

154930

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

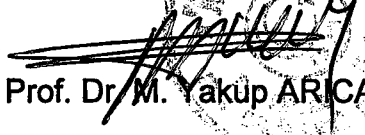
ELEKTRİK-ELEKTRONİK ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜÇ SİSTEMLERİNDE
YÜK-FREKANS KONTROLÜ
ve
SİNİR AĞLI KONTROL UYGULAMASI


O.ÖĞUZ DARÇIN

MAYIS 2004


Fen Bilimleri Enstitü Müdürünün onayı.


Prof. Dr. M. Yakup ARICA
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak ~~Elk-Elektro~~ Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.


Prof. Dr. Bilal TOKLU
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumuzu ve Yüksek Lisans tezi olarak bütün gerekliliklerini yerine getirdiğini onaylarız.

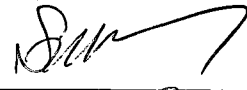
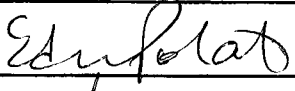


Doç. Dr. Şerafettin EREL
Danışman

Jüri Üyeleri :

Doç. Dr. Şerafettin EREL

Yrd. Doç. Dr. Ediz POLAT

Yrd. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ

ÖZET

GÜÇ SİSTEMLERİNDE YÜK-FREKANS KONTROLÜ ve SİNİR AĞLI KONTROL UYGULAMASI

DARÇIN , O. OĞUZ

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman : Doç. Dr. Şerafettin EREL

Mayıs 2004 , 70 sayfa

Bu tez çalışmasında, güç sistemleri incelenmiştir. Güç sistemlerinin modellenmesi anlatılarak, güç sistemlerinde tek bölgeli ve iki bölgeli sistemler incelenmiş ve anlatılmıştır. Tek bölgeli ve iki bölgeli sistemler için yük-frekans kontrolü incelenmiştir. Yapay sinir ağları hakkında genel bir bilgi verilmiş, yapay sinir ağı kontrolörler kullanılarak tek bölgeli bir sistemde yük-frekans kontrolü yapılmış, kontrol sonucu bulunan simülasyonlar gösterilmiştir. Bulunan sonuçlar PI kontrolörün sonucu ile karşılaştırılmış ve yapay sinir ağı kontrolörlerin PI kontrolöre göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Güç Sistemleri , Yük- frekans kontrolü , Sinir Ağları

ABSTRACT

LOAD-FREQUENCY CONTROL and NEURAL NETWORK CONTROL APPLICATION IN POWER SYSTEMS

DARÇIN , O. OĞUZ

Kırıkkale University

Graduate School Of Natural and Applied Sciences

Electrical-Electronic Engineering Department , M. Sc. Thesis

Advisor : Assoc. Prof. Dr. Şerafettin EREL

May 2004, 70 pages

In this study, power systems are investigated. First, the modelling of power systems are examined than the power systems of one and two-areas are investigated. Load-frequency control for the power systems of one and two areas are investigated. A general informations about artificial Neural Networks is given and the load-frequency control of one area system is performed on PC by using artificial Neural Networks and finally simulations taken after the controller are shown. Results are compared with PI controller and it is concluded that Neural Networks controllers are better than PI controllers.

Key words : Power Systems , Load-Frequency Control , Neural Networks.

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında yardımlarını esirgemeyen, tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Şerafettin EREL hocama , tez çalışmalarım esnasında bilimsel konularda daima yardımını gördüğüm sayın Prof. Dr. İlhan KOCAARSLAN hocama , sayın Ertuğrul ÇAM hocama, asistan arkadaşım İbrahim EKE 'ye , müdürüm sayın Mehmet ÇANGA' ya , mesai arkadaşlarıma ve son olarak bana birçok konuda olduğu gibi tezimi hazırlamam esnasında da manevi desteklerini esirgemeyen , aileme, eşime ve kızım Zeynep'e teşekkür ederim.

SİMGELER DİZİNİ

ω	açısal hız, rad/sn
α	açısal ivme
T_a	$T_m - T_e$, İvmelendirme momenti
T_m	mekanik moment
T_e	elektrik moment
P_a	$P_m - P_e$, ivme gücü
P_m	mekaniksel güç
P_e	elektriksel güç
I	makinenin atalet momenti
M	makinenin açısal momentumu
ΔP_D	Frekansa duyarlı yük değişimi
D	Yük sönüm sabiti
$\Delta\omega$	Açısal hızdaki değişim
ΔP_L	Frekansa duyarsız yük değişimi
$D.\Delta\omega$	Frekansa duyarlı yük değişimi
T_g	zaman sabiti
f_2	Yüksüz durumda frekans (Hz)
f_1	Nominal güç çıkışında frekans (Hz)
f_n	Nominal frekans (Hz)
P_{Gn}	Generatör ünitesinin nominal çıkışı

S_n	Megawatt baz değeri
R	Hız ayar karakteristiği eğim genliği
K	Sistemin güç-frekans sabiti
f_D	İstenilen frekans
f_A	Gerçekleşen frekans
T_s	örnekleme süresi
n	ayrı zaman indeksi



ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

1.1. Çok kontrol bölgesi bir sistemde otomatik yük-frekans kontrolünün birincil ve ikincil çevrimleri	4
2.1. Türbin-generatör sistemi fiziksel modeli	8
2.2. Türbin-generatör sisteminin basite indirgenmiş blok diyagramı	10
2.3. Dönen Kütle ve yükün indirgenmiş blok diyagramı	11
2.4. Hız regülatör sisteminin basitleştirilmiş fonksiyonel diyagramı	12
2.5. Buhar türbini için hız regülatör sisteminin matematiksel modeli	15
2.6. Ön ısıtmasız türbin blok diyagramı	16
2.7. Matematiksel modeli	16
2.8. Bağlantı hattının matematiksel ifadesi	17
2.9. Bir güç sisteminin yük frekans kontrolüne uygun modeli	18
2.10. Birincil otomatik yük-frekans kontrol çevrimi.....	21
2.11. İkincil çevrim otomatik yük-frekans kontrolü.....	23
2.12. İntegral kontrolörü kullanılmış güç sisteminin otomatik yük frekans kontrol diyagramı	24
2.13. Her bir kontrol bölgesi için otomatik üretim kontrolü mantığı	27
2.14. İki bölgesi bir güç sistemi için otomatik üretim kontrol diyagramı.....	28
2.15. Dört bölgesi bir güç sistemi için otomatik üretim kontrol diyagramı.....	29
2.16. İki bölgesi bir sistem	31
3.1. Biyolojik Sinir Hücresi.....	36

3.2. Yapay Sinir ağı temel yapısı	36
3.3. İleri beslemeli 3 katmanlı YSA	38
3.4. Klasik tek bölgeli sistemin basitleştirilmiş diyagramı.....	46
3.5. Klasik tek bölgeli sistemin küçük sinyal modeli	47
3.6. Klasik iki bölgeli sistemin basit diyagramı	48
3.7. Klasik iki bölgeli sistemin küçük sinyal modeli	49
3.8. İleri beslemeli çok katmanlı sinir ağı	53
3.9. İleri beslemeli çok katmanlı sinir ağı	53
3.10. Sinir ağı kontrolörü ve tek bölgeli sistemin santral modeli	55
3.11. Tek bölgeli sistem için sinir ağı kontrolörü	56
3.12. Tek bölgeli sistemin sinir ağı kontrolörü ve santral modeli , zamana yayılmış blok diyagramı	58
3.13. Tek bölgeli sistem ve PI kontrolörü	59
3.14. PI kontrolörüne ait simülasyon	60
3.15. Tek bölgeli sistem ve Model Referans Kontrolörü.....	61
3.16. Model Referans Kontrolörüne ait simülasyon	62
3.17. Tek bölgeli sistem ve NARMA-L2 Kontrolörü.....	64
3.18. NARMA-L2 kontrolörüne ait simülasyon	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

2.1 Bağlantı hattı yük-frekans kontrolü	32
2.2 ΔP_{L1} lik bir artışta frekans ve güçteki değişim	32
3.1 Biyolojik sinir ağı ve yapay sinir ağının karşılaştırması	37
3.2 Parametre değerleri	61



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
İÇİNDEKİLER	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Güç sistemlerinde yük-frekans kontrolü	1
1.2. Kaynak özetleri	4
2. MATERYAL ve YÖNTEM	8
2.1. Güç sisteminin modellenmesi	8
2.1.1. Generatör modeli	8
2.1.2. Yük modeli	10
2.1.3. Hız regülatör modeli	11
2.1.4. Türbin Modeli	15
2.1.5. Bağlantı Hattı Modeli	16
2.1.6. Güç Sisteminin Yük-Frekans Kontrolüne Uygun Modeli	18
2.1.7. Otomatik Yük-Frekans Kontrolünde Birincil Kontrol Çevrimi ..	19
2.1.8. Otomatik Yük-Frekans Kontrolünde İkincil Kontrol Çevrimi ..	21
2.1.9. Kontrolsüz Durumda Otomatik Yük-Frekans Kontrol Çevriminin Frekans Cevabı	22

2.1.10. Kontrollü Durumda Otomatik Yük-Frekans Kontrol Çevriminin Frekans Cevabı	23
2.1.11. Alan Kontrol Hatasının Hesaplanması.....	25
2.2. İki veya ikiden fazla kontrol bölgelerine sahip güç sistemlerinde otomatik yük-frekans kontrolü.....	26
2.2.1. Bağlantı Hattı Kontrolü	30
2.2.2. Güç Sistemlerinde Kullanılan Diğer Kontrolörler	34
3. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	35
3.1. Yapay Sinir ağları	35
3.1.1 Biyolojik Sinir Sistemi	35
3.1.2. Yapay Sinir Hücresi	36
3.1.3. Yapay Sinir Ağının çalışma prensibi	39
3.2. Güç Sistemlerinde Yapay Sinir Ağlı Yük-Frekans Kontrolü.....	42
3.3. Santral modellenmesi ve klasik yöntemlerle kontrolü	44
3.3.1. Tek bölge sistemlerde otomatik yük-frekans kontrolü	44
3.3.2. İki bölge sistemlerde otomatik yük-frekans kontrolü	48
3.4. Sinir ağları yardımıyla lineer olmayan kontrol	51
3.4.1. Tek bölge sistemin sinir ağlı kontrolü	51
3.4.1.1. Geri Yayınım algoritması	51
3.4.1.2. Sinir ağ kontrolörünün adaptasyonu	54
3.4.1.3. Zamanda geri yayınım algoritması	57
3.5. Simülasyonlar	59
4. SONUÇ.....	66
KAYNAKLAR	67

1. GİRİŞ

1.1. Güç sistemlerinde yük-frekans kontrolü

Elektrik şebekeleri her geçen gün büyümektedir. Öyle ki bir ülke sadece kendi içinde enterkonnekte sistemleri oluşturmakla kalmayıp komşu ülkelerle de en uygun maliyetlerle güç alışverişi yapmak istemektedir. ⁽¹⁾

Enterkonnekte sistemleri birbirine bağlamak kolay değildir. Öncelikle her sistemin kendi içinde kararlı çalışması gerekmektedir. Birbirine bağlı olan iki sistemin frekanslarını, üretimlerini ve birbirlerine verdikleri güç değerlerini kontrol etmeleri gerekmektedir.

Frekans sistemde üretilen elektriğin kalitesini ve sistem performansını gösteren temel unsurlardan birisidir. Frekansın kontrolü aktif güç kontrolü ile ilgili olduğundan sistemlerin herhangi birindeki yük değişiminden diğeri de etkilenecektir. Herhangi bir yük değişiminde sistemin frekansının, üretiminin ve diğer sistemlerle yaptığı güç alışverişinin yeniden düzenlenmesi gerekir. Enterkonnekte sistemlerde kararlılığı bozabilen bu yük değişiminin etkisi tek başına çalışan sistemlerdekinden daha azdır. Bu nedenle enterkonnekte sistemler daha çok tercih edilmektedir.

Frekans değerinin değişmeden sabit tutulması oldukça zordur. Çünkü sistemin yapısından kaynaklanan birçok bozucu etki mevcuttur. Başlangıçta frekans değerleri ne kadar istenen değerde olursa olsun, sistem içindeki ve dışındaki mekanik ve elektriksel bozulmalar nedeniyle bu değer korunamamaktadır. Bu nedenle sistemin içinde ve dışında bulunan mekanik

ve elektriksel özelliklerin çok iyi bilinmesi ve buna uygun bir kontrol sistemi oluşturulması gerekmektedir. ⁽²⁾

Bir güç sisteminde üretim miktarı talep edilenden fazla frekans artacak, talep edilenden az ise frekans azalacaktır. Bunun sebebi ise, sistemde bulunan generatörün hızının ilk durumda istenenden hızlı olması, ikinci durumda ise istenenden yavaş olmasıdır. Frekanstaki bu değişimlere yük frekans kontrolü müdahale etmeli ve hızlı bir biçimde oluşan bozulmaları yok etmelidir. ⁽³⁾ Sonuç olarak, güç sistemlerinde, sistemde üretilen elektriğin ve frekansın değişen tüketime göre ayarlanması işlemine " Yük Frekans Kontrolü " (Load - Frequency Control – LFC) denir.

Yük frekans kontrolü güç sistem dizaynı ve operasyonunda çok önemlidir. Çünkü güç kaynağının kalitesinden emin olmak için frekansa bağlı olarak generatörün üretiminin kontrol edilmesi gerekmektedir. Sistemde kullanılan parametreler operasyon noktalarının fonksiyonlarıdır ve güç sistemlerinde yük hiçbir zaman sabit değildir. ⁽⁴⁾

Güç sistemlerinde yük frekans kontrolü, kaliteli ve güvenilir elektrik gücünün elde edilmesi için çok önemlidir. Yük frekans kontrolünün hedefi çok bölgesel enterkonnekte sistemlerdeki kararlı durum hatalarını sıfıra çekmek ve sıfırda sürdürmektir. Buna ilaveten güç sistemi istenilen iletim şartlarını da yerine getirmelidir. ⁽⁵⁾

Klasik bir yük frekans kontrolü problemlerindeki anahtar varsayımlar şunlardır :

1. Basamak yük değişimini takip eden kararlı durum frekans hatasının yok edilmesi gerekir. Geçiş frekansı ve zaman hatası mümkün olduğunca küçük olmalıdır.
2. Herhangi bir alandaki basamak yükü takip eden bağlantı gücündeki statik değişiklik 0 (sıfır) olmalıdır. Her bir bölge kendi yük değişimi için gerekli işlemleri yapabilmelidir.
3. Acil bir durumda herhangi bir bölgenin güç ihtiyacı diğer bölgeler tarafından karşılanmalıdır.⁽⁶⁾

Güç sistemlerinde yapılan denemelerden, her bir bölgenin kontrol edilmiş olması için, kendi sistem frekansına ve bağlantı hattı güç akışına ihtiyaç duyduğu görülmüştür. Yük frekans kontrolü bir sistemde bu kontrolü yani sistemde bulunan generatörlerin hızlarının ve güç çıkışlarının ayarlanması işlemini iki farklı kontrolle yapar ⁽⁷⁾ :

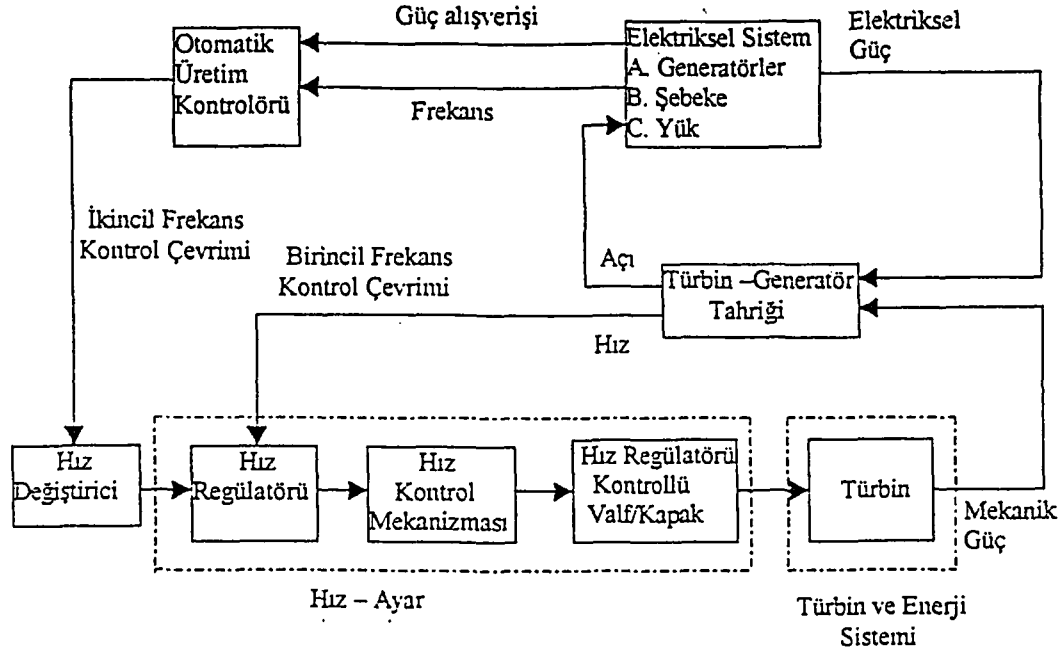
1. Birincil Kontrol
2. İkincil Kontrol

Birincil kontrolde frekanstaki düşme ve yükselmelere göre frekans belli sınırlar içinde tutulur. Yani kaba bir ayar yapılır.

İkincil kontrolde ise birincil kontrolde sabitlenen frekans istenilen değere getirilir ve frekans hatası sıfırlanır.

Bu iki kontrol yardımıyla üretim yüke eşitlenir, üretim kaynaklar arasında aktarılır ve depolanmış enerji ayarlanabilir.

Şekil 1.1 'de çok kontrol bölgeli bir sistem için otomatik yük-frekans kontrolünün birincil ve ikincil çevrimleri gösterilmektedir.



Şekil 1.1 Çok kontrol bölge bir sistemde otomatik yük-frekans kontrolünün birincil ve ikincil çevrimleri ⁽³⁾

1.2. Kaynak Özetleri

C. Zobi,⁽¹⁾ 1996'da yaptığı tez çalışmasında Yük-frekans Kontrolü konusunu ele almıştır. Önce sistemin modellemesini yapan Zobi , daha sonra sistemde yük-frekans kontrolü ve otomatik üretim kontrolü incelemesini yapmıştır.

G. Akalın Kurt,⁽³⁾ 2000'de yaptığı doktora tez çalışmasında Güç Sistemlerinde Yük-Frekans Kontrolü konusunu ele almıştır. Canan Zobi gibi sistemin modellemesini yapan Kurt, Güç Santralinin yük-frekans kontrolündeki rolünü anlatmış, tek bölge ve iki bölge sistemlerde otomatik yük-frekans kontrolü yapmıştır. Son olarak sistemde kontrolör olarak kazancın

bulanık mantık ile programlandığı bir PI kontrolör kullanan Kurt, kontrol sonucu bulduğu simülasyonları klasik PI kontrolörün çıktılarıyla karşılaştırmıştır.

E. Özdemirci,⁽⁸⁾ 2002'de yaptığı tez çalışmasında Bir Elektrik Güç Sisteminde Yük-Frekans Kontrolü İncelemesi ve Modellemesini konusunu ele almıştır. Özdemirci, Zobi ve Kurt gibi onların çalışmalarından da yararlanarak ilk olarak sistemin modellemesini anlatmıştır. Sistemde yük-frekans kontrolünü inceleyen Özdemirci, kontrolör olarak Bulanık kontrolör kullanmış ve Türkiye elektrik güç sistemini incelemiş ve anlatmıştır.

A. Demirören,⁽¹¹⁾ SMES Ünitesi içeren Güç Sistemlerinde Otomatik Üretim Kontrolünde Self Tuning Uygulamasını incelemiş, sisteme ve SMES ünitesine genel bir bakış yapmış , kontrolör olarak Self Tuning kullanmış ve simülasyonlarını yaparak sonuçları incelemiştir.

E. Öztemel ve Ç. Elmas,^(14,16) ayrı ayrı olarak yazdıkları 'Yapay Sinir Ağları' kitaplarında Yapay sinir ağlarının tarihi gelişimini anlatmışlar, temel bilgiler vermişler, mimarisi ve eğitimini anlatarak uygulamalarına örnekler vermişlerdir.

Ö. Efe , O. Kaynak,⁽¹⁵⁾ Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları kitabında yapay sinir ağlarını anlatmışlar ve uygulamalarına örnekler vermişlerdir.

H.L.Zeynelgil , A.Demirören , N.S.Şengör ,^(13,18,20) Yapay sinir ağlarının yük-frekans kontrolüne uygulanması konusunda birçok inceleme, araştırma ve çalışma yapmışlardır. Türkiye'de bu konuda çalışan sayılı akademisyenlerdendirler. Tek bölgeli, iki bölgeli ve çok bölgeli sistemler için yük frekans kontrolünü incelemiş ve gerçekleştirmişler, kontrolör olarak

yapay sinir ağlı kontrolör kullanmışlar, çalışmaları sonucunda ortaya çıkan simülasyon sonuçlarını klasik kontrolörlerin simülasyon sonuçları ile kıyaslamışlardır. Yapay sinir ağlı kontrolörlerin klasik kontrolörlere göre daha iyi sonuç verdiğini ispatlamışlardır.

F.Beaufays , Y.Abdel-Magid , B.Widrow ,⁽¹⁹⁾ Güç sistemlerinde yük-frekans kontrolünde sinir ağlı uygulamasını incelemişler , güç sisteminin modellenmesini yapmışlar , 2 bölgeli bir sistem için zamanda geri yayılım ağı kullanarak sistemin kontrolünü ve simülasyonlarını yapmışlar, çıkan sonuçları integral kontrolörle kıyaslamışlardır.

M.K. El-Sherbiny, G. El-Saady, A. M. Yousef,⁽⁴⁾ Fuzzy lojik yük-frekans kontrolünü incelemişler, 2 bölgeli bir sistemde uygulamasını ve simülasyonunu yapmışlar ve bulunan sonuçları integral kontrolörle kıyaslamışlardır.

X. Meng, Q. Gong, L. Feng, W Zheng, W. Zhang, ⁽⁵⁾ çok bölgeli güç sistemlerinde PI Fuzzy kayma modlu yük-frekans kontrolünü incelemişler, 4 bölgeli bir sistemde uygulamasını yaparak simülasyon sonuçlarını incelemişlerdir.

E. Yeşil, M. Güzelkaya,⁽⁶⁾ I. Eksin, Yük-frekans kontrolünde self tuning fuzzy PID tip kontrolör kullanmışlar , 2 bölgeli bir sistem için uygulamasını ve simülasyonlarını yapmışlar ve bulunan sonuçları diğer kontrolörlerle kıyaslamışlardır.

E. am, I. Kocaarslan,⁽⁷⁾ İki Bölgeli Güç Sistemlerinde Yük-frekans Kontrolünde kullanılan Fuzzy Lojik Kontrolörü incelemişler , sisteme genel bir bakış yaparak sistemde Fuzzy Lojik kontrolör kullanmışlar ve simülasyonları

yapmışlar , çıkan sonuçları bu konuda yapılan diğer çalışmaların sonuçlarıyla kıyaslamışlardır.

A.P.S. Meliopoulos, ⁽⁹⁾ Güç Sisteminin modellenmesini incelemiş , sistemi analiz ederek kontrolünü yapmış , uygulama alanlarını inceleyerek örnekler vermiştir.

M. Uluer, ⁽¹⁰⁾ Güç Sistem Stabilizörlerine Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı konusunu incelemiş , yapay sinir ağlarına genel bir bakış yapmış ve güç sisteminin kontrolünü incelemiştir.

A. Abdenmour, ⁽¹²⁾ Yük-frekans kontrolü problemine genel bir bakış yapmış , 2 bölgeli bir sistem için Anfis (adaptif sinir-fuzzy sonuç sistemi) uygulaması ve simülasyonlarını yapmıştır.

H. Akpınar, ⁽¹⁷⁾ 'Yapay Sinir Ağları ve Kredi Taleplerinin Değerlendirilmesinde Bir Uygulama Önerisi' kitabında yapay sinir ağlarına genel bir bakış yapıp incelemiş , geriye yayılım ağı hakkında bilgi vermiş ve buna örnek olarak bir uygulama yapmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

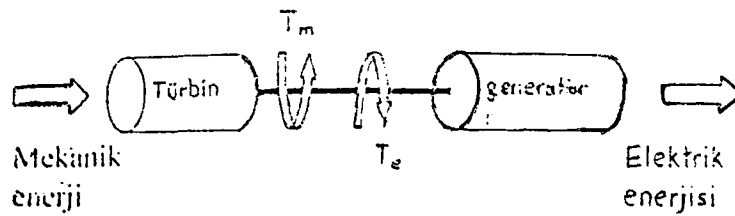
Bir güç sisteminde yük frekans kontrolünün yapılabilmesi için sistemin yük frekans kontrolüne uygun olarak modellenmesi gerekmektedir. Bu bölümde sistemin modellenmesi incelenerek sistemde yapılan yük frekans kontrolü anlatılacaktır.

2.1. Güç Sisteminin Modellenmesi

Sistemin kontrolünü yapmak için sistemde bulunan elemanların incelenmesi gerekir. Yük-frekans kontrolünün, sistemdeki hareketini izlemek için yük, generatör, türbin ve hız regülatörü gibi temel elemanların uygun modellerini tanımak gerekir.

2.1.1. Generatör Modeli

Bir buhar türbini ile tahrik edilen generatör dönmeyi etkileyen iki zıt momentli bir büyük dönen kütle gibi temsil edilebilir⁽³⁾ (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Türbin-generatör sistemi fiziksel modeli⁽⁸⁾

Mekanik moment T_m dönüş hızının artmasını sağlarken, elektrik momenti T_e zıt yönde hareket ederek hızın azalmasına neden olur. $T_e=T_m$ olursa dönüş hızı $w=w_0$ sabit olur. $T_e>T_m$ olursa dönen sistem yavaşlar. Bu yavaşlama sisteme zarar vereceği için T_m 'nin artırılması ve kabul edilebilir bir değere geri getirilmesi gerekir. Aynı zamanda hızın sabit halde olması gerekir. Sistemin yavaşlaması ve tekrar eski hale getirilmesi sürekli tekrarlanan bir durumdur . Çünkü yük sürekli olarak değişmektedir.⁽¹⁾

$$T_a = I \cdot \alpha = I \cdot \frac{d\Delta\omega_0}{dt} \quad 2.1$$

$$P_a = \omega_0 \cdot T_a \quad 2.2$$

$$M = \omega_0 \cdot I \quad 2.3$$

$$P_a = P_m - P_e = \omega_0 \cdot I \cdot \frac{d\Delta\omega_0}{dt} = M \cdot \frac{d\Delta\omega_0}{dt} \quad 2.4$$

$$\frac{d\Delta\omega_0}{dt} = \frac{1}{M} (P_m - P_e) \quad 2.5$$

ω_0 : açısal hız, rad/sn

α : açısal ivme

T_a : $T_m - T_e$, İvmelendirme momenti

T_m : mekanik moment

T_e : elektrik moment

P_a : $P_m - P_e$, ivme gücü

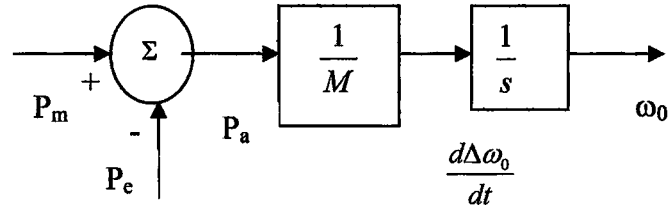
P_m : mekanik güç

P_e : elektriksel güç

I : makinenin atalet momenti

M : makinenin açısal momentumu , elde edilir.

Bu denklemler matematiksel model halinde Şekil 2.2 'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Türbin-generatör sisteminin basite indirgenmiş blok diyagramı

2.1.2. Yük modeli

Güç sistemindeki yük, elektrikli aletlerin değişikliklerinden dolayı (frekanstan bağımsız veya frekansa bağımlı olmalarına göre, örneğin; aydınlatma ve ısınma bağımsız, fan-motor-pompa bağımlı) farklılık gösterir.

Bu nedenle frekans değişikliğine göre, sistemin çektiği toplam yükü nasıl etkilediğinin modellenmesi çok önemlidir. Frekans değişikliğine bağlı olarak yükün değişmesi aşağıdaki gibi modellenir.⁽³⁾

$$\Delta P_D = D \cdot \Delta \omega \Rightarrow D = \Delta P_D / \Delta \omega \quad 2.6$$

ΔP_D : Frekansa duyarlı yük değişimi

D : Yük sönüm sabiti

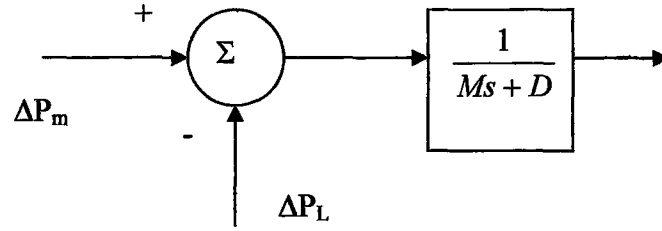
$\Delta \omega$: Açısal hızdaki değişim

D, yükteki yüzde değişimin frekanstaki yüzde değişime oranı olarak ifade edilir. Örneğin frekanstaki %2 değişim için, yük %1 değişti ise $D = 2/1=2$ olarak hesaplanır. Sistemin elektriksel gücü P_e ' nin net değişiminin iki bileşeni vardır :

$$\Delta P_e = \Delta P_L + D \cdot \Delta \omega \quad 2.7$$

ΔP_L : Frekansa duyarsız yük değişimi

$D \cdot \Delta \omega$: Frekansa duyarlı yük değişimi



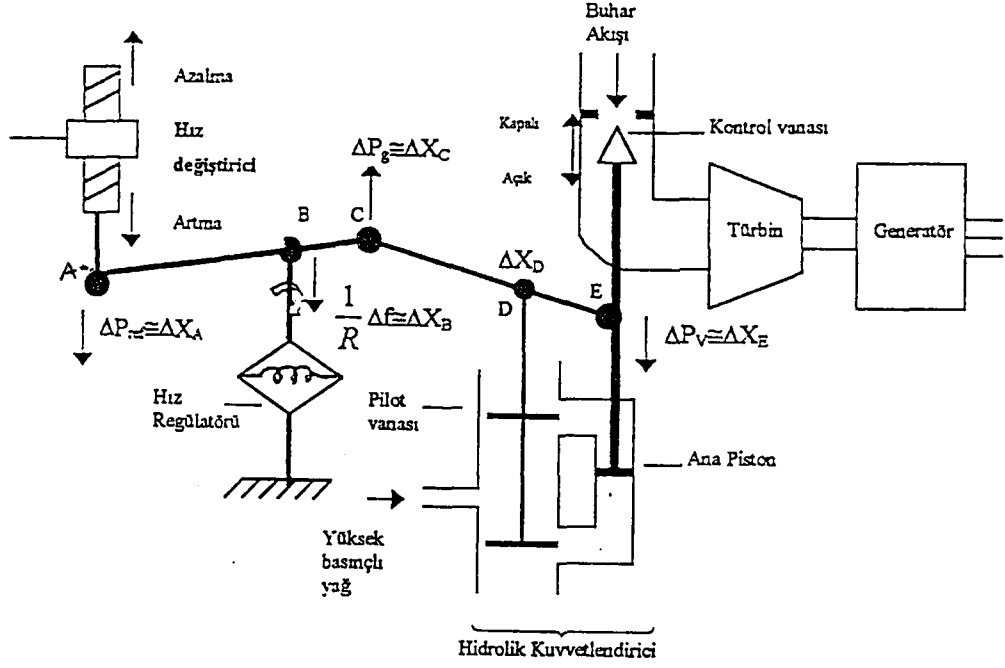
Şekil 2.3 Döner Kütle ve yükün indirgenmiş blok diyagramı

$$\Delta P_m - \Delta P_e = M.s. \Delta w \Rightarrow \Delta w = \left(\frac{1}{Ms + D} \right) \cdot (\Delta P_m - \Delta P_L) \quad 2.8$$

Sonuç olarak Denklem 2.8 elde edilir. Döner kütle ve yükün indirgenmiş blok diyagramı ise Şekil 2.3 de gösterilmektedir.

2.1.3 Hız Regülatör Modeli

Güç sistemlerinde aktif gücün kontrolü türbin tahrik momentinin kontrolü ile sağlanır. Üretimin türbin tarafından sabit bir mekanik çıkış gücü ile tahrik edildiğini varsayalım. Herhangi bir yük değişiminde hızda değişiklik olacak ve türbin çıkış gücü sabit olduğu için frekans istenmeyen değerlere ulaşacaktır. Bu nedenle hızı hassaslaştıran, yük değişimlerini göz önüne alarak giriş vanasını ayarlayan ve çıkış gücünü değiştiren, nominal frekansa ulaşılmasını sağlayan bir hız regülatör sisteminin olması gerekmektedir. Yük-frekans kontrolünde en önemli görev hız regülatörüne aittir. Hız regülatörünün görevi, frekans veya sistem hızındaki değişikliğe cevap vermek için türbin içindeki buhar çıkışını ayarlamak amacıyla valfi kontrol etmek ve türbin-generator hızını sürekli gözlemlemektir.⁽³⁾ Hem birincil hem de ikincil kontrole katılırlar. (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Hız regülatör sisteminin basitleştirilmiş fonksiyonel diyagramı

Temelde hız regülatörü, mil hızını bir pozisyon çıkışına çeviren mekanik bir çeviricidir. Hız regülatörü çıkışı, hız değiştiricinin pozisyonu ile belirlenen bir hız-yük referansı (ΔP_{ref}) ile karşılaştırılır. Hata sinyali (ΔP_g), kontrol valfini kontrol etmek için kullanılır.⁽³⁾

$$\Delta P_g = \Delta P_{ref} - \frac{1}{R} \Delta f \quad (MW) \quad 2.9$$

Hız regülasyonu R_u şu şekilde yazılabilir⁽³⁾ :

$$R_u = \frac{(f_2 - f_1) / f_n}{P_{Gn} / S_n} \quad \text{per-unit} \quad 2.10$$

f_2 : Yüksüz durumda frekans (Hz)

f_1 : Nominal güç çıkışında frekans (Hz)

f_n : Nominal frekans (Hz)

P_{Gn} : Generatör ünitesinin nominal çıkış gücü (MW)

S_n : Megawatt baz değeri

$$R = R_u \frac{f_n}{S_n} = \frac{f_2 - f_1}{P_{Gn}} \quad \left(\frac{Hz}{MW} \right) \quad 2. 11$$

R : Hız ayar karakteristiğinin eğim genliğidir.

R değeri üretim ünitesinin hız-çıkış gücü karakteristiğini belirler. R ; hız bozulması ($\Delta\omega_R$) veya frekans bozulması (Δf)' in, valf pozisyonu (ΔP_v) veya güç değişimi (ΔP_g) ye oranına eşittir. R, hız regülasyonu veya kayması olarak da tanımlanır (Hz/MW).

Hız regülatörünün düzeneği buhar valfini kontrol etmek için gereken kuvveti geliştiremez. Bu nedenle hız regülasyon sinyalini yükseltmek için hız yol verici olarak nitelendirilen bir pilot valf ve hidrolik kuvvetlendirici kullanılır. Pilot valfin bu kuvvetlendiriciye giriş pozisyonu X_D ve çıkış pozisyonu X_E dir. Pilot valfdeki değişim ΔX_D ise :

$$\Delta X_D = \Delta P_g - \Delta P_v \quad (MW) \quad 2. 12$$

$$\Delta P_v = K_g \int \Delta X_D dt \quad 2. 13$$

olup, pozitif bir değer olan K_g sabiti; açıklığa, silindir şekline ve akışkan basıncına bağlıdır.

Burada pilot vananın pozisyonu 3 yolla değiştirilebilir.

1. Direk olarak, hız değiştiricinin A noktasındaki küçük bir hareketi ve referans güç ayarı ΔP_{ref} 'in değişmesiyle,
2. Endirek olarak, ana pistonun durum değiştirmesinin sebep olduğu geri besleme ile,

3. Yine endirek olarak, hız değişimi sonucunda B noktasının durum değiştirmesinin sebep olduğu geri besleme ile.

A' dan E' ye kadar olan bağlantı noktalarında ölçümler milimetre cinsindedir. Kullanılan büyüklükler ise güç artışı olduğundan MegaWatt olacaktır. Şekilde gösterilen ok yönleri ise hareketlerin frekans farkının pozitif olduğu durumu göstermektedir. Hata sinyali, yani regülatör çıkışı olan ΔP_g , ΔX_c ' deki pozisyon değişimi ile ölçülür. Regülatörün iki girişi vardır : ΔP_{ref} ve ΔX_B 'deki pozisyon değişimi olan Δf (generatör frekans değişimi).

Regülatörün çalışması örneklenirse ; üretilen gücün talep edilenden az olması durumu incelenir. Bu durumda frekans azalacaktır. Bunun manası generatörün yavaş olduğu ve hızlanması gerektiğidir. Hız değiştirici hızın artması için aşağı gidecektir (A noktası aşağı gidecektir). B noktası da frekanstaki azalmadan dolayı aşağı gidecektir. (Mesela $\Delta f=50-49=1$ yani pozitif olması durumunda ok yönüne göre.) Regülatör çıkışı C noktası yukarı , pilot vana girişi D noktası yukarı ve ana piston yani E noktası aşağı inecektir. Kontrol vanası aşağı inince buhar girişi artacağından türbin daha hızlı dönecek ve generatör hızlanarak frekansı tekrar istenilen değere getirecektir. Böylece birincil kontrol tamamlanır. Sistemin yeni çıkış gücüne göre sistemi tekrar istenen frekans değerinde çalıştırmak ve üretimin kinetik enerjisini arttırmak için regülatör yük-frekans ayarı yapılarak ikincil kontrol sağlanır⁽³⁾.

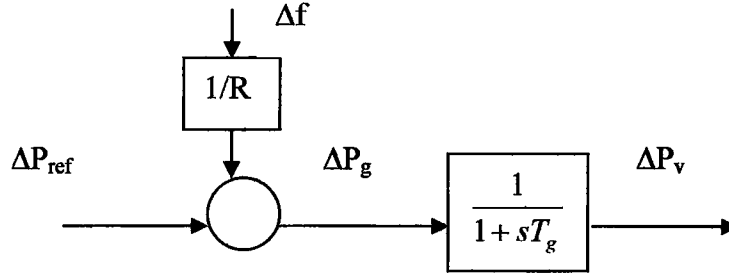
Sistemin transfer fonksiyonu ise :

$$G_G(s) = \frac{\Delta P_v}{\Delta P_g} = \frac{1}{1 + sT_g} \quad 2. 14$$

Burada T_g zaman sabiti olup :

$$T_g = \frac{1}{K_g} \quad 2.15$$

dır. Genelde 0.1 sn kabul edilir. Sistemin blok diyagramı Şekil 2.5' de verilmiştir.



Şekil 2.5 Buhar türbini için hız regülatör sisteminin matematiksel modeli

2.1.4 Türbin Modeli

Buhar türbinlerinde buhar akışını kontrol etmek için yüksek basınç türbinine girişte, hız regülatörü ile kontrol edilen valfler kullanılır. Hız regülatör kontrollü valf ile yüksek basınçlı türbin arasında Şekil 2.6 da görüldüğü gibi bir buhar haznesi vardır. Bu hazne valfdeki buhar akışı ve yüksek basınçlı türbindeki buhar akışı arasındaki gecikme zamanı ile tanımlanır. Şekil 2.7 de gösterilen matematiksel modelde T_t zaman sabiti olarak gösterilmiştir.⁽³⁾

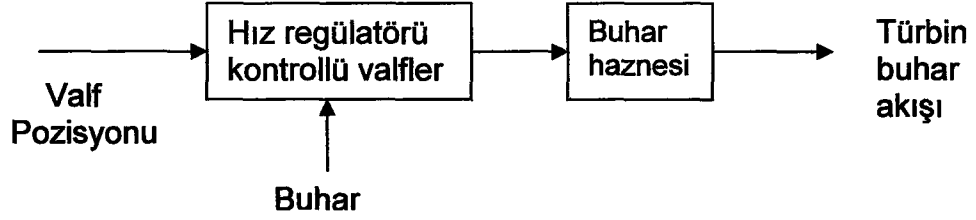
$$G_T(s) = \frac{\Delta P_T}{\Delta P_V} = \frac{1}{1 + s.T_t} \quad 2.16$$

$$\Delta X_E = \Delta P_V - \Delta P_T \quad 2.17$$

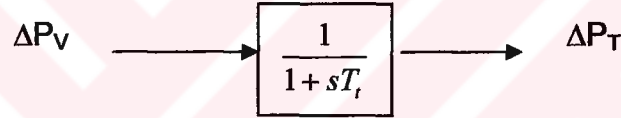
$$\Delta P_T = K_T \int \Delta X_E dt \Rightarrow \Delta X_E = s \frac{\Delta P_T}{K_T} \quad 2.18$$

$$\Delta P_V - \Delta P_T = s \frac{\Delta P_T}{K_T} \quad 2.19$$

$$T_T = \frac{1}{K_T} \quad (\text{zaman sabiti}) \quad 2.20$$



Şekil 2.6 Ön ısıtmasız türbin blok diyagramı



Şekil 2.7 Matematiksel modeli

2.1.5 Bağlantı Hattı Modeli

İki ayrı bölgeyi birbirine bağlayan hatlarda meydana gelen kayıplar ihmal edilirse her bir hattaki güç şu şekilde yazılabilir⁽³⁾ :

$$P_{\text{hat12}} = \frac{|V_1| \cdot |V_2|}{X_{12}} \cdot \sin(\delta_1 - \delta_2) \quad 2.21$$

$$T_{12} = \frac{|V_1| \cdot |V_2|}{X_{12}} \cdot \cos(\delta_1 - \delta_2) \quad 2.22$$

$$P_{\text{hat12}} = T_{12} (\Delta\delta_1 - \Delta\delta_2) \quad 2. 23$$

$$\Delta\delta = 2\pi \int \Delta f dt \quad 2. 24$$

$$P_{\text{hat12}} = 2\pi T_{12} \left(\int \Delta f_1 dt - \int \Delta f_2 dt \right) \quad 2. 25$$

olur⁽³⁾. Yapılan işlemler sonucunda toplam güç değişimi,

$$\Delta P_{\text{hat12}}(s) = \frac{2\pi}{s} T_{12} [\Delta f_1 - \Delta f_2] \quad 2. 26$$

V_1 : 1. bölge hat sonu gerilimi

V_2 : 2. bölge hat sonu gerilimi

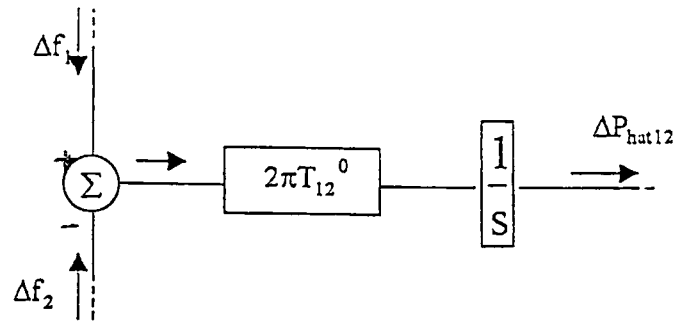
X_{12} : 1 ve 2 bölgeleri arasındaki iletim hattının eşdeğer reaktansı

δ_1 : 1. bölge hat sonu gerilimi faz açısı

δ_2 : 2. bölge hat sonu gerilimi faz açısı

T_{12} : Hattın senkronize edici moment katsayısı

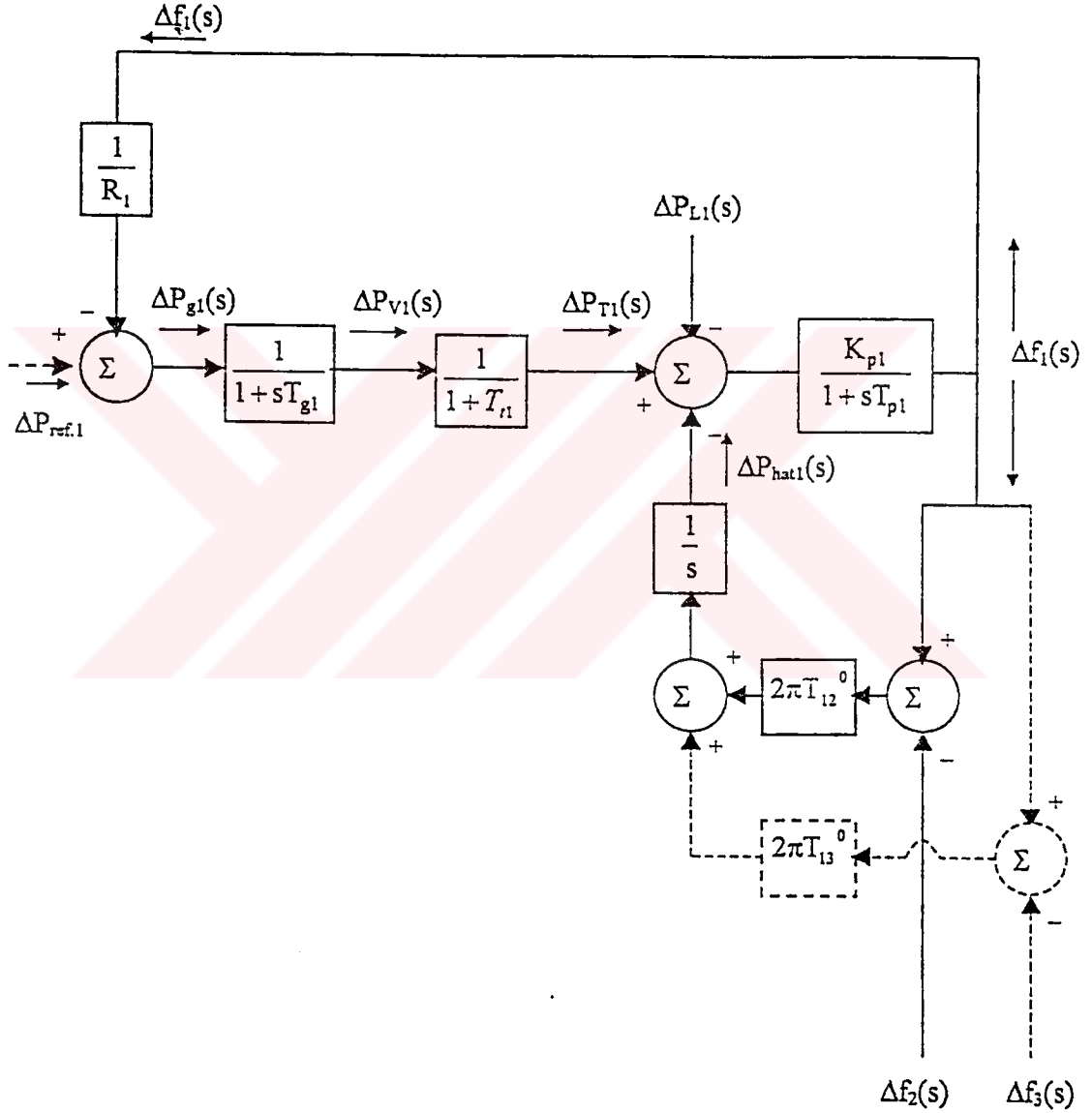
şeklinde olur. Bağlantı hattının matematiksel modeli Şekil 2.8 de gösterilmektedir.



Şekil 2.8 Bağlantı hattının matematiksel ifadesi⁽³⁾

2.1.6 Güç Sisteminin Yük-Frekans Kontrolüne Uygun Modeli

Yukarıda anlatılan yük, generatör, türbin, hız regülatörü ve bağlantı hattı elemanlarının oluşturduğu güç sisteminin yük-frekans kontrolüne uygun matematiksel modeli Şekil 2.9 da verilmektedir.⁽³⁾



Şekil 2.9 Bir güç sisteminin yük frekans kontrolüne uygun modeli⁽³⁾

2.1.7 Otomatik Yük-Frekans Kontrolünde Birincil Kontrol Çevrimi

Normal işletme şartlarında sistemin güç dengesi süreklidir. Bu süreklilik :

$$P_G = P_L + P_{\text{kayıplar}} \quad 2.27$$

Frekans bu durumda nominal değerindedir. Yükün aniden artması dengeyi bozar. Generatör çıkışı da yeni yüke uyum sağlamak için aniden artar ve $\Delta P_L = \Delta P_G$ olur. Ancak bu denge sağlanırken $\Delta P_T = \Delta P_L$ (MW) değerinde bir dengesizlik olur ve buna bağlı olarak hız ve frekans değişir. Bu değişiklik alan boyunca düzgün kabul edilir ve kinetik enerjinin hızın karesi ile doğru orantılı olduğu düşünülerek :

$$W_{\text{kin}} = W_{\text{kin0}} \left(\frac{f'}{f_0} \right)^2 \text{ MWs} \quad 2.28$$

olur ve güç dengesi ; türbin güç artışı, yük değişikliği ve kinetik enerjinin değişiminin toplamına eşit olur :

$$\Delta P_T = \Delta P_L + D \cdot \Delta f + \frac{d}{dt} (W_{\text{kin}}) \quad \text{MW} \quad 2.29$$

Denklemden $f = f_0 + \Delta f$ dır. Denklem 2.28 de yerine konulursa sonuç olarak :

$$W_{\text{kin}} \cong W_{\text{kin0}} \left(1 + 2 \cdot \frac{\Delta f}{f_0} \right) \quad 2.30$$

Denklem 2.30 , Denklem 2.29 da yerine konulursa :

$$\Delta P_T - \Delta P_L = \frac{2 \cdot W_{\text{kin0}}}{f_0} \cdot \frac{d}{dt} (\Delta f) + D \Delta f \quad \text{MW} \quad 2.31$$

Denklem 2.31 generatör nominal gücü P_{Gn} ile bölüdüğü zaman, makinenin atalet sabiti per-unit cinsinden tanımlanır.

$$H = \frac{W_{kin0}}{P_{Gn}} \left(\frac{MWS}{MW} \right) \quad 2.32$$

H sabiti 2-8 saniye arasında değişen bir değere sahiptir. Denklem 2.31 de yerine koyulursa :

$$\Delta P_T - \Delta P_L = 2 \cdot \frac{H}{f_0} \Delta f + D \Delta f \quad \text{p.u. MW} \quad 2.33$$

Laplace dönüşümüne göre :

$$\Delta P_T(s) - \Delta P_L(s) = 2 \cdot \frac{H(s)}{f_0} \Delta f(s) + D \Delta f(s) \quad 2.34$$

olur ve sonuç olarak :

$$\Delta f(s) = G_p(s) [\Delta P_T(s) - \Delta P_L(s)] \quad 2.35$$

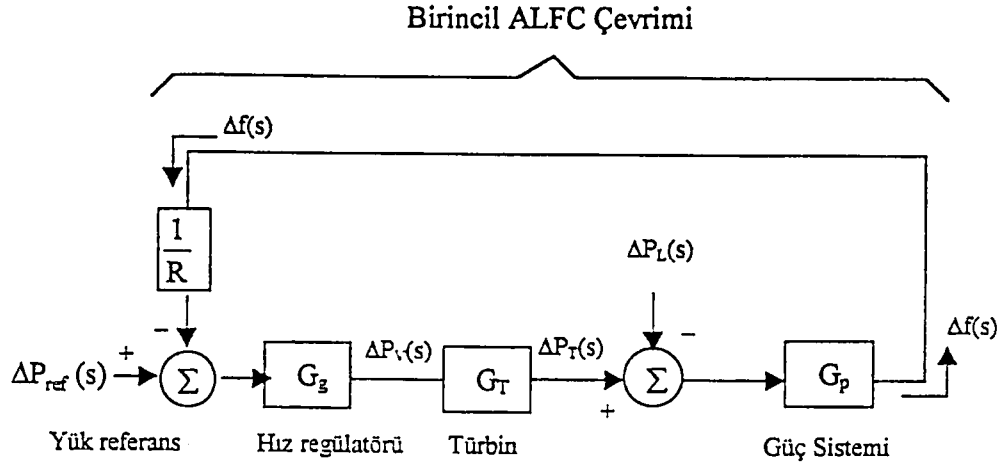
denklemini bulunur ve G_p ; güç sistemi transfer fonksiyonudur. Burada :

$$G_p(s) = \frac{K_p}{1 + sT_p} \quad 2.36$$

$$T_p = \frac{2H}{f_0 D} \quad (\text{sn}) \quad 2.37$$

$$K_p = \frac{1}{D} \quad \left(\text{p.u.} \frac{Hz}{MW} \right) \quad 2.38$$

Bulunan denklemler yardımıyla Şekil 2.10 da otomatik yük-frekans kontrolü (ALFC) için birincil kontrolün şekli verilmektedir.



Şekil 2.10 Birincil otomatik yük-frekans kontrol çevrimi

2.1.8 Otomatik Yük-Frekans Kontrolünde İkincil Kontrol Çevrimi

İkincil otomatik yük-frekans kontrol çevrimi ile frekans istenilen değere yenilenir ve sabit kalması sağlanır. Şekil 2.17 de görülen sistemde bir çıkış (Δf), iki giriş (ΔP_{ref} ve ΔP_L) bulunmaktadır. Bu şekle göre şu denklem bulunur:

$$\Delta f = G_p \left[\left(\Delta P_{ref} - \frac{1}{R} \Delta f \right) G_g G_T - \Delta P_L \right] \quad 2.39$$

Yük-frekans kontrolünün dinamiğini anlamak için otomatik kontrol çevriminin kontrollü ve kontrolsüz durumunu da incelemek gerekir.

2.1.9 Kontrolsüz Durumda Otomatik Yük-Frekans Kontrol Çevriminin Frekans Cevabı

Hız değıştirici pozisyon değıştirmezse $\Delta P_{ref} = 0$ olur. Bu nedenle de frekans değışiminin transfer fonksiyonu :

$$\Delta f(s) = - \frac{G_p(s)}{1 + \frac{1}{R} G_p(s) G_g(s) G_T(s)} \Delta P_L(s) \quad 2.40$$

$\Delta P_L = M$ kadar bir basamak yük değışikliği için

$$\Delta P_L(s) = \frac{M}{s} \quad 2.41$$

$\Delta f(s)$ 'in kararlı hali $\lim_{s \rightarrow 0} [s \Delta f(s)]$ ile bulunur.

$$\lim_{s \rightarrow 0} [s \Delta f(s)] = - \frac{\Delta P_L \cdot K_p}{1 + \frac{1}{R} K_p} \quad 2.42$$

$$K_p = \frac{1}{D} \Rightarrow \Delta f_0 = - \frac{\Delta P_L}{D + \frac{1}{R}} \quad 2.43$$

transfer fonksiyonu elde edilir. Yapılan işlemler sonucunda frekans düşüşü :

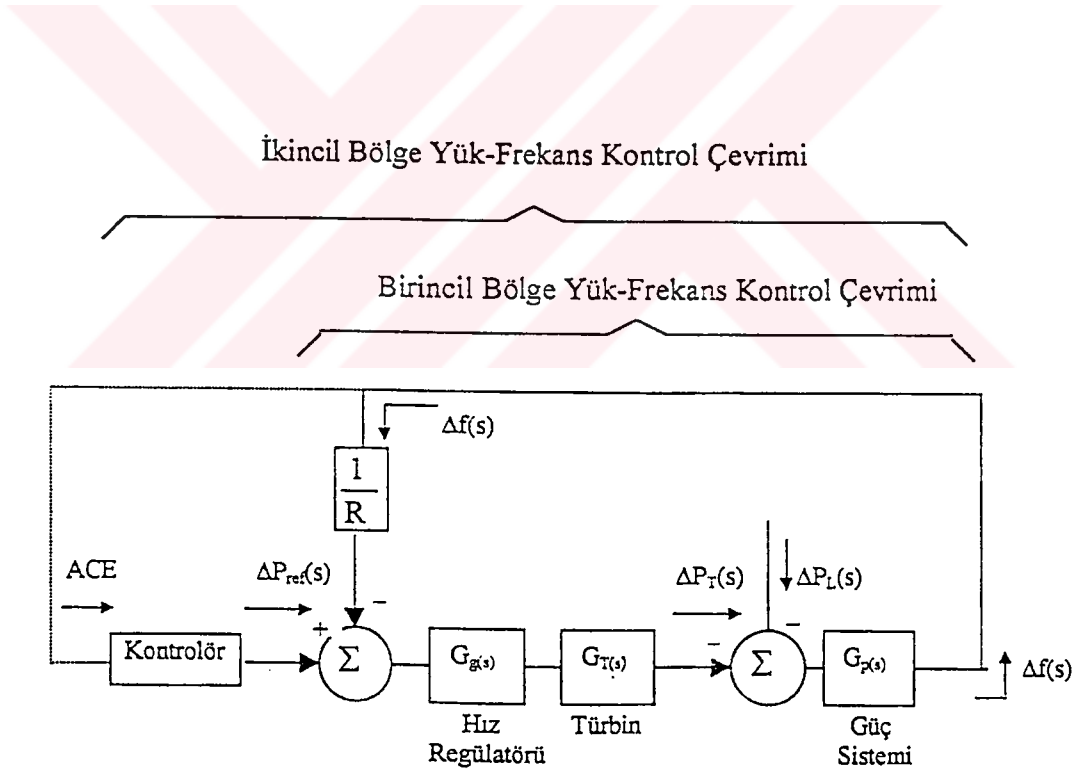
$$\Delta f_0 = - \frac{\Delta P_L}{\beta} = - \frac{M}{\beta} \quad (\text{Hz}) \quad 2.44$$

$$\beta = D + \frac{1}{R} \quad (\text{p.u. } \frac{MW}{Hz}) \quad 2.45$$

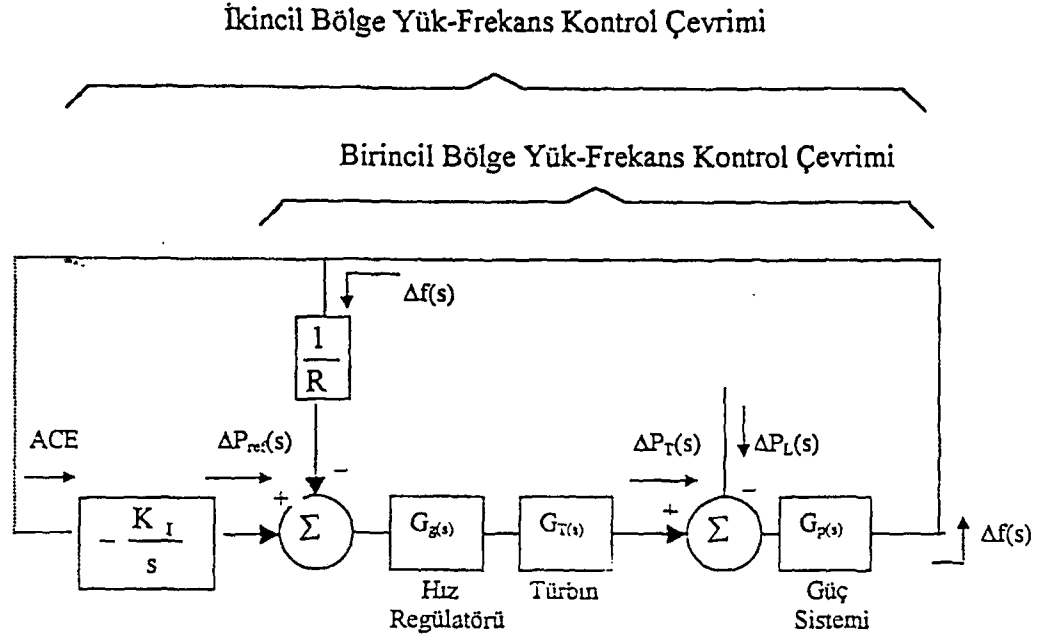
2.1.10 Kontrollü Durumda Otomatik Yük-Frekans Kontrol Çevriminin Frekans Cevabı

Hız regülatörlerinin sağladığı frekans sabitliğinden daha iyi sonuçlar sağlamak ve bir adım yük değişikliğinde frekans hatasını sıfıra döndürmek için hız değiştiricisi uygun kontrol stratejisi ile hareket ettirilmelidir. Şekil 2.11, birincil yük frekansı kontrolüne ikincil kontrol eklenerek elde edilmiştir. Kontrolü besleyen sinyal 'Bölge Kontrol Hatası (Area Control Error - ACE) olarak adlandırılır. Tek bölgeli sistemlerde bu sinyal $ACE = \Delta f$ dir⁽³⁾.

İkincil kontrolde kontrolör olarak integral kontrolör kullanılarak sistem incelenirse, bu sayede sistemde frekans hatası çok düşecektir. (Şekil 2.12)



Şekil 2.11 İkincil çevrim otomatik yük-frekans kontrolü



Şekil 2.12 İntegral kontrolörü kullanılmış güç sisteminin otomatik yük frekans kontrol diyagramı

İntegral kontrolörün görevi; sistemde hata olduğu zaman çıkışı arttırmak ve hız değiştiriciyi hareketlendirmektir. Eğer çıkışta sabit bir değer varsa, bu durumda frekans hatası sıfır olur ve hız değiştiricinin pozisyonu sabit kalır. K_I ; kazanç sabitidir ve integral kontrolörün integrasyon oranını kontrol ederek sistemdeki cevap hızını belirler⁽³⁾.

Adım yük değişimine bağlı olarak hız değiştirici pozisyonu değiştirirse :

$$\Delta P_{ref}(s) = - \frac{K_I}{s} \Delta f(s) \quad 2.46$$

olur.

2.1.11 Alan Kontrol Hatasının Hesaplanması

Elektrik güç sisteminin yük-frekans kontrolü kabiliyeti ve frekans dengesi Alan Kontrol Hatası (Area Control Error-ACE) ile ölçülür. Sistemin üretim üniteleri ACE değeri temelinde kontrol edilmektedir. Belirli zaman aralıklarında ACE sıfırlanmakta bu da üretim-tüketim dengelenmesi ve frekans bağlantı hattı güç değerinin nominal değere getirilmesi demektir⁽⁸⁾.

ACE hesaplanırken hangi kontrol modunda çalıştığı ve hangi kontrol uygulamalarının aktif konumda olduğuna dikkat edilmelidir. 3 ayrı kontrol modu vardır :

- Sabit alış-veriş kontrol modu
- Sabit frekans kontrol modu
- Bağlantı hattı eğilimi kontrol modu

ACE hesaplanırken frekans ve/veya bağlantı hattı ifadesi dikkate alınır. Frekans ifadesi :

$$ACE_f = K.(f_D - f_A) \quad 2. 47$$

olur.

K : Sistemin güç-frekans sabiti

f_D : İstenilen frekans

f_A : Gerçekleşen (aktüel) frekans

Bağlantı hattı ifadesi :

$$ACE_T = (DNI_T - ANI_T) \quad 2. 48$$

olur.

DNI_T : İstenilen net alışveriş

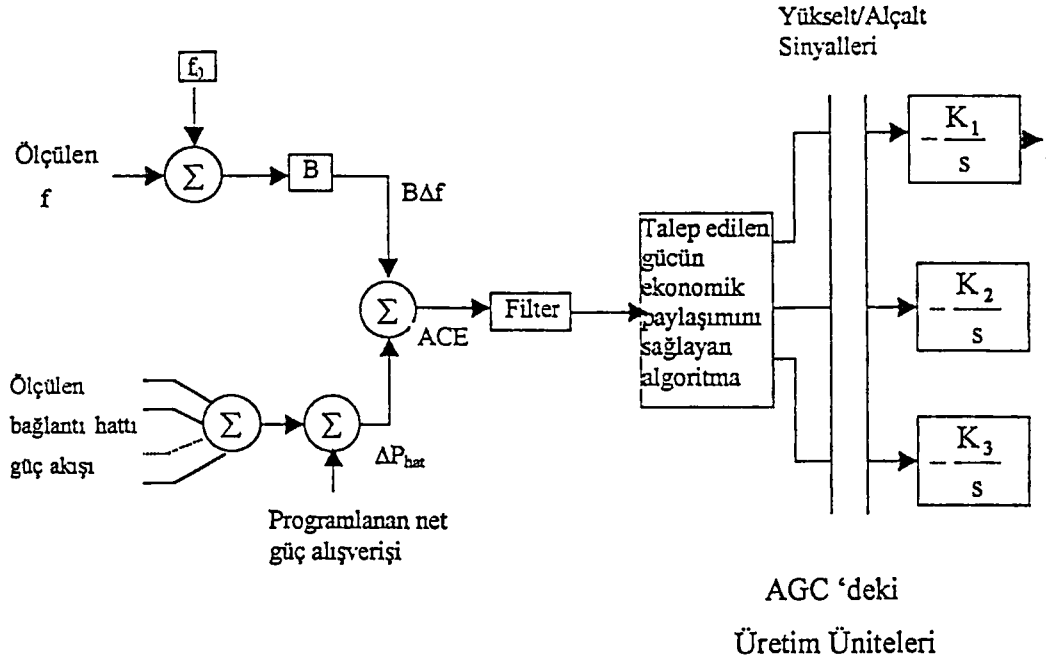
ANI_T : Aktüel net alışveriş

2.2. İki veya İkiden Fazla Kontrol Bölgesine Sahip Güç Sistemlerinde Otomatik Yük-Frekans Kontrolü

İki veya ikiden fazla kontrol bölgesine sahip olan güç sistemlerinde otomatik yük-frekans kontrolü sayesinde generatör ünitelerinden istenilen aktif güç çıkışları sağlanır ve bölgeler arasındaki güç alış verişi arzu edilen değerler arasında tutulur⁽³⁾. Günümüzde bu sistemlerde yük-frekans kontrolü terimi yerine ' Otomatik Üretim Kontrolü ' (Automatic Generation Control – AGC) terimi kabul edilmektedir (Şekil 2.13).

AGC bilgisayarla kontrol edilen güç sistem fonksiyonlarının ilklerinden biridir. Bu alanda elde edilen deneyimler AGC döngüsündeki birçok fonksiyonun entegrasyonuna izin vermiştir. Mesela ekonomik dağılım, emniyet kontrolleri gibi. Günümüzde dijital bilgisayarlar ile her bir 1-6 sn aralığında AGC gerçekleştirilebilir. Modern güç sistemleri dijital bilgisayarlarla birlikte bu kontrolleri gerçekleştirmektedir.⁽⁹⁾ Modern enerji kontrol merkezleri (ECC) doğrudan bilgisayar sistemlerine bağlıdır. Kontrol ve veri toplama yöntemi (SCADA) olarak adlandırılır.⁽¹⁰⁾

AGC için iki farklı kontrol tekniği sunulur , Self-tuning algoritmaları ve Model referans kontrol sistemleri. Self-tuning algoritmaları sistem transfer fonksiyonlarının algoritmasının kesin tarifine dayanır. Model referans kontrol sisteminde ise sistemin bütün durumlardaki bilgilerini içeren kusursuz bir model varsayılır.⁽¹¹⁾

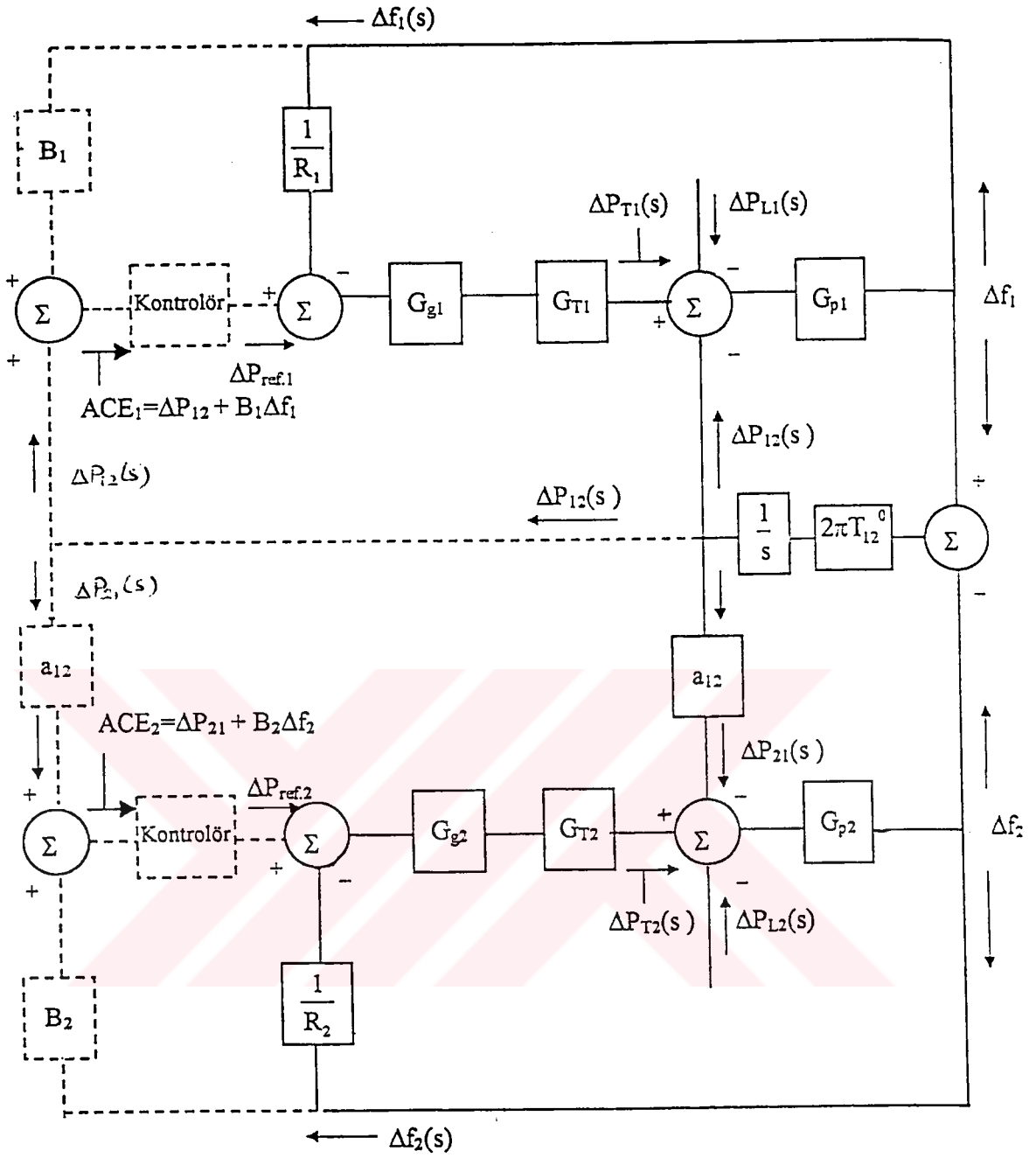


Şekil 2.13 Her bir kontrol bölgesi için otomatik üretim kontrolü mantığı^(1,3)

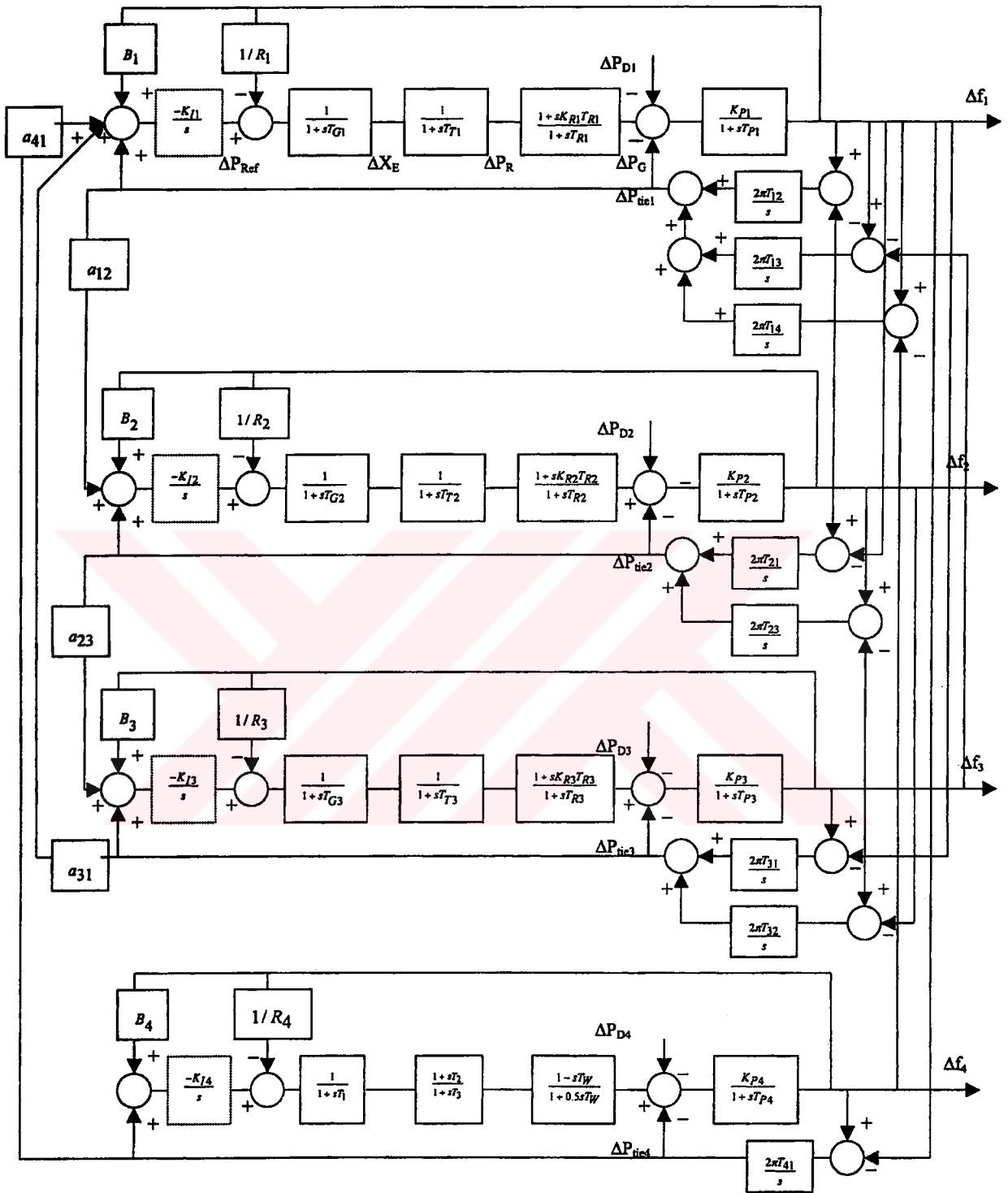
Çok bölgeli enterkonnekte sistemlerde otomatik üretim kontrolünün görevleri⁽¹²⁾ :

1. Her bölgenin kendi yük değişikliğini karşılamasını sağlamak
2. Komşularla önceden yapılmış anlaşmalar ile güç alış verişini sağlamak
3. Üretimin ekonomik olarak üniteler arasında dağılımını sağlamak
4. İstenilen frekans değerine ulaşmak ve bunun için bölgenin yapması gerekeni yapmasına izin vermek

İki kontrol bölgesine sahip olan bir enterkonnekte güç sisteminin otomatik üretim kontrol diyagramı ise Şekil 2.14 de gösterilmektedir. Dört kontrol bölgesine sahip otomatik kontrol diyagramı ise Şekil 2.15 de gösterilmektedir.



Şekil 2.14 İki bölge bir güç sistemi için otomatik üretim kontrol diyagramı⁽³⁾



Şekil 2.15 Dört bölge bir güç sistemi otomatik üretim kontrol diyagramı ⁽¹³⁾

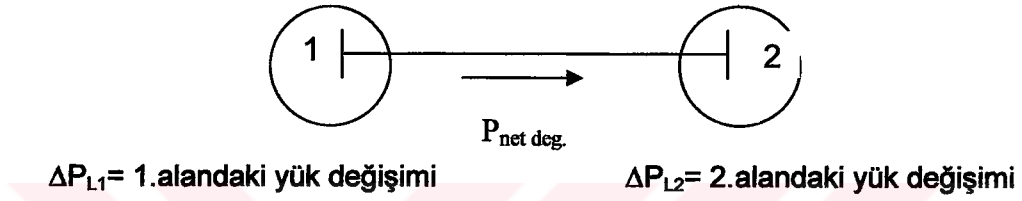
2.2.1. Bağlantı Hattı Kontrolü

İki farklı elektrik işletmesinde, sistemleri birbirine bağlamanın birkaç nedeni vardır. Bunlardan bir tanesi karlı bir şekilde uygun çalışma maliyetleriyle komşu sistemle yapılan güç alış verişidir. Sistemlerin birinde ani bir üretim kaybı meydana gelse, bu kayıptan dolayı enterkonnekte sistemdeki ünitelerde frekans değişimi olur. Bunu anlatabilmek amacıyla iki bölge bir sistem incelenir (Şekil 2.16) ve bu sistemin üretim ve yük karakteristikleri birbirine eşit olsun ($R_1 = R_2$, $D_1 = D_2$). 1. bölgeden 2. bölgeye 100 MW gönderildiği zaman aynı esnada 2. bölgede 30 MW lık ani bir yük artması durumunda, her iki bölgede de üretim karakteristikleri aynı olduğundan dolayı, üretimlerinde 15 MW lık bir artış olacaktır. Bu sebeple hat üzerinden 100 MW yerine 115 MW lık bir güç akışı olacaktır. Bu sayede 2. bölgede meydana gelen 30 MW lık artış karşılanmış olacaktır. Fakat 1. bölgedeki bu artış üretimin artmasına sebep olacak ve maliyetler artacaktır. Bununla beraber, böyle bir paylaşım, sistem için iyi olsa bile bazı nedenlerden dolayı da paylaşım olmayabilir. Mesela 1. bölge anlaşma gereği 100 MW ın üstüne çıkmayabilir. Bu durumda 2. bölge tek başına 30 MW lık artışı karşılamak için üretimini arttıracaktır. Bu da ekstra bir maliyet getirecektir. Burada ihtiyaç duyulursa, 2. bölgedeki ani artışı algılayacak ve frekansı nominal değere getirecek, aynı zamanda 2. bölgedeki üretimi 30 MW arttıracak bir kontrol sistemidir ⁽¹⁾. Bu kontrol sistemi aynı zamanda aşağıdaki maddeleri de algılamak zorundadır :

1. Frekans düşmüşse, sistemden ayrılan net değişim gücü de artmışsa sistem dışında bir yük artışı olmuştur. Yani sistemin frekansı

düşerse veya artarsa ve buna ek olarak sistemin diğer sisteme göndermekle yükümlü olduğu güç artarsa diğer sistemde güç artışı olmuştur.

2. Frekans düşmüşse, sistemden ayrılan net değişim gücü de azalmışsa sistem içinde bir yük artışı olmuştur. Yani sistemin frekansı düşerse veya artarsa ve buna ek olarak sistemin diğer sisteme göndermekle yükümlü olduğu güç azalırsa diğer sistemde güç azalması olmuştur.



Şekil 2.16 İki bölgeli bir sistem

Yukarıdaki ifadeler frekans artması durumunda da geçerlidir. Buna bağlı olarak $\Delta P_{12} = P_{12} - P_{ind}$ tanımlaması yapılabilir. Burada :

P_{12} : Bağlantı hattı üzerindeki net değişim gücü (+ : çıkan güç , - : giren güç)

P_{ind} : istenen net değişim değeri

Bağlantı hattı kontrolünde yük-frekans kontrolüne ait işlemin özeti Çizelge 2.1 de verilmiştir.

İki bölgeli bir sistem için 1. bölgede meydana gelen ΔP_{L1} lik bir yük artışı durumunda frekanstaki ve bağlantı hattından akan güçteki değişim Çizelge 2.2 de ki gibi olur.

Çizelge 2.2 de yazılan bu denklem Çizelge 2.1 in 1. satırına denk gelir

ve $\Delta P_{gen1} = \Delta P_{L1}$, $\Delta P_{gen2} = 0$ olur.

Çizelge 2.1 Bağlantı hattı yük-frekans kontrolü⁽¹⁾

$\Delta\omega$	ΔP_{12}	Yük değişimi	Sonuçlanan kontrol olayı
-	-	ΔP_{L1} + ΔP_{L2} 0	1. alandaki P_{gen} 'nin artması.
+	+	ΔP_{L1} - ΔP_{L2} 0	1. alandaki P_{gen} 'nin azalması.
-	+	ΔP_{L1} 0 ΔP_{L2} +	2. alandaki P_{gen} 'nin artması.
+	-	ΔP_{L1} 0 ΔP_{L2} -	2. alandaki P_{gen} 'nin azalması.

Çizelge 2.2 ΔP_{L1} lik bir artışta frekans ve güçteki değişim⁽¹⁾

Yük değişimi	Frekans Değişimi	Bağlantı hattı güç değişimi
ΔP_{L1}	$\Delta f = \frac{-\Delta P_{L1}}{(1/R_1 + D_1) + (1/R_2 + D_2)}$	$\Delta P_{12} = \frac{-\Delta P_{L1}(1/R_2 + D_2)}{(1/R_1 + D_1) + (1/R_2 + D_2)}$

Üretimde meydana gelen değişimler alan kontrol hatası (ACE) olarak biliniyordu. Alan kontrol hatası (ACE), frekans ve bağlantı hattı güç değişimiyle belirlenmiş bir kontrol işaretidir. 1. bölge için ACE :

$$ACE_1 = \Delta P_{12} + B_1 \cdot \Delta f$$

2. 49

$$B_1 = \beta_1 = \frac{1}{R_1} + D_1 \quad 2. 50$$

Burada B_1 , 1. bölgenin frekans yönelim faktörüdür.

2. bölge için alan kontrol hatası (ACE) :

$$ACE_2 = \Delta P_{21} + B_2 \cdot \Delta f \quad 2. 51$$

$$B_2 = \beta_2 = \frac{1}{R_2} + D_2 \quad 2. 52$$

Burada B_2 , 2. bölgenin frekans yönelim faktörüdür.

Frekans yönelim faktörü, bölge frekans cevap karakteristiğinin yıl içinde yükün pik olduğu saatlerde oluşan ve büyük yük kayıpları ile sonuçlanan arızaların olduğu anda gözlemlenen ortalama değerin tahmin edilmesi ile bulunur⁽³⁾. Frekans yönelim faktörü B' nin birimi MW / 0.1 Hz dir ve negatif bir değerdir. Bu değer hem yükün hem hız regülatörünün frekansa olan duyarlılığını gösterir. Alan kontrol hatasının birimi ise MW dır.

Çizelge 2.2 de olan formüller Denklem 49 ve 51 de yerine konulursa:

$$\begin{aligned} ACE_1 &= -\frac{\Delta P_{L1}(1/R_2 + D_2)}{(1/R_1 + D_1) + (1/R_2 + D_2)} + \left(\frac{1}{R_1} + D_1\right) \cdot \left(\frac{-\Delta P_{L1}}{(1/R_1 + D_1) + (1/R_2 + D_2)}\right) \\ &= \Delta P_{L1} \quad 2. 53 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ACE_2 &= \frac{\Delta P_{L1}(1/R_2 + D_2)}{(1/R_1 + D_1) + (1/R_2 + D_2)} + \left(\frac{1}{R_2} + D_2\right) \cdot \left(\frac{-\Delta P_{L1}}{(1/R_1 + D_1) + (1/R_2 + D_2)}\right) \\ &= 0 \quad 2. 54 \end{aligned}$$

Frekans yönelim faktörü tahmin edilen değerin altında olursa, bir ünite devre dışı kaldığı zaman diğer kontrol bölgeleri arızalı bölgedeki hız

regülasyon oranını çok küçük zanneder ve ikincil kontrolün üretimini düşürerek frekansın düşmesine sebep olur. Ters durumda eğer büyük seçilirse bu seferde hiç gerekmediği halde otomatik üretim kontrolünü çalıştırmak için alan kontrol hatası verir⁽¹¹⁾. Bu nedenle yönelim faktörü değeri hem normal şartlara hem de arıza durumlarına uygun olarak seçilmelidir. Yapılan araştırmalar sonucunda en uygun frekans yönelim faktörü değerinin frekans cevap karakteristiğine eşit olduğu yani $|B| = |\beta|$ durumudur⁽³⁾.

Bağlantı hattı kontrolünün uygulandığı bir sistemin şekli, Şekil 2.22 ye, Şekil 2.22 de bulunan kesikli çizgili sistemin eklenmesi ile olur.

2.2.2. Güç sistemlerinde kullanılan diğer kontrolörler

Güç sistemlerinde yük-frekans kontrolünün sağlanmasında çeşitli kontrolörler kullanılmaktadır. Bu kontrolörlerden bazıları şunlardır :

1. I (integral) kontrolör
2. P (oransal) kontrolör
3. PI kontrolör
4. PID kontrolör
5. Fuzzy kontrolör
6. Artificial Neural Networks (yapay sinir ağları) kontrolör

3. Bölümde sinir ağı kontrolörler kullanılarak tek bölgeli bir güç sisteminde yük-frekans kontrolünün nasıl yapıldığı anlatılmıştır.

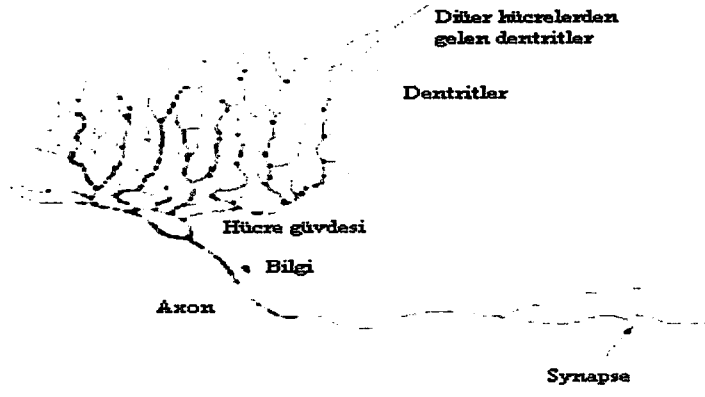
3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacıyla geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Ayrıca insanlara tarafından gerçekleştirilmiş örnekleri kullanarak olayları öğrenebilen, çevreden gelen olaylara karşı nasıl tepkiler üretebileceğini belirleyebilen sistemlerdir.^(14,15) Yapay sinir ağları biyolojik sinir sisteminden esinlenerek geliştirilmiştir. Bu nedenle biyolojik sinir sistemine basit olarak göz atmak gerekmektedir.

3.1.1. Biyolojik sinir sistemi

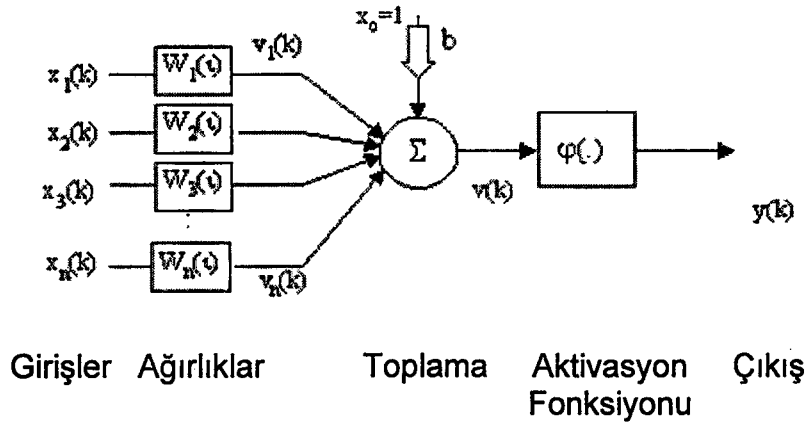
Biyolojik sinir sistemi insan beyninin çalışmasını sağlayan bir sistemdir. Çevreden aldığı bilgilere göre anlama ve algılama mekanizmalarını çalıştırıp olaylar arasında ilişki kurarak öğrenirler. Şekil 3.1 de gösterildiği gibi temel bir biyolojik sinir hücresi synapse, axon, dentrit ve hücre gövdesinden oluşur. Synapseler sinir hücrelerini birbirine bağlarlar. Bu bağlantılar fiziksel değildir. Bir hücreden diğerine elektrik sinyallerinin geçmesini sağlayan boşluklardır. Elektrik sinyalleri hücre gövdesine gider. Hücre gövdesinde bu sinyaller incelenir ve elektrik sinyali oluşturularak axon aracılığı ile dentritlere gönderilir. Dentritlerden synapselere gönderilerek hücreler arası bağlantı sağlanır. (Şekil 3.1)



Şekil 3.1. Biyolojik sinir hücresi

3.1.2. Yapay sinir hücresi

Yapay sinir hücreleri biyolojik sinir hücrelerini taklit ederler. Bu hücreler öğrenmenin yanı sıra ezberleme ve bilgiler arasında ilişkiler oluşturma yeteneğine de sahiptir. Ağırlıklı bağlantılar aracılığıyla birbirlerine bağlanan ve her biri kendi belleğine sahip işlem elemanlarından oluşan paralel ve dağıtılmış bilgi işlem yapılarıdır.

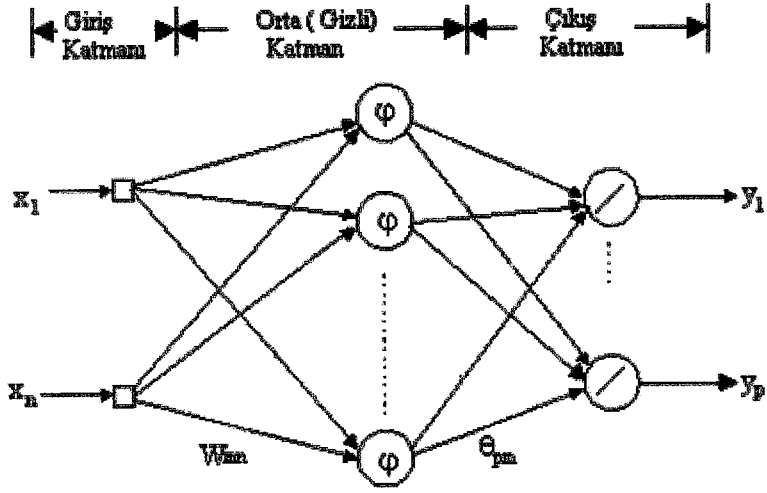


Şekil 3.2. Yapay sinir ağı temel yapısı

Girişler (x_1 , x_2 x_n)çevreden aldığı bilgiyi sinire getirir. Ağırlıklar (w_1 , w_2 w_n) yapay sinir ağları tarafından alınan girişlerin sinir üzerindeki etkisini belirleyen uygun katsayılarıdır. Her bir giriş kendine ait bir ağırlığa sahiptir. Toplama işlemi, sinirde her bir ağırlığın ait olduğu girişlerle çarpımının toplamlarını eşik değeri ile toplayarak aktivasyon fonksiyonun gönderir. Toplama işleminin sonucu aktivasyon fonksiyonundan geçirilip çıkışa iletilir. Aktivasyon fonksiyonunun amacı zaman söz konusu olduğu zaman toplama işleminin değişimine izin verir. Sinir aktivasyon fonksiyonunun eşik seviyesi altında çıkış üretmez. Burada kullanılan aktivasyon fonksiyonu sigmoid fonksiyonudur. ($\psi (s) = \frac{1}{1+e^{-s}}$) Çıkış aktivasyon fonksiyonu sonucunun dış dünyaya veya diğer sinirlere gönderildiği yerdir. Bir sinirin bir çıkışı vardır. Bu çıkış kendinden sonra gelen herhangi bir sayıdaki diğer sinirlere giriş olabilir. ⁽¹⁶⁾

Çizelge 3.1 Biyolojik sinir ağı ve yapay sinir ağının karşılaştırması ⁽¹⁶⁾

Biyolojik sinir ağı	Yapay sinir ağı
Sinir sistemi	Sinirsel hesaplama sistemi
sinir	sinir
synapse	Bağlantı ağırlıkları
dendrit	toplama
hücre	Aktivasyon fonksiyonu
axon	çıkış



Şekil 3.3. İleri beslemeli 3 katmanlı YSA

Giriş katmanından alınan girişler giriş katmanı ve gizli katman arasında bulunan bağlantı ağırlıkları ile çarpılıp gizli katmana iletilmektedir. Gizli katmandaki sinirlere gelen girişler toplanarak gizli katman ile çıkış katmanı arasındaki bağlantı ağırlıkları ile çarpılarak çıkış katmanına iletilirler. Çıkış katmanındaki sinirlerde kendisine gelen bu girişleri toplayarak buna uygun bir çıkış üretirler. Gizli sinirlerin sayısı ağın en iyi çalışabileceği bir sayıda seçilmelidir. Şekil 3.3 Gizli katmanı olmayan sadece giriş ve çıkış katmanı olan ağlar karmaşık işlevleri hesaplama yeteneğinden yoksundurlar. Bu nedenle karmaşık hesaplamalar için oluşturulan ağlarda en az bir katman olmalıdır.

Beyin işlevlerini modelleyebilmek için yapılan çalışmalar neticesinde ortaya çıkan tek katmanlı eğitilebilen ve tek çıkışa sahip olan yapay sinir ağına "perceptron" denilir.

3.1.3. Yapay sinir ağının çalışma prensibi

Kısaca giriş değerlerini alarak çıkış değerlerine çevirir. Bunun için ağın kendisine gösterilen girdiler için doğru ıktıları üretecek hale gelmesi yani eğitilmesi gerekir. Ağa gösterilecek örnekler öncelikle bir vektör haline getirilir. Bu vektör ağa gösterilir ve ağ bu vektör için gerekli çıktı vektörünü üretir. Ağın parametre değerleri doğru çıktıyı üretecek Şekilde düzenlenir. (Haftanın günleri, parmak izi, borsa değerleri gibi nümerik değerler). Örnekler (girdiler) belirlenen formatta toplanarak eğitim esnasında ağa gösterilir. Girdi ve çıktı vektörlerin tasarımı ağı geliştiren tarafından belirlenir. Yapay sinir ağları girdi vektörünü nasıl çıktı vektörüne dönüştürdüğü konusunda bilgi vermez(Bir nevi kara kutu). Diğer bir deyişle yapay sinir ağının sonuçları nasıl oluşturduğunun açıklama yeteneği yoktur. Bu yapay sinir ağlarına olan güveni sarsmakla beraber başarılı uygulamalar yapay sinir ağına olan ilgiyi sürekli arttırmaktadır.

Yapay sinir ağında işlem elemanlarının bağlantılarının ağrılık değerlerinin belirlenmesi işlemine “ ağın eğitilmesi” denir. Başlangıçta bu ağrılık değerleri rasgele olarak atanır. yapay sinir ağrılıkları kendilerine örnekler gsterildike ağrılık değerleri değişir. Örnekler ağa defalarca gösterilerek en doğru ağrılık değerleri bulunmaya çalışılır. Ağın doğru ağrılık değerlerine ulaşması örneklerin temsil ettiği olay hakkında genellemeler yapabilme yeteneğine kavuşması demektir. Bu genelleştirme özelliğine kavuşmasına “ ağın öğrenmesi “ denir. Ağın eğitimini tamamladıktan sonra öğrenip öğrenmediğini (performansını) lmek için yapılan denemelere “ ağın test edilmesi “ denir. Test esnasında ağın ağrılık değerleri değiştirilmez. Test

örnekler ağı gösterilir ve çıktılar alınır. Elde edilen çıktılar doğruluk değerleri ağı öğrenmesi hakkında bilgi verir. Sonuçlar ne kadar iyi olursa ağı eğitiminin performansı da o kadar iyi demektir. Yapay sinir ağı bu şekilde bilinen örneklerden bilgi çıkarıp , bilinmeyen örnekler hakkında genelleme (yorum) yapabilme özelliği yeteneğine “adaptif öğrenme” denir.⁽¹⁴⁾

Yapay sinir ağlarının genel özellikleri şu şekildedir⁽¹⁴⁾ :

- Yapay sinir ağları makine öğrenmesi gerçekleştirirler.
- Programları çalışma stili bilinen programlama yöntemlerine benzememektedirler.
- Bilgi, ağı bağlantılarının değerleri ile ölçülür ve bağlantılarda saklıdır.
- Yapay sinir ağları örnekleri kullanarak öğrenirler.
- Yapay sinir ağlarının güvenle çalıştırılabilmesi için önce eğitilmeleri ve performanslarının test edilmesi gerekir.
- Görülmemiş örnekler hakkında bilgi üretebilirler.
- Algılamaya yönelik olaylarda kullanılabilirler.
- Şekil ilişkilendirme ve sınıflandırma yapabilirler.
- Eksik tamamlama gerçekleştirebilirler.
- Kendi kendini organize etmek ve öğrenebilme yetenekleri vardır.
- Eksik bilgi ile çalışabilirler.
- Hata toleransına sahiptirler.
- Belirsiz tam olmayan bilgileri işleyebilirler.

Yapay sinir ağlarının kullanıldığı bazı yerler ise şunlardır :

- Optik karakter tanıma ve çek okuma
- Kredi müracaat değerlendirmesi
- Ürünün pazardaki performansını tahmin etme
- Kredi kartı hilelerini saptama
- Güvenlik sistemlerinde konuşma ve parmak izi tanıma
- Robot hareket mekanizmalarının kontrol edilmesi
- Mekanik parçaların ömürlerinin ve kırılmalarının tahmini
- Kalite kontrolü
- Kanserin saptanması ve kalp krizi tahmini

Genel olarak yapay sinir ağı modelleri şu şekilde sınıflandırılır⁽¹⁷⁾ :

- Ağın yapısına göre
 1. İleri beslemeli
 2. Geri beslemeli
 3. Ağırlık matrislerinin simetrik veya asimetrik oluşuna göre
 4. Ağırlık matrisi değerinin sabit veya değişken oluşuna göre
- Ağda yer alan düğümlerin özelliklerine göre
- Kullanılan eşik fonksiyonunun deterministik veya stokastik oluşuna göre
- Düğüme sadece analog/ikil veya sürekli değerlerin uygulanabilmesine göre
- Eğitim veya öğrenme kurallarına göre

En çok kullanılan yapay sinir ağı, “ geri yayınlı” yapay sinir ağıdır. Geri yayınlı ağı , 1970'lerin başında geliştirilmiş en popüler, en etkili ve karmaşık, tanımlanamamış problemlere doğrusal olmayan çözümler getirebilen bir ağ çeşididir. Bu tip yapay sinir ağları tahmin (üretim ihtiyacı, pazar performansı, ekonomik deliller, enerji ihtiyacı, hava tahmini gibi), modelleme (işlem kontrolü, sistem kontrolü, işaret karşılaştırma, robot kontrolü, kaynak kontrolü gibi) ve sınıflandırma (müşteri-Pazar profili, tıbbi teşhis, imza tetkiki, borçlanma risk değerlendirmesi, ses ve şekil tanıma gibi) işlemlerinde çok iyi sonuçlar vermektedir. Tipik bir geri yayınlı sinir ağında bir girdi, bir çıktı ve en az bir gizli katman vardır. Geri yayınlı sinir ağlarında aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılır.

3.2. Güç Sistemlerinde Yapay Sinir Ağı Yük-Frekans Kontrolü

Güç sistemleri için önemli diğer bir konu da, senkronize generatörlerin kontrol edilmesi ve kararlı olmasıdır. Geçmişte klasik lineer kontrol teorilerine dayanan çeşitli tip kontrolörler geliştirilmiştir. Güç sistemlerinin temeli olan ve senkronize makinelerin yapısındaki lineersizlikten dolayı da en iyi performansı sağlamak ve lineer olmayan kontrolörleri kurmak için sinir ağı teknikleri düşünülmüştür^(3,19).

Öngörülme-yen yük değişimleri sistemin işletim durumunu sürekli değiştirdiği ve buna paralel olarak enterkonnekte güç sistemlerinin sürekli olarak büyümesi dolayısıyla sistem değişkenlerinin farklılaşması uygun cevaplar alınmasını güçleştirmektedir. Değişen koşullardaki kontrol

parametrelerinin çoğalmasý yapay sinir ađlarýnn kontrolde daha çok kullanýlmasýna ve kontrolün iyileştirilmesine neden olmuştur.⁽¹⁰⁾

Deđişik kullanýcılara hizmet eden iletim hattýna bađlý izole edilmiş tek bir generatör de kullanýcýlarýn gç talebindeki deđişmeler zamanla iletim hattýndaki yükün deđişimine yol açar. Yük deđişirken generatör ıkýndaki frekans da deđişir. Bir yük deđişimi olduđu zaman kararlı durum frekansýn nominal deđere getirmek için türbine giren buhar geiindeki valfini ayarýn yapmak için kontrol sistemi dizayn edilmiş ve daha iyi performansýn sađlanması için birçok kontrol stratejisi önerilmiştir⁽¹⁸⁾. Bir işletme için uygun olan sabit kontrol başka bir işletme için uygun olmayabilir. Frekans deđişimlerini mümkün olduđunca çabuk yok etmek çok önemlidir. Bir çok yük-frekans kontrol sistemi öncelikli olarak integral kontrolörlerden oluşmuştur. İntegratör kazancı öyle bir seviyeye ayarlanmıştır ki en hızlı geçiş geri kazanımı ve en dk kazanım arasındaki bađlantýyý sađlar⁽³⁾. Bu tip bir kontrolör yavaştır ve dizaynında generatör ünitesindeki lineersizliklerin hesaba katýlmasýna izin vermez. Sinir ađlı kontrolörler, klasik kontrolörlerde kullanılmayan bilgilerin kullanýlmasýn sađlar, daha kısa durulma zamanı verir ve klasik adaptif kontrol tekniklerinde gereken parametre tahmin zamanına ihtiyaç yoktur⁽¹⁸⁾. Elektrik yükündeki deđişimler varsayýlabilirler (Yani iletim hattýnda bir deđişim olursa elektrik yükünde de deđişim olur). Bu yük deđişimindeki varsayım bir lineer varsayýmcý veya lineer olmayan bir sinir varsayýmcýsý ile sađlanabilir. Bazý durumlarda bu direk olarak iletim hattýndan da ölçülebilir.

Aynı sinir ağı tekniği iki bölgeyi bir sistemi kontrol etmek için de kullanılabilir. Bu iki bölgedeki yük değişimleri birbirinden bağımsızdır. İki sinir ağı kontrolörü zamanda geri yayılım kullanılarak adapte edilir⁽¹⁹⁾. Kontrol edilecek sistem, dinamik santral, durum uzay denklemleriyle sunulur. Santralin durum vektörü ve nominal durum vektörü arasındaki fark dinamik santralin çıkışındaki hata sinyali olarak adlandırılır. Santralin durum uzay denklemlerinden kaynaklanan hata vektörünün geri yayılımı santralin jacobian matrisli (santralin durum değişkenlerine göre durum geçiş matris elemanlarının türevlerini içeren bir matrisidir) hata vektörünün, katsayısına bağlı olarak etkilenir. Daha sonra üretilen son sinyal, sinir ağı kontrolöründe geri yayılır ve kontrolörün adaptif ağırlıkları geri yayılım algoritmasına göre ayarlanır. Jacobian matrisinin geri yayılım zincirine uygulanması santralin durum uzay denklemlerinin bilinmesi ile yapılır ve bu, sinir ağı santral modelinin eğitimini ve öğretimini engeller⁽¹⁹⁾.

Sinir ağı kontrole geçilmeden önce tek bölgeyi ve iki bölgeyi sistemlerin tekrar basit olarak incelemesi yapılmalı ve daha sonra bu sistemlere sinir ağı kontrolör eklenerek sistemlerin nasıl tepki verdiğinin görülmesi gerekir.

3.3. Santral modellenmesi ve klasik yöntemlerle kontrolü

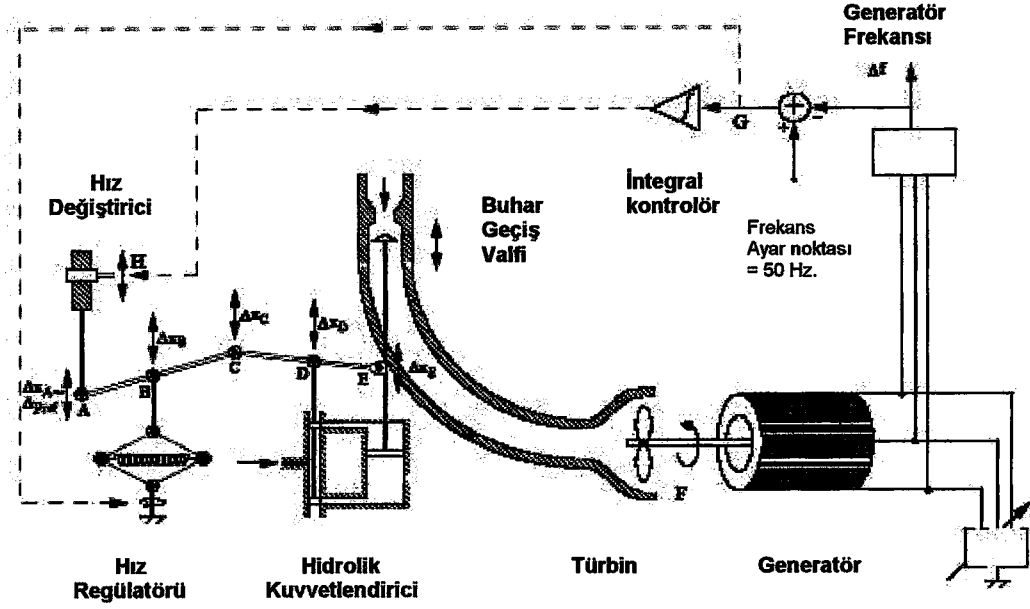
3.3.1. Tek bölgeyi sistemlerde otomatik yük-frekans kontrolü

Tek bölgeyi sistemlerde mekanik güç bir türbin tarafından üretilir ve değişik kullanıcıların hizmetine, senkronize generatör ile götürülür. Generatör

çıkışındaki frekans ve gerilim çoğunlukla türbindeki buhar akışı ile belirlenir. Aynı zamanda bu kullanıcıların güç talebindeki değişikliklerden de etkilenir. Mesela iletimdeki elektrik yükü aniden artarsa generatör şaftı yavaşlar ve generatörün frekansı da düşer. Kontrol sistemi acilen yük değişimini hissetmeli, buhar geçişinin artırılması emrini vermeli ve türbin mekanik güç üretimini arttırmalıdır. Böylece güç artar ve generatör frekansı istenen değere getirilir. Şekil 3.4 de basit olarak klasik kontrollü güç sisteminin şekli verilmiştir⁽¹⁹⁾.

Güç sistemlerinde birçok cihaz lineer olmadığı için cihazlardan birisi santrali lineerize etmek için ve belirli bir operasyon noktası hakkında farklı değişkenlerin sapmaları için kullanılabilir. Operasyon noktasındaki lineerize edilmiş sistem fonksiyonlarının parametreleri yapılarak lineersizlikler modellenilebilir. Sonuçta küçük sinyal modellemesi, sistemin durumuna bağlı değerlere sahip değişken parametrelili lineer operatörlerden oluşur. Modellemedeki son adımda bütün küçük sinyaller laplas dönüşümleriyle yer değiştirir ve lineerize edilmiş cihazlar transfer fonksiyonları ile gösterilir.

Konuyu incelemeden önce notasyon tarif edilebilir. Bazı değişkenlerin Δ sını bu değişkenin değeri ile nominal değeri arasındaki farkı gösterir. Küçük harfler zaman sinyalleri için büyük harflerde onların laplas dönüşümünde kullanılır. Örneğin $\Delta f(t)$ generatörün gerçek değeri ile nominal değeri arasındaki farktır. $\Delta f(t) = f(t) - f_{\text{nominal}} = f(t) - 50 \text{ Hz.}$ dir ve $\Delta F(s)$, $\Delta f(t)$ 'nin laplas dönüşümüdür. Şekil 3.2 de tek bölgeli sistemdeki laplas domeninde küçük sinyal modeli verilmiştir. A,B,C,D,E,F,G noktaları (Şekil 3.4 deki) burada da ilgili şekillere yardımcı olması için gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : Klasik tek bölgeli sistemin basitleştirilmiş diyagramı⁽¹⁹⁾

C programlama dili kullanılarak , dinamik bir santralin simülasyonunu yapmak için farklı zaman durum uzay denklemleri üretilebilir⁽¹⁹⁾. Şekil 3.5 e dönülürse , generatör çıkışının , türbin ve kuvvetlendiricinin girişlerinin fonksiyonunun laplas dönüşümleri yer değiştirilerek ve zaman fonksiyonları ayrılarak aşağıdaki farklı zaman durum uzay denklemleri elde edilir.

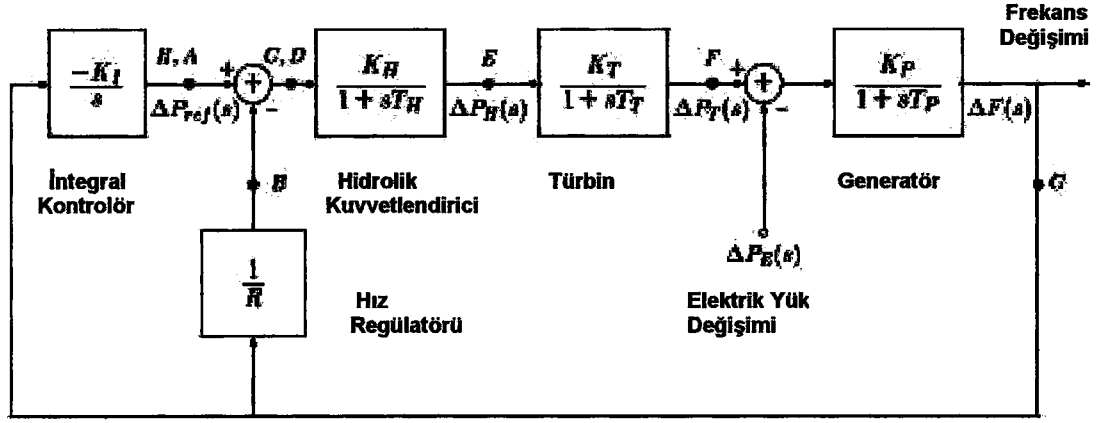
$$\Delta f(nT_s + T_s) = \Delta f(nT_s) + \frac{T_s}{T_P} [K_P \Delta p_T(nT_s) - K_P \Delta p_E(nT_s) - \Delta f(nT_s)] \quad 3.1$$

$$\Delta p_T(nT_s + T_s) = \Delta p_T(nT_s) + \frac{T_s}{T_T} [K_P \Delta p_H(nT_s) - \Delta p_T(nT_s)] \quad 3.2$$

$$\Delta p_H(nT_s + T_s) = \Delta p_H(nT_s) + \frac{T_s}{T_H} [K_P \Delta p_{ref}(nT_s) - \frac{K_H}{R} \Delta f(nT_s) - \Delta p_H(nT_s)] \quad 3.3$$

$$\Delta p_{ref}(nT_s) = \Delta p_{ref}(nT_s - T_s) - K_I \Delta f(nT_s) \quad 3.4$$

T_s : örnekleme süresi ve n , ayrı zaman indeksidir.



Şekil 3.5 : Klasik tek bölge sistem, küçük sinyal modelinin blok diyagramı⁽¹⁹⁾

Büyük sistemlerdeki (≈ 1000 MW) tipik büyüklük dereceleri şunlardır : türbin, hidrolik kuvvetlendirici, ve generatörün kazançları $K_H=K_T=1$, $K_P=120$ Hz/pu MW , bunlara karşılık zaman sabitleri de $T_H = 80$ ms, $T_T = 0.3$ s, $T_P = 20$ s , regülatör kazanç sabiti $R = 2.4$ Hz/pu MW.

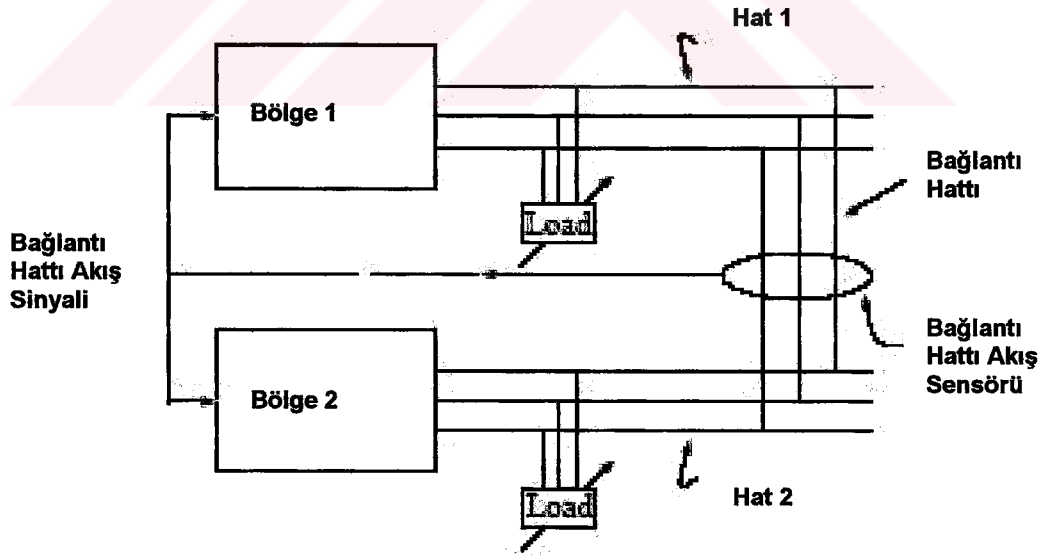
İntegratör kazancı K_I 'nin , herhangi bir negatif olmayan bir değerinde yük değişimi $\Delta P_E(s)$, kuvvetlendiricinin adım fonksiyonu ΔP_E varsayılırsa santral hareketsizdir. Yani durum vektörü $X(nT_s) = [\Delta f(nT_s) \Delta p_T(nT_s) \Delta p_H(nT_s)]^T$ sonlu bir kararlı durum haline yaklaşır. 3.1,3.2,3.3 ve 3.4 denklemlerinden görülebileceği gibi kararlı durum frekans sapması $\Delta f(nT_s)$ sifıra yaklaşır⁽¹⁹⁾. Dolayısıyla türbin güç çıkışı $\Delta p_T(nT_s)$, ΔP_E 'ye doğru yaklaşır ve kuvvetlendirici çıkış gücünde $\Delta p_H(nT_s)$, $\Delta P_E / K_T$ ye doğru yaklaşır. Sonuçta kararlı durum vektörü :

$$X_{\text{kararlı durum}} = \left[0 \quad \Delta P_E \quad \frac{\Delta P_E}{K_T} \right]^T \quad 3.5$$

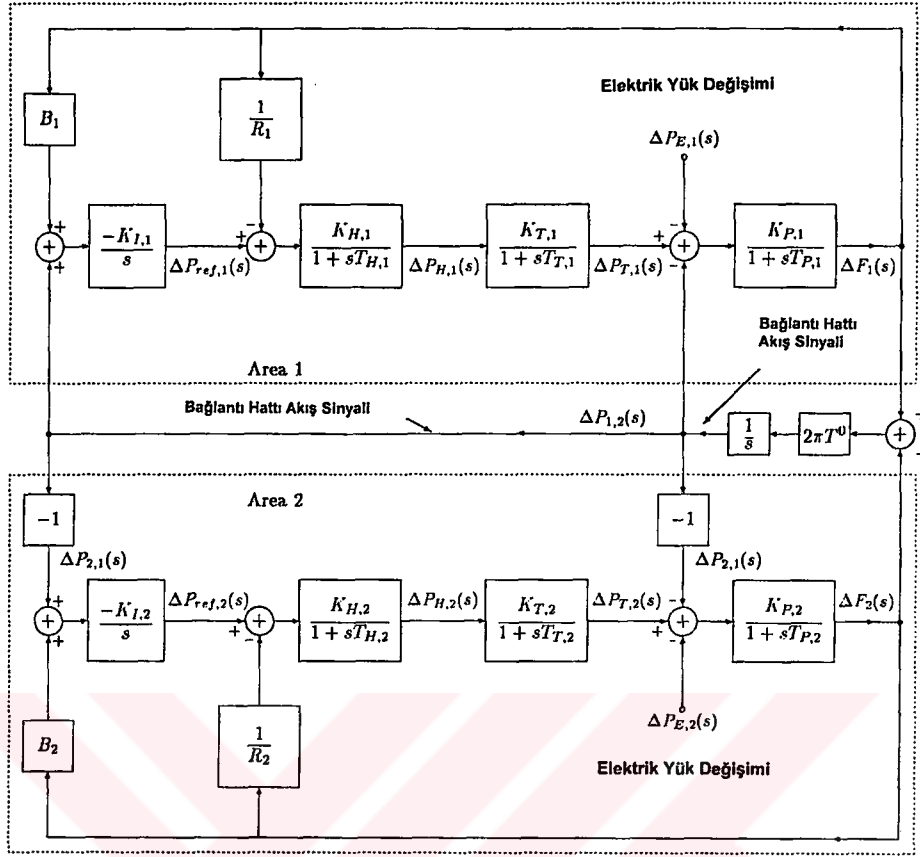
olur.

3.3.2. İki bölge sistemlerde otomatik yük-frekans kontrolü

İki bölge sistem bağlantı hattı diye adlandırılan güç hattı ile birbirine bağlı iki tek bölge sistemden oluşur. Her bir bölge kendi kullanım alanını besler ve bağlantı hattı elektrik gücünün bölgeler arasında akmasını sağlar. Her iki bölge birbirine bağlandığı için bağlantı hattında güç akarken bir bölgedeki yük değişimi her iki bölgenin de çıkış frekanslarını etkiler. Aynı sebepten dolayı her iki bölgenin kontrol sistemi bölgesel frekansları kararlı durum değerine getirmek için her bölgedeki iletim durumu hakkındaki bilgilere ihtiyaç duyar. Bu lokal bölgedeki bilgi bu bölgenin çıkıştaki frekans değişiminde bulunur. Diğer bölgedeki bilgi bağlantı hattındaki güç değişiminden bulunur⁽¹⁹⁾. Dolayısıyla bağlantı hattı gücü algılanır ve sonuçta bağlantı hattı güç sinyali her iki bölgeye geri beslenir. Bu Şekil 3.6 da basitçe gösterilmiştir. Daha komple bir diyagram Şekil 3.7 de verilmiştir.



Şekil 3.6 : Klasik iki bölge sistemin basit diyagramı⁽¹⁹⁾



Şekil 3.7 : Klasik iki bölgeli sistemin küçük sinyal modeli⁽¹⁹⁾

İki tek bölgeli blok diyagramları kesik çizgili şekillerle ifade edilir ve bağlantı hattı tanımlanabilir. İki bölgedeki sistemin nasıl kontrol edildiği incelenirse, klasik sistemlerde her bir bölgenin türbindeki referans gücü bir integral kontrolör ile set edilir. Her bir bölgedeki değişim her iki bölgedeki frekansı etkilediği ve bir bölgedeki değişim, güç bağlantı hattındaki değişimle anlaşıldığı için her bir bölgedeki kontrolör sadece lokal frekans değişimlerini değil bağlantı hattı güç değişkenlerini de giriş olarak alması gerekir. Integral kontrolörün sadece bir girişi olduğu için, lokal frekans değerleri ve bağlantı

hattı güç değişkeninin kontrolöre girişi için tek bir sinyal haline getirilmelidir. Bu işi yapmanın en kolay yolu bunları lineer olarak birleştirmektir. Yani bölge 1 deki integratör girişi $\Delta P_{1,2} + B_1 \Delta F_1$ ve bölge 2 deki integratör girişi $\Delta P_{2,1} + B_2 \Delta F_2$ (Şekil 3.4) birleştirilir. Genellikle B_1 ve B_2 katsayıları $1/ K_p + 1/R$ olarak ayarlanır⁽¹⁹⁾. Daha önce belirtildiği gibi $B_1 = B_2 = 0.425$ pu MW/Hz.

Tek bölgeli durumda olduğu gibi aşağıdaki aynı işlemi takip ederek 2 bölgeli sistemin gerekli durum uzay denklemi türetilir. Basit olması açısından generatör zaman sabiti ile kıyaslandığında hidrolik kuvvetlendirici ve türbin zaman sabiti yok sayılabilir. Bölge 1 deki frekans olarak $\Delta f_1(nT_s)$, bölge 2 deki frekans $\Delta f_2(nT_s)$ ve bağlantı hattı güç değişimi $\Delta p_{1,2}(nT_s)$ seçilirse denklemler ;

$$\Delta f_1(nT_s + T_s) = \Delta f_1(nT_s) + \frac{T_s}{T_{P,1}} [K_{P,1} \Delta p_{ref,1}(nT_s) - (\frac{K_{P,1}}{R_1} + 1) \Delta f_1(nT_s) - K_{P,1} \Delta p_{E,1}(nT_s)] \quad 3.6$$

$$\Delta f_2(nT_s + T_s) = \Delta f_2(nT_s) + \frac{T_s}{T_{P,2}} [K_{P,2} \Delta p_{ref,2}(nT_s) - (\frac{K_{P,2}}{R_2} + 1) \Delta f_2(nT_s) - K_{P,2} \Delta p_{E,2}(nT_s)] \quad 3.7$$

$$\Delta p_{1,2}(nT_s + T_s) = \Delta p_{1,2}(nT_s) + T_s [2\pi T^0 (\Delta f_1(nT_s) - \Delta f_2(nT_s))] \quad 3.8$$

T_s örnekleme oranıdır. Büyük sistemler için (≈ 1000 MW) tipik parametre değerleri ; generatör kazanımı için $K_{P,1} = K_{P,2} = 120$ Hz/pu MW , generatör zaman sabitleri $T_{P,1} = T_{P,2} = 20$ s, regülasyon parametresi $R_1 = R_2 = 2.4$ Hz/pu MW dir.

Herhangi bir negatif olmayan integratör kazanç sabitleri $K_{i,1}$, $K_{i,2}$ için bölge 1 ve bölge 2 de adım yük değişimi olduğunda ve geçişler bittiğinde her iki alandaki frekans değişimleri sıfıra yaklaşır ve bağlantı hattındaki güç sıfıra yaklaşır. Santral durum vektörü $x(nT_s) = [\Delta f_1(nT_s) \Delta f_2(nT_s) \Delta p_{1,2}(nT_s)]^T$ ve bunun sonucunda da kararlı durum değerine yaklaşır.

$$X_{\text{kararlı durum}} = [0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

3.9

Klasik kontrol sistemlerini bitirmeden ve sinir ağı kontrolörlerinin geliştirilmesine başlamadan önce önemli bir vurgu yapılması gerekir. Bölüm 3.2.1. de açıklandığı gibi kullanılan santral modelleri lineerize edilmiş modellerdi. Santralin operasyon noktalarının elektrik iletim hattında adım yük değişimini değiştirmede varsayıyordu ve dolayısıyla bütün santral parametreleri sabit tutuldu. Pratikte hız regülatörünün karakteristik sabiti R, türbin gücü üzerinde oldukça yüksek lineersizliğe dayanır ve 2 bölgeli sistemdeki her bir bölgede olduğu gibi olur. Bu lineersizliğin mevcudiyeti ve geleneksel integral kontrolörlerin yavaş olması sebebiyle sinir ağı kontrolörler, integratörlerin yerine kullanılmalıdır⁽¹⁹⁾.

3.4. Sinir ağları yardımıyla lineer olmayan kontrol

3.4.1. Tek bölgeli sistemin sinir ağı kontrolü

Dinamik kontrolörler için sinir ağı mimarinin doğal seçimi ileri beslemeli çok katlı bir yapıdır. Böyle bir mimari zamanda geri yayılım algoritması (Backpropagation-through-time algorithm) ile adapte edilebilir. Bu iyi bilinen geri yayılım algoritmasının uzantısıdır⁽¹⁹⁾.

3.4.1.1. Geri Yayılım algoritması

Şekil 3.8 a) da ileri beslemeli çok katlı sinir ağı gösterilmiştir. L katmanlı sinir ağının ℓ katmanından elde edilen tek bir nöron ise

Şekil 3.7 b) de gösterilmiştir. Girişler x_i^l , adaptif ağırlıklar ile $w_{i,j}^l$ çarpılır. Çıkış x_j^{l+1} , sigmoidal fonksiyondan (s_j^l) geçen giriş ağırlıklarının toplamıdır.

$$x_j^{l+1} = s_j^l \left(\sum_i w_{i,j}^l x_i^l \right) \quad 3. 10$$

Başlangıçta rasgele küçük değerler ayarlı ağırlıklar daha sonra yeni bir giriş modelinin sunumuna ayarlanmıştır. Adaptasyon kuralı şöyledir :

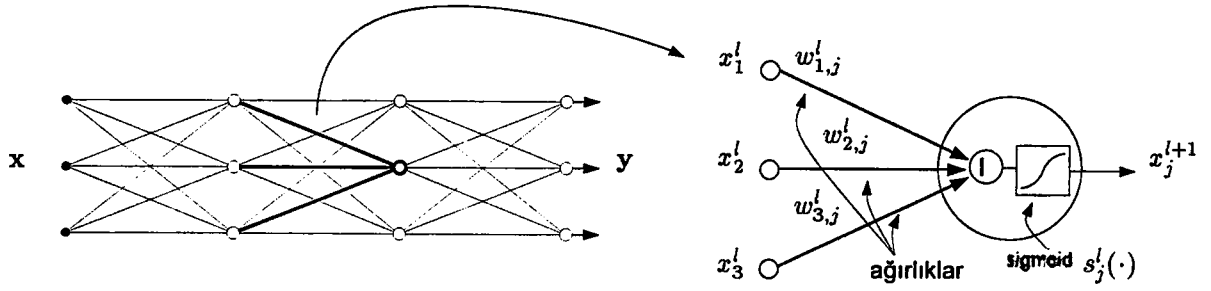
$$\Delta w_{i,j}^l = -\mu \frac{d(e^T e)}{d w_{i,j}^l} \quad 3. 11$$

Bu denklemde $w_{i,j}^l$, l katmanındaki i nöronunu bir sonraki katmandaki j nöronu ile bağlayan ağırlık , μ öğrenme oranı , e hata vektörü yani gerçek ve istenilen çıkış arasındaki farktır^(20,21). Buradan Denklem 3.11 şöyle olur :

$$\Delta w_{i,j}^l = -\mu \delta_j^{l+1} \cdot x_i^l \quad 3. 12$$

x_i^l , l katmanındaki i nöronunun çıkışıdır. L katmanlı ağdaki hata gradyenti δ_j , aşağıdaki formülle hesaplanır :

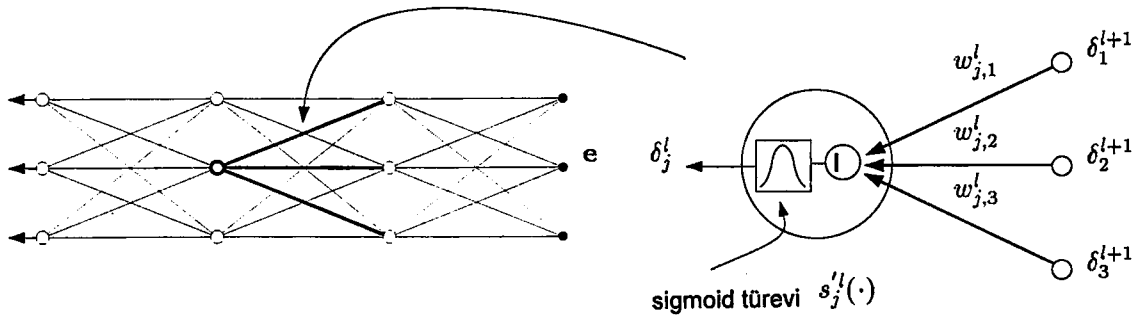
$$\delta_j^l = \begin{cases} -2e_j \cdot s_j^{lL} & l = L \\ s_j^l \cdot \sum_m \delta_m^{l+1} \cdot w_{j,m}^l & 1 \leq l \leq L - 1 \\ \sum_m \delta_m^1 \cdot w_{j,m}^0 & l = 0 \end{cases} \quad 3. 13$$



Şekil 3.8 İleri beslemeli çok katmanlı sinir ağı ⁽¹⁹⁾

a) L katmanlı sinir ağı b) l katmandan elde edilen j nöronu

Burada e_j , j çıkış noktasındaki hata, ve $s_j^l \equiv s_j^l(x_i^l)$, l katmanındaki j bağlantı noktası için sigmoid fonksiyonunun ($s_j^l(\cdot)$), türevidir. Denklem 3.13 tekrar düzenlenir ve belli bir nöron yardımıyla, hata gradyenti δ , bağlantı ağırlıkları ile bir sonraki katmanın δ ' larının geri yayılımı ile elde edilir. Bu da Şekil 3.9 a) ve b) de gösterilmiştir.



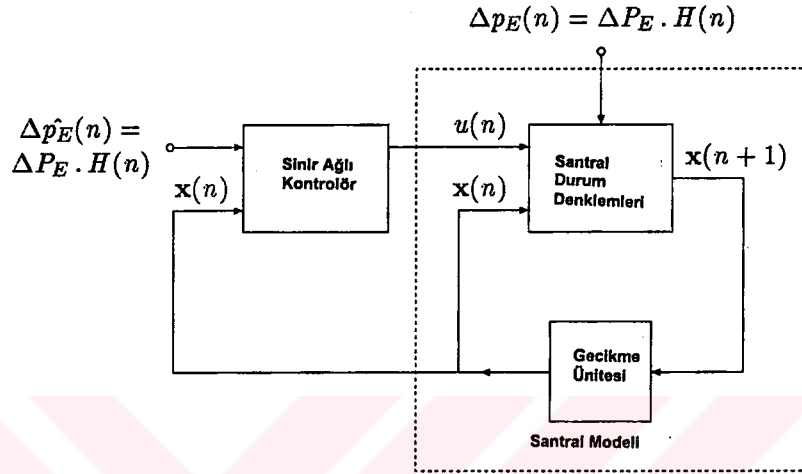
Şekil 3.9 : İleri beslemeli çok katmanlı sinir ağı ⁽¹⁹⁾ a) Geri yayımlı L katmanlı sinir ağı b) Geri yayılan l katmanın j nöronu.

3.4.1.2. Sinir ağı kontrolörünün adaptasyonu

İleri beslemeli sinir ağı statik yapıdır, yani girişler ve istenilen çıkışlar arasındaki zamana bağımlı değildir. Adapte edilecek ağ dinamik bir yapıya sokulduğunda durum daha farklıdır. Yapılan uygulamada mesela dinamik bir santrali kontrol için bir sinir ağı kullanılıyor. Başlangıçta kararlı durum durumunda santral aniden adım değişimine uğruyor. Geçişlerde birbirini takip eder. Yukarıda gösterildiği gibi bir integratör ile kontrol edilen tek bölgeli sistemin (Notasyonu kısaltmak için örnekleme zamanı $T_s=1$ olarak seçilmiş, $x(nT_s)$, $x(n)$ ile, $\Delta f(nT_s)$ ise $\Delta f(n)$ ile yer değişmiştir.) farklı durum vektörü $x(n) = [\Delta f(n) \ \Delta p_T(n) \ \Delta p_H(n)]^T$ kararlı durum değerine yaklaşır ve $x_{\text{kararlı durum}} \equiv [0 \ \Delta P_E \ \frac{\Delta P_E}{K_T}]^T$ olur (Denklem 3.5 den). Fakat bu yaklaşım yavaştır. İntegral kontrolörü ile yer değişen sinir ağı kontrolörü geçişlerin değerini ve süresini kısıtlarken santralin aynı $x_{\text{kararlı durum}}$ vektörüne yaklaştırması gerekir. Böyle bir operasyon anlık olarak gerçekleştirilemez. Buna ek olarak nominal kontrol sinyali değeri (sinir ağının istenilen çıkışı) öncelikli olarak bilinmiyor. Sadece santralin istenilen kararlılık durumu biliniyor. Basit statik geri yayılım algoritması direk olarak uygulanamaz. Mevcut dinamik yapıya göre genelleştirilmesi gerekir. Bu genelleştirmenin sonucu da zamanda geri yayılım algoritmasına karşılık gelir⁽¹⁹⁾.

Şekil 3.10 da dinamik kontrolörlü santral yapısı gösterilmiştir. Santral modeli (kesik çizgili kutu) herhangi bir zamandaki ayrı durum uzay vektörü $x(n) = [\Delta f(n) \ \Delta p_T(n) \ \Delta p_H(n)]^T$ ile karakterize edilmiştir. “Santral durum denklemleri” diye gösterilen kutu tek bölgeli sistem modelinden daha önce türetilen ayrı durum uzay denklemlerini gösterir (Denklem 3.1,3.2,3.3). Sinir

ağı kontrolörleri klasik sistemlerde integral kontrolörlerle yer değiştirmiştir. Bunun çıkışı yani referans gücündeki sapma $\Delta p_{ref}(n)$, santral modelini sürmesi için kontrol sinyali olarak kullanılır. Basitçe $u(n)$ olarak referans alınır.

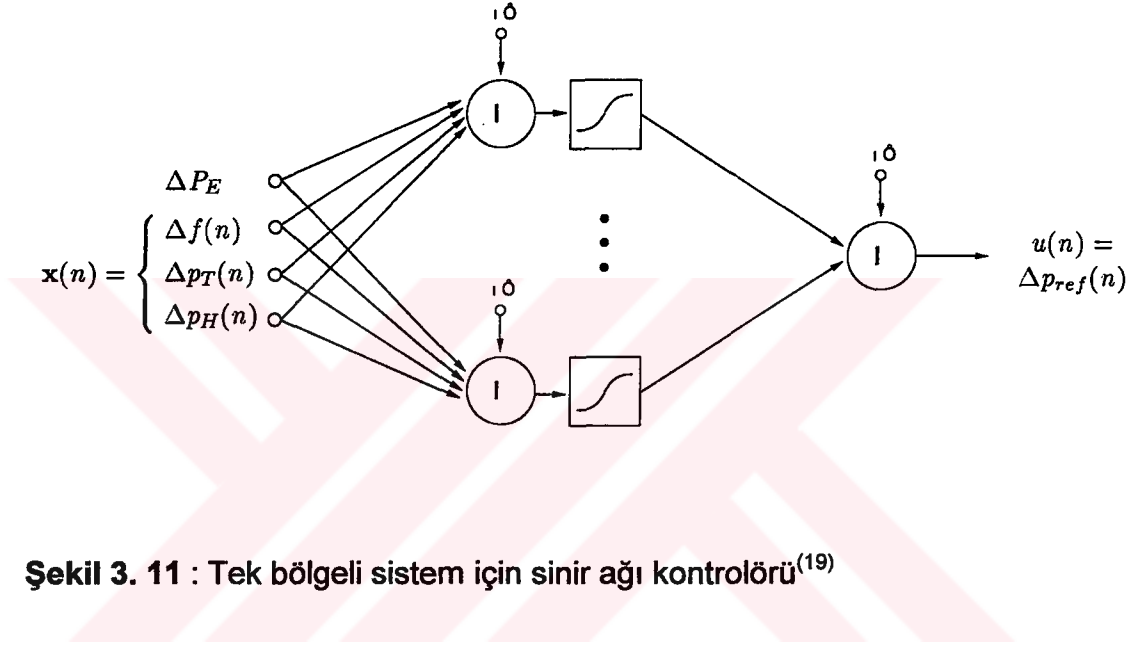


Şekil 3. 10 : Sinir ağı kontrolörü ve tek bölge sistemin santral modeli⁽¹⁹⁾

$U(n) = \Delta p_{ref}(n)$ 'i hesaplamak için klasik kontrolörlerde kullanılmayan bazı bilgiler sinir ağı kontrolörlerde kullanılabilir. Bunlardan biride yük değişiminin $\Delta \hat{p}_E(n)$ varsayılması . Genelde büyük sistemlerin yük değişimi direk olarak ölçülemez. Dolayısıyla ya bir lineer varsayımçı ya da lineer olmayan sinir ağı varsayımçı ile tahmin edilir (sistemdeki lineersizlikler bunu desteklerse). Böyle bir varsayımçı generatörün çıkışındaki frekans dalgalanmalarının örnekleme periyodunun K serilerini örnek giriş olarak alır $[\Delta f(n) \Delta f(n-1) \dots \Delta f(n-K+1)]^T$. Bu giriş vektörüne bağlı olarak yük değişimindeki $\Delta p_E(n)$, anlık değeri varsayar. Burada yük varsayımının

$\Delta \hat{p}_E(n)$, mümkün olduğu ve adaptasyon amaçları için bu varsayımın gerçek olduğu kabul edilir⁽¹⁹⁾.

Şekil 3.11 de sinir ağı kontrolörlerinin detaylı bir iç yapısı verilmiştir. İki katmanlı nöronları içerir : gizli katman ve tek nöron çıkış katmanı. Ağın çıkışında hiçbir sigmoid kullanılmamıştır. Bias terimleri (sabit girişler 1'e eşittir) çıkış ünitesinde ve bütün gizli ünitelerde bulunmaktadır.



Şekil 3. 11 : Tek bölge için sinir ağı kontrolörü⁽¹⁹⁾

Şekil 3.10'a dönülürse her bir zaman adımında yeni bir durum vektörünün $x(n+1)$ hesaplandığını adım yük değişiminin ΔP_E değerine bağlı olarak da kontrol sinyali $u(n)$ ve geçerli durum vektörü $x(n)$ i görülür. Eğer Şekil 3.10 zamana bağlı olarak tekrar çizilirse bu durum daha iyi anlaşılır. Sonuç blok diyagram Şekil 3.12 de gösterilmiştir. Basitlik açısından sinir ağı kontrolör C ile gösterilmiş ve santralin durum denklemleri P ile gösterilmiştir. $n = 0$ zamanında (adım yük değişiminin sisteme ulaştığı an) santralin durumu $x(0)$ dir. Sinir ağı kontrolörü C , $x(0)$ durum vektörü ve adım değişim

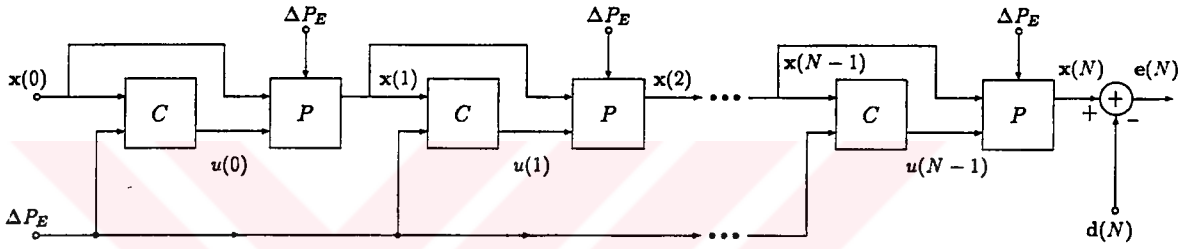
yükseltisi ΔP_E yi veri olarak alır ve kontrol sinyali $u(0)$ anlık olarak hesaplar. Santral denklemleri P , bir sonraki kontrol sinyallerini $u(1)$, hesaplamak için ve kontrolöründe bir sonraki durum vektörü $x(1)$ in hesaplanmasında kullanılır. Bu yolla herhangi bir N zamanına ulaşılan kadar kontrolör ve santral modeli başarılı bir şekilde yeni kontrol sinyallerini ve yeni durum vektörlerini hesaplar. N öyle geniş seçilir ki santral geçişlerinin yok olmasına izin verilir. N zamanında santral durum vektörü $x(N)$ in $x_{\text{kararlı-durum}}$ 'a yaklaşması gerekir ki $d(N)$ ile gösterilen istenilen durum vektörünün algoritması öğrenilsin. İstenilen durum vektörü $d(N)$ ile son durum vektörü $x(N)$ in arasındaki fark yani hata vektörü $e(N)$, zamanda geri yayılım algoritmasına göre kontrolörün adaptif ağırlıklarını ayarlamak için kullanılır. Santralin sürekli olarak fazla çalışması kontrol edilmesine rağmen eğer işlem sadece son N zamanı adımlarında N genişliğinde yürürse bir kontrol kanunu türer. N zamanında hatayı azaltmak için ağırlıklar ayarlanır⁽¹⁹⁾.

3.4.1.3. Zamanda geri yayılım algoritması

Şekil 3.12 esas olarak kontrolörlerin katmanlı düzeninden ve santral denklem bloklarından oluşmuştur. Kontrolör sinir ağı kontrolördür. Şekil 3.12 deki sistemin çözümü, girişler $x(0)$ ve ΔP_E , çıkış $x(N)$ olan büyük katmanlı sinir ağı ve istenilen çıkışta $d(N)$ olacaktır. Böyle bir ağı öğrenmek için geri yayılım algoritması uygulanabilir. Ağın çıkışındaki hata gradyenti \hat{P} ve C bloklarından, $x(N)$ den $x(0)$ a doğru geri yayılım yapılır. Bunun içinde adı zamanda geri yayımdır⁽¹⁹⁾. Güç sisteminin dinamik doğa karakteristiği ile

baş etmek için; güç sisteminin dinamik konfigürasyonu zaman içinde dağıtılmış ve zamana doğru geriye yayılma kullanılmıştır.⁽²⁰⁾

Santral denklemlerinde sinir ağı kopyasının eğitimini ve öğretimini önleyerek değişik bir yaklaşım kontrol edilir⁽¹⁹⁾. Temel fikir P nin sinir ağı kopyası ve veya taklitçisi \hat{P} yi inşa etmek yerine (hata gradyentini bunun içinden geçirerek geri yayılım için) hata gradyentini doğrudan santral denklemleri P den geri yayılım mümkündür.



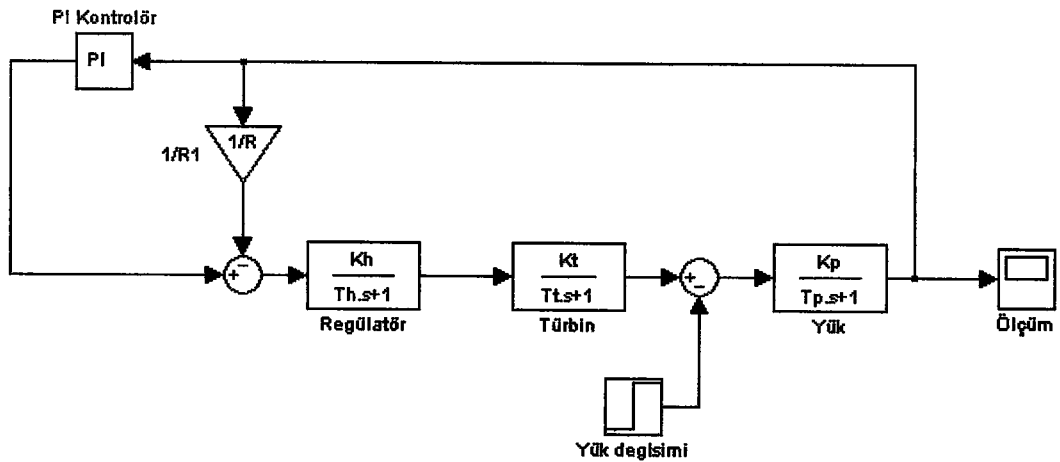
Şekil 3.12 Tek bölge sistemin sinir ağı kontrolörü ve santral modeli, zamana yayılmış blok diyagramı^(13,18,19)

Santralin sinir ağı taklitçisinin kurulması ve hata gradyentinin geri yayılım edilmesi, sinir ağı teknikler kullanılarak gerçek jacobian matrisi kabullenmekten başka bir şey değildir. Santralin denklemleri bilinirse analitik veya nümerik olarak jacobian matris elemanlarını hesaplamada kullanılabilir. Santralin girişindeki hata gradyenti, çıkıştaki hata gradyentinin jacobian matrisinin çarpılmasından elde edilir. Bu yaklaşım sinir ağı taklitçinin eğitim ve öğretimini önleyerek zaman tasarrufu sağlar. Bunun nedeni eğitim ve öğretim için çok sayıda test yapılması gerekmektedir. Buna ilaveten sinir ağı

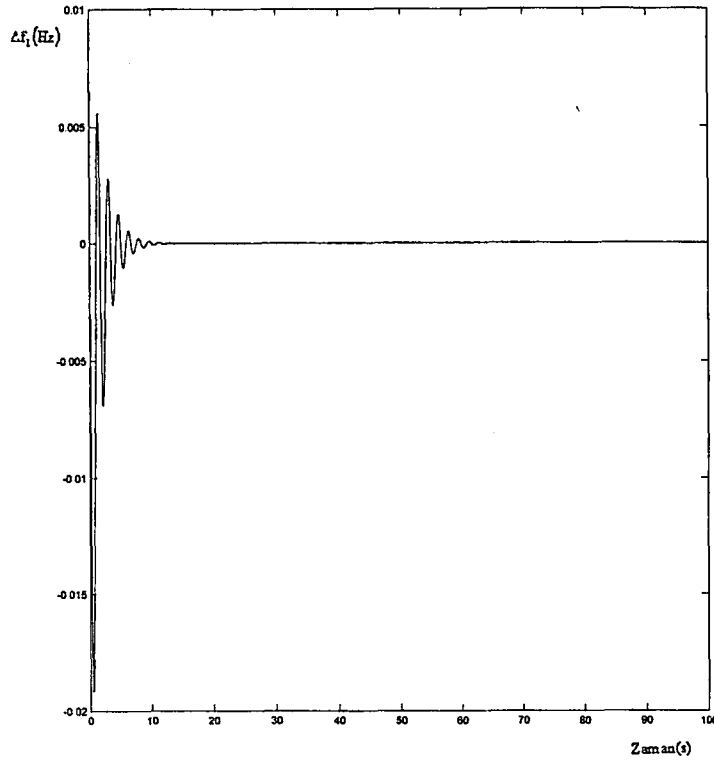
tahminciden yaklaşık olarak elde edilen türevden daha hassas ve doğru bir türev olacaktır. Kontrolörün eğitimi daha hızlı ve hassastır. Bu metodun bir tek dezavantajı böyle bir yapıda bulunan sinir ağı kontrolörün santraldeki değişiklikleri izlememesidir (mesela aşınan bazı parçalardaki parametre değişimi). Böyle düşünceler bir sorun ise de sinir ağı tahmin edicisi daha iyi bir seçimidir⁽¹⁸⁾. Tekrar jacobian yaklaşımı eğer santralin analitik tarifi iyi biliniyorsa uygulanabilir. Aksi takdirde santral sinir ağı tahmin edicisi santrali tarif etmede ve hata gradyentlerini geri yayılım etmede kullanılır.

3.5. Simülasyonlar

Tek bölgesi bir sistem için PI ve Yapay sinir ağı kontrolör kullanılmış ve çalışma sonuçları şekillerle gösterilerek kıyaslanmıştır. Çalışma için Matlab programı kullanılmıştır.



Şekil 3.13 Tek bölgesi sistem ve PI kontrolörü



Şekil 3.14 PI kontrolörüne ait simülasyon

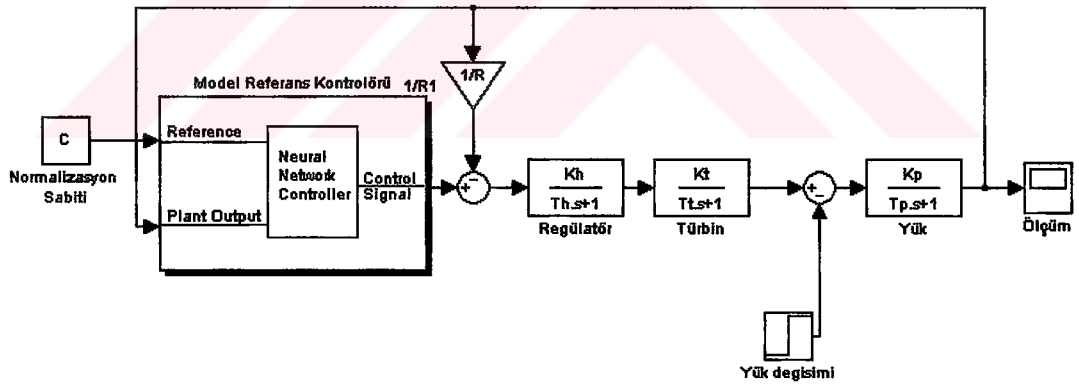
Şekil 3.13 de PI kontrolör kullanılmış bir güç sistemi ve Şekil 3.14 de bu sisteme ait simülasyon görülmektedir.

Sistemde yük frekans kontrolü yapılırken ilk olarak PI kontrolör kullanılmış ve PI kontrolöre ait parametre değerleri değiştirilerek istenilen çıkış sonucu elde edilmeye çalışılmıştır. Bir çok deneme sonucunda PI kontrolöre ait parametre değerleri P : -0.5 ve I : -0.7 olarak seçilmiş ve simülasyon sonucundan da görüldüğü gibi yaklaşık 10 saniyede, frekans hatası istenilen değere yani 0'a çekilmiştir. Sistemde kullanılan parametrelere ait değerler , Çizelge 3.2 de verilmektedir.

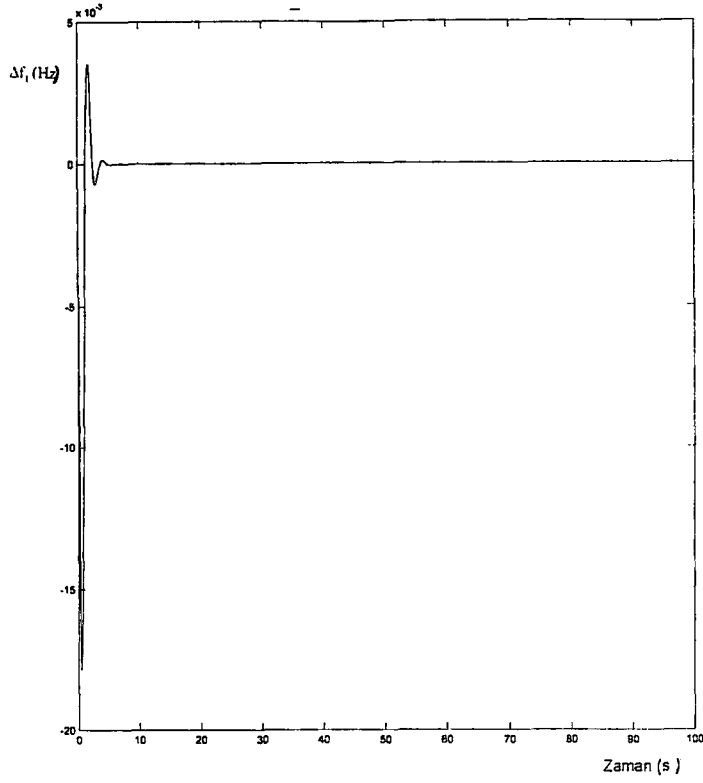
Çizelge 3.2 Parametre değerleri

K_p 120	T_h 80e-3	K_h 1
T_p 20 s	K_T 1	ΔP_E 0.01 puMW
T_t 0.3 s	R 2.4	

Şekil 3.15 te ise yapay sinir ağı kontrolör kullanılmış bir sistem görülmektedir. Bu sisteme ait simülasyon sonuçları ise Şekil 3.16 da verilmektedir. Sistemde kullanılan parametrelere ait değerler , Çizelge 3.2 de verilmektedir.



Şekil 3.15 Tek bölge sistem ve Model Referans Kontrolörü



Şekil 3.16 Model Referans Kontrolörüne ait simülasyon

Sistemde ΔP_E girişi yani yük değişimi 0.01 p.u.MW olarak alınmıştır. Bu değer sinir ağı kontrolörün ve güç sisteminin girişi olarak alınmıştır. Kullanılan Model Referans Kontrolünde ilk olarak santralin tanımlaması yapılmış ve bu işlem yapılırken gizli katman sayısı 10 olarak alınmıştır. Eğitim periyodu ise 3000 olarak seçilmiştir. Gizli katman sayısının ve eğitim periyodunun değerleri sistemde yapılan denemelerden sonra bulunmuş sisteme ait en iyi sonuçları veren değerlerdir. Santralin tanımlaması yapıldıktan sonra kontrolör kısmına geçilmiştir. Model Referans kontrolü için sistemde kullanılan gizli katman sayısı 10 ve kontrolör eğitim periyodu da 6000 olarak seçilmiştir. Bulunan bu değerlerde yine kontrolör için yapılan denemelerden sonra seçilmiş sisteme ait en iyi değerlerdir. Sistemde sinir ağı kontrolörde kullanılan Farklı Uzay denklemleri :

$$x(n+1) = A x(n) + B u(n) \quad 3.14$$

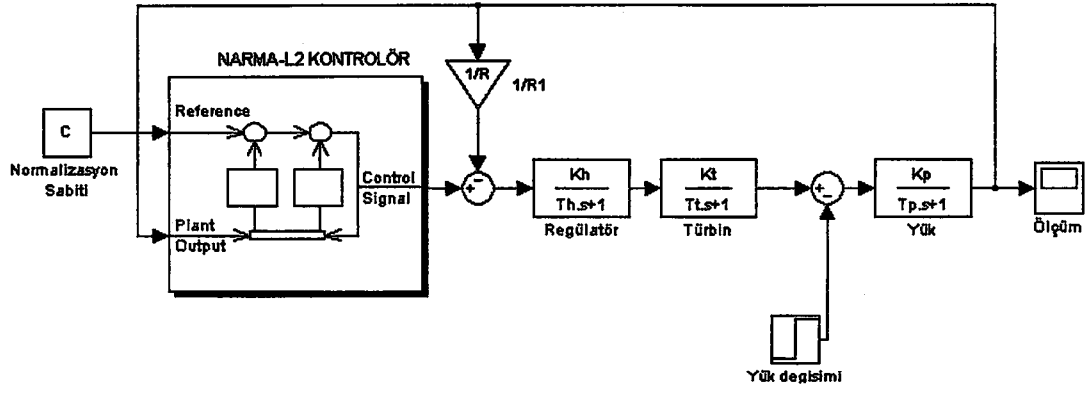
$$y(n) = C x(n) + D u(n) \quad 3.15$$

denklemlerdir.

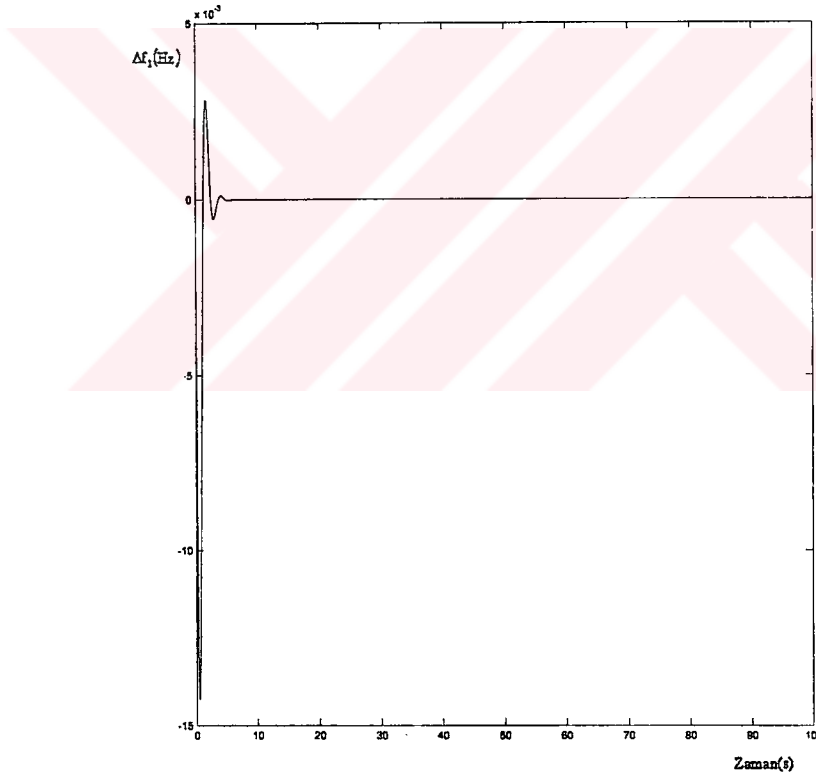
Kontrolör ve santralin eğitimi ve tanımlanması bittikten sonra sistemde yapılan yük-frekans kontrolü neticesinde elde edilen simülasyon sonucundan da görüleceği gibi sistemde yaklaşık 5 saniye gibi bir sürede frekans hatası istenilen değere yani 0'a çekilmiştir.

Bu çalışmada yapay sinir ağı kontrolör olarak kullanılan bir diğer kontrolör NARMA-L2 kontrolörüdür. Bu kontrolörde Model Referans Kontrolünden farklı olarak santralin tanıtılması yapıldıktan sonra sistem eğitilmeden kontrol işlemi yapılmaktadır. Bu kontrolörle yapılan çalışmada gizli katman sayısı 15 ve eğitim periyodu da 3000 olarak seçilmiştir. Sistemde ΔP_E girişi yani yük değişimi 0.01 p.u.MW olarak alınmıştır. Şekil 3.17 de kontrolör ve Şekil 3.18 de ise bu kontrolörle yapılan simülasyon sonucu görülmektedir. Çizelge 3.2 de bulunan parametre değerleri bu kontrolör içinde geçerlidir. Ayrıca kullanılan durum uzay denklemleri de, 3.14 ve 3.15 denklemlerdir. Simülasyon sonucundan da görüleceği gibi çıkış Model Referans Kontrolörün çıkışı gibi istenilen değerlerde elde edilmiştir.

Kullanılan iki kontrolör için elde edilen simülasyon sonuçlarından görüleceği gibi sistemde kullanılan Yapay sinir ağı kontrolörler, PI kontrolöre göre yaklaşık 5 saniye daha hızlıdır. Bunun manası ; sistemde meydana gelebilecek herhangi bir yük değişiminde yapay sinir ağı kontrolör değişimi kısa sürede fark edecek ve çok kısa bir sürede sistemi istenilen değere tekrar getirecektir. Bu da çalışmada istenilen sonuçtur.



Şekil 3.17 Tek bölgeli sistem ve NARMA-L2 kontrolörü



Şekil 3.18 NARMA-L2 kontrolörüne ait simülasyon

Sistemde, yapay sinir ağı kontrolörler kullanılarak yapılan bu çalışmada, MATLAB programında NN Kontrolör olarak kullanılan Model Referans Kontrolör ve NARMA-L2 kontrolörleri kullanılmıştır. Bu kontrolörlerin çalışması hakkında kısaca bilgi verilmesi, yapılan kontrolün anlaşılmasında yararlı olacaktır.

Model Referans Kontrolörü referans girişi ve güç sistem çıkışı (frekans hatası) olmak üzere iki girişe sahiptir. Ayrıca Model Referans Kontrolörü kendi içinde birbirine bağlı NN kontrolör ve NN santral olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. NN kontrolörde referans, sistem çıkışı ve kontrol sinyali (1) olmak üzere üç adet giriş vardır. NN santralde ise NN kontrolör çıkışı ve sistem çıkışı olmak üzere iki giriş vardır. NN kontrolüne gelen girişler, NN kontrolör içinde ayrı ayrı durum uzay denklemleriyle işlenerek ve gerekli fonksiyonlardan ve işlemlerden geçirilerek kontrolör çıkışı olur. NN santral içinde aynı işlemler yapılarak elde edilen sonuç yani NN santral çıkışı, Model Referans Kontrolörünün çıkışı olur.

NARMA-L2 kontrolörü ise referans ve güç sistem çıkışı (frekans hatası) olmak üzere iki girişe sahiptir. Güç sistem çıkışı ve NARMA-L2 nin çıkış geri beslemesi, durum uzay denklemleriyle işlenerek, gerekli fonksiyonlardan ve işlemlerden geçirilerek referans girişiyle aynı işlemlere tabi tutularak çıkışa gönderilir ve bu NARMA-L2 nin çıkışı olur.

4. SONUÇ

Güç sistemlerinde ilk olarak, sistemin modellenmesi yapılmış, bu modelde kullanılan bölümler incelenmiş ve çalışma sistemleri anlatılmış, tek bölgeli ve iki bölgeli sistemlerde yük-frekans kontrolü için Birincil ve İkincil kontrol yapılmıştır. Yapay sinir ağları konusunda genel bir özet yapılarak incelenen güç sisteminde yapay sinir ağı kontrolörler kullanılmıştır. Sonuçta PI kontrolör ve Yapay sinir ağı kontrolörlerin sistem çıkışları incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Bu inceleme ve karşılaştırma sonucunda yapay sinir ağı kontrolörlerin, PI kontrolöre göre çok daha hızlı olarak sistemde oluşan değişimlere tepki verdiği ve hataları düzelttiği görülmüştür. Bu nedenle PI kontrolörlerin artık görevlerini tamamladıkları kendinden çok daha iyi çalışan kontrolörlere öncü olarak yapmış oldukları hizmetin bittiği söylenebilir. Yapılan denemeler sonucunda, bu çalışmada kullanılan yapay sinir ağı kontrolörleri karşılaştırsak, yapay sinir ağı Model Referans Kontrolörün çıkışı, yapay sinir ağı Narma L2 kontrolöre göre daha iyidir. Bunun sebebi ise Model Referans Kontrolöründe sistemin eğitilerek daha iyi sonuç vermesidir. Sistem ne kadar çok eğitilirse çıkacak sonuçta o kadar iyi olacaktır. Bu sistemlerde sinir ağları zamanda geri yayılım kullanılarak adapte edilmiştir. Daha ileriki zamanlarda yapılacak araştırmalar, güç sistemlerinde yük-frekans kontrolü için çok bölgeli sistemlerde değişik bölgelerin bağımsız sinir ağlarıyla yapılması üzerine yoğunlaşmalıdır. Bu sayede sistemin kontrolü merkezi olmayacak ve güç sistemlerinin farklı noktalarında ihtiyaç duyulacak bilgi miktarı da azalacaktır.

KAYNAKLAR

1. C. Zobi, Yük-Frekans Kontrolünün incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (1996).
2. M. Keskin Kılıç, Güç Sistemlerinde Frekans Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, (1996).
3. G. Akalın, Güç Sistemlerinde Yük-Frekans Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, (2000).
4. M.K. El-Sherbiny, G. El-Saady, A. M. Yousef, Efficient Fuzzy Logic Load-Frequency Controller, Energy Conversion and Management 43, 1853-1863, (2002).
5. X. Meng, Q. Gong, L. Feng, W. Zheng, W. Zhang, PI Fuzzy Sliding Mode Load Frequency Control of Multiarea Interconnected Power Systems, Proceedings of the 2003 IEEE, (2003).
6. E. Yeşil, M. Güzelkaya, İ. Eksin, Self Tuning Fuzzy PID Type Load and Frequency Controller, Energy Conversion and Management 45, 377-390, (2004).
7. E. Çam, İ. Kocaarslan, Load-Frequency Control in Two Area Power Systems Using Fuzzy Logic Controller, Energy Conversion and Management, Accepted Paper, (2004).

8. E. Özdemirci, Bir Elektrik Güç Sisteminde Yük-Frekans Kontrolü İncelemesi ve Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, (2002).
9. A.P.S. Meliopoulos, Power System Modeling, Analysis and Control, Copyright Marcel Dekker Inc., 10-61, (2002).
10. M. Uluer, Güç Sistem Stabilizörlerine Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, (2001).
11. A. Demirören, Application of a Self-tuning to Automatic Generation Control in Power System Including SMES Units, ETEP Vol.12.No.2, 101-108, (2002).
12. A. Abdennour, Adaptive Optimal Gain Scheduling for the Load Frequency Control Problem, Electric Power Components and Systems, Taylor & Francis, 30:45-56, (2002).
13. H.L. Zeynelgil, A. Demirören, N.S. Şengör, The application of ANN technique to automatic generation control for multi-area power system, Electrical Power and Energy Systems 24, 345-354, (2002).
14. E. Öztemel, Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık, (2003).
15. Ö. Efe, O.Kaynak, Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları, Boğaziçi Üniversitesi, (2000).

16. Ç. Elmas, Yapay Sinir Ağları, Seçkin Yayıncılık, (2003).
17. H. Akpınar, Yapay Sinir Ağları ve Kredi Taleplerinin Değerlendirilmesinde Bir Uygulama Önerisi, I.Ü. İşletme Fakültesi Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı, (1993).
18. H.L.Zeynelgil, A.Demirören, N.S.Şengör, Load-Frequency Control for Power System with Reheat Steam Turbine and Governor Deadband Non-linearity by Using Neural Network Controller, ETEP Vol. 12, No 3, 179-183, (2002).
19. F.Beaufays, Y.Abdel-Magid, B.Widrow, Application of Neural Networks to Load-Frequency Control in Power Systems, Neural Networks, Vol. 7, No. 1, 183-194, (1994).
20. A.Demirören, H.L.Zeynelgil, N.S.Şengör, The Application of ANN Technique to Load-frequency control for Three-area Power System, 2001 IEEE Porto Power Tech Conference , (2001).
21. P.M. Anderson, A.A. Fouad, Power System Control and Stability, IEEE Pres Power Systems Engineering Series, New York, (1993).
22. P.Kundur, Power System Stability and Control, EPRI PSE Series, McGraw Hill, New York, 581-627, (1994).
23. O.P.Malik, A.Kumar, G.S.Hope, A Load Frequency Control Algorithm Based on a Generalized Approach, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.3, No:2, 375-382, (1988).

24. D.P.Popovic, S.V.Mijailovic, An Efficient Methodology for the Analysis of Frequency Control of Electric Power Systems, Electric Power and Energy Systems, Vol.22, 331-341, (2000).
25. A.P.Meliopoulos, J.Cokkinides, A.G.Bakitzis, Load Frequency Control Service in a Deregulated Environment, Decision Support Systems 24, 243-250, (1999).
26. İ.Yüksel, Matlab ile Mühendislik Sistemlerinin Analizi ve Çözümü, Vipaş A.Ş., Bursa, (2000).
27. A.J.Wood, B.F.Wollenberg, Power Generation, Operation and Control, John Wiley and sons, 328-361, (1984).
28. O.Elgerd, Electric Energy System Theory, 2.edition, McGraw Hill, (1982).
29. D.Nyugen, B.Widrow, Neural Networks for Self Learning Control Systems, IEEE Control System Magazine, 18-23, (1990).
30. H.Bevrani, A Novel Approach for Power System Load Frequency Controller Design, IEEE, (2000).
31. V.B.Rao, C++ Neural Networks and Fuzzy Logic, IDG Boks Worldwide Inc., (1995).
32. H.N.Koivo, Neural Networks: Basics Using MATLAB Neural Network Toolbox, (2000).