı sistem şebeke durumunda elde edilen veriler iletim şebekenin açık sistem şebeke durumunda işletilmesinde elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. İletim sisteminin kapalı sistem durumuna dönüşmesiyle farklı işletme koşulları sağlanmıştır. Kaynarca, Karasu, Sakarya ve Melen Trafo merkezlerinin açık sistem şebeke durumunda beslenemediği hat fiderlerinden enerji alma modelleri oluşturulmuştur. Sonuç olarak, iletim şebekesinin bu koşullarda işletilmesi değerlendirilmiştir. Bu modellerin simülasyonu yapılarak ve noktasal akım ve gerilim değerleri izlenerek kısa devre analizi yapılmıştır.

Orta gerilim barası TEİAŞ'ın işletmesinde olan Kaynarca, Karasu ve Sakarya Trafo Merkezleri'nin iletim şebekesinin Simulink modelindeki alt kutucuklarında güç transformatörünün orta gerilim tarafında üç faz kısa devreleri oluşturulmuştur. Bu kısa devrelerin simülasyonu sonucu arıza akımı değerleri ve arıza akımlarının osilografik görünüşleri elde edilmiştir.

Maksimum gerilim katsayısı c_{max} (IEC 60038'e göre) kullanılarak açık sistem ve kapalı sistem şebeke durumunda maksimum kısa devre akımı değerleri elde edilmiştir ve kısa devre analizi yapılan trafo merkezlerinin sistem empedansının değerleri bulunmuştur.

SHORT CIRCUIT ANALYSIS OF SUBSTATIONS' BUSBARS SUPPLIED BY DOUBLE FEEDER WITH UPGRADING OF 154 kV TRANSMISSION NETWORK TO CLOSED-LOOP SYSTEM

SUMMARY

Nowadays, power generation, transmission and distribution sectors develop rapidly owing to increasing electric power demand of industrial plants and individual electricity use as a result of technological developments. The number of power plants are increasing to meet the increasing demand of power and new generation power plants and power plants producing power from renewable sources are installed to generate electricity economically. These founded power plants must be far away from the areas where electricity is consumed intensively but quality and stable electric energy has to be reached to consumers. Power transmission system is a main energy connection which provides power exchange between production and consumption centers and balance of supply and demand. Power transmission system has a structure of an interconnected network. Power transmission system grows owing to increasing production and consumption centers which must provide quality, stable and balanced electric energy because production-transmission-distribution chain of power must develop as a balanced manner.

New transmission lines and substations are established for providing necessary conditions about power demand and requirements of growing power consumptions areas. The existing transformers' power is rised or new transformer feeders are established in substations where these operations are necessary. In addition, some innovations and necessities are planned and carried out. Quality and reliability of the power demand are increased as a result of these changes in the transmission system. New situations, which will have occured as a result of changes in the transmission systems, should be compared with current situations at power transmission system and some foresights should be represent. In this study, a change carried out in a power transmission network is analyzed. Upgrading of this power transmission network to closed-loop system with establishing a power transmission line between two radial substations supplied from one line feeder is examined.

The examination of power system is important in terms of providing operation efficiency and planning about system. Short circuit fault is the most significant fact because short circuit causes power cut, it damages electrical equipment and around the point where it occurs and it affects the consumers are away from short circuit by reducing voltage value in the transmission system. Therefore, short circuit analysis is the most important examination in the power system. Besides, short circuit analysis and calculations are used in some applications about power system. Short circuit calculations are important to determine the value of maximum short circuit current which occurs at the busbar of substation, busbar short circuit power, short circuit strength of electrical equipments, short circuit breaking capacity of circuit breakers and set values of protection devices. These datas are important in terms of efficient operation of transmission system and rapid cleaning of short circuit currents. In this study, short circuit analysis at high voltage and middle voltage bus of substations

which must be examined and bus voltage analysis of substations which are sources of the transmission network have been performed with using of the network models designing at MATLAB/Simulink program.

Lightning, fail and contamination of insulation, operation fault reasons, mechanical faults are the main factors which cause short circuit. The magnitude of short circuit current depends on the impedance between the source and the point where short circuit occurs, therefore severity of short circuit decreases when short circuit occurs away from the source. For example, substations are powerful sources whose busbars have high power of short circuit and their Thevenin equivalent system impedances are low. Therefore, short circuit currents have great values that occur at the close point of substation. Short circuit currents cause thermal and mechanical damage in power systems. Short circuit must be rapidly and faulted area must be separate from system not to cut electric power of other consumers for decreasing damage of short circuit currents. The cleaning process of short circuit is fault detecting of relay which gets instantaneous current data of power system and opening of circuit breaker with sending trip command of relay to circuit breaker. Damage of short circuit can minimize or prevent according to this process time. Especially, relays and circuit breakers must clean fault rapidly in high voltage systems. Various types of short circuit faults occur in power system. Short circuit faults are classified as two groups that are symmetrical and unsymmetrical faults. Symmetrical fault is a balanced three phase fault. Frequency of occurrence of balanced three phase fault is low in power systems, but short circuit currents are highest in this fault. Because of this, circuit breaker short circuit breaking capacity is determined according to this fault. Unsymmetrical fault types are single line-to-ground, line-to-line and double line-to-ground fault. The frequency of occurrence of single line-to-ground fault is highest in power systems. In this study, symmetrical components method has been explained and fault types have been described with sequence equivalent circuits of faults. Besides, simulations of single line-to-ground and three phase faults have been carried out in the transmission system that is in this study.

Voltage levels of Turkey Transmission System are 400 kV, 154 kV and 66 kV. In Turkey, TEİAŞ is responsible for carrying out operation and development facilities of the transmission network. In this study, 154 kV transmission network has been examined which is in the responsibility area of the 5.Regional Office. There are two 400 kV substations in this transmission network which are source of the network. These substations supply the transmission network with 380/158 kV autotransformers. There are five 154 kV substations in this network. Kaynarca and Karasu Substations are radial because they have one active line feeder. Sakarya and Melen Substations must be fed by one line feeder because of other line feeder of them is connected to radial substation. The transmission network is operated as a open-loop system network. A power transmission line has been built approximately 48 km, but it has not yet commissioned. Power exchange will be carried out between Kaynarca and Karasu Substations with commissioning of this transmission line and the transmission network will upgrade to closed-loop system. Kaynarca and Karasu Substations, Sakarya and Melen Substations, which are fed by single line feeder will be fed by double line feeder with upgrading open-loop system network to closed-loop system network.

Firstly, seven substations have been formed as subsystem blocks and they have been connected each other that are the same structure with the real transmission network. Source blocks of Simulink have been added to Adapazarı and Osmana Substations

which are source of the transmission network. Power transformer blocks have been placed to subsystem blocks which represent substations and load blocks, which represent distribution feeders, have been also placed to output of transformers. Furthermore, measurement blocks have been used at specific points to get display of values and oscillographic views. Transmission lines and power transformers datas have obtained and they have been entered blocks. Winding resistance, leakage reactance, magnetization resistance and reactance of transformers have been calculated from short circuit test losses and core losses of the same power rating transformer. Value of resistance and inductance, which are components of impedances from 154 kV busbar Adapazarı and Osmanca Substations seperately back to system , have been written in power source block. The avarage values of power consumption in August 2014 when maximum power demand occured have been written in load blocks.

Simulink model of open-loop system network have been formed at first and this model has been run to watch the values of current and voltage from measurement display. Single line-to-ground and three phase faults simulations have been performed at busbars of Kaynarca, Karasu, Sakarya and Melen Substations with using fault block of Simulink. Values of the short circuit currents and oscillographic views have been obtained from results of simulations. Moreover, voltage values of Adapazarı and Osmanca Substations are examined before and during faults.

The transmission network model have been upgraded to closed-loop system with adding Kaynarca-Karasu transmission line block. This closed-loop network model have been run without fault and values of voltages and currents have been watched from displays at specific points. Single line-to-ground and three phase faults simulations have been performed at busbars of Kaynarca, Karasu, Sakarya and Melen Substations in this type of network and values of the short circuit currents and oscillographic views have been obtained from results of simulations. Voltage values of Adapazarı and Osmanca Substations are also examined before and during faults. Datas acquired from open-loop and closed-loop network models have been compared. In addition, datas acquired from open-loop and closed-loop network models have been compared.

Different operating circumstances have been performed with upgrading network to closed-loop system. Simulink models of Kaynarca, Karasu, Sakarya and Melen Substations have been formed in which these substations are fed by new feeders and the transmission network have been evaluated in this circumstances. Furthermore, model simulations of them have been performed and values of current and voltage have been examined to carry out short circuit analysis.

Three phase faults simulations have been performed in Kaynarca, Karasu and Sakarya Substations of which middle voltage busbar are operated by TEİAŞ. Values of fault current and oscillographic views have been obtained from models have been designed in which circumstances of feeding substations by one or double feeder.

Maximum fault current simulations have been carried out in open-loop and closed-loop system network with using maximum voltage coefficient c_{max} according to IEC 60038. The values of Thevenin equivalent impedances have been obtained which are from transformer of substation in which simulations are performed back to network with using maximum fault currents.

1. GİRİŞ

Enerji sektörü, teknolojik ilerlemeler ve büyüyen ekonomi neticesinde gelişmektedir. Dolayısıyla artan enerji talebini karşılamak için elektrik üretimi, iletimi ve dağıtımının hızla büyümesi gerekmektedir. Elektrik üretim ve tüketim zincirinin halkaları olan bu faaliyetler aynı zamanda enerji alanındaki bilimsel gelişmelere bağlı olarak yürütülmeli ve bu faaliyetlerdeki planlamalar ve işlemler birbiriyle bağlantılı olarak yapılmalıdır.

Elektrik enerjisinin üreticiden tüketiciye ulaşmasının ana omurgasını iletim sistemi oluşturmaktadır. İletim sistemi, enerji üretim santrallerinin ve sistem tüketicilerinin genel ağ şebekesi üzerinden birbirine bağlandığı ve arz-talep dengesi kurularak şebekenin kararlı bir şekilde işletildiği enterkonnekte bir yapıdır. Bu yapı enerji sektöründeki gelişmelerle sürekli büyümektedir; ayrıca artan enerji talebini karşılamak ve yeni oluşan üretim ve tüketim merkezlerinin şebekeye katılmasını sağlamak için iletim hatları ve trafo merkezleri tesis edilmektedir. Bununla birlikte enerji arzının kalitesi ve güvenilirliği için ek tevsiatlar yapılmaktadır. İletim şebekesinde planlanan ve gerçekleştirilen her yeni durum, önceki durumla karşılaştırılmalı ve analiz edilmelidir. İletim şebekesinde rol oynayan faktörler gözden geçirilmeli ve yeni duruma uygun hale getirilmelidir; ayrıca bazı olasılıklar hesap edilerek enerji kalitesinin devamı için istenmeyen durumların önüne geçilmelidir. Elektrik şebekesindeki en büyük tehdit kısa devredir. Kısa devre arızasında oluşabilecek akımlar önceden hesaplanmalıdır; çünkü analiz verileri sonucu şebeke teçhizatının ve arızayı minimum sürede temizleyecek kesicilerin seçimi yapılmakta, bu kesicilere komut gönderen koruma elemanı akım rölelerinin ayar değeri ve indirici merkezlerin bara kısa devre gücü belirlenmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada TEİAŞ 5. Bölge Müdürlüğü sorumluluk alanındaki iletim bölgesinde bir iletim hattının tesis edilmesiyle kapalı (ring) sisteme dönüşecek 154 kV iletim şebekesi MATLAB/Simulink programında modellenmiştir. Bu programda yapılan

simülasyonlar sonucu ilk durumda tek yönden beslenen trafo merkezlerinin bara kısa devre ve incelenen şebekedeki tüm trafo merkezlerinin bara gerilim analizi önceki durumla karşılaştırılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yeni durumda farklı işletme koşulları için çıkarımlar oluşturularak sistemin davranışı incelenmiştir. Şebekede meydana gelen değişikliklerin ve incelenen iletim şebekesinin farklı durumları için tasarlanan Simulink model simülasyonlarından elde edilen verilerin sonucunda değerlendirmelerin sunulması amaçlanmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Kısa devre arızası, elektrik güç sisteminde koruma elemanları tarafından önlenmesi gereken geçici rejim bozuklukları karakteristiğidir [1]. Kısa devre akımının oluşması gerilim düşümüne neden olarak büyük akımlar meydana getirir. Bu çalışmada PSCAD/EMTDC ve PWS yazılımları yardımıyla Güney Sulawesi 150 kV iletim sisteminin akım ve gerilim karakteristiklerini belirleyen kısa devre simülasyon metodu geliştirilmiştir. Hata empedanslı ve hata empedanssız kısa devre süresince akım ve gerilimlerin değişiminin incelenmesi amaçlanmıştır.

Şebekenin küçük bir sisteme indirgenmesi, büyük bir iletim sisteminin küçük bir bölgesindeki kısa devre akımlarını belirlerken hesaplama zamanını önemli miktarda düşürür [2]. Şebeke büyük güç sistemine bağlı ilgilenilen alt bölgeye indirgenirken, iletim şebekesinin bütünü üç bölgeye ayrılır. İlk bölge kısa devre akımlarının inceleneceği bölge olan iç sistem, ikinci bölge dış sistem, üçüncü bölgede bu iki bölgeyi bağlayan kısımdır. Önerilen bu metod IEEE 24-bara güvenilirlik test sistemi ve EGAT 243 iletim sisteminde gerçekleştirildi. Sayısal sonuçlar, bütün modelin bara empedans matrisiyle hesaplanan kısa devre akımı değerleriyle karşılaştırıldığında bu yöntemin kabul edilebilir sonuçlar verdiğini açıkça göstermektedir.

Elektrik enerjisi istenen gerilim ve frekansta, ihtiyaç duyulan miktarda kullanıcıya anında ulaşmalıdır [3]. Generatörlerin, transformatörlerin, iletim ve dağıtım hatlarının oluşturduğu karmaşık şebekenin dikkatli işletilmesi ve planlanması dikkate değer bir başarıdır. Güç sisteminde oluşan arıza türlerini ve normal olmayan koşulları incelemeliyiz. Arıza durumundaki güç sistemi analizi, kesici seçimi, röle ayarları ve sistemin dengeli işletilmesi hakkında bilgi sağlanmaktadır. Örnek bir

baradaki üç faz dengeli akımlar güç, omik ve per-unit metodu kullanılarak hesaplanabilir.

Güç talebi bütün dünyada arttığı için, iletim kapasitesi de artmaktadır [4]. Çin gibi hızlı büyüyen ekonomiye sahip ülkelerde, 500 kV iletim sistemi yoğun ve kompleks güç şebekesine dönüşerek hızlı biçimde genişlemektedir. Kısa devre akımları büyümektedir ve bazı merkez istasyonlarda tahmin edilenden daha kısa sürede sınır değerlere yaklaşacaktır. Kısa devre akımlarından kaynaklı hasar riskini azaltmak için bazı önlemler alınmalıdır. İletim yoğunluğundaki artış gerilim karakteristiklerinin yanında geçici rejim kararlılığını da iyileştirmektedir; ancak kısa devre akımındaki yükselme kesici sınırını aştığında sistemin güvenli biçimde işletilmesini tehdit etmektedir. İlk olarak, kesicinin verimli şekilde arızayı temizleyememesine sebep olmaktadır. Bu sorunun çözümü bütün trafo merkezi elemanlarının yeni durumda oluşabilecek arızaları giderecek olanlarla değiştirilmesidir; fakat bu çözüm oldukça pahalıdır. Teçhizat sınırını aşan kısa devrelerin olduğu baraları belirleyen kısa devre analizi yöntemleri, enerji yönetim sistemi ve arıza akımı değerlerini teçhizat sınırının altına düşüren bara farklı kesici bağlama dizaynı ile anahtarlama yöntemi olarak önerilmiştir.

Ringhals Nükleer Santrali'nin 3 ve 4 numaralı ünitelerinin elektrik sisteminde yapılan modernizasyon sonucu yeni durum için kısa devre hesaplamaları yapılarak eski durumla karşılaştırılmıştır [5]. Bu hesaplamalar elektriksel teçhizatın uygunluğu ve koruma cihazlarının ayar ve koordinasyonu için önemlidir. Güç sistemindeki çeşitli kısa devre türlerinin hesaplanmasında IEC 60909-0 standardı kullanılmıştır.

Fider düzenlemesini radyal fiderlerin bağlanmasıyla kapalı sistem durumuna dönüştürürken trafo merkezlerinin kısa devre akımı, kapasitesi ve gerilim seviyesi; transformatörlerin empedansı, gücü ve oranı; fiderlerin uzunluğu, yüklenmesi ve yük karakteristiği gibi faktörler hesaba katılmalıdır [6]. Bu faktörlerin sadece nicelikleri değil, farklı işletme durumlarındaki varyasyonları da önemlidir. Kapalı sistem fiderlerin normal ve normal olmayan işletme durumlarını bu faktörler önemli biçimde etkiler. İstasyonlardaki transformatörlerin yük kapasitesi, iletkenlerin akım taşıma kapasitesi, fiderlerdeki gerilim profili ve koruma cihazlarının ayarı, şebekeyi kapalı sistem olarak işletirken tüm sistemin iyi dizayn edildiğinden emin olmak için ciddi şekilde incelenmelidir.

Arıza koşullarındaki güç sisteminin analizi, arıza sürecindeki gerilim ve akım değerlerinin belirlenmesinde önemlidir [7]. Bu veriler kullanılarak koruma cihazları arıza durumunun zararlı etkilerini en aza indirecek şekilde ayarlanır; ayrıca kısa devre akımları güç şebekesindeki kesicilerin sınıfını belirler. Yüksek performanslı bilimsel nümerik hesaplarda, bilgi analizi ve görüntülemeye güçlü bir yazılım paketi olan MATLAB, güç sistemlerindeki kısa devre analizinde de kullanılmaktadır.

2. KISA DEVRE

2.1 Kısa Devrenin Tanımı

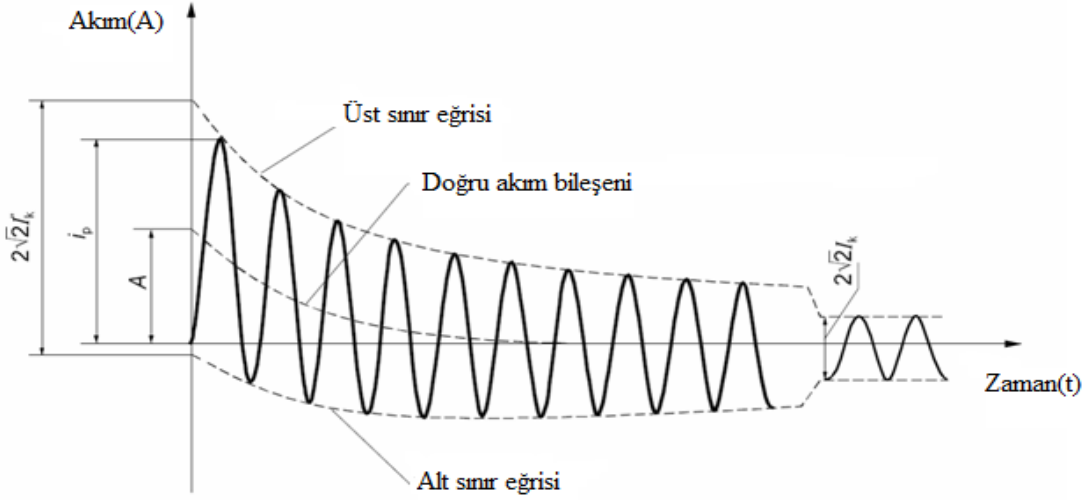
Kısa devre, elektrik güç sistemlerinde yıldırım düşmesi veya anahtarlamalar sonucu gerilimin aşırı yüklenmesi, izolasyonun kirlenme ya da yıpranma nedeniyle bozulması ve mekanik etkiler sebebiyle elektriksel yalıtımın delinmesi olayıdır [8]. Kısa devre sonucu oluşan kısa devre akımının büyüklüğü senkron makinanın elektromotor kuvvetine ve arızanın yeri ile senkron makine arasındaki sistem empedansına bağlıdır. Elektromotor kuvveti yüksek ve sistem empedansı düşük değerlerde olduğunda kısa devre akımı değeri büyüyecektir. Ayrıca iletim sisteminde düşük şebeke empedansına sahip olması nedeniyle güçlü kaynak durumunda olan trafo merkezlerinin barasında veya bu merkeze bağlı hat fiderinde oluşan kısa devre akımı yüksek değerlerdedir. Kısa devre akımı nominal akımın birkaç katı olacağı için devam etmesi durumunda elektrik teçhizatında ve çevresinde termik hasara, dinamik zorlanmalardan dolayı mekanik hasara neden olmaktadır. Bu tür hasarın meydana gelmemesi için arızalı kısmın sistemden hızlı bir şekilde ayrılması gerekir. Yüksek gerilim sistemlerindeki koruyucu ekipman olan standart kesicilerde arıza temizleme süresi en çok üç periyot olmalıdır. Alçak gerilimde arıza akımı kesme elemanları ise 5-20 periyot aralığındaki kesme süresi ile daha yavaştır.

2.2 Kısa Devre Akımı Karakteristiği

Kısa devre akımı, kısa devrenin başlangıcındaki gerilimin ani değerine bağlı olarak kısa devre başlamasından bitişine kadar zamanın bir fonksiyonu olarak Şekil 2.1'deki gibi gösterilebilir [9]. Generatöre yakın üç fazlı kısa devre arızasında akımın ilk oluşum ve bir süre sonra kararlı hale gelişini temsil eden grafikte, akım başlangıçta süreç boyunca ulaşamayacağı darbe kısa devre akımı değerine ulaşmaktadır. Kısa devre akımının simetrik alternatif akım bileşeni ve darbe kısa devre akımı, kısa devre akımlarının incelenmesinde yeterli parametrelerdir.

Darbe kısa devre akımı olan i_p 'nin değeri periyodik olmayan zaman bileşeni ve frekans ile ilgilidir. Ayrıca kısa devre empedansının R/X ve X/R oranları ve kısa

devre akımının simetrik alternatif akım bileşenin azalması darbe kısa devre akımında etkilidir.



Şekil 2.1 : Generatöre yakın kısa devre sürecinin zamana bağlı grafiği [10].

Kısa devre akımı önce darbe kısa devre akımı olan yüksek değere ulaşmakta daha sonra azalan hızda sürekli kısa devre akımı olan I_k akımına sabitlenmektedir [10]. Bu durum endüvi reaksiyonu uyarma alanını zayıflatarak generator elektromotor kuvvetini azalttığı için meydana gelmektedir. Böylece kısa devre akımı yavaş olarak sürekli hale geçmektedir ve geçişteki bu akım transiyent kısa devre akımı olarak adlandırılır. Kısa devre akımı, gerilimin sıfırdan geçtiği anda oluşursa kısa devre yolunun tam endüktife yakın karakterli olmasından dolayı yaklaşık 90° faz kaymasıyla oluşacaktır. Kısa devre akımı $t=0$ anında en yüksek değere generator empedansının endüktif karakterli olması nedeniyle çıkamamaktadır ve sıfır değeriyle başlar. Kısa devre akımı alternatif ve doğru akım bileşenlerinden oluşur. Doğru akım bileşeninin başlangıç değeri alternatif akım bileşeninin negatif işaretlisine eşittir ve başlangıçtan itibaren azalan bir grafik gösterir.

Kısa devre akımının ilk oluşumundan kararlı duruma ulaşmaya kadar olan süreçteki büyüklükler olan başlangıç, darbe ve sürekli kısa devre akımını inceleyelim.

2.2.1 Darbe kısa devre akımı (i_p)

Kısa devre olayının başlangıcındaki periyotta, kısa devre akımının en büyük ani değeridir. Darbe kısa devre akımı, kısa devre akımının simetrik alternatif bileşeninin azalmasına ve kısa devre empedansının R/X oranına bağlıdır. Darbe kısa devre

akımını aşağıdaki denklemle ifade edebiliriz. Denklemdaki κ darbe kısa devre akımı katsayısıdır.

$$i_p = \kappa \sqrt{2} I_k'' \quad (2.1)$$

$$\kappa = 1.02 + 0.98e^{-3R/X} \quad (2.2)$$

2.2.2 Başlangıç kısa devre akımı (I_k'')

Başlangıç kısa devre akımı, kısa devre akımının simetrik alternatif bileşeninin etkin değeridir. Yüksüz senkron generatörün arıza öncesinde terminallerinde oluşan faz-toprak geriliminin etkin değeri E , başlangıç geçici reaktansı X_d'' ile ifade edildiğinde başlangıç kısa devre akımı eşitliği aşağıdaki şekilde oluşturulabilir:

$$I_k'' = \frac{E}{X_d''} \quad (2.3)$$

2.2.3 Sürekli kısa devre akımı (I_k)

Kararlı durum kısa devre akımı olarak da tanımlanan sürekli kısa devre akımı, geçici olayların azalmasından sonra devam eden sönümlü olmayan akımdır.

2.2.4 Kısa devre açma akımı (I_b)

Anahtarlama cihazı (kesici) kontaklarının ayrılması esnasında kutuplarından geçen kısa devre akımının simetrik alternatif bileşeninin etkin değeridir. Kesicinin kısa devre kesme karakteristiğini ve kesme anındaki kontakların maruz kaldığı akım şiddetini belirler.

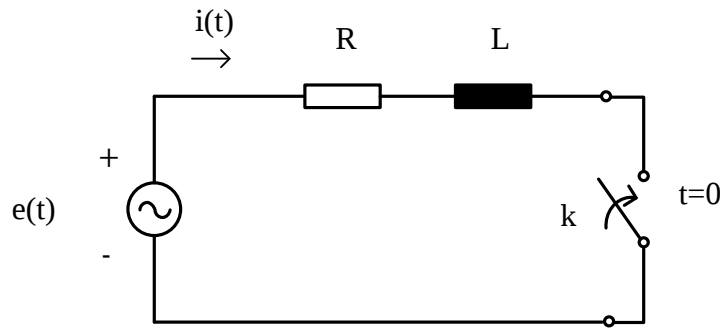
2.2.5 Kısa devre açma gücü (S_b)

Kısa devre açma akımının sonucu oluşan güçtür ve hesaplanmasında simetrik alternatif akım bileşeni kullanılır. Elektrik sisteminde belirlenen kısa devre gücüne uygun kesiciler seçilmelidir. Kısa devre açma gücünün denklemi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$S_b = \sqrt{3} UI_b \quad (2.4)$$

2.3 Seri R-L Devresinde Kısa Devre

İletim sisteminde iletim hattında ya da yüksek gerilim barasında meydana gelen arızada en önemli elemanlardan biri iletim hattıdır. İletim hattındaki geçici rejim kısa devre belirli varsayımlar temel alınarak basitleştirilebilir [1]. İletim hattının sabit gerilim kaynağından beslenmesi, hattın yüksüz hale geldiğinde kısa devrenin oluşması, hat kapasitesinin ihmal edilmesi ve hattın seri R-L seri devresiyle temsil edilebilir. Bu varsayımlar kullanılarak Şekil 2.2’de görülen iletim hattını ve $t=0$ anında kısa devrenin oluşumunu temsil eden devre modeli oluşturulabilir.



Şekil 2.2 : Seri R-L devresinde kısa devreyi gösteren şema.

Arıza empedansını ve kısa devre öncesi akımı sıfır kabul ederek devre için eşitlik oluşturalım [8].

$$e(t) = \sqrt{2} V \sin(\omega t + \alpha) = L \frac{di(t)}{dt} + Ri \quad , \quad t \geq 0 \quad (2.5)$$

Kısa devre akımı alternatif ve doğru akım bileşenlerinden oluşur.

$$i(t) = i_{ac}(t) + i_{dc}(t) \quad (2.6)$$

Alternatif akım bileşeni $i_{ac}(t)$ ve doğru akım bileşeni $i_{dc}(t)$ aşağıdaki denklemlerle belirtilir.

$$i_{ac}(t) = \frac{\sqrt{2}}{2} V \sin(\omega t + \alpha - \theta) \quad (2.7)$$

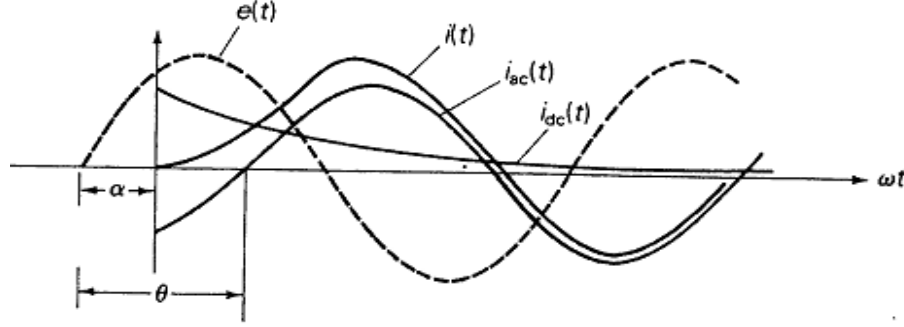
$$i_{dc}(t) = -\frac{\sqrt{2}}{2} V \sin(\alpha - \theta) e^{-t/T} \quad (2.8)$$

θ açısı ve T zaman sabiti açık ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R} = \tan^{-1} \frac{X}{R} \quad (2.9)$$

$$T = \frac{L}{R} = \frac{X}{2\pi fR} \quad (2.10)$$

Şekil 2.3 'de asimetrik akım olan toplam arıza akımı $i(t)$, alternatif akım bileşeni $i_{ac}(t)$ ve doğru akım bileşeni $i_{dc}(t)$ görülmektedir.



Şekil 2.3 : Kısa devre akımının bileşenleri [8].

Alternatif akım bileşeninin etkin değeri $I_{ac}=V/2$ 'dir. Doğru akım bileşeninin genlik değeri ise α açısına bağlı olarak $\alpha=\theta$ için 0, $\alpha=\theta \pm \pi/2$ için $\sqrt{2} I_{ac}$ olarak değişir. Kısa devre herhangi bir anda olabileceği için, kısa devre akımının maksimum olduğu an dikkate alınır. Bunun için $\alpha=\theta - \pi/2$ olur ve aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$i(t) = \sqrt{2}I_{ac} \left[\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) + e^{-\frac{t}{T}} \right] \quad (2.11)$$

$i(t)$ akımı simetrik olmadığı için, etkin değeri tam olarak ifade edilemez. Ancak üstel ifadeyi sabit kabul ederek etkin değer tanımlayabiliriz.

$$I_{rms}(t) = \sqrt{[I_{ac}]^2 + [I_{dc}]^2} \quad (2.12)$$

$$I_{rms}(t) = \sqrt{1 + 2e^{-\frac{2t}{T}}} \quad (2.13)$$

T zaman sabiti ve $t=\zeta/f$ ifadeleri yerine konulursa,

$$K(\zeta) = \sqrt{1 + 2e^{-\frac{4\pi\zeta}{X/R}}} \quad (2.14)$$

asimetri katsayısı $K(\zeta)$, (2.14) eşitliğindeki gibi ifade edildiğinde,

$$I_{rms}(t) = K(\zeta)I_{ac} \quad (2.15)$$

denklemini elde edilir. Hata akımının etkin değeri, alternatif akım bileşeninin etkin değeri ve asimetri katsayısının çarpımına eşittir. $\zeta=0$ olduğunda $I_{rms}(\zeta)=\sqrt{3} I_{ac}$, ζ en

büyük olduğunda I_{ac} olur. Ayrıca (X/R) oranı arttıkça arıza akımının etkin değeri de artar.

Kısa devre akımının oluşum karakteristiği, bileşenleri ve ifadesini açıkladıktan sonra kısa devrenin oluştuğu sistemin devre elemanlarının ve elektriksel büyüklüklerin eşdeğer devrede modellenmesi ve çeşitlerine göre arıza akımlarının formüle edilmesi konuyu daha anlaşılır hale getirecektir. Kısa devre akımının meydana geldiği elektrik sisteminin sadeleştirilerek incelenmesi, kısa devre akımının oluşum çeşidine göre açıklanması ve teorik olarak ifade edilmesinde en yaygın metod simetrik bileşenler yöntemidir.

3. SİMETRİLİ BİLEŞENLER

3.1 Simetrlili Bileşenler'in Tanımı

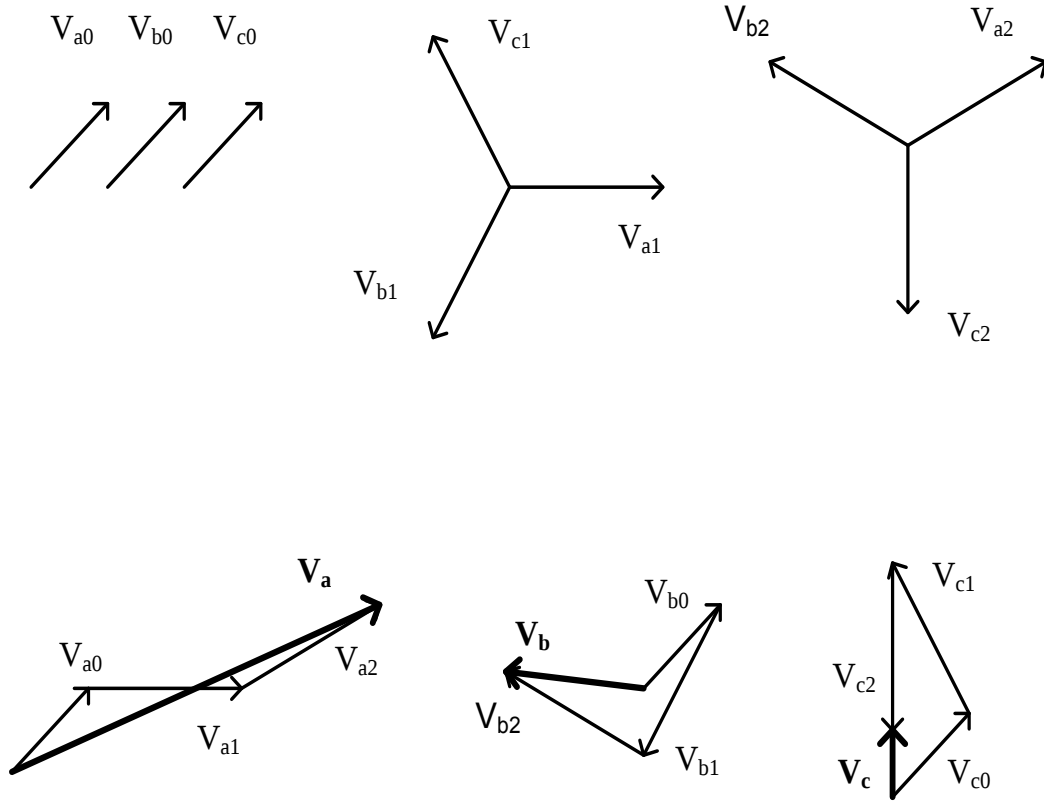
Simetrlili Bileşenler Yöntemi dengeli veya dengesiz üç fazlı sistemlerin incelenmesinde, generator ve transformator gibi elektriksel sistemlerin modellenmesinde, simetrik ve simetrik olmayan kısa devrelerin analizinde kullanılan önemli bir tekniktir. Dengeli üç fazlı sistemlere bu metod uygulandığında bağımsız eşdeğer devreler elde edilir. Dengesiz üç fazlı sistemde ise bu devreler bağımsız değildir ve sadece dengesizlik noktalarından bağlıdır, böylece dengesiz sistemleri incelemek basitleşir.

Sistemde simetrik olmayan bir hata meydana geldiğinde sistemdeki üç faz akımı dengesiz olur [11]. Dengesiz koşullardaki sistem çalışması iki şekilde kısımlandırılabilir: Arızalı elemanları içeren basit hata devresi ve arızalı olmayan simetrik elemanları içeren büyük ölçekli şebeke. Birinci metod genel faz bileşenlerini kullanarak sistemi analiz eder. Bu metodda, bütün sistem üç faz devre modeline göre tanımlanır. Her elemanın elektriksel değerleri a, b ve c faz bileşenlerini içerir ve empedans parametresi 3x3 matris olarak tanımlanabilir. Ancak üç faz akımları dengesiz olduğunda, şebeke tek hat eşdeğer devresine basitleştirilemez ve analiz yapmakta çok karmaşıktır. İkinci metod simetrlili bileşenlerin analiz için kullanılmasını kapsamaktadır. Dengesiz üç faz akımlar, herbiri üç fazın bileşenini temsil eden, dengeli üç faz akımların üç kümesine (pozitif, negatif ve sıfır bileşen) çözümlenir. Bu metodun dikkat çeken özelliği, arızalı sistemin incelenmesini akımların herbir bileşen altkümesi için büyük oranda basitleştirmesidir. Böylece hata (kısa devre) hesaplarının verimliliği büyük oranda geliştirilebilir.

3.2 Simetrlili Bileşenler Yöntemi

Üç faz gerilimleri V_a , V_b , V_c olan üç dizi bileşen kümesine ayrıştırılır [8]. Sıfır dizi bileşenler kümesi, eşit genliğe sahip aralarında açı farkı olmayan üç fazörden oluşur. Pozitif ve negatif dizi bileşenler kümesi ise, eşit genliğe sahip fakat aralarında $\pm 120^\circ$

açı farkı bulunan üç fazörden oluşur. Şekil 3.1’de sıfır, pozitif ve negatif bileşenler kümeleri görülmektedir.



Şekil 3.1 Sıfır, pozitif ve negatif bileşenler kümesi ve faz gerilimleri.

Bu kısımda sadece A fazının sıfır, pozitif, negatif dizi bileşenlerini (V_{a0} , V_{a1} , V_{a2}) ele alalım. Kolaylık açısından, a indisini çıkararak bu dizi bileşenleri V_0 , V_1 , V_2 şeklinde ifade edelim. Bu diziler aşağıdaki 120° dönüşümle tanımlanırlar:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$$a = 1 \angle 120^\circ \quad (3.2)$$

$$a^2 = 1 \angle 240^\circ \quad (3.3)$$

Dönüşümden üç ayrı denklem elde edilir.

$$V_a = V_0 + V_1 + V_2 \quad (3.4)$$

$$V_b = V_0 + a^2 V_1 + a V_2 \quad (3.5)$$

$$V_c = V_0 + a V_1 + a^2 V_2 \quad (3.6)$$

Birim genlikli ve 120° faz açısına sahip kompleks bir sayı olan a ile bir fazör

çarpıldığında bu fazör 120° saat yönüne ters yönde döner. Aynı şekilde, bir fazör a^2 ile çarpıldığında 240° döner. $[V_p]$, $[V_s]$ vektörleri ve $[A]$ matrisi tanımlayalım.

$$[V_p] = \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

$$[V_s] = \begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

$$[A] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

$[V_p]$, faz gerilimlerinin sütun vektörü, $[V_s]$ simetrik bileşen devre gerilimlerinin sütun vektörü, $[A]$ ise 3×3 dönüşüm matrisidir. Bu ifadeleri kullanarak (2.1) denklemini aşağıdaki şekilde ifade edebiliriz:

$$[V_p] = [A][V_s] \quad (3.10)$$

$[A]$ matrisinin tersini ifade edelim:

$$[A]^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Bir matrisi tersi ile çarptığımızda birim matris elde ederiz. Dolayısıyla (3.10) eşitliğinin her iki tarafını $[A]^{-1}$ ile çarptığımızda ulaşılan eşitliğin açık ifadesi (3.12)'deki gibi olmaktadır.

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Bu ifadeden üç ayrı denklem oluşturabiliriz.

$$V_0 = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c) \quad (3.13)$$

$$V_1 = \frac{1}{3}(V_a + aV_b + a^2V_c) \quad (3.14)$$

$$V_2 = \frac{1}{3}(V_a + a^2V_b + aV_c) \quad (3.15)$$

(3.13) denklemi sıfır bileşen geriliminin dengeli üç fazlı sistemde olmadığını göstermektedir, çünkü üç dengeli fazörün toplamı sıfırdır. Dengeli olmayan üç fazlı sistemde, faz-nötr gerilimleri sıfır bileşen içerir. Bununla birlikte, faz-faz gerilimleri sıfır bileşen içermez.

Gerilimler için uyguladığımız simetrik bileşenler dönüşümünü akımlara da uyguladığımızda faz akımlarını aşağıdaki eşitliklerle ifade edebiliriz.

$$I_0 = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) \quad (3.16)$$

$$I_1 = \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2I_c) \quad (3.17)$$

$$I_2 = \frac{1}{3}(I_a + a^2I_b + aI_c) \quad (3.18)$$

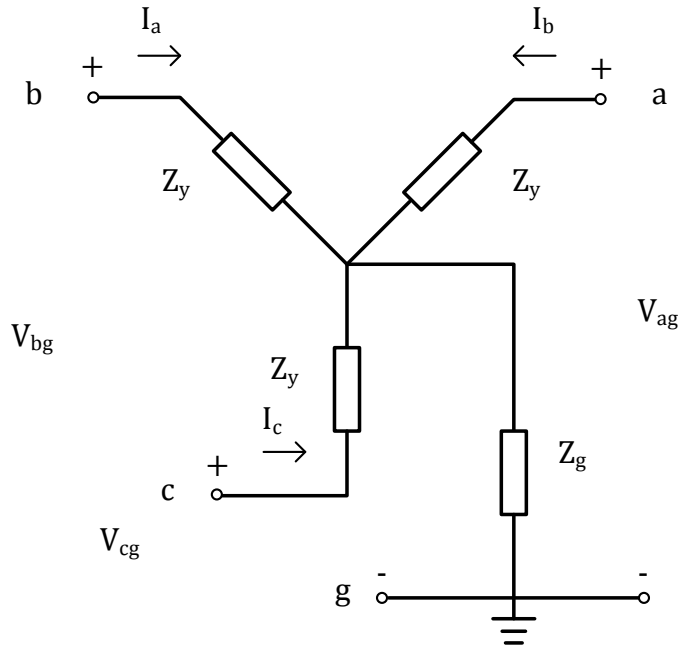
Üç fazlı yıldız bağlı sistemde, nötr akımı hat akımlarının toplamıdır.

$$I_n = I_a + I_b + I_c \quad (3.19)$$

Bu eşitlikten nötr akımın sıfır bileşen akımın üç katı olduğu anlaşılmaktadır. Dengeli yıldız bağlı üç fazlı sistemde hat akımları sıfır bileşen içermez ve nötr akımı sıfırdır. Üçgen bağlı sistemler ve nötrü izole yıldız bağlı sistemlerde de hat akımları sıfır bileşen içermez.

3.3 Yük Empedansının Simetrik Bileşen Devresi

Elektrik sistemindeki yüklerin simetrik bileşen devrelerine dönüştürülmesi, simetrik bileşen devre eşdeğeri ile ifade edilmesi yüklerin sistemde incelenmesi açısından önem arz etmektedir. Dengeli, yıldız bağlı ve empedans üzerinden topraklanmış bir yük Şekil 3.2’de görülmektedir [8].



Şekil 3.2 : Yıldız bağlı yük empedans gösterimi [8].

Her fazın empedansı Z_y , yıldız noktasının topraklandığı empedans Z_g olarak ifade edilmiştir. Her fazın faz-nötr gerilimleri aşağıdaki denklemlerde ifade edilmektedir.

$$V_{ag} = (Z_y + Z_g)I_a + Z_g I_b + Z_g I_c \quad (3.20)$$

$$V_{bg} = Z_g I_a + (Z_y + Z_g)I_b + Z_g I_c \quad (3.21)$$

$$V_{cg} = Z_g I_a + Z_g I_b + (Z_y + Z_g)I_c \quad (3.22)$$

Gerilim denklemlerini matris formatında yazabiliriz:

$$\begin{bmatrix} V_{ag} \\ V_{bg} \\ V_{cg} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (Z_y + Z_g) & Z_g & Z_g \\ Z_g & (Z_y + Z_g) & Z_g \\ Z_g & Z_g & (Z_y + Z_g) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

Kısa ifadeyle belirtelim.

$$[V_p] = [Z_p][I_p] \quad (3.24)$$

Bu eşitliği simetrik bileşen devre gerilim ve akım vektörleriyle ifade ettiğimizde aşağıdaki eşitliği elde ederiz.

$$[A][V_s] = [Z_p][A][I_s] \quad (3.25)$$

Eşitliğin her iki tarafını $[A]^{-1}$ ile çarparsak,

$$[V_s] = [Z_s][I_s] \quad (3.26)$$

denklemini elde ederiz. Simetrik bileşen empedans matrisini şu şekilde ifade edebiliriz.

$$[Z_s] = [A]^{-1}[Z_p][A] \quad (3.27)$$

Sonuç olarak empedans matrisinin açık ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$[Z_s] = \begin{bmatrix} (Z_y + 3Z_g) & 0 & 0 \\ 0 & Z_y & 0 \\ 0 & 0 & Z_y \end{bmatrix} \quad (3.28)$$

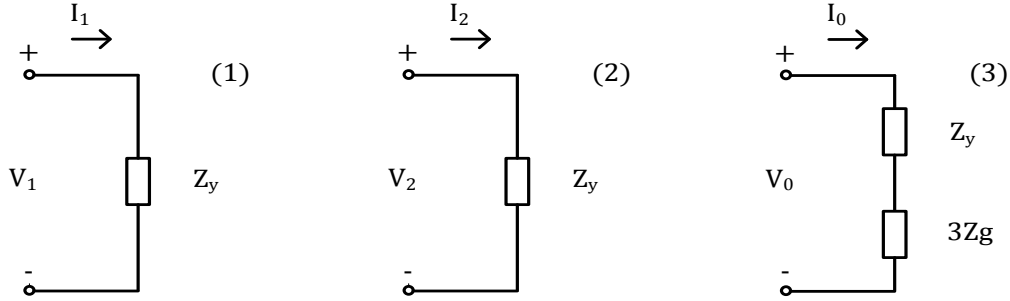
Yukarıdaki eşitlikten görüldüğü üzere dengeli yıldız bağlı bir yükün simetrik bileşenler devresindeki empedans matrisi diagonal bir matristir. Bu matrisin diagonal olması, pozitif, negatif ve sıfır bileşen devreleri arasında kuplaj olmadığını ispatlar. (3.12) eşitliğinden birbirine bağlı olmayan üç denklem yazılabilir.

$$V_0 = (Z_y + 3Z_g)I_0 = Z_0 I_0 \quad (3.29)$$

$$V_1 = Z_y I_1 = Z_1 I_1 \quad (3.30)$$

$$V_2 = Z_y I_2 = Z_2 I_2 \quad (3.31)$$

Bu denklemlerin eşdeğer devre gösterimi Şekil 3.3'te bulunmaktadır.

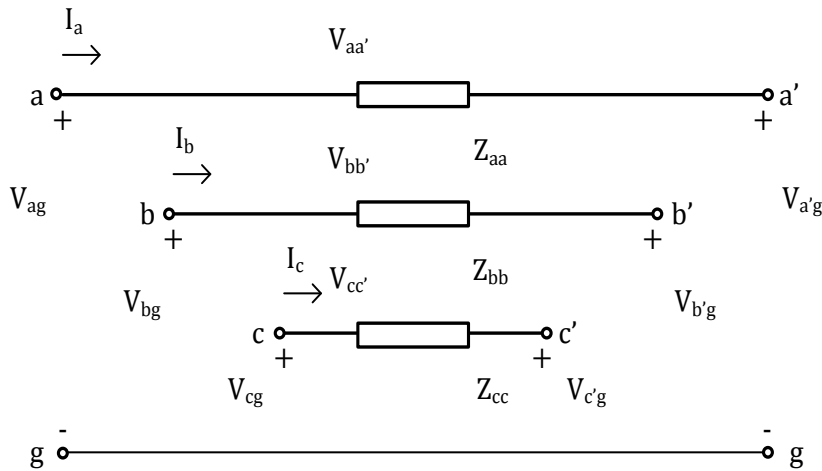


Şekil 3.3 : Yıldız bağlı yüke ait pozitif (1), negatif (2), sıfır (3) bileşen devre.

$Z_y + 3Z_g$ sıfır bileşen devre empedansı, Z_y pozitif ve negatif bileşen devre empedansıdır. Ayrıca her devre birbirinden bağımsızdır. Pozitif ve negatif bileşen devrelerde nötr empedansı bulunmamaktadır. Buradan pozitif ve negatif devre akımlarının nötr empedanstan akmadığı anlaşılmaktadır.

3.4 Seri Empedansların Bileşen Devre İfadesi

Seri empedansların bileşen devresi genelde elektrik şebekesindeki iletim hatlarının simetrik bileşen devresini temsil etmektedir. Şekil 3.4'te abc ve a'b'c' olarak gösterilen iki üç fazlı baraya bağlı olan seri empedanslar görülmektedir [8].



Şekil 3.4 : Üç fazlı seri empedans [8].

Her fazın empedansı Z_{aa} , Z_{bb} , Z_{cc} olarak ifade edilmektedir. Ayrıca seri devrenin fazlar arasında ortak empedanslar içerdiği kabul edilirse, seri empedanslardaki gerilim düşümü şu şekilde ifade edilir.

$$\begin{bmatrix} V_{aa'} \\ V_{bb'} \\ V_{cc'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{ag} - V_{a'g} \\ V_{bg} - V_{b'g} \\ V_{cg} - V_{c'g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ab} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ac} & Z_{bc} & Z_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

Bu ifadede her fazın kendi empedansı ve ortak empedanslar bulunmaktadır. Bu empedanslar iletim hatları ve transformatörler gibi döner olmayan teçhizatların empedanslarını ifade etmektedir.

abc barasına ait faz-nötr gerilim vektörünü $[V_p]$, a'b'c' barasına ait faz-nötr gerilim vektörünü $[V_{p'}]$, hat akımını $[I_p]$, empedans matrisini $[Z_p]$ olarak ifade edersek (3.32) eşitliği daha basit bir ifadeye dönüşür:

$$[V_p] - [V_{p'}] = [Z_p][I_p] \quad (3.33)$$

Bu eşitliği simetri bileşen modelinde ifade edersek (3.34) denkleminde ulaşırız.

$$[V_s] - [V_{s'}] = [Z_s][I_s] \quad (3.34)$$

Eğer sistem simetrik ve dönmeyen bir sistem ise aşağıdaki eşitlikler geçerlidir.

$$Z_{aa} = Z_{bb} = Z_{cc} \quad (3.35)$$

$$Z_{ab} = Z_{ac} = Z_{bc} \quad (3.36)$$

$[Z_s]$ matrisi diagonal bir matristir.

$$[Z_s] = \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} \quad (3.37)$$

Bu ifadede simetrik bileşen devre elemanlarının değerleri aşağıdaki gibidir:

$$Z_0 = Z_{aa} + 2Z_{ab} \quad (3.38)$$

$$Z_1 = Z_2 = Z_{aa} - Z_{ab} \quad (3.39)$$

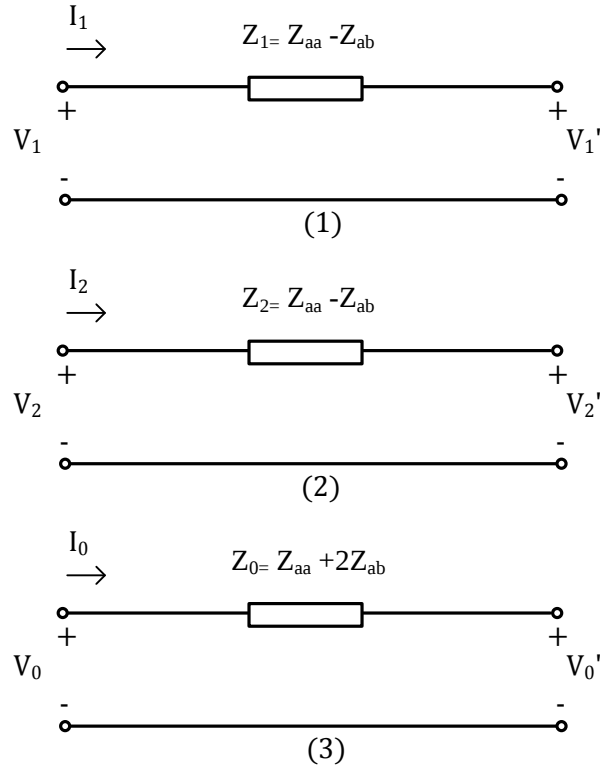
(3.34) eşitliğini ayrı ayrı denklemler şeklinde ifade ettiğimizde aşağıdaki gerilim ile ilgili eşitlikleri elde ederiz.

$$V_0 - V_{0'} = Z_0 I_0 \quad (3.40)$$

$$V_1 - V_{1'} = Z_1 I_1 \quad (3.41)$$

$$V_2 - V_{2'} = Z_2 I_2 \quad (3.42)$$

Sonuç olarak, üç fazlı simetrik seri empedansların bileşen devreleri Şekil 3.5'teki gibi oluşturulabilir.



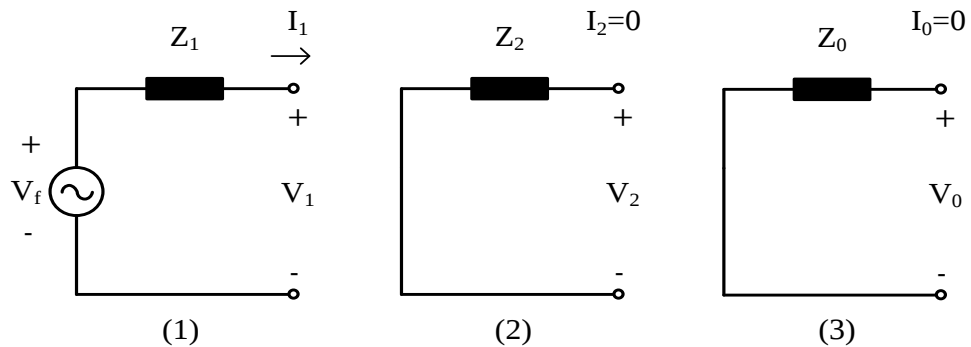
Şekil 3.5 : Seri empedans pozitif (1), negatif (2), sıfır (3) bileşen devresi.

Üç fazlı elektrik şebekesinde farklı türde kısa devreler meydana gelmektedir. Elektiksel büyüklüklerin simetrik bileşenlerle ifade edilmesiyle hata çeşitleri açıklanır ve sonucunda oluşan arıza akımı belirlenir.

4. KISA DEVRE ÇEŞİTLERİ

Alternatif akım güç sistemlerinin normal şartlar altında işletilmesi üç faz ve dengelidir; ancak güç sisteminde bir noktada yalıtımın bozulması ya da iletken bir malzemenin çıplak iletkenle temas etmesi sonucu istenmediği halde kaçınılmaz olan olaylar sistemdeki normal koşulları geçici şekilde bozmaktadır [3]. Bu durumlarda şönt arıza meydana gelir. Arıza yıldırım düşmesinden iletkenle ağaç değmesinden, iletim hattına veya direğine araç çarpması gibi benzeri şekillerde oluşabilir. Arızalar tek-faz toprak, faz-faz, iki faz-toprak, dengeli üç faz arızası olmak üzere dört kısımda sınıflandırılır. Üç fazlı güç sistemlerinde meydana gelen kısa devreleri oluş sıklıklarına göre şu şekilde sıralayabiliriz: Faz-toprak, faz-faz, iki faz-toprak ve dengeli üç faz arızası [8]. Arıza yolu tam temaslı kısa devre denilen arızada sıfır empedansa ya da ark direnci nedeniyle oluşan sıfır olmayan empedansa sahiptir. İletim ve dağıtım sisteminde oluşan arızaların kısa devre harici gelişen diğer çeşidi de iletken kopması, kesicinin bir veya iki fazını yanlışlıkla açması ya da üç fazını da açamaması nedeniyle oluşan bir iletken açık ve iki iletken açık durumudur.

Şekil 4.1’de bileşen devreleri Thevenin eşdeğerine indirgenmiş şekilde gösterilmiştir. Sadece pozitif bileşen devresinde arıza öncesi gerilim değerine eşit gerilim kaynağı bulunmaktadır.



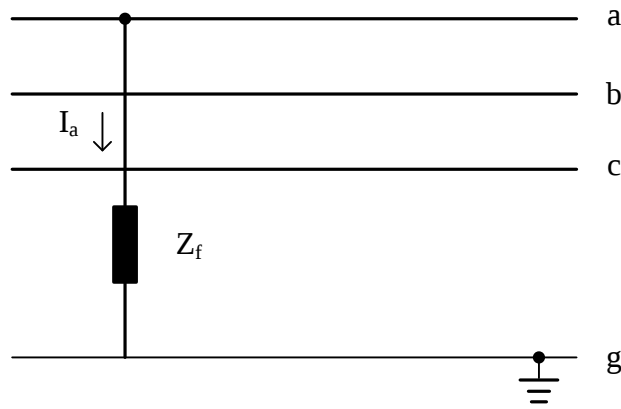
Şekil 4.1 : Dengeli sistem pozitif (1), negatif (2), sıfır (3) bileşen Thevenin eşdeğeri.

Simetrik arıza olan dengeli üç faz arızası hesabında, sistem empedanslarının doğru bileşen değerleri kullanılır ve sadece pozitif bileşen devre akımı oluşur. Simetrik

olmayan arızalarda ise bileşen devreleri arıza noktasında birbirine bağlıdır ve bu arızaların hesabında empedansların negatif ve sıfır bileşen değerleri de kullanılır. Arıza öncesinde sistem dengeli olduğu için pozitif, negatif ve sıfır bileşen devreleri birbirine bağlı değildir.

4.1 Faz-Toprak Kısa Devresi

İletim sisteminde en sıklıkla oluşan arıza türü faz-toprak kısa devresidir. Şekil 4.2’de A fazı toprak arasında oluşan bir faz-toprak kısa devresinin genel gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.2 :Faz-toprak kısa devresi.

Z_f arıza empedansını göstermektedir. B ve C fazında arıza olmadığı için bu fazlardaki arıza akımı sıfırdır. Bileşen devre akım değerlerini ve sistemin gerilim eşitliğini ifade edelim [8].

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} I_a \\ I_a \\ I_a \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

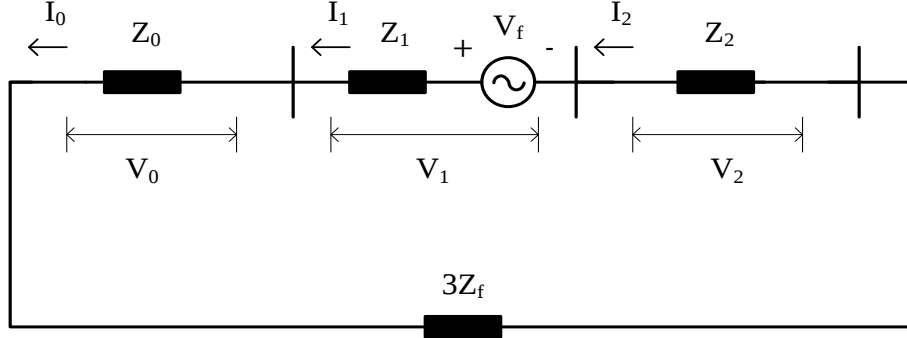
$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Bu eşitliklerden ve Z_f arıza empedansını kullanarak aşağıdaki denklemi elde ederiz.

$$V_0 + V_1 + V_2 = Z_f(I_0 + I_1 + I_2) \quad (4.3)$$

(4.1) eşitliğinden pozitif, negatif ve sıfır bileşen akımları eşittir ve bu üç bileşen akımın toplamından I_a akımına ulaşılmaktadır. Elde edilen eşitlikler yardımıyla oluşturulan

Şekil 4.3'te faz-toprak kısa devresinin bileşen devresi gösteriminden arıza akımının (4.5) denklemi elde edilir.



Şekil 4.3 : Bir faz-toprak kısa devresi bileşen devresi.

$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{V_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_f} \quad (4.4)$$

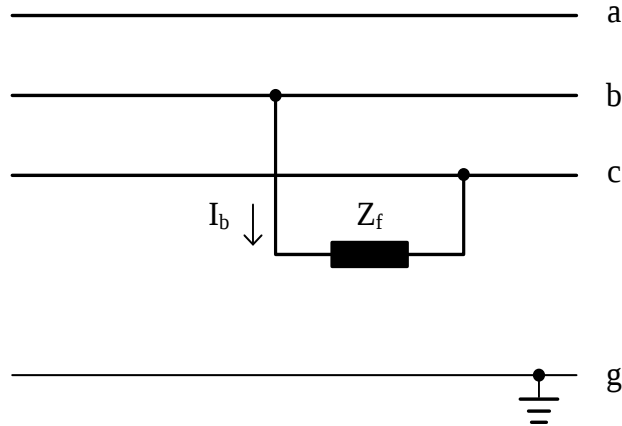
$$I_a = I_0 + I_1 + I_2 = \frac{3V_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_f} \quad (4.5)$$

4.2 Faz-Faz Kısa Devresi

Şekil 4.4'te B ve C fazları arasında meydana gelen faz-faz kısa devresinin genel gösterimi verilmiştir. Bu kısa devre çeşidine ilişkin akım ve gerilim ifadeleri şu şekildedir [8].

$$I_b = -I_c, \quad I_a = 0 \quad (4.6)$$

$$V_{bg} - V_{cg} = Z_f I_b \quad (4.7)$$



Şekil 4.4 : Faz-faz kısa devresi.

Simetrik bileşenler eşitliğini oluşturalım.

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ I_b \\ -I_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{3}(a - a^2)I_b \\ \frac{1}{3}(a^2 - a)I_b \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

(4.7) eşitliğini (3.5) ve (3.6) denklemlerini kullanarak simetrik bileşenlerle ifade ettiğimizde şu denklemi elde ederiz.

$$(a^2 - a)V_1 - (a^2 - a)V_2 = Z_f(a^2 - a)I_1 \quad (4.9)$$

$$V_1 - V_2 = Z_f I_1 \quad (4.10)$$

$I_1 = -I_2$ olduğu için aşağıdaki (4.11) ifadesini oluşturabiliriz.

$$I_1 = -I_2 = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \quad (4.11)$$

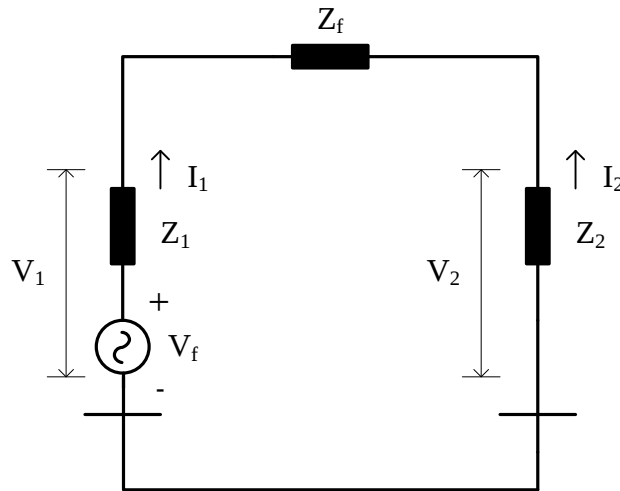
(4.8) eşitliğinden şu ifadeyi elde ederiz.

$$I_b = (a^2 - a)I_1 \quad (4.12)$$

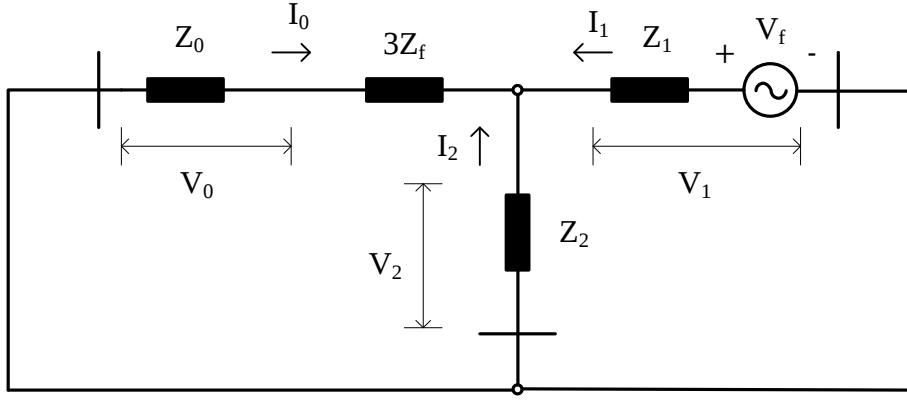
Sonuç olarak B fazı arıza akımı (3.2) eşitliği ve (4.11) denkleminde faydalanılarak bulunur.

$$I_b = \frac{-j\sqrt{3}V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \quad (4.13)$$

Faz-faz kısa devresinin simetrik bileşenlerle oluşturulan devresi Şekil 4.5'te gösterilmektedir.



Şekil 4.5 : Faz-faz kısa devresi bileşen devresi.



Şekil 4.7 : İki faz-toprak kısa devresi bileşen devresi.

Sonuç olarak iki faz-toprak kısa devresi bileşen devresinden doğru, negatif ve sıfır bileşen akımlarını elde ederiz.

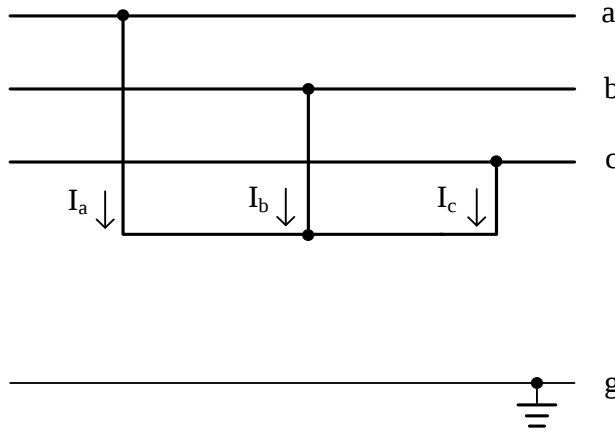
$$I_1 = \frac{V_f}{Z_1 + [Z_2(Z_0 + 3Z_f) / (Z_2 + Z_0 + 3Z_f)]} \quad (4.18)$$

$$I_2 = -I_1 \frac{Z_0 + 3Z_f}{Z_0 + 3Z_f + Z_2} \quad (4.19)$$

$$I_0 = -I_1 \frac{Z_2}{Z_0 + 3Z_f + Z_2} \quad (4.20)$$

4.4 Üç Faz Kısa Devresi

Üç faz kısa devresi simetrik arızadır ve arızanın toprağa direkt ya da direnç üzerinden teması hata akımını etkilemez. Ayrıca en yüksek kısa devre akımı bu arıza çeşidinde meydana gelmektedir. Şekil 4.8’de üç fazın tam temaslı arızası görülmektedir.



Şekil 4.8 : Üç faz kısa devresi.

Üç faz arızasında faz gerilimleri $V_a=V_b=V_c=0$ olur. Bileşen devre gerilim değerleri eşitliğini oluşturalım [8].

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.21)$$

Üç faz kısa devre bileşen devresi Şekil 4.1’de gösterilen üç fazlı dengeli sistemin bileşen devresiyle aynıdır ve negatif, sıfır bileşen akım ve gerilim değerleri sıfırdır. Buna göre aşağıdaki matrissel formu oluşturabiliriz.

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ V_f \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (4.22)$$

Sonuç olarak üç faz kısa devrede doğru bileşen akımını aşağıdaki eşitlikle ifade edebiliriz.

$$I_1 = \frac{V_f}{Z_1} \quad (4.23)$$

Bu bölümde elektrik iletim sisteminde oluşan kısa devre arıza türleri ve bu arızalardaki elektriksel büyüklük davranışları açıklanmıştır. Bu arızalar güç şebekesinde transformatörde, transformatör çıkışında, indirici merkezdeki yüksek gerilim ya da orta gerilim baralarında, şalt teçhizatlarında ve iletim hatlarında olabilir. Sistem elemanları arıza büyüklüğünü etkileyen önemli bir unsurdur. İletim sisteminde iletim hatları ve transformatörler başta gelen teçhizatlarıdır. Bu elemanların karakteristikleri ve simetrik bileşenlerle ifadesi sistem incelemesini daha anlaşılır hale getirmektedir.

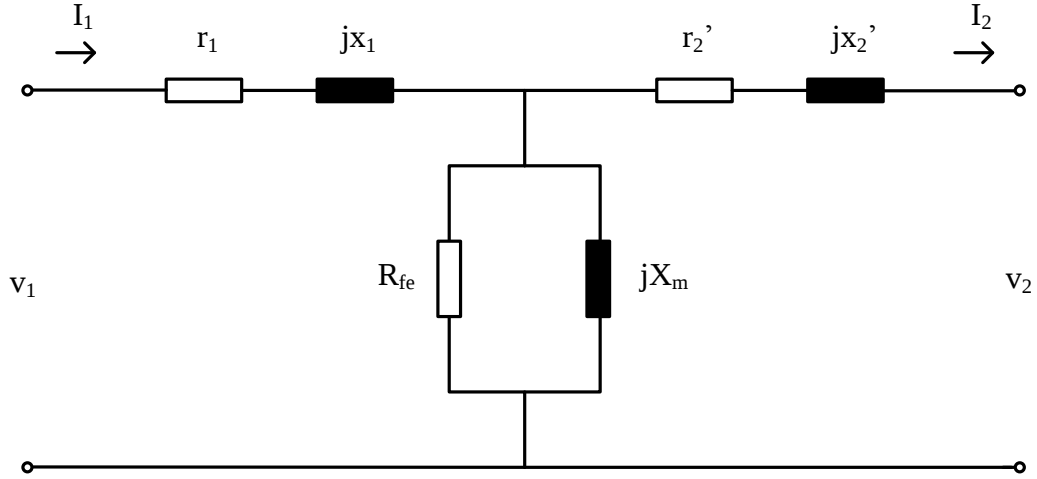
5. İLETİM SİSTEMİ ANA ELEMANLARI

5.1 Güç Transformatorü

Güç transformatorü elektrik sisteminde gerilim seviyelerini dönüştüren ve farklı gerilim seviyeleri arasında çok düşük bir kayıpla güç aktarımını sağlayan elemanlardır. 154 kV iletim şebekesindeki trafo merkezlerinde dağıtım sistemini besleyen 34.5 kV OG baraya güç aktarımı genellikle çeşitli güçte YNyn0 iki sargılı transformatorle gerçekleştirilir.

Güç transformatorü sargıları aralarında bağ oluşturularak eşdeğer empedansla temsil eden eşdeğer devre ile güç sisteminde gösterilebilirler [12]. İki sargılı güç transformatorü devresi kısa devre ve uyarma empedanslarının oluşturduğu T eşdeğer devresine indirgenebilir. Kısa devre çalışmalarında genellikle kısa devre empedansının genliği hesaba katılır, uyarma empedansının hesaba katılması nadiren gereklidir. Trafo empedansı gerilim baz alınarak ohm mertebesinde veya güç baz alınarak yüzde ya da per unit mertebede verilebilir. Çok sargılı transformatorlerde bütün empedanslar ortak bir güç değeri ya da verilen güç değeri baz alınır. Durağan makinelerin empedansı uygulanan gerilimin faz bileşeninden bağımsızdır, böylece transformatorde pozitif ve negatif bileşen empedansları aynıdır. Sıfır bileşen akımlarındaki empedansın belirlenmesinde sargı bağlantıları, topraklama ve bazı durumlarda dizayn şekli hesaba katılmalıdır. Sıfır bileşen akımlarının varlığı toprağa olan hatayı ve sargı akımlarının bileşkesinin nötr noktasından toprağa akmasını ima eder.

Güç transformatorü gerilimi birincil ve ikincil sargı sarım oranları değerinde dönüştürmektedir. Sargılarda kaçak reaktans oluşmaktadır ve sargı dirençleri yok sayılamayacak düzeydedir. Ayrıca nüvede aktif ve reaktif güç kaybı meydana gelmektedir. Nüve manyetik direnç ve empedans ile temsil edilmektedir. Sekil 5.1’de görüldüğü gibi sargı ve nüve elemanları transformatorün genel yapısını modellemektedir.

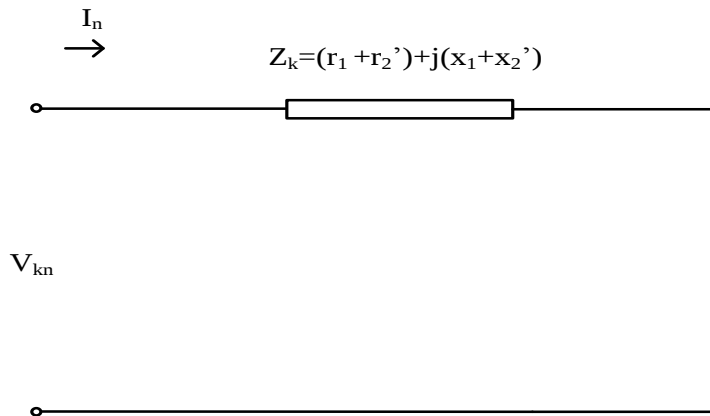


Şekil 5.1 : Transformatörün sekonder sargısının primer sargıya indirgenmiş modeli.

r_1 ve r_2' sargı dirençlerini, x_1 ve x_2' sargı kaçak reaktanslarını, R_{fe} demir direnci ve X_m manyetik reaktansı göstermektedir. Sargı direnci ve kaçak reaktans transformatörün kısa devre deneyinde ölçülen kayıp değerinden hesaplanırken, manyetik direnç ve reaktans boşa çalışma deneyinde ölçülen kayıp değerinden hesaplanmaktadır.

5.1.1 Kısa devre testinden sargı direnci ve kaçak reaktansların belirlenmesi

Kısa devre testinde transformatör çıkışı kısa devre edilmekte ve transformatör girişine nominal akım oluşacak düzeyde gerilim uygulanır. Uygulanan test geriliminden transformatörün bağıl kısa devre gerilimi belirlenmektedir. Ayrıca kısa devre testinde manyetik devreden geçen akım kısa devre akımına göre çok küçük düzeyde olduğundan ihmal edilir. Dolayısıyla testteki devre modeli Şekil 5.2'deki gibi oluşturulabilir.



Şekil 5.2 : Transformatör kısa devre testi eşdeğer devre modeli.

Test sonucu elde edilen kısa devre kaybının denklemini şu şekilde yazabiliriz [13].

$$P_k = \sqrt{3}V_k I_n \cos\varphi_k \quad (5.1)$$

Ayrıca devre eşdeğer empedansı eşitliğini oluşturabiliriz.

$$Z_k = \frac{V_{kn}}{I_n} \quad (5.2)$$

Buradan aşağıdaki ifadelerle belirtilen kısa devre sargı direnci ve kaçak reaktansı elde edilir.

$$R_k = Z_k \cos\varphi_k \quad (5.3)$$

$$X_k = Z_k \sin\varphi_k \quad (5.4)$$

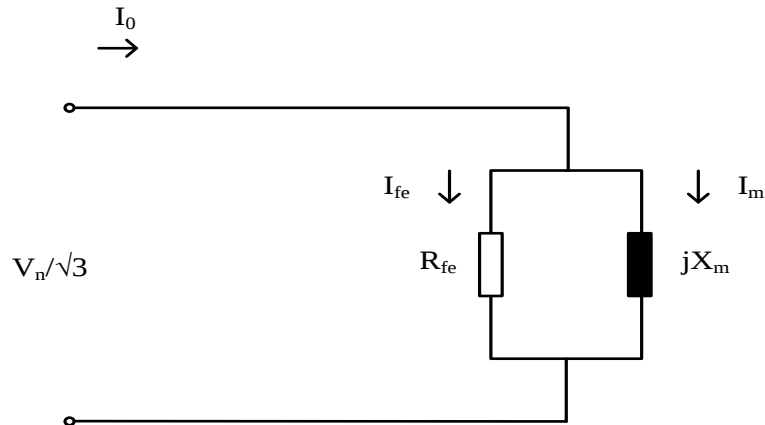
Birincil ve primere indirgenmiş ikincil sargı dirençleri ve kaçak reaktansları çok yakın değerlerde olduğu için eşit kabul edilirler.

$$R_k = r_1 + r_2' \quad (5.5)$$

$$X_k = x_1 + x_2' \quad (5.6)$$

5.1.2 Boşta çalışmada nüveyi temsil eden direnç ve reaktansın belirlenmesi

Boşta çalışma testinde transformatörün sargı çıkışı açık devre bırakılarak diğer sargı girişinden nominal gerilim uygulanmaktadır. Bu durumda transformatör boşta akım çekmektedir ve açık bırakılan sargı tarafındaki akım sıfırdır. Ayrıca sargı direnci ve kaçak reaktansı, nüveyi temsil eden direnç ve reaktansa göre çok küçük olduğundan ihmal edilir. Dolayısıyla boşta çalışma testinde transformatör eşdeğer devresi Şekil 5.3'teki gibi olmaktadır.



Şekil 5.3 : Transformatör boşta çalışma testi eşdeğer devre modeli.

Test sonucu elde edilen boşa çalışma kaybı formülü şu şekildedir [13].

$$P_0 = \sqrt{3}V_n I_0 \cos \varphi_0 \quad (5.7)$$

Şekil 5.3'te nüve demir kayıpları R_{fe} ile, mıknatıslanma reaktansı X_m ile temsil edilmiştir. Boşa çalışma akımı bileşenlerinin direnç ve reaktanstan geçtiği görülmektedir. Bu akımların açık ifadesini yazalım.

$$I_{fe} = I_0 \cos \varphi_0 \quad (5.8)$$

$$I_m = I_0 \sin \varphi_0 \quad (5.9)$$

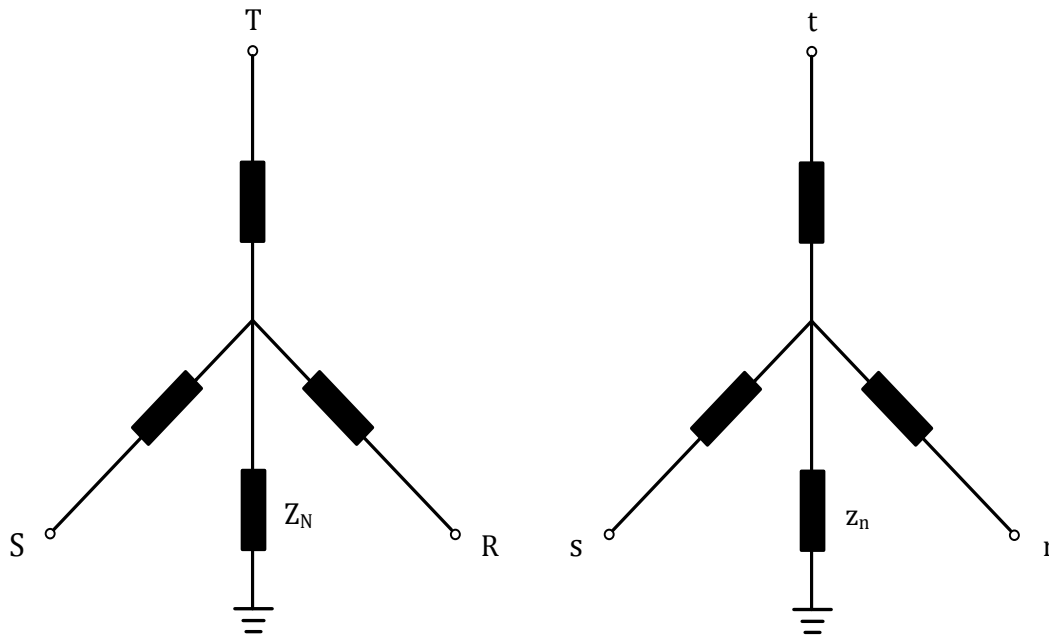
Sonuç olarak direnç ve reaktans eşitlikleri eşdeğer devreye göre elde edilir.

$$R_{fe} = \frac{V_n / \sqrt{3}}{I_{fe}} \quad (5.10)$$

$$X_m = \frac{V_n / \sqrt{3}}{I_m} \quad (5.11)$$

5.1.3 Üç fazlı iki sargılı transformatörün bileşen devre eşdeğeri

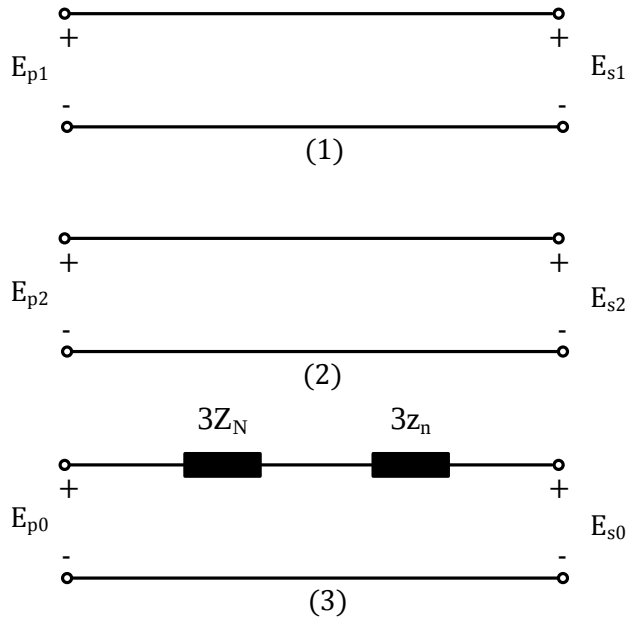
154 kV iletim sistemindeki 154/34.5 kV güç transformatörlerinde primer taraf nötr noktası direkt topraklı, sekonder taraf nötr noktası ise nötr direnç (genellikle 20 Ω) üzerinden topraklıdır. Dolayısıyla iletim sistemindeki Şekil 5.4'te şematik gösterimi verilen YNyn0 bağlı üç fazlı transformatörde $Z_N=0$ ve $z_n=20 \Omega$ olmaktadır.



Şekil 5.4 : YNyn0 bağlı transformatör şematik gösterimi.

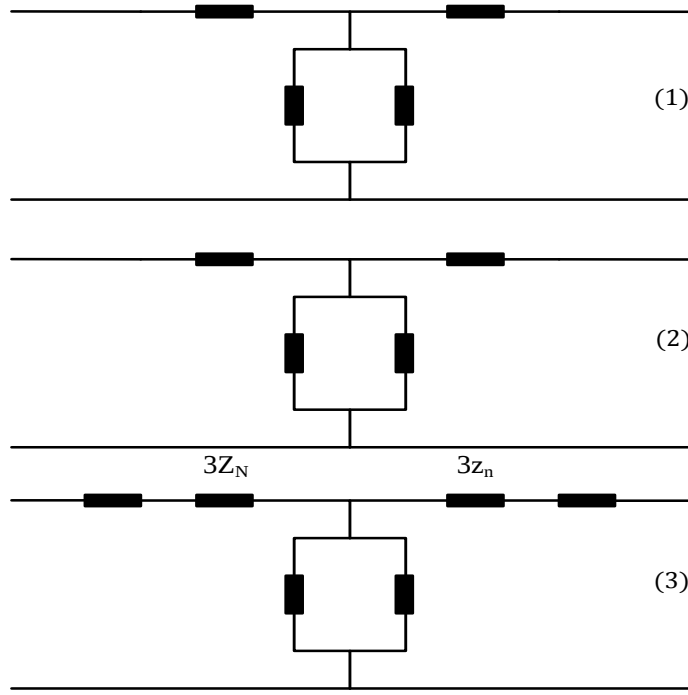
Dengeli doğru bileşen devre akımları veya dengeli ters bileşen devre akımları transformatör sargılarında dengeli olarak oluştuğunda, yıldız noktasından toprağa akan akım sıfır olur ve böylece nötr empedansında gerilim düşümü olmaz [14]. Bu nedenle ideal üç fazlı YNyn0 bağlı transformatörün doğru ve ters bileşen devre ifadesi, ideal tek faz transformatörle aynı olmaktadır.

Sıfır bileşen devre akımları her faz için aynı genlik ve açı değerine sahiptir. Dolayısıyla transformatörün primer tarafının nötr noktasından toprağa akan akım $3I_0$ değerindedir ve nötr empedansı üzerinde ' $3Z_N I_0$ ' ifadesinde belirtildiği gibi gerilim düşümü meydana gelmektedir. Aynı durum transformatörün sekonder tarafının nötr noktası içinde geçerlidir. Ayrıca ideal transformatörün herhangi bir tarafının nötr noktası topraklanmaz ise primer ve sekonder sargılarında da sıfır bileşen akımı oluşmaz. Şekil 5.5'te ideal üç fazlı YNyn bağlı transformatörün pozitif, negatif ve sıfır bileşen devre eşdeğer ifadesi bulunmaktadır.



Şekil 5.5 : İdeal transformatörün pozitif (1), negatif (2), sıfır (3) bileşen eşdeğeri.

Gerçek koşullardaki transformatörün eşdeğer gösterimi ise ideal transformatörün eşdeğer gösterimine harici empedansların eklenmesiyle elde edilir. Primer ve sekonder tarafta her faz için kaçak empedanslar eşit ise simetrik bileşen devrede seri empedanslar eşittir. Şekil 5.6'da gerçek transformatörün bileşen devre eşdeğerleri görülmektedir.



Şekil 5.6 : Gerçek transformatörün pozitif (1), negatif (2), sıfır (3) bileşen eşdeğeri.

5.2 İletim Hattı

İletim hatları uzunluğuna göre üç kısımda incelenmektedir. Uzunluğu 100 km'den az olan hatlar kısa hat, 100-250 km arasındaki hatlar orta uzunlukta hat, 250 km'den uzun hatlar ise uzun hat olarak isimlendirilmektedir. Türkiye'nin iletim sistemindeki 380 kV gerilim seviyesindeki hatlar genellikle orta uzunlukta ve uzun hat, 154 kV gerilim seviyesindeki hatlar genellikle 100 km'nin altında olduğu için kısa hattır.

Bir iletim hattı dört parametre ile karakterize edilir. İletken direnci nedeniyle seri direnç R , faz ve toprak arasındaki sızıntı akımları nedeniyle şönt kondüktans G , iletkenlerin çevresindeki manyetik alan nedeniyle seri endüktans L ve iletkenler arasındaki elektrik alanı nedeniyle şönt kapasitans C [15]. Aşağıdaki denklemlerde iletim hattının empedans ve admitans değerleri ifade edilmiştir.

$$Z = R + j\omega L \quad (5.12)$$

$$Y = G + j\omega C \quad (5.13)$$

Şönt kondüktans iletken izolatöründeki sızıntı akımları ve koronayı temsil etmektedir. İletim hatlarında etkisi küçüktür ve genellikle ihmal edilir. Seri endüktans akı sızıntılarına bağlıdır. Üç fazlı iletim hattında gerçek durumda iletkenlerin endüktansı, iletkenler hat boyunca birbirine göre eşit geometride

dizilmediği için eşit değildir ve transpozisyonla (çaprazlama) eşitlemeye çalışılır. Şönt kapasitans ise iletkenlerin aralarındaki potansiyel farkı nedeniyle şarj olması olayı ve iletkenler arasındaki kapasitansdır.

İletim hatlarında reaktans değerinin azaltılması nakledilen güç sınırını belirleyen stabilite sınırını yükseltmek için iletim hattının reaktansı azaltılır [16]. İletim sisteminde enerji naklinin yapıldığı iletim hatlarında reaktans değerinin azaltılması için bazı uygulamalar yapılmaktadır. Bazı iletim hatlarında tek iletken yerine birden fazla iletken aynı fazda kullanılmaktadır. Bu iletken hattı yapısına demet iletken denilmektedir. Ayrıca seri kondansatör bağlayarak da hattın reaktansı azaltılmaktadır. Bu devrede yük akımı hat iletkeninden ve seri bağlı kondansatörden akmaktadır.

İletim hattı bileşen devre gösterimi simetrlili bileşenenler metodu kısmında açıklanan seri empedansların bileşen devresiyle temsil edilmektedir. Bileşen devre empedansları eşitlikleri (3.39) ve (3.40)'ta ifade edilmiştir. Buradan görüldüğü üzere iletim hattının direnci, endüktansı ve kapasitansının pozitif, negatif bileşen değerleri aynı, sıfır bileşen değerleri farklı olmaktadır. İletim hattı pozitif bileşen empedansı ve sıfır bileşen empedansı şu eşitliklerle gösterilmektedir.

$$Z_1 = r_1 + jx_1 \quad (5.14)$$

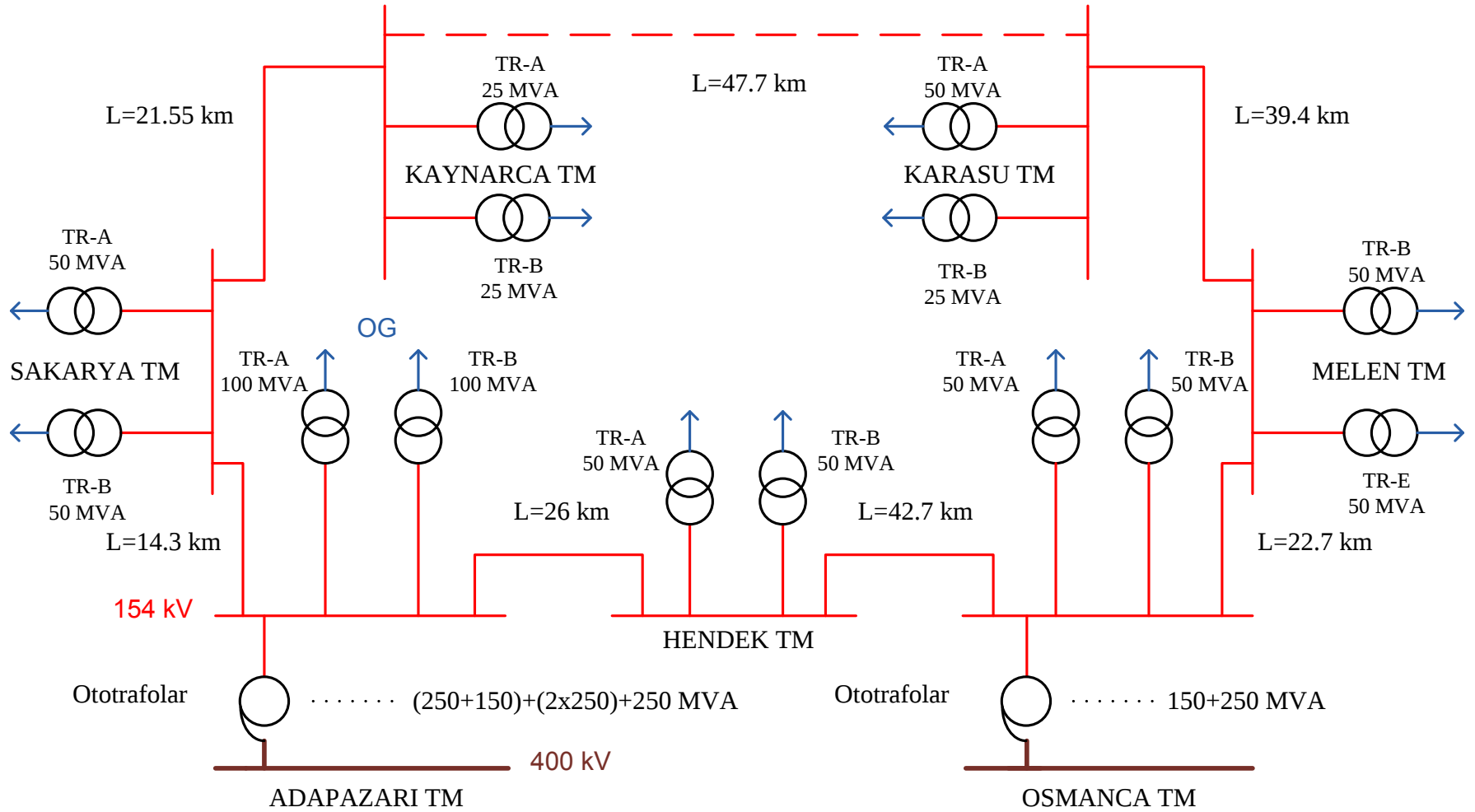
$$Z_0 = r_0 + jx_0 \quad (5.15)$$

6. SAKARYA BÖLGESİNDE İLETİM ŞEBEKESİNİN KAPALI SİSTEME DÖNÜŞMESİYLE ÇİFT TARAFLI BESLENEN MERKEZLERİN ANALİZİ

6.1 Sakarya Bölgesi İletim Şebekesinin ve İncelenen Kısımın Tanıtılması

Türkiye'deki iletim sisteminin işletilmesi ve geliştirilmesi faaliyetlerini yürütmekle sorumlu iletim lisansına sahip kuruluş TEİAŞ'tır. TEİAŞ taşra teşkilatı 22 adet Bölge Müdürlüğü ve 10 adet Yük Tevzi İşletme Müdürlüğü'nden oluşmaktadır. TEİAŞ Bölge Müdürlükleri'nden biri olan 5. Bölge Müdürlüğü (Sakarya) sorumluluk alanı Kuzey Batı Anadolu Yük Tevzi İşletme Müdürlüğü Bölgesi'ndeki Sakarya, Düzce, Bolu, Zonguldak, Bartın illerindeki, Kocaeli'nin büyük bir kısmındaki trafo merkezlerini ve iletim hatlarını kapsamaktadır [17]. 5. Bölge Müdürlüğü sorumluluk alanında 4 adet 400kV, 28 adet 154kV, 3 adet 66 kV Trafo Merkezi ve 1201 km uzunluğunda 400 kV enerji iletim hattı, 1453 km uzunluğunda 154 kV enerji iletim hattı ve 53.74 km uzunluğunda 66kV enerji iletim hattı olmak üzere toplam 2708 km iletim hattı bulunmaktadır. Bu çalışmada incelenen iletim şebekesi Sakarya ve Düzce illerinde olup; iletim şebekesinde 400 kV gerilim seviyesinde 2 adet ve 154 kV gerilim seviyesinde 5 adet trafo merkezi bulunmaktadır. Adapazarı ve Osmanca Trafo Merkezi 400 kV gerilim seviyesine sahiptir. Bu merkezlerin 154 kV barası ve diğer 5 adet merkez Adapazarı ve Osmanca Trafo Merkezleri'ndeki 150 MVA ve 250 MVA güce sahip ototrafoların oluşturduğu banklar tarafından beslenmektedir. Bu nedenle bu iki merkez incelenen iletim şebekesinin kaynağı konumundadır.

Şekil 6.1'de Türkiye Enterkonnekte Elektrik Sistemi Haritası'nda incelenen iletim şebekesinin bulunduğu kısım trafo merkezleri ve iletim hatlarını gösterir biçimde bulunmaktadır. Şekil 6.1'de ayrıca incelenen iletim şebekesinin bölgesel konumu ve bağlantıları görülmektedir. Haritadan anlaşılabacağı üzere bölge trafo merkezlerinin ve iletim hatlarının yoğun olduğu bölgede ve İstanbul'a giden iletim hatlarının güzergahında bulunmaktadır. Haritada 400 kV iletim hatları kırmızı, 154 kV iletim hatları siyah renkle temsil edilmektedir ve kesikli çizgilerle oluşturulan kısımlar yapım aşamasında olup henüz devreye alınmamış iletim hatları ve trafo merkezlerini göstermektedir.



Şekil 6.2 : İncelenen iletim şebekesinin şematik gösterimi.

6.2 Açık Sistem İletim Şebekesinin Kapalı Sisteme Dönüşmesi

İletim sistemi, genel ağ şebekesinin oluşturduğu enterkonnekte sistem yapısına sahiptir. İletim sisteminde çok sayıda iletim hattı fiderine sahip merkezler, iki hatta sahip merkezler ve tek hat fiderinin sonlandığı radyal merkezler bulunmaktadır. Radyal trafo merkezlerinin bulunduğu iletim kısmında, bir noktadan çıkan iletim hatlarının yeniden birleşmeyerek bu merkezlerde sonlanması açık sistem iletim şebekesini oluşturmaktadır. Eğer uygun noktalarda radyal merkezler iletim hattıyla bağlanırsa bir noktadan çıkan iki enerji iletim hattının bir başka noktada yeniden birleşmesi sağlanarak açık sistem, kapalı (ring) sistem iletim şebekesine dönüştürülebilir.

Elektrik güç sistemleri, ana iletim hatlarının entegrasyonu için oluşturulan bağlar ve artan tüketim talebiyle günümüzde kompleks bir şekilde büyümektedir [19]. Bu nedenle elektrik güç sistemlerinde durağan olmayan işlemler gerçekleştirilmelidir. Ring (kapalı) iletim sistemleri, radyal (açık) iletim sistemlerine göre kararlılıkta, iletim kapasitesinde ve güvenilirlikte avantajlara sahiptir. Buna rağmen, kapalı sistemler kısa devre kapasitesinin artması, güç akışının eğilimi ve ani voltaj düşme alanının genişlemesi gibi dezavantajlara da sahiptir.

Bu çalışmada incelenen 154 kV iletim şebekesinin uzun süredir açık sistem olarak çalışan kısmı, tek hatta sahip olan radyal 154 kV Kaynarca ve Karasu Trafo Merkezleri'nin arasında iletim hattının teçhiz edilmesiyle kapalı (ring) sistem olarak çalışacaktır. Kapalı sisteme dönüşen bu şebekede radyal indirici merkezler ve tek hat fideri kaynak durumunda olan indirici merkezler, iki hat fideri de kaynak olabilir duruma gelir. Dolayısıyla bu merkezlerin işletme koşulları, bu işletme koşullarına göre şebeke davranışı, trafo merkezlerinin yüksek gerilim, orta gerilim baralarındaki kısa devre değerleri ve sistem empedanslarının önceki duruma göre değişiminin analiz edilmesi gerekmektedir.

Güç sistemindeki kısa devre akımı değerlerinin değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir, çünkü sistemdeki koruyucu cihazlar kısa devre akımı değerlerine bağlı olarak kurulmaktadır [7]. Kısa devre analizlerinden elde edilen bilgiler sistemde kullanılacak olan koruyucu cihazların güç sisteminde bir arıza olsa bile kaynağın devamını sağlaması için uygun boyut ve tipde olanlarının seçilmesinde kullanılmaktadır. Bu çalışmada incelenen iletim şebekesinin tanıtımı yapılarak

şebekenin MATLAB Simulink alt programında modellenmesi ve çalıştırılması, şebekenin kapalı sisteme dönmesiyle çift taraflı beslenebilen trafo merkezlerinin açık ve kapalı sistem şebeke durumuna göre bara kısa devre incelemesi yapılarak karşılaştırılmış, ayrıca yeni durumdaki sistem empedansları belirlenmiştir.

6.3 İletim Şebekesinin MATLAB (Simulink) ile Modellenmesi

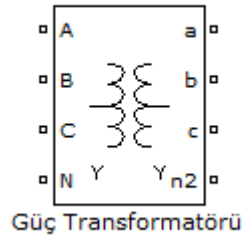
Bilgisayarlı hesaplama araçları güç sistemi dizaynında son yıllarda önemli rol oynamaktadır [20]. Yeterli bilgisayarlı hesaplama araçları üretim mükemmelliğini başarmada ve güç sisteminin işletilmesinde yardımcı olmaktadır. Modelleme ve simülasyon teknikleri güvenilir dizaynları en kısa sürede kavramayı sağlamada ve pahalı teçhizatların hasarlanma risklerini bazı öngörüler sunarak azaltmada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Güç sistemlerinin dijital simülasyonundaki çalışmalar bu alandaki ihtiyacın artması nedeniyle son otuz yıldır yoğun şekilde yapılmaktadır [21]. Şebeke eşitliklerinin formülasyonu ve çözümü için çeşitli yaklaşımlar düşünülmektedir. Değişken durum analizini, düğüm analizini ve geliştirilmiş düğüm analizini içeren ana simülasyon metodları geliştirilmektedir. Bu metodlar farklı simülasyon paketlerinin geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Güç şebekeleri için EMTP, elektronik devreler ve güç elektroniği için SPICE bunlardan popüler olanlarıdır. MATLAB programındaki Power System Blockset (PSB) ise güç sistemlerinin modelinin oluşturulmasının ve simülasyonunun yapılmasını Simulink ortamında sağlayan grafiksel bir araçtır. MATLAB programının son versiyonlarında SimPowerSystems aracı güç sistemi kutucuklarını içermektedir. SimPowerSystems elektrik güç sisteminin modellenmesi ve simülasyonu için eleman kütüphanesi ve analiz araçlarını sağlar [22]. Kütüphaneler üç faz makinelerini, elektrik sürücülerini, iletim sistemleri ve yenilenebilir enerji kaynakları uygulamalarını içeren elektriksel güç elemanlarının modellerini sunar. Harmonik analizi, toplam harmonik bozulmanın hesaplanması, güç akışı ve diğer önemli güç sistemlerinin analizi bu araç kullanılarak yapılabilir. Ayrıca bu aracın modelleri kontrol sistemlerinin geliştirilmesinde ve performansının sınanmasında kullanılabilir.

İletim şebekesinin mevcut şebeke elemanlarının güncel değerleri ile MATLAB programının Simulink alt programı kullanılarak bilgisayar benzetimi yapılmıştır. İletim şebekesinin bilgisayar ortamında modellenmesinde doğru çalışan simülasyonun ve elektriksel değerlerin gerçek verilere uygun olarak elde edilmesi

için şebeke teçhizatlarının karakteristiksel büyüklüklerinin bu teçhizatları simgeleyen bloklara yazılması gerekmektedir. Bu nedenle modellenen sistemde güç transformatörü, iletim hattı gibi şebeke temel elemanlarının gerekli büyüklükleri hesaplanarak programa veri girişi sağlanmıştır.

6.3.1 Güç transformatörü bloğu

İncelenen iletim şebekesinde 25 MVA, 50 MVA ve 100 MVA olmak üzere üç farklı güç tipinde güç transformatörleri bulunmaktadır. Güç transformatörleri iki sargılıdır ve YNyn 0 bağlantı grubuna sahiptir. Bu nedenle Simulink programında bu sargı tipini ve bağlantı grubunu simgeleyen Şekil 6.3’de görülen blok seçilmiştir. Ayrıca bu blokta transformatöre ait elektriksel değerlerin yazılacağı bölümler bulunduğu için her güç büyüklüğüne göre karakteristiksel değerler ayrı ayrı hesaplanmıştır.



Şekil 6.3 : Simulink’te güç transformatörü bloğu.

Blokta transformatörün sargılarına ait sargı direnci ve endüktansı, transformatörün test raporundaki kısa devre kayıp değerinden; nüveye ait manyetik direnç ve endüktans test raporundaki boşa akım ve kayıp değerinden belirlenmiştir.

6.3.1.1 25 MVA güç transformatörü bloğu

Transformatör fabrika test raporunda kısa devre deneyi bilgileri 75° sıcaklıkta kısa devre kaybı $P_k=103342$ W, primer sargı nominal akımı $I_n=93.7$ A, kısa devre gerilimi $V_{kn}=16606$ V olarak bulunmaktadır [23]. (5.1) denkleminde aşağıdaki eşitlik edilir.

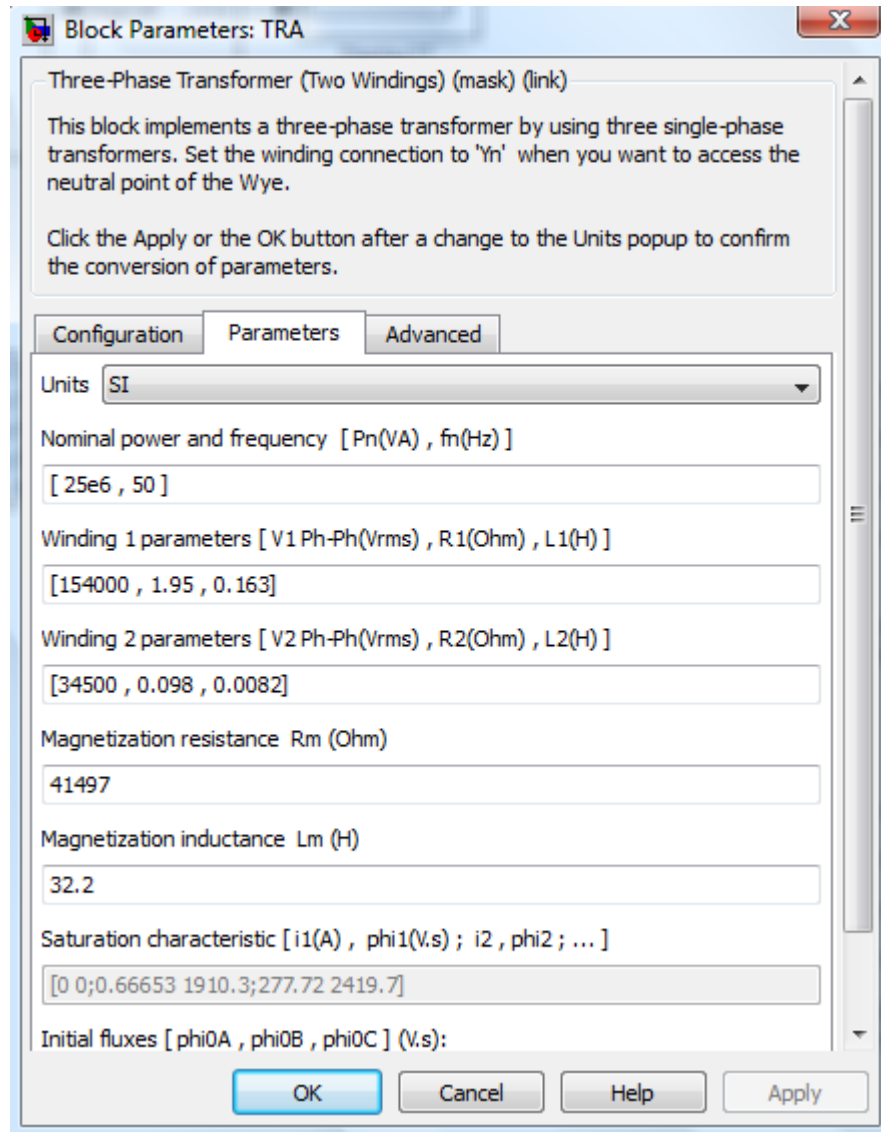
$$\cos\varphi_k = \frac{P_k}{\sqrt{3}V_k I_n} \quad (6.1)$$

Buradan $\cos\varphi_k$ değeri 0.038 olarak bulunur. (5.2) ifadesinden kısa devre empedansı değeri $Z_k=102.3 \Omega$ olarak hesaplanır. (5.3) ve (5.4) denklemlerinden kısa devre sargı direnci $R_k=3.9\Omega$, reaktansı $X_k=102.2 \Omega$ olarak bulunur. Primer sargı direnci ve

primere indirgenmiş sekonder sargı direnci birbirine çok yakın değerde olduğu için eşit kabul edildiğinden primer sargı direnci $r_1=1.95 \Omega$, çevirme oranından hesaplanarak sekonder sargı direnci $r_2=0.098 \Omega$ olarak bulunur. Primer sargı reaktansı ve primere indirgenmiş sekonder sargı reaktansı birbirine çok yakın değerde olduğu için eşit kabul edildiğinden, primer sargı reaktansı $x_1=51.1 \Omega$, çevirme oranından hesaplanarak sekonder sargı reaktansı $x_2=2.56 \Omega$ olarak bulunur.

$$X = 2\pi fL \quad (6.2)$$

(6.2) ifadesinden sargı indüktansı değerleri $L_1=0.163 \text{ H}$, $L_2=0.0082 \text{ H}$ olarak elde edilir. 25 MVA transformatör bloğu parametreler kısmı Şekil 6.4’de gösterilmiştir.



Şekil 6.4 : Simulink’te 25 MVA güç transformatörü bloğu parametreleri.

Boşta çalışma deneyi bilgilerinden manyetik direnç ve endüktans değerleri elde edilir. Transformatör test raporunda, boşta çalışma deneyinde fazlardan farklı boşta çalışma akımları çekildiği görülmektedir. Böylece boşta ortalama akım değeri $I_0=2.03$ A olarak bulunur. Ayrıca raporda boşta kayıp ifadesi $P_0=28700$ W olarak bulunmaktadır. (5.7) denkleminde (6.3) eşitliği elde edilir.

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}V_n I_0} \quad (6.3)$$

Buradan $\cos\varphi_0$ değeri 0.237 olarak bulunur. (5.8) ve (5.9) eşitliklerinden demir kayıplarını ifade eden dirençten geçen akım $I_{fe}=0.48$ A, mıknatıslanma reaktansından geçen akım ise $I_m=1.97$ A olarak bulunur. (5.10) ve (5.11) eşitliklerinden direnç $R_{fe}=41497 \Omega$, mıknatıslanma reaktansı $X_m=10111 \Omega$ olarak elde edilir. Buradan mıknatıslanma endüktansı $L_m=32.2$ H olarak bulunur.

6.3.1.2 50 MVA güç transformatörü bloğu

Transformatör fabrika test raporunda kısa devre deneyi bilgileri 75° sıcaklıkta kısa devre kaybı $P_k=167510$ W, primer sargı nominal akımı $I_n=187.5$ A, kısa devre gerilimi $V_{kn}=14460$ V olarak bulunmaktadır [24]. (6.1) denkleminde $\cos\varphi_k$ değeri 0.036 olarak bulunur. (5.2) ifadesinden kısa devre empedansı değeri $Z_k=44.53 \Omega$ olarak hesaplanır. (5.3) ve (5.4) denklemlerinden kısa devre sargı direnci $R_k=1.6 \Omega$, reaktansı $X_k=44.5 \Omega$ olarak bulunur. Primer sargı direnci ve primere indirgenmiş sekonder sargı direnci birbirine çok yakın değerde olduğu için eşit kabul edildiğinden, primer sargı direnci $r_1=0.8 \Omega$, çevirme oranından hesaplanarak sekonder sargı direnci $r_2=0.04 \Omega$ olarak bulunur. Primer sargı reaktansı ve primere indirgenmiş sekonder sargı reaktansı birbirine çok yakın değerde olduğu için eşit kabul edildiğinden, primer sargı reaktansı $x_1=22.25 \Omega$, çevirme oranından hesaplanarak sekonder sargı reaktansı $x_2=1.12 \Omega$ olarak bulunur. (6.2) ifadesinden primer sargı endüktansı $L_1=0.07$ H, sekonder sargı indüktansı $L_2=0.0036$ H değerleri elde edilir.

Boşta çalışma deneyi bilgilerinden manyetik direnç ve endüktans değerleri elde edilir. Transformatör test raporunda boşta çalışma deneyinde fazlardan farklı boşta çalışma akımları çekildiği görülmektedir. Böylece boşta ortalama akım değeri $I_0=0.629$ A olarak bulunur. Ayrıca raporda boşta kayıp ifadesi $P_0=32290$ W olarak bulunmaktadır. (6.3) eşitliğinden $\cos\varphi_0$ değeri 0.86 olarak bulunur. (5.8) ve (5.9) eşitliklerinden demir kayıplarını ifade eden dirençten geçen akım $I_{fe}=0.54$ A,

mıknatıslanma reaktansından geçen akım ise $I_m=0.32$ A olarak bulunur. (5.10) ve (5.11) eşitliklerinden direnç $R_{fe}=36886.3 \Omega$, mıknatıslanma reaktansı $X_m=62245.6 \Omega$ olarak elde edilir. Buradan mıknatıslanma endüktansı $L_m=198$ H olarak bulunur.

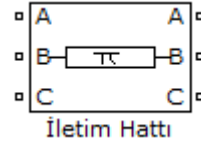
6.3.1.3 100 MVA güç transformatörü bloğu

Transformatör fabrika test raporunda kısa devre deneyi bilgileri 75° sıcaklıkta kısa devre kaybı $P_k=261200$ W, primer sargı nominal akımı $I_n=374.9$ A, kısa devre gerilimi $V_{kn}=19318$ V olarak bulunmaktadır [25]. (6.1) denkleminde $\cos\phi_k$ değeri 0.021 olarak bulunur. (5.2) ifadesinden kısa devre empedansı değeri $Z_k=29.75 \Omega$ olarak hesaplanır. (5.3) ve (5.4) denklemlerinden kısa devre sargı direnci $R_k=0.624 \Omega$, reaktansı $X_k=29.74 \Omega$ olarak bulunur. Primer sargı direnci ve primere indirgenmiş sekonder sargı direnci birbirine çok yakın değerde olduğu için eşit kabul edildiğinden, primer sargı direnci $r_1=0.312 \Omega$, çevirme oranından hesaplanarak sekonder sargı direnci $r_2=0.0156 \Omega$ olarak bulunur. Primer sargı reaktansı ve primere indirgenmiş sekonder sargı reaktansı birbirine çok yakın değerde olduğu için eşit kabul edildiğinden, primer sargı reaktansı $x_1=14.87 \Omega$, çevirme oranından hesaplanarak sekonder sargı reaktansı $x_2=0.746 \Omega$ olarak bulunur. (6.2) ifadesinden primer sargı indüktansı $L_1=0.047$ H, sekonder sargı indüktansı $L_2=0.0024$ H değerleri elde edilir.

Boşta çalışma deneyi bilgilerinden manyetik direnç ve endüktans değerleri elde edilir. Transformatör test raporunda boşta çalışma deneyinde fazlardan farklı boşta çalışma akımları çekildiği görülmektedir. Böylece boşta ortalama akım değeri $I_0=0.8$ A olarak bulunur. Ayrıca raporda boşta kayıp ifadesi $P_0=32790$ W olarak bulunmaktadır. (6.3) eşitliğinden $\cos\phi_0$ değeri 0.704 olarak bulunur. (5.8) ve (5.9) eşitliklerinden demir kayıplarını ifade eden dirençten geçen akım $I_{fe}=0.56$ A, mıknatıslanma reaktansından geçen akım ise $I_m=0.57$ A olarak bulunur. (5.10) ve (5.11) eşitliklerinden direnç $R_{fe}=34641 \Omega$, mıknatıslanma reaktansı $X_m=34033.3 \Omega$ olarak elde edilir. Buradan mıknatıslanma endüktansı $L_m=108.3$ H olarak bulunur.

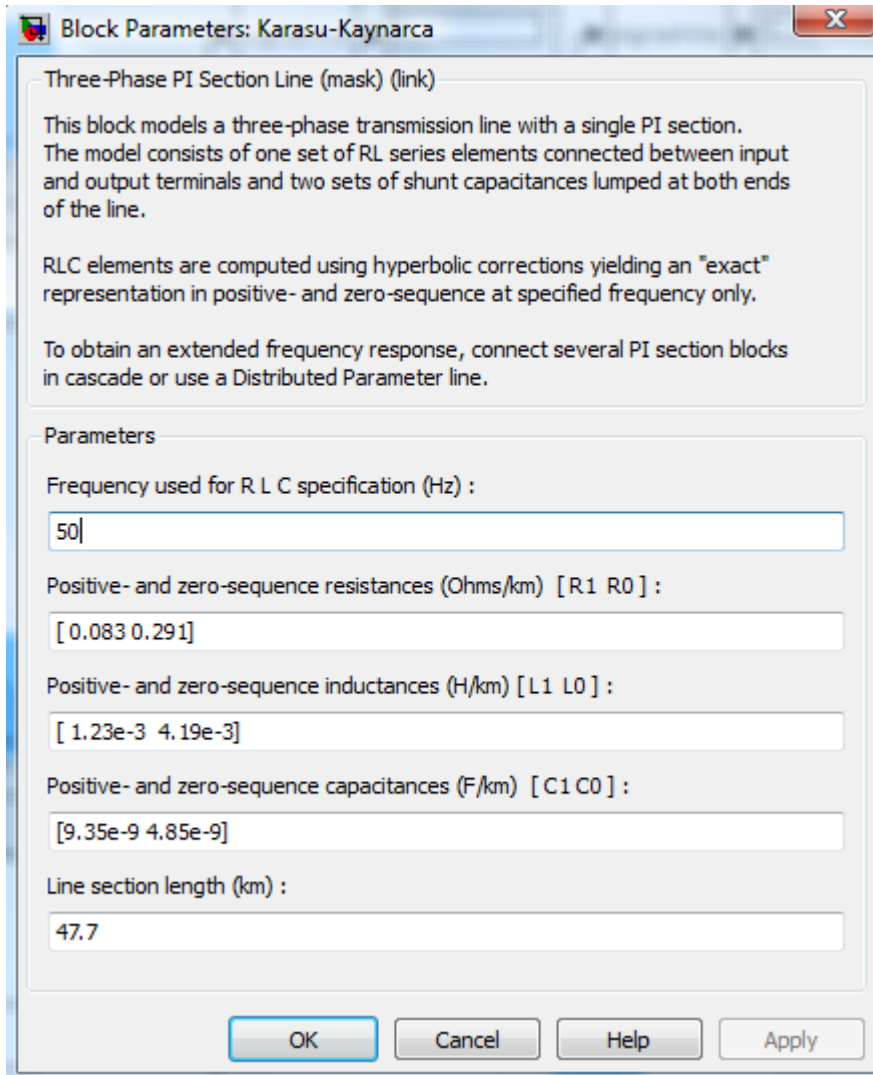
6.3.2 İletim hattı bloğu

Simulink'teki Şekil 6.5'de görülen hat bloğu iletim hattının π eşdeğer devresini modellemektedir. Bloкта kilometre başına hatta ait (5.12) ve (5.13) eşitliklerinde belirtilen direnç, endüktans, kapasitans büyüklüklerinin pozitif, negatif ve sıfır bileşen değerlerinin yazılacağı kısımlar bulunmaktadır.



Şekil 6.5 : Simulink iletim hattı bloğu.

Şekil 6.6'daki hat bloğu parametreler kısmına direnç, (5.12) ve (5.13) denklemleri kullanılarak endüktans ve kapasitans değerleri kilometre başına hesaplanarak veri girişi yapılmıştır.



Şekil 6.6 : Simulink iletim hattı bloğu parametreler bölümü.

TEİAŞ'a ait iletim şebekesindeki havai hatların bilgilerini içeren kitapta, iletim hatlarının uzunluk, kesit bilgileri ve elektriksel karakteristikleri bulunmaktadır.

Çizelge 6.1’de incelenen iletim şebekesine ait hatların mevcut uzunluktaki elektriksel değerleri gösterilmiştir.

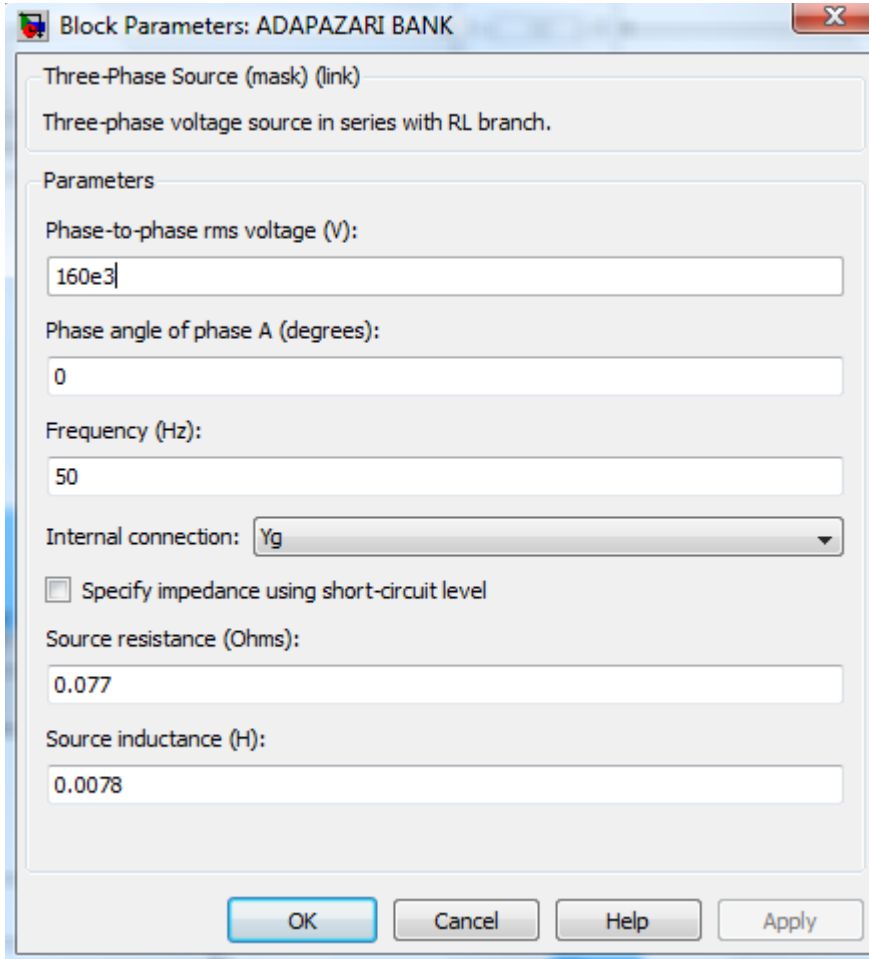
Çizelge 6.1 : İletim hatları bilgisi [26].

Hattın Adı Kesiti (MCM)	Uzunluk (km)	(+ ve (-) bileşen			Sıfır bileşen		
		R (ohm)	X (ohm)	Y (μ mho)	R ₀ (ohm)	X ₀ (ohm)	Y ₀ (μ mho)
Osmanca-Melen (795)	22.7	1.89	8.8	66.7	6.62	29.9	34.6
Melen-Karasu (795)	39.4	3.28	15.25	115.6	11.48	51.8	60
Hendek-Osmanca (477)	42.7	5.7	18.5	111.5	17.3	51.8	82.3
Adapazarı-Sakarya (477)	14.3	1.9	6.2	37.5	6	17.3	29.2
Adapazarı-Hendek (477)	26	3.5	11.2	67.9	10.5	31.5	50.1
Sakarya-Kaynarca (477)	21.55	2.9	9.3	56.5	9	26.1	44.1
Karasu-Kaynarca (1272)	47.7	2.49	18.81	137.3	15.94	57.17	98.7

6.3.3 Güç kaynağı bloğu

Modellenen sistemde 400 kV iletim sistemine bağlı olan Adapazarı ve Osmanca TM 154 kV iletim şebekesini beslemektedir ve güç kaynakları iletim şebekesinin Simulink modelinde bu merkezlerde belirtilmiştir. Simulink’te, güç kaynağı bloğuna şebekenin kaynağı konumunda olan sistemin direnç ve endüktans değerleri girilmiştir. Ek-D’de verilen Şekil D.2 ve Şekil D.3’de bulunan TEİAŞ’ın 2014 yılı yaz puantı kısa devre bilgilerinden, kaynağa ait elektriksel değerler hesaplanmıştır. Kısa devre bilgilerinde Adapazarı ve Osmanca Trafo Merkezleri’nin 154 kV barayı besleyen 380 kV bank fiderlerinin her bir ototrafosunu ayrı değerlendirerek empedans değerleri 380 kV bazında verilmiştir. Empedanslar 380 kV bazda olduğu için önce 154 kV baza çevrilmiş, açı değerinden direnç ve reaktans değerleri bulunmuştur. Bu empedansların paralel eşdeğeri kaynak konumundaki sistemin empedansını vermektedir. Örneğin Adapazarı Trafo Merkezi’nde 250 MVA gücünde 4 ototrafo, 150 MVA gücünde 1 ototrafo bulunmaktadır. 154 kV baradan kaynak sisteme 250 MVA ototrafolardan bakıldığında 154 kV bazda empedans 11.22 Ω , açısı 88.35°, 150 MVA ototrafodan bakıldığında empedans 20.04 Ω , açısı 87.15° görülmektedir. Bu empedansların paralel eşdeğer devresinden Adapazarı Trafo

Merkezi için kaynak direnci 0.077Ω , kaynak endüktansı 0.0078 H bulunmuştur. Kaynağa ait elektriksel değerleri içeren güç kaynağı bloğu parametreler kısmı Şekil 6.7’de görülmektedir. Ayrıca Osmanca Trafo Merkezi için kaynak direnci 0.27Ω , kaynak empedansı 0.022 H bulunmuştur. Böylece Adapazarı Trafo Merkezi sistem empedansı daha küçük olduğu için güçlü kaynak olduğu anlaşılmaktadır. Adapazarı Trafo Merkezi’ndeki Simulink güç kaynağı bloğu parametreler kısmı Şekil 6.7’de gösterilmiştir.

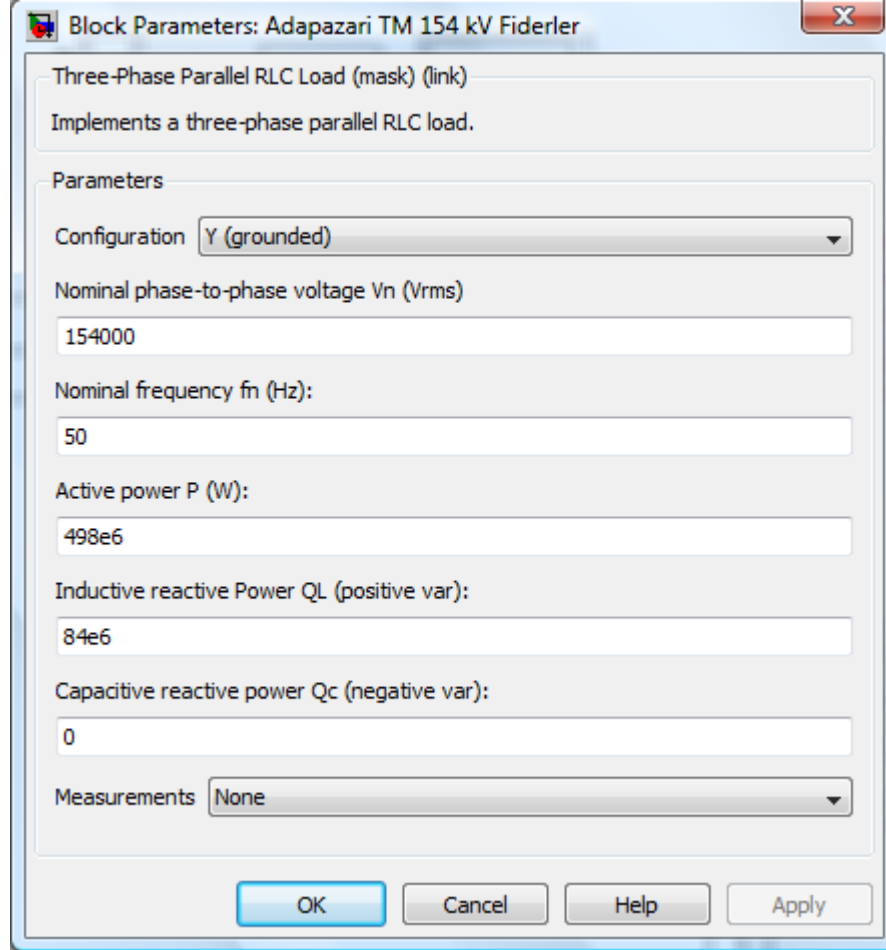


Şekil 6.7 : Simulink güç kaynağı bloğu parametreler bölümü.

6.3.4 Yük bloğu

Yük bloğu direnç, endüktans ve kapasitans elemanlarının oluşturduğu yıldız ya da üçgen bağlı seçilebilen üç fazlı dengeli yükü ifade etmektedir. Şekil 6.8’de yük bloğunun parametreler kısmı gösterilmiştir. Yük bloğunun parametreler kısmına yükün faz arası besleme gerilimi, yükün bağlantı şekli, yüke ait aktif güç (W), endüktif reaktif güç (pozitif var) ve kapasitif reaktif güç (negatif var) değerleri

girilebilmektedir. Şekil 6.8’de yük bloğu parametreler kısmı görülmektedir. Aktif güç sıfır yazıldığında R, endüktif reaktif güç sıfır yazıldığında L, kapasitif reaktif güç sıfır yazıldığında C elemanı yük bloğundan silinmektedir.



Şekil 6.8 : Simulink yük bloğu parametreler bölümü.

Çalışmada yük bloğu trafo merkezlerindeki güç transformatörlerinin beslediği dağıtım sistemini ve ikiden fazla 154 kV iletim hattı fiderine sahip Adapazarı ve Osmanca Trafo Merkezleri’nin modellenen sistemde bulunmayan bağlı bulundukları diğer 154 kV fiderlerle yük alışverişini temsil etmek için kullanılmıştır.

Adapazarı ve Osmanca Trafo Merkezleri’ndeki diğer 154 kV fiderlerin belirli bir zaman dilimi baz alınarak toplam aktif ve reaktif güçleri Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2 : İncelenen şebekede bulunmayan 154 kV fiderlerin güç değerleri.

Trafo Merkezi	Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVar)
Adapazarı	498	84
Osmanca	67	2

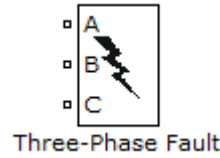
Dağıtım sistemini temsil eden yük blok parametrelerinin güç transformatörlerinin sayaçlarından okunan aktif, endüktif ve kapasitif enerji değerlerinden elde edilen güç değerleri Çizelge 6.3’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.3 : Güç transformatörlerinden çekilen ortalama güç değerleri.

Trafo Merkezi	Güç Transformatörü	Aktif Güç (MW)	Endüktif Reaktif Güç (MVar)	Kapasitif Reaktif Güç (MVar)
Adapazarı	TR-A	51.28	5.14	0
	TR-B	31.85	2.9	0.05
Sakarya	TR-A	15.58	1.03	0.01
	TR-B	26.1	2.66	0
Kaynarca	TR-A	0	0	0
	TR-B	17.3	1.97	0
Karasu	TR-A	36.39	2.59	0.07
	TR-B	0	0	0
Melen	TR-B	0.92	0	1.13
	TR-E	20.09	2.07	0
Osmanca	TR-A	31.97	3.79	0
	TR-B	24.2	2.1	0.11
Hendek	TR-A	26.81	0.83	0.15
	TR-B	26.18	2.12	0

6.3.5 Kısa devre (arıza) bloğu

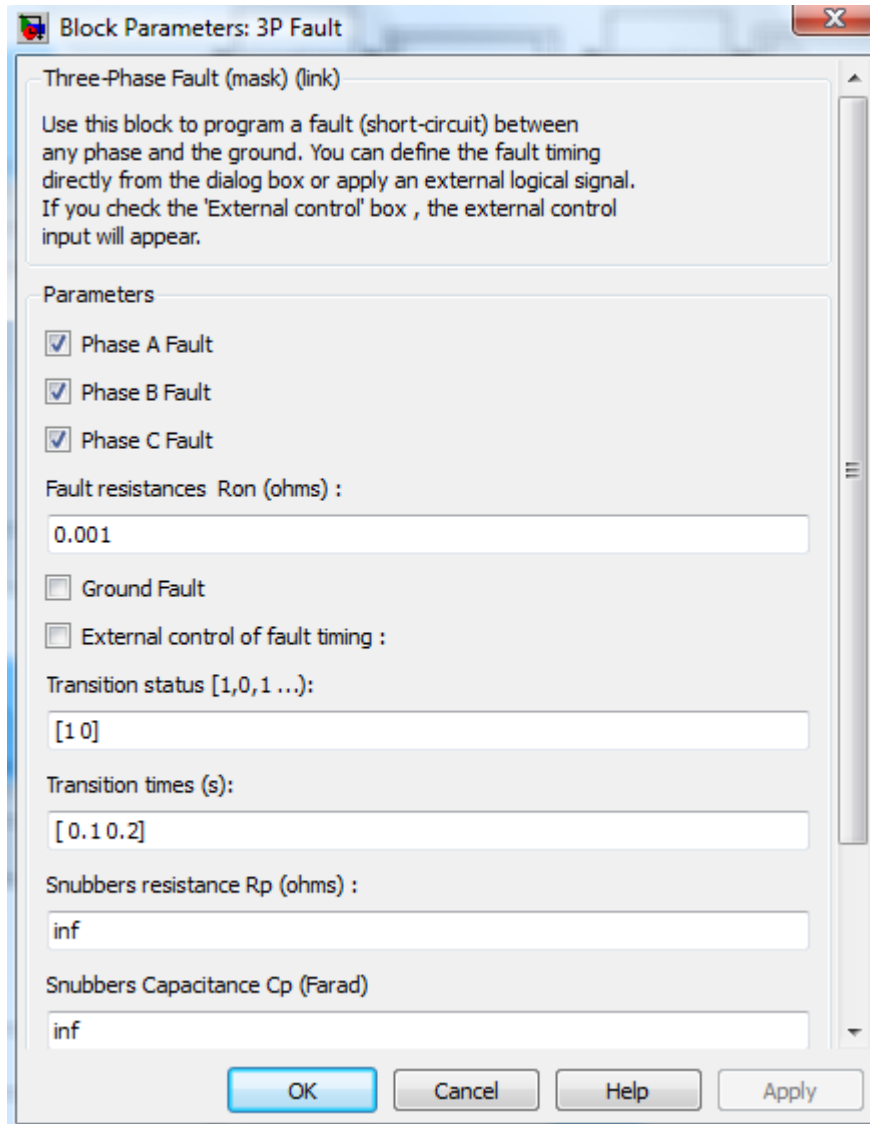
Simulink’te modellenen bir elektriksel sistemde kısa devreler oluşturmak için arıza (fault) bloğu kullanılır. Şekil 6.9’da görülen blok üç elektriksel girişe sahiptir ve tercihen dışarıdan kontrollü arızalar oluşturmak için zamanlayıcı girişi oluşturulabilir. Bloğun her faz girişinin her fazda arıza oluşturulmasa da modellenen sistemdeki fazlara birleştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 6.9 : Simulink arıza bloğu.

Üç faz kısa devre bloğunun kısa devre ile ilgili çeşitli ayarlama seçeneklerinin bulunduğu parametreler kısmı Şekil 6.10’da görülmektedir. Parametreler kısmında A, B, C fazı ve toprak (ground) sekmesi bulunmaktadır. Bu sekmelerden istenileni seçilerek faz-toprak ve faz-faz arızası gibi çeşitli kısa devre türleri oluşturulmaktadır.

(Ground Fault) sekmesi toprak arızası oluşturulmak isteniyorsa seçilmelidir; ancak faz-faz kısa devreleri meydana getirmek isteniyorsa bu sekmeden işaret kaldırılır. R_{on} hata direnci ve R_g toprak direnci 0 olarak ayarlanmamalıdır. 154 kV trafo merkezlerinin toprak direnci yaklaşık 1 Ω değerindedir. Bu nedenle bu çalışmada faz-toprak kısa devre arızalarında $R_g=1 \Omega$ ayarlandı. (Transition status) sekmesi bloğun aktif olmasını göstermektedir. '1' olması arıza meydana gelmesi ve '0' olması ise arızanın bitmesi demektir. (Transition times) sekmesi de (Transition status) sekmesindeki arızanın başlama ve durma zamanlarını belirlemektedir. Ayarlanan süre boyunca blok simülasyonda arıza meydana getirir.



Şekil 6.10 : Simulink 3 faz arıza bloğu parametreler bölümü.

6.4 Açık Sistem Şebeke Durumu İncelemesi

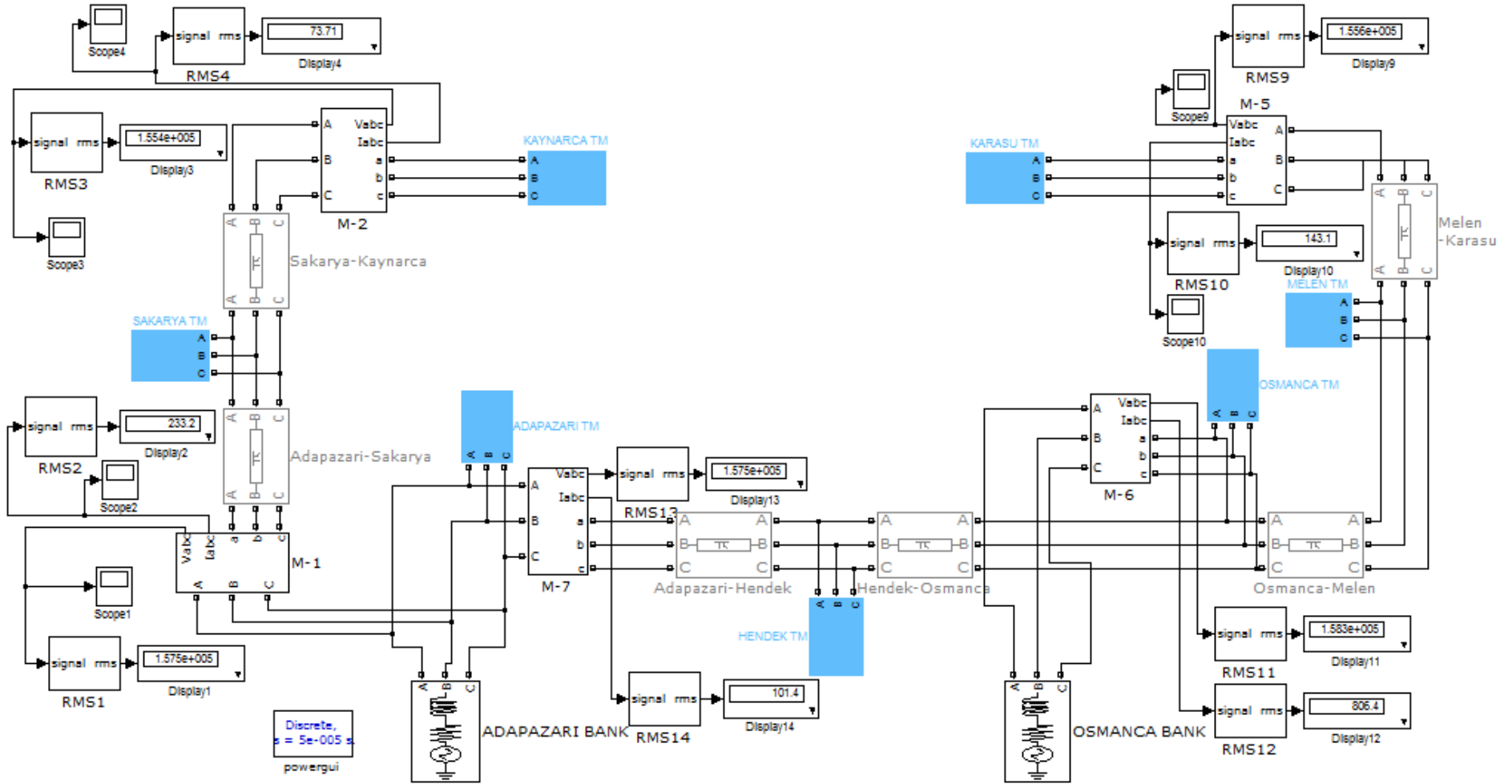
6.4.1 Açık sistem şebeke durumu kısa devre analizi

İncelenen iletim sisteminin açık sistem şebeke durumunda Kaynarca ve Karasu Trafo Merkezleri aralarında teçhiz edilen iletim hattı devreye girinceye kadar tek 154 kV hat fiderine sahip olup radyal (tek taraftan beslenen) trafo merkezleridir. Sakarya ve Melen Trafo Merkezleri ise iki 154 kV hat fiderine sahip olmasına rağmen tek fideri kaynak durumunda olup güç akışı tek yönlüdür. Açık şebeke durumunun simülasyonu yapılarak elde edilen noktasal akım ve gerilim değerlerini içeren Simulink modeli Şekil 6.11’de görülmektedir. İletim şebekesi modelinde Adapazarı ve Osmanca Trafo Merkezleri’nin 154 kV iletim şebekesinin kaynağı konumunda olduğu görülmektedir. Akım yönü Adapazarı Trafo Merkezi’nden Kaynarca Trafo Merkezi’ne doğru ve Osmanca Trafo Merkezi’nden Karasu Trafo Merkezi’ne doğrudur. Hendek Trafo Merkezi ise iki kaynak konumundaki istasyona da bağlı olup, her iki yönden de bu merkeze akım gelmektedir. Ayrıca, tek hat fideri açılrsa bile diğer yönden beslenmeye devam etmesi nedeniyle tek yönden beslenen trafo merkezlerine göre bu durumda avantajlı konumdadır.

Karasu Trafo Merkezi’nin 154 kV barasında oluşturulan kısa devrenin Simulink simülasyonu bulunmaktadır, diğer trafo merkezlerinde de bu şekilde simülasyonlar yapılarak kısa devreler oluşturulmuş ve akım değerleri ölçülmüştür. Bu kısa devreler tek faz-toprak ve üç faz olmak üzere iki çeşittir. Çizelge 6.4’te trafo merkezlerinde oluşan kısa devre akımı değerleri görülmektedir. Çizelge 6.4’te A fazında oluşturulan tek faz-toprak kısa devresi akım değeri ve üç faz kısa devrede A fazı akım değeri bulunmaktadır.

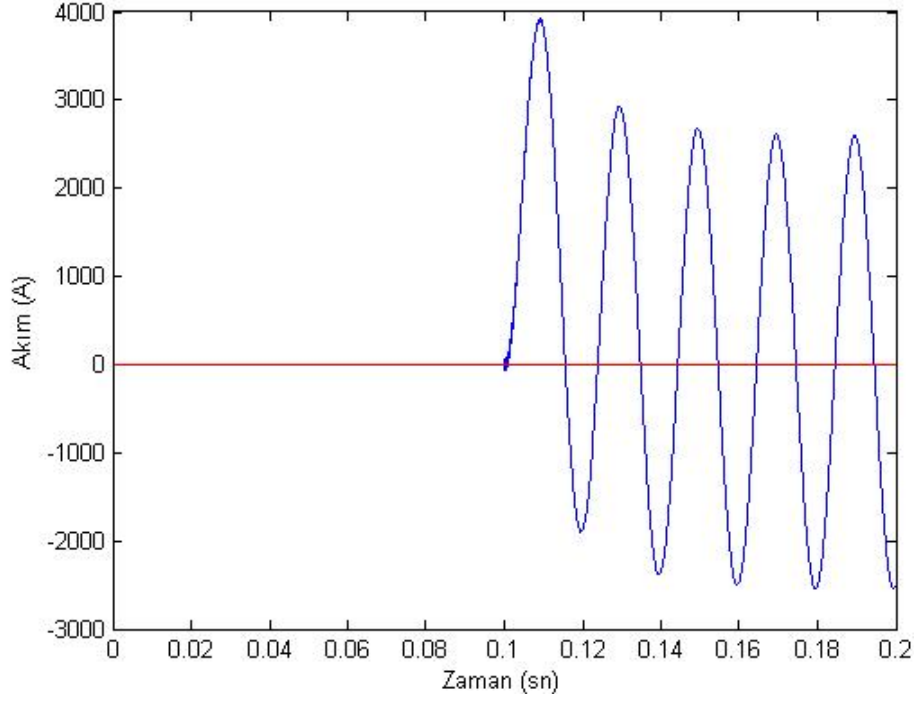
Çizelge 6.4 : Açık sistem şebeke durumunda kısa devre akımı değerleri.

Trafo Merkezi	Faz-Toprak Kısa Devre Akımı (A)	Üç Faz Kısa Devre Akımı (A)
Kaynarca	3176	4925
Karasu	1819	3030
Sakarya	7012	10440
Melen	4101	6254

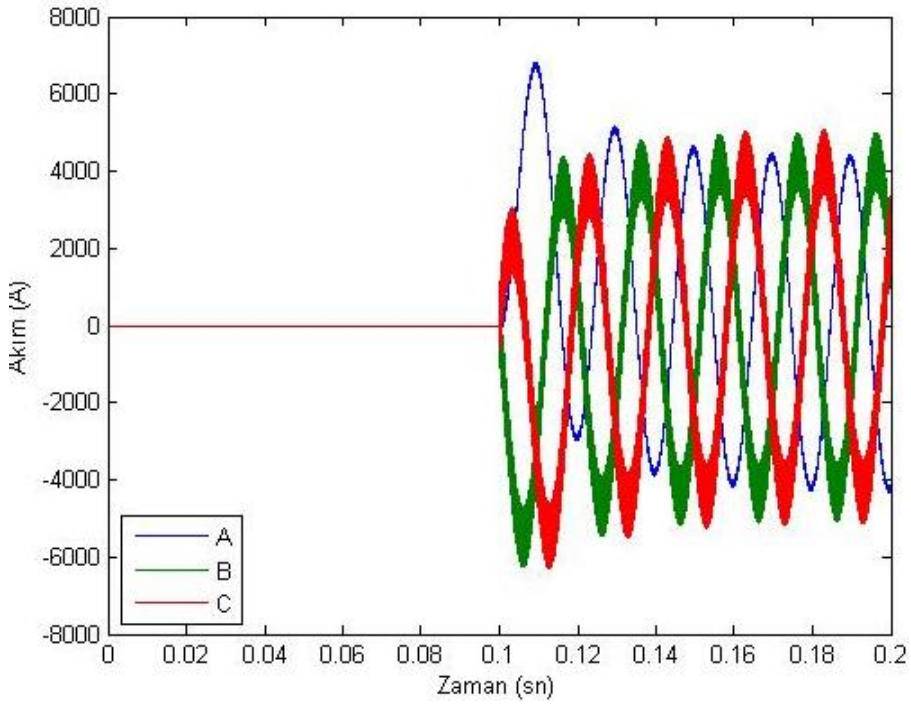


Şekil 6.11 : Simulink’te incelenen iletim şebekesinin açık sistem durumunun modellenmesi.

Ek-A'da Şekil A.1'de verilen açık sistem şebeke durumundaki kısa devre bloğu kullanılarak, iletim şebekesi simülasyonlarında trafo merkezlerinin 154 kV barasında oluşturulan faz-toprak ve üç faz kısa devrelerinin osilografik gösterimleri Şekil 6.12 ve Şekil 6.13'de görülmektedir.



Şekil 6.12 : Açık sistem şebeke durumunda Karasu TM'de faz-toprak arızası.



Şekil 6.13 : Açık sistem şebeke durumunda Karasu TM'de üç faz arızası.

6.4.2 Açık sistem şebeke durumunda gerilim değerleri

İncelenen iletim şebekesinde, kaynak konumundaki merkezler olan Adapazarı ve Osmanca Trafo Merkezleri'nde normal işletme koşullarında faz-faz gerilimleri genellikle aşırı yüklenme ve gece saatleri hariç 157-159 kV arası değerlerde olmaktadır. Simülasyonda arıza öncesi 154 kV bara gerilimi Adapazarı Trafo Merkezi'nde 157.5 kV, Osmanca Trafo Merkezi'nde 158.3 kV değerindedir. Kaynarca ve Karasu Trafo Merkezleri kaynak konumundaki trafo merkezlerine daha uzak olduğu için bara gerilimleri, Sakarya ve Melen Trafo Merkezleri'ne göre daha düşük olmaktadır. Çizelge 6.5'de kısa devre analizi yapılan merkezlerin arıza öncesi, Adapazarı ve Osmanca Trafo Merkezleri'nin ise üç faz kısa devre esnasında faz-faz 154 kV bara gerilimleri bulunmaktadır.

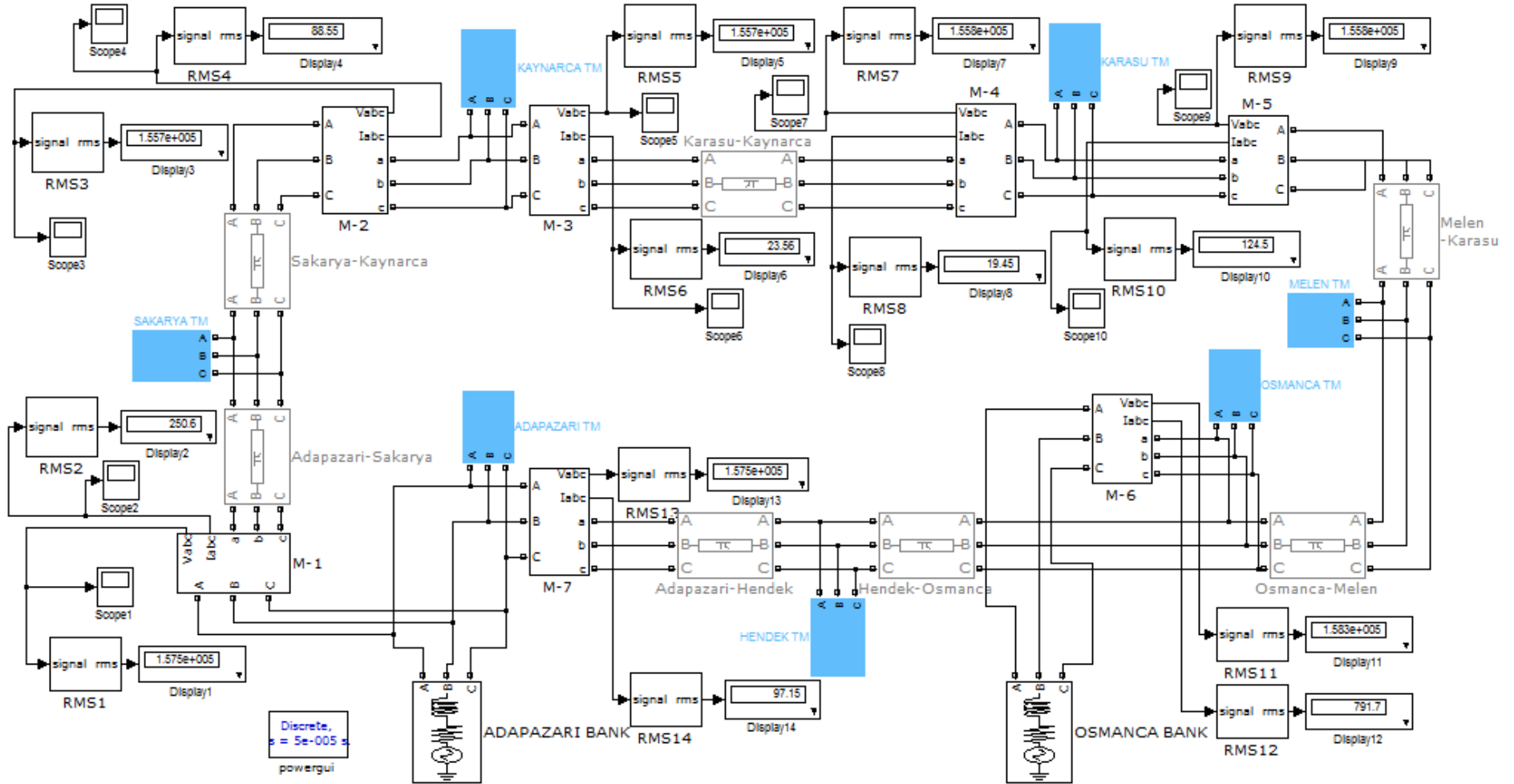
Çizelge 6.5 : Açık şebeke durumunda merkezlerin 154 kV bara gerilim değerleri.

Kısa Devre Noktası	Arıza Öncesi Bara Gerilimi (kV)	Arıza Anında Adapazarı TM Bara Gerilimi (kV)	Arıza Anında Osmanca TM Bara Gerilimi (kV)
Kaynarca	155.4	138.6	155
Karasu	155.6	155.4	128.9
Sakarya	156.2	117.2	151.3
Melen	157.1	153.2	97.2

6.5 Kapalı Sistem Şebeke Durumunda Farklı Koşulların İncelemesi

6.5.1 Kapalı sistem şebeke durumunda farklı koşullar için kısa devre analizi

Kaynarca ve Karasu Trafo Merkezleri arasında tesis edilen iletim hattının devreye girmesiyle iletim şebekesi kapalı sisteme dönüşmektedir. Bu durumda, incelenen iletim şebekesinde tek yönden beslenen istasyon kalmayarak bütün trafo merkezleri her iki hat fiderinden de enerji alabilir konuma gelmiştir. Şekil 6.14'de kapalı şebeke durumunun Simulink modeli oluşturularak sistemin simülasyonu yapılmış, simülasyon anındaki noktasal akım ve gerilim değerlerini içeren Simulink modeli görülmektedir. Kapalı şebeke durumunda incelenen trafo merkezleri sahip oldukları iki 154 kV hat fiderinden de beslenebilmektedir. Kapalı sistem şebeke durumunda akım yönü baradan hat yönüne olan fiderde akım yönü değişerek arıza noktasına doğru olmaktadır.



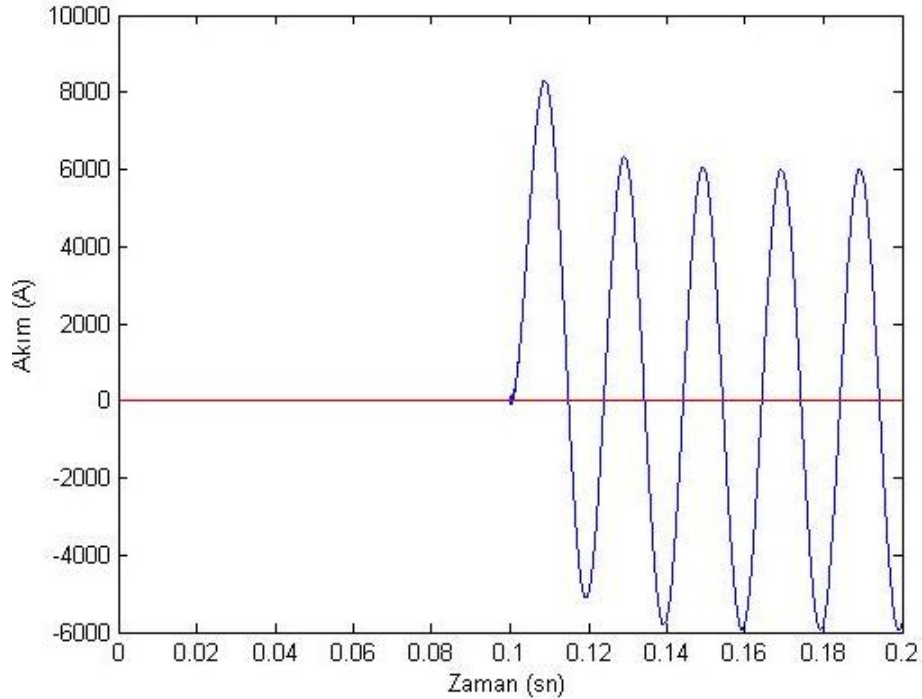
Şekil 6.14 : Simulink’te incelenen iletim şebekesinin kapalı sistem durumunun modellenmesi.

Ek-A'da Şekil A.2'de verilen kapalı sistem şebeke durumundaki arıza bloğu kullanılarak Kaynarca Trafo Merkezi'nin 154 kV barasında oluşturulan kısa devrenin Simulink simülasyonu bulunmaktadır. Diğer trafo merkezlerinde de bu şekilde simülasyonlar yapılarak kısa devreler oluşturulmuş ve akım değerleri ölçülmüştür. Çizelge 6.6'da trafo merkezlerinde oluşan kısa devre akımı değerleri görülmektedir. Tek faz-toprak kısa devresinde arıza A fazında oluşturulmuştur ve Çizelge 6.6'te bulunan tek faz-toprak ve üç faz kısa devresi akımı A fazı akım değerleridir.

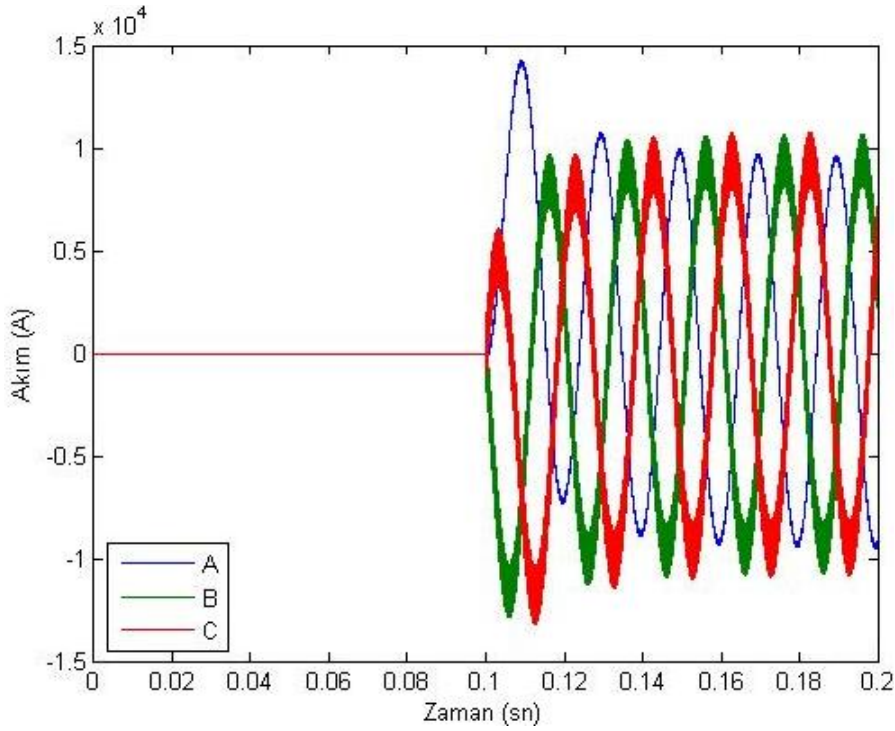
Çizelge 6.6 : Kapalı sistem şebeke durumunda kısa devre akımı değerleri.

Trafo Merkezi	Faz-Toprak Kısa Devre Akımı (A)	Üç Faz Kısa Devre Akımı (A)
Kaynarca	4225	6689
Karasu	3265	5386
Sakarya	7845	11830
Melen	5061	7856

Kapalı sistem şebeke durumu simülasyonlarında oluşturulan faz-toprak ve üç faz kısa devrelerinin osilografik gösterimi elde edilmiştir. Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'da Kaynarca Trafo Merkezi 154 kV barasındaki arıza akımları görülmektedir. Karasu, Sakarya, Melen Trafo Merkezleri'nin arıza akımlarının osilografik gösterimleri Ek B'de bulunan Şekil B.7-B.12'de gösterilmiştir.



Şekil 6.15 : Kapalı sistem şebeke durumunda Kaynarca TM'de faz-toprak arızası.



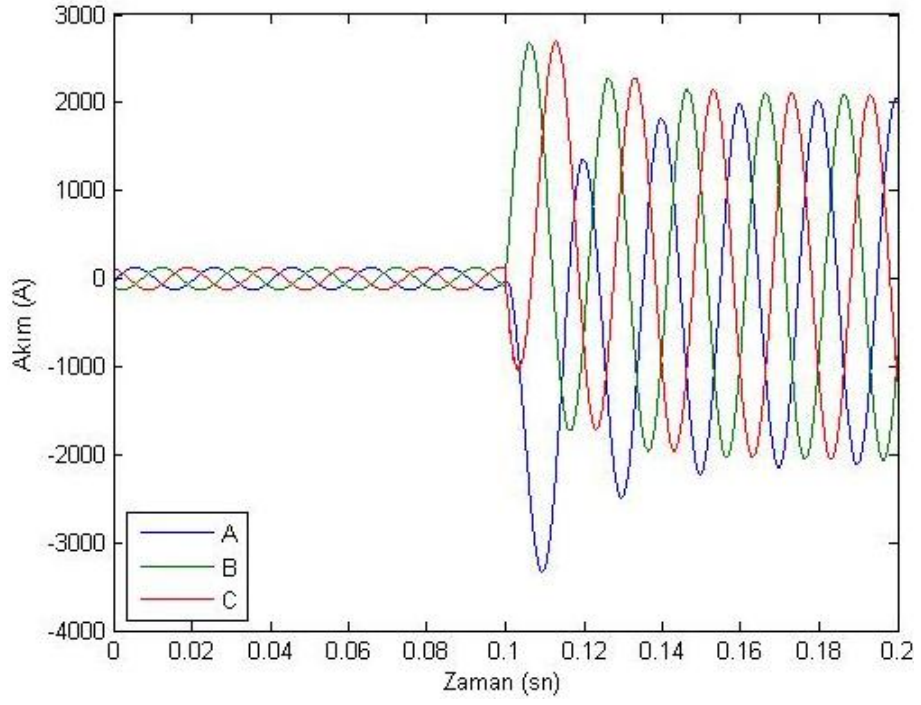
Şekil 6.16 : Kapalı sistem şebeke durumunda Kaynarca TM’de üç faz arızası.

Kapalı sistem şebeke durumunda trafo merkezleri iki hat fiderinden de beslendiği için, merkezlerin 154 kV barasında kısa devre meydana geldiğinde her iki hat fideri de arıza noktasını beslemektedir. Arıza esnasında trafo merkezinin 154 kV barasına gelen akımların A fazı değeri ve bu akımların geldiği hat fideri adları Çizelge 6.7’de bulunmaktadır.

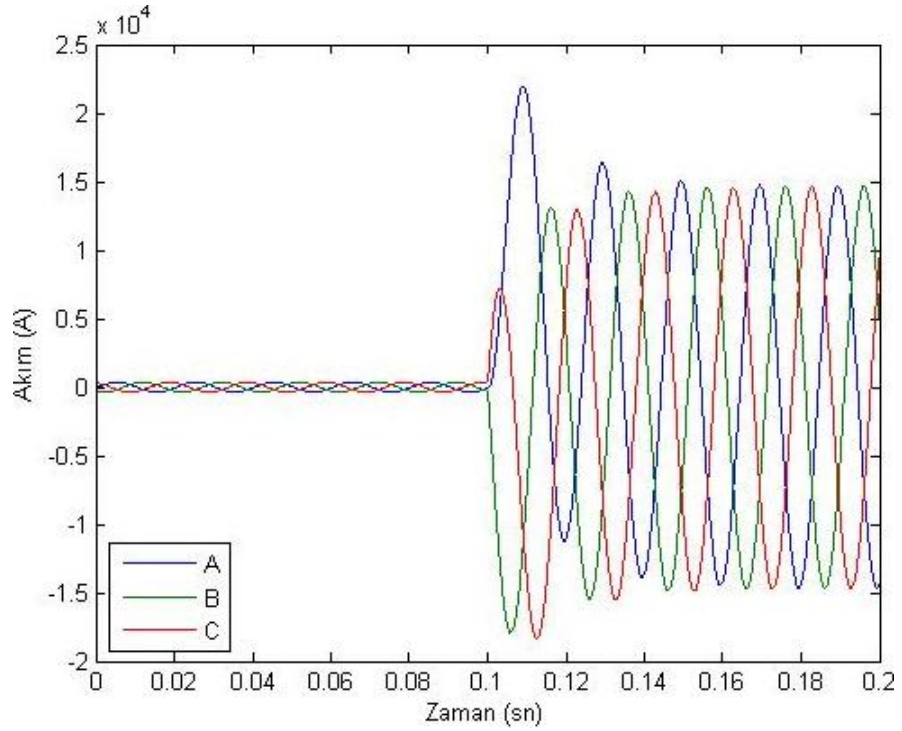
Çizelge 6.7 : Kapalı sistem şebekede hat fiderlerinden gelen kısa devre akımları.

Trafo Merkezi	Faz-Toprak Kısa Devre Akımı (A)	Üç Faz Kısa Devre Akımı (A)
Kaynarca	Sakarya Fideri: 3139	Sakarya Fideri: 4886
	Karasu Fideri: 1106	Karasu Fideri: 1813
Karasu	Kaynarca Fideri: 1459	Kaynarca Fideri: 2388
	Melen Fideri: 1835	Melen Fideri: 2998
Sakarya	Kaynarca Fideri: 902	Kaynarca Fideri: 1469
	Adapazarı Fideri: 6982	Adapazarı Fideri: 10370
Melen	Karasu Fideri: 990	Karasu Fideri: 1647
	Osmanca Fideri: 4086	Osmanca Fideri: 6208

Sakarya Trafo Merkezi’nin 154 kV barasında üç faz kısa devre arızası meydana geldiğinde Kaynarca Hat Fideri’nden arıza noktasına gelen akımların osilografik gösterimi Şekil6.17’de, Adapazarı Hat Fideri’nden arıza noktasına gelen akımların osilografik gösterimi Şekil 6.18’de bulunmaktadır.



Şekil 6.17 : Sakarya TM’de oluşan üç faz arızasında Kaynarca fideri akımları.



Şekil 6.18 : Sakarya TM’de oluşan üç faz arızasında Adapazarı fideri akımları.

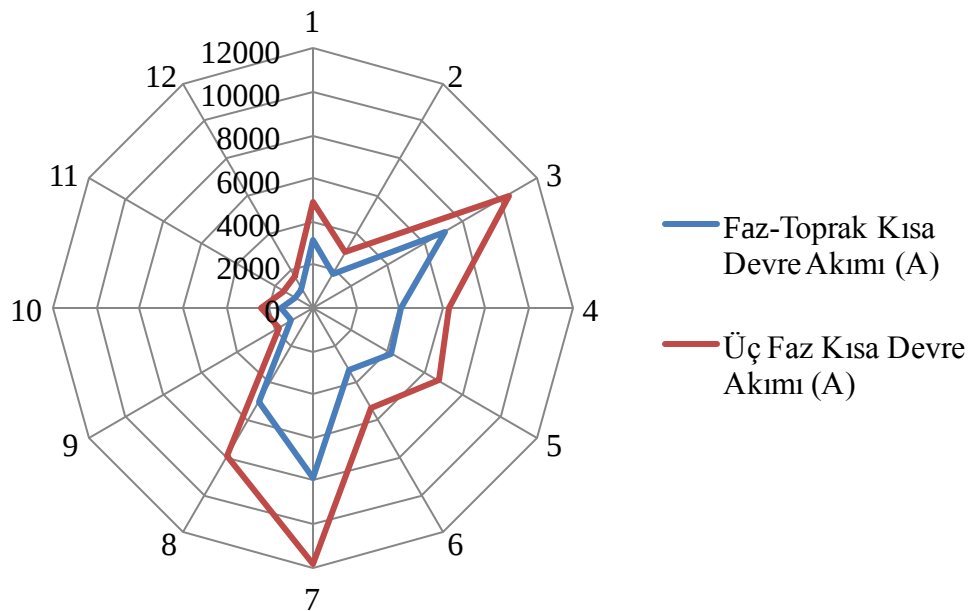
Açık sistem şebeke durumunda tek hat fiderinden beslenen trafo merkezleri yeni hat devreye alınca önceki durumda beslenemediği fiderden de enerji alabilecektir. Bu durumda, trafo merkezlerinin enerji alması tek fidere bağımlı durumdan çıkarak

diğer hat fideri alternatif duruma gelir. İletim şebekesinde incelenen trafo merkezlerinin sistemin açık sistem şebeke durumunun incelendiği kısımda beslenemediği hat fiderinden enerji alması koşullarının Simulink modelleri Ek A'da bulunan Şekil A.3-A.6'da gösterilmiştir. Bu koşullarda trafo merkezlerinin 154 kV barasında faz-toprak ve üç faz kısa devre simülasyonları sonucu elde edilen A fazı akım değerleri açık olan hat fideri belirtilerek Çizelge 6.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.8 : Alternatif fiderden beslenildiğinde oluşan kısa devre akımları.

Trafo Merkezi	Faz-Toprak Kısa Devre Akımı (A)	Üç Faz Kısa Devre Akımı (A)
Kaynarca (Sakarya açık)	1115	1854
Karasu (Melen açık)	1489	2422
Sakarya (Adapazarı açık)	943	1541
Melen (Osmanca açık)	1007	1701

Şekil 6.19'da görülen grafikte, trafo merkezlerinin (Kaynarca, Karasu, Sakarya, Melen sırasıyla) açık sistem şebeke durumu: 1, 2, 3, 4 ; kapalı sistem şebeke durumu: 5, 6, 7, 8 ; alternatif fiderden beslenme durumu: 9, 10, 11, 12 sayılarıyla belirtilerek, bu koşullarda 154 kV barasındaki faz-toprak ve üç faz kısa devre akımlarının A fazı değerleri gösterilmiştir.



Şekil 6.19 : Trafo merkezlerinin 154 kV barasındaki arıza akımları grafiği.

6.5.2 Kapalı sistem şebeke durumunda farklı koşullar için gerilim değerleri

Simülasyonda iletim şebekesi kapalı (ring) sistem durumunda, arıza öncesi 154 kV bara gerilimi Adapazarı Trafo Merkezi'nde 157.5 kV, Osmanca Trafo Merkezi'nde 158.3 kV değerindedir. Çizelge 6.9'da arıza öncesi bara gerilim değeri, kısa devre analizi yapılan merkezlerin her iki fiderinin kapalı olma durumu koşulunda sistemde kısa devre meydana gelmeden önceki 154 kV bara gerilim değeridir. Adapazarı ve Osmanca Trafo Merkezleri'nin ise üç faz kısa devre arızası anındaki faz-faz 154 kV bara gerilimi değerleri bulunmaktadır.

Çizelge 6.9 : Kapalı sistem şebekede merkezlerin 154 kV bara gerilim değerleri.

Kısa Devre Noktası	Arıza Öncesi Bara Gerilimi (kV)	Arıza Anında Adapazarı TM Bara Gerilimi (kV)	Arıza Anında Osmanca TM Bara Gerilimi (kV)
Kaynarca	155.7	137.5	137.5
Karasu	155.8	146.2	127.6
Sakarya	156.3	116.5	137
Melen	157.2	146.8	96.46

Ancak, trafo merkezleri şebekenin açık sistem durumunda enerji alamadığı alternatif fiderlerden beslenince 154 kV bara gerilimleri önceki duruma göre farklı olmaktadır. Çizelge 6.10'da kısa devre analizi yapılan merkezlerin ilk durumda enerji aldığı hat fiderlerinin açık pozisyonunda, sadece alternatif fiderlerden beslendiği durumdaki arıza öncesi 154 kV bara gerilim değeri merkez isimleri yanında, Adapazarı ve Osmanca Trafo Merkezleri'nin ise üç faz kısa devre faz-faz 154 kV bara gerilimlerinin arıza öncesi ve sonrası değerleri bulunmaktadır.

Çizelge 6.10 : Alternatif fiderden beslenildiğinde oluşan bara gerilimleri.

Kısa Devre Noktası Arıza Öncesi Bara Gerilimi (kV)	Adapazarı TM Bara Gerilimi (kV)		Osmanca TM Bara Gerilimi (kV)	
	Arıza Öncesi	Arıza Sonrası	Arıza Öncesi	Arıza Sonrası
Kaynarca (152.8) (Sakarya açık)	157.6	156.4	158	140.4
Karasu (152.2) (Melen açık)	157.3	148.2	158.8	157.2
Sakarya (146.8) (Adapazarı açık)	157.7	156.7	157.3	143.4
Melen (154.9) (Osmanca açık)	157.2	150.9	158.9	157.8

6.6 Trafo Merkezlerinin Orta Gerilim Barasında Kısa Devre Analizi

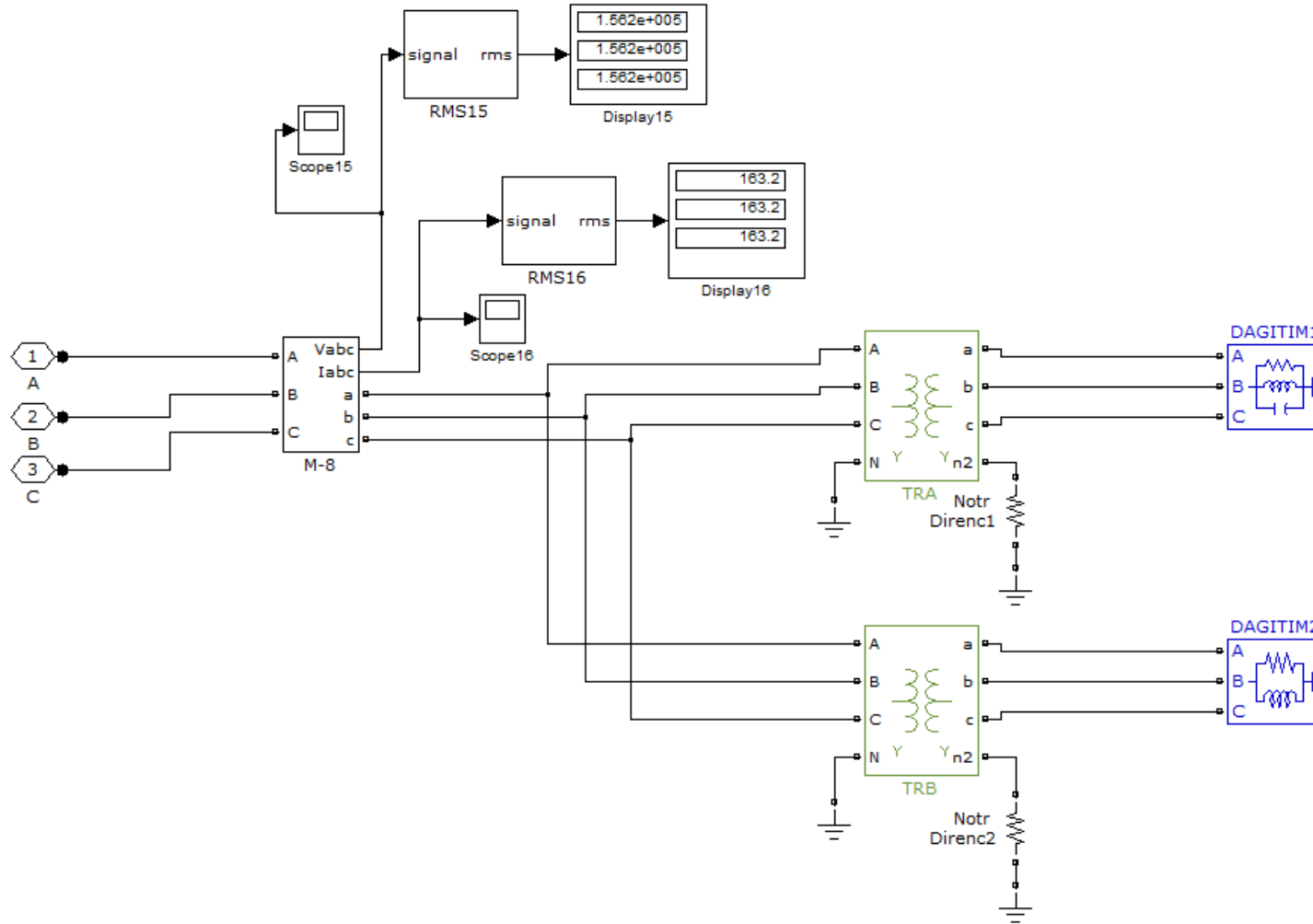
Kısa devre incelemesi yapılan trafo merkezlerinden Melen hariç diğerlerinin orta gerilim baraları TEİAŞ'ın işletmesinde olup, 34.5 kV gerilim seviyesindedir. İncelenen iletim şebekesinin kapalı sistem durumuna dönüşmesiyle trafo merkezlerinin sistem empedansı da değişmiştir. Orta gerilim barasındaki kısa devrede trafo empedansı ve sistem empedansı etkili olmaktadır.

İncelenen iletim şebekesinde trafo merkezlerinin alt sistem modelleri bulunmaktadır. Şekil 6.20'de örnek olarak Sakarya Trafo Merkezi'ne ait alt sistem modeli gösterilmiştir. Modeller trafo merkezinin güç transformatörü ve yükten oluşan yapıdır ve önceki kısımda açık ya da kapalı sistem durumları incelenen Simulink şebeke modellerindeki trafo merkezi kutucuklarıdır.

Trafo merkezi alt sistem kutucuğunda oluşturulmuş üç faz kısa devre simülasyonu görülen Ek-A'da bulunan Şekil A.7'deki Simulink modeli gibi Kaynarca, Karasu ve Sakarya Trafo Merkezleri'nin alt sistem kutucuklarının orta gerilim (34.5 kV) barasında Simulink'te üç faz kısa devreleri oluşturulmuştur. Kısa devreler 154 kV bara arıza incelemelerinde olduğu gibi, iletim sisteminin açık ve kapalı durumuna göre her bir koşul için ayrı tespit edilmiştir. Güç transformatörlerinin sekonder tarafı yıldız noktası nötr direnç (20Ω) üzerinden topraklı olduğu için faz-toprak hata akımları 1000 A akım değernin altında oluşmaktadır, bu şekilde farklı şebeke durumlarına göre oluşan arıza akımları arasındaki fark çok büyük olmamaktadır. Bu nedenle sadece üç faz kısa devrelerin simülasyonu yapılmıştır. Çizelge 6.11'de orta gerilim baralarındaki üç faz kısa devre akımlarının A fazı değerleri trafo merkezinin hat fiderlerinin açık veya kapalı olma pozisyonu belirtilmiş olarak bulunmaktadır.

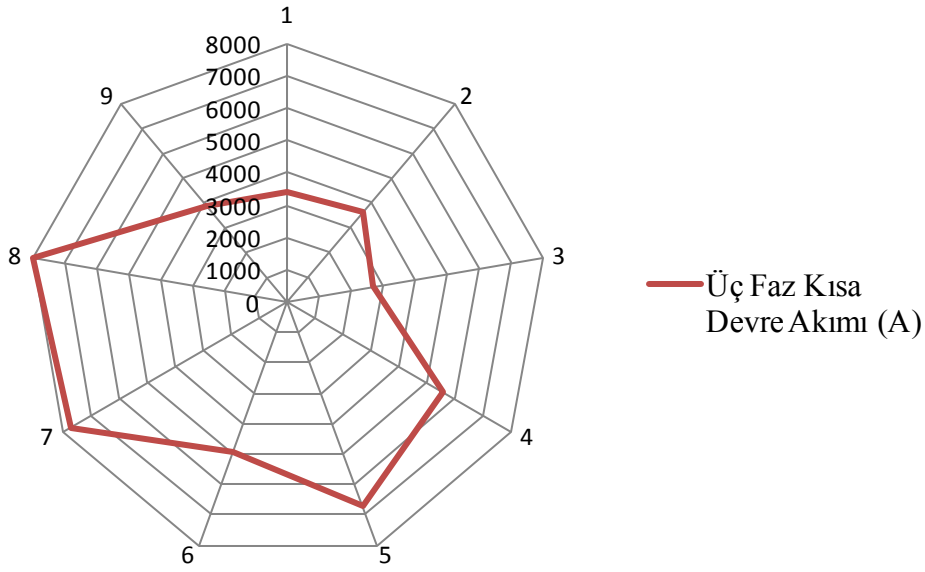
Çizelge 6.11 : Orta gerilim barasındaki üç faz kısa devre akımları.

Trafo Merkezi	Trafo Merkezi Hat Fideri Durumu	Orta Gerilim Barasında Oluşan Üç Faz Kısa Devre Akımı (A)
Kaynarca	Karasu açık (1)	3405
Kaynarca	Fiderler Kapalı (2)	3602
Kaynarca	Sakarya açık (3)	2699
Karasu	Kaynarca açık (4)	5507
Karasu	Fiderler Kapalı (5)	6708
Karasu	Melen açık (6)	4939
Sakarya	Kaynarca açık (7)	7778
Sakarya	Fiderler Kapalı (8)	7974
Sakarya	Adapazarı açık (9)	3865



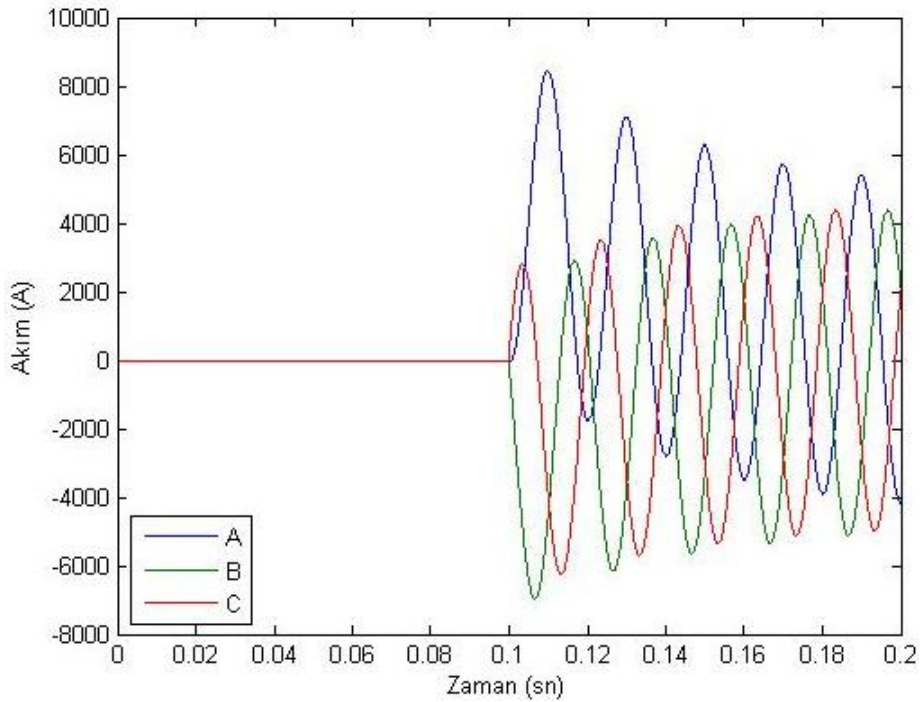
Şekil 6.20 : Simulink modellerinde görülen Sakarya Trafo Merkezi (Sakarya TM) kutucuğunun iç yapısının gösterimi.

Şekil 6.21’de OG baradaki üç faz arızası akımlarının A fazı değeri grafiği gösterilmiştir. Grafikteki koşullara verilen numaralar Çizelge 6.11’de bulunmaktadır.

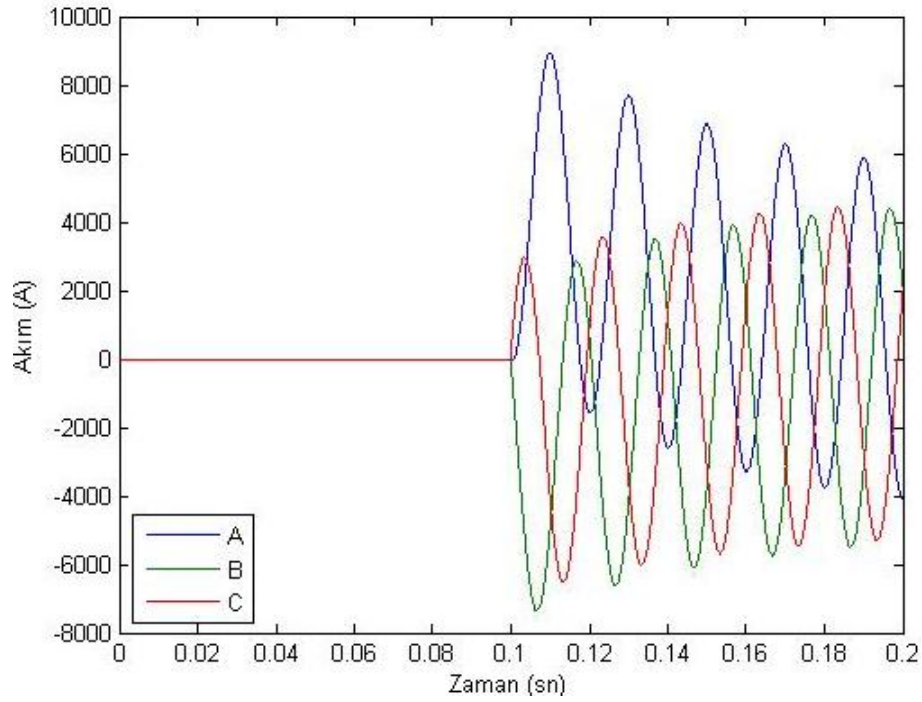


Şekil 6.21 : Trafo merkezlerinin orta gerilim barasında oluşan kısa devre grafiği.

Şekil 6.22 ve Şekil 6.23’de Kaynarca Trafo Merkezi’nin orta gerilim barasındaki üç faz kısa devresi akımlarının osilografik gösterimi bulunmaktadır. Karasu ve Sakarya Trafo Merkezleri’ne ait gösterimler Ek-B’de Şekil B.13-B.16’da yer almaktadır.



Şekil 6.22 : Açık sistem şebekede Kaynarca TM OG barası üç faz arızası akımları.



Şekil 6.23 : Kapalı sistem şebekede Kaynarca TM OG barası üç faz arızası akımları.

6.7 Maksimum Gerilim Seviyesinde Arıza Akımları ve Sistem Empe dansları

İletim şebekesinde sistem işletme gerilimi sabit değerde değildir, yükün puant durumuna ve sistem şartlarına göre değişiklik gösterir. Bu nedenle iletim şebekesinde sistem elemanları seçilirken ve kısa devre hesapları yapılırken işletme geriliminin maksimum ve minimum şartları değerlendirilmelidir. Dolayısıyla elektrik sisteminde oluşan kısa devre akımı değerleri de gerilim değerine göre farklılık göstermektedir.

Genellikle, üç fazlı sistemlerde bütün fazlarda aynı anda meydana gelen arıza olan üç faz kısa devresindeki akım kullanılarak iki farklı genlik değerinde akım hesaplanır [27]. Bu kısa devre akımları maksimum ve minimum kısa devre akımıdır. Maksimum kısa devre akımı elektrik teçhizatlarının kapasitesini ve sınıfını belirler. Minimum kısa devre akımı ise sigorta seçiminde, koruma cihazlarının ayar değerlerinin belirlenmesinde ve motorların çalıştırılması ve yol almasının incelenmesinde kullanılmaktadır.

Elektriksel sistemde kısa devre hesaplarında, kaynak gerilimi ve sisteme ait elemanları ifade eden empedans değerleri kullanılır. Kısa devre akımının hesaplanmasında kullanılan kaynak geriliminin maksimum ve minimum değerini c gerilim faktörü katsayısı belirler. IEC 60038'a göre en büyük ve en küçük kısa devre

akımı hesaplanmasında kullanılan c gerilim faktörü bilgileri Çizelge 6.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.12 : En büyük ve en küçük arıza akımı hesabındaki gerilim faktörü (c).

Nominal İşletme Gerilimi	Gerilim Katsayısı	
	C_{max}	C_{min}
Alçak Gerilim 100 V - 1000 V (230 V/400)	1.05	0.95
Orta Gerilim >1 kV - 35 kV	1.10	1.00
Yüksek Gerilim >35 kV	1.10	1.00

Önceki kısımlarda iletim şebekesinin açık ve kapalı sistem durumlarının analizi genel işletme koşullarındaki gerilim baz alınarak yapıldı. Maksimum kısa devre akımı hesaplanmasında $c_{max}=1.1$ olduğu için kaynak gerilimi yaklaşık 170 kV olmaktadır. Simulik’te kaynak gerilimi bu değer alınarak yapılan açık ve kapalı sistem şebeke durumu simülasyonları sonucu elde edilen üç faz kısa devresinde A fazı akım değerleri Çizelge 6.13’de bulunmaktadır.

Çizelge 6.13 : En büyük üç faz kısa devresi akımları.

Trafo Merkezi	Açık Sistem Üç Faz Kısa Devre Akımı (A)	Kapalı Sistem Üç Faz Kısa Devre Akımı (A)
Kaynarca	5232	7107
Karasu	3220	5723
Sakarya	11090	12570
Melen	6645	8347

Kısa devre noktası ve kısa devre akımının kaynağı arasındaki eşdeğer empedansın hesaplanması arıza akımlarının analizinin en kapsamlı kısmıdır [28]. Eşdeğer empedans, arızalı baradan istasyona bakıldığında görülen toplam hat empedansını, transformatör empedansını ve istasyonun yüksek gerilim barasında belirlenen sistem eşdeğer empedansını içerir. Eşdeğer empedansın hesaplanması arıza noktası ile istasyon arasındaki yolu işaret eder. Bu yol iletim hatları ve transformatörlerin oluşturduğu birçok fiderin birleşmesinden meydana gelir. Bu kısımda hesaplanan sistem empedansı ise trafo merkezinin yüksek gerilim barasında hesaplanan eşdeğer empedanstır. Bir trafo merkezine ait sistem empedansı trafo merkezinin yüksek gerilim barasında, alçak gerilim barasında ya da beslediği dağıtım fiderlerinde

oluşabilecek kısa devrelerin hesabında eşdeğer empedans olarak kullanılır. Bu nedenle sistem empedansının değeri kısa devrelerin büyüklüğünde önemli unsurlardan biridir. Sistem empedansı küçük olan merkez kuvvetli kaynaktır ve barasında ya da beslediği dağıtım fiderlerinde oluşan kısa devre akımı daha yüksektir. 154 kV trafo merkezinin pozitif sistem empedansı eşdeğer gerilim kaynağı değerinin 154 kV bara üç faz kısa devre akımına bölünmesiyle elde edilmektedir. Çizelge 6.14’de incelenen iletim şebekesindeki kısa devre analizi yapılan trafo merkezlerinin maksimum kısa devre akım değerlerindeki A fazı akımı referans alınarak hesaplanan, şebekenin açık ve kapalı sistem durumuna göre güç transformatörlerinden önceki Thevenin eşdeğer empedansı olan sistem empedansı değerleri bulunmaktadır.

Çizelge 6.14 : Trafo merkezleri sistem empedansı.

Trafo Merkezi	Açık Sistem Şebekede Empedans (Ω)	Kapalı Sistem Şebekede Empedans (Ω)
Kaynarca	18.76	13.81
Karasu	30.48	17.15
Sakarya	8.85	7.8
Melen	14.77	11.76

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

İncelenen şebekede, hem açık sistem hem de kapalı sistem şebeke durumunda kaynak konumundaki trafo merkezlerine yakın konumda olması nedeniyle en büyük bara kısa devre akımları Sakarya ve Melen Trafo Merkezleri'nde meydana gelmektedir. İletim şebekesinin kapalı sistem şebeke durumunda açık sistem şebeke durumuna göre Kaynarca, Karasu, Sakarya ve Melen Trafo Merkezleri'nin 154 kV barasında oluşabilecek faz-toprak ve üç faz kısa devrelerinin akımı artmıştır. Bu artış tek faz-toprak kısa devre arızası için Kaynarca Trafo Merkezi'nde %33, Karasu Trafo Merkezi'nde %79.5, Sakarya Trafo Merkezi'nde %12, Melen Trafo Merkezi'nde %23.4; üç faz kısa devre arızası için aynı merkez sırasıyla %35.8, %77.8, %13.3, %25.6 olarak gerçekleşmiştir. Bu verilere iletim şebekesinin kapalı sisteme dönüşmesiyle tek faz-toprak ve üç faz kısa devre akımı değerlerinde oransal en büyük artış Karasu Trafo Merkezi'nde, en küçük artış Sakarya Trafo Merkezi'nde meydana gelmiştir.

Orta gerilim barasında da iletim şebekesinin kapalı sisteme dönüşmesiyle üç faz kısa devre akımları artmıştır. Bu artış Kaynarca Trafo Merkezi'nde %5.8, Karasu Trafo Merkezi'nde %21.8 ve Sakarya Trafo Merkezi'nde %2.5 olarak gerçekleşmiştir. Dolayısıyla orta gerilim barasında da kısa devre akımında oransal en büyük artış Karasu Trafo Merkezi'nde gerçekleşmiştir. En büyük artışın bu merkezde gerçekleşmesinde, açık sistem şebeke durumunda merkezin kaynağa toplam 62.1 km iletim hattı uzunluğu ile kaynağa en uzak merkez olması ve Adapazarı Trafo Merkezi'ne göre daha az güçlü kaynak olan Osmanca Trafo Merkezi'nden beslenmesidir.

İletim sistemi şalt teçhizatı için kısa devre arıza akımına dayanma kapasitesi 400 kV için 63 kA, 154 kV için 31,5 kA'dır. 33 kV gerilim seviyesinde de kısa devre arıza akımları 16 kA ile sınırlandırılır [29]. Orta gerilimden sadece üretim tesislerinin bağlı olduğu 400/33 kV merkezlerde 33 kV gerilim seviyesinde kısa devre arıza akımı 25 kA ile sınırlandırılır. Kapalı sistem şebeke durumunda bara kısa devre akımı değerleri bu sınır değerlerin altında kaldığı için, trafo merkezlerinin şalt

tesislerindeki mevcut teçhizatların kısa devre akımı dayanımı kapasitesi yeterlidir ve bu teçhizatların bu nedenle yenilenmesi gerekmemektedir.

Trafo merkezlerinin bara sistem empedansı değeri kapalı sistem şebeke durumunda azalmıştır. Sistem empedansı değerinin düşmesiyle trafo merkezleri daha güçlü merkez konumuna ulaşmışlardır. Kapalı şebeke durumunda sistem empedansı oransal en çok azalan Karasu Trafo Merkezi'dir. Trafo merkezlerinin orta gerilim barasındaki ve bu baraya bağlı orta gerilim fiderlerinin beslediği dağıtıma ait ya da özel kabinlerdeki kısa devre hesaplarında sistem empedansı da kullanılmaktadır. Trafo fiderleri, orta gerilim fiderleri ve bu fiderlere bağlı kabinlerdeki aşırı akım rölelerinin akım ayar eşiği bu hesaplara göre belirlenmektedir. Sistem empedansları değiştiği için, röle ayar ve koordinasyonu gözden geçirilerek yeni durum için ani veya sabit zamanlı açma akımı eşik değerleri belirlenmelidir.

Açık sistem şebeke durumunda Kaynarca ve Karasu Trafo Merkezleri radyal merkez oldukları ve bu merkezlerin arkalarında herhangi bir kaynak olmadığı için mesafe röleleri aktif rol oynamamaktadır. Kapalı şebeke durumunda ise bu merkezlerin her iki hat fiderinde de mesafe rölesi arıza esnasında çalışacak duruma gelmiştir. Ayrıca, Kaynarca-Karasu İletim Hattı'nın devreye girmesiyle Sakarya ve Melen Trafo Merkezleri'nin ileri kademesi bu yöne bakan mesafe rölelerinin, karşı merkezi aşan kademe ayarları yeniden hesaplanarak oluşturulmalıdır. Açık sistem şebeke durumunda tek yönden beslenen trafo merkezlerindeki, Adapazarı ve Osmanca Trafo Merkezleri'nde Sakarya ve Melen Hat Fiderleri'ndeki mesafe rölelerinde karşı merkezin radyal olması nedeniyle tek faz tekrar kapama devrede değildir. Yeni durumda ise hem bu hat fiderlerinde hem de incelenen dört trafo merkezinde tek faz tekrar kapama devreye alınabilir. 154 kV iletim sistemindeki tek faz tekrar kapamada, röle 1. kademe bölgesinde oluşan faz-toprak arızasında arızanın olduğu fazın kesici kutbunu 1 sn süreyle açıp kapatır ve bu süre sonunda arıza kesildiyse kesici kapalı konumda kalır; eğer devam ediyorsa röle nihai açmaya giderek hat kesicisini açtırır. İletim sisteminde en yüksek oranda gerçekleşen ve çoğu geçici karakterde olan tek faz-toprak kısa devrelerinde tekrar kapama gerçekleşerek hattaki güç akışının devamı sağlanır.

Kapalı sistem şebeke durumunda merkezler her iki hat fiderinden beslenebildiği için, tek hat fiderinin bakım veya arıza nedeniyle açılması sonucu diğer hat fiderinden enerji almaya devam edilmektedir; ayrıca şebekenin farklı varyasyonlar şeklinde

işletilmesi de mümkün olmaktadır. Bu durum incelenen bu iletim şebekesinde enerji arzı güvenilirliğini arttırmıştır. Ancak, şebekedeki bir önceki durumda tek hat fiderinden beslenebilen merkezleri yeni durumda alternatif fiderden beslemek istendiğinde, bu şartlarda işletilen şebekede kaynağa uzak konumda olan merkezlerde bir önceki duruma göre bara gerilimi düşmektedir. Örneğin; kapalı sistem şebeke durumunda Sakarya Trafo Merkezi'ne Adapazarı Hat Fideri açılarak Kaynarca Hat Fideri'nden enerji almak gerektiğinde ya da Adapazarı Hat Fideri kesicisinin hattaki arıza sonucu açarak merkez tek hatta kaldığında bara geriliminin 146.8 kV değerine kadar düştüğü bu koşulun modelinin oluşturulduğu Simulink simülasyonu sonucu görülmüştür. Kaynarca, Karasu ve Melen Trafo Merkezleri'ne de sadece alternatif fiderden enerji verildiğinde bara gerilimleri düşmektedir; ancak en büyük düşüş Sakarya Trafo Merkezi'nin barasında gerçekleşmektedir. Bu durum için güç transformatörlerinin çıkış bara gerilimini sabit ve istenilen seviyede tutmak gerekliliği sebebiyle transformatör kademe şalteri ayarı ihtiyacı oluşmuştur.

Açık sistem şebekede tek taraflı beslenen merkezlerde, kapalı sistem şebeke durumunda kısa devre meydana geldiğinde hata akımı değerleri önceki duruma göre daha yüksek olduğu için, kaynak konumundaki Adapazarı ve Osmanca Trafo Merkezleri'nin 154 kV barasında gerilim düşümü daha fazla olmaktadır. İşletme koşullarında ise şebekedeki önceki durumda tek taraflı beslenen merkezlerde bara gerilimi biraz daha yükselmiştir. Ayrıca, bu merkezlerde sistemdeki bozucu etkilerden, harmoniklerden ve gerilim dalgalanmalarından etkilenme azalarak, kapalı sistem durumunun sunduğu avantaj neticesinde enerji kalitesi artmıştır.

İletim şebekesinde Adapazarı-Sakarya ve Sakarya-Kaynarca İletim Hatları'nın kesiti 477 MCM'dir. Osmanca-Melen Hattı açık şekilde şebeke işletilmek istenildiğinde dört trafo merkezinin bu hatlar üzerinden enerji alması gerekmektedir. Bu iletken tipinin kış şartlarında akım taşıma kapasitesi 740 A; yaz şartlarında 540 A'dir. Bu merkezlerde artan enerji talebiyle bu iki hattın gelecekte akım sınırlarının bu eşikleri geçebilme olasılığına karşı bu hatlardaki iletkenlerin kesit değeri daha yüksek olan iletkenlerle değiştirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Saini, M., Mahd Zin, A. A., Mustafa M. W., Sultan, A. R.** (2012). Fault analysis using PSCAD/EMTDC for 150 kV South Sulawesi Transmission System, *IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications*, Bondung, Indonesia, 23-26 Eylül.
- [2] **Boonsuwan, K. ve Hoonchareon, N.** (2012). Power system model reduction for short-circuit currents estimation, *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology 9th International Conference*, Phetchaburi, Thailand, 16-18 Mayıs.
- [3] **Kakilli, A.** (2013). System analysis with the MVA Method for symmetrical three-phase faults. *TEM Journal*. Cilt 2, Sf. 51-56.
- [4] **Li, H., Bose, A., Zhang Y.** (2012). On-line short-circuit current analysis and preventive control to extend equipment life. *IET Generation, Transmission&Distribution*. Cilt 7, Sf. 69-75.
- [5] **Nilsson, M.** (2010). Short-circuit analysis of the onsite electric power system at Ringhals Unit 4, (Master of Science Thesis), Chalmers University of Technology, Sweeden.
- [6] **Chen, T., Huang, W., Gu, J., Pu, G., Hsu Y., Guo, T.** (2004). Feasibility study of upgrading primary feeders from radial and open-loop to normally closed loop arrangement. *IEEE Transactions on Power Systems*. Cilt 19, Sf. 1308-1316.
- [7] **Kaur, D., Bath, S. K., Sidhu, D.S.** (2014). Short circuit fault analysis of electrical power system using MATLAB. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering*. Cilt 9, Sf. 89-100.
- [8] **Glover, J. D., Sarma, M. S., Overbye, T. J.** (2008). Power System Analysis and Design. Cengage Learning, Stamford.
- [9] **Kaşıkcı, İ.** (2007). Elektrik Tesislerinde Kısa Devre Hesapları ve Uygulamaları IEC 60909. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [10] **Küçük, S.** (2005). Elektrik Tesislerinde Arızalar. Tüpraş, Kocaeli.
- [11] **Zhang, B. ve Yan, Z.** (2011). Advanced Electric Power Network Analysis. Cengage Learning, Singapore.
- [12] **ALSTOM** (2002). Network Protection&Automation Guide. Cayfosa, Barcelona, Spain.
- [13] <http://www.yarbis1.yildiz.edu.tr/web/userCourseMaterials/okur_ecd0e26c1b54bd74d65154fd027e2d9f.pdf>, alındığı tarih: 18.02.2015.
- [14] **Arifoğlu, U.** (2002). Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi. Alfa Yayınları, İstanbul.
- [15] **Kundur, P.** (1994). Power System Stability and Control. McGraw-Hill, New York.

- [16] **Kaya, A.** (2013). Elektrik Tesisleri. Alstom, Gebze .
- [17] <<http://www.sakaryateias.gov.tr/?Id=2&SubId=1>>/>, alındığı tarih: 06.04.2015
- [18] **TEİAŞ** (2014). Türkiye Enterkonnekte Elektrik Sistemi Haritası.
- [19] **Takeshita, M. ve Sugihara, H.** (2002). Effect of fault current limiting of UPFC for power flow control in loop transmission, *Asia Pacific Transmission and Distribution Conference and Exhibition*, **3**, Sf. 2032-2036.
- [20] **Huang, Q., Schulz, N. N., Wu, J., Haupt, T., Srivastava, A. K.** (2008). Power system decoupled simulation in MATLAB/SIMULINK, 40th North American Power Symposium, Calgary, Alberta, Canada, 28-30 Eylül.
- [21] **Sybille, G. ve Le-Huy, H.** (2000). Digital simulation of power systems and power electronics using the MATLAB/Simulink Power System Blockset, Power Engineering Society Winter Meeting, **4**, 2973-2981.
- [22] <<http://www.mathworks.com/products/simpower/>>, alındığı tarih: 13.04.2015
- [23] **AEG ETİ** (1983). Muayene Raporu (25 MVA Güç Transformatorü).
- [24] **AEG ETİ** (1994). Deney Raporu (50 MVA Güç Transformatorü).
- [25] **AREVA** (2009). Deney Raporu (100 MVA Güç Transformatorü).
- [26] **TEİAŞ** (2014). Türkiye Ulusal Elektrik Ağındaki Havai Hatların Trafoların ve Genaratörlerin Elektriki Karakteristikleri.
- [27] **IEC 60909-0** (2001). Short-circuit currents in three-phase a.c. systems. *International Standard*, Part: 0.
- [28] **Selvan, M. P. ve Swarup, K. S.** (2008). Unbalanced distribution system short circuit analysis-an object-oriented approach, IEEE Region 10 Conference, Hyderabad, India, 19-21 Kasım.
- [29] **EPDK** (2014). Elektrik Şebeke Yönetmeliği.

EKLER

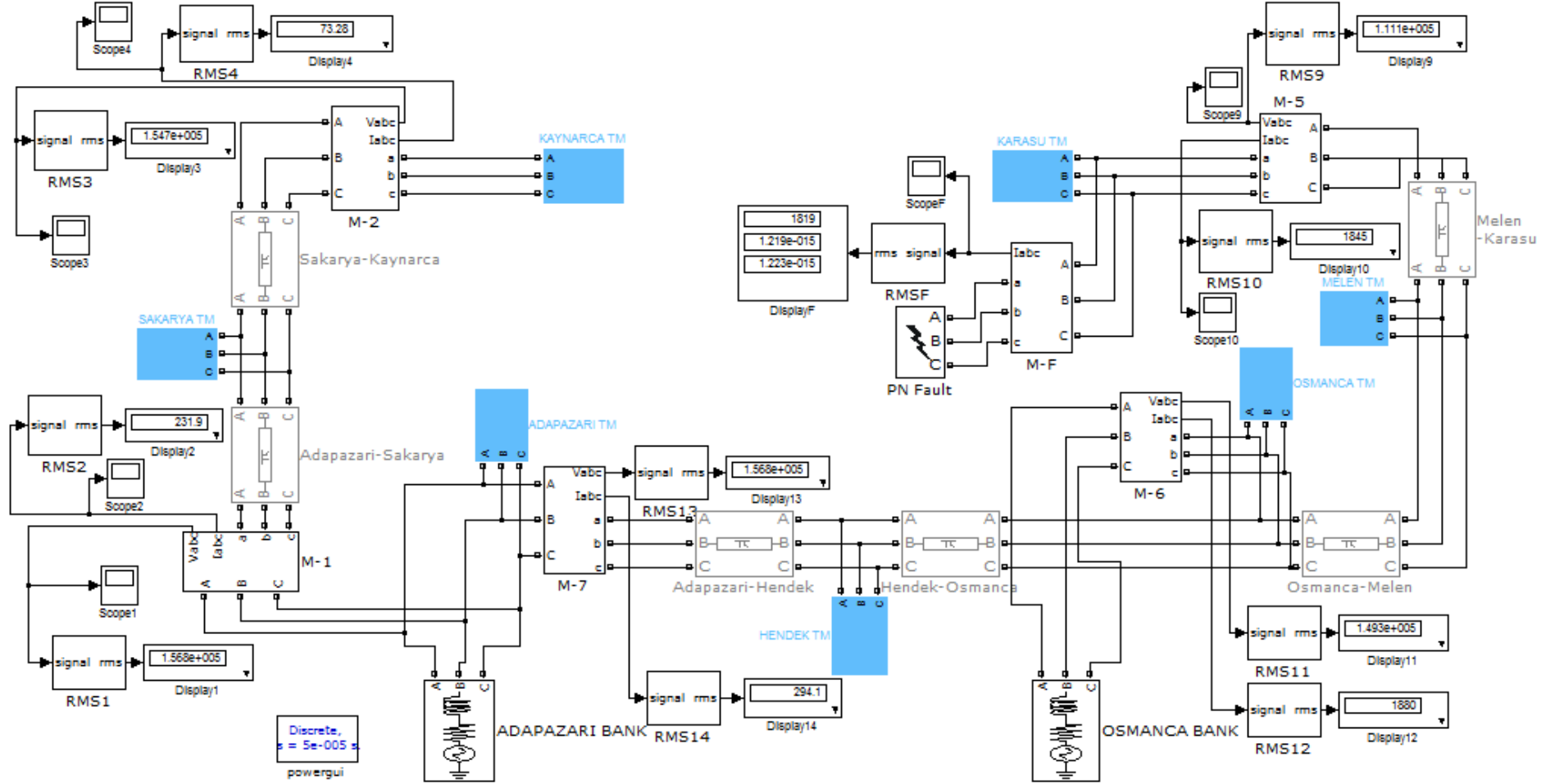
EK A: İncelenen İletim Şebekesinin Simulink modelleri

EK B: Trafo Merkezleri Kısa Devre Akımlarının Osilografik Gösterimleri

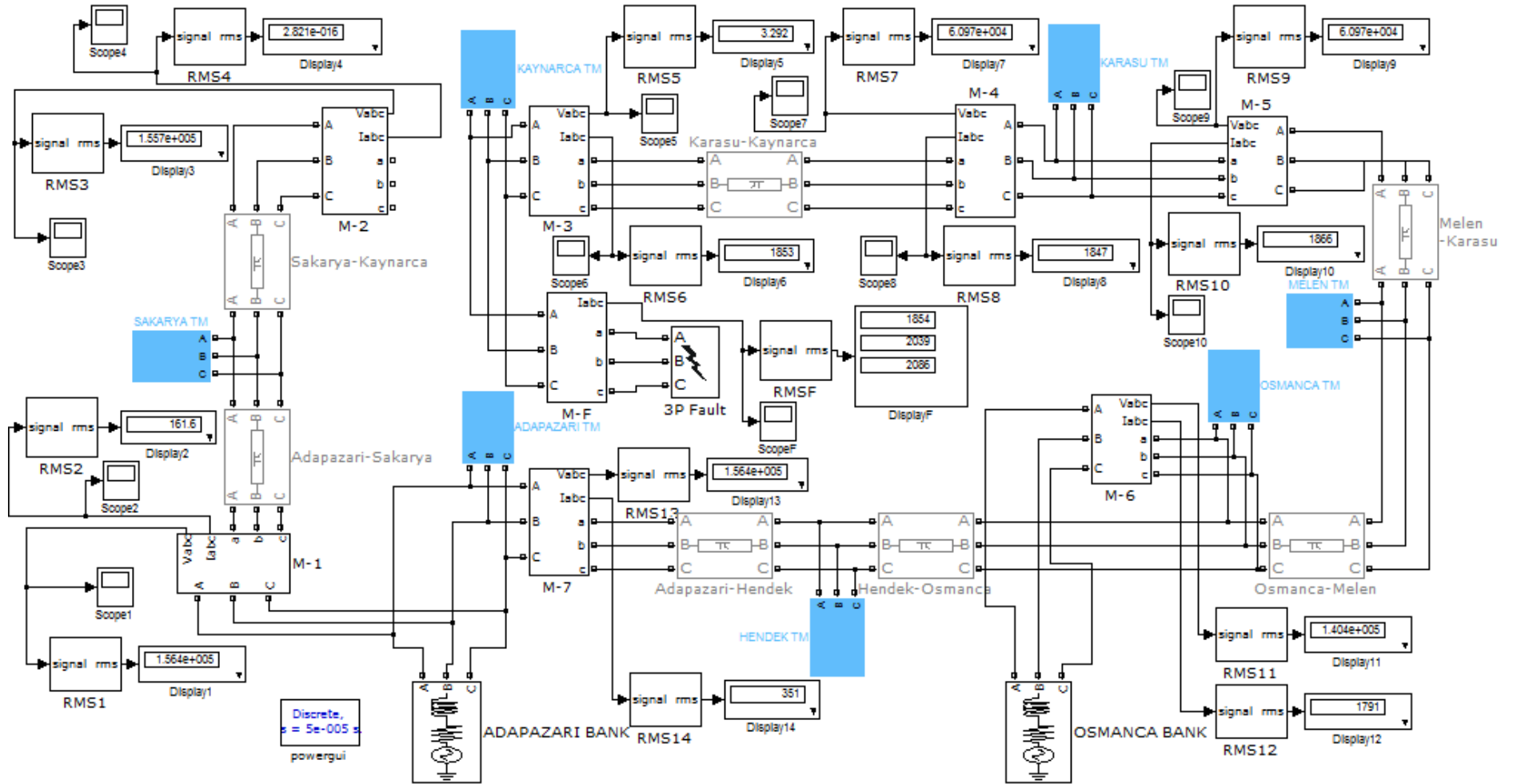
EK C: Hata Anında Hat Fiderlerinden Gelen Akımların Osilografik Gösterimleri

EK D: İletim Hattı Bilgileri Örnek Sayfa ve Adapazarı TM, Osmanca TM 154 kV
Bara Kısa Devre Akımı Değerleri

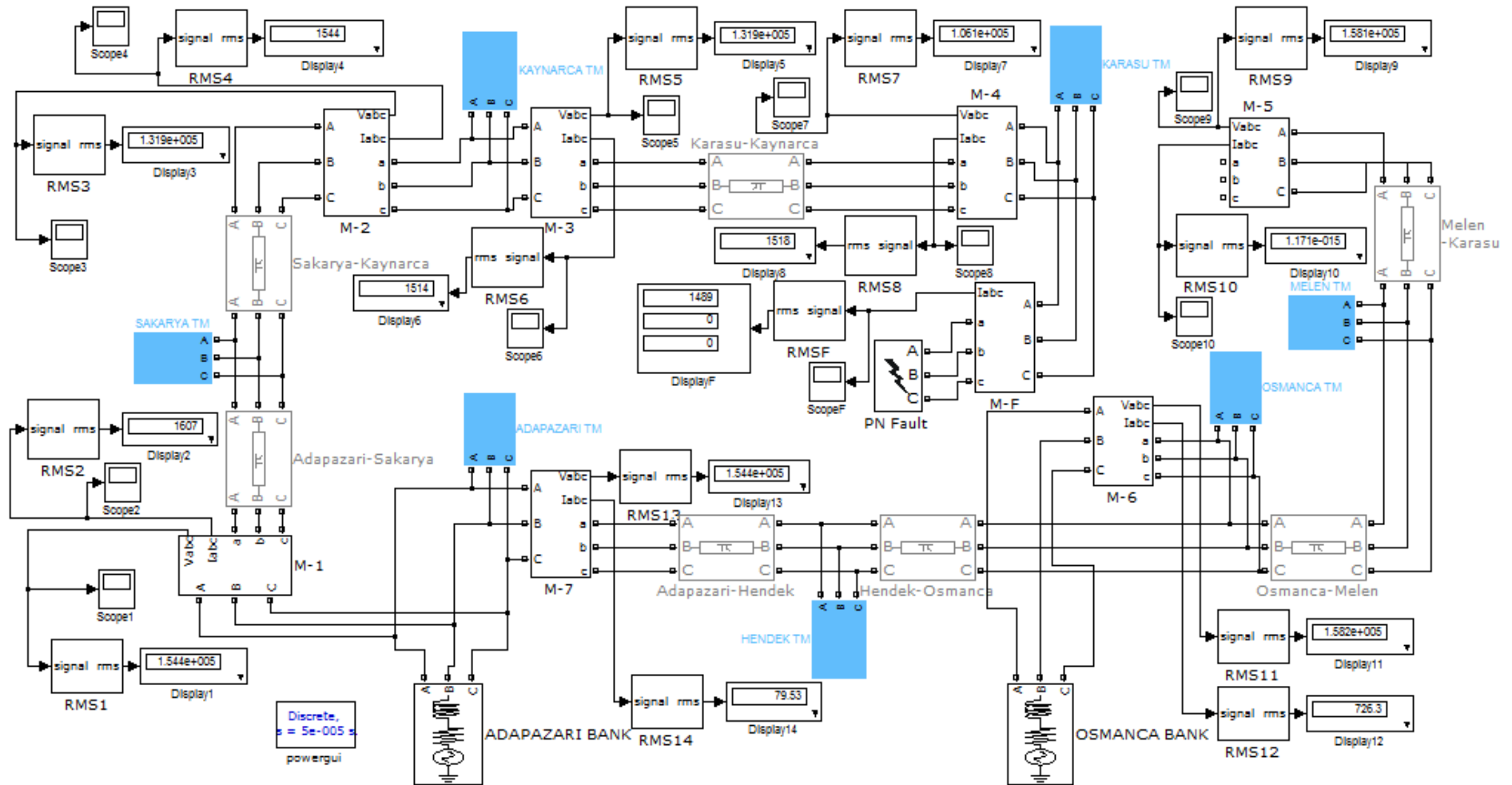
EK A



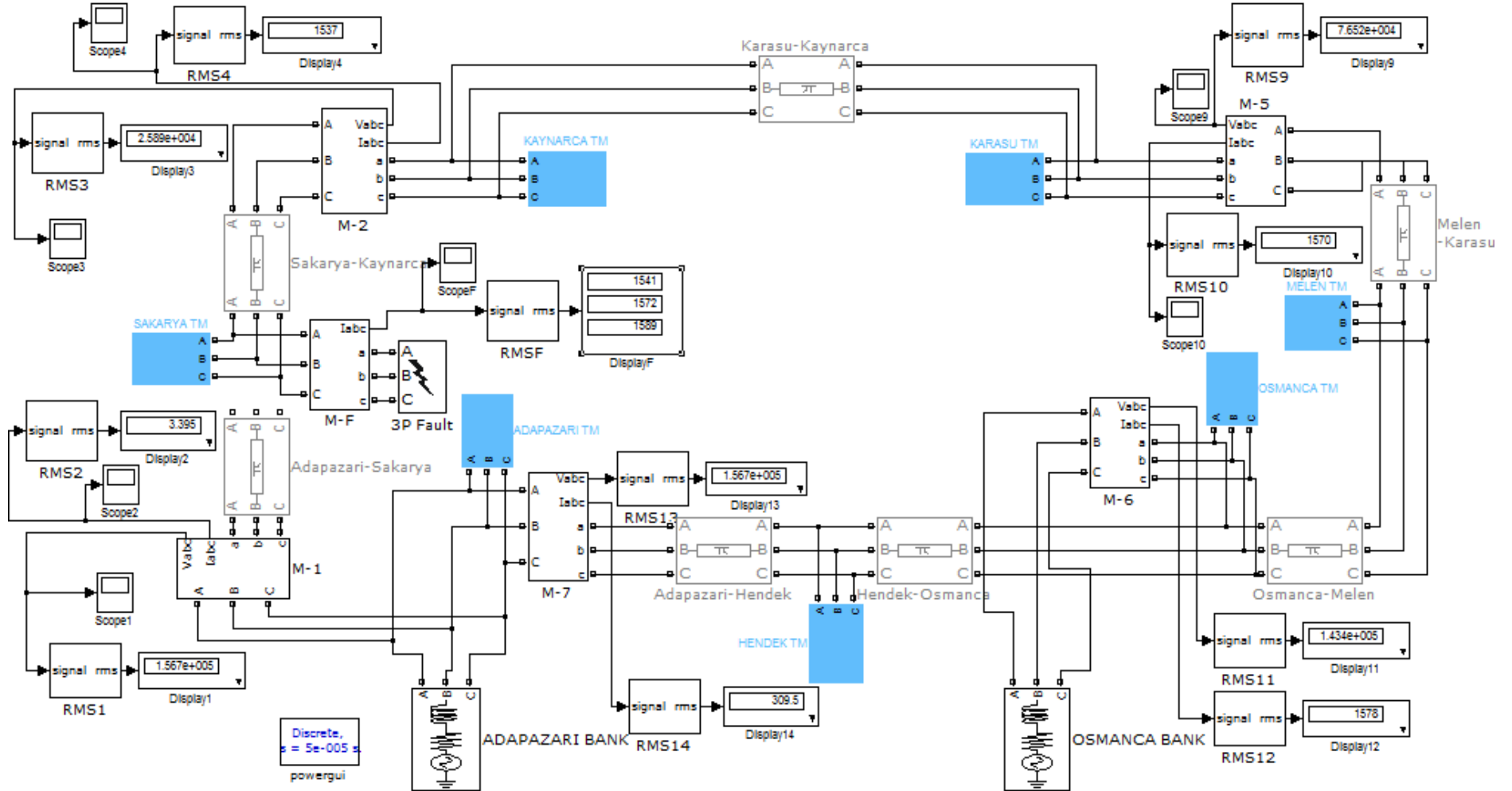
Şekil A.1 : Açık sistem şebeke Simulink modelinde kısa devre simülasyonu.



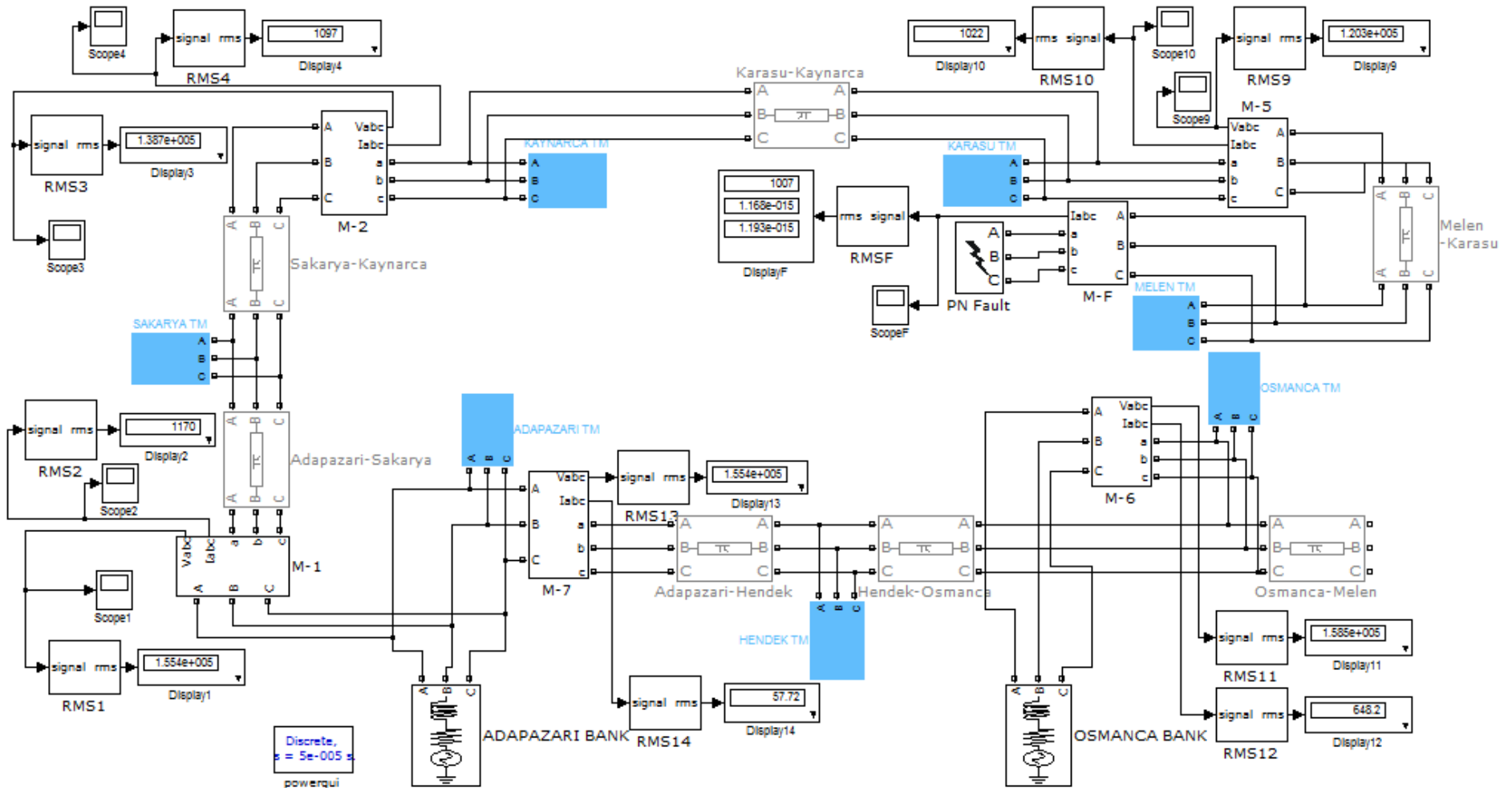
Şekil A.3 : Kaynarca Trafo Merkezi'nin Sakarya Hat Fideri açikken yapılan kısa devre simülasyonu.



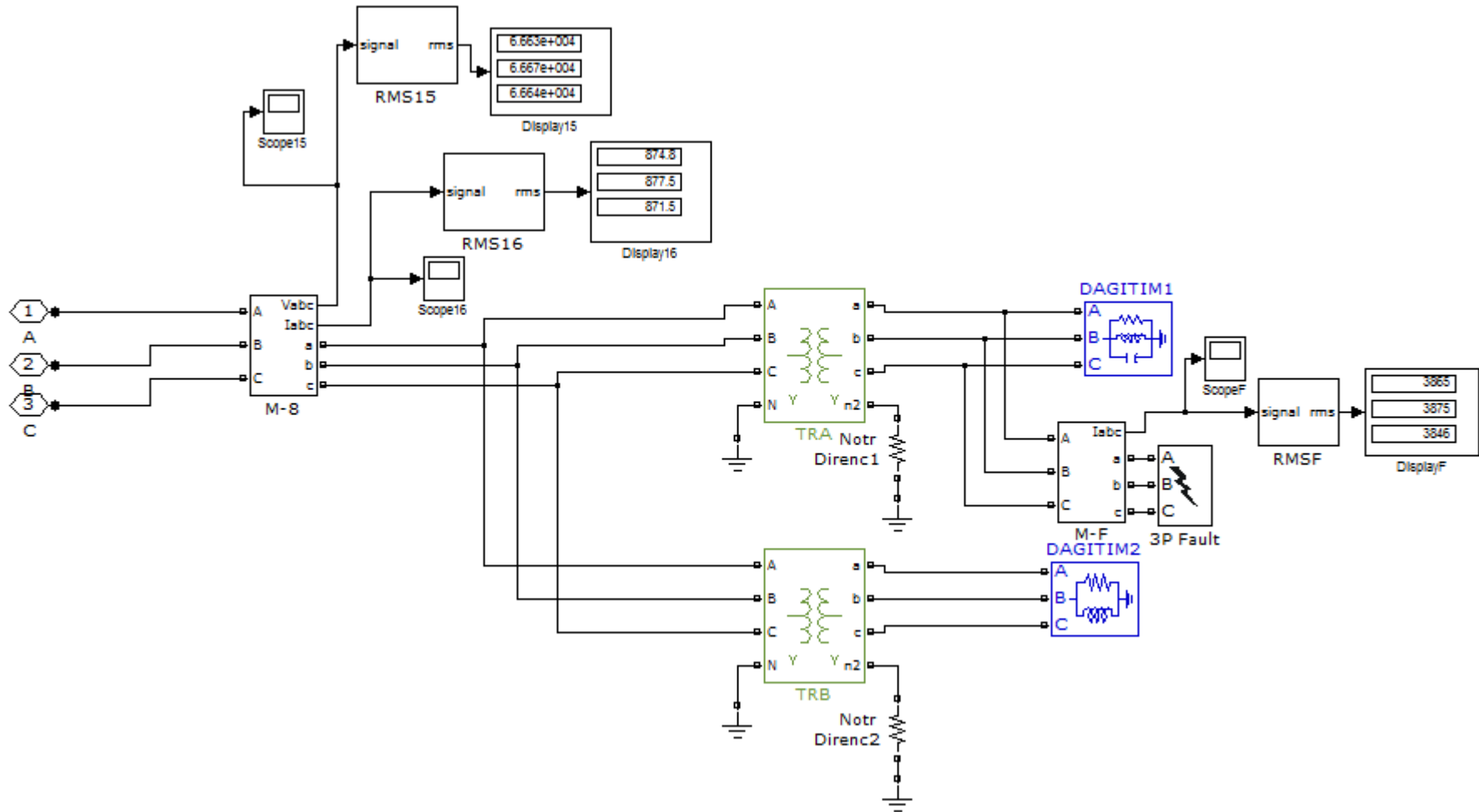
Şekil A.4 : Karasu Trafo Merkezi'nin Melen Hat Fideri açıkken yapılan kısa devre simülasyonu.



Şekil A.5 : Sakarya Trafo Merkezi'nin Adapazari Hat Fideri açıkken yapılan kısa devre simülasyonu.

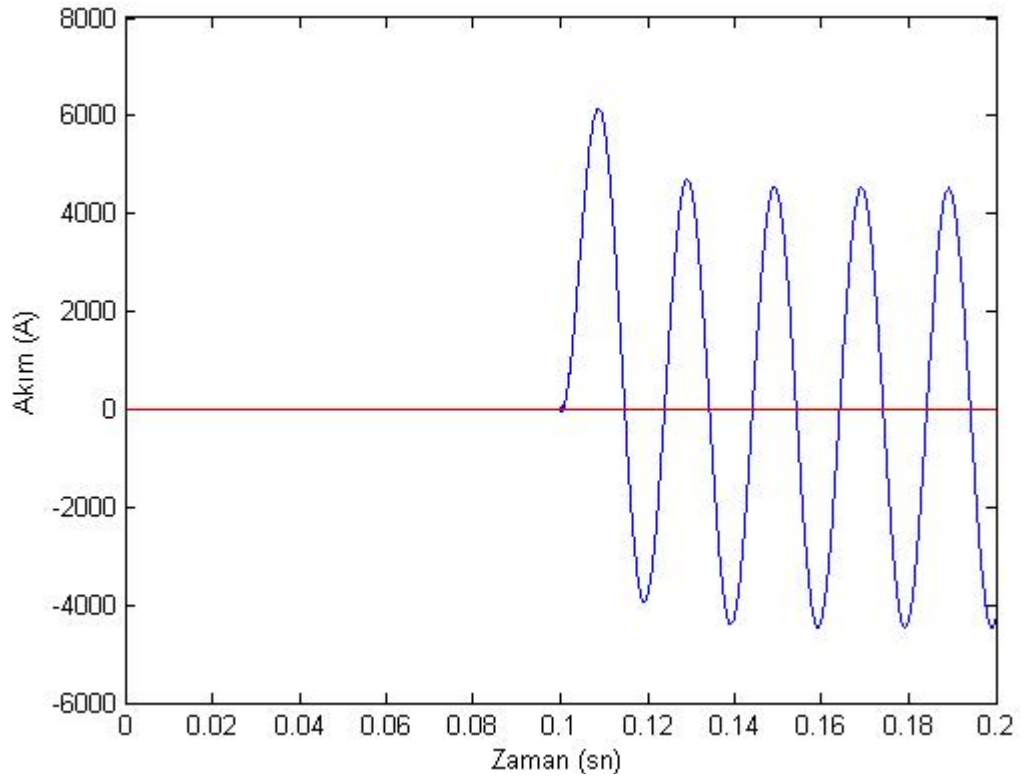


Şekil A.6 : Melen Trafo Merkezi'nin Osmanca Hat Fideri açikken yapılan kısa devre simülasyonu.

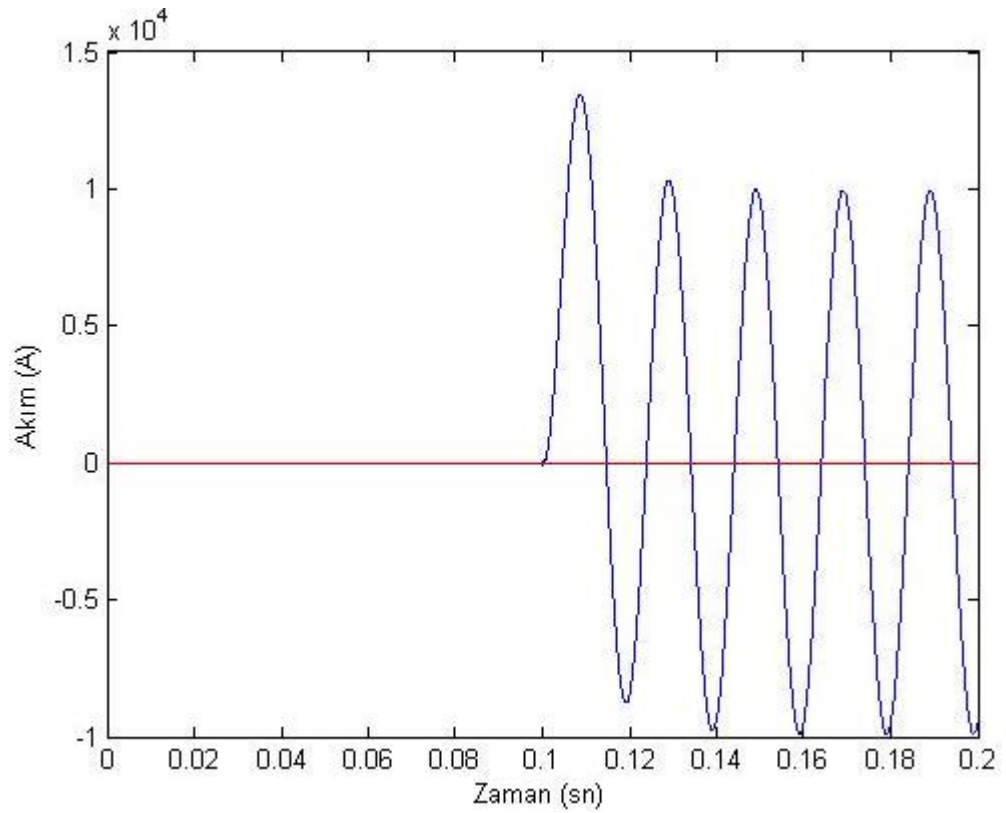


Şekil A.7 : Orta gerilim barasında oluşturulan kısa devre simülasyonu.

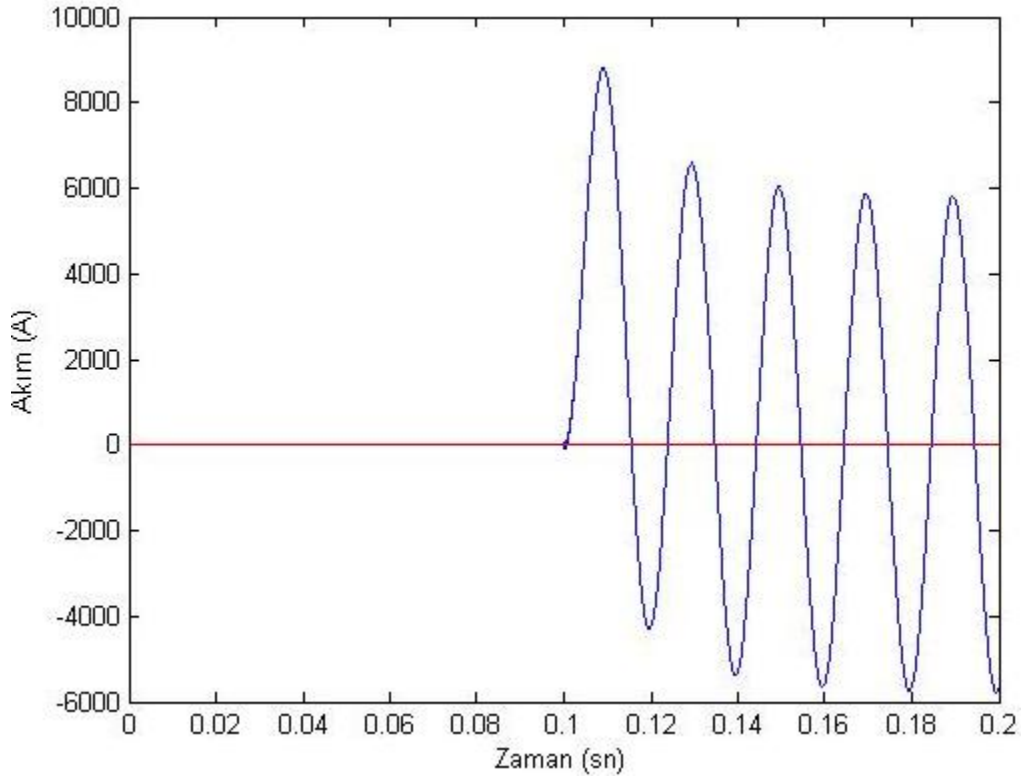
EK B



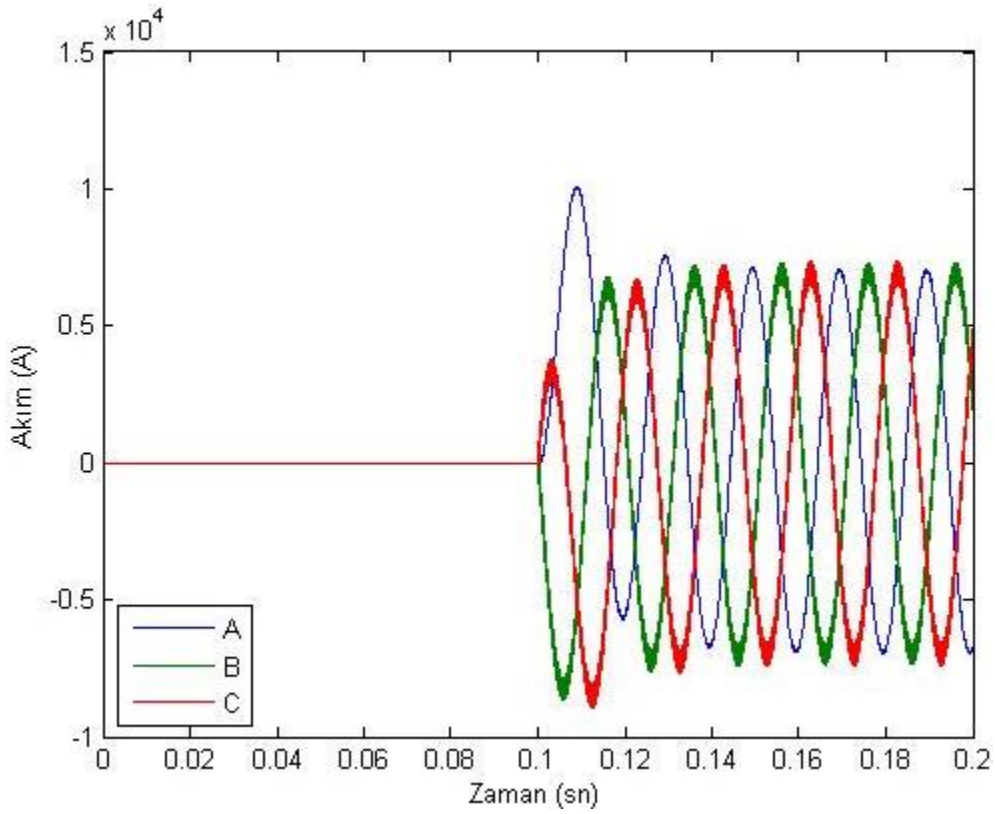
Şekil B.1: Açık sistem şebeke durumunda Kaynarca TM’de faz-toprak arızası.



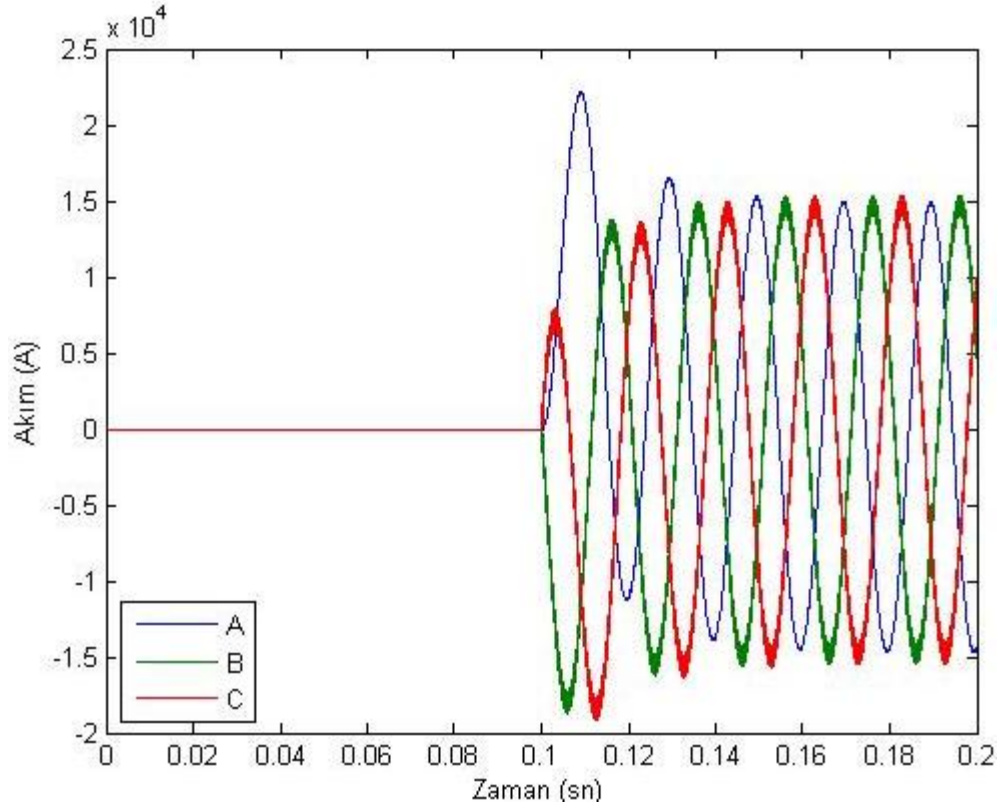
Şekil B.2 : Açık sistem şebeke durumunda Sakarya TM’de faz-toprak arızası.



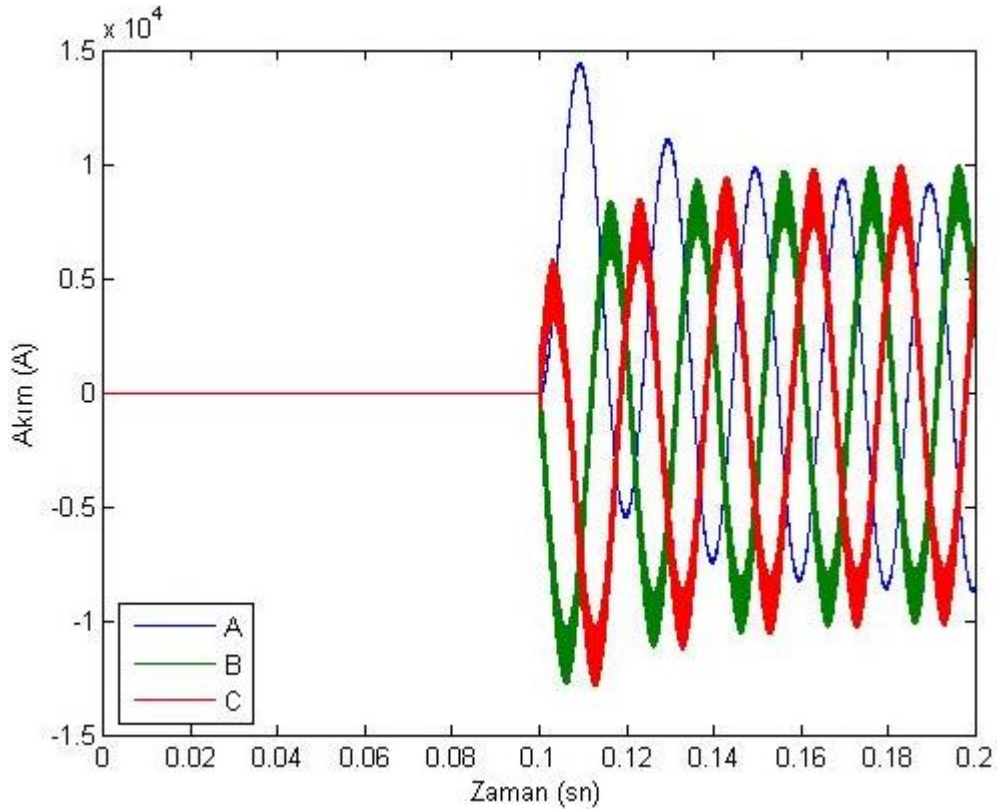
Şekil B.3 : Açık sistem şebeke durumunda Melen TM’de faz-toprak arızası.



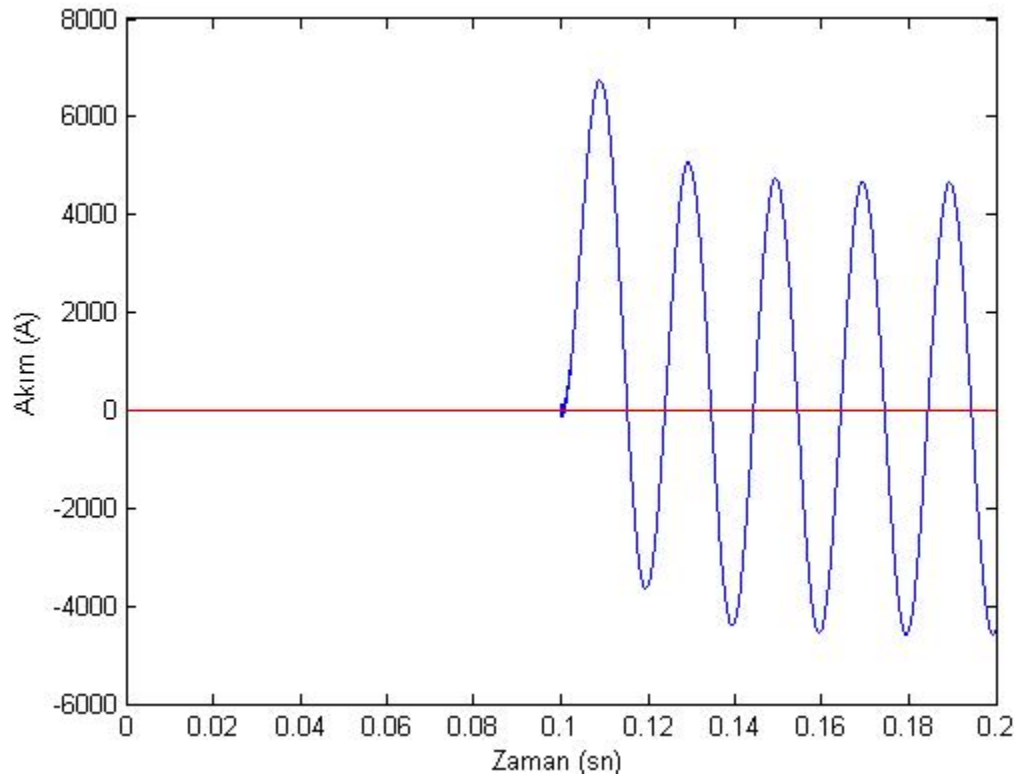
Şekil B.4 : Açık sistem şebeke durumunda Kaynarca TM’de üç faz arızası.



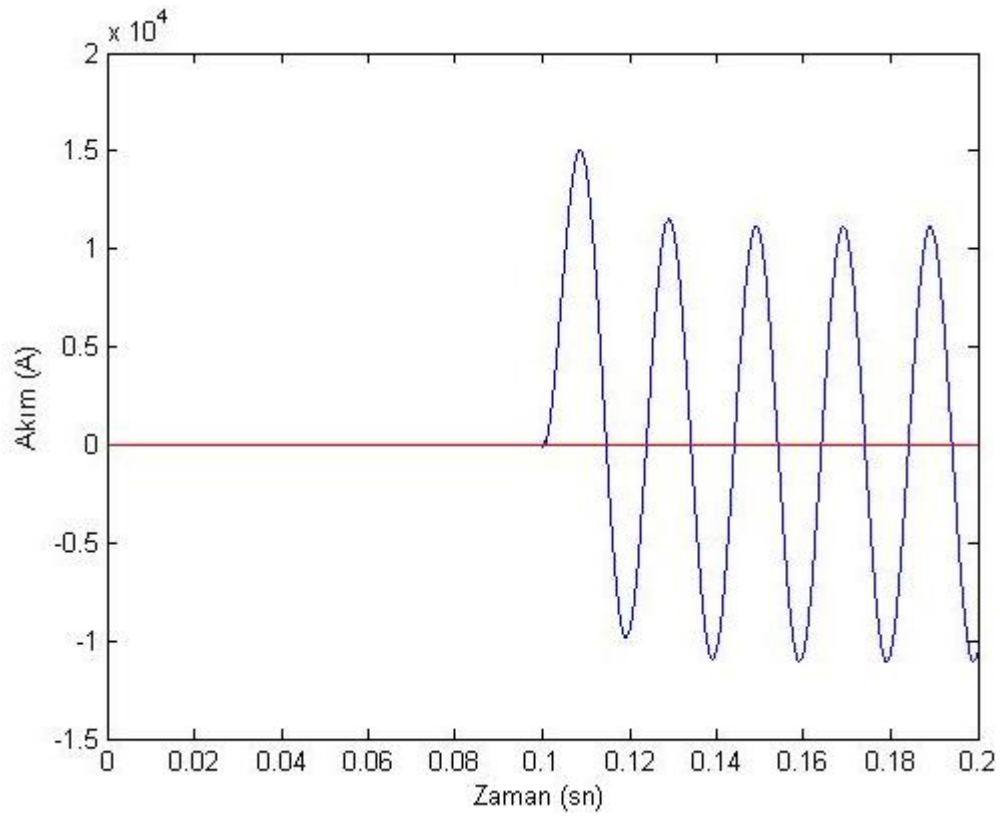
Şekil B.5 : Açık sistem şebeke durumunda Sakarya TM’de üç faz arızası.



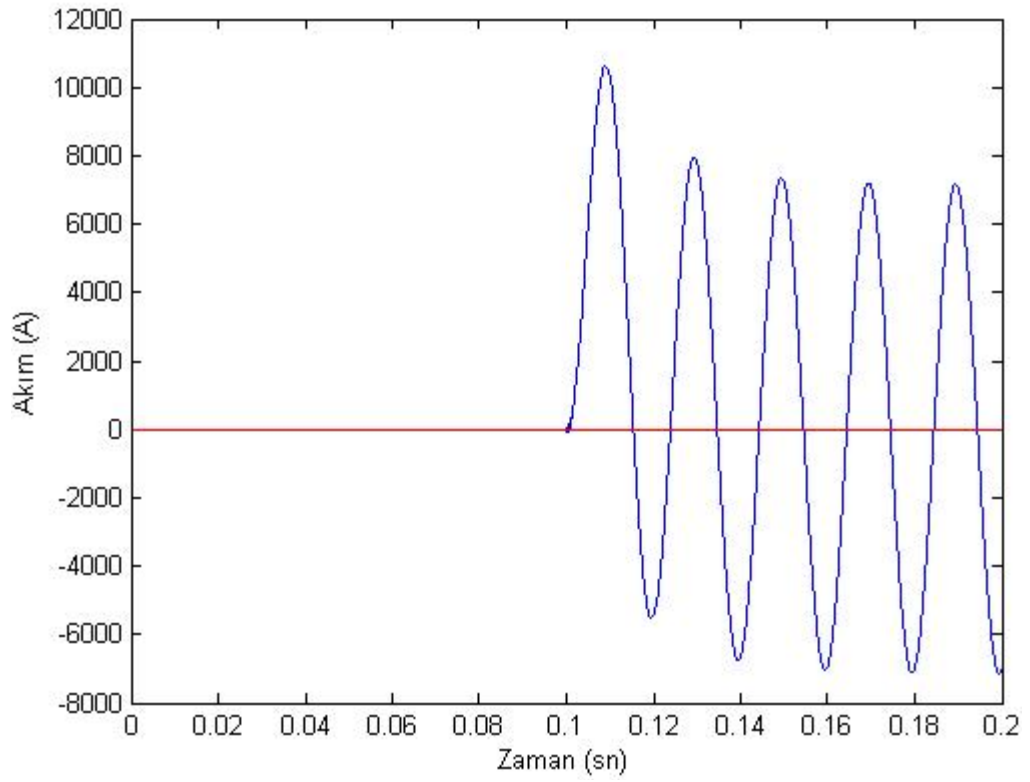
Şekil B.6 : Açık sistem şebeke durumunda Melen TM’de üç faz arızası.



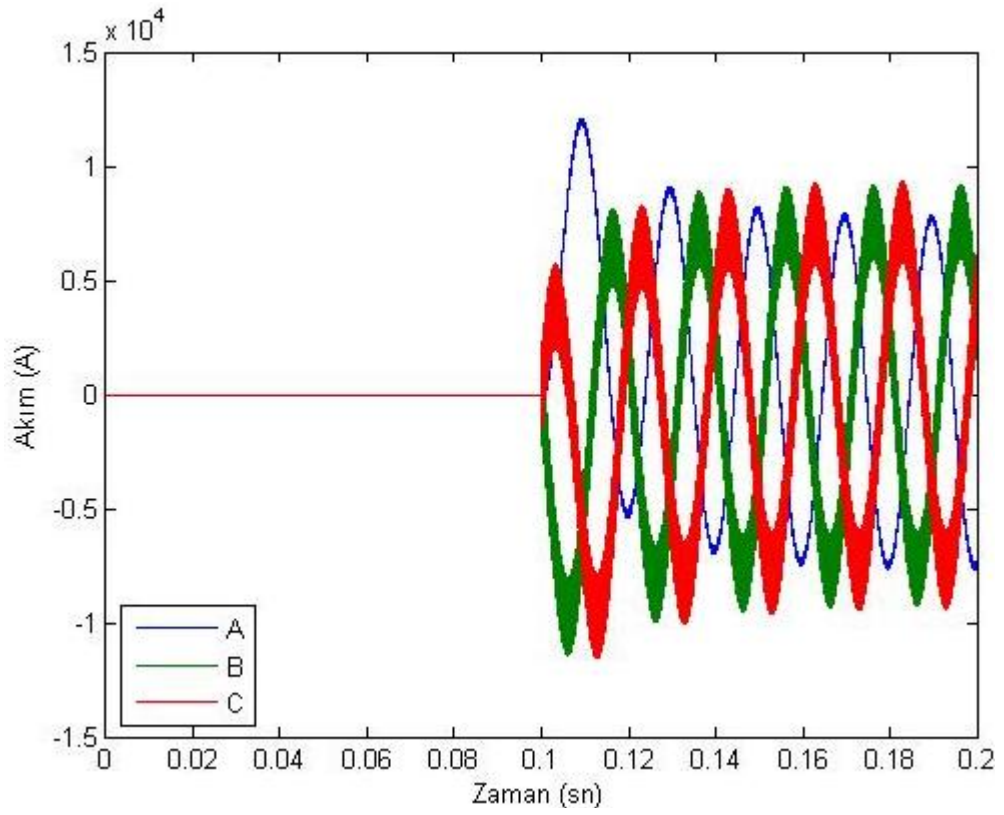
Şekil B.7 : Kapalı sistem şebeke durumunda Karasu TM’de fâz-toprak arızası.



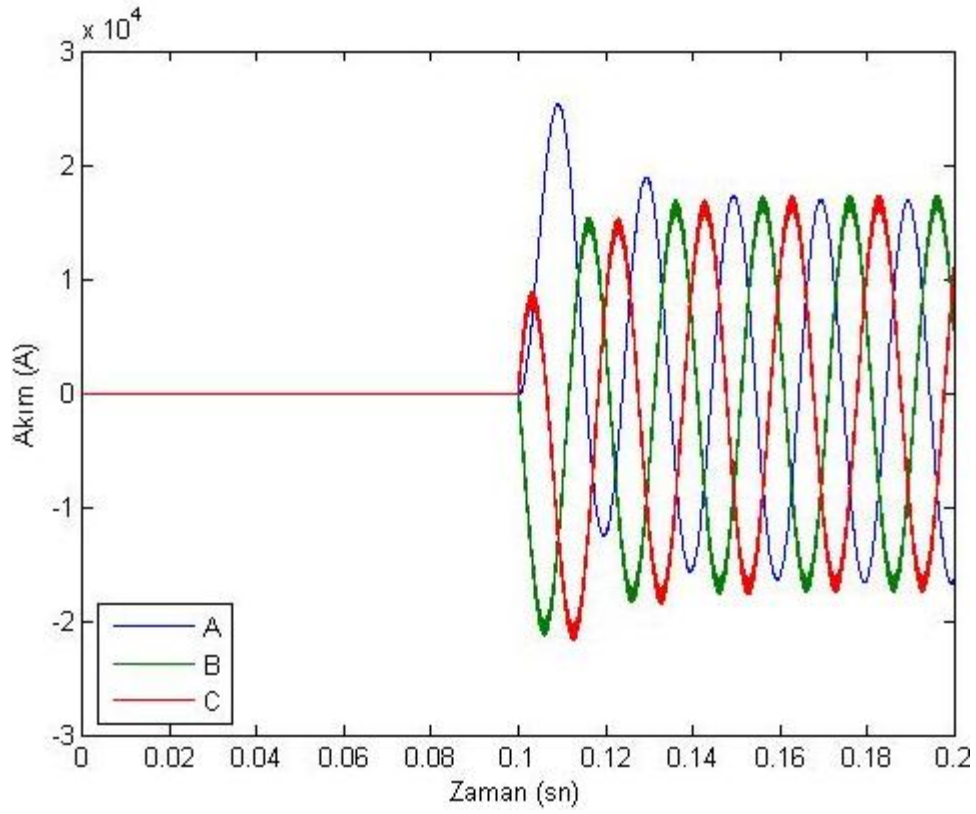
Şekil B.8 : Kapalı sistem şebeke durumunda Sakarya TM’de fâz-toprak arızası.



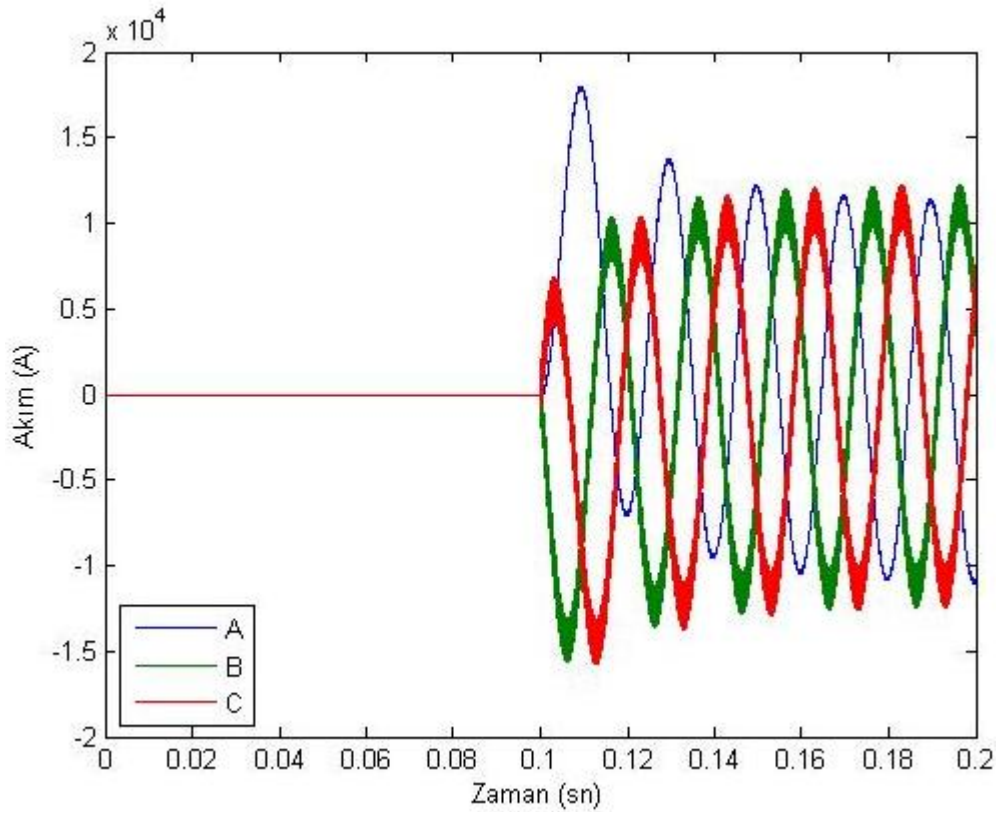
Şekil B.9 : Kapalı sistem şebeke durumunda Melen TM’de faz-toprak arızası.



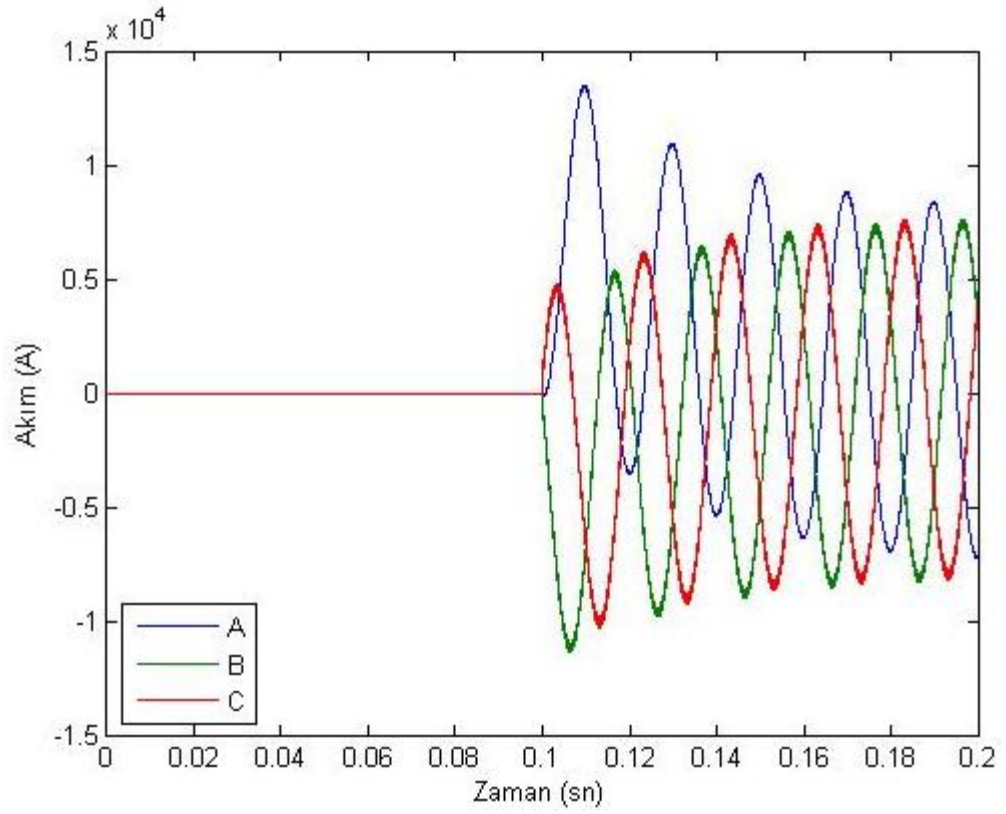
Şekil B.10 : Kapalı sistem şebeke durumunda Karasu TM’de üç faz arızası.



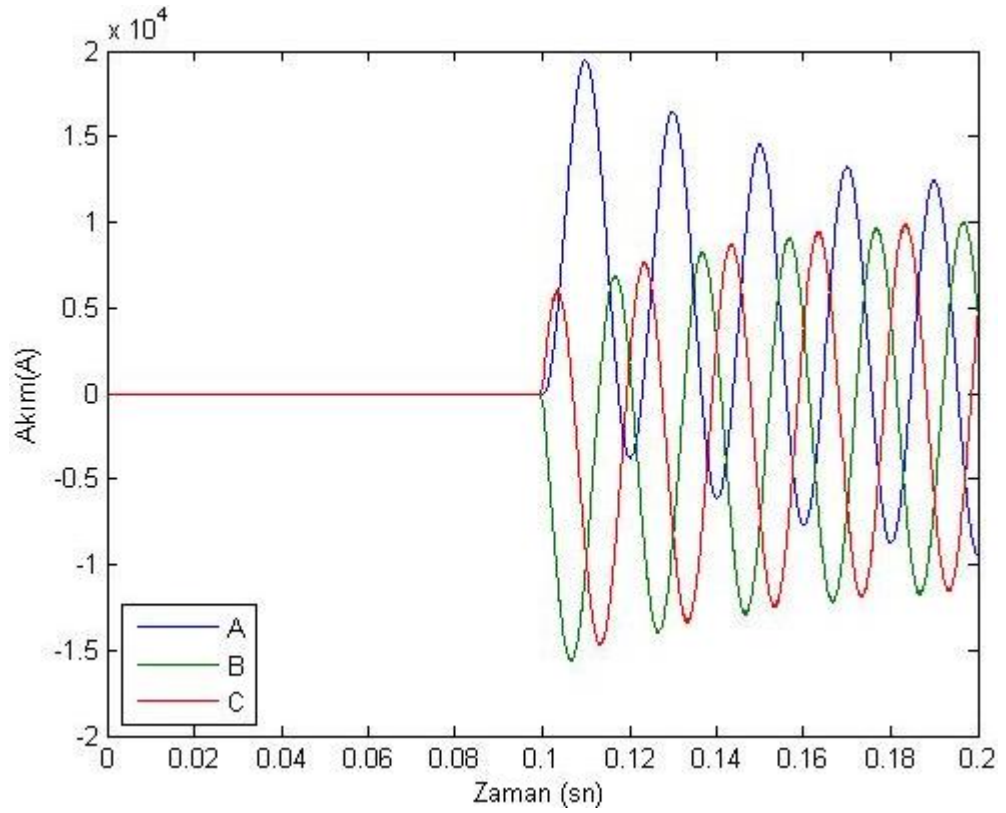
Şekil B.11 : Kapalı sistem şebeke durumunda Sakarya TM’de üç faz arızası.



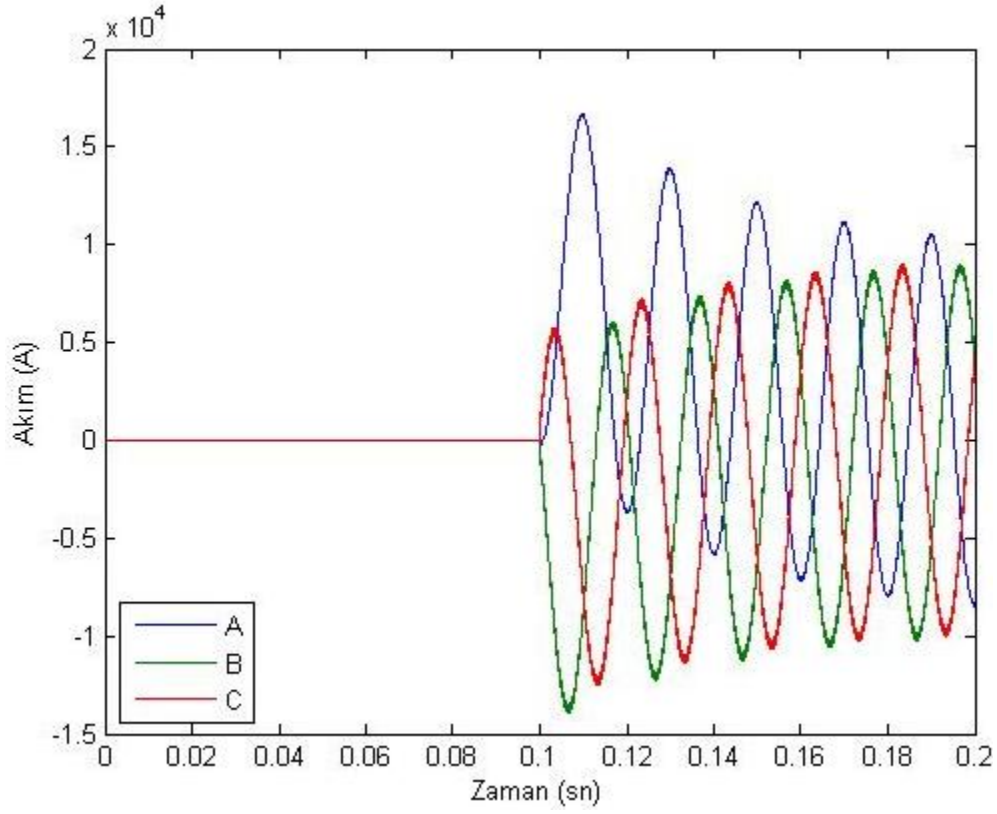
Şekil B.12 : Kapalı sistem şebeke durumunda Melen TM’de üç faz arızası.



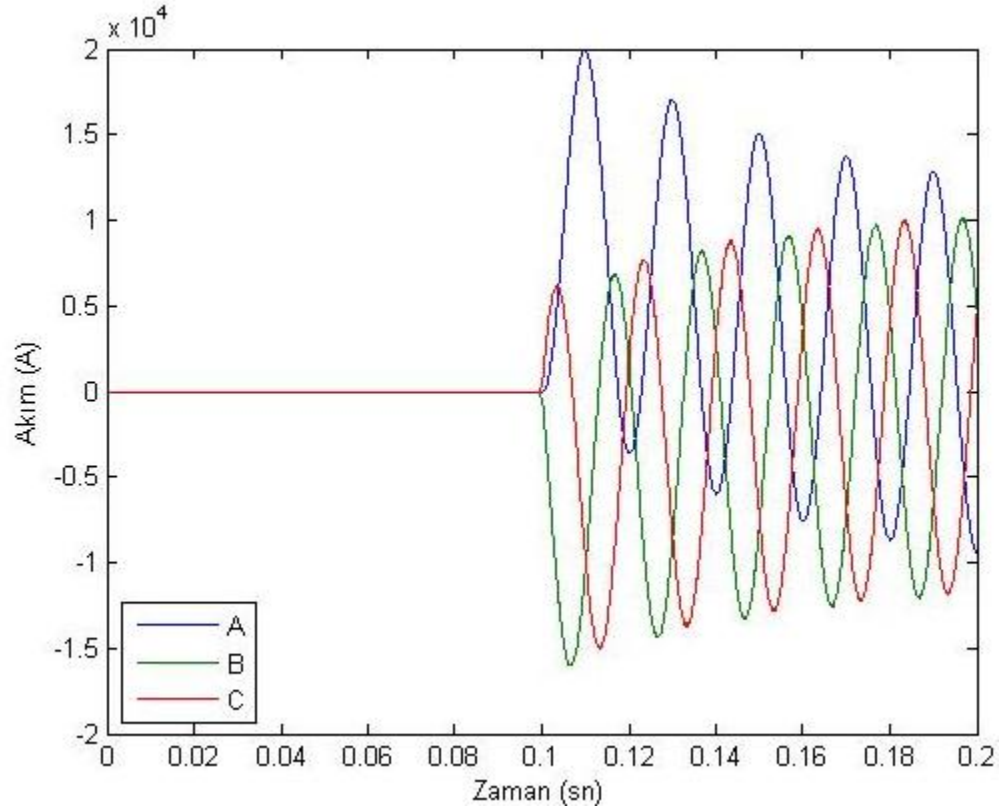
Şekil B.13 : Açık sistem şebekede Karasu TM OG barası üç faz arızası akımları.



Şekil B.14 : Açık sistem şebekede Sakarya TM OG barası üç faz arızası akımları.

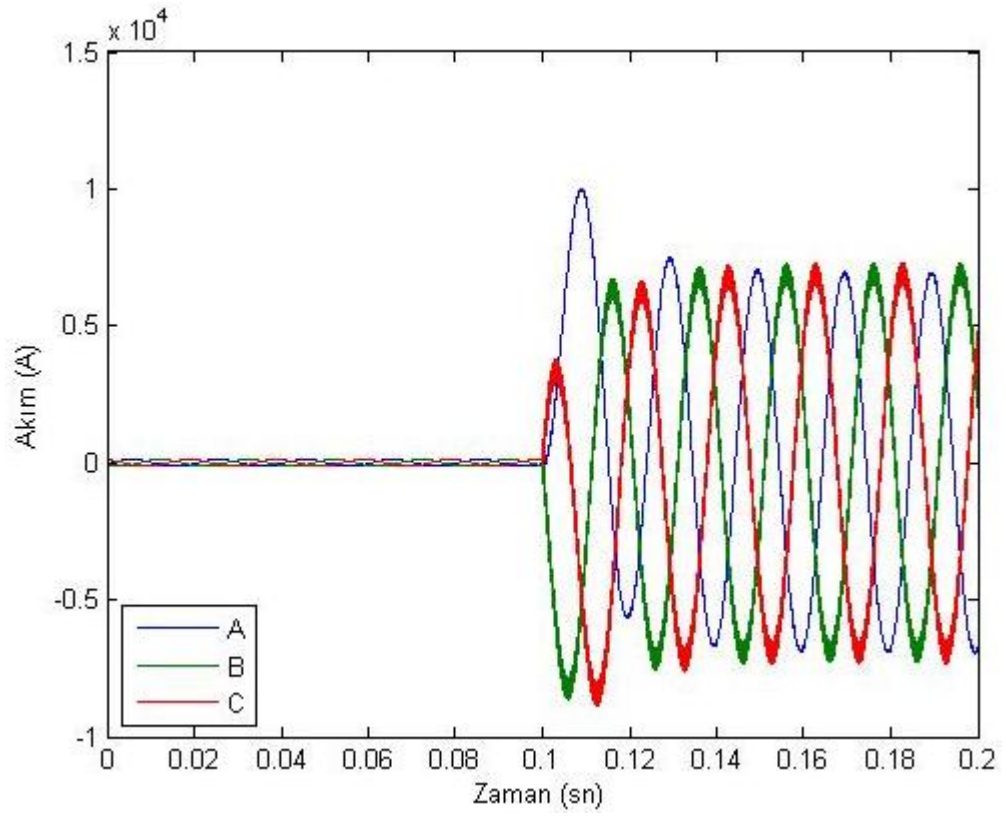


Şekil B.15 : Kapalı sistem şebekede Karasu TM OG barası üç faz arızası akımları.

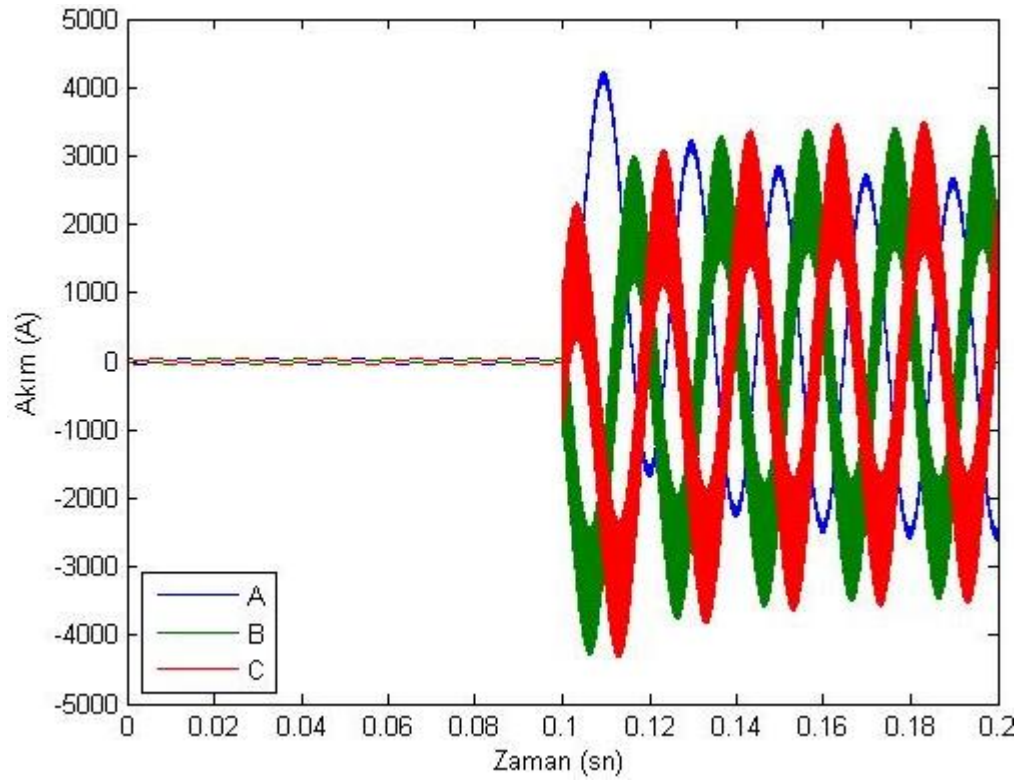


Şekil B.16 : Kapalı sistem şebekede Sakarya TM OG barası üç faz arızası akımları.

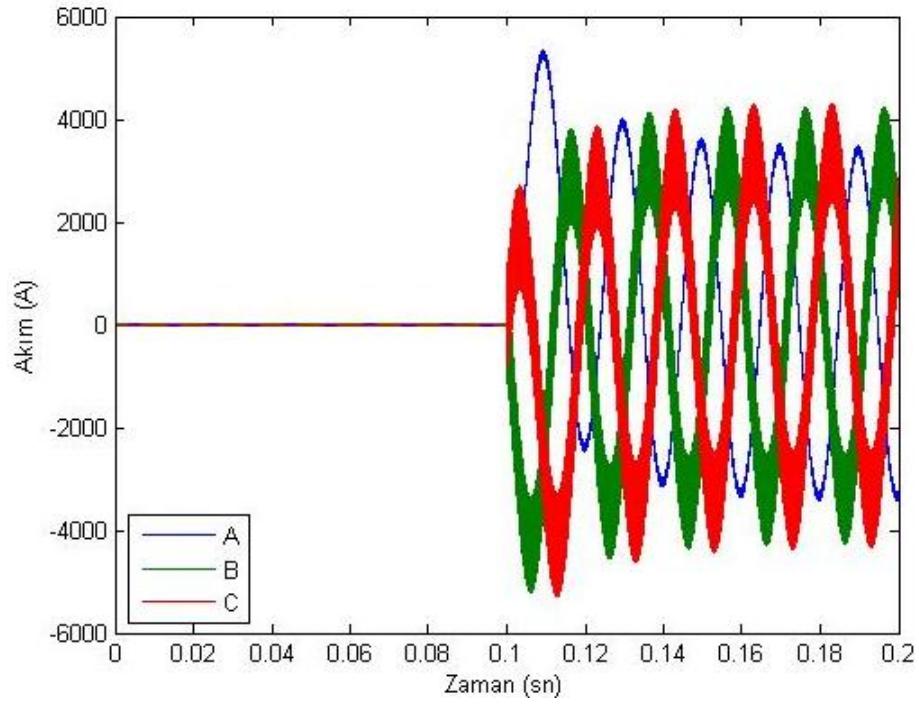
EK C



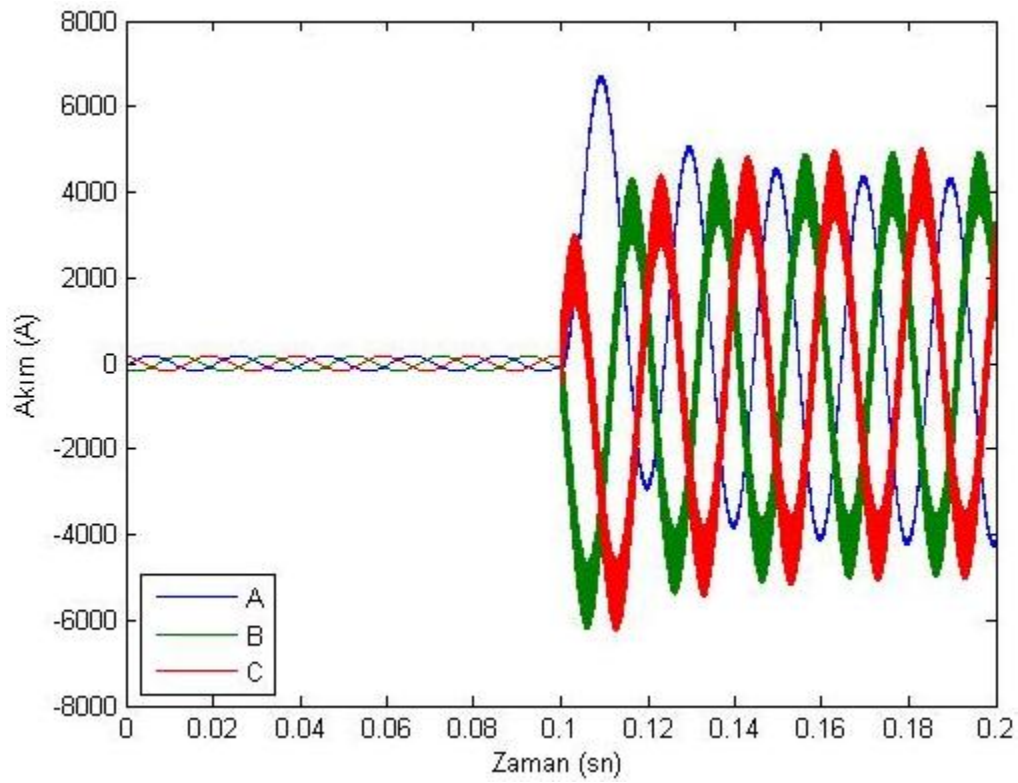
Şekil C.1 : Kaynarca TM’de oluşan üç faz arızasında Sakarya fideri akımları.



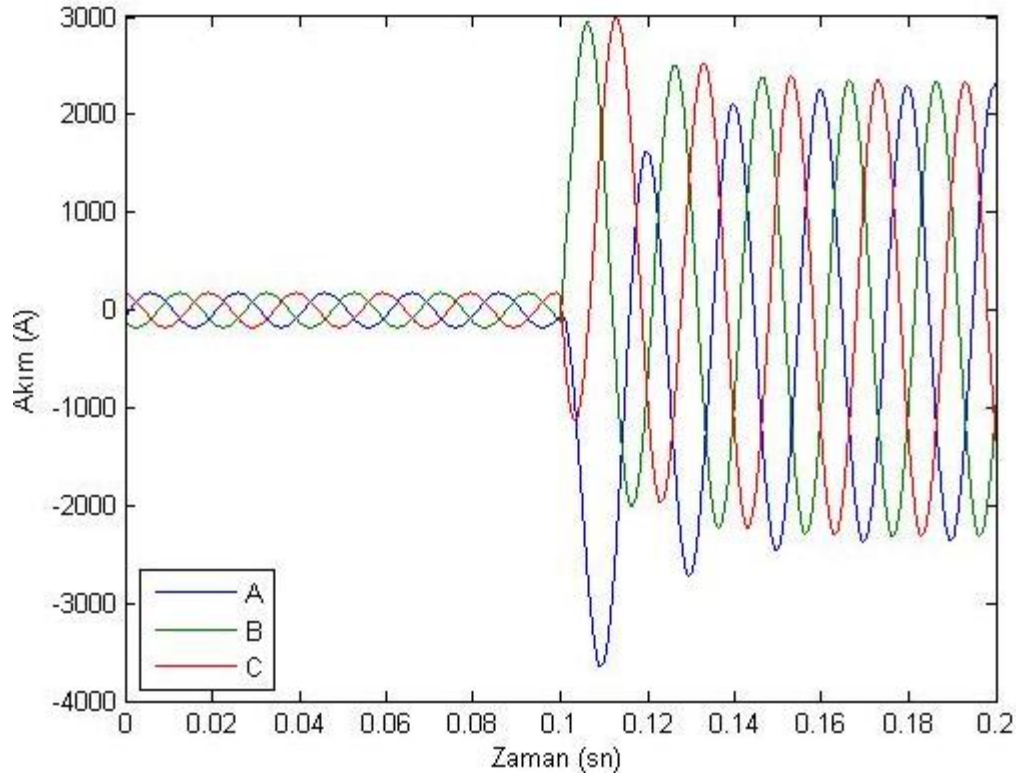
Şekil C.2 : Kaynarca TM’de oluşan üç faz arızasında Karasu fideri akımları.



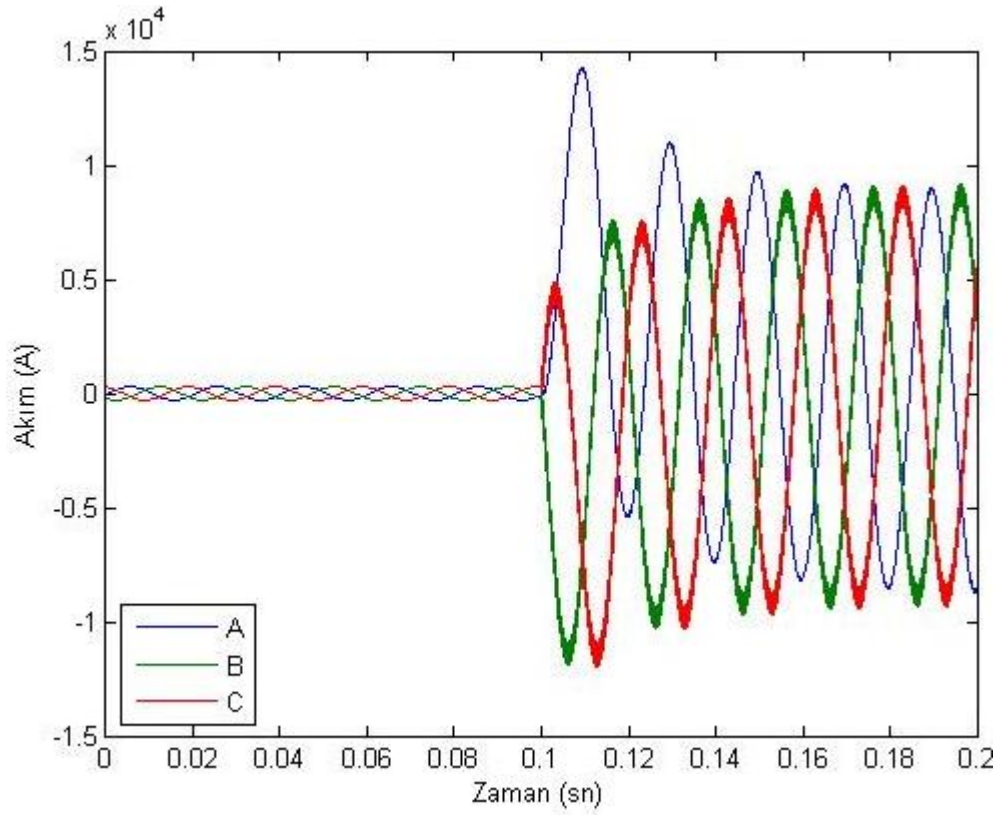
Şekil C.3 : Karasu TM’de oluşan üç faz arızasında Kaynarca fideri akımları.



Şekil C.4 : Karasu TM’de oluşan üç faz arızasında Melen fideri akımları.



Şekil C.5 : Melen TM’de oluşan üç faz arızasında Karasu fideri akımları.



Şekil C.6 : Melen TM’de oluşan üç faz arızasında Osmanca fideri akımları.

EK D

GÜZERGAHI	UZUNLUK (km)	HATTIN		DEVRE ADEĐİ	DİREK TİPİ	TTKES (mm2)	OMİK DEĞERLER						100 MVA BAZDA P.U. DEĞERLER					
		GERİLİMİ (kV)	KEŞİT (MCM)				(-) ve (-) BİLEŞEN			SIFIR BİLEŞEN			(-) ve (-) BİLEŞEN			SIFIR BİLEŞEN		
							R OHM	X OHM	Y µmho	R0 OHM	X0 OHM	Y0 µmho	R	X	Y	R0	X0	Y0
ADANA - MİSİS	16,300	154	795	TEK	TA1	70	1,3	6,3	47,9	4,8	21,4	24,9	0,005650	0,026514	0,011357	0,020179	0,090399	0,005894
ADANA ÇİM. - İNCİRLİK	1,826	154	477	TEK	A2	70	0,2	0,8	4,8	0,8	2,2	3,7	0,001033	0,003315	0,001136	0,003220	0,009321	0,000886
ADANA ÇİM. - İNCİRLİK	0,950	66	266,8	TEK	ST	70	0,2	0,4	2,8	0,4	1,3	1,4	0,005217	0,008466	0,000121	0,010164	0,030712	0,000059
ADAPAZARI - GEBKİM	85,000	154	795	TEK	TA,RA,VA,ZA	70	7,0	32,7	250,2	25,0	111,9	129,8	0,029464	0,138003	0,059337	0,105420	0,471842	0,030781
ADAPAZARI - HENDEK	26,000	154	477	TEK	D,E,F,E1	70	3,5	11,2	67,9	10,5	31,5	50,1	0,014714	0,047396	0,016105	0,044445	0,133013	0,011888
ADAPAZARI - HYUNDAI	32,000	154	795	TEK	J,G,H	70	2,6	12,5	93,1	9,2	42,0	48,3	0,011092	0,052541	0,022081	0,038726	0,176903	0,011450
ADAPAZARI - KÖSEKÖY	30,029	154	795	TEK	J,G,H,RA,VA,ZA	70	2,5	11,6	88,4	8,8	39,5	45,9	0,010409	0,048754	0,020963	0,037243	0,166693	0,010874
ADAPAZARI - KUZULUK*	24,000	154	795	TEK	A,B,C,D,VA,ZA	70	2,0	9,8	66,6	8,8	29,0	49,4	0,008319	0,041237	0,015802	0,037252	0,122421	0,011727
ADAPAZARI - PAMUKOVA*	29,831	154	795	TEK	TA,RA,VA,ZA	70	2,5	11,5	87,8	8,8	39,3	45,6	0,010340	0,048432	0,020825	0,036997	0,165594	0,010803
ADAPAZARI - PAŞALAR	59,540	154	795	TEK	TA,RA,VA,ZA	70	4,9	22,9	175,3	17,5	78,4	90,9	0,020638	0,096667	0,041564	0,073843	0,330511	0,021561
ADAPAZARI - SAKARYA*	14,289	154	477	TEK	A2,B2,C2,D2,E1	70	1,9	6,2	37,5	6,0	17,3	29,2	0,008087	0,025938	0,008889	0,025199	0,072943	0,006936
ADAPAZARI - TOYOTASA	8,251	154	795	TEK	TA,RA,VA,ZA,A,C D	70	0,7	3,2	24,3	2,4	10,9	12,6	0,002860	0,013396	0,005760	0,010233	0,045802	0,002988

Çizelge D.1 : Havai hat elektriki karakteristiklerinin alındığı TEİAŞ’a ait kitaptan örnek sayfa görünümü.

PSS(R)E-33.5.0 ASSC SHORT CIRCUIT CURRENTS
2014 14 AGUSTOS SAAT 14:30 YAZ

TUE, FEB 17 2015 11:41

AT BUS 210321 [ADAPAZARI_A 154.00] AREA 21 *** FAULTED BUS IS: 210321 [ADAPAZARI_A 154.00] *** 0 LEVELS AWAY ***
(kV L-G) V+:/0.000/0.00 VA:/0.000/0.00 VB:/0.000/0.00 VC:/0.000/0.00
THEVENIN IMPEDANCE, X/R (PU) Z+:/0.020751/80.961, 6.28620
THEVENIN IMPEDANCE, X/R (OHM) Z+:/4.921/80.961, 6.28620

X----- FROM -----X AREA CKT I/Z														X-----THREE PHASE FAULT-----X	
				/I+/ AN(I+)	/IA/ AN(IA)	/IB/ AN(IB)	/IC/ AN(IC)	/Z+/ AN(Z+)	APP	X/R					
210310	[4ADAPAZARI 380.00]	21 1	AMP/OHM	7284.1 -90.65	7284.1 -90.65	7284.1 -90.65	7284.1 -90.65	29.35 68.24	88.35	34.735					
210310	[4ADAPAZARI 380.00]	21 2	AMP/OHM	4073.0 -89.45	4073.0 -89.45	4073.0 -89.45	4073.0 -89.45	30.55 122.04	87.15	20.098					
210341	[ADAPAZRI_TR134.500]	21 1	AMP/OHM	143.7 -102.92	143.7 -102.92	143.7 -102.92	143.7 -102.92	17.08 1.81	83.40	8.646					
210342	[ADAPAZRI_TR234.500]	21 1	AMP/OHM	0.0 0.00	0.0 0.00	0.0 0.00	0.0 0.00	0.00 0.00	0.00	0.000					
212921	[HENDEK 154.00]	21 1	AMP/OHM	1366.0 -80.48	1366.0 -80.48	1366.0 -80.48	1366.0 -80.48	39.52 11.77	72.75	3.221					
213321	[KUZULUK 154.00]	21 1	AMP/OHM	1032.0 -77.13	1032.0 -77.13	1032.0 -77.13	1032.0 -77.13	42.87 9.40	78.14	4.763					
213821	[PAMUKOVA_A 154.00]	21 1	AMP/OHM	1603.5 -78.43	1603.5 -78.43	1603.5 -78.43	1603.5 -78.43	41.57 14.58	77.93	4.678					
213921	[TOYOTASA 154.00]	21 1	AMP/OHM	1141.5 -75.80	1141.5 -75.80	1141.5 -75.80	1141.5 -75.80	44.20 2.81	76.01	4.014					
222221	[PASALAR 154.00]	22 1	AMP/OHM	1807.1 -78.10	1807.1 -78.10	1807.1 -78.10	1807.1 -78.10	41.90 23.49	77.92	4.674					
INITIAL SYM. S.C. CURRENT(I''k)(RMS) AMP				18345.6 -85.77	18345.6 -85.77	18345.6 -85.77	18345.6 -85.77	154.23 34.23							

AT BUS 210322 [ADAPAZARI_B 154.00] AREA 21 *** FAULTED BUS IS: 210322 [ADAPAZARI_B 154.00] *** 0 LEVELS AWAY ***
(kV L-G) V+:/0.000/0.00 VA:/0.000/0.00 VB:/0.000/0.00 VC:/0.000/0.00
THEVENIN IMPEDANCE, X/R (PU) Z+:/0.015616/83.238, 8.43363
THEVENIN IMPEDANCE, X/R (OHM) Z+:/3.704/83.238, 8.43363

X----- FROM -----X AREA CKT I/Z														X-----THREE PHASE FAULT-----X	
				/I+/ AN(I+)	/IA/ AN(IA)	/IB/ AN(IB)	/IC/ AN(IC)	/Z+/ AN(Z+)	APP	X/R					
210310	[4ADAPAZARI 380.00]	21 3	AMP/OHM	6705.2 -89.57	6705.2 -89.57	6705.2 -89.57	6705.2 -89.57	30.43 68.24	88.35	34.735					
210310	[4ADAPAZARI 380.00]	21 4	AMP/OHM	6705.2 -89.57	6705.2 -89.57	6705.2 -89.57	6705.2 -89.57	30.43 68.24	88.35	34.735					
210310	[4ADAPAZARI 380.00]	21 5	AMP/OHM	6705.2 -89.57	6705.2 -89.57	6705.2 -89.57	6705.2 -89.57	30.43 68.24	88.35	34.735					
210621	[HYUNDAI 154.00]	21 1	AMP/OHM	637.1 -89.43	637.1 -89.43	637.1 -89.43	637.1 -89.43	30.57 12.74	78.07	4.735					
212521	[KOSEKOY 154.00]	21 1	AMP/OHM	736.6 -89.26	736.6 -89.26	736.6 -89.26	736.6 -89.26	30.74 13.62	77.96	4.689					
212521	[KOSEKOY 154.00]	21 2	AMP/OHM	736.6 -89.26	736.6 -89.26	736.6 -89.26	736.6 -89.26	30.74 13.62	77.96	4.689					
212521	[KOSEKOY 154.00]	21 3	AMP/OHM	406.3 -89.45	406.3 -89.45	406.3 -89.45	406.3 -89.45	30.55 24.73	78.13	4.756					
213021	[YARIMCA_2 154.00]	21 1	AMP/OHM	946.1 -87.76	946.1 -87.76	946.1 -87.76	946.1 -87.76	32.24 20.24	77.95	4.685					
213121	[SAKARYA_A 154.00]	21 1	AMP/OHM	0.0 0.00	0.0 0.00	0.0 0.00	0.0 0.00	0.00 0.00	0.00	0.000					
215122	[GEBKIM_B 154.00]	21 1	AMP/OHM	900.6 -87.03	900.6 -87.03	900.6 -87.03	900.6 -87.03	32.97 28.00	78.12	4.753					
INITIAL SYM. S.C. CURRENT(I''k)(RMS) AMP				24477.6 -89.38	24477.6 -89.38	24477.6 -89.38	24477.6 -89.38	150.62 30.62							

Çizelge D.2 : 2014 yılı maksimum yük şartlarında Adapazarı TM 154 kV barasında kısa devre akımı değerleri.

PSS(R)E-33.5.0 ASCC SHORT CIRCUIT CURRENTS TUE, FEB 17 2015 11:41
2014 14 AGUSTOS SAAT 14:30 YAZ
AT BUS 231121 [OSMANCA 154.00] AREA 23 *** FAULTED BUS IS: 231121 [OSMANCA 154.00] *** 0 LEVELS AWAY ***
(kv L-G) V+:/0.000/0.00 VA:/0.000/0.00 VB:/0.000/0.00 VC:/0.000/0.00
THEVENIN IMPEDANCE, X/R (PU) Z+:/0.022975/80.568, 6.01943
THEVENIN IMPEDANCE, X/R (OHM) Z+:/5.449/80.568, 6.01943

X-----THREE PHASE FAULT-----X															
X-----	FROM	-----X	AREA	CKT	I/Z	/I+/ AN(I+)	/IA/ AN(IA)	/IB/ AN(IB)	/IC/ AN(IC)	/Z+/ AN(Z+)	APP	X/R			
212921	[HENDEK 154.00]	21 1	AMP/OHM		1391.5	-86.79	1391.5	-86.79	1391.5	153.21	1391.5	33.21	42.26	82.33	7.429
231110	[4OSMANCA 380.00]	23 1	AMP/OHM		4145.2	-83.79	4145.2	-83.79	4145.2	156.21	4145.2	36.21	108.85	86.81	17.921
231110	[4OSMANCA 380.00]	23 2	AMP/OHM		6612.0	-85.34	6612.0	-85.34	6612.0	154.66	6612.0	34.66	68.24	88.35	34.735
231141	[OSMANCA_TR1 34.500]	23 1	AMP/OHM		0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.000
231142	[OSMANCA_TR2 34.500]	23 1	AMP/OHM		0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.000
231521	[AKCAKOCA 154.00]	23 1	AMP/OHM		2591.5	-67.38	2591.5	-67.38	2591.5	172.62	2591.5	52.62	10.29	72.41	3.154
232221	[KAYNASLI 154.00]	23 1	AMP/OHM		1950.8	-74.12	1950.8	-74.12	1950.8	165.88	1950.8	45.88	9.91	72.67	3.206
232421	[MELEN_A 154.00]	23 1	AMP/OHM		0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.000
233821	[AKSU_HES 154.00]	23 1	AMP/OHM		0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.000
INITIAL SYM. S.C. CURRENT(I'k)(RMS) AMP					16573.1	-81.00	16573.1	-81.00	16573.1	159.00	16573.1	39.00			

Çizelge D.3 : 2014 yılı maksimum yük şartlarında Osmanca TM 154 kV barasında kısa devre akımı değerleri.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Bilal ERİM

Doğum Yeri ve Tarihi : İzmit-1984

E-Posta : bilalerim@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2007, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ),
Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM : TEİAŞ Koruma Sistemleri Mühendisliği

