

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

739832

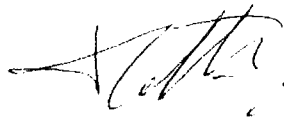
**YÜKSEK GERİLİM HAT KORUMASI ve İLETİM
HATLARI İÇİN EN
UYGUN TEKRAR KAPAMA ZAMANININ BULUNMASI**

-139832-

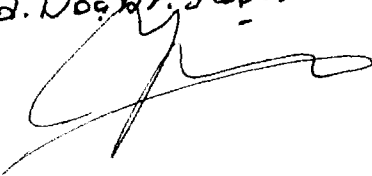
Elektrik Müh. İlker İŞGÖR

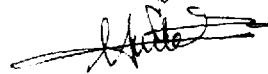
**FBE Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ



Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ferit ATTAR

Yrd. Doç. Dr. Yasar BİRBİR


**Yrd. Doç. Dr.
Mügeşem TANRIÖVEN**


İstanbul, 2003

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
SEMBOLLER	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Koruma Röleleri	2
1.2 Koruma Sisteminin İşlevleri	2
1.3 Röle Grubu	4
1.4 Rölelerin Sınıflandırılması	4
1.4.1 Koruyucu Röle Sistemleri ve Tasarımları	5
1.5 Röle Seçimi	7
1.5.1 Diğer Sistem Faktörleri	9
2. GÜÇ SİSTEMİNDE KULLANILAN DİJİTAL RÖLELER	13
2.1 Bilgisayarlı Rölelerin Gelişimi	13
2.2 Literatür	13
2.3 Bilgisayar Destekli Rölelerin Avantajları	14
2.4 Bilgisayar Rölelerinin Yapısı	17
2.5 Analog – Dijital Çeviriciler	23
2.6 Titreşim Önleme Filtreleri	26
2.7 Güç İstasyonunda Bilgisayar Hiyerarşisi	31
2.8 İletim Hatlarının Korunması	32
2.8.1 Aşırı Akım Röleleri	32
2.8.2 Yönlü Röleler	35
2.8.3 Mesafe Röleleri	37
2.9 Pilot Koruma	40
3. İLETİM HATLARI İÇİN EN UYGUN KAPAMA ZAMANI HESABI	41
3.1 Arızanın Tespiti	41
3.2 En Uygun Kapama Kriterleri	42
3.3 En Uygun Kapama Zamanının Hesabı	45

3.4	Simülasyon Çalışmaları	46
3.5	En Uygun Kapama Zamanının Pratik Bir Uygulaması	49
4.	ONBİR BARALI 2800 MW GÜCÜNE SAHİP ÖRNEK BİR TEST SİSTEMİ İÇİN EN UYGUN KAPAMA ZAMANININ BULUNMASI	52
4.1	Modelin Yapısı	52
4.2	Modelin Çalışması	65
4.3	İncelenen Model İçin En uygun Kapama Zamanın Bulunması.....	66
4.4	Sonuçlar	70
KAYNAKLAR.....		71
EKLER		72
ÖZGEÇMİŞ.....		75



SİMGE LİSTESİ

M	Generatörün enerji sabiti
δ	Sonsuz bara gerilimine bağlı generatör gerilimi açısı
δ_s	Generatör gerilimi açısının stabil eşitlik noktası
$P = P_m$	Generatörün mekanik güç girişi
P_e	Generatörün elektriksel güç çıkışı
E	Generatörün geçici reaktansının önündeki gerilim
U	Sonsuz bara gerilimi
X_Σ	Generatör ve sonsuz bara arasındaki eşdeğer reaktans
M_i	i generatörünün enerji sabiti
P_i	$P_{mi} - E_i^2 G_{ii}$
Θ_{ijs}	$\Theta_{is} - \Theta_{js}$
Θ_{is}	i generatörünün stabil eşitlik noktası
P_{mi}	i generatörünün giriş mekanik gücü
E_i	i generatörünün geçici reaktans önündeki gerilimi
G_{ii}	Ağın Y matrisinin i 'inci çapraz elemanının reel kısmı
G_{ij}, B_{ij}	Ağın Y matrisinin ij 'inci reel ve imajiner kısımları
Y Matrisi	Devre kesicinin tekrar çalışmasından sonra oluşan admitans matrisi
R_0, k	Ark parametreleri
$\hat{I}$	Ark akımının rms değeri (A)

KISALTMA LİSTESİ

IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
TEF	Transient Energy Function (Geçici Enerji Fonksiyonu)
ADC	Analog Digital Converter (Analog Dijital Çevirici)
DAC	Digital Analog Converter (Dijital Analog Çevirici)
CB	Circuit Breaker (Devre Kesici)



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Tipik bir sistem ve koruma bölgeleri	1
Şekil 1.2	Bir koruma sisteminin alt sistemleri	3
Şekil 1.3	Koruma bölgesi	10
Şekil 1.4	Bölgelerin birbirini kesme prensibi	11
Şekil 2.1	Bir röle bilgisayarının dahili birimleri	18
Şekil 2.2	Akım ve gerilim sinyallerini röle girişine uygun bir hale dönüştürme	20
Şekil 2.3	Farklı sinyal örnekleme işlemleri ve yapıları	22
Şekil 2.4	Senkron örnekleri elde etmek için interpolasyon	23
Şekil 2.5	ADC'nin çalışma yapısı	25
Şekil 2.6	ADC'nin toplam hatasında kazanç hatasının vs.etkileri	26
Şekil 2.7	f_c kesme frekansına sahip ideal bir titreşim önleme filtresi karakteristiği	27
Şekil 2.8	360 Hz kesme frekansına sahip iki kademeli bir RC filtresi	28
Şekil 2.9	360 Hz kesme frekansında ikinci sıra RC Butterworth ve Chebyshev filtrelerinin karşılaştırılması (a) Frekans cevabı, (b) Basamak dalga cevabı	29
Şekil 2.10	360 Hz kesme frekansında iki kutuplu bir Butterworth filtresi	30
Şekil 2.11	Bilgisayarla kontrol edilen bir sistemin hiyerarşik yapısı	31
Şekil 2.12	İletim hatlarının aşırı akım koruması	33
Şekil 2.13	Aşırı akım rölesinin çalışma zamanı	34
Şekil 2.14	Tipik bir ticari amaçlı zaman aşırı akım röle karakteristiği	34
Şekil 2.15	Kapalı bir sistemde hat koruma	35
Şekil 2.16	Yönlü rölenin polarizasyonu için transformatör sıfır (nötr) akımının kullanılması	36
Şekil 2.16	Yüksek gerilimli iletim hatlarının mesafe koruması	38
Şekil 2.17	İletim hattının adım mesafe koruması	39
Şekil 3.1	Northwest ağı konfigürasyonu	46
Şekil 3.2	Üç fazlı devamlı bir arızadan sonra üç fazlı tekrar kapama	47
Şekil 3.3	Batı ve Guanzhong arasındaki generatör aç eğrileri	48
Şekil 3.4	Ankang ve Guanzhong arasındaki generatör aç eğrileri	50
Şekil 3.5	Batı ve Guanzhong (445 MW) arasındaki generatör aç eğrileri	51
Şekil 3.6	Ankang ve Guanzhong (445 MW) arasındaki generatör aç eğrileri	51
Şekil 4.1	Analizlerde kullanılan örnek sistem	52
Şekil 4.2	En uygun tekrar kapama zamanının bulunmasında kullanılan model	64
Şekil 4.3	Ark direncinin zamanla değişimi	65
Şekil 4.4	Sistemde arıza yok iken alınan değerler	66
Şekil 4.5	Sürekli arıza halinde yük açısının zamanla değişimi	67
Şekil 4.6	45 döngü sonra yapılan tekrar kapama sonrasında akım I_{abc} A ve zaman (s) grafiği	68
Şekil 4.7	55 döngü sonra yapılan tekrar kapama sonrasında akım I_{abc} A ve zaman (s) grafiği	68
Şekil 4.8	61 döngü sonra yapılan tekrar kapama sonrasında akım I_{abc} A ve zaman (s) grafiği	69
Şekil 4.9	75 döngü sonra yapılan tekrar kapama sonrasında akım I_{abc} A ve zaman (s) grafiği	69
Şekil 4.10	85 döngü sonra yapılan tekrar kapama sonrasında akım I_{abc} A ve zaman (s) grafiği	70

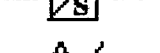
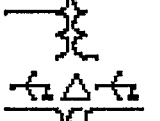
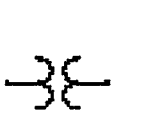
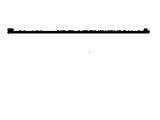
ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1 Rölelerin Sınıflandırılması	6
Çizelge 2.1 12 Bit ADC Giriş – Çıkışları.....	24



SEMBOLLER

Bu çalışmada kullanılan bazı semboller ve anlamları aşağıda verilmiştir :

	KESİCİ
	AYIRICI
	MOTOR KONTROLLÜ AYIRICI
	DEVRE ŞALTERİ
	İKİ SARGILI TRAFÖ
	ÜÇ SARGILI TRAFÖ
	OTO TRAFÖ
	AKIM TRANSFORMATÖRÜ (CT)
	GERİLİM TRANSFORMATÖRÜ
	İLETİM HATTI
	YERALTI KABLOSU
	FAZ KAYDIRMA TRAFÖSÜ
	KORUMA RÖLESİ

ÖNSÖZ

Bu tezde yüksek gerilim hat koruması incelenmiş ve hat korumasında kullanılan klasik ve bilgisayar destekli röleler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Son bölümde ise sistem stabilitesini bozmadan hat korumasına yönelik olarak rölelerle yapılan hattın açılması ve tekrar kapatılmasında en uygun zamanının tespiti için örnek bir sistem incelenmiş ve bu sistem için en uygun tekrar kapama zamanı bulunmuştur.

Bu tezin hazırlanmasında katkılarından dolayı Sn. Yard. Dr. Ferit ATTAR'a ve Sn. Yard. Doç. Dr. Mehmet UZUNOĞLU'ya teşekkürü bir borç bilirim.



ÖZET

Günümüzde yüksek gerilim hatlarının geçici ve sürekli arızalardan korunması önem arz eden konulardan birisidir. Bir iletim ağı üzerinde geçici veya sürekli bir arızaya maruz kalan kısım acil olarak şebekeden ayrılmalıdır. Koruma röleleri arızaları tespit edip hemen müdahale ederek kullanıcıların enerjisiz kalmasını engellerler. İletim hatlarında temel olarak iki tipte röle kullanılabilir; klasik röleler ve dijital röleler. Her iki röle tipinin de kullanım yerlerine bağlı olarak çeşitli avantaj ve dezavantajları vardır. Bu tezin ilk iki bölümünde bu röleler incelenmiştir.

Yüksek gerilim hat korumasında arızalara anında müdahale etmenin yanında sisteme tekrar enerji verildiğinde sistem stabilitesinin de bozulmaması gerekmektedir. Bu yüzden arıza ortadan kalkar kalkmaz en uygun zamanda sisteme tekrar enerji verilmelidir. Tekrar kapama adı verilen bu işlem için en uygun zamanın tespit edilmesi enerjinin devamlılığı açısından önem gösterir. Bu çalışmanın son kısmında tekrar kapama zamanının bulunması ile ilgili farklı bir yöntem tanıtılmış ve çeşitli modeller yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Koruma röleleri, iletim hatlarının korunması, dijital röleler, bilgisayar destekli röleler, en uygun tekrar kapama zamanının hesabı

ABSTRACT

Today, protecting transmission lines from transient and continuous faults is one of the most important point for transmission lines. A section of a transmission line which is affected by a transient or a continuous fault must be disconnected quickly. Protection relays detect faults and prevents customers by interfering faults. On transmission lines two types of relays could be used; conventional and digital relays. Depending on application these two types of relays have advantages and disadvantages. These relay types examined at the beginning part of this thesis.

Also preserving system stability must be a necessity for a system. For this reason system must be reenergized after clearing the fault. This operation named reclosing and a fixed time must be determined for this operation. A different method introduced and some simulation samples made at the final part of this study.

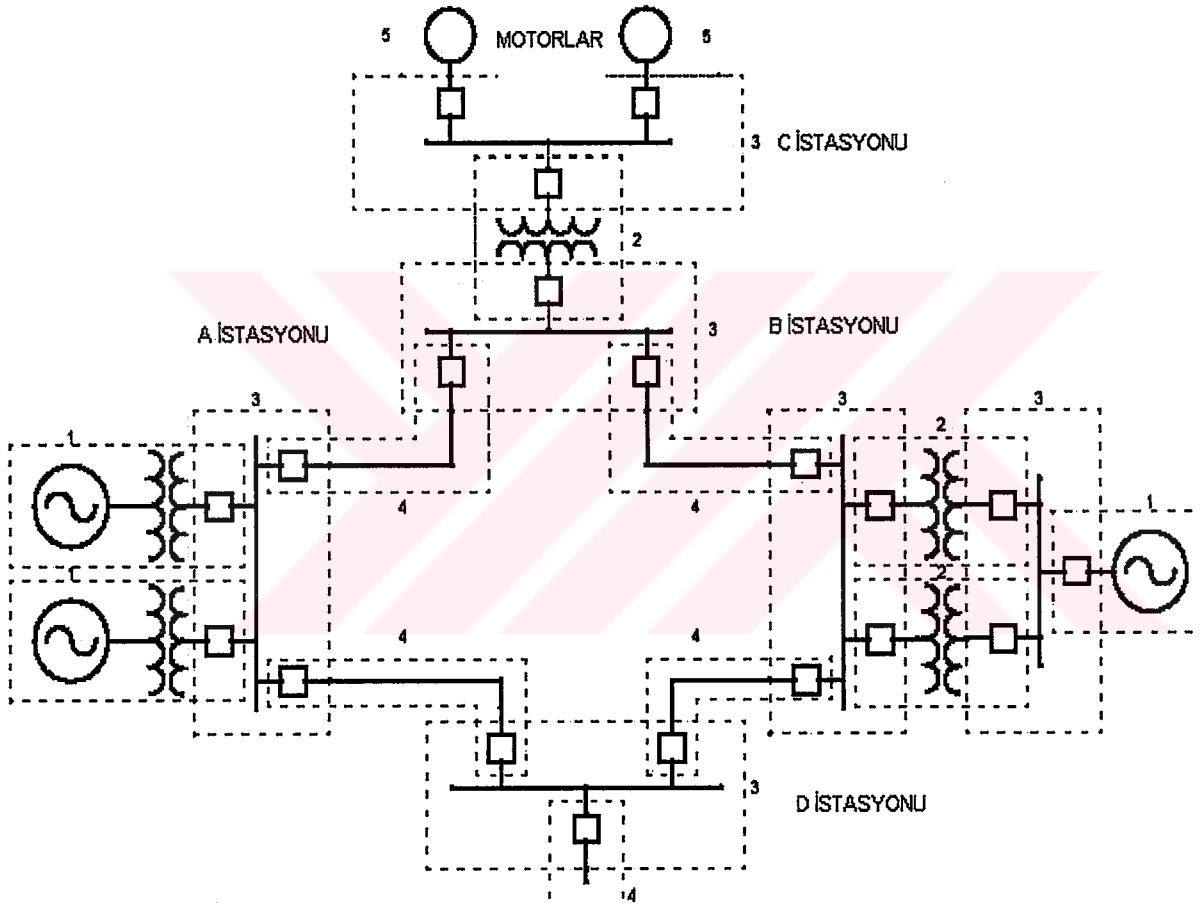
Keywords: Protective relaying, protection of transmission lines, digital relaying, computer relaying, optimal reclosure time



1. GİRİŞ

Elektrik tesislerinde enerji altındaki tüm cihazlar işletme şartlarından ve diğer çevresel etkilerden dolayı arızalara maruz kalabilirler. Tüm elektrik cihazları için çeşitli koruma sistemleri geliştirilmiştir. Bu tezde yüksek gerilim elektrik hatlarının klasik röleler ve bilgisayar destekli rölelerle koruması incelenecek ve tezin son kısmında da örnek bir sistemin sistem stabilitesi bozulmadan en uygun bir şekilde korunması ele alınacaktır.

Koruma Bölgesi :



Şekil 1.1 Tipik bir sistem ve koruma bölgeleri (IEEE Guide)

Yukarıdaki şekilde gösterildiği üzere bir üretim ve iletim ağında dört temel koruma bölgesi vardır (IEEE Guide, 2000). Bunlar :

- Generatör
- Transformatör

- Baralar
- Hatlar

1.1 Koruma Röleleri

Bu bölümde röle terminolojisi ve standart kavramlar üzerinde duruldu ve korumanın temel ilkelerinin anlaşılabilmesi için kısaca koruma sistemlerine değinildi. İlk röleler indüksiyon disklerinden ve mekanik parçalardan meydana gelen elektromekanik cihazlardır. Tüm elektromekanik röleler zamana bağlı olarak çalışmaktadır. Elektromekanik röleler hem mekanik yönden hem de elektromanyetik parazitler yönünden (EMI) oldukça sağlamdır. Genellikle yavaşlırlar ve çalışma hızları periyotlar veya saniyeler cinsindendir. Ayrıca çalışmaları için fazla enerjiye ihtiyaç göstermektedirler, bu amaçla gerilim ve akım transformatörlerine ihtiyaç duyarlar (Cook, 1985).

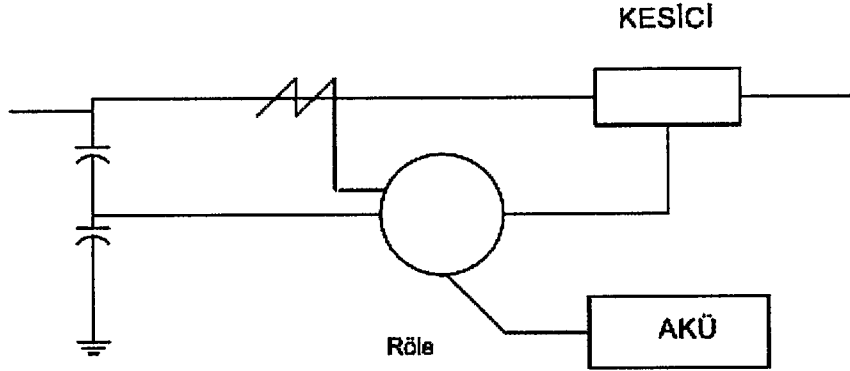
1950'li yılların sonlarına doğru katı hal röleleri ortaya çıktı. Bu röleler diyotlar, transistörler ve işlemsel kuvvetlendiriciler gibi ayrı elektronik bileşenlerden imal edilmişlerdir. İlk katı hal röleleri elektromanyetik parazitlerden ötürü ortaya çıkan arızaları nedeniyle çok büyük problemler ortaya çıkarmıştı ve bu arızalar güç sistemlerinde ciddi sorunlara yol açmaktaydı. Bazı röle mühendisleri o yıllarda bu sorunları daha da irdeleyerek katı hal rölelerinin elektromekanik rölelerden daha az güvenli olduğunu vurgulamışlardır. Halbuki katı hal röleleri günümüzde modern güç sistemlerinin vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Günümüzün katı hal röleleri hiç bakımsız ve koruma işlevi söz konusu olduğunda çok büyük bir esneklik sunmaktadırlar. Çalışma hızları bir periyot ya da daha azdır. Çoğu güç sistemlerinde koruma sistemi katı hal rölelerinin ve elektromekanik rölelerinin bileşiminden meydana gelmektedir. Elektromekanik röleler aşırı akım koruma gibi daha basit uygulamalarda oldukça yaygın kullanılmaktadırlar, katı hal röleleri pilot koruma ve mesafe koruma gibi daha karmaşık koruma işlevlerinde kullanılmaktadırlar (Elmore, 1994).

1.2 Koruma Sisteminin İşlevleri

Koruma sistemi, güç sistemini uzun süren arızaların etkisinden korumak amacıyla tasarlanırlar. Arıza (çoğu durumlarda kısa devre anlamına gelen, fakat genelde anormal sistem durumunu belirten bir ifade) rastgele olayların sonucunda meydana çıkar. Şayet arızalı güç sistem elemanı (hat, bara, transformatör,vb) hemen sistemden ayrılmaz ise, güç sisteminde kararsızlık durumlarının ve ciddi sorunların ortaya çıkmasına neden olur. Koruma sistemi bu

yüzden arızalı elemanı güç sisteminden mümkün olduğu kadar çabuk ayırmalıdır.*

Koruma sistemi genellikle rölelerle anlam bulur ve arızanın yok edilmesi için bir çok alt sistemlerden meydana gelir. Bu alt sistemler Şekil 1.2 de gösterilmiştir.



Şekil 1.2 Bir koruma sisteminin alt sistemleri (IEEE Guide)

Koruma sistemi rölelerin yanında akım – gerilim transformatörlerinden, kesicilerden ve sabit akü gruplarından meydana gelir. Devre kesici, arızalı güç sistemi elemanını akım kesme yoluyla sistemden ayırmaktadır. Günümüzde çok yüksek gerilimli bir (EHV) devre kesici 800 KV'luk bir gerilim altında 100.000 A'e kadar açma kapama yapabilmektedir. Çoğunlukla rızanın başlangıcından hemen sonra kesici akımının sıfırdan geçişi esnasında arızalı parça ayrılmaktadır ve yine de bu işlem bir kaç periyot sürmektedir. Kesicinin açma bobinine bağlı röle(ler) ilgili kontaklarını kapatarak bu işi gerçekleştirmektedirler. Belirli bir zaman içerisinde diğer röleler ise açma işlemi yapan kesiciyi tekrar devreye sokmaktadırlar (Adamiak, 1998)

Röleler güç sisteminin en önemli elemanlarından biridir. Röle, girişlerindeki (gerilimler, akımlar ve kontak konumları) koşullara göre uygun çıkış durumları üretebilen ve kesicilere açma sinyali gönderebilen bir cihazdır.

Elektrik güç sistemi elektrik enerjisini tüketicilere kesintisiz, sınırlama olmaksızın ve makul bir fiyatta sağlamak amacıyla yapılır. Arızalar ve diğer istenmeyen durumlar karşısında güç sistemi güvenli bir enerji sağlamalıdır.

Güvenli besleme, arızalara karşı sistem güvenliğinin artırılmasıyla ve alternatif besleme kaynaklarının varlığıyla güçlendirilir. Enerji sistemi bir veya bir kaç eleman içeren bölgelere

* Bu süreye tezin son kısmında değinilecektir.

bölünürse ve her bir bölgeye de kesici ile koruma yapılırsa, normal şartlar altında esneklik sağlanmış olur.

Türk Standartları Enstitüsü'ne göre röle tanımı şu şekildedir: Bir elektrik devresindeki belli bir değişikliğe tepki göstererek aynı veya bir başka elektrik devresinde belli değişiklikler oluşturan bir aygıttır. Rölenin, değişiklik oluşturduğu devre bir kumanda veya sinyal devresidir.

1.3 Röle Grubu

Elektriksel veya mekanik işbirliği yapan ayrı röleler topluluğudur. Bir arıza durumunda veya anormal çalışma koşulunda makine, transformatör ve benzeri tesis elemanlarını yada bölümlerini devre dışı bırakmayı veya bir sinyal düzenini çalıştırmayı amaçlayan röle yada röle grubuna koruma rölesi denir.

Koruma röleleri güç sisteminin “zeki” elemanlarıdır. Bunlar güç sistemini devamlı olarak gözlemleyerek koruma işlevini yerine getirirler. Aşağıdaki işlevlere sahiptirler:

- Varolan arızayı tespit eder veya anormal bir koşulu ortaya çıkarır.
- Arızanın yerini bulur
- Arızanın giderilmesi için, arızalı elemanı güç sisteminden ayırmak için kesiciye gerekli sinyali gönderir.

Yukarıda bahsedilen işlemlerin en kısa zamanda gerçekleştirilmesi, arızalı elemana zarar vermemesi, yangına neden olmaması ve teknik personeli koruması da rölenin işlevlerine dahil edilebilir.

1.4 Rölelerin Sınıflandırılması

Uluslararası Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Kurumu (IEEE) ise röleyi şöyle tanımlamaktadır: Giriş koşullarını belirli bir değer ile karşılaştırıp yorumlayan ve gerekli koşullar sağlandığında da kesiciye açma sinyali gönderen elektrik aygıtıdır.

Girişler genellikle elektrikseldir fakat mekanik, termik veya diğer büyüklükler de olabilir. Sınır anahtarları ve benzer basit devreler röle değildir. Röleler altı işlevsel grupta toplanabilir;

- a. Koruyucu röleler
- b. Gözlem röleleri

- c. Yeniden kapama röleleri
- d. Düzenleyici röleler
- e. Yardımcı röleler
- f. Senkronlayıcı röleler

Koruyucu röleler girişlerine, çalışma ilkelerine, yapılarına ve performans karakteristiklerine göre sınıflandırılabilirler. Rölelerin sınıflandırılması ve genel röle tipleri Çizelge 1.1 de gösterilmiştir.

1.4.1 Koruyucu Röle Sistemleri ve Tasarımları

Teknik olarak çoğu röleler kendi başlarına küçük bir sistemdirler. Koruyucu röleler herhangi bir elektrik güç sisteminin hayati bir parçasıdır. Normal işleme şartlarında gereksiz, fakat arızalar ve anormal olaylar karşısında hazır olmaları ve ciddi hasarlara neden olmamaları gerekmektedir. Bu yüzden bu gibi rölelerin doğru çalışma zamanları sadece bir kaç saniye ile sınırlıdır. Dahası röleler test ve bakım esnasında da çalıştırılmaktadırlar (Horowitz, 1980).

Çizelge 1.1 Rölelerin sınıflandırılması

GİRİŞ	İŞLETME YAPISI	PERFORMANS KARAKTERİSTİĞİ
Akım	Yüzde	Mesafe
Gerilim	Çoklu – sınırlama	Yönlü Aşırı Akım
Güç	Elektromekanik	Ters Akım
Frekans	Elektronik elemanlı	Sonlu Zaman
Basınç	Statik	Aşırı Gerilim
Isı	Mikroişlemcili	Aşırı Akım
Akış	Termal	Toprak veya Faz
Titreşim	Akım Dengesi	Yüksek Hızlı veya Yavaş Hızlı
		Faz Karşılaştırmalı
		Yön Karşılaştırmalı

Röle güç sisteminde meydana gelebilecek sonsuz sayıda anormal olaya cevap vermelidir.

Herhangi bir röle uygulamasını etkileyen dört önemli faktör vardır. Bunlar;

- Ekonomiklik : Başlangıç, işletme ve bakım.
- Meydana gelen arızaların ve tehlikeli durumların ölçümleri: Arızaların genlikleri ve akım ve gerilim transformatörlerinin konumlandırılması.
- İşletme uygulamaları: Kabul edilen standartlara uygunluğu, tüm sistem güvenliğini sağlaması.
- Önceki Deneyim: Sistem içinde meydana gelmiş olan arızalara veya tehlikeli durumlara karşı önceki cevaplarının tarihçesi.

Rölenin genelde sistem içinde meydana gelebilecek herhangi olaya karşı koruma görevini yerine getirebilmesi her zaman olası değildir. Fakat yapısına göre bazı olaylara karşı cevap vermesi beklenir.

Halbuki koruyucu röle, bütünüyle sistem genelini korumayı amaçlayan ve yüksek teknoloji gerektiren bir üründür. Sistemin bütünüyle korumasındaki amaç, arızalardan sistemi korumaktır. Koruyucu sistemlerin sık sık gözden geçirilmesi gerekmektedir çünkü güç sistemleri büyümekte ve işletme koşulları değişmektedir (Mason, 1956).

1.5 Röle Seçimi

Hat koruması için röle seçimi özel şartlar gerektirmektedir. Muhtemel arızalara ait bilgiler, cihaz üreticilerinin tavsiyeleri ve pratik uygulamalar koruma mühendisinin tam olarak ne üzerinde yoğunlaşması gerektiğini belirler.

En önemli tasarım kriterlerinden birisi sağlıklı çalışmadır. Sağlıklı çalışmanın ise iki temel yönü vardır. Güvenilirlik ve güvenlik. ANSI C37.100 de tanımlandığı gibi, güvenilirlik kavramı röle veya röle sisteminin tamamen doğru bir şekilde bir işi yapma derecesidir. Sistem güvenilirliği iki ana unsurdan meydana gelmektedir; bunlar bağımlılık ve güvenlik. Bağımlılık, sistemdeki farklı arızalara karşı doğru çalışma ölçüsüdür. Güvenlik ise, arızalı veya arızasız bir ortamda yanlış açma sinyaline neden olmayan sistem kabiliyetine verilen isimdir. Maalesef, bu iki unsur birbiriyle çelişki içindedir. Güvenliğin artması bağımlılığın azalmasına neden olur, veya bunun tersi de geçerlidir. Genelde, modern röle sistemleri oldukça güvenilirdir. Koruyucu röle sistemleri her türlü sistem ve çevre koşullarında doğru şekilde çalışmalıdırlar (Kundur, 1994).

Bağımlılık laboratuvar şartlarında kolayca denenebilir. Diğer taraftan güvenliğin kontrol edilmesi ve denenmesi oldukça zordur. Sistem güvenliğinin doğru bir şekilde denenmesi güç sistemi içinde meydana gelebilecek hemen hemen sonsuz sayıda arızalara karşı gösterdiği cevabın ölçülmesiyle mümkün olur. Röleler tüm koruma sisteminin lojik (mantıksal) elemanlarıdır. Rölelerin tasarlanırken (ister analog isterse de sayısal olsun) tüm olağan dışı koşullar altında açma sinyali üretebilmeleri için imal edilirler.

Güç sisteminin herhangi bir bölümünün korunması için seçilen bölgeye koruma bölgesi adı verildiği başlarda belirtilmişti. Koruma bölgesi güç sisteminin tek hat diyagramında kesik çizgi ile gösterilmektedir. Bir koruma sistemi, koruma bölgesi içinde meydana gelebilecek her

türlü arızayı giderebilmek için bir veya daha fazla röleden meydana gelmektedir. Bir olağan dışı çalışma meydana geldiğinde, koruma sistemi kesicinin açma bobinlerine enerji vererek arızalı elemanı güç sisteminden izole etmelidir.

Güvenilirlik röle tasarımı uygulamasına veya uygulamadaki rölelerin sayısına bağlıdır. Farklı mühendislik uygulamalarıyla geliştirilebilir. Değişik ortam koşulları altında pratikte bile karşılaşılmayacak test koşulları ile güvenilirlik test edilebilir. Güvenlik ise neredeyse fonksiyonlarının yerine getiremez hale gelen röleler kullanılarak test edilir.

Diğer önemli tasarım kriterleri ise korumanın seçiciliği ve koordinasyonudur. Korumanın seçiciliği bir arıza esnasında rölelerin belirli bir sıra ile kapanıp arıza olmayan yerleri enerjisiz bırakmadan ideal korumanın yapılmasıdır. Koordinasyon ise rölelerin zaman gecikmesiz olarak arızalara müdahale edebilmeleri için belirli bir düzene konmasıdır. Servisin tam olarak sağlanabilmesi için korumada seçicilik ve koordinasyon gerekli bir unsurdur.

Hat koruma rölesi seçimi için arıza temizleme zamanı da önemli bir unsurdur. Rölelerin arızaya müdahale etme hızı dikkatlice incelenmelidir. Eğer röle hızları çok düşükse sistem stabilitesi bozulabilir ve sistem üzerindeki cihazlar arızalanabilir. Sistemde bulunan transientlerden dolayı rölelerin müdahale hızının bir sınır vardır (Cook, 1985).

Korumanın hassaslığı bir rölenin anormal bir durumu algılayabilmesi için gereken minimum işletme miktarıdır. Bugün kullanılan katı hal röleleri veya mikroişlemcili röleler klasik elektro-mekanik rölelere göre daha hassastırlar. Yüksek empedanslı toprak hatası, sistem gerilimi dengesizlikleri ve yüksek kaynak – iletim hattı empedanslarından dolayı rölelerin hassasiyetleri azalabilir. Koruma yapılırken bu empedanslara dikkat edilmelidir

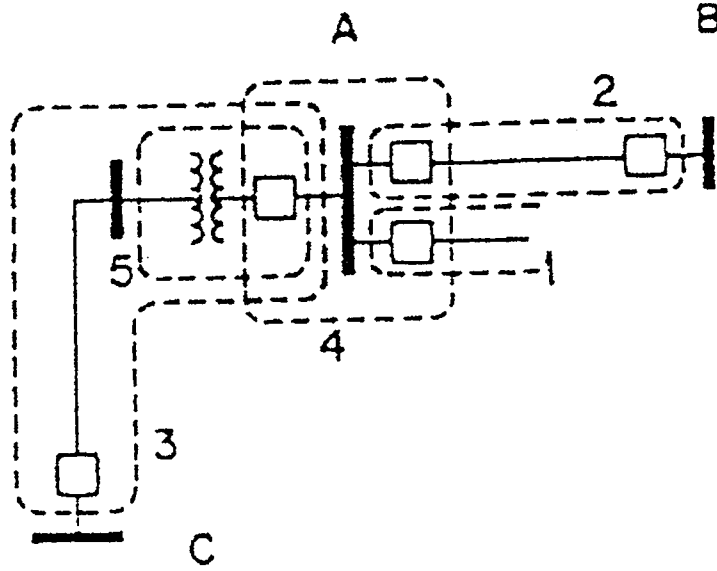
Hat koruma tasarımı yapılırken unutilan en önemli kriterlerden bir diğeri de basitliktir. Çok fonksiyonlu ve programlanabilir modern röleler olabilecek tüm sistem problemleri için çeşitli çözümler sunmaktadır. Fakat röleleri programlayan mühendislerin ve bakımı yapan personelin gerekli ayarları en basite indirgemeleri sistemin geleceği ve stabilitesi açısından oldukça önemlidir.

Ekonomiklik ise her zaman tasarım esnasında en önemli noktalardan birisi olacaktır. Fakat bir koruma elemanının ekonomik olması her zaman en ucuz olduğu manasına gelmez. Gerekli korumayı hem en ucuza sağlamak hem de gerekecek bakıma ve dolayısıyla bakım masraflarına en az ihtiyaç duymak en önemli kriterdir.

1.5.1 Diğer Sistem Faktörleri

İletim hattının korumasında birçok sistem gereksinimine ve uygun hat konfigürasyonuna da ihtiyaç vardır. Bunlar :

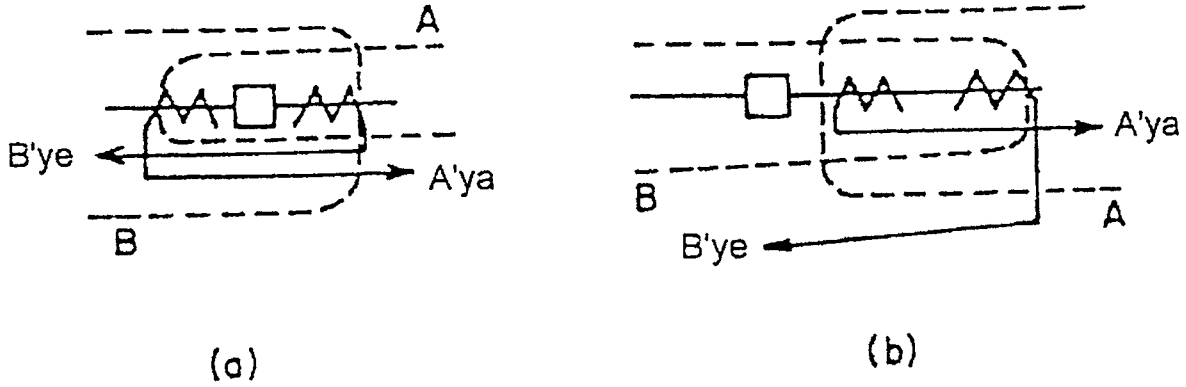
- **Arıza Temizleme Zamanı** : Sistemin stabilitesi ve kullanıcı tarafındaki minimum gerilimin olduğu süreler koruma sisteminin seçimini etkiler.
- **Hattın Uzunluğu** : Çok kısa hatlar veya çok uzun hatlar özel koruma çözümleri gerektirebilir.
- **Kaynakların Sağlamlığı** : Güç kaynaklarının sağlamlığı arıza esnasında arıza akım seviyelerini belirler. Koruma işlemi de bu akıma göre yapılır. Eğer güç kaynağının akımı çevresel koşullara göre değişim gösteriyorsa koruma işlemi daha da zorlaşır.
- **Hattın Konfigürasyonu** : Terminal sayısı, yüklerden ve generatörlerden kaynaklanan etkiler, seri kapasiteler ve şönt reaktanslardaki değişimler özel koruma uygulamaları gerektirebilir.
- **Hat Yüğü** : Oldukça ağır yük akışına sahip olan hatlar için daha özel bir korumaya ihtiyaç olabilir.
- **İletişim** : Birçok iletim hattı koruma çözümü hat terminalleri arasındaki iletişime dayanır. İletişim tipi seçimi koruma rölelerini seçimini etkileyen pek çok faktör ile de doğrudan ilgilidir. Eğer koruma seçimi yapılırken iletişime bağımlı olmayan faktörler seçilmişse, seçilen iletişim, koruma gereksinimleri ile uyumlu olmalıdır.
- **Geçmiş Tecrübeler** : Koruma tipi seçilirken geçmiş uygulamalar göz önüne alınmalı ve bu uygulamaları bizzat çalıştıran kişilere danışılmalıdır. Farklı koruma sistemlerinin seçimi yeni veriler elde edilmesi ve eğitim amaçları için uygun olabilir. Özel koruma uygulamaları ancak doğru olarak tasarlandıklarında etkili olurlar (Venikov, 1982).



Şekil 1.3 Koruma bölgesi (IEEE Guide)

Genellikle koruma bölgeleri kesiciler tarafından korunmaktadır. Şayet koruma bölgesi sınırları içerisinde kesici yoksa, koruma sistemi arızalı elemanın enerjisini kesmek için uzaktaki bir kesiciye açma sinyali göndermelidir. Şekil 1.3 değişik koruma bölgelerine ayrılmış bir güç sistem parçasını göstermektedir. Birinci, ikinci ve üçüncü bölgeler iletim hattı koruma bölgeleridir. Bu çizgilerin (koruma bölgelerin) herhangi birindeki arıza uygun koruma sistemi tarafından algılanır ve açma işlemi için koruma bölgesi içindeki uygun kesici enerjilenir. Dördüncü bölge bara koruma bölgesidir. Beşinci bölge ise transformatör koruma bölgesidir. Bu koruma bölgesinin sonunda kesici yoktur ve sonuç olarak transformatör koruma sistemi A barasındaki kesiciyi ve haberleşme kanalı aracılığıyla uzakta C barasındaki kesiciyi aktif hale getirmelidir (IEEE Guide, 2000).

Koruma bölgeleri daima birbirini kısmen kapsamaktadır. Bu sayede sistemin hiç bir bölümü birincil koruma sisteminden ayrılmamış olur. Şekil 1.3 de görüldüğü gibi tüm sistem birbirini kısmen kapsamalarına rağmen, gerçekte tüm olası koşullar altında koruma sistemi çalışmayabilir. Birbirini kapsayan bölgeler her bir koruma sistemine uygun akım transformatörleri ile birlikte kullanılırlar. Şekil 1.4 a'da ise kesicinin her iki tarafına akım transformatörü konulmuştur. Bu durumda, kesicinin her iki yanındaki akım transformatörleri koruma bir parçası olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1.4 Bölgelemlerin birbirini kesme prensibi.(a) kesicinin her iki tarafında akım transformatörlerinin kullanılması, (b) çoklu ikincil sargılara sahip tek bir akım transformatörünün kullanılması (IEEE Guide)

Şayet kesicinin her iki tarafında akım transformatörleri yoksa, Şekil 1.4 b’de gösterildiği gibi koruma bölgelerinin kısmen birbirini kapsama işlemi ikincil yani çoklu sargılı olan akım transformatörleri ile olmaktadır. Bu durumda koruma işlemi için hiçbir kör nokta kalmamasına rağmen, kesici ve akım transformatörü arasındaki arızalar için açma işlevi özel olarak göz önüne alınmalıdır. Birbirini kesen bölgelerin mümkün olduğu kadar küçük seçilmesi arzu edilir.

Bazen bir bölge (birim koruma amacıyla seçilen yer) birden fazla koruma sistemi ile korunmuş olabilir. Bu tip koruma tüm koruma sisteminin güvenilirliğini arttırmaktadır. Bu gibi durumlarda, her iki koruma sistemi mümkün olduğu kadar çok birbirinden bağımsız olması gerekmektedir. Bu amaçla kesicilerin, akım transformatörlerinin, gerilim transformatörlerinin veya şalt sahasındaki sabit akü gruplarının iki kez kullanılması sistemin maliyetini arttırmaktadır.

Ancak, birden fazla koruma sistemi için ikincil yani çoklu akım transformatörleri, gerilim transformatörleri için ayrı sigorta devreleri ve kesiciler ve diğer röleler içinde ayrı akü grupları kullanılabilir. Bu gibi girişimler farklı koruma sistemleri arasındaki ortak arızaları en aza indirmek içindir ve bu sayede tüm koruma sisteminin güvenilirliği sağlanmış olmaktadır. Güç sisteminde kullanılan tüm röleler ayrıca aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

i. Genlik Röleleri: Bu röleler giriş büyüklüğünün genliğine cevap vermektedirler. Buna örnek aşırı akım rölesidir. Giriş büyüklüğünün (tepe değeri y da etkin değeri) genliğindeki

değişimlere cevap vermektedir.

ii. Yönlü Röleler: Bu röleler iki alternatif sinyal arasındaki faz açısına cevap vermektedir. Çoğunlukla kullanılan yönlü röle, gerilim ve akım arasındaki faz açısını karşılaştırmak suretiyle koruma işlevini yerine getirmektedir. Herhangi bir akımın faz açısı diğer akımla da karşılaştırılır.

iii. Oran Röleleri: Bu röleler fazör olarak belirtilen iki giriş sinyalinin oranına cevap vermektedirler. İki fazörün oranı karmaşık yapıdadır ve oran rölesi bu karmaşık sayının genliğine kendisine cevap verecek şekilde tasarlanır. En genel kullanılan oran röleleri, empedans veya mesafe koruma rölesi olarak bilinirler.

iv. Diferansiyel Röleler: Bu röleler iki veya daha fazla girişin cebirsel toplamının genliğine cevap vermektedirler. En çok kullanılan haliyle, bu röleler koruma bölgesine giren akımların cebirsel toplamına cevap veren rölelerdir. Cebirsel toplam koruma bölgesi içindeki herhangi bir arıza akımını simgeler.

v. Pilot Röleler: Bu röleler bir giriş sinyali olarak uzaktaki bölgelerden haberleşme kanalı ile gelen bilgilere göre çalışan rölelerdir. Bu tip koruma genellikle iletim hatlarında bir ana röle (master röle) ve bir de yardımcı röle (slave – yedek röle) ile sağlanmaktadır.

Yukarıda bahsedildiği gibi bu beş rölenin giriş ve çıkış arasındaki ilişkinin işlevsel tanımı röle tasarımı için bir temel teşkil etmektedir. Sayısal röle kavramı söz konusu olduğunda, doğrudan röle algoritmalarından bahsedilir (Warrington, 1977).

2. GÜÇ SİSTEMİNDE KULLANILAN DİJİTAL RÖLELER

2.1 Bilgisayarlı Rölelerin Gelişimi

Dijital röle, bilgisayar destekli ekipmanlarla kontrol edilen bir röle çeşididir. Bilgisayar destekli rölelerle ilgili çalışmalar 1960'lı yıllarda başladı. O yıllarda bilgisayarlar oldukça yavaştı, fakat zamanla mikro işlemcili kontrol elemanları klasik güç elektroniği cihazlarının yerlerini almaya başladılar. Güç sistemi planlayıcılarının birinci görevi olan kısa devre, yük akışı ve stabilite problemlerini çözmek için kullanılan doğru akım kartları ve ağ analizörleri yerine artık bilgisayar programları kullanılıyor. Bilgisayarlar ilk kullanılmaya başladıklarında pahalı olmalarının yanında yüksek tepki hızı gerektiren röle uygulamaları için uygun olmuyorlardı. 1980'li yılların sonuna doğru bilgisayarlar hem çok ucuzladı hem de oldukça hızlandı. Mikro boyutlarda kullanılan bilgisayarlar, güç sistemi planlayıcılarının dikkatini çekti. Bugün bilgisayar destekli röleler gerçek zamanlı görüntüleme ve güç sistemlerinin kontrolünde oldukça geniş kapsamlı olarak kullanılıyor (Phadke ve Thorp, 1994).

2.2 Literatür

Bilgisayar destekli röleler üzerine yapılmış ilk yayınlardan birisi olan G.D. Rockefeller imzalı "Fault Protection with a Digital Computer" (IEEE Transactions, Nisan 1969) isimli makalede bir üretim tesisindeki tüm elektrikli cihazların bilgisayarla kontrol edilebileceği fikri ortaya atılmıştı. Bu yayında bilgisayarların çok pahalı olduğu ve aynı işi yapabilecek klasik rölelerin bilgisayarlara göre çok daha ucuz olduğu da ihmal edilmemişti. Bilgisayarlar ayrıca yüksek hızlı röle uygulamalarında oldukça yavaş kalmakta ve çok fazla enerji tüketmekteydi. Bu çalışmada bilgisayar destekli rölelerin bu eksikliklerinin dışında yeni algoritmalar detaylı olarak ele alınmış ve modern röle uygulamalarına bir ışık tutulmuştur.

Aynı yıllarda birçok çalışma yayınlanmış ve bu çalışmalar yüksek gerilim iletim hatlarının korunmasına yönelik yeni algoritmaların gelişmesini sağlamıştır. Bu çalışmalar arasında B.J. Mann ve I.F. Morrison – "Digital Calculation of Impedance for Transmission Line Protection" (IEEE Transactions, Ocak / Şubat 1971) ve R. Poncelet "The Use of Digital Computers for Network Protection" (Cigre Paper No.32 – 08, Ağustos 1972) sayılabilir. İletim hatlarının dijital röleler ile korunması fikri röle tasarım mühendislerinin oldukça fazla ilgisini çekmiştir. Çünkü iletim hattı korunmasının güç sistemlerinde yeri oldukça önemli olup maliyeti çok yüksektir ve karmaşık bir yapı gerektirir. Yukarıda adı geçen yayınlar sayesinde mesafe koruması algoritmaları konularında çalışmalar başlamış ve bu çalışmalar bu güne kadar aralıksız devam etmiştir. Bu çalışmalar koruma işleminin doğasına yeni anlayışlar

eklemiş ve bilgisayar destekli koruma limitlerine kadar zorlanarak geliştirilmiştir.

Geçen yıllarda yapılan T. Takagi, J. Baba, K. Uemura'nın T. Sakaguchi "Fault Protection Based on Travelling Wave Theory" (IEEE Summer Power Meeting) ve H.W. Dommel, J.M. Michels "High Speed Relaying Using Travelling Wave Transient Analysis" (IEEE Winter Power Meeting, Ocak 1978) gibi çalışmalarda mesafe rölelerine, tamamen farklı bir bakışla yaklaşmıştır. Bu çalışmalarda, arıza yerinin yaklaşık uzaklığını belirlemek için arıza tarafından üretilen dalgaların incelenmesi temel olarak ele alınır.

Mesafe rölelerinin algoritmalarındaki gelişime ek olarak diferansiyel röle mantığı kullanılarak cihazların korunması ile ilgili çalışmalar başladı. Bu çalışmalar arasında B.J. Cory – J.F. Moont "Application of Digital Computers to Busbar Protection" (IEEE Conference, Mayıs 1970), J.A. Sykes – I.F. Morrison "A Proposed Method of Harmonic Restraint Differential Protection of Transformers by Digital Computers" (IEEE Transactions Mayıs / Haziran 1972), M.S. Sachev – D.W. Wind "Generator Differential Protection Using a Hybrid Computer" (IEEE Transactions Kasım / Aralık 1973) sayılabilir. Bu çalışmalarda, diferansiyel röle algoritmalarının hat röleleri algoritmalarına göre daha az hesaplama gerektirdiği üzerinde durulmuştur. Transformatörlerin korunması için yapılan çalışmalarda harmonik etkiler koruma işlemini biraz karmaşıktırmaktadır ve akım trafosu doymasıyla ilgili sorunlar veya diğer hatalar geleneksel çözümler ve hatta bilgisayarlar için bile bu problemlerin çözümünü zorlaştırmaktadır. Bununla beraber daha 1970'lerin başlarında mesafe röleleri ve diferansiyel rölelerin çalışma prensiplerinin gelişmesiyle birlikte bilgisayar tabanlı rölelerin geleneksel röleler kadar iyi performans sunabildiği gözden kaçmadı.

Başlangıç periyodundan sonra bilgisayar donanımlarında çok önemli değişimler oldu. Bilgisayarların hızları iki ve katı hızlarına çıkarken boyutları küçüldü, güç tüketimi ve maliyetleri düştü. 16 bit (ardından 32 ve 64 bit) işlemci mimarisine geçilmesinden sonra yüksek hızlı röle uygulamalarında da bilgisayarlar kolaylıkla kullanılmaya başlandı ve artık fiyatlarıyla da geleneksel rölelerle karşılaştırılmaya başlandılar. Bu trend bugünde devam ediyor. Artık geleneksel rölelerin neredeyse tümünün dijital bir kardeşi var.

2.3 Bilgisayar Destekli Rölelerin Avantajları

Bilgisayar destekli rölelerin avantajları şöyle sıralanabilir :

Maliyet : Bir projede kullanılabilecek röleler için, diğer tüm şartlar aynı ise kararı etkileyecek en önemli nokta maliyettir. Bilgisayar destekli röleler ilk piyasaya çıktıklarında maliyetleri

geleneksel rölelere göre 10 – 20 katıydı. Bilgisayar maliyetleri yukarıda da belirtildiği üzere zamanla düştü. İlginçtir ki aynı zaman periyodunda geleneksel rölelerin fiyatları yükseldi. Bunun nedenleri arasında geleneksel röleler için ortaya atılan yeni tasarım kriterleri ve geleneksel röle satışlarının azalmasından dolayı düşen satışlar ve dolayısıyla yükselen maliyetler gösterilebilir. Ama unutulmamalıdır ki eşdeğer performansla sahip geleneksel bir röle ile bilgisayar destekli bir rölenin maliyeti yaklaşık olarak aynıdır. Bilgisayar destekli bir rölede maliyeti arttıran en önemli kalem yazılım giderleridir. Ama gelecekte de bazı geleneksel rölelerin (örneğin aşırı akım röleleri) her zaman bilgisayar destekli rölelere göre daha ucuz olacaktı gibi görünüyor. Yine de karmaşık ve çok fonksiyonlu röleler ve koruma sistemlerinde bilgisayar destekli rölelerin liderliği tartışılmaz konumda.

Oto Kontrol ve Güvenilirlik : Bilgisayar destekli bir röle sürekli bir şekilde donanımını ve yazılımını kontrol edecek şekilde programlanabilir. Örneğin kendisinde bir arıza gördüğünde kendini devre dışı bırakabilir ve kontrol merkezine servis sinyali gönderebilir. Bu özellik bilgisayarlı röleler için en temel fonksiyonlardan birisidir. Bir sistemde birçok rölenin olduğu düşünülürse rölelerin arıza yapmaları sistemin stabilitesi açısından istenmeyen bir durumdur. Sistemlerde meydana gelen arızaların daha vahim sonuçlar doğurmadan devrenin açılması rölenin görevidir. Fakat röle arızalı ise sistemde daha vahim sonuçlar ortaya çıkabilir. Bilgisayar destekli rölelerden beklenen, rölenin arızasının anında tespit edilip tamir edilerek yanlış çalışmasının engellenmesidir. Bilgisayar destekli röleler elektromekanik ve katı hal rölelerine göre daha karmaşık ve dolayısıyla arıza yapmaya daha yatkındırlar.

Sistem ile Bütünleşme ve Dijital Çevre Birimleri : Birçok tesiste bilgisayarlar ve dijital teknoloji sistemlerin büyük ağırlığını oluşturuyor. Neredeyse tüm ölçümler, iletişim ve kontrol fonksiyonları bilgisayar desteklidir. Akım ve gerilim trafoları gibi birçok güç aktarım sistemleri dijital kontrolün bir parçası haline geldiler. Bir istasyondan diğerine sinyal aktarımı fiber optik kablolar üzerinden yapılabilir ve tüm sistemin kontrolü bilgisayarlar vasıtasıyla kolaylıkla yapılabilir.

Esneklik ve Uyarlamalı Röleleme : Bir bilgisayar birçok fonksiyonu bir arada oluşturabilecek şekilde kolaylıkla programlanabilir. Örneğin röleleri kontrol eden bir bilgisayar aynı zamanda transformatör ve iletim hattındaki gerilimi ölçebilir, kesiciler açma sinyali gönderebilir, arızalı cihazları devre dışı bırakabilir. Günümüz bilgisayarları tüm bu işlemleri aynı anda neredeyse hiç zorlanmadan yapabilir. Bilgisayar için gerekli olan sadece giriş ve çıkış sinyalidir. Tüm bu görevleri tek bir bilgisayara yüklemek maliyetleri düşürdüğü gibi kullanıcıdan cevap bekleyen uygulamalarında işleyişini hızlandırır.

Bilgisayar tabanlı rölelerin geleneksel rölelerle asla karşılaştırılamayacak önemli bir özelliği de sistem koşulları izin verdiği sürece röle karakteristiklerinin (ayarlarının) istenildiği gibi değiştirilebilmesidir.

Bilgisayar tabanlı rölelerden beklenen en önemli özelliklerden bir diğeri de çözümü zor ve anlaşılmaz sorunların kolaylıkla üstünden gelinebilmesidir. Bilgisayarların kontrol hiyerarşisinin her kademesindeki dijital cihazlarla haberleşebilmesi bunda önemli bir rol oynamaktadır. Yalnızca farklı programlar geliştirilerek bilgisayardan gelecek komutları uygulamaya dökerek arabirim cihazlarının geliştirilmesi yeterlidir. Teknolojinin her alanında değişim gibi fiber optik altyapısının oturması kontrol merkezleri ile röleler arasındaki iletişimi hızlandırmakta ve arıza riskini en aza düşürmektedir. Bilgisayar destekli rölelerin bu avantajlarının yanında, özellikle oturmuş bir sistemde, klasik rölelerin yerine kullanılmaya başlanması bazı açılardan uygun olmayabilir. Örneğin klasik bir röle otuz yıl kadar bir süreyle hiç problem çıkarmadan çalışabilir. Çalışan bir röleyi değiştirmek yatırım açısından uygun olmayabilir. Tasarım mühendislerine burada oldukça önemli bir görev düşmektedir. Sistemin kritikliği göz önüne alınarak karar verilmelidir.

Bilgisayar destekli her rölenin bir kullanıcı arabirimi olması gerekir. Röle uygulamalarında kullanılan programlar bilgisayar dilinde yazılır. Bunun nedeni arızadan sonra arızaya müdahale etmek için yeterli zaman olmamasıdır. Arızaya mümkün oldukça çabuk müdahale edilmelidir. Üst seviye programlama dilleri (Pascal, C++, Visual Basic gibi) daha çok kullanıcı arabirimine önem verdiği için bu programların yaptığı çeşitli dönüşümler zaman kaybına yol açabilir. Makine dilinin bu avantajının yanında farklı tipteki sistemlerde uyum problemi yaşanabilir. Çünkü makine dili geliştirilirken belirli bir modeldeki sistem için geliştirilir. Eğer farklı bir iletişim arabirimi kullanılacaksa herhangi bir makine dili yeterli olmayabilir. Makine dilini geliştirirken çok açık bir yapı belirlemek maliyetleri yükselteceği için pek kullanılmaz. Yazılım, bilgisayar destekli rölelerin en büyük maliyet kalemleri ve en çok dikkat edilmesi gereken noktalarından birisidir.

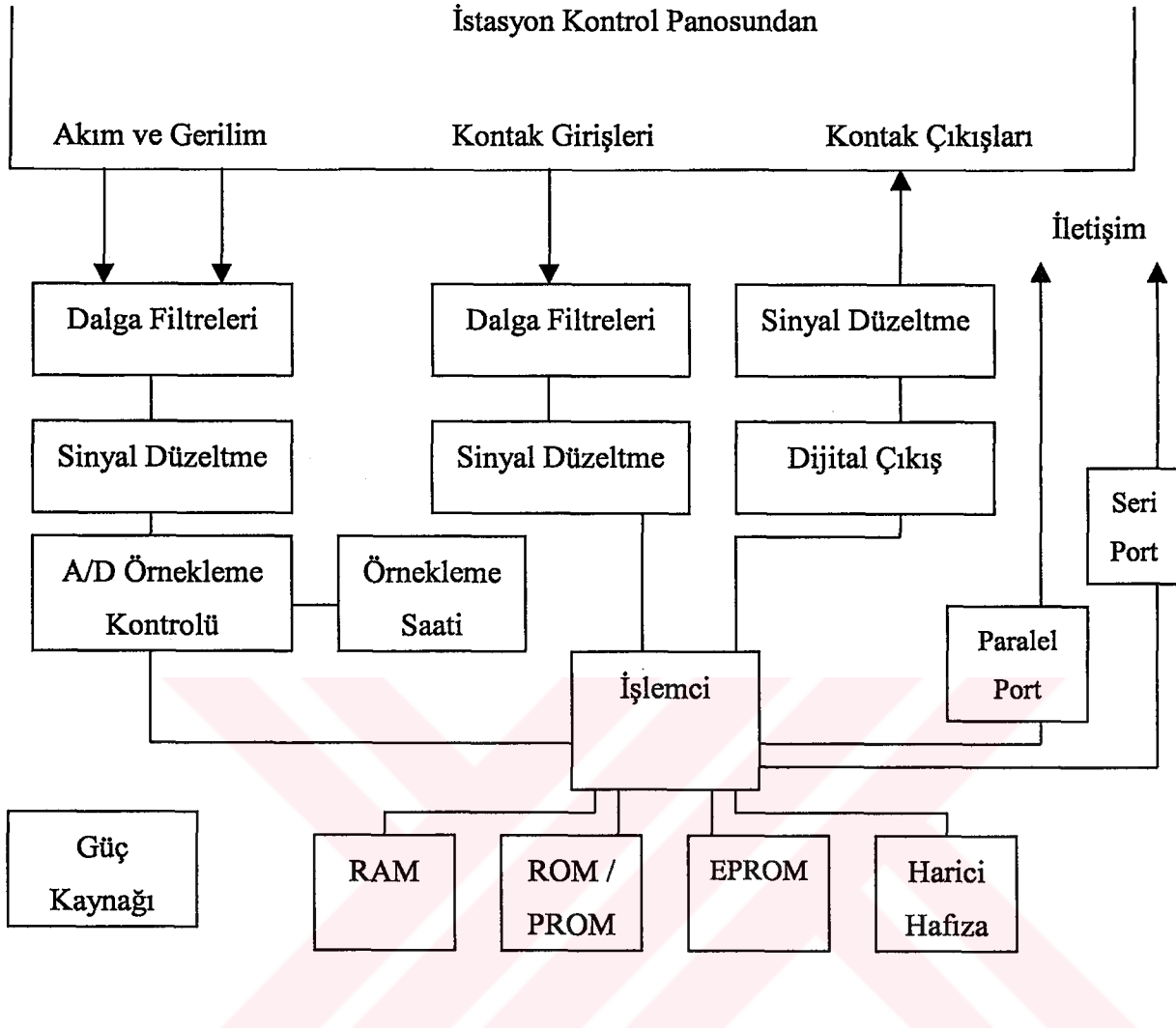
Rölelerin sorunsuz olarak çalışması gereken bir istasyonda önemli çevresel etkilerle ilgili sorunlar vardır. Yüksek sıcaklıklar, nem, kirlilik ve elektromanyetik girişim yapılacak olan tüm hesaplarda ele alınmalıdır. Şüphesiz ki bilgisayarlı röleler tüm bu etkilerden etkilenmeyecek şekilde tasarlanabilirler. Fakat tüm bu etkiler için yapılacak çalışmalar hem ek maliyet getirir hem de korunacak cihazları daha da karmaşık hale getirir. Elektrik ve

Elektronik Mühendisleri Enstitüsüne (IEEE) bağlı Güç Sistemleri Röleleri Komitesi gibi komiteler bilgisayar tabanlı röleler için uygun çevre şartlarının sağlanması konusunda çalışmaktadırlar (Lee ve Chy, 2002).

2.4 Bilgisayar Destekli Rölelerinin Yapısı

Bilgisayar destekli röleler iyi tanımlanmış fonksiyonlara sahip alt sistemlerden oluşur. Özel bir röle kendi içinde çok farklı özelliklere sahip olabilir ama tüm alt sistemler yaklaşık olarak aynı formda tasarlanırlar.

Şekil 2.1'deki blok diyagram bilgisayar destekli bir rölenin başlıca bölümlerini göstermektedir. Bir rölenin merkezi birimi işlemcisidir. İşlemci röle programlarının çalıştırılmasından, farklı zamanlama işlemlerinin yürütülmesinden ve diğer çevresel birimlerle haberleşmeden sorumludur. Şekilde de görüldüğü üzere birkaç tipte hafıza modülü kullanılabilir ve bu modüllerin her birisinin farklı görevleri vardır. Rasgele Erişim Hafızası yani RAM giriş verisi ve o anda işlenen veriyi tutar. Yalnızca Okunan Hafıza yani ROM ve Programlanabilir Yalnızca Okunan Hafıza yani PROM ise programları sürekli olarak saklamak için kullanılır. Bazı durumlarda programlar direkt olarak ROM'dan çalıştırılır veya başlangıç anında ROM'daki bilgiler RAM'e kopyalanarak tüm işlemler RAM'de yapılır. Silinebilir PROM yani EPROM röle ayarları gibi zaman zaman değişebilecek parametreleri tutar.



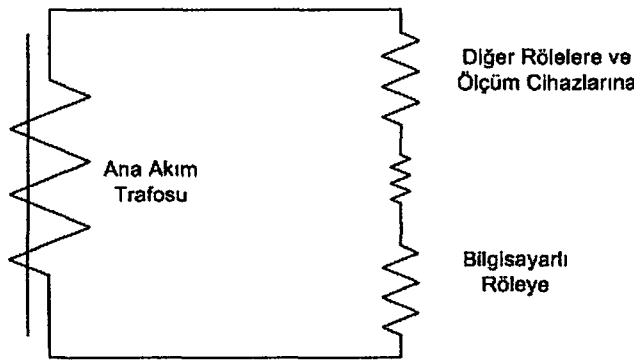
Şekil 2.1 Bir röle bilgisayarının dahili birimleri

Yüksek kapasiteli bir EPROM bir bilgisayarlı röle için kesinlikle gereken bir özelliktir. Hafıza birimi verilerin arşivlenmesinde, arızalar ile ilgili verilerin saklanması, belirli bir zaman periyodundaki açma kapama gibi bilgilerin tutulmasında ve rölenin değiştirilen ayarlarıyla ilgili verilerin tutulmasında kullanılabilir. İstenirse bu veriler sistem üzerindeki hafıza ortamları yerine DAT, DVD, CD, disket gibi birçok medya ortamında saklanabilir. Seçici olurken dikkat edilecek önemli bir nokta verilerin saklanacağı ortamın maliyetidir (Fitton vd., 1995).

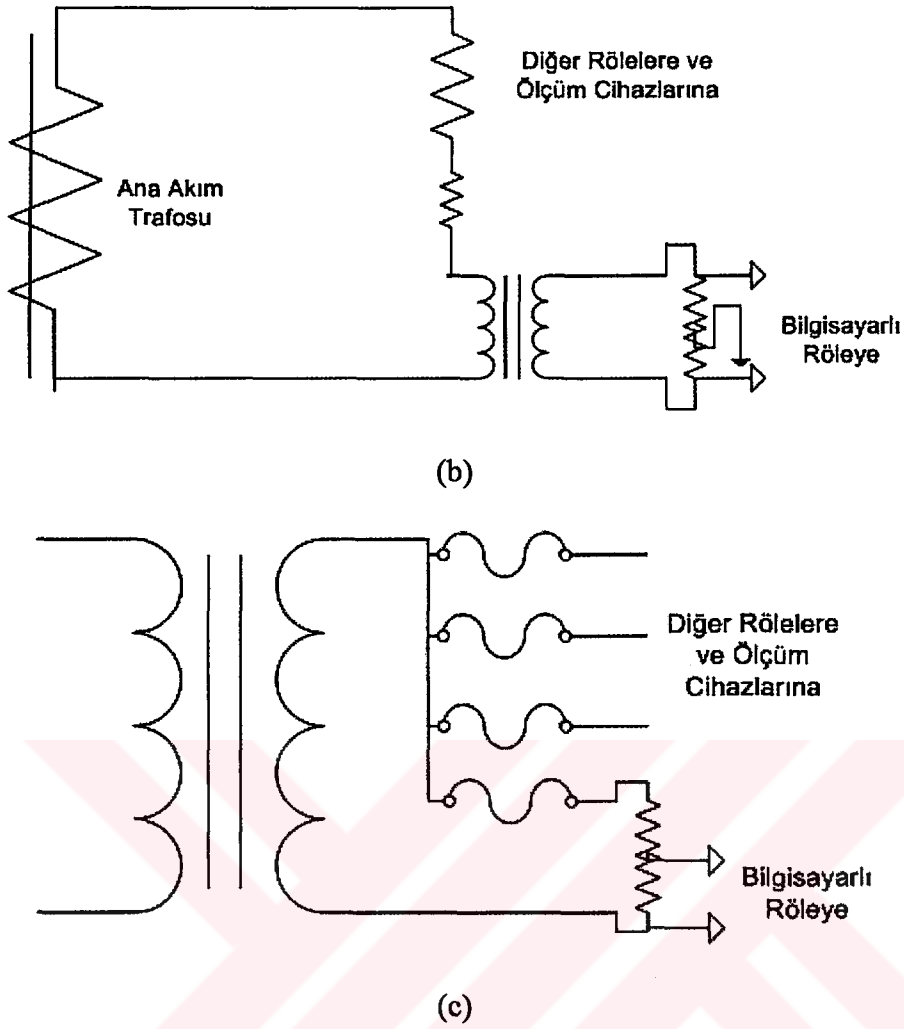
Şekil 2.1 'de sisteme veri girişi sağlanırken geleneksel dönüştürücüler kullanılmıştır. Eğer elektronik dönüştürücüler kullanılırsa sisteme veri girişi daha farklı olur. Örneğin direkt olarak işlemciye veri girişi yapılabilir. Rölenin kontak durumunu belirten veriler analog cinsten gerilim ve akım şeklindedir. Röleden gelen analog sinyaller Analog-Dijital Çevirici

(ADC) tarafından uygun forma dönüştürülür. Bir analog-dijital çeviricinin girişinin tam skala değeri ± 10 V olarak sınırlandırılmıştır. Bu yüzden bir gerilim veya akım trafosundan gelecek değer analog-dijital çeviriciye uyacak şekilde sınırlandırılmalıdır. Birçok durumda yüksek frekanslı geçici etkiler göz ardı edilebilir. Bu yüzden bu geçici etkiler düşük bir kesme frekansına sahip titreşim filtreleri tarafından kaldırılır.

Akım girişleri şönt dirençler tarafından gerilime çevrilir. Analog-Dijital Dönüştürücüler için gerekli gerilimi sağlamak için normal bir akım transformatörünün sekonder devresinde oluşan yüzlerce amperlik akımı istenilen seviyeye getiren miliohm'lar seviyelerindeki dirençler kullanılır. Alternatif olarak harici bir transformatörde kullanılabilir. Harici transformatörlerin bir görevi de sistemi izole etmektir. Fakat harici akım transformatörleri kullanılmasından kaynaklanan bazı ölçme hataları olabilir. Bu yüzden mümkün oldukça harici transformatör kullanımından kaçınılmalı ve izolasyon için şönt direncinin orta noktası topraklanmalıdır. Bu durum şekil 2.2(a) ve 2.2(b)'de gösterilmiştir. Şekil 2.2(c) bir gerilim transformatörünün bağlantılarını göstermektedir. Her röle ve devre için sigortalı bir devre kullanılmıştır ve benzer bir devre bilgisayar rölesi içinde mevcuttur. Gerilim transformatörünün sekonderindeki faz nötr gerilimi 67 Volt'tur. Bu gerilim bir potansiyometre ile istenilen seviyeye düşürülür ve daha sonraki kademelerde bulunan filtre ve yükselticileri çalıştıracak uygun bir kaynak elde edilmiş olur. Gerçi burada izolasyonu sağlamak için bir gerilim transformatörü de kullanılabilir fakat bu bir gereklilik değildir. Bilgisayarlı rölenin dijital girişleri kontak şeklindedir ve istasyondaki diğer rölelerden, cihazlardan gelen veri ile beslenir. Eğer diğer sistemlerde bilgisayar tabanlı ise ekstra bir işleme gerek kalmadan bu sistemlerden gelen veri direkt olarak röleye girilebilir. İki sistem arasındaki izolasyonu sağlamak için bir izolasyon devresi kullanılabilir. Eğer dijital girişler istasyondaki bir kontakten besleniyorsa elektronik devreleri istasyondaki yıpratıcı çevre koşullarından korumak için bir dalga filtresi ve (veya) optik izolasyon kullanılmalıdır (El-Arroudi, 2001).



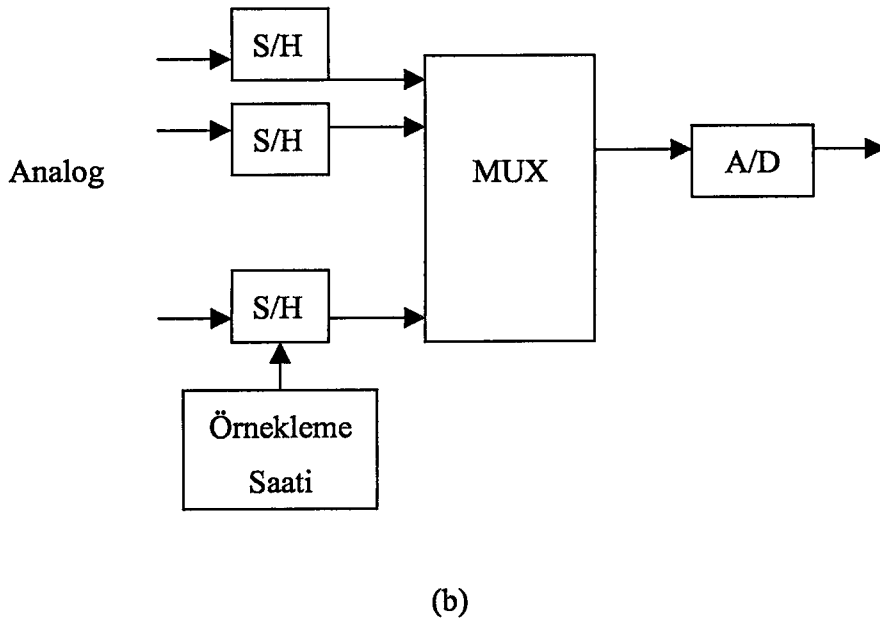
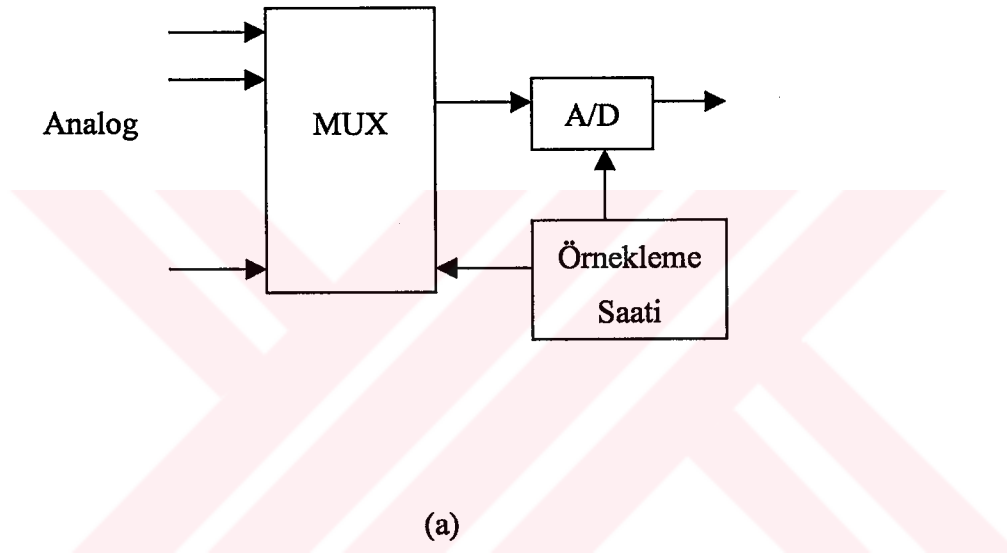
(a)

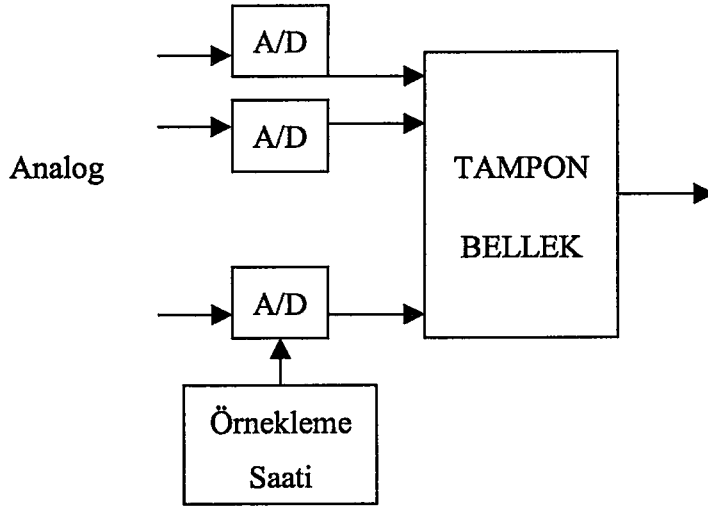


Şekil 2.2 Akım ve gerilim sinyallerini röle girişine uygun bir hale dönüştürme. (a) Ana akım trafosunun sekonder sargısına direkt bağlantı. (b) Harici akım trafosunun kullanımı. (c) Gerilim trafosu ve gerilim bölücü kullanımı (Computer Relaying for Power Systems, 1994)

Bir koruma sisteminde aşırı dalgalanmaların bastırılması önemli noktalardan birisidir. Yüksek gerilimli ve yüksek enerjili dalgalanmalar koruma sisteminin akım, gerilim bağlantıları ve dijital girişlerinden sızabilir. Bu dalgalanmalar güç sistemi veya kontrol merkezindeki açma kapama işlemleri esnasında ve arızalar sonucunda oluşabilir. Örneğin bir endüktif korumadaki kontakların devreye girip çıkmaları sonucu ortaya çıkan kıvılcımın ve kontrol merkezindeki kontrol devrelerinin çok önemli bir dalgalanma kaynağı oldukları ortaya çıkarılmıştır. Bu dalgalanmaların bastırılması için tüm cihazların iyi bir şekilde topraklanması, ekranlanması ve alçak geçiş filtrelerinin kullanılması gerekir. Lineer olmayan enerjiyi emen “Metal Oksit Varistörler”de kullanılabilir. Ayrıca giriş - çıkış bağlantıları ve güç kaynağı bağlantıları için dalgalanma bastırma filtrelerinin kullanılması gerekir.

Titreşim önleme (Anti-aliasing) filtreleri, seçilmiş bir örnekleme oranında kullanılan analog alçak geçiş filtreleridir. Örnekleme sabitleri belirli bir oranda darbeler üreten bir örnekleme saati tarafından belirlenir. Tüm sinyal örneklerinin eş zamanlı olması istenir. Bu sayede her örneğin dönüşümü ve işlemciye iletimi oldukça hızlı olur. Diğer bir alternatif ise her giriş kanalı için bağımsız analog-dijital dönüştürücüler kullanmaktır. Bu alternatif, teknik uygulama bakımından oldukça kolaydır fakat ekonomik olmadığı için tercih edilmez. Analog-dijital dönüştürücülerdeki gelişim, örneklemeye gerek kalmadan yüksek hızlı multiplekse imkan verme yönündedir (Phadke, 1994).





(c)

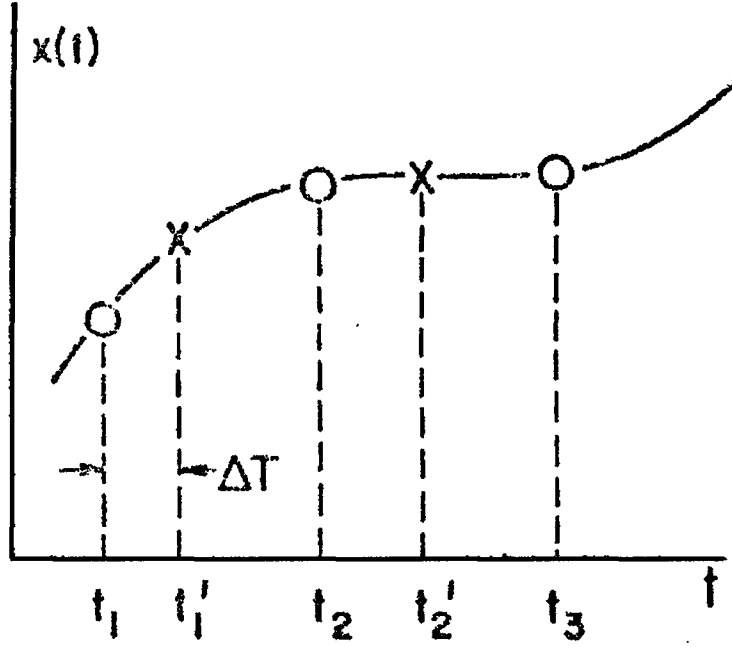
Şekil 2.3 Farklı sinyal örnekleme işlemleri ve yapıları. (a) Çoklu girişli tek analog dijital çevirici. (b) Her kanala örnekleme ve tutma eklenmesi. (c) Her kanal için ayrı analog dijital çevirici kullanılması (Computer Relaying for Power Systems, 1994)

Bu noktada eşzamanlı çalışmanın gerekliliği üzerinde durmak yerinde olacaktır. Birçok röle fonksiyonu bir veya daha fazla fazörün aynı anda ölçülmesine ihtiyaç duymaktadır. Eğer fazörler $x(t)$ ve $y(t)$ sinyalleri için t_x ve t_y sabitlerinden başlayan örneklerden hesaplanıyorsa bu iki fazör için referans değerleri bir Θ açısı kadar farklılık gösterir.

$$\Theta = (t_x - t_y) \frac{2\pi}{T} \text{ radyan} \quad (2.1)$$

burada T , sinyalin temel frekans periyodudur. Eğer t_x ile t_y arasındaki fark biliniyorsa iki referans arasındaki faz açısı da biliniyordur ve iki fazör Θ için kompanze edilerek ortak bir referansa oturtulur. Farklı giriş sinyallerinin her zaman eşzamanlı olarak örnekleme gerekmez. Diğer taraftan $\Theta = 0$ ise ve kompanzasyona gerek yoksa tüm hesaplamalar daha kolay bir hal alır.

Şekil 2.3 (a) incelendiğinde görülür ki örnekleme ve tutma devreleri olmadığında farklı sinyal örnekleri sıralı olarak elde edilir ve örnekler gerçekten eşzamanlı değildir. 60 Hz'lik bir dalga'nın periyodu 16.67 ms'dir. Bu yaklaşık milisaniyede 21.6 dereceye karşılık gelir. Bundan dolayı örnekleme taraması 10 mikro saniyede tamamlanır ve sıralı örnekleme tarafından oluşturulan en kötü hata bile yaklaşık 0.2 derecedir. Gerçekten toplam taramanın 50 mikro saniyesi ihmal edilebilir (Phadke, 1990).



Şekil 2.4 Senkron örnekleri elde etmek için interpolasyon. x ile gösterilen örnekler o ile gösterilmiş ve daha önceden elde edilmiş örneklerden belirlenebilir (Computer Relaying for Power Systems, 1994)

Şekil 2.1'e tekrar dönersek işlemcinin dijital çıkışı röleyi açmak veya kapamak için kullanılır. İşlemcinin paralel portu ise bu çıkışlar için bir kelime (genellikle 2 byte) sağlar. Her bit bir kontak için kaynak olarak kullanılabilir. Bilgisayarın çıkış biti TTL (Transistor Transistor Lojik) seviyesinde bir sinyaldir ve bu sinyal alarm, kesici tetikleme bobini gibi harici cihazları aktive edebilen yüksek hızlı çoklu kontaklı röle veya tristörleri sürmeden önce, optik olarak izole edilmelidir.

Güç kaynağı ise tek DC giriş - çoklu DC çıkışa sahip ve istasyonun güç kaynağından beslenen bir dönüştürücüdür. Giriş genellikle 125 V DC ve çıkış ise 5 V DC ve ± 15 V DC'dir. 5 V lojik devreler için 15 V ise analog devreler için kullanılır. İstasyonun güç kaynağı ise devamlı olarak AC kaynaklardan şarj edilir (Rahimi, 1992).

2.5 Analog – Dijital Çeviriciler

Analog – Dijital çeviriciler (ADC) analog bir gerilim seviyesini dijital karşılığına çevirir. ADC'nin temel özelliği verileri bit cinsinden ifade etmesidir. ADC bu şekilde analog bir sinyali oldukça detaylı olarak ifade edebilir. Örneğin günümüzde en çok kullanılan ADC olan 12 bitlik bir ADC'yi ele alalım. 0111 1111 1111 (16'lık tabanda 7FF) 12 bitlik bir ADC için ifade edilebilecek en büyük sayıdır. 1000 0000 0000 (16'lık tabanda 800) ise en küçük

(negatif) sayıdır. 10'luk tabanda 16'lık 7FF sayısı: $(2^{11} - 1) = 2047$, 16'lık 800 sayısı ise $2^{11} = -2048$ 'e eşittir. Analog giriş sinyalinin ± 10 V seviyelerinde olduğunu düşünürsek açıktır ki 12 bitlik bir ADC $10 / 2048 = 4.883$ milivolt hassasiyetinde olabilir. Çizelge 1'de giriş gerilimleri ve 16 ve 10'luk tabanda karşılıkları görülmektedir :

Çizelge 2.1 12 Bit ADC giriş – çıkışları. Maksimum giriş gerilimi 10 Volt olarak kabul edilmiştir

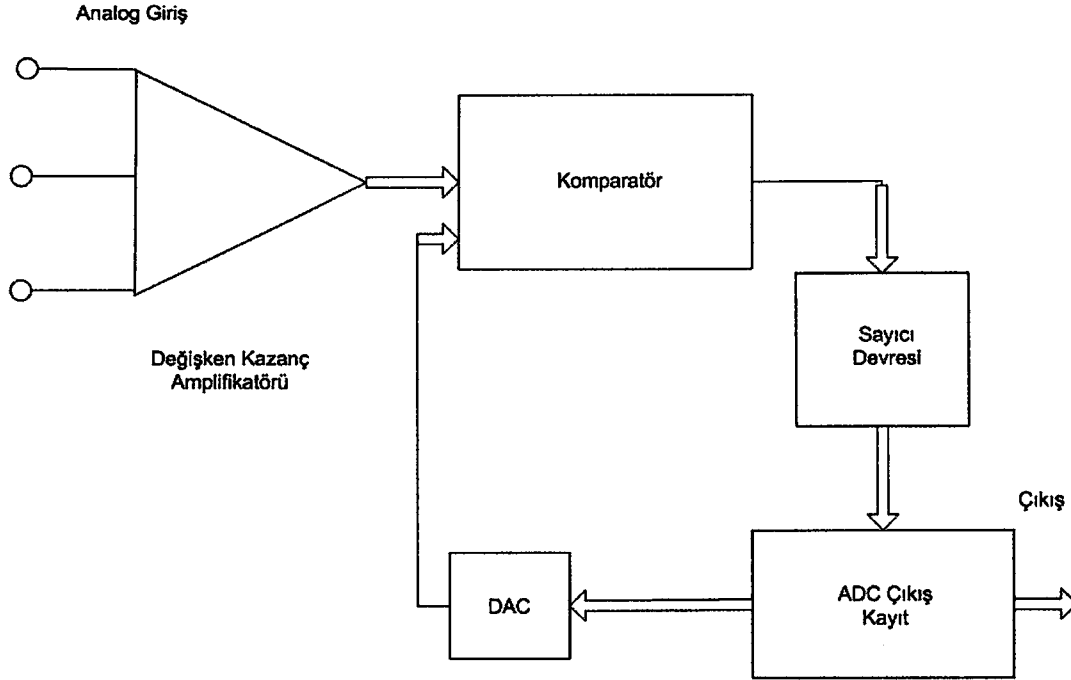
Giriş Gerilimi	16'lık	10'luk
9.995	7FF	2047
5.0	400	1024
3.0	266	614
2.0	198	408

Girişteki en ufak değişim (burada 4.833 mili volt'luk bir değişim) ADC için önemli bir parametredir. Bu değişim gözlemlenerek verilen bir dijital çıkış için giriş sinyalinin uygun olup olmadığı belirlenebilir. Genel olarak ADC'nin kelime uzunluğu N bit ve yine ADC'nin maksimum giriş gerilimi V volt ise ölçüm hatası q aşağıdaki formülle ifade edilebilir :

$$q = \frac{V}{2 \times 2^{N-1}} = 2^{-N} V \quad (2.2)$$

birim başına ölçüm hatası ise :

$$q = 2^{-N} \quad (2.3)$$

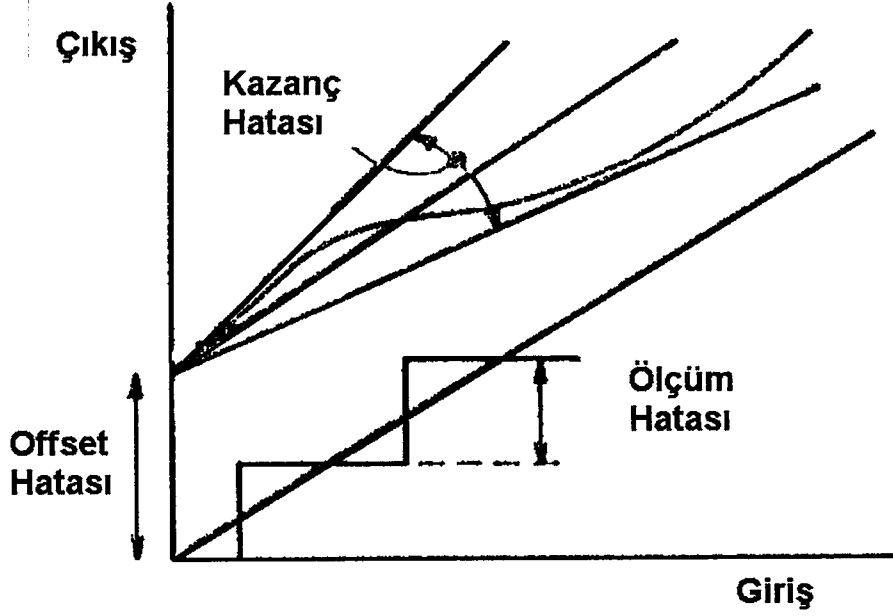


Şekil 2.5 ADC'nin çalışma yapısı. Komparatör'ün çıkışı pozitif iken ADC çıkış kaydı artış gösterir, komparatörün çıkışı negatif iken azalır. Komparatör çıkışı ölçme hatasında küçükse çıkışın doğru olduğu kabul edilir

ADC ölçüm hatasının yanında başka hatalar da yapabilir. Bu hataların kaynağını anlamak için ADC'nin çalışma prensibini incelemek gerekir. Şekil 2.5'te gösterildiği gibi analog sinyal ayarlanabilir bir kazanç amplifikatörü tarafından güçlendirilir. Bir dijital – analog çevirici ADC'nin çıkış kaydındaki dijital bir rakamı analog bir değere dönüştürür. Bu sinyal girişteki analog sinyal ile karşılaştırılır ve aradaki fark ADC'nin çıkış kaydındaki sayıyı değiştirmek için kullanılır. DAC'in çıkışı girişin ölçüm sınırları içerisinde ise çıkış stabil ve girişteki analog sinyalin tam olarak dönüştürülmüş karşılığıdır. ADC'de kullanılan yükseltici tek başına da bir hata kaynağı olabilir. Yükselticide bir kazanç hatası olabileceği gibi doğru akım denge hatası da olabilir. Ayrıca kazanç lineer olmayabilir. Şekil 6'da ADC'nin tüm hataları beraber gösterilmiştir. Denge hatası giriş – çıkış karakteristiğinde bir kaymaya yol açmaktadır. Kazanç hatası ise eğimi değiştirir. Şekil 6'da gösterildiği gibi kazanç ve non-lineerlik hataları iki doğru çizgi ile sınırlanmışsa V giriş gerilimi için ADC'de oluşan toplam hata;

$$\epsilon_v = K_1 \times FS + K_2 \times V \quad (2.4)$$

burada FS giriş geriliminin tam skala değeri, K_1 ve K_2 sabitleri dönüşüm işleminin kararlılığına bağlı olarak değişebilir.

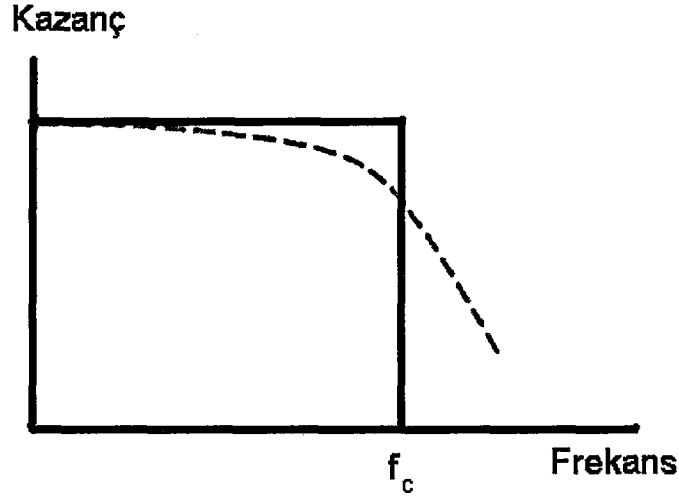


Şekil 2.6 ADC'nin toplam hatasında kazanç hatasının, kazancın non-lineerliğinin, ve ölçüm hatasının etkileri (Computer Relaying for Power Systems, 1994)

Kazanç ayarlarını farklı örnekler için değiştirmek mümkündür. Röle uygulamalarında farklı örnekleme oranları için farklı değerler ayarlanabileceği gibi dinamik kazanç ayarı da yapılabilir fakat bu zaman alan bir ayar şeklidir. Yukarıda verilen hata modeli röle uygulamalarında kullanılan ADC'leri tamamen yansıtır. Açıktır ki giriş sinyali tam skala değerinin küçük bir oranı ise ilk hata terimi baskındır ve her örnekteki hata yaklaşık aynı değerdedir. Diğer taraftan giriş sinyalleri tam skalaya yaklaşıyorsa ikinci terim baskın olabilir her örnek hatası kendi nominal değerine göre orantılı olabilir.

2.6 Titreşim Önleme Filtreleri

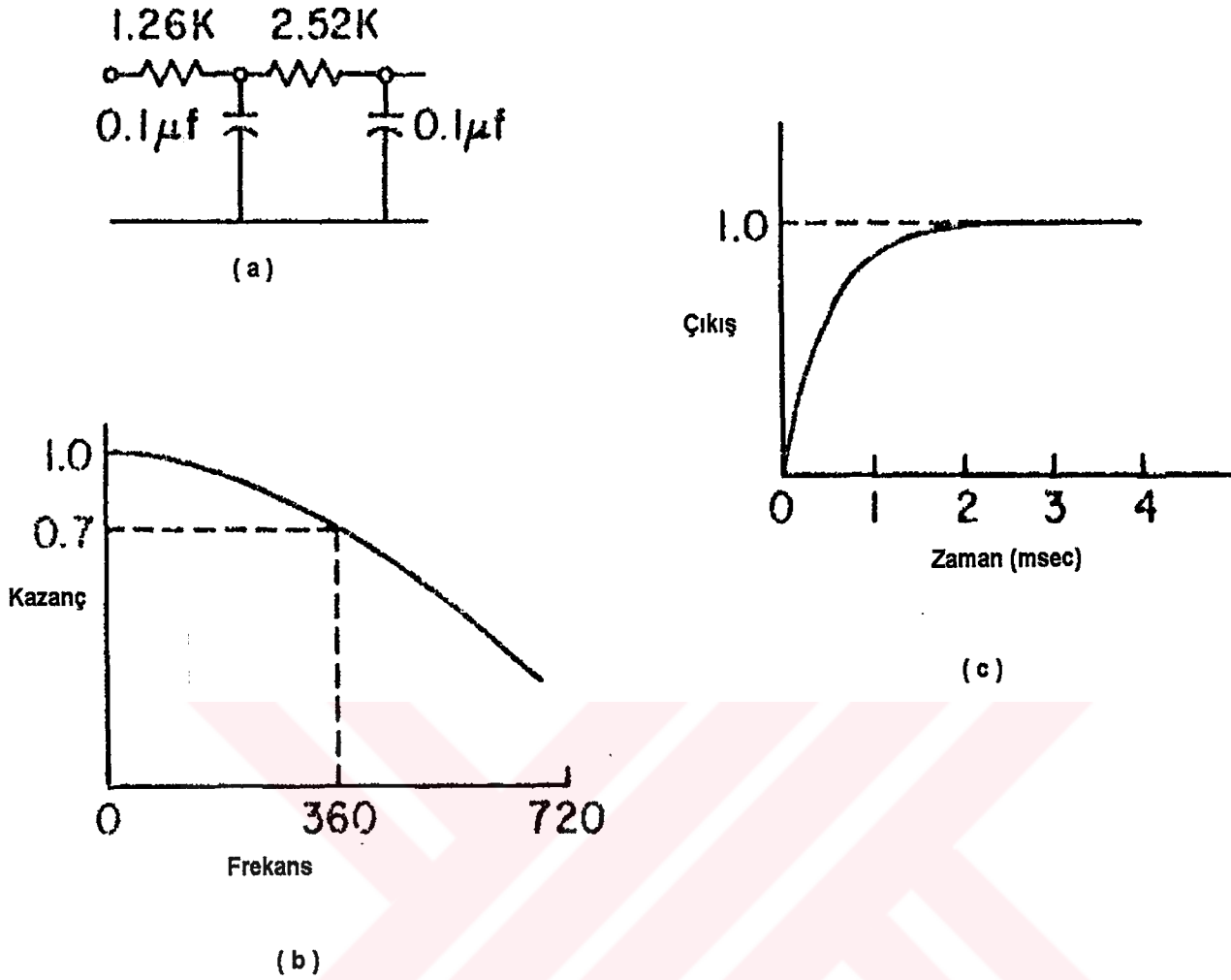
Titreşim önleme filtreleri ADC tarafından kullanılan örnekleme oranının yarısına eşit kesme frekansına sahip alçak geçiren filtrelerdir. Şekil 2.7'de f_c kesme frekansına sahip ideal bir titreşim önleme filtresine ait çalışma karakteristiği görülmektedir. Pratikte bir filtre yalnızca keskin kenarlı dikdörtgenin şeklini yumuşatarak şekildeki gibi çizgili şekle getirebilir.



Şekil 2.7 f_c kesme frekansına sahip ideal bir titreşim önleme filtresi karakteristiği. Yaklaşık ideal karakteristik çizgili olan eğri şeklindedir (Computer Relaying for Power Systems, 1994)

Titreşim önleme filtreleri genellikle pasiftir. Sadece direnç ve kondansatörler içerebilir. Aktif olanlarda ise operasyonel amplifikatörler kullanılabilir. ADC ve filtreler arasındaki tampon için bir operasyonel amplifikatöre ihtiyaç vardır. Daha küçük bileşenler için aktif filtre tasarımı kullanılabilir. Aynı zamanda tek tabakalı mikro elektronik devreler kullanılarak da aktif bir filtre tasarlanabilir.

Genel olarak eğer filtreler çok keskin kesme frekanslarına sahiplerse basamak fonksiyon cevapları oldukça uzun sürelidir. Bilgisayar destekli rölelerin birçok uygulamalarında iki kademeleri RC filtreleri vasıtasıyla kesme karakteristiğinin keskinliği ile basamak giriş cevabının zaman gecikmesi arasında bir karşılaştırma yapılır. İkinci olarak bilgisayar destekli rölelerin tam olarak ihtiyaçlarını giderebilmek için Butterworth, Chebyshev veya tam düz (Bessel) filtreleri kullanılabilir. Fakat bu filtreler giriş basamak cevabında oldukça yüksek frekanslara sahip oldukları için pek fazla tercih edilmezler (Phadke, 1990).



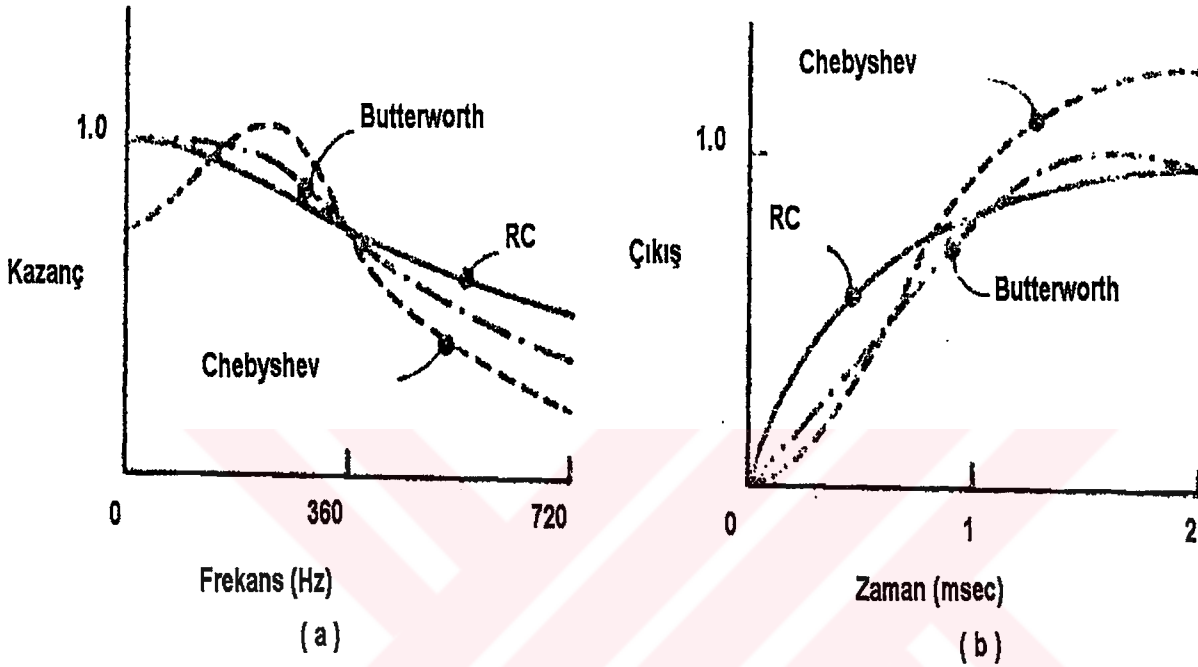
Şekil 2.8 360 Hz kesme frekansına sahip iki kademeli bir RC filtresi. (a) RC basamağı, (b) Frekans cevabı, (c) Basamak dalga giriş cevabı

İki kademeli RC filtreleri basitlikleri, pasif elemanlara sahip olmaları ve uygun frekans cevaplarından ötürü çok popülerdirler. Fakat durma bandının başlangıcında yuvarlak bir karakteristik çizerler. İki kademeli bir RC filtresi durma bandı için uygunsa 12 db'de problemsiz olarak çalışabilir. İki kademeli bir RC filtresinin transfer fonksiyonu :

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega(R_1C_1 + R_2C_2 + R_1C_2) - \omega^2(R_1C_1R_2C_2)} \quad (2.5)$$

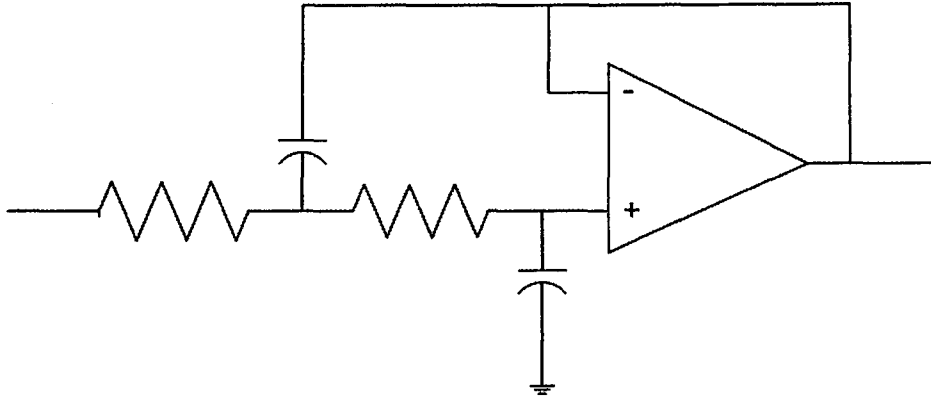
R_1 , C_1 , R_2 , C_2 iki kademelinin bileşenleridir. Bu bileşenler f_c kesme frekansında gereken zayıflığı sağlamak için ayarlanabilir özellikte olmalıdır. Şekil 2.8(a)'da yukarıdaki transfer fonksiyonunu sağlayan ve 360 Hz kesme frekansında iki kademeli bir RC filtresi görülmektedir. Bu filtrenin frekans cevabı ve basamak dalga cevapları ise sırasıyla 2.8 (b) ve 2.8 (c) şekillerinde görülmektedir. Şekilde de rahatlıkla görülebilir ki basamak dalga cevabı

oldukça uygundur, basamak dalga uygulandıktan yaklaşık 0.8 milisaniye sonra çıkış sinyalini doğru olarak üretmektedir. Güç frekansındaki (60 Hz) faz kayması yaklaşık 11 derecedir. Bu açı 0.7 milisaniyelik zaman gecikmesine karşılık gelmektedir. Bu filtre 700 Hz'lik bir örnekleme frekansı için tasarlanmıştır ve bu filtrenin faz gecikmesi örnekleme periyodunun yarısıdır. 720 Hz'lik örnekleme frekansındaki örnekleme periyodu 1.388 milisaniyedir.



Şekil 2.9 360 Hz kesme frekansında ikinci sıra RC Butterworth ve Chebyshev filtrelerinin karşılaştırılması (a) Frekans cevabı, (b) Basamak dalga cevabı

İkinci sıra Chebyshev filtreleri durma bantlarında basamaklı bir başlangıç kesmesi yaparlar. Butterworth ve Chebyshev filtrelerinin basamak dalga cevapları oldukça zayıftır. 360 Hz kesme frekansında bu üç filtreye ait frekans cevabı ve basamak dalga cevabı şekil 2.9'da gösterilmiştir. Şekil 2.10'da ise iki kutuplu bir Butterworth filtresi görülmektedir. Bu şekilde hiç endüktör kullanılmamıştır fakat pasif Butterworth filtrelerinde endüktans kullanılmalıdır. Aktif veya pasif filtreler tasarım yapılırken göze alınması gereken en önemli elemanlardır (Rahimi, 1992).



Şekil 2.10 360 Hz kesme frekansında iki kutuplu bir Butterworth filtresi

Bir filtre tasarımında dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta da bileşenler üzerindeki zamandan ve ısı değişimi sırasında ortaya çıkan etkilerin transfer fonksiyonunu değiştirip değiştirmedir. Örneğin şekil 2.8'deki iki kademeli RC filtreyi tekrar ele alalım. $H(\omega)$ 'nin faz açısı ve büyüklüğünden kazancı ve faz kayması elde edilir :

$$G(\omega) \equiv H(\omega) \quad (2.6)$$

$$= \sqrt{\frac{1}{(1 - \omega^2(R_1 C_1 R_2 C_2))^2 + \omega^2(R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_1 C_2)^2}} \quad (2.7)$$

$$\phi(\omega) \equiv \angle H(\omega) \quad (2.8)$$

$$= - \arctan \left[\frac{\omega(R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_1 C_2)}{1 - \omega^2(R_1 C_1 R_2 C_2)} \right] \quad (2.9)$$

Eğer pasif devrede kullanılan dört bileşenin de çok küçük miktarlarda değişim gösterdiğini düşünersek kazancın ve faz kaymasının değişimi ;

$$\Delta G(\omega) = \frac{\partial G}{\partial R_1} \Delta R_1 + \frac{\partial G}{\partial R_2} \Delta R_2 + \frac{\partial G}{\partial C_1} \Delta C_1 + \frac{\partial G}{\partial C_2} \Delta C_2 \quad (2.10)$$

$$\Delta \phi(\omega) = \frac{\partial \phi}{\partial R_1} \Delta R_1 + \frac{\partial \phi}{\partial R_2} \Delta R_2 + \frac{\partial \phi}{\partial C_1} \Delta C_1 + \frac{\partial \phi}{\partial C_2} \Delta C_2 \quad (2.11)$$

Şekil 2.8'deki R_1 , R_2 , C_1 ve C_2 'nin nominal değerlerini yerine koyarsak :

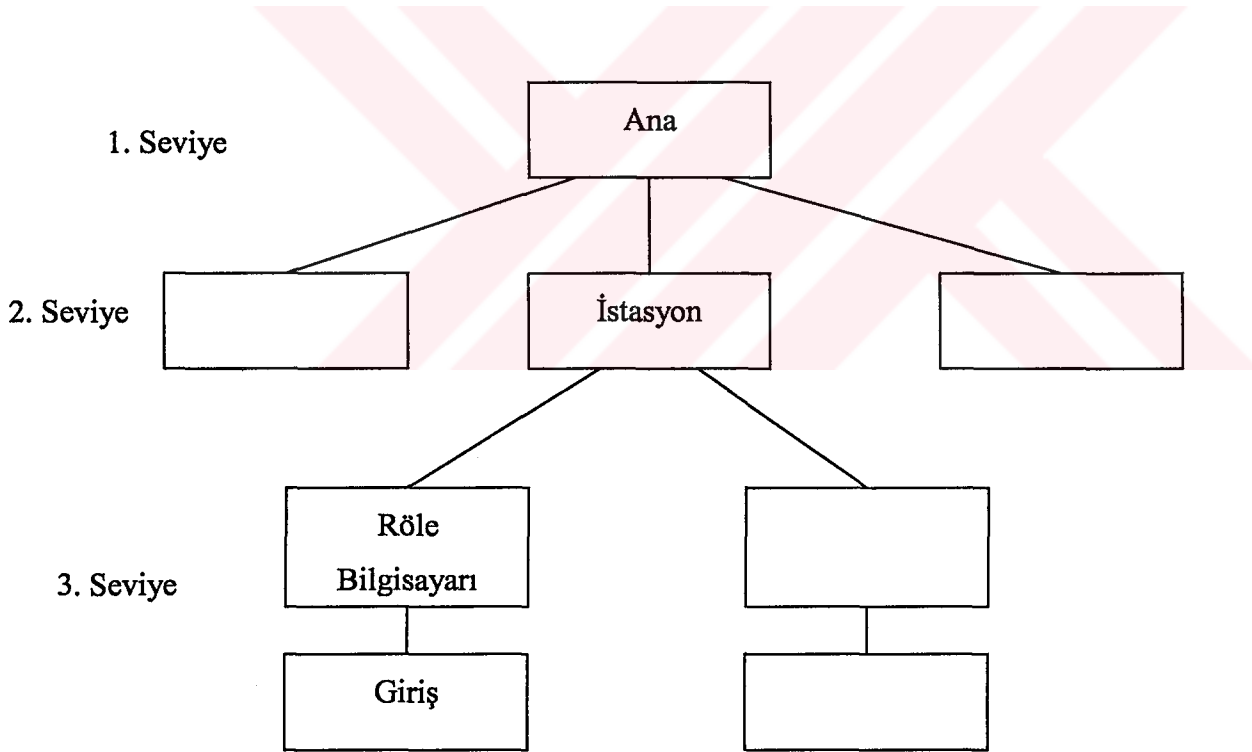
$$\frac{\Delta G}{G} = -0.013 \frac{\Delta R_1}{R_1} - 0.013 \frac{\Delta R_2}{R_2} - 0.004 \frac{\Delta C_1}{C_1} - 0.022 \frac{\Delta C_2}{C_2} \quad (2.12)$$

$$\frac{\Delta \phi}{\phi} = 0.493 \frac{\Delta R_1}{R_1} + 0.493 \frac{\Delta R_2}{R_2} + 0.242 \frac{\Delta C_1}{C_1} + 0.743 \frac{\Delta C_2}{C_2} \quad (2.13)$$

elde edilir (Venikov, 1982).

2.7 Güç İstasyonunda Bilgisayar Hiyerarşisi

Bir güç istasyonunda farklı tipteki röleleri ve bilgisayarları ele alalım. Bilgisayar destekli röleler kontrol bilgisayarı hiyerarşisinde geniş alanlı bir kontrol sağlayan kısımlardır. Şekil 2.11'de bir hiyerarşi örneği görülmektedir. Bu ağaçta röleleri kontrol eden bilgisayar ve onun giriş – çıkış sistemleri en alt seviyededir. Röle çıkışları devre kesicilere ve hatta uzaktan



Şekil 2.11 Bilgisayarla kontrol edilen bir sistemin hiyerarşik yapısı. Röle bilgisayarları bu ağacın en altındadırlar

kontrol edilen kesicilere bağlanabilir. Kontrol komutları akışı ise ana bilgisayardan istasyon bilgisayarına oradan da röle bilgisayarına doğru olacaktır. Tüm röle bilgisayarları istasyon

bilgisayarına bağlıdır. Bu bilgisayar aynı zamanda röle bilgisayarları tarafından yapılmış tüm ölçümleri ve bu bilgisayarlar vasıtasıyla gerçekleştirilmiş tüm olayların kaydını tutar. İstasyon bilgisayarı aynı zamanda operatörler ile röle bilgisayarları arasında köprü vazifesi görür. İstasyon bilgisayarındaki kullanıcı arabirimi vasıtasıyla rölenin ayarları, çeşitli ayarlar, röle için gereken sorgu çeşitleri yapılabilir ve gerekli bakımlar direkt olarak buradan yapılabilir.

Ana bilgisayarın rolü geleneksel röle işlemlerinde bile daha az önem arz eder. Ana bilgisayar kullanıcı kontrollü olarak farklı denetleme komutları üretir. Aynı zamanda tüm istasyon bilgisayarlarından gelen bilgileri tutar ve istasyondaki tüm olayları farklı şekillerde incelemeye imkan sağlar.

Bir sistemdeki bilgisayar hiyerarşisinde her basamağın görevi aşağıdaki gibi özetlenebilir :

1. Seviye : Röle kontrolü, giriş – çıkış birimi, ölçüm, kontrol arabirimi ve 2. seviye ile iletişim
2. Seviye : Kullanıcı kontrol arabirimi, veri aktarımı ve saklanması, olayların analizi, arıza durumunda yedek birimlerin devreye sokulması 1. seviye ve 3. seviye bilgisayarlarla iletişim
3. Seviye : Kontrol olaylarının başlaması, olaylarla ilgili bilgilerin toplanması ve karşılaştırılması, 2. seviye bilgisayarlarla haberleşme, rapor hazırlanması, uyarlamalı röleleme (Adamiak, 1998).

2.8 İletim Hatlarının Korunması

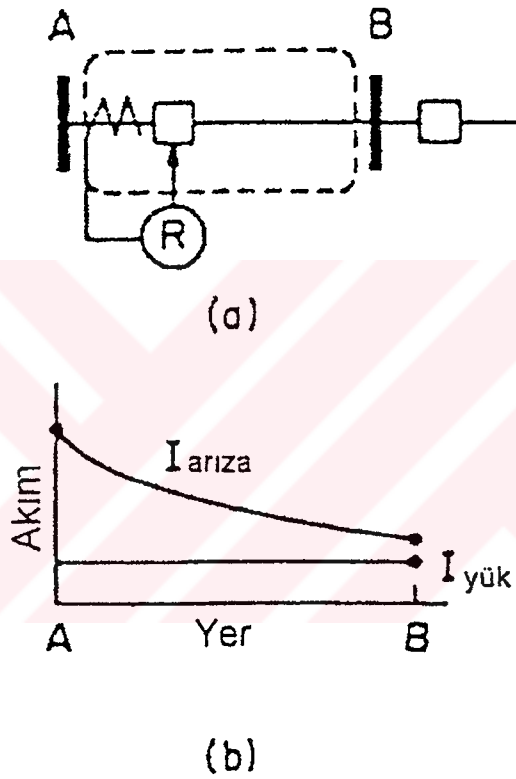
2.8.1 Aşırı Akım Röleleri

Güç sisteminde bir arıza meydana geldiğinde, arıza akımı güç sistemindeki herhangi bir elemanın ön-arıza akımı yük akımından daima daha büyüktür. Aşırı akım röleleri çok basit bir yöntemle sadece bu akımın genliğine göre çalışmaktadır. Bu röleler pratikte iletim hatları, transformatörler, generatörler veya motorlar gibi güç sistem elemanlarını korumaya yöneliktirler. Koruma bölgesi içindeki bir arıza sonucunda, arıza akımı hattın diğer tarafında en küçük değerde ve röle tarafında ise en büyük değerdedir. Güç sisteminin radyal olduğunu ve güç kaynağının Şekil 2.12 (a)'daki gibi sistemin sol tarafında olduğu kabul edilsin. Şayet koruma bölgesi içerisindeki mümkün olan en küçük arıza akımı hattın olası en büyük yük akımından daha büyükse, rölenin çalışma ilkelerini aşağıdaki gibi tanımlamak yerinde olacaktır.

$|I| \geq I_p$ koruma bölgesi içinde arıza durumu, açma işlemi

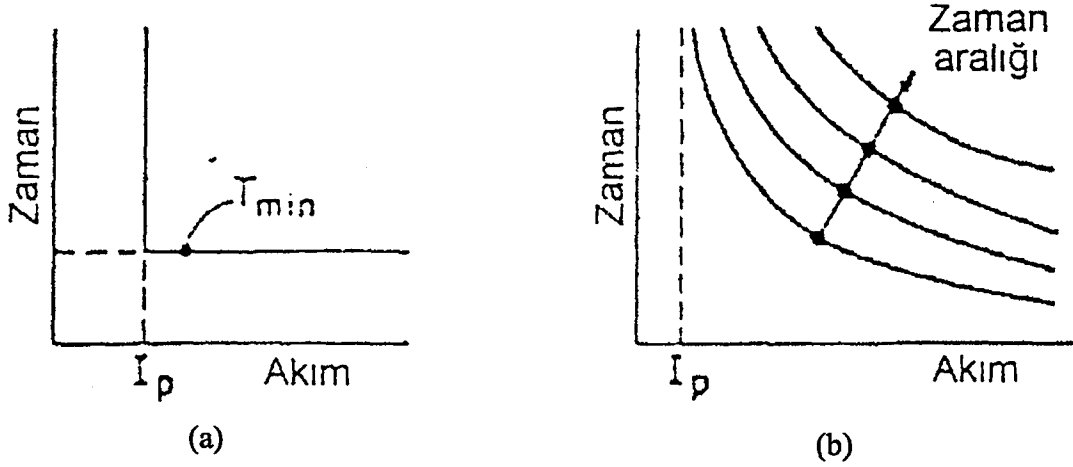
$|I| < I_p$ koruma bölgesi içinde arıza yok, açma işlemi yok

Yukarıdaki eşitlikte I akımı röle akımıdır ve I_p ise rölenin ayarlandığı akım değeridir. Unutulmamalıdır ki, akımın genliği ac sinyalin dalga şeklinden türetilir. AC sinyal, arızanın başladığı andaki genliğe bağlı olan azalan dc bileşen içermektedir. Şekil 1.4 (b) arıza yeri ile birlikte kararlı durumdaki bir ac sinyalin (simetrik arıza olarak bilinen) değişimini göstermektedir. Yukarıdaki eşitsizliklerde verilen röle karakteristiği simetrik arıza akımı sayesinde tanımlanır.



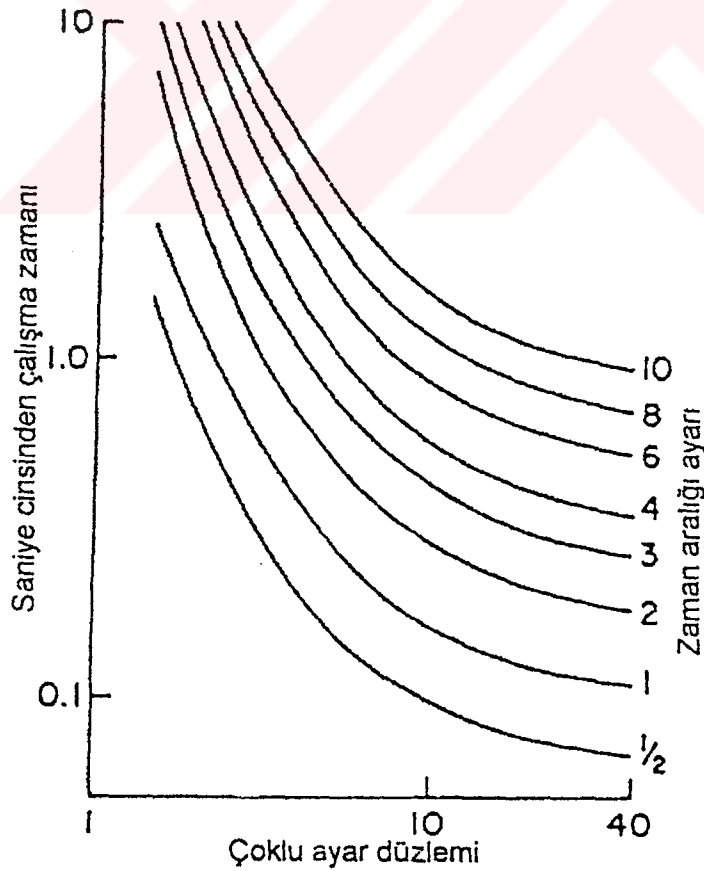
Şekil 2.12 İletim hatlarının aşırı akım koruması. (a) Radyal sistem koruma, (b) Arıza yerinin bir fonksiyonu olan arıza akımının genliği (IEEE Guide)

I_p akımının büyüklüğü rölenin ayarlandığı akım değeridir. Yukarıdaki denklem Şekil 2.13 (a)'da gösterildiği gibi ideal bir rölenin çalışma karakteristiğini vermektedir. Akımın genliği I_p akımından daha düşük olduğu sürece röle (sonsuz çalışma zamanlı) çalışmayacaktır. Şayet akımın genliği I_p akımının değerini aşarsa, röle kontaklarını kapatmak için T_{min} gibi bir zaman içerisinde çalışacaktır. Bu röle tipi ani röle olarak adlandırılır. Genellikle çalışma zamanının akımın genliğine bağlı olması istenir. Örneğin Şekil 2.13 (b)'deki gibi akım en büyük değerde ise zamanının en küçük olması gerekmektedir.



Şekil 2.13 Aşırı akım rölesinin çalışma zamanı. (a) Ani açma rölesi, (b) Zaman aşırı akım rölesi (IEEE Guide)

Bu tip bir karakteristik ters zaman karakteristiği olarak adlandırılır ve röle zaman aşırı akım rölesi olarak adlandırılır. Pratikte, I_p 'nin seçimi maksimum yük akımı ve minimum arıza akımı arasında bir değere ayarlanır.

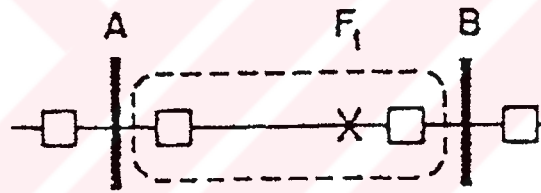


Şekil 2.14 Tipik bir ticari amaçlı zaman aşırı akım röle karakteristiği (IEEE Guide)

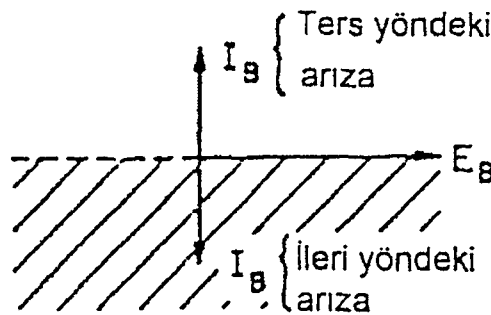
I_p ve minimum arıza akımı arasındaki 3 oranı tüm arızalar koşulunda ideal bir değer olarak kabul edilebilir. Farklı tipte ters zaman karakteristikleri mevcuttur: bunlar kendi aralarında ters zaman, uzun ters zaman ve aşırı ters zaman olarak adlandırılır. Kuşkusuz, daha kesin olmayan bir çok tanımlar vardır ve imalatçılar tarafından sağlanan gerçek röle karakteristikleri kullanılmaktadır. Dahası herhangi bir röle tipi için verilen çalışma zamanı röle üzerindeki zaman ayarı ile azaltılıp, çoğaltılabilir. Şekil 2.13 (b) de bu durum gösterilmiştir. En genel haliyle zaman ayarı (en hızlı çalışma zamanı) $1/2$ ve düşük ayar zamanı ise 10 'dur. Tipik bir zaman aşırı akım röle karakteristiği Şekil 1.6'da gösterilmiştir (IEEE Guide, 2000).

2.8.2 Yönlü Röleler

Güç sisteminin radyal (Şekil 2.12 de gösterildiği gibi hattın bir tarafında kaynak bağlı) olmadığı durumlarda aşırı akım rölesi yeterli koruma sağlayamaz. Şekil 2.15 (a) da gösterildiği gibi hattın her iki yanında generatörle beslenmiş bir koruma bölgesini ele alalım. Böyle bir durumda, generatörlerin gücüne de bağlı olarak F_1 arızası için (iletim hattı koruma bölgesi içindeki) B noktasındaki röleden geçen akım, koruma bölgesi dışındaki F_2 arızası için aynı röleden (her ne kadar ters yönde olsa bile) geçen akımdan daha küçüktür.



(a)



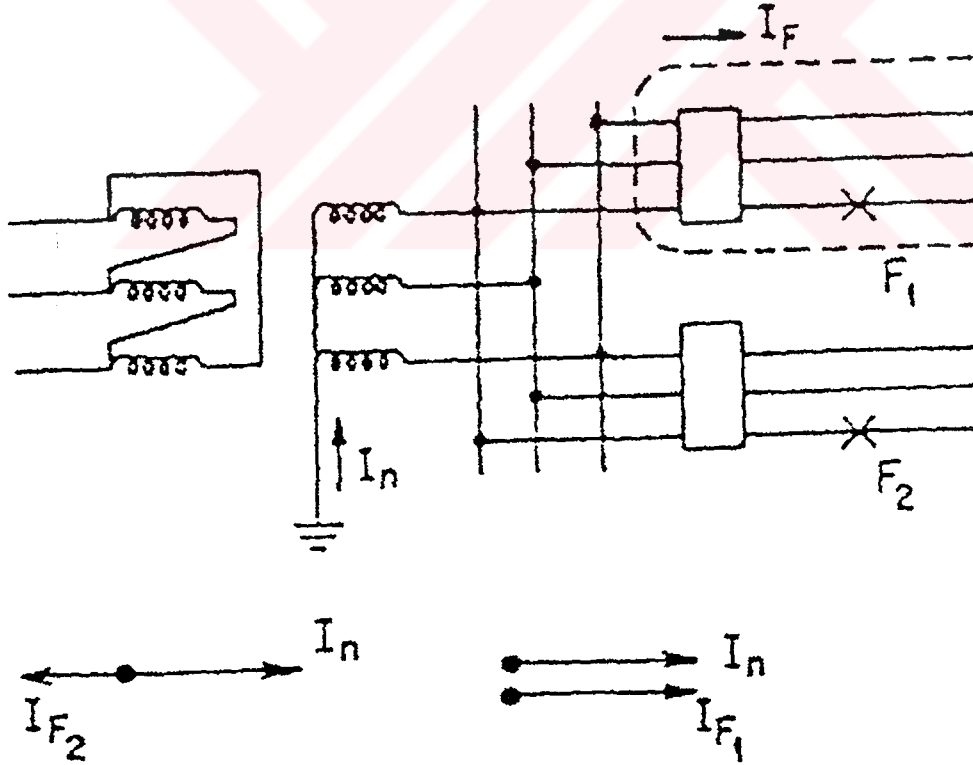
(b)

Şekil 2.15 Kapalı bir sistemde hat koruma. Hattın her iki yanındaki karşılıklı kaynaklardan hat üzerinde bir arıza durumunda akım çekilir. (a) Sistem şeması, (b) Gerilim ve akım fazörleri

Bu gibi durumlarda, F_1 noktasındaki arıza için ayarlanmış bir aşırı akım rölesi, ayrıca F_2 noktasındaki arıza için de açma sinyali gönderebilir. Bu olay röle işleyişi için kabul edilemez emniyet koşulları arasına girmektedir. Bu sorunun üstesinden B noktasında (aynı zamanda A noktasında da) yönlü röle kullanılmasıyla gelinebilir. Röle koruma bölgesi dışındaki arızalara açma sinyali göndermez ve sadece ileri yöndeki arızalara –koruma bölgesi içine doğru oluşan– açma sinyali göndermektedir. Bu yönlü röleler arıza akımının yönünü belirlemek için arıza akımı ve bazı referans büyüklükler (örneğin uygun gerilim değeri gibi) arasındaki faz açısını kullanabilir. Şekil 2.15 (b)'de arıza ve arıza akımının gerisindeki gerilim görülmektedir. Arızanın iletim hattının tamamını kapsadığı ve arıza akımının da tamamen endüktif olduğunu ve faz açısının da gerilimden 90° geride olduğu farz edilsin. Şayet referans fazör (gerilim) ve arıza akımı arasındaki açı Θ ise, o halde rölenin çalışma ilkesi aşağıdaki gibi tanımlanır :

$-\pi \leq \Theta \leq 0$, röle çalışır

$0 \leq \Theta \leq \pi$, rölenin çalışması engellenir.



Şekil 2.16 Yönlü rölenin polarizasyonu için transformatör sıfır (nötr) akımının kullanılması (IEEE Guide)

Çalışma ve engelleme bölgelerinin yukarıdaki tanıma göre bütün bölgeyi ($0 \leq \Theta \leq 2\pi$) kapsamına rağmen, gerçek bir arıza durumunda açılar ileri yöndeki arızalar için yaklaşık $-\pi/2$ ve geri yöndeki arızalar için de $+\pi/2$ olmaktadır. Bu yüzden çalışma prensibi, bölgelerin $\pm\pi/2$ aralığında tanımlanması ile oldukça seçici hale getirilebilir. Referans olarak kullanılan gerilim arıza akımı tarafından ortaya çıkan gerilim olmalıdır. Bu yüzden a fazı ile toprak arasındaki arıza için a fazı gerilimi ve akımı bu karşılaştırmada kullanılır. Yine b ve c arası arızalar için b - c fazları arasındaki b fazı akımı ve gerilimi kullanılır.

Bazen referans vektör olarak akım da kullanılabilir. Şekil 2.15 de gösterildiği gibi baraya bağlı bir transformatör ele alınsın. Koruma bölgesi içindeki (örneğin F_1 noktasında) bir toprak arızası için, transformatörün nötr akımı ve arıza akımı birbiriyle aynı fazda olacaktır. Diğer bir deyişle, F_2 noktasında bir arıza varsa, röle içinden geçen arızalı faz akımı transformatörün nötr akımı ile karşılaştırıldığında ters yönde olacaktır. Bu yüzden transformatörün nötr akımı yönlü röleler için etkili bir referans akım teşkil etmektedir. Referans akımın büyüklüğü genellikle yönlü rölelerin polarizasyon büyüklüğü olarak adlandırılır. Oto transformatörlerinde nötr akımı polarizasyon büyüklüğü olarak her zaman alınmayabilir. Bunun yerine, üçgen bağlı sargıdan (şayet varsa) akan akımı kullanmak daha yerinde olmaktadır.

Genellikle, faz arızaları için tasarlanmış koruma sistemi, toprak arızaları için tasarlanan koruma sisteminden farklıdır. Çünkü toprak arıza akımı doğrudan sistemin toprak hattına bağlıdır ve toprak arızaları sıfır bileşen akımları üretmektedir. Sıfır bileşen akımı normal işletme koşullarında çok küçüktür. Toprak arıza rölelerinin ayar değerleri faz koruma rölelerinden çok daha hassas ayarlanabilmektedir. Toprak arıza rölesi yalnızca sıfır bileşen akımına, $(I_a + I_b + I_c) / 3$ ihtiyaç gösterir (IEEE Guide, 2000).

2.8.3 Mesafe Röleleri

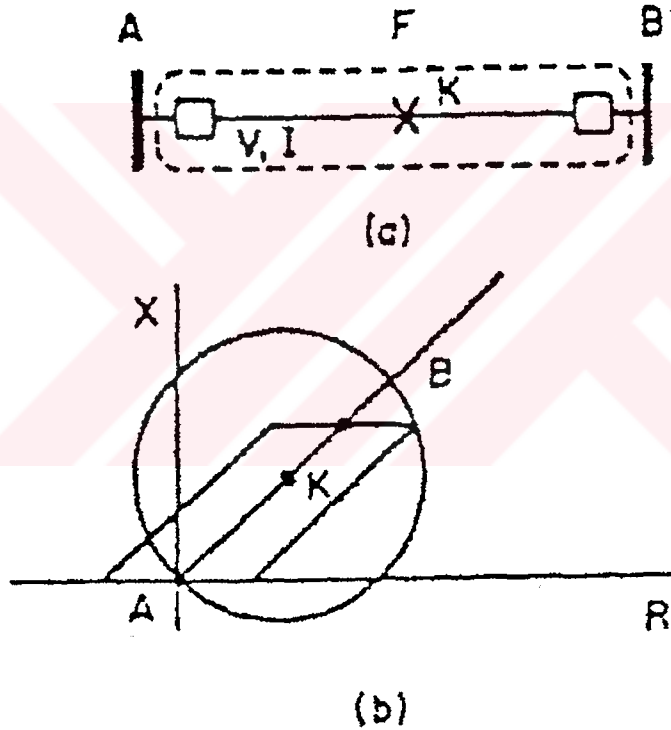
Daha önce bahsedildiği gibi, aşırı akım rölesinin ayar değeri maksimum yük akımı ile minimum arıza akımı arasında bir değere ayarlanmalıdır. Yüksek gerilimli ve çok yüksek gerilimli ağlarda bu parametreler tam olarak tanımlanamaz. Bunun yanında iki röle arasındaki mesafe de tam olarak bilinemez. Bu gibi durumlarda, mesafe röleleri her türlü koşul altında mükemmel bir koruma sağlamaktadır. Şekil 2.16 (a) daki iletim hattını ele alalım. Rölenin bulunduğu yerden k mesafesinde bir olağan dışı çalışma olsun. Şayet x ve y fazları arasında faz-faz arızası varsa, aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

$$\frac{E_x - E_y}{I_x - I_y} = kZ_1 \quad (2.14)$$

Yukarıdaki eşitlikte Z_1 tüm iletim hattının pozitif bileşen empedansıdır. Benzer şekilde, x fazında faz- toprak arızası için,

$$\frac{E_x}{I_x + mI_0} = kZ_1 \quad (2.15)$$

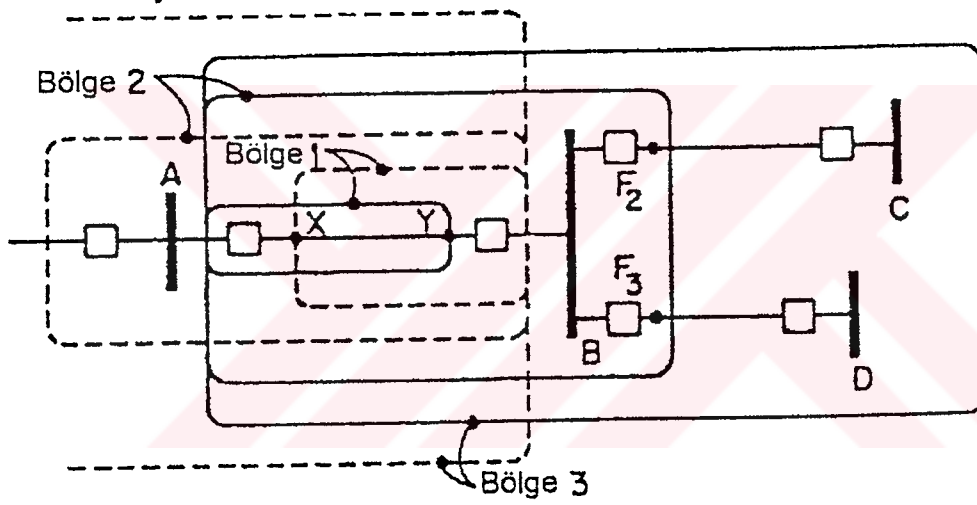
Yukarıdaki eşitlikte m değeri $(Z_0 - Z_1) / Z_1$ değerine eşittir ve Z_0 ise iletim hattının sıfır bileşen empedansıdır. Gerilim ve akım arasındaki oran iletim hattının empedansını (pozitif bileşen empedansı) ve dolayısıyla arızanın olup olmadığı simgelemektedir.



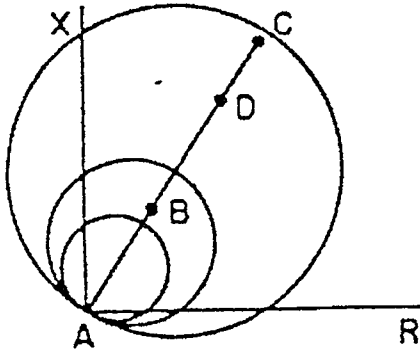
Şekil 2.16 Yüksek gerilimli iletim hatlarının mesafe koruması.(a) Koruma bölgesi içindeki arızalı hat, (b) mesafe koruma rölesi karakteristiği

Hesaplanan oran koruma bölgesi içindeki toplam pozitif bileşen empedansı ile karşılaştırılır. Şayet hesaplanan oran küçükse açma sinyali gönderilir. Unutulmamalıdır ki denklem 2.14 ve denklem 2.15'te pay ve paydadaki ifadeler kompleks yapıdadır ve dolayısıyla iki fazör arasındaki oranda kompleks sayıdır. Bu nedenle, karşılaştırma işlemi Şekil 2.16 (b) de gösterildiği gibi kompleks empedans düzleminde yapılır. İletim hattındaki arızalar için,

gerilim ve akım oranı A - B düzlemi üzerindedir. Ancak, röle üzerinde ve akım – gerilim transformatörlerindeki hatalardan dolayı, tıpkı arıza yerindeki ark direnci gibi, kompleks düzlemdeki arıza bölgesini tanımlamak gerekmektedir. R-X düzleminde koruma bölgesi tanımlamak için dairesel veya dikdörtgensel şekiller kabul edilebilir. Dairesel şekiller başlangıçta elektromekanik röleler için kullanıldı ve daha sonraları katı hal rölelerinde hatta bilgisayar destekli rölelerde de başarıyla kullanılmıştır. Şekil 2.16 (b) de gösterilen dairesel koruma bölgesi ofset empedans röleleri olarak bilinen röle sınıfına girmektedir. Dairenin merkezi orijin noktasıdır. Arıza direnci ve değişik hataları da göz önüne alarak kompleks R-X düzlemi üzerinde hassas bir koruma bölgesi seçilmelidir. A-B düzlemini çevreleyen dikdörtgensel koruma bölgesi mesafe koruma röleleri için daha uygun bir seçimdir. Bilgisayar destekli röleler de çoğunlukla bu yöntemle çalışmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 2.17 İletim hattının adım mesafe koruması. (a) Mesafe röleleriyle korunmuş iletim hatları, (b) üç koruma bölgesi (IEEE Guide)

Aşırı akım rölelerinde olduğu gibi, mesafe koruma röleleriyle yapılan tam bir koruma için üç adet faz mesafe koruma rölesi (üçgen gerilimleri ve akımları kullanan) ve üç adet de toprak arızası koruması için etkili bir koruma olduğundan (yük akımında kayda değer sıfır bileşen elemanı olmadığı için), üç adet faz mesafe koruma rölesi ve toprak aşırı akım rölesi tam bir koruma sağlamaktadır.

2.9 Pilot Koruma

Pilot koruma bütün bir iletim hattını koruma amacıyla kullanılır. Yüksek hızlı bir koruma yöntemidir. Bütün arızaların mümkün olduğu kadar kısa bir sürede ortadan kaldırılması gerekmektedir. Genel olarak iki tip pilot koruma yöntemi vardır: yönlü karşılaştırma sistemi ve faz karşılaştırma sistemi. Bu sistemler beraberinde ek birkaç sistemi de getirmektedir. Yönlü karşılaştırma sistemi hattın diğer ucundaki yedek röle (slave röle) ile haberleşmek suretiyle koruma bölgesindeki veya ters yöndeki arızaları algılamaktadır. Yön tayini yönlü mesafe koruma hesaplamasıyla aynıdır.

Faz karşılaştırma sistemi diferansiyel koruma prensibine çok yakındır. Şayet iletim hattına giren tüm akımların cebirsel toplamı sıfırdan farklı ise, hattın her iki yanındaki akımların faz açıları karşılaştırılır. Faz karşılaştırma sistemi seri kompensatörlü iletim hatlarının korunması için gayet idealdir. Faz karşılaştırma işlemi sadece akımlarla yapıldığından bu tip sistemlerde hiç bir gerilim girişine ihtiyaç yoktur. Diğer bir deyişle, yönlü karşılaştırma sistemi empedans hesaplaması söz konusu olduğu için gerilim bilgisine ihtiyaç duymaktadır (Venikov, 1982).

3. İLETİM HATLARI İÇİN EN UYGUN TEKRAR KAPAMA ZAMANININ HESAPLANMASI

İletim hatları için tekrar kapama zamanı sistem stabilitesi üzerinde önemli bir etkisi vardır. Burada, geçici enerji fonksiyonunu (TEF) temel alan en uygun kapama zamanını hesaplamasında kullanılacak yeni bir metot anlatılmıştır. En uygun kapama zamanının otomatik kapama cihazını kapamak için kullanılabileceği gösterilmiş, böylece sistem stabilitesi veya güç transferi özelliklerinin önemli ölçüde arttırılabileceği ispat edilmiştir.

Güç sistemi TEF (transient energy function)'in klasik modelleri temel aldığı düşünülmüştür ve gerçek bir sistemle yapılan (46 generatör ve 230 bara) kompleks modellerin simülasyon çalışmalarının sonucu TEF'i kullanarak yapılan en uygun tekrar kapama zamanı hesabı verimli olarak yapılabilir (Baohui vd., 2002).

3.1 Arızanın Tespiti

Bir arızanın yapısını (sürekli mi geçici mi) bilmeden o arızaya müdahale etmek bazen arızadan daha vahim sonuçlar doğurabilir. Araştırmalar sonucu, bir çok durumda üç fazlı devamlı arıza hallerinde, generatörün yüksek gerilim bağlantılarının yanlış zamanlarda kapatıldığı ortaya çıkarılmıştır. Bu kapama sonucunda generatör şaftına çok fazla yük binmekte, şaftın ve dolayısıyla generatörün ömrü azalmaktadır. Üç fazlı arızalarda genellikle arızayı ortaya çıkaran ve kapamayı engelleyen bir yöntem kullanılır. Diğer bir metot ise kritik olmayan bir noktada kapamanın gerçekleştirilmesidir. Eğer kapama başarılı ise kritik noktada kapama bloke edilmelidir, ama bu metot devamlı arızalarda kritik olmayan noktaları da etkileyebilir (Yaozhang, 1989).

Üçüncü bir metottan yani "Uygun Kapama" dan bahsedilebilir. Uygun kapamanın temel prensibi; öncelikle arızanın geçici mi yoksa devamlı mı olduğunu belirlemek ve devre kesiciye kapama emrinin verilip verilmeyeceğidir. Uygun kapama tekniğinin amacı devamlı bir arızada kapama yapılmasının engellenmesidir.

Bütün bunlara rağmen sistem stabilitesi düşünüldüğünde devamlı bir arızada kapama yapılması her zaman negatif etkiler doğurmaz. 1960'larda Kanada'da BC Hydro tarafından yapılan bir iletim sistemi için farklı stabilite kontrol çalışmaları hızlı kapatmaların daha iyi olmadığını göstermiştir. Üzerinde çalışılan iletim sistemindeki başarısız kapama işlemleri için (devamlı arızalarda) 45 döngülük kapama en iyisidir. 25 döngülük kapama ise en kötü olup sistem stabilitesini bozar. Yukarıdaki örnekte de görülebildiği üzere, devamlı arızalarda en

uygun bir tekrar kapama zamanı olabilir. Normal olarak ilk arıza generatörün hızında bir değişime yol açar; hızlanır veya yavaşlar. Hızlanma esnasında tekrar kapama yapılırsa ikinci bir hızlanma oluşur. Bu durumda sistem stabilitesi daha kötüye gider. Eğer sistem hızlanma periyodundan sonra yavaşlama periyoduna girerse ikinci arızadan dolayı oluşan hızlanma yavaşlamayı kompanze edebilir. Tek bir makine ve sonsuz baralı sistemler üzerinde yapılan çalışmalarda en uygun zamanda yapılan kapamaların, sadece sistem stabilitesini korumadığı aynı zamanda sistem osilasyonlarını da bastırdığı bulunmuştur (Djuric ve Terzija, 1995).

Uygulamada geçici bir arıza ile devamlı bir arızayı birbirinden ayırt etmek zordur. Bu yüzden bir çok kapama arızanın yapısı bilinmeden yapılır. Bazı iletim sistemlerinde maksimum iletim kapasitesi sınırlandırılarak sistem stabilitesi sağlanır. Bu, devamlı arızalarda sabit bir kapama zamanının kullanılması ile elde edilebilir. Stabil olmayan sistemlerde sistem stabilitesini sağlamak için kullanılan uygun bir kapama zamanı bile aktarılan gücün artmasına neden olabilir (Chen vd., 1999).

Bu bölümde tek makineli ve sonsuz bir baraya sahip bir sistemde geçici enerji ve sistemdeki dalgalanmalar arasındaki bağlantı incelenmektedir. Ayrıca en uygun kapamaya yönelik kriterler incelenmekte ve çok makineli sistemlere genişletilmektedir. En uygun kapama zamanına yönelik kriterler ele alınmaktadır. Sonuç olarak simülasyondan çıkan sonuçlar açıklanmakta ve tartışılmaktadır.

3.2 En Uygun Kapama Kriterleri

Tek makineli sonsuz baralı bir sistemde arızadan sonra verilen geçici enerji fonksiyonu:

$$V = \frac{1}{2} M \omega^2 - P(\delta - \delta_s) - P_e (\cos \delta - \cos \delta_s) \quad (3.1)$$

bu formülde;

M	Generatörün enerji sabiti
δ	Sonsuz bara gerilimine bağlı generatör gerilimi açısı
δ_s	Generatör gerilimi açısının stabil eşitlik noktası
$P = P_m$	Generatörün mekanik güç girişi
P_e	Generatörün elektriksel güç çıkışı.

Eğer iletim kaybı ihmal edilirse;

$$P_e = EU/X_E$$

E	Generatörün geçici reaktansının önündeki gerilim
U	Sonsuz bara gerilimi

X_Σ Generatör ve sonsuz bara arasındaki eşdeğer reaktans

Formülün ilk terimi generatörün açılı hızının değişimine karşılık gelir ve kinetik enerji olarak adlandırılır. Diğer terimler ise generatörün açısına bağlıdır. Arızadan sonra sistemin geçici enerjisi potansiyel enerji ile kinetik enerjinin toplamına eşittir. Kinetik enerji sıfır olduğunda generatör açısı eşitlik noktasından maksimum derecede saparak potansiyel enerjinin en büyük değerini almasını sağlar. Bundan dolayı potansiyel enerjinin en büyük değeri sistemin geçici enerjisine eşittir ve stabil bir süpürme açısına sahip generatörün maksimum açısına bağlıdır.

Devamlı bir arızada devre kesiciler tekrar kapandığında sistem ikinci bir arızaya maruz kalacaktır. Devre kesiciler açıldığında arıza sona erer. Başarısız kapanmalar sonucu oluşan dalgaları minimize etmek için tek makineli ve sonsuz baralı sistemlerde en uygun kapama kriteri ikinci arıza ortadan kaldırıldıktan sonra sistemin geçici enerjisini minimize etmektir.

Bu kriterler çok makineli bir sisteme uygun olacak şekilde de genişletilebilir. Çok makineli bir sistem için Lyapunov fonksiyonu:

$$V = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n M_i \varpi_i^2 - \sum_{i=1}^n P_i (\Theta_i - \Theta_{is}) - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n [C'_{ij} (\cos \Theta_{ij} - \cos \Theta_{ijs})] + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n D'_{ij} \int_{\Theta_{is} + \Theta_{js}}^{\Theta_i + \Theta_j} \cos \Theta_{ij} d(\Theta_i + \Theta_j) \quad (3.2)$$

burada;

M_i	i generatörünün enerji sabiti ;
P_i	$P_{mi} - E_i^2 G_{ii}$;
Θ_{ijs}	$\Theta_{is} - \Theta_{js}$;
Θ_{is}	i generatörünün stabil eşitlik noktası ;
P_{mi}	i generatörünün giriş mekanik gücü ;
Θ_i	$\delta_i - \delta_0$;
ϖ_i	$\omega_i - \omega_0$;
Θ_{ij}	$\Theta_i - \Theta_j$;
C'_{ij}	$E_i E_j B_{ij}$;
D'_{ij}	$E_i E_j G_{ij}$;
δ_0	$\sum_{i=1}^n (M_i / M) \delta_i$;
ω_0	$\sum_{i=1}^n (M_i / M) \omega_i$;
M	$\sum_{i=1}^n M_i$;
E_i	i generatörünün geçici reaktans önündeki gerilimi ;
G_{ii}	ağın Y matrisinin i 'inci çapraz elemanının reel kısmı ;

G_{ij}, B_{ij} ağın Y matrisinin ij 'inci reel ve imajiner kısımları ;

Y Matrisi Devre kesicinin tekrar çalışmasından sonra oluşan admitans matrisi

İki başarısız tekrar kapamaya ait geçici enerjinin $[V(t_1 + \Delta t), V(t_n + \Delta t)]$ (Δt devre kesicinin tekrar açma zamanına ait bir sabittir) iki adet zaman sınırı içinde (t_1, t_n) olduğunu kabul edelim. Eğer t_r (t_1, t_n) aralığında bir tekrar kapama sabiti ise ($t_r + \Delta t$) devre kesicinin tekrar çalışmasına ait bir sabittir ve $V(t_r + \Delta t)$ başarısız bir tekrar kapamaya ait geçici enerjidir. t_r koşulunda $V(t_r + \Delta t)$ en uygun tekrar kapama sabiti haline gelerek $[V(t_1 + \Delta t), V(t_n + \Delta t)]$ aralığında en düşük değerini alır. Normal olarak arıza ortadan kaldırıldıktan sonraki ilk seferde $t_1 = 0.5$ s ve $t_n = 2.0$ s'dir.

Başarısız bir kapamadan sonraki devre kesicinin tekrar çalışmasında Θ'_{is} 'i stabil eşitlik noktası olarak kabul edelim. P'_i ve C'_{ij} devre kesicinin tekrar çalışmasından sonraki generatörler arasındaki karşılıklı admitans ve generatörlerin kendi admitanslarıdır. Ardından $V(t_{rc})$ ($t_{rc} = t_r + \Delta t$) aşağıdaki şekilde hesaplanabilir :

$$V(t_{rc}) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n M_i \omega_{itrc}^2 - \sum_{i=1}^n P'_i (\Theta_{itrc} - \Theta'_{is}) - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n [C'_{ij} (\cos \Theta_{ijtrc} - \cos \Theta_{ijs})] \\ + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n D'_{ij} \int_{\Theta'_{is} + \Theta'_{js}}^{\Theta_{itrc} + \Theta_{jtrc}} \cos \Theta_{ij} d(\Theta_i + \Theta_j) \quad (3.3)$$

Yukarıdaki formülde son integral ilk arıza ile devre kesicinin tekrar çalışması arasında geçen zaman diliminde sistemin durum değişkenlerine bağlıdır ve aşağıdaki gibi basitleştirilebilir :

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n D'_{ij} \int_{\Theta'_{is} + \Theta'_{js}}^{\Theta_{i+} + \Theta_j} \cos \Theta_{ij} d(\Theta_i + \Theta_j) = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n I_{ij} \quad (3.4)$$

Hesaplama için ilk arıza ile devre kesicinin tekrar çalışması arasında geçen zaman diliminde sistem durum değişkenlerinin gidişatı bilinmektedir ve sayısal bir entegrasyon için (3.3) ve (3.4)'te kullanılabilir.

m'inci basamak için :

$$I_{ij}(m) = I_{ij}(m-1) + \frac{1}{2} D'_{ij} [\cos(\Theta_i(m) - \Theta_j(m)) + \cos(\Theta_i(m-1) - \Theta_j(m-1))] \times [(\Theta_i(m) + \Theta_j(m)) - (\Theta_i(m-1) + \Theta_j(m-1))] \quad (3.5)$$

ve

$$I_{ij}(0) = 0 \quad (3.6)$$

En uygun tekrar kapama zamanı (3.3)'teki V_{trc} zamanının $[V(t_1 + \Delta t), V(t_n + \Delta t)]$ aralığında aldığı en küçük değerdir. Gerçi çeşitli optimizasyon tekniklerini kullanarak en uygun tekrar kapama zamanının tespit etmek zordur, fakat burada basit bir hesaplama yöntemi anlatılmaktadır.

3.3 En Uygun Kapama Zamanının Hesabı

Daha önce tartışılan potansiyel ve kinetik enerjiyi göz önüne alarak, sistemin ikinci kez kapanmasındaki geçici enerji arızanın ortadan kaldırıldığı andaki geçici enerjiye eşittir. Potansiyel enerji, arızanın başladığı andan, arızanın ortadan kaldırıldığı kinetik enerjinin açısız hıza bağlı olarak hesaplandığı ana kadar, hesaplanmalıdır. Potansiyel ve kinetik enerjini toplamı geçici enerjiyi verir. $[t_1, t_n]$ aralığında her muhtemel t tekrar kapama değeri için uygun durum değişkenleri $\Theta(t + \Delta t)$, $(\Theta(t + \Delta t) = [\Theta_1(t + \Delta t), \Theta_2(t + \Delta t), \dots, \Theta_n(t + \Delta t)]^T)$, $\Omega(t + \Delta t)$ ($\Omega(t + \Delta t) = [\phi_1(t + \Delta t), \phi_2(t + \Delta t), \dots, \phi_n(t + \Delta t)]^T$) ve arızanın temizlenmesinden sonraki t anındaki $V(t + \Delta t)$ geçici enerjisi hesaplanabilir. En uygun kapama kriterlerine bağlı olarak, minimum geçici enerjiye sahip olunan an en uygun kapama zamanıdır. Hesaplama basamakları şu şekildedir :

- 1) Arıza öncesi, güç sisteminin yük akışı hesaplanır.
- 2) Arıza esnasındaki şartlar ve operasyon sırası belirlenir. Bunlar; arıza tipi, arızanın temizlenmesi koşulları, üç fazlı veya tek fazlı kapama ve devamlı bir arızadan sonra devre kesicilerin açıldığı sistemin konfigürasyonudur.
- 3) Devre kesiciler açıldıktan sonra stabil eşitlik noktası hesaplanır ve basitleştirilmiş sistem admitans matrisi oluşturulur.(yalnızca generatör uçlarında)
- 4) Kapama zamanı sınırı olarak t_1 ve t_n ayarlanır, burada t_1 minimum kapama zamanı (ark söndürmeden, arıza yolunun deionizasyonundan ve devre kesicilerin

korunmasından dolayı) ve t_n maksimum kapama zamanıdır.

- 5) Devamlı bir arıza esnasında t_i 'nin en uygun kapama zamanı olduğu farz edilir. ($i=1,2,...,n$) ve Δt kapama ile açma arasındaki sabit bir periyottur. $t_i + \Delta t$ zamanına eşit sistem dinamiklerini kullanarak sayısal entegrasyonları hesaplanır. $\Theta(t_i + \Delta t)$ ve $\Omega(t_i + \Delta t)$ durum değişkenleri elde edilir. Ardından $V(t_i + \Delta t)$ sistem geçici enerjisi hesaplanır ve kaydedilir.
- 6) t_i , b_i kadar arttırılır (b_i integralin basamak uzunluğudur) ve $t_i=t_n$ olana kadar 5. basamak tekrar edilir.
- 7) Kaydedilen geçici enerjini minimum miktarı aranır. Minimum geçici enerjinin elde edildiği zaman en uygun tekrar kapama zamanıdır. (t_r)

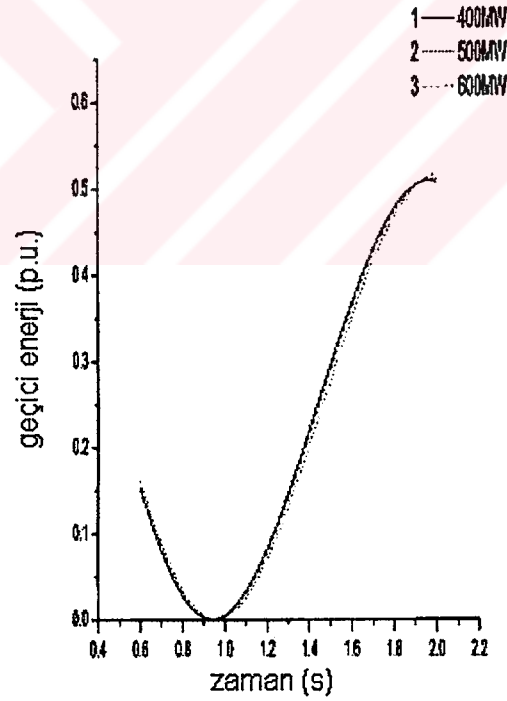
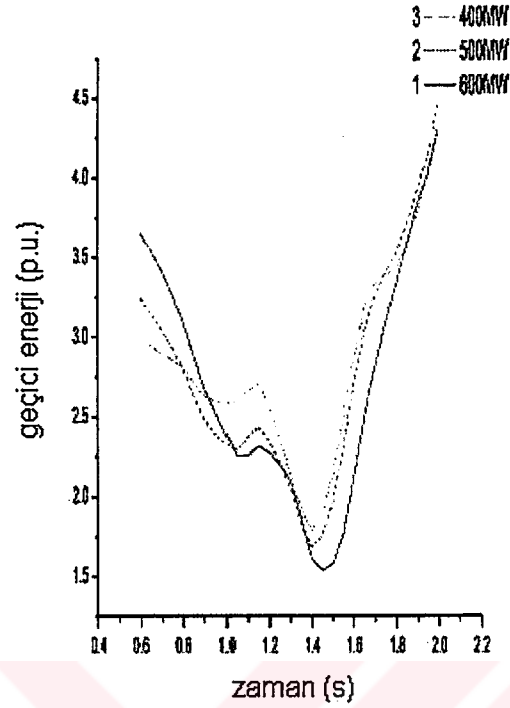


Şekil 3.1 Northwest ağı konfigürasyonu

3.4 Simülasyon Çalışmaları

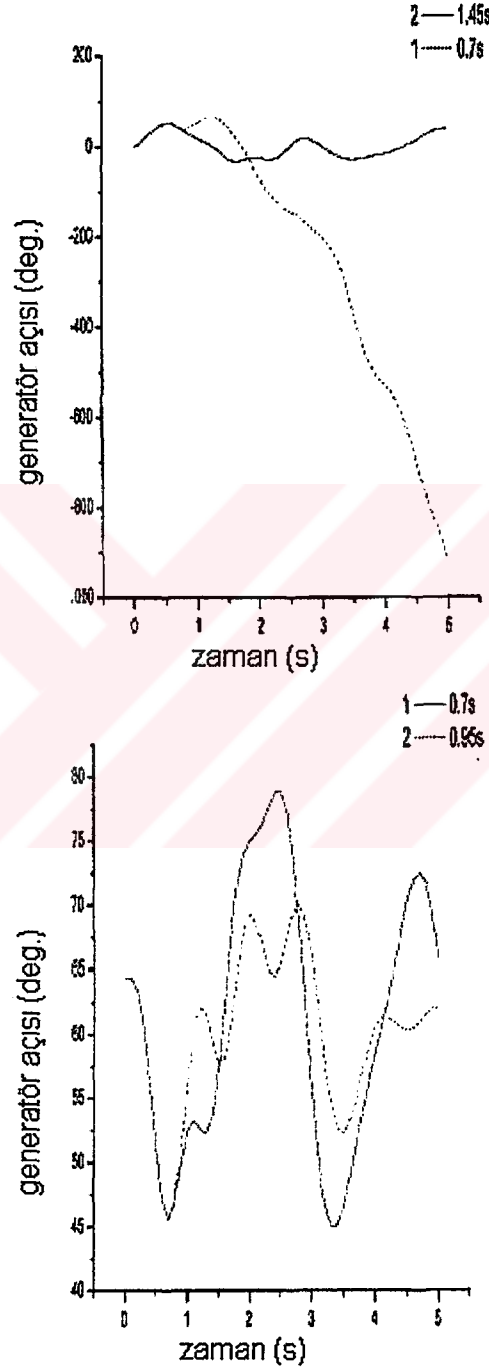
Çindeki Northwest iletim ağı 46 generatör ve 230 baraya sahiptir. Bu ağ simülasyon ile incelenmiştir. Şekil 3.1'de 233 km.lik uzunluğa sahip iki adet 330 kV'luk iletim hattı ile bağlı Ankong güç merkezi ve Guanzhong ağı görülmektedir. Simülasyon çalışmalarında üç fazlı devamlı bir arızada üç fazlı kapanmaya ait en uygun kapama zamanı ve devamlı tek faz-toprak arızasında tek fazlı tekrar kapamaya ait en uygun kapama zamanı sırayla hesaplanır. Arızanın yeri Guanzhong'un yakınında çift hatlı devrenin birisinin üzerindedir. Devre kesicilerin arıza temizleme süresi 0,115 s'dir. 3.2 (a) ve (b) şekilleri sistemin Ankang'tan Guanzhong'a kadar farklı seviyelerdeki güç çıkışında kapama zamanına karşılık, sırayla üç fazlı ve tek fazlı kapama geçici enerjilerini göstermektedir. Sistem stabilitesini arttırmak için en uygun kapama zamanları en büyük güç akış seviyesinden seçilmelidir. (600MW) Kolaylıkla görülebilir ki 600 MW'lık güç akışında geçici enerji minimum değerine üç fazlı arıza durumunda 1,45 s'de, tek fazlı arızada 0,95 s'de ulaşır. Bundan dolayı en uygun

kapama zamanı sırasıyla 1,45 s ve 0,95 s olarak seçilebilir.



Şekil 3.2 (a) Üç fazlı devamlı bir arızadan sonra üç fazlı tekrar kapama. (b) Devamlı tek faz-toprak arızasından sonra tek fazlı kapama (Computation of Optimal Reclosing Time for Transmission Lines, 2002)

Şekil 3.3(a) ve 3(b) sırasıyla üç fazlı ve tek fazlı kapama durumlarında Guanzhong üretim tesisi ve batı ağı arasındaki açısız osilasyon eğrilerini göstermektedirler. Şekil 3.4(a) ve 3.4(b) Ankong santrali ve Guanzhong şebekesinin üretim birimlerine ait açısız osilasyon eğrilerini göstermektedir.



Şekil 3.3 Batı ve Guanzhong arasındaki generatör açı eğrileri (600 MW) (Computation of Optimal Reclosing Time for Transmission Lines, 2002)

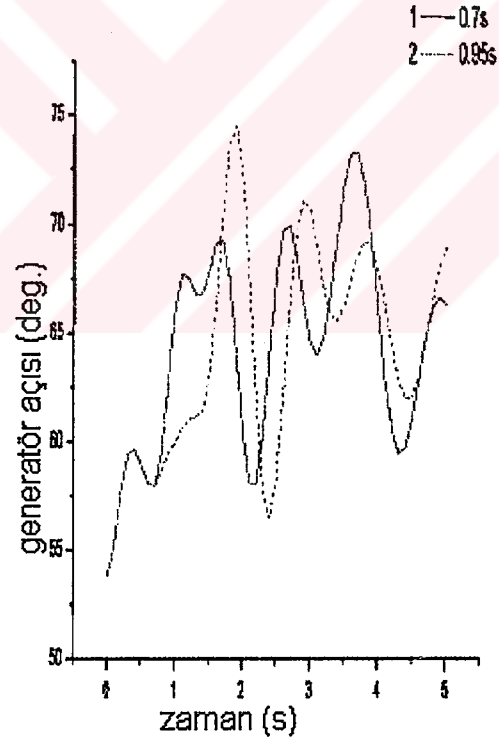
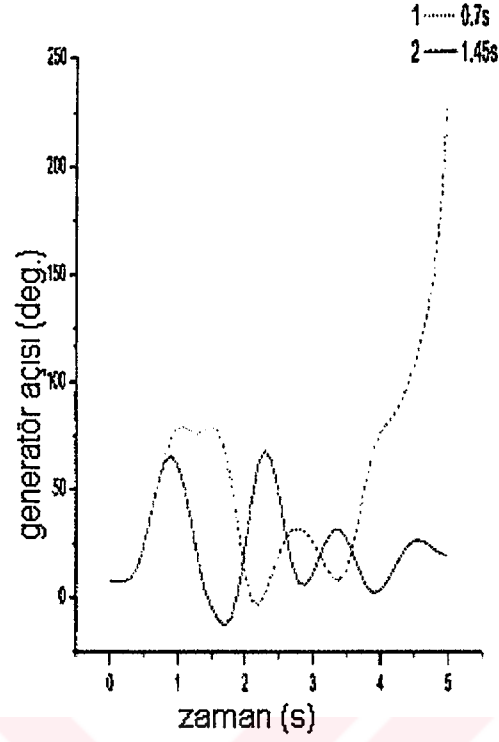
Arıza öncesinde Ankong'tan Guanzhong'a güç akışı 600 MW'tir. Birinci eğrideki kapama zamanı 1,45 s, tek fazlı kapama için 0,95 s'dir. Şekil 3.3(a) ve şekil 3.4(a) 'da devamlı bir arızada 0,7 s'de yapılan kapamalar sistem kararlılığını korumaktadır.

Geleneksel kapama ayarlarına sahip bir sistem için, devamlı bir arızanın ortadan kaldırılmasından hemen sonraki durumlarda sistem stabilitesini korumak için bazen güç iletim kapasitesi sınırlandırılır. Bu durumda hedeflenen en uygun kapama zamanı ayarı, sistemin iletim kapasitesini arttırabilir. Şekil 3.5 ve 3.6, 445 MW'lık güç akışında meydana gelen 3 fazlı arızada açılmal dalgalanmaları göstermektedir. 1 s eğrisi (kritik stabil durum) 0,7 s'lik kapama zamanını gösterir, 2 s eğrisi ise 1,45 s'lik kapama zamanını gösterir. Açıkça, uygulamada olduğu gibi kapama zamanı 0,7s'e ayarlandığında, üç fazlı devamlı arıza ortadan kaldırıldığında sistem kararlılığını korumak için çift devreli hattın kapasitesi 445 MW'ın altındaki bir değere ayarlanır. Eğer kapama zamanı 1,45 s'ye ayarlanırsa iletim kapasitesinin limiti 445 MW'tan 600 MW'a yükseltilebilir. Kolaylıkla görülebilir ki şekil 3.3(a) ve 3.4(a) (600 MW) daki 2 s eğrisinde generatör dönme açıları şekil 5 ve 6 daki (445 MW) 1 s eğrisinden daha küçüktür.

İşaret etmeye değer ki burada ifade edilen en uygun kapama zamanı klasik bir modelden elde edilmiştir. Simülasyon çalışmaları karmaşık bir sistem modeline taşınmış ve amaçlanan tekniğin verimliliği gösterilmiştir.

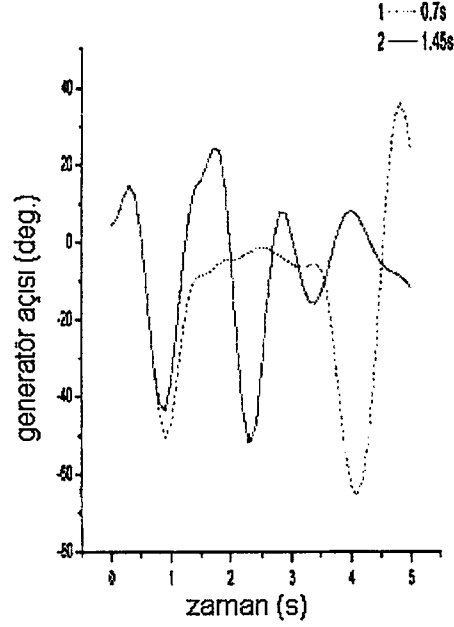
3.5 En Uygun Kapama Zamanının Pratik Uygulaması

Henüz devamlı bir arızada tekrar kapamanın engellenmesi için bir pratik metot yoktur, amaçlanan en uygun kapama zamanı yalnızca sistemin kararlılığını arttırır. Açıkçası en uygun kapama zamanı sistemin işletme koşullarına bağlıdır. Normal olarak kapama zamanı, sistemin işletme koşullarındaki farklılıkları takip ederek değiştirilemez. Çoğunlukla sabit bir kapama zamanı kullanılır. Geleneksel dinamik simülasyonlar oldukça zaman alır. Buna rağmen bu çalışmada amaçlanan metot kullanılarak minimum geçici enerji aranıp ve buradan en uygun kapama zamanı elde edilir. Örneklerdeki en uygun kapama zamanı TEF metodu kullanılarak elde edilmiştir. Geleneksel dinamik simülasyonlar sistem simülasyonu için kullanılmıştır. Geliştirilmiş simülasyon çalışmaları göstermiştir ki verilen sistem konfigürasyonu için sistem koşullarının değişimi en uygun kapama zamanının farklı değerleri için önemsizdir. Şekil 3.2'de gösterilebilir ki sistem koşulları değişse de en uygun kapama zamanları çok az değişim gösterir. 500 ve 400 MW güç akışı seviyelerinde üç fazlı kapama için 1,45 s yeterli bir kapama zamanıdır.



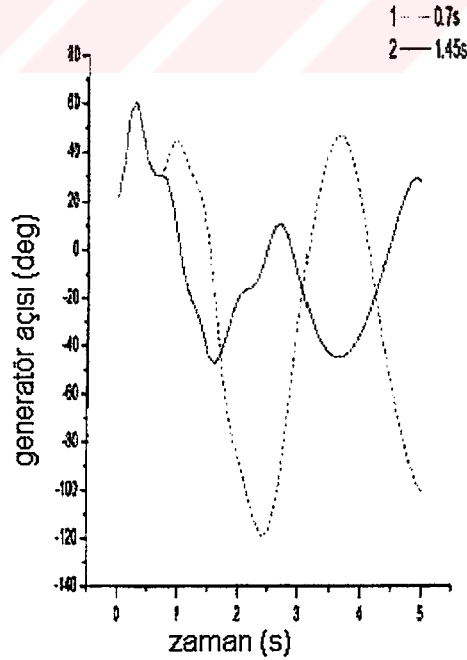
Şekil 3.4 Ankang ve Guanzhong arasındaki generatör aç eğrileri (600 MW) (Computation of Optimal Reclosing Time for Transmission Lines, 2002)

Uygulamada bundan dolayı, sistem maksimum yük akışında iken sistem stabilitesini korumak için üç fazlı veya tek fazlı en uygun kapama zamanı hesaplanmalıdır.



Şekil 3.5 Batı ve Guanzhong (445 MW) arasındaki generatör açısı eğrileri (Computation of Optimal Reclosing Time for Transmission Lines, 2002)

İşletme parametrelerinin değişiminde (yük akışı ve gerilimi) hesaplamalar sonucu elde edilen kapama değerleri optimal veya optimal değer altında sonuçlar verebilir. Unutulmamalıdır ki tekrar kapama değerleri, sistem değişimlerinde tekrar hesaplanmalıdır (Baohui vd., 2002).

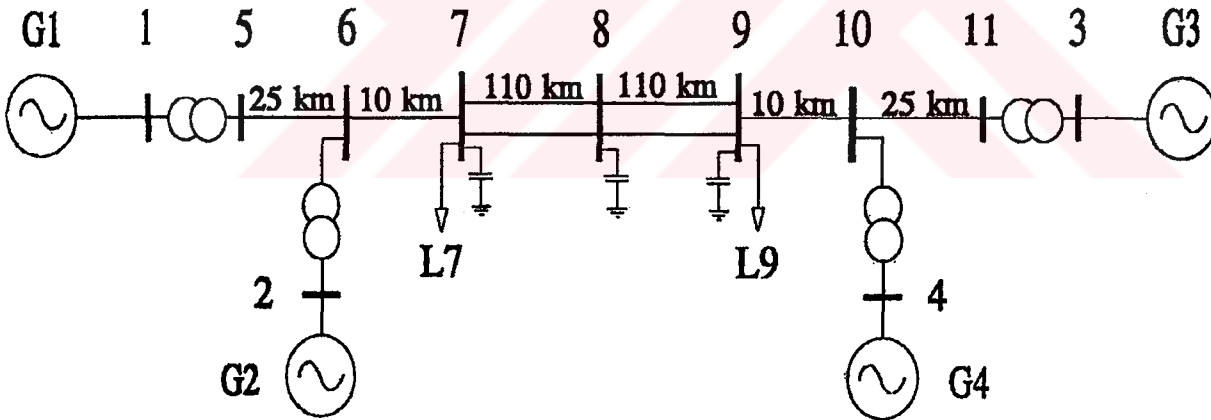


Şekil 3.6 Ankang ve Guanzhong (445 MW) arasındaki generatör açısı eğrileri (Computation of Optimal Reclosing Time for Transmission Lines, 2002)

4. ONBİR BARALI 2800 MW GÜCÜNE SAHİP ÖRNEK BİR TEST SİSTEMİ İÇİN EN UYGUN KAPAMA ZAMANININ BULUNMASI

4.1 Modelin Yapısı

Bu bölümde 2800 MW gücüne sahip Prapha Kundur tarafından yük akışı hesaplarında kullanılan sistem ele alınmış ve tek faz – toprak arızası için sistemin stabilitesi bozulmadan kullanılabilecek en uygun tekrar kapama zamanı bulunmuştur. Sistem 700'er MW gücüne sahip 4 generatörden ve yine 4 adet 20/230 kV yıldız – üçgen bağlı transformatörden oluşmuştur. Modelin çalışabilmesi için tüm generatörlere mekanik güç girişi yapılmış ve trafolar ile generatörlerin seri bağlı olmasından dolayı çıkabilecek problemleri engellemek için generatörlerin hemen çıkışına yıldız noktası topraklanmış 100'er MW gücünde yük bağlanmıştır. Generatörün dördüncü çıkışı olan simulink ölçüm çıkışına bağlanan basitleştirilmiş senkron makine ölçümleri yapabilen bir blok eklenmiş ve bloğa bağlanan scope sayesinde hat akımları, yük açısı ve P_e elektriksel güç ölçülerek sistemin stabilizasyonu incelenmiştir. Sistem 60 Hz frekansında çalışmaktadır.



Şekil 4.1 Analizlerde kullanılan örnek sistem (Simpow User Manual)

İletim hattı modeli olarak orta ve kısa uzunluklarda 10 km'lik iki adet, 25 km'lik iki adet ve 110 km'lik dört adet iletim hattı kullanılmıştır. Bu modelde çok uzun iletim hatları özel çözümlere veya farklı modelleme elemanlarına ihtiyaç duyulabileceği için özellikle tercih edilmemiştir. 7 ve 8. baralara 200 MVA ve 9. baraya ise 350 MVA gücüne sahip şönt yükler bağlanarak kompanzasyon yapılmıştır. 7. barada 967 MW gücünde 9. barada ise 1767 MW'lık iki yük bağlıdır. Sistem kararlı halde iken çeşitli noktalardan alınmış değerler aşağıda

verilmiştir :

Uc_Shunt 7/RLC 1	=	1.381e+005 Vrms	0.76°
Uc_Shunt 7/RLC 2	=	1.381e+005 Vrms	-119.24°
Uc_Shunt 7/RLC 3	=	1.381e+005 Vrms	120.76°
Uc_Shunt 8/RLC 1	=	1.441e+005 Vrms	-1.76°
Uc_Shunt 8/RLC 2	=	1.441e+005 Vrms	-121.76°
Uc_Shunt 8/RLC 3	=	1.441e+005 Vrms	118.24°
Uc_Shunt 9/RLC 1	=	1.376e+005 Vrms	-4.29°
Uc_Shunt 9/RLC 2	=	1.376e+005 Vrms	-124.29°
Uc_Shunt 9/RLC 3	=	1.376e+005 Vrms	115.71°
II_Yük 7/RLC 1	=	2539 A rms	-5.14°
II_Yük 7/RLC 2	=	2539 A rms	-125.14°
II_Yük 7/RLC 3	=	2539 A rms	114.86°
II_Yük 9/RLC 1	=	4603 A rms	-7.53°
II_Yük 9/RLC 2	=	4603 A rms	-127.53°
II_Yük 9/RLC 3	=	4603 A rms	112.47°
II_Trafo 1 20 // 230 kV	=	9756 A rms	9.90°
II_Trafo 1 20 // 230 kV	=	1465 A rms	-169.92°
II_Trafo 1 20 // 230 kV	=	30.75 A rms	-77.33°
II_Trafo 1 20 // 230 kV	=	9756 A rms	-110.10°
II_Trafo 1 20 // 230 kV	=	1465 A rms	70.08°
II_Trafo 1 20 // 230 kV	=	30.75 A rms	162.67°
II_Trafo 1 20 // 230 kV	=	9756 A rms	129.90°
II_Trafo 1 20 // 230 kV	=	1465 A rms	-49.92°

Il_Trafo 1 20 // 230 kV = 30.75 A rms 42.67°
 Il_Trafo 2 20 // 230 kV1 = 9981 A rms 17.90°
 Il_Trafo 2 20 // 230 kV1 = 1500 A rms -161.89°
 Il_Trafo 2 20 // 230 kV1 = 30.5 A rms -82.35°
 Il_Trafo 2 20 // 230 kV1 = 9981 A rms -102.10°
 Il_Trafo 2 20 // 230 kV1 = 1500 A rms 78.11°
 Il_Trafo 2 20 // 230 kV1 = 30.5 A rms 157.65°
 Il_Trafo 2 20 // 230 kV1 = 9981 A rms 137.90°
 Il_Trafo 2 20 // 230 kV1 = 1500 A rms -41.89°
 Il_Trafo 2 20 // 230 kV1 = 30.5 A rms 37.65°
 Il_Trafo 3 230 // 20 kV = 1.924e+004 A rms 10.99°
 Il_Trafo 3 230 // 20 kV = 2892 A rms -168.93°
 Il_Trafo 3 230 // 20 kV = 30.32 A rms -72.46°
 Il_Trafo 3 230 // 20 kV = 1.924e+004 A rms -109.01°
 Il_Trafo 3 230 // 20 kV = 2892 A rms 71.07°
 Il_Trafo 3 230 // 20 kV = 30.32 A rms 167.54°
 Il_Trafo 3 230 // 20 kV = 1.924e+004 A rms 130.99°
 Il_Trafo 3 230 // 20 kV = 2892 A rms -48.93°
 Il_Trafo 3 230 // 20 kV = 30.32 A rms 47.54°
 Il_Trafo 4 20 // 230 kV = 9903 A rms 8.61°
 Il_Trafo 4 20 // 230 kV = 1487 A rms -171.21°
 Il_Trafo 4 20 // 230 kV = 30.33 A rms -85.41°
 Il_Trafo 4 20 // 230 kV = 9903 A rms -111.39°
 Il_Trafo 4 20 // 230 kV = 1487 A rms 68.79°

Il_Trafo 4 20 // 230 kV	=	30.33 A rms	154.59°
Il_Trafo 4 20 // 230 kV	=	9903 A rms	128.61°
Il_Trafo 4 20 // 230 kV	=	1487 A rms	-51.21°
Il_Trafo 4 20 // 230 kV	=	30.33 A rms	34.59°
3 Faz V I Ölçümü/Va	=	1.441e+005 V rms	-1.76°
3 Faz V I Ölçümü/Vb	=	1.441e+005 V rms	-121.76°
3 Faz V I Ölçümü/Vc	=	1.441e+005 V rms	118.24°
Arc Model/Iarc	=	2.463e-012 A rms	-48.02°
IaF	=	2.463e-012 A rms	-48.02°
3 Faz V I Ölçümü/Ia	=	222.3 A rms	-42.07°
3 Faz V I Ölçümü/Ib	=	222.3 A rms	-162.07°
3 Faz V I Ölçümü/Ic	=	222.3 A rms	77.93°
U_ 1. Kesici/Breaker A	=	0.2223 V rms	-42.07°
U_ 1. Kesici/Breaker B	=	0.2223 V rms	-162.07°
U_ 1. Kesici/Breaker C	=	0.2223 V rms	77.93°
U_2. Kesici/Breaker A	=	0.2785 V rms	-54.70°
U_2. Kesici/Breaker B	=	0.2785 V rms	-174.70°
U_2. Kesici/Breaker C	=	0.2785 V rms	65.30°
U_Ark Modeli	=	1.441e+005 V rms	-1.76°
U_1. Generatör_AB	=	2.06e+004 V rms	15.55°
U_1. Generatör_BC	=	2.06e+004 V rms	-104.45°
U_2. Generatör_AB	=	2.02e+004 V rms	10.64°
U_2. Generatör_BC	=	2.02e+004 V rms	-109.36°
U_3. Generatör_AB	=	2.06e+004 V rms	23.20°

U_3. Generatör_BC = 2.06e+004 V rms -96.80°
 U_4. Generatör_AB = 2.02e+004 V rms 7.58°
 U_4. Generatör_BC = 2.02e+004 V rms -112.42°
 U_10 km_in_phase1 = 1.363e+005 V rms 4.72°
 U_10 km_in_phase2 = 1.363e+005 V rms -115.28°
 U_10 km_in_phase3 = 1.363e+005 V rms 124.72°
 U_10 km_out_phase1 = 1.381e+005 V rms 0.76°
 U_10 km_out_phase2 = 1.381e+005 V rms -119.24°
 U_10 km_out_phase3 = 1.381e+005 V rms 120.76°
 U_10 km 2_in_phase1 = 1.376e+005 V rms -4.29°
 U_10 km 2_in_phase2 = 1.376e+005 V rms -124.29°
 U_10 km 2_in_phase3 = 1.376e+005 V rms 115.71°
 U_10 km 2_out_phase1 = 1.348e+005 V rms 1.62°
 U_10 km 2_out_phase2 = 1.348e+005 V rms -118.38°
 U_10 km 2_out_phase3 = 1.348e+005 V rms 121.62°
 U_110 km 1_in_phase1 = 1.381e+005 V rms 0.76°
 U_110 km 1_in_phase2 = 1.381e+005 V rms -119.24°
 U_110 km 1_in_phase3 = 1.381e+005 V rms 120.76°
 U_110 km 1_out_phase1 = 1.441e+005 V rms -1.76°
 U_110 km 1_out_phase2 = 1.441e+005 V rms -121.76°
 U_110 km 1_out_phase3 = 1.441e+005 V rms 118.24°
 U_110 km 2_in_phase1 = 1.381e+005 V rms 0.76°
 U_110 km 2_in_phase2 = 1.381e+005 V rms -119.24°
 U_110 km 2_in_phase3 = 1.381e+005 V rms 120.76°

U_110 km 2_out_phase1 = 1.441e+005 V rms -1.76°
 U_110 km 2_out_phase2 = 1.441e+005 V rms -121.76°
 U_110 km 2_out_phase3 = 1.441e+005 V rms 118.24°
 U_110 km 3_in_phase1 = 1.441e+005 V rms -1.76°
 U_110 km 3_in_phase2 = 1.441e+005 V rms -121.76°
 U_110 km 3_in_phase3 = 1.441e+005 V rms 118.24°
 U_110 km 3_out_phase1 = 1.376e+005 V rms -4.29°
 U_110 km 3_out_phase2 = 1.376e+005 V rms -124.29°
 U_110 km 3_out_phase3 = 1.376e+005 V rms 115.71°
 U_110 km 4_in_phase1 = 1.441e+005 V rms -1.76°
 U_110 km 4_in_phase2 = 1.441e+005 V rms -121.76°
 U_110 km 4_in_phase3 = 1.441e+005 V rms 118.24°
 U_110 km 4_out_phase1 = 1.376e+005 V rms -4.29°
 U_110 km 4_out_phase2 = 1.376e+005 V rms -124.29°
 U_110 km 4_out_phase3 = 1.376e+005 V rms 115.71°
 U_25 km_in_phase1 = 1.358e+005 V rms 9.77°
 U_25 km_in_phase2 = 1.358e+005 V rms -110.23°
 U_25 km_in_phase3 = 1.358e+005 V rms 129.77°
 U_25 km_out_phase1 = 1.363e+005 V rms 4.72°
 U_25 km_out_phase2 = 1.363e+005 V rms -115.28°
 U_25 km_out_phase3 = 1.363e+005 V rms 124.72°
 U_25 km 2_in_phase1 = 1.33e+005 V rms 11.72°
 U_25 km 2_in_phase2 = 1.33e+005 V rms -108.28°
 U_25 km 2_in_phase3 = 1.33e+005 V rms 131.72°

U_25 km 2_out_phase1	=	1.348e+005 V rms	1.62°
U_25 km 2_out_phase2	=	1.348e+005 V rms	-118.38°
U_25 km 2_out_phase3	=	1.348e+005 V rms	121.62°
I_1. Kesici/Breaker A	=	222.3 A rms	-42.07°
I_1. Kesici/Breaker B	=	222.3 A rms	-162.07°
I_1. Kesici/Breaker C	=	222.3 A rms	77.93°
I_2. Kesici/Breaker A	=	278.5 A rms	-54.70°
I_2. Kesici/Breaker B	=	278.5 A rms	-174.70°
I_2. Kesici/Breaker C	=	278.5 A rms	65.30°
I_1. Generatör_AB	=	1.969e+004 A rms	-19.29°
I_1. Generatör_BC	=	1.969e+004 A rms	-139.29°
I_2. Generatör_AB	=	2.013e+004 A rms	-13.13°
I_2. Generatör_BC	=	2.013e+004 A rms	-133.13°
I_3. Generatör_AB	=	3.606e+004 A rms	-18.07°
I_3. Generatör_BC	=	3.606e+004 A rms	-138.07°
I_4. Generatör_AB	=	2.001e+004 A rms	-21.54°
I_4. Generatör_BC	=	2.001e+004 A rms	-141.54°

Değişkenlerin başlangıç değerleri :

Uc_Shunt 7/RLC 1	=	2595 V
Uc_Shunt 7/RLC 2	=	-1.705e+005 V
Uc_Shunt 7/RLC 3	=	1.679e+005 V
Uc_Shunt 8/RLC 1	=	-6265 V
Uc_Shunt 8/RLC 2	=	-1.732e+005 V
Uc_Shunt 8/RLC 3	=	1.795e+005 V

Uc_Shunt 9/RLC 1 = -1.457e+004 V
 Uc_Shunt 9/RLC 2 = -1.608e+005 V
 Uc_Shunt 9/RLC 3 = 1.753e+005 V
 Il_Yük 7/RLC 1 = -321.8 A
 Il_Yük 7/RLC 2 = -2936 A
 Il_Yük 7/RLC 3 = 3258 A
 Il_Yük 9/RLC 1 = -853.5 A
 Il_Yük 9/RLC 2 = -5163 A
 Il_Yük 9/RLC 3 = 6016 A
 Il_Trafo 1 20 // 230 kV = 2373 A
 Il_Trafo 1 20 // 230 kV = -362.4 A
 Il_Trafo 1 20 // 230 kV = -42.42 A
 Il_Trafo 1 20 // 230 kV = -1.296e+004 A
 Il_Trafo 1 20 // 230 kV = 1947 A
 Il_Trafo 1 20 // 230 kV = 12.96 A
 Il_Trafo 1 20 // 230 kV = 1.058e+004 A
 Il_Trafo 1 20 // 230 kV = -1585 A
 Il_Trafo 1 20 // 230 kV = 29.47 A
 Il_Trafo 2 20 // 230 kV1 = 4339 A
 Il_Trafo 2 20 // 230 kV1 = -659.1 A
 Il_Trafo 2 20 // 230 kV1 = -42.75 A
 Il_Trafo 2 20 // 230 kV1 = -1.38e+004 A
 Il_Trafo 2 20 // 230 kV1 = 2075 A
 Il_Trafo 2 20 // 230 kV1 = 16.4 A

II_Trafo 2 20 // 230 kV1 = 9463 A
II_Trafo 2 20 // 230 kV1 = -1416 A
II_Trafo 2 20 // 230 kV1 = 26.35 A
II_Trafo 3 230 // 20 kV = 5184 A
II_Trafo 3 230 // 20 kV = -785 A
II_Trafo 3 230 // 20 kV = -40.89 A
II_Trafo 3 230 // 20 kV = -2.572e+004 A
II_Trafo 3 230 // 20 kV = 3869 A
II_Trafo 3 230 // 20 kV = 9.254 A
II_Trafo 3 230 // 20 kV = 2.054e+004 A
II_Trafo 3 230 // 20 kV = -3084 A
II_Trafo 3 230 // 20 kV = 31.63 A
II_Trafo 4 20 // 230 kV = 2096 A
II_Trafo 4 20 // 230 kV = -321.5 A
II_Trafo 4 20 // 230 kV = -42.76 A
II_Trafo 4 20 // 230 kV = -1.304e+004 A
II_Trafo 4 20 // 230 kV = 1961 A
II_Trafo 4 20 // 230 kV = 18.41 A
II_Trafo 4 20 // 230 kV = 1.094e+004 A
II_Trafo 4 20 // 230 kV = -1639 A
II_Trafo 4 20 // 230 kV = 24.35 A

Generatörlere ait yük akışı :

Machine: 1. Generatör

Nominal: 700 MVA 20.6 kV rms

Bus Type: P&V generator

Uan phase: -14.45°

Uab: 20600 Vrms [1 pu] 15.55°

Ubc: 20600 Vrms [1 pu] -104.45°

Uca: 20600 Vrms [1 pu] 135.55°

Ia: 19689 A rms [1.004 pu] -19.29°

Ib: 19689 A rms [1.004 pu] -139.29°

Ic: 19689 A rms [1.004 pu] 100.71°

P: $7e+008$ W [1 pu]

Q: $5.9372e+007$ Vars [0.08482 pu]

Pmec: $7.0176e+008$ W [1.003 pu]

Torque: $3.723e+007$ N.m [1.003 pu]

Vf: 2.138 pu

Machine: 2. Generatör

Nominal: 700 MVA 20.2 kV rms

Bus Type: P&V generator

Uan phase: -19.36°

Uab: 20200 Vrms [1 pu] 10.64°

Ubc: 20200 Vrms [1 pu] -109.36°

Uca: 20200 Vrms [1 pu] 130.64°

Ia: 20126 A rms [1.006 pu] -13.13°
 Ib: 20126 A rms [1.006 pu] -133.13°
 Ic: 20126 A rms [1.006 pu] 106.87°
 P: 7e+008 W [1 pu]
 Q: -7.6459e+007 Vars [-0.1092 pu]
 Pmec: 7.0177e+008 W [1.003 pu]
 Torque: 3.723e+007 N.m [1.003 pu]
 Vf: 1.9717 pu

Machine: 3. Generatör

Nominal: 700 MVA 20.6 kV rms

Bus Type: Swing generator

Uan phase: -6.80°

Uab: 20600 Vrms [1 pu] 23.20°

Ubc: 20600 Vrms [1 pu] -96.80°

Uca: 20600 Vrms [1 pu] 143.20°

Ia: 36063 A rms [1.838 pu] -18.07°

Ib: 36063 A rms [1.838 pu] -138.07°

Ic: 36063 A rms [1.838 pu] 101.93°

P: 1.2619e+009 W [1.803 pu]

Q: 2.5151e+008 Vars [0.3593 pu]

Pmec: 1.2678e+009 W [1.811 pu]

Torque: 6.726e+007 N.m [1.811 pu]

Vf: 3.6397 pu

Machine: 4. Generatör

Nominal: 700 MVA 20.2 kV rms

Bus Type: P&V generator

Uan phase: -22.42°

Uab: 20200 Vrms [1 pu] 7.58°

Ubc: 20200 Vrms [1 pu] -112.42°

Uca: 20200 Vrms [1 pu] 127.58°

Ia: 20010 A rms [1 pu] -21.54°

Ib: 20010 A rms [1 pu] -141.54°

Ic: 20010 A rms [1 pu] 98.46°

P: 7e+008 W [1 pu]

Q: -1.0712e+007 Vars [-0.0153 pu]

Pmec: 7.0175e+008 W [1.003 pu]

Torque: 3.7229e+007 N.m [1.003 pu]

Vf: 2.0465 pu

Mevcut model için en uygun kapama modelinin hesaplanabilmesi amacıyla 8. ve 9. baralar arasında bulunan 110 km'lik iletim hatlarından birisi üzerine iki adet kesici yerleştirilmiş ve birinci kesicinin çıkışına ise arıza esnasındaki ve arıza sonrasındaki sistem verilerini incelemek vasıtasıyla bir adet ölçüm bloğu yerleştirilmiştir.

Ayrıca arızanın olduğu noktaya en yakın generatörün yani 2 nolu generatörün çıkışı da incelenerek rotor açısı değişimi, yük açısı, rotor hızı değişimi ve elektriksel güç çıkışı kontrol altında tutulmuştur.

4.2 Modelin Çalışması

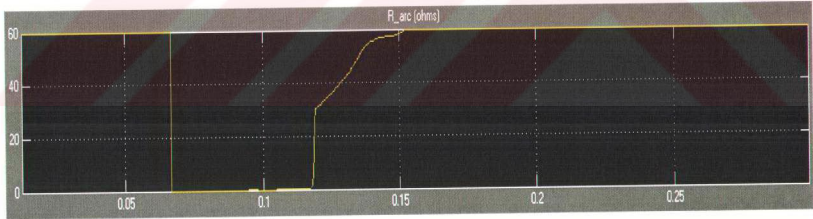
110 km'lik iletim hattının hemen başında tek faz – toprak arızasının meydana geldiği kabul edilmiştir. Ark modelini tetiklemek için kullanılan zamanlayıcı 1 veya 0 lojikleri ile ark modelini devreye sokmaktadır. Arıza sistem çalıştırıldıktan 4 döngü yani 0.06 sonra oluşmakta ve 6. döngüde yani 0.1'inci saniyede kesicilerin açılmasıyla birlikte arızanın sona erdiği varsayılmıştır. Ark modelinde gerçekte olduğu gibi aşağıdaki formüle bağlı kalınarak değişken bir direnç kullanılmıştır :

$$R_{arc} = R_0 \times \exp(-k \times i) \quad (4.1)$$

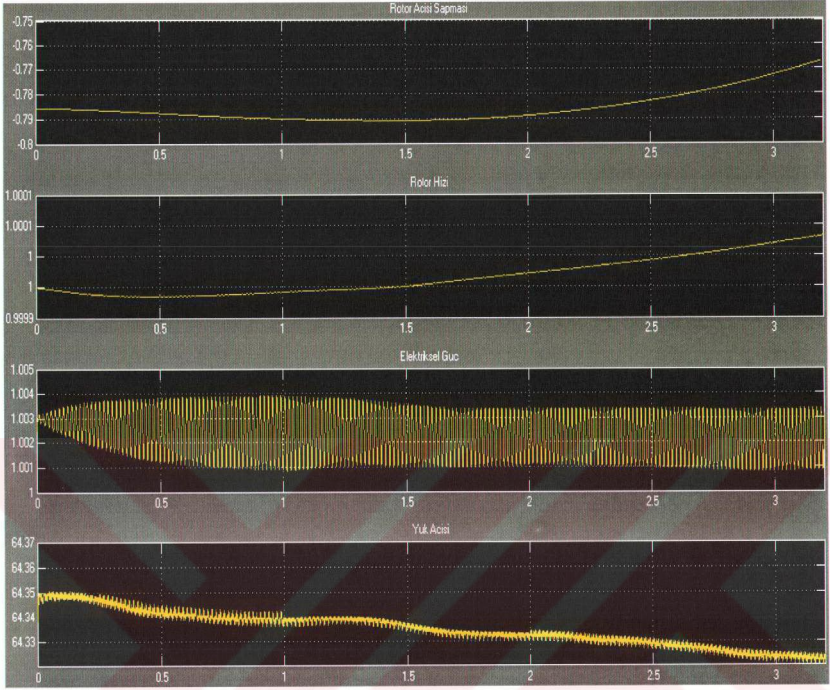
R_0, k Ark parametreleri
 i Ark akımının rms değeri (A)

Ark akımı eşiği olarak 50 A seçilmiştir. Arızanın oluştuğu faz kesildikten sonra bir miktar akım ark üzerinden akmaya devam eder. Eğer bu akımın değeri 50 A'den büyük olursa arıza devamlı bir arıza kabul edilir ve 50 A'in üzerindeki bir akım akıtan ark üzerine tekrar kapama yapıldığında arıza devam eder.

Arızanın sona ermiş sayılması için ark değişken direncinin kararlı hal değerine ulaşması yani arkın sönmüş olması gerekmektedir. Eğer ark tam olarak sönmenden tekrar kapama yapılırsa arıza tekrar eder.



Şekil 4.3 Ark direncinin zamanla değişimi



Şekil 4.4 Sistemde arıza yok iken alınan değerler

Generatörün “simulink” ölçüm çıkışına bağlanan “scope” sayesinde yapılan ölçüm sonuçları Şekil 4.4’te görülmektedir. Generatör çıkışının rotor açısı sapması, elektriksel güç (P_e) çıkışı, rotor hızı ve yük açısı değişimleri “scope” çıkışından incelenebilir.

4.3 İncelenen Model İçin En uygun Kapama Zamanının Bulunması

Bölüm 3.1’de verilen eşitliğe tekrar dönersek;

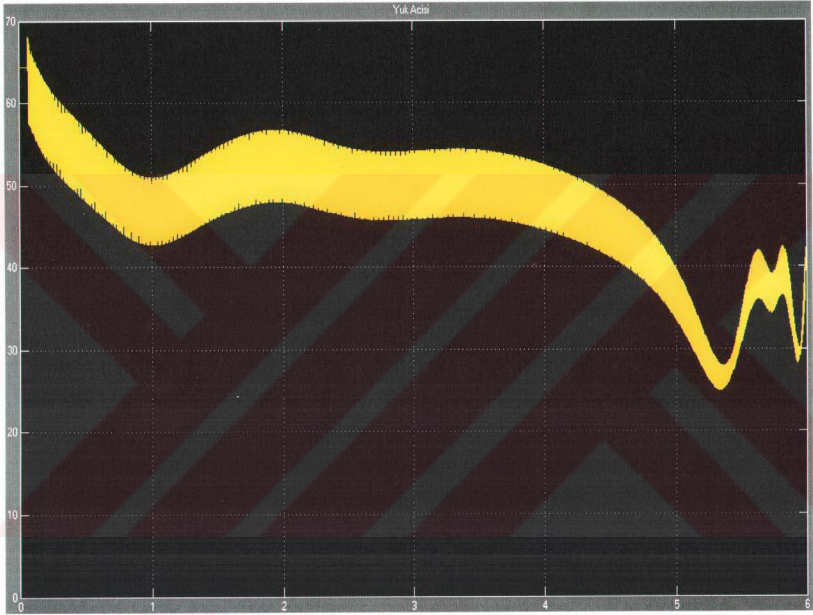
$$V = \frac{1}{2} M \omega^2 - P(\delta - \delta_s) - P_e (\cos \delta - \cos \delta_s) \quad (4.2)$$

bu formülde;

M	Generatörün enerji sabiti
δ	Sonsuz bara gerilimine bağlı generatör gerilimi açısı
δ_s	Generatör gerilimi açısının stabil eşitlik noktası

$P = P_m$ Generatörün mekanik güç girişi
 P_e Generatörün elektriksel güç çıkışı.

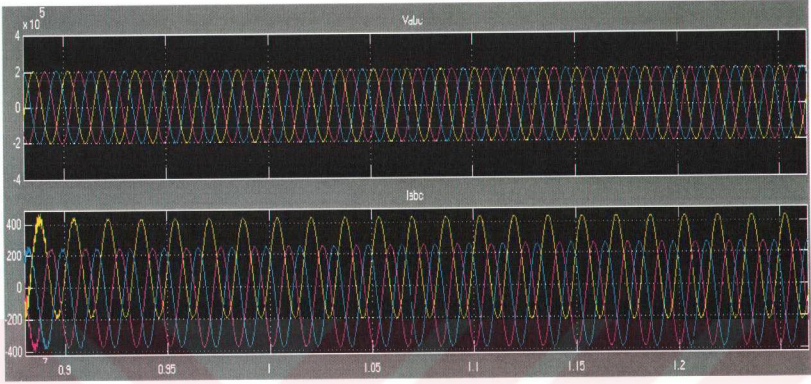
İncelediğimiz sistem için kararlılık bozulmadan en uygun kapama zamanının tespiti için δ_s 'in dolayısıyla yük açısının minimum olduğu nokta aranır. Yük açısının en düşük olduğu noktayı bulmak için sistem arıza konumuna girdikten sonra kesiciler açılmadan bir süre kısa devre konumunda çalıştırılarak generatör uçlarındaki yük açısının değişimi aranır.



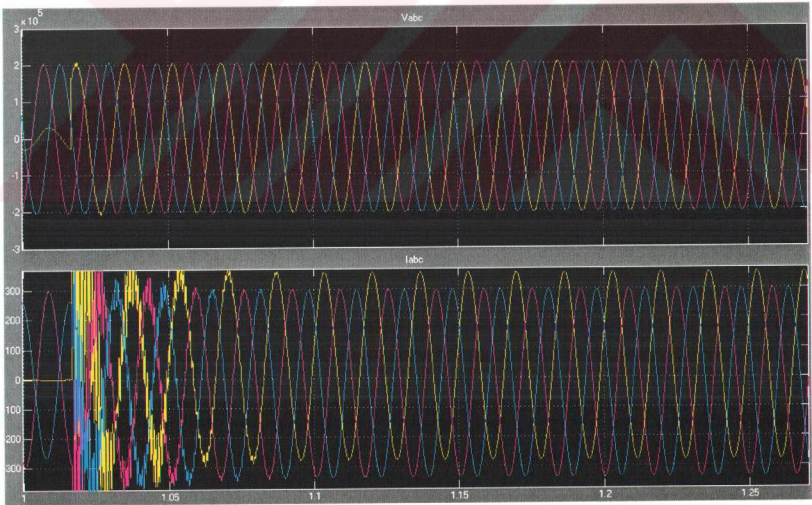
Şekil 4.5 Sürekli arıza halinde yük açısının zamanla değişimi

Şekilde de görüldüğü ve simülasyonlardan çıkarıldığı üzere 11 baralı bu sistem için incelenen zaman aralığında en uygun kapama zamanı sistemin çalışmaya başladıktan sonraki 1.16. saniyesi yani kesicilerin açılma zamanı olan 0.1. saniyeden 1.06 saniye sonrası bir diğer ifadeyle de 61 döngü sonrasıdır. En uygun kapama zamanı belirlenirken çoğunlukla 0.5 s – 2 s aralığı kullanılır. Çünkü 0.5 saniye aralığı içerisinde kesicilerin çalışmasından kaynaklanan ark henüz sönmemişse sistem tekrar arızaya geçebilir. 2s'den daha büyük değerlerde ise sistem kararlılığından zaten söz edilemez. 45, 55, 61, 75 ve 85 döngü sonra yapılan kapamalar

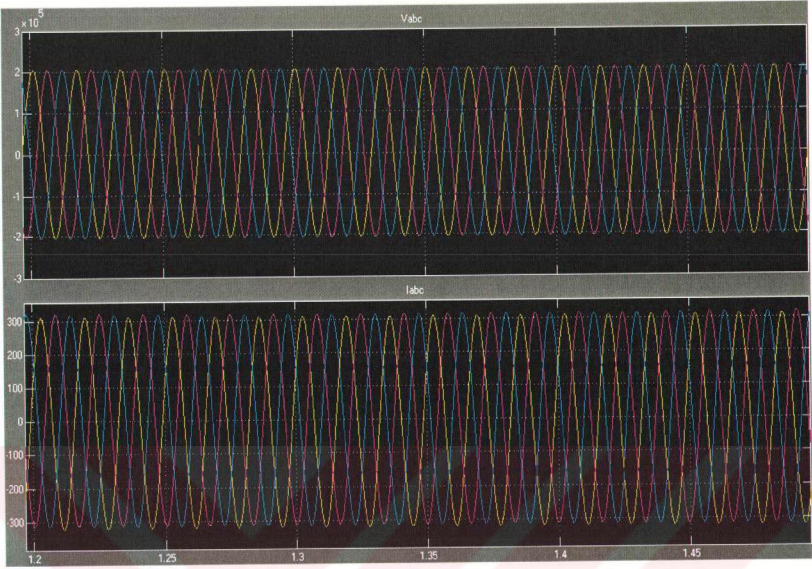
için aşağıdaki grafikler elde edilebilir. Grafiklerden de anlaşılabileceği gibi 61 döngü sonrası haricindeki tüm kapama zamanları için akım kaymakta dolayısıyla kararlılık ve sistem stabilitesi bozulmaktadır.



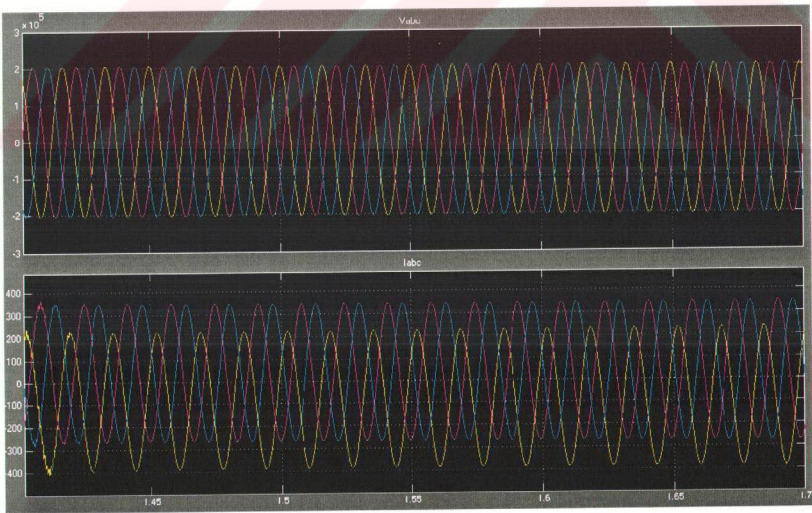
Şekil 4.6 45 döngü sonra yapılan tekrar kapama sonrasında akım I_{abc} A ve zaman (s) grafiği



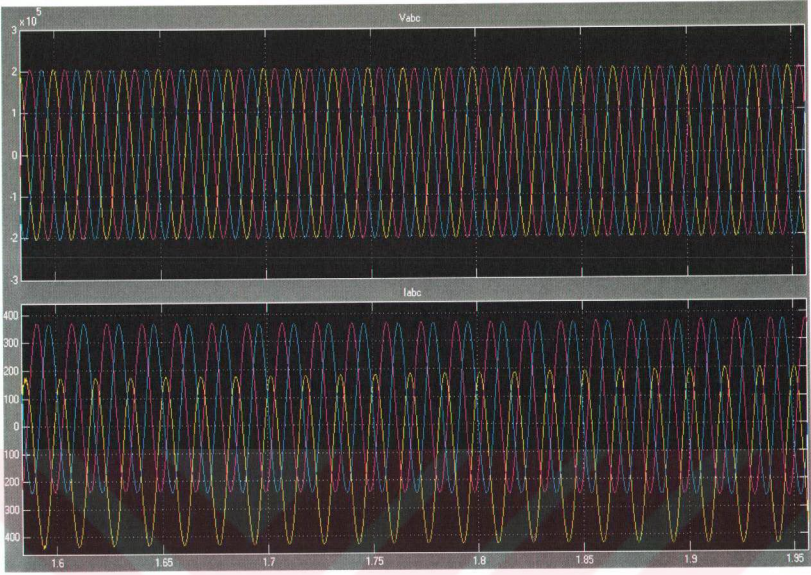
Şekil 4.7 55 döngü sonra yapılan tekrar kapama sonrasında akım I_{abc} A ve zaman (s) grafiği



Şekil 4.8 61 döngü sonra yapılan tekrar kapama sonrasında akım I_{abc} A ve zaman (s) grafiği



Şekil 4.9 75 döngü sonra yapılan tekrar kapama sonrasında akım I_{abc} A ve zaman (s) grafiği



Şekil 4.10 85 döngü sonra yapılan tekrar kapama sonrasında akım I_{abc} A ve zaman (s) grafiği

4.4 Sonuçlar

Sistemin kararlılığı tekrar kapama zamanından oldukça fazla etkilenir. Bu çalışmada sistemin kararlılığının artırılması için yeni bir kapama zamanı bulma yöntemi tanıtılmış ve bu kapama zamanının elde edilmesi için örnek bir model oluşturulmuştur. Gerçek bir sistem üzerinde yapılan simülasyon çalışmaları, kullanılan tekniğin güç transfer kapasitesini arttırdığını göstermiştir. Gerçek hesaplama metodu klasik matematiksel modelden elde edilmiştir, karmaşık modellerle yapılan simülasyon çalışmaları metodun verimliliğini göstermiştir. Uygulamada tekrar kapamanın yapılmasının gerektiği durumlarda arızanın geçici mi yoksa devamlı bir arıza mı olduğu bilinemez, fakat arıza devamlı olsa bile kullanılan metod sistemin geçici kararlılığını artırır.

KAYNAKLAR

- Adamiak, M.G. ve Premierlani, W., (1998), "A New Approach to Current Differential Protection for Transmission Lines", IEEE Trans. Power Syst., 10:241.
- Baohui, H. Zhang, Yuchun, C. Yuan, (2002), "Computation of Optimal Reclosing Time for Transmission Lines", IEEE Trans. Power Syst., 17:3.
- Chen, Z., Bo Z. Q., Zhang B., (1999), "Adaptive Optimal Reclosure Using Fault Current Transients", UPEC, Eylül 1999, Leicester U.K.
- Cook, V. (1985), "Analysis of Distance Protection", IEEE Trans. Power Syst., 10:1796.
- Djuric, M.B. ve V.V. Terzija, (1995), "A New Approach to the Arcing Faults Detection for Fast Autoreclosure in Transmission Lines", IEEE PES Winter Meeting, 29 Ocak 1995, New York.
- El-Arroudi, K., Joos ve G., McGillis, D., (2001), "Generic Multifunction Protection Relay for Compansated Transmission Lines", IEEE Trans. Power Delivery., 6:1423.
- Elmore, W.A., (1994), "Protective Relaying Theory and Applications" ABB Power T&D
- Fitton, D. S., Dunn R. W., Aggarwal R. K., Johns A.T., (1995), "Design and Implementation of an Adaptive Single Pole Autoreclosure Technique for Transmission Lines Using Artifical Neural Networks", IEEE PES Summer Meeting, 23-27 Temmuz 1995, Portland.
- Horowitz, S. H. (1980), "Protective Relaying for Power Systems", IEEE Trans. Power Delivery., 7:207.
- "IEEE Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines" (2000)
- Kundur, Prapha, (1994), "Power System Stability and Control" IEEE Trans. Power Delivery., 9:224.
- Lee Wei-Jen, Jyh-Cherng Gu (2002), "A Physical Laboratory for Protective Relay Education", IEEE Trans. Power Delivery., 13:125.
- Mason, C. R., (1956), "The Art and Science of Protective Relaying", IEEE Trans. Power Delivery., 1:22.
- Phadke, Arun G. ve Thorp James S.(1994), Computer Relaying for Power Systems, John Wiley & Sons, New York.
- Rahimi F. A., Lauby, M.G. ve Wrubel J.N., (1992), "Evaluation of the Transient Energy Function Method for On-line Dynamic Security Analysis"
- "Simpow User Manual" (2001), ABB.
- Venikov, V. A., (1982), "Power System Transient Process Control", IEEE Trans. Power Delivery., 12:751.
- Warrington, A. R. van C., (1977), Protective Relays : Theory and Applications, Chapman & Hall, New York.
- Yaozhang, G., Funghai, S. ve Yuan X., (1989), "Prediction Methods for Preventing Single-Phase Reclosing on Permanent Fault", IEEE Trans. Power Delivery., 18:173.

EKLER

Terim Sözlüğü : Yüksek gerilim hat korumasında en çok kullanılan İngilizce terimlerin karşılığı aşağıda kısaca verilmiştir :

Adaptive Relay: Dışarıdan gelen sinyallere göre ayarlarını otomatik olarak değiştirebilen röle

Adaptive Relaying : Daha iyi güç aktarımı sağlayabilmek için kullanılan ve ayarların otomatik olarak yapılabildiği koruma filolojisi

Apparent Empedance : Akım ve gerilim uygulanarak elde edilen ve bir mesafe rölesinin uçlarından arızalı noktaya kadar olan empedans. Bu empedans röle ve arıza noktası arasındaki iç ve dış akım beslemesinden dolayı, gerçek empedanstan farklılık gösterebilir.

Arc Resistance : Arkın doğasından dolayı oluşan empedans; akımın büyüklüğünün ve arkın boyunun bir fonksiyonudur.

Backup Zone : Bir rölenin ikinci öncelikli koruma alanı. Genellikle zaman gecikmelidir. (Örneğin bir mesafe rölesinin 2. ve 32. bölgeleri)

Blocking Signal : Hataları önlemek için pilot şemaya gönderilen lojik bir sinyal.

Breaker Failure : Bir arıza esnasında devre kesicinin görevini tam olarak yapamaması

Circuit Switcher : Devre kesici ile karşılaştırıldığında çok daha düşük devre açma kapasitesinde olan devre açıcı. Genellikle bir ayırıcı ile entegre biçimde çalışır.

Coordination of Protection : Koruma işlemi için ayarların yapılması, koruma cihazlarının gecikme karakteristiklerinin seçilmesi gibi işlemlere verilen isimdir.

Cross Polarization (Koruma Rölelerinde) : Bir rölenin arızasız fazlardan beslenen kutupları.

Current Differential Relay : Arızaları, bir iletim hattının röle terminalleri arasındaki akım büyüklüğü ve faz açısını ölçerek bulan röle tipidir.

Distance Relay : Arıza noktasını, rölenin bulunduğu konum ile arızanın meydana geldiği yer arasındaki mesafeyi bularak tespit eden röle.

Dual Polarization : Akım ve gerilim kaynaklarını kullanan bir rölenin kutuplanması.

Fault Impedance : Faz iletkenleri veya toprak arasındaki empedans.

Grounding Transformer : Topraklama arızalarını tespit etmek için ve sıfır-sequence kaynağı olarak kullanılan üçgen – yıldız veya üçgen – üçgen bağlı transformatör çeşididir.

Ground Distance Relay : Faz – Toprak arızalarını tespit etmek üzere tasarlanmış bir mesafe rölesi.

Hybrid Sheme : İki veya daha fazla geleneksel şemanın birleşimi olan şema (genellikle pilot şemadır).

Impedance Relay : Bir eşik değerine sahip, gerilim ve röleye uygulanan akımın oranını karşılaştırarak çalışan bir mesafe rölesi.

Infeed : Rölenin yeri ve arızanın yeri arasındaki bir arıza akımı kaynağı.

Lenticular Characteristic : Direnç-reaktans (R-X) diyagramı lens şeklinde olan bir mesafe rölesi.

Mho Unit : Bir R-X diyagramının orijininin geçen dairesel bir empedans eğrisine sahip mesafe rölesi.

Multiterminal : İki güç kaynağı terminalinden daha fazlaya sahip iletim hattı.

Outfeed : Arızalı bir hatta bir bağlantı noktasından alınan akım. Outfeed yalnızca çok terminalli veya seri kompanzasyonlu hatlarda oluşur.

Overlapping Protection : Bir rölenin koruma alanının başka bir rölenin koruma alanı ile çakışması durumu.

Permissive : Uzak bir terminalden alınan bir izinle kontrol edilen bir şema, bu izin genellikle pilot bir sinyal şeklindedir.

Phase Comparison Protection : Bir devrenin terminalleri arasında belirli akımların bağlı faz açılarını karşılaştıran pilot koruma şeklidir.

Phase Distance Relay : Faz – faz ve üç fazlı arızaları tespit etmek üzere tasarlanmış bir mesafe rölesi.

Pilot Communication Scheme : İki veya daha fazla istasyon arasında bir iletişim kanalı vasıtasıyla veri transferi sağlayan, intikal süresini kısaltan ve koordinasyonu geliştiren röleleri de içeren bir koruma şeması.

Primary Zone : Bir rölenin hiç zaman gecikmesi olmadan koruduğu alan.

Quadrilateral Characteristic : Bir R – X şeması üzerinde, yapılan bir doğrusal ölçüm, bir reaktans ölçümü ve iki adet direnç ölçümü ile elde edilen bir mesafe rölesi karakteristiği.

Segregated Phase Comparison : Faz karşılaştırmadan farklı olarak uzak terminale, her faz ve toprağa ait veri ayrı olarak gönderilir ve burada o terminaldeki veriler karşılaştırılır.

Self Checking (Röle Tarafından) : Mikro işlemci tabanlı rölelerde bir yazılım kullanılarak rölenin kendi kendini test etmesi.

Sequantial Tripping : Bir hatta, bir veya daha fazla röle tarafından dahili arızanın tespit edilememesi durumu.

Source Impedance : Bir iletim hattının terminallerindeki Thevenin eşdeğer empedansı. Ağ uygulamalarında bu empedans iletim hattındaki arızanın yerine göre ve iletim hattı üzerindeki diğer terminallerin durumuna (açık – kapalı) göre değişim gösterir.

Source of Failure Current : Korunan hat üzerindeki bir arızada arıza akımını önemli ölçüde sağlayan terminallere verilen isim. Generatörler, büyük senkron motorlar ve transformatörler bu kaynaklara örnek gösterilebilir.

Source to Line Impedance Ratio (SIR) : Bir röle terminalinin önündeki empedans ile hat empedansının oranı.

Step Distance : Bölgeler arasında zaman gecikmesi olan birden fazla bölgede kullanılan ve pilot olmayan mesafe rölesi şeması.

Swing : İletim veya üretim şebekesi konfigürasyonundaki değişim ile generatörün bağlı açılarında oluşan değişimden kaynaklanan geçici bir yük akışı.

Switch Onto Fault Protection : Sıfır gerilimli kaçak arızası üzerine kesicinin kapanması.

Transfer Trip : Uzak bir hat terminaline bir iletişim kanalı vasıtasıyla tetikleme sinyalinin gönderilmesi.

Unblocking : Bir zaman diliminde, dahili bir hata için tetiklemeye izin veren açık pilot şema. Arızadan dolayı pilot tetikleme sinyali kaybolmuş olsa bile bu şema kullanılır.

Untransposed : Bir iletim hattının faz iletkenlerinin fiziksel yerleri; fazlar arasındaki karşılıklı empedanslarının dengelemek için yerleri çok fazla değiştirilmez.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 10.05.1975

Doğum yeri Eskişehir

Lise 1986-1993 Bilecik Anadolu Lisesi

Lisans 1993-2000 Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fak.
Elektrik Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2000-2003 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Çalıştığı kurumlar

1997-1999 Ercan Teknik Ltd. Şti. İklimlendirme-Otomasyon.
2000-Devam Ediyor Computorium Gelişmiş Bilg. Sistemleri