

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

**YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ELEKTRİKSEL SİSTEMLERDE
AŞIRI AKIM KAVRAMI İÇİN KONTROL SİSTEMLERİ
TASARIMI**

SEZGİN SEZGİNER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KONTROL VE OTOMASYON MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONTROL VE OTOMASYON MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. KAYHAN GÜLEZ**

İSTANBUL, 2015

T.C
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ELEKTRİKSEL SİSTEMLERDE
AŞIRI AKIM KAVRAMI İÇİN KONTROL SİSTEMLERİ
TASARIMI

Sezgin SEZGİNER tarafından hazırlanan tez çalışması 18.08.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Kayhan GÜLEZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Kayhan GÜLEZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Tufan KUMBASAR
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Janset DAŞDEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu tezde yapay sinir ağıları öğrenme tekniklerini kullanan ve elektriksel şebekelerde kullanımı düşünülen bir elektronik röle tasarımı ele alınmakta olup, bu tasarım yardımıyla temel elektriksel gürültülerin, aşırı akımların ve kısa devre akımlarının analizlerinin yapılarak bir öğrenme algoritması aracılığıyla şebeke korumasının yapıldığı örneklerle ve test verileriyle aktarılmaktadır. Günümüzde evlerimizde ve endüstriyel tesislerimizde sıklıkla kullanmış olduğumuz otomatik sigortaların yerini alacak bu donanımla tüm AG şebekelerinin etkin bir şekilde korunarak korunması, ikincil olarak bu sistemlerde yer alacak bir erken uyarı sisteminin geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Tezin genel kapsamında YSA'da öğrenme metotları ve algoritmaları detaylı bir şekilde ele alınacak olup dünyada ve özelinde elektrik tesislerinde bu ve buna benzer teknolojilerde nerede bulunduğu kısa bir durum değerlendirmesi yapılacak olup kontrol ve otomasyon sistemlerinde bu tip koruma sistemlerine olan ihtiyaç araştırılacaktır. Günümüz teknolojilerinde mevcut kullanılmakta olan kontrol ve koruma teknolojilerinin analizi yapılırken bu sistemlerin avantajları ve dezavantajları analiz edilerek önerilen sisteme olan katkılarından ve genel çalışma yapılarından bahsedilecektir.

Yapılmış olan donanımsal ve yazılımsal tasarımın her bir elemanı detaylı olarak irdelenerek olumlu ve olumsuz yönleri tartışmaya açılacak, sonrasında yapılan analizler ve test sonuçları birleştirilerek ne oranda başarı sağlandığı ve ilerleyen çalışmalarda hangi kaynakların ve ek sistemlerin getirilmesi gerektiği tartışılacaktır.

Amaçlanan YSA modelleme teknikleriyle, elektrik şebekelerindeki tüm ölçüm ve koruma parametrelerinin izlenebilirliğini arttırarak sistem teşhisi ve korumasını kolaylaştırıcı yeni teknolojileri ele almak, daha sonrasında ilerleyen bölümlerde önerilen prototip donanım ve yazılımla bu teşhis ve kontrol tekniklerini inceleyip tasarlanan bu sistemin elektrik ve enerji sektörü açısından sağlayabileceği faydaları göz önüne sermek bu tezin esas amacıdır. Tez bu yönüyle ele alındığında ilerleyen çalışmalara faydası olacağına inanmaktayım.

Çalışmalarında emek ve desteklerinden ötürü başta Sn. Kayhan Gülez ve tüm ilgili YTÜ öğretim üyelerine teşekkürü bir borç bilirim.

Ağustos, 2015

Sezgin SEZGİNER

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	15
1.1 Literatür Özeti.....	16
1.2 Tezin Amacı.....	16
1.3 Hipotez.....	16
BÖLÜM 2	
KORUMA SİSTEMLERİ.....	17
2.1 Devre Kesicilere Genel Bir Bakış.....	17
2.2 Geleneksel Devre Kesme Yöntemleri ve Dezavantajları.....	18
2.3 Koruma ve İzleme Sistemlerinde Yüksek Teknoloji Kullanımı.....	19
2.4 Tezin Amacı ve Genel Kapsamı	21
BÖLÜM 3	
YAPAY SİNİR AĞLARI	23

3.1	Yapay Sinir Ağlarındaki Temel Kavramlar	23
3.1.1	Sinir Ağları Tanımı	23
3.2	Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme	24
3.2.1	Öğrenme Algoritmalarına Göre Yapay Sinir Ağları	26
3.2.1.1	Danışmanlı Öğrenme	26
3.2.1.2	Danışmansız Öğrenme	26
3.2.1.3	Destekleyici Öğrenme	27
3.3	YSA Örneklemeleri	27
3.3.1	İleri Beslemeli Ağ	27
3.3.2	Hopfield Ağı	28
3.3.3	ADALINE ve Adaptif Doğrusal Birleştirici	30
3.3.4	LMS Öğrenme Kuralı	31
3.3.5	Perceptron Algoritması	32
3.3.5.1	Temel Algoritma Yapısı	33

BÖLÜM 4

ALÇAK GERİLİM VE KORUMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN YAPAY SİNİR AĞ MODELLERİ	34	
4.1	Motor Koruma Sistemlerinde YSA	34
4.1.1	Sargı Hataları	35
4.1.2	Rulman Hataları	35
4.1.3	Aşırı Isınma Hataları	35
4.1.4	YSA Analizi	35
4.2	Motor Koruma Sistemlerinde Toprak Kısa Devre Hatası Koruması İçin Kullanılan YSA Uygulamaları	38
4.3	Reaktif Güç Kompanzasyon Sistemlerinde YSA Uygulamaları	40
4.4	Motor Hız Kontrolü Uygulamalarında YSA Uygulamaları	42

BÖLÜM 5

SİSTEM ÖZELLİKLERİ	43	
5.1	Sistemin Genel Özellikleri	43
5.1.1	Anahtarlamalı Mod Çalışan Güç Kaynağı	44
5.1.2	Akım ve Gerilim Transdüseri	45
5.1.3	Mikrodenetleyici Sistem	45
5.1.4	Yük Kontrol Sistemi	46
5.2	Donanım	47
5.2.1	Kararlı durum sıcaklık ölçümleri	48
5.2.2	Güç Kaynağı Kısadevre Testleri	48
5.2.3	Akım Dayanımı ve Temel Yalıtım Fonksiyonu	48
5.2.4	Akım Senörü Çalışma Hassasiyeti	48
5.2.5	Mikrodenetleyici test ve hata ayıklamaları	48
5.2.6	Kumanda Testleri	48
5.2.7	Açma kapama süresi analizi	49

BÖLÜM 6

YAZILIM TASARIMI VE YSA MODELLEMESİ	50
6.1 Yazılım Tasarımının Temel İlkeleri	50
6.2 Yazılım Altyapısı ve Mikrodenetleyici seçimi	51
6.2.1 Yazılım Modeli	51
6.2.2 Sistemin YSA Modeli	52
6.3 Kısa Devre Akımı	53
6.4 Geçici Gerilim Dalgalanmaları	55
6.5 Ölçüm Parametreleri	56
6.6 Yazılım Performansı	57
6.7 Eğitim Seti	57

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER	60
7.1 Tasarım ve Tasarım Doğrulama Özeti	60
7.2 Sisteme Eleştirel Bir Bakış	62
7.3 Gelecek Çalışmalara Katkı	63
KAYNAKLAR	65
Kaynak Kodu	67
A-1 Prototip Programın Kaynak Kodu	67
A-1-1 Standart Başlık Dosyaları	67
A-1-2 Tanımlamalar	68
A-1-3 Nesneye Dayalı Çalışma İçin Atanan Sınıflar	69
A-1-4 Giriş Kopyalama Fonksiyonu	70
A-1-5 Ağırlık Kopyalama Fonksiyonu	70
A-1-6 İleriye Öteleme (forward pass) Fonksiyonu	70
A-1-7 Çıkış Hatası Hesaplama Fonksiyonu	71
A-1-8 Çıkış Ağırlığı Güncelleme Fonksiyonu	72
A-1-9 Orta Katman Ağırlık Güncelleme Fonksiyonu	73
A-1-10 Öğrenme Modu	74
A-1-11 Başlangıç Anonsu	76
A-1-12 İşletme Modu	78
A-1-13 Ana Fonksiyon	80
A-2 Mikrodenetleyici Programlama Arayüzü	81
A-2-1 Analog Dijital Çevrim Arayüz Programı	81
A-2-2 Zamanlayıcı Arayüz Programı	83
ÖZGEÇMİŞ	85

SİMGE LİSTESİ

$\cos\phi$	güç faktörü
A-kA	amper-kilo amper
K	Kelvin
ms	milisaniye
Co2	Karbondioksit
SF6	Sülfür hegza florür gazı
A ² s	Amper kare saniye, kısa devre enerjisi
$\sum_{i=1}^p$	Toplam
W	Ağırlık(weight)
[Θ]	Eşik değeri
ϵ_k	Hata değeri
D	Uzaklık
R	giriş korelasyon matrisi
E	toplam hata
η	öğrenme katsayısı
R/L	direnç/endüktans = zaman sabiti
kHz	kilo Hertz
VDC	Doğru gerilim
Ω	ohm
°C	santigrat derece
L	Henry
C	Farad
Exp	üstel e
di/dt	akım yükselmesi
dV/dt	gerilim yükselmesi

KISALTMA LİSTESİ

ADALINE	Adaptive Linear Neuron
ADC	Analog to Digital Converter
ANSI	American National Standard Institute
DFT	Digital Fourier Transform
DIN	Deutsches Institut für Normung
EMF	Electromagnetic force
EMI	Electromagnetic Immunity
EN	European Norm
GSM	Global System for Mobile
HMI	Human Machine Interface
IEC	International Electrotechnical Commission
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
Iot	Internet of Things
Ipx	Internet Protocol
LAN	Local Area Network
LMS	Least mean square
MCCB	Moulded Case Circuit Breaker
MCU	Microcontroller Unit
MCB	Miniature Circuit Breaker
MOSFET	Metal Oxide Field Effect Transistor
PC	Personal Computer
PCB	Printed Circuit Board
PI	Proportional Integration
PID	Proportional Integration Derivative
PLC	Programmable Logic Controller
PWM	Pulse Width Modulation
RTU	Remote Terminal Unit
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SMPS	Switched Mode Power Supply
UPS	Uninterruptable Power Source
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Tipik bir minyatür devre kesicinin iç görüntüsü.....1
Şekil 2.2	Tipik bir alçak gerilim kesicisinin kısa devre test osilogramı.....2
Şekil 2.3	Genel SCADA mimarisi.....4
Şekil 3.1	Çıkış fonksiyonu.....10
Şekil 3.2	Tipik bir ileri beslemeli ağ yapısı.....11
Şekil 3.3	Hopfield Ağ Yerleşimi.....12
Şekil 3.4	ADALINE Filtre.....14
Şekil 3.5	Bipolar ADALINE.....15
Şekil 3.6	Perceptron Yapısı.....17
Şekil 4.1	Motor arıza YSA yapısı.....22
Şekil 4.2	Toprak hata akımı sensör donanımı.....23
Şekil 4.3	YSA’da kompanzasyon uygulaması.....26
Şekil 4.4	YSA’da PI motor kontrolör uygulaması.....26
Şekil 5.1	Temel sistem birimleri.....29
Şekil 5.2	Anahtarlamalı Mod Güç Kaynağı.....29
Şekil 5.3	Akım ölçme devresi.....30
Şekil 5.4	Yük kontrol devresi.....31
Şekil 5.5	Prototip devre.....32
Şekil 5.6	Test devresi.....33
Şekil 5.7	Açma süresi için osilogram.....34
Şekil 6.1	Öğrenme mekanizmasında tipik nöronlar.....37
Şekil 6.2	Basit kısa devre eşdeğer şeması.....39
Şekil 6.3	Genişletilmiş kısa devre eşdeğer şeması.....39
Şekil 6.4	Kısa devre anında oluşan darbe ve rezonans gerilimleri.....41
Şekil 6.5	Gerilim ve akım transdüserleri yerleşim şeması.....42
Şekil 6.6	Matlab programında öğrenme grafiği.....43
Şekil 6.7	C++ kaynak kodunda en hızlı öğrenmede EPOCHS gösterimi.....44
Şekil 6.8	C++ kaynak kodunda korumanın gerçekleşmesi.....44
Şekil 7.1	Arıza öncesi elektrik tüketimi.....45
Şekil 7.2	Arıza sonrası korumaya geçen sigorta.....45
Şekil 7.3	Eğri (MCU komutu-yük akımı, zaman) yük akımı büyütülmüş gösterim...46
Şekil 7.4	Eğri (MCU komutu-yük akımı, zaman) yük akımı büyütülmemiş gösterim.....47

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4.1 Motor Arıza Senaryoları.....	37
Çizelge 6.1 Kaynak Koduyla Oluşturulan Eğitim Seti.....	57

YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ELEKTRİKSEL SİSTEMLERDE AŞIRI AKIM KAVRAMI İÇİN KONTROL SİSTEMLERİ TASARIMI

Sezgin SEZGİNER

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı
Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Kayhan GÜLEZ

Alçak gerilim elektrik dağıtım sistemlerinde elektriksel koruma amacıyla kullanılan elektromekanik otomatik sigortalar, şebelelerde aşırı akım koruması ve kısa devre akım korumasını sağlamakta birincil göreve sahiptirler. Bu koruma elemanlarının şebekelerde güvenilir ve uzun ömürlü olarak çalışması mekanik ve elektromanyetik performans kriterlerine göre değişiklik arz eder. Bu ürünlerin elektriksel beyan değerlerine ve akım karakteristiklerine bağlı olarak IEC, DIN, EN normlarına göre farklı test senaryoları oluşturulmaktadır. Piyasada “otomat” olarak ta bilinen bu ürünler kısa devre anında 10kA, $\cos\phi = 0,6$ (geri) değerine kadar çıkabilen konvansiyonel kısa devre akımını algılayarak manyetik açtırma düzeneğini devreye almakta ve sonrasında bu akımı, gövdesi içerisindeki ark hücresi içine taşıyarak iyonize olmuş ve olağanüstü ısılara çıkmış olan gazı polimer gövdenin dışına atmaktadırlar. Yaklaşık 10 ms süren bu kısa anda oldukça yüksek bir Joule ısınması oluşmakta, polimer gövdede, ark kanallarında ve bakır baralarda 18.000 Kelvin mertebesine varan ısınmalar meydana gelmektedir. Bu derecede yüksek aktif enerji kayıpları, mekanik ve elektriksel performansı her bir kısa devrede aşağı seviyeye çekmekte, ürünlerin ömür dayanım değerinin düşmesine sebep olmaktadır. Bunu takip eden kullanımlarda yine kısa devrelere ve aşırı akımlara maruz kalan otomatik sigorta ilk doğrulama testlerindeki performansının altına inmektedir.

İkincil önemdeki bir diğer dezavantaj ise bu tip elektromekanik koruma sistemlerinin yangın veya kötü temas gibi arızalar sırasında oluşan akım ve gerilim dengesizliklerini algılamadaki düşük hassasiyetleridir. Bir kontak temassızlığından veya faz – toprak arasındaki kaçak empedanstan kaynaklanabilecek gerilim ve akım düzensizlikleri sırasında bu cihazlar algılama ve koruma yapamamakta olup arızanın tespiti ancak şebekedeki beyan akım 1kA mertebesine çıktuktan sonra mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada yukarıda özetlenen bu iki temel problemin gömülü bir yazılım içeren elektronik devre ile giderilmesi olanaklı hale gelmektedir. Gerilim ve akım parametrelerinin sürekli olarak takibiyle öğrenme modu oluşturularak sistemin normal çalışma koşulları saptanmakta ve bu oluşumun dışına çıkan durumlar oluştuğunda şebekenin korunması olanaklı hale gelmektedir. Yapay sinir ağlarında kullanılan backpropagation algoritması temel yazılım altyapısını oluşturmaktadır. Çalışmaya konu olan bu sistemin en önemli avantajı, aşırı akımın henüz tepe noktasına varmadan algılanmasıyla önemli elektriksel risklerin önüne geçilmesi ve daha dayanıklı koruma sistemlerinin oluşmasına olanak vermesidir. Akıllı şebekelerde bu türde koruma ve kontrol düzenlenerinin bulunmasına ihtiyaç vardır.

Anahtar Kelimeler: Elektronik koruma teknolojisi, solid state breaker, yapay sinir ağları, backpropagation, yüksek teknoloji koruma, elektronik devre kesici, yarı iletken şalter.

ABSTRACT

CONTROL SYSTEM DESIGN FOR PREVENTION OF OVERCURRENT FAILURES IN ELECTRICAL SYSTEMS BY USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Sezgin SEZGİNER

Department of Control and Automation Engineering
Msc. Thesis

Adviser: Assoc. Dr. Kayhan GÜLEZ

The miniature circuit breaker which has been used in low voltage level, have primary duty for overcurrent and short circuit protection at installation. In order to provide sustainable and realible operation, electromangnetic and mechanical criterias shall be met. There are several test scenarios due to changing configurations of those devices mainly based on IEC, DIN, EN standards. These devices could detect conventional short circuit current which is 10kA, $\cos\phi = 0,6$ (lagging) and could operate magnetic trip means. Right after that, it could absorb the ionized arcing gases and electrons towards to arc chamber and could exhaust these gases out of the breaker body. There occurs enormous joule heating in a very small time deviation which is about 10ms. A high temperature on polymer body, arc channels and copper bars can sometime reach to 18.000 Kelvin. This sorts of active energy losses instantly decrease the degree of reliablity during each failure and product life cycle has been affected by that. In further uses, as the breaker takes similar damages, the performance at test results have changed and have got worst. A secondary disadvantage is their insufficient detection sensitivities while fire hazardous and bad contact problems occur in installation. During a bad contact failure, these devices may not detect the failure instantly as long as the system current did not reach 1kA level.

In proposed system, these two fundemental problems have been eliminated by using an electronic circuit and its embedded software. As the voltage and current parameters continously has been traced and monitored, a specific learning mode was created. The excessive situations rather than normal operational conditions have been detected and system have been protected due to these algorithms. The backpropogation algortihm consists the fundemental background of proposed software. The biggest advantage of such system is to detect the failure before it reaches its peak point and cut the circuit

rapidly. By that way, the energy losses have been decreased and circuit may protect itself before a hazardous situation occurred. The reliability of protection system has increased. It's been considered that in industrial and smart grid based electrical systems, this type of protection and control devices will be needed.

Keywords: Electronic protection technology, solid state breaker, artificial neural network, backpropagation, high-tech protection, electronic circuit breaker, semiconductor switch.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Koruma ve ölçme sistemlerinde sıklıkla kullanılmakta olan elektromekanik ve elektronik koruma düzenleri, elektriksel sistemlerdeki en kritik donanımlardır. Elektriksel sistemlerde iletim ve dağıtım sistemlerinin, uzaktan algılama sistemlerinin, veri izleme sistemlerinin artışına bağlı olarak yapay sinir ağlarıyla(YSA) tasarımılanan cihaz ve yazılımları gerçekleştirmek gerekli hale gelmiştir.

Günümüzde var olan elektronik koruma yazılımları da verilen birçok farklı girdiye bağlı olarak karmaşıklaşmakta, hata senaryoları artmakta ve koruma durumunu yerine getirmek için birçok kod yığını oluşmaktadır.

Örneğin bir orta gerilim koruma rölesinde yalnızca standart bir korumayı sağlayabilmek adına yüzlerce parametrik koruma fonksiyon yer almakta, bu fonksiyonların altında onlarca farklı mantıksal işlev yer almaktadır. Böylelikle en azından binlerce alt fonksiyon oluşmaktadır. Bu kadar yüksekte sayıda mantıksal işlem beraberinde cevap süresinin yavaşlamasına ve sistemin yalnızca programlanan fonksiyonlarda korumayı gerçekleştirmesine sebep olmaktadır. Oysaki en radikal hatalar beklenmedik zamanlarda ve daha önceden öngörülmemiş elektriksel büyüklük değişimlerinde meydana gelmektedir.

1.1 Literatür Özeti

Yakın geçmişten bu güne mevcut bu riskleri yok etmek adına birçok değişik YSA uygulaması yapılmıştır. Örneğin motor koruma sistemlerinde, sıcaklık, elektrik akısı, faz dönme açısı gibi önemli elektriksel veya mekanik girdiler kullanılarak bir elektrik motorunun henüz motor tam arıza durumuna gelmeden korunması YSA ile mümkün hale gelmektedir.[1]

YSA teknolojisi elektrik şebekelerinde tüketim yükü öngörüsü yapabilmek adına da kullanılmaya başlanmıştır. Birçok farklı bölgede yıllık elektrik tüketim miktarlarının değişen politik, çevresel faktörlere bağlı olarak öngörülmesi günümüzde mümkündür.[2]

Sıcaklık ve elektriksel sensörlerin hassasiyet faktörlerinin belirlenmesinde YSA belirleyici bir faktör olmuştur. Bir sensörün öncesinde sistemin genel yapısını öğrenerek algılama oluşturması mümkün hale gelmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Tezde, yapılan bu çalışmalar ışığında YSA'da kullanılan benzeri yaklaşımların elektriksel sistemlerde kullanılan koruma donanımları üzerinde de kullanılması ve mevcut elektronik koruma sistemlerine bir alternatif getirilmesi mümkün hale gelmektedir. Elektriksel şebeke davranışının daha önceden belirlenmiş bir öğrenme kuralı yardımıyla belirlenmesine imkan tanınmakta, böylelikle olağan dışı çalışma koşullarını otomatik olarak belirleyebilen bir çalışma algoritması ortaya çıkartılmaktadır.

1.3 Hipotez

Olağan dışı çalışma koşullarını belirleyebilmek için backpropagation algoritması kullanılarak şebekedeki temel akım ve gerilim verileri incelenerek bu verilerin kendi içindeki olağan duyarlılığı nümerik yöntemlerle belirlenmektedir. Bu belirleme sırasında şebekenin genel davranış şekli, akım ve gerilim büyüklüklerine karşı duyarlılığı ilgili eğitim algoritmasına göre gerçekleştirilmekte olup ortaya çıkan hedefe en hızlı ulaşabilme sayısı saptanmaktadır. İşletme modunda sistemin bu normal çalışma duyarlılığına karşı göstermekte olduğu radikal veya radikal olmayan eğilimler belirlenmekte olup radikal karakterdeki verilerin tespiti gerçekleştiği anda sistemin kendiliğinden korunması olanaklı hale gelmektedir.

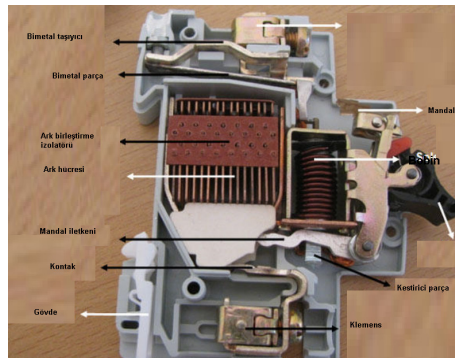
BÖLÜM 2

KORUMA SİSTEMLERİ

2.1 Devre Kesicilere Genel Bir Bakış

Tüm elektrik şebekelerinde kumanda ve koruma amacıyla kullanılan devre kesiciler 6A anma akımından 6300A anma akımına kadar geniş bir yelpazede kullanılmakla beraber alçak gerilim, orta gerilim ve yüksek gerilim olmak üzere farklı elektriksel dağıtım sistemlerinde temel koruma ve açma-kapama elemanı olarak kullanılmaktadırlar.

İlk devre kesici sistemi SF6 gazlı ark söndürme hücresiyle 1938 senesinde AEG firması tarafından tasarlanmış ve patent altına alınmıştır. Ardından 1951 senesinde bu sisteme benzer başka bir tasarım Westinghouse firması tarafından üretilmeye başlanmıştır. Devre kesicilerin asıl olarak sanayide kullanılmaya başlanması iki sene sonrası olan 1953 senesidir. Westinghouse firması tarafından üretilen bu devre kesici ürün 161kV'luk bir gerilime kadar 600A'lık fazı koruyabilecek özellikte tasarlanmıştır. 40kA'lık bir kısa devre kesme kapasitesine sahip olan bu devre kesici o zamana kadar ki en yüksek kısa devre kesme kapasitesine sahip devre kesicidir.

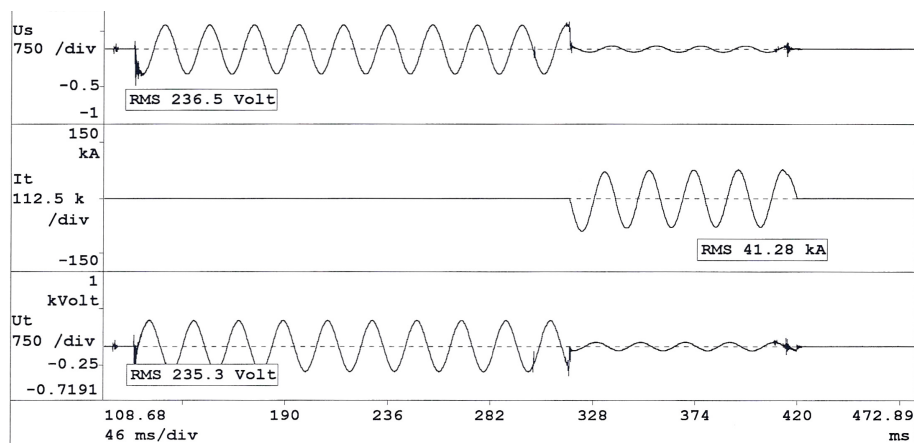


Şekil 2.1 Tipik bir minyatür devre kesicinin iç görüntüsü

2.2 Geleneksel Devre Kesme Yöntemleri ve Dezavantajları

Yaklaşık 100 seneye varan bir geçmişi olan tüm devre kesme sistemlerinde temel çözüm, kısa devre veya aşırı akım sırasında oluşan yüksek enerjili ark plazmasının soğutulması hücre içinden tahliyesini sağlamak üzerinedir. Bunu sağlayabilmek adına havalı, Co₂ gazlı, SF₆ gazlı, vakumlu ve yağlı soğutma çözümleri benimsenerek kullanılmıştır. Tüm bu tasarımların ortak noktası, kesicilerin içlerinde esas içeriği demir olan ark söndürme hücrelerinin kullanılmış olmasıdır. Ark söndürme teknolojisi 50.000 Kelvin sıcaklığa kadar varan ark akımını plazma haline gelmesinden gövde dışarısına atılmasına kadar geçen sürede elektromanyetik bir kuvvetle ileriye doğru elektron bulutunu süpürerek fırlatmak ve hızlı bir ark tahliyesini sağlayabilmek üzerine kurulmuştur. Kısa devre anının en kötü senaryolara bakıldığında kötü bir kısa devrenin 10 ms yani bir yarım şebeke frekans döngüsü kadar sürebileceği görülmüştür.

Alçak gerilim dağıtım sistemlerinde asgari 150.000A²s 'ye eşit bir enerji ortaya çıkmaktadır. Enerji kullanımı açısından bu değer balistik silah teknolojisinde kullanılan uzun menzilli bir silahın oluşturduğu ısı enerjisine denk gelmektedir. Bu yüksek enerji akışı sırasında şebeke akımında ve geriliminde rezonanslar oluşmakta, diğer koruma ve kontrol ekipmanları kısa süreli kesintilere maruz kalmakta, sistemi başka yönlerden koruyan ekipmanların enerjisi kesilebilmektedir. Kesme veya koruma işlemi sonrasında devre kesici açmakta ancak şebekede oluşan hatanın neden kaynaklandığı tam olarak bilinemediğinden uzun süreli kesinti devam ettirilmektedir.[3]



Şekil 2.2 Boğaziçi Üniversitesi Yüksek Akım Laboratuvarı kısa devre testlerinden alınmış Tipik bir alçak gerilim kesicisinin kısa devre test osiloskopu

Yukarıda bahsedilen problemleri özetlemek gerekirse elektromekanik bir devre kesicinin elektriksel performansını etkileyen ortak dezavantajları;

- a. Yüksek aktif enerji kayıpları, kesici üzerinde aşırı ısınmalar ve polimer gövde üzerindeki yanıklar,
- b. Şebekenin dalgalanmaları sonucu oluşan geçici ve sürekli elektromanyetik girişimlerin ve rezonansların ortaya çıkarak bu gürültülerin hat üzerindeki başka ekipmanlar üzerinde bozucu etki yaratması,
- c. Devre kesicilerin mekanik ve ısı performansının her hata akımında bir öncekine nazaran düşmesi,
- d. Şebeke dalgalanmaları sebebiyle aynı hat veya farklı hatlar üzerinde gereksiz yere koruma yapan komponentlerin ortaya çıkması olarak özetlenebilir.

2.3 Koruma ve İzleme Sistemlerinde Yüksek Teknoloji Kullanımı

Koruma ve kontrol sistemlerinde programlanabilir mantıksal denetleyicilerin (PLC) endüstriyel sistemlerde sıklıkla kullanılmaya başlanmasıyla beraber şebekelerdeki elektriksel güvenlik ve kontrol sistemlerinin yagınlaşması sonucunda yüksek teknolojilerin özellikle ölçme, koruma ve kontrol sistemlerinde kullanımı önemli bir yer arz etmeye başlamıştır.

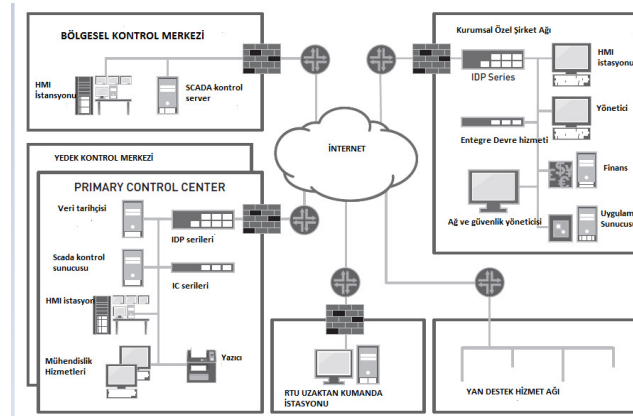
Günümüzde akıllı şebekeler (smart grid) olarak bilinen genel perspektif içinde izleme, ölçme, kontrol ve koruma için birçok yeni teknoloji ortaya atılmış, özellikle Modbus veya LAN üzerinden RTU ve PLC ile PC haberleşme teknolojilerinin gelişmesine bağlı olarak elektronik koruma sistemlerinin SCADA teknolojisi çatısında kullanılmaya başlandığı görülmektedir.[4]

Şekil 1.3 üzerinde genel olarak SCADA mimarisinin özeti verilmiş olup bu mimari içinde temel sensörlerin, çalışma araçlarının ve donanımların birbirleri ile olan haberleşmelerinin mimari içinde önemli bir yer aldığı açıkça görülmektedir.

Gelişen teknolojilere bağlı olarak RTU ve PLC'ler üzerinden artık her türlü verinin aktarımı ve depolanması mümkün olmaktadır. Bu sayede kontrol ve koruma röleleri ile beraber devre kesicilerden alınan bilgilerin de sağlıklı şekilde ana(master device) birime aktarılması mümkün olmakta karşı taraftaki insan veya makine arayüzü ile alınan bilgiye yönelik aksiyonlar alınması sağlanmaktadır.

Tüm bu haberleşme ağı gerçek zamanlı olarak yapılmakta ve anında reaksiyon verilebilen bir kontrol mekanizması oluşmaktadır.

Bununla beraber Internet teknolojilerinin de gelişimine bağlı olarak Ipv4 üzerinden uzaktaki bir mekanizmanın veya sensör biriminin kumandası mümkün olmaktadır. Dünya üzerindeki internet kullanıcıların artışına bağlı olarak Ipv6 adres atama sistemi gelişmekte, böylelikle internet üzerinden endüstriyel sistemlerin haberleşmesi daha da mümkün hale gelmektedir. (Internet of things = Iot teknolojisi)



Şekil 2.3 Genel SCADA mimarisi, instrumentationengineers.org

Elektrik şebekesi üzerindeki tüm enstrumanların bir denetleyici veya transdüser aracılığıyla izlenebildiği ve kontrol edilebildiği günümüzde şebekenin elektriksel parametre değerlerinin ölçümü önem arz etmektedir. Elektronik sayaç okuma sistemlerinden güç ve enerji transferi bilgisi alınarak şebekenin temel enerji yönelimi tespit edilebilmekte, şebeke üzerindeki elektronik veya elektromekanik rölelerden alınan bilgiye göre koruma ve kontrol bilgileri analiz edilebilmekte, PLC'ler ve mikro elektronik cihazlardan alınan analog ve dijital verilere göre tesis veya konut içindeki tüm cihazların doğru bir şekilde kumandası sağlanabilmektedir.

Tüm bu kontroller bir ana cihaz(master device) veya İnsan Makine Arayüzü(HMI) tarafından sağlanmakta olup kontrol sistemi alarm vermekte veya sistemin yeni giriş değişkenleriyle sağlıklı şekilde kullanılmaya devam edilmesi sağlanmaktadır.

Günümüzde bu teknolojilerin sıklıkla uygulama alanı bulmasıyla elektrik tesislerinde kullanım alanının genişleyeceği tahmin edilmektedir.

2.4 Tezin Amacı ve Genel Kapsamı

Yukarıdaki tanımlamalardan hareketle, elektronik kontrol sistemlerinin gün geçtikçe daha çok yaygınlaşmaya başlaması ve bu konunun akıllı şebekelerde önemli bir konuma gelmesi orta ve uzun vadede evlerimizde, sanayide kullanılan kesici sistemlerinin de bu tür tasarımlara daha çok yöneleceğini göstermektedir. Özellikle enerji nakil hatlarının ve yenilenebilir enerji kaynaklarının artışıyla enerjinin şebekelerde tekrar ele alınması ve daha istatistiksel ve bulanık yaklaşımlarla kontrol edilmesi gerekliliği ortadadır.

Her şebeke aynı karakteristikleri göstermemekte ve hepsinin kendine has güç değerleri, harmonik değerleri ve güç faktör değerleri bulunmaktadır. Yenilenebilir enerjinin artışı aynı zamanda kojenerasyon yapma ihtiyacı da doğurduğundan enerji tek yönlü bir değişken olmaktan çıkmıştır. Bu şekliyle tüm elektrik şebeke sistemleri karmaşıklaşmakta ve sürekli yeni modifikasyonlarla yaşayan organizmalar haline gelmektedir.

Sistemlerin kendileri arasında kolaylıkla, her erişim noktasından iletişim kurabiliyor olması şebekelerin genel karakteristiklerinin çıkartılması ve çalışma davranışlarının öğrenilebiliyor olması şebekenin sağlıklı çalışması ve kolay kontrolü açısından oldukça önemli bir yer arz etmektedir.

Tezin içinde işte bu noktadan hareketle öngörüsül bir yaklaşımla tamamen elektriksel ve yazılımsal olarak öğrenme ve kumanda yapan mikro ölçekte bir donanım ve yazılım tasarımı yapılmıştır. Bu tasarım aynı zamanda ilerleyen projelerde makro ölçekte de değerlendirilebilecek olup tüm bu sistemlerin ortak noktası kendi kendine öğrenebilir ve kontrol edebilir bir YSA modellemesi olmaktadır.

Temel yapıda bir yapay sinir ağı kullanılmış olup devrenin mantıksal biriminde gömülü bir yazılım kullanılmıştır. Şebekeden mikrokontrolöre gelen analog bilgiler veri serileri (data set) halinde analiz edilerek temel bir öğrenme algoritmasının içine gömülmüş, sonrasında normal çalışma moduna geçen sistemin radikal karakteristikte olan bilgileri hızlı bir şekilde tespit etmesine imkan tanınmıştır.

Genel itibariyle motor koruma ve motor sürücü sistemlerinde kullanılan yarı iletken teknolojisi bu tasarımda bir otomatik sigortanın anahtar sistemi yerine geçmiş olup kumanda bu yarı iletken anahtarın iletim ya da kesimde olmasıyla sağlanmaktadır.

Bu veya buna benzer bir akıllı koruma sisteminin mevcut tekniğe sağlayacağı fayda kısa devre akımının henüz tepe noktasına varmadan algılanabiliyor olması ve şebekedeki

kısa devre dışında, harmonik, gerilim kesintileri, kısa süreli aşırı gerilimler, kaçak akımlar gibi birçok korumayı da aynı yapı içinde barındırabiliyor olmasıdır. Tezin ikinci bölümünde bahsedilen bu tasarımın basitleştirilmiş blok diyagramından ve sistemin genel çalışma yapısından bahsedilecek olup bölümler halinde devre ve yazılım yapıları incelenecektir. İleri aşamada tezin temel konusu olan yapay sinir ağıyla çalışan yazılımın detaylı yapısı kapsam içine alınacaktır.

YAPAY SİNİR AĞLARI

3.1 Yapay Sinir Ağlarındaki Temel Kavramlar

Tez içeriğindeki gömülü yazılımın ne şekilde modellendiğini ve algoritmasının hangi yöntemlerle oluşturulduğunu tanımlamadan önce yapay sinir ağları teorisi içindeki temel kuram ve tanımların aktarılmasında fayda görülmüştür.

İlgili teori birçok hiyerarşik ara teoriden ve kuramdan oluşmakla beraber yazılım içindeki modelin tarif edilmesinde bu tanımlamalardan faydalanılacaktır.

3.1.1 Sinir Ağları Tanımı

Yapay sinir ağlarını insan beyninin ve sinir sisteminin çalışmasından ilham alan bir teoriler ve bu teorilerin altında yer alan algoritmalar bütünü olarak kısaca özetlenebilir. Esas fikir, beynin çalışma yapısının sayısal veya analog olarak farklı yöntemlerle yapay olarak modellenmeye çalışılmasından ibarettir. Bilindiği üzere insan beyni hafıza, mantık yürütebilme, bilinmeyen bir durumun üstünden gelebilme veya bilinmeyen bir durumu öngörebilme gibi yetenekleri bünyesinde barındırır. Aslında birçok mikroişlemcinin veya bilgisayarın yapamayacağı veya oldukça uzun sürede yapabileceği şekilde süreçleri yönlendirebilme ve icra edebilme yeteneğine sahiptir. Bu sebeple bu biyolojik yapının çalışma şekliyle esinlenerek sonraki başlıklarda özetleyecek olduğumuz teoremler ortaya atılarak yaşantımızda karşılaştığımız zor problemlerin çözülmesine olanak tanınmıştır.

Nasıl ki beyin hücreleri nöronlardan oluşuyorsa yapay sinir ağlarında da yapay nöronlar bulunmaktadır. Bu yapılar tıpkı insan beyninde olduğu gibi refleks, sorgulama, mimik, tepki, edilgenlik gibi temel fonksiyonlara benzeyen işlevlere sahip olup her bir nöronun belirli bir elektriksel gerilimle veya akımla ifade edilmesi mümkün olmaktadır.

İnsan beyni yukarıda bahsedilen tüm bu fonksiyonları icra ederken kendi sistemine has temel iki işlevi kullanılmaktadır;

a.Hazırlanmış bilgi olmaması durumunda çevresel fonksiyonlardan etkilenmek ve bu fonksiyonların sonucuna göre karar vermek veya öngörü yapmak,

b.Ara bağlantılı hücre yapıları ve kendilerine bağlı bulunan hücrelerin ağırlığı oranında önceden tanılanmış bilgilerin analizini yaparak veya bu bilgilerin hafızadan çekilmesini sağlayarak karar verme yeteneğine sahip olmak.[5]

3.2 Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme

YSA'da öğrenmenin ilk basamağı aktivasyon fonksiyonu olarak nitelendirilebilir. Sinir hücresine giren sinyallerin toplamı o hücreyi aktif hale getirebilecek bir değere sahip ve eşik değerini yenebilecek bir özelliğe sahipse hücre aktif hale gelmektedir. ($y=1$) Aksi durumda bu hücrenin pasif karakterde olduğu anlaşılmaktadır. ($y=0$) Bu sorunun cevabı yardımıyla yapay sinir hücresinin sınıflandırma yapabildiği sonucuna ulaşılmaktadır. Çok basit anlamda; girdi örüntülerine 1 ya da 0 cevabını vererek sınıflandırma yapabilen böyle bir hücre, hangi girdi örüntüsüne 1 hangi örüntüye 0 diyeceği hakkında karar vermiş sayılmaktadır.

Bir yapay sinir hücresi neye göre girdi örüntüsüne 0 ya da 1 demektir? Bu noktada sinir hücresinin ağırlıkları olarak adlandırılan w_n değerleri devreye girmektedir. Dışarıdan alınan herbir girdi örüntüsü (girdi sinyali) ile her defasında ayarlanan bu ağırlıklar öğrenmenin gerçekleştiğinin kanıtıdır. Matematiksel bir ifadeyle w_n ağırlıkları, tüm girdi örüntülerini en iyi temsil etmeye çalışan ve tüm girdi örüntülerinin uzaklıklar toplamının minimum olduğu regresyon eğrisinin temsil edildiği geometrik şeklin en belirleyici noktalarını oluşturmaktadır. Bu sayede girilen örüntüye en doğru olan cevap verilebilmektedir.

Bu teorik olarak belirtilen açıklamanın formülize edilmiş (1) nolu eşitlikteki gibidir;

$$y_i = \sum_{i=1}^p x_i * w_i \quad (3.1)$$

x_i sinyali kendine ait olan katsayı ile çarpılarak toplam sinyale eklenmektedir. y_{in} şeklinde toplanan değer çekirdek tarafından akson kullanılarak sinapsise gönderilir. Sinapsis gelen toplam sinyal değerini eşikleyerek çıktı değerini vermektedir.

$$y = f(y_{in}) \quad (3.2)$$

Yukarıdaki “f” olarak betimlenen foksiyon matematiksel herhangi bir fonksiyona denk olabilir. Ancak yapay sinir ağı modellerinde temel alınan 3 tip fonksiyon vardır.

a. Ayrık fonksiyon: Bu fonksiyon girdi örüntülerinin değerlerine göre ayrık sonuç elde etmek için kullanılır. Bir başka ifadeyle girdi ya +1 sonucu verir ya da -1. Başka bir ihtimal söz konusu değildir. Böylece kesin bir limit alınması sağlanmıştır.

b. Threshold fonksiyonu: Bu fonksiyonu ayrık fonksiyonuna benzemekle beraber, girdi örüntüsünün toplam degerine belli bir eşik değerine kadar doğrusal lineer artan değerlerle cevap vermektedir. Üst limite ulaşıldığında ise artık cevap ayrık olarak yine kesinlik göstermektedir. Artan bir eğilim göstermez.[6]

c. Sigmoid fonksiyonu: Bu fonksiyonda girdi örüntüsüne devam eden, süreklilik gösteren cevaplar verilmektedir. Cevaplar kesinlikle ayrık değildir. Bu sebeple sigmoid fonksiyonu yaygın bir kullanıma sahiptir. Çünkü hassas değerlendirmelerin kullanılacağı problemler için uygulanması en uygun olan fonksiyonu temsil etmektedir. Sigmoid fonksiyonu yerine yine süreklilik arz eden tanjant fonksiyonları da, ya da benzeri fonksiyonlarda kullanılabilir.[7]

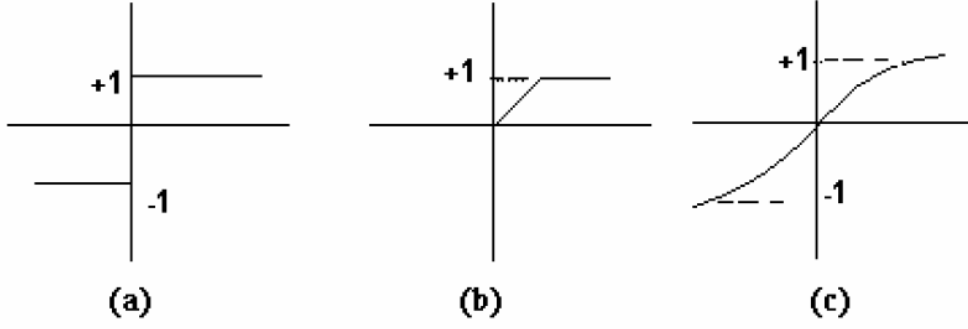
Önemli olan fonksiyonun türevinin alınabilecek bir fonksiyon olmasıdır.

$$w_i(t+1) = w_i(t) + (\mu * [d(t) - f(y_m)] * x_i(t)) \quad (3.3)$$

Eşikleme sonucu elde edilen cevap ile $f(y_m)$ olması beklenen değer olan $d(t)$ arasındaki yanılma payı m öğrenme katsayısı ile ve girdi sinyaliyle çarpılıp yeni ağırlığı belirlemek için eski ağırlık ile toplanır. Bu formül yardımıyla, yapay sinir hücresinin öğrenmek için işleme koyduğu güncelleme süreci açıklanmış olmaktadır.

Yukarıdaki (3) numaralı eşitlikte eşikleme sonucu elde edilen cevap ile $f(y_m)$ olması beklenen deger olan $d(t)$ arasındaki yanılma payı m öğrenme katsayısı ile girdi sinyaliyle çarpılıp yeni ağırlığı belirlemek için eski ağırlık ile toplanır. Bu formül yardımıyla, yapay sinir hücresinin öğrenmek için işleme koyduğu güncelleme süreci açıklanmış olmaktadır.[6]

Şekil 3.1’ de yukarıda bahsedilmiş olan bu üç fonksiyonun analitik gösterimin verilmiştir.



Şekil 3.1 a-Zorlayıcı çıkış b- eşik değerli çıkış c-sigmoid fonksiyonlu çıkış

3.2.1 Öğrenme Algoritmalarına Göre Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağlarının verilen girdilere göre çıktı üretebilmesinin yolu ağın öğrenebilmesidir. Bu öğrenme işleminin de birden fazla yöntemi vardır. Yapay sinir ağları öğrenme algoritmalarına göre danışmanlı, danışmansız ve takviyeli öğrenme olarak üçe ayrılır.

3.2.1.1 Danışmanlı Öğrenme

Danışmanlı öğrenme sırasında ağa verilen giriş değerleri için çıktı değerleri de verilir. Ağ verilen girdiler için istenen çıktıları oluşturabilmek için kendi ağırlıklarını günceller. Ağın çıktıları ile beklenen çıktılar arasındaki hata hesaplanarak ağın yeni ağırlıkları bu hata payına göre düzenlenir.

Hata payı hesaplanırken ağın bütün çıktıları ile beklenen çıktıları arasındaki fark hesaplanır ve bu farka göre her hücreye düşen hata payı bulunur. Daha sonra her hücrenin kendine gelen ağırlıkları günceller.

3.2.1.2 Danışmansız Öğrenme

Danışmansız öğrenmede ağa öğrenme sırasında sadece örnek girdiler verilmektedir. Herhangi bir beklenen çıktı bilgisi verilmez. Girişte verilen bilgilere göre ağ her bir örneği kendi arasında sınıflandıracak şekilde kendi kurallarını oluşturur. Ağ bağlantı ağırlıklarını aynı özellikte olan dokuları ayırabilecek şekilde düzenleyerek öğrenme işlemini tamamlar.

3.2.1.3 Destekleyici Öğrenme

Bu öğrenme yaklaşımında ağın her iterasyonu sonucunda elde ettiği sonucun iyi veya kötü olup olmadığına dair bir bilgi verilir. Ağ bu bilgilere göre kendini yeniden

düzenler. Bu sayede ağ herhangi bir girdi dizisiyle hem öğrenerek hem de sonuç çıkararak işlemeye devam eder.

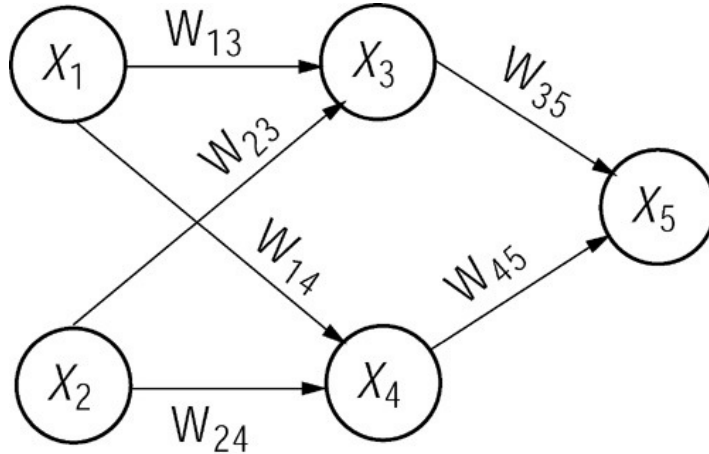
3.3 YSA Örneklemeleri

YSA'da temel yasalardan ve öğrenme kurallarından hareketle en sık kullanılan ağ yapıları ile ilgili temel örnekler vermekte fayda olacaktır. Özellikle ağırlıkların belirlenmesinde ve hata analizi yapılmasında ileride bahsedilecek problemlerin analizinde önemli bir yer arz edeceği düşünülmektedir.

3.3.1 İleri Beslemeli Ağ

İleri beslemeli ağa bir örnek aşağıdaki Şekil 3.2'de gösterilmektedir. Bu ağda üç katmanda bulunan beş nöronlu bir yapı bulunmaktadır. Birinci katmanda x_1 ve x_2 olarak etiketlenen iki nöron bulunmaktadır. İkinci katmanda x_3 ve x_4 olarak etiketlenen iki nöron bulunmaktadır. Bir nöron ise x_5 olarak tanınlanmakta ve üçüncü katmanda bulunmaktadır. Şekilden de anlaşılacağı üzere nöronlar birbirlerine okalı doğru ile bağlanmaktadır.

Her bir nöronun kendine has bir ağırlığı bulunmakla beraber öğrenme kurallarında da özetlendiği gibi çıkış değeri tüm bu ağırlıkların nöron girişlerinin çarpımının sigmasına eşittir.



Şekil 3.2 Tipik bir ileri beslemeli ağ yapısı

$$x_3 = w_{23} x_2 + w_{13} x_1 \quad (3.4)$$

$$x_4 = w_{14} x_1 + w_{24} x_2 \quad (3.5)$$

$$x_5 = w_{35} x_3 + w_{45} x_4 \quad (3.6)$$

Yukarıdaki eşitliklerden de anlaşılacağı üzere çıkış değerinin esas belirleyicileri ilk katmanda yer alan x_1 ve x_2 değerlikli nöronlardır.

Ağırlıklar genellikle süpervizörlü eğitim algoritması ile belirlenmekle beraber bu değerler arzu edilen çıkış değeri elde edilecek şekilde seçilmektedir.

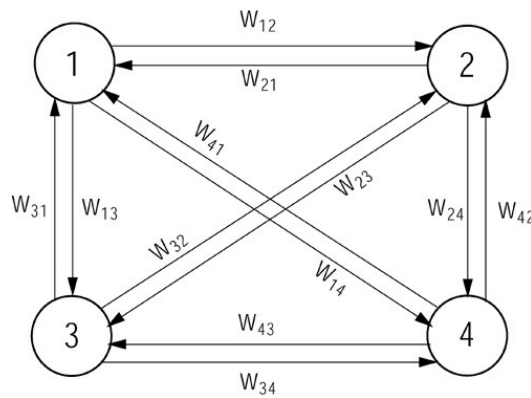
Eğitim algoritması tamamlandıktan sonra ağ yapısı, ağırlık değişimi gerçekleşmeden bu şekliyle devam ettirilebilir.

Çıkış değeri ağırlıklarla giriş değerlerinin kümülatif toplamına eşit olduğundan bu değerler çok farklı aralıklarda ve ölçeklerde seyredebilmektedir. Lineer olmayan bu yapıda mantıksal olarak sınırları -1(negatif) ve +1 (pozitif) arasında değişen yüzdellik değerler tezin ilerleyen aşamalarında bahsedilecektir.

3.3.2 Hopfield Ağı

Bu tür ağ genel olarak tek katmanlı bir yapıya sahiptir. Şekil 3.3'de dört adet nöron bulunmaktadır ve bu nöronların her biri birbirine bağlı durumdadır.

Bazı nöronların pozitif ağırlığı bulunmakla beraber bazılarının negatif ağırlığı bulunmaktadır. Ağ iki adet veri yolu ile tanımlanacak olup bu iki ağın geri çağırılması amaçlanmaktadır. Girişler ikili (binary) veri yollarına sahip olacaktır. Eğer iki adet eşit mesafeye sahip veri yolu ortaya çıkar ve bunlara vektör olarak yaklaşırsa bu vektörlerin noktalı değerleri ilk komponentlerin birbirleri ile çarpımının bu değerlere eklenmesi ile elde edilecektir. Noktalı değerleri sıfır olan bu vektörlerin dikey olduğu sonucuna varılmaktadır.



Şekil 3.3 Hopfield Ağ Yerleşimi

Geri çağırmak istediğimiz iki veri yolu $\mathbf{A} = (1, 0, 1, 0)$ ve $\mathbf{B} = (0, 1, 0, 1)$ vektörleridir ki bu vektörlerin dikey yapıda olduğu söylenebilir. Bu vektörler noktalı versiyonlarının sıfıra eşit olması durumunda geri çağrılabilir. Bu hipotez $A_1B_1 + A_2B_2 + A_3B_3 + A_4B_4 = (1 \times 0 + 0 \times 1 + 1 \times 0 + 0 \times 1) = 0$ (3.7) olması durumunda doğrudur. Aşağıdaki matris (8) yukarıdaki ağ üzerinde gösterilen ağırlıkları sembolize etmektedir.

$$W = \begin{pmatrix} 0 & -3 & 3 & -3 \\ -3 & 0 & -3 & 3 \\ 3 & -3 & 0 & -3 \\ -3 & 3 & -3 & 0 \end{pmatrix} \quad (3.8)$$

Eşik fonksiyonu (3.9) ise aşağıda gösterildiği gibi mantıksal bir anlam ifade etmektedir.

$$f(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } t \geq [\Theta] \\ 0 & \text{if } t < [\Theta] \end{cases} \quad (3.9)$$

Görüleceği üzere bu ağımda 4 farklı nöronumuz tek katman üzerinde bulunmaktadır. Bu sebeple herbir nöronun aktivasyonunu girişlerin ağırlıklarının toplamları olarak ifade etmemiz gerekecektir. İlk nod üzerindeki aktivasyon giriş vektörünün noktalı versiyonuna ve ağırlıklı matrisin ilk kolonuna $(0 \ -3 \ 3 \ -3)$ eşittir.

A matrisini girişe uygulamamız ve ağırlıklara çarpmamız durumunda ilk noktalı versiyon 3 yani $f(3) = 1$ olarak oluşmaktadır. Benzer şekilde ikinci, üçüncü ve dördüncü sonuçları da bulduğumuzda -6,3,-6 değerleri bulunmaktadır. Bu değerler sırasıyla fonksiyon çıktısı olarak 0,1,0'a denk gelmektedir ki çıkış vektörü sonuçta (1,0,1,0) olmaktadır.

Görüleceği üzere bu değer giriş veri yolundaki vektör ile aynı değerdedir.

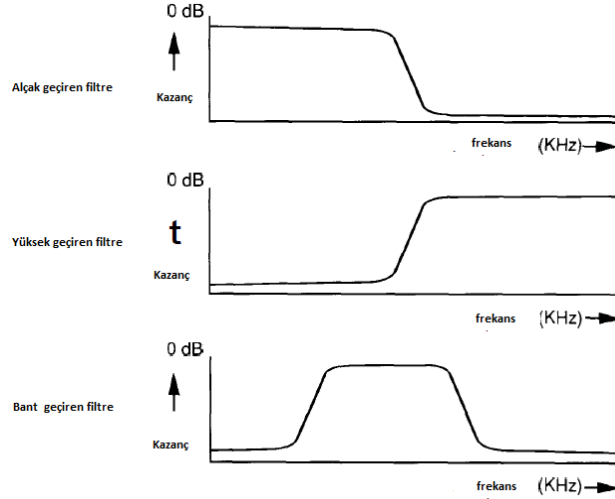
Bu sebeple bu ağın kararlı bir ağ olduğu sonucuna varılabilir.

Aynı şekilde B matrisi de girişe uygulandığında B matrisi ile aynı sonuca ulaşılabacaktır ki B matrisi açısından da bu ağ kararlıdır denilebilir.

3.3.3 ADALINE ve Adaptif Doğrusal Birleştirici

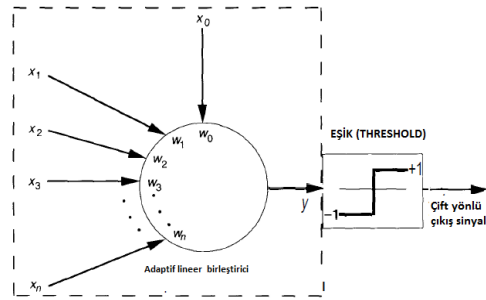
ADALINE terimi Adaptive Linear Neuron teknolojisinden gelmektedir. Genel itibarıyla telekomünikasyon sistemlerinde kullanılan adaptif filtreleme elemanlarından esinlenerek ortaya atılmıştır.

Düşük, orta ve yüksek frekanslarda çalışan lineer filtrelerin aktif olması gerektiği frekans aralığı iletişim teknolojilerinde EMI filtrelemede ve bozucu gerilim yayılımını engellemede temel kriter olarak kullanılan ADALINE teknolojisi esas olarak gürültüyü azaltan bir filtre cihazıdır. [8]



Şekil 3.4 ADALINE Filtre

ADALINE teknolojisini yapay sinir ağları içine sokan iki temel kriter bulunmaktadır. Bunlardan ilki uzantı (bias) olarak nitelendirilen ve w_0 ağırlığına sahip bir nörondur. Yönelim terimi başındaki katsayısı her zaman 1 olan bir elemandır. İkinci durum ise Şekil 3.5' de gösterildiği üzere bipolar olarak çalışan, eşik seviyelerine ve ağırlık girişlerine sahip olan ağ şeklindedir.



Şekil 3.5 Bipolar ADALINE

3.3.4 LMS Öğrenme Kuralı

Verilmiş olan bir x giriş vektörünün ağırlıklarının belirlenmesi y çıkış değerinin belirlenebilmesi açısından gerek yeter koşuldur. $\{x_1, x_2, \dots, x_L\}$ Adında bir giriş vektör kümesi olduğu düşünüldüğünde bu vektörün ağırlıklarının belirlenmesi bir hayli zorlaşmaktadır. İstenilen ağırlıkları hesaplamada LMS (Least Mean Square) kuralı

sıklıkla başvurulan bir tekniktir. ALC'nin eğitilmesi aşamasında ağırlıklar belirlenmekte ve arzu edilen ağırlık değerlerine ulaşılabilmektedir. Öğrenme kuralı gerekli olduğu takdirde bir cihazın içinde gömülü şekilde barındırılabilir. Yapay sinir ağı doğru çıkış değerini üretene kadar bu ağırlıkların belirlenmesine devam edilir. [9]

Bu sonlu döngü sırasında çıkış değeri ile arzu edilen değer arasında oluşan hata değerinin en iyi ve en kötü değerlerini doğru bir filtrelemeye tabi tutabilmek adına filtre teorisi uygulanmaktadır.

Problemi doğru analiz edebilmemiz için x giriş vektörüne ve d uzaklık vektörlerine sahip bir sistem düşünmemiz faydalı olacaktır. $[(x_1, d_1), (x_2, d_2), \dots, (x_L, d_L)]$

Eğer k . giriş değeri için çıkış değeri y_k ise buna uygun olan hata değeri $\epsilon_k = d_k - y_k$ olarak bulunacaktır. Ortalama karesel hata veya tahmin değeri ;

$$\langle \epsilon_k^2 \rangle = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L \epsilon_k^2 \quad (3.10) \text{ olarak tanımlanmaktadır.}$$

L , öğrenme vektör kümesinin öğrenme sayısını belirlemektedir.

Yukarıdaki eşitlik genişletildiğinde;

$$\langle \epsilon_k^2 \rangle = \langle (d_k - w_t x_k)^2 \rangle \quad (3.11)$$

$$= \langle d_k \rangle^2 + w_t \langle x_k x_k^T \rangle w - 2 \langle d_k x_k^T \rangle w \quad (3.12)$$

Olarak bulunmaktadır.

$$R = \langle x_k x_k^T \rangle \quad (3.13) \text{ input korelasyon matrisi ve}$$

$$p = \langle d_k x_k^T \rangle \text{ olarak belirlendiğinde} \quad (3.14)$$

$$\langle \epsilon_k^2 \rangle = \xi = \langle d_k \rangle^2 + w_t R w - 2 p^T w \quad (3.15) \text{ olarak bulunacaktır.}$$

LMS'de bulunan eğirin minimum noktasını belirlemek için yukarıdaki eşitliğin türevi alınıp sıfıra eşitlendiğinde;

$$\frac{\partial \xi(w)}{\partial w} = 2Rw - 2p. \quad (3.16)$$

$$2Rw^* - 2p = 0 \quad (3.17)$$

$$Rw^* = p \quad (3.18)$$

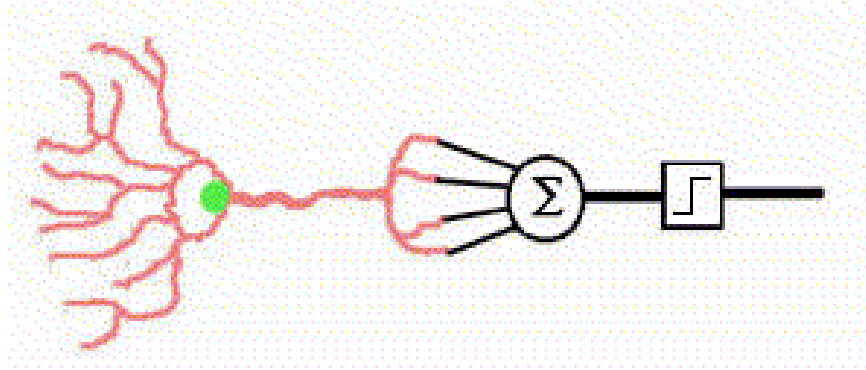
$$w^* = R^{-1} p \quad (3.19)$$

(3.19) numaralı eşitlikten de görüleceği gibi en iyi sonucu veren ağırlık vektörü giriş vektörünün ve hedef vektörünün bilinmesiyle LMS kuralına göre kolaylıkla belirlenebildiği görülmektedir.

3.3.5 Perceptron Algoritması

Genel YSA tarihçesinde de bahsedilen perceptron algoritması 1958 yılında Frank Rosenblatt tarafından tanımlanmaktadır. Esas olarak Rosenblatt ağırlıklı toplam modelini ortaya atan ilk isim olmakla beraber lineer olmayan aktivasyon fonksiyonunu perceptron komponentlerinin bir parçası olarak tanımlamıştır.

Bu ağ modelinde insan retinasından hareketle, giriş nöronlarının ağırlıkları statik olan nöronlar ile birleşerek bu giriş katmanının bağlı olduğu diğer bütün katmanlardaki ağırlıkların değişkenlik arz ettiği bir yapı bulunmaktadır. Göz merceğine düşen fotonların retina üzerinden sinir sistemine iletildiği ve ara katmanlarla sinir sistemine iletilerek beyne bağlı olan bu yapının ağırlıklarının tamamen değiştirilebildiği bir sistem aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



Şekil 3.6 Gözün Perceptron Yapısı

3.3.5.1 Temel Algoritma Yapısı

Algoritma temel olarak hedefte saptanan bir değerin bulunmasına yönelik nümerik işlemleri içermektedir.

Hatanın çok yüksek olması durumunda öğrenme algoritması başlamakta ve öncelikle çıkış değeri belirlenmektedir. Çıkış değerinin hedef değerine eşit olması durumunda herhangi bir işlem yapılmamaktadır. Çıkış değerinin hata değerine eşit olmaması durumunda ağırlıklar öğrenme katsayısına bağlı bir oranda nümerik olarak değiştirilmektedir. Pozitif yöne doğru olan çıkış değeri için ağırlıkların aritmetik olarak azaltılması, negatif yöne doğru olan çıkış değeri için ağırlıkların aritmetik olarak

attırılması işlemi yapılır. Dönüğünün her aşamasında çıkış değeri yeniden hesaplanarak hedef değerine ulaşıncaya kadar iterasyona devam edilir.

Sonuç olarak istenilen değer başarıyla yakalanmış öğrenme algoritması tamamlanmış olur. Bu süreç benzetim yapıldığında, belli belirsiz görünen bir harf sembolünün insan gözü tarafından tanınmaya çalışılması olarak değerlendirilebilir. [10]

Temel algoritma ;

- $\exists p \in P$ ve hata çok büyük ise p değerini girişe ata ve y değerini hesapla {P öğrenme vektörlerini tanımlar}
- Tüm çıkış nöronları için kontrol döngüsü başlat
- Eğer y ile hedeflenen değer aynı ise bu çıkış değerinin iyi olduğu anlamına gelir. Değişiklik yapma.
- Eğer y değeri sıfır ise,
- Tüm giriş nöronları için ağırlıkları pozitif doğru güncelle ve bu dönüğü tamamlama.
- Eğer y değeri 1'e eşitse
- Tüm giriş nöronları için ağırlıkları negatif doğru güncelle ve bu dönüğü tamamlama.
- Tüm çıkış nöronları için bu işlemi tamamlama bitince dönüğü tamamlama.

olarak yazılabilir.

ALÇAK GERİLİM VE KORUMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN YAPAY SINIR AĞ MODELLERİ

4.1 Motor Koruma Sistemlerinde YSA

Bilindiği üzere elektrik motorları endüstride her türlü sürecin içinde etkin olarak kullanılan elektromekanik parçalardan oluşan, büyüklükleri küçük ölçeklerden büyük ölçeklere kadar çıkabilen, çok farklı elektriksel ve mekanik çeşitlerde imal edilen döner yapılardır.

Kullanıldığı bölgedeki şebeke yapısına veya kullanım alanına göre doğrudan tork kontrollü, doğru akımda çalışan, asenkron veya senkron motor grupları gibi bir çok sınıflandırma yapılabilir. Yüksek tork gerektiren işlemlerde orta gerilimle çalışan veya frekans-gerilim modülasyonlu sistemler daha çok tercih edilirken, hassasiyet gerektiren işlemlerde daha çok doğru akım ile çalışan motorlar tercih edilmektedir.[11]

Sargı yapıları ve diğer elektromekanik bileşenleri birbirinden çok farklı değerler alabilmekle beraber üretim kullanımında motorları kritik hale getiren bir çok ortak performans kriteri bulunmaktadır. Bunlardan başlıcaları sıcaklık, akım, gerilim, tork, titreşim, dengeli çalışma, izolasyon, harmonikler, EMF gürültü olarak genellenebilir.

Çok fazla parametrik değişkene bağlı bu sistemlerde YSA kullanımını bazı işletme koşullarında şart hale gelmekle beraber temel olarak Feed Forward Back Propagation algoritmasının bu sistemlerde sıklıkla kullanıldığı görülmektedir.

Motorlar üzerindeki temel elektriksel ve mekanik bileşenlerin hata oluşmadan erkenden tespiti, çok daha büyük bir arıza meydana gelmeden motorların sağlıklı bir şekilde

onarılmasına imkan tanımakta, kimi durumlarda oldukça astronomik harcamaların önüne geçilmesine sebebiyet vermektedir.

4.1.1 Sargı Hataları

Yapılan istatistiki araştırmalarda sargı hatalarının tüm motor arızaları içinde yüzde %5'lik bir payının olduğu tespit edilmiştir. Hatanın oluşmasına sebebiyet veren en önemli parametrele nem veya sıcaklığın izin verilen sınırlarının üzerine çıkması, surge gerilimleri, toprak hataları olarak sıralanabilir. Sargı hatalarına aynı zamanda açık devre sargılamalar, sargılarda yanlış spir sayısı kullanılması ve kısa devre olmuş spirler gibi yan etkiler de sebebiyet vermektedir. Bu hatalar kimi zaman uygun koruma teknikleri kullanılmadığında ölümcül sonuçlara sebebiyet verebilmektedir.[12]

4.1.2 Rulman Hataları

Elektrik motorlarının %40 ila %50'sinin rulman hataları yüzünden arızalandığı yapılan istatistiki araştırmalarda ortaya konulmaktadır. Özellikle bu hataların önceden belirlenebiliyor olması çok ciddi üretim duruşlarının ve üretim kayıplarının önüne geçilmesinde yararlı olmaktadır. Rulman arızaları genel olarak rotordaki kaçıklıklar, yüzey pürüzlülüğü oluşumu, iç ve dış yataklardaki hasarlardan kaynaklanmaktadır. Bu tip hasarlar titreşim analizlerinde olağan dışı gürültüler oluşmasına yol açmaktadır. Yapıdaki bu dengesizlikler gereksiz mekanik zorlamalara, aşırı enerji tüketimine ve duruşlara sebebiyet verebilmektedir.[13]

4.1.3 Aşırı Isınma Hataları

Motor arızalarının bir diğer önemli sebebi ise aşırı yükleme yapılması, verimsiz soğutma sistemlerinin kullanılması, ortam sıcaklığının belirlenen limitlerin üzerine çıkması, yanlış bağlantılar, tek faza kalma, dengesiz besleme gerilimi ve şebekedeki dalgalanarak değişen frekans gibi olaylardır.[14] Bu hataların sonucunda izolasyon bozulmaları, delinmeler, kavrulmalar ve iletkenlikte bozulmalar oluşmaktadır.

4.1.4 YSA Analizi

Tüm bu hataların erkenden saptanabilmesi için hataların temel elektriksel bileşenlerinin ve sistemin yapısının bir öğrenme algoritması ile anlaşılmasına ihtiyaç vardır.

Sanayideki temel hatalar irdelendiğinde kısmi deşarjların, stator sargı sıcaklıklarındaki farklılıkların, sargı yalıtım direncindeki değişimlerin, titreşim ve yükte çekilen akım

gibi çeşitli test parametrelerinin elektrik motorları hakkında önemli ipuçları verdiği görülmektedir.

Backpropagation algoritması hataların tespiti için kullanılmakla beraber Resilient Back Propagation algoritmasında ağırlıkların sisteme daha hızlı adaptasyonuna imkan tanınmaktadır. Kullanılan eğitim metodolojisi danışmanlı eğitim sistemi üzerine kurulmuş ve batch learning yapısı ile öğrenme kuralı oluşturulmuştur.

E adındaki değişken sistemin toplam hatası olmakla beraber, tüm gerçek hataların karelerinin toplamını ifade etmektedir. Sistem $\delta E/\delta w_{ij}$ türevindeki ağırlıklar en başarılı sonucu verdiğiğinde sistemin en uygun çözümü verdiği kabullenmesi yapılmaktadır.

Tüm ağırlıklar ve yollar için Resilient Back Propagation Algoritması aşağıdaki şekilde tasarlanmaktadır.

if ($\delta E/\delta w_{ij}(t-1) * \delta E/\delta w_{ij}(t) > 0$)

then

$\Delta_{ij}(t) = \text{minimum}(\Delta_{ij}(t-1) * \eta_+, \Delta_{max});$

if ($\delta E/\delta w_{ij}(t) > 0$)

then

$\Delta w_{ij}(t) = - \Delta_{ij}(t);$

else

$\Delta w_{ij}(t) = + w_{ij}(t);$

end if

$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \Delta w_{ij}(t);$

else

then

$\Delta_{ij}(t) = \text{maximum}(\Delta_{ij}(t-1) * \eta_-, \Delta_{min});$

$\Delta w_{ij}(t) = - \Delta w_{ij}(t-1);$

$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \Delta w_{ij}(t);$

end if

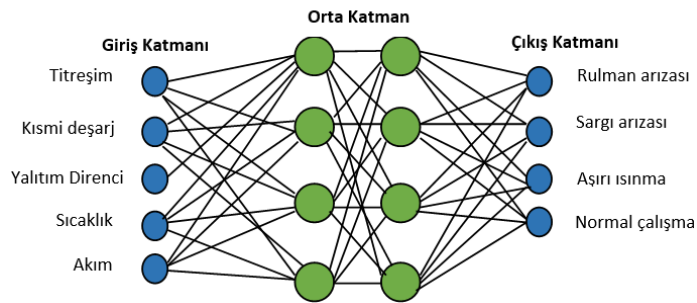
η katsayısı $0 < \eta_- < 1 < \eta_+$ olarak verilmektedir.

Aşağıdaki tablodaki örnekten görüleceği üzere senkron bir motordaki temel arızalar olan **RA**(Rulman arızası), **SA**(Sargı arızası), **AI**(Aşırı ısınma) gibi temel hata bileşenleri girdi olarak batch içine atıldığında ve N sistemin normal çalışma modunu özetler şekilde tanımlandığında, belirtilen motora ait tüm arıza durumları lojik “1”, arıza olmayan durumlar ise lojik “0” rakamı ile gösterilmeye başlanmaktadır. Yani mantıksal anlamda sistemin devreden çıkarılması veya sistemin devrede kalmasına devam etmesi bu yolla sağlanmış olacaktır. Aşağıdaki durumlar önceliklendirilerek Çizelge 4.1’dekine benzer hale getirildiğinde 15 durumdan oluşan bir dizin ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 4.1 - Motor Arıza Senaryoları

	N	RA	SA	AI
T1	0	1	1	1
T2	0	0	0	1
T3	0	0	1	0
T4	0	0	1	0
T5	1	0	0	0
T6	0	1	0	0
T7	0	1	0	1
T8	0	0	1	1
T9	0	0	1	1
T10	0	0	0	1
T11	0	0	1	0
T12	0	1	1	0
T13	0	0	1	1
T14	0	1	0	1
T15	0	1	1	0

Giriş katmanlarında daha önce bahsedilen gözlem sonucu alınan veriler biriktirilmekte olup çıkış katmanında ise motor arızasına neden olan sebepler belirtilmektedir. Yapılan çalışmalarda bu tarz bir eğitim algortimasında ortalama olarak %83 ila %90 oranında başarılı sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir. Motor koruma sistemlerinde örnek bir YSA yaklaşımı Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1 Motor arıza YSA yapısı

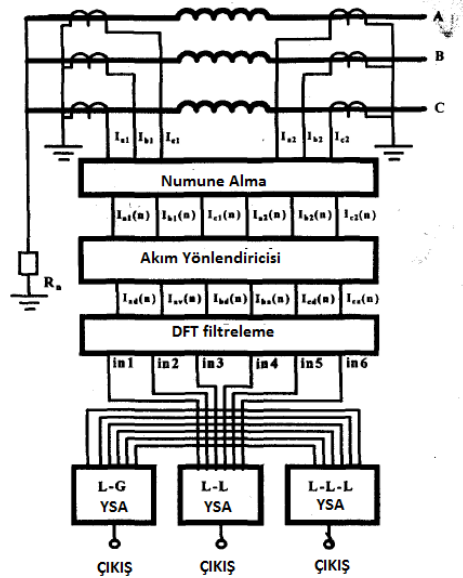
4.2 Motor Koruma Sistemlerinde Toprak Kısa Devre Hatası Koruması İçin Kullanılan YSA Uygulamaları

Motor koruma sistemlerinde en kritik koruma konularından bir diğeri ise faz sargısı ile toprak veya nötr arası oluşan kısa devre arızalarıdır. Kısa devre oluşuktan sonra sistemde koruma amacıyla kullanılan çeşitli diferansiyel röleler veya aşırı akım koruma röleleri sistem ancak tam arıza durumuna geldikten sonra korumaya başlamakta ve bazı durumlarda sargılarda ciddi tahribatlar oluşuktan sonra sistem ancak kurtarılabilir. Bu durum özellikle nötr noktası bir direnç üzerinden topraklanan motor sistemlerinde daha ciddi tahribatlara sebebiyet verebilmektedir.[15]

Buna engelleyebilmek adına da YSA'ların kullanımı oldukça verimli ve etkin bir yol haline gelmiştir.

Aşağıdaki elektriksel bağlantı şemasından da görüleceği gibi 3 fazdan ayrı ayrı alınan akım transformatörleri sargının girişinde ve çıkışında ayrı ayrı data setler halinde alınmakta olup akım bilgileri 6 girişli bir YSA sistemine aktarılmaktadır.

6 adet girişten oluşan bu katmanla beraber bir adet ara katman ve bir adet çıkış katmanı tasarlanmıştır. Şekil 4.2'den görüleceği üzere sistemin toprakla irtibatlandırılan kutbu ile ters yöndeki kutuplarına birer sensör konularak örnekleme yapılmaktadır.[16]



Şekil 4.2 Toprak hata akımı sensör donanımı

DFT Filtreleme tekniği ile motor üzerinden çekilen bu akım değerlerinin di/dy yükselme değerleri ve alınan son iki akım değerinin ortalamaları alınmış olup akımın kısa devreye yöneleceği en iyi belirlenmiş sonuçların bulunulması amaçlanmıştır. Bu

şekliyle sistem üzerindeki istenmeyen ve elektromanyetik açıdan parazitik olarak adlandırılan diğer kirlilikler de bu şekilde öğrenme algoritmasının dışında bırakılmaktadır.

Ölçümler 800Herz'lik bir frekansta örnekleme yapılarak alınmış olup bu veriler akım manipülatörü içine aktarılmaktadır.

Kısa devre anında bilineceği üzere R/L oranında bir zaman sabiti oluşarak hat reaktansının değişken bir hale gelmesi durumu oluşmaktadır. Dalga formu R/L oranında değişen bir transient dalga formuna sahip olduğundan akım değeri reaktans değerine çevrilerek bu değerlerin bileşenlerinin YSA'da uygun bir öğrenme algoritmasına çevrilmesine imkan tanınmış olmaktadır.[17]

Buna yönelik geçmişte yapılan çeşitli testlerin oldukça başarılı sonuçlar verdiği bilinmektedir.

Elektriksel özellikleri ve beyan değerleri belirlenmiş olan motor veya jeneratör gruplarında yapılan araştırmalarda sistem içine hem elektromekanik röle sistemleri hem de YSA koruma sistemi paralel olarak bağlandığında ve sargılar ile nötr hattı arasında arıza senaryoları oluşturulduğunda, 1.5If seviyesine ayarlanan bir toprak koruma rölesine nazaran YSA sisteminin yüzde 20 oranda daha başarılı sonuç vererek 0.3If seviyesinde, yani faz sargıları daha tam nötr noktasına değmeden oldukça kısa bir sürede motoru şebekeden ayırarak motor sargılarını koruduğu gözlenmiştir. Bu sistem ile aynı zamanda harmonik bozulmalar ve gerilim üzerindeki dengesizliklerin de tespit edilerek oldukça başarılı sonuçların elde edilebileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak motor koruma sistemlerinde hali hazırda erken uyarı sistemlerinin var olduğu ve sistem tasarımında da bir benzeri bahsedildiği üzere elektrik şebekelerinde elektrik motorları yanında tüm genel tüketiciler için benzeri uygulamaların gerçekleştirilebileceği mümkün hale gelmektedir.

4.3 Reaktif Güç Kompanzasyon Sistemlerinde YSA Uygulamaları

Günümüzde Lineer olmayan yük tiplerinin sayılarının oldukça hızlı artışına bağlı olarak harmonik güç filtreleme teknikleri ve reaktif güç kompanzasyonu konularında önemli adımlar atılmaktadır.

Özellikle geri besleme sistemli çalışan PWM sürücülü ve kontrolörlü kompanzasyon sistemleri, elektronik olarak kontrol edilen yarı iletken anahtarlama kontrol

sistemlerinin tasarım sayılarındaki artışa bağlı olarak kullanılan bu elektronik yük ve anahtarlama elemanlarının daha verimli ve sistemli çalışmasını sağlayabilmek için çeşitli filtreleme, PID kontrol teknikleri geçmişte geliştirilmiş ve günümüzde halen de kullanılmaktadır.[18]

Aynı zamanda SMPS, PWM kontrolör, Inverter, UPS gibi çeşitli cihazların tetikleme metotlarında yukarıda bahsedilen tekniklerle daha verimli ve ideal sistemler ortaya çıkarılmaya çalışılmış olup yine de başarı seviyesi yüksek performans sonuçları elde edilemediği görülmüştür.[19]

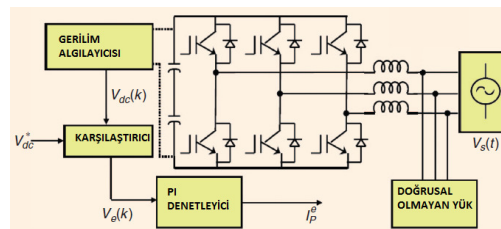
Bunun başlıca sebepleri;

- 1.Fazla sayıda gerilim ve akım transdüseri gerektirmesi,
- 2.Şebekeden gelen gerilim fazörlerinde sıfır noktasına göre kaymalar olabilmesi,
- 3.Kompanzasyonda gecikme süresinin yüksek olması,
- 4.Anahtarlama elemanlarının gün geçtikçe artma eğilimi göstermesi olarak sıralanabilir.

YSA modellemelerinin reaktif kompanzasyon sisteminde tercih edilmeye başlanmasında işte bu bahsedilen temel sebepler tetikleyici unsur olmakta ve bu modellemelerin çok başarılı sonuçlar ortaya koyduğu tartışmasız hale gelmektedir.

Özellikle geçici rejimde yaşanan sisteme bağımlı gerilim oynamaları ve transient gerilim çökme veya artmaları sistemin akım çıkışında istenmeyen karakteristikler oluşmasına sebep olduklarından YSA modelleri daha da önemli hale gelmektedir.

Şekil 4.3'te YSA yapısı ile çalışan, hat üzerinden gelen gerilimleri algılayarak karşılaştırma işlemi yapan ve lineer olmayan yükleri sürmekte kullanılan bir eviricinin genelleştirilmiş devre yapısı verilmektedir.[20]

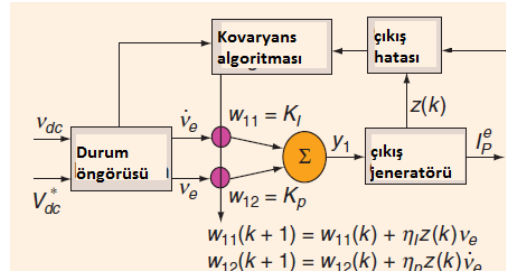


Şekil 4.3 YSA'da kompanzasyon uygulaması

Buna benzer tekniklerle yapılan tasarımlarda oldukça başarılı sonuçlar alınmış ve endüstriyel sistemlerde sıklıkla kullanılmaya başlandığı görülmektedir.

Bahsedilen bu YSA modelleri sadece reaktif kompanzasyon yapmakla kalmayıp aynı zamanda akımdaki negatif sequence komponentlerini de filtreleyecek yapıda tasarlanmıştır. Hat üzerinde oluşan ani bir faz kayması, ya da kritik bir gerilim dengesizliği oluştuğunda akımın dramatik şekilde yükselmesi sebebiyle şebekedeki transient karakterdeki dc bus gerilimi, buna bağlı olarak ciddi bir gerilim düşümüne maruz kalmaktadır. PI kontrolöre bağlı ve YSA algoritması tabanlı bir yazılım üzerinden gerçekleştirilen bu modellerde cevap süresini indirgeyebilmek adına bir adet orta katman kullanılmaktadır.

Ağırlıkların ayarlanması işlemi Hebb'in öğrenme algoritmasına uygun olarak yapılmakta olup uygulanmakta olan ve referansta olması gereken dc bus gerilimi durum öngörüsü yapılan bir bloğa aktarılmaktadır.



Şekil 4.4 YSA'da PI motor kontrolör uygulaması

Bu blok sinir ağı için gerekli olan durumları belirlemede kullanılmakla beraber K_p ve K_I olarak adlandırılan ve PI kontrolörün katsayıları olan ve aynı zamanda YSA'daki ağırlıklar olarak ta tanımlanan w_{11} ve w_{12} uygun YSA algoritmasına göre ayarlanarak öğrenme algoritması içinde uygun çevrim sayısı içinde belirlenebilmektedir. Her seferinde çıkış üreticinin belirlediği sayı ile hedef değeri arasındaki sapma, algoritma içine sokularak ideal YSA değerleri karşılanmış olmaktadır.

Geleneksel inverter ve kompanzasyon sistemleri ile karşılaştırıldığında cevap sürelerinin 40 ms ila 100ms arasında daha iyi olduğu ortaya çıkmaktadır.

4.4 Motor Hız Kontrolü Uygulamalarında YSA Uygulamaları

Asenkron motor ve DC motor hız kontrol sistemlerinde sıklıkla kullanılan Kalman filtreli PI kontrolörlerde kullanılmakta olan geri besleme sistemleri etkili yapıları ve uygun hız kontrol tekniklerinin kullanılması sebebiyle sıklıkla başvurulan uygulamalardandır.[21]

Ancak cevap sürelerinin yavaş olması ve transient karakterdeki tork değişimlerine karşı bağışıklılığının az olması sebebiyle alternatif çözümlere ihtiyaç duymaktadır.

Tam da bu noktada YSA sistemleri alternatif olarak iyi bir seçenek sunmakta olup cevap sürelerini kısaltmada ve ani değişimlerde daha iyi toparlanma ve değişim eğrileri sergilemektedir.

Geleneksel sistemlerde kullanılan tork ve akı geri beslemesinin aksine YSA sisteminde tek giriş ve tek çıkış kullanılmakta olup, tek geri besleme, sistemin çıkışından alınan devir sayısı bilgisidir.

Bu durumda giriş katmanı devir sayısı bilgisi olmakta ve çıkış katmanında tork bilgisinin olduğu bir sistem oluşmakta, oluşan bu tork bilgisi direkt tork kontrollü olarak çalışan cihazın girişindeki inverterlere verildiğinde tepkime süresi ve tork eğrisi oldukça verimli bir motor karakteristiği ve performansı ortaya çıkmaktadır.

SİSTEM ÖZELLİKLERİ

5.1 Sistemin Genel Özellikleri

YSA'da kullanılan temel katmanlar, modeller ve yapılardan bahsedildikten sonra bu bilgilerin önerilen sisteme nasıl katkıda bulunduğu ilerleyen bölümlerde daha da detaylı bahsedilecektir. Öncesinde sistemin temel girdileri olan donanımsal ve yazılımsal verilerin analiz edilerek sistem içinde nerede buldukları ve ne işe yaradıkları detaylandırılıp sonrasında yapılan analizler ve sonuçlarını içeren bir çalışmanın ortaya koyulması mümkün olacaktır.

Sistemde şebekeye dolaylı olarak bağlı olan akım ve gerilim transdüserleri bulunmaktadır. Bu transdüserler belirli oranda dönüştürme yaparak elektriksel şebekenin temel parametreleri olan gerilim ve akım değerlerini okumaktadır.

Okunan bu analog bilgiler mikrokontrolöre giriş bilgisi olarak verilmekte olup kontrolör içinde yapay sinir ağları ile çalışan gömülü bir yazılım bulunmaktadır. Yazılımın öğrenme ve uygulama olarak iki temel modu bulunmaktadır. Öğrenme modunda şebekedeki parametre bilgileri alınarak hedef ve sonuç değerleri arasındaki fark sorgulanmaktadır. Çevrim içinde alınan en başarılı çevrim sayısı sistemin koruma set değeri olarak belirlenir. Uygulama moduna geçildiğinde alınan verilerin koruma set değerinin altında veya eşit olup olmadığı denetlenir. Denetleme sonucunda başarısızlık olması durumunda kumanda devresi aktif hale getirilerek sistem kesime geçirilmektedir.

Yukarıda bahsedilen bilgilerin ışığında tasarımın temel olarak 3 birimden oluşmakta olduğu anlaşılacaktır.

a. Algılayıcı

b. Denetleyici

c. Mantıksal Kumanda

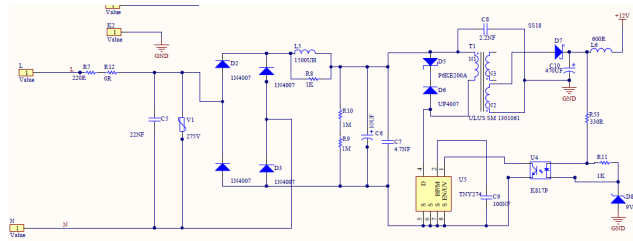
Basitçe açtırma ve koruma işlemleri bu şekilde gerçekleştirilmekle beraber devre içinde kullanılan kendi içinde karmaşık yapıları da barındırmaktadır. Sonraki bölümlerde bu birimlerden daha da detaylı bahsedilecektir.



Şekil 5.1 Temel sistem birimleri

5.1.1 Anahtarlama Mod Çalışan Güç Kaynağı

Donanım içinde yer alan Anahtarlama Mod Güç Kaynağı (SMPS) beslemesi sistemin kendi içinde güvenilir çalışmasını sağlayan birincil önemde güç bileşenini barındırmaktadır. Aksi takdirde herhangi bir güç hatası durumunda sistem beklenen çalışmanın dışına çıktığında cihazın bu arızayı en azından güvenilir şekilde telafi edebiliyor olması önemlidir. Sistemde güç kaynağı arızası olması durumunda bütün kontrol yapısı durmakta ve cihaz pasif konumda çalışmasına devam etmektedir. Güç kaynağı aynı zamanda kendi içinde kısa devreye karşı koruma da içermektedir. İmalat hatası sebebiyle herhangi bir direnç veya kapasitör arızası durumunda çıkış gerilimi sıfıra çekilmekte ve frekans üretici çalışmasını kesikli çalışma moduna almaktadır. Devrenin temel işlevi 230VAC, 50Hz'lik şebeke gerilimini doğrultarak 12VDC, 500mA'lık bir güç kaynağı yaratmaktır. Alınan bu doğru akım sistemde mikrodenetleyicinin ve IGBT kontrolörün ana besleme yapısını oluşturacaktır.

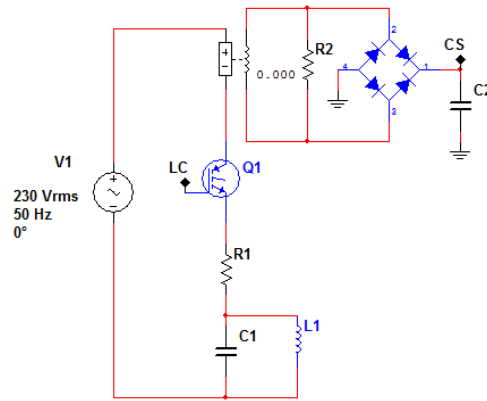


Şekil 5.2 Anahtarlama Mod Güç Kaynağı

5.1.2 Akım ve Gerilim Transdüseri

Geleneksel bir otomatik sigortaya bağlanan faz iletkeninde olduğu gibi cihazın faz girişi direkt olarak bir IGBT'nin kollektör ucuna bağlanmaktadır. Bu faz ucundan akım trafosu hava yolu üzerinden akımın değerini manyetik olarak dönüştürür. Bu dönüşümün sonucunda oluşan alternatif gerilim doğrultularak mikrokontrolör tarafından ölçülebilecek tipte bir DC sinyale çevrilmektedir.(CS düğümü) Bu şekliyle analog bir akım bilgisi mikrokontrolör tarafından anlamlı bir şekilde yorumlanabilir hale gelmektedir.

Diğer taraftan IGBT tarafındaki LC ucundaki gerilimin kontrol edilmesi ile iletme veya kesime geçme durumu kontrol edilebilir hale gelmektedir. Bu düğüm benzetilmek istenirse bir otomatın kontak ve mandal yapısına benzetilebilir. Mandal parçası bakır kontakların açtırılması işleminden sorumludur.



Şekil 5.3 Akım ölçme devresi

5.1.3 Mikrodenetleyici Sistem

Devrede mikrodenetleyici olarak Motorola MC9S08LH36CLK kullanılmıştır. 8 bitlik bu mikrodenetleyicinin temel operasyon adımları aşağıdaki gibi gerçekleşmektedir.

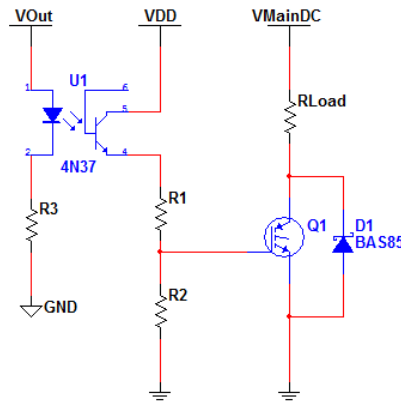
1. Analog bilgilerin sentezi :Akım ve gerilim sensörlerinden gelen analog sinyal
- 2.Clock sinyalinin üretilmesi : 32.678kHz
- 3.Harici programlama yapılması : Harici olarak 8 bacaklı bir pin üzerinden programlanabilme özelliği
- 4.Gömülü yazılım : Yapay sinir ağları ile çalışan yazılım algoritmasını barındırması
5. Çıkış : Mantıksal kumanda işleminin yapılması

5.1.4 Yük Kontrol Sistemi

Yük kontrol sistemi koruma sisteminin esas parçası olup, mantıksal olarak Vout komutunu aldıktan sonra bu düğümün gerilim değerine göre IGBT devresi aktif veya pasif duruma getirilmektedir.

Kontrolör ile kumanda devresi birbirinden optoizolatör vasıtasıyla elektriksel olarak ayrılmış olup anahtarlama işlemi nominal akımı yaklaşık olarak 80A olan bir IGBT tarafından yapılmaktadır.

Sistem içinde güvenilir çalışmayı sağlayabilmek adına Vout gerilimi aktif yani 3.3VDC değerini veriyorken IGBT iletime sokulmaktadır. Bunun temel amacı güç beslemesinin kendi içinde güvenliğinin sağlanmasıdır. Güç beslemede bir problem oluştuğunda cihaz pasif moda geçmeli ve elektrik iletimini kesmelidir. Diğer taraftan elektronik bileşenlerde elektronik imalat anlamında hata oluşması durumunda sistemin kendi kendini besliyemiyor olmasından dolayı sistemin pasifte çalışmaya devam etmesi sağlanmaktadır. Bu şekilde kullanıcı tarafında elektriksel anlamda güvenilirliğin sağlanması amaçlanmıştır.



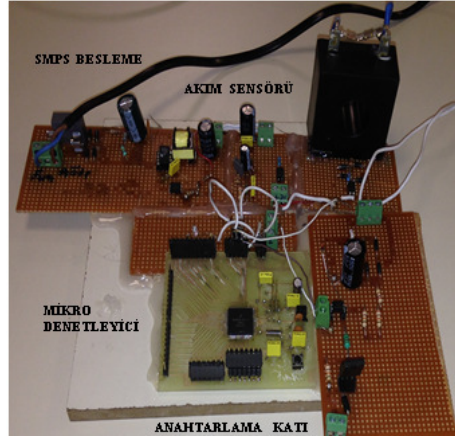
Şekil 5.4 Yük kontrol devresi

5.2 Donanım

Devre donanımsal olarak incelendiğinde güç besleme, akım sensörü, mikrodenetleyici orta katı ve IGBT kontrol katı tamamlanmış olup devrenin stabil olarak çalışmasını sürdürebildiği tespit edilmiştir.

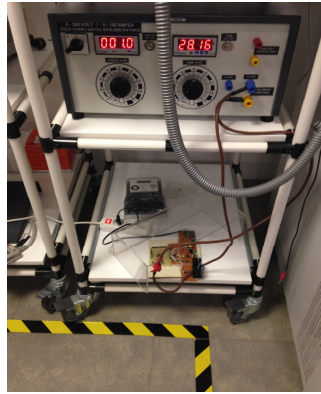
Şekil 5.5'te prototip, tamamen el ile yapılmış devre görülmektedir. Devrenin sol üst köşesinde kalan taraf güç beslemesini içermektedir. Üst sağ bölümde kalan toroid akım trafolu akım transdüseri akım ölçümünü yaparak ölçtüğü analog veriyi sol altta kalan

mikrodenetleyici kontrol katına ulaştırarak gömülü yazılımin akım değerlendirmesi yapmasına olanak tanır. Devrenin orta katmanında kalan IGBT içeren güç kontrol devresi mikrodenetleyici katından gelen bilginin işlenmesini ve yk tarafının kontrolünü sağlamakla görevlidir.



Şekil 5.5 Prototip devre

Şekil 5.6’da tipik bir test devresi görülmektedir. Üst tarafta 100A akıma kadar aşır akım üretebilen bir yük cihazı bulunmaktadır. Alt kısımda ise mikrodenetleyici içeren elektronik sigorta bulunmaktadır.



Şekil 5.6 Test devresi

Devre üzerinde uygulanan temel testler aşağıdaki Şekilde zetlenebilir ;

5.2.1 Kararlı durum sıcaklık lmleri

Genel karşılaştırmalar ve termal kamera ölçümleri yapıldığında en yüksek ısının IGBT üzerinde olduğu ve yaklaşık 53°C civarında ısısı artışı olduğu tespit edilmiştir.

5.2.2 Güç Kaynağı Kısa Devre Testleri

Güç kaynağının 9VDC besleme çıkışları birbirine kısa devre edildiğinde çıkış geriliminin 0V mertebesine indiği ve frekans üreticinin kesintili çalışma moduna geçtiği tespit edilmiştir.

5.2.3 Akım Dayanımı ve Temel Yalıtım Fonksiyonu

a) Prototip PCB yolları, yol kalınlıkları incelendiğinde mikroelektronik devrenin ve güç kaynaklarının ısınmasının düzgün şekilde gerçekleştiği tespit edilmiştir.

b) Aynı zamanda SMPS trafosunun primer ve sekonder uçlarında gerçekleştirilen yüksek gerilim ve sargı dayanım testlerinde yalıtımda herhangi bir delinme ile karşılaşılmamıştır.

5.2.4 Akım Senörü Çalışma Hassasiyeti

Toroid trafonun ısıl ve elektromagnetik olarak bağışıklığının iyi olduğu tespit edilmekle beraber çıkış değerinin istenilen toleranslarda üretildiği görülmüştür.

5.2.5 Mikrodenetleyici Test ve Hata Ayıklamaları

a) Genel kontroller yapıldığında 8bitlik mikrodenetleyicinin zamanlayıcı ve clock fonksiyonlarının uygun çalıştığı,

b) Analog girişlerden alınan verilerin uygun dönüştürme oranlarında alınmakta olduğu,

c) Kart üzerinde tekrar programlama ve hata ayıklama yapılabildiği,

d) Interrupt Mask fonksiyonlarının uygun şekilde çalıştığı,

e) Port giriş ve çıkışlarının sağlıklı gerilim ürettiği ve iletildiği tespit edilmiştir.

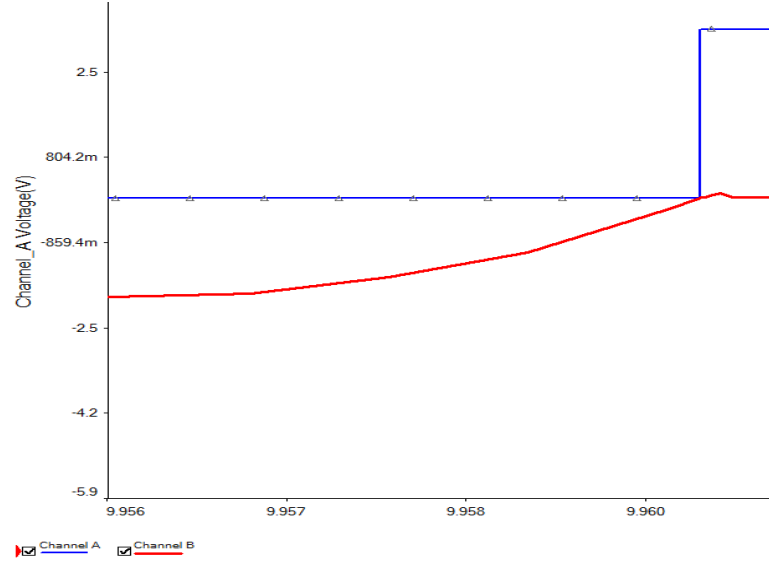
5.2.6 Kumanda Testleri

a) Devre kesicinin normal çalışma modunda güç kaynağı devrede ve normal çalışma akımı geçerken iletimde olduğu, sonrasında aşırı akım sisteme verildiğinde ve kaynak zorlandığında normalde 3.3VDC olan mikrodenetleyici port çıkış geriliminin 0V'a düştüğü ve kesicinin kesime geçtiği tespit edilmiştir.

b) Kısa devre ve aşırı akımlar ardı ardına, yineleyerek verildiğinde uygun zaman aralıklarında iletim ve kesim işlemlerinin otomatik olarak yapılabildiği tespit edilmiştir.

5.2.7 Açma Kapama Süresi Analizi

Kesime geçme süreleri karşılaştırıldığında en yüksek kesime geçme süresinin $900\mu s$ olarak oluştuğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.7 Açma süresi için osilogram

YAZILIM TASARIMI VE YSA MODELLEMESİ

6.1 Yazılım Tasarımının Temel İlkeleri

Daha önceki tanımlamalarda ve başlıklarda bahsedildiği gibi yazılım ve sistemin tasarımı yapılırken birçok metot kullanılabilir. Hangi metodun veya tekniğin kullanılacağını belirlemek daha çok sistemin temel karakteristik özelliklerini ve sistem gereksinimlerini bilmekten geçmektedir.

Bu bilgilerin yanında öğrenme kuralının ne şekilde yapılacağını belirlemek en önemli adımlardan birini oluşturmaktadır. İkincil olarak sistemin ne kadar sürede tepki vermesi gerektiğini bilmek faydalıdır.

Şebeke koruması yapması beklenen bir devre kesicide istenen temel özellikler aşağıdaki gibidir;

a.Koruma/Kesme Süresi: Devre kesicinin geleneksel kesicilere göre daha hızlı oranda kesme işlemi yapması istenmektedir. Yaklaşık olarak 200µs ila 1ms'lik kesme süresi ideal bir kesme süresi performansını oluşturmaktadır.

b.Öğrenmede Güvenilirlik: Öğrenme algoritmasının güvenilir, güçlü ve kesin olması istenmektedir. Öğrenmenin geniş zamana yayılması mümkün olmakla beraber bu süre içinde sistemin temel akım ve gerilim karakteristiklerinin güvenilir bir şekilde çıkartılması beklenmektedir.

c.Dayanıklılık ve tekrardan kullanılabilirlik: Şebeke üzerinde koruma yapan cihazın koruma işlemini yerine getirdikten sonra bunu takip eden kullanımlarda düzgün şekilde çalışması ve sistemi koruması beklenmektedir. Bu sebeple devre kesicinin elektronik

komponentlerinin ve gömülü yazılımının güvenilirlik seviyesinin yüksek olması önemli hale gelmektedir.

6.2 Yazılım Altyapısı ve Mikrodenetleyici seçimi

YSA modellemesinin uygun bir şekilde hazırlanabilmesi için kullanılan yazılım altyapısının orta seviyede hazırlanmış olması arzu edilen sonuçları doğuracaktır.

Düşük seviyede yazılmış bir modellemenin nesneye yönelik atamalar ve sınıflandırmalar yapılmasını olanaksız hale getirmesi ve her türlü gömülü sisteme adapte edilmesinin zor olması sebebiyle tercih edilemeyeceği açıktır.

Diğer taraftan oldukça yüksek seviyede yazılmış bir uygulamanın fonksiyon kararlılığını etkileyeceği ve cevap süresinin fonksiyonel yapısındaki karmaşıklık sebebiyle uzun olacağı yorumlanabilir.

Tüm bu girdiler ışığında ANSI tabanlı C ve C++ programlama dilinin ne çok birincil seviye ne de en üst seviye programlama dili olmaması sebebiyle daha optimum bir çözümü sunacağı düşünülmüş ve bu dil YSA tabanlı tüm içeriğin temelini oluşturmuştur.[22]

Diğer taraftan mikrodenetleyici mimarisini belirlerken zamanlama donanımlarının cevap süresini yavaşlatmayacak şekilde seçilmiş olmasında fayda bulunmaktadır.

İkincil olarak gerilim ve akım transdüserlerinin ölçüm hassasiyetleri önemli olmakla beraber yüksek doğruluk gerektirdiği aşıkardır. Diğer taraftan beyan akımla, aşırı akım arasındaki yüksek farklara bakıldığında ölçüm seçiciliğinin en önemli kriter olmadığını bilmekte faydalıdır. Analog, sayısal çevrimin esasında hızlı bir çevrim döngüsü sağlaması gerekliliği ölçüm hassasiyetinden daha önemli hale gelmektedir.

Bu sebeple mikroişlemci seçiminde bu mimariye daha uygun olan Motorola'nın MC9S08LH36CLK model numaralı mikrodenetleyicileri kullanılmıştır. Bu mikrodenetleyici 8 bitlik işlem yapma kapasitesine sahip olup oldukça hızlı tepkime vermekte ve elektromanyetik gürültülere karşı bağıışıklılık açısından iyi bir performans sergilemektedir.

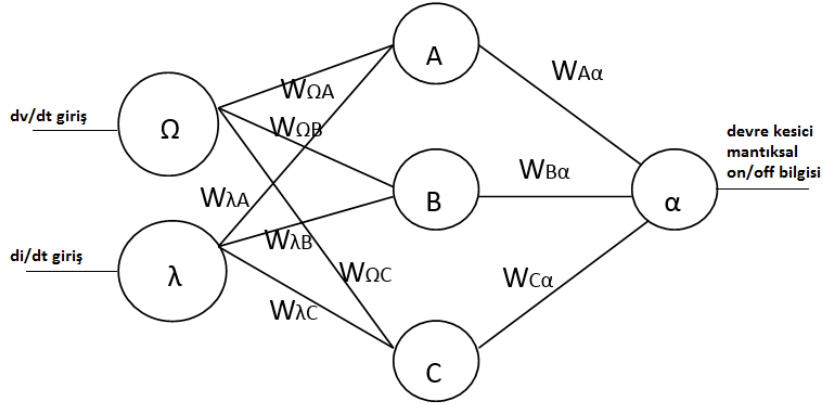
6.2.1 Yazılım Modeli

Yazılım altyapısında YSA çözümlemesi olarak backpropogation algoritması en ideal ve sistemle bütünleşik olabilecek en uygun yapıda seçildiğinden tüm algoritmalar bu teorinin gerektirdiği kurallar çerçevesinde tasarlanmıştır.[21,22]

6.2.2 Sistemin YSA Modeli

Sistemde bir adet giriş katmanı, bir adet ara katman ve bir adet çıkış katmanı bulunmaktadır. Girişteki iki adet nöron, akım ve gerilim algılayıcılarından gelen akım yükselmesi ve gerilim yükselmesi bilgilerini içermektedir. Ortada tek bir katman bulunmakta olup bu katman 3 adet nörona sahiptir. Bu sayı daha az veya daha fazla seçilebilir. Çıkışta bir adet nöron bulunmakta olup 0 ile 1 arası bir değere sahiptir. Bu değer sigmoid fonksiyonundan gelmektedir. Sigmoid fonksiyonunda olduğu gibi bu çıkış çalışırken 0 ya da 1 sinyalini vermektedir. Bu durum rölenin 1 (röle korumada) veya 0 (röle operasyon konumunda) durumunu sembolize etmektedir. Sistemin öğrenme işlemi sırasında hedef değeri ikisinin arasındaki sayı olan 0.5'e eşittir. Yani iki mantıksal pozisyon arasında bir denge kurulmaya çalışılmaktadır.

Sistemin YSA modeli aşağıdaki Şekil 6.1'de gösterildiği gibidir.



Şekil 6.1 Öğrenme mekanizmasında tipik nöronlar

İlgili şekilde görüleceği üzere Ω ve λ indisli iki nöronlu bir giriş ve α indisli bir çıkış hücresi vardır. Her bir nöronu birbirine bağlayan uzantıların ağırlıkları o nöronların indislerinin adını alır.[20,21]

Yukarıdaki algoritmayı eşitlikler haline getirecek olursak aşağıdaki denklemler ortaya çıkmaktadır.

1.Çıkış nöronlarının hatalarının hesaplanması.

$$\delta_{\alpha} = out_{\alpha} (1 - out_{\alpha}) (Hedef_{\alpha} - out_{\alpha}) \quad (6.1)$$

2.Çıkış katmanının ağırlıklarının değiştirilmesi.

$$W_{A\alpha}^+ = W_{A\alpha} + \eta \delta_{\alpha} out_A \quad (6.2)$$

$$W_{B\alpha}^+ = W_{B\alpha} + \eta \delta_{\alpha} out_B \quad (6.3)$$

$$W_{C\alpha}^+ = W_{C\alpha} + \eta \delta_{\alpha} out_C \quad (6.4)$$

3. Ara katman hatalarının hesaplanması.

$$\delta_A = out_A (1 - out_A) (\delta_A W_{A\alpha}) \quad (6.5)$$

$$\delta_B = out_B (1 - out_B) (\delta_B W_{B\alpha}) \quad (6.6)$$

$$\delta_C = out_C (1 - out_C) (\delta_C W_{C\alpha}) \quad (6.7)$$

4. Gizli katmanların ağırlıklarının değiştirilmesi.

$$W_{\lambda A}^+ = W_{\lambda A} + \eta \delta_A in_{\lambda} \quad (6.8)$$

$$W_{\lambda B}^+ = W_{\lambda B} + \eta \delta_B in_{\lambda} \quad (6.9)$$

$$W_{\lambda C}^+ = W_{\lambda C} + \eta \delta_C in_{\lambda} \quad (6.10)$$

$$W_{\Omega A}^+ = W_{\Omega A} + \eta \delta_A in_{\Omega} \quad (6.11)$$

$$W_{\Omega B}^+ = W_{\Omega B} + \eta \delta_B in_{\Omega} \quad (6.12)$$

$$W_{\Omega C}^+ = W_{\Omega C} + \eta \delta_C in_{\Omega} \quad (6.13)$$

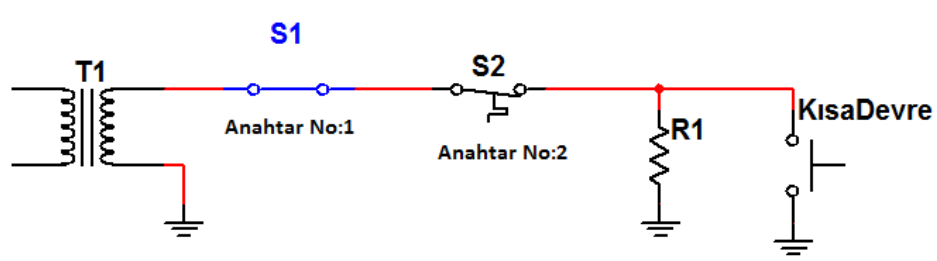
η : Öğrenme hızını ifade etmektedir.

Sistemin başlangıç ağırlıkları rasgele olarak belirlenmektedir. Her bir akım ve gerilim fonksiyon değeri verildiğinde çıkış değeri matematiksel olarak hesaplanır. Sonrasında bu çıkış değerinin 0.5 değerine yakınlığı test edilir. Yakınlık, çıkış değeri ± 0.005 aralığı arasına gelene kadar iterasyon devam eder. Çıkış değeri bu aralığa yakınsadığı anda fonksiyonun bu değere varana kadar kaç döngü yaptığı kaydedilir ve bu değer hafızaya atılır. Öğrenme modunda tüm bu değerler kaydedilerek en düşük döngü sayısı yani en hızlı yaklaşım süresine sahip olan sayı hafızada kritik döngü sayısı olarak belirlenir. Öğrenme modu tamamlandıktan sonra işletme moduna geçildiğinde yine aynı şekilde sistemden sürekli veri alınarak bu kritik döngü sayısından daha küçük sayıda bir veri alınıp alınmadığı kontrol edilir. Daha küçük bir veri alındığı anda sistem kendi kendini korumaya alır. Eğer bu kritik döngü sayısından daha büyük değerler alınmaktaysa sistem sağlıklı çalışma pozisyonuna yani devreyi yüklemeye devam eder.

6.3 Kısa Devre Akımı

Alçak gerilim şebekelerindeki geçici rejimde yaşanan kısa devre ve aşırı akım gibi tüm beklenmedik akımlar aslında şebekenin hata anındaki eşdeğer empedans değişiminin hat akımı üzerindeki etkisinden ibarettir.

Kısa devre temel olarak bir faz veya nötr iletkeninin toprak ile veya diğer kutuplarla temas haline geçmesi ve ideal olarak 0Ω değerindeki bir direnç içinden geçerek idealde sonsuz olan ancak gerçekte hayatta 1kA ila 100kA arasında değişen bir hata akımı doğmasından ibarettir.



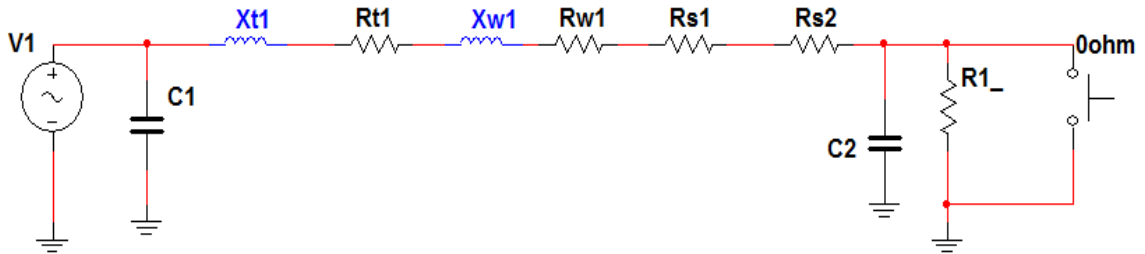
Şekil 6.2 Basit kısa devre eşdeğer şeması

Şekil 6.2'deki elektrik devre şemasından görüleceği üzere T1 transformatörü orta gerilim şebekesinden gelen tek fazlı orta gerilim hattını sekonderinde alçak gerilime indirgeyerek 230Volt besleme değerine ulaştırma görevini üstlenmektedir.

Akım sonrasında S1 devre kesicisi üzerinden geçerek S2 aşırı akım röle grubu üzerinden dağıtım panosu üzerine gönderilir. Müşterinin tüketim yükü R1 direnci ile sembolize edilmiş olup işte kısa devre tam bu noktada oluşmaktadır.

Bu noktaya kadar akımın geçiş yönü düz bir hat üzerinde gerçekleşmekte, basit bir Kirschoff devre akımları yöntemiyle çözülebilecek karmaşıklıkta bir denklem ortaya çıkmaktadır.

Diğer taraftan sistem üzerindeki tüm devre elemanlarının eşdeğer devre şeması çıkartıldığında ilave denklemler ve parametreler doğacağı görülecektir. (Şekil 6.3 devre şeması)



Şekil 6.3 Genişletilmiş kısa devre eşdeğer şeması

V1: Transformatör alçak gerilimi

Xt1: Transformatör sargı reaktansı

Rt1: Transformatör kısa devre bakır kayıpları

C1: Şebeke başı kapasitansı

Xw1: Alçak gerilim iletim hattı kablo reaktans kaybı

Rw1: Alçak gerilim iletim hattı bakır kaybı

Rs1: Devre kesici iç direnci

Rs2: Aşırı akım koruma düzeneği iç direnci

C2: Şebeke sonu kapasitansı

R1: Tüketici yük direnci

Yukarıdaki temel eşdeğer devre şemaları ve anlatılmalarının ışığında bir alçak gerilim şebekesindeki en yüksek kısa devre akımı ;

$$I_{SC} = \frac{U_n}{\sqrt{((x_{t1} + x_{w1} - x_{c1} - x_{c2})^2 + (R_{t1} + R_{w1} + R_{S1} + R_{S2})^2)} \quad (37)$$

olarak bulunmaktadır.

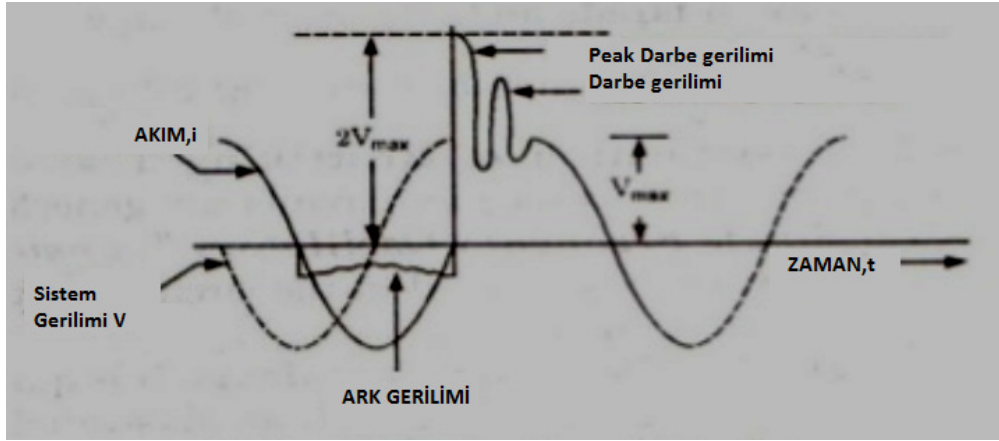
Görüleceği üzere basit bir alçak gerilim ağ yapısında bile birçok empedans parametresi bulunmaktadır. Bu sonuç bir sonraki bölümde ele alınacak olan kısa devre anındaki gerilim değişikliği fenomeninin önemli bir girdisi haline gelmektedir.

6.4 Geçici Gerilim Dalgalanmaları

Kısa devre sırasında hata akımına sebep olan kontaktör, röle, anahtar gibi anahtarlama elemanları, açma veya kapama sırasında kontak mekanizmaları üzerindeki kapasitanslar sebebiyle geçici rejimde yüksek frekanslı gerilim dalgalanmalarına sebep olmaktadır. Özellikle kısadevrenin kontak üzerinden geçişi ve devre kesici üzerinden yukarı atılarak absorbe edilmesi sırasında oluşan elektron bombardımanı, bu olayın ardından oluşan gaz iyonizasyonu sırasında ark hücrelerinde veya anahtarlama elemanının kanallarındaki iletken bölümlerin üzerinde ray etkisi ile elektron taşınması meydana gelmekte olup kısadevre akımı adeta bir kapasitör üzerinden hareket ediyormuşçasına dışarıya doğru tahliye edilmektedir.

Bu durumu daha da radikal bir karaktere taşıyan aslında bir yandan da alçak gerilim şebekesinden gelen endüktif karakterdeki empedanslardır. Paralel sönümlü L ve C devresinin hat üzerinde oluşmasına bağlı olarak şebeke geriliminde L'nin yüksek olması

ile beraber gazın sönümlenmesi gecikmekte ve tahliye işleminin süresi artmaktadır. Bu sebeple yüksek L'ye sahip şebekelerde koruma elemanları daha fazla zarar görmektedir. Bu durumun grafiksel simülasyonu Şekil 6.4'te verilmiştir. Kısa devre anında şebeke üzerinde ciddi oranda akım transferi oluşmakta, diğer taraftan şebekenin endüktans ve kapasitans eşdeğeri bu akımın sönümlenmesine yardımcı olmaktadır. Bu esnada hat gerilimi oynama eğilimine girmektedir.



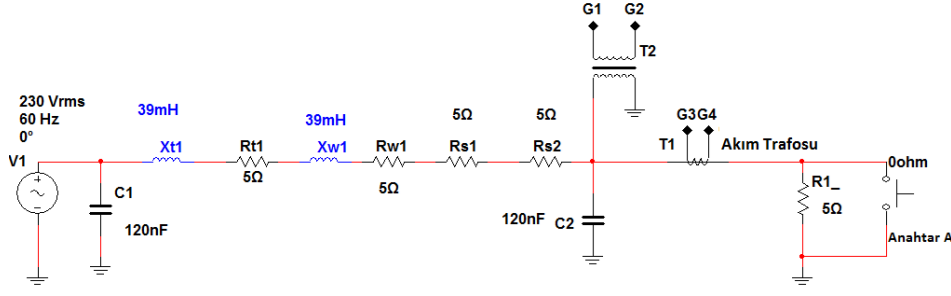
Şekil 6.4 Kısa devre anında oluşan darbe ve rezonans gerilimleri

6.5 Ölçüm Parametreleri

6.3 ve 6.4. maddelerde özetlendiği üzere sistemdeki en önemli iki parametre olan akım ve gerilim için uygun elektriksel transdüserlerin seçilerek örnekleme ve veri alma amacıyla kullanılmasına ihtiyaç bulunmaktadır.

Akım transdüseri hat üzerine dolaylı olarak bağlı bulunmakta olan bir akım transformatöründen oluşmakta olup, gerilim transdüseri ise şebekedeki gerilimin faz ve nötr hatları üzerinden ölçümünü yapan uygun tipte seçilmiş bir gerilim transformatörü ve devre elemanlarından oluşmaktadır.

Sistemdeki gerilim karakteristiği kısa devre akımının önden kestirilmesi noktasında oldukça önemli ve kritik bir yerde durmaktadır. Hata sırasında oluşan yüksek frekanslı ark gerilimleri, gerilim olumsuzlukları ile bu şekilde belirlenerek erken uyarı sistemine aktarılabilecek duruma gelecektir.



Şekil 6.5 Gerilim ve akım transdüserleri yerleşim şeması

6.6 Yazılım Performansı

Yazılım gerçek zamanlı çalıştırıldığında hızlı bir cevap süresinin doğduğu, akımın en yüksek tepe seviyesinden kolaylıkla sıfır değerine sönmülenebildiğinin görülmesiyle çevrim hızının ve yazılım kodlarının kendi içinde tutarlı olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Yukarıda bahsedilen gerilim ve akım dalgalanmalarının sistem üzerindeki etkisi incelendiğinde olumlu bir öğrenme yaklaşımının oluştuğu söylenebilir.

Kaynak kodu ve yazılımın detaylı çalışma prensibi tezin ekinde anlatılmakla beraber YSA döngüleri ve fonksiyonları özetlenmeye çalışılmıştır.

Program prototip ve gerçek olarak iki farklı versiyonda türetilerek, prototip programda bu çalışma performansının yarı iletken uygulamaların yanı sıra elektrik şebekelerine bağlı tüm karakteristik öğrenme süreçleri için temel oluşturulmaya çalışılmıştır.

6.7 Eğitim Seti

Yazılım üzerinde yapılan testler ve girdiler sonucunda rastgele verilen girdi değerlerinden oluşan bir eğitim seti oluşturulmuştur. Tamamen C++ kaynak kodu üzerinde yapılan bu testlere göre düşük, yani çok fazla salınım yapmayan akım ve gerilim artışlarında sistemin hedefe daha kolay erişebildiği görülmektedir.

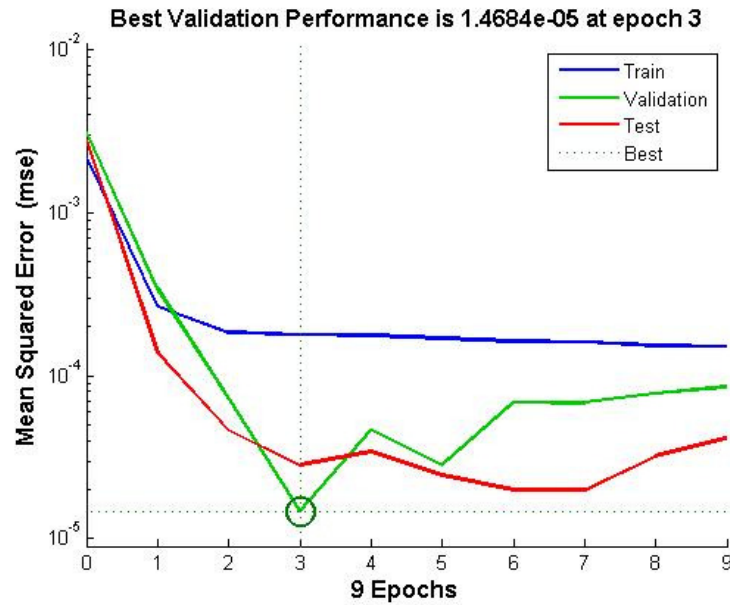
Çizelge 6.1 Kaynak Koduyla Oluşturulan Eğitim Seti

Girdi No.	di/dt	dV/dt	Çıkış	Hedef
1	0,00	1,00	0,04810	0,005
2	2,00	3,00	0,00495	0,005
3	34	34,00	0,00070	0,005
4	12,00	21,00	0,00406	0,005

Çizelge 6.1 Kaynak Koduyla Oluşturulan Eğitim Seti (Devam)

6	1,00	8,00	0,00493	0,005
7	9,00	1,00	0,00494	0,005
8	2,00	1,00	0,00480	0,005
9	12,00	23,00	0,00390	0,005
10	2,00	0,00	0,00480	0,005
11	2,00	6,00	0,00480	0,005
12	123,00	321,00	0,00000	0,005
13	0,00	0,00	0,00480	0,005
14	12,00	21,00	0,00406	0,005
15	12,00	17,00	0,00470	0,005

Bu eğitim seti aynı zamanda MATLAB programında koşturulduğunda üçüncü EPOCH üzerinde en iyi performansın olduğu gözlenmektedir. Bulunan bu EPOCH sayısı aynı zamanda yazılım tarafından bulunan EPOCH sayısı olan iki sayısına oldukça yakın bir değer olduğu, başarıya ulaşma sürelerinin MATLAB programı ile neredeyse birbirinin aynı olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. (Bkz. Şekil 6.6 ve Şekil 6.7 EPOCHS gösterimleri)



Şekil 6.6 Matlab programında öğrenme grafiği

```
C:\ABC5\BIN\PROJECTS\ann_app6.exe
Hesaplanan en basarili hata = 0

Istenilen en dusuk hata = 0.005

Loop sayisi = 2
Epoch sayisi = 2

1. di/dt degeri ===== data set[1] =
```

Şekil 6.7 C++ kaynak kodunda en hızlı öğrenmede EPOCHS gösterimi
Programın sonucunda radikal bir akım ve gerilim yükselmesi sisteme verildiğinde devre kesicinin koruma moduna geçtiği görülmektedir.

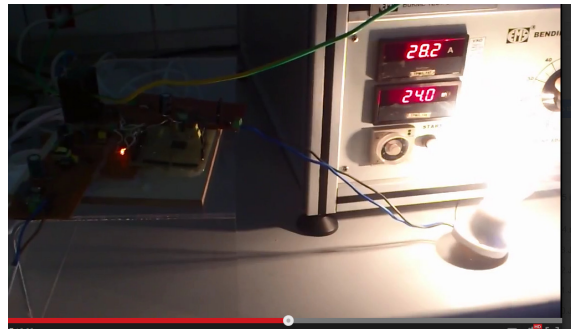
```
C:\ABC5\BIN\PROJECTS\ann_app6.exe
ELEKTRİK SEBEKESİNDE TERS GİDEN BİR ŞEY VAR :: IGBT KORUMA DEVREDE
```

Şekil 6.8 C++ kaynak kodunda korumanın gerçekleşmesi

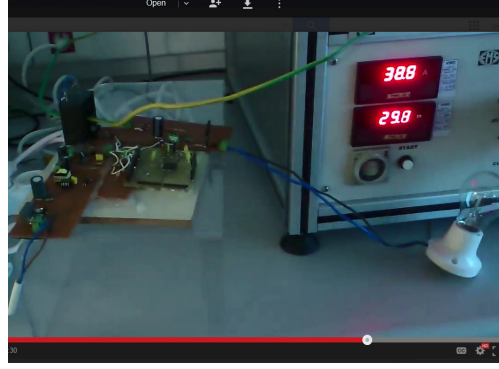
SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1 Tasarım ve Tasarım Doğrulama Özeti

Tasarlanmış olan YSA modeli incelendiğinde istenilen koruma hedeflerini sağlayan bir sistem oluşturulabildiği tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan ara elemanlar olan mikrodenetleyici, gömülü yazılım, elektronik komponentler, ölçüm ve güç devreleri gibi birçok yapının yapılan tasarım içinde süregelen ve güvenilir olarak çalıştığı, aynı zamanda koruma ve öğrenme işlem adımlarını istenildiği şekilde yürütülebildiği tespit edilmiştir. Ayarlanabilir bir akım ve gerilim cihazı kullanılarak yapılan bu testlerde yazılıma önce sistem üzerindeki beyan değerleri, olağan akım ve gerilim değerleri öğretilmiş olup, ardından 30A ila 100A arası değişen aşırı akımlar kablo üzerinden verildiğinde sistemin tepkimesi kontrol edilmiştir. Buna göre YSA sisteminin uygun zaman aralıklarında kesme işlemini başarıyla yapabildiği görülmektedir. (Şekil 7.1 ve Şekil 7.2 açtırma anından önceki ve sonraki durumları göstermektedir.)

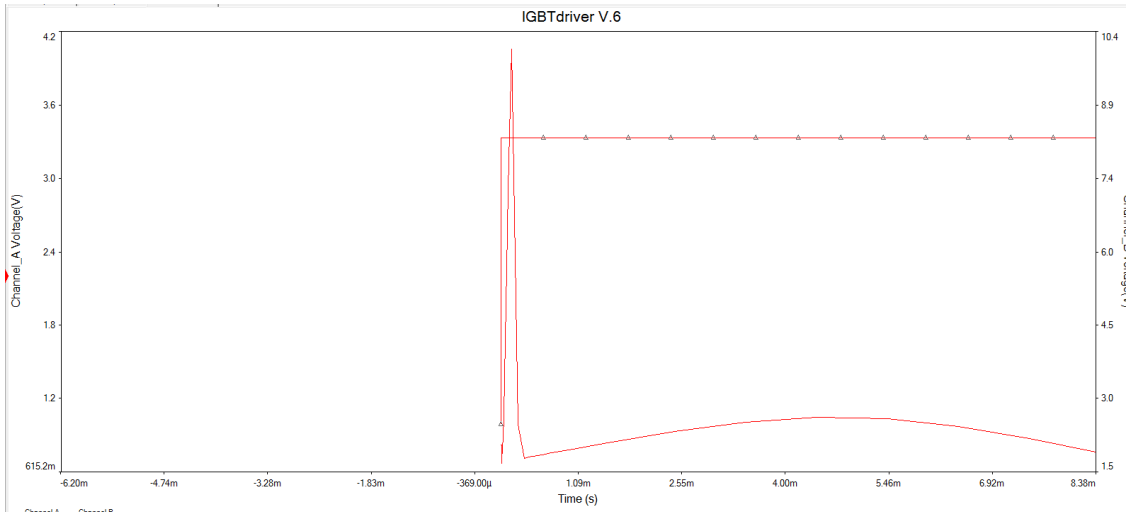


Şekil 7.1 Arıza öncesi elektrik tüketimi (Video gösterimi)



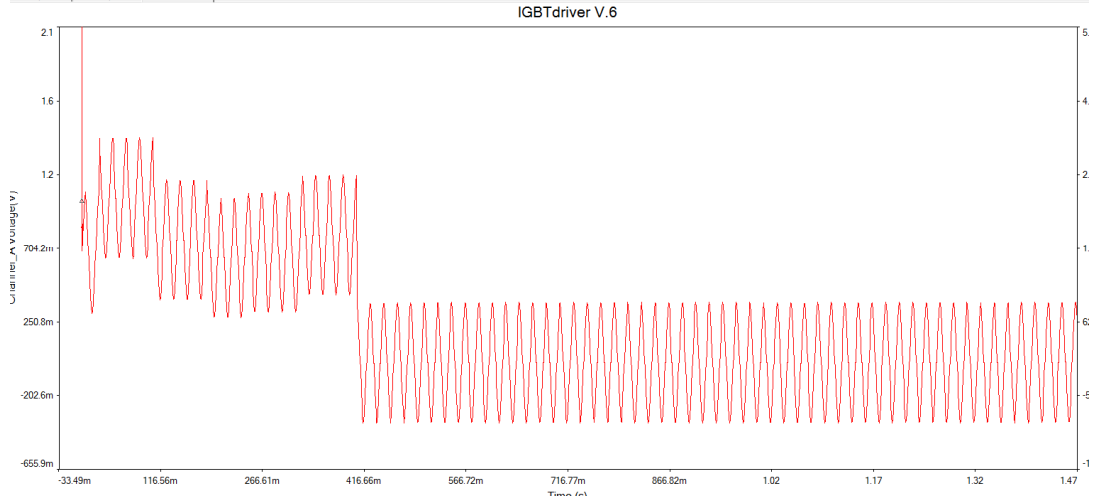
Şekil 7.2 Arıza sonrası korumaya geçen sigorta (Video gösterimi)

Geniş bir tanımlama yapmak gerekirse, mikro ölçekli olarak düşünülen bu projede konvansiyonel elektrik tüketimi yapan bir ailenin evinde veya bir sanayi kuruluşunda, kendiliğinden oluşabilecek elektrik kontak arızaları veya benzeri aşırı akımların projede yer alan tasarımla hızlıca söndürülebildiği ve etkin bir koruma sağlanabildiği tespit edilmiştir. Şekil 7.3 ve Şekil 7.4, açtırma yani trip anında devre kesicinin kendini koruyabildiğini göstermektedir. Noktalı çizgilerle gösterilen eğri mikrodenetleyici tarafından gönderilen kesme komutunu göstermekte iken noktasız olan eğri yük direncinin uçlarından ölçülen gerilimi göstermektedir. Her iki eğriden de görüleceği üzere yük uçlarındaki akım toplamda $900\mu\text{s}$ 'lik bir sürede tamamen sıfırlanmaktadır.



Şekil 7.3 Eğri (MCU komutu-yük akımı, zaman) yük akımı büyütülmüş gösterim

Bu sürenin uygun tasarımda doğru bir yarı iletken anahtarlama yapıldığında tipik devre elemanlarının ve anahtarlayıcıların inrush akım olarak çekebileceği sınır akım ve süre dayanımının altında kalarak ideal bir çalışma yapılabildiğini göstermektedir.



Şekil 7.4 Eğri (MCU komutu-yük akımı, zaman) yük akımı büyütülmemiş gösterim

Devre, genel tepki süreleri ve performansı açısından değerlendirildiğinde ardı ardına yapılan aşırı akım manevralarından sonra halen kararlı çalışmasına devam edebilmiş ve konvansiyonel bir otomatik sigortadan daha hızlı sürede açma yapabirmiştir. Konvansiyonel ve en hızlı karakteristikteki bir kesici en az 1ms süre sonunda tepkimesini tamamladığından başarılı bir koruma sağlanmıştır.

Diğer taraftan konvansiyonel bir kesicidekinin aksine açma kararlılığı oldukça yüksektir. Alternatif gerilimin hangi açısında aşırı akım geçerse geçsin süre-gerilim performans eğrisi arzu edilen seviyede çıkmaktadır.

7.2 Sisteme Eleştirel Bir Bakış

Sistemin genel özellikleri incelendiğinde elektrik tesislerine hızlı adapte olabilen, dayanıklı, kararlı çalışabilen ve akıllı bir korumayı sağlayabildiğinden tüm tesis şartlarında kullanılmaya uygun bir yapıda olduğu görülmektedir. Yüksek teknoloji bir donanımla ev, ofis ve endüstriyel ortamların korunması gelecek için önemli bir konumda olan yaşam alanlarının korunması ile aynı anlama geldiğinden ve ilerleyen teknolojilerin akıllı kontrol çözümleri içermesi sebebiyle bu uygulamalarla paralel çalışabilecek bir donanımın tasarlanması önemlidir.

Öte yandan donanım ve yazılım üzerindeki bazı dezavantajların şimdiden paylaşılmakta olması ilerleyen çalışmalara ışık tutması açısından önemli olacaktır.

Devre bu haliyle prototip yapıda olduğundan lehim yolları kalınlıkları, pad boşlukları ve devre elemanlarının montajı el ile yapılmıştır. Elemanları ısıl olarak yıpratmamak adına prototip devrede 100A aşırı akıma kadar çıkılmış olup daha yüksek akımlarda test

yapmanın gerekliliği ortadadır. Her ne kadar birçok Mosfet ve IGBT kendi beyan akımının 5 ila 20 katı kadar bir akımda düzgün çalışmasını sürdürsede söz konusu kısa devre akımı 10kA olduğunda tek bir IGBT veya MOSFET ile bu kısa devre akımının sönlümlenemeyeceği açıktır. Bu sebeple donanıma paralel yapıda çalışabilecek IGBT veya MOSFET'ler eklenmelidir.

Diğer taraftan ürünün elektrik panosuna takılarak kullanılmasının gerektiği durumlarda otomatik sigortada yapılan bağlantılara ilave olarak ayrıca bir nötr hattının daha ürüne bağlanması zorunluluğu bulunmaktadır. Ancak pano üzerinde nötr hattı hali hazırda bulunduğundan bu durum yalnızca ilave işçilik süresi doğuracaktır.

Sistemin en önemli olumsuz yanının maliyet anlamında konvansiyonel bir otomatik sigorta ile rekabet edememesi olduğu görülmektedir. Devrenin kabaca maliyeti 4,00 \$ ile 5,00 \$ arasında değişmekte, tipik bir otomatik sigorta incelendiğinde bu maliyetin en fazla 3,00 \$ olduğu görülmektedir. Diğer taraftan tercihler ve ihtiyaçlar arttıkça bu donanıma başka fonksiyonlarda ilave edilerek daha hibrit bir yapı oluşturulması arzu edilmektedir. Örneğın otomatik sigortalarla beraber kullanılmakta olan kaçak akım koruma rölesi gibi benzeri koruma elemanlarının böylesine bir donanım içinde varolabiliyor olması ileride hem pano boyutlarını minimize etmek, hem de rekabet edebilir bir fiyat aralığı yakalamak açısından önemli hale gelecektir.

Konvansiyonel bir otomatik sigortanın aksine bu donanım öğrenebilen ve aynı zamanda olağan dışı birçok koşulu algılayabildiğinden aslında yepyeni bir hizmeti de kullanıcılara sunmaktadır. Söz konusu bu yenilikle yangın oluşmadan önceki ark kayıpları ve kontak yanmaları da anlaşılabilir ve erkenden koruma sağlanabilecektir.

7.3 Gelecek Çalışmalara Katkı

Bu tez genel amacı ve kapsamı itibariyle küçük ölçekli bir elektriksel sistemi ele alarak bu sisteme yönelik iyileştirmeler yaparak, yapay sinir ağları kullanarak kumanda ve korumanın gerekliliğini ortaya koymaktır. Diğer taraftan tasarlanan bu sistemin tasarlanma amacı esas itibariyle YSA kullanarak tüm koruma sistemlerinin güvenilir metodlarla programlanabileceğini göstermek ve bu yolla daha güvenilir ve verimli koruma metodlarının kurulabilmesine katkı sağlamaktır. Alçak gerilimden yüksek gerilime kadar tüm koruma sistemlerinde kullanılabilecek olan bu ve buna benzer metodlar elektrik tesislerinde ilerleyen senelerde önemli çıkırlar açacak ve bu ve buna benzer yararlı buluşların yapılmasına sebebiyet verecektir.

Özellikle bu koruma sistemlerinin SCADA ve HMI sistemlerinin ayrılmaz bir parçası haline gelmesi ile dünya genelindeki akıllı şebekeler imajına önemli katkılar yapılacağı düşünülmektedir.

Bu sistemlerin ülkemizde daha yaygın kullanılmaya başlanması özellikle uzaktan kontrol edilebilme, personel yardımı gerektirmeme, evlerdeki ve özellikle önemli maliyetlerin olduğu üretim tesislerini kaza olmadan koruyabilme, uzaktan izlenebilme özellikleriyle ön plana çıkacak ve şebeke korumasında birincil öneme geçecektir.

Yapılmış olan bu sisteme ilaveten bulanık mantık tekniklerinin de yazılım içerisine dahil edilebiliyor olması önemlidir. Ağırlıkların belirlenmesi sırasında ağırlığın değerinin hangi skala arasında olacağını bilerek daha etkin ve hızlı bir kontrol sağlanabilecektir.

Önerilen bu yapının mutlak surette elektronik yarı iletken anahtarlama düzenleriyle oluşturulmasına gerek olmayıp daha büyük kısa devre akımları için konvansiyonel sigortalar (MCCB) kullanılabilir. Önemli olan kaza oluşmadan sistemi korumaktır.

Bunu sağlayabilmek adına özellikle orta gerilim ve yüksek gerilim tesislerinde yalnızca akım ve gerilim transdüserleri yeterli olmayacak olup sensör sayıları artırılarak koruma sisteminin güvenilirliği artırılmalıdır.

Örneğin YSA'da akım ve gerilim girişlerinin yanına, transformatör yağ basıncı, termostat sıcaklığı, koruma röle ihbarı, aydınlatma ihbarı, güç faktörü düzeltme miktarı gibi önemli parametrelerde eklenerek korumanın seviyesi artırılabilir.

Bu şekilde uzaktaki bir koruma tesisine gitmeden o tesisin tüm diagnostik ve kumanda işlemleri LAN, Ethernet, RF Microwave, GSM modül veya PLC üzerinden yapılarak gerçekleştirilebilir, önemli oranda verim artışı sağlanabilir.

Bu sistem aynı zamanda kaçak enerji kullanımları içinde özel olarak tasarlanarak enerjinin doğru tüketici ile buluşması sağlanabilir.

Donanım yapısal olarak incelendiğinde ve bir kutu içine sokulmak istendiğinde bir kaçak akım koruma rölesi ve beraberinde bir otomatik sigorta büyüklüğünde olmaktadır. Bu şekilde bakıldığında ileride böylesine bir donanımın bu her iki fonksiyonu da beraberinde getirebiliyor olması ileride önemli teknolojik mesafeler kat edilmesine sebep olacaktır. Şu an elektrik piyasasında her iki korumayı da içeren hibrit bir kontrol sistemi bulunmamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Hamidia F., Boucherit M.,(2012). “Direct Torque Control with ANN Speed Controller based on Kalman filter for PMSM”, International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices, 12: 120-137.
- [2] Tripathy M., Maheshwari R.,(2010). “Improved transformer protection using probabilistic neural network and power differential method”, International Journal of Engineering, Science and Technology, 2(3):29-44.
- [3] Baioni V., (2012). Low voltage circuit breakers, working with trip characteristic curves, ABB publication, Italia.
- [4] Simon M., Antonova C.,(2012). “H2: Protective Relay Applications Using the Smart Grid Communication Infrastructure”,1(13):1-38.
- [5] Haykin S.,(1999). Neural Networks, Prentice Hall Publications, New Jersey.
- [6] Zavrel J., Daelemans W., (2011). “Computational Linguistics, Memory-Based Learning: Using Similarity for Smoothing”, Tilburg University Conference,11:95-98.
- [7] Koch C., (2010). ANN based controller design, California Institute of Technology Computation and Neural System Series, California.
- [8] Rao V., (2003). C++ Neural Networks and Fuzzy Logic, Paperback.
- [9] Rao R., Yahya M., (2008). “Neural Networks Applied for Fault Diagnosis of AC Motors”, ITSim International Symposium, 4(9):257-260.
- [10] Pinnekamp F.,(2009). “The circuit breaker, A showcase of industrial product development”, ABB publications, 12: 75-78.
- [11] Vbzquez E., Altuve J., Oscar L., (2012). “Neural Network Approach to Fault Detection in Electric Power Systems”, IJEET, 3:187-199.
- [12] Taalab A. I., Darwish H. A., Kawady T. A.,(1999). “ANN-Based Novel Fault Detector for Generator Windings Protection”, IEEE Transactions, 14(3):824-830.
- [13] Bhattacharya A., (2009). “Adaline Controlled 3-Phase 3-Wire Shunt Active Power Filter with Enhanced Performance Using the Capacitor Voltage Feedback”, IEEE International Conference, 2:1-6.

- [14] Bhattacharya A., (2009). "Shunt Compensation", IEEE Industrial Electronics Magazine, 3:38-49.
- [15] Vu K., Miroslav M., (2009). "Grids Get Smart Protection and Control", IEEE Xplore, 40-44.
- [16] Najibi N., (2009). "Artificial Intelligence Based Tuning of SVC Controller for Co-generated PowerSystem", ISMA International Symposium, 1-5.
- [17] Krose B., Smagt P., (1996). An introduction to Neural Networks, The University of Amsterdam, Hollanda.
- [18] Nielsen F., (2001). Neural Networks – algorithms and applications, Niels Brock Business College, U.K.
- [19] Abbott L. F., (1990). "Learning in neural network memories", Brandeis University publication, 1:105-122.
- [20] Pardo B., (2009). Machine Learning, EECS 349, UK.
- [21] Rojass R., (1996). Backpropagation Algorithm, Springer-Verlag, Germany.

Kaynak Kodu

A-1 Prototip Programın Kaynak Kodu

C++ kaynak kodu Borland Delphi 5.0 derleyicisi ile derlenmiş olup ilgili program rutinleri debugging modunda ve run modunda ayrı ayrı çalıştırılarak test edilmiştir.

Aşağıdaki kaynak kodu bu derleyicide çalışan C++ kodunu göstermektedir ve açıklamalarıyla her bir fonksiyonun, önemli değişkenlerin ve alt programların ne şekilde çalıştığı detaylı olarak açıklanmıştır.

Gösterilmekte olan bu kod Windows tabanlı çalışan .exe uzantılı dosyanın C++ kodu olup indikatörleri ve gösterimsel ifadeleri olan bir prototip program niteliğindedir.

Kod içinde belirtilmekte olan algoritmaların birebir aynı versiyonlar gömülü yazılım içinde mikrodenetleyiciye has değişkenler içinde yazılmış olup gerçek zamanlı sistem bu kod üzerinden icra edilmektedir.

A-1-1 Standart Başlık Dosyaları

Standart c++ başlık dosyalarının yer aldığı bölümdür.

Sigmoid fonksiyonu, zamanlama, standart c/c++ fonksiyonları, mikrodenetleyiciye ait standart çalışma ve register dosyaları, interrupt fonksiyonları gibi önemli işletim dosyaları bu başlık dosyaları altında tutulmaktadır.

Include sözcüğü bu dosyaların içerilmesi için kullanılan bir keyword niteliğindedir.

Kaynak kodu gösterimi :

```
#include <iostream.h>
```

```
#include <math.h>
```

```
#include <conio.h>
```

```
#include <time.h>
```

```
#include <hidef.h>
```

```
#include <stdio.h.>
```

```
#include "derivative.h"
```

A-1-2 Tanımlamalar

Bu bölüm ön tanımlamaların yer aldığı bölümdür. Nöron sayılarının INPUTSIZE olarak belirlendiği bu bölümde giriş, çıkış ve ara katman ağırlık boyutları ayrıca belirlenmektedir.

Bu bölüm aynı zamanda hedeflenen değer ile hedeflenen hata değerinin belirlenmiş olduğu bölümdür.

Ön Epoch sayısı 5000 olarak belirtilmiş olup işlemcinin en az 5000 çevrim içinde yer alacak bir döngü içinde başarılı değer ulaşması beklenmektedir.

İzin verilen en başarılı hata 0.005 olarak belirlenmiş olup bu değer 0 ila 1 aralığı mantıksal çıkış olarak düşünüldüğünde yüzde 0.5 oranında başarıya denk gelmektedir. Sonuç olarak işlemciye bir miktar hata yapma toleransı tanınmaktadır.

Kaynak kodu gösterimi :

```
#define INPUTSIZE2
```

```
#define IN_WEIGHTSIZE4
```

```
#define MID_WEIGHTSIZE2
```

```
#define INPUT8
```

```
#define PAIR2
```

```
#define TRIAL1
```

```
#define EPOCHS5000
```

```
#define TARGET0.5
```

```
#define TARGET_ERROR 0.005
```

A-1-3 Nesneye Dayalı Çalışma İçin Atanan Sınıflar

Tüm ağın kendi içinde nesnel olarak gösterilmiş olduğu sınıf tanımlamalarının yer aldığı bölümdür. Girişler, ara değerler, ağırlıklar genel itibariyle float değişkenli

Pointer'lar olarak tanımlanmaktadır.

Class hiyerarşisine göre Private sınıfın içindeki değişken veya komponentlere yalnızca o sınıfın içindeki fonksiyonlar veya değişkenler erişebilmektedir. Bu yolla giriş katmanları, ara katmanlar ve çıkış katmanlarına yalnızca o sınıfa üye nesnelere erişilmesi amaçlanmıştır.

Bu sınıfın içinde aynı zamanda katmanlardaki ağırlıkların ve değerlerin güncelleme işlemleri yapılmaktadır. **Ann_net** olarak adlandırılan bu sınıf içinde float nitelikteki giriş değerleri, giriş katmanındaki ve ara katmandaki tüm ağırlıklar ile geçici olarak kullanılan ve veri saklamaya yarayan heap adındaki Private değişkenler yer almaktadır.

Bu sınıf aynı zamanda Giriş Kopyalama Fonksiyonu, Ağırlık Kopyalama Fonksiyonu, Çıkış Hatası Hesaplama Fonksiyonu, Çıkış Ağırlığı Güncelleme Fonksiyonu, Orta Katman Ağırlık Güncelleme Fonksiyonu gibi YSA fonksiyonlarını içinde barındıran sınıftır. Ana program fonksiyondan bu sınıfa direkt erişim sağlanmaktadır.

Kaynak kodu gösterimi :

```
class ann_net{  
  
    private:  
  
    float * input,*wgh,output,out_err,hid_err[MID_WEIGHTSIZE],  
           mid_out[MID_WEIGHTSIZE],heap[IN_WEIGHTSIZE];  
  
    public:  
  
    void cpy_input (float *);  
  
    void cpy_weight (float *);  
  
    float * forward_pass(int, int);  
  
    float output_error(int, float *);  
  
    float * upd_out_wgh(int);  
  
    void upd_mid_wgh(float[MID_WEIGHTSIZE] ,int);  
  
};
```

A-1-4 Giriş Kopyalama Fonksiyonu

Giriş nöron değerlerinin private member olarak atandığı fonksiyonu göstermektedir. Cpy_input fonksiyonu girişe gelen akım bilgisini m adındaki sınıf değişkeninin içine kaydetmektedir. Bu şekilde girişe gelen yani transdüserlerden okunan her değer sınıf hiyerarşisine göre saklanabilmektedir.

Kaynak kodu gösterimi :

```
void ann_net::cpy_input(float *m){  
    input = m;  
}
```

A-1-5 Ağırlık Kopyalama Fonksiyonu

Güncellenmiş ağırlıkların private member olarak atandığı ve sınıf hiyerarşisine göre saklandığı fonksiyonu göstermektedir. Cpy_weight adlı bu fonksiyonda değerler yine float tipinde birer değişken olarak saklanmaktadır.

Kaynak kodu gösterimi :

```
void ann_net::cpy_weight(float *m)  
{  
    wgh = m;  
}
```

A-1-6 İleriye Öteleme (forward pass) Fonksiyonu

Bu fonksiyon hesaplama için ilk adımda kullanılan fonksiyondur. Tüm nöronların kendine bağlı buldukları ağırlıkları ile çarpılarak orta katmana ait çıkış değeri hesabı burada yapılmaktadır. Ardından bu değer sigmoid fonksiyonuna tabi tutularak doğruluk derecesine yakınlığı tespit edilmektedir.

Genel olarak burada her bir nöronun bağlı olduğu toplam fonksiyonu ile sigmoidal çıkış değerinin bulunduğu söylenebilir.

Kaynak kodu gösterimi :

```
float * ann_net::forward_pass(int m,int n )  
{
```

```

int i=0,j=0,t=0,k;

float sum;

while (j<m) {

    for(k=0;k<2;k++) {

        sum += input[i]*wgh[j];

        j++;

        i++;

    }

    mid_out[t] = 1.f/(1.f + exp(-sum));

    i=0;

    sum =0;

    t++;

}

k=0;

return mid_out;

}

```

A-1-7 Çıkış Hatası Hesaplama Fonksiyonu

Forward pass fonksiyonuna benzer şekilde çıkış katmanına ait çıkış değerlerinin hesaplarının yağıldığı rutindir. Bulunan bu çıkış değerleri yine daha önceki fonksiyonda olduğu gibi sigmoid fonksiyonuna tabi tutulmakta ve doğruluk derecesine yakınlığı tespit edilmektedir. Bu hesaplamalardan sonra hedefte arzu edilen değer ile çıkış değeri karşılaştırılarak fonksiyon hata değeri ortaya çıkarılmaktadır ve fonksiyon bu değer dönmektedir.

$$(hedeflenen\ değer - \u00e7ıkış\ değeri) \times (1 - \u00e7ıkış\ değeri) \times (\u00e7ıkış\ değeri) = e \dots (37)$$

Kaynak kodu g\u00f6sterimi :

```

float ann_net::output_error(int m, float a[MID_WEIGHTSIZE]) {

    int i=0;

```

```

for (i=0;i<MID_WEIGHTSIZE;i++) {
    mid_out[i]= a[i];
}
float sum = 0;
i=0;
while(i<m) {
    sum += mid_out[i]*wgh[i];
    i++;
}
output = 1.f/(1.f + exp(-sum));
return out_err = (TARGET-output)*(1-output)*output;
}

```

A-1-8 Çıkış Ağırlığı Güncelleme Fonksiyonu

Çıkış hatası hesaplandıktan sonra çıkış ağırlıkları hata değerine bağlı olarak Güncellenmesi işlemi çıkış ağırlığı güncelleme fonksiyonu içinde yapılmaktadır.

yeni ağırlık = eski ağırlık + (çıkış hatası x orta katman çıkış değeri)....(38)

Çıkış hatasında olduğu gibi gizli katman hatası da aşağıda gösterilen eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır.

gizli katman hatası = gizli katman ağırlık değeri x çıkış hatası x (1-çıkış değeri) x çıkış değeri....(39)

Bu fonksiyon sonrasında gizli katman hatasına dönmektedir.

Kaynak kodu gösterimi :

```

float *ann_net::upd_out_wgh(int n){
    int i;
    for (i=0;i<MID_WEIGHTSIZE;i++){
        wgh[i] = wgh[i]+(out_err*mid_out[i]);
        hid_err[i] = wgh[i]*out_err*(1.f-output)*output;
    }
}

```



```

    }
    return hid_err;
}

```

A-1-9 Orta Katman Ağırlık Güncelleme Fonksiyonu

Orta katman ağırlık güncelleme fonksiyonu içerisinde yeni gizli katman ağırlıklarının hesabı aşağıda verilen eşitlik yardımıyla yapılmaktadır.

*yeni ağırlık = eski ağırlık + (hata*giriş değeri)...(40)*

Kaynak kodu gösterimi :

```

void ann_net::upd_mid_wgh(float m[MID_WEIGHTSIZE], int n) {
    int i,j,k,l=0;
    for (i=0;i<MID_WEIGHTSIZE;i++) {
        hid_err[i]=m[i];
    }
    for(j=0;j<MID_WEIGHTSIZE;j++) {
        for(k=0;k<MID_WEIGHTSIZE;k++) {
            heap[l] = hid_err[j]*input[k];
            l++;
        }
    }
    for (i=0;i<IN_WEIGHTSIZE;i++){
        wgh[i] = wgh[i]+ heap[i];
    }
}

void delay (int t)
{
    int k;

    while(k<t){k++;cout<<" ";}
}

```

```
clrscr();  
}
```

A-1-10 Öğrenme Modu

Öğrenme modunun yer aldığı ana fonksiyondur. Orta katman ve ara katman adında iki adet nesneyi barındırmaktadır.

Sistem üzerinde 200 epochs döngüsü ile başlanmaktadır. En başarılı epochs sayısı ideal olarak belirlenmekte ve epochs değişkeni belirlenen bir önceki değerler yer değiştirmektedir. Epochs güncellemesi bu fonksiyonun içinde yapılmaktadır.

Bu fonksiyon aynı zamanda di/dt ve dV/dt değerlerin alındığı giriş konsoludur. Program bilgilendirme amacıyla prototip olarak bu şekilde tasarlanmıştır. Gerçek zamanlı programlamada bu değerleri mikrodenetleticinin ADC girişlerine otomatik olarak transdüserler ile iletilmektedir. En başarılı hata değeri bu fonksiyon içinde belirlenmektedir.

Giriş katman ağırlıkları ile orta katman aralıkları sabit ve her bir hücre karşılığı için birbirlerine eşit değerler seçilmiştir. Diğer taraftan bu değerlerin sabit olarak belirlenmesinden önce bulanık mantık yaklaşımı ile belirlenmesi de mümkün olabilir. İlgili yazılım tasarımında bu dikkate alınmamakla beraber işletme koşullarındaki akım ve gerilim değerlerinin farklılıklarının bulanık bir yaklaşımla analiz edilmesi de ileride dikkate alınacak önemli bir nokta olacaktır. Şebekeden çekilen akımların LED, floresan gibi saf düşük aydınlatma yükleri olması durumu ile şebekede fan coil, kesme makinesi veya matkap çalışması gibi farklı durumlarda kesici farklı bir davranış modu sergilemeli ve dolayısıyla verdiği ağırlık değerleri bulanık mantığa göre farklılık arz etmelidir.

Kaynak kodu gösterimi :

```
int learn_the_grid() {  
    ann_net in_layer , mid_layer;  
  
    int x,y,t=0;  
  
    float m=1, epochs=200;  
  
    float in[INPUTSIZE] ;  
  
    float input_weight[IN_WEIGHTSIZE]={0.2,0.2,0.2,0.2};  
  
    float mid_weight[MID_WEIGHTSIZE]={0.5,0.5};
```

```

int i,j;

float data;

for (i=0;i<INPUT;i++) {
    for (j=0;j<PAIR;j++) {
        if (j==0) {
            cout <<i<<". di/dt degeri ===" << " == data set" << "[" << i << "]" = ";
            cin >> data;
            cout << endl;
            cout << endl;
            in[j] = data;
        }
        else {
            cout <<i<<". dV/dt degeri ===" << " == data set" << "[" << i << "]" = ";
            cin >> data;
            cout << endl;
            cout << endl;
            in[j] = data;
        }
    }
}

clrscr();

in_layer.cpy_input(in);

float input_weight[IN_WEIGHTSIZE]={0.2,0.2,0.2,0.2};

float mid_weight[MID_WEIGHTSIZE]={0.5,0.5};

in_layer.cpy_weight(input_weight);

mid_layer.cpy_weight(mid_weight);

for(x=0;m>TARGET_ERROR;x++) {

```

```

m = mid_layer.output_error(MID_WEIGHTSIZE,
    in_layer.forward_pass(IN_WEIGHTSIZE,t));
if(m<0) m=-m;

in_layer.upd_mid_wgh(mid_layer.upd_out_wgh(t),t);

t++;

}

cout << " Hesaplanan en basarili hata = " << m << endl;

cout << endl;

cout << endl;

cout << " Istenilen en dusuk hata = " << TARGET_ERROR << endl;

cout << endl;

cout << endl;

m=1;

if (x< epochs){

    epochs = x;

}

cout << "Loop sayisi = " << x<< endl;

cout << "Epoch sayisi = " << epochs << endl;

cout << endl;

cout << endl;

}

return epochs;

}

```

A-1-11 Başlangıç Anonsu

Prototip programın başlangıç anonsu burada yapılmaktadır. Kullanıcının yapması gereken işlemleri ve hangi tuşlara basması gerektiğini duyurur. Programın genel giriş fonksiyonudur.

Kaynak kodu gösterimi :

```
void starting_announce() {  
    int x;  
  
    cout << "---Yapay Sinir Agi Kullanan Sebeke algilayici ogrenme modu---"<<endl;  
  
    cout << endl;  
  
    cout << endl;  
  
    cout << "Sirasiyla akim ve gerilim degerlerini 8'lik data set halinde girin, devam  
    etmek için bir tusa basin "<<endl;  
  
    while (cin >> x){  
        break;  
    }  
    clrscr();  
}
```

Aktivasyon mesajı activation_msg fonksiyonunda kullanıcıya iletilmektedir.

Kaynak kodu gösterimi :

```
void activation_msg(int n) {  
    int x;  
  
    cout << "Ogrenme modu basariyla tamamlanmistir. " << endl;cout << endl;  
  
    cout << "Sistemin istenilen en dusuk hatasi = " << TARGET_ERROR << endl; cout  
    << endl;  
  
    cout << "Ogrenme moduyla bulunan EPOCH sayisi = " << n << endl; cout << endl;  
  
    cout << "Devam etmek icin bir tusa basin " << endl; cout << endl;  
  
    while (cin >> x){  
        break;  
    }  
  
    clrscr();  
}
```

A-1-12 İşletme Modu

Sistemin normal çalışma sırasındaki data değerleri işletme modu fonksiyonu içinde alınmaktadır. Bu rutin sırasında öğrenme modu artık tamamlanmış, cihaz aktif çalışma moduna geçmiştir. Kullanıcı tarafından (gerçek zamanlı sistemde şebeke tarafından) girilen bu değerlere YSA fonksiyonları yine uygulanarak bulunan epochs sayısı ile en kötü normal koşula göre hesaplanan epochs sayısı karşılaştırılmaktadır. Eğer bulunan epochs sayısı daha önceden tahmin edilenden büyükse fonksiyon True'ya, tersi durumda ise fonksiyon False'a dönmektedir. Gerçek zamanlı, mikrodenetleyicili gömülü yazılımda kullanıcı tarafından girilen bu verilerin yerine analogdan sayısala çevrilmiş akım ve gerilim değerleri bulunmaktadır.

Kaynak kodu gösterimi :

```
bool normal_operated(int n) {  
    int x,i,j,t=1;  
    float dat,m=1;  
    float in[INPUTSIZE] ;  
    ann_net in_layer , mid_layer;  
  
    cout << "Simdi sirasiyla sistemin ogrenme sonrasindaki akim ve gerilim yukselme  
suresini girin, devam etmek icin vir tusa basin..." << endl;  
  
    cout << endl;  
  
    cout << endl;  
  
    while (cin >> x) {  
        break;  
    }  
  
    clrscr();  
  
    for (i=0;i<TRIAL;i++) {  
        for (j=0;j<PAIR;j++) {  
            if (j==0){
```

```

    cout <<i<<". di/dt degeri ==="<< "==" data set"<< "["<< i << "] = ";

    cin >> dat;

    cout << endl;

    cout << endl;

    in[j] = dat;

}

else{

    cout <<i<<". dV/dt degeri ==="<< "==" data set"<< "["<< i << "] = ";

    cin >> dat;

    cout << endl;

    cout << endl;

    in[j] = dat;

}

}

clrscr();

in_layer.cpy_input(in);

float input_weight[IN_WEIGHTSIZE]={0.2,0.2,0.2,0.2};

float mid_weight[MID_WEIGHTSIZE]={0.5,0.5};

in_layer.cpy_weight(input_weight);

mid_layer.cpy_weight(mid_weight);

for(x=0;m>TARGET_ERROR;x++){

    m = mid_layer.output_error(MID_WEIGHTSIZE,
    in_layer.forward_pass(IN_WEIGHTSIZE,t));

    if(m<0) m=-m;

    in_layer.upd_mid_wgh(mid_layer.upd_out_wgh(t),t);

```

```
}  
if(x>=n) return true;  
else return false;  
}  
}
```

A-1-13 Ana Fonksiyon

Ana program fonksiyonu olan Main fonksiyonu içinde temel değişkenler, nesnelere, ağırlıklar, ihbarlar ve ana fonksiyonlara çağrılar bulunmaktadır.

Giriş katmanı ve orta katman nesnelere tanımlanırken, giriş ağırlıklarının ve orta katman ağırlıklarının kaç tane olduğu ve hangi değerlere karşılık geldiği belirlenmektedir.

Fonksiyonun içinde aynı zamanda normal_operated fonksiyonuna gönderme yapılarak, devre kesicinin koruma yaparak kesme yapar hale geldiği veya koruma gerekmeyen durumlarda güvenli çalışmasına devam ettiğine ilişkin ihbar mesajları bulunmaktadır.

Bu haliyle fonksiyonun içinde temel program öğelerinin yer almakta olduğu söylenebilir.

Kaynak kodu gösterimi :

```
void main(){  
    int x,activation_rate;  
    ann_net in_layer , mid_layer;  
    int y,t=1;  
    float m=1;  
    float in[INPUTSIZE] ;  
    float input_weight[IN_WEIGHTSIZE]={0.2,0.2,0.2,0.2};  
    float mid_weight[MID_WEIGHTSIZE]={0.5,0.5};  
    int i,j;  
    float dat;  
    starting_announce();  
    activation_rate = learn_the_grid();
```



```

activation_msg(activation_rate);

if(!normal_operated(activation_rate)) {

    cout << "DEVRE KESICI ACTI" << endl;

    delay(20000);

    clrscr();

    cout << "ELEKTRIK SEBEKESINDE TERS GIDEN BIR SEY VAR :: IGBT
KORUMA DEVREDE " << endl;

}

else{

cout << "HER SEY NORMAL :: IGBT KAPALI DEVRE :: GUVENLI MOD
CALISMA" << endl;

}

while (cin >> x){

    break;

}

clrscr();

}

```

A-2 Mikrodenetleyici Programlama Arayüzü

Kabacak mikrodenetleyici içerisinde bulunan zamanlayıcı ve sinyal değerlendirme aygıtları şu şekilde çalıştırılmaktadır.

A-2-1 Analog Dijital Çevrim Arayüz Programı

- a. ADC giriş kanalı seçimi akım için PTA1 = ADP5, gerilim için PTA2 = ADP6 olarak yapılmaktadır.
- b. Difransiyel mode çevrimi devre dışı bırakılmaktadır.
- c. Vrefh ve Vrefl referans gerilimleri olarak seçilmektedir.
- d. Bus clock seçilerek 8 bitlik çevrim ayarlanmaktadır.
- e. Kısa örnekleme süresi seçilmektedir.

f. Normal güç konfigürasyonu seçilmektedir.

g. ADC interrupt etkinleştirilmektedir.

Kaynak kodu gösterimi :

```
int adc_init(){  
  
    ADCSC1A_AIENA = 0;  
  
    ADCSC1A_ADCHA = 5;  
  
    ADCSC1A_DIFFA = 0;  
  
    ADCSC2_REFSEL = 0x00;  
  
    ADCSC2_ACFE = 1;  
  
    ADCCV1L = 255;  
  
    ADCCFG1_ADICLK = 0x00  
  
    ADCCFG1_MODE = 0x00;  
  
    ADCCFG1_ADLSMP = 0;  
  
    ADCCFG1_ADIV = 0x00 ;  
  
    ADCCFG1_ADLPC = 0 ;  
  
    APCTL1_ADPC5=0;  
  
    ADCSC1A_AIENA = 1;  
  
    ADCSC2A_AIENA = 0;  
  
    ADCSC2A_ADCHA = 6;  
  
    ADCSC2A_DIFFA = 0;  
  
    ADCSC2_REFSEL = 0x00;  
  
    ADCSC2_ACFE = 1;  
  
    ADCCV2L = 255;  
  
    ADCCFG2_ADICLK = 0x00  
  
    ADCCFG2_MODE = 0x00;
```

```
ADCCFG2_ADLSMP = 0;
ADCCFG2_ADIV = 0x00 ;
ADCCFG2_ADLPC = 0 ;
APCTL2_ADPC5=0;
ADCSC1A_AIENA = 1;

return 0 ; }
```

A-2-2 Zamanlayıcı Arayüz Programı

- a. Watcdog devre dışı bırakılır.
- b. Öncelikle timer interrupt devre dışı bırakılır.
- c. Timer alçak bitleri set edilir.
- d. Daha sonra yüksek bitleri set edilir.
- e. Prescaler seçimi ps0 olarak yapılır.
- f. Timer frekansı osilatör değerine göre set edilir.
- g. Timer overflow bit silinir ve sayaç sıfırlanır.
- h. En son olarak timer counter başlatılır.

Kaynak kodu gösterimi :

```
int timer_init(){
    SOPT1_COPE=0;
    TPM1SC_TOIE = 0 ;
    TPM1MODL = 255;
    TPM1MODH =0;
    TPM1SC_PS0 = 0 ;
    TPM1SC_PS1 = 0 ;
    TPM1SC_PS2 = 0 ;
    TPM1SC_CLKSA = 0 ;
    TPM1SC_CLKSB = 1 ;
```

```
TPM1SC_TOF = 0 ;  
TPM1SC_CPWMS = 1 ;  
TPM1SC_TOIE = 1 ;  
return 0;}
```

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	:Sezgin SEZGİNER
Doğum Tarihi ve Yeri	:23 Temmuz 1980
Yabancı Dili	:İngilizce
E-posta	:sezginsezginer@yahoo.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektrik Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2003
Lise	Fen Bilimleri	Konak Vali Vecdi Gönül Lisesi	1998

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2014	EPC Elektromekanik	Ürün Müdürü
2006	Viko Elektrik ve Elektronik End.	Arge Laboratuvar Yetkilisi
2005	Siemens Elektrik ve Elektronik End.	Servis Mühendisi

YAYINLARI

Makale

1. Sezginer S., (2015). “Enerji Verimliliği Sistemlerinde Enerji Kalitesi Kaydedicileri”, 2015, ST-Otomasyon, 9:102-108

Bildiri

1. Sezginer S., Gülez K., Mumcu T., (2015). “Elektriksel Enerji Sistemlerinde Yapay Sinir Ağları İle İzolasyon Hatası Tespiti”, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, Bildiri No: 70: 905-909.

Proje

1.INNOARC, devre kesici tasarım proje ekibi uzman mühendisi,2012-2014 – Viko by Panasonic

2.Access Control Systems in Hospitals – Motorola

3.Test Data Acceptance Programme,2014 – VDE Prüf und Zertifizierungsingstitute

4.EMC Laboratuvarı Projesi, 2013 – Viko by Panasonic

5.IEC-WMT testing laboratory workshops, 2012-2014 – VDE, TSE

ÖDÜLLERİ

1.Flash Microcontroller Design Contest – Motorola

2. Öneri Ödülü – Viko by Panasonic