

TC
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**154 kV'LUK VAN TRAF0 MERKEZİNDE KISA DEVRE AKIMLARININ
ANALİZİ VE SİMÜLASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: İLTER DEMİR
DANIŞMAN: Prof. Dr. SABİR RÜSTEMLİ

VAN-2012

TC
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**154 kV'LUK VAN TRAF0 MERKEZİNDE KISA DEVRE AKIMLARININ
ANALİZİ VE SİMÜLASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: İLTER DEMİR

VAN-2012

KABUL ve ONAY SAYFASI

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Prof. Dr. Sabir Rüstemli danışmanlığında, İlder DEMİR tarafından sunulan “154 kV’LUK VAN TRAFO MERKEZİNDE KISA DEVRE AKIMLARININ ANALİZİ VE SİMÜLASYONU ” isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 30/03/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. M. Nuri ALMALI

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Atilla BAYRAM

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun /...../..... tarih ve..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

.....
Enstitü Müdürü

ÖZET

154 kV'LUK VAN TRAF0 MERKEZİNDE KISA DEVRE AKIMLARININ ANALİZİ VE SİMÜLASYONU

DEMİR, İlter

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ

Nisan 2012, 109 sayfa

Elektrik şebekesini meydana getiren hatların, cihazların, transformatörlerin, ölçü transformatörlerinin, kesicilerin, ayırıcıların, sigortaların ve benzeri şebeke elemanlarının seçimine ve şebekeyi arızalı kısımlardan ayıracak koruma sistemlerinin kurulmasına yardımcı olacak kısa devre akımının değeri ve değışiminin bilinmesine ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada 154 kV'luk Van Trafo Merkezinde olması muhtemel 3 faz, 3 faz-toprak, 2 faz, 2 faz-toprak ve faz-toprak kısa devre akımlarının gerçek parametrelerle MATLAB Simulink programı kullanılarak modellenmesi yapılmıştır.

Kısa devre olayını daha anlaşılır hale getirmek için kısa devrede geçen büyüklükler tarif edilmiş, simetrik bileşenler metoduyla kısa devre arızalarının bileşenleri gösterilmiş, simetrik ve asimetrik kısa devre arızaları tanımlanmıştır.

Matlab Simulink programında tasarlanan 154 kV'luk Van Trafo Merkezi modeliyle kısa devre akımları incelenmiş ve simülasyon sonuçları ayrıntılı olarak verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kısa devre akımı, Trafo Merkezi

ABSTRACT

ANALYSIS AND SIMULATION OF SHORT CIRCUIT CURRENTS AT 154 kV VAN SUBSTATION

DEMİR, İlter

M.Sc. , Electrical and Electronics Engineering Department

Supervisor: Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ

April 2012, 109 pages

There is need to know value and change of short circuit current in order to help building protective systems which separate network from defective parts and chose lines that make up the electrical network, devices, transformers, instrument transformers, circuit breaker and disconnecting switches, fuses and suchlike network elements.

In this study 3 phase, 3 phase-to-ground, phase-to-phase, 2 phase-to-ground and single phase-to-ground short circuit currents which are likely to occur in 154 kV Van Substation are modelled using MATLAB Simulink program with actual parameters.

In order to make the short circuit event more clearly quantities in short circuit are described, components of the short circuit faults are shown by using symmetrical components method, symmetrical and asymmetrical short circuit faults are defined.

Short circuit currents are analyzed by using 154 kV Van Substation model designed by means of MATLAB Simulink program and simulation results are given detailed.

Keywords: Short circuit current, Substation

ÖN SÖZ

Bu çalışmada 154 kV'luk Van Trafo Merkezinde olması muhtemel 3 faz, 3 faz-toprak, faz-faz, 2 faz-toprak, faz-toprak kısa devre akımlarının gerçek parametrelerle Matlab Simulink programı kullanılarak modellenmesi yapılmıştır. Gerçekleştirilen modelleme 154 kV'luk Van Trafo Merkezinin akım-gerilim değişimleri, kısa devre akımları ve gerilim düşümleri gözlenmiştir. Yapılan çalışmada kullanılan veriler TEİAŞ'dan temin edilmiş olup, gerçek değerler seçilmiştir. Bu tez çalışmasında Matlab yazılım programının R2010a sürümü kullanılmıştır.

Tezimin hazırlanmasında desteğini benden esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ'ye, çalışmalarım boyunca bana destek olan İngilizce öğretmeni kardeşim Meral DEMİR'e teşekkür ederim.

İlter DEMİR

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xix
EKLER DİZİNİ	xxi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	6
3.1. Kısa Devre	6
3.1.1. Kısa Devre Olayında Geçen Büyüklükler	9
3.1.1.1. Subtransiyent (başlangıç) kısa devre akımı (I'_{k})	9
3.1.1.2. Transiyent (geçiş) kısa devre akımı (I'_{k})	10
3.1.1.3. Sürekli kısa devre akımı (I_k)	10
3.1.1.4. Darbe kısa devre akımı (i_p)	10
3.1.1.5. Kısa devre açma akımı (I_b)	11
3.1.1.6. Kısa devre açma gücü (S_b)	12
3.2. Teçhizat Empedansları	12
3.2.1. İki sargılı transformatör empedansları	12
3.2.2. Havai hatların empedansları	13
3.2.3. Eşdeğer Şebeke Empedansları	15
3.3. Eşdeğer Gerilim Kaynağı	16
3.4. Yıldız Noktasının Topraklanması	18
3.5. Simetrik Bileşenler	22
3.5.1. “a” operatörü	25
3.5.2. Simetrik bileşenlerde gerilimler	25
3.5.3. Simetrik bileşenlerde akımlar	27

	Sayfa
3.6. Kısa Devre Hesapları	28
3.6.1. Simetrik kısa devre arızası	29
3.6.2. Asimetrik kısa devre arızaları	32
3.6.2.1. Faz-toprak kısa devresi	32
3.6.2.2. Faz-faz kısa devresi	36
3.6.2.3. İki faz-toprak kısa devresi	38
4. BULGULAR	41
4.1. 154/33.6 kV'luk Van Trafo Merkezinin Modellenmesi	41
4.1.1. Gerilim kaynakları	41
4.1.2. Kesici	41
4.1.3. Hatlar	43
4.1.4. Trafolar	44
4.1.4.1. Transformatör sargıları	45
4.1.4.2. Kısa devrede çalışma	45
4.1.4.3. Yükte çalışma	46
4.1.4.4. Y-Y bağlantılı trafo	46
4.1.4.4.1 Kısa devre testi	48
4.1.4.4.2 Boşta çalışma testi	49
4.1.5. Ölçü	51
4.1.6. Akım ölçer	51
4.1.7. Hata	52
4.1.8. Yükler	52
4.1.9. Grafiksel kullanıcı arayüzü (powergui)	53
4.2. Simulasyon ve kısa devre analizi	55
4.2.1. Normal çalışma durumunda Simulink modeli, akım ve gerilim ölçümleri	55
4.2.2. 154 kV'luk Van Trafo Merkezinin 33.6 kV'luk (Sekonder Tarafta) Tarafında Bir Fiderde Oluşan Kısa Devre Durumu	60
4.2.2.1. 3 faz kısa devre Simulink modeli, gerilim ve akım grafikleri	61

	Sayfa
4.2.2.2. 3 faz toprak kısa devre Simulink modeli, gerilim ve akım grafikleri	68
4.2.2.3. Faz-faz kısa devre Simulink modeli, gerilim ve akım grafikleri	72
4.2.2.4. İki faz toprak kısa devre Simulink modeli, gerilim ve akım grafikleri	76
4.2.2.5. Faz-toprak kısa devre Simulink modeli, gerilim ve akım grafikleri	82
4.2.3. 154 kV'luk Van Trafo Merkezinin 154 kV'luk (Primer Tarafında) Tarafında Oluşan Kısa Devre Durumu	88
4.2.3..1 3 faz kısa devre simulasyon modeli, gerilim ve akım grafikleri	88
4.2.3.2. 3 faz-toprak kısa devre Simulink modeli, gerilim ve akım grafikleri	91
4.2.3.3. Faz-faz kısa devre Simulink modeli, gerilim ve akım grafikleri	94
4.2.3.4. 2 faz toprak Simulink modeli, gerilim ve akım grafikleri	97
4.2.3.5. Faz-toprak kısa devre Simulink modeli, gerilim ve akım grafikleri	100
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	104
KAYNAKLAR	106
EKLER	108
ÖZGEÇMİŞ	109

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Generatöre yakın üç fazlı bir kısa devre arızasında gerilimin sıfırdan geçtiği iletkenlerinden herhangi birine ait arıza akımının değişimi	7
Şekil 3.2. Generatöre uzak bir noktada meydana gelen kısa devre akımının değişimi	9
Şekil 3.3. Tesisat elemanlarının R/X oranına bağlı olarak K'nın değişimi	11
Şekil 3.4. Enterkonnekte şebekeden bir transformatör üzerinden beslenen bir tüketici grubunun tek hat diyagramı ve C barasında meydana gelebilecek bir kısa devrenin hesaplanması için eşdeğer gerilim kaynağında gösterildiği eşdeğer devre	18
Şekil 3.5. Yıldız noktası direkt topraklı bir şebekede tüketici tarafında meydana gelebilecek tek-faz kısa devre arızası ile gerilimlerin vektörel gösterimi	19
Şekil 3.6. Yıldız noktası izole bir şebekede tüketici tarafında meydana gelebilecek tek-faz kısa devre arızası ile gerilimlerin vektörel gösterimi	20
Şekil 3.7. Yıldız noktası bir empedans üzerinden toprağa bağlı bir şebekede tüketici tarafında meydana gelebilecek tek-faz kısa devre arızası ile gerilimlerin vektörel gösterimi	22
Şekil 3.8. Fazları sırası ile R, S, T olan üç fazlı dengesiz bir sistemin doğru, ters, sıfır bileşen gerilim fazörleri ve bunların vektörel toplamından meydana gelen dengesiz gerilim fazörleri	24
Şekil 3.9. “a” operatörünün çeşitli katlarının fazörel gösterilişi	25
Şekil 3.10. Üç fazlı simetrik kısa devre arızasının genel gösterimi	29
Şekil 3.11. Üç fazlı simetrik kısa devre arızasının doğru, ters ve sıfır bileşen devreleri	30
Şekil 3.12. Faz-toprak kısa devre arızasının genel gösterimi	33
Şekil 3.13. Faz-toprak kısa devre arızasında doğru, ters ve sıfır bileşen devreleri	34
Şekil 3.14. Faz-faz kısa devre arızasının genel gösterimi	36

	Sayfa
Şekil 3.15. Faz-faz kısa devre arızasının doğru, ters ve sıfır bileşen devreleri	37
Şekil 3.16. İki faz-toprak kısa devre arızasının genel gösterimi	39
Şekil 3.17. İki faz-toprak kısa devre arızasının doğru, ters ve sıfır bileşen devreleri	40
Şekil 4.1. Gerilim Kaynağının Simulink Simgesi	41
Şekil 4.2. 3 fazlı kesici sembolü	42
Şekil 4.3. Enerji iletim hattının π (pi) eşdeğer devresi	43
Şekil 4.4. Enerji iletim hattının Simulink modeli	43
Şekil 4.5. Transformatorün prensip şeması	45
Şekil 4.6. Transformatorün kısa devre çalışma devresi	45
Şekil 4.7. Transformatorün yükte çalışma devresi	46
Şekil 4.8. Yıldız-yıldız bağlı 3 fazlı trafonun eşdeğer devresi	47
Şekil 4.9. YN-YN Bağlantılı trafo sembolü	47
Şekil 4.10. Yıldız-Yıldız bağlı trafonun kısa devre eşdeğer devresi	48
Şekil 4.11. Yıldız-Yıldız bağlı trafonun boшта çalışma eşdeğer devresi	50
Şekil 4.12. 3 fazlı akım-gerilim ölçü sembolü	51
Şekil 4.13. Akım ölçerin Simulink sembolü	51
Şekil 4.14. 3 faz hata sembolü	52
Şekil 4.15. 3 fazlı paralel RLC yük sembolü	52
Şekil 4.16. Powergui bloğu sembolü	54
Şekil 4.17. Normal çalışma durumunda Simulink modeli	56
Şekil 4.18. Normal çalışma durumunda primer taraftan alınan gerilim grafiği	57
Şekil 4.19. Normal çalışma durumunda primer taraftan alınan akım grafiği	57
Şekil 4.20. Normal çalışma durumunda sekonder taraftan alınan gerilim grafiği	58
Şekil 4.21. Normal çalışma durumunda sekonder taraftan alınan akım grafiği	58
Şekil 4.22. 154 kV'luk Gerilim kaynağı gerilim grafiği	59

	Sayfa
Şekil 4.23. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz kısa devre Simulink modeli	62
Şekil 4.24. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz kısa devre primer tarafı kısa devre gerilim grafiği	63
Şekil 4.25. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz kısa devre primer tarafı kısa devre akım grafiği	63
Şekil 4.26. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz kısa devre sekonder tarafı kısa devre gerilim grafiği	64
Şekil 4.27. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz kısa devre sekonder tarafı kısa devre akım grafiği	65
Şekil 4.28. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz kısa devre trafo nötr noktası kısa devre akım grafiği	66
Şekil 4.29. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz kısa devre fider akım grafiği	66
Şekil 4.30. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz kısa devre fider nötr noktası akım grafiği	67
Şekil 4.31. 154 kV'luk Van TM'den alınan 3 faz kısa devre röle akım grafiği	67
Şekil 4.32. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz –toprak kısa devre primer tarafı kısa devre gerilim grafiği	68
Şekil 4.33. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz –toprak kısa devre primer tarafı kısa devre akım grafiği	69
Şekil 4.34. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz –toprak kısa devre sekonder tarafı kısa devre gerilim grafiği	69
Şekil 4.35. 33.6 kV tarafta 3 faz –toprak kısa devre sekonder tarafı kısa devre akım grafiği	70
Şekil 4.36. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz-toprak kısa devre trafo nötr noktası akım grafiği	70
Şekil 4.37. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz –toprak kısa devre fider akım grafiği	71
Şekil 4.38. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz –toprak kısa devre fider nötr akım grafiği	71
Şekil 4.39. 33.6 kV'luk tarafta faz- faz (A-B) kısa devre primer tarafı kısa devre gerilim grafiği	72

	Sayfa
Şekil 4.40. 33.6 kV'luk tarafta faz- faz (A-B) kısa devre primer tarafı kısa devre akım grafiği	72
Şekil 4.41. 33.6 kV'luk tarafta faz- faz (A-B) kısa devre sekonder tarafı kısa devre gerilim grafiği	73
Şekil 4.42. 33.6 kV tarafta faz- faz (A-B) kısa devre sekonder tarafı kısa devre akım grafiği	73
Şekil 4.43. 33.6 kV'luk tarafta faz- faz (A-B) kısa devre trafo nötr noktası akım grafiği	74
Şekil 4.44. 33.6 kV'luk tarafta faz- faz (A-B) kısa devre fider akım grafiği	75
Şekil 4.45. 33.6 kV'luk tarafta faz- faz (A-B) kısa devre fider nötr akım grafiği	75
Şekil 4.46. 33.6 kV'luk tarafta 2 faz-toprak kısa devre Simulink modeli	77
Şekil 4.47. 33.6 kV'luk tarafta 2 faz-toprak (A-B toprak) kısa devre primer tarafı kısa devre gerilim grafiği	78
Şekil 4.48. 33.6 kV'luk tarafta 2 faz-toprak (A-B toprak) kısa devre primer tarafı kısa devre akım grafiği	78
Şekil 4.49. 33.6 kV'luk tarafta 2 faz-toprak (A-B toprak) kısa devre sekonder tarafı kısa devre gerilim grafiği	79
Şekil 4.50. 33.6 kV'luk tarafta 2 faz-toprak (A-B toprak) kısa devre sekonder tarafı kısa devre akım grafiği	79
Şekil 4.51. 33.6 kV'luk tarafta 2 faz-toprak (A-B toprak) kısa devre trafo nötr noktası akım grafiği	80
Şekil 4.52. 33.6 kV'luk tarafta 2 faz-toprak (A-B toprak) kısa devre fider akım grafiği	80
Şekil 4.53. 33.6 kV'luk tarafta 2 faz-toprak (A-B toprak) kısa devre fider nötr akım grafiği	81
Şekil 4.54. 154 kV'luk Van TM'den alınan 2 faz-toprak (A-B toprak) kısa devre röle akım grafiği	81
Şekil 4.55. 33.6 kV'luk tarafta faz-toprak kısa devre Simulink modeli	83
Şekil 4.56. 33.6 kV'luk tarafta faz-toprak (C- toprak) kısa devre primer tarafı kısa devre gerilim grafiği	84

	Sayfa
Şekil 4.57. 33.6 kV'luk tarafta faz-toprak (C- toprak) kısa devre primer tarafı kısa devre akım grafiği	84
Şekil 4.58. 33.6 kV'luk tarafta faz-toprak (C- toprak) kısa devre sekonder tarafı kısa devre gerilim grafiği	85
Şekil 4.59. 33.6 kV'luk tarafta faz-toprak (C- toprak) kısa devre, sekonder tarafı kısa devre akım grafiği	85
Şekil 4.60. 33.6 kV'luk tarafta faz-toprak (C-toprak) kısa devre trafo nötr noktası akım grafiği	86
Şekil 4.61. 33.6 kV'luk tarafta faz-toprak (C-toprak) kısa devre fider akım grafiği	86
Şekil 4.62. 33.6 kV'luk tarafta faz-toprak (C-toprak) kısa devre fider nötr akım grafiği	87
Şekil 4.63. 154 kV'luk Van TM'den alınan faz-toprak (C- toprak) kısa devre röle akım grafiği	87
Şekil 4.64. 154 kV'luk tarafta 3 faz (A-B-C) kısa devre primer tarafı kısa devre gerilim grafiği	88
Şekil 4.65. 154 kV'luk tarafta 3 faz (A-B-C) kısa devre primer tarafı kısa devre akım grafiği	89
Şekil 4.66. 154 kV'luk tarafta 3 faz (A- B-C) kısa devre sekonder tarafı kısa devre Gerilim grafiği	89
Şekil 4.67. 154 kV'luk tarafta 3 faz (A- B-C) kısa devre sekonder tarafı kısa devre akım grafiği	90
Şekil 4.68. 154 kV'luk tarafta 3 faz (A-B-C) kısa devre trafo nötr noktası akım grafiği	91
Şekil 4.69. 154 kV'luk tarafta 3 faz-toprak (A-B-C-toprak) kısa devre primer tarafı kısa devre gerilim grafiği	92
Şekil 4.70. 154 kV'luk tarafta 3 faz-toprak (A-B-C-toprak) kısa devre primer tarafı kısa devre akım grafiği	92
Şekil 4.71. 154 kV'luk tarafta 3 faz-toprak (A- B-C-toprak) kısa devre sekonder tarafı kısa devre gerilim grafiği	93

	Sayfa
Şekil 4.72. 154 kV'luk tarafta 3 faz-toprak (A- B-C-toprak) kısa devre sekonder tarafı kısa devre akım grafiği	93
Şekil 4.73. 154 kV'luk tarafta 3 faz-toprak (A-B-C-toprak) kısa devre trafo nötr noktası akım grafiği	94
Şekil 4.74. 154 kV'luk tarafta faz- faz (A-B) kısa devre primer tarafı kısa devre gerilim grafiği	95
Şekil 4.75. 154 kV'luk tarafta faz- faz (A-B) kısa devre primer tarafı kısa devre akım grafiği	95
Şekil 4.76. 154 kV'luk tarafta faz- faz (A- B) kısa devre sekonder tarafı kısa devre gerilim grafiği	96
Şekil 4.77. 154 kV'luk tarafta faz- faz (A- B) kısa devre sekonder tarafı kısa devre akım grafiği	96
Şekil 4.78. 154 kV'luk tarafta faz-faz (A-B) kısa devre trafo nötr noktası akım grafiği	97
Şekil 4.79. 154 kV'luk tarafta 2 faz-toprak (A-B-toprak) kısa devre primer tarafı kısa devre gerilim grafiği	98
Şekil 4.80. 154 kV'luk tarafta 2 faz-toprak (A-B-toprak) kısa devre primer tarafı kısa devre akım grafiği	98
Şekil 4.81. 154 kV'luk tarafta 2 faz-toprak (A- B-toprak) kısa devre sekonder tarafı kısa devre gerilim grafiği	99
Şekil 4.82. 154 kV'luk tarafta 2 faz-toprak (A- B-toprak) kısa devre sekonder tarafı kısa devre akım grafiği	99
Şekil 4.83. 154 kV'luk tarafta 2 faz-toprak (A-B-toprak) kısa devre trafo nötr noktası akım grafiği	100
Şekil 4.84. 154 kV'luk tarafta faz-toprak (C-toprak) kısa devre primer tarafı kısa devre gerilim grafiği	101
Şekil 4.85. 154 kV'luk tarafta faz-toprak (C-toprak) kısa devre primer tarafı kısa devre akım grafiği	101

	Sayfa
Şekil 4.86. 154 kV'luk tarafta faz-toprak (C-toprak) kısa devre sekonder tarafi kısa devre gerilim grafiği	102
Şekil 4.87. 154 kV'luk tarafta faz-toprak (C-toprak) kısa devre sekonder tarafi kısa devre akım grafiği	102
Şekil 4.88. 154 kV'luk tarafta faz-toprak (C-toprak) kısa devre trafo nötr noktası akım grafiği	103

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Bakır ve alüminyum havai hat iletkenlerinin 20 °C'lik çevre sıcaklığında faz ve km başına direnç değerleri (DIN 48 201'e göre)	14
Çizelge 3.2. Maksimum ve minimum kısa devre akımlarının hesaplanmasında kullanılan gerilim faktörleri (C)	17
Çizelge 4.1. 154 kV'luk Van Trafo Merkezine giriş yapan hat parametreleri	44
Çizelge 4.2 100 MVA 154 kV'luk'luk trafo parametreleri	48
Çizelge 4.3. 154 kV'luk Van Trafo Merkezinin yük parametre değerleri	53
Çizelge 4.4. Simulasyon sonucundaki primer ve sekonder gösterge değerleri	60

EKLER DİZİNİ

	Sayfa
Ek 1. 154 kV'luk Van Trafo Merkezinin tek hat şeması	108

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

a	Her hangi bir fazörü saat ibresinin tersi yönünde 120° döndüren operatör
c	Gerilim faktörü
E_y	Generatörün elektromotor kuvveti (faz-nötr olarak) [V]
F	Frekans [Hertz. Hz]
i_p	Darbe kısa devre akımı [kA]
I	Akım şiddeti [A]
$I_{1,2,0}$	Kısa devre akımının doğru, ters ve sıfır bileşenleri [A]
I_b	Kısa devre açma akımı [kA]
I''_k	Subtransiyent (başlangıç) kısa devre akımı [A]
I'_k	Transiyent (geçiş) kısa devre akımı [A]
I_k	Sürekli kısa devre akımı [A]
I_{k1}	Faz-toprak arasında meydana gelen sürekli kısa devre akımı [A]
I_{k2}	İki faz iletkeni arasında meydana gelen sürekli kısa devre akımı [A]
I_{k2t}	İki faz-toprak arasında meydana gelen sürekli kısa devre akımı [A]
I_{k3}	Üç fazlı kısa devre arızasında sürekli kısa devre akımı [A]
K	Darbe kısa devre akım katsayısı
L	Endüktans[Henry]
$L_{\omega 0}$	Transformatörün magnetik endüktansı [Henry]
$L_{\omega 0}$	Hattın bir iletkeninin km başına öz endüktansı [H/km.faz]
P	Aktif güç [W]
P_{kcu}	Transformatörün nominal akımdaki bakır kayıplar [W]
Tr	Transformatör
r	iletkenin yarı çapı [mm]
R	Hattın bir iletkeninin toplam direnci [ohm]
R_m	Transformatörün magnetik direnci [ohm]
S_b	Kısa devre açma gücü [VA]
S''_k	Başlangıç kısa devre gücü [VA]
S_{TR}	Transformatörün nominal gücü [MVA]
τ_o	Topraklama katsayısı

u_k	Bağıl kısa devre gerilimi [%]
U_n	Nominal gerilim, AC [V]
V	Faz-nötr gerilimi, AC [V]
V_f	Arıza noktasında var olduğu kabul edilen eşdeğer gerilim kaynağı [V]
ω	Açısal frekans [1/s]
X	Hattın bir iletkeninin toplam reaktansı [ohm]
Y	Hattın bir iletkeninin admittansı [mho]
X_d	Senkron (endüvi) reaktans [ohm/faz]
$Z_{(1,2,0)}$	Empedansın doğru, ters ve sıfır bileşenleri [ohm]
Z_k	Kısa devre empedansı [ohm/faz]

Kısaltmalar

Bkz.	Bakınız
EİH	Enerji İletim Hattı
EMK	Elektromotor kuvveti
FFT	Fast Fourier Transform
MATLAB	Matrix Laboratory (matris laboratuvarı)
TM	Trafo Merkezi
IEC	International Electrotechnical Commission

1. GİRİŞ

Enerji dağıtım sistemlerinde meydana gelebilecek bir arızadan dolayı tüketicilerin etkilenmesi, üretim ve iletim sistemlerinde meydana gelebilecek arızalardan daha fazladır.

Üretim ve iletim sistemleri çok dağınık olarak tesis edildiğinden, bunların tamamının ya da önemli bir kısmının aynı zamanda devre dışı olması söz konusu değildir ve her zaman tüketim bölgelerine bir alternatif besleme vardır.

Kısa devrenin elektrik tesislerindeki tesirleri çok farklı olabilmektedir. Kısa devrenin darbe şeklinde ani olarak baş göstermesi ile devreden geçen büyük kısa devre akımları, tesis elemanları üzerinde dinamik kuvvetlerin oluşmasına ve bunların mekanik yoldan zorlanmasına yol açmaktadır. Devreden uzun süre geçen, sürekli kısa devre akımları ise tesis elemanlarının ısınmasına ve malzemenin termik bakımdan zorlanmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple hem tesis hem de işletme personeli bundan zarar görebilir. Kısa devre olayının sebep olduğu arızalar sonucunda; işletme kısmen veya tamamen durur ve kademe kademe enerji üretimi, iletimi, dağıtımı ve tüketimi artık normal olarak devam edemez. Ayrıca arızanın sebep olduğu hasar büyük onarım masraflarını da beraberinde getirir (Küçük, 2005).

Bu çalışmada 154 kV'luk Van Trafo Merkezindeki kısa devre akımları incelenmiştir. Bu amaçla Matlab R2010a sürümü kullanılarak 154 kV'luk Van TM bilgisayar ortamında modellenmiştir. Bir trafo merkezinin ana bileşenleri olan hatlar, güç transformatörleri, kesiciler, baralar ve yükler Matlab Simulink programının Simpowersystems kütüphanesinde yer alan bloklar vasıtasıyla modellenmiştir. Simulasyonda gerçek parametreler kullanılmıştır. Hatları modellerken hat blok parametreleri, TEİAŞ Bilgi İşlem Dairesinin Türkiye Ulusal Elektrik Ağındaki Havai Hatların Trafoların ve Generatörlerin Elektriki Karakteristikleri isimli raporu baz alınarak modelleme yapılmıştır. Güç transformatörlerinin modellemesinde ise fabrika test raporları baz alınarak hesaplamalar yapılmış ve güç transformatörlerinin blok parametre değerleri bulunmuştur. Yük parametre değerleri 154 kV'luk Van Trafo Merkezinde bulunan sayaçlardan alınmıştır. 154 kV'luk Van Trafo Merkezi tek başına

modellendiğinden enterkonnekte sistemin etkisi 154 kV'luk ideal bir gerilim kaynağı ile modellenmiştir. Tez çalışmasında amaç 154 kV'luk Van Trafo Merkezinde kısa devre akımlarının analizi ve simulasyonu olduğundan bu çalışmada bütün kısa devre arıza çeşitleri; faz-toprak, faz-faz, iki faz-toprak, üç faz, üç faz-toprak arızaları modellenmiştir. Simulasyon sonuçlarında akım ve gerilim grafikleri elde edilmiştir.

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Kısa devre akımları elektriksel ekipmanın tasarımı ve kurulumu için, güç sistemlerinin işleyişi için ve arızaları analizi için baskın parametrelerdir. Kısa devre akımlarının hesabı, güç sistemlerindeki ekipmanların tasarımı hakkında bilgi edinmenin yanısıra güç sistemleri mühendislerinin temel görevidir. Elektrik güç sistemleri emniyetli, güvenilir ve ekonomik elektriki yük arzını sağlayacak şekilde planlanmalı, projelendirilmeli, inşa edilmeli ve işletilmelidir. Güç sistemlerindeki kısa devre arızaları her ne kadar dikkatli planlama ve tasarım yapılırsa, sistemin iyi bakımı ve mükemmel işleyişi olsa bile kaçınılmazdır. Bu, sistemin dışındaki faz iletkenlerine yıldırım çarpması, yer altı çalışmasında kabloların gelen zarar ve izolasyon malzemelerin yaşlanması gibi etkileri de içerir. Bu yüzden kısa devre akımlarının güç sistemlerinde etkisi büyüktür. Şalt sahası ve sigortalar kısa sürede ve güvenli bir biçimde kısa devre akımlarını kapatmalıdır. Toprağa akan kısa devre akımları yakın mesafedeki boru hatlarında, iletişim ve güç devrelerinde yasak gerilimleri indükleyebilir. Kısa devre, generatör birimlerinin mekaniksel salınımlarını uyararak aktif ve reaktif güç salınımlarına yol açabilir, böylelikle güç transferinin kararlılığında probleme yol açabilir (Schlabach, 2005).

Kısa devre akımı normal işletme şartlarında potansiyelleri farklı olan gerilim altındaki iletkenler arasında ihmal edilebilir empedanslı bir hata sonucu meydana gelen akımlardır. Kısa devreler kablo ve iletkenlerde yalıtkanın bozulması veya hatalı montaj ve tesislerde görülür. Elektrik tesisleri kısa devre esnasında termik ve dinamik zorlamalara karşı dayanabilecek şekilde tasarlanmalıdır (Kaşıkçı, 2008).

Elektrik sistemindeki arızaların çok önemli bir kısmı kısa devre olaylarıdır. Kısa devrenin çeşitli sebepleri vardır. Bunların başlıcaları;

- 1) Kaynağı tamamen elektrik olanlar: Bu durum iletkenlerin izolasyonunun işletme gerilimine dayanımını kaybetmesiyle ortaya çıkar.
- 2) Kaynağı mekanik olanlar: Havai hat üzerine ağaç düşmesi, herhangi bir cismin çarpması, yeraltı kablolarına kazma vurulması veya heyelan yer kayması gibi

nedenlerden dolayı kablonun geriye gelerek kopması, izolatörlerin herhangi bir nedenle kırılması gibi nedenlerden dolayı kısa devreler meydana gelir.

3) Kaynağı atmosferik olanlar: Bu durum havai hat iletkenlerine veya yakınlarına yıldırım düşmesi veya statik olarak yüklü bir bulutun hattın üzerinden geçmesi esnasında meydana gelebileceği gibi, izolatörlerin kirlenmesi, iletkenlerin buzlanması veya yağmur dolayısıyla emniyetli mesafenin kaybolmasıyla da meydana gelebilir.

4) Şebekede geçici olaylar sonucu oluşan aşırı gerilimler: Tesisat elemanlarının izolasyonunun bozulması sonucu meydana gelen kısa devre arızaları

5) Tesisatta insan hatasına bağlı olarak yapılan manevralar sonucu meydana gelen kısa devre arızaları şeklinde sıralanabilir (Küçük, 2005).

Üç fazlı bir sistemde her üç faz iletkeninin birbiri ile temas etmesi ile üç fazlı simetrik arıza; sadece herhangi iki faz iletkeninin birbiri ile temas etmesi ile iki faz arıza; sadece nötrü topraklanmış üç fazlı sistemlerde herhangi bir faz iletkeninin nötr hattı veya toprak ile temas etmesi ile tek faz-toprak arıza; yine nötrü topraklanmış üç fazlı sistemlerde herhangi iki faz iletkeninin birbiri ile ve nötr hattı veya toprak ile temas etmesi ile iki faz-toprak arıza meydana gelir (Çakır, 1986).

Transformatörlerdeki kısa devre geriliminin tayini; transformatörün sekonder tarafı kısa devre edilerek ($U_2=0$) olur, primer taraftan transformatöre nominal akım girecek şekilde uyarılır. Bu akımı primerden geçiren primer uçlara tatbik edilmesi gereken gerilim U_k 'dir. Bir transformatörün kısa devre gerilimini volt yerine nominal gerilim yüzdesi olarak vermek adet haline gelmiştir. Bunun faydası yüzde değerinin aynı tarzda primer ve sekonder taraf için de cari olmasındandır (Ürgüplü, 2008).

Dijital bilgisayarın kullanımı sistem bileşenlerinin basit ve kesin simulasyonuna izin verir böylece kısa devre akımları doğru bir biçimde hesaplanabilir (Parise ve ark. , 1995).

Şebeke kısa devre durumunda iken kesicinin kutuplarının anahtarlama ya da yeniden kapanma esnasında aynı zamanda olmayan kapanması ve üç fazlı arıza esnasında fazların peşpeşe karıştırılması test değerini aşan tepe akımlarına sebep olur (Kersten ve van den Heuvel, 1991).

Transformatörler güç sistemlerinin gerekli ve önemli elemanlarıdır. Son yıllarda transformatörlerde oluşan arızaların %70-80'i sarımlar arasındaki kısa devrelerden kaynaklanmaktadır (Butler-Purry ve Wang, 2003) .

Kesiciler kısa devre ve aşırı yük şartlarında sistem ve motor koruması için kullanılırlar. Arızalı devreyi bağlantıdan çıkarma görevini yapan kesici sisteme yapılan baskıları da sınırlamalıdır (Mützel ve ark., 2007).

Kısa devre hesaplarına, güç sisteminin tasarımı sırasında ihtiyaç vardır. Çünkü elektriksel gereçlerin seçimi ve sistemin topolojisi sadece sürekli hal anma gerilim ve akımlarına bağlı değildir. Buna ek olarak kısa devre olaylarında ortaya çıkan akım ve gerilimlerin de donanım seçiminde göz önüne alınması gerekir.

Kısa devre hesaplamalarında, genlikleri farklı olan iki kısa devre akımı hesaplanır.

- a) En yüksek kısa devre akımı: Sistemdeki elektriksel donanımın kapasitesi ve sınıfları bu akıma göre belirlenir (Termik ve mekanik dayanım sınırları gibi).
- b) En düşük kısa devre akımı: Sigortaların ve koruma donanımının (röle) seçimi ve ayarında bu akım dikkate alınır. Ayrıca motor kalkış akım denetimi için temel oluşturur (Serrican, 2007).

Özbay (2007), yüksek performanslı teknik programlama dili olan Matlab'ın birçok sahada kullanılan sınıfının en gelişmiş programı olduğunu, Matlab ve onun simülasyon uygulaması olan Simulink'in simülasyonda kullanılan programlar olduğunu bildirmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kısa Devre

Kısa devre; elektrik tesislerinde, faz iletkenleri arasında veya yıldız noktası topraklanmış şebekelerde faz iletkenleri ile toprak arasında izolasyonun herhangi bir şekilde ortadan kalkması ya da yanlış operasyonlar sonucu oluşan akımın çok büyük değerlere ulaştığı bir arıza halidir.

Bu durumda; sistemde, kaynaklar ile kısa devre noktası arasında empedans çok küçük olup, akım yolu üzerindeki bütün tesisat elemanları kısa devrenin termik ve dinamik etkilerine maruz kalırlar. Şayet tesisat elemanları kısa devrenin bu etkilerine, röleler tarafından belirlenen sürede dayanacak şekilde seçilmiş ve tesis edilmişse bir sorun çıkmaz. Ancak bu elemanlar yeterli kapasitede değilse hem kendileri tahrip olur, hem de çevreye zarar vererek can ve mal güvenliğini tehlikeye sokarlar

Bu nedenle tesisin arızalı kısımları sağlam kısımlarından çeşitli koruma elemanları (sigorta, ayırıcı, kesici vb.) vasıtası ile mümkün olan en kısa sürede ayrılarak devre dışı bırakılmalıdır.

Bir kısa devre olayında meydana gelen akımın alternatif bileşen değeri

$$E_Y = \frac{E}{\sqrt{3}} \quad (3.1)$$

olmak üzere

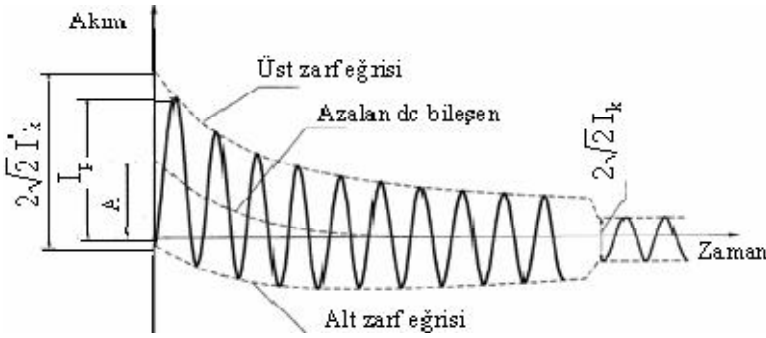
$$I_k = \frac{E_Y}{\sum Z_{(1,2,0)}} \quad (3.2)$$

genel ifadesi kullanılarak hesaplanmaktadır.

Bu eşitlikte E_Y gerilimi, elektromotor kuvveti (emk), $Z_{(1,2,0)}$ ise kısa devre yolu üzerindeki tesisat elemanlarının doğru, ters ve sıfır bileşen empedanslarının tamamını göstermektedir. Bu empedanslar içinde generatör ve şebeke empedansları bulunmaktadır.

Şebekenin herhangi bir noktasında meydana gelebilecek kısa devre akımının hesabı için, kısa devre yolu üzerindeki tesisat elemanlarının empedansları arasında generatör empedansının özel bir yeri vardır. Kısa devre süresince uyarma alanı, endüvi reaksiyonundan dolayı zayıflar ve generatör klemens gerilimi düşer.

Kısa devre olmadan önce, kısa devreyi besleyen makinanın emk.'i sabit kabul edilirse, klemens geriliminin azalmasının, generatör empedansının artmasından ileri geldiği kabul edilmektedir. Generatör empedansının büyümesi ile kısa devre akımı, kısa devre noktası generatöre ne kadar yakın ise o kadar hızla düşmektedir. Tam uyarmalı ve klemensleri aniden kısa devre edilmiş üç fazlı bir generatörün fazlarından herhangi birinin tipik kısa devre akımının değişimi Şekil 3.1'de R fazı için örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Generatöre yakın üç fazlı bir kısa devre arızasında gerilimin sıfırdan geçtiği iletkenlerinden herhangi birine ait arıza akımının değişimi

Burada;

I'_{k} =Subtransiyent başlangıç kısa devre akımı; I_k =Sürekli kısa devre akımı

I_p =Darbe kısa devre akımı; A =Doğru akım bileşeninin başlangıç değeridir.

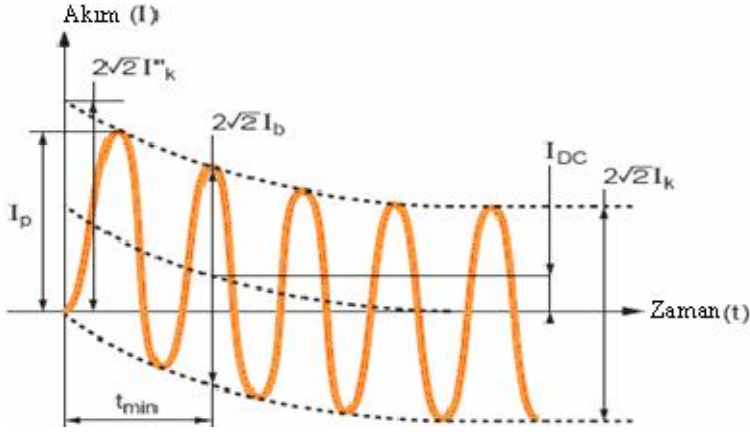
Şekil 3.1'den de görüldüğü gibi akım önce yüksek bir değere (darbe kısa devre akımı, i_p) yükselmekte ve bu akım önce hızlı, daha sonra az hızlı olarak kararlı bir değer olan sürekli kısa devre akımına (I_k) düşmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi akım kısa bir süre için yatay eksene göre asimetriktir. Kısa devre akımının bu ilk tepe değerini daha iyi anlamak için Şekil 3.1'deki eğrinin $t=0$ anından hemen sonraki değişimine bakmak gerekir.

Kısa devre alternatif akımının sürekli kısa devre alternatif akımına dönüşmesi, endüvi reaksiyonundan ileri gelmektedir. Bu reaksiyon uyarma alanını zayıflatarak emk.'i

azaltmaktadır. Bu şekilde kısa devre akımı oldukça yavaş bir şekilde kararlı, sürekli kısa devre akımına geçmekte ve bu olay transiyent geçiş olarak adlandırılmaktadır. Buna tekabül eden kısa devre alternatif akımına da **transiyent kısa devre akımı** denmektedir. Kısa devre olayının başlangıcında oluşan ve çok hızlı olarak azalan kısa devre alternatif akımına ise **subtransiyent kısa devre akımı** adı verilir.

Şekil 3.1'den de görüldüğü gibi kısa devre akımının alternatif akım bileşeni, generatörün subtransiyent reaktansına bağlı olan bir değerle başlar ve birkaç peryot sonra transiyent reaktansına bağlı olan bir değerle başlar ve birkaç peryot sonra transiyent reaktans tarafından tespit edilen bir değere ve daha sonra da yavaş yavaş sürekli kısa devre akımına ulaşır. Kısa devre akımının sürekli kısa devre akımına gelmesini generatörün senkron reaktansı belirlemektedir. Alternatif akım bileşenine, kısa devre olayının başlangıç anındaki gerilim değerine bağlı olan doğru akım bileşeni de eklenmektedir. Doğru akım bileşeni kısa devre akımının zaman eksenine göre simetrisini bozmakta ve değişimin eksenin bir tarafında oluşmasına neden olmaktadır.

Kısa devre akımı generatöre çok uzak olmayan bir noktada meydana gelirse, değişim yaklaşık olarak generatör klemenslerinde meydana gelen kısa devre akımı gibidir. Şayet kısa devre olayı generatörden uzakta bir noktada meydana gelirse, generatör empedansları şebeke empedanslarına göre etkilerini kaybederler ve bu nedenle kısa devre akımının değişimi şekil 3.2'de görüldüğü gibi farklı oluşur. Şekilden de görüldüğü gibi kısa devre akımının başlangıç değeri, kararlı kısa devre akım değerinden çok az farklıdır.



Şekil 3.2. Generatöre uzak bir noktada meydana gelen kısa devre akımının değişimi

3.1.1. Kısa Devre Olayında Geçen Büyüklükler

Kısa devre olayının başlangıcında ve devamında hesaplanabilen aşağıdaki akım büyüklükleri, sistemi meydana getiren tesis elemanlarının boyutlandırılmasında ve şebeke ile tesis elemanlarının korunmasında büyük önem arz etmektedir.

Hesaplanabilen bu büyüklükler; subtransiyent (başlangıç) kısa devre akımı (I''_k), transiyent (geçiş) kısa devre akımı (I'_k), sürekli kısa devre akımı (I_k), darbe kısa devre akımı (i_p), kısa devre açma akımı (I_b) ve kısa devre açma gücü (S_b) şeklinde sıralanabilir.

3.1.1.1. Subtransiyent (başlangıç) kısa devre akımı (I''_k)

I''_k akımı kısa devre akımının alternatif bileşeninin ilk periyotdaki en büyük değeridir. Kısa devre hesaplarında, kısa devre yolu üzerindeki tesisat elemanlarının, kaynaklar dahil karakteristiklerinden yararlanarak hesaplanan ilk büyüklüktür ve diğer büyüklüklerin hesaplanmasında kullanılır. Efektif değer olarak verilir. Şekil 3.1 ve şekil 3.2'de maksimum değer olarak işaretlenmiş olduğundan; $\sqrt{2} I''_k$, pozitif ve negatif alternansların toplamı anlamında $2\sqrt{2} I''_k$ şeklinde yazılmıştır.

3.1.1.2. Transiyent (geçiş) kısa devre akımı (I'_k)

I'_k akımı kısa devre olayı esnasında subtransiyent kısa devre akımı ile sürekli kısa devre akımı arasındaki geçiş akımına verilen addır.

3.1.1.3. Sürekli kısa devre akımı (I_k)

I_k akımı geçici olaylardan sonra geriye kalan, sönümsüz kısa devre alternatif akımın efektif değeridir.

Kısa devre olayı esnasında aynı şebekeden beslenen tüketiciler de sürekli kısa devre akımının büyüklüğü üzerinde bir etki yaratmaktadır. Şayet kısa devre noktası generatörden uzak ise, bu durumda şebekenin toplam empedansı generatör reaktansından daha büyük olup, generatör klemenslerindeki artık gerilim büyümektedir. Bu yüzden tüketiciler belirli bir miktar akım çekebilirler ve bu akım yüzünden arıza noktasını besleyen kısa devre akımı küçülür.

Kısa devre esnasında şebekeye bağlı tüketiciler $Z_{YÜK}$ gibi bir empedansla gösterilirse; bu empedans generatör klemensleri ile kısa devre noktası arasına paralel bağlanmış bir empedans olarak alınır. Bu durumda generatörden üç fazlı bir kısa devre arızası esnasında çekilen toplam akım

$$I_{yük} + I_{k3} = \frac{E_Y}{X_d + \frac{Z_{Şeb} \cdot Z_{yük}}{Z_{Şeb} + Z_{yük}}} \quad (3.3)$$

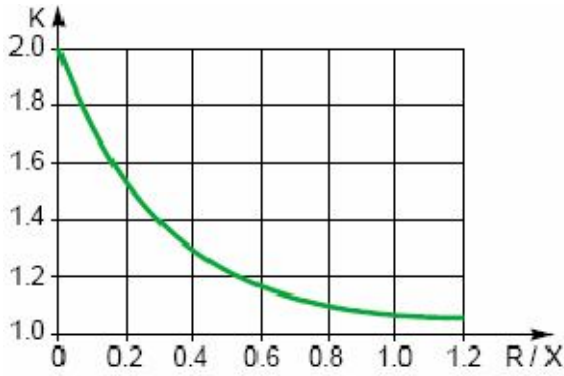
ifadesinden hesaplanmaktadır.

3.1.1.4. Darbe kısa devre akımı (i_p)

i_p akımı kısa devre olayı başladıktan sonraki ilk periyottaki akımın en büyük değeridir. Bu değer efektif değer olarak değil, maksimum değer olarak alınır. Değeri kısa devre anındaki gerilimin durumuna ve şebekenin empedans yapısına bağlı olarak değişir. Bu değer tesisatın çeşitli kısımlarının dinamik, güç anahtarlarının ise devreyi açma

zorlanmasında önemli rol oynar. Bu değer, gerilimin sıfır değerinde olduğu anda kısa devrenin meydana geldiği ve kısa devre akımının gerilimden yaklaşık olarak 90^0 (şebekenin tam endüktife yakın olması hali) geri olduğu durumda hesaplanan bir değerdir.

Darbe kısa devre akımının $K=(i_p/\sqrt{2} \cdot I''_k)$ kısa devre yolu üzerindeki tesisat elemanlarının empedanslarına (R / X) bağlı olarak değişimi Şekil 3.3'te görülmektedir. K terimi darbe kısa devre akımı katsayısıdır.



Şekil 3.3. R/X oranına bağlı olarak K'nın değişimi

Şekil 3.3. alternatif akım bileşeninin sönmediği generatörden uzak bir noktada meydana gelen kısa devreler için R/X oranına bağlı olarak

$$K = \frac{i_p}{\sqrt{2}I''_k} \quad (3.4)$$

değişimini göstermektedir.

3.1.1.5. Kısa devre açma akımı (I_b)

I_b akımı kısa devrenin kesilmesi anında kesicinin kontaklarının ayrılması esnasında kesiciden geçen kısa devre alternatif akımının efektif değeri olup, güç anahtarlarının devreyi açma zorlamasını tayin eden esas büyüklüktür. Kısa devre akımının sona ermesini, güç anahtarlarının minimum açma gecikmesi tayin eder. Koruma cihazlarının ve güç anahtarlarının tipine göre bu zaman 0.1 ile 0.25 saniye arasında değişir.

3.1.1.6. Kısa devre açma gücü (S_b)

Elektrik sisteminin herhangi bir noktasında meydana gelen kısa devrenin dinamik zorlamasını inceleyebilmek için darbe kısa devre akımı ip alınmakla beraber, açma akımının (I_b) veya bu akımla bağlantılı olan açma gücünün (S_b) de bilinmesi daha uygun olmaktadır.

Doğru akım bileşeninin zaman sabitesinin küçük olması ve minimum açma gecikmesinin ($t \geq 0.1$ saniye) olması durumunda asimetrik devre açma ile simetrik devre açma akımları arasındaki fark çok küçük olacaktır. Dolayısıyla kısa devre açma gücünün tayininde simetrik açma akımı kullanılmaktadır. Kısa devre akımının doğru akım bileşeninin etkisi küçük ise, ihmal edilmektedir. Güç anahtarlarının minimum açma gecikmesi 0,1 saniye ile 0,25 saniye arasında olduğundan, bu ihmalin bir sakıncası yoktur. Üç fazlı sistemlerde üç fazlı simetrik gücü, simetrik açma akımı, işletme gerilimi ve $\sqrt{3}$ sayısının çarpımı ile bulunur.

$$S_b = \sqrt{3} U I_b \quad (3.5)$$

3.2. Teçhizat Empedansları

Kısa devre hesabı yaparken, şebeke elemanlarının empedanslarının doğru olarak tespit edilmiş olması gerekmektedir

3.2.1. İki sargılı transformatör empedansları

Kısa devre hesaplarında transformatör empedanslarının çok önemli bir yeri vardır. İki sargılı transformatörlerin empedansı (Z_{TR}), omik direnci (R_{TR}) ve endüktif reaktansı (X_{TR}), transformatörün karakteristik değerlerinden yararlanarak

$$Z_{TR} = \frac{u_k U_n^2}{100 S_{TR}} \quad (\text{ohm/faz}) \quad (3.6)$$

$$R_{TR} = \frac{u_R U_n^2}{100 S_{TR}} = \frac{P_{kcu}}{3 I_n^2} \quad (\text{ohm/faz}) \quad (3.7)$$

$$X_{TR} = \frac{u_x U_n^2}{100 S_{TR}} \quad (\text{ohm/faz}) \quad (3.8)$$

ifadelerinden hesaplanır.

Burada;

S_{TR} Transformatörün nominal gücü [MVA]

U_n Transformatörün nominal gerilimi [kV]

u_R Yüzde olarak kısa devre bağlı omik gerilimi [%]

u_x Yüzde olarak kısa devre bağlı kaçak gerilimi [%]

u_k Yüzde olarak kısa devre gerilimi [%]

P_{kcu} Transformatörün anma akımındaki bakır kayıpları [kW]

Yüzde olarak kısa devre bağlı kaçak gerilimi

$$u_x = \sqrt{u_k^2 - u_R^2} \quad (3.9)$$

eşitliğinden bulunur.

Eğer u_R değeri verilmemişse, bu değer P_{kcu} transformatörün anma akımındaki bakır kayıpları olmak üzere

$$u_R = 100 \frac{P_{kcu}}{U_n} \quad (3.10)$$

ifadesi kullanılarak hesaplanır.

$U_k > \% 5$ ise, u_R ihmal edilerek $u_k = u_x$ alınabilir. Genelde büyük güçlü transformatörlerde omik direnç (R_{TR}) ihmal edilir.

3.2.2. Havai hatların empedansları

Kablolarda olduğu gibi, havai hat iletkenlerinin de faz ve kilometre başına ohm olarak direnç değerleri üretici firma kataloglarından kolayca bulunur. Çizelge 3.1'de bakır ve alüminyum iletkenlerin, direnç değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Bakır ve alüminyum havai hat iletkenlerinin 20 °C'lik çevre sıcaklığında faz ve km başına direnç değerleri (DIN 48 201'e göre)

İletkenin nominal kesiti (mm ²)	İletken çapı (mm)	Bakır (ohm/km)	Alüminyum (ohm/km)
10	4.10	1.806	-
16	5.10	1.139	1.802
25	6.30	0.746	1.181
35	7.50	0.527	0.834
50	9.00	0.366	0.579
70	10.50	0.276	0.437
95	12.50	0.195	0.309
120	14.00	0.155	0.246
150	15.80	0.124	0.196
185	17.50	0.100	0.159
240	20.30	0.075	0.119
300	22.50	0.061	0.097

Havai hat iletkenlerinin endüktif reaktans değerleri gerilim, kesit ve iletkenlerin direkler üzerindeki tertip şekline göre değişir.

r iletkenin yarıçapı, deş ise üç fazlı bir sistem için

$$d_{eş} = \sqrt[3]{d_1 d_2 d_3} \quad (3.11)$$

ifadesinden hesaplanan iletkenler arasındaki ortalama mesafe olmak üzere, üç fazlı alternatif akım sistemlerinde faz ve km başına endüktans değeri

$$(L_{\infty})_{3\phi} = 2 \cdot 10^{-7} \left[0.25 + \ln \left(\frac{d_{eş}}{r} \right) \right] \quad (\text{H/m}) \quad (3.12)$$

ifadesinden bulunur.

Endüktansın bu değerinden yararlanarak faz ve km başına endüktif reaktans değeri

$$x = \omega L_{\infty} \quad (\text{ohm/km.faz}) \quad (3.13)$$

olarak hesaplanır (Küçük, 2005).

3.2.3. Eşdeğer Şebeke Empedansları

Genelde çok çeşitli güç ve gerilimdeki elektrik tüketicileri, bu taleplerini çok sayıda üretim ünitesinin beslediği ulusal elektrik şebekesinden karşılarlar. Buna karşın çeşitli nedenlerden dolayı, ulusal elektrik şebekesi ile hiçbir elektriksel bağlantının olmadığı lokal ya da yöresel olarak kurulan santrallerden taleplerini karşılayan tüketici grupları (bu bir sanayi tesisi, köy veya bir grup işletme vb. olabilir) da bulunmaktadır. İkinci grup tüketicilerin yararlandığı elektrik şebekesinin boyutlarının küçük olması dolayısıyla, üretim merkezindeki ve bu merkez ile tüketiciler arasındaki bütün tesis elemanlarının karakteristikleri bilinir. Dolayısıyla tesisin herhangi bir noktasında oluşacak kısa devre hesabını yapmak ve buna göre gerekli tedbirleri almak kolaydır.

Ulusal elektrik şebekesindeki, çok sayıda üretim üniteleri, transformatörler ve bağlantı hatlarından oluşan tesis elemanlarının karakteristik değerlerini bilmek ve böylesi karışık bir şebekenin herhangi bir noktasındaki kısa devre hesabını yapmak bir tüketici için çok zor, hatta imkânsızdır. Şebekenin bu tür hesaplarını şebekeyi işleten kuruluş ancak çok özel programlar ve metotlar kullanarak belirli periyotlarda yapar ve bunları bültenlerinde yayımlarlar.

Ulusal elektrik şebekesine bağlı veya bağlanacak bir tüketici kendi şebekesinde bir kısa devre hesabı yapacaksa, yukarıda belirtilen kurumun yaptığı çalışmalardan yararlanır. Bültenlerde tüketicilerin ulusal elektrik şebekesine bağlandığı noktadaki başlangıç kısa devre alternatif akım gücü veya akımı verilir. Bu değerden yararlanarak, bağlantı noktasından önceki şebekenin eşdeğer şebeke reaktansı bulunur ve bu noktadan sonraki hatların, transformatörlerin vb. tesis elemanlarının reaktansları ilave edilmek suretiyle istenen noktadaki kısa devre akımları ve güçleri hesaplanabilir.

Sonuç olarak; ulusal elektrik şebekesinin herhangi bir noktasındaki başlangıç kısa devre gücü bilinirse, bu noktadan önceki şebekenin eşdeğer reaktansı bulunur.

Başlangıç kısa devre gücü $S_k'' = \sqrt{3}U_n I_k''$ olduğu bilindiğine göre, bu eşitlikten I_k''

$$I_k'' = \frac{U_n}{\sqrt{3}Z_k} \quad (3.14)$$

ifadesinde yerine konur ve reaktans değeri için düzenlenirse

$$X_{\text{şeb}} = \frac{U_n^2}{S_k''} = \frac{U_n}{\sqrt{3}I_k''} \quad (3.15)$$

elde edilir.

35 kV'ın üzerindeki havai hat şebekeleri için

$$Z_{\text{şeb}} = X_{\text{şeb}} \quad (3.16)$$

alınabilir.

35 kV'a kadar olan şebekelerde, eğer yeterli bilgi yoksa

$$X_{\text{şeb}} = 0.995 Z_{\text{şeb}} \quad (3.17)$$

$$R_{\text{şeb}} = 0.1 X_{\text{şeb}} \quad (3.18)$$

alınarak hesaplar yapılabilir.

3.3. Eşdeğer Gerilim Kaynağı

Kısa devre hesaplarında, kısa devrenin olduğu noktadaki gerilimin o andaki değerinin farklı olması ve tam olarak ortaya konulamaması nedeniyle sistemin yapısına uygun bir eşdeğer gerilim kaynağının belirlenmesi gerekir. Bu eşdeğer kaynak; kısa devre anındaki generatörlerin uyarmasını, statik yüklerin etkisini ve transformatörlerin kademe pozisyonlarını hesaba katar.

Kısa devre anında sistemde sadece eşdeğer gerilim kaynağı aktif olup, bütün fiderler senkron ve asenkron makineler iç empedansları ile temsil edilirler. Kısa devre hesaplarında sadece kısa devre noktasında bir kaynak olduğu kabul edilerek, diğer bütün kaynaklar kısa devre edilir ve bu eşdeğer gerilim kaynağının arızayı beslediği düşünülür.

Eşdeğer gerilim kaynağının değeri;

$$V_f = \frac{cU_n}{\sqrt{3}} \quad (3.19)$$

olup, U_n sistemin nominal işletme gerilimini (fazlar arası), c ise gerilim faktörünü göstermektedir.

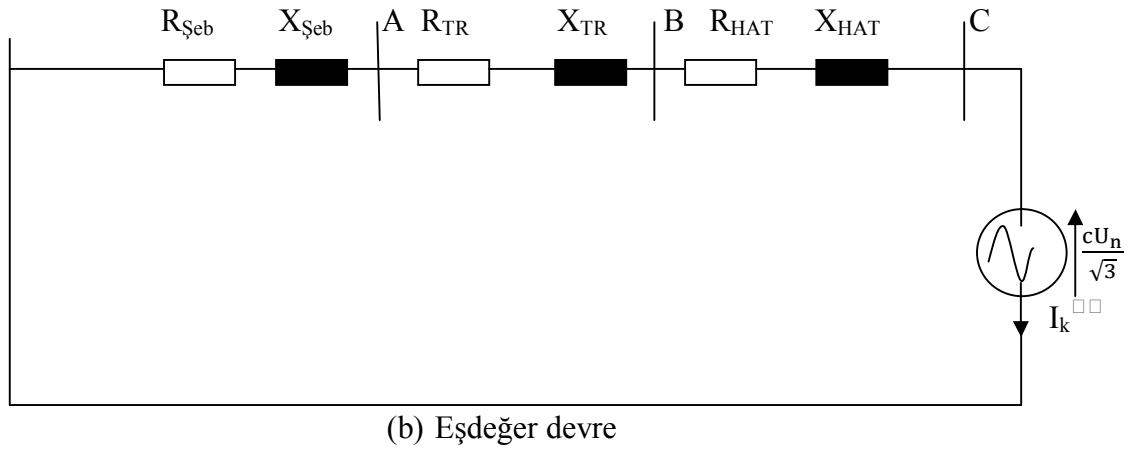
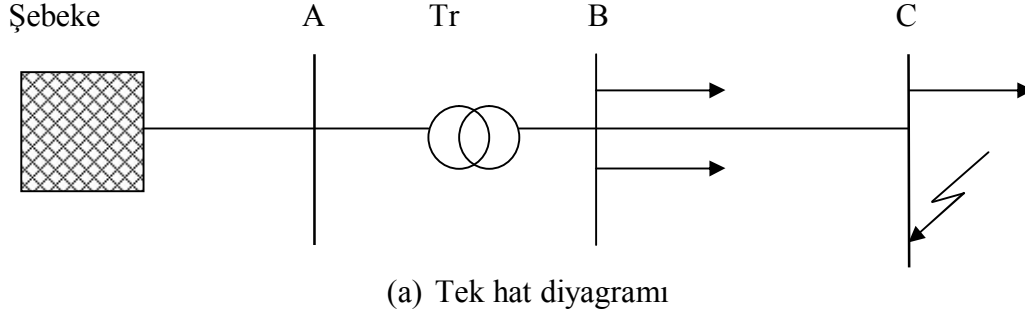
Gerilim faktörü değeri için şayet ulusal bir standart yoksa Çizelge 3.2'den maksimum ve minimum kısa devre akımlarının hesaplanması için ayrı ayrı bir değer seçilir.

Çizelge 3.2. Maksimum ve minimum kısa devre akımlarının hesaplanmasında kullanılan gerilim faktörleri (C)

Nominal Gerilim	C_{max}	C_{min}
<u>Alçak gerilim</u>		
100V -1000 V (IEC Publication 38,Tablo I)		
a-230 V/400 V	1.00	0.95
b-)Diğer gerilimler	1.05	1.00
<u>Orta gerilim</u>		
1 kV-35 kV (IEC Publication38,Tablo III)	1.10	1.00
<u>Yüksek Gerilim</u>		
35 kV-230 kV (IEC Publication 38,Tablo IV)	1.10	1.00

Şekil 3.4 (a)'da tek hat diyagramı verilen bir sistemin C barasında meydana gelebilecek bir arızada başlangıç kısa devre akımının hesaplanması için şekil 3.4 (b) 'de pozitif bileşen eşdeğer devre diyagramı ve arıza noktasında var olduğu düşünülen eşdeğer gerilim kaynağı gösterilmiştir.

Şekil 3.4 (b)'de görüldüğü gibi arıza noktasındaki eşdeğer gerilim kaynağı hariç bütün kaynaklar kısa devre edilmiş, fiderler, hatlar, transformatörler gibi statik devre elemanları pozitif bileşen empedansları ile gösterilmiştir.

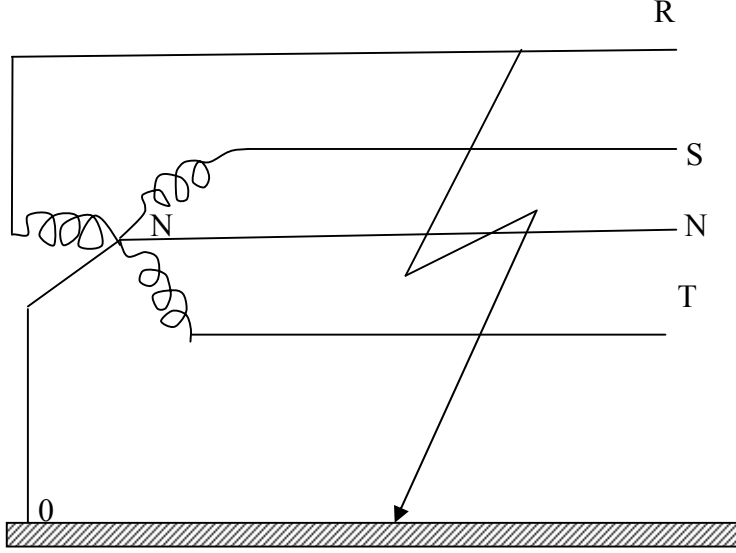


Şekil 3.4. Enterkonnekte şebekeden bir transformatör üzerinden beslenen bir tüketici grubunun tek hat diyagramı ve C barasında meydana gelebilecek bir kısa devrenin hesaplanması için eşdeğer gerilim kaynağında gösterildiği eşdeğer devre

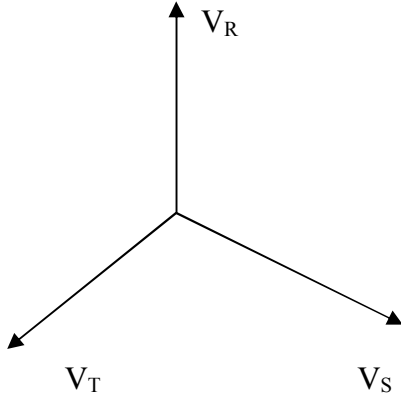
3.4. Yıldız Noktasının Topraklanması

Yıldız noktasının herhangi bir şekilde (direkt, bir direnç veya reaktans üzerinden) topraklanması veya izole olarak bırakılması meydana gelebilecek bir kısa devre ve toprak değmesinde şebekedeki akım ve gerilimlerin büyüklüğü üzerinde büyük bir öneme sahiptir. Yıldız noktası doğrudan doğruya toprağa bağlanmış olan şebekelerde, herhangi bir fazda örneğin R fazında geçiş dirençsiz bir toprak kısa devresi meydana geldiğinde sistemin yıldız noktası toprağa bağlı olduğundan toprak potansiyelinde olacaktır. Arıza noktasındaki R fazı da aynı şekilde doğrudan doğruya toprağa değmiş olduğundan, R fazı da toprak potansiyelinde olacak, yani bu fazın toprağa nazaran gerilimi sıfıra düşecek,

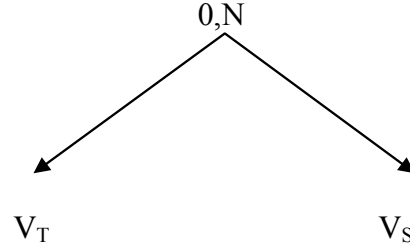
arızasız S ve T fazlarının toprağa nazaran gerilimleri ise arıza öncesindeki değerde aynen kalacaktır. Şekil 3.5'te yıldız noktasının bağlantı şekli, arıza öncesi ve sonrası durumlara ilişkin arıza noktasındaki gerilim fazör diyagramları gösterilmiştir.



(a) Tek faz kısa devre durumu



(b) Arızadan önce
Gerilimlerin vektörel gösterimi

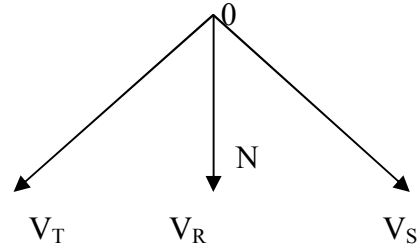
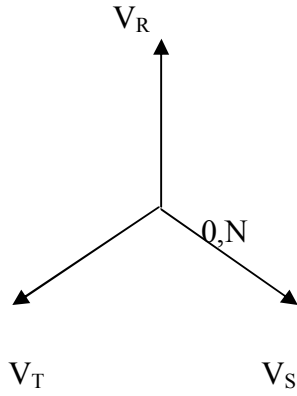
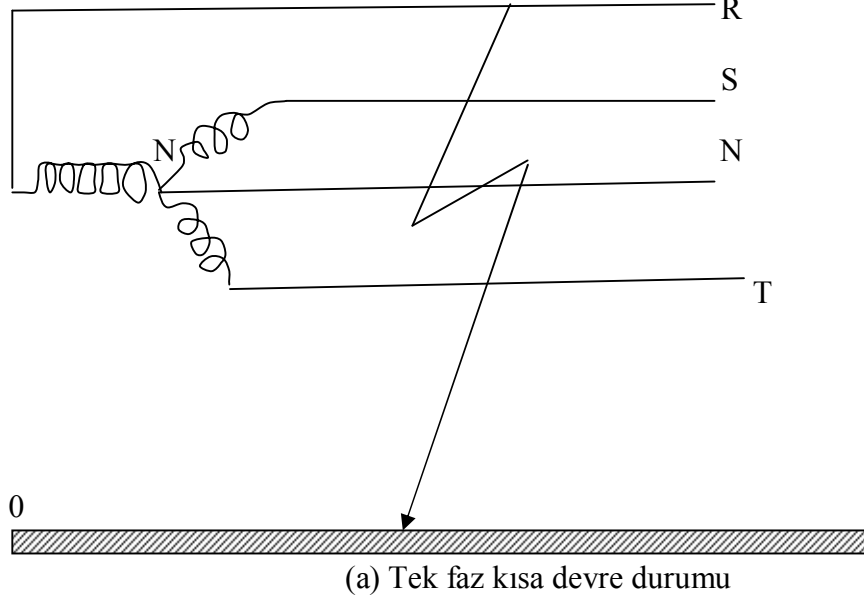


(c) Arıza esnasında gerilimlerin
vektörel gösterimi

Şekil 3.5. Yıldız noktası direkt topraklı bir şebekede tüketici tarafında meydana gelebilecek tek-faz kısa devre arızası ile gerilimlerin vektörel gösterimi

Yıldız noktası izole, yani toprağa bağlanmamış olan şebekelerde, herhangi bir fazda, örneğin R fazında geçiş dirençsiz bir toprak değmesi meydana geldiğinde, bu noktada R fazı toprak potansiyelinde, yani bu fazın toprağa nazaran gerilimi sıfır olur ve sağlam S ve T fazlarının toprağa nazaran gerilimleri ise fazlar arası gerilim değerlerine yükselir. Yıldız noktası da artık toprak potansiyelinde olmayıp, toprağa nazaran V_N kadar,

yani büyüklük bakımından arızasız haldeki bir faz gerilimi kadar bir değere yükselir. Şekil 3.6'da yıldız noktası topraktan izoleli bir şebekede yıldız noktasının bağlantı şekli, arızasız ve arızalı durumlarda arıza noktasındaki gerilim fazör diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Yıldız noktası izole bir şebekede tüketici tarafında meydana gelebilecek tek faz kısa devre arızası ile gerilimlerin vektörel gösterimi

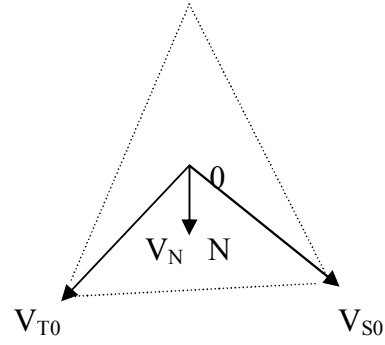
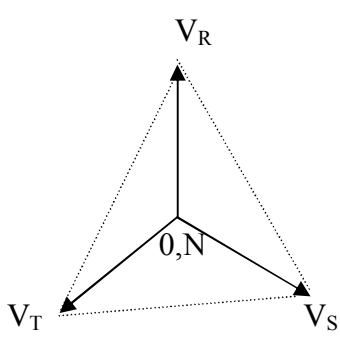
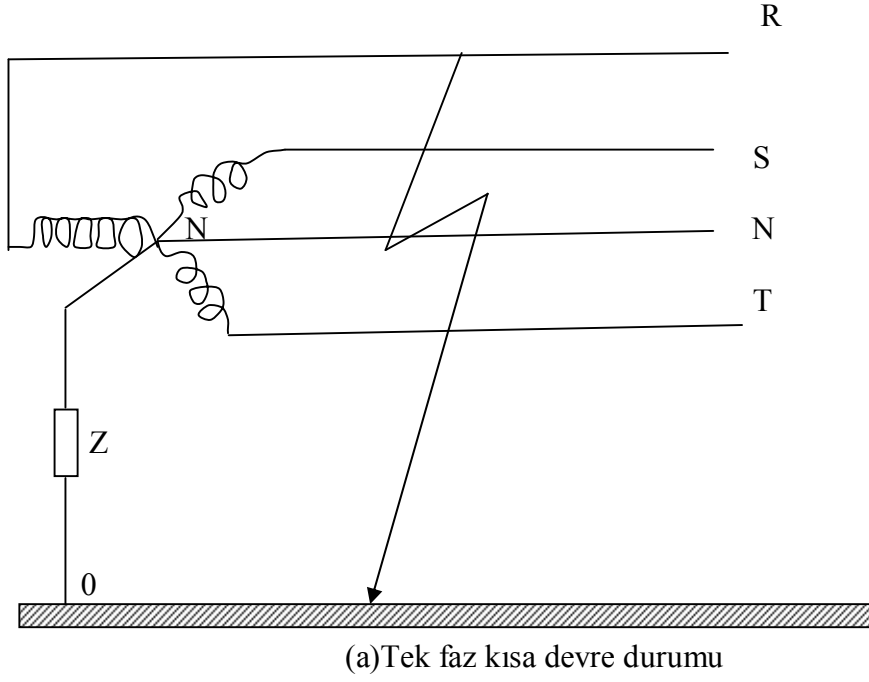
Yıldız noktasıyla toprak arasında bir Z empedansının bulunduğu şebekelerde yukarıdaki iki uç durum arasında bir durum elde edilir. Herhangi bir fazda örneğin R fazında bir toprak kısa devresi meydana geldiğinde kısa devre geçiş dirençsiz bir kısa

devre ise, arıza noktasında R fazı toprak potansiyelinde olacak yani R fazının toprağa nazaran gerilimi sıfır olacaktır. Şayet arıza noktasında bir geçiş direnci varsa gerilim küçülmekle beraber tam sıfır olmaz. Diğer taraftan Z empedansından geçen toprak kısa devre akımının meydana getirdiği gerilim düşümü dolayısıyla N noktası da artık toprak potansiyelinde olmayıp, toprağa nazaran bir V_N gerilimi değerine yükselir. Bu durumda sağlam fazların toprağa nazaran gerilimleri V , arızasız haldeki herhangi bir faz gerilimi de U ile gösterilirse,

$$\tau_0 = V/U \quad (3.20)$$

eşitliğine “topraklama katsayısı” adı verilir.

Şekil 3.7’de yıldız noktasının bağlantı şekli ile arızasız ve arızalı durumlarda arıza noktasındaki gerilimlerin fazör diyagramları gösterilmiştir. Şekilde arıza noktasında geçiş direncinin sıfır olduğu kabul edilmiştir (Küçük, 2005).



Şekil 3.7. Yıldız noktası bir empedans üzerinden topraklanmış bir şebekede tüketici tarafında meydana gelebilecek tek-faz kısa devre arızası ile gerilimlerin vektörel gösterimi

3.5. Simetrik Bileşenler

Simetrik bileşenler teorisi 1918'de C. L. Fortescue tarafından Amerikan Elektrik Mühendisleri toplantısında ortaya atılmıştır. Bu metod asimetrik bir elektrik şebekesinin kolayca etüd edilmesine imkan vermektedir.

Fortescue'nin çalışmaları ispat etmiştir ki, n bağılı fazörden meydana gelen bir dengesiz sistem dengeli fazörlerden meydana gelen n sistem içinde yeniden çözülebilir.

Bunlar orijinal fazörlerin simetrik bileşenleri olarak adlandırılır. Bileşenlerin her bir grubunun n fazörü eşit uzunlukta ve grup içindeki bitişik fazörler arasındaki açılarda birbirine eşittir (Dengeli bir sistem oluşur).

Simetrik bileşenler metodunda dengesiz üç fazlı sisteminin her bir fazörü, üç fazlı bir sistem için üç farklı ve kendi aralarında dengeli pozitif, negatif ve sıfır bileşen fazörlerinin vektörel toplamıdır.

Pozitif –sequence (Doğru) bileşenleri: Dengeli sistemdeki fazörlerle aynı yönde (saat ibresinin dönüşünün tersi yönde) ve aralarında 120^0 faz farkı olan bir fazör grubu olup, fazörlerin modülü birbirine eşittir.

Negatif -sequence (Ters) bileşenleri: Dengeli sistemdeki fazörlerin tersi yönde (saat ibresinin dönüş yönünde) ve aralarında 120^0 faz farkı olan bir fazör grubu olup, fazörlerin modülü birbirine eşittir.

Sıfır-sequence bileşenleri: Aynı yön ve doğrultuda (fazörler arasında faz farkı sıfır) olan ve üç fazörden oluşan bir fazör grubu olup, fazörlerin modülü birbirine eşittir.

Bu çalışmada, doğru, ters ve sıfır bileşen sistem büyüklükleri 1, 2 ve 0 indisleri ile gösterilecektir.

Üç fazlı dengesiz bir sistemdeki V_R , V_S ve V_T gerilim fazörleri, simetrik bileşen fazörlerinin vektörel toplamı olarak

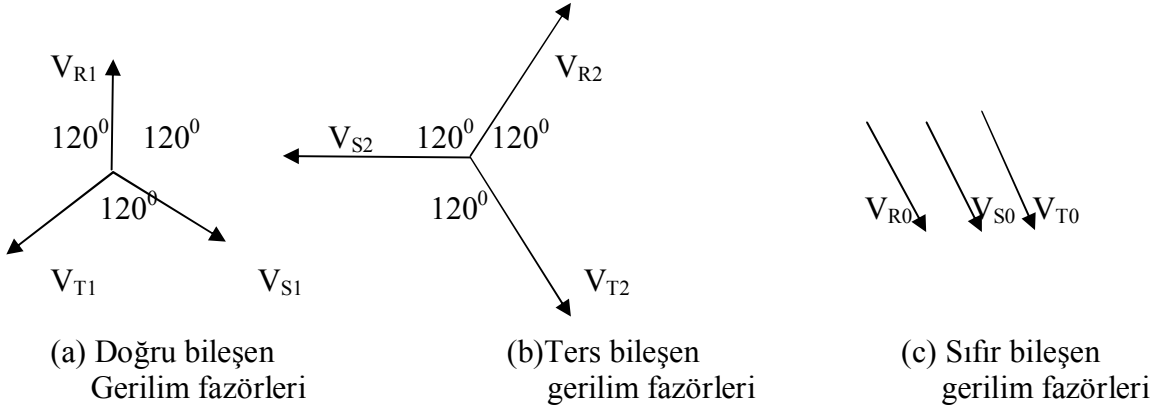
$$\underline{V}_R = \underline{V}_{R1} + \underline{V}_{R2} + \underline{V}_{R0} \quad (3.21)$$

$$\underline{V}_S = \underline{V}_{S1} + \underline{V}_{S2} + \underline{V}_{S0} \quad (3.22)$$

$$\underline{V}_T = \underline{V}_{T1} + \underline{V}_{T2} + \underline{V}_{T0} \quad (3.23)$$

şeklinde yazılır.

Şekil 3.8’de üç fazlı bir elektrik sisteminde dengesiz gerilim fazörlerinin (a) doğru, (b) ters ve (c) sıfır bileşen fazörleri ile (d) bu fazörlerin toplamından meydana gelen faz gerilimleri gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Faz sırası R, S, T olan üç fazlı dengesiz bir sistemin doğru, ters, sıfır bileşen gerilim fazörleri ve bunların vektörel toplamından meydana gelen dengesiz gerilim fazörleri

Simetrik bileşenler metodu ile güç sistemleri analizinin birçok avantajı, simetrik olmayan arızaların etüdüne bu metodun uygulanmasıyla geniş ölçüde görülür. Arıza akımının simetrik bileşenlerinin bulunmasıyla sistemin değişik noktalarında gerilim ve akım değerleri bu metodla kolayca bulunabilir (Çakır, 1986).

3.5.1. “a” operatörü

$a=1\angle 120^\circ$ şeklinde ifade edilen, herhangi bir fazörü saat ibresinin tersi yönünde 120° döndürüp büyüklüğünü değiştirmeyen operatör “a” operatörüdür.

a operatörü polar formda

$$\begin{aligned} a &= \cos 120^\circ + j\sin 120^\circ \\ &= -0.5 + j0.866 \end{aligned} \quad (3.24)$$

şeklinde yazılır.

a operatörünün katları

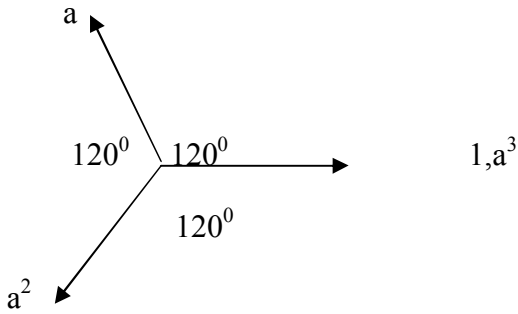
$$\begin{aligned} a \cdot a &= a^2 = 1 \angle 240^\circ \\ &= -0.5 + j0.866 \end{aligned} \quad (3.25)$$

$$a^2 \cdot a = a^3 = 1 \angle -120^\circ \cdot 1 \angle 240^\circ = 1 \quad (3.26)$$

olup

$$1 + a + a^2 = 0 + j0 \quad (3.27)$$

olarak bulunur.”a” operatörünün çeşitli katlarının fazörel gösterilişi şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9. “a” operatörünün çeşitli katlarının fazörel gösterilişi

3.5.2 Simetrik bileşenlerde gerilimler

Faz sırası R, S, T olan üç fazlı bir sistemin gerilim fazörlerinin doğru, ters ve sıfır bileşenleri, R fazı referans alınarak,

$$\begin{array}{lll} \underline{V}_{R0} & \underline{V}_{S0} = \underline{V}_{R0} & \underline{V}_{T0} = \underline{V}_{R0} \end{array} \quad (3.28)$$

$$\begin{array}{lll} \underline{V}_{R1} & \underline{V}_{S1} = a^2 \underline{V}_{R1} & \underline{V}_{T1} = a \underline{V}_{R1} \end{array} \quad (3.29)$$

$$\underline{V}_{R2} \qquad \underline{V}_{S2}=a\underline{V}_{R2} \qquad \underline{V}_{T2}=a^2\underline{V}_{R2} \qquad (3.30)$$

şeklinde yazılır ve daha sonra yukarıdaki tanımlara uygun olarak faz gerilimleri, simetrik bileşenlerinin toplamı olarak

$$\underline{V}_R=\underline{V}_{R0} +\underline{V}_{R1}+\underline{V}_{R2} \qquad (3.31)$$

$$\underline{V}_S=\underline{V}_{R0}+a^2\underline{V}_{R1}+a\underline{V}_{R2} \qquad (3.32)$$

$$\underline{V}_T=\underline{V}_{R0}+a\underline{V}_{R1}+a^2\underline{V}_{R2} \qquad (3.33)$$

şeklinde yazılır.

Yukarıdaki ifadeler kullanılarak R fazının simetrik bileşen gerilimleri, şebeke gerilim fazörleri cinsinden

$$\underline{V}_{R0}=\frac{1}{3}[\underline{V}_R+\underline{V}_S+\underline{V}_T] \qquad (3.34)$$

$$\underline{V}_{R1}=\frac{1}{3}[\underline{V}_R+a\underline{V}_S+a^2\underline{V}_T] \qquad (3.35)$$

$$\underline{V}_{R2}=\frac{1}{3}[\underline{V}_R+a^2\underline{V}_S+a\underline{V}_T] \qquad (3.36)$$

şeklinde yazılır.

(3.34) eşitliğinden de rahatlıkla görüldüğü gibi, sistem dengeli olursa şebeke gerilimlerinin vektörel toplamı sıfırdır ve bu yüzden sistemde sıfır bileşen mevcut değildir.

Yukarıdaki eşitlikler matris formunda

$$\begin{bmatrix} \underline{V}_R \\ \underline{V}_S \\ \underline{V}_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{V}_{R0} \\ \underline{V}_{R1} \\ \underline{V}_{R2} \end{bmatrix} \qquad (3.37)$$

$$\begin{bmatrix} \underline{V}_{R0} \\ \underline{V}_{R1} \\ \underline{V}_{R2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{V}_R \\ \underline{V}_S \\ \underline{V}_T \end{bmatrix} \qquad (3.38)$$

Diğer fazların bileşen gerilim değerlerini bulmak için (3.30), (3.31), (3.32) no'lu eşitliklerden faydalanılır.

$$[a] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \qquad (3.39)$$

$$[a]^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \qquad (3.40)$$

$$[\underline{V}_{RST}] = \begin{bmatrix} \underline{V}_R \\ \underline{V}_S \\ \underline{V}_T \end{bmatrix} \quad (3.41)$$

$$[\underline{V}_{012}] = \begin{bmatrix} \underline{V}_{R0} \\ \underline{V}_{R1} \\ \underline{V}_{R2} \end{bmatrix} \quad (3.42)$$

olmak üzere yukarıdaki eşitlikler daha kısa formda

$$[\underline{V}_{RST}] = [a][\underline{V}_{012}] \quad (3.43)$$

$$[\underline{V}_{012}] = [a]^{-1}[\underline{V}_{RST}] \quad (3.44)$$

olarak yazılır.

3.5.3. Simetrik bileşenlerde akımlar

Gerilimler için yazılan eşitliklere benzer eşitlikler akımlar içinde yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_R \\ \underline{I}_S \\ \underline{I}_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{I}_{R0} \\ \underline{I}_{R1} \\ \underline{I}_{R2} \end{bmatrix} \quad (3.45)$$

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{R0} \\ \underline{I}_{R1} \\ \underline{I}_{R2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{I}_R \\ \underline{I}_S \\ \underline{I}_T \end{bmatrix} \quad (3.46)$$

(3.45) ve (3.46)'daki eşitlikler daha kısa formda

$$[\underline{I}_{RST}] = [a][\underline{I}_{012}] \quad (3.47)$$

$$[\underline{I}_{012}] = [a]^{-1}[\underline{I}_{RST}] \quad (3.48)$$

olarak yazılabilir.

Üç fazlı bir sistemde akımların vektörel toplamı sistem dengeli ise sıfırdır. Şayet bir dengesizlik söz konusu ve sistemde nötr iletkeni var ise, nötr iletkeninden bir akım akar ve değeri

$$\underline{I}_R + \underline{I}_S + \underline{I}_T = \underline{I}_N \quad (3.49)$$

ifadesinden bulunur.

Yukarıdaki akımlar için yazılan matris eşitliklerinden yararlanarak

$$\underline{I}_{R0} = \frac{1}{3} [\underline{I}_R + \underline{I}_S + \underline{I}_T] \quad (3.50)$$

$$3 \underline{I}_{R0} = \underline{I}_R + \underline{I}_S + \underline{I}_T = \underline{I}_N \quad (3.51)$$

$$I_N = 3 I_{R0} \quad (3.52)$$

yazılabilir.

Bu son ifadeden de görüldüğü gibi nötr iletkeni olmayan, örneğin üçgen (Δ) bağlı sistemlerde sıfır (homopolar) bileşen akımı akmaz.

3.6. Kısa Devre Hesapları

Elektrik sistemindeki bütün tesisat elemanlarının seçilmesi ve meydana gelecek arızanın en kısa sürede temizlenebilmesi için kısa devre hesaplarının sağlıklı bir şekilde yapılması gerekir.

Bu amaçla hesaplar yapılırken aşağıdaki kabuller yapılır;

- 1-Kısa devre olayı esnasında, kısa devreye dahil devrede bir değişiklik olmadığı, yani üç fazlı kısa devre ise, üç fazlı, faz-toprak kısa devresi ise faz-toprak kısa devresi olarak devam ettiği gibi.
- 2-Transformatörlerin ana kademelerinde olduğu,
- 3-Ark dirençlerinin hesaba dahil edilmediği,
- 4-Kısa devrenin olduğu noktada eşdeğer bir gerilim kaynağının olduğu,
- 5-Tesisat elemanlarının doğru, ters ve sıfır bileşen empedanslarının belirlenebildiği,
- 6-Eşdeğer empedans diyagramının gerekiyorsa dönüşümlerden yararlanarak hesaplar için basitleştirilebildiği,

Daha sonra ihtiyaca göre tesisatın çeşitli noktaları için maksimum ve minimum kısa devre akım hesapları ayrı ayrı yapılır.

Elektrik sistemindeki arızaların çok önemli bir kısmı dengesiz olup, çok az bir kısmı dengelidir (simetrik). Arızaların pratikte oluşma sıklığı, tesisatın yapısına, çevreye ve bölgeye göre değişse de sıralama genelde aynıdır. Bu sıklık;

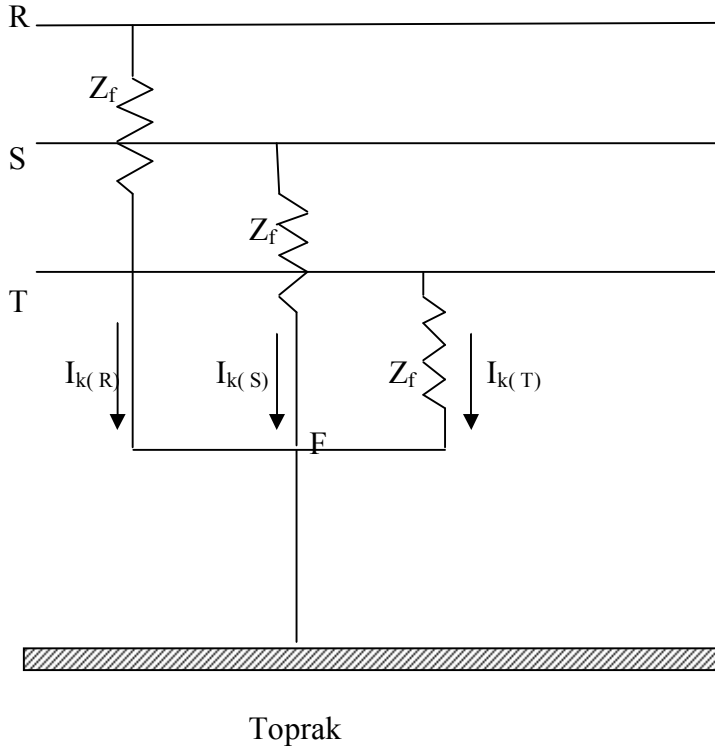
Üç fazlı simetrik kısa devre için	%5
Faz toprak kısa devresi için	%70
Faz-faz kısa devresi için	%15
İki faz –toprak kısa devresi için	%10

olarak belirlenmiştir.

Üç fazlı simetrik kısa devre oluşumu nadirdir. Genelde operasyon hataları sonucu oluşur; gerilim altındaki hatların yanlışlıkla topraklanması gibi.

3.6.1. Simetrik Kısa Devre Arızası

Üç fazlı kısa devre arızası simetrik bir arıza olup, kısa devre akımları her üç fazda genlik olarak farklı olmasına karşın modül olarak birbirine eşittir (dengeli). Şekil 3.10'da F gibi bir noktada üç fazlı simetrik kısa devre arızasının genel görünümü verilmekte olup, Z_f kısa devre empedansını göstermektedir. Üç fazlı kısa devre arızasında yıldız noktasının toprağa bağlı olması veya olmaması, ya da bir direnç veya reaktans üzerinden bağlı olması kısa devre akımının büyüklüğü üzerinde bir etki yapmaz.



Şekil 3.10. Üç fazlı simetrik kısa devre arızasının genel gösterimi

Şekil 3.11'de ise üç fazlı simetrik kısa devre arızası esnasında tesisatın doğru, ters ve sıfır bileşen devreleri gösterilmektedir.

Burada sadece pozitif bileşen devre aktif olup, bir gerilim kaynağına sahiptir (V_f arıza noktasında arıza öncesi gerilim).

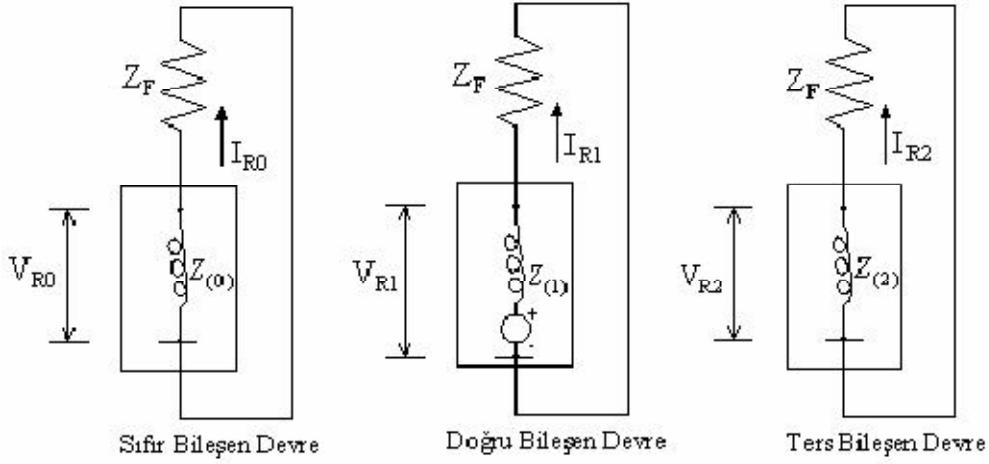
Tesiat elemanlarının karakteristik değerlerine bağlı olarak üç fazlı simetrik kısa devre arızasında R fazının doğru, ters ve sıfır bileşen akımları şekil 3.11'den faydalanılarak,

$$I_{R1} = \frac{V_f \angle 0}{Z_{(1)} + Z_f} \quad (3.53)$$

$$I_{R2} = 0 \quad (3.54)$$

$$I_{R0} = 0 \quad (3.55)$$

şeklinde elde edilir.



Şekil 3.11. Üç fazlı simetrik kısa devre arızasının doğru, ters ve sıfır bileşen devreleri

Şayet arıza empedansı $Z_f=0$ olursa,

$$I_{R1} = \frac{V_f \angle 0}{Z_{(1)}} \quad (3.56)$$

olur.

Üç fazlı simetrik kısa devre olayı dolayısıyla oluşan faz akımları,

$$\begin{bmatrix} I_{k3(R)} \\ I_{k3(S)} \\ I_{k3(T)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ I_{R1} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.57)$$

Matrisinden yararlanarak sırasıyla

$$I_{k3(R)} = I_{R1} = \frac{V_f \angle 0}{Z_{(1)} + Z_f} \quad (3.58)$$

$$\underline{I}_{k3(S)} = a^2 \underline{I}_{R1} = \frac{V_f \angle 240^\circ}{\underline{Z}_{(1)} + \underline{Z}_f} \quad (3.59)$$

$$\underline{I}_{k3(T)} = a \underline{I}_{R1} = \frac{V_f \angle 120^\circ}{\underline{Z}_{(1)} + \underline{Z}_f} \quad (3.60)$$

olarak bulunur.

Yukarıdaki eşitliklerden de görüldüğü gibi her üç fazın kısa devre akımları mutlak değer olarak birbirine eşit olup, aralarında 120° faz farkı vardır.

Şekil 3.11'den görüldüğü üzere bileşen devreler kendi empedansları üzerinden kısa devre edildiğinde

$$\underline{V}_{R0} = 0 \quad (3.61)$$

$$\underline{V}_{R1} = \underline{Z}_f \underline{I}_{R1} \quad (3.62)$$

$$\underline{V}_{R2} = 0 \quad (3.63)$$

olur.

Simetrik bileşenlerden ve yukarıdaki sonuçlardan yararlanarak üç fazlı kısa devre arızası esnasında faz gerilimleri

$$\begin{bmatrix} \underline{V}_R \\ \underline{V}_S \\ \underline{V}_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \underline{V}_{R1} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.64)$$

eşitliğinden

$$\underline{V}_R = \underline{V}_{R1} = \underline{Z}_f \underline{I}_{R1} \quad (3.65)$$

$$\underline{V}_S = a^2 \underline{V}_{R1} = \underline{Z}_f \underline{I}_{R1} \angle 240^\circ \quad (3.66)$$

$$\underline{V}_T = a \underline{V}_{R1} = \underline{Z}_f \underline{I}_{R1} \angle 120^\circ \quad (3.67)$$

olarak bulunur.

Arıza empedansı $\underline{Z}_f = 0$ olursa faz akımları ve gerilimleri önceki eşitliklerden yola çıkılarak

$$\underline{I}_{k3(R)} = \frac{V_f \angle 0^\circ}{\underline{Z}_{(1)}} \quad (3.68)$$

$$\underline{I}_{k3(S)} = \frac{V_f \angle 240^\circ}{\underline{Z}_{(1)}} \quad (3.69)$$

$$\underline{I}_{k3(T)} = \frac{V_f \angle 120^\circ}{\underline{Z}_{(1)}} \quad (3.70)$$

$$\underline{V}_R=0 \quad (3.71)$$

$$\underline{V}_S=0 \quad (3.72)$$

$$\underline{V}_T=0 \quad (3.73)$$

olarak bulunur.

Bu arıza tipinde her üç faz iletkeninden geçen kısa devre akımları mutlak değer olarak birbirine eşit olup genel olarak,

$$\underline{I}_{k3(R)} = \frac{V_f \angle 0}{\underline{Z}_{(1)}} \quad (3.74)$$

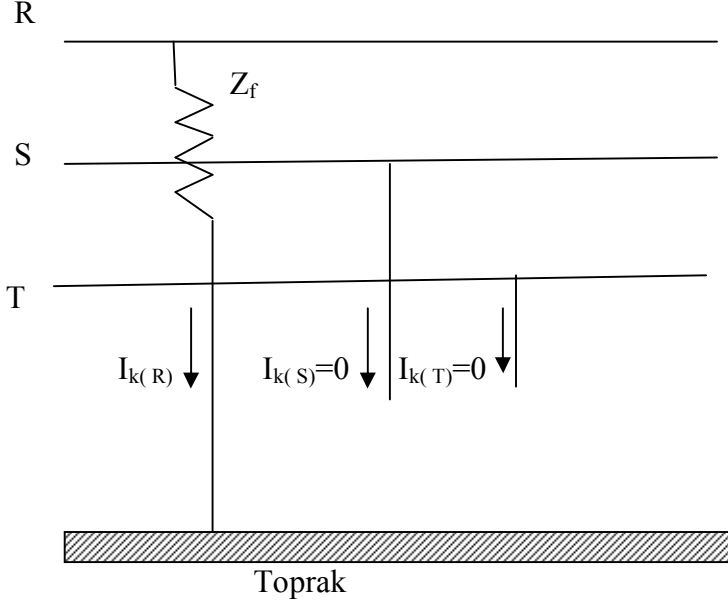
şeklinde gösterilir.

Burada $Z_{(1)}$ kısa devre yolu üzerindeki tesisat elemanlarının doğru bileşen empedanslarının toplamıdır.

3.6.2. Asimetrik Kısa Devre Arızaları

3.6.2.1. Faz-toprak kısa devresi

Faz toprak kısa devresinde faz iletkenlerinden herhangi birinin izolasyonun bozulması veya yanlış manevralar sonucu toprağa, nötr iletkenine veya toprakla irtibatlı metalik gövdeye değmesi sonucu oluşan bir arızadır. Şekil 3.12’de faz-toprak kısa devre arızasının genel görünüşü verilmekte olup, toprak arıza empedansı \underline{Z}_f ile gösterilmektedir. Genelde arıza empedansının büyüklüğü hem net olarak ortaya konulamadığından hem de kısa devrenin büyüklüğü üzerinde çok fazla etkili olmadığından hesaplarda ihmal edilir. Arıza empedansı ark empedansı olarak da yorumlanabilir.



Şekil 3.12. Faz-toprak kısa devre arızasının genel gösterimi

Şekil 3.13'te faz-toprak kısa devre arızası esnasında tesisatın doğru, ters ve sıfır bileşen devreleri gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi doğru, ters ve sıfır bileşen akımları birbirine eşit olup,

$$\underline{I}_{R0} = \underline{I}_{R1} = \underline{I}_{R2} = \frac{V_f \angle 0}{\underline{Z}_{(0)} + \underline{Z}_{(1)} + \underline{Z}_{(2)} + 3\underline{Z}_f} \quad (3.75)$$

şeklinde yazılır.

Bileşen akımlarından yararlanarak faz-toprak kısa devre arızasında faz akımları

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{k1(R)} \\ \underline{I}_{k1(S)} \\ \underline{I}_{k1(T)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{I}_{R0} \\ \underline{I}_{R1} \\ \underline{I}_{R2} \end{bmatrix} \quad (3.76)$$

matrisinden sırasıyla

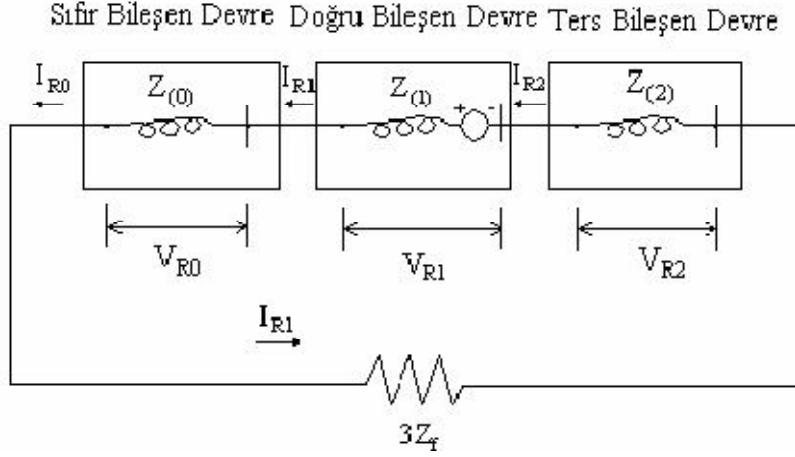
R fazı için

$$\underline{I}_{k1(R)} = \underline{I}_{R0} + \underline{I}_{R1} + \underline{I}_{R2} \quad (3.77)$$

veya (3.77) eşitliğini dikkate alarak

$$\underline{I}_{k1(R)} = 3\underline{I}_{R0} = 3\underline{I}_{R1} = 3\underline{I}_{R2} \quad (3.78)$$

şeklinde bulunur.



Şekil 3.13. Faz-toprak kısa devre arızasında doğru, ters, ve sıfır bileşen devreleri

Diğer faz akımları da benzer şekilde (3.78) 'de verilen matristen yararlanarak

$$\underline{I}_{k(S)} = \underline{I}_{R0} + a^2 \underline{I}_{R1} + a \underline{I}_{R2} \quad (3.79)$$

$$\underline{I}_{k(T)} = \underline{I}_{R0} + a \underline{I}_{R1} + a^2 \underline{I}_{R2} \quad (3.80)$$

şeklinde olur.

(3.77) eşitliğinden faydalanılarak son yazılan eşitlikler

$$\underline{I}_{k(S)} = (1 + a + a^2) \underline{I}_{R1} \quad (3.81)$$

$$\underline{I}_{k(T)} = (1 + a + a^2) \underline{I}_{R1} \quad (3.82)$$

şeklinde olur.

$1 + a + a^2 = 0$ olduğundan R ve S fazlarının faz-toprak kısa devresindeki değerleri

$$\underline{I}_{k(S)} = 0 \quad (3.83)$$

$$\underline{I}_{k(T)} = 0 \quad (3.84)$$

olarak bulunur.

Şekil 3.12'de kısa devre noktasında R fazının toprağa karşı gerilimi, şayet şekilde gösterildiği gibi kısa devre bir empedans üzerinde ise \underline{V}_R için,

$$\underline{V}_R = \underline{I}_{k(R)} \underline{Z}_f \quad (3.85)$$

yazılır.

Kısa devre akımının daha önce bulunan değeri ifadede yerine konursa

$$\underline{V}_R = 3 \underline{I}_{R1} \underline{Z}_f \quad (3.86)$$

olur.

Bu son eşitlik şekil 3.13'teki bileşen devrelerin seri bağlantı halini doğrulamaktadır.

Diğer taraftan

$$\underline{V}_R = \underline{V}_{R0} + \underline{V}_{R1} + \underline{V}_{R2} \quad (3.87)$$

olduğundan,

$$\underline{V}_{R0} + \underline{V}_{R1} + \underline{V}_{R2} = 3\underline{I}_{R1}\underline{Z}_f \quad (3.88)$$

yazılır.

Kısa devre noktasında R fazının bileşen gerilimleri; Vf arıza noktasında arıza öncesi gerilim olmak üzere

$$\begin{bmatrix} \underline{V}_{R0} \\ \underline{V}_{R1} \\ \underline{V}_{R2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \underline{V}_f \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \underline{Z}_{(0)} & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z}_{(1)} & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z}_{(2)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{I}_{R0} \\ \underline{I}_{R1} \\ \underline{I}_{R2} \end{bmatrix} \quad (3.89)$$

matrisinden

$$\underline{V}_{R0} = -\underline{Z}_{(0)}\underline{I}_{R0} \quad (3.90)$$

$$\underline{V}_{R1} = \underline{V}_f - \underline{Z}_{(1)}\underline{I}_{R1} \quad (3.91)$$

$$\underline{V}_{R2} = -\underline{Z}_{(2)}\underline{I}_{R2} \quad (3.92)$$

olarak bulunur.

Böylece arıza noktasında R fazının toprağa karşı gerilimi

$$\underline{V}_R = \underline{V}_f - (\underline{Z}_{(0)} + \underline{Z}_{(1)} + \underline{Z}_{(2)})\underline{I}_{R1} \quad (3.93)$$

şeklinde elde edilir.

Faz-toprak kısa devresinde diğer fazların gerilimleri simetrik bileşenlerden yararlanarak

$$\underline{V}_S = \underline{V}_{R0} + a^2\underline{V}_{R1} + a\underline{V}_{R2} \quad (3.94)$$

$$\underline{V}_T = \underline{V}_{R0} + a\underline{V}_{R1} + a^2\underline{V}_{R2} \quad (3.95)$$

şeklinde bulunur.

Şayet arıza empedansı $\underline{Z}_f = 0$ olursa

$$\underline{I}_{R0} = \underline{I}_{R1} = \underline{I}_{R2} = \frac{\underline{V}_f \angle 0^\circ}{\underline{Z}_{(0)} + \underline{Z}_{(1)} + \underline{Z}_{(2)} + 3\underline{Z}_f} \quad (3.96)$$

$$\underline{I}_{k1(R)} = \frac{\underline{V}_f \angle 0^\circ}{\underline{Z}_{(0)} + \underline{Z}_{(1)} + \underline{Z}_{(2)}} \quad (3.97)$$

şeklinde bulunur.

Bu durumda

$$\underline{V}_R = 0 \quad (3.98)$$

olur.

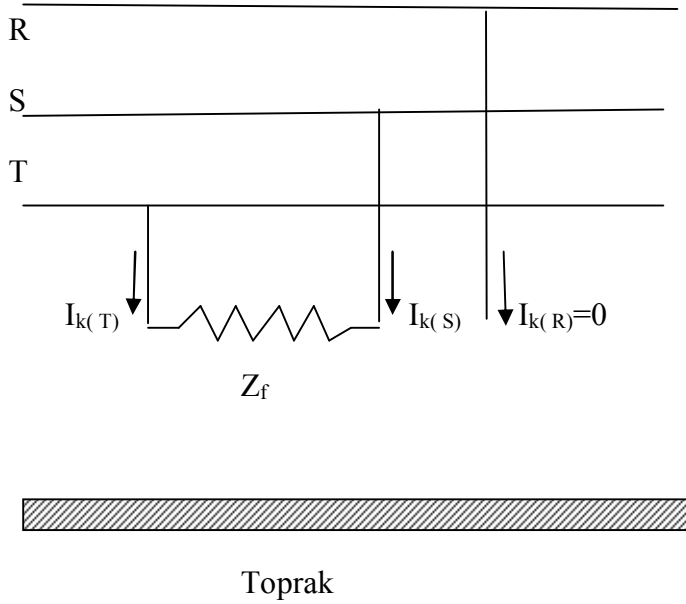
Faz-toprak kısa devre arızasında arızalı iletkenin toprağa akan kısa devre akımı genel olarak

$$I_{k1} = \frac{V_f \angle 0^\circ}{Z_{(0)} + Z_{(1)} + Z_{(2)}} \quad (3.99)$$

şeklinde gösterilir.

3.6.2.2. Faz-faz kısa devresi

Faz-faz kısa devresi genelde iki iletken arasındaki izolasyonun bozulması, çok nadir olarak da yanlış bağlantılar veya manevralar sonucu oluşan bir arıza şeklidir. Şekil 3.14'de faz-faz kısa devre arızasının genel görünüşü verilmekte olup, iletkenler arasındaki arıza empedansı yine Z_f ile gösterilmektedir.



Şekil 3.14. Faz-faz kısa devre arızasının genel gösterimi

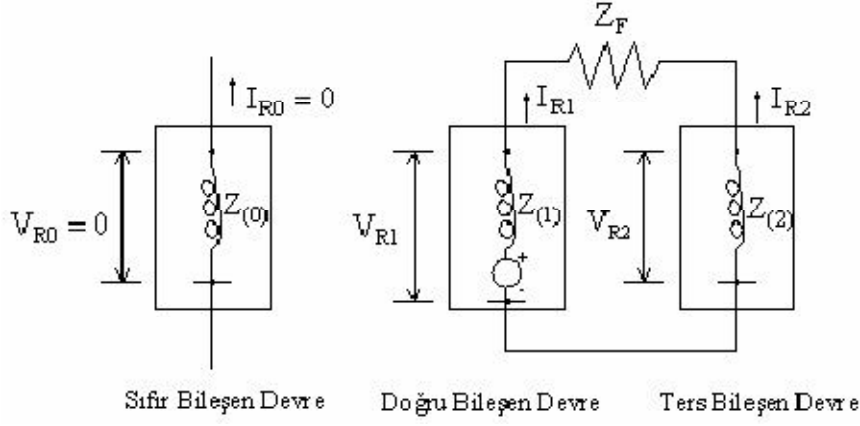
Şekil 3.15'te faz-faz kısa devre arızası esnasında tesisatın doğru, ters ve sıfır bileşen devreleri gösterilmektedir. Şekil 3.14'de görüldüğü gibi arızaya dahil olmayan R fazının akımı (normal hat akımı kısa devre akımı yanında çok küçük olduğundan) sıfır iken, kısa devre olan S ve T fazlarının kısa devre akımları yönleri ters olmakla beraber mutlak değer olarak birbirine eşittir.

Yani;

$$I_{k2(R)}=0 \quad (3.100)$$

$$I_{k2(S)}=-I_{k2(T)} \quad (3.101)$$

şeklinde olur.



Şekil 3.15. Faz-faz kısa devre arızasının doğru, ters ve sıfır bileşen devreleri

Şekil 3.15'ten faydalanılarak bileşen akımları için

$$I_{R0}=0 \quad (3.102)$$

$$I_{R1}=-I_{R2}=\frac{V_f \angle 0}{Z_{(1)}+Z_{(2)}+Z_{(f)}} \quad (3.103)$$

yazılabilir.

Bileşen akımlarından yararlanarak faz-faz kısa devre arızasında fazların kısa devre akımları,

$$\begin{bmatrix} I_{k2(R)} \\ I_{k2(S)} \\ I_{k2(T)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{R0} \\ I_{R1} \\ I_{R2} \end{bmatrix} \quad (3.104)$$

matrisinden sırasıyla

$$I_{k2(R)}=0 \quad (3.105)$$

$$I_{k2(S)}=-I_{k2(T)}=\sqrt{3} I_{R1} \angle 90^\circ \quad (3.106)$$

olarak bulunur.

Kısa devre noktasında R fazının bileşen gerilimleri, V_f arıza noktasında arıza öncesi gerilim olmak üzere

$$\begin{bmatrix} V_{R0} \\ V_{R1} \\ V_{R2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ V_f \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_{(0)} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{(1)} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{(2)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{R0} \\ I_{R1} \\ I_{R2} \end{bmatrix} \quad (3.107)$$

matrisinden

$$\underline{V}_{R0}=0 \quad (3.108)$$

$$\underline{V}_{R1}=\underline{V}_f - \underline{Z}_{(1)}\underline{I}_{R1} \quad (3.109)$$

$$\underline{V}_{R2} = -\underline{Z}_{(2)}\underline{I}_{R2} = \underline{Z}_{(2)}\underline{I}_{R1} \quad (3.110)$$

şeklinde bulunur.

Faz gerilimleri ise, daha önce bulunan simetrik bileşenlerden yararlanarak

$$\underline{V}_R = \underline{V}_{R1} + \underline{V}_{R2} \quad (3.111)$$

$$\underline{V}_R = \underline{V}_f + \underline{I}_{R1}(\underline{Z}_{(2)} - \underline{Z}_{(1)}) \quad (3.112)$$

$$\underline{V}_S = a^2 \underline{V}_{R1} + a \underline{V}_{R2} \quad (3.113)$$

$$\underline{V}_S = a^2 + \underline{I}_{R1} (a \underline{Z}_{(2)} - a^2 \underline{Z}_{(1)}) \quad (3.114)$$

$$\underline{V}_T = a \underline{V}_{R1} + a^2 \underline{V}_{R2} \quad (3.115)$$

$$\underline{V}_T = a + \underline{I}_{R1} (a^2 \underline{Z}_{(2)} - a \underline{Z}_{(1)}) \quad (3.116)$$

şeklinde bulunur.

Faz-faz kısa devre arızasında kısa devre olan iletkenler arasında akan kısa devre akımları mutlak değer olarak birbirine eşit olup, arıza empedansı $\underline{Z}_f=0$ alınmasıyla genel olarak

$$\underline{I}_{k2} = \frac{\underline{V}_f \angle 0^\circ}{\underline{Z}_{(1)} + \underline{Z}_{(2)}} \quad (3.117)$$

şeklinde gösterilir.

(3.117) ifadesinde geçen $\underline{Z}_{(1)}$ ve $\underline{Z}_{(2)}$ kısa devre yolu üzerindeki tesisat elemanlarının doğru ve ters bileşen empedanslarıdır.

3.6.2.3. İki faz-toprak kısa devresi

İki faz toprak kısa devre arızası sık karşılaşmamakla birlikte iki iletkenin direkt toprakla yada toprakla irtibatlı nötr veya koruma iletkeni ile temas etmesi, çok nadir olarak ta yanlış bağlantılar veya manevralar sonucu oluşan bir arıza şeklidir. Şekil 3.16'da iki faz-toprak kısa devre arızasının genel görünüşü verilmekte olup, iletkenler ile toprak arasındaki arıza empedansı yine \underline{Z}_f ile gösterilmektedir.

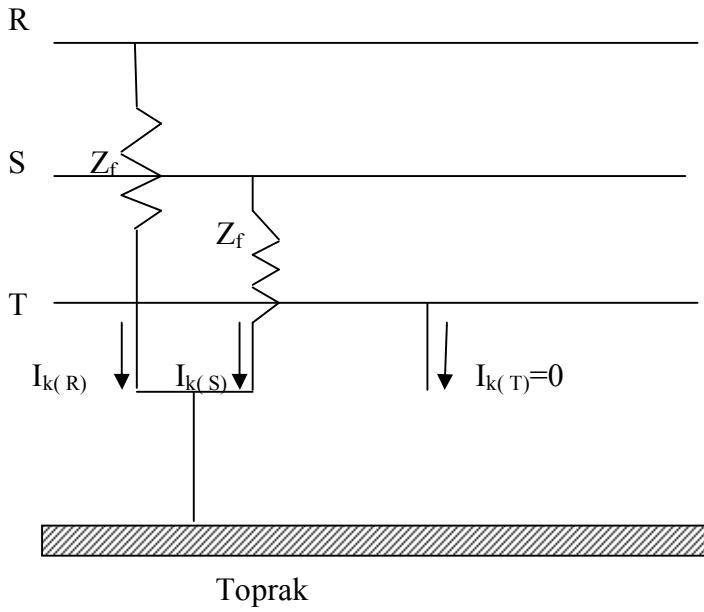
İki faz toprak arızası şekil 3.16'da gösterildiği gibi R ve S fazları ile toprak arasında meydana gelmişse

$$\underline{I}_{k2t(T)}=0 \quad (3.118)$$

$$\underline{V}_R=\underline{Z}_f \underline{I}_{k2t(R)} \quad (3.119)$$

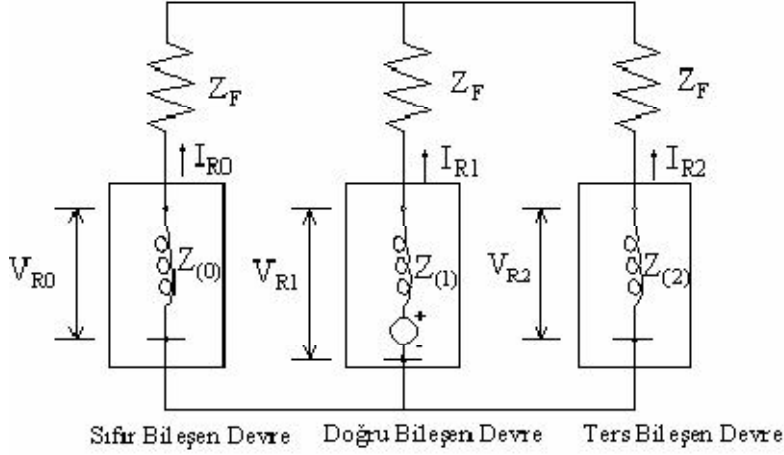
$$\underline{V}_S=\underline{Z}_f \underline{I}_{k2t(S)} \quad (3.120)$$

olur.



Şekil 3.16. İki faz-toprak kısa devre arızasının genel gösterimi

İki faz-toprak kısa devre arızasının doğru, ters ve sıfır bileşen devreleri şekil 3.17'de gösterilmiştir.



Şekil 3.17 İki faz-toprak kısa devre arızasının doğru, ters ve sıfır bileşen devreleri

İki faz-toprak arızasında faz akımları simetrik bileşenlerden yararlanılarak aşağıdaki eşitliklerden kolayca hesaplanır.

$$\underline{I}_{k2i(T)}=0 \quad (3.121)$$

$$\underline{I}_{k2i(R)}=\underline{I}_{R0}+a^2\underline{I}_{R1}+a\underline{I}_{R2} \quad (3.122)$$

$$\underline{I}_{k2i(S)}=\underline{I}_{R0}+a\underline{I}_{R1}+a^2\underline{I}_{R2} \quad (3.123)$$

Simetrik bileşen akımlarını kullanarak, iki faz-toprak kısa devre arızası için gerilimlerin simetrik bileşenleri

$$\underline{V}_{R0}=-\underline{Z}_{(0)}\underline{I}_{R0} \quad (3.124)$$

$$\underline{V}_{R1}=\underline{V}_f-\underline{Z}_{(1)}\underline{I}_{R1} \quad (3.125)$$

$$\underline{V}_{R2}=-\underline{Z}_{(2)}\underline{I}_{R2} \quad (3.126)$$

eşitliklerinden hesaplanır.

İki- faz toprak arızasında R, S, T fazlarının toprağa karşı gerilimleri ise

$$\begin{bmatrix} \underline{V}_R \\ \underline{V}_S \\ \underline{V}_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{V}_{R0} \\ \underline{V}_{R1} \\ \underline{V}_{R2} \end{bmatrix} \quad (3.127)$$

matrisinden bulunur.

Arıza empedansının $\underline{Z}_f=0$ olması halinde (3.119) ve (3.120) no'lu eşitliklerden

$$\underline{V}_R=0 \quad (3.128)$$

$$\underline{V}_S=0 \quad (3.129)$$

$$\underline{V}_{R0}=\underline{V}_{R1}=\underline{V}_{R2}=\underline{V}_f-\underline{Z}_{(1)}\underline{I}_{R1} \quad (3.130)$$

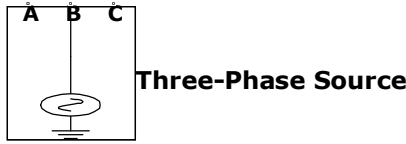
olur (Küçük, 2005).

4.BULGULAR

4.1. 154/33.6 kV'luk Trafo Merkezinin Modellenmesi

4.1.1. Gerilim Kaynakları

Bu çalışmada gerilim kaynakları kullanılarak sisteme eklenmesi gereken üretim, iletim ve dağıtım tesisleri devre dışı bırakılmış ve sadece Van trafo merkezi ile sınırlandırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan 154 kV'luk gerilim kaynağının Simulink simgesi şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Gerilim Kaynağının Simulink Simgesi

3 fazlı gerilim kaynağı bloğu R-L iç empedansa sahip dengeli 3 fazlı gerilim kaynağını yürütür. Bu çalışmada ideal bir gerilim kaynağı oluşturmak için $R=0$ ve $L=0$ alınmıştır.

4.1.2. Kesici

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

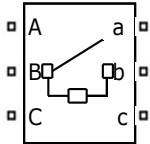
Güç kesicileri elektrik güç şebekelerinde kapalı devrenin oluşmasını sağlayan ve bu devreyi boşa, yükte ve özellikle kısa devre halinde açabilen ve kapayabilen ve bu işi hem el kumandası, hem de otomatik kumanda yardımı ile yapabilen denetleme elemanlarıdır. Bir güç kesicisinin görevi kapalı konumda devreden güç akışını sağlamak, açık konumda ise güç akışını engellemektir.

Bu iki görevden ilkinin kontak elemanları arasında iyi bir temas oluşturarak, ikinci görevi ise kontak elemanlarını birbirinden elektriksel olarak yalıtarak yerine getirir. Kesiciden bu iki görevin arzu edilen her anda tam olarak yerine getirmesi beklenir. Bir güç kesicisinde kapalı durumdaki empedans ideal olarak sıfır, gerçekte değeri ise çok küçük bir empedanstır. Açık durumdaki empedans ise ideal olarak sonsuz, gerçekte ise çok büyük değerli bir empedanstır. Güç kesicileri bu empedans değişimini her iki yönde de gerçekleştirebilecek yetenekte olmalıdır.

Uzun süre kapalı konumda kalan bir kesiciden hemen devreyi açmasını istemek ona ağır bir görev yüklemek demektir. İşte güç kesicisinin işinin ağırlığı burada kendini göstermektedir. Bu görevlerden en ağırı kısa devre akımlarının kesilmesidir. Şebekelerin gittikçe büyümesi kısa devre akımlarını arttırmış ve bunun sonucu olarak kesicilerin işi daha da zorlaşmıştır.

Kesmede başvurulacak iki temel yöntem vardır. Birincisi kesme sırasında oluşan ark plazmasının direncini hemen akım sıfırdan sonra yükseltmek, ikincisi ise kesmeden hemen sonra kontaklar arasında oluşacak geçici toparlanma geriliminin gerek eğimini gerek genliğini sınırlamaktır. Bütün güç kesicilerinde birinci teknik, birçoğunda da her iki teknik birlikte uygulanır (Şensoy, 2005).

Şekil 4.2’de Simulink araç kutusunda kesici sembolü verilmektedir.



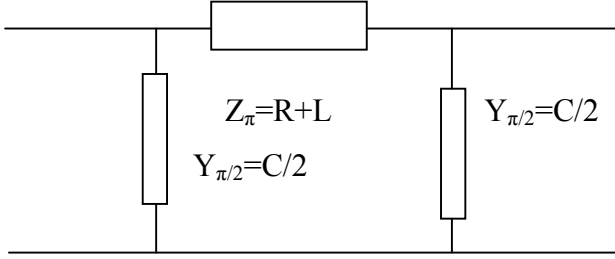
Three-Phase Breaker

Şekil 4.2. 3 fazlı kesici sembolü

3 fazlı kesici bloğu açma kapama zamanının dış Simulink sinyali (external control mode) veya iç kontrol zamanlayıcısı (internal control mode) tarafından kontrol edilebilen 3 fazlı kesiciyi yürütür.

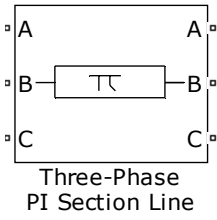
4.1.3. Hatlar

Şekil 4.5’de enerji iletim ve dağıtım hatlarında kullanılan π (π) eşdeğer devresi verilmiştir. Devre sistem empedansı ile paralel yarım iki admittanstan oluşmaktadır.



Şekil 4.3. Enerji iletim hattının π (π) eşdeğer devresi

Şekil 4.4’de Matlab yazılım programında Simulink araç kutusunda enerji iletim hattı π (π) eşdeğer devresi Simulink modeli görülmektedir



Şekil 4.4. Enerji iletim hattının Simulink modeli

Çizelge 4.1’de tez çalışmamızda kullanılan enerji iletim hatlarına ait parametreler verilmiştir.

Çizelge 4.1. 154 kV'luk Van Trafo Merkezine giriş yapan hatlara ait parametreler

HATTIN			OMİK DEĞERLER					
GÜZERGAH	UZUNLUK	GERİLİM	(+ ve (-) BİLEŞEN			SIFIR BİLEŞEN		
			R	X	Y	R0	X0	Y0
	km	kV	ohm	ohm	µmho	ohm	ohm	µmho
ENGİL-VAN	36.078	154	4.8	15.5	94.6	15.1	43.7	73.8
ERCİŞ-VAN	92.930	154	12.5	40	243.8	38.9	112.5	190.2
RASA-VAN	7.140	154	0.4	2.6	21.3	1.8	9.1	9.8

4.1.4. Trafolar

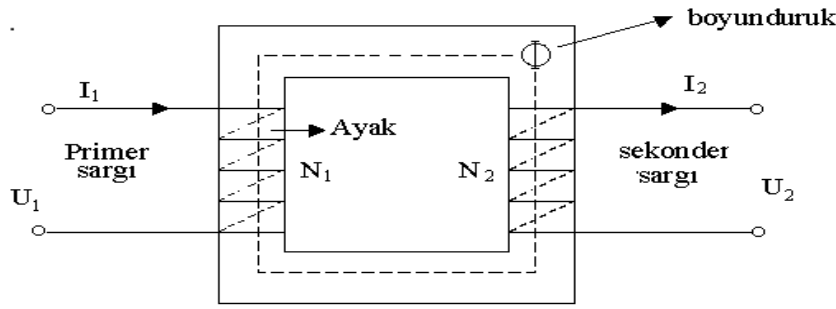
Transformatör zamanla değişen bir ortak akı ile halkalanan iki sabit sargıdan ibarettir. Sargılardan herhangi biri bir alternatif akım enerji kaynağına bağlanırsa, geçen alternatif akımın oluşturduğu zamanla değişken akı, Faraday yasasına göre, diğer sargıda değişik büyüklükte bir alternatif gerilim endükler. Bu sargı ile tüketeçler veya ayrı bir şebeke beslenebilir. O halde, bir sargı dışardan belli bir U_1 geriliminde güç almakta, bu güç elektromagnetik yoldan diğer sargıya geçmekte, geçiş esnasında gerilim değişmekte ve güç U_2 geriliminde transformatör dışına verilmektedir. Sargıların rolü değişebilir. Dışarıya güç veren sargı U_1 geriliminde beslenecek olursa, dışardan güç alan sargıda U_2 gerilimi elde edilir ve tüketiciler beslenebilir. Transformatörün doğası, yalnız değişken akımda çalışabilmesidir.

Basit olarak belirli bir gücü bir gerilim seviyesinden başka bir gerilim seviyesine çeviren cihazlar trafo olarak adlandırılmaktadır. Y-Y, Δ -Y ve Zikzak bağlantı gruplarında üretilerek, enerji iletim ve dağıtım sisteminin özelliklerine göre bağlanırlar. Bunlarla beraber bir ve üç fazlı olarak imal edilirler. Bu kısımda tez çalışmamızda kullanılan Y-Y bağlantılı trafolar ele alınmıştır.

4.1.4.1. Transformator sargıları

Basit bir transformatorün prensip şeması şekil 4.8’de verilmiştir. Şekil 4.8’de görüldüğü gibi basit bir transformatorde iki sargı vardır. Birbiriyle elektriki bağlantısı olmayan bu sargılardan birisi primer (birinci devre) sargısı, diğeri ise sekonder (ikinci devre) sargısıdır.

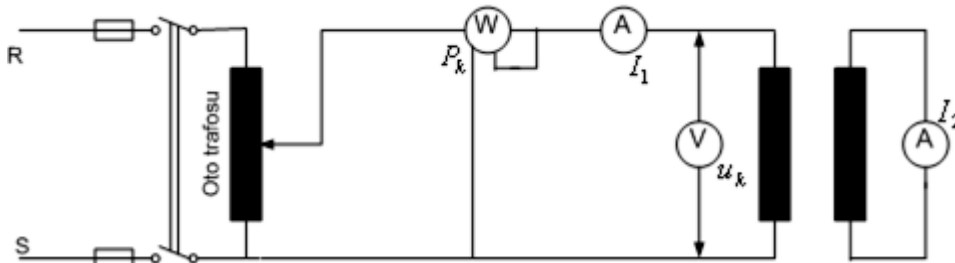
Primer geriliminin sekonder geriliminden büyük olduğu transformatorler alçaltıcı veya düşürücü transformatorler olarak, primer geriliminin sekonder geriliminden küçük olduğu transformatorler ise yükseltici transformatorler olarak adlandırılır. Yalıtım amacıyla kullanılan koruma transformatorleri ise primer ve sekonder gerilimleri ile kullanılan iletken kesitleri birbirine eşittir.



Şekil 4.5. Basit bir transformatorün prensip şeması

4.1.4.2. Kısa devrede çalışma

Transformatorün kısa devre çalışma devresi şekil 4.6’da verilmiştir.

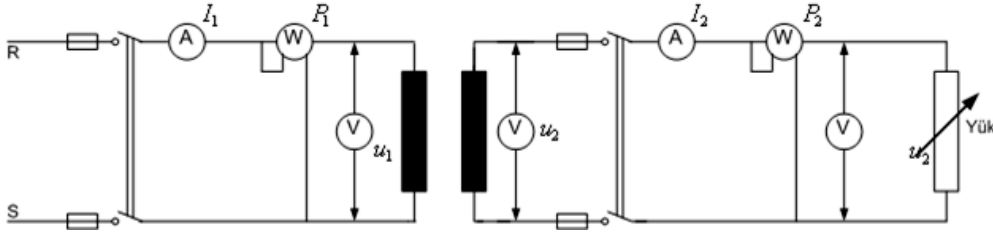


Şekil 4.6. Transformatorün kısa devre çalışma devresi

Şekil 4.6'da görüldüğü üzere anma gerilimi ile beslemede ikincil sargı uçları kısa devre olursa, hem birincil ve hem de ikincil sargıdan çok büyük ve tehlikeli akımlar geçer. Buna rağmen, transformator faydalı güç vermez. Tüm birincil güç kayıplarda tüketilir ve sargı dirençlerinde ısıya dönüşür.. Transformator anma geriliminin %3 ile %14' ü arasında bir gerilimle beslenerek, sargılardan anma akımlarının geçmesi sağlanır.

4.1.4.3. Yükte çalışma

Transformatorün yükte çalışma devresi şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Transformatorün yükte çalışma devresi

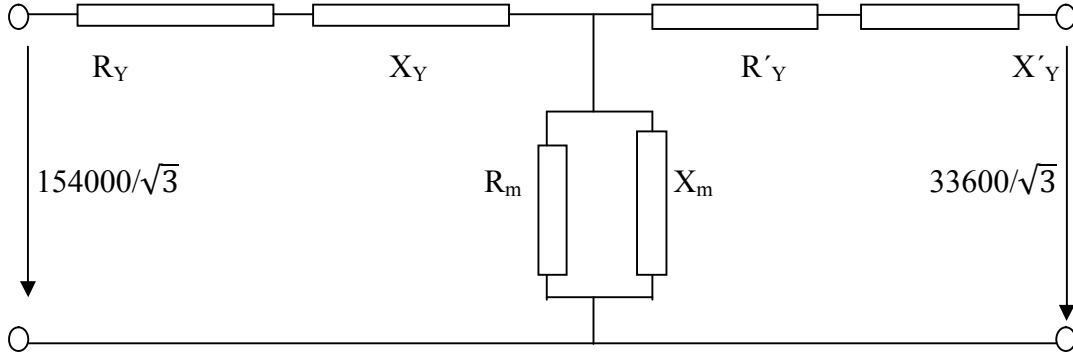
Şekil 4.7'da görüldüğü üzere transformatorün yükte çalışması ikincil sargısının bir şebekeyi veya tüketicileri beslediği, yani ikincil sargıdan da bir akımın geçtiği durumdur, ikincil akım transformatorde yeni bir ampersarım ve yeni kayıplar oluşturur

4.1.4.4. Y-Y bağlantılı trafo

Birincil ve ikincil sargısı yıldız bağlı olan trafolar Y-Y bağlantılı trafolardır. Yıldız bağlamanın bir avantajı, şebekeye sıfır noktası sağlayarak faz arası gerilimden faz-nötr geriliminin elde edilmesidir. Sadece yıldız sargı içeren transformatorlerde simetrik olmayan yüklerde olumsuz bir durum söz konusudur. Sinüs şeklinde bir akımın meydana gelmesi için üç ve üçün katı harmonikler oldukça önemlidir. Yıldız bağlı trafolar da bu akımlar aynı fazda olduklarından sıfır noktasında yığılırlar.

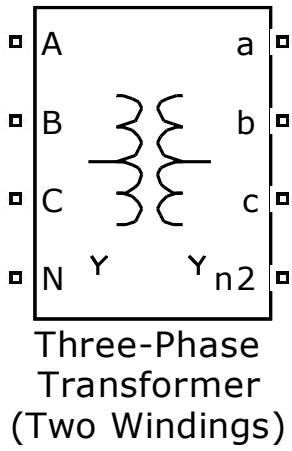
Şekil 4.8’de Yıldız-Yıldız bağlı üç fazlı trafonun eşdeğer devresi verilmiştir.

Burada R'_Y ve X'_Y birinci devrenin R_Y ve X_Y değerlerine eşittir. R_m ve X_m ise trafonun magnetik parametreleridir.



Şekil 4.8. Yıldız-yıldız bağlı 3 fazlı trafonun eşdeğer devresi

Şekil 4.9’de Üç fazlı çift sargılı trafonun Simulink modeli görülmektedir.



Şekil 4.9. YN-YN Bağlantılı trafo sembolü

Trafo parametreleri TEİAŞ’tan alınmıştır ve Çizelge 4.2’de verilmiştir. Birinci ve ikinci sargı değerleri kısa devre test deney sonuçlarıyla hesaplanırken, magnetik direnç (R_m) ve indüktans (L_m) değerleri ise açık devre test sonuçlarıyla hesaplanmaktadır..

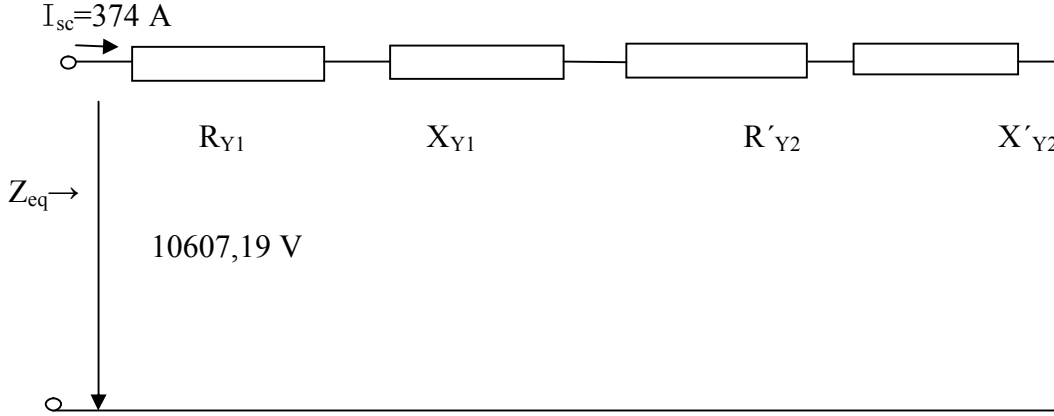
4.1.4.4.1. Kısa devre testi

Çizelge 4.2 100 MVA 154 kV' luk trafo parametreleri

Parametre adı	Parametre değeri
Boşta çalışma gücü	39.635 kW
Boşta çalışma akımı	0.79 A
Kısa devre gücü	2481 kW
Kısa devre akımı	374 A
U_k	11.93 %

Aşağıdaki şekil 4.10'da yıldız-yıldız bağlı trafonun kısa devre testinde kullanılan eşdeğer devresi bulunmaktadır. Buradaki eşdeğer devre tüm Y-Y bağlı trafoların blok parametre hesaplamalarında kullanılmaktadır. Devremiz birinci sargı uçları arasından beslendiğinden, besleme gerilimi

$$U_k = 0.1193 * 154000 / \sqrt{3} = 10607,19 \text{ Volt olur.}$$



Şekil 4.10. Yıldız-Yıldız bağlı trafonun kısa devre eşdeğer devresi

$$S = 100 \text{ MVA}; f = 50 \text{ Hz}; V = 154 \text{ kV}; \quad (4.1)$$

$$P_{sc} = 2481 \text{ kW}; I_{sc} = 374 \text{ A} \quad (4.2)$$

$$P_{sc} = 3 * U_k * I_{sc} * \cos\phi \quad (4.3)$$

$$2481000 = 3 * 10607,19 * 374 * \cos\phi \quad (4.4)$$

$$\Phi = 77.96^\circ \quad (4.6)$$

$$Z_{eq} = \frac{V_{faz}}{I_{sc}} = \frac{10607,19}{374} = 28.361 \Omega \quad (4.7)$$

$$R_{eq} = Z_{eq} \cos\phi = 5.916 \Omega \quad (4.8)$$

$$X_{eq}=Z_{eq}\sin\varphi=27.737 \Omega \quad (4.9)$$

$$R_{Y1}\approx R'_{Y2}; X_{Y1}\approx X'_{Y2} \quad (4.10)$$

$$R_{Y1}=R_{eq} / 2 \rightarrow R_{Y1}=2.958 \Omega \quad (4.11)$$

$$X_{Y1}=X_{eq}/2 \rightarrow X_{Y1}=13.868 \Omega \quad (4.12)$$

$$L_{Y1}= X_{Y1}/(2*\pi*50)=0.0441 \text{ Henry} \quad (4.13)$$

$$R_{Y1}\approx R'_{Y2}; X_{Y1}\approx X'_{Y2} \text{ olduğundan} \quad (4.14)$$

$$R'_{Y2}=\left(\frac{V_{Y1}}{V_{Y2}}\right)^2 R_{Y2}\rightarrow R_{Y2}=0.1408 \Omega \quad (4.15)$$

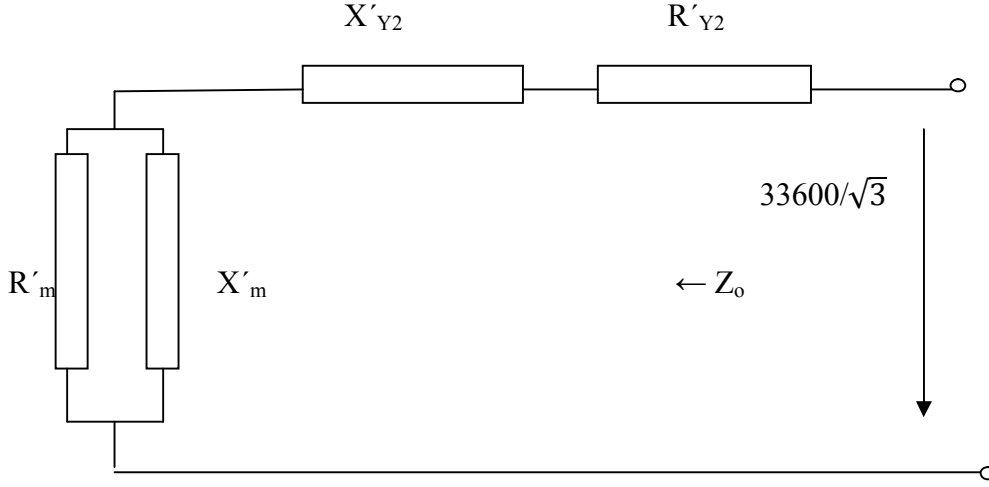
Benzer şekilde

$$X'_{Y2}=\left(\frac{V_{Y1}}{V_{Y2}}\right)^2 X_{Y2}\rightarrow X_{Y2}=0.6602 \Omega \quad (4.16)$$

$$L_{Y2}= X_{Y2}/(2*\pi*50)=0.0021 \text{ Henry} \quad (4.17)$$

4.1.4.4.2. Boşta çalışma testi

Şekil 4.11'de yıldız-yıldız bağlı trafonun açık devre testinde kullanılan eşdeğer devresi bulunmaktadır. Buradaki eşdeğer devre tüm Y-Y bağlı trafoların magnetik direnç ve reaktans değerlerinin hesaplamalarında kullanılmaktadır.



Şekil 4.11. Yıldız-Yıldız bağlı trafonun boştaki çalışma eşdeğer devresi

$$P_o = 3 \cdot U_o \cdot I_o \cdot \cos \varphi \quad (4.18)$$

$$P_o = 39.635 \text{ kW}; \quad I_o = 0.79 \text{ A} \quad (4.19)$$

$$39635 = 3 \cdot 0.79 \cdot \frac{33600}{\sqrt{3}} \cdot \cos \varphi \quad (4.20)$$

$$\varphi = 30.45^\circ \quad (4.22)$$

$$R_m \gg R'_{Y2}; \quad X_m \gg X'_{Y2} \quad (4.23)$$

$$Z_o = \frac{V_{\text{faz}}}{I_o} = \frac{33600/\sqrt{3}}{0.79} = 24556 \Omega \quad (4.24)$$

$$R_o = \frac{Z_o}{\cos \varphi} = 28485 \Omega \quad (4.25)$$

$$X_o = \frac{Z_o}{\sin \varphi} = 48454 \Omega \quad (4.26)$$

$$R_o \approx R'_m; \quad X_o \approx X'_m \quad (4.27)$$

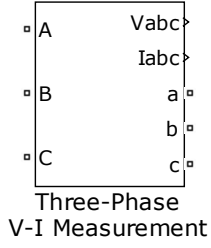
$$R_m = \frac{154000^2}{33600^2} \cdot 28485 = 598361 \Omega \quad (4.28)$$

$$X_m = \frac{154000^2}{33600^2} \cdot 48454 = 1017900 \Omega \quad (4.29)$$

$$L_m = X_m / (2 \cdot \pi \cdot 50) = 3240 \text{ Henry bulunur.} \quad (4.30)$$

4.1.5. Ölçü

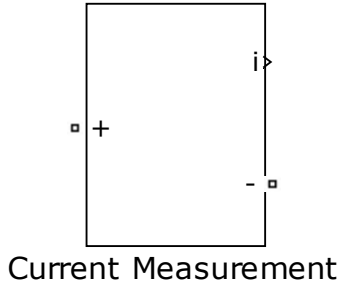
3 fazlı V-I ölçü bloğu bir devredeki anlık 3 fazlı gerilim ve akımları ölçmek için kullanılır. 3 fazlı elemanlarla seri bağlandığı zaman tepe gerilim ve akımın faz- toprak ve faz-faz değerlerini gösterir. Şekil 4.12’de Simulink 3 fazlı akım-gerilim ölçü sembolü verilmektedir.



Şekil 4.12. 3 fazlı akım-gerilim ölçü sembolü

4.1.6. Akım ölçer

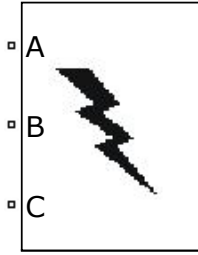
Bu blok devredeki akımı ölçer. Akım ölçerin Simulink sembolü şekil 4.13’te verilmiştir.



Şekil 4.13. Akım ölçerin Simulink sembolü

4.1.7. Hata

Trafolar ve enerji nakil hatlarında çeşitli arızalar oluşmaktadır. Bu arızalar sonucunda şebekede kısa devre, açma ve enerji kayıpları meydana gelmektedir. Mevcut enerji şebekelerinde oluşan arızalar hata olarak adlandırılmaktadır. Üç faz hata sembolü şekil 4.14'de verilmiştir. Üç faz hata sembolünde açılma ve kapanma zamanları dış Simulink sinyali (external control mode) ya da iç kontrol zamanlayıcısı (internal control mode) olan üç faz devre anahtarı ile yürütülür.



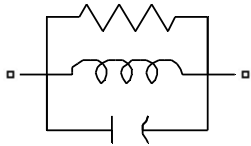
Three-Phase Fault

Şekil 4.14. 3 faz hata sembolü

3 faz hata blok parametre diyagramında bir hatayı programlamak için ilgili fazı seçmek ve toprak direncini küçük bir değer belirtmek gerekir.

4.1.8 . Yükler

Bu tez çalışmasında yükler 3 fazlı paralel RLC yükü kullanılarak modellenmiştir. Matlab Simulinkte 3 fazlı paralel RLC yükü sembolü şekil 4.15'de verilmiştir.



Parallel RLC Load

Şekil 4.15. 3 fazlı paralel RLC yük sembolü

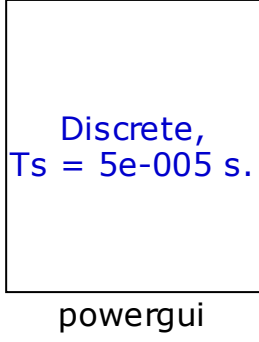
Çizelge 4.3'de 154 kV'luk Van TM'ye ait dağıtım hatlarının yük parametre değerleri verilmiştir. Bu değerler 154 kV'luk Van TM'de bulunan mevcut fider sayaçlarından alınmıştır. Dikkat edilirse tablo da sistemdeki aktif ve reaktif yükler bulunmaktadır.

Çizelge 4.3. 154 kV'luk Van TM yük parametre değerleri

FİDER ADI	P (MW)	Q (MVAR)
	AKTİF GÜÇ	REAKTİF GÜÇ
H-2 F-2 ŞEHİR M3	17	1.7
H-3 F-2 ŞEHİR M4	25	2.5
H-4 F-3 ŞEHİR M1	20	2
H-8 KAPASİTÖR 1	0	10
H-9 F-4 ÜNİVERSİTE	2.2	0.22
H-10 SERVİS TRAFOSU	0.1	0.04
H-11 F-5 ŞEHİR M2/BARA1	29	2.9
H-12 F-6 ŞEHİR M2-BARA2	15	1.5
H-13 KAPASİTÖR 2	0	10
H-15 F-9 ERÇEK	12	1.2
H-16 F-7	0.3	0.03
ORGANİZE SANAYİ		
H-17 F-8 KÖYLER	6	0.6

4.1.9. Grafiksel Kullanıcı Arayüzü (Powergui)

Bu çalışmada kullanılan grafiksel kullanıcı ara yüz sembolü şekil 4.16'da verilmiştir. Powergui bloğu, güç simülasyonu içeren her Simulink araç kutusu modelinde gereklidir. En iyi performans için powergui bloğunu diyagramın üst seviyesine yerleştirir. Fakat alt sistemlerde uygun olan istenilen yere yerleştirilmesi çalışmasını etkilemez. Her model için en fazla bir blok kullanılabilir.



Şekil 4.16. Powergui bloğu sembolü

Powergui bloğunun ana amacı sistem modellerinde yararlı bir kullanıcı ara yüzü aracı sağlamaktır. Bir devreyi çözebilmek için takip eden metotlardan birini seçmenize olanak verir. Powergui bloğu simülasyon devresindeki durum değişkenlerini gösterdiği gibi aynı zamanda ölçülen hazır durum değerlerinin akım ve gerilimlerini de gösterir.

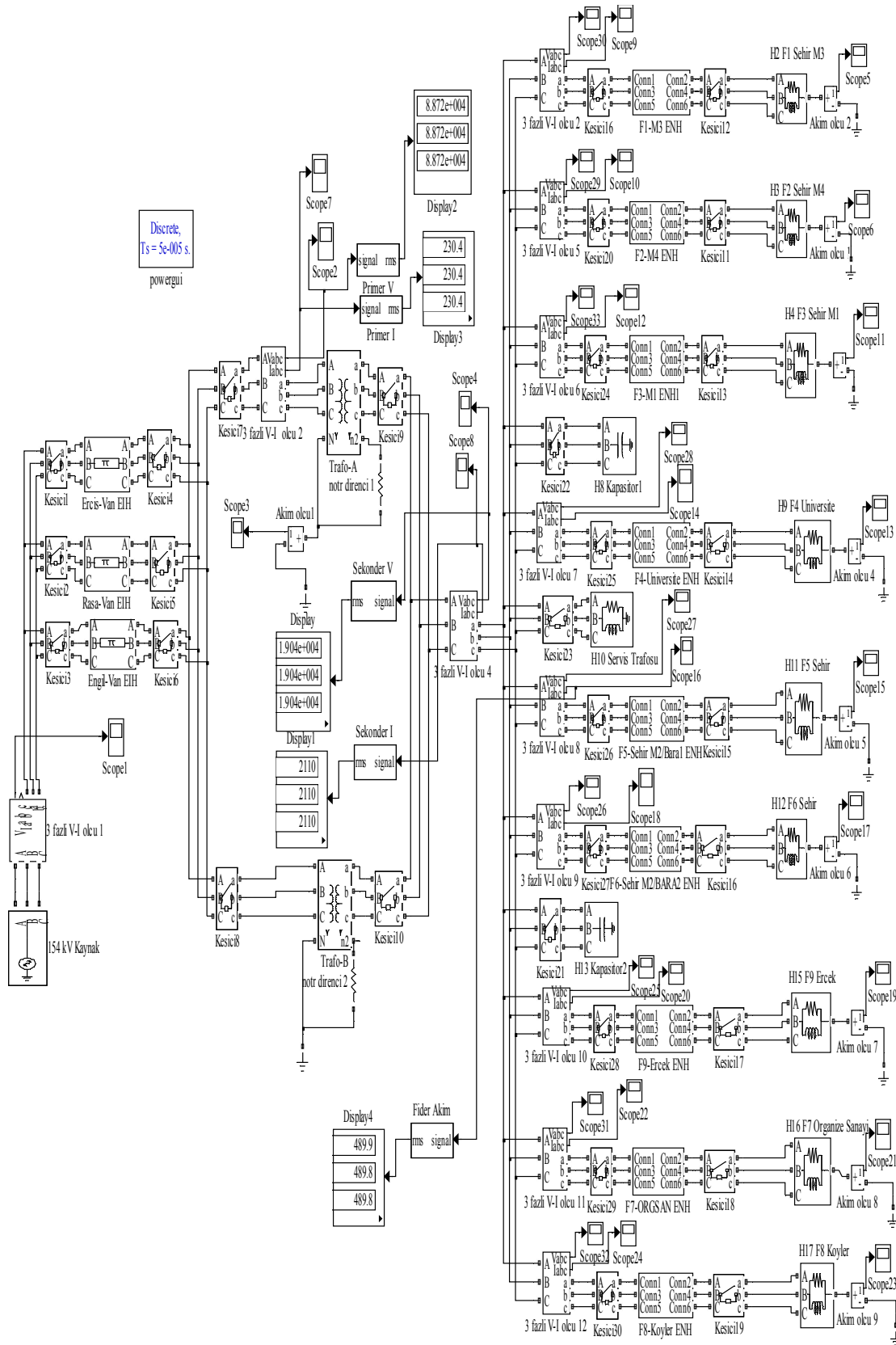
Powergui blok parametre diyagramındaki simülasyon tipleri aşağıda gibidir.

- 1-) Powergui bloğunda “fazör simülasyonu” seçiliyse güç simülasyon sistemi frekans parametresinde belirtilen frekansta, fazör simülasyonu yürütür. “Frekans (Hz)” modelin fazör simülasyonunu yürütmek için Simpower sistem tarafından kullanılan frekansı belirtir.
- 2-) Powergui bloğunda “discretize (ayrık zaman) elektrik modeli” seçili ise Simpower sistem modelinin tahmini görüntüsünü yürütür. Eğer örnek zaman sıfır olarak belirtilmişse, ayrık zaman yürütülmez ve süregelen çözüm metodu kullanılır.
- 3-) Powergui bloğunda “ continuous (sürekli)” seçiliyse Simpower sürekli çözüm üretir.

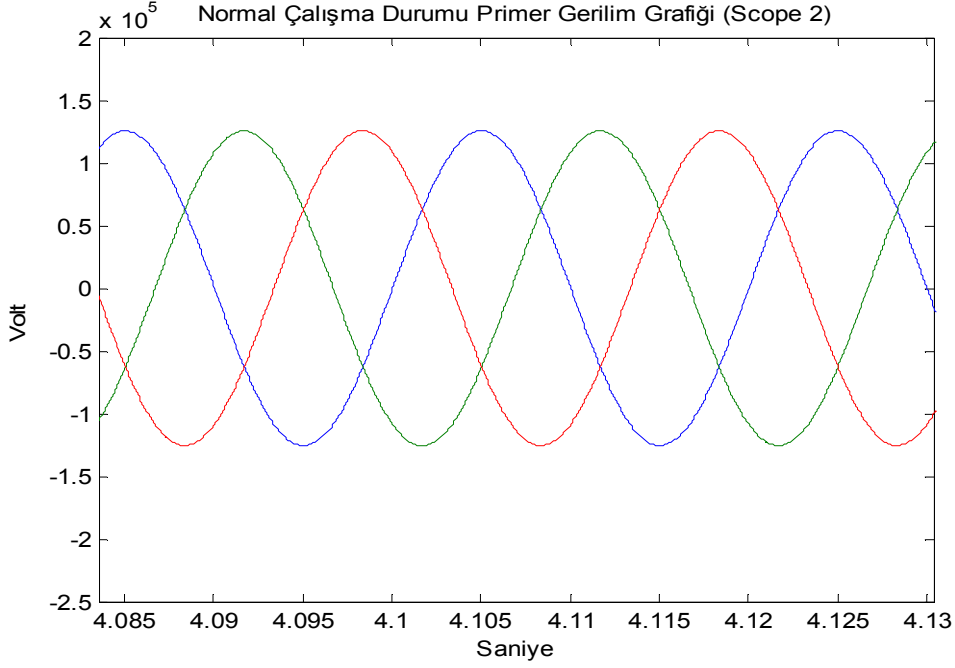
4.2. Simulasyon ve Kısa Devre Analizi

4.2.1. Normal çalışma durumunda Simulink modeli, akım ve gerilim ölçümleri

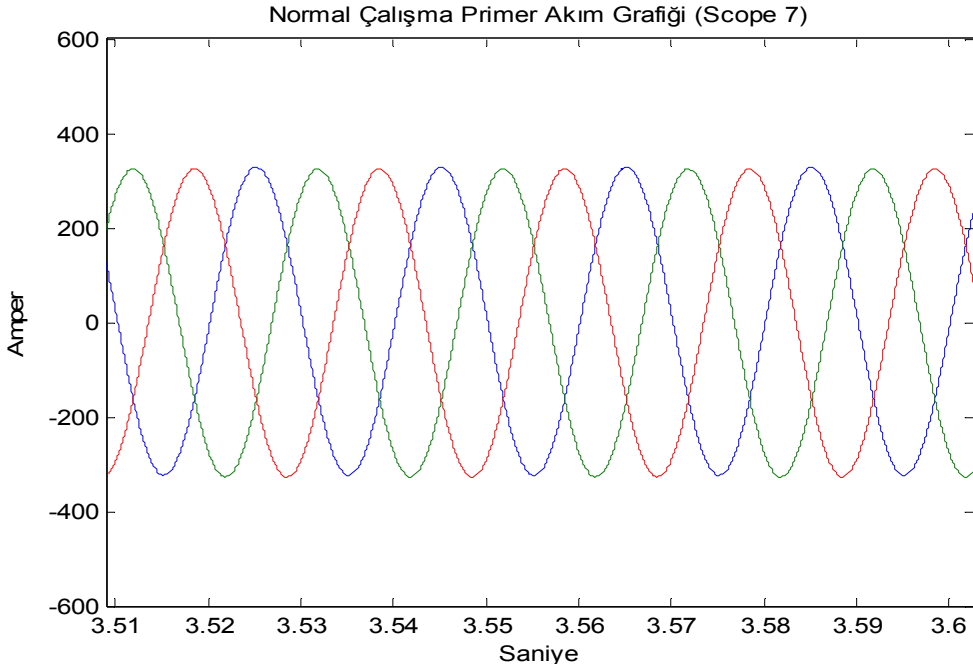
154 kV'luk Van TM tek hat şeması Ekler kısmında Ek 1'de gösterilmiştir. Simulasyon modelimiz bu tek hat şeması baz alınarak gerçek değerlerle yapılmıştır. Simulasyon parametreleri, hat uzunlukları, trafo parametreleri, yük değerleri, aktif reaktif güç değerleri, gerçek değerlerden alınmıştır. Şekil 4.17'de trafo merkezinin normal çalışma durumunda Simulink modeli verilmiştir. Şekil 4.18, ve şekil 4.19'da normal çalışma durumunda trafo merkezinin primer (154 kV'luk tarafı) ve şekil 4.20 ve şekil 4.21'de ise sekonder (33,6 kV tarafı) tarafından alınan ölçüm sonuçlarına göre akım ve gerilim grafikleri görülmektedir. Şekil 4.22'de ise gerilim kaynağı olarak modellenen 154 kV'luk ideal gerilim kaynağının gerilim grafiği verilmiştir.



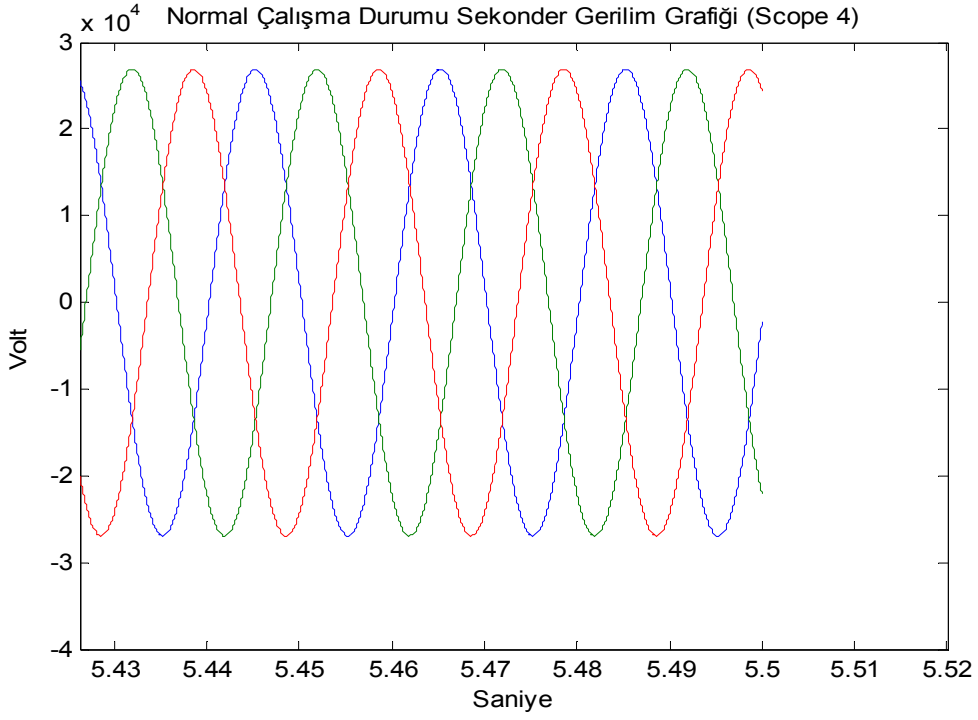
Şekil 4.17. Normal çalışma durumunda Simulink modeli



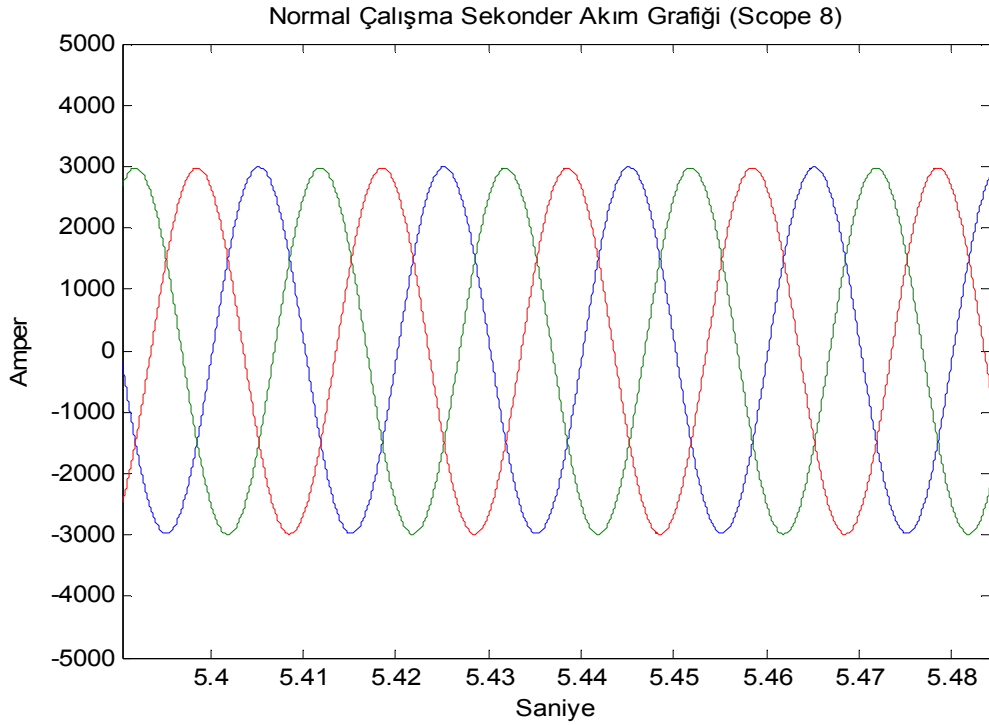
Şekil 4.18. Normal çalışma durumunda primer (154 kV'luk tarafı) taraftan alınan gerilim grafiği



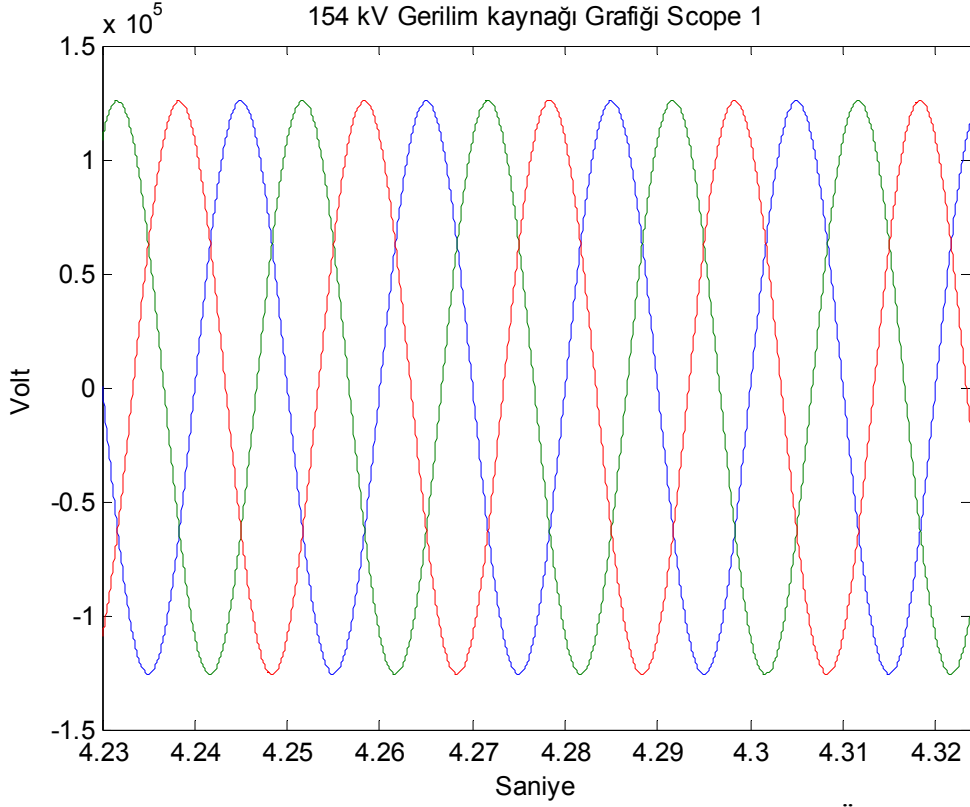
Şekil 4.19. Normal çalışma durumunda primer (154 kV'luk tarafı) taraftan alınan akım grafiği



Şekil 4.20. Normal çalışma durumunda sekonder (33.6 kV'luk tarafı) taraftan alınan gerilim grafiği



Şekil 4.21. Normal çalışma durumunda sekonder (33.6 kV'luk tarafı) taraftan alınan akım grafiği



Şekil 4.22. 154 kV'luk gerilim kaynağı gerilim grafiği (3faz V-I Ölçü1'de alınmıştır)

Şekil 4.22'de görüldüğü üzere gerilim kaynağından faz faz arası 154 kV gerilim uygulanmıştır. Ölçü aleti faz toprak arası gerilimi ölçtüğü için faz toprak arası gerilim

şekilden görüldüğü üzere $\frac{154000\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 125.7$ kV olur

4.2.2. Trafo Merkezinin 33.6'luk kV (Sekonder tarafında) Tarafında Bir Fiderde Oluşan Kısa Devre Durumu

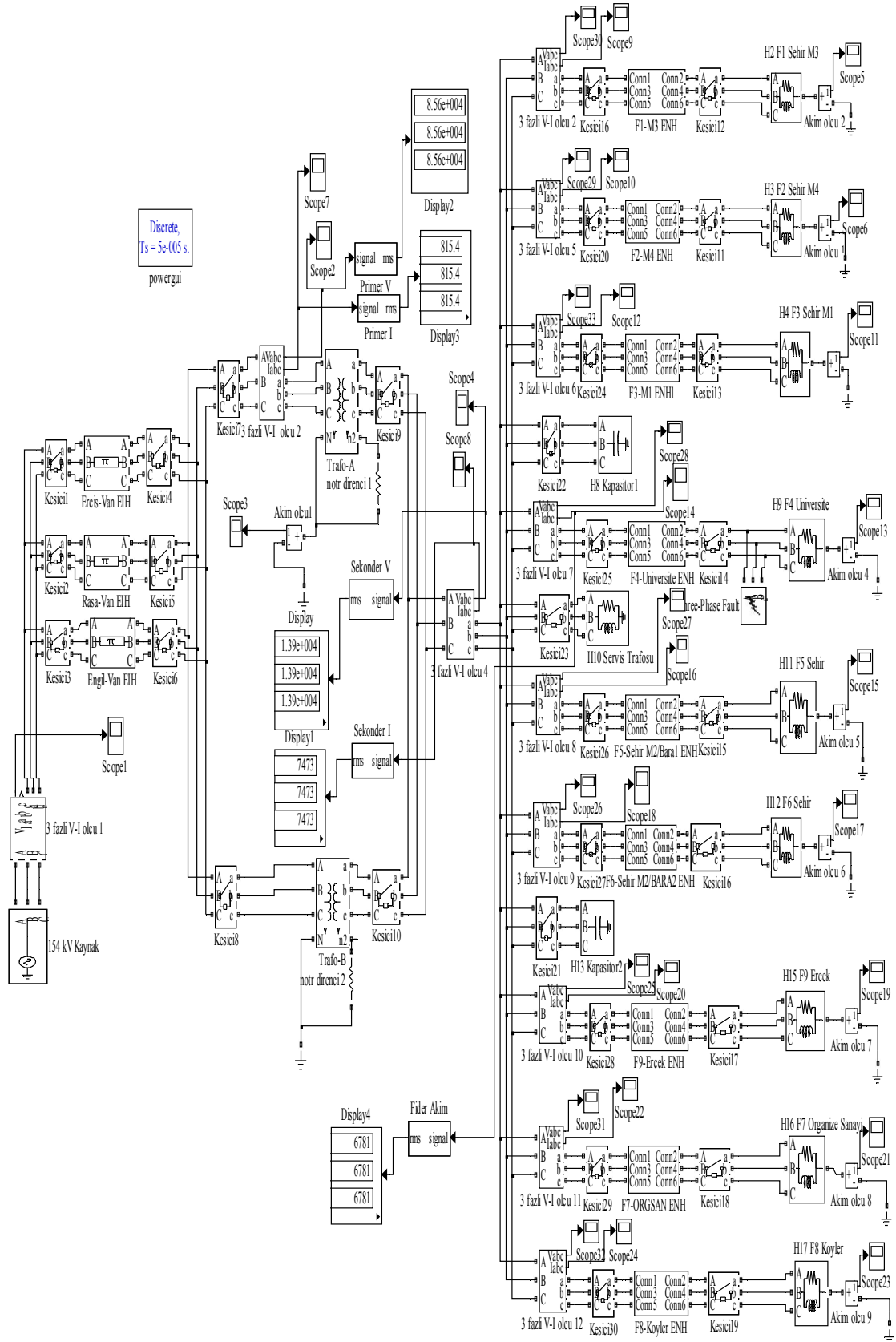
Simulasyon sonucunda tüm kısa devre durumları için 154 kV'luk (primer) ve 33.6 kV'luk taraftaki göstergelerden (Display) alınan gerilim ve akım rms değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Simulasyon sonucundaki primer ve sekonder gösterge değerleri

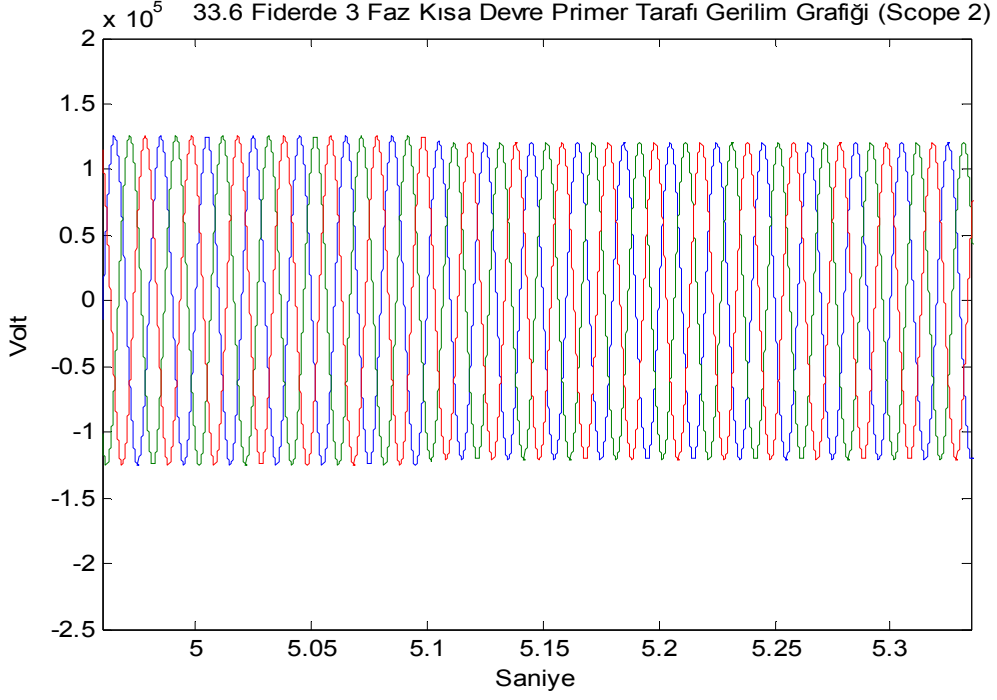
KISA DEVRE TİPİ VE OLUŞTUĞU YER	ÖLÇÜM ALINAN YER											
	154 kV Tarafı						33.6 kV'luk Tarafı					
	Gerilim (kV)			Akım (A)			Gerilim (kV)			Akım (A)		
	Faz			Faz			Faz			Faz		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Normal Çalışma	88.72	88.72	88.72	230.4	230.4	230.4	19.04	19.04	19.04	2110	2110	2110
33.6 kV'luk taraf												
3 faz	85.6	85.6	85.6	815.4	815.4	815.4	13.9	13.9	13.9	7473	7473	7473
3 faz-toprak	85.6	85.6	85.6	815.4	815.4	815.4	13.9	13.9	13.9	7473	7473	7473
Faz-faz	86.66	86.661	88.69	746.1	543.8	243.9	15.88	15.55	19	6837	4984	2235
2 faz-toprak	86.06	86.77	88.61	792.8	521.3	322	15.44	102.7	25.08	7266	4777	2950
Faz-toprak	88.68	88.6	88.57	240.8	252.6	260.2	18.75	19.67	18.38	2206	2314	2384
154 kV'luk taraf												
3 faz	41.31	41.33	41.33	20.88	10.48	10.4	28.14	16.09	15.96	191.1	95.89	95.21
3 faz-toprak	41.31	41.33	41.33	20.88	10.48	10.4	28.14	16.09	15.96	191.1	95.89	95.21
Faz-faz	44.38	44.31	88.69	123	122.9	244	95.08	94.93	19	1127	1126	2235
2 faz-toprak	647.2	643.6	115.8	84.24	83.97	236.4	6447	6432	18410	772.1	769.7	2166
Faz-toprak	112.9	114.1	942.2	238.5	239	119.4	18.57	18.61	9.3	2185	2189	1094

4.2.2.1. 3 faz kısa devre Simulink modeli, gerilim ve akım grafikleri

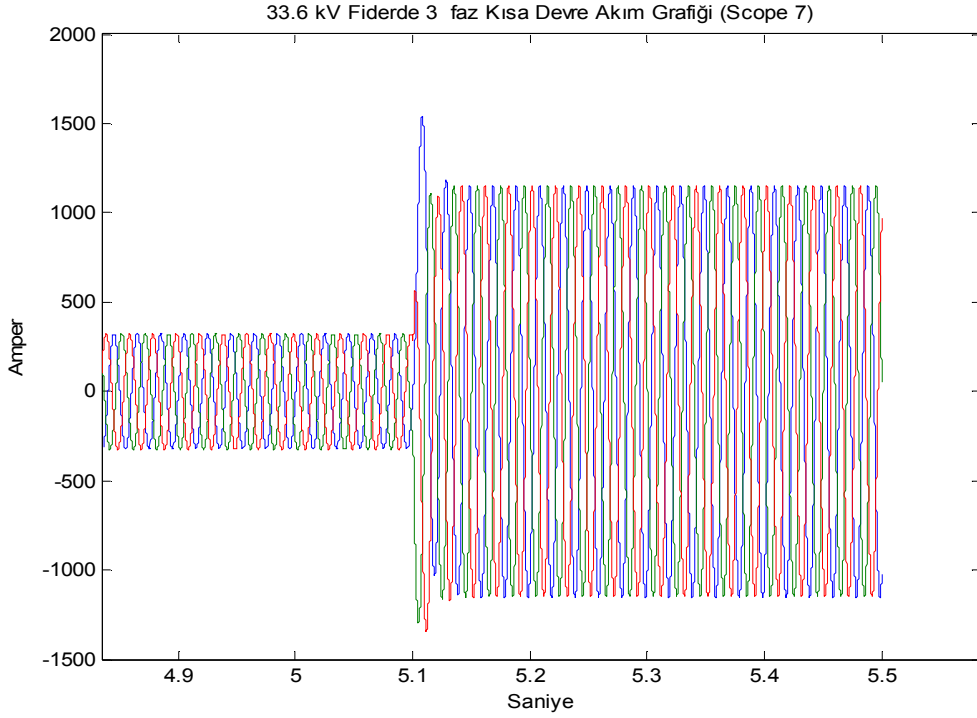
Şekil 4.23’de 3 faz kısa devre Simulink modeli, şekil 4.24 ve 4.25’te trafo merkezinin primer (154 kV’luk tarafı) ve şekil 4.26 ve 4.27’de sekonder (33.6 kV’luk tarafı) tarafından alınan ölçüm sonuçlarına göre akım ve gerilim grafikleri, şekil 4.28’de 3 faz kısa devre trafo nötr noktası kısa devre akım grafiği, şekil 4.29’da F4 fideri 3 faz kısa devre fider akım grafiği, şekil 4.30’da ise F4 fideri 3 faz kısa devre fider nötr akım grafiği ve şekil 4.31’de ise 154 kV’luk Van Trafo Merkezinde 3 faz kısa devre röle akım grafiği verilmiştir.



Şekil 4.23. 33.6 kV'lık tarafta 3 faz kısa devre Simulink modeli

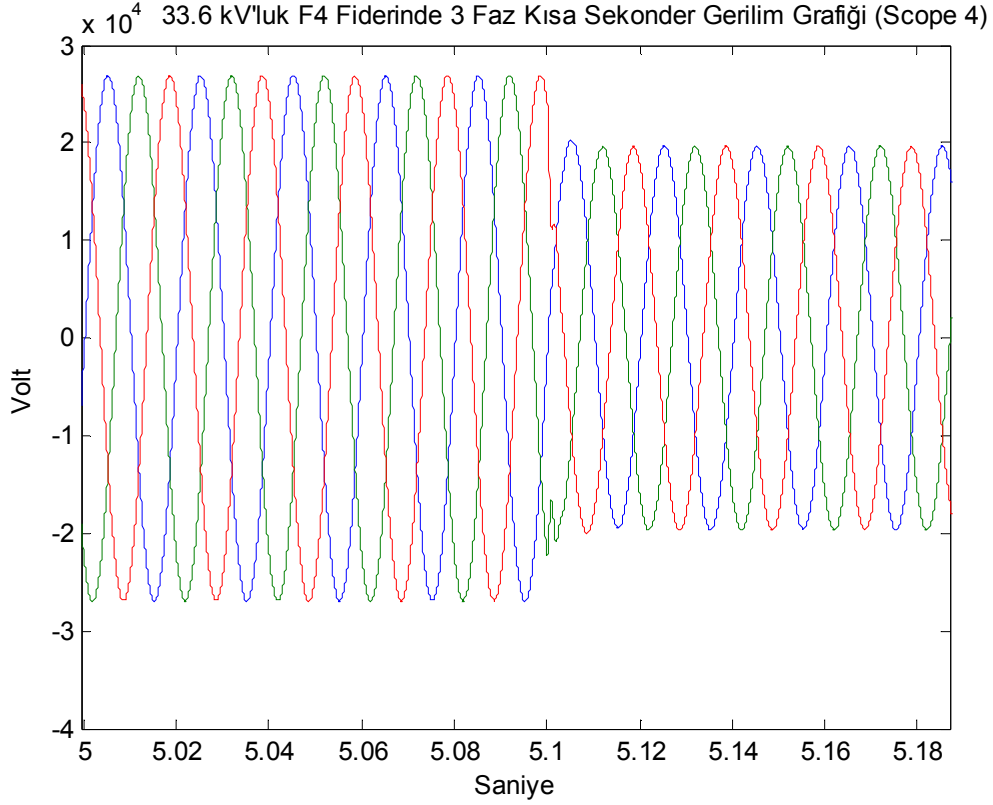


Şekil 4.24. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz kısa devre primer (154 kV'luk tarafı) tarafı kısa devre gerilim grafiği (3 faz V-I Ölçü 2'den alınmıştır)

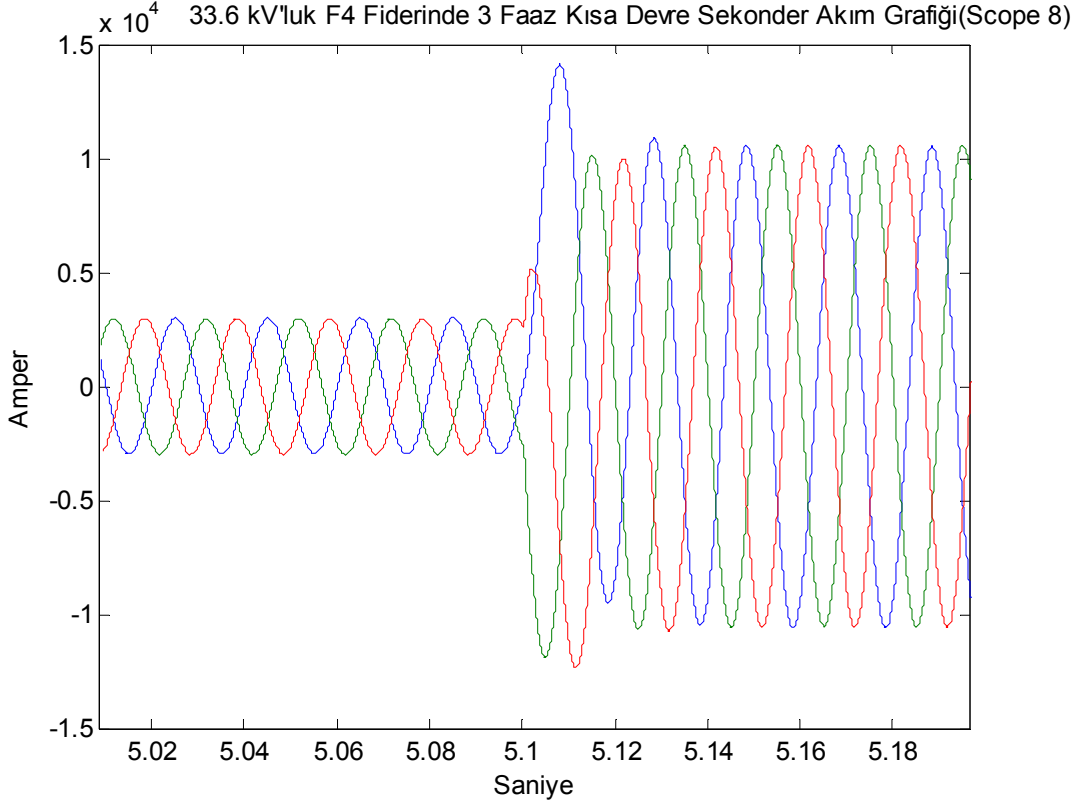


Şekil 4.25. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz kısa devre primer (154 kV'luk tarafı) tarafı kısa devre akım grafiği (3 faz V-I Ölçü 2'den alınmıştır).

Dikkat edilirse devrenin sekonder tarafında bir kısa devre oluştuğunda primer taraftan alınan grafiklere göre gerilim seviyesi düşmektedir. 3 faz kısa devre akımında ise artış görülmektedir. Çizelge 4.4'ten görüleceği üzere normal çalışma şartlarında primer tarafta 88720 V gerilim ve 230.4 A rms değeri olarak okunmaktadır. Gerilimin rms değeri 85600 V'dur. Akım ise 815.4 A'dır. Kısa devre süresince akımın çok yükseldiği şekil 4.25'deki grafikte görülmektedir.

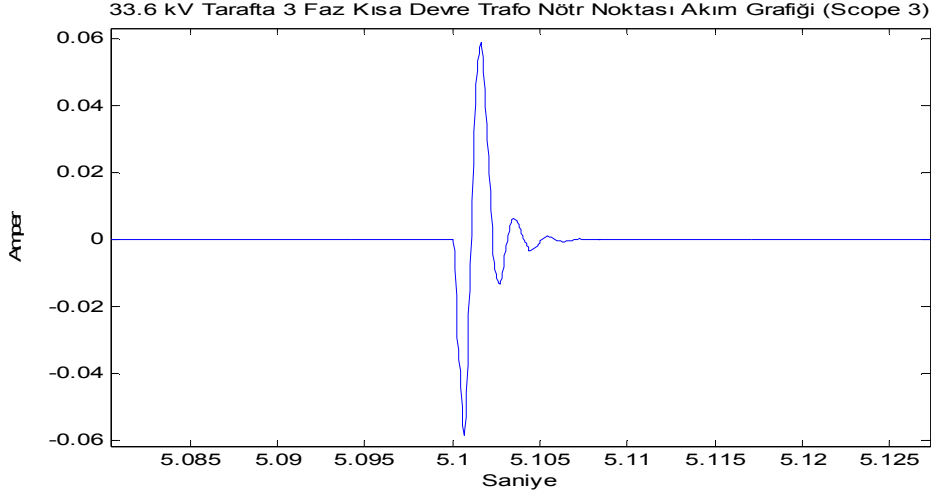


Şekil 4.26. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz kısa devre sekonder (33.6 kV'luk) tarafı kısa devre gerilim grafiği (3 faz V-I ölçü 4'ten alınmış)



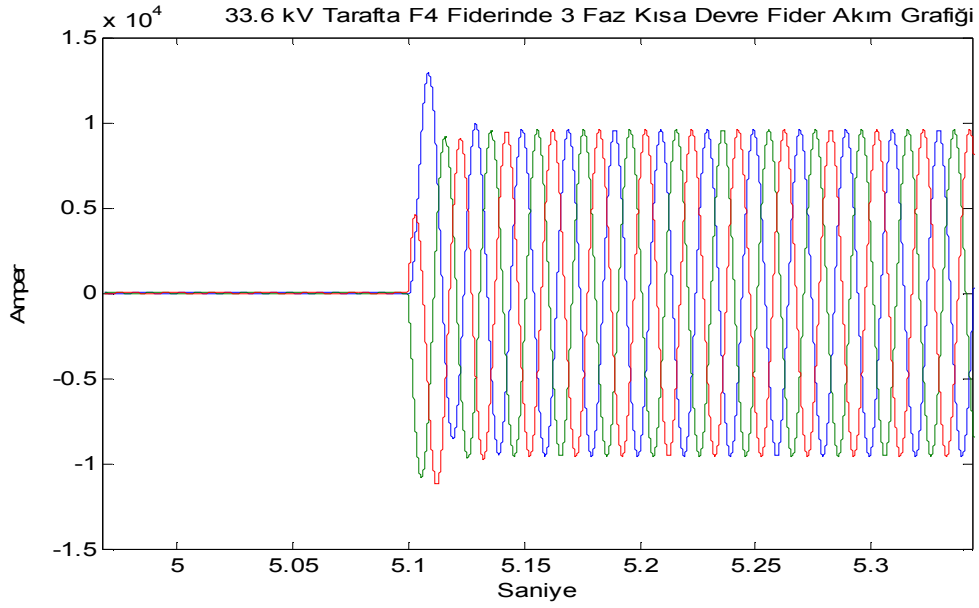
Şekil 4.27. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz kısa devre sekonder (33.6 kV'luk) tarafı kısa devre akım grafiği (3 faz V-I ölçü 4'ten alınmış)

Normal şartlarda Çizelge 4.4'ten sekonder tarafta rms olarak 19040 V gerilim ve 2110 A akım okunmaktadır. 33.6 kV'luk tarafta meydana gelen 3 faz kısa devrede ise trafonun sekonderinden alınan şekil ölçüm değerlerine göre gerilimin rms değeri 13900 V akım ise 7473 A olur. Görüleceği üzere hem primer hem de sekonder tarafında kısa devre durumunda gerilim seviyesinde düşme gözlemlenmektedir.

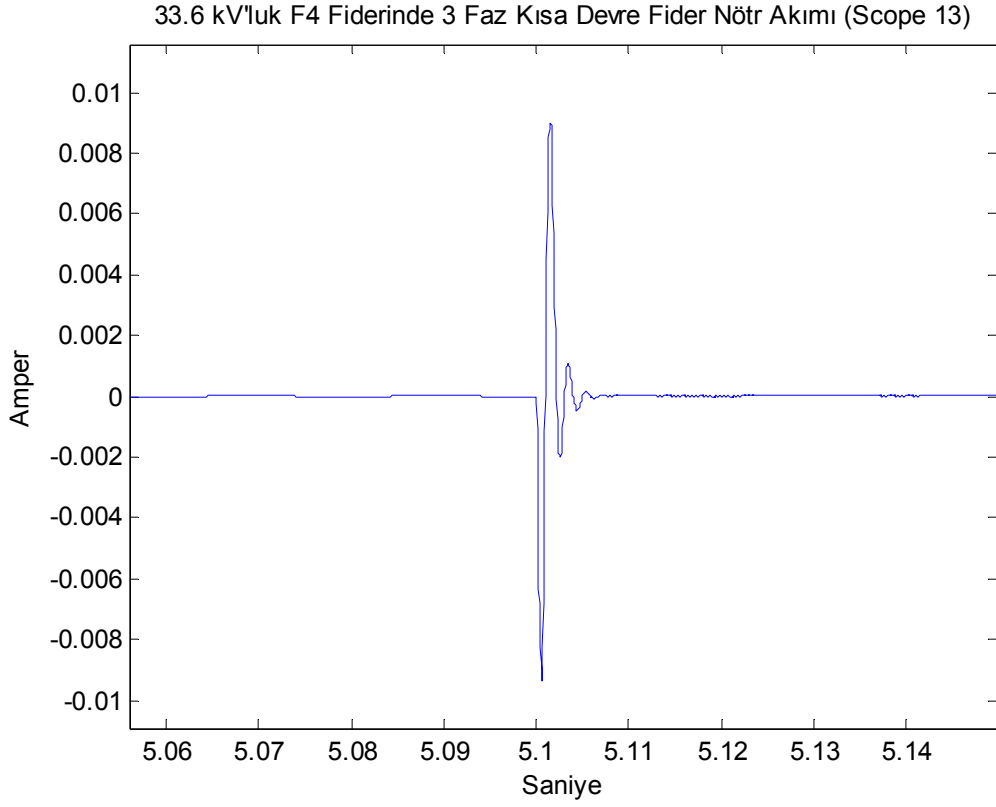


Şekil 4.28. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz kısa devre trafo nötr noktası kısa devre akım

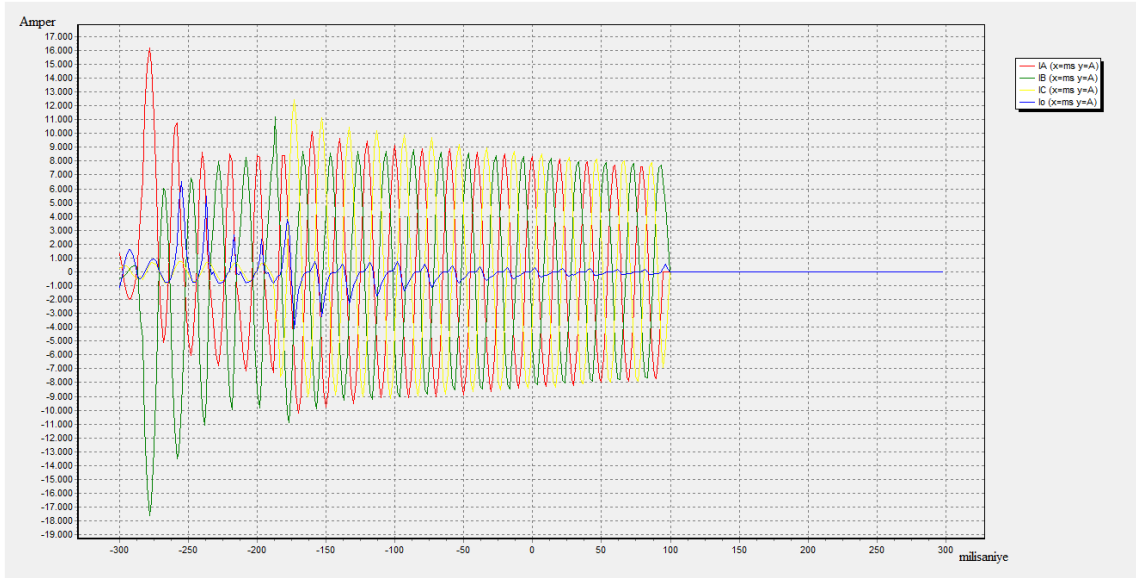
3 faz kısa devre dengeli ve kararlı bir sistemde oluştuğu için şekil 4.28'te görüldüğü üzere kısa devre oluşum zamanı olan 5.1-5.5 zaman aralığında trafonun nötr noktasından ihmal edilebilecek düzeyde düşük bir akım akmaktadır



Şekil 4.29. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz kısa devre fider akım grafiği



Şekil 4.30. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz kısa devre fider nötr noktası akım grafiği



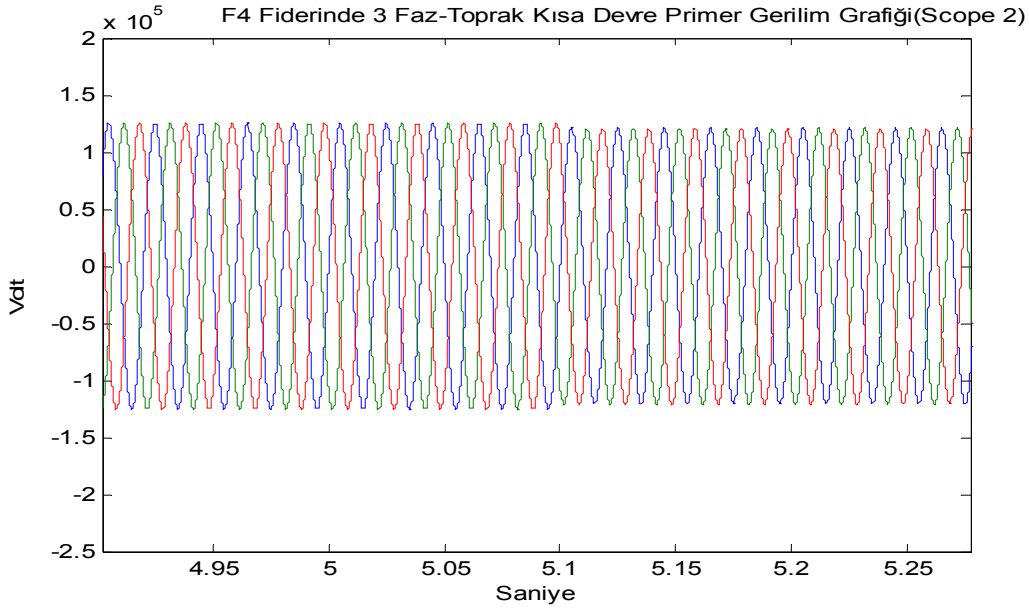
Şekil 4.31. 154 kV'luk Van TM'den alınan 3 faz kısa devre röle akım grafiği

Şekil 4.31 'de 154 kV'luk Van Trafo Merkezinde F4 fiderinde oluşan gerçek 3 fazlı kısa devre akım grafiği rölelerden alınmıştır. Grafikte A, B, C faz akımları ve fider nötr

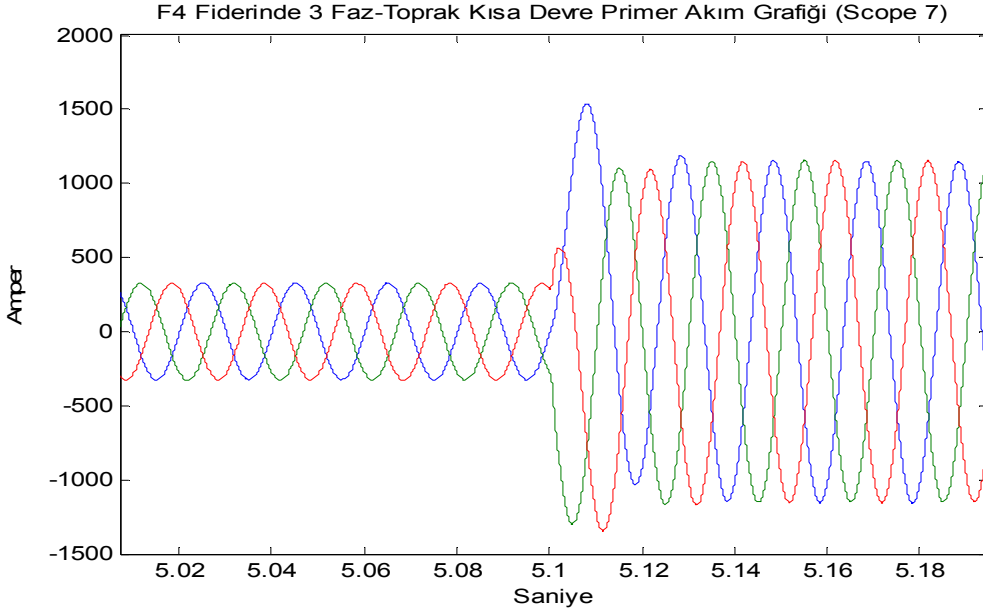
akımı görülmektedir. Şekil 4.31’de görüleceği üzere A fazı (Kırmızı) başlangıçta darbe akımı oluşturmaktadır. Simulasyon grafiğimiz olan Şekil 4.29’da aynı şekilde seyretmekte simulasyon grafiği ile rölelerden alınan değerler örtüşmektedir.

4.2.2.2. 3 faz toprak kısa devre Simulink modeli, gerilim ve akım grafikleri

Şekil 4.32 ve 4.33’de primer tarafı 3 faz-toprak kısa devre gerilim ve akım grafikleri, Şekil 4.34 ve 4.35’de sekonder tarafı 3 faz-toprak kısa devre gerilim ve akım grafikleri, şekil 4.36’de 3 faz toprak kısa devre trafo nötr noktası akım grafiği, , şekil 4.37’de F4 fideri 3 faz kısa devre fider akım grafiği ve şekil 4.38’de ise F4 fideri 3 faz kısa devre fider nötr akım grafiği verilmiştir.

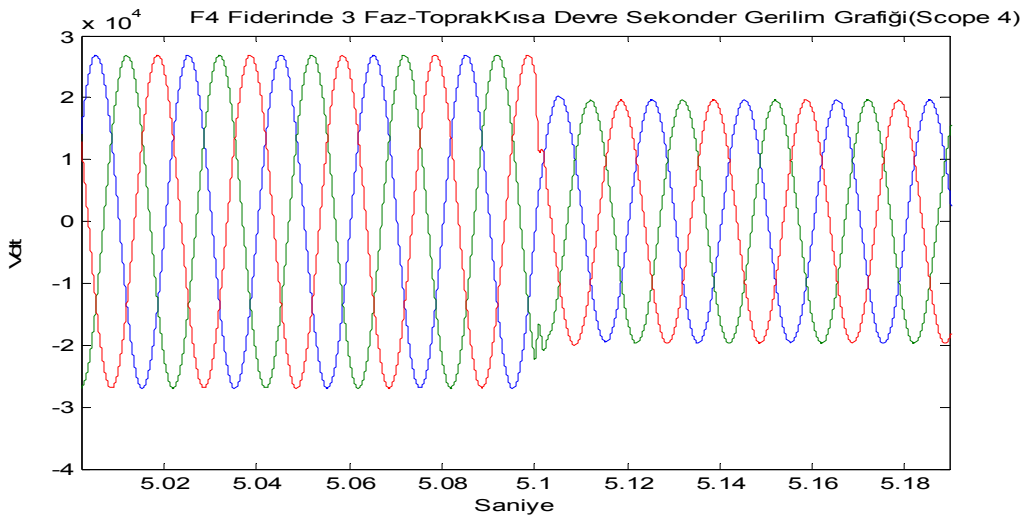


Şekil 4.32. 33.6 kV’luk tarafta 3 faz –toprak kısa devre primer tarafı kısa devre gerilim grafiği

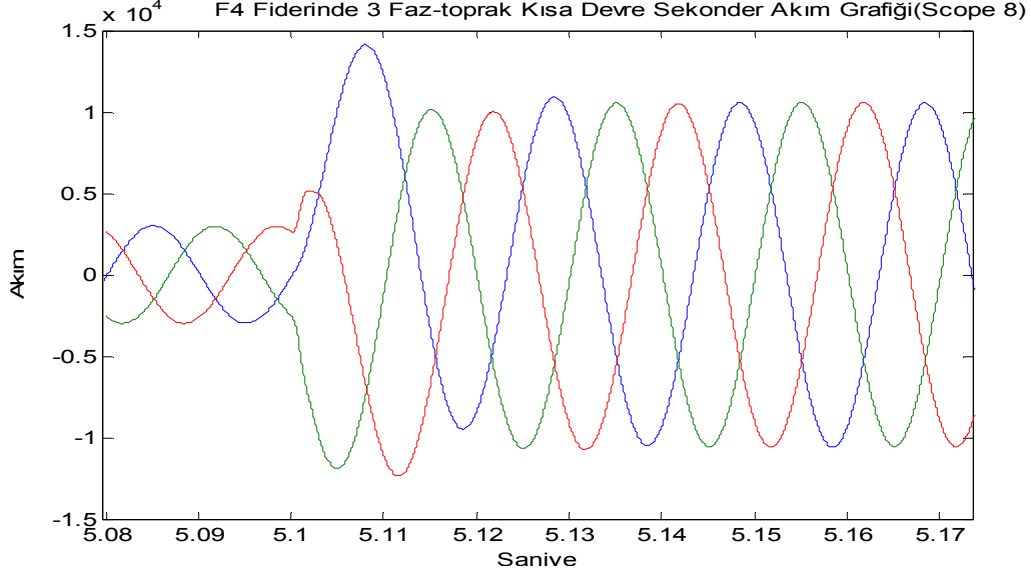


Şekil 4.33. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz –toprak kısa devre primer tarafı kısa devre akım grafiği

Çizelge 4.4'ten görüldüğü üzere kısa devre olmadan önce devrenin primer tarafında 88720 V rms gerilim ve 230.4 A rms akım vardır. 3 faz toprak kısa devresi oluştuğunda ise Çizelge 4.4'ten primer tarafta devrede 85600 V rms gerilim ve 815.4 A rms akım okunmaktadır. Yani kısa devre anında gerilim çökmesi oluşmuş ve akım değeri artmıştır.

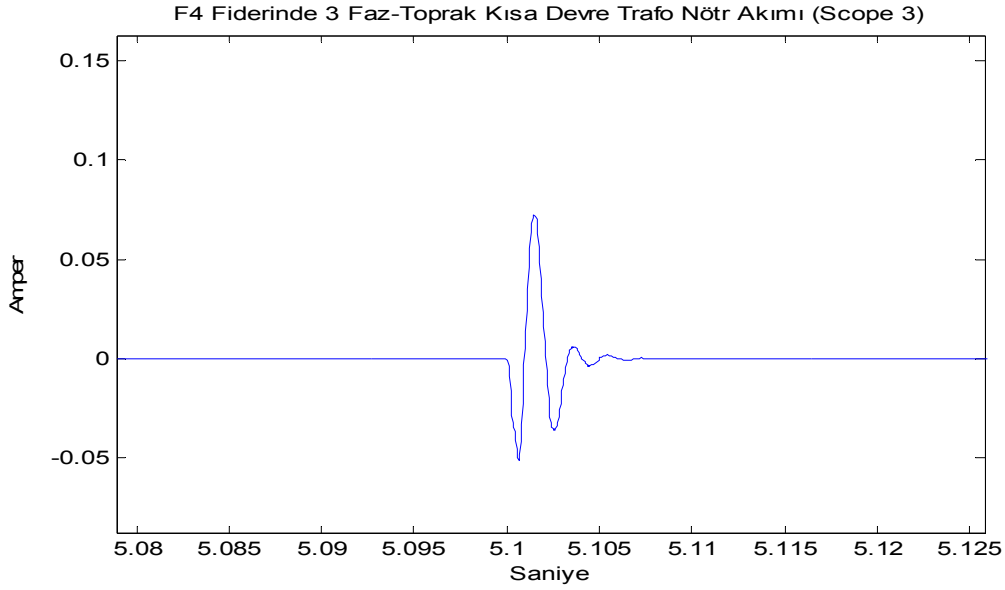


Şekil 4.34. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz –toprak kısa devre sekonder tarafı kısa devre gerilim grafiği



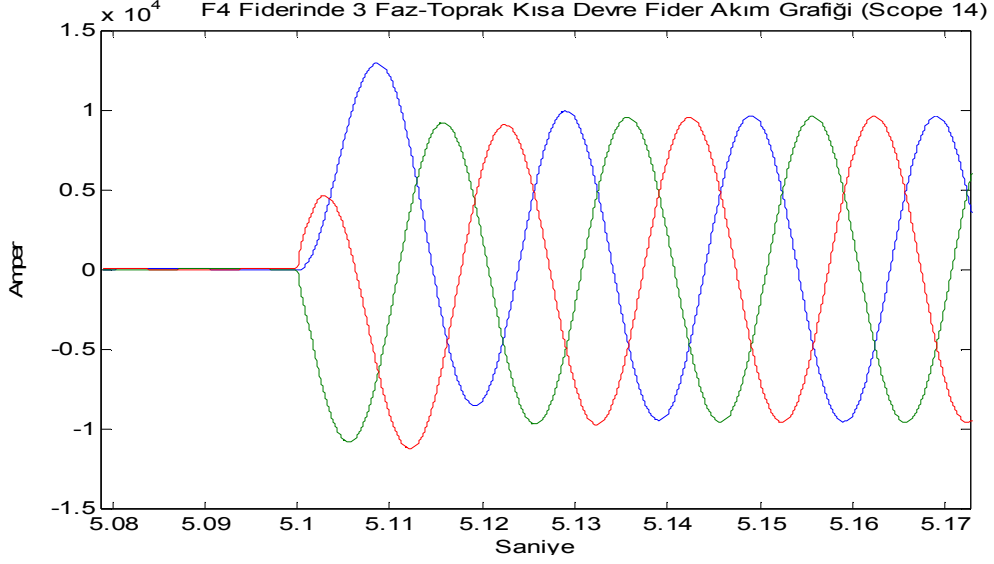
Şekil 4.35. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz –toprak kısa devre sekonder tarafı kısa devre akım grafiği

Kısa devre olmadan Çizelge 4.4'ten devrenin sekonder tarafında rms olarak 19040 V gerilim ve 2110 A akım okunmaktadır. 3 faz-toprak kısa devresi oluştuğunda ise devrenin sekonder tarafında şekil Çizelge 4.4'ten 13900 V gerilim ve 7473 A akım değeri okunmaktadır.

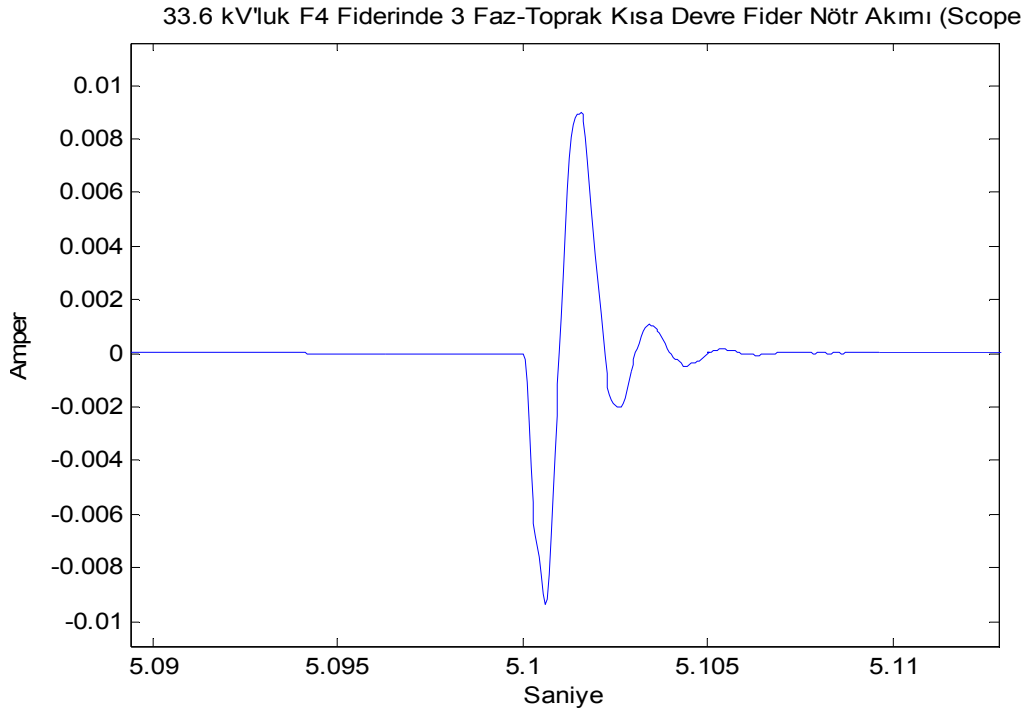


Şekil 4.36. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz-toprak kısa devre trafo nötr noktası akım grafiği

Dikkat edilirse hem 3 faz kısa devresi hemde 3 faz toprak kısa devresinde trafo nötr noktasından çok düşük seviyede akım akmaktadır. Bunun nedeni sistemim 3 fazlı ve dengeli olmasıdır.



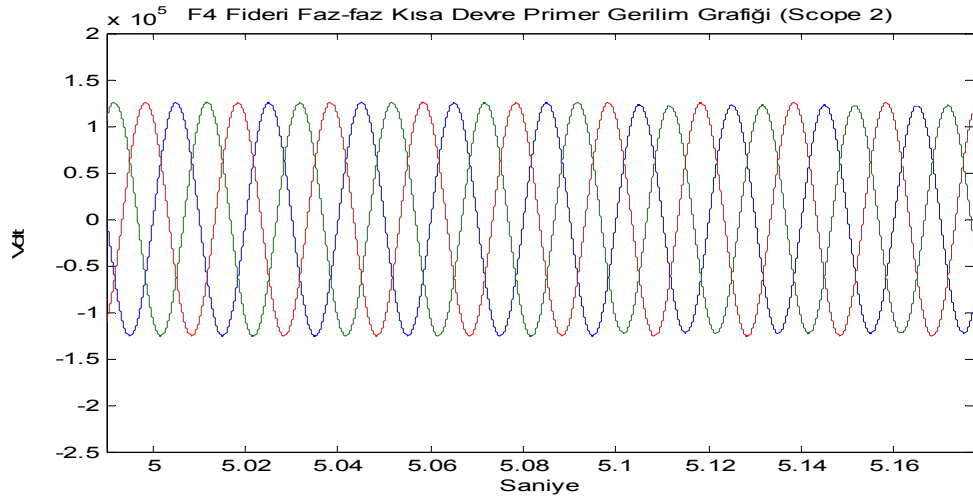
Şekil 4.37. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz –toprak kısa devre fider akım grafiği



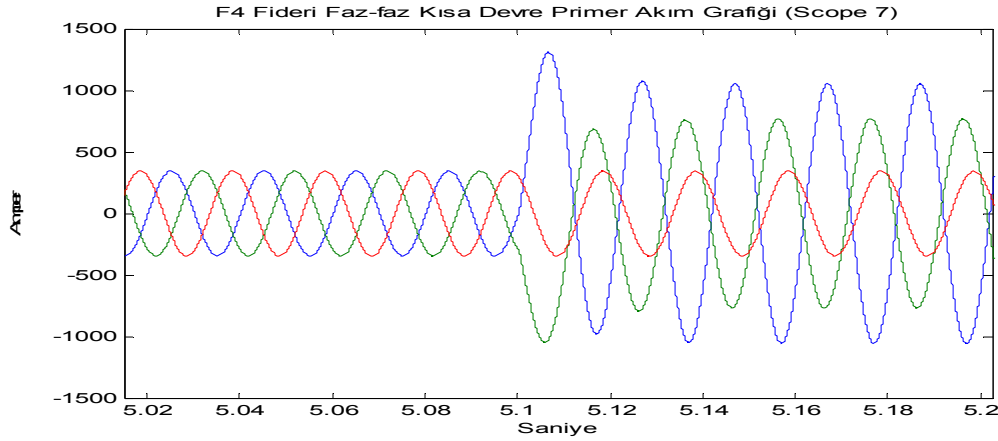
Şekil 4.38. 33.6 kV'luk tarafta 3 faz –toprak kısa devre fider nötr akım grafiği

4.2.2.3. Faz-faz kısa devre Simulink modeli, gerilim ve akım grafikleri

Şekil 4.39 ve 4.40'da primer tarafı 3 faz-toprak kısa devre gerilim ve akım grafikleri, Şekil 4.41 ve 4.42'de sekonder tarafı 3 faz-toprak kısa devre gerilim ve akım grafikleri, şekil 4.43'te 3 faz toprak kısa devre trafo nötr noktası akım grafiği, , şekil 4.44'de F4 fideri 3 faz kısa devre fider akım grafiği ve şekil 4.45'de ise F4 fideri 3 faz kısa devre fider nötr akım grafiği verilmiştir

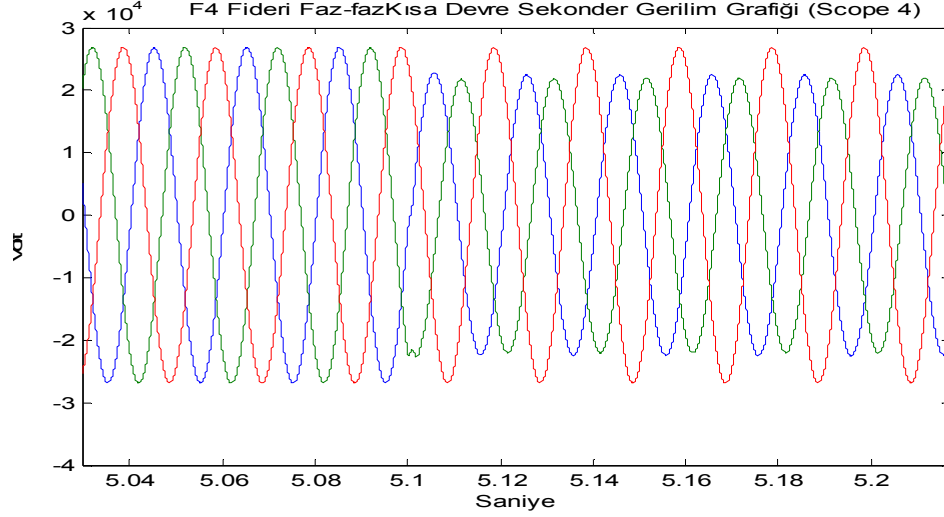


Şekil 4.39. 33.6 kV'luk tarafta faz-faz (A-B) kısa devre primer tarafı kısa devre gerilim grafiği

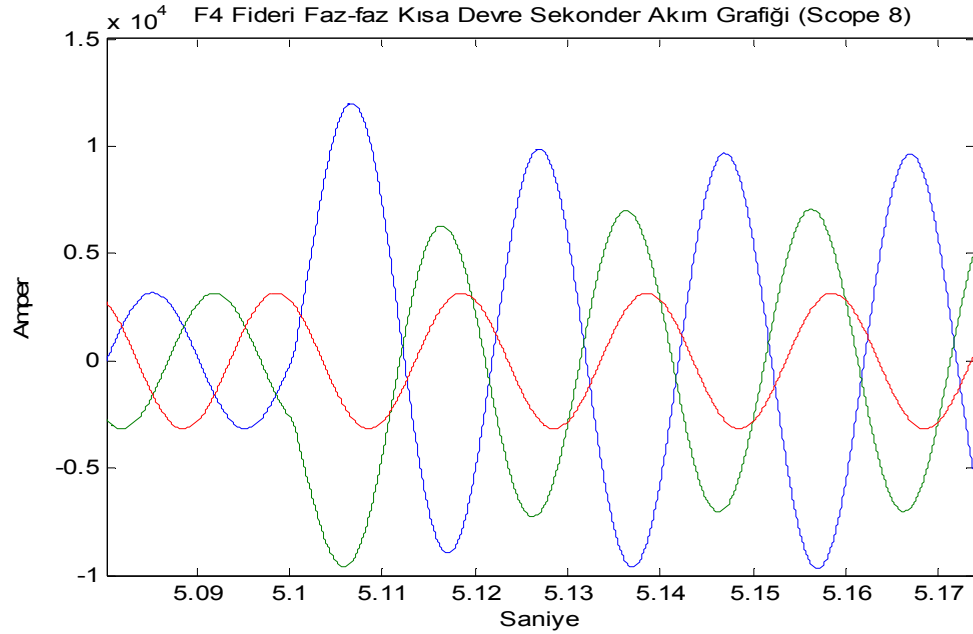


Şekil 4.40. 33.6 kV'luk tarafta faz-faz (A-B) kısa devre primer tarafı kısa devre akım grafiği

Faz-faz kısa devre arızasında primer göstergeden Çizelge 4.4'ten görüleceği üzere primer tarafta 86660 V rms gerilim ve 746.1 A rms akım okunmaktadır. Yine kısa devre süresince kısa devre olmuş fazlarda akım seviyesi oldukça yükselmiştir.



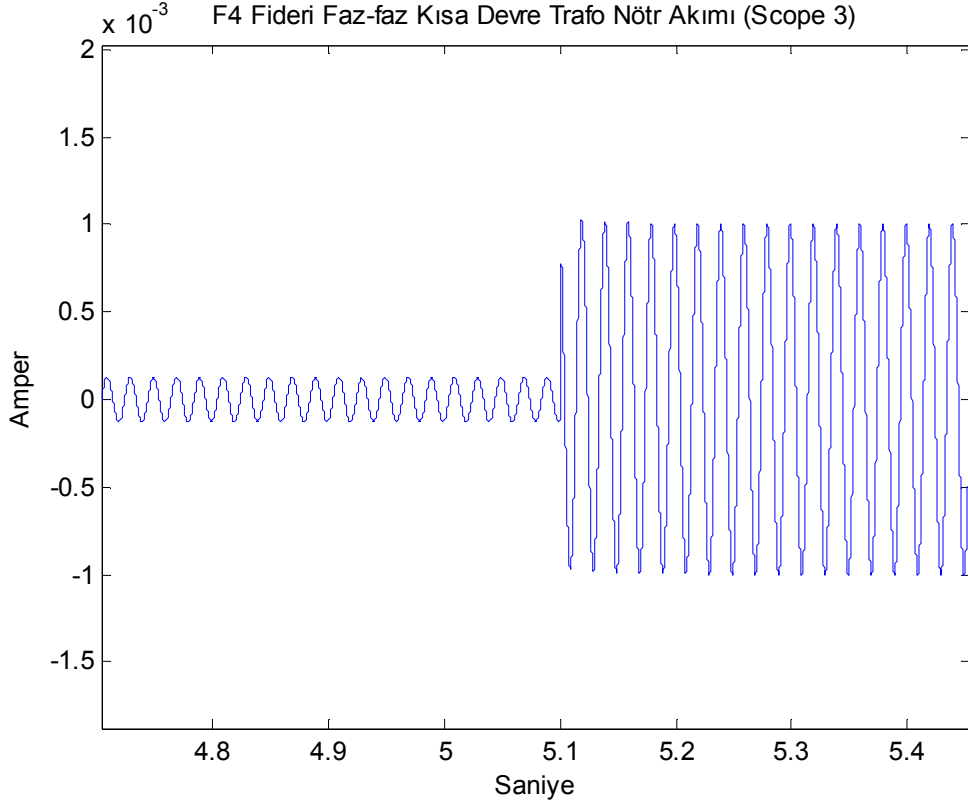
Şekil 4.41. 33.6 kV'luk tarafta faz-faz (A-B) kısa devre sekonder tarafı kısa devre gerilim grafiği



Şekil 4.42. 33.6 kV'luk tarafta faz-faz (A-B) kısa devre sekonder tarafı kısa devre akım grafiği

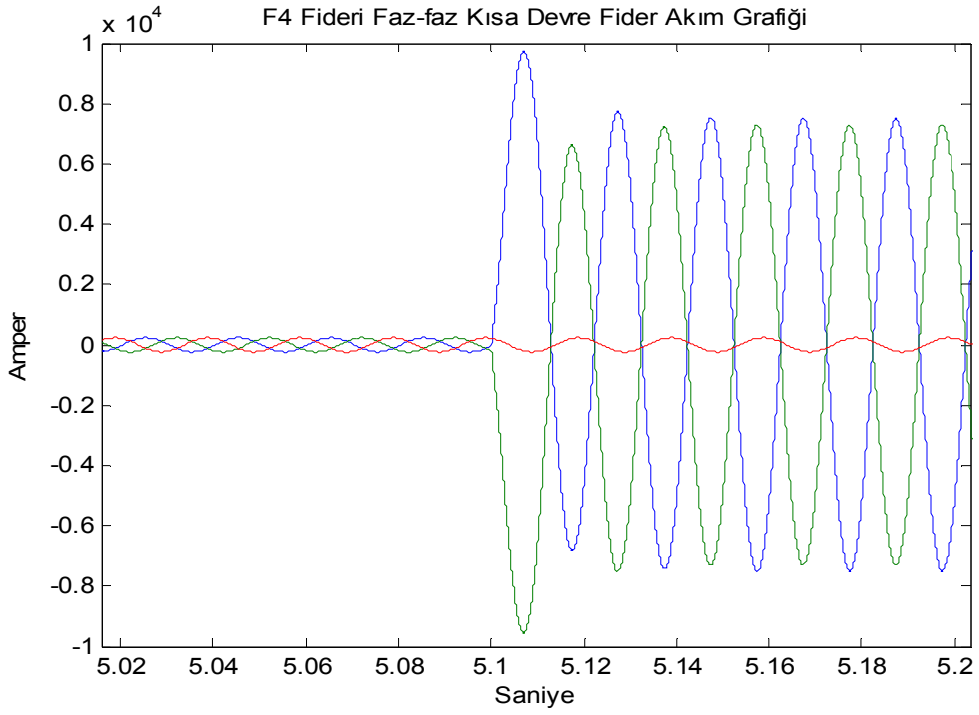
Faz-faz kısa devre arızasında sekonder tarafta Çizelge 4.4'ten görüleceği üzere 15880 V rms gerilim değeri ve 6837 A rms akım değeri okunmaktadır.

Faz- faz kısa devrede görüldüğü üzere primer ve sekonder tarafta A, B fazlarının gerilimi düşmekte C fazının ise gerilim ve akımı değişmemektedir..

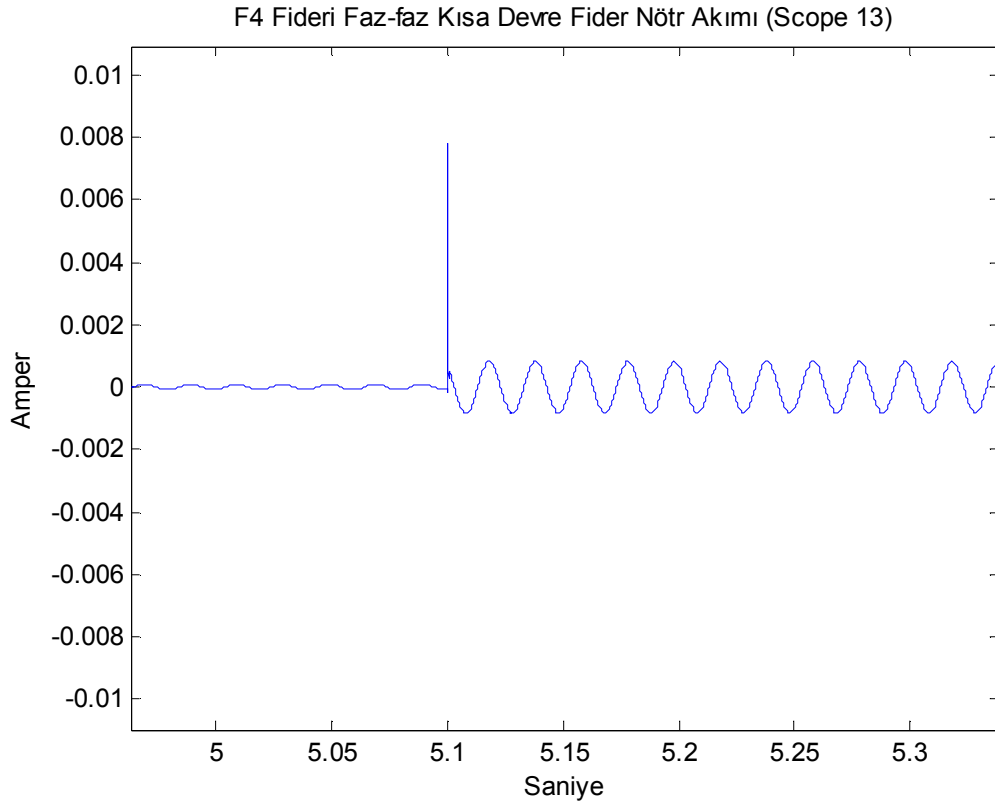


Şekil 4.43. 33.6 kV'luk tarafta faz- faz (A-B) kısa devre trafo nötr noktası akım grafiği

Faz-faz kısa devre asimetrik bir arıza olduğu için şekil 4.43'te görüleceği üzere sistemde 5.1-5.5 saniye aralığında nötr noktasında bir kısa devre akımı akmaktadır.



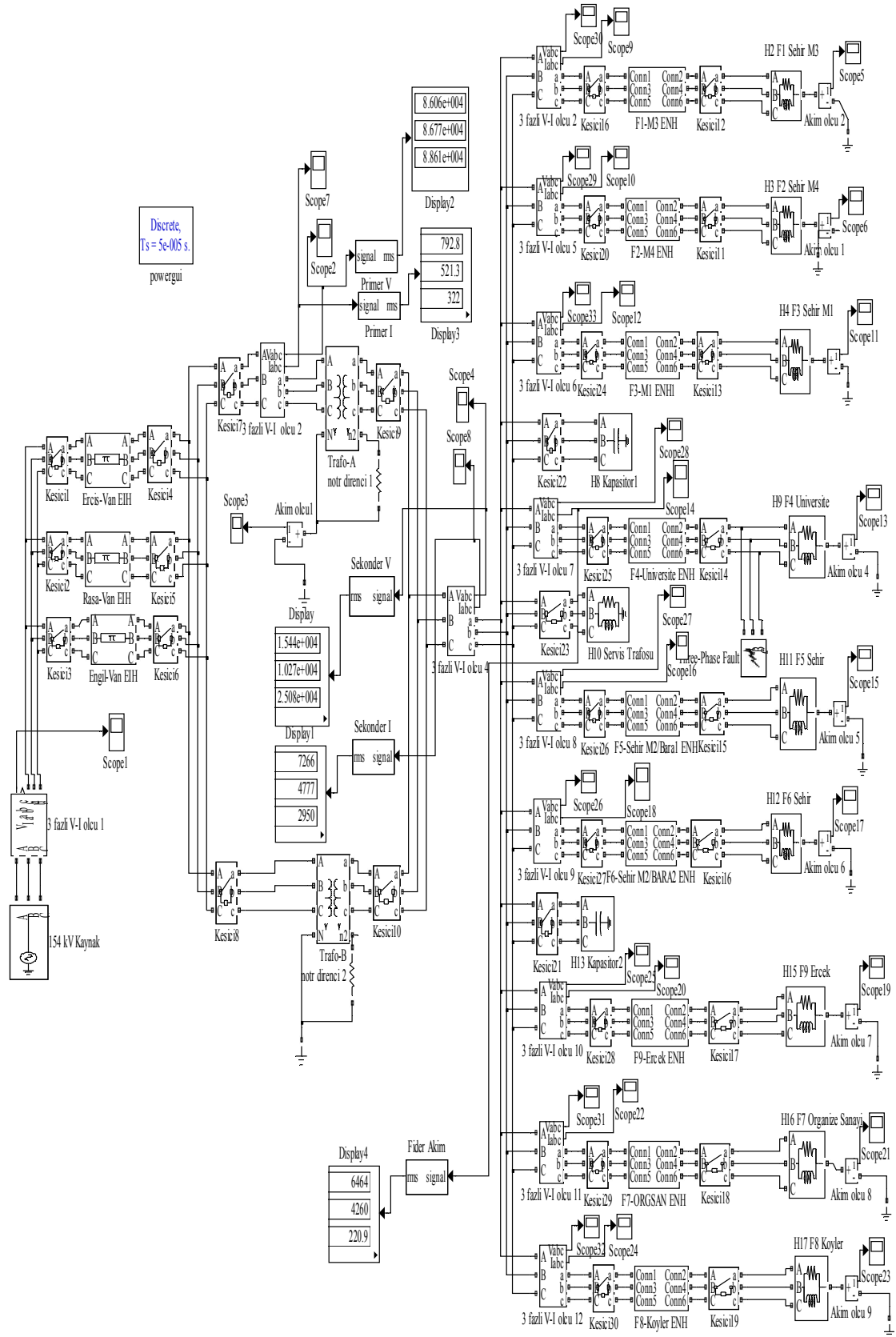
Şekil 4.44. 33.6 kV'luk tarafta faz- faz (A-B) kısa devre fider akım grafiği



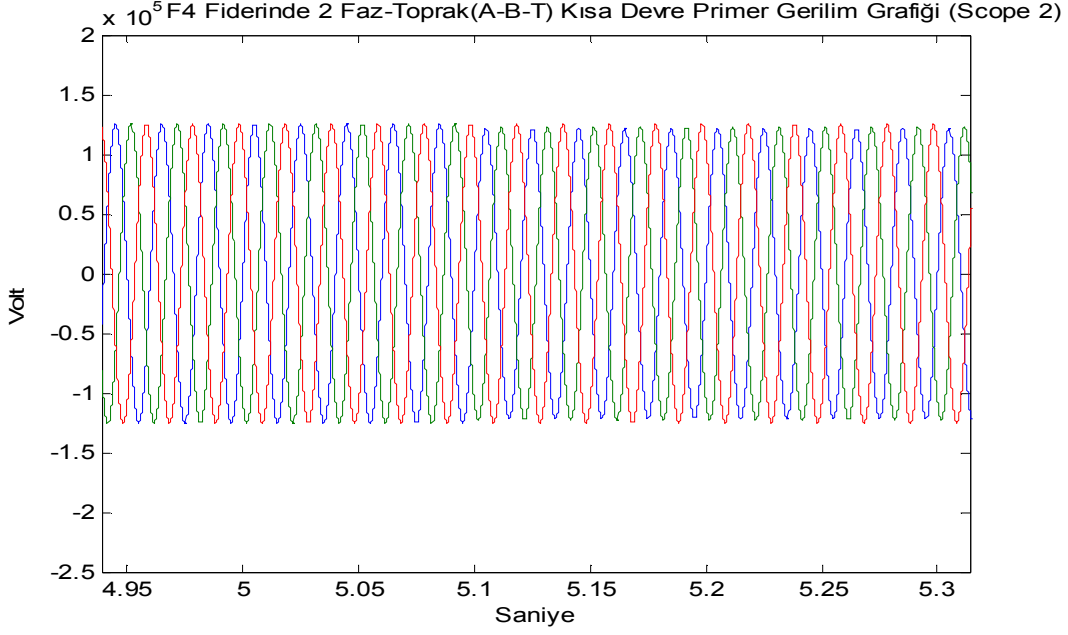
Şekil 4.45. 33.6 kV'luk tarafta faz- faz(A-B) kısa devre fider nötr akım grafiği

4.2.2.4. İki faz- toprak kısa devre Simulink modeli, gerilim ve akım grafikleri

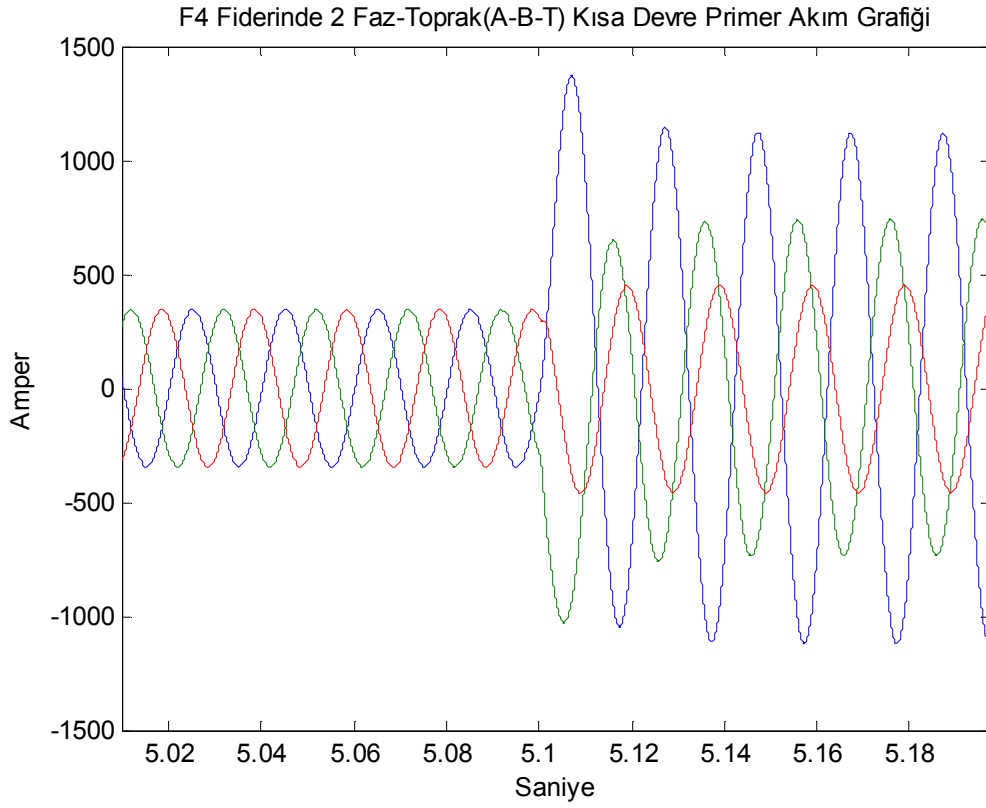
Şekil 4.46'da iki faz-toprak kısa devre Simulink modeli, şekil 4.47 ve 4.48'de trafo merkezinin primer (154 kV'luk tarafı) ve şekil 4.49 ve 4.50'de sekonder (33.6 kV'luk tarafı) tarafından alınan ölçüm sonuçlarına göre akım ve gerilim grafikleri, şekil 4.51'de iki faz-toprak kısa devre trafo nötr noktası kısa devre akım grafiği, şekil 4.52'de F4 fideri iki faz-toprak kısa devre fider akım grafiği, şekil 4.53'te F4 fideri iki faz-toprak kısa devre fider nötr akım grafiği ve şekil 4.54 'te ise 154 kV'luk Van Trafo Merkezinde F4 fiderinde oluşan iki faz-toprak röle akım grafiği verilmiştir.



Şekil 4.46. 33.6 kV'lık tarafta 2 faz-toprak kısa devre Simulink modeli

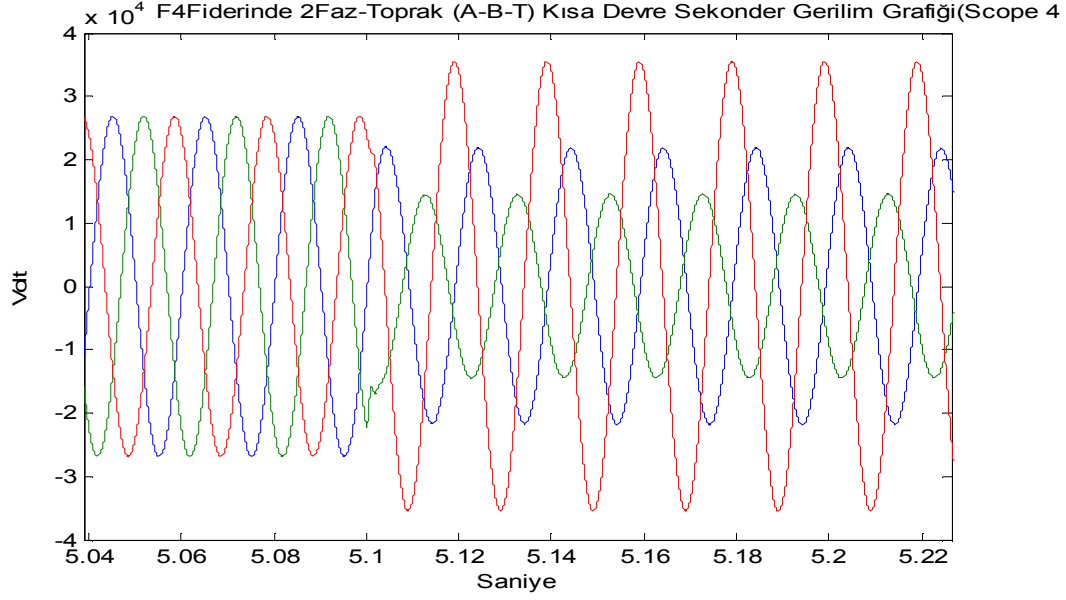


Şekil 4.47. 33.6 kV'luk tarafta 2 faz-toprak(A-B toprak) kısa devre primer tarafı kısa devre gerilim grafiği

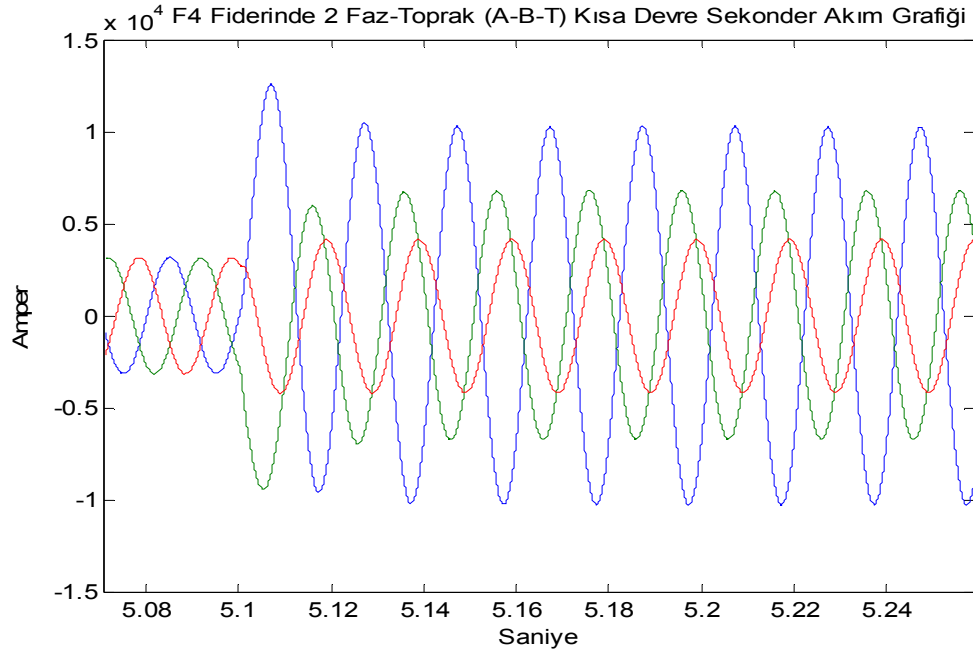


Şekil 4.48. 33.6 kV'luk tarafta 2 faz-toprak(A-B toprak) kısa devre primer tarafı kısa devre akım grafiği

2 faz-toprak kısa devresinde Çizelge 4.4 'ten görüleceği üzere gerilim rms olarak 86060 V değerine düşerken akım ise 792.8 A değerini almaktadır.

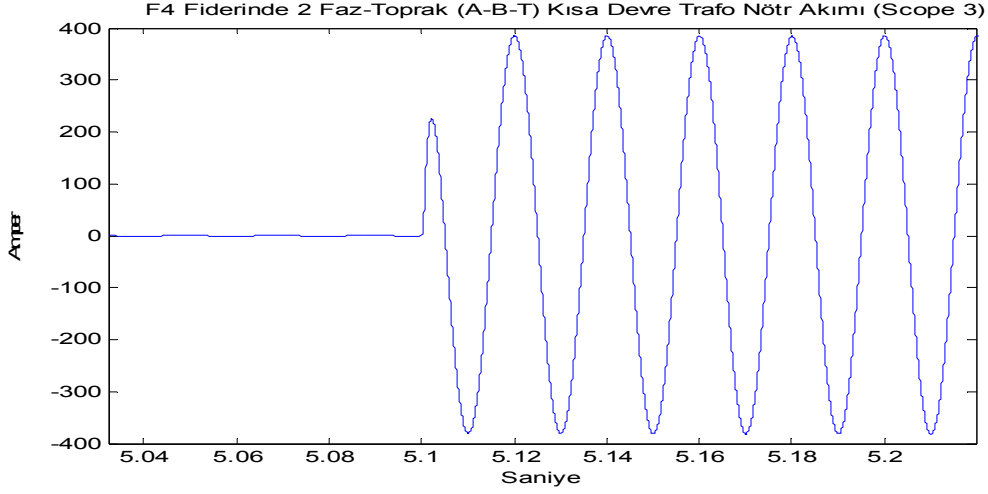


Şekil 4.49. 33.6 kV'luk tarafta 2 faz-toprak (A-B toprak) kısa devre sekonder tarafı kısa devre gerilim grafiği



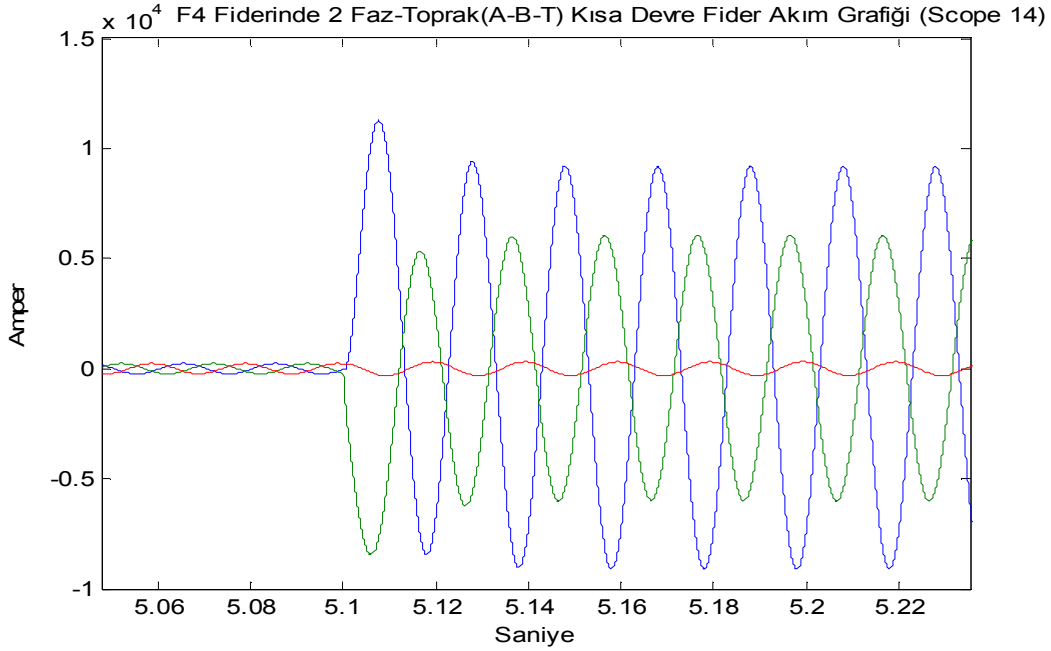
Şekil 4.50. 33.6 kV'luk tarafta 2 faz-toprak (A-B toprak) kısa devre sekonder tarafı kısa devre akım grafiği

Çizelge 4.4 'ten görüldüğü üzere 2 faz toprak kısa devrede gerilim 15440 V değerini alırken akımda 7266 A değerini alır.

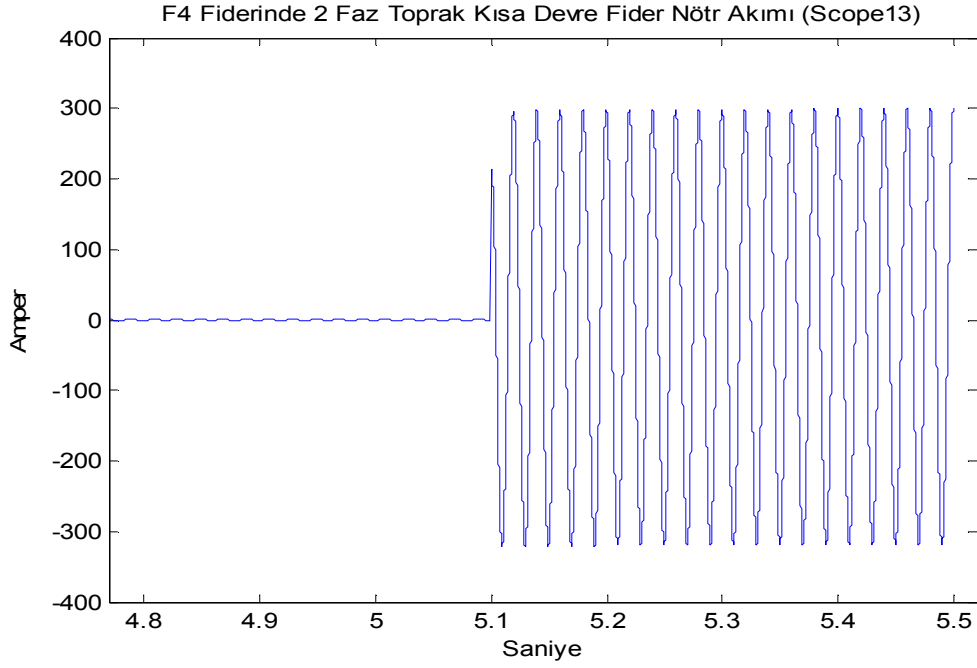


Şekil 4.51. 33.6 kV'luk tarafta 2 faz-toprak (A-B toprak) kısa devre trafo nötr noktası akım grafiği

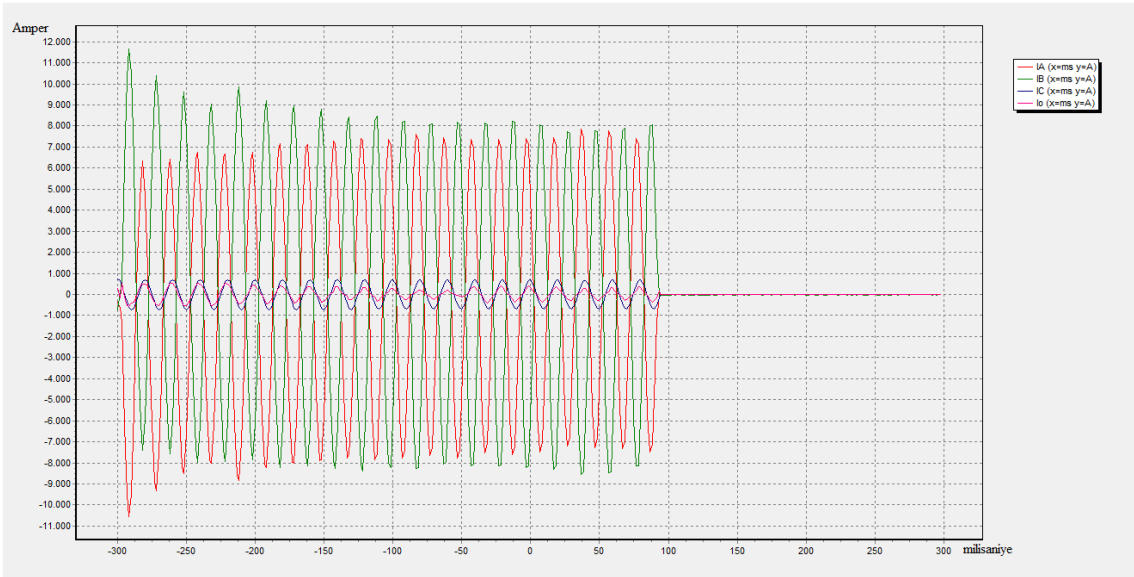
2-faz toprak kısa devre arızasında trafo nötr noktasından şekil 4.51'den görüldüğü üzere tepe noktası 400 A civarında akım akmaktadır.



Şekil 4.52. 33.6 kV'luk tarafta 2 faz-toprak (A-B toprak) kısa devre fider akım grafiği



Şekil 4.53. 33.6 kV'luk tarafta 2 faz-toprak (A-B toprak) kısa devre fider nötr akım grafiği

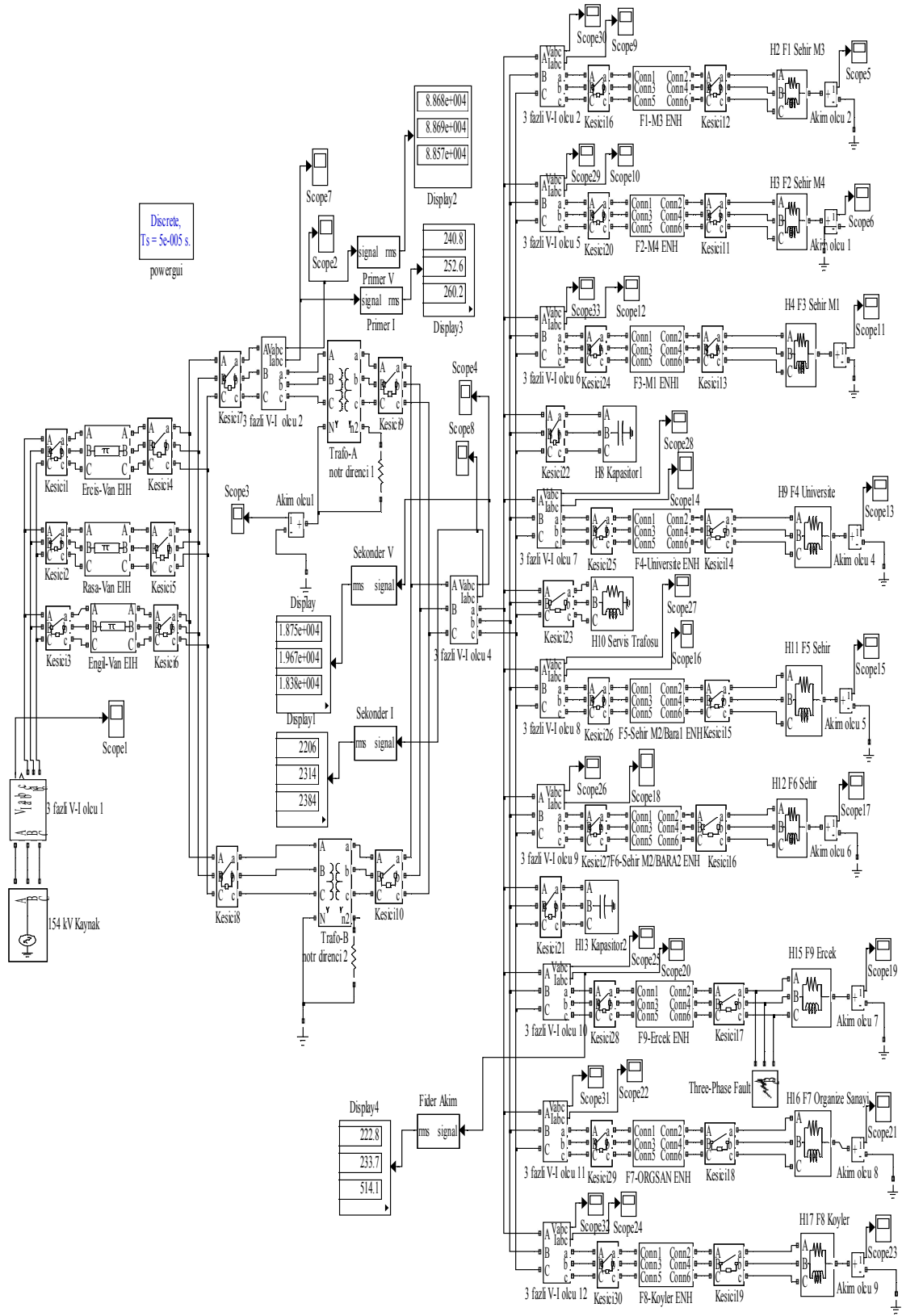


Şekil 4.54. 154 kV'luk Van TM'den alınan 2 faz-toprak (A-B toprak) kısa devre röle akım grafiği

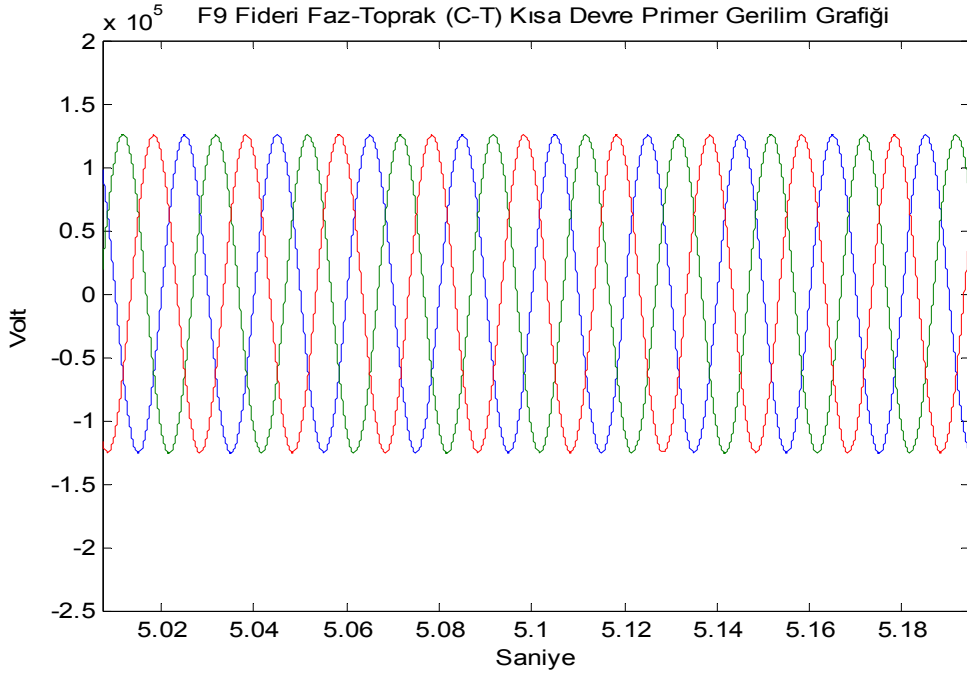
Şekil 4.52, şekil 4.53 ve şekil 4.54 karşılaştırıldığında gerçek durumda oluşan kısa devre grafiği ile simulyasyon sonucundaki grafiklerin örtüştüğü görülmektedir.

4.2.2.5. Faz-toprak kısa devre Simulink modeli, gerilim ve akım grafikleri

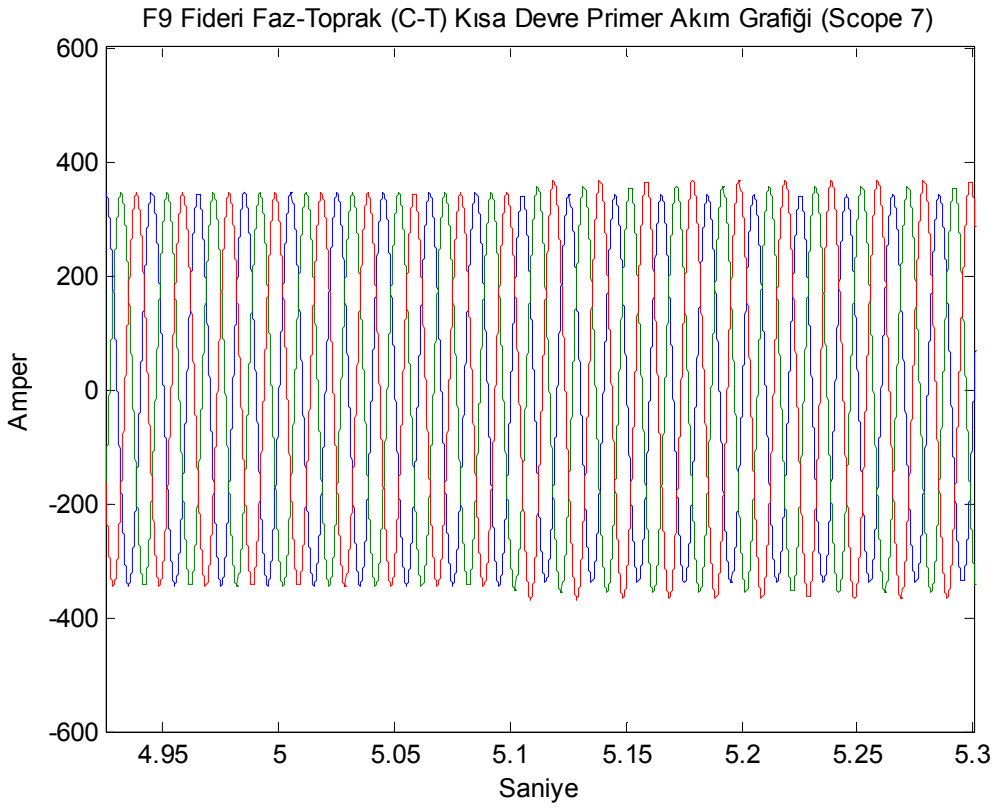
Şekil 4.55'te faz-toprak kısa devre Simulink modeli, şekil 4.56 ve 4.57'de trafo merkezinin primer (154 kV'luk tarafı) ve şekil 4.58 ve 4.59'da sekonder (33.6 kV'luk tarafı) tarafından alınan ölçüm sonuçlarına göre akım ve gerilim grafikleri, şekil 4.60'da iki faz-toprak kısa devre trafo nötr noktası kısa devre akım grafiği, şekil 4.61'de F9 fideri iki faz-toprak kısa devre fider akım grafiği, şekil 4.62'te F9 fideri iki faz-toprak kısa devre fider nötr akım grafiği ve şekil 4.63 'te ise 154 kV'luk Van Trafo Merkezinde F9 fiderinde oluşan iki faz-toprak röle akım grafiği verilmiştir.



Şekil 4.55. 33.6 kV'luk tarafta faz-toprak (c-toprak) kısa devre Simulink modeli

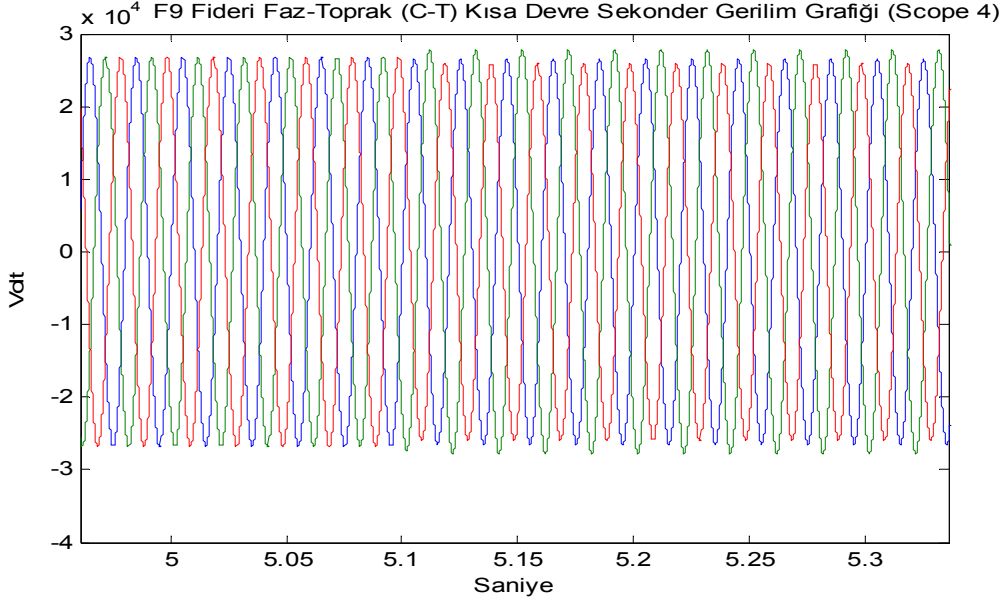


Şekil 4.56. 33.6 kV'luk tarafta faz-toprak (C- toprak) kısa devre primer tarafı kısa devre gerilim grafiği

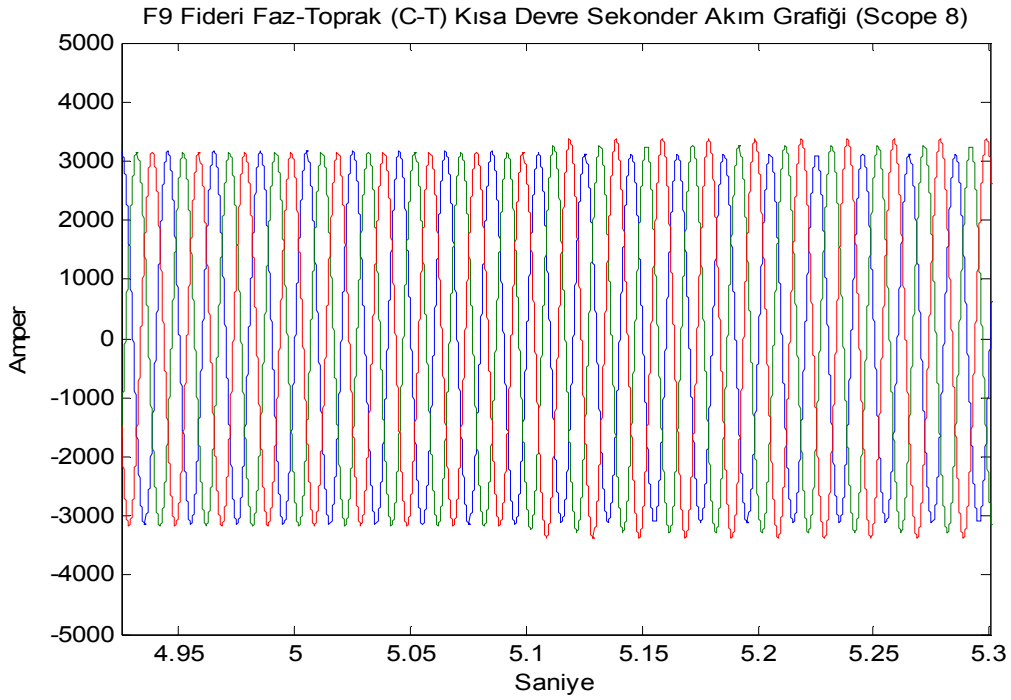


Şekil 4.57. 33.6 kV'luk tarafta faz-toprak (C- toprak) kısa devre primer tarafı kısa devre akım grafiği

Faz-toprak kısa devresinde şekil Çizelge 4.4'ten görüleceği üzere gerilim 88570 V akım ise 260.2 A seviyesindedir.

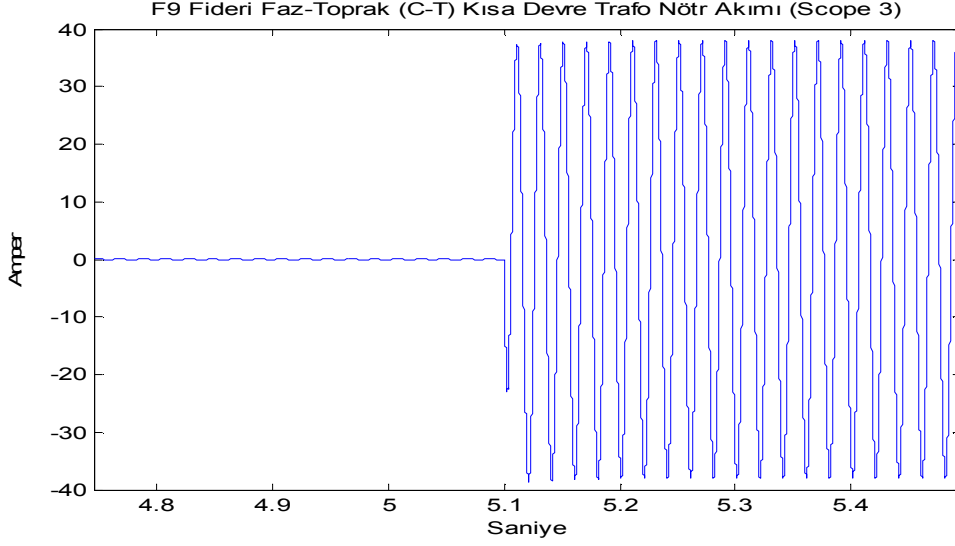


Şekil 4.58. 33.6 kV'luk tarafta faz-toprak (C- toprak) kısa devre sekonder tarafı kısa devre gerilim grafiği



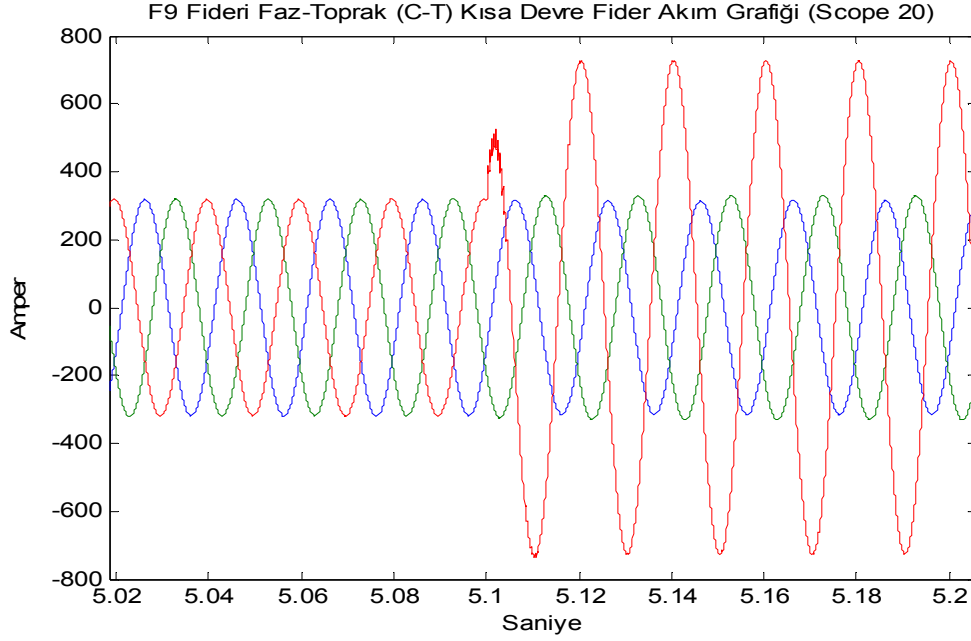
Şekil 4.59. 33.6 kV'luk tarafta faz-toprak (C- toprak) kısa devre sekonder tarafı kısa devre akım grafiği

Faz-toprak kısa devre arızasında Çizelge 4.4'ten görüldüğü üzere kısa devre sonunda sekonder tarafta gerilim 18380 V akım ise 2384 A'dir.

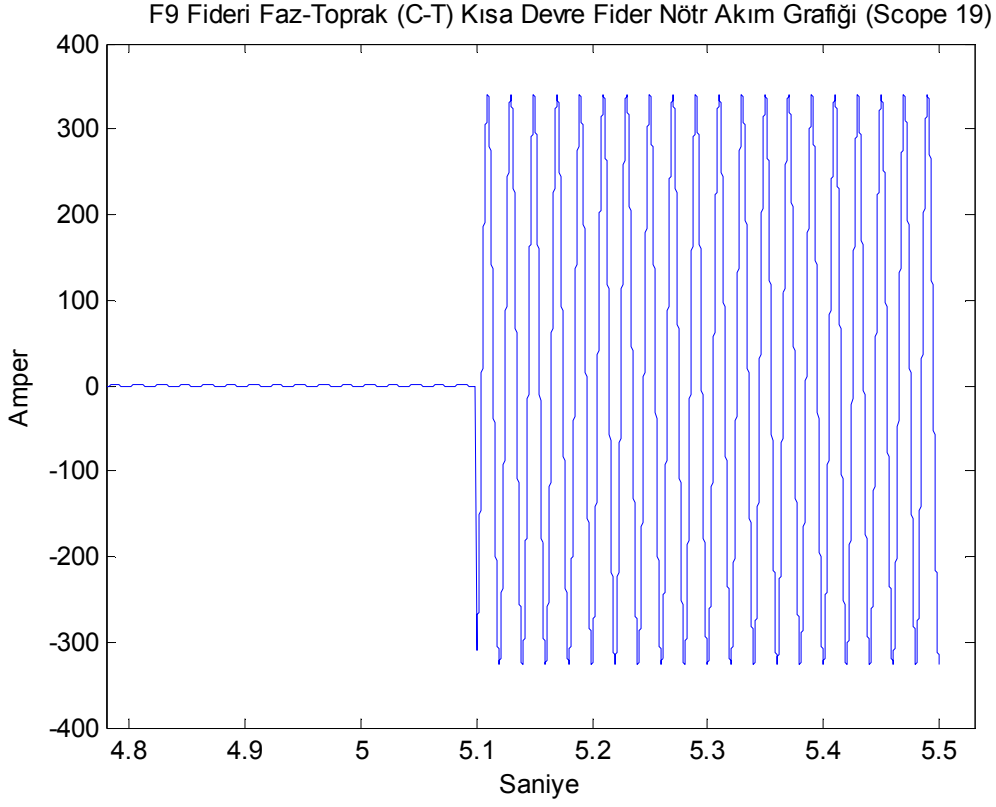


Şekil 4.60. 33.6 kV'luk tarafta faz-toprak (C-toprak) kısa devre trafo nötr noktası akım grafiği

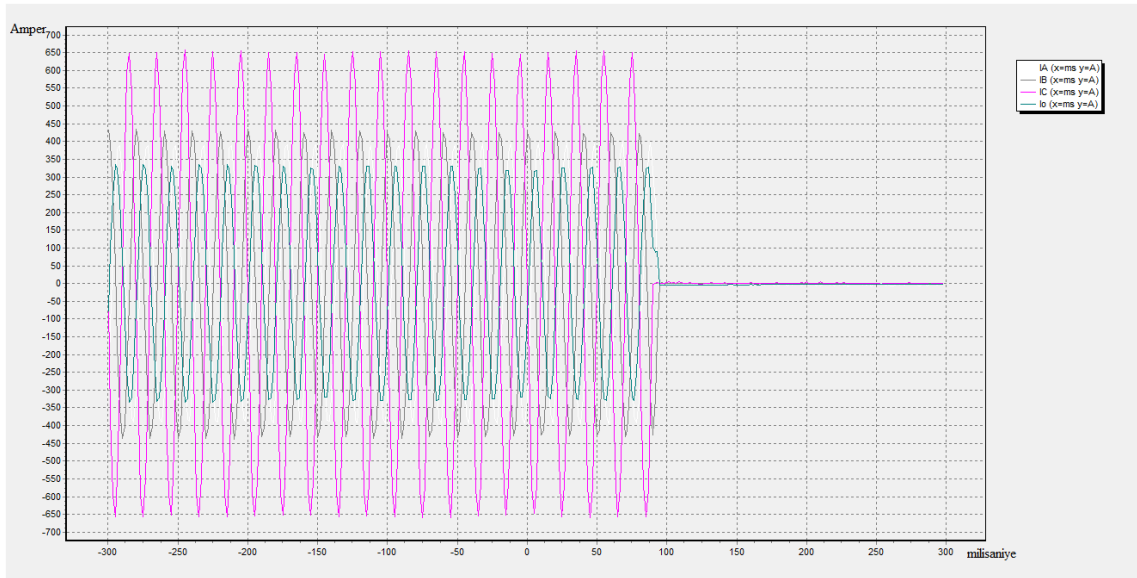
Faz-toprak kısa devre arızasında trafonun nötr noktasında tepe noktası 38A civarında akım akmaktadır.



Şekil 4.61. 33.6 kV'luk tarafta faz-toprak (C-toprak) kısa devre fider akım grafiği



Şekil 4.62. 33.6 kV'luk tarafta faz-toprak (C-toprak) kısa devre fider nötr akım grafiği



Şekil 4.63. 154 kV'luk Van TM'den alınan faz-toprak (c- toprak) kısa devre röle akım grafiği

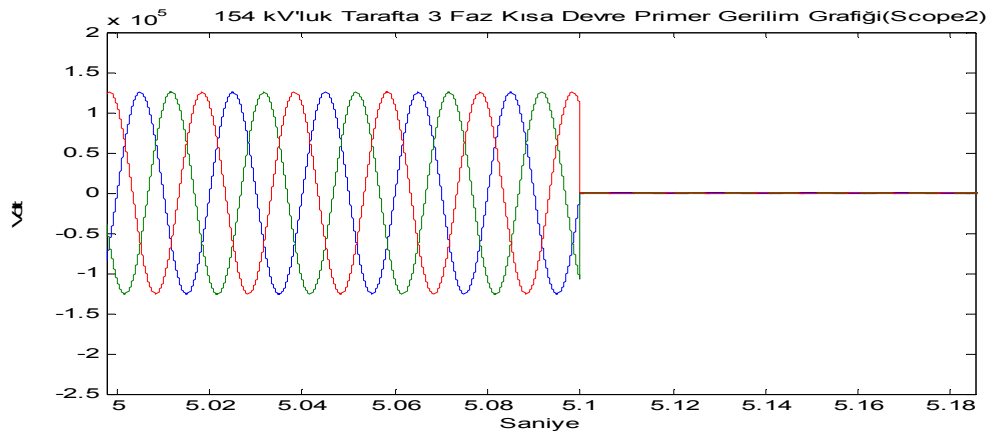
Şekil 4.61, şekil 4.62 ve şekil 4.63 karşılaştırıldığında gerçek durumda F9 fideri için rölelerden alınan akım grafiğinin simulasyon sonucu F9 fiderindeki akım grafikleriyle örtüştüğü görülmektedir. Şekil 4.62’de nötr akımının 325 A seviyesinde olduğu, simulasyon grafiğimiz olan şekil 4.62’de ise 350 A seviyesinde olduğu görülmektedir. Yine aynı şekilde röle grafiğinde 650 A olan C faz akımı simulasyon grafiğimizde 700 A’dır.

Trafo merkezinin 33.6 kV’luk tarafında kısa devre olması durumunda, yukarıdaki kısa devre grafiklerinden ve göstergelerden en fazla kısa devre akımının 3 faz kısa devre ve 3 faz-toprak kısa devre esnasında oluştuğu açıkça görülebilir.

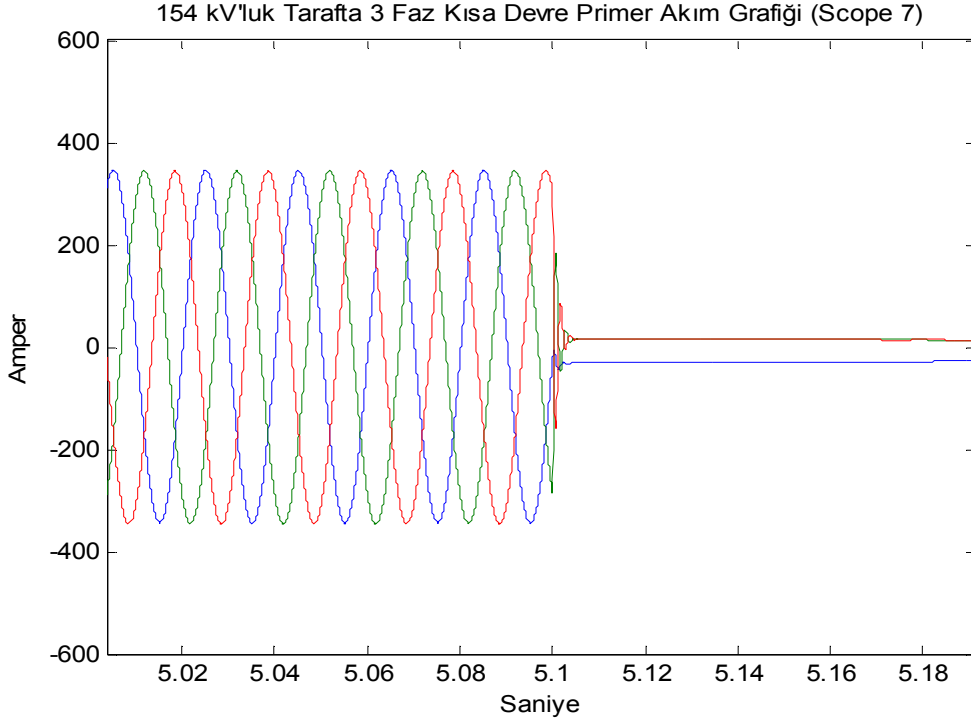
4.2.3. Trafo Merkezinin 154 kV’luk (Primer Tarafında) Tarafında Oluşan Kısa Devre Durumu

4.2.3.1. 3 faz kısa devre simulasyon modeli, gerilim ve akım grafikleri

Şekil 4.64 ve şekil 4.65’de trafo merkezinin primer tarafından alınan ölçüm sonuçlarına göre 3 faz kısa devre gerilim ve akım grafikleri, Şekil 4.66 ve şekil 4.67’de trafo merkezinin sekonder tarafından alınan ölçüm sonuçlarına göre 3 faz kısa devre gerilim ve akım grafikleri, şekil 4.68’de 3 faz (A-B-C) kısa devre trafo nötr noktası akım grafiği verilmiştir.

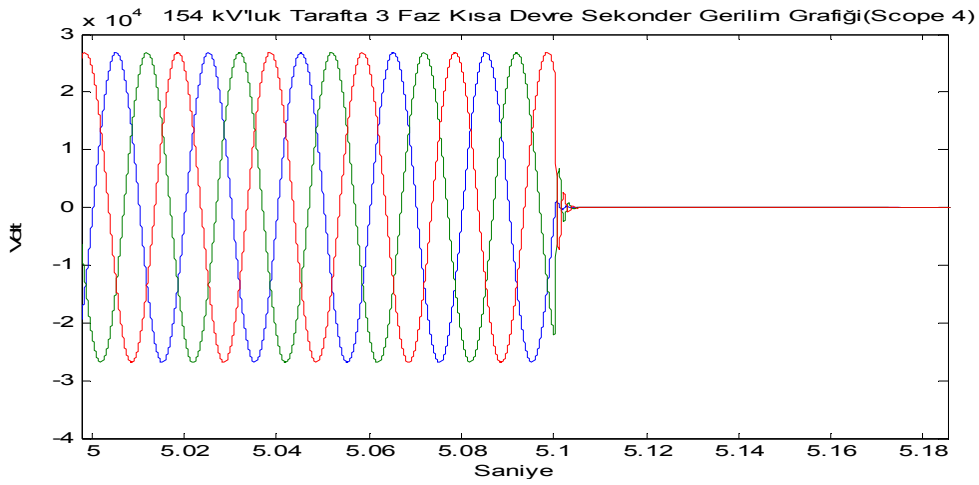


Şekil 4.64. 154 kV’luk tarafta 3 faz (A-B-C) kısa devre primer tarafı kısa devre gerilim grafiği

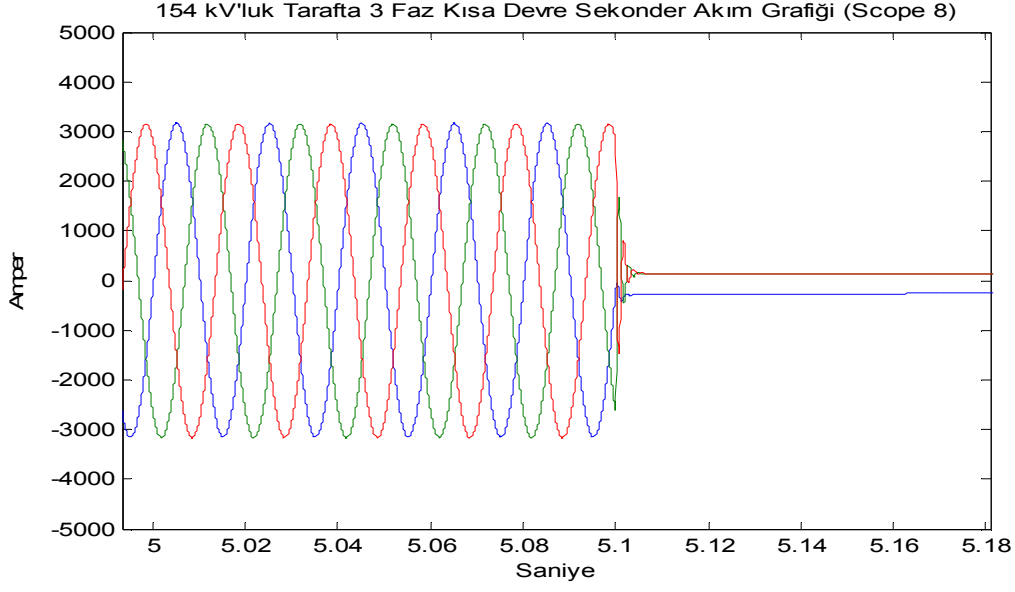


Şekil 4.65. 154 kV'luk tarafta 3 faz (A-B-C) kısa devre primer tarafı kısa devre akım grafiği

Normal çalışmada Çizelge 4.4'ten görüleceği üzere primer tarafta 88720 V gerilim ve 230.4 A akım değeri görülmektedir. Primer tarafta bir kısa devre olduğunda şekil 4.64 ve şekil 4.65'ten de görüldüğü üzere hem gerilim hem de akım düşmektedir. Çizelge 4.4'ten gerilimin rms olarak 41.31 V akımın ise 20.88 A olduğu görülmektedir.

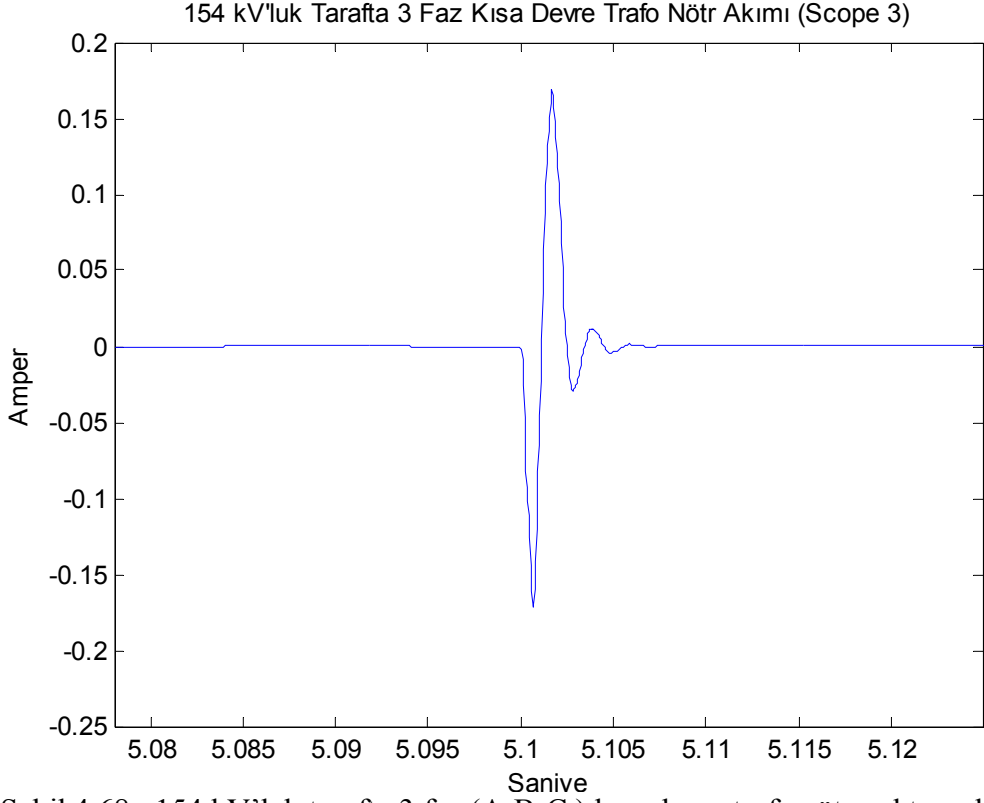


Şekil 4.66. 154 kV'luk tarafta 3 faz (A- B-C) kısa devre sekonder tarafı kısa devre gerilim grafiği



Şekil 4.67. 154 kV'luk tarafta 3 faz (A- B-C) kısa devre sekonder tarafı kısa devre akım grafiği

Normal çalışma durumunda Çizelge 4.4'ten görüleceği üzere sekonder tarafta 19040 V gerilim ve 2110 A akım okunmaktadır. Trafo merkezinin 154 kV'luk tarafında oluşan 3 faz kısa devrede Çizelge 4.4'deki değerlere göre gerilimin 28.14 V akımın ise 191.1 A olduğu görülmektedir. Kısacası Trafo merkezinin 154 kV'luk tarafında bir kısa devre olduğunda hem primer hem de sekonder tarafta hem akım hem de gerilim seviyesi düşmektedir.

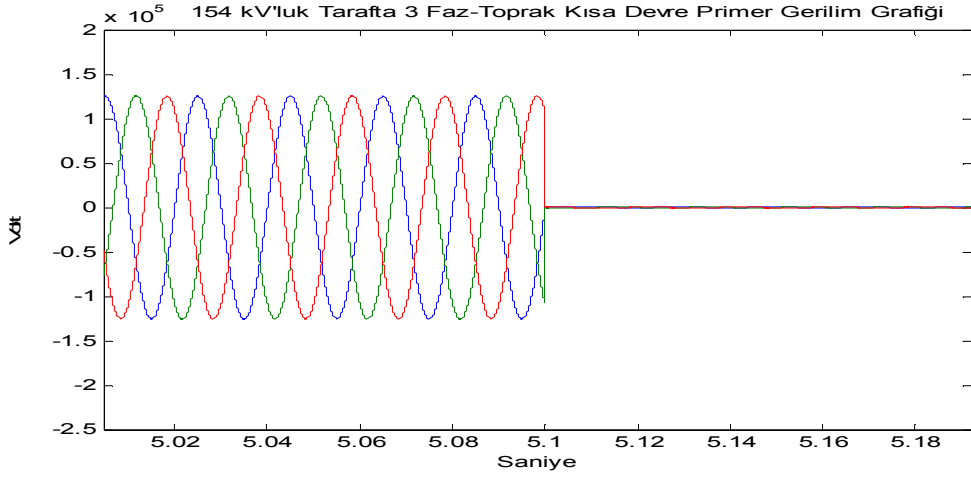


Şekil 4.68. 154 kV'luk tarafta 3 faz (A-B-C) kısa devre trafo nötr noktası akım grafiği

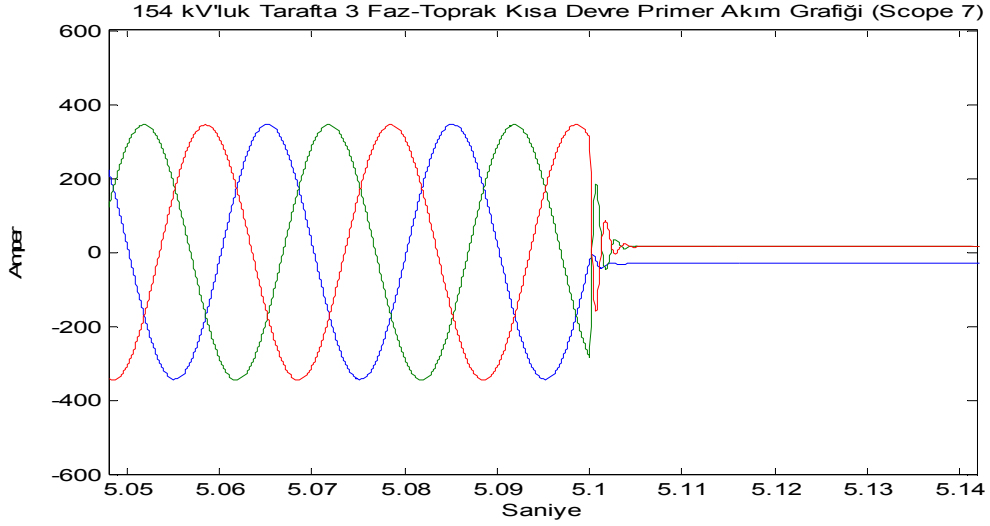
Yine sistem 3 fazlı ve dengeli olduğundan 3 faz kısa devre esnasında 5.1-5.5 saniye arasında trafonun nötr noktasında akım akmamaktadır.

4.2.3.2. 3 faz-toprak kısa devre Simulink modeli, gerilim ve akım grafikleri

Şekil 4.69 ve şekil 4.70'de trafo merkezinin primer tarafından alınan ölçüm sonuçlarına göre 3 faz-toprak kısa devre gerilim ve akım grafikleri, Şekil 4.71 ve şekil 4.72'de trafo merkezinin sekonder tarafından alınan ölçüm sonuçlarına göre 3 faz-toprak kısa devre gerilim ve akım grafikleri, şekil 4.73'de 3 faz-toprak kısa devre trafo nötr noktası akım grafiği verilmiştir.

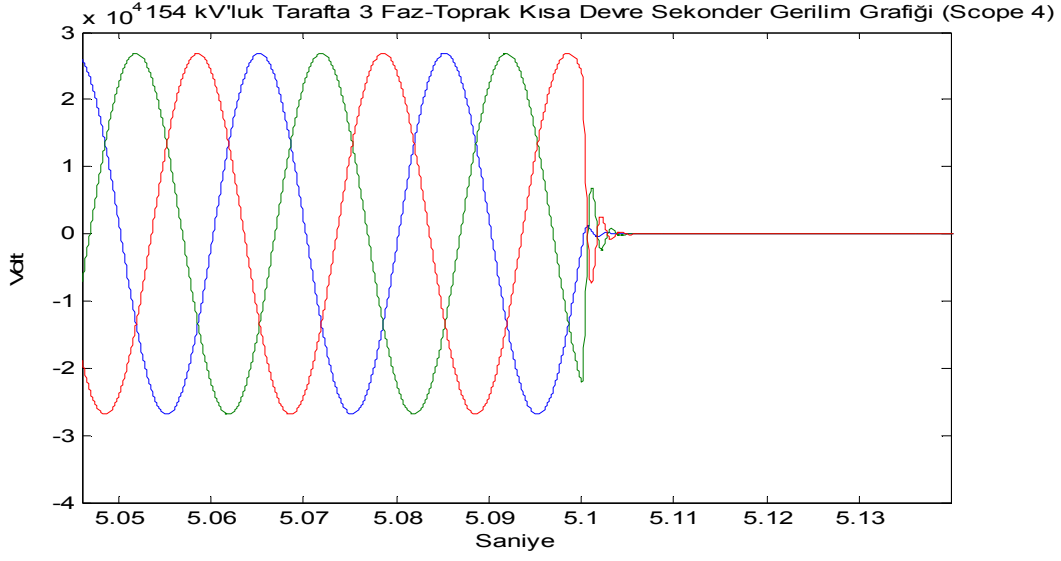


Şekil 4.69. 154 kV'luk tarafta 3 faz-toprak (A-B-C-toprak) kısa devre primer tarafı kısa devre gerilim grafiği

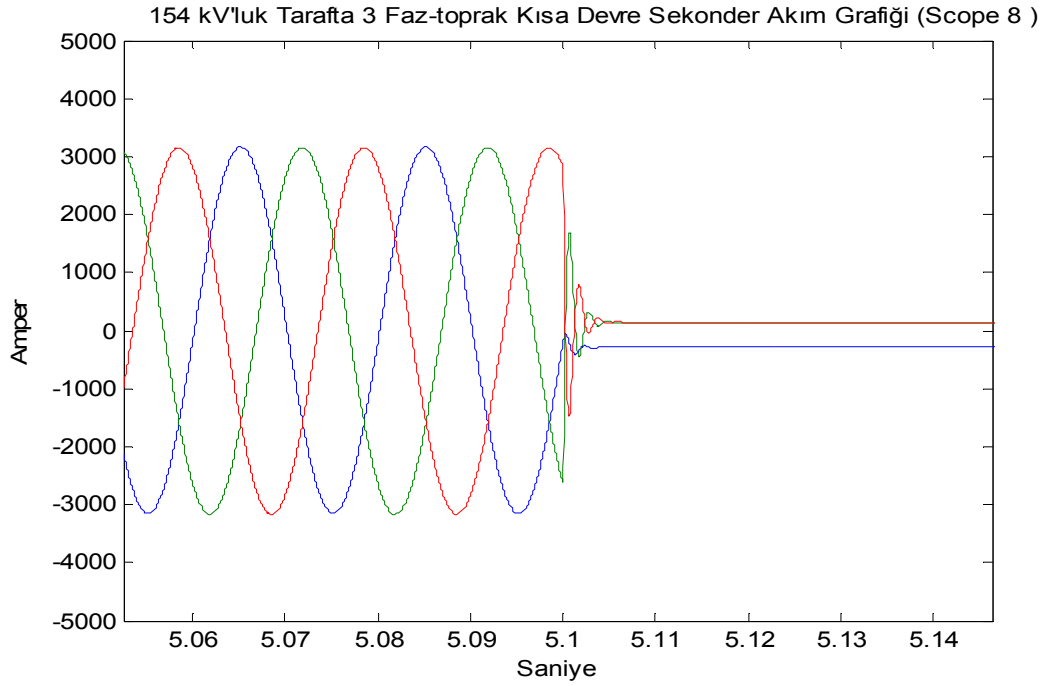


Şekil 4.70. 154 kV'luk tarafta 3 faz-toprak (A-B-C-toprak) kısa devre primer tarafı kısa devre akım grafiği

Primer tarafta oluşan 3 faz-toprak kısa devresinde Çizelge 4.4'ten görüleceği üzere devrenin primer tarafında gerilim 41.31 V akım ise 20.88 A olmaktadır.

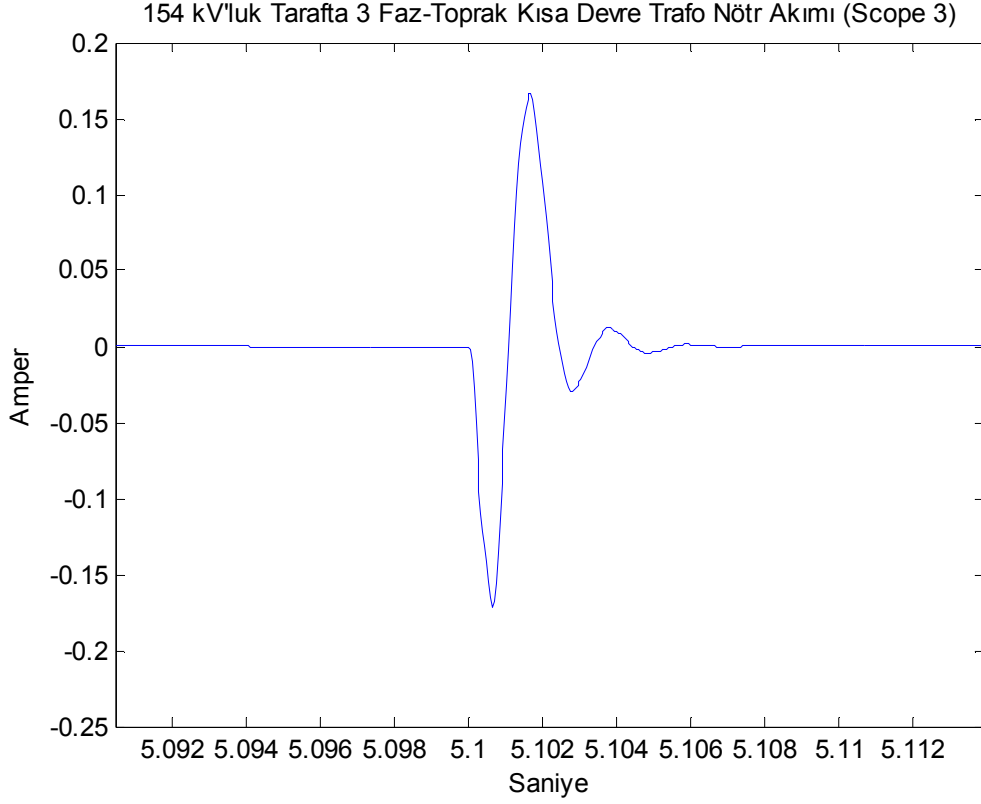


Şekil 4.71. 154 kV'luk tarafta 3 faz-toprak (A- B-C-toprak) kısa devre sekonder tarafı kısa devre gerilim grafiği



Şekil 4.72. 154 kV'luk tarafta 3 faz-toprak (A- B-C-toprak) kısa devre sekonder tarafı kısa devre akım grafiği

Çizelge 4.4'ten görüleceği üzere sekonder tarafta alınan ölçüm sonuçlarına göre ise gerilim 28.14 V rms ve akım ise 191.1 A rms olmaktadır.



Şekil 4.73. 154 kV'luk tarafta 3 faz-toprak (A-B-C-toprak) kısa devre trafo nötr noktası akım grafiği

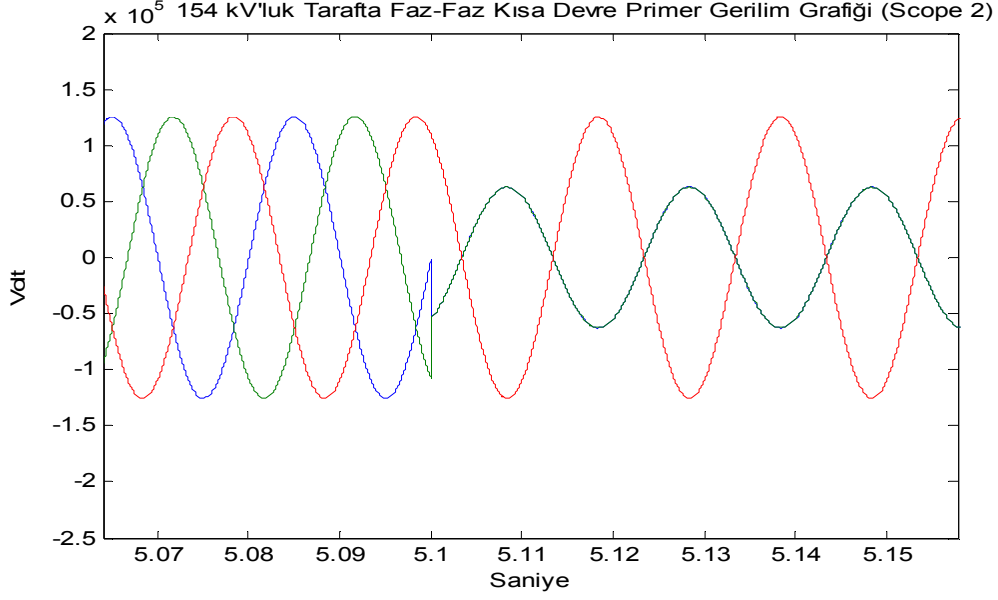
Şekil 4.73'ten de görüleceği üzere sistem 3 fazlı ve dengeli olduğundan 3 faz – toprak kısa devre süresince (5.1-5.5 saniye) nötr noktasından akım akmamaktadır.

Trafo merkezinin 154 kV'luk tarafında oluşan 3 faz, 3 faz-toprak kısa devresinde hem primer hem sekonder tarafındaki grafiklere bakılarak ve göstergelerden okunan değerlere bakılarak kısa devre durumunda akım ve gerilimin hem primer hem de sekonder tarafta düştüğü görülmektedir.

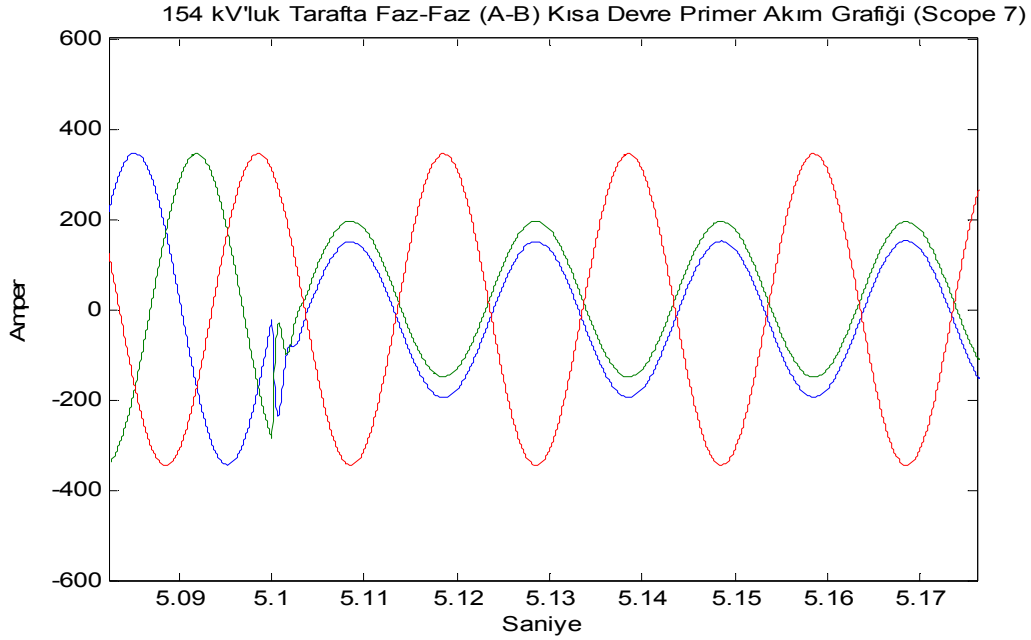
4.2.3.3. Faz-faz kısa devre Simulink modeli, gerilim ve akım grafikleri

Şekil 4.74 ve şekil 4.75'te trafo merkezinin primer tarafından alınan ölçüm sonuçlarına göre faz-faz kısa devre gerilim ve akım grafikleri, Şekil 4.76 ve şekil 4.77'de trafo merkezinin sekonder tarafından alınan ölçüm sonuçlarına göre faz-faz kısa

devre gerilim ve akım grafikleri, şekil 4.78'de faz-faz kısa devre trafo nötr noktası akım grafiği verilmiştir.

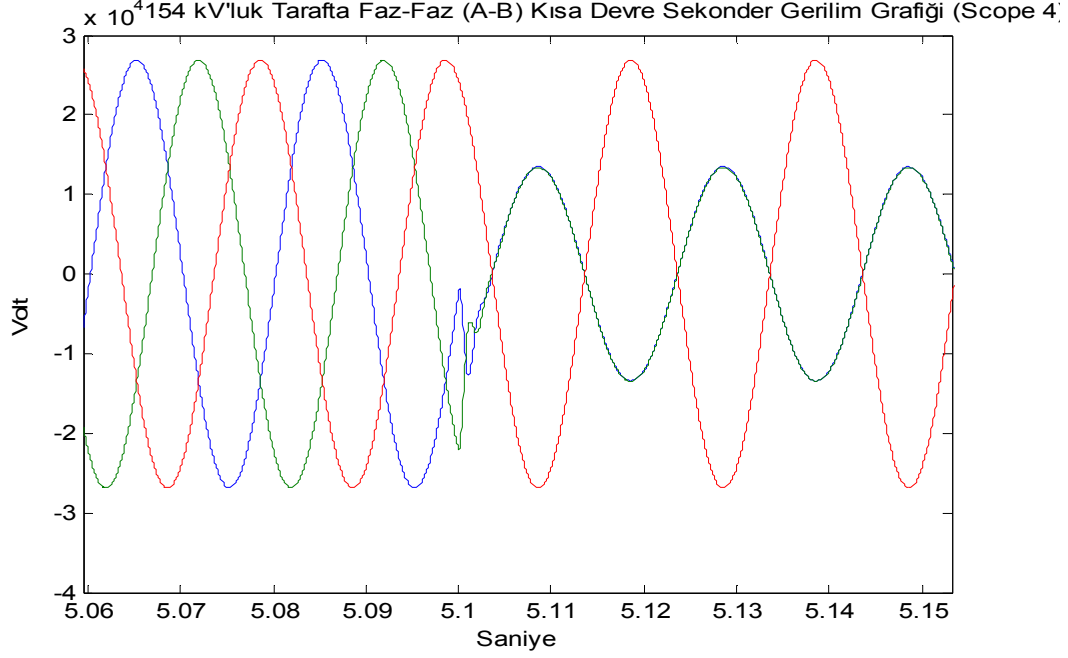


Şekil 4.74. 154 kV'luk tarafta faz- faz (A-B) kısa devre primer tarafı kısa devre gerilim grafiği

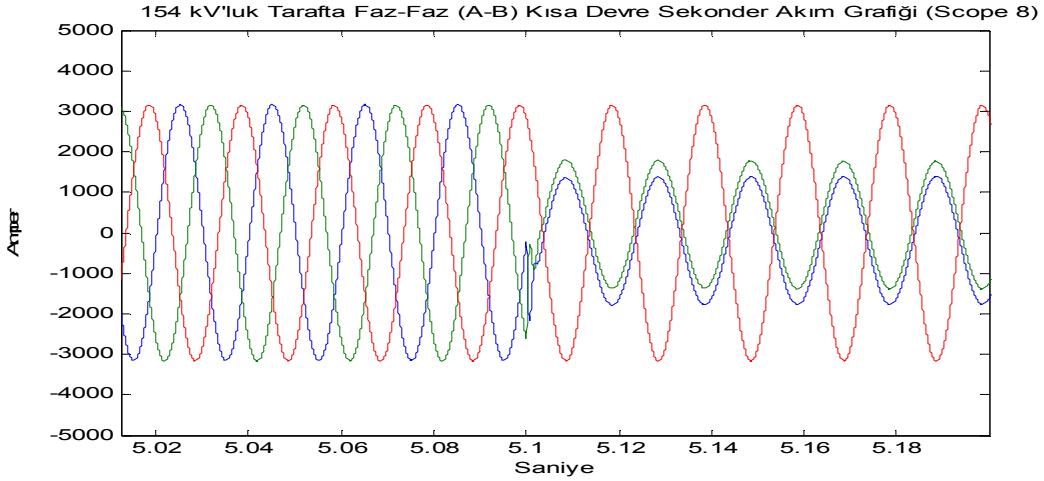


Şekil 4.75. 154 kV'luk tarafta faz- faz (A-B) kısa devre primer tarafı kısa devre akım grafiği

Faz-faz kısa devresinde Çizelge 4.4'den görüleceği üzere primer tarafta gerilim 44380 V akım ise 123 A 'dir.

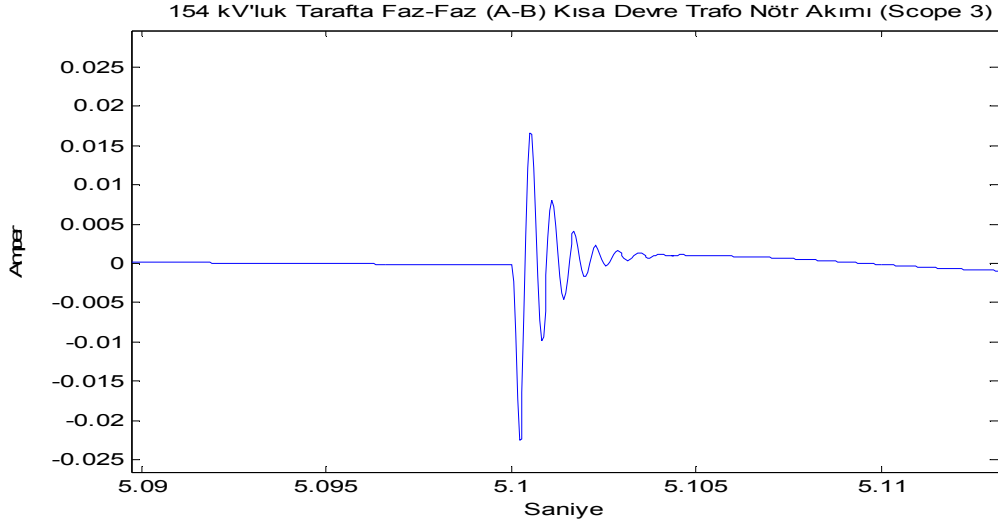


Şekil 4.76. 154 kV'luk tarafta faz- faz (A- B) kısa devre sekonder tarafı kısa devre gerilim grafiği



Şekil 4.77. 154 kV'luk tarafta faz- faz (A- B) kısa devre sekonder tarafı kısa devre akım grafiği

Devrenin sekonder tarafında ise Çizelge 4.4'den gerilim 9508 V akım ise 1127 A seviyesindedir. Dikkat edilirse hem primer hem sekonder tarafta kısa devre durumunda hem gerilim hem de akım düşmüştür.

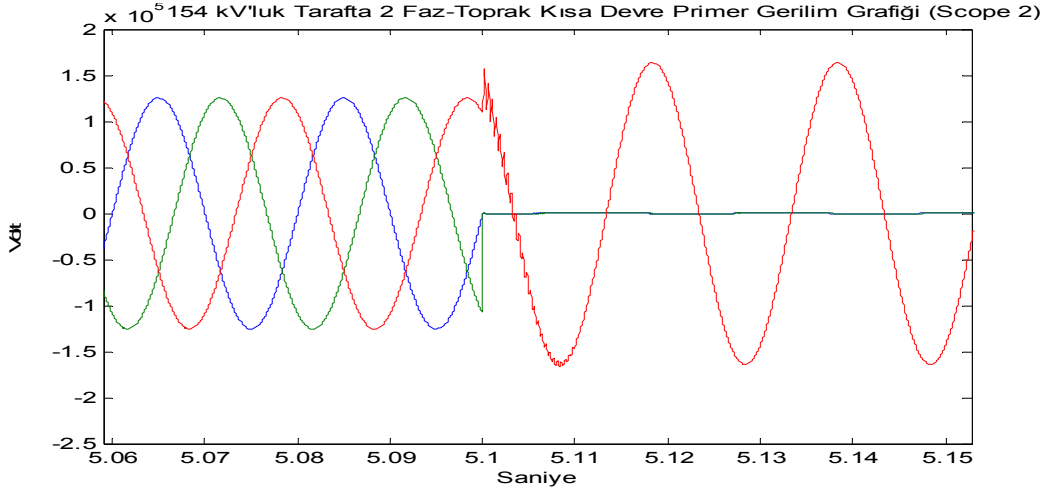


Şekil 4.78. 154 kV'luk tarafta faz- faz (A-B) kısa devre trafo nötr noktası akım grafiği

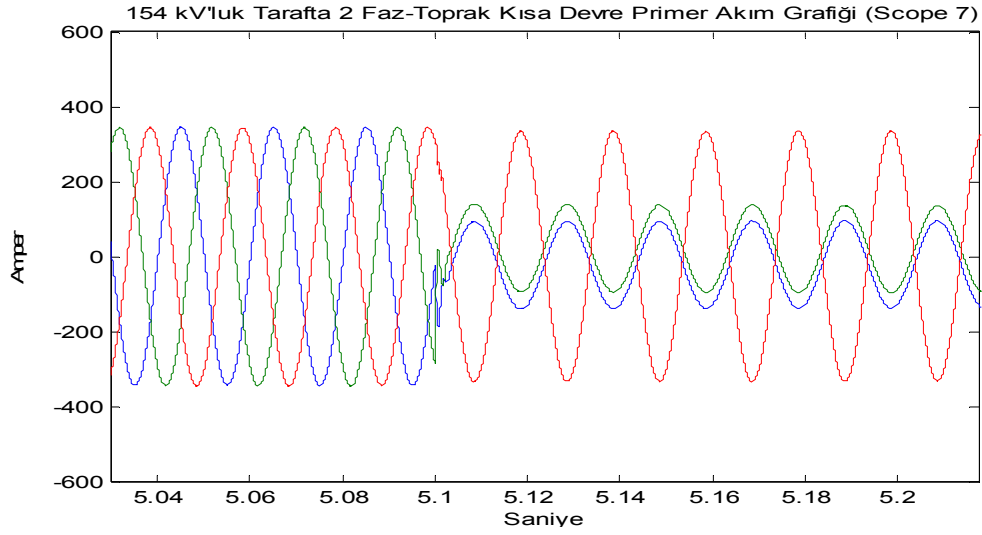
Şekil 4.78'de görüleceği üzere faz-faz arızada trafo nötr noktası kısa devre akımı 0.02 A değerine ulaşmaktadır.

4.2.3.4. 2 faz toprak Simulink modeli, gerilim ve akım grafikleri

Şekil 4.79 ve şekil 4.80'de trafo merkezinin primer tarafından alınan ölçüm sonuçlarına göre 2 faz-toprak kısa devre gerilim ve akım grafikleri, Şekil 4.81 ve şekil 4.82'de trafo merkezinin sekonder tarafından alınan ölçüm sonuçlarına göre 2 faz-toprak kısa devre gerilim ve akım grafikleri, şekil 4.83'de 2 faz-toprak kısa devre trafo nötr noktası akım grafiği verilmiştir.

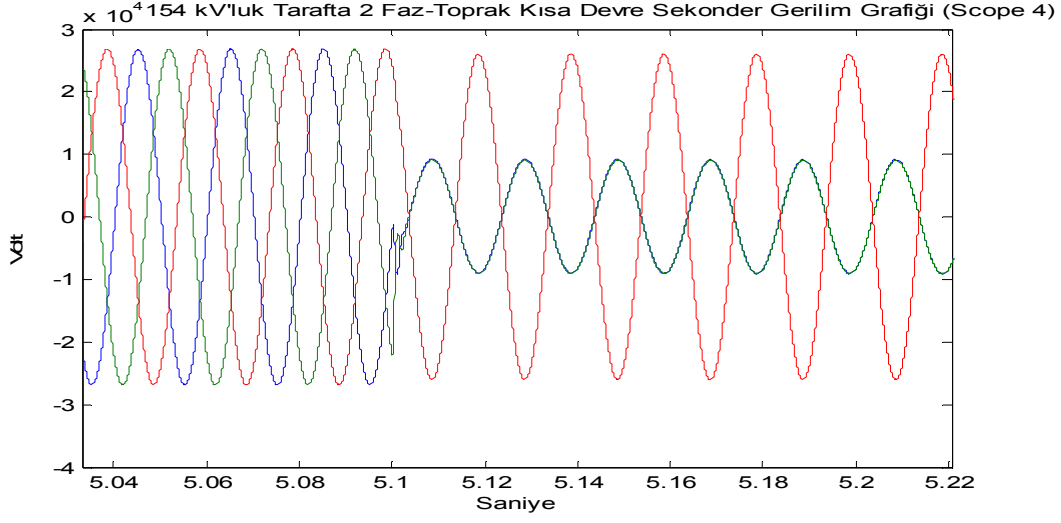


Şekil 4.79. 154 kV'luk tarafta 2 faz-toprak (A-B-toprak) kısa devre primer tarafı kısa devre gerilim grafiği

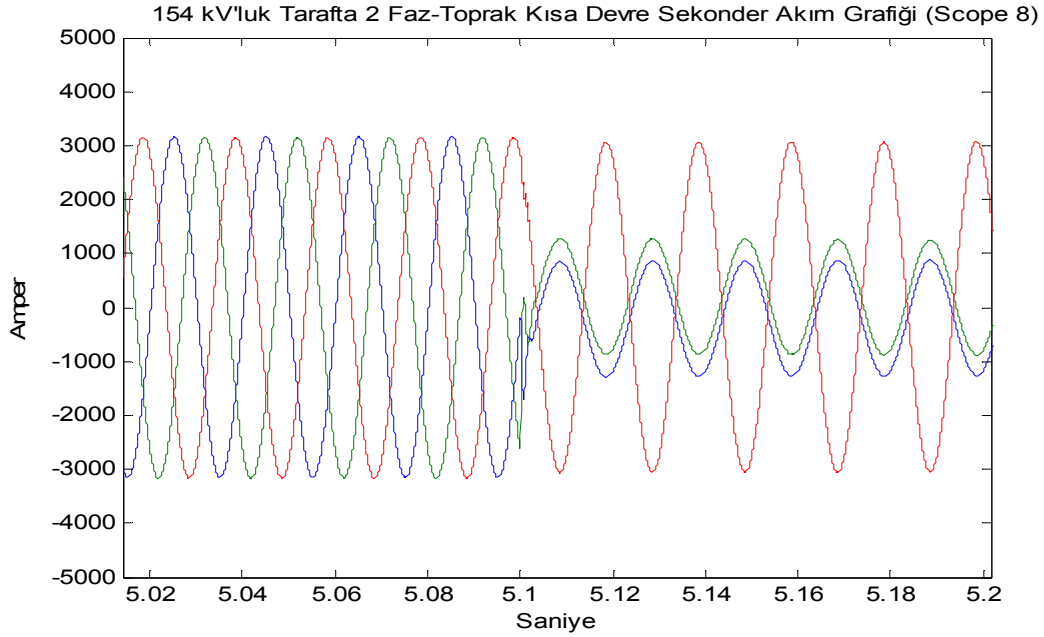


Şekil 4.80. 154 kV'luk tarafta 2 faz-toprak (A-B-toprak) kısa devre primer tarafı kısa devre akım grafiği

2 faz toprak arızasında gerilim primer tarafta kısa devre sonunda Çizelge 4.4'ten görüleceği üzere rms olarak 647.2V akım ise 84.24 A olmaktadır.

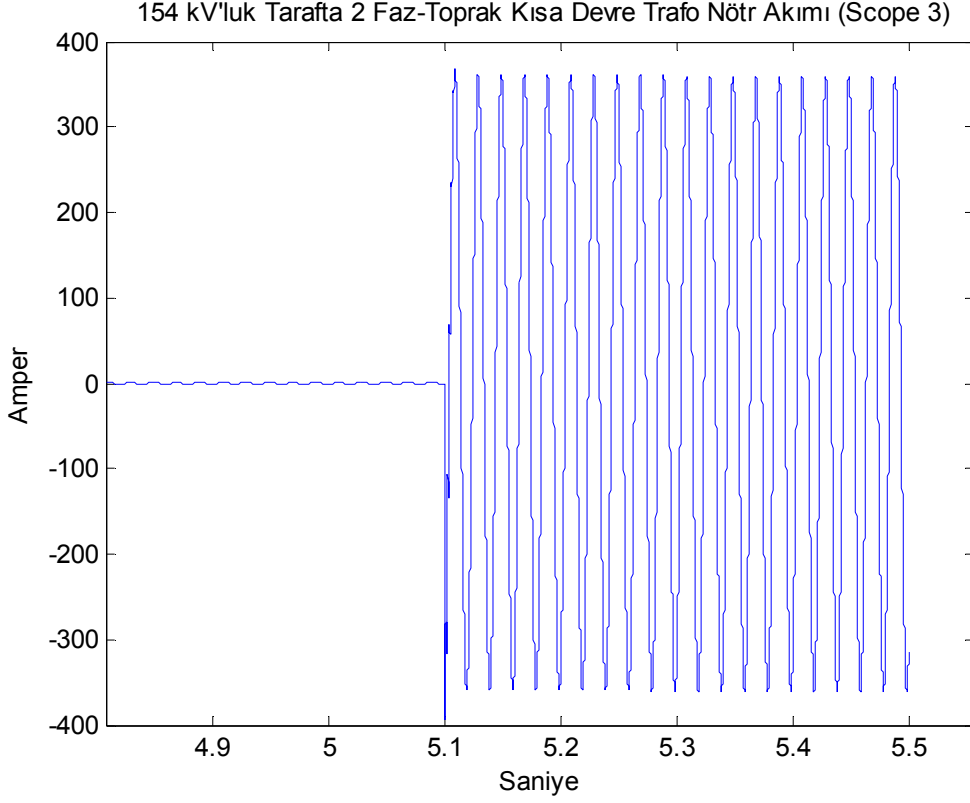


Şekil 4.81. 154 kV'luk tarafta 2 faz-toprak (A- B-toprak) kısa devre sekonder tarafı kısa devre gerilim grafiği



Şekil 4.82. 154 kV'luk tarafta 2 faz-toprak (A- B-toprak) kısa devre sekonder tarafı kısa devre akım grafiği

2 faz-toprak arızasında kısa devre sonunda gerilim Çizelge 4.4'den sekonder tarafta 6447 V akım ise 772.1 A olmuştur. Trafo merkezinin 154 kV'luk tarafında oluşan faz-faz ve 2 faz-toprak kısa devre arızasında hem primer tarafta hem de sekonder tarafta gerilim ve akım seviyesinin düştüğü açıkça görülmektedir.

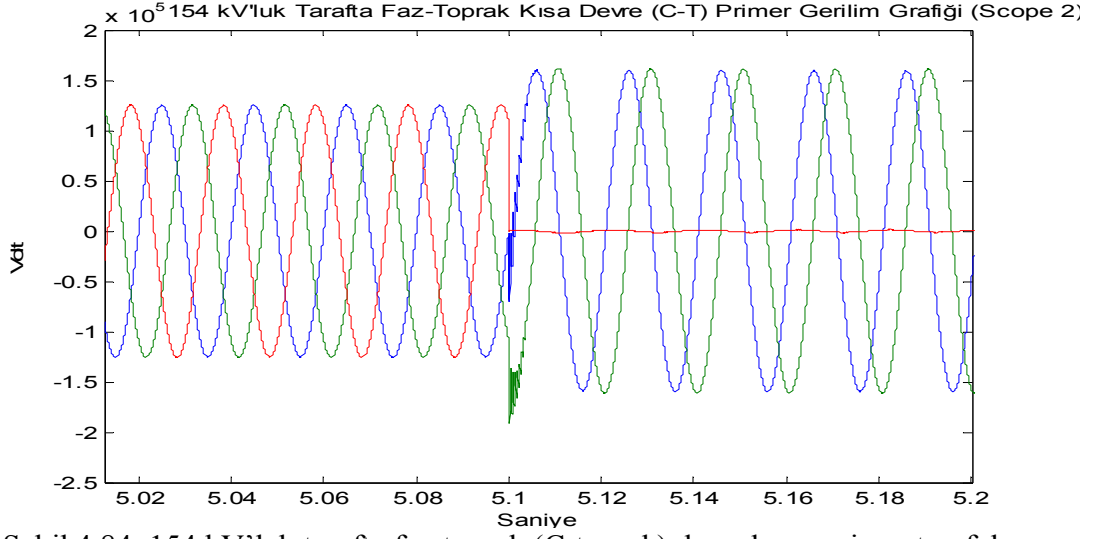


Şekil 4.83 . 154 kV'luk tarafta 2 faz-toprak (A-B-toprak) kısa devre trafo nötr noktası akım grafiği

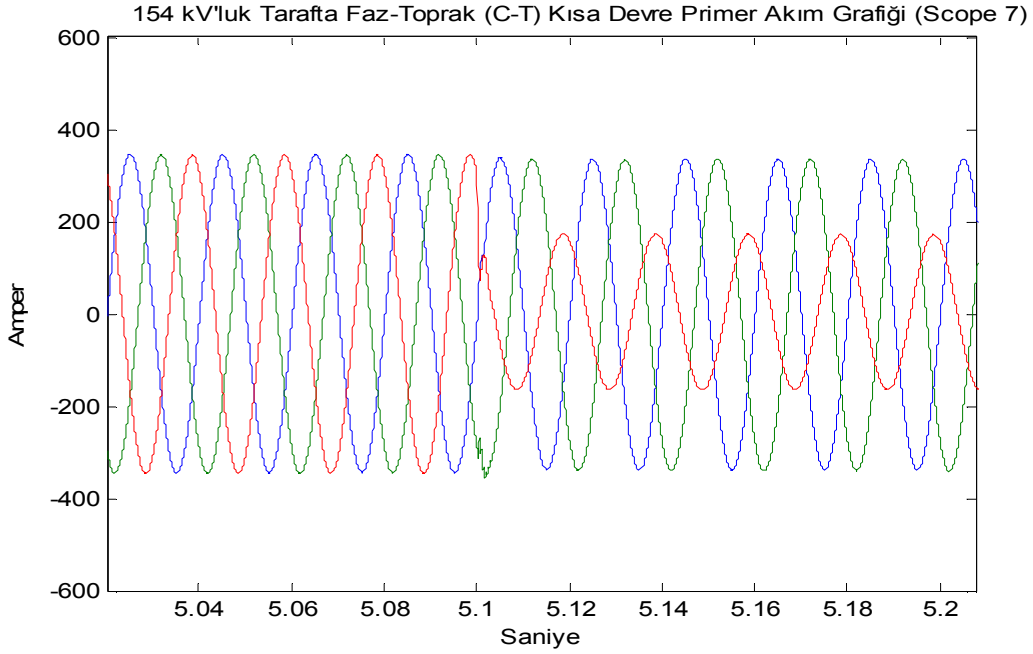
Şekil 4.83'ten de görüleceği üzere 2 faz-toprak kısa devresi dengesiz bir kısa devre olduğundan trafo nötr noktasından kısa devre akımı akmaktadır.

4.2.3.5. Faz-toprak kısa devre Simulink modeli, gerilim ve akım grafikleri

Şekil 4.84 ve şekil 4.85'te trafo merkezinin primer tarafından alınan ölçüm sonuçlarına göre faz-toprak kısa devre gerilim ve akım grafikleri, şekil 4.86 ve şekil 4.87'de trafo merkezinin sekonder tarafından alınan ölçüm sonuçlarına göre faz-toprak kısa devre gerilim ve akım grafikleri, şekil 4.88'de faz-toprak kısa devre trafo nötr noktası akım grafiği verilmiştir.

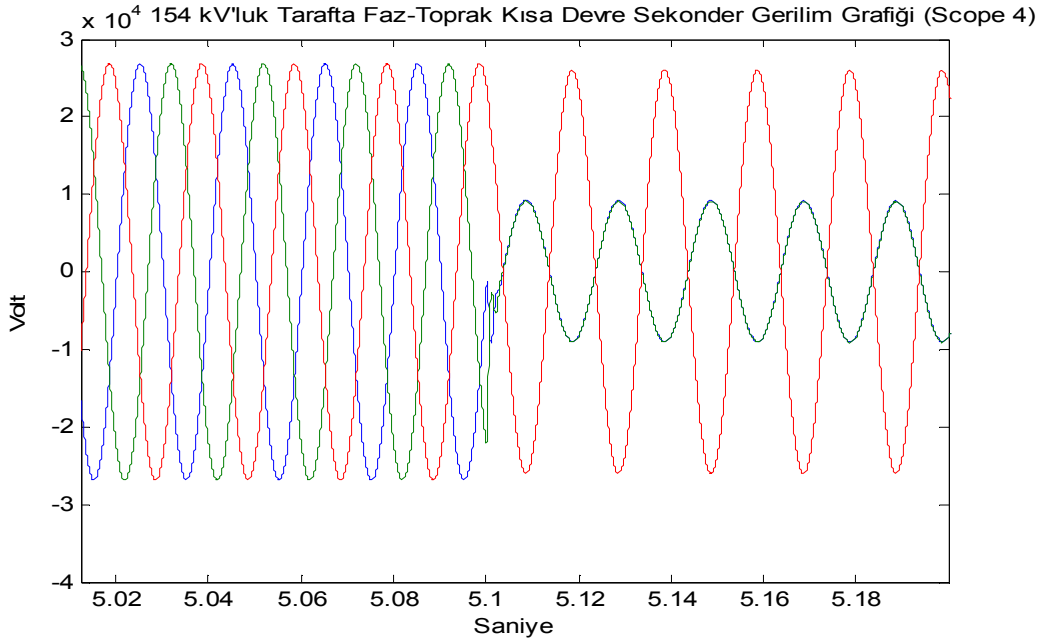


Şekil 4.84. 154 kV'luk tarafta faz-toprak (C-toprak) kısa devre primer tarafı kısa devre gerilim grafiği

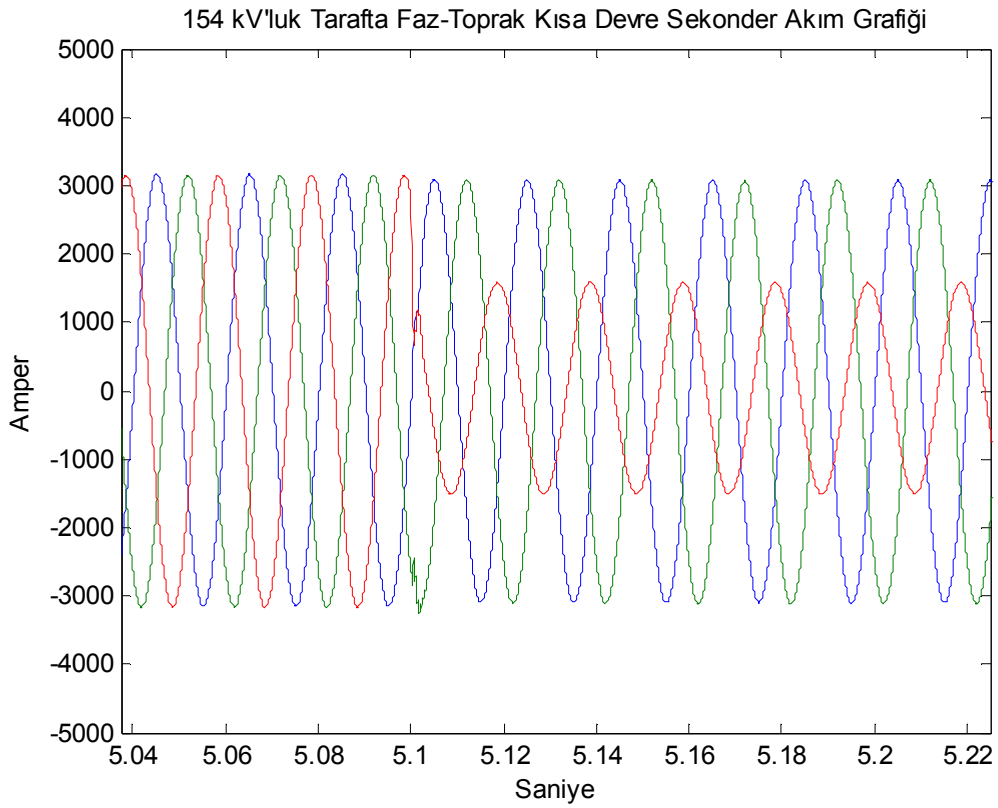


Şekil 4.85. 154 kV'luk tarafta faz-toprak (C-toprak) kısa devre primer tarafı kısa devre akım grafiği

Faz-toprak kısa devresinde Çizelge 4.4'ten primer gerilim 942.2 V seviyesinde iken akım 119.4 A'dir.

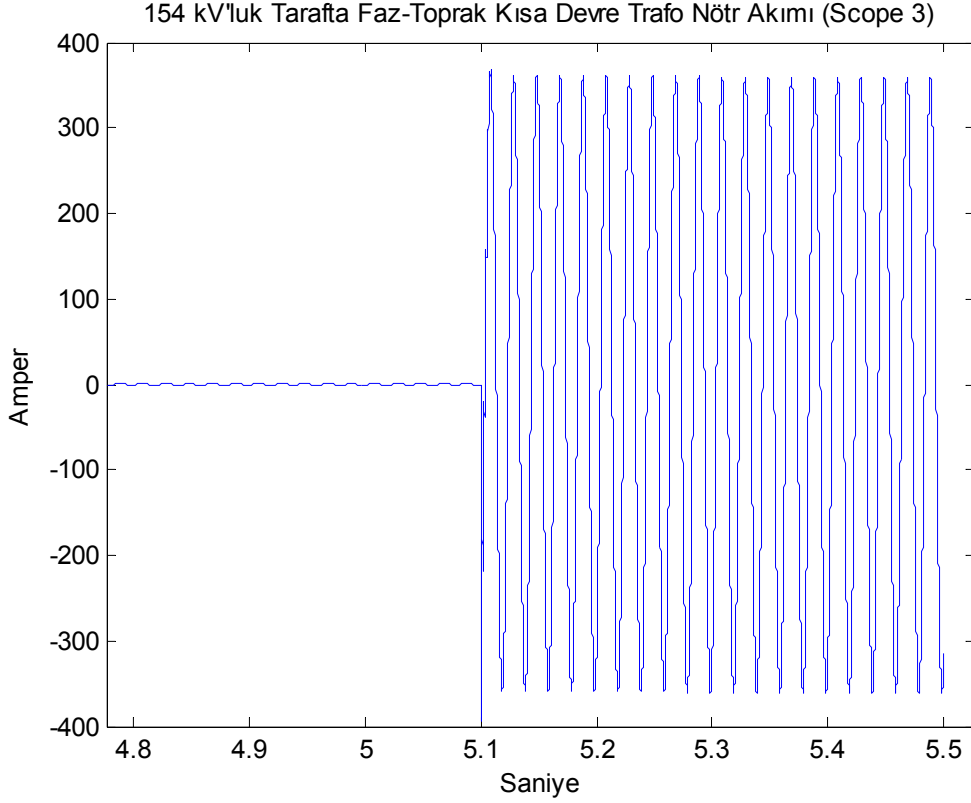


Şekil 4.86. 154 kV'luk tarafta faz-toprak (C-toprak) kısa devre sekonder tarafı kısa devre gerilim grafiği



Şekil 4.87. 154 kV'luk tarafta faz-toprak (C-toprak) kısa devre sekonder tarafı kısa devre akım grafiği

Faz-toprak arızasında Çizelge 4.4'den görüleceği üzere sekonder tarafta gerilim 9300 V iken akım 1094 A'dir. Trafo merkezinin 154 kV'luk tarafında kısa devre oluşması durumunda kısa devre olan fazın (C fazı) hem gerilim hem de akım değerinin diğer fazlara göre düştüğü gözlemlenmektedir.



Şekil 4.88. 154 kV'luk tarafta faz-toprak (C-toprak) kısa devre trafo nötr noktası akım grafiği

Faz toprak arızasında trafo nötr noktasında akan kısa devre akımının tepe değerinin 380 A seviyesine ulaştığı gözlemlenmektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada MATLAB Simulink kullanılarak trafo merkezlerindeki kısa devre akımları incelenmiştir.

Örnek olarak 154 kV'luk Van TM 'de giriş (154 kV'luk tarafı) ve çıkış (33.6 kV'luk tarafı) fiderlerinde 3 faz, 3 faz-toprak, faz-faz, 2 faz-toprak, faz-toprak arızaları için ayrı ayrı modelleme yapılmıştır. Trafo merkezinin değişik noktalarından simulasyon sonuçlarına göre akım ve gerilim grafikleri, akım ve gerilim değerleri elde edilmiştir. Simulink modellemesi bilgisayar ortamında trafo merkezi elemanlarının elektriksel davranışları gözlemlenmiştir.

Güç sistemlerinde oluşması muhtemel olan; üç faz, üç faz-toprak, faz-faz, 2 faz-toprak, faz-toprak kısa devre arıza analizlerine ait yorumlar (Bkz. 4. Bölüm)' muhtemel arıza türlerine ait elde edilen grafiklerle beraber yapılmıştır. Bu tez çalışmasında trafo merkezlerinde kısa devre akımları üzerine yapılmış diğer çalışmalardan farklı olarak tek tip arıza incelenmemiş olup, bütün kısa devre çeşitleri hem primer hem de sekonder tarafta modellenerek incelenmiştir. Ayrıca modelleme sonuçlarının gerçeğe uygun olup olmadığını test etmek için trafo merkezindeki rölelerden alınan gerçek kısa devre grafikleriyle karşılaştırılmış, simulasyon sonuçlarıyla rölelerden alınan arıza kayıtlarının örtüştüğü görülmüştür.

Kararlı ve dengeli sistemde 3 faz ve 3 faz toprak arızasında trafo nötr noktasından kısa devre süresince akım akmadığı ama dengesiz kısa devrede (faz-faz, iki faz-toprak, faz-toprak kısa devreleri) kısa devre süresince trafo nötr noktasından akımın aktığı gösterilmiştir. Trafo merkezinin sekonder tarafında (33.6 kV'luk tarafta) oluşan kısa devre durumunda en fazla akımın 3 faz kısa devrede aktığı tespit edilmiştir. Simulasyonla 3 faz kısa devre arızasında 7500 A seviyesinde akımın geçtiği görülmektedir. 154 kV Van trafo Merkezinde kullanılan kesiciler 31.5 kA'lık olduğu için 154 kV Van Trafo Merkezindeki kesici seçimleri uygundur. Simulasyonla kısa devre hesabının başka bir faydası da darbe kısa devre akımının görülebilmesidir. Rölelerde görülen darbe kısa devre akımı simulasyonla da elde edilmiştir.

154 kV'luk Van Trafo Merkezinin modellenmesi sonucu elde edilen sonuçlara göre trafo merkezinin giriş ve çıkış gerilim seviyelerinin normal çalışma durumuna göre azaldığı görülmüştür. Gerilim seviyesinin kısa devre süresince düşmesi enerjinin sürekliliği ve kalitesinin bozulmasına yol açmaktadır.

154 kV'luk Van Trafo Merkezinin modellenmesi sonucunda kısa devre süresince merkezdeki akım seviyesinin arttığı gözlenmektedir. Bu sonuç gerçek değerler 154 kV'luk Van trafo merkezindeki rölelerden alınan kısa devre grafikleri ile de örtüşmektedir. Rölelerden alınan bu grafiklerde kısa devre süresince kısa devre olan fazın akımının arttığı görülmektedir. Bu akımlar şebeke üzerinde yer alan teçhizatlarda aşırı ısınma ve büyük magnetik kuvvetlere yola açarak kayıplara sebebiyet vermektedir.

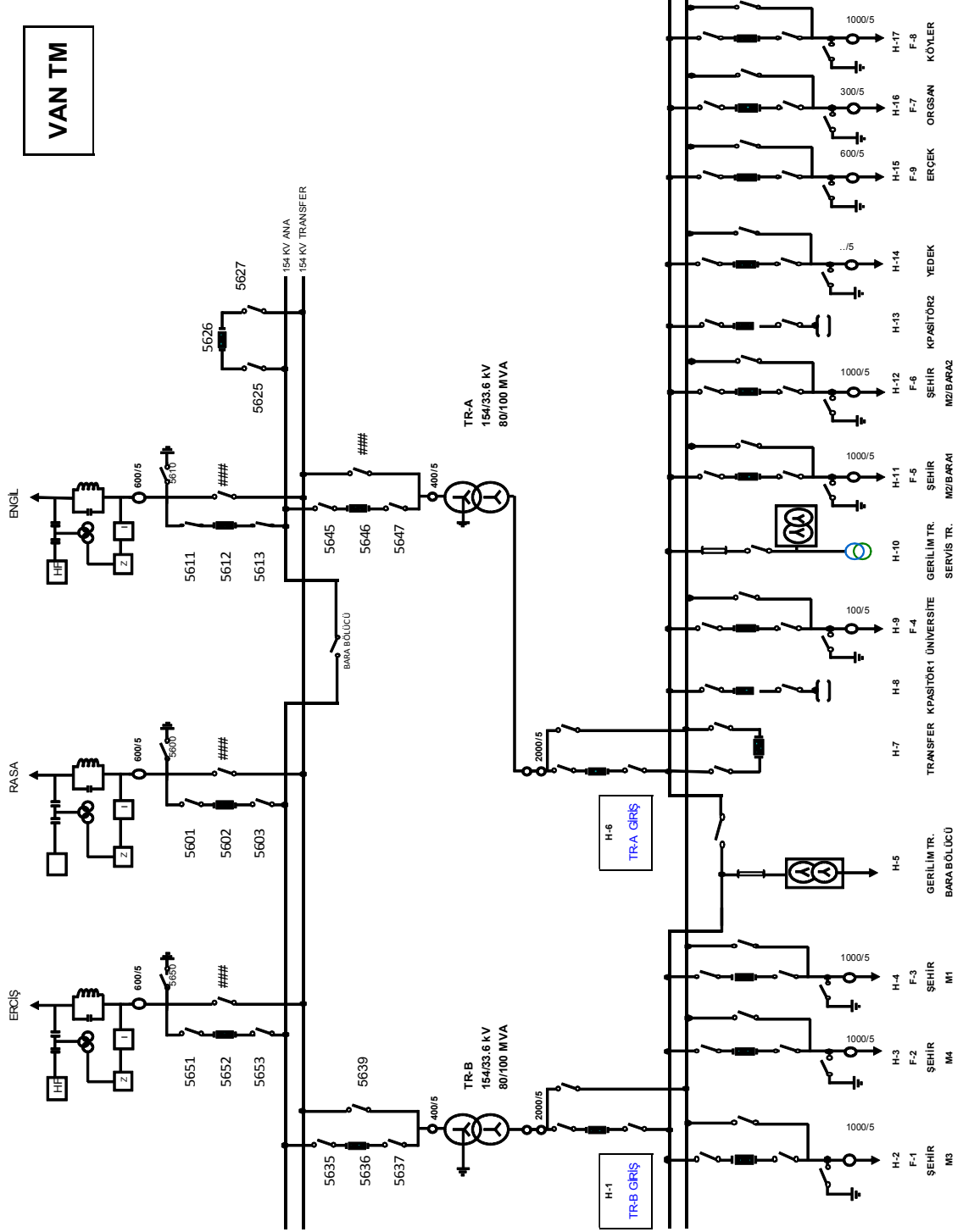
KAYNAKLAR

- Butler-Purry, K. L., Wang,H., 2003. Computer Models of Internal Short Circuit and Incipient Faults in Transformers. *IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition* . 7-12 Eylül 2003. 1027.
- Çakır, H., 1986. *Elektrik Güç Sistemleri Analizi*. Nesil Matbaacılık Yayıncılık, İstanbul.
- Kaşıkçı, İ., 2008. *Elektrik Tesisleri Temel El Kitabı*. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Kersten, W.F.J., Van Den Heuvel, W.M.C., 1991. Worst Case Studies of Short-Circuit Making-Currents. *Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings C*.
- Küçük, S., 2005. *Elektrik Tesislerinde Arızalar*. Tüpraş Türkiye Petrol Rafineleri A.Ş., İzmit.
- Mützel, T., Berger, F., Anheuser, M., 2007. Numerical Analysis of Low-Voltage Circuit-Breakers under Short-Circuit Conditions. *The 53rd IEEE Holm Conference On Electrical Contacts*. 16-19 Eylül 2007. 37-42.
- Metiner, D., Dağkıran. F.Z., 2002. *Türkiye Ulusal Elektrik Ağındaki Havai Hatların Trafoların ve Generatörlerin Elektriki Karakteristikleri*. TEİAŞ Bilgi İşlem Dairesi SA-2002/1 Raporu.
- Özbay, S., 2007. *Kısa Devre Analizinin Uluslararası Standartlar ve Simulasyon ile Çözülmesi* (yüksek lisans tezi). YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Parise, G., Massimiano, M., Halpin,M.,1995. Short Circuit Analysis On a Simple Power System Network: The "Characteristic" Currents Method. *Proceedings of the Twenty-Seventh Southeastern Symposium On System Theory*., 12-14 Mart 1995, Starkville. 30.
- Schlabach, J., 2008. *Short Circuit Currents*, Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom.

- Serrican, C., 2007. *Petkim Petrokimya Aliğa Tesisi'nin Elektrik Sisteminin Yük Akışı ve Kısa Devre Hesapları* (yüksek lisans tezi). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şensoy, V., 2005. *Yüksek Gerilim Gaz Kesicilerinin Delinme Dayanımının İstatistiksel Yöntemlerle Belirlenmesi* (yüksek lisans tezi). İÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ürgüplü, Z., 2008, *ElektroBank*. Bizim Büro Basımevi Yay. Dağ., Ankara.

EKLER

Ek 1. 154 kV'luk Van TM Tek Hat Şeması



ÖZGEÇMİŞ

06.07.1978 Ağrı doğumludur. İlk, orta ve lise eğitimini Ağrı'da tamamladı. 1998 yılında Hacettepe Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünü kazandı. 2004 yılında bu üniversiteden mezun oldu. Askerliğini yedek subay olarak tamamladıktan sonra 2008 tarihinde TEİAŞ 17. İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğünde işe başladı. Halen 17. İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğünde çalışmaktadır. 2010 yılında Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans programını kazandı.