

154598

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ANALOG VE DİJİTAL RÖLELERİN YAPAY SİNİR
AĞLARIYLA MODELLENMESİ**

Elektrik Müh. Özgün KARA

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ferit ATTAR

Doç. Dr. Herman Sedet

Doç. Dr. Nurettin Umrıkçı

İSTANBUL, 2004

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTIMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
2. RÖLELER	2
2.1 Rölelerin Tanımı	2
2.2 Yapılarına Göre Röleler	5
2.2.1 Elektromekanik Röleler	5
2.2.1.1 Elektromagnetik Röleler	6
2.2.1.2 Magnetik İndüksiyon Röleleri	10
2.2.1.3 Termik Röleler	14
2.2.2 Statik (Yarı İletken) Röleler	14
2.2.2.1 Statik Rölelerin Sınıflandırılması	15
2.2.2.2 Statik Rölelerin Temel Yapısı	15
2.2.2.3 Statik Rölelerin Avantajları	18
2.2.2.4 Statik Rölelerin Koruma Uygulamalarında Kullanılması	19
2.2.3 Dijital Röleler	20
2.2.3.1 Dijital Rölelerin Avantajları	22
2.3 Rölelerin Modellenmesi	23
2.3.1 Röle Modellerinin Üreticiler Tarafından Kullanılması	23
2.3.2 Röle Modellerinin Müşteriler Tarafından Kullanılması	24
2.4 Röle Modellerinin Eğitim İçin Kullanılması	24
2.5 Bir Röle Modelinin Bileşenleri	24
2.5.1 Ölçü Trafoları	24
2.5.2 Sinyal Belirleme Filtreleri	24
2.5.3 Analog-Dijital Konverterler	24
2.5.4 Fazör Hesaplayıcıları	25
2.5.5 Röle Dinamikleri Modeli	25
2.5.6 Lojik Modül	25
2.6 Röle Modelinin Gerçekleştirilmesi	25
2.7 Röle Modelleri Kullanarak Test	25
2.8 Röle Modellemesindeki Zorluklar	26

2.9	Röle Modellemede Gelecek Eğilimler	26
3.	YAPAY SİNİR AĞLARI.....	27
3.1	Giriş	27
3.2	Beynin Çalışması.....	27
3.2.1	Beynin Bilgisayarlarla Karşılaştırılması.....	28
3.3	Sinir Ağları	30
3.3.1	Semboller.....	30
3.3.2	Basit İşlem Elemanları	31
4.	RÖLELERİN YAPAY SİNİR AĞLARIYLA MODELLENMESİ.....	34
4.1	Giriş	34
4.2	Modellemede Kullanılan Rölenin Özellikleri	34
4.2.1	CKR 81	35
4.2.2	CKR 81T	35
4.2.3	CKR 92T – CKR 82T.....	36
4.2.4	CKR 83	37
4.2.5	CKR 93T – CKR 83T.....	37
4.2.6	Çalışma Prensibi.....	38
4.2.6.1	Set Akımı Seçimi.....	38
4.2.6.2	Ani Açma Akımı Seçimi	39
4.2.6.3	Zaman Çarpanı Seçimi	39
4.2.6.4	Mod Seçimi	40
4.2.7	Akım Zaman Karakteristikleri.....	41
4.2.8	Teknik Bilgiler.....	45
4.3	Modellemede Kullanılan YSA'nın Özellikleri.....	46
4.4	Röle Modelinin MATLAB'de Hazırlanması.....	49
4.5	Örnek Bir Sistemde Modelin Çalıştırılması	54
5.	SONUÇLAR.....	57
	KAYNAKLAR.....	58
	ÖZGEÇMİŞ.....	60

SİMGE LİSTESİ

C	Kapasite
I	Akım
I_1	1. bobinden geçen akım
I_2	2. bobinden geçen akım
ka	Tasarım sabiti
kb	Tasarım sabiti
kc	Tasarım sabiti
ks	Durdurucu yay momenti
R	Direnç
T	Moment
V	Gerilim
Z	Empedans
Φ	Tasarım sabiti, akı
Φ_1	Sağ bacak akısı
Φ_2	Sol bacak akısı
Φ_R	Sağ bacak akısı
Φ_L	Sol bacak akısı
Φ_T	Toplam akı
α	Elektrik faz açısı

KISALTMA LİSTESİ

A/D	Analog-Dijital
AC	Alternatif Akım
CPU	Central Processing Unit
DC	Doğru Akım
Hz	Hertz
IEC	Uluslararası Elektrik Komisyonu
LCD	Likit Kristal Ekran
LED	Light Efected Diod
PC	Kişisel Bilgisayar
YSA	Yapay Sinir Ağları



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Röleler	3
Şekil 2.2 Dalgıç armatürlü röle basit yapısı	7
Şekil 2.3 Mentеше armatürlü röleler	7
Şekil 2.4 Terazi kollu röle	9
Şekil 2.5 Disk tipi indüksiyon röleleri	11
Şekil 2.6 Silindir tipi indüksiyon röleleri	13
Şekil 2.7 Koruma rölelerinin temel blok diyagramı.....	16
Şekil 2.8 Analog / Binary sinyal dönüştürücü (Scmitt Trigger).....	17
Şekil 2.9 Statik röle ile faz açısının karşılaştırılması	20
Şekil 3.1 Sinir hücresinin yapısı.....	28
Şekil 3.2 Birim	31
Şekil 3.3 Aktivasyon fonksiyonları	32
Şekil 3.4 Uygun ağırlık ve eşikle mantıksal kapıların birimle gösterilmesi	33
Şekil 4.1 CKR 81 Tek faz topraksız aşırı akım koruma rölesi bağlantı şeması, ENTES 2000-2001 kataloğu.....	35
Şekil 4.2 CKR 81T Toprak hatası rölesi bağlantı şeması, ENTES 2000-2001 kataloğu.....	36
Şekil 4.3 CKR 92T – CKR 82T İki faz ve toprak hatası aşırı akım koruma rölesi bağlantı şeması, ENTES 2000-2001 kataloğu.....	36
Şekil 4.4 CKR 83 Üç faz aşırı akım koruma rölesi bağlantı şeması, ENTES 2000-2001 kataloğu.....	37
Şekil 4.5 CKR 93T – CKR 83T Üç faz ve toprak hatası aşırı akım koruma rölesi bağlantı şeması , ENTES 2000-2001 kataloğu.....	37
Şekil 4.6 Mod seçimi için akım zaman karakteristikleri, ENTES 2000-2001 kataloğu	40
Şekil 4.7 Normal Inverse akım zaman karakteristiği, ENTES 2000-2001 kataloğu.....	41
Şekil 4.8 Very Inverse akım zaman karakteristiği, ENTES 2000-2001 kataloğu.....	42
Şekil 4.9 Extremely Inverse akım zaman karakteristiği, ENTES 2000-2001 kataloğu	43
Şekil 4.10 Long Time Inverse akım zaman karakteristiği, ENTES 2000-2001 kataloğu	44
Şekil 4.11 Moderately Inverse akım zaman karakteristiği, ENTES 2000-2001 kataloğu	45
Şekil 4.12 Çok elemanlı bir ağın açık hali ve sembolik gösterilişi	47
Şekil 4.13 Örnek bir ileri beslemeli ağ.....	47
Şekil 4.14 Tansig ve purelin transfer fonksiyonları	48
Şekil 4.15 Öğrenme yöntemlerinin kısaltmaları, Demuth, H., Beale, M., (2003) Neural Netork Toolbox User's Guide, The Mathworks Inc. Natick	48
Şekil 4.16 Öğrenme metotlarının sinüs dalgası zamanları, Demuth, H., Beale, M., (2003) Neural Netork Toolbox User's Guide, The Mathworks Inc. Natick	49
Şekil 4.17 Hata oranı ve iterasyon sayısı grafiği.....	51
Şekil 4.18 Eğitilen ağın yeni girişlerle simülasyon sonuçları	51
Şekil 4.19 YSA'nın SIMULINK bloğu olarak gösterimi	52
Şekil 4.20 Röle modelinin SIMULINK bloğu olarak gösterimi	52
Şekil 4.21 Ani akım ve ani açma modüllerinin SIMULINK gösterimleri	53
Şekil 4.22 YSA ve zaman modüllerinin röle modeli içindeki yerleşimi.....	54
Şekil 4.23 Normal ve arıza akımı.....	55
Şekil 4.24 Düzelen arıza akımı ve normal akım	55
Şekil 4.25 Röle çıkış sinyali	56

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Beyin ile bilgisayarların karşılaştırılması.....	29
Çizelge 3.2 Sinir ağı sembolleri	30
Çizelge 4.1 Giriş değerleri I/Is (A).....	49
Çizelge 4.2 Hedef değerleri t(s)	49



ÖNSÖZ

Tezin hazırlanması sırasında yardımlarını esirgemeyen sayın Yrd. Doç. Dr. Ferit Attar'a ve Yrd. Doç. Dr. Mehmet Uzunoğlu'na, sürekli destek olan aileme ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Özgün Kara



ÖZET

Röleler üretim amaçları itibariyle, koruma sistemlerinin önemli parçalarından biridir. Farklı tipte röleler, farklı karakteristikleri ile elektrik tesislerinin karşılaşacağı çeşitli arıza durumlarını kullanıcıların istekleri doğrultusunda gidermek amacıyla üretilirler. Son yıllarda üretilen dijital rölelerle artık kullanıcı kullanım kolaylıkları ,veri kaydetme ve saklama özellikleri ile kullanıcı dostu hale gelmişlerdir. Ancak üreticilerin farklı tiplerdeki röleleri tasarım aşamasında test etmeleri maliyetli ve zaman alan bir çalışma haline gelmiştir. Bu durumda rölelerin yazılımsal temsilleri modellenip bilgisayar ortamında aynı özelliklerde ve şartlarda çalıştırılıp test edilebilmeleri dezavantajları ortadan kaldırmaktadır. Yapay sinir ağları (YSA) bu modellemeler için farklı ve yeni bir yöntemdir. YSA'lar yapıları itibariyle röle karakteristiklerinin elde edilmesinde hızlı ve güvenilir araçlardır. Bu çalışmada bir rölenin karakteristiğinin çok az veri ve çok kısa zamanda YSA ile modellenmesinin yapılabildiği ve gerçek çalışma ve arıza koşulları ile test edildiğinde YSA ile modellenen rölenin gerçek rölenin karakteristiğine uygun cevaplar verdiği anlatılmıştır.

Anahtar kelimeler: Röle, yapay sinir ağları, röle modellemesi, analog röleler, dijital röleler.



ABSTRACT

Because of their production purposes, relays are an important element of protection systems. Different types of relays with different characteristics are produced, with the customers demands to protect power systems against different fault conditions. With the production of digital relays in recent years, they became user-friendly with easy to use features and the capability data recording and saving. But testing the different types of new designed relays, has become high cost and time wasting procedure for manufacturers. The ability to run and test the software representations of relays modeled on PC environment omits these disadvantages. Artificial neural networks (ANN) are different and new method for these models. ANNs, because of their structures, are fast and trustable tools to represent the relay characteristics. In this study, it is shown that using ANNs, a relay characteristic can be modeled with less data and in less time, the relay modeled using ANN gave exact responses against normal and fault conditions.

Keywords: Relay, Artificial neural network, relay modeling, analog relays, digital relays.



1. GİRİŞ

Elektrik tesislerinde elektrikler enerjisinin kesintisiz olarak kullanıcılara dağıtılacağı farz edilir. Ancak gerek malzemelerin elektriksel ömürlerinden kaynaklan gerekse dış faktörlerden kaynaklanan arızalar olabilir. Hem arıza anında hem arıza sonrasındaki durumda kullanıcıların olabildiği kadar az etkilenmeleri gereklidir. Bu nedenle elektrik tesislerinde koruma çok önemlidir. Koruma röleleri bu gibi durumlarda hatayı tespit edip hatayı en kısa zamanda engellemek için kesicilerin açmasını sağlarlar.

Rölelerin pratik olarak arıza durumlarına hazırlanması için çok fazla test ve çalışma yapılması gerekir. Bu da çok fazla zamana ve maliyete sebep olur. Yeni yazılımsal teknolojilerle artık korumayla ilgili ürünlerin tasarımları fiziksel olmaktan çıkıp yazılımsal hale gelmiştir. Bu da hem maliyetleri hem de zaman kabını azaltmıştır.

Yapay Sinir Ağları (YSA) yazılımsal tasarıma taban olabilecek, değişik alanlarda kullanılabilen bir konudur. Tez çalışmasının amacı analog ve dijital rölelerin gerçek karakteristiklerinin Yapay sinir ağlarıyla modellenbildiğinin ortaya konulmasıdır. Bu nedenle rölelerin karakteristikleri ve yapay sinir ağları üzerinde durulmuştur.

2. RÖLELER

2.1 Rôlelerin Tanımı

Rôleler, giriş uçlarındaki elektriksel büyüklüklere bağlı olarak çıkış uçlarındaki bir elektrik devresine kontakları ile kumanda eden koruma elemanlarıdır. Bir arıza durumunda rôlelerin çalışma işlemleri aşağıdaki gibidir:

- Hatanın tespiti ve faaliyete geçme
- Hata çeşidinin (hatalı iletkenin) seçilmesi
- Gecikme (öngörülmüşse)
- Açma kumandası verme
- Sükunet konumuna geri dönme

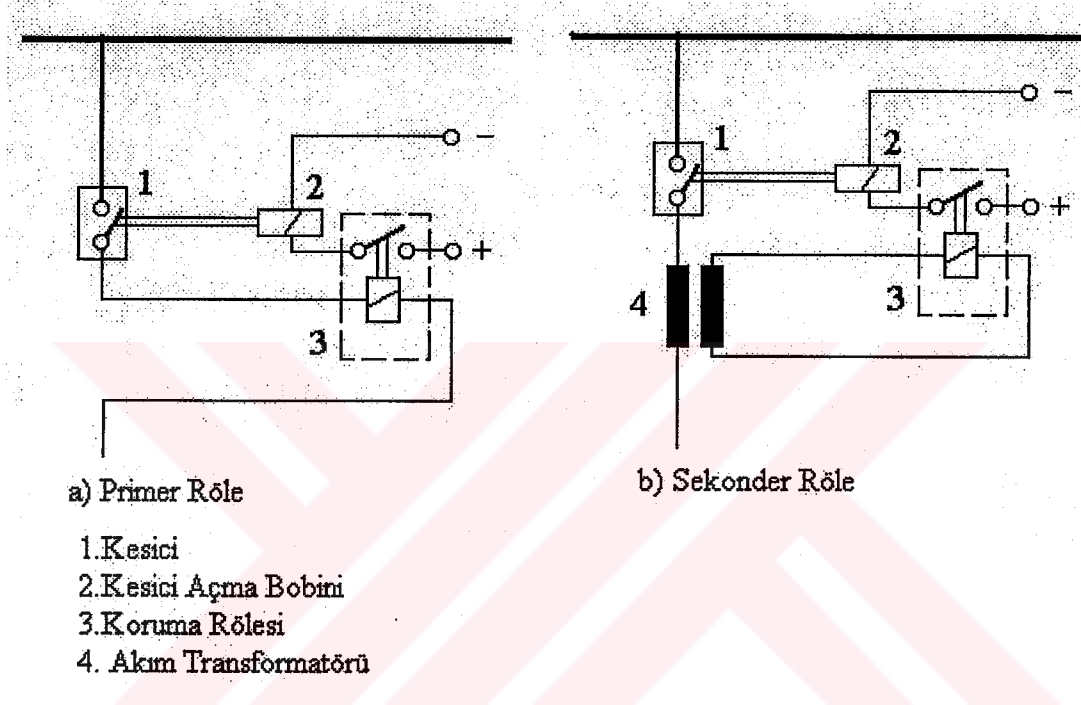
Bu sıraya göre hata ortaya çıktığı anda rôlenin çalışmaya başlaması gerekir. Bu sırada hatayı belirleyen kriter ve ölçü büyüklükleri tespit edilir. Bu büyüklüklerle hatalı iletkenin bulunması da mümkündür. Eğer açma işlemi için bir gecikme öngörülmüşse bu sürenin geçmesi beklenir. Daha sonra açma kumandası verilerek güç anahtarının açması sağlanır. Açma işlemi sonunda korunan elektrik devresi enerjisiz kaldığı için rôle bobinleri de enerjisiz kalıp sükunet konumuna geri döner.

Kontrol edilmek istenen elektriksel büyüklüklerin, koruma rôlelerine doğrudan veya bir gerilim yada akım ölçü transformatörü üzerinden uygulanmasına göre rôleler primer ve sekonder rôleler olmak üzere ikiye ayrılır. Primer rôleler, elektriksel büyüklüklerin rôle girişlerine doğrudan uygulandığı rôlelerdir. Bu rôlelerde arada bir dönüştürme elemanı (ölçü transformatörü) olmadığı için hata azdır. Ancak bu rôlelerin izolasyon problemleri ve personelin güvenliği nedeniyle yüksek gerilim sistemlerinin korunmasında kullanılması zor olduğu için kullanım alanları azdır.

Elektriksel büyüklüklerin ölçü transformatörleri üzerinden uygulandığı rôlelere sekonder rôleler denir. Sekonder rôlelerin kullanılmasındaki faydalar şöyle sıralanabilir:

- Yüksek gerilim, koruma düzeneklerinden ayrılmıştır. Böylece rôleler ana akım devresinin manyetik tesiri ile termik ve dinamik zorlanmalardan korunmuş olur.
- Ana akım devresini kesmeden rôlenin ayarlanması, değiştirilmesi veya bağlantılarının yapılması ve muayene edilmesi mümkündür.
- Ölçü büyüklükleri küçük değerli olduğundan bu rôleler ucuz olarak imal edilebilirler.
- Daha hassas elemanlarla ölçüm doğruluğu artırılabilir.

Ölçülen büyüklüğün (faaliyete geçme büyüklüğü) belirli bir değer olması halinde faaliyete geçme işlemi başlar ve röle sükunet konumundan faaliyet konumuna geçer. Bu büyüklüğün herhangi bir nedenle eski değerini alması üzerine röle çalışma konumundan sükunet konumuna geri döner, buna geri dönüş adı verilir. Geri dönüş değerinin faaliyete geçme değerine oranı geri dönüş oranı olarak tanımlanır. Bunun tersi tutma oranıdır. Ölçülen büyüklüğün belirli bir büyüklüğü aşması ile faaliyete geçen ölçme rölelerinde tutma oranı daima 1'den büyük olup 1,05 – 1,3 arasında değişir(Blackburn, 1997).



Şekil 2.1 Röleler

Koruma rölelerinde önemli olan diğer bir durum da kumanda zamanıdır. Bu, ölçme büyüklüğünün rölenin ayar büyüklüğünü aştığı andan itibaren, rölenin kontakları vasıtasıyla açma kumandası verdiği ana kadar geçen zamanı tanımlar. En kısa kumanda zamanı çeşitli röle kısımlarının faaliyete geçme zamanlarına olduğu kadar ölçülen büyüklüğün faaliyete geçme anındaki değerine de bağlıdır. Rölenin kumanda zamanları mekanik veya elektronik elemanlarla geciktirilebileceği gibi (gecikmeli röleler), ek olarak kullanılan zaman röleleriyle de ayar edilebilir.

Hatanın ortadan kalkması bakımından önemli olan diğer bir durum toplam açma zamanıdır. Bu, koruma için tespit edilmiş faaliyete geçme değerinin ortaya çıkmasından hata akımının güç anahtarı tarafından kesildiği anın sonuna kadar geçen süre olup rölenin kumanda zamanı ile anahtarın açma zamanının toplamından ibarettir.

İlk zamanlar ortaya çıkarılan ve bugün de bazı elektrik güç sistemlerinde kullanılan elektromekanik rölelerin yanı sıra, rölenin kızılı çalışmasını sağlamak amacıyla vakumlu tüpler kullanılarak röle ve röle sistemleri geliştirilmişti ancak bunlar hiçbir zaman elektrik devrelerinin korunmasında kabul görmedi. Vakumlu tüplerin çalışması sırasında zaman zaman görülen yanmalar, tecrübeler sonucunda belirlenmiş olan çalışma esnasında tüpün karakteristiklerinin sabit kalmayarak değişmesinden kaynaklanan belirsizlikler bu rölelerin güç sistemlerinin korunmasında kullanılmasını imkansız hale getirmişti. Daha sonraları güç sistemlerinin korunmasında kullanılan son derece hızlı ve kullanışlı olan statik röleler de denilen yarı-iletken röleler geliştirilmiştir. Röleyi oluşturan elemanların karakteristiklerinde sıcaklık değişimleri ve elemanın yaşlanması dolayısı ile oluşan değişimlerden kendi çalışma karakteristikleri hiç etkilenmeyen devre tasarımları yapılmıştır. Yarı iletken rölelerin cevap süresi istenildiği kadar kısa yapılabilir ancak pratikte yarı iletken rölelerin temel elemanlarının cevap süresi o kadar kısa olur ki, başka bir deyişle bu elemanlar o kadar hızlı çalışırlar ki, çoğu zaman çoğu zaman güç sistemlerindeki geçici olaylardan dolayı yanlış çalışmaları önlemek için ilave bir zaman geciktirme devresine ihtiyaç duyulur. Röle uygulamalarında ihtiyaç duyulan değişik fonksiyonlar, her biri farklı olarak tasarlanmış ve yarı iletken elemanlarla gerçekleştirilmiş devrelerden elde edilir. Entegre devreler daha büyük güvenilirlik ve esneklikle bu devrelerde yer almaktadır.

Röle teknolojisindeki bu değişimi, mikroişlemci teknolojisinde görülen hızlı gelişimin sonucu ortaya çıkan ve elektrik güç sistemlerinde kullanılmaya başlanan dijital röleler izlemiştir. Gerek elektromekanik gerekse statik röleler analog çalışan koruma röleleridir. Analog olarak ölçülen büyüklükler, ayar büyüklükleri ile analog olarak karşılaştırılmaktadır. Dijital tekniğinde ise sayısal ölçme tekniğinden yararlanılmaktadır. Ölçü büyüklüklerinden alınan ani değerler analog dijital çeviriciler ile dönüştürülmekte, hafızaya yerleştirilmiş bir programa göre işlem görmekte ve bu işlem sonunda verilen açma veya açma yapmama kararına göre dijital – analog çeviriciler üzerinden kumanda verilmektedir. Bu rölelerle istenilen açma karakteristiği kolaylıkla elde edilebileceği gibi kumanda zamanlarının daha da küçültülebileceği tasarlanmaktadır. Mikroişlemci teknolojisi sayesinde, diğer tip rölelerle ayrı modüllerle eklenebilen fonksiyonlar dijital rölelerde tek bir donanım içinde gerçekleştirilebilmiştir. Dijital rölelerle, güvenlik ve emniyet artırılmış ve kullanıcıya daha basit kullanım olanakları sağlamıştır. Dijital rölelerde, statik koruma rölelerinden daha kısa açma zamanı elde etmek için tamamen yeni ölçüm metotları yapılması mümkün olduğu halde açma zamanının daha fazla kısılması güvenilirlik nedeniyle uygun bulunmamıştır.

2.2 Yapılarına Göre Röleler

2.2.1 Elektromekanik Röleler

Koruma röleleri genel olarak yapılarına, gerçekleştirdikleri fonksiyonlarına ve uygulama alanlarına göre sınıflandırılırlar. Röleler yapılaş şekillerine göre elektromekanik, yarı iletken (statik) ve dijital olmak üzere üç gruba ayrılır. Ölçülen büyüklüğün rölenin demir çekirdeği üzerine etki ettiği F kuvvetini bir mekanik kuvvetle (örneğin yay kuvveti) karşılaştıran elektromekanik röleler sağlam ve ucuzdurlar ancak bu rölelerin konusunda uzmanlaşmış personel tarafından düzenli olarak bakım ve kontrollerinin yapılması gerekir. Ayrıca elektromekanik rölelerin tasarımı, elde edilen karakteristiklere, ayarlara ve yük kapasitelerine göre sınırlıdır. Buna karşın statik rölelerde, Lojik kapıların yanı sıra, analog devrelerde vardır ve bu röleler yardımıyla istenen çıkış karakteristiği elde edilebilir. Ayrıca statik röleler, elektromekanik (konvensiyonel) rölelerden daha küçük, hızlı ve güvenli yapılabilir. Statik röleleri mekaniki darbelere karşı dayanıklı ve çok az bakım gerektirecek şekilde imal etmek mümkündür. Ayrıca bu röleler yüksek duyarlılıkları sebebiyle daha küçük güçteki akım transformatörlerinin kullanılmasına ve daha gelişmiş karakteristiklerin elde edilmesine imkan sağlar. Statik röleler elektromekanik rölelerin aksine, herhangi bir kontağın herhangi bir fiziksel hareketi olmaksızın elektronik elemanların yalıtım durumundan iletim durumuna geçmesiyle yada bunun tersiyle devrede bir anahtarlama etkisi meydana getirirler. Anahtarlama etkisinin meydana gelmesinde, bir kontağın açılması veya kapanması gibi fiziksel bir hareket olmadığı için statik rölelerin ölçü transformatörlerinden gelen herhangi bir hata bilgisine karşı cevap süresi elektromekanik rölelere göre çok kısadır.

Dijital röleler ise kullanılan mikroişlemci teknolojisi sayesinde sayısal ölçme tekniklerini kullanarak diğer iki tip röleden hem daha güvenli ve emniyetli hem de kullanımı daha kolaydır. Sayısal ölçüm teknikleri daha büyük ölçüm doğruluğunu sağlar ve hatalara karşı kararlı bir şekilde korumayı gerçekleştirir. Elektromekanik koruma teknolojisinde kullanılan bir çok ek (yardımcı) fonksiyonlar, dijital koruma teknolojisinde tek bir teçhizatta meydana getirilmiştir. Böylelikle donanım yapısı elektromekanik röleden çok daha küçüktür. Elektromekanik rölenin personel tarafından sık sık kontrol edilmesi gerekirken dijital koruma rölesinin kendi kontrolü sayesinde bakım masrafları da oldukça düşürülmektedir. Herhangi bir hata bilgisine karşı cevap süresi elektromekanik röleye göre çok daha kısadır. Elektromekanik röleler; elektromagnetik röleler, magnetik indüksiyon röleleri, termik röle ve magnetik amplifikatörlü röleler olmak üzere dört bölümde incelenebilir.

2.2.1.1 Elektromagnetik Rôleler

Prensip olarak elektromagnetik rôleler, bir bobinin içinde bulunan magnetik bir devre ve karşısındaki bir paletten meydana gelir. Palet, kontakların hareketini engelleyecek yönde kuvvet uygulayacak bir yay yardımıyla belirli bir konumda tutulur. Magnetik alanı meydana getiren bobinden geçen akım belirli bir değere yükseldiği zaman meydana gelen çekme kuvveti yayın ters yönde palete uyguladığı kuvveti yenerek paleti çekere ve palete mekanik olarak bağlı olan kontaklar açılır veya kapanır. Bu düzenek hala pek çok yerde kullanılmaktadır. Kullanılma sebebi ise bu düzenin imalatının kolay olması, hızlı oluşu ve sarfiyatının az olmasıdır. ayrıca bu rôlelerde geri dönüş oranı diğer elektromekanik röle tiplerine nazaran daha büyüktür. Rôlenin çalışması sağlayacak minimum akıma çalışma akımı denir. Bobinden akım geçmesi sonucu çalışarak kontağı konum değiştirmiş olan bir rôlenin bobininden geçen akım sürekli olarak azaltılır. Bu azalan akım sonucu rôlenin kontağı bıraktığı anda bobinden geçen akıma geri dönüş akımı denir. Bu akım çalıştırma akımından küçüktür.

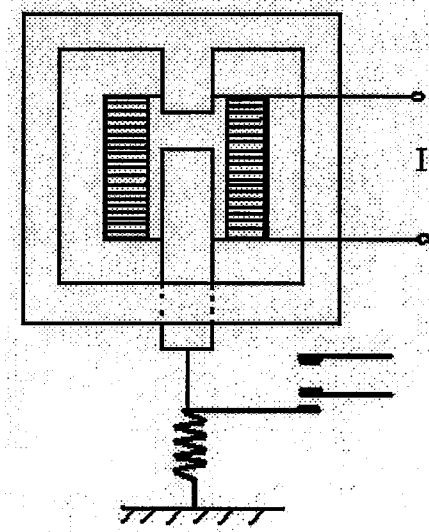
Özellikle darbeli akım çekilen yerlerde rôlenin geri dönüş akımının çalışma akımına yakın olması yani ikisi arasındaki farkın az olması istenir. İdeal durum çalışma ve dönüş akımlarının birbirine eşit olması halidir. Fiderden herhangi bir şekilde darbeli akım çekildiği zaman bu akımın genliği aşırı akım rôlesini çalıştıracak kadar yüksek olabilir. Darbe akımı kısa süre sonra çalıştırma akımının % 90'ına kadar düşse, eğer rôlenin geri dönüş akımı çalışma akımının % 80'ine röle kontağı çekili kalacak ve arıza olmadığı halde röle kontağının kapalı kalması sonucu belirli bir zaman sonra kesicisini yanlış bir şekilde açtırıp o bölgenin enerjisiz kalmasına neden olacaktır. Mevcut elektrik güç sistemlerinde bu tip arızalarla çok karşılaşılmaktadır.

Dalgıç Armatürlü Rôle

Dalgıç armatürlü rôlenin yapısı, bir dış magnetik ayarlı silindirik bobin ve bir merkez dalgıç armatürden ibarettir. Bobine uygulanan gerilim veya akım, rôlenin kontaklarını harekete geçirecek çalışma değerinden daha büyük olduğu zaman dalgıç armatür kontak takımını harekete geçirmek için yukarı doğru hareket eder. Dalgıç armatürü harekete geçirmek için gerekli olan kuvvet bobinden geçen akımın karesi ile orantılıdır.

Dalgıç armatürlü rôleler 5-50 msn olan çalışmaya geçiş zamanlarıyla ani rôleler olarak kabul edilir. Dalgıç armatür röle, enerjilendikten sonra rôleyi enerjisiz hale getirerek kontağı bıraktırmak için gerekli olan geri dönüş akımı oldukça yüksek olan yani çalışma ve geri dönüş

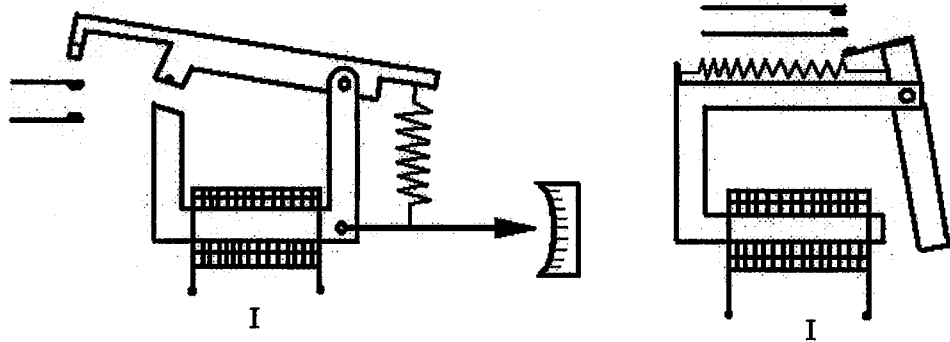
akımları birbirine çok yakın olan bir ani aşırı akım rölesi olarak kullanılır (Westinghouse Electric Corp., 1976).



Şekil 2.2 Dalgıç armatürlü röle basit yapısı

Menteşe Armatürlü (clapper) Röleler

Menteşe armatürlü röle, U- şeklindeki bir magnetik gövde ve bu gövdenin açık uçları arasında hareketli bir armatür bulunan bir yapıya sahiptir. Armatür menteşeli olup, diğer uçtan da bir yay ile engellenmiştir. Bobin enerjilendiği zaman, armatür bobin akımının karesiyle orantılı bir momentle hareket ederek açılan veya kapanan bir kontak takımının sabit kontağına temas eder. Bu rölelerin kontağının konum değiştirmesi için gerekli olan çalışma akımının değeri ile rölenin kontağını bırakması için gerekli geri dönüş akımı arasındaki fark, dalgıç armatürlü rölelere göre daha fazladır.



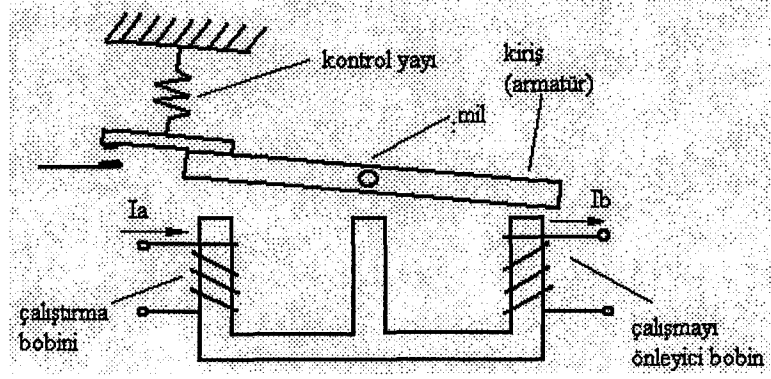
Şekil 2.3 Mentеше armatürlü röleler

Polarize Röleler

Polarize röleler, ilerinden geçen akımın yönüne göre kontaklarını hareket ettiren röleler olup magnetik yapının merkezinde hareket edebilecek şekilde monte edilmiş olan armat r n etrafında dönen bir bobinden doğru akım geçirilmesi ile çalışırlar. Magnetik yapının uçları arasındaki sürekli mıknatıs, armat r n geçtiği boŐluđun iki yanını kutuplandırır. Magnetik gövdenin arkasına yerleŐtirilen ve magnetik olmayan malzemeden yapılıŐ iki ara halkası ayarlanabilir iki magnetik őont ile köprülenmiŐtir. Bu tertip magnetik akı yolu yardımıyla kontak ayarını kolaylaŐtırır. DengelenmiŐ hava aralıklarıyla armatür enerjısiz bobinle birlikte merkezde asılı kalır. Dengesiz aralıklarla akımın bir kısmı paralel olarak armat rden geçer. Bu nedenle sonuçta meydana gelen polarizasyon enerjısiz bobinli bir kutba karşı armat r  tutar. Bobin akımı armat r n önceki polarizasyonu arttıracak veya azaltarak armat r  N veya S olarak kutuplandırır. Bu polarizasyon tasarım veya ayarlamaya bağlı olabilir

Terazi Kollu (Dengeli Kirişli) Röleler

Bu rölelerde dengelenmiŐ bir kiriŐin iki ucunda birer adet bobin bulunur. Bobinlerin kiriŐe uyguladıkları momentler birbirine zıt yönlüdür. Kontakđı hareket ettirerek kapama yönünde moment uygulayan bobine alıŐtırma bobini, aksi yönde moment uygulayan bobine de durdurucu bobin denir. Bu röle menteşeli konstrüksiyonun özel bir şekli olarak kabul edilebilir. KiriŐ (armatür) genellikle iki akım veya bir akım ve bir de gerilim olan uygun parametrelerle çalışan elektromagnetler tarafından çekilir röle kontakđının çalışmasının istenmediği zamanlarda kontakđın sabit kalmasını sağlamak amacıyla bir kontrol yayı yardımıyla kiriŐe hafif bir kuvvet uygulanmıŐtır. Bazı röle ünitelerinin çalışma bobininden akım geçtiği zaman, kiriŐin ucunda bulunan ve sabit pozisyonda bobinin içine çekilen ayrı bir armatür vardır. Bu röleler için çeşitli kontak ve yay düzenleri geliŐtirmek mümkündür. Dengeli kiriŐ ünitesinde, alıŐtırma bobininin bulunduğu yerdeki hava aralığından daha büyük olduğu için alıŐtırma akımı durdurma akımından daha b y ktir. KiriŐin her iki yanındaki kuvvet, hava aralığındaki akımın karesiyle orantılıdır. Hava aralığındaki akı akım ile doğru orantılı ve yaklaşık olarak magnetik devredeki toplam hava aralığı boyunun karesi ile ters orantılıdır.



Şekil 2.4 Terazi kollu röle

Dengeli kirişli rölelerde yaygın olarak kullanılan diğer bir yapı, bir rotor üzerine birbirine göre ters yönde etki eden moment denklemi şu şekilde ifade edilebilir.

$$T = ka \cdot Ia^2 - kb \cdot Ib^2 \quad (2.1)$$

(2.1) denkleminde ka ve kb tasarım sabitleridir. Rölenin çalışmaya başladığı anın başlangıcında net moment sıfır olup, bu nedenle

$$ka \cdot Ia^2 = kb \cdot Ib^2 \quad (2.2)$$

Bu durumda çalışma karakteristiği aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\frac{Ia}{Ib} = \left(\frac{ka}{kb} \right)^{1/2} = K \quad (2.3)$$

(2.3) denkleminde K bir sabittir. Eğer çalışma büyüklükleri V gerilimi ile I akımı ise, armatürler elektromagnetler tarafından $(ka \cdot V^2)$ ve $(kb \cdot I^2)$ momentleriyle çekilir. Bu röle ünitesinde, rölenin kontağı kapatmasını sağlayacak çalışma koşulu aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$ka \cdot V^2 > kb \cdot I^2 \quad (2.4)$$

$$\left(\frac{kb}{ka} \right)^{1/2} > \frac{V}{I} \quad (2.5)$$

$$\left(\frac{kb}{ka} \right)^{1/2} > Z \quad (2.6)$$

(2.6) eşitliği rölenin belirlenmiş empedanstan daha küçük değerli bir Z empedansı ölçtüğü zaman çalışacağını göstermektedir. Bu koşul aynı zamanda hatların korunmasında kullanılan

mesafe rölesinin temel çalışma prensibidir.

Terazi kollu rölelerde çalıştırma ve durdurma momentlerinin oranı faz durumuna çok bağlıdır. Bu rölelerde geri dönüş oranı çok yüksek olduğu için yanlış açmalar olabilir yukarıda da anlatıldığı gibi hava aralığındaki akının, magnetik devrenin toplam hava aralığının yaklaşık olarak karesi ile ters orantılı olarak azalır. Böylece çalıştırıcı ve durdurucu momentlerin oranı lineer değişmez ve röle yanılabilir.

Terazi kollu röleler çok hızlı çalışabilirler. Fakat faz açısına bağlı olarak ve geçici rejimlerde meydana gelen DC bileşenden dolayı yanlış açmalara neden olabilirler.

Faz hatasından dolayı meydana gelen yanlış açmaları önlemek için gerilim bobini parçalı veya üç bacaklı olarak yapılabilir. Parçalı kutuplarda her iki kısmın akılarının genlikleri eşit ve aralarında yaklaşık olarak 90° faz farkı olacak şekilde bir tasarım yapılır. Üç fazlı sistemlerde akılar arası 120° faz farkı bulunur.

Terazi kollu rölelerde, çalışma ve geri dönüş değerleri farkı kısmen azaltmak için denge kolunun hareketi engellenir. Kolun hareketi sebebiyle reaktansın toplam değişimi azaltmak amacıyla akım kutbunun magnetik devresi içinde hava aralığı meydana getirilir. Geçici olaylardan kaynaklanan arızalarda DC bileşenin sebep olacağı hatayı azaltmak için yüksek değerli bir şönt kullanılır (Blackburn, 1987).

2.2.1.2 Magnetik İndüksiyon Röleleri

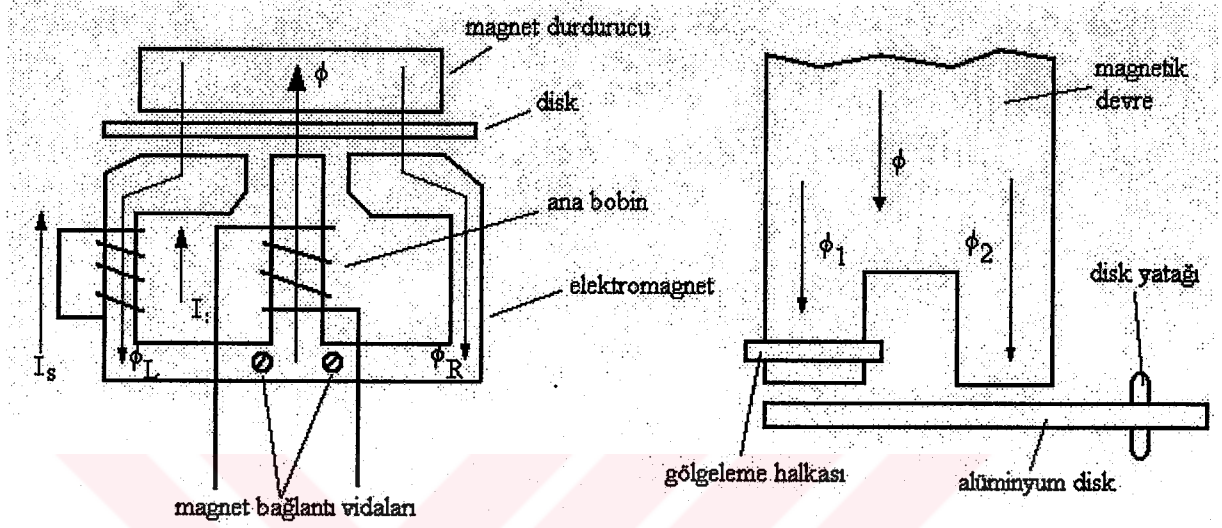
Magnetik indüksiyon röleleri, dik tipi indüksiyon röleleri ve silindir tipi indüksiyon röleleri olmak üzere iki gruba ayrılır.

Disk Tipi İndüksiyon Röleleri

İndüksiyon disk ünitesi, bir elektromagnetik kutup yüzeyleri arasında dönen bakır veya alüminyumdan yapılmış bir metalik diskten meydana gelmiştir.

Bu röleler, döner disk düzleminde indüklenen akımlar ile bir elektromagnet tarafından üretilen akıların birbirini etkilemesinden ortaya çıkan moment ile çalışır. Çift bobinli indüksiyon diskinde, diskin bir tarafında üç kutup ve bunun karşı tarafında ortak bir magnetik tutucu vardır. Ana bobin magnetik devrenin merkez bacağındadır. Ana bobindeki akım hava aralığından diske ve diskten de magnetik durdurucuya geçer ve Φ akısını oluşturur. Φ akısı sol bacadan Φ_L ve sağ bacadan Φ_R olmak üzere ikiye bölünür. Sol bacaktaki kısa devre edilmiş geciktirici bobin, Φ_R ve Φ 'nin her ikisini de geciktirmek için Φ_L 'nin farklı fazlı bir

motor hareketi meydana getirmesine neden olur. Φ_L akısı kısa devre edilmiş geciktirme bobininde aynı fazda akan I_s akımı ile V_s gerilimini indükler. Φ_T akısı ana bobinin I akımının oluşturduğu toplam akıdır. Bu üç akı hava aralığından geçer ve diskte girdap akımlarını indükler. Sonuçta bu girdap akımları birbirine zıt akımlar meydana getirir ve iki akı birbirini etkileyerek diski döndüren momenti oluşturur.



Şekil 2.5 Disk tipi indüksiyon röleleri

Gölgeleme halkalı indüksiyon diskli rölelerin çalışma prensibi indüksiyon diski ve elektromıknatıstan meydana gelir. Disk tipi indüksiyon rölelerinin diğer tiplere göre üç büyük avantajı vardır. Bunlar:

- Rölede sarf edilen VA için daha büyük moment elde edilir.
- Tek bobinli olduğu için kalın kesitli kullanılabilir.
- Diferansiyel röle uygulamalarında aynı diske iki elektromıknatıs ve bir damping mıknatısı bağlanabilir.

Rölelerin imalat ve tasarımında düşük sarfiyat ile büyük kontak basıncı istenmektedir. Kontak basıncının artması arkı dolayısıyla da kontak tahribatını azaltmaktadır. Diskli rölelerde bu özellik rahatlıkla elde edilebilmektedir. Kalın kesitli bobin kullanılmasıyla kuvvetli kısa devrelerde rölenin tahrip olması önlenebilir.

İndüksiyon rölelerinde dönme momenti faz farklı iki akımın meydana getirdiği dönel alanla elde edilir. Moment iki kutup çifti tarafından meydana getirilen Φ_1 ve Φ_2 akıları ve bunların arasındaki α elektriki faz açısına bağlı olarak $[\Phi_1] \cdot [\Phi_2] \cdot \text{Sin}\alpha$ çarpımı ile orantılıdır. Akılar arasındaki elektriki faz farkını elde etmek için genellikle gölgeleme halkası veya yardımcı ara

transformatörü kullanılmaktadır.

Φ akısı Φ_1 ve Φ_2 kısımlarına ayrılmıştır. Φ_1 akısının aktığı kısımdaki tek taraflı gölgeleme halkası bir transformatörün uçları kısa devre edilmiş sekonder sargısına eşdeğerdir. Gölgeleme halkası içinden alternatif bir akı aktığı için burada e_s geriliminden dolayı halkada I_s akımı akar. Bu iletkenin empedansı ihmal edilmezse I_s akımı e_s geriliminde λ açısı kadar geri fazdadır. Tek sarımdan ibaret olan gölgeleme halkasının magneto motor kuvveti;

$$F_{st} = \text{Sarım} \times I_s \text{ Amperdir.}$$

Kaçakları çıkarıldıktan sonra gölgeleme halkasının efektif magneto motor kuvveti F_s elde edilir. Kutbun magneto motor kuvveti;

$$F_1 = F_2 + F_s \text{ olarak bulunur.}$$

F_s , F_1 'e göre zıt yönde ($F_s \cdot \sin \lambda$) bileşenini içerir. Bu bileşen azda olsa F_1 'in değerini azaltır. Φ_1 ve Φ_2 akıları indüksiyon diskinde 90° faz farklı e_1 ve e_2 gerilimlerini indükler. e_1 ve e_2 gerilimleri diskte i_1 ve i_2 fuko akımlarının akmasına neden olurlar. Diski döndürecek moment, akıların her birinin diğer akı tarafından diskte indüklenen akıma etkisi ile meydana gelir. Bu moment vektörel çarpım olarak;

$$T = k \cdot (\Phi_1 I_2 - \Phi_2 I_1) \quad (2.7)$$

şeklinde elde edilir. (2.7) denkleminde akılar ayrı elektromıknatıslar tarafından meydana getiriliyorsa bu durumda moment ifadesi;

$$T = k \cdot N \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \sin \theta \cdot \cos \lambda \quad (2.8)$$

(2.8) denkleminde k tasarım sabitidir. I_1 ve I_2 hava aralığındaki magnetik alanı meydana getiren bobinlerden akan akımların efektif değeridir. θ , I_1 ve I_2 arasındaki açıdır. λ , disk empedansının faz açısıdır.

Gölgelemiş magnetik kutuplarda akılar aynı bobin tarafından meydana getirildiği için (2.8) denklemi;

$$T = k \cdot N \cdot I^2 \cdot \sin \theta \cdot \cos \lambda \quad (2.9)$$

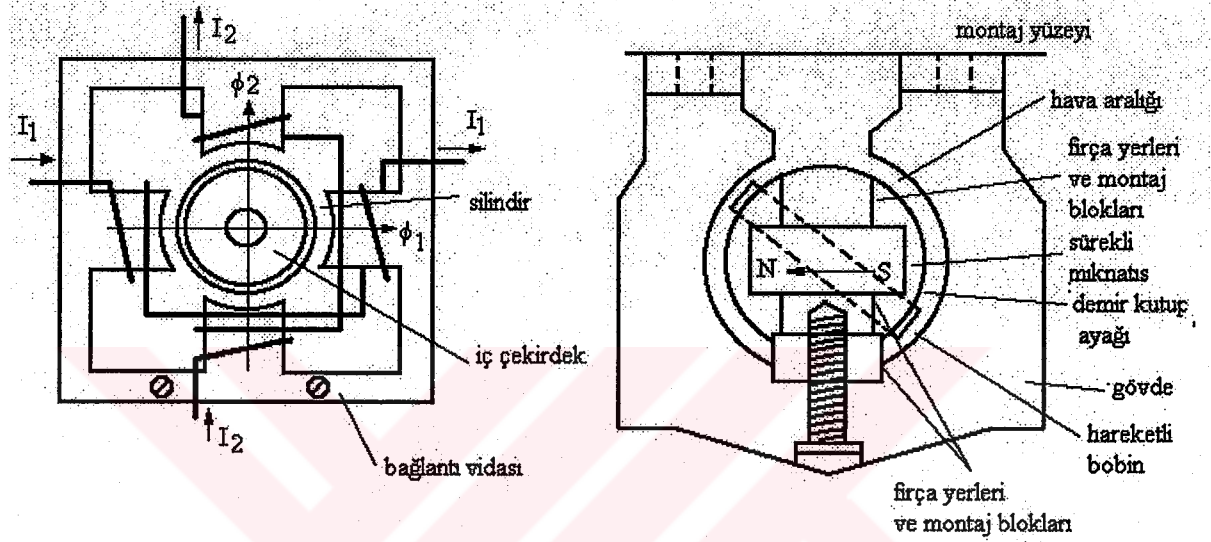
şeklini alır. $\cos \lambda$ sabit değeri de k katsayısının içine alınırsa moment;

$$T = k' \cdot N \cdot I^2 \cdot \sin \theta \quad (2.10)$$

şeklinde ifade edilir.

Silindir Tipi İndüksiyon Röleleri

Silindir tipi indüksiyon rölesi, bir ucu çan şeklindeki kapak ile kapatılmış, elektromagnetik kutup yüzeyleri arasındaki halka şeklinde ki hava aralığında dönen bir metalik silindir ve bir merkez çekirdeğinden oluşmuştur. Bu rölenin çalışması çıkık kutuplu bir indüksiyon motorunun çalışmasına benzediği için bu röleye çan tipi indüksiyon rölesi de denir.



Şekil 2.6 Silindir tipi indüksiyon röleleri

Kontak, bağlantılı durma noktaları ve durdurma momentini oluşturan spiral yay tarafından silindirin hareketi silindirin hareketi birkaç derece ile sınırlandırılmıştır. Çalışma momenti, iki çalışma akımının çarpımının ve aralarındaki akının kosinüsüne bağlıdır. Bu durumda moment ifadesi

$$T = kc \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos(\theta_{12} - \Phi) - ks \quad (2.11)$$

şeklindedir.

Moment ifadesinde yer alan,

kc = Tasarım sabiti

Φ = Tasarım sabiti

I_1 = 1. bobinden geçen akım

I_2 = 2. bobinden geçen akım

k_s = Durdurucu yay momenti

Çan tipi silindirik indüksiyon ünitesinin dönen parçalarının eylemsizliği az olduğu için rölelerin yüksek hızla çalışma özelliği vardır. Bu yüzden röleler ani çalışma gerektiren fonksiyonların elde edilmesi için kullanılabilir. Kutup sayısının fazla olması birden fazla elektriksel büyüklüğün ölçümüne imkan vermektedir.

2.2.1.3 Termik Röleler

Termik röle, bir ucu sabitlenmiş diğer ucu serbest olan bir bimetal şerit veya bir bobin oluşturmak üzere birlikte kaynak edilmiş, sıcaklık uzama katsayıları birbirinden farklı iki metal tabakasından meydana gelmiştir. Sıcaklık değiştiği zaman iki metalin sıcaklıkla değişme katsayısının farklı olması şerit veya bobinin serbest ucunun hareket etmesine neden olur ve bu hareketle bir kontak açılacak veya kapanacaktır. Bu tip röleler genellikle aşırı akım koruması için kullanılır.

2.2.2 Statik (Yarı İletken) Röleler

Mevcut olan koruma sistemi ve bu sistemdeki elemanların ihtiyacı karşılamada yeterli olması, teknolojik araştırma gelişimleri etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Koruma sistemlerinde elektromekanik rölelerden sonra kullanılmaya başlanan diğer röle tipi statik olanlardır. Bu tip rölelere elektronik röleler adı da verilmektedir. İlk önceleri koruma devrelerinin ve çalışma hızı indüksiyon diski, hareketli bobin ve menteşe armatür elemanlarının karakteristiklerine bağlı idi. Daha sonraları aşağıda belirtilen özellikler statik rölelerin gelişimini ve bu rölelere duyulan ihtiyacı artırmaktadır. Bu özellikler;

- Statik rölelerin performans ve karakteristikleri elektromagnetik rölelerden daha iyidir. Statik rölelerin önemli uygulama alanlarından birisi olan statik mesafe rölelerinde daha yüksek doğruluk ve duyarlılıkla birlikte çalışma hızı da yüksektir.
- İmalatta standartlaşmayı sağlamak daha kolaydır.
- İmalatı daha kolay ve bakım süresi kısadır.
- Elektronik röleler daha küçük ve hassas yapılabilmektedir.
- Ölçme sırasında harcadıkları güç daha az olup doğrulukları daha iyi, kumanda zamanları daha kısa, montajları kolaydır.
- Rölelerin açma karakteristiklerinin elektronik elemanlarla kolayca ayarlanması ve istenilen açma karakteristiğinin gerçekleştirilebilmesi mümkündür.

Yukarıda belirtilen faydalı tarafların yanında elektronik rölelerin kullanımında önemle dikkat

edilmesi gereken durumlarda vardır. Elektronik elemanlar aşırı gerilimlere karşı çok hassas olduğundan bu gerilimlerin ölçme iletkenleri üzerinden elektronik rölelere ulaşmaları önlenmelidir. Açıp kapama olayları sırasında ortaya çıkan aşırı gerilimler birkaç kV mertebesinde olabilirler. Enerji bakımından oldukça zayıf oldukları halde bu gerilimler elektronik elemanlara zarar verebilecek büyüklüktedir. Bu sakıncayı gidermek için elektronik röleler kuvvetli akım devrelerinden uzak tutulmalı, ekranlı kablolar kullanılmalı, topraklamaları iyi yapılmalı ve uygun giriş filtreleri kullanılmalıdır. Diğer bir husus ise endüktif yüklerin devreye sokulup çıkarılmaları sırasında ortaya çıkan gerilim sıçramalarının etkisini engellemek için elektronik röleleri besleyen yardımcı gerilim kaynağının diğer tüm yardımcı gerilim kaynaklarından tamamen ayrılmasının gerektiğidir.

2.2.2.1 Statik Rölelerin Sınıflandırılması

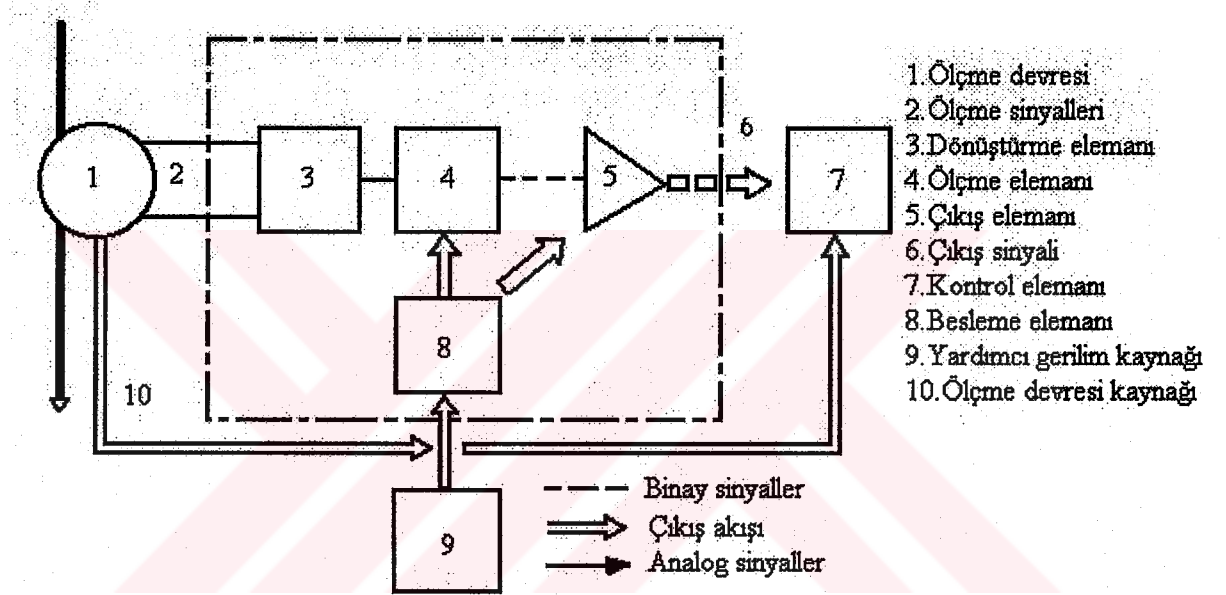
Transistör, tristör ve diyot gibi yarı iletken elemanlardan yapılan rölelere statik röle denir. Bu tip rölelerin karşılaştırma ve ölçme fonksiyonları, hareketli parçalar içermeyen statik devreler tarafından gerçekleştirilir. Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) kararına göre statik röleler üç kısma ayrılmıştır.

- Statik röle: Ölçme kısmına gelen ve rölenin ayar değerini aşan akım veya gerilim değerine mekanik bir hareket olmaksızın, elektronik, magnetik veya diğer elemanlar yardımıyla cevap veren röledir.
- Çıkış kontaklı statik röle: Çıkış devresinde bir yada birden fazla kontak olan röledir. Daha önceleri bu rölelere yarı statik röle denmiştir.
- Çıkış kontaklı statik röle: Çıkış devresinde kontaklı olmayan röledir. Önceden bu röleye tam statik röle denmiştir.

2.2.2.2 Statik Rölelerin Temel Yapısı

Koruma röleleri, koruma fonksiyonlu analog / binary (ikili) sistem dönüştürücüleridir. Akım, gerilim, frekans ve faz açısı gibi değişkenler ile diferansiyel, integral ve diğer matematiksel işlemlerle türetilen değerler ölçüm ünitesinin girişine analog sinyaller olarak gelir. Daima çıkış bir binary sinyaldir. Röle kesiciyi açtırmayacaksa çıkış sinyali açık (OFF) sinyalidir. Eğer röle kesiciyi açtıracaksa çıkış sinyali kapalı (ON) olur. Bu çıkış sinyalleri bir sonraki kontrol elemanı tarafından değerlendirilir. Bir koruma rölesi şekil 2.7'de gösterilen temel blok diyagrama göre burada yer alan elemanların sırayla birleştirilmesinden meydana gelir. Bir akım veya gerilim ölçü transformatörü olan ölçme elemanından alınan ve sürekli değişken formda olan değerler koruma rölesindeki dönüştürücü (konverter) üniteyi besler. Ölçme

devresinden (1) alınan sinyaller dönüştürücüde (3) işlenecek hale getirilir ve şekildeki gibi ölçme elemanı tarafından değerlendirilir. Ölçme elemanı girişindeki sinyaller rölenin çalışması için gerekli olan eşik değeri aştığı zaman ölçme elemanı çıkışında kapalı bir sinyal elde edilir. Çıkış elemanı (5) ölçme elemanlarından alınan zayıf binary sinyali kuvvetlendirerek bir veya daha çok kontrol elemanına (7) iletir. Kontrol elemanı (7) bir besleme elemanı (8) tarafından ölçme veya çıkış elemanına verilen güç yardımıyla bir kesiciyi açtıracak şekilde bir anahtarlama fonksiyonu oluşturur. Kesiciyi açtıracak olan anahtarlama fonksiyonu için gerekli olan güç ya bir yardımcı gerilim kaynağından (8) yada direkt olarak ölçme devresinden (1) temin edilir (Rao, 1992).



Şekil 2.7 Koruma rölelerinin temel blok diyagramı

Dönüştürme Elemanı

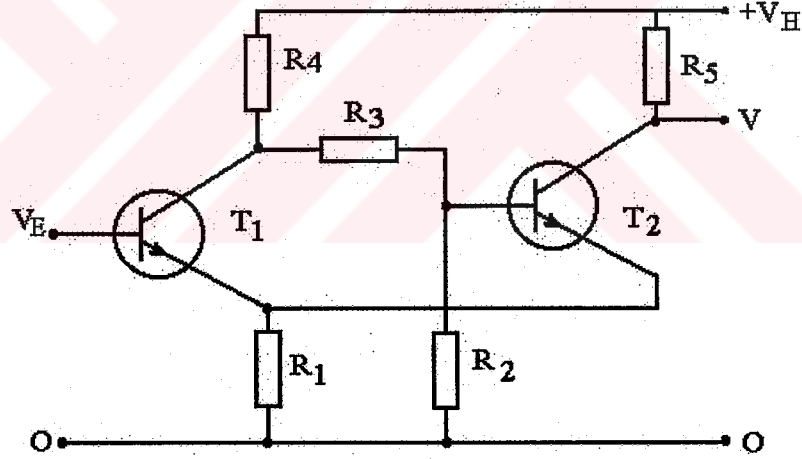
Bu eleman çıkışında istenen genlikte sinyaller elde etmek amacıyla eleman içine uygunlaştırıcı transformatörler yerleştirilir. Akım veya gerilimle çalışmak üzere yapılan bir koruma rölesi bu elektriksel büyüklüklerden birisi ile beslenir. Uygunlaştırıcı transformatör çıkışından alınan AC akım veya gerilim bir köprü diyot yardımıyla doğrultularak DC akım veya gerilime dönüştürülür. Sabit ve değişken değerli dirençler, kırpma diyotları vs. gibi elemanları olan devrelerin ayarı sırasında rölenin çalışma hızı çok önemli değilse, ölçülen büyüklük bir harmonik filtresinden geçirilir. Bazı rölelerde dalgalanmaları süzmek için düzgünleştirici filtreler kullanılır.

İki elektriksel büyüklükle çalışan rölelerde dönüştürme elemanı, röle girişlerindeki iki

elektriksel büyüklükle beslenir. Her durumda akım veya gerilime dönüştürülen iki sinyal arasında genlik veya faz karşılaştırılması yada bunların her ikisi yapılabilir. Darbe karşılaştırılması yapılması durumunda değişkenlerden biri sıfırdan geçtiği zaman bir iğne darbeye dönüştür ve diğer değişken dikdörtgensel blok haline dönüştürülerek iğne darbesiyle blok çakıştığı zaman karşılaştırıcı devre çıkışında kapalı bir sinyal oluşur bu işlem son derece kısa bir cevap süresi oluşturur. Üç veya daha fazla elektriksel büyüklükle çalışan rölelerde dönüştürme elemanı bu giriş büyüklükleri ile beslenir

Ölçme Elemanı

Ölçme elemanı, ölçme fonksiyonlu bir analog / binary dönüştürücüdür. En basit statik ölçme devresi Şekil 2.8'de gösterilen bir Scmitt Trigger devresidir. Scmitt Trigger devresi son derece hızlı polarize olabilen bir röle ve bir seviye detektörü gibi çalışır. Bu devrede transistörlerin emiterleri şaseye bağlı olduğu için (ortak emiter montajı) devrenin giriş direnci ve akım kazancı çok yüksektir. Giriş gerilimi belli bir değeri aştığı zaman seviye detektörü çıkış verir.



Şekil 2.8 Analog / Binary sinyal dönüştürücü (Scmitt Trigger)

Çıkış Elemanı

Çıkış elemanı, ölçme elemanından gelen çıkış sinyalini kuvvetlendirir, gerekirse katlarını alır, bu sinyali diğer sinyallerle birleştirebilir ve gerekirse bir zaman gecikmesi oluşturur. Çıkış elemanı sadece binary sinyalleri işlemek zorunda olduğu için bu devrenin çok hassas olması gerekli değildir, çıkış devresinde yardımcı röleler ve kontaktörler bulunabilir. Bu durum kontrol edilen devreyle kontrol eden devrelerin birbirinden bağımsız ve farklı değerdeki

gerilimlerle çalışmasını sağlar. Çıkış devresi iki kararlı (bistable), tek kararlı (monostable) devrelerden oluşabilir. Gerekirse çıkış sinyali VE, VE DEĞİL lojik kapıları ve zamanlama elemanlarıyla modüle edilebilir. Çıkış elemanında kesicilerin açma bobinlerine kumanda edilmesi gibi büyük güçlerin söz konusu olduğu yerlerde tristörler kullanılır.

Besleme Elemanı

Bu elemanın görevi devrelerin çalışması için gerekli besleme gücünü temin etmektir. Besleme gücü ya tekrar şarj edilebilen Ni-Cd pillerden oluşan yardımcı kaynaktan yada akümülatör bataryalarından elde edilir. Birçok koruma rölesinde bu güç doğrudan ölçme devresinin kendisinden temin edilir. Statik rölelerde ölçme doğruluğunun bozulmaması için statik devreleri besleyen besleme elemanı stabil bir gerilim vermelidir. Statik röleler ortaya çıkıp gelişmeye başladığı zaman ilk aşamada özellikle İngiltere’de imal edilen statik rölelerde buton piller olarak da bilinen ve tekrar şarj edilebilen Ni-Cd piller kullanılmış ancak zamanla tecrübeler sonucu bu pillerin güvenilirliğinin az olduğu görülmüştür. Bugün bunların yerine uygun gerilimlerde ara uçlar çıkartılmış olan sabit akümülatörler kullanılmaktadır. Bazı rölelerde besleme kaynağı doğrudan akım veya gerilim ölçü transformatörünün kendisidir. Böyle rölelerde sadece hata detektörü tarafından bir hata tespit edildiği zaman güç kaynağı röleye bağlanır.

2.2.2.3 Statik Rölelerin Avantajları

Statik rölelerin elektromekanik rölelere göre avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

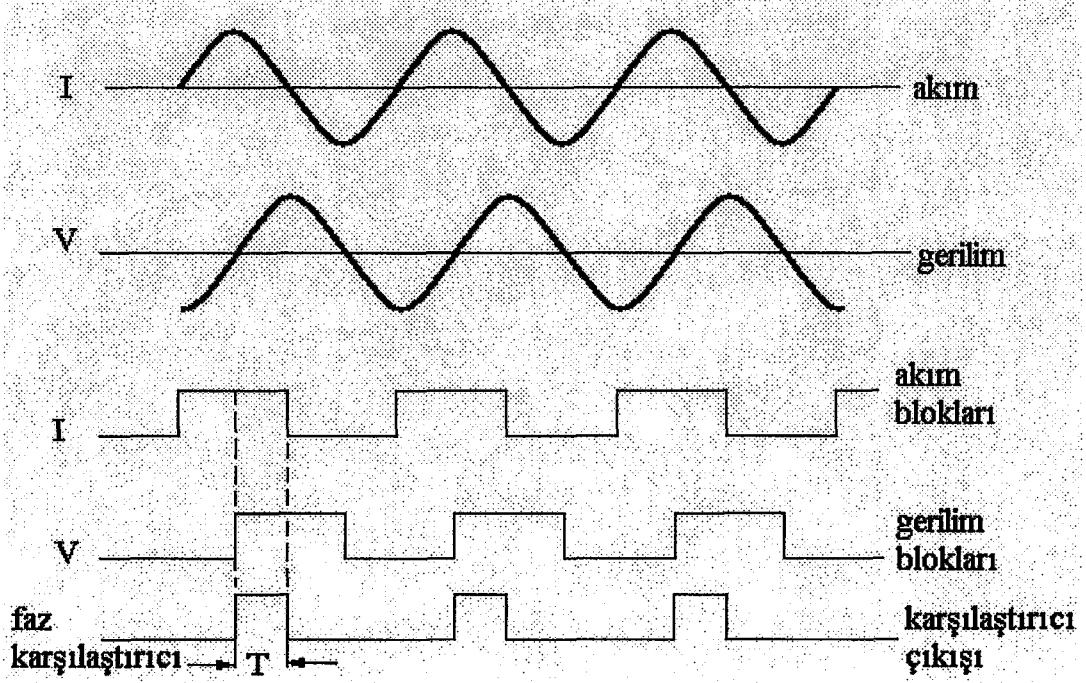
- Statik rölenin çalışması için gereken güç yardımcı bir kaynaktan sağlanır. Bu nedenle bu tip röleler akım ve gerilim transformatörlerini daha az yüklerler.
- Çalışma hızları elektromekanik rölelere göre daha yüksek olup ömürleri de daha uzundur.
- Statik rölelerde hareketli parçalar bulunmadığı için mekanik eylemsizlik yoktur ve hızlı açma-kapama yapan kontaklardan dolayı meydana gelen parazitler oluşmamaktadır. Ayrıca mekanik rölelerdeki gibi hareketli parçaların sürtünmesi ve teması sebebiyle aşınma olmaz ve bu nedenle daha az bakıma ihtiyaçları vardır, bakımları daha kolaydır.
- Rölenin geri dönüş (reset) hızı elektromekanik tipe göre çok kısadır.
- Rölenin ölçme kısmına gelen korunacak olan akım ve gerilim değerleri çok küçük olsa bile amplifikatör devreleri yardımıyla bunlar kolaylıkla kuvvetlendirilir, bu nedenle daha yüksek duyarlılık elde edilebilir.
- Statik rölelerde temel karakteristiklere sahip birçok devre birleştirilerek istenen ideal karakteristiğe çok yakın bir karakteristik elde etmek mümkündür.

- Yarı iletken elemanlardan oluşan ölçme devrelerinin enerji ihtiyacının çok düşük olması nedeniyle röle boyutları çok küçültülebilir.

2.2.2.4 Statik Rölelerin Koruma Uygulamalarında Kullanılması

Statik röleler hareketli parçalarının bulunmayışının sonucu olarak, çok hızlı çalışırlar ve cevap süreleri de çok kısadır. Statik röleler yapılarında bulunan çok yüksek güvenilirlikteki performansa sahip silikon planer transistörler nedeniyle güvenilirliği son derece yüksek olan rölelerdir. Statik rölelerde akım ve gerilim büyüklükleri ile faz açılarını saptamak için uygun devre tasarımları yapılır. Şekil 2.9'te statik rölede akım ve gerilim arasındaki faz açısının nasıl ölçüldüğü gösterilmiştir. Şekil 2.9'de görülen sinüzoidal değişim gösteren akım ve gerilim dalgaları, sinüs dalgalarını kareye çeviren ve negatif yarım periyot boyunca sıfır çıkış veren kare dalga amplifikatörünün girişine uygulanır. Genel olarak kare dalgalara blok adı verilir ve bloklar sadece akım ve gerilim blokları çakıştığı zaman çıkış veren bir karşılaştırıcı devreye gönderilir. Karşılaştırıcının çıkışı akım ve gerilimin bir fonksiyonudur.

Statik rölelerde kullanılan lojik devreler hata algılama ve bilgi işleme lojik üniteleri, lojik kuvvetlendirme üniteleri ve yardımcı lojik üniteler olarak sınıflandırılabilir. Birinci tip lojik devrelerde hataları tespit etmek için karşılaştırıcılar kullanılır. Ani ve ters zamanlı aşırı akımları tespit etmek için genlik karşılaştırıcıları kullanılır. Bir fazlı belirli zamanlı aşırı akım rölesinde AC akım orantılı olarak DC gerilime çevrilerek sabit bir DC gerilim seviyesi ile karşılaştırılmaktadır. Referans seviyesi aşıldığı zaman zamanlayıcı çalışmaya başlar. Zamanlayıcının ayarlandığı zaman gecikmesi dolduğu an ikinci seviye detektörü çıkış devresini çalışır hale getirir. Giriş devresi bir akım transformatöründen oluşur ve doğrultulan sekonder akımı ile şönt direnci beslenir. Akım transformatörünün sekonderinden ara uçlar çıkartılmasıyla yada sekondere yük olarak bağlanmış olan şönt direncin değeri değiştirilerek rölenin akım ayarı yapılabilir.



Şekil 2.9 Statik röle ile faz açısının karşılaştırılması

Zaman geciktirme ayarı, zaman geciktirme devresindeki R, C elemanlarından R direncinin kalibre edilmiş bir potansiyometre yardımıyla değerinin değiştirilmesi suretiyle gerçekleştirilir.

2.2.3 Dijital Röleler

Elektromekanik ve statik rölelerden sonra son yıllarda elektrik tesislerinde kullanılmaya başlanan diğer bir röle tipi ise, mini ve mikro kompütürlerle gerçekleştirilen dijital rölelerdir. Gerek elektromekanik gerekse statik röleler analog çalışan koruma röleleridir, yani analog olarak ölçülen büyüklükler ayar büyüklükleri ile yine analog olarak karşılaştırılmaktadır. Mikroişlemci tekniğinde ise sayısal ölçme tekniğinden yararlanılır. Ölçü büyüklüklerinden alınan ani değerler analog-dijital çeviriciler ile dönüştürülmekte, hafızaya yerleştirilmiş bir programa göre işlem görmekte ve bu işlem sonunda varılan açma veya açma yapmama kararına göre dijital-analog çeviriciler üzerinden kumanda verilmektedir.

Sayısal ölçme tekniğinin kullanımıyla diğer tip rölelere nazaran güvenlik, emniyet ve kullanıcıya kullanım kolaylığı sağlayan fonksiyonların artırılması avantajlardan bazılarıdır. Elektromekanik koruma röleleri tek tek koruma modüllerinin birleşmesiyle meydana getirilirken, mikroişlemci tabanlı dijital rölelerde ise tek bir donanım içinde tüm koruma fonksiyonları yerine getirilebilir.

Dijital rölelerin bir başka avantajı da yapısında bulunan haberleşme terminalleri vasıtasıyla diğer dijital rölelerle haberleşme yeteneğinin olmasıdır. Bu terminaller vasıtasıyla hem dijital rölelere dışarıdan bir PC yardımıyla müdahale edilebilir hem de koruma rölesinin kendisinden çok uzakta olan bir merkezle haberleşmesi sağlanabilir. Bu durum kullanıcılara büyük kolaylık sağlamaktadır. Dikkat çeken diğer bir husus mikroişlemci teknolojisi sayesinde dijital rölelerin kullanıcılara olduğu kadar üreticilere de büyük kolaylık sağlamasıdır. Mikroişlemci yazılımlarında yapılan ufak bir değişiklik sonucu cihazların işlevleri kolayca arttırılabileceği gibi cihazlara yeni işlevler de kazandırabilir.

Statik rölelerin içerdiği parça sayısı elektromekanik rölelerden çok daha fazladır. Dijital rölelerle bu parça sayısı azaltılma yoluna gidilmiştir. Bir koruma cihazının güvenilirlik oranı cihazı oluşturan her bir parçanın ortalama güvenilirlik oranı ile yakından ilgilidir. Bünyesinde fazla sayıda parça bulunduran cihazların üreticileri (dijital koruma röleleri elektromekanik rölelerden daha fazla, statik rölelerden daha az parçadan oluşur) güvenilirliği yüksek tutmak için parça sayısında optimizasyona yönelmek daha kaliteli, güvenilir parçalar kullanmak zorundadırlar.

Mikroişlemci teknolojisinin koruma tekniğinde kullanılmasıyla koruma rölelerine yeni yetenekler kazandırabilmektedir. Bu yeteneklerden biri de alınan akım ve gerili değerlerinden aktif güç, reaktif güç, $\cos\phi$ ve sayaç değerleri gibi kullanıcı için büyük önem taşıyan değerlerin hesaplanabilirliğidir. Tüm bu hesaplamalar çift sekonder çıkışlı ölçü transformatörünün koruma çıkışından alınan değerlerle yapılır.

Koruma tekniğinin başlıca görevlerinden biri de bir arıza halinde tehlike altında olan tesisi kısımlarının en kısa sürede devre dışı edilmesidir. Böylece olası hasarın azaltılması sağlanmaktadır. Bu nedenle koruma rölelerinin açtırma süreleri kısaltılmaya çalışılmıştır. Dijital rölelerin açtırma zamanı elektromekanik rölelere göre daha kısa olup günümüzde, teknolojik alt sınır olan 20 ms'ye kadar düşülmüştür. Daha kısa zamanlara inmek mümkün ama sakıncalıdır. Bunun nedeni 50 Hz'lik bir frekansta alternatif akımın bir periyot süresi olan 20 ms'nin açma kararının güvenilirliği açısından gereklidir. Bir arıza halinde enerji akışının kesilmesi için gereken süreyi koruma rölesinin yanı sıra kesicinin açma süresinin toplamına eşittir. Günümüzde kullanılan kesicilerin açma süreleri 100 msn olduğunu düşünürsek, koruma rölesinin açtırma süresi ne kadar kısa olursa olsun kesici açma süresi toplam süreyi etkileyen ana faktördür.

Mikroişlemci ve yarı-iletken elemanlardan meydana gelen dijital koruma rölelerinde,

elektromekanik ve statik rölelere göre hem akım ölçü devrelerinden hem de gerilim ölçü devrelerinden çekilen güç azdır.

Dijital koruma rölelerinin kullanıcılarına getirdiği bir başka kolaylık birden fazla koruma fonksiyonunun tek bir cihaz tarafından sağlanabilirliğidir. Tek bir cihaz geçmiş teknolojilerle üretilmiş birçok cihazın görevini üstlenebilmektedir. Böylece karmaşık, dolayısıyla da pahalı montaj gerektiren ayrıca fazla yer kaplayan koruma düzenekleri yerlerini dijital koruma rölelerine bırakmışlardır. Böylece kazanılan bir başka fayda da belirli koruma fonksiyonlarının birbiriyle ilişkilendirilerek daha üstün bir koruma sağlanabilirliğidir. Örneğin generatör koruma tekniğinde dijital teknik kullanılarak frekansla orantılı düşük gerilim koruması yapılabilmekte ve bu sayede generatörler daha güvenilir çalıştırılabilmektedir. Oysa ki geçmiş teknolojilerle frekans koruması ayrı gerilim koruması ayrı yapılabilmekte ve pahalı çözümlere gereksinim duyulmaktadır.

İlk olarak üretilen dijital koruma röleleri tek bir koruma fonksiyonuna sahipti ve bunun sonucu olarak analog-elektronik koruma rölelerinden daha pahalı idi. Bunun üzerine üreticiler açısından çok fonksiyonlu dijital koruma rölesi üretimine gidilmiş ve fiyatları da cazip tutulmuştur. Örneğin piyasada sadece aşırı akım-zaman koruma fonksiyonuna sahip dijital koruma rölesi oldukça azdır. Ancak aşırı akım- zaman fonksiyonuyla birlikte birkaç koruma fonksiyonuna daha sahip dijital röleler temin edilebilir.

Enerji tesislerini dijital koruma cihazları üzerinden uzaktan kontrol ve kumanda etmeyi amaçlayan kullanıcılar, bu cihazlara sahip olmakla dijital koruma düzeneklerinin bünyesinde yer alan birkaç koruma fonksiyonundan, haberleşebilme ve analog değerlerin izlenebilme özelliklerinden faydalanabileceklerdir (Ok, 1995).

2.2.3.1 Dijital Rölelerin Avantajları

Dijital rölelerin elektromekanik rölelere göre avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Tek bir donanım içerisinde birden fazla koruma fonksiyonu yerine getirilir. Bunun sonucu olarak da koruma rölesinin kullanıldığı yerde kapladığı alan oldukça azdır.
- Dijital koruma röleleri yapısında bulunan haberleşme terminalleri vasıtasıyla diğer dijital sistemlerle haberleşebilirler. Bu terminaller vasıtasıyla röleye bir PC yardımıyla dışarıdan müdahale edilebilir, hem de rölenin kendisinden çok uzakta olan bir merkezle haberleşmesi sağlanabilir.
- Rölenin yapısında bulunan mikroişlemcinin yazılımını değiştirmek suretiyle röleye ek

fonksiyonlar ilave edilebilir.

- Bir arıza durumunda dijital rölelerin kesicileri açtırma süresi elektromekanik rölelerden daha kısadır.
- Dijital rölenin yapısından yer alan yarı iletken elemanlar nedeniyle, gerilim ve akım ölçü devrelerinden çekilen güç elektromekanik rölelere göre daha azdır.
- Dijital koruma röleleri yapısal büyüklük bakımından elektromekanik rölelerden daha küçüktür.
- Dijital koruma röleleri, herhangi bir arıza durumunda, arıza anı ve öncesi akım gerilimleri kaydeden ve geçici olmayan bir hafızaya sahiptir.
- Dijital koruma rölelerinin en önemli avantajlarından biri de rölenin kendi kontrolüdür. Rölenin sürekli olarak kendi yazılımını ve donanımı kontrolü bakım maliyetlerini azaltarak önemli bir avantaj sağlar.
- Dijital koruma rölelerinde, mikroişlemci teknolojisinden yararlanılarak güvenilirlik ve ölçüm doğruluğu arttırılmıştır.
- Menü tabanlı çalışmanın sonucu olarak basit ve güvenilir kullanım söz konusudur. Dijital koruma rölesinin sahip olduğu LCD ekran sayesinde arıza olayı ile ilgili mesajlar, arıza değerleri rahatlıkla izlenebilir. Bu değerler PC ile beraber kullanılan bir yazıcı vasıtasıyla kolaylıkla kağıda aktarılabilir.
- Dijital röleler dayanımları bakımından diğer tip rölelere göre daha uzun ömürlüdür.
- Dijital rölelerde elektromekanik rölelere göre seçicilik daha fazla, arızanın temizleneme süresi ise daha kısadır.

2.3 Rölelerin Modellenmesi

Bir röle modeli gerçek bir rölenin yazılım olarak temsilidir ve bir çok şekilde yararlı olabilir. Röle üreticileri istenen performans elde edilene kadar tekrar tekrar röle prototipleri yapmak yerine, röle modelleri kullanarak röle çalışma prensipleri ile performansları değerlendirilir. Bu da röle geliştirme sürecini hızlandırmaktadır. Modeller sayesinde müşteriler satın almadan önce rölenin performansını değerlendirebilirler. Mühendisler ve danışmanlar röle modelleri ile, çalışmayan yada hatalı çalışan bir rölenin çalışmasını analiz edebilirler. Ayrıca röle modeli yeni mühendis ve teknikerler için bir eğitim aracı olarak kullanılabilir.

2.3.1 Röle Modellerinin Üreticiler Tarafından Kullanılması

Üreticiler röle modellerini gerçek modelin prototipinden önce bile kullanmaktadırlar, çünkü rölelerin yazılım modelini kullanmak bu dizaynı test etmek için hem görece kolay hem de

maliyet açısından hesaplıdır.

2.3.2 Röle Modellerinin Müşteriler Tarafından Kullanılması

Röle modellerinin endüstriyel şirketler ve tesis röle uygulama mühendisleri için çok faydalı araçlardır. Modelleri, rölenin sistemlerine uyguladığını değerlendirmek için kullanabilirler. Ayrıca röleyi farklı ayarları ile kendi sistemlerini simüle ederek optimum röle ayarlarını bulabilirler.

Küçük tesisler için, yazılım modelleri masraflı röle test laboratuvarlarına göre hesaplı bir alternatiftir.

2.4 Röle Modellerinin Eğitim İçin Kullanılması

Yazılım modelleri, koruma sistemlerinin genel çalışma prensiplerinin gösterilmesi için etkili bir yoldur. Farklı koruma ayarları ve bunların koruma davranışı üzerindeki etkileri kolaylıkla gösterilebilir. Koruma alanında çalışmaya yeni başlayanlar için de değerli araçlardır.

2.5 Bir Röle Modelinin Bileşenleri

Rölenin her bileşeni performansını farklı şekilde etkilemektedir. Bu bileşenlerin etkilerinin incelenmesi için doğru şekilde modellenmelidirler. Tam bir röle modeli aşağıdaki bileşenlerden oluşur.

2.5.1 Ölçü Trafoları

Ölçü trafoları rölenin performansını oldukça etkilemektedirler. Bu nedenle doğru bir şekilde modellenmeleri gereklidir. Bunların transiyent davranışlarına bir çok faktör etki eder, bunlardan biri de bozulan dc bileşendir. Bu modeller CT (Akım trafosu) doyumları ferro-rezonans olayı, harmonikler ve rölelerdeki alt harmoniklerin incelenmesi için önemlidir.

2.5.2 Sinyal Belirleme Filtreleri

Katı halde kullanılan anti-aliasing filtreleri ve nümerik röleler röle de çok önemli bir rol oynamaktadır bu nedenle röle modeline dahil edilmelidirler. Burada ele alınması gereken bazı parametreler filtrenin tipi, filtre sırası ve filtre kesme frekansıdır.

2.5.3 Analog-Dijital Konverterler

Analog-dijital konverterler dijital rölelerin gerekli parçalarındandır. Bazıları önemli ve bazıları önemsiz birçok hataya sebep olurlar. A/D konverter filtreden gelen çıktıları örnekler.

Modelin bu bileşeni A/D konverterlerin çözünürlüğü ve örnekleme frekansının etkilerinin incelenmesi için kullanılabilir.

2.5.4 Fazör Hesaplayıcıları

Bu bileşen fazör tahmin algoritmalarını modeller. Bu Discrete Fourier algoritması veya Least Error Squares Algoritması gibi standart algoritmalarından biri olabilir. Veya üreticinin kendi algoritmalarından biri olabilir.

2.5.5 Röle Dinamikleri Modeli

Eğer modellenen röle elektromekanik bir röle ise röle dinamikleri modellenmelidir. Bu, elektromekanik rölenin çalışma prensibini tanımlayan denklemlerin kodlanmasını içerir.

2.5.6 Lojik Modül

Dijital rölelerde gerilim akım fazörleri daha sonra koruma algoritmasında kullanılacak olan fazör tahmin algoritmalarından biri kullanılarak tahmin edilir. Koruma algoritması modellenen rölenin yapacağı koruma tipine göre değişir.

Karmaşık bir röle anti-aliasing filtre veya A/D konverterler gibi birçok modülü içerir. Basit bir modelin gerekli bileşenlerini kullanarak yapılabilir. Her bileşenin tipi de ayrıca seçilebilir. Genelde rölenin hesaplama algoritması ve röle algoritmasına etki eden donanım bileşenleri modellenir.

2.6 Röle Modelinin Gerçekleştirilmesi

Bir test güç sistemi EMTP, EMTDC/PSCAD, NETOMAC, MORGAT, MICROTRAN gibi güç sistemi simülatörleri ile simüle edilebilir. Rölenin yazılım modeli alt-rutin olarak gerçekleştirilir. Test sisteminde bu modeller iki yöntemle gerçekleştirilir. İlk yöntemde, model, güç sistemi simülatörünün içinde direkt olarak kodlanabilir. Örneğin EMTDC/PSCAD' de kullanıcı tanımlı model FORTRAN'da yazılabilir. İkinci yöntemde model MATLAB gibi bir programlama platformunda kodlanabilir. EMTDC simülasyonundan alınan çıkış verisi kaydedilip MATLAB programına verilebilir. Alternatif olarak veri, uygun bir arayüzle her simülasyon basamağı için MATLAB' e aktarılabilir.

2.7 Röle Modelleri Kullanarak Test

Güç sistemi elektromanyetik transiyent programlarından (EMTP) biri kullanılarak simüle edilir. Fiziksel bir röleyi temsil eden geliştirilmiş röle yazılımı modeli uygun bir arayüzle

transiyent simülatör programına bağlanır.

Simülasyon iki şekilde olabilir; playback ve kapalı döngü. Eğer simülasyon playback yada açık döngü ile yapılıyorsa, transiyent simülatöründeki veri bir dosyaya kaydedilir ve röle modeline girdi olarak verilir. Bu durumda, röledeki çıktı giriş sinyalini üreten işlemi etkilemez. Çıktı kaydedilir ve daha sonra başka analizler için kullanılır.

Eğer simülasyon kapalı döngü ile yapılırsa, röle modeli güç sisteminin bir parçası olarak dahil olur, bu nedenle simülasyonun bir parçası haline gelir. Transiyent simülatörü modelden gelen veriyi kabul edebilmeli ve devam eden simülasyonda kullanılmalıdır.

2.8 Röle Modellemesindeki Zorluklar

Röle modeli, gerçek fiziksel bir röle kullanmadan bir rölenin test edilmesi için doğru bir araçtır. Ancak, doğru bir röle modeli için kapsamlı tasarım detayları gereklidir. Ama üreticiler ticari sebeplerden dolayı bütün tasarım bilgilerini açıklamak konusunda şüpheli davranırlar. Bu durum ticari rölenin tesisler ve eğitim kurumları tarafından modellenmesi sırasında gerçek bir sorun olmaktadır.

2.9 Röle Modellemede Gelecek Eğilimler

Yukarıda anlatılan sorunlar için öne sürülen çözümlerden biri de kullanıcı-sunucu yaklaşımıdır. Üreticiler röle tasarım detaylarını, onları koruma çalışmalarında modellemek isteyen müşterilerine açıklamak zorunda değillerdir. Bu durumda, üreticilerin röle modellerini müşterilerine vermeden, modelleri kendi sunucularında tutarak müşterilerin modellere internet üzerinden erişebilmeleri düşüncesi ortaya çıkmıştır.

Bu düşüncenin iki parçası vardır; kullanıcılar ve sunucular. Kullanıcı tarafı sunucu ile internet üzerinde haberleşir. Röle modelleri de üretici tarafında sunucuda bulunmaktadır. Kullanıcı bir tesis yada endüstriyel müşteri olabilir. Kullanıcı röleyi bir güç sisteminde test etmek isteyebilir. Bu güç sisteminin değişik bileşenlerini elektromanyetik transiyent programı ile simüle etmek suretiyle olabilir. Bu simülasyon röleler hariç güç sisteminin tüm bileşenlerini içerebilir. Bu modelde üreticilerin sunucuları ile ulaşılabilir.

3. YAPAY SİNİR AĞLARI

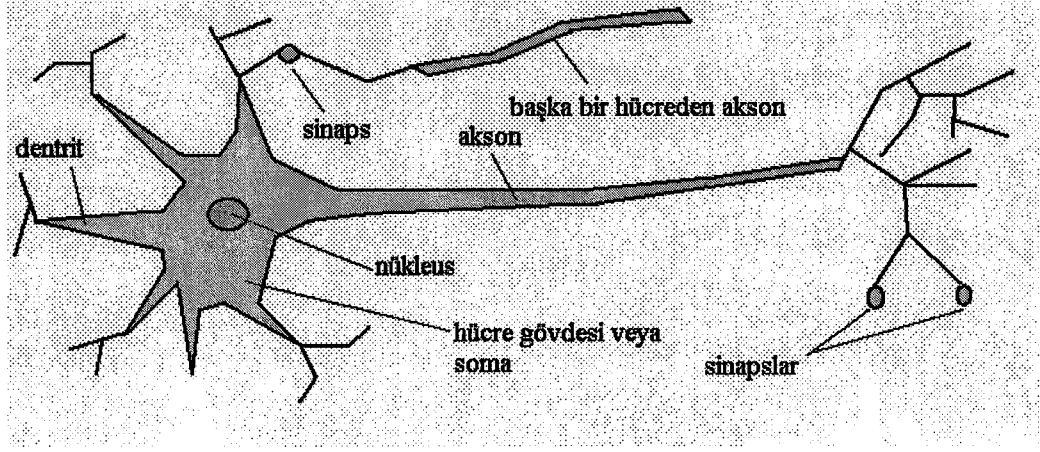
3.1 Giriş

Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beyninin çalışma sisteminin yapay olarak benzetimi çabalarının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. En genel anlamda bir YSA insan beynindeki birçok nöronun, yada yapay olarak basit işlemcilerin birbirlerine değişik etki seviyeleri ile bağlanmasıyla oluşan karmaşık bir sistem olarak düşünülebilir. Önceleri temel tıp birimlerinde insan beynindeki nöronların matematiksel modelleme çabaları ile başlayan çalışmalar, geçtiğimiz seneler içinde disipline bir şekil almıştır. YSA bugün fizik, matematik, elektrik, ve bilgisayar mühendisliği gibi çok farklı bilim dallarında araştırma konusu haline gelmiştir. YSA'nın pratik kullanımı genelde, çok farklı yapıda ve formlarda bulunabilen enformasyon verilerini hızlı bir şekilde tanımlama ve algılamaya üzerinedir. Aslında mühendislik uygulamalarında YSA'nın geniş çaplı kullanımının en önemli nedeni, klasik tekniklerle çözümü zor problemler için etkin bir alternatif oluşturmasıdır (Ata, 1996).

3.2 Beynin Çalışması

Beynin düşünceyi nasıl oluşturduğu bilimin en büyük sırlarından biridir. Binlerce yıldır biliniyor ki kafatasına alınan güçlü darbeler bilinç kaybına, geçici hafıza kaybına ve hatta akli kabiliyetlerin kalıcı kaybına sebep olabilir. Bu beynin bir şekilde düşünceyle ilgili olduğunu göstermektedir. Uzun yıllardan beri M.Ö. 395'lerden bu yana beynin farklı olduğu düşünülmüyordu. Aristo'ya göre " insan canlılar içinde vücuduna oranla en büyük beyne sahiptir". Daha sonraları bazı balina ve yunusların görece daha büyük beyinleri olduğu keşfedildi. 18. yüzyılın ortalarına kadar beynin bilincin merkezi olduğu bilinmiyordu, ve 19. yüzyılın sonlarına kadar canlı beyninin işlevsel bölgeleri belirlenememişti.

Artık biliyoruz ki nöron, yada sinir hücresi, beyin dahil tüm sinir sisteminin temel işlevsel birimidir. Her nöron bir hücre nükleusu içeren gövdeden, yada somada oluşur. Hücre gövdesinden ayrılan kollara dentrit ve uzun kola akson denir. Dentritler hücre etrafındaki ağa dallanırlar, aksonlar ise uzun mesafelere genellikle bir santimetreye (hücre gövdesi çapının 100 katı) ve bazı özel durumlarda bir metreye kadar uzanırlar. Akson diğer nöronların hücre gövdelerinin dentritlerine kadar uzanırlar. Birleşme noktasına sinaps denir. Her nöron bir düzineden yüz binlercesine kadar sinaps oluşturabilirler.



Şekil 3.1 Sinir hücresinin yapısı

Sinyaller nörondan nörona karmaşık bir elektrokimyasal reaksiyondur. Sinapslardan bırakılan kimyasal maddeler dentrite girer, hücre gövdesinin elektriksel potansiyeli artırır veya düşürür. Potansiyel belirli bir eşik değerine ulaştığında bir elektrik darbesi hareket potansiyeli aksondan aşağıya yollar. Darbe aksonun kollarından yayılır, sinapslara ulaşır, ve diğer hücrelerin iletilerini hareketlendirir. Nöronlar ayrıca diğer nöronlara yeni bağlar kurarlar ve bazen bir yerden diğerine göç ederler. Bu mekanizmaların beyin öğrenme temelini oluşturduğu düşünülmektedir.

Çoğu bilgi işlemi beyin zarında beyin dış katmanında yapılır. Temel yapıtaşı 0,5 mm çaplı fiçî şeklindeki doku modülünden oluşur, bu insanda 4 mm kalınlığındaki beyin zarını oluşturur. Her modül 2000 nörondan oluşur. Beynin belli bölgelerinin özel fonksiyonları olduğu bilinmektedir. 1861’de Pierre Paul Broca beyin zarının sol ön bölümünün konuşma ve dil ile ilgili olduğunu bu bölgede beyin hasarı olmuş hastaları üzerindeki çalışmalarıyla göstermiştir. Artık beynin hangi bölgelerinin vücudun hangi bölümlerini kontrol ettiğini veya algılamayı sağladığını biliyoruz. Bazı canlılarda bu bölgeler radikal şekilde bir kaç haftada değişebilir ve çoklu bölgeler sahip olabilirler. Halen bir bölge zarar gördüğünde diğerinin işlevlerini nasıl üstlendiğini bilmiyoruz. Ve bireysel hafızanın nasıl tutulduğu ile ilgili bir teori henüz yok (Russel and Norvig, 1995).

3.2.1 Beynin Bilgisayarlarla Karşılaştırılması

Beyin ve bilgisayarlar çok farklı işler yaparlar ve değişik özellikleri vardır. İnsan beyinin bir bilgisayardaki birimlerden daha fazla nöronu vardır. Bu durumun fazla sürmeyeceğini biliyoruz çünkü insan beyni çok yavaş gelişirken bilgisayar hafızaları çok hızlı gelişmektedir. Her durumda saklama kapasitesindeki fark tepki zamanı arasındaki farktan azdır. Bilgisayar

çipleri bir işlemi nanosaniyelerle yaparken nöronun milisaniyeye ihtiyacı vardır. Ancak tüm nöronlar ve sinapslar aynı anda aktifken çoğu bilgisayar CPU'ya sahiptir. Bir bilgisayarda çalışan bir sinir ağı tek bir nöron benzeri işlem için yüzlerce döngüye ihtiyaç duyar, halbuki gerçek beyinde, tüm nöronlar bunu bir seferde halleder. Bu yüzden bilgisayar sıralı işlem hızında milyonlarca kez hızlıyken beyin bunu milyarlarca kez hızlı sonlandırır. Sinir ağının bir özelliği de beyin paralelliği ile bilgisayar işlem hızını birleştiren bir cihaz yapma fikridir. Tam ölçekli donanım geliştirme, uzun süreli yatırımlara temel sağlayacak bir sinir ağı algoritmaları ailesi bulunmasına bağlıdır.

Beyin karmaşık bir işlemi, örneğin bir yüzü tanıma, bir saniyeden kısa sürede, birkaç yüz döngüye eşdeğer bir zamanda yapar. Bir bilgisayar aynı işi milyonlarca döngüyle kısmen yapabilir. Açıkça burada toplu paralellik için bir imkan var. Sinir ağları toplu paralel işlem için bir model sağlayarak seri algoritmaları paralelleştirmekten daha başarılı bir yaklaşım sunar.

Çizelge 3.1 Beyin ile bilgisayarların karşılaştırılması

	Bilgisayar	İnsan Beyni
İşlemsel Birimler	1 CPU, 10^5 kapı	10^{11} nöron
Saklama Birimleri	10^9 bit RAM, 10^{10} bit disk	10^{11} nöron, 10^{14} sinaps
Döngü Zamanı	10^{-8} san	10^{-3} san
Bant Genişliği	10^9 bit/san	10^{14} bit/san
Nöron Güncelleme/san	10^5	10^{14}

Beyin bilgisayarlara göre daha fazla hata toleranslıdır. Tek bir bitte kaymaya sebep olan bir donanım hatası tüm işlemi çökertebilirken, beyin hücreleri sürekli ölüyor ve beyin genel işleyişi üzerinde etkili olacak bir rahatsızlığa sebep olmazlar. Çeşitli hastalıklar ve travmalar beyin etkileyebilir, ama genelde beyin 70-80 yıl boyunca hafız kartını değiştirmeden, teknik servisi aramadan, yada yeniden başlatmadan çalışabilir. Ayrıca beyin sürekli olarak yeni verilerle karşılaşır ve bunları kullanır. Bilgisayar programları da yeni bilgileri seyrek olarak alırlar, ancak programcılar çok dikkatli olmalıdırlar. Sinir ağlarının diğer bir özelliği de kademeli azaltmadır; koşullar kötüleştiğinde performansı ani olarak değil de kademeli azaltırlar.

Sinir ağlarını bir diğer özelliği de tümevarım öğrenme algoritması kullanarak eğitilmeleri için tasarlanmışlardır. Popüler medyanın verdiği izlenimin aksine, sinir ağları öğrenme kabiliyeti olan tek yapay zeka olmaktan çok uzaktır. Ağ başlatıldığında, performansı artırmak için

değişiklik yapılabilir. Öğrenme algoritmaları genel ve verimli yapıldığı için, sinir ağlarının değerini psikolojik modeller artırır ve yüksek performans uygulamaları oluşturmak için kullanılabilir araçlar haline getirir (Russel and Norvig, 1995).

3.3 Sinir Ağları

Bir sinir ağı düğümler yada birimler ve bunlara bağlı bağlardan oluşur. Her bağ sayısal bir ağırlığa sahiptir. Ağırlıklar sinir ağlarında uzun süreli depolardır ve öğrenme bu ağırlıkların güncellenmesiyle oluşur. Bazı birimler dış çevreyle bağlantılıdır ve giriş ve çıkış üniteleri olarak kullanılabilirler. Çevreden gelen girişlerle ağırlıklar değiştirilerek ağırlık giriş/çıkış belirli bir çizgiye oturtulur.

Her birinin diğer birimlerden gelen giriş bağları, diğer birimlere çıkış bağları, bir aktivasyon seviyesi, verilen giriş ve ağırlıklar bir sonraki adım için aktivasyon seviyesini belirleyen bir aracı vardır. Amaç her birimin komşularından aldığı girişlerle yerel bir hesaplama yapmasıdır, ancak birimlerin üzerinde global bir kontrol olmaması gerekir.

Bu işlem bir sinir ağı oluşturulacak ise, önce kaç adet birim kullanılacağı, ne tip birimler olacağı, ve birimlerin birbirlerine nasıl bağlanacağı belirlenmelidir. Daha sonra ağırlıklar verilmelidir, bu ağırlıklar işlem için örneklere uygulanan öğrenme algoritmasıyla eğitilirler. Örneklerin kullanımı ağırlık giriş çıkış değerlerinin nasıl kullanılacağına bağlıdır (Russel and Norvig, 1995).

3.3.1 Semboller

Sinir ağlarının bir çok parçası vardır, bunlara karşılıklar verebilmek için matematiksel sembollerin kullanılması gereklidir.

Çizelge 3.2 Sinir ağı sembolleri

Sembol	Karşılığı
a_i	i biriminin aktivasyon değeri (ayrıca birimin çıkışı)
\mathbf{a}_i	i biriminin girişleri için aktivasyon değerinin vektörü
g	Aktivasyon fonksiyonu
g'	Aktivasyon fonksiyonunun türevi
Err_i	i birimi için hata (çıkışla hedef farkı)
Err^e	e örneği için hata
I_i	Giriş katmanındaki i biriminin aktivasyonu
\mathbf{I}	Tüm giriş birimlerindeki aktivasyonların vektörü
\mathbf{I}^e	e örneğinin girişlerinin vektörü
in_i	i birimine girişlerin ağırlıklı toplamı

N	Ağdaki birimlerin toplam sayısı
O	Perseptronun tek çıkış biriminin aktivasyonu
O_i	Çıkış katmanındaki i biriminin aktivasyonu
\mathbf{O}	Çıkış katmanındaki tüm birimlerin aktivasyonlarının vektörü
t	Basamak fonksiyonu için eşik değeri
T	Bir perseptron için çıkış hedefi
\mathbf{T}	Birçok çıkış birimi hedef vektörü
\mathbf{T}^e	E örneği için hedef vektörü
$W_{j,i}$	j biriminden i birimine olan bağın ağırlığı
W_i	Bir perseptronun i biriminin çıkışa ağırlığı
\mathbf{W}_i	i birimine gelen ağırlıkların vektörü
\mathbf{W}	Ağdaki tüm ağırlıkların vektörü

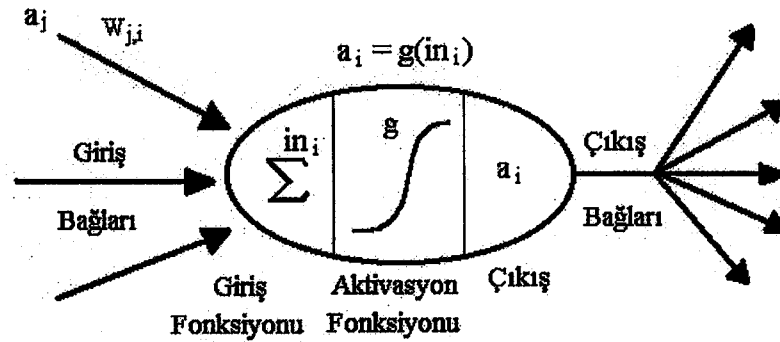
3.3.2 Basit İşlem Elemanları

Her birim basit işlem gerçekleştirir, giriş bağlarından sinyalleri alır ve yeni bir aktivasyon seviyesi belirleyerek çıkış bağlarına gönderir. Aktivasyon seviyesinin hesaplanması komşu düğümlerden gelen giriş sinyallerinin değerine ve her giriş bağındaki ağırlığa bağlıdır. Hesaplama iki bileşene ayrılır. İlki lineer bileşen olan giriş fonksiyonu in_i , birimin giriş değerlerini ağırlıklı toplamlarını hesaplar. İkincisi ise nonlineer bileşen aktivasyon fonksiyonu g , ağırlıklı toplamı, birimin aktivasyon değeri a_i olarak kullanılacak olan son değere dönüştürür. Genelde bir ağ içindeki tüm birimler aynı aktivasyon fonksiyonunu kullanır.

Toplam ağırlıklı giriş, giriş aktivasyonlarının kendi ağırlıklarının çarpımlarının toplamına eşittir.

$$in_i = \sum_j W_{j,i} a_j = \mathbf{W}_i \cdot \mathbf{a}_i \quad 3.1$$

Bu eşitlikte, i düğümüne olan bağların ağırlıkları \mathbf{W} , giriş değerleri seti \mathbf{a}_i ile ifade edilmiştir



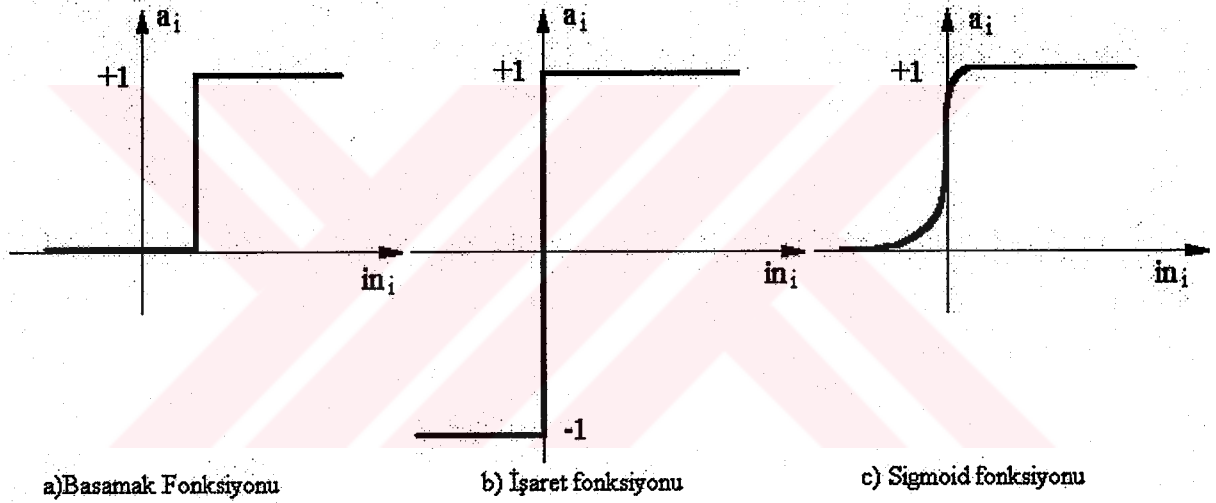
Şekil 3.2 Birim

Her birimdeki hesaplama basamağı, giriş fonksiyonunun sonucuna in_i , g aktivasyon

fonksiyonunu uygulayarak yeni aktivasyon değerini hesaplar.

$$a_i \leftarrow g(in_i) = g\left(\sum_j W_{j,i} a_j\right) \quad 3.2$$

g için farklı matematiksel fonksiyonlar kullanılarak farklı modeller elde edilebilir. Bunun için genellikle basamak, işaret ve sigmoid fonksiyonları kullanılır. Basamak fonksiyonu t eşik değerine sahiptir ve giriş değeri bu eşik değerinin üzerindeyse çıkış değeri 1, değilse çıkış değeri 0 olur. Biyolojik olarak 1 aksonun darbe göndermesi 0 ise göndermemesi anlamına gelir. Eşik değeri nöronun darbe üretmesi için gerekli minimum toplam ağırlıklı girişi temsil eder. İşaret ve sigmoid fonksiyonlarının eşik değerli türleri de tanımlanabilir.



Şekil 3.3 Aktivasyon fonksiyonları

$$\text{Basamak}_t(x) = \begin{cases} 1, & x \geq t \\ 0, & x < t \end{cases} \quad 3.3$$

$$\text{İşaret}(x) = \begin{cases} +1, & x \geq 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases} \quad 3.4$$

$$\text{Sigmoid}(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad 3.5$$

Bazı durumlarda, matematiksel olarak eşik değeri yerine fazladan bir ağırlık kullanmak daha uygun olabilir. Bu, daha kolay öğrenen bir eleman sağlar çünkü bu sayede ağırlık ve eşik

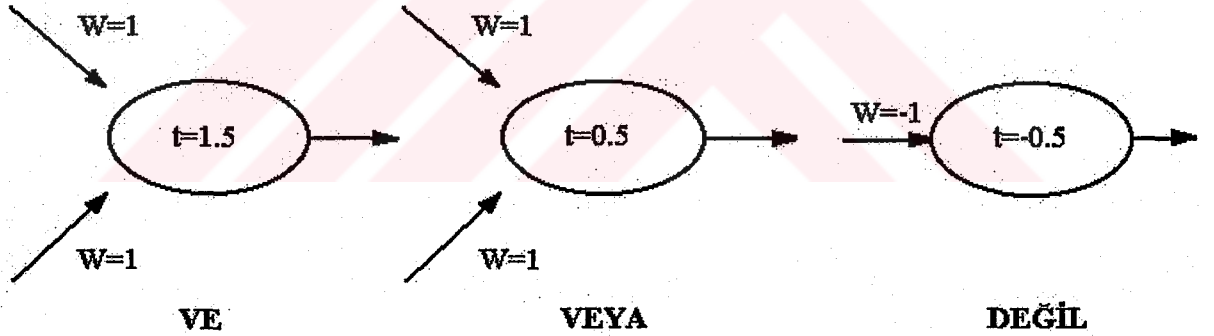
değerlerini değiştirmek yerine sadece ağırlığı değiştirmek yeterli olacaktır. Böylece her birim için bir t eşik değeri belirlemektense, aktivasyon a_0 'ı -1'e sabitlenmiş fazladan bir giriş eklenir. Eklenen ağırlık $W_{0,i}$, a_0 ile birlikte t de eşğin bir fonksiyonu olur ve $W_{0,i}a_0 = -t$ ile gösterilir. Böylece tüm birimler 0'da sabitlenmiş bir eşığe sahip olurlar. Matematiksel olarak eşiklerin her iki gösterimi de eşittir

$$a_i = \text{basamak}_i \left(\sum_{j=1}^n W_{j,i} a_j \right) = \text{basamak}_0 \left(\sum_{j=0}^n W_{j,i} a_j \right) \quad 3.6$$

burada

$$W_{0,i} = t \quad \text{ve} \quad a_0 = -1 \quad 3.7$$

Birimlerin bireysel işlevselliğini mantıksal kapılarla karşılaştırabiliriz. Birimlerin tasarımlarına bir örnek olarak Boolean fonksiyonlarını oluşturabilmeleri gösterilebilir. Şekil 3.3'te Boolean fonksiyonları VE, VEYA ve DEĞİL'i uygun ağırlık ve eşik değeri ile gösterilmiştir. Bu önemlidir çünkü böylece bu birimleri, girişlerin Boolean fonksiyonlarını hesaplayan bir ağ kurulumunda kullanabiliriz (Russel and Norvig, 1995).



Şekil 3.4 Uygun ağırlık ve eşikle mantıksal kapıların birimle gösterilmesi

4. RÖLELERİN YAPAY SİNİR AĞLARIYLA MODELLENMESİ

4.1 Giriş

Röle modellemesinde en önemli unsur analog veya dijital rölelerin karakteristiklerinin tam olarak yansıtılabilmesidir. Yapay sinir ağları (YSA) bunun için uygun bir araçtır. Elektrik mühendisliği alanında YSA ile kullanılarak yapılan diğer çalışmalar ise iletim hattı arızalarının Yapay Sinir Ağları ile belirlenmesi, sınıflandırılması, röle performans optimizasyonu, gerçek zamanlı ve çevrimdışı arıza azaltıcılarıdır. (Kezunovic, 1996; Kezunovic, 1997; Vasilic, 2001; Vasilic2002). YSA ile yapılan modellemede, elimizde olabilecek en az veri ile olabilecek en uygun sonucu elde edebiliriz. Bu sayede hem farklı karakteristiklerdeki röleler hem de bir rölenin farklı karakteristikleri hızlı bir şekilde modellenebilmektedir.

4.2 Modellemede Kullanılan Rölenin Özellikleri

Modellemede ENTES ELEKTRONİK CİHAZLAR İMALAT VE TİCARET A.Ş.'nin CKR serisi sekonder koruma röleleri temel alınmıştır. Mikroişlemci tabanlı CKR serisi aşırı akım sekonder koruma röleleri enerji dağıtım sistemlerinde transformatör, enerji nakil hattı gibi ekipman ve sistemleri kısa devre ve toprak kaçağına karşı korumak için kullanılır.

CKR-9XX serisi aşırı akım röleleri dört ters zamanlı ve dört sabit zamanlı akım-zaman karakteristiğine sahiptir. Bunlar IEC – 255 ve BS – 142 standartlarına göre;

- Normal Inverse
- Very Inverse
- Extremely Inverse
- Long Time Inverse
- Sabit Zamanlı 1 (2.5 sn)
- Sabit Zamanlı 2 (5 sn)
- Sabit Zamanlı 3 (10 sn)
- Sabit Zamanlı 4 (15 sn)

Ayrıca fazlar ve toprak için ani açma akımı, zaman çarpanı ve akım zaman eğrisi ayrı ayrı seçilebilmektedir.

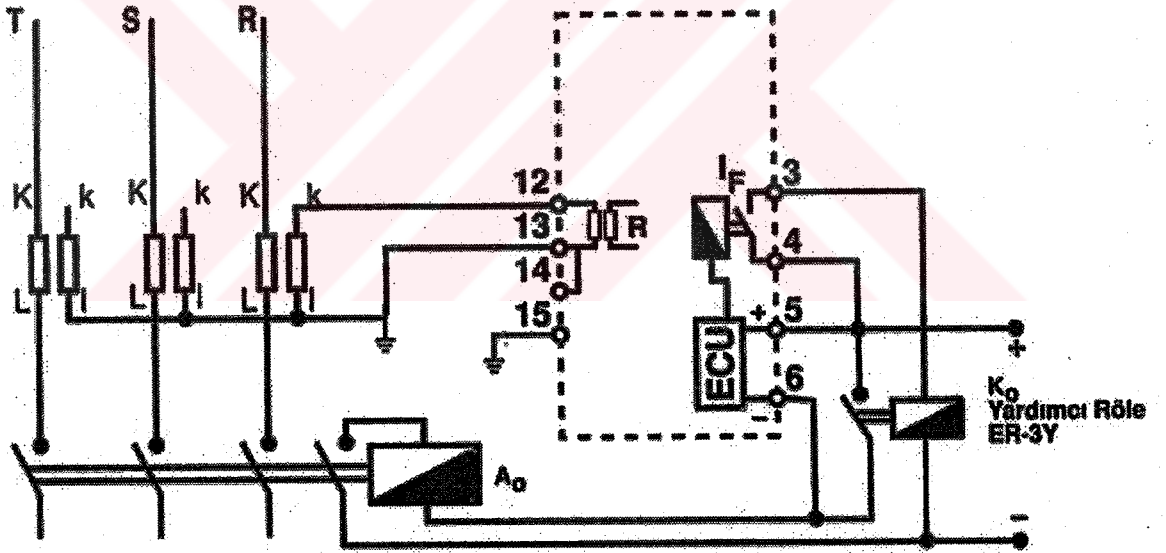
CKR-8XX serisi aşırı akım röleleri beş ters zamanlı ve üç sabit zamanlı akım-zaman karakteristiğine sahiptir. Bunlar IEC – 255, BS – 142 ve ANSI C.112 standartlarına göre;

- Normal Inverse
- Very Inverse
- Extremely Inverse
- Long Time Inverse
- Moderately Inverse
- Sabit Zamanlı 1 (2.5 sn)
- Sabit Zamanlı 2 (5 sn)
- Sabit Zamanlı 3 (15 sn)

Ayrıca fazlar ve toprak için ani açma akımı, zaman çarpanı ayarı ve akım-zaman eğrisi seçimi ortakdır.

4.2.1 CKR 81

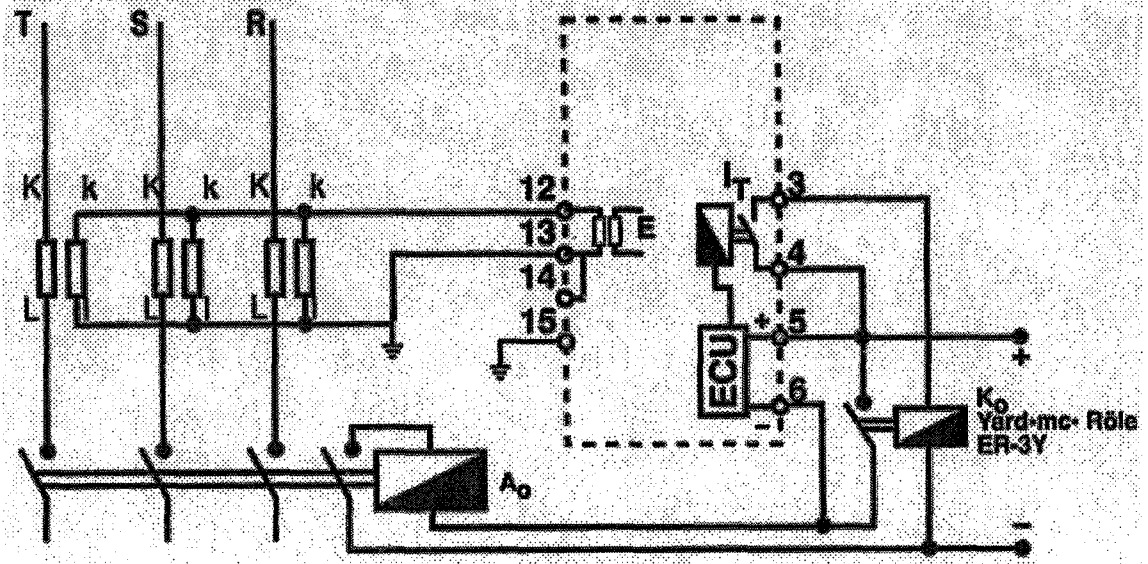
Topraksız, tek fazlı aşırı akım rölesi. Bu röle sadece bir fazda koruma yapar. Üç faz içinde koruma gerekirse üç adet röle kullanılmalıdır. Şekil 4.1’de bağlantı şeması gösterilmiştir.



Şekil 4.1 CKR 81 Tek faz topraksız aşırı akım koruma rölesi bağlantı şeması, ENTES 2000-2001 kataloğu

4.2.2 CKR 81T

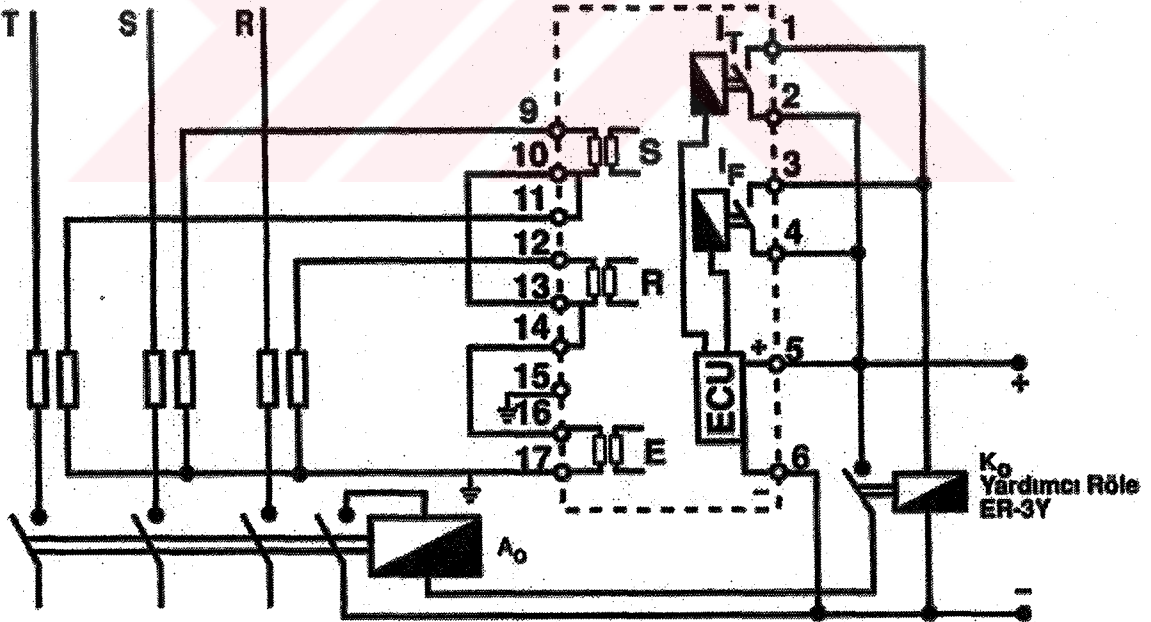
Toprak hatası rölesi. Bu röle üç fazın yıldız noktasından toprağa akan akımı ölçer. Şebeke dengeli ise bu akım sıfırdır. Fakat eğer fazlardan birinden toprağa kaçak olursa denge bozulur, toprağa büyük bir akım akar ve röleyi çalıştırır. Şekil 4.2’de bağlantı şeması gösterilmiştir.



Şekil 4.2 CKR 81T Toprak hatası rölesi bağlantı şeması, ENTES 2000-2001 kataloğu

4.2.3 CKR 92T – CKR 82T

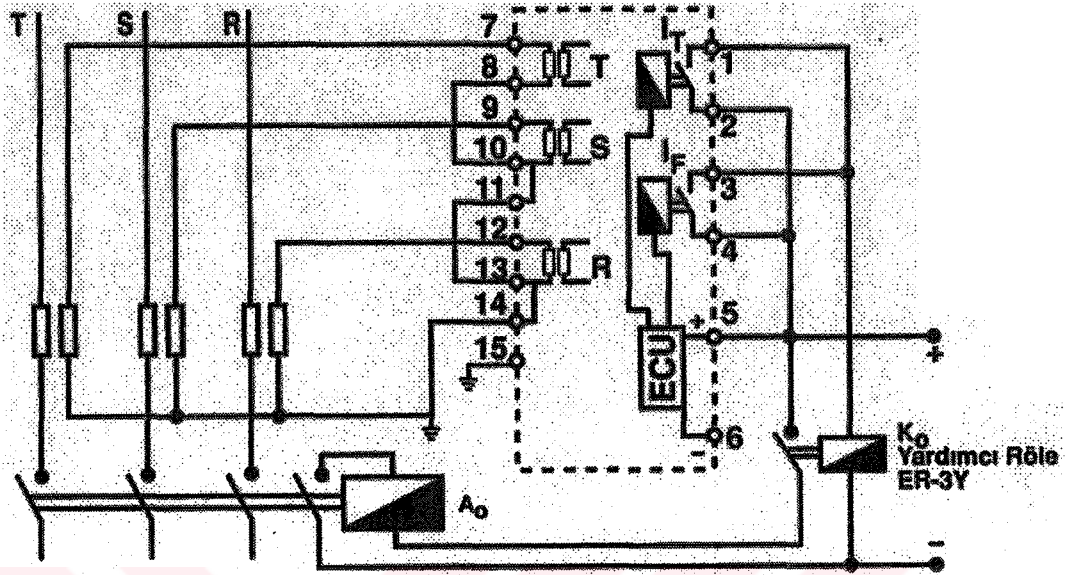
İki faz ve toprak hatası rölesi. Bu röle iki faz koruma ve toprak koruma özelliklerini bir arada içerir. Şekil 4.3’de bağlantı şeması gösterilmiştir.



Şekil 4.3 CKR 92T – CKR 82T İki faz ve toprak hatası aşırı akım koruma rölesi bağlantı şeması, ENTES 2000-2001 kataloğu

4.2.4 CKR 83

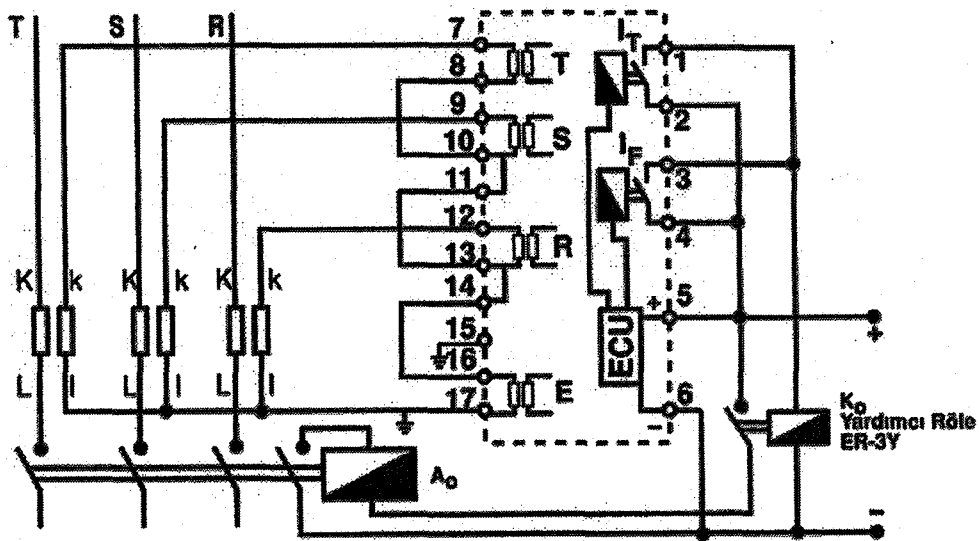
Üç faz aşırı akım rölesi. Bu aşırı akım rölesi her üç faz korumasını tek röle ile gerçekleştirmek için kullanılır. Şekil 4.4'de bağlantı şeması gösterilmiştir.



Şekil 4.4 CKR 83 Üç faz aşırı akım koruma rölesi bağlantı şeması, ENTES 2000-2001 kataloğu

4.2.5 CKR 93T – CKR 83T

Üç faz ve toprak hatası rölesi bu röle her üç faz korumasını ve toprak korumasını tek röle ile gerçekleştirebilmek için kullanılır. Şekil 4.5'de bağlantı şeması gösterilmiştir.



Şekil 4.5 CKR 93T – CKR 83T Üç faz ve toprak hatası aşırı akım koruma rölesi bağlantı şeması , ENTES 2000-2001 kataloğu

4.2.6 Çalışma Prensibi

Röle içinde bulunan yardımcı akım trafoları ana akım trafolarından aldıkları akım bilgisini elektronik devrelere aktarmaktadır. Yardımcı akım trafolarının sekonderinde bulunan akım ayar devresi ile rölenin gecikmeli açma akımı “I>” (Set akımı) ayarı yapılmaktadır. Akım ayarı yapan Dip-anahtarlar röle ön panelinde bulunmakta olup, her faz ve toprak için birbirinden bağımsız akım ayarı yapmak mümkündür.

Her girişe ait ikaz LED’leri ile arızanın hangi fazda ve/veya toprakta olduğu tespit edilebilir. Ayrıca CKR serisi rölelerde hafıza fonksiyonu ile cihazın besleme gerilimi kesilse bile arıza sinyalleri saklanır. Akım devresi çıkışındaki arıza akımıyla orantılı AC gerilim doğrultma devresi ile doğrultulup mikroişlemciye iletilir. Doğrultma devresinden alınan arıza akımıyla orantılı değer set akımıyla karşılaştırılır. Eğer ölçülen değer set değerini aşarsa “NORMAL” ledi hemen söner, set değerinin 1.05 katına ulaşırsa “PICK-UP” ledi yanar ve zaman saymaya başlar. Akım set değerinin 0.95’inin altına düşerse zaman sayacı sıfırlanır, “PICK-UP” ledi söner “NORMAL” ledi yanar.

Zaman sayıcı seçilen akım-zaman karakteristiği ile belirlenen değere ulaştığında röle enerjilenir ve arıza akımı hangi girişten geliyorsa o girişle ilgili led yanar. Eğer zaman sayıcı seçilen akım-zaman karakteristiği ile belirlenen zaman değerine ulaşmadan diğer bir girişten daha yüksek bir akım gelirse akım değerine ilişkin süre hesaplanır, bu süre kalan süre ile karşılaştırılır hangisi küçükse o sürenin sonunda röle enerjilenir. Eğer arıza akımı set edilen ani açma akım değerinden “I>>” büyük ise röle zaman sayıcısının zamanını doldurmasını beklemeden gecikmesiz olarak ani açma yapar (Ani dip anahtarı ON ise). Ani dip anahtarı OFF durumunda iken ani açma yapılmaz. Ancak arıza akımı set edilen akım değerinin 17 katına eşit yada büyükse ani dip switchinin konumuna bakılmaksızın ani açma yapılır. Faz aralarında sadece faz rölesi toprak arızalarında ise faz ve toprak röleleri birlikte çeker. Cihaz üzerindeki test butonu röleyi fonksiyonel olarak test etmek amacıyla kullanılır. Test butonuna basıldığında röle bütün girişlerde yüksek akım (set akımının 17 katından yüksek) varmış gibi davranacaktır.

4.2.6.1 Set Akımı Seçimi

Her bir faz ve toprak için set akımları “I>” dip switchleri ile 1 A’den 16.75 A’e (Toprak için 0.2 A’den 3.35 A) kadar ayrı ayrı ayarlanabilir. “I>” dip anahtarları altı kademeli olup sağa doru çekilerek ON yapılır. Bütün switchler OFF konumunda iken set akımı fazlar için 1 A., toprak için 0.2 A’dır. ON konumuna alınan anahtarların sağ tarafında yazan değerler fazlar

için 1 toprak için 0.2 ile toplanarak set akımı hesaplanır.

Bütün switchler ON konumunda iken set akımı;

Fazlar için;

$$I_{set} = 1 + 0.25 + 0.5 + 1 + 2 + 4 + 8 = 16.75 \text{ A} \quad 4.1$$

Örneğin I_{set} 'i 6.5 A'e ayarlamak için 2,3,5 anahtarları ON konumuna alınmalıdır.

$$I_{set} = 1 + 0.5 + 1 + 4 = 6.5 \text{ A} \quad 4.2$$

Toprak için;

$$I_{set} = 0.2 + 0.05 + 0.1 + 0.2 + 0.4 + 0.8 + 1.6 = 3.35 \text{ A} \quad 4.3$$

Örneğin I_{set} 'i 1.3 A'e ayarlamak için 2,3,5 anahtarları ON konumuna alınmalıdır.

$$I_{set} = 0.2 + 0.1 + 0.2 + 0.8 = 1.3 \text{ A} \quad 4.4$$

4.2.6.2 Ani Açma Akımı Seçimi

“ $I_{>>}$ ” dip anahtar ani açma oranı ile set akımının 2 ile 17 katı arasında ayarlanabilir. $I_{>>}$ switchi 4 kademeli olup bütün anahtarlar OFF konumunda iken ani açma oranı set akımının iki katıdır yani çalışma akımı set akımını 2 katına ulaşıncaya kadar ani açma yapılmaz. Bütün switchler ON konumunda iken ani açma akımı;

$$I_{>>} = 2 + 1 + 2 + 4 + 8 = 17 \quad 4.5$$

Örneğin ani açma akımını set akımının 13 katına ayarlamak için 1,2,4 anahtarları ON konumuna alınmalıdır.

$$I_{>>} = 2 + 1 + 2 + 8 = 13 \quad 4.6$$

4.2.6.3 Zaman Çarpanı Seçimi

.Zaman katsayısı “ X_t ” dip switchi ile 0.05'ten 1.0'a kadar 0.1 adımlarla ayarlanabilir. Bütün anahtarlar OFF konumunda iken zaman katsayısı 0.05'tir. Anahtarlardan herhangi biri ON yapıldığında ($I_{>}$, $I_{>>}$ switchlerinin aksine 0.05 (ilk değer) toplama eklenmez.

Bütün anahtarlar ON konumunda iken zaman katsayısı;

$$I_{>>} = 0.1 + 0.2 + 0.3 + 0.4 = 1.0 \quad 4.7$$

Örneğin zaman katsayısını 0.6'ya ayarlamak için 2 ve 4 anahtarları ON konumuna

alınmalıdır.

$$I_{>>} = 0.2 + 0.4 = 0.6$$

4.8

4.2.6.4 Mod Seçimi

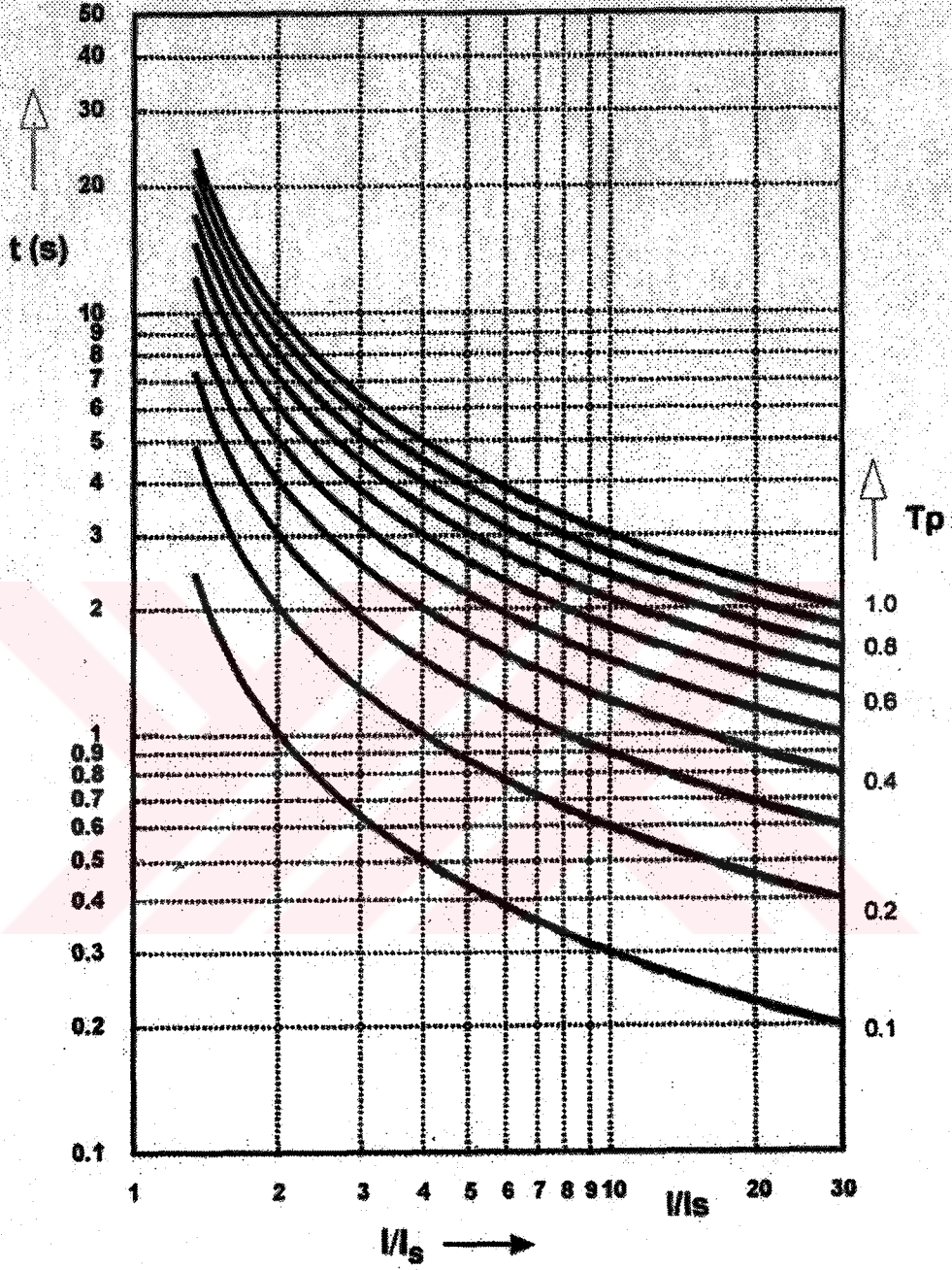
Mod dip anahtarı 4 kademeli olup ilki ile ani açma ON yada OFF yapılmaktadır. Diğer 3 anahtarın çeşitli kombinasyonları ile 8 farklı akım-zaman karakteristikleri Şekil 4.6'da verilmiştir.

2	3	4	CKR9XX	CKR8XX
			NORMAL INVERSE	NORMAL INVERSE
		●	VERY INVERSE	VERY INVERSE
	●		EXTERMELY INVERSE	EXTERMELY INVERSE
	●	●	LONG TIME INVERSE	LONG TIME INVERSE
●			SABİT ZAMAN 1 (2.5 Sn.)	MODERATELY INVERSE
●		●	SABİT ZAMAN 2 (5 Sn.)	SABİT ZAMAN 1 (2.5 Sn.)
●	●		SABİT ZAMAN 3 (10 Sn.)	SABİT ZAMAN 2 (5 Sn.)
●	●	●	SABİT ZAMAN 4 (15 Sn.)	SABİT ZAMAN 3 (15 Sn.)

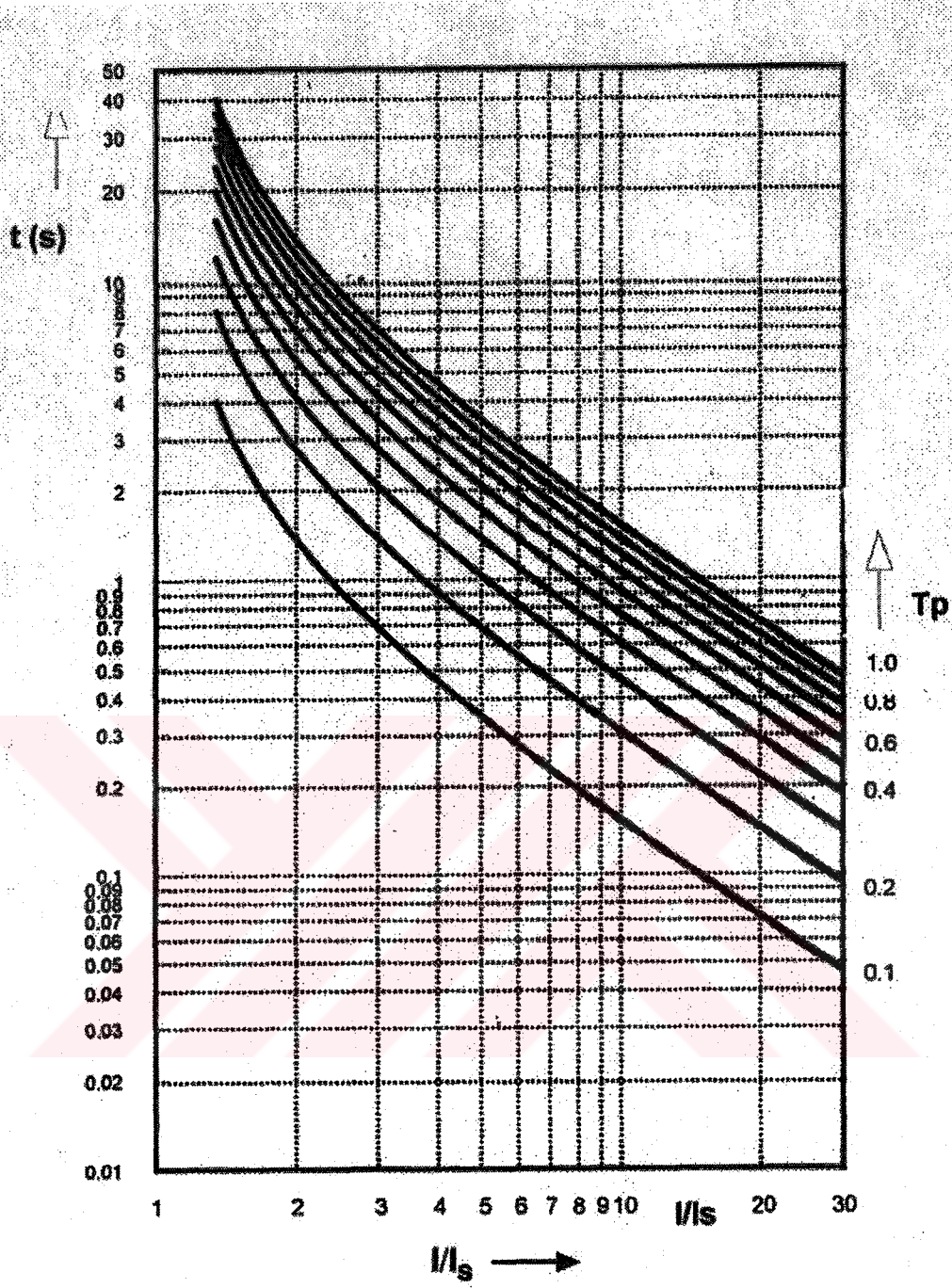
ON: OFF:

Şekil 4.6 Mod seçimi için akım zaman karakteristikleri, ENTES 2000-2001 kataloğu

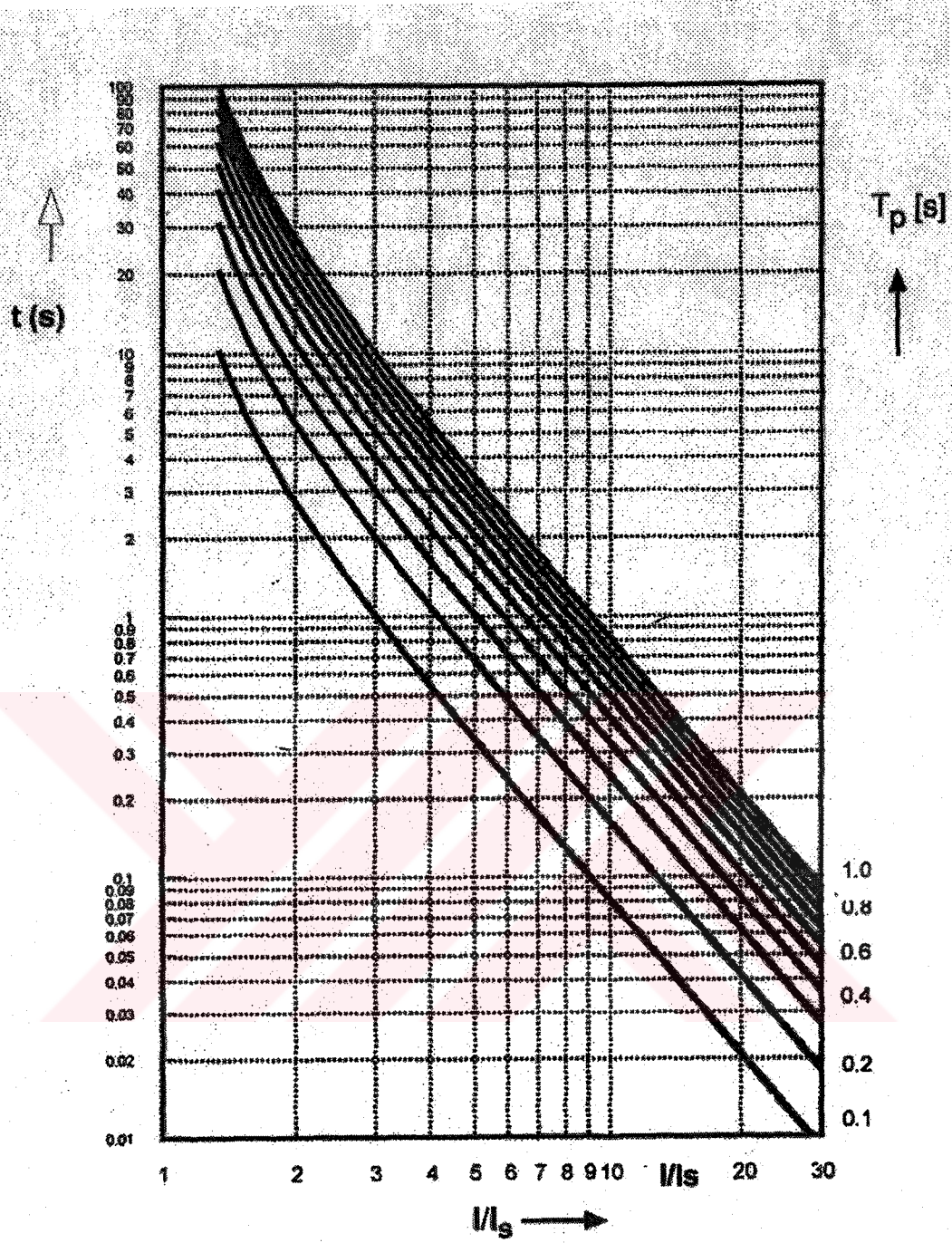
4.2.7 Akım Zaman Karakteristikleri



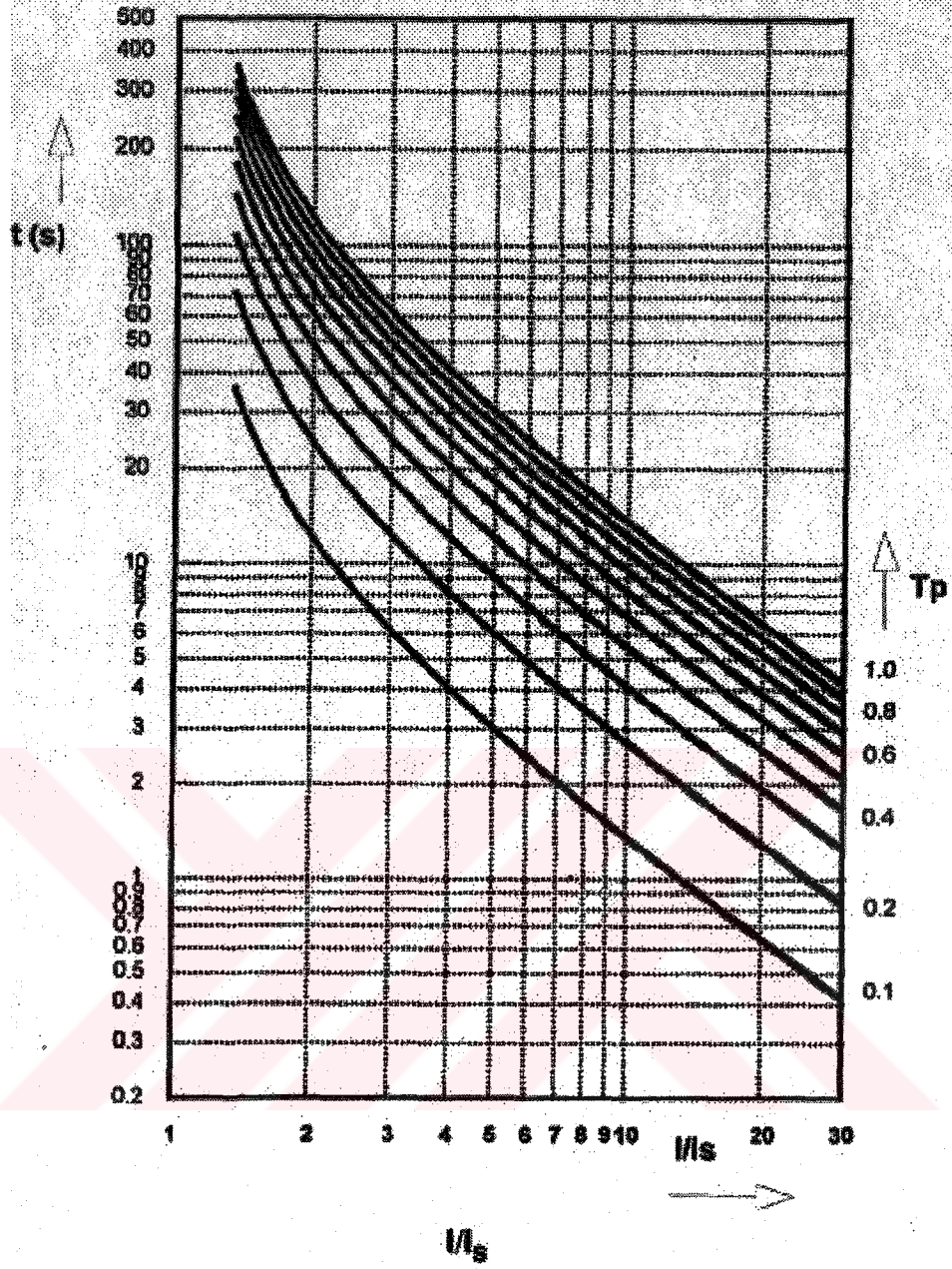
Şekil 4.7 Normal Inverse akım zaman karakteristiği, ENTES 2000-2001 kataloğu



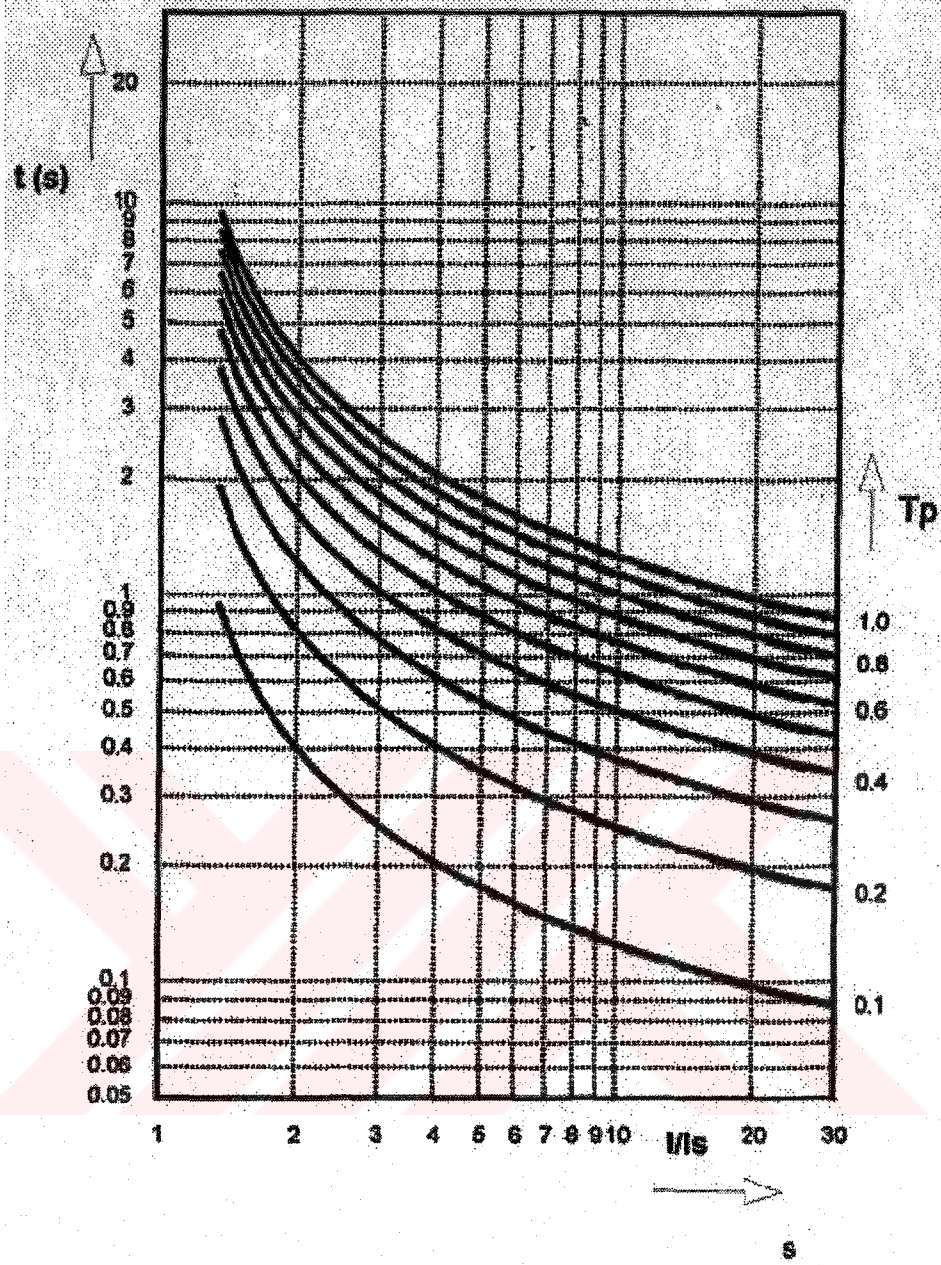
Şekil 4.8 Very Inverse akım zaman karakteristiği, ENTES 2000-2001 kataloğu



Şekil 4.9 Extremely Inverse akım zaman karakteristiği, ENTES 2000-2001 kataloğu



Şekil 4.10 Long Time Inverse akım zaman karakteristiği, ENTES 2000-2001 katalogu



Şekil 4.11 Moderately Inverse akım zaman karakteristiği, ENTES 2000-2001 kataloğu

4.2.8 Teknik Bilgiler

Yardımcı Besleme

- İşletme Gerilimi : 24 VDC, 110 VDC, 220 VAC-240VAC
- İşletme Aralığı: $(0.8-1.2) \times U_n$
- Çalışma Değeri: $I \times 1.05$
- Zaman Ayarı : t : (0.05-1.0), 11 ayrı zaman seçeneği
- Ani Açma Zamanı : $I > (1.5 \times I_{set})$ için < 100 ms

- İşletme Akımı (I_n) : 5A (fazda), 1A toprak hatasında
- Aşırı Yük Akımı : $3 \times I_n$
- Gecikmeli Açma Akımı: 1-16.75A Faz $(0.2-3.35) \times I_n$, 0.2-3.35A Toprak $(0.2-3.35) \times I_n$
- Maksimum Ayar Hatası : $\%7.5 \pm 40$ ms.
- Ani Açma Ayarı : $k \times [I >]$, k:2-17

Kontaklar

- Faz : 1 C/O 10A/1400VA (normalde açık)
- Toprak : 1 C/O 6A/1400VA (normalde açık)
- Ortam Sıcaklığı : -5°C ; $+50^\circ\text{C}$
- İzolasyon : IEC-255 normuna uygun
 - Toprak ve diğer tüm terminaller arası : 2kV/50 veya 60 Hz, 1 dk.
 - Akım uçları ve diğer tüm terminaller arası : 2 kV/50 veya 60 Hz, 1 dk.

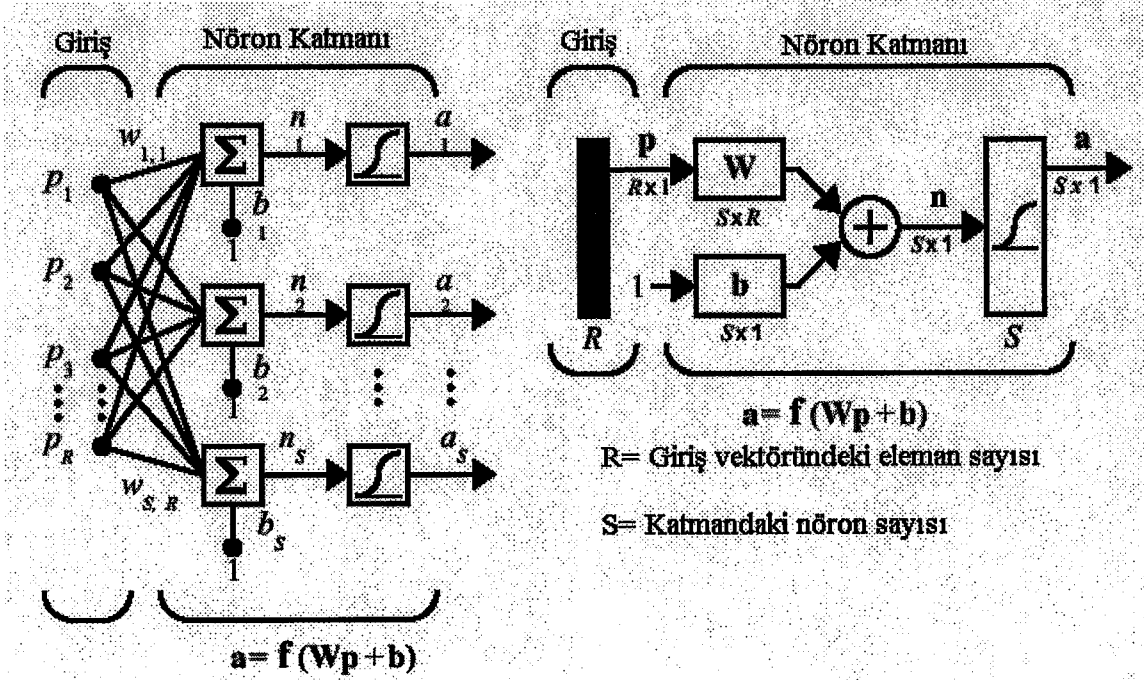
Yüksek Frekans Gürültüsü

- Etkilenmediği Gürültü Seviyesi : 2.5 ve 1 kV-! MHz.
- RFI : 150-450 MHz, 5W verici, 25 cm de tüm yönlerden
- Boyutlar : Tip PR 17
- Koruma Sınıfı : IP20
- Bağlantı Şekli : Arkadan klemensli

4.3 Modellemede Kullanılan YSA'nın Özellikleri

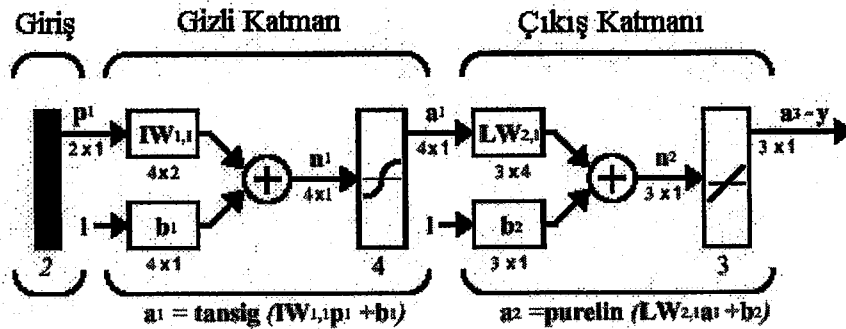
Modellemede ileri beslemeli (feedforward) geri yayılmalı (backpropagation) ağ kullanılmıştır. Geri yayılma Widrow-Hoff öğrenim kuralının çok katmanlı ağlar ve nonlineer transfer fonksiyonlarına genelleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Giriş vektörleri ve karşılık gelen hedefler ağın bir fonksiyonu tahmini için eğitimde kullanılırlar. Önyargılı (bias) ağlar, bir sigmoid katmanı ve bir lineer çıkış katmanı sınırlı sayıda kesintili herhangi bir fonksiyonun tahminini yapabilmektedir.

Doğru şekilde eğitilen geri-yayılmalı ağlar daha önce karşılaşmadıkları girişlere makul cevaplar verebilmektedirler. Geri-yayılmalı ağlarda genellikle *logsig*, *tansig* ve *purelin* transfer fonksiyonları kullanılmaktadır.



Şekil 4.12 Çok elemanlı bir ağın açık hali ve sembolik gösterilişi

İleri beslemeli ağlarda genellikle bir veya daha fazla *sigmoid* nöronları olan gizli katmanlar olur ve bir lineer transfer nöronlu çıkış katmanı bunları takip eder. Nonlineer transfer fonksiyonlu çok katmanlı nöronlar ağın giriş ve çıkış vektörleri arasındaki nonlineer ve lineer ilişkileri öğrenmesini sağlarlar. Lineer çıkış katmanı ise ağın -1 ve +1 dışında değerler vermesini sağlar (Demuth and Beale, 2003).

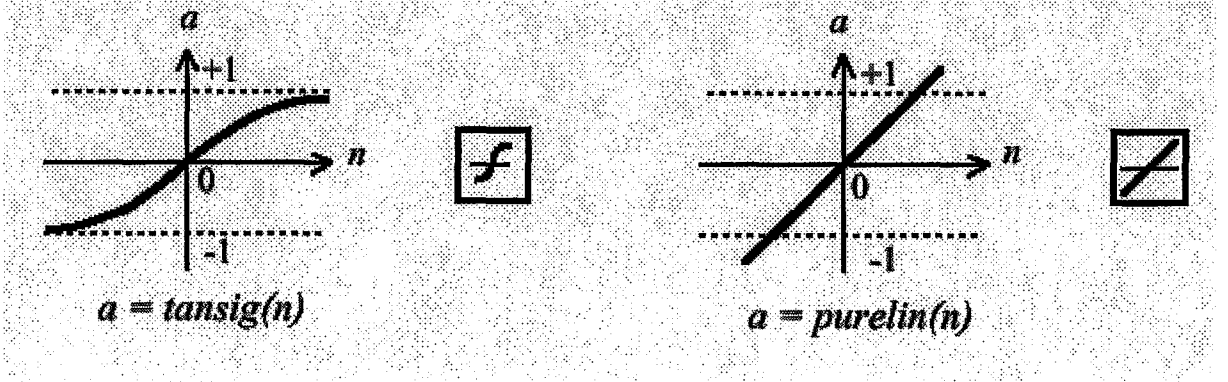


Şekil 4.13 Örnek bir ileri beslemeli ağ

Modellemede kullandığımız ağda, gizli katmanda *tansig*, çıkış katmanında *purelin* transfer fonksiyonlu nöronlar kullanılmıştır. *Tansig* ve *purelin* hesaplamalarını aşağıdaki eşitliklere göre yapmaktadır.

$$\text{tansig}(N), n = 2/(1 + \exp(-2 * n)) - 1 \quad 4.9$$

$$\text{purelin}(n) = n \quad 4.10$$



Şekil 4.14 Tansig ve purelin transfer fonksiyonları

Modellemede eğitim yöntemi olarak *trainlm* (Levenberg-Marquardt) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin kullanılmasının sebebi tek gizli katmanlı ağlarda ve fonksiyon tahmini işleminde diğer yöntemlere göre çok hızlı olmasıdır. Şekil 4.16'te 5 *tansig* ve 1 lineer transfer fonksiyonlu bir ağda tek periyot sinüs dalgası tahmini problemi için istatistikler verilmiştir.

Acronym	Algorithm
LM	<i>trainlm</i> - Levenberg-Marquardt
BFG	<i>trainbfg</i> - BFGS Quasi-Newton
RP	<i>trainrp</i> - Resilient Backpropagation
SCG	<i>trainscg</i> - Scaled Conjugate Gradient
CGB	<i>traincgb</i> - Conjugate Gradient with Powell/Beale Restarts
CGF	<i>traincgf</i> - Fletcher-Powell Conjugate Gradient
CGP	<i>traincgp</i> - Polak-Ribière Conjugate Gradient
OSS	<i>trainoss</i> - One-Step Secant
GDX	<i>traingdx</i> - Variable Learning Rate Backpropagation

Şekil 4.15 Öğrenme yöntemlerinin kısaltmaları, Demuth, H., Beale, M., (2003) Neural Network Toolbox User's Guide, The Mathworks Inc. Natick

Algorithm	Mean Time (s)	Ratio	Min. Time (s)	Max. Time (s)	Std. (s)
LM	1.14	1.00	0.65	1.83	0.38
BFG	6.22	4.58	3.17	14.38	2.08
RP	6.67	4.97	2.66	17.24	3.72
SCG	6.09	5.34	3.18	23.64	3.81
CGB	6.61	5.80	2.99	23.65	3.67
CGF	7.86	6.89	3.57	31.23	4.76
CGP	8.24	7.23	4.07	32.32	5.03
OSS	9.64	8.46	3.97	59.63	9.79
GDX	27.69	24.29	17.21	258.15	43.65

Şekil 4.16 Öğrenme metotlarının sinüs dalgası zamanları, Demuth,H.,Beale.,M, (2003) Neural Network Toolbox User's Guide, The Mathworks Inc. Natick

Modellemede rölenin Normal Inverse karakteristiğinden $X_t(T_p) = 1.0$ için 16 adet giriş değeri (I/Is), 16 adet bu girişlere karşılık gelen hedef değeri (t) kullanılmıştır. Giriş ve hedef değerleri MATLAB'de tanıtmak üzere ayrı ayrı Excel dosyalarında hazırlanmıştır. Bu değerler aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.1 Giriş değerleri I/Is (A)

1.10	2	2.5	3	3.5	4	5	6	8	10	12	13.5	15	17	18.5	20
------	---	-----	---	-----	---	---	---	---	----	----	------	----	----	------	----

Çizelge 4.2 Hedef değerleri t(s)

73.37	10	7.57	6.3	5.51	4.98	4.28	3.84	3.30	2.97	2.74	2.62	2.52	2.40	2.33	2.27
-------	----	------	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

4.4 Röle Modelinin MATLAB'de Hazırlanması

Röle modellemesi için MATLAB programındaki SIMULINK ve NEURAL NETWORK TOOLBOX'lar kullanılmıştır. SIMULINK ile hem görsel olarak röle modeli hazırlanmış olmaktadır hem de hazırlanan model diğer elektriksel uygulamalar içinde uygun hale gelmiş olmaktadır. Ayrıca model üzerinde yapılan değişiklikler (röle modeli, karakteristik seçimi v.b) kolay bir şekilde hazırlanıp görülebilmektedir. NEURAL NETWORK TOOLBOX ile röle karakteristiğini modellenen YSA kolay bir şekilde hazırlanmaktadır. Ayrıca hazırlanan YSA NEURAL NETWORK TOOLBOX ile SIMULINK'e aktarılabilir.

İlk olarak kullanılan ağır özellikleri aşağıdaki konutlarla verilir;

```
“net=newff([1 20], [15,1], {'tansig','purelin'},'trainlm');”
```

Burada “newff” komutu ile ileri beslemeli ağ tanımlanır. Bu komuttan sonra gelen değerlerle ağın özellikleri tanımlanmaktadır. “[1 20]” ile giriş değerlerinin aralığı verilmektedir. Burada giriş değerleri 1 ile 20 arasındadır. “[15,1]” ve “{'tansig','purelin'}” ile ağda kullanılacak transfer fonksiyonları, adetleri ve katmanlar tanımlanmaktadır. İlk katmanda 40 adet tansig kullanılmaktadır. Çıkış katmanında ise 1 adet purelin kullanılmaktadır. “trainlm” ile ağın eğitime yöntemi tanımlanmaktadır. Burada Levenberg-Marquardt yöntemi kullanılmaktadır.

```
“net.trainParam.show = 50;”
```

MATLAB komut alanında sonuçların kaç iterasyon da bir gözükmesi istendiğini belirleyen komut. Burada 50 iterasyon seçilmiştir.

```
“net.trainParam.lr = 0.05;”
```

Bazı eğri düzenlerinde kullanılan öğrenme oranını belirleyen komut.

```
“net.trainParam.epochs = 2000;”
```

Eğitime boyunca yapılacak en fazla iterasyon sayısını belirleyen komut. Eğitime süresine bir etkisi yoktur ancak, belirlenen iterasyon sayısına kadar hedef hata toleransına ulaşılmazsa eğitime durur.

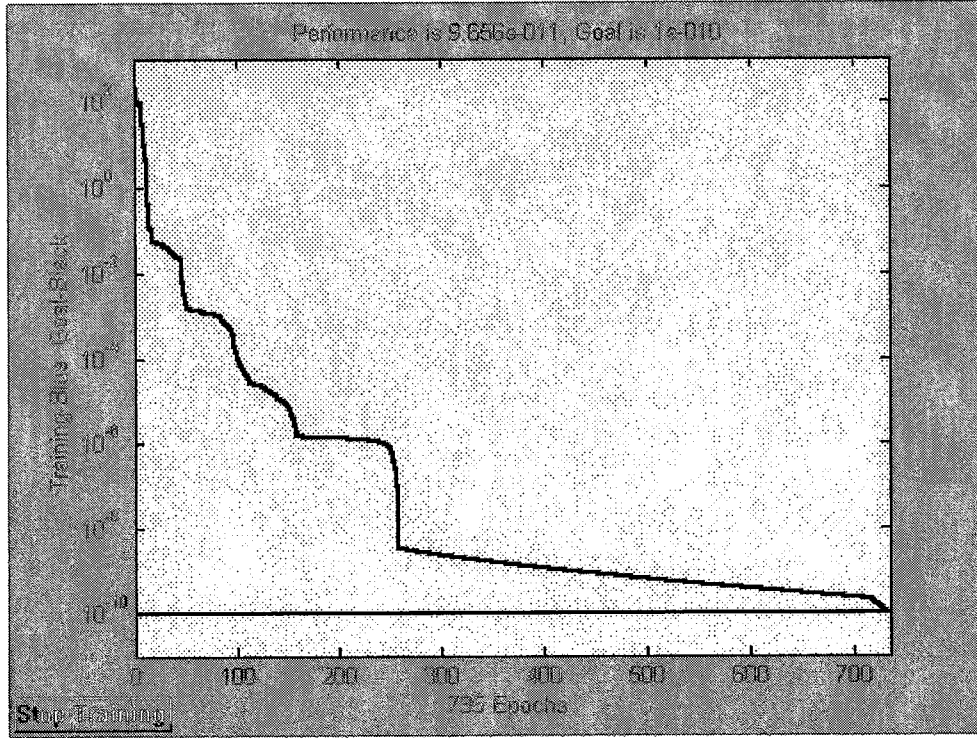
```
“net.trainParam.goal = 1e-10”
```

Eğitime hedefini belirleyen hata toleransını belirleyen komut. Eğitime sonucunda daha önce belirlenen iterasyon sayısı boyunca hedef hata toleransına ulaşamamışsa eğitime durur.

```
“net1 = train(net, Book1, Book2);”
```

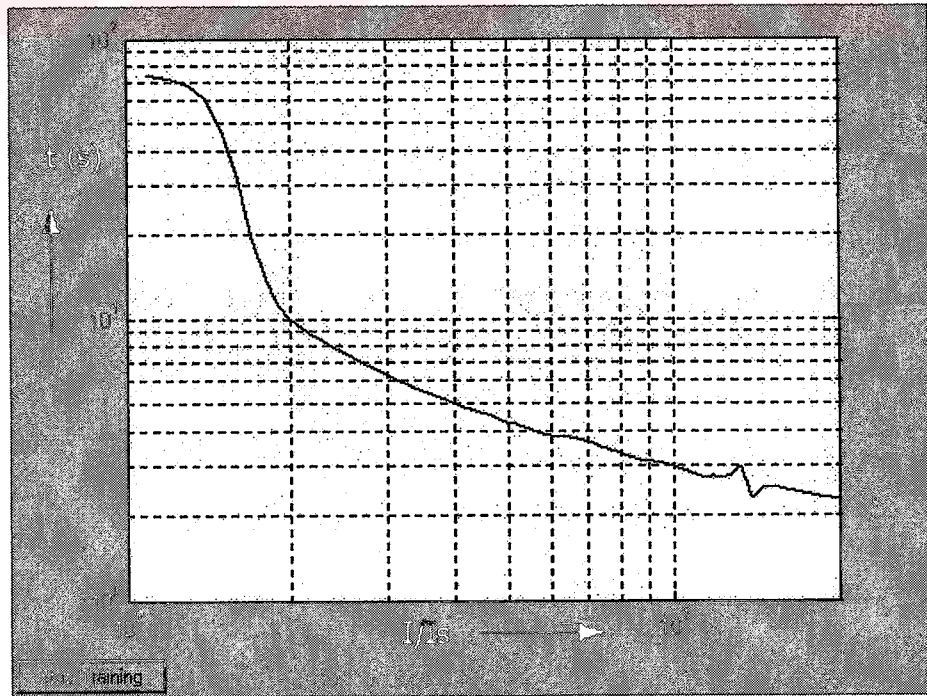
Daha önce verilen ağ özellikleri ile ağı girişler ve hedeflerle eğitmeyi sağlayan komut. Bu ağda “Book1” girişler, “Book2” hedeflerdir.

Tüm konutlar girildikten sonra ağ eğitime başlanır. Ancak ağırlıklar her eğitimde rasgele verildiği için her denemede istenilen hata toleransına ulaşamayabilir, ve iterasyon sayısı tüm değişkenler aynı olsa da farklı olabilir. Şekil 4.17’de ağın 735 iterasyon sonunda istenilen hata toleransına ulaştığı görülmektedir.



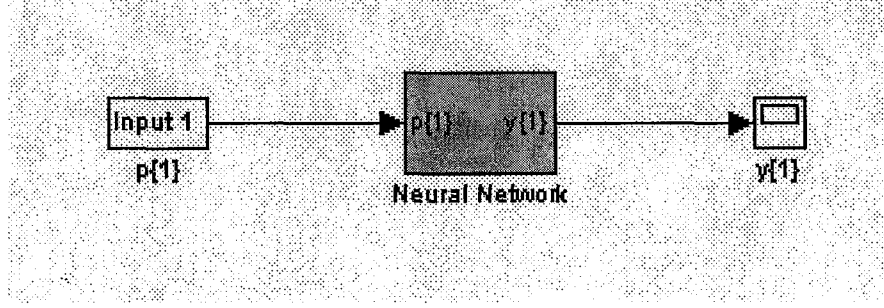
Şekil 4.17 Hata oranı ve iterasyon sayısı grafiği

“a=sim(net1,Book3)” komutuyla ağ istenilen farklı girişlerle simüle edilebilir. Burada 1.1 ile 20 arasında sıralı olarak 0.1 artan girişler bulunan “Book3” dosyası kullanılmıştır. Sonuçları Şekil 4.18’de görülmektedir.



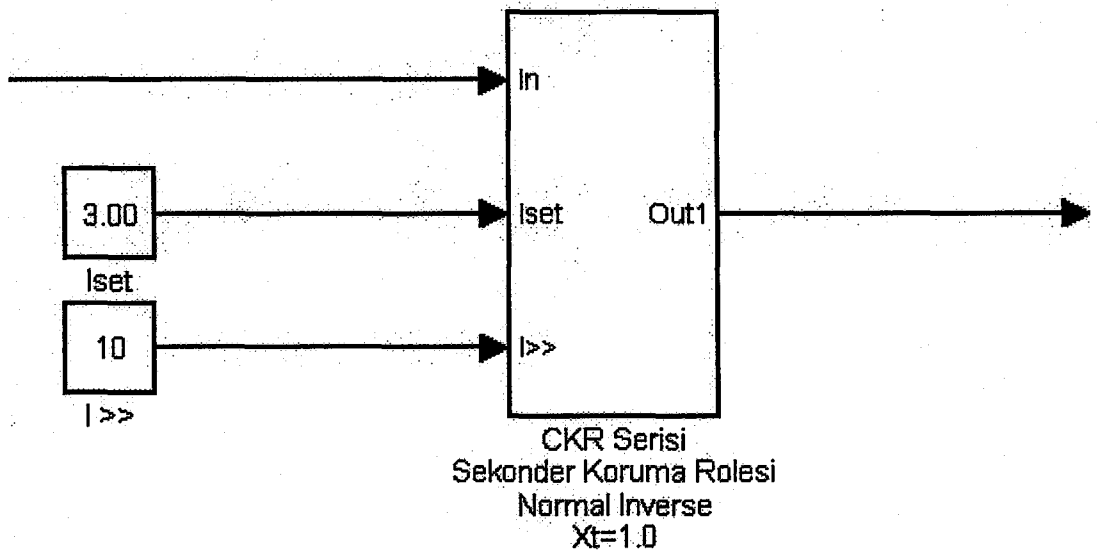
Şekil 4.18 Eğitilen ağın yeni girişlerle simülasyon sonuçları

“gensim(net1,-1)” komutuyla, eğitilen sinir ağının SIMULINK bloğu oluşturulur. Bu hazırlanan blok ile SIMULINK’te hazırlanan röle modelinde akım-zaman karakteristiği karşılaştırması yapılacaktır.



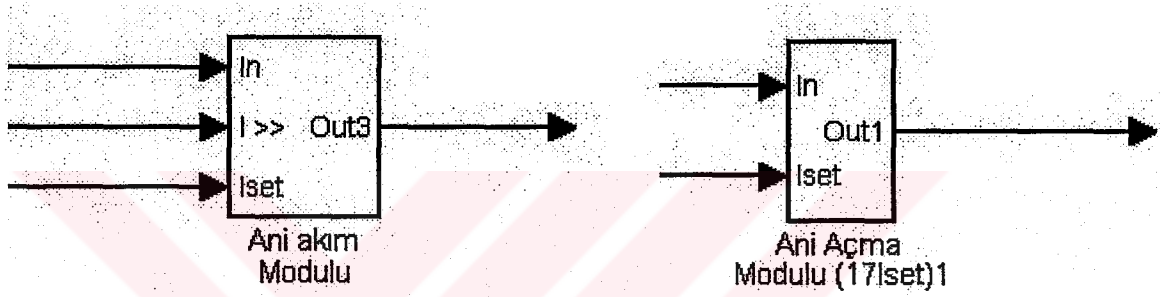
Şekil 4.19 YSA'nın SIMULINK bloğu olarak gösterimi

YSA'nın SIMULINK bloğunun hazırlanmasından sonra, rölenin diğer özellikleri SIMULINK’te modellenir. Modelin görsel olarak üç giriş ve bir çıkışı bulunmaktadır. Girişler nominal akım girişi (In), set akımı girişi (Iset), ani açma akım girişidir (I>>). Nominal akım girişi, SIMULINK’te hazırlanan bir şebekenin bir fazının akımını alarak arıza durumunun kontrolünü yapmak için kullanılır. Set akımı girişi, gerçek rölede de olan set akımını belirlemek için bir giriştir. Burada girilen değer röle modelinin set akımı olacaktır. Ani açma akım girişi ise yine gerçek rölede de olan bir giriştir ve burada girilen değer modelin ani açma akımı olacaktır. Çıkış ise arıza durumunda röle karakteristiğine göre açma sinyali olarak “+1” vermektedir.



Şekil 4.20 Röle modelinin SIMULINK bloğu olarak gösterimi

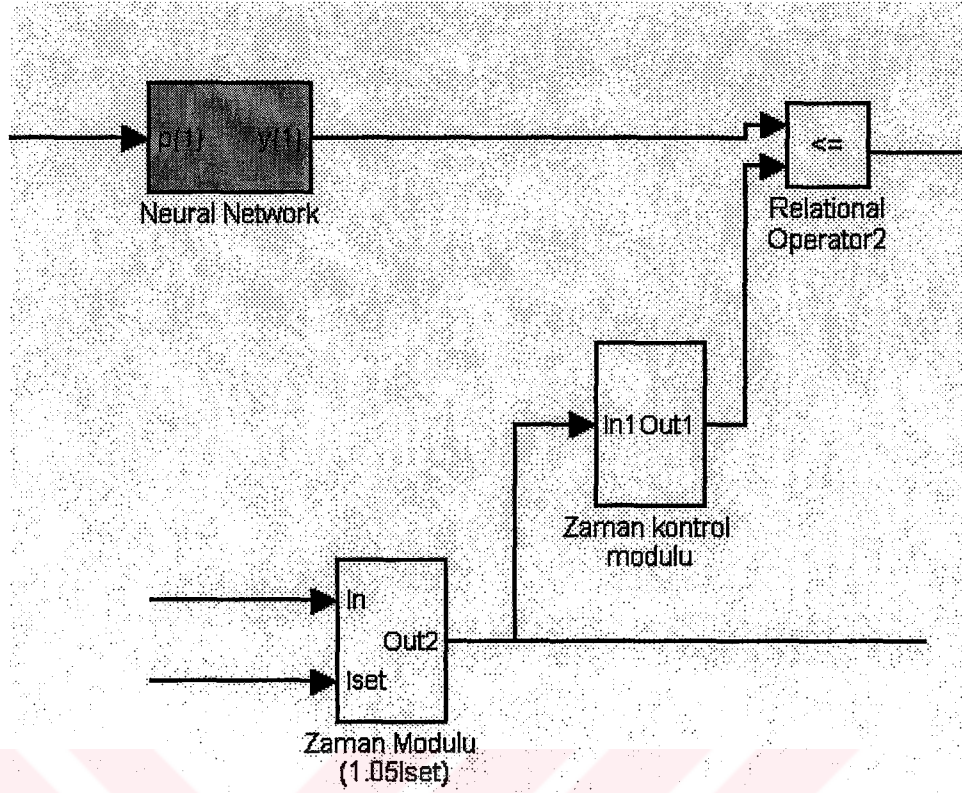
Röle modeli bloğunun içinde bu girişleri kullanan modüller ve YSA bulunmaktadır. İki modül YSA'dan bağımsız olarak akım kontrolü yapmaktadırlar. Bunlardan biri ani akım modülüdür. Ani açma modülü, girilen set akımı (Iset) ve nominal akımı (In) kullanarak, arıza akımı set edilen akım değerinin 17 katına eşit veya büyükse diğer kontrollere bakılmaksızın açma sinyali verir. Diğer modül ise ani akım modülüdür. Bu modülde nominal akım (In), set akımı (Iset), ani açma akımı (I>>) kullanılarak rölenin hangi durumda ani açma yapacağı kontrol edilmektedir. Nominal akım, eğer girilen set akımı ve ani açma akımının çarpımından büyük olursa ani açma yapmaktadır. Örneğin Set akımı 6.5 girilmişse ve ani açma akımı 4 girilmişse, arıza akımı $6.5 * 4 = 26 \text{ A}$ 'e ulaşmışsa röle diğer kontrollere bakmaksızın açma sinyalini gönderir.



Şekil 4.21 Ani akım ve ani açma modüllerinin SIMULINK gösterimleri

YSA bağımlı diğer iki modül ise Zaman modülü ve Zaman Kontrol modülüdür. Zaman modülü In ve Iset akımlarını karşılaştırarak In, Iset akımını 1.05 katına ulaştığında Zaman Kontrol modülüne sinyal göndererek açma zamanının başlamasını sağlar. YSA'ya bağımlı olmalarının sebebi, Zaman Kontrol modülünün çıkışının (açma zamanı) YSA'nın çıkışındaki zamanla karşılaştırıldıktan sonra eğer YSA'nın çıkışı Zaman Kontrol modülünün çıkışından küçük veya eşitse açma sinyali vermektedirler.

YSA'nın önünde ise In/Iset oranını ve bunun efektif değerini alan bloklar bulunmaktadır. Bunların çıkışı YSA'nın girişi olup I/Is değerini YSA'ya vermektedirler. Zaman kontrollerinden çıkan sinyal diğer YSA bağımsız modüllerin sinyalleriyle VEYA'lanarak rölenin asıl çıkış sinyalini oluşturmaktadırlar. Böylece herhangi birinden açma sinyali gelmesi durumunda röle gerçek rölede olduğu gibi açma sinyali verecektir.

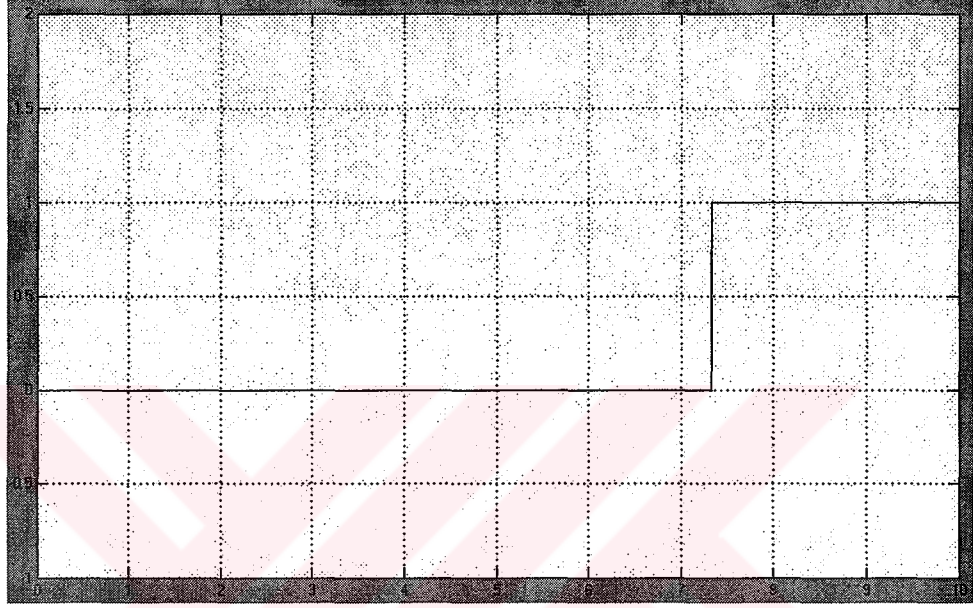


Şekil 4.22 YSA ve zaman modüllerinin röle modeli içindeki yerleşimi

4.5 Örnek Bir Sistemde Modelin Çalıştırılması

Modelin işlevselliğini kontrol etmek için, SIMULINK'te arıza ve bozulma verilerinin otomatik olarak bilgisayarla analizine uygun şekilde normal durum ve arıza akımı oluşturacak bir sistemde test yapılmıştır (Bright, 1998). Buna göre bir akım transformatörünün çıkışından tepe değeri yaklaşık 3.8 A, efektif değeri yaklaşık 2.73 A olan 50 Hz bir şebeke akımı rölenin girişine uygulanmaktadır. Rölenin Iset akımı 3.0, I>> akımı 10.0 olarak set edilmiştir. Sistem saatinin başlatılmasından 1.5 sn sonra arıza akımı oluşmaktadır.

Bu durumda Zaman Kontrol modülü zaman sayıcıyı durdurmuştur. Eğer bu andan itibaren tekrar bir arıza akımı oluşursa, röle Zaman Kontrol modülü tekrar çalışır ve röle YSA'nın çıkışındaki zaman ile Zaman Kontrol modülünün çıkışındaki zamanı tekrar karşılaştırmaya başlar. Ve eğer Arıza akımı devam ederse röle çıkışında açma sinyali oluşur. Burada sistem başlatıldıktan 2.5 sn sonra arıza akımı tekrar oluşmuş, arıza akımı devam etmiş ve röle sistem başlatıldıktan 7.328 sn sonra açma sinyali vermiştir.



Şekil 4.25 Röle çıkış sinyali

YSA arıza akımının şiddetine göre, arıza akımı başladıktan itibaren 4.826 sn sonra röleye açma sinyali vermiştir. Bu durumda röle 0.002 saniye erken açmıştır. Gerçek rölenin özellikleri ele alındığında bu kabul edilebilir bir hata payıdır.

Bu haliyle YSA ile modellenen röle, gerçek rölenin kullanıldığı tüm sistemlerin modellerinde kullanılabilecek durumdadır.

5. SONUÇLAR

Koruma rölelerinin yazılımsal olarak tasarlanması, hesaplı fakat hassas bir işlemdir. Bunun için değişik yöntemler uygulanabilir. Yapay sinir ağları röle modellemesi için kullanılacak farklı ve ilgi çekici bir yöntemdir. Bu tez çalışmasında analog ve dijital rölelerin yapay sinir ağlarıyla modellenmesi ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Yapay sinir ağları, röle modellemesi sırasında röle karakteristiğini elde etmek için oldukça az veriye ihtiyaç duymaktadır. Bu da en az veriyle farklı tiplerdeki bir çok röleyi kolay bir şekilde modellemeyi olanak sağlamaktadırlar.
2. Yapay sinir ağları, röle modellemesi sırasında karmaşık olmayan yapıları ile hızlı sonuçlar elde etme imkanı vermektedirler.
3. Yapay sinir ağlarıyla modellenen bir rölenin özelliklerinde kolay değişiklik yapılması aynı rölenin farklı karakteristiklerini hızlı bir şekilde modelleme imkanı sunmaktadır.
4. Yapay sinir ağları ile modellenen rölelerde hata oranı, gerçek rölenin hata payından çok daha iyidir.
5. Yapay sinir ağları ile modellenen röleler, farklı simülasyon programlarında kullanılabilir.

İlerleyen koruma teknolojileri ile gelecekte üretilecek röleler daha farklı YSA sistemleriyle çok daha doğru ve hassas modellenebilir bir duruma gelecektir.

KAYNAKLAR

Blackburn, J., (1987), Protective Relaying, Mareel Dekker Inc., Taiwan

Bright, J.A., Burnett R.O., Baumgartner, E.A., Brandt, J.D., Cease, T.W., Fennell, E.C., Froman, C.W., Gustin, R.F., Howard, A.T., Kezunovic, M., Lefrancois, M., Mehta, H.I., Murphy, R.J., Pickett, B.A., Smith, L.E., Xavier M.A., (1998), "Fault and Disturbance Data Requirements For Automated Computer Analysis Summary Paper", IEEE Transactions on Power Delivery, 13:735-737

Demuth,H.,Beale.,M, (2003), Neural Network Toolbox User's Guide, The Mathworks Inc., Natick

Kezunovic, M., Kasztenny, B., Galijasevic, Z., (1999), "Modeling, Developing and Testing Protective Relays using MATLAB, Programmable Relays and Digital Simulators", 3rd Int'l Conference on Digital Power System Simulators-ICDS'99, Sweden

Kezunovic, M., Rikalo, I., (1996), "Detect and Classify Faults Using Neural Nets", IEEE Computer Application in Power, 9:42-47

Kezunovic, M., (2003), "User-friendly, Open-system Software for Teaching Protective Relaying Applicaiton and Design Concepts", IEEE Transactions on Power System, 18:33

Kezunovic, M., (1997), " A Survey of Neutral Net Applications To Protective Relaying and Fault Analysis", Engineering Intelligent Systems, 5:185-192

Kezunovic, M., Kasztenny, B., (2000), "Design Optimization and Performance Evaluation of the Realying Algorithms, Relays and Protective Systems Using Advanced Testing Tools", IEEE Transactions on Power Delivery, 5:1129-1135

Kezunovic, M., Xia, Y.Q., Guo, Y., Fromen, C.W., Sevcik, D.R., (1996), "An Advanced Method for Tesing of Distance Relay Operating Characteristic", IEEE Transactions on Power Delivery, 11:149-157

Kezunovic, M., Pickett, B.A., Adamiak, M.G., Alexander, G.E., Carr, K.R., Chirco, G., Esztergalyos, J., Jerosolimski, M., Kotheimer, W.C., Marttila, R., McElray, J.L., McKenna, S.M., McLaren, P.G., Murphy, R.J., Nordstrom, J., Ryan, R., Skendzic, V., Thompson, S.I., Tziouvaras, D.A., Phillips, F.M., Sakaguchi, T., , (1998), "Digital Simulator Performance Requirements for Relay Testing", IEEE Transactions on Power Delivery, 13:78-84

Kezunovic, M., Xia, Y.Q., Guo,Y., Fromen, C.W., Sevcik, D.R., (1997), "Distance Relay

Application Testing Using A Digital Simulator”, IEEE Transactions on Power Delivery, 12:72-82

Kezunovic, M., Guo, Y., (2000), “Modeling and Simulation of the Power Transformer Faults, and Related Protective Relay Behavior”, IEEE Transactions on Pwer Delivery, 15:44-50

Kezunovic, M., Vasilic, S., (2001), “Advanced Software Environment for Evaluating the Protection Performance Using Modeling and Simulation”, CIGRE SC 34 Colloquiun, Romania

Kezunovic, M., Vailis, S., Ristanovic, D., (2002), “Interfacing Protective Ralays and Relay Models to Power System Modeling Software Data Files”, PowerCon 2002, China

McLaren, P.G., Mutsaphi, K., Benmouyal, G., Chano, S., Girgis, A., Henville, C., Kezunovic, M., Kojovic, L., Mattila, R., Meisinger, M., Michel, G., Sachdev, M.S., Skendzic, V., Sidhu, T.S., Tziouvaras, D., (2001), “Software Models For Relays”, IEEE Transactions on Power Delivery, 16:238-246

Ok, A., (1995), “Dijital Koruma Rölelerine İlişkin Genel Bilgiler”, Kaynak Elektrik, 2:73-80

Rao, T., (1992), Power System Protection Static Relays, Mc. Graw Hill, New Delhi

Russel, J.R. and Norvig,P., (1995), Artificial Intelligence A Modern Approach, Prentice Hall Inc., New Jersey

Vasilic, S., Kezunovic, M., (2001), “New Design of a Neural Network Algorithm for Detecting and Classifying Transmission Line Faults”, IEEE PES Transmission and Distribution Conference, Atlanta

Vasilic, S., Kezunovic, M., (2002), “An Improved Neural Network Algorithm for Calssifying the Transmission Line Faults, IEEE PES Winter Meeting, New York

Vasilic, S., Kezunovic, M., Sobajic, D., (2002), “Optimizing Performance of A Transmission Line Relaying Algorithm Implemented Using An Adaptive , Self-organized Neural Network” 14th Power Systems Computation Conference '02, Seville, Spain

Westinghouse Electric Corp. Relay-Instrument Division, (1976), Applied Protective Relaying, 4:25-45

INTERNET KAYNAKLARI

[1]www.mathworks.com

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 02.06.1979

Doğum yeri İstanbul

Lise 1993-1996 İSTEK Atanur Oğuz Lisesi

Lisans 1996-2001 Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik
Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik
Mühendisliği Programı

Çalıştığı kurumlar

2000-2001 TEMİTAŞ.Ticaret Elektrik Mühendislik İnşaat
Taahhüt A.Ş.

2001-Devam ediyor LIPMAN Elektronik Türkiye

