

79 109

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPAY SİNİR AĞLARI KONTROLUNA DAYALI STATİK VAR KOMPAZATÖRÜNÜN PSPICE İLE SİMÜLASYONU

Elek. Yük. Müh. Bekir MUMYAKMAZ

F.B.E Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan

DOKTORA TEZİ

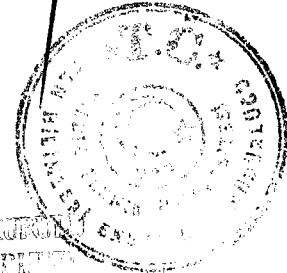
79 109

Tez Savunma Tarihi
Tez Danışmanı
Üye
Üye

: 15 Haziran 1998
: Prof. Dr. Hüseyin ÇAKIR (Y.T.Ü)
: Prof. Dr. Nusret YÜKSELER (İ.T.Ü)
: Prof. Dr. Fahrettin ASLAN (İ.Ü)

[Handwritten signatures]

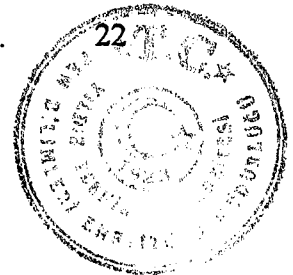
İSTANBUL, 1998



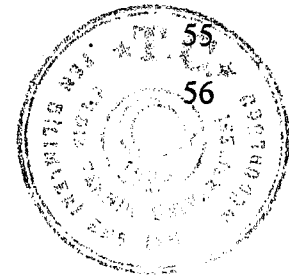
T.C. YÜKSEKÖĞRETİM BAKANLIĞI
DOKÜMAN YAKIN

İÇİNDEKİLER

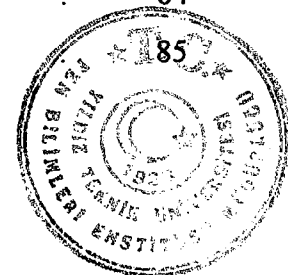
	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
TÜRKÇE ÖZET	ix
ABSTRACT	x
TEŞEKKÜR	xi
1. GİRİŞ	1
2. YÜKSEK GERİLİMLİ DOĞRU AKIM (HVDC) İLE TAŞIMA.	4
2.1 Konunun Tanıtımı	4
2.2 HVDC Sistem Konfigürasyonları ve Bileşenleri	5
2.2.1 HVDC Linklerinin Sınıflandırılması	5
2.2.2 HVDC Taşıma Sisteminin Bileşenleri	8
2.3 HVDC Sistemde Akım ve Gerilimler Arası İlişkiler	10
2.4 Çok Köprülü Konverterler	13
2.5 Çok Köprülü Konverterlerde Eşitlikler.	15
2.6 Harmonikler ve Filtre Devreleri.	16
2.6.1 AC Taraftaki Harmonikler	16
2.6.2 DC Taraf Harmonikleri	19
2.7 DC Taşıma ve Reaktif Güç İhtiyacı	21
3. STATİK VAR SİSTEMLERİ.	22
3.1 Terminoloji	22
3.2 Statik Var Kompanzatör Tipleri.	22



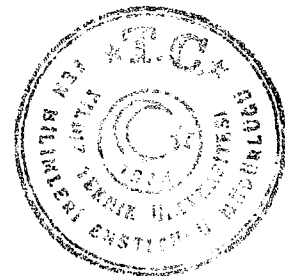
3.3	Bir Statik Var Sisteminin Temel Frekanstaki Performansı	23
3.3.1	İdeal Statik Var Sisteminin Karakteristiği	23
3.3.2	Pratikteki (İdeal Olmayan) Statik Var Sisteminin Karakteristiği.	24
3.3.3	Güç Sistem Karakteristiği	25
3.3.4	SVS ve Güç Sistemi Bileşke Karakteristiği	26
3.3.5	Kademeli Kapasitör Kullanmanın Etkisi	28
3.4	Tristör Kontrollü Reaktör (TCR)	29
3.4.1	Çalışma Prensibi	29
3.4.2	Harmonikler	33
3.4.3	Dinamik Davranış	35
3.5	Tristör Anahtarlama Kapasitör (TSC)	35
3.5.1	Çalışma Prensibi	35
3.5.2	Dinamik Davranış	37
3.6	Mekanik Anahtarlama Kapasitör (MSC)	38
3.7	Uygulamadaki Statik Var Sistemleri	39
3.8	Statik Var Kompanzatörlerinin Uygulanma Alanları	41
3.9	Statik Var Sistemlerinin Modellenmesi.	42
3.9.1	Statik Var Sisteminin (SVS) Güç Akış Analizindeki Eşdeğeri	43
3.9.2	Statik Var Sisteminin Stabilitate Analizindeki Eşdeğeri.	44
4.	YAPAY SİNİR AĞLARI	50
4.1	Giriş	50
4.2	Biyolojide Nöron ve Nöronun Matematiksel Modeli	50
4.3	Yapay Sinir Ağının Yapısı	52
4.3.1	İşlem Elemanı	52
4.3.2	Giriş İşareti Sınıfları	53
4.3.3	Bağlantı Geometrilere	55
4.3.4	YSA Ağ Tipleri	55
4.3.5	Eşik Fonksiyonları	56



4.3.6	Ağırlık Uzayı	57
4.4	Yapay Sinir Ağlarında Eğitim	60
4.4.1	Eğitim Algoritmaları	60
4.4.2	YSA'da Bilgiyi Saklama	60
4.4.3	Hata Toleransı	61
4.5	Öğrenme Kuralları	62
4.5.1	Perceptron (İdrak,Almaç)	62
4.5.2	Çok Katmanlı Perceptron (Multi-Layer Perceptron)	64
4.5.3	Hatanın Geriye Yayılması Algoritması ve Genelleştirilmiş Delta Kuralı	65
4.6	Hatanın Geriye Yayılması Algoritmasının Geliştirilmesi.	70
4.6.1	Bağlantı Ağırlıklarının Atanması.	70
4.6.2	Öğrenme Katsayısı.	71
4.6.3	Momentum Katsayısı	71
4.6.4	Levenberg- Marquardt Optimizasyon Metodu.	72
4.7	YSA Kullanımının Sebepleri	73
4.8	YSA'nın Klasik Yazılımlar ile Karşılaştırılması.	73
5.	YAPAY SİNİR AĞLARI KONTROLUNA DAYALI STATİK VAR KOMPANZATÖRÜNÜN MODELLENMESİ.	75
5.1	Giriş	75
5.2	Sistemin Modellenmesi.	77
5.2.1	Kaynağın Modellenmesi.	77
5.2.2	Yükün Modellenmesi	77
5.2.3	Statik Var Kompanzatörünün Modellenmesi	79
5.3	Ölçme ve Kontrol Devreleri	81
5.3.1	Statik Var Kompanzatörünün Kontrol Blok Diyagramı.	81
5.3.2	Yük Akımının Örneklenmesi	83
5.3.3	Yük Akım ile Gerilimi Arasındaki Faz Farkının Örneklenmesi.	84
5.3.4	Yükün Reaktif Enerji İhtiyacının Değiştirilmesi.	

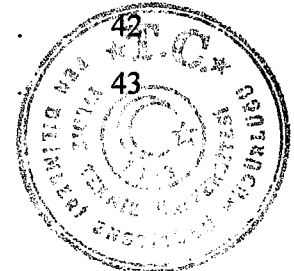


5.3.5	Statik Var Kompanzatörü Elemanlarının Kontrolü.	86
5.4	YSA Kontrolörlerinin Eğitilmesi.	89
5.5	YSA Kontrolörlerinin Test Edilmesi.	97
6.	SAYISAL UYGULAMA	99
6.1	Tristör Kontrollü Reaktörün (TCR) Performansına ait Uygulama	99
6.2	Tüm SVC Sisteminin Performansına ait Uygulama	102
SONUÇLAR VE ÖNERİLER		106
KAYNAKLAR		110
ÖZGEÇMİŞ		113

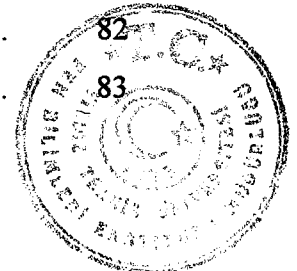


ŞEKİLLER LİSTESİ

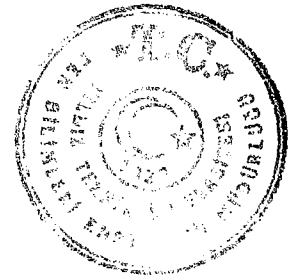
	Sayfa
Şekil 2.1 Monopolar HVDC Link	5
Şekil 2.2 Bipolar HVDC Link	6
Şekil 2.3 Homopolar HVDC Link	7
Şekil 2.4 Bipolar HVDC Sisteminin Ana Bileşenlerini Gösteren Şema	9
Şekil 2.5 12-Darbeli Köprü Konverter Bağlantısı.	13
Şekil 2.6 Doğru Gerilim ve Alternatif Akım Dalga Şekilleri	14
Şekil 2.7 Çok Köprülü Konverter Sistemi Eşdeğer Devresi	15
Şekil 2.8 Tipik Filtre Sistemi Konfigürasyonu	19
Şekil 3.1 İdealize Statik Var Sistemi	23
Şekil 3.2 İdeal Kompanzatorün V/I Karakteristiği	24
Şekil 3.3 Statik Var Kompanzatorünün Bileşke Karakteristiği	25
Şekil 3.4 Güç Sisteminin Gerilimine Karşılık Reaktif Akımının Değişimi	26
Şekil 3.5 Verilen Sistem Şartları İçin SVS İşletme Noktasının Grafik Yöntemle Bulunması	27
Şekil 3.6 Dairmi Kontrol Aralığını Arttırmak İçin Kademeli Kapasitör . Grubu Kullanımı	29
Şekil 3.7 Tristör Kontrollü Reaktör	30
Şekil 3.8 TCR'ın Temel Bileşen Gerilim- Akım Karakteristiği	32
Şekil 3.9 Üç Fazlı TCR Uygulamaları	34
Şekil 3.10 Tristör Anahtarlama Kapasitör (TSC).	35
Şekil 3.11 TSC'nin Devreye Alınıp Çıkarılması	36
Şekil 3.12 Tristör Anahtarlama Kapasitör Devresi	37
Şekil 3.13 TSC ve Güç Sisteminin V/I Karakteristiği	38
Şekil 3.14 Tipik Bir Statik Var Sistemi	40
Şekil 3.15 Statik Var Sisteminin Kararlı Hal Karakteristikleri	40
Şekil 3.16 Tipik Bir Statik Var Sisteminin Şeması.	42
Şekil 3.17 Kararlı Hal V/I Karakteristiği	43



Şekil 3.18	Statik Var Sisteminin Kararlı Hal Eşdeğer Devreleri . . .	44
Şekil 3.19	Güç Sistem Analizi İçin SVS'nin Temsili Gösterimi . . .	44
Şekil 3.20	Statik Var Sisteminin Fonksiyonel Blok Diyagramı . . .	45
Şekil 3.21	Tristör Kontrollü Reaktör Blok Modeli . . .	46
Şekil 3.22	Tristör Kontrollü Reaktör Bloğunun Basitleştirilmiş Modeli . . .	46
Şekil 3.23	Voltaj Regülatörü Modelleri	47
Şekil 3.24	Tristör Anahtarlama Kapasitör	48
Şekil 3.25	Kombine TSC ve TCR Blok Diyagramı	49
Şekil 3.26	TCR ve Sabit Kapasitörden Oluşan SVC'nin Basitleştirilmiş Modeli	49
Şekil 4.1	Nöronun Matematiksel Modeli.	51
Şekil 4.2	YSA'nın Blok Diyagramı	52
Şekil 4.3	YSA Genel İşlem Elemanı Yapısı	53
Şekil 4.4	Tetikleyici ve Yasaklayıcı Girişlere Sahip Bir İşlem Elemanı . . .	54
Şekil 4.5	Yapay Sinir Ağları Sınıflandırıcıları	54
Şekil 4.6	Çok Kullanılan Eşik Fonksiyonları	56
Şekil 4.7	Üç Boyutlu Uzayda Ağırlık Vektörünün Değişimi	58
Şekil 4.8	MLP'nin İzole Edilmiş Hali	61
Şekil 4.9	Perçepton Yapısı ve Transfer Fonksiyonu	62
Şekil 4.10	Lineer Olarak Ayrılabilirliğin Gösterimi	63
Şekil 4.11	Çok Katmanlı Perçepton	64
Şekil 4.12	Hatanın Geriye Yayılması Algoritmasının Blok Akış Diyagramı	65
Şekil 4.13	Gizli Katman Olmayan Ağın Hata Fonksiyonu.	67
Şekil 4.14	Gizli Katmana Ait Ağın Hata Fonksiyonu	67
Şekil 5.1	Simülasyonu Yapılan Sistemin Basit Eşdeğer Devresi.	76
Şekil 5.2	Yük Modeli ve Tristör Tetikleme Devreleri	78
Şekil 5.3	Statik Var Kompanzatorü TCR Devresi	80
Şekil 5.4	Tristör Anahtarlama Kapasitör Devresi	80
Şekil 5.5	Filtrelere ait Kapasitör ve Ana Devre Şeması	81
Şekil 5.6	Statik Var Kompanzatorü Kontrol Blok Diyagramı	82
Şekil 5.7	Yük Akımını Örnekleyici Ölçme Devresi	83

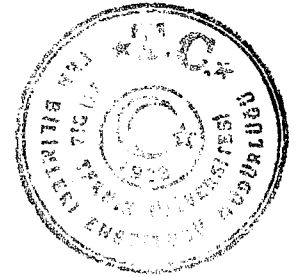


Şekil 5.8	Yük Akımı ile Gerilimi Arasındaki Faaz Farkının Eldesi	84
Şekil 5.9	Yük Reaktif Enerji İhtiyacının Kontrolü	85
Şekil 5.10	Kapasitör ve Şebeke Gerilimlerinin Maksimumunun Bulunması	87
Şekil 5.11	TSC Kontrol Lojik Devresi ve YSA1	88
Şekil 5.12	SVC Tristör Kontrollü Reaktör Kontrol Devresi ve YSA2	89
Şekil 5.13	YSA2 Giriş ve Hedef Değerleri	93
Şekil 5.14	YSA2 Çıkışına ait Hata Değişimi Eğrisi	94
Şekil 5.15	YSA2'nin Eğitim Değerlerine Karşı Cevabı	94
Şekil 5.16	YSA2'nin Test Aşamasındaki Performansı	95
Şekil 5.17	YSA1 Çıkışına ait Hata Değişimi Eğrisi	95
Şekil 5.18	YSA1'in Eğitim Değerlerine Karşı Cevabı	96
Şekil 5.19	YSA1'in Test Aşamasındaki Performansı	96
Şekil 6.1	Yük ve SVC Reaktif Akımlarının Değişimleri	100
Şekil 6.2	Kaynak Gerilimi ve Yük Akımı Dalga Şekilleri	101
Şekil 6.3	Kaynak Gerilimi ve Akımı Dalga Şekilleri	101
Şekil 6.4	Kaynak Uçlarındaki Güç Faktörü Değişimi	102
Şekil 6.5	Yük ve SVC için Reaktif Akımların Değişimi	103
Şekil 6.6	Yük Akımı ve Kaynak Gerilimi Dalga Şekilleri	104
Şekil 6.7	Kaynak Akımı ve Geriliminin Dalga Şekilleri	104
Şekil 6.8	Kaynak Uçlarında Faz Farkı ve Güç Faktörü Değişimi.	105



ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 5.1 YSA Kullanılmadan Yapılan Simülasyon Sonuçları	89
Çizelge 5.2 YSA1 ve YSA2'nin Eğitime Değerlerine Karşı Cevabı	96



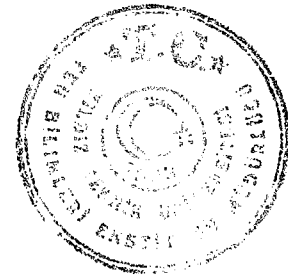
ÖZET

Yapay sinir ağları; örnek sınıflandırma, konuşma sentezi ve tanıma, fonksiyona yaklaşım, ilişkili bellek ve kontrole yönelik pek çok uygulamada kullanılmıştır. Adaptif yapıları ve paralel hesaplama özellikleri sebebiyle mühendislik biliminin geleceği için pek çok ümit vadetmektedir.

Bu çalışmada, yapay sinir ağlarının kontroldaki bir uygulaması sunulmuştur. Yüksek gerilimli doğru akım (HVDC) konverter merkezinin yük modeli olarak alındığı sisteme reaktif enerji sağlamak için modellenen statik var kompanzatörü, iki adet çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı ile kontrol edilmiştir. Sistemin simülasyonu, PSpice simülasyon paket programı ile gerçekleştirilmiştir.

İki tristör anahtarlama kapasitör (TSC), bir tristör kontrollü reaktör (TCR) ve bir sabit kapasitör bankasından (filtreleri temel frekansta temsil eden) oluşan statik var kompanzatörü; HVDC konverter merkezini temsil eden sabit direnç ve değişken reaktörlü bir yük, ve generatör ünitelerini toplu halde temsil eden bir kaynaktan oluşan sistem ele alınmıştır. Yapay sinir ağlarını eğitmek amacıyla PSpice programı kullanılarak 80 örnek seti elde edilmiştir. Bu örneklerin % 70'i ile ağlar eğitilmiş, geri kalan örneklerle ağlar test edilmiştir. Daha sonra yapay sinir ağlarının giriş çıkış eşlemeleri simülasyon programında ROM'a (Read Only Memory) yerleştirilmiştir. Statik var kompanzatörünü kontrol amacıyla iki ROM kullanılmıştır. Bunlardan birisi tristör anahtarlama kapasitörlerin devreye alınıp çıkarılmalarını belirlerken, diğeri de tristör kontrollü reaktörün tetikleme açısını belirlemektedir.

YSA'ları temsil eden ROM'ların da bulunduğu sistem tekrar PSpice Programı ile çalıştırılmıştır. Bu durumdaki yapay sinir ağlarının performansı çok iyi olduğu gözlemlenmiştir. YSA'lar kullanılarak güç faktörünün düzeltilmesi %2 hata ile gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak yapay sinir ağlarının statik var kompanzatörlerinin kontrolunda kullanılabileceği gösterilmiştir.



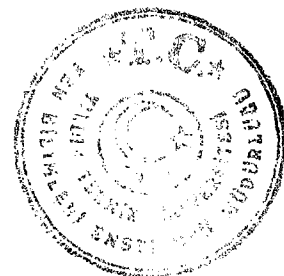
ABSTRACT

Artificial neural networks have been used in many applications of pattern classification, speech synthesis and recognition, function approximation, associative memory and control. They are promising a lot of hope for future of engineering, because of their adaptive nature and parallel computational features.

In this study, an application of Artificial Neural Network (ANN) in control has been presented. A Static VAR Compensator model that has been used to provide reactive energy for a load model of a HVDC converter station was controlled using two multi-layer feed forward neural networks. System simulation was made by PSpice simulation program.

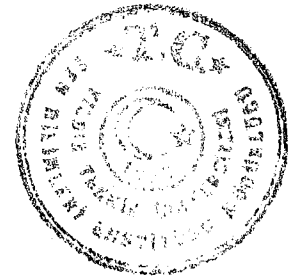
A system consisted of two thyristor switched capacitor banks (TSC), one thyristor controlled reactor (TCR) and one constant capacitor bank (representing filters at power frequency) in static var compensator (SVC); a load with a constant resistor and variable reactor to represent an HVDC converter station, and a source which represented lump generator units was taken into consideration. Total of 80 samples was gathered by using PSpice simulation program in order to train artificial neural networks. The networks were trained with 70 % of the samples and tested with the remaining samples. Then, ANN input-output mapping was put on Read Only Memory (ROM) in the simulation program. There were two ROMs that used to control the SVC. One of them determined "On-Off" status of the TSCs and the other predicted necessary firing angle of the TCR.

The system with the presence of ROMs that represented ANNs was simulated again by PSpice Program. ANNs performed very well. They provided power factor correction with a 2% error. In conclusion, it has been shown that artificial neural networks could be used to control of static var compensators.



TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında çok yakın ilgi ve yardımlarını gördüğüm; başta danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hüseyin ÇAKIR olmak üzere, tüm öğretim üyesi ve araştırma görevlisi meslektaşlarıma teşekkür ederim.



1.BÖLÜM

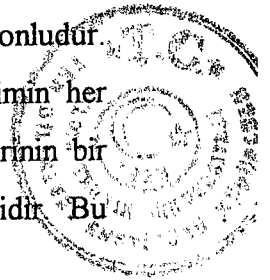
GİRİŞ

1.1 Konunun Tanıtılması

Modern güç sistemlerinde, sunulan elektrik servisinin kalitesi çok önemlidir. Bundan dolayı elektrik kurum ve şirketlerinden; mevcut sistem ve cihazları ekonomik olarak kullanarak, kullanıcılara sürekli ve kaliteli elektrik servisi vermeleri beklenir. Kaliteli elektrik servisinden anlaşılan, elektrik kullanıcılarına ihtiyaçları kadar enerjiyi belirli gerilim ve frekans sınırları içinde temin etmektir.

Elektrik güç sisteminde gerilimin belirlenen sınırlar içinde tutulabilmesi için yeterli düzeyde reaktif güç kaynaklarına ihtiyaç vardır. Reaktif enerji temini amacıyla iki tür kompanzasyon sistemi vardır. Bunlardan birisi dinamik, diğeri de statik sistemdir. Dinamik sistemde senkron kondanser adı verilen generatörler, sadece reaktif enerji üreten akım kaynağı görevi görür. Statik sistemde ise dönen parçalar yoktur, sistemin kendisi kaynak özelliği göstermeyip sadece kapasitif akım çekerler. Dinamik sistemin cevap süresi statik sisteme göre daha uzundur. Reaktif enerji ihtiyacının değişimine ve miktarına göre uygun kompanzasyon tercih edilir.

Güç sistemlerinin gelişimi ile birlikte enterkonnekte güç sistemlerinin problemleri de artmıştır. Büyüyen bu güç sistemlerinde stabilitenin sağlanması; enerjinin bir noktadan diğerk noktaya ekonomik olarak taşınması, değişik frekanslara sahip güç sistemlerinin birleştirilmesi zorunlulukları ve gücün akış yönünü ve miktarını kontrol etme gibi problemler yeni arayışlar getirmiştir. Bu problemlerin bir kısmına çözüm getirmesi sebebiyle günümüzde yüksek gerilimli doğru akım (HVDC) sistemleri çok yaygınlaşmıştır. Şu anda dünyada mevcut çoğu HVDC sistemleri hat komütasyonludur. Sistemin komütasyonu gerçekleştirebilmesi için alternatif akım tarafında gerilimin her zaman bulunması ve belirli seviyeler içinde tutulması gerekir. HVDC sistemlerinin bir diğerk özelliği alternatif akım tarafında çok büyük reaktif enerji gerektirmesidir. Bu



amaçla klasik HVDC sistemlerinde sabit kapasitör grupları kullanılmaktadır. Bu ise, sistemin ihtiyacının sürekli değişmesi sonucu AC tarafındaki güç faktörünün; bazen endüktif bazen de kapasitif güç faktörüne sahip olmasına ve kayıpların artmasına neden olur. Bu nedenle yeni yapılan HVDC sistemlerinde statik var kompanzatörleri (SVC) kullanılmaktadır. Statik var kompanzatörleri, çok hızlı cevap süresine sahip olmakla birlikte çok iyi kontrol sistemi gerektirirler.

Bu çalışmada; örnek bir HVDC sistemi modeli üzerinde, yapay sinir ağları ile yapılan statik var kompanzatörü kontrolü PSpice ile simüle edilmiştir. Çalışmaya model olarak alınan HVDC sistemi ve karakteristik özellikleri ikinci bölümde kısaca anlatılmıştır. Bu bölümde; HVDC sistem konfigürasyonları ve bileşenlerine yer verilmiş, sistemin alternatif akım tarafındaki güç faktörünün değişimi ve bu güç faktörüne etki eden faktörler ile HVDC sisteminin sebep olduğu harmoniklerden bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde yük modelinin güç faktörünü düzeltmek amacıyla tasarlanan statik var kompanzatörlerinin temel elemanları olan tristör kontrollü reaktör ve tristör anahtarlama kapasitörler incelenmiş ve bunların davranışlarına ait karakteristikler verilmiştir. Uygulamada kullanılan statik var kompanzatörü modelleri ile ilgili bilgilerin de yer aldığı bölümün sonunda, statik var kompanzatörlerinin kullanım amaçları belirtilmiştir.

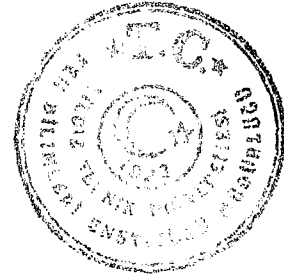
Statik var kompanzatörünün kontrolü amacıyla kullanılan yapay sinir ağları hakkında temel bilgiler dördüncü bölümde bulunmaktadır. Bu bölümde bir yapay sinir ağını oluşturan temel birim elemanı olan nöron yapısı ele alınmış ve bu nöronlarla elde edilen çeşitli ağ modellerine yer verilmiştir. Çalışmada çok katmanlı ağ modeli kullanıldığından bu modele ilişkin mimari yapı ve bu ağ modelinde kullanılan eğitime algoritmalarından bahsedilmiştir.

Beşinci bölümde; kontrolü yapay sinir ağı ile yapılan statik var kompanzatörünün PSpice ile modellenmesi ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Model sistem olarak,



HVDC sistemi ele alınmış olup, sistemde, üretim merkezi kısmının alternatif akım tarafındaki davranışını temsil eden yük modeli ve üretim merkezi generatörlerinden konverter tesislerine kadar olan kısmı temsilen ise bir kaynak modeli kullanılmıştır. Bunlar arasına da kontrolü yapay sinir ağları ile gerçekleştirilen statik var kompanzatörü modeli yerleştirilmiştir. Bu bölümde model, yapay sinir ağı kullanılmaksızın çalıştırılmış ve yapay sinir ağını eğitmek için gerekli veriler elde edilmiştir. Elde edilen verilerle; çok katmanlı perceptron ağı, Levenberg-Marquardt optimizasyon metodu ile eğitilmiştir. Yeterli performans sağlanınca; ağ, Pspice simülasyon programına dahil edilmiştir.

Statik var kompanzatörünü kontrol eden yapay sinir ağlarının uygulamadaki performansı ise altıncı bölümde incelenmiştir. Bu bölümde iki sayısal uygulamaya yer verilmiştir. Birincisinde tristör kontrollü reaktörü kontrol eden yapay sinir ağının performansı test edilirken; ikincisinde ise tristör kontrollü reaktör ve tristör anahtarlama kapasitörleri kontrol eden iki YSA'nın ikisi de test edilmiştir. Test sonucunda elde edilen verilerden, yapay sinir ağının statik var kompanzatörünü kontrol etmede kullanılabileceği görülmüştür.



2. BÖLÜM

YÜKSEK GERİLİMLİ DOĞRU AKIM (HVDC) İLE TAŞIMA

2.1 Konunun Tanıtımı [1]

Yüksek gerilimli doğru akım (HVDC) ile enerji iletiminin bazı durumlarda alternatif akımla enerji iletimine avantajı vardır. HVDC'nin ticari manada ilk uygulaması, İsveç mainland ile Gotland adası arasında 1954 te uygulamaya konuldu. Sistem mercury-arc valfleri kullanıyor ve 90 km lik sualtı hattıyla 20 MW enerji sağlıyordu. O zamandan bugüne dünyada HVDC kullanımında düzenli artış olmaktadır.

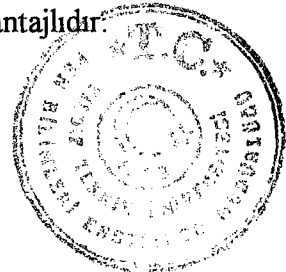
Tristör valfli konverterlerin çıkışıyla HVDC ile enerji taşıma daha da cazip hale geldi. Tristör valfi kullanan ilk HVDC sistemi, 1972 yılında yapılan ve Kanada'nın Quebec ile New Brunswick güç sistemlerini birbirine bağlayan 320 MW lık Eel River sistemidir. Tristör valfler, şu anda doğru akım konverterleri için standart cihazlar halini almıştır. Son gelişmelerle boyutları küçültülmüş, fiyatları düşürülmüş ve güvenilirlikleri artırılmıştır. 1987 de kuzey amerikadaki HVDC linklerinin taşıma kapasitesi 14000 MW'ın üzerine çıkmıştı.[2]

HVDC ile iletimin kullanıldığı bazı uygulamalar:

1- 30 km den uzun sualtı kabloları. Bundan daha büyük mesafeler için alternatif akımla taşıma, kablonun yüksek kapasitansa sahip olması ve ortalarında kompanzasyon merkezleri kullanılmasının gerekmesi sebebiyle pratik değildir.

2- Sistem stabilite problemleri veya farklı iki frekansın bulunduğu alternatif akım sistemleri arasında asenkron link.

3- Havai hatlarla çok uzun mesafelere çok büyük enerjileri taşıma için. 600 km nin üzerindeki mesafelerde alternatif akımla taşımaya göre ekonomik ve avantajlıdır.



HVDC sistemler, nakledilen enerji miktarını hızlı bir şekilde kontrol edebildikleri için, bağlandıkları AC sistemlerin stabilitelerinin sağlanmasında önemli tesire sahiptir. Güç sisteminin stabilize çalışmaları için HVDC sistem karakteristiklerinin iyi anlaşılması gereklidir. Bundan daha da önemlisi, tüm AC/DC sisteminin tatminkar bir performansa sahip olması için, HVDC kontrol sistemlerinin uygun dizaynı gereklidir.

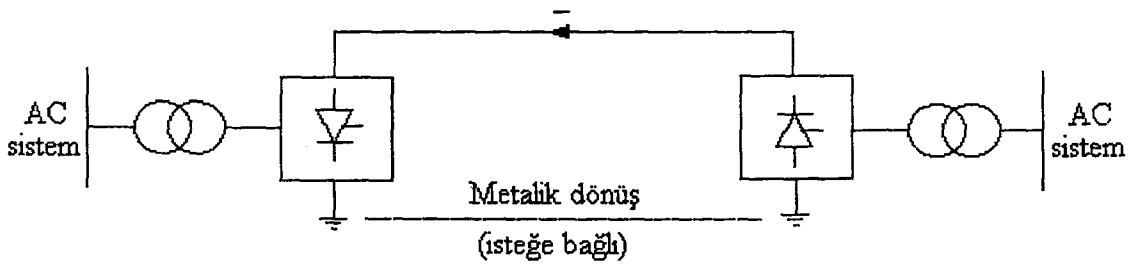
2.2 HVDC Sistem Konfigürasyonları ve Bileşenleri

2.2.1 HVDC Linklerinin Sınıflandırılması

HVDC linkleri ana başlık olarak üç kısımda ele alınabilir:

- Bir kutuplu (monopolar) linkler
- İki kutuplu (bipolar) linkler
- Aynı kutuplu (homopolar) linkler

Şekil 2.1 de monopolar bağlantının temel konfigürasyonu görülmektedir. Genelde negatif polariteden oluşan bir iletken kullanır. Dönüş yolu su veya toprakla sağlanır. Maliyet düşüncesi ile özellikle kablolu taşımada kullanılır. Bu tip konfigürasyon bipolar sistemin gelişiminde ilk adımdır.

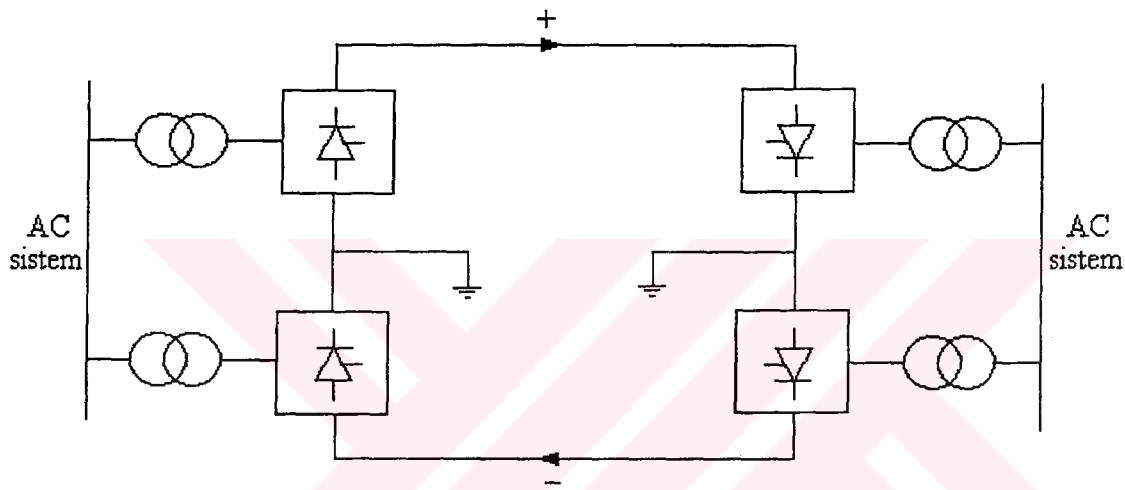


Şekil 2.1 Monopolar HVDC link

Toprak direncinin çok yüksek olduğu veya yeraltı/sualtı metalik yapılarının bulunduğu yerlerde toprak dönüşü kullanımı yerine metalik dönüş kullanılabilir.



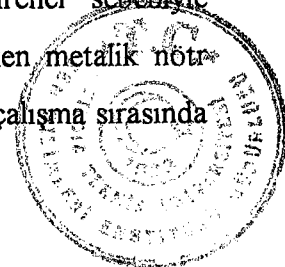
Bipolar link konfigürasyonu Şekil 2.2 de görülmektedir. Pozitif ve negatif omak üzere iki iletkeni vardır. Sistemin her terminali, DC tarafında seri bağlı eşit gerilime sahip iki konverter içerir. Konverterler arası bağlantı noktaları topraklanmıştır. Normalde konverterlerin akımı iki kutup içinde aynı olduğundan toprak dönüşünden akım akmaz. İki kutupta birbirinden bağımsız çalışabilir. Eğer iletkendeki bir arıza sebebiyle kutuplardan birisi devre dışı kalırsa, diğeri toprak üzerinden devresini tamamlayarak sistem yarı kapasitede veya konverterin ve hattın izin verdiği ölçüde aşırı yükte çalışmaya devam edebilir.



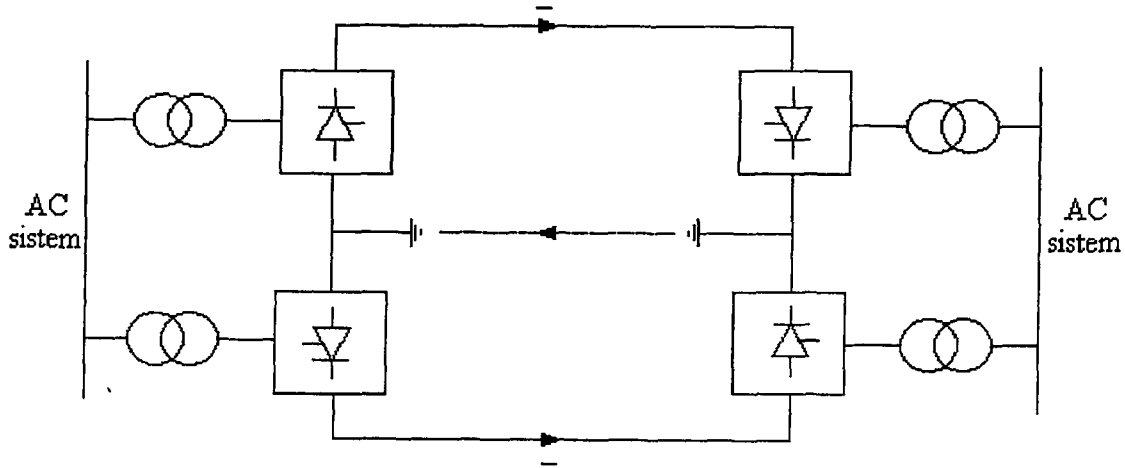
Şekil 2.2 Bipolar HVDC link

Yıldırım düşmesine karşı performans açısından bakıldığında bir bipolar HVDC link, çift devre alternatif akım taşıma hattı olarak düşünülebilir. Normal çalışma şartları altında; bipolar sistemde, harmoniklerin sebep olacağı yakın civardaki tesislerle rezonansa girme durumu monopolar sistemden daha az oranda olur. Gücün akış yönünün değiştirilmesi kontrollar aracılığıyla mekanik anahtarlama gereksizdir kutupların polaritelerini değiştirmekle gerçekleştirilir.

Toprak akımlarına izin verilmeyen veya yüksek toprak direnci sebebiyle topraklama elektrodunun uygun olmadığı durumlarda üçüncü bir iletken, metalik nötr olarak kullanılır. Bu iletken bir kutup devre dışı kaldığında veya bipolar çalışma sırasında



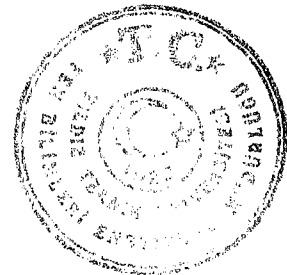
dengeşizlik olursa dönüş yolu vazifesi görür. Ayrıca, düşük izolasyon gerektirir ve havai hat için koruyucu tel vazifesi görür. Tam olarak yalıtıldığı durumda ise yedek vazifesi görebilir.



Şekil 2.3 Homopolar HVDC link

Konfigürasyonu Şekil 2.3 te görülen homopolar link aynı polariteye sahip iki veya daha fazla iletkeni sahiptir. Genelde korona sebebiyle meydana gelen radyo dalgaları daha az olduğu için negatif polarite tercih edilir. Bu tür sistemler için dönüş yolu toprak aracılığıyla olur. Bir iletken arıza olduğu zaman, kalan konverterler aşırı yüklenme kapasitesine sahip diğer iletkenleri besleyerek gerekli gücü taşımaya devam ederler. Arızalı kutbun toplam konverter sistemine tekrar bağlanması bipolar sistemde daha karmaşık olduğu için, sürekli toprak akımı geçmesine izin verilebilen yerlerde homopolar sistem bu yönden avantajlıdır.

Toprak akımının, sistem elektrotlarına birkaç km mesafedeki gaz yada petrol boru hatlarına yan etkileri olur. Boru hatları toprak akımı için iletken görevi görür ve bu da metalin korozyonuna sebep olabilir. Bu sebeple toprak dönüşü kullanan sistemler bazı durumlarda uygun olmayabilir.



Şimdiye kadar bahsedilen HVDC konfigürasyonlarının her biri; bir transformatör ve valf grubundan oluşan birkaç konverterin kaskad guplar halinde bağlanmasından oluşmuştur. Konverterler; istenilen seviyede kutuptan toprağa gerilimi elde edebilmek için alternatif akım (transformatör) tarafında paralel, doğru akım (valf) tarafında seri olarak bağlanırlar.

Doğru akım taşıma hattı olmaksızın bağlanan ve back-to-back HVDC sistemi olarak tabir edilen sistemler, istenilen güvenilirlik seviyesi ve bağlantının amacına bağlı olarak monopolar veya bipolar olarak dizayn edilebilir ve asenkron bağlantı amacıyla kullanılırlar.

Çoğu iki terminalli taşıma hattı içeren HVDC linkleri bipolar olarak inşa edilirler ve zorunlu durumlarda monopolar olarak çalıştırılırlar. İki kutubu birden devre dışı bırakılmaması için, kutupları birbirinden tamamen bağımsız olarak çalışabilecek şekilde yapılırlar.

İkiden fazla AC sistemin birbirlerine bağlanması gerektiğinde çokterminalli HVDC sistemler kullanılır.

2.2.2 HVDC Taşıma Sisteminin Bileşenleri

HVDC sistemi ile ilgili ana parçalar, bipolar sistemin kullanıldığı Şekil 2.4 de gösterilmektedir. Diğer HVDC sistem konfigürasyonlarının bileşenleri de temel olarak şekilde gösterilenlerle aynıdır. Aşağıda her bir bileşene ait kısmi bilgiler sunulmuştur:

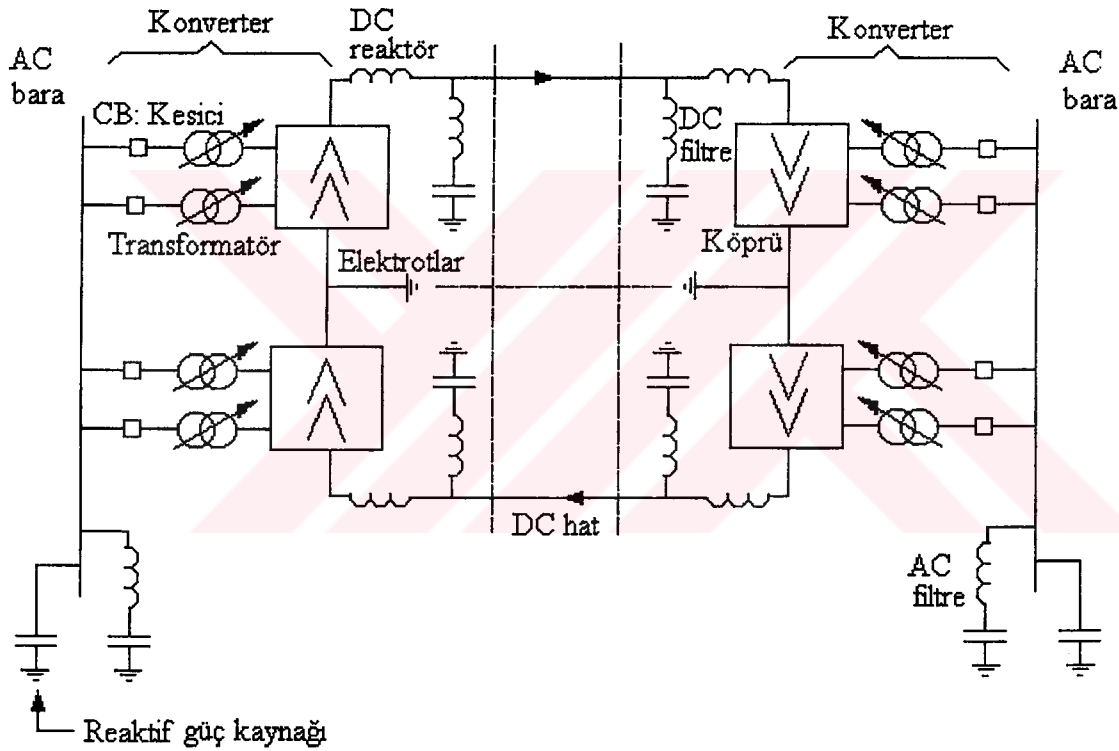
Konverterler- Konverterler kademeleri olan transformatörler ve köprü bağlı valflerden meydana gelmiştir ve AC den DC ye ve DC den AC ye dönüşümü sağlarlar. Valf köprüleri daha sonra da izah edileceği gibi 6 darbeli ve 12 darbeli olarak bağlanmış yüksek gerilim valflerinden oluşur. Konverter transformatörleri valf köprülerine uygun seviyeli topraklanmamış üç fazlı gerilim sağlarlar. Transformatörün valf tarafının



topraklanmaması sayesinde; DC sistem, konverterin pozitif veya negatif ucu topraklanarak toprağa karşı kendi referansına sahip olabilecektir.

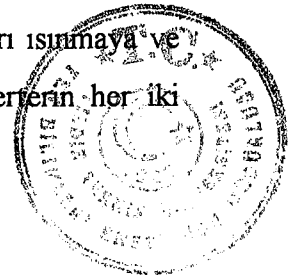
DC taraf reaktörü- Bu reaktörlerin değeri 1 H ye kadar ulaşabilir ve konverter istasyonunun her kutbuna seri olarak bağlanır. Aşağıdaki faydaları vardır:

- DC hattaki harmonik akım ve gerilimleri azaltır.
- İnverter modunda komütasyon yapılamama durumunu önler.
- Az yüklenme durumunda akımın kesintili olmasını önler.
- DC hatta kısa devre olması durumunda regülatör akımını sınırlar.



Şekil 2.4 Bipolar HVDC sisteminin ana bileşenlerini gösteren şema.

Harmonik filtreleri- Konverterler hem AC hem de DC tarafta harmonik üretirler. Bu harmonikler kapasitörlerde ve yakın civar generatörlerde aşırı ısınmaya ve telekomünikasyon sistemleriyle etkileşime sebep olur. Bu sebeple konverterin her iki tarafında da filtreler kullanılır.



Reaktif güç kaynağı- Daha sonra izah edileceği gibi, DC konverterleri karakterleri gereği reaktif güç harcarlar. Kararlı hal şartlarında tüketilen reaktif enerji transfer edilen aktif enerjinin %50 si kadardır. Transient şartlar altında reaktif enerji tüketimi daha büyük değerlere ulaşabilir. Bu sebeple konverterlerin hemen yanına reaktif güç kaynakları konulur. Güçlü AC şebekeler için bunlar genelde paralel bağlı kapasitörlerdir. DC linkin veya AC sistemin ihtiyacına bağlı olarak reaktif güç kaynağının bir kısmı senkron kondansör veya statik var kompanzatörü olarak yapılabilir. AC harmonik filtrelerde aynı zamanda gerekli reaktif gücün bir kısmını karşılarlar.

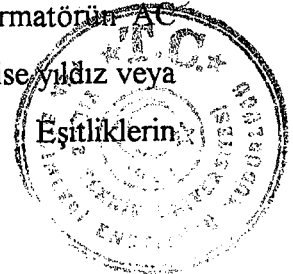
Elektrotlar- Çoğu DC linkler; toprağı, nötr iletkeni olarak en azından belirli zaman periyodu boyunca kullanmak için dizayn edilmişlerdir. Toprağı bağlantı, akım yoğunluğunu ve yüzey gerilim gradyanını minimize etmek için geniş bir iletken yüzey gerektirir. Bu iletken de elektrottur. Eğer topraktan geçen akımın sınırlandırılması gerekiyorsa DC hattın bir parçası olarak metalik dönüş iletkeni kullanılabilir.

DC hatlar- Havai yada kablolu olarak yapılabilirler. Gerekli iletken sayısı ve aralarındaki mesafeler hariç AC hatta benzerler.

AC kesiciler- Transformatördeki arızaları kaldırma veya DC hattı devre dışı bırakma amacıyla AC tarafta kesiciler kullanılır. DC hattaki arızaları gidermede konverter kontrol devreleri daha hızlı olduğu için, kesiciler bu amaçla kullanılmaz.

2.3 HVDC Sistemde Akım ve Gerilimler Arası İlişkiler

HVDC sistemde konverterin temel akım gerilim eşitlikleri, üç fazlı tamdalga köprü bağlantısı incelenerek belirlenebilir. Konvertere bağlı transformatör AC tarafının gerilimini kontrol için yükte değiştirilebilen kademelere sahiptir. Transformatörün AC tarafı yıldız bağlanıp topraklanır. Transformatörün valf tarafındaki sargıları ise yıldız veya üçgen bağlanabilir. Yıldız bağlama durumunda topraklanmazlar. Eşitliklerin çıkarılmasında şu kabuller yapılır:



- (a) Konverter transformatörü de dahil olmak üzere AC sistem; sabit gerilim ve frekansa sahip ideal bir kaynak ve ona seri bağlı kayıpsız bir endüktanstan (transformatörün kaçak reaktansını temsilen) oluşur.
- (b) Doğru akım (I_d), DC tarafta büyük değerlikli reaktör kullanıldığından tamamen sabittir ve dalgalanma yoktur.
- (c) Valfler; iletimde iken sıfır, kesimde iken sonsuz dirence sahip ideal anahtarlardır.

Burada eşitliklerin nasıl elde edildiği üzerinde durulmayacaktır. (Ayrıntılı bilgi için ilgili kaynaktan faydalanabilir [3])

Üç fazlı tamdalga köprü bağlantısı kullanıldığında yüksüz haldeki ideal doğru gerilim:

$$V_{d0} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} E_{LN} \quad (2.1)$$

Burada E_{LN} , AC tarafın hat-nötr remenans gerilimidir. Ortalama doğru gerilim ise:

$$V_d = V_{d0} \frac{\cos \alpha + \cos(\alpha + \mu)}{2} \quad (2.2)$$

olarak verilir.

Eşitlikte α konverter valfinin tetikleme açısı olup 0° ile 180° arasında değiştirilebilir. $\alpha=0$ için transfer edilen aktif güç maksimum ve reaktif enerji ihtiyacı sıfırdır. α artıkça aktif güç düşerken reaktif güç ihtiyacı artar ve $\alpha=90$ için aktif güç sıfır iken reaktif güç maksimum olur. α nın 90° den büyük değerlerinde gücün akış yönü değişmiş olur. Normal çalışma şartları altında α , 15° ile 20° arasında değişir, minimum değeri ise 5° dir.



Eşitlikteki diğer değişken μ , komütasyon için geçen süre olup normal çalışma şartları altında 60° den küçüktür. Tam yük için komütasyon açısı, 15° ile 25° arasında değişir.

Ortalama doğru gerilim için diğer bir ifade de:

$$V_d = V_{d0} \cos \alpha - \frac{3}{\pi} X_c I_d \quad (2.3)$$

Burada I_d , doğru akım hattının akımı ve X_c transformatörün kaçak reaktansıdır. Kayıplar ihmal edildiği takdirde alternatif akım ile doğru akım hatlarının güçleri birbirine eşit olacağından;

$$3E_{LN} I_{L1} \cos \phi = V_d I_d \quad \text{dir.} \quad (2.4)$$

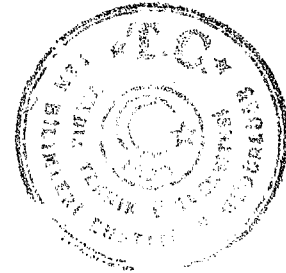
Hat akımının temel bileşeni I_{L1} , yukarıdaki eşitliklerden yararlanılarak (μ ihmal) aşağıdaki şekilde yazılır:

$$I_{L1} \approx \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d \quad (2.5)$$

Bu ifade $\mu=0$ için eşitlik halini alır. Komütasyon açısının 30° den küçük olduğu durumlarda hata % 1.1 ve 60° ye eşit olduğu durumda ise hata % 4.3 seviyesinde olur. Aynı eşitliklerden AC sistem güç faktörü;

$$\cos \phi \approx \frac{\cos \alpha + \cos(\alpha + \mu)}{2} \quad \text{elde edilir.} \quad (2.6)$$

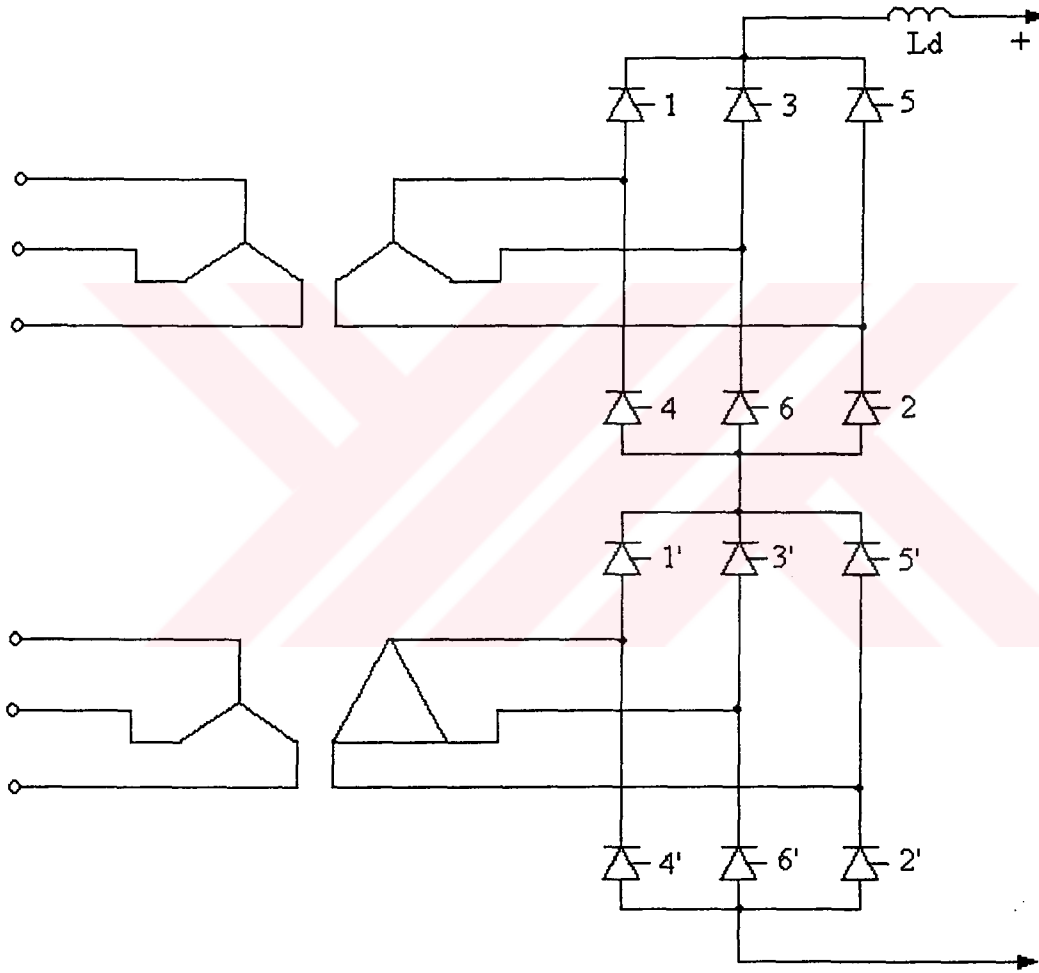
Diğer bir ifadeyle de;



$$\cos \phi = \cos \alpha - \frac{3X_c I_d}{\pi V_{d0}} \quad \text{dir.} \quad (2.7)$$

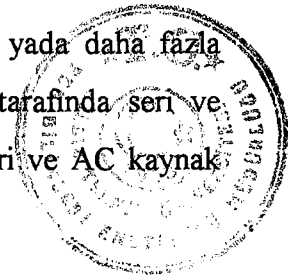
(2.7) numaralı eşitlikten anlaşılabileceği gibi alternatif akım tarafında güç faktörünün değişimi valflerin tetikleme açılarına ve yüke bağlıdır.

2.4 Çok Köprülü Konverterler

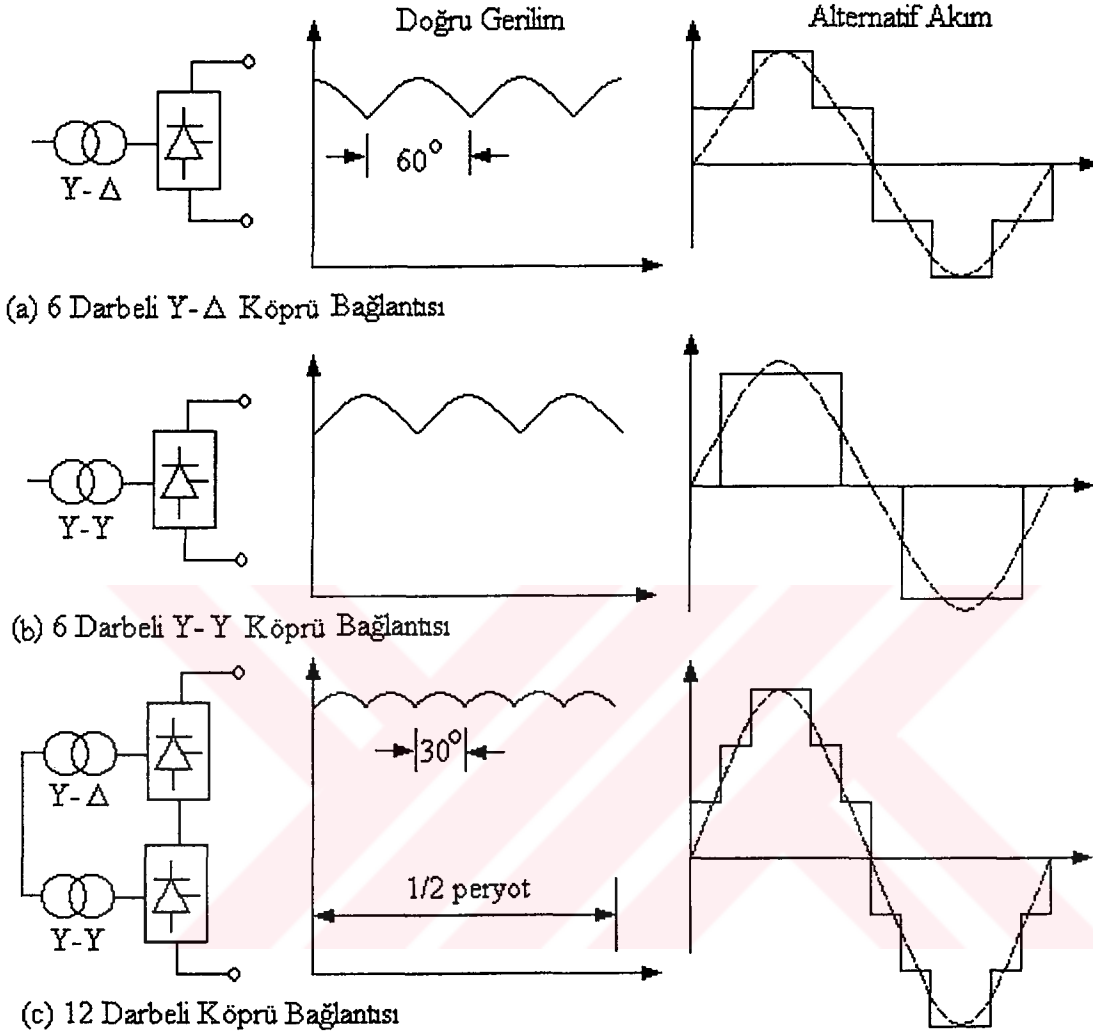


Şekil 2.5 12-Darbeli Köprü Konverter Bağlantısı.

Gerektiği kadar yüksek doğru gerilim elde edebilmek için iki yada daha fazla sayıda köprü bağlantısı ard arda bağlanır. Köprüler doğru gerilim tarafında seri ve alternatif gerilim tarafında paralel bağlanırlar. Köprü devresinin valfleri ve AC kaynak

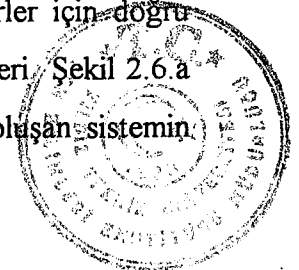


arasına transformatör bankaları konulur. Transformatörler, dönüştürme oranları yük altında değiştirilebilen tiptedir.



Şekil 2.6 Doğru gerilim ve alternatif akım dalga şekilleri.

Uygulamada, çok köprülü konverterler 12 darbeli yapıda olabilmeleri için çift sayılar halinde köprülere sahiptirler. Şekil 2.5 te görüldüğü gibi her bir köprü çiftini besleyen iki transformatör bankasından birisi Y-Y, diğeri de Y-Δ olarak bağlanırlar. Bir köprüyü besleyen üç fazlı gerilim ile diğer köprüyü besleyen üç fazlı gerilim arasında 30° lik faz farkı vardır. İki tür bağlantının oluşturduğu 6 darbeli konverterler için doğru gerilim dalga şekli ve alternatif akım tarafından çekilen akım dalga şekilleri Şekil 2.6.a ve Şekil 2.6.b de görülmektedir. İki köprünün kaskad bağlanmasıyla oluşan sistemin

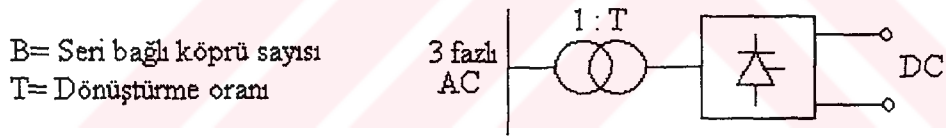


akım ve gerilim dalga şekilleri ise Şekil 2.6.c de gösterilmiştir. Bu durumda 12 darbeli bağlantı gerçekleştirilmiş olur ve AC tarafının akım dalga şekli sinüoidale daha yakındır. 12 darbeli bağlantının kullanılmasıyla AC tarafta 5. ve 7. Harmonikler etkin bir biçimde yok edilmiş olurlar. Bu da harmonik filtrelerinin maliyetini önemli ölçüde düşürür.

Buna ek olarak 12 Darbeli bağlantı sayesinde doğru akım tarafında gerilim dalgalanmaları azaltılmış olur, DC gerilimin 6. ve 18. harmonikleri yok edilmiş olur.(6 Darbeli köprü bağlantısında DC tarafta gerilim harmonikleri 6. ve katlarını içerirken, 12 Darbeli köprü bağlantısında DC gerilim harmonikleri 12. ve katlarını içerir.)

İkiden daha fazla köprü sayısına sahip konverterlerde daha fazla darbe sayısı elde edilebilir. Üçlü köprüden 18 darbeli, dördü köprüden ise 24 darbeli konverter yapılabilir. Bu durumda transformatör bağlantıları daha karmaşık olacaktır. Bu sebeple 12 darbeli bağlantı kullanılarak yeterli filtreleme yapmak daha uygun olur.

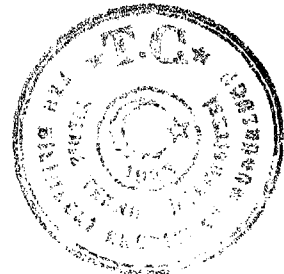
2.5 Çok Köprülü Konverterlerde Eşitlikler



Şekil 2.7 Çoklu Köprülü Konverter Sistemi Eşdeğer Devresi.

Çoklu köprülü konverter sisteminin eşitliklerinde fark, B değişkeninin eşitliklere katılmasıdır. Yüksüz haldeki doğru gerilim ifadesi:

$$V_{d0} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} BTE_{LL} \quad (2.8)$$



ifadede B, seri bağı köprülerin sayısı; T, transformatör dönüştürme oranı ve E_{LL} , ise hat-hat geriliminin remenans değeridir. Köprü başına gerilim düşümü $I_d(3X_c/\pi)$ olduğundan, ortalama DC gerilim:

$$V_d = V_{d0} \cos \alpha - I_d B \left(\frac{3}{\pi} X_c \right) \quad (2.9)$$

Güç faktörü cinsinden ortalama gerilim ifadesi ise;

$$V_d \approx V_{d0} \cos \phi \quad (2.10)$$

Alternatif akım tarafındaki toplam akımın temel bileşeninin remenans değeri:

$$I_{L1} \approx \frac{\sqrt{6}}{\pi} B T I_d \quad \text{dir.} \quad (2.11)$$

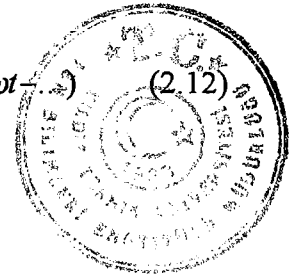
2.6 Harmonikler ve Filtre Devreleri

2.6.1 AC Taraftaki Harmonikler

Tamamen sinüsoidal ve dengeli faz gerilimlerinin olduğu; konverter tetikleme darbelerinin eşit aralıklı bulunduğu, komütasyonun ihmal edildiği ve doğru akımın dalgalanmasının olmadığı kabul edilerek, AC taraftaki akım fourier serileri ile yazılabilir.

Y-Y bağı transformatöre sahip 6 darbeli köprü bağlantılı konverterin alternatif akım değişimi fourier serileri ile şu şekilde yazılabilir:

$$i = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d \left(\sin \omega t - \frac{1}{5} \sin 5\omega t - \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \frac{1}{11} \sin 11\omega t + \frac{1}{13} \sin 13\omega t - \dots \right) \quad (2.12)$$



Δ -Y bağılı transformatör kullanılması durumunda ise:

$$i = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d (\sin \omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \frac{1}{11} \sin 11\omega t + \frac{1}{13} \sin 13\omega t + \dots) \quad (2.13)$$

2. ve diğer bütün çift harmonikler, her peryot için iki adet eşit büyüklükte fakat ters yönlü akım darbesi olması sebebiyle denklemde yer almazlar. Ayrıca akım darbe genişliği bir peryodun üçte birine eşit olduğundan 3. ve katları harmoniklerde bulunamaz. Geriye n herhangi bir pozitif sayı olmak üzere $6n \pm 1$ ile hesaplanacak harmonikler kalır.

12 darbeleri köprü bağlantısı; biri Y-Y diğeri Y- Δ iki transformatörün kullanıldığı iki adet 6 darbeleri köprünün birbirine bağlanmasından elde edildiği için, n sayısının tek olduğu durumlara ait harmonikler de alternatif akımda bulunamazlar. Böylece;

$$i = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} 2I_d (\sin \omega t + \frac{1}{11} \sin 11\omega t + \frac{1}{13} \sin 13\omega t + \frac{1}{23} \sin 23\omega t + \frac{1}{25} \sin 25\omega t + \dots) \quad (2.14)$$

Eşitlikten de görülebileceği gibi, AC sistem akımında bulunabilecek harmonikler $12n \pm 1$ ile belirlenir ve bu harmoniklerin genlikleri harmonik numaralarının tersi ile orantılı olarak azalır.

Komütasyon göz önüne alındığı durumda harmonik bileşenlerinin genlikleri, komütasyonun akımın bir valften diğerine aktarılma esnasında akımın şeklini yuvarlaklaştırması sebebiyle azalır. Bu azalma şu ifadeden tespit edilebilir:[4]

$$\frac{i_h}{i_{h0}} = \frac{\sqrt{H^2 + K^2 - 2HK \cos(2\alpha + \mu)}}{\cos \alpha - \cos(\alpha + \mu)} \quad (2.15)$$

Burada,



i_h = harmonik akım

i_{h0} = komütasyonun ihmal edildiği durumda harmonik akım

h = harmonik numarası

$$H = [\sin(h+1)\mu/2]/(h+1)$$

$$K = [\sin(h-1)\mu/2]/(h-1) \text{ dir.}$$

AC sistemde üretilen harmoniklerin çalışma şartlarının bir fonksiyonu olduğu aşıkardır. μ arttıkça harmonik bileşenlerin genliği, yüksek dereceden harmoniklerde daha fazla olmak kaydıyla azalır. Tipik tam yük şartları altında μ , 20° ve α ise 15° civarında olup, komütasyon açısı ihmal edildiği durum için 11. ve 13. Harmonikler temel eşitlikteki değerlerinin % 30 ile % 40 ı arasındadırlar. Bununla birlikte kısa devre durumlarında α , 90° ye yaklaşıcağından komütasyon açısı düşer ve AC harmonikler artar. Burada bahsedilenler dengeli şartlar için geçerlidir ve bu harmoniklere karakteristik harmonikler denir.

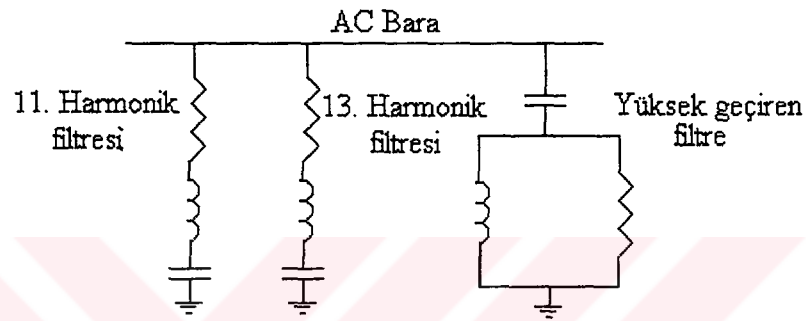
Fazlar arasındaki dengesiz komütasyon reaktansları; bara gerilimleri dengesizlikleri ve eşit olmayan tetikleme darbeleri, ek harmoniklere sebep olurlar. Bu harmoniklere de karakteristik olmayan harmonikler denir. Ayrıca konverter transformatörlerinin mıknatıslama akımlarında harmoniklere sebep olur. Konverterin imali sırasında bu harmonikler minimize etmeye çalışılır. Bu sebeple karakteristik olmayan harmonikler önemli sayılmazlar. Fakat bu harmonik frekanslarında sistemin rezonansa girmemesi sağlanmalıdır.

AC harmonik filtreleri- Harmonik akımların sebep olduğu AC gerilimdeki bozulmaların istenilen sınırlar içinde kalması ve AC sisteme giren harmoniklerin yeterince küçük olması için harmonikler terminalde filtrelenmelidir. Harmonikler filtrelenmezse; kayıpların artmasına, sistemdeki cihazların ısınmasına, telefon hatlarında gürültüye ve aşırı gerilim veya akımlara yol açabilecek rezonanslara sebep olabilir.



Harmoniklerin AC sisteme girişı veya rezonans koşulları, belirlenmesi zor olan AC şebekenin harmonik empedansına bağlıdır. Sisteme devreler sokulup çıkarıldıkça ve sistemin çalışma şartları değiştikçe harmonik empedans da değişir.

12 darbeleri kr bağlantılı konverter için tipik bir filtre sistemi şekil 2.8 de görülmektedir. Filtrenin empedansı, iki adet seri rezonans devresi sayesinde 11.ve 13. harmonikler için minimumdur. Yüksek geçiren filtre ise yüksek dereceli harmonikler için düşük empedans karakteri gösterir.



şekil 2.8 Tipik filtre sistemi konfigürasyonu

Reaktif güç ihtiyaının bir kısmını filtrelerin kapasitörleri karşılar. Reaktif güç kapasitrlerini filtrelere çevirmek için gerekli maliyet çok yüksek değildir. Gerekli olan reaktif gcn % 30 kadarı 11. , 13. ve yüksek geçiren filtre arasında paylaşılmak üzere filtreler tarafından üretilir.

2.6.2 DC Taraf Harmonikleri

6 darbeleri kr bağlantısında her 60° de bir tetikleme olduğu için doğru gerilimin dalga şekli incelendiğinde , fourier analizi sonucu gerilimin $6n$ ile ifade edilebilecek harmonikler içerdiği görülür. Harmonik geriliminin efektif değeri α nın değerine bağlı olarak çok değişir. α nın 90° ye yaklaşan değerleri için harmonik değeri, α nın küçük değerlerindekiye göre daha büyüktür. Ayrıca komütasyon açısı μ ' nn DC harmonikler üzerindeki etkisi de büyüktür.



İki adet 6 darbeli köprüden oluşan bipolar sistemde biri Y-Y , diğeri Y-Δ bağılı transformatör akımları arasındaki 30° lik faz farkı, AC sistemde düşük dereceli harmonikleri yok ettiği gibi, DC tarafta olumlu etkilere sebep olacaktır. Altının tek katları olan harmonikler arasında faz farkı olurken, çift katları aynı faza sahip olacaklardır. Faz farkı olan harmonik gerilimler DC tarafta hattan toprağa akım akıtırken aynı faza sahip harmonik gerilimler de hattan hatta akım akıtacaklardır.

Bu 12 darbeli köprü bağlantısında aralarında faz farkı olan harmonikler köprü bağlantısı içinde yok olurlarken, sadece aynı fazda olan harmonik gerilimler DC hatta akım akıtabileceklerdir. Bu durumda da dengeli şartlar için bir terminalin üreteceği harmonikler 12. ve 12 nin katları olacaktır (12, 24, 36, ...).

Karakteristik olmayan harmonikler ise iyi dizayn edilmiş bir sistemde çok küçük olacaktır. DC tarafın harmonikleri Şekil 2.4 te görüldüğü gibi DC reaktör ve filtrelerle azaltılırlar. Harmoniklerin çoğu reaktör üzerinde kalır. Geriye kalan miktar da filtreler tarafından toprağa aktarılarak DC hattaki harmonik akım seviyesi istenilen limitlere çekilmiş olur.

Reaktör, DC filtreler, hat ve diğer konverterin her biri harmonik gerilimler için gerilim bölücü görevi görür. Genelde; daha büyük reaktör kullanımı daha az filtre kullanılması demektir. Fakat reaktörün seçimi için diğer konverter dizaynı hususları da dikkate alınmalıdır. Reaktör seçimini etkileyen faktörler aşağıda belirtilmiştir:

1- Reaktör değerinin köprü akımının dalgalanmasındaki etkisi büyüktür. Daha büyük reaktör değeri için akım dalgalanması daha azdır. Akımın dalgalanması da terminalin minimum çalışma noktası akımını belirler.

2- Reaktör, filtreler ve DC hattın birleşimi, DC köprüye karşı bazı harmonik gerilimlerle rezonansa girebilecek bir empedans oluştururlar. Genelde bu yüksek dereceden harmonikler (12, 24, ...) için problem teşkil etmez, fakat düşük frekansta karakteristik olmayan harmonikler (2, 4, 6,...), eğer efektif empedans bu değerler için



düşük ise çok büyük akımlara sebep olabilirler. Bu düşük frekanslardaki yüksek harmonik akımlar kontrol devreleri ve iletişimasyon devrelerinde problemlere sebep olabilirler. Bu sebeple reaktör, 2. ve 4. harmonik frekanslarında sistemin rezonansa girmeyeceği şekilde seçilmelidir.

3- Reaktör değerinin komütasyonun yapılamamasında da tesiri vardır.

4- Daha büyük reaktör konulması doğrultucu yakınındaki kısa devre durumlarında akımı sınırlar.

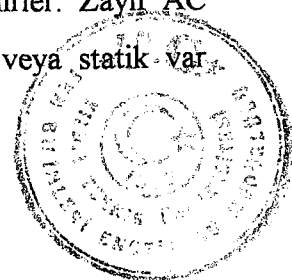
2.7 DC Taşıma ve Reaktif Güç İhtiyacı

Bir konverterin güç faktörü 2.7 numaralı ifadede;

$$\cos \phi = \cos \alpha - \frac{3X_c I_d}{\pi V_{d0}} \quad \text{dir.} \quad (2.7)$$

Bu sebeple her konverter transfer edilen güçle orantılı olarak artan reaktif enerji tüketirler. Normal şartlar kabul edebileceğimiz α nın 15° ile 18° arasında değiştiği ve komütasyon reaktansının % 15 olduğu durum için, bir konveter aktif gücün % 50 ile % 60 ı arasında reaktif güç harcar.

Reaktif güç temininin en ucuz yolu paralel kapasitör grupları bağlamaktır. Reaktif enerji ihtiyacı transfer edilen güçle değiştiği için kapasitör grupları şalterlerle gerektiği miktarda devreye alınmalıdır; bu sayede AC tarafın gerilimi, tüm yük seviyeleri için istenilen seviyeler arasında tutulmuş olur (genelde $\pm 5\%$). Kademeler AC sisteminin güçlü olmasına da bağlıdır. Sistem ne kadar güçlü ise o kadar büyük kademeler seçilebilir. DC terminal yakınında bulunan generatörler reaktif güç ihtiyacının bir kısmını karşılamada ve gerilimi belirli seviyeler içinde tutmada yardımcı olabilirler. Zayıf AC sistemler için reaktif enerji ihtiyacını karşılamada senkron kondanser veya statik var kompanzatörler kullanılabilir.



3. BÖLÜM

STATİK VAR SİSTEMLERİ

3.1 Terminoloji

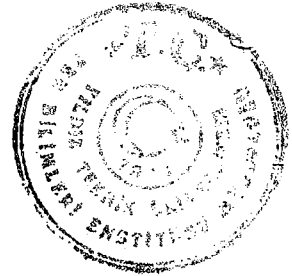
Statik var kompanzatörler (SVC); elektrik güç sistemlerinin belirli parametrelerini kontrol etmek için çıkış değerleri değiştirilen, paralel bağlı, statik reaktif enerji üretici ve / veya tüketicileridir. “Statik” terimi, statik var kompanzatörlerde senkron makinaların aksine hareket eden veya dönen ana parçaların olmadığını ifade etmek için kullanılmaktadır. Bir statik var kompanzatörü, statik var üretici veya tüketicileri ile uygun dizayn edilmiş kontrol devresinden oluşur.

Bir statik var sistemi (SVS); çıkış değerleri birbirleriyle koordineli olarak değiştirilen mekanik olarak devreye sokulup çıkarılan kapasitörler (MSC) veya reaktörler (MSR) ile statik var kompanzatörlerin biraraya getirilmiş halidir.

3.2 Statik Var Kompanzatör Tipleri

Herhangi bir statik var sisteminin tamamı veya bir kısmını meydana getiren reaktif güç kontrol elemanlarının temel tipleri aşağıda sıralanmıştır:

- Doymuş (saturated) reaktör (SR)
- Tristör kontrollü reaktör (TCR)
- Tristör anahtarlama kapasitör (TSC)
- Tristör anahtarlama reaktör (TSR)
- Tristör kontrollü transformatör (TCT)
- Kendinden veya hat komütasyonlu konverter (SCC/LCC)



Uygulamada, taşıma hattı kompenzasyonu amacıyla, sabit kapasitör grupları ile yukarıda bahsedilen temel statik var kompanzatör türlerinden bir veya daha fazlasının kombinasyonundan meydana gelen değişik pek çok statik var sistemi kullanılmıştır.

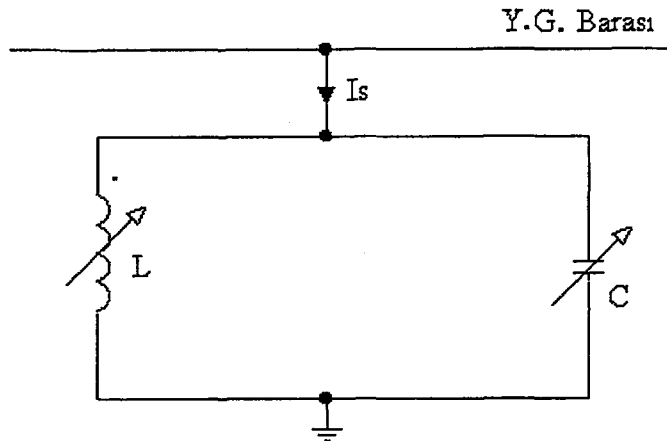
Bu bölümde, öncelikle bir yüksek gerilim sisteminde statik var sisteminin işletilmesine ait genel prensipler ideal kompanzatör kullanılarak ele alınacak ve belirli konfigürasyonlar için karakteristikleri incelenecektir.

Statik var sistemleri bağlı bulundukları baraların her bir fazının gerilimini ayrı ayrı kontrol edebilirler. Dolayısıyla pozitif sequence gerilimdeki dalgalanmalarla birlikte negatif sequence geriliminin dalgalanmalarını da kontrolde kullanılabilirler. Burada, statik var sisteminin yalnızca dengeli güç sistemi için performansı ele alınacaktır.

3.3 Bir Statik Var Sisteminin Temel Frekanstaki Performansı

3.3.1 İdeal Statik Var Sisteminin Karakteristiği

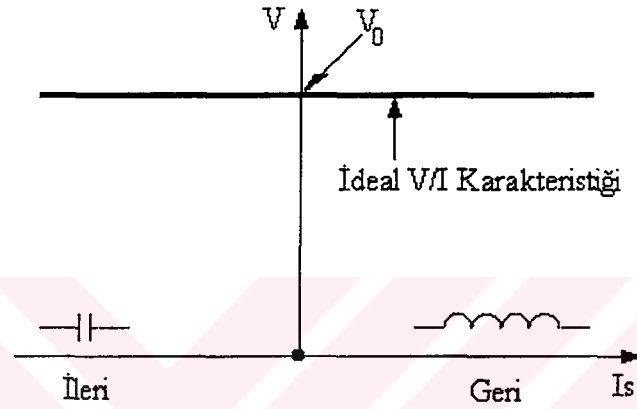
Güç sisteminin işletilmesi açısından bakıldığında statik var sistemi; uçlarındaki veya yakınındaki baranın gerilim ve reaktif güç akışını kontrol etmek için ayarlanabilen paralel bağlı kondansatör ve selfe eşdeğerdir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. İdealize Statik Var Sistemi



İdealde bir statik var sistemi, aktif ve reaktif kayıpları olmaksızın ani cevap verme yeteneğine sahip, sınırsız reaktif enerji üretme/tüketme imkanı olan bir sistem olup, isteğe bağlı olarak uçlarındaki gerilimi sabit tutabilir veya güç faktörünü ayarlayabilir. Statik var sisteminin (SVS) performansı, gerilimi kontrol edilen alternatif akım barası gerilimine (V) karşılık SVS' nin reaktif akımının (I_s) çizildiği grafik üzerinde gösterilebilir. İdeal bir SVS' nin V/I karakteristiği Şekil 3.2 de görülmektedir. Şekil, SVS' nin kararlı haline ait karakteristiğini ifade etmektedir.

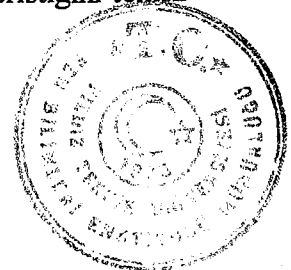


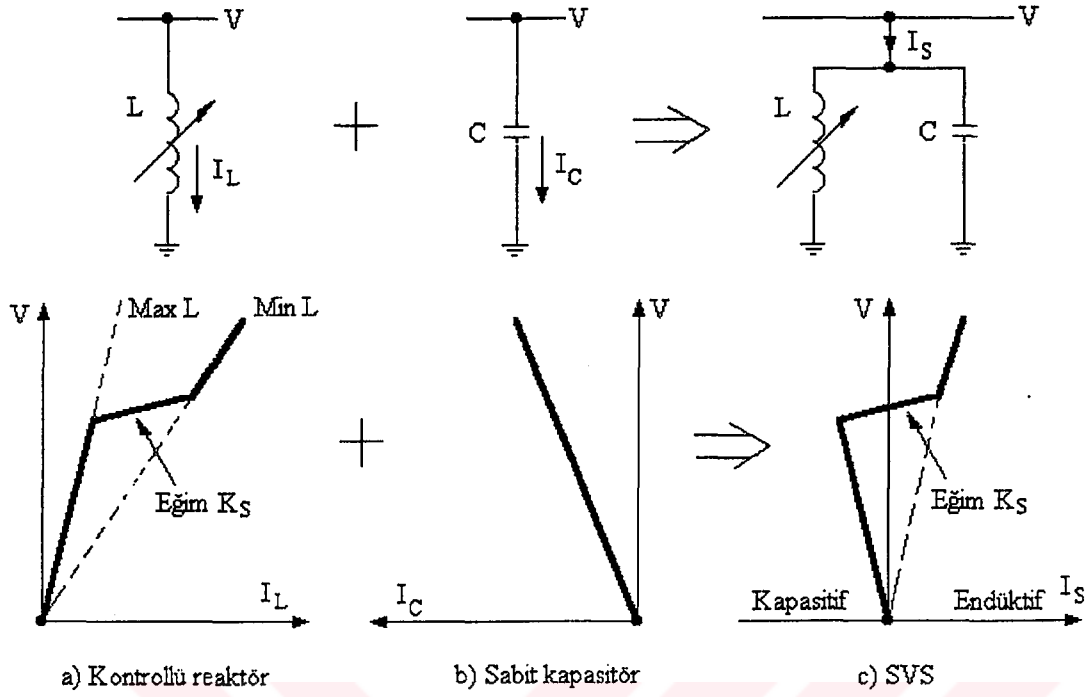
Şekil 3.2. İdeal Kompanzatörün V/I Karakteristiği

3.3.2 Pratikteki (ideal olmayan) Statik Var Sisteminin Karakteristiği

Sabit bir kondansatör ve kontrol edilebilir bir reaktörden oluşan bir statik var sisteminin ele alındığını düşünelim. Bu durumda elde edilecek karakteristikler yeterince genelleştirilmiş olur ve uygulamadaki pek çok SVS konfigürasyonuna uyarlanabilir.

Şekil 3.3' te sabit bir kondansatör ve kontrol edilebilir bir reaktörden oluşan bir statik var sisteminin karakteristiklerinin elde edilişi görülmektedir. Bileşke karakteristik ayrı ayrı iki karakteristiğin birbirine eklenmesinden elde edilmektedir. Şekil 3.3-(a) da görülen karakteristik kontrol edilebilir bir reaktörün uygulamadaki karakteristiğini temsil etmektedir.

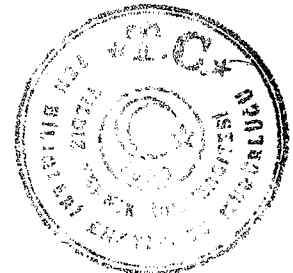


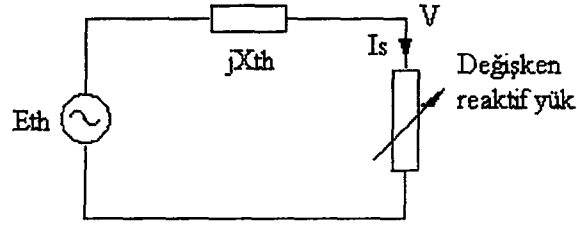


Şekil 3.3. Statik Var Kompanzatörünün Bileşke Karakteristiği

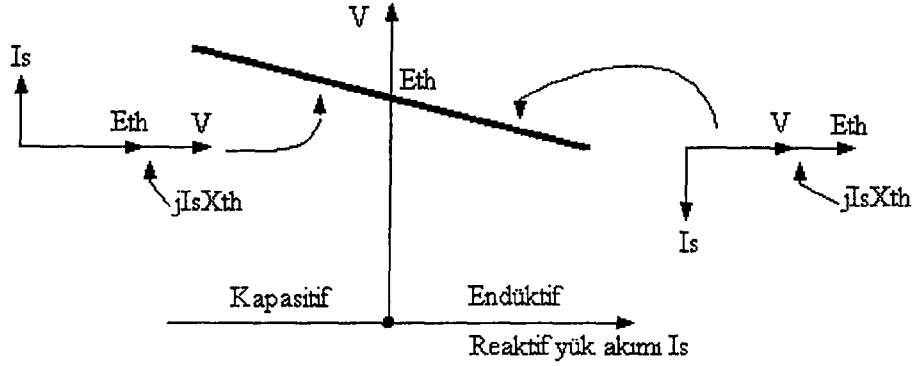
3.3.3 Güç Sistem Karakteristiği

Statik var sisteminin bir güç sistemine uygulanması halindeki performansını inceleyebilmek için, güç sistemi ve statik var sisteminin karakteristikleri birlikte incelenmelidir. Sistemin V/I karakteristiği, SVS tarafından gerilimi düzenlenecek baranın uçlarından bakıldığındaki Thevenin eşdeğeri göz önüne alınarak belirlenebilir (Şekil 3.4). Şekil 3.4.a daki Thevenin empedansında endüktif reaktans baskındır. Gerilim - Reaktif akım karakteristiği Şekil 3.4.b de gösterilmiştir. V gerilimi, kapasitif yük akımıyla lineer olarak artarken endüktif yük akımıyla da lineer olarak düşer. Her şebeke şartı için, Şekil 3.4.a da görüldüğü gibi bir eşdeğer devre tanımlanabilir. Şebeke V/I karakteristiğinin kaynak gerilimi E_{th} dan etkilenişi Şekil 3.4.c de; sistem eşdeğer reaktansı X_{th} dan etkilenişi ise Şekil 3.4.d de görülmektedir.

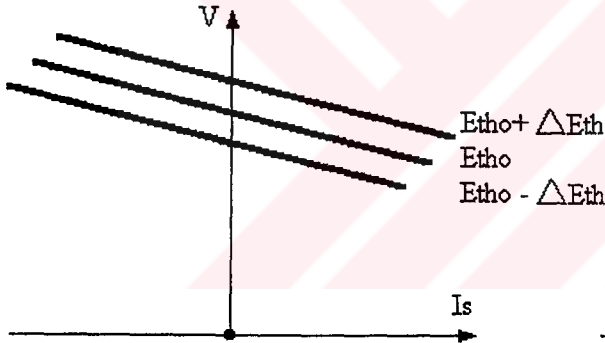
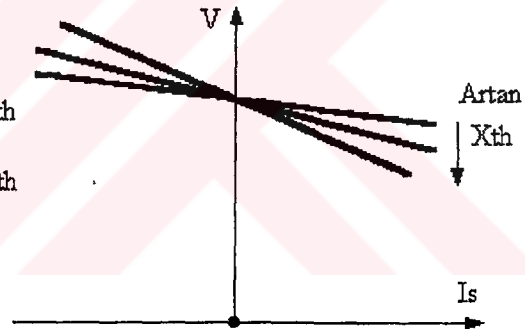




(a) Y.G. alternatif akım şebekesinin thevenin eşdeğeri



(b) Gerilim - Reaktif akım Karakteristiği

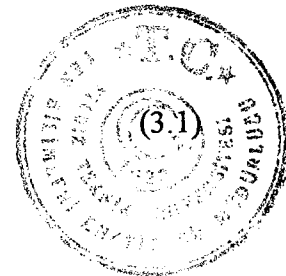
(c) Kaynak gerilimi E_{th} ın değişiminin etkisi(d) Sistem reaktansı X_{th} ın değişiminin etkisi

Şekil 3.4. Güç Sisteminin Gerilimine Karşılık Reaktif Akımın Değişimi

3.3.4 SVS ve Güç Sistemi Bileşke Karakteristiği

Şekil 3.4 (a) daki sistemin karakteristiği aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$V = E_{th} - X_{th} I_s$$

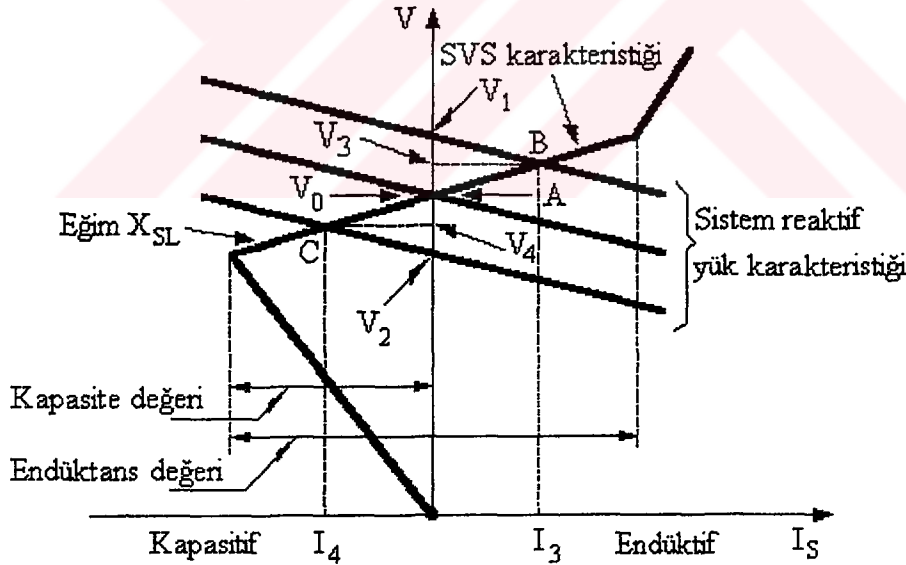


Eğim reaktansı X_{SL} tarafından belirlenen kontrol aralığı içindeki statik var sisteminin karakteristiği ise;

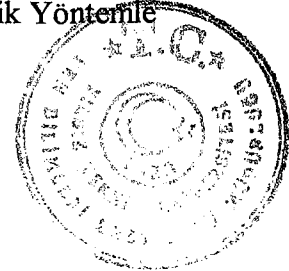
$$V = V_0 + X_{SL} I_s \quad (3.2)$$

Kontrol aralığının dışındaki gerilimler için V/I oranı Şekil 3.4 (c) deki eğrilerin maksimum alt ve üst eğrilerinin eğimleri ile tespit edilir. Bu maksimum ve minimum değerleri de self ve kondansatör tarafından belirlenir.

Güç sistemi ve statik var sisteminin bileşke karakteristiğine ait eşitliklerinin grafik yöntemle çözümü Şekil 3.5 te gösterilmiştir. Şekilde kaynak geriliminin üç değerine karşılık gelen sistem karakteristikleri ele alınmıştır. Ortadaki yük karakteristiği nominal sistem şartlarını temsil etmektedir ve $V = V_0$ ve $I_s = 0$ a karşılık gelen A noktasında statik var sistem karakteristiğiyle kesişmektedir.



Şekil 3.5. Verilen Sistem Şartları İçin SVS İşletme Noktasının Grafik Yöntemle Bulunması



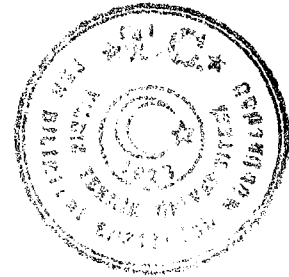
Eğer sistem gerilimi ΔE_{TH} kadar yükselirse (örneğin, sistem yükündeki azalma sebebiyle), SVS' nin müdahalesi olmadığı takdirde; V gerilimi V_1 e yükselecektir. Bununla birlikte; SVS' nin devreye girmesiyle çektiği I_3 endüktif akımıyla çalışma noktası B ye kayar ve SVS gerilimi V_3 te tutar. Benzer şekilde eğer kaynak gerilimi düşerse SVS gerilimi V_4 te tutar. SVS nin olmadığı durum için gerilim V_2 olurdu. Statik var sistemi karakteristiğinin K_S eğimi sıfır olursa V gerilimi her iki durum için de V_0 olur.

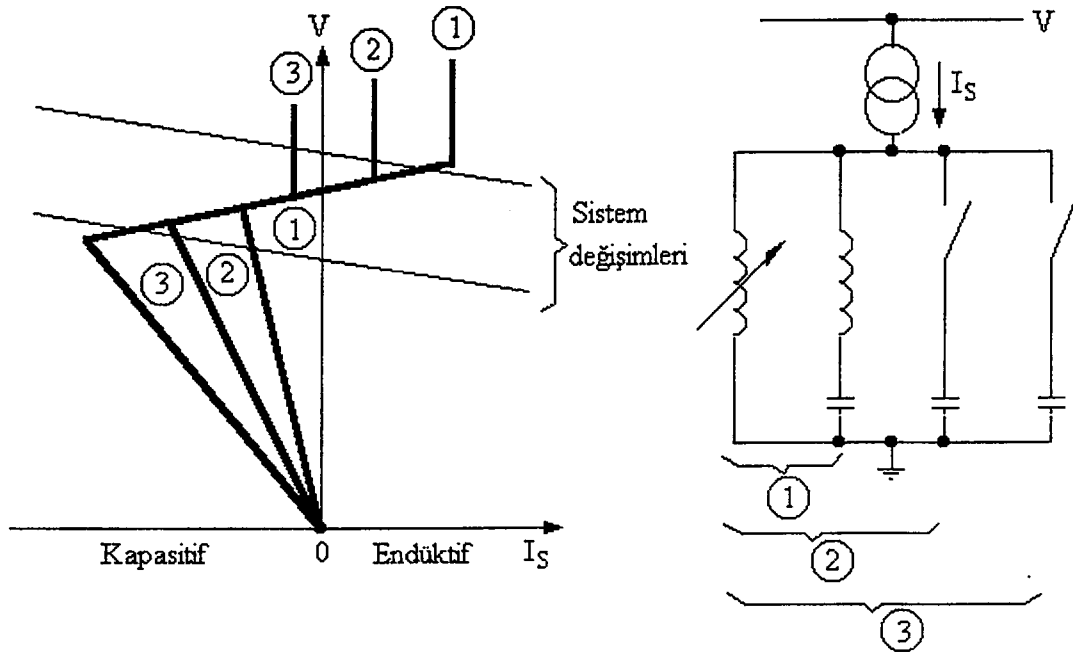
3.3.5 Kademeli Kapasitör Kullanmanın Etkisi

Şekil 3.5 teki uygulamada sistem şartlarındaki büyük değişimler için statik var sisteminin kontrol aralığının dışına çıkılabilir. Kademeli olarak devreye girip çıkan kapasitör gruplarının kullanılması SVS' nin devamlı kontrol aralığını genişletebilir. Bu uygulama, biri sabit üç kapasitör bankasının bulunduğu Şekil 3.6 daki sistemde gösterilmiştir. Kapasitörleri devreye sokup çıkarmak tristör veya mekanik şalterler kullanılarak kontrol üniteleri ile otomatik olarak gerçekleştirilebilir. Şekildeki sabit kondansatöre seri bağlı reaktör harmoniklerin filtrelenmesi için konulmuştur.

Statik var sistemi senkron kondanserde olduğu gibi bir gerilim kaynağı vazifesi görmez. Fakat bağlandığı noktadaki sistem gerilimini sisteme verdiği veya sistemden çektiği reaktif akımı değiştirerek düzenler. Gerçekte, SVS gerilimi sabite yakın tutmak için sürekli ayarlanan değişken bir reaktif yük gibi davranır.

Genelde, bir statik var sisteminin elemanları ayarlanabilir süseptans prensibine göre çalışırlar. Kontrol edilen süseptans ya reaktördür, ya da kapasitördür.



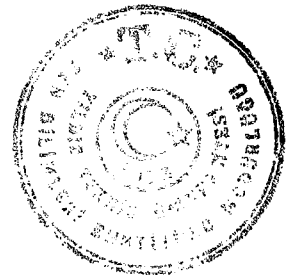


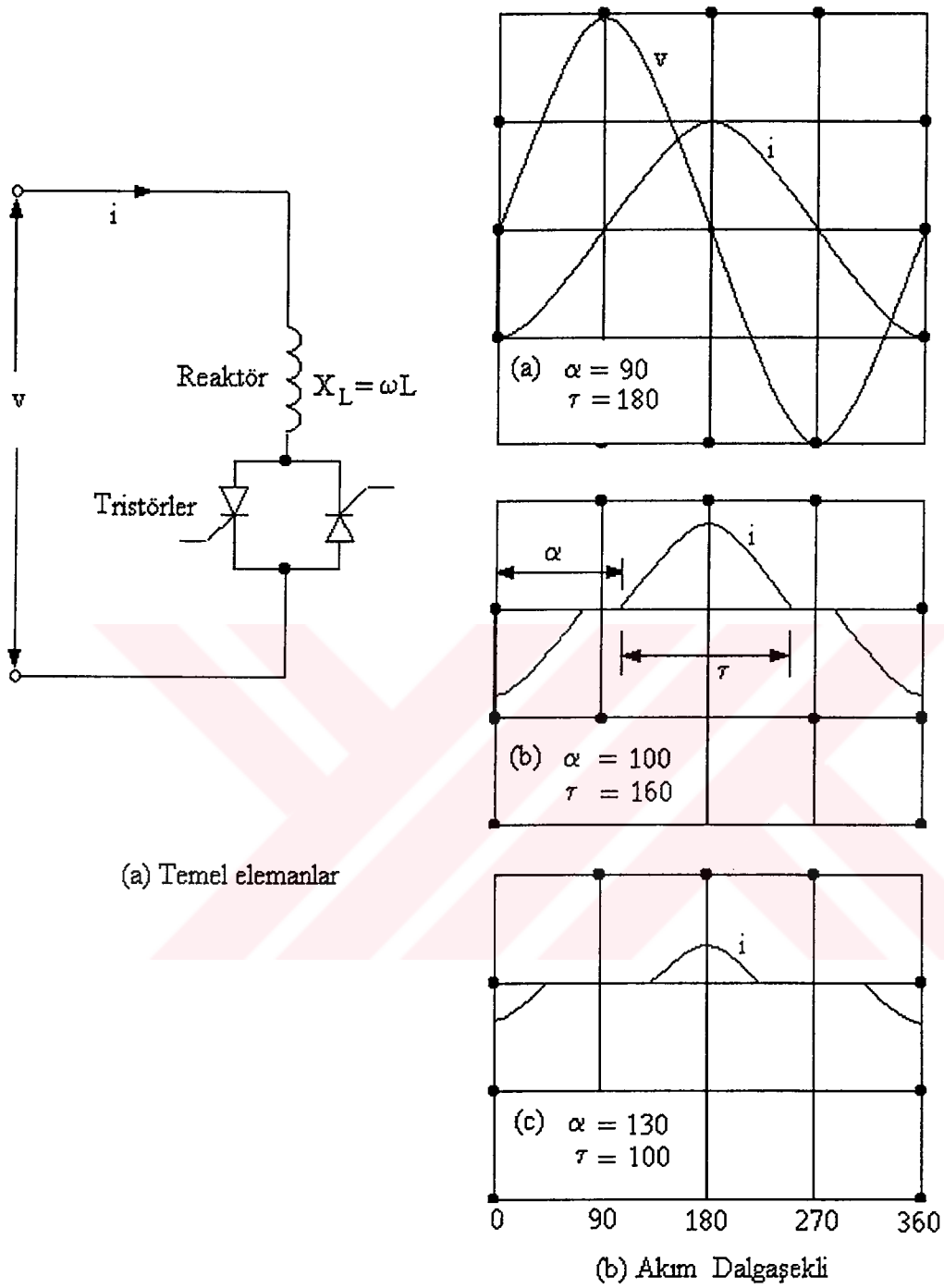
Şekil 3.6 Daimi Kontrol Aralığını Artırmak İçin Kademeli Kapasitör Grubu Kullanımı

3.4 Tristör Kontrollü Reaktör (TCR)

3.4.1 Çalışma Prensibi

Bir tristör kontrollü reaktörün temel elemanları Şekil 3.7 (a) da görüldüğü gibi çift yönlü tristör ile buna seri bağlı reaktörden oluşur. Tristörlerin her biri uçlarındaki gerilimin sıfırdan geçiş anından itibaren ölçülen α tetikleme açısına bağlı olarak dönüşümlü olarak yarım periyotluk sürelerle iletimde olurlar. Tam iletim, tetikleme açısının 90° ye eşit olmasıyla elde edilir. Bu durumda akım esas olarak reaktif ve sinüsoidaldır. Şekil 3.7 (b) de görüldüğü gibi, tetikleme açısının 90° ile 180° değerleri arasında kısmi iletim söz konusudur. 0° ile 90° arasındaki tetikleme açılarına doğru akım bileşenli asimetrik akımlara sebep olduklarından izin verilmez.





(a) Temel elemanlar

Şekil 3.7 Tristör kontrollü reaktör.

İletim açısını τ ile gösterecek olursak, α cinsinden ifadesi aşağıdaki gibi olur:



$$\tau = 2(\pi - \alpha) \quad (3.3)$$

Ani akım i nin ifadesi ise:

$$i = \begin{cases} \frac{\sqrt{2}V}{X_L} (\cos \alpha - \cos \omega t) & \alpha < \omega t < \alpha + \tau \\ 0 & \alpha + \tau < \omega t < \alpha + \pi \end{cases} \quad (3.4)$$

Akım dalga şeklinin fourier analizi temel bileşeni şu şekilde verir:

$$I_1 = \frac{V}{X_L} \frac{\tau - \sin \tau}{\pi} \quad (3.5)$$

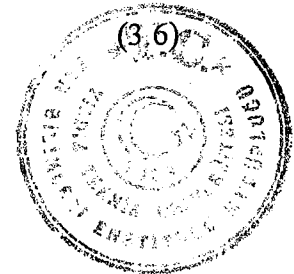
Burada, I_1 ve V remenans değerleridir ve X_L temel frekanstaki reaktörün reaktansdır.

Tetikleme açısı α nın artışının (τ nin azalışı) tesiri, temel bileşen I_1 değerinin düşüşü şeklinde ortaya çıkar. Bu, reaktörün efektif endüktans değerinin artışına eşdeğerdir.

Aslında, akımın temel frekans bileşeni dikkate alındığında, tristör kontrollü reaktör kontrol edilebilir bir süseptanstır. Tetikleme açısı α nın fonksiyonu olarak efektif süseptans;

$$B(\alpha) = \frac{I_1}{V} = \frac{\tau - \sin \tau}{\pi X_L}$$

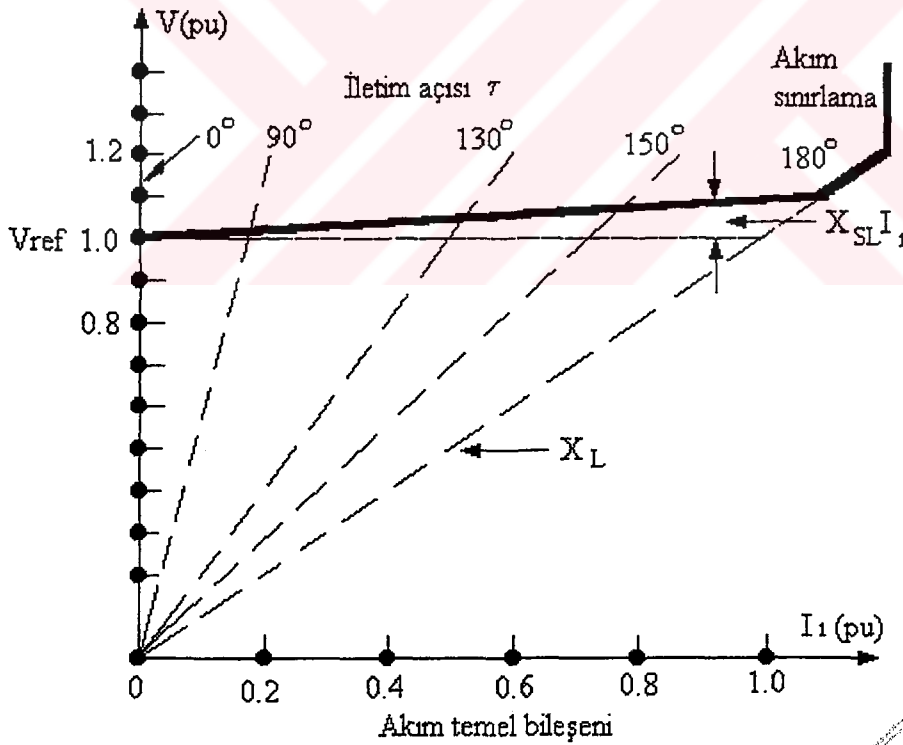
$$B(\alpha) = \frac{2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha}{\pi X_L} \quad \text{dir.} \quad (3.6)$$



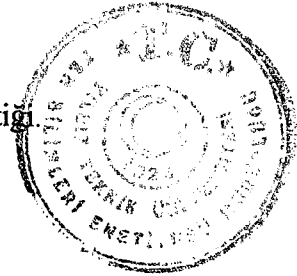
Efektif süseptansın maksimum değeri tam iletimin gerçekleştiği $\alpha=90^\circ, \tau=180^\circ$ durumunda sözkonusudur ve $1/X_L$ ye eşittir. Minimum değer sıfır olup $\alpha=180^\circ$ veya $\tau=0^\circ$ için elde edilir.

Bu tür süseptans kontrol prensibi “faz kontrolü” olarak bilinir. Süseptans, her yarım peryodun kontrol edilebilen bir parçası için sisteme girilir. Süseptansın değişimi TCR akımında olduğu gibi düzgün ve süreklidir.

Tristör kontrollü reaktör (TCR), gerilimin son sıfırdan geçişinden itibaren ölçülen ateşleme anını (ateşleme açısı) belirleyecek bir kontrol sistemi gerektirir (ateşleme açılarının senkronizasyonu). Bazı dizaynlarda; kontrol sistemi, doğrudan arzu edilen süseptans değerine karşılık gelen bir sinyale cevap verirken; diğerlerinde gerilim salınımları gibi hata sinyalleri, yedek stabilize sinyalleri vb. sinyallere cevap verir.



Şekil 3.8 TCR'ın Temel Bileşen Gerilim- Akım Karakteristiği.



Sonuç, Şekil 3.8 de görüldüğü gibi kararlı hal V/I karakteristiğidir ve şu formülle ifade edilebilir:

$$V = V_{ref} + X_{SL} I_1 \quad (3.7)$$

Burada X_{SL} , kontrol sisteminin kazancı tarafından belirlenen eğim reaktansdır.

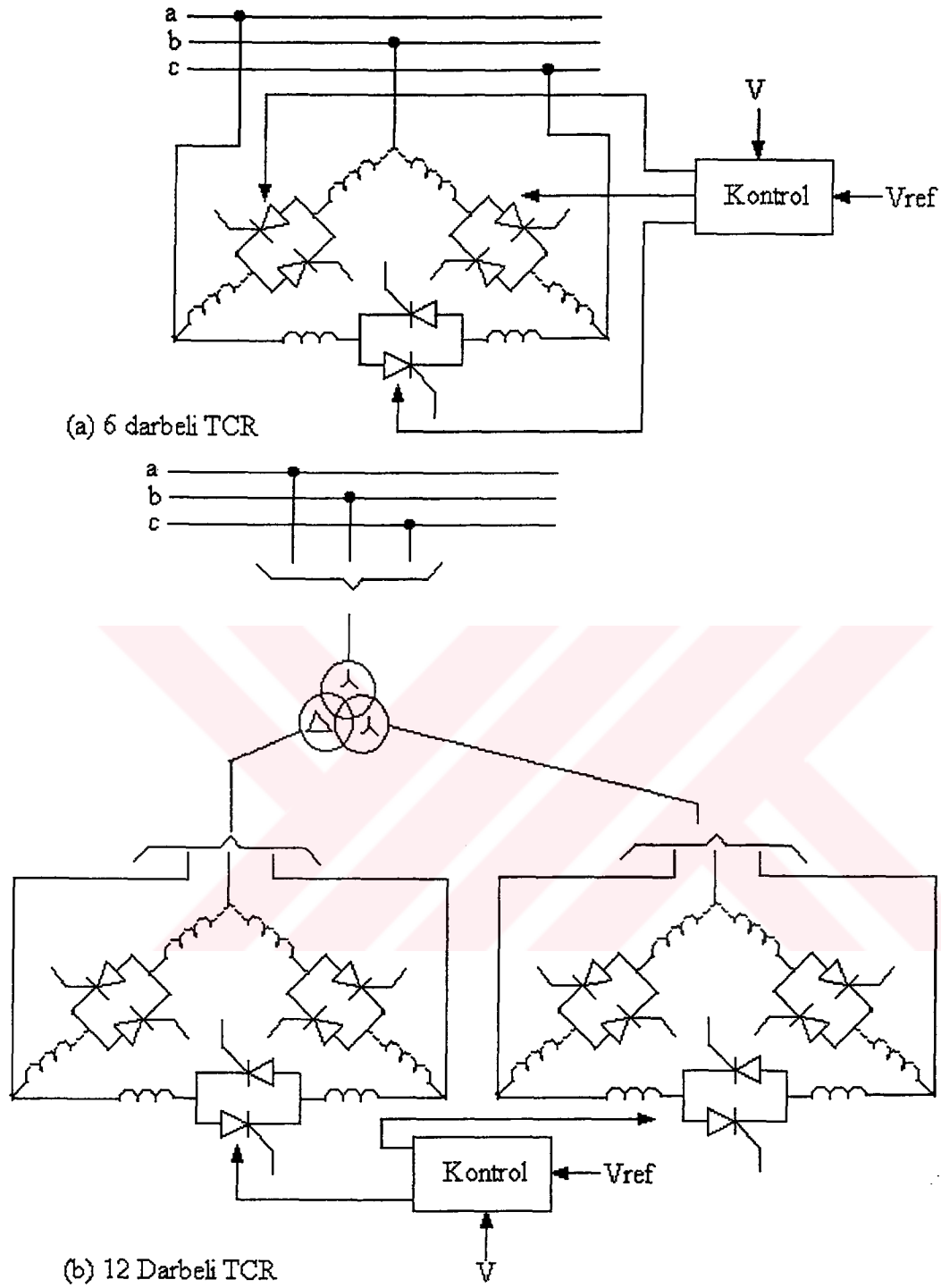
Şekil 3.6 da gösterildiği gibi; TCR gerilim kontrol karakteristiği, kendisine paralel bağlı sabit kondansatör veya kademeli kondansatör grupları bağlanarak kapasitif bölgeye kadar genişletilebilir.

3.4.2 Harmonikler

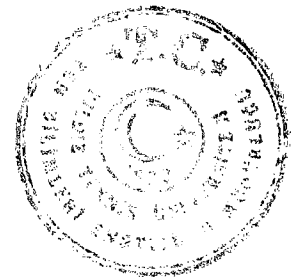
Tetikleme açısı α nın değeri 90° den 180° ye doğru arttırıldıkça akım dalga şekli gittikçe sinüsoidal dalga şeklinden uzaklaşır; diğer bir deyimle tristör kontrollü reaktör harmonik üretir. Bir fazlı bir sistem için eğer tristörlerin ateşlemeleri simetrik ise sadece tek harmonikler üretilir. Üç fazlı sistem için tercih edilen bağlantı şekli, Şekil 3.9(a) da görüldüğü gibi üç adet TCR'ın üçgen bağlanmasıyla elde edilen 6 darbeli TCR modelidir. Dengeli şartlar için bütün üç ve katları olan harmonikler kapalı üçgen içinde dolaşacağından hat akımında bulunamazlar. Mevcut harmonikler de filtrelerle yok edilir.

5. ve 7. harmoniklerin giderilmesi, Şekil 3.9.b de görüldüğü gibi biri yıldız diğeri üçgen bağlı gerilim düşürücü trafonun iki adet sekonder sargılarından beslenen iki tane eşit değerlere sahip 6 darbeli tristör kontrollü reaktör kullanılarak elde edilebilir. Tristör kontrollü reaktörlere uygulanan gerilimler arasında 30° lik faz farkı bulunduğundan; 5. ve 7. harmonikler, transformatörün primer tarafındaki hat akımında bulunmazlar. Üç fazlı hat geriliminin her peryodunda 12 adet tristör tetiklemesi olduğu için bu uygulamaya 12 darbeli TCR denmektedir. 12 darbeli TCR uygulamasıyla en küçük karakteristik harmonikler 11 nci ve 13 ncü harmoniklerdir. Bu harmonikler de basit bir kapasitör grubu ile filtrelenebilir.





Şekil 3.9 Üç fazlı TCR Uygulamaları

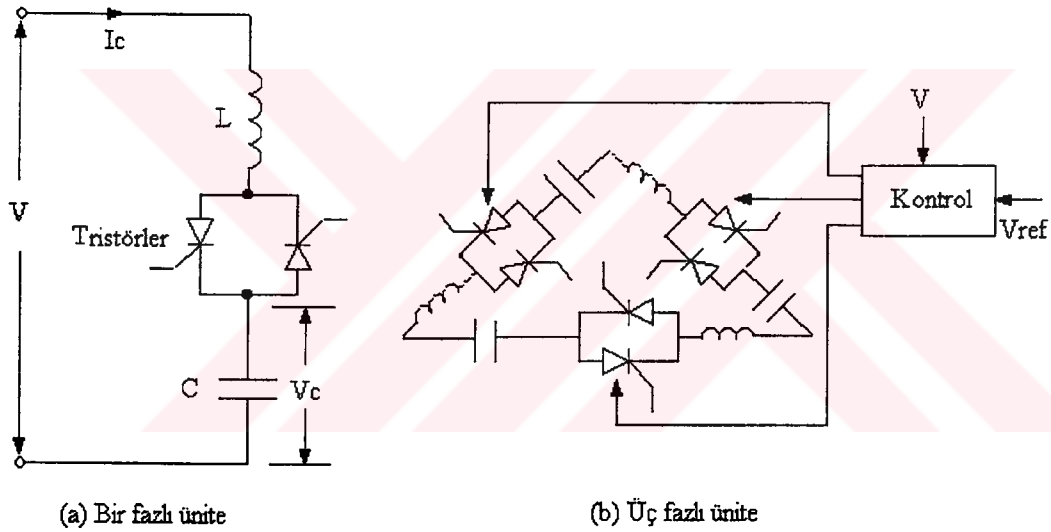


3.4.3 Dinamik Davranış

Tristör kontrollü reaktör 5 ila 10 ms arasında cevap verebilir, fakat ölçme ve kontrol devrelerinin sebep olduğu gecikmeler meydana gelir. Ayrıca, kontrol stabilitesini sağlamak için cevap süresini sınırlamak zorunda kalınabilir. Bu nedenle cevap zamanı tipik olarak şebeke frekansının 1 ila 5 periyodu arasındadır.

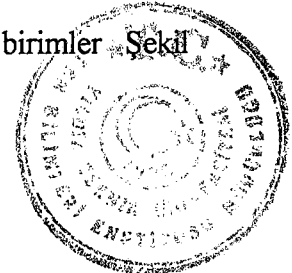
3.5 Tristör Anahtarlama Kapasitör (TSC)

3.5.1 Çalışma Prensipleri

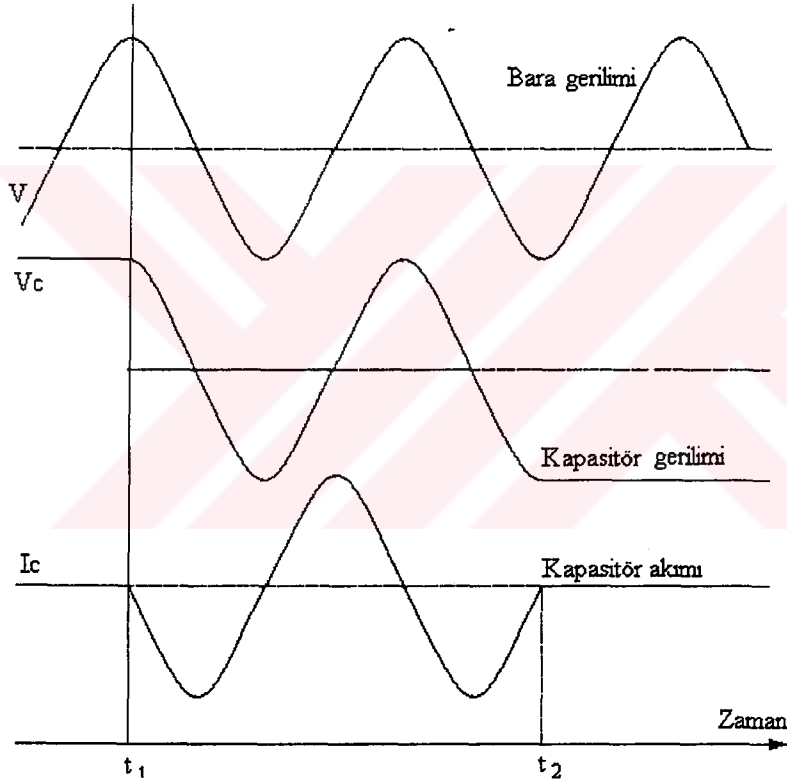


Şekil 3.10 Tristör Anahtarlama Kapasitör (TSC)

Bir tristör anahtarlama kapasitör, her biri tristörler tarafından devreye alınıp çıkartılan uygun boyutlandırılmış kapasitör bankası ünitelerinden oluşur. Şekil 3.10 (a) da görüldüğü gibi her bir fazlı ünite, kapasitör ünitesine seri bağlı çift yönlü tristör bağlantısı ve küçük bir self içerir. Self kullanılmasının amacı; transientleri sınırlandırmak ve sistemin şebekeyle rezonansa girmesini önlemektir. Üç fazlı uygulamalarda, temel birimler Şekil 3.10 (b) de görüldüğü gibi üçgen olarak bağlanırlar.



Kapasitörlerin devreye girmesi çıkması esnasında kapasitörün harici sistemle olan rezonans frekansına bağlı olarak küçük veya büyük değerlere ulaşabilen transientler oluşur. Tristör tetikleme kontrol devreleri bu transientleri minimize edecek şekilde dizayn edilir. Bu; tristör uçlarındaki gerilim minimum iken (idealde sıfır) tetikleme yapılmasıyla elde edilir. Şekil 3.11 çalışma prensibini göstermektedir. Devreye alma anı (t_1), bara gerilimi maksimum değerinde iken ve kapasitör gerilimiyle aynı polaritedeyken seçilir ve bu, transient olmamasını sağlar. Devreden çıkarma işlemi kapasitör akımının sıfır olduğu t_2 anında yapılır. Böylece kapasitör maksimum değerinde şarjlı olacak ve negatif veya pozitif değerli olarak bir sonraki devreye alma işlemi için hazır bulunacaktır.

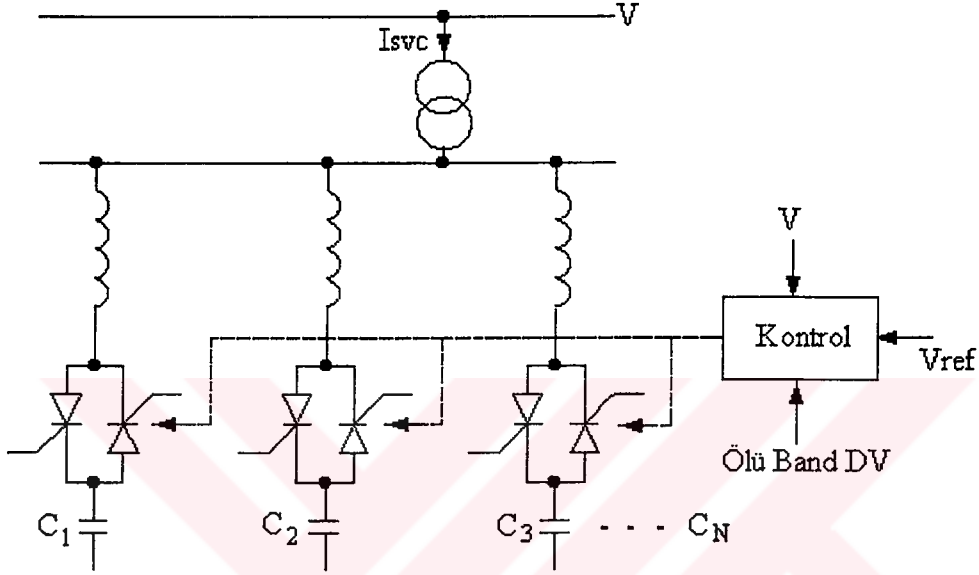


Şekil 3.11 TSC nin Devreye Alınıp Çıkarılması

Tristör anahtarlamalı kapasitör tarafından kullanılan süseptans kontrol prensibi integral saykıl kontrolü olarak bilinir. Süseptans, birkaç paralel üniteye bölünmüştür ve bu ünitelerin ilettime girip çıkmalarıyla değiştirilebilir. Her yarım peryotta bir değişiklik yapılabilir. Bu tür kontrol harmonik üretmez.



Şekil 3.12 , paralel üçgen bağlı TSC elemanları ve kontrol ünitesinden oluşan tristör anahtarlamalı kapasitörün temel yapısını göstermektedir. Bara gerilimi referans gerilimi ile karşılaştırıldığında ölü bandın alt veya üst tarafına geçerse, kontrol ünitesi son kapasitör grubu da devreye alınuncaya kadar bir veya daha fazla kapasitör grubunu devreye alarak bara gerilimini ölü band sınırları içine alır.

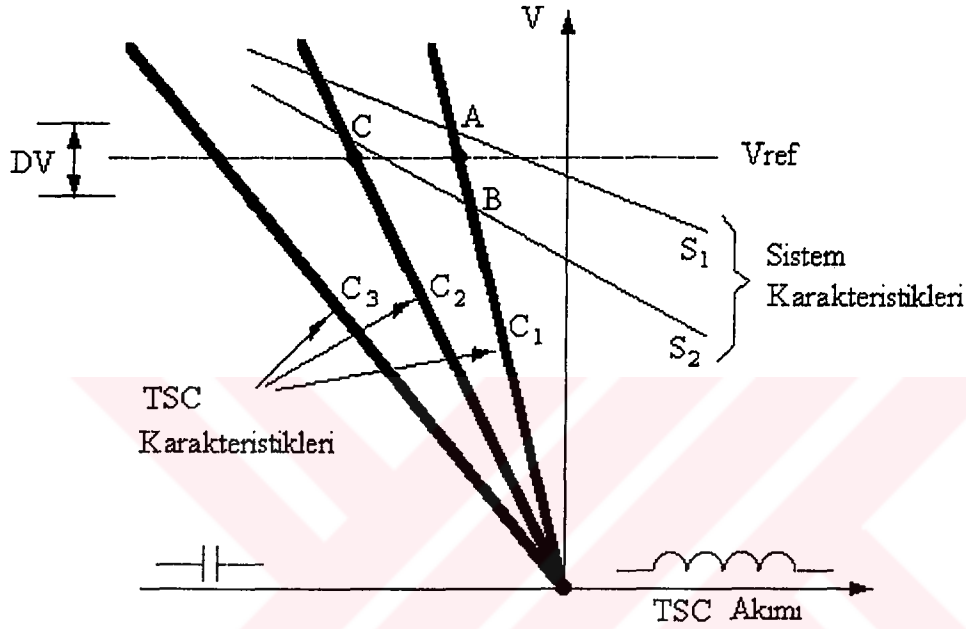


Şekil 3.12 Tristör anahtarlamalı kapasitör devresi

3.5.2 Dinamik Davranış

Tristör anahtarlamalı kapasitörden oluşan kompansatörün V/I karakteristiği Şekil 3.13 te görülüyor. Buradaki gerilim kontrolü kademeli ve kesintisizdir. Paralel bağlı ünitelerin sayısı ve değerleri kontrolün davranışını belirler. Yüksek gerilim uygulamalarında; kullanılan tristörlerin maliyeti çok yüksek olduğu için, kullanılabilecek kapasitör bankası sayısı sınırlıdır. Sistem şartları değiştikçe güç sisteminin V/I karakteristiği ile tristör anahtarlamalı kapasitörün V/I karakteristiği kesintili noktalarda kesişirler. Bara gerilimi V , $V_{ref} \pm DV/2$ (DV : ölü band) aralığında kontrol edilir. Güç sistemi ; şekildeki S_1 karakteristiği altında çalışırken, C_1 kapasitörü devreye alınır ve çalışma noktası A olur. Sistem karakteristiği aniden değişerek S_2 olursa, bara gerilimi

öncelikle B çalışma noktasına karşılık gelen gerilime düşer. TSC kontrolü devreye girerek C_2 kapasitörünü devreye alır ve çalışma noktası C olarak gerilim istenen limitlere çekilmiş olur. Bu sebeple kompansatörün akımı kesintili basamaklar halinde değişebilir. Kontrol ünitesi tarafından verilen bir komutun yerine getirilmesi için yarım ile bir peryotluk bir zamana ihtiyaç vardır.



Şekil 3.13 TSC ve Güç Sisteminin V/I Karakteristiği

3.6 Mekanik Anahtarlama Kapasitör (MSC)

Tipik olarak bir mekanik anahtarlama kapasitör, güç sistemine kesicilerle bağlanmış bir veya daha fazla sayıda kapasitör ünitesinden oluşur. Kapasitör gruplarına transient ve harmonikleri azaltmak için seri olarak küçük bir reaktör bağlanabilir. Kapasitör devreye alıp çıkarmaların sebep olabileceği aşırı yüksek gerilimlerden korunma amacıyla uygun kesiciler kullanılmalıdır.

Mekanik anahtarlama kapasitörün V/I karakteristiği lineerdir ve TSC'nin karakteristiği ile benzerdir. Sistemin cevap zamanı kullanılan kesicinin açma kapama



zamanına eşdeğerdir ve bu da açma kapama komutunun verildiği andan itibaren 100 ms civarındadır. Sık sık açma kapama işlemi, eğer sistem deşarj cihazlarıyla donatılmamışsa mümkün değildir.

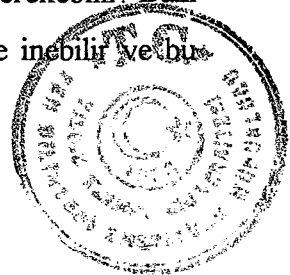
3.7 Uygulamadaki Statik Var Sistemleri

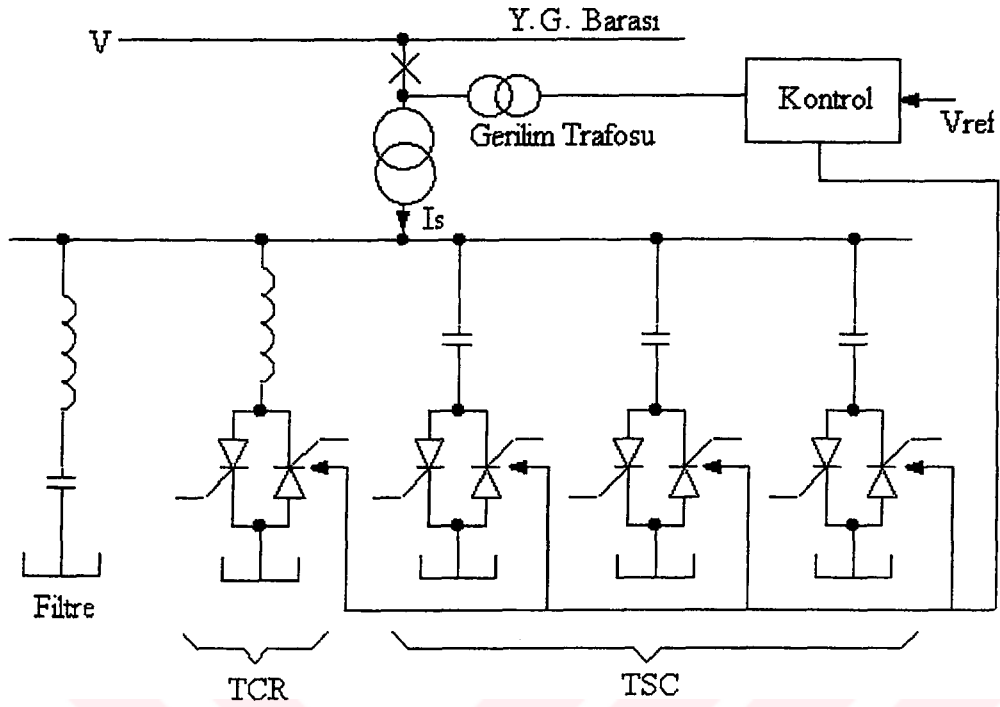
Bir statik var kompanzasyon ünitesi; istenilen herhangi bir kontrol aralığı için, yukarıda bahsedilen elemanlar kullanılarak gerçekleştirilebilir. Şimdiye kadar; değişen sistem ihtiyaçlarına cevap verebilecek, pekçok statik var sistemi uygulamada başarıyla kullanılmıştır. Belirli bir uygulama için seçilecek konfigürasyonun belirlenmesinde; gerekli cevap hızı, kaplayacağı yer, kayıplar ve maliyet önemli yer tutar.

Şekil 3.14; bir tristör kontrollü reaktör (TCR), üç üniteli tristör anahtarlama kapasitör (TSC) ve TCR kaynaklı harmonikler için harmonik filtrelerinden oluşan bir statik var sistemini göstermektedir. Filtreler şebeke frekansında kapasitifler ve TCR MVar değerinin % 10 ila 30 u arasında reaktif güç üretirler. Düzgün bir kontrol karakteristiği elde edebilmek için TCR' ın akımı, bir TSC ünitesinin akım değerinden biraz daha fazla seçilmelidir. Yoksa ölü band (DV) artar.

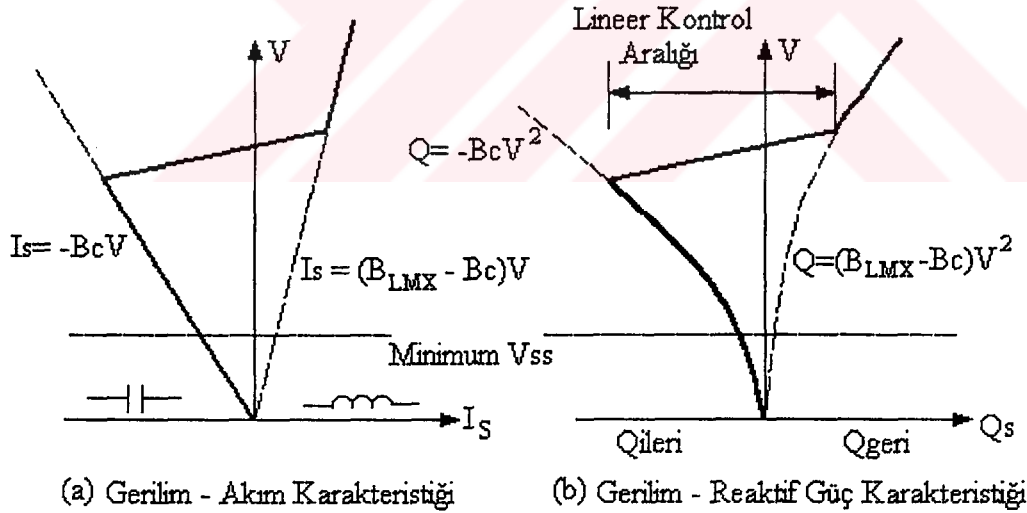
Statik var sisteminin kararlı hal V/I karakteristiği Şekil 3.15 (a) da ve karşılık gelen V/Q karakteristiği de Şekil 3.15 (b) de görülmektedir. Lineer kontrol aralığı; reaktörün maksimum süseptansı (B_{LMX}) tarafından belirlenen sınırlar içinde kalır.

Toplam kapasitif süseptans (B_c) ise filtre kapasitansı ve serviste bulunan kapasitör bankaları tarafından belirlenir. Eğer voltaj, uzun bir periyot için belirli bir seviyenin altında kalırsa (tipik olarak 0.3 pu), kontrol gücü ve tristör tetikleme enerjisi kaybedilebilir ve böylece statik var sisteminin çalışmasına son verilmek gerekebilir. Bazı durumlarda (transient arızalar) voltaj kısa periyotlar için düşük değerlere inebilir ve bu durumlar statik var sisteminin devre dışı kalmasına sebep olmaz.





Şekil 3.14 Tipik Bir Statik Var Sistemi



Şekil 3.15 Statik Var Sisteminin Kararlı Hal Karakteristikleri

Lineer kontrol aralığı içerisinde; statik var sistemi, gerilim kaynağı V_{ref} ve ona seri bağlı bir reaktans olan X_{SL} ye eşdeğerdir. Şekil 3.5 den de anlaşılabileceği gibi, eğer reaktansı X_{SL} nin statik var sisteminin (SVS) performansında önemli bir etkisi vardır.



Büyük değerli bir X_{SL} , SVS' nin cevap yeteneğini zayıflatır. Yani, sistem şartlarındaki değişiklikler SVS yüksek gerilim barasında büyük gerilim değişikliklerine sebep olabilir. X_{SL} nin değeri kontrol ünitesinin (gerilim regülatörü) kararlı hal kazancı tarafından belirlenir. Ayrıca akım geri beslemesi de etkileyebilir (PI kontrolde). X_{SL} nin seçimi detaylı güç akış analizi ve stabilite analizi ile yapılmalıdır. Tipik olarak eğim, AC sistemin dayanıklılığına bağlı olarak %1 ile %5 arasında seçilir.

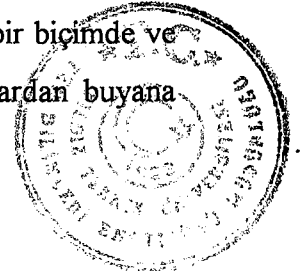
3.8 Statik Var Kompanzatörlerinin Uygulanma Alanları

İlk uygulandıkları 1970 lerden bugüne, statik var kompanzatörlerin iletim hatlarında kullanılması giderek artmaktadır. Sürekli ve hızlı bir reaktif güç ve gerilim kontrolü sağlama kabiliyetleri sebebiyle; statik var kompanzatörler, iletim sisteminin performansını pek çok yönden geliştirebilirler. Günümüze kadar uygulamaları:

- Güç frekansında geçici aşırı gerilimlerin kontrolü,
- Gerilim çöküşünün önlenmesi,
- Transient stabilitenin artırılması,
- Sistem osilasyonlarının azaltılması.

Statik var kompanzatörler; iletim ve dağıtım sistemlerinde, dengesiz yükleri besleyen üç fazlı sistemleri dengelemekte kullanılır. Ayrıca kesintili sürelerle çalışan yüklerin sebep olduğu gerilim salınımlarını da önlemede kullanılır.

Ark fırınları bu tür yüklere özel bir örnektir. Bunlar; rastgele 2 ila 10 Hz frekansları arasında değişen gerilim salınımlarına sebep olurlar. Bu salınımlar bulundukları bölgelerin flamanlı lambalarında titremelere sebep olur. Ayrıca bazı elektronik cihaz ve televizyonlarda olumsuz yönde etkilenebilir. Bu gerilim salınımları tipik olarak % 0.3 ile sınırlandırılmalıdır. Statik var kompanzatörler etkin bir biçimde ve ekonomik olarak bu tür gerilim salınımlarının önlenmesinde 1970 li yıllardan buyana kullanılmaktadırlar.

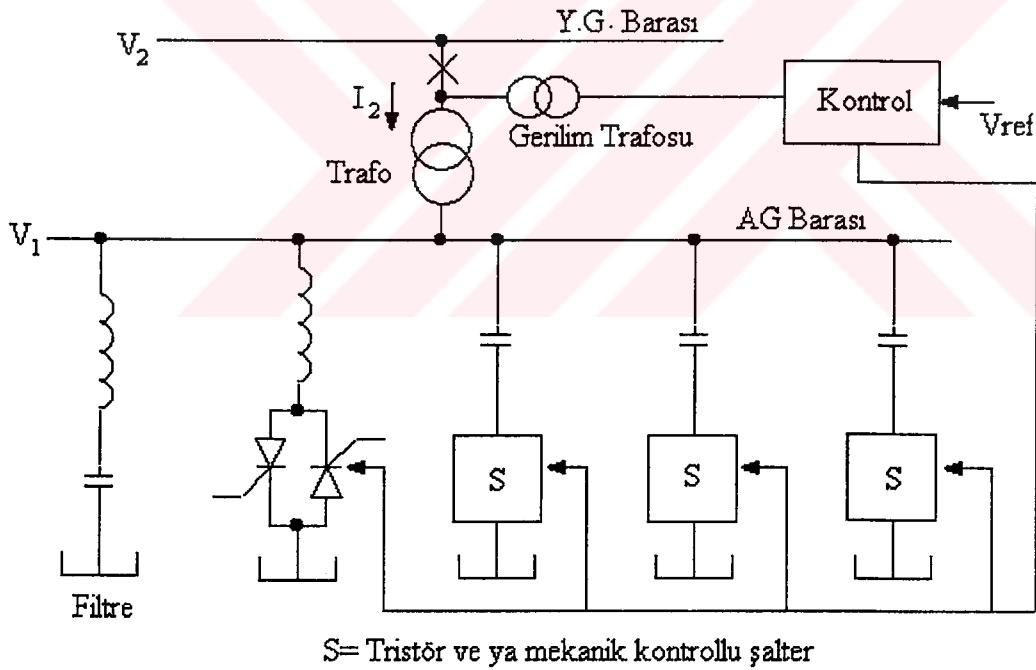


3.9 Statik Var Sistemlerinin Modellenmesi

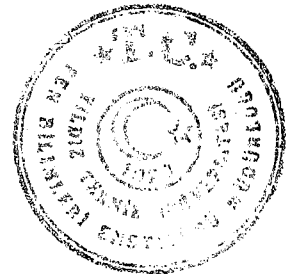
Güç akış ve stabilite çalışmalarında; pasif kompanzasyon cihazları (paralel kapasitörler, paralel reaktörler, ve seri kapasitörler) sabit değere sahip admitans elemanı olarak modellenirler ve diğer iletim hattı pasif elemanlarıyla birlikte şebeke admitans matrisine dahil edilirler.

Senkron kondanseler, kararlı hal aktif güç çıkışı olmayan senkron generatör olarak modellenirler. Fakat statik var kompensatörler için özel modeller gereklidir.

Şekil 3.16 tipik bir statik var sisteminin şematik diyagramını göstermektedir. Sistem, bir TCR ve tristör veya mekanik şalterli kapasitörlerden oluşmaktadır ve kararlı hal karakteristiği Şekil 3.17 de gösterilmektedir.



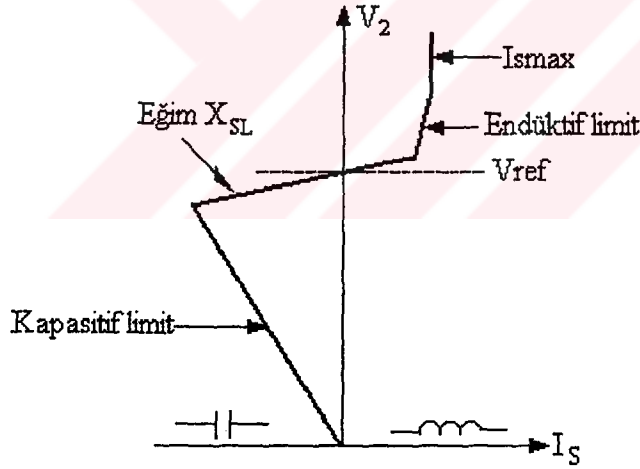
Şekil 3.16 Tipik Bir Statik Var Sisteminin Şeması



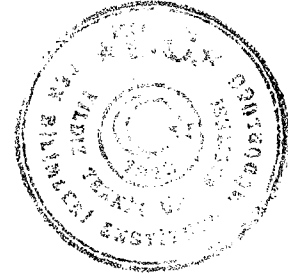
3.9.1 Statik Var Sisteminin (SVS) Güç Akış Analizindeki Eşdeğeri

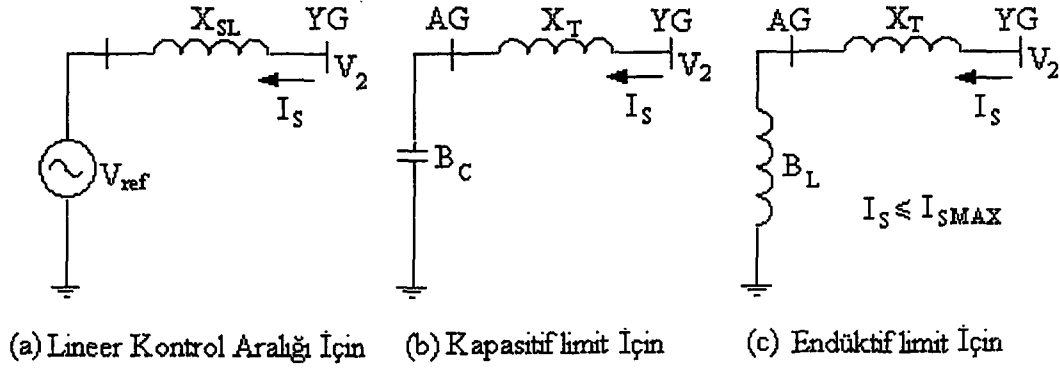
Şekil 3.17 de görüldüğü gibi statik var sisteminin üç çeşit çalışma modu mümkündür. Yüksek gerilim barasından bakıldığında bu çalışma modlarına karşılık gelen eşdeğer devreler, Şekil 3.18 de gösterilmiştir.

Normal çalışma modu, lineer kontrol aralığındaki çalışma modudur. Bu modda; yüksek gerilim barasından görülen şekliyle statik var sistemi (SVS), bir kaynak gerilimi V_{ref} ile ona seri bağlı eğim reaktansı X_{SL} ye eşdeğerdir. SVS' nin çalışması kapasitif limite ulaştığında, alçak gerilim barasına bağlı sabit bir süseptans' a (B_c) eşdeğer olur. Yüksek ve alçak gerilim baraları arasındaki reaktans transformatörün kaçak reaktansı X_T dir. Benzer şekilde SVS çalışması endüktif sınırına ulaştığında, net değeri endüktif olan sabit bir süseptans (B_L) ye dönüşür. SVS akımının maksimum değeri I_{smax} ile sınırlıdır.



Şekil 3.17 Kararlı Hal V- I Karakteristiği .

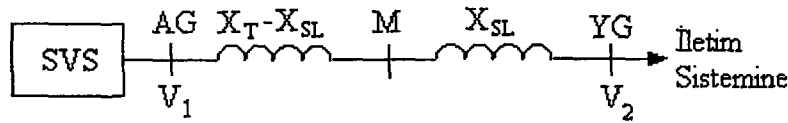




Şekil 3.18 Statik Var Sisteminin Kararlı Hal Eşdeğer Devreleri.

Güç sistem analizi için, Şekil 3.19 da gösterilen şebeke konfigürasyonu statik var sistemini temsil için kullanılabilir. Transformatör reaktansı X_T , X_{SL} ve $X_T - X_{SL}$ den oluşan iki parçaya ayrılarak arada M barası oluşturulur. Bu işlem; eğim reaktansının etkisini sisteme dahil ederek lineer kontrol modunda çalışan SVS yi uygun şekilde temsile imkan verir. Bu modda statik var sistemi, M barasının geriliminin V_{ref} e eşit olmasını kontrol eden bir PV barası ($P=0$) olarak temsil edilir. Reaktif limitlerden herhangi birine ulaşıldığında; SVS, alçak gerilim barasına bağlı sabit değerli bir süseptans halini alır ve M barası artık kontrol edilmez. SVS akımı, I_{smax} ile sınırlıdır.

Şekil 3.19 daki gösterim, statik var sisteminin üç çalışma modu için de uygundur. Ayrıca, aynı zamanda alçak gerilim barası da eşdeğer devrede yer almaktadır.



Şekil 3.19 Güç Sistem Analizi İçin SVS'nin Temsili Gösterimi.

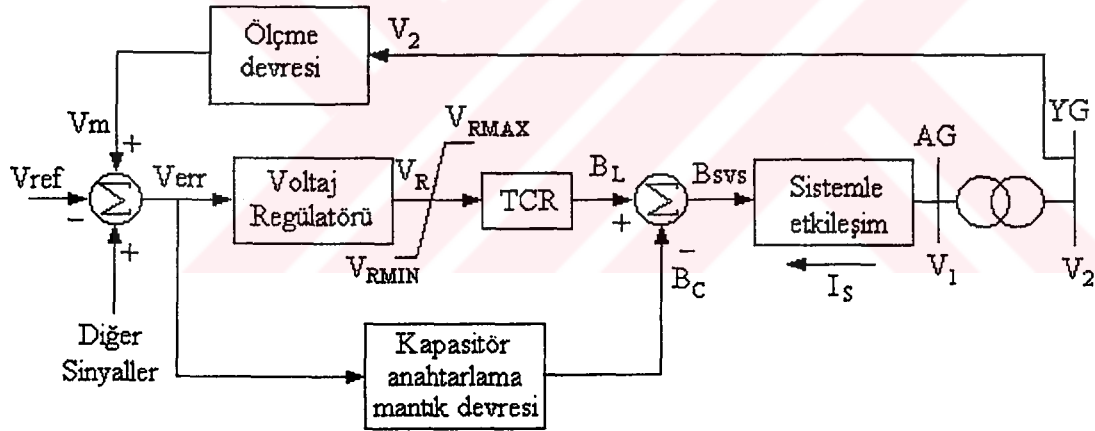
3.9.2 Statik Var Sisteminin Stabilité Analizindeki Eşdeğeri

Statik var sistemleri bağlanacakları sistemin ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde dizayn edilirler. Kullanılan kontrol teknikleri imalatçı firmaya ve kullandığı malzemenin



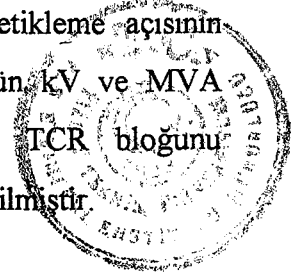
kalitesine göre değişir. Bu sebeple, şu ana kadar kullanımda bulunan çok çeşitli SVS uygulamalarını ayrıntılı biçimde temsil edebilecek standart stabilite modelleri geliştirilmemiştir. Bunun yerine, genel amaçlı çalışmalar için uygun temel modeller, CIGRE tarafından tavsiye edilmiştir [5]. Son zamanlardaki gelişmeleri de dikkate alan yeni bir temel modeller seti IEEE tarafından hazırlanmıştır [6]. Sisteme has özelliklerin stabilite analizini etkilemediği genel amaçlı çalışmalar için, bu tür temel modeller yeterlidir. Detaylı çalışmalar için mevcut kontrolleri de içeren eksiksiz modeller de gerekebilir.

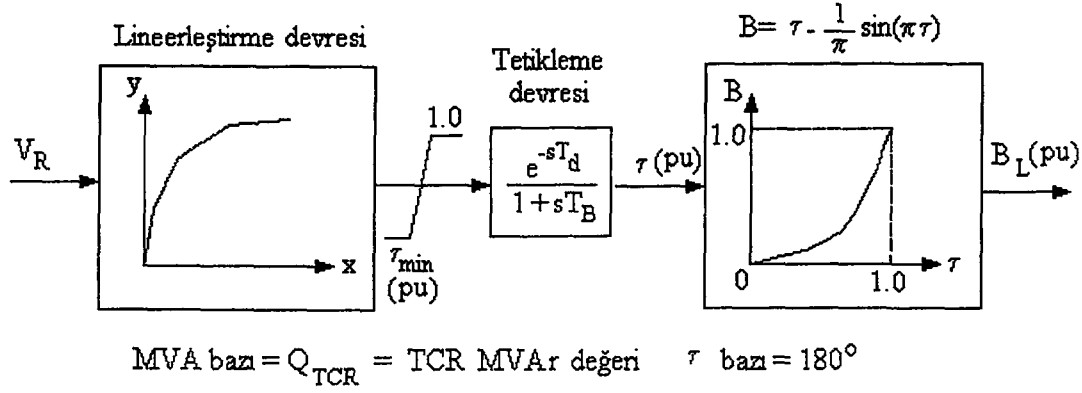
Burada, Şekil 3.16 da görülen tipte bir statik var sisteminin modellenmesi ele alınacaktır. Şekil 3.20 de statik var sisteminin fonksiyonel blok diyagramı gösterilmektedir. Stabilite modeli, mevcut her bir fonksiyonel bloğun matematiksel modelini tanımlayarak geliştirilebilir.



Şekil 3.20 Statik Var Sisteminin Fonksiyonel Blok Diyagramı.

Tristör kontrollü rektör (TCR) bloğu; reaktör süseptansının değişimini, tristör tetikleme devreleri (3.6 eşitliği), B_L süseptansı ile τ iletim açısı arasındaki nonlineer ilişkiyi kompanze etmek için kullanılan lineerleştirme devresi ve tetikleme açısının fonksiyonu olarak temsil eder. Şekil 3.21, tristör kontrollü reaktörün kV ve MVA değerleri baz alındığında, pu cinsinden değerlerle ifade edilmiş TCR bloğunu göstermektedir. İletim açısı τ da 180° bazına göre pu cinsinden ifade edilmiştir.

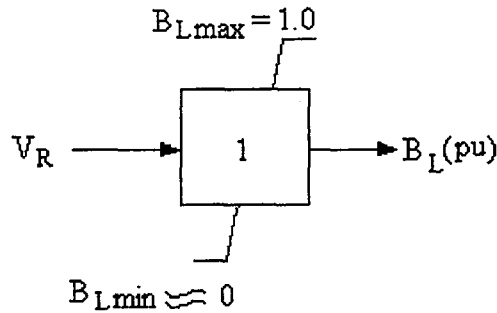




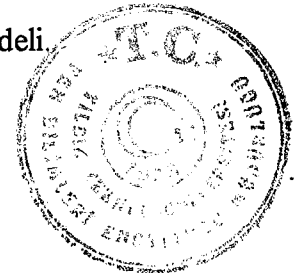
Şekil 3.21 Tristör Kontrollü Reaktör Blok Modeli.

Tetikleme devresi bloğunda görülen limitler, B_L nin değerlerini sınırlayan iletim açısındaki limitlerdir. B_L nin maksimum değeri pu cinsinden 1.0 a eşittir. Tipik olarak bir TCR için B_L nin minimum değeri 0.02 pu olup, sıfır kabul edilebilir. T_d parametresi tristör kapı iletim gecikmesi olup, yaklaşık 1ms değere sahiptir ve normalde ihmal edilir. Bu durumda $e^{-sT_d} \approx 1.0$ olur. Zaman sabiti T_B , tristör tetikleme kontrol işlemi ile ilgili sabittir ve değeri 5 ms civarındadır, bu da çoğu çalışma için ihmal edilebilir.

Eğer B_L ile τ arasındaki nonlineer ilişki çok iyi bir şekilde kompanze edildiği varsayılırsa; T_d ve T_B ihmal edilir, bu durumda TCR bloğu Şekil 3.22 de görüldüğü gibi birim kazanca sahip, limitleri olan bir blok tarafından temsil edilebilir.

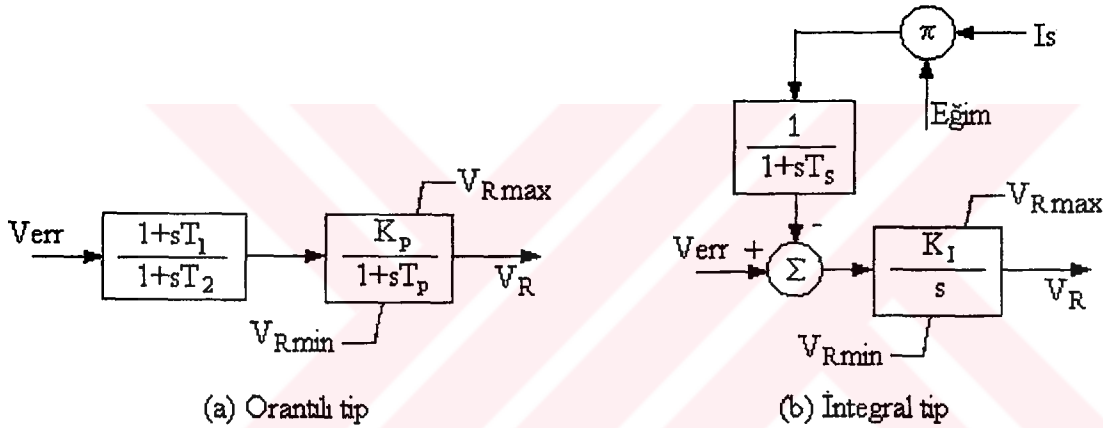


Şekil 3.22 Tristör Kontrollü Reaktör Bloğunun Basitleştirilmiş Modeli



Şekil 3.20 deki voltaj regülatörünün yapısı, statik var sisteminin dinamik performansını optimize manasına geldiğinden; uygulamadan uygulamaya değişir. Yaygın olarak kullanılan iki regülatör modeli Şekil 3.23 de verilmiştir.

Şekil 3.23 (a) da görülen orantılı tip regülatörde; K_p kazanç sabiti, azalma karakteristiğinin tersi alınarak bulunur, örneğin eğim reaktansı X_{SL} deki gibi. Zaman sabiti T_p , genelde 50 ile 100 ms aralığındadır. Şekil 3.23 (b) de ise integral tipi regülatör görülmektedir. Bu tipte azalma karakteristiği statik var sistemi akımının geri beslemesinden elde edilir. İki tür regülatör için de ilgili sınırlayıcılar non-windup tipindedir.



Şekil 3.23 Voltaj regülatörü modelleri.

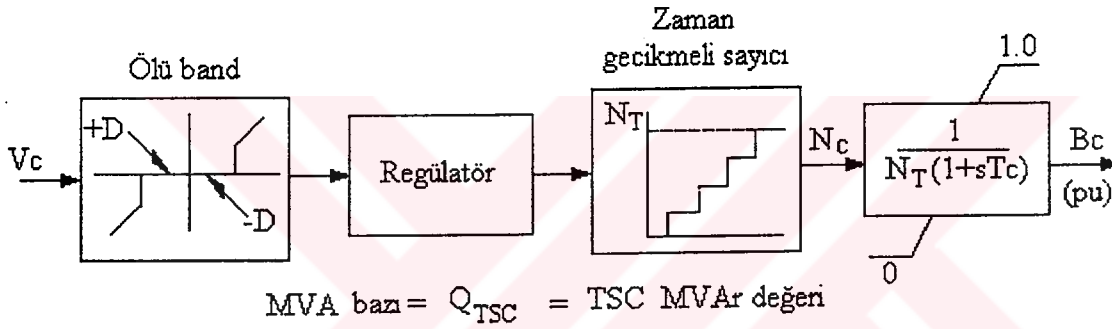
Şekil 3.20 deki ölçme devresi bloğu; ölçü trafoları, analog/dijital çevirici ve doğrultucuları içerir. Ölçme devresi, çok küçük olan zaman sabitleri ve iletim gecikmesine sebep olur. Sonuç olarak; ölçme devresi, 5 ms değere sahip basit bir zaman sabiti veya birim kazanç olarak temsil edilebilir.

Kapasitör anahtarlama mantık devresi, kullanılan şalter tipine göre temsil edilir, örneğin mekanik şalter (kesici) veya tristör şalter. Kullanılacak mantık devresi her sistem için ayrı ayrı ihtiyaca göre belirlenir.



Şekil 3.24 te tristör anahtarlamalı kapasitörün kV ve MVA değerleri baz alındığında, pu cinsinden değerlerle ifade edilmiş, tristör anahtarlamalı kapasitör (TCR) ü temsil için kullanıma uygun bir model gösterilmektedir. Modeldeki T_c sabiti, tristör kontrolü ile ilgili zaman sabitidir.

Gösterilen modelde, ayrı ayrı anahtarlanan kapasitör bankası ünite sayısı (N_T , her birinin aynı boyutta olduğu kabulüyle); verilen herhangi bir zaman aralığı içinde anahtarlanan ünite sayısı (N_c); ve T_c tristör tetikleme sırası kontrolü ile ilgili zaman sabitidir. V_c , TCR ile koordineli kontrol aksiyonu yardımıyla V_2 yi dar bir band içinde tutmaya çalışan kontrol sinyalidir.

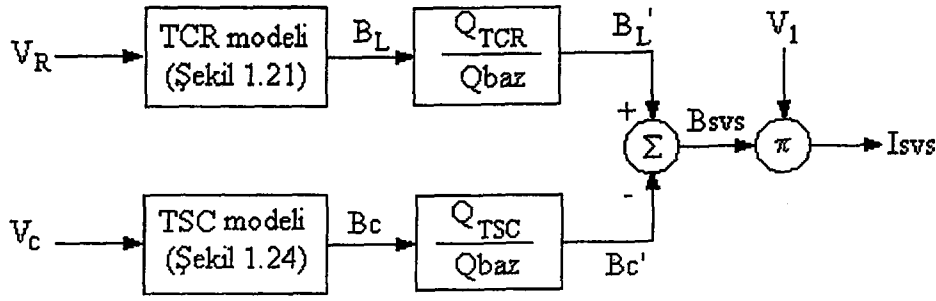


Şekil 3.24 Tristör anahtarlamalı kapasitör.

Şekil 3.25, kombine tristör kontrollü reaktör ve tristör anahtarlamalı sistemin pu cinsinden temsilini göstermektedir. TCR ve TSC nin ikisi de baz MVA olarak kendi MVAr değerleri kullanılarak modellenmiştir. B_L ve B_c süseptansları, bilinen 100 MVA bazına göre dönüştürülürler. Net süseptans B_{svs} ve toplam SVS akımı genel baza göre (100 MVA) ifade edilir. Net süseptans, B_{svs} eğer pozitif ise endüktif, negatif ise kapasitiftir. SVS akımı da eğer pozitifse endüktif demektir.

Çoğu sistem çalışmaları için, tristör anahtarlamalı kapasitörün Şekil 3.25 de görüldüğü gibi temsil edilmesi şart değildir. TSC nin cevap süresi ani kabul edilebilir ve böylece statik var sistemi, bir TCR ve MVAr değerleri uygun seçilmiş bir sabit kapasitör ile temsil edilebilir.



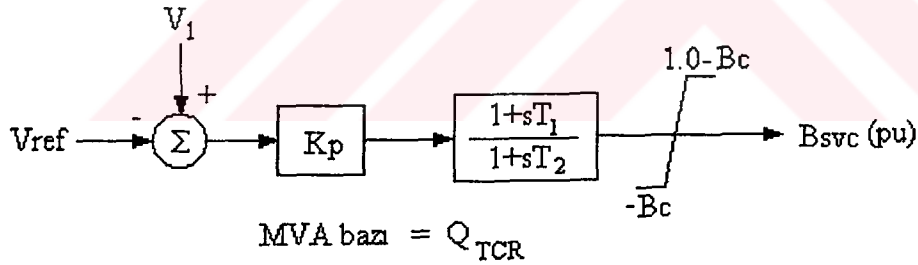


$$Q_{TSC} = \text{TSC nin MVAr değeri} \quad V_1 = \text{AG bara gerilimi}$$

$$Q_{TCR} = \text{TCR ın MVAr değeri}$$

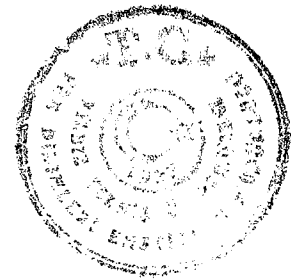
Şekil 3.25 Kombine TSC ve TCR Blok Diyagramı.

Sabit değerli kapasitör göz önüne alındığında, devreye alma çıkarma mantık devresine ihtiyaç olmadığı gibi, B_c süseptansı da sabit olur. Şekil 3.26 da TCR ve sabit değerli kapasitörden oluşan statik var kompensatörünün basitleştirilmiş modeli görülmüyor. Modeldeki TCR, orantılı tip regülatöre sahip olup değerleri, kendi değerleri baz alınarak pu cinsine çevrilmiştir.



Şekil 3.26 TCR ve Sabit Kapasitörden Oluşan SVC nin Basitleştirilmiş Modeli.

Statik var sistemini kontrol için yüksek gerilim barasından alınan geri beslemeye ek olarak diğer sinyaller, sistem stabilitesini geliştirmek amacıyla kullanılabilir.



4. BÖLÜM

YAPAY SİNİR AĞLARI

4.1 Giriş[7]

Yapay sinir ağları, geniş bir alana yayılmış bilimsel ve mühendislik problemlerinin çözümü için uygulanan bir teknolojidir. Yapay sinir ağlarının matematiği, biyolojik sistemlerin yararlı özellikleri kullanılarak elde edilmiştir. Biyolojik sinir sistemlerinde olduğu gibi, yapay sinir ağları da kendi çözüm tarzlarını bulmak için eğitilebilirler.[8]

Yapay Sinir Ağları (YSA); insan beyninin çalışma sisteminin yapay olarak taklit edilmesi sonucu ortaya çıkmıştır. YSA, insan beynindeki nöronlara karşılık gelen yapay basit işlemcilerin birbirlerine değişik etki seviyeleri ile bağlanmasından oluşan karmaşık bir sistemdir. Bugün YSA; fizik, matematik, elektrik ve bilgisayar mühendisliği gibi çok farklı bilim dallarında araştırma konusu haline gelmiştir. Yapay sinir ağlarının uygulamada kullanım alanı, değişik yapıda ve formlarda bulunabilen verileri hızlı bir şekilde sınıflandırma, tanımlama ve algılama üzerinedir. YSA, klasik tekniklerle çözümü zor problemler için mühendislik uygulamalarında etkin bir alternatiftir.

Yapay sinir ağları üzerine çalışmalar çok eskiye dayanır [9]. YSA' ya ait detaylı matematiksel modellerin gelişimi yarım asır önce McCulloch ve Pitts [10], Hebb [11], Rosenblatt [12] ve Widrow [13]' un çalışmalarıyla başladı. Yakın zaman çalışmaları ise Hopfield [14,15,16], Rumelhart ve McClelland [17], Sejnowski [18], Feldman [19], ve Grossberg [20] tarafından yapıldı. YSA üzerine yapılan teorik çalışmalar büyük ölçüde tamamlanmış olup, pratiğe yönelik çalışmalar yaygın olarak devam etmektedir.

4.2 Biyolojide Nöron ve Nöronun Matematiksel Modeli

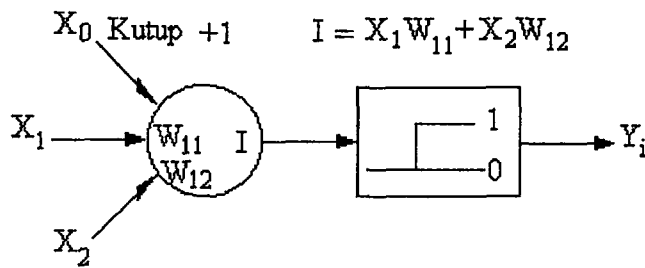
En karmaşık sinir ağı *Cerebral Cortex* denilen "beyin"dir. Yaklaşık 10^{10} sinir hücresinin bulunduğu beyinde, hücre başına bağlantı sayısı ise 10^4 mertebesinde.



Fiziksel boyutları yaklaşık 1.3 kg ve 0.15 m² kesitli olan beyin için çalışma frekansı 100 Hz.'dir. Vücudun değişik yerleri ile bilgi alışverişi yapan nöron hücresidir.

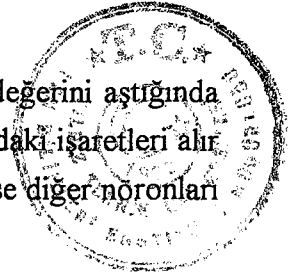
Nöron, soma adı verilen hücre gövdesi dentrit denilen kıvrımlı uzantılar ve somanın dalları sayesinde nöronu dallarına bağlayan tek sinir fiberli aksondan oluşur. Dendrit'ler hücreye gelen girişleri toplarlar. Dendrit tarafından alınan işaretler hücrede birleştirilerek bir çıkış darbesi üretilip üretilmeyeceğine karar verilir. Eğer bir iş yapılacaksa üretilen çıkış darbesi aksonlar tarafından taşınarak diğer nöronlarla olan bağlantılara veya terminal organlara iletilir. Beyindeki korteksde her nöronun bir karşılığı vardır. Bir nöronun çıkışı ona bağlı olan bütün nöronlara iletilir. Fakat korteks, işin yapılabilmesi için hangi nöron harekete geçirilecekse, sadece ona komut gönderir.

Somanın içinde ve çevresinde sodyum, kalsiyum, potasyum ve klor iyonları vardır. Potasyum yoğunluğu nöronun içinde, sodyum yoğunluğu dışındadır. Somanın zarı elektriksel olarak uyarılınca (söz konusu uyarı genellikle bir gerilim düşmesidir) zar, Na ve Ca gibi diğer iyonların içeri geçmesine izin verir ve somanın iç durumunu değiştirir. Nöronlar arasındaki bağlantılar "sinaps" adı verilen geçişlerde olur. Yardımcı bir benzetme aksonlarla, dendritleri elektrik sinyallerini nörona ileten değişik empedansdaki yalıtılmış iletken olmasıdır. Sinir sistemi; milyarlarca nöronun oluşturduğu ve bir nörondan çıkan aksonun 10000 kadar diğer nörona bağlandığı bir ağıdır. Aksonlarla düzeltilen işaretleri taşıyan sinapslar ile dendritler ve iç içe geçmiş nöronlar bir sinir ağı oluştururlar. Şekil 4.1'de bir eşik birimi olarak algılanabilecek nöron modeli, en basit formda gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Nöronun matematiksel modeli

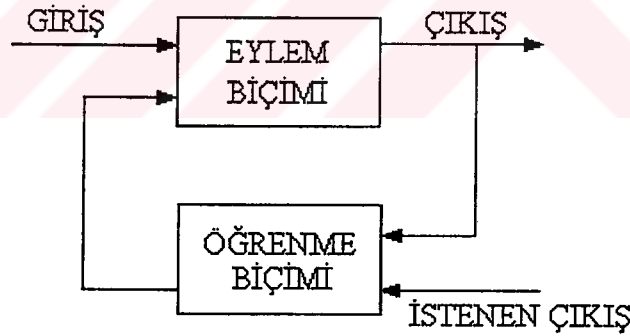
Eşik birimi, çıkışları toplayan ve sadece girişin toplamı iç eşik değerini aştığında bir çıkış üreten işlem elemanıdır. Bir eşik birimi olarak nöron sinapslarındaki işaretleri alır ve hepsini toplar. Eğer toplanan işaret gücü eşiği geçecek kadar güçlü ise diğer nöronları



ve dendritleri uyaran akson boyunca bir işaret gönderilir. Kesişen dendritlerden gelen sinapslarla kapılanan bütün işaretleri soma toplar. Toplam işaret daha sonra nöronun iç eşik değeri ile karşılaştırılır ve eşik değerini aşmışsa aksona bir işaret yayar. Yapay sinir ağları da, bu nöronlara benzer düğümlerin veya ünitelerin birbirlerine bağlanarak bir ağ'a dönüştürülmesiyle meydana getirilir.

4.3 Yapay Sinir Ağının Yapısı

YSA paralel dağılmış bir bilgi işleme sistemidir. YSA'nın temelinde, zeka gerektiren işlemlerden oluşan bilgi işleme işlevi vardır. Bu sistem, tek yönlü işaret kanalları (bağlantılar) ile birbirine bağlanan işlem elemanlarından oluşur. Çıkış işareti bir tane olup isteğe göre çoğaltılabilir. YSA yaklaşımının temel düşüncesiyle, insan beyninin fonksiyonları arasında benzerlik vardır. Bu yüzden YSA sistemine insan beyninin modeli denilebilir. YSA çevre şartlarına göre davranışlarını şekillendirebilir. Girişler ve istenen çıkışların sisteme verilmesi ile kendisini farklı cevaplar verebilecek şekilde ayarlayabilir. Ancak son derece karmaşık bir içyapısı vardır. Bu sebeple bugüne kadar gerçekleştirilen YSA; biyolojik fonksiyonların temel nöronlarını örnek alarak yerine getiren kompozit elemanlardır. Yapay sinir ağının genel blok diyagramı Şekil 4.2 de görülmektedir.

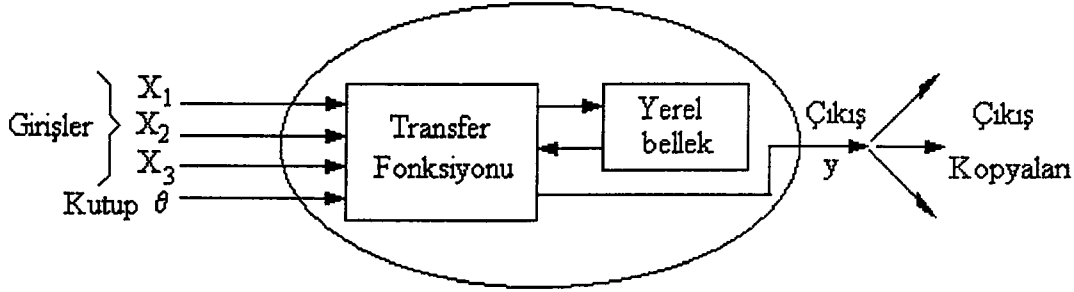


Şekil 4.2 YSA'nın blok diyagramı

4.3.1 İşlem Elemanı

Yapay sinir ağı basit yapıda ve yönlü bir graf biçimindedir. Ağı her bir düğümü hücre denilen n. dereceden lineer olmayan bir devreden oluşur. Düğümler işlem elemanı olarak tanımlanır ve aralarında bağlantılar vardır. Her bağlantı tek yönlü işaret iletim yolu (gecikmesiz) olarak görev yapar. Her işlem elemanı istenildiği sayıda giriş bağlantısı ve

tek bir çıkış bağlantısı alabilir. Fakat bu bağlantı kopya edilebilir. Yani bu tek çıkış birçok hücreyi besleyebilir. Ağ'daki tek gecikme, çıkışları ileten bağlantı yollarındaki iletim gecikmeleridir. İşlem elemanının çıkışı istenilen matematiksel tipte olabilir. Kısmen sürekli çalışma konumunda, "aktif" halde eleman bir çıkış işareti üretir. Giriş işaretleri YSA'na bilgi taşır. Sonuç ise çıkış işaretlerinden alınabilir. Şekil 4.3 'de genel bir işlem elemanı (nöron, düğüm) gösterilmiştir.



Şekil 4.3 YSA Genel İşlem Elemanı Yapısı.

YSA birtakım alt kümelerle ayrılabilir. Bu alt kümelerdeki elemanların transfer fonksiyonları aynıdır. Bu küçük gruplara "katman" layer adı verilir. (örn: çok katmanlı perceptron MLP) Ağ, katmanların birbirlerine hiyerarşik bir şekilde bağlanmasından oluşmuştur. Dış dünyadan alınan bilgi giriş katmanı ile taşınır. Giriş katmanı düğümlerinin transfer fonksiyonları yoktur. YSA transfer fonksiyonu ve yerel bellek elemanı bir öğrenme kuralı ile giriş çıkış işareti arasındaki bağıntıya göre ayarlanır. Aktif yapma girişi için bir zamanlama fonksiyonu tanımlaması gerekebilir. Kısaca bir YSA'dan beklenen görev, gerçek dünyadaki nesneler ile biyolojik sinir ağının yaptığı işlevi, benzer bir yolla yerine getirmesidir. YSA'nın giriş veri tipleri ikili (binary) 0-1 veya sürekli değerlerdir. Bu giriş durumlarından başka, işlem elemanlarına ait girişleri matematiksel olarak da sınıflamak gerekmektedir. Çünkü bir işlem elemanına gelen girişlerin bir kısmı azaltıcı uyarma girişleri olmaktadır. Bu arttırıcı veya azaltıcı girişler "giriş sınıflarını" oluşturur.

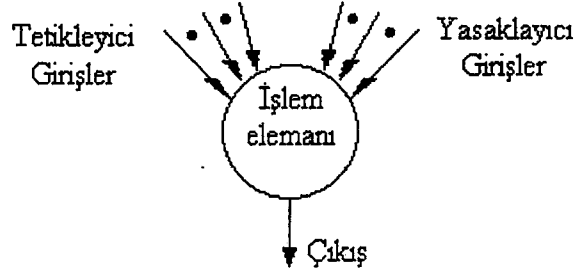
4.3.2 Giriş İşareti Sınıfları

İşlem elemanının transfer fonksiyonu gelen bütün giriş işaretleri için tanımlanır. Bazen değişik katman davranışlarının farklı olması tabiidir. İşaretlerin hangi bölgelerden geldiğinin bilinmesi gerekir. Değişik bölgelere göre işaretlerin sınıfları tamamlanabilir.



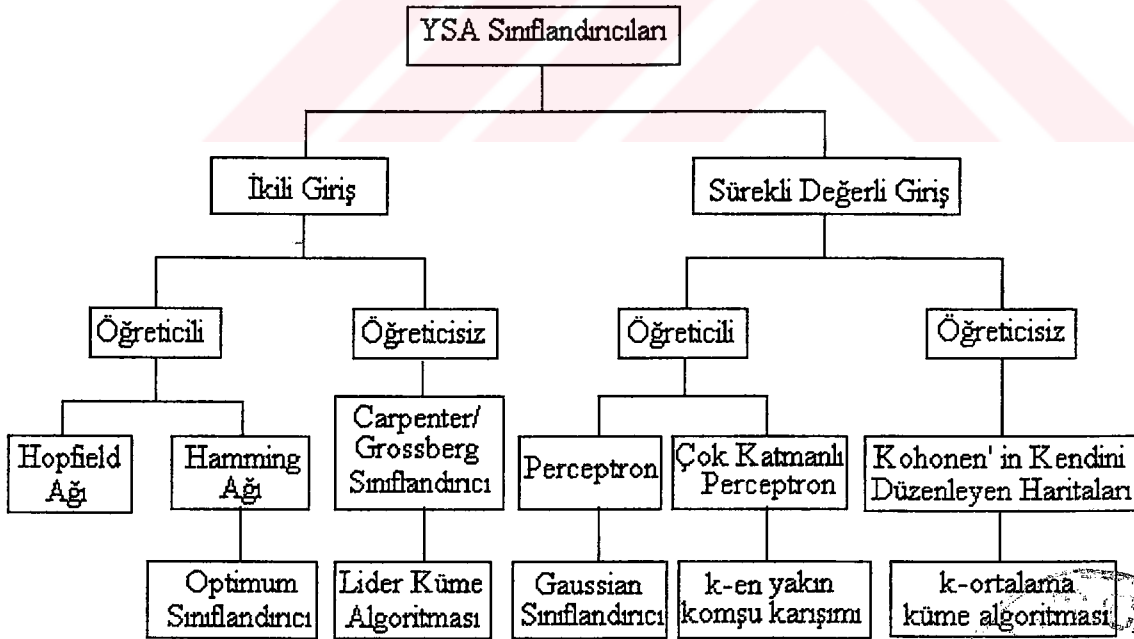
Sıkça izlenen bir yapı ise merkezde evet/çevrede hayır (on centre/off surround) yapısıdır. Bu yapı meksikalı şapkasına benzer bir eğri tipindedir.

İşlem elemanı tetikleyici girişlerin kendine yakın komşu girişlerden yasaklanan girişlerini daha uzaktan alır. Böylece işlem elemanına gelen girişler sınıflarına göre değerlendirilmiş olur. Tetikleyici bölgeden gelen girişler yasaklanan sınıfı oluşturur. Şekil 4.4 böyle bir işlem elemanını gösterir.

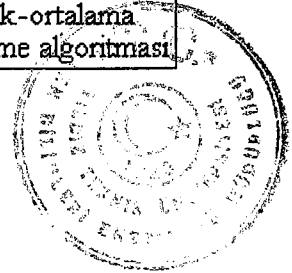


Şekil 4.4 Tetikleyici ve yasaklayıcı girişlere sahip bir işlem elemanı.

Bir işlem elemanına gelen girişler matematiksel tiplerine göre etiketlenilerek sınıflandırılır. YSA, giriş veri tiplerine göre ikili giriş (0,1) ve sürekli değerli giriş olmak üzere aşağıdaki gibi sınıflandırılır.



Şekil 4.5 Yapay Sinir Ağları Sınıflandırıcıları.



4.3.3 Bağlantı Geometrilere

Bağlantı geometrisi YSA için çok önemli olduğu için, bağlantılarda taşınan işaret verisinin cinsi tanımlanmalıdır. Bağlantı işareti her cinsten olabilir. Bağlantının nerede başlayıp nerede bittiğinin bilinmesi gerekir. 1'den n'e kadar olan bir işlem elemanı kümesinin bağlantıları aşağıda tanımlandığı gibi $n \times n$ boyutlu matris biçiminde gösterilebilir.

$$[w_{ij}] = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{n1} & w_{n2} & \dots & w_{nn} \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Bu matrisin elemanlarında;

$$w_{ij} = w_{ji} = 1 \Leftarrow i. \text{ işlem } j. \text{ işlem elemanına bağlı}$$

$$w_{ij} = w_{ji} = 0 \Leftarrow \text{bağlı değil}$$

En fazla n^2 bağlantı olur. Bağlantılar çeşitli geometrik bölgeler arasında demetler halinde düşünülebilir. Bu bağlantı demetlerinin uyması gereken kurallar şunlardır:

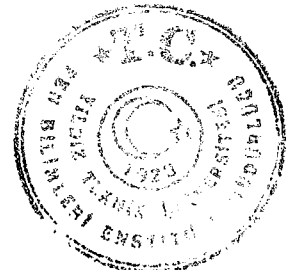
- Bağlantı demetini oluşturan işlem elemanları aynı bölgeden çıkmalıdır.
- Bağlantı demetinin işaretleri aynı matematiksel tipten olmalıdır.
- Bağlantı demetinin işaretleri aynı sınıftan olmalıdır.
- Bağlantı demetinin bir seçim fonksiyonu (σ) olmalıdır. $\sigma : T \rightarrow 2^S$ T:Hedef

bölgesi, S:kaynak bölgesi

Hedef bölgesindeki her işlem elemanı kaynak bölgesindeki her elemana giderse "tam" bağlantılı elde edilir (örn:çok katmanlı perceptron). Eğer her hedef bölgesi elemanı n kaynak bölgesi elemanına bağlı ise " düzgün dağılımlı" olasıdır. Ayrıca her bir elemana, yine bir kaynak elemanı bağlı ise buna "bire-bir" bağlı denir.

4.3.4 YSA Ağ Tipleri

Üç çeşit ağ tipi vardır:



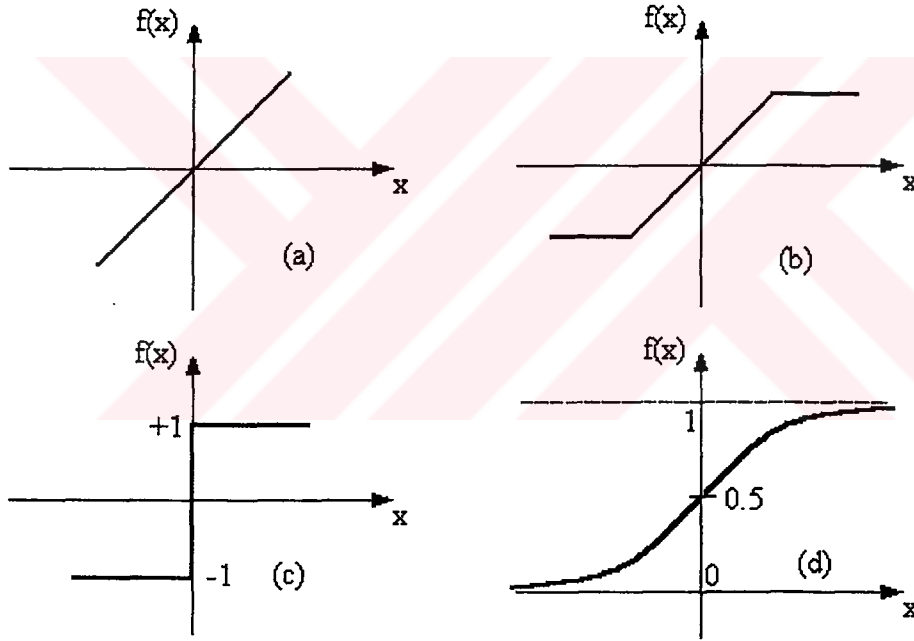
1- İleri beslemeli ağ: Her bir katmandaki hücreler sadece bir önceki katmanın hücrelerince beslenir.

2- Kaskat bağlantılı ağ: Hücreler sadece önceki katmanlardaki hücrelerce beslenir.

3- Geri beslemeli ağ: En az bir hücre sonraki katmanlardaki hücrelercede beslenir.

4.3.5 Eşik Fonksiyonları

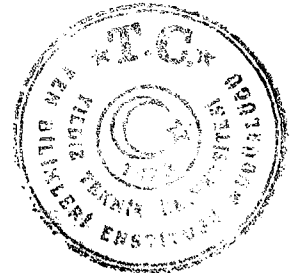
Transfer veya işaret fonksiyonları olarak da adlandırılan eşik fonksiyonları; muhtemel sonsuz domen girişli işlem elemanlarını, önceden belirlenmiş sınırdaki çıkış olarak düzenler. Dört tane yaygın eşik fonksiyonu vardır. Bunlar, rampa, basamak ve sigmoid fonksiyonudur. Şekil 4.7'da bu fonksiyonlar gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Çok kullanılan eşik fonksiyonları.

Şekil 4.6.a da gösterilen lineer fonksiyonun denklemi aşağıdaki gibidir:

$$f(x) = \alpha x \quad (4.2)$$



Formulde α , işlem elemanının x aktivitesini ayarlayan reel değerli bir sabittir. Lineer fonksiyon $[-\tau, +\tau]$ sınırları arasında kısıtlandığında (b)'deki rampa eşik fonksiyonu olur ve denklemi;

$$f(x) = \begin{cases} \tau: & \text{eger } x \geq \tau \\ x: & \text{eger } |x| < \tau \\ -\tau: & \text{eger } x \leq -\tau \end{cases} \quad \text{şeklini alır.} \quad (4.3)$$

$+\tau$ ($-\tau$) işlem elemanının maksimumu (minimumu), çoğu zaman doyma seviyesi olarak adlandırılan çıkış değeridir. Eğer eşik fonksiyonu bir giriş işaretine bağlı ise yaydığı $+\tau$ giriş toplamı pozitif, bağlı değilse eşik basamak fonksiyonu $[-\delta]$ olarak adlandırılır. Şekil 4.6.c, basamak eşik fonksiyonunu gösterir ve denklemi;

$$f(x) = \begin{cases} \tau & \text{eger } x > 0 \\ -\delta & \text{diger durumlar} \end{cases} \quad \text{şeklindedir.} \quad (4.4)$$

Çok kullanılan eşik fonksiyonu sigmoid fonksiyonudur. Şekil 4.6.d de gösterilen sigmoid fonksiyonu; seviyeli, lineer olmayan çıkış veren, sınırlı, monoton artan fonksiyondur. Denklemi;

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad \text{biçimindedir.} \quad (4.5)$$

Her işlem elemanı kendisine verilen yerel veriye göre, kendisini ayarlayacak bütün YSA'nın enformasyon bölgesinin öğrenmesini sağlar. (Enformasyon bölgesi olasılık-yoğunluk fonksiyonu ile de tanımlanabilir). Enformasyon bölgesi birçok uygulamada, gerçek değer "0" ile "1" arasında normalize edilmesi gerekir. Normalizasyon aynı anda bütün girişlere uygulanabilir.

4.3.6 Ağırlık Uzayı

Bir çok YSA öğrenme işlemi, işlem elemanlarının ağırlığı değiştirilerek sağlanır. Böylece tanımlanan ağırlık değiştirilerek öğrenmede iyi bir model kullanıp, ağırlıkların bu modele göre değiştirilmesi esastır. Basit bir matematiksel model olarak her bir işlem



elemanının "n" adet gerçek ağırlığı olduğu düşünülerek ve N adet işlem elemanı gözönüne alınırsa;

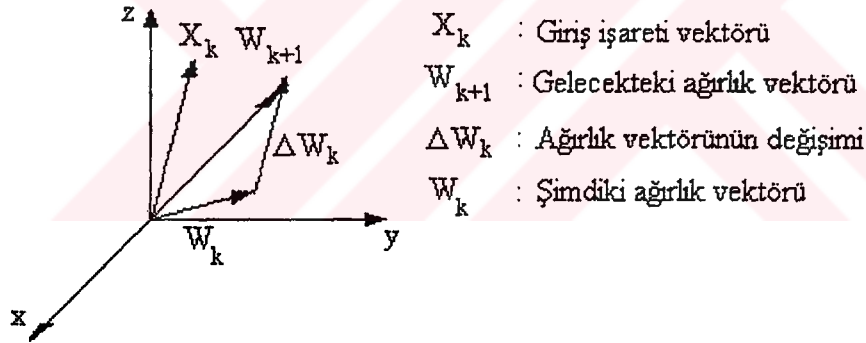
$$w = (w_{11}, w_{12}, \dots, w_{1n}, w_{21}, w_{22}, \dots, w_{2n}, \dots, w_{N2}, w_{N2}, \dots, w_{Nn})^T \quad (4.6)$$

$$w = (w_1^T, w_2^T, w_3^T, \dots, w_N^T) \quad (4.7)$$

Burada; $w_1, w_2, \dots, w_N$: işlem elemanlarının ağırlık vektörleridir.

$$w_1 = \begin{bmatrix} w_{11} \\ w_{12} \\ \vdots \\ w_{1n} \end{bmatrix}, \dots, w_N = \begin{bmatrix} w_{N1} \\ w_{N2} \\ \vdots \\ w_{Nn} \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

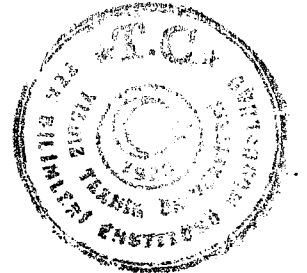
YSA ağırlık vektörü N, n boyutlu orkid uzayında yayılır. YSA'nın enformasyon işleme performansı, ağırlık vektörünün belirli bir değeri ile bulunacaktır. Aşağıda Şekil 4.7' de ağırlıkların düzeltiliminin vektörel çizimi verilmiştir.



Şekil 4.7 Üç Boyutlu Uzayda Ağırlık Vektörünün Değişimi.

Şekilde görüldüğü gibi $\Delta W_k, X_k$ ile aynı doğrultuda olduğunda istenen hata düzeltilimini en küçük ağırlık değişimi ile elde etmek mümkündür. Böylece yeni bir giriş örüntüsü uygulandığında önceki eğitim örüntülerinin cevabı en az bozulmuş olur. Hata değişimini inceleyen iki çeşit kural vardır.

- 1- Hata düzeltme kuralları ,
- 2- Gradyen kuralları.



Hata düzeltme kuralları; Her bir giriş örüntüsünde ağırlıkları yeniden ağırlayarak çıktı hatasını en aza indirmeye çalışırlar. Gradyen kurallarında ise, ağırlıklar yeniden ayarlanarak ortalama karesel hatayı (MSE) en aza indirilmeye çalışılır.

Bu noktada gradyen kuralından kısaca bahsedecek olursak, hatayı düzeltmenin (yani minimize etmenin) geometrik bir yorumunu yapmak mümkündür. Bunu yapabilmek için ağırlıkların mümkün olan tüm değerleri, hataların kareleri toplamına karşı gelecek şekilde üç boyutlu koordinat sisteminde çizilir. Bu çizim sonunda hata yüzeyi küresel bir top şeklindedir. Bu yüzeyi bir tasa da benzetmek mümkündür. Tasın en alt kısmı hataların kareleri toplamının en küçük değerlerine karşı gelmektedir. Eğitim sırasında amaç ağırlıklar kümesinin en iyisini bulmak olan, en alt kısmına ulaşmaktır. Geriye-yayılım algoritması o andaki ağırlıklar yerine, yüzey hatasının eğimini hesaplayarak amacına ulaşır. Daha sonra da bu ağırlıkları tasın alt kısmına doğru artımsal olarak değiştirir. İşte bu artımsal olarak tasın üst kısmından alt kısmına doğru ilerleme işlemine “gradyen iniş” denir.

Ağırlık vektörü ile çalışan YSA'da önemli noktalardan birisi, bir öğrenme kuralı geliştirip, enformasyon bölgesi kullanarak (eşik fonksiyonu ile) ağırlık vektörü "w" yı istenilen YSA performansı verecek noktaya yöneltmektir. Genellikle öğrenme kuralı için bir performans ya da maliyet fonksiyonu tanımlanır. Minimizasyon veya maksimizasyon ile "w" vektörü bulunur. Bir performasyon çeşidi olarak bilinen, MSE (karesel ortalama hata) şu şekilde tanımlanır.

$$F(w) = \oint_A |f(x) - G(x, w)|^2 \rho(x) dv(x) \quad (4.9)$$

Formülde :

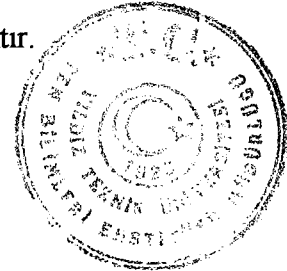
$y=G(x,w)$: sistemin giriş çıkış fonksiyonu.

y : çıkış işareti vektörü

x : giriş işareti vektörü

w : ağırlık vektörü

$\rho(x)$: olasılık yoğunluk fonksiyonu olup amaç $F(w)$ 'i küçültmeye çalışmaktır.



4.4 Yapay Sinir Ağlarında Eğitim

4.4.1 Eğitim Algoritmaları

Eğitim algoritmaları yapay sinir ağlarının (YSA) ayrılmaz bir parçasıdır. Eğitim algoritması eldeki problemin özelliğine göre öğrenme kuralını YSA'na nasıl adapte edeceğimizi belirtir. Üç çeşit eğitim algoritması yaygın olarak kullanılmaktadır.

- 1- Öğreticili eğitim (supervised training).
- 2- Skor ile eğitim (graded training).
- 3- Kendini düzenleme ile eğitim (self-organization training)

Öğreticili eğitimde, elde doğru örnekler vardır. Yani $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ şeklindeki giriş vektörünün, $(y_1, y_2, \dots, y_n)$ şeklindeki çıkış vektörü, tam ve doğru olarak bilinmektedir. Herbir $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ çifti için ağ doğru sonuçları verecek şekilde seçilen bir öğrenme kuralı ile beraber eğitilir.

Skor ile eğitimde giriş işaretlerine karşılık gelen çıkış işaretleri tam olarak bilinmemektedir. Çıkış işareti yerine skor verilir ve ağın değerlendirilmesi yapılır. Özellikle kontrol uygulamaları için idealdir. Çeşitli maliyet (cost) fonksiyonları kullanılır.

Kendini düzenleyen ağ; giriş işaretine göre kendini düzenleyerek organize eder. Olasılık yoğunluk fonksiyonlarına, sınıflandırma ve şekil tanıma problemlerine uygulanabilir.

Ne tür eğitim yöntemi kullanılırsa kullanılsın, herhangi bir ağ için gerekli karakteristik özellik, ağırlıkların verilen eğitim örneğine nasıl ayarlanacağını belirtilerek öğrenme kuralının oluşturulmasıdır. Öğrenme kuralının oluşturulması için bir örneğin, ağa defalarca tanıtılması gerekebilir. Öğrenme kuralı ile ilişkili parametreler ağın zaman içinde gelişme kaydetmesiyle değişebilir. Hangi YSA algoritmasında ne tür bir eğitim kullanıldığı bu bölümün giriş işaretlerinin sınıflandırılması kısmında gösterilmiştir.

4.4.2 YSA' da Bilgiyi Saklama

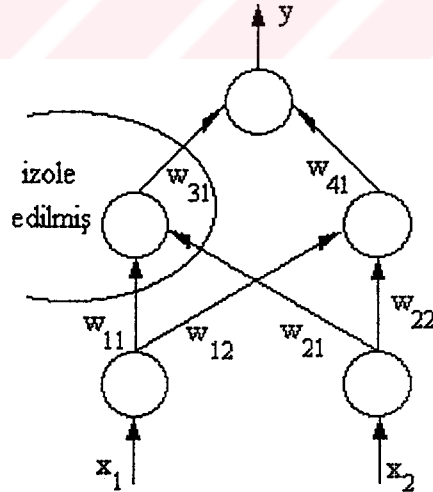
YSA'nın önemli bir özelliği bilgiyi saklama şeklidir. YSA'da bellek dağıtılır. Bağlantı ağırlıkları YSA bellek biçimleridir. Ağırlıkların değerleri ağın önceki bilgi



durumunu temsil eder. Mesela; bir giriş/istenen çıkış çiftinin belirtilen bilgi parçası ağı içinde birçok bellek biçimine dağıtılmıştır. Bellek üniteleri ile diğer saklı bilgiler, bu bilgiyi paylaşırlar. Bazı YSA bellekleri ilişkilidir. Öyleki eğitilen ağa bir kısmı uygulanırsa, ağ bu girişe belleğindeki en yakın çıkışı bu giriş için seçer ve tam girişe bağlı çıkış ortaya çıkar. Eğer YSA oto-ilişkili ise, kısmi giriş vektörlerinin ağa verilmesi bu girişlerin tamamlanması ile sonuçlanır. YSA belleğinin yapısı; eksik, gürültülü ve tam seçilemeyen bir giriş uygulandığı zaman bile mantıklı çıkış üretmeye uygundur. Bu kurala "genelleme " adı verilir. Bir genellemenin kalitesi ve anlamı, uygulama çeşidine, ağına tipine ve karmaşıklığına dayanır. Lineer olmayan çok katmanlı ağlar (özellikle geriye yayılım ağları) gizli katmandaki özelliklerden öğrenirler ve bunları çıkışlar üretmek için birleştirirler. Gizli katmandaki bilgi, yeni giriş örüntülerine akılcı çözümler oluşturmak için kullanılabilir.

4.4.3 Hata Toleransı

Klasik hesaplama sistemleri çok az bir zarardan bile etkilenir. YSA için durum farklıdır. Bu farklılık YSA'nın hata toleranslı olmasıdır. İşlem elemanlarının az da olsa zarar görmesi sistemin bütününe etkiler. YSA paralel dağılmış parametrelili bir sistem olduğundan her bir işlem elemanı izole edilmiş bir ada olarak düşünülebilir. Şekil 4.8 'de çok katmanlı perseptron (MLP) için bu durum gösterilmiştir.



Şekil 4.8 MLP'nin izole edilmiş hali

Daha çok işlem elemanın zarar görmesi ile sistemin davranışı biraz daha değişir. Performans düşer ama sistem hiç bir zaman durma noktasına gelmez. YSA sistemlerinin



hata toleranslı olmasının nedeni bilginin tek bir yerde saklanmayıp, sisteme dağıtılmasıdır. Bu özellik sistemin durmasının önemli bir zarara neden olacağı uygulamalarda önem kazanır.

4.5 Öğrenme Kuralları

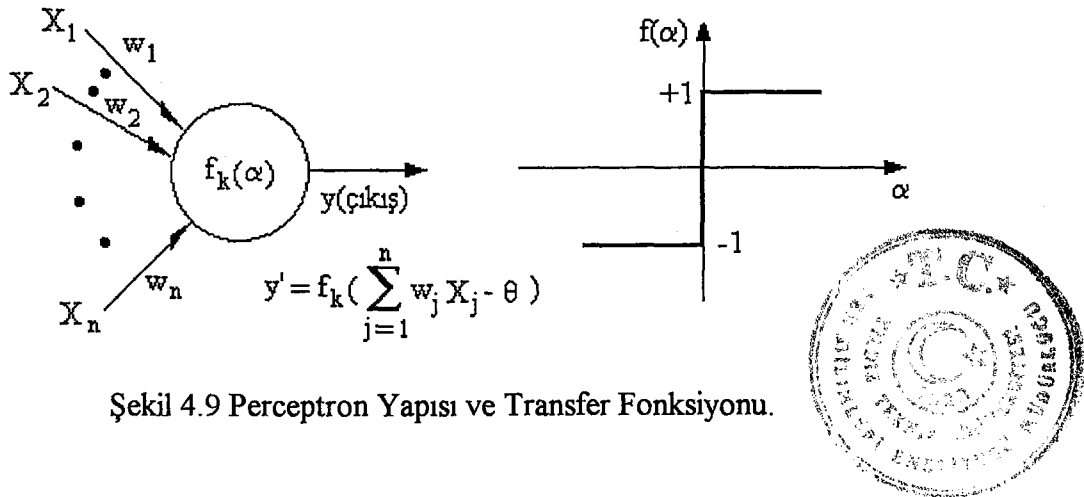
Bilginin kurallar şeklinde açıklandığı klasik uzman sistemlerin tersine, YSA gösterilen örnekten öğrenerek kendi kurallarını oluşturur. Öğrenme; giriş örneklerine veya (tercihen) bu girişlerin çıkışlarına bağlı olarak ağırlık bağlantı ağırlıklarını değiştiren veya ayarlayan öğrenme kuralı ile gerçekleştirilir.

Öğreticisiz öğrenmede her giriş işareti için istenen çıkış sisteme tanıtılır ve YSA giriş/çıkış ilişkisini gerçekleştirene kadar kademe kademe kendini ayarlar. Günümüzde kullanılan birçok öğrenme kuralı vardır. Bilinen en çok kullanılan öğrenme kuralları şunlardır.

- Raslantısal (Hebb) öğrenme kuralı
- Performans (Widrow ve ADALİNE) öğrenme kuralı
- Kompetitif (Kohonen) öğrenme
- Filtreleme (Grossberg)
- Spotitemporal öğrenme
- Genelleştirilmiş Delta Kuralı Öğrenme

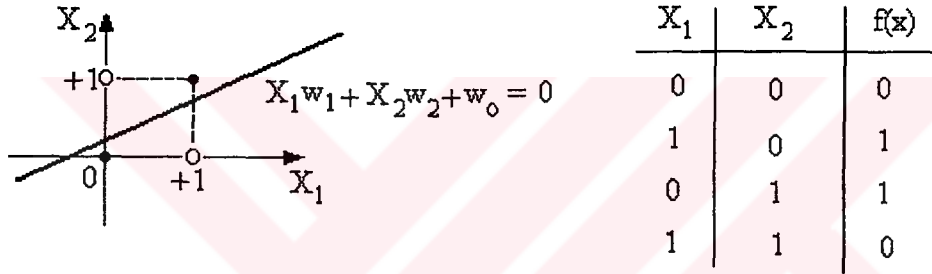
4.5.1 Perceptron (idrak, almaç)

Perceptron ağı, ilk 1943 yılında Mc Culloch ve Pitts tarafından saptandı (Mc culloch et al, 1943). Bahsedilen YSA tipi aşağıda Şekil 4.9'da gösterildiği gibidir.



$$\sum_{j=1}^n w_j x_j - \theta = 0; n\text{- boyutlu uzayda } n-1 \text{ boyutlu bir düzlem belirler.} \quad (4.10)$$

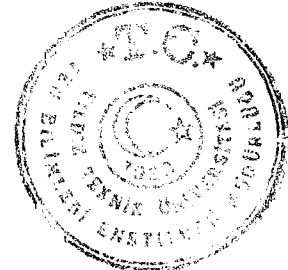
Yani bu ilk perceptron modeline göre, giriş bilgisinin mevcut iki sınıftan hangisine eşit olabileceğini bulacak şekilde eğitilen basit bir ağıdır. Daha sonra 1960 yıllarında F.Rosenblatt yukarıdaki ağ tipini biraz daha geliştirdi (Hebb, 1949). Ama Minshy ve Papert bu tek katmanlı perceptronun XOR (ayrıcalıklı veya) işlemini gerçekleştiremediğini ispatladılar (Minsky et al, 1969). Şekil 4.10' dan anlaşılacağı gibi 0'ları bir tarafta 1'leri bir tarafta ayıracak şekilde bir bölge oluşmıyor. XOR gibi 3 veya daha fazla sınıfa ihtiyaç duyulan problemleri çözmek için yapılması gereken işlem; yapay sinir ağına yeni katmanlar eklemektir. Eşik bağlarıyla oluşturulan karar bölgesi şeklinin karmaşıklığı sadece eklenmiş olan katmanların sayısı ile sınırlıdır.



Şekil 4.10 Lineer Olarak Ayrılabilirliğin Gösterimi.

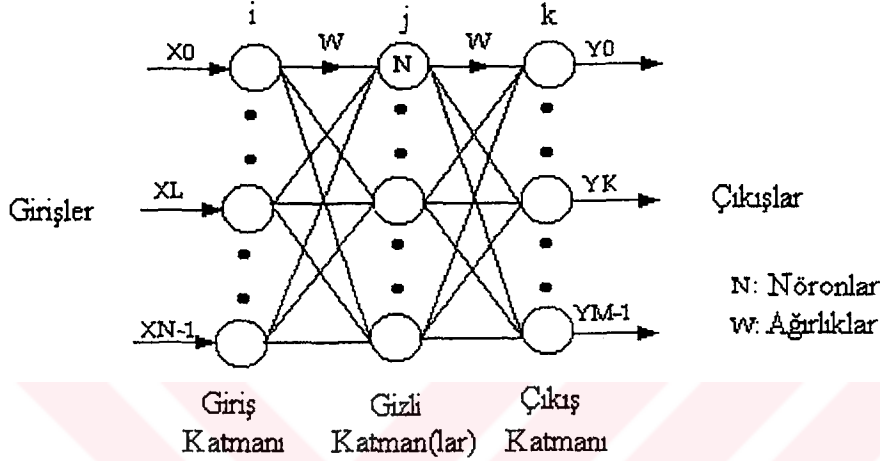
Bilgi lineer yayılamıyorsa 2.katmanın çıkışı konveks bölgededir bunun neticesi olarak 3.katmandan gelecek olan çıkış bilgisinin şekli, herhangi bir bölgenin şeklinde olabilir. Bu sebeple ihtiyaç duyulan katman sayısı üç olmaktadır. İç-bükey olmayan, hatta basit bağlantılı olmayan bölgeleri kümelemek ancak 3- katmanlı ağ ile mümkündür.

Gutierrez ve arkadaşları değişik perceptron ağlarının ihtiyacı olan düğüm sayıları hakkında çalışma yaptılar ve çok fazla düğüm kullanmanın; yetersiz sayıda düğüm kullanmada olduğu gibi zararlı etkisi olduğunu buldular (Gutierrez et al, 1989). Tek katmanlı perceptronda, uygulanan her eğitimin seti modelinin özelliği lineer biçimde dağılmak zorunda olmasıdır. Rosenblatt perceptron ağının lineer dağılım varsa kararlı olacağını gösterdiler.



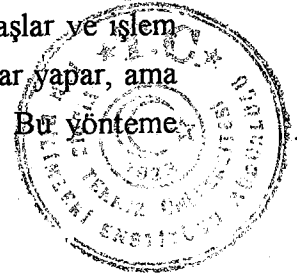
4.5.2 Çok Katmanlı Perceptron (Multi-Layer Perceptron)

Çok katmanlı perceptron giriş ve çıkış katmanları arasında birden fazla katmanın kullanıldığı YSA sistemleridir. Gizli katman (hidden layer) olarak isimlendirilen bu katmanlarda , düğümleri aracısız giriş olamayan ve aracısız çıkış veremeyen üniteler vardır. Şekil 4.11 'de çok katmanlı perceptronun genel yapısı verilmiştir.



Şekil 4.11 Çok katmanlı perceptron

İki katmanlı ağlarda veriler giriş katmanı tarafından kabul edilirler. Ağ içinde yapılan işlemler sonucunda çıkış katmanında oluşan sonuç değer işlenen cevap ile karşılaştırılır. Bulunan cevap ile istenen cevap arasındaki herhangi bir fark varsa ağırlıklar bu farkı azaltacak şekilde yeniden düzenlenir. Girişteki değer, ağırlıklar uygun noktaya ulaşana kadar değişmez. Hesaplanan çıkışlar istenilen cevaplarla karşılaştırılarak sonuçta gerekirse hata işaret belirtilir. Hata işareti gizli birimlerden çıkış birimine olan ağırlıkları değiştirmekte kullanılır. Ama bunu yaparken giriş katmanından gizli katmana gelenin değiştirilip değiştirelemediğini düşünmek gerekir. Gizli birimlerden ne tür bir çıkış istendiği bilinmeyeceği için gizli birimlerin çıkışında hata işareti verilmesi kolay bir şey değildir. Bunun yerine her bir birimin, çıkış biriminin hatalarına olan etkisi bilinmelidir. Bu hatalı birim için gizli birime bağlı olan çıkış birimlerinin hata işaretlerinin ağırlıkları toplamı alınarak yapılır. Çok sayıda gizli katmana sahip sistemlerde her sistemin hata işaretleri, bir önceki katmanın düzeltilmiş işaretlerinden çıkartılarak işlem tekrarlanır. Sonuç olarak ağırlık düzeltme işlemi çıkış seviyesine bağlı ağırlıklardan başlar ve işlem ters yönde, giriş seviyesine varana kadar devam eder. Sonuçta sistem hatalar yapar, ama bu hatalardan birşeyler öğrenip isteneni bulana kadar işleme devam eder. Bu yöntemle



"hatanın geriye yayılması algoritması" (Error back-propagation algorithms) denir. Çalışmada bu algoritma kullanıldığından incelenecektir.

4.5.3 Hatanın Geriye Yayılması Algoritması ve Genelleştirilmiş Delta Kuralı

Hatanın geriye yayılması algoritması, karesi alınmış hata fonksiyonunu minimize eden kodlu bir algoritma olup, genelleştirilmiş delta kuralını eğitime için kullanılır. Şekil 4.12'de blok akış diyagramı gösterilen algoritma, ana hatlarıyla şöyledir:

Her bir j biriminin çıkışı o_j şu şekilde tanımlanır;

$$o_j = f(net_j) = f(x) \quad \text{ise} \quad net_j = \sum_i w_{ji} o_i + \theta_j \quad (4.11)$$

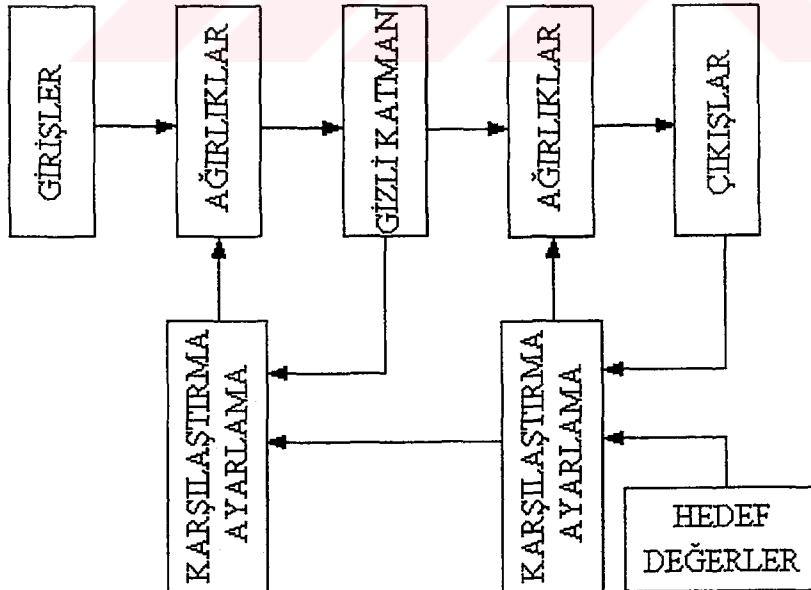
Burada: o_i ; i . biriminin çıkışı

w_{ji} ; i biriminden j birimine bağlantının ağırlığı,

θ_j ; j biriminin kutbu (bias)

net_j ; çıkışı j birimine akan her i biriminin toplamıdır.

$f(x)$; bir monoton artan ve türevi alınabilen fonksiyondur. Pratikte bir lojistik aktivasyon fonksiyonu olarak (4.5) numaralı eşitlikte verilen sigmoid fonksiyonu daha çok kullanılır.



Şekil 4.12 Hatanın geriye yayılması algoritmasının blok akış diyagramı



m-boyutlu giriş örüntüleri set edildiğinde $\{ i_p = (i_{p1}, i_{p2}, \dots, i_{p2}) ; p \in P \}$ 'dir. Benzer şekilde istenilen n- boyutlu çıkış örüntüleri $\{ t_p = (t_{p1}, t_{p2}, \dots, t_{pn}) p \in P \}$ belirtir. Burada; P:YSA uygulanan işaret şekilsel v.b. örüntüleri verir.

Bir görüntü için karesel hata (MSE) fonksiyonu E_p şu şekilde tanımlanır:

$$E_p = \frac{1}{2} \sum (t_{pj} - o_{pj})^2 ; j \in \text{çıkış katmanı} \quad (4.12)$$

Amaç uygun w_{ji} ve q_j seçimiyle, $E = \sum_p E_p$ toplam hatayı yeterince küçük yapmaktır. Bu amacı gerçekleştirmek için, bir $p \in P$ örüntüsü ard arda ve rasgele biçimde seçilir. Daha sonra w_{ji} ve q_j şöyle değiştirilir;

i_{pi} : Giriş işaretinin i bileşeni;

t_{pj} : Çıkış vektörünün j bileşeni;

o_{pj} : YSA uygulanan P örüntü setinin ürettiği çıkış olmak üzere;

$$\delta_{pj} = (t_{pj} - o_{pj}) \quad (4.13)$$

$$\Delta_p w_{ji} = -\varepsilon \left(\frac{\partial E_p}{\partial w_{ji}} \right) \quad (4.14)$$

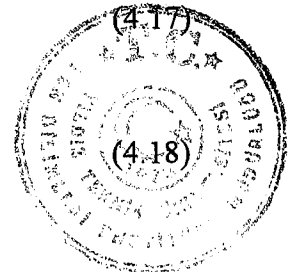
$$\Delta_p \theta_j = -\varepsilon \left(\frac{\partial E_p}{\partial \theta_j} \right) \quad (4.15)$$

Burada ε : öğrenme oranı adı verilen küçük bir pozitif sabit sayılır. Şayet gizli katman yok ise; (4.14) ve (4.15)'in sağ tarafı hesaplanır, o zaman;

$$\frac{\partial E_p}{\partial w_{ji}} = \frac{\partial E_p}{\partial o_{pj}} \frac{\partial o_{pj}}{\partial w_{ji}} \quad (4.16)$$

$$\frac{\partial E_p}{\partial o_{pj}} = -(t_{pj} - o_{pj}) = -\delta_{pj} \quad (4.17)$$

$$o_p = \sum_i w_{ji} i_{pi} \text{ ise;}$$

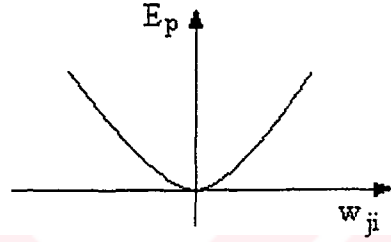


$$\frac{\partial o_{pj}}{\partial w_{ji}} = i_{pi} \quad (4.19)$$

elde edilir. (4.17) ve (4.19) ifadelerini (4.16)'da yerine konulursa;

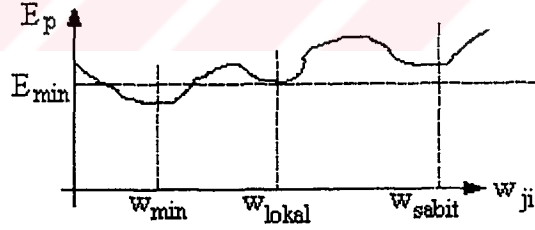
$$-\frac{\partial E_p}{\partial w_{ji}} = \delta_{pj} i_{pi} \quad (4.20)$$

olur. Hata fonksiyonu Şekil 4.13 de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.13 Gizli katmanı olmayan ağıın hata fonksiyonu

Gizli katman bulunan yapay sinir ağlarında ; hata düzeyi Şekil 4.13'de olduğunun aksine bir minimumdan daha fazladır. Şekil 4.14'deki gibi çeşitli minimumlar oluşur. Öğrenmede en küçük minimuma ulaşılmak istenir.

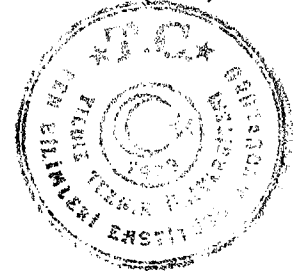


Şekil 4.14 Gizli katmana ait ağıın hata fonksiyonu

Bu durumda j. düğümün lineer olmayan çıkışı;

$$o_{pj} = f_j(netp_j) \Rightarrow netp_j = \sum_i w_{ji} o_{pi} \quad (4.21)$$

şeklindedir. Bu durumda;



$$\frac{\partial E_p}{\partial w_{ji}} = \frac{\partial E_p}{\partial netp_j} \frac{\partial netp_j}{\partial w_{ji}} \Leftrightarrow \frac{\partial netp_j}{\partial w_{ji}} = \frac{\partial}{\partial w_{ji}} \sum_k w_{jk} o_{pk} = o_{pi} \quad (4.22)$$

$$\delta_{pj} = -\frac{\partial E_p}{\partial netp_j} = -\frac{\partial E_p}{\partial o_{pj}} \frac{\partial o_{pj}}{\partial netp_j} = -\frac{\partial E_p}{\partial o_{pj}} f'_j(netp_j) \quad (4.23)$$

İki durum söz konusudur:

1- o_{pj} YSA'nın çıkışı ise; (4.17) ifadesini (4.23)'de yerine koyarsak,

$$\delta_{pj} = (t_{pj} - o_{pj}) f'_j(netp_j) \quad (4.24)$$

bulunur.

2- Eğer gizli katmanların çıkış işaretinden bahsediliyorsa yani eleman çıkış elemanı değilse;

$$\sum_k \frac{\partial E_p}{\partial netp_k} \frac{\partial netp_k}{\partial p_j} \text{ şeklinde ise,} \quad (4.25)$$

$$\sum_k \frac{\partial E_p}{\partial netp_k} \frac{\partial}{\partial o_{pj}} \sum_i w_{ki} o_{pi} = -\sum_k \delta_{pk} w_{kj} \quad (4.26)$$

olur. Bulunan sonuç (4.23)'de yerine konulursa;

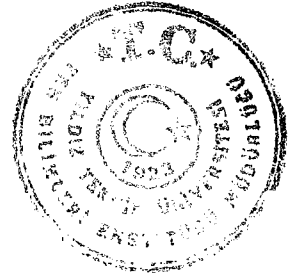
$$\delta_{pj} = f'(net_{pj}) \sum_k \delta_{pk} w_{kj} \quad (4.27)$$

elde edilir. (4.26) denklemindeki (-) işareti, ağırlıkların ters yönde değiştiğini belirtir.

Bütün yapılan işlemler kısaca özetlenecek olursa;

1. Genelleştirilmiş Δ (delta) kuralı:

$$\Delta_p w_{ji} = \epsilon \delta_{pj} i_{pi}$$



2. Çıkış katmanı elemanları için;

$$\delta_{pj} = (t_{pj} - o_{pj}) f'_j(\text{net}p_j)$$

3. Gizli katman elemanları için;

$$\delta_{pj} = f'_j(\text{net}p_j) \sum_k \delta_{pk} w_{kj}$$

olur. İşlem elemanında, transfer (eşik) fonksiyonu olarak "sigmoid" fonksiyonu kullanılırsa;

$$o_{pj} = \frac{1}{1 + e^{-\left(\sum_i w_{ji} o_{pi} + \theta_j\right)}} \quad (4.28)$$

$\text{net}p_j = \sum_i w_{ji} o_{pi} + \theta_j$ ifadesinin türevi alınır ve gerekli kısaltmalar yapılırsa;

$$\frac{\partial o_{pj}}{\partial \text{net}p_j} = o_{pj} (1 - o_{pj}) \quad (4.29)$$

bulunur. Bu (4.24) de yerine konulursa, çıkış elemanı için;

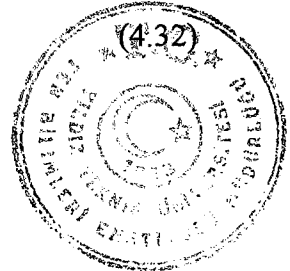
$$\delta_{pj} = (t_{pj} - o_{pj}) o_{pj} (1 - o_{pj}) \quad (4.30)$$

elde edilir. (4.29) ; (4.27) de yerine konulursa, gizli katman elemanı için;

$$\delta_{pj} = o_{pj} (1 - o_{pj}) \sum_k \delta_{pk} w_{kj} \quad (4.31)$$

bulunur. Yukarıda toplam içerisinde gösterilen k'nın, j çıkış birimine akan her birim k olduğuna dikkat edilmelidir. Hesaplamayı hızlandırmak için momentum terimleri (α) eklenirse, en genel halde çıkış ve gizli katman ifadeleri şu şekilde olur:

$$\Delta_p w_{ji}(t+1) = \varepsilon \delta_{pj} o_{pi} + \alpha \Delta_p w_{ji}(t)$$



$$\Delta_p \theta_j(t+1) = \varepsilon \delta_{pj} + \alpha \Delta_p \theta_j(t) \quad (4.33)$$

Burada; t: öğrenme saykılarının sayısını gösterir. (α) küçük pozitif bir sayıdır.

4.6 Hatanın Geriye Yayılması Algoritmasının Geliştirilmesi

Genelde hatanın geriye yayılması (BP) algoritmasında öğrenme yavaştır (Sutton 1986[21]; Huang ve Lippman, 1988[22]). Bu, tipik olarak hata yüzeyinin karakteristiği sebebiyledir.

Hatanın geriye yayılması algoritmasını geliştirme amacıyla pek çok öneri ortaya atılmıştır. Bunların çoğu deneyime dayalı düzenlemeler olup, bazıları sistemin hızını artırmaya yönelik, bazıları yerel minimuma takılıp kalmayı önlemeye yönelik; bazıları da sistemin genelleme yeteneğini arttırmaya yöneliktir. Bunlardan birkaçı izah edilecektir:

4.6.1 Bağlantı Ağırlıklarının Atanması

Hatanın geriye yayılması algoritması; algorimanın gradyen azalma tabanlı olması sebebiyle, ilk şartlara çok duyarlıdır. Eğer ilk atanan ağırlık vektörü, hata yüzeyinin minimumuna çok yakın ve eğimli bir bölgede ise YSA'nın öğrenmesi çok çabuk olacaktır. Eğer ilk atanan ağırlık vektörü, hata yüzeyinin minimumuna uzak ve eğimsiz bir bölgede ise bu durumda sonuca ulaşmak çok zaman alabileceği gibi ulaşamayabilir.

Uygulamada, ağırlıkların ilk atanmaları sıfıra yakın keyfi değerler şeklinde olur (Rumelhart et al, 1986[17]). Ağırlıkların büyük seçilmesi nöronların erken doymaya ulaşmalarına ve kendilerini öğrenme işlemine duyarsız hale getirmelerine sebep olur (Hush et al, 1991[23]). Bu sakıncayı önlemek amacıyla; f_i , i. nörona bağlı girişlerin sayısı olmak üzere, ağırlıkların ilk değerlerini $1/\sqrt{f_i}$ seviyesinde atamak düşünülebilir (Wessel ve Barnard, 1992[24])

4.6.2 Öğrenme Katsayısı

Hatanın geriye yayılması algoritmasında çözüme ulaşma hızı ile öğrenme katsayısının değeri doğrudan alakalıdır. Eğer öğrenme katsayısı küçük seçilirse YSA'nın



takip edeceği araştırma yolu gradyen yola çok yakın olacaktır. Bu durumda yerel minimuma ulaşmak için alınacak adım sayısı artacağından çözüme ulaşmak uzun zaman alacaktır. Diğer yandan, öğrenme katsayısı çok büyük seçilirse başlangıçta YSA çözüme kolay yaklaşacak fakat çözüm civarında osilasyon yaparak çözümü bulamayacaktır. Genelde minimumdan uzak bölgelerde büyük adım katetmek ve minimum civarında küçük adımlar kullanmak en uygun çözümdür.

Öğrenme katsayısını otomatik olarak ayarlama amacıyla pek çok öneri ortaya konulmuştur. Chan ve Fallside (1987)[25]; t iterasyon sayısı olmak üzere $\nabla E(t)$ ve $\nabla E(t-1)$ gradyen vektörleri arasındaki açının kosinüsüne dayalı öğrenme katsayısı önerdiler. Sutton (1986) ise; $\frac{\partial E}{\partial w_i}$ kısmi türevinin işaret değiştirme sayısına bağlı olarak her ağırlık için öğrenme katsayısını artırıp azaltan metod sundu.

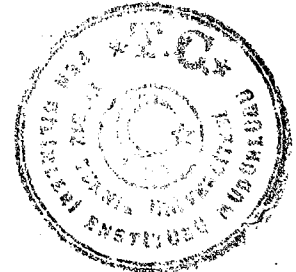
4.6.3 Momentum Katsayısı

Hatanın geriye yayılması algoritmasının hızının arttırılmasında diğer bir method ağırlıkları değiştirme formülüne momentum katsayısının dahil edilmesidir. Bununla $\frac{\partial E}{\partial w_i}$ kısmi türevinin işaret değiştirmesini takip etmek yerine; her Δw_i ağırlık değişmesine, değişimi azalma doğrultusunda hızlandıracak bir momentum verilmiş olur. Momentumun eklenmesiyle ağırlık değişme eşitliği şu şekilde olur:

$$\Delta w_i(t) = -\rho \frac{\partial E}{\partial w_i(t)} + \alpha \Delta w_i(t-1) \quad (4.34)$$

Burada; ρ , öğrenme katsayısı ve α momentum katsayısıdır. α normalde 0 ile 1 arasında değişen bir sayıdır. Fahlman (1989) [26], adaptif olarak momentum değişimi önerisi getirmiştir. Öneriye göre momentum katsayısı :

$$\alpha(t) = \frac{\frac{\partial E}{\partial w_i(t)}}{\frac{\partial E}{\partial w_i(t-1)} - \frac{\partial E}{\partial w_i(t)}} \quad \text{şeklindedir.} \quad (4.35)$$



(4.35) eşitliğini; (4.34) de yerine koymakla elde edilen ağırlık değişim formülü; dinamik olarak değişen öğrenme katsayısı kullanımıyla “steepest gradient-descent-based” adaptasyon algoritmasına dönüşmüş olur. (4.34) eşitliğinde olduğu gibi hata gradyeni bilgisinin ard arda iki zaman adımında kullanılması, Newton’un ikinci dereceden araştırma metoduna benzetilebilir.

Momentum katsayısını değiştirmede diğer bir metod “conjugate gradient method” dur (Polack ve Ribiere,1969;Press et al.,1986). Bu metodla ağırlıkların değiştirilmesine ait eşitlik:

$$\Delta w(t) = -\rho \nabla E(t) + \frac{[\nabla E(t) - \nabla E(t-1)]^T \nabla E(t)}{\|\nabla E(t-1)\|^2} \Delta w(t-1) \quad \text{dir.} \quad (4.36)$$

4.6.4 Levenberg- Marquardt Optimizasyon Metodu

(4.36) eşitliğiyle verilen conjugate gradient method’u, eğer E quadratik ise teorik olarak çözüme kısa sürede ulaşır. Genelde, E quadratik değildir, bu sebeple method daha yavaş çözüme ulaşabilir. Bununla birlikte, yerel minimum civarlarında hatanın geriye yayılması algoritmasını (BP) hızlandırır. Çalışmalar, conjugate gradient method’un BP algoritmasından daha hızlı olduğunu göstermiştir (Kramer ve Sangiovanni-Vincentelli,1989; Makram-Ebeid et al.,1989; van der Smagt,1994).

Conjugate gradient method’un yerel minimum civarında çok hızlı olması avantajının yanında; sabit öğrenme katsayısının kullanıldığı hatanın geriye yayılması algoritması (BP) nın yerel minimuma takılıp kalmadan asıl minimumu bulma avantajı vardır. Bu durum bize hibrid öğrenme kurallarının kullanılmasının daha avantajlı olacağı sonucunu verir. Bu hibrid metod nümerik analizden bilinen Levenberg- Marquardt optimizasyon metodunda vardır.(Press et al., 1986[27])

Levenberg- Marquardt optimizasyon metodunda ağırlıkları değiştirme :

$$\Delta w = [J^T J + \mu I]^{-1} J^T e \quad \text{şeklindedir. [28]} \quad (4.37)$$

Burada;



J , her bir hatanın her bir ağırlığa göre türevinin jakobiyen matrisi
 μ , bir skaler
 e , hata vektörüdür.

Yukarıdaki eşitlikte; μ çok büyük seçilirse “gradient descent”, küçük seçilirse “Gauss-Newton” metodu elde edilir. Gauss-Newton metodu minimum hata civarlarında daha hızlı ve geçerli sonuç verdiği için amaç bir an evvel bu metoda geçmektir. Bunu sağlamak için de μ , başarılı her adımdan sonra azaltılır ve yalnızca atılan bir adım hatayı arttırdığında arttırılır. Levenberg- Marquardt optimizasyon metodu hızlı olmakla birlikte daha çok bellek gerektirir.

Bu çalışmada; diğer metodlardan daha iyi sonuç verdiği görüldüğünden Levenberg- Marquardt optimizasyon metodu kullanılmıştır.

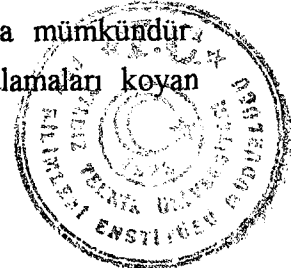
4.7 YSA Kullanımının Sebepleri

YSA’lar verilerden hareketle, bilinmeyen ilişkileri akıllıca hemen ortaya çıkarabilmektedir. Bu özellikleri, uygulama açısından son derece önemlidir. Ayrıca veri toplama için bir ön sorgulama ya da açıklama gerekmemektedir. YSA’lar çözüm olarak genelleştirilebilir. Bir örnekten hareketle, diğer örneklerdeki benzerlikleri doğru olarak anlayabilirler. Genelleştirme yapılabilmesi bu bakımdan çok iyi bir özelliğidir, çünkü gerçek dünya verilerinde sürekli olarak gürültü ve bozucu etkiler mevcuttur.

YSA’lar non-lineerdir. Bu özellikleri nedeni ile daha karmaşık problemleri lineer tekniklerden daha doğru çözerler. Non-lineer davranışlar hissedilir, algılanır, bilinebilir, ancak bu davranışları ya da problemleri matematiksel olarak çözmek zordur. YSA’lar son derece paralellığe sahiptir. Bağımsız işlemleri aynı anda çok hızlı yürütebilirler. Paralel donanımlar yapıları gereği YSA’lara uygun olduğundan kendisine alternatif çözüm metodlarından daha elverişlidir.

4.8 YSA’nın Klasik Yazılımlar İle Karşılaştırılması

YSA’lar, önceden tahmin, örnek değerlendirme ve gruplama işlemlerinde etkilidir. Aynı işlemleri klasik bir bilgisayar programı ile yapmak da mümkündür. YSA’lar, açıkça kuralları bulunmayan veya anında optimizasyon kısıtlamaları koyan

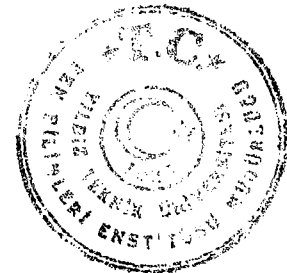


uygulamalar için idealdir. YSA için endüstriyel kontrol işlemleri oldukça yaygın uygulama alanlarıdır. Burada kurallar çok sık değişmez ve üstelik iyi bir tarafı da öteki çalışma koşullarına ait verilerin bol oluşudur.

YSA'ların uygulamadaki dezavantajlarını sıralayacak olursak;

- 1- Bir problemin çözümünde çok uygun bir çözüm bulamayabilirler ve çözümde hata yapabilirler. Buna sebep ise eğitecek bir fonksiyonun bulunamamasıdır. Fonksiyon bulunsan bile yeterli veri sağlanamayabilir.
- 2- Sonuç almak yüzlerce giriş örneğinin hesaplanmasına bağlı olabilir. Ayrıca hangi ağırlığın sonucu nasıl etkileyeceğini tahmin etmek zordur.
- 3- YSA'larla bir dizi işlem yapmak, bunları eğitmek yavaş ve pahalı olabilir. Maliyeti arttıran sebeplerden ilki eğitme verilerinin toplanması ve değerlendirilmesidir. Doğru değerleri bulmak için deneyler yapmak gerekebilir.
- 4- Bir YSA'nın kalitesi ve kapasitesi uygulamadaki hızı ile orantılıdır. Öyleki düğüm sayısındaki az bir artış bile yürütme zamanında çok daha fazla artışa sebep olur. Örneğin 100 düğümde 10 000 bağlantı var ise, standart bir mikroişlemci bunu 10 000 000 çarpma, saklama işlemi yaparak hesaplanır. Böylece ağdan saniye de 1000 geçiş olur. Eğer 300 düğüm var ise aynı işlemci ancak 100 kere geçiş yapmayı sağlayabilir. Kısacası düğüm sayısı 3 kat arttığında cevap süresi 10 kat azalır.

YSA'ların diğer çözümlerden daha doğru çözümler ürettikleri de bir gerçektir. Çünkü bu sakıncalı durumlar teorik olarak söz konusudur.



5. BÖLÜM

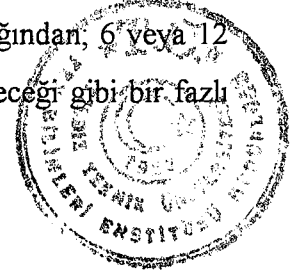
YAPAY SİNİR AĞLARI KONTROLUNA DAYALI STATİK VAR KOMPAZATÖRÜNÜN MODELLENMESİ

5.1 Giriş

Statik var kompanzatörler; üçüncü bölümde de izah edildiği gibi güç faktörü düşük ve reaktif enerji ihtiyacı çok büyük aralıklar içinde ve/veya hızlı bir şekilde değişen, bağlı bulunduğu şebekesinin güçsüz olması nedeniyle geriliminin sabit tutulması gereken tesislerde kullanılmaktadır. Bu tür tesislere örnek olarak Yüksek gerilimli doğru akım (HVDC) ile enerji taşıma konverter tesisleri; ark fırınları, elektrikli demiryolu hatları verilebilir.

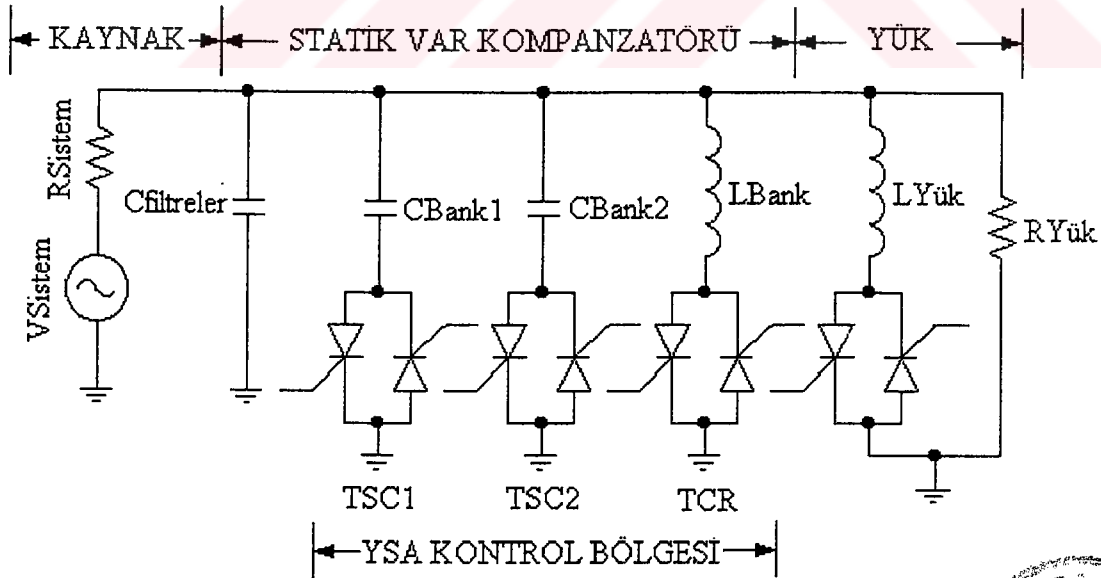
Statik var kompanzatörler, kurulacakları tesislerin ihtiyacına göre pek çok tipte tasarlanabilir. Yaygın olarak tesis edilen statik var kompanzatörler, bir tristör kontrollü reaktör (TCR); bir veya birkaç tristör anahtarlamalı kapasitör (TSC) ve filtreleme ile reaktif enerji teminini birlikte gerçekleştiren bir sabit kapasitörden oluşurlar. Reaktif enerji ihtiyacının değişimine bağlı olarak veya bağlı bulundukları baranın geriliminin artıp azalmasına bağlı olarak kapasitör gruplarının devreye alınıp çıkarılmaları ve TCR'a gerekli tetikleme açısının uygulanması, gelişmiş kontrol teknikleri kullanılmasını gerektirir. Kontrol devrelerinden beklenen, en kısa cevap süresinde ve en az hata toleransı ile istenilenleri sistem kararlı kalacak şekilde gerçekleştirmesidir. Statik var kompanzatörlerinin (SVC) kontrolü klasik PI kontrolü ile yapılabileceği gibi; bulanık (fuzzy) kontrol yada yapay sinir ağları ile kontrol (YSA) gibi yeni teknikler de kullanılabilir.

Bu çalışmada yapay sinir ağları kontrolüne dayalı bir statik var kompanzatörünün (SVC) tasarımı yapılmış ve sistem PSpice paket programı ile simüle edilmiştir. SVC' nin tasarımı büyük ölçüde bağlı bulunduğu yükün karakterine göre yapıldığından, 6 veya 12 darbeleri sistemde olduğu gibi üçfazlı dizaynın gerektiği sistemler olabileceği gibi bir fazlı



dizayn da gerekebilir. Ayrıca sadece SVC de üretilen harmonikleri gidermeye yönelik filtre devreleri konulabileceği gibi yükün harmoniklerinin de beraberce filtrelendiği sistemler de kurulabilir. Bu sebeplerle bu çalışmada yalnızca sistemin reaktif enerji ihtiyacını karşılayacak ve şebeke güç faktörünü bir seviyesinde tutacak sistemin bir fazlı devresine ait simülasyonu yapılmıştır.

Çalışmada; büyük çapta enerji üretilen bir bölgeden büyük çapta enerjinin tüketildiği başka bir bölgeye enerji transferini gerçekleştiren yüksek gerilimli doğru akım (HVDC) enerji taşıma sisteminin enerji üretim bölgesindeki konverter tesisi model alınmıştır. Şekil 5.1 de basit yapısı görülen sistem; kaynak, yük ve statik var kompanzator olmak üzere üç ana parçadan oluşmaktadır. Üretim bölgesindeki generatörleri topluca temsil eden kaynak, bir gerilim kaynağı ve ona seri bağlı bir dirençten oluşmaktadır. HVDC konverter tesisinin alternatif akım tarafındaki karakteristik davranışını temsil amacıyla da sabit değerli bir dirence paralel bağlı değişken bir reaktör kullanılmıştır. Bu iki parça arasında da reaktif enerji ihtiyacını karşılayacak ve kaynak uçlarındaki güç faktörünü bir seviyesinde tutacak statik var kompanzatorü; bir TCR, iki TSC ve filtre amaçlı sabit kondansatör ile gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Simülasyonu Yapılan Sistemin Basit Eşdeğer Devresi.



Sistemi oluşturan parçaların ayrıntılı açıklamaları aşağıda sırasına göre verilecektir:

5.2 Sistemin Modellenmesi

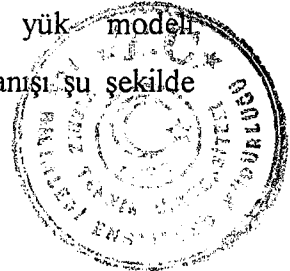
5.2.1 Kaynağın Modellenmesi

Generatörlerde üretilen elektrik enerjisi, gerilim seviyesi artırılarak kısa bir hat ile konverter tesisine ulaştırılır. Konverter tesisine bağlı statik var kompanzatörü çalışmanın ana konusunu teşkil ettiği için; kompanzatör uçlarına kadar olan sistemi, yalnızca bir gerilim kaynağı ve ona seri bağlı empedans (generatör grupları; yükseltici transformatör ve taşıma hattının empedanslarını temsil eden) ile modellemek mümkündür. Empedansın büyük bir kısmı endüktiftir.

Kaynağın modellenmesi amacıyla konulacak olan seri reaktans, PSpice ile simülasyonu sırasında büyüklüğü ile orantılı olarak zaman sabiti süresince doğru akım bileşeni akmasına sebep olacaktır ve aynı süre sonunda ancak beklenen akım geçebilecektir. Bu gecikme sebebiyle daha uzun süreli simülasyon yapmak zorunluluğu vardır. Çalışmanın ana konusu olmaması dolayısıyla ve daha kısa süreli simülasyonlar yapabilmek amacıyla, kaynak modellemesinde seri empedans yerine yalnızca direnç bağlanması düşünülmüştür ve bu uygulama sebebiyle sistemin performansında bir değişiklik söz konusu değildir.

5.2.2 Yükün Modellenmesi

Büyük çapta enerji üretilen bir bölgeden büyük çapta enerjinin tüketildiği başka bir bölgeye enerji transferini gerçekleştiren yüksek gerilimli doğru akım (HVDC) enerji taşıma sisteminin enerji üretim bölgesindeki konverter tesisinin model alınması sebebiyle; ikinci bölümde geniş olarak açıklanan özelliklere sahip bir yük modeli gerçekleştirilmelidir. Konverter tesisinin alternatif akım tarafındaki davranışı şu şekilde maddeleştirilebilir:

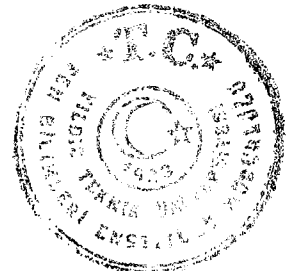


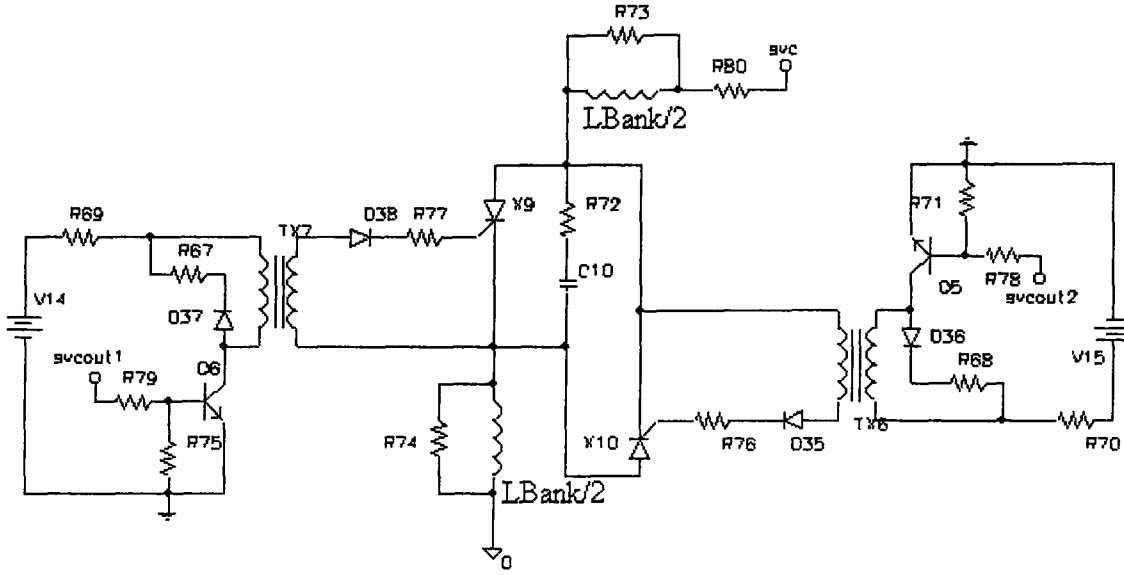
değiştirilmesiyle Lyük reaktörünün akımının genliği değiştirilmekte ve sistemden çekilen reaktif enerji değişmektedir. Aynı zamanda kırıyıcı şeklinde çalışan bu sistemle de şebekeye karakteristik harmonikler verilmektedir. Modelde , Lyük reaktörünün reaktans değeri ile Ryük direncinin değeri aynı seçilmiştir. Bu durumda tam yüklenme için yükün güç faktörü $\cos 45 = 0.707$ endüktif olmaktadır. HVDC konverter sisteminde valf minimum tetikleme açısının sıfır olamaması sebebiyle güç faktörü hiç bir zaman bire eşit olamayacağından, yükün modellenmesinde yükün en fazla 0.995 güç faktörüne sahip olması sağlanmıştır.

5.2.3 Statik Var Kompanzatörünün Modellenmesi

Yükün reaktif enerji ihtiyacını karşılamak ve kaynak uçlarındaki güç faktörünü bir seviyesinde tutmak amacıyla modellenen statik var kompanzatörü; bir TCR, iki TSC ve bir filtreleri temsil eden sabit kapasitör olmak üzere dört ana parçadan oluşmaktadır. Yükün reaktif enerji ihtiyacının maksimum olduğu durumda tüm kapasitör grupları devrede olup yalnızca tristör kontrollü reaktör devre dışıdır (Akımı minimumdur). Filtre kapasitörü her zaman devrede olup; yükün ihtiyacına göre tristör anahtarlamalı kapasitörler devreye girip çıkmakta ve reaktörün de tetikleme açısı değiştirilmektedir. Yükün reaktif güç ihtiyacının minimum olduğu durum için; filtre kapasitöründe üretilen reaktif enerjiyi harcamak amacıyla statik var kompanzatörüne ait TCR akımı maksimuma getirilmektedir.

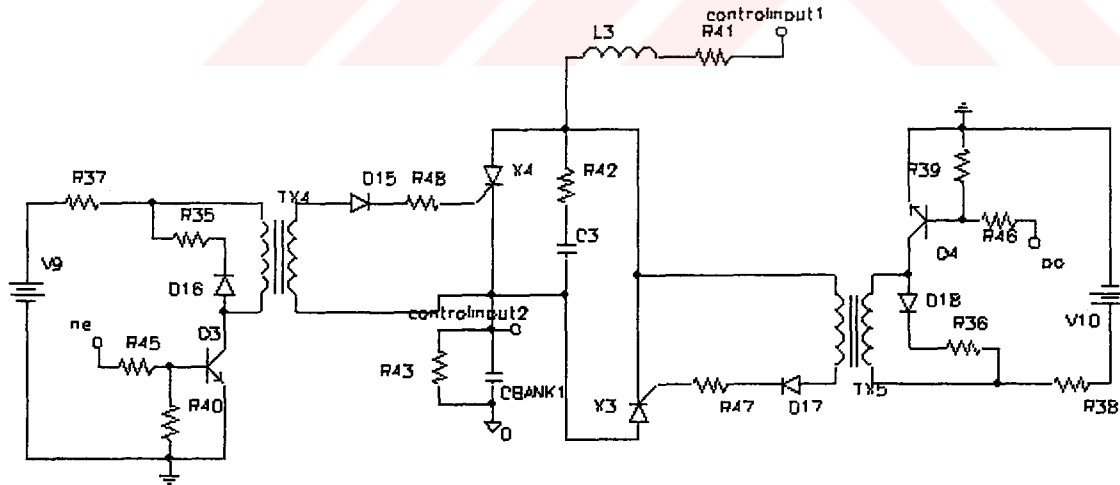
Şekil 5.3 te statik var kompanzatörüne ait tristör kontrollü reaktör devresi görülmektedir. Devre yapısı itibariyle yükün reaktörü ile aynı özelliklere sahip olmakla birlikte reaktif enerji tüketimi bir TSC'nin reaktif enerji üretiminden biraz daha fazladır. Bu da sistemin kararlı bir şekilde kontrolünü sağlamak için seçilmiştir. TCR'ın tetikleme açısının tespiti yapay sinir ağı kontrolü ile yapılmaktadır.



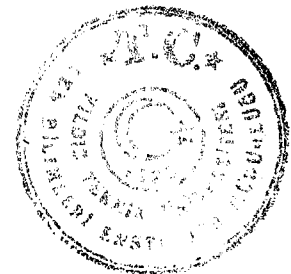


Şekil 5.3 Statik var kompanzatörü TCR devresi.

Statik var kompanzatörünün diğer bir parçası da tristör anahtarlama kapasitördür (TSC). Sistemde iki adet TSC kullanılmıştır ve bunlardan herbiri yük reaktif ihtiyacının % 30 unu karşılayabilecek kapasitededir. Şekil 5.4 de tristör anahtarlama kapasitör devrelerinden bir tanesi görülmektedir.

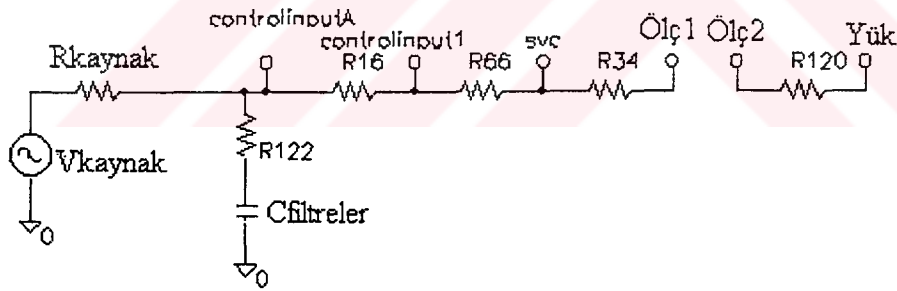


Şekil 5.4 Tristör Anahtarlama Kapasitör Devresi.



Yüksek gerilimli doğru akım (HVDC) konverter tesisinde oluşan harmoniklerin yok edilmesi amacıyla konverter tesisinin özelliklerine bağlı olarak filtreler konulmalıdır. Bu filtreler genellikle karakteristik harmonikleri gidermeye yönelik önceden rezonans frekansları belirlenmiş “tuned” filtrelerdir. Bu filtrelerin diğer bir görevi de sistemin reaktif enerji ihtiyacını karşılamaktır. İkinci bölümde anlatıldığı gibi 6 darbeli bir konverter tesisinin harmonikleri 5. , 7. şeklinde devam ederken; 12 darbelide 11.,13... şeklindedir. Diğer yandan statik var kompanzatörünün tristör kontrollü reaktöründe de harmonikler üretilmektedir. Bu harmonikler de sistemin dizaynına bağlıdır.

Bu çalışmada bir fazlı modelleme yapıldığından; tüm tek harmonikler için filtre koymak gerekmesi ve harmonik filtrelenenmesinin konu dışı olması sebebiyle bu filtrelerin sadece sisteme sağlayacağı reaktif enerji dikkate alınmıştır. Bu sebeple, filtrelerin temel frekansta üretecekleri reaktif enerjiye karşılık gelen kapasitans değeri hesaplanarak bu değere sahip bir kapasitör statik var kompanzatörünün sabit kapasitörü olarak kullanılmıştır. Sisteme doğrudan bağlı olan kapasitör; Şekil 5.5 te kaynak eşdeğeri ve diğer kontrol, ölçme uçlarının bağlı olduğu ana sistemle birlikte görülmektedir.



Şekil 5.5 Filtrelere Ait Kapasitör ve Ana Devre Şeması.

5.3 Ölçme ve Kontrol Devreleri

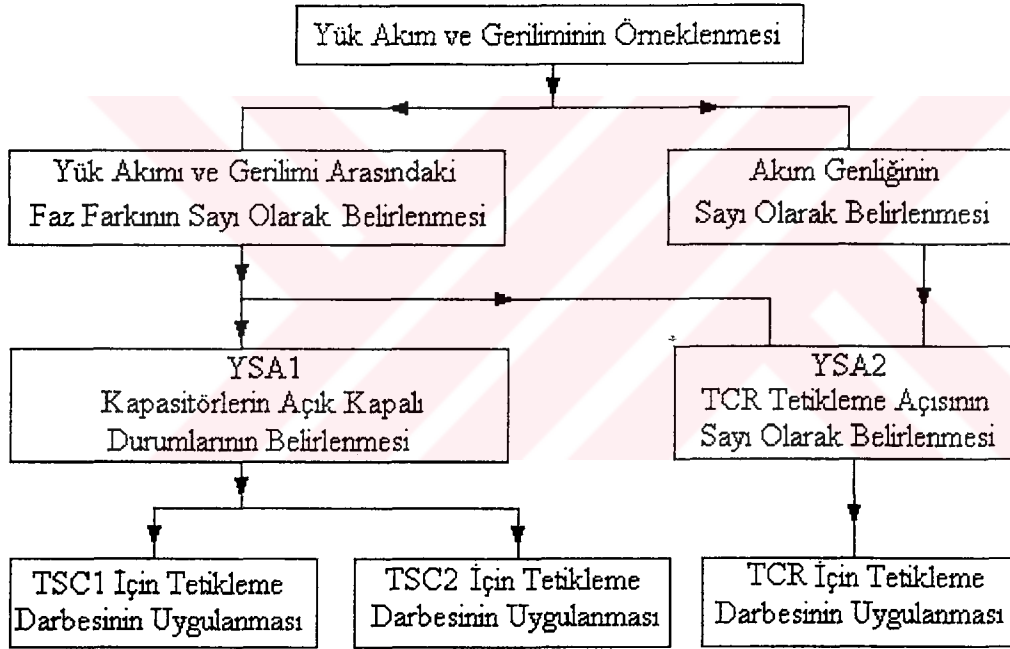
5.3.1 Statik Var Kompanzatörünün Kontrol Blok Diyagramı

Herhangi bir nonlineer fonksiyon; yapay sinir ağlarına, uygun ağ yapısı ve öğrenme algoritması kullanılarak kolayca öğretilir. Bu sebeple kontrol amacıyla



kullanılacak yapay sinir ağına uygulanacak girişlerin, gerçek ölçüm değerleri olması gerekli değildir. Bu çalışmada gerçek değerler kullanmak yerine ölçüm değerleriyle orantılı olan örneklenmiş giriş değerleri kullanılmıştır.

Yük modeli olarak seçilen yüksek gerilimli doğru akım (HVDC) konverter tesisinin alternatif akım tarafındaki gerilim; otomatik olarak yük altında kademeleri değiştirilebilen valf transformatörleri sayesinde belirli limitler içinde sabit tutulduğundan, yük modelinin uçlarındaki gerilim de sabit kabul edilebilir. Bu durumda, statik var kompanzatörünün kontrolü için yük akımının genliği ile akım ve gerilim arasındaki faz farkının (dolayısıyla güç faktörünün) bilinmesi yeterli olur.



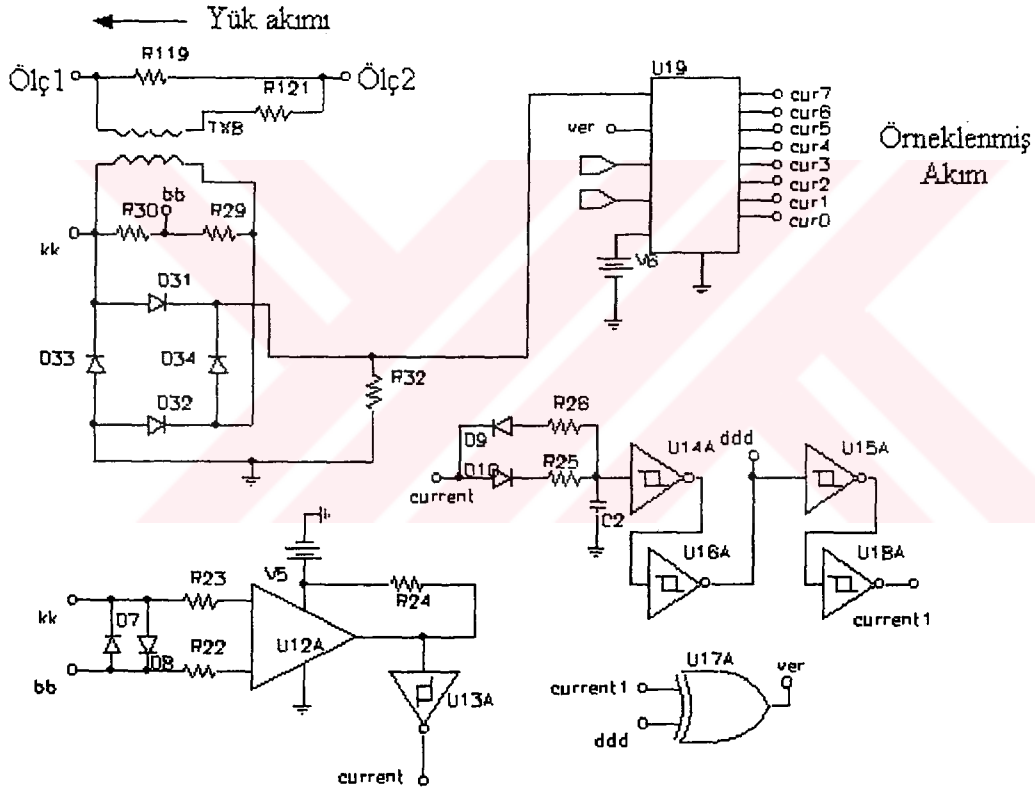
Şekil 5.6 Statik Var Kompanzatörü Kontrol Blok Diyagramı.

Blok diyagramı Şekil 5.6 da verilen statik var kompanzatörünün kontrolüne ait basamaklar aşağıda ayrıntılı olarak izah edilecektir:



5.3.2 Yük Akımının rneklenmesi

Ŗekil 5.5 teki ana devre üzerinde bulunan l1 ve l2 uçlarına bağlı olan lme devresi Ŗekil 5.7 de görülmektedir. Yük akımı, R119 direnci üzerinden geçmekte ve direnç üzerinde meydana getirdiği gerilim dŖm, dirence bağlı transformatör üzerinden lme devresine uygulanmaktadır. Transformatör ıkıŖında gerilime dnŖtrlmŖ olan akım rneği olan dalga Ŗekli, tam dalga köprü devresi ile doğrultulur. Doğrultucu ıkıŖı dalganın genliği ile yük akımının genliği orantılıdır. Bu sebeple doğrultucu ıkıŖındaki dalga, bir analog / dijital çevirici ile 8 bitlik sayıya çevrilir.



Ŗekil 5.7 Yük Akımını rnekleyici lme Devresi.

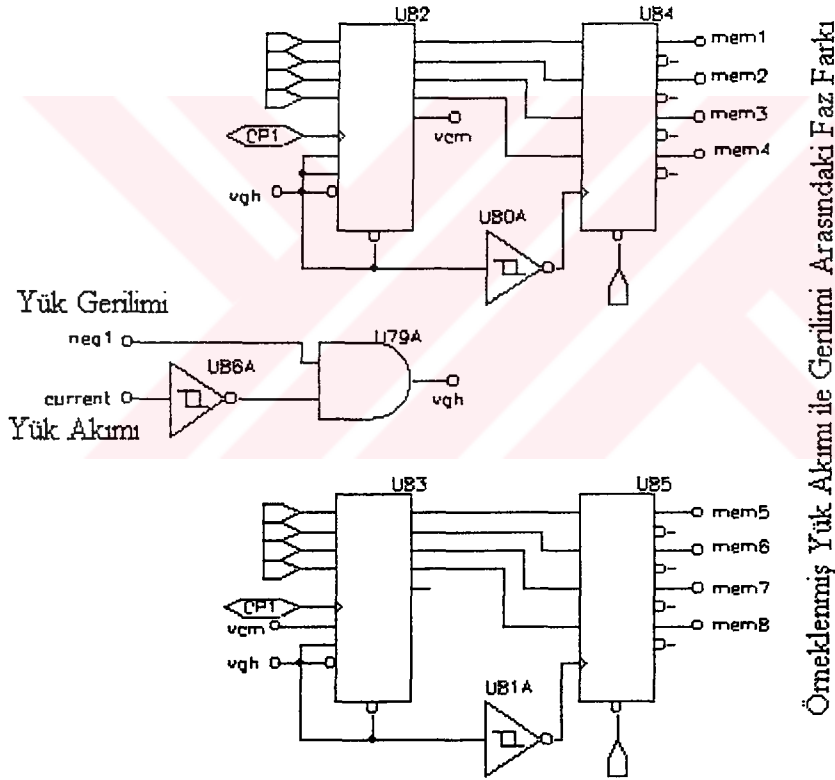
Analog / dijital çeviricinin rneklemeye periyodunu belirlemek amacıyla, çeviricinin "convert" giriŖine uygulanacak sinyalin oluŖturulması gerekir. Bu amaçla, transformator ıkıŖındaki gerilim bölücünün kk ve bb uçlarından alınan akım dalga rneği bir komparator aracılığıyla kare dalgaya çevrilir. Kare dalgaya evrilmiŖ akım örneğinden



(“current” ucu), akımın maksimumdan geçtiği her yarım peryotta bir darbe üretilir (“ver” ucu) ve bu darbe analog / dijital çeviriciye uygulanır.

Analog / dijital çevirici 8 bitlik olduğundan uçlarına uygulanan gerilime bağlı olarak 0 ile 255 arasında sayı çıkışı verir. Bu çıkış, birinci YSA girişine TCR tetikleme açısının tespiti amacıyla uygulanır. Bu çalışmada yük modeli olarak sabit dirence paralel bağlı değişken reaktör bağlandığından akımın genliği hiç bir zaman sıfır olmaz. Çalışmada akımın konverter çıkışındaki değerleri 118 ile 195 arasında değişmiştir.

5.3.3 Yük Akımı ile Gerilim Arasındaki Faz Farkının Örneklenmesi



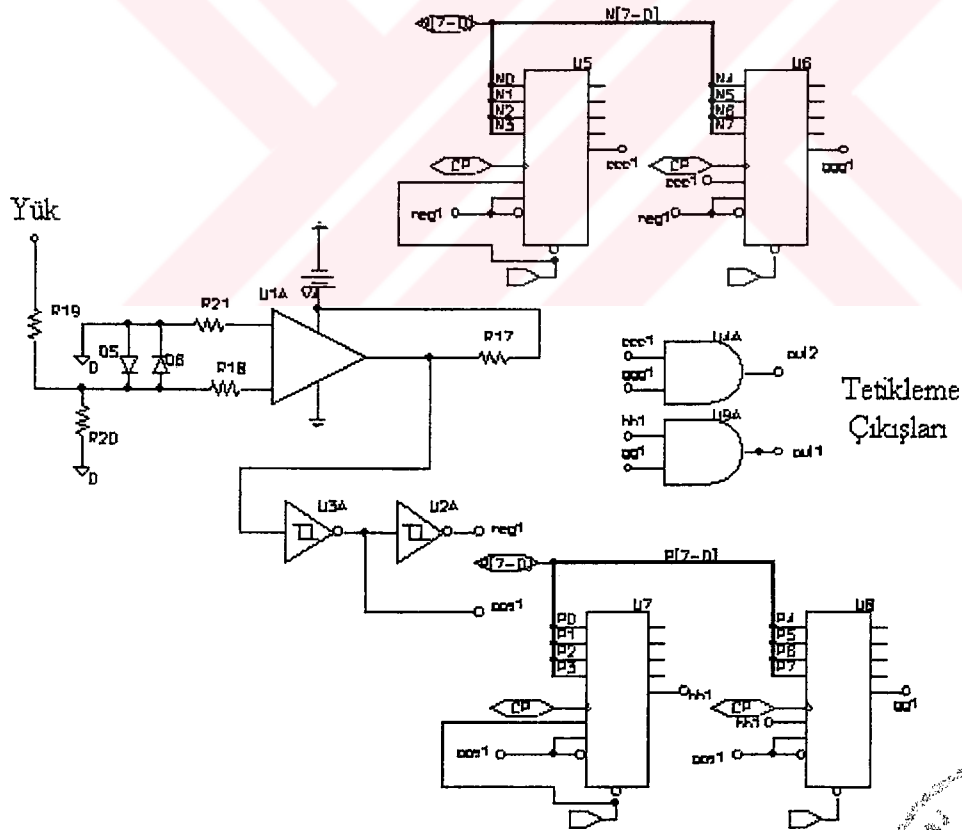
Şekil 5.8 Yük Akımı ile Gerilimi Arasındaki Faz Farkının Eldesi.

Şekil 5.7 de görülen devredeki “current” ucunda, yük akımıyla orantılı dalga şeklinin kare dalgaya çevrilmiş hali bulunmaktadır. Bu kare dalgayla, yükün uçlarından gerilim bölücü aracılığıyla alınıp kare dalgaya çevrilmiş gerilim örneği karşılaştırıldığında

yükün güç faktörünü veren akım ile gerilim arasındaki faz farkı elde edilmiş olur. Bu faz farkını sayıya çevirecek devre Şekil 5.8 de görülmektedir.

Şekil 5.8 deki devreye uygulanan akım ve gerilim kare dalgalarından, faz farkının değişmesine bağlı olarak genişliği artıp azalan darbe “vgh” ucunda elde edilir. Bu darbe U82 ve U83 ile belirtilen 4 bitlik iki adet sayıcıya uygulanır. Elde edilen 8 bitlik sayıcı, “vgh” ucundan uygulanan darbenin başlamasıyla saymaya başlar. Darbenin genişliğine göre her yarım peryotta bir 0 ile 255 arasında sayı elde edilir. Bu sayı, U84 ve U85’ten oluşan 8 bitlik register çıkışında bir sonraki ölçüme kadar tutulur ve birinci YSA girişine TCR tetikleme açısının tespiti amacıyla ve ikinci YSA girişine TSC’lerin devreye girip çıkmasını belirlemek amacıyla uygulanır. Bu çalışmada register çıkışında faz farkı değeri 23 ile 111 arasında değişmiştir.

5.3.4 Yükün Reaktif Enerji İhtiyacının Değiştirilmesi



Şekil 5.9 Yük Reaktif Enerji İhtiyacının Kontrolü.

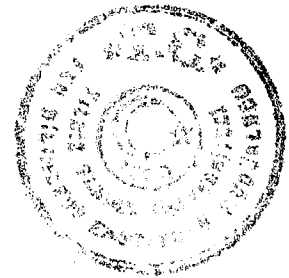


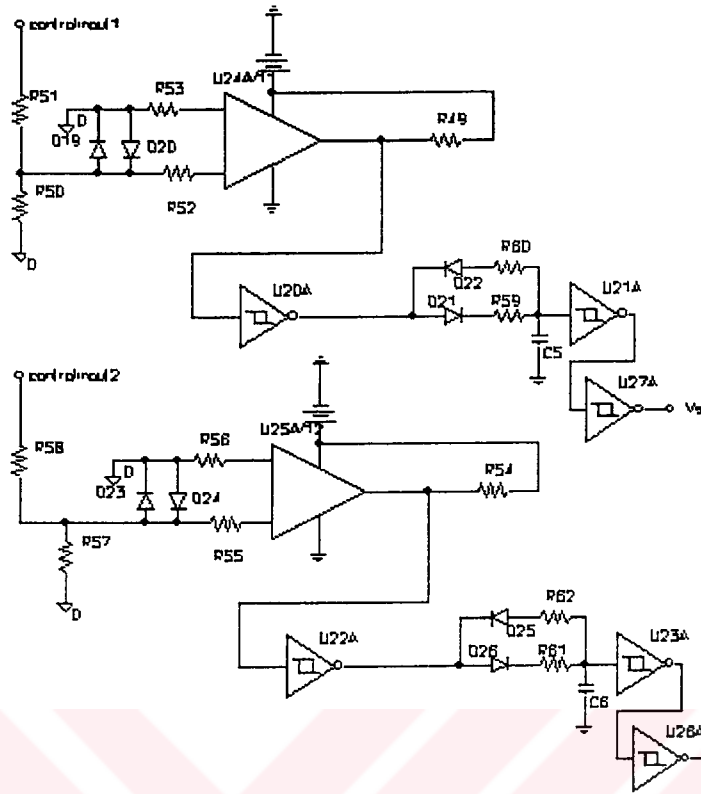
Şekil 5.2 de görülen yük modeline göre yükün reaktif enerjisinin değiştirilmesi TCR kullanılarak yapılmaktadır. Tristör kontrollü reaktöre, reaktör uçlarındaki gerilimin sıfırdan geçtiği andan itibaren 90° ile 180° arasında tetikleme yapılabilir. Tetikleme kontrolünde, gerilimin sıfırdan geçiş noktasının tespiti ve bu noktadan itibaren gerekli gecikmenin sağlanarak tetikleme darbelerinin uygulanması gereklidir. Şekil 5.9 da bu amaçla gerçekleştirilmiş devre şeması görülmektedir.

Şekil 5.2 deki “Yük” ucundan gerilim bölücü aracılığıyla alınan yük gerilimi komparatör çıkışında kare dalgaya dönüşür. Bu kare dalgaının her sıfırdan geçişinde negatif veya pozitif yarı peryotta oluşuna göre kullanılan 8 bitlik sayıcıların saymaya başlamalarını sağlar. Sayıcılar sayma komutunu aldıklarında girişlerine uygulanan sayıdan itibaren saymaya başlarlar. Bu sayı 0 ile 255 arasında olabilir ve sırasıyla bu rakamlar 180° ile 0° ye karşılık gelir. Sayma işleminin sonucunda her yarı peryod için ayrı ayrı konulan ikişer adet 4 bit sayıcıların çıkışlarının bir olduğu anda tetikleme komutu elde edilmiş olur. Bu lojik “bir” durumu tetikleme devrelerindeki “out1” ve “out2” uçlarına uygulanarak tristörlerin tetiklenmesi sağlanır. Bu uçlara lojik “bir” uygulandığında; tetikleme devresindeki transistör iletime geçerek darbe transformatörü ile tristöre, ihtiyacına uygun genişlik ve genliğe sahip darbe gerilimi uygulanır. Bu çalışmada; sayıcılara (Şekil 5.9 da P[7-0] ve N[7-0] baralarına) , istenilen reaktif enerji değişimini sağlamak amacıyla 50 ile 128 arasında sayı uygulanmış ve yük güç faktörünün 0.707 ile 0.995 arasında değişmesi sağlanmıştır.

5.3.5 Statik Var Kompanzatörü Elemanlarının Kontrolü

Statik var kompanzatöründe kontrol edilmesi gerekli elemanlar, iki adet tristör anahtarlama kapasitör (TSC) ile tristör kontrollü reaktör (TCR) dir. TSC’lerin devreye alınıp çıkarılmaları için gerekli şartlar üçüncü bölümde anlatılmıştır.





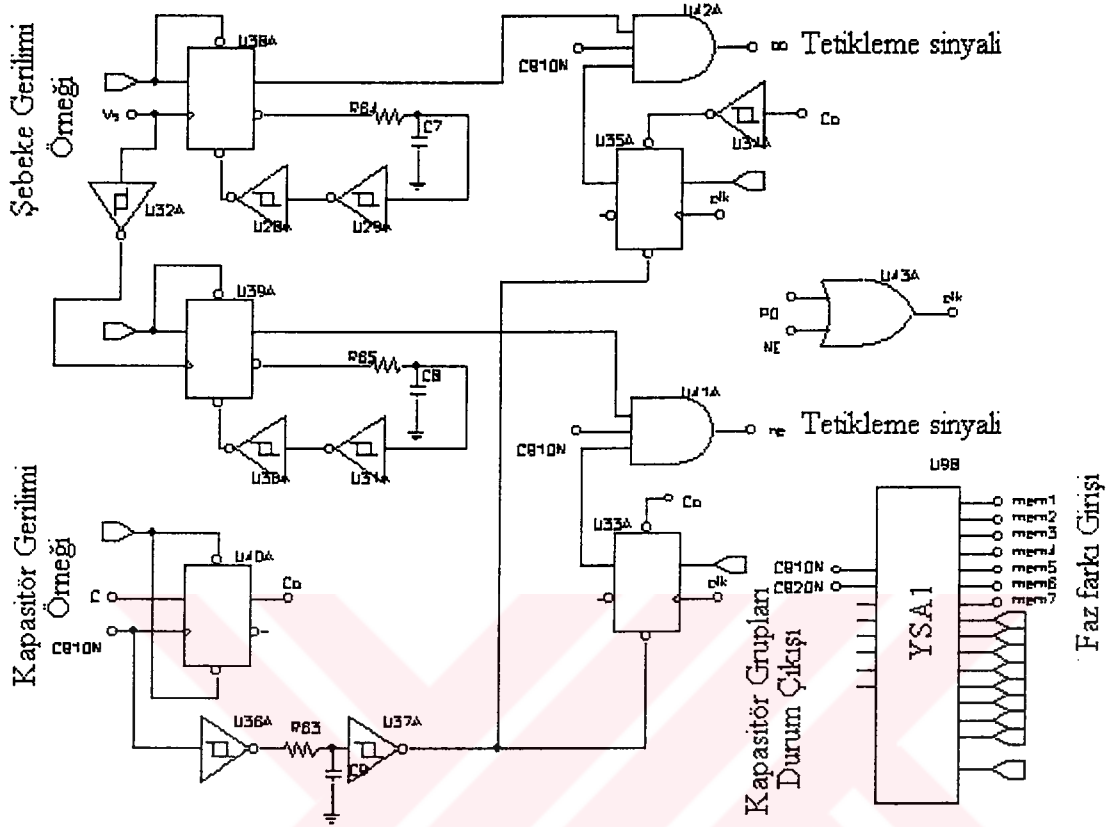
Şekil 5.10 Kapasitör ve Şebeke Gerilimlerinin Maksimumunun Bulunması.

Bu şartların yerine getirilmesi için öncelikle kapasitör uçlarındaki ve TSC ucundaki gerilimlerin ayrı ayrı elde edilmesi gerekir. Bu gerilimlerin aynı polaritede olduğu ve ikisinin maksimum olduğu anda tetikleme yapılmalıdır. Maksimum noktaların tespiti Şekil 5.10 da görülen devre ile gerçekleştirilmektedir. Şekil 5.11 deki lojik devre ile de tetikleme anları tespit edilmektedir.

Şekil 5.11 deki devrede bulunan U98 isimli devre elemanı, 32 K lık bir ROM (Read Only Memory) olup birinci yapay sinir ağı vazifesi görmektedir. Girişine uygulanan sayının gösterdiği adresteki sayıyı çıkışlarında vermekte ve nonlinear giriş çıkış ilişkisini önceden eğitilmiş yapay sinir ağı davranışını göstererek sağlamaktadır. ROM çıkışı lojik bir olan TSC'nin lojik devresindeki gerilimleri de aynı polariteli ise bu durumda tetikleme sinyalinin çıkışı lojik bir olur; yük tetikleme devresinde olduğu gibi tetikleme devresinde tetikleme darbesi üretilir ve TSC devreye alınmış olur. Devre dışı



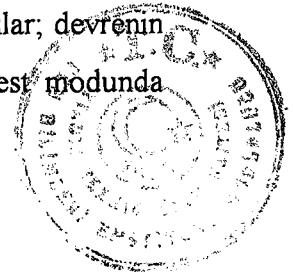
bırakılması da aynı şekilde kapasitör akımı sıfırken ve gerilimler aynı polaritede iken yapılır.



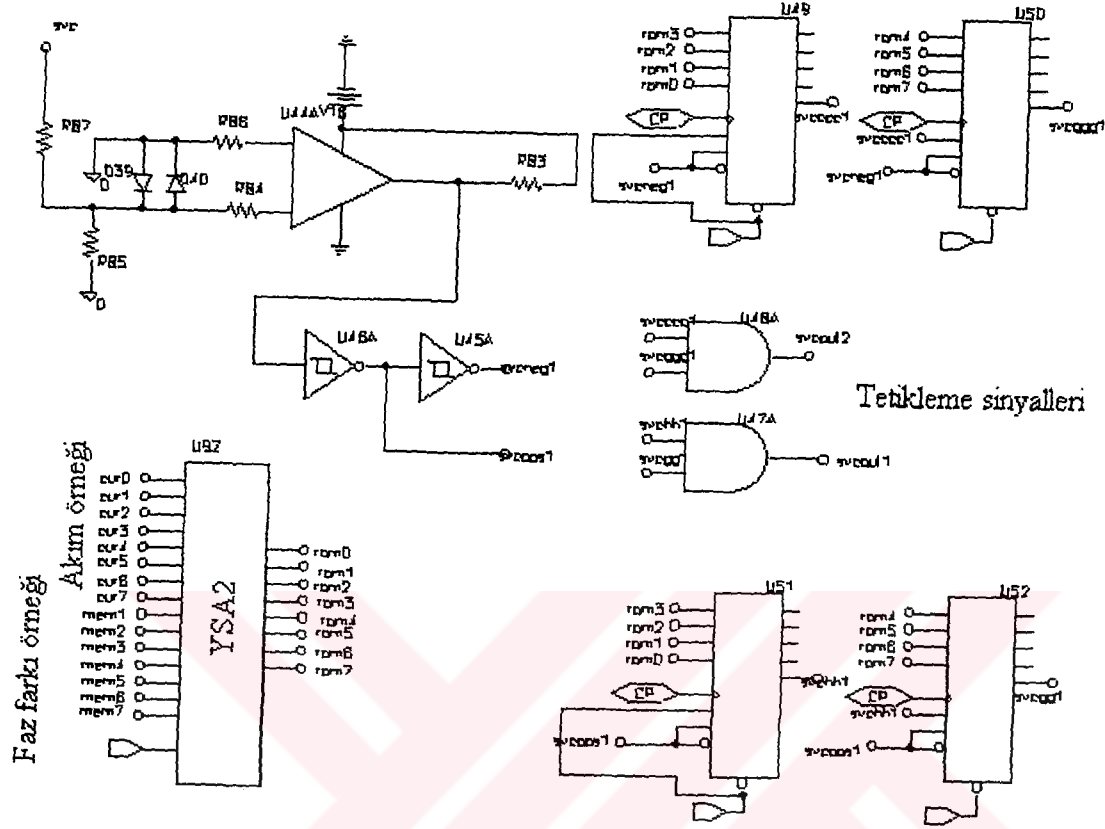
Şekil 5.11 TSC Kontrol Lojik Devresi ve YSA1.

Tristör kontrollü reaktör için gerekli olan kontrol devresi yükün reaktörünün kontrolü ile aynı olmakla birlikte tek fark, sayıcılara girilen başlangıç sayısının yapay sinir ağı tarafından belirlenmesidir. Şekil 5.12 de statik var kompanzatörüne ait tristör kontrollü reaktörün kontrol devresi görülmektedir.

Şekil 5.7 ve 5.8 deki devrelerle örneklenerek 8 bitlik sayıya çevrilen yük akımı ile akım ve gerilim arasındaki faz farkı (güç faktörü bilgisi) ikinci yapay sinir ağı vazifesi gören yine 32 K lık bir ROM'a (Read Only Memory) giriş olarak verilir. Her yarım periyotta bir değişen bu girişlerin belirlediği ROM adresindeki karşılık gelen sayı ROM çıkışından alınarak sayıcılara uygulanır. ROM adreslerine yerleştirilecek sayılar; devrenin simülasyonu sırasında alınan değerlerle eğitilmiş olan yapay sinir ağının test modunda



elde edilmiş giriş değerine karşılık gelen çıkış değerleridir. Aşağıda yapay sinir ağı kontrolörlerinin eğitime ve test aşamaları izah edilmiştir.

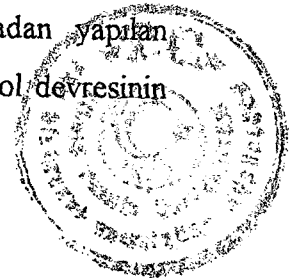


Şekil 5.12 SVC Tristör Kontrollü Reaktör Kontrol Devresi ve YSA2.

5.4 Yapay Sinir Ağı (YSA) Kontrolörlerinin Eğitilmesi

Bu çalışmada; sürekli değerli öğreticili yapay sinir ağı grubuna giren çok katmanlı perceptron'un (MLP), Levenberg-Marquardt optimizasyon metodu ile eğitilmesi kullanılmıştır.

Yapay sinir ağlarının eğitilmesi amacıyla kullanılan giriş değerleri ve bu değerlere karşılık gelen hedef değerleri; model sistemde ROM'ların (YSA'yı temsil eden Read Only Memory) devreden çıkarılıp, gerekli kontrol sinyallerinin simülasyona dışarıdan verilmesi ile elde edilmiştir. Tablo 1 de yapay sinir ağı uygulanmadan yapılan simülasyonların sonuçları görülmektedir. Yük reaktörünün tetikleme kontrol devresinin

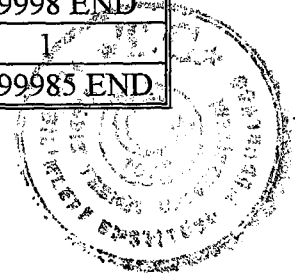


sayıcısına uygulanan sayı 128 (90°) den 50 (145°) ye kadar değiştirilirken; kaynak uçlarındaki güç faktörünü bir seviyesi civarında tutmak amacıyla yapılan hesaplamalara göre tristör anahtarlama kapasitörler (TSC) devreye alınıp çıkarılırken, aynı zamanda tristör kontrollü reaktörün (TCR) kontrol devresi sayıcısına da gerekli sayı uygulanmıştır. Tabloda; kapasitörlerin devrede olup olmadıkları, “VAR” ve “YOK” şeklinde ifade edilmiştir. Her simülasyon için ölçülen akım ve faz farkı örnekleri desimal sayı olarak Tablo 1 de verilmiştir. Tablodaki yük reaktörü kontrol sayısını gösteren sütunda “ * ” ile işaretlenen sayıların bulunduğu kolon değerleri; yapay sinir ağını eğitmek için kullanılmış, diğerleri ise test amaçlı kullanılmışlardır.

Tablo 1. YSA Kullanılmadan Yapılan Simülasyon Sonuçları.

Yük Reaktörü Kontrol Sayısı	Yük Akımı Örneği	Yük Fazfarkı Örneği	TSC1	TSC2	TCR Kontrol Sayısı	Kaynak Güç Faktörü
*128	195	111	VAR	VAR	80	0.9993 END
*127	193	110	VAR	VAR	93	0.99998 KAP
126	192	109	VAR	VAR	95	0.99993 KAP
*125	190	107	VAR	VAR	100	0.999986 KAP
*124	188	106	VAR	VAR	104	1
123	186	105	VAR	VAR	105	0.99996 KAP
*122	184	104	VAR	VAR	109	0.999994 KAP
*121	182	103	VAR	VAR	112	0.999994 KAP
*120	180	102	VAR	VAR	115	0.9999985 KAP
*119	178	101	VAR	VAR	117	0.999986 KAP
*118	176	100	VAR	VAR	120	0.999994 KAP
117	174	99	VAR	VAR	123	0.9999985 KAP
*116	172	97	VAR	VAR	126	0.9999985 END
*115	169	96	VAR	VAR	128	0.999994 KAP
*114	168	94	VAR	YOK	40	0.999994 END
*113	166	93	VAR	YOK	55	0.99993 KAP
112	164	92	VAR	YOK	60	0.999986 KAP
*111	162	91	VAR	YOK	65	0.99995 END
*110	160	90	VAR	YOK	65	0.999976 KAP
109	158	89	VAR	YOK	70	0.999976 KAP
*108	156	87	VAR	YOK	75	0.999994 KAP
*107	155	87	VAR	YOK	80	1
*106	152	85	VAR	YOK	85	0.999985 KAP
*105	150	84	VAR	YOK	90	0.999986 END

*104	148	83	VAR	YOK	93	0.999994 END
103	145	82	VAR	YOK	95	0.999986 END
*102	143	81	VAR	YOK	95	0.99995 KAP
*101	141	79	VAR	YOK	101	0.999985 END
100	139	78	VAR	YOK	105	0.99998 END
*99	137	77	VAR	YOK	106	1
*98	135	76	VAR	YOK	107	0.999976 KAP
97	133	75	VAR	YOK	111	0.999985 KAP
*96	131	74	VAR	YOK	113	0.999994 KAP
*95	129	73	VAR	YOK	115	0.999986 KAP
94	126	72	VAR	YOK	116	0.99993 KAP
*93	124	70	VAR	YOK	121	1
*92	122	69	VAR	YOK	122	0.999986 KAP
*91	122	68	VAR	YOK	124	0.999986 KAP
*90	122	67	VAR	YOK	127	1
89	121	66	VAR	YOK	128	0.99996 KAP
*88	121	65	YOK	YOK	35	0.999994 KAP
87	121	64	YOK	YOK	46	1
*86	120	63	YOK	YOK	53	1
*85	120	61	YOK	YOK	58	1
84	120	60	YOK	YOK	63	0.999985 KAP
*83	119	59	YOK	YOK	69	0.999976 END
*82	119	58	YOK	YOK	72	0.999986 END
81	119	57	YOK	YOK	73	0.999985 KAP
*80	118	56	YOK	YOK	78	0.999986 END
*79	118	55	YOK	YOK	79	0.999985 KAP
78	118	53	YOK	YOK	86	0.9999 END
*77	118	52	YOK	YOK	86	0.999986 END
*76	119	51	YOK	YOK	87	1
75	119	50	YOK	YOK	90	0.999998 END
*74	119	48	YOK	YOK	91	0.999994 KAP
*73	120	47	YOK	YOK	96	0.99996 END
72	120	46	YOK	YOK	96	1
*71	120	45	YOK	YOK	99	0.999994 END
*70	121	44	YOK	YOK	100	1
69	121	43	YOK	YOK	102	0.999985 END
*68	121	42	YOK	YOK	104	0.999985 END
*67	122	41	YOK	YOK	105	0.999985 KAP
66	122	40	YOK	YOK	108	0.999986 END
*65	123	38	YOK	YOK	110	0.99998 END
*64	123	37	YOK	YOK	110	1
63	123	36	YOK	YOK	112	0.999985 END

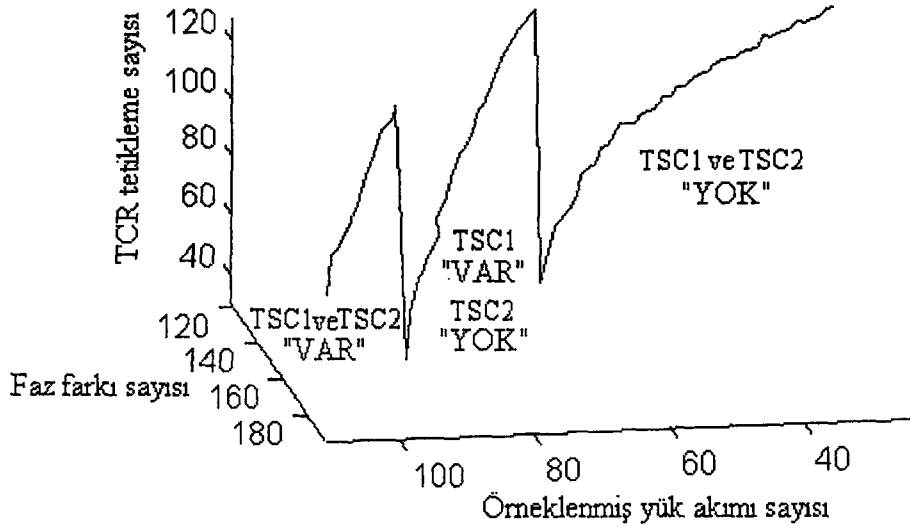


*62	124	35	YOK	YOK	113	1
*61	124	34	YOK	YOK	114	0.999994 KAP
60	124	33	YOK	YOK	118	0.999996 END
*59	125	32	YOK	YOK	118	0.999994 END
*58	125	31	YOK	YOK	119	0.9999985 END
57	125	30	YOK	YOK	120	1
*56	125	29	YOK	YOK	121	1
*55	125	28	YOK	YOK	123	0.999994 END
54	126	27	YOK	YOK	123	0.9999985 KAP
*53	126	26	YOK	YOK	124	0.9999985 KAP
52	126	25	YOK	YOK	125	1
*51	126	24	YOK	YOK	127	0.999986 END
*50	126	23	YOK	YOK	128	0.999998 END

Yapay sinir ağlarını eğitmek amacıyla yapılan simülasyonlar sonucu elde edilen giriş değerleri olan akım ile faz farkına karşılık gelen hedef değerlerine ait eğri Şekil 5.13 te görülmektedir. Bu çalışmadaki yapay sinir ağı girişleri ile çıkış değerleri arasındaki ilişki nonlineer olduğundan kullanılacak yapay sinir ağı (YSA) modeli de nonlineer ilişkiyi gerçekleyebilecek kapasitede olmalıdır. Bu sebeple; bir gizli katmanı bulunan, çok katmanlı perceptron kullanılması uygun görülmüştür. Yapay sinir ağlarının eğitilmesi amacıyla MATLAB paket programının Neural Networks Toolbox'ı kullanılmıştır [28].

Tristör kontrollü reaktörün kontrol devresinin sayıcısına uygulanacak giriş değerini belirleyecek yapay sinir ağını (YSA2) oluşturmak amacıyla yapılan bir dizi ağ denemeleri sonucunda; sıfır ile bir arasında normalize edilmiş akım ve faz farkı değerlerinin girildiği transfer fonksiyonsuz iki nöronlu giriş katmanı, lojistik sigmoid transfer fonksiyonlu 12 nörona sahip bir gizli katmanlı ve lineer transfer fonksiyonuna sahip 1 nöronlu çıkış katmanından oluşan YSA modeli en iyi sonucu vermiştir.



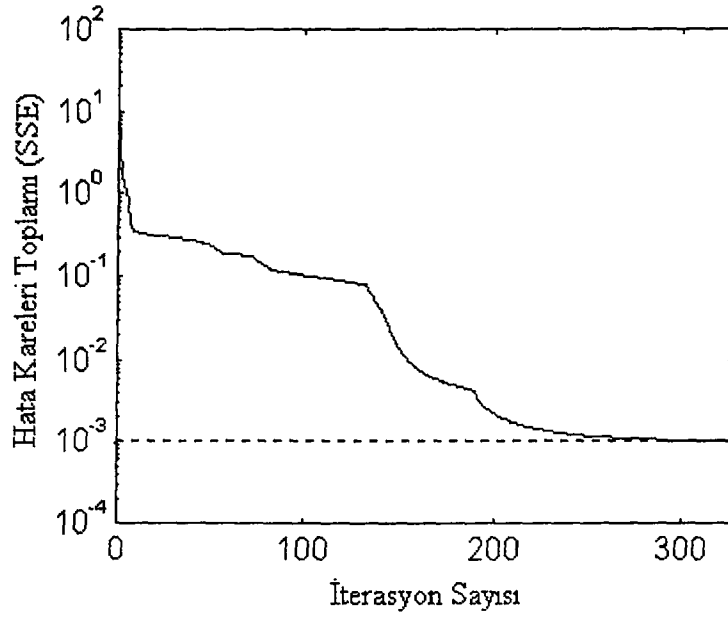


Şekil 5.13 YSA2 Giriş ve Hedef Değerleri.

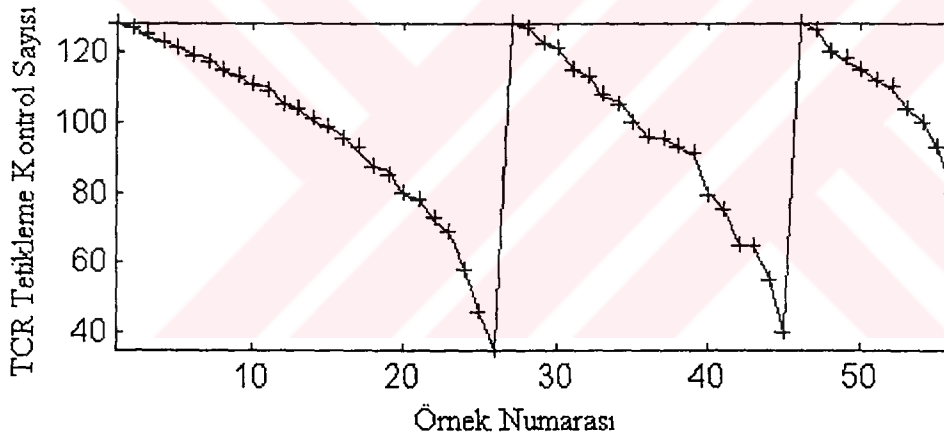
Hatalar karesi toplamı (SSE) değerinin 0.001 olarak seçildiği ve gradyen azalma tabanlı hatanın geriye yayılması (BP) algoritmasının değişken öğrenme ve momentum katsayılarıyla kullanıldığı YSA2 için denenen ağ modelleri; gizli katmanda çok sayıda nöron kullanılmasına rağmen, istenilen hata seviyesini birkaç bin iterasyonda dahi elde edememişlerdir. Dördüncü bölümde bahsedilen Levenberg-Marquardt Optimizasyonu algoritmasının kullanıldığı 2:12:1 mimari yapısına sahip YSA; 300 iterasyonda istenilen hata seviyesine ulaşmıştır. İterasyona bağlı olarak hatanın değişimi Şekil 5.14 te görülmektedir.

Eğitme sonucu; YSA2'ye eğitmede kullanılan değerler tekrar giriş olarak uygulandığında elde edilecek değerler Şekil 5.15 te “ + ” işaretiyle gösterilmekte, YSA2'den istenen gerçek çıkış (hedef) değerler ise eğri şeklinde görülmektedir. Dikkat edilirse, hedef değerler ile YSA2'nin çıkışları arasında fark yok gibidir. Bu durumda YSA2, eğitme değerlerini öğrenmiş demektir. Diğer yandan YSA2'nin önceden öğretilmemiş giriş ve çıkış değerlerine karşı performansı da incelenmelidir. Şekil 5.16 da YSA2'nin test aşamasında uygulanan girişe karşı çıkıştaki değerleri “ + ” işareti ile gösterilirken; önceden öğretilmeyen bu girişlere karşılık gelen asıl çıkış değerleri de yine eğri şeklinde gösterilmiştir.





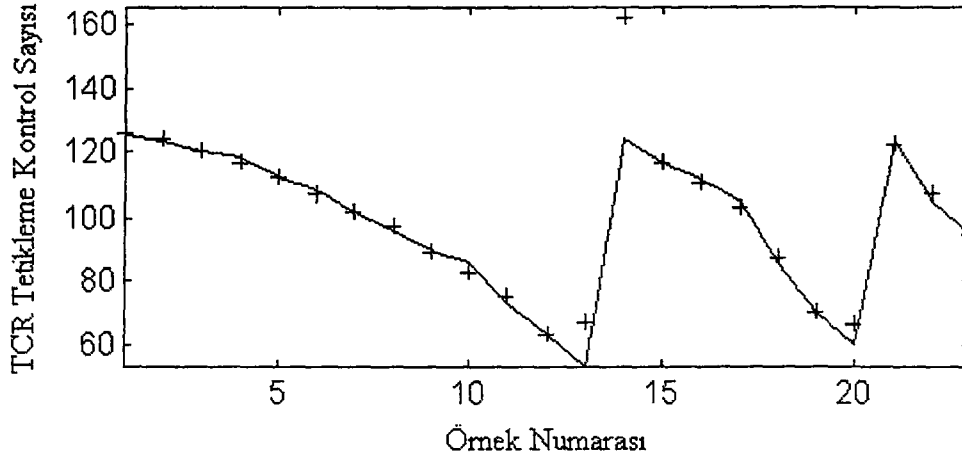
Şekil 5.14 YSA2 Çıkışına ait Hata Değişimi Eğrisi.



Şekil 5.15 YSA2'nin Eğitim Değerlerine Karşı Cevabı.

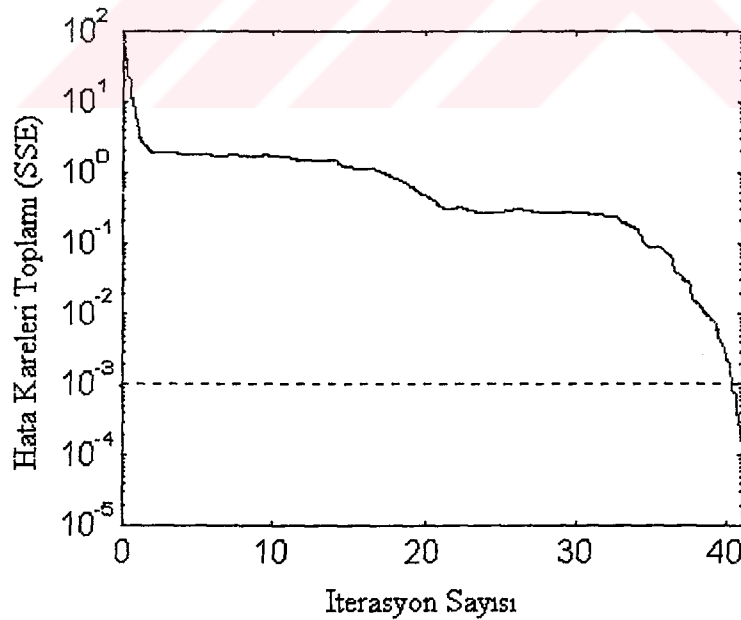
YSA2, eğitim aşamasında verilmemiş giriş değerlerine karşı da iyi bir performans göstermiştir. Sadece süreksizlik bulunan iki kısım civarında hata miktarı artmış ve YSA2'nin bir noktadaki cevabı eğriden uzakta çıkmıştır. Fakat bu süreksizlik noktaları civarında daha fazla eğitim verisi kullanılarak bu önlenabilir.





Şekil 5.16 YSA2'nin Test Aşamasındaki Performansı.

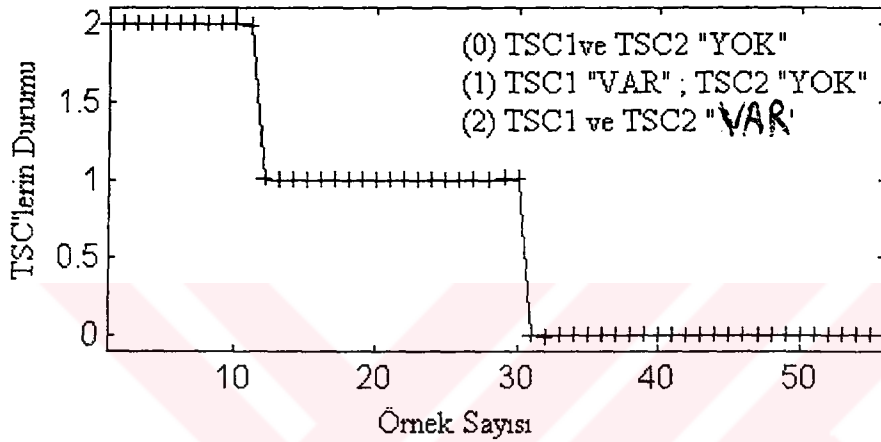
Tristör anahtarlama kapasitörlerin devreye alınıp çıkarılmalarını kontrol eden birinci yapay sinir ağının tasarımı (YSA1); basamak fonksiyonuna benzeyen bir giriş çıkış eğrisini gerçeklemesi gerektiğinden daha basittir. Bir girişe karşılık yine bir çıkış nöronuna sahip ağın gizli katmanına 5 nöron konulmuş ve aynı algoritma ile eğitilerek 0.001 hata kareleri toplamı (SSE) değerine 40 iterasyonda ulaşılmıştır. YSA1 için hata kareleri toplamının değişimi Şekil 5.16 da görülmektedir.



Şekil 5.17 YSA1 Çıkışına ait Hata Değişimi Eğrisi.

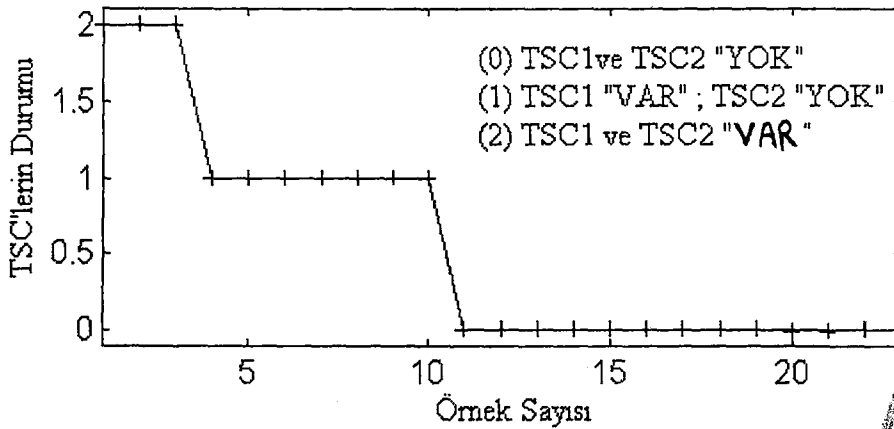


YSA1 için giriş olarak sadece yük gerilimi ile akımı arasındaki faz farkı örnekleri giriş olarak uygulanmış; çıkış olarak ise TSC'lerin devrede olup olmayacaklarını belirleyen lojik karar sayıları alınmıştır. "0" sayısı TSC'lerin hiç birinin devrede olmayacağını; "1" sayısı sadece bir TSC'nin devrede olacağını ve "2" sayısı da her iki TSC'nin de devrede olacağını belirtmektedir. Eğitim sonucu YSA1'e eğitim değerleri giriş olarak verilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.18 de gösterilmiştir. Şekilde eğitim değerleri daimi çizgili eğri ile; YSA1'in cevabı ise "+" işareti ile gösterilmiştir.

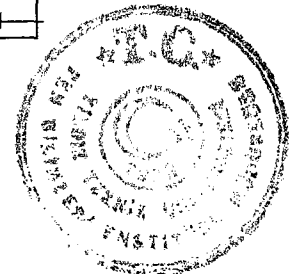


Şekil 5.18 YSA1'in Eğitim Değerlerine Karşı Cevabı.

YSA1'in eğitim değerlerine cevabı şekilden de anlaşılacağı gibi çok iyidir. YSA1, test aşamasında verilen önceden öğretilmemiş değerlere karşı da Şekil 5.19 dan da görülebileceği gibi çok iyi performans göstermiştir.



Şekil 5.19 YSA1'in Test Aşamasındaki Performansı.



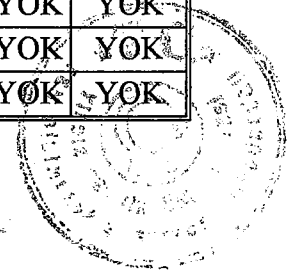
5.5 Yapay Sinir Ağı (YSA) Kontrolörlerinin Test Edilmesi

Bu çalışmada; statik var kompanzatorünü kontrol etmek amacıyla dizayn edilen yapay sinir ağı kontrolörlerinin eğitilmesi, PSpice paket programı ile yapılan sistem simülasyonlarında elde edilen verilerle yapılmıştır. Eğitime aşaması “Off-line” dır, yani simülasyonlar esnasında olmamıştır. Yapay sinir ağlarının verilere karşı cevabı istenilen hata değeriyle elde edildikten sonra, daha önceden öğretilmemiş değerlere karşı performansı bir önceki konuda anlatıldığı gibi test edilmiştir. Tablo 1 de verilen eğitime ve test amaçlı değerlere karşı YSA1 ve YSA2’ nin cevabı Tablo 2 de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 2. YSA1 ve YSA2’nin Eğitime Değerlerine Karşı Cevabı.

Yük Akımı Örneği	Yük Fazfarkı Örneği	TCR Kontrol Sayısı	TCR Kontrol Sayısı(YSA1)	TSC1	TSC1 (YSA2)	TSC2	TSC2 (YSA2)
195	111	80	80	VAR	VAR	VAR	VAR
193	110	93	93	VAR	VAR	VAR	VAR
192	109	95	95	VAR	VAR	VAR	VAR
190	107	100	100	VAR	VAR	VAR	VAR
188	106	104	104	VAR	VAR	VAR	VAR
186	105	105	107	VAR	VAR	VAR	VAR
184	104	109	110	VAR	VAR	VAR	VAR
182	103	112	112	VAR	VAR	VAR	VAR
180	102	115	115	VAR	VAR	VAR	VAR
178	101	117	118	VAR	VAR	VAR	VAR
176	100	120	120	VAR	VAR	VAR	VAR
174	99	123	122	VAR	VAR	VAR	VAR
172	97	126	126	VAR	VAR	VAR	VAR
169	96	128	128	VAR	VAR	VAR	VAR
168	94	40	40	VAR	VAR	YOK	YOK
166	93	55	55	VAR	VAR	YOK	YOK
164	92	60	66	VAR	VAR	YOK	YOK
162	91	65	65	VAR	VAR	YOK	YOK
160	90	65	65	VAR	VAR	YOK	YOK
158	89	70	70	VAR	VAR	YOK	YOK
156	87	75	75	VAR	VAR	YOK	YOK
155	87	80	79	VAR	VAR	YOK	YOK

152	85	85	87	VAR	VAR	YOK	YOK
150	84	90	91	VAR	VAR	YOK	YOK
148	83	93	93	VAR	VAR	YOK	YOK
145	82	95	95	VAR	VAR	YOK	YOK
143	81	95	96	VAR	VAR	YOK	YOK
141	79	101	100	VAR	VAR	YOK	YOK
139	78	105	103	VAR	VAR	YOK	YOK
137	77	106	105	VAR	VAR	YOK	YOK
135	76	107	108	VAR	VAR	YOK	YOK
133	75	111	110	VAR	VAR	YOK	YOK
131	74	113	113	VAR	VAR	YOK	YOK
129	73	115	115	VAR	VAR	YOK	YOK
126	72	116	116	VAR	VAR	YOK	YOK
124	70	121	121	VAR	VAR	YOK	YOK
122	69	122	122	VAR	VAR	YOK	YOK
122	68	124	162	VAR	VAR	YOK	YOK
122	67	127	127	VAR	VAR	YOK	YOK
121	66	128	128	VAR	VAR	YOK	YOK
121	65	35	35	YOK	YOK	YOK	YOK
121	64	46	46	YOK	YOK	YOK	YOK
120	63	53	67	YOK	YOK	YOK	YOK
120	61	58	58	YOK	YOK	YOK	YOK
120	60	63	63	YOK	YOK	YOK	YOK
119	59	69	69	YOK	YOK	YOK	YOK
119	58	72	73	YOK	YOK	YOK	YOK
119	57	73	75	YOK	YOK	YOK	YOK
118	56	78	78	YOK	YOK	YOK	YOK
118	55	79	80	YOK	YOK	YOK	YOK
118	53	86	83	YOK	YOK	YOK	YOK
118	52	86	85	YOK	YOK	YOK	YOK
119	51	87	87	YOK	YOK	YOK	YOK
119	50	90	89	YOK	YOK	YOK	YOK
119	48	91	93	YOK	YOK	YOK	YOK
120	47	96	95	YOK	YOK	YOK	YOK
120	46	96	97	YOK	YOK	YOK	YOK
120	45	99	99	YOK	YOK	YOK	YOK
121	44	100	101	YOK	YOK	YOK	YOK
121	43	102	102	YOK	YOK	YOK	YOK
121	42	104	104	YOK	YOK	YOK	YOK



122	41	105	105	YOK	YOK	YOK	YOK
122	40	108	107	YOK	YOK	YOK	YOK
123	38	110	109	YOK	YOK	YOK	YOK
123	37	110	111	YOK	YOK	YOK	YOK
123	36	112	112	YOK	YOK	YOK	YOK
124	35	113	113	YOK	YOK	YOK	YOK
124	34	114	115	YOK	YOK	YOK	YOK
124	33	118	116	YOK	YOK	YOK	YOK
125	32	118	117	YOK	YOK	YOK	YOK
125	31	119	119	YOK	YOK	YOK	YOK
125	30	120	120	YOK	YOK	YOK	YOK
125	29	121	121	YOK	YOK	YOK	YOK
125	28	123	123	YOK	YOK	YOK	YOK
126	27	123	124	YOK	YOK	YOK	YOK
126	26	124	125	YOK	YOK	YOK	YOK
126	25	125	126	YOK	YOK	YOK	YOK
126	24	127	127	YOK	YOK	YOK	YOK
126	23	128	128	YOK	YOK	YOK	YOK

Tablo 2. den anlaşılacağı gibi yapay sinir ağlarının “Off-line” performansı çok iyidir. Fakat YSA1 ve YSA2’nin asıl performans testi “On-line” yani PSpice simülasyon programına konulduğu zaman görülecektir.

Yapay sinir ağlarının girişe karşılık çıkış değerlerini verecek tablo vazifesini görmek üzere PSpice simülasyon programında iki adet ROM (Read Only Memory) kullanılmıştır. Bunların girişlerine uygulanan ölçüm örnekleri ROM’un adreslerini belirlemekte ve adreslere karşık gelen yapay sinir ağlarınca belirlenmiş sayılar çıkışta görülmektedir. Bu çıkış değerleri kontrol devresindeki diğer lojik devrelerle birlikte statik var kompanzatörünü kaynak uçlarındaki güç faktörünü bir seviyesinde tutacak şekilde kontrol etmektedirler. Bir sonraki bölümde yapay sinir ağları kontroluna dayalı statik var kompanzatörünün sayısal uygulaması verilecektir.



6. BÖLÜM

SAYISAL UYGULAMA

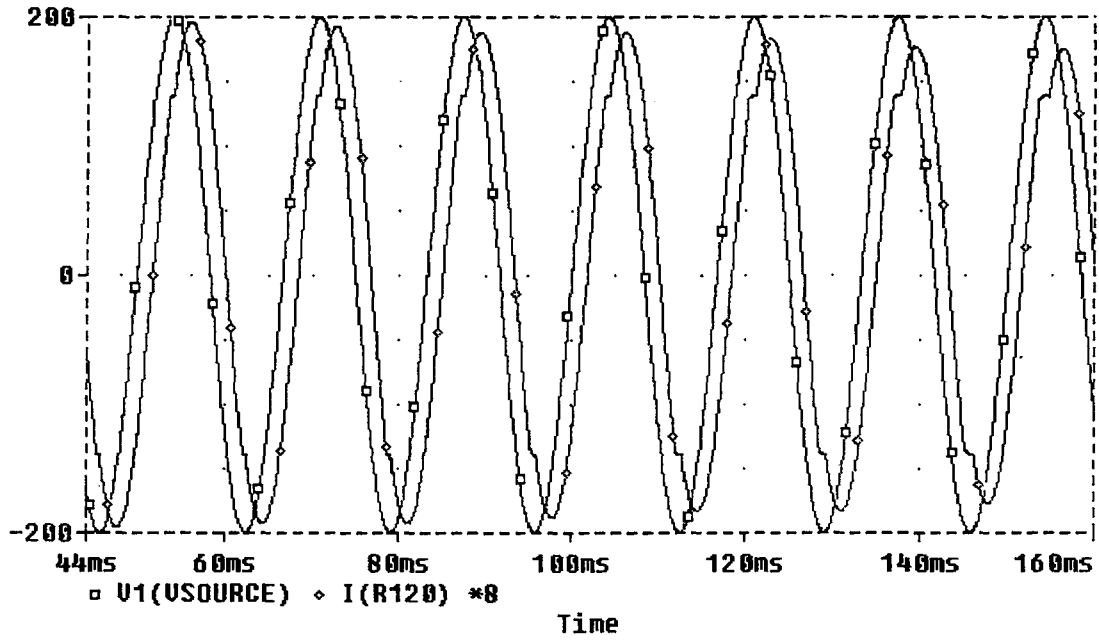
6.1 Tristör Kontrollü Reaktörün (TCR) Performansına ait Uygulama

Beşinci bölümde eğitilme aşaması anlatılan yapay sinir ağları, bu bölümde ROM kullanılarak PSpice programına yerleştirilmiş ve performansı incelenmiştir. Öncelikle tristör kontrollü reaktörün performansını incelemek amacıyla sistemdeki yükün reaktif ihtiyacı maksimum seviyeden başlatılarak azaltılmıştır. Yükün maksimum seviyede reaktif enerji çekebilmesi için kontrol devresindeki sayıcısına 128 sayısının uygulanması gerekir. Bu durumda iken yükün güç faktörü 0.707 dir. Simülasyon başlangıcından itibaren devrenin geçici ilk bir -iki periyodu sonrası YSA kontrol devreleri yükten aldıkları ölçüm değerlerine göre statik var kompanzatörü elemanlarını devreye alırlar. Bu uygulamada yük sayıcı değeri 128 ile başlayıp 116 ile bitirildiğinden bu aralıkta TSC1 ve TSC2 her zaman devrede kalmıştır. Tristör kontrollü reaktörü kontrol eden YSA1 ise yükün reaktif enerji ihtiyacının değişimine bağlı olarak reaktörün tetikleme açısını değiştirmiştir.

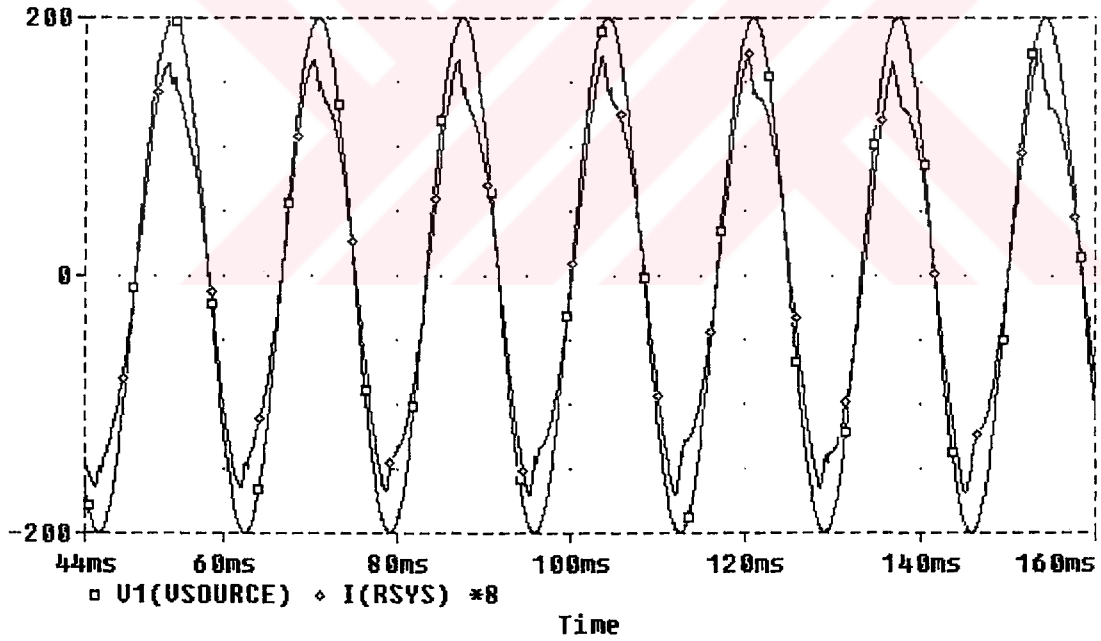
Şekil 6.1 de Simülasyon sırasında statik var kompanzatörü ve yükten çekilen reaktif akımlar görülmektedir. Şekilde yük reaktör akımının genliği (ILLOAD) maksimum değerinden belirli bir değere düşerken; statik var kompanzatörünün tristör kontrollü reaktör akımı da (ILBANK) buna bağlı olarak artmakta (kontrol devresi sayıcısı 80 den 127 ye) ve iki akımın temel bileşenleri toplamı her zaman sabit kalmakta ve statik var kompanzatörünün kapasitör grupları olan TSC1, TSC2 ve Cfiltreler' in toplam kapasitif akımlarına (ICBANK1+ICBANK2+ICFILTERS) eşit olmaktadır.

Sistemden çekilen toplam reaktif akım (harmonikler ihmal edilirse) sıfır olacağından kaynak uçlarında güç faktörü bir olacaktır. Şekil 6.2 de kaynak gerilimine (VSOURCE) karşılık 8 kat büyütülmüş yük akımı (IR120) dalga şekilleri görülmektedir. Açıkça görüldüğü gibi gerilimle akım arasında zamanla değişen bir faz farkı mevcuttur. Bu da yaklaşık olarak yükün güç faktörünü vermektedir.





Şekil 6.2 Kaynak Gerilimi ve Yük Akımı Dalga Şekilleri.

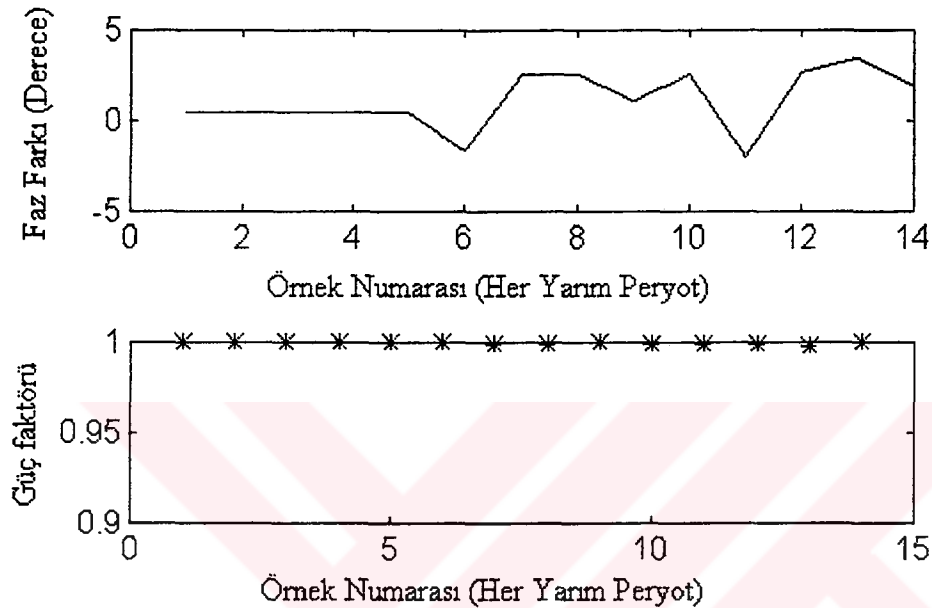


Şekil 6.3 Kaynak Gerilimi ve Akımı Dalga Şekilleri.

Değişen yük güç faktörüne bağlı olarak ayarlanan statik var kompanzatoru kapasitif akımı, sistemin toplam reaktif enerji tüketimini sıfırlamaktadır. Şekil 6.3 de



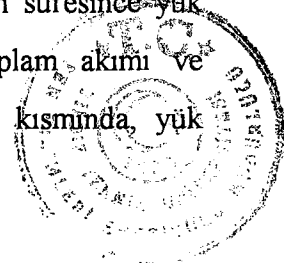
görüldüğü gibi kaynak uçlarında, kaynak gerilimi (VSOURCE) ile kaynak akımı (IRSYS) arasındaki faz farkı her noktada sıfıra yakın kalmakta ve güç faktörü her zaman bir olarak kalmaktadır. Şekil 6.4 te kaynak gerilimi ile kaynak akımı arasındaki faz farkı derece cinsinden verilmiştir. Ayrıca şekildeki güç faktörü eğrisinden de görülebileceği gibi güç faktörü her zaman için bire çok yakındır.



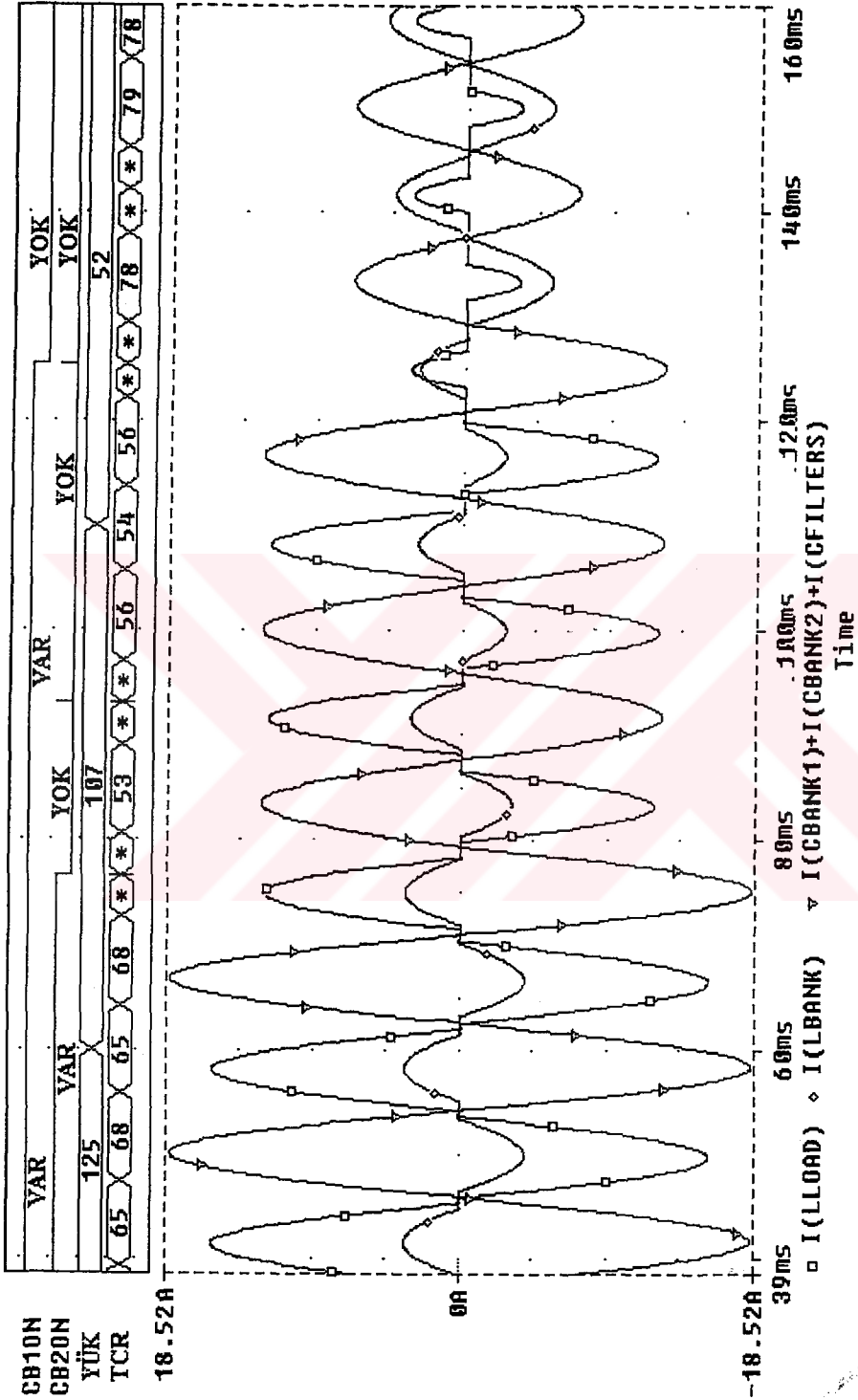
Şekil 6.4 Kaynak Uçlarındaki Güç Faktörü Değişimi.

6.2 Tüm SVC Sisteminin Performansına ait Uygulama

Bir önceki uygulamada sadece tristör kontrollü reaktörün (TCR) performansı incelemeye alınmıştır. Bu uygulamada ise hem TCR'in hem de tristör anahtarlama kapasitörlerin (TSC) performansı incelenmektedir. Simülasyon süresince yük reaktör kontrol devresinin sayıcısına 125, 107 ve 52 sayıları kademeli olarak uygulanmış ve yükün güç faktöründe ani büyük değişimler oluşturulmuştur. Her kademeye uygun olarak YSA2 kontrol ünitesi Kapasitör gruplarını devreye alıp çıkarmış, YSA1 kontrol ünitesi de TCR tetikleme açısını değiştirmiştir. Şekil 6.5 te simülasyon süresince yük reaktörünün akımı; statik var kompanzatorünün kapasitörlerinin toplam akımı ve kompanzator TCR'inin akımı görülmektedir. Şekilde; dijital gösterge kısmında, yük

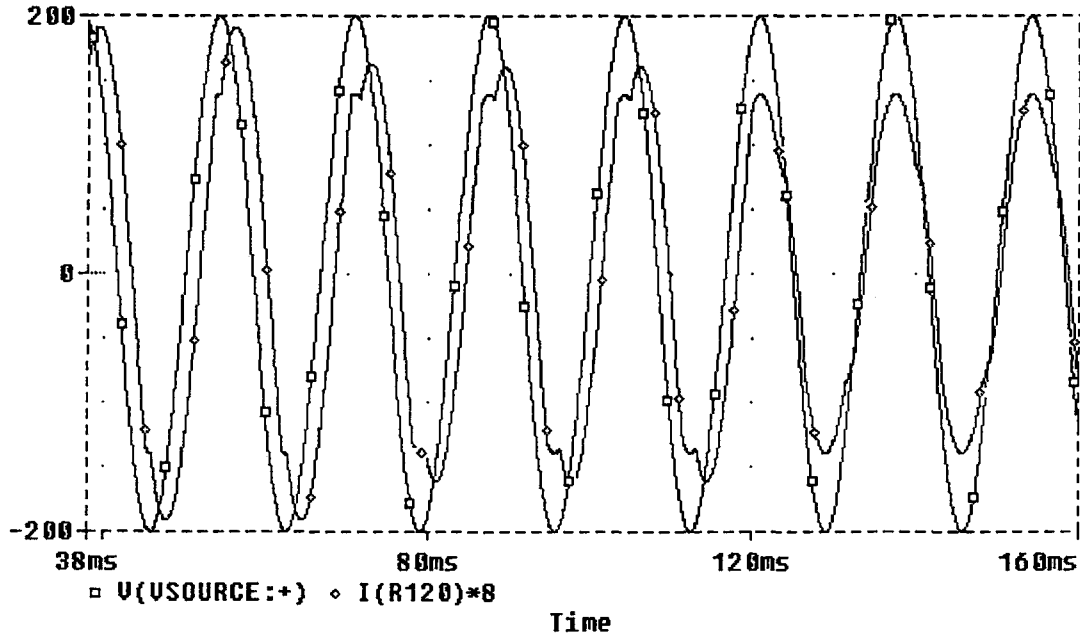


reaktörünün kontrol devresi sayıcısı ile SVC tristör kontrollü reaktörünün kontrol devresi sayıcısının giriş değerlerinin değişimi desimal sayı olarak görülmektedir.

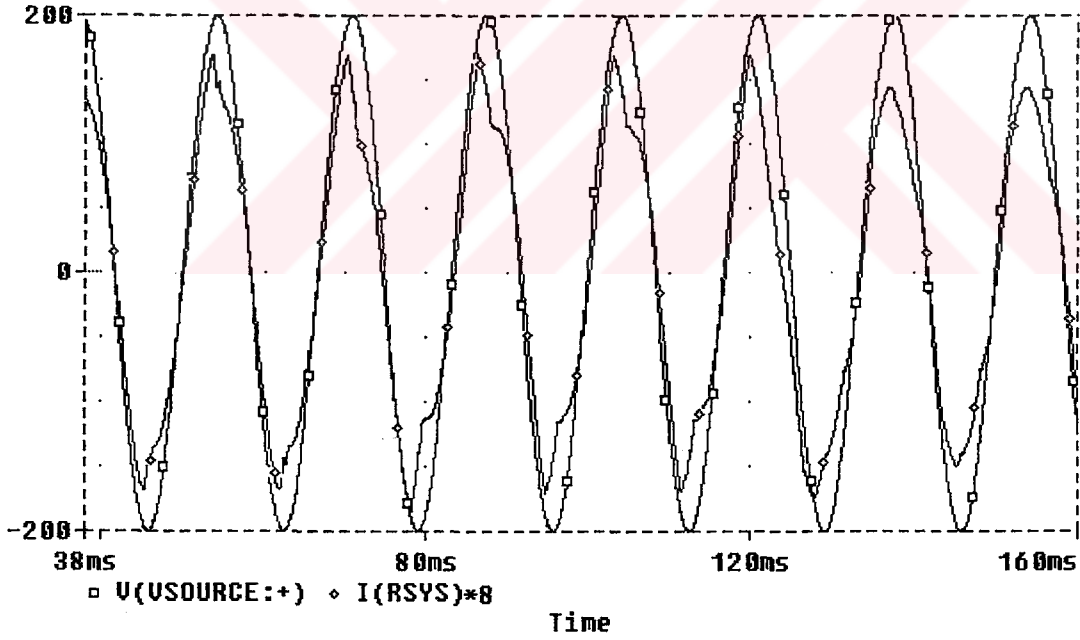


Şekil 6.5 Yük ve SVC için Reaktif Akımların Değişimi





Şekil 6.6 Yük Akımı ve Kaynak Gerilimi Dalga Şekilleri



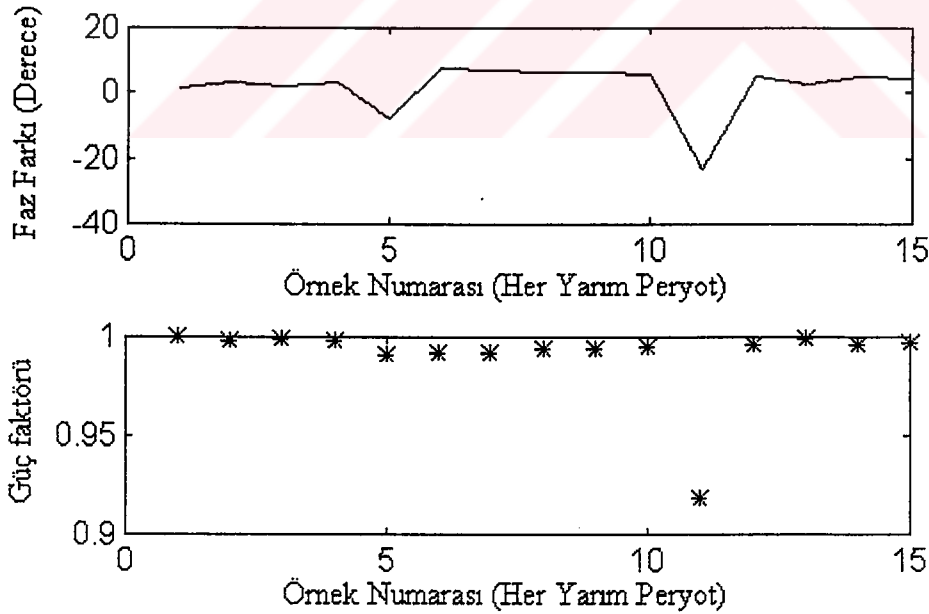
Şekil 6.7 Kaynak Akımı ve Geriliminin Dalga Şekilleri.

Yine Şekil 6.5'in dijital gösterim kısmında tristör anahtarlama kapasitör grupları olan TSC1 ve TSC2 , CB10N ve CB20N olarak devreye giriş ve çıkışları ikili sisteme

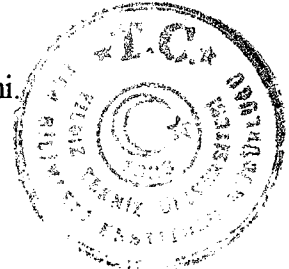


göre gösterilmiştir. Yük reaktörü ve statik var sisteminin akımları toplamı yani sistemin toplam reaktif akımı simülasyon boyunca sıfıra yakın kalmakta, dolayısı ile de kaynak uçlarında güç faktörü bir olmaktadır.

Şekil 6.6 da yük uçlarındaki akım ve gerilim değişimleri verilmiştir. Görüldüğü gibi yükün güç faktörü büyük bir aralık içinde değişmektedir. Bu değişim, statik var kompanzasyonunun devreye girmesiyle kaynak uçlarında Şekil 6.7 deki hali almıştır. Şekil 6.7 de kaynak akımı ile gerilimi arasındaki faz farkı iki nokta dışında hep sıfıra yakın kalmıştır. Bu noktalarda kapasitörlerin devreye girip çıkmalarından dolayı geçici durumlar ortaya çıkmış ve yarım peryot sonra sistem güç faktörünü bire getirmiştir. Kaynak uçlarında akım ve gerilim arasındaki faz farkı ve güç faktörünün değişimi Şekil 6.8 de görülmektedir. Şekilden de anlaşılabileceği gibi, bir nokta haricinde diğer bütün noktalarda güç faktörü bire yakın kalmış ve güç faktörü hata seviyesi % 2 nin altında kalmıştır. Bu bir nokta ise sadece yarım peryot sürmüştür. Çok büyük reaktif enerji ihtiyacı değişimlerine bu kadar kısa sürede cevap verilebilmesi kontrol sisteminin başarısıdır.



Şekil 6.8 Kaynak Uçlarında Faz farkı ve Güç Faktörü Değişimi.



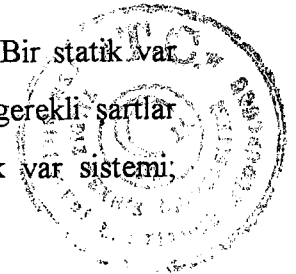
SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; yapay sinir ağı (YSA) kontrolüne dayalı statik var kompanzatorünün (SVC), PSpice paket programı ile tasarım ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

Model sistem olarak, büyük bir enerji üretim merkezinden çok uzakta bulunan büyük bir enerji tüketim merkezine ekonomik olarak enerji taşınmasını sağlayan yüksek gerilimli doğru akım (HVDC) sistemi ele alınmıştır. Bu tür sistemlerde enerji; alternatif akımla üretilir, transformatörlerle uygun gerilim seviyesine çıkarılır, HVDC konverter tesisinde dalga şekli doğru akıma çevirildikten sonra doğru akım taşıma hattı ile istenilen yere kadar taşınır ve bu işlemlerin tersi uygulanarak kullanıcıya sunulur.

İkinci bölümde ayrıntılı olarak bahsedilen HVDC sistemlerinin iki ana problemi söz konusudur. Bunlardan birisi; komütasyonunu alternatif akım tarafındaki gerilim ile sağlayan HVDC konverter tesislerinde, valflerin tetikleme açısı ile komütasyon zamanına bağlı olarak değişen ve çok büyük değerlere varabilen reaktif enerji ihtiyacını karşılamak için kompanzasyon gerekmesidir. Diğeri ise; tristör valflerinin sebep olduğu, sistem konfigürasyonuna ve sistemdeki dengesizliklere bağlı karakteristik ve karakteristik olmayan harmoniklerin olmasıdır. HVDC sisteminin reaktif enerji ihtiyacı, normal çalışma şartları altında aktif gücün yarısı seviyesindedir; kısa devre ve geçici durumlarda daha fazla da olabilir. Önceden yapılan tesislerde sistemin güç faktörünü düzeltmek amacıyla sabit kapasitör grupları kullanılıyordu. Bu durumda sistemin güç faktörü bazen endüktif bazen kapasitif bölgeye geçiyor, bu da kayıpların artmasına ve stabilite problemlerine yol açabiliyordu. Yeni HVDC sistemlerinde değişen bu reaktif enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla statik var kompanzatorleri (SVC) kullanılmaktadır.

Üçüncü bölümde statik var kompanzatorleri (SVC) ele alınmıştır. Bir statik var kompanzatorünü oluşturan temel parçalar ve bu parçaların kontrolunda gerekli şartlar incelenmiştir. Model sistemde kontrolu yapay sinir ağı ile yapılan statik var sistemi;



Üretim bölgesindeki generatörleri toplu temsil eden kaynak modeli ile HVDC Konverter tesisinin alternatif akım tarafındaki davranışına eşdeğer modeli arasına konulmuştur. Bu çalışmadaki SVC'nin amacı kaynak tarafındaki güç faktörünü bir seviyesinde tutmaktır. SVC sistemi; bir tristör kontrollu reaktör, iki tristör anahtarlama kapasitör ve filtrelerle ait kapasitörden oluşmaktadır. Tristörlerin kontrolu amacıyla yapay sinir ağıları kullanılmıştır.

Yapay sinir ağıları dördüncü bölümde yer aldığı gibi insan beyninin sinir sistemini modelleme çalışmaları sonucu ortaya çıkmış; örnek sınıflandırma, konuşma tanıma ve sentezi, fonksiyona yaklaşım ve kontrol gibi alanlarda kullanılmıştır. Modeldeki statik var kompanzatorünün kontrolunda iki adet yapay sinir ağı kullanılmıştır. Bunlardan birisi tristör kontrollu reaktörün tetikleme açısının belirlenmesini, diğeri de tristör anahtarlama kapasitör gruplarının ihtiyaca göre devreye alınıp çıkarılmalarını sağlamaktadır. Beşinci bölümde geniş açıklaması bulunan modelin tasarımı, PSpice paket programı ile yapılmıştır. Model, yapay sinir ağı (YSA) kontrol elemanları kullanılmadan gerekli tetikleme darbeleri uygulanarak çalıştırılmış ve YSA eğitilmesinde kullanılacak 80 örnek elde edilmiştir. Bu örneklerin % 70' i YSA'ların eğitilmesinde kullanılmıştır. MATLAB paket programının kullanıldığı çeşitli ağı yapıları ve eğitime algoritmaları denemeleri sonucu, çok katmanlı perceptron ağı yapısının ve Levenberg-Marquardt Optimizasyon algoritmasının kullanıldığı model en az hatayı vermiştir. Geriye kalan %30 örneklerle ağılar test edilmiş ve performansları yeterli görülerek modelde yerleştirme aşamasına gelinmiştir. Yapay sinir ağıının giriş - çıkış eşlemesini temsil amacıyla ROM (Read Only Memory) kullanılmıştır.

Statik var kompanzatorü modelinin performansını görmek amacıyla altıncı bölümde iki adet sayısal uygulama yapılmıştır. Bu uygulamaların birinde; sadece, tristör kontrollu reaktörü (TCR) kontrol eden YSA performansı incelenmiştir. Tristör anahtarlama kapasitör gruplarının sürekli devrede olduğu çalışma bölgesine karşılık gelecek şekilde, yk reaktör akımı ve dolayısıyla da reaktif enerji ihtiyacı değiştirilmiştir. Bu durum için TCR'ı kontrol eden YSA çıkışı ve kaynak uçlarındaki güç faktörünün

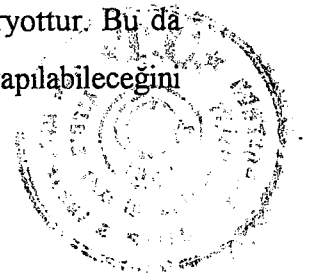


değişimi gözlemlenmiştir. Bu uygulamada TCR kontrolörü olan YSA'nın performansı çok iyi olmuş ve kaynak uçlarındaki güç faktörü hatası % 0.1 seviyesinde kalmıştır. Diğer uygulamada ise tüm statik var kompanzatörünün performansı incelenmiştir. Bu amaçla yük reaktif enerji ihtiyacı, maksimumdan başlayarak kademeli olarak ve büyük miktarlarda azaltılmıştır. Yükteki bu kademeli her azalma sonrası; tristör anahtarlama kapasitör (TSC) gruplarının kontrolörü olan YSA, TSC gruplarını sırayla devreden çıkarmıştır. Öte yandan TCR kontrolörü YSA da gerekli tetikleme gecikmesini sağlamıştır. Kapasitör gruplarının devreye girme ve çıkma anları dışında kaynak uçlarındaki güç faktörü hatası % 2 nin altında kalmıştır. İki uygulamada da kontrol sistemi, kaynak güç faktörünü yarım peryot içerisinde istenen seviyeye getirmiştir.

Model sistemde yükü (HVDC sistemini) temsil amacıyla; sabit aktif güç transferine karşılık sabit değerli bir direnç ve değişken reaktif enerji ihtiyacına ve harmonik üretmesine karşılık dirence paralel bağlı bir tristör kontrollü reaktör kullanılmıştır. Yapay sinir ağları kontrolörünün gürültüye ve harmoniklere karşı davranışını da incelemek amacıyla ölçme devrelerinde filtre kullanılmamıştır. Ayrıca, gerçek bir HVDC sisteminde darbe sayısına bağlı olarak harmonik mevcuttur. Yani 12 darbeleri bir HVDC sisteminde yalnızca 11., 13. ve yukarısı harmonikler bulunabilir. Ancak, bu çalışmada kullanılan yük modelinin akımı 3. ve 5. de dahil olmak üzere tüm tek harmonikleri de içermektedir. Bu harmonikler, ölçme devrelerinin duyarlılığını ve dolayısıyla da yapay sinir ağlarının hata miktarını arttırmıştır. Yukarıda belirtildiği gibi bu şartlar altında dahi sistemin hata seviyesi % 2 nin altında kalmıştır.

Yapılan çalışma sonucu olarak şu yargılara varılabilir:

■ Statik var kompanzatörünü kontrol amaçlı klasik kontrol sistemlerinin cevap süreleri; kontrol çevrimi stabilitesini sağlayabilmek için 1 ile 5 peryot arasında sınırlandırılırken, bu çalışmadaki yapay sinir ağının cevap süresi yarım peryottur. Bu da yapay sinir ağı kontrolüne dayalı daha hızlı cevap süresine sahip sistemler yapılabileceğini gösterir.



■ Klasik kontrol sistemleri, gürültü ve harmoniklere karşı hassastırlar. Ayrıca kontrol sistemindeki bir arıza tüm sistemi etkileyebilir. Bu çalışma, yapay sinir ağının genelleme özelliğinden dolayı gürültü ve harmoniklere karşı toleranslı olduğunu göstermiştir. Diğer yandan YSA ağ yapısındaki bazı nöronların devre dışı kalmasıyla dahi performansını devam ettirebilir.

■ Klasik kontrol sistemleri, kontrol edilecek sistemde yapılacak yeniliklere veya sistem şartlarındaki değişikliklere ayak uyduramazlar. Yapay sinir ağları ise adaptiftir, eğer On-line eğitime sistemine sahipse sistem şartlarındaki değişmelere ayak uydurabilir.

Sonuç olarak; yapay sinir ağları, statik var kompanzatörünü kontrol amacıyla kullanılabilir. Bu çalışmada; yapay sinir ağları kontroluna dayalı statik var kompanzatörü, PSpice programı kullanılarak bir fazlı olarak modellenmiştir. Sonraki çalışmalar için harmonik filtrelerini de içeren üç fazlı modeller kullanılabilir.



KAYNAKLAR

- [1] NARAIN, G. Hingorani, High- Voltage DC Transmission: A Power Electronics Workhorse, IEEE Spectrum, 63-72, April 1996
- [2] Compendium of HVDC Schemes throughout the World, International Conference on Large High Voltage Electric Systems, CIGRE, 1987
- [3] KUNDUR, P., Power System Stability and Control, McGraw-Hill, Inc., 1994
- [4] UHLMANN, E., Power Transmission by Direct Current, Springer-Verlag, 1975
- [5] CIGRE Report, Static VAR Compensators, Prepared by WG 38-01, Task Force No. 2, Paris, 1986
- [6] IEEE Special Stability Controls Working Group Report, Statik Var Compensator Models for Power Flow and Dynamic Performance Simulation, Presented at the IEEE PES Winter Meeting , Columbus, Ohio, February 1993
- [7] HASSOUN, M. H., Fundamentals of Artificial Neural Networks, MIT Press, 1995
- [8] BEALE, M., et al, Building A Neural Network Application, Scientific Computing & Automation, May 1992
- [9] LIPPMAN, R. P, An Introduction to Computing with Neural Nets, IEEE ASSP Magazine, 4-22, April 1987
- [10] MCCULLOCH, W.S., et al, A Logical Calculus of the Ideas Imminent in Nervous Activity, Bulletin of Mathematical Biophysics, 5, 115-133, 1943
- [11] HEBB, D. O., The Organization of Behaviour, John Wiley & Sons, New York, 1949



- [12] ROSENBLATT, R., Principles of Neurodynamics, Spartan Books, New York, 1959
- [13] WIDROW, B., et al, Adaptive Switching Circuits, 1960 IRE WESCON Conv. Record, Part 4, 96-104, August 1960
- [14] HOPFIELD, J.J., Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, Vol.79, 2554- 2558, April 1982
- [15] HOPFIELD, J.J, Neurons with Graded Response Have Collective Computational Properties Like Those of Two-State Neurons, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, Vol.81, 3088- 3092, May 1984
- [16] HOPFIELD, J.J et al, Computing with Neural Circuits: A Model, Science, Vol.233, 625-633, August 1986
- [17] RUMELHART, D.E., et al, Learning Internal Representations by Error Propagation, in D.E Rumelhart & J.L. McClelland (Eds.), Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition. Vol.1: Foundations. MIT Press 1986
- [18] Sejnowski, T. ,et al, NETtalk: A Parallel Network That Learns to Read Aloud, Johns Hopkins Univ. Tecnical Report, 1986
- [19] FELDMAN, J.A., et al, Connectionist Models and Their Properties, Cognitive Science, Vol.6, 205-254,1982

