

**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ELEKTRİK ŞEBEKELERİNİN KORUNMASI İÇİN  
MİKRODENETLEYİCİ TABANLI MESAFE RÖLESİ TASARIMI**

**Hazırlayan  
Ali Talib Fatih AL-GBURI**

**Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Nurettin ÜSTKOYUNCU**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Aralık 2017  
KAYSERİ**



**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ELEKTRİK ŞEBEKELERİNİN KORUNMASI İÇİN  
MİKRODENETLEYİCİ TABANLI MESAFE RÖLESİ TASARIMI  
(Yüksek Lisans Tezi )**

**Hazırlayan  
Ali Talib Fatih AL-GBURI**

**Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Nurettin ÜSTKOYUNCU**

**Aralık 2017  
KAYSERİ**

## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.



Ali Talib Fatih AL-GBURI

## YÖNERGEYE UYGUNLUK

Elektrik Şebekelerinin Korunması İçin Mikrodenetleyici Tabanlı Mesafe Rölesi Tasarımı adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.



Tezi Hazırlayan

Ali Talib Fatih AL-GBURI



Danışman

Yrd. Doç. Dr. Nurettin ÜSTKOYUNCU

Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR



**Yrd. Doç. Dr. Nurettin ÜSTKOYUNCU** danışmanlığında **Ali Talib Fatih AL-GBURI** tarafından hazırlanan “**Elektrik Şebekelerinin Korunması İçin Mikrodenetleyici Tabanlı Mesafe Rölesi Tasarımı**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik Elektronik Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

29 /12 / 2017

**JÜRİ:**

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Nurettin ÜSTKOYUNCU

Üye : Prof. Dr. Ferhat DALDABAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÖNEN

**ONAY:**

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 02/01/2018 tarih ve 2018/01-04 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

  
02/01/2018

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

## ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bu günlere gelmemde büyük katkı sahibi sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Nurettin ÜSTKOYUNCU'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Özellikle de, tez çalışmamın her aşamasında beni destekleyen ve benden güler yüzünü hiçbir zaman eksik etmeyen kıymetli eşim Z. OTRAKÇI'ya çok teşekkür ederim.

Ali Talib Fatih AL-GBURI

Kayseri, Aralık 2017

# **ELEKTRİK ŞEBEKELERİNİN KORUNMASI İÇİN MİKRODENETLEYİCİ TABANLI UZAKLIK MESAFE RÖLESİ TASARIMI**

**Ali Talib Fatih AL-GBURI**

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi, Aralık 2017**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Nurettin ÜSTKOYUNCU**

## **ÖZET**

Elektrik enerjisi, günümüz itibari ile tüm ülkeler için en önde gelen enerji çeşidi olup çok farklı enerji kaynaklarından temin edilmektedir. Bu enerji kaynakları tükenebilir nitelikte olan yenilenemeyen enerji kaynakları olabildiği gibi hidro, rüzgar, güneş ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakları da olabilmektedir. Elektrik enerjisi ile ilgili en önemli kriterlerden birisi, elektrik enerjisinin sürekli bir şekilde tüketiciye sağlanması gerekliliğidir. Dolayısıyla elektrik enerjisinin sıkıntısız bir şekilde transfer edilmesi ile ilgili olarak kullanılan koruma sistemleri ve teçhizatları çok önemli bir yere sahiptir. Bu konuda kullanılan cihazların en başında ise koruma röleleri gelmektedir.

Giderek artan elektrik enerjisi gereksinimi sebebi ile elektrik şebekelerinin daha kompleks hale geliyor olması ve koruma rölelerinin çok hızlı bir şekilde devreye girerek şebekeyi koruma kabiliyetlerinin bulunması, ilgili koruma elemanları üzerine artan bir ilgiyi beraberinde getirmektedir. Bu amaçla tarihsel gelişim süreci içerisinde farklı teknolojik altyapıya ve çalışma mantığına sahip farklı koruma röleleri karşımıza çıkmaktadır. Sahip oldukları basitlik, yüksek koruma hassasiyeti ve hızlı tepki verme gibi avantajları ile mesafe tabanlı koruma röleleri, günümüzde koruma röleleri arasında önemli bir yere sahiptir ve yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, mikrodenetleyici tabanlı bir mesafe rölesi prototip olarak gerçekleştirilmiştir. Kullanıcılar için kullanımı kolay ve iyi bir arayüz sunarak gerekli bilgilere ulaşılmasını sağlayan prototip cihaz, hat empedansını temel alarak sistemin korunmasını sağlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrik enerjisi; iletim hatları; koruma röleleri; mesafe rölesi.

# **DESIGN OF A MICROCONTROLLER BASED DISTANCE RELAY TO PROTECT ELECTRICAL NETWORKS**

**Ali Talib Fatih AL-GBURI**

**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**M.Sc. Thesis, December 2017**

**Supervisor: Assistant Prof. Dr. Nurettin ÜSTKOYUNCU**

## **ABSTRACT**

Electrical energy is one of the most important energy types for all countries in the world and it can be obtained by using different types of energy sources. These energy sources can be classified into two groups as nonrenewable and also renewable energy sources such as hydro, wind and geothermal. Transmission and distribution of electricity without any interruption has a great importance in electrical networks. Therefore protection systems and devices are important to transfer electricity without any problem and protection relays have the first place among them.

The electrical networks become more complex due to increasing need of electricity and the fast switching capability of relays to protect electrical networks bring the increasing interest to protection devices. Different protection relays with different technological structure and working principles have been developed within the historical development. Distance relays are widely used among the protection relays because of their advantages such as simple structure, high protection ability and fast response.

In this thesis, a microcontroller based distance relay prototype is realized. The prototype relay provides a good interface to use and to show the important information for users and it is able to protect the system by using line impedance.

**Keywords:** Electrical energy; transmission lines; protection relays; distance relay.

## İÇİNDEKİLER

### ELEKTRİK ŞEBEKELERİNİN KORUNMASI İÇİN MİKRODENETLEYİCİ TABANLI MESAFE RÖLESİ TASARIMI

|                                       | <u>Sayfa</u> |
|---------------------------------------|--------------|
| BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI ..... | ii           |
| YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI .....      | iii          |
| KABUL VE ONAY SAYFASI .....           | iv           |
| ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR .....                  | v            |
| ÖZ .....                              | vi           |
| ABSTRACT .....                        | vii          |
| İÇİNDEKİLER .....                     | viii         |
| KISALTMALAR VE SİMGELER.....          | xii          |
| TABLolar LİSTESİ.....                 | xiii         |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                | xiv          |
| <br><b>GİRİŞ .....</b>                | <br><b>1</b> |
| <b>Tezin Amacı ve Önemi.....</b>      | <b>5</b>     |

## 1. BÖLÜM

### ELEKTRİKSEL GÜÇ SİSTEMLERİ

|                                                                |          |
|----------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1.1. Giriş .....</b>                                        | <b>5</b> |
| <b>1.2. Elektrik Güç Sistemlerinde Koruma Ekipmanları.....</b> | <b>6</b> |
| <b>1.2.1 Jeneratör Koruması .....</b>                          | <b>6</b> |
| <b>1.2.2 Transformatör Koruması.....</b>                       | <b>7</b> |
| <b>1.2.3 Bus-Bara Koruması .....</b>                           | <b>7</b> |
| <b>1.2.4 İletim Hatlarının Korunması .....</b>                 | <b>7</b> |

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| 1.2.5 Dağıtım Sistemlerinin Korunması .....    | 8  |
| 1.3. İletim Hattı Koruma Sistemleri .....      | 9  |
| 1.4. Elektrik Güç Sistemlerinde Arızalar ..... | 10 |
| 1.4.1 Arıza Çeşitleri.....                     | 11 |
| 1.4.1.1 Simetrik Arızalar .....                | 12 |
| 1.4.1.2 Asimetrik Arızalar .....               | 13 |
| 1.5 Simetrik Bileşenler .....                  | 13 |
| 1.5.1 Simetrik Bileşenlerin Temsili .....      | 15 |
| 1.5.2 Simetrik Bileşenlerde Güç.....           | 18 |
| 1.6 İletim Hatlarında Koruma Yöntemleri.....   | 19 |
| 1.6.1 Aşırı Akım Koruması.....                 | 19 |
| 1.6.2 Yönlü Koruma.....                        | 20 |
| 1.6.3 Diferansiyel Koruma.....                 | 20 |
| 1.6.4 Mesafe Koruma .....                      | 21 |

## 2. BÖLÜM

### ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE KORUMA RÖLELERİ

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1. Koruma Rölesi Temelleri .....                                                   | 22 |
| 2.1.1 Rölelerin Çalışma Esasları .....                                               | 22 |
| 2.1.1.1 Akım Transformatörleri (AT, CT: Current Transformers) .....                  | 23 |
| 2.1.1.2 Gerilim Transformatörleri (GT, VT-PT: Voltage- Potential Transformers) ..... | 24 |
| 2.2. Koruma Rölelerinin Sınıflandırılması .....                                      | 24 |
| 2.2.1 Elektromekanik Röleler .....                                                   | 24 |
| 2.2.2 Statik Röleler .....                                                           | 24 |
| 2.2.3 Mikroişlemci Tabanlı Koruma Röleleri.....                                      | 25 |
| 2.3. Mesafe Röleleri .....                                                           | 26 |
| 2.3.1 Empedans Rölesi .....                                                          | 26 |
| 2.3.2 Reaktans Rölesi .....                                                          | 26 |
| 2.3.3 Giriş (Mho) Rölesi .....                                                       | 26 |

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| 2.3.4 Kuadrilateral (Dört Kenarlı) Röle..... | 27 |
| 2.4. Mesafe Korumamın Temelleri .....        | 28 |
| 2.5. Mesafe Ölçme Prensibi .....             | 28 |
| 2.5.1 Empedans Hesaplama.....                | 29 |
| 2.5.2 Koruma Bölgeleri.....                  | 30 |
| 2.5.3 Ana ve Yedek Koruma .....              | 33 |

### 3. BÖLÜM

#### PROTOTİP MESAFE RÖLESİ

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1. Yöntem .....                                                     | 34 |
| 3.2. Prototip Mesafe Rölesi Temel Bileşenleri ve Çalışma Mantığı..... | 34 |

### 4. BÖLÜM

#### SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

|                  |    |
|------------------|----|
| 4.1. Sonuç ..... | 44 |
| KAYNAKLAR .....  | 46 |
| ÖZGEÇMİŞ.....    | 50 |

## KISALTMALAR VE SİMGELER

### Kısaltma Anlamı

|                          |                                                                                  |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| V                        | Volt                                                                             |
| kV                       | Kilo Volt                                                                        |
| MW                       | Mega Watt                                                                        |
| EHV                      | Extra High Voltage (Ekstra Yüksek Gerilim)                                       |
| L-G                      | Line-Ground (Hat-Toprak)                                                         |
| L-L                      | Line-Line (Hat-Hat)                                                              |
| L-L-G                    | Line-Line-Ground (Hat-Hat-Toprak)                                                |
| L-L-L-G                  | Line-Line-Line-Ground (Hat-Hat-Hat-Toprak)                                       |
| L-L-L                    | Line-Line-Line (Hat-Hat-Hat)                                                     |
| SL-G                     | Single Line-Ground (Tek Hat-Toprak)                                              |
| DL-G                     | Double Line-Ground (İki Hat-Toprak)                                              |
| IEC                      | International Electrotechnical Commission (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu) |
| $I_{a1}, I_{b1}, I_{c1}$ | Akıma Ait Pozitif Dizi Bileşenleri                                               |
| $V_{a1}, V_{b1}, V_{c1}$ | Gerilime Ait Pozitif Dizi Bileşenleri                                            |
| $I_{a2}, I_{b2}, I_{c2}$ | Akıma Ait Negatif Dizi Bileşenleri                                               |
| $V_{a2}, V_{b2}, V_{c2}$ | Gerilime Ait Negatif Dizi Bileşenleri                                            |
| $I_{a0}, I_{b0}, I_{c0}$ | Akıma Ait Sıfır Dizi Bileşenleri                                                 |
| $V_{a0}, V_{b0}, V_{c0}$ | Gerilime Ait Sıfır Dizi Bileşenleri                                              |
| V                        | Gerilim                                                                          |
| I                        | Akım                                                                             |
| a                        | Vektör                                                                           |
| A                        | Matris                                                                           |
| $A^{-1}$                 | Ters Matris                                                                      |
| S                        | Görünür Güç                                                                      |
| P                        | Aktif Güç                                                                        |
| Q                        | Reaktif Güç                                                                      |
| $\emptyset$              | Faz Açısı                                                                        |
| $Z_1$                    | Birinci Bölge                                                                    |
| $Z_2$                    | İkinci Bölge                                                                     |

|                   |                                                 |
|-------------------|-------------------------------------------------|
| $Z_3$             | Üçüncü Bölge                                    |
| $Z_4$             | Dördüncü Bölge                                  |
| AC                | Alternative Current                             |
| DC                | Direct Current                                  |
| AA                | Alternatif Akım                                 |
| DA                | Doğru Akım                                      |
| AT                | Akım Transformatörü                             |
| CT                | Current Transformers                            |
| VT                | Voltage Transformers (Gerilim Transformatörü)   |
| PT                | Potential Transformers (Gerilim Transformatörü) |
| F                 | Fault (Arıza)                                   |
| $Z_f$             | Arıza Empedansı                                 |
| $Z_{\text{prim}}$ | Primer Empedansı                                |
| $Z_{\text{sec}}$  | Sekonder Empedansı                              |
| $I_{\text{prim}}$ | Primer Akımı                                    |
| $I_{\text{sec}}$  | Sekonder Akımı                                  |
| $V_{\text{prim}}$ | Primer Gerilimi                                 |
| $V_{\text{sec}}$  | Sekonder Gerilimi                               |
| $Z_0$             | Hattın Sıfır Dizi Empedansı                     |
| $Z_1$             | Hattın Pozitif Dizi Empedansı                   |
| LCD               | Liquid Crystal Display (Likit Kristal Ekran)    |

**TABLÖLAR LİSTESİ**

|            |                                                         |    |
|------------|---------------------------------------------------------|----|
| Tablo 1.1. | Elektrik Sistemlerinde Meydana Gelen Arızalar. ....     | 12 |
| Tablo 2.1. | Farklı Tip Koruma Rölelerin Karşılaştırılması .....     | 25 |
| Tablo 2.2. | Faz-Faz Arası Arıza Empedansı Hesaplama Kriterleri..... | 29 |
| Tablo 2.3. | Faz-Toprak Arıza Empedansı Hesaplama Kriterleri. ....   | 38 |



## ŞEKİLLER LİSTESİ

|             |                                                                                                                                        |    |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1.  | Genel Bir Elektriksel Güç Sistemi.....                                                                                                 | 6  |
| Şekil 1.2.  | İletim ve Dağıtım Hatlarına ait Parametreler.....                                                                                      | 9  |
| Şekil 1.3.  | Simetrik Arızalar.....                                                                                                                 | 12 |
| Şekil 1.4.  | Asimetrik Arızalar .....                                                                                                               | 13 |
| Şekil 1.5.  | Simetrik Bileşenlere Ait Fazörel Gösterimler a) Pozitif Dizi Bileşenleri<br>b) Negatif Dizi Bileşenleri c) Sıfır Dizi Bileşenleri..... | 14 |
| Şekil 1.6.  | Akımlara ait Simetrik ve Asimetrik Bileşenlerin Fazörel Gösterimi.....                                                                 | 15 |
| Şekil 1.7.  | Saatın Tersi Yönünde Fazörler. ....                                                                                                    | 16 |
| Şekil 1.8.  | Diferansiyel Koruma Rölesinin Çalışma Prensibi. ....                                                                                   | 21 |
| Şekil 2.1.  | Koruma Rölesi Bağlantı Yapısı .....                                                                                                    | 23 |
| Şekil 2.2.  | Akım Transformatörleri. ....                                                                                                           | 23 |
| Şekil 2.3.  | Mesafe Rölesi Çeşitlerinin R-X Diyagramı ile İlgili Karakteristikleri .....                                                            | 27 |
| Şekil 2.4.  | Mesafe Rölesi ile Bir İletim Hattının Korunması. ....                                                                                  | 29 |
| Şekil 2.5.  | Mesafe Rölesine ait Temel Karakteristik.....                                                                                           | 31 |
| Şekil 2.6.  | Mesafe Rölesine ait Temel Koruma Bölgeleri.....                                                                                        | 32 |
| Şekil 3.1.  | Prototip Mesafe Rölesinin Blok Şeması .....                                                                                            | 35 |
| Şekil 3.2.  | Mesafe Rölesi Anakartına ait Baske Devre Şeması.....                                                                                   | 36 |
| Şekil 3.3.  | Mesafe Rölesine ait Kasaya ait Bileşenlerin Üç Boyutlu Tasarım<br>Görüntüsü.....                                                       | 36 |
| Şekil 3.4.  | Mesafe Rölesinin Çalışma Prensibine ait Temel Akış Diyagramı.....                                                                      | 37 |
| Şekil 3.5.  | Mesafe Rölesi Ana Ekranı .....                                                                                                         | 38 |
| Şekil 3.6.  | Röleye ait Mho Karakteristiğini Gösteren Ekran Görüntüsü.....                                                                          | 39 |
| Şekil 3.7.  | Mesafe Rölesinin Tamamlanmamış Hali.....                                                                                               | 39 |
| Şekil 3.8.  | Prototip Olarak Gerçekleştirilen Mesafe Rölesi .....                                                                                   | 40 |
| Şekil 3.9.  | Prototip Mesafe Rölesinin Test Sürecinde Alınmış Ana Ekran<br>Görüntüsü.....                                                           | 40 |
| Şekil 3.10. | Prototip Mesafe Rölesinin Test Sürecinde Alınmış Ayar Menüsü<br>Görüntüsü.....                                                         | 41 |
| Şekil 3.11. | Prototip Mesafe Rölesinin Test Sürecinde Alınmış Şifre Ekranı<br>Görüntüsü.....                                                        | 42 |
| Şekil 3.12. | Prototip Mesafe Rölesinin Tarih Ayar ve Veri Giriş Ekranı Görüntüsü<br>Görüntüsü.....                                                  | 42 |

## GİRİŞ

Günümüzde modern elektrik güç sistemleri, çok farklı kesimlerden gelen talepleri karşılayabilir nitelikte olup jeneratörler, transformatörler, iletim ve dağıtım hatları gibi birçok ana bileşenden oluşmaktadır. Elektrik enerjisinin yüksek gerilim seviyelerinden transfer edilmesi işlevini yerine getiren iletim şebekeleri, mümkün olan en yüksek süreklilikle ve güvenilir bir şekilde enerjinin transfer edilmesini sağlamak üzere tasarlanmıştır. Elektrik enerjisine olan talebin her geçen gün artmasıyla birlikte hizmet sürekliliği ve yüksek kalitede elektrik enerjisi temini çok önemli hale gelmiştir. Bu nedenle, güç kapasitesi büyük ve aralarında karmaşık bağlantılara sahip ekipmanların kullanılması gerekli olup bu durum koruma sistemlerine büyük bir yük getirmektedir. Genel olarak, elektrik güç sistemleri stabil olarak çalışmalarına karşın çok sayıda güç sistemi bileşeni içermeleri sebebiyle sistemde zaman zaman geçici veya kalıcı arızalar meydana gelebilmektedir. Elektrik güç sistemlerinde farklı noktalarda arızalar meydana gelme olasılığı bulunsada hataların büyük bir çoğunluğu havai iletim hatlarında oluşmaktadır. Hatlarda kullanılan iletkenlerin farklı fiziksel etkenler sonucu kopması, izolasyon amacı ile kullanılan cihazların zarar görmesi gibi farklı sebeplerle meydana gelen arıza durumlarında arıza akımları derhal kesilmezse çok yüksek değerlere ulaşan akımlar sebebi ile güç sistemlerinin zarar görmesi söz konusu olabilmektedir. Bunun yanında bu durum güç sistemi ile irtibat halinde olan diğer sistemler için de ciddi bir risk oluşturmaktadır. Bu nedenle arızaların hızlı bir şekilde belirlenip giderilmemesi durumunda hattaki gerilim seviyesinin ciddi olarak azalması, senkronizasyonun bozulması ve hatta elektrik sistemi ekipmanlarında kalıcı hasar oluşması gibi ciddi problemlerle karşı karşıya kalınabilmektedir [1]. Dolayısıyla sistemin arızalı kısmının şebekeden hızlı bir şekilde izole edilmesinin sistemin diğer bileşenlerinin zarar görmeden çalışmasına devam edebilmesi açısından hayati önemi bulunmaktadır. Bu husus, elektrik güç sistemlerinde uygun şalter mekanizmaları ile birlikte gelişmiş koruyucu sistemler kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Elektrik güç sistemleri, en temel haliyle elektrik enerjisinin üretimi, iletimi ve dağıtım sistemlerinin birleşiminden oluşmaktadır. Elektrik enerjisi üretim santrallerinde üretilen elektrik enerjisi, iletim hatları ve kullanılan diğer bileşenler sayesinde çok uzak mesafelere iletilebilmektedir [2]. İletim hatlarının tasarımı esnasında iletilen gerilim seviyesi, direnç ve reaktans değerleri, mekaniksel özellikler gibi birbirinden çok farklı parametreler dikkate alınmaktadır.

"Güç kalitesi" kavramı, elektrik enerjisi kaynağının gerilim, frekans ve harmonik içeriğini belirtmekte ve elektrik enerjisinin ne kadar sağlıklı bir şekilde aktarıldığını ifade etmektedir. Bununla birlikte elektrik enerjisi hususunda en önemli kavramlardan birisi de sürekliliktir. Dolayısıyla sürekli bir şekilde elektrik enerjisinin sağlanması isteniyorsa sistemdeki olası problemlerde, problemlili kısımların sistemden ayrılması büyük önem arz etmektedir [3].

Havai hatların kullanılması suretiyle elektrik gücünün iletimi hem çok daha ucuzdur hem de problemler halinde onarımların yapılması çok daha kolaydır. İletimde genellikle çok devreli yapılar yani birbirine paralel olan ek hatlar kullanılmaktadır. Böylece, üç faz hattın farklı sayıda kümeleri paralel çalışmakta ve bu durum da bakımlar sırasında sürekliliği sağlamakta ve ayrıca gelecekteki talebi karşılamak için kullanılabilir. Elektrik enerjisi, iletim hatlarının ardından bir alçaltıcı transformatör vasıtasıyla alıcı istasyona iletilmektedir. Bunun ardından ise trafo merkezlerine iletilerek istenilen gerilim seviyesine transformatörler vasıtasıyla tekrar düşürülmektedir. Alıcı istasyonuna geçiş, besleyiciler olarak adlandırılan iletkenlerin yardımı ile yapılmakta olup buna ikincil transmisyon adı da verilmektedir. Trafo merkezlerinden sonra elektrik enerjisi yerel transformatör merkezlerine dağıtılmakta ya da doğrudan tüketicilere aktarılmaktadır.

Düşük güçler için gerilim seviyesini 230V veya 400V seviyelerine indiren ve dağıtım trafolarından oluşan dağıtım merkezleri vardır ki buna birincil dağıtım denir. Şehirler gibi kalabalık bölgelerde, havai hatlar kullanılarak çıplak iletkenlerle elektriğin dağıtımı çok uygun olmayıp yalıtılmış iletkenler aracılığıyla yer altı dağıtım sistemlerinin kullanılması daha uygundur. Yer altı kablolarından oluşan bu şebeke servis şebekesi olarak ifade edilmekte ve ikincil dağıtım olarak adlandırılmaktadır. Dolayısıyla, elektrik

şebekelerinin, enerji nakil hatlarının korunabilmesi ve tüm tüketicilere elektrik enerjisinin sürekli olarak sağlanabilmesi için uygun korumanın yapılması gereklidir.

Güç sistemlerinin korunmasında kullanılan en önemli ekipmanların başında koruyucu röleler gelmektedir. Yüksek gerilim iletim sistemlerinde en yaygın koruma şekli olan hat mesafesi koruması ve dolayısıyla da kullanılan mesafe röleleri koruma sistemleri için vazgeçilmez bir bileşendir. Esnek, ekonomik ve aynı zamanda basit bir cihaz olması mesafe koruma rölelerini oldukça cazip kılmaktadır [4,5].

Literatürde mesafe koruma röleleri üzerine yapılan çok farklı çalışmalar bulunmaktadır. Xu ve arkadaşları, mesafe rölesi için yeni bir hat modelini kullanarak oluşabilecek bir hatanın yerini tespit etmeyi amaçlamıştır ve yapılan çalışma ile oluşan arızanın koruma bölgesinin içinde ya da dışında olup olmadığı belirlenmeye çalışılmıştır [6].

Ahmad ve arkadaşları, 132kV hattın korunması üzerine mikroişlemci tabanlı bir tasarım üzerine yoğunlaşmışlardır. Bu teknik daha verimli olup bu amaçla geliştirilen diğer teknikler karşısında birçok avantaja sahiptir. Özellikle geleneksel koruma sistemlerine göre daha güvenilir, esnek ve hızlı olması önemli avantajlarından bazılarıdır [7].

İsmail ve Hasan, kısa ve uzun iletim hatları için mesafe koruma rölesinde ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) ve ANN (Artificial Neural Network) tekniklerinin kullanımını araştırmışlar ve akıllı mesafe rölesinin üç temel koruma işlevi olan arıza tespiti, arıza sınıflaması ve arıza yeri için başarılı bir performans sergilediklerini tespit etmişlerdir [8].

Lal, hatlarının korunması için mikrodenetleyici tabanlı mho rölesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Mho rölesi, uzun iletim hatları için en uygun olan koruma rölesidir. Yapılan çalışmada, mikrodenetleyici tabanlı mho rölesinin laboratuarda başarıyla geliştirildiği ve test edildiği belirtilmiştir [9].

Da Silva ve Bak, çok devreli iletim hatlarında farklı etkenlerle meydana gelebilecek empedans değişiminin mesafe rölesi ile ilgili hususlarını incelemiş ve analiz etmiştir [10].

Virkuda ve arkadaşları ise mesafe rölesi ve diğer koruma rölelerinin hızlı cevap karakteristiklerini incelemişler ve bir karşılaştırma yapmışlardır. Yapılan çalışmada amaç güvenli, verimli ve iyi bir güç kalitesi ile elektrik enerjisinin iletilmesidir [11].

### **Tezin Amacı ve Önemi**

Kaliteli bir elektrik enerjisi iletiminin en önemli unsurlarından birisi elektrik enerjisinin sürekli ve kesilmeden sağlıklı bir şekilde sağlanabilmesidir. Şebekenin herhangi bir noktasında meydana gelen bir arızanın sistemin tamamını etkilemeden bir an önce sezilip sistemin korumaya alınması bu açıdan çok önemlidir. Bu hususta mesafe röleleri, iletim hatları için en yaygın koruma rölesi türü olarak uzun yıllar başarıyla kullanılmıştır. Dolayısıyla bu tez çalışmasında, iletim hatlarını korumak için hat empedansını temel alan mikrodenetleyici tabanlı bir dijital mesafe rölesi tasarlanmıştır. Sistemden alınan akım ve gerilim değerleri değerlendirilerek o andaki farklı güç, güç faktörü ve frekans değerleri ile hesaplanan empedans değerleri ekranda gösterilip bir hata oluşması durumunda gereken kesici işaretleri üretilerek ekranda oluşan hataya ilişkin bilgilerin verilmesi sağlanmıştır.

Tezin ilerleyen kısımlarında birinci bölümde, güç sisteminde koruma çeşitleri ve oluşan arıza tipleri ile bu arızaların ekipman ve elektrik şebekesi üzerindeki etkileri ve arızaların sınıflandırılması üzerinde durulacaktır .

İkinci bölümde, elektrik güç sistemlerinde arızaların oluşumu ve tespit teknikleri ile koruma rölelerinin çeşitleri ve özellikleri incelenecektir.

Üçüncü bölümde ise prototip olarak gerçekleştirilen mesafe koruma rölesinin çalışma mantığı, bileşenleri ve yapısal özellikleri hakkında bilgi verilecektir.

Son bölüm olan dördüncü bölümde ise yapılan çalışma sonunda elde edilen bulgular, gerçekleştirilen prototip ve koruma sistemleri üzerine ileride yapılabilecekler hakkında bir değerlendirme yapılacaktır.

# 1. BÖLÜM

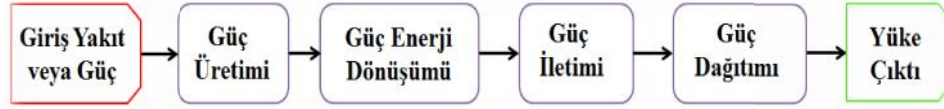
## ELEKTRİKSEL GÜÇ SİSTEMLERİ

### 1.1 Giriş

Günümüzde konutlardan ticari ve endüstriyel işletmelere kadar çok geniş bir alanda elektrik enerjisinin kullanımı vazgeçilmez hale gelmiştir. Elektrik enerjisinin kimyasal reaksiyonlar, ısı enerjisi, ışık enerjisi ya da mekaniksel enerjinin kullanılması ile elde edilmesi mümkündür. Bireysel amaçlı olarak kullanılabilecek küçük güç değerlerindeki enerji dönüşüm tesislerinden binlerce MW (MegaWatt) kurulu güç değerlerine ulaşan güç tesisleriyle karşılaşmak mümkün olup elektrik enerjisinin üretilebilmesi amacıyla kurulan ve şebekeyi besleyen bu tesisler elektrik üretim santralleri olarak adlandırılmaktadır. Giderek artan elektrik enerjisi talebini karşılayabilmek için de çok sayıda ve farklı nitelikte elektrik enerjisi üretim santrali birlikte çalışmak durumunda kalmaktadır.

Elektrik enerjisi üretim santrallerinde kullanılan enerji kaynakları kömür, doğalgaz ya da sıvı yakıtlar gibi fosil enerji kaynaklarından olabileceği gibi su, rüzgar, güneş ve jeotermal olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarından da olabilir. Tabii ki elektrik enerjisi santralinde kullanılan enerji kaynağının çeşidine göre santralin çalışma prensibi ve kullanılan sistem bileşenleri de farklı olmaktadır. Dolayısıyla elektromekanik enerji dönüşümünü temel alan santrallerde farklı türbin yapıları karşımıza çıkmaktadır [12].

Elektrik enerjisi, her hangi bir firma tarafından üretilen ve daha sonra tüketicilere satılan diğer ürünlerle kıyaslandığında çok daha farklı niteliktedir. Zira elektrik enerjisi, tüketicilerin talep ettiği anda sağlanmalıdır. Şekil 1.1’de genel olarak bir elektriksel güç sisteminin temel bileşenleri gösterilmiştir [13].



**Şekil 1.1** Genel Bir Elektriksel Güç Sistemi [12]

Elektrik güç sistemlerinde talebin yoğun olduğu saatlerde ilave elektrik enerjisi sağlamak için kullanılabilecek basit depolama sistemleri bulunmayıp üreticilerin yeterli miktarda elektrik enerjisi üretmesi zorunludur [13]. Dolayısıyla, bu konuda hizmet veren firmalar yıl, hafta veya gün içerisindeki yük gereksinimlerini doğru tahmin etmek ve geçmiş zamanlardaki verileri de bu yüzden muhafaza etmek durumundadırlar.

## 1.2 Elektrik Güç Sistemlerinde Koruma Ekipmanları

Yüksek gerilim kullanılarak elektrik enerjisinin iletimi, akımın düşük olması sebebi ile iletim hatlarında meydana gelen güç kayıplarının azalmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte iletim ve dağıtım sistemlerinde meydana gelen kayıplar yaklaşık olarak % 11’ler civarındadır. İlgili kayıpların hesaplanmasında en temel yöntem üretilen elektrik enerjisi ile tüketilen enerji arasındaki farkın alınmasıdır [14]. Gerek kayıpların düşük seviyelerde tutulabilmesi gerekse de elektrik enerjisinin sıkıntısız bir şekilde tüketicilere aktarılabilmesi için elektrik güç sistemlerinde kullanılan koruma ekipmanlarının işlevi çok önemlidir. Bu kısımda elektrik güç sistemlerinin farklı aşamalarında kullanılmakta olan koruma ekipmanlarından kısaca bahsedilecektir.

### 1.2.1 Jeneratör Koruması

Elektrik güç sistemlerinde kullanılan Jeneratör boyutlarının ve güçlerinin fazla olması ilgili cihazlarda meydana gelebilecek arızalarda sistemin bu arızalardan daha az etkilenebilmesi adına koruma sistemlerinin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Günümüzde jeneratörlerin güç kapasitesi 500 MW’ya kadar artabilmekte ve bunun sonucunda tek bir ünitenin bile kaybı sistemdeki diğer ekipmanların aşırı yüklenmesine ve nihai olarak da sistem kararsızlığına neden olabilmektedir [15]. Jeneratörler için uygulanan korumanın temel fonksiyonu, arızanın hızlı bir şekilde belirlenip elektrik kesinti süresinin olabildiğince kısaltılmasıdır. Diğer cihazların aksine, arızalı jeneratörü

izole etmek için kesicinin açılması oluşabilecek hasarı önlemek için yeterli değildir. Bu sebeple jeneratöre hareket veren sistemlerin durdurulması ve frenleme yapılması gerekebilmektedir [16].

### **1.2.2 Transformatör Koruması**

Elektrik güç sistemleri için güç transformatörleri, vazgeçilmez teçhizatların başında gelmektedir. En genel haliyle gerilim seviyesinin değişimiyle ilgili olarak görev yapan transformatörler için son derece güvenilir koruyucu cihazların kullanılması gereklidir [17]. Transformatörlerde meydana gelen arızalar dahili ve harici kaynaklar olmak üzere iki farklı şekilde oluşabilmekte ve transformatör koruma sistemlerinin koruması transformatörlerin gücü ve boyutuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Küçük transformatörler için sigortalar gibi basit koruyucu cihazlar yeterli olabilirken orta güçteki transformatörler için aşırı akım koruma röleleri ile koruma sağlanmaktadır. Büyük güçteki transformatörler için ise diferansiyel koruma sistemlerinin kullanılması çok daha uygundur [18].

### **1.2.3 Bus-Bara Koruması**

Bara koruma terimi, yüksek gerilim trafo merkezleri ve şalt sahalarının özellikle faz-toprak arızalarını saptayabilmek ve sistemi koruyabilmek amacıyla tasarlanan özel koruma sistemlerini ifade etmektedir. Bu sistemlerde temel koruma sistemlerine ek olarak yedek kesici koruması kullanılmasının sebebi herhangi bir hata anında açma komutuna reaksiyon verilememesi durumunda barasının diğer kesiciler kullanılarak korunmaya alınmasını sağlamak ve arızayı izole etmektir. Genel olarak barada arıza meydana gelme olasılığı diğer bileşenlerle kıyaslandığı zaman düşük olarak görülse bile arıza olduğu takdirde güç sisteminin tamamı için çok ciddi problemler meydana gelebilir [19].

### **1.2.4 İletim Hatlarının Korunması**

İletim hatları elektrik güç sistemlerinin en önemli bileşenlerinden birisidir. Birkaç kilometreden başlayıp yüzlerce kilometrelik uzunluğa ulaşan iletim hatları bulunmaktadır. Dolayısıyla iletim hatlarının iyi bir şekilde korunması gerekmektedir. Sistemin sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi ve elektrik enerjisinin problem yaşanmadan

aktarılabilmesi için dağıtım hatları ile kıyaslandığında iletim hatlarının koruma sistemleri daha karmaşıktır [19, 20]. İletim hatlarının korunmasında kullanılan koruma çeşitleri ve sistemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yıldırımdan Koruma,
- Toprak Arıza Koruması,
- Aşırı Akım Koruması
- Yönlü Koruma,
- Diferansiyel Koruma,
- Mesafe Koruması.

İlerleyen kısımlarda iletim hatlarının korunmasında kullanılan sistemler hakkında daha detaylı bilgiler verilecektir.

#### **1.2.5 Dağıtım Sistemlerinin Korunması**

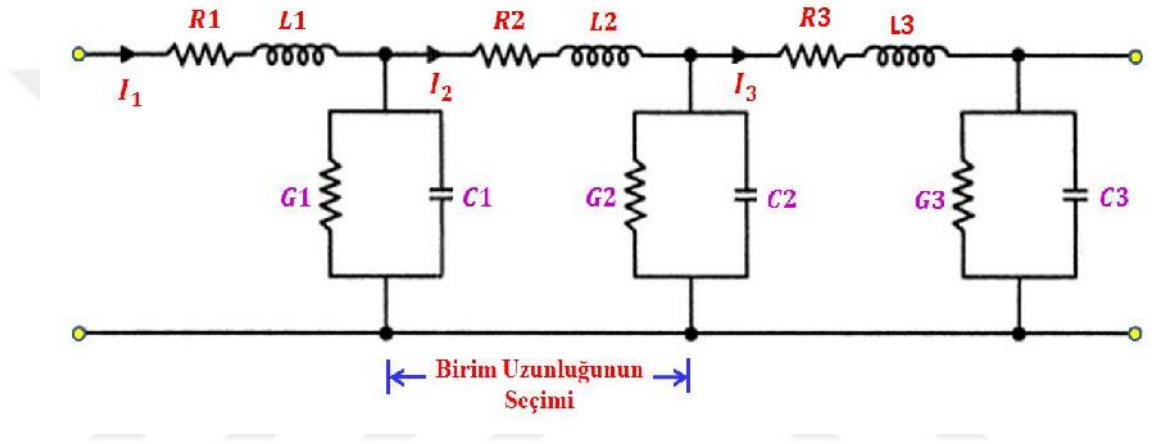
Dağıtım sistemlerinde geçici ve sürekli olmak üzere iki farklı arıza çeşidi vardır. İlgili arızalar incelendiğinde ise toplamda arızaların % 75 ile % 90 arasında çevresel etkenler sebebi ile oluştuğu ve geçici nitelikte olduğu görülmektedir. Aşağıda bu çevresel etkenlerden bazıları sıralanmıştır:

- Sert esen rüzgâr (fırtına),
- Ağaç dalları,
- Yüksek iş makineleri (vinç),
- Geniş kanatlı kuşlar,
- Uçurtmalar,
- Kar ve buz yükü.

Geçici arızalar, genellikle güç arkını söndürmek için yeterli süre sağlanarak servis kesintisi ile giderilmektedir. Buradaki amaç, olabildiğince hızlı bir şekilde kesici vasıtasıyla hatayı sönmölemek ve ardından tekrar enerji vermeye devam etmektir [20]. Eğer bu sistemlerde röle aracılığıyla kesici devreye girmeden sigorta işlevini yerine getirecek olursa geçici arıza kalıcı arıza haline gelip tekrar elektrik enerjisinin verilmesi için çok daha uzun bir süreye gereksinim duyulacaktır [21].

### 1.3 İletim Hattı Koruma Sistemleri

Elektrik enerjisinin üretim merkezlerinden tüketim merkezlerine kadar en az kayıpla ve en yüksek verimle iletilmesi ve dağıtılması gerekmektedir. Havai hatlarda genellikle alüminyum bazlı iletkenler kullanılmakta olup hattın performansına etki eden ve Şekil 1.2’de gösterilen direnç ( $R$ ), kapasitans ( $C$ ), indüktans ( $L$ ) ve kondüktans ( $G$ ) iletim hattı parametreleri karşımıza çıkmaktadır. Dolayısıyla iletim sisteminin verimliliği açısından değerlendirildiğinde ilgili parametrelerin önemi büyüktür.



**Şekil 1.2** İletim ve Dağıtım Hatlarına ait Parametreler [22]

Günümüzde iletim sistemleri, ağ yapıları sebebi ile her geçen gün çok daha karmaşık hale gelmekte ve bu durum iletim hatlarının korunması için gerekli koruma sistemlerinin de karmaşık olmasını gerekli kılmaktadır. Elektrik güç sistemleri tüketicilere kesintisiz ve sağlıklı bir şekilde elektriği aktarmak üzere tasarlanıp çevresel ve sistemle alakalı kriterler değerlendirilerek farklı koruma stratejileri ile korunuyor olsa da yük değişimleri, doğal sebeplerden kaynaklanan hatalar ve ekipman hasarları gibi çok farklı nedenlerle arızalar meydana gelebilmekte ve elektrik enerjisinin aktarımında problemler yaşanabilmektedir [18].

Bir koruma şemasının temel amacı, şemanın çevresindeki bir arızanın varlığını mümkün olduğunca hızlı ve güvenilir bir şekilde saptamak ve daha önceden belirlenmiş korumalı bir bölgenin seçilmesini sağlayarak, kesintiyi en aza indirmek ve güç sisteminin kararlılığını korumaktır. Bir koruma şemasının temel performans kriterleri; duyarlılık, seçicilik, hız, güvenilirlik ve ekonomi olarak gösterilebilir.

Duyarlılık, sistemin eşik değerlerini aşan ve başarılı önleyici önlemleri başlatan sistem algılama yeteneği olarak tanımlanabilmekte ve koruma planının hassaslığını ifade etmektedir [22].

Seçicilik, sistemin arızanın meydana gelmiş olduğu bölüm olan koruma bölgesini uygun bir şekilde izole etme kabiliyetidir [23].

Koruma şemasının hızı, güç sisteminin kararlılığını koruyacak şekilde oluşan hatayı sönmüleyebilmek için gerekli minimum süre ile ilgili olup bu özellik, enerji sisteminin kararlılığı ve optimal iletim gücü için kritik öneme sahiptir [24].

Koruma sisteminin güvenilirliği ise, sistemin önceden tanımlanmış koşullar altında düzgün bir şekilde çalışabilme kabiliyetine sahip olmasıdır. Güvenilirlik açısından bakıldığında arızalar esnasında koruma sisteminin gereken korumayı sağlayabilmesi yanında yanlışlıkla açılmaması da gereklidir [25-26].

Tüm sistemlerde olduğu gibi koruma sistemlerinde de ekonomiklik en önde gelen kriterlerden birisidir. Zira en düşük harcama ile en yüksek koruma seviyesini sağlayabilmek, koruma sistemlerinin tasarımı esnasında dikkate alınan en önemli faktörlerdendir [23].

#### **1.4 Elektrik Güç Sistemlerinde Arızalar**

Elektrik sistemlerinde arıza, elektrik devresinde bir kusur olarak tanımlanmakta olup elektrik sistemine zarar vermekte ve elektrik akımının normal akışını bozmaktadır. Elektrik güç sistemlerinde meydana gelen arızaların yaklaşık olarak yarısı iletim hattı arızalarıdır. Bu durum iletim hatlarının dağınık ve uzun olan yapısı ile doğrudan çevresel etkenlere maruz kalmalarından kaynaklanmaktadır [27, 23].

Sistemin, arızaların sebep olduğu olumsuz etkilerden daha iyi korunabilmesi için oluşan bu arızaların sebeplerinin bilinmesi önem arz etmektedir. Çoğu zaman için arızaların nedenleri arasında doğa şartları ve fiziksel koşullar, kullanılan ekipmanlarda meydana gelebilecek problemler ve insan kaynaklı hatalar yer almaktadır. İletim hatlarının açıkta olmaları ve fiziksel etkenlere tamamen açık olmaları sebebi ile özellikle yüksek hızdaki rüzgarlar, şiddetli yağmurlar, yıldırımlar, iletim hatlarındaki kar ve buz birikimi gibi sebepler iletim hatlarına zarar verebilmektedir. Bunun yanında sistemde kullanılan

ekipman ve cihazların yanlış seçilmesi, bakım esnasında mekanik ya da elektriksel bileşenlerin yanlışlıkla unutulması gibi hatalar da beraberinde elektrik arızalarını getirebilmektedir.

#### 1.4.1 Arıza Çeşitleri

Elektrik güç sistemlerinde meydana gelen arızalar, güç sistemlerine çeşitli şekillerde zarar verebilmektedir. Arızalar sebebi ile sistemdeki belirli noktalardaki gerilimler ve akımlar yüksek miktarda artmakta bunun beraberinde ekipmanların izolasyonu zarar görüp ömrü kısalmaktadır. Ayrıca, oluşan bu arızalar sistemin dengesiz hale gelmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle, arızanın oluşması durumunda arızalı bölümünün sistemim diğer kısmından ayrılması gereklidir [28, 29]. Güç sistemi arızaları genel olarak kısa devre arızası ve açık devre arızası olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) standart tanımı olarak kısa devre, "Farklı potansiyelli iki nokta arasında yanlışlıkla ya da bilinçli olarak yapılmış olan, nispeten düşük empedansa sahip anormal bir bağlantı" olarak ifade edilmektedir. Simetrik arızalar, L-G (Line-Ground, Hat-Toprak) arızaları, L-L (Line-Line, Hat-Hat) arızaları ve L-L-G (Line-Line-Ground, Hat-Hat-Toprak) gibi bazı kısa devre arızalarında yüksek gerilimler de oluşabilmektedir [30].

Seri tip bir simetrik arıza olan açık devre arızası IEC (International Electrotechnical Commission, Uluslararası Elektroteknik Komisyonu) tarafından "Üç fazın her birinin empedansının eşit olmadığı, genellikle bir veya iki fazın kesilmesinden kaynaklanan bir arıza" olarak ifade edilmektedir. Açık devre arızaları, aşırı akım ve gerilimlere neden olmamaktadır [30].

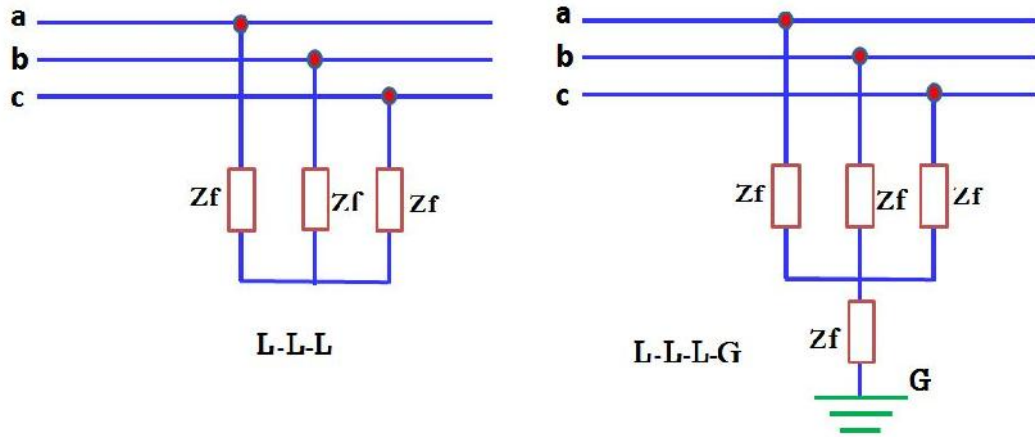
Normalde bir güç sistemi dengeli koşullar altında çalışmasına karşın herhangi bir noktada yalıtım hataları veya kabloların temas etmesi nedeniyle sistem dengesiz hale geldiğinde, hatta bir kısa devre veya arıza meydana gelmiştir. Meydana gelen arızalara bakıldığında büyük bir kısmının tek faz ve toprak arasında meydana geldiği görülmektedir. Hataların meydana gelme yüzdeleri Tablo 1.1'de gösterilmiştir [31, 32].

**Tablo 1.1** Elektrik Sistemlerinde Meydana Gelen Arızalar [32]

| Arıza Çeşidi     | Meydana Gelme Yüzdesi (%) |
|------------------|---------------------------|
| Tek Faz - Toprak | 70-80                     |
| İki Faz - Toprak | 10-18                     |
| İki Faz Arası    | 8-10                      |
| Üç Faz Arası     | 2-3                       |

#### 1.4.1.1 Simetrik Arızalar

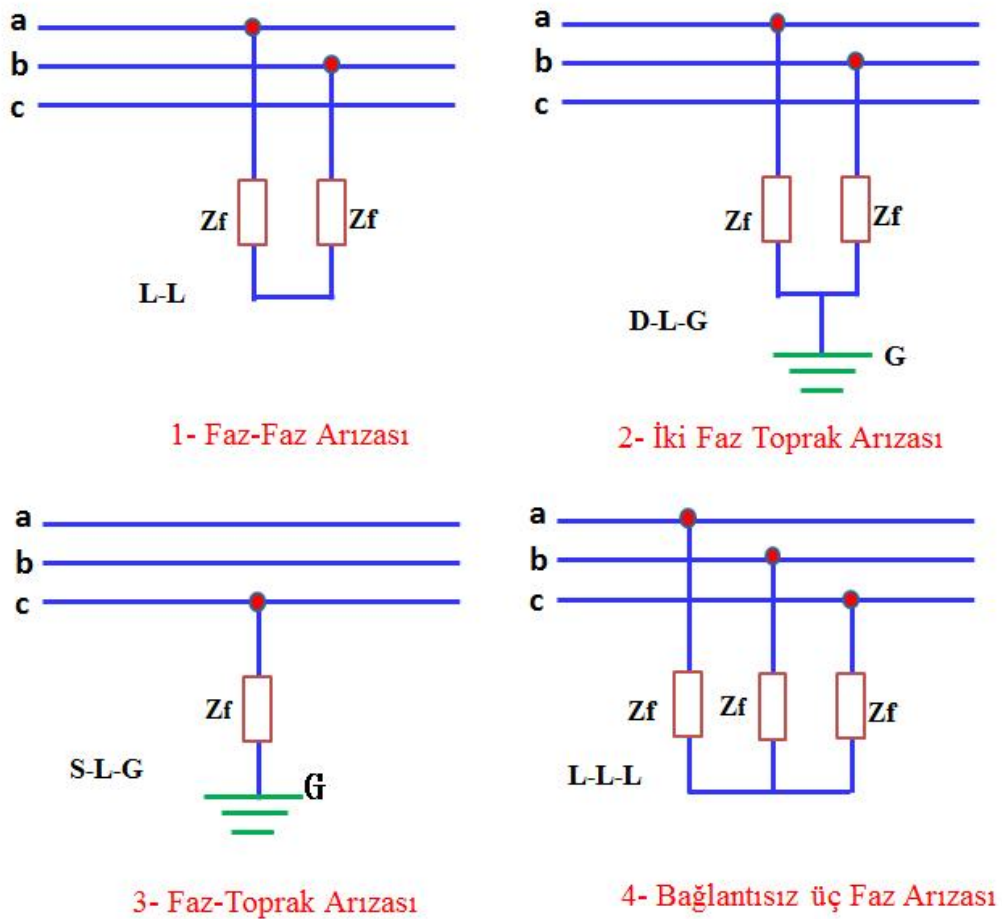
Simetrik arızalar genellikle dengeli arızalar olarak da ifade edilmektedir. Dengeli arıza durumunda üç iletim hattı arızadan eşit olarak etkilenir ve sistem dengeli durumda kalır. Şekil 1.3'te temel yapısı gösterilen simetrik arızaların güç sistemlerinde görülme sıklığı nadir olup toplam arızaların yaklaşık % 2 ila % 5'i bu tip arızalardan kaynaklanmaktadır [33-31].

**Şekil 1.3** Simetrik Arızalar [33]

Şekil 1.3'ten görüldüğü üzere simetrik arızalar, toprak ile üç hat arasında (L-L-L-G) ve üç hat arasında (L-L-L) meydana gelmektedir.

### 1.4.1.2 Asimetrik Arızalar

Şebekenin dengeli durumunu bozan enerji sistemi şebekesindeki arızalar simetrik olmayan ya da asimetrik arızalar olarak ifade edilmektedir. Asimetrik arızalar, tek hat-toprak arızaları (SL-G: Single Line-Ground, Tek Hat - Toprak), çift hat-toprak arızaları (DL-G: Double Line-Ground, İki Hat - Toprak) ve hat-hat arızaları (L-L) olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Bir güç sisteminde oluşan asimetrik arızaların 90%'dan fazlası tek hat-toprak arasında meydana gelmektedir. Şekil 1.4'te asimetrik arızaların temel yapıları gösterilmiştir [33,34].



Şekil 1.4 Asimetrik Arızalar [33]

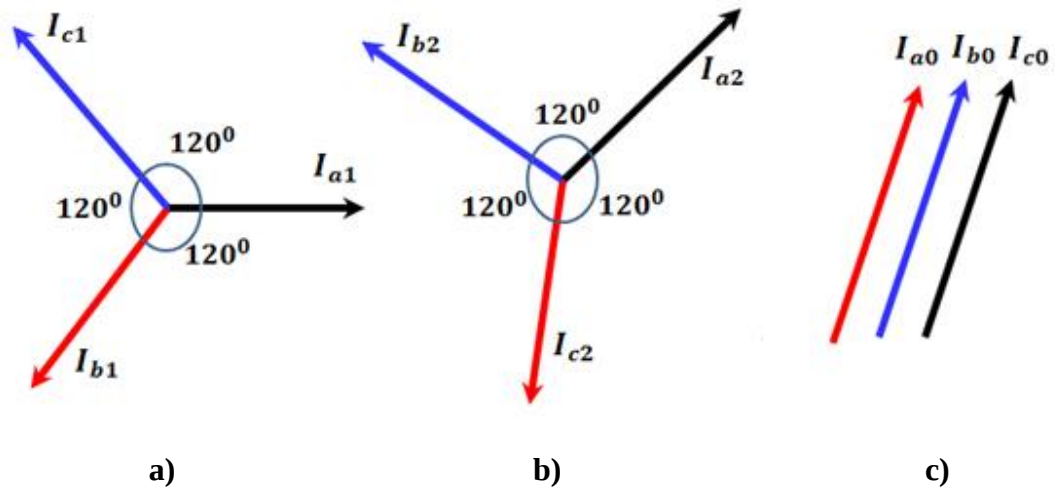
### 1.5 Simetrik Bileşenler

Simetrik Bileşenler Yöntemi, dengeli veya dengesiz üç fazlı sistemlerin incelenmesinde, jeneratör ve iletim hattı gibi elektriksel sistemlerin modellenmesinde kullanılmakta olan bir yöntem olup dengesiz veya simetrik olmayan sistemin simetrik ve dengeli olan

eşdeğeri ile değiştirildiği dolaylı ve kolay bir hesaplama yöntemidir [35]. Bu yöntem, Charles L. Fortescue tarafından 1913'te önerilmiş ve ardından C.F. Wagner tarafından geliştirilmiştir [32].

Günümüzde, dengesiz sistemleri incelemek için simetrik bileşenler yöntemi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Simetrik bileşenler; pozitif dizi bileşenleri, negatif dizi bileşenleri ve sıfır dizi bileşenleri olmak üzere üç kısma ayrılır. Sistemin bileşenleri eşit büyüklüğe sahip, abc faz dizilimini takip eden ve aralarında  $120^\circ$  faz farkı olan üç fazör içermektedir [33].

Pozitif dizi bileşenlerine ait fazörel çizimler Şekil 1.5'te gösterilmiştir [35]. Bu sistemde, bileşenler eşit büyüklüğe sahip üç fazör içerirler ve bu fazörlerin aralarında  $120^\circ$  faz farkı bulunup ilgili fazörler acb faz dizilişine sahiptir. Pozitif dizi bileşenlerin nötr akımı sıfırdır. Negatif dizi bileşenleri de, faz sırasının tersine çevrilmesinin dışında, pozitif dizi bileşenlerine benzer. Negatif dizi bileşenlerinin de nötr akımı sıfırdır [35].



**Şekil 1.5** Simetrik Bileşenlere Ait Fazörel Gösterimler a) Pozitif Dizi Bileşenleri b) Negatif Dizi Bileşenleri c) Sıfır Dizi Bileşenleri [33]

Pozitif dizi bileşenleri Eşitlik 1.1, 1.2 ve 1.3'te verildiği gibi ifade edilebilir.

$$I_{a1} = I_1 V_{a1} = V_1 \quad (1.1)$$

$$I_{b1} = \alpha^2 I_{a1} = \alpha^2 V_1 = V_1 \angle 240^\circ \quad (1.2)$$

$$I_{c1} = aI_{a1} = aI_1 = I_1 \angle 120^\circ \quad V_{c1} = aV_1 = V_1 \angle 120^\circ \quad (1.3)$$

Negatif dizi bileşenleri Eşitlik 1.4, 1.5 ve 1.6'da verildiği gibi ifade edilebilir.

$$I_{a2} = I_2 \quad V_{a2} = V_2 \quad (1.4)$$

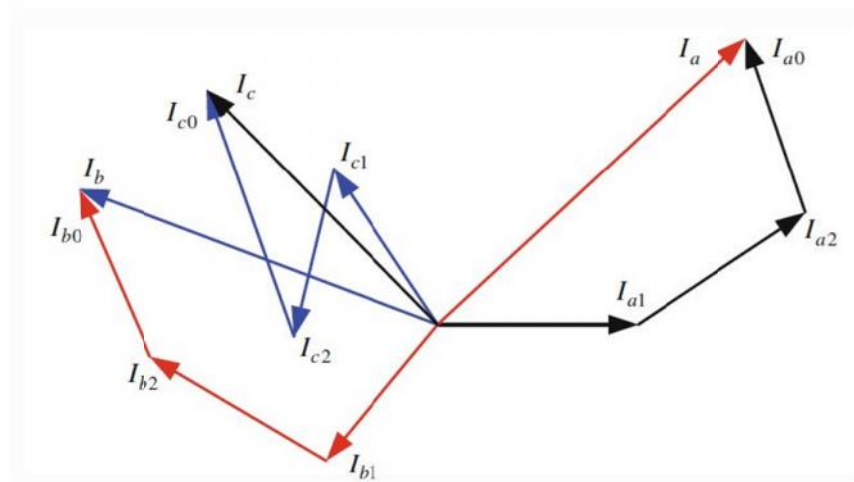
$$I_{b2} = aI_{a2} = aI_2 = I_2 \angle 120^\circ \quad V_{b2} = aV_2 = V_2 \angle 120^\circ \quad (1.5)$$

$$I_{c2} = a^2 I_{a2} = a^2 I_2 = I_2 \angle 240^\circ \quad V_{c2} = a^2 V_2 = V_2 \angle 240^\circ \quad (1.6)$$

Sıfır dizi bileşenleri arasındaki ilişki ise Eşitlik 1.7'de verilmiştir.

$$I_{a0} = I_{b0} = I_{c0} = I_0 \quad V_{a0} = V_{b0} = V_{c0} = V_0 \quad (1.7)$$

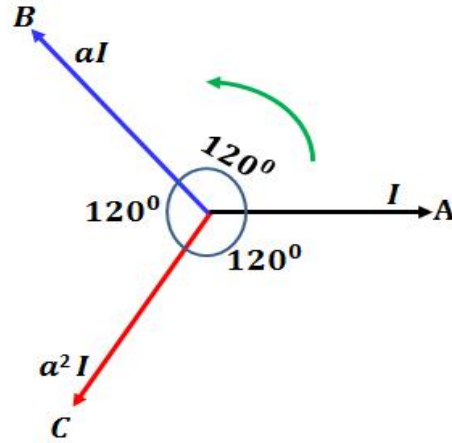
Akımlara ait asimetrik bileşenler ise Şekil 1.6'da gösterilmiştir.



**Şekil 1.6** Akımlara ait Simetrik ve Asimetrik Bileşenlerin Fazörel Gösterimi [33]

### 1.5.1 Simetrik Bileşenlerin Temsili

Şekil 1.7'de saat dönüş yönünün tersi şekilde simetrik bileşenlerin fazörel gösterimi verilmiştir. Şekil 1.7'de gösterildiği üzere fazörlerin elde dilmesini sağlayan  $a$  operatörü Eşitlik 1.8'den de görülebileceği üzere  $120^\circ$ 'lik ötelemenin karşılığı olarak verilmektedir. Buna göre fazörlerin matematiksel eşitlikleri, Eşitlik 1.9, 1.10 ve 1.11'de verildiği gibidir.



Şekil 1.7 Saatin Tersi Yönünde Fazörler [33]

$$a = e^{j120^\circ} = 1 \angle 120^\circ = -0.5 + j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (1.8)$$

$$a I = I \angle 120^\circ = -0.5 + j0.866 \quad (1.9)$$

$$a^2 = 1 \angle 240^\circ = -0.5 - j0.866 \quad (1.10)$$

$$a^3 = 1 \angle 360^\circ = 1 \quad (1.11)$$

Eşitlik 1.9, 1.10 ve 1.11 kullanılarak Eşitlik 1.12 elde edilebilir.

$$1 + a^2 + a^3 = 0 \quad (1.12)$$

Dolayısıyla

$$I_{a1} = I_{a1} \angle 0^\circ \quad (1.13)$$

$$I_{b1} = I_{a1} \angle 240^\circ = a^2 I_{a1} \quad (1.14)$$

$$I_{c1} = I_{a1} \angle 120^\circ = a I_{a1} \quad (1.15)$$

yazılabilir.

Sıfır faz dizi bileşenlerinin büyüklükleri aynıdır ve Eşitlik 1.13'teki gibi yazılabilir:

$$I_{a0} = I_{b0} = I_{c0} \quad (1.16)$$

Dolayısıyla asimetrik akımların akımın simetrik bileşenleri ile temsil edilmesi mümkündür. Dolayısıyla,

$$I_a = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} \quad (1.17)$$

$$I_b = I_{b0} + I_{b1} + I_{b2} \quad (1.18)$$

$$I_c = I_{c0} + I_{c1} + I_{c2} \quad (1.19)$$

yazılabilir. Eşitlik 1.18 ve 1.19 a fazına ait akımının simetrik bileşenleri konulduğunda

$$I_b = I_{a0} + a^2 I_{a1} + a I_{a2} \quad (1.20)$$

$$I_c = I_{a0} + a I_{a1} + a^2 I_{a2} \quad (1.21)$$

elde edilir ve eşitlikler matris formunda yeniden düzenecek olursa;

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \quad (1.22)$$

şeklinde yazılabilir. Eğer

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (1.23)$$

şeklinde yardımcı bir matris kullanılacak olursa,

$$A^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (1.24)$$

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (1.25)$$

elde edilir ki, akımların hesaplanması için gerekli bileşenler Eşitlik 1.26, 1.27 ve 1.28'de verildiği üzere verilebilir.

$$I_{a0} = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) \quad (1.26)$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3} (I_a + a I_b + a^2 I_c) \quad (1.27)$$

$$I_{a2} = \frac{1}{3} (I_a + a^2 I_b + a I_c) \quad (1.28)$$

Gerilim bileşenleri ise Eşitlik 1.29, 1.30 ve 1.31'de verildiği gibidir.

$$V_{a0} = \frac{1}{3} (V_a + V_b + V_c) \quad (1.29)$$

$$V_{a1} = \frac{1}{3} (V_a + a V_b + a^2 V_c) \quad (1.30)$$

$$V_{a2} = \frac{1}{3}(V_a + a^2 V_b + a V_c) \quad (1.31)$$

### 1.5.2 Simetrik Bileşenlerde Güç

Kompleks güç ifadesi Eşitlik 1.32’de verildiği gibidir.

$$S = P + jQ = VI^* = VI \cos \emptyset + jVI \sin \emptyset \quad (1.32)$$

Üç fazlı hatlar için kompleks güç ifadesi ise Eşitlik 1.33 ve 1.34’teki gibi verilebilir.

$$P + jQ = V_a I_a^* + V_b I_b^* + V_c I_c^* \quad (1.33)$$

$$P + jQ = [V_a + V_b + V_c] \begin{bmatrix} I_a^* \\ I_b^* \\ I_c^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_a^T \\ V_b^T \\ V_c^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a^* \\ I_b^* \\ I_c^* \end{bmatrix} \quad (1.34)$$

Dengesiz voltaj ifadeleri ise Eşitlik 1.35’te ifade edildiği gibidir.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = A V_{012} \quad (1.35)$$

Burada

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = V_{012} \quad (1.36)$$

şeklinde verilebilir. Burada

$$\begin{bmatrix} V_a^T \\ V_b^T \\ V_c^T \end{bmatrix} = (A V_{012})^T = A^T V_{012}^T \quad (1.37)$$

$$\begin{bmatrix} V_a^T \\ V_b^T \\ V_c^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \quad (1.38)$$

$$\begin{bmatrix} I_a^* \\ I_b^* \\ I_c^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0}^* \\ I_{a1}^* \\ I_{a2}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0}^* \\ I_{a1}^* \\ I_{a2}^* \end{bmatrix} \quad (1.39)$$

ifadelerinden faydalanıldığında görünür güç ifadesi Eşitlik 1.40, 1.41 ve 1.42’de verildiği üzere tekrar düzenlenebilir.

$$P + jQ = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} & V_{b1} & V_{c2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0}^* \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \quad (1.40)$$

$$P + jQ = \begin{bmatrix} V_{a0} & V_{b1} & V_{c2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0}^* \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \quad (1.41)$$

$$P + jQ = 3 \begin{bmatrix} V_{a0} & V_{b1} & V_{c2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0}^* \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \quad (1.42)$$

Dolayısıyla üç fazlı sistemlerdeki aktif ve reaktif güç bileşenleri sırasıyla Eşitlik 1.43 ve 1.44'te verildiği gibidir.

$$P = 3V_{a0}I_{a0}\cos\theta_0 + 3V_{a1}I_{a1}\cos\theta_1 + 3V_{a2}I_{a2}\cos\theta_2 \quad (1.43)$$

$$Q = 3V_{a0}I_{a0}\sin\theta_0 + 3V_{a1}I_{a1}\sin\theta_1 + 3V_{a2}I_{a2}\sin\theta_2 \quad (1.44)$$

## 1.6 İletim Hatlarında Koruma Yöntemleri

Normal veya arızalı durumlarda iletim hatları vasıtasıyla güç iletilirken iletim hattını korumak için uygulanan birçok koruma yöntemi olup ilerleyen kısımlarda kısaca bu yöntemlerden bahsedilecektir.

### 1.6.1 Aşırı Akım Koruması

Aşırı akım koruması, akım bir eşik değerini aştığında aşırı akım koruma röleleri vasıtasıyla kesicilerin aktif hale getirilmesi prensibiyle çalışmaktadır. Aşırı akım koruma rölelerinin koordinasyonu, zaman veya akım derecelendirmesi veya her ikisinin kombinasyonu ile gerçekleştirilebilmektedir [36].

Alternatif Akım (AA, AC: Alternative Current) sistemlerinde aşırı akım koruması, arıza akımlarının iyi bilinmesi sebebi ile başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Seçicilik eksikliği ve arıza akım seviyelerinin kaynak değişimlerine karşı duyarlılığının olmaması durumlarında ise iletim sistemlerinde aşırı akım koruması genellikle uygulanmamaktadır.

Doğru Akım (DA, DC: Direct Current) şebekelerinde aşırı akım korumasının uygulanması AA şebekelerinden farklıdır. Arıza akımının yüksek oranda artması ve

hızlı DA kesicilerde arıza akımının kesilmesi için gereken süre nedeniyle, maksimum arıza akımını sınırlamak için akım eşikleri düşük ayarlanmaktadır.

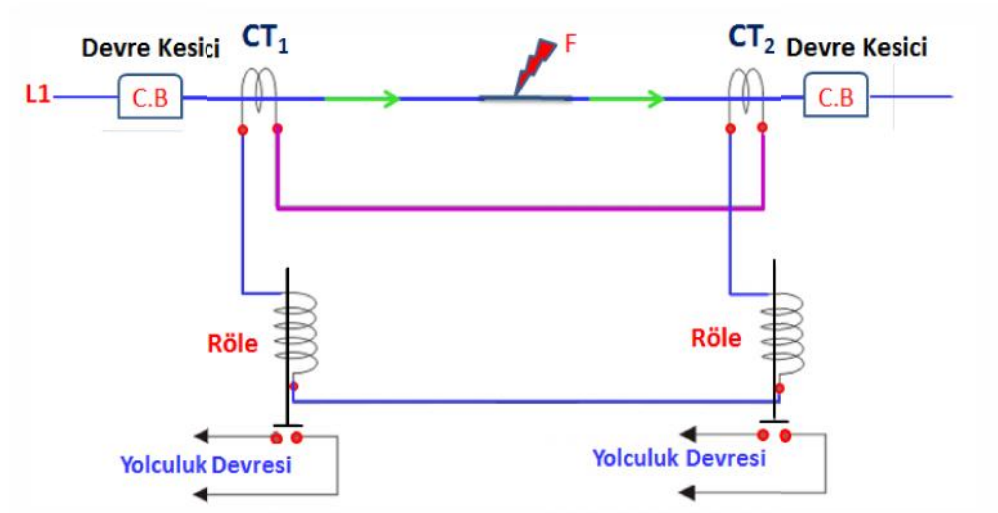
### **1.6.2 Yönlü Koruma**

Arıza için tek bir yönde röle tetiklemesinin sınırlandırılması gereksinimi yönlü korumayı beraberinde getirmektedir. Zira arıza akımı, iletim hattından yüke doğru veya karşıt yönde akıyor olabilir. Bu nedenle, röle koordinasyonunu sağlamak üzere aşırı akım rölesi yönlü yapılmakta olup yönlü koruma sağlayan rölelerde biri referans diğeri ise işletme akımı olmak üzere iki giriş yer almaktadır [37].

### **1.6.3 Diferansiyel Koruma**

Aşırı akım koruma rölelerinde küçük arıza koşulları ile yükler arasında hassas bir ayırım yapılamaması ciddi bir eksikliktir. Bu gibi durumlarda Şekil 1.8’de temel çalışma prensibi gösterilen diferansiyel koruma rölelerinin kullanılması çok daha uygun olabilmektedir. Dolayısıyla diferansiyel koruma rölelerinde sisteme giren ve çıkan akımların faz açıları ve büyüklükleri kıyaslanarak bir sonuca ulaşılmaktadır. Normal şartlar altında bu iki akımın büyüklüğü ve faz açısı aynı olacağından röle aktif değildir ancak bir arıza oluşup akımlar arasında herhangi bir farklılık olduğunda röle aktif hale gelir.

Bununla birlikte sistemin stabil olarak çalışabilmesi için röleye fark akımının referans olarak tanımlanması gereklidir. Dolayısıyla fark akımının bu referans değeri aşması sonrasında röle kesici sisteme gereken işaretleri aktaracaktır [38].



Şekil 1.8 Diferansiyel Koruma Rölesinin Çalışma Prensibi [39]

#### 1.6.4 Mesafe Koruma

Mesafe koruma, iletim hatları için gerekli olan korumanın sağlanabilmesi ve aynı zamanda hatların kademeli olarak korunabilmesi için en iyi yöntemlerden birisidir. Zira sistemde kullanılan mesafe röleleri arızanın meydana gelmiş olduğu mesafeye göre tepki vermektedir.

İlerleyen bölümlerde mesafe röleleri ile ilgili daha detaylı bilgiler verilecektir [37].

## BÖLÜM 2

### ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE KORUMA RÖLELERİ

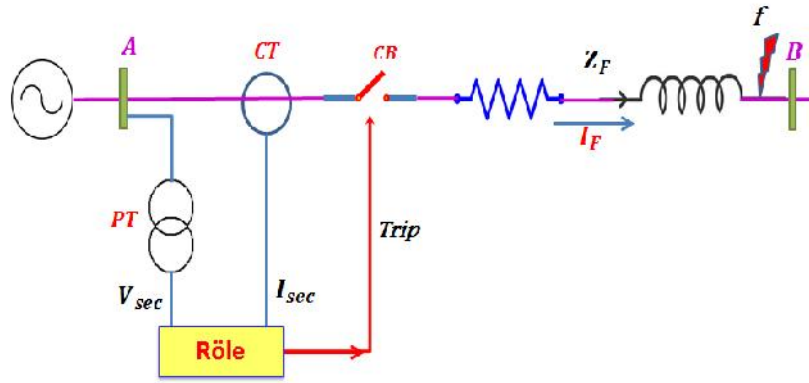
#### 2.1 Koruma Rölesi Temelleri

Elektrik enerjisinin talep edilen miktarda, doğru gerilim ve frekans değerlerinde anlık olarak kullanıcıya ulaştırılabilmesi için çok karmaşık bir elektrik ağına gereksinim duyulmaktadır. Böyle büyük ve karmaşık bir ağ yapısı içerisinde yük değişimleri, doğal afetler, ekipman ya da operatör hataları nedenleriyle arızalar oluşabilmektedir. Dolayısıyla elektrik enerjisinin uygun bir şekilde sıkıntısız olarak aktarılabilmesi için oluşan bu arızaların hızlı bir şekilde giderilebilmesi gereklidir. Koruyucu röleler, elektrik güç sistemlerindeki anormal durumları algılayarak normal durumuna geri getirebilmek için olabildiğince hızlı bir şekilde düzeltici hareketi başlatan cihazlar olarak tanımlanabilir. Koruyucu rölelerin vermiş olduğu yanıtın çabukluğu, koruyucu röle sistemlerinin vazgeçilmez bir unsurudur [37].

##### 2.1.1 Rölelerin Çalışma Esasları

Elektrik güç sistemlerinde kullanılan koruma röleleri, herhangi bir anda düzeltme eyleminin gerekli olduğunu onaylamak için çok çeşitli parametreleri değerlendirebilmelidir. Genel olarak, bir röle herhangi bir gözlemlenebilir parametreye veya etkiye cevap verecek şekilde tasarlanmaktadır [38]. Bir arızanın varlığını yansıtan en yaygın parametreler korunan cihazın terminallerindeki akım ve gerilim değerleridir.

Güç sisteminin korunmasında temel sorun, normal ve anormal koşullar arasında ayırım yapabilecek miktarları tanımlamaktır. Güvenli yönlendirme sisteminin tasarlanmasında büyük öneme sahip olan bu husus, tüm koruma sistemlerinin tasarımında hakimdir. Şekil 2.1’de basit bir röle bağlantı yapısı gösterilmiştir.

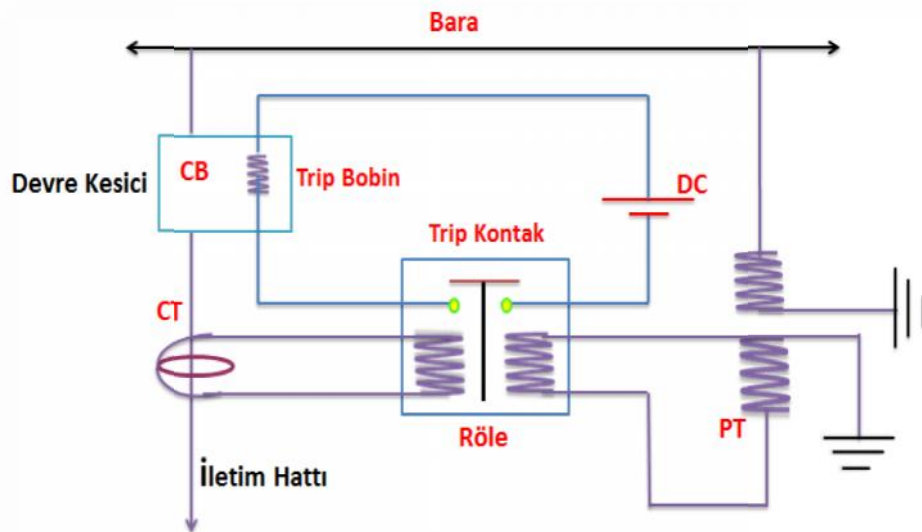


Şekil 2.1 Koruma Rölesi Bağlantı Yapısı [40]

İlerleyen kısımlarda koruma rölesi sistemlerinde kullanılan bazı temel ekipmanlardan bahsedilecektir.

#### 2.1.1.1 Akım Transformatörleri (AT, CT: Current Transformers)

Akım Transformatörleri (AT, CT: Current Transformer), yüksek gerilim sistemlerinde akım ölçümü ve koruması için kullanılmakta olan en temel elemanlardandır. Bu transformatörler, yüksek voltaj tarafındaki yüksek akımı, ölçüm ve koruma cihazlarında işlenebilecek kadar düşük akım seviyelerine indirmekle sorumludur.



Şekil 2.2 Akım Transformatörleri [41]

Bunun yanında, bir akım transformatörü Şekil 2.2’de gösterildiği üzere ölçme aygıtlarını izlenen devrenin yüksek geriliminden izole de etmektedir [43, 37]. Akım transformatörlerinin akım oranları genellikle 2000/5, 1200/5, 600/5, 200/5 ve 100/5’dir.

#### **2.1.1.2 Gerilim Transformatörleri (GT, VT-PT: Voltage-Potential Transformers)**

Gerilim transformatörleri, voltajın seviyesinin yüksek bir değerden daha düşük değerlere dönüştürülmesi için kullanılan transformatörlerdir. Dolayısıyla gerilim transformatörleri ilgili gerilim seviyesini ölçüm cihazlarının güvenli bir şekilde ölçebileceği seviyeye indiren cihazlardır. Sekonder voltaj değerleri 69 V, 115 V ve 120 V gibi değerlerdir.

### **2.2 Koruma Rölelerinin Sınıflandırılması**

İlgili kısımda elektrik güç sistemlerinin korunmasında kullanılmakta olan koruma rölelerinden bahsedilecektir.

#### **2.2.1 Elektromekanik Röleler**

Elektromekanik röleler, elektrik güç sistemlerini korumak için kullanılan ilk röle yapılarından birisi olup uzun bir geçmişe sahiptir. Elektromekanik cihazlar, endüktif bir kap ve bir endüksiyon diskinden oluşmaktadır. Elektromekanik rölelerin, yüksek tork, sertlik, yüksek çalışma hızı ve güvenilirlik gibi pek çok avantajına karşın hareketli parçalardan oluşması sebebi ile sürtünme ve yüksek enerji tüketimi dezavantajları vardır.

#### **2.2.2 Statik Röleler**

Statik röleler veya katı hal röleleri, katı hal aygıtları ve diğer ilişkili bileşenler kullanılarak 1950’lerde geliştirilmiştir. Yüksek çalışma hızı, hassasiyet, güvenilirlik, titreşime karşı dayanıklılık ve küçük boyutlarda olma gibi birçok avantajları vardır. Elektromekanik rölelerdeki tüm koruma fonksiyonlarını ve karakteristiklerini sağlayabilen statik röleler maliyet açısından elektromekanik rölelere kıyasla biraz daha yüksek bir maliyete sahiptir. Aynı zamanda yüksek ortam sıcaklığı ve yaşlanma etkilerine karşı dayanımları, elektromekanik rölelerden daha düşüktür [34, 45].

### 2.2.3 Mikroişlemci Tabanlı Koruma Röleleri

Mikroişlemci tabanlı koruma röleleri bu alandaki en son geliştirilen cihazlardır. Mikroişlemci tabanlı rölelerin statik röle üzerindeki en önemli avantajı programlanabilir nitelikte olmalarından dolayı esneklik sağlamalarıdır [17]. Büyük ölçekli tümleşik devrelerin maliyetindeki düşüş eğilimi, modern kompleks güç şebekelerinin korunması için mikroişlemci tabanlı rölelerin yaygınlaşmasını kolaylaştırmakta ve mikroişlemci tabanlı koruma rölelerinin düşük maliyetle koruma sağlayabilmelerine ve geleneksel rölelerle rekabet edebilmelerine olanak sağlamaktadır. Farklı koruma rölelerinin özellikleri Tablo 3.1’de karşılaştırılmıştır [42].

**Tablo 2.1** Farklı Tip Koruma Rölelerin Karşılaştırılması [42]

| Karakteristik                     | Elektromekanik Röle                                              | Statik Röle                                      | Dijital Röle                                                | Nümerik Röle                                                |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| <b>Çalışma Prensipleri</b>        | Elektromanyetik                                                  | Transistör ve IC                                 | Mikroişlemci                                                | Mikroişlemci                                                |
| <b>Ölçüm Elemanları / Donanım</b> | İndüksiyon Diski, Elektromıknatıs, İndüksiyon Kabı, Denge Kirişi | R, L, C, Transistörler, Analog IC Karşılaştırıcı | Mikroişlemciler, Dijital IC’ler, Dijital Sinyal İşlemcileri | Mikroişlemciler, Dijital IC’ler, Dijital Sinyal İşlemcileri |
| <b>Ölçüm Yöntemi</b>              | Elektriksel Büyüklüklerin Kuvvet ve Torka Dönüştürülmesi         | Analog Referans Değerler ile Karşılaştırma       | A/D Dönüşüm, Sayısal Algoritma Teknikleri                   | A/D Dönüşüm, Sayısal Algoritma Teknikleri                   |
| <b>Cevap Hızı</b>                 | Yavaş                                                            | Hızlı                                            | Hızlı                                                       | Çok hızlı                                                   |
| <b>Güvenilirlik</b>               | Yüksek                                                           | Düşük                                            | Yüksek                                                      | Yüksek                                                      |
| <b>Yardımcı Besleme</b>           | Gerekli                                                          | Gerekli                                          | Gerekli                                                     | Gerekli                                                     |
| <b>Bakım</b>                      | Devamlı                                                          | Devamlı                                          | Düşük                                                       | Çok Düşük                                                   |
| <b>Röle Programlama</b>           | Yok                                                              | Kısmi                                            | Programlanabilir                                            | Programlanabilir                                            |
| <b>Arıza Düzensizlik Kaydı</b>    | Mümkün değil                                                     | Mümkün değil                                     | Mümkün                                                      | Mümkün                                                      |

### 2.3 Mesafe Röleleri

Mesafe koruması, yüksek ve ekstra yüksek gerilim iletim ve alt iletim hatlarının korunması için yaygın olarak kullanılan bir koruyucu tekniktir. Mesafe koruma metodu, arıza ve röle arasındaki empedansı hesaplamak için rölenin bulunduğu konumdaki üç fazlı akım ve voltaj bilgilerini kullanmaktadır. Mesafe rölesi, esas itibari ile bir empedans rölesi olup hatların ve şebekelerin empedansları uzunluğa bağlı olarak değiştiğinden mesafe rölesi olarak adlandırılmaktadır [38]. Modern mesafe röleleri, yüksek hızlarda arıza giderebilmekte olup özellikle aşırı akım koruma rölelerinin yavaşladığı karmaşık şebekelerde kullanılmaktadır [32]. Mesafe röleleri, çok fazla sayıda çeşitleri bulunan ve dolayısıyla da çok farklı çalışma mantığına sahip olan rölelerdir.

Mesafe koruma rölelerinin sınıflandırılmasında kullanılan en önemli kriter direnç-reaktans (R-X) diyagramı olup hem röle tepkisini analiz etmek hem de görselleştirmek için R-X diyagramının kullanılması uygun olmaktadır. İlerleye kısımlarda R-X diyagramına bağlı olarak mesafe rölelerinin çeşitlerinden söz edilecektir [34].

#### 2.3.1 Empedans Rölesi

Empedans rölesi, korunacak devrenin voltaj ve akım oranına bağlı olarak çalışmaktadır [17]. Denge noktası, röle için R-X diyagramı üzerinde empedansa bağlı olarak yer alan bir daire olarak ifade edilebilir. Devre empedansı, röle için denge noktasını tanımlayan daire içine girecek olursa röle devreye girmektedir [46].

#### 2.3.2 Reaktans Rölesi

Reaktans röleleri, ölçülen reaktans değerine göre değerlendirme yapıp direnç değişiminden etkilenmeyen cihazlardır. Korunan hat üzerindeki bir arıza durumunda ölçülen reaktans, röle konumu ile arıza noktası arasındaki hattın reaktansı olup R-X diyagramında karakteristiği, X eksenine paralel düz bir çizgidir [47, 43].

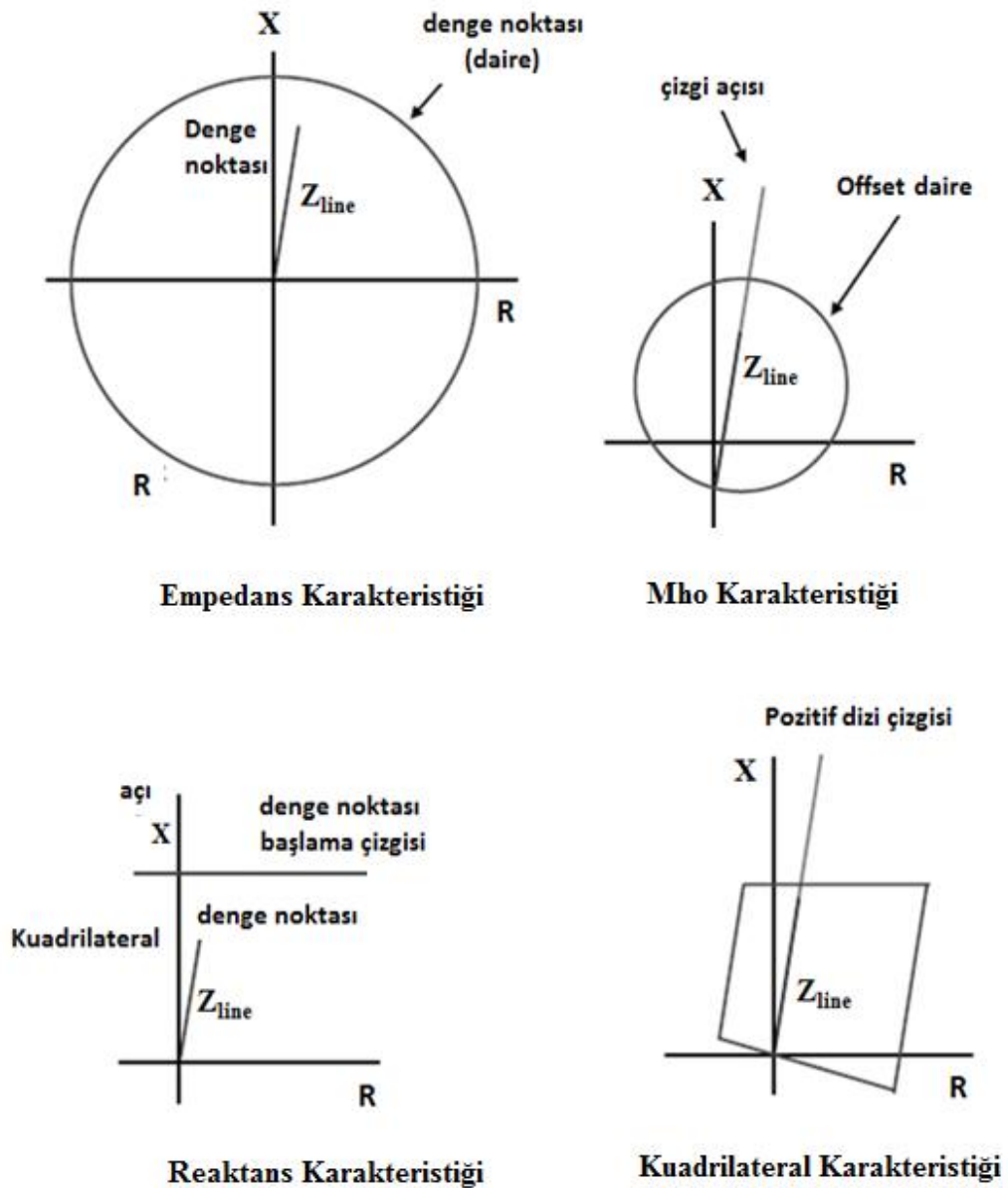
#### 2.3.3 Giriş (Mho) Rölesi

Yönlü bir röle çeşidi olup empedansa bağlı olarak çalışan bir röledir [43].

### 2.3.4 Kuadrilateral (Dört Kenarlı) Röle

R-X diyagramında, R ve X değerleriyle kesişen bir paralel kenar karakteristiğiyle çalışan bir röle olup devre empedansı denge noktasını tanımlayan bu geometri içerisine girecek olursa röle aktif hale gelmektedir [47-43].

Şekil 2.3'te mesafe rölelerinin R-X diyagramı ile olan ilişkileri gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Mesafe Rölesi Çeşitlerinin R-X Diyagramı ile İlgili Karakteristikleri [43]

## 2.4 Mesafe Korumanın Temelleri

Mesafe koruma şeması normalde uzun iletim hatlarını korumak için uygulanılmakta olup havai hatlar için ana koruma görevi görmekte ve şebekenin bitişik bölümlerine yedek koruma sağlamaktadır. Mesafe koruması, aşırı akım koruması ile kıyaslandığında daha hızlı ve daha seçicidir. Ayrıca, güç sistemi koşullarındaki değişikliklere daha az duyarlıdır. Dijital uzaklık korumasının bir diğer avantajı, bir iletişim bağlantısı uygulandığında yeni bir cihazın koruma şemasına kolayca adapte edilebilmesidir.

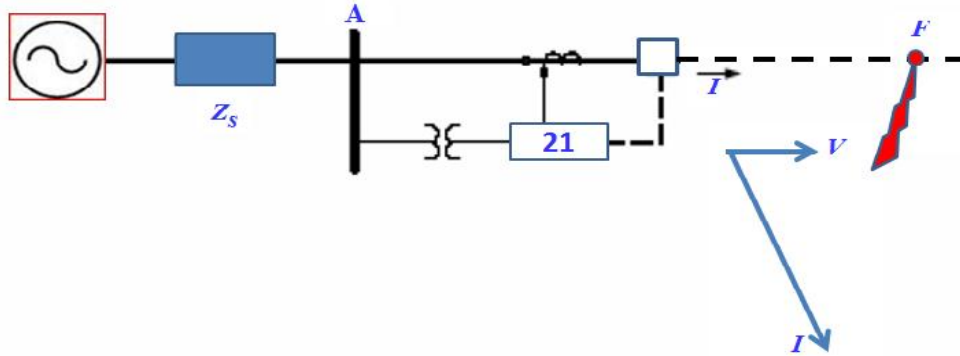
Temel olarak mesafe rölesi, bir iletim hattının arızalı bölümünün empedansını ölçülen voltajlardan ve röle konumundaki akımlardan saptayarak bu empedansı daha sonra korunacak iletim hattının ayarlanan empedansı ile karşılaştırmaktadır. Ölçülen arıza empedansı, iletim hattının ayarlanmış empedansından küçükse, röle ile arıza arasındaki iletken hattında bir arıza bulunduğu varsayılmaktadır. Akım ve gerilim ölçülmesinde akım ve gerilim transformatörleri kullanıldığı için ölçülen empedans sekonder tarafa ait olan empedans değeridir. Dolayısıyla Eşitlik 2.1 dikkate alınarak empedans değeri değerlendirilmelidir [45].

$$Z_{sec} = \frac{I_{prim}/I_{sec}}{V_{prim}/V_{sec}} \cdot Z_{prim} \quad (2.1)$$

Daha önce çeşitleri açıklanan mesafe röleleri, kesin ve zamanlı olmak üzere iki farklı mantıkla tasarlanabilmektedir. Kesin mesafe röleleri önceden belirlenmiş belirli bir aralıktaki arızalar için anlık olarak çalışmaktadırlar. Zamanlı mesafe röleleri ise belirli bir süreyi temel alarak aktif hale gelmektedir. Buradaki süre, rölenin ayarlandığı noktadan arızanın gerçekleştiği nokta arasındaki mesafe ile orantılıdır.

## 2.5 Mesafe Ölçme Prensipleri

Mesafe koruma sistemlerindeki temel ilkeyi açıklayan "Hattın Empedans Konumu" ifadesi sıklıkla kullanılan bir terimdir ve Şekil 2.4'te gösterildiği üzere bir röle tarafından korunan üç fazlı bir sistemde arıza yaşandığında arıza akımlarının kaynaktan beslenmesi nedeniyle normal duruma göre çok daha büyük bir değerde olması ile ilgilidir [44].



**Şekil 2.4** Mesafe Rölesi ile Bir İletim Hattının Korunması [44]

### 2.5.1 Empedans Hesaplama

Empedans, ölçülen akım ve gerilimler vasıtasıyla hesaplanmaktadır. Farklı arıza durumlarında, tutarlı sonuçlar elde etmek için farklı akım ve gerilim kombinasyonlarının kullanılması gerekmektedir.

Birden fazla koruma rölesinin yer almış koruma sistemlerinde uygun bir korumanın sağlanabilmesi için Faz-Faz arızaları ile ilgili olarak Tablo 2.2’de verilen değerler kullanılarak empedansların hesaplanması gerekmektedir [45].

**Tablo 2.2**Faz-Faz Arası Arıza Empedansı Hesaplama Kriterleri [45]

|                | Gerilim     | Akım        | Röle Yanıt Verme Kabiliyeti                   |
|----------------|-------------|-------------|-----------------------------------------------|
| Röle Elemanı 1 | $V_a - V_b$ | $I_a - I_b$ | Faz A’dan Faz B’ye<br>Faz A- Faz B-<br>Toprak |
| Röle Elemanı 2 | $V_b - V_c$ | $I_b - I_c$ | Faz B’den Faz C’ye<br>Faz B- Faz C-<br>Toprak |
| Röle Elemanı 3 | $V_c - V_a$ | $I_c - I_a$ | Faz C’den Faz A’ya<br>Faz C- Faz A-<br>Toprak |

Faz-Toprak arıza meydana geldiğinde arızalı hattaki akım ile gerilim değerleri kullanıldığında ölçülen empedans değeri değerlendirilmek istenen empedans değeri olmayacaktır. Dolayısıyla bu tip arızalarda Tablo 2.3'te verilen değerler ile empedansların hesaplanması gerekmektedir [45].

**Tablo 2.3** Faz-Toprak Arıza Empedansı Hesaplama Kriterleri [45]

|                | Gerilim | Akım          | Röle Yanıt Verme Kabiliyeti |
|----------------|---------|---------------|-----------------------------|
| Röle Elemanı 4 | Va      | $I_a + k3I_0$ | Faz A'dan - Toprak          |
| Röle Elemanı 5 | Vb      | $I_b + k3I_0$ | Faz B'den - Toprak          |
| Röle Elemanı 6 | Vc      | $I_c + k3I_0$ | Faz C'den - Toprak          |

Tablo 2.3 'te yer alan k sabiti Eşitlik 2.2'de verildiği gibi ifade edilebilir.

$$k = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1} \quad (2.2)$$

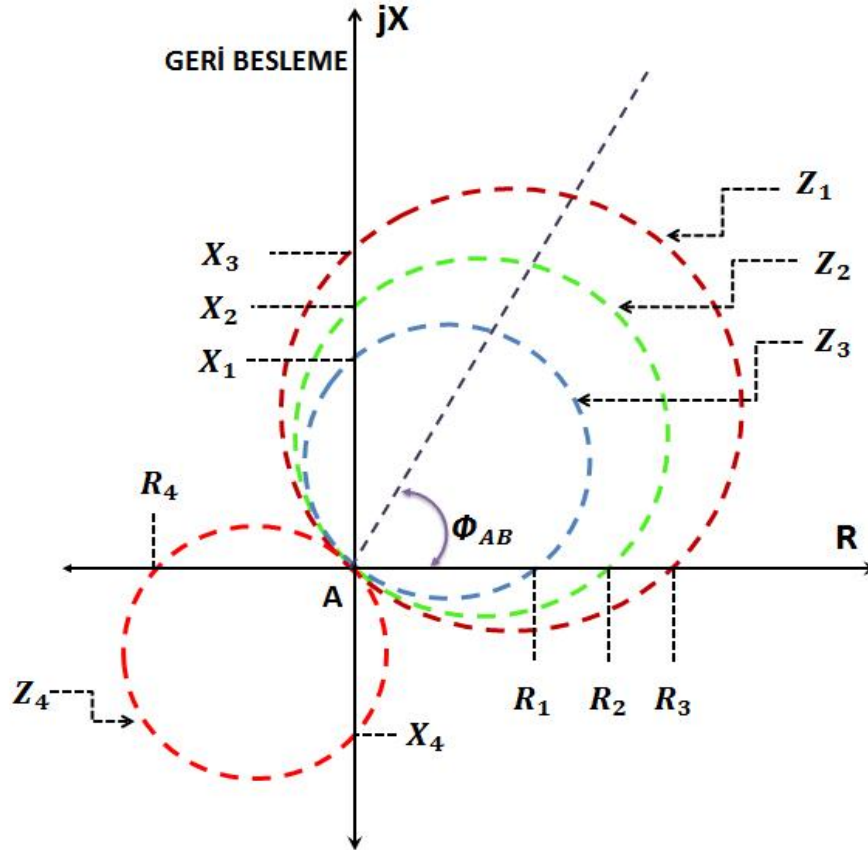
Eşitlik 2.2'de yer alan  $z_0$  ve  $z_1$  sembolleri sırasıyla sıfır ve pozitif dizi empedanslarını göstermektedir.

### 2.5.2 Koruma Bölgeleri

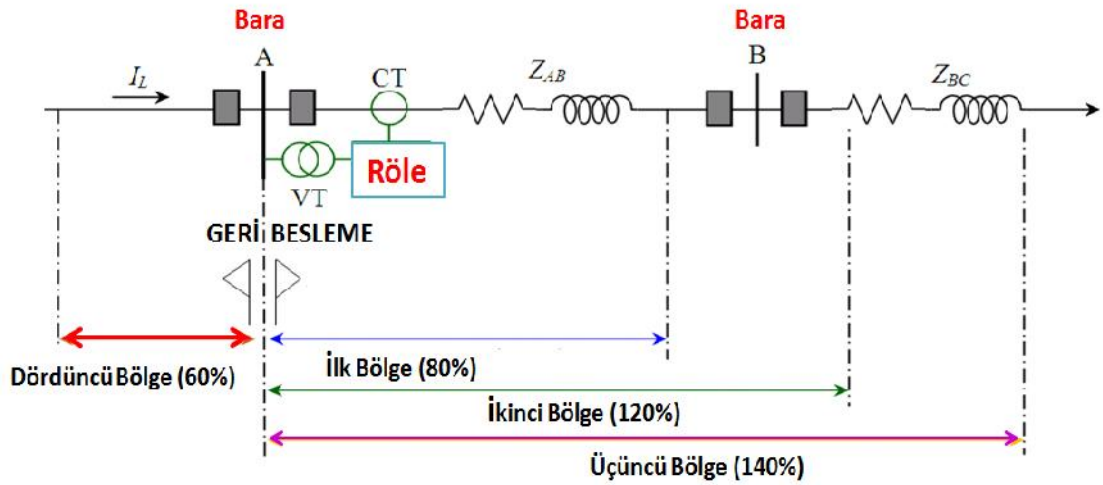
Bir elektrik güç sistemi şebekesinde koruma bölgeleri, güç sisteminin korunacak her bir parçası olarak ifade edilebilir [1]. Devre kesiciler ve röleler, güç sisteminin bir veya daha fazla bileşenini kapsayan her bir bölge ile ilişkilendirilmektedir. Kesiciler, hatalı koşullar altında korunan bölgenin izole edilmesini mümkün kılacak şekilde düzenlenmiştir ve geri kalan elektrik şebekesi tüketicilere güç sağlamaya devam eder. Güç sistemi hatalı veya anormal bir durumla karşılaştığında koruyucu röleler önce bu durumu tanımlamakta ve etkilenen bölgeyi izole etmek için uygun devre kesicilere açma sinyalleri göndermektedir [48]. Koruyucu röleler aynı zamanda arıza riskini karşılamak için, bitişik bölgelerde yedek koruma da sağlanmaktadır. Dolayısıyla birincil

röleler arızalı bölgeyi izole etmekte başarısız olursa, yedek röleler arızalı bölgeyi ve arızalı bölgeye bağlı bitişik bölgeleri izole etmektedir.

Modern dijital mesafe rölelerinde yedek koruma, basamaklı mesafe özelliklerini kullanarak sağlanmaktadır. Böyle bir koruma şemasında her mesafe rölesi, bir iletim sisteminin belirli bir bölümünü korumak için üç farklı koruma bölgesi temel alınarak ayarlanmaktadır [1, 45]. Dijital mesafe rölesine ait tipik üç bölge karakteristiği ve iletim hattı ağının üç koruma bölgesi sırasıyla Şekil 2.5 ve 2.6'da gösterilmiştir.



**Şekil 2.5** Mesafe Rölesine ait Temel Karakteristik [46]



**Şekil 2.6** Mesafe Rölesine ait Temel Koruma Bölgeleri[46]

Bir dijital mesafe rölesinin birinci bölgesi veya yüksek hızlı bölgesi, birinci bölgedeki hat uzunluğunun yaklaşık 80 % 'ini kaplayarak korunacak iletim hattına birincil koruma sağlamaktadır. Bir dijital mesafe rölesinin ikinci bölgesi korunması gereken iletim hattının tamamını ve bir sonraki hat bölümünün yaklaşık 50 % 'sini kapsar. Genellikle, rölenin ikinci bölgede çalışması için 0.25 ila 0.5 sn arasında bir zaman gecikmesi sağlanmaktadır [32, 1]. Dijital mesafe rölesinin üçüncü bölgesi, birinci ve ikinci hat bölümlerini kapsar. Üçüncü bölge, komşu devrenin ikinci bölgesi ile mesafe ve zaman açısından koordine edilir. Genellikle, rölenin üçüncü bölgedeki çalışma süresi yaklaşık 0.5 ila 1 sn'dir [45, 1]. Arka görüş mesafesi röleleri, Şekil 2.6'da gösterildiği üzere arızaları dördüncü bölgede yani ters yönde tespit edecek şekilde ayarlanmıştır. Uygulamaya bağlı olarak dördüncü bölge röleleri anlık veya zamanlı özellikte olabilmektedir [43]. Sonuç olarak bir dijital mesafe rölesi, iletim hattının ötesinde farklı bölgeleri koruma kabiliyetine de sahip olabilmektedir [1].

Mesafe rölelerinin bölge koruma performanslarıyla alakalı olarak başlangıç zamanı ve açma zamanı olmak üzere iki önemli kriter bulunmaktadır. Başlangıç zamanı, ölçüm sistemine bağlı olarak arıza başlangıcına kadar geçen süre olarak tanımlanmaktadır [45]. Açma zamanı ise arıza başlangıcından açma kontağının kapanmasına kadar geçen süre olarak ifade edilmektedir.

### 2.5.3 Ana ve Yedek Koruma

Güç sistemlerindeki koruma şeması genel olarak tüm arızaları güvenilir bir şekilde gidermek için bir ana koruma ve bir yedek korumadan oluşmaktadır. Prensip olarak, sistemde meydana gelen arızalar, mümkün olan en kısa sürede giderilmeli ve minimum kesintiye neden olmalıdır. Bu önemli fonksiyon ana (birincil) koruma tarafından sunulmaktadır [49]. Bununla birlikte ana koruma her zaman mükemmel şekilde çalışmayabilir. Örneğin, ana koruma rölesinde meydana gelebilecek bir güç kaynağı arızası, ölçüm transformatörlerindeki arızalar, veri aktarım cihazı arızası, devre kesici arızası veya ana koruma rölesi arızaları nedeniyle sistem düzgün olarak çalışmayabilir. Bu gibi durumlarda, güç sisteminin sağlıklı bir şekilde çalışmaya devam edebilmesi yedek korumaya bağlıdır. Dolayısıyla yedek koruma, ayarlanmış bir zaman gecikmesiyle güç sisteminin korunması sağlamaktadır. Ana koruma ile zaman eşgüdümünü sağlayabilmek için, yedek koruma zaman gecikmesi aşağıdaki faktörler dikkate alınarak belirlenir:

- Ana koruma rölesinin çalışma süresi,
- Kesici çalışma süresi,
- Yedek koruma rölesinin sıfırlama zamanı.

Yerel ve uzaktan yedek koruma olmak üzere iki farklı yedek koruma sistemi vardır [34]. Yerel yedek koruma, ana koruma ile aynı yerde yedek koruma sağlamakta ve devre kesici çalışmadığında devreye girmektedir. Uzaktan yedek koruma ise ana koruma ve yerel korumanın aynı sebeplerden dolayı devre dışı kalmış olduğu durumlarda farklı bir istasyondan koruma sağlanabilmesi amacıyla kullanılmaktadır.

### 3. BÖLÜM

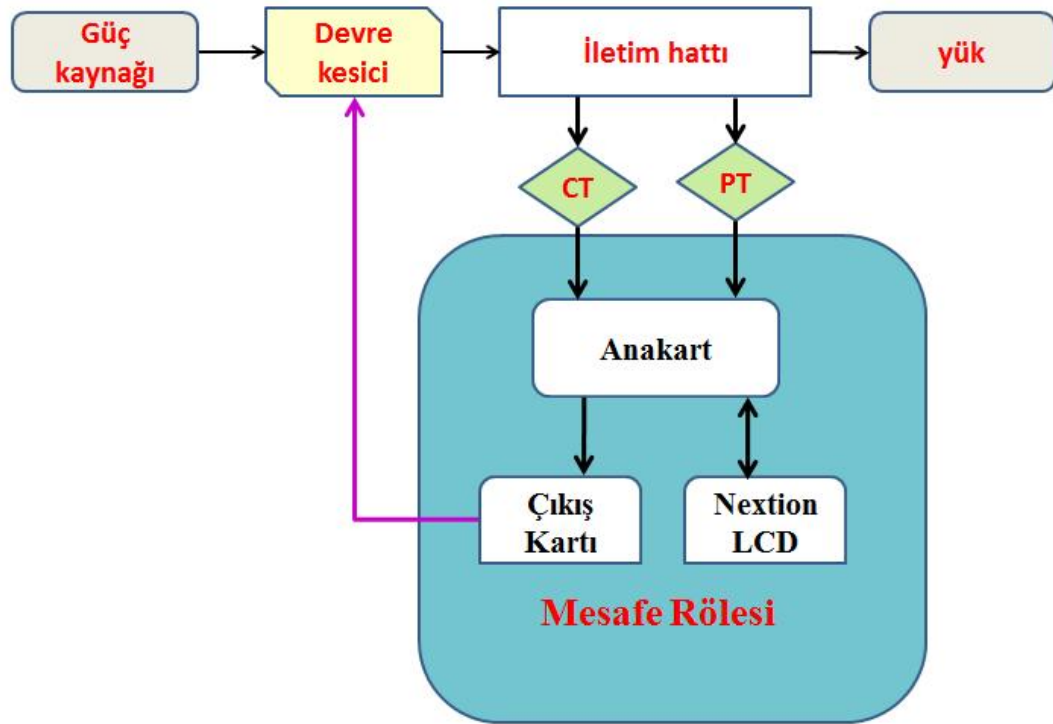
#### PROTOTİP MESAFE RÖLESİ

##### 3.1 Yöntem

Herhangi bir elektrikli güç sisteminde koruyucu sistemler, üretimin sona erdiği noktadan kullanıcı tarafına kadar güvenilirliğin ve sürekli akışın sağlanabilmesi için kilit unsur olarak düşünülmektedir. Bir koruma şeması elektrik iletim hatlarını ve güç üreten ekipmanı, tüm güç sistemini çökertebilecek arızalara ve buna bağlı kısa devrelere karşı korumak durumundadır. Dolayısıyla koruyucu röle, AC gerilim ve akımların izlenmesi işlevini yerine getirmekte ayrıca arızaları bularak sınıflandırmakta ve devre kesicilerin tetikleme sinyalini üreterek hatalı kısmın sistemin diğer kısımlarından ayrılma işlemini başlatmaktadır [37]. İlerleyen kısımlarda tez çalışmasında prototip olarak gerçekleştirilen mesafe rölesine ilişkin detaylardan söz edilecektir.

##### 3.2 Prototip Mesafe Rölesi Temel Bileşenleri ve Çalışma Mantığı

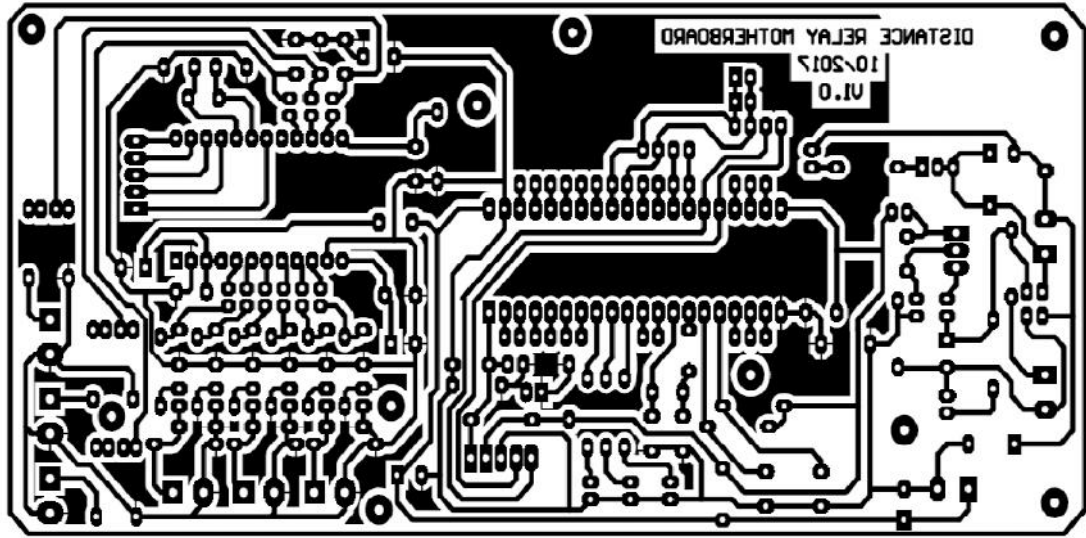
Tez çalışmasında gerçekleştirilen prototip tasarıma ait temel bileşenler Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Gerçekleştirilen prototipte hat ile ilgili değerlerin alınması ve değerlendirilmesi sürecinde ADE7758 üç fazlı ölçüm entegresi ile yüksek hızlarda işlem yapabilme kabiliyetine sahip DSPIC30F4011 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. ADE7758 entegresi, üç fazlı sistemlerde akım, gerilim, aktif güç, reaktif güç, görünür güç ve frekans verilerini hassas ve doğru bir şekilde ölçebilme kabiliyetine sahip olan bir ölçüm tüm devresidir.



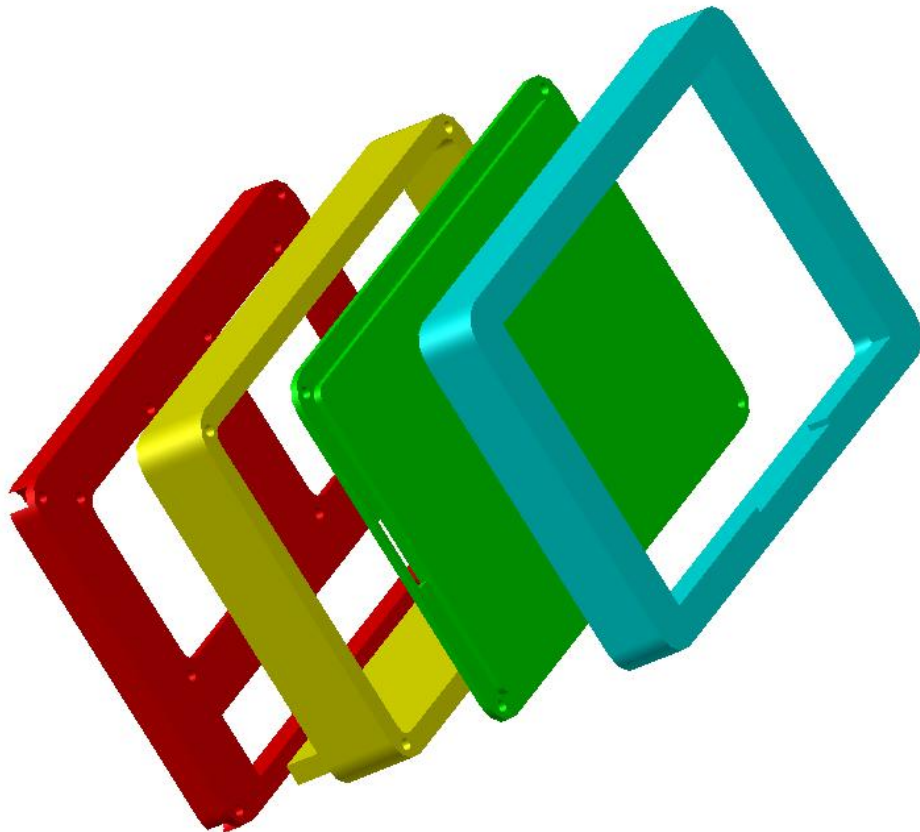
**Şekil 3.1** Prototip Mesafe Rölesinin Blok Şeması

Şekil 3.1’de gösterilen yapıda anakart üzerinde ADE7758 tüm devresi ile DSPIC30F4011 mikrodeneleyicisi birlikte yer almakta olup ölçüm tüm devresi tarafından ölçülen değerler mikrodeneleyici tarafından değerlendirilmekte ve ardından gerekli durumlarda çıkış kartına gereken işaretler gönderilmektedir. Aynı zamanda ilgili kontrol elemanı röle bünyesinde yer alan dokunmatik ekran ile sürekli iletişim halinde bulunup gerek verilerin kullanıcıya aktarılmasında gerekse de kullanıcı tarafından verilebilecek komutların uygulanmasında en önemli işleve sahip olan elaman konumundadır. Şekil 3.2’de tez çalışmasında gerçekleştirilen mesafe rölesinin anakartına ait baskı devre şeması gösterilmiştir.

Mesafe rölesinin temel bileşenlerinin yerleştirilmiş olduğu kasa dört temel kısımdan oluşmakta olup üç boyutlu tasarım sürecinin ardından üç boyutlu yazıcı kullanılarak üretilmiştir. Şekil 3.3’te kasa bileşenlerinin üç boyutlu tasarım görüntüleri gösterilmiştir.

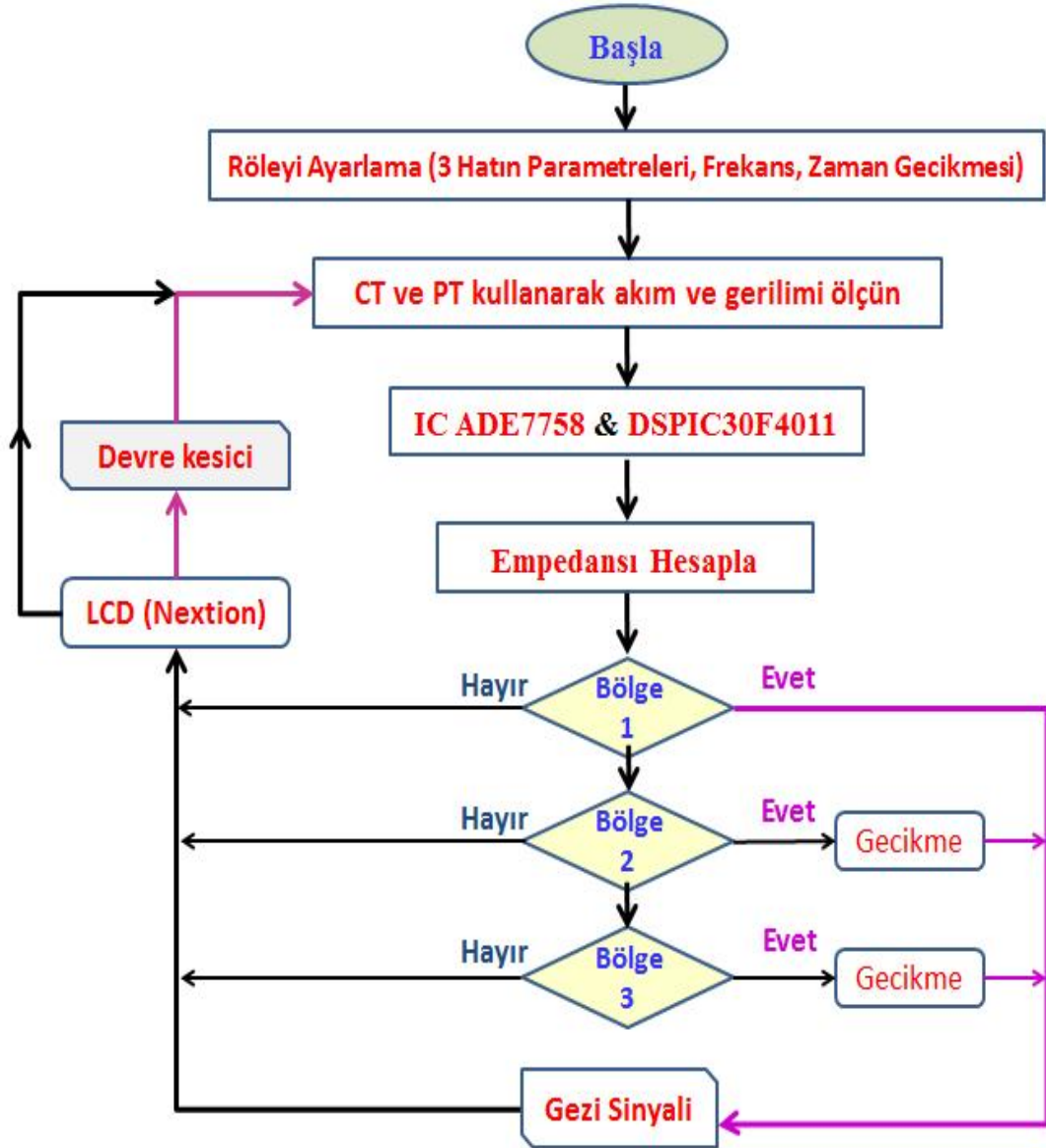


Şekil 3.2 Mesafe Rölesi Anakartına ait Baske Devre Şeması



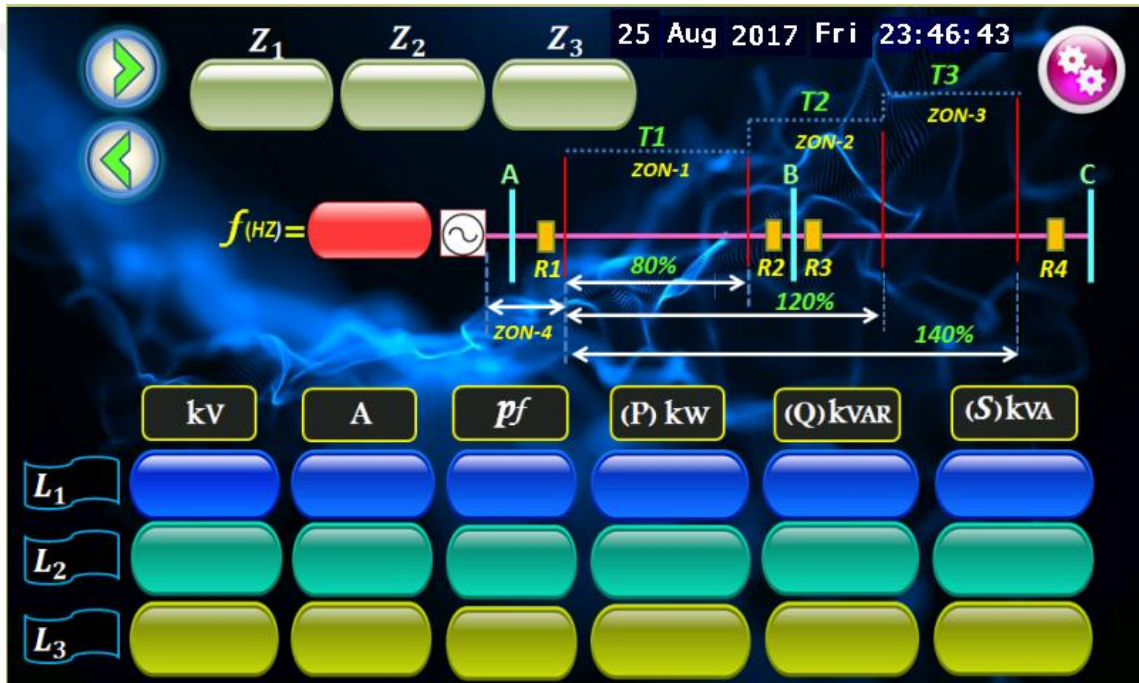
Şekil 3.3 Mesafe Rölesine ait Kasaya ait Bileşenlerin Üç Boyutlu Tasarım Görüntüsü

Kullanıcılar için görsel ve kontrolü kolay olan bir ara yüzü oluşturabilmek adına ITEAD firması tarafından geliştirilmiş bulunan ve dokunmatik özelliğe sahip olan 7 ” büyüklüğünde bir LCD (Liquid Crystal Display) ekran kullanılmıştır. İlgili ekran üretici firma tarafından geliştirilen ayrı bir derleyici tarafından programlanabilmekte ve ileri seviyede gelişmiş ara yüzlerin oluşturulmasına olanak sağlayabilmektedir. Prototipi gerçekleştirilen mesafe rölesinin çalışma mantığını gösteren temel akış diyagramı Şekil 3.4’te gösterilmiştir.



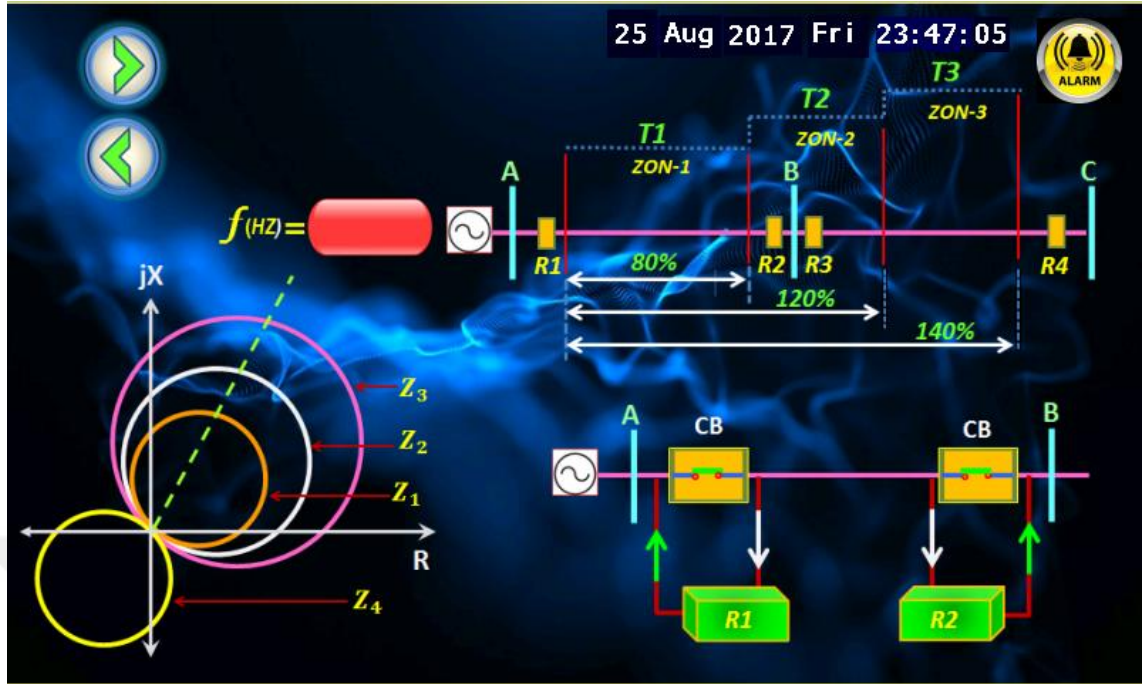
Şekil 3.4 Mesafe Rölesinin Çalışma Prensibine ait Temel Akış Diyagramı

Şekil 3.4'ten de görülebileceği üzere sistem aktif olarak çalıştırıldıktan sonra iletim hattından ölçüm tüm devresi tarafından ölçülen değerler mikrodeneleyici tarafından değerlendirilmekte ve gereken hesaplamaların yapılmasının ardından ekranda bu değerler gösterilmektedir. Olası arıza durumunda ise arızalı durum ekranda gösterilmekte ve kullanıcıya arıza ile ilgili temel bilgiler sunulmaktadır. Aynı zamanda kesiciler için gerekli işaretler üretilmekte ve kesiciye gönderilmektedir. Şekil 3.5'te prototip mesafe rölesinin verilerin anlık olarak gösterildiği ana ekran görüntüsü verilmiştir.



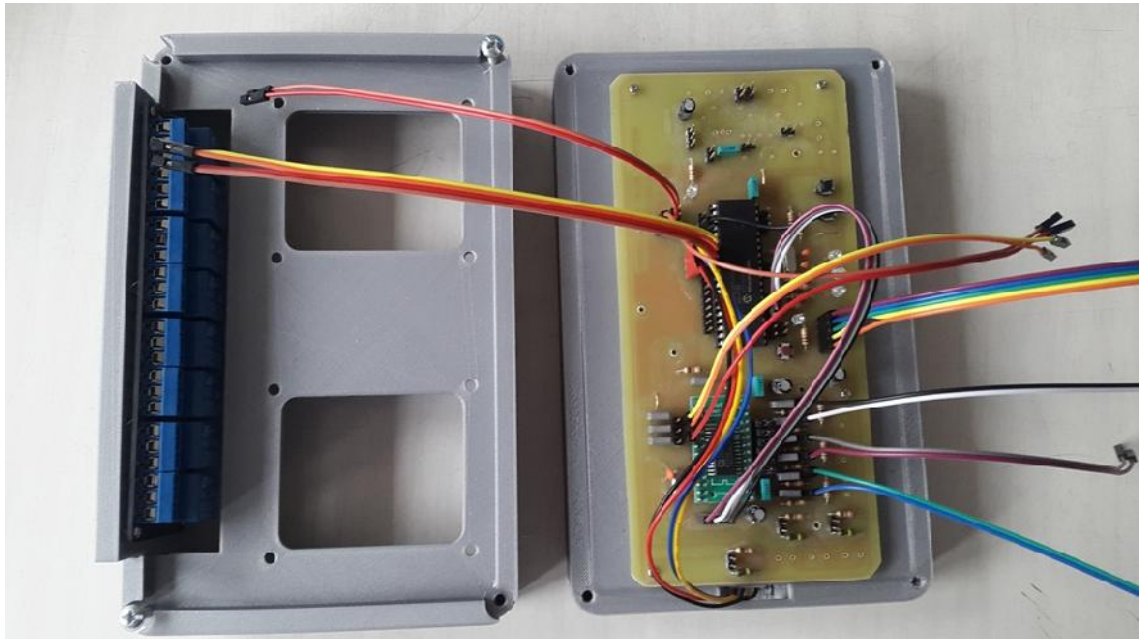
Şekil 3.5 Mesafe Rölesi Ana Ekranı

Şekil 3.5'te gösterilen ekran görüntüsü röleye ait ekranın programlanması esnasında alınmış olan bir görüntüdür. Benzer şekilde mho karakteristiğini gösteren ekran görüntüsü Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Röleye ait Mho Karakteristiğini Gösteren Ekran Görüntüsü

Prototip Mesafe rölesinin bir bütün olarak birleştirilmeden önce ve bir bütün haline getirildikten sonra alınmış olan görüntüleri sırasıyla Şekil 3.7 ve 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Mesafe Rölesinin Tamamlanmamış Hali



**Şekil 3.8** Prototip Olarak Gerçekleştirilen Mesafe Rölesi

Sisteme ait test işlemleri yapılırken alınmış olan ana ekran görüntüsü ise Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



**Şekil 3.9** Prototip Mesafe Rölesinin Test Sürecinde Alınmış Ana Ekran Görüntüsü

Mesafe rölesinin test işlemleri esnasında ayar menüsünden alınmış bulunan görüntüsü ise Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



**Şekil 3.10** Prototip Mesafe Rölesinin Test Sürecinde Alınmış Ayar Menüsü Görüntüsü

Şekil 3.10’den de görülebileceği üzere prototip mesafe rölesinde şu an için sadece en temel ve gerekli verilerin ayarlanmasına olanak sağlanmaktadır. Sistem halen geliştirilme aşamasında bulunmakta olup gerek mikrodenetleyici gerekse de dokunmatik ekrana ilişkin yazılımlarda iyileştirmelere ve geliştirmelere gereksinim duyulmaktadır.

Şekil 3.10’da gösterilen ayarlara ek olarak sistem tarihi ve saatinin de ayarlanması şu anda ayar menüsünden yapılabilmektedir. Ayar menüsüne girilebilmesi için Şekil 3.11’de görüldüğü üzere bir şifre ekranı gelmektedir. Doğru şifre girilmediği sürece ayar menüsüne girilebilmesi mümkün değildir. Ancak şifreyi bilmeyen kişi “EXIT” dokunmatik tuşuna basarak ayar menüsüne girmiş olduğu ekrana geri dönebilmektedir. Dolayısı ile yetkili olmayan kişilerin sisteme ait ayarları değiştirmesine izin verilmemektedir.



**Şekil 3.11** Prototip Mesafe Rölesinin Test Sürecinde Alınmış Şifre Ekranı Görüntüsü

Sisteme ait temel parametrelerin ayarlanması esnasında veri girişi için kullanılan ekran Şekil 3.12’de gösterildiği üzere şifre ekranına benzer şekilde tasarlanmıştır.



**Şekil 3.12** Prototip Mesafe Rölesinin Tarih Ayar ve Veri Giriş Ekranı Görüntüsü

İlgili verinin ayarlandığı Şekil 3.12’de gösterilen ekranda herhangi bir değişiklik yapılmadan çıkılabilmesi de mümkündür. Dolayısı ile hatalı girişlerde herhangi bir değişiklik yapılmadan veri giriş ekranından ayar menüsüne geri çıkılabilmektedir.



## 4. BÖLÜM

### SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

#### 4.1. Sonuç

Teknolojinin göz kamaştıran bir şekilde gelişiyor olması, bununla birlikte sanayileşmenin artması ve beraberinde nüfus artışı her geçen gün elektrik enerjisine olan gereksinimi artırmaktadır. Dolayısıyla elektrik enerjisi üretiminde enerji kaynaklarına olan bağımlılık da ciddi bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle son yirmi yıldır yenilenebilir enerji kaynakları hususunda yapılmaya başlanan yatırımlarla birlikte fosil enerji kaynaklarına olan bağımlılığın azaltılmasına çalışılmakta ve aynı zamanda daha çevreci bir şekilde elektrik enerjisinin üretilmesi sağlanmaktadır. Elektrik enerjisine olan ciddi gereksinim ve sözü edilen yeni olarak nitelendirilebilecek elektrik enerjisi üretim sistemleri beraberinde elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sistemlerinin de karmaşık hale gelmesine neden olmaktadır. Bu hususta önemli bileşenlerin başında ise koruma sistemleri gelmektedir. Elektrik enerjisinin üretim tesislerinden tüketicilere kadar problemsiz ve sürekli olarak ulaştırılmasını sağlayan koruma sistemleri birçok farklı bileşene sahiptir.

Koruma sistemlerinde kullanılan en önemli bileşenlerden birisi koruma röleleridir. Elektromekanik temelli ilk versiyonlarından günümüzde yaygın olarak kullanılmakta olan sayısal rölelere kadar çok farklı yapıda ve çalışma mantığında karşımıza çıkan koruma röleleri olası arızalarda sistemin arızalı kısımlarının hızlı bir şekilde devre dışı bırakılmasını sağlayarak enerjinin kesintiler olmaksızın tüketicilere aktarılmasını sağlamaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan ve mesafe tabanlı olarak koruma işlevini yerine getiren mesafe röleleri hızlı tepki verebilme, esnek çalışabilme ve sistemin farklı bölgelerini koruyabilme gibi birçok avantaja sahiptir.

Sunulan bu tez çalışmasında temel işlevleri yerine getirebilen ve görsel kullanıcı ara yüzüne sahip bir sayısal mesafe rölesi prototip olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada gereksinim duyulan ölçümler ve sistemin kontrolü ADE7758 enerji ölçüm tüm devresi aracılığıyla ve DSPIC30F4011 mikrodenetleyicisi kullanılarak sağlanmıştır. Prototip tasarımda kendi üzerinde gelişmiş bir işlemci barındıran, programlanabilme niteliğine sahip dokunmatik nitelikli bir ekran kullanılmış olup ekran için gelişmiş bir kullanıcı ara yüzü tasarlanmıştır. Dolayısıyla ekrana ait yazılım geliştirme süreci mikrodenetleyicinin yazılım geliştirme süreciyle eş zamanlı olarak yürütülmüştür.

Yapılan çalışmada ticari niteliğe sahip profesyonel ürünlerle kıyaslandığında daha temel işlevleri yerine getirebilme kabiliyetlerine sahip ancak kullanıcı dostu ve geliştirilmeye açık bir prototip gerçekleştirilmiştir. Sistemin testi, gerçek sistem üzerinde değil olası giriş işaretlerinin üretildiği laboratuvar ortamında yapılmıştır.

Gerçekleştirilen prototip şu an için röleler arası haberleşme özelliğine sahip değildir ancak ilerleyen zamanlarda sözü edilen ve sistemin sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi için önemli olan haberleşme özelliği gibi farklı özelliklerin prototipe kazandırılması mümkün olabilecektir.

## KAYNAKLAR

1. Makwana, V. H., & Bhalja, B. 2016. Transmission line protection using digital technology. **Springer**. p.1-23,42-83.
2. Bakshi, U. A., & Bakshi, M. V. 2009. Transmission and distribution. **Technical Publications**. p.2-4.
3. Vadari, M., & Vadari, S. 2013. Electric System Operations: Evolving to the Modern Grid. **Artech House**. p.7-15.
4. Gianni, S., & Perez, A. 2006. Modeling Relays for Power System Protection Studies. **University of Saskatchewan**. p.1-4.
5. Nagpal, M., & Henville, C. 2017. Impact of Power Electronic Sources on Transmission Line Ground Fault Protection. **IEEE Transactions on Power Delivery**.
6. Xu, Z. Y., Huang, S. F., Ran, L., Liu, J. F., Qin, Y. L., Yang, Q. X., & He, J. L. (2008). A distance protection relay for a 1000-kV UHV transmission line. **IEEE Transactions on Power Delivery**, 23(4): 1795-1804.
7. Ahmad, I., Khan, F., & Mutalib, P. A. 2011. Microprocessor Base Protection of 132 KV Line Using Impedance Relay. **International Journal of Computer Applications**, 34(5).
8. Ismail, M. M., & Hassan, M. M. 2013, August). Distance relay protection for short and long transmission line. In Modelling, Identification & Control (ICMIC), **IEEE Proceedings of International Conference** : 204-211.
9. Chhavi lal. 2015 Mar. Microcontroller Based Numerical Mho Distance Relay For Transmission Line Protection. **Intl J Engg Sci Adv Research**; 1(1):121-127.
10. da Silva, F. F., & Bak, C. L. 2017. Distance protection of multiple-circuit shared tower transmission lines with different voltages–Part I: fault current magnitude. **IET Generation, Transmission & Distribution**, 11(10) : 2618-2625.
11. Rahul Virkuda, A. B. 2017. Microcontroller based distance protection of transmission line using reactance relay. **International Journal of Innovative and Emerging Research in Engineering**, 4(5): 12-15.
12. Fardo, S. W., & Patrick, D. R. 2009. Electrical power systems technology. **The Fairmont Press, Inc.**.p.75-125.

13. Patrick, D. R., & Fardo, S. W. (2009). Electrical Distribution Systems. **The Fairmont Press, Inc.**.p. 85-90.
14. El-Sharkawi, M. A. 2015. Electric energy: an introduction. **CRC press**.p. 20-22.
15. Glover, J. D., Sarma, M. S., & Overbye, T. 2012. Power System Analysis & Design, SI Version. **Cengage Learning**. p. 558-565.
16. Ravindranath, B., &Chander, M. 1977. Power system protection and switchgear. **New Age International**.p. 150-155.
17. Ram, B. 2011. Power system protection and switchgear. **Tata McGraw-Hill Education**. p. 193-195, 260-285.
18. Bayliss, C., & Hardy, B. 2012. Transmission and distribution electrical engineering. Fourth edition, **Elsevier**. p. 296-305.
19. Ungrad, H., Winkler, W., & Wiszniewski, A. 1995. Protection techniques in electrical energy systems. USA, **M. Dekker**.p. 173-180
20. McDonald, J. D. (Ed.). 2012. Electric power substations engineering. **CRC press**. Ch.7, P.2-20.
21. Hosseinzadeh, H. May 2008. Distribution System Protection ES586B: Power System Protection, **University of Western Ontario**. p. 3-15.
22. Rajput, R. K. 2006. Power system engineering. **Firewall Media**. p. 470-474.
23. Elghazaly, P. H. 2009. Protection Systems and Devices (Relays). Egypt : Cairo University.(Web  
page:[http://www.unimasr.net/ums/upload/files/2013/Feb/UniMasr.com\\_79e3983af376cc3e0a3c7adef354815e.pdf](http://www.unimasr.net/ums/upload/files/2013/Feb/UniMasr.com_79e3983af376cc3e0a3c7adef354815e.pdf) , P.1-67, (Eriřim Tarihi: Haziran 2017).
24. Gers, J. M., & Holmes, E. J. 2004. Protection of electricity distribution networks , Vol. 47. IET.
25. Blackburn, J. L., & Domin, T. J. 2007. Protective Relaying Principles and Applications, **CRC**. Boca Raton, FL, USA.
26. Lucia, M., Cezari, R., Erwin, D., Theron, J. C., & Thakur, M. 2006. Perfecting performance of distance protective relays and it's associated pilot protection schemes in extra high voltage (EHV) transmission line applications. In Protective Relay Engineers, 2006. 59th Annual Conference for (pp. 19-pp). **IEEE**.

27. Yalcin, M. A., Turan, M., & Demir, Z. 1999, August. Effects of transmission line faults on dynamic voltage stability. In Electric Power Engineering, 1999. PowerTech Budapest 99. International Conference on (pp. 80). **IEEE**.
28. Types of Faults in Electrical Power Systems. **ELECTRONICS HUB**. (Web page: <http://www.electronicshub.org/types-of-faults-in-electrical-power-systems/>), (Eriřim Tarihi: Temmuz 2017).
29. Nasar, S. A., & Trutt, F. C. 1998. Electric power systems. **CRC Press**. p. 105-110.
30. Nasiruzzaman, A. B. M. 2010. Electrical Power System Fault Analysis Package. ABM Nasiruzzaman. p. 5-7.
31. Globe, C. (2016). Symmetrical & Unsymmetrical Faults. **Circuit Globe**. Power Systems. (Web page: <http://circuitglobe.com/symmetrical-and-unsymmetrical-faults.html/>), (Eriřim Tarihi: Temmuz 2017).
32. Blackburn, J. L., & Domin, T. J. 2014. Protective Relaying: Principles and Applications. **CRC Press**. 4th .p. 2-15, 71-85.
33. Salam, M. A., & Rahman, Q. M. 2016. Power Systems Grounding. **Springer**. p. 101-130.
34. Horowitz, S. H., & Phadke, A. G. 2008. Power system relaying . Vol. 22. John Wiley & Sons. p. 37-40, 101-131, 265-285.
35. Blackburn, J. L. 1993. Symmetrical components for power systems engineering. **CRC Press**. p. 39-85.
36. jiguparmar. Feb 1 2013 . Types and Applications Of Overcurrent Relay (1). **EEP - ELECTRICAL ENGINEERING PORTAL**. (Web page: <http://electrical-engineering-portal.com/types-and-applications-of--relay-1/>), (Eriřim Tarihi: Haziran 2017).
37. Horowitz, S. H., & Phadke, A. G. 2013. Power System Relaying. John Wiley & Sons. p.1-7, 79-103, 107-135.
38. Bakshi, U. A., & Bakshi, M. V. 2009. Protection And Switchgear. **Technical Publications**. p. Ch.1, 1-15, Ch.4, 1-24.
39. electrical4u.com, Protection of Lines or Feeder, (Web page: <https://www.electrical4u.com/protection-of-lines-or-feeder/>), (Eriřim Tarihi: Haziran 2017).

40. Amroune, M., Zellagui, M., Bouktir, T., & Chaghi, A. 2014. Optimal Placement of TCSC to Improve Voltage Stability Limit Considering Impacts on Setting Zones of Distance Protection Relays. *Acta Electrotehnica*, 55(1-2), 10-18.
41. electrical4u.com, Protection System in Power System, (Web page: <https://www.electrical4u.com/protection-of-lines-or-feeder/>), (Eriřim Tarihi: Haziran 2017).
42. Parmar, J. DECEMBER 1, 2012. Types and Revolution of Electrical Relays. *ElectricalNotes&Articles*. (Web page: <https://electricalnotes.wordpress.com/2012/12/01/types-and-revolution-of-%20electrical-relays/>), (Eriřim Tarihi: Temmuz 2017).
43. Sleva, A. M. 2009. Protective relay principles. **CRC Press**.p. 27-35, 79-97, 235-240.
44. Working Group.October 2008. Modern Distance Protection Functions and Applications. P. 1-21.distance protection functions and applications.(Webpage:[https://pangonilo.com/?sdmon=files/Basic Principles of Distance Protection. pdf](https://pangonilo.com/?sdmon=files/Basic_Principles_of_Distance_Protection.pdf) /), (Eriřim Tarihi: Temmuz 2017).
45. Ziegler, G. 2011. Numerical distance protection: principles and applications. John Wiley & Sons.4th. p. 2 -181, 299-328.
46. Ali, M. S. (06 January 2014). Sampled values packet loss impact on IEC 61850 distance relay performance. *Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia)*, 2013 **IEEE**, 1-6.
47. Mashhadani, D. M. October - 2006. Electrical protection systems. Egypt - Cairo: p. 109-149.
48. Zellagui, M., & Chaghi, A. 2013. Impact of Series FACTS Devices (GCSC, TCSC and TCSR) on Distance Protection Setting Zones in 400 kV Transmission Line. In *An Update on Power Quality*. InTech.
49. ALSTOM , Firm. 2002. Network protection & automation guide. **ALSTOM**. Ch. 11 Distance Protection. p. 23-101 ,171 – 191.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Ali Talib Fatih AL-GBURI  
Uyruğu: IRAK  
Doğum Tarihi ve Yeri: 1973 , KERKÜK-IRAK  
Tel: 0 537 870 07 57 / +90 770 660 56 66  
email: alierciyas15@gmail.com

### EĞİTİM

| Derece         | Kurum Mezuniyet Tarihi              |      |
|----------------|-------------------------------------|------|
| Lisans         | Tikrit Ü – Müh. F - Elektrik Bölümü | 1997 |
| Teknik Enstitü | Kerkük Teknik Enstitüsü             | 1992 |
| Lise           | Kerkük Lisesi                       | 1990 |

### İŞ DENEYİMLERİ

| Yıl        | Kurum                                                  |
|------------|--------------------------------------------------------|
| 1999–Halen | Kerkük Elektrik Dağıtım Müdürlüğü - Elektrik Bakanlığı |

### YABANCI DİL

Arapça / İngilizce