

156900

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

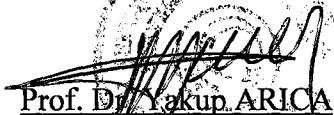
MAKİNA ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

GÜÇ SİSTEMLERİNDE YENİ KONTROL YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI

ERTUĞRUL ÇAM

Haziran 2004

Fen Bilimleri Enstitü Müdürünün onayı

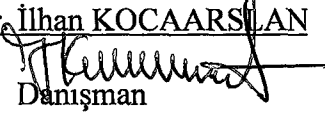

Prof. Dr. Yakup ARICA
Müdür

Bu tezin Doktora tezi olarak Makine Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.


Prof. Dr. Veli CELİK

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumuzu ve Doktora tezi olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarız.


Prof. Dr. İlhan KOCAARSLAN
Danışman

Jüri Üyeleri:


Prof. Dr. İlhan KOCAARSLAN



Prof. Dr. Cengiz TAPLAMACIOĞLU




Prof. Dr. Erdem YAZGAN



Doç. Dr. Şerafettin EREL



Yrd. Doç. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU



ÖZET

GÜÇ SİSTEMLERİNDE YENİ KONTROL YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI

ÇAM, Ertuğrul

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Anabilim Dalı, Doktora Tezi

Danışman : Prof. Dr. İlhan KOCAARSLAN

Haziran 2004, 74 sayfa

Bu tezde, öncelikle klasik kontrol yöntemi olan PI kontrolör ile tek ve iki bölgeli bir güç sisteminin yük–frekans çıkış karakteristiğinin kontrolü simülasyon yapılarak MATLAB 6.0-Simulink yazılımıyla incelenmiştir. Sistemin çalışma yapısının yanında, kullanılacak olan programında nasıl işlediği görülmüştür. Sonrasında sistemin yük-frekans kontrolü, uzman sistemler olarak ta bilinen bulanık mantık kontrol tekniği ile incelenmiş ve ek olarak kazancı bulanık mantık ile ayarlanmış bir PI kontrolörle de sistem kontrol edilerek geleneksel kontrol teknikleri ile uzman kontrol tekniklerinin hem karşılaştırılmaları yapılmış, hem de beraber kullanımının yararları incelenmiştir.

Gelecekte yapay sinir ağları kontrol tekniği ile de aynı sistemin kontrolünün yapılması düşünülmekte ve metotların karşılaştırılması ileride bu alanda çalışma

yapacak araştırmacılara önerilmektedir. Bu çalışmada, gerçekleştirilen simülasyonların akış şemaları ve sonuçları karşılaştırılmalı olarak bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İki bölgele elektriksel güç sistemi, yük-frekans kontrolü, bulanık mantık kontrolör, PI kontrolör.



ABSTRACT

APPLICATION OF NEW CONTROL TECHNIQUES TO POWER SYSTEMS

ÇAM, Ertuğrul

Kırıkkale University

Graduate School Of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering, Doctorate Thesis

Supervisor : Prof. Dr. İlhan KOCAARSLAN

JUNE 2004, 74 pages

In this study, initially a conventional PI control technique was investigated for load-frequency control (LFC) in a single and a two area electrical power system with MATLAB 6.0-Simulink software. Hence, besides the power system operation conditions, the software has been investigated. Following, advanced control techniques were applied to the systems. Fuzzy logic control technique was chosen for this purpose. Additionally, a fuzzy gain scheduling PI controller was used for LFC in the systems. Comparison between conventional and advanced control techniques has been made in the power systems.

As a future, an artificial neural Networks controller may be applied to this systems. This is especially recommended for the researchers who are studied

related to this subjects. All the simulation results and block diagrams were given in this research.

Key Words: Two area electrical power system, Load-frequency control, Fuzzy logic controller, PI controller.



TEŞEKKÜR

Bu alıŐmayı yapmamda bilgi, tecrube ve yonlendirmeleri ile daima desteklerini gorduğum danışman hocam Prof. Dr. İlhan KOCAARSLAN'a, alıŐmam sırasında her turlu destek gorduğum arkadaşlarım Öğr. Grv. Murat LUY, Yard. Doç. Dr. Ata SEVIN ve Yard. Doç. Dr. Osman YILDIZ'a, yardımlarından ve yol gostermelerinden dolayı Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU'na ve emegi geçen diğer mesai arkadaşlarıma, çalıŐmam suresince desteklerini benden esirgemeyen ve sıkıntılı gunlerimde yanımdan hiç eksilmeyip destekleyen eŐime ve biricik kızım Cemre'me, ayrıca beni akademi dunyasına girmem için teŐvik eden babama ve anneme teŐekkuru bir borç bilirim.

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ω	Açısal hız
α	Açısal ivme
δ	Generatör faz açısı
T_T	Makinenin net ivmelenme momenti
T_m	Türbin tarafından makineye verilen mekanik moment
T_e	Generatör tarafından makineye verilen elektriksel moment
P_T	Net ivmelenme gücü
P_{TP}	Planlanan net ivmelenme gücü
P_m	Mekanik güç girişi
P_e	Elektriksel güç çıkışı
P_{ip}	Ünite-i'de istenen güç çıkışı
P_{it}	Ünite-i'nin taban gücü
P_{fi}	Katılım faktörü
S_n	Ünitenin MW olarak taban gücü
I_e	Mutlak hata integrali
I	Makinenin eylemsizlik momenti
M	Makinenin açısal momentumu
D	Yük Sönüm Sabiti
$\Delta\omega$	Açısal hızdaki değişim (rad/sn)
Δf	Frekans değişimi

ΔP_L	Frekansa duyarlı yük değişimi
ΔP_D	Frekansa duyarlı yük değişimi
T_g	Hız regülatörü zaman sabiti
T_h	Tahrik ünitesi zaman sabiti
T_t	Türbin zaman sabiti
T_p	Yük zaman sabiti
K_G	Hız denetleyici yükselteç kazancı
P_{hat12}	1. ve 2. bölgeler arasındaki bağlantı hattından iletilen güç
ΔP_{hat12}	1. ve 2. bölgeler arasındaki bağlantı hattından iletilen net güç değişimi
δ_1	1. bölgenin hat sonu gerilimine ait faz açısı
δ_2	2. bölgenin hat sonu gerilimine ait faz açısı
f_1	1. bölge frekansı
f_2	2. bölge frekansı
T_{12}	Eşzamanlılık katsayısı
K_P	Oransal kontrolör ve yük kazancı
K_t	Türbin kazancı
K_h	Denetleyici kazancı
K_I	İntegral kontrolör kazancı
R	Hız ayar karakteristiğinin eğimi (Hz/MW)
f_o	Nominal frekans
H	Atalet sabiti
a_{12}	İki kontrol bölgesi arasındaki transfer fonksiyonu

β	Bölge frekans cevap karakteristiği
B	Frekans yönelim faktörü
T_i	İntegral zaman sabiti
V_i	İ.ci bölge hat sonu gerilimi
X_{12}	1. ve 2. bölge arasındaki iletim hattının eşdeğer reaktansı

ODH	Otomatik Denetim Hatası
OÜD	Otomatik Üretim Kontrolü
LFC	Yük-Frekans Kontrolü



ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

2.1	Mekanik ve Elektriksel Güç ile Hız Değişimi Arasındaki İlişki.....	14
2.2	Hız-Moment Transfer Fonksiyonu.....	15
2.3	Dönen Kütle ve Yükün (a) İndirgenmemiş (b) İndirgenmiş Blok Diyagramı.....	16
2.4	Çoklu Türbin-Jeneratör Sistem Blok Şeması.....	16
2.5	Tahrik Ünitesi Modeli	17
2.6	Birleştirilmiş Tahrik Ünitesi, Jeneratör ve Yük Modeli.....	17
2.7	Basit Denetleyici Blok Şeması.....	18
2.8	Geri Besleme Çevrimli Hız Denetleyici.....	19
2.9	Hız Denetleyici Sisteminin Matematiksel Modeli.....	20
2.10	Hız Regülatör Ayar Karakteristiği.....	21
2.11	Denetleyici, Hız Regülatörü ve Dönen Kütlelerin Matematiksel Modeli.....	22
2.12	Güç Sistemlerinde Bağlantı Hattının Matematiksel Modeli.....	25
2.13	İki Bölge Bağlantılı Güç Tevzi Alanlarında Yük-Frekans Kontrolüne Uygun Model.....	26
2.14	Batı Avrupa Bağlantılı Güç Tevzi Ağında Ani Yük Değişiminde Oluşan Frekans Profili.....	28
2.15	Üretim Birimine Eklenmiş İkincil Kontrol.....	29
2.16	İki Bölge Sistem İçin Bağlantı Hattı Frekans Kontrolü Şeması.....	31
2.17	İki Bölge Sistem İçin Bağlantı Hattı Kutuplu İkincil Kontrol.....	33
2.18	Basit Bir Üretim Kontrol Çevrimi Blok Şeması.....	35
2.19	Otomatik Denetim Hatası Hesaplaması.....	36
3.1	Tek Bölge Güç Sisteminin Blok Şeması.....	37

3.2.	Jeneratörün Hız Regülasyon Karakteristiği.....	38
3.3.	ΔP_L 'lik Bir Yük Artışı İçin Jeneratörün Hız-Regülasyon Karakteristiği.....	39
3.4.	Hız Regülatörünün Blok Şeması.....	40
3.5.	Hız Regülatörünün Yük-Frekans Kontrolüne Uygun Blok Şeması.....	41
3.6.	Hız Regülatörünün Servo Motor aracılığı ile Yük-Frekans Kontrolüne Uygun Blok Şeması.....	41
3.7.	Çok Bölgeli Güç Sistemine Örnek; Üç Bölgeli Güç Sistem Blok Şeması.....	43
3.8.	Tek Bölgeli Güç Sistemi Blok Şeması ($\Delta P_L=0.01$ p.u.).....	44
3.9.	Tek Bölgeli Güç Sisteminde PI Kontrolör ile Yük-Frekans Kontrolü Çıkışı ($\Delta P_L=0.01$ p.u.).....	46
3.10.	Tek Bölgeli Güç Sistemi İçin Kullanılan BMPI Kontrolörün Üyelik Fonksiyonları a) ODH ; b) ΔODH ; c) K_p, K_i	49
3.11.	Tek Bölgeli Güç Sisteminde BMPI Kontrolör ile Yük-Frekans Kontrolü Çıkışı ($\Delta P_L=0.01$ p.u.).....	50
3.12.	İki Bölgeli Güç Sistemi İçin PI Kontrolörlü Güç Sistem Çıkışı (df1).....	52
3.13.	İki Bölgeli Güç Sistemi İçin PI Kontrolörlü Güç Sistem Çıkışı (df2).....	52
3.14.	Basit Bir Bulanık Mantık Kontrolörün Blok Şeması.....	53
3.15.	İki Bölgeli Güç Sisteminin Yük-Frekans Kontrolünde Kullanılan BM Kontrolör İçin Üyelik Fonksiyonları a) ODI ; b) ΔODI ; c) K_p, K_i	54
3.16.	İki Bölgeli Güç Sistemi İçin BM Kontrolörlü Güç Sistem Çıkışı (df1).....	55
3.17.	İki Bölgeli Güç Sistemi İçin PI Kontrolörlü Güç Sistem Çıkışı (df2).....	55
3.18.	BMPI Kontrolör Blok Şeması.....	57
3.19.	İki Bölgeli Güç Sistemi İçin BMPI Kontrolörlü Güç Sistem Çıkışı (df1).....	58
3.20.	İki Bölgeli Güç Sistemi İçin BMPI Kontrolörlü Güç Sistem Çıkışı (df2).....	58

3.21. İki Bölge Güç Sistemi İçin BMPI Kontrolörlü Güç Sistem Çıkışının Büyütülmüş Hali (df1).....	59
4.1. Tek Bölge Güç Sistemi İçin PI ve BMPI Kontrolör Sonuçları.....	61
4.2. Tek Bölge Güç Sistemi İçin PI ve BMPI Kontrolör Sonuçlarının Büyütülmüş Hali.....	61
4.3. İki Bölge Güç Sistemi İçin Tüm Kontrolörlerin Güç Sistem Çıkışının Karşılaştırılmaları (df1).....	63
4.4. İki Bölge Güç Sistemi İçin Tüm Kontrolörlerin Güç Sistem Çıkışının Karşılaştırılmalarının Büyütülmüş Hali (df1).....	64



ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

3.1.	Tek Bölgeli Güç Sisteminin Parametreleri.....	45
3.2.	Tek Bölgeli Güç Sistemi İçin Kullanılan BMPI Kontrolörün Kural Tablosu.....	48
3.3.	İki Bölgeli Güç Sisteminin Yük-Frekans Kontrolünde Kullanılan BM Kontrolör İçin Kural Tablosu.....	53
4.1.	Tek Bölgeli Güç Sisteminde Sistem Performanslarının PI ve BMPI Kontrolörler İçin Tablo Gösterimi.....	62
4.2.	İki Bölgeli Güç Sistemi İçin Sonuçların Tablo Gösterimi.....	64
4.3.	Mutlak Hata İntegralleriyle Kontrolörlerin Performans Karşılaştırılmaları.....	65

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	XII
İÇİNDEKİLER	XIII
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür İnceleme.....	6
2. MATERYAL ve YÖNTEM.....	11
2.1. Yük Frekans Kontrolü.....	11
2.2. Jeneratör Modeli.....	12
2.3. Yük Modeli.....	15
2.4. Tahrik Ünitesi Modeli.....	17
2.5. Denetleyici Modeli.....	18
2.6 Bağlantı Hattı Modeli.....	23
2.7. Bir Güç Sisteminin Yük-Frekans Kontrolüne Uygun Modeli.....	25
2.8. Otomatik Üretim Kontrolü.....	28
2.8.1. İkincil Kontrol Hareketi.....	29
2.8.2. Bağlantı Hattı Kontrolü.....	29
2.8.3. Üretim Paylaşımı.....	34
2.9. Otomatik Üretim Denetimi Uygulamaları.....	35
3. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	37

3.1. Tek Bölgele Yük-Frekans Kontrolü.....	37
3.1.1. Hız Regülatörü.....	38
3.2. İki Bölgele Güç Sistemlerinde Yük-Frekans Kontrolü.....	42
3.3. Simülasyon Sonuçları.....	44
3.3.1. Tek Bölgele Güç Sistemi.....	44
3.3.1.1. Tek Bölgele Güç Sisteminin PI Kontrolör ile Yük-Frekans Kontrolü.....	45
3.3.1.2. Tek Bölgele Güç Sisteminin Kazancı Bulanık Mantıkla Ayarlanmış PI Kontrolör ile Yük-Frekans Kontrolü.....	47
3.3.2. İki Bölgele Güç Sistemi.....	50
3.3.2.1. İki Bölgele Güç Sisteminin Geleneksel PI Kontrolör ile Yük-Frekans Kontrolü.....	51
3.3.2.2. İki Bölgele Güç Sisteminin Bulanık Mantık Kontrolör ile Yük-Frekans Kontrolü.....	53
3.3.2.3. İki Bölgele Güç Sisteminin BMPI Kontrolör ile Yük-Frekans Kontrolü.....	56
4. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	60
4.1 Tek Bölgele Güç Sistemi İçin Kontrolörlerin Karşılaştırılması.....	60
4.2 İki Bölgele Güç Sistemi İçin Kontrolörlerin Karşılaştırılması.....	62
4.3 Sonuçlar.....	66
KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	74

1. GİRİŞ

Çevresel duyarlılığın arttığı, enerji tüketiminin had safhaya ulaştığı günümüzde, elektrik üretimi de günden güne artan bir öneme sahip olmuştur. Diğer taraftan, elektrik enerjisinin depolanamaması nedeniyle değişen tüketici taleplerinin cevaplanması da güçleşmiştir. Bu nedenlerden dolayı, tüketicinin ihtiyacı olan enerjiyi, her zaman vermek ve bunu kontrol altında tutmak elektriksel güç sistemlerinin başlıca problemlerinden biri haline almıştır. Tüketimin sürekli değişken olması ve ayrıca tüketim miktarının tahmin edilememesi gibi sebepler de problemin büyümesine neden olmuştur. Bu durumda, üretim tüketim dengesizliğinden dolayı ortaya frekans ve güç akış sapmaları çıkmıştır. Bir elektriksel güç sisteminde çevrim basit olarak şu aşamalarla izah edilebilir. Öncelikle kimyasal enerji (yakıt), ısı enerjisine dönüşerek buhar olarak türbine verilir. Türbinde bu enerji mekanik enerjiye dönüşür ve bir jeneratör yardımı ile elektrik enerjisi elde edilir. Ancak, çevrim işlemleri sırasında büyük enerji kayıpları oluşmaktadır. Bu nedenle sistem istenilen verimde çalışmamaktadır. İstenilen verim değeri sistemin sabit buhar basıncında sabit bir ısı enerjisi vermesi ile mümkündür. Bunun için sistemin kontrol edilmesi gereklidir.

Güç sistemleri ayrık olarak çalışıyorlarsa, yani başka bir sistemle bağlantıları yoksa, sadece frekansın kontrolü yetmektedir. Ancak bu sistemlerin arıza nedeniyle devreden çıkmaları durumunda tüketicinin de enerjisi kesilmektedir. Zaten bu tür sistemlerin taban güç miktarları küçük olduğu için sistemdeki ani değişen yük miktarı küçük bile olsa frekanstaki

değişim büyük olmakta ve sistem çabucak devreden çıkabilmektedir. Çünkü büyük sistemlerde yük değişimi, sistem frekansını çok fazla değiştirmemektedir. Örneğin, ABD ile Kanada arasında var olan çok bölgeli sistemde 3000 MW'lık ani bir yük değişimi, frekans değişimini 0.1 Hz'den daha az etkilerken, 1000 MW kapasiteli küçük bir sistemde ki 300 MW'lık yük değişiminin yapacağı frekans sapması çok daha fazla olmakta ve uzun vadede sistemin çökmesine neden olmaktadır. Bahsedilen bu sistem eğer 100000 MW'lık, çok bölgeli bir elektriksel güç sisteminin parçası olsaydı, bu durumda oluşacak sapma %33 yerine %0.3 olacak ve sistem komşu bölgelerden gereksinim duyduğu gücü karşılayarak çökmekten kurtulacaktır. Ayrıca bölgelerde tutulması gereken rezerv güç ihtiyacı da azalacaktır. Bu noktada, problemin çözümü için çok bölgeli elektriksel güç sistemleri önerilmektedir. Birçok bölgeden meydana gelen büyük güç sistemlerine bağlantılı güç sistemleri denilmektedir. Büyük ulusal ve uluslararası elektriksel güç sistemleri birbirine hatlarla bağlanarak önce ulusal ve sonra uluslararası bağlantılı güç tevzi ağ yapısını oluşturmaktadırlar.

Bu tür sistemlerde sistemin frekans çıkış değeri bellidir. 50 veya 60 Hz genelde dünyada kullanılan frekans değerleridir. Ancak güç sistemlerinin birbiriyle yaptıkları güç alışveriş değerleri önceden belirlenen bir kontrata göre yapılmaktadır. Böylece, verimli ve optimum bir bağlantılı güç tevzi ağ yapısına sahip olunmaktadır. Bağlantılı güç sisteminin tüm avantajlarını aşağıdaki şekilde yazabiliriz:

1. Aşırı yük değişimlerini azaltırlar,

2. Ortak rezerv oluşturulduğu için ani yük değişimlerinde rezerv azlığı ile karşılaşmazlar,
3. Etkin güç kullanımını sağlayarak ekonomik enerji elde edilmesini sağlarlar,
4. Enerjilerin ortak kullanımı sırasında hidrolik ve ısı enerjisinin optimum kullanılmasını sağlarlar,
5. Ayrık sistemlerde oluşan ani yük değişimlerinin tüm bağlantılı güç tevzi sisteminden gelen destekle çabuk çözülmesini sağlarlar.

Yukarıda belirtilen hususlardan da görüleceği gibi, bağlantılı güç sisteminin öncelikli görevi sistemde olan tüm ani değişimlere anında cevap vermek ve sistemi sürekli izlemektir. Bu arada sistemde bazı işlemler yapılmaktadır. Bunlar; öncelikle hata oluşur oluşmaz makinelerdeki manyetik enerji ile hatlardaki endüktif ve kapasitif elemanların ilk enerjilerini kullanarak mikro saniyeler mertebesinde sisteme müdahale eder ve sistemdeki değişimin minimize edilmesini sağlar. İkinci olarak kinetik enerjiden (jeneratörler) yararlanarak, ağ frekansını azaltır ve sistemdeki tüm türbin giriş vanalarının açılmasını sağlar. Böylece birincil kontrol çevrimine de başlamış olur. Birincil kontrol çevrimi saniyeler mertebesinde yapılmaktadır. Birincil hız kontrolünde yükün değiştiği güç sistemine bakılmaksızın aktif güç değişimi yapılır. Bu kontrol sırasında güç çıkışı tüm bölgelerde aşırı bir artma gösterebilir. Ancak, bu işlemle sistem frekansının giderek düşmesi ve hatta ünitenin devre dışı kalması önlenmiştir. Devamında daha yavaş olan ikincil kontrol çevrimi başlayacaktır. Bu çevrim sırasında sistemde birincil kontrol çevriminden kalan tüm hataların ortadan kaldırılması sağlanmaktadır. Bu işlem de dakikalar içerisinde olmaktadır. Son olarak sistemlerde bulunan

rezervler devreye girerek sistemin sürekliliği sağlanacaktır. Bu işlem ise saatler alan bir işlemdir.

Yapılacak tezde, iki bölgeli bağlantılı güç sistemlerinin yük-frekans kontrolü ele alınacaktır. Bu amaç için, bölgeler arasında akan gücün dengeli olmasına ve ani yük değişimleri sırasında oluşacak olan frekans değişimlerinin bir kontrol tekniği ile istenen anma değere getirilmesine çalışılacaktır. Yukarıdaki paragrafta bahsedildiği gibi, frekans kontrolü temelde iki farklı kontrol çevrimi ile gerçekleştirilmektedir^(1,2). Birincil hız kontrolünde frekans kabaca sabitlenmekte ancak hata sıfırlanmamaktadır. İkincil hız kontrolünde ise, destekleyici bir başka kontrol tekniği ile sistem frekans hatasının sıfır yapıldığı yukarıdaki paragrafta anlatılmıştır⁽³⁾. Destekleyici kontrol yöntemi olarak bu zamana kadar bir çok kontrol teknikleri denenmiştir. Bunlardan başlıcaları; oransal-integral (PI) kontrol tekniği⁽⁴⁾, bulanık mantık kontrol tekniği⁽⁵⁾, yapay sinir ağları kontrol tekniği⁽⁶⁾, ve değişken yapıli kontrolör⁽⁷⁾ olarak sayılabilir. Bütün bu kontrol işlemleriyle, her üretim biriminin en ekonomik şekilde tüm bağlantılı sisteme katılması sağlanmaktadır. Buna ekonomik paylaşım kontrolü de denilmektedir⁽¹⁾.

Bağlantılı güç tevzi alanlarının yük-frekans kontrol problemleri, tek alanlı sistemlerin kontrol problemlerinden daha önemlidir⁽²⁾. Çünkü günümüzde, birçok güç sistemi bağlantılı güç tevzi olarak birbirine bağlanarak yük-frekans kontrol problemini hep birlikte aşmaya çalışmışlardır. Böylece karşılıklı yardımlaşma ile problemi daha kolay çözmektedirler. Ayrıca bölgelerde tutulması gereken rezerv güç ihtiyacı da azalacaktır⁽⁷⁾.

Bütün bu yararları göz önüne alınarak günümüzde bağlantılı güç tevzi sistemlerin yük–frekans kontrolü önemli olmaya başlamış ve son zamanlarda özellikle yukarıda belirtilen uzman kontrol sistemleri kullanılarak bu işlemin başarıml süresi önemli derecede azaltılmıştır.

Bu tezde iki bölgeli güç sistemlerinde önceden denenmiş olan geleneksel kontrol tekniklerinin güç sistemleri gibi yüksek dereceli, doğrusal olmayan ve zamana bağılı yapılarından dolayı sistem frekans sapmalarını hızlı kontrol edemediği göz önünde tutularak, kazancı bulanık mantık ile ayarlanmış yeni bir PI kontrolör tasarlanmış ve yük frekans kontrolünde sistem frekansının daha hızlı oturması sağlanmıştır.

Tezde birinci bölümde güç sistemlerine bir giriş yapılarak çeşitli terim ve kavramlar genel olarak verilmiş ve bu konuda yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir. İlk olarak güç sistemlerinin gelişiminden ve gereklerinden bahsedilerek bağlantılı güç tevzi sistemlerine olan ihtiyaç açıklanmıştır. İkinci bölümde tezde kullanılacak olan elektriksel güç sisteminin dinamiklerinden bahsedilerek modellerin çıkarılışı anlatılmıştır. İlk olarak yük-frekans kontrolü ve formülleri verilmiş ve daha sonra sırasıyla jeneratör, yük, tahrik ünitesi, denetleyici ve bağlantı hattının modelleri çıkarılmıştır. Ayrıca bir güç sisteminin yük-frekans kontrolüne uygun modeli çıkarılarak, otomatik üretim kontrolü açıklanmıştır. Üçüncü bölümde tek ve iki bölgeli güç sistemi kavramı üzerinde durularak sistemlerde yapılacak olan yük-frekans kontrolünün nasıl yapılacağı detaylı anlatılmıştır. Ayrıca bu bölümde, tek bölgeli ve iki bölgeli güç sistemi için Matlab 6.0-Simulink yazılımında kurulan güç sistemlerinin simülasyonları yapılmış, sonuçları kaydedildi. Dördüncü ve son bölümde ise

simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması yapılarak hangisinin neden daha üstün olduğu hakkında tartışmalar yapıldı. Bu bölümden sonra kullanılan kaynaklar yazılarak tez bitirilmiştir.

1.1. Literatür İnceleme

G.A. Chown ve R.C. Hartman tarafından yapılan çalışmada⁽⁸⁾, ikincil kontrol çevrimi esas alınarak Eskom Ulusal Kontrol bölgesinde 25 kurallı bir bulanık mantık uygulaması yapılmıştır. Sonuçlar geleneksel kontrolörlerle karşılaştırılmıştır.

Q. P. Ha ile H. Trinh yaptıkları çalışmada⁽⁹⁾, yük frekans kontrolü için değişken yapılı kontrolör ile bir bulanık mantık kontrolörü birleştirmiştir. Bunu iki ve dört bölgeli bağlantılı güç sistemleri için uygulamışlar. Sonuçları geleneksel PI ile karşılaştırmışlardır.

C.S. Chang, Weihui Fu ile yaptığı çalışmada⁽¹⁰⁾, bir geleneksel PI kontrolörün parametreleri bulanık mantık teorisi ile ayarlanarak dört bölgeli bağlantılı güç sisteminin yük-frekans kontrolünü sağlamıştır.

J. Talaq ve arkadaşlarının çalışmalarında⁽¹¹⁾, kazancı bulanık mantık ile bulunan bir geleneksel PI kontrolör ile iki bölgeli bağlantılı güç santralının yük frekans kontrolü araştırılmıştır. 49 kural kullanılmış. Sonuçlar geleneksel integral kontrolörle karşılaştırılmıştır.

Q. P. Ha ile H. Trinh yaptıkları diğer bir çalışmada⁽¹²⁾, iki bölgeli ve dört bölgeli bağlantılı güç santrallerinde yük frekans kontrolünü sağlamaya çalışmışlardır. Bu amaçla değişken yapılı anahtarlanmış PI kontrolör,

geleneksel integral kontrolör ve kazancı bulanık mantıkla ayarlanmış değişken yapılı PI kontrolör ile karşılaştırılmıştır.

G. Kurt yaptığı çalışmada⁽¹³⁾, iki bölgele bağlantılı güç santralının yük frekans kontrolü için SSPS (Solid – State Phase Shifter) ile SMES (Superconducting Magnet Energy Storage) birimlerini sisteme eklemiş ve sonuçları bu birimler olmadan almış olduğu sonuçlarla karşılaştırmış.

G. Kurt'un bir diğer çalışmasında⁽¹⁴⁾ ise, iki bölgele bağlantılı güç sistemi için 49 kural tabanlı bir kazancı bulanık mantıkla ayarlanmış PI kontrolör tasarlanmış ve sisteme uygulanmıştır.

Y.H. Moon ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada⁽¹⁵⁾ ise, geliştirilmiş integral kontrolör üzerine bir bulanık mantık uygulaması ile tek bölgele bir güç sistemi için gerekli bulanık kurallar çıkarılmış ve sonuçlar elde edilip yorumlanmıştır.

R. Ramirez ve K. Y. Lee tarafından yapılan çalışmada⁽¹⁶⁾, bir endüstriyel proses üzerine uygulanan kazancı bulanık mantıkla ayarlanmış geleneksel PID kontrolör tartışılmıştır.

Benzer bir çalışmayı H. Kazemian⁽¹⁷⁾, 81 bulanık mantık kurallı bir PID ile gerçeklemiştir.

Y.L. Karnavas ve D.P. Papadopoulos yaptıkları çalışmada⁽¹⁸⁾, 81 kurallı bulanık mantık kontrolör ve bir yapay sinir ağı kontrolör ile tek bölgele güç sisteminde yük frekans kontrolü yapmışlardır.

Benzer bir çalışmayı⁽¹⁹⁾ S.K. Tso ve arkadaşları yapmışlardır. Sistemin kontrolü için sadece yapay sinir ağları kullanmışlar ve sonuçları incelemişlerdir.

Bir geliştirilmiş yapay sinir ağları kontrolörünü ise A.P. Birch ve arkadaşları yük frekans kontrolü için yapmışlar ve bunu çalışmalarında⁽²⁰⁾ gerçek zamanlı bir güç sistemine uygulamışlardır.

T. Hiyama ve arkadaşları yapay sinir ağlarına dayalı modelledikleri governor-türbin sistemini içeren çalışmalarında⁽²¹⁾, sistemin daha doğru çalıştığını göstermişlerdir.

Vinod Kumar çalışmasında⁽²²⁾, otomatik üretim kontrolü için zeki kontrolörler kullanmış. Bu amaçla yapay zeka, bulanık mantık, yapay sinir ağları ve hibrit bulanık sinir ağları ile yapılan kontrolörleri ayrı ayrı sistemde deneyip karşılaştırmıştır.

A. Demirören ve arkadaşları yaptıkları çalışmada⁽²³⁾, üç bölge bağlantılı güç santralinde yük frekans kontrolünü zaman içinde geriye yayımlı yapay sinir ağları ile yapmışlardır. Sonucu geleneksel integral kontrolör ile karşılaştırmışlardır.

R. A. Shoureshi ve arkadaşları ise güç sistemindeki değişen yüklerin ve bilinmeyen yüklerin kontrolünde yapay sinir ağlarını baz alan bir çalışma⁽²⁴⁾ yapmışlardır. Böylece gereksiz bazı kontrollerden kurtulduklarını söylemişlerdir.

P. Dangprasert ve V. Avatchanakorn'un çalışmasında⁽²⁵⁾, genetik algoritmaları ve zeki kontrolörleri sistem parametrelerini değiştirmek amaçlı kullanmışlar ve sonuçta verimli bir yük frekans kontrolü sağlamışlar.

H.L. Zeynelgil ve arkadaşları yaptıkları çalışmada⁽²⁶⁾, bir buhar türbini için yapay sinir ağlarını kullanarak governor için doğrusal olmayan ölü bölge elde etmişler ve buradan yola çıkarak yük frekans kontrolü yapmışlardır.

Yine aynı kişiler başka bir çalışmalarında⁽²⁷⁾, çoklu bölge güç sistemleri için yapay sinir ağlarını kullanmışlar. Yöntem olarak zaman içinde geriye yayılım algoritması seçilmiştir.

D.K. Chatuverdi, P.S. Satsangi ve P.K. Karla tarafından yapılan çalışmada⁽²⁸⁾ ise yük frekans kontrolüne genel bir yapay sinir ağı yaklaşımı yapılmış. Çalışmada genel sinir yapıları geliştirilerek tek bölgeli bir güç sistemi için sonuçlar alınarak integral kontrolör ile karşılaştırılmıştır.

S.K. Aditya ile D. Das tarafından yapılan çalışmada⁽²⁹⁾, bir bağlantılı güç sisteminde yük frekans kontrolü yapmak için enerji depolanması uygulaması yapılmıştır. Böylece ani güç değişimlerini karşılamak düşünülmüştür.

G. Ray ve arkadaşları ise büyük ölçekli güç sistemleri için sağlam bir yük frekans kontrolü yapmak için yeni bir yaklaşımda bulunmuştur⁽³⁰⁾. Bu amaçla uyumlandırma şartları ve Lyapunov kararlılık teorisi bir sağlam kontrolöre uygulanmıştır.

Y.H. Moon ve arkadaşları yaptıkları çalışmada⁽³¹⁾, üretim oranı kısıtlamaları düşünerek, geliştirilmiş bir integral kontrolör ile bir güç sisteminin yük frekans kontrolünü sağlamışlardır.

E.B. Shahrodi ve A. Morched'in yaptığı çalışmada⁽³²⁾, otomatik üretim kontrolündeki dinamik hareketteki doğrusal olmayan etkiler incelenmiş ve bu sırada bir PI kontrolör ile sistem kontrol edilmeye çalışılmıştır.

S.C. Tripathy ve arkadaşları bir buhar türbin sisteminin governoru için doğrusal olmayan ölü bölge olarak yük frekans kontrolündeki parametreleri uygun hale getirmeye çalışmışlardır⁽³³⁾.

Y. Wang, R. Zhou ve C. Wen'in yaptıkları çalışmada⁽³⁴⁾, bir güç sisteminin kontrolü için Riccati denklemine dayanan sağlam bir kontrolör dizayn edilmiştir.

N. Jaleli ve arkadaşları otomatik üretim kontrolünü anlamaya yönelik genel bilgiler veren bir çalışma yapmışlardır⁽³⁵⁾.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Yük-Frekans Kontrolü

Bir güç sisteminin kararlı çalışabilmesi için frekansın sabit kalması gerekmektedir. Bu da ancak güç dengesi ile mümkündür⁽⁷⁾. Burada bahsedilen güç dengesi, üretilen aktif güç ile aktif yükler, kayıplar ve sistemin bağlantı hatları üzerinde akan aktif güçlerin toplamının birbirine eşit olması durumudur. Denge bozulduğu anda frekansta sapmalar oluşmaya başlar. Örneğin üretim artarsa frekans artar ve üretim azalır ise frekans azalır. Bütün bunların ayarlanması için jeneratörlerin hız ayarlayıcısı olan türbinlerin kontrolü yapılmalıdır.

Bağlantılı güç sistemlerinin büyük olması istendiğinden, sistemin gruplar halinde incelenmesi daha yararlıdır. Bunun için sistem kohorent jeneratör gruplarına ayrılmalıdır. Kohorent jeneratör grubu, elektriksel özellikleri (frekans ve gerilim değerleri) birbirine yakın olan jeneratör grubundan oluşmaktadır⁽³⁶⁾.

Yük-frekans kontrol incelemelerinde her koherent gruba alan denilir. Her alan kendi yük değişimini kontrol etmek zorundadır. Sistem olarak bir bağlantılı güç sistemine bağlı ise, frekans kontrolünün yanında bağlantı hatlarından akan güç dengesinin de kontrol edilmesi gerekmektedir⁽¹⁾. Bütün bu yapılan işlemlere yük-frekans kontrolü denmektedir.

Tüm üretim birimlerinde hız regülatörleri vardır. Bunlarla birincil kontrol yapılmaktadır. Ancak sadece yük değişiminin olduğu birimlerde üretim

değişikliği yapmak için, ikincil hız kontrolünün kullanılmasının gerektiği giriş bölümünde anlatılmıştı. Sürekli değişen sistem yüküne cevap olarak jeneratör aktif güç çıkışlarının da sürekli değişmesi gerekmektedir. Böylece sadece frekansın sabitlenmesi ile kalınmayıp ayrıca tüm alanların gerekli değişimleri paylaşımları ile, minimum maliyetle çalışmaları da sağlanmış olur.

Bundan sonra, sistemde kullanılacak tüm elemanların tek tek, bilgisayar simülasyonuna uygun modelleri çıkarılacaktır.

2.2. Jeneratör Modeli

Buhar türbini ile harekete geçirilen jeneratör, iki zıt momente sahip büyük bir kütle olarak düşünülebilir⁽³⁷⁾. Mekaniksel moment T_m dönüş hızının artmasını sağlarken elektriksel moment T_e buna zıt olarak hızın azalmasına çalışır. Bu iki moment eşit olduğunda dönüş hızı $w = w_0$ olur. Elektriksel yük arttırıldığında T_e , T_m 'den daha büyük olur ve jeneratör yavaşlar. Bu durumda sistemi yeniden hızlandırmak gerekmektedir. Tersisi durumda da jeneratör hızlanır ve yavaşlatılması gerekmektedir. Bütün bunlar güç sistemlerinde sürekli olan durumlardır. Çünkü tüketici talebi sürekli değişmektedir.

Bundan sonra yapılacak tüm işlemler sırasında, açısal hız ve faz açısı hariç tüm değerler birim değer (pu) olarak ifade edilecektir. Formüllerde kullanılacak olan anma değerler veya sürekli durum değerleri alt indis olarak derece işareti "o" kullanılarak gösterilecektir. Ayrıca sapmalarda Δ işareti kullanılacaktır.

Kullanılacak bazı temel formüller aşağıda verilmiştir.

$$I \cdot \alpha = T_T \quad (2.1)$$

$$M = I \cdot w \quad (2.2)$$

$$P_T = w \cdot T_T = w \cdot (I \cdot \alpha) = M \cdot \alpha \quad (2.3)$$

Başlangıçta bir tek dönen makine olduğunu ve bu makinenin sürekli durum hızının, w_o , ve faz açısının, δ_o , olduğunu kabul edelim. Çeşitli mekaniksel ve elektriksel bozulmalardan dolayı makinede T_e ve T_m farklılaşacaktır. Yani hızlanma ya da yavaşlama görülecektir. Bu da makineyi zorlayacaktır. Burada hız sapması, Δw , ve faz açı sapması, $\Delta \delta$, ile ilgilenilecektir. Hızlanma durumunda makinenin hızı,

$$w = w_o + \alpha t \quad (2.4)$$

ise,

$$\Delta \delta = \int (w_o + \alpha t) dt - \int w_o dt = w_o t + (1/2) \alpha t^2 - w_o t = (1/2) \alpha t^2 \quad (2.5)$$

olur. Anma açısal hızdan sapma Δw ise,

$$\Delta w = \alpha t = (d / dt) (\Delta \delta) \quad (2.6)$$

olarak bulunabilir. Faz açısı sapması, hız sapması ve net ivmelendirme momenti arasındaki ilişki ise,

$$T_T = I \alpha = I (d/dt)(\Delta w) = I (d^2 / dt^2)(\Delta \delta) \quad (2.7)$$

olur.

$$P_T = P_m - P_e \quad (2.8)$$

olarak sürekli durumdaki toplam net gücü buluruz. Sapma terimi için;

$$P_T = P_{T_o} + \Delta P_T = (P_{m_o} - P_{e_o}) + (\Delta P_m - \Delta P_e) \quad (2.9)$$

$$T_T = (T_{m_o} - T_{e_o}) + (\Delta T_m - \Delta T_e) \quad (2.10)$$

ise (2.3) eşitliğinden

$$P_T = wT_T = P_{T_0} + \Delta P_T = (w_0 + \Delta w)(T_{T_0} + \Delta T_T) \quad (2.11)$$

bulunur. (2.10) ve (2.11) eşitliklerinden;

$$(P_{m_0} - P_{e_0}) + (\Delta P_m - \Delta P_e) = (w_0 + \Delta w)[(T_{m_0} - T_{e_0}) + (\Delta T_m - \Delta T_e)] \quad (2.12)$$

elde edilir. Sürekli durumdaki $P_{m_0} = P_{e_0}$ ve $T_{m_0} = T_{e_0}$ eşitliklerinden yararlanarak ve ayrıca ΔT_m , ΔT_e ile Δw çarpımını da ihmal edersek;

$$\Delta P_m - \Delta P_e = w_0 (\Delta T_m - \Delta T_e) \quad (2.13)$$

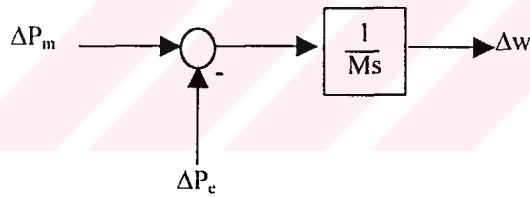
halini alır. (2.7) ve (2.10) eşitliklerinden net torkun hız ile değişimi ilişkisi;

$$(T_{m_0} - T_{e_0}) + (\Delta T_m - \Delta T_e) = I (d / dt) (\Delta w) \quad (2.14)$$

olarak elde edilebilir. Aynı eşitlik sürekli durum için;

$$\Delta P_m - \Delta P_e = w_0 I (d / dt) (\Delta w) = M (d / dt) (\Delta w) \quad (2.15)$$

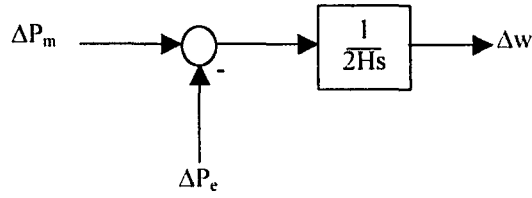
halini alır. Bu eşitliğin blok diyagramla ifade edilişi aşağıda Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Mekanik ve elektriksel güç ile hız değişimi arasındaki ilişki

Hız ile moment arasındaki transfer fonksiyonu $M=2H$ alınarak çıkarılır

⁽³⁸⁾. Bu Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Burada H , atalet sabitidir ve birimi MW-sn/MVAR'dır.



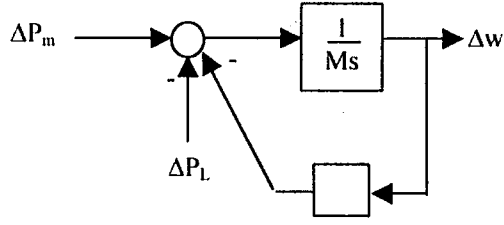
Şekil 2.2. Hız – Moment transfer fonksiyonu

2.3. Yük Modeli

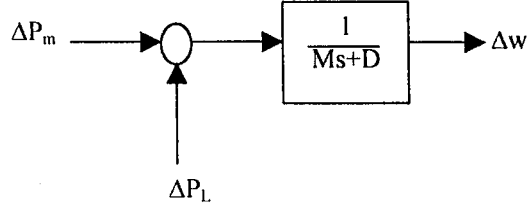
Güç sistemlerinde yükler çok farklı şekillerde olabilir. Aydınlatma ve ısıtma gibi omik yükler için güç, frekanstan bağımsızdır. Motor gibi hızı değişen elemanların ise güçleri frekanstan bağımsız değildir. Elektriksel yükün çoğunu motor yükleri oluşturduğu için, sistemdeki net yük çıkarımında frekans değişiminin etkisinin bir modele ihtiyacı vardır. Yük ile frekans arasındaki bağıntıyı aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$\Delta P_e = \Delta P_L + D \Delta w \quad (2.16)$$

Burada ΔP_L , frekansa duyarsız yük değişimini, $\Delta P_D = D \cdot \Delta w$, frekansa duyarlı yük değişimini ve "D" yük-sönüm sabitini göstermektedir. Sönüm sabiti, verilen yüzde yük değişimi için frekansta oluşan yüzde değişimdir. Tipik değeri %1-2 civarındadır. %1,5'lük bir yük değişiminde %1'lik bir frekans değişimi varsa $D = 1,5$ olur. D'nin değerini etkileyen bir etken de temel güç (MVA) değeridir. Yük sönüm etkisi ile sistemin yeni hali Şekil 2.3 (a) ve (b)'de gösterilmiştir ⁽³⁹⁾.



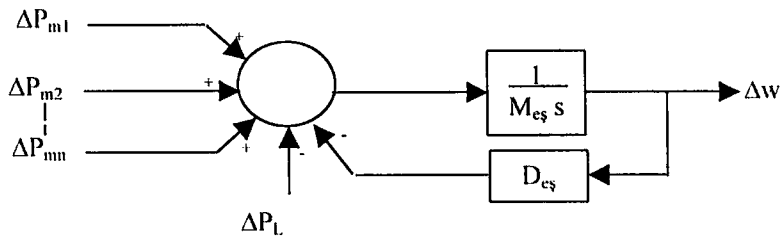
(a)



(b)

Şekil 2.3. Döner kütle ve yükün (a)İndirgenmemiş (b) İndirgenmiş blok şeması

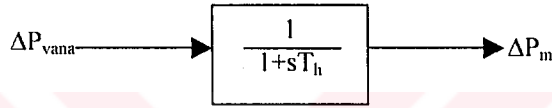
Eğer iki ya da daha fazla jeneratör, bir iletim sistemi ağına bağlanırsa, frekans değişimlerinin analizinde ağa karşı faz açısı farkı göz önünde bulundurulmalıdır. Fakat, denetleyici analizinde frekansı, tüm bağlantılı güç tevzi sistemi için sabit alabiliriz. Bu tür kabullerle yeni durumun blok diyagramı Şekil 2.4'deki gibi olur.



Şekil 2.4 Çoklu-türbin-jeneratör sistem blok şeması

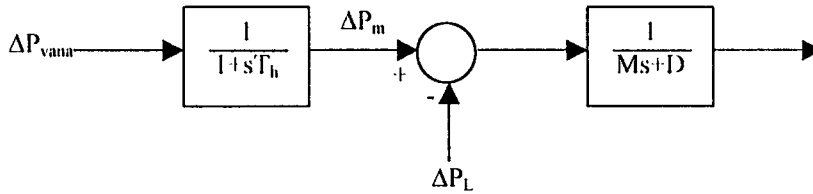
2.4. Tahrik Ünitesi Modeli

Tahrik ünitesi bir buhar türbininde yada bir hidro türbinde, bir jeneratörü süren kısımdır. Buhar türbini için tahrik ünitesi modeli çıkarılırken buhar kaynağı ve boiler kontrol sistem karakteristikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Hidro türbinler için, suyun geçtiği borunun karakteristiği göz önüne alınmalıdır. Burada basit bir tahrik ünitesi modeli çıkarılıp, ön ısıtmasız türbinlerde kullanılacaktır. Ön ısıtmasız türbin modeli aşağıda görülmektedir.



Şekil 2.5. Tahrik ünitesi modeli

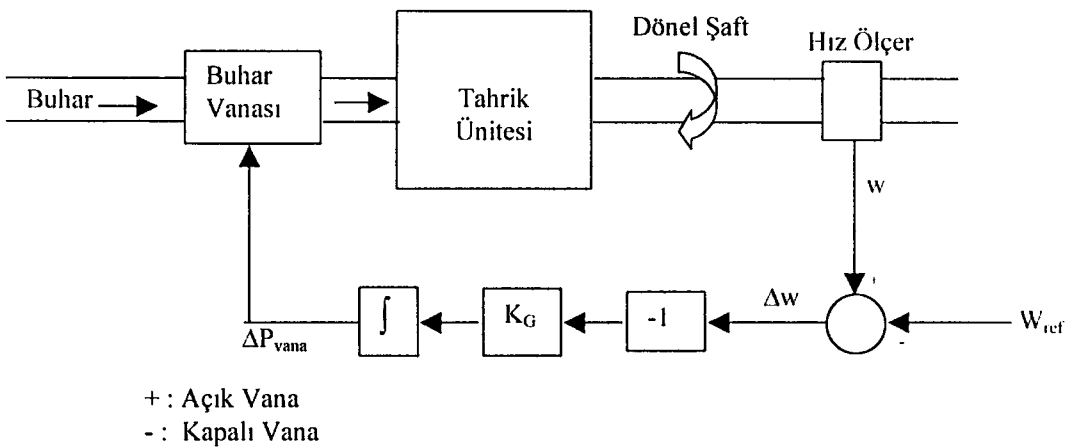
Burada T_f ünitenin zaman sabitidir. Birleştirilmiş tahrik ünitesi, jeneratör, yük modeli tek üretim birimi için Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Birleştirilmiş tahrik ünitesi, jeneratör ve yük modeli

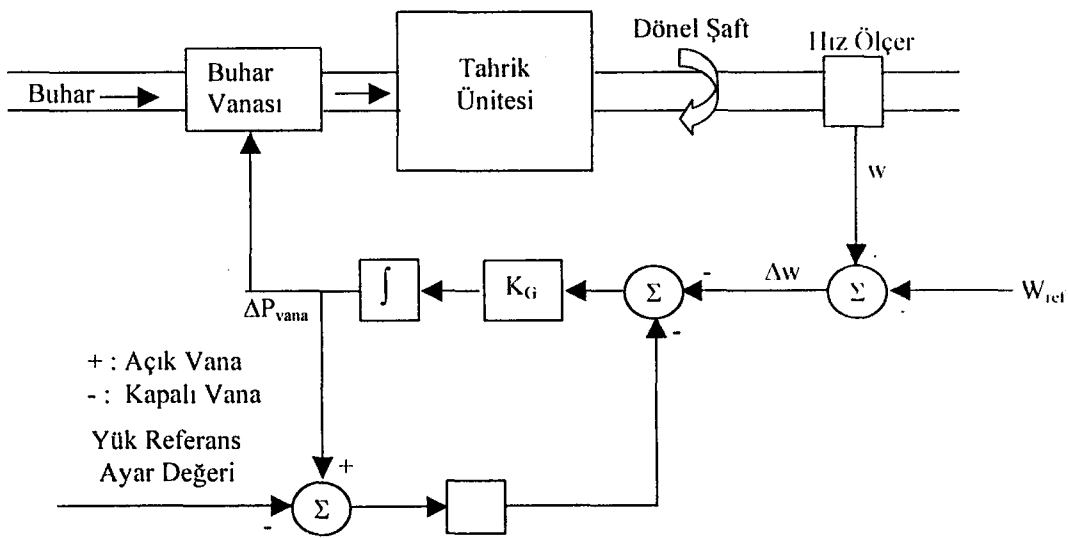
2.5. Denetleyici Modeli

Türbinden sabitlenmiş, mekaniksel çıkışla çalışan bir üretim birimi düşünelim. Herhangi bir yük değişiminin sonucunda hız değişimi de olacaktır. Bu hız değişimi, frekansa duyarlı yükün yük değişimini karşılayabilecek yeterlikte olacaktır. Bu şartlar sistemin kabul edilebilir sınırlar dışına sürüklenmesine neden olacaktır. Bu durumdan kurtulmak için sisteme denetleyici eklenir. Böylece makine hızı sezilerek frekansı anma değerine çekmek, yük değişimini karşılayabilecek mekanik güç çıkış değişikliğini yapmak gibi işler denetleyiciyle yapılabilir. Modern denetleyiciler hız değişimlerini sezmek için elektronikten yararlanmaktadırlar. Vana pozisyonu ise hidrolik olarak ayarlanmaktadır. Basit denetleyicilerde (Şekil 2.7), frekansı anma değerine getirmek için giriş vanası ayarlanır. Eğer hız ölçerden vanaya basit bir bağlantı kurulursa, frekans asla anma değere dönmez. Frekans hatasını sıfır yapmak için reset işlemi yapılmalıdır. Bunun için, hatanın integralinin alınması gerekmektedir.



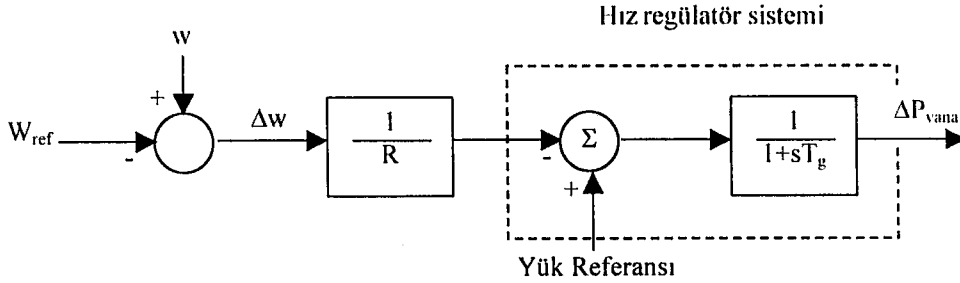
Şekil 2.7. Basit denetleyici blok şeması⁽²⁾

İki veya daha fazla jeneratör birbirine elektriksel olarak bağlandığında basit denetleyici kullanılamaz. Çünkü her jeneratör diğerine karşı çalışarak sistem hızını kendi hız değerine getirmeye çalışacaktır. Bu durumda jeneratör çıkışının farklı değerlerinde hız hatasını sıfır yapacak bir geri besleme sinyali ile denetleyici desteklenmelidir. Yeni durumun blok diyagramı Şekil 2.8'de gösterilmektedir ⁽⁴⁰⁾. Şekil 2.8'de bir hız denetleyici mekanizması görülmektedir. Hız ölçüm aletinin çıkışı, w , referans hızla, w_{ref} , karşılaştırılarak bir Δw hata sinyali elde edilmektedir. Δw negatifleştirilerek K_G kazancına sahip bir yükselteç tarafından yükseltilmekte ve daha sonra bir integratörle integrali alınarak bir kontrol sinyali olan ΔP_{vana} elde edilmektedir. Δw negatif ise buhar vanası açılır. Eğer makine referans hızda çalışırken elektriksel yük artarsa, w hızı w_{ref} 'in altına düşer ve Δw negatif olur. Kazanç hareketi ve integratör buhar vanasını açar ve türbinin mekaniksel çıkışı arttırılmış olur. $w = w_{ref}$ olduğunda buhar vanasını yeni pozisyonunda kalarak artan elektriksel yükü türbin jeneratörünün karşılamasını sağlar.



Şekil 2.8. Geribesleme çevrimli hız denetleyici

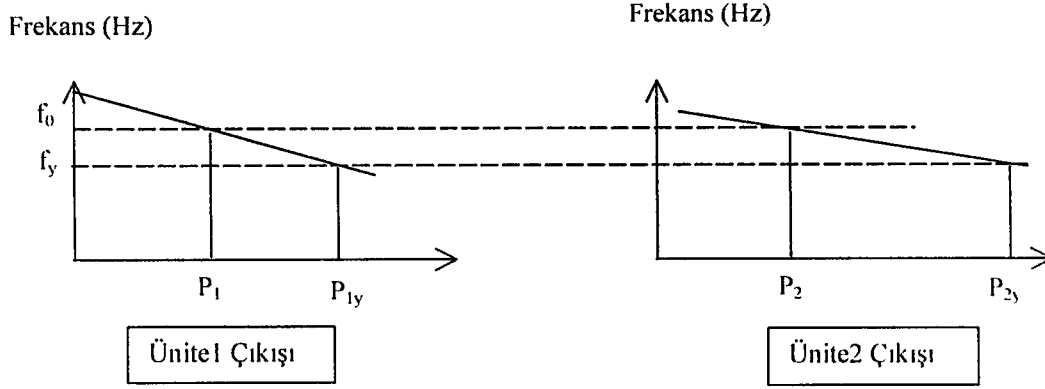
Şekil 2.8'deki yeni denetleyicinin matematiksel modeli aşağıda Şekil 2.9'da verilmiştir. Burada zaman sabiti T_g ve net kazanç $1/R$ 'dir. R değeri denetleyici karakteristiğinin eğimini verir. Yani R , frekans değişiminde ünitenin çıkışının değişimini tanımlar. R değeri % 0-100 arasında alınabilir.



Şekil 2.9. Hız denetleyici sisteminin matematiksel modeli

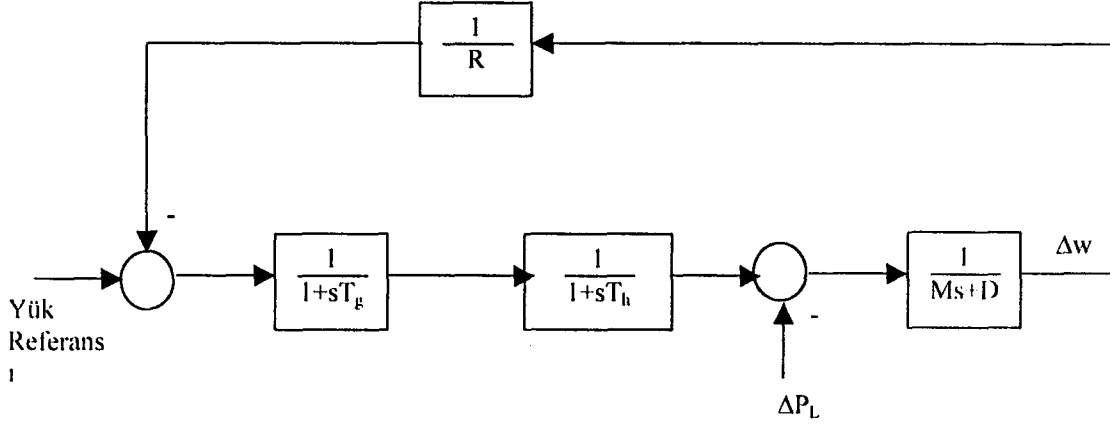
Üretim birimine uygulanan temel kontrol girişi, üretim kontrolünde olduğu gibi yük referans ayar değeri ile ilgilidir. Her ünitedeki bu değer ayarlanarak istenen ünite dağılımı sağlanabilir. Bu arada da sistem frekansı, istenen anma frekans değerine yakın değerde tutulabilir. Şekil 2.9'da gösterilen yük referans girişi değiştirilerek jeneratörün denetleyici karakteristiği, herhangi istenen ünite çıkışındaki referans frekansa ayarlanabilir. Bu durum aşağıda Şekil 2.10'da görülmektedir. Şekil 2.10'daki hız regülatör karakteristiğinde, f_0 anma frekansından çalışmaya başlayan iki üniteye bir yük artışı meydana geldiğinde ünitelerin frekanslarındaki düşme görülmektedir. Bu durumda denetleyiciler ortak çalışma frekansı f_y 'ye ulaşana kadar çıkışlarını arttırmaya devam ederler. Her üniteye yük artışının değeri onun hız regülatör karakteristiğinin eğimi ile orantılıdır. Ünite-1, P_1 gücünden P_{1y} gücüne kadar çıkışını arttırırken, Ünite-2, P_2 gücünden P_{2y} gücüne kadar

arttırmaktadır. Böylece net üretim artışı yük değişim miktarına eşitlenmiş olmaktadır.



Şekil 2.10. Hız regülatör ayar karakteristiği

Sürekli durumdaki ΔP_{vana} değişiminin 1,0 pu olması için, R_{pu} değeri kadar $\Delta \omega$ frekansında değişim istenir. Ünite regülasyonu her zaman yüzde olarak alınır. Örneğin %3 denetim regülasyonu, vana pozisyonu %100 değiştiğinde %3'lük frekans değişimi isteniyor demektir. Böylece R'yi; frekans değişiminin güç değişimine oranından bulabiliriz. Artık denetleyici-hız regülatörü-dönen kütle (yük) modeli kurulabilir. Bunun matematiksel modeli Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Denetleyici, hız regülatörü ve dönen kütlenin matematiksel modeli

Buradaki jeneratöre birim basamak bir yük artışı yapıldığını düşünelim.

$$\Delta P_L(s) = \frac{\Delta P_L}{s} \quad (2.17)$$

bunu gösterebiliriz. Şekil 2.11'den

$$\Delta w(s) = \Delta P_L(s) \left[\frac{-1}{Ms + D} \right] \left[\frac{1}{1 + \frac{1}{R} \left(\frac{1}{1 + sT_G} \right) \left(\frac{1}{1 + sT_{CH}} \right) \left(\frac{1}{Ms + D} \right)} \right] \quad (2.18)$$

elde edilir. Sürekli durum $\Delta w = \lim_{s \rightarrow 0} [s \Delta w(s)]$ 'den bulunursa, eşitlik (2.18);

$$\Delta w(s) = \frac{-\Delta P_L \left(\frac{1}{D} \right)}{1 + \left(\frac{1}{R} \right) + \left(\frac{1}{D} \right)} = \frac{-\Delta P_L}{\frac{1}{R} + D} \quad (2.19)$$

ve bu eşitlikteki $D=0$ alınırsa, hız değişimi $\Delta w = -R \Delta P_L$ olarak bulunmuş olur.

Eğer birden fazla jeneratör sisteme bağlı ise;

$$\Delta w = - \frac{\Delta P_L}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} + D} \quad (2.20)$$

olarak bulunacaktır.

2.6. Bağlantı Hattı Modeli

İletim hatları boyunca güç akışı, DC yük akış metodu kullanılarak modellenenebilir. Hatlardaki kayıplar ihmal edilirse iki hat arası gücü aşağıdaki gibi yazabiliriz.

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

Burada;

V_1 : 1. bölge hat sonu gerilimi

V_2 : 2. bölge hat sonu gerilimi

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

δ_1 : 1. bölge için hat sonu gerilimine ait faz açısı

δ_2 : 2. bölge için hat sonu gerilimine ait faz açısı

olarak alınmıştır. Ayrıca;

$$V_1 = |V_1|e^{j\delta_1}, V_2 = |V_2|e^{j\delta_2} \quad (2.22)$$

olarak alınmıştır. Eğer faz açılarının ilk değerlerinden bir sapma olursa, bağlantı hattı gücünde değişiklik meydana gelecektir. Yeni durum için oluşacak farkı aşağıdaki gibi yazabiliriz;

$$\Delta P_{hat12} = \frac{\partial P_{hat12}}{\partial (\delta_1 - \delta_2)} (\Delta \delta_1 - \Delta \delta_2) \quad (2.23)$$

Böylece ;

$$\Delta P_{hat12} = \frac{|V_1||V_2|}{X_{12}} \cos[\delta_1(0) - \delta_2(0)] (\Delta \delta_1 - \Delta \delta_2) \quad (2.24)$$

olarak bulunmuş olur. Frekanstaki sapma, Δf , açıdaki sapma ile bağlantılı olarak ifade edilirse,

$$\Delta f = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} (\delta(0) + \Delta\delta) = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} (\Delta\delta) \quad (2.25)$$

ya da tersi bir ifade ile açıdaki sapma;

$$\Delta\delta = 2\pi \int_0^t \Delta f dt \quad (2.26)$$

olarak elde edilir⁽⁴¹⁾. Bağlantı gücündeki sapmanın, ΔP_{hat12} , frekanstaki sapma ile bağlantılı ifadesi ise şu şekilde yazılır;

$$\Delta P_{hat12} = T_{12} \left(\int \Delta f_1 dt - \int \Delta f_2 dt \right) \quad (2.27)$$

Bu formüldeki T_{12} eşzamanlılık katsayısıdır ve aşağıdaki gibi verilebilir;

$$T_{12} = 2\pi \frac{|V_1||V_2|}{X_{12}} \cos[\delta_1(0) - \delta_2(0)] \quad (2.28)$$

Bağlantı hattı gücündeki değişimin formülü eşitlik (2.24)'e Laplace uygulanırsa;

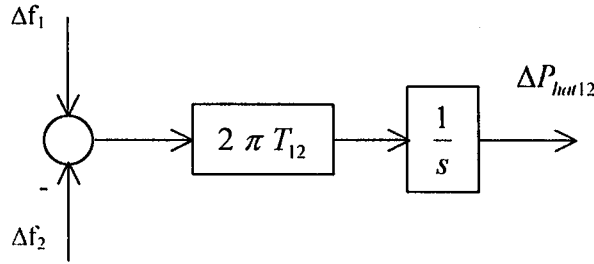
$$\Delta P_{hat12}(s) = \frac{T_{12}}{s} [\Delta F_1(s) - \Delta F_2(s)] \quad (2.29)$$

elde edilir. Referans (42)'ye göre toplam güç değişimi aşağıdaki gibi yazılır;

$$\Delta P_{hat12}(s) = \frac{1}{s} \sum T_{12} [\Delta F_1(s) - \Delta F_2(s)] \quad (2.30)$$

Bütün bu işlemler ile bağlantı hattının matematiksel modeli Şekil 2.12'de gösterilmiştir. Aşağıdaki şekilde tek bir iletim hattıyla bağlanmış, iki bölgesel bağlantılı güç sisteminin bağlantı hattı modeli görülmektedir. İletim hattındaki güç akışı pozitif yükten diğer bölgeye doğru gibi düşünülür. Ancak, akışın yönünün bölgeler arası nispi faz açısına bağlı olduğu, eşitlik (2.23)'te

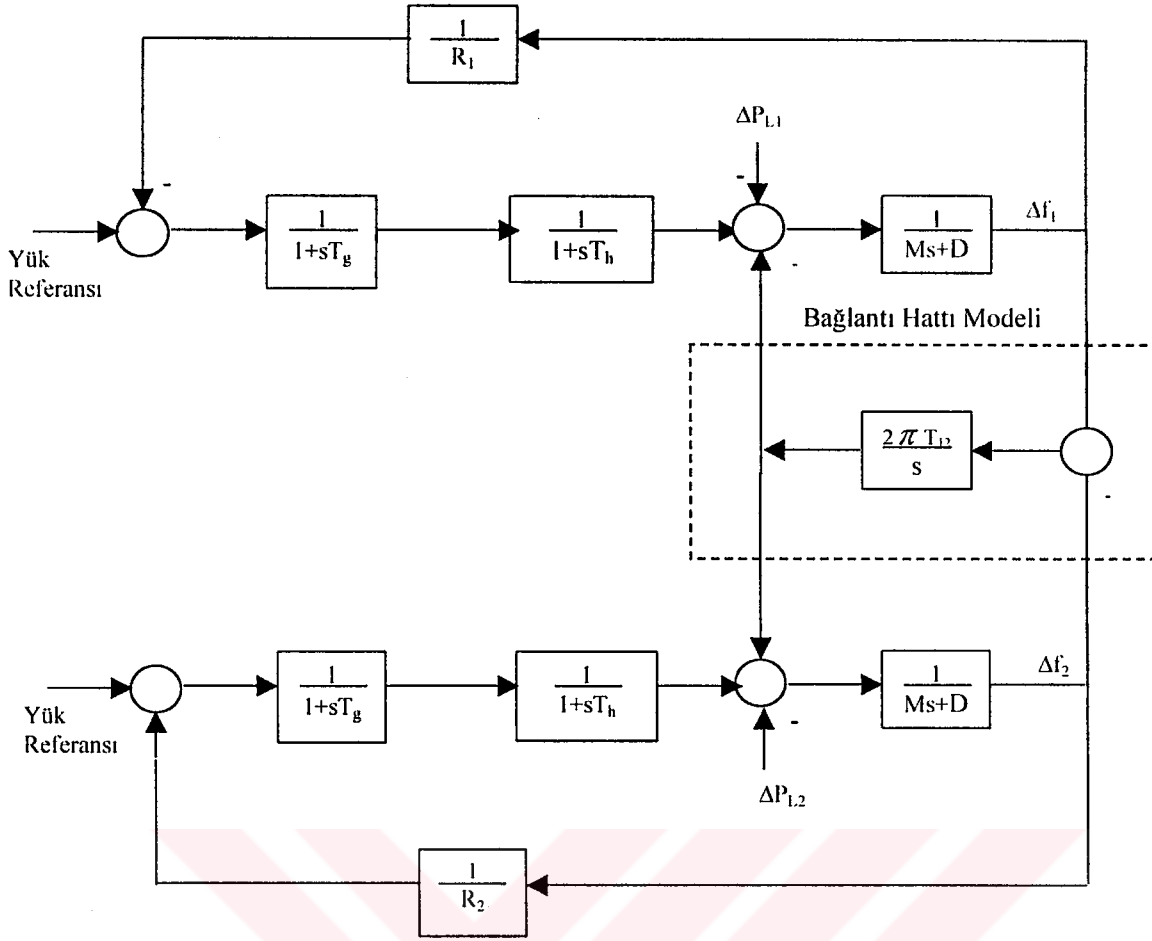
verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi iki bölgenin frekans sapması bir noktada toplanarak bağlantı hattına verilmekte ve eşitlik (2.30) gereğince hatta işlemler yapılarak çıkışta güç akış değişimi gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Güç sistemlerinde bağlantı hattının matematiksel modeli

2.7. Bir Güç Sisteminin Yük-Frekans Kontrolüne Uygun Modeli

Aşağıda Şekil 2.13.'de, modelleri çıkarılan yük, jeneratör, türbin, hız regülatörü ve bağlantı hattı devrelerinin blok şema olarak birleştirilmeleri ile elde edilen iki bölgeli bir güç santrali görülmektedir. Model yük-frekans kontrolüne uygun olarak blok şema haline getirilmiştir. Bu sistemde güç akışının bölge-1'den bölge-2'ye olduğu düşünülüyor. Bu yüzden, akış sanki yükten bölge-1'e akıyor ve güç kaynağından (negatif yük) bölge-2'ye akıyormuş gibi görünüyor. Eğer mekanik güçleri sabit kabul edersek, dönen kütleler ve bağlantı hattı sönümlü osilasyon karakteristiği (senkron osilasyon) gösterir. Bir yük değişiminden sonra bağlantılı sistemlerde, sürekli durum frekans sapması, bağlantı hattı akışı sapması ve jeneratör çıkışları analiz edilmelidir. Şimdi bölge-1'de ΔP_L yük değişimini var kabul edelim.



Şekil 2.13. İki Bölgele Bağlantılı Alanlarda Yük-Frekans Kontrolüne Uygun Model

Sürekli durumda tüm senkron sönmemiş osilasyonlardan sonra, frekans sabit olacak ve iki bölgede de aynı değere sahip olacaktır. O zaman ;

$$\Delta w_1 = \Delta w_2 = \Delta w \text{ ve } \frac{\partial(\Delta w_1)}{\partial t} = \frac{\partial(\Delta w_2)}{\partial t} = 0 \quad (2.31)$$

ve

$$\Delta P_m - \Delta P_{\text{hat}} - \Delta P_{L1} = \Delta w D_1$$

$$\Delta P_m - \Delta P_{\text{hat}} = \Delta w D_1$$

$$\Delta P_m = -\frac{\Delta w}{R_1} \quad (2.32)$$

$$\Delta P_m = -\frac{\Delta w}{R_2}$$

ise;

$$\begin{aligned} -\Delta P_{\text{hat}} - \Delta P_{L_1} &= \Delta w \left(\frac{1}{R_1} + D_1 \right) \\ + \Delta P_{\text{hat}} &= \Delta w \left(\frac{1}{R_2} + D_2 \right) \end{aligned} \quad (2.33)$$

veya sonuçta ;

$$\Delta w = \frac{-\Delta P_L}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + D_1 + D_2} \quad (2.34)$$

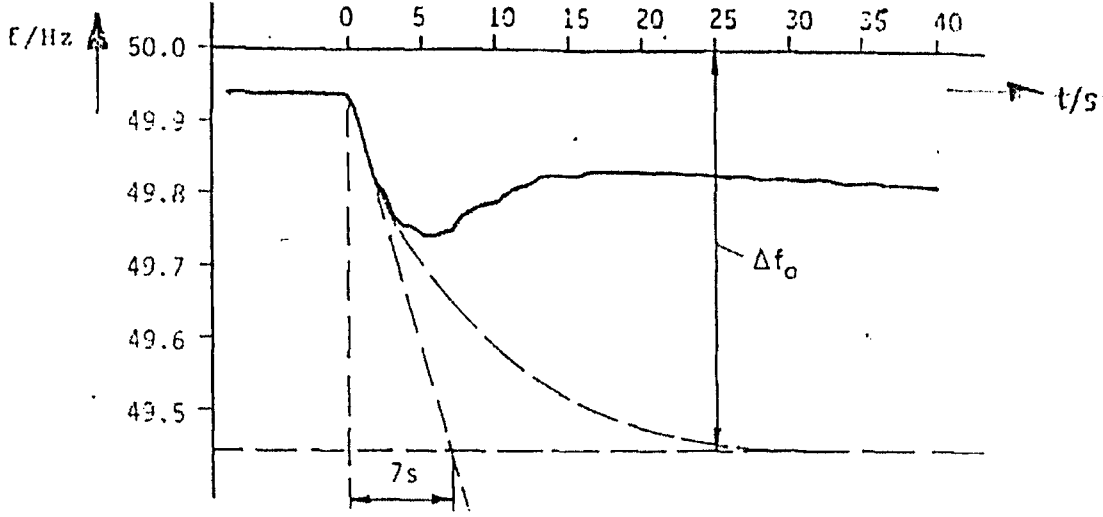
olur ve bağlantı hattı akışı değişimi de;

$$\Delta P_{\text{hat}} = \frac{-\Delta P_{L_1} \left(\frac{1}{R_2} + D_2 \right)}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + D_1 + D_2} \quad (2.35)$$

olarak bulunur. Bu yeni bağlantı hattı akışı her bölgedeki üretim ve güçteki net değişim tarafından hesaplanmaktadır.

Şekil 2.14'te Batı Avrupa bağlantılı güç sisteminde ani yük değişimi sırasında alınan frekans profili verilmiştir. Burada sisteme gelen ani yük artışı nedeniyle sistem frekansının hızla düşümü gözlenmektedir. Öncelikle manyetik enerjilerden yararlanarak sistemin frekansı azda olsa düzeltilmiş ve aşağı inmesi durdurulmuştur. Daha sonra devreye giren birincil ve ikincil kontrol çevrimi ile sistem dengeye getirilmeye çalışılmıştır. Burada bu kontrol

sistemleri devreye girmeseydi frekans ünitenin devre dışı kalmasına neden olacak kadar aşağı inerdi.



Şekil 2.14. Batı Avrupa Bağlantılı Güç Tevzi ağında ani yük değişiminde oluşan frekans profili

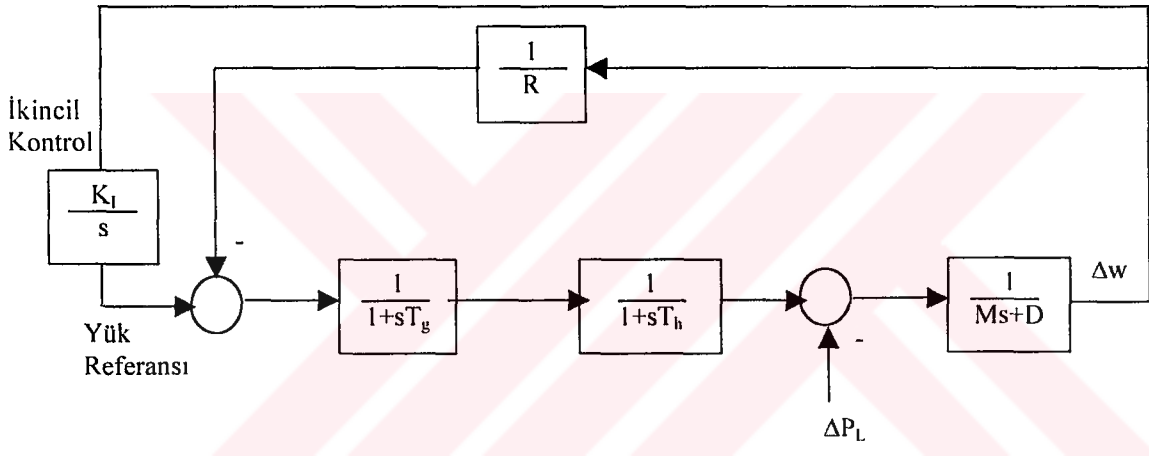
2.8. Otomatik Üretim Kontrolü

Otomatik üretim kontrolün (OÜK) üç temel amacı vardır;

- 1) Özelleştirilmiş anma frekans değerinde (60 Hz, 50Hz) frekansı sabit tutmak ya da bu değere yaklaştırmak,
- 2) Kontrol alanlarının aralarındaki güç değişim değerini doğru değerde tutmak,
- 3) Bağlantılı güç tevzi sistemine bağlı her ünitenin optimum üretim yapmasını sağlamak.

2.8.1. İkincil Kontrol Hareketi

Yukarıdaki amaçları değerlendirebilmek için önce bir ayırık sistemi ele alalım. Giriş bölümünde anlatıldığı gibi, yük değişimi olduğunda bir ikincil kontrol, frekansı eski anma değerine getirmeye çalışmaktadır. Bu işlem denetleyiciye bir reset (integral) elemanı eklemekle mümkün olmaktadır. Böylece frekans hataları sıfır olmaya zorlanarak hız referans ayar büyüklüğü istenilen değere getirilmektedir. Şekil 2.15'te ikincil kontrol yapılan bir ünite gösterilmektedir.



Şekil 2.15. Üretim birimine eklenmiş ikincil kontrol

2.8.2. Bağlantı Hattı Kontrolü

Bağlantılı güç sistemlerinin avantajlarından giriş bölümünde bahsedilmişti. İki güç sisteminin birbirine bağlanmasının temel iki nedeninin güç alış-verişinin sağlanması ve/veya bozulan frekansın eski değerine getirilmesi olduğu da giriş bölümünde söylenmişti. Buradaki iki sistemde de üretim ve güç karakteristiğinin eşit olduğunu ($R_1=R_2$; $D_1=D_2$) kabul edelim.

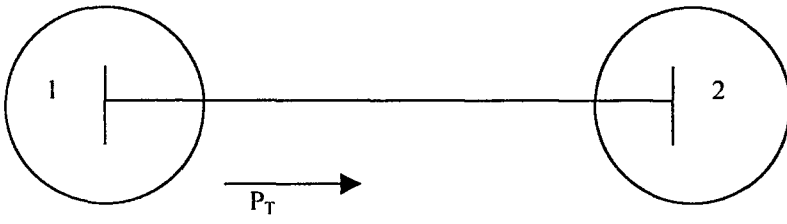
Ayrıca birinci güç sisteminden 100 MWlık bir gücün ikinci sisteme aktarıldığını kabul edelim. Bağlantılı sistemde olan ani 30 MWlık yük artışı üretim karakteristiklerinin aynı olmasından dolayı iki ünite tarafından eşit paylaşılarak karşılanacaktır. Yani iki ünite de 15 MWlık ek bir güç üretimi yaparlar. Bu arada bağlantı hattında akan güç miktarı da 100 MWtan 115 MWa çıkacaktır. Böylece ani artan yük karşılanmış olur. Ancak birinci sistemin sadece 100 MWlık güç satmak için anlaşma imzalaması bir problem oluşturmaktadır. Çünkü artık ikinci sisteme 115 MW güç göndermektedir. İşte hem bu problemi çözecek, hem de sistemleri eski hallerine getirecek bir kontrol sistemi gerekmektedir. Bu tür bir kontrol sistemi, sistem frekansı ve net güç alınışı bilgilerine ihtiyaç duyar. Eğer frekans azalır ve verilen güç değişimi artarsa, sistemin dışında bir yük artışı vardır demektir. Eğer frekans azalır ve net verilen güçte azalır, sistemin içinde bir yük artışı vardır demektir.

P_T = toplam gerçek net güç değişimi (+:güç veriliyorsa; -:güç alınıyorsa)

P_{TP} =güç değişiminin istenen ya da planlanan değeri

$$\Delta P_T = P_T - P_{TP}$$

Yukarıda anlatılanları ve verilen formülleri Şekil 2.16 ile özetlersek ;



ΔP_{L1} : Bölge - 1 için Yük Değişimi
 ΔP_{L2} : Bölge - 2 için Yük Değişimi

Δw	ΔP_T	Yük Değişimi	Sonuç Kontrol Hareketi
-	-	ΔP_{L1} + ΔP_{L2} 0	Bölge -1 için Jeneratör Gücünü Arttır
+	+	ΔP_{L1} - ΔP_{L2} 0	Bölge -1 için Jeneratör Gücünü Azalt
-	+	ΔP_{L1} 0 ΔP_{L2} +	Bölge -2 için Jeneratör Gücünü Arttır
+	-	ΔP_{L1} 0 ΔP_{L2} -	Bölge -1 için Jeneratör Gücünü Azalt

Şekil 2.16. İki bölgeli sistem için bağlantı hattı frekans kontrolü şeması

Şekil 2.16'da ki kurallara göre, üretim ve yük kontrolünü yapacak bir kontrol bölgesi bağlantılı güç sistemine eklenecektir. Kontrol bölgesinin sınırları sadece ölçüm yapılan bağlantı hattı noktalarına bağlıdır. Şekil 2.16'da ki kurallar seti bir kontrol mekanizması tarafından, frekans sapması Δw ve net güç değişimi ΔP_T , kabul edilen bir güç sistemi için uygulansın. Önceden bulunan (2.31)'den (2.35)'e kadar olan eşitlikler buradaki kurallar için aşağıda denenmektedir. Burada ilk olarak ΔP_{L1} 'lik bir yük değişimi sonucunda güç sisteminin frekans cevabı ve bağlantı hattı akışının nasıl

değişeceği gözlenecektir. Ayrıca (2.31) ile (2.35) arası eşitliklerin bir özeti verilecektir.

Yük değişimi	Frekans Değişimi	Net Değişimi
ΔP_{L1}	$\Delta W = \frac{-\Delta P_L}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + D_1 + D_2}$	$\Delta P_{\text{hat}} = \frac{-\Delta P_{L1} \left(\frac{1}{R_2} + D_2 \right)}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + D_1 + D_2}$

Yukarıdaki eşitlikler (2.36) olarak kabul edilmektedir. Şekil 2.16'da ki tablonun ilk satırından birinci bölgede güç değişiminin ΔP_{L1} olduğu fakat ikinci bölgede hiç güç değişimi olmadığı sonucu çıkarılabilir.

Üretimdeki istenen değişim otomatik denetim hatası (ODH) olarak tanımlanmaktadır⁽¹³⁾. Net güç değişimini kontrattaki uygun değere ve ayrıca anma frekansı eski haline getirecek, bölgelerin istenen üretim kayması olarak eşitlik (2.37)'deki gibi gösterilmektedir.

$$\begin{aligned} ODH_1 &= -\Delta P_{r1} - B_1 \Delta w \\ ODH_2 &= -\Delta P_{r2} - B_2 \Delta w \end{aligned} \quad (2.37)$$

Eşitlikteki B_1 ve B_2 sabitleri bias (frekans yönelim) faktörleridir. (2.36) eşitliğinden;

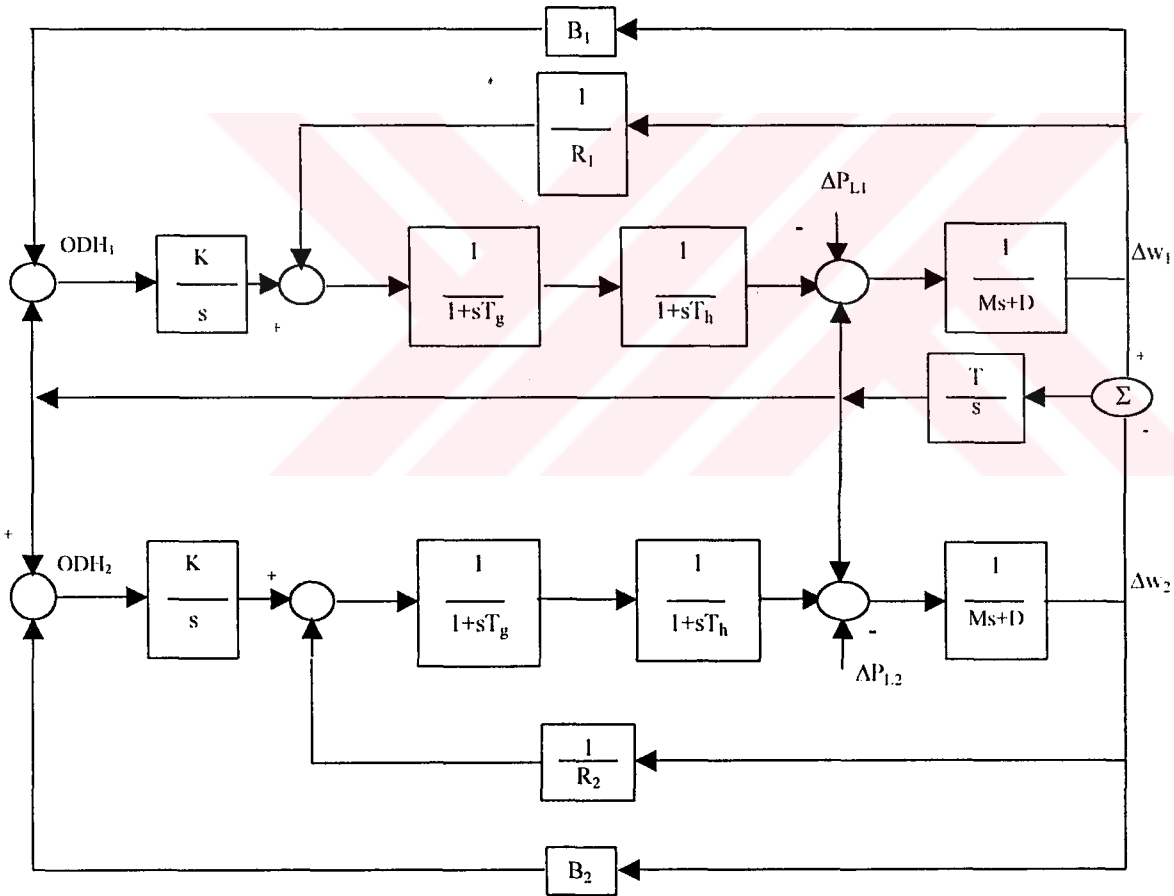
$$B_1 = \frac{1}{R_1} + D_1 \text{ ve } B_2 = \frac{1}{R_2} + D_2 \quad (2.38)$$

olduğu anlaşılmaktadır. Böylece bu iki eşitlik birleştirilirse;

$$ODH_1 = \frac{+\Delta P_{L1} \left(\frac{1}{R_2} + D_2 \right)}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + D_1 + D_2} - \frac{-\Delta P_{L1} \left(\frac{1}{R_1} + D_1 \right)}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + D_1 + D_2} = \Delta P_{L1} \quad (2.39)$$

$$ODH_2 = \frac{-\Delta P_{L1} \left(\frac{1}{R_2} + D_2 \right)}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + D_1 + D_2} - \frac{-\Delta P_{L1} \left(\frac{1}{R_2} + D_2 \right)}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + D_1 + D_2} = 0 \quad (2.40)$$

olarak düzenlenir. Bulunan eşitliklerin blok şema hali aşağıda Şekil 2.17'den görülmektedir. Şekildeki integral kontrolör, B_1 ve B_2 hatalı bile alınsa ODH'nin sıfır olmasını sağlamaktadır.



Şekil 2.17. İki bölge sistem için bağlantı hattı kutuplu ikincil kontrol

2.8.3. Üretim Paylaşımı

Her kontrol bölgesinin tek üretim birimine sahip olması durumunda (ayrık güç sistemi) Şekil 2.17'de kullanılan integral kontrolörün sisteme kararlı bir frekans ve istenen bağlantı hattı güç akışını sağlayabileceği bilinmektedir⁽³⁸⁾. Ancak üretim bölge sayısının artması durumunda, ekonomik bir sistem elde edilmesi için güç sistemleri bağlantılı olarak kurulmalıdır. Yani kontrol mekanizması ile ekonomik dağılımı birleştirilerek her bölgenin ihtiyaç duyduğu toplam üretim miktarı öğrenilmelidir. Tüketiciden dolayı yükün sürekli değişmesi, üretim değerinin uzun süre aynı kalmasına engeldir. Bu nedenle sabit toplam üretimden bahsetmek mümkün değildir. Ayrıca bu nedenle ekonomik dağılımın yapılması da mümkün olmamaktadır. Bu işlemler artık çok hızlı çalışan bilgisayarlarla dakikalar içerisinde yapılabilmektedir. Aşağıda bir üretim paylaşımı için gerekli formüller verilmiştir.

$$P_{ip} = P_t + P_{f_i} \cdot \Delta P_T \quad (2.41)$$

$$\Delta P_T = P_{YT} - \sum P_t \quad (2.42)$$

Burada P_f katılım faktörüdür (Participation factor) ve formülü:

$P_f =$ Her ünitenin çıkış değişimi / Toplam üretim değişimi şeklindedir.

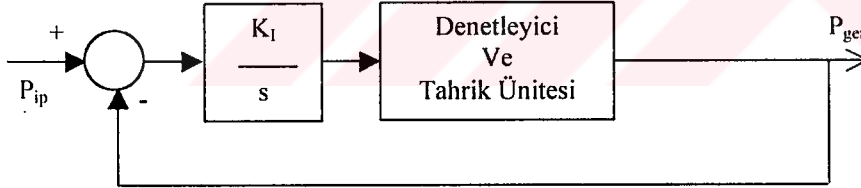
Eşitlik (2.41) ve (2.42) kullanılarak bilgisayarda yazılacak bir program sayesinde, güç sistemlerinin ekonomik dağılımı ve üretim dağılımını kontrol etmek mümkündür⁽²⁾.

2.9. Otomatik Üretim Denetimi Uygulamaları

Modern otomatik üretim denetimi (OÜD) uygulamalarında bilgiler sisteme telemetri ile ulaştırılır. Kontrol hareketi dijital bilgisayarlarda hesaplanır. Daha sonra üretim birimlerine aynı telemetri kanalları ile iletilir. OÜD'yi güç sistemine uygulamak için kontrol sisteminde aşağıdaki verileri bilmeliyiz;

- 1) Ünite Megawatt çıkışını
- 2) Komşu sistemlere bağlantı hattından akacak Megawatt gücünü
- 3) Sistem frekansını

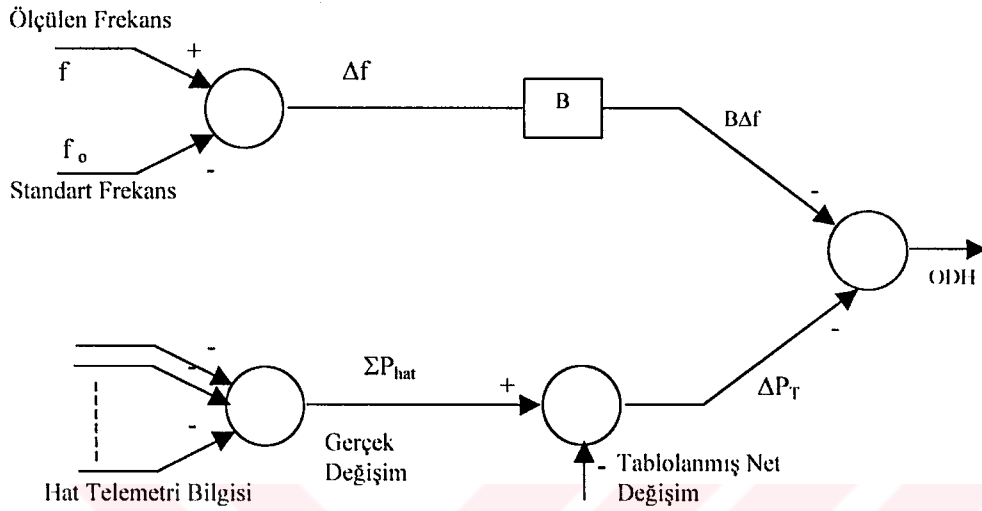
OÜD programının işlem çıkışı her üretim birimine mutlaka iletilmelidir. Böylece kontrol elemanı ünitenin yük referans değerini artırma yada azaltma şeklinde değiştirebilir. Kontrol darbeleri sayısal telemetri sistemleriyle kodlanabilir.



Şekil 2.18. Basit bir üretim kontrol çevrimi blok şeması

P_{ip} , sistem frekans sapma ve net güç değişim miktarının bir fonksiyonudur. Tüm kontrol Şekil 2.19'dan hesaplanan ODH ile başlar. ODH ile toplam üretimin artıp- azalmadığının gözlemi yapılabilir. Fakat kontrolörü sürece tek hata sinyali ODH değildir. OÜD kontrol birimi ayrıca ünite

çıkışındaki hata ile de sürülmelidir. Böylece ünite ekonomik dağılıma da uymak zorunda kalacaktır. Bunu yapmak için, ünite çıkış hatlarının toplamı ODH'ye eklenir ve toplam bir hata sinyali elde edilerek tüm kontrol sistemi sürülür.



Şekil 2.19. ODH hesaplaması

İyi bir OÜD dizaynı için genel 3 kriter verilebilir;

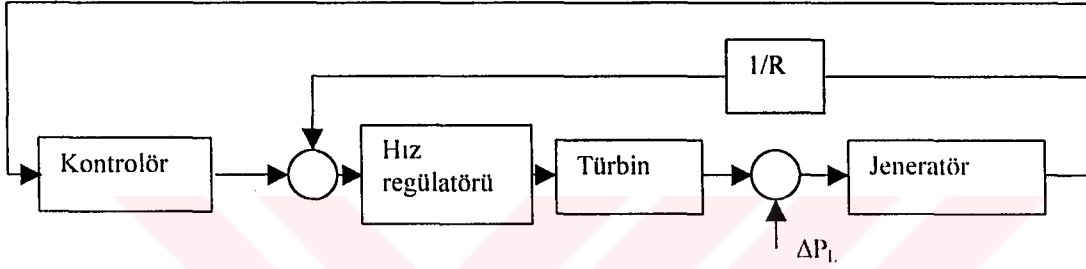
- 1) ODH sinyalinin çok büyümesine izin vermemeli ve standart ODH sapmasının küçük olmasını sağlamalıdır,
- 2) ODH'nin integralini küçük zaman aralığı için hesaplamalı,
- 3) OÜD tarafından yapılan kontrol hareket sayısı minimum olmalıdır.

Örneğin, rasgele yük değişimleri ile oluşan ODH hataları kontrol hareketi olmaksızın sadece ünitenin hız değiştirme donanımından düzeltilebilir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Tek Bölgele Yük-Frekans Kontrolü

Tek bölgele bir güç sisteminde bir yada birkaç jeneratör olabilir ve bunların yük ve frekans kontrolleri yapılabilir. Bu amaçla ilk önce tek bölgele güç sisteminin blok şeması Şekil 3.1'de verilmiştir^(1, 38).

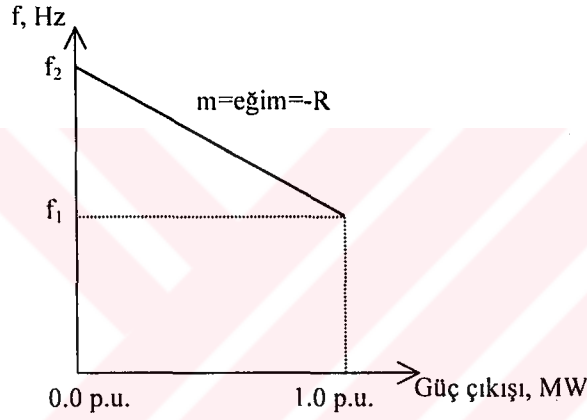


Şekil 3.1. Tek bölgele güç sistemi blok şeması

Basit olarak tek bölgele güç sistemi bir denetleyici, bir türbin ve bir jeneratörden oluşmaktadır. Sistemin gerçekçi olması için sisteme bir basamak yük değişimi uygulanmıştır. Sistem çıkışı olan frekans bir regülasyon sabiti yardımı ile geri beslenerek tekrar sistem girişine güç formunda verilmektedir. Burada amaç aktif güç çıkışını ve frekansı kontrol etmektir. Türbin içinde ki vana bir hız regülatörü yardımıyla açılıp kapanarak, girişine gönderilen buharı az yada çok miktarlarda türbine vermektedir. Böylece basit olarak sistemin hız kontrolü sağlanmış olmaktadır.

3.1.1. Hız Regülatörü

Hız regülatörlerinde ayar karakteristiği doğrusal olmaktadır. Hız regülasyonu kavramını, ünite çıkışındaki anma gücün 1.00 p.u.'den 0.00 p.u.'ya indiğinde hızın anma değışimi olarak açıklamak mümkündür. Buna göre hız regülasyonu hız-çıkış gücü karakteristiğinin eğiminin büyüklüğü olarak söylenebilir. Bu durum Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Şekilde f_1 anma çıkış frekansını, f_2 ise yüksüz durumun çıkış frekansını göstermektedir. Şekilden görüleceği gibi karakteristiğin eğimi ise regülasyon sabitini vermektedir.



Şekil 3.2. Jeneratörün hız-regülasyon Karakteristiği

Per-unit cinsinden regülasyon sabiti hesaplanacak olursa;

$$R_u = \frac{(f_2 - f_1) / f_n}{P_{Gn} / S_n} \quad (3.1)$$

olarak bulunur. Burada f_n , anma frekans (Hz), P_{Gn} , jeneratörün anma çıkış gücü (MW) ve S_n , Megawatt olara gücün temel değerini göstermektedir. Hız

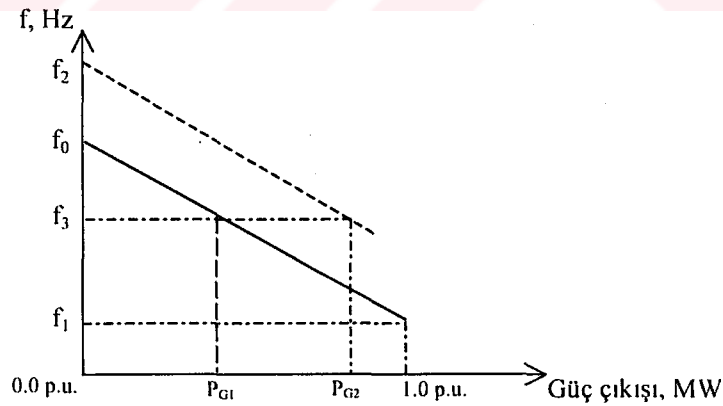
ayar karakteristiğinin eğiminin genliğini bulmak için eşitlik iki taraflı olarak f_n / S_n ile çarpılır. Bu durumda;

$$R = R_u \cdot \frac{f_n}{S_n} = \frac{f_2 - f_1}{P_{G1}} \quad (3.2)$$

olarak Hz/MW cinsinden bulunur. R değeri üretim ünitesinin hız-çıkış gücü karakteristiğini belirlemektedir. Sisteme ΔP_L 'lik bir yük artışı verilirse bu durumda regülasyon karakteristiği Şekil 3.3'teki gibi olur. Burada f_0 frekansında sistemden P_{G1} güç çıkışı alınırken, sisteme eklenen ΔP_L 'lik bir yük artışı ile güç çıkışı P_{G2} 'ye çıkmaktadır. Yani;

$$P_{G2} = P_{G1} + \Delta P_L \quad (3.3)$$

olmaktadır. Böylece frekans ve hız düşerken hız regülatörü kazandan türbine daha çok buhar gitmesine izin vermektedir. Üretilen güç ile tüketilen güç arasında bir eşitlik sağlanıncaya kadar sistem kendi frekansında değişiklik yapar. Frekans $f_3 = f_0 + \Delta f$ olduğunda sistem dengeye oturur.

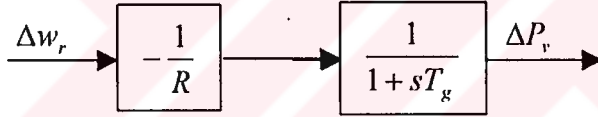


Şekil 3.3. ΔP_L 'lik bir yük artışı için jeneratörün hız-regülasyon karakteristiği

Buradaki frekans değışikliği eşitlik (3.4)'teki gibi yazılabilir;

$$\Delta f = -R\Delta P_G = -\left(R_u \frac{f_n}{S_n}\right)\Delta P_G \quad (3.4)$$

Buraya kadar tek bölgele güç sisteminin ani yük değışimine karşılık olarak yapmış olduğu frekans değışimini gördük. Bu, güç sisteminin birincil kontrolüdür. Ancak sistem hala istenilen anma frekansa gelmemiştir. Bunun için ikincil kontrolünde gerçekleştirilmesi gerekmektedir ⁽³⁸⁾. İkincil kontrol sistemdeki hız regülatörü tarafından yapılmaktadır. Bu işlem için, hız regülatörüne bir integral alıcı ile bir geri besleme devresi eklenmektedir. Yeni sistemin indirgenmiş blok diyagramı aşağıda Şekil 3.4'te verilmiştir. Buradaki Δw_r ünitenin hız değışimini ve aynı zamanda frekans kaymasını, ΔP_v ise vana pozisyonundaki değışimin ifadesidir.



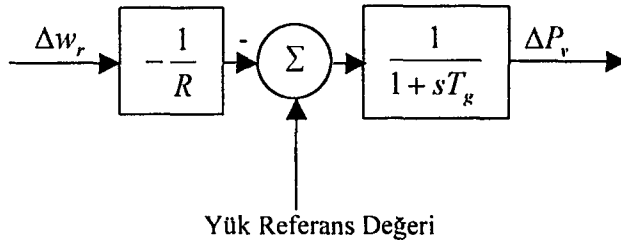
Şekil 3.4. Hız regülatörünün blok şeması

Hız regülasyonu yada kayması olan R'nin yüzde olarak ifadesi;

$$R\% = (\text{Hız değışiminin yüzde değeri} / \text{Güç çıkışının değışiminin yüzde değeri}) * 100 \quad (3.5)$$

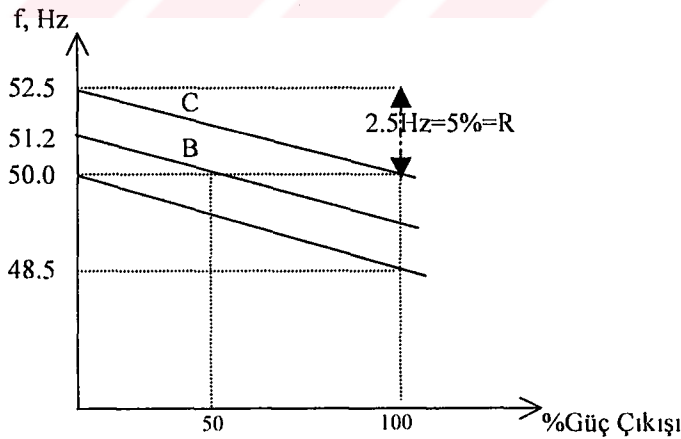
şeklindedir. Ancak hız regülatörleri yük-frekans kontrolü için farklı dizayn edilirler. Hızın değışimi için bir yük referans değerinin girilmesi şarttır. Yeni

durumun blok şeması aşağıda Şekil 3.5'te verilmiştir. Burada hız değişimi, bir servo-motor aracılığı ile yapılmaktadır.



Şekil 3.5. Hız regülatörünün yük-frekans kontrolüne uygun blok şeması

Servo-motor etkili sistemin hız-çıkış karakteristiği aşağıda Şekil 3.6'da verilmiştir. Şekilde, üç değişik yük-frekans değeri ayarı için üç paralel karakteristik örneği görülmektedir. 50 Hz'de A karakteristik eğrisi %0, B karakteristik eğrisi %50 ve C karakteristik eğrisi %100 güç akışı sonucunu vermektedir (1, 38).

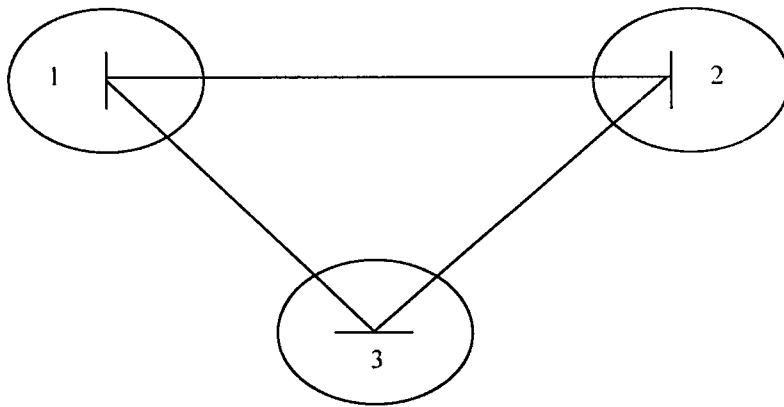


Şekil 3.6. Hız regülatörünün servo-motor aracılığı ile yük-frekans kontrolüne uygun blok şeması

3.2. İki Bölge Güç Sistemlerinde Yük-Frekans Kontrolü

Elektriksel güç sistemleri karmaşık ve doğrusal olmayan dinamik yapılardır. Yapılarında daima belirsiz parametreler bulunmakta ve bu parametreler doğrusal olmayan şekilde değişmektedir. Güç sistemleri sadece çalışma noktaları etrafında oluşan küçük yük değişimlerinde korunmasız kaldıkları için, doğrusallaştırılmış modelleri üzerinde yapılan çalışmalar güç sistemlerini temsil etmekte yeterli olacaktır⁽⁴³⁾. Güç sistemleri birbirine benzer özellikte bir çok jeneratörden oluşmaktadır. Benzer jeneratörlerin oluşturduğu gruba kohorent grup denildiği ikinci bölümde yük-frekans kontrolü anlatılırken ifade edilmişti. Buna ek olarak coğrafi bölge olarak birbirine benzer yerlerde kurulan kohorent jeneratör gruplarının oluşturduğu daha büyük gruba bölge denilmektedir⁽⁴⁴⁾. Güç sistemleri tek bölgeden başlayarak, iki, üç ya da daha fazla bölgelerin birbirine bağlanmaları ile bağlantılı güç sistemleri oluşturmaktadırlar. Çok bölgesel güç sistemleri birden fazla bölgenin hatlarla birbirine bağlanmaları sonucu oluşmaktadır⁽⁴⁴⁾. Bu çalışmada, bölge sayısı iki alınarak iki bölgesel bağlantılı güç sistemlerinin yük-frekans kontrolü incelenmiştir. Üç veya daha fazla bölge sayısına sahip güç sistemleri içinde aynı kontrolörlerin aynı sonucu vermeleri beklenmektedir⁽⁷⁾. Güç sistemleri arasında kurulu olan hatlar, sistemin değişken koşullarında oluşabilecek normal dışı çalışma noktalarında güç alışverişini sağlamaları açısından büyük önem arz etmektedirler. Bu güç değişiminin miktarı önceden belirlenerek, tüm sistemlerin kontrol dışı hareketlerinin önüne geçilmesi sağlanmaktadır^(44,45). Burada bahsedilen ani hareketlerin göstergesi, sistemlerin frekans değişimleridir. Her bölgenin güç değişimi esnasında oluşacak frekans değişimlerine hızlı cevap verebilecek şekilde

dizayn edilmiş bir kontrol bloğuna sahip olması gerekmektedir. Ayrıca güç sistemleri arasındaki hatların güç değişimlerine dayanacak şekilde seçilmiş olması gereklidir^(44,46). Bağlantılı güç sistemlerinde, her bölge tüketicilerin talebini karşılamanın yanında, güç büyüklüğüne bağlı olarak bağlantılı güç tevzi hatlarındaki güç akışına da yardımcı bulunmalıdır. Bölgelerin üretimleri arası farklar, tüketici tarafından çekilen güç miktarı ve kayıplar toplam güç akış miktarını vermektedir. İki bölge arasındaki güç akış miktarı ayarlanan düzeyin dışına çıkarsa hatta bir hata oluşur. Bu hatanın, bölge kontrol hatası (ODH) olarak adlandırıldığını ikinci bölümde bağlantı hattı kontrolü anlatılırken belirtmiştik. Tüm bölgeler ayrı ayrı kendi bölgelerinde oluşan yük değişimlerini karşılamanın yanında, tüm sistemin frekans değerinin kontrolü ile hattaki yük akış miktarını da denetleyerek ODH'nin sıfır olmasını da sağlamalıdır⁽⁴⁷⁾. Aşağıdaki şekilde üç bölgeli bağlantılı güç sistemi ve bağlantı hatları blok şema olarak verilmiştir. Buradaki tüm bölgelerin iç yapısı üçüncü bölümün başında vermiş olduğumuz tek bölgeli güç sistemi (Şekil 3.1) ile aynıdır.

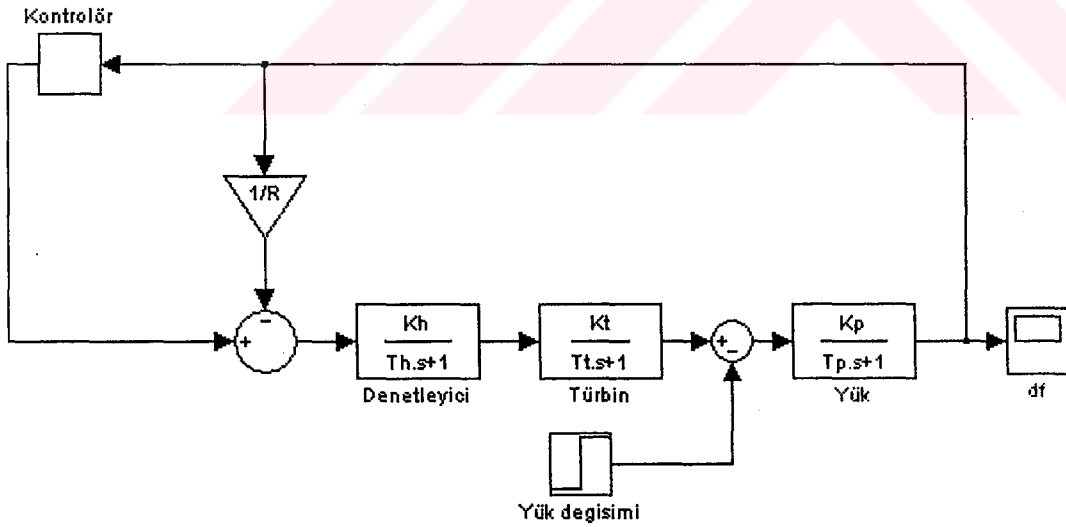


Şekil 3.7. Çok bölgeli güç sistemine örnek; üç bölgeli güç sistem blok şeması⁽²³⁾

3.3. Simülasyon Sonuçları

3.3.1. Tek Bölge Güç Sistemi

Temel olarak tek bölge bir güç sistemi, bir denetleyici, bir türbin ve bir jeneratörden oluşmaktadır. Ayrıca çıkıştan alınan geri besleme kolu üzerinde bir sabit vardır. Bu sabit regülasyon sabiti R 'dir. Regülasyon sabiti ile sistemin çıkışı olan frekans için geçerli olan Hz birimi, sistemin kontrolör çıkışındaki güç birimi MW'a dönüştürülmektedir. Dolayısıyla R 'nin birimi MW/Hz olarak verilmektedir. Sistemde ayrıca bir basamak cevap girişi vardır. ΔP_L ile gösterilen bu sabit giriş ile güç sisteminin gerçek sisteme uygunluk göstermesi sağlanmıştır. Gerçek zamanlı sistemlerde olan ani yük değişimleri böylece ifade edilmiştir. Tek bölge güç sistemi için simülasyon sırasında kullanılan blok şema Şekil 3.8'de gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Tek bölge güç sistemi blok şeması (Yük değişimi: $\Delta P_L = 0.01$ p.u.)

Sisteme ait parametreler Tablo 3.1'de verilmektedir.

Tablo 3.1. Tek bölgesi güç sisteminin parametreleri

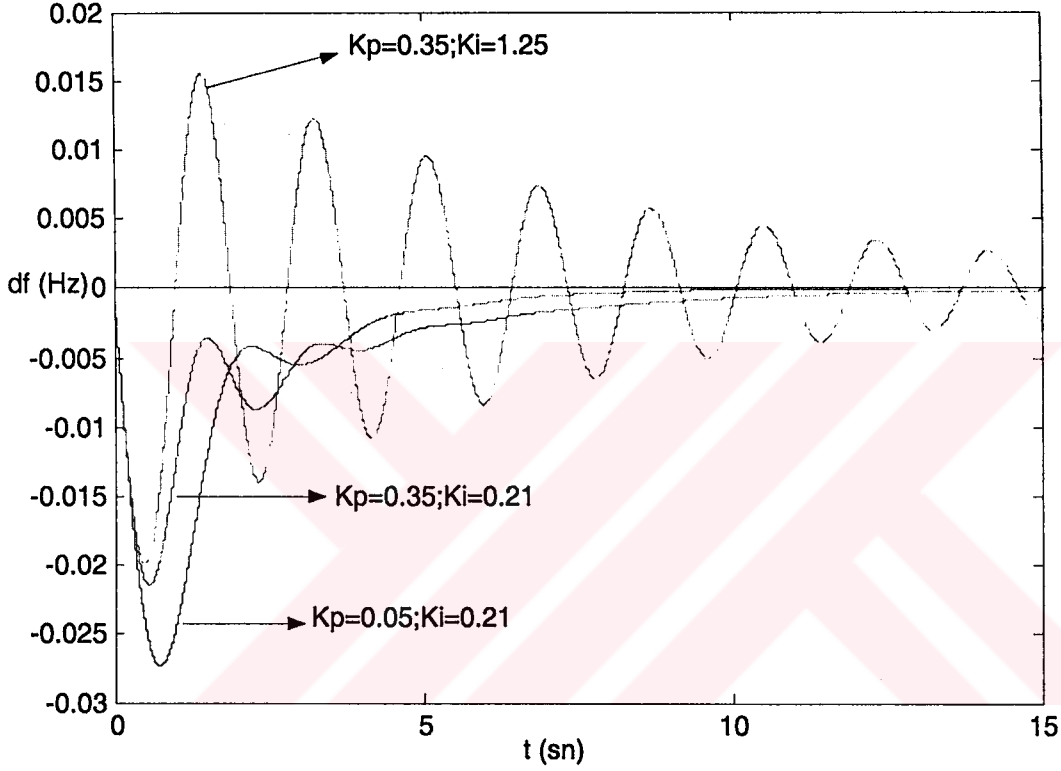
Kazançlar	Zaman Sabitleri
$K_h=1; K_t=1; K_p=120; K_i=0.65; K=0.45; R=2.4$	$T_h=80.10^{-3}; T_t=0.3; T_p=20$

Burada h indisi ile gösterilen sabitler denetleyiciye ait, t indisi ile gösterilen sabitler türbine ait ve p indisi ile gösterilen sabitler güç sistemine ait verilmiştir. K_i ve K sırasıyla kullanılan kontrolördeki oransal ve integral kontrolörün kazancı ve R ise regülasyon sabitidir. Tek bölgesi güç sisteminin tüm simülasyonları Matlab 6.0-Simulink yazılım programında yapılmıştır. Şimdi sırasıyla tek bölgesi güç sistemi için kullanılan her bir kontrolör için alınan simülasyon sonuçlarını ayrı ayrı vereceğiz.

3.3.1.1. Tek Bölgesi Güç Sisteminin PI Kontrolör ile Yük-Frekans Kontrolü

Güç sistemlerindeki yük-frekans kontrolü tamamen frekans sapmasının hata değerine bağlıdır. Integral kontrolörler ile sürekli durumda hata sıfıra gitmektedir. Ancak aşırı osilasyonlar ve büyük aşma değerleri integral kontrolörün tek başına kullanılmasına izin vermemektedir^(48,49). Bu durumu önlemek için genelde integral kontrolörlerin yanına bir kontrolör eklenir. Bunlardan biri de oransal kontrolördür. Dolayısıyla bir integral kontrolör ile bir oransal kontrolörden oluşan PI kontrol tekniği elde edilmektedir. Böylece güç sistemlerinin çıkışlarındaki geçiş ve sürekli durum

hatalarının en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Şekil 3.8'deki kontrolör bloğuna bir PI kontrolör yerleştirilmiştir. Burada sistem parametreleri ve kontrolör kazanç değerleri için Tablo 3.1'deki değerler kullanılmıştır. Aşağıda çeşitli K_p , K_i değerleri için sistemin frekans sapmasına ait cevap eğrileri görülmektedir.



Şekil 3.9. Tek bölge güç sisteminde PI kontrolör ile yük-frekans kontrolü çıkışı ($\Delta P_L = 0.01$ p.u.)

3.3.1.2 Tek Bölge Güç Sisteminin Kazancı Bulanık Mantıkla Ayarlanmış

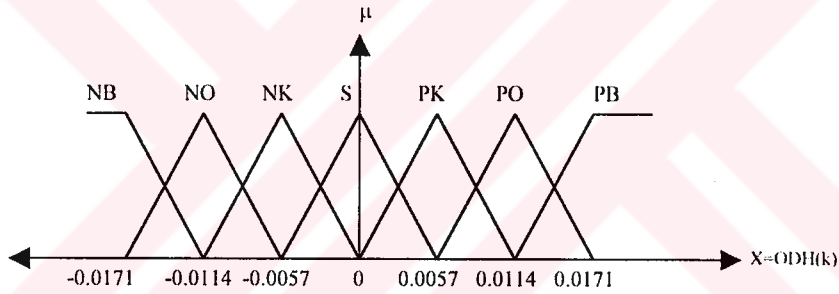
PI Kontrolör ile Yük-Frekans Kontrolü

Güç sistemlerinin yapıları oldukça karmaşıktır. Gün içinde üretim ile tüketim arasında meydana gelen dengesizlikten çok fazla etkilenmektedirler. Bunun sonucu ortaya çıkan değişken çalışma noktasının bir an önce istenilen değere gitmesi üretim ve tüketim açısından, elektrik enerjisi ile çalışan cihazlar açısından önemli olmaktadır. Bütün bunlar göz önüne alındığında sistemin geleneksel kontrolörler ile istenilen hızda istenilen ayar büyüklüklerini yakalayamadığı görülmüştür. Bu nedenle günümüzde geleneksel kontrol teknikleri yerine ileri kontrol teknikleri kullanılmaya başlanmıştır. Bunların içinde, yapay sinir ağları ya da bulanık mantık ile tasarlanan kontrolörler güç sistemleri için tek tek ya da birleşik olarak kullanılmaya başlanmıştır^(10,11,18,20,23). Ayrıca bu kontrol teknikleri doğrusal yada doğrusal olmayan her tür sisteme kolaylıkla uygulanabilmektedir. Basit kuralları olan bu tür kontrolörlerde önemli olan sistemi tanıyan bir uzmanın olmasıdır⁽⁵⁰⁾. Bütün bu nedenlerden dolayı burada kazancı bulanık mantık ile ayarlanmış bir PI (BMPI) kontrolör kullanılmıştır. Kontrolöre ait kurallar tablosu ile üyelik fonksiyonlarının şekilleri aşağıda Tablo 3.2 ve Şekil 3.10'te verilmiştir.

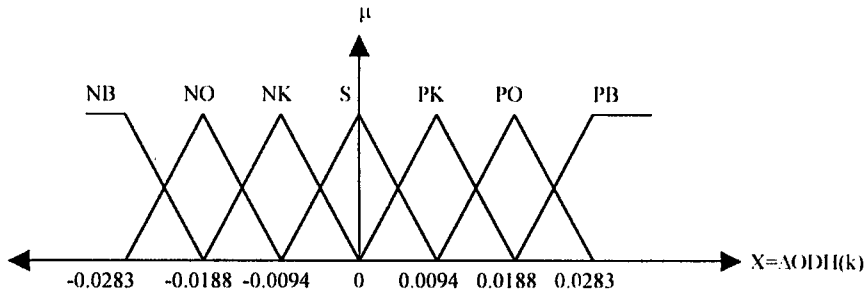
Tablo 3.2. Tek bölgesi güç sistemi için kullanılan BMPI kontrolörün kural tablosu

	$\Delta ODH(k)$	NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
ODH(k)	NB	PB	PB	PB	PO	PO	PK	S
	NO	PB	PO	PO	PO	PK	S	NK
	NK	PB	PO	PK	PK	S	NK	NO
	S	PO	PO	PK	S	NK	NO	NO
	PK	PO	PK	S	NK	NK	NO	NB
	PO	PK	S	NK	NO	NO	NO	NB
	PB	S	NK	NO	NO	NB	NB	NB

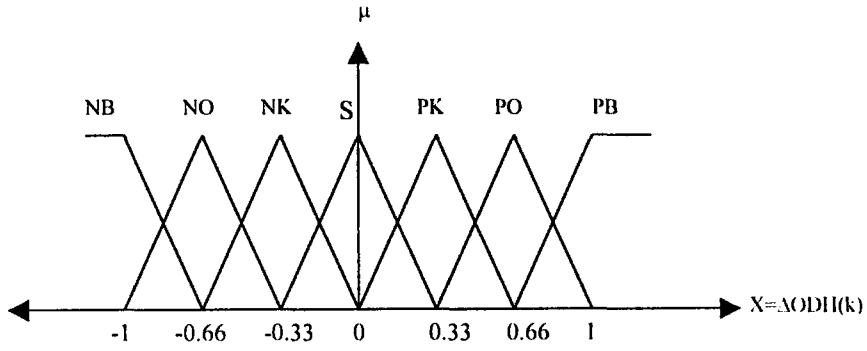
NB: Negatif Büyük NO: Negatif Orta NK: Negatif Küçük S: Sıfır PK: Pozitif Küçük PO: Pozitif Orta PB: Pozitif Büyük



(a)



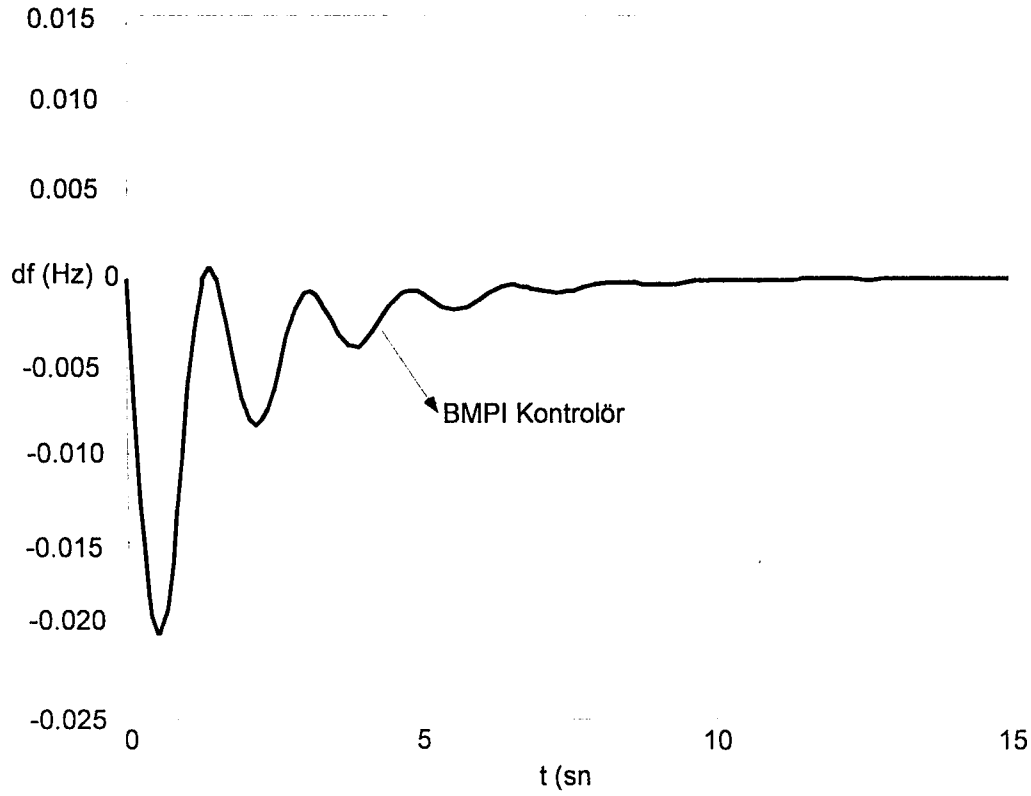
(b)



(c)

Şekil 3.10. Tek bölge güç sistemi için kullanılan BMPI kontrolörün üyelik fonksiyonları a) ODH , b) ΔODH , c) K_p , K_i

Aşağıda Şekil 3.11'de tek bölge güç sistemine BMPI kontrolörün uygulandığı sonucu sistemin frekans çıktısının eğrisi görülmektedir. Şekil 3.9 ve 3.11 göstermiştir ki sistemin BMPI ile daha iyi bir aşma değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenlerden dolayı, geleneksel kontrolörlerin tek bölge sistemlerde tek başlarına kullanılmaları yerine bulanık mantık gibi uzman kontrol teknikleri ile birlikte kullanılmaları önerilmektedir.



Şekil 3.11. Tek bölge güç sisteminde BMPI kontrolör ile yük-frekans kontrolü çıkışı ($\Delta P_L = 0.01$ p.u.)

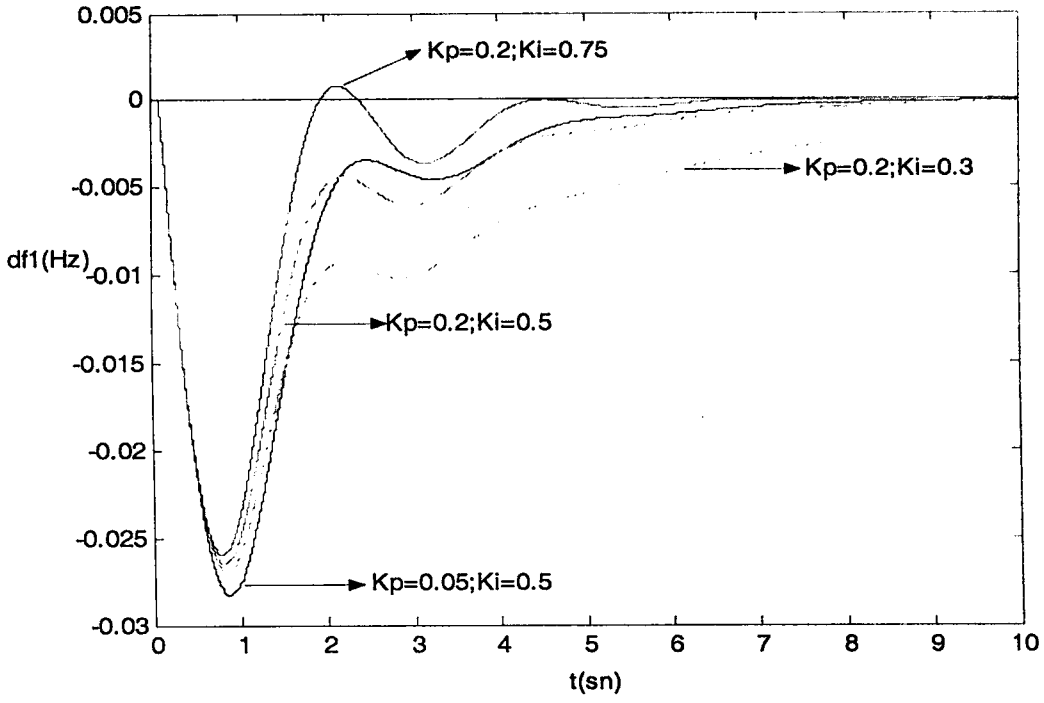
3.3.2. İki Bölge Güç Sistemi

Üçüncü bölümde detaylı bir şekilde anlatılan tek bölge güç sisteminden iki tanesinin bir bağlantı hattı ile birbirine bağlanması sonucu ortaya çıkan sisteme iki bölge güç sistemi denildiği dördüncü bölümde söz edilmişti. Bu sistemlerin tek bölge güç sisteminden farkı, sistemin iki girişine karşılık iki frekans çıkışının olmasıdır. Bu iki bölge birbirine bağımlı çalışmaları için sistem çıkışları da bundan etkilenmektedir. Bu nedenle kontrolör dizayn ederken daha dikkatli olmak gerekmektedir. Bu tezde, kontrolör olarak geleneksel PI ile sadece bulanık mantık (BM) kontrolör kullanılmasının

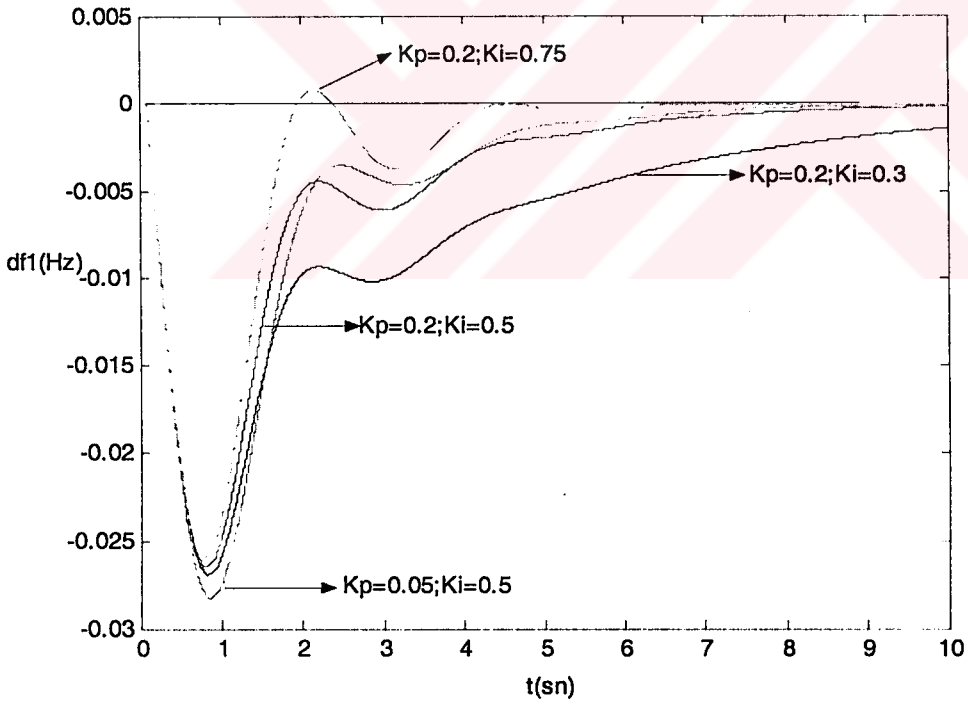
yanında Chang ve Fu⁽¹⁰⁾ tarafından geliştirilen BMPI ile tezde geliştirilen diğer bir BMPI karşılaştırma amacıyla iki bölgeli güç sistemine sırasıyla uygulanmış ve yük-frekans kontrolü yapılmıştır. Aşağıda sırasıyla yapılan simülasyon çalışmaları anlatılacaktır.

3.3.2.1. İki Bölgeli Güç Sisteminin Geleneksel PI Kontrolör ile Yük-Frekans Kontrolü

Aşağıda Şekil 3.12 ve 3.13'de iki bölgeli güç sisteminin bir oransal-integral (PI) kontrolör ile yük-frekans kontrolünden elde edilen çıktıları verilmiştir. Burada kontrolörün K_i ve K_p kazançlarının değiştirilmesi ile sistemin çıktılarının nasıl etkilendiği de gözlenmektedir. Şekillerden görüleceği gibi sistemin en iyi çıkışı $K_p=0.2$ ve $K_i=0.75$ kazanç değerleri ile elde edildiği görülmektedir. İleride yapılacak karşılaştırmalarda bu kazanç değerleri için elde edilen sonuçlar kullanılacaktır.



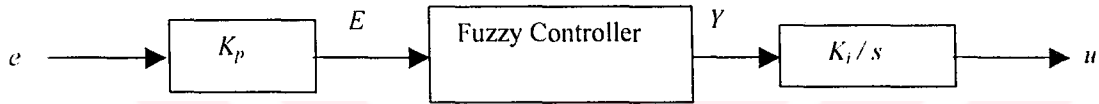
Şekil 3.12. İki bölgeli güç sistemi için PI kontrolörlü güç sistem çıkışı(df_1)



Şekil 3.13. İki bölgeli güç sistemi için PI kontrolörlü güç sistem çıkışı(df_2)

3.3.2.2. İki Bölge Güç Sisteminin Bulanık Mantık Kontrolör ile Yük-Frekans Kontrolü

İki bölge güç sisteminin transfer fonksiyonunun derecesinin yüksek olması ve sistemin karmaşık olması nedeniyle geleneksel kontrolörlerin iyi cevap veremediği düşünülerek⁽⁵¹⁾ sistemin kontrolünde bulanık mantık (BM) kontrolörler kullanılmaya başlanmıştır. Bu amaçla bu tezde de bir BM kontrolör dizayn edilmiştir. Dizayn edilen kontrolörün blok şeması aşağıda verilmiştir.



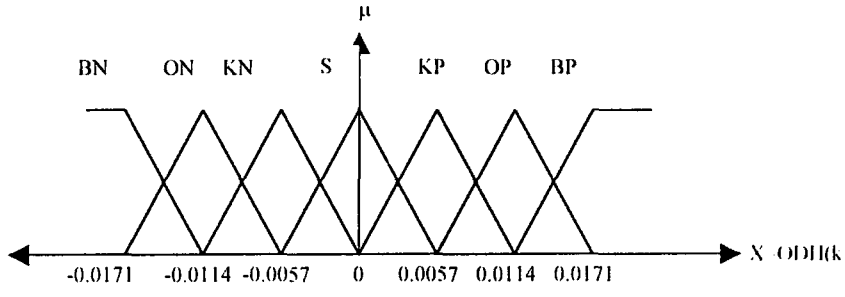
Şekil 3.14. Basit bir bulanık mantık kontrolörün blok şeması

Kontrolörün kural tablosu ile üyelik fonksiyonları da Tablo 3.3 ve Şekil 3.15'de verilmiştir.

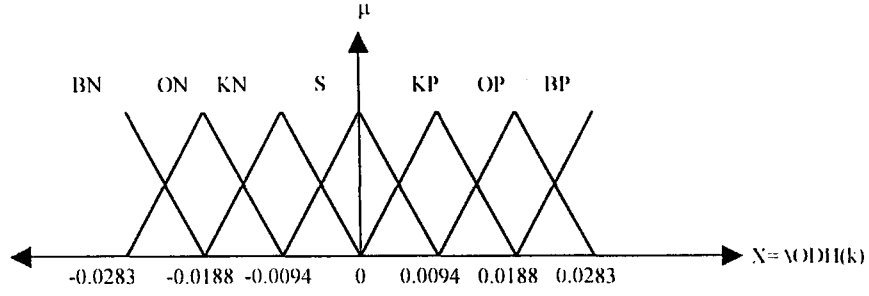
Tablo 3.3. İki bölge güç sisteminin yük-frekans kontrolünde kullanılan BM kontrolör için kural tablosu

		$\Delta ODH(k)$						
		<i>BN</i>	<i>ON</i>	<i>KN</i>	<i>S</i>	<i>KP</i>	<i>OP</i>	<i>BP</i>
<i>ODH(k)</i>	<i>BN</i>	<i>BP</i>	<i>BP</i>	<i>BP</i>	<i>OP</i>	<i>OP</i>	<i>KP</i>	<i>S</i>
	<i>ON</i>	<i>BP</i>	<i>OP</i>	<i>OP</i>	<i>OP</i>	<i>KP</i>	<i>S</i>	<i>KN</i>
	<i>KN</i>	<i>BP</i>	<i>OP</i>	<i>KP</i>	<i>KP</i>	<i>S</i>	<i>KN</i>	<i>ON</i>
	<i>S</i>	<i>OP</i>	<i>OP</i>	<i>KP</i>	<i>S</i>	<i>KN</i>	<i>ON</i>	<i>ON</i>
	<i>KP</i>	<i>OP</i>	<i>KP</i>	<i>S</i>	<i>KN</i>	<i>KN</i>	<i>ON</i>	<i>BN</i>
	<i>OP</i>	<i>KP</i>	<i>S</i>	<i>KN</i>	<i>ON</i>	<i>ON</i>	<i>ON</i>	<i>BN</i>
	<i>BP</i>	<i>S</i>	<i>KN</i>	<i>ON</i>	<i>ON</i>	<i>BN</i>	<i>BN</i>	<i>BN</i>

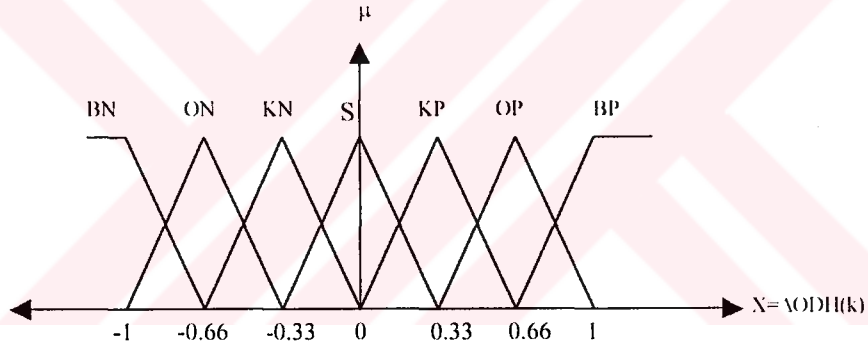
BN: Büyük Negatif ON: Orta Negatif KN: Küçük Negatif S: Sıfır KP: Küçük Pozitif OP: Orta Pozitif BP: Büyük Pozitif



(a)



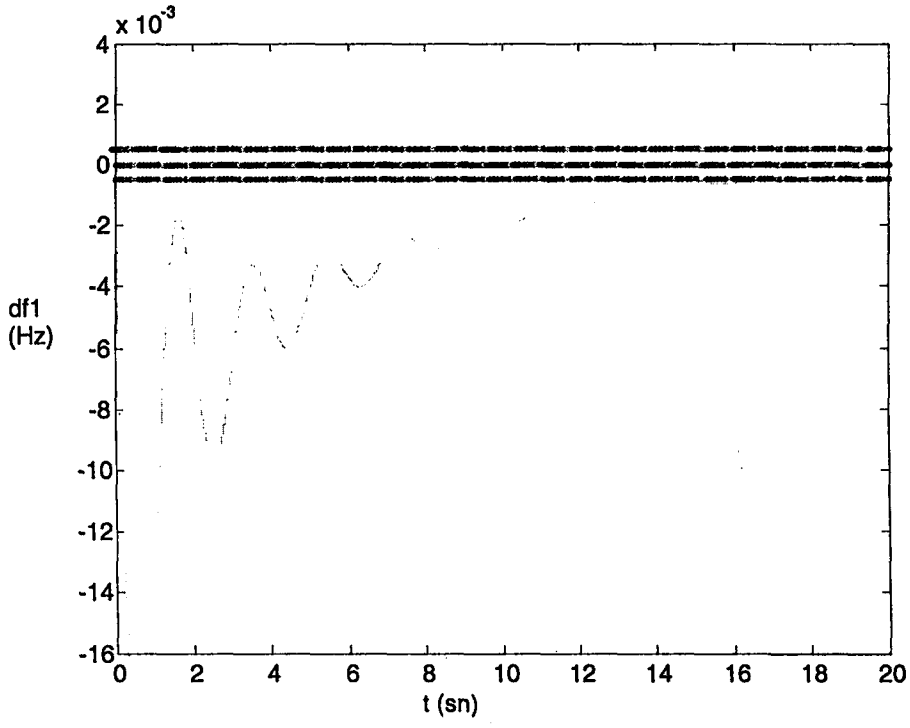
(b)



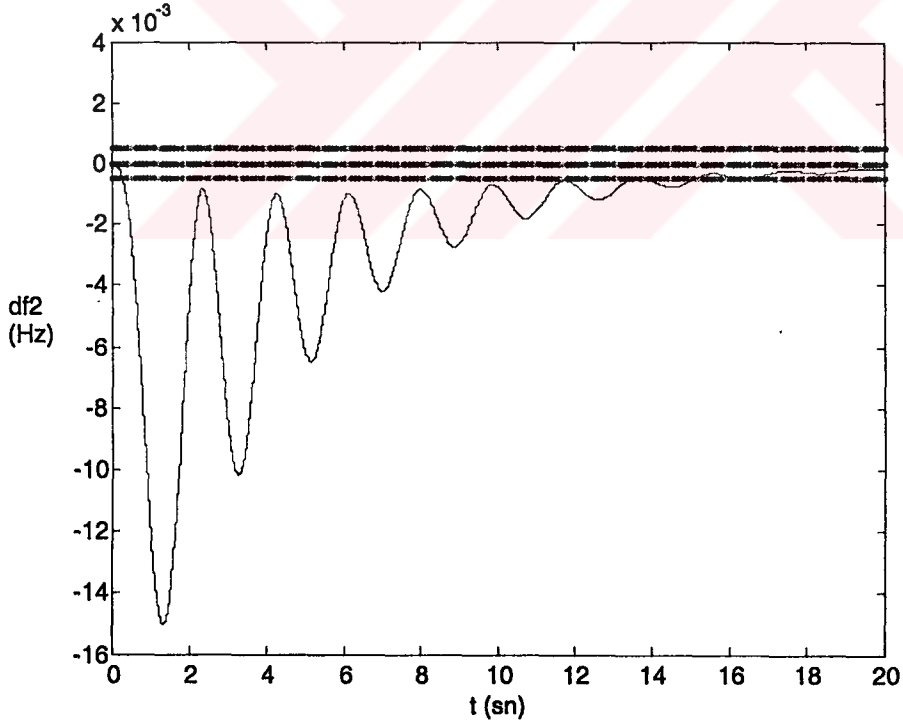
(c)

Şekil 3.15. İki bölgeli güç sisteminin yük-frekans kontrolünde kullanılan BM kontrolör için üyelik fonksiyonları a) ODH , b) ΔODH , c) K_p , K_i

Aşağıda sistemden alınan $df1$ ve $df2$ çıkışlarına ait grafikler verilmiştir.



Şekil 3.16. İki bölgeyi güç sistemi için BM kontrolörlü güç sistem çıkışı(df1)

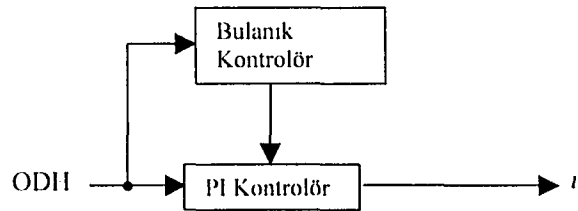


Şekil 3.17. İki bölgeyi güç sistemi için BM kontrolörlü güç sistem çıkışı(df2)

3.3.2.3. İki Bölge Güç Sisteminin BMPI Kontrolör ile Yük-Frekans Kontrolü

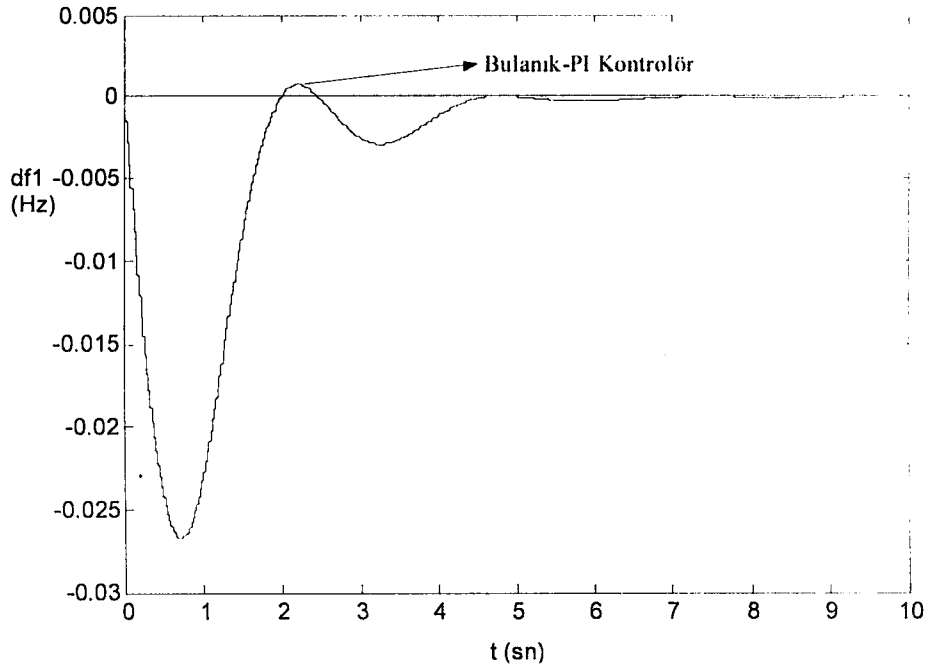
Bulanık mantık kontrolörün güç sistemlerinde kullanılma gerekçesinin aşma değerini düşürmek ve oturma zamanını azaltmak olduğu bilinmektedir. Şekil 3.16 ve Şekil 3.17'den aşma değerinin oldukça azaldığı gözlenmektedir. Ancak oturma süresinin daha arttığı da görülmektedir. Literatürde bulanık mantık kontrolörün oransal-türevsel (PD) kontrolöre benzediğinden bahsedilmektedir⁽⁵²⁾. Bulanık mantıkta hata, hatanın türevi ve çıkış aralık değerleri K_p ve K_d değeri olarak etki vermektedir. Bu değerlerin değiştirilmesi durumunda sistem çıkışı bundan olumlu ya da olumsuz etkilenmektedir. Bu nedenle teoride ve pratikte bulanık mantık kontrolör tek başına kullanılmaz. Bunun yerine bir I, PI ya da PID gibi geleneksel kontrolör tiplerinden biri ile onların parametrelerini ayarlamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu tezde de tasarlanan BM kontrolöre oturma zamanını kısaltması amacıyla bir PI kontrolör eklenmiştir. Bu zamana kadar yapılan çalışmalardan farklı olarak hata, hatanın türevi ve kontrolör çıkış değerleri değiştirilerek daha hassas bir çıkış elde edilmiştir. Ayrıca burada genelde kullanılan K_p ve K_i kazançlarının değerlerinin bulunması için hazırlanan kural tablosu da yine farklı olarak yedi üyelik fonksiyonu kullanılarak hazırlanmıştır. Böylece sistemin cevap hızı ve aşma değerinin daha iyi olması sağlanmıştır. Buradaki mantığımız, hata ve hatanın türevinin aralıklarının artırılarak sistemden daha kısa sürelerde cevaplar alarak kontrolörün ürettiği çıkış değerinin olabildiğince hızlı değişmesine olanak sağlamaktır. Böylece sistem çıkışının iyileştirilmesi hedeflenmiş ve bu başarılmıştır. Ayrıca bulanık mantık kontrolörlerde bu zamana kadar denenmemiş olan kazanç kurallarının aynı alınması durumu

da incelenmiştir. Burada da görülen kuralların aynı alınması durumunda sistemin çıkışlarının daha iyi olduğudur. Bunun nedeni, kontrolörün değişik kuralları yorumlarken zaman kaybettiği ancak alıştığı kurala daha hızlı cevap verdiği olmasıdır. Kural olarak Tablo 3.3'te bulanık mantık kontrolör için hazırlanan kurallar ve üyelik fonksiyonu için de Şekil 3.15'te ki grafikler alınmıştır. Ancak bulanık mantık kontrolörden farklı olarak sistemin blok şeması tamamen değiştirilmiştir. Buna göre elde edilen bulanık mantık kontrolörün blok şeması Şekil 3.18'de verilmiştir. Burada, bölge kontrol hatası ODH'nin hem PI kontrolör tarafından hem de kazançları ayarlasın diye dizayn edilen bulanık mantık kontrolör tarafından giriş olarak alınarak içeride çeşitli değerlere karşılık gelecek kural tablosundan bir sonuç çıkarılmış ve bu sonuca göre sürekli olarak K_p ve K_i kazanç değerlerinin değişmesi ve böylece u kontrolör çıkışının değişmesi sağlanmıştır. Bulanık mantık kontrolörün tek başına kullanıldığı durumda u kontrol çıkışı direkt olarak kurallardan etkilenirken, burada kurallardan öncelikli olarak K_p ve K_i etkilenmekte ve onların aldıkları değerlere göre çıkış belirlenmektedir.

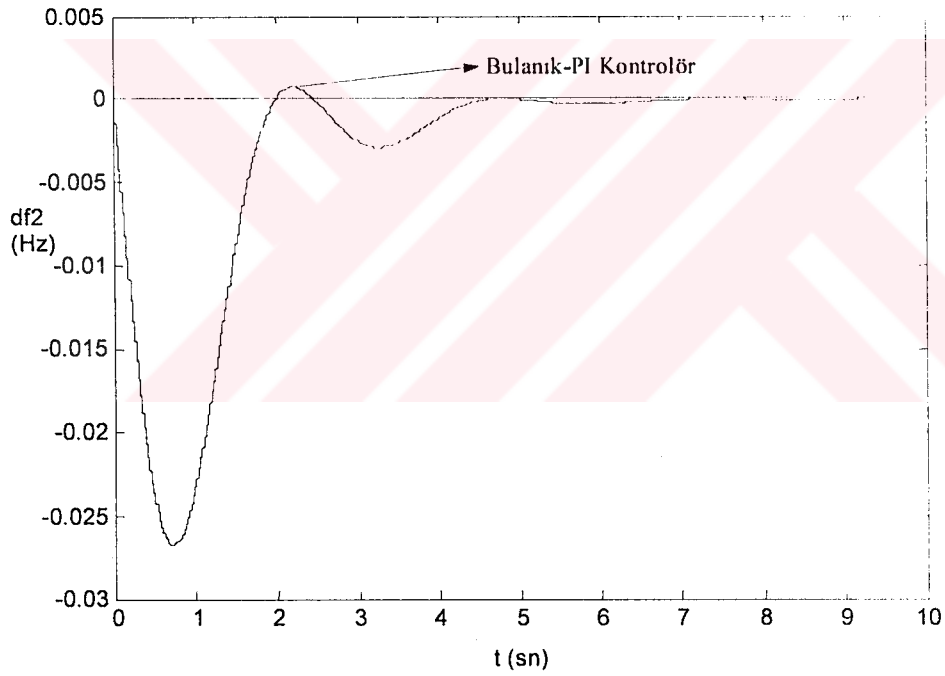


Şekil 3.18. BMPI kontrolör blok şeması

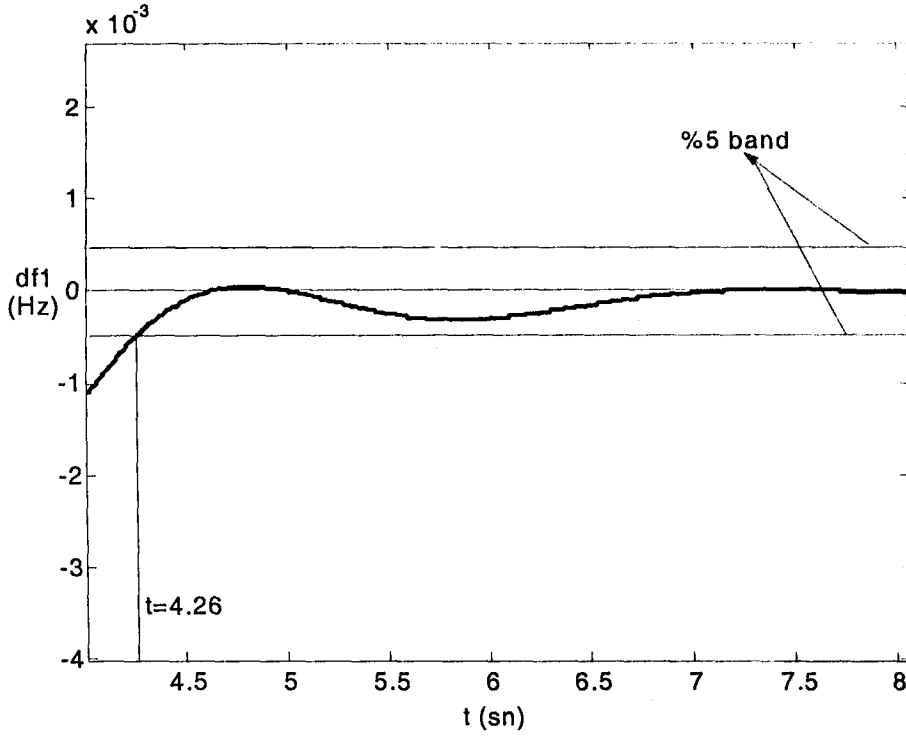
Aşağıda BMPI için elde edilen çıkış değerlerinin değişimi verilmiştir.



Şekil 3.19. İki bölgeli güç sistemi için BMPI kontrolörlü güç sistem çıkışı ($df1$)



Şekil 3.20. İki bölgeli güç sistemi için BMPI kontrolörlü güç sistem çıkışı ($df2$)



Şekil 3.21. İki bölgeli güç sistemi için BMPI kontrolörlü güç sistem çıkışının büyütülmüş görünüşü (df1)

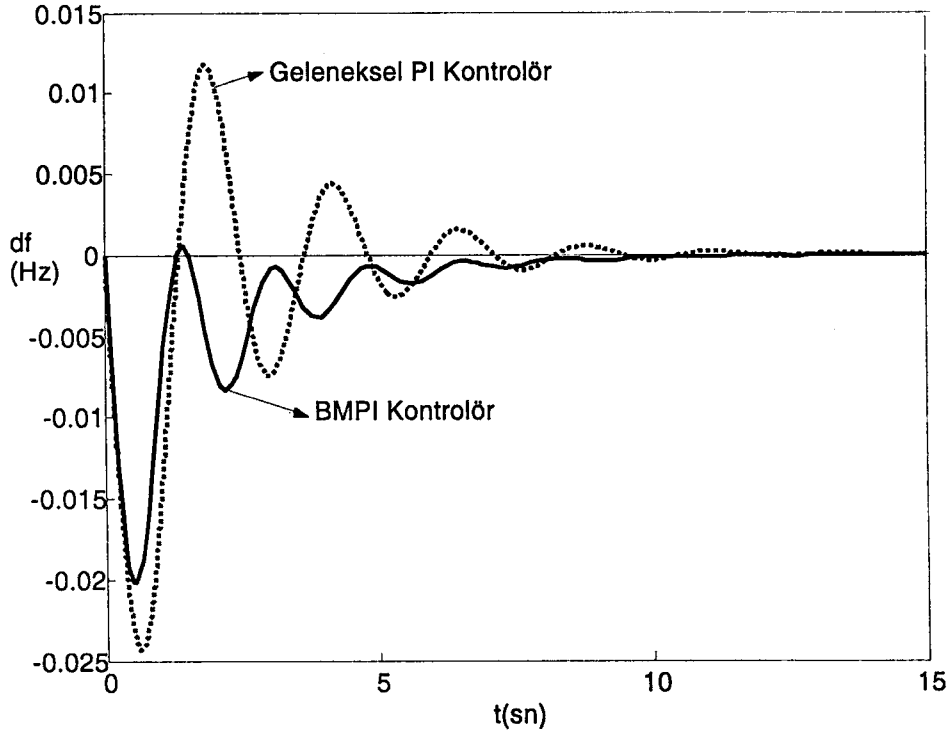
Şekil 3.19, 3.20'de verilen sonuçlar, iki bölgeli güç sisteminin iki ayrı frekans çıkış grafikleridir. Sisteme uygulanan %10'luk yük değişimi için alınan sonuçların %5 bant aralığı için büyütülmüş görünüşü Şekil 3.21'de gösterilmiştir. Ayar değerinin oturmuş kabul edilmesi için, kontrolde kullanılan % 2, 3, 5, 10 bant aralıklarından, sistem çıkışını ve performansları daha iyi gösterdiği için %5 bant aralığı tercih edilmiştir.

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

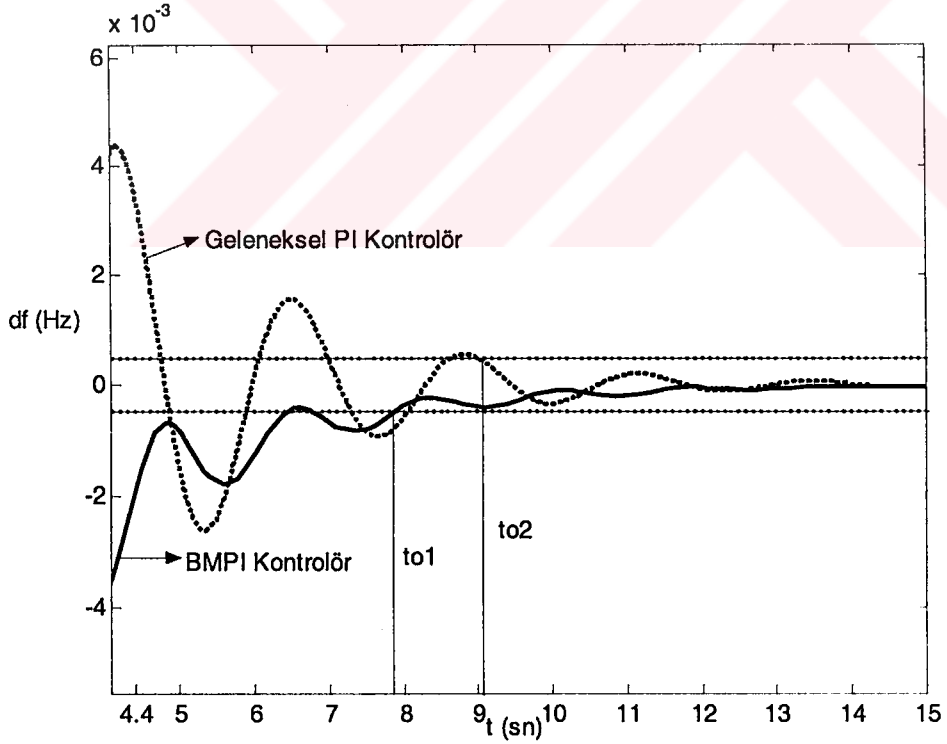
Bu tezde tek bölgeli bir güç sistemi ile iki bölgeli güç sisteminin yüksek frekans kontrolü incelenmiştir. Bu amaçla, sistemin kontrolünde farklı farklı kontrolörler denenmiştir. Bunlar sırasıyla, oransal-integral, PI, bulanık mantık, BM, ve kazancı bulanık mantıkla ayarlanmış PI (BMPI) kontrolörlerdir. Önerilen BMPI kontrolörün üstünlüklerinin gösterilmesi amacıyla referans (10)'da önerilen BMPI'da karşılaştırma amacıyla denemiştir. Böylece tezde hem bulanık mantık ile desteklenen geleneksel kontrolörlerin daha iyi sonuçlar vereceği görülürken, hem de aynı yolla yapılan başka bir çalışma yardımı ile önerilen kontrolörün diğerlerinden farkı da vurgulanmıştır. Simülasyon sonuçları aşağıdaki şekillerde ve tablolarda verilmektedir.

4.1. Tek Bölgeli Güç Sistemi için Kontrolörlerin Karşılaştırılması

Şekil 4.1 ve 4.2 ile Tablo 4.1'de tek bölgeli güç sistemi için bu tezde uygulanmış olan tüm kontrolörlerin optimum çıkışlarının üst üste çizilmiş grafik hali ile rakamsal ifadeleri bulunmaktadır. Grafiklerde ve Tablo 4.1'de, %5 band değeri için, kontrolörlerin oturma zamanları ve aşma değerleri gösterilmiştir. Buna göre, sistem çıkışı df için oturma zamanı BMPI ve PI kontrolör için sırasıyla göre $t_{01}=7.85$ sn ve $t_{02}=9.06$ sn olarak bulunmuştur. Aynı kontrolörler için aşma değerleri aynı sırayla, -0.0200 (Hz) ve -0.0243 (Hz) olarak bulunmuştur. Bütün bu değerlere göre BMPI kontrolörün oturma zamanının ve aşma değerinin geleneksel PI kontrolöre göre çok daha iyi olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 4.1. Tek bölgeli güç sistemi için PI ve BMPI kontrolör sonuçları



Şekil 4.2. Tek bölgeli güç sistemi için PI ve BMPI kontrolör sonuçlarının büyütülmüş hali

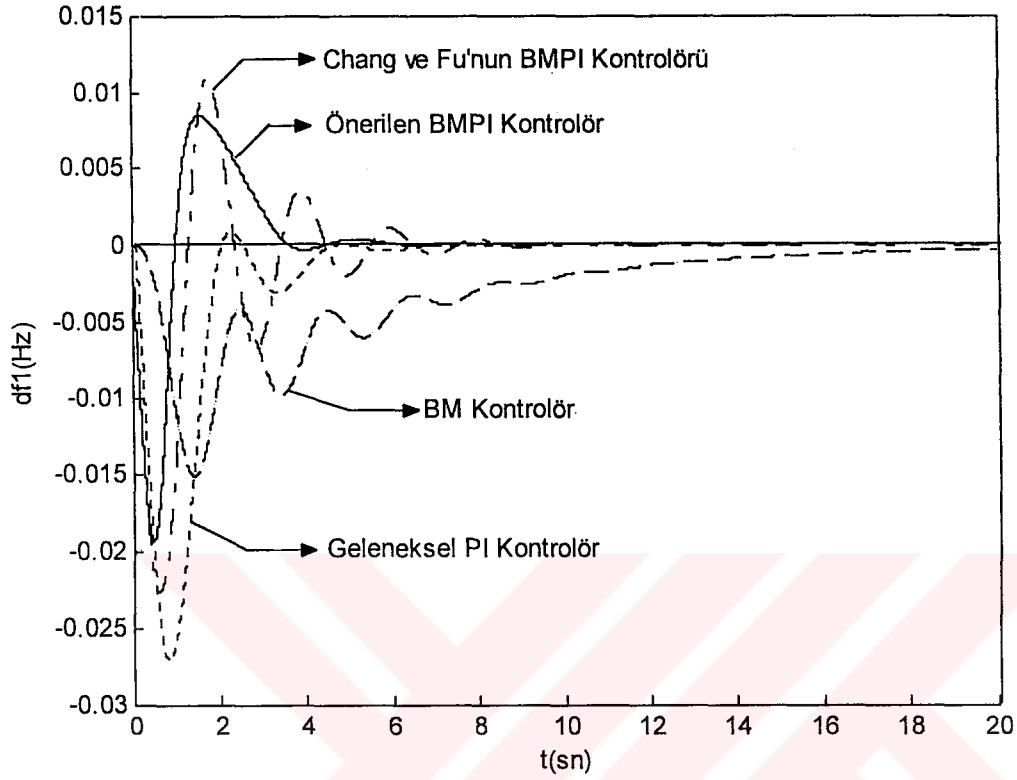
Tablo 4.1. Tek bölgeli güç sisteminde sistem performanslarının PI ve BMPI kontrolörler için tablo gösterimi

	$\Delta f1$	
	Oturma Zamanları (sn) (%5 band aralığı için)	Maksimum Aşma (Hz)
Bulanık Mantık	$t_{01}=7.85$	- 0.0200
PI Kontrolör	$t_{02}=9.06$	- 0.0243

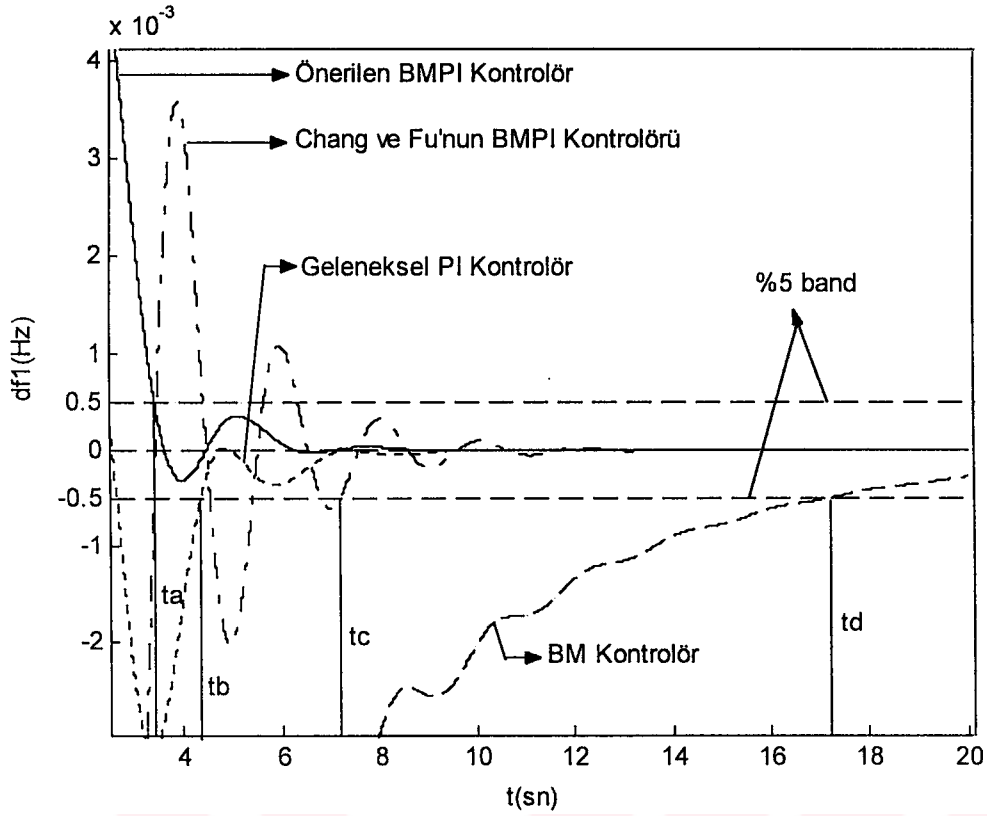
4.2. İki Bölgeli Güç Sistemi için Kontrolörlerin Karşılaştırılması

Şekil 4.3 ve 4.4 ile Tablo 4.2’de iki bölgeli güç sistemi için bu tezde uygulanmış olan tüm kontrolörlerin optimum çıkışlarının üst üste çizilmiş grafik hali ile rakamsal ifadeleri bulunmaktadır. Grafiklerde ve tabloda, %5 bant değeri için, kontrolörlerin oturma zamanları ve aşma değerleri gösterilmiştir. Buna göre, sistem çıkışı $df1$ için oturma zamanı önerilen BMPI, Chang ve $Fu^{(10)}$ tarafından geliştirilen BMPI, geleneksel PI, ve sadece BM kontrolör için sırasıyla $t_a=3.47$, $t_b=4.37$, $t_c=7.21$ ve $t_d=17.13$ sn olarak bulunmuştur. Aynı kontrolörler için aşma değerleri aynı sırayla, -0.0194, -0.0271, -0.0226, ve - 0.0152 Hz olarak bulunmuştur. Bütün bu değerlerde, önerilen BMPI kontrolörün hem oturma zamanı olarak, hem de aşma değeri olarak daha iyi olduğu görülmektedir. Ayrıca oturma zamanının en uzun olmasına karşın, aşma değerinde PI kontrolöre göre BM kontrolör daha iyi sonuçlar vermektedir. Buna göre güç sistemlerinde BM kontrolörlerin iyi sonuçlar verebileceği söylenebilir. Ancak, BM kontrolörün tek başına kullanıldığında PD kontrolör gibi davranmasından dolayı ortaya çıkan problemlerin çözümünde, geleneksel bir kontrolörü BM kontrolöre eklemek

gerektiği de gözden kaçmamalıdır. Sistemlerin performanslarının daha iyi gözlemesi için Tablo 4.2'ye bakılabilir.



Şekil 4.3. İki bölgeyi güç sistemi için tüm kontrolörlerin güç sistem çıkışının karşılaştırılmaları (df1)



Şekil 4.4. İki bölge güç sistemi için tüm kontrolörlerin güç sistem çıkışının karşılaştırılmalarının büyütülmüş hali (Δf_1)

Tablo 4.2. İki bölge güç sistemi için sonuçların tablo halinde gösterimi

Kontrolörler	Δf_1			
	Oturma Zamanı (%5 band için)		Maksimum Aşma	
	Zaman (Saniye)	Yüzdeler Oran (Diğerleri/Ö-BMPI*100)	Genlik (Hz)	Yüzdeler Oran (Diğerleri/Ö-BMPI*100)
Önerilen BMPI (t_a)	$t_a=3.47$	100	- 0.0194	100
Geleneksel PI (t_b)	$t_b=4.37$	125	- 0.0271	140
Chang'in BMPI (t_c)	$t_c=7.21$	208	- 0.0226	116
BM (t_d)	$t_d=17.13$	498	- 0.0152	78

Burada bulunan sonuçların doğru olup olmadığını anlamının bir diğer yolu da sistem çıktılarının mutlak hata integrallerinin karşılaştırılmasıdır. Bu amaçla aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$I_e = \int_0^{\infty} [r(t) - x(t)]^2 .dt \quad (4.1)$$

Burada $r(t)$, referans sinyali, $x(t)$ ise sistem çıkışındaki frekans sapmasının grafiğini göstermektedir. dt zaman sabiti bulanık mantık kontrolörler için 1 saniye ve geleneksel PI kontrolör için 10 saniye kabul edilerek simülasyon yapılmıştır. Buna göre aşağıdaki Tablo 4.3'ten görüleceği gibi önerilen BMPI yine en iyi yöntem olarak çıkmıştır. Bütün bunlardan sonra iki bölgeli ve tek bölgeli güç sistemlerinde BMPI kontrolörler, sistemin yük-frekans kontrolünde önerilmektedir.

Tablo 4.3. Mutlak hata integrallerine göre kontrolörlerin performans karşılaştırmaları

Kontrolörler	Mutlak Hata Integralleri	Oran (Diğerleri/Ö-BMPI)
Önerilen BMPI	0.0025	-
Geleneksel PI	0.0062	2.48
Chang'ın BMPI	0.0043	1.72
BM	0.0040	1.6

4.3. Sonuçların Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, elektriksel güç sistemlerine genel bir bakış yapıldıktan sonra, tek ve iki bölgeli güç sistemlerinin yük-frekans kontrolü yeni kontrol teknikleri ile yapılmıştır. Çalışmanın zenginleşmesi ve önerilen kontrol tekniğinin üstünlüğünün gösterilmesi amacıyla sistemlere geleneksel kontrol tekniklerinden olan PI kontrol tekniği de uygulanmıştır. Literatür inceleme sırasında rastlanan kazancı bulanık mantık ile ayarlanmış PI (BMPI) kontrol tekniği bu çalışmada öncelikle incelenmiştir. İnceleme sırasında grlmştrki; kazanç ayarlama sırasında genelde oransal kazanç K_p öncelikle büyük alınmakta ve buna karşın integral kazancı K_i kk alınmaktadır. Daha sonra ise kazançlar bu şekilde oluturulan kurallar çerçevesinde değiştirilmektedir. Bu amaçla referans (10)'da Chang ve Fu tarafından yapılan BMPI incelenmiştir. İnceleme sırasında kazanç değerlerini ayarlayan bulanık mantık bölge sayısının sadece (B)yk ve (K)k olmak üzere iki şekilde seçildiği görülmüştür. Bölge sayılarının artırılarak sistem hassasiyetinin artırılabilceği düşünülerek bulanık mantık bölge sayısı yediye çıkarılmıştır. Böylece kazanç değerleri ile daha hassas oynanarak hızlı tepki istenen güç sistemlerinin yük-frekans kontrolü daha iyi yapılabilmiştir. Sonuçta tasarlanan yeni BMPI kontrolör, tek ve iki bölgeli güç sistemlerinin yük-frekans kontrolünde kontrolör olarak önerilmiştir. Aynı sistemlerin, gelecekte, yapay sinir ağları ile kontrol edilmesinin yanında, hibrit kontrolörler olarakta bilinen, yapay sinir ağlı bulanık mantık kontrolörler ile de kontrol edilmesi düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. P. Kundur, Power System Stability and Control, Mc Graw-Hill Co. Inc., New York, (1993).
2. O.I. Elgerd, Electric Energy Systems Theory, Mc Graw-Hill Co. Inc., New York, (1982).
3. G. Akalın, İ. Kocaarslan, N. Yörükeren, T. Erfidan, İki Bölge Bir Güç Sistemi İçin Yük-Frekans Kontrolünde Kullanılan PI Kontrolörün Kazancının Bulanık Mantık ile Programlanması, TOK'98- Otomatik Kontrol Bilimsel toplantısı, İstanbul, 133, (1998).
4. S. Tesnjak, S. Mikus, O. Kuljaka, Load-Frequency Fuzzy Control in Power Systems, <http://digilander.iol.it/ognjen/downloads.html>, (2004).
5. D.K. Chatuverdi, P.S. Satsangi, P.K. Kalra, Load Frequency Control: A Generalised Neural Network Approach, Electrical Power and Energy Systems, **21**, 405, (1999).
6. K. Ashok, , O.P. Malik, et all., Variable-structure-system Control Applied to AGC of an Interconnected Power System, IEEE Proc., **132**, Pt. C., No.1, (1985).
7. C. Zobi, Yük-Frekans Kontrolünün İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul, (1996).
8. C.C. Lee, Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller II, IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, **20**, No.2, 419, (1990).
9. Q.P. Ha, H. Trinh, A Variable Structure-based Controller with Fuzzy Tuning for Load-frequency Control, Int. J. of Power and Energy Systems, **20**, No.3, 146, (2000).

10. C.S. Chang, W. Fu, Area Load Frequency Control Using Fuzzy Gain Scheduling of PI Controllers, *Electric Power Systems Research*, **42**, 145, (1997).
11. J. Talaq, F. Al-Basri, Adaptive Fuzzy Gain Scheduling for Load Frequency Control, *IEEE Trans. On Power Systems*, **14**, No.1, 145, (1999).
12. Q.P. Ha, H. Trinh, A Variable Structure-based Controller with Fuzzy Tuning for Load-frequency Control, *Int. J. of Power and Energy Systems*, **0**, No.0, pp:1, (2001).
13. G. Kurt, Fuzzy Gain Scheduling for LFC with SMES and SSPS in Power Systems, *Proc. of the IASTED International Conference Modelling, Identification, And Control, Austria*, 303, (2001).
14. G. Kurt, Load-Frequency Controlling of Two Area Power System with Fuzzy Gain Scheduled PI Controller, *Proc. of the IASTED International Conference Power, And Energy Systems, Spain*, 212, (2000).
15. A. Demirören, E. Yeşil, Automatic Generation Control with Fuzzy Logic Controllers in the Power System Including SMES Units, *Electrical Power and Energy Systems*, **26**, 291, (2004).
16. M.K. El-Sherbiny, G. El-Saady, A.M. Yousef, Efficient Fuzzy Logic Load-Frequency Controller, *Energy Conversion and Management*, **43**, 1853, (2002).
17. H.B. Kazemian, Development of an Intelligent Fuzzy Controller, *IEEE International Fuzzy Systems Conference*, 517, (2001).

18. Y.L. Karnavas, D.P. Papadopoulos, AGC for Autonomous Power System Using Combined Intelligent Techniques, *Electric Power Systems Research*, **62**,:225, (2002).
19. S.K. Tso, T.X. Zhu, Q.Y. Zeng, K.L. Lo, Investigation of Extended Fuzzy Reasoning and Neural Classification for Load-Shedding Prediction to Prevent Voltage Instability, *Electric Power Systems Research*, **43**, 81, (1997).
20. A.P. Birch, A.T. Sapeluk, C.S. Özveren, An Enhanced Neural Network Load Frequency Control Technique, *Conference of Control'94*, 409, (1994).
21. I. Kocaarslan, Einsatz Adaptiver Regelkonzepte in Einem Dampfkraftwerk, Doktora Tezi, Bochum University, Germany, (1991).
22. I. Kocaarslan, Application of adaptive Control Concept in a 750 MW Coal Fired Power Plant, *IFAC Congress, Sydney-Australia*, (1993).
23. A. Demirören, H.L. Zeynelgil, N.S. Şengör, The Application of ANN Technique to Load-Frequency Control for Three-Area Power System, *IEEE Porto Power Tech Conference*, 1, (2001).
24. R.A. Shoureshi, B. Hoffner, Z. Hu, R.A. Kramer, Neural-Based Generation Control for Highly Varying and Uncertain Loads, *IEEE Porto Power Tech Conference*, 22, (2001).
25. P. Dangprasert, V. Avatchankorn, Genetic Algorithms Based on an Intelligent Controller, *Expert Systems with Applications*, **10**, No.3/4, 465, (1996).

26. G. Prasad, et al, A Neural Net Model-Based Multivariable Long-Range Predictive Control Strategy Applied in Thermal Power Plant Control, IEEE Trans. on Energy Conversion, **13**, No.2, (1998).
27. 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, (2002).
28. T. Senjyu, H. Takara, K. Uezato, T. Funabashi, One-Hour-Ahead Load Forecasting Using Neural Network, IEEE Trans. on Power Systems, **17**, No.1, (2002).
29. O.P. Malik, A. Kumar, G.S. Hope, A Load Frequency Control Algorithm Based on a Generalized Approach, IEEE Trans. on Power Systems, **3**, No.2, 375, (1988).
30. J.D. Glover, F.C. Schweppe, Advanced Load Frequency Control, IEEE Winter Meeting, 2095, January 30-February 4 (1972).
31. F.P. De Mello, W.F. B'Rells, Automatic Generation Control – Part I: Process Modelling, IEEE Summer Meeting, 710, July 9-14 (1972).
32. B.H. Bakken, O.S. Grande, Automatic Generation Control in a Deregulated Power system, IEEE Trans. on Power Systems, **13**, No.4, 1401, (1998).
33. A.P.S. Meliopoulos, G.J. Cokkinides, A.G. Bakirtzis, Load-Frequency Control Service in a Deregulated Environment, Decision Support Systems, **24**, 243, (1999).
34. M.L. Kothari, P.S. Sataangi, J. Nanda, Sampled-Data Automatic Generation Control of Interconnected Reheat Thermal Systems

- Considering Generation Rate Constraints, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, **PAS-100**, No.5, 2334, (1981).
35. S.K. Aditya, D. Das, Battery Energy Storage for Load Frequency Control of an Interconnected Power System, Electric Power Systems Research, **58**, 179, (2001).
36. A. Yıldız, Üç Makinalı Bir Sistem Haline Dönüştürülen Çok Makinalı Sistemin Sayısal Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul, (1985).
37. A.J. Wood, B.F. Wollenberg, Power Generation, Operation and Control, John Wiley&Sons, New York, (1984).
38. G. Akalın, Güç Sistemlerinde Yük-Frekans Kontrolü, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, (2000).
39. A. Rubai, V. Udo, Self-Tuning Load-Frequency Control: Multilevel Adaptive Approach, IEE Proc. Gener. Trans. Dist. **141**, No:4, 285, (1997)
40. Y. Hsu, W. Chan, Coordinated Frequency and Voltage Control of Synchronous Generators, IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, **AES-23**, No:1, 2, (1997).
41. A. Gegov, P. Frank, Decomposition of Multivariable Systems for Distributed Fuzzy Control, Fuzzy Sets and Systems, **73**, 329, 1995.
42. O. Elgerd, C. Fosha, Optimum Megawatt-Frequency Control of Multiarea Electric Energy Systems, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, **PAS-89**, No:4, 556, (1970).
43. G. Ray, A.N. Prasad, G.D. Prasad, A New Approach to the Design of Robust Load-Frequency Controller for Large Scale Power Systems, Electric Power Systems Research, **51**, 13, (1999).

44. E.B. Shahrodi, A. Morched, Dynamic Behaviour of AGC Systems Including the Effects of Nonlinearities, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, **PAS-104**, No.12, 3409, (1985).
45. Y. Wang, R. Zhou, C. Wen, Robust Load-Frequency Controller Design for Power Systems, IEE Proceedings of Control, **140**, No.1, 11-16, (1993).
46. V. Donde, M.A. Pai, I.A. Hiskens, Simulation and Optimization in an AGC System After Deregulation, IEEE Trans. on Power Systems, **16**, No.3, 481, (2001).
47. A.S. Yılmaz, E. Yanıkoğlu, M. Turan, Enerji Sistemlerinde PID Denetleyiciler ile Yük-Frekans Denetimi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, **2**, 105, (1997).
48. M.H. Hamza, P. Agathoklis, W.C. Chan, A Combined Self-Tuning and Integral Controller for Load Frequency Control of Interconnected Power Systems, Regelungstechnik, **7**,:226, (1982).
49. K.S. Tang, K.F. Man, G. Chen, S. Kwong, An Optimal Fuzzy PID Controller, IEEE Trans. on Industrial Electronics, **48**, No.4, 757, (2001).
50. P. Hoang, K. Tomsovic, Design and Analysis of an Adaptive Fuzzy Power System Stabilizer, IEEE Trans. on Energy Conversion, **11**, No:2, 455, (1996).
51. E. Çam, İ. Kocaarslan, Load frequency control in two area power systems using fuzzy logic controller, Energy Conversion and Management, In Press, (2004).

52.E. Davison, N. Tripathi, The Optimal Decentralized Control of a Large Power System: Load and Frequency Control, IEEE Trans. on Automatic Control, AC-23, No:2, 312, (1978).



ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında Samsun'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Samsun'da tamamladı. 1991 yılında girdiği Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden 1996 yılında mezun oldu. 1997-1999 yılları arasında Yüksek Lisansını Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Ana bilim Dalında tamamladı. 2000-2004 yılları arasında Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Ana bilim Dalında Doktora öğrenimini tamamladı. Evli ve bir çocuk babasıdır.

