T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİ NESİL DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE KULLANILAN YÖNLÜ AŞIRI AKIM RÖLELERİNDE HAT KOPUKLUĞU VE ARIZA NOKTASI TESPİTİ

YAVUZ UYAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI

DANIŞMAN
ÖĞR. GÖR. DR. YAVUZ ATEŞ

İSTANBUL, 2018

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİ NESİL DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE KULLANILAN YÖNLÜ AŞIRI AKIM RÖLELERİNDE HAT KOPUKLUĞU VE ARIZA NOKTASI TESPİTİ

Yavuz UYAR tarafından hazırlanan tez çalışması 20/06/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Öğr. Gör. Dr. Yavuz ATEŞ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Öğr. Gör. Dr. Yavuz ATEŞ

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Osman YILDIRIM

İstanbul Arel Üniversitesi _____

Doç. Dr. Ozan ERDİNÇ

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında yardımını hiç bir zaman esirgemeyen, destek ve teşvikleri ile sürekli yanımda olan danışman hocam Sayın Öğr. Gör. Dr. Yavuz ATEŞ'e ve aynı şekilde üstümde emeğinin büyük olduğunu düşündüğüm bir diğer hocam Sayın Arş. Gör. Dr. Ali Rıfat BOYNUEĞRİ'ye teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Yüksek lisans öğrenimim içerisinde ahirete intikal eden ve bugünlere gelmemde emeklerinin çok büyük olduğunu düşündüğüm rahmetli dedem Refik UYAR ve rahmetli ananem Halide UYAR'a Allahtan rahmet diler, kendilerine teşekkürlerimi sunmayı borç bilirim.

Mesai arkadaşlarıma ve tez süresi içerisinde bana her zaman destek olan, firmam "Elmak Kontrol Sistemleri'ne" sağladıkları ortam ve gösterdikleri anlayıştan ötürü teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca her zaman maddi ve manevi destekleri ile yanımda olan ve çalışmalarım sırasında bana gösterdikleri sabır ve desteklerinden dolayı kıymetli aileme saygı ve sevgilerimi sunarım.

Mayıs, 2018

Yavuz UYAR

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ ix

ŞEKİL LİSTESİ x

ÇİZELGE LİSTESİ xii

ÖZET xiii

ABSTRACT xv

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 5
1.3 Orijinal katkı 5

BÖLÜM 2

GÜÇ SİSTEMLERİNDE MEYDANA GELEN ARIZALAR 7

2.1 Faz-Toprak Kısa Devresi 8
2.2 Faz-Faz Kısa Devresi 10
2.3 İki Faz-Toprak Kısa Devresi 11
2.4 Üç Faz Kısa Devresi 12

BÖLÜM 3

ELEKTRİK TESİSLERİNDE KORUMA SİSTEMLERİ 14

3.1 Korumanın Tanımlanması 14
3.2 Koruma Sistemini Oluşturan Elemanlar 15
3.2.1 Kesiciler 15
3.2.1.1 Yağlı Tip Kesiciler 15
3.2.1.2 Vakumlu Kesiciler 15

3.2.1.3 SF6 Gazlı Kesiciler 15
3.2.2 Ölçü Transformatörleri 16
3.2.2.1 Gerilim Transformatörleri 16
3.2.2.2 Akım Transformatörleri 17
3.2.3 Koruma Röleleri 18
3.2.4 Yardımcı Ekipmanlar 18
3.3 Düzgün Çalışan Bir Koruma Sisteminden Beklenenler 18
3.3.1 Seçicilik 19
3.3.2 Hızlı Çalışma 20
3.3.3 Güvenilir Çalışma 20
3.3.4 Yedek Koruma 21
3.3.5 Ekonomik Olma 21
3.4 Koruma Metodolojileri 21
3.4.1 Elektrik Tesislerinde Uygulanan Koruma Metodolojileri 21
3.4.1.1 Aşırı Akım Koruması 21
3.4.1.2 Diferansiyel Koruma 24
3.4.1.3 Yönlü Korumalar 25
3.4.1.4 Toprak Arızalarına Karşı Koruma 26
3.4.1.5 Aşırı ve Düşük Gerilim Korumaları 26
3.4.2 Güç Transformatörlerinde Uygulanan Koruma Metodolojileri 27
3.4.2.1 Bucholtz Rölesi İle Koruma 27
3.4.2.2 Tank Koruma 28
3.4.2.3 Basınç Boşaltma Rölesi İle Koruma 28
3.4.2.4 Yağ Seviye Göstergesi İle Koruma 28
3.4.2.5 Aşırı Akım Koruması 28
3.4.2.6 Kısa Devre Koruması 28
3.4.2.7 Diferansiyel Koruma 29
3.4.3 Generatörlerde Uygulanan Koruma Metodolojileri 29
3.4.3.1 Dış Arızalara Karşı Koruma 29
3.4.3.2 Aşırı Akımlara Karşı Koruma 30
3.4.3.3 Dengesiz Yüklere Karşı Koruma 30
3.4.3.4 Ters Güçlere Karşı Koruma 30
3.4.4 Aşırı ve Düşük Frekansa Karşı Koruma 30
3.4.5 Alan Kaybına Karşı Koruma 31
3.4.6 Stator Toprak Arızasına Karşı Koruma 31
3.4.7 Senkron Çalışma Kontrolü 31
3.4.8 İletim Hatlarında Uygulanan Koruma Metodolojileri 31
3.4.8.1 Klasik Mesafe Röleleri 31
3.4.8.2 Operasyon Karakteristiği 32
3.4.8.3 R-X Diagramındaki Operasyon Karakteristiği 33
3.4.8.4 Yönlü Mesafe Röleleri 35
3.4.8.5 Modifiye Edilmiş Karakteristik 36

BÖLÜM 4

AÇIK DEVRE ARIZASININ TESPİTİ İÇİN ALGORİTMANIN GELİŞTİRİLMESİ 39

4.1 Kapasitans Hesaplamaları 39

4.2 Endüktans Hesaplamaları 41
4.2.1 Üç Fazlı Sistemlerde Endüktans Hesabı 42
4.3 Empedans Hesaplamaları 43
4.3.1 Carson Hat Modeliyle Tek Fazlı Sistemlerin Empedans Hesabı 43
4.3.2 Carson Hat Modeliyle Üç Fazlı Sistemlerin Empedans Hesabı 45

BÖLÜM 5

IEEE4 BARALI SİSTEM, INJECTOR, BLOCKER MODELLEMELERİ VE SİMÜLASYON SONUÇLARI 49

5.1 IEEE4 Baralı Sistemin Hat Parametreleri 49
5.1.1 Hat Parametrelerinin Empedans Cinsinden Teyit Edilmesi 51
5.1.2 Parametrelerin Reaktans, Endüktans, Kapasitans Cinsinden Teyidi . 52
5.2 IEEE4 Baralı Sistemin Modellenmesi 55
5.3 Hat Kopukluğu Arızasının Tespit Edilmesi 57
5.4 IEEE4 Baralı Sistem Üzerinden Hat Kopukluğu Arızasının Algılanması 58
5.4.1 Nominal Kaynak ve Yük İhmali Durumunda Empedans Ölçümü 58
5.4.2 Nominal Kaynak ve Blocker İhmali Durumunda Empedans Ölçümü 60
5.4.3 Injector Tasarımı 61
5.4.4 Blocker Tasarımı 61
5.4.5 IEEE4 Baralı Sistem İle Injector'ın Birleştirilmesi 62

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER 71

KAYNAKLAR 74

EK-A

MATLAB SONUÇLARI 77

Otomatik Bara Empedan Matrisi Hesaplama Programı Kodları 77

ÖZGEÇMİŞ 85

SİMGE LİSTESİ

V_{a0}	Sıfır Bileşen A Fazı Gerilimi
V_{b0}	Sıfır Bileşen B Fazı Gerilimi
V_{c0}	Sıfır Bileşen C Fazı Gerilimi
V_{a1}	Pozitif Bileşen A Fazı Gerilimi
V_{b1}	Pozitif Bileşen B Fazı Gerilimi
V_{c1}	Pozitif Bileşen C Fazı Gerilimi
V_{a2}	Negatif Bileşen A Fazı Gerilimi
V_{b2}	Negatif Bileşen B Fazı Gerilimi
V_{c2}	Negatif Bileşen C Fazı Gerilimi
I_{a0}	Sıfır Bileşen A Fazı Akımı
I_{b0}	Sıfır Bileşen B Fazı Akımı
I_{c0}	Sıfır Bileşen C Fazı Akımı
I_{a1}	Pozitif Bileşen A Fazı Akımı
I_{b1}	Pozitif Bileşen B Fazı Akımı
I_{c1}	Pozitif Bileşen C Fazı Akımı
I_{a2}	Negatif Bileşen A Fazı Akımı
I_{b2}	Negatif Bileşen B Fazı Akımı
I_{c2}	Negatif Bileşen C Fazı Akımı
Z_f	Arıza Empedansı
I	Röleden Geçen Arıza Akımı
I_p	Rölenin Ayarlandığı Çalışma Akımı
Z_p	Zaman Çarpanı Ayar Değeri
t	Açma Zamanı
F_1	Kısa Devre Akımı
V_{bg}	B Fazı Toprak Gerilimi
V_{cg}	C Fazı Toprak Gerilimi
V_f	Faz Gerilimi
R	İletim Hattı Direnci
L	İletim Hattı Endüktansı
C	İletim Hattı Kapasitesi
G	İletim Hattı Kondüktansı
Z_0	Karakteristik empedans
$Z_{Eş}$	Eşdeğer empedans
$Z_{yük}$	Yük empedansı

T	Tork
r_a	Birim Uzunlukta A Fazı Direnci
r_b	Birim Uzunlukta B Fazı Direnci
r_c	Birim Uzunlukta C Fazı Direnci
r_d	Birim Uzunlukta Toprak Direnci ρ
ρ	Toprak Geçirgenliği
R_{FE}	Demir Kayıplarını Temsil Eden Direnç
X_m	Mıknatıslanma Akımını Oluşturan Bobinin Reaktansı

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternatif akım
CB	Kesici
CT	Akım Trafosu
DC	Doğru akım
EI	Aşırı Ters Eğri
GMR	Geometrik Ortalama Yarıçap
ICA	Bağımsız Bileşen Analizi
NI	Ters Eğri
PLC	Güç Sistemleri Haberleşmesi
VI	Çok Ters Eğri
VA	Volt Amper
VT	Gerilim Trafosu
XLPE	Yüksek Yoğunluklu Çapraz Polietilen

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Simetrili bileşenler 8
Şekil 2.2 Tek faz-toprak kısa devresi 9
Şekil 2.3 Tek faz-toprak kısa devresi devre gösterimi [25] 9
Şekil 2.4 Faz-faz kısa devresi 10
Şekil 2.5 Faz-faz kısa devresi devre gösterimi [25] 11
Şekil 2.6 İki faz-toprak kısa devresi 11
Şekil 2.7 İki faz-toprak kısa devresi gösterimi [25] 12
Şekil 2.8 Üç faz kısa devresi 12
Şekil 3.2 Gerilim trafosunun devreye bağlanışı 17
Şekil 3.3 Akım trafosunun devreye bağlanışı 18
Şekil 3.4 Koruma sistemlerinde seçicilik [23] 19
Şekil 3.5 Bağımsız zamanlı aşırı akım koruması [22] 22
Şekil 3.6 Bağımlı zamanlı aşırı akım koruması [22] 22
Şekil 3.7 Bağımlı zamanlı aşırı akım koruması ve ani açma [23] 23
Şekil 3.8 Eğrilerin kıyaslanması [23] 24
Şekil 3.9 Yönlü aşırı akım koruması [22] 25
Şekil 3.10 Mesafe rölesi çalışma diagramı 32
Şekil 3.11 Mesafe rölesi operasyon karakteristiği 33
Şekil 3.12 R-X diagramının karakteristiği 34
Şekil 3.13 Yön ünitesinin karakteristiği 35
Şekil 3.14 Yönlü mesafe rölesinin karakteristiği 36
Şekil 3.15 Modifiye edilmiş yönlü mesafe rölesinin karakteristiği 37
Şekil 4.1 Üç fazlı şebekenin kapasite dağılımı [31] 40
Şekil 4.2 A fazının B fazına göre imajı [41] 41
Şekil 4.3 Fazların birbirlerine ve kendilerine göre imajları 42
Şekil 4.4 A fazının toprağa göre imajı 43
Şekil 4.6 Üç fazlı toprak geri dönüşlü Carson hattı [31] 45
Şekil 4.7 GMR değerlerinin temsil edilmesi 48
Şekil 5.1 IEEE4 baralı sistem 49
Şekil 5.2 IEEE4 baralı sistemde iletken konumları 50
Şekil 5.3 IEEE4 baralı sistemin Matlab'te modellenmesi 56
Şekil 5.4 İlk durum empedans ölçümü 59
Şekil 5.5 İlk durum empedans ölçümü sonuçları 59
Şekil 5.6 İkinci durum empedans ölçümü 60

Şekil 5.7 İkinci durum empedans ölçümü sonuçları 61
Şekil 5.8 Injector tasarımı 61
Şekil 5.9 Blocker tasarımı 62
Şekil 5.10 Injector ile IEEE4'ün birleştirilmesi 63
Şekil 5.11 Injector ile IEEE4'ün sadeleştirilmiş halinin birleştirilmesi 63
Şekil 5.12 İletim hattında kopukluk durumu 63
Şekil 5.13 Hat kopukluğu arızasının tespiti için takip edilen sıralama 64
Şekil 5.14 L1 fazı empedans sonuçları-1 65
Şekil 5.15 L1 fazı empedans sonuçları-2 66
Şekil 5.16 L1 fazı empedans sonuçları-3 66
Şekil 5.17 L1 fazı empedans sonuçları-4 67
Şekil 5.18 Uzun hat için L1 fazı empedans sonuçları-1 68
Şekil 5.19 Uzun hat için L1 fazı empedans sonuçları-2 68
Şekil 5.20 Uzun hat için L1 fazı empedans sonuçları-3 69
Şekil 5.21 Uzun hat için L1 fazı empedans sonuçları-4 69

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Koruma kodları 37
Çizelge 5.1 Endüktans çarpım sabiti 52
Çizelge 5.2 Gerilim ölçümleri 57
Çizelge 5.3 Akım ölçümlerii 57
Çizelge 5.4 İlk durum empedans ölçüm sonuçları 59
Çizelge 5.5 İkinci durum empedans ölçüm sonuçları 60
Çizelge 5.6 IEEE4 baralı sistem için empedans ölçüm sonuçları 66
Çizelge 5.7 Uzun hat için empedans ölçüm sonuçları 68

ÖZET

YENİ NESİL DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE KULLANILAN YÖNLÜ AŞIRI AKIM RÖLELERİNDE HAT KOPUKLUĞU VE ARIZA NOKTASI TESPİTİ

Yavuz UYAR

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Öğr. Gör. Dr. Yavuz ATEŞ

Gelişen teknoloji ve artan sanayileşme enerjiye olan bağımlılığı hiç olmadığı kadar arttırmıştır. Kesintisiz enerji, gündelik yaşamın temel unsuru haline gelmiş ve meydana gelen arızaların elektriksel enstrümantasyonlara, iletim ve dağıtım şebekelerine, enerji üretim tesislerine hatta enterkonnekte sisteme zarar vermeden izole edilip çözülmesi hayati önceliklerden biri halini almıştır.

Elektrik tesislerinde koruma rölelerinin temel fonksiyonu sistemde meydana gelen kısa devrelerde ya da tesise ve tesis elemanlarına zarar verebilecek herhangi bir anormal durumda, elektrik şebekesinin geri kalan kısmının etkin bir şekilde çalışmasını etkilemeyecek şekilde, arızalı olan bölgenin mümkün olan en kısa sürede servis dışı edilmesini sağlamaktır. Gelişen teknoloji ve artan ihtiyaçlar rölenin bu temel işlevinin ilgi aralığını arttırmış ve doğru koordinasyonun sağlanması adına yeni koruma metodolojileri geliştirilmiştir.

Bu nedenle, bu çalışmada günümüzde sıkça karşılaşılan ve karşılaşıldığında uzun süreli enerji kesintilerine neden olabilen, mesafe rölesi prensibiyle düşünülüp kısa devre arızasıyla karıştırılan hat kopukluğu (açık devre) arızasıyla ilgili yeni bir yaklaşım ortaya konulmuştur. Havai şebekeler için farklı değerlendirilmeler yapılarak hat modellemeleri gerçellenmiştir. Gerçellenen primer devre şeması üzerine yüksek frekans bölgesi oluşturulmuştur. Elde edilen bu şema üzerine yerleştirilen hat parametreleri, benzetim (simülasyon) ortamında test edilmiştir. Sistemin farklı parametrelere göre cevabı sayısal değerler üzerinden değişimler yapılarak gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, açık devresi arızasının tespiti için, bu algoritmanın koruma röleleriyle birlikte kullanılması

planlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik şebekeleri, kısa devre, açık devre, koruma sistemleri, röle koordinasyonu, hat kopukluğu arızası

ABSTRACT

DETERMINATION OF LINE DISCONNECTION AND FAULT LOCATION WITH DIRECTIONAL OVERCURRENT PROTECTION RELAYS IN ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORKS

Yavuz UYAR

Department of Electrical Engineering
MSc. Thesis

Advisor: Assist. Prof. Dr. Yavuz ATEŞ

Developing technology and increasing industrialization have increased the dependency of energy as much as ever. Uninterrupted energy system becomes key element of daily life and faults not to affect the electrical instruments, transmission and distrubition networks, power plants, interconnected system; and to isolate from the system, has become vital issue recently.

The function of protection relays in electrical networks is to cause the prompt removal from the service of any element of a power system in as soon as possible when it suffers a short circuit or when it starts to operate in any abnormal manner that might cause damage or otherwise interfere with the effective operation of the rest of the system. Developing technology and increasing needs have increased the range of interest of this basic function and new protection methodologies have been developed in order to make correct coordination. Together with changing demands, work continous for new developments.

In this study, today's frequently encountered problem 'open circuit fault' which causes longtime energy interruptions and supposed as distance relay principles but generally be mistaken with short circuit has been approached with a current point of view. Line modelling has been realized by making different evaulations for overhead networks. A high frequency region is created on the primer circuit diagram.The line parameters placed on the obtained schema were tested in a simulated environment. The system has been observed by changing the numerical values according to different parameters. In

conclusion, it is planned to use this algorithm with protection relays to detect open circuit fault.

Keywords: Electrical networks, short circuit, open circuit, protection systems, relay coordination, line disconnection fault.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Elektrik güç sistemlerinin; kaliteli, güvenilir ve sürekli olması günümüzde en çok önem verilen hususların başında gelmektedir. Bu kapsamda elektrik şebekelerinde koruma teknikleri ciddi bir yer teşkil etmektedir. Gelişen teknolojiyle birlikte koruma rölesi teknolojisi de çok büyük değişimlere uğramıştır. Günümüzde kullanılan dijital röleler milisaniye hassasiyetinde tepkiler vererek koruma stratejilerinin uygulama doğruluğunu arttırmakta ve bu da sistem güvenliğinin en üst seviyeye çıkmasını sağlamaktadır. Koruma rölelerinin sağladığı fonksiyon tipleri genel olarak; mesafe, sıcaklık, aşırı ve düşük gerilim, aşırı akım, ters faz, güç faktörü, frekans, senkronizasyon ve diferansiyel koruma gibi türlerdir. Bu türlerin her biri farklı formülüzasyonlar sonucu elde edilmekte ve buna bağlı olarak dijital rölelerin ayarları yapılmaktadır.

1.1 Literatür Özeti

Günümüzde koruma sistemleri ve hat kopukluğu arızasının tespitiyle ilgili çeşitli literatür çalışmaları vardır. Bu bağlamda yapılmış çalışmalara ve çalışmalardan alınan sonuçların bir kısmına aşağıda yer verilmiştir.

Milioudis ve arkadaşları havai hatlarda meydana gelen yüksek empedans arızalarının ekonomik ve güvenlik açılarından problem ortaya çıkartabileceğinden bahsetmişlerdir. Bu arızaların konvansiyonel koruma yöntemleri kullanılarak tespit edilemediği ve problemi çözmek adına spesifik bir yöntem geliştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Yüksek frekans aralıklarından Cenelec A bandı (9-95 kHz) kullanılarak bu arızalar tespit edilmeye çalışmışlardır [1].

Sutar ve arkadaşları, akıllı şebekelerin, enerji iletim ve dağıtım hatlarından veri toplamak ve bu verileri analiz etmek için sensörler yardımıyla iki yönlü dijital iletişim kurduklarından

bahsetmişlerdir. İki yönlü iletişimin nedeni, krıtik şebeke olaylarının gerçek zamanlı tanıma ve gerçek zamanlı cevap gerektirmesinden kaynaklı olduğunu söylemişlerdir.

Bu nedenle sistem kararlılığı, ekipman performansı, enerji kesintileri ve talep-yanıt gibi gerçek zamanlı olayları ölçmek için IP tabanlı, açık standart, akıllı iletişim kullanıldığına değinmişlerdir [2].

Lauletta ve arkadaşları, elektrik üretim kaynaklarının kullanıcılara olan uzaklığından dolayı elektrik iletiminin ve dolayısıyla da iletim hattı güvenilirliğinin öneminden bahsetmişlerdir. Bu makalede günümüzde kullanılan çoğu kablo test tekniğinin aksine farklı bir yaklaşımda bulunulmuştur. Günümüzdeki test tekniklerinin çoğu enerji kesintisi gerçekleştirilerek, kablo hattan izole edilerek ve kısmi boşalma için yüksek gerilim uygulanarak yapılmaktadır. Makalede bu zorluklara istinaden farklı bir teknik düşünülmüştür. Bu teknikteki aktif kıskaç sisteminin kablo izolasyonunu doğru bir şekilde ölçeceğini ve bunu yaparken de kesinti yapmaya ihtiyaç duyulmayacağını ve hatta zarar verici bir etki olmayacağını söylemişlerdir. Düşündükleri yeni sistemin adına da ‘kablo arıza tahmin sistemi’ demişlerdir [3], [4].

Durga ve arkadaşları, iletim hattının sonundan gönderilen ve alınan 3 fazlı anlık RMS güç değerlerini kullanarak hattın korunması için yeni bir arıza bulma yöntemi önermişlerdir. Herhangi bir hata algoritmasının giriş sinyalinin, yalnızca arıza durumunda değil yüksek empedans hatalarında, güç salınımları, akım trafosu doyumu ve frekans sapmaları gibi durumlarda da tetiklenebileceğini belirtmişlerdir [5].

Ladisnav ve arkadaşları, güç hattı iletişim yöntemi üzerinden (PLC) diğer akıllı şebeke cihazları için zaman senkronizasyonunu sağlamak adına öneride bulunmuşlardır.1-PPS, IRIG-B, GPS saati ve IEEE1588 gibi zaman sekronizasyonu yöntemleri akıllı şebekelerde kullanıldığını söylemişlerdir. Ancak bu yöntemler PLC kullanan çoğu cihaz için uygun olmadığını eklemişlerdir [6].

Matthew ve arkadaşları, iletim hatlarında meydana gelen hasarların tespitinde empedans ölçümlerinden faydalanarak yeni bir cihaz irdelemişlerdir. Bu cihazın prototipini kullanarak yaptıkları çalışmaları ve ölçüm sonuçlarını sunmuşlardır. Bu cihazın, yüksek frekansta iletim

hattının empedansını ölçebilme özelliğine sahip olduğunu ve bunu yaparkende iletim hattının stabil yapısında herhangi bir bozulmaya yol açmadığını söylemişlerdir.

Ayrıca bu cihazın belli bir mesafedeki frekans kaynağından gönderilen frekans uyartımında hatta bulunan herhangi bir açık devreyi simule edebilme özelliğinden bahsetmişlerdir. Bu sebeplerden ötürü empedans ölçümündeki hassasiyeti arttırdığını eklemişlerdir [7], [8], [9].

Stefano ve arkadaşları, güç hattı iletişim yönteminin (PLC), endüstriyel bağlamda akıllı şebeke uygulamaları için maliyet-fayda dengesi gözetildiğinde en uygun yöntemlerden biri olduğunu söylemişlerdir. Ancak endüstriyel çevredeki gürültülü iletişim ve elektromanyetik girişim nedeniyle haberleşme güvenilirliğinin bazı zamanlarda tehlikeye atılabileceğini eklemişlerdir. Bu çalışmada, PLC performans tahmini için çok protokollü bir enstrüman sunulmuştur. Bu enstümanın, farklı fiziksel modülasyonlara sahip birçok PLC sistemini karakterize edebildiği ve kod çözebildiği belirtilmiştir. Ayrıca cihaz prototipinin hâlihazırda endüstriyel bir tesiste çalıştırılıp, gerçek çalışma esnasında incelendiği de eklenmiştir [10].

Lesek ve arkadaşları, çok iletkenli havai hatlardaki kabloların R, L, C ve G parametrelerinin ölçümünü açıklamışlardır. Güç hatlarının genel olarak üç faz olarak taşındığını ve bazı yerlerde buna nötr ve toprağın da eklendiğini söylemişlerdir. Sistemi modelleyebilmek için kullanılan kabloların R, L, C ve G parametrelerinin bilinmesi gerektiğini eklemişlerdir. Bu çalışmada havai iletim hattı için bahsedilen parametrelerin, kablonun şiltli veya şiltsiz olması durumuna göre nasıl hesaplanacağına dair açıklamada bulunmuşlardır [11], [12].

Hussain ve arkadaşları, çok iletkenli iletim hatlarında senkronize edilmemiş ölçümleri kullanarak basit bir arıza konum algoritması önermişlerdir. Arıza yeri hesaplanmadan önce, arızalı baranın tanımlanması için gelişmiş veri senkronizasyon prosedürü kullanıldığını söylemişlerdir. Ayrıca arıza konum algoritmasının, arıza direncinden ve kaynak empedansından bağımsız olduğunu eklemişlerdir [13].

Gilmar ve arkadaşları, enerji iletim hatlarındaki arıza bulma yöntemlerinin, elektriksel sinyallerin normal dışı çalışmasının tespit edilmesi için kullanıldığını söylemişlerdir. Normal çalışma durumundaki sinyal davranışlarının modellemesini olabildiğince doğru şekilde oluşturmuşlardır. Bu durumda bile elektrik sinyallerinin gürültüye maruz kaldığını tespit etmişlerdir. Bu nedenle üst ve alt sınırlar oluşturularak arıza tespiti yapılması gerekliliğini vurgulamışlardır [14], [15].

Krishnanand ve arkadaşları, güç sistemlerinde kullanılan diferansiyel röle için model tanıma yaklaşımı sunmuşlardır. Bu çalışmada yöntem olarak FDST'nin (Hızlı Ayrık S Transformu) sağladığı enerji bilgilerinin kullanıldığını söylemişlerdir. Mevcut sistemlerde kullanılan S Transformunun aksine bu yöntemde frekans ölçekleme, bant geçişi filtreleme, enterpolasyon gibi tekniklerin kullanıldığını ve hesaplama karmaşıklığının olmadığını eklemişlerdir [16].

Yunus Biçen, enerji iletim hatlarının kalan ömrünü tahmin etmek adına yeni bir yöntem sunmuştur. Yöntemin testini 154 kV XLPE yeraltı kablosu üzerinde yapmıştır. Sonuç olarak yük koşulların kablo ömrünü belirleyen en önemli etken olduğunu dolayısıyla gerçekçi bir tahmin için yük ve LOL trendi izlenmesinin krıtik olduğunu söylemiştir [17].

Yavuz Ateş ve arkadaşları, yenilenebilir enerji kaynaklarını da içeren dağıtık enerji sistemlerinden oluşan yeni nesil şebeke sistemlerinde özellikle ada modundayken değişken ve belirsiz hata karakteristikleri görülmesi nedeniyle mevcut koruma yöntemlerinin yetersiz kaldığını söylemişlerdir. Bu sorunun çözümü adına konvansiyonel şebekelerde de sıklıkla kullanılan yönlü aşırı akım rölesine ait işletim karakteristiklerindeki ayar değerlerini, sistemdeki bütün koruma cihazlarının izlenmesi ve haberleşmeleri vasıtası ile değişken yük taleplerine hızlı bir şekilde cevap verecek şekilde adaptif olarak belirlemişlerdir. Bu sayede sistem kararlılığı, sürekliliği ve güvenilirliğinin arttılacağını belirtmişlerdir [18].

Almeida ve arkadaşları, iletim hatlarında meydana gelen arızaların sınıflandırılması ve yer tespitinin yapılabilmesi için bağımsız bileşen analizi (ICA), hareketli dalga (TW) teorisi ve destek vektör makinesini (SVM) birleştirerek yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Yaklaşımın yüksek gerilim hatlarında meydana gelen bozuklukların tespiti için yeterli olacağı ve gelen sinyallerin gürültülü olacağını eklemişlerdir. Gerçek iletim hattı modelinde arızanın farklı tip ve yeri için deney yapıldığını ve modelin tespit konusunda çok iyi sonuçlar verdiğini iddia etmişlerdir. Elde edilen hata payının %1 olduğunu söylemişlerdir [19], [20].

1.2 Tezin Amacı

Güç sistemi bileşenlerinin güvenli bir şekilde çalışması, sistemin işletim ve kontrolündeki en önemli hususlardan biridir.

Güç sistemleri; generatörler, transformatörler, iletim hatları, baralar, akım transformatörü ve gerilim transformatörü gibi pek çok bileşenden oluşur. Tüm bu bileşenlerin içinde iletim hatları arıza oluşma olasılığının yüksek ve çözüm süresinin uzun olduğu en kritik bileşenlerin başında gelmektedir. Gelişen koruma rölesi teknolojisi, iletim hatlarında meydana gelen kısa devre arızalarında, ideal şartlar baz alındığında, etkili bir koruma meydana getirmektedir. Ancak değişken çevre ve iklim koşulları hat empedans değerlerini ciddi bir biçimde değiştirebilmekte ve bu da hat arıza tespitinde sapmalara neden olabilmektedir. Buna ek olarak, iletim hatlarında gözlemlenen bir diğer sorun ise "kablo kopukluğu arızasıdır." Kopan bir kablo, diğer bir faz iletkeniyle ya da toprakla temas kurup kısa devre arızası meydana getirmediği takdirde, bu arıza mesafe rölesi prensibinin dışına çıkmakta ve kablo kopma noktasının bulunması için enerji kesintileri yapılarak sonuç alınmaya çalışılmaktadır. Bu da zaman açısından kayıp olmakta ve elektriğin bu kopukluktan kaynaklı olarak kesili kaldığı her saniye işletmeler açısında büyük maddi kayıplar meydana getirmektedir. Bahsedilen sorunun çözümü için literatürde, çeşitli kablo kopma noktası tespit çalışmaları yapılmış; ancak bu çalışmalar dijital koruma röleleriyle bütünleşik halde düşünülmemiştir. Bu çalışmada, koruma rölelerine entegre edilecek algoritma yardımıyla, primer devre üzerine yerleştirilen düşük gerilim-yüksek frekans üreteci kullanılarak, hatta gönderilen sinyalin dönüş noktasına göre empedans ölçümü yapılmıştır. Meydana gelen sapmalar baz alınarak herhangi bir açık devre anında iletim hattının davranışları tespit edilmiş ve kopma noktasının yeriyle alakalı tahminde bulunulmuştur. Bu yöntemin hat kopukluğu arızasının meydana geldiği yerin bulunmasıyla alakalı doğru sonuçlar verdiği görülmüştür.

1.3 Orijinal katkı

Günümüzde kullanılan yeni nesil şebekelerde; arıza çeşitliliğinin artması ve çözüm yöntemlerinin bazı arızalara karşı yetersiz kalmasından ötürü, çeşitli çalışmalar yapılmış ve yaşanan sorunlara çözümler üretilmeye çalışılmıştır. Literatür çalışmalarında; yaşanan

arızalar arasında tespiti ve çözümü zor olan arızalardan biri olarak açık devre arızası (kablo kopukluğu) tespit edilmiştir.

Kablo kopması anında, sistemden akım geçmemekte ve arıza ya da yük çekilmemesi durumlarının anlaşılması arıza türünün tespiti açısından karışıklığa neden olmaktadır. Ayrıca arızanın kopmadan mütevellit gerçekleştiği tespit edilse de, kopma noktasının tespiti için uzun süreli enerji kesintileri yapılmaktadır. Bu ve bunun gibi sebeplerden ötürü ,dağıtım şebekelerinde meydana gelen hat kopukluklarının tespiti için yeni bir yöntem sunulması gerekliliği tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında sunulan yöntemle birlikte, kopma noktasının koruma röleleriyle tespit edilebileceği öngörülmüştür.

Koruma rölesine eklenmesi düşünülen algoritma yardımıyla, yeni bir koruma methodolojisi kabulü yapılacaktır. Bu sayede meydana gelecek hat kopuklukları için tüm sistemde enerji kesintisi yapılmayacak ve sürekli online ölçüm yapılacağından kopma noktası tespit edilebilecektir. Kopukluk noktasının onarımı için, arızalı kabloya en yakın koruma rölesi, kumanda ettiği kesiciye açtırma göndererek hattın sorunlu bölümünü izole edecek ve diğer bölümlerin enerjisiz kalmasının önüne geçilecektir. Ayrıca özellikle yeraltı şebekelerinde, gereksiz kazı ve ekipman sarfiyatına neden olabilen hata noktası tespitiyle alakalı da net sonuçlar elde edileceğinden, çözüm süreci hızlanacak ve buna bağlı olarak enerji sürekliliğinin sağlanması adına önemli bir süre kazancı meydana gelecektir.

Bu tez çalışması, “Hat Kopukluğu Arızasını Tespit Eden Koruma Rölesi” adlı proje için referans olarak kullanılacak ve ortaya çıkan algoritmalar cihaz üretimi konusunda yardımcı olacaktır.

BÖLÜM 2

GÜÇ SİSTEMLERİNDE MEYDANA GELEN ARIZALAR

Elektrik tesislerinde, akım kaynaklarından tüketicilere kadar olan herhangi bir işletme elemanında, izolasyon bozulması sonucu çıplak iletkenlerin birbirleri ile temas etmesine "kısa devre" denir. Tüketiciyi besleyen hat üzerinde bir kısa devre meydana geldiğinde tüketici devreden çıkar ve geriye sadece akım kaynağının iç empedansı ile faz iletkeninin empedansı kalır. Bu empedansların toplamı, nominal akım geçen arızasız durumla mukayese edildiğinde çok küçük kalacağından, ohm kanunu gereğince hattan geçen akım büyük bir artış gösterir. Bu akıma "kısa devre akımı" denir.

Hatlarda kısa devreye sebebiyet veren yalıtkan hatası, iç ve dış sebeplerden mütevellit meydana gelebilir. İç sebepler genel olarak elektrikidir. Bu sebepler:

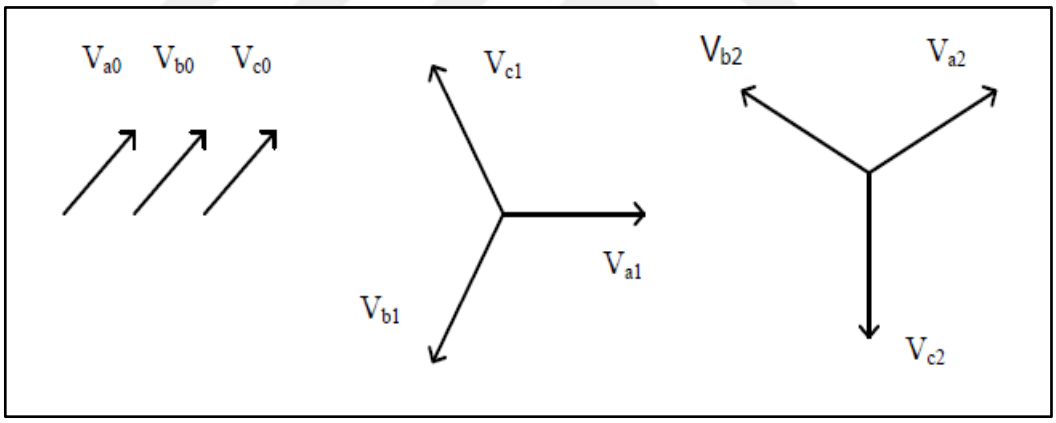
- Aşırı akım ve yükleme neticesinde, iletkenlerin aşırı derecede ısınmasıyla yalıtkan madde zarar görebilir.
- Aşırı gerilim derecesinde izolasyonda delinme ve atlama meydana gelebilir.
- İzolasyon malzemesinin eskimesi ya da hatalı olması sonucu oluşabilir.

Kısa devrelere sebebiyet verebilecek dış sebepler:

- Kabloların veya yalıtılmış iletkenlerin tahrip edilmesi veya ezilmesi,
- Havai hat izolatörlerinin kırılması,
- Yıldırım düşmesi,
- Kar ve buz yükü.

Üç fazlı bir sistemde; üç fazın birbirlerine temas etmesi sonucunda üç fazlı simetrik arıza, iki faz iletkeninin birbirlerine temas etmesi sonucunda iki faz arıza, sadece nötrü topraklanmış sistemlerde herhangi bir faz iletkeninin nötr hattı ya da toprakla teması sonucunda tek faz-toprak arıza, yine nötrü topraklanmış sistemlerde iki faz iletkeninin birbirleri ve nötr veya toprak ile teması sonucunda faz-toprak arıza meydana gelir [24].

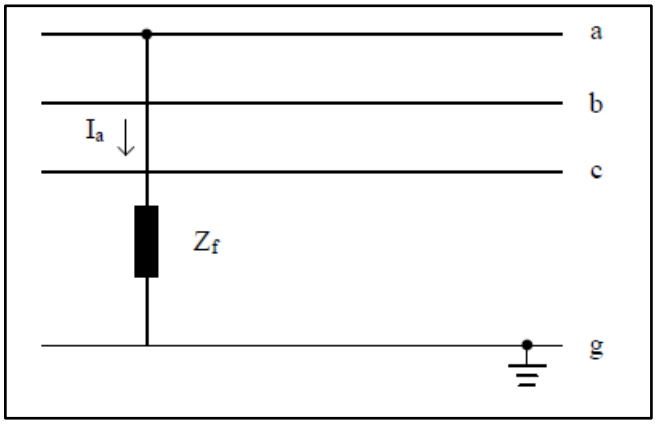
Güç sistemleri arıza analizinde en sık kullanılan yöntem “Simetrili Bileşen” ‘dir. Bu yöntem simetrik ve simetrik olmayan arızaların analizinde kullanılabilir. Dengeli üç fazlı sistemlerde bu metod uygulandığında bağımsız eşdeğer devreler elde edilir. Dengesiz üç fazlı sistemlerde ise bu devreler bağımsız değildir ve sadece dengesizlik noktalarından bağlıdır. Böylece bu sistemleri incelemek basitleşir. Sistemde simetrik olmayan bir kısa devre meydana geldiğinde akımlar dengesiz olur. Bu akımlar, üç fazının bileşenlerini temsil eden pozitif, negatif ve sıfır bileşenler ile çözümlenir. Sıfır bileşen, aralarında açı farkı bulunmayan ve eşit genliğe sahip olan 3 adet fazörden oluşur. Pozitif ve negatif bileşenler ise genlikleri eşit; fakat aralarında 120^{o} faz farkı olan fazörlerden oluşur [25].



Şekil 2.1 Simetrili bileşenler

2.1 Faz-Toprak Kısa Devresi

İletim hatlarında en sık görülen arızalardan biridir. A fazı ile toprak arasında kısa devre olan bir sistem Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Şekilde Z_f arıza empedansını göstermektedir. Arıza anında B ve C fazlarında arıza olmadığından, bu fazlardan akan akım 0’dır.



Şekil 2.2 Tek faz-toprak kısa devresi

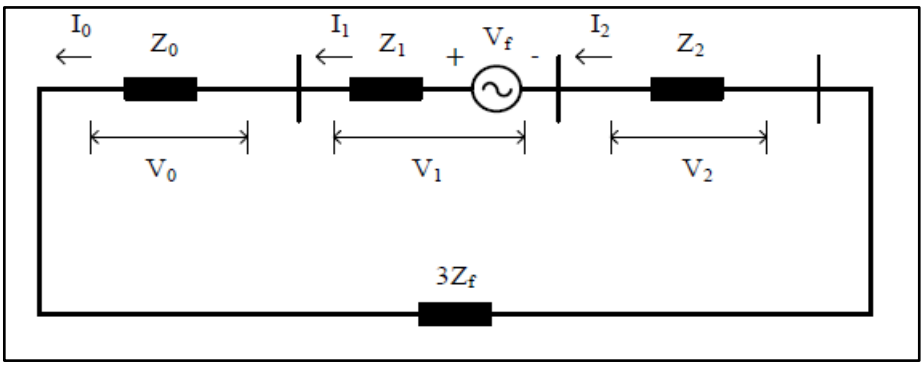
Bu devre yardımıyla bileşen sistemin akım ve gerilim eşitlikleri aşağıda verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}\begin{bmatrix} I_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{2.1}$$

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \tag{2.2}$$

$$V_0 + V_1 + V_2 = Z_f(I_0 + I_1 + I_2) \tag{2.3}$$

Elde edilen eşitlikler yardımıyla faz-toprak kısa devresinin bileşen devre gösterimi oluşturulmak istenirse;



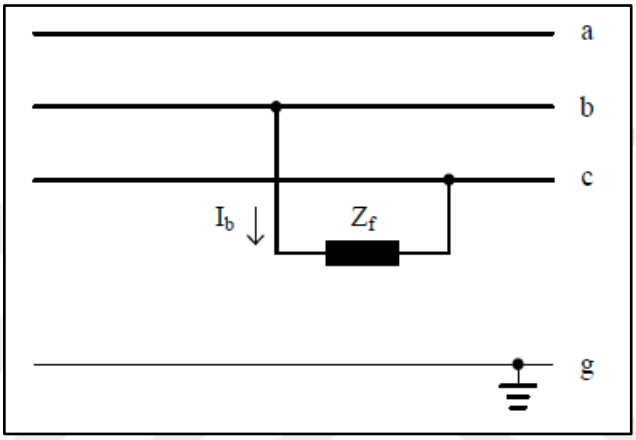
Şekil 2.3 Tek faz-toprak kısa devresi devre gösterimi [25]

$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{V_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_f} \tag{2.4}$$

$$I_a = I_0 + I_1 + I_2 = \frac{3V_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_f} \tag{2.5}$$

2.2 Faz-Faz Kısa Devresi

İki fazın birbirine teması sonucu meydana gelen kısa devre türüdür. Bu kısa devre anının genel gösterimi Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4 Faz-faz kısa devresi

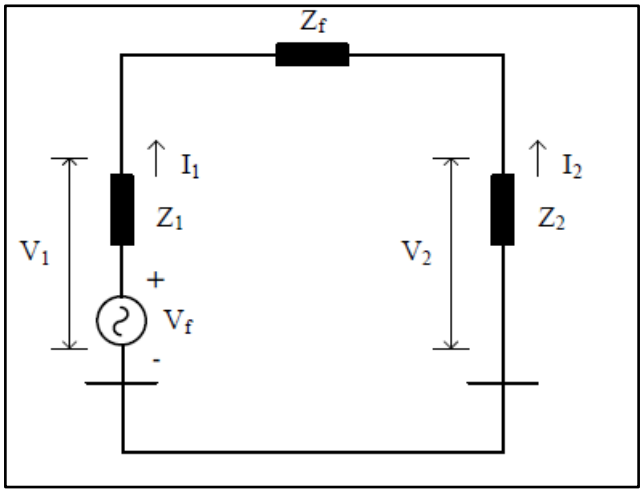
Bu kısa devre anında simetrili bileşen eşitliği oluşturulursa;

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 0 \\ I_b \\ -I_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{3}(a - a^2)I_b \\ \frac{1}{3}(a^2 - a)I_b \end{bmatrix} \tag{2.6}$$

Simetrili bileşen ifadeleri yerlerine konulduğunda elde edilecek denklemler;

$$I_1 = -I_2 = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \tag{2.7}$$

$$I_b = \frac{-j\sqrt{3}V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \tag{2.8}$$



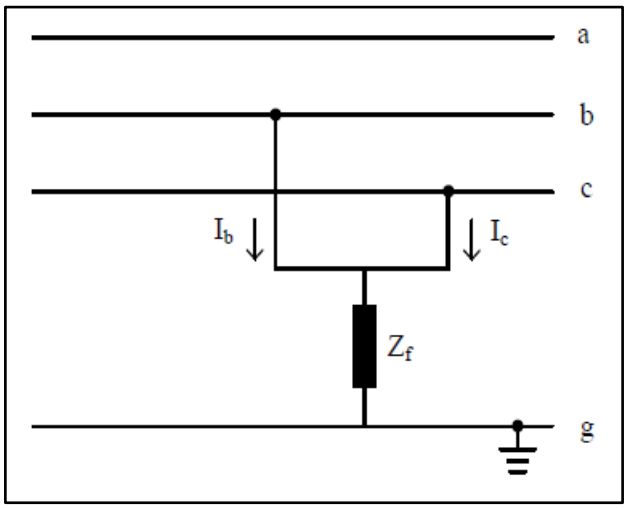
Şekil 2.5 Faz-faz kısa devresi devre gösterimi [25]

2.3 İki Faz-Toprak Kısa Devresi

Bu kısa devre; iki faz ve toprak arasında oluşmaktadır. Örneğin B fazı, C fazı ve toprak arasında oluşan bir kısa devrede A fazından akım akmamaktadır. İki faz-toprak kısa devresiyle alakalı genel eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$V_{bg} = V_{cg} = Z_f(I_b + I_c) \tag{2.9}$$

$$I_a = I_0 + I_1 + I_2 = 0 \tag{2.10}$$



Şekil 2.6 İki faz-toprak kısa devresi

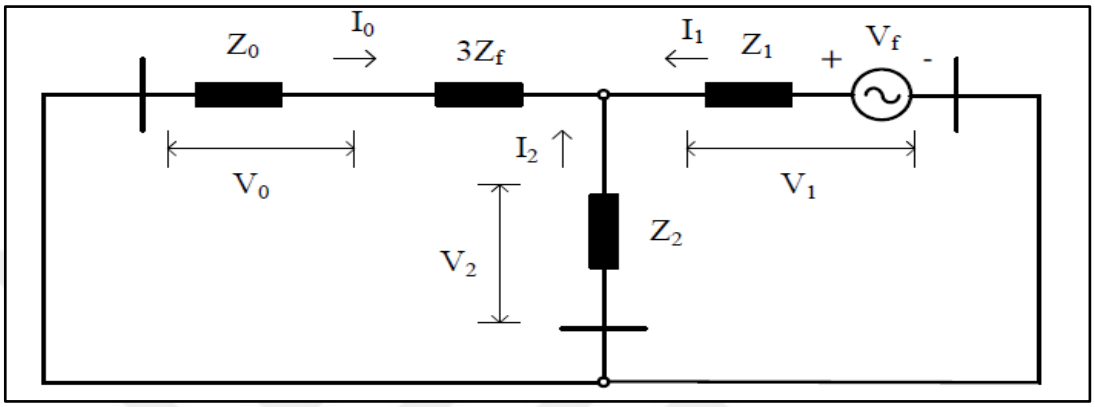
Eşitlikler simetrili bileşenlerle ifade edildiğinde;

$$V_0 + a^2V_1 + aV_2 = Z_f(I_0 + a^2I_1 + aI_2 + I_0 + aI_1 + a^2I_2) \tag{2.11}$$

$$I_1 = \frac{V_f}{Z_1 + [\, Z_2 + (Z_0 + 3Z_f) \,/ (Z_2 + Z_0 + 3Z_f]} \tag{2.12}$$

$$I_2 = -I_1 = \frac{Z_0 + 3Z_f}{Z_2 + Z_0 + 3Z_f} \tag{2.13}$$

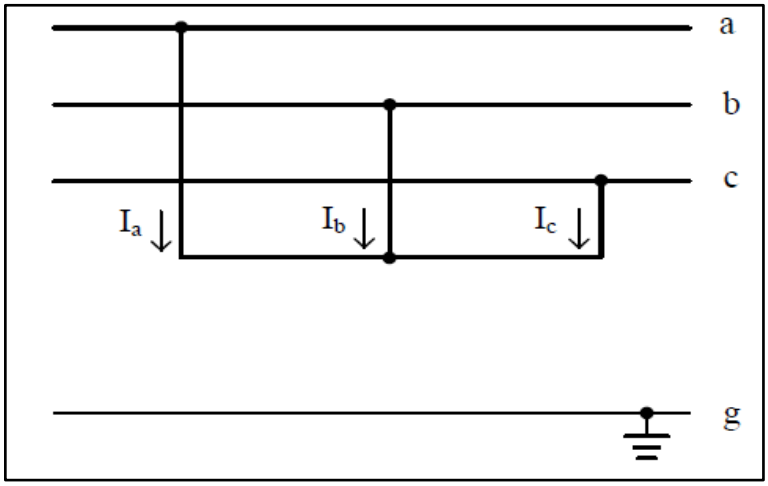
$$I_0 = -I_1 = \frac{Z_2}{Z_2 + Z_0 + 3Z_f} \tag{2.14}$$



Şekil 2.7 İki faz-toprak kısa devresi gösterimi [25]

2.4 Üç Faz Kısa Devresi

Üç faz arızası simetrik arızadır ve arızanın toprağa direk ya da direnç üzerinden teması hata akımını etkilemez. En yüksek kısa devre akımı bu arıza tipinde oluşmaktadır.



Şekil 2.8 Üç faz kısa devresi

Üç faz arasında faz gerilimleri $V_a = V_b = V_c$ olur. Simetrili bileşenlerle ifade gerçekleştirilirse;

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Üç faz kısa devrenin bileşen devresi, üç fazlı dengeli sistemin bileşen devresiyle aynıdır. Bu durumda negatif ve sıfır bileşenlerinin akım ve gerilim değerleri sıfırdır. Bu durumda Denklem 3.16'da yer alan matris formu oluşturulabilir.

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ V_f \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Sonuç olarak bu arıza türündeki kısa devre akımı Denklem 3.17'deki gibi ifade edilebilir.

$$I_1 = \frac{V_f}{Z_1} \quad (2.17)$$

BÖLÜM 3

ELEKTRİK TESİSLERİNDE KORUMA SİSTEMLERİ

Elektrik tesisleri denildiğinde akla ilk olarak; enerji üretim santralleri, enerji nakil hatları, transformatörler, generatörler vb. gibi büyük ekipman ve sistemler gelmektedir. Ancak bahsedilen temel elemanların yanı sıra, sistem işletme ve güvenliği açısından olmazsa olmaz bir yer teşkil eden; sistemin kontrol, koruma ve kumanda edilmesinde büyük rol oynayan koruma röleleri de, elektrik tesislerininin hayat damarlarından sayılabilecek önemli bir parçadır.

3.1 Korumanın Tanımlanması

Elektrik güç sistemlerinin işletilmesi genel olarak 3 yönlü olarak ele alınır. Bunlar;

- Normal çalışma durumu
- Elektriksel arızalarının önlenmesi
- Elektriksel arızaların etkilerinin azaltılması

Normal çalışma durumu; hiçbir ekipman arızasının ve personel hatasının olmadığı işletme durumudur. Normal çalışmanın mevcut olmadığı aksi durumlar, koruma rölelerinin devreye girmesi anlamına gelmektedir. Bu şartlarda koruma röleleri devreye girer ve sistem yönetimini gerçekleştirir. Burada koruma rölelerinin temel fonksiyonu ortaya çıkmaktadır. Bu fonksiyon, sistemde meydana gelen kısa devrelerde ya da tesise ve tesis elemanlarına zarar verebilecek herhangi bir anormal durumda, elektrik şebekesinin geri kalan kısmının etkin bir şekilde çalışmasını etkilemeyecek şekilde, arızalı olan bölgenin mümkün olan en kısa sürede servis dışı edilmesini sağlamaktır [21].

3.2 Koruma Sistemini Oluşturan Elemanlar

3.2.1 Kesiciler

Elektrik güç sistemlerini otomatik veya manuel işletim altında; devreye alıp-çıkartma işlemlerini yapan, aynı zamanda üzerlerinden belli bir yük taşıyan ekipmanlara kesici denilmektedir. Bu ekipmanlar; yük taşıyan kapalı pozisyonda veya elektrik izolasyonu sağlayan açık pozisyonda bulunurlar. Bir durumdan diğerine geçiş belli şartlar altında ya da belli bir operasyon sonucunda meydana gelir. Kapalı pozisyondan açık pozisyona geçme durumu, genel olarak herhangi bir kısa devre ya da anormal durum neticesinde meydana gelir ve koruma rölesinden gelen sinyal sonucunda kesici açma işlemi yaparak arızalı kısmı devreden çıkarmış olur. Bu nedenle, kesicilerden beklenen en önemli özellik, normal çalışma koşullarında güvenilir olmak ve arıza durumlarında koruma rölesinden gelen sinyali mümkün olan en yüksek hızda algılayarak açma operasyonunu yapabilmektir.

3.2.1.1 Yağlı Tip Kesiciler

Yağın ark söndürme özelliği iyi olduğundan ve farklı bir alternatif bulunmadığından dolayı eski yapılarda sıkça mevcuttur. Ancak içerisinde fazla miktarda yağ bulunduğundan yangın tehlikeleri bulunmakta ve bu nedenle günümüzde kullanımı fazla olmamaktadır.

3.2.1.2 Vakumlu Kesiciler

Bu tip kesicilerde arkı söndürme işlemi; yüksek vakuma sahip, silindirik biçimi olan seramik bir yapı kullanılarak yapılır. Arkı söndürmek için herhangi bir özel madde yoktur. Bu nedenle yüksek gerilim uygulamalarında sık tercih edilmemektedir.

3.2.1.3 SF6 Gazlı Kesiciler

Son yıllarda en sık kullanılan kesici tipidir. Hacimleri küçüktür, bu nedenle kapalı mekanlarda kullanılabilmektedir. Çalışma prensibi, sabit basınçtaki SF6 gazının (sülfür hekza florür veya kükürt hekza florid) piston vasıtasıyla sıkıştırılarak ark üzerine üflenmesi ve arkın koparılması esasına dayanır. SF6 gazının yalıtım özelliğinden dolayı kontaklar arasında açılma mesafesi çok küçüktür.

3.2.2 Ölçü Transformatörleri

Koruma, ölçü ve kontrol ekipmanlarının yüksek gerilim ve akıma maruz kalmamaları için kullanılan ekipmanlardır. Ölçü transformatörlerinin primer kısmı nominal akım ve gerilim geçen bölüme, sekonder kısmı ise ölçü veya koruma ekipmanlarına bağlanır. Ölçü transformatörlerinde, tedbir olarak sekonderler topraklanır. Ölçü transformatörlerinin genel kullanılış amaçları aşağıdaki gibidir.

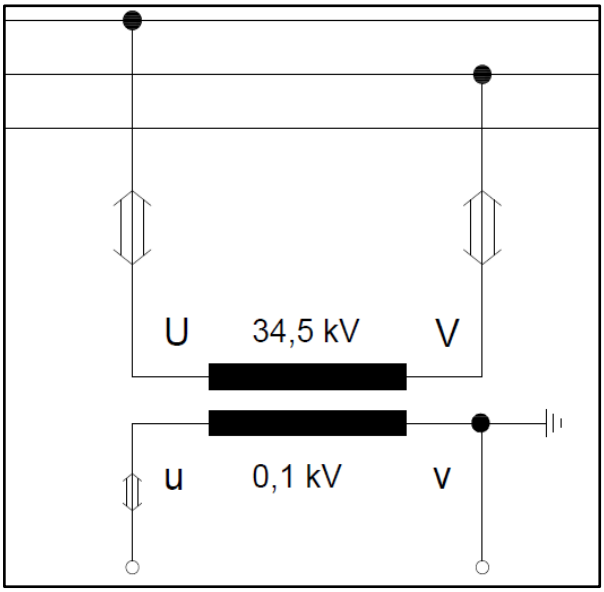
- Ölçü ve koruma cihazlarını primer devreden izole ederek, personel ve tesis güvenliğini sağlamak.
- Tesislerin akım ve gerilim değerlerini standart değerler olan 5 A ve 100 V'a indirmek.
- Ölçü transformatörlerini çeşitli şekillerde bağlayarak akım veya gerilimleri fazör olarak toplayıp, çıkartmak.

Ölçü transformatörleri akım ve gerilim transformatörleri olarak 2 çeşittir.

3.2.2.1 Gerilim Transformatörleri

Ölçü ve koruma ekipmanlarını direkt olarak yüksek gerilim hattına bağlamak mümkün değildir. Bu cihazların yüksek gerilime dayanacak şekilde imal edilebilmeleri hem maliyet açısından hem de can güvenliği düşünüldüğünde pek mümkün gözükmemektedir. Bu nedenle gerilim transformatörleri kullanılmaktadır.

Elektrik tesislerinde kullanılan gerilim seviyeleri genel olarak belli olduğundan ve anma gerilimleri değişmediğinden, bu transformatörlerin kullanıldıkları değer aralığı dardır. Ayrıca kısa devre anlarında gerilim sıfıra indiğinden, bu transformatörler akım transformatörleri gibi zorlanmalara maruz kalmazlar. Bu transformatörleri korumak amacıyla primer ve sekonder devrelerine sigortalar eklenir. Ancak akım transformatörlerine sigorta eklemek mümkün değildir. Çünkü akım transformatörleri devreye seri bağlandığından, sigorta attığında tüm hattın akımı kesilir. Gerilim transformatörleri standart olarak 100 V gerilim çıkışından ve 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150 ve 180 VA anma güçlerinde üretilirler.

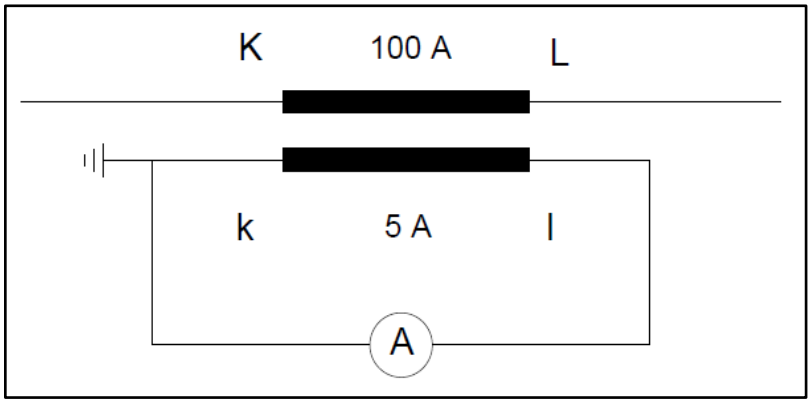


Şekil 3.1 Gerilim trafosunun devreye bağlanışı

3.2.2.2 Akım Transformatörleri

Primerlerinden geçen anma akımını, 5 A veya 1 A seviyesine düşüren cihazlara akım transformatörü denilmektedir. Bu trafonun seçiminde, akım trafosuyla cihazlar arasındaki mesafeye göre değerlendirmeler yapılarak sekonder akım belirlenir. Mesafenin fazla olduğu yerlerde güç kaybının daha az olması amacıyla sekonderi 1 A olan akım trafoları tercih edilir.

Akım transformatörlerinin sekonder uçlarına herhangi bir ekipman bağlı olmadığında, şebekeye seri olarak bağlı olduğundan primer sargısından akım geçmeye devam edecektir. Bu akım, sekonder kısma 5 A civarında yansır ve R_{FE} (demir kayıplarını temsil eden direnç) ve X_m'in (mıknatıslanma akımını oluşturan bobinin reaktansı) üzerinden devresini tamamlar. Burada eşdeğer empedans yüksek olduğundan sekonder uçlarda yüksek değerli gerilimler oluşur. Bu gerilimler işletme açısından tehlike arzetmektedir. Ayrıca bunun yanında demir çekirdek ısınarak doymaya girer ve hasar görür. Bu durumu engellemek için akım trafolarının sekonder uçları hiçbir zaman boş bırakılmaz ve kullanılmayacaksa bile kısa devre edilir.



Şekil 3.2 Akım trafosunun devreye bağlanışı

3.2.3 Koruma Röleleri

Korumanın en temel elemanı olan röleler, herhangi bir arıza durumunda kumanda ettiği kesiciye açma sinyali göndererek devrenin izole edilmesini sağlayan cihazlardır. Bu konu başlığı diğer bölümlerde daha detaylı olarak açıklanacaktır.

3.2.4 Yardımcı Ekipmanlar

Koruma sisteminin sorunsuz bir şekilde çalışması adına başka elemanlara da ihtiyaç duyulur. Bu ekipmanların en önemlisi, enerjisi kesintisi olduğunda rölenin enerji devamlılığını bir süre daha sağlayabilen redresörlerdir. Röleler, redresörler üzerinden enerjilenir. Bunun dışında röle giriş ve çıkışlarını anahtarlamak için yardımcı röleler, kesicinin uzaktan veya yakından müdahale edilebilmesini etkin kılan pako şalterler ve hücreler üzerinde yer alarak kullanıcıları yönlendiren buton ve lambalar koruma sisteminin diğer elemanları olarak sayılabilir [22].

3.3 Düzgün Çalışan Bir Koruma Sisteminden Beklenenler

Koruma rölelerinin temel fonksiyonları; enerji sisteminde herhangi bir sorunla karşılaşıldığında hattı korumak ya da olası bir arızada en kısa sürede tepki vererek, arıza boyutunu minimize etmektir. Böyle kritik bir göreve haiz sistemden bazı beklentiler vardır.

Bu beklentiler;

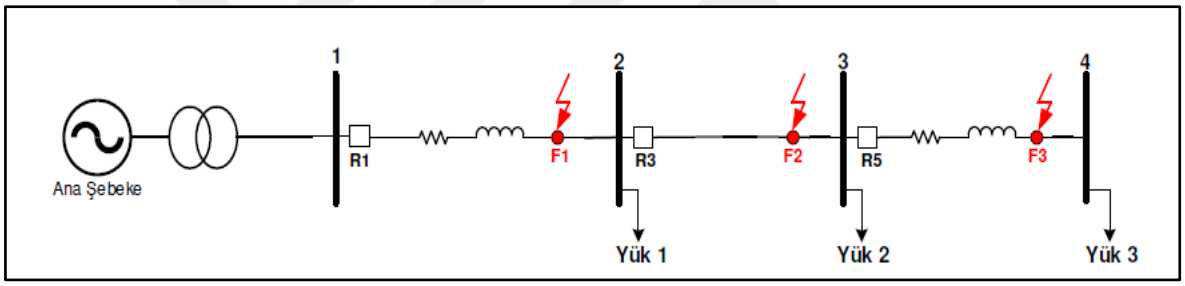
- Seçicilik,
- Hızlı Çalışma,

- Güvenilir Çalışma,
- Yedek Koruma,
- Ekonomik Olma,

şeklinde sıralanabilir [23].

3.3.1 Seçicilik

Elektrik tesislerinde seçicilik (selektivite); sistemdeki arızalı bölgenin, diğer bölümlerin enerji durumunu engellememek adına devreden çıkarılmasıdır. Bu işlem yapılırken, kesicilerin açma yapması için koruma rölelerine ayarlanacak süre, arızalı olan bölüme en yakın kesiciden en uzak kesiciye doğru artış gösterecek ve bu durumda arıza noktasına en yakın kesici bu bölgeyi izole ederek, diğer bölümlerin enerji durumunun devamlılığını sağlayacaktır.



Şekil 3.3 Koruma sistemlerinde seçicilik [23]

Şekil 3.4'de görülen güç sistemi temsilinde üç adet koruma rölesi gözükmektedir. Burada gerçekleşebilecek senaryolara bakıldığında;

- F3 noktasında gerçekleşen bir kısa devrede, ilk olarak R5 rölesi devreye girmeli ve hükmettiği kesiciye komut göndererek açma yapmasını sağlamalıdır. Eğer açma işlemiyle ilgili herhangi bir olumsuz durum yaşanır ve açma yapılamazsa, R3 rölesi devreye girmeli ve hükmettiği kesiciye açma göndermelidir. Son olarak bu durumda da bir aksilik yaşanırsa R1 rölesi devreye girmeli ve açma yaptırarak sistemi izole etmelidir.
- Benzer bir şekilde F2 noktasında gerçekleşen bir kısa devrede, R3 rölesi devreye girmeli ve hükmettiği kesiciye komut göndererek açma yapmasını sağlamalıdır. Eğer açma işlemiyle ilgili herhangi bir olumsuz durum yaşanır ve açma yapılamazsa, R1

rölesi devreye girmeli ve hükmettiği kesiciye açma göndererek sistemi izole etmelidir.

- Son olarak F1 noktasında gerçekleşen bir kısa devrede, R1 rölesi hükmettiği kesiciye komut göndererek açma yaptırmalı ve sistemi izole etmelidir. Sonuç olarak, koruma sisteminin seçiciliği, bahsedilen senaryolara göre sağlanmalıdır[23].

3.3.2 Hızlı Çalışma

Koruma sisteminin herhangi bir arıza durumunu algılayıp, sisteme mümkün olan en kısa şekilde müdahale yeteneğine "koruma sisteminin hızlı çalışma yeteneği" denir. Bu noktada dikkat edilecek husus, rölelerin ne gereksiz açma yapacak kadar kısa sürede çalışması ne de herhangi bir arıza durumunda ekipmana zarar gelmesine yetecek kadar süreçte açma yapmayacak şekilde yavaş olmasıdır. Bu iki durum mukayese edilerek koruma stratejisi gerliştirilmeli ve seçiciliği bozmayacak şekilde zaman ayarı sağlanmalıdır.

3.3.3 Güvenilir Çalışma

Bir koruma sisteminin güvenilir çalıştığı kanısına varmak için baz alınan üç tane durum vardır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır:

- Açma yapmama durumu: Herhangi bir arıza durumunda koruma rölesinin bu arızaya karşı tepki vermemesi ve açma sinyali üretememesi durumudur. Böyle bir problem, koruma rölesinde mevcut olan bir arızada ya da yanlış koordinasyon sonucunda ortaya çıkabilir.
- Arıza durumunda yanlış açma: Herhangi bir arıza durumunda, arıza noktasına en yakın kesicinin açma yapması beklenmelidir. Eğer bu kesici değil de diğer kesicilerde açma meydana gelirse, koruma sisteminin doğru çalışmadığı ve gereğinden fazla bölümün enerjisiz kaldığı sonucu ortaya çıkar.
- Gereksiz açma: Sistemde herhangi bir arıza olmadığı halde, koruma rölesinin açma kumandası vermesidir. Bu durum yanlış koordinasyon sonucu ortaya çıkar ve enerji sürekliliğine engel olur.

3.3.4 Yedek Koruma

Koruma sistemlerinin güvenli çalışması için yedekli çalışma çok önemlidir. Sistemde herhangi bir arıza meydana geldiğinde, bu arızaya en yakın koruma rölesi açma yaptıramazsa, başka bir koruma rölesi kumanda ettiği kesiciye açma sinyali göndermeli ve bu şekilde arıza hattan izole edilerek yedeklilik sağlanmalıdır.

3.3.5 Ekonomik Olma

Koruma sistemlerinin tasarım ve uygulama aşamalarında projeden beklenen en temel özellik, en az maliyetle en çok koruma fonksiyonuna sahip olabilmektir. Bu nedenle iyi bir mühendislik için sistemin maliyet-kabiliyet fonksiyonunun en optimum noktada sağlanması gerekmektedir [23].

3.4 Koruma Metodolojileri

3.4.1 Elektrik Tesislerinde Uygulanan Koruma Metodolojileri

Günümüzde kullanılan sayısal koruma röleleri (dijital röleler) pek çok arıza çeşidine uygun olarak koruma gerçekleştirebilir ve konfigüre edilebilir şekilde tasarlanmışlardır. Bu rölelerin algılayabildiği arıza tipleri ve bu arızalar meydana geldiğinde koruma rölesinin devreyi izole edecek komutu göndermesini sağlayabilmesi için çalışması gereken koruma metodolojisi açıklanmıştır.

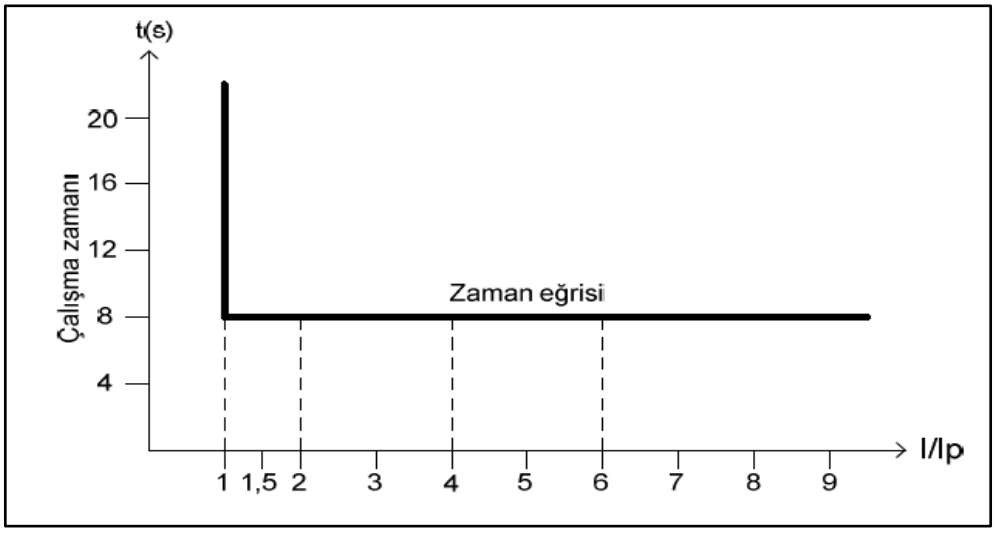
3.4.1.1 Aşırı Akım Koruması

Aşırı akım koruması, elektrik şebekelerinde uygulanan en temel korumadır. Bu arızaya karşı uygulanacak koruma, arıza süresi boyunca ekipman ve çevresinde meydana gelebilecek hasarları minimize etmek açısından hızlı ve hassas olmalıdır. Aşırı akım koruma röleleri, genel olarak zaman/akım eğrileri ile karakterize edilirler. İki çeşidi mevcuttur.

- Bağımsız ve Kesin Zamanlı Koruma

Açma zamanı sabittir ve arıza noktası ile akım değerinden bağımsız olarak gerçekleşir.

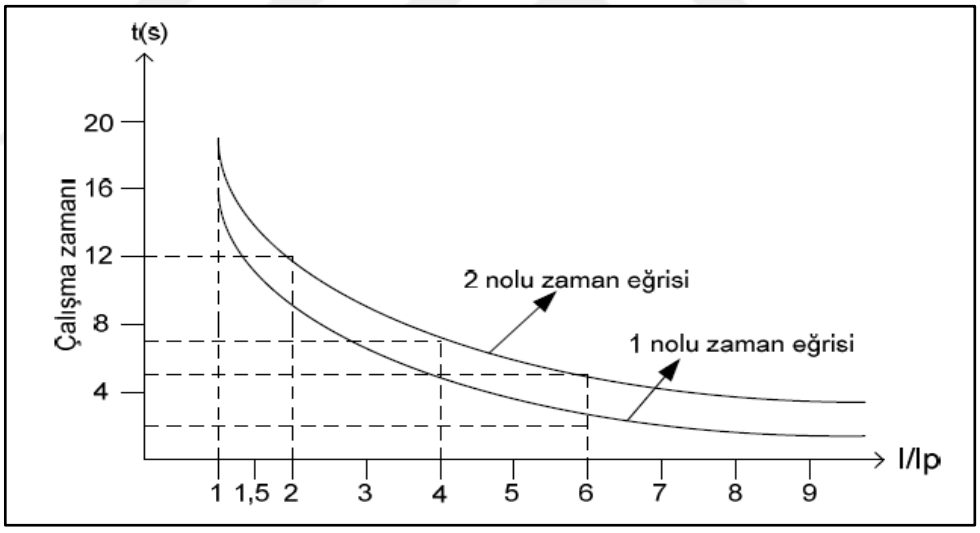
Ip : Rölenin ayarlandığı çalışma akımı.
I : Röleden geçen arıza (kısa devre) akımı.



Şekil 3.4 Bağımsız zamanlı aşırı akım koruması [22]

- Bağımlı ve Ters Zamanlı Koruma

Bu tip korumalarda, açma zamanı sabit bir değere ayarlanmamıştır. Açma zamanı, akım değerinin (I/I_P) ve zaman çarpanının (T_P) bir fonksiyonudur ve değişkenlik gösterir.

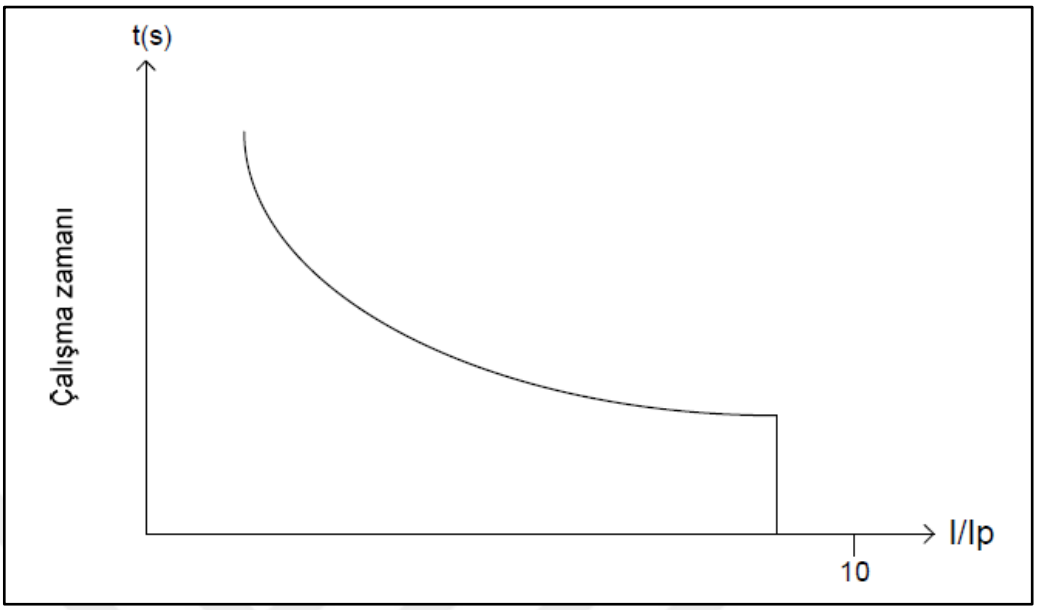


Şekil 3.5 Bağımlı zamanlı aşırı akım koruması [22]

Bağımlı zamanlı aşırı akım korumalarında, belirli değere kadar ters zamanlı karakteristik ve belirli değerlerinin üstünde de devrenin bir an önce izole edilebilmesi için ani çalışma istenilebilir.

Bağımlı zamanlı aşırı akım korumalarında 3 tip eğri kullanılabilir. İhtiyaca göre bu eğrilerden biri seçilip konfigürasyon gerçekleştirilebilir. Bu eğriler birbirleriyle karşılaştırıldığında, ters

eğriden aşırı ters eğriye doğru artan bir dikleşme görülür. Bahsedilen eğriler ve kullandıkları formülüzasyonlar aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 3.6 Bağımlı zamanlı aşırı akım koruması ve ani açma [23]

- Ters Eğri (NI)

$$t = \frac{0.14}{\left[\left(\frac{I}{I_P}\right)^{0.02} - 1\right]} \; x \; T_P$$

- Çok Ters Eğri (VI)

$$t = \frac{13.5}{\left[\left(\frac{I}{I_P}\right) - 1\right]} \; x \; T_P$$

- Aşırı Ters Eğri (EI)

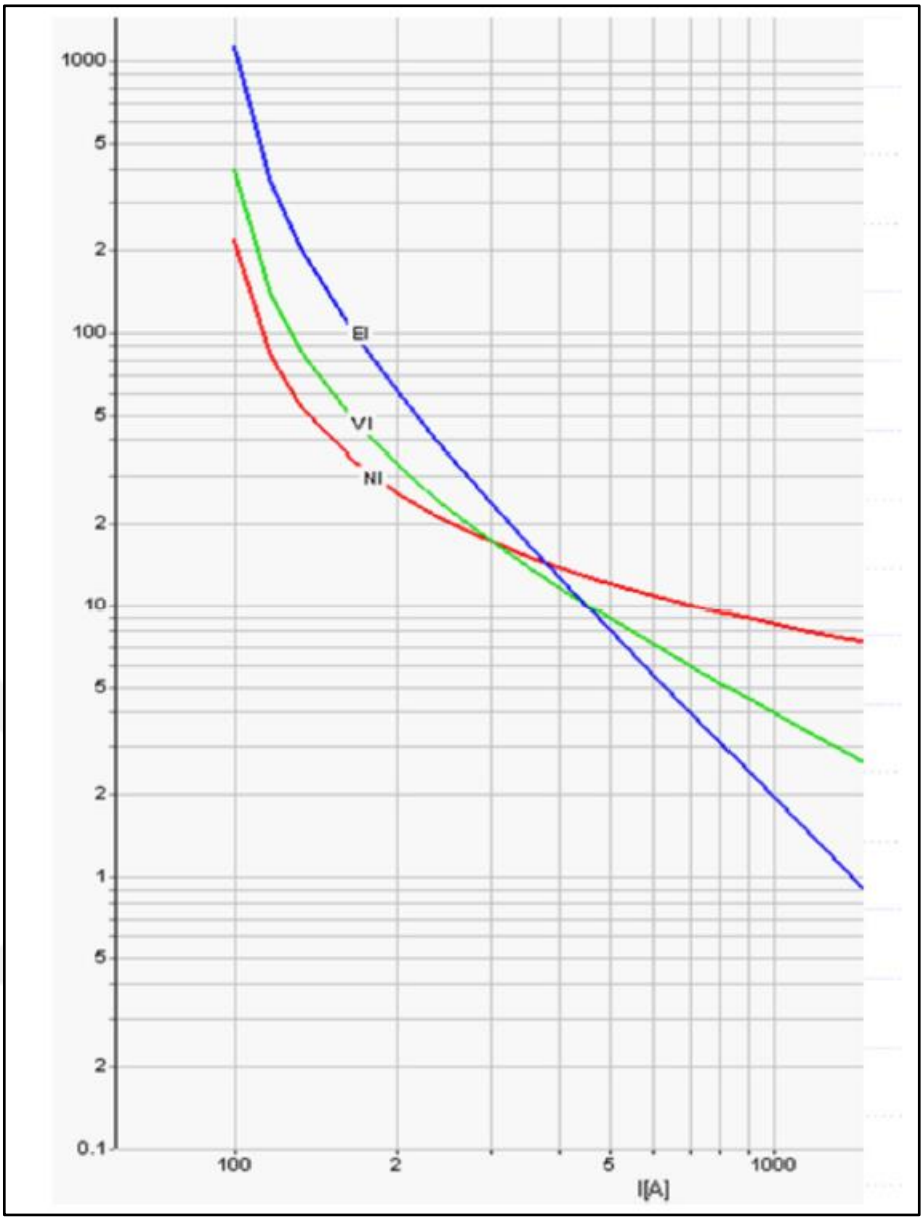
$$t = \frac{80}{\left[\left(\frac{I}{I_P}\right)^{2} - 1\right]} \; x \; T_P$$

Ip : Rölenin ayarlandığı çalışma akımı.

I : Röleden geçen arıza (kısa devre) akımı.

Tp : Zaman çarpanı ayar değeri

t : Açma zamanı



Şekil 3.7 Eğrilerin kıyaslanması [23]

3.4.1.2 Diferansiyel Koruma

Koruma bölgesinde herhangi bir arıza meydana geldiğinde, giriş akımı ile çıkış akımı arasında farklılıklar oluşur. Bu akım farkını algılayan diferansiyel röle harekete geçer ve sisteme açma komutu gönderir. Diferansiyel korumanın yanlış açma yapmaması için, sistem giriş ve çıkışlarında yer alan akım transformatörlerinin özel boyutlandırılması gerekir. Aşağıda belirtilen nedenlerden ötürü diferansiyel koruma yanlış açma üretebilir.

- Transformatör mıknatıslanma akımından dolayı (özellikle transformatörler devreye alınırken akım darbeleri oluşur).

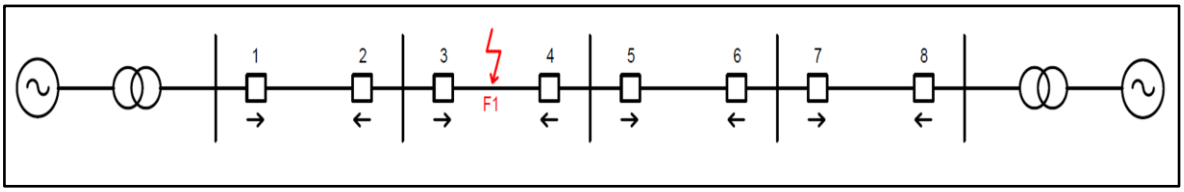
- Akım transformatörlerinin hatalı dönüştürme yaptığı durumlarda.
- Nötrü yalıtılmış ya da yüksek bir direnç üzerinden topraklanmış şebekelerde, şebekenin herhangi bir yerinde toprak hatası olduğunda ortaya çıkar [26].

Diferansiyel röle kullanımının sağladığı avantajlar ise aşağıda sıralanmıştır.

- Yalnızca koruma bölgesi içerisinde yer alan arızalar sırasında tepki gösterdiğinden ani olarak çalışabilir.
- Enerji akışı hangi yönden olursa olsun diferansiyel koruma çalışır. Bu nedenle birden çok kaynaktan beslenen şebekelerde önemli bir misyon üstlenir [26].

3.4.1.3 Yönlü Korumalar

Güç sistemlerinde iki veya daha fazla kaynak bulunduğunda, hata akımının akış yönüne duyarlı bir koruma ünitesi gereklidir. Hata yerini seçici olarak belirleme ve hatalı kısmı ayırmak için kullanılan bu ünitelere "Yönlü Aşırı Akım Üniteleri" denilir. Bahsedilen üniteler yardımıyla seçicilik daha iyi bir şekilde sağlanır ve hatalı açmaların önüne geçilmiş olur. Şekil 3.9'da yer alan yönlü aşırı akım koruma rölelerinin yer aldığı, iki kaynaktan beslenen bir sistem gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Yönlü aşırı akım koruması [22]

Şekil 3.9'da yer alan ring şebekede, seçiciliği sağlamak için yönlü aşırı akım rölelerinin zaman gecikmeleri sistematik bir şekilde arttırılmalıdır. Hat ortasındaki F1 noktasında meydana gelecek bir kısa devrede 3 ve 4 no'lu röleler açma sinyali üreterek kesicilere komut göndermelidirler. 3 no'lu röle açma sinyali üretemezse, 1 no'lu röle bu sinyali üretmeli ve sistemi izole etmelidir. Bu rölelerin ürettikleri sinyaller arasındaki zaman kıyaslaması $t_1 > t_3$ şeklinde olur.

Aynı şekilde F1 noktasında kısa devre meydana geldiğinde 4 no'lu röle açma sinyali üretemezse daha uzun sürede 6 no'lu röle açma sinyali üretmelidir. Bu rölede de aynı

problem yaşanırsa yine daha uzun sürede 8 no'lu röle açma sinyali üretmelidir. Bu rölelerin ürettikleri sinyaller arasındaki zaman kıyaslaması $t_8 > t_6 > t_4$ şeklinde olur.

3.4.1.4 Toprak Arızalarına Karşı Koruma

Bu arıza tipi, şebekelerin topraklanma şekline göre ayrı ayrı irdelenmelidir. Şebekelerde üç ayrı topraklama durumu mevcuttur. Yalıtışmış (topraklanmamış) nötrlü, yüksek empedans üzerinden topraklanmış nötrlü ve düşük empedans üzerinden veya doğrudan topraklanmış nötrlü şebekeler.

- Nötrü yalıtılmış şebekelerde; toprak arızası akımının genliği, şebeke öğelerinin kapasitif akımlarının toplamı ile sınırlıdır. Faz akımlarının ölçülmesi için kullanılan toroid akım trafosu yardımıyla sıfır bileşen akım rölesi, arıza akımını algılayarak açma komutu gönderir.
- Nötrü empedans üzerinden topraklanmış şebekelerde; erlerden geçen akımlar toroid akım trafosu yardımıyla ölçülür ve toprak aşırı akım rölelerine gelen bilgi yardımıyla arıza anında devre izole edilir. Bir şebekede, birçok nötr noktası bu şekilde topraklanmışsa, arızaların seçici şekilde algılanabilmesi yönlü toprak koruma kullanımı ile mümkün olur.
- Nötrü direk veya düşük empedans üzerinden topraklanmış şebekelerde; toprak arıza akımı, sadece trafo reaktansıyla sınırlanır. Bu nedenle oluşacak kısa devre akımı, üç fazlı kısa devre akımı düzeyinde olur. Bu tip durumlarda rezidüel akım bağlantılı toprak koruma rölesiyle yüksek hassasiyetli koruma sağlanabilir.

3.4.1.5 Aşırı ve Düşük Gerilim Korumaları

Güç sistemlerinde aşırı gerilim; arıza durumlarında, anahtarlama sırasında ve sistem parametrelerindeki ani değişiklikler neticesinde meydana gelebilir. Bu aşırı gerilimler, güç sisteminde yer alan birçok elemanın yapısında bozulmalara neden olabilir ve düzgün çalışmalarının önüne geçebilir. Gerilim değerinin sisteme zarar vermeye başladığı böyle bir durumda, aşırı gerilim röleleri tarafından kesiciye kontak verilmeli ve devre kesilmelidir.

Aynı şekilde güç sistemlerinde gerilim değerinin belli bir seviyenin altına düşmesi de, cihazların sağlıklı çalışmasının önüne geçen bir durumdur. Bu durumda röleler devreye

girmeli ve açma yaparak sistemi normal çalışmaya döndürmelidir. Buna ek olarak gerilim değerinin düşmesi ve rölelerin bu duruma uygun bir koruma uygulamasının bir diğer amacı, enerji kesilmesi durumunda kesici ve kontaktörlerin açılmasını kesinleştirerek, enerji geldiğinde AC ve DC motorların kontrolsüz bir şekilde aynı anda devreye girmesini engelleyerek aşırı yüklenme oluşmasının önüne geçilmesidir.

Gerilim röleleri, genellikle faz-faz arası gerilimin değerine göre çalışır. Bu koruma uygulanırken, düz veya ters zaman karakteristikleri uygulanabilir. Düz zaman karakteristiği uygulandığında, gerilim değeri ayarlanan düşük gerilim sınır değerininin ya da ayarlanan yüksek gerilim sınır değerinin üstüne çıktığında, gerilim değeri önemli olmaksızın sabit zamanda açma yapılır. Ters zaman karakteristiği kullanıldığında ise, ayarlanan değerlerden bir sapma olduğunda koruma çalışmaya başlar ve gerilim değerinin büyüklüğüne göre açma süresi değişir. Değişim arttıkça açma süresi kısalır.

Düşük ve aşırım gerilim sınırları, sistemin özelliklerine göre belirlenmelidir. Güç sistemine ait geçici durumlarda, gerilim değeri ani olarak artıp azalabilir. Bu nedenle gerilim koruması yapılırken ayarlanacak değerler, sisteme ait geçici durumlar baz alınarak yapılmalıdır ve bu geçici durumlarda sistem gereksiz olarak açılmayacak şekilde, röleler konfigüre edilmelidir [30].

3.4.2 Güç Transformatörlerinde Uygulanan Koruma Metodolojileri

Güç transformatörleri, iç veya dış etkenler nedeniyle oluşan, aşırı akım ve kısa devrelere neden olabilen arızalar nedeniyle hasar görebilirler.

3.4.2.1 Bucholtz Rölesi İle Koruma

Yağ soğutmalı güç transformatörlerinin, çeşitli zararlı etkilerden korunmasını sağlayan bir güvenlik donanımıdır. Trafonun herhangi bir arızasında meydana gelen gaz, genleşme kabına doğru hareket ederek bucholtz rölesinin haznesinde toplanır ve şamandırayı hareket ettirerek kontakların kapanmasını sağlar. Bu röle, arızanın henüz başlangıç safhasında olduğu yerde devreye girer ve korumayı gerçekleştirir.

3.4.2.2 Tank Koruma

Yıldız bağlı ve nötr noktası topraklı primer veya sekonder sargıda meydana gelen sargı-toprak arızasında hasarı sınırlamak ve arızalı transformatörü devredışı bırakmak amacıyla yapılır [28].

3.4.2.3 Basınç Boşaltma Rölesi İle Koruma

Trafonun dahili arızalarında oluşacak aşırı gaz ve yağ basıncında trafonun hasarlanmaması için gazın veya yağın dışarı çıkmasını sağlar.

3.4.2.4 Yağ Seviye Göstergesi İle Koruma

Yağ seviye göstergesi, trafonun genleşme deposundaki yağın seviyesini göstermesi ve istenildiğinde yağın minimum ve maksimum seviyelerinde elektriksel olarak sinyal vermesi ya da açma yapması amacıyla, trafonun genleşme deposu üzerine monte edilir.

3.4.2.5 Aşırı Akım Koruması

Transformatörlerde aşırı akım, trafodan beslenen ekipmanların çektiği akımların, trafonun nominal akımından yüksek olması durumudur. Aşırı akımın uzun süre çekilmesi durumunda, trafo sargı ve izolasyonunun zarar görmesi ve eskimesi gibi kalıcı hasarlar meydana gelir. Bu tip durumlarda trafonun zarar görmemesi için, aşırı akım korumasının çalışması ve trafo tarafından beslenen fiderlerin, en önemsizden en önemliye doğru gidecek şekilde devre dışı bırakılması gerekmektedir [28].

Ayrıca trafolara uygulanacak aşırı akım korumasında dikkat edilecek bir diğer husus ise trafo kalkış akımıdır. Trafo devreye alınırken, zaman sabiti 0,1-0,7 saniye arasında değişen ve büyüklüğü nominal akımın 20 katına ulaşabilen darbe akımları meydana gelebilir. Bu akımın meydana gelmesinin nedeni yüksek mıknatıslanma akımı üreten magnetik devrenin sature olmasıdır. Söz konusu olay, trafolar devreye alınırken her zaman yaşanabilecek bir olay olup koruma röleleri tarafından bir hata olarak algılanmamalıdır.

3.4.2.6 Kısa Devre Koruması

Transformatörlerde meydana gelen kısa devreler, transformatörün içinde veya dışında meydana gelebilir. Trafo içindeki kısa devreler, farklı faz iletkenlerine ait sargılar arasında

veya faz sargıları ile transformatör yağ tankı arasında ve aynı sargının sarımları arasında meydana gelebilir.

Dış kısa devreler, faz iletkenleri veya faz iletkeni-toprak arasında izolasyonun bozulması sonucu kısa devre veya faz-toprak kısa devresi meydana geldiğinde, bu arızalar neticesiyle oluşan hata akımları trafo sargılarına ve demir çekirdeklerine ciddi zarar verirler. Buna ek olarak yağlı transformatörlerde, hata akımı yağı bozarak gaz çıkışına neden olur. Transformatör dışında şebekede bir hata meydana geldiğinde, yüksek hata akımları transformatör üzerinden akar ve transformatörler üzerinde yüksek ısınmalar meydana gelir. Bu durumda, koruma rölelerinin kısa sürede açma yapmaları gerekmektedir.

3.4.2.7 Diferansiyel Koruma

Transformatörlerde diferansiyel koruma, genellikle 10 MVA ve daha yüksek güçlü trafolarda kullanılan bir korumadır. Temel olarak, korunan trafoya giren ve çıkan akımlar, akım transformatörleri üzerinden koruma rölesine iletilir. Sağlıklı çalışma koşullarında bu akımların vektörel toplamı sıfırdır ve röleyi çalıştıracak fark akımı ortaya çıkmaz. Kısa devre anında ise, denge bozulur ve röleden fark akımı geçer. Bu akım değeri, daha önceden ayarlanmış olan değeri aşarsa röle çalışır ve ilgili kesicileri açtırır. Transformatör diferansiyel koruması; transformatördeki sarımlar arası, fazlar arası ve doğrudan topraklı sistemlerde faz-toprak arası kısa devrelere karşı duyarlıdır [29].

3.4.3 Generatörlerde Uygulanan Koruma Metodolojileri

Generatör korumaları, hem generatörde hem de şebekede meydana gelecek arızalarda çalışmalıdır.

3.4.3.1 Dış Arızalara Karşı Koruma

Kısa devre, silindirik bir generatörün terminallerinde meydana geldiğinde oluşacak arıza akımının değeri ve bu akıma karşı uygulanacak yöntem aşağıda verilmiştir.

- Başlangıçtaki stator akımı, generatöre ait subtransient reaktansa göre belirlenir.
- Arıza başladıktan sonra belli bir süre geçtiğinde, damper sargılarında kararlılık oluşur ve kısa devre akımı subtransient reaktans tarafından, transient zaman

sabitinin belirlediği süre boyunca azalmaya devam eder. Bu şekilde arıza akımı, nominal akımın 10 katı bir değerde başlar ve sonunda tehlike arz etmeyecek bir değere düşer. Bu tip arızalar, gerilim tutucu özellikteki bir aşırı akım rölesi tarafından tespit edilebilir. Bağımlı ya da bağımsız zaman karakteristiğinde koruma gerçekleştirilebilir.

3.4.3.2 Aşırı Akımlara Karşı Koruma

Aşırı akımlar, stator sargılarının ciddi şekilde ısınmasına neden olabilir. Bu nedenle uygulanacak işlem sargı zarar görmeden sağlanmalıdır. Bu tip durumlarda koruma, aşırı akım rölesi veya termal imaj rölesi tarafından sağlanabilir.

3.4.3.3 Dengesiz Yüklere Karşı Koruma

Sistemde bulunan dengesiz yükler, uzun süreli olarak devrede kaldıklarında generatöre zarar verip, çalışmasını engelleyebilirler. Bu durumlarda dengesiz yüklerin atılması gerekmektedir. Bu arızalar negatif bileşen aşırı akım röleleriyle tespit edilirler. Standart koruma metodolojisine göre bu röleler, nominal akıma göre %8 oranında bir dengesizlik olduğunda devreye girerek dengesiz yükleri sistemden izole ederler.

3.4.3.4 Ters Güçlere Karşı Koruma

Generatörlerin birbirleri arasında ya da şebekeyle paralel çalıştıkları sistemlerde, generatörlerin diğer kaynaklar tarafından beslenmesini yani motor olarak çalışmasını önlemek için ters güç röleleri kullanılır. Bu rölelerin gereksiz açma yapmaması için generatörlerin senkron olma süresi göz önüne alınarak koordinasyon sağlanmalıdır.

3.4.4 Aşırı ve Düşük Frekansa Karşı Koruma

Generatörlerde büyük çaplı yük kaybı olduğunda, makinenin yüksek devir sayısı ile dönmeye devam etmesi rotorlarında zorlanma meydana getirir.

Bu nedenle aşırı frekansa karşı koruma rotorlardaki stresi ortadan kaldırmak için önemlidir. Düşük frekans koruması ise generatörlerin aşırı yük nedeniyle devre dışı kalmalarını engellemek için uygulanır. Frekans düşmeye başladığında bu röleler devreye girer ve az öncelikli yükleri devre dışı bırakır. Böylece generatörün shutdown olmasının önüne geçilir.

3.4.5 Alan Kaybına Karşı Koruma

Bu arızalara karşı kaymış dairesel karakteristiğe sahip empedans röleleri kullanılır. Alan kaybı yaşandığında generatör, şebekeden belli bir miktarda reaktif güç çeker ve bu röleler bu gücü, güç salınımdan ayırır. Buna ek olarak, reaktif güç salınımlarının stabilitesini sağlamak adına, yeterli zaman gecikmesine sahip ters reaktif güç rölesi de bu arıza tipine karşı kullanılabilir.

3.4.6 Stator Toprak Arızasına Karşı Koruma

Generatör yıldız noktasının, doğrudan veya düşük empedans üzerinden topraklandığı uygulamalarda, toprak arıza akımı generatör anma akımının üzerinde bir değere ulaşır. Bu durumda diferansiyel koruma çalışıp ve generatör ana kesicisini açtırmalıdır.

3.4.7 Senkron Çalışma Kontrolü

Generatörlerin sekron olarak çalışma şartlarının oluşup oluşmadığını kontrol ederek, elde ettiği sonuca göre generatörleri senkron yapan cihazlar tarafından gerçekleştirilir. Senkronizasyon bozuludğunda uygun koşulları sağlayarak, senkronlama işlemini tekrar ederler.

3.4.8 İletim Hatlarında Uygulanan Koruma Metodolojileri

3.4.8.1 Klasik Mesafe Röleleri

İletim hatlarında meydana gelen kısa devrelerde, hata yerinin tespiti son derece önemlidir. Günümüzde bu arızaların tespiti için, hata noktası ile monte edildiği nokta arasındaki empedansa bağlı olarak çalışan röleler vardır. Bunlar “mesafe röleleri” bir diğer adıyla “empedans röleleridir.”

Normal çalışma koşullarında, hat geriliminin değeri hat akımından büyüktür. Fakat arıza anında akımın değeri büyük bir artış gösterir. Hat akımı hattın empedansı ile ters orantılı olduğundan kısa devre anında hattın empedansında akımın arttığı oranda azalma meydana gelir. Bu durumda empedan rölesi çalışmaya başlar.

Akım ve gerilim, empedans rölesinin iki önemli bileşenidir. Akım bileşenleri saptırma torkunu üretirken, gerilim depolama elemanları geri yükleme torkunu üretir. Tork formülüzasyonu aşağıda verilmiştir.

$$T = k_1 I^2 - k_2 V^2 - k_3 \quad (3.1)$$

Burada $-k_3$ rölenin yay etkisidir. Röle normal çalışma koşullarında olduğunda net tork sıfır olur. Bu durumda;

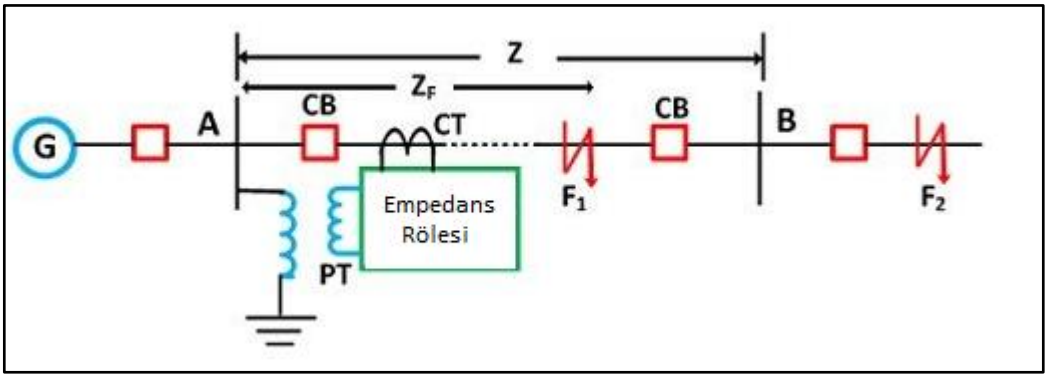
$$k_2 V^2 = k_1 I^2 - k_3 \quad (3.2)$$

$$\frac{V}{I} = Z = \sqrt{\frac{k_1}{k_2} - \frac{k_3}{k_2 I^2}} \quad (3.3)$$

Yay etkisi de ihmal edilirse;

$$Z = \sqrt{\frac{k_1}{k_2}} = Değişken \quad (3.4)$$

Gerilim ve akıma ilişkin çalışma karakteristiği Şekil 3.10'da verilmiştir. Bu diagramda Z hattın toplam empedansını Z_f ise arızalı noktaya kadar olan empedansı temsil etmektedir. F_1 kısa devresinde hattın empedansı düşer ve röle çalışmaya başlar. Bu durumda kesiciye açma komutu gönderilir ve hat temizlenir. Empedans oranından da kısa devrenin konumuna dair yorum yapılır.

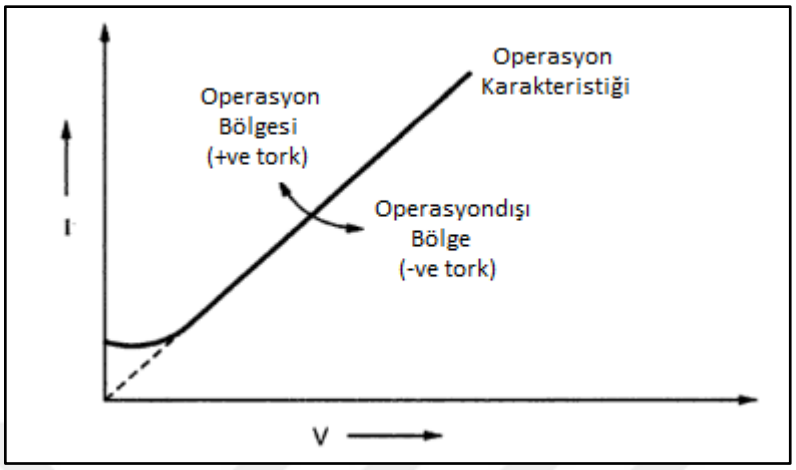


Şekil 3.9 Mesafe rölesi çalışma diagramı

3.4.8.2 Operasyon Karakteristiği

Kısa devre durumunda V/I oranı, yani empedans değeri değişkendir. Bu değer, arızanın lokasyonuna göre değişiklik gösterir. Eğer kısa devre noktası ile röle arasındaki mesafe kısaysa empedans düşük olur. Eğer arıza noktası ile röle arasındaki mesafe artarsa

empedans değeri daha büyük hale gelir. Bu koruma yapılmadan önce, rölenin ölçebileceği en geniş aralık belirlenir ve buraya koruma bölgesi denilir. Röle bu değer aralığında ayarlanır. Bu aralığın dışına çıkıldığında röle çalışmaz.



Şekil 3.10 Mesafe rölesi operasyon karakteristiği

Yay etkisi düşük akımlarda daha etkili olduğundan, akım düştükçe grafikte kayda değer bir bükülme gözlenir. Önceden belirlenmiş empedans;

$$Z = \frac{1}{Karakteristiğin\ Eğimi} \tag{3.5}$$

Röle pozitif tork bölgesinde, herhangi bir V-I kombinasyonunu alabilir. Bu kombinasyon daha önceden belirlenmiş olan koruma bölgesinin içinde tutulur.

3.4.8.3 R-X Diagramındaki Operasyon Karakteristiği

Empedans rölelerinin(mesafe rölesi) operasyon karakteristikleri R-X diagramı ile kolay bir şekilde temsil edilebilir. Bu diagramın X ekseni direnci, Y ekseni ise reaktansı temsil etmektedir. Bilindiği üzere empedans bileşenlerine ayrıldığında aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$Z = R + jX \tag{3.6}$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} \tag{3.7}$$

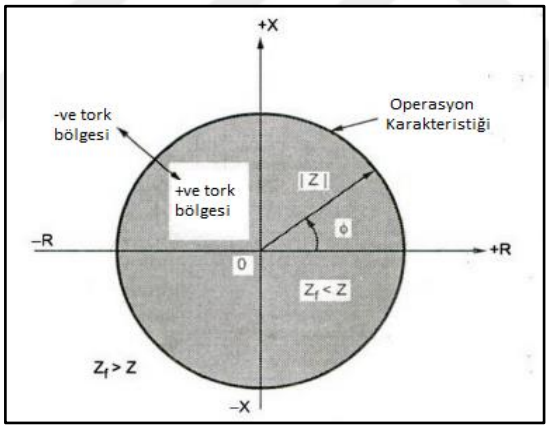
$$Z^2 = R^2 + X^2 \tag{3.8}$$

Matematiksel olarak, yarıçapı r olan bir çemberin koordinatlarının x ve y olduğu durumda $x^2+y^2=r^2$ eşitliği vardır. Benzer bir şekilde yukarıda yer alan denklemlerde empedans, çember yarıçapı gibi hesaplanır. X ve Y eksenlerinin orta noktası ise orjin noktası olur. Bu durum düşünüldüğünde ortaya çıkan denklemler aşağıda belirtilmiştir.

$$\tan \phi = \frac{X}{R} \tag{3.9}$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{X}{R} \tag{3.10}$$

Gerilim ve akım vektörlerinin sayısal değerleri yarıçap vektörünün (Z) uzunluğunu belirlerken, aralarındaki faz açısı (ϕ) ise bu vektörün konumunu belirler. Eğer akım ve gerilim aynı fazdaysa, empedan vektörü R ekseni boyunca uzar. Akım gerilimden gerideyse X negatif, öndeyse X pozitiftir. Rölenin çalışması faz açısı (ϕ)'dan bağımsızdır dolayısıyla çalışma karakteristiği, yarıçapı Z'nin karakteristiğine eşit olan ve önceden ayarlanmış bir daire şeklindedir. Ayarlanan Z değerinden ufak herhangi bir değerde röle çalışmaya başlar.



Şekil 3.11 R-X diagramının karakteristiği

Z_f = Röle ve arıza noktası arasındaki empedans değeri

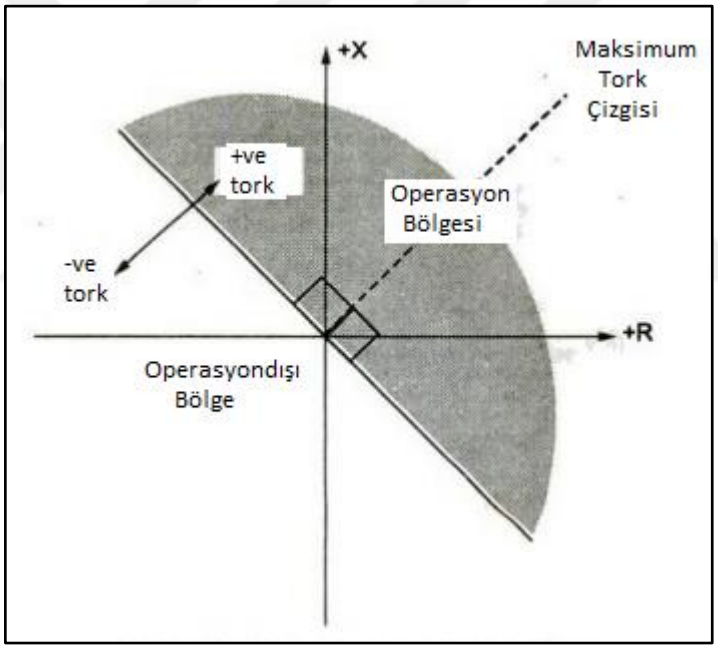
Z = Ayarlanan empedan değeri = Çemberin yarıçapı

İfadeleri birlikte düşünüldüğünde $Z > Z_f$ ise röle çalışır. $Z_f > Z$ ise röle çalışmaz. Bu tarz bir röleler yönsüzdür ve kurulmuş bir noktanın her iki tarafındaki arızalar için çalışabilir. Bu rölelerin dezavantajları aşağıda belirtilmiştir.

- Yönsüz olduklarından rölenin bağlı olduğu noktanın iki yönüne doğru da koruma sağlarlar. Dolayısıyla iç ve dış arıza ayrımı yapamadan kesicilere açma gönderilir.
- Kısa devre meydana geldiğinde ark meydana çıkar. Bu arklar rölelerin performansını etkiler.
- Güç salınımları rölenin performansını etkileyebilir.

3.4.8.4 Yönlü Mesafe Röleleri

Yönlü mesafe röleleri, klasik mesafe rölesine yön ünitesi eklenerek elde edilir. Bu ünite akımın akışından rölenin yönünü tespit eder ve sadece bu yönde meydana gelen arızalarda operasyon gerçekleştirir. Yön ünitesinin karakteristiği orjinden geçen eğik bir çizgidir. Kesikli çizgi ise hattın maksimum torkunu ifade eder. Bu ünite Şekil 3.13'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Yön ünitesinin karakteristiği

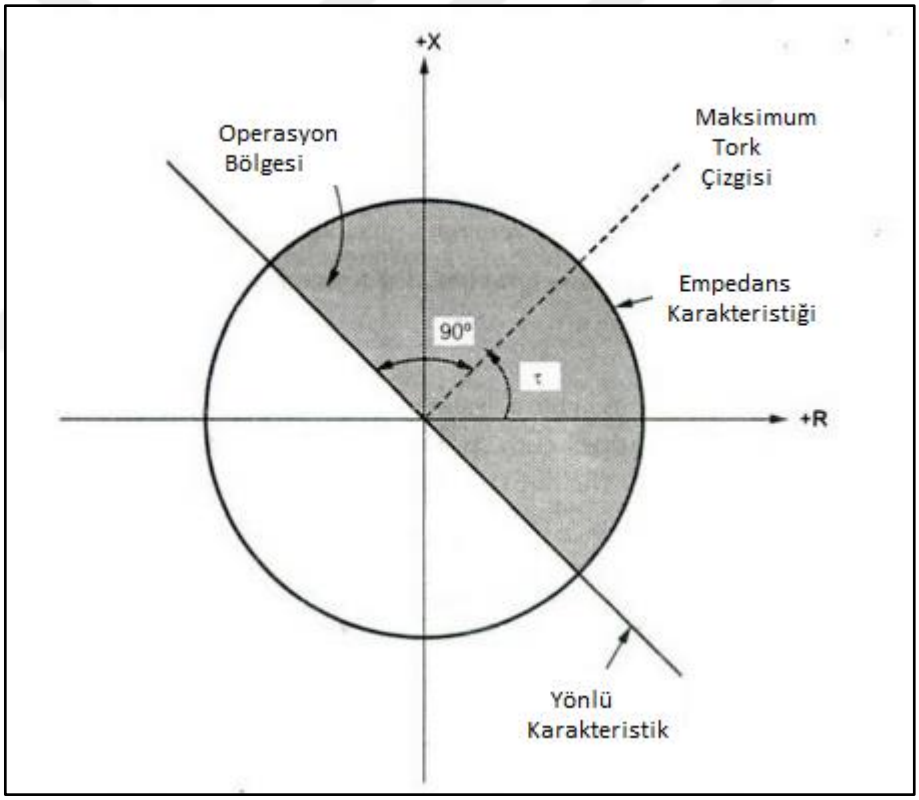
Şekil 3.13'de görülen karakteristikte, rölenin çalışma bölgesi çemberin içerisinde yer alan gri renk ile temsil edilmiş pozitif tork bölgesi hatalarıdır. Bu yüzden operasyon bölgesi yarım çember büyüklüğünde bir alandır.

3.4.8.5 Modifiye Edilmiş Karakteristik

Empedans rölesinin gerilim uçlarına ekstra gerilim sağlanarak tork denklemi modifiye edilebilir. Eklenen bu gerilim, hat akımı ile orantılı bir şekilde artar. Modifiye edilmiş tork denklemi aşağıda ifade edilmiştir.

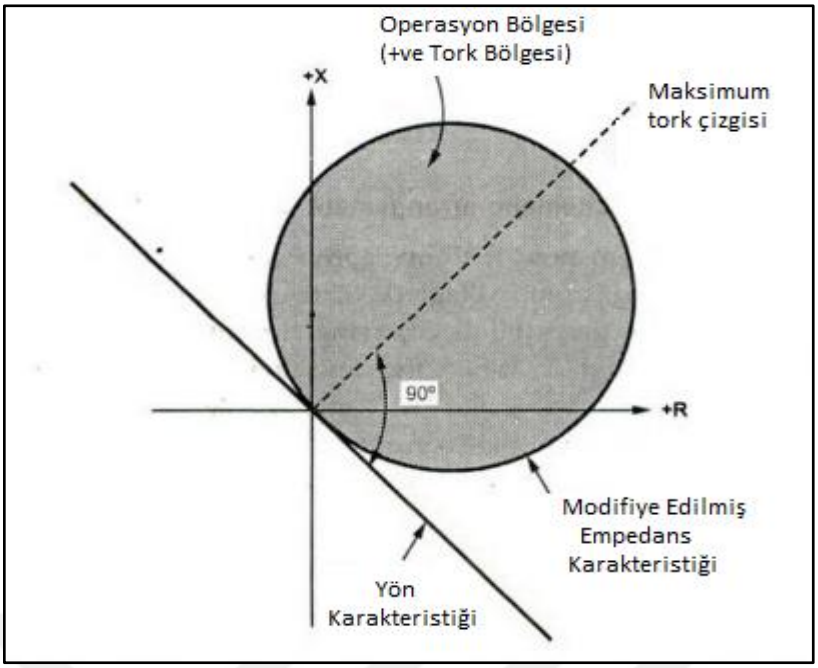
$$T = K_1 I^2 - K_2 (V + K_3 I)^2 \tag{3.11}$$

Burada $(V + K_3 I)$ gerilim artışını temsil etmektedir. Bu gerilim artışı R-X diagramını değişikliğe uğratır. Çember yarıçapı yine V/I oranında devam etmektedir. Ancak orjin noktası merkezden farklı bir yere hareket eder. Kontrollü arttırım yapılarajk orjin noktası ihtiyaç olan yere göre ayarlanır.



Şekil 3.13 Yönlü mesafe rölesinin karakteristiği

Enerji iletim ve dağıtım hatlarında yaşanan arızalara karşı, teşhis ve çözümde kullanılan en etkili yol mesafe(empedans) rölelerinin kullanılmasıyla elde edilen sonuçlardır. Ancak mesafe rölelerinin operayona başlaması için şebekede bir kısa devre durumu olması gerekmektedir.



Şekil 3.14 Modifiye edilmiş yönlü mesafe rölesinin karakteristiği

Bu kısıma kadar olan bölümlerde, elektrik iletim ve dağıtım şebekelerinde uygulanan koruma metodolojilerinden bahsedilmiştir. Bu koruma stratejilerinin bir arada bulunduğu liste, ANSI ve IEC60617 kodlarıyla birlikte Çizelge 3.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1 Koruma kodları

ANSI Kodu	Açıklaması	IEC60617 Kodu
12	Aşırı Hız Cihazı	ω>0
14	Düşük Hız Cihazı	ω<0
21	Mesafe Rölesi	Z<0
23	Sıcaklık Kontrol Cihazı	
24	Aşırı Akı Koruma	U/f>
25	Senkro-Check Cihazı	SYNC
26	Termik Cihaz	Θ>0
27	Düşük Gerilim Koruma	U<0
32	Yönlü Güç Rölesi	p→
32F	İleri Yönde Güç	
32R	Geri Yönde Güç	
37	Düşük Akım/Düşük Güç	I<0
40	Alan Kaybı	X<0
46	Negatif Bileşen Akım Koruma	I_2>
47	Negatif Bileşen Gerilim Koruma	U_2>
49	Termik (Aşırı Yük) Koruma	

50	Ani Aşırı Akım Koruma	I>>
50P	Ani Aşırı Akım Faz	
50G	Ani Aşırı Akım Toprak Kaçağı	
50N	Ani Aşırı Akım Nötr	I_0>0
50BF	Kesici Arızası Koruma	
51	Ters Zamanlı Aşırı Akım Koruması	I>
51P	Ters Zamanlı Aşırı Akım Faz	
51G	Ters Zamanlı Aşırı Akım Toprak Kaçağı	
51N	Ters Zamanlı Aşırı Akım Nötr	I_0>0
51GN	Sıfır Hız ve Düşük Hız	
55	Güç Faktörü Rölesi	cosφ>0
59	Aşırı Gerilim Koruma	U>0
59N	Rezidüel Gerilim Koruma	U_{rsd}>
64	Stator Toprak Arızası Koruma	
67	Yönlü Aşırı Akım Koruma	I>→
67G	Stator Toprak Kaçağı Yönlü Koruma	
67N	Yönlü Aşırı Akım Toprak Kaçağı Koruma	
68	Güç Dalgalanması Tespiti	I_2>
74TC	Açma Devresi Hatası	
78	Faz Açısı Rölesi	φ>
79	Otomatik Tekrar Kapama	
81	Frekans Koruma	f
81U	Düşük Frekans Koruma	f<
81O	Yüksek Frekans Koruma	f>
87	Diferansiyel Koruma	I_d>
87G	Generatör Diferansiyel Koruma	
87L	Hat Diferansiyel Koruma	
87T	Trafo Diferansiyel Koruma	
87M	Motor Diferansiyel Koruma	

Mesafe rölelerinin kapsamına girmeyen önemli konulardan biri hat kopukluğu(açık devre) arızasıdır. Günümüzde bu arıza tipi kaynaklı elektrik kesintileri sürekli olarak artmakta ve mesafe röleleriyle yapılan korumalar yetersiz kalmaktadır. Bu arıza tipi için düşünülen yeni nesil koruma metodolojisi çalışmanın devamında anlatılmıştır.

BÖLÜM 4

AÇIK DEVRE ARIZASININ TESPİTİ İÇİN ALGORİTMANIN GELİŞTİRİLMESİ

Bu tez çalışmasında, bir dağıtım şebekesi modellenerek bu şebekeye ait ölçümlerin açık devre arızasını doğru bir şekilde tespit edebilmesi amaçlanmıştır. Şebekenin modellenmesine, bu şebekenin en krıtik elemanı olan kablolara ilişkin parametreler yardımıyla bara empedans matrisini hesap eden algoritmanın oluşturulmasıyla başlanmıştır. Bu algoritmanın yanında nxn'lik matrisin endüktans ve kapasitansları da ayrı ayrı hesap edilmiştir.

4.1 Kapasitans Hesaplamarı

Enerji dağıtım şebekelerinde iletkenlerin kendi aralarında ve toprakla aralarında kondansatör etkisi gösterirler. Bu etki dikkate alındığında nxn'lik bir matris oluşur. Bu matris self ve ortak kapasitanslardan oluşur. Bu matrisin çıkarılışı esnasında C matrisinin tersi olan P matrisinden yararlanılır ve C matrisi bu şekilde elde edilir. İlgili yöntemin formüllere açıklanmasına aşağıda yer verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{aa} & p_{ab} & p_{ac} \\ p_{ba} & p_{bb} & p_{bc} \\ p_{ca} & p_{cb} & p_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_a \\ q_b \\ q_c \end{bmatrix} \quad \text{V} \tag{4.1}$$

$$\begin{bmatrix} q_a \\ q_b \\ q_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{aa} & -c_{ab} & -c_{ac} \\ -c_{ba} & c_{bb} & -c_{bc} \\ -c_{ca} & -c_{cb} & c_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad \text{C/m} \tag{4.2}$$

$$\det P = P_{aa}(P_{bb}P_{cc} - {P_{bc}}^2) - {P_{ab}}^2 P_{cc} + 2P_{ab}P_{bc}P_{ac} - {P_{ac}}^2 P_{bb} \tag{4.3}$$

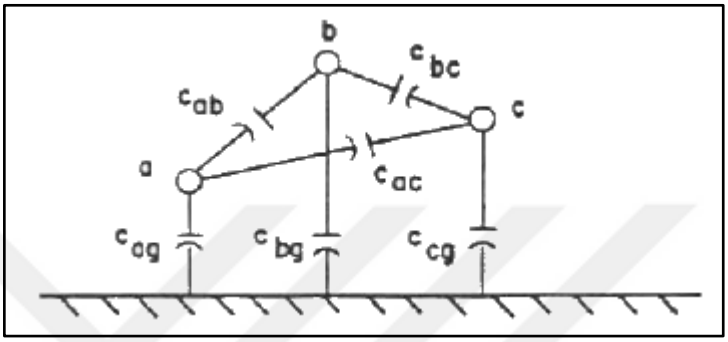
Toprakla iletken arasındaki kapasite değeri ise aşağıdaki gibidir.

$$C_{ag} = C_{aa} - C_{ab} - C_{ac} \quad (4.4)$$

$$C_{bg} = C_{bb} - C_{ba} - C_{bc} \quad (4.5)$$

$$C_{cg} = C_{cc} - C_{ca} - C_{cb} \quad (4.6)$$

Üç fazlı şebekede kapasitansların dağılımına ilişkin görsel Şekil 4.1'de yer almaktadır.



Şekil 4.1 Üç fazlı şebekenin kapasite dağılımı [31]

P matrisini nxn şeklinde oluşturmak için kullanılması gerekli formülüzasyonlar aşağıdaki gibidir.

$$P_{aa} = 18x10^9 ln\frac{D_{aai}}{r_a} \quad F^{-1}m \quad (4.7)$$

$$P_{bb} = 18x10^9 ln\frac{D_{bbi}}{r_b} \quad F^{-1}m \quad (4.8)$$

$$P_{cc} = 18x10^9 ln\frac{D_{cci}}{r_c} \quad F^{-1}m \quad (4.9)$$

$$P_{ab} = P_{bc} = 18x10^9 ln\frac{D_{abi}}{D_{ab}} \quad F^{-1}m \quad (4.10)$$

$$P_{ac} = 18x10^9 ln\frac{D_{aci}}{D_{ac}} \quad F^{-1}m \quad (4.11)$$

$$P_{ab} = P_{ba} \quad (4.12)$$

$$P_{ac} = P_{ca} \quad (4.13)$$

$$P_{bc} = P_{cb} \quad (4.14)$$

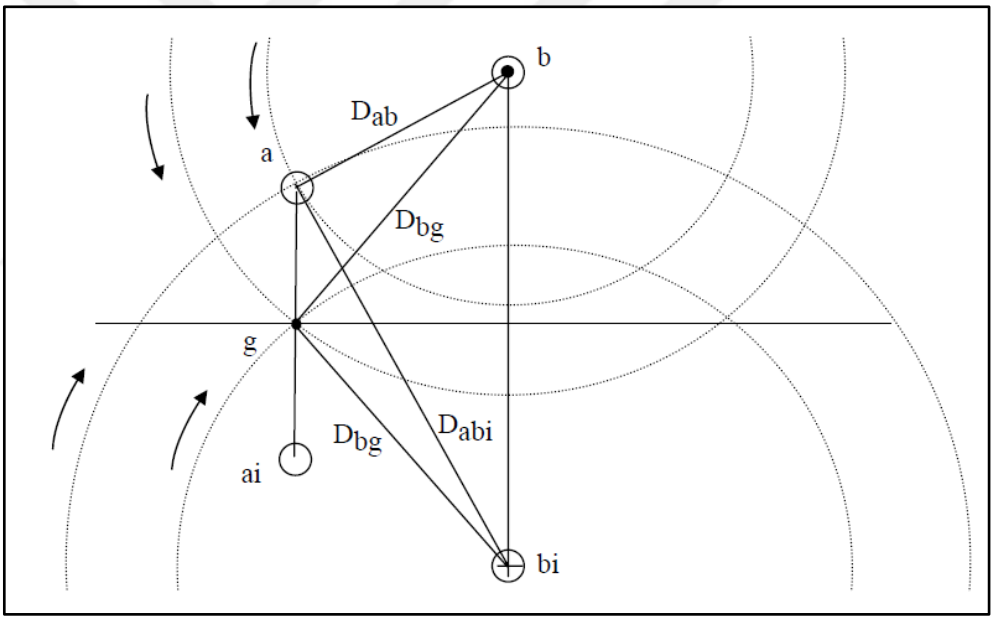
Bu hesaplar sonucunda elde edilen değerler aşağıdaki matriste yerlerine konur.

$$\begin{bmatrix} p_{aa} & p_{ab} & p_{ac} \\ p_{ba} & p_{bb} & p_{bc} \\ p_{ca} & p_{cb} & p_{cc} \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

Bu matrisin tersi alındığında ise nxn kapasitans matrisi elde edilir.

$$\begin{bmatrix} c_{aa} & -c_{ab} & -c_{ac} \\ -c_{ba} & c_{bb} & -c_{bc} \\ -c_{ca} & -c_{cb} & c_{cc} \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

Formülüzasyonlarda yer alan $D_{aai}, D_{bbi}, D_{cci}$ iletkenlerin toprağa göre simetriklerini temsil eder. D_{abi}; A fazının B fazına göre simetriğini, D_{bci}; B fazının C fazına göre simetriğini, D_{aci} ise A fazının C fazına göre simetriğini temsil eder. D_{ab}, D_{bc} ve D_{ac} iletkenlerin birbirleri arasındaki mesafedir. Diğer ifade olan r_a, r_b ve r_c ise iletkenlerin yarıçapıdır.



Şekil 4.2 A fazının B fazına göre imajı [41]

4.2 Endüktans Hesaplamarı

Akım taşıyan bir iletkenin etrafında oluşan manyetik alan Ampere Kanunlarında verilmiştir.

$$H_{\Phi} = \frac{I}{2\pi r} \quad \text{A/m} \quad (4.17)$$

Manyetik akı yoğunluğu; manayetik alan ve geçirgenlik (μ) ile ilgilidir. Burada H'nin yönü sağ el kuralına göre belirlenmektedir.

$$\overline{B} = \mu \text{ x } \overline{H} \quad \text{weber/m} \tag{4.18}$$

Bir yüzeyden geçen manyetik akı yoğunluğu ise;

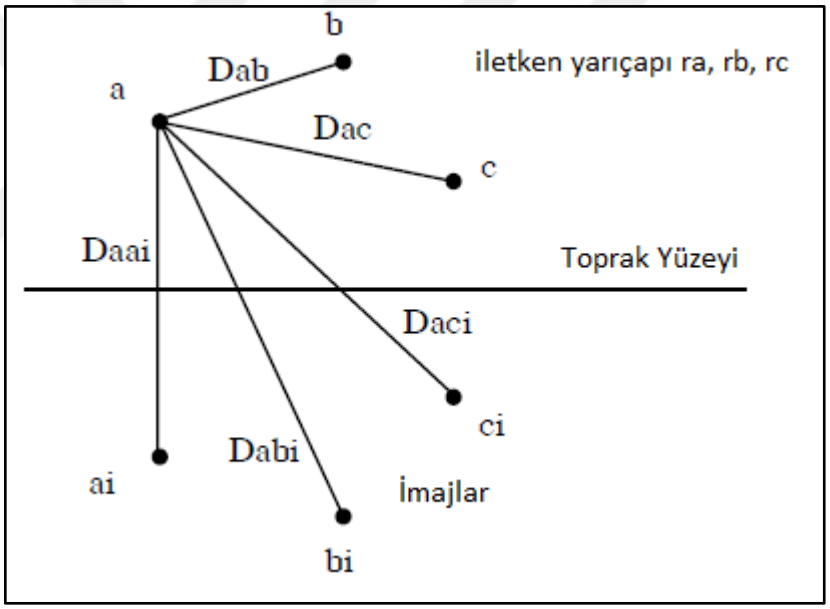
$$\phi = \int \overline{B}\, x\, d\overline{s} \quad \text{weber} \tag{4.19}$$

Boş alanın geçirgenliği $\mu_o = 4x10^{-7}$ olarak alınır.

$$L = \frac{N\phi}{I} \tag{4.20}$$

4.2.1 Üç Fazlı Sistemlerde Endüktans Hesabı

Havai iletim hatlarında endüktans hesabı yapabilmek için yaklaşım yapmak gereklidir. Bir fazda meydana gelen manyetik alan 6 parametreye bağlıdır. Bunlar; A fazından geçen akım ve bu akımın imajı, B fazından geçen akım ve bu akımın imajı, C fazından geçen akım ve bu akımın imajıdır.



Şekil 4.3 Fazların birbirlerine ve kendilerine göre imajları

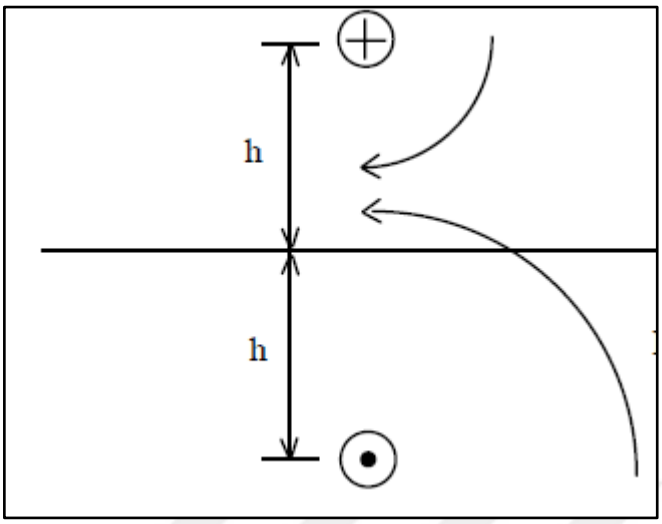
A fazında, B fazından kaynaklı olarak meydana gelecek akı;

$$\phi_a = \frac{\mu_0 I_b}{2\pi} ln \frac{D_{bg}}{D_{ab}} + \frac{\mu_0 I_b}{2\pi} ln \frac{D_{abi}}{D_{bg}} = \frac{\mu_0 I_b}{2\pi} ln \frac{D_{abi}}{D_{ab}} \tag{4.21}$$

Tüm fazların etkisi dikkate alınacak olursa meydana gelecek toplam akı;

$$\phi_a = \frac{\mu_0 I_a}{2\pi} ln \frac{D_{aai}}{r_a} + \frac{\mu_0 I_b}{2\pi} ln \frac{D_{abi}}{D_{ab}} + \frac{\mu_0 I_c}{2\pi} ln \frac{D_{aci}}{D_{ac}} \tag{4.22}$$

Şekil 4.4'te görüldüğü üzere herhangi bir fazın toprağa göre imajı, o fazın yerden yüksekliğinin iki katıdır.



Şekil 4.4 A fazının toprağa göre imajı

Bu analizler 3 faz için de ayrı ayrı yapılırsa ve $NxΦ = LxI$ eşitliğinde $N = 1$alınırsa endüktans matrisi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} \Phi_a \\ \Phi_b \\ \Phi_c \end{bmatrix} = \frac{\mu_0}{2\pi} \begin{bmatrix} \ln\frac{D_{aai}}{r_a} & \ln\frac{D_{abi}}{D_{ab}} & \ln\frac{D_{aci}}{D_{ac}} \\ \ln\frac{D_{bai}}{D_{ba}} & \ln\frac{D_{bbi}}{r_b} & \ln\frac{D_{bci}}{D_{bc}} \\ \ln\frac{D_{cai}}{D_{ca}} & \ln\frac{D_{cbi}}{D_{cb}} & \ln\frac{D_{cci}}{r_c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (4.23)$$

$$\Phi_{abc} = L_{abc} x\, I_{abc} \quad (4.24)$$

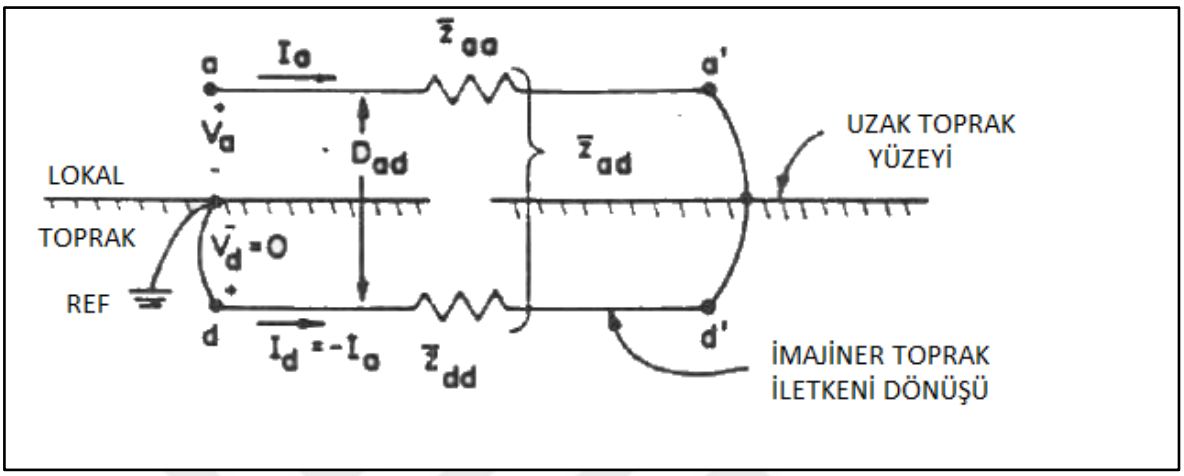
4.3 Empedans Hesaplamaları

4.3.1 Carson Hat Modeliyle Tek Fazlı Sistemlerin Empedans Hesabı

Şekil 4.5'de devreden akan akım I_a, toprak yüzeyinin altından akan akım ise I_d'dir. Bu hatta tek bir geri dönüş iletkeni vardır ve self GMD'si 1 metre olarak düşünülebilir. Bu iletken, nakil hattının altında D_{ad} (m) uzunluğundaki bir alan içerisinde yer alır.

Burada D_{ad}, toprak geçirgenliği ρ'nun bir fonksiyonudur. Toprak geri dönüşlü "Carson hat modelinin" denklemleri elde edilmek istenirse;

$$\begin{bmatrix} V_{aa'} \\ V_{dd'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_a - V_{a'} \\ V_d - V_{d'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{Z}_{aa} & \overline{Z}_{ad} \\ \overline{Z}_{ad} & \overline{Z}_{dd} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ -I_a \end{bmatrix} \text{ V/birim uzunluk} \quad (4.25)$$



Şekil 4.5 Toprak geri dönüşlü Carson hattı [31]

Formül 4.26'da yer alan denklemde; V_a, $V_{a'}$, V_d ve $V_{d'}$ aynı referans noktasına göre olan potansiyel farklardır. V_d=0 ve $V_{a'}$-$V_{d'}$=0 olduğunda V_a'yı hesaplayabilmek için üç adet denklem ortaya çıkar.

$$V_a = (\overline{z}_{aa} + \overline{z}_{dd} - 2\overline{z}_{ad})I_a = z_{aa}I_a \quad (4.26)$$

$$z_{aa} \triangleq (\overline{z}_{aa} + \overline{z}_{dd} - 2\overline{z}_{ad}) \quad \Omega\text{/birim uzunluk} \quad (4.27)$$

$$\overline{z}_{aa} = r_a + jwl_a = r_a + jwk(ln\frac{2}{D_{sa}} - 1) \quad \Omega\text{/birim uzunluk} \quad (4.28)$$

Benzer olarak;

$$\overline{z}_{dd} = r_d + jwk(ln\frac{2}{D_{sd}} - 1) \quad \Omega\text{/birim uzunluk} \quad (4.29)$$

Burada D_{sd}'yi ihtiyari olarak 1 birim uzunluk varsaydığında, Carson toprak direnci olan r_d'yi frekansın bir fonksiyonu olarak bulmuş ve aşağıdaki değerleri elde etmiştir.

$$r_d = 1.588x10^{-3}\, f \quad \Omega\text{/mil} \quad (4.30)$$

$$= 9.869x10^{-4}\, f \quad \Omega\text{/km} \quad (4.31)$$

$$\overline{z}_{ad} = jwm_{ad} = jwk(ln\frac{2}{D_{ad}} - 1) \quad \Omega/\text{birim uzunluk} \tag{4.32}$$

Yukarıdaki formülüzasyonlar, Formül 4.28 ile birleştirildiğinde toprak geri dönüşlü kablonun empedansı;

$$z_{aa} = \overline{z}_{aa} + \overline{z}_{dd} - 2\overline{z}_{ad} = (r_a + r_d) + jwkln\frac{{D_{ad}}^2}{D_{sa}} \quad \Omega/\text{birim uzunluk} \tag{4.33}$$

D_{sd} ifadesi 1 birim uzunluk sayıldığında aşağıdaki logaritmik eşitlik yazılırsa;

$$ln\frac{{D_{ad}}^2}{D_{sa}D_{sd}} = ln\frac{{D_{ad}}^2}{D_{sa}1} \tag{4.34}$$

$$D_e = \frac{{D_{ad}}^2}{D_{sd}} \tag{4.35}$$

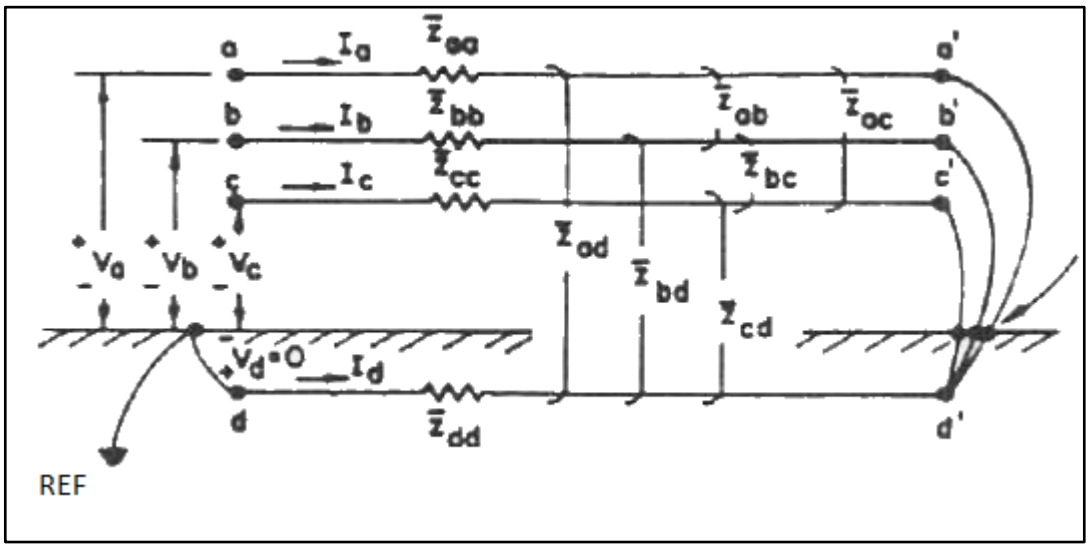
$$z_{aa} = (r_a + r_d) + jwkln(\frac{D_e}{D_{sa}}) \quad \Omega/\text{birim uzunluk} \tag{4.36}$$

D_e değeri, hem toprak geçirgenliği ρ'nun hem de frekans değerinin bir fonksiyonu olarak tanımlanabilir. Buna bağlı olarak aşağıdaki formül elde edilir.

$$D_e = 2160\sqrt{\frac{\rho}{f}} \tag{4.37}$$

Eğer toprak geçirgenliği ile alakalı bir bilgi bulunmuyorsa, bu değer 100 ohm-meter olarak varsayılabilir.

4.3.2 Carson Hat Modeliyle Üç Fazlı Sistemlerin Empedans Hesabı



Şekil 4.6 Üç fazlı toprak geri dönüşlü Carson hattı [31]

Üç fazlı sistemler için empedans hesabı yapılırken, tek fazlı sistemler için kullanılan yöntem ile aynı doğrultuda hareket edilir. Burada $I_d = -(I_a + I_b + I_c)$ şeklinde eşitlik vardır. Gerilim düşümlerine göre matrisler yazılmak istenirse;

$$\begin{bmatrix} V_{aa'} \\ V_{bb'} \\ V_{cc'} \\ V_{dd'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_a - V_{a'} \\ V_b - V_{b'} \\ V_c - V_{c'} \\ V_d - V_{d'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{Z}_{aa} & \overline{Z}_{ab} & \overline{Z}_{ac} & \overline{Z}_{ad} \\ \overline{Z}_{ba} & \overline{Z}_{bb} & \overline{Z}_{bc} & \overline{Z}_{bd} \\ \overline{Z}_{ca} & \overline{Z}_{cb} & \overline{Z}_{cc} & \overline{Z}_{cd} \\ \overline{Z}_{da} & \overline{Z}_{db} & \overline{Z}_{dc} & \overline{Z}_{dd} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_d \end{bmatrix} \quad \text{V/birim uzunluk} \tag{4.38}$$

Bu denklem, basit gerilim denklemleri olarak adlandırılır. Hattın empedansı, gerilimle oranlı olarak düşünülür. Hattın sonunda referans gerilimi için belli bir değer seçilip denklem bu değere göre düzenlenirse;

$$V_{a'} - V_{d'} = 0,\ V_{b'} - V_{d'} = 0,\ V_{c'} - V_{d'} = 0 \tag{4.39}$$

$$V_a - (V_{a'} - V_{d'}) = (\overline{z}_{aa} - 2\overline{z}_{ad} + \overline{z}_{dd})I_a + (\overline{z}_{ab} - \overline{z}_{ad} - \overline{z}_{bd} + \overline{z}_{dd})I_b + (\overline{z}_{ac} - \overline{z}_{ad} - \overline{z}_{cd} + \overline{z}_{dd})I_c \tag{4.40}$$

Kolaylık sağlamak adına, yeni empedanslar ve alınan sonuç aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$V_a = z_{aa}I_a + z_{ab}I_b + z_{ac}I_c \tag{4.41}$$

I_b ve I_c akımları 0 olduğunda z_{aa} değeri toprak dönüşlü hattın empedansı olur. Eğer bu ifade tüm fazlar için yazılırsa;

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{aa} & z_{ab} & z_{ac} \\ z_{ba} & z_{bb} & z_{bc} \\ z_{ca} & z_{cb} & z_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad \text{V/birim uzunluk} \tag{4.42}$$

$$z_{ab} = z_{ba},\ z_{ac} = z_{ca},\ z_{bc} = z_{cb} \tag{4.43}$$

Self empedanslar;

$$z_{aa} = \overline{z}_{aa} - 2\overline{z}_{ad} + \overline{z}_{dd} \tag{4.44}$$

$$z_{bb} = \overline{z}_{bb} - 2\overline{z}_{bd} + \overline{z}_{dd} \tag{4.45}$$

$$z_{cc} = \overline{z}_{cc} - 2\overline{z}_{cd} + \overline{z}_{dd} \tag{4.46}$$

Ortak empedanslar;

$$z_{ab} = \overline{z}_{ab} - \overline{z}_{ad} - \overline{z}_{bd} + \overline{z}_{dd} \tag{4.47}$$

$$z_{bc} = \overline{z}_{bc} - \overline{z}_{bd} - \overline{z}_{cd} + \overline{z}_{dd} \quad (4.48)$$

$$z_{ac} = \overline{z}_{ac} - \overline{z}_{ad} - \overline{z}_{cd} + \overline{z}_{dd} \quad (4.49)$$

Bu empedanslar, Denklem 4.32 ve 4.33 ile birleştirildiğinde ortaya çıkan denklemlere "temel empedans denklemleri" denir.

Temel self empedanslar;

$$\overline{z}_{aa} = r_a + jwk(ln\frac{2s}{D_{sa}} - 1) \quad \Omega/\text{birim uzunluk} \quad (4.50)$$

$$\overline{z}_{bb} = r_b + jwk(ln\frac{2s}{D_{sb}} - 1) \quad \Omega/\text{birim uzunluk} \quad (4.51)$$

$$\overline{z}_{cc} = r_c + jwk(ln\frac{2s}{D_{sc}} - 1) \quad \Omega/\text{birim uzunluk} \quad (4.52)$$

$$\overline{z}_{dd} = r_d + jwk(ln\frac{2s}{D_{sd}} - 1) \quad \Omega/\text{birim uzunluk} \quad (4.53)$$

Temel fazlararası ortak empedanslar;

$$\overline{z}_{ab} = jwk(ln\frac{2s}{D_{ab}} - 1) \quad \Omega/\text{birim uzunluk} \quad (4.54)$$

$$\overline{z}_{bc} = jwk(ln\frac{2s}{D_{bc}} - 1) \quad \Omega/\text{birim uzunluk} \quad (4.55)$$

$$\overline{z}_{ac} = jwk(ln\frac{2s}{D_{ca}} - 1) \quad \Omega/\text{birim uzunluk} \quad (4.56)$$

Temel faz-toprak empedansları;

$$\overline{z}_{ad} = jwk(ln\frac{2s}{D_{ad}} - 1) \quad \Omega/\text{birim uzunluk} \quad (4.57)$$

$$\overline{z}_{bd} = jwk(ln\frac{2s}{D_{bd}} - 1) \quad \Omega/\text{birim uzunluk} \quad (4.58)$$

$$\overline{z}_{cd} = jwk(ln\frac{2s}{D_{cd}} - 1) \quad \Omega/\text{birim uzunluk} \quad (4.59)$$

Temel self ve ortak empedanslar yardımıyla, devrenin self ve ortak empedansları hesap edilebilir.

$$\sqrt{D_e} = D_{ad} = D_{bd} = D_{cd} \quad (4.60)$$

$$D_s = D_{sa} = D_{sb} = D_{sc} \quad (4.61)$$

Denklem 4.34 ve 4.35'deki yaklaşımlar ele alındığında bara empedans matrisleri aşağıdaki gibi olacaktır.

$$z_{aa} = (r_a + r_d) + jwkln\frac{D_e}{D_s} \quad \text{Ω/birim uzunluk} \tag{4.62}$$

$$z_{bb} = (r_b + r_d) + jwkln\frac{D_e}{D_s} \quad \text{Ω/birim uzunluk} \tag{4.63}$$

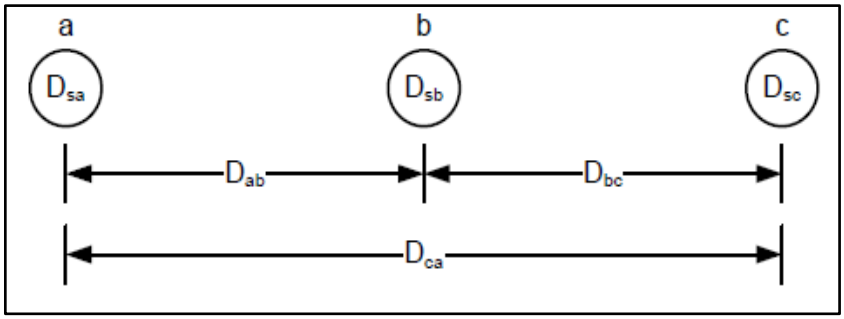
$$z_{cc} = (r_c + r_d) + jwkln\frac{D_e}{D_s} \quad \text{Ω/birim uzunluk} \tag{4.64}$$

$$z_{ab} = r_d + jwkln\frac{D_e}{D_{ab}} \quad \text{Ω/birim uzunluk} \tag{4.65}$$

$$z_{bc} = r_d + jwkln\frac{D_e}{D_{bc}} \quad \text{Ω/birim uzunluk} \tag{4.66}$$

$$z_{ca} = r_d + jwkln\frac{D_e}{D_{ca}} \quad \text{Ω/birim uzunluk} \tag{4.67}$$

Verilen ifadeler bara empedans matrisinin son hali olarak dikkate alınır. Burada r_a, r_b ve r_c değerleri üç faza ait iletkenlerin birim uzunluk başına hat direnci olarak ifade edilir. Bu değerler kablo üreticisi firma tarafından sağlanmalıdır. Bu değer farklı sıcaklık değerlerine göre değişiklik gösterebilir. Bundan dolayı örnek alınacak direnç değerleri, farklı sıcaklık değerlerinde test edilmeli ve ona göre temin edilmelidir.



Şekil 4.7 GMR değerlerinin temsil edilmesi

r_d değeri toprak direnci olarak ifade edilir. Bu değer denklem 4.30 ve 4.31'de bahsi geçen ifadeler yardımıyla hesaplanır. wk değeri endüktans çarpım sabitidir. Şebekenin frekans ve uzunluk birimine göre farklılık gösterebilir. Denklem 4.37'de görülen formülüzasyon kullanılarak D_e değeri de hesaplanabilir. Ayrıca formülüzasyonlarda yer alan diğer değerler D_{sa}, D_{sb} ve D_{sc} ifadeleri GMR (Geometrik Ortalama Yarıçap) olarak adlandırılır.

BÖLÜM 5

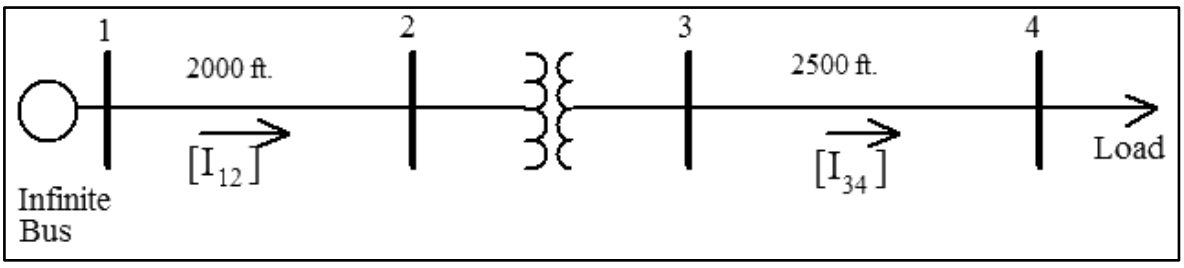
IEEE4 BARALI SİSTEM, INJECTOR, BLOCKER MODELLEMELERİ VE SİMÜLASYON SONUÇLARI

Çalışmada uygulanan algoritmanın test edilebilmesi için IEEE4 baralı sistem seçilmiş ve bu sistem üzerinden bulunan değerler teyit edilerek sonuçlar alınmıştır.

5.1 IEEE4 Baralı Sistemin Hat Parametreleri

Enerji dağıtım şebekelerinde iletkenlerin kendi aralarında ve toprakla aralarında kondansatör etkisi gösterirler. Bu etki dikkate alındığında nxn'lik bir matris oluşur. Bu matris self ve ortak kapasitanslardan oluşur. Bu matrisin çıkarılışı esnasında C matrisinin tersi olan P matrisinden yararlanılır ve C matrisi bu şekilde elde edilir. İlgili yöntemin formüllere açıklanmasına aşağıda yer verilmiştir.

Verilen değerler direnç ve endüktans olarak ayrı ayrı verilmiş, toplam empedanslar yazılmamıştır. Toplam empedanslar hesaplandığında elde edilen ifade Denklem 5.2'de yer alan matris olur.



Şekil 5.1 IEEE4 baralı sistem

Uzunluk olarak ise transformatöre kadar olan bölüm 2000 fit, transformatörden sonraki

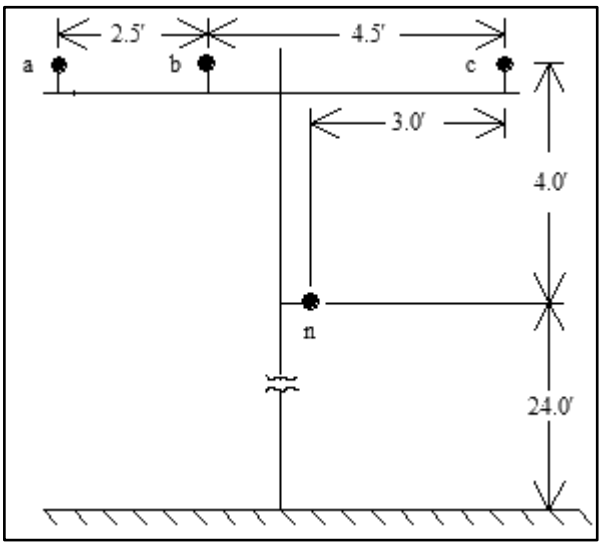
bölüm ise 2500 fit olarak düşünülmüştür. Ayrıca hat parametrelerinin birim uzunluktaki empedans değerlerine de, Denklem 5.1'de yer verilmiştir.

$$Z_d = \begin{bmatrix} 0.4013+1.4133j & 0.0953+0.8515j & 0.0953+0.7266j \\ 0.0953+0.8515j & 0.4013+1.4133j & 0.0953+0.7802j \\ 0.0953+0.7266j & 0.0953+0.7802j & 0.4013+1.4133j \end{bmatrix} \Omega/\text{mil} \quad (5.1)$$

Verilen değerler direnç ve endüktans olarak ayrı ayrı verilmiş, toplam empedanslar yazılmamıştır. Toplam empedanslar hesaplandığında elde edilen ifade Denklem 5.2'de yer alan matris olur.

$$Z_d = \begin{bmatrix} 1.4691\angle 74.15 & 0.8568\angle 83.61 & 0.733\angle 82.52 \\ 0.8568\angle 83.61 & 1.4691\angle 74.15 & 0.786\angle 83.03 \\ 0.733\angle 82.52 & 0.786\angle 83.03 & 1.4691\angle 74.15 \end{bmatrix} \Omega/\text{mil} \quad (5.2)$$

IEEE4 baralı sistemde kablo ve hat parametreleri ayrı ayrı verilmiş ve bu parametreler yardımıyla bahsi geçen direnç, endüktans ve empedans değerleri hesaplanmıştır. Bölüm 5'de bahsedilen algoritma ilgili hat ve kablo parametrelerine uygulandığında 5.1 ve 5.2'de yer alan sonuçların elde edilmesi gerekmektedir. Bu sonuçların sağlanamadığı durum algoritmanın doğru olmadığı ya da işlem hatasının mevcut olduğu durum manasına gelecektir.



Şekil 5.2 IEEE4 baralı sistemde iletken konumları

Bu çalışmada hem algoritmanın doğru olduğunun, hem de yapılmış olan yazılımın doğru çalıştığının teyit edilebilmesi için hat parametreleri üzerinden 5.1 ve 5.2'deki değerler elde edilmiş ve sağlama yapılmıştır. Bunun için algoritmanın oluşturulması için gerekli olan ilk

parametre kablo konumlandırmaları Şekil 5.2'de verilmiştir. Kablo konumlandırmalarından görüldüğü üzere A iletkeniyle B iletkeni arasındaki mesafe 2.5′, B iletkeniyle C iletkeni arasındaki mesafe 4.5′ ve A iletkeniyle C iletkeni arasındaki mesafe 7′ olarak verilmiştir.

5.1.1 Hat Parametrelerinin Empedans Cinsinden Teyit Edilmesi

İlk olarak empedans eşitliği üzerinden yola çıkılacak olursa, Bölüm 5'de yer alan empedans formülüzasyonu dikkate alınmalıdır. $z_{aa} = (r_a + r_d) + jwkln\frac{D_e}{D_s}$ Ω/birim uzunluk (5.3)

$$z_{bb} = (r_b + r_d) + jwkln\frac{D_e}{D_s} \quad \Omega/\text{birim uzunluk} \tag{5.4}$$

$$z_{cc} = (r_c + r_d) + jwkln\frac{D_e}{D_s} \quad \Omega/\text{birim uzunluk} \tag{5.5}$$

$$z_{ab} = r_d + jwkln\frac{D_e}{D_{ab}} \quad \Omega/\text{birim uzunluk} \tag{5.6}$$

$$z_{bc} = r_d + jwkln\frac{D_e}{D_{bc}} \quad \Omega/\text{birim uzunluk} \tag{5.7}$$

$$z_{ca} = r_d + jwkln\frac{D_e}{D_{ca}} \quad \Omega/\text{birim uzunluk} \tag{5.8}$$

Formulüzasyona bakıldığında elde edilmesi gereken ilk parametre olarak birim uzunluk başına faz dirençleri gözükmektedir. Bu değerler üç faz için de aynı kabul edilmiş 0.306 Ω/birim uzunluk olarak alınmıştır. Ayrıca Şekil 5.2'de yer alan mesafe değerleri formülüzasyona entegre edilmek istenirse; $D_{ab} = 2.5', D_{bc} = 4.5', D_{ac} = 7'$ olarak bulunur. Elde edilmesi gereken bir diğer değer D_e değeri, hem toprak geçirgenliği ρ'nun hem de frekans değerinin bir fonksiyonu olarak tanımlanabilmektedir. IEEE4 baralı sistem genel itibariyle 60 Hz frekans değerinde çalışmakta ve tüm sonuçlar bu frekans değerinde hesap edilmektedir. Dolayısıyla farklı bir frekans değeri kullanımı IEEE4 baralı sistemle farklı sonuçlar çıkmasına neden olabileceğinden şebeke frekansı olarak, yerel frekansa farklılık göstermesine rağmen, 60 Hz değeri kullanılmıştır. Ayrıca toprak geçirgenliği olarak da temel öngörü yapılmış ve gerçek dataların bilinmediği durumlarda kullanılan 100 Ω-m değeri kullanılmıştır. Bu verilere istinaden $D_e = 2.788$ olarak hesap edilir. Bunun yanında bulunması gereken bir diğer ifade olan toprak direnci de frekansın bir fonksiyonu olarak kabul edilmektedir. Frekans değeri 60 Hz olarak kullanılacağından, bu değer $r_d = 0.09528$

Ώ/birim uzunluk olarak bulunur. Elde edilmesi gereken son parametre olan endüktans çarpım sabiti wk, frekans ve uzunluk birimine göre farklılık gösterebilmektedir.

Çizelge 5.1 Endüktans çarpım sabiti

Sabit	Frekans	Uzunluk Birimi	Doğal Logaritma (ln)	10 Tabanında Logaritma
k	-	Km	$0.2x10^{-3}$	$0.4605x10^{-3}$
		Mil	$0.3219x10^{-3}$	$0.7411x10^{-3}$
2πk	-	Km	$1.257x10^{-3}$	$2.893\ x10^{-3}$
		Mil	$2.022x10^{-3}$	$4.656\ x10^{-3}$
fk	50 Hz	Km	0.01	0.02302
	50 Hz	Mil	0.01609	0.03705
wk	50 Hz	Km	0.06283	0.1446
	50 Hz	Mil	0.10111	0.2328
fk	60 Hz	Km	0.012	0.02763
	60 Hz	Mil	0.01931	0.0446
wk	60 Hz	Km	0.07539	0.1736
	60 Hz	Mil	0.12134	0.2794

$$Z_d = \begin{bmatrix} 0.4013+1.4371j & 0.0953+0.8659j & 0.0953+0.7388j \\ 0.0953+0.8659j & 0.4013+1.4371j & 0.0953+0.7933j \\ 0.0953+0.7388j & 0.0953+0.7933j & 0.4013+1.4371j \end{bmatrix} \text{Ώ/mil} \quad (5.9)$$

Bulunan ifadeler, algoritmanın entegre edildiği yazılıma girildiğinde Denklem 5.9'daki matris elde edilmektedir. Algoritmanın entegre edildiği yazılım Matlab'te m.file olarak kodlanmış ve "Otomatik Bara Empedan Matrisi Hesaplama Programı" olarak adlandırılmıştır. Denklem 5.9'daki ifade ile IEEE4 baralı sistemde yer alan değerleri içerem Denklem 5.1 ile mukayese edildiğinde, algoritma ve programın doğruluğunun teyidi ortaya çıkmıştır.

5.1.2 Parametrelerin Reaktans, Endüktans, Kapasitans Cinsinden Teyidi

Hat parametrelerinin hesabı için kullanılan ikinci yöntem değerlerin ayrı ayrı elde edilerek sonuca ulaşılmasıdır. Bu yöntemde bulunan ifadeler; nxn reaktans, endüktans ve kapasitans matrisleri olacaktır. İşleme ilk olarak reaktans matrisinin bulunmasından başlanacaktır. Reaktans matrisinin bulunmasında geçerli olacak formülüzasyon aşağıdaki gibidir.

$r_{aa} = r_a + r_d$ Ώ/birim uzunluk (5.10)

$r_{bb} = r_b + r_d$ Ω/birim uzunluk (5.11)

$r_{cc} = r_c + r_d$ Ω/birim uzunluk (5.12)

$r_{ab} = r_{ba} = r_d$ Ω/birim uzunluk (5.13)

$r_{ac} = r_{ca} = r_d$ Ω/birim uzunluk (5.14)

$r_{bc} = r_{cb} = r_d$ Ω/birim uzunluk (5.15)

Bu formülüzasyonlar neticesinde elde edilen matris Denklem 5.16'da elde edilen şekilde olmuştur.

$$r = \begin{bmatrix} 0.4013 & 0.0953 & 0.0953 \\ 0.0953 & 0.4013 & 0.0953 \\ 0.0953 & 0.0953 & 0.4013 \end{bmatrix} \text{ Ω/mil} \quad (5.16)$$

Endüktans matrisinin elde edilmesi için kullanılacak formülüzasyon Denklem 5.17'de yer alan ifade yardımıyla çıkartılır.

$$\begin{bmatrix} \Phi_a \\ \Phi_b \\ \Phi_c \end{bmatrix} = \frac{\mu_0}{2\pi} \begin{bmatrix} \ln\frac{D_{aai}}{r_a} & \ln\frac{D_{abi}}{D_{ab}} & \ln\frac{D_{aci}}{D_{ac}} \\ \ln\frac{D_{bai}}{D_{ba}} & \ln\frac{D_{bbi}}{r_b} & \ln\frac{D_{bci}}{D_{bc}} \\ \ln\frac{D_{cai}}{D_{ca}} & \ln\frac{D_{cbi}}{D_{cb}} & \ln\frac{D_{cci}}{r_c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (5.17)$$

$l_{aa} = \frac{\mu_0}{2\pi} ln \frac{D_{aai}}{r_a}$ Ω/birim uzunluk (5.18)

$l_{bb} = \frac{\mu_0}{2\pi} ln \frac{D_{bbi}}{r_b}$ Ω/birim uzunluk (5.19)

$l_{cc} = \frac{\mu_0}{2\pi} ln \frac{D_{cci}}{r_c}$ Ω/birim uzunluk (5.20)

$l_{ab} = l_{ba} = \frac{\mu_0}{2\pi} ln \frac{D_{abi}}{D_{ab}}$ Ω/birim uzunluk (5.21)

$l_{ac} = l_{ca} = \frac{\mu_0}{2\pi} ln \frac{D_{aci}}{D_{ac}}$ Ω/birim uzunluk (5.22)

$l_{bc} = l_{cb} = \frac{\mu_0}{2\pi} ln \frac{D_{bci}}{D_{bc}}$ Ω/birim uzunluk (5.23)

IEEE4 baralı sistemde iletkenlerin toprağa göre yüksekliği 28' olarak verilmiştir. Üç iletkende aynı yükseklikte bulunduğundan bu değer üç iletken için de aynıdır. $D_{aai}, D_{bbi}, D_{cci}$

iletkenlerin toprağa göre simetriklerini temsil eder. Bu ifadeler iletkenin toprağa göre yüksekliğinin iki katını temsil eder ve 56' olarak hesaplanır. D_{abi}; A fazının B fazına göre simetriğini temsil eder. Bu değer buluruken daha önce hesaplanan A fazının toprağa göre imajı ile A ve B fazları arasındaki yatay mesafenin hipotenüsü hesaplanır. Çıkan sonuç D_{abi} değerine eşit olur. D_{aci}; A fazının C fazına göre simetriğini temsil eder. Bu değer buluruken daha önce hesaplanan A fazının toprağa göre imajı ile A ve C fazları arasındaki yatay mesafenin hipotenüsü hesaplanır. Çıkan sonuç D_{aci} değerine eşit olur. D_{bci}; B fazının C fazına göre simetriğini temsil eder. Bu değer buluruken daha önce hesaplanan A fazının toprağa göre imajı ile B ve C fazları arasındaki yatay mesafenin hipotenüsü hesaplanır. Çıkan sonuç D_{bci} değerine eşit olur. Bahsedilen işlemler neticesinde alınan sonuçlar aşağıda yer alan şekilde olur.

$$D_{abi} = D_{bai} = 56.055' \tag{5.24}$$

$$D_{aci} = D_{cai} = 56.436' \tag{5.25}$$

$$D_{bci} = D_{cbi} = 56.18' \tag{5.26}$$

D_{ab}, D_{ac} ve D_{bc} iletkenlerin birbirleri arasındaki mesafedir. Bu değerler daha önceki bölümlerde belirtilmiştir. Diğer ifadeler r_a, r_b ve r_c iletkenlerin yarıçapıdır. IEEE4 baralı sistemde bu değerler çap olarak verilmiştir. Üç iletken aynı kesitte sunulmuştur. Verilen değer ikiye bölünerek yarıçaplar elde edilir.

$$r_a = r_b = r_c = 0.721/2 = 0.3605 \tag{5.27}$$

$$l = \begin{bmatrix} 1.506 & 0.622 & 0.417 \\ 0.622 & 1.506 & 0.505 \\ 0.417 & 0.505 & 1.506 \end{bmatrix} \text{ µH/mil} \tag{5.28}$$

Kapasitans matrisinin elde edilmesi için kullanılacak formülüzasyon aşağıdaki denklemlerde sunuştur.

$$P_{aa} = 18x10^9 ln\frac{D_{aai}}{r_a} \text{ F}^{-1}\text{m} \tag{5.29}$$

$$P_{bb} = 18x10^9 ln\frac{D_{bbi}}{r_b} \text{ F}^{-1}\text{m} \tag{5.30}$$

$$P_{cc} = 18x10^9 ln\frac{D_{cci}}{r_c} \text{ F}^{-1}\text{m} \quad (5.31)$$

$$P_{ab} = P_{bc} = 18x10^9 ln\frac{D_{abi}}{D_{ab}} \quad \text{F}^{-1}\text{m} \quad (5.32)$$

$$P_{ac} = 18x10^9 ln\frac{D_{aci}}{D_{ac}} \quad \text{F}^{-1}\text{m} \quad (5.33)$$

Denklemlerde kullanılacak veriler, daha önce endüktans matrisinde kullanılanlarla benzerlik göstermektedir. Dolayısıyla hesaplamalar yapılırken aynı veriler kullanılabilir. Denklem 5.34'de yer alan P matrisi, kapasitans matrisinin tersi olarak düşünülebilir.

$$\begin{bmatrix} p_{aa} & p_{ab} & p_{ac} \\ p_{ba} & p_{bb} & p_{bc} \\ p_{ca} & p_{cb} & p_{cc} \end{bmatrix} \quad (5.34)$$

Denklemler çözüldüğünde ortaya çıkan P matrisi Denklem 6.35'de yer almaktadır.

$$p = \begin{bmatrix} 135.57 & 55.98 & 37.57 \\ 55.98 & 135.57 & 45.44 \\ 37.57 & 45.44 & 135.57 \end{bmatrix} \text{x10}^9 \quad (5.35)$$

Bu matrisi tersi alındığında, ortaya çıkan kapasitans matrisi Denklem 5.36'da yer almaktadır.

$$c = \begin{bmatrix} 0.0091 & -0.0033 & -0.0014 \\ -0.0033 & 0.0095 & -0.0023 \\ -0.0014 & -0.0023 & 0.0085 \end{bmatrix} \text{ nF/mil} \quad (5.36)$$

5.2 IEEE4 Baralı Sistemin Modellenmesi

IEEE4 baralı sistemdeki elemanların analizi ayrı ayrı yapılmak istendiğinde, işleme hat başında konumlandırılan gerilim kaynağından başlamak gerekir. Burada üretilen gerilim 12.47 kV olarak verilmiştir. Bu değer iletim hattı modelleri ve trafo üzerinden geçerken düşüme uğrar. Hat sonuna gelindiğinde gerilim değeri, akım akan yol üzerindeki en düşük değerini alır. Gerilim kaynağı içerisinde yer alacak frekans değeri 60 Hz olarak kabul edilmiştir.

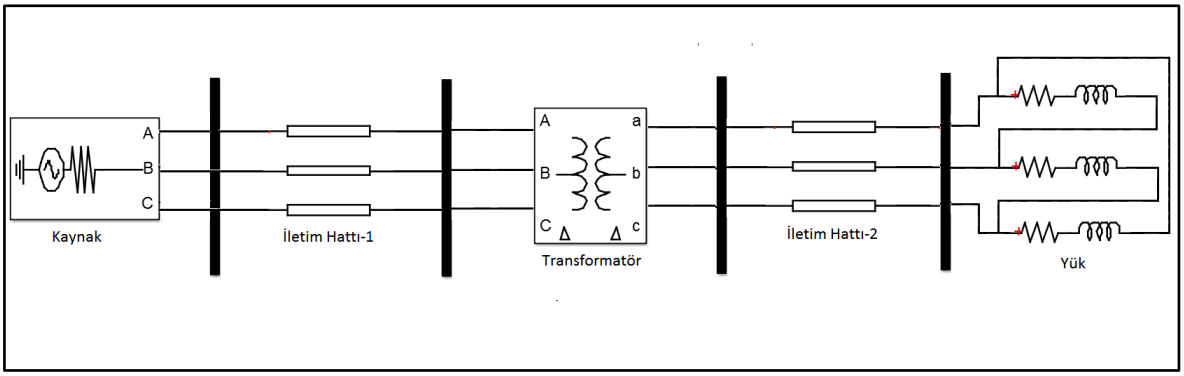
Gerilim kaynağından sonra iletim hattı bloğu konumlandırılır. IEEE4 baralı sistemde bu hattın uzunluğu 2000 fit olarak verilmiştir. Bu blokta yapılacak ölçümler ve alınacak sonuçlar mil bazında gerçelleneceğinden fit değeri mile dönüştülmüş ve 0.381 mil olarak hat uzunluk

kabulü yapılmıştır. Ayrıca Denklem 6.16, 6.28 ve 6.36'da yer alan reaktans, endüktans ve kapasitans matrisleri dikkate alınıp, iletim hat parametreleri denklemlerde bahsedilen değerler olarak atanmıştır.

Trafo bağlantı şekli üçgen-üçgen olarak öngörülmüştür. İlgili trafonun güç değeri 6000 kVA'dır. Kullanılan trafo step-down (düşürücü) cinstedir. Yüzde gerilim düşümleri ise direnç için %1, endüktans için ise %6 olarak verilmiştir. Trafo çıkışında bir adet iletim hattı daha mevcuttur ve bu hattın fit cinsinden uzunluğu 2500'dür. Bu değer mile çevrildiğinde ortaya çıkan değer 0.476 mil olarak hesaplanmıştır. Hat içerisindeki parametreler ise ilk iletim hattında yer alan değerlerle aynıdır.

Hat sonunda 1800 kw'lık dengeli bir yük mevcuttur. Güç faktörü 0.9 olarak verildiğinden görünür güç 2000 kVA olarak hesaplanmıştır. Bu durumda reaktif güç 871.78 kVar olarak bulunur. Yükler, her hatta ayrı ayrı entegre edilmiş ve kendi aralarında üçgen olarak bağlanmıştır. Ayrıca IEEE4 baralı sistemde, isminden anlaşılacağı üzere farklı yerlerde konumlandırılmış 4 adet bara mevcuttur. Bu baralar; gerilim kaynağı çıkışında, transformatör girişinde, transformatör çıkışında ve yük girişinde mevcuttur. Baraların bulunduğu bölümler ölçüm almak için kullanılmaktadır. Bu noktalar üzerinden yapılan ölçümler üzerinden gerilim düşümleri gözlemlenmiş ve trafo öncesinde ve sonrasında hat üzerinden akan akımlar hesaplanmıştır.

IEEE4 baralı sistemin Matlab'te modellenmiş hali Şekil 5.3'te yer almaktadır. Bu model üzerinden bara gerilimleri ve hat akımları ölçülmüş, alınan sonuçlar IEEE4 baralı sistem verileriyle karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.3 IEEE4 baralı sistemin Matlab'te modellenmesi

Çizelge 5.2 Gerilim ölçümleri

Bara Numarası	Fazlararası Gerilimler	Gerilim Değerleri
2	V1	12410
2	V2	12410
2	V3	12410
3	V1	3764
3	V2	3781
3	V3	3769
4	V1	3537
4	V2	3553
4	V3	3535

Çizelge 5.3 Akım ölçümleri

Bara Numarası	Fazlararası Gerilimler	Gerilim Değerleri
1-2	I1	339.2
1-2	I2	329.9
1-2	I3	335.5
3-4	I1	1016
3-4	I2	988.5
3-4	I3	1005

5.3 Hat Kopukluğu Arızasının Tespit Edilmesi

Hat kopukluğu arızasının tespitinde referans olarak seçilen devre şeması IEEE4 baralı sisteme aittir. Bu devre üzerinden yapılan sağlamalar sonucunda hat parametrelerinin doğru bir şekilde çıkarılabildiği kanısına varılmış ve bu sistemin bir injector (düşük gerilim yüksek frekans üreteci) ve blockerla (injectorın etkisini bloklayan mekanizma) birleştirilmesi sonucuna varılmıştır.

IEEE4 baralı sistem tek bir kaynaktan beslenmektedir. Bu kaynak şebeke olup, nominal gerilim ve nominal frekansa sahiptir. Hat kopukluğu algoritması, yapısı gereği iki farklı gerilim kaynağından beslenen bir sistem olarak düşünülmektedir. Bu algoritmada; nominal şebeke verilerine sahip bir kaynakla birlikte, düşük gerilim ve yüksek frekansa sahip başka bir kaynağın birlikte çalışması planlanmıştır. İkincil gerilim ve frekansı üreten bu kaynağa "injector" adı verilmiştir. Nominal şebeke kaynağı, devre üzerinden geçireceği akımı sürekli geçirecektir. Ancak yüksek frekans kaynağının ürettiği değer şebekenin tamamından

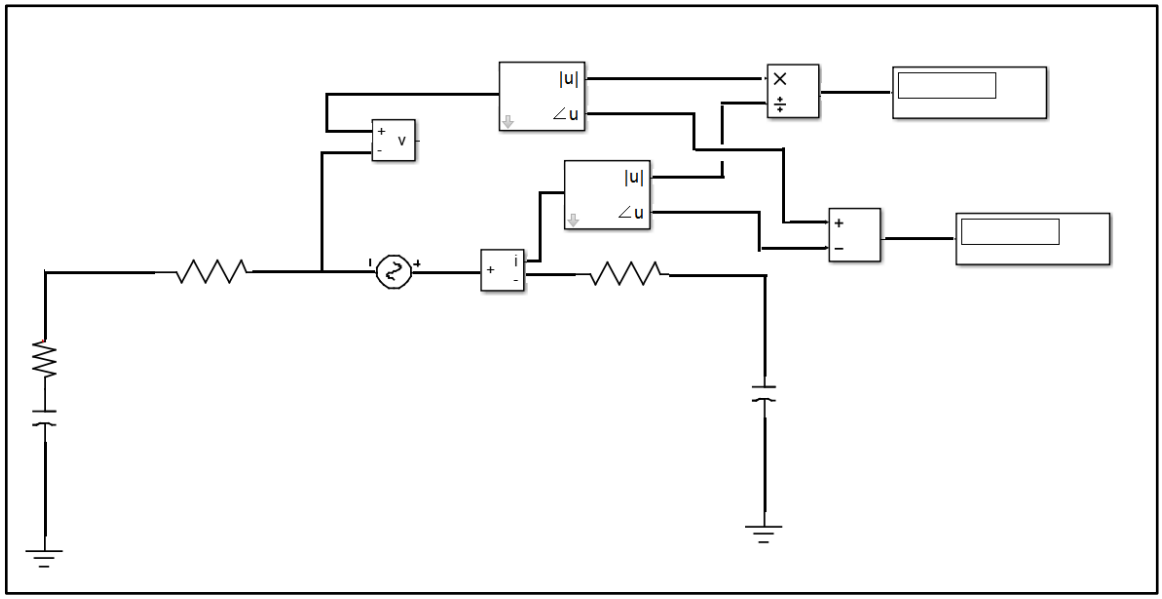
geçmemeli ve şebekenin belli bir bölümüne hitap etmelidir. Bu sorunun çözümü adına "Blocker" yapısı adını verdiğimiz bir sistem kullanılmıştır. Bu yapı içerisinde yüksek geçirgen filtre kullanılmış ve kontrollü gerilim kaynağı sayesinde, şebekede var olan yüksek frekans kaynağı sisteme ters yönde verilmiştir. Dolayısıyla yüksek frekans kaynağının şebekenin geri kalanına etkisi sönümlenmiş ve devrenin sınırları çizilerek etki alanının blockera kadar olan bölge olması sağlanmıştır. Dolayısıyla ortaya çıkan hat kopukluğu algoritması şebekenin tamamına hitap etmekten çıkmış ve şebekenin belli parçalarına ait bir yapı olarak ortaya koyulmuştur.

5.4 IEEE4 Baralı Sistem Üzerinden Hat Kopukluğu Arızasının Algılanması

IEEE4 baralı sistemin modellenmesi ile elde edilen devre şeması üzerinden, hat kopukluğu arızasının tespiti ile alakalı denemeler yapılacaktır. Bundan dolayı IEEE4 devre şeması modellemesi, injector ve blocker mekanizmalarıyla birleştirilecek ve ölçümler gözlemlenecektir. Yapılması planlanan bu işlem için çeşitli adımlar takip edilmiştir. Bu adımların neticeleri aşağıda sunulmuştur.

5.4.1 Nominal Kaynak ve Yük İhmali Durumunda Empedans Ölçümü

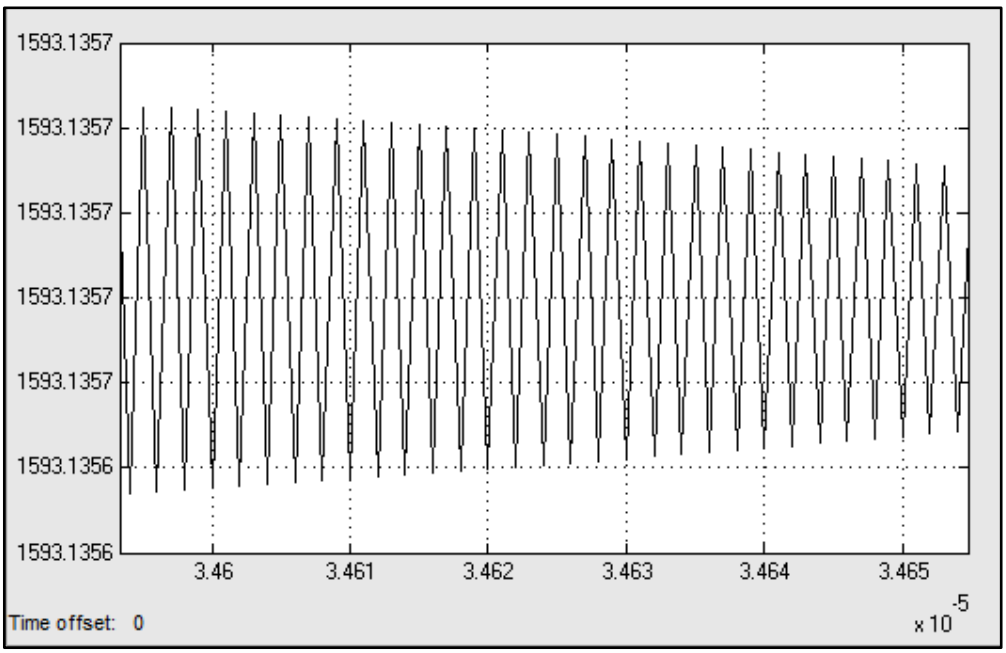
İlk durumda nominal kaynak ihmal edilmiş ve hatta ait tek gerilim üreteci olarak düşük gerilim kaynağı(injector) düşünülmüştür. Bu kaynaktan akan akım, hattın kapasitesi üzerinden devreyi tamamlamakta ve seri bağlı iki adet kondansatör oluşmaktadır. Direnç değerleri ihmal edilebilecek kadar küçük seçildiğinden, bulunan toplam kapasitif reaktans hattın empedansına eşit olacaktır. Şekil 5.4'te yer alan hat ve kaynak dirençlerinin değeri ihmal edilebilecek kadar küçük seçilmiştir.



Şekil 5.4 İlk durum empedans ölçümü

Çizelge 5.4 İlk durum empedans ölçüm sonuçları

Hattın Kapasite Değeri	Kaynağın Üzerinden Topraklandığı Kapasite Değeri	Ölçülen Empedans Genliği	Ölçülen Empedans Açısı
10^{-9} F	10^{-6} F	1593	-90



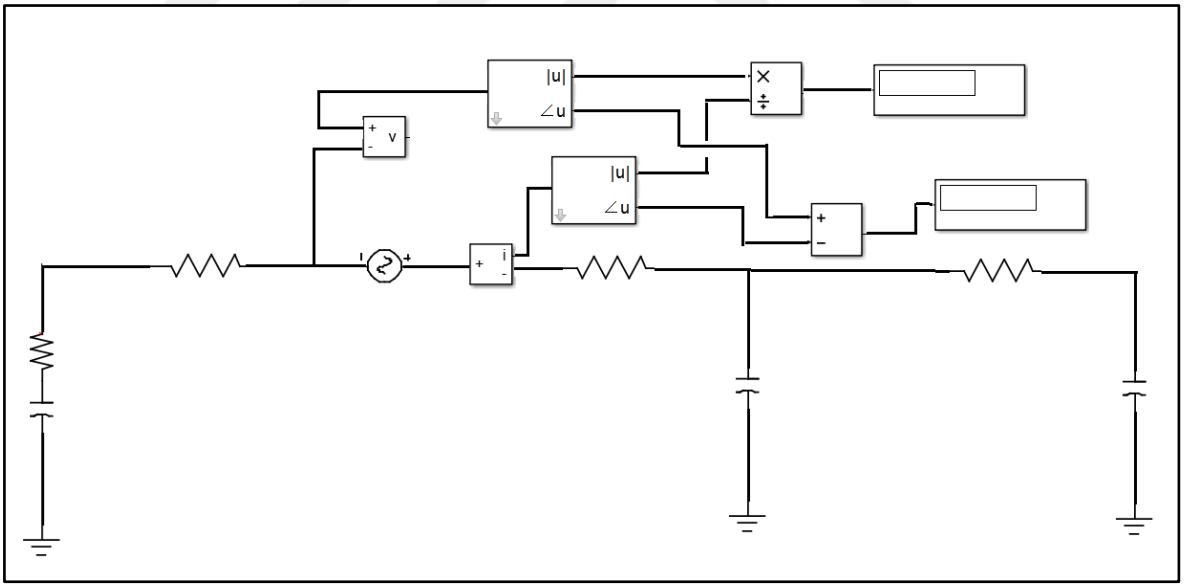
Şekil 5.5 İlk durum empedans ölçümü sonuçları

5.4.2 Nominal Kaynak ve Blocker İhmali Durumunda Empedans Ölçümü

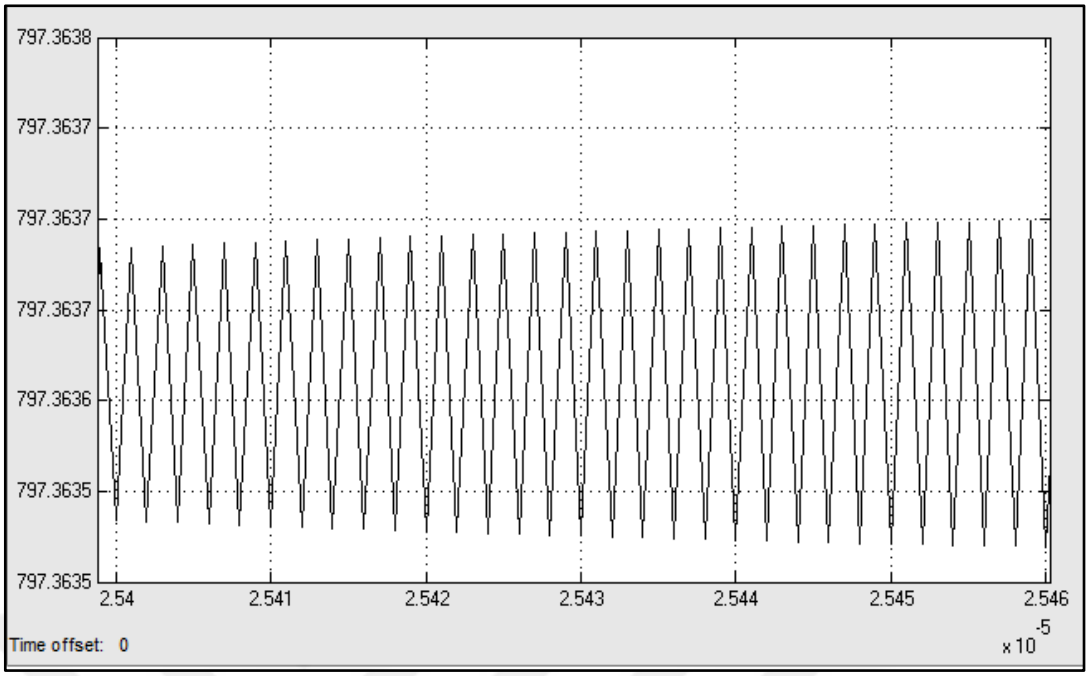
İkinci durumda nominal gerilim kaynağı yine ihmal edilmiş ve hatta ait tek gerilim üreteci olarak düşük gerilim kaynağı (injector) düşünülmüştür. Kaynaktan akan akım, hattın ve yükün kapasiteleri üzerinden dağılmakta ve kaynağın üzerinden topraklandığı kapasite üzerinden geri dönmektedir. Dolayısıyla hat modeli, birbirlerine paralel olarak bağlanan iki kapasite ve onlara seri bağlanan bir diğer kapasite olarak düşünülebilmektedir. Buradan çıkacak toplam kapasitif reaktans, hattın toplam empedansına yaklaşık olarak eşit olacaktır. Bu empedans değeri, ilk adımda bulunan değerin yaklaşık olarak yarısı olacaktır.

Çizelge 5.5 İkinci durum empedans ölçüm sonuçları

Hattın Kapasite Değeri	Kaynağın Üzerinden Topraklandığı Kapasite Değeri	Yükün Kapasite Değeri	Ölçülen Empedans Genliği	Ölçülen Empedans Açısı
10^{-9} F	10^{-6} F	10^{-9} F	797	-90



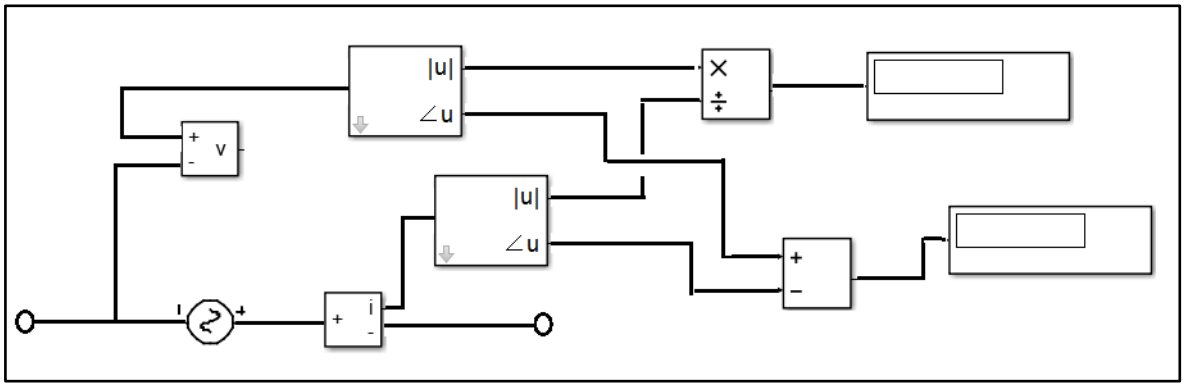
Şekil 5.6 İkinci durum empedans ölçümü



Şekil 5.7 İkinci durum empedans ölçümü sonuçları

5.4.3 Injector Tasarımı

Nominal kaynakla birlikte kullanılması düşünülen yüksek frekans düşük gerilim kaynağına injector ismi verilmiştir. Bu kaynak 5V 1MHz olarak düşünülmüştür. Yukarıda bahsedilen ilk ve ikinci durum empedans ölçümleri, injector mekanizmasının sağlaması olarak yapılmış ve devrenin doğru çalıştığının teyidi yapılmıştır.



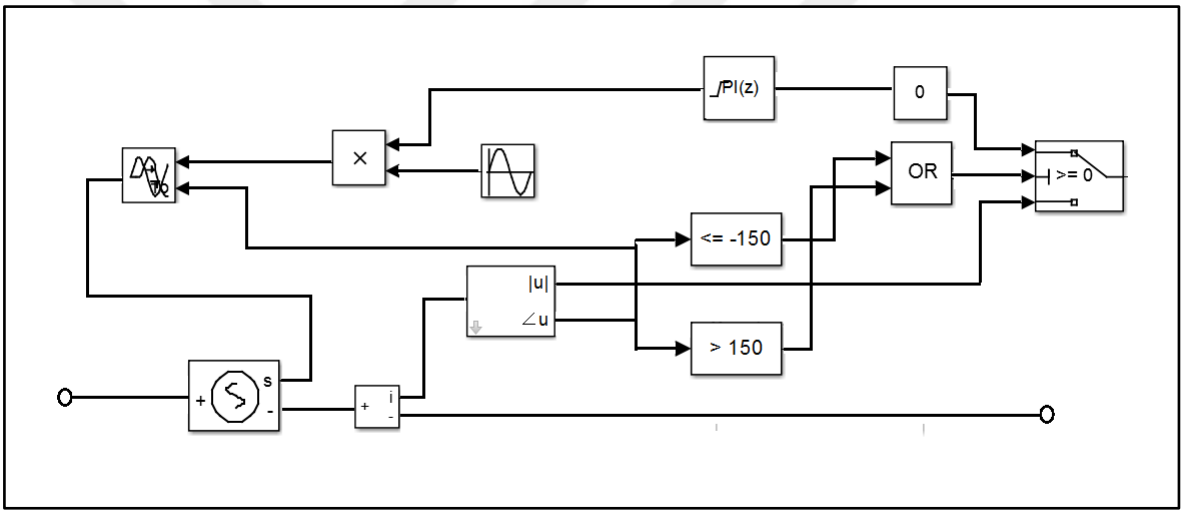
Şekil 5.8 Injector tasarımı

5.4.4 Blocker Tasarımı

Injectorın devreye olan etkisini, konumlandırıldığı alanın sonrası için bloke ederek, iletim hattının etki aralığının boyutlandırılmasını sağlayacak şekilde tasarlanan elemana blocker ismi verilmiştir. Blocker mekanizmasının yaptığı ilk iş, konumlandırılacağı yerdeki akımı

ölçmektir. Elde edilen bu akımın içerisinde yüksek ve düşük frekanslı akımlar birlikte bulunmaktadır. Ölçülen akım içerisinde, düşük ve yüksek frekanslı akımların ayırt edilebilmesi gerekmektedir. Injectorın etkisi yüksek frekansa haiz olarak planlandığından ve bloklanmak istenilen değer bu bileşen olduğundan, yüksek frekans geçirgenli filtre kullanılarak istenilen bileşen elde edilmiş olur.

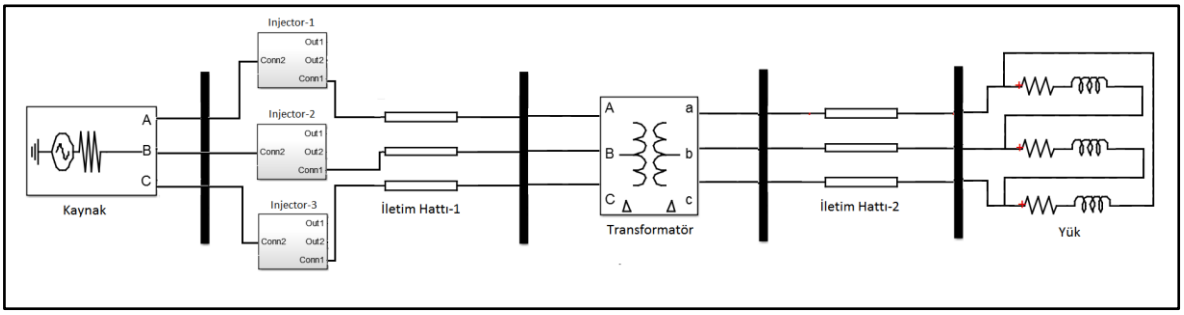
Elde edilen yüksek frekanslı akım; genlik ve açı olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Bu iki değer ayırt edildikten sonra, akımın genlik değeri PID bloğuna bağlanır. Bu blok üretilmesi istenen akım değerini biliyor hale gelecek ve bu akımı üretmek için gerekli olan gerilim değerini sağlayacaktır. PID bloğu çıkışından elde edilen değer, injectorın etkisini blockerdan sonrası için sönümleyecek gerilimdir. Bu ifade kontrollü gerilim kaynağının kontrol ucundan devreye ters yönlü olarak basılır.



Şekil 5.9 Blocker tasarımı

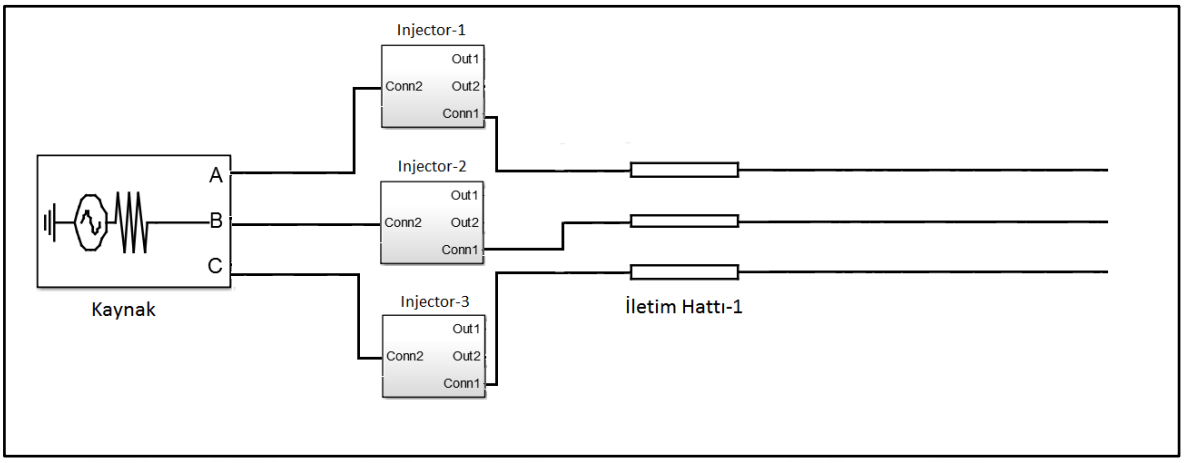
5.4.5 IEEE4 Baralı Sistem İle Injector'ın Birleştirilmesi

IEEE4 baralı sistem, injector ve blocker mekanizmalarının devre şemalarının modellenip, test edilmesinin ardından sıradaki işlem, bu sistemlerin birleştirilmesi ve ortaya çıkan devre modelinde empedans ölçümü alınmasıdır. Bu tez çalışması kapsamında, IEEE4 baralı sistem ile injector birlikte çalıştırılacak ve blockerın mükemmel çalıştığı düşünülerek işlevini yaptığı varsayılacaktır. Hat boyutlarında çeşitli arttırma ve azaltma işlemleri yapılacak ve bu noktalardaki empedans değerleri ölçülecektir. Buradan çıkan sonuçlara göre hat modelindeki kopukluk noktası ile ilgili yorumlar yapılabilecektir.

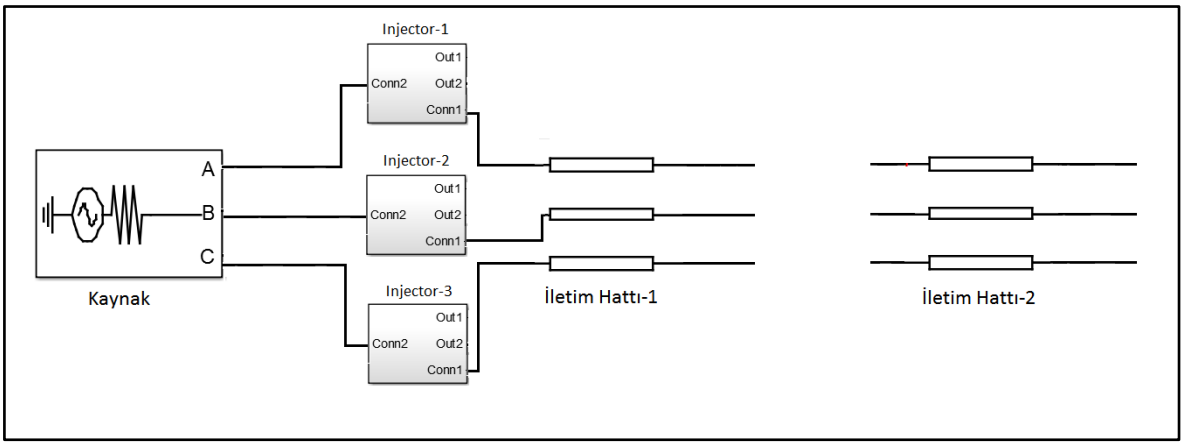


Şekil 5.10 Injector ile IEEE4'ün birleştirilmesi

Bu devre şeması üzerinden alınacak sonuçları daha iyi analiz edebilmek için bara, trafo ve yükler kurulan devrenin dışında bırakılmış ve simülasyona bu şekilde devam edilmiştir.



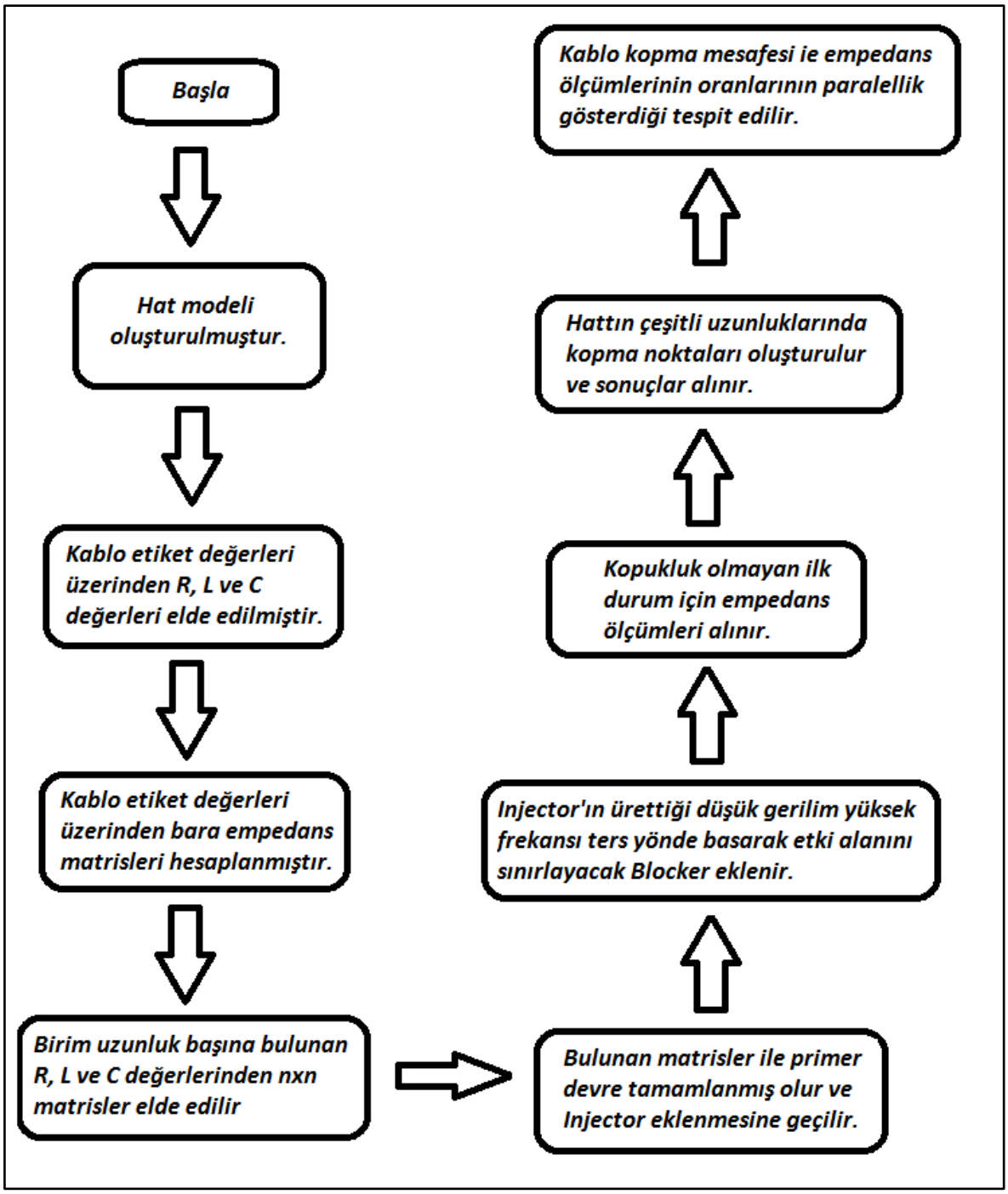
Şekil 5.11 Injector ile IEEE4'ün sadeleştirilmiş halinin birleştirilmesi



Şekil 5.12 İletim hattında kopukluk durumu

Şekil 5.11'de yer alan iletim hattı tek bir parça halindeyken empedans ölçümü yapılmış ve üç faz için ayrı ayrı değerler alınmıştır. Daha sonra hat, Şekil 5.12'de yer alan şekle gelmiş ve hattın ortasında kopukluk noktası oluşmuştur. Böylece ilk durumdaki hat, iki eşit parçaya ayrılmış ve bu parçalar arasındaki bağlantı kesilmiştir. Dolayısıyla, hattın kopukluk noktası

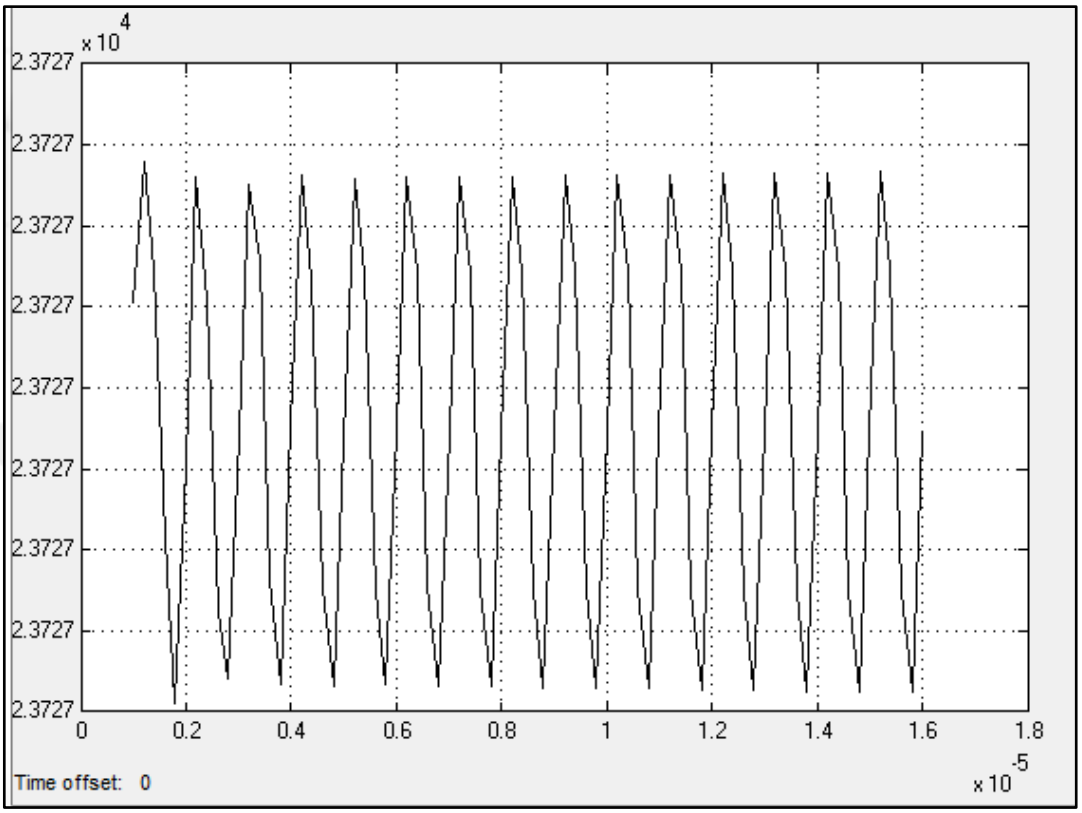
sonrasında yer alan kısmı üzerinden herhangi bir akım geçmemektedir ve toplam empedans ilk duruma göre farklılık göstermiştir. Yapılan hesaplama ve simülasyonların ardından, geliştirilen algoritmanın uygulama şeması Şekil 5.13'de ifade edilmiştir.



Şekil 5.13 Hat kopukluğu arızasının tespiti için takip edilen sıralama

Hatta ait uzunluk, IEEE4 baralı sistemden referans olarak alınmış; ancak IEEE4 baralı sistemde yer alan uzunluklar kısa olarak kalacağından ve değişimler için net bir gözlem yapılamayacağından, hattın uzunluğu IEEE4'te yer alan değerin 4 katı, 1.524 km olarak

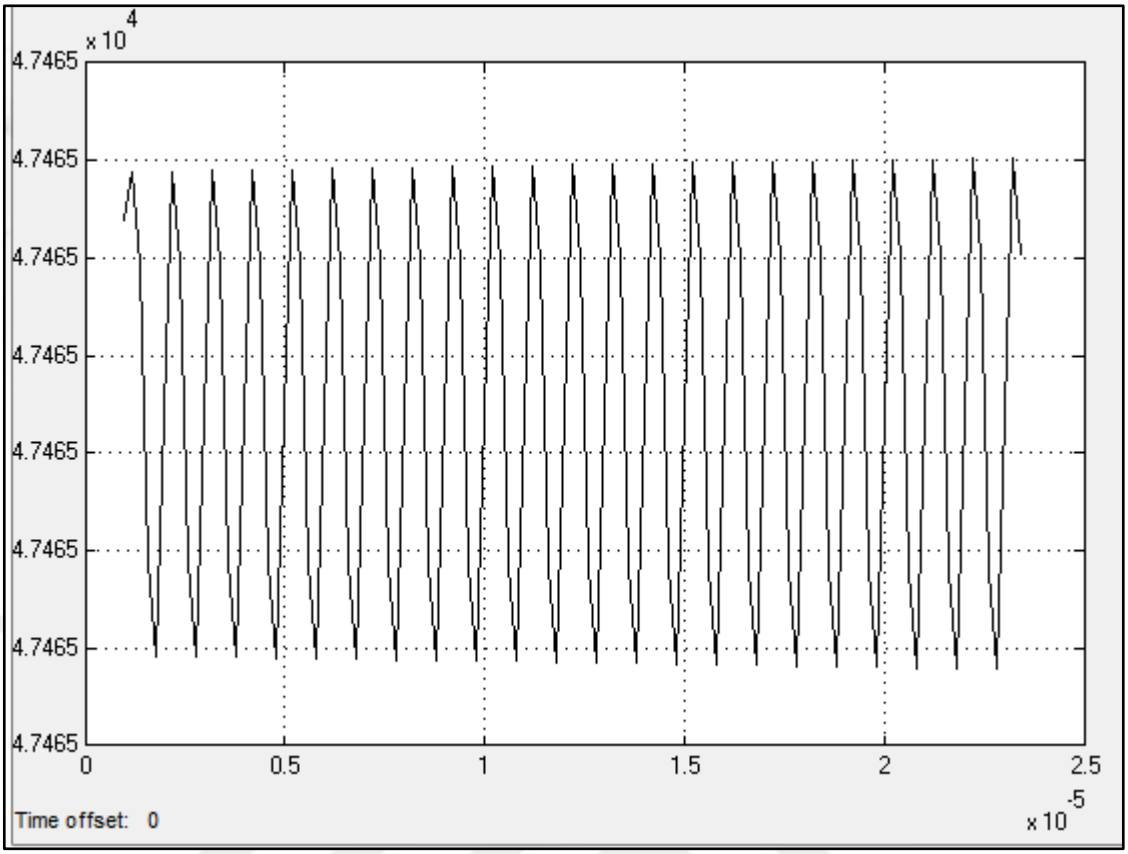
seçilmiştir. Daha sonra hattın yarısından koptuğu düşünülmüş ve son olarak çeşitli uzunluklarda kopma noktaları düşürülerek empedans sonuçları alınmıştır. Alınan veriler Çizelge 5.6'da ifade edilmiştir.



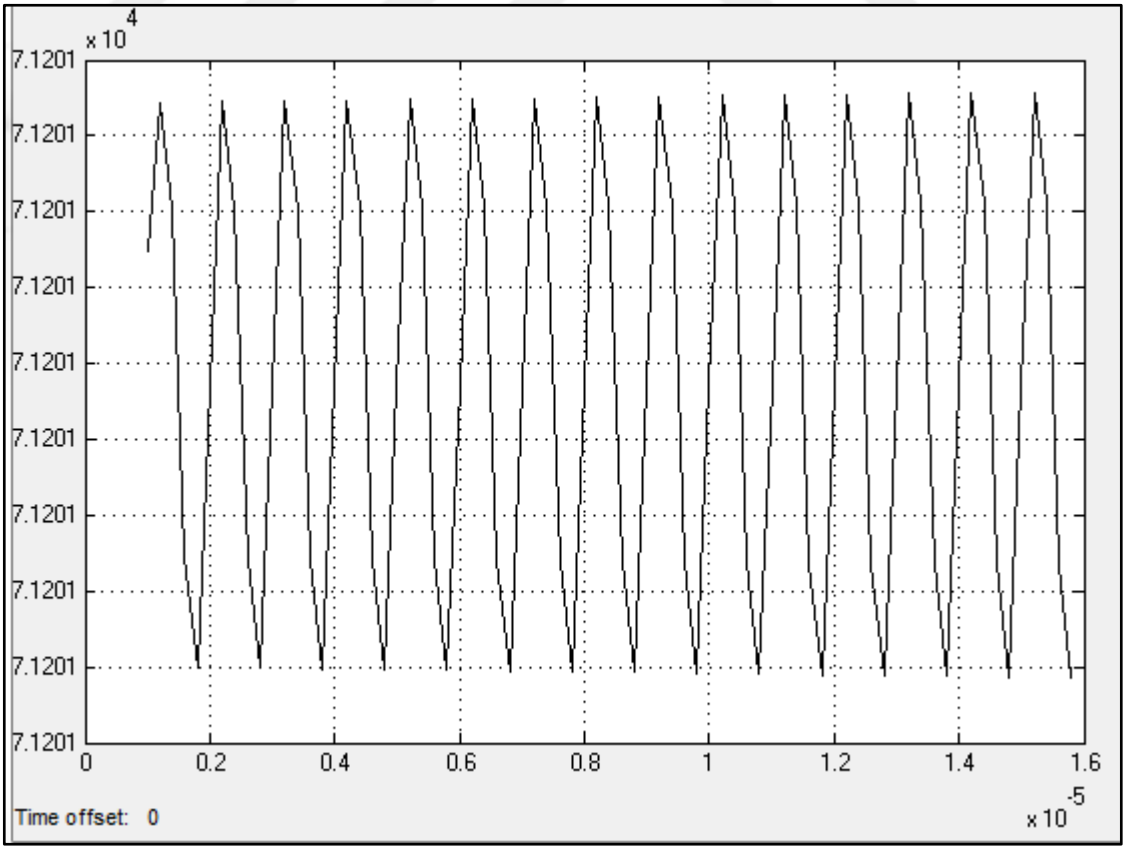
Şekil 5.14 L1 fazı empedans sonuçları-1

Çizelge 5.6 IEEE4 baralı sistem için empedans ölçüm sonuçları

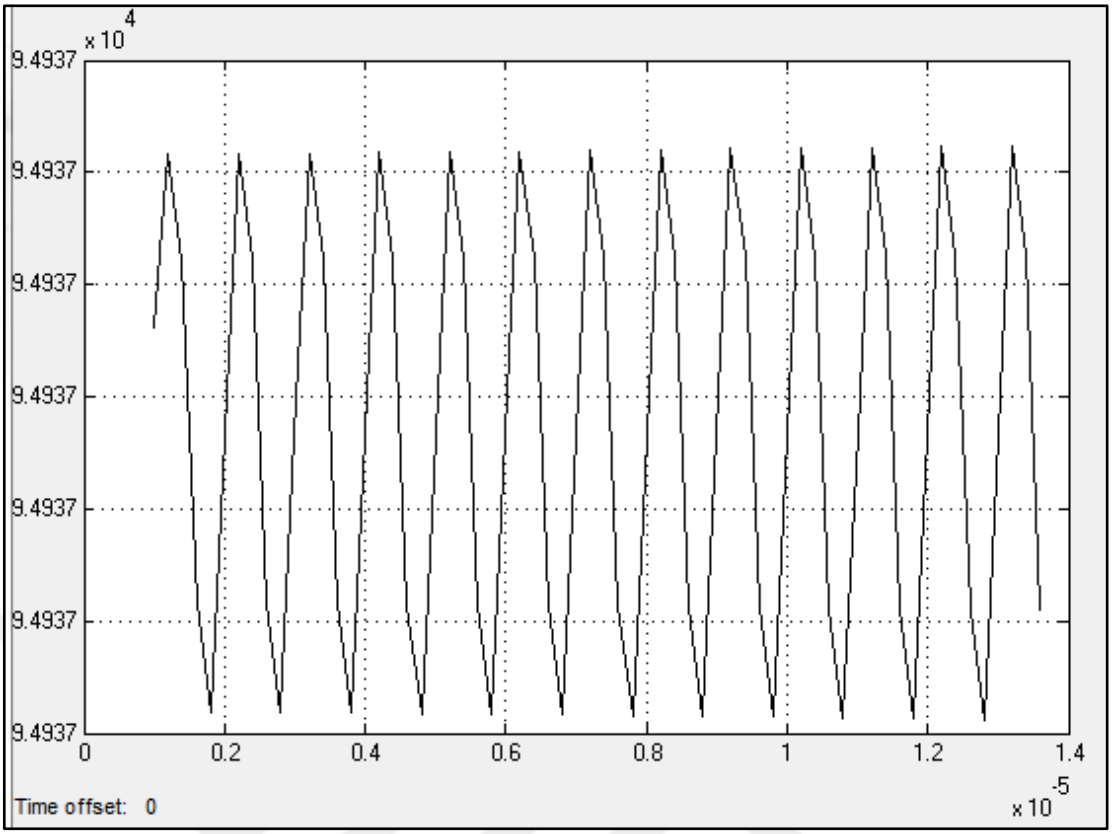
Durumlar	**Empedans Ölçümü-L1**	**Empedans Ölçümü-L2**	**Empedans Ölçümü-L3**
Kopma Yok	23730 Ω	26770 Ω	21750 Ω
Kopma 0.762. km	47470 Ω	53550 Ω	43510 Ω
Kopma 0.508. km	71200 Ω	80330 Ω	65270 Ω
Kopma 0.381. km	94940 Ω	107100 Ω	87030 Ω



Şekil 5.15 L1 fazı empedans sonuçları-2



Şekil 5.16 L1 fazı empedans sonuçları-3

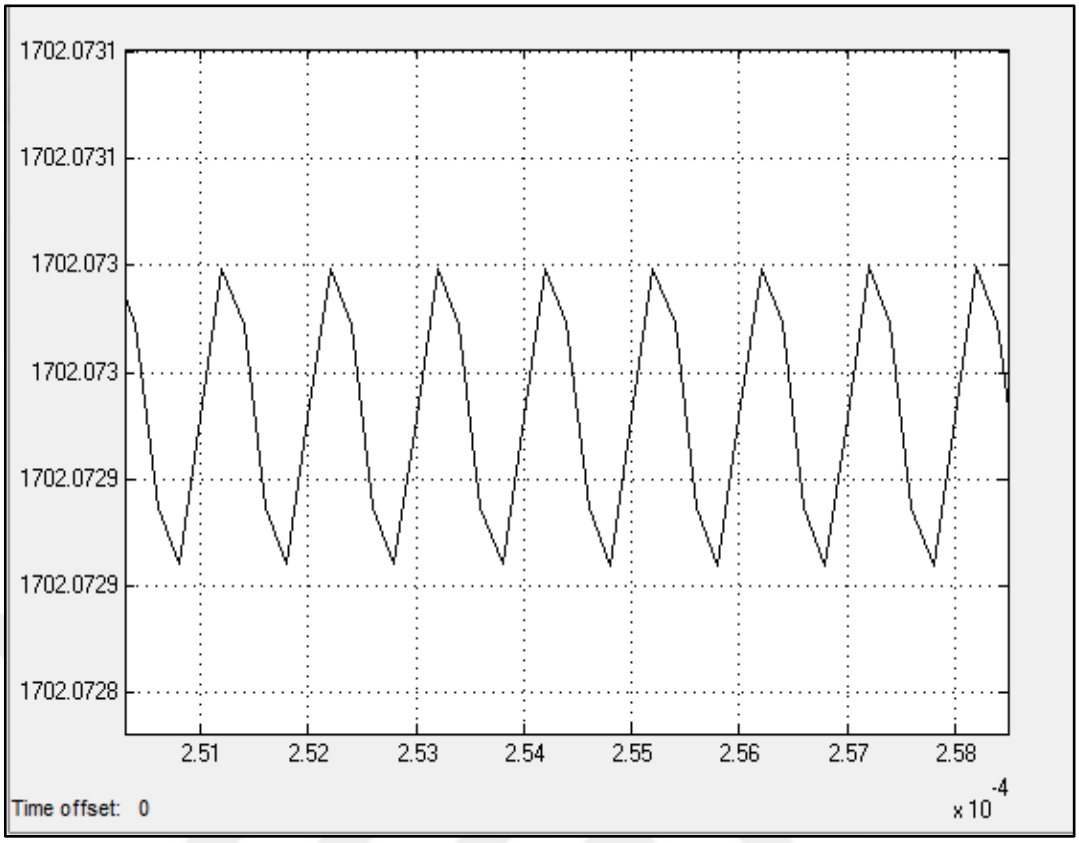


Şekil 5.17 L1 fazı empedans sonuçları-4

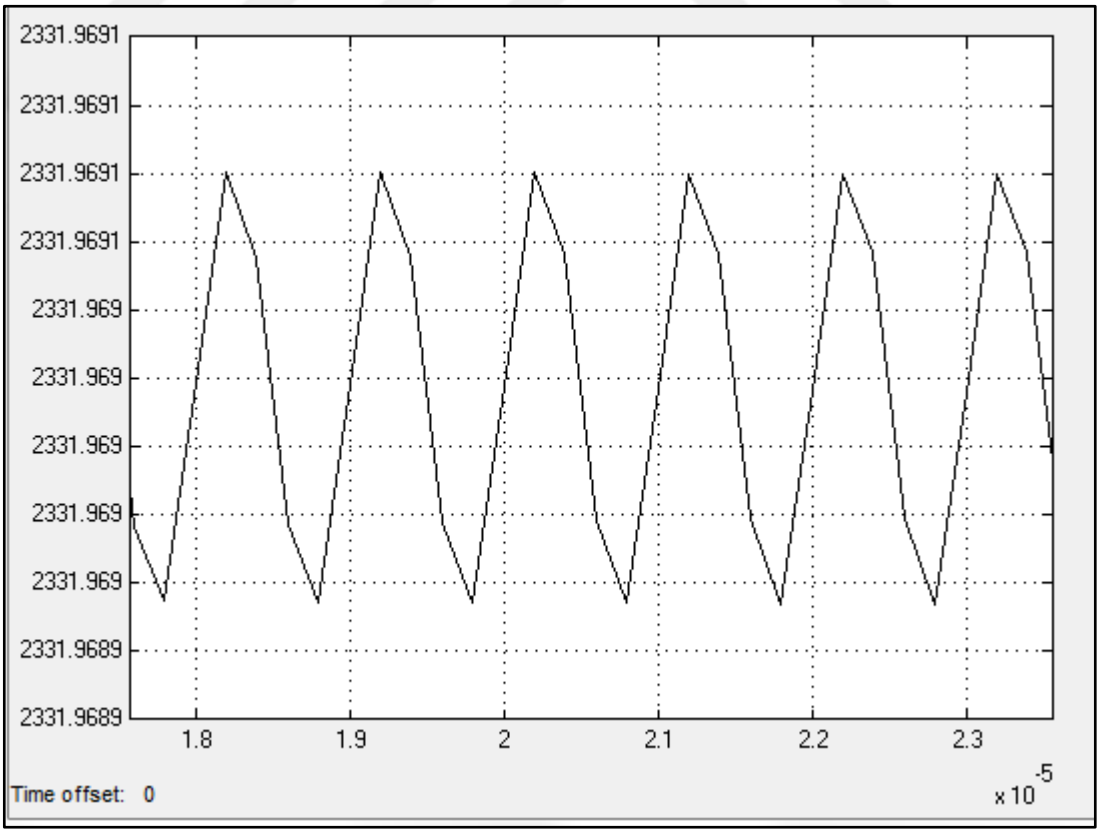
Alınan empedans sonuçları neticesinde mesafe ile empedans arasında ters orantı olduğu tespit edilmiş ve kopma noktası değiştikçe empedansın da aynı oranda değiştiği görülmüştür. IEEE4 baralı sistem bir test devresi olduğundan, hat uzunlukları normal bir şebekeye göre kısa olarak verilmiştir. Buna bağlı olarak alınan empedans ölçümleri, gerçek saha çalışmalarına uzak çıkmaktadır. Bu değerleri gerçeğe yaklaştırmak için kablo uzunluğu arttırılmış ve hat uzunluğunun 20 km olduğu düşünülmüştür. Bu durumda alınan empedans ölçümleri Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.7 Uzun hat için empedans ölçüm sonuçları

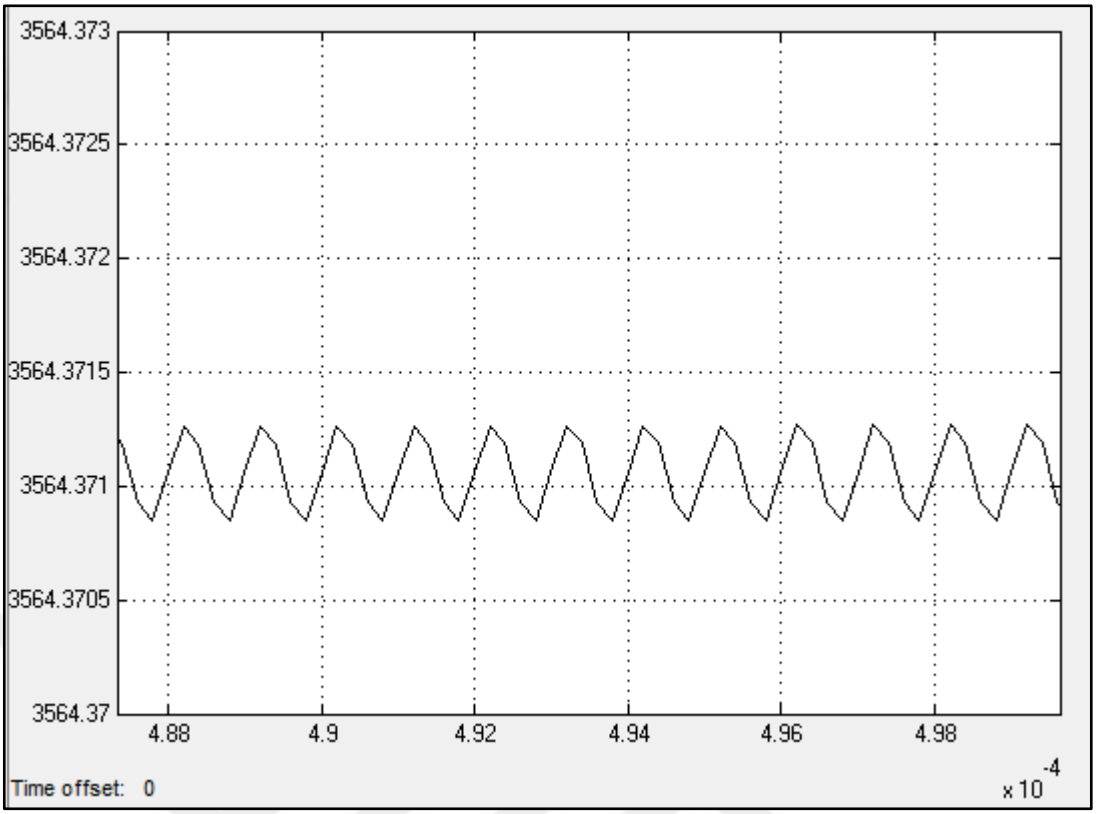
Durumlar	Empedans Ölçümü-L1	Empedans Ölçümü-L2	Empedans Ölçümü-L3
Kopma Yok	1702 Ω	1921 Ω	1560 Ω
Kopma 15. km	2332 Ω	2631 Ω	2138 Ω
Kopma 10. km	3564 Ω	4022 Ω	3267 Ω
Kopma 5. km	7208 Ω	8132 Ω	6607 Ω



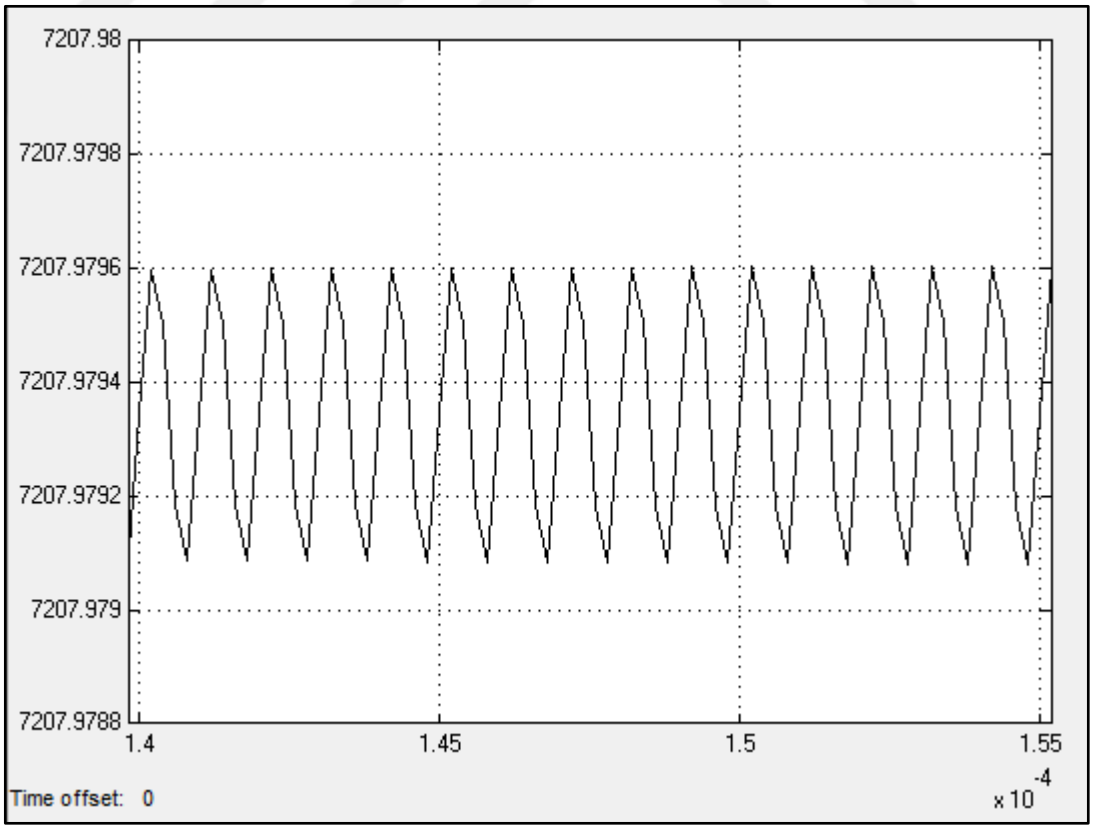
Şekil 5.18 Uzun hat için L1 fazı empedans sonuçları-1



Şekil 5.19 Uzun hat için L1 fazı empedans sonuçları-2



Şekil 5.20 Uzun hat için L1 fazı empedans sonuçları-3



Şekil 5.21 Uzun hat için L1 fazı empedans sonuçları-4

20 km’lik hat için alınan empedans sonuçları, bu hattaki kopma noktası ile empedans arasındaki oranların, IEEE4 baralı sistem ile kısa hat arasındaki oranlara benzer olduğunu ortaya koymuştur. Buradan alınan sonuca bakılarak, bu algoritmanın uygulama açısından daha gerçekçi olan nispeten uzun hatlar için de doğru çalıştığı ortaya koyulmuştur.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerjiye olan bağımlılık gün geçtikçe artmakta ve enerji sürekliliğinde yaşanan problemlerin ortaya çıkarabileceği kötü senaryoların boyutları gün geçtikçe ciddileşmektedir. Enerji sürekliliğinin önünde çeşitli engeller bulunmaktadır. Bu engellerin en önemlisi şebekelerde yaşanan elektriksel arızalardır. Bu arızaların, ekipman tahribatına sebep olduğu durumlarda sistemi tekrardan enerjili hale getirebilmek uzun zamanlar almakta ve enerji sürekliliği için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır.

Yaşanılan elektriksel arızalar; hem canlı hem de enstrümantasyon güvenliği açısından tehlikeli sonuçlar verebilmektedir. Bu nedenle bahsedilen arızaların devreden bir an önce izole edilmeleri gerekmektedir. Bu işlem için kullanılan cihazlar koruma röleleridir. Koruma röleleri; şebekede meydana gelen kısa devrelerde ya da tesise ve tesis elemanlarına zarar verebilecek herhangi bir anormal durumda çalışırlar. Genel çalışma prensibi arızalı bölgenin mümkün olan en kısa süre içerisinde servis dışı edilip, sistemin izole edilmesinin sağlamaktır.

Gelişen teknolojiye paralel olarak ihtiyaçların giderek artması ve yaşanan arıza tiplerinin çeşitlilik göstermesinden dolayı koruma rölelerinin ilgi alanı artmıştır. Özellikle son yıllarda ortaya çıkan yeni nesil koruma röleleri yaşanan birçok arızaya milisaniye hassasiyetinde cevap verecek fonksiyonda geliştirilmektedir. Ancak bazı arıza tipleri halen koruma rölesi etki alanına girememiş ve entegre edilmesi öncesi araştırma süreci devam etmektedir. Bu arızaların başlıcalarından bir tanesi “açık devre” arızasıdır. Bu arıza tipi, basit bir ifadeyle kablo kopukluğu olarak açıklanabilmektedir. Bahsedilen arızanın çözümü, uzun süreli enerji kesintileri sonucu bulunabilmekte ve geçen süreçte pek çok zarara sebebiyet vermektedir.

Açık devre arızası, bir iletkenin kopup herhangi bir yere temas etmediği durum olarak ifade edilebilir ve bu esnada şebekeden akım çekilmemektedir. Bu arıza tipi genellikle kısa devre arızasıyla karıştırılmakta ve kopan iletkenin iki parçasının birbirlerine ya da toprağa temas ettiği durum prensibiyle düşünülmektedir. Ancak elektriksel olarak düşünüldüğünde bu arızanın farklı bir perspektifte ele alınması sonucu ortaya çıkmaktadır.

Bu tez çalışmasında açık devre arızasının tespit edilebilmesi ile ilgili bir algoritma üretilmiş ve bu algoritma simülasyon ortamında gerçellenmiştir. Algoritmanın uygulanıp, test edilebilmesi için IEEE4 baralı dağıtım şebekesi referans alınmış ve deneysel sonuçlar bu devre üzerinden yapılmıştır. IEEE4 baralı sistemde yer alan gerilim kaynağının yanına, düşük gerilim yüksek frekans üreteci (injector) ilave edilmiş ve şebekenin iki kaynaktan gelen etki altında çalışması gözlemlenmiştir. Burada kullanılan injector mekanizmasının yüksek frekansa sahip olmasının nedeni empedansı yükseltip, gerilim düşürmek ve dolayısıyla ölçümlerin daha kolay bir şekilde alınabilmesini sağlamaktır. Bunun yanında dağıtım şebekesinin sınırlarını belirlemek amacıyla sisteme blocker adı verilen mekanizma eklenmiştir. Blocker kendi konumlandırılıdığı yerden sonraki injectorın etkisinin sönümlenmesi işlevini görmektedir. Dolayısıyla açık devre arızasının tespiti için oluşturulan mekanizmanın ilgi alanı tüm şebeke olmaktan çıkıp, blockerın konumlandırıldığı yere kadar olan bölge olması sağlanmıştır.

Bu tez çalışmasında, IEEE4 baralı sistem ve injector mekanizmaları bir arada çalıştırılmıştır. Blocker mekanizması için tasarım yapılmış ve ideal olarak çalıştığı kabul edilmiştir. Hat uzunlukları belli ölçülere çekilmiş ve farklı uzunluklara sahip şebeke üzerinden empedans ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümlerin belli bir oran dahilinde olduğu görülmüş ve empedans sonuçları üzerinden kopma noktasının konumuyla alakalı yorumları yapılmıştır. Blockerın bu sisteme entegre edilmiş hali, doktora çalışması kapsamında ele alınacaktır.

Bu çalışmada elde edilen algoritmanın, koruma rölelerine entegre edilmesi amaçlanmaktadır. Dağıtım şebekesinin giriş ve çıkışına konumlandırılacak koruma rölelerinden bir tanesi injector, diğeri ise blocker özelliği gösterecektir. Bu şekilde koruma rölesi aracılığıyla sürekli online ölçümler alınacak ve sistemin akım çekmediği durumda, bu olayın nedeninin hat kopukluğu olup olmadığıyla ilgili sonuca varılacaktır. Dolayısıyla koruma röleleri için yeni bir koruma fonksiyonu tanımlanacak ve rölelerin etki alanıyla alakalı bir geliştirme yapılmış olacaktır. Sonuç olarak, herhangi bir hat kopukluğu arızası

yaşandığında, bu noktanın tespitiyle alakalı zaman kaybı azalacaktır. Röle tarafından teşhis edilen arızanın konumu bildirilecek ve belirtilen bölge üzerinden onarım faaliyeti yapılarak, sistem tekrar devreye alınacaktır.

Bu çalışmanın devamında, bahsedilen mekanizma için bir deney seti kurulması amaçlanmaktadır. Kurulan deney seti aracılığıyla simülasyon değerlerinin doğruluğu teyit edilecektir. Ayrıca bir aşama sonrası için gerçek şebekede test uygulanarak sonuç alınması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Milioudis, A. , Andreou, G. , Labridis, D. (2010). “High impedance fault detection using power line communication techniques”, Universities Power Engineering Conference (UPEC), September 2010: 1-6.

[2] Sutar, C., Verma,K.S., Pandey, A.S. , Singh, S. P. (2012). “Wide Area Measurement and Control using Phasor Measurement unit in Smart Grid”, 2nd International Conference on Power.

[3] Lauletta, J. L. , Sozer, Y. , Abreu-Garcia, J. A. D. (2015). “A Novel Sensing Device for Underground Cable Conditin Assessment”, IEEE Electrical Insulation Conference (EIC).

[4] Lee, Y.C., Nam, S. H., Lee, S. G., Kim, D.W., Choi, M. K. (2000). “High frequency partial discharge measurement by capacitive sensor for underground power cable system", in Power System Technology, International Conference.

[5] Prasada, D. C., Srinivasua, N. (2015). “Fault Detection in Transmission Lines using Instantaneous Power with ED based Fault Index”, Procedia Technology 21:132 – 138.

[6] Stastny, L. , Franek, L., Jirgl, M., Mizik, S., Bradac, Z. (2015). “Time Synchronization in Power-line Communication’’, Technicka 12, Brno, 616 00 Czech Republic.

[7] Matthew, G., Sozer, Y., Garcia, A. D. A., Veilette, J. R., Ibrahem, A., Boynueğri, R. A. (2016). “A Non-Intrusive System for Measuring Underground Power Utility Cable Impedance,”.

[8] Ho, C. M., Lee, W. K., Hung, Y. S. (1993). ‘’Signature Represantation of Underground Cables and its Applications to Cable Fault Diagnosis”, IEEE 2nd International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management: 861–865.

[9] Rinaldi, S. , Ferrari, P., Flammini, A., Rizzi, M., Sisinni, E., Vezzoli, A. (2015). “Performance analysis of power line communication in industrial power”.

[10] Franek, L., Stastny, L., Bradac, Z. (2016). “Power Line Communication Parameters of Multi Conductor Power Line”, IFAC-PapersOnLine: 212–217.

[11] Noda, T. (2008). “Numerical techniques for accurate evaulation of overhead line and underground cable constants’’, IEEE Transactions Electrical and Electronic Engineering: 549-559.

[12] Hussain, S. , Osman, A. H. (2015). “Fault location scheme for multi-terminal transmission lines using unsynchronized measurements”, Electrical Power and Energy Systems: 277-284.

[13] Rosa, G., Costa, A. M. (2016). “Robust functional analysis for fault detection in power transmission lines,” Applied Mathematical Modelling: 9067-9078.

[14] Gomez, S. D. A. , Costa, A. M., Faria, A. G. T, Caminhas, W. M. (2013). “Detection and classification of faults in Power transmission lines using functional analysis and computational intelligence ’’, IEEE Transactions Power Delivery: 1402-1413.

[15] Krishnanand, R. K., Dash, P. K., Naeem M. H. (2015). “Detection, classification, and location of faults in power transmission lines’’, Electrical Power and Energy Systems: 76-86.

[16] Bicen, Y. (2017). “Trend adjusted lifetime monitoring of underground power cable", Electrical Power Systems Research: 189-196.

[17] Ates, Y., Uzunoglu, M., Karakas A., Boynueğri, A. R., Nadar, A., Dağ, B. (2015). “Implementation of adaptive relay coordination in distribution systems included distributed generation", Journal of Cleaner Production: 2697-2705.

[18] Jamil, M, Kalam, A. K., Ansari A. Q., Rizwan, M. (2014). “Generalized neural network and wavelet transform based approach for fault location estimation of a transmission line’’, Applied Soft Computing: 322-332.

[19] Almeida, A. R., Almeida, O. M., Junior, B. F. S., Barreto, L. H. S. C., Barros , A. K. (2017). “ICA feature extraction for the location and classification of faults in high-voltage transmission lines’’, Electric Power Systems Research: 254-263.

[20] Mason, C. R., The Art and Science of Protective Relaying, Ders Kitabı.

[21] Yumurtacı, R. (2006), Elektrik Tesislerinde Koruma Tekniği, Ders Notları.

[22] Ates, Y. (2016) , Dağıtık Üretim Tesisleri İçeren Şebekeler İçin Akıllı ve Adaptif Bir Koruma Metodunun Geliştirilmesi, YTÜ Doktora Tezi.

[23] Çakır, H. ,Elektrik Güç Sistemleri Analizi, Ders Kitabı.

[24] Erim, B. (2015), 154 kV Bir İletim Şebekesinin Kapalı (Ring) Sisteme Dönüşmesiyle Çift Taraflı Beslenen Trafo Merkezlerinde Bara Kısa Devre İncelemesi, İTÜ Yüksek Lisans Tezi.

[25] Odabaşı, T., Koruma Sistemlerinin Genel Prensibleri, Şebeke ve Transformatör Koruması, Botaş, Adana.

[26] CEE Relays, Application guide for the choice of protective relays, Ders Kitabı.

[27] Ayaşlı, H. H. , Trafo Merkezlerinde Otomasyon, İTÜ Yüksek Lisans Tezi.

[28] Bakırcıoğlu, K. Diferansiyel Koruma Notları, EMO.

[29] Elektrik Tesisleri Laboratuarı Ders Kitabı, Kocaeli Üniversitesi

[30] Anderson, P. M. (1995) “Analysis of Faulted Power System”, IEEE Press Power Systems Engineering Series.

[31] Amberg, A., Rangel, A., Smelich, G. (2016) ‘’Validating Transmission Line Impedances Using Known Event Data’’ Schweitzer Engineering Laboratories.

[32] Calero, F. (2015) ‘’Mutual Impedance in Parallel Lines’’, Schweitzer Engineering Laboratories.

[33] Rivas, A. R., Overhead Transmission Lines and Underground Cables, The Pennsylvania State University Ders Notları.

[34] Erentürk, K., Altaş, İ. H. (2002), Bulanık Mantık Tabanlı Bir Sayısal Koruma Rölesinin Tasarımı ve Uygulaması, Mühendislik Bilimleri Dergisi.

[35] Gençaydın, E. (2013), Yüksek Gerilim İletim Sistemlerinde Koruma Sistemleri İçin Güvenilirlik Değerlendirmesi Üzerine Bir Derleme, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi.

[36] Phadke, A. (2001), ’Power System Protection, The Electric Power Engineering Handbook.

[37] Karaer, E. (2005), Enerji İletim Hattı Parametrelerinin Kestiriminin İncelenmesi,” İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

[38] Gökalp, E. (1994), Üç ve Çok Fazlı Enerji Sistemlerinde Simetrili Bileşen Yöntemi ve Faz Koordinatları Yöntemi İle Arıza Analizi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

[39] Saadat, H. (1999), Power System Analysis, Milwaukee School of Engineering, Ders Notları.

[40] Karady, G. G. (2001), Transmission System, Arizona State University, Ders Notları.

[41] Orton, H. E. (1968), A Multiconductor Transmission Line with Distributed Compensation, University of New South Wales, Ders Notları.

MATLAB SONUÇLARI

Otomatik Bara Empedan Matrisi Hesaplama Programı Kodları

```
% ******ILK OLARAK YERALTI YA DA HAVAI OLARAK HAT TIPI SECILIYOR*******
Hat_Tipi_Secimi = input('Havai Icın H Yeraltı Icın Y Olacak Sekilde Hat Tipi
Giriniz  :  ' ,'s');

% HAT TIPI SECIMINE GORE PROGRAM BASLATILIYOR
if Hat_Tipi_Secimi == 'H'
% HAVAI HAT ICIN ISLEM BASLATILIYOR
% km basına faz direncleri girin
ra = input('fit basına faz-1 direnci girin : ' );
rb = input('fit basına faz-2 direnci girin : ' );
rc = input('fit basına faz-3 direnci girin : ' );
f = input('frekans degerini girin : ' );
rd = 1.588*10^(-3)*f;
% 50 Hz ve km hesabında sabit degerler
wk=0.0020566*f;
De=2160*sqrt(100/60);
% GMR'nin Girilmesi
Ds = input('GMR degerini giriniz : ' );
Dsa = (Ds);
Dsb = (Ds);
Dsc = (Ds);
% Iletkenlerin birbirleri arasındaki mesafe
Dab = input('A ve B fazları arası mesafeyi giriniz : ' );
Dbc = input('B ve C fazları arası mesafeyi giriniz : ' );
Dca = Dab + Dbc;
% Empedans Formuluzasyonu
Zaa = (ra + rd) + 1i*wk*log(De / Ds);

% *********EMPEDANSLARIN REEL VE IMAJINER BILESENLERE AYRILMASI*********
% A FAZININ TOPRAGA GORE EMPEDANSI ICIN ISLEM YAPILMASI
Raa = real(Zaa);
Xaa = imag(Zaa);
% Imajiner Kısım 0'dan Kücükse Sistem Endüktif
if Xaa>0
    L1 = Xaa/(2*pi*f);
    Laa = (L1);
    Caa = (1e-9);
% Imajiner Kısım 0'dan Büyükse Sistem Kapasitif
elseif Xaa<0
    C1 = 1/(2*pi*f*Xaa);
    Caa = (-C1);
    Laa = 0;
end

% B FAZININ TOPRAGA GORE EMPEDANSI ICIN ISLEM YAPILMASI
Zbb = (Zaa);
```

```
Rbb = real(Zbb);
Xbb = imag(Zbb);
% Imajiner Kısım 0'dan Kücükse Sistem Endüktif
if Xbb>0
    L2 = Xbb/(2*pi*f);
    Lbb = (L2);
    Cbb = (1e-9);
% Imajiner Kısım 0'dan Büyükse Sistem Kapasitif
elseif Xbb<0
    C2 = 1/(2*pi*f*Xbb);
    Cbb = (-C2);
    Lbb = 0;
end

% C FAZININ TOPRAGA GORE EMPEDANSI ICIN ISLEM YAPILMASI
Zcc = (Zaa);
Rcc = real(Zcc);
Xcc = imag(Zcc);
% Imajiner Kısım 0'dan Kücükse Sistem Endüktif
if Xcc>0
    L3 = Xcc/(2*pi*f);
    Lcc = (L3);
    Ccc = (1e-9);
% Imajiner Kısım 0'dan Büyükse Sistem Kapasitif
elseif Xcc<0
    C3 = 1/(2*pi*f*Xcc);
    Ccc = (-C3);
    Lcc = 0;
end

% A FAZININ B FAZINA GORE EMPEDANSI ICIN ISLEM YAPILMASI
Zab = rd + 1i*wk*log(De / Dab);
Rab = real(Zab);
Xab = imag(Zab);
% Imajiner Kısım 0'dan Kücükse Sistem Endüktif
if Xab>0
    L4 = Xab/(2*pi*f);
    Lab = (L4);
    Cab = -(1e-9);
% Imajiner Kısım 0'dan Büyükse Sistem Kapasitif
elseif Xab<0
    C4 = 1/(2*pi*f*Xab);
    Cab = (C4);
    Lab = 0;
end

% B FAZININ A FAZINA GORE EMPEDANSI ICIN ISLEM YAPILMASI
Zba = (Zab);
Rba = real(Zba);
Xba = imag(Zba);
if Xba>0
    L5 = Xba/(2*pi*f);
    Lba = (L5);
    Cba = -(1e-9);
% Imajiner Kısım 0'dan Büyükse Sistem Kapasitif
elseif Xba<0
    C5 = 1/(2*pi*f*Xba);
    Cba = (C5);
    Lba = 0;
end

% B FAZININ C FAZINA GORE EMPEDANSI ICIN ISLEM YAPILMASI
Zbc = rd + 1i*wk*log(De / Dbc);
Rbc = real(Zbc);
Xbc = imag(Zbc);
if Xbc>0
```

```
    L6 = Xbc/(2*pi*f);
    Lbc = (L6);
    Cbc = -(1e-9);
% Imajiner Kısım 0'dan Büyükse Sistem Kapasitif
elseif Xbc<0
    C6 = 1/(2*pi*f*Xbc);
    Cbc = (C6);
    Lbc = 0;
end

% C FAZININ B FAZINA GORE EMPEDANSI ICIN ISLEM YAPILMASI
Zcb = (Zbc);
Rcb = real(Zcb);
Xcb = imag(Zcb);
if Xcb>0
    L7 = Xcb/(2*pi*f);
    Lcb = (L7);
    Ccb = -(1e-9);
% Imajiner Kısım 0'dan Büyükse Sistem Kapasitif
elseif Xcb<0
    C7 = 1/(2*pi*f*Xcb);
    Ccb = (C7);
    Lcb = 0;
end

% A FAZININ C FAZINA GORE EMPEDANSI ICIN ISLEM YAPILMASI
Zac = rd + 1i*wk*log(De / Dca);
Rac = real(Zac);
Xac = imag(Zac);
if Xac>0
    L8 = Xac/(2*pi*f);
    Lac = (L8);
    Cac = -(1e-9);
% Imajiner Kısım 0'dan Büyükse Sistem Kapasitif
elseif Xac<0
    C8 = 1/(2*pi*f*Xac);
    Cac = (C8);
    Lac = 0;
end

% C FAZININ A FAZINA GORE EMPEDANSI ICIN ISLEM YAPILMASI
Zca = (Zac);
Rca = real(Zca);
Xca = imag(Zca);
if Xca>0
    L9 = Xca/(2*pi*f);
    Lca = (L9);
    Cca = -(1e-9);
% Imajiner Kısım 0'dan Büyükse Sistem Kapasitif
elseif Xca<0
    C9 = 1/(2*pi*f*Xca);
    Cca = (C9);
    Lca = 0;
end

% HAVAI HAT ICIN BARA EMPEDANS MATRISI
Z = [Zaa Zab Zac ; Zba Zbb Zbc ; Zca Zcb Zcc];
rbc = 0;
Ry = [Raa Rab Rac ; Rba Rbb Rbc ; Rca Rcb Rcc];
Ly = [Laa Lab Lac ; Lba Lbb Lbc ; Lca Lcb Lcc];
Cy = [Caa Cab Cac ; Cba Cbb Cbc ; Cca Ccb Ccc];

elseif Hat_Tipi_Secimi == 'Y'
% YERALTI HATTI ICIN ISLEM BASLATILIYOR
Kablolar_Arasi_Etki_Durumu_Secimi = input('Kablolar Birbirinden İzoleyse S,
Kablolar Birbirinden İzole Degilse T  :  ' ,'s');
```

```
% Birbirinden İzole Yeraltı Şebekeleri İçin
if Kablolar_Arasi_Etki_Durumu_Secimi=='S'
% km basına faz direncleri girin
raa = input('km basına faz-1 direnci girin : ' );
rbb = input('km basına faz-2 direnci girin : ' );
rcc = input('km basına faz-3 direnci girin : ' );
f = input('frekans degerini girin : ' );
rab = 0;
rba = 0;
rcb = 0;
rac = 0;
rca = 0;
Raa=raa;
Rbb=rbb;
Rcc=rcc;
% Direnc Icin Matris Haline Donusum
Ry = [Raa 0 0 ; 0 Rbb 0 ; 0 0 Rcc];
% km basına L degerlerini girin
laa = input('km basına faz-1 endüktansını girin : ' );
lbb = input('km basına faz-2 endüktansını girin : ' );
lcc = input('km basına faz-3 endüktansını girin : ' );
lab = 0;
lba = 0;
lbc = 0;
lcb = 0;
lac = 0;
lca = 0;
Laa=laa;
Lbb=lbb;
Lcc=lcc;
% Endüktans Icin Matris Haline Donusum
Ly = [Laa 0 0 ; 0 Lbb 0 ; 0 0 Lcc];
% km basına C degerlerini girin
caa = input('km basına faz-1 kapasitesini girin : ' );
cbb = input('km basına faz-2 kapasitesini girin : ' );
ccc = input('km basına faz-3 kapasitesini girin : ' );
Cab = -0.1*(1e-9);
Cba = -0.1*(1e-9);
Cbc = -0.1*(1e-9);
Ccb = -0.1*(1e-9);
Cac = -0.1*(1e-9);
Cca = -0.1*(1e-9);
Caa=caa;
Cbb=cbb;
Ccc=ccc;
% Kapasite Icin Matris Haline Donusum
Cy = [Caa Cab Cac ; Cba Cbb Cbc ; Cca Ccb Ccc];
elseif Kablolar_Arasi_Etki_Durumu_Secimi=='T'
% km basına faz direncleri girin
ra = input('km basına faz-1 direnci girin : ' );
rb = input('km basına faz-2 direnci girin : ' );
rc = input('km basına faz-3 direnci girin : ' );
f = input('frekans degerini girin : ' );
rd = 1.588*10^(-3)*f;
% 50 Hz ve km hesabında sabit degerler
wk=0.0020566*f;
De=2160*sqrt(100/60);
Ds = input('GMR degerini giriniz : ' );
Dsa = (Ds);
Dsb = (Ds);
Dsc = (Ds);
% Iletkenlerin birbirleri arasındaki mesafe
Dab = input('A ve B fazları arası mesafeyi giriniz : ' );
Dbc = input('B ve C fazları arası mesafeyi giriniz : ' );
Dca = Dab + Dbc;
% Empedans Formuluzasyonu
Zaa = (ra + rd) + 1i*wk*log(De / Ds);
% *********EMPEDANSLARIN REEL VE IMAJINER BILESENLERE AYRILMASI*********
```

```
% A FAZININ TOPRAGA GORE EMPEDANSI ICIN ISLEM YAPILMASI
Raa = real(Zaa);
Xaa = imag(Zaa);
% Imajiner Kısım 0'dan Kücükse Sistem Endüktif
if Xaa>0
    L1 = Xaa/(2*pi*f);
    Laa = (L1);
    Caa = (1e-9);
% Imajiner Kısım 0'dan Büyükse Sistem Kapasitif
elseif Xaa<0
    C1 = 1/(2*pi*f*Xaa);
    Caa = (-C1);
    Laa = 0;
end

% B FAZININ TOPRAGA GORE EMPEDANSI ICIN ISLEM YAPILMASI
Zbb = (Zaa);
Rbb = real(Zbb);
Xbb = imag(Zbb);
% Imajiner Kısım 0'dan Kücükse Sistem Endüktif
if Xbb>0
    L2 = Xbb/(2*pi*f);
    Lbb = (L2);
    Cbb = (1e-9);
% Imajiner Kısım 0'dan Büyükse Sistem Kapasitif
elseif Xbb<0
    C2 = 1/(2*pi*f*Xbb);
    Cbb = (-C2);
    Lbb = 0;
end

% C FAZININ TOPRAGA GORE EMPEDANSI ICIN ISLEM YAPILMASI
Zcc = (Zaa);
Rcc = real(Zcc);
Xcc = imag(Zcc);
% Imajiner Kısım 0'dan Kücükse Sistem Endüktif
if Xcc>0
    L3 = Xcc/(2*pi*f);
    Lcc = (L3);
    Ccc = (1e-9);
% Imajiner Kısım 0'dan Büyükse Sistem Kapasitif
elseif Xcc<0
    C3 = 1/(2*pi*f*Xcc);
    Ccc = (-C3);
    Lcc = 0;
end

% A FAZININ B FAZINA GORE EMPEDANSI ICIN ISLEM YAPILMASI
Zab = rd + 1i*wk*log(De / Dab);
Rab = real(Zab);
Xab = imag(Zab);
% Imajiner Kısım 0'dan Kücükse Sistem Endüktif
if Xab>0
    L4 = Xab/(2*pi*f);
    Lab = (L4);
    Cab = -(1e-9);
% Imajiner Kısım 0'dan Büyükse Sistem Kapasitif
elseif Xab<0
    C4 = 1/(2*pi*f*Xab);
    Cab = (C4);
    Lab = 0;
end

% B FAZININ A FAZINA GORE EMPEDANSI ICIN ISLEM YAPILMASI
Zba = (Zab);
Rba = real(Zba);
```

```
Xba = imag(Zba);
if Xba>0
    L5 = Xba/(2*pi*f);
    Lba = (L5);
    Cba = -(1e-9);
% Imajiner Kısım 0'dan Büyükse Sistem Kapasitif
elseif Xba<0
    C5 = 1/(2*pi*f*Xba);
    Cba = (C5);
    Lba = 0;
end

% B FAZININ C FAZINA GORE EMPEDANSI ICIN ISLEM YAPILMASI
Zbc = rd + 1i*wk*log(De / Dbc);
Rbc = real(Zbc);
Xbc = imag(Zbc);
if Xbc>0
    L6 = Xbc/(2*pi*f);
    Lbc = (L6);
    Cbc = -(1e-9);
% Imajiner Kısım 0'dan Büyükse Sistem Kapasitif
elseif Xbc<0
    C6 = 1/(2*pi*f*Xbc);
    Cbc = (C6);
    Lbc = 0;
end

% C FAZININ B FAZINA GORE EMPEDANSI ICIN ISLEM YAPILMASI
Zcb = (Zbc);
Rcb = real(Zcb);
Xcb = imag(Zcb);
if Xcb>0
    L7 = Xcb/(2*pi*f);
    Lcb = (L7);
    Ccb = -(1e-9);
% Imajiner Kısım 0'dan Büyükse Sistem Kapasitif
elseif Xcb<0
    C7 = 1/(2*pi*f*Xcb);
    Ccb = (C7);
    Lcb = 0;
end

% A FAZININ C FAZINA GORE EMPEDANSI ICIN ISLEM YAPILMASI
Zac = rd + 1i*wk*log(De / Dca);
Rac = real(Zac);
Xac = imag(Zac);
if Xac>0
    L8 = Xac/(2*pi*f);
    Lac = (L8);
    Cac = -(1e-9);
% Imajiner Kısım 0'dan Büyükse Sistem Kapasitif
elseif Xac<0
    C8 = 1/(2*pi*f*Xac);
    Cac = (C8);
    Lac = 0;
end

% C FAZININ A FAZINA GORE EMPEDANSI ICIN ISLEM YAPILMASI
Zca = (Zac);
Rca = real(Zca);
Xca = imag(Zca);
if Xca>0
    L9 = Xca/(2*pi*f);
    Lca = (L9);
    Cca = -(1e-9);
% Imajiner Kısım 0'dan Büyükse Sistem Kapasitif
```

```
elseif Xca<0
    C9 = 1/(2*pi*f*Xca);
    Cca = (C9);
    Lca = 0;
end

% YERALTI HAT ICIN BARA EMPEDANS MATRISI
Z = [Zaa Zab Zac ; Zba Zbb Zbc ; Zca Zcb Zcc];
Ry = [Raa Rab Rac ; Rba Rbb Rbc ; Rca Rcb Rcc];
Ly = [Laa Lab Lac ; Lba Lbb Lbc ; Lca Lcb Lcc];
Cy = [Caa Cab Cac ; Cba Cbb Cbc ; Cca Ccb Ccc];

end
end
```

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Yavuz UYAR

Doğum Tarihi ve Yeri : 26.04.1993-İstanbul

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : yavuzuyar34@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Lisans	Elektrik Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2015
Lise	Sayısal	Köy Hizmetleri Anadolu Lisesi	2011

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2017(Nisan)-	Elmak Kontrol Sistemleri	Proje Mühendisi
2016-2017	UTM Otomasyon Sistemleri (14 ay)	Proje Mühendisi
2015-2016	Efes Otomasyon Sistemleri (1 yıl)	Proje Mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

1. Uyar, Y. , Ates, Y. , Boynueğri, A. , R. , “Elektrik Dağıtım Şebekelerindeki Hat Kopukluğu Arızasının Yeni Nesil Koruma Röleleriyle Tespit Edilmesi” (2017), 1. Uluslararası Elektrik Enerjisi Dönüşümü Kongresi, Elazığ.