

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AKILLI ŞEBEKELERDE ARIZA ANALİZİ VE KORUMA

MEHMET TAN TURAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. ERDİN GÖKALP**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKILLI ŞEBEKELERDE ARIZA ANALİZİ VE KORUMA

Mehmet Tan TURAN tarafından hazırlanan tez çalışması 05.08.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Erdin GÖKALP

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Erdin GÖKALP (Danışman)

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hakan ÜNDİL

İstanbul Üniversitesi

Doç. Dr. Bülent VURAL

Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Günümüzde artmakta olan enerji ihtiyacına paralel olarak mevcut şebekelere yeni istasyonlar ve yeni tüketiciler eklenmektedir. 20.yy'dan bu yana hemen hemen aynı prensiple çalışan şebekelere 21.yy'a ait ağ ve bilgisayar teknolojileri eklenerek geleceğin şebekeleri Akıllı Şebekeler (Smart Grids) oluşturulmaktadır. Hali hazırda kullanılmakta olan geleneksel şebekelerde birçok sorunla karşılaşılmaktadır.

Bu tez çalışmasında bir ring şebeke için herhangi bir noktada oluşan kısa devre ve aşırı akım olayları sonrasında şebekedeki tüketiciler için enerjinin sürekliliğini sağlayan bir sistem kurulup, simülasyon ve test sistemi oluşturulması amaçlanmıştır. Aynı kontrol sistemi ile IEEE 13 baralı test sistemi üzerinde benzer analizler yapılarak sistemin güvenilirliği test edilmiştir. Generatör ve rüzgar türbini modelleri içeren sistemde ilgili arıza durumlarının simülasyonlar üzerinde gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında sistemdeki röle koordinasyonu ile ilgili optimizasyonlar yapılmıştır.

Tez çalışması süresince hiçbir konuda desteğini esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Erdin GÖKALP hocama ve aileme sonsuz teşekkür ederim.

Ağustos, 2014

Mehmet Tan TURAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	3
BÖLÜM 2	
KONVANSİYONEL VE AKILLI ŞEBEKELER.....	5
2.1 Konvansiyonel Şebekeler	5
2.1.1 Konvansiyonel Şebekelere Ait Genel Bilgiler	5
2.1.2 Konvansiyonel Şebekelerin Dezavantajları ve Sorunları	5
2.1.3 Konvansiyonel Şebekelerin Geleceği.....	6
2.2 Akıllı Şebekeler	7
2.2.1 Akıllı Şebekelere Ait Genel Tanım ve Özellikler	7
2.3 Dağıtık Üretim	9
2.3.1 Dağıtık Üretim Nedir?	9
2.3.2 Dağıtık Üretim Tesislerinin Avantajları	10
2.3.2.1 Dağıtık Üretim ve Enerji Maliyeti	11
2.3.2.2 Güç Kalitesi ve Güvenilirlik	12
2.4 Rüzgar Enerjisi	13
2.4.1 Türkiye'de Rüzgar Enerjisi.....	14
2.4.2 Rüzgar Türbinlerine Ait Genel Tanım	16
2.4.2.1 Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması	17
2.5 Dağıtık Üretim Tesislerinin Şebeke Entegrasyonu	19
2.5.1 Güvenlik	19
2.5.2 Ada Modunda Çalışma.....	19
2.5.3 Altyapı Yönetimi	20

2.5.4	Sitem Planlaması.....	20
2.6	Akıllı Şebekelerde Haberleşme Sistemleri	21
BÖLÜM 3		
KORUMA SİSTEMİ ELEMANLARI		22
3.1	Koruma Sistemlerine Ait Temel Bileşenler	22
3.2	Sistemde Bir Hatanın Var Olma Kriteri	24
3.3	Koruma Sistemlerinde Koordinasyon	25
3.3.1	Koordinasyon Koşulları	25
3.3.2	Koordinasyon İçin Gerekli Veriler	26
3.3.3	Koruma Koordinasyon Prosedürü	27
3.3.4	Koordinasyon Zaman Aralıkları.....	27
3.4	Ayırıcılar	28
3.4.1	Ayırıcı Yapısı ve Bileşenleri	28
3.4.2	Ayırıcı Çeşit ve Özellikleri.....	29
3.4.2.1	Bıçaklı Ayırıcılar	29
3.4.2.2	Döner İzolatörlü Ayırıcılar	30
3.4.2.3	Yük Ayırıcıları.....	31
3.5	Kesiciler	32
3.5.1	Kesicilerin Görev ve Yapıları	32
3.5.2	Kesicilerin Koruma Sistemlerindeki Yeri.....	33
3.6	Röleler	33
3.6.1	Rölelerin Genel Yapısı ve Çalışma Prensipleri	33
3.6.2	Koruma Röleleri	35
3.6.3	Aşırı Akım Röleleri.....	36
3.6.4	Aşırı Akım Rölelerinin Çalışma Özellikleri	37
3.6.5	Aşırı Akım Rölelerinin Çalışma Prensipleri ve Çeşitleri	38
3.6.6	Aşırı Akım Rölelerinin Sınıflandırılması.....	39
3.6.6.1	Çalışma Zamanına Göre Aşırı Akım Röleleri.....	39
3.6.6.2	Yapılarına Göre Röleler	45
3.7	IEC 61850 Haberleşme Protokolü	51
BÖLÜM 4		
ŞEBEKE ÜZERİNDE ARIZA ANALİZLERİ		52
4.1	Bilgisayar Ortamında Modelleme	52
4.2	Konvansiyonel Bir Ring Şebekenin Akıllı Şebeke Altyapısı ile Hata Analizi.....	52
4.2.1	Sistem Bileşenleri ve Metodoloji	53
4.2.2	Sistem Üzerinde Yapılan Benzetim Çalışmaları	57
4.2.3	Test Sonuçları	63
4.3	IEEE 13 Bara Test Sistemi Üzerinde Hata Analizi ve Röle Koordinasyonu	63
4.3.1	Sistem Tanıtımı ve Metodoloji.....	64
4.3.2	Sistem Üzerinde Yapılan Benzetim Çalışmaları	67
4.3.3	Test Sonuçları	73
BÖLÜM 5		
SONUÇ VE ÖNERİLER		74
ÖZGEÇMİŞ.....		80

SİMGE LİSTESİ

L_{11}, L_{12}	Kesici kontakları
U_{L1}	R fazı-nötr gerilimi
U_{L2}	S fazı-nötr gerilimi
I_{L1}	R fazı akımı
I_{L2}	S fazı akımı
I_1	Devrenin giriş akımı
I_2	Devrenin çıkış akımı
I_{ζ}	Çalışma akımı
t_{ζ}	Çalışma zamanı
I_{gd}	Geri dönüş akımı
K_{gd}	Geri dönüş oranı
I_a	Aşırı akım sınır değeri
I_{kd}	Kısadevre akımı sınır değeri
F_1, F_2	Arıza noktaları
$I_{k_{F1}}, I_{k_{F2}}$	Arıza noktası akım değerleri
$\phi_r, \phi_{r_1}, \phi_{r_2}$	Röle bobinin oluşturduğu akı değerleri
I_{sh}	Röle bobininden akan akım
ϕ_{sh}	Bobinden akan akımın meydana getirdiği akı
E_{sh}	Röle bobini akısı vasıtasıyla endüklenen gerilim
θ	Akılar arası faz açısı
M	Döndürme momenti
k_1, k	Moment sabitleri
R'	Düzenlenmiş direnç değeri
X'	Düzenlenmiş endüktans değeri

z_d	İletim hattı bara empedans matrisi
z_y	Dağıtım hattı bara empedans matrisi
a	Transformatör dönüştürme oranı
S	Görünür güç değeri
P	Aktif güç değeri
I_{ef}	Akımın efektif değeri

KISALTMA LİSTESİ

DC	Direct Current
DOE	Department Of Energy
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
KZP	Koordinasyon Zaman Payı
TS	Türk Standartları
TÜREB	Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği
USC	United States Code
WIFI	Wireless Fidelity
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Türkiye’de rüzgar enerjisi kurulu gücü.....	15
Şekil 2. 2 Türkiye’de rüzgar enerjisi kurulu gücünün bölgelere göre dağılımı	16
Şekil 2. 3 Rüzgar türbininde temel enerji dönüşümü.....	16
Şekil 2. 4 Yatay eksenli rüzgar türbini	18
Şekil 2. 5 Düşey eksenli rüzgar türbini	18
Şekil 3. 1 Genel güç üretim, iletim ve dağıtım sistemi	22
Şekil 3. 2 Ayırıcı yapısı	28
Şekil 3. 3 Dahili tip bıçaklı ayırıcı	29
Şekil 3. 4 Harici tip bıçaklı ayırıcı	30
Şekil 3. 5 Döner izolatörlü ayırıcı.....	31
Şekil 3. 6 Açık ve kapalı yük ayırıcısı	32
Şekil 3. 7 Bobini enerjilendirilmemiş röle yapısı	34
Şekil 3. 8 Bobini enerjilendirmiş röle yapısı	34
Şekil 3. 9 Üzerinde hata meydana gelen enerji hattı	37
Şekil 3. 10 Aşırı akım rölesinin hat üzerinde gösterimi	38
Şekil 3. 11 Sabit zaman gecikmesi karakteristiği.....	40
Şekil 3. 12 Ani elemanlı sabit zaman gecikmeli aşırı akım rölesi yapısı	41
Şekil 3. 13 Ani elemanlı sabit zaman gecikmeli aşırı akım rölesi karakteristiği.....	41
Şekil 3. 14 Kısa devre arızasına sahip enerji hattı	42
Şekil 3. 15 Sabit zaman gecikmeli röle koordinasyonu	43
Şekil 3. 16 Ters zaman gecikmesi karakteristiği	43
Şekil 3. 17 Ani elemanlı ters zaman gecikmeli aşırı akım rölesi karakteristiği	44
Şekil 3. 18 Ters zaman gecikmeli röle koordinasyonu	44
Şekil 3. 19 Endüksiyon disk rölesi yapısı.....	45
Şekil 3. 20 Endüksiyon disk rölesi çalışma karakteristiği.....	47
Şekil 3. 21 Termik röle yapısı.....	47
Şekil 3. 22 Statik röle çalışmasına ait blok diagramı	48
Şekil 3. 23 Dijital aşırı akım röleleri ve kontrol mekanizması.....	50
Şekil 4. 1 Şebeke modelinde kullanılan elemanlara ait veriler	53
Şekil 4. 2 A transformatörü çıkış gerilim-zaman değişim grafiği.....	54
Şekil 4. 3 B transformatörü çıkış gerilim-zaman değişim grafiği	54
Şekil 4. 4 Kontrol algoritması.....	55
Şekil 4. 5 A transformatörünün çıkışında meydana gelen kısa devre sonucu akım- zaman değişimi	57
Şekil 4. 6 B transformatörünün çıkışında meydana gelen kısa devre sonucu akım- zaman değişimi	58

Şekil 4. 7	A transformatörünün çıkışında meydana gelen kısa devre sonucunda gerilim-zaman değişimi.....	59
Şekil 4. 8	Asenkron motora ait akım-zaman değişimi	59
Şekil 4. 9	Asenkron motoru besleyen hatta kısa devre olması sonucunda akım-zaman değişimi	60
Şekil 4. 10	Kısa devre meydana gelen noktaya ait gerilim-zaman değişimi.....	61
Şekil 4. 11	Kısa devre sonrasında tüketiciyi beslemeye başlayan hatta ait gerilim-zaman değişimi	62
Şekil 4. 12	Kısa devre sonrasında tüketiciyi beslemeye başlayan hatta ait akım-zaman değişimi	62
Şekil 4. 13	Genel sistem konfigürasyonu	64
Şekil 4. 14	Kontrol Algoritması	66
Şekil 4. 15	Rüzgar türbini güç karakteristiği	67
Şekil 4. 16	Senaryo 1'e ait genel sistem şeması	69
Şekil 4. 17	Senaryo 1'de A hattına ait akım-zaman değişim grafiği	69
Şekil 4. 18	Senaryo 1'de B hattına ait akım-zaman değişim grafiği	70
Şekil 4. 19	Senaryo 1'de transformatör 1'in çıkışında akım-zaman değişim grafiği	70
Şekil 4. 20	Senaryo 2'ye ait genel sistem şeması	71
Şekil 4. 21	Aşırı akım röle konfigürasyonu	71
Şekil 4. 22	Senaryo 2'de B hattına ait akım-zaman değişim grafiği	72
Şekil 4. 23	Senaryo 3'de B hattına ait akım-zaman değişim grafiği	72

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4. 1 Şebeke modelinde kullanılan elemanlara ait veriler.....	56
Çizelge 4. 2 IEEE 13 baralı sisteme ait yük ve hat verileri.....	68
Çizelge 4. 3 Transformatörlere ait veriler.....	68

AKILLI ŞEBEKELERDE ARIZA ANALİZİ VE KORUMA

Mehmet Tan TURAN

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Erdin GÖKALP

Konvansiyonel şebekeler birbirine bağlı şekilde dizayn edilmiştir. Herhangi bir noktadaki değişim çok kısa sürede geniş bir alanı etkileyebilmektedir ve bu etki şebekeye çok daha fazla hasar verebilmektedir. Bu sorunu çözmek için yetersiz hale gelen altyapının oluşturduğu dezavantajlar ortadan kaldırılmalı ve geliştirilmiş şebeke çözümleri sunulmalıdır. Şebekede meydana gelmesi muhtemel arızaları algılama ve anında müdahale için güvenilir bir haberleşme sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Sistemin güvenilirlik, etkinlik ve verimliliğini arttırmak için haberleşme sistemi de aynı şekilde güvenilir ve etkin bir şekilde çalışmalıdır. Akıllı şebekelerin en önemli alt başlıklarından birisi olan haberleşmenin güç sistemlerine dahil edilmesi sonucunda arzu edilen güvenilir şebekeler elde edilecektir. Akıllı şebekelerin en önemli getirilerinden birisi ise sistemde meydana gelebilecek hatalar esnasında ortaya çıkmaktadır. Tepki süresi çok hızlı olan sistemlerin kullanımı ile birlikte bir noktadaki hatanın şebekenin kalan kısmını etkilemesinin önüne geçilecektir. Yüksek hızlı koruma ve uzaktan kontrol ile istenilen güvenilir sonuçlar elde edilecektir. Akıllı şebekelerde hata yeri tespiti yapıldıktan sonra enerjinin sürekliliğini sağlama ve tüketiciyi enerjisiz bırakmama amacı ile çeşitli çözümler sunulmaktadır.

Bu tez çalışmasında bir ring şebeke için herhangi bir noktada oluşan kısa devre ve aşırı akım olayları sonrasında şebekedeki tüketiciler için enerjinin sürekliliğini sağlayan bir sistem kurulup, simülasyon ve test sistemi oluşturulması amaçlanmıştır. Aynı kontrol sistemi ile IEEE 13 baralı test sistemi üzerinde benzer analizler yapılarak sistemin güvenilirliği test edilmiştir. Generatör ve rüzgar türbini modelleri içeren sistemde ilgili arıza durumlarının simülasyonlar üzerinde gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında sistemdeki röle koordinasyonu ile ilgili optimizasyonlar yapılmıştır. Tez çalışması aşağıda verilen yaklaşım ve yöntemler ile gerçekleştirilmiştir:

- Simölasyon ortamında rüzgar türbini modeli ve generator modeli kullanılarak üç fazlı bir şebeke modeli oluşturulmuştur. Sistemde çeşitli omik-endüktif yükler ve kapasitörler tüketicileri modellemek için kullanılmıştır.
- Oluşturulan sistemde korumayı sağlamak için kesici ve röle modelleri dizayn edilmiştir. Kullanılacak kesici ve röle modelleri fonksiyon blokları ile kontrol edilip, kontrol blokları sistem ile anlık iletişim halindedir.
- Sistemin içerisinde bulunan rüzgar türbini, generatör, tüketici modelleri ile aşırı akım ve kısa devre koruması sağlayan kontrol sistemi birleştirilerek çalışma şartları optimize edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı şebekeleri, kısa devre koruma, aşırı akım koruma, dağıtık üretim, röle koordinasyonu

FAULT ANALYSIS AND PROTECTION FOR SMART GRID NETWORKS

Mehmet Tan TURAN

Department of Electrical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assist. Prof. Dr. Erdin GÖKALP

The modern infrastructures of grids are designed extremely dependent with each other. Hence a fault or any other event occurs in any location can effect a huge part of system rapidly and this drawback may cause more damage on the grid. In order to solve this problem disadvantages of grids which becomes inadequate should be eliminated and improved grid solutions should be implemented. With the purpose of detecting probable faults and creating rapid solutions a reliable communication system is needed. The communication system should operate in a reliable and efficient way so as to maximize productivity, reliability and efficiency of the system. As a result of integrating communication which is one of the most important sub topic of smart grids to power systems desired reliable grids will come out. One of the most important advantage of smart grids comes out at the time of fault events. It will be possible to prevent expansion of fault to large areas of grid with the usage of short response timed systems. The intended results will be obtained by fast protection and remote control systems.

There are several options for ensuring permanence of energy and not to leave consumers without energy after the location of fault is detected. After disconnecting fault location from grid by using breakers, the consumers which are not feeded will be powered by another sources in the grid. In order to effectuate that traditional grids

have to be equipped by necessary communication and protection tools and upgraded to smart grids.

In concept of this thesis study, it's aimed to simulate a system that ensures permanence of energy for consumers during a short circuit or overcurrent event. It's aimed to simulate system that contains a generator and wind turbine and test it for related fault conditions. Optimization of relay coordination system is made with the help of obtained test results. The thesis study is realized with the help of following methods:

- A three phase ring grid model and IEEE 13 node test system which includes a wind turbine and a generator are modeled and simulated. The grid models include ohmic-inductive loads and capacitors in order to model consumers.
- Relay and breaker models are used for realizing protection in existing system. Related breaker and relay models are controlled by function blocks and control blocks communicate with grid instantly.
- Wind turbine, generator and consumers which are part of the grid are combined with control system that includes short circuit and overcurrent protection systems in order to optimize operating conditions.

Keywords: Smart grid, short circuit protection, overcurrent protection, distributed generation, relay coordination

1.1 Literatür Özeti

Teknolojideki gelişmelere paralel olarak mevcut şebekelere yeni istasyonlar ve yeni tüketiciler eklenmektedir. 20.yy'dan bu yana hemen hemen aynı prensiple çalışan şebekelere 21.yy'a ait ağ ve bilgisayar teknolojileri eklenerek geleceğin şebekeleri Akıllı Şebekeler (Smart Grids) oluşturulmaktadır. Bir akıllı şebekenin bileşenleri ve teknolojileri, Amerika Enerji Departmanı(DOE) 'na göre bazı yapıları içermelidir. Bu yapılar akıllı üretim, akıllı dağıtım, akıllı sayaçlar, bütünleştirilmiş haberleşme ve ileri kontrol metotlarından oluşmaktadır. Hali hazırda kullanılmakta olan geleneksel şebekelerde birçok sorunla karşılaşılmaktadır. Bu sorunlardan en başlıcaları hata tespitlerinin manuel olarak yapılıyor olması, bağımsız gerilim regülasyonu, optimize edilmemiş güç akışı ve kısmi güç yönetimidir. Akıllı şebekelerin kullanılması ile gerçek zamanlı hata tespiti ve uzaktan kumandalı anahtarlamalar, gerçek zamanlı güç yönetimi ve kayıpları azaltmak amacıyla dinamik simülasyonlar gerçekleştirilmektedir.

Modern şebeke altyapıları birbirine bağlı şekilde dizayn edilmiştir. Herhangi bir noktadaki değişim çok kısa sürede geniş bir alanı etkileyebilmektedir ve bu etki şebekeye çok daha fazla hasar verebilmektedir. Bu sorunu çözmek için yetersiz hale gelen altyapının oluşturduğu dezavantajlar ortadan kaldırılmalı ve geliştirilmiş şebeke çözümleri sunulmalıdır. Şebekede meydana gelmesi muhtemel arızaları algılama ve anında müdahale için güvenilir bir haberleşme sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Sistemin güvenilirlik, etkinlik ve verimliliğini arttırmak için haberleşme sistemi de aynı şekilde güvenilir ve etkin bir şekilde çalışmalıdır. Akıllı şebekelerin en önemli alt başlıklarından birisi olan haberleşmenin güç sistemlerine dahil edilmesi sonucunda

arzu edilen güvenilir şebekeler elde edilecektir. Akıllı şebekelerin bize sunduğu diğer bir avantaj ise sayaç okuma sistemleridir. Akıllı sayaçların yaygınlaşması ile birlikte tüketicilerin talep ettiği enerji daha detaylı bir şekilde analiz edilebilecek ve akıllı fiyatlandırma yapılabilecektir. Akıllı şebekelerin en önemli getirilerinden birisi ise sistemde meydana gelebilecek hatalar esnasında ortaya çıkmaktadır. Tepki süresi çok hızlı olan sistemlerin kullanımı ile birlikte bir noktadaki hatanın şebekenin kalan kısmını etkilemesinin önüne geçilecektir. Yüksek hızlı koruma ve uzaktan kontrol ile istenilen güvenilir sonuçlar elde edilecektir. Akıllı şebekelerde hata yeri tespiti yapıldıktan sonra enerjinin sürekliliğini sağlama ve tüketiciyi enerjisiz bırakmama amacı ile çeşitli çözümler sunulmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Bir enerji şebekesinde meydana gelmesi muhtemel arızalara karşı önceden tedbir almak, arızaya hızlı müdahale etmek, tüketiciyi enerjisiz bırakmamak büyük önem taşımaktadır. Tek taraftan beslenen konvansiyonel şebekelerde meydana gelen hata sonucunda arıza giderilene kadar tüketici enerjisiz kalırken akıllı şebekelerde geliştirilen sistem sayesinde hata oluşan bölge şebekeden izole edilip başka bir hat üzerinden tüketici enerjilenmeye devam etmektedir. Bir akıllı şebeke modelinin elde edilebilmesi için sistemde konvansiyonel şebeke bileşenlerinin yanı sıra haberleşme ve koruma ekipmanlarının da yer alması gerekmektedir.

Bu çalışmada bir ring şebeke ve IEEE test sistemi modellemesi yapıp, şebekede çeşitli kısa devreler ve aşırı akım şartları oluşturularak sistemin tepkisi ölçülmüştür. Oluşturulan ring şebekede ve IEEE test sisteminde çeşitli omik-endüktif yükler, alternatif enerji kaynakları, dağıtık üretim tesisleri yer almaktadır. Sistemde yer alan elemanlar aşırı akım ve kısa devre durumlarında enerjinin sürekliliğini sağlamak için röleler ile korunmuştur. Gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra sistem herhangi bir hatada arıza bölgesini izole edip başka bir hattan tüketiciyi besleyerek enerjinin sürekliliğini sağlayacak hale getirilmiştir. Gerçekleştirilen tez çalışması ile akıllı şebeke

altyapısına uygun, enerji kesintisi durumunda tüketicileri enerjisiz bırakmayan, dağıtık üretim tesisleri ile entegre edilmiş bir enerji şebekesi modeli elde edilmiştir.

Bu bağlamda gerçekleştirilen çalışma kapsamında akıllı şebeke altyapısına uygun bir şebeke modeli dizaynı ve bahsi geçen sistem için kısa devre - aşırı akım koruması sağlayan kontrol sistemi dizaynı amaçlanmıştır.

1.3 Orjinal Katkı

Bir şebekede meydana gelmesi muhtemel arızalara karşı önceden tedbir almak, arızaya hızlı müdahale etmek, tüketiciyi enerjisiz bırakmamak büyük önem taşımaktadır. Tek taraftan beslenen geleneksel alçak gerilim şebekelerinde meydana gelen hata sonucunda arıza giderilene kadar tüketici enerjisiz kalırken akıllı şebekelerde geliştirilen sistem sayesinde hata oluşan bölge şebekeden izole edilip başka bir hat üzerinden tüketici enerjilenmeye devam etmektedir. Tez çalışması kapsamında kurulan sistem ile akıllı şebekelerin enerji sürekliliği ve enerji kalitesi alt başlıkları bağlamında önemli bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada MATLAB®, Simulink® ve SimPowerSystems® kullanılarak bir ring şebeke ve IEEE test sistemi modellemesi yapıp, şebekede çeşitli arızalar oluşturularak sistemin tepkisi ölçülmüştür. Gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra sistem herhangi bir hatada arıza bölgesini izole edip başka bir hattan tüketiciyi besleyerek enerjinin sürekliliğini sağlayacak hale gelmiştir. Bu sebeple sistemin çalışma koşulları altında hata vermemesini sağlamak büyük önem taşımaktadır. Böylece sistemde enerjinin sürekliliği sağlanacak, tüketicilerin enerji kesintisinden dolayı oluşan kayıpları önlenecek, hata bölgesi izole edilip tamir edilirken tüketiciler enerjilenmeye devam edecektir.

1.4 Tezin Amacı

Bir enerji şebekesinde meydana gelmesi muhtemel arızalara karşı önceden tedbir almak, arızaya hızlı müdahale etmek, tüketiciyi enerjisiz bırakmamak büyük önem taşımaktadır. Tek taraftan beslenen konvansiyonel şebekelerde meydana gelen hata sonucunda arıza giderilene kadar tüketici enerjisiz kalırken akıllı şebekelerde geliştirilen sistem sayesinde hata oluşan bölge şebekeden izole edilip başka bir hat üzerinden tüketici enerjilenmeye devam etmektedir. Bir akıllı şebeke modelinin elde edilebilmesi

için sistemde konvansiyonel Şebeke bileşenlerinin yanı sıra haberleşme ve koruma ekipmanlarının da yer alması gerekmektedir.

Bu çalışmada bir ring Şebeke ve IEEE test sistemi modellemesi yapılıp, Şebekede çeşitli kısa devreler ve aşırı akım Şartları oluşturularak sistemin tepkisi lmŐtr. Oluşturulan ring Şebekede ve IEEE test sisteminde çeşitli omik-endüktif yükler, alternatif enerji kaynakları, dağıtık üretim tesisleri yer almaktadır. Sistemde yer alan elemanlar aşırı akım ve kısa devre durumlarında enerjinin sürekliliğini sağlamak için röleler ile korunmuştur. Gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra sistem herhangi bir hatada arıza bölgesini izole edip başka bir hattan tüketiciyi besleyerek enerjinin sürekliliğini sağlayacak hale getirilmiştir. Gerçekleştirilen tez çalışması ile akıllı Şebeke altyapısına uygun, enerji kesintisi durumunda tüketicileri enerjisiz bırakmayan, dağıtık üretim tesisleri ile entegre edilmiş bir enerji Şebekesi modeli elde edilmiştir.

Bu bağlamda gerçekleştirilen çalışma kapsamında akıllı Şebeke altyapısına uygun bir Şebeke modeli dizaynı ve bahsi geçen sistem için kısa devre - aşırı akım koruması sağlayan kontrol sistemi dizaynı amaçlanmıştır.

1.5 Orjinal Katkı

Bir Şebekede meydana gelmesi muhtemel arızalara karşı önceden tedbir almak, arızaya hızlı müdahale etmek, tüketiciyi enerjisiz bırakmamak büyük önem taŐıymaktadır. Tek taraftan beslenen geleneksel alçak gerilim Şebekelerinde meydana gelen hata sonucunda arıza giderilene kadar tüketicisi enerjisiz kalırken akıllı Şebekelerde geliştirilen sistem sayesinde hata oluşan bölge Şebekeden izole edilip başka bir hat üzerinden tüketicisi enerjilenmeye devam etmektedir. Tez alıŐması kapsamında kurulan sistem ile akıllı Şebekelerin enerji sürekliliği ve enerji kalitesi alt başlıkları bağlamında önemli bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu alıŐmada MATLAB®, Simulink® ve SimPowerSystems® kullanılarak bir ring Şebeke ve IEEE test sistemi modellemesi yapılıp, Şebekede çeşitli arızalar oluşturularak sistemin tepkisi lmŐtr. Gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra sistem herhangi bir hatada arıza bölgesini izole edip başka bir hattan tüketiciyi besleyerek enerjinin sürekliliğini sağlayacak hale gelmiştir. Bu sebeple sistemin çalışma koşulları altında hata vermemesini sağlamak büyük önem taŐıymaktadır. Böylece sistemde enerjinin sürekliliği

sağlanacak, tüketicilerin enerji kesintisinden dolayı oluşan kayıpları önlenecek, hata bölgesi izole edilip tamir edilirken tüketiciler enerjilenmeye devam edecektir.

KONVANSİYONEL VE AKILLI ŞEBEKELER

2.1 Konvansiyonel Şebekeler

2.1.1 Konvansiyonel Şebekelere Ait Genel Bilgiler

İnsanoğlunun varlığının başlangıcından beri gereksinimlerin karşılanabilmesi için enerjije ihtiyaç duyulmaktadır. Sanayi devrimi ile birlikte artan enerji ihtiyacı, enerji kaynaklarının çeşitlenmesine de neden olmuştur. Enerji kaynakları ve talep arttıkça daha uzak noktalardan tüketicilere enerji sağlanması gerekliliği enerji iletim hatları ve bileşenlerini devreye sokmuştur. 19.yy da başlayan bu değişim 20.yy da nihai halini almış ve konvansiyonel (geleneksel) şebeke yapısı ortaya çıkmıştır.

Günümüzün alternatif akım elektrik şebekeleri büyük ölçüde 1896'dan sonra temel olarak Nikola Tesla'nın 1888 yılında yayımlanan tasarımlarına bağlı olarak geliştirildi.

Alternatif Akım'ın Doğru akım karşısında üstün özelliklerinin kabul görmesinden sonra yaşanan bu gelişmelerden de anlaşılabileceği gibi günümüz şebekelerinde kullanılan pek çok elemanın temelinde 120 yıl öncesinin -artık yetersiz sayılabilecek- teknolojisi yatıyor. Bu durumun aksine çift yönlü elektrik iletimi, özelleşmiş elektrik dağıtım şebekeleri, “talebe bağlı kontrol” gibi kavramların varlığını dahi düşünebilmek için 21. yüz yılı beklemek gerekmişti.

2.1.2 Konvansiyonel Şebekelerin Dezavantajları ve Sorunları

20. yy elektrik şebekeleri yerel ölçekli, küçük çaplı şebekeler olarak tasarlanmıştır. Gelişen ekonomik ihtiyaçlar ve artan talep çerçevesinde zamana yayılan eklemeler

mevcut şebekelerin kontrolü zor, karmaşık şebekelere dönüşmelerine yol açmıştır. 1960'ların sonlarına doğru gelişmiş dünyada hemen her ev ve iş yeri elektrik hizmetine kavuşmuştu. Yüz yılın sonlarına doğru ise bu karmaşa özellikle kalabalık şehirlerde ve ileri derecede sanayileşmiş bölgelerde artan enerji kayıpları ve kontrol/takip güçlükleri olarak kendini göstermeye başlamıştır.

Günümüz modern ihtiyaçları pek çok alanda mevcut şebeke altyapısı tarafından karşılanamayacak duruma geldiğinde ise yeni arayışlar başlamıştır. Bu ihtiyaçlara örnek vermek gerekirse elektrik şebekelerine yapılabilecek siber saldırılara karşı savunma gösterilebilir. Her ne kadar Amerika veya Avrupa'da henüz bu tarz bir saldırıya rastlanmamış olsa da 2009 Nisan ayında çeşitli elektrik şebekelerine -muhtemelen ileri tarihlerde gerçekleştirilecek bir saldırıya olanak sağlamak için- çeşitli sızmaların gerçekleştirildiği kesin olarak ilk defa tespit edildi [1].

2.1.3 Konvansiyonel Şebekelerin Geleceği

Konvansiyonel şebekelerin gelecekte Akıllı şebekelere (Smart Grid) evrileceği bilinen bir gerçektir. Akıllı şebeke (Smart Grid) teriminin kendisi ise en azından 2005 yılında S. Massoud Amin ve Bruce F. Wollenberg'in yazarlığını paylaştığı "Toward A Smart Grid" (Akıllı Bir Şebekeye Doğru) isimli makale IEEE P/E Magazine (Vol. 3, No:5, pgs 34-41)'de yayınlandığından bu yana kullanımda görünmektedir. Daha az belirgin izler takip edildiğinde terimin kökenleri 1998 yılına kadar izlenebilmekte. Bunun yanında bu kavrama yönelik kimi işlevsel, kimi teknolojik tabanlı pek çok tanım mevcut durumda.

Genel olarak günümüz akıllı şebeke çalışmalarının temelini 1980'lerde başlayan elektronik kontrol, ölçüm ve izleme çabalarına dayandığı söylenebilir. 1990'larda sayaçların işlevselliğinin artması ve günün saatlerine göre elektrik kullanımına yönelik daha spesifik bilgilerin sağlanması da "akıllı sayaç" teknolojileri için bir dönüm noktası olarak görülebilir.

2000'lerin başında İtalya'da hayata geçirilen "Telegestore Project" ilk geniş çaplı (27 milyon civarı konut üzerinden) akıllı sayaç kullanımı sayılmakta. Bu projede sayaçlar düşük bant aralıklı, güç hattı üzerinden haberleşmeden yararlanmışken günümüzde geniş bant haberleşme teknolojileri ve kablosuz (wireless) haberleşme teknolojileri tercih edilmektedir.

Geniş bölge şebekelerinin izlenmesi ve senkronizasyonu açısından 1990'larda Bonneville Power Administration'ın akıllı şebeke araştırmalarını ve prototip sensör kullanımı geniş alanlara yayması devrimsel nitelikte oldu. Bu çalışmanın sonucu 2000 yılına girerken ilk işlevsel Geniş Alan Ölçüm Sistemi (Wide Area Measurement System – WAMS) olarak kayıtlara geçmiştir.

2.2 Akıllı Şebekeler

2.2.1 Akıllı Şebekelere Ait Genel Tanım ve Özellikler

Günümüzde artmakta olan enerji ihtiyacına paralel olarak mevcut şebekelere yeni istasyonlar ve yeni tüketiciler eklenmektedir. 20.yy'dan bu yana hemen hemen aynı prensiple çalışan şebekelere 21.yy'a ait ağ ve bilgisayar teknolojileri eklenerek geleceğin şebekeleri Akıllı Şebekeler (Smart Grids) oluşturulmaktadır. Bir akıllı şebekenin bileşenleri ve teknolojileri, Amerika Enerji Departmanı(DOE) 'na göre bazı yapıları içermelidir. Bu yapılar akıllı üretim, akıllı dağıtım, akıllı sayaçlar, bütünleştirilmiş haberleşme ve ileri kontrol metotlarından oluşmaktadır [2]. Hali hazırda kullanılmakta olan geleneksel şebekelerde birçok sorunla karşılaşılmaktadır. Bu sorunlardan en başlıcaları hata tespitlerinin manuel olarak yapılıyor olması, bağımsız gerilim regülasyonu, optimize edilmemiş güç akışı ve kısmi güç yönetimidir. Akıllı şebekelerin kullanılması ile gerçek zamanlı hata tespiti ve uzaktan kumandalı anahtarlama, gerçek zamanlı güç yönetimi ve kayıpları azaltmak amacıyla dinamik simülasyonlar gerçekleştirilmektedir [3].

Modern şebeke altyapıları birbirine bağlı şekilde dizayn edilmiştir. Herhangi bir noktadaki değişim çok kısa sürede geniş bir alanı etkileyebilmektedir ve bu etki şebekeye çok daha fazla hasar verebilmektedir [4]. Bu sorunu çözmek için yetersiz hale gelen altyapının oluşturduğu dezavantajlar ortadan kaldırılmalı ve geliştirilmiş şebeke çözümleri sunulmalıdır [5]. Şebekede meydana gelmesi muhtemel arızaları algılama ve anında müdahale için güvenilir bir haberleşme sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Sistemin güvenilirlik, etkinlik ve verimliliğini arttırmak için haberleşme sistemi de aynı şekilde güvenilir ve etkin bir şekilde çalışmalıdır [6]. Akıllı şebekelerin en önemli alt başlıklarından birisi olan haberleşmenin güç sistemlerine dahil edilmesi sonucunda arzu edilen güvenilir şebekeler elde edilecektir. Akıllı sayaçların yaygınlaşması ile

birlikte tüketicilerin talep ettiği enerji daha detaylı bir şekilde analiz edilebilecek ve akıllı fiyatlandırma yapılabilecektir. Akıllı şebekelerin en önemli getirilerinden birisi ise sistemde meydana gelebilecek hatalar esnasında ortaya çıkmaktadır. Tepki süresi çok hızlı olan sistemlerin kullanımı ile birlikte bir noktadaki hatanın şebekenin kalan kısmını etkilemesinin önüne geçilecektir. Yüksek hızlı koruma ve uzaktan kontrol ile istenilen güvenilir sonuçlar elde edilecektir [7]. Akıllı şebekelerde hata yeri tespiti yapıldıktan sonra enerjinin sürekliliğini sağlama ve tüketiciyi enerjisiz bırakmama amacı ile çeşitli çözümler sunulmaktadır [8].

İklim değişimi, artan enerji fiyatları ve gelişen teknoloji tüketicilerin düşünce yapısını değiştirerek çoğu aboneyi pasif birer kullanıcı olmaktan çıkarıp daha bilinçli ve enerji kullanımında söz sahibi olmak isteyen, aktif kullanıcılar haline getirdi. İki yönlü enerji akışına izin veren ve dağıtık enerji üretimini destekleyen akıllı şebeke teknolojisinin gelişimi ise bu noktada mevcut engellerin çoğunu kaldırarak şirketlere tüketici alışkanlıklarını değiştirme fırsatı tanıdı.

Klasik şebekelere dijital zeka katmanı eklenmesi ve böylece “akıllı” hale getirilmeleriyle bu şebekeler, enerjinin santralden prize kadar iki yönlü akışını otomatikleştirmek, izlemek ve denetlemek için sensörler, sayaçlar, dijital kumandalar ve analitik araçlar kullanır [9]. Böylece elektrik şirketleri, şebeke performansını optimize edebilir, kesintileri önleyebilir, kesintileri daha hızlı giderebilir ve kullanıcıların ağa bağlı bağımsız aygıtlara kadar enerji kullanımını yönetmelerine olanak sağlayabilir hale gelmektedir.

Akıllı şebekeler aynı zamanda rüzgar ve güneş enerjisi gibi sürdürülebilir enerjilerden elde edilen elektriği kullanabilir ve dağıtılmış güç kaynakları veya prize bağlanan elektrikli otomobillerle yerel olarak etkileşim kurabilir. Böylece hem elektrikli araçlar gibi geleceğin teknolojisinde yön verici olması beklenen cihazların şebekeye bindirdiği değişken ve büyük yükler tolere edilirken hem de CO₂ salınımı gibi günümüzde hassasiyetin oldukça yoğunlaştığı konulardan birinde “yeşil” çözümlerin önünü açılmış olacaktır.

Bu konuda belirginleşen bir eğilim olarak yenilenebilir enerji bazlı dağıtık enerji kaynaklarının entegrasyonunda, Avrupa'da yapılan güncel bir çalışmaya göre, nispeten

kısa sayılabilecek bir sürede mevcut enerji ihtiyacının %30'unun yenilenebilir kaynaklardan (güneş ve rüzgar enerjisi gibi) karşılanabileceği ön görülüyor.

Mevcut CO₂ salınımını azaltmak ve talebe dayalı ücretlendirmeyi sağlamak için hem dağıtık enerji üretimini destekleyebilecek bir altyapıya hem de akıllı ölçüm cihazlarına (akıllı sayaçlar) ihtiyaç vardır. General Electric'e göre Amerika'daki evlerin %10'unda akıllı sayaçların kullanılması ile 3,724,197 ton CO₂ salınımı engellenmiştir. Bu oran %25'e çıktığında 9 milyon ton'un üzerinde salınımın önüne geçilecektir [10].

2.3 Dağıtık Üretim

2.3.1 Dağıtık Üretim Nedir?

Günümüzde gelişmiş ülkeler enerji ihtiyaçlarının büyük bir kısmını fosil yakıt kullanan, suyun potansiyel enerjisinden faydalanan veya nükleer enerjiden yararlanan büyük ölçekli ve merkezi enerji üretim tesisleri vasıtasıyla sağlamaktadır. Bu tesisler her ne kadar üretim verimi açısından parlak rakamlar ortaya koysa da genellikle üretilen enerjinin yerleşim birimlerine ve sanayi tesislerine iletimi için uzun enerji iletim hatlarına ihtiyaç duyarlar ve bu durum da iletim kayıplarına sebep olur.

Ayrıca elektrik enerjisi üretim tesislerinin kurulacakları yerlerin seçilmesinde ekonomik, tıbbi, coğrafi, politik ve güvenliğe dayalı endişelerden kaynaklanan pek çok faktör göz önünde bulundurulmaktadır. Örneğin; bir hidroelektrik santralinin yapısı gereği kendisini taşıyabilecek özelliklere sahip bir akarsuyun üzerine kurulması gerekirken bölgenin jeolojik ve ekolojik yapısı ile bölgede yaşayan insanların hayatlarına sosyal boyutta etkileri de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu ve benzeri durumlar enerji üretiminin önünde birer doğal sınır olarak geçerliliğini korumaktadır. Üstelik günümüzde gittikçe artan çevresel duyarlılık nedeniyle bu santrallerin CO₂ salınımları ve hava kirliliğine olan etkileri de birer soru işareti olarak akıllarda yer bulmaktadır.

Tam da bu noktada uzun zamandır düşük üretim kapasiteleri nedeniyle görmezden gelinen yerel enerji kaynaklarının efektif bir şekilde kullanılmasına yönelik fikirler canlanmıştır. Geçmişte rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmak için geniş alanlarda güneş tarlaları ya da rüzgar çiftlikleri kurmak gerekirken artık bu tesislerin daha düşük kapasiteli ve dağınık bir şekilde kurulmuş bile

olsalar etkin bir biçimde şebekeye entegre edilmesi söz konusudur. Akıllı şebeke altyapısı ve onun getirdiği çift yönlü enerji aktarımı, etkin ve hızlı hata kontrolü gibi özellikler sayesinde yerel enerji kaynakları (rüzgar, güneş, jeotermal vs) atıl olarak beklemekten kurtulmuştur. Bu şekilde dağınık halde kurulan ve yoğun çeşitlilik arz eden tesisler vasıtası ile enerji üretimi özelliklerinden de anlaşılabilceği gibi yaygın olarak “dağıtık üretim” şeklinde adlandırılmaktadır.

Dağıtık üretim uygulamaları, enerji verimliliği, güvenilirliği ve yenilebilir enerji kaynakların kullanımı için büyük öneme sahiptir [11]. Akıllı şebekeler, küçük ölçekli enerji üretiminden yüksek güçlü enerji santrallerine kadar çok geniş bir alana yayılan enerji kaynaklarının dağıtım şebekesine entegre edilmesine olanak tanımaktadır [12].

2.3.2 Dağıtık Üretim Tesislerinin Avantajları

Fosil yakıtlarda görülen tükenme işaretleri bu yakıtlar geleneksel enerji üretme metotlarıyla yakından ilişkili olduğu için enerji fiyatlarında beklenmedik artış ve dalgalanmalara yol açmaktadır. Öte yandan ise bu fosil yakıtların kullanımından kaynaklanan sera gazı salınımı ciddi bir çevre sorunu olarak tehdit unsuru olma niteliğini korumakta ve her geçen gün daha ciddi bir hâl almakta, “küresel ısınma” ise gezegenimizin geleceğini tehdit etmekte. Zaman zaman bu sorunlara alternatif çözüm olarak gösterilen ve bir zamanlar kendisine büyük umutlar bağlanan nükleer enerjinin ne kadar tehlikeli olduğu Japonya’nın Fukushima tesislerinde meydana gelen kaza ile bir kez daha ortaya çıkmış oldu.

Günümüzde işletmede bulunan merkezi elektrik güç santralleri oldukça ileri teknolojilere sahiptir ancak arıza olasılıklarının azalmış olması ve üretim veriminin yüksekliği ortaya çıkan enerji dar boğazını gizleyemez. Daha önce riski minimize etmek için kurulmuş olan bu merkezi sistem bugün kendi başına ciddi riskler taşımaktadır. Nitekim günümüzde elektrik kesintilerinin çoğu, iletim hatları veya trafo merkezleri kökenli arızalardan kaynaklanmaktadır [13]. Ayrıca bu hatlarda yaşanan enerji kayıpları verimi düşürmektedir.

Dağıtık elektrik üretimi, sistem genelinde bakıldığında şu başlıklar altında sıralayabileceğimiz kimi avantajları sağlamaktadır;

- Enerji verimliliği,
- Yakıt çeşitliliği,
- Etkin risk koruması,
- Esneklik,
- Arz sürekliliği ve güvenliği,
- Yerel kalkınma,
- İlave yatırıma ihtiyaç duymaması.

Ayrıca, enerji üretim fazlasının şebekeye dağılmış depolama sistemlerinde depolanması ve gerektiğinde enerji talebini karşılamak üzere kullanılabilmesi hedeflenir [14]. Yüksek hacimli enerji depolama sistemlerinden hane tipi depolama sistemine kadar çok geniş ölçekte depolama sisteminin şebekeye dağıtılması yenilenebilir enerji kaynakları gibi enerji sürekliliği olan kaynakların etkin kullanımı için önem arz etmektedir [15].

Dağıtık üretim ve depolama olanaklarına sahip şebekelerde üretim-talep dengesi ve enerji fiyatları daha akıllı yönetilebilir [16]. Enerji tüketiminin fazla olduğu zaman aralığı şebeke elemanlarını zorlamaktadır. Tüketicin yardımıyla bu sorun çözülmekle beraber enerji fiyatları ve enerji verimliliği artırılabilir [17]. Talebe bağlı olarak yürütülecek enerji üretim ve depolama stratejileri enerji verimliliğini önemli ölçüde artırabilecektir. Akıllı şebekeler küçük ölçekli elektrik üretiminin şebekeye bağlanmasına imkân sağlamakla birlikte tüketicinin de aktif hale gelmesini hedeflemektedir [18].

2.3.2.1 Dağıtık Üretim ve Enerji Maliyeti

Liberal market kavramında en önemli unsur değişen ekonomik gelişmelere en esnek biçimde uyum sağlayabilmektir. Dağıtık üretim teknolojileri nispeten küçük boyutları ve kısa kurulum süreleri sayesinde bu avantajı ellerinde tutmaktadır. Bu nedenle mevcut marketteki açıkları kapatmak için üreticiler gittikçe artan bir ivmeyle dağıtık üretime yoğunlaşmakta ve bu alana ilgilerini yöneltmektedir. Bu aynı zamanda bir tüketicinin kendisine en “uygun” enerji kaynağını seçebilmesi anlamına da gelmektedir.

Mevcut tüketici alışkanlıkları nedeniyle rüzgar ve güneş gibi nispeten yenilikçi enerji kaynaklarına yönelmekte bir toplumsal direnç söz konusu olsa da dağıtık üretimin artan ekonomik avantajı bu direncin gittikçe zayıflamasına sebep olmakta, yakın gelecekte büyük oranda ortadan kalkacağına işaretlerini vermektedir.

Dağıtık üretim acil enerji ihtiyaçlarına hızlı ve esnek bir çözüm sunduğu için bu tarz “pik” anlarında oluşabilecek potansiyel fiyat dalgalanmalarının da önüne geçerek doğal bir filtre görevi de görmektedir. Akıllı şebekeler ve dağıtık üretim, enerji üretim ve tüketim yönetimine verimli ve akıllı bir yaklaşım sağlamıştır [19].

2.3.2.2 Güç Kalitesi ve Güvenilirlik

Elektrik şebekelerinde güvenilirlik problemleri denince genellikle akla ani voltaj düşümleri gelmektedir. Bu düşüşler kimi zaman uzun vadeli sorunlara yol açmakta ve bazı örneklerde kısmi veya genel “çökme” durumlarına neden olabilmektedir. Pek çok gelişmiş Avrupa ülkesinde güvenilirlik seviyeleri ileri mühendislik standartları nedeniyle oldukça yüksektir ve tüketiciler bu gerilim düşümlerinden pek etkilenmez, onu bir sorun olarak görmelerine gerek kalmaz. Ancak enerji marketinin yapısındaki değişiklikler ve artan “liberalleşme” kaliteyi ön plana çıkaran bu yaklaşımı değiştirerek fiyat bazlı bir yaklaşıma kaymaya neden olduğu için gelecekte düşecek standartlar tüketicilerin bu sorunları daha ciddi biçimde hissetmesine neden olabilir. Öte yandan endüstri üretimi için güvenilir ve sürekli enerjinin önemi oldukça açıktır, haberleşmeden kimya endüstrisine kadar pek çok alanda aksi durumda ortaya çıkacak hasarların maddi karşılığı oldukça yüksek olabilir. Bu endüstrilerde yer alan firmaların şebeke kaynaklı enerjide yaşanabilecek güvenilirlik sorunlarını ortadan kaldırmak için kendi yüksek standartlarını oluşturma yoluna gitmeleri ve bunun için kendi dağıtık üretim tesislerini kurup bu alana yatırım yapmaları oldukça olasıdır.

Bahsi geçen yüksek dereceli voltaj düşümlerinin yanı sıra şebeke yapısındaki sorunlar ve açma kapama hataları kaynaklı daha düşük etkili voltaj düzensizlikleri ve ideal dalga formundan sapmalar yaşanabilir, şebeke üzerinde harmonikler ve faz dengesizlikleri oluşabilir. Bu durum ise mevcut güç kalitesinin düşmesine sebep olmaktadır.

Güç kalitesi üzerinde dağıtık üretimin etkilerine dair çelişkili görüşler kendi savlarını ortaya koymaktadır. Bir yandan güç iletiminin zor olduğu ve güç ihtiyacının yüksek bulunduğu yerlerde mevcut şebeke ile senkronize çalışabilecek ek tesisler ihtiyacın karşılanmasını sağlayabileceği gibi öte yandan dağıtık üretimin doğasında yer alan iki yönlü enerji iletimi şebeke dengesini bozucu rol de oynayabilir.

2.4 Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisinin kullanımı çok eskilere dayanmaktadır. İlk olarak, Asya Medeniyetlerinden Çin, Tibet, Afganistan ve İran'da kullanıldığı bilinmektedir. Rüzgar türbinlerinin kullanımına ait ilk yazılı bilgiler Büyük İskender tarafından M.Ö. 200- 300 yıllarında basit yapıdaki yatay-eksenli rüzgar türbinler hakkındadır.

Rüzgar enerjisi potansiyelinin büyüklüğü nedeniyle göz ardı edilemeyecek bir dağıtık üretim ve yenilenebilir enerji kaynağıdır. Fosil yakıtların ucuzluğu yedeniyle yeterli seviyede önemsenmeyen rüzgar enerjisi, 1970'li yıllardaki petrol krizleri nedeniyle tekrar hatırlanmıştır. 1980 sonrasındaki gelişmelerle, Avrupa ve ABD'de rüzgar santralleri ekonomi, çevre ve enerji açısından çağdaş mühendislik ürünleri haline gelmiştir.

Rüzgar türbinlerinin seri üretimine geçilmesi ile bu alandaki yatırımlar ve türbin üzerindeki gelişmeler gün geçtikçe artmış ve rüzgar santralleri kurulmuştur. Önceleri kara parçaları üzerinde kurulan rüzgar santralleri, artık denizlerin üzerine (Alarga – Offshore) kurulmaktadır.

1970'li yılların sonlarında, rüzgar enerjisi sağlayan küçük rüzgar türbinleri, diğer alternatif enerjilerle karşılaştırıldığında, yatırım maliyetlerinin azlığı ve gelişen teknolojilerin etkisiyle, pek çok kişinin ilgisini çekmiştir. 1979–1985 yılları arasında uygun devlet kredileri ile 4500'den fazla 1 ile 25kW arasında değişen güçlerde rüzgar santralleri yapılmıştır. Aynı dönemde çeşitli özellikte 1000 adet uzaktan kontrollü sistem tesis edilmiştir. [20]

Dünyada; rüzgar enerjisinden elektrik üreten ilk türbin, 1891'de modern aerodinamiğin önemli mühendisi olan Paul la Cour tarafından Danimarka'da inşa edilmiştir. Elektriğin birim fiyatı yüksek olduğundan, 1980–1981 yıllarında, endüstriyel ve teknolojik gelişmeler sonucu 55kW kapasiteli rüzgar türbinleri yapıp, üretimine başlanmıştır. Rüzgar endüstrisi daha çok yaygınlaşmış ve Risoe National Laboratuvarı yardımı ile Avrupa Rüzgar Atlasının gelişmesine paralel olarak elektrik birim fiyatlarında önemli ölçüde azalmalar meydana gelmiştir. [21]

En küçük rüzgar türbinleri 1982 yılında California piyasasına girdiğinde, Danimarka'da uzun süredir kullanılmaktaydı. California'da 1979–1985 yılları arasındaki devlet yardım

programı etkisini göstermiş ve 1981 yılında 150 adet olan küçük rüzgar türbin sayısı, 1985 yılı sonlarında 16000'e ulaşmıştır. California'daki bütün rüzgar türbinlerinin %75'ine ortak olan Danimarkalı üreticiler, 55kW'lık rüzgar türbinleri için bir endüstri kurmuşlardır. Danimarkalı üreticiler, bugün bile dünya çapındaki piyasada en büyük üretici olma özelliğini elinde bulundurmaktadır. 1985 yılında 25m kanat çapında ve 250kW gücündeki prototipi California'da yapılmış ve kısa bir zaman içinde piyasaya sürülmüştür. Danimarka da ise piyasayı canlı tutmak amacıyla ev tipi rüzgar türbinleri tekrar geliştirilerek piyasaya sürülmüştür. Bugün bile 0,1–10kW arasında bağımsız çalışan çeşitli güçlerde ev tipi rüzgar türbinleri imal edilmektedir.

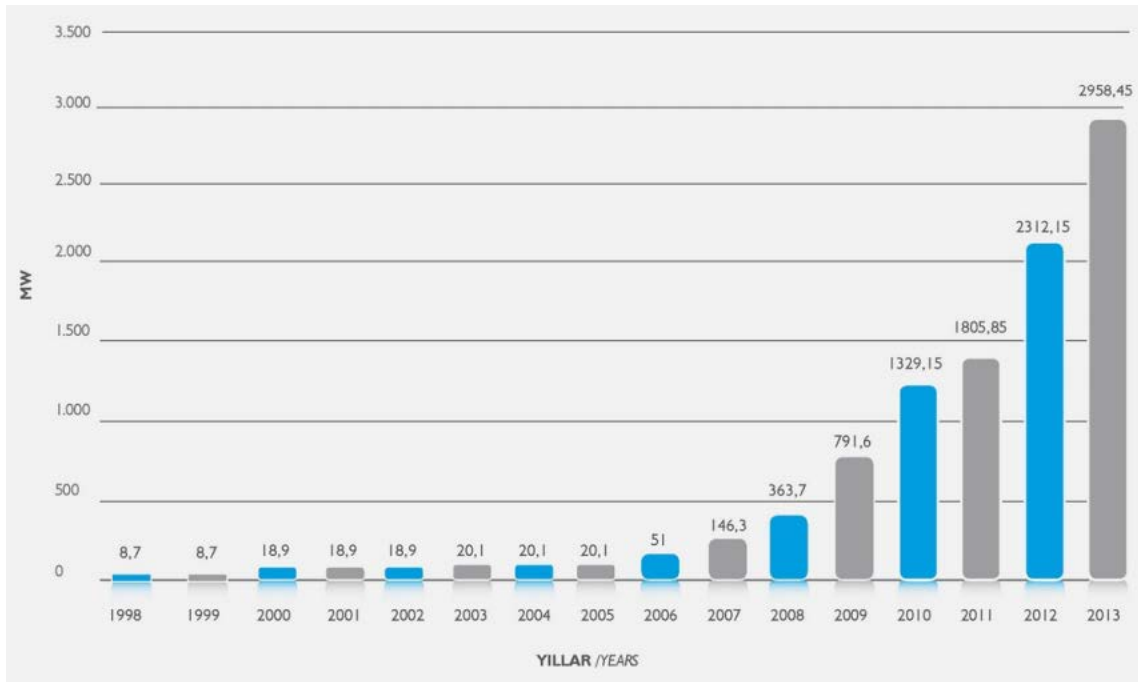
1989 yılından itibaren Almanya'da rüzgar türbini teknolojisi hızla gelişmiştir. Rotor çapı 25m, çıkış gücü 150-250kW olan türbinler imal edilmiş ve bunu rotor çapı 30-35m, çıkış gücü 300kW'dan büyük türbinler izlemiştir. Bu türbinler 2–3 yıl piyasaya egemen olmuştur. 1992 Ağustos ayında ilk Tacke-Windtechnik'in yaptığı 500kW'lık türbin çalışmaya başlamıştır. Bunu ENERCON'un E40 ve diğer Avrupalı üreticilerin ürettiği türbinler takip etmiştir. 500kW'lık rüzgar türbinlerinin gelişmesi için 37m kanat çapında rotor imalatına başlanmıştır. Bunu 46m çapında ve 600kW gücünde ve özellikle iç bölgelerde, düşük rüzgarlı alanlarda kullanılmak üzere dizayn edilmiş türbinler izlemiştir. Tacke-Windtechnik'in yaptığı 500kW'lık türbinden dört yıl sonra 1996 yılı sonlarına doğru ENERCON 66m çaplı 1,5 MW gücünde rüzgar türbinleri üretmeye başlamıştır. Bu ilerlemeyi; 66m çaplı ve 1,65 MW gücündeki türbinler izlemiştir. Artık günümüzde karadaki uygulamalar için 70m, 80m hatta 100m rotor çaplı ve 2 MW ve üzeri güçlerdeki bir RT görmek olağan dışı değildir. Rüzgar enerjisi bakımından deniz alanları karalara göre daha büyük zenginlik gösterdiği için denizlerde de deniz üstü (Offshore - Alarga) rüzgar santralleri kurulmasına başlanmıştır. Birinci etapta kıydan uzaklığı 10km'yi ve derinliği 10m'yi geçmeyen alanlar hedeflenmiştir. İlk deniz üstü rüzgar çiftliği 5 MW güçle Danimarka'da Lolland adası yakınlarında kurulan Vindeby rüzgar çiftliğidir.

2.4.1 Türkiye'de Rüzgar Enerjisi

Türkiye coğrafi konumu nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı açısından son derece verimli ve önemli bir potansiyele sahiptir. Rüzgar enerjisi bu kaynaklar

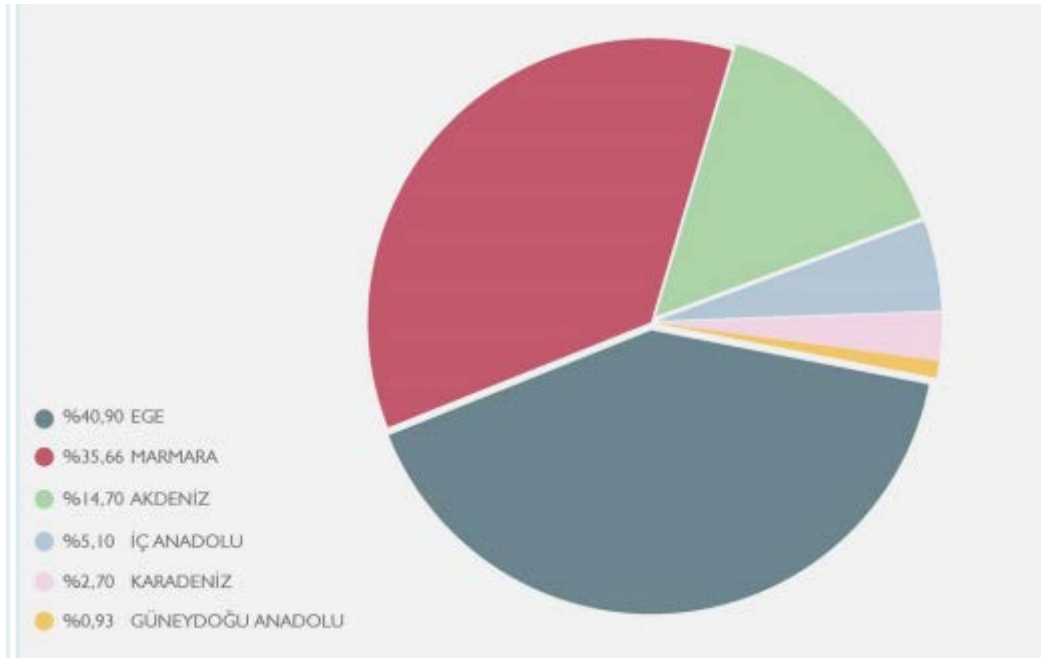
içinde önemli bir yer kaplamaktadır. Türkiye, orta kuşakta yer almasından dolayı, soğuk ve sıcak hava kütlelerinin karşılaştığı bir alandır. Balkan yarımadası üzerinden gelen kuzey rüzgarlarının etkisiyle, kış boyunca Karadeniz’de güçlü rüzgarlar oluşur. Fakat Karadeniz kıyılarının, sarp kayalıklardan ve ani yükselen tepelerden meydana gelmesi yüzünden bu rüzgarların gücünden yararlanılamamaktadır. Anadolu’nun güneydoğu kıyıları, batı kıyıları ve Marmara Bölgesi rüzgar gücü bakımından zengin alanlarımızdır.

Türkiye’de ilk örneği 1985 yılında İzmir Çeşme’de rastlanan rüzgar enerjisi ile elektrik üretimi 2007 yılına kadar kurulu güç bakımından öncü kuruluşlar dışında uygulama sayısı az denilebilecek bir seviyeydi. 2007 yılı itibarıyla rüzgar türbini teknolojilerinin ve dağıtık üretimin yaygınlaşmasıyla örnekleri çoğalmıştır. Devletin mali politikalar ile alternatif enerji kullanımına yönelmesi ve teşvik uygulamalarıyla kurulu güç 2958 MW mertebesine ulaşmıştır.



Şekil 2.1 Türkiye’de rüzgar enerjisi kurulu gücü [22]

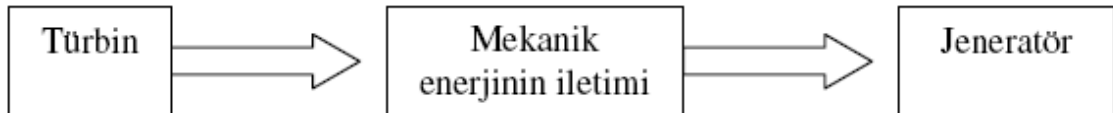
2006 yılı itibarıyla 5 adet rüzgar enerjisi üretim tesisi ile 51 MW kurulu güç seviyesi varken, bu rakam 2013 yılı itibarıyla 75 tesis ve 2958 MW olarak tespit edilmiştir. Tesislerin bulunduğu bölgeler ele alınacak olursa Ege ve Marmara bölgelerinin başı çektiği görülmektedir.



Şekil 2.2 Türkiye’de rüzgar enerjisi kurulu gücünün bölgelere göre dağılımı [22]

2.4.2 Rüzgar Türbinlerine Ait Genel Tanım

En temel şekliyle rüzgar türbinlerinin çalışma prensibi ve elektrik enerjisinin elde edilmesi kanatlara çarpan rüzgarın rotoru çevirmesi ve rotorun miller vasıtası ile jeneratörü tahrik etmesi prensibine dayanır.



Şekil 2.3 Rüzgar türbininde temel enerji dönüşümü

Tahrik edilen kısmı ile dönme hareketi yapan ve bir akışkanda bulunan enerjiyi milinde mekanik enerjiye dönüştüren makineler türbin olarak adlandırılmaktadırlar.

Rüzgar enerjisi üretimi için kullanılan türbinler teknolojik gelişmeler sayesinde gün geçtikçe modernleşmekte ve eksik olduğu düşünülen konular bir bir tamamlanmaktadır. Performansı arttırıcı sistemler ile rüzgar dünden bugüne yel değirmenlerinden modern türbinlere kadar basamak basamak bir gelişim gösterdi. Kısaca modern türbinlerin genel yapısına bakacak olursak:

- Modern rüzgar türbinleri 2-3 kanatlıdır,
- Kanat çapları yaklaşık olarak 30 m’dir,

- Belli bir zaman aralığında rüzgar hızı değişkendir. Ancak, şebekeye enerji, rüzgar jeneratörü ve kanat özellikleri ile yaklaşık olarak değişmez olarak verilir,
- Enerji üretimi rotor yüksekliğinde rüzgar hızının kübüne ve kanatların süpürme alanına bağlıdır,
- Türbin güçleri birkaç KW tan birkaç MW a kadar değişebilmektedir,
- Rüzgar türbinleri karaya kurulduğu gibi denizlerde de kurulabilmektedir.

Rüzgar enerjisi dönüştürme sistemleri 50W ile 2-3 MW arasında mekanik veya elektrik gücü sağlayabilmektedir. Havanın özgül kütlesi az olduğundan, rüzgardan sağlanacak enerji rüzgar hızına bağlıdır. Rüzgar hızı yükseklikle, gücü ise hızının kübü ile orantılı biçimde artar. Rüzgarın sağlayacağı enerji, gücüne ve esme saati sayısına bağlıdır.

2.4.2.1 Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması

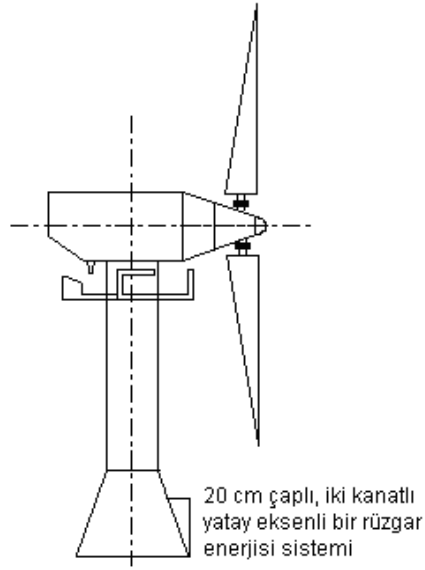
Rüzgar türbinleri kanat yapılarına göre Yatay, Dikey ve Eğik Eksenli olmak üzere üç başlık altında incelenirler.

- **Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri:**

Dönme eksenleri rüzgar yönüne paralel ve kanatlar rüzgar yönüne diktir. Ticari türbinler genellikle yatay eksenlidir. Rotor, rüzgarı en iyi alacak şekilde döner bir tabla üzerine yerleştirilmiştir.

Yatay eksenli türbinlerin çoğu rüzgarı önden alacak şekilde tasarlanır. Rüzgârı arkadan alan türbinlerin ise, yaygın bir kullanım alanları yoktur. Yatay eksenli makinelerin maksimum enerji tutabilmeleri için rotorları daima rüzgar akış yönünde olmalıdır. Bu da rotorun kule üstünde dönmesi ile sağlanır. Rüzgarın yönünde dönme hareketi iki değişik konstrüksiyon ile sağlanır. Bunlar “öne-rüzgar” ve “arkaya-rüzgar” olarak adlandırılırlar.

Eğer kanat, rüzgarı ön yüzünden alıyorsa rotorun arkasına bir kılavuz kanat takılır. Diğer şekilde ise kanat, rüzgarı arka kısımdan alır veya kanatlar biraz konik yapılıdır. Böylece sistem rüzgarı takip ederek maksimum faydayı sağlar.

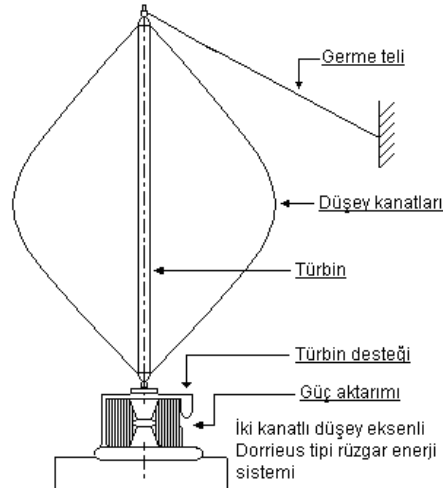


Şekil2.4 Yatay eksenli rüzgar türbini

- **Düşey Eksenli Rüzgar Türbinleri:**

Dönme eksenini rüzgar yönüne dik ve düşey olan bu türbinin kanatları da düşeydir.

Günümüzde çeşitli ülkelerdeki elektrik enerjisi üretimi uygulamalarının çoğunluğu 2 ve 3 kanatlı yatay eksenli rüzgar türbinleri oluşturmaktadır. Büyük güçlü düşey eksenli uygulamalar da mevcuttur. Özellikle Darrieus tipi türbinler ve bunun geliştirilmiş daha karmaşık yapılı olanı Cyclogino tipi rüzgar türbinleri kullanılmaktadır.



Şekil 2.5 Düşey eksenli rüzgar türbini

- **Eğik Eksenli Türbinler**

Dönme eksenleri düşey ile rüzgar yönünde bir açı yapan rüzgar türbinleridir. Bu tip türbinlerin kanatları ile dönme eksenleri arasında belirli bir açı bulunmaktadır.

2.5 Dağıtık Üretim Tesislerinin Şebeke Entegrasyonu

Dağıtık üretim yatırımlarını cesaretlendirmek için temiz ve güvenli enerji üretiminin de dahil olduğu pek çok sebep bulunsa da üretim dağıtık olmasına rağmen (üçüncü parti firmaların veya doğrudan tüketicinin elinde olacak şekilde) kontrolden hala merkezi sistemin sorumlu olması akla şebeke ile dağıtık üretim merkezleri arasındaki uyumsuzluklardan kaynaklanabilecek kimi sorunları getirebilir. Akıllı Şebekeler (Smart Grid) güvenlik, güç kalitesi, izolasyon senaryoları, altyapı yönetimi, sistem planlaması ve kontrolü gibi konuları da kapsayan bu soruların çoğuna olumlu cevap verebilmek için hayati öneme sahiptir.

2.5.1 Güvenlik

Beklenmeyen bir arıza anında dağıtık üretim sistemleri, tesisler, personel, kullanıcılar ve diğer üçüncü parti uygulayıcılar için güvenliği sağlayabilecek yapıda olmalıdır. Akıllı sayaçlar ve haberleşme tekniklerinin entegrasyonu, özel veya genel kullanıma açık Wi-Fi, WiMAX uygulamaları gibi çözümler sayesinde akıllı şebekeler tersine güç akışını, sıra dışı durumları ve üretimin anlık değerlerini denetleyebilir. Akıllı şebeke haberleşme çözümleri standart denetleme mekanizmaları ile kombine edildiğinde önceden sahip olmadığımız kadar net bir bakış açısı ve daha sağlıklı ön görümlere sahip olabileceğiz.

2.5.2 Ada Modunda Çalışma

Ana şebeke ile bağlantının kopması gerekli kalite, seviye ve frekansta güç iletimini zora soktuğu için endüstride dağıtık üretim tesislerinin kapalı bir şebeke içinde çalışması genellikle istenmeyen bir durumdur. Dağıtık üretim tesislerinin güvenli olarak sistemden ayrıştırılabilmeleri için ek kontrol mekanizmalarına ihtiyaç duyulur. Uzun süredir etkin olarak kullanılmakta olan, güvenlik sinyali temelli yöntemler maliyetlerinin yüksekliği nedeniyle yerini akıllı şebekelerin beraberinde getirdiği nispeten ucuz ve güvenilir haberleşme çözümlerine bırakacak gibi görünmekte. Örneğin geniş alanda WiMAX çözümlerine yönelecek tesisler bu yüksek hızlı haberleşme tekniği sayesinde klasik yöntemlere kıyasla çok düşük bir maliyeti göze alarak bu sorunu çözebilecektir.

2.5.3 Altyapı Yönetimi

Çoğu tesis çeşitli seviyelerde dağıtık otomasyon kontrol sistemlerine ve SCADA çözümlerine sahip olarak yüksek hassasiyetle akım kontrolü ve analizine uygun olanaklara sahiptir. Ancak daha düşük seviyede kontrol altında tutulan bir şebekeye dağıtık üretim tesisleri bağlandığında kimi sorunlar ortaya çıkabilir. Dağıtık üretim çıktısı minimum veya maksimum üretim anlarında stabilizasyon kaybına yol açabilir. Daha çok yenilenebilir dağıtık üretim kaynağı şebekeye entegre edildikçe bu etkiler katlanarak artacaktır. Bu noktada akıllı şebekelerin getireceği hassas haberleşme çözümleri bu etkileri anlamak ve minimize etmek için gerekli verileri sağlayabilecektir. Tesisler ayrıca akıllı şebeke dağıtım yönetim sistemlerini de kontrol merkezlerine entegre edebilmek için yakın takip altında tutarlar. Bu sistemler akıllı alarm uygulamaları, yük yönetimi ve daha iyi güvenli çalışma şartlarını sağlamalıdır. Ayrıca heterojen dağılımlı dağıtık üretim kaynakları arasında eş güdüme de izin vermelidir. (Rüzgar, Güneş, Biyokütle vs.)

Enerji depolama teknolojileri geliştikçe pik noktalarında üretim dalgalanmalarını ortadan kaldırmak için hem yük hem kaynak gibi davranabilen uygulamalar geliştirileceği için akıllı şebekelerin sistem etkilerini hem üretici hem tüketici gözünden inceleyebilecek seviyeye gelmesi gerekmektedir.

2.5.4 Sistem Planlaması

Dağıtık üretim kaynaklarının yükselen kullanım eğilimi kapasite faktörü, voltaj ve frekans kontrolü gibi hesaplamaların önemini artırmaktadır. Rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kendi doğaları sonucu ortaya çıkan diğer zorluklar da hesaba katılınca uzun dönemli dağıtık enerji üretiminin kontrol altında tutulabilmesi bütün dağıtık enerji kaynaklarının özelliklerinin ve karakteristiklerinin dikkatlice incelenmesini gerekliliği de beraberinde gelmektedir. Şebekelerin bu şartlar altında güvenli bir çalışma sağlayabilmesi için gerçek zamanlı verilere ve bu verilerin uygun biçimde işlenmesine ihtiyaç duyduğu görülebilir.

Dağıtık üretim tesislerinin akıllı şebekelere entegrasyonunda bir diğer anahtar nokta tesislerin kaynağın kendisinden ve şebekenin geri kalan kısmından gelen bilgileri okuma, işleme ve buna göre hareket etme yeteneğinde yatmaktadır. Gelişen bilgi

teknolojilerinin getirdikleri çözümler sayesinde sensör bilgileri ile hareket bilgileri arasındaki zaman aralığı daralmakta, daha etkili tepki veren sistemler kurulmaktadır.

Ulaştırma alt sistemlerinden biri olan demiryolu, diğer ulaştırma alt sistemleriyle yoğun bir rekabet halinde bulunmaktadır. Yürütüle gelen yanlış politikalar sonucu ülkemizde demiryolu ulaştırmasına olan talep, yolcu ve yük taşımacılığında karayolunun oldukça gerisinde kalmıştır. Demiryolunun pazar payını arttırması ve rekabetini devam ettirebilmesi için hizmet kalitesini arttırması gerekmektedir. Dakiklik ve güvenilirlik bir ulaştırma alt sisteminin kalitesini belirleyen ölçütlerin başında gelmektedir. Bu ölçütlerin istenilen seviyede tutulabilmesi de kısmen etkin trafik kontrolü ile sağlanabilir.

2.6 Akıllı Şebekelerde Haberleşme Sistemleri

Yenilenebilir enerji kaynaklarını elektrik şebekesine dağıtım seviyesinde dâhil edilmesi ile birlikte bu kaynakların sağlıklı bir şekilde gözlemlenip ve kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu gereklilik beraberinde sürekli, güvenilir ve genişletilebilir bir haberleşme ağı oluşturulmasına ihtiyaç duyar [23]. Haberleşme sistemi sayesinde sistemdeki cihazlardan anlık olarak veri okunabilir, cihazlara müdahale edilebilir ve elde edilen veriler depolanıp sistemin davranışı incelenebilir.

Haberleşme sistemleri, sistemde yer alan ekipmanlara uygun şekilde seçilmelidir. Akıllı şebeke altyapısının bir parçası olan rüzgar türbinleri, fotovoltaik paneller gibi sürekli değişken verilerin okunup işlenmesi gereken sistemlerde haberleşmenin önemi daha da artmaktadır. Bu gibi cihazların taşıdığı veri miktarı, güncelleme periyodu ve bulunduğu ortam göz önünde bulundurularak uygun haberleşme protokolü seçilmeli ve olası güvenlik açıkları tespit edilerek gerekli güvenlik önlemleri alınmalıdır [24].

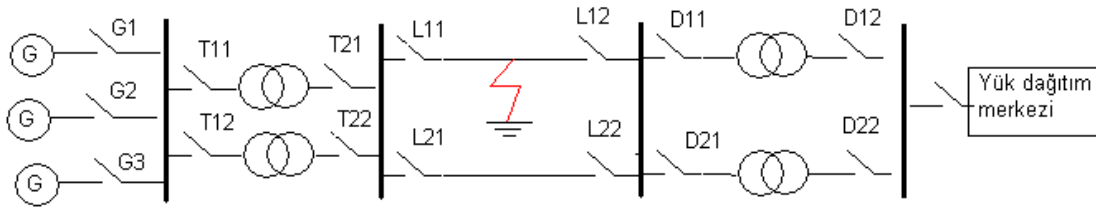
Akıllı şebeke bileşenlerinde haberleşme için yoğun olarak MODBUS TCP/IP sistemi kullanıldığı görülmektedir [25]. Bunun yanında IEC61850 protokolü uyumlu cihazların sayısı gittikçe artmaktadır.

KORUMA SİSTEMİ ELEMANLARI

Elektrik güç sistemlerinde bir arıza oluşması durumunda arızalı bölgedeki, arızasız bölgedeki sistem elemanlarının tahribatını önleyen ve sistemin kararlı durum haline dönmesi için gerekli düzenlemeleri yapan elemanlar bütünüdür.

3.1 Koruma Sistemlerine Ait Temel Bileşenler

Güvenilir bir şekilde yapılmış bir koruma sistemi hatanın meydana geldiği şebeke bölümünü kesinlikle devreden çıkarmalı hatalı bölümden başka şebekenin diğer kısımları devrede kalarak işletmeye devam etmelidir. Kısaca diğer bölümlere ait anahtarlar kapalı olarak devrede kalma şartıyla sadece hatalı cihazı veya bölümü çevreleyen anahtarlar açılmalıdır.



Şekil 3.1 Genel güç üretim, iletim ve dağıtım sistemi

Şekil 3.1 de sadece L11 ve L12 hatları arasında kısa devre olursa L11 ve L12 kesicilerinin açılması gerekir. Koruma sistemindeki diğer anahtarlardaki açılma gereksiz açma olacaktır.

Koruma sisteminin sadece hatalı elemanı seçmeyi başarırorsa bu koruma sistemine seçici koruma sistemi denir. Bir koruma sistemi güvenilir olmalı yani gerekli olan durumların hepsinde çalışabilmeli ve aynı zamanda seçici nitelikte olmalıdır.

Koruma sisteminin olabildiğince kısa süre içinde çalışması gerekmektedir. Oluşabilecek zararların en aza indirilmesi için arklı kısa devrelerin açılma sürelerini olabildiğince azaltmak gerekir. Bundan başka çoğu kez bir faz toprak arasında başlayan arkın gelişerek başka fazlara da geçmeye zaman bulmasını önlemek gerekir. Özellikle kısa devrelerin çabuk giderilmesi iletim şebekelerinde kararlılığı sağlamada en etkin yol olmaktadır.

Bir koruma sisteminin davranışı şebekenin yapısından olabildiğince bağımsız kalmalı,manevra serbestliği sağlamalı ve ayar değişiklikleri gerektirmeden paralel bağlamalara, besleme değişikliklerine elverişli olmalıdır. Koruma sistemlerini şebeke yapısının değişimlerine olabildiğince duyarsız yapmaya çaba göstermelidir.

Sistemlerin belirlenen değerlerden ve sürelerden fazla olmamak kaydıyla aşırı yüklerle duyarsız kalması istenir. Eğer aşırı yüklenme süresi uzar ve cihazlarda tahribatlara yol açabilecek termik ısınmalar meydana gelmesi durumunda bu ısınma ani açmalı röleler değil de termik koruma röleleri tarafından izletmeli ve gerekli açma kumandası verdirilmelidir.

Koruma sistemi kısa devre akımlarının şiddetleri, cinsi ve hata yeri nerede olursa olsun işlemek zorundadır. Bazı durumlarda kısa devre akımının değeri normal akım değerinden daha düşük olabilmektedir. Hata yeri nerede olursa olsun şebekenin her türlü işletme şartları altında hatanın giderilmesini sağlamak için sistemin duyarlılığının yeterli seviyede olması gerekmektedir. Bununla beraber röleleri minimum kısa devre altında duyarlı yapmak verimsiz ve üstelik çok az yarar sağlamaktadır.

İşletmenin devreye alınmasını uzatan, güç kılan ve zararlı olacak bir şebeke parçalanmasına yol açmamak için senkronizasyon dışındaki bir süreç sırasında gerilimler, akımlar ve güçlerde meydana gelen salınımlara duyarsız kalınması gerekir [26].

3.2 Sistemde Bir Hatanın Var Olma Kriteri

Çeşitli koruma sistemleri ile bu sistemleri meydana getiren rölelerin sağlaması gereken şartların belirlenmesinden sonra bunların gerçekleştirilmesinden önce rölelerin korudukları kısım üzerindeki bir kısa devreyi veya hatayı ortaya çıkarabilmeleri için duyarlı olmak zorunda kalacakları büyüklük veya bu büyüklüklerin hesabı ile işe başlanır.

Bir hatanın meydana gelmesi sonucu, doğal olarak göz önüne alınan elemana ait gerilim ve akımların az ya da çok değiştikleri görülür. Üç fazlı bir cihazda şebeke durumunun niteliğini belirlemede kullanılan sadece faz nötr gerilimi, fazlar arası gerilim, ve üç fazdaki akım değeri olduğundan rölelerin üzerine etki yapan büyüklüklerin bu akımlar ve gerilimlere zorunlu olarak bağlı kalmaları gerekir.

Şebeke üzerinde bir hatanın var oluş kriterini kuran etkenler:

- Bir kısa devre, aşırı akımlar ve gerilim düşmeleri ile anlaşılır. Bu iki etken yeterince güvenilir kriterler oluşturmamaktadır. Her hata aşırı akımlara yol açmaz. Aşırı akımlar ve gerilim düşmeleri motorların yol alması veya transformatörü enerjilendirilmesi gibi durumlarda hiç bir hata yok iken de kendini gösterebilir.
- Bir devre elemanının görünen empedansındaki değişme değerlendirilerek yukarıdaki iki etken birleştirilebilir. Örneğin L1 fazına ait faz nötr gerilim ve akım U_{L1}, I_{L1} ve L2 fazına ait faz-nötr gerilim ve akım U_{L2}, I_{L2} olduğunda 1 ve 2 fazlarına ait empedanslar:

$$\frac{U_{L1} - U_{L2}}{I_{L1} - I_{L2}} \quad (3.1)$$

ile belirlenir. Bir hata halinde görünen empedans yük değişimi sonucu olabilenlerden daha büyük, ani bir azalmaya uğrar. Bu kriter hata var oluş kriteri olarak benimsenmektedir.

- Her dengesiz arıza, gerilimler ve akımlarda doğru, ters ve sıfır bileşenler ortaya çıkarmaktadır. Hatalı fazlardaki gerilim düşmesine karşılık gerilimlerin ters ve sıfır bileşenleri hata yerinde maksimum değerler almaktadır.

- Genel olarak hatasız şebekenin bir elemanındaki kapasite akımları ve mıknatıslanma akımları gibi paralel akımlar işletme akımları ve kısa devre akımları yanında küçüktür. Normal çalışmada bir elemanın veya devrenin çıkışındaki I_2 akımı girişteki I_1 akımına (bazı durumlarda çevirme oranı farkı ile yakın olacaktır. Buna karşılık bir elemanda veya devrede bir hata meydana gelirse I_2 ile I_1 akımlarının geometrik farkı büyük olacak ve bu özellik bir hatanın belirlenmesi için kullanılacaktır.

3.3 Koruma Sistemlerinde Koordinasyon

Elektrik güç üretim, taşıma ve dağıtım sistemlerinde besleme noktası ile hatanın olduğu nokta arasında iki veya daha fazla koruma cihazının bağlı olduğu durumlarda hata yerine en yakın koruma cihazının çalışarak sadece hatalı bölümü devre dışı etmesi gerekir. Hatalı noktanın üst yani besleme tarafındaki koruma cihazları hatalı bölümü kesmesi gereken koruma cihazının herhangi bir nedenle açma yapmadığı durumlarda destek korumayı sağlayacak şekilde dizayn edilmelidir. Bu koruma tarzı seçici koruma olarak adlandırılır. Sistemdeki gerekli koruma şartlarını sağlamak için koruma cihazları seçicilik gereklilikleri göz önüne alınarak minimum kısa devre akım değerlerine ve minimum sürede açtırma yapacak şekilde dizayn edilirler.

Koruma hassasiyeti ile seçicilik çoğu zaman birbirine ters düşer. Dizayn mühendisinin sorumluluğu optimum koordinasyon ve koruma hassasiyeti için dizayn yapmaktır.

3.3.1 Koordinasyon Koşulları

Koordinasyon işlemleri yükten güç beslemesine kadar seri bağlı tüm koruma cihazlarının seçimini ve ayarlarını kapsar. Seçimde ve ayarda sistemde kullanılacak cihazların aşırı akımın çeşitli seviyelerinde cevap süreleri karşılaştırılır. Burada dikkat edilecek en önemli özellik koruma sisteminin güvenilirliği açısından bir koruma sisteminde kullanılacak cihazların aynı imalatçı firmasından hatta aynı imalat tipinde olması gerekir. Koruma sistemi değiştirilecek sistemlerde, mevcut sistemlerin koordinasyon işlemlerinde olabilecek kısa devre akımlarının maksimum ve minimum değerlerinin bilinmesi gerekmektedir.

3.3.2 Koordinasyon İçin Gerekli Veriler

Koordinasyon için gerekli veriler aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Transformatörün değerleri (gerilimler ve güç değerleri) ve empedansları
- Sistemin bağlanacağı şebekenin kısa devre güçleri ve gerilim değerleri
- Motor değerleri ve empedansları
- Koruma cihazlarının açtırma ve kesme değerleri
- Koruma cihazlarına ait akım-zaman karakteristik eğrileri
- Akım transformatörlerinin çevirme oranları, uyarma karakteristik eğrileri, sargı dirençleri ve kayıp değerleri
- Döner makineler ve kabloların kayıp eğrileri
- İletken kesit ve uzunlukları
- Kısa devre ve yük akımı değerleri
- İlk periyottaki yani subtransient maksimum ve minimum kısa devre akım değerleri
- Beş periyot ve üstünü geçen süre için maksimum ve minimum(transient) kısa devre akım değerleri
- Ana baralarda oluşabilecek arklı veya metalik toprak hata akımlarının maksimum ve minimum değerleri
- Maksimum yük akımları
- Motorların yol alma akımları ve yol alma süreleri
- Transformatör koruma noktaları

Koruma işleminde kullanılacak koruma cihazlarına ait açtırma eğrilerinin aynı logaritmik düzlemde koordinasyonun hazırlanması öncelikli işlemlerin başında gelir.

Akım-Zaman karakteristik eğrileri: Logaritmik koordinat ve skala sisteminde zaman düşey eksene yani ordinat eksenine, akım ise yatay eksene yani absis eksenine işlenir. Karakteristik eğrinin alt ve sol tarafına düşen akım değerlerinde koruma sistemi

çalışmaz, karakteristik eğrinin sağ veya üst tarafına düşen akım değerlerinde koruma sistemi çalışır.

3.3.3 Koruma Koordinasyon Prosedürü

- Uygun bir gerilim baz gerilimi seçilerek koruma akım zaman eğrisindeki akımlar baz gerilimdeki değerlerine çevrilir. Normal olarak sistemdeki en düşük gerilim seviyesi baz gerilim olarak seçilir. Fakat bu uygulama bir kural değil kolaylıktır.
- Kısa devre akımları logaritmik kağıdın yatay eksenine işaretlenir.
- En büyük yük akımları (motorların yol alma esnasında sistemden çekilen toplam akımlar) işaretlenir.
- Koruma noktaları işaretlenir, bunlara büyük transformatörlerin yol ama akımları dahildir.
- Koruma rölelerinin çekme aralıkları işaretlenir.

3.3.4 Koordinasyon Zaman Aralıkları

Koruma sistemlerinin karakteristikleri logaritmik kağıda çizilirken koruma cihazlarına ait akım-zaman karakteristikleri arasında yeterli seviyede zaman aralıkları bulunmalı ve söz konusu karakteristik eğriler birbirlerine teğet olmamalı veya kesişmemelidir.

Koordinasyon alçak gerilim sistemlerinde çalışma hızı yüksek olan akım sınırlandırıcı sigortalarla kolayca yapılabilir. İmalatçı tarafından verilen akım-zaman eğrileri ve seçicilik oranlarını veren karakteristik eğrileri her hangi bir zaman hesabı yapmaya gerek kalmadan hem aşırı yük hem de kısa devre şartları altında koordinasyon için kullanılırlar.

Sabit zaman gecikmeli ve ters zaman gecikmeli aşırı akım röleleri ile koordinasyon zaman aralıkları röleler konu başlığı altında incelenmiştir.

Zaman aralığı bileşenlerinden emniyet faktörü sahada gerekli ayar ve testler yapılarak azaltılabilir.

3.4 Ayırıcılar

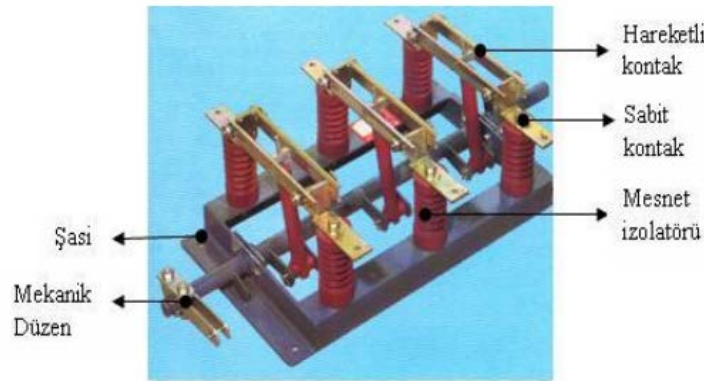
Orta ve yüksek gerilim sistemlerinde devre yüksüz iken açma kapama işlemi yapabilen ve açık konumda gözle görülebilen bir ayırma aralığı oluşturan şalt cihazlarıdır.

Uygulamada seksiyoner olarak da bilinir. Son zamanlarda bu ifade kullanılmayarak sadece ayırıcı denilmektedir. Tesis bölümlerini birbirinden ayırıp bakım ve kontrol işlerinin güvenli bir şekilde yapılmasını sağlar. Ayrıca birden fazla ana bara bulunan sistemlerin açma ve kapama manevralarına hazırlanmasında ve birbirine bağlanmalarında kullanılır.

Ayırıcılar ile devreden akım geçerken yani devre yüklü iken açma kapama işlemi yapılmaz. Eğer yapılırsa ayırıcı ve ayırıcıyı açıp kapatan kişi zarar görür.

3.4.1 Ayırıcı Yapısı ve Bileşenleri

Genel olarak bir ayırıcı; şase, mesnet izolatorleri, sabit kontaklar, hareketli kontaklar, mekanik düzen, kilit tertibatı ve yaylardan oluşur.



Şekil 3.2 Ayırıcı yapısı

Ayırıcı teçhizatının monte edilmiş olduğu köşebent veya profilden oluşan demir altyapı şase kısmını oluşturur. Mesnet izolatorleri gerilim altında bulunan bölümden ve topraktan yalıtılmış olup, sabit ve hareketli kontakları tutturmak için kullanılır. Açma kapama işlemi her faz için birer tane olmak üzere üçer tane sabit ve hareketli kontaklar yapar. Hareketli kontaklar kapama işleminde sabit kontaklarla birleşirler ve devreyi kapatırlar, açma işleminde de aynı uygulamanın tersi gerçekleşir.

3.4.2 Ayırıcı Çeşit ve Özellikleri

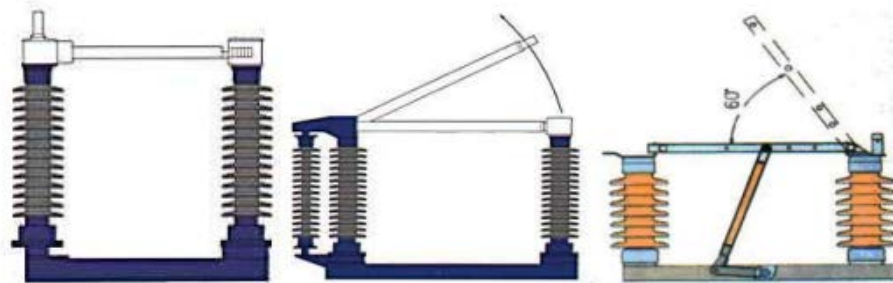
Yapı özelliklerine göre ayırıcılar üç başlık altında incelenirler:

- Bıçaklı Ayırıcılar
- Döner İzolatörlü Ayırıcılar
- Yük Ayırıcılar

3.4.2.1 Bıçaklı Ayırıcılar

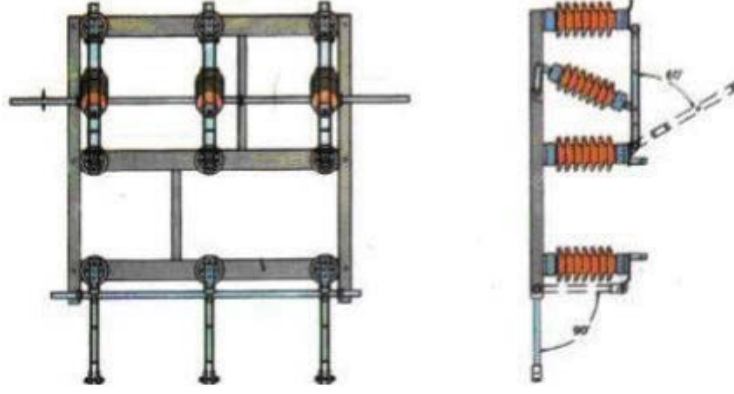
En çok kullanılan ayırıcı çeşididir. Genellikle, orta (35 kV) gerilimde kullanılır. Hareketli kontakları bıçak şekline benzediğinden bu isimle anılır. Bina içine veya dışına monte edilebilir. Açma kapama işlemi yapılırken emniyetli mesafede durmak gerekir. Bıçaklı ayırıcılar; dahili tip, harici tip, toprak ayırıcısı ve sigortalı olmak üzere dört çeşitte üretilirler:

- **Dahili Tip Bıçaklı Ayırıcılar** Bu tip ayırıcılar bina içerisinde hürelere yerleştirilir. Kumanda kolu emniyetli mesafede hücre dışına çıkartılır.



Şekil 3.3 Dahili tip bıçaklı ayırıcı

- **Harici Tip Bıçaklı Ayırıcılar** Harici tip bıçaklı ayırıcılar bina dışında açıktan kullanılır (Direk üzerinde veya açık hava şalt sahalarında vb.). Bu özelliklerinden dolayı kullanılan malzemeler hava şartları dikkate alınarak ısı, nem ve rüzgâra dayanıklı olarak üretilir. Kumanda kolunun emniyetli mesafede ve ayakta duran bir kişinin açıp kapamasına imkan verecek özellikte olması gerekir.



Şekil 3.4 Harici tip bıçaklı ayırıcı

Şekil 3.4 deki uygulamada da görüldüğü gibi hava hatlarının bağlı olduğu ayırıcılarda, hattın enerjisi kesildikten sonra, hatta bulunan elektrik yükünü (kapasitif) toprağa vermek için bıçaklı ayırıcıya bir de topraklama ayırıcısı ilâve edilir ve ikisi arasına bir kilit tertibatı konur. Böylece esas ayırıcı açılmadan topraklama ayırıcısı kapanmaz.

- **Toprak Ayırıcısı** Bu ayırıcılar enerji nakil hatlarının giriş veya çıkışına kurulur. Dahili ve harici tipte olabilirler. Bunun için hattın enerjisi kesildiğinde hat üzerinde kalan elektriği toprağa boşaltması için toprak bıçağı kapatılır. Bu şekilde hatta emniyetli çalışma için ortam hazırlanmış olur.
- **Sigortalı Ayırıcılar** Bağlı olduğu devrelerdeki arızaları şebekeye intikal ettirmeyen aşırı akımlarda kontaklarına seri bağlı sigortasını attırmasıyla devreyi açan ayırıcı çeşididir. Atık sigortalara tel sarılmaz, yeni orijinal sigorta ile değiştirilmelidir. Harici ve dahili tipleri vardır.

3.4.2.2 Döner İzolatörlü Ayırıcılar

Hareketli kontaklara bağlı izolatörlere kendi eksenini etrafında istenen açılarda dönebilen ayırıcılardır. Dahili ve harici tipleri vardır. En çok harici tipleri kullanılır. Yüksek ve çok yüksek gerilim trafo merkezlerinde kullanılır. 60- 154- 200- 380 ve 800 kV gerilimlerde kullanılan döner izolatör ayırıcılar iki tipde yapılır.



Şekil 3.5 Döner izolatörlü ayırıcı

3.4.2.3 Yük Ayırıcıları

Kontakların pozisyonu gözle görülebilen normal yüklü devreleri açıp kapayan bazı tiplerinde kısa devre kesme özelliği olmayan bir ayırıcı çeşididir. Kesicilerden tasarruf etmek amacıyla kullanılır. Tek bara sistemlerinde tek güç ayırıcısının bulunduğu yerlerde devresine seri bağlı bir yüksek gerilim sigortası bulunur.

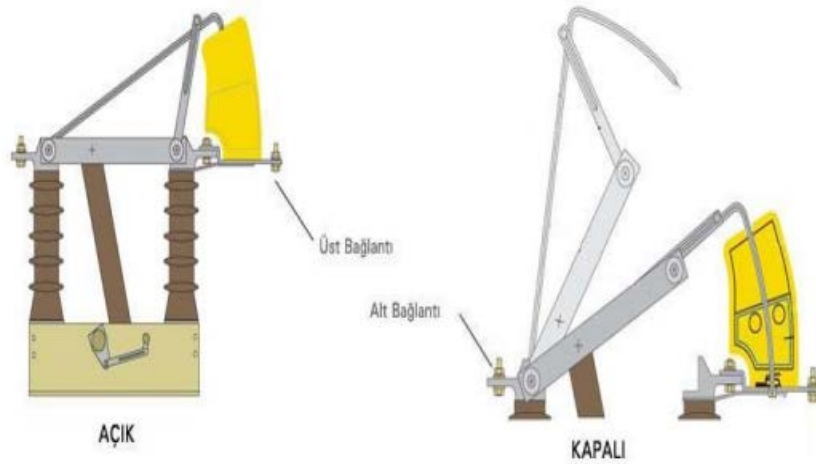
Yük ayırıcıları orta gerilim şalt tesislerinde ayırıcılar ve kesiciler arasındaki büyük boşluğu doldurmak amacıyla geliştirilen cihazlardır. Yük altında açma ve kapama yapabilmelerine karşılık basit ve ekonomik olduklarından geniş bir kullanım sahasına sahiptirler. Yük ayırıcılarının kullanılabileceği bir yerde yanlış bir seçimle kesici kullanmak, lüzumsuz olarak 3- 5 kat fazla masraf gerektirir.

Açma ve kapama hızı operatörün hareketinden bağımsız ve toplam açma zamanı takriben 0,1 saniyedir. Kapamada önce ana bıçak kontaklar, daha sonra yardımcı çabuk açma kontakları devreye girer. Açmada ise önce ana bıçak kontaklar ve hemen sonra da çok kısa süre yükü üzerine alan çabuk açma kontak çubukları devreden çıkar. Çabuk açma kontak çubuklarının ucuna yüksek ısıya dayanıklı özel sert metal parça ilave edilmiştir.

Açma sırasında, bu metal uç ile sabit kontak arasında meydana gelen ark, ark söndürme hücrelerinde söndürülür. Ark söndürme süresi takriben 20- 45 milisaniyedir. Küçük akım değerlerinde söndürme cıdar soğutma hadisesi ile olur. Daha büyük akım sahasında ise söndürme, basınç hücresinde doğan ve genişleme hücresine itilen

söndürme gazı akımında olur. Her şekilde çeşitli söndürme prensiplerinin mantıklı bir kombinasyonu hakimdir.

Ark hücreleri kuru sistemdir. Herhangi bir söndürme akışkanı veya tazyikli hava kullanılmadığı için tozunu almaktan başka bir bakım gerekmez. Kumanda genellikle eldedir. Ancak istenirse elektromotor kumandalı olabilir. Son yıllarda SF6 gazlı ayırıcılar da kullanılmaktadır.



Şekil 3.6 Açık ve kapalı yük ayırıcısı

3.5 Kesiciler

Kesiciler, orta gerilim ve yüksek gerilim güç sistemlerinde hattın yük akımını ve kısa devre akımını kesme işlemini gerçekleştiren cihazlardır.

3.5.1 Kesicilerin Görev ve Yapıları

Kesiciler enerji hattı devresini boшта, yükte ve özellikle kısa devre durumunda otomatik kumanda yardımı ile açıp kapama işlemine olanak sağlarlar. Bu şekilde can sağlığını korumakla beraber alçak ve yüksek gerilim cihazlarında meydana gelebilecek tahribatları da en az seviyeye indirirler. Kesiciler ark söndürme özelliğine sahip olmakla beraber çok hızlı açma kapama işlemi yapan bir kontak işlevi gösterirler. Enerji kesme işlemi sırasında önce kesici açılır, ardından ayırıcı kontakları açılmalıdır.

Kesicilerin yapısını inceleyecek olursak üç temel bölüme ayırabiliriz:

- Sabit ve hareketli kontaklar,

- Ark söndürme bölümü,
- İşletme mekanizması.

Bir kesici iki adet kontağa sahip olup biri sabit ve diğeri hareketlidir. Ark söndürme bölümü arkin meydana gelip söndürüldüğü bölmedir. İşletme mekanizması da hareketli kontakları açıp kapatan mekanik veya elektrik motorlu yapılrlar. Motorlu işletme mekanizmalarında motor genelde dış kaynaktan beslenir ve DC gerilimle çalışır.

3.5.2 Kesicilerin Koruma Sistemlerindeki Yeri

Bir kesicinin işlevi kapalı haldeyken kontak elemanları arasında iyi bir temas sağlayarak devrede güç akışını sağlamak ve açık durumdayken de kontak elemanlarını birbirinden ayırarak güç akışını engellemektir.

Kesiciyi önemli kılan etken arıza akımı oluşması durumunda devreyi sorunsuz bir şekilde açma işlemini gerçekleştirmesidir. Sistemin kararlılığı açısından yük altındayken kısa devre oluşması halinde meydana gelecek arkı söndürmesi ve kendisinden önce gelen güç sistemi elemanlarını arızalı bölümden ayırıp arızanın bu cihazlara yapabileceği zorlamanın önüne geçmesi çok önemlidir. Bu özelliği bakımından güç sistemlerinin sağlığı açısından çok önemli bir koruma elemanıdır. Bu nedenle bir kesicinin görevini doğru şekilde yapabilmesi için uygun bir şekilde seçilmesi, işletilmesi ve bakımının yapılmasına dikkat edilmelidir.

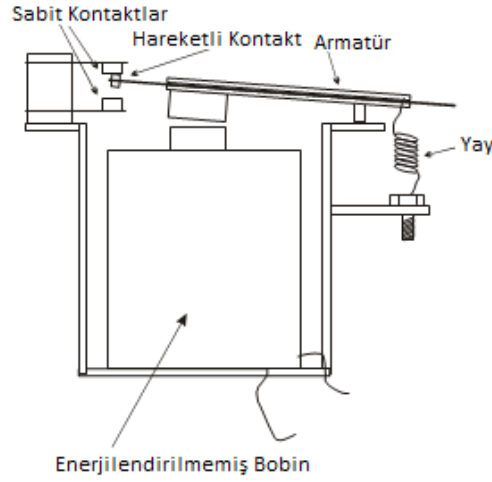
3.6 Röleler

Her türlü elektrik devresinin açılıp kapatılmasını sağlamak, devreyi aşırı akım, aşırı gerilim, düşük gerilim gibi birçok tehlikelere karşı korumak veya çalışma süresini belirli zaman dilimlerine göre kumanda etmek, reaktif güç kontrolünü sağlamak amaçları altında rölelere başvururuz.

3.6.1 Rölelerin Genel Yapısı ve Çalışma Prensipleri

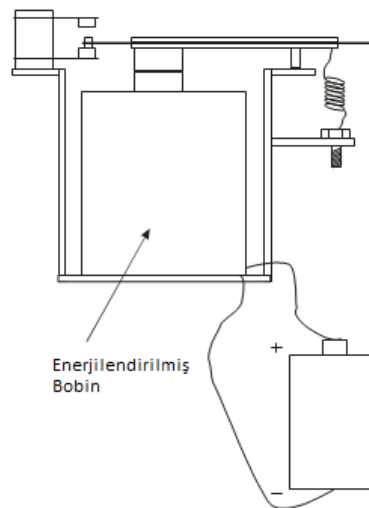
Klasik röleler elektromıknatıs, palet ve kontaklar olmak üzere 3 kısımdan meydana gelirler. Elektromıknatıs bir demir nüve üzerine sarılmış bir bobinden meydana gelir. Mıknatıslanmadan ötürü paletin nüveye yapışık kalması nüvenin ön yüzeyine konmuş küçük bir plastik parçayla önlenir. Rölenin titreşim yapması demir nüvenin ön yüzüne

konmuş bakır halkayla önlenir. Demir nüve üzerinde bulunan bobin bir veya birkaç sargıdan oluşur. Röle bobininde birkaç sargısının bulunması rölenin değişik gerilimlerde kullanılmasını sağlar. Palet bir yay vasıtasıyla veya yerçekimi kuvveti nedeniyle demir nüveden uzakta bulunur.



Şekil 3.7 Bobini enerjilendirilmemiş röle yapısı

Bobine akım uygulandığında, manyetik alan oluşur. Bu alan bobinin içindeki nüveyi elektromıknatıs haline getirip, palet vasıtasıyla kontakların açılıp kapanmasını sağlar. Akım kesilince elektromıknatıslık ortadan kalkar, esnek gergi yayı paleti geri çekerek kontakları ilk konumuna getirir.



Şekil 3.8 Bobini enerjilendirilmiş röle yapısı

Röleler geniş aralıklar içerisinde farklı başlıklar altında sınıflandırılabilirler:

- Devreye Bağlanış Şekli
- Çalışma Zamanı
- Yapısı
- Kullanılış Amacı

3.6.2 Koruma Röleleri

Transformatör, generatör ve enerji nakil hattı gibi elektrik güç sistemi elemanlarının korunması için ayarlanan sınır değer girişine uygulanan çalışma değerinin dışına çıktığında kontak durumunu değiştiren(açık kontağı kapayan, kapalı kontağı açan) rölelere koruma röleleri denir. Koruma rölesinin kumanda ettiği açma kapama elemanı; alçak gerilimde kontaktör, orta ve yüksek gerilimde kesicidir. Bir arıza durumunda koruma rölesi kesiciyi (alçak gerilimde kontaktörü) açtırarak arızalı elemanın enerjisini kestirir.

Genel olarak röleler devreye doğrudan bağlanan yapıda değil, hat üzerindeki ölçü transformatörünün sekonder devresine bağlı olarak çalışır. Yaygın olarak kullanılan bu yapı sekonder röle yapısıdır. Primer röle denen doğrudan bağlı röle yapısı dezavantajlarının çokluğu dolayısıyla yaygınlığını yitirmiştir.

Seçici bir koruma olmadan günümüzde bir güç sisteminin işletilmesi düşünülmaz. Koruma rölelerinin uygulanmasıyla, güç sisteminin herhangi bir noktasında oluşan arıza tespit edilir ve arızalı bölüm sisteminden ayrılır. Arızalı bölüm sisteme bağlı kaldığında, aşağıda belirtilen 3 ana nedenle sistemin bir bölümü ya da tümü tehlikeye düşer.

- Generatörlerin senkronizasyon koşullarının kaybetmeleri ve sistemden kopmaları,
- Arızalı bölümün hasar görme ihtimali,
- Arızasız bölümün hasar görme ihtimali,

Güç sistemi için tehlikeli olmamasına rağmen, tüketiciler açısından önemli olan diğer bir etken de büyük endüstriyel kuruluşlardaki senkron motorlarının servis dışı kalarak hayati sayılabilecek fonksiyonlarını yapmama ihtimalidir.

Kısaca korumanın amacı, kesicilerle birlikte güç sisteminin her tip arızadan hızla temizlenmesini sağlamaktır.

3.6.3 Aşırı Akım Röleleri

Ölçüm sonucu elde edilen akım değerinin ayarlanan akım mertebesinde yüksek olması durumunda kesiciye açma sinyali veren rölelerdir.

Aşırı akımı 2 kısımda ele alırız:

- Aşırı Yüklenme Akımı

Sistemdeki tüm teçhizat belli bir akım seviyesine göre yapılan hesaplar sonunda dizayn edilmiştir. Değişen sistem koşullarında veya zorunlu durumlarda sistemden nominal işletme akımının üzerinde bir akım çekilmesi aşırı akımın oluşum nedeni olarak gösterilir.

- Kısa Devre Akımı

Devre iletkenlerinin yalıtımını sağlayan izolasyon maddelerinin daha önce belirtilen nedenlerden biri ile özelliğini kaybetmesi sonucu, faz-faz veya faz-toprak teması söz konusu olur. Bu olaya kısa devre denir.

Kısa devre durumunda devre direncinin azalması, transformatör sargılarından çekilen akımın artmasına neden olur. Normal işletme akımının çok üzerinde olan bu akıma kısa devre akımı denir.

Yıldırımla oluşan aşırı gerilime karşı koruma teli, ark boynuzu ve parafudur gibi elemanlar kullanılır ancak konumuz gereği koruma dediğimizde anlaşılması gereken “aşırı akıma karşı koruma” dır.

Koruma, geçici rejimler sırasında oluşan aşırı gerilime karşı yapılmaz, asıl koruma sürekli rejim koşullarında aşırı akıma karşı yapılır.

Aşırı akımı oluşturduğu yer açısından iki kısma ayırabiliriz. Bunlar:

- İç Arızalarda Oluşan Aşırı Akımlar: Elektrik güç sistemi makinesi içerisindeki sarımlar arası, sargılar arası ve sargı toprak arasında oluşabilecek arızalardır.

- Dış Arızalarda Oluşan Akımlar: Hatta bağlı cihazların aşırı yüklenmesi sonucu oluşan aşırı akımlar, fazlar arası ve faz toprak kısa devre akımları örnek gösterilebilir.

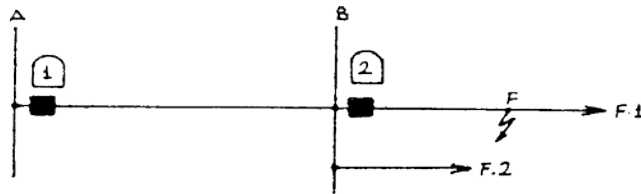
3.6.4 Aşırı Akım Rölelerinin Çalışma Özellikleri

Aşırı akım röleleriyle ilgili bilinmesi gerekli bazı temel tanımları şu şekilde yapabiliriz:

- Çalışma Akımı: Aşırı akım rölesinin ayarlandığı akımdır. Röle bu akımda çalışmaya başlar ilk hareket akımı olarak da tanımlayabileceğimiz bu akım “ I_{χ} ” ile belirtilir. Çalışma akımına aynı zamanda kuplaj akımı da denilir.
- Çalışma Zamanı: Bir aşırı akım rölesinin, çalışma akımının üzerinde bir akımla beslediği andan kontağını kapattığı ana kadar geçen süre olarak da tanımlanır ve “ t_{χ} ” ile belirtilir.
- Geri Dönüş Akımı: Önceden kontağını kapatmış bir aşırı akım rölesinin, kontağının açılmasına yol açan en büyük akıma denir ve I_{gd} ile belirtilir. Geri dönüş akımına aynı zamanda deкупlaj akımı da denir.
- Geri Dönüş Oranı: Geri dönüş akımının çalışma akımına oranına denir. Çalışma akımı I_{χ} , geri dönüş akımı I_{gd} , geri dönüş oranı K_{gd} ile gösterilirse:

$$K_{gd} = \frac{I_{gd}}{I_{\chi}} = \frac{\text{Geri dönüş akımı(Dekuplaj akımı)}}{\text{Çalışma akımı(Kuplaj akımı)}} \quad (3.2)$$

olur.



Şekil 3.9 Üzerinde hata meydana gelen enerji hattı

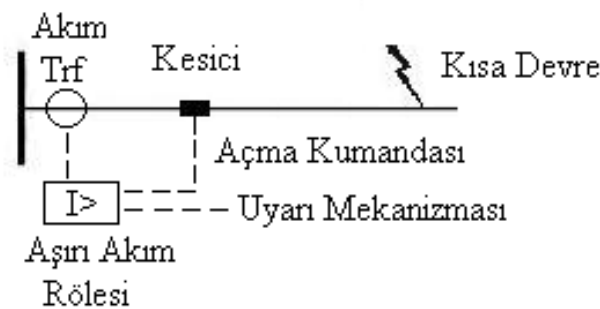
F noktasındaki arızayı ilk önce 2 nolu röle temizler. Eğer temizleyemezse (rölenin çalışmaması kesicinin tutukluk yapması vb. nedenlerle) 1 nolu röle arızayı temizler. Dolayısıyla bu arızada 2 nolu röle ile birlikte 1 nolu röle de çalışır. Ancak 2 nolu röle arızayı daha önce temizleyeceğinden 1 nolu rölenin durgun hale dönmesi gerekir. Bunu

ise arızadan sonra devreden geçen yük akımına bağlı olarak rölenin geri dönüş akımını belirler. Eğer arızadan sonra geçen akım, geri dönüş akımından büyükse 1 nolu röle çalışmaya devam eder ve gereksiz açmaya neden olur. Ayrıca geri dönüş akımı, yol alma akımı (demeraj akımı) açısından da önemlidir.

- **Yük:** Bir aşırı akım rölesinin yükü, beslediği akım transformatörünün sekonder sargısından çektiği güçtür. VA (Volt Amper) olarak belirtilir.
- **Kısa Süreli Dayanma Akımı :** Aşırı akım rölelerinin hasar görmeden bir saniye süreyle taşıyabilecekleri maksimum akım değeridir.
- **Dinamik Dayanma Akımı:** Manyetik alan nedeniyle oluşan mekanik kuvvetler açısından rölenin dayanabileceği maksimum akım değeridir. Yani rölenin bir anlık (örneğin 1 periyot süreyle) hasar görmeden taşıyabileceği maksimum akım değeridir.
- **Sürekli Dayanma Akımı:** Aşırı akım rölesinin hasar almadan sürekli olarak taşıyabileceği maksimum akım değeridir.

3.6.5 Aşırı Akım Rölelerinin Çalışma Prensibi ve Çeşitleri

Çalışma büyüklüğü ayarlanan akım değerinin üzerine çıktığı durumlarda kesiciye açma kumandası veren rölelere aşırı akım röleleri denir. Sistemin kısa bir süre için aşırı akıma maruz kalması gibi durumlarda (Motorun yol alması) ve geçici arızalarda gereksiz yere sistemin enerjisini kesmemek için aşırı akım röleleri zaman gecikmeli olarak çalışırlar. Zaman gecikmesi sonunda akım rölesinin ayarlandığı değerin altına düşerse röle kesiciyi açtırmaz. Süre dolduğu halde akım hala yüksekse röle sistemi korumak için kesiciyi açtırır.



Şekil 3.10 Aşırı akım rölesinin hat üzerindeki gösterimi

3.6.6 Aşırı Akım Rölelerinin Sınıflandırılması

Çalışma Zamanına Göre:

- Ani Çalışmalı Röleler
- Zaman Gecikmeli Röleler
 - a) Sabit Zaman Gecikmeli Aşırı Akım Röleleri
 - b) Ters Zaman Gecikmeli Aşırı Akım Röleleri

Yapılarına Göre:

- Elektromekanik Röleler
- Statik Röleler
- Dijital Röleler

3.6.6.1 Çalışma Zamanına Göre Aşırı Akım Röleleri

Ani çalışmalı, sabit zamanlı ve ters zamanlı olmak üzere üçe ayrılır.

- Ani Çalışmalı Röleler

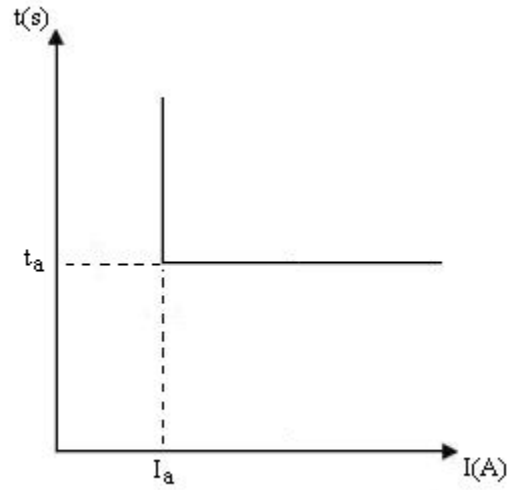
Ayarlandığı büyüklükte kontaklarını ani olarak açan veya kapatan rölelere denir. Kısa devre akımlarında veya aşırı akım durumlarında servis dışı bırakılmak istendiğinde kullanılır.

Ani çalışmalı rölelerde, hareketli parçanın hareket yeteneği nedeniyle bir gecikme olabilir, bu durum rölenin duyarlılığı ile ilgilidir yani ani çalışmalı rölelerde zaman ayarı söz konusu değildir. Elektromanyetik prensibe göre çalışan röleler ani çalışmalı rölelerdir.

- Sabit Zamanlı Aşırı Akım Rölesi (Bağımsız Aşırı Akım Rölesi)

Bu röle, çekmeli tip elektromekanik röle yapısındaki bir ani röle ve zaman geciktirmesini sağlayan bir zaman rölesinden meydana gelir.

Sabit zamanlı aşırı akım rölesinin $t=f(I)$ karakteristiği şekil 5.14'teki gibidir.

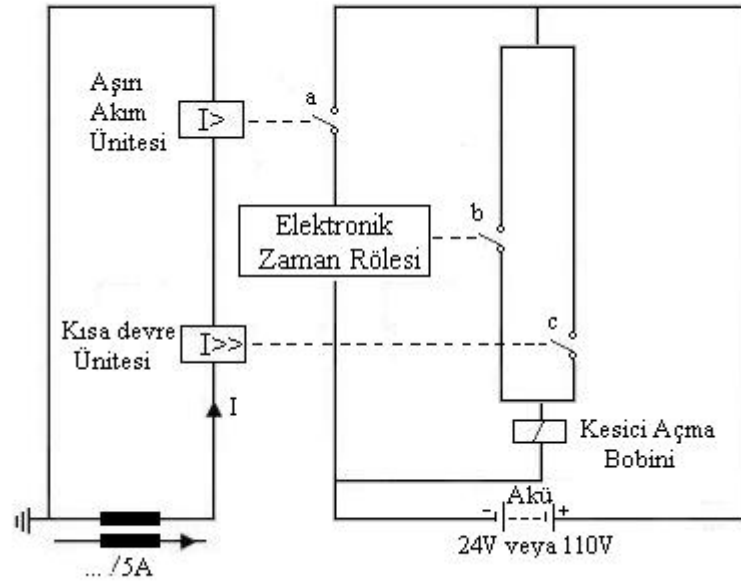


Şekil 3.11 Sabit zaman gecikmesi karakteristiği

- $I < I_a$ için zaman gecikmesi $t = \infty$ (sonsuz, röle çalışmaz)
- $I = I_a$ rölenin çalışma eşik değeri
- $I > I_a$ için zaman gecikmesi sabit ($t = t_a$) ve akımdan bağımsız. (Röle çalışır.)

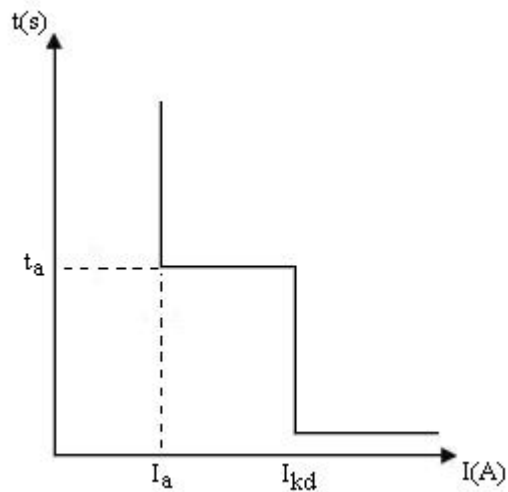
Yukarıda açıklanan sabit zamanlı aşırı akım rölesinin zaman gecikmesi çok küçük bir değere (0.5s, 0.7s gibi) ayarlanarak hatların seçici koruması sağlanabilir. Ancak pratikte yukarıdaki röleye kısa devre durumunda zaman gecikmesiz olarak ani çalışan bir röle ünitesi daha eklenerek röle karakteristiği daha da geliştirilebilir.

- Ani Elemanlı Sabit Zamanlı Aşırı Akım Rölesi (Bağımsız Aşırı Akım- Kısa Devre Rölesi)



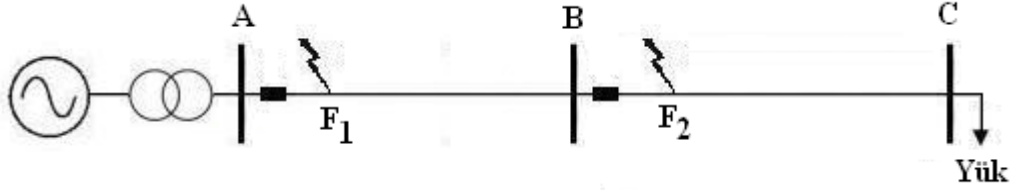
Şekil 3.12 Ani elemanlı sabit zaman gecikmeli aşırı akım rölesi yapısı

Geçen akım aşırı akım ünitesinin ayarlandığı değerin üzerinde ($I > I_a$) ise aşırı akım ünitesinin kontağı (a) kapanır ve zaman rölesi çalışmaya başlar. Zaman rölesinin süresi doluncaya kadar sürekli $I > I_{kd}$ ise süre sonunda zaman rölesinin kontağı (b) kapanır, kesici açma bobini enerjilenerek kesici açılır. Eğer zaman rölesinin süresi dolmadan akım azalır ve $I < I_a$ olur ise (a) kontağı açılır, zaman rölesi devreden çıkar, kesiciye gereksiz olarak açma kumandası verilmez.



Şekil 3.13 Ani elemanlı sabit zaman gecikmeli aşırı akım rölesi karakteristiği

Sistemde bir kısa devre varsa bu durumda akım çok yüksektir. $I > I_a$ ise ani çalışan kısa devre ünitesi derhal c kontağını kapatarak kesiciyi açtırır. Kısa devre durumunda da aşırı akım ünitesi de devreye girer, zaman gecikmeli olarak kesiciye açma kumandası verir. Ancak aşırı akım kontağı ve kısa devre kontağı paralel bağlı olduğu için b'den önce c kapanır ve kesici açtırılır.



Şekil 3.14 Kısa devre arızasına sahip ait enerji hattı

$$I_{k_{F1}} = \frac{V_N}{V_{gen} + V_{tr}} \quad (3.3)$$

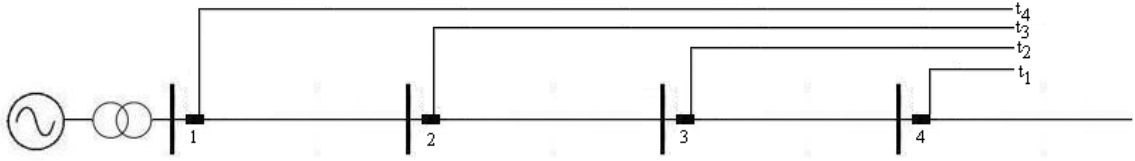
$$I_{k_{F2}} = \frac{V_N}{V_{gen} + V_{tr} + V_{hat}} \quad (3.4)$$

$$I_{k_{F1}} \gg z I_{k_{F2}} \quad (3.5)$$

A barasındaki röle F_1 'deki kısa devreyi kısa devre arızası olarak algılar ve gecikmesiz olarak kesiciyi açtırır. A'daki röle F_2 'deki arızayı aşırı akım olarak algılar ve A kesicisine zaman gecikmeli olarak açma kumandası verir. F_2 'deki arızayı B'deki röle kısa devre olarak görür.

Röle üzerinde yapılan ayarlar aşırı akım, kısa devre akımı, zaman gecikmesi ayarlarıdır.

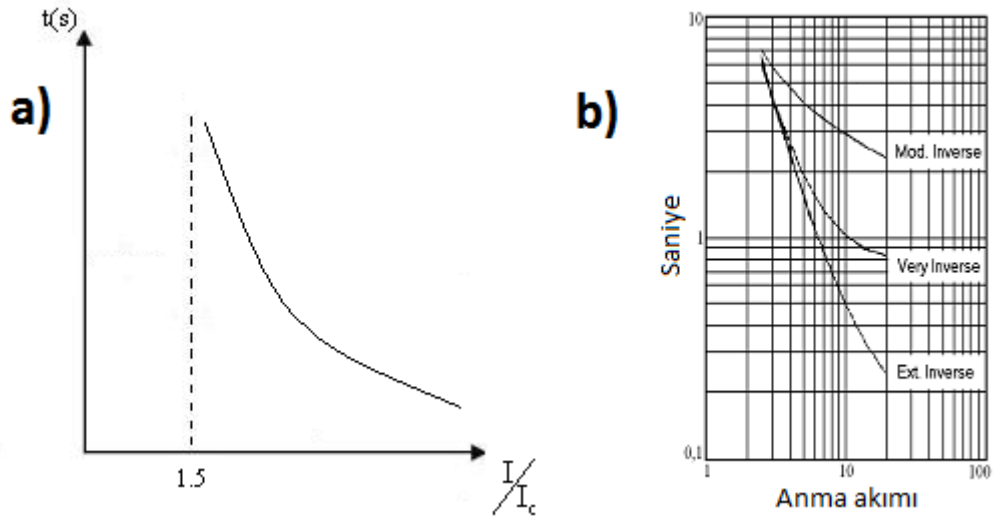
Koruma sisteminde seçiciliği sağlamak üzere hat sonundan hat başına doğru rölelerin zaman gecikmeleri 0.3-0.5 saniye arttırılır. Buna koordinasyon zaman payı 'KZP' denir. Böylece hat sonundaki bir arızada 2 rölesi 0.3-0.5 saniye daha fazla gecikme yaparak arızayı 1'deki rölenin temizlemesi için bekler. 1'deki röle kesiciyi açtırmaz ise 2'deki röle gecikmeli olarak 2'dekiği açtırır.



Şekil 3.15 Sabit zaman gecikmeli röle koordinasyonu

- Ters Zamanlı Aşırı Akım Röleleri

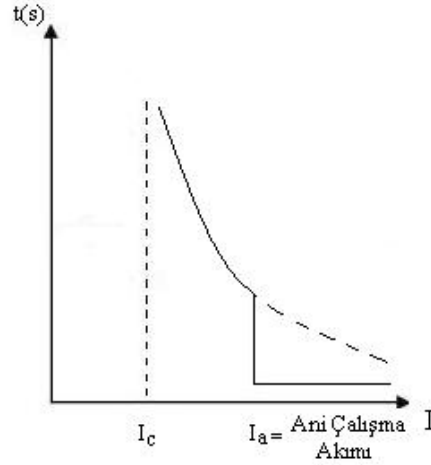
Bu tip aşırı akım rölesinde zaman gecikmesi akımla ters orantılıdır. Akım yükseldikçe zaman geçmesi azalır. Elektromekanik tipte “Endüksiyon Diskli” röleden oluşmaktadır. Röle $I > I_c$ değerinden sonra çalışmakla birlikte $I > 1,5 \cdot I_c$ değerinden sonra kararlı çalışmaktadır.(Şekil 3.16 a)



Şekil 3.16 Ters zaman gecikmesi karakteristikleri

Ters zaman aşırı akım röleleri kullanım amaçları ve şartları değişiklik gösterebilir. Bunun için farklı zaman gecikmesi eğri karakteristikleri IEEE tarafından ortaya konulmuştur.(Şekil 3.16 b)

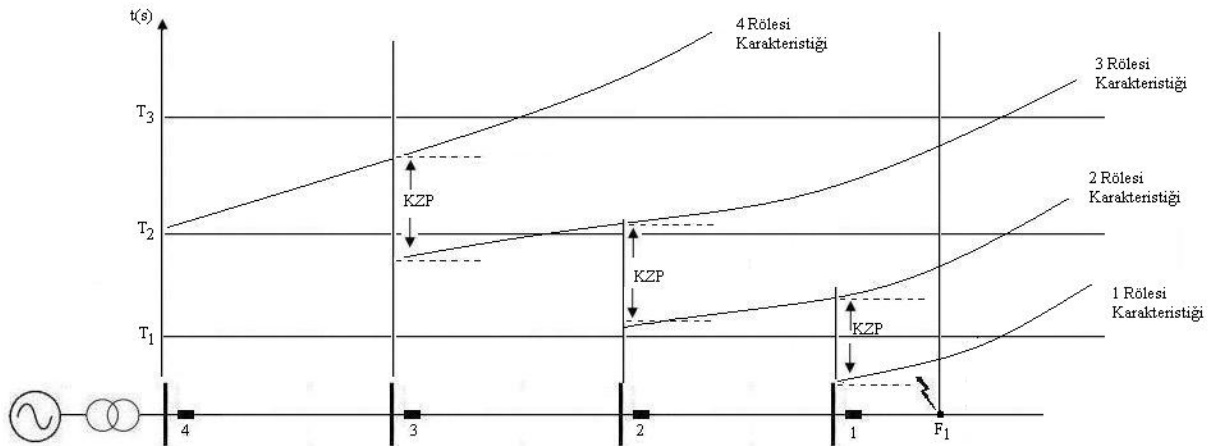
- Ani Elemanlı, Ters Zamanlı Aşırı Akım Rölesi (Ters Zamanlı Aşırı Akım-Kısa Devre Rölesi)



Şekil 3.17 Ani elemanlı ters zaman gecikmeli aşırı akım rölesi karakteristiği

- $I < I_c$ için $t = \infty$ (sonsuz, röle çalışmaz)
- $I_a > I > I_c$ $t = f(I)$ röle zaman gecikmeli olarak çalışmaya başlar
- I_a için $t \approx 0$ röle ani çalışır.

Sistemde seçiciliği sağlamak amacıyla, besleme kaynağına en uzak baradaki rölenin zaman gecikmesi en az, besleme kaynağına en yakın rölenin zaman gecikmesi en yüksek olacak şekilde, röle üzerindeki yüzde zaman ayarları (%1...%100) yardımıyla röle koordinasyonu yapılır. Hat sonundaki rölenin yüzde zaman ayarı, buradaki yüke ait koruma düzeni (röle, sigorta vb.) ile seçiciliği sağlayacak şekilde belirlenir. Diğer baralardaki rölelerin zaman gecikmeleri koordinasyon zaman payı (KZP) kadar artırılarak belirlenir.



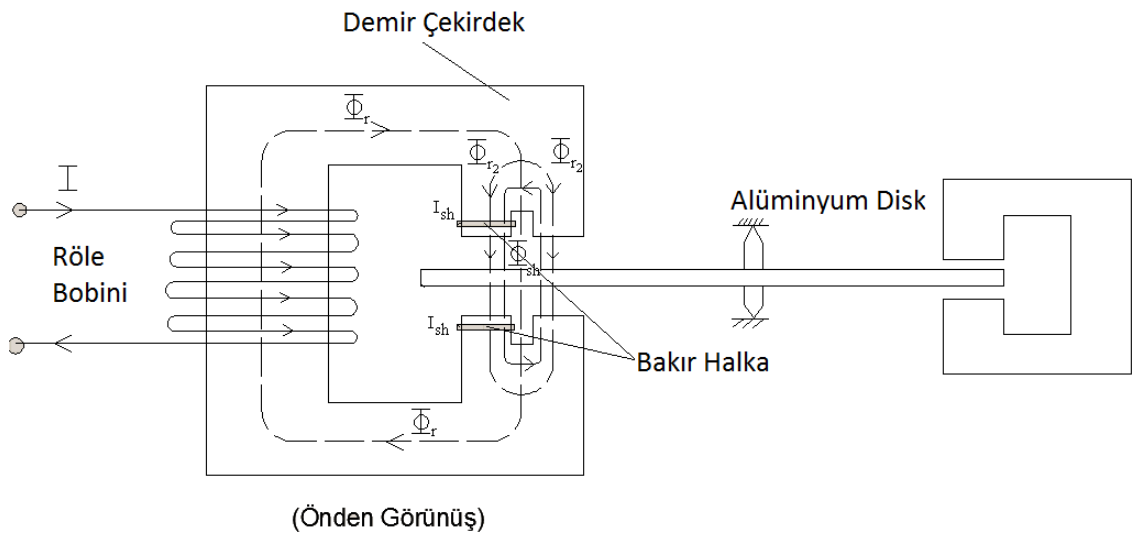
Şekil 3.18 Ters zaman gecikmeli röle koordinasyonu

Ters zamanlı aşırı akım rölelerinin koordinasyonu göstermek gerekirse F_1 'deki arızaya 1 rölesi T_1 , 2 rölesi T_2 , 3 rölesi ise T_3 zaman gecikmesi ile cevap verir. 2 rölesinin karakteristiği (dolayısıyla zaman gecikmesi) seçilirken 1 barasındaki arızada (kısa devrede) 1'in cevap süresine koordinasyon zaman payı ($KZP = 0.3-0.5$ s) eklenerek bulunan sürede gecikme yapan karakteristik eğri seçilir. Aynı şekilde 3'ün karakteristiği seçilirken 2'deki kısa devreye 2 rölesinin cevap süresine KZP ilave edilerek 3'ün cevap süresi belirlenir ve buna göre 3'ün eğrisi seçilir.

3.6.6.2 Yapılarına Göre Röleler

Elektromekanik, termik, statik ve dijital olmak üzere dört ana başlıkta incelenir.

- Elektromekanik Röleler-Endüksiyon Disk Röleleri



Şekil 3.19 Endüksiyon disk rölesi yapısı

$$\phi_r = \phi_{r_1} + \phi_{r_2} \text{ (Röle bobininin oluşturduğu akı)} \quad (3.6)$$

$$\phi_1 = \phi_{r_1} + \phi_{sh} \text{ (Bakır halkalı kutuptaki akı)} \quad (3.7)$$

ϕ_{sh} :Bakır halkadan akan I_{sh} akımının meydana getirdiği akı

$$\phi_2 = \phi_{r_2} - \phi_{sh} \text{ (Bakır halka olmayan kutuptaki akı)} \quad (3.8)$$

Röle bobininden geçen I akımı magnetik çekirdekte ϕ_r akısını oluşturur. ϕ_r akısı, aynı fazda ϕ_{r_1} ve ϕ_{r_2} akılarına ayrılır. Ancak alüminyum diskin dönebilmesi için aralarında faz

farkı olan iki akının bu disk üzerinden geçmesi gerekir. Faz farkı oluşturmak üzere magnetik çekirdek ayaklarından birine bakır halka takılmıştır. ϕ_{r_1} akısı bu halkada E_{sh} geriliminin endüklenmesine ve halka içinden I_{sh} akımının dolaşmasına neden olur. Bakır halka burada tek sarımlı bir bobin görevi yapmaktadır. Halkanın I_{sh} akımı magnetik devrede ϕ_{sh} akısını dolaştırır.

Bu durumda bakır halkalı ayaktan:

$$\phi_r = \phi_{r_1} + \phi_{r_2} \quad (3.9)$$

ve bakır halkasız ayaktan ise :

$$\phi_2 = \phi_{r_2} - \phi_{sh} \quad (3.10)$$

akıları geçer.

Bu akılar arasında bir θ faz açısı oluşur. ϕ_1 ve ϕ_2 akıları alüminyum disk üzerinde E_1 ve E_2 gerilimlerini endüklerler. Bu gerilimler diskten aralarında θ faz açısı olan I_1 ve I_2 fuko akımlarının geçmesini sağlar.

Bu akımlar diskte

$$M = k.\phi_1.\phi_2.\sin \theta \quad (3.11)$$

döndürme momentinin oluşmasına neden olurlar. ϕ_1 ve ϕ_2 akıları röle bobininden geçen I akımı sebebiyle oluştuğu için döndürme momenti:

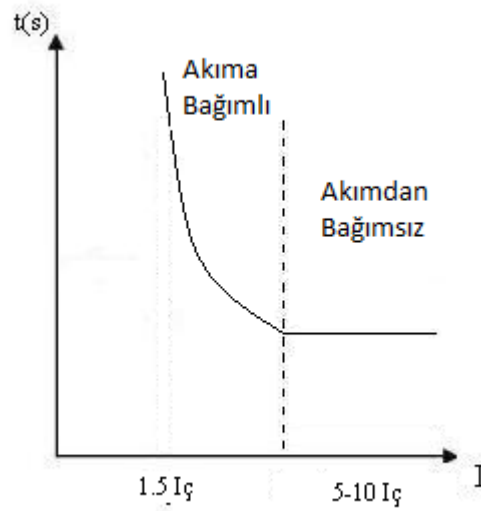
$$M = k_1.I^2 \quad (3.12)$$

ile orantılı olur.

Rölenin çalışmasını diskin üstten görünüşüyle yorumlayacak olursak, diskin dönmeye başlaması için röle bobininden geçen akımın oluşturduğu döndürme kuvvetinin spiral yayın kuvvetinden daha büyük olması gerekir. Bu röle ani röle değildir. Alüminyum diskin hareketliliği kontağın sabit kontağa temas etmesi için α açısı kadar dönmesi gerekir. Döndürme momenti $M=k.I^2$ olduğu için, bu açının tamamlanması için gereken süre akımın karesiyle orantılıdır. Akım arttıkça zaman gecikmesi azalmaktadır. Bu ters orantıdan dolayı bu rölelere “Ters Zaman Karakteristikli Röleler” denilmektedir.

Diskin sürekli hızlanarak kararsız çalışmasını önlemek, disk frenleyerek hızının yükselmesini önlemek için bir sabit mıknatıs kullanılmıştır.

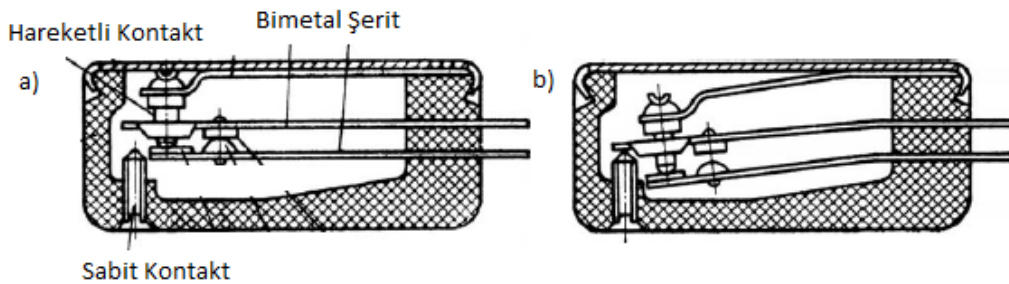
Disk üzerindeki α açısını değiştirmek suretiyle rölenin kumanda zamanı değiştirilebilir. Böylece farklı karakteristikler elde edilir. Röle, çalışması akımının 1.5 katından sonraki akımlarda kararlı çalışmaktadır. Akım çok yüksek olsa bile $(5-10).I_{\phi}$ değerinden sonra manyetik çekirdeğin doymasından dolayı kumanda zamanı sıfıra inmez, t sabit kalır. Grafikte de görüldüğü gibi akımın akmaya başladığı an çalışma akımının 1.5 katıdır ve bu andan itibaren akıma bağımlı bölge başlar, $(5-10).I_{\phi}$ değeri ile de akımdan bağımsız çalışma kısmı görülmektedir.



Şekil 3.20 Endüksiyon disk rölesi çalışma karakteristiği

- Termik Röleler

Termik röle, uzama katsayıları birbirinden farklı olan, birbirine kaynak edilmiş iki şerit levhanın (bimetal şerit) akım etkisiyle ısınarak eğilmesi ve kontağın konum değiştirmesi prensibine göre çalışır.



Şekil 3.21 Termik röle yapısı

Yukarıdaki termik röle direkt ısıtılmalı bir termik röledir. Bazı rölelerde akım bir ısıtıcı sargıdan geçer, bimetal şerit sargı içindedir yani bimetal şerit dolaylı olarak ısınır. Böyle termik rölelere de “Endirekt Isıtılmalı Termik Röleler” denir.

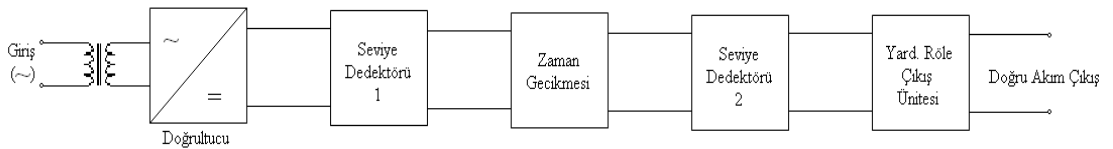
Koruma sistemlerinde termik röleler aşırı akım koruma rölesi olarak kullanılırlar. Ayrıca bimetal şerit, otomatik sigortaların ve alçak gerilimde kullanılan otomatik şalterlerin aşırı akım açtırma mekanizmalarında kullanılır.

Termik röle ters zaman karakteristikli bir röledir. Kumanda zamanı akımla ters orantılıdır. Ayrıca bimetal eleman soğumadan röle kontağı eski haline dönmez.

Termik aşırı akım röleleri üç fazlı asenkron motorların korunmasında yaygın olarak kullanılır [26].

- Statik Röleler

Statik röleler elektronik devre elemanlarından meydana gelen rölelerdir. Röle girişine uygulanan elektriksel büyüklüğün rölenin ayar değerini aşıp aşmadığı elektronik elemanlardan oluşan seviye dedektörleri tarafından belirlenir. Uygun devre tasarımlarıyla $t=f(I)$ zaman gecikmesi istenildiği gibi elde edilebilir. Elektromekanik röleler, ölçü transformatörlerinden aldıkları akım ve gerilimle çalıştığı halde, statik röleler ayrıca bir dc kaynaktan beslenir. Ölçü trafosundan gelen sinyalleri sadece ölçme ve kontrol amacıyla kullanılırlar.



Şekil 3.22 Statik röle çalışmasına ait blok diyagramı

Korunacak sisteme bağlı akım transformatörünün 5A civarındaki sekonder akımı statik röle içindeki yardımcı akım trafosu ile daha küçük bir değere indirilir. Yardımcı trafonun görevi hem akımı düşürmek hem de rölenin içindeki elektronik devreleri enerji sisteminden izole etmektir. Yardımcı trafo çıkışındaki R şönt direnci ile de akım gerilime çevrilir. Elde edilen alternatif gerilim köprü diyotlu doğrultucu ile tam dalga doğrultularak dc gerilime dönüştürülür. Korunacak sistemin akımına bağlı olarak elde edilen bu dc gerilim değeri yeterince yüksek ise seviye dedektörü zaman geciktirme devresini çalıştırır. Zaman gecikmesi sonucunda 2. dedektör tekrar gerilimi kontrol

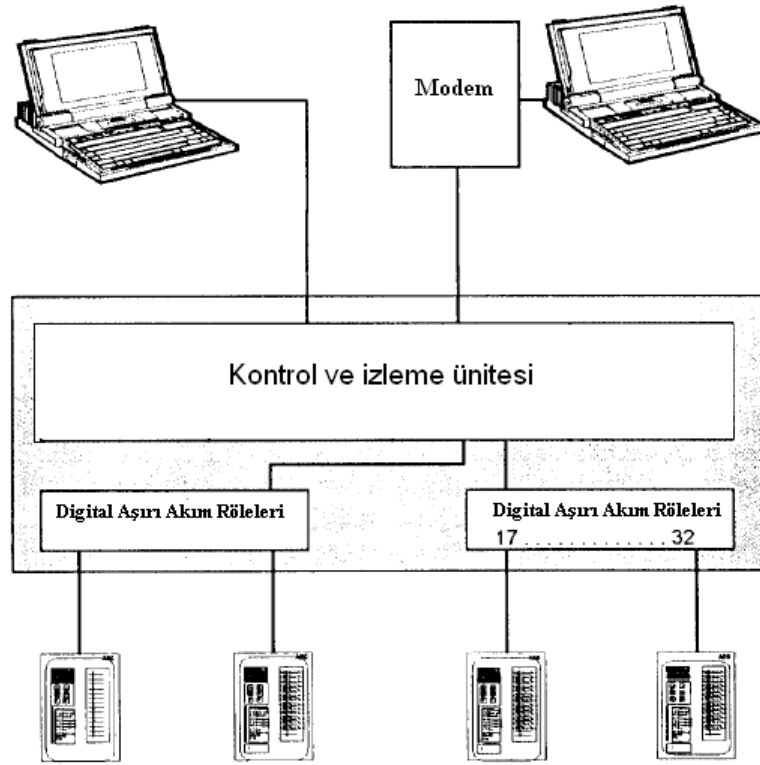
eder. Elde edilen gerilim yüksek dc çıkış ünitesini çalıştırır. Çıkış ünitesinde transistör, tristör, triyak gibi yarı iletken anahtarlama elemanları kullanılabildiği gibi çoğunlukla bir yardımcı röle kullanılır. Bu röle kontağı ile kesici kumanda edilir.

- Dijital Röleler

Elektromekanik röleler, herhangi bir sinyal işleyişi olmadan, yalnızca röleye uygulanan akımın ya da gerilimin büyüklüğüne göre çalışan rölelerdir. Günümüzde kullanılan cihazların çoğu güç elektroniği elemanlarının gelişmesine bağlı olarak harmonik içermektedir ve bunun sonucu olarak da elektromekanik rölelerin bulunduğu güç sisteminde harmonikler mevcutsa röleler yanlış kesici açmalarına neden olabilmektedir. Bu eksikliğin öneminin anlaşılmasıyla birlikte statik röleler üretilmiştir. Statik aşırı akım röleleri elektromekanik rölelerden farklı olarak, içerisindeki analog filtreler sayesinde röleye uygulanan akımın harmoniği azaltmakta ya da süzmektedir.

Dijital teknolojiyle gelişen filtreleme karakteristikleri sayesinde statik rölelerde, analog filtrelerle birlikte dijital filtreler de kullanılmaya başlanmıştır. Böylece statik aşırı akım rölelerin daha gelişmiş bir versiyonu olan dijital aşırı akım röleleri üretilmeye başlanmıştır.

Dijital aşırı akım röleleri, elektromekanik rölelerin yer aldığı hat koruması, trafo koruması, busbar koruması gibi tüm koruma sistemlerine adapte edilerek kullanılabildiği gibi, dijital teknolojinin gelişmesiyle birlikte oluşturulan dijital ağırlıklı koruma sistemlerinde etkili ve güvenilir bir biçimde çalışabilmektedir. Şekilde dijital aşırı akım röleleri ve bu rölelerin bağlı bulunduğu genel izleme merkezi gösterilmiştir.



Şekil 3.23 Dijital aşırı akım röleleri ve kontrol mekanizması

Genel olarak dijital aşırı akım röleleriyle elektromekanik röleler karşılaştırıldığında, dijital rölelerin avantajları aşağıdaki gibidir:

- Daha uzun ömür ve daha yüksek güvenilirlik
- Mantık-düzey devrelerine daha kolay uydurulabilme
- Yüksek anahtarlama hızı
- Şok ve vibrasyon için daha yüksek direnç
- Bakım ve işletme kolaylığı
- Mekanik kontak olmaması

Dijital rölelerde mekanik kontakların olmaması aşağıda sıralanan sorunların ortadan kalkmasını sağlar:

- Kontak sıçraması,
- Kontak açılması sonucu kıvılcım atlaması,

- Elektromanyetik girişim (EMI) ve patlayıcı ve yanıcı gaz, sıvı ve katıların bulunması durumunda bir kontak kıvılcımı sonucu ortaya çıkabilecek yangın tehlikesinin ortadan kalkması.

Buna karşın elektromekanik röleler, yüksek hız anahtarlama veya tehlikeli bir ortamda operasyon gerektirmeyen durumlarda fiyat olarak daha ucuzdur.[27]

3.7 IEC 61850 Haberleşme Protokolü

IEC 61850 elektriksel şebeke veri haberleşmesi ve elektriksel trafo merkezleri modellemesi için kullanılan uluslararası endüstriyel haberleşme protokolüdür [28]. Verilerin ve komutların Akıllı Elektronik Cihazlar(IED) ve trafo merkezleri arasında verimli ve güvenilir haberleşme sağlanması için geliştirilmiştir. IEC 61850, yüksek hızlı veri ağı üzerinden kullanım için tasarlanmıştır. IEC61850, Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) Teknik komitesi (TC57) tarafından geliştirilen modellenabilir haberleşme standartlarından biridir. Günümüze kadar endüstriyel haberleşme ağlarında kullanılan haberleşme protokollerinde bulunmayan ya da geliştirilmesi gereken ihtiyaçlara göre tasarlanmıştır. Bunlardan başlıcaları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yüksek hızda akıllı elektronik cihazlar arası iletişim desteği (IED-IED),
- Kurum ağı üzerinden yapılandırmaya izin verilmesi,
- Yüksek derecede “hazır bulunma”,
- Kesin veri iletim süreleri,
- Standardizasyona tabi olması,
- Farklı marka ve model ürünlerin ek cihaza ihtiyaç duymadan haberleşebilmesi,
- Cihazlar arası dosya transferine izin vermesi,
- Güvenli haberleşme desteği,

Genel olarak IEC 61850, yapılandırmadaki sistematik tasarımı, farklı model ve markaların birbirleriyle haberleşebilmesi, hızlı, güvenilir ve genişletilebilir yapısı ile akıllı şebeke sistemlerinin sahip olması gereken haberleşme protokollerinin başında gelmektedir [29].

ŞEBEKE ÜZERİNDE ARIZA ANALİZLERİ

4.1 Bilgisayar Ortamında Modelleme

Enerji sistemlerinde fiziksel olarak uygulamaya geçilmeden önce modelleme ve simülasyonların gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Gerek enerji santralleri, gerek iletim, dağıtım sistemleri olsun, yapılan simülasyon çalışmaları büyük kolaylık sağlamakta ve dizayn mühendislerinin işlerini kolaylaştırmaktadır. Yapılan analizler sistemin güvenilirliğini arttırmakta, gerekli optimizasyonların önceden yapılmasına olanak sağlamaktadır.

Bilgisayar destekli simülasyonlarda Matlab, Etap, Neplan gibi programlar gerçeğe çok yakın sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadırlar. Çeşitli programlar, yapılan simülasyonlar sonrasında gerçek zamanlı uygulama yapılmasına da olanak tanımaktadır.

Bu tez çalışmasında simülasyonlar Matlab, Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Simulink ortamında datalar SimPowerSystems arayüzünde işlenmiş ve ilgili haberleşme ve koruma sistemlerine ait bloklar yardımıyla nihai hali verilmiştir.

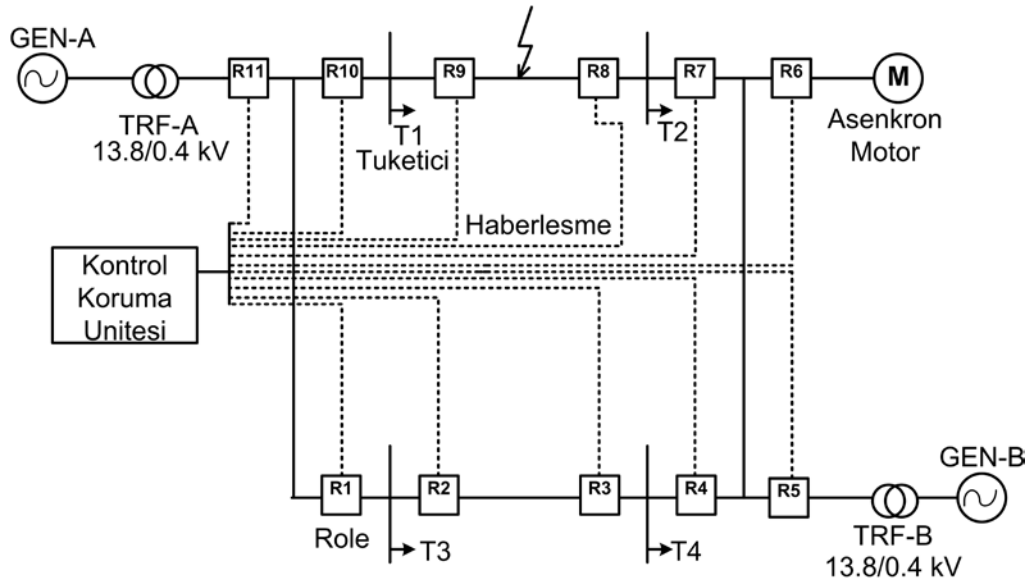
4.2 Konvansiyonel Bir Ring Şebekenin Akıllı Şebeke Altyapısı İle Hata Analizi

Bu çalışmada bir ring şebeke için herhangi bir noktada oluşan kısa devre sonrası şebekedeki tüketiciler için enerjinin sürekliliğini sağlayan bir sistem kurulmuş ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Sistemde oluşan kısa devre sonrası tüm şebekenin enerjisinin kesilmesi yerine sadece ilgili kesicilere açma sinyali gönderilmiş ve hatadan

önce açık olan kesicilerin kapatılması yoluyla enerjinin sürekliliği sağlanmıştır. Şebekeye bağlı tüketicilerin asenkron motor ve çeşitli empedans yüklerine sahip olduğu kabul edilmiştir. Yapılan çalışmada oluşturulan sistem akıllı şebeke altyapısına uygun olarak modellenmiştir. Bu çalışmada kısa devre oluşan noktanın transformatöre olan mesafesi ile hata akım değerlerinin sistemde başka bir kesicinin açılmasına neden olmasını önlemek amacıyla koruma stratejisine seçicilik faktörü de eklenmiştir.

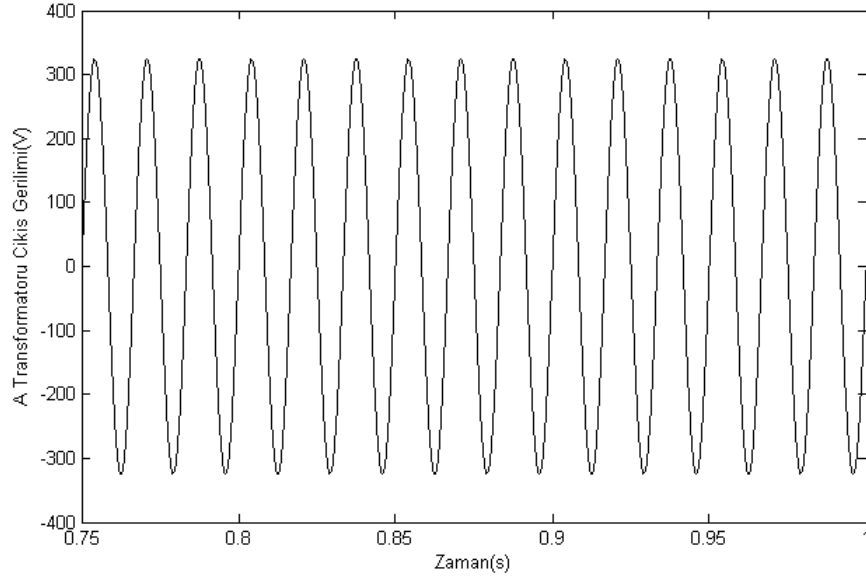
4.2.1 Sistem Bileşenleri ve Metodoloji

Oluşturulan ring şebekeye ait kontrol, kumanda, haberleşme ve güç sistemi elemanlarını içeren sistemin genel şeması Şekil 4.1’de görüldüğü gibidir. Sistem bir ring şebeke olup A ve B generatörleri tarafından beslenmektedir.

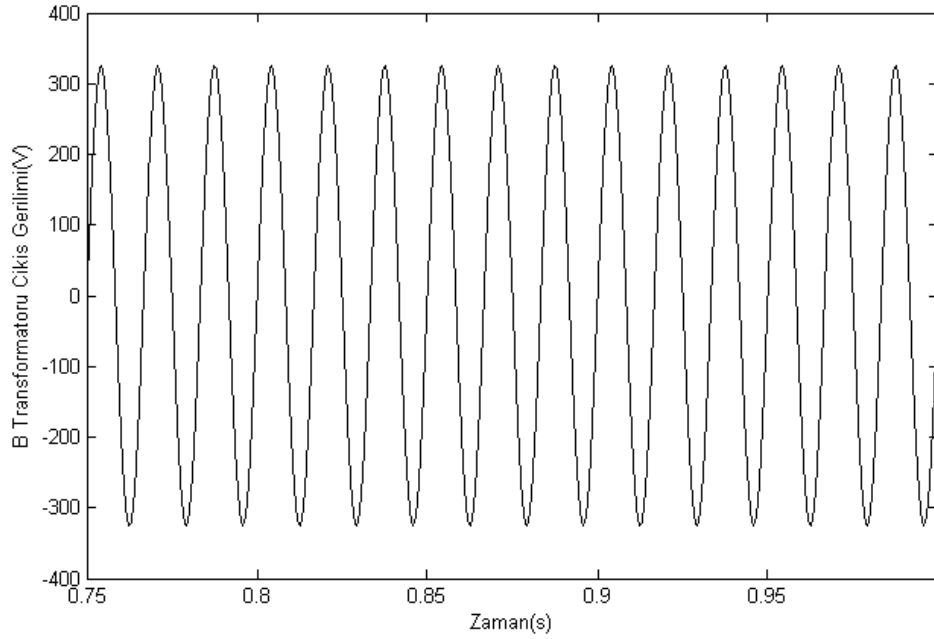


Şekil 4.1 Genel sistem konfigürasyonu

Sistemde herhangi bir arıza meydana gelmesi durumunda ilgili bölgede kesiciler aracılığı ile hata devre dışı bırakılarak sistem diğer generatör tarafından beslenmeye devam edecektir. Sistemde bulunan tüketiciler generatörlerin çıkışlarında bulunan transformatörler üzerinden beslenmektedir. Modelde hatanın bulunmadığı normal işletme durumu için tüketicileri besleyen generatörlere ait faz-nötr gerilim değişimleri Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de görülmektedir. Şekillerden görüldüğü üzere iki generatör de aynı gerilim seviyesine sahiptir.



Şekil 4.2 A transformatörü çıkış gerilim-zaman değişimine ait grafik

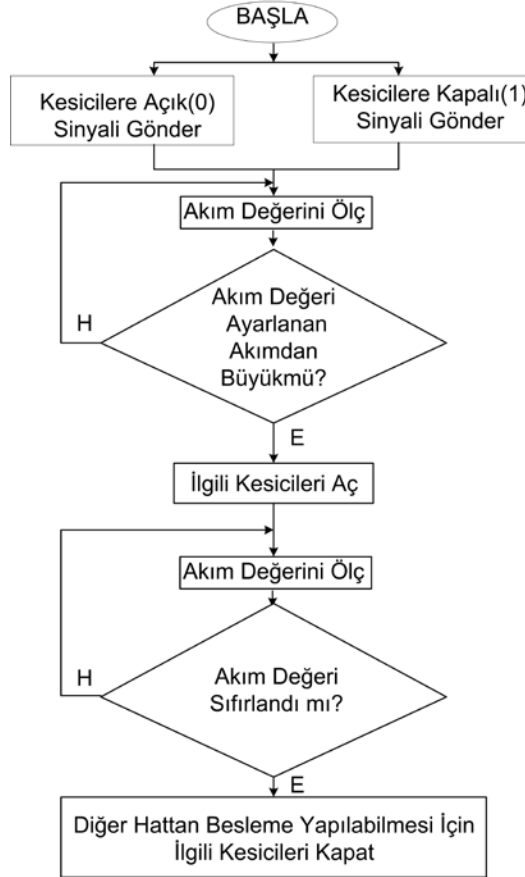


Şekil 4.3 B transformatörü çıkış gerilim-zaman değişimine ait grafik

Şebekede bulunan güç sistemi elemanlarını herhangi bir noktada meydana gelecek hataya karşı koruma amacıyla gerçekleştirilen simülasyonda empedans yükleri ve asenkron motor tüketici olarak modellenmiştir. Koruma yapısı için röle ve kesici modelleri kullanılmıştır. Sistemde oluşabilecek bir hataya en kısa sürede müdahale etmek son derece önemlidir [30]. Kısa devrenin olduğu bölgenin tespiti sonrasında diğer noktalardaki kesiciler ile hata noktasındaki kesicinin kumanda çözümleri farklı

olmalıdır. Bu nedenle geliştirilen yazılım ile kesici kumandasının istenilen şekilde çalışması sağlanmıştır.

Sistemin güvenilirliğini test etmek amacıyla çeşitli bölgelerde kısa devreler oluşturularak sistemin verdiği cevaplar incelenmiştir. Öngörülen kısa devre akımlarının en yüksek değerde olacağı bölgeler transformatör çıkış noktalarıdır [31]. Gerçekleştirilen bu çalışmada transformatör çıkışları da dahil olmak üzere 4 farklı hata senaryosu uygulanmıştır. Gerçekleştirilen simülasyon çalışmasında kullanılan kesiciler harici sinyal ile kumanda edilmişlerdir. Harici giriş noktalarına kesicinin açık veya kapalı olma durumuna göre '1' veya '0' sinyalleri gönderilmiştir. Kesicilerin açık konumda olması istendiği durumda '0', kapalı olması istendiği durumda ise '1' sinyali uygulanması gerekmektedir [32].



Şekil 4.4 Kontrol algoritması

Oluşturulan kontrol algoritmasına ait akış diagramı Şekil 4.4'de görüldüğü üzere çıkış sinyali kesiciye kumanda ederken, giriş sinyali ise dağıtım hattı üzerinde bulunan akım transformatörü üzerinden alınmaktadır. Giriş sinyali, kontrol algoritmasında bulunan

kodlara göre ilgili çıkış noktasına '1' veya '0' sinyali göndermektedir. Kontrol algoritmasında istenilen sinyal elde edildikten sonra sistemin sonsuz döngüye girmesini önlemek için çıkış sinyalleri zaman gecikmesi üzerinden başlangıç şartı olarak tanımlanmıştır. Zaman gecikmesini sağlayan bloklarda ise başlangıç koşulları sistemde istenildiği şekilde '1' veya '0' olarak işlenmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmaya ait simülasyon modelinde tüketicileri temsil eden 7 farklı empedans yükü ve bir adet asenkron motor kullanılmıştır. Empedans yükleri transformatör çıkışlarından başlanılarak şebekedeki çeşitli noktalara yerleştirilmiştir. Şebeke modelinde kullanılan elemanlara ait veriler Çizelge 4.1'de görüldüğü üzeredir.

Çizelge 4.1 Şebeke Modelinde Kullanılan Elemanlara Ait Veriler

	Aktif Güç (P)	Reaktif Güç (QL)
Yük 1	10kW	1000VAr
Yük 2	10kW	1000VAr
Yük 3	10kW	1000VAr
Yük 4	10kW	1000VAr
Yük 5	10kW	1000VAr
Yük 6	10kW	1000VAr
Hat Parametreleri	Rezistans (ohm)	Endüktans (mH)
Hat-1	0.01237	0.9337
Hat-2	0.01237	0.9337
Transformatörler	Primer Gerilim(V)	Sekonder Gerilim (V)
TR-A	13800 V(faz-faz)	400 V (faz-faz)
TR-B	13800 V(faz-faz)	400 V (faz-faz)

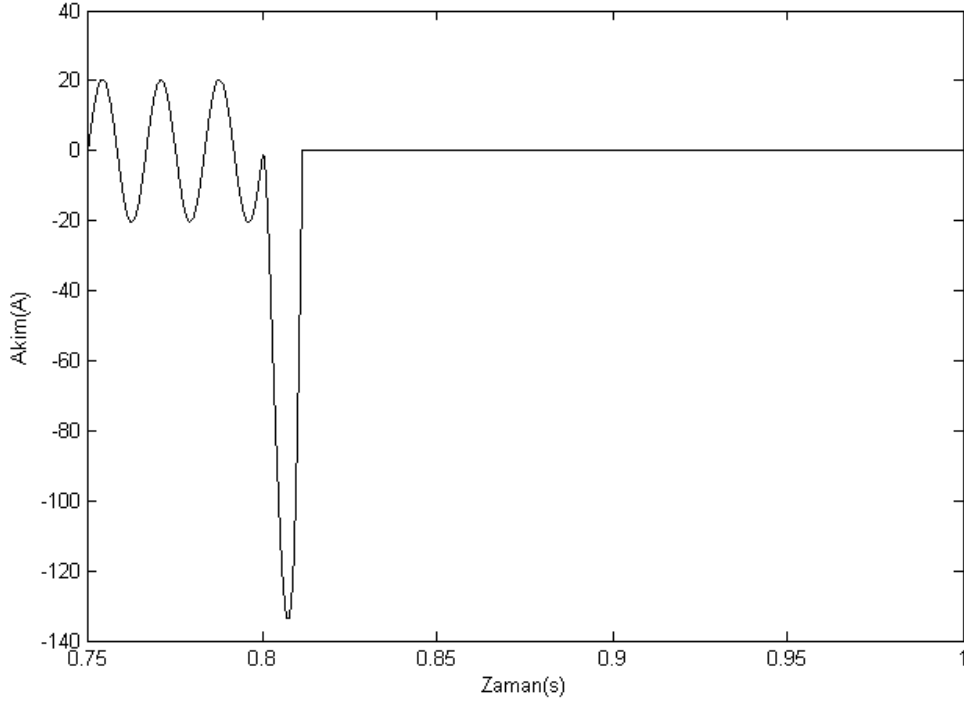
Asenkron motor simülasyonu için sincap kafesli motor kullanılmıştır. Kullanılan motorun gücü 20 HP olarak seçilmiştir. Motora ait yol alma akımının sistemdeki röle ve kesicileri etkilemeyeceği şekilde gerekli değerler kontrol algoritmasına uygulanmıştır. Asenkron motor giriş referans değerleri T_m giriş noktasından verilmektedir. T_m değeri birim basamak bloğu ile sağlanmıştır.

4.2.2 Sistem Üzerinde Yapılan Benzetim Çalışmaları

Gerçekleştirilen ring şebeke modeli ile elde edilen simülasyon sonuçları sistemi oluşturan bileşenlerin matematiksel ve elektriksel modellerinin MATLAB, Simulink ve SimPowerSystems yazılımlarında oluşturulması ile elde edilmektedir. Oluşturulan ring

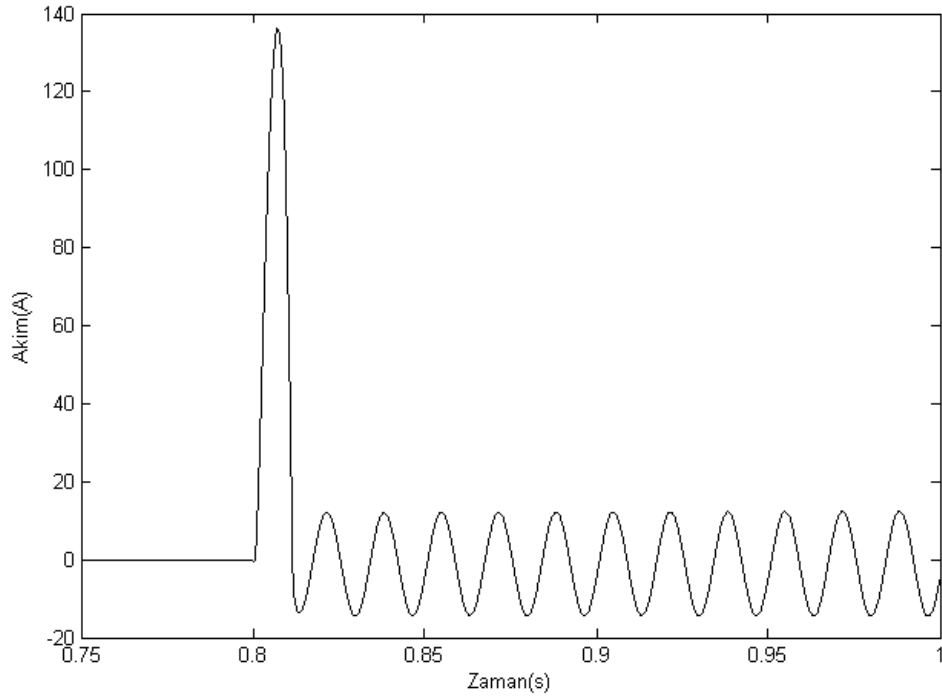
şebekede kullanılan generatörler 13.8kV gerilim üretmektedir. Transformatörlerin dönüştürme oranları ise 13.8kV/0.4kV değerindedir.

Simülasyonda kullanılan hata blokları sisteme transformatör çıkışı ve transformatörden uzakta olmak üzere 2 farklı nokta için bağlanmıştır. Simülasyon sonuçlarının zamana bağlı olarak değişimi aşağıdaki şekillerde sırasıyla verilmiştir.



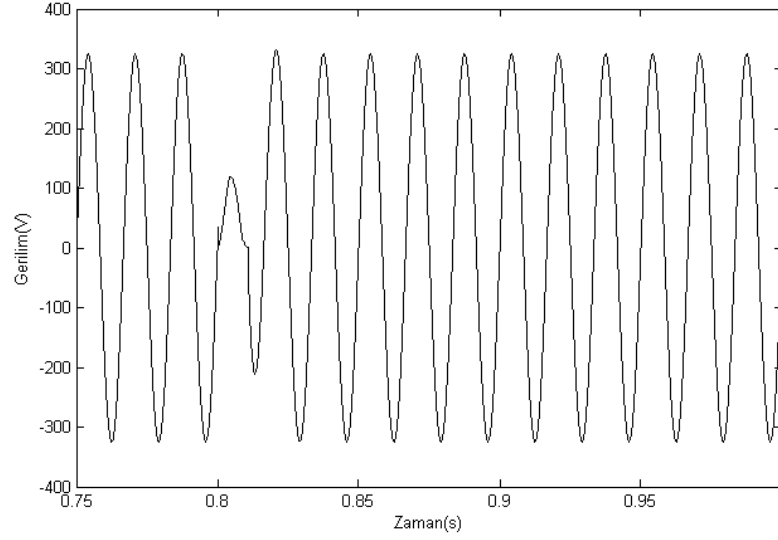
Şekil 4.5 A Transformatörünün çıkışında meydana gelen kısa devre sonucu akım-zaman değişimi

Şekil 4.5’de transformatör çıkışında kısa devre oluşması sonucunda akım değerinin değişimi gösterilmiştir. Kısa devre anından önce tüketicinin çektiği akım değeri 20A’dır. 0.8.saniyede kısadevre meydana gelmesi sonucu 140A değerinde kısadevre akımı meydana gelmiş ve kesiciler devreyi açarak akımı kesmişlerdir. Kısa devrenin meydana geldiği bu kol arıza giderilene kadar devre dışı kalacaktır.



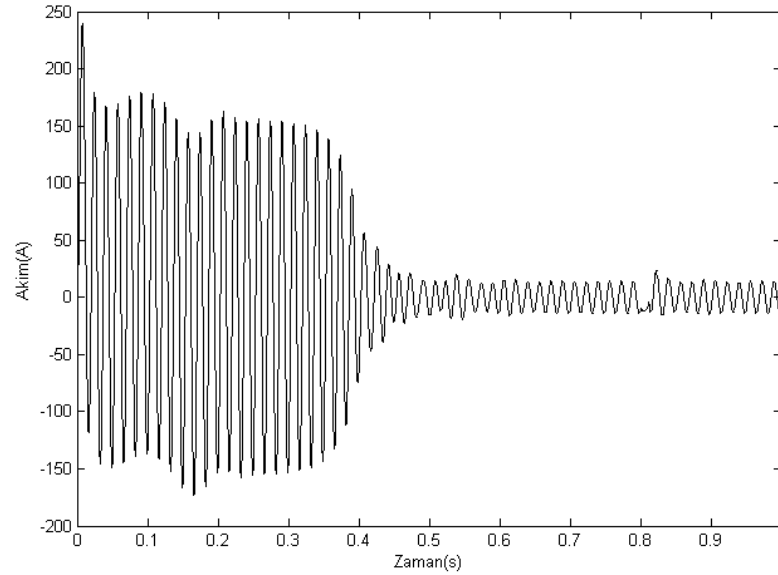
Şekil 4.6 A Transformatörünün çıkışında meydana gelen kısa devre sonucu devreye giren hatta ait akım-zaman değişimi

Şekil 4.6’da transformatör çıkışındaki kısadevre sonucunda kesicilerin kısa devre oluşan bölgeyi izole etmesi ve ardından kısa devreden önce akım geçmeyen hattın tüketicinin beslenmesine ait akım grafiği gösterilmektedir. Akım değeri kısa devreden önce sıfır iken hatadan sonra kullanılmaya başlanılan hattın 20A çekilmektedir. Kısa devre oluşan bölgede bulunan tüketicinin beslenmesi diğer generatör tarafından sağlanmaya başlanarak daha güvenilir bir sistem elde edilmiştir.



Şekil 4.7 A Transformatörünün çıkışında meydana gelen kısa devre sonucunda gerilim-zaman değişimi

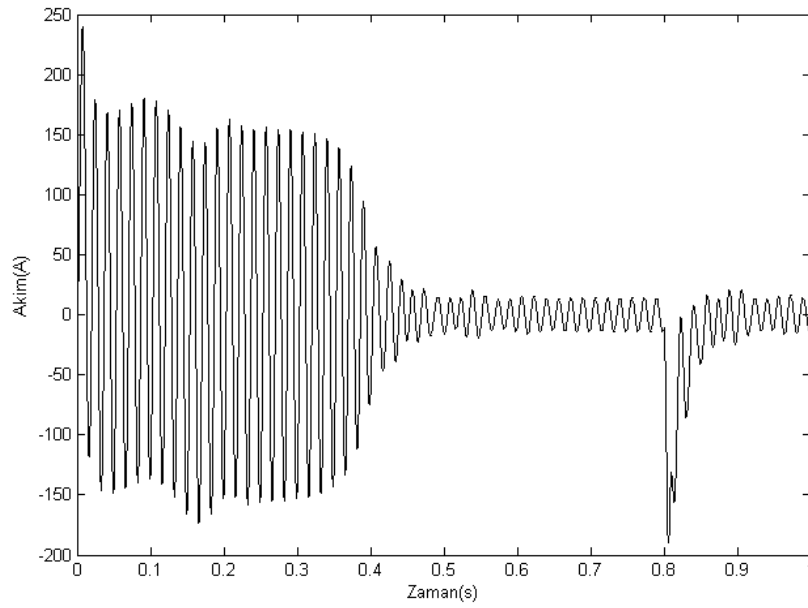
Şekil 4.7’de görüldüğü üzere kısa devre anından önceki gerilim dalga şekli, 0.8. saniyedeki kısa devrenin etkisiyle bozulmuştur. Kesicilerin hata bölgesini izole etmesi ve diğer generatör üzerinden tüketicinin beslenmeye başlanması sonucunda gerilim kısa devreden önceki değerine ulaşmıştır.



Şekil 4.8 Asenkron motora ait akım-zaman değişimi.

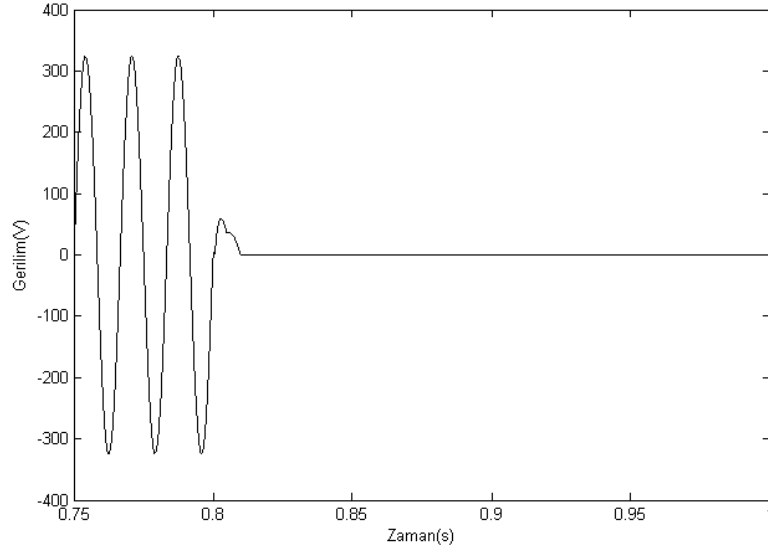
Şekil 4.8’de sistemde meydana gelen kısa devre ile asenkron motora ait akım-zaman değişim grafiği verilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere motorun yol alma akımı 240A değerine kadar çıkmasına rağmen kesicilere açma sinyali gönderilmemiştir.

0.8.saniyede meydana gelen kısa devre sonucunda 0.01 saniye akım değeri bozulmuş ve bu bozulma diğer hattın yapılan besleme ile hemen düzeltilmiştir. Şekil 4.9’da görüldüğü üzere asenkron motorun yol alması esnasında 240A akım çekilmesine rağmen sistemdeki kesicilere açma sinyali gönderilmemiştir. Kısa devre anında ise Şekil 4.8’den farklı olarak akım değeri 190A seviyesine kadar yükselmiştir. Fakat yine de sistemdeki kesiciler ilgili bölgeyi devre dışı bırakıp diğer generatörden besleme sağladığı anda asenkron motora ait stator akım grafiği düzelmiştir.



Şekil 4.9 Asenkron motoru besleyen hatta kısadevre olması sonucunda akım-zaman değişimi.

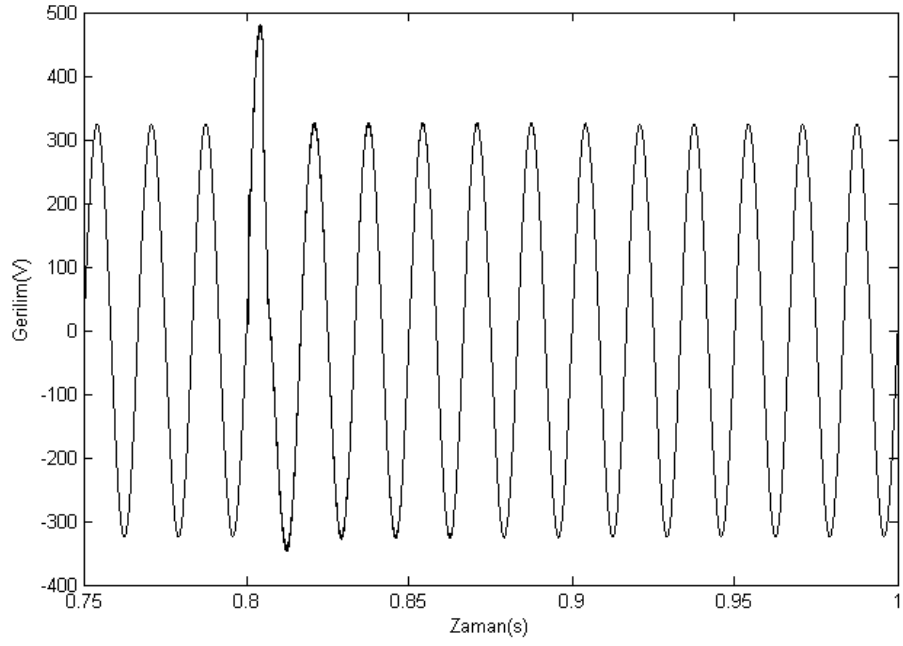
Şekil 4.10’da görüldüğü üzere kısa devre meydana geldiği ana kadar faz nötr gerilimin tepe değeri 320V seviyesinde iken kesicilere açma sinyali gönderilmesi sonucunda bu değer 0 V’a inmiştir.



Şekil 4.10 Kısa devre meydana gelen noktaya ait gerilim-zaman değişimi

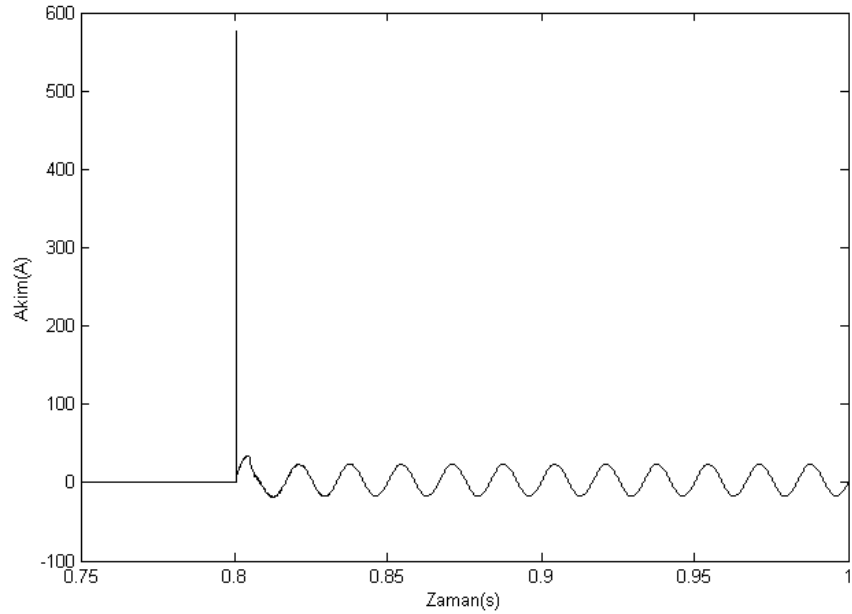
Gerilimin 0 V olduğu bu bölge arızanın meydana geldiği bölgedir ve arıza giderilene kadar sistemden izole bir şekilde kalacaktır. Şekil 4.1 de verilen genel sistem konfigürasyonunda görüldüğü üzere sistemde bulunan 2 generatörden herhangi biri ile arıza bulunmayan hatlar üzerinden iletim gerçekleştirilecektir. İzole edilen bölgede iletim gerçekleşmeyeceğinden dolayı tüketicinin enerjisiz kalmaması için başka bir noktadan besleme yapılmalıdır. Gerçekleştirilen çalışmada bu özellik Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de görüldüğü üzere sağlanmıştır.

Şekil 4.11’de tüketiciyi beslemeye başlayan hatta ait gerilim grafiği verilmiştir. Şekil 1’deki genel sistem konfigürasyonunu göz önüne aldığımızda, kısa devre anından önce Şekil 4.9’ da görüldüğü üzere A generatörü ile beslenen tüketici kısa devre anından sonra B generatöründen beslenmeye başlanmış ve A generatöründen gelen hat sistemden izole edilmiştir.



Şekil 4.11 Kısa devre sonrasında tüketiciyi beslemeye başlayan hatta ait gerilim-zaman değişimi

Şekil 4.12’de görüldüğü üzere kısa devre anından önce üzerinden geçen akım 0 A olan hat kısa devre anından sonra 20 A değerinde akım taşımaya başlamıştır.



Şekil 4.12 Kısa devre sonrasında tüketiciyi beslemeye başlayan hatta ait akım-zaman değişimi

Buradan açıkça görülmektedir ki kısa devre anında tüketiciyi besleyen hat devre dışı bırakılıp başka bir hat üzerinden besleme yapılarak tüketiciye enerji verilmeye devam edilmiştir.

4.2.3 Test Sonuçları

Gerçekleştirilen çalışmada akıllı şebeke altyapısına uygun bir ring şebeke dizayn edilip gerekli simülasyonlar yapılarak hata analizleri gerçekleştirilmiştir. Geleneksel şebekelerde bir kısa devre meydana geldiğinde ortaya çıkan sonuç enerji kesintisidir. Oluşan enerji kesintileri sistemin verimliliğini ve güvenilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Sistemde oluşan olumsuzlukları en aza indirmek ve verimliliği arttırmak amacıyla kontrol algoritması tasarlanmıştır. Böylece röle koordinasyonu sağlanarak arızalar en kısa sürede giderilmiş ve sistem kararlılığı sağlanmıştır.

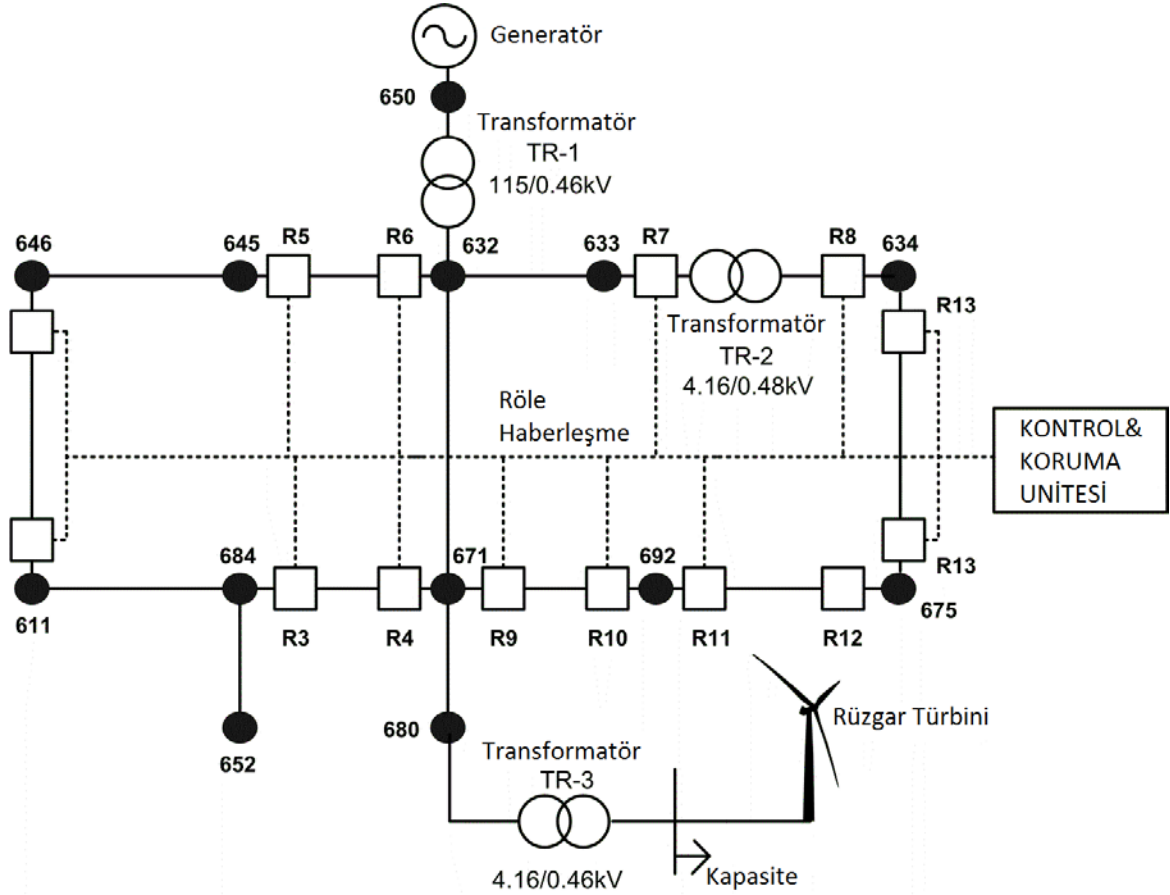
Kurulan ring şebeke sistemi ile yapılan simülasyon ve analizler sonucunda, kısa devre anı ve sonrasına ait senaryolar oluşturularak sistem geliştirilmiştir. Sistemde meydana gelecek herhangi bir kısa devre sonrasında tüketiciye başka bir noktadan enerji verilip, hata oluşan bölge izole edilmiştir. Oluşturulan kontrol algoritması ile istenilen kesicinin çalışması sağlanarak yanlış bölgenin izole edilmesinin önüne geçilmiştir. Bu sayede kısa devre bölgesi onarılırken tüketicinin enerjisiz kalma durumu ortadan kaldırılmıştır. Bu çalışmada elde edilen test sistemi ve algoritma kullanılarak kompleks analizlerin yapılmasında önemli bir yol katedilmiştir.

4.3 IEEE 13 Bara Test Sistemi Üzerinde Hata Analizi ve Röle Koordinasyonu

Bu simülasyon çalışmasında IEEE 13 baralı test sisteminin değiştirilmiş bir versiyonu elde edilip gerçekleştirilen arızadan sonra sistemin etkin bir şekilde çalışması sağlanmıştır. Oluşturulan model, akıllı şebeke altyapısına uygun olarak dizayn edilip dağıtık üretim tesisi ve konvansiyonel enerji kaynakları ile beslenmiştir. Bu modelde geliştirilen kontrol sistemi sayesinde oluşturulan arızadan sonra sadece hata bölgesi sistemden izole edilip, uygun olan diğer bir hatla tüketicilerin beslenmesi hedeflenmiştir. Koruma sisteminden gönderilen sinyallerle şebekeye müdahale edilmiş, tüm sistemin enerjisiz kalmasının önüne geçilmiştir.

4.3.1 Sistem Tanıtımı ve Metodoji

Gerçekleştirilen simülasyonda IEEE 13 baralı test sistemine [33] Şekil 4.13’de görüldüğü üzere dağıtık üretim tesisi eklenip kontrolve koruma ünitesi ile sistemin kontrolü sağlanmıştır. Şebeke bir adet generatör ve rüzgar türbini ile beslenmektedir. Şebekedeki tüketiciler ise ilgili endüktif ve kapasitif empedanslar ile modellenmiştir.



Şekil 4.13 Genel sistem konfigürasyonu

Şekil 4.13’de görülen modifiye edilmiş 13 baralı test sisteminde korumayı sağlamak için röle ve kesici modellemeleri gerçekleştirilmiştir. Röle modellemesi için eşitlik 4.1’de belirtilen standart ters röle karakteristiği kullanılmıştır.

$$t_{si} = \frac{0.14}{[I^{0.02} - 1]} \text{ sec} \quad (4.1)$$

Sistemde oluşan arızalara müdahale ederken zaman faktörü üst düzeyde önem taşımaktadır. Arıza noktası tesbit edildikten sonra seçililik faktörü de gözetilerek kesicilerin hızlı bir şekilde tepki vermesi sağlanmalıdır [34].

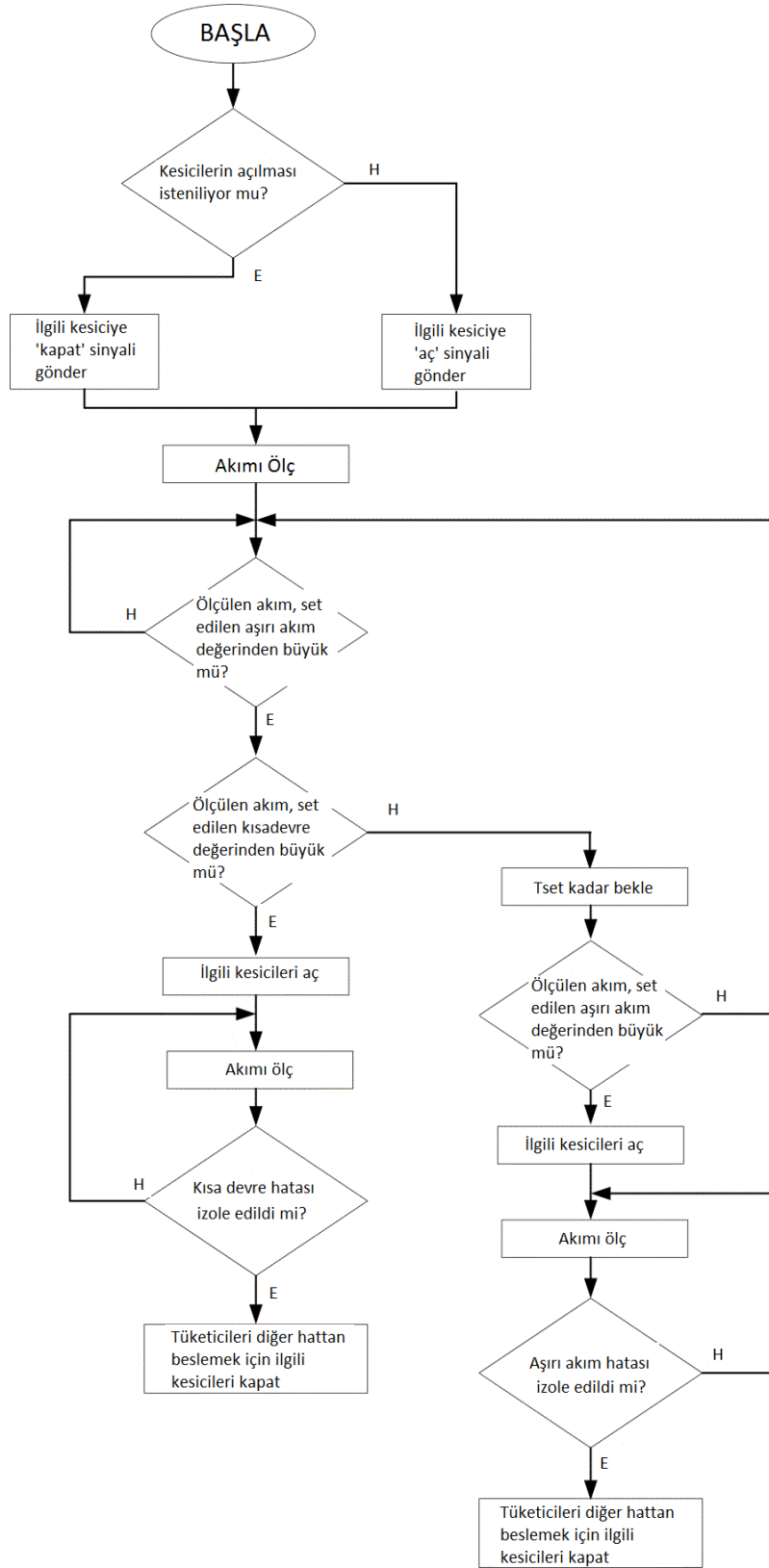
Muhtemel bir arıza esnasında, sadece arıza oluşan bölgenin enerjisi kesilmeli, diğer

tüketicilerin enerjisiz kalmasının önüne geçilmelidir. Oluşturulan şebeke modelinde, olası bir arıza esnasında izole edilecek bölgenin lokasyonuna göre tüketicilerin beslendiği nokta generatörden rüzgar türbinine ya da tam tersi olacak şekilde değişebilmektedir. Bu da sistemde çift yönlü yük akışının sağlanması ile mümkün olmuştur. Akıllı şebekelerin en büyük avantajlarından biri enerji kaynakları ile tüketiciler arasında çift yönlü bir haberleşme ağının kurulmasıdır [35].

Sistemde bulunan enerji kaynakları olan generatör ve rüzgar türbini normal koşullarda aynı gerilim seviyesine sahiptir. Geliştirilen kontrol sisteminin amaçlarından birisi de sistemdeki gerilim seviyesini hata anında stabil seviyede tutmaktır.

Oluşturulan sistemin güvenilirliğini test etmek amacı ile farklı noktalarda arızalar oluşturulmuştur. Bu sayede sistemin etkinliği test edilmiştir. Sistemde maksimum kısa devre akımları transformatörlerin çıkış noktalarında meydana gelmektedir.

Sistemde modellenen kesiciler kontrol ünitesinden gelen sinyallerle kontrol edilmektedir. Kontrol ünitesi kesicilere gönderdiği sinyalleri dinamik olarak güncellemektedir. Kesicilere iletilen kontrol sinyalleri, kesicinin açık veya kapalı pozisyonda olmasının istenmesi durumlarına göre değişmektedir. 'Open' Sinyali sistemde bir bölge izole edilmek isteniliyorsa ilgili kesicilere iletilmekte, aksi durumda ise ilgili kesicilere 'Close' sinyali iletilmektedir. Sisteme ait kontrol algoritması Şekil 4.14'de görüldüğü üzeredir.



Şekil 4.14 Kontrol Algoritması

Algoritmanın çıkışında elde edilen sinyal kesicilere kumanda ederken, algoritmaye ulaşan giriş sinyali ise sistemde bulunan ilgili akım trafoları ve sensörler aracılığı ile elde

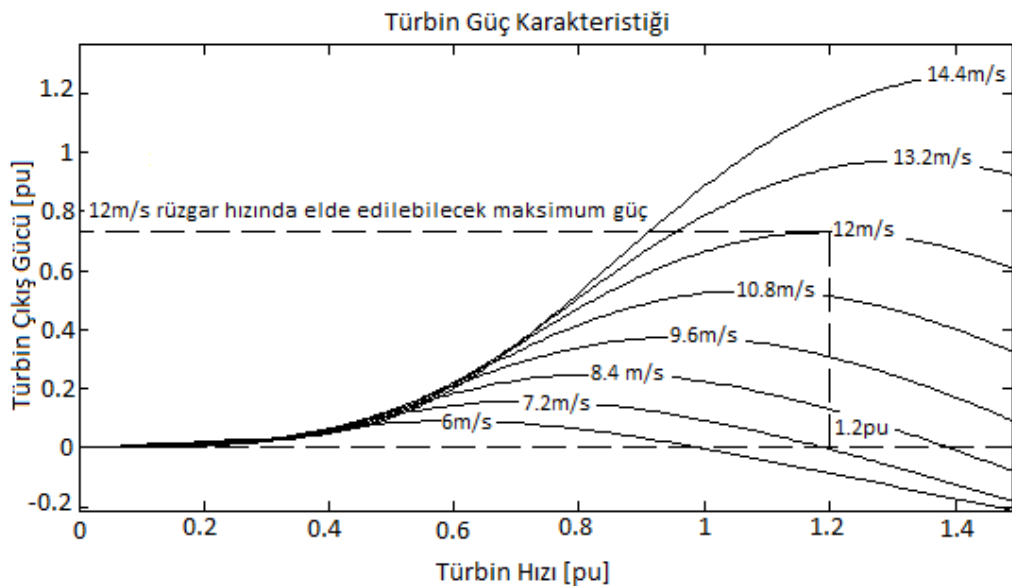
edilmektedir. Algoritmadan istenilen sinyal elde edildiğinde, çıkış sinyalleri istenilen zaman gecikmeleri sonrasında kesicilere iletilmektedir.

Kısaca, kullanılan kontrol sistemi yaklaşımı ile enerjinin sürekliliği sağlanabilmektedir. Bahsedilen kontrol sistemi ile olması muhtemel bir arıza esnasında ve sonrasında sistem stabil bir şekilde çalışmaya devam etmektedir.

4.3.2 Sistem Üzerinde Yapılan Benzetim Çalışmaları

Sistemi test etmek amaçlı senaryolar, oluşturulan IEEE 13 baralı sisteme uygulanmış ve sonuçlar MATLAB/Simulink and SimPowerSystems ortamında elde edilmiştir.

Simülasyonla ilgili bilgiler bu bölümde irdelenmiştir. IEEE 13 baralı test sistemine eklenen rüzgar türbini, mekanik rüzgar türbini modeli ve asenkron generatör modelinin birleştirilip optimize edilmesi ile elde edilmiştir. Kullanılan rüzgar türbini modelinde nominal gücü elde etmek için rüzgar hızının 12m/s olması gerekmektedir. Fakat, işletme şartlarında bu hızın sürekli sabit kalmayacaktır. Bu nedenle rüzgar hızı 10m/s olarak rüzgar türbini modeline uygulanmıştır. Rüzgar türbinine ait karakteristikler Şekil 4.15’de verilmiştir.



Şekil 4.15 Rüzgar türbini güç karakteristiği

Asenkron generatöre ait nominal güç değeri 37.3 kVA, faz-faz gerilimi 460 V, frekans ise 60 Hz değerindedir. Rüzgar türbini ise asenkron generatör ile aynı gerilim ve frekans değerine sahiptir.

Çizelge 4.2 IEEE 13 baralı sisteme ait yük ve hat verileri

Yükler								Hat Verileri			
Nokta	Yük	Ph-1	Ph-1	Ph-2	Ph-2	Ph-3	Ph-3	Nokta A	Nokta B	Uzunluk(ft.)	Konfig.
	Model	kW	kVAr	kW	kVAr	kW	kVAr	632	645	500	603
634	Y-PQ	160	110	120	90	120	90	632	633	500	602
645	Y-PQ	0	0	170	125	0	0	633	634	0	XFM-1
646	D-Z	0	0	230	132	0	0	645	646	300	603
652	Y-Z	128	86	0	0	0	0	650	632	2000	601
671	D-PQ	385	220	385	220	385	220	684	652	800	607
675	Y-PQ	485	190	68	60	290	212	632	671	2000	601
692	D-I	0	0	0	0	170	151	671	684	300	604
611	Y-I	0	0	0	0	170	80	671	680	1000	601
	Toplam	1158	606	973	627	1135	753	671	692	0	Switch
								684	611	300	605
								692	675	500	606

Çizelge 4.2’de IEEE 13 baralı test sistemine ait yük ve iletim hattı bilgilerine yer verilmiştir.

Sistemde kullanılan transformatörlere ait bilgiler Çizelge 4.3 de görüldüğü üzeredir.

Çizelge 4.3 Transformatörlere ait veriler

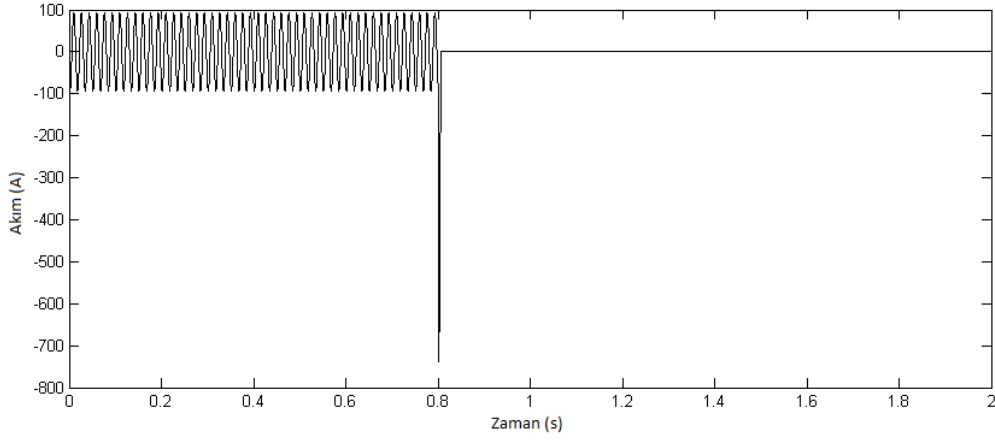
Transformatör Verileri					
	kVA	kV-yüksek	kV-alçak	R - %	X - %
Substation:	5.000	115 - D	4.16 Gr. Y	1	8
XFM -1	500	4.16 - Gr.W	0.48 - Gr.W	1,1	2

Oluşturulan IEEE 13 baralı test sistemine sistemin güvenilirliğini test amacı ile 3 farklı senaryo uygulanıp ilgili sonuçlar elde edilmiştir.

İlk senaryoda (Senaryo 1) şebekede bir kısa devre oluşturulmuştur. Oluşturulan kısa devre 3 faz – toprak kısa devresidir. İlk senaryonun oluşturulma yeri Şekil 4.16’da gösterilmiştir.

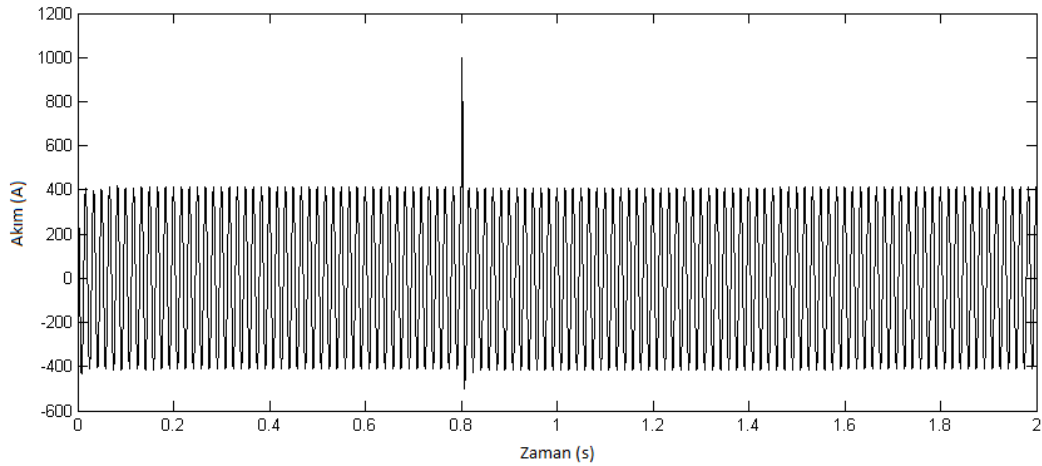
Şekil 4.17, A hattından beslenen tüketicilerin hata sonrası enerjisiz kalmadığını ortaya koymaktadır. B hattının enerjisinin kesilmesinden sonra, C hattı vasıtasıyla A hattında bulunan tüketiciler enerji kesintisinden etkilenmemişlerdir.

B hattından hata öncesi okunan akım değeri 100 A dir. Kısa devre anında 750 A değerinin okunması ile sistemdeki kesicilere açma sinyali gönderilip bölge izole edilmiştir. Şekil 4.18’de hatadan önce, hata esnasında ve enerji kesintisi sonrasında hat B’ye ait akım-zaman değişimi belirtilmiştir.



Şekil 4.18 Senaryo 1’de B hattına ait akım-zaman değişim grafiği

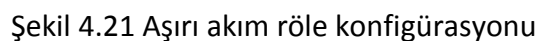
Transformatör 1’in çıkışındaki akım-zaman grafiği ise Şekil 4.19’da belirtilmiştir. Kısa devrenin etkisi, 0.8. saniyede görülen pik ile anlaşılabilir. Hata süresinin kısa olması bu bölgede kesicilerin devreye girmemesini sağlamış, hata bölgesinde kesicilere kontrol sistemi ile müdahale edilerek enerji kesintisinin önüne geçilmiştir.



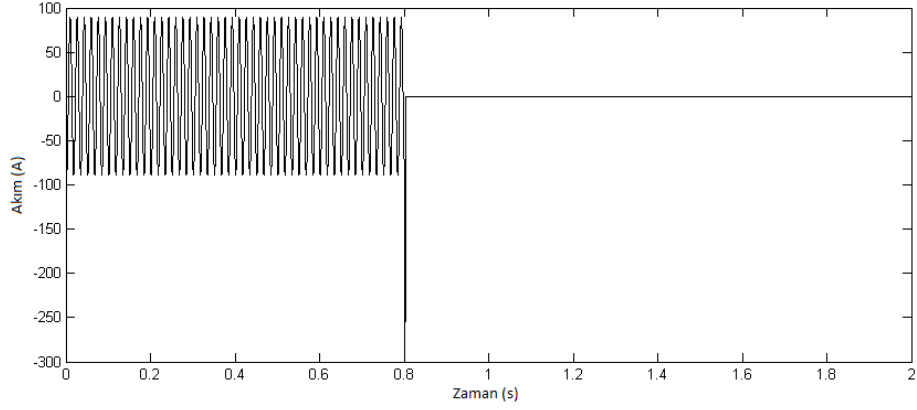
Şekil 4.19 Senaryo 1’de Transformatör 1’in çıkışında akım-zaman değişim grafiği

The diagram illustrates a power system configuration with four main buses: 646, 645, 632, and 684. Bus 646 is connected to bus 645 via a line with a circuit breaker and a relay (R1). Bus 645 is connected to bus 632 via a line with a circuit breaker and a relay (R5). Bus 632 is connected to a generator (GENERATÖR). Bus 646 is also connected to bus 611 via a line with a circuit breaker and a relay (R2). Bus 611 is connected to bus 684 via a line with a circuit breaker and a relay (R3). Bus 684 is connected to bus 671 via a line with a circuit breaker and a relay (R4). Bus 671 is connected to a wind turbine (RÜZGAR TÜRBİNİ). A lightning bolt symbol indicates a fault on the line between bus 645 and bus 632. The diagram also shows a communication network (Röle Haberleşme) connecting the relays R1, R2, R3, R4, R5, and R6. The diagram is labeled with 'HAT A', 'HAT B', 'HAT C', and 'HAT D'.

Senaryo 2’de kontrol sisteminin arızanın aşırı akım olduğunu algılayarak bu doğrultuda sisteme müdahale etme durumu incelenmiştir. Senaryo 1’den farklı olarak sistem bu arıza için farklı reaksiyon göstermiştir. Kontrol sisteminde aşırı akım arızaları için ayrı olarak dizayn edilmiş bloklar kullanılmıştır. Akım değeri, ayarlanan set değerinden büyük olduğu anda açma sinyali direkt olarak kesicileri iletilmemiş, zaman blokları ile normal ters eğriye göre sistemin tepki vermesi sağlanmıştır. Şekil 4.21’de bu bloklar ve aralarındaki bağlantı belirtilmiştir.



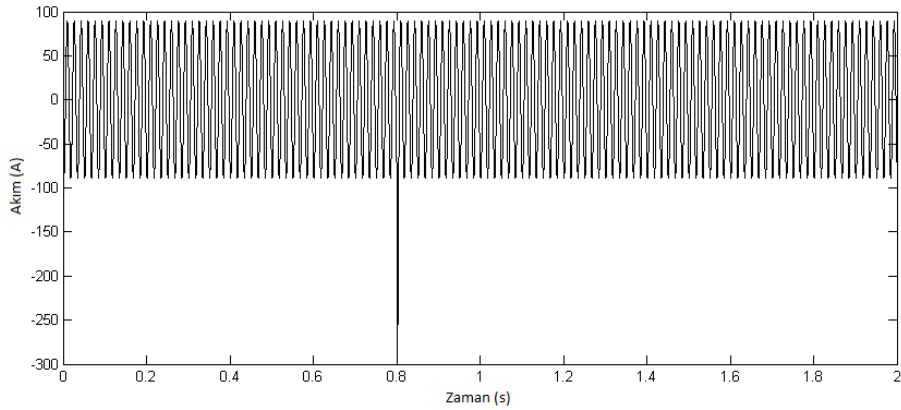
Sistemde oluşturulan aşırı akım arızası 0.8. saniyede meydana gelmektedir. Eğer aşırı akım arızası set değerinden daha uzun bir süre alırsa ilgili kesicilere açma sinyali gönderilmektedir. Şekil 4.22’de bu durumun irdelenmesi sonucu ortaya çıkan akım-zaman değişimi belirtilmiştir.



Şekil 4.22 Senaryo 2’de B hattına ait akım-zaman değişim grafiği

Senaryo 2’de elde edilen sonuçlara göre sistem etkin ve hızlı bir şekilde tepki göstermektedir.

Üçüncü senaryoda (Senaryo 3) aşırı akım süresinin set edilen zaman değerinden daha kısa olma durumu irdelenmiştir. Bu senaryoda aşırı akım arıza olarak değil, kısa süreli bir yük dalgalanması olarak uygulanmıştır. Senaryoda sistemin aşırı akım süresini kontrol edip kesicilere açma sinyali göndermemesi beklenmektedir. Şekil 4.23’de görüldüğü üzere aşırı akım olayı 0.8. saniyede sisteme uygulanmıştır. 0.8. saniyeden sonra da sistem enerji iletimine devam etmektedir.



Şekil 4.23 Senaryo 3’de B hattına ait akım-zaman değişim grafiği

4.3.3 Test Sonuçları

Gerçekleştirilen çalışmada IEEE 13 baralı test sistemi akıllı şebeke altyapısına uygun bir şekilde dizayn edilmiş, şebekeye dağıtık üretim tesisi entegre edilip gerekli simülasyonlar yapılarak hata analizleri gerçekleştirilmiştir. Sistemde oluşan olumsuzlukları en aza indirmek ve verimliliği arttırmak amacıyla kontrol algoritması tasarlanmıştır. Böylece röle koordinasyonu sağlanarak arızalar en kısa sürede giderilmiş ve sistem kararlılığı sağlanmıştır.

Kurulan IEEE 13 baralı test sistemi ile yapılan simülasyon ve analizler sonucunda, kısa devre ve aşırı akım arızalarına ait senaryolar oluşturularak sistem geliştirilmiştir. Sistemde meydana gelmesi muhtemel herhangi bir kısa devre veya aşırı akım durumunda tüketiciye başka bir noktadan enerji verilip, hata oluşan bölge izole edilmiştir. Oluşturulan kontrol algoritması ile istenilen kesicinin çalışması sağlanarak yanlış bölgenin izole edilmesinin önüne geçilmiştir. Bu sayede kısa devre bölgesi onarılırken tüketicinin başka hattan beslenerek enerjinin devamlılığı sağlanmıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Teknolojideki gelişmeler, değişen ihtiyaçlar ve artan gereksinimler hemen her alanda olduğu gibi enerji sektörünü de yeniden şekillendirmiştir. Bu bağlamda geçmiş dönemlerde yeterli sayılan ve ihtiyaçları karşılayabilen üretim ve iletim sistemleri mevcut şartlar karşısında uyum sağlayamayacak noktaya gelmiş, çağın gereklilikleri yönünde gelişmek durumunda kalmıştır.

Enerji üretiminde değişen yaklaşımlar, insanlık tarihinin aslında çok da yabancı olmadığı küçük çaplı enerji üretim tesislerine kaybettikleri itibarlarını kazandıracak gibi görünmektedir. Merkezi ve büyük güçlü üretim tesisleri, yerlerini tüketici ile daha uyumlu küçük ve yerel üretim tesislerine bırakacak, artan dağıtık üretim merkezleri ile kullanıcılar aktif birer üretici rolü üstlenmeye başlayacaktır [36].

Benzer biçimde şebeke kontrolünde mevcut yaklaşımlar kayıpları dizginleyemediği ve yeni teknolojiler karşısında yetersiz kaldığı için çift yönlü enerji akışına izin veren, takibi kolay, hızlı müdahale olanağı taşıyan akıllı şebekeler geleceğin enerji iletim standartlarına yön verecektir.

Bu çalışmada temel koruma elemanları hakkında bilgiler verip bunların kullanıldığı akıllı kontrol mekanizmalarının, bir simülasyon aracılığı ile arıza durumunda yapılabilecekler ve hata etkisini azaltmakta akıllı şebeke altyapısının avantajlarını kullanarak arıza bulunmadığı halde enerjisiz kalan bölümlerde güç akışını devam ettirmek üzere IEEE 13 baralı test sistemi değerleri baz alınarak çözümler üretilmiştir. Aynı şekilde ring şebeke simülasyonu ile, muhtemel arıza durumlarında birbirlerine destek olacak ve istenmeyen kesintilerin önüne geçebilecek şekilde şebeke dizaynı gerçekleştirilmiştir.

Sonuçların oldukça olumlu olması ise, gelecekte altyapı kalitesinin ve mühendislik seviyelerinin, enerji kesintilerini günümüzde mümkün olan düzeyden daha etkin şekilde önleyebilecek bir yapıya kavuşacağına dair umut verici bir nokta olarak dikkat çekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Ghosh, B., How Vulnerable Is the Power Grid ?, <http://www.time.com/time/nation/article/0,8599,1891562,00.html>, 15 Nisan 2013.
- [2] ABD Enerji Departmanı, The Smart Grid: An Introduction, www.oe.energy.gov/SmartGridIntroduction.htm, 19 Ekim 2013.
- [3] Sootweg, H., (2009). "Smart Grids - the future or fantasy ?", IET Seminar on Smart Metering, 19 Şubat 2009, Londra.
- [4] Massoud, A. ve Wollenberg, S., (2005), "Toward a smart grid: power delivery for the 21st century", IEEE Power and Energy Magazine, 3: 34-41.
- [5] Ipakchi, A. ve Albuyeh, F., (2009), "Grid of the future", IEEE Power and Energy Magazine, 7: 52-62.
- [6] Hauser, C.H., Bakken, D.E. ve Bose A., (2005), "A failure to communicate: next generation communication requirements, technologies, and architecture for the electric power grid", IEEE Power and Energy Magazine, 3: 47-55.
- [7] Garrity, T.F., (2008), "Getting Smart", IEEE Power and Energy Magazine, 6: 38-45.
- [8] Santacana, E., Rackliffe, G., Tang, L. ve Feng, X., (2010), "Getting Smart", IEEE Power and Energy Magazine, 8: 41-48.
- [9] IBM, Dijital Çağa Girerken, http://www.ibm.com/smarterplanet/tr/tr/smart_grid/ideas/index.html, Mart 2013.
- [10] General Electric, Real Smart Solutions, http://www.gedigitalenergy.com/smartgrid_generation.htm, Ocak 2014.
- [11] Alagoz, B.B., Kaygusuz, A. ve Karabiber, A., (2012), "A user-mode distributed energy management architecture for smart grid applications," Energy, 44:167-177.
- [12] Bayod-Rujula, A.A., (2009), "Future development of the electricity systems with distributed generation," Energy, 34:377-8.

- [13] Moltay, Ö., (2011), "Dağıtık Elektrik Üretimi ve Faydaları", Yeni Enerji, 2011.
- [14] Vytelingum, P., Voice, T.D., Ramchurn, S.D., Rogers, A. ve Jennings, N.R., (2010), "Agent-based micro-storage management for the smart grid," The ninth international conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2010), 39-46.
- [15] Toledo, O.M., Filho, D.O. ve Diniz, A.S., (2010), "Distributed photovoltaic generation and energy storage systems: A review," Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14:506–511.
- [16] Bakos, G.C. ve Tsagas, N.F., (2003), "Techno economic assessment of a hybrid solar/wind installation for electrical energy saving," Energy and Buildings, 35:139–145.
- [17] Rech, D. ve Harth, A., (2012) "Towards a Decentralised Hierarchical Architecture for Smart Grids," Proceedings of the 2012 Joint EDBT/ICDT Workshops, New York, USA, 111-115.
- [18] Jarventaustaa, P., Repoa, S., Rautiainen, A. ve Partanen, J., (2010), "Smart grid power system control in distributed generation environment," Annual Reviews in Control, 34:277-286.
- [19] Kanabar, M.G., Voloh, I. ve McGinn, D., (2012) "A review of smart grid standards for protection, control, and monitoring applications," 65th Annual Conference for Protective Relay Engineers, 281-289.
- [20] Bergey, B., (1997), "Wind Energy History", windpower.com, Mart 2012.
- [21] Danish Wind Turbine Manufacturers Association, Danish Wind History, (1999), Danimarka.
- [22] TÜREB, Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu, <http://www.tureb.com.tr/tr/yayinlar>, Nisan 2014.
- [23] Farhangi, H., "The path of the smart grid", Power and Energy Magazine, IEEE, Ocak-Şubat 2010
- [24] Temiz, A., Kahraman, Ö., Şahin, C. ve Nadar, A., "Akıllı Şebekeler İçin Haberleşme Çözümü", Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu, 26-27 Nisan 2013, Ankara.
- [25] Wei, D., Lu, Y., Jafari, M., Skare, P. ve Rohde, K., "Protecting Smart Grid Automation Systems Against Cyberattacks", IEEE Transactions, Aralık 2011
- [26] US Department of Army, (1991), "Coordinated Power Systems Protection", 5:811-14.
- [27] Akbaba, S., (2008). Harmoniklerin Dijital Aşırı Akım Röleleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [28] IEC 61850 Standardı, http://en.wikipedia.org/wiki/IEC_61850, Nisan 2014
- [29] Mackiewicz, R. E., "Overview of IEC 61850 and Benefits", IEEE, 2006
- [30] Brown, R. E., (2008), "Impact of Smart Grid on distribution system design", Power and Energy Society General Meeting - Conversion and

Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 20-24 Haziran 2008, Pittsburgh.

- [31] Umer, A., Khan, J. K., Seong, S. H., Lim, H. ve Lee, B. W., (2011), "Feasibility Analysis of the Positioning of Superconducting Fault Current Limiters for the Smart Grid Application Using Simulink and SimPowerSystem", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 21: 2165-2169.
- [32] Zeineldin, H. H., El – Saadany, E. F., Salama, M. M. A. ve Wang, Z., (2007), "High Voltage Circuit Breaker Modeling for Online Model - Based Monitoring and Diagnosis", 4th International Conference on Innovations in Information Technology, 18-20 Kasım 2007, Dubai
- [33] IEEE, Radial Distribution Test Feeders, <http://ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders.html>, Ocak 2012.
- [34] Turan, M.T., Ateş, Y., Gökalp, E., Uzunoğlu M., Yumurtacı, R. ve Karakaş, A., (2011), "Geleneksel bir ring şebekenin akıllı şebeke altyapısına uygun hata analizi ve röle koordinasyonu", FEEB, 5-7 Ekim 2011, Elazığ, 1:217-221.
- [35] Zhang, Y., Sun, W., Wang, L., Wang, H., Green, R.C. ve Alam, M., (2011) "A Multi-Level Communication Architecture of Smart Grid Based on Congestion Aware Wireless Mesh Network", North American Power Symposium (NAPS), Boston, MA, 1-6.
- [36] Uzunoğlu, M. ve Erdinç, O., (2013) "Akıllı Şebekelere Giriş", ISBN : 9786051336190, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet Tan TURAN
Doğum Tarihi ve Yeri : İskenderun 17.09.1988
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : tanturan@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektrik Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2010
Lise	Fen Bilimleri	İstiklal Makzume Anadolu Lisesi	2006

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2012	ENKA İNŞAAT	Elektrik Mühendisi/Güç Santralleri Mühendislik Grubu
2009	MMK ATAKAŞ	Stajer
2008	İSDEMİR A.Ş.	Stajer

YAYINLARI

Bildiri

1. Turan, M.T., Ateş, Y., Gökalp, E., Uzunoğlu M., Yumurtacı, R., Karakaş, A., (2011), “Geleneksel bir ring şebekenin akıllı şebeke altyapısına uygun hata analizi ve röle koordinasyonu”, FEEB, 5-7 Ekim 2011, Elazığ, 1:217-221.

Uluslararası Makale

1. Turan, M.T., Gökalp, E., (2014), “Relay coordination analysis and protection solutions for smart grid distribution systems”, Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, ELK-1309-123.(Accepted Manuscript)