



**ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE
KORUMA KOORDİNASYONU
IĞDIR İLİ ŞEBEKE MODELİ**

Murat KARAKILIÇ

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

ANA BİLİM DALI

Danışman: Prof. Dr. Genber KERİMLİ

T.C.
İĞDIR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE KORUMA KOORDİNASYONU
İĞDIR İLİ ŞEBEKE MODELİ

Murat KARAKILIÇ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

İĞDIR

2019

Her hakkı saklıdır

Prof. Dr. Genber KERİMLİ danışmanlığında Murat KARAKILIÇ tarafından hazırlanan bu çalışma tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından Elektrik Tesisleri Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Genber KERİMLİİmza:

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Kenan ÇİÇEKİmza:

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Abdullah BAŞÇIİmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun / /2019 tarih ve 2019/ sayılı kararı ile onaylanmıştır.

(imza)

.....

Doç. Dr. Süleyman TEMEL

Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını beyan ederim.



Murat KARAKILIÇ

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE KORUMA KOORDİNASYONU IĞDIR İLİ ŞEBEKE MODELİ

KARAKILIÇ, Murat

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Tesisleri Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Genber KERİMLİ

Mart 2019, 82 Sayfa

Elektrik güç sistemlerinde meydana gelen kısa devreler şebeke ekipmanlarında, hatlarda ve tüketici tesislerinde çok ciddi hasarlar meydana getirebilmektedir. Kısa devre akımları gerilim altında bulunan iletken bölümlerinin birbirleriyle, toprakla ya da elektrik tesislerinin gerilim altında olmayan iletken bölümleri ile temas etmesi sonucu meydana gelebilmekte olup bu durum sistemin arıza hali olarak tanımlanmaktadır.

Güç sistemlerinde normal işletme koşulları dışında gerçekleşen arıza hallerinde şebeke ekipmanları nominal akımın çok yüksek katlarında aşırı akımlara maruz kalacağı için sistemin kararlılığını tamamen yitirebilme ihtimali bulunmaktadır. Bu nedenle arıza yerinin en kısa sürede tespit edilmesi ve sistemden izole edilmesi gerekmektedir. Doğru bir koruma yapılabilmesi için hesaplamaların titizlikle yapılması ve koruma algoritmasında seçiciliğin sağlanması gerekmektedir.

Bu çalışmada belirtilen arıza hallerinin doğru bir şekilde sistemden yalıtılması için Iğdır ili elektrik dağıtım şebekesinin NEPLAN ve MATLAB Simulink programlarında koruma modelleri oluşturularak kısa devre analizleri yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler : Güç sistemleri, Aşırı akım koruma, Seçicilik, NEPLAN, MATLAB Simulink

ABSTRACT

PROTECTION COORDINATION IN ELECTRIC POWER SYSTEMS NETWORK MODEL IN IĞDIR

KARAKILIÇ, Murat

M.Sc. Thesis, Electrical Installations Department

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Genber KERİMLİ

March 2019, 82 Pages

Short circuits in electrical power systems can cause serious damage to the network equipment, lines and consumer facilities. Short circuit currents can occur as a result of contact of the conductive parts under voltage with conductive parts of the earth or electrical plants which are not under tension and this situation is defined as a failure state of the system.

In case of failures that occur outside of normal operating conditions in power systems, it is possible that the system will lose its stability completely as the network equipment will be subjected to excessive currents in very high times of the nominal current. For this reason, the fault location must be detected as soon as possible and isolated from the system. In order to ensure correct protection, calculations must be carried out carefully and selectivity should be ensured in the protection algorithm.

In order to isolate the failures mentioned in this study from the system correctly, protection models were created in NEPLAN and MATLAB Simulink programs of Iğdır province, and the results were compared.

Key words : Power systems, Overcurrent protection, Selectivity, NEPLAN, MATLAB Simulink

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Elektrik enerjisi dağıtım aşamasında birçok süreçten geçmektedir. Güç transferi yapılırken gerek dış etken gerek iç etken kaynaklı arızalar sistemde çok ciddi kısa devre akımlarının oluşmasına neden olabilmektedir. Sistemde bulunan ekipmanlar meydana gelen bu kısa devre akımlarına çok kısa süreliğine dayanabilmektedir. Dolayısıyla kısa devre akımlarının koruma sistemleri aracılığıyla hızlı bir şekilde algılanarak arızalı bölümü sistemden arındırması gerekmektedir. Bu tezde koruma prensiplerinin geliştirilmesine katkı sunmak amacıyla Iğdır ili orta gerilim şebekesi iki farklı program kullanılarak kısa devre analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler doğrultusunda koruma algoritmaları geliştirilmiş, sonuçlar karşılaştırılarak bu alanda yapılan çalışmalara katkı sunması amacıyla bazı önerilerde bulunulmuştur.

Bulduğum konumda büyük emeği olan, geleceğimi borçlu olduğum rahmetli abim Dr. Ferhat KARAKILIÇ, çalışmam süresince sabırla bana destek olan sevgili eşim Neslihan ve tezimin birçok sayfasında klavyemin tuşlarına basıp kaçan biricik çocuklarım Ferhat ve Baran'a en derin sevgilerimle...

Murat KARAKILIÇ

Mart, 2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	2
3. MATERYAL ve METOT	4
3.1. Güç Sistemlerinde Koruma Prensipleri	4
3.1.1. Korumanın genel prensibi	5
3.1.2. Koruma sisteminde olması gereken şartlar	6
3.1.3. Güç sistemlerinde arıza nedenleri	6
3.1.3.a. Enerji nakil hatlarında meydana gelen arızalar.....	7
3.1.3.b. Trafolarda meydana gelen arızalar	7
3.1.3.c. Generatör ve motorlarda meydana gelen arızalar	7
3.1.4. Koruma türleri	8
3.1.4.a. Faz-faz aşırı akım koruması.....	8
3.1.4.b. Faz-toprak aşırı akım koruması	8
3.1.4.c. Mesafe koruması.....	8
3.1.4.ç. Diferansiyel koruma	10
3.1.4.d. Yönlü koruma	10
3.1.5. Koruma parametreleri	11
3.1.6. Koruma koordinasyonu ve seçicilik.....	11
3.2. Elektrik Tesislerinde Kısa Devre	11
3.2.1. Kısa devrenin önemi.....	12
3.2.2. Kısa devreye sebep olan etkenler	12
3.2.3. Kısa devrelerin sınıflandırılması	13

3.2.3.a. Generatöre yakın kısa devre akımı	14
3.2.3.b. Generatöre uzak kısa devre akımı.....	15
3.2.4. Kısa devre akımının bileşenleri.....	15
3.2.4.a. Subtransiyent kısa devre akımı (I_k'').....	16
3.2.4.b. Transiyent kısa devre akımı (I_k')	16
3.2.4.c. Sürekli kısa devre akımı (I_k)	16
3.2.4.ç. Darbe kısa devre akımı (I_p).....	16
3.2.4.d. Kısa devre açma akımı (I_b)	17
3.2.5. Eşdeğer gerilim kaynağı ile kısa devre hesabı	17
3.2.6. Simetrik bileşenler yöntemi ile kısa devre hesabı.....	19
3.2.7. Per-Unit sistem.....	22
3.2.7.a. Bir fazlı şebekede per-unit hesabı.....	23
3.2.7.b. Üç fazlı şebekede per-unit hesabı	23
3.2.8. Elektrik donanımının kısa devre empedansları	24
3.2.8.a. Şebeke fideri empedansları.....	24
3.2.8.b. İki sargılı transformatör empedansları.....	26
3.2.8.c. Üç sargılı transformatör empedansları.....	26
3.2.8.ç. İki ve üç sargılı trafo empedans düzelme faktörleri	28
3.2.8.d. Hat ve kablo empedansları.....	29
3.2.9. Kısa devre akımlarının hesaplanması.....	29
3.2.9.a. Üç faz kısa devre I_{k3}''	29
3.2.9.b. Faz-faz kısa devre I_{k2}''	30
3.2.9.c. Faz-faz toprak kısa devre I_{kE2E}''	31
3.2.9.ç. Faz toprak kısa devre I_{k1}''	32
3.3. Orta Gerilim Şebekelerinde Koruma Ekipmanları.....	32
3.3.1. Ölçü transformatörleri	33
3.3.1.a. Akım transformatörleri	33
3.3.1.b. Gerilim Transformatörleri	36
3.3.2. Kesiciler	38
3.3.2.a. Kesicilerin yapısı ve bölümleri	39
3.3.2.b. Kesici Kumanda Sistemleri	41

3.3.3. Aşırı akım koruma röleleri	43
3.3.3.a. Röle yapısı ve çalışma ilkeleri	43
3.3.3.b. Dijital röle koruma fonksiyonları	46
3.3.3.c. Aşırı akım koruma fonksiyonu (50-51)	47
3.3.3.ç. Toprak aşırı akım koruma fonksiyonu (50N-51N)	48
3.3.3.d. Tekrar kapama fonksiyonu (79).....	49
3.4. NEPLAN	50
3.5. MATLAB Simulink	50
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	51
4.1. Şebeke Parametrelerinin Belirlenmesi	51
4.1.1. Iğdır trafo merkezi (Iğdır TM)	51
4.1.2. Hoşhaber dağıtım merkezi (Hoshaber DM)	53
4.1.3. Fider çıkış parametreleri.....	53
4.2. NEPLAN Şebeke Modeli	54
4.2.1. Enterkonnekte şebeke blok modeli	54
4.2.2. Trafo merkezi şebeke modeli	55
4.2.3. Dağıtım merkezi şebeke modeli	57
4.2.4. Dağıtım şebekesi modeli	57
4.2.5. Koruma devresi modeli	58
4.2.6. NEPLAN kısa devre koruma simülasyonu	59
4.3. MATLAB Simulink Şebeke Modeli	62
4.3.1. Enterkonnekte şebeke blok modeli	63
4.3.2. Trafo merkezi şebeke modeli	64
4.3.3. Dağıtım-Ölçü barası blok modeli	65
4.3.4. Dağıtım hattı blok modeli	65
4.3.5. Kısa devre generatörü blok modeli	66
4.3.6. Dağıtım şebekesi modeli	67
4.3.7. Koruma bloğu modeli.....	67
4.3.8. MATLAB Simulink kısa devre simülasyonları	69
4.3.9. MATLAB Simulink koruma simülasyonu	72
4.3.9.a. Faz toprak koruma simülasyonu	72

4.3.9.b. Faz faz koruma simülasyonu	74
4.3.9.c. Üç faz koruma simülasyonu	75
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ	82



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 3.1. Güç akış şeması örneği	6
Şekil 3.2. Mesafe koruma rölesi için R-X koruma bölgeleri	9
Şekil 3.3. Diferansiyel röle çalışma prensibi şeması	10
Şekil 3.4. Yönlü koruma örnek prensip şeması	10
Şekil 3.5. Sınıflara göre kısa devre türleri	13
Şekil 3.6. Azalan a.a. bileşenli jeneratöre yakın bir kısa devrenin kısa devre akımı	14
Şekil 3.7. Sabit a.a. bileşenli jeneratörden uzak bir kısa devrenin kısa devre akımı	15
Şekil 3.8. Simetrik kısa devre akımı geçiş bölümleri	15
Şekil 3.9. R/X oranına bağlı olarak K'nın değişimi (Doğruer, 2007).....	17
Şekil 3.10. Şebeke tek hat modeline göre eşdeğer devre ve eşdeğer gerilim kaynağı....	18
Şekil 3.11. Gerilim vektörüne ait simetrik bileşenler	20
Şekil 3.12. Trafosuz şebeke fiderleri için sistem diyagramı ve eş değer devre	25
Şekil 3.13. Trafolu şebeke fiderleri için sistem diyagramı ve eş değer devre	25
Şekil 3.14. Üç sargılı trafo sargı bağlantıları (a) ve eşdeğer devre şeması (b)	27
Şekil 3.15. Üç faz kısa devre	30
Şekil 3.16. Faz-faz kısa devre	30
Şekil 3.17. Faz-faz toprak kısa devresi	31
Şekil 3.18. Faz toprak kısa devre	32
Şekil 3.19. Akım trafosu temel bağlantı şeması.....	34
Şekil 3.20. Akım transformatörü genel yapı şekli ve bölümleri	34
Şekil 3.21. Akım transformatörleri şematik gösterimleri	35
Şekil 3.22. Akım transformatörleri doğruluk sınıfı.....	36
Şekil 3.23. Gerilim trafosu temel bağlantı şeması	36
Şekil 3.24. Gerilim transformatörü genel yapısal şekli	37
Şekil 3.25. Faz-faz (a) ve faz-nötr (b) gerilim trafosu bağlantı şeması	38
Şekil 3.26. Kesici komanda mekanizması	41
Şekil 3.27. Kesicilerde örnek kontak şeması (TEDAŞ-MYD-95-008.A, 2006)	42
Şekil 3.28. Örnek bir kesici kumanda devresi (ULUSOY, 2012).....	42
Şekil 3.29. Sabit zaman röle karakteristiği	44

Şekil 3.30. Ters akım-zaman röle karakteristiği	44
Şekil 3.31. Ters akım zaman röle karakteristikleri (IEC)	45
Şekil 3.32. Sabit zamanlı toprak aşırı akım koruma prensibi	48
Şekil 3.33. Ters zamanlı toprak aşırı akım çalışma prensibi.....	48
Şekil 3.34. İki kez tekrar kapama başarılı (a), İki kez tekrar kapama başarısız (b).....	49
Şekil 4.1. Iğdır ili elektrik şebekesi (CBS ara yüzü).....	51
Şekil 4.2. Iğdır TM tek hat şeması	52
Şekil 4.3. Hoşhaber dağıtım merkezi prensip şeması	53
Şekil 4.4. Enterkonnekte şebeke NEPLAN blok modeli	54
Şekil 4.5. Enterkonnekte şebeke NEPLAN blok parametre değerleri	55
Şekil 4.6. Iğdır trafo merkezi şebeke modeli	56
Şekil 4.7. İndirici trafo NEPLAN parametre değerleri	56
Şekil 4.8. Hoşhaber DM şebeke modeli	57
Şekil 4.9. Dağıtım şebekesi modeli	57
Şekil 4.10. 1x240 XLPE (a) ve 3x477 MCM (b) hat parametre değerleri.....	58
Şekil 4.11. Akım transformatörü (a) ve Aşırı akım rölesinin (b) konumlandırılması	58
Şekil 4.12. Aşırı akım rölesi akım-zaman karakteristiği ayarı.....	59
Şekil 4.13. Seçicilik ayarı kullanıcı diyagramı	60
Şekil 4.14. NEPLAN şebeke modeli röle selektivite ayarı	61
Şekil 4.15. NEPLAN şebeke modeli koruma simülasyonu	62
Şekil 4.16. Enterkonnekte sistem bloğu ve mask parametreleri	64
Şekil 4.17. İndirici trafo şebeke modeli ve mask parametreleri	64
Şekil 4.18. Dağıtım-Ölçü barası sistem bloğu	65
Şekil 4.19. Dağıtım hat bloğu mask parametreleri	66
Şekil 4.20. Kısa devre generatörü mask parametreleri	66
Şekil 4.21. MATLAB Simulink şebeke modeli	67
Şekil 4.22. Aşırı akım rölesi blok modeli	68
Şekil 4.23. Aşırı akım rölesi selektivite ayarı	68
Şekil 4.24. Faz toprak kısa devre simülasyonu akım sinyali	69
Şekil 4.25. Faz toprak kısa devre simülasyonu gerilim sinyali	69
Şekil 4.26. Faz-Faz kısa devre simülasyonu akım sinyali	70

Şekil 4.27. Faz-Faz kısa devre simülasyonu gerilim sinyali.....	70
Şekil 4.28. Üç Faz kısa devre simülasyonu akım sinyali.....	71
Şekil 4.29. Üç Faz kısa devre simülasyonu gerilim sinyali	71
Şekil 4.30. MATLAB Simulink şebeke modeli faz-toprak koruma simülasyonu	72
Şekil 4.31. Faz toprak arızası açma simülasyonu	73
Şekil 4.32. Faz toprak geçici kısa devre arızası açma simülasyonu	74
Şekil 4.33. MATLAB Simulink şebeke modeli faz-faz koruma simülasyonu.....	74
Şekil 4.34. Faz faz kısa devre açma simülasyonu.....	75
Şekil 4.35. MATLAB Simulink şebeke modeli üç faz koruma simülasyonu	75
Şekil 4.36. Üç faz kısa devre açma simülasyonu.....	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1. Nominal gerilime göre c düzeltme katsayıları.....	18
Çizelge 3.2. Kesicilerin söndürme özelliklerine göre üstünlüklerinin karşılaştırılması .	40
Çizelge 3.3. Aşırı akım rölelerinin özellik karşılaştırma tablosu.....	43
Çizelge 3.4. Uluslararası standartlara göre röle akım zaman eğrileri	45
Çizelge 3.5. PACE-100 dijital aşırı akım röle fonksiyonları	46
Çizelge 3.6. Ters akım-zaman eğri standartlarına ait katsayılar	47
Çizelge 4.1. Iğdır TM indirici trafo karakteristikleri	51
Çizelge 4.2. Iğdır TM trafo etiket değerleri	52
Çizelge 4.3. Pu cinsinden hat değerleri.....	53
Çizelge 4.4. NEPLAN Simülasyonu röle açma süreleri.....	61
Çizelge 4.5. Şebeke modeline göre faz toprak kısa devre açma süreleri.....	73
Çizelge 4.6. Kısa devre türüne göre röle açma süreleri	76

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

a	.....	Vektör operatörü
c	.....	Gerilim faktörü
F	.....	Frekans
ϕ	.....	Faz açısı
i_p	.....	Darbe kısa devre akımı
I	.....	Akım
I_0	.....	Kısa devre akımı sıfır bileşeni
I_1	.....	Kısa devre akımı pozitif bileşeni
I_2	.....	Kısa devre akımı negatif bileşeni
I_b	.....	Kısa devre kesme akımı
$I_{d.a.}$	.....	Kısa devre akımı doğru akım bileşeni
I_k''	.....	Subtransiyent (başlangıç) kısa devre akımı
I_k'	.....	Transiyent (geçiş) kısa devre akımı
I_k	.....	Sürekli kısa devre akımı
I_{k1}	.....	Faz-Toprak sürekli kısa devre akımı
I_{k2}	.....	Faz-Faz sürekli kısa devre akımı
I_{k2t}	.....	İki faz
I_{k3}	.....	Üç faz kısa devre akımı
P_u	.....	Per-unit değer
P	.....	Aktif güç
S	.....	Görünür güç
S_b	.....	Kısa devre açma gücü
S_k''	.....	Başlangıç kısa devre gücü
T_d''	.....	Subtransiyent Zaman Sabiti
T_d'	.....	Transiyent Zaman Sabiti
U_n	.....	Nominal gerilim
u_k	.....	Bağlı kısa devre gerilimi
V	.....	Faz-Nötr Nominal Gerilim Değeri

V_0	.....	Sıfır Bileşen Gerilim Değeri
V_1	.....	Pozitif Bileşen Gerilim Değeri
V_2	.....	Negatif Bileşen Gerilim Değeri
V_f	.....	Arıza Noktasında Eşdeğer Gerilim Kaynağı
X	.....	Reaktans Değeri
X_d''	.....	Geçici Darbe Reaktansı
X_d'	.....	Geçici Durum Reaktansı
X_d	.....	Sürekli Durum Reaktansı
Z	.....	Empedans Değeri
Z_0	.....	Sıfır Bileşen Empedans Değeri
Z_1	.....	Pozitif Bileşen Empedans Değeri
Z_2	.....	Negatif Bileşen Empedans Değeri
Z_k	.....	Kısa Devre Empedansı

KISALTMALAR

GA	.....	Genetik Algoritma
IEC	.....	International Electrotechnical Commission
OF	.....	Objektif Fonksiyonlar
PSO	.....	Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
TSE	.....	Türk Standartları Enstitüsü

1. GİRİŞ

Günümüz koşullarında teknolojinin gelişimi elektrik enerjisine olan bağımlılığı daha da arttırmış, elektrik enerjisi hayati gereksinimlerimiz arasında yer edecek kadar zorunlu bir hale gelmiştir. Bu sebeple elektrik enerjisinin sürekliliği üretimden tüketime her aşamada büyük önem taşımaktadır. Elektrik dağıtım şebekeleri birbirleri ile bağlı olduğundan dolayı en küçük şebeke modelinde bile gerçek hesaplamalar oldukça kompleks hale gelmektedir. Zira elektrik şebekesi bağlantı noktasından enterkonnekte sistemle bir bütünlük oluşturmaktadır. Bu denli karmaşık bir yapıda ve milyonlarca ekipmandan oluşan bir sistemde sürekliliği sağlamak oldukça önemlidir. Bu nedenle hatalı bölümün olabildiğince hızlı bir şekilde sistemden izole edilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde şebekenin ana arterlerinde kalıcı hasarlar oluşacak ve buda daha fazla kullanıcının enerjisiz kalmasına neden olacaktır.

Güç sistemlerinde tesis edilme ve işletme aşamasında çalışmalar iyi yapılmış olsa da bu durum arıza oluşma durumunu tamamen ortadan kaldıramamaktadır. Arıza durumunda etkilenen kullanıcı sayısını en az düzeyde tutmak büyük bir öneme sahiptir. Bu sebeple sistemde bulunan kesicilerin doğru bir seçicilikte açılması gerekmektedir. Arızanın meydana geldiği noktaya en yakın kesicinin en erken açma prensibine göre sistem modellenmelidir.

İyi bir koruma koordinasyonu; güç sisteminin herhangi bir bölümünde elektriksel değerlerin normal işletme koşullarının dışına çıkması halinde arızalı bölümü güç sisteminden izole ederek güç akışının devamlılığını sağlamalıdır. Bu yüzden seçici bir koruma koordinasyonu sağlamak oldukça önemlidir (Akdağ ve ark., 2018).

Doğru bir koruma yapılması amacıyla Iğdır ili orta gerilim şebekesi NEPLAN ve MATLAB Simulink programlarında modellenerek kısa devre hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplanan kısa devre akımları doğrultusunda koruma sistemi için analizler gerçekleştirilmiştir. Model şebeke üzerinde bazı baralara aşırı akım koruma röleleri konumlandırılarak seçicilik ayarlamaları yapılmıştır. Her iki simülasyon programında şebekenin gerçek parametre değerleriyle yük akışı ve koruma simülasyonları yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Elektrik enerjisi üretimden tüketime bütün süreçlerde gerekli teknik kaliteyi sağlamalıdır. Gerilim ve akım değerlerinin nominal değerlerden sapması sistemden güç ihtiva eden tüm elektriksel ekipmanlar için ciddi riskler teşkil etmektedir. Güç sisteminin olağanüstü bir durumda nominal değerlerden sapması ile (arıza durumu) sistem ekipmanları ve yük çeken cihazlarda kalıcı zararlar oluşmaması için doğru zamanda arızalı bölümün sistemden mutlaka izole edilmesi gerekmektedir. Aşırı akım röleleri akım ve gerilim transformatörleri vasıtasıyla sistem değerlerini okuyarak nominal değerlerden sapması durumunda ilgili kesiciye açma sinyali gönderler (Erentürk ve Altaş, 2002).

İmal ve Çınar (2016) çalışmalarında dal-budak ve ring şebekeler için koruma rölelerinin koordinasyonu üzerinde durmuş olup, ring şebekelerde koruma rölesi parametrelerini hesaplayacak bir uygulama simülasyonu gerçekleştirmiştir.

Akdağ ve Yeroğlu (2017) tarafından yapılan çalışmada bir trafo merkezinin güç sistemi modellenerek aşırı akım rölelerinin temel çalışma mantığı analiz edilmiştir. Aşırı akım röle koordinasyonu yapılacak güç sisteminin kısa devre analizleri yapılmıştır. Çalışmalarında, Teiaş 154/33,6 kV Malatya Trafo merkezinde bir adet güç transformatörü ve ona bağlı 2 adet fiderde aşırı akım röle koordinasyonu yapılmıştır. Güç sisteminin modeli DigSilent programı yardımı ile oluşturularak benzetimi gerçekleştirilmiştir.

Erentürk ve Altaş (2002) Bulanık Mantığa (BM) dayalı yaptıkları çalışmada bir dijital koruma rölesi tasarımı yapmış ve gerçek zamanlı olarak işaret kestirimine bağlı deney sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Güç sisteminde meydana gelen arıza türüne göre bir karar verme mekanizması oluşturmuşlardır. Tasarladıkları dijital röle ile normal koruma rölesi arasında arızanın algılanıp, sürekli mi yoksa geçici mi olduğuna karar verme durumları karşılaştırılmıştır. Bulanık mantıkla tasarladıkları rölenin çok daha hızlı ve kararlı bir yapıya sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Büyükdora (2002) ölçü trafoları ve sekonder koruma sistemleri üzerine yaptığı çalışmada; sistemde kullanılan akım trafolarının çalışma karakteristikleri ile aşırı akım koruma rölelerinin yapısı ve çalışma ilkeleri üzerine araştırmalar yapmıştır.

Gürsu (2014) çalışmasında yüksek gerilimli transformatör merkezlerindeki güç transformatörleri giriş ve çıkış fiderleri ile orta gerilim dağıtım fiderlerinin ters zamanlı aşırı akım röle koordinasyonunu, önerdikleri yeni bir yöntem olan CFD-GA ile yaptıklarını göstermişlerdir. MATLAB’da hazırlanan CFD-GA’ya dayalı program simülasyonları yapılarak analizler yapılmıştır.

Zieneldin *et al.* (2006) yaptıkları çalışmada güç sistemlerinde yönlü aşırı akım rölelerinin optimum röle ayarlarını hesaplamak için yeni bir problem modeli önermiştir. Başlatma akımı ayarlarının ayrıık değerlerini dikkate almak için karışık bir tam sayı, doğrusal olmayan bir problem olarak formüle edilmiştir. Optimum röle ayarlarını hesaplamak için değiştirilmiş bir parçacık sürüsü optimizasyonu olan (PSO) algoritması önermiştir. Orijinal parçacık sürüsü optimizasyonuna dayalı yöntem ile önerilen PSO algoritması ve GAMS çözücü arasında bir karşılaştırma sunmuşlardır.

Rajput *et al.* (2018) birincil ve yedek rölelerin çalışmaları arasında minimum çalışma süresi ve minimum öngörülen ayırım süresini elde ettikleri çeşitli objektif fonksiyonlar (OF) modellemişlerdir. Çalışmalarında köklü beş OF'nin performansını incelemiş ve ek olarak, daha önce önerilen OF'lerin iyileştirilmesi için yeni bir OF önermişlerdir. Koordinasyon problemini yakın ve uzak uçtaki hataları göz önüne alarak formüle etmiş ve genetik algoritma kullanarak çözülmüşlerdir.

Noghabi and Sadeh (2009) çalışmalarında farklı ağ topolojilerinin optimizasyon problemine etkilerini dikkate alarak DOCR koordinasyonunu incelemişlerdir. Her ağ topolojisine karşılık olarak, problem formülasyonunda çok sayıda koordinasyon kısıtlarını göz önünde bulundurmuşlardır. Genetik algoritma (GA), bu karmaşık ve dışbükey olmayan optimizasyon problemini çözmede güçlü bir araç olarak seçilmiştir. Çalışmada, GA'nın yakınsamasını iyileştirmek için yeni bir hibrid yöntem sunulmuş ve sonuçlar önerilen hibrid GA yönteminin uygulanmasıyla verimli ve optimum bir çözüm elde edilebileceğini göstermiştir.

3. MATERYAL ve METOT

Güç sistemlerindeki en büyük sorunlardan biri sürekliliğin sağlanmasıdır. Elektriksel değerler normal işletme koşulları dışına çıktığında sorunun hızlı bir şekilde tespit edilip hatanın izole edilmesi gerekmektedir. Sistemin devamlı enerji altında olması değişikliklerin uygulanmadan önce çok hassas hesaplamalar yapılmasını gerektirmektedir.

Güç sistemlerinin karmaşık yapılarda olması nedeniyle koruma koordinasyonu için gereken hesaplamaların doğru bir şekilde yapılması geleneksel hesap yöntemleri ile neredeyse imkansızdır. Sistemlerin bilgisayar programlarıyla modelleri oluşturularak simülasyonların hızlı bir şekilde yapıp değişik varyasyonların uygulanabilmesi daha kolaydır.

Bu çalışmada NEPLAN ve MATLAB Simulink programları ile şebeke modelleri oluşturulmuş ve her bir programda simülasyonlar yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Program çıktılarının gerçek değerlerle ve birbiri ile mukayese edilmesi hesap güvenilirliğini arttırmaktadır.

Doğru bir koruma koordinasyonunun gerçekleştirilmesi doğru hesaplamaları gerektirmektedir. Doğru hesaplamalar da sistemin her bir parametresinin çok iyi analiz edilmesi ile mümkündür. Bunun için koruma yapılacak sistemde kullanılan ekipmanların iyi derecede analiz edilmesi gerekmektedir.

3.1. Güç Sistemlerinde Koruma Prensipleri

Enerjili bir sistemde en temel parametrelerden biri de sistemin sürekliliğinin sağlanmasıdır. Bir sistemde sürekliliğin sağlanması için çeşitli önlemler alınmalıdır. Bu önlemler sistemin kararlılığını belirleyen temel unsurların doğru bir şekilde tespit edilmesi ile sağlanmalıdır. Önlemlerin doğru sonuç vermesi sistemin her bir parçasına ait özelliklerin en ince ayrıntısına kadar tespit edilmesi ve doğru hesaplamalar yapılması ile mümkündür. Güç sistemleri gibi binlerce ekipmanın olduğu kompleks yapıdaki bir sistemde bunu gerçekleştirmek oldukça zordur. Güç sistemlerinde bu tür hesaplamalar yapılarak alınan önlemlere koruma denir.

3.1.1. Korumanın genel prensibi

Üretim santrallerinin generatör uçlarında indüklenen gerilim yükseltici trafolarla yükseltilerek enerjinin iletim hatları vasıtasıyla uzak mesafelere transfer edilebilmesi sağlanır. İletilen enerji tüketim bölgelerine yakın indirici trafolarla orta gerilim seviyesine düşürülür. Orta gerilim dağıtım hatları ve orta gerilim trafoları üzerinden tüketici yüklere enerji transferi sağlanmış olur. Akım yolu üzerinde meydana gelebilecek bir hata durumunda sistemden yük çeken tüm cihazlar termik ve dinamik zorlamalara maruz kalmaktadır. Malzemeler eşik değeri üzerinde bir kuvvete maruz kalırsa sistemde ciddi tahribatlar meydana gelebilmektedir. Güç sistemlerinde korumanın gayesi hatanın meydana geldiği bölgeyi optimum sürede sistemden izole etme prensibine dayanır (Doğar, 2012).

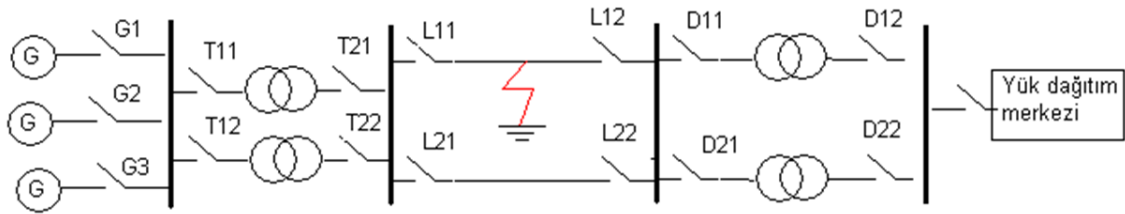
Güç sistemlerinde hata durumunda arıza akımları gerek tüketici cihazlar gerekse güç tesisini meydana getiren ekipmanlar üzerinde ciddi hasarlar meydana getirebilir. Koruma prensibinde temel amaç bu hasarların oluşmasını engellemek için arıza akımlarının tehlike sınırlarına ulaşmadan en kısa sürede devre dışı bırakılmasıdır. Güç sistemlerinde temel koruma sistemlerinin optimum düzeyde sağlanması ve iyi bir koruma sağlanması için sistemden beklenen temel özellikler şunlardır;

1. Güvenlik : Tüm hata durumlarında emniyetli bir şekilde koruma yapmalı
2. Seçicilik : Yalnızca hatalı bölgeyi sistemden izole etmeli
3. Hız : Hata durumuna en kısa sürede cevap vermeli
4. Basitlik : Olabildiğince karmaşık olmayan devreler olmalı
5. Ekonomi : Minimum maliyetle maksimum koruma yapmalı

Güç sistemleri koruma ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde uygun koruma cihazlarıyla modellenmelidir. Sistemde koruma yapacak tüm röleler yukarıda belirtilen özellikler çerçevesinde ayarlanmalıdır (Zieneldin *et al.*, 2006). Güç sistemlerinde meydana gelen arızaların minimize edilmesi ancak arıza sebeplerini iyi analiz etmek ve bu arıza nedenlerine göre özel önlemler almakla mümkündür. Aşırı akım röleleri hata oluşmasına engel olmaz, lakin hatanın çok kısa bir sürede sistemden yalıtılmasını sağlayabilir.

3.1.2. Koruma sisteminde olması gereken şartlar

Güvenilir bir koruma sisteminde yalnızca arızalı bölüm devreden çıkarılmalıdır. Normal işletme koşullarında hatanın meydana gelmediği tüm şebeke bölümlerinin arızalı bölümden etkilenmemesi gerekmektedir. Şekil 3.1’ de belirtilen iletim hattında meydana gelebilecek bir arıza durumunda en az sayıda kullanıcının etkilenmesi ancak L11 ile L12 anahtarlarının açılarak arızayı olabildiğince dar bir alanda devre dışı bırakmasıyla mümkün olabilir.



Şekil 3.1. Güç akış şeması örneği

Güç sistemlerinde kararlı yapının korunması için arıza sürelerinin mutlak surette çok kısa tutulması büyük bir öneme sahiptir. Arıza akımlarının sistemden yük çeken cihazlar ve şebeke ekipmanları üzerinde çok ciddi zararlar bırakmaması için kısa devre akımlarının birkaç periyotluk süreyi aşmaması gerekmektedir.

Elektrik şebekeleri devamlı enerji altında bulunduğu için canlı şebekelerdir. Koruma sistemi zaman içerisinde manevra değişiklikleri nedeniyle değişen parametrelerden etkilenmemelidir. Koruma sistemlerinde en hassas konulardan biri de güç sisteminde meydana gelen geçici rejimlerdir. Koruma rölelerinin sistemde meydana gelen bu geçici rejimlerden olabildiğince etkilenmemesi gerekir (Odabaşı, 2001).

3.1.3. Güç sistemlerinde arıza nedenleri

Elektrik güç sistemleri akım yolu üzerinde güç trafoları, iletken ve kablolar, ölçü transformatörleri gibi birçok ekipmanı bulduran kompleks yapılardır. Güç sistemlerinde en temel arıza kaynakları sistem ekipmanları arasındaki bağlantı noktalarıdır. Kısa devre arızalarının meydana geldiği yere göre arıza nedenleri aşağıda belirtilmiştir.

3.1.3.a. Enerji nakil hatlarında meydana gelen arızalar

Güç sistemlerinde en sık arızaların gerçekleştiği yerler enerji nakil hatlarıdır. Enerji transferi yapılırken gerek zorlu iklim şartları gerekse çıplak iletkenlerin dış dünya ile teması arıza oluşma ihtimalini arttırmaktadır. Enerji nakil hatlarında en sık meydana gelen arızalar ve oluşma nedenleri şunlardır:

- İletkenlerin birbirine teması ile faz-faz kısa devresi
- İletkenlerin birinin veya birkaçının toprakla teması ile faz-toprak kısa devresi
- Faz iletkenlerinden birinin veya birkaçının kopması
- Açık iletkenlerde kuşların çarpılmasıyla gerçekleşen kısa devreler
- Yıldırım düşmesi sonucu iletkenlerde oluşan yüksek gerilimler

3.1.3.b. Trafolarında meydana gelen arızalar

Güç sistemlerinde sıklıkla karşılaşılan arıza bölgelerinin bir diğeri de güç transformatörleridir. Güç transformatörlerinde meydana gelen arızaların başlıca nedenleri şunlardır:

- Sargı uçlarında aşırı yüklenme sonucunda meydana gelen aşırı akımlar
- Transformatör sargılarının izolasyonunun zarar görmesi
- Trafo tankının delinmesi sonucu izolasyon yağının zarar görmesi
- Transformatör ark boynuzlarının dinamik zorlama nedeniyle zarar görmesi

3.1.3.c. Generatör ve motorlarda meydana gelen arızalar

Elektrik motorları enerjisinin form değiştirdiği, işe dönüştüğü; generatörler ise mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüştüğü yerlerdir. Motor ve generatör arızaları tüm bileşik sistemlerin performansını etkileyen en önemli parametrelerin başında gelmektedir. Arızanın başlangıç anında tespit edilip önlem alınması büyük önem arz etmektedir (Çıra, 2017).

Türlerine göre özel arıza sebepleri farklı olsa da elektriğin form değiştirdiği ve çok ciddi bir enerji dönüşümü olan bu ekipmanlarda en temel arıza kaynakları şunlardır:

- Sargı arızaları
- Yalıtım sorunları
- Gerilim dengesizliği

- Dielektrik yaşlanma
- Elektriksel gerilmeler
- Isısal gerilmeler

3.1.4. Koruma türleri

Elektrik güç sistemlerinde arıza oluşma nedenlerinin en başında aşırı akımlar ve aşırı gerilimler gelmektedir. Güç sistemlerinde aşırı akım temelde iki ana kategoride meydana gelmektedir. Bunlar nominal yük aşırı akımları ve arıza akımlarıdır. Nominal yük akımları tüketici yüklerin aşırı yüklenmesi sonucu nominal değerlerinin üzerindeki değerlere çıkması sonucu meydana gelir. Arıza akımları ise faz-faz ve faz toprak kısa devreleri sonucu meydana gelen aşırı akımlardır. Güç sistemlerinde aşırı akımlara karşı çeşitli koruma sistemleri bulunmakta olup bu çalışmada orta gerilim seviyesinde meydana gelen aşırı akımlara karşı koruma sistemleri incelenecektir.

3.1.4.a. Faz-faz aşırı akım koruması

Faz-faz arızası genellikle güç sistemlerinde çıplak iletkenli havai şebekelerde meydana gelen bir kısa devre arıza şeklidir. Üç fazlı güç sisteminde en az iki faz iletkeninin teması sonucu meydana gelen bir kısa devre şeklidir. Faz-faz aşırı akım koruması sistemde meydana gelen bu tür kısa devrelerde koruma görevi görmektedir. Faz- toprak korumasına göre akım sınır değerleri daha yüksektir.

3.1.4.b. Faz-toprak aşırı akım koruması

Faz-toprak arızası genellikle yeraltı kablolarında ve çıplak iletkenlerle topraklama tesisi arasında en sık görülen arıza şeklidir. Faz toprak arızalarında kısa devre başlangıç akımı çok yüksek değerlere ulaştığından ve diğer türdeki kısa devre başlangıç akımlarına göre daha büyük değerde olduğu için bu koruma türünde akım zaman parametreleri daha düşük değerlerde ayarlanır.

3.1.4.c. Mesafe koruması

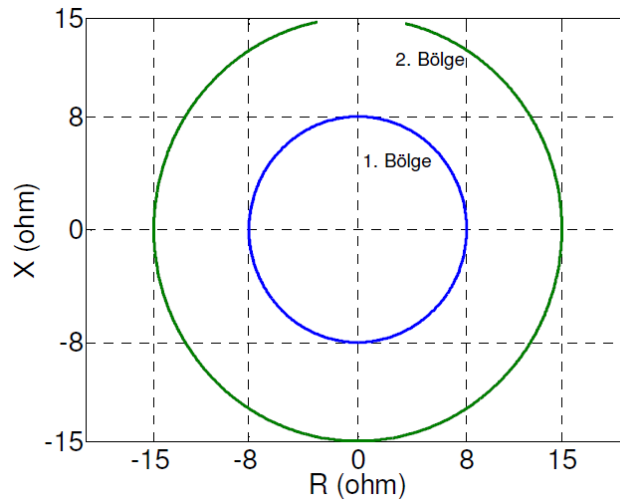
Güç sistemlerinde kullanımı yaygınlaşan mesafe koruma; belirli bir mesafede faz kısa devrelerinin sebep olduğu sistem değişikliklerinden etkilenmeden koruma sağlama prensibine dayanmaktadır. Faz tipi mesafe rölelerinin en önemli avantajları yük şartlarına bağlı olmaması, belirli bir mesafeyi korumaya alması ve sistem değişikliklerinden etkilenmemesidir. Mesafe koruma röleleri arıza akımlarını normal

işletme akımlarından ayırt ederek çok küçük arızalarda dahi koruma sağlayabilirler. Elektrik şebekelerinde meydana gelen arızaların büyük bir kısmı toprak arızası olmasına karşı faz mesafe koruma daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Rockefeller, 1962).

Güç sistemlerinde korumanın etkili bir şekilde yapılması sistemi koruyan tüm koruma ekipmanlarının doğru bir seçicilikte çalışması ile mümkündür. Koruma sistemlerinde kullanılan rölelerin dijital olması son dönemlerde koruma felsefesi üzerine birçok algoritmaların geliştirilmesine imkân sağlamıştır. Enerji iletim hatlarında kullanımı yaygınlaşan mesafe koruma röleleri sayesinde güç sistemlerinde akım değişikliklerinin analizi yapılarak arıza denetimleri yapılmaktadır. Bu denetimler yapılırken güç salınımlarının arıza akımı gibi algılanmaması ve sistemin gereksiz yere enerjisiz kalmasının önüne geçilmelidir.

Enerji iletiminde yaygın olarak kullanılan mesafe koruma röleleri tanımlanan koruma bölgesinde empedans değeri üzerinden bir hesaplama yaparak koruma sağlar. Güç sisteminin akım gerilim bilgileri yardımıyla empedans değerini hesaplayarak ayarlanan gecikme parametrelerine göre bir koruma gerçekleştirir. Empedans değerinin yaklaşık %80-85'i oranında bir koruma bölgesi tanımlanarak koruma süresince hesaplanan empedansların ayar empedansının üzerinde olacağı bir koruma sağlanır (Tekdemir ve Alboyacı, 2014).

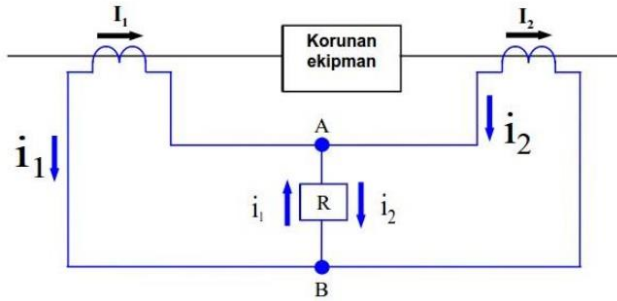
Mesafe koruma rölelerinin koruma yaklaşımları ile hesapladıkları empedans değerleri Şekil 3.2' deki empedans dairelerine göre belirlenir.



Şekil 3.2. Mesafe koruma rölesi için R-X koruma bölgeleri.

3.1.4.ç. Diferansiyel koruma

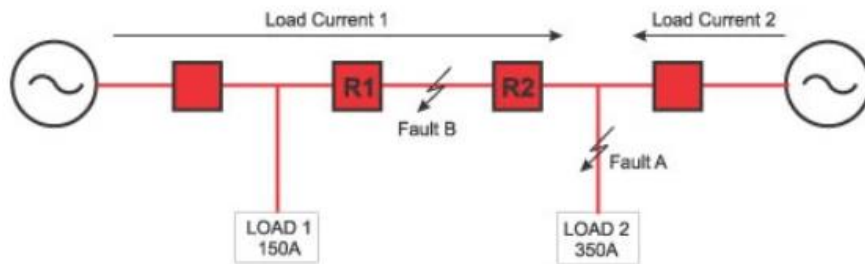
Güç sistemlerinde korunacak ekipmanların giriş ve çıkış akım farkının kontrol edilme prensibine dayanmaktadır. Korunan aygıtın primer ve sekonderinde bulunan akım trafolarından alınan akım bilgilerinin karşılaştırılması sonucu akım farkının belli bir orandan fazla olması durumunda diferansiyel koruma devreye girerek koruma aygıtını devre dışı bırakır. Diferansiyel röleler vasıtasıyla gerçekleştirilen bu koruma prensibinde fark akımları I_1 ve I_2 Şekil 3.3'te belirtildiği üzere karşılaştırılarak hata sınırlarının aşılması durumunda koruma ekipmanı devre dışı bırakılmaktadır.



Şekil 3.3. Diferansiyel röle çalışma prensibi şeması

3.1.4.d. Yönlü koruma

Yönlü şebeke koruma prensibi aşırı akım koruma prensibine göre arızalı kısmın daha iyi bir şekilde ayrılmasını sağlar. Bu koruma prensibinde akım yönü hesaplamaları yapılarak hata yeri tespitinin yapılması arıza bölgesinin devre dışı bırakılmasında daha etkilidir. Özellikle halka tipi (ring) şebekelerde yönlü koruma prensibi kullanılmakta olup çift yönlü beslemelerde arıza bölgesine en yakın geliş ve gidiş yönünde bulunan röleler açılarak sistemi devre dışı bırakır (Bertrand, 1998).



Fault A – R2 pozitif yön, Fault B – R2 negatif yön koruma ayarlarında çalışır.

Şekil 3.4. Yönlü koruma örnek prensip şeması

3.1.5. Koruma parametreleri

Koruma sistemlerinin en önemli parametrelerinden biri akım katı diğeri ise zamandır. Sistemde kullanılan tüm ekipmanların bir kısa devre dayanım gücü vardır. Yani donanımlar sistemde meydana gelebilecek bir kısa devreye belirli sürede dayanabilecek şekilde imal edilirler. Bu nedenle koruma yapılırken mümkün mertebe bu sürelerin aşılması gerekmektedir. Aksi takdirde teçhizatlarda çok ciddi ve kalıcı zararlar meydana gelebilir.

Koruma sistemleri tasarlanırken aşırı akım rölelerinin açma sinyalini göndermesi belirli kriterlere bağlıdır. Aşırı akım rölelerinin açma süreleri hesaplanırken özellikle koruma koordinasyonu yapıldığında teçhizatın kontak gecikme süreleri mutlaka hesaba katılmalıdır. Zira akım yolu üzerinde bulunan rölelerde bu süreler hesaba katılmadığında seçicilik tam anlamıyla sağlanamayacaktır.

3.1.6. Koruma koordinasyonu ve seçicilik

Güç sistemlerinde üretimden tüketime akım yolu üzerinde bulunan bütün koruma elemanlarının doğru zamanda ve doğru değerlerde sistemi izole etmesi gerekmektedir. Kısa devrenin meydana geldiği bölgenin olabildiğince dar bir çemberde izole edilmesi çok önemlidir. Etkilenen kullanıcı sayısını en az düzeyde tutmak için seçici bir koruma yapılması gerekmektedir (Anonim, 2018).

Güç sistemlerinde aşırı akımlara karşı koruma yapılmasında en önemli unsurlardan biri de arıza yerinin doğru zamanda tespit edilerek izole edilmesinin sağlanmasıdır. Doğru bir korumanın sağlanabilmesi için güç sisteminde akım yolu üzerinde konumlandırılan tüm rölelerin kısa devre anında seçici davranması ve arıza yerine en yakın rölelerin açma yapması gerekmektedir. Güç sisteminde bu mantıkla gerçekleştirilen koruma prensibine seçici koruma denilmektedir. Koruma rölelerinin seçiciliği için yapılan işlemlere de koruma koordinasyonu denilmektedir.

3.2. Elektrik Tesislerinde Kısa Devre

En az bir tanesi aktif olarak gerilim altında bulunan birden çok iletken arasında potansiyel farkı eşitlemek veya sıfırlamak için çok düşük bir direnç üzerinden maksatlı ya da maksatsız olarak meydana gelen temaslara kısa devre denir. Genellikle gerilim altında bulunan iletken bölümlerin diğeri yüzeylere temas etmemesi için yapılan

izolasyonların bazı sebeplerden dolayı zarar görmesi, ya da dış etkenlerden dolayı şebeke ekipmanlarının diğer iletken bölümlere temas etmesi sonucu meydana gelmektedir.

3.2.1. Kısa devrenin önemi

Elektrik tesislerinde kullanılan ekipmanlar normal işletme koşullarında çok fazla termik veya dinamik zorlamalara maruz kalmazlar. Tesislerde kullanılan ekipmanlar sistemin ihtiyacını karşılamak için maksimum güç transferi sağlayacak şekilde dizayn edilirler. Şebeke normal işletme koşullarında nominal elektriksel değerlerdeki güç akışına süresiz dayanabilmektedir. Lakin sadece nominal gücün maksimum değerine dayanması tesis için yeterli değildir. Kısa devre durumunda normal işletme koşullarından çok daha fazla bir güç akışı meydana gelmektedir. Dolayısı ile sistemde kullanılan tüm ekipmanların meydana gelen kısa devrelere maruz kaldığı süreler çok kısa dahi olsa bu süreler içerisinde gerçekleşen kısa devre güçlerine dayanabilmesi gerekmektedir. Bu sebeple kısa devre akımlarının hesaplanması sistemde kullanılacak ekipmanların dayanımlarını belirlemede hayati bir öneme sahiptir.

3.2.2. Kısa devreye sebep olan etkenler

Kısa devre; güç sistemlerinde iç veya dış nedenlerden dolayı meydana gelebilen bir arıza halidir. Her iki durumda da iletken bölümler arasında dolaylı ya da dolaysız bir temastan meydana gelmektedir.

Kısa devre oluşumundaki başlıca iç nedenler şunlardır;

- İzolasyon hataları
- Kesici ve ayırıcılardaki kontak arızaları
- Malzemenin ekonomik ömrünü tamamlaması
- Trafo ve generatörlerdeki sargı hataları
- Aşırı gerilimlerde meydana gelen atlamalar
- Malzemelerdeki üretim hataları

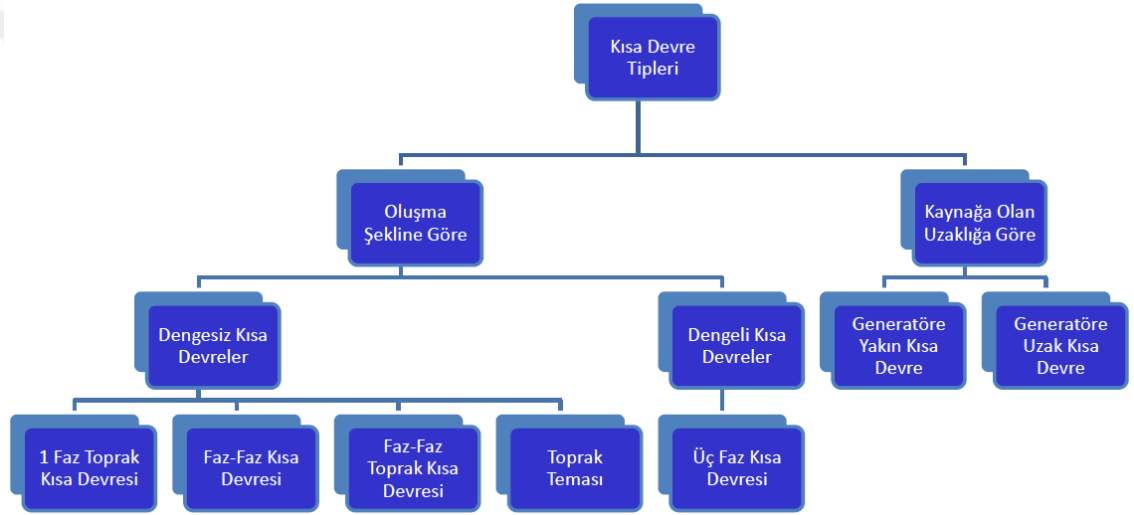
Kısa devre oluşumundaki başlıca dış nedenler şunlardır;

- Enerji nakil hatlarında meydana gelen salınımlar
- İzolatör delinmeleri

- Kuş çarpmaları
- Ekipmanlarda meydana gelen kirlilik
- Hatalı manevralar
- Kazı makinalarının kablo izolasyonlarına zarar vermesi

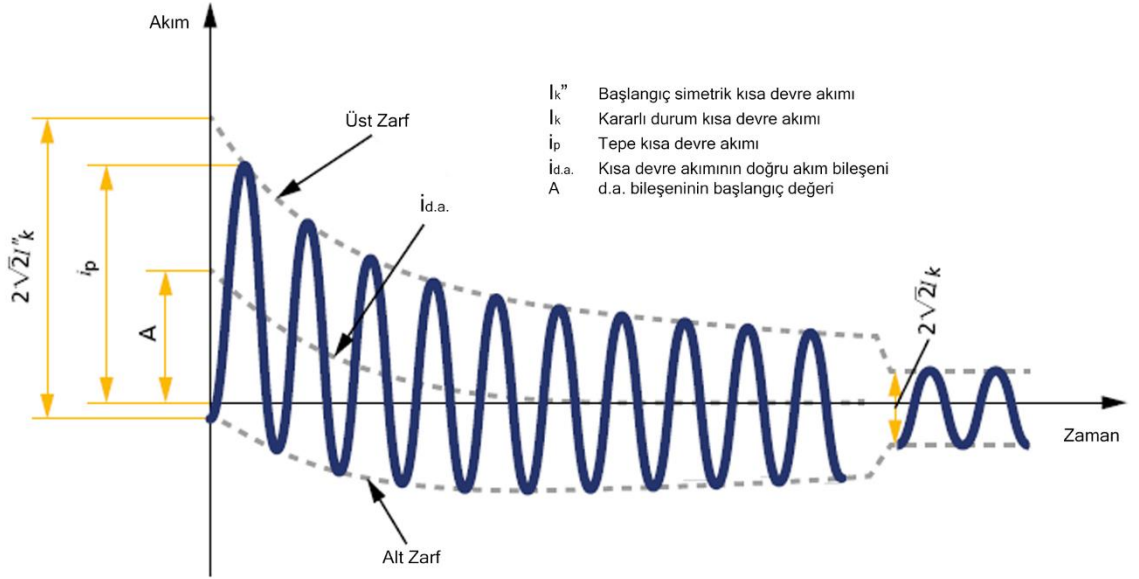
3.2.3. Kısa devrelerin sınıflandırılması

Güç sistemlerinde meydana gelen kısa devreler oluşma şekline göre ve kaynağa olan uzaklığına göre iki grupta sınıflandırılabilirler. Kısa devre türleri aşağıdaki şekilde görülmektedir.



Şekil 3.5. Sınıflara göre kısa devre türleri

3.2.3.a. Generatöre yakın kısa devre akımı



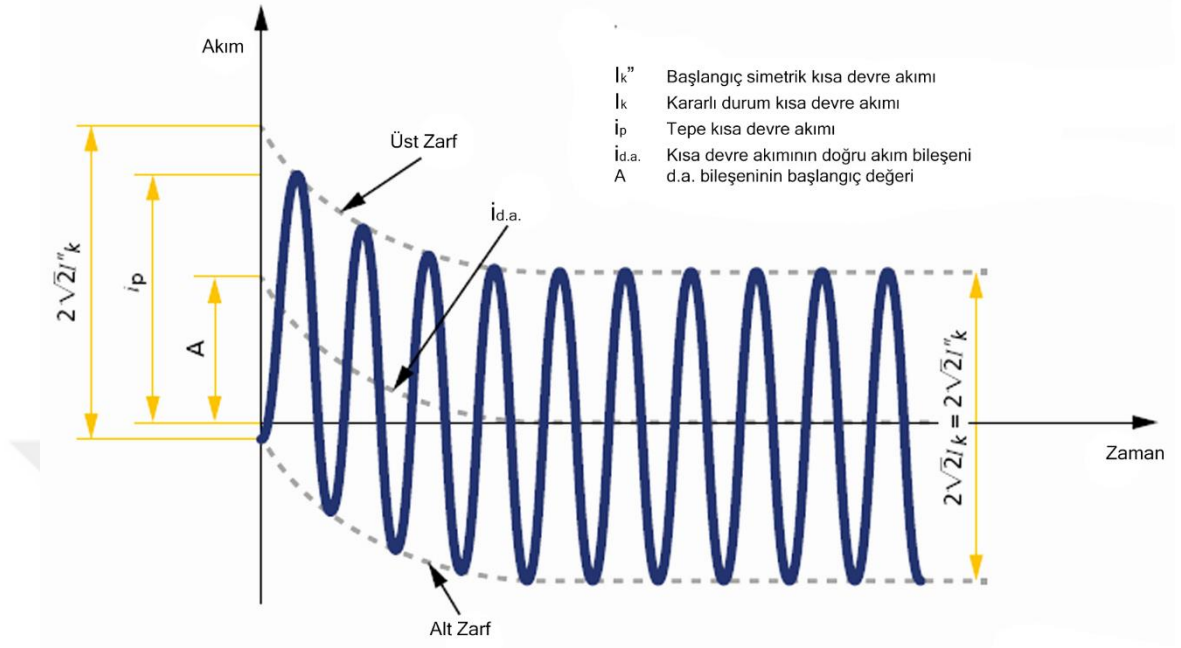
Şekil 3.6. Azalan a.a. bileşenli jeneratöre yakın bir kısa devrenin kısa devre akımı

Generatöre yakın kısa devrelerde Geçici Darbe Reaktansı (X_d''), Geçici Durum Reaktansı (X_d'), Sürekli Durum Reaktansı (X_d) arasında aşağıda belirtildiği gibi bir farklılığın olması durumunda kısa devre akımı Şekil 3.6'deki gibi bir formda olacaktır.

$$X_d'' < X_d' < X_d \quad (3.1)$$

Bu durumda başlangıç simetrik kısa devre akımı (I_k''), sürekli kısa devre akımı (I_k) ve kısa devre kesme akımı (I_b) birbirinden farklı olacaktır.

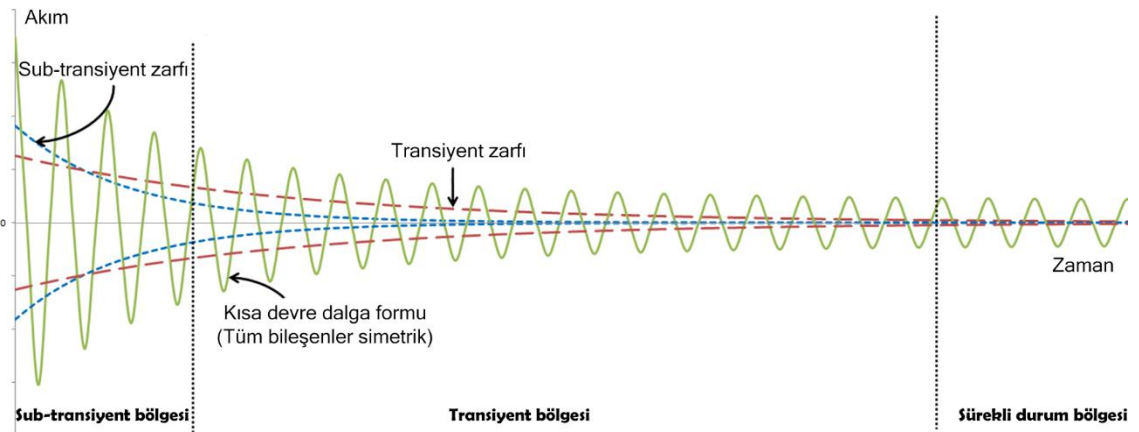
3.2.3.b. Generatöre uzak kısa devre akımı



Şekil 3.7. Sabit a.a. bileşenli jeneratörden uzak bir kısa devrenin kısa devre akımı

3.2.4. Kısa devre akımının bileşenleri

Kısa devre olayında meydana gelen akımın kaynağa olan uzaklığına göre formu yukarıda görülmektedir. Kısa devre akımlarının başlangıç değerinden itibaren sönümlendiği ve dengelendiği süre zarflarında akım formu üç bölgede incelenmektedir. Bu akım formunu oluşturan kısa devre akımları aşağıda görülmektedir.



Şekil 3.8. Simetrik kısa devre akımı geçiş bölümleri

3.2.4.a. Subtransiyent kısa devre akımı (I_k'')

Kısa devre akımının başlangıç değeri olan bu değer kısa devre sinyalinin ilk periyodu olan maksimum genlik değeridir. Kısa devre türüne göre bu değer değişmekte olup diğer bileşenlerin hesaplanmasında belirleyici bir role sahiptir. Z_0 'ın $Z_1=Z_2$ 'den büyük olduğu durumda en büyük başlangıç kısa devre akımı üç faz kısa devresinde meydana gelirken Z_0 'ın Z_1 'den küçük olduğu durumda ise en büyük başlangıç kısa devre akımı faz toprak kısa devresinde meydana gelmektedir.

3.2.4.b. Transiyent kısa devre akımı (I_k')

Kısa devre akımının sönümlenme akımı olup başlangıç kısa devre akımı ile sürekli kısa devre akımı arasında meydana gelen akımdır.

3.2.4.c. Sürekli kısa devre akımı (I_k)

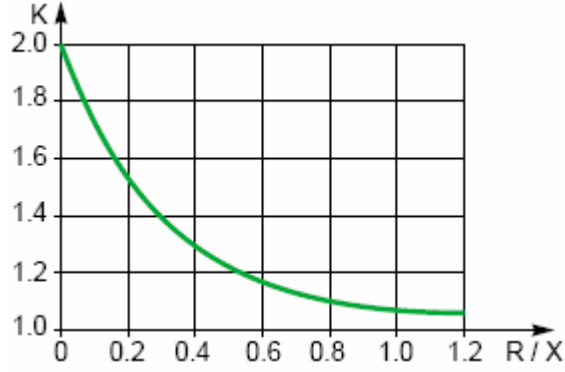
Kısa devre olayında geçici etkilerin kalktığı kararlı durum kısa devre akımıdır. Sönümlenmeyen bu kısa devre akımı teçhizat üzerinde sürekli etkisi bulunan bir efektif değer olduğundan hesaplamalarda önemli bir yeri vardır.

3.2.4.ç. Darbe kısa devre akımı (I_p)

Kısa devre akımının birinci periyodunda meydana gelen en büyük tepe değeridir. Gerilim sıfır olduğu anda kısa devrenin başladığı varsayıldığında 10 ms sonra sinüs dalgası ilk maksimum tepe değerine erişeceğinden darbe kısa devre akımı kısa devre meydana geldikten 10 ms sonraki değerdir. Bu değer efektif değer olmayıp akım dalgasının anlık tepe değeridir.

Sistemde normal koşullarda akım gerilim arasında 90° faz farkı bulunmaktadır. Şebekede X ve R arasında oransan bir fark olduğunda akım gerilim arasındaki faz farkı ileri ya da geri yönde değişiklik gösterebilmektedir. Bu durum da I_p 10 ms değil de akımın ileri ya da geri olmasına göre daha kısa ya da daha uzun sürede meydana gelebilmektedir. Darbe kısa devre akımının (I_p) sistemin X/R oranına bağlı olarak değişen K katsayısına göre değişimi aşağıda görülmektedir.

$$K = \frac{I_p}{\sqrt{2}I_k''} , \quad K = 1,2 + 0,98e^{-3R/X} \quad (3.2)$$



Şekil 3.9. R/X oranına bağlı olarak K'nın değişimi (Doğruer, 2007)

Generatörden uzak bir noktada meydana gelen kısa devre akımlarında K faktörü Şekil 3.9'daki gibi R/X oranına bağlı olarak değişim göstermektedir.

3.2.4.d. Kısa devre açma akımı (I_b)

Kısa devre akımının kesilmesi esnasındaki akımın efektif değeridir. Güç sistemi kuruma elemanlarının devre açma kapasitesinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Kısa devre akımının simetrik kısa devre açma akımı aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$I_b = (I_k'' - I_k')e^{-t/T_d''} + (I_k'' - I_k')e^{-t/T_d'} + I_k \quad (3.3)$$

I_k'' : Subtransiyet kısa devre akımı

I_k' : Transiyet kısa devre akımı

T_d'' : Subtransiyet zaman sabiti

T_d' : Transiyet zaman sabiti

3.2.5. Eşdeğer gerilim kaynağı ile kısa devre hesabı

Kısa devrenin meydana geldiği yerde eşdeğer bir gerilim kaynağı konularak yapılan bir hesaplama yöntemidir. Şebekede eşdeğer gerilim kaynağı dışında başka hiçbir aktif kaynak yoktur. Arıza noktasına bırakılan bu kaynak ile sistemde meydana gelen kısa devre akımı hesaplanır.

Bu yöntemle yapılan kısa devre hesabında sistemde bulunan transformatör, hat ve generatörler empedans değerleri ile gösterilen eşdeğer devre modelinde arıza noktasında bir gerilim kaynağı olduğu kabul edilir. Eş değer devrede diğer bütün gerilim kaynakları kısa devre edilerek hesaplama yapılır. Eşdeğer gerilim kaynağının

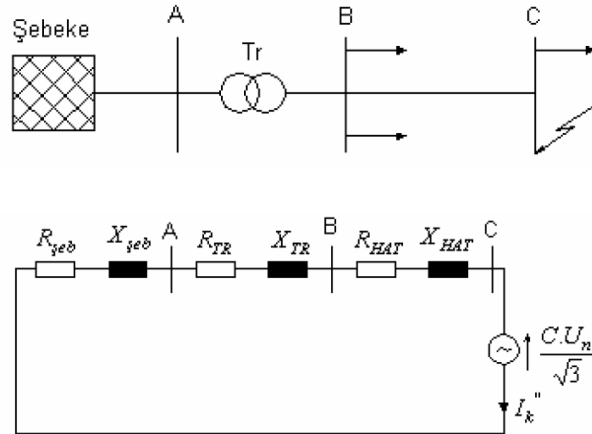
değeri aşağıdaki formülle hesaplanır. Formülde U_n sistemin faz-faz nominal gerilimini, C değeri ise kısa devre gerilim faktörünü belirtmektedir.

$$V_f = \frac{C \cdot U_n}{\sqrt{3}} \quad (3.4)$$

Çizelge 3.1. Nominal gerilime göre c düzeltme katsayıları

Nominal Gerilim	Kısa Devre Hesabına Göre C Katsayısı	
	Maksimum kısa devre akımı C_{max}	Minimum kısa devre akımı C_{min}
Alçak Gerilim 100 V - 1000 V	1,05	0,95
Orta Gerilim 1 kV - 35 kV	1,10	1,00
Yüksek Gerilim > 35 kV	1,10	1,00

Aşağıdaki şekilde şebeke tek hat şeması verilen güç sistemine ait eşdeğer devrede kısa devre noktasına eşdeğer gerilim kaynağı bırakılarak hesaplama modeli oluşturulmuştur.



Şekil 3.10. Şebeke tek hat modeline göre eşdeğer devre ve eşdeğer gerilim kaynağı

3.2.6. Simetrik bileşenler yöntemi ile kısa devre hesabı

Güç sistemlerinin kompleks yapılar olması münasebetiyle hesaplamalarda her ne kadar simetrik kısa devrelerin olduğundan bahsedilse de aslında dengesiz yüklenmelerden dolayı şebekede meydana gelen kısa devreler de asimettir. Genel itibari ile dengesiz yüklenmelere rağmen üç faz kısa devresi ve üç faz toprak kısa devresinin simetrik olması daha muhtemeldir. Bu kısa devre arızalarında sistem eşdeğer devre modeline indirgenerek kısa devre hesaplamaları yapılabilir. Lakin diğer kısa devre arızalarında şebekede asimettik bir kısa devre akımı meydana geleceğinden eşdeğer devre modeli ile hesaplamalar mümkün olmayacaktır. Eşdeğer devrede bir faza göre hesaplamalar yapılarak diğer fazlarda da aynı durumun olduğu kabul edilmektedir.

Asimettik kısa devrenin analizinin yapılabilmesi için başka bir hesap yaklaşımına ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla geliştirilen simetrik bileşenler metodu sistemin bozulan simetrisinin aslında simetrik vektörlerin birer toplamı olarak ele alındığı bir yaklaşımdır. Yani asimettik dalga formu aslında simetrik birden çok dalga formunun vektörel toplamıdır. 1918 yılında geliştirilen bu yaklaşım çok fazlı sistemlerde basite indirgenerek kısa devrelerin hesaplanmasına olanak sağlamaktadır (Arifoğlu, 2002).

Asimettik vektörü oluşturan vektörler kendi arasında simetrik olan pozitif, negatif ve sıfır bileşen vektörlerinden oluşmakta olup aşağıdaki özellikleri taşımaktadırlar;

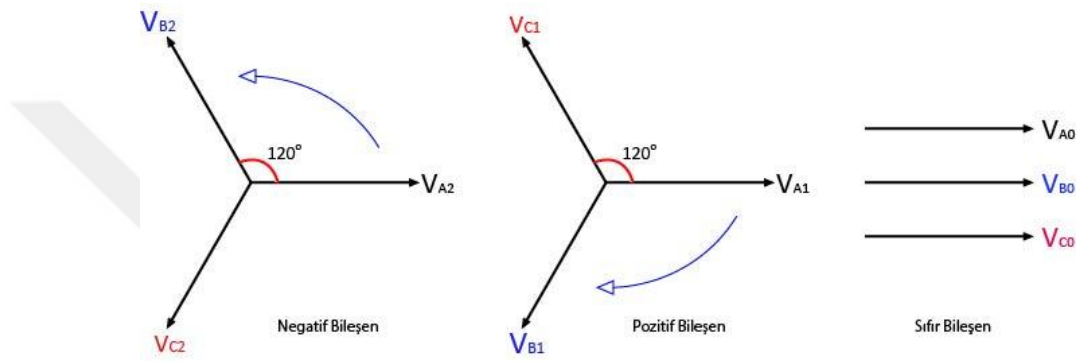
- Pozitif Bileşen : Üç adet eşit genlikteki ve aralarında 120° faz farkı bulunan vektörlerden oluşmaktadır. Faz sırası gerilim vektörleri ile aynı yöndedir.
- Negatif Bileşen : Üç adet eşit genlikteki ve aralarında 120° faz farkı bulunan vektörlerden oluşmaktadır. Faz sırası gerilim vektörleri ile zıt yöndedir.
- Sıfır Bileşen : Üç adet eşit genlikteki ve aralarında 0° faz farkı bulunan vektörlerden oluşmaktadır.

Simetrik bileşenler yaklaşımı ile bir güç sistemindeki V_A , V_B , V_C olan faz gerilimlerini bileşenlerinin toplamı şeklinde yazabiliriz. Pozitif, negatif ve sıfır bileşenleri için bundan sonra sırasıyla 1,2,0 indisleri kullanılacaktır.

$$V_A = V_{A0} + V_{A1} + V_{A2} \quad (3.5)$$

$$V_B = V_{B0} + V_{B1} + V_{B2} \quad (3.6)$$

$$V_C = V_{C0} + V_{C1} + V_{C2} \quad (3.7)$$



Şekil 3.11. Gerilim vektörüne ait simetrik bileşenler

Üç fazlı sistemlerde faz gerilimlerinin fazör vektörleri arasında 120° 'lik bir faz farkı olduğu bilinmektedir. Simetrik bileşenler tanımlanırken faz vektörlerin eşit genlikli ve aralarında 120 derece faz farkı olan bu vektör bileşimlerinden meydana geldiği görülmüştür. Faz gerilimlerinin fazör diyagramındaki vektörel gösterimleri yukardaki şekilde gösterilmiştir. Pozitif ve negatif bileşenlerde görüldüğü üzere vektörlere ait genliklerin eşit büyüklükte olup fazlar arasında 120° faz farkı olduğu görülmektedir. Örneğin V_{C1} vektörünün saat yönünde 120° döndürülmüş hali V_{A1} vektörüdür. Vektörel gösterimde bunu görmek mümkün olmasına karşın matematiksel ifadede bu eşitliği normal koşullarda görmek mümkün değildir. Aradaki faz farkını matematiksel olarak ifade etmek için bir operatöre ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için geliştirilen a operatörü;

$$a = 1 \angle 120^\circ \quad (3.8)$$

$$a^2 = 1 \angle 240^\circ \quad (3.9)$$

(3.8)'deki gibi vektörel bir katsayı olup çarpıldığı vektörü belirtilen açıda döndürme işlemi yapan faz kaydırıcı bir operatördür. Bu sayede vektör bileşimlerini diğer fazlara ait vektörler cinsinden yazma imkânı bulunabilir.

$$V_A = V_{A0} + V_{A1} + V_{A2} \quad (3.10)$$

$$V_B = V_{A0} + a^2V_{A1} + aV_{A2} \quad (3.11)$$

$$V_C = V_{A0} + aV_{A1} + a^2V_{A2} \quad (3.12)$$

Yukarıdaki denklemlerden denklem (3.13)'teki gerilim matrisi yazılır;

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_{A0} \\ V_{A1} \\ V_{A2} \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \text{ ise } A^{-1} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

Denklem (3.13) denkleminden operatör matrisi yerine A yazılır;

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} = A \cdot \begin{bmatrix} V_{A0} \\ V_{A1} \\ V_{A2} \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

$$\begin{bmatrix} V_{A0} \\ V_{A1} \\ V_{A2} \end{bmatrix} = A^{-1} \cdot \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

$$\begin{bmatrix} V_{A0} \\ V_{A1} \\ V_{A2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

Gerilim vektörüne ait bileşenler (3.17) denklemindeki gibi çözülür. Aynı şekilde akım vektörüne ait bileşen akımları aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} I_{A0} \\ I_{A1} \\ I_{A2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

3.2.7. Per-Unit sistem

Güç sistemlerinde gerçek değerler kullanılarak yapılan hesaplamalarda özellikle gerilim seviyesi değiştiğinden transformatörlerin primer ve sekonder tarafı için ayrı ayrı hesaplanmasını gerektirdiğinden oldukça zordur. Bunun yerine elektriksel bir referans değeri belirlenerek sistemdeki tüm gerçek değerler yerine referans değerlere göre oranlarının kullanılması hesaplamalarda oldukça kolaylık sağlamaktadır.

Per-Unit hesaplamada öncelikle sisteme hesaplamalarda kullanılacak baz güç ve baz gerilim değerleri belirlenir. Örneğin 50 MVA gücünde ve primer girişi 154 kV bir güç transformatörü için baz değerler genellikle 100 MVA ve 154 kV seçilir. Per-Unit hesaplamalarda genellikle baz güç 100 MVA, baz gerilim ise sistemin en büyük nominal işletme gerilimi seçilir. Baz akımı ve baz empedansları bu değerlerden hesaplanarak bulunur.

Per-Unit hesaplamaların en büyük avantajları;

- Elektriksel büyüklüklerin analizinde ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlar.
- Transformatörlere ait per-unit hesaplamalarda primer ve sekonderdeki eşdeğer empedanslar aynı değerdedir. Gerçek empedanslar baz değerlerle çarpılarak bulunur ve birbirinden farklıdır.
- Üretici firmalar tarafından ekipmanlara ait etiket değerlerinde genellikle per-unit değerler belirtildiğinden hesaplamalar için ihtiyaç duyulan değerler için ayrıca bir dönüşüme ihtiyaç yoktur.
- Aynı tür ekipmanlara ait per-unit değerler arasında az bir fark olduğundan ekipmanlara ait standart per-unit değerler kullanılarak hesaplamalar yapılabilir.
- Transformatör gerilim dönüşümlerinde gerçek değerlerle yapılan hesaplamalara göre hata yapma ihtimali çok azdır.
- Elektriksel büyüklükler için ayrı birim kullanmaya gerek olmadığından hesaplamalarda kolaylık sağlanmış olunur.

Per-unit değerler (3.19)'daki denklem ile hesaplanır. Sistemdeki tüm ekipmanlara ait per-unit değerler bu genel formül kullanılarak hesaplanır. Güç sistemindeki elektriksel hesaplamalar yapıldıktan sonra herhangi bir ekipmanın gerçek elektriksel değeri bulunmak istenirse baz değer ile çarpılarak gerçek değeri hesaplanır.

$$Per - Unit Değer = \frac{Gerçek Değer}{Baz Değer} \quad (3.19)$$

Güç sistemlerinde bulunan ekipmanlara ait empedans değerleri çoğunlukla ekipmanın kendi nominal değeri bazında ifade edilmektedir. Per-unit hesaplamasının yapılabilmesi için güç sisteminde bulunan bütün ekipmanlar empedans değerinin aynı bazda olması gerekir. Dolayısıyla tüm ekipmanlara ait empedanslar ortak bir baza dönüştürülmelidir.

3.2.7.a. Bir fazlı şebekede per-unit hesabı

Per-unit sistemde baz güç ve baz gerilimler belirlendikten sonra diğer elektriksel büyüklükler bu değerler kullanılarak hesaplanmaktadır. Bir fazlı güç sisteminde baz güç $S_{1\phi baz}$, baz gerilim V_{baz} ise;

$$I_{baz} = \frac{S_{1\phi baz}}{V_{baz}} \quad (A) \quad (3.20)$$

$$Z_{baz} = \frac{V_{baz}}{I_{baz}} = \frac{V_{baz}^2}{S_{1\phi baz}} \quad (ohm) \quad (3.21)$$

3.2.7.b. Üç fazlı şebekede per-unit hesabı

Per-unit değerler gerçek değerlerin baz değerlere oranı olduğundan üç fazlı sistemin gücü fazlara ait güçlerin toplamı olsa da baz değerler de üç fazın toplam gücü olacağından sistemin per-unit gücü değişmeyecektir. Yani üç fazlı bir sistemin per-unit gücü $S_{3\phi pu}$, bir fazlı sistemin per-unit gücü $S_{1\phi pu}$ birbirine eşit olacaktır.

$$S_{3\phi pu} = S_{1\phi pu} \quad (3.22)$$

Üç fazlı sistemin baz gücü ve baz gerilimi belirlendikten sonra akım ve empedans değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$I_{baz} = \frac{S_{3\phi baz}}{\sqrt{3} \cdot U_{baz}} \quad (A) \quad (3.23)$$

$$Z_{baz} = \frac{U_{baz}}{I_{baz}} = \frac{U_{baz}^2}{S_{3\phi baz}} \quad (ohm) \quad (3.24)$$

3.2.8. Elektrik donanımının kısa devre empedansları

Elektrik güç sistemlerinde şebeke fiderleri, trafolar, hatlar, yeraltı kabloları ve buna benzer diğer teçhizatın negatif ve pozitif kısa devre empedansı birbirine eşittir ($Z_1 = Z_2$). Kısa devre akımının sıfır bileşeni $Z_0 = U_0/I_0$ üç faz iletkeni ile dönüş iletkeni arasında a.a. gerilimin olduğu varsayılarak belirlenir. Generetör, trafo ve şalt merkezi empedansları kısa devre yerine eşdeğer gerilim kaynağı bırakılarak kısa devre akımı hesabında kullanıldığı durumda empedans düzeltme katsayıları ile çarpılmalıdır (IEC_60909-0, 2001).

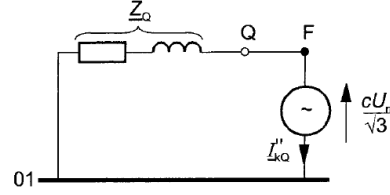
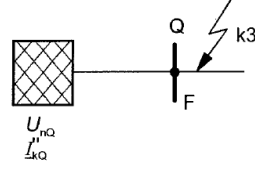
3.2.8.a. Şebeke fideri empedansları

Üç fazlı sistemde fiderlerin empedans değeri hesaplanırken sadece bağlantı sağladığı şebekeye ait başlangıç kısa devre akımının bilinmesi yeterlidir. Başlangıç simetrik kısa devre akımı I''_{kQ} olan Şekil 3.12'deki gibi şebekeden beslenen fiderin empedans değeri aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$Z_Q = \frac{cU_{nQ}}{\sqrt{3} \cdot I''_{kQ}} \quad (3.25)$$

R_Q/X_Q bilindiği durumda X_Q aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$X_Q = \frac{Z_Q}{\sqrt{1 + (R_Q/X_Q)^2}} \quad (3.26)$$



Şekil 3.12. Trafosuz şebeke fiderleri için sistem diyagramı ve eş değer devre

Başlangıç simetrik kısa devre akımı I''_{kQ} olan Şekil 3.13'deki gibi bir transformatör üzerinden şebekeden beslenen fiderin transformatörün sekonder tarafındaki pozitif bileşen eşdeğer kısa devre empedans değeri aşağıdaki gibi hesaplanır;

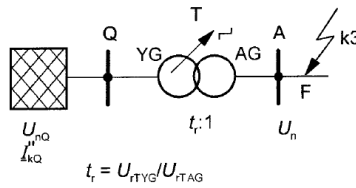
$$Z_Q = \frac{cU_{nQ}}{\sqrt{3} \cdot I''_{kQ}} \cdot \frac{1}{t_r^2} \quad (3.27)$$

U_{nQ} : Fiderin bağlantı noktasındaki nominal gerilim değeri

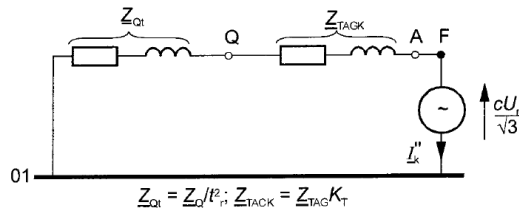
I''_{kQ} : Fiderin bağlantı noktasındaki başlangıç simetrik kısa devre akımı

c : Gerilim faktörü (Çizelge3.1)

U_{nQ} : Yükte kademe değiştiricinin dönüştürme oranı



$$t_r = U_{FTYG}/U_{FTAG}$$



Şekil 3.13. Trafolu şebeke fiderleri için sistem diyagramı ve eş değer devre

3.2.8.b. İki sargılı transformatör empedansları

Yükte kademe değiştiricili olsun ya da olmasın iki sargılı transformatörlere ait pozitif bileşen kısa devre empedansları $Z_T = R_T + jX_T$ aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$Z_T = \frac{u_{kr}}{\%100} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} \quad (3.28)$$

$$R_T = \frac{u_{Rr}}{\%100} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} = \frac{P_{krT}}{3I_{rT}^2} \quad (3.29)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (3.30)$$

U_{rT} : Trafonun primer ve sekonder tarafındaki beyan gerilimi

I_{rT} : Trafonun primer ve sekonder tarafındaki beyan akımı

S_{rT} : Trafonun beyan gücü

P_{rT} : Beyan akımında trafo sargılarındaki toplam kayıp

u_{kr} : Beyan akımında yüzde kısa devre gerilimi

3.2.8.c. Üç sargılı transformatör empedansları

Şekil 14'te sargı bağlantıları ve eşdeğer devresi verilen üç sargılı transformatörünün A, B, C tarafına ait pozitif bileşen kısa devre sargı empedansları sırasıyla Z_A, Z_B, Z_C aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$Z_{AB} = \left(\frac{u_{RrAB}}{\%100} \cdot \frac{u_{XrAB}}{\%100} \right) \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTAB}} \quad (C \text{ AÇIK}) \quad (3.31)$$

$$Z_{AC} = \left(\frac{u_{RrAC}}{\%100} \cdot \frac{u_{XrAC}}{\%100} \right) \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTAC}} \quad (B \text{ AÇIK}) \quad (3.32)$$

$$Z_{BC} = \left(\frac{u_{RrBC}}{\%100} \cdot \frac{u_{XrBC}}{\%100} \right) \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTBC}} \quad (A \text{ AÇIK}) \quad (3.33)$$

$$u_{Xr} = \sqrt{u_{kr}^2 - u_{kr}^2} \quad (3.34)$$

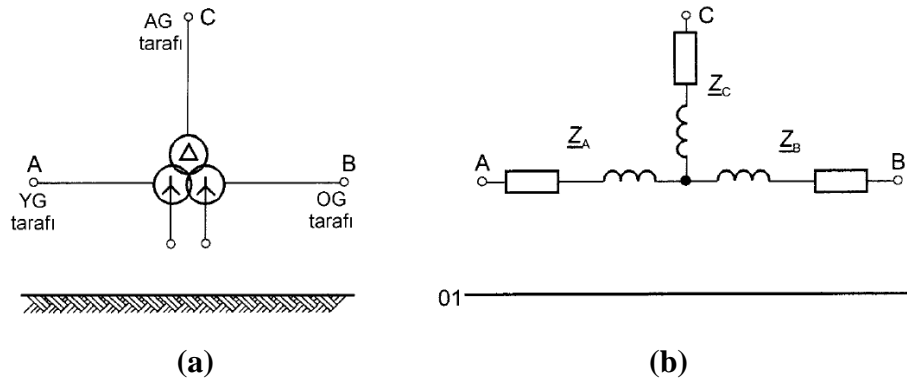
Bileşen akımları;

$$Z_A = \frac{1}{2}(Z_{AB} + Z_{AC} + Z_{BC}) \quad (3.35)$$

$$Z_B = \frac{1}{2}(Z_{AB} + Z_{AC} + Z_{BC}) \quad (3.36)$$

$$Z_C = \frac{1}{2}(Z_{AB} + Z_{AC} + Z_{BC}) \quad (3.37)$$

- U_{rTA} : A tarafındaki beyan gerilimi
 S_{rTAB} : A ve B tarafları arasındaki beyan gücü
 S_{rTAC} : A ve C tarafları arasındaki beyan gücü
 S_{rTBC} : B ve C tarafları arasındaki beyan gücü
 u_{RrAB} : A ve B tarafları arasındaki kısa devre gerilimi rezistif bileşeni
 u_{RrAC} : A ve C tarafları arasındaki kısa devre gerilimi rezistif bileşeni
 u_{RrBC} : B ve C tarafları arasındaki kısa devre gerilimi rezistif bileşeni
 u_{XrAB} : A ve B tarafları arasındaki kısa devre gerilimi reaktif bileşeni
 u_{XrAC} : A ve C tarafları arasındaki kısa devre gerilimi reaktif bileşeni
 u_{XrBC} : B ve C tarafları arasındaki kısa devre gerilimi reaktif bileşeni



Şekil 3.14. Üç sargılı trafo sargı bağlantıları (a) ve eşdeğer devre şeması (b)

3.2.8.ç. İki ve üç sargılı trafo empedans düzelme faktörleri

Yükte kademe değiştiricili olsun ya da olmasın iki sargılı trafo empedans düzeltme faktörü K_T ise düzeltilmiş empedans $Z_{TK} = K_T \cdot Z_T$ olacaktır.

$$K_T = 0,95 \frac{c_{max}}{1 + 0,6x_t} \quad (3.38)$$

x_t : Trafo nispi reaktansı

c_{max} : Çizelge 1'den alınan en büyük gerilim düzeltme katsayısı

Şebeke transformatörlerinin normal işletme koşulları biliniyorsa;

$$K_T = \frac{U_n}{U^b} \frac{c_{max}}{1 + x_t(I_T^2/I_{rT})\sin\varphi_T^b} \quad (3.39)$$

U_n : En büyük normal işletme gerilimi

I_T^b : En büyük normal işletme akımı

φ_T^b : Güç faktörü açısı

Yükte kademe değiştiricili olsun ya da olmasın üç sargılı trafo empedans düzeltme faktörü $K_{TAB}, K_{TAC}, K_{TBC}$ ise düzeltilmiş empedanslar aşağıdaki gibi olacaktır;

$$Z_{ABK} = K_{TAB} \cdot Z_{AB} \quad (3.40)$$

$$Z_{ACK} = K_{TAC} \cdot Z_{AC} \quad (3.41)$$

$$Z_{BCK} = K_{TBC} \cdot Z_{BC} \quad (3.42)$$

Düzelme faktörleri;

$$K_{TAB} = 0,95 \frac{c_{max}}{1 + 0,6x_{tAB}} \quad (3.43)$$

$$K_{TAC} = 0,95 \frac{c_{max}}{1 + 0,6x_{tAC}} \quad (3.44)$$

$$K_{TBC} = 0,95 \frac{c_{max}}{1 + 0,6x_{tBC}} \quad (3.45)$$

3.2.8.d. Hat ve kablo empedansları

Güç sistemlerinde yeraltı kabloları ve açık iletken hatlarına ait pozitif bileşen kısa devre empedansı $Z_L = R_L + jX_L$ iletkenlere ait katalog verilerinden hesaplanabilmektedir. Üretici firma kataloglarında hat ve kablolarına ait empedans değeri kilometre başına birim değer olarak malzeme katalog bilgilerine işlenmektedir. Kısa devre hesaplamalarında kullanılacak iletken uzunluğu ile kataloglardan alınan birim empedans değeri çarpılarak bulunur.

3.2.9. Kısa devre akımlarının hesaplanması

Kısa devre akımlarının hesaplanması generatöre olan uzaklığına göre değişmektedir. Generatöre uzak kısa devrelerde kısa devre akımı aşağıda belirtilen iki bileşenin toplamı olarak değerlendirilecektir (TS-EN_60909-0, 2006).

- Kısa devre süresinde sabit genlikli a.a. bileşeni
- Belli bir değerde başlayarak sıfıra sönmölen periyodik olmayan d.a. bileşeni

3.2.9.a. Üç faz kısa devre I_{k3}''

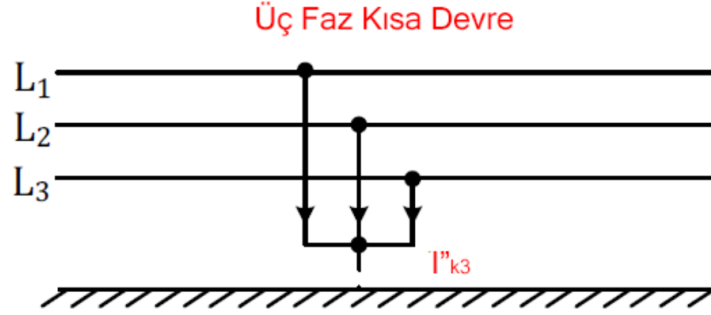
Genel olarak I_k'' kısa devre noktasına eşdeğer gerilim kaynağı bırakılarak hesaplanır. Eşdeğer gerilim kaynağı $cU_n/\sqrt{3}$ ve kısa empedansı $Z_k = R_k + jX_k$ olmak üzere;

$$I_{k3}'' = \frac{cU_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = \frac{cU_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} \quad (3.46)$$

Yukarıdaki denkleme göre hesaplanacak başlangıç kısa devre akımının tek kaynaktan beslenen ve trafolu bir şebekede meydana geldiğini varsayarsak;

$$R_k = R_{QT} + R_{TK} + R_L \quad (3.47)$$

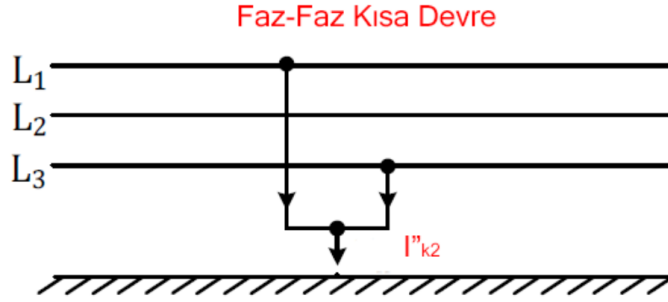
$$X_k = X_{QT} + X_{TK} + X_L \quad (3.48)$$



Şekil 3.15. Üç faz kısa devre

3.2.9.b. Faz-faz kısa devre I''_{k2}

Şekil 3.16’te görülen faz-faz kısa devresinde kısa devre başlangıç akımı I''_{k2} aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.



Şekil 3.16. Faz-faz kısa devre

$$I''_{k2} = \frac{cU_n}{|Z_1 + Z_2|} \quad (3.49)$$

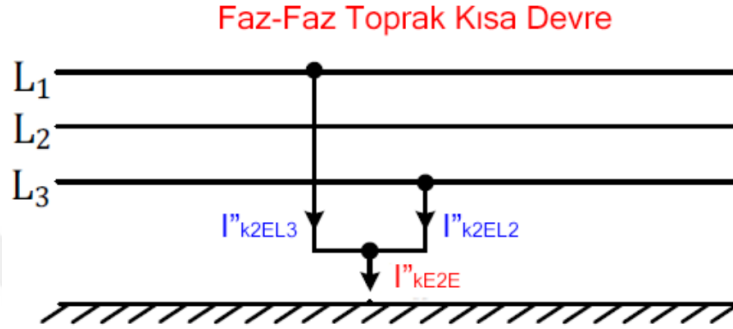
Kısa devrenin meydana geldiği yerden bağımsız olarak generatöre uzak ya da yakın olmasına bağlı olmaksızın kısa devre başlangıcında negatif ve pozitif empedanslar yaklaşık olarak birbirine eşittir. Bu durumda;

$$I''_{k2} = \frac{cU_n}{2|Z_1|} = \frac{\sqrt{2}}{2} I''_k \quad (3.50)$$

Pozitif ve negatif empedans değerleri yalnızca generatöre yakın kısa devrelerde ve kararlı durum ve geçici durumda birbirlerinden farklı olur.

3.2.9.c. Faz-faz toprak kısa devre I_{kE2E}''

Generatörden uzak kısa devrelerde Z_2 'nin yaklaşık olarak Z_1 'e eşit olduğu daha önce söylenmiştir. Z_0 empedansının Z_2 'den daha küçük olduğu durumda faz-faz toprak başlangıç kısa devre akımı I_{kE2E}'' diğer tüm kısa başlangıç kısa devre akımlarından daha büyük olacaktır.



Şekil 3.17. Faz-faz toprak kısa devresi

Faz-faz toprak kısa başlangıç kısa devre akımının hesaplanabilmesi için Şekil 3.17'teki I_{k2EL2}'' , I_{k2EL3}'' ve I_{kE2E}'' akımlarının ayırt edilmesi gerekmektedir.

$$I_{k2EL2}'' = -jcU_n \frac{Z_0 - aZ_2}{Z_1Z_2 + Z_1Z_0 + Z_2Z_0} \quad (3.51)$$

$$I_{k2EL3}'' = jcU_n \frac{Z_0 - a^2Z_2}{Z_1Z_2 + Z_1Z_0 + Z_2Z_0} \quad (3.52)$$

$$I_{kE2E}'' = -\frac{\sqrt{3}cU_nZ_2}{Z_1Z_2 + Z_1Z_0 + Z_2Z_0} \quad (3.53)$$

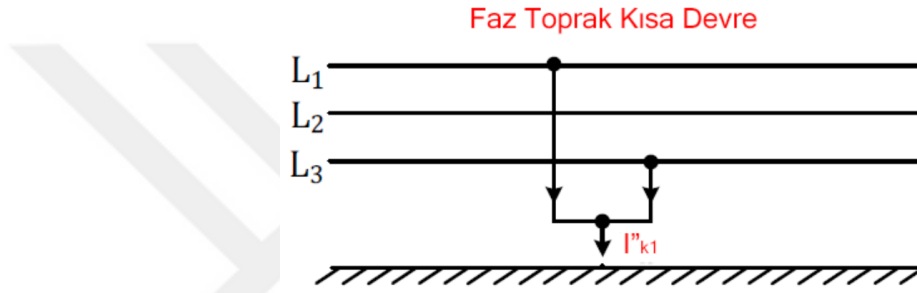
Generatörden uzak kısa devreler için ifadelerin mutlak değeri alınarak yazılırsa faz-faz toprak başlangıç kısa devre akımı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$I_{k2EL2}'' = cU_n \frac{\left| \frac{Z_0}{Z_1} - a \right|}{Z_1 + 2Z_0} \quad (3.54)$$

$$I''_{k2EL3} = cU_n \frac{\left| \frac{Z_0}{Z_1} - a^2 \right|}{Z_1 + 2Z_0} \quad (3.55)$$

$$I''_{kE2E} = -\frac{\sqrt{3}cU_n}{|Z_1 + 2Z_0|} \quad (3.56)$$

3.2.9.ç. Faz toprak kısa devre I''_{k1}



Şekil 3.18. Faz toprak kısa devre

Şekil 3.18'da görüldüğü gibi faz toprak kısa devresinde başlangıç kısa devre akımı I''_{k1} aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$I''_{k1} = -\frac{\sqrt{3}cU_n}{Z_2 + Z_1 + Z_0} \quad (3.57)$$

Generatörden uzak kısa devreler için $Z_2 = Z_1$ olduğundan faz toprak başlangıç kısa devre akımı aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır.

$$I''_{k1} = -\frac{\sqrt{3}cU_n}{|2Z_1 + Z_0|} \quad (3.58)$$

3.3. Orta Gerilim Şebekelerinde Koruma Ekipmanları

Orta gerilim şebekeleri indirici trafoların sekonder terminalleri ile dağıtım transformatörleri arasındaki şebeke bölümünü kapsar. Gerilim seviyesinin yüksek olması güç devresinde operasyon işlemlerinin basitçe yapılmasını mümkün kılmaz. Yer yer devre kesiciler, ölçü transformatörleri ve bunun gibi birçok özel ekipmana ihtiyaç

duyulmaktadır. Gerilim seviyesinin çok yüksek olmasının manevra kabiliyetini kısıtlamasından dolayı sistemde kullanılacak ekipmanların çalışma karakteristiklerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir (Lopez Roldan ve ark., 2014).

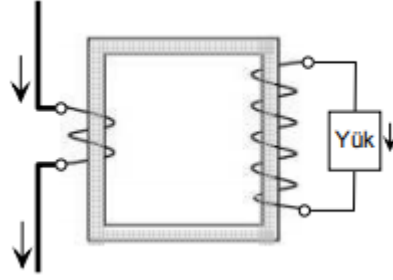
Doğru bir koruma yapılması için korunacak şebeke modelinde bulunan tüm koruma ekipmanlarının uyum içinde çalışması gerekmektedir. Zaman zaman devre kesicilerin tatmin edici bir performans gösterip göstermeyeceği kontrol edilmek istenebilir. Uygun çalışma karakteristiğinde devre kesicilerin faaliyet göstermesi tek başına mümkün değildir. Güç sistemlerinde doğru bir koruma felsefesinin oturtulması için akım, gerilim, frekans gibi elektriksel değerlerin hatasız bir şekilde ölçülüp doğru bir hesaplama tabii tutulması gerekmektedir. Güç sisteminde bulunan her ekipmanın çalışma karakteristikleri, devre şemaları, kumanda devreleri detaylı bir şekilde incelenmelidir.

3.3.1. Ölçü transformatörleri

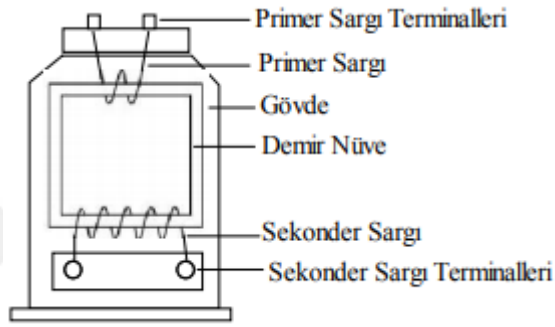
Ölçü transformatörleri yüksek gerilim tesislerinde akım ve gerilim bilgilerini belli bir oranda küçülterek elektronik cihazlarının bilgi okumasına olanak tanıyan özel amaçlı trafolardır. Koruma sistemlerinde ölçü transformatörlerinin en önemli yeri koruma rölelerini primer gerilimden izole ederek akım gerilim bilgisinin ölçülmesine imkân tanınmasıdır. Ölçü transformatörleri sayesinde farklı primer gerilim değerlere karşın standart sekonder değerler elde edilir. Ölçü transformatörleri sayesinde sistemde ölçme ve koruma yapan cihazların standart akım gerilim değerlerinde çalışması ve boyutlarının küçük olması sağlanmış olur (TS 620 EN 60044, 2004).

3.3.1.a. Akım transformatörleri

Akım transformatörleri primer akımını belirli bir oranda küçülterek sekonder çıkışına vermektedir. Primer ve sekonder uçları arasında faz farkının yaklaşık olarak sıfır olduğu bu transformatörler güç sistemlerinde akım bilgisini koruma ve ölçü cihazlarının kullanabileceği değerlere getirmektedir. Akım trafoları devreye seri bağlanarak primer sargılarında bir akım geçmesi sonucu ferromanyetik nüvede bir akı meydana gelir. Bu manyetik akı sekonder sargılarında bir gerilim indüklenmesini sağlar. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus sekonder uçlarına bir yük bağlanmaması yani açık devre olması durumunda ters yönde oluşan manyetik akı nüvede çok yüksek sıcaklıklar oluşturacak ve röle arızalanacaktır (Büyükdora, 2002).



Şekil 3.19. Akım trafosu temel bağlantı şeması



Şekil 3.20. Akım transformatörü genel yapı şekli ve bölümleri

Akım trafolarının yapısı genellikle Şekil 3.20’de görülene benzer olup bu bölümler akım trafolarının temel özelliklerini belirlemektedir.

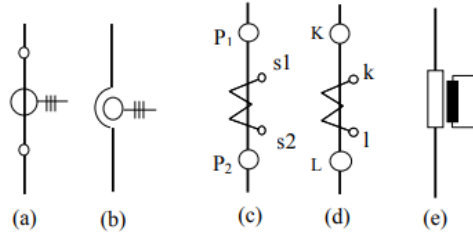
Primer sargı: Akım transformatörünün primer geriliminin irtibatlandığı ve demir nüve üzerinde birkaç sarımdan oluşan uygun kesitli bölümdür.

Sekonder sargı: Demir nüvenin primere göre tersi yönde sarılmış sargı bölümü olup, sarım sayısı primere göre çok fazla ve ince kesittedir.

Sargı terminalleri: Akım transformatörünün ana devre ve sekonder devre ile sargıların bağlantısının yapılmasını sağlar.

Gövde: Sargı yalıtımının sağlandığı dış bölümlerinin tamamını kapsar. İçi izolasyon yağı ile doldurulmuş metal gövdeli ya da hem koruma hem de izolasyonun epoksi-reçine gibi katı izolasyonla yapıldı kuru tip olarak imal edilirler.

Demir nüve: Sargılardan geçen akım nedeniyle manyetik akının oluştuğu demir çekirdektir. Nüve kesiti ve diğer nitelikleri akım trafosunun karakteristik değerlerini belirler.



- a-b tek hat şemalarında
- c-d ölçü ve koruma devre şemalarında
- Diğer elektronik devre şemalarında

Şekil 3.21. Akım transformatörleri şematik gösterimleri

Güç sistemlerinde kullanılan akım transformatörlerinin tüketim tesisinin karakteristiğine göre ölçü veya koruma sınıfında üretilebildiğinden doğru karakteristikte seçilmesi gerekmektedir. Akım trafolarının karakteristiğini belirten temel özellikler aşağıda sunulmuş olup akım trafo seçiminde önemli rol oynamaktadır.

Yalıtım seviyesi : Akım trafoları çalıştıkları sistemin gerilim seviyesine uygun olarak imal edilmeli ve sistem gerilim yükselmelerine dayanacak şekilde yalıtılmalıdır.

Primer anma akımı : Akım trafoları sürekli yük durumunda anma akım değerlerinde çalışabilmeli ve primer anma akımından daha büyük akımları (uygun bir akım genişleme faktörü ile genişletilmiş akımlar) taşıyabilmelidir. Anma akımının 1,2 katında sürekli çalışabilmeli ve doğruluk sınıfı bozulmamalıdır (IEC 60404, 2017).

Dayanma akımları : Akım trafoları sistemde meydana gelen yüksek arıza akımlarından hemen etkilenmemelidir. Kısa süreli termik dayanma akımı sekonder uçlarının kısa devre edilmesi sonucu bir saniye süre içerisinde yalıtımın bozulacağı sıcaklık derecelerine dayanmalıdır. Orta gerilimde 12,5 kV, 16 kV, 20 kV dayanma akımlarında üretilmektedir.

Doğruluk sınıfı : Akım trafolarının doğruluk sınıfı sekonder anma akımının primer akıma göre yüzde olarak sapma oranı ile belirlenmektedir. Örnek olarak doğruluk sınıfı “1” olan bir akım transformatörünün doğruluk sınıfına göre sekonder anma akımının sapma oranı %99 ile %101 arasında değişir. Bu sekonder akımı 5A olan bir akım trafosunun akım değerlerinin 4,95 A ile 5,05 A arasında değiştiğini göstermektedir. Akım trafolarında doğruluk sınıfının bir diğer göstergesi de koruma ya da ölçme amaçlı olduğunu göstermesidir. Koruma amaçlı akım trafolarının sınıfı “3”

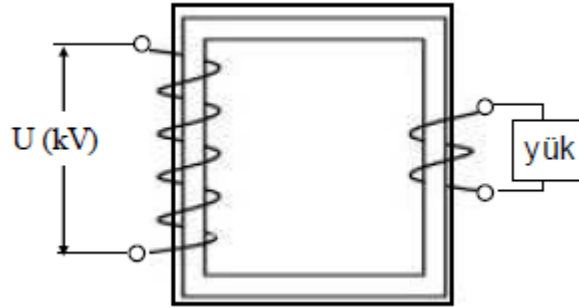
iken ölçü amaçlı akım trafoları sınıf “1” olarak üretilmektedir. Uluslararası standartlara göre bu değerler yerine koruma sınıfı için 10P ölçü sınıfı için 5P şeklinde gösterimler kullanılmaktadır. (IEC 60404, 2017).

Doğruluk Sınıfı	Anma akımındaki oran hatası (%)	Anma akımındaki faz açısı hatası (dakika)
5 P	± 1	± 60
10 P	± 3	-

Şekil 3.22. Akım transformatörleri doğruluk sınıfı

3.3.1.b. Gerilim Transformatörleri

Primer devre gerilimini manyetik kuplaj sonucu belli bir oranda küçülterek sekonder devreye aktaran transformatörlerdir. Sekonder devreye genellikle gerilim bilgisi kullanan voltmetre, sayaç, wattmetre gibi elektronik cihazların terminal uçları bağlanır. Çalışma prensibi akım transformatörlerine benzemekte olup manyetik nüve içinde meydana gelen akının sekonder sargılarında gerilim indükleme prensibine göre gerilim dönüşümü yapar (Büyükdora, 2002).



Şekil 3.23. Gerilim trafosu temel bağlantı şeması

Manyetik nüve kayıpları ihmal edilecek kadar az olduğundan primer gücü aynen sekondere yansıyacağından denklem (3.59) eşitliği yazılabilir.

$$V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s \quad (3.59)$$

$$I_p \cdot \omega_p = I_s \cdot \omega_s \quad (3.60)$$

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{\omega_p}{\omega_s} \quad (3.61)$$

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{\omega_s}{\omega_p} \quad (3.62)$$

V_p : Primer gerilim

I_p : Primer akımı

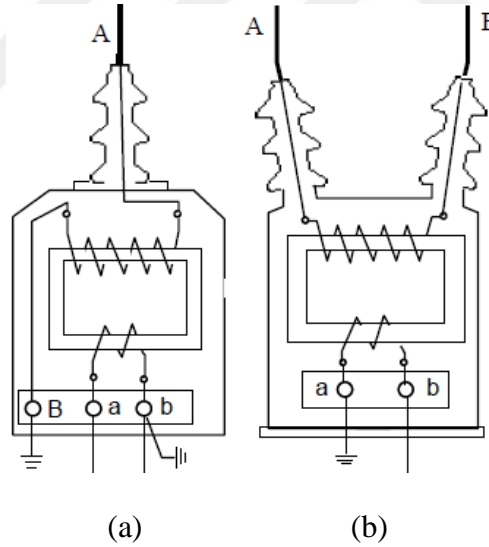
V_s : Sekonder gerilim

I_s : Sekonder akımı

ω_p : Primer sarım sayısı

ω_s : Sekonder sarım sayısı

$\frac{V_s}{V_p}$: Çevirme oranı, Gerilim oranı



Şekil 3.24. Gerilim transformatörü genel yapısal şekli

Gerilim trafolarında akım trafolarının aksine primer sargıları sekonder sargılarından çok daha fazladır. Sırasıyla Şekil 3.24 (a) ve (b)'de görüldüğü gibi faz-nötr ve faz-faz bağlantı şekillerine göre imal edilmektedir.

Akım trafolarının aksine gerilim trafolarında sekonder terminal uçları kullanılmadığında kesinlikle kısa devre yapılmamalı, boş bırakılmalıdır. Gerilim trafoları ölçüm ve korumadan ziyade güç trafosu bulunmayan dağıtım merkezlerinde iç ihtiyacı karşılamak için de kullanılabilir. Her faz için bir adet faz-nötr gerilim

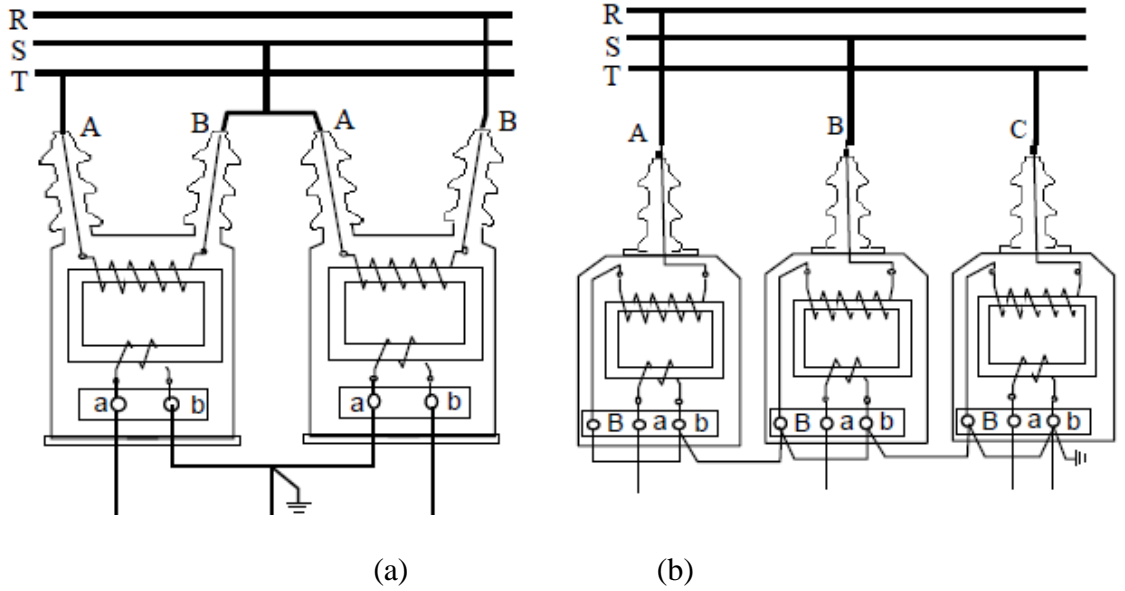
trafosu kullanıldığında genelde bir tanesi 60-80 VA değerleri çok düşük güçlerdedir (Büyükdora, 2002). Gerilim trafolarının gerilim oranları genellikle aşağıda belirtilen oranlardadır.

34,5/0,1 kV : Faz-faz bağlı gerilim trafosu örnek dönüşüm oranı

$\frac{34,5/\sqrt{3}}{0,1/\sqrt{3}}$ kV : Faz-nötr bağlı gerilim trafosu örnek dönüşüm oranı

$\frac{34,5/\sqrt{3}}{0,1/\sqrt{3}-0,1/3}$ kV :Faz-nötr bağlı gerilim trafosu çift sekonder örnek dönüşüm oranı

Gerilim trafolarında “0,5”, “1” ve “3” olmak üzere üç sınıfta üretilmektedir. “0,5” ve “1” sınıfı ölçü devrelerinde “3” sınıfı koruma devrelerinde kullanılmaktadır.



Şekil 3.25. Faz-faz (a) ve faz-nötr (b) gerilim trafosu bağlantı şeması

3.3.2. Kesiciler

Kesiciler, güç sistemlerinde yük akımlarının nominal ve kısa devre durumlarında kesme yeteneğine sahip cihazlardır. Kesicilerin devreyi boшта ya da yükte açabilmelerinden ziyade en önemli özelliği kısa devre anında açma yapabilmesi ve bu açmalar sırasında kesici kontaklarının ayrılması ile meydana gelen çok yüksek arkları söndürebilmesidir. Koruma cihazları ile uyumlu olarak kumanda edilebilmeleri ve çok hızlı bir şekilde devreyi kesebilme yeteneğine sahip olmalarından dolayı koruma sistemlerinde büyük bir öneme sahiptirler (IEC 56, 1987).

3.3.2.a. Kesicilerin yapısı ve bölümleri

Kesicilerde aranan üstün özellikler arkı hızlı söndürme, tekrarlı açma kapama yapabilme yeteneği, kontak sürelerinin olabildiğince az olması ve kontak akımlarının kısa devre akımlarına dayanıklı olmasıdır. Kesiciler genel olarak gerilim seviyeleri, tekrar kapama özelliği, çalışma ortamı ya da ark söndürme gibi birçok özelliğe göre farklı şekilde üretilirler. Bunlar içinde en belirleyici olanlar aşağıda açıklanmıştır.

Gerilim sınıfına göre kesiciler;

1- Orta gerilim kesicileri : Gerilim seviyesi 1-36 kV arası üretilen ve dağıtım şebekelerinde kullanılan kesicilerdir.

2- Yüksek gerilim kesicileri: Gerilim seviyesi 52-765 kV arası üretilen ve iletim şebekelerinde ve şalt sahalarda kullanılan kesicileridir. Günümüzde 1000 kV ve üzeri yüksek gerilim kesicileri üretilmektedir.

Ark söndürme özelliğine göre kesiciler aşağıda listelenmiş olup en yaygın kullanılan kesiciler SF_6 gazlı kesicilerdir;

- 1- SF_6 gazlı kesiciler
- 2- Vakumlu kesiciler
- 3- Basınçlı hava üfleli kesiciler
- 4- Tam yağlı kesiciler
- 5- Az yağlı kesiciler
- 6- Manyetik üfleli kesiciler

SF_6 gazlı kesicilerin diğer türlere göre yaygın kullanılmasının nedenleri içinde en önemli olanlar aşağıda sıralanmıştır;

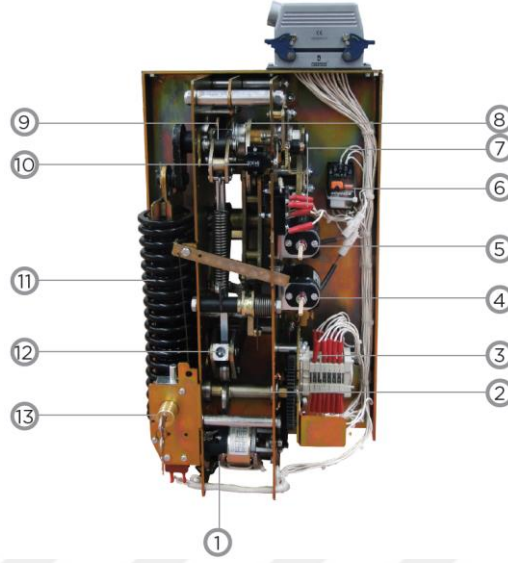
- Kayıp katsayıları yağlı kesicilere göre çok küçük olması.
- Isı katsayılarının daha büyük olması nedeniyle ark anında meydana gelen ısıyı daha çabuk dağıtarak sönmeyi hızlandırması.
- SF_6 gazının kokusuz, renksiz ve zehirsiz olması.
- Ark söndürme bölümü diğer türlere göre daha küçük olması.
- SF_6 gazının metaller ile tepkimeye girmemesi.

- Akım koparmada söndürücü özelliği olması.
- 10.000 açma kapamaya kadar çok yüksek tetikleme kapasiteleri olması.
- Tekrar kapama yapabilme özelliğine sahip olmaları.

Çizelge 3.2. Kesicilerin söndürme özelliklerine göre üstünlüklerinin karşılaştırılması

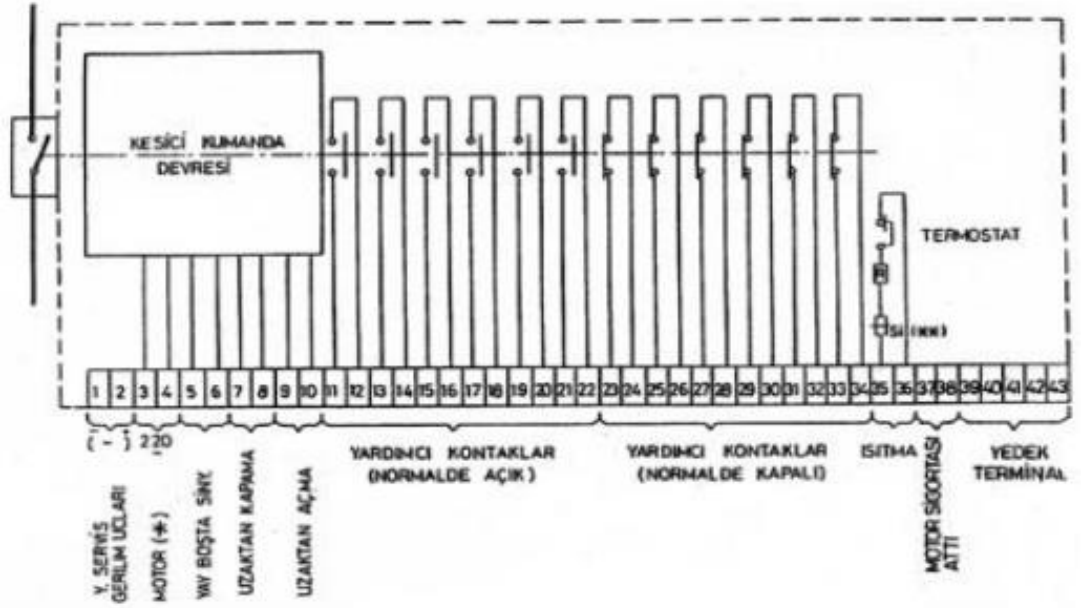
Kesici Özellikleri	Yağlı Kesici	Havalı Kesici	Vakumlu Kesici	SF₆ Kesici
Yangın	Zayıf	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
Yalıtkan kontrolü	İyi	Mükemmel	Zayıf	Çok iyi
Kaçak akım kontrolü	İyi	Çok iyi	Zayıf	Çok iyi
Gerilim kademesi	Çok iyi	İyi	Çok iyi	Mükemmel
Dayanıklılık	Zayıf	Çok iyi	Mükemmel	Mükemmel
Açma kapama kapasitesi	İyi	Mükemmel	Zayıf	Mükemmel
Kesme kapasitesi	Çok iyi	Mükemmel	Çok iyi	Çok iyi
Tekrar kapama hızı	İyi	Çok iyi	Mükemmel	Mükemmel
Boyut	Çok iyi	İyi	Mükemmel	Mükemmel
Montaj kolaylığı	Çok iyi	İyi	Çok iyi	Mükemmel
Değiştirme kolaylığı	Çok iyi	Mükemmel	Zayıf	İyi
Maliyet	Mükemmel	İyi	Çok iyi	Çok iyi
Bakım maliyeti	Mükemmel	Çok iyi	Mükemmel	Mükemmel

3.3.2.b. Kesici Kumanda Sistemleri

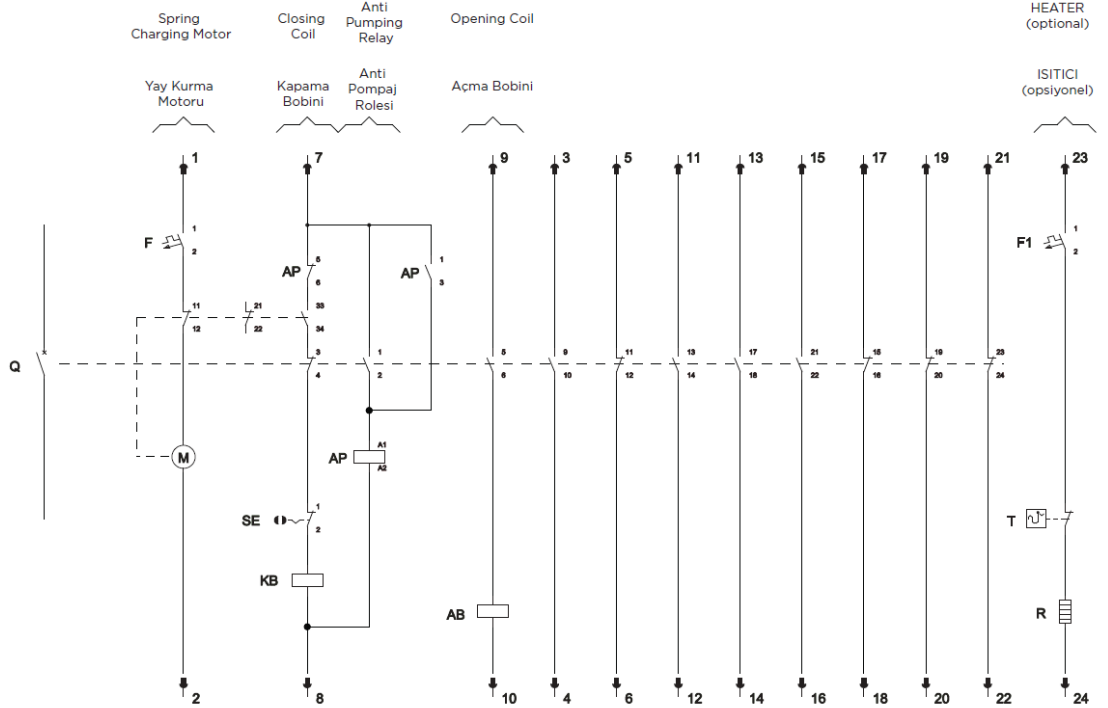


Şekil 3.26. Kesici kumanda mekanizması

Kesiciler açma bobinlerine enerji verildiğinde primer devre üzerinde bulunan kontaklar açılır. Kesici ana kontaklarının açılması ile beraber kumanda devresi üzerinde bulunan onlarca kontak konum değiştirir. Normalde kapalı kontaklar açık, normalde açık kontaklar kapalı konuma gelir. Kesici üzerinde bulunan onlarca kontakın tek bir açma kapama kontağına göre konum deriştirebilmesi kesiciler ile birlikte güç sistemlerinin korumasını gerçekleştiren aşırı akım koruma röleleri için programlı bir koruma gerçekleştirebilme imkânı sunmaktadır. Kesici üzerinde bulunan bu kumanda kontakları rölelerin tekrar kapama, kesici konumu gibi birçok fonksiyon için ihtiyaç duyulan bilgilerin temin edilmesini sağlar.



Şekil 3.27. Kesicilerde örnek kontak şeması (TEDAŞ-MYD-95-008.A, 2006)



Şekil 3.28. Örnek bir kesici kumanda devresi (ULUSOY, 2012)

3.3.3. Aşırı akım koruma röleleri

Akım trafolarının sekonder devresine bağlanan koruma röleleridir. Primer devre üzerinde bulunan akım trafolarının sekonder uçlarından aldıkları akım bilgisini, röle ayar değerleri ile karşılaştırarak, kesici bobinine açma sinyali gönderen cihazlardır. Aşırı akım röleleri kronolojik sıraya göre elektromekanik röle, elektronik röle, dijital röle olarak üretilmiştir.

Çizelge 3.3. Aşırı akım rölelerinin özellik karşılaştırma tablosu

Röle Tipi	Kontak Süresi (Sn)	Yardımcı Fonksiyon (YF)	Ters Zaman Karakteristiği (TZK)
Elektromekanik Röle	0,08	Yok	Yok
Elektronik Röle	0,06	Yok	Yok
Dijital Röle	0	Var	Var

Teknolojinin gelişimi ile dijital akım röleleri birçok fonksiyonel koruma özelliği ile beraber güç sistemlerinin neredeyse tamamında kullanılacak hale gelmiştir. Dijital aşırı akım röleleri açma zaman gecikmelerini kısaltması, güvenilirliğinin yüksek olması ve birçok koruma fonksiyonunu aynı anda barındırması sebebiyle koruma sistemlerinde çok önemli bir yer edinmiş durumdadır (Büyükdora, 2002).

3.3.3.a. Röle yapısı ve çalışma ilkeleri

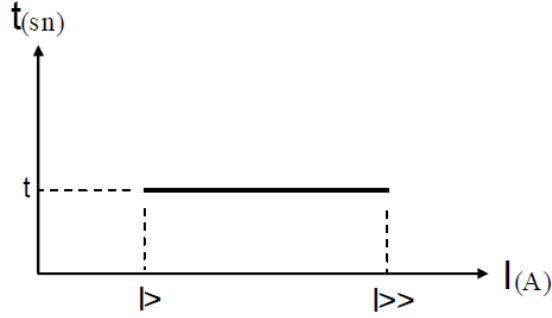
Dijital aşırı akım röleleri yapısı çalışma prensibi ve üretici firmalara göre değişiklik göstermektedir. Genel olarak çalışma ilkeleri aynı mantığa dayanan aşırı akım röleleri zaman karakteristikleri veya fonksiyonel özellikleri ile birbirlerinden ayrılabilir (Büyükdora, 2002).

Röle zaman karakteristikleri;

A. Sabit zaman röle karakteristiği

Sabit zamanlı röleler ayarlanan bir zaman değerinde rölenin akım katlarından bağımsız olarak gerekli süreyi bekler, aşırı akım süresi röle ayar değerinden büyük

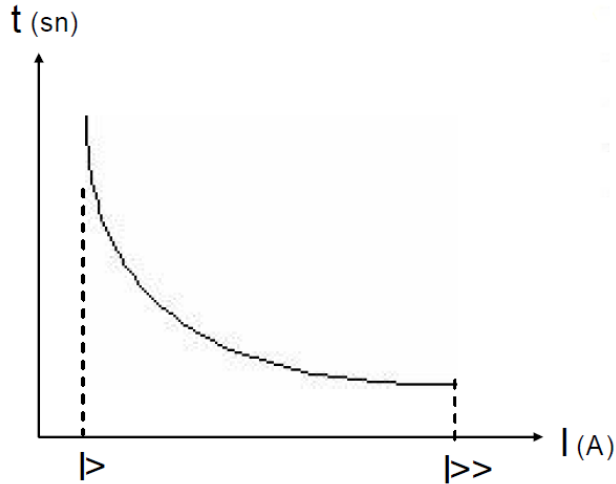
olursa röle ayar değeri bekleme süresi boyunca bekler ve bu süre sonunda kesici bobinine açma sinyali gönderir.



Şekil 3.29. Sabit zaman röle karakteristiği

B. Ters akım-zaman röle karakteristiği

Ters akım zaman röle karakteristiğinde röle ayar akımı ve açma süreleri akımın katlarına göre değişkenlik göstermektedir. Akımın çok yüksek olduğu değerlerde sistemde meydana gelecek termik ve dinamik zorlanmalar çok daha fazla olacağından bu tehlikeli akımları çok daha erken devre dışı bırakmalıyız. Daha düşük aşırı akım değerlerinde rölenin korumayı daha geç devreye alması sistemin kararlılığını arttırmak ve geçici arızalardan etkilenmemesi adına büyük önem taşımaktadır (IEC, 2009).



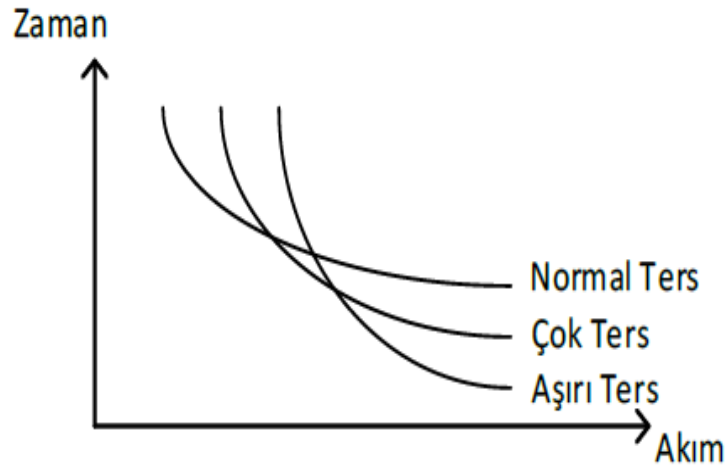
Şekil 3.30. Ters akım-zaman röle karakteristiği

Aşırı akım röleleri uluslararası IEC ve ANSI standartlarına göre ters akım-zaman karakteristiklerinde çalışabilmektedir. Rölelerin koruma yaptığı tesisin türüne

göre çeşitli eğriler bulunmaktadır. Bu eğrilerden birkaçı akım zaman ilişkileri karşılaştırılmak üzere aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.4. Uluslararası standartlara göre röle akım zaman eğrileri

Eğri Adı	Standart Adı
Normal Ters	IEC 255-3
Çok Ters	IEC 255-3
Aşırı Ters	IEC 255-3
Ters	ANSI-I
Kısa Ters	ANSI-SI
Uzun Ters	ANSI-LI



Şekil 3.31. Ters akım zaman röle karakteristikleri (IEC)

C. Ani akım röle karakteristiği

Ani akım karakteristiği ters akım zaman karakteristiği kullanılan ayar değerlerinde akım katlarının belli bir değerin üzerine çıkması sonucu açma süresini beklemeden ani olarak tehlikeli akımları kesme prensibine dayanmaktadır. Normal koşullarda aşırı akım röleleri arıza durumunda akım-zaman eğrisine göre akımın katına karşılık gelen süre kadar beklemeye girer, röle bekleme süresi sonunda açma komutu gönderir. Ani karakteristiği aktif edilmiş rölelerde akımın daha yüksek olduğu katlarda kısa süreliğine dahi olsa sistemin bu denli yüksek akımlara maruz kalması istenmez. Bu süre beklenmeden ani olarak sistem açma sinyali gönderir.

3.3.3.b. Dijital röle koruma fonksiyonları

Dijital aşırı akım röleleri faz-faz aşırı akım ve faz-toprak aşırı akım koruması olmak üzere iki şekilde koruma fonksiyonuna sahip olmakla beraber bu iki fonksiyonu aynı zamanda aktif olarak kullanabilmektedirler. Genel olarak dağıtım hatlarının yönetimi ve korunması için mikroişlemci tabanlı olarak üretilirler. Genellikle en az dört adet IEC standardı, 5 adet ANSI standardı akım zaman eğrisi ve motor koruma, kompanzasyon için özel koruma eğrileri de bulundurabilmektedir (PAC-E 100, 2002).

Harici kablolamayı azaltmak ve karışıklığın önüne geçmek için mantık komponentleri mevcuttur. Giriş çıkış kontaklarının ayarlanması programlanabilir mantıkla ayarlanabilmektedir. Dijital rölelerde aşağıdaki temel fonksiyonlar bulunmaktadır. Bu fonksiyonlardan biri veya birkaçı rölenin marka ya da modeline göre farklılık gösterebilmektedir. Örnek bir dijital röle olarak PNC marka PACE-100 rölesinde bulunan fonksiyonlar aşağıda listelenmiş olup önemli fonksiyonların işlevleri ve çalışma prensipleri açıklanmıştır.

Çizelge 3.5. PACE-100 dijital aşırı akım röle fonksiyonları

ANSI Kodu	Koruma Fonksiyonu
50-1	Ani zamanlı aşırı akım koruma
50-2	Sabit zamanlı aşırı akım koruma
50N-1	Ani zamanlı toprak aşırı akım koruma
50N-2	Sabit zamanlı toprak aşırı akım koruma
51	Ters zaman gecikmeli aşırı akım koruma
51N	Ters zaman gecikmeli toprak aşırı akım koruma
46	Negatif bileşen faz aşırı akım koruma
37	Düşük akım koruma
49	Termik aşırı yük koruma
50BF	Devre kesici arızası
79	Tekrar kapama
TCS	Açma devresi denetimi
Inrush	Demeraj akımı gecikmesi

3.3.3.c. Aşırı akım koruma fonksiyonu (50-51)

Bu fonksiyonu ani, ters gecikmeli ve sabit zaman gecikmeli olarak bir faz, iki faz ve üç faz aşırı akım koruma sağlamaktadır. Ters zaman gecikmeli korumada akım ve zamana bağlı bir fonksiyon olarak koruma sağlamaktadır. 11 adet uluslararası ters akım zaman karakteristiği ve 2 adet endüktif tip röle uyumlu ters akım-zaman karakteristiğinden kullanıcılar birisini seçerek 13 koruma karakteristiğinden biri ile sistemlerine uygun güvenli koruma sağlayabilirler.

$$T = \left(\frac{K}{\left(\frac{G}{G_s}\right)^L - 1} + C \right) \times TM(s) \quad (3.63)$$

T : Açma zamanı (saniye)

K, C, L : Katsayılar

G : Giriş akımı

G_s : Ayarlanan yakalama akımı

TM : Zaman çarpanı

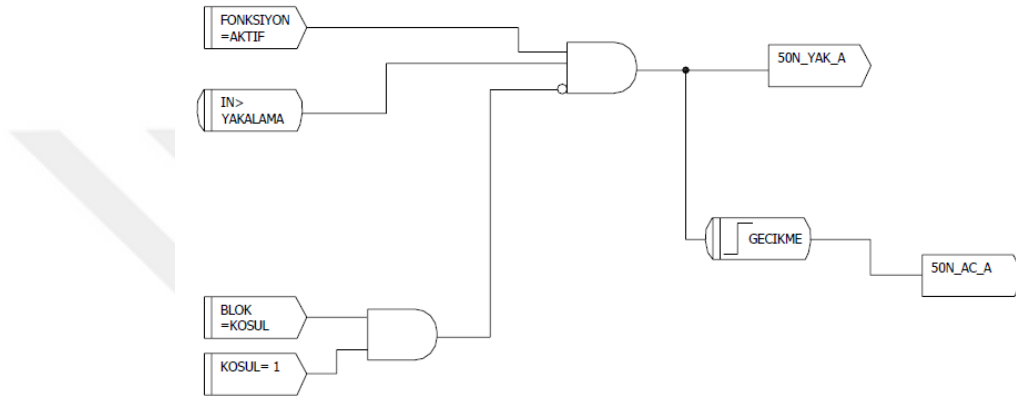
G/G_s ≥ 20 ise G/G_s=20

Çizelge 3.6. Ters akım-zaman eğri standartlarına ait katsayılar

Akım-Zaman Eğrisi	K	L	C
IEC Normal Ters (IEC_NI)	0,14	0,02	0,00
IEC Çok Ters (IEC-VI)	13,50	1,00	0,00
IEC Aşırı Ters (IEC_EI)	80,00	2,00	0,00
IEC Uzun Ters (IEC-LI)	120,00	1,00	0,00
ANSI Ters (ANSI_I)	8,9341	2,0938	0,17966
ANSI Kısa Ters (ANSI_SI)	0,2663	1,2969	0,03393
ANSI Uzun Ters (ANSI_LI)	5,6143	1	2,18592
ANSI Ilımlı Ters (ANSI_MI)	0,0103	0,02	0,0228
ANSI Çok Ters (ANSI_VI)	3,922	2	0,02434
ANSI Aşırı Ters (ANSI_EI)	5,64	2	0,021359
ANSI Sabit Ters (ANSI-DI)	0,4797	1,5625	0,21359
KEPCO Normal Ters (KNI)	0,11	0,02	0,42
KEPCO Çok Ters (KVI)	39,85	1,95	1,08

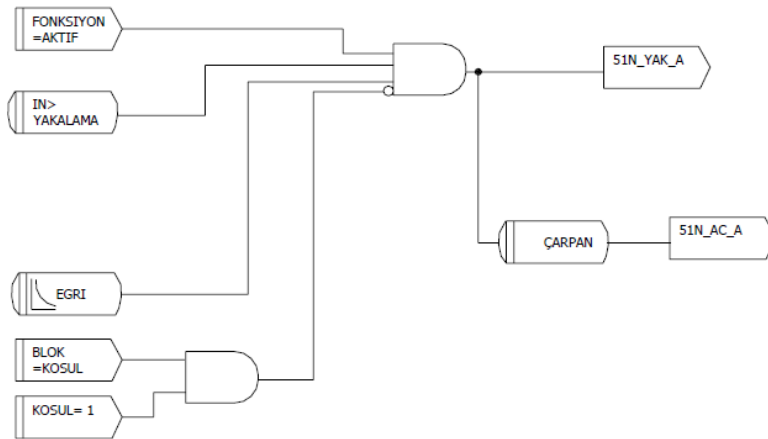
3.3.3.ç. Toprak aşırı akım koruma fonksiyonu (50N-51N)

Bu fonksiyon faz-faz veya faz toprak aşırı akım koruması ile aynı prensipte çalışmaktadır. Tek farkı akım bilgisinin faz toprak akımından alınmasıdır. Ani ve gecikmeli koruma sağlanabilmektedir. Toprak aşırı akım koruma fonksiyonu iki sabit zamanlı koruma karakteristiği ve bir ters akım zaman koruma karakteristiğine sahiptir. Mevcut akım zaman eğrileri faz aşırı akım fonksiyonunkileri ile aynıdır.



Şekil 3.32. Sabit zamanlı toprak aşırı akım koruma prensibi

Sabit zamanlı röle prensibi incelendiğinde röle ayar değerine girilen koşul değerinin inversi alınarak yakalama koşulu ve fonksiyon aktif koşulunun sağlanması durumunda röle devreye girecek ve varsa zaman gecikme koşulu gerekli süreyi bekleyip kesici bobinine açma sinyali gönderecektir.

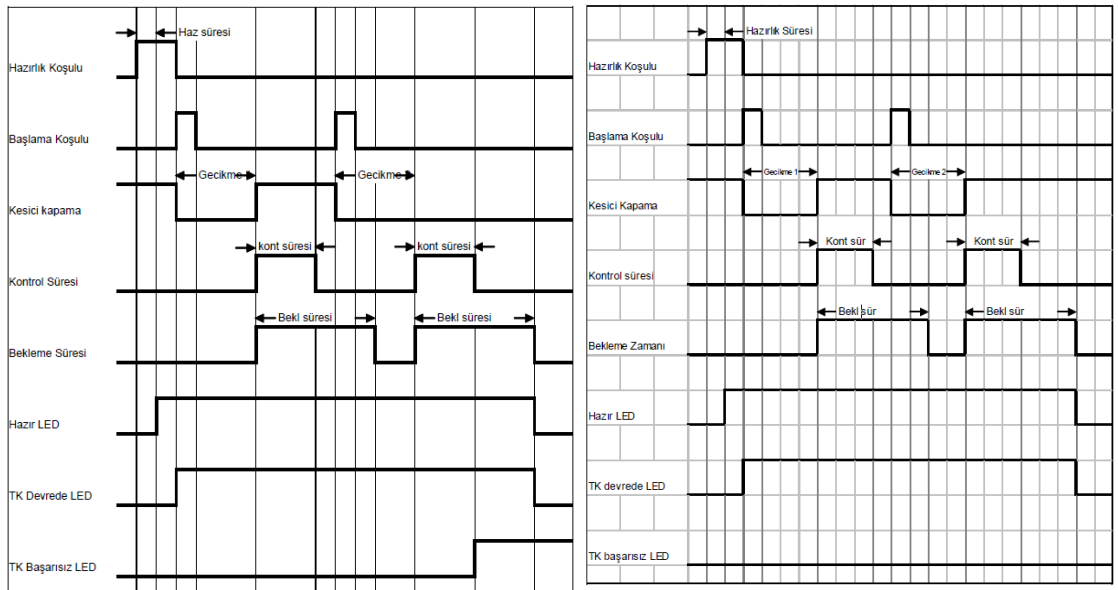


Şekil 3.33. Ters zamanlı toprak aşırı akım çalışma prensibi

Ters zamanlı röle prensibin de ise röle ayar değerine girilen koşul değeri, fonksiyon aktif ve yakalama koşulları sağlanması durumunda röle seçilen ters akım zaman eğrisine göre akım bilgisinin katlarının eğri değeri ile karşılaştırma koşulunu sağlanması durumunda açma sinyali gönderecektir. Röle akım çarpanı birden farklı bir değer girilmesi durumunda ters akım zaman eğrisi akım çarpanı kadar ötelenerek okunan akım bilgisiyle karşılaştırılır. Koşulun lojik işlemler sonucu doğru olması durumunda röle kesiciye açma sinyali gönderir.

3.3.3.d. Tekrar kapama fonksiyonu (79)

Bu fonksiyon koşullar sağlanması durumunda ayarlanan gecikme süresi ve açma sayısı kadar tekrar kapama yapar. Tekrar kapama aktif ise hazırlık koşullarının sağlanması durumunda röle hazır duruma geçer. Rölenin hazır konumda olması durumunda rölenin koruma durumuna geçmesi ile tekrar koruma döngüsü başlar. Birinci gecikme süresi sonunda ilk tekrar kapama denemesi yapılarak kesici bobinine açma sinyali gönderilir. Kesicinin gerçekten kapanıp kapanmadığı kontrol edilir. Eğer kesici kapanmadıysa tekrar kapama hatası verilerek tekrar kapama döngüsünden çıkılarak bir daha kapama denemesi yapılmaz. Eğer kontrol süresi içerisinde kesici açıldı ise bekleme süresi içerisinde röle açma sinyali vermezse tekrar kapama başarılı olmuştur. Rölenin ayar değerine göre bu döngü tekrar eder.



Şekil 3.34. İki kez tekrar kapama başarılı (a), İki kez tekrar kapama başarısız (b)

3.4. NEPLAN

Yüksek gerilim güç sistemlerinin modellenmesinde ve yük akışlarının hesaplanmasında kullanılan yaygın programlardan biridir. Elektrik şebekelerini analiz etmek, planlamak, optimize etmek için kullanılan bir yazılım aracıdır. Kullanıcı dostu ara yüzü ve hızlı grafik simülasyonları sayesinde kullanıcıların çalışmaları çok pratik bir şekilde gerçekleştirmesini sağlar. Özelleştirilebilir bir yapıya sahip olan bu program iletim, dağıtım, üretim ve endüstriyel alanlardaki tüm elektriksel hesaplamaları yapabilmektedir.

Bu çalışmada koruma analizleri yapılacak şebeke modelinin oluşturulması için NEPLAN programından faydalanılmıştır.

3.5. MATLAB Simulink

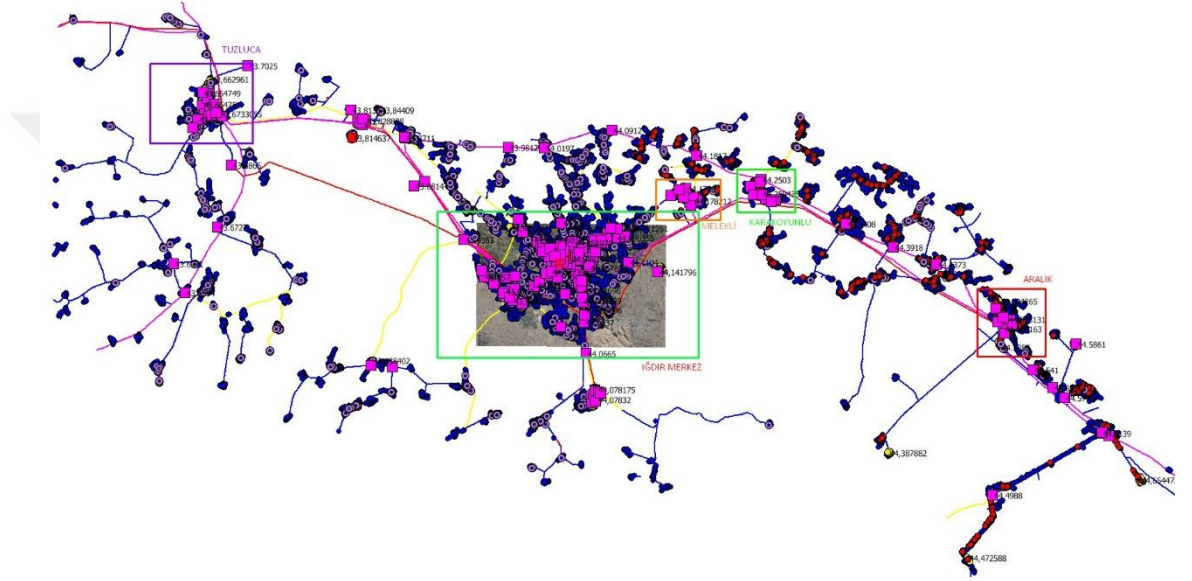
Mühendislik modellerin analizinde geleneksel hesaplardan ziyade simülasyonların önemi gün geçtikçe artmaktadır. Günümüzde güç sistemlerinin tasarımında gerekli hesaplamalar büyük oranda bilgisayar simülasyonları ile gerçekleştirilmektedir. Bu tür simülasyonların en yaygın yapıldığı programlardan biri de MATLAB'dir. Karmaşık sistemleri tasarlama ve simülasyonlarının yapılmasında önemli kolaylıklar sunan bu program MATLAB Simulink modülü sayesinde kullanıcılara zengin bir blok kütüphanesi sunmaktadır. Ayrıca MATLAB ile tüm birleşik olarak çalışan bu yazılım MATLAB programının gelişmiş program alt yapısını kullanan bir simülasyon ortamıdır. Birçok alanda özel amaçlı bloklar geliştirilerek ilgili alanlara ait simülasyonların yapılmasında kullanıcıya birçok kolaylıklar sunmuştur.

Çalışmada güç sisteminin modellenmesi ve simülasyonlarının yapılmasında MATLAB Simulink kütüphanesinde bulunan Power Systems blokları kullanılmıştır. Oluşturulan şebeke modelinde birçok elektriksel hesaplamaların simülasyon çıktısı olarak kullanıcıya sunulması Powergui bloğu ile sağlanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Şebeke Parametrelerinin Belirlenmesi

Güç sistemlerinde yapılacak hesaplamaların gerçek değerlere yakın olması kullanılacak hesap parametrelerinin doğruluğuna bağlıdır. Hesapların doğru olması açısından Iğdır ili şebeke parametreleri coğrafi bilgi sistemi (CBS), Iğdır ili tek hat şemaları ve master projelerden alınan güncel değerlerdir.



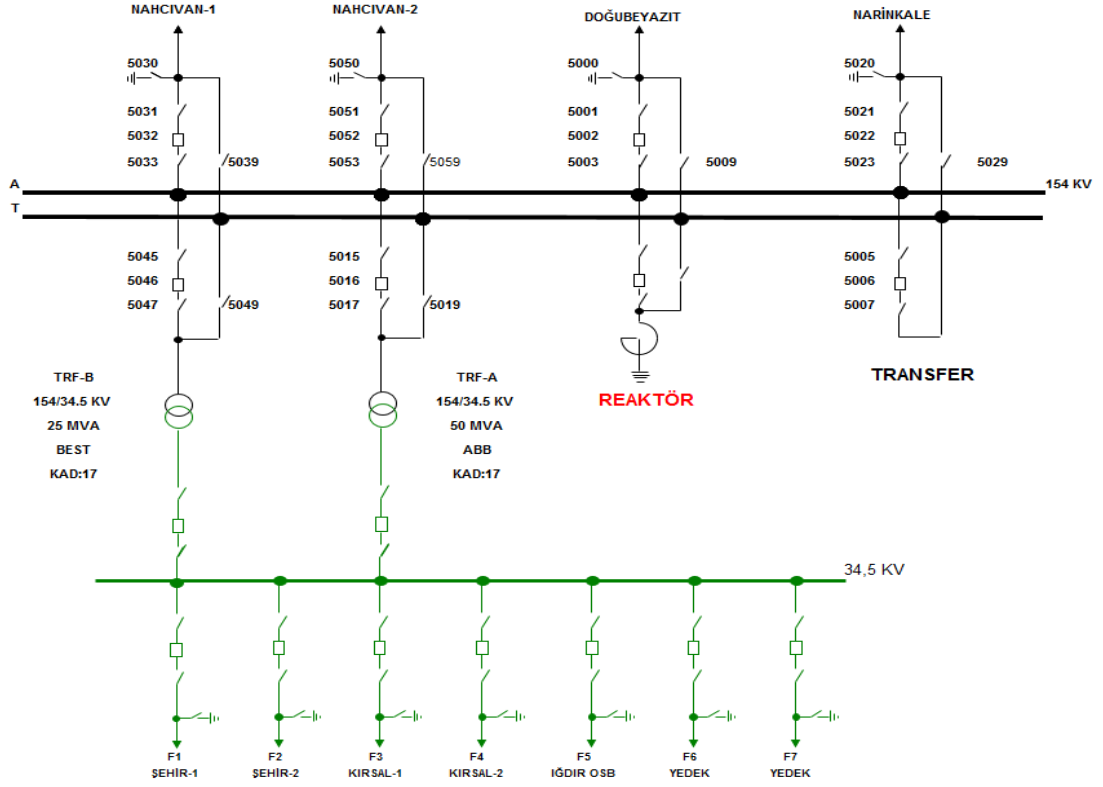
Şekil 4.1. Iğdır ili elektrik şebekesi (CBS ara yüzü)

4.1.1. Iğdır trafo merkezi (Iğdır TM)

Iğdır TM 154 kV giriş barası ile 31.5 kV çıkış barası arasında 50 MVA ve 25 MVA gücünde paralel bağlı iki adet güç transformatöründen oluşmakta olup tek hat şeması Şekil 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Iğdır TM indirici trafo karakteristikleri

Transformator Gücü	Gerilim kV	Sargı Empedansları		Topraklama Empedansı	
		R Pu	X Pu	Primer Ohm	Sekonder Ohm
50 MVA	154/33	0,005	0,12	Direk	20
25 MVA	154/33	0,005	0,12	Direk	20



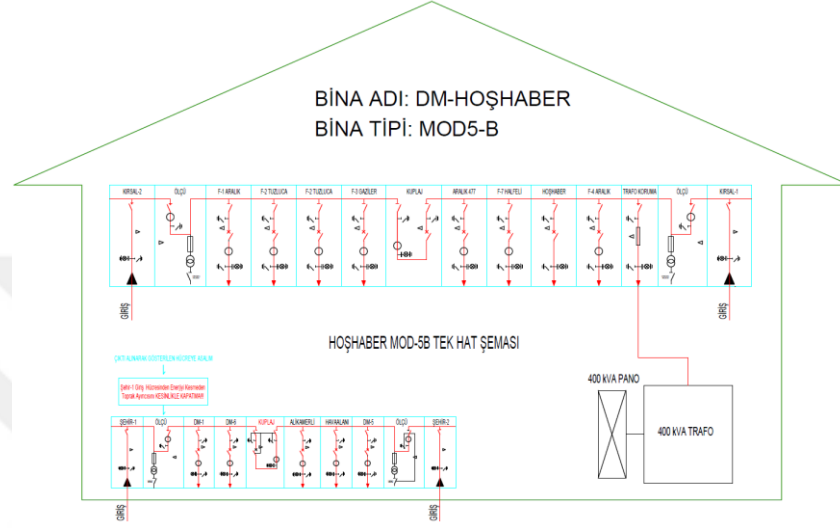
Şekil 4.2. Iğdır TM tek hat şeması

Çizelge 4.2. Iğdır TM trafo etiket değerleri

Özellik	Yağlı Kesici	SF ₆ Kesici
Nominal Güç (MVA)	50	25
Nominal Gerilim (kV)	154 / 31,5 – 34,5	154 / 31,5 – 34,5
Durumu	Serviste	Serviste
Markası	ABB	BEST
Seri No	GT-028-93	31940
İmal Yılı	1993	1988
Tip	TSPH-92521/900-1	DOR35500/150E
Bağlantı Grubu	YNyn0	YNyn0
Soğutma Tipi	ONAN / ONAF	ONAN / ONAF
% UK	11,58-11,98-12,50	11,69-12,29-12,94
Çıkan Kısım Ağırlığı (Ton)	22,3	35,7
Toplam Ağırlığı (Ton)	52,3	56,9
Kademe Sayısı	17	17

4.1.2. Hoşhaber dağıtım merkezi (Hoshaber DM)

İğdır trafo merkezinin hemen yanında 4 adet dağıtım barası bulunan, dağıtım şebekesinin bütün çıkışlarının yapıldığı ana dağıtım merkezidir. İki adet şehir barası ve iki adet kırsal barası kuplaj hücreleri ile birbirlerine bağlıdır.



Şekil 4.3. Hoşhaber dağıtım merkezi prensip şeması

4.1.3. Fider çıkış parametreleri

Şebeke modelinde koruma akım yolu üzerinde bulunan hat parametreleri aşağıdaki Çizelge 4.2.' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Pu cinsinden hat değerleri

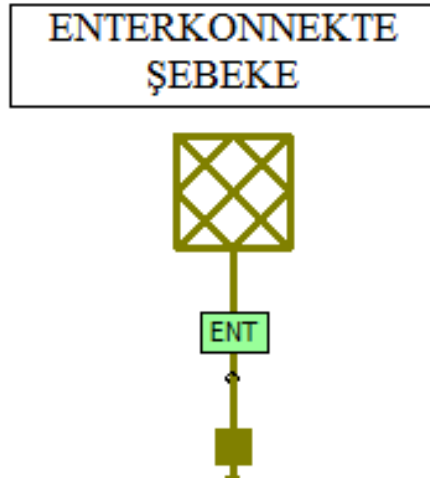
Güzergâh	Hat	Uzunluk Km.	Gerilim kV	100 MVA Baz'da Pu Değerleri					
				(+ ve (-) Bileşen			Sıfır Bileşen		
				R Ohm	X Ohm	Y μMho	Ro Ohm	Xo Ohm	Yo μMho
TM-Hoşhaber DM		0,08	31,5	0,0965	0,166	0,229	0,2895	0,498	0,076
Hoşhaber DM-DM6		5,52	31,5	0,122	0,449	0,235	0,366	1,349	0,106
DM6-IM		3,93	31,5	0,0965	0,166	0,229	0,2895	0,498	0,076
IM-TR37		6,90	31,5	0,0965	0,166	0,229	0,2895	0,498	0,076
TR37-DM3		2,29	31,5	0,122	0,449	0,235	0,366	1,349	0,106
DM3-DM2		6,42	31,5	0,122	0,449	0,235	0,366	1,349	0,106
DM2-DM1		3,90	31,5	0,122	0,449	0,235	0,366	1,349	0,106

4.2. NEPLAN Şebeke Modeli

NEPLAN programının güçlü editörü vasıtasıyla program blokları hızlı bir şekilde oluşturulabilmekte ve baralar yardımı ile düğüm notaları oluşturulup yük akışı ve kısa devre hesapları yapılabilmektedir. NEPLAN vasıtasıyla program blokları kullanılarak İğdır trafo merkezi ve dağıtım şebekesi gerçek parametre değerlerine göre modellenmiştir. Oluşturulan şebeke modellerinin gerçeğe yakın sonuç vermesi adına şebekenin radyal çıkışları yerine sembolik yükler tanımlanmıştır.

4.2.1. Enterkonnekte şebeke blok modeli

Güç sistemlerinde koruma yapılırken yük akışı ve kısa hesaplamalarının önemi çok fazladır. Özellikle şebekenin bir bölümü üzerinde hesaplama yapılırken şebekenin bir bütün olduğu unutulmamalı ve bu geri kalan kısım bir eşdeğer şebeke empedansı ve gerilimi ile hesaplamalara dahil edilmelidir. İğdır trafo merkezinin enterkonnekte sisteme irtibat yaptığı noktadaki şebekenin eşdeğer devre parametreleri TEİAŞ trafo merkezleri kısa devre empedansları tablosundan temin edilerek şebeke modeli oluşturulmuştur.

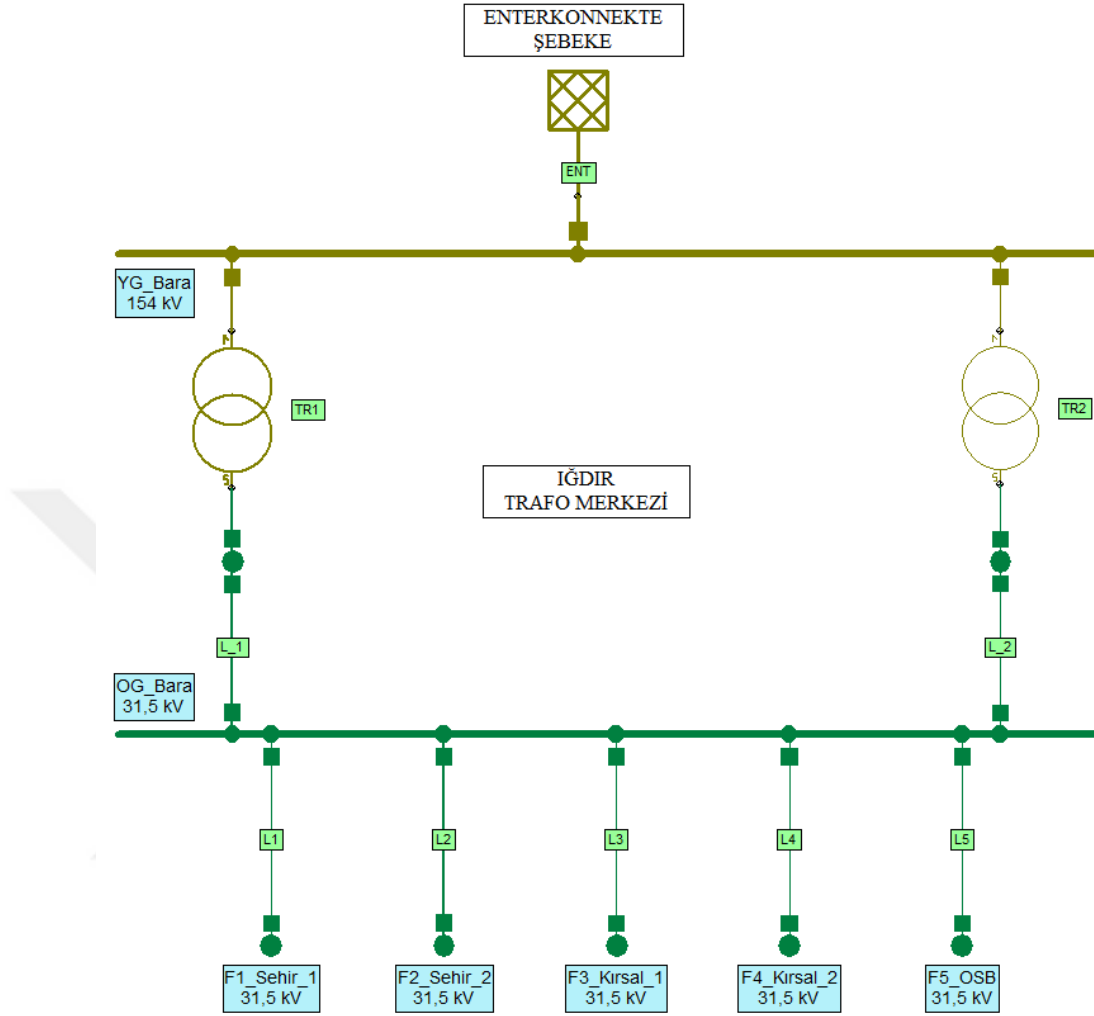


Şekil 4.4. Enterkonnekte şebeke NEPLAN blok modeli

Şekil 4.5. Enterkonnekte şebeke NEPLAN blok parametre değerleri

4.2.2. Trafo merkezi şebeke modeli

İğdır trafo merkezine ait transformatör parametreleriyle tek hat şeması modeli NEPLAN ortamında aşağıdaki gibi oluşturulmuştur. Transformatör blokları parametre değerleri Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de görülmektedir.



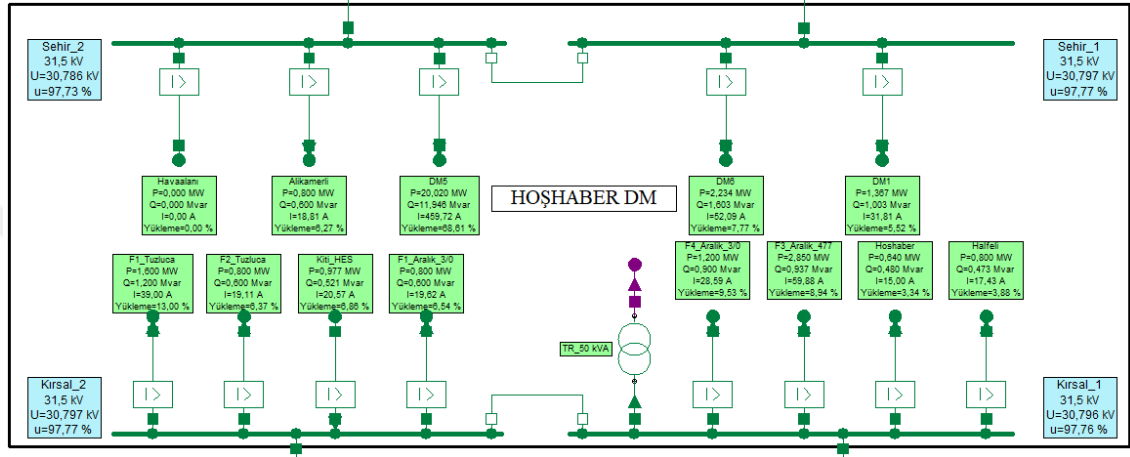
Şekil 4.6. Iğdır trafo merkezi şebeke modeli

<p>İsim: TR1</p> <p>Tip: 50 MVA</p> <p><input checked="" type="radio"/> 3-phase transformer <input type="radio"/> 3 x 1-phase transformer</p> <p>Un1 .. kV: 154 Un2 .. kV: 31,5 Sr .. MVA: 50</p> <p>Ur1 .. kV: 154 Ur2 .. kV: 31,5</p> <p>URr(1) .. %: 0,28 kW: 140 URr(0) .. %: 0,22 kW: 110</p> <p>Ukr(1) .. %: 11,5 Ukr(0) .. %: 9,2</p> <p>X(1)/R(1): 41,06 X(0)/R(0): 41,81</p> <p>I0 .. %: 0 U01(0) .. %: 0 LMUNS .. pu: 0</p> <p>P fe .. kW: 25 U02(0) .. %: 0 LMSAT .. pu: 0</p> <p>KP .. pu: 0</p> <p><input type="checkbox"/> has on-load tapchanger capabilities (IEC 60909)</p> <p><input type="checkbox"/> Yükte kademe değiştirici</p> <p><input type="checkbox"/> Anahtarlanabilir</p> <p><input type="checkbox"/> Ototrafo</p> <p>Vektör grubu: YNyn0</p>	<p>İsim: TR2</p> <p>Tip: 25 MVA</p> <p><input checked="" type="radio"/> 3-phase transformer <input type="radio"/> 3 x 1-phase transformer</p> <p>Un1 .. kV: 154 Un2 .. kV: 31,5 Sr .. MVA: 25</p> <p>Ur1 .. kV: 154 Ur2 .. kV: 31,5</p> <p>URr(1) .. %: 0,32 kW: 80 URr(0) .. %: 0,26 kW: 65</p> <p>Ukr(1) .. %: 11 Ukr(0) .. %: 8,8</p> <p>X(1)/R(1): 34,36 X(0)/R(0): 33,83</p> <p>I0 .. %: 0 U01(0) .. %: 0 LMUNS .. pu: 0</p> <p>P fe .. kW: 20 U02(0) .. %: 0 LMSAT .. pu: 0</p> <p>KP .. pu: 0</p> <p><input type="checkbox"/> has on-load tapchanger capabilities (IEC 60909)</p> <p><input type="checkbox"/> Yükte kademe değiştirici</p> <p><input type="checkbox"/> Anahtarlanabilir</p> <p><input type="checkbox"/> Ototrafo</p> <p>Vektör grubu: YNyn0</p>
---	---

Şekil 4.7. İndirici trafo NEPLAN parametre değerleri

4.2.3. Dağıtım merkezi şebeke modeli

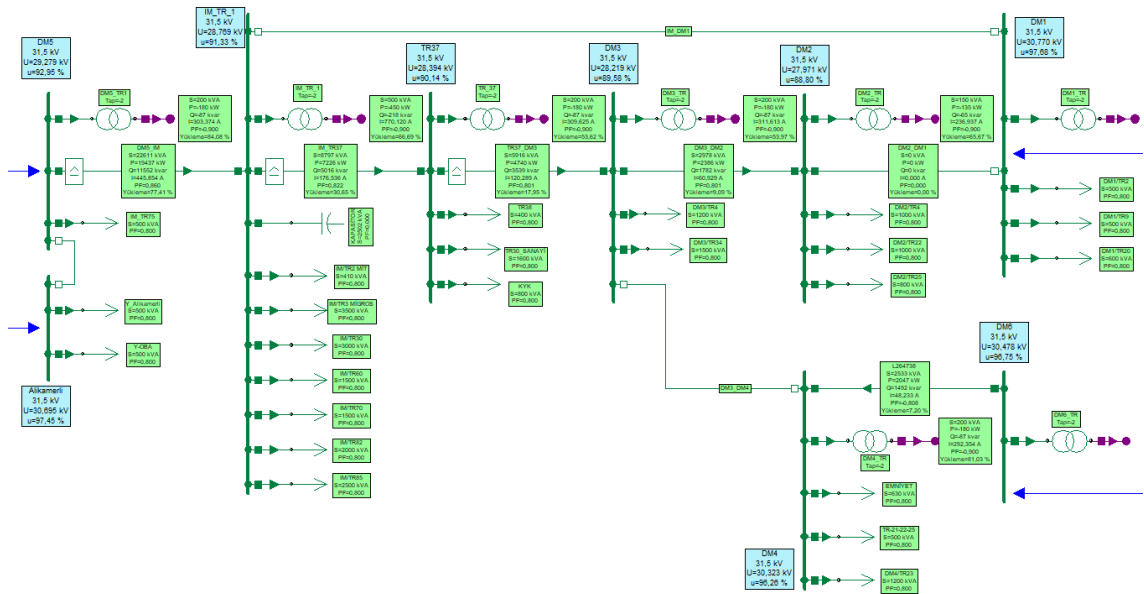
Koruma devresinde akım yolu üzerinde bulunan dağıtım merkezleri tek tek modellenmiştir. Ana dağıtım merkezi mahiyetinde bulunan Hoşhaber DM çıkış sayısı çok fazla olduğundan şebeke modelinde karışıklık oluşmaması adına farklı bir katmanda modellenmiştir. Şekil 4.8’de Hoşhaber DM şebeke modeli görülmektedir.



Şekil 4.8. Hoşhaber DM şebeke modeli

4.2.4. Dağıtım şebekesi modeli

İğdir ili gerçek şebeke parametreleri ile hat, bara, transformatör ve yük modelleri şekil 4.9’daki gibi modellenerek yük akışı ve kısa devre hesaplamaları yapılmıştır.



Şekil 4.9. Dağıtım şebekesi modeli

İsim:	DM5_IL		
Tip:	31.5/1x240/25mm2		
Uzunluk .. km:	3.93	Ünite (birim): Ohm/km	
Hat sayıları:	1	EMT model: PI	
R(1) .. Ohm/km:	0.0965	R(0) .. Ohm/km:	0.2895
X(1) .. Ohm/km:	0.166	X(0) .. Ohm/km:	0.498
C(1) .. uF/km:	0.229	C(0) .. uF/km:	0.076333
B(1) .. uS/km:	71.942	B(0) .. uS/km:	23.981
G(1) .. uS/km:	0		
Ir max (düşük) .. A:	576		
Ir max (med) .. A:	576		
Ir max (yüksek) .. A:	576		
Düşüme Faktör:	1	<input type="checkbox"/> Asimetrik Pi (bölümleri ile)	
IER max .. A:	0	<input checked="" type="checkbox"/> Anahtarlanabilir	

İsim:	TR37_DM3		
Tip:	31.5/3x477 MCM		
Uzunluk .. km:	2.29	Ünite (birim): Ohm/km	
Hat sayıları:	1	EMT model: PI	
R(1) .. Ohm/km:	0.122	R(0) .. Ohm/km:	0.366
X(1) .. Ohm/km:	0.449927	X(0) .. Ohm/km:	1.349783
C(1) .. uF/km:	0	C(0) .. uF/km:	0
B(1) .. uS/km:	0	B(0) .. uS/km:	0
G(1) .. uS/km:	0		
Ir max (düşük) .. A:	670		
Ir max (med) .. A:	670		
Ir max (yüksek) .. A:	670		
Düşüme Faktör:	1	<input type="checkbox"/> Asimetrik Pi (bölümleri ile)	
IER max .. A:	0	<input checked="" type="checkbox"/> Anahtarlanabilir	

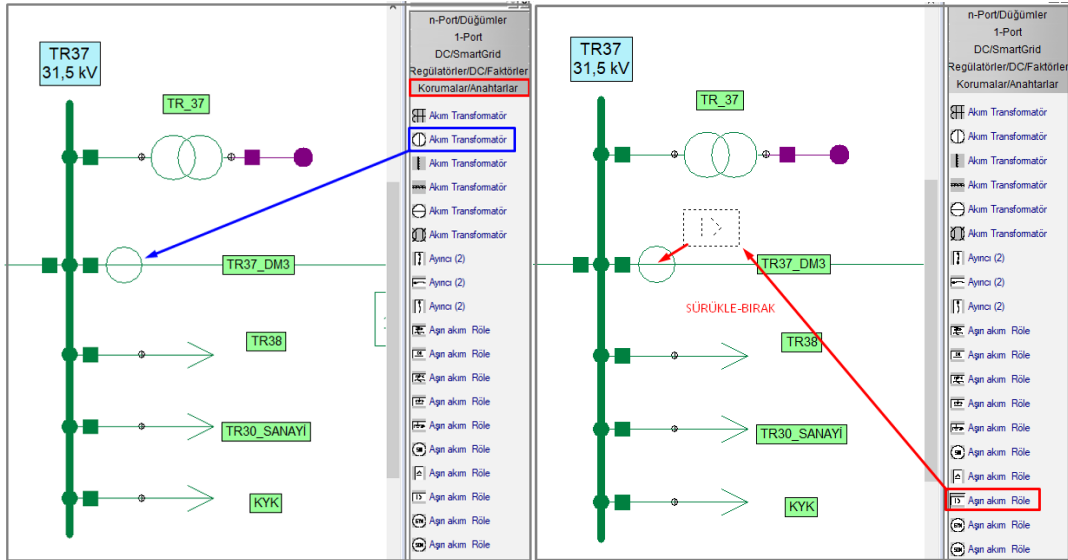
(a)

(b)

Şekil 4.10. 1x240 XLPE (a) ve 3x477 MCM (b) hat parametre değerleri

4.2.5. Koruma devresi modeli

NEPLAN programında oluşturulan şebeke modelinde DM3 barasında faz-toprak kısa devresi oluşturularak sistemde meydana gelen kısa devre akımları incelenmiştir. Kısa devre akımlarını optimum sürede sistemden izole edebilmek için bara çıkışlarına konumlandırılan aşırı akım koruma röle blokları ters akım-zaman karakteristiklerinde ayarlanmıştır.

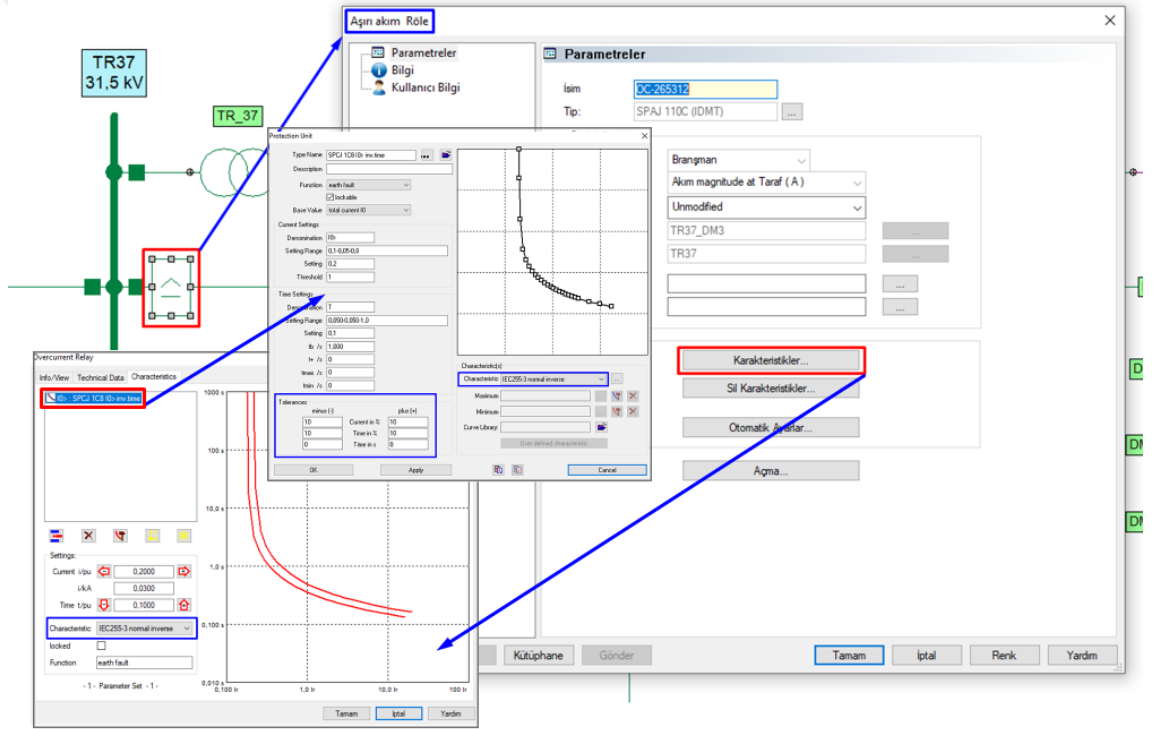


(a)

(b)

Şekil 4.11. Akım transformatörü (a) ve Aşırı akım rölesinin (b) konumlandırılması

Şebeke modeli oluşturulduktan sonra koruma yapılacak bara çıkışına Şekil 4.11’de görüldüğü gibi Semboller Penceresi-Korumalar/Anahtarlar sekmesinden bir adet akım trafosu seçilerek çıkış hattının üzerinde bırakılmıştır. Ardından bir adet aşırı akım rölesi seçilerek konumlandırılan akım transformatörünün üzerine bırakıldıktan sonra blok üzerine çift tıklanarak akım-zaman açma karakteristiği ayarlanmıştır. Şekil 4.12’de görüldüğü üzere aşırı akım rölesi parametrelerinden karakteristiğe tıklanarak ters akım zaman eğrilerinden “normal inverse” eğrisi seçilmiş, ardından eğri parametrelerinden tolerans ayarı %10 değerine ayarlanarak karakteristik tamamlanmıştır.

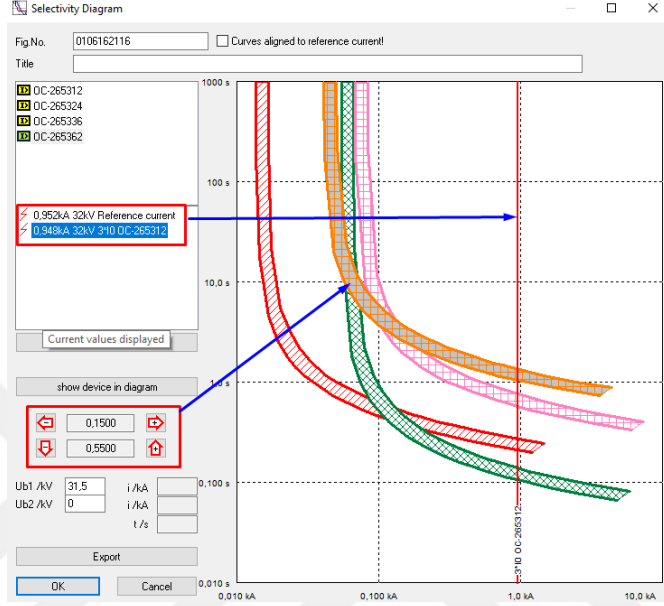


Şekil 4.12. Aşırı akım rölesi akım-zaman karakteristiği ayarı

4.2.6. NEPLAN kısa devre koruma simülasyonu

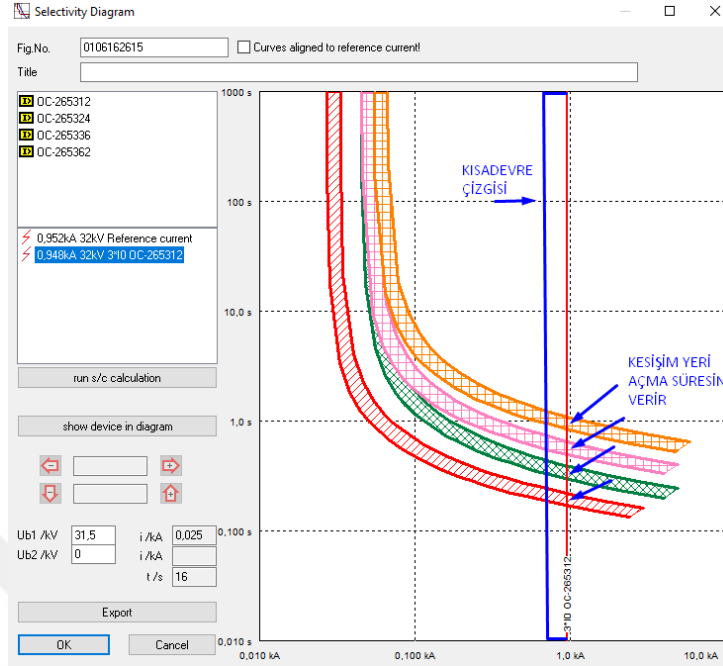
Koruma devre modelleri tamamlandıktan sonra açma zamanlarının belirli bir seçicilikte yaptırılabilmesi çok önemlidir. Aksi takdirde bazı tüketiciler gereksiz yere enerjisiz kalabilmektedir. Röle koruma modellerinde set edilen akım zaman eğrileri arasından bir uyum sağlanabilmesi için tüm akım zaman eğrilerini tek bir ekranda görebilmek selektivite ayarının yapılmasında oldukça kolaylık sağlayacaktır. NEPLAN programının sağladığı en önemli özelliklerden biri de seçicilik diyagramıdır. Araç

Çubuğu/Analiz/Aşırı Akım Koruma/Tablo Son Hesap yolundan selektivite diyagramı açılarak model üzerinde konumlandırılan tüm aşırı akım rölelerine ait zaman karakteristikleri tek bir ekranda görüntülenerek seçicilik ayarı yapılmıştır.



Şekil 4.13. Seçicilik ayarı kullanıcı diyagramı

Şekil 4.13'te görüldüğü üzere diyagram üzerinde ayarlanmak istenen eğri değerine tıklanarak röleler trafo merkezine en yakın olan en üstte olacak şekilde alttan üste doğru sıralanır. Ayarlama işlemi kırmızı oklarla gösterilen sembollerle yapılmaktadır. Yukarı-aşağı oklar ile zaman çarpanı, sağ-sol oklar ile akım çarpanını ayarlamaktadır.

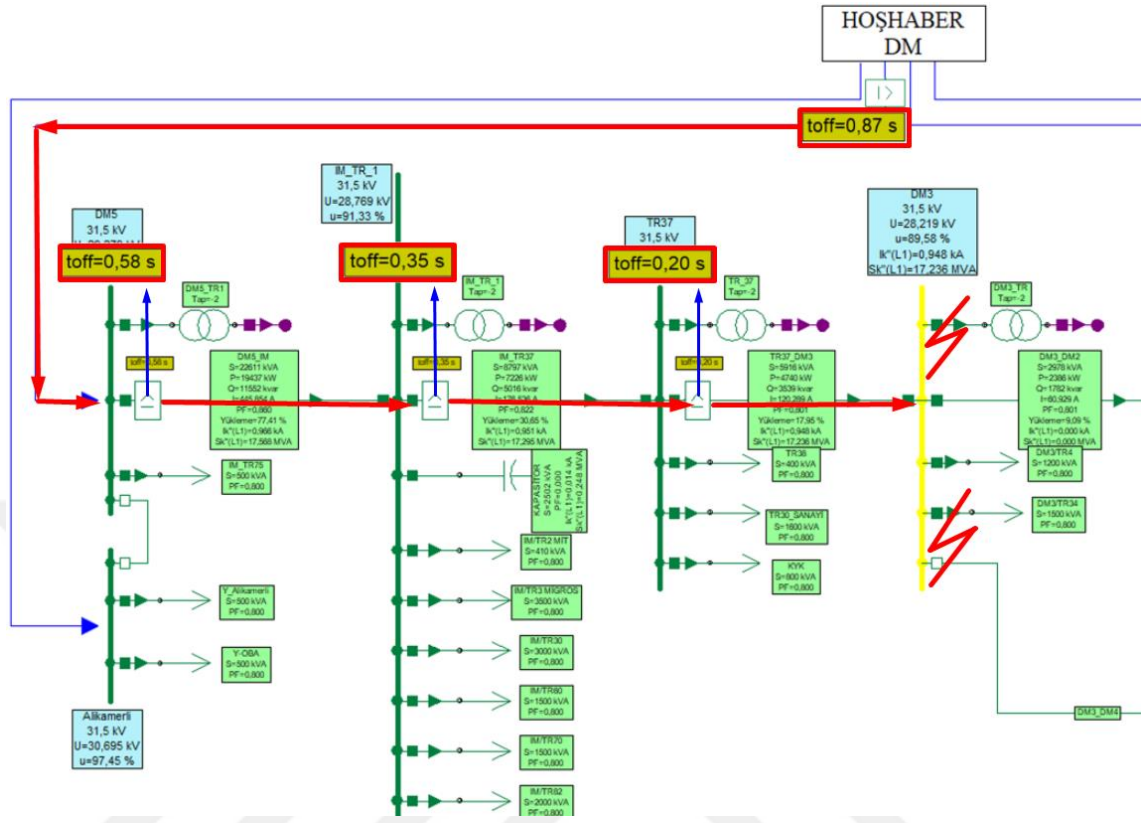


Şekil 4.14. NEPLAN şebeke modeli röle selektivite ayarı

Çizelge 4.4. NEPLAN Simülasyonu röle açma süreleri

Röle Adı	Röle Açma Süresi (Sn)
Hoşhaber DM	0,87
DM5	0,58
IM	0,35
TR37	0,20

NEPLAN programında hazırlanan Iğdır ili şebeke modelinde konumlandırılan 4 adet rölenin selektivite ayarı şekil 4.14'te görüldüğü gibi yapılmıştır. DM3 barasında faz-toprak kısa devresi uygulanarak sistem simülasyonu yapılmıştır. Şebeke parametreleri doğrultusunda simülasyon sonucunda $I_{k''}=0,948$ kA kısa devre akımı meydana geldiği görülmüştür. Aşırı akım rölelerinin ayarlanan set değerlerine göre akım zaman eğrilerinin kısa devre akım doğrusu ile kesiştiği noktalara göre açma sürelerinin hesaplandığı Çizelge 4.4'te görülmüştür. Akım yolu üzerinde bulunan röle açma süreleri Şekil 4.15'te görülmektedir.



Şekil 4.15. NEPLAN şebeke modeli koruma simülasyonu

4.3. MATLAB Simulink Şebeke Modeli

MATLAB Simulink programı matris tabanlı çalışan güçlü bir yazılım olup özellikle matematiksel hesaplama ve simülasyon analizi alanında en ileri programlardan biridir. Kütüphanesinde bulunan yüzlerce bloklar yardımıyla birçok alanda simülasyonlar yapılabilmektedir. Program blokları yardımıyla birçok alanda özel devre ve modeller yapılarak simülasyonlar yapılabilmektedir. Güç sistemi blokları ile üretilen modellerin tüm hesap simülasyonları Powergui bloğu ile yapılmaktadır. Bu çalışmada Simulink blok kütüphanesinde bulunan Simspace/Power Systems blokları ile daha önce NEPLAN programı ile oluşturulan şebeke modeli MATLAB Simulink bloklarıyla tekrar modellenerek kısa devre simülasyonu yapılmıştır.

NEPLAN programında bulunan aşırı akım koruma özelliği MATAB Simulinkte bulunmadığından Matlab Function bloğunda ters akım zaman formülü kullanılarak bir aşırı akım röle bloğu oluşturulmuştur. MATLAB Simulink programının MATLAB programıyla birlikte çalışması ve MATLAB'ın bir paket programdan ziyade bir

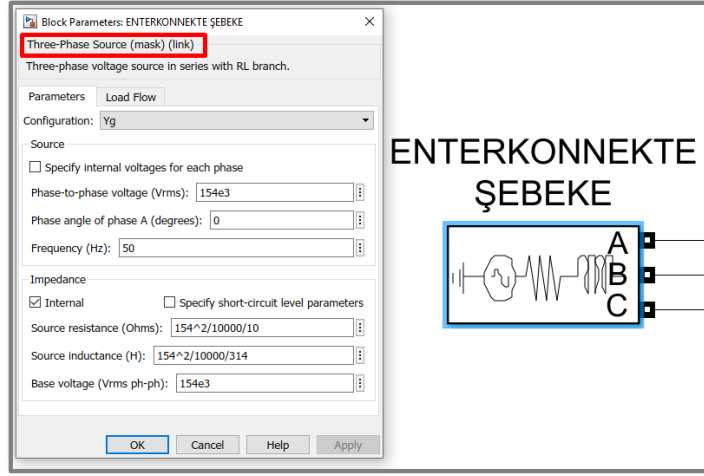
programlama yazılımı olması analizlerde kullanıcıya çok büyük üstünlükler sunmaktadır.

MATLAB Simulink blokları ile oluşturulan şebeke modelinde daha önce NEPLAN programında yapıldığı gibi aynı baradan aynı özellikte faz-toprak kısa devre arızası oluşturularak sistemin kısa devre akımları hesaplanmıştır. MATLAB'in güçlü programlama özelliğinden yararlanarak oluşturulan röle modeli bara çıkışlarından okunan akımın RMS değerini girdi olarak okuduktan sonra yazılımsal olarak açma süresini hesaplayıp ve ilgili kesiciye açma sinyali göndermektedir. MATLAB simülasyonlarının en üstün özelliği simülasyonun başlamasından bitimine kadar istenen tüm baralarda akım ve gerilim sinyalleri Scope osiloskopu yardımıyla gözlemlenebilmektedir. Röle açma süresine göre hangi kesicinin hangi sürede açtığı osiloskop sinyallerinden incelenmiştir.

Hesapların doğruluğu açısından şebeke hesaplarının kendi alanında çok iyi iki programda çok yakın sonuçlar vermesi büyük önem taşımaktadır. Hesap varyasyonu yönünden yapılan bu çalışma hata payını çok daha azaltmaktadır.

4.3.1. Enterkonnekte şebeke blok modeli

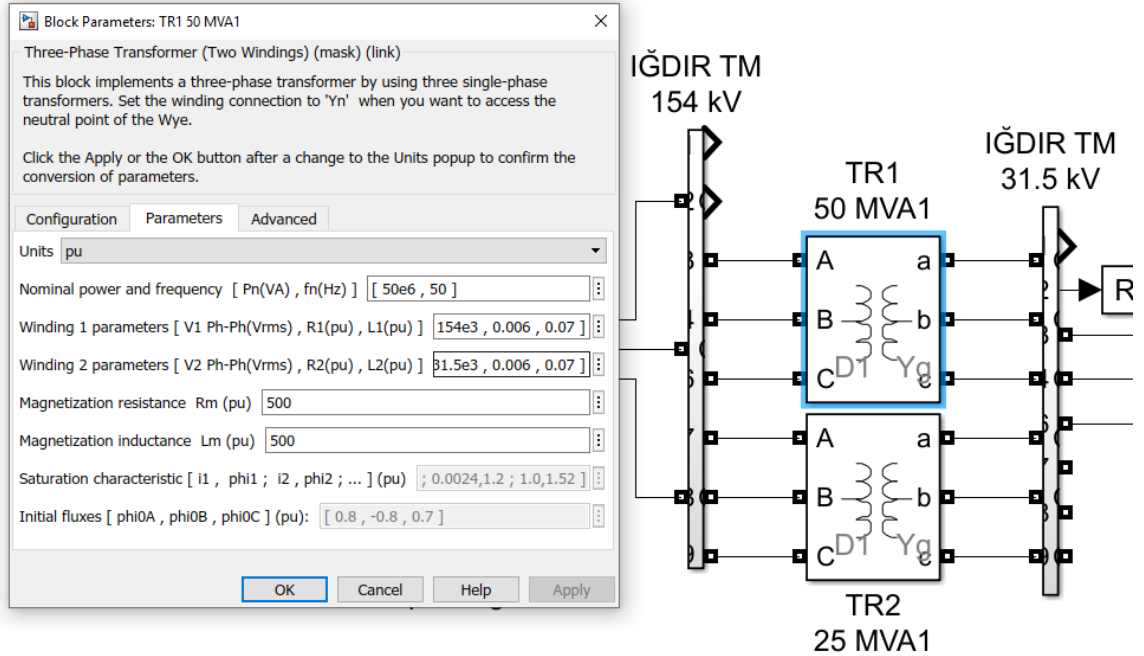
MATLAB Simulink kütüphanesinde Simspace/Power System/Specialized Technology/Fundamental Blocks/Electrical Sources menüsünde bulunan Three Phase Source bloğu kullanılarak enterkonnekte sistem modeli oluşturulmuştur. Blok üzerinde gelip sağ tıklayarak "Add block to model" denilerek blok çalışma sayfamıza eklenmiştir. Blok üzerine çift tıklanarak mask parametreleri Şekil 4.16'daki gibi girilmiştir.



Şekil 4.16. Enterkonnekte sistem bloğu ve mask parametreleri

4.3.2. Trafo merkezi şebeke modeli

MATLAB Simulink kütüphanesinde Simspace/Power System/Specialized Technology/Fundamental Blocks/Elements menüsünde bulunan Three-Phase Transformer (Two Windings) bloğu seçilerek aşağıdaki mask parametreleri uygulanmıştır.

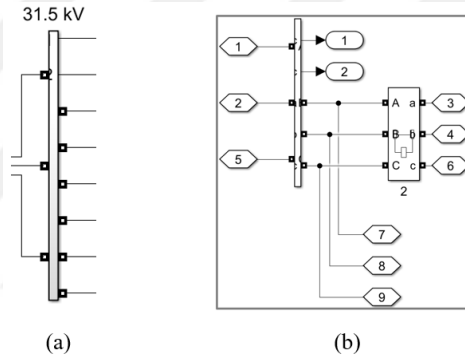


Şekil 4.17. İndirici trafo şebeke modeli ve mask parametreleri

4.3.3. Dağıtım-Ölçü barası blok modeli

Şebeke modeli üzerinde herhangi bir baraya çift tıkladığında bir adet Three-Phase VI Measurement, bir adet Three-Phase Breaker ve istenen çıkış sayısına göre yeterli sayıda giriş ve çıkış bloğu seçilerek aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi bir model oluşturulmuştur. Model oluşturulduktan sonra tüm elemanlar seçilerek seçime sağ tıklayıp açılan menüden Create Subsystem From Selection denilerek seçim bir sistem bloğu haline getirilmiş ve subsystem bloğu daraltılıp bir bara görünümüne getirilmiştir.

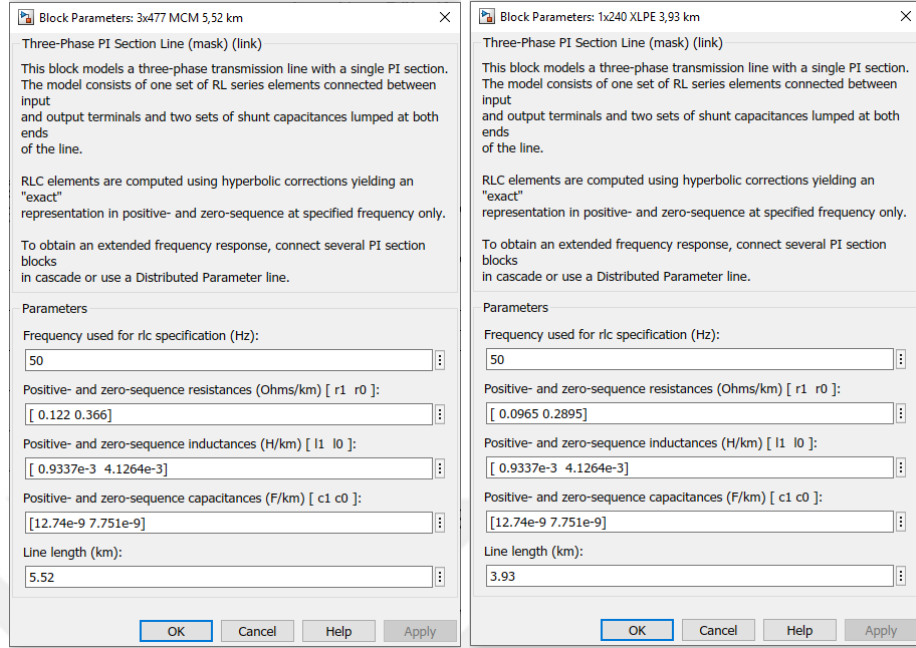
Şekildeki bara modelinde bir adet giriş ve iki adet çıkış bulunmakta olup ring çıkışı üzerinde bir adet kesici tanımlanmıştır. Ayrıca 1 ve 2 numaralı çıkış terminallerinden sırasıyla gerilim ve akım bilgisi alınabilmektedir.



Şekil 4.18. Dağıtım-Ölçü barası sistem bloğu

4.3.4. Dağıtım hattı blok modeli

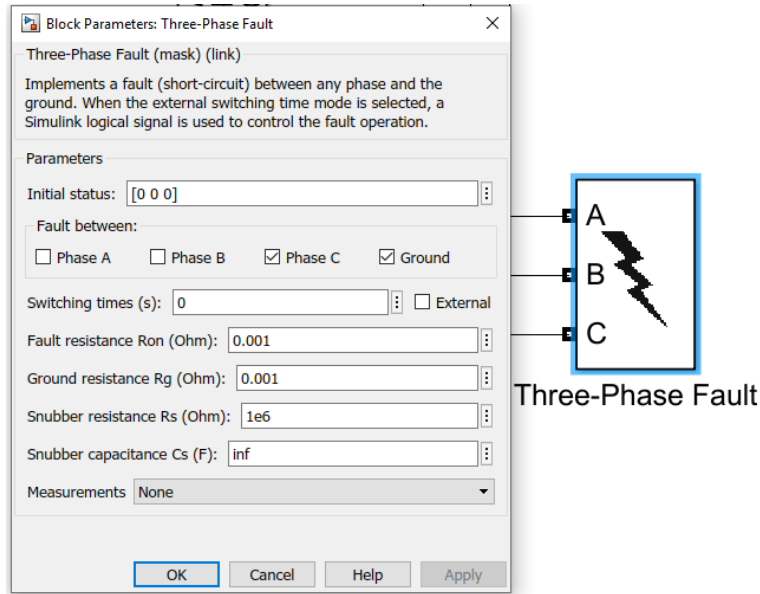
MATLAB Simulink kütüphanesinde Simspace/Power System/Specialized Technology/Fundamental Blocks/Elements menüsünde bulunan Three-Phase PI Section Line bloğu seçilerek hat tertibine göre aşağıdaki mask parametreleri uygulanmıştır.



Şekil 4.19. Dağıtım hat bloğu mask parametreleri

4.3.5. Kısa devre generatörü blok modeli

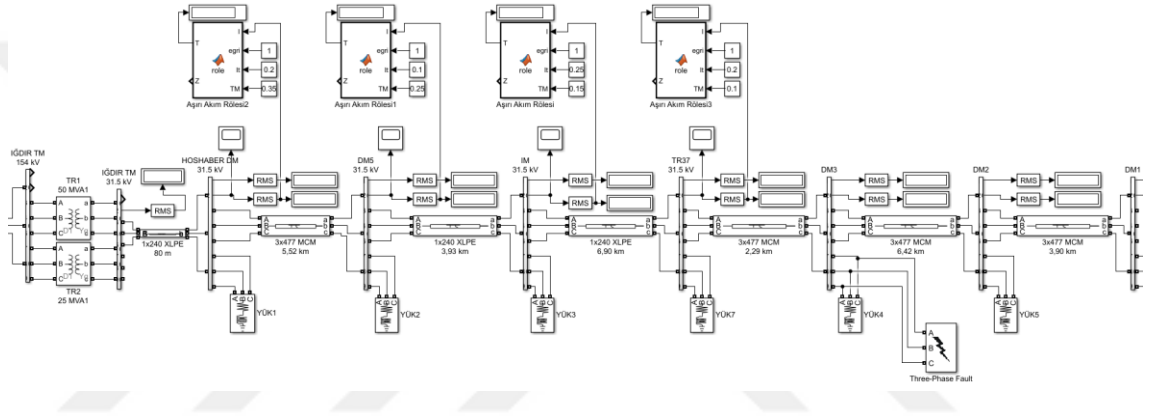
MATLAB Simulink kütüphanesinde Simspace/Power System/Specialized Technology/Fundamental Blocks/Elements menüsünde bulunan Three-Phase Fault bloğu seçilerek faz-toprak arızası için aşağıdaki mask parametreleri uygulanmıştır.



Şekil 4.20. Kısa devre generatörü mask parametreleri

4.3.6. Dağıtım şebekesi modeli

Daha önce NEPLAN programında hazırlanan şebekenin MATLAB Simulink blokları ile oluşturulan şebeke modeli şekilde görülmektedir. Şebeke modelinde görüldüğü üzere DM3 barasına bağlı bir adet kısa devre generatörü yardımıyla faz toprak, faz faz, üç faz kısa devre oluşturularak devrede meydana gelen kısa devre akımları ve yük akışları Scope ve Display blokları yardımıyla incelenmiştir. Sistem simule edildiğinde tüm baraların kısa devre akımı ve yük akışları gözlemlenmiş, akım ve gerilim sinyalleri incelenmiştir.

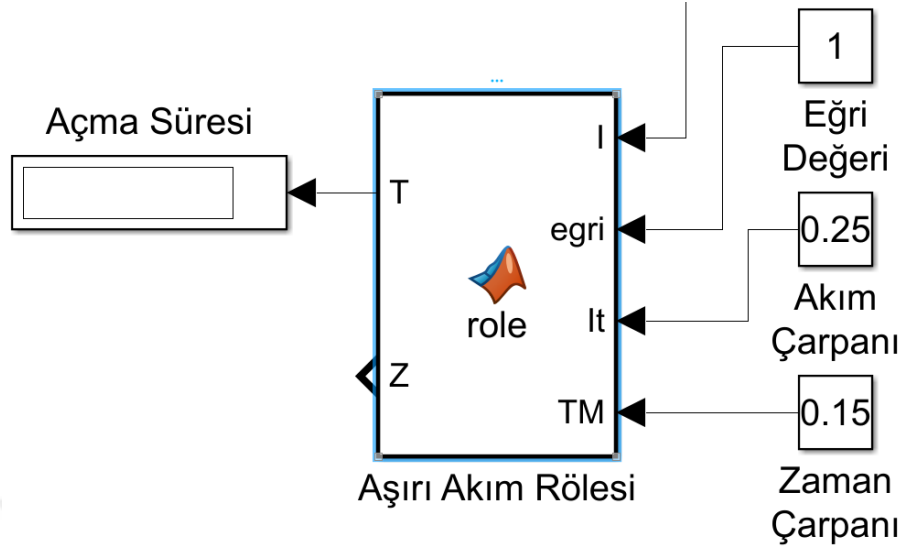


Şekil 4.21. MATLAB Simulink şebeke modeli

4.3.7. Koruma bloğu modeli

MATLAB Simulink programında koruma işlevi yapan hazır bir blok bulunmadığından Matlab Function bloğu kullanılarak röle işlevini yerine getirecek bir blok modeli oluşturulmuştur. Matlab Function bloğu MATLAB Simulink kütüphanesinde Simulink/User Defined Functions menüsünden seçildikten sonra bu bloğa çift tıklanarak açılan editör sayfasına aşağıdaki kodlar yazılmıştır.

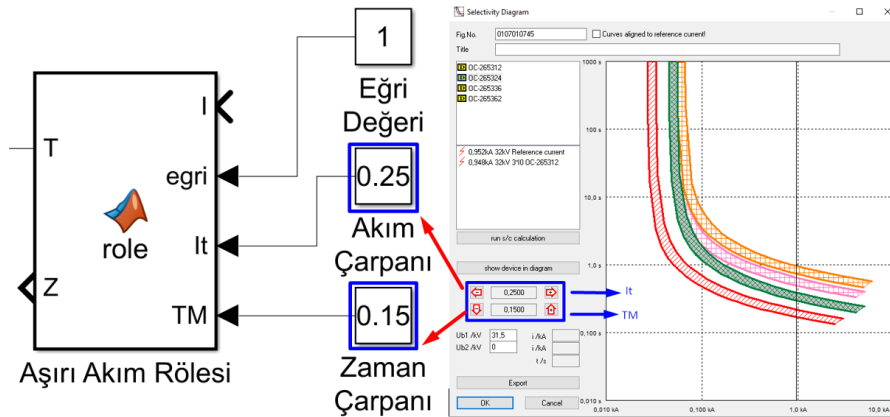
```
function [T,Z]= role(I,egri,It,TM)
K=[0.14 13.5 80 120];
L=[0.02 1 2 1];
C=[0 0 0 0];
T = (K(egri)./(I*It)^L(egri)-1)+C(egri))*TM;
```



Şekil 4.22. Aşırı akım rölesi blok modeli

Aşırı akım röle bloğunda dört adet input iki adet output portu tanımlanmıştır. I portu akımın RMS değerini okuyarak blok içindeki formüle uygulamaktadır. Blok içinde tanımlı fonksiyon hesaplama sonucu T çıkış portundan okunmaktadır. Eğri portu hangi ters-akım zaman eğrisinin seçileceği bilgisini okumaktadır. Şekil 4.22’de 1 değeri okunduğu için normal inverse eğrisine göre açma zamanı hesaplanacaktır. It akım çarpanı ve TM zaman çarpanı NEPLAN programında olduğu gibi selektivite ayarlamalarının yapılabilmesi için hesaplanan eğrinin ötelenme işlemi yapmaktadır.

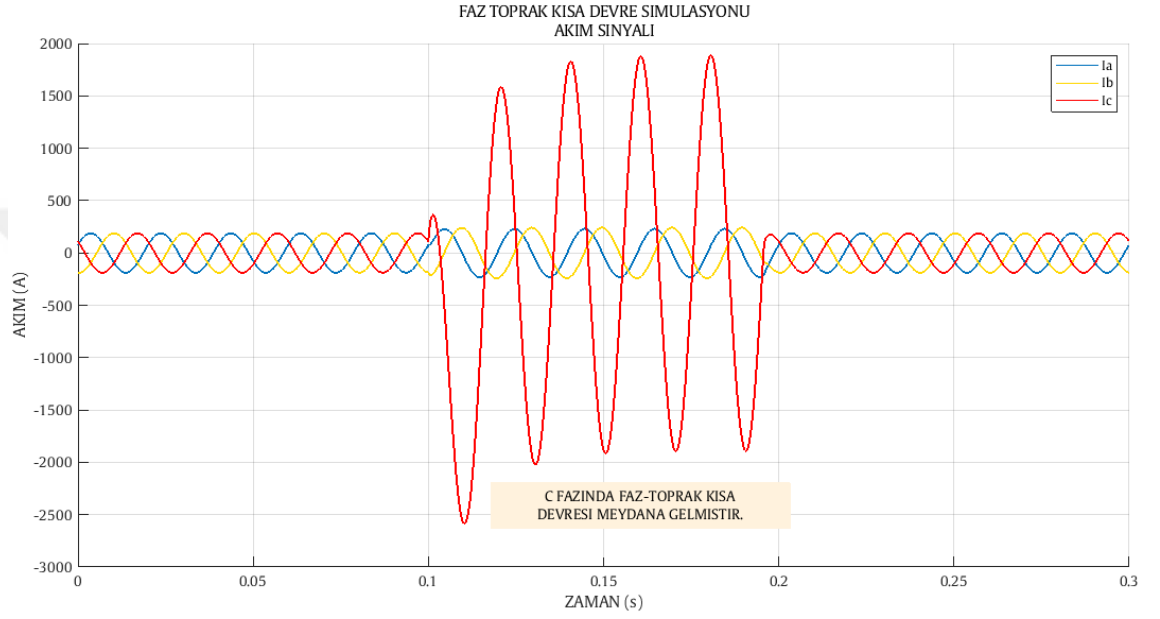
NEPLAN programında selektivite diyagramından ayarlanan akım-zaman çarpanları sırasıyla MATLAB Simulinkte hazırlanan röle bloklarına uygulanarak açma süreleri hesaplanmıştır.



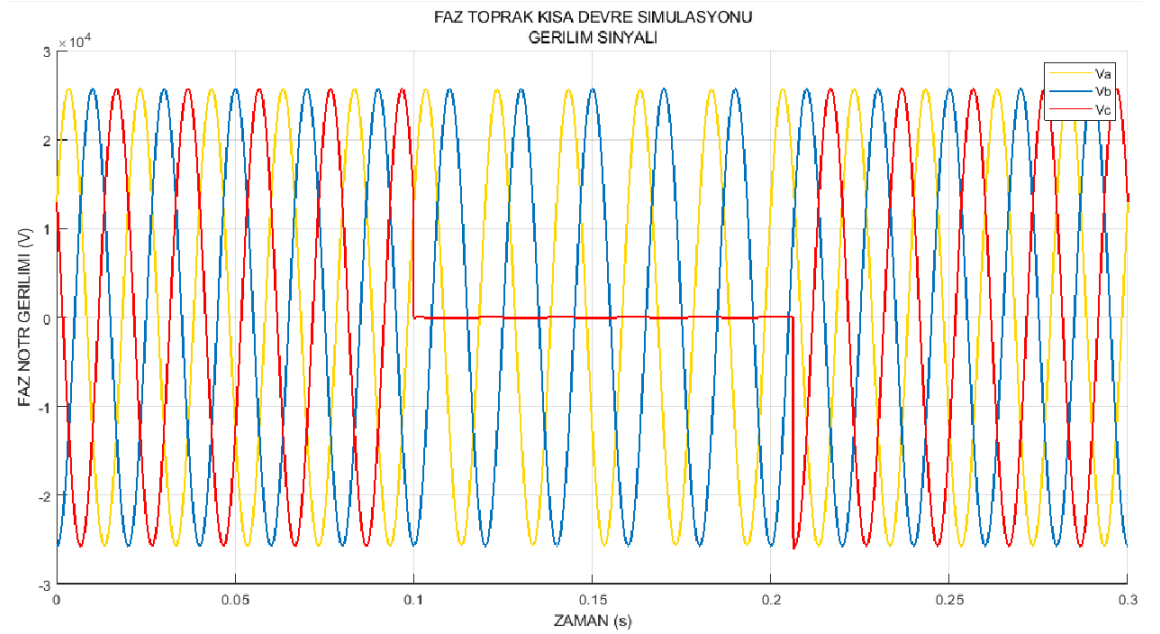
Şekil 4.23. Aşırı akım rölesi selektivite ayarı

4.3.8. MATLAB Simulink kısa devre simülasyonları

Röle selektivite ayarı için NEPLAN programında yapılan selektivite değerleri tüm röleler için Şekil 4.23'tekine benzer şekilde yapılmıştır. DM3 barasında faz-toprak, faz-faz ve üç faz kısa devre uygulanarak sistem simülasyonları yapılmıştır. Simülasyonlar sonucunda kısa devre akımlarına ait akım zaman grafikleri incelenmiştir.

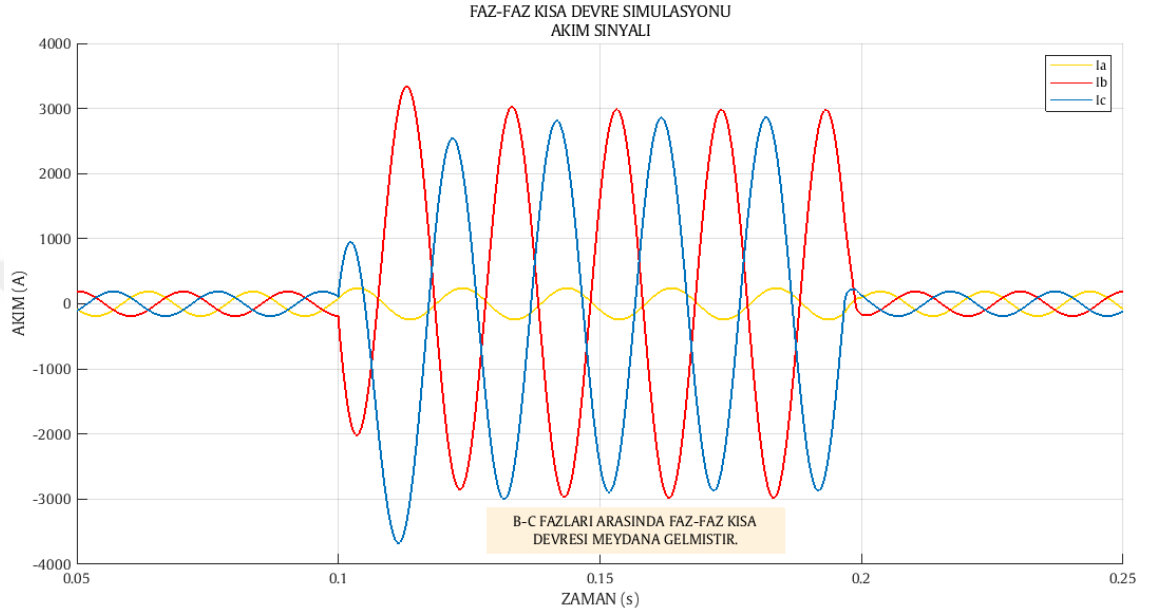


Şekil 4.24. Faz toprak kısa devre simülasyonu akım sinyali

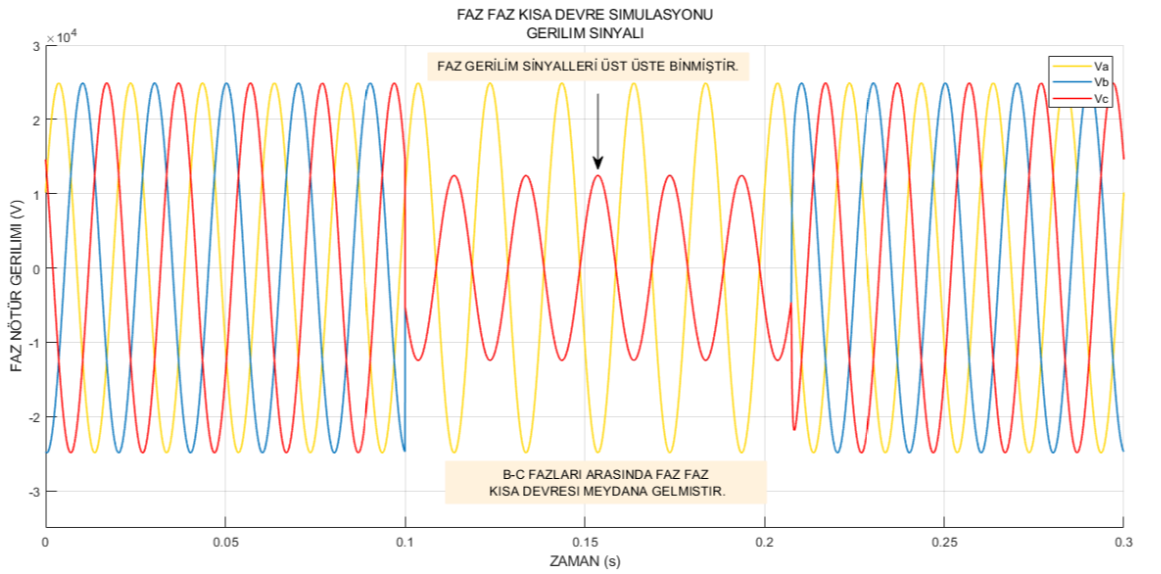


Şekil 4.25. Faz toprak kısa devre simülasyonu gerilim sinyali

Şekil 4.21'deki model şebekede ilk olarak C fazında faz-toprak kısa devre simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon sonucunda Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'te verilen akım ve gerilim sinyallerine ait grafikler incelendiğinde 0,1 saniyelik bir kısa devre arızasının fazlarda meydana getirdiği dalga şekilleri yukarıda görülmektedir.

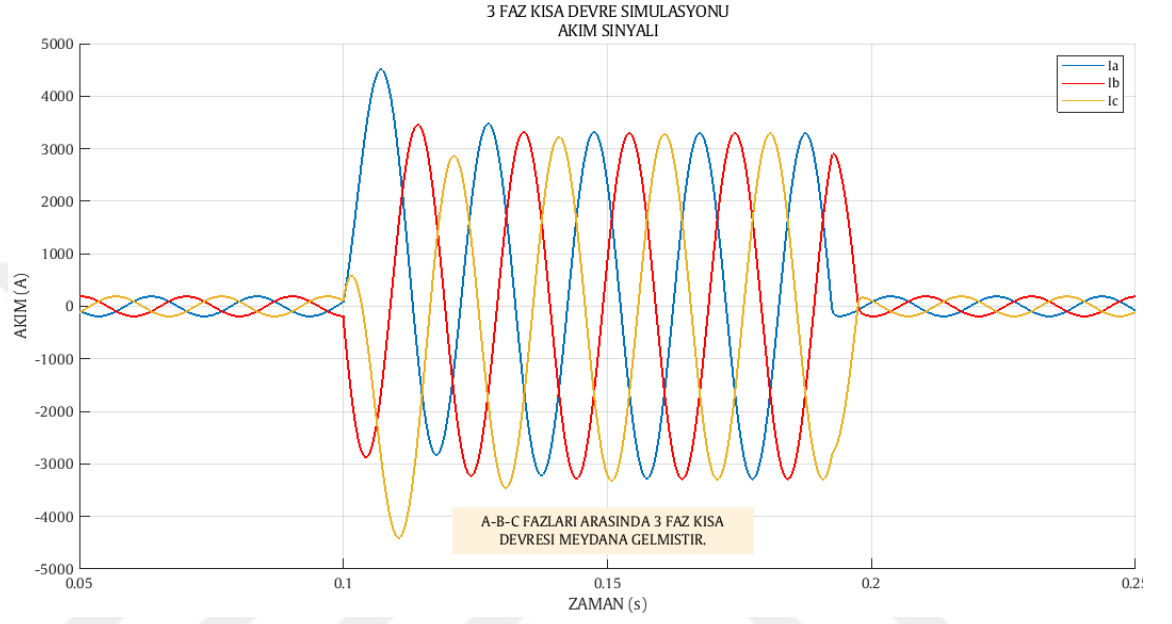


Şekil 4.26. Faz-Faz kısa devre simülasyonu akım sinyali

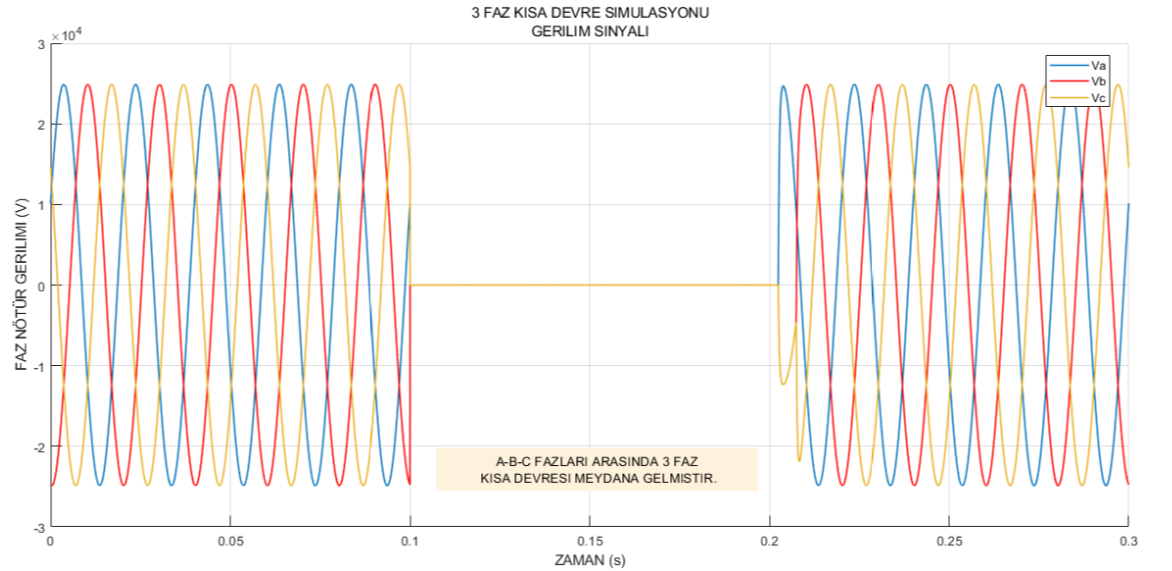


Şekil 4.27. Faz-Faz kısa devre simülasyonu gerilim sinyali

Model şebekede ikinci olarak B ve C fazları arasında faz-faz kısa devre simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon sonucunda Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de verilen akım ve gerilim sinyallerine ait grafikler incelendiğinde 0,1 saniyelik bir kısa devre arızasının fazlarda meydana getirdiği dalga şekilleri yukarıda görülmektedir.



Şekil 4.28. Üç Faz kısa devre simülasyonu akım sinyali



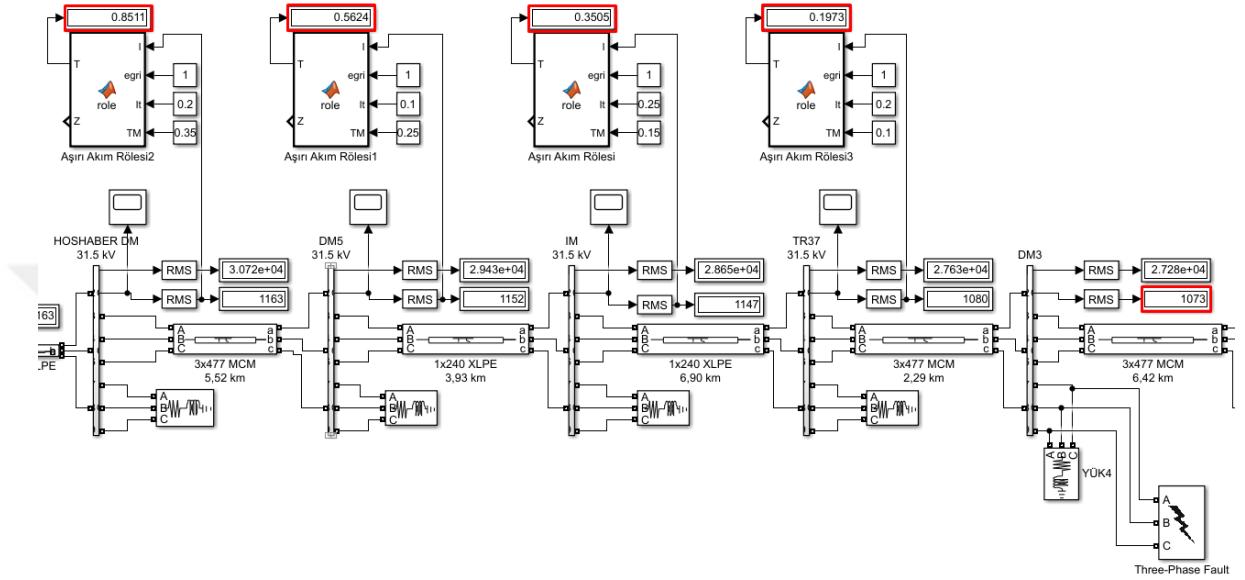
Şekil 4.29. Üç Faz kısa devre simülasyonu gerilim sinyali

Model şebekede son olarak A, B ve C fazları arasında faz-faz kısa devre simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon sonucunda Şekil 4.28 ve Şekil 4.29’da verilen akım ve gerilim

sinyallerine ait grafikler incelendiğinde 0,1 saniyelik bir kısa devre arızasının fazlarda meydana getirdiği dalga şekilleri yukarıda görülmektedir.

4.3.9. MATLAB Simulink koruma simülasyonu

4.3.9.a. Faz toprak koruma simülasyonu



Şekil 4.30. MATLAB Simulink şebeke modeli faz-toprak koruma simülasyonu

Yukarıda model şebeke üzerinde meydana gelebilecek kısa devre türlerine göre simülasyonlar gösterilmiştir. Koruma simülasyonunda model şebekede sırasıyla faz toprak, faz faz, üç faz kısa devre meydana getirilerek açma süreleri hesaplanmıştır.

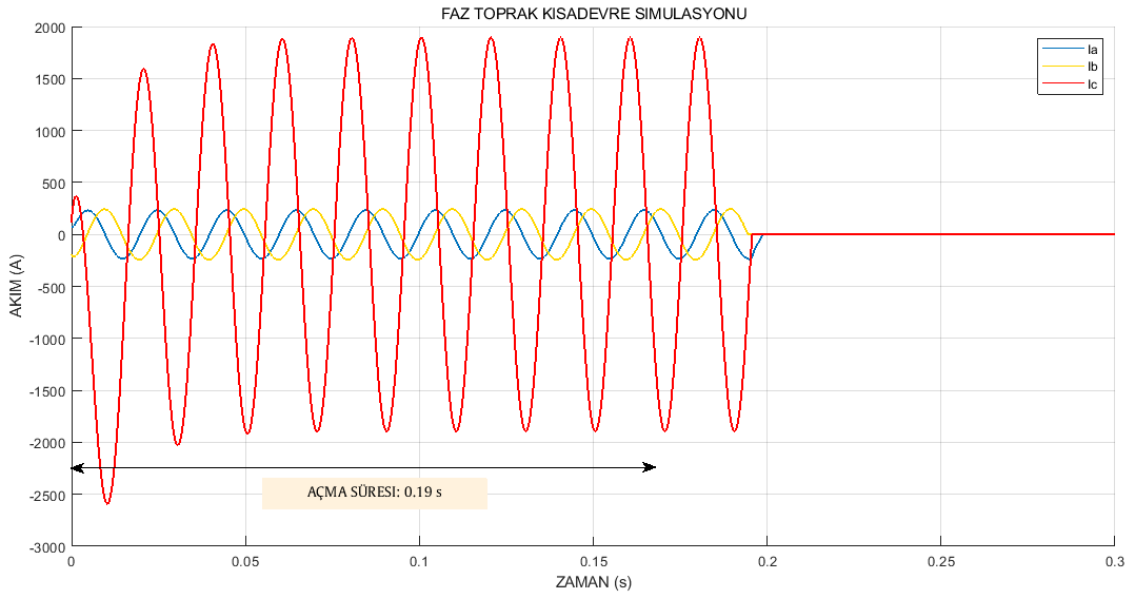
Faz toprak simülasyonu sonucunda DM3 barasında $I_k''=1,073$ kA kısa devre akımı meydana gelmiştir. Aşırı akım rölelerinin ayarlanan set değerleri ile akım zaman eğrilerine göre açma sürelerinin Çizelge 4.4'teki gibi hesaplandığı görülmüştür. Akım yolu üzerinde bulunan rölelere ait açma süreleri şekilde görülmektedir.

Yukardaki şekilde açma süreleri incelendiğinde her iki simülasyon sonucunun da birbirine çok yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Çizelge 4.5'te de bu açma süreleri karşılaştırılmış olup sonuçların hemen hemen aynı olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.5. Şebeke modeline göre faz toprak kısa devre açma süreleri

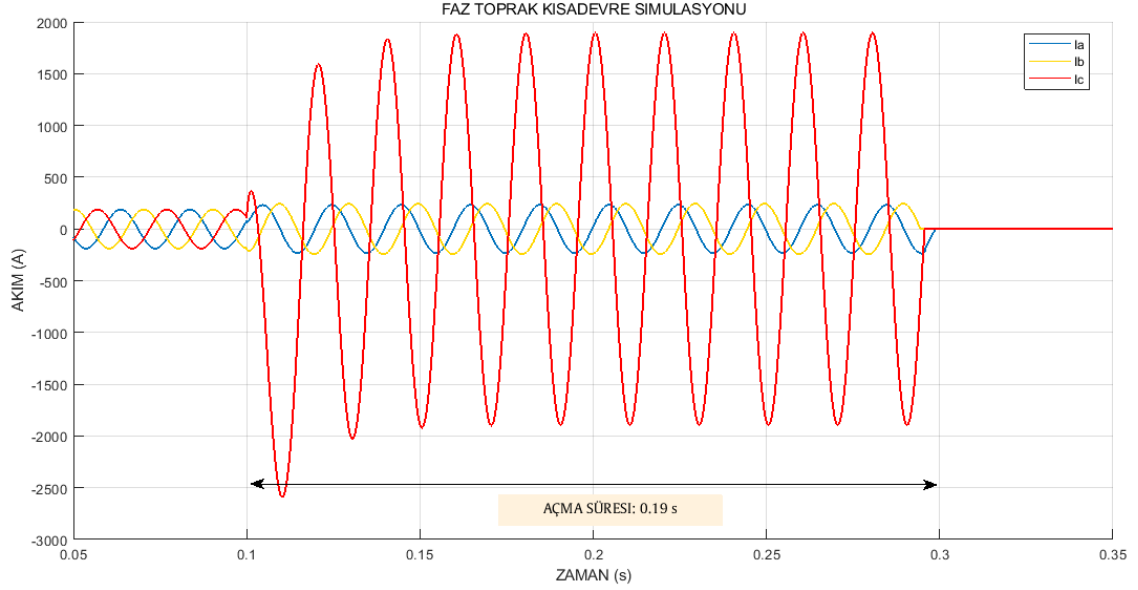
Röle Adı	MATLAB Röle Açma Süresi (sn)	NEPLAN Röle Açma Süresi (sn)
Hoşhaber DM	0,85	0,87
DM5	0,56	0,58
IM	0,35	0,35
TR37	0,19	0,20

Simülasyon çalıştırıldığında 1 saniyelik simülasyon süresinde akım sinyalleri incelendiğinde TR37 barasında bulunan aşırı akım rölesinin en kısa sürede açtığı ve 0,19 saniye sonra barada tanımlanan kesicinin açtığı görülmüştür.



Şekil 4.31. Faz toprak arızası açma simülasyonu

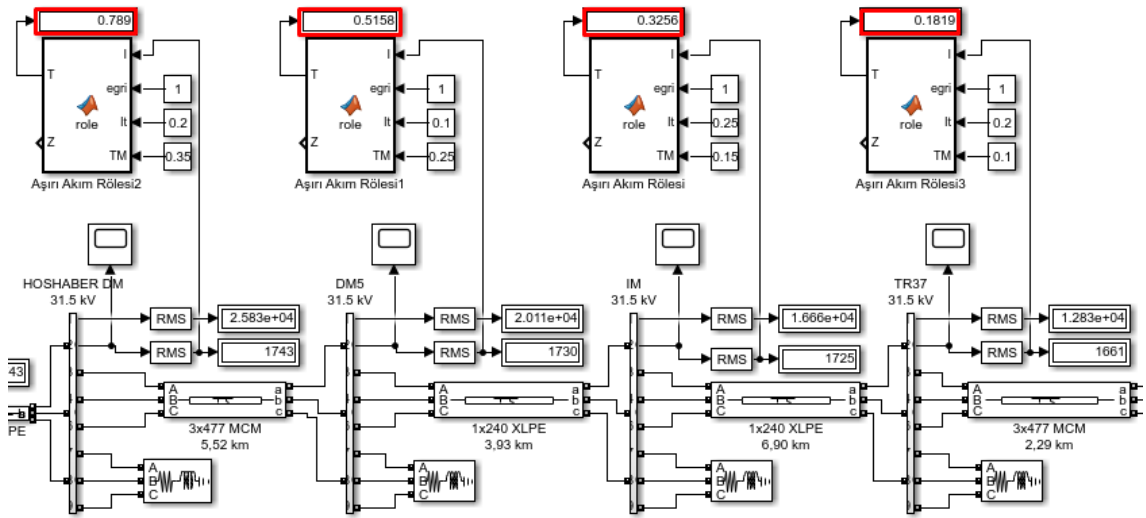
Şekil 4.31 incelendiğinde 1 saniyelik simülasyon süresince kısa devre sıfırıncı saniyede başlamış olup aşırı akım rölesi 0,19 saniye bekledikten sonra açma sinyali vererek arızalı bölümü devre dışı bırakmıştır. DM37 barasındaki kesici açmadığı için akım çekmeye devam ettiği görülmektedir.



Şekil 4.32. Faz toprak geçici kısa devre arızası açma simülasyonu

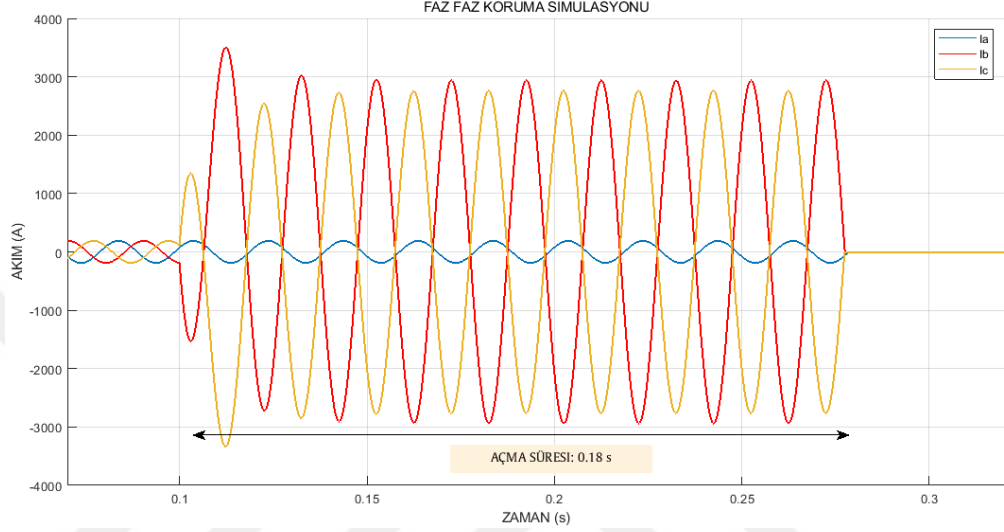
Bir saniyelik ikinci bir simülasyonda arıza 0,1 saniye de başlayıp 0,6 saniyede son bulmaktadır. Meydana gelen kısa devre akımı TR37 deki aşırı akım rölesi tarafından algılanarak 0,19 saniye sonra kesiciyi açtırmıştır. Simülasyon çıktısı incelendiğinde arıza 0,1. saniyede başladığından 0,19 saniye sonra yani 0,29. saniyede kısa devrenin sönmüldüğü şekil 4.32’de görülmektedir.

4.3.9.b. Faz faz koruma simülasyonu



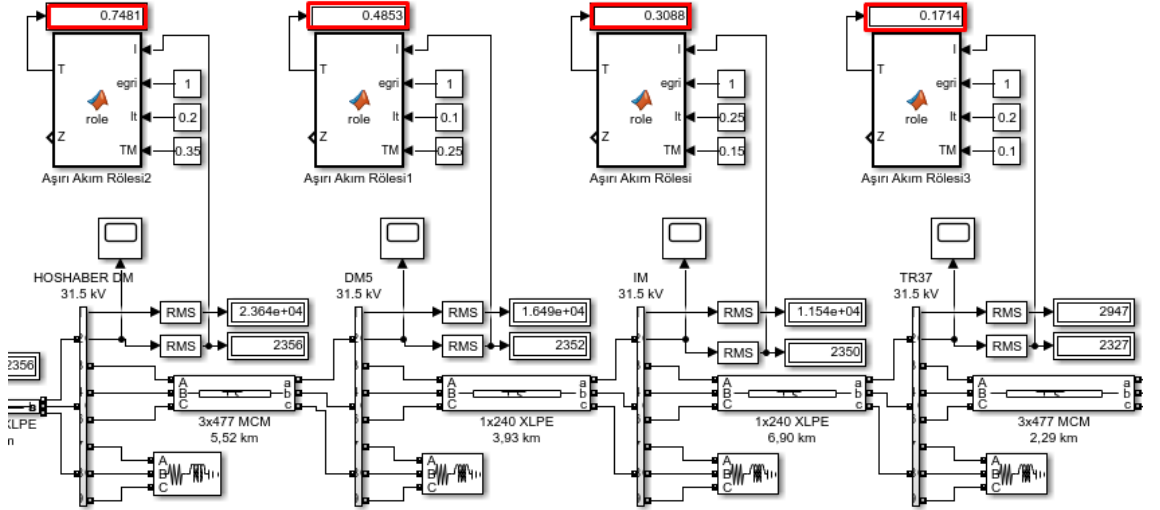
Şekil 4.33. MATLAB Simulink şebeke modeli faz-faz koruma simülasyonu

İkinci olarak DM3 barasında faz faz kısa devre oluşturularak sistemde $I_k''=1,661$ kA kısa devre akımı meydana gelmiş ve aşırı akım rölelerinin kısa devre açma sürelerini şekil 4.33'te görüldüğü gibi hesaplamıştır. Simülasyon sinyalleri incelenmiş olup kısa devrenin 0,1. Saniyede meydana geldiği ve 0,18 saniye sürdüğü görülmüştür.



Şekil 4.34. Faz faz kısa devre açma simülasyonu

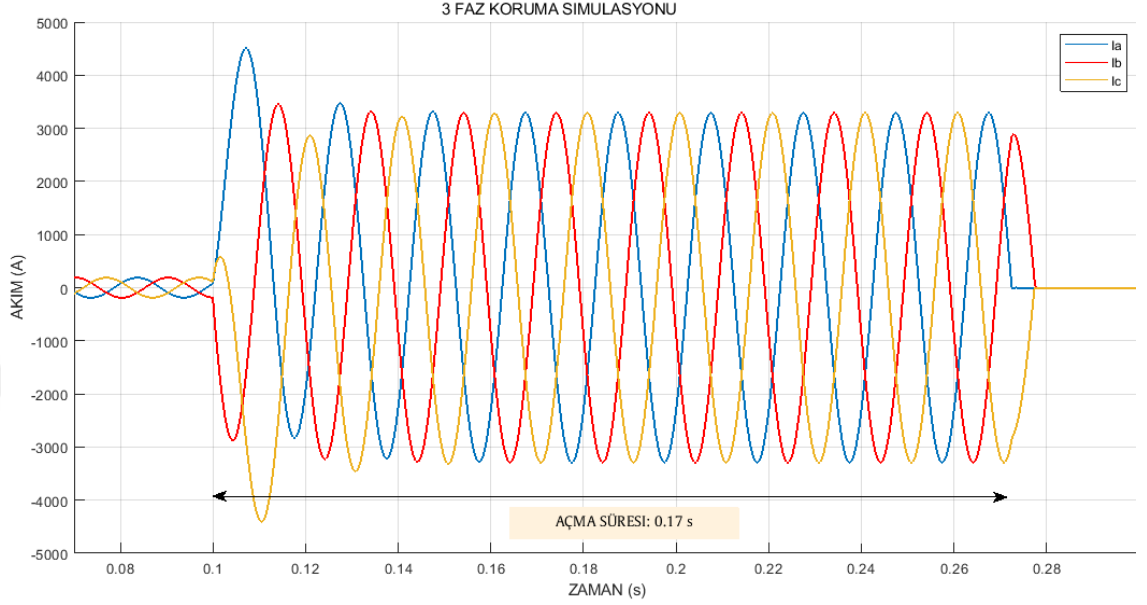
4.3.9.c. Üç faz koruma simülasyonu



Şekil 4.35. MATLAB Simulink şebeke modeli üç faz koruma simülasyonu

Son olarak DM3 barasında üç faz kısa devre oluşturularak sistemde $I_k''=2,327$ kA kısa devre akımı meydana gelmiş ve aşırı akım rölelerinin kısa devre açma sürelerini

şekil 4.35'te görüldüğü gibi hesaplamıştır. Simülasyon sinyalleri incelenmiş olup kısa devrenin 0,1. Saniyede meydana geldiği ve 0,17 saniye sürdüğü görülmüştür.



Şekil 4.36. Üç faz kısa devre açma simülasyonu

Çizelge 4.6. Kısa devre türüne göre röle açma süreleri

Röle Adı	Kısa Devre Türüne Göre Röle Açma Süreleri		
	Faz Toprak Kısa Devresi	Faz Faz Kısa Devresi	Üç Faz Kısa Devresi
Hoşhaber DM	0,85	0,78	0,74
DM5	0,56	0,51	0,48
IM	0,35	0,32	0,30
TR37	0,19	0,18	0,17

Simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında kısa devre türüne göre meydana gelen kısa devre akımları farklı olacağından röle açma süreleri de buna ters orantılı olarak değiştiği Çizelge 4.6'da görülmektedir. En büyük kısa devre akımı üç faz kısa devresinde meydana geldiği için röle açma süreleri de en kısa bu kısa devre türünde hesaplanmıştır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada güç sistemlerinde kısa devre hesaplamaları araştırılmış ve koruma devresinde bulunan devre kesicilerin açma süreleri ile elektronik ölçme ve koruma cihazlarının gecikme süreleri araştırılmıştır. Şebeke hesaplamaları için Iğdır ili şebekesinin NEPLAN ve MATLAB Simulink programında şebeke modelleri oluşturularak sistemde meydana gelen kısa devre akımları hesaplanmıştır. Geleneksel hesap yöntemlerinden ziyade simülasyon çıktılarıyla sonuçlar analiz edilmiştir. Hesap varyasyonu ve yük akışının kontrolü açısından programa ait simülasyon çıktıları oluşturulan modeller üzerinde çok daha hızlı bir şekilde analiz yapma imkânı sunmuştur.

Gerçek bir şebeke modelinin iki farklı programda simülasyonları yapılarak hesap sonuçları karşılaştırıldığında yük akışları ve kısa devre hesaplarının NEPLAN ve MATLAB Simulink programlarında birbirleri ile yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Hesap yönteminin güvenilirliği açısından sonuçların neredeyse aynı değerde olması büyük bir öneme sahiptir. Ayrıca oluşturulan şebeke modelinde hem kısa devre hesapları yapılarak bara akımları incelenmiş hem de hesaplanan kısa devre akımlarına göre açma süreleri hesaplanarak sonuçlar grafiksel olarak incelenmiştir. Daha sonra şebeke modelinde arıza noktasından kaynağa doğru 4 adet barada aşırı akım koruma röleleri konumlandırılmıştır. Röle akım zaman karakteristikleri normal invers olarak ayarlandıktan sonra eğri değerleri ötelenerek seçici bir açtırma yapılması sağlanmıştır. Sistem simülasyonu yapılarak açma süreleri model ekranında aşırı akım röleleri üzerine gösterilmiştir.

Aşırı akım rölelerinde kullanılan akım zaman eğrileri araştırılmış, eğri formülasyonları incelenip MATLAB program kodları kullanılarak bir aşırı akım koruma rölesi tasarlandıktan sonra aynı şebeke modeli MATLAB Simulink blokları ile tekrar modellenmiştir. Modelleme yapılırken MATLAB Simulink programında oluşturulan bloklarına ait parametrelerin NEPLAN program parametreleri ile aynı olmasına dikkat edilmiştir. MATLAB Simulinkte NEPLAN programındaki gibi hazır bir aşırı akım koruma bloğu olmadığından Matlab Function bloğu içerisinde MATLAB kodları ile açma süresi hesaplanmıştır. Hesaplanan açma süreleri model ekranında aşırı akım röle

modeli üzerine yazdırılmıştır. Kısa devre oluşma durumunda, arıza noktasına en yakın aşırı akım rölesinin seçiciliği sağlayarak kısa devre bölgesini en kısa sürede sistemden çıkardığı gözlemlenmiştir.

İki farklı simülasyon modelinde kısa devre akımları, yük akışları ve kesici açma süreleri karşılaştırılarak sonuçlar tablolar halinde verilmiştir. Veri karşılaştırma tablosu incelendiğinde her iki modelde de kısa devre ve açma süresi değerlerinin birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. Hesap metodolojisinde kendi alanında üstün özellikleri olan iki farklı program ile neredeyse aynı sonuçların alınması hesaplamanın güvenilirliği açısından ayrı bir önem taşımaktadır.

Diğer yandan elektrik şebekelerinde şebeke işletmecileri tarafından manuel ayarlar kullanılması koruma prosedürünün daha zayıf olmasına ve yer yer de hatalı korumalara neden olmaktadır. Hatasız bir koruma koordinasyonu sağlamanın tek yolu kısa devre hesaplamalarının yapılarak açma sürelerinin tayin edilmesi ile mümkündür.

Şebeke işletmecileri tarafından kullanılan coğrafi bilgi sistemi programlarına NEPLAN gibi analiz programlarının yaptığı yük akış ve kısa devre hesaplamaları uyarlanabilir. CBS programlarına bu özellik kazandırılarak model oluşturulmadan direkt harita üzerinden koruma modelleri oluşturmak şebekenin bütünlüğü ve hesapların doğruluğu açısından çok daha avantajlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Akdağ, O., Yeroğlu, C., 2018. 154/33,6 kV Malatya1 Trafo Merkezinde Aşırı Akım Röle Koordinasyonu Benzetimi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 9(1), 27-38.
- Akdağ, O., Peköz, D., Yeroğlu, C., 2018. 154/34,5 kV Güç Transformatörleri için Diferansiyel Koruma Rölesi Koordinasyonu Benzetimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 1070-1077.
- Anonim., 2018. Aşırı Akım Röle Koordinasyonu. <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/elek/7943#ad-image-0> (05.06.2018)
- Arifoğlu, U., 2002. Kısa Devre Analizi. *Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi*, Alfa Basım Yayım Dağıtım Ltd. Sti., İstanbul, 102-154.
- Bertrand, P., 1998. Directional Protection Equipment. *Schneider Electric Technical Collection*, France. 76 p.
- Büyükdora, H., 2002. Ölçü Trafoları ve Sekonder Koruma. Elektrik Mühendisleri Odası, http://www.emo.org.tr/ekler/109366d68770c55_ek.pdf (10.11.2018).
- Çıra, F., 2017. Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorlarda Meydana Gelen Arızaların İncelenmesi. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 17-22.
- Doğar, Y., 2012. Korumanın Gayesi. *Orta Gerilim Elektrik Şebekeleri*, Birsen Yayınevi. İstanbul, 13-15.
- Doğruer, V., 2007. *Elektrik Güç Sistemlerinde Matlab Simulink İle Kısa Devre Arıza Analizi ve Bir Örnek Olarak Van Enerji Nakil Hattının İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van. 96.
- Erentürk, K., Altaş, İ. H., 2002. Bulanık Tabanlı Bir Sayısal Koruma Rölesinin Tasarımı ve Uygulaması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 71-77.

- Gürsu, B., 2014. Ceza Fonksiyonuyla Durdurmalı Genetik Algoritmalar İle Transformatör Merkezlerinde Optimum Aşırı Akım Röle Koordinasyonu. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(4), 665-676.
- IEC-60255., 2009. Measuring Relays And Protection Equipment, *Functional Requirements For Over/Under Current Protection*, USA. 276 p.
- IEC-56., 1987. Alternating Current High Voltage Breakers, *International Electrotechnical Commission*, USA. 88 p.
- IEC-60404., 2017. Instrument Transformers, *International Electrotechnical Commission*, USA. 68 p.
- IEC-60909-0., 2001. Short Circuit Currents in Three Phase a.c. Systems, *International Electrotechnical Commission*, USA. 74 p.
- Lopez-Roldan, J., Pater, R., Poirier, S., 2014. Development of Non-Intrusive Monitoring For Reactive Switching of High Voltage Circuit Breaker. *Electrical Power and Energy Systems*, 61(1), 219-228.
- Noghahi, A. S., Sadeh, J., 2009. Considering Different Network Topologies in Optimal Overcurrent Relay Coordination Using a Hybrid GA. *IEEE Transactions On Power Delivery*, 24(4), 4-10.
- Odabaşı, T., 2001. Koruma Sistemlerinin Genel Prensipleri ,*Şebeke ve Transformator Koruması*. <https://studylibr.com/doc/1100203/koruma-sistemlerinin-genel-prensibleri--sebeke> (01.12.2018).
- PAC-E 100., 2002. Dijital Aşırı Akım Rölesi Kullanım Klavuzu, *RVA Mühendislik ve Mimarlık Ltd. Şti.*, Türkiye. 65 s.
- Rajput, V. N., Adelnia, F., Pandya, K. S., 2018. Optimal Coordination Of Directional Overcurrent Relays Using İmproved Mathematical Formulation. *The Institution of Engineering and Technology Journals*, 12(1), 2086-2094.
- Rockefeller, G., 1962. Orta Gerilim Şebekelerinin Faz Arası Arızalara Karşı Aşırı Akım Röleleri Yerine Mesafe Röleleri İle Korunması. *Electrical World*, 48-51.

- TEDAŞ-MYD-95-008.A., 2006. Orta Gerilim Kesicileri Teknik Şartnamesi. **Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.**, Ankara, 26 s.
- Tekdemir, İ. G., Alboyacı, B., 2014. Comparison of Power Swing Detection Methods in a Manner of Distance Protection Relay Operation Performance. http://www.emo.org.tr/ekler/f6785bc743dd011_ek.pdf (05.08.2018)
- TS 620 EN 60044., 2004. Ölçü Transformatörleri. **Türk Standartları Enstitüsü**, 68 s.
- TS-EN_60909-0., 2006. Üç Fazlı a.a. Sistemlerde Kısa Devre Akımları. **Türk Standartları Enstitüsü**, 57 s.
- ULUSOY., 2012. SF6 Circuit Breaker. **Ulusoy Electric User Guide**, 12 s.
- Zieneldin, H., El-Saadny, E., Salama, M., 2006. Optimal Coordination of Overcurrent Relays Using a modified particle swarm optimisation. **Electric Power Systems Research**, 76(2006), 988-995.

ÖZGEÇMİŞ

10.11.1985 tarihinde Iğdır'ın Merkez ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Iğdır'da tamamladı. 2006 yılında Pamukkale Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı ve 2010 yılında mezun oldu. Aynı yıl Tedaş Iğdır İl Müdürlüğü uhdesinde bulunan Arıza Bakım Onarım İş'i'nde 2 yıl koordinatör mühendis olarak görev yaptı ve eş zamanlı olarak Elektrik Mühendisleri Odası İl Temsilciliği görevini yürüttü. Ardından bir yıl süreli Iğdır İli Merkez Gerilim Dönüşümü İş'i'nde şantiye şefi olarak görev yaptı. 2013 yılında TEDAŞ Bölge Müdürlüğü'nün özelleşmesi ile yeni adıyla Aras EDAŞ Iğdır İl Koordinatörlüğü'nde 2017 yılına kadar Proje Tesis Şefi olarak çeşitli projelerde görev aldı. 2017 yılında Iğdır Üniversitesinde öğretim görevlisi olarak göreve başlayan Murat KARAKILIÇ evli ve iki çocuk babasıdır.