

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜÇ SİSTEMLERİNDE YÜK-FREKANS KONTROLÜ

96850

DOKTORA TEZİ

Elk. Yük. Müh. Gül AKALIN KURT

Anabilim Dalı : Elektrik

Danışman : Prof. Dr. İlhan KOCAARSLAN

**TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

ŞUBAT 2000

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜÇ SİSTEMLERİNDE YÜK-FREKANS KONTROLÜ

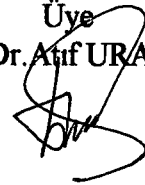
DOKTORA TEZİ
Elek.Yük.Müh.Gül AKALIN KURT

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22.02.2000
Tezin Sunulduğu Tarih : 29.06.2000

Tez Danışmanı
Prof.Dr.İlhan KOCAARSLAN



Üye
Prof.Dr.Nesrin TARKAN Prof.Dr.Atif URAL



Üye
Prof.Dr.Hüseyin ÇAKIR



Üye
Doç.Dr.M.Ali YADÇIN



ŞUBAT 2000

ENTERKONNEKTE GÜÇ SİSTEMLERİNDE YÜK-FREKANS KONTROLÜ

Gül AKALIN

Anahtar Kelimeler : Yük-Frekans Kontrolü, otomatik Üretim Kontrolü, PID Kontrolörde Kazancın Programlanması, Bulanık Mantık Kontrolü.

Özet : Güç sisteminin birincil işlevi sisteme bağlı değişik karakteristik gösterilebilen yükler tarafından talep edilen aktif ve reaktif gücü verebilmektedir. Sağlanan güç sürekli olmakla birlikte, sabit frekans, sabit gerilim, yüksek güvenilirlik gibi gücün kalitesini belirleyen faktörlere de sahip olmalıdır.

Tüketici talebinin değişmesiyle güç sisteminin durumunda da önceden öngörülmeven değişiklikler ortaya çıkar. Aktif güç tüketimindeki bir değişim sistem frekansını etkiler. Sistem frekansındaki değişiklikleri ve bağlantı hattı yükünü arzu edilen sistem frekansı ve önceden planlanan güç alışverişi değerine ayarlamak üzere generatör ünitelerinin aktif güç çıkışının kontrol problemi yük-frekans kontrolü yada otomatik üretim kontrolü olarak tanımlanır.

Yük-frekans kontrol çevrimi birbiriyle bağımlı iki kontrol çevriminden oluşur.

- Birincil frekans kontrol çevrimi
- İkincil frekans kontrol çevrimi

Senkron makinanın sadece bir hız regilatörü ile kontrolünün söz konusu olduğu birincil kontrol frekans kontrolü açısından yeterli olmadığından frekans ve bağlantı hattı gücündeki bozulmanın oluşturduğu hatanın (bölge kontrol hatası) kendisi ve onun integrali ile orantılı bir sinyal hız regülatörüne eklenerek ikincil bir kontrol sağlanmıştır. Oransal ve integral kontrol, güç sistemlerindeki otomatik üretim kontrolüne klasik bir yaklaşım sağlar.

Bu yaklaşım ile elde edilen optimum oransal ve integratör kazancı ile sistemin kontrolü geçici frekans bozulmaları ve aşırı yükselmeler ile sonuçlanacaktır. Buna ilaveten, sistem frekans bozulmasının oturma zamanı çok uzun olacaktır.

Amaçlanan kontrolör olan kazancın bulanık mantık kuralları ile programlandığı oransal-integral kontrolör ile büyük aşırı yükselmelerden kaçınılabılır ve oturma zamanı klasik oransal-integral kontrolörden daha kısa olabilir. Amaçlanan kontrolör ile sürekli durumda sıfır frekans ve bağlantı hattı güç akışı bozulması sağlanabilir.

LOAD-FREQUENCY CONTROL in INTERCONNECTED POWER SYSTEM

Gül AKALIN

Keywords : Load-Frequency Control, Automatic Generation Control, Gain Scheduling, Fuzzy Logic Control

Abstract : The primary function of an electric power system is to provide the real and reactive power demanded by various loads connected to the system. The supplied power, in addition to continuity, must also meet certain minimum requirements in regard to quality, such as; constant frequency, constant voltage and high reliability.

As demand deviates from its normal value with an unpredictable small amount the state of the system will change. Deviation of real power consumption affect, essentially, the frequency. The problem of controlling the real power output of electric generators, in response to changes in system frequency and established tie-line interchange with in predetermined limits, is termed 'load-frequency control' or the automatic generation control.

Load-frequency control loop include two dependent control loops;

- Primary frequency control loop
- Secondary frequency control loop.

Controlling of the frequency was via the flywheel governor of the synchronous machine, but it was insufficient. A supplementary control was added to governor by means of a signal directly proportional to frequency deviation plus its integral. This proportional plus integral control scheme constitutes the classical approach to the automatic generation control of power systems.

Classic approach to determined the optimum proportional and integrator gains for the control of system will result in transient frequency deviation and relatively large overshoots. Furthermore, the settling time of the system frequency deviation is relatively long.

With proposed controller, proportional-plus-integral controller with a fuzzy gain scheduler, a large overshoot can be avoided and setting time of proposed control strategy is much shorter than that with a classic proportional-plus-integral controller. The proposed control can be achieved for each area both zero steady-state frequency and tie-line-power deviation.

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Dünyanın her ülkesi sadece ulusal şebekesini oluşturmakla yetinmemekte, komşu sistemlerle de uygun çalışma maliyetleri ile güç alışverişi yapmak istemektedirler. Bu talep, ulusal bir şebekenin diğer komşu şebekeler ile bağlantısının sağlanması durumunda, sistem frekanslarının enerji üretimlerinin ve birbirleri ile güç alışverişlerinin kontrol edilmesi zorunluluğunu getirmektedir. Bu kontrol işlemi yük-frekans kontrolü ile gerçekleştirilir.

Yük-frekans kontrolünde kontrolörün temel işlevi; çok bölgeli bir enterkonnekte sistemde, güç alışverişi ve frekans bozulmalarında sürekli durumda sıfır hata ve optimal geçici davranış sağlamaktır.

Bu çalışmada, güç sistemlerinde yük-frekans kontrolünü gerçekleştirmek üzere, dinamiklerin lineer değişmediği işletme şartları için uygun sonuçlar veren kazancın bulanık mantık kuralları ile programlandığı PI kontrolör kullanılmış ve sonuçlar tartışılmıştır.

Bu tezin hazırlanması sırasında gerek literatür desteği gerek yol göstericiliği ile yardımcı olan tez danışmanım Prof. Dr. İlhan KOCAARSLAN 'a, manevi desteklerini her zaman hissettiğim Prof. Dr. Atıf URAL ve Prof. Dr. Nesrin TARKAN 'a, teşekkürlerimi, saygı ve sevgilerimi sunarım. Bu çalışmamı, bu konuma gelmemde her an maddi ve manevi desteklerini gördüğüm aileme ve eşime ithaf ediyorum.

Şubat 2000, KOCAELİ

Gül AKALIN KURT

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
TABLolar DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. GÜÇ SİSTEM DİNAMİKLERİNİN YÜK - FREKANS KONTROLÜNE UYGUN OLARAK MODELLENMESİ.....	4
2.1. Generatör Modeli.....	4
2.2. Yük Modeli.....	8
2.3. Türbin Modeli.....	10
2.4. Hız Regülatör Modeli.....	11
2.5. Bağlantı Hattı Modeli.....	13
2.6. Bir Güç Sisteminin Yük-Frekans Kontrolüne Uygun Olarak Modelinin Tanımlanması.....	15
BÖLÜM 3. YÜK-FREKANS KONTROLÜNE UYGUN OLARAK BİR SANTRALİNİN BAŞLICA DÜZENEKLERİ.....	17
3.1. Güç Santralinin Yük-Frekans Kontrolüne Katılması Durumu (Yükün Değişken Olduğu İşletme Şartları İçerisinde).....	19
3.2. Güç Santralinin Yük-Frekans Kontrolüne Katılmaması Durumu (Sabit Yük İşletme Şartları İçerisinde).....	22

BÖLÜM 4. TEK KONTROL BÖLGELİ GÜÇ SİSTEMLERİNDE

OTOMATİK YÜK FREKANS KONTROLÜ.....	25
4.1.Yük-Frekans Kontrolünde Hız Regülatörü.....	25
4.2.İzole Bir Yükü Besleyen Bir Üretim Ünitesinin Hız Kontrolü.....	30
4.3.Paralel Üniteler Arasında Yükün Paylaşımı	31
4.4.Otomatik Yük-Frekans Kontrolünün Birincil Çevriminin Kapanması.....	34
4.5.Otomatik Yük-Frekans Kontrolünün İkincil Çevriminin Kapanması.....	37
4.5.1.KontROLSÜZ Durumda Otomatik Yük-Frekans Kontrol Çevriminin Frekans Cevabı	38
4.5.2.Kontrollü Durumda Otomatik Yük-Frekans Kontrol Çevriminin Frekans Cevabı.....	39
4.6.Otomatik Yük-Frekans Kontrolünde İntegral Kontrolörün Kullanılması.....	40

BÖLÜM 5. İKİ VEYA DAHA FAZLA KONTROL

BÖLGESİNE SAHİP GÜÇ SİSTEMLERİNDE OTOMATİK

YÜK-FREKANS KONTROLÜ.....	43
5.1.Otomatik Yük-Frekans Kontrolünde Birincil Çevrimin Kapanması ve Çevrimin Frekans Cevabı	46
5.2.Otomatik Yük-Frekans Kontrolünde İkincil Çevrimin Kapanması ve Çevrimin Frekans Cevabı.....	48
5.3. Bağlantı Hattı Yönelimli Kontrol Stratejisi.....	50

BÖLÜM 6. GÜÇ SİSTEMLERİNDE YÜK-FREKANS KONTROLÜNÜN

KAZANCIN BULANIK MANTIK İLE PROGRAMLANDIĞI

BİR PI KONTROLÖR İLE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

6.1. PI Kontrolör ile Yük-Frekans Kontrolü	
6.1.1. PI kontrolörler.....	55
6.1.2. PI Kontrolörün Yük-Frekans Kontrolünde Kullanılması.....	56

6.2. Kazancın Bulanık Mantık Kuralları ile Programlandığı	
PI Kontrolörün Yük-Frekans Kontrolünde Kullanılması.....	59
6.2.1. Kazancı Bulanık Mantık Kuralları ile Programlanan	
PI Kontrolörler.....	59
6.2.1.1. Bulanık mantık ile kontrol.....	59
6.1.1.2. Bulanık mantık ile PI kontrolörün	
kazancının programlanması.....	60
6.2.2. Kazancı Bulanık Mantık Kuralları ile Programlanan	
PI Kontrolörler ile Yük-Frekans Kontrolü.....	61
6.2.2.1. Giriş değişkenlerinin aralığının belirlenmesi.....	61
6.2.2.2. Bulanık kuralları.....	63
6.2.2.3. Çıkış değerlerinin durulaştırılması.....	66
6.2.2.4. Kazancın bulanık kurallar ile programlandığı PI	
kontrolörler ile klasik PI kontrolörün performansının	
karşılaştırılması.....	69
BÖLÜM 7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	76
KAYNAKLAR.....	78
EKLER.....	80
ÖZGEÇMİŞ.....	84

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

- ω : Açısal hız
 α : Açısal ivme
 δ : Generatör faz açısı
 P_m : Mekanik giriş gücü
 I : Makinanın eylemsizlik momenti
 M : Makinanın açısal momentumu
 T_{net} : Makinadaki net ivmelendirme momenti
 T_m : Türbin tarafından makine üzerine uygulanan mekanik moment
 T_e : Generatör tarafından makina üzerine uygulanan elektriksel moment
 P_{net} : Net ivmelendirme gücü
 ΔP_D : Frekansa duyarlı yük değişimi
 D : Yük sönüm sabiti
 $\Delta\omega$: Açısal hızdaki değişim (rad/sn)
 ΔP_L : Frekansa duyarsız yük değişimi
 T_{CH} : Buhar haznesi zaman sabiti
 ΔP_V : Vana / kapak pozisyonu değişimi
 ΔP_T : Türbin güç değişimi
 ΔP_g : Valf pozisyon değişimini kontrol eden hata sinyali
 ΔP_{ref} : Hız – yük referansı
 Δf : Frekans değişimi
 ΔX_A : A bağlantı noktasındaki değişim.
 ΔX_B : B noktasındaki değişim
 ΔX_C : C noktasındaki değişim
 ΔX_D : Pilot valfin hidrolik kuvvetlendirici girişindeki değişim.
 ΔX_E : Pilot valfin hidrolik kuvvetlendirici çıkışındaki değişim
 G_g : Hız regülatörü transfer fonksiyonu
 T_g : Hız regülatörü zaman sabiti

P_{hat12} : 1. ve 2. Bölgeler arasındaki bağlantı hattından iletilen net güç

ΔP_{hat12} : 1. ve 2. Bölgeler arasındaki bağlantı hattından iletilen net güç değişimi

V_1 : 1. bölge hat sonu gerilimi

V_2 : 2. bölge hat sonu gerilimi

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

δ_1 : 1.bölgeye ait hat sonu gerilimine ait faz açısı

δ_2 : 2.bölgeye ait hat sonu gerilimine ait faz açısı

f_1 : 1.bölge frekansı

f_2 : 2.bölge frekansı

T_{12} : Bağlantı hattının eş zamanlık katsayısı

χ_p : Oransal bant aralığı (yük referans ayar oranı)

P_e : elektriksel çıkış gücü

ω_R : Rotor hızı

K_p : Oransal kontrolör kazancı

K_I : İntegral kontrolör kazancı

R_U : Regülasyon sabiti(Per-unit)

P_G : Generatör elektriksel çıkış gücü

f_n : Nominal frekansı

Δf : Frekans değişimi (bozulması)

Δf_0 : Statik frekans değişimi

P_{Gn} : Generatör ünitesinin nominal çıkışı (MW)

S_n : Megawatt baz değeri

f_{FL} : Nominal megawatt çıkışında frekans

f_{NL} : Ünitenin yüksüz olması durumunda frekans

R : Hız ayar karakteristiğinin eğimi(Hz/MW)

G_g : Hız regülatörü transfer fonksiyonu.

G_T : Türbin transfer fonksiyonu

G_p : Güç sistemi transfer fonksiyonu

H : Atalet sabiti

D : Yük sönüm sabiti

P_{Y1} : 1.kontrol bölgesinin güç kapasitesi

P_{72} : 2.kontrol bölgesinin güç kapasitesi
 a_{12} : İki kontrol bölgesi arasındaki transfer fonksiyonu
 β : Bölge frekans cevap karakteristiği
 B : Frekans yönelim faktörü
 P_M : Ölçülen güç alışverişi
 P_S : Planlanan güç alışverişi
 F_M : Ölçülen frekans
 F_S : Planlanan frekans
 G_e : PI kontrolör transfer fonksiyonu
 K_p : Oransal kazanç
 K_i : İntegral kazanç
 T_i : İntegral zaman sabiti
 e : Hata (p.u)
 Δe : Hata değişimi (p.u)
 ω_{NL} : Yüksüz durumda ünitenin hızı
 ω_{FL} : Yüklü durumda ünitenin hızı

ACE: Bölge Kontrol Hatası (Area Control Error)
AGC: Otomatik Üretim Kontrolü (Area Generation Control)
LFC: Yük-Frekans Kontrolü (Load-Frequency Control)
 P : Oransal (Proportional)
 PI : Oransal-İntegral (Proportional-Integral)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Çok kontrol bölgesi bir sistem için otomatik yük-frekans kontrolünün birincil ve ikincil çevrimleri (IEEE Committee Report,1973).	2
Şekil 2.1.	Mekanik ve elektriksel güç ile hız arasındaki bağıntıya ilişkin transfer fonksiyonu.	8
Şekil 2.2.	Hız ve moment arasındaki transfer fonksiyonu.....	8
Şekil 2.3.	(a) Dönen kütle ve yükün blok diyagramı (b)İndirgenmiş blok diyagramı.....	10
Şekil 2.4.	(a) Ön ısıtmasız türbinin blok diyagramı ile temsili (b) Yaklaşık lineer modeli.....	11
Şekil 2.5.	Hız regülatör sistemin basitleştirilmiş fonksiyonel diyagramı.....	11
Şekil 2.6.	Buhar türbini için hız regülatör sisteminin matematiksel modelinin blok diyagram ile ifadesi.....	13
Şekil 2.7.	Bağlantı hattının matematiksel ifadesinin blok diyagram ile sunumu.....	15
Şekil 2.8.	Bir güç sisteminin yük-frekans kontrolüne uygun modeli.....	16
Şekil 3.1.	Güç şebekesinde kontrol amacına yönelik olarak izole haldeki bir güç istasyonunun basitleştirilmiş şekli.....	17
Şekil 3.2.	Güç şebekesinden izole edilmiş bir güç santralinin basitleştirilmiş kontrol şeması.....	18
Şekil 3.3.	P-kontrolörlü bir türbin-generatör setinin kontrol karakteristiği.....	19
Şekil 3.4.	Bir türbin-generatör karakteristiğinin yük referans ayarının değiştirilmesi ile yer değiştirmesi.	20
Şekil 3.5.	Oransal bant aralığı farklı iki türbin-generatör bloğunun kontrol karakteristikleri.....	21
Şekil 3.6.	Farklı oransal bant aralığına sahip iki türbin-generatör	

	bloğunun kontrol karakteristiği.....	21
Şekil 3.7.	Temel kontrol şeması: Bir ünite aktif Bir ünite pasif.....	22
Şekil 3.8.	Temel kontrol şeması: Bir ünite aktif Bir ünite pasif.....	23
Şekil 4.1.	İzole bir yükü besleyen generatör ünitesi.....	25
Şekil 4.2.	(a) Bir generatör ünitesinin hız regülasyon karakteristiği (b) Yük artışı ΔP_L yük artışından öncesi / sonrası ve ikincil kontrol.....	26
Şekil 4.3.	Sürekli-durum geri beslemeli bir hız regülatörü.....	28
Şekil4.4.	Hız - kayma karakteristikli bir hız regülatörünün blok diyagramı.....	28
Şekil4.5.	Hız - kayma karakteristikli hız regülatörün ideal sürekli- durum karakteristiği.....	29
Şekil 4.6.	Hız - yük ilişkisini ayarlamak için yük-frekans kontrol hız regülatörü.....	30
Şekil4.7.	Hız regülatörünün hız - çıkış gücü karakteristiğine hız değiştirici servomotor ile gerçekleşen yük-referans ayarının etkisi.....	30
Şekil 4.8.	Bir asenkron hız regülatörünün şeması.....	31
Şekil 4.9.	Kayma karakteristikli hız regülatörlerine sahip üniteler arasında yük paylaşımı.....	33
Şekil 4.10.	Sadece ünite 1'in ikincil kontrole katılması durumunda üniteler arasında yükün paylaşımı.....	34
Şekil 4.11.	Birincil otomatik yük-frekans kontrol çevrimi.....	37
Şekil 4.12.	Birincil yük-frekans kontrol çevriminin adım yük değişimine verdiği frekans cevabı	39
Şekil 4.13.	Kapalı çevrim otomatik yük-frekans kontrol.....	40
Şekil4.14.	İntegral kontrolörü ile donatılmış tek bölgeli bir güç sisteminin otomatik yük-frekans kontrol diyagramı.....	41
Şekil 4.15.	Şekil 4.14'de tanımlanan sistem için adım yük	

	değişiminde ortaya çıkan dinamik frekans dalgalanması.....	42
Şekil 5.1.	Çok bölgeli bir güç sisteminin diyagram ile ifadesi.....	44
Şekil 5.2.	İki bölgeli bir güç sistemi için yük-frekans kontrol çevrimi.....	45
Şekil 5.3.	Her bir kontrol bölgesi için AGC mantığı.....	49
Şekil 5.4.	İki bölgeli sistem için bir adım yük değişikliğinin ardından frekansın ve bağlantı hattı gücünün bozulması sadece birinci bölge için sunulmuştur.....	54
	(a) $B = 0.425$, $K_I = 0.75$, (b) $B = 0$, $K_I = 0.75$ (c) $B = 0$, $K_I = 0$, (d) $B = 1.0$, $K_I = 1.0$	
Şekil 6.1.	i. bölge için konvansiyonel PI kontrolör.....	60
Şekil 6.2.	PI kontrolörünün farklı oransal ve integral kazançları için sistemin cevabı	62
	(a) $K_p = 0.05$; $K_i = 1.25$ (b) $K_p = 0.35$; $K_i = 0.21$ (c) $K_p = 0.05$; $K_i = 0.21$ (d) $K_p = 0.35$; $K_i = 1.25$	
Şekil 6.3.	Bulanık Mantık akış diyagramı.....	64
Şekil 6.4.	Bulanık kazanç programlama şeması.....	64
Şekil 6.5.	Adım yük değişimi için sistem frekans cevabı (Δf_1),..... hata (ACE_1) ve hatanın değişimi (ΔACE_1)	66
Şekil 6.6	Giriş değişkenleri için üyelik fonksiyonları (a)ACE ve (b) ΔACE için.	67
Şekil 6.7.	İstenilen adım cevabı.....	67
Şekil 6.8.	K_p ' ve K_i ' için üyelik fonksiyonları (Chang, 1997).....	71
Şekil 6.9.	Bir bulanık mantık kuralının uygulaması.....	72
Şekil 6.10.	K_p ' ve K_i ' için üyelik fonksiyonları.....	73
Şekil 6.11.	İki kontrol bölgeli bir güç sisteminin yük-frekans kontrolünde kazanç oranlarının bulanık mantık kuralları ile belirlendiği PI kontrolörün kullanılması durumunda sistemin blok diyagramlarla ifadesi	74
Şekil 6.12.	İki kontrol bölgeli bir güç sisteminde birinci bölgede 0.01 p.u	77

adım yük değişimi olması durumunda yük-frekans kontrolünün,
klasik PI kontrolör ve kazancın bulanık mantık kuralları ile
belirlendiği PI kontrolör ile gerçekleştirilmesi durumlarında
(a) Δf_1 , (b) Δf_2 , (c) $\Delta P_{\text{hat } 12}$, (d) K_p (Chang, 1997), (e) K_i (Chang, 1997),
(d) K_p , (e) K_i .



TABLULAR DİZİNİ

Tablo 6.1.	PI kontrolörünün farklı oransal ve integral kazançları için63
	sistemin performansının karşılaştırılması
Tablo 6.2.	K_p ' için bulanık mantık kuralları (Chang,1997).....68
Tablo 6.3.	K_i ' için bulanık mantık kuralları (Chang,1997).....69
Tablo 6.4.	K_p ' için bulanık mantık kuralları70
Tablo 6.5	K_i ' için bulanık mantık kuralları70
Tablo 6.6.	Klasik PI ve amaçlanan PI kontrolörler ile yük-frekans.....78
	kontrolünün gerçekleştirilmesi durumunda sistem performansları

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Güç sistemlerinin kontrolünde amaç; elektriksel üretim ve değişen yük talebi arasında arzu edilen sistem frekansını, gerilim seviyesini ve güvenilirliği sağlayarak bir denge oluşturmaktır.

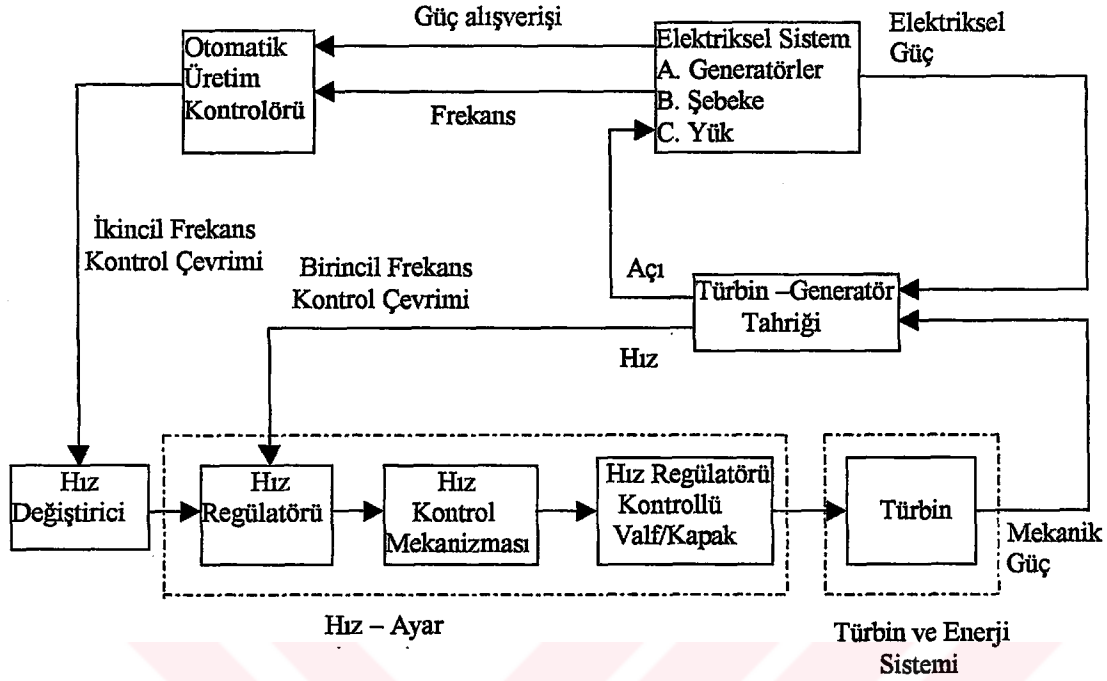
Güç sistemlerinin kalitesinin belirlenmesinde sabit frekans önemli bir faktördür. Tüketici talebinde öngörülme­yen değişimler sistem frekansında bozulmalara neden olacaktır. Yük-frekans kontrol sistemi bu değişiklikleri belirlemeli ve mümkün olduğunca hızlı, etkin bir şekilde bozulmaları yok etmelidir. Hemen hemen bütün büyük senkron generatör üniteleri frekans kontrolüne katılmalıdır.

Yük-frekans kontrol çevrimi generatörün hızını ve aktif güç çıkışını ayarlar. Bu çevrim birbiriyle bağlantılı iki çevrimden oluşur(Şekil 1.1).

- Birincil frekans kontrol çevrimi
- İkincil frekans kontrol çevrimi

Birincil frekans kontrol çevrimi ile; herhangi bir neden ile güç dengesinin bozulması sırasında frekans sapmalarını kabul edilebilir sınırlar içinde tutulmasını sağlayarak frekansın kararlılığı sağlanır. Kontrol çevrimi bir ile birkaç saniye içerisinde cevap verdiği için oldukça hızlıdır. Her üretim biriminde yer alan hız regülatörü ile birincil frekans kontrolü gerçekleştirilir(Elgerd,1971).

İkincil kontrol çevrimi ile; frekansın istenilen değerine restorasyonu sağlanır. Ayrıca, seçilmiş generatörlerin aktif güç çıkışları değiştirilerek kontrol bölgeleri arasındaki istenilen güç alışverişi elde edilir. İkincil kontrol çevriminin cevap yeteneği yavaştır (yaklaşık birkaç on dakika)(Elgerd, 1971).



Şekil 1.1. Çok kontrol bölgesi bir sistem için otomatik yük-frekans kontrolünün birincil ve ikincil çevrimleri (IEEE Committee Report,1973).

Çalışmanın ikinci bölümünde, yük-frekans kontrolünün sistemdeki davranışını gözlemleyebilmek için güç sistem dinamiklerinin bilgisayar simülasyonuna uygun matematiksel modelleri tanımlanmıştır.

Üçüncü bölümde, bir güç santralının yük-frekans kontrolüne katılımını sağlamak için gerekli başlıca düzenekler tanıtılmıştır.

Dördüncü ve beşinci bölümlerde sırası ile tek kontrol bölgesi ve çok kontrol bölgesi güç sistemleri için yük-frekans kontrolü klasik PI kontrolör ile gerçekleştirilerek bilgisayar benzetimlerinin sonuçları sunulmuştur.

Altıncı bölümde ise iki kontrol bölgesi bir güç sisteminin yük-frekans kontrolü kazancın bulanık mantık ile programlandığı PI kontrolör ile gerçekleştirilmiştir. Kontrolörün kazancının programlanması için sistemin adım cevabına dayanılarak uygun bulanık mantık kuralları oluşturulmuştur. Kontrolör kazancının

programlanması için uygun bulanık mantık kuralları oluşturulurken, sistemin farklı oransal ve integral kazançları için gösterdiği performans göz önüne alınmıştır. Yapılan simülasyon çalışmasında oransal ve integral kazançlarının büyük değerlerde seçilmesinin maksimum bozulmayı azalttığı, diğer taraftan, küçük seçilmesi ise oturma zamanını kısalttığı gözlemlenmiştir. Kurallar bu görüş ışığında düzenlenmiştir. Aynı konuda yapılan bir diğer çalışma ise Chang ve Fu (1997) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ise, başlangıçta cevabı iyileştirmek için büyük oransal kazanç, aşırı yükselmeleri önlemek için küçük integral kazanç kullanılmış, daha sonra ise osilasyonu azaltmak için küçük oransal kazanç ve sürekli durum hatasını ortadan kaldırmak için büyük integral kazanç kullanılmıştır. Çalışmada oluşturulan kurallar ile Chang ve Fu (1997) tarafından oluşturulan kuralların her ikisi de kontrolörün kazancını programlamak üzere kullanılarak sistemin yük-frekans kontrolü gerçekleştirilmiş ve klasik PI kontrolörün gösterdiği performans ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu çalışmada amaçlanan kontrolörün sistem cevabındaki maksimum bozulmayı azalttığı ve oturma zamanını kısalttığı gözlemlenmiştir. Böylece, kontrol bölgesindeki frekans bozulması ve bağlantı hattı güç alışverişindeki bozulma daha kısa sürede azaltılabilmektedir.

BÖLÜM 2

GÜÇ SİSTEM DİNAMİKLERİNİN YÜK FREKANS KONTROLÜNE UYGUN OLARAK MODELLENMESİ

Güç sisteminin kontrolünü gerçekleştirmek için sistemdeki her elemanın dinamik performansını anlamak gereklidir. Yük-frekans kontrolünün sistemdeki davranışını gözlemleyebilmek için yük, generatör, türbin, hız regülatörü gibi temel elemanların bilgisayar simülasyonuna uygun modellerinin tanımlanması gerekmektedir.

Bu bölümde güç sistem dinamiklerinin yük-frekans kontrolüne uygun şekilde matematiksel modelleri tanımlanacaktır.

2.1 Generatör Modeli

Bir buhar türbini ile tahrik edilen generatör, dönmeye etki eden iki zıt momentli bir büyük dönen kütle gibi temsil edilebilir. Mekaniksel moment, T_m , dönüş hızının artmasını sağlarken, elektriksel moment, T_e , buna zıt yönde etki ederek azalmasını sağlar. T_m ve T_e büyüklük olarak eşit olduğu zaman dönüş hızı, $\omega = \omega_0$ sabit olur. Elektriksel yük arttırılırsa, öyle ki T_e , T_m 'den daha büyük olursa, tüm dönen sistem yavaşlamaya başlar. Çok fazla yavaşlaması sisteme zarar vereceğinden dengeyi sağlamak için mekanik momentini arttırmak amacıyla bir şeyler yapılmalıdır. Bu, dönüş hızını kabul edilebilir bir değere geri getirmek ve hız tekrar sabit kalacak şekilde momentlerin eşitliği sağlanmakla mümkündür. Bu işlem güç sistemlerinde sürekli olarak tekrarlanır, çünkü yükler sürekli olarak değişir.

Generatör modelini oluşturmadan önce bazı tanımlamalar yapmak yararlı olacaktır.

ω = Açısal hız

α = Açısal ivme

δ = Generatör faz açısı

T_{net} = Makinadaki net ivmelendirme momenti

T_m = Türbin tarafından makine üzerine uygulanan mekanik moment

T_e = Generatör tarafından makine üzerine uygulanan elektriksel moment

P_{net} = Net ivmelendirme gücü

P_m = Mekanik giriş gücü

I = Makinanın eylemsizlik momenti

M = Makinanın açılma momentumu

Generatör modeli oluştururken faz açısı hariç tüm büyüklükleri makine temel değerleri cinsinden per-unit değerde alıp, sürekli halde büyüklüklerin türevi ile ilgileneceğiz. Tüm sürekli hal yada nominal durum değerleri "O" indisi ile (ω_0, T_{net0} gibi.) ve nominal değerden tüm sapmalar " Δ " ile gösterilecek ($\Delta\omega, \Delta T_{net}$ gibi.). Kullanacağımız bazı temel ilişkiler aşağıdaki gibidir.

$$I \cdot \alpha = T_{net} \quad (2.1)$$

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

$$P_{net} = \omega \cdot T_{net} = \omega \cdot (I \cdot \alpha) = M \cdot \alpha \quad (2.3)$$

Bir tek dönen makine olduğunu ve makinanın ω_0 sürekli hızına, δ_0 faz açısına sahip olduğu varsayıldığında, değişik elektriksel ve mekaniksel bozulmalardan dolayı makine, hızlanmasına yada yavaşlamasına sebep olan elektriksel ve mekaniksel momentlerindeki fark nedeniyle zorlanır. Burada üzerinde durulan, nominal değerlerden $\Delta\omega$ kadar hız değişimi ve $\Delta\delta$ kadar faz açısı değişimidir. Faz açısı sapması $\Delta\delta$, α hızlanmasına maruz kalan makine faz açısı ile ω_0 hızında dönen bir referans eksenin faz açısı arasındaki farka eşittir. Hızlanma durumunda makinanın hızı,

$$\omega = \omega_0 + \alpha \cdot t \quad (2.4)$$

ise,

$$\Delta\delta = \int (\omega_0 + \alpha t) dt - \int \omega_0 dt = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 - \omega_0 t = \frac{1}{2} \alpha t^2 \quad (2.5)$$

olur.

Nominal hızdan sapma $\Delta\omega$, o zaman şöyle ifade edilebilir.

$$\Delta\omega = \alpha t = \frac{d}{dt}(\Delta\delta) \quad (2.6)$$

Faz açısı saptması, hız saptması ve net ivmelendirme momenti arasındaki ilişki:

$$T_{net} = I\alpha = I \frac{d}{dt}(\Delta\omega) = I \frac{d^2}{dt^2}(\Delta\delta) \quad (2.7)$$

şeklindedir.

Dönen hız ve mekanik momentteki saptmalar ile mekanik ve elektrik gücündeki saptmalara bakılır ise, net ivmelendirme gücü ile elektriksel ve mekaniksel güç arasındaki bağıntı;

$$P_{net} = P_{neto} + \Delta P_{net} \quad (2.8)$$

olarak sunulabilir.

Burada,

$$\begin{aligned} P_{neto} &= P_{mo} - P_{eo} \\ \Delta P_{net} &= \Delta P_m - \Delta P_e \end{aligned} \quad (2.9)$$

olduğundan,

$$P_{net} = (P_{mo} - P_{eo}) + (\Delta P_m - \Delta P_e) \quad (2.10)$$

dır.

Benzer olarak momentler içinde,

$$T_{net} = (T_{mo} - T_{eo}) + (\Delta T_m - \Delta T_e) \quad (2.11)$$

(2.3) ifadesini kullanarak,

$$P_{net} = P_{net0} + \Delta P_{net} = (\omega_o + \Delta\omega)(T_{net0} + \Delta T_{net}) \quad (2.12)$$

yazılır.(2.10) ve (2.11)'i (2.12)'de yerine koyarsak,

$$(P_{m0} - P_{e0}) + (\Delta P_m - \Delta P_e) = (\omega_o + \Delta\omega)[(T_{m0} - T_{e0}) + (\Delta T_m - \Delta T_e)] \quad (2.13)$$

elde edilir. Senkron çalışma hızında, $P_{m0} = P_{e0}$ ve $T_{m0} = T_{e0}$ dır. ΔT_m ve ΔT_e ile $\Delta\omega$ nin çarpımlarını ihmal edersek,

$$\Delta P_m - \Delta P_e = \omega_o(\Delta T_m - \Delta T_e) \quad (2.14)$$

eşitliği elde edilir.

Denklem (2.7)'de gösterildiği gibi, net moment, hız değişimi ile ilgilidir.

$$(T_{m0} - T_{e0}) + (\Delta T_m - \Delta T_e) = I \frac{d}{dt}(\Delta\omega) \quad (2.15)$$

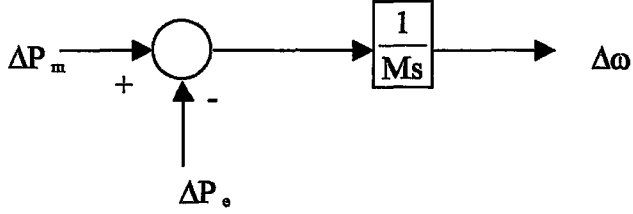
Sürekli durumda $T_{m0} = T_{e0}$ olduğundan (2.14) ve (2.15) denklemini birleştirirsek,

$$\Delta P_m - \Delta P_e = \omega_o I \frac{d}{dt}(\Delta\omega) = M \frac{d}{dt}(\Delta\omega) \quad (2.16)$$

yazılır. Mekanik güç, elektriksel gücü ve hız değişimi arasındaki ilişki, yukarıdaki eşitlik gibidir. Bu eşitliğe Laplace dönüşümünü uygularsak,

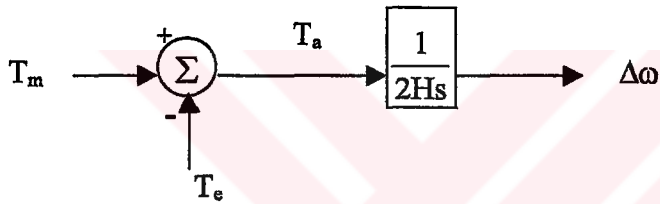
$$\Delta P_m - \Delta P_e = M_s \Delta\omega \quad (2.17)$$

olur. Bu Şekil 2.1'deki modelle temsil edilebilir (Wood,1996).



Şekil 2.1 Mekanik ve elektriksel güç ile hız değişikliği arasındaki bağıntıya ilişkin transfer fonksiyonu.

Hız ile moment arasındaki transfer fonksiyonu ise; $M=2H$ olmak üzere Şekil 2.2'deki gibidir. Burada, H =Atalet sabiti (MW-sn / MVar)(Kundur, 1994)



Şekil 2.2 Hız ve moment arasındaki transfer fonksiyonu

2.2 . Yük Modeli

Güç sistemlerinin yükleri çeşitli elektriksel aygıtların varlığından dolayı farklılıklar gösterir. Bu yüklerin bir kısmı tamamen omik yükler, bir kısmı değişken güç-frekans karakteristiği gösteren motor yükleri ve diğer kısmı ise daha farklı karakteristikler sergileyen yüklerden oluşmuştur. Motor yükleri elektriksel yüklerin önemli bir kısmını oluşturduğu için frekans değişikliğinin sistemdeki net yük üzerindeki etkisinin bir model ile belirlenmesi gerekir. Frekanstaki değişiklik nedeniyle yükte meydana gelen değişiklik arasındaki ilişki şu şekilde verilebilir:

$$\Delta P_D = D \cdot \Delta \omega \quad (2.18)$$

yada,

$$D = \frac{\Delta P_D}{\Delta \omega} \quad (2.19)$$

dir. Burada,

ΔP_D : Frekansa duyarlı yük değişimi

D : Yük sönüm sabiti

$\Delta \omega$: Açısal hızdaki değişim (rad/sn)

Sönüm sabiti; yükteki yüzde değişim için frekanstaki yüzde değişim olarak tanımlanır.

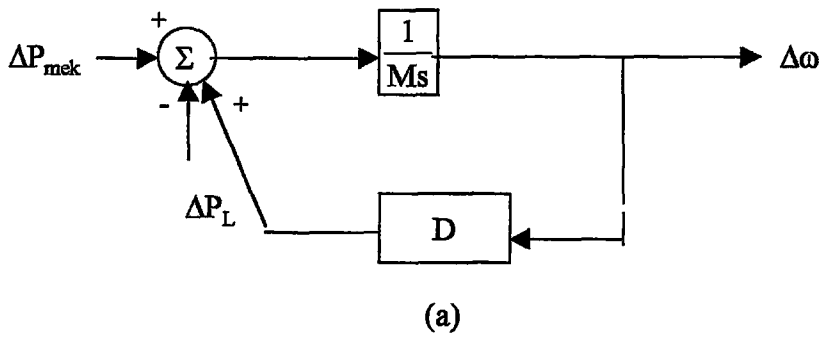
D 'nin tipik değeri %1-%2 arasındadır.

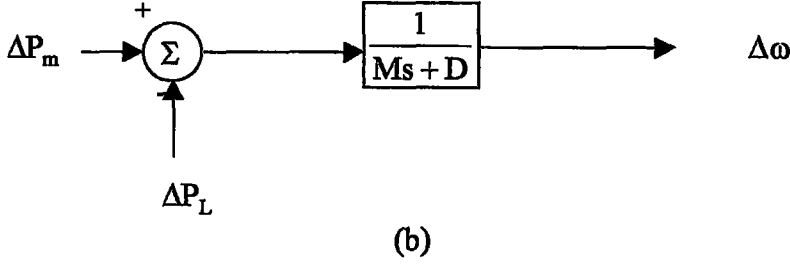
Frekansa duyarsız yük değişimi; ΔP_L ve elektriksel yükteki net değişiklik ΔP_e olmak üzere,

$$\Delta P_e = \Delta P_L + D\Delta \omega \quad (2.20)$$

olarak ifade edilir.

Yük sönümünün etkisini veren sistem blok diyagramı Şekil 2.3 (a)'da sunulmuştur. Bu diyagram Şekil 2.3 (b)'de görülen şekle indirgenebilir (Elgerd, 1971 ve Wood, 1996).



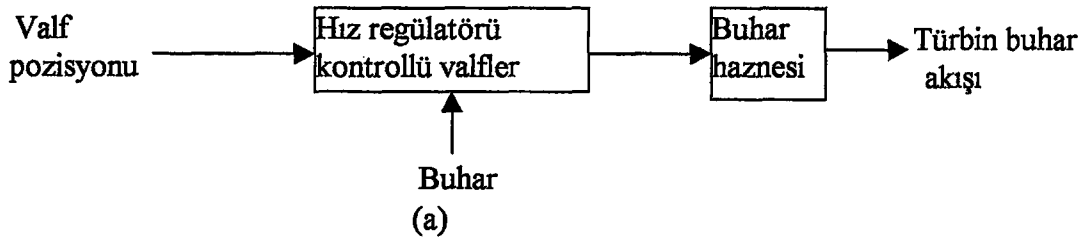


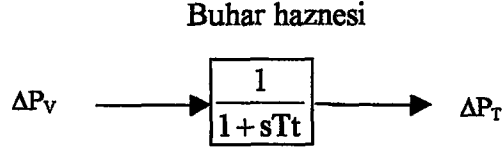
Şekil 2.3 (a) Dönen kütle ve yükün blok diyagramı
(b)İndirgenmiş blok diyagramı.

2.3 .Türbin Modeli

Buhar türbinlerinde buhar akışını kontrol etmek için, yüksek basınç türbinine girişte, hız regülatörü ile kontrol edilen valfler kullanılır. Hız regülatör kontrollü valf ile yüksek basınçlı türbin arasında Şekil 2.4 (a)'da görüldüğü üzere bir buhar haznesi vardır. Bu hazne valfdeki buhar akışı ve yüksek basınçlı türbindeki buhar akışı arasındaki gecikme zamanı ile tanımlanır. Şekil 2.4 (b)'de ki matematiksel model bu etkiyi T_{eq} zaman sabiti olarak göstermiştir.

IEEE Komite Raporuna göre altı adet farklı buhar türbin sisteminden bahsedilebilir. Bunlar; ön ısıtmasız türbin, tandem bağlı-tek ön ısıtmalı türbin, tandem bağlı-çift ön ısıtmalı, çapraz bağlı-tek ön ısıtmalı, çapraz bağlı-çift ön ısıtmasız olarak sıralanabilir(IEEE Committee Report, 1973). Bu bölümde sadece ön ısıtmasız türbin için Şekil 2.4 (a) ve (b)'de ilgili matematiksel model sunulmuştur. Diğer türbinler için ilgili referansda ayrıntılı bilgiler verilmektedir.





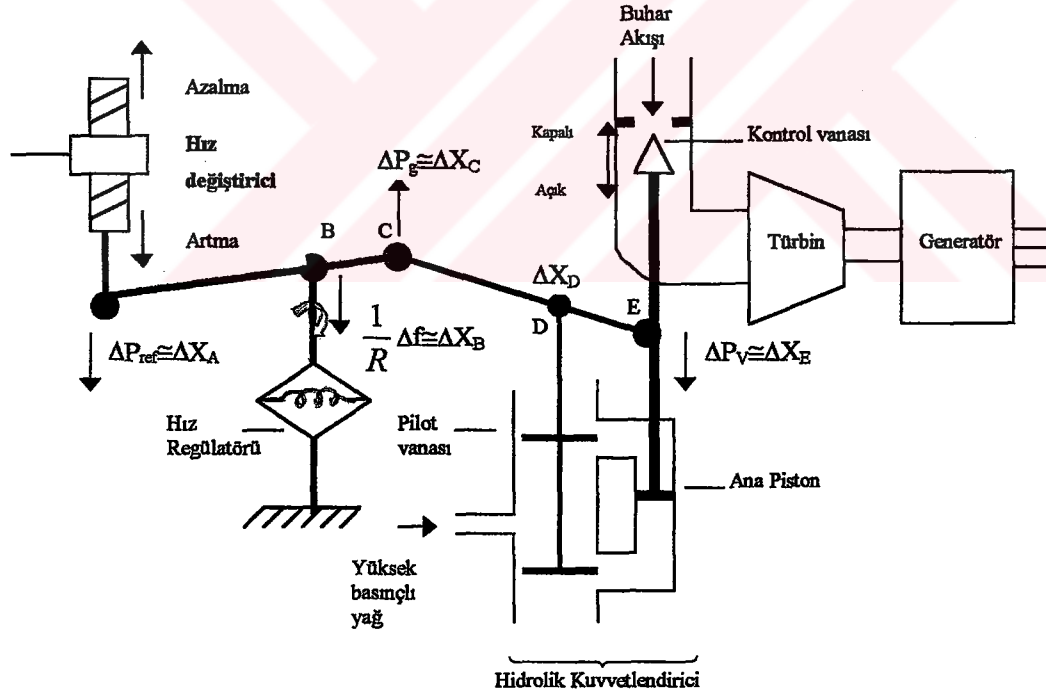
(b)

Şekil 2.4 (a) Ön ısıtmasız türbinin blok diyagramı ile temsili

(b) Yaklaşık lineer modeli

2.4 .Hız Regülatör Modeli

Güç sistemlerindeki aktif gücün kontrolü her bir türbinin tahrik momentinin kontrolü ile sağlanır. Bu hız regülatör sistemi aracılığı ile gerçekleştirilir. Şekil 2.5’de hız regülatör sisteminin işleyişi bir diyagram ile gösterilmektedir. (Elgerd 1971).



Şekil 2.5 Hız regülatör sisteminin basitleştirilmiş fonksiyonel diyagramı

Hız regülatörü temelde mil hızını bir pozisyon çıkışına çeviren mekanik bir çeviricidir.

Hız regülatör çıkışı hız değiştiricinin pozisyonu tarafından belirlenen bir hız-yük

referansı (ΔP_{ref}) ile karşılaştırılır. Hata sinyali (ΔP_g); kontrol valfini kontrol etmek için kullanılır.

$$\Delta P_g = \Delta P_{ref} - \frac{1}{R} \Delta f \quad (MW) \quad (2.21)$$

Hız regülatörünün düzeneği buhar valfini kontrol etmek için gerekli kuvveti geliştiremez. Hız regülasyon sinyalini yükseltmek için hız yol verici olarak nitelendirilen bir pilot valf ve hidrolik kuvvetlendirici kullanılır. Pilot valfin bu kuvvetlendiriciye giriş pozisyonu X_D olmak üzere çıkış pozisyonu X_E dir. Pilot valfindeki küçük bir değişim ΔX_D ise;

$$\Delta X_D = \Delta P_g - \Delta P_V \quad (MW) \quad (2.22)$$

olur. Burada;

$$\Delta P_V = K_g \int \Delta X_D dt \quad (2.23)$$

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

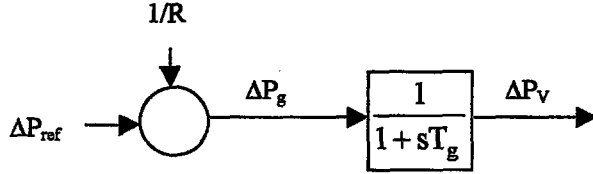
Son iki denklemin Laplace dönüşümü ile, türbine buhar akışını ayarlamak üzere kontrol valfinin pozisyonunu değiştirecek sistemin transfer fonksiyonu Eşitlik (2.21)'de görüldüğü gibi elde edilir.

$$G_G(s) = \frac{\Delta P_V}{\Delta P_g} = \frac{1}{1 + sT_g} \quad (2.24)$$

Burada; T_g zaman sabiti olup,

$$T_g = \frac{1}{K_g} \quad (2.25)$$

dır. Genellikle 0,1 sn.kabul eder. Sistemin blok diyagram ile ifadesi Şekil 2.7'de sunulmuştur (Elgerd, 1971).



Şekil 2.6. Buhar türbini için hız regülatör sisteminin matematiksel modelinin blok diyagram ile ifadesi

2.5 .Bağlantı Hattı Modeli

Hatlardaki kayıplar ihmal edilir ise, her bir hattaki güç şu şekilde yazılabilir:

V_1 = 1. bölge hat sonu gerilimi

V_2 = 2. bölge hat sonu gerilimi

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

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

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

olmak üzere iki bölge arasındaki iletim hattındaki güç,

$$P_{\text{hat12}} = \frac{|V_1| \cdot |V_2|}{X_{12}} \cdot \sin(\delta_1 - \delta_2) \quad (2.26)$$

dir.

Burada,

$$V_1 = |V_1|e^{j\delta_1}, V_2 = |V_2|e^{j\delta_2} \quad (2.27)$$

olarak yazılır.

Eğer bu faz açılarının ilk değerlerinden, δ_1^* ve δ_2^* , $\Delta\delta_1$ ve $\Delta\delta_2$ kadar bir sapma olur ise bağlantı hattı gücünde oluşacak değişiklik şu şekilde ifade edilir;

$$\Delta P_{\text{hat12}} = \frac{\partial P_{\text{hat12}}}{\partial (\delta_1 - \delta_2)} (\Delta\delta_1 - \Delta\delta_2) \quad (2.28)$$

ve böylece,

$$\Delta P_{\text{hat12}} = \frac{|V_1| \cdot |V_2|}{X_{12}} \text{Cos}(\delta_1^* - \delta_2^*) (\Delta\delta_1 - \Delta\delta_2) \quad (2.29)$$

olur.

Frekanstaki sapma, Δf , açıdaki sapma ile bağlantılı olarak ifade edilmek istenir ise,

$$\Delta f = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} (\delta^* + \Delta\delta) = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} (\Delta\delta) \quad (2.30)$$

yada tersi bir ifade ile, açıdaki sapma,

$$\Delta\delta = 2\pi \int \Delta f dt \quad (\text{rad.}) \quad (2.31)$$

olur (Elgerd, 1971).

Bağlantı hattı gücündeki sapmanın, ΔP_{hat12} , frekanstaki sapma ile bağlantılı ifadesi,

$$\Delta P_{\text{hat12}} = T_{12}^* \left(\int \Delta f_1 \cdot dt - \int \Delta f_2 \cdot dt \right) \quad (2.32)$$

şeklindedir ve burada eş zamanlık katsayısı; T_{12} , şu şekilde ifade edilebilir:

$$T_{12}^* = 2\Pi \frac{|V_1| \cdot |V_2|}{X_{12}} \text{Cos}(\delta_1^* - \delta_2^*) \quad (2.33)$$

Eşitlik (2.29)'a Laplace dönüşümü uygulanırsa,

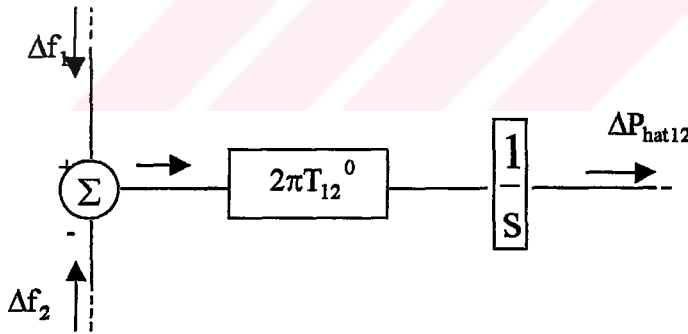
$$\Delta P_{\text{hat}12}(s) = \frac{T_{12}^*}{s} [\Delta F_1(s) - \Delta F_2(s)] \quad (2.34)$$

elde edilir.

Sonuç olarak bölgedeki toplam güç değişimi şu şekilde açıklanabilir(Elgerd 1970).

$$\Delta P_{\text{hat}12}(s) = \frac{1}{s} \sum T_{12}^* [\Delta F_1(s) - \Delta F_2(s)] \quad (2.35)$$

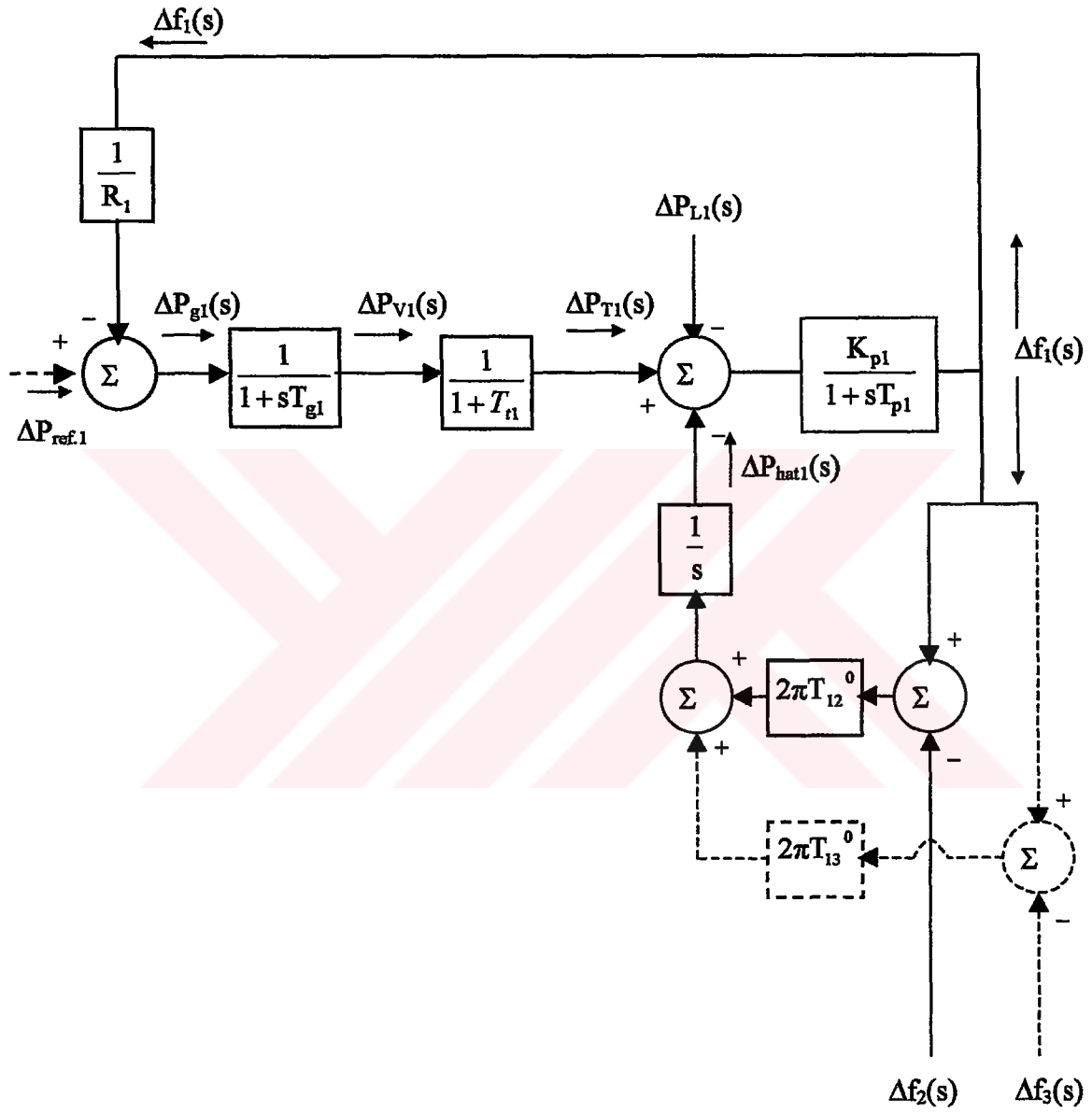
Bağlantı hattının matematiksel modelinin blok diyagram ile sunumu Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.7 Bağlantı hattının matematiksel ifadesinin blok diyagram ile sunumu.

2.6. Bir Güç Sisteminin Yük-Frekans Kontrolüne Uygun Modelinin Tanımlanması

Yukarıda sunulan alt bölümlerde tanımlanan, yük, generatör, türbin, hız regülatörü ve bağlantı hattı gibi temel elemanların oluşturduğu güç sisteminin yük-frekans kontrolüne uygun şekilde matematiksel modeli Şekil 2.8'de tanımlanmıştır.



Şekil 2.8. Bir güç sisteminin yük frekans kontrolüne uygun modeli

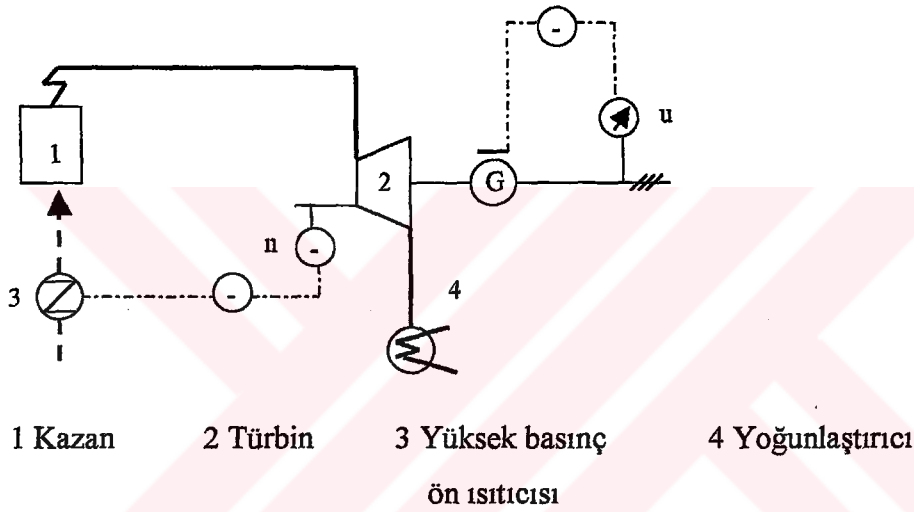
Elektrik güç sistemleri gerçekte karmaşık doğrusal olmayan dinamik sistemlerdir. Güç sistemi normal işletimi boyunca sadece küçük yük değişimlerine açık olduğu için doğrusallaştırılmış model kullanılır. Bu model işletme noktasındaki güç sistem dinamiklerini tanımlamak için yeterli olacaktır (Wang, 1993)..



BÖLÜM 3

YÜK-FREKANS KONTROLÜNE UYGUN OLARAK BİR GÜÇ SANTRALİNİN BAŞLICA DÜZENEKLERİ

Kontrol amacına yönelik olarak Şekil 3.1’de bir güç ünitesinin basite indirgenmiş diyagramı sunulmaktadır.

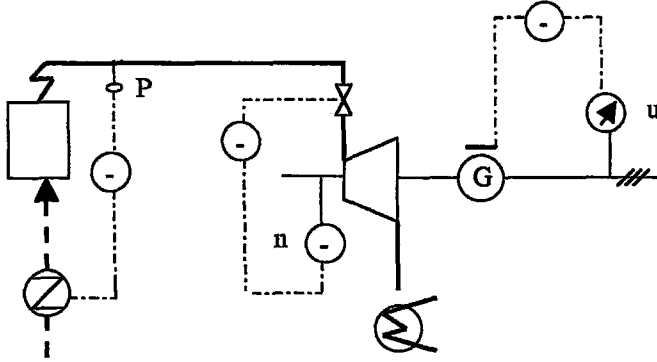


Şekil 3.1 Güç şebekesinde kontrol amacına yönelik olarak izole haldeki bir güç istasyonunun basitleştirilmiş şekli

Burada, türbin hız kontrolü için kontrol elemanı, yakıt olarak kazanı besleyen enerjidir. Elektrik enerjisinin tüketimindeki bir değişiklik, hızda değişikliğe neden olacaktır. Yeni durumda, üretim ile tüketim arasındaki denge, yakıt akış seviyesinin değişmesiyle sağlanacaktır.

Şekil 3.1’de sunulan bu basit birleşim pek çok sınırlama içerir. Bu sınırlamalar iki faktörden kaynaklanır. Birincisi, elektrik enerjisi istenilen miktarlarda depolanamaz, ancak ihtiyaç duyulduğunda üretilir. Bu şu anlama gelir; aşırı enerji tüketiminin neden olduğu enerji açığı sonucu frekansın kabul edilemez seviyelere düşmesini önlemek için çok hızlı bir kontrol uygulanması zorunludur. Ne yazık ki; Şekil 3.1’de görülen hız kontrol çevrimi hızlı değildir. Şekil 3.2’de orjinal yavaş hız kontrol

çevrimi iki çevrime parçalanmıştır; hızlı hız kontrol çevrimi ve yavaş basınç kontrol çevrimi.



Şekil 3.2 Güç şebekesinden izole edilmiş bir güç santralının basitleştirilmiş kontrol şeması

Şekil 3.2’de sunulan diyagram için kontrol şu şekilde gerçekleşir: Hız ve dolayısıyla frekans, türbin kelebek valfinin açılması ile kontrol edilir. Bu aksiyon çok hızlıdır ve istenilen frekans değeri mükemmel olarak sağlanır. Türbine olan buhar akışının hızlı bir şekilde değişmesi; yük azalması esnasında geçici olarak buharın depolanabilmesi ve bu buharın yük artışı esnasında kazandan çekilmesi ile mümkün olur.

Ancak kazandaki buhar deposunun bu şekilde kullanımı buhar basıncının değişmesine neden olur. Buhar basıncı ilave bir kontrol değişkeni ile tanımlanır ve basıncın bu değişimi yakıt akışını kontrol eder. Bu kontrol, türbinin bütün yük taleplerine hızlı cevap vermesine neden olacaktır.

Sabit bir frekans sağlamak için bir diğer çözüm güç istasyonları arasında bir şebeke kurmaktır. Böyle bir sistemde pek çok güç istasyonu ve pek çok tüketici ünitesi büyük bir elektriksel şebeke oluşturmak için iletim hatları ile birbirlerine bağlanırlar. Bunun üstünlükleri şudur: Eğer, bir tek güç santrali arızalanır ise; yük, geride kalan diğer üniteler tarafından tüketiciler herhangi bir kesintiyle karşılaşmaksızın beslenebilir.

Hidrolik elektrik santralleri arızaya en çabuk cevap veren ünitelerdir. Bu zaman içerisinde diğer yavaş cevap veren üniteler kendilerini yardım için ayarlarlar ve cevap karakteristikleri oranınca frekansın restorasyonuna iştirak ederler. Güç

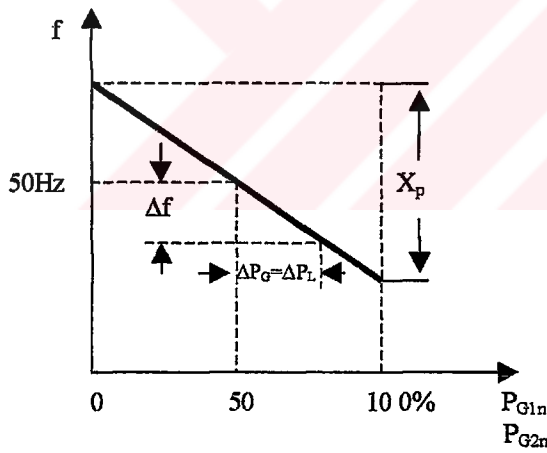
santrallerinin frekans kontrolüne iştirakinde çeşitli düzenlemeler mümkündür. Bu bölümde inceleme yapılacak sistemin oluşturulması için iki ünite bloğu tüketici sistemi beslemek üzere bağlanmıştır.

3.1 .Güç Santralının Yük-Frekans Kontrolüne Katılması Durumu (Yükün değişken olduğu işletme şartları içerisinde)

Bu bölümde, güç santralindeki her iki blok da frekansın sabit tutulmasında görev almaktadır. Bu bloklar aktif blok olarak nitelendirilirler.

Her iki ünitenin de Şekil 3.2'deki kontrol donanımı ile donatıldığı iki farklı durum için sistem tartışılmıştır.

İlk durumda; hız kontrolörleri tamamen oransal kontrolörler ile yapılandırılmıştır. Bu durumda blokların her birinde P(oransal) kontrolörlerinin kullanımı Şekil 3.3'de verilen karakteristiğe benzer bir kontrol karakteristiği oluşturur.



Şekil 3.3 P-kontrolörlü bir türbin-generatör setinin kontrol karakteristiği

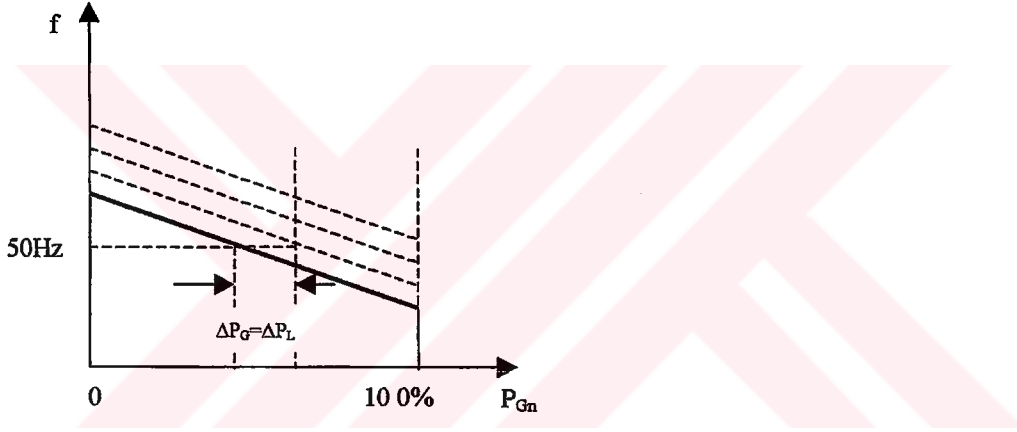
Kontrol karakteristiği frekans ile ünitenin elektriksel çıkışı arasındaki ilişkinin ürünüdür. Oransal olarak davranan hız kontrolörü için karakteristik aşağı eğimli oransal şeklindedir. Kontrolör üzerinde ayarlanan oransal bant aralığı, χ_p , genellikle yüzde değerler ile ifade edilir.

Şekil 3.3’de görüldüğü üzere her yük değişikliği frekans değişikliği ile bağlantılıdır. Örneğin; tüketici yükündeki %’ ΔP_L lik bir artış, frekansta;

$$\Delta f = -\frac{\chi_p}{\%100} \cdot \frac{\Delta P_L}{\%100} \cdot \frac{f_{nl}}{m} \quad (3.1)$$

kadar düşüğe neden olur. Eşitlikte, m, frekans kontrolüne katılan blok sayısıdır.

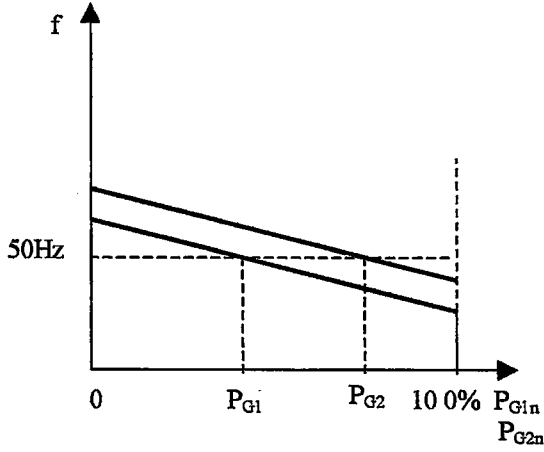
Frekansın tekrar nominal değerine getirilmesi Şekil 2.6’da sunulan diyagramda gösterilen hız değiştirici yardımı ile yük referans değerinin ayarlanması ile mümkün olur. Bu şekil 3.4’de sunulan kontrol karakteristiğinin paralel yer değiştirmesi ile mümkün olur.



Şekil 3.4 Bir türbin-generatör karakteristiğinin yük referans ayarının değiştirilmesi ile yer değiştirmesi.

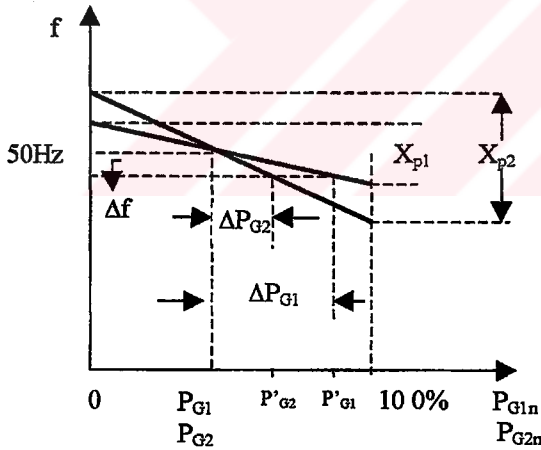
Eşit oransal bant aralığına ve aynı yük-frekans ayarına sahip iki ünite bloğu için, % P_L 'lik bir yük değişimi söz konusu olduğunda frekansın nominal değerinde tutulabilmesi yük değişiminin bloklar arasında eşit paylaşılması ile mümkün olur(Şekil 3.3).

Öte yandan, oransal bant aralığı eşit ancak yük-frekans ayarı farklı iki ünite bloğu için ise yük değişiminin bu iki güç istasyonuna yüklenmesi eşit olmayacaktır.(Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Farklı yük-referans ayarına sahip iki türbin-generatör bloğunun kontrol karakteristikleri

Türbin-generatör bloğu şebekedeki yük değişikliğini oransal bant aralığı oranınca karşılayacaktır. Şekil 3.6'da görüldüğü üzere, oransal bant değeri düşük olduğu oranda türbin-generatör bloğu daha fazla yükü üzerine alabilecektir.



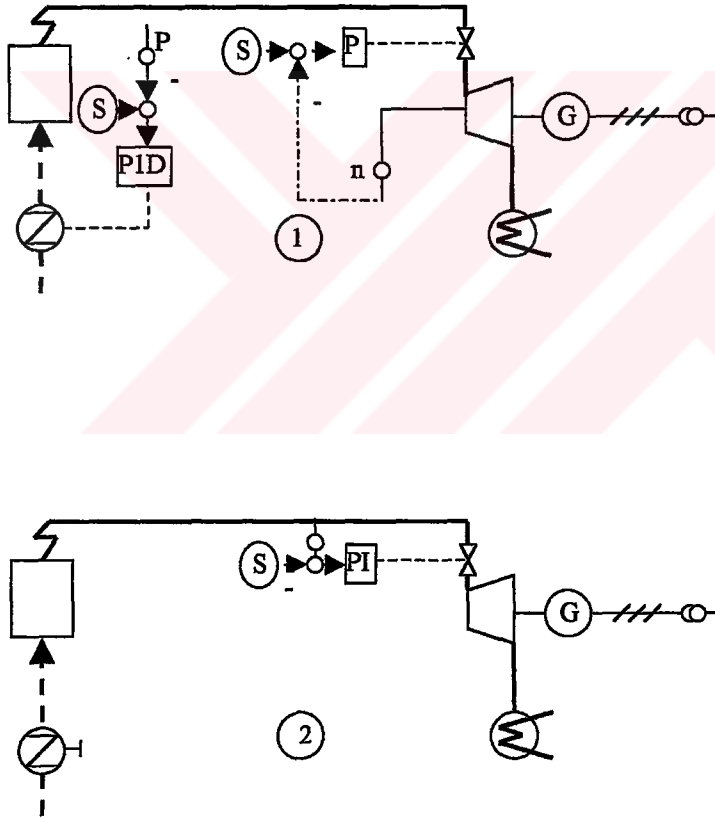
Şekil 3.6 Farklı oransal bant aralığına sahip iki türbin-generatör bloğunun kontrol karakteristiği

İkinci durumda; bloklardan birisi oransal arttırımlı integral hız kontrolörü, diğer ise oransal hız kontrolörü ile donatılmıştır. Sürekli-durumda bu düzen frekansı sürekli aynı değerde tutmak için elverişlidir. Bu ikincil frekans kontrolü için tipik bir örnektir. Yukarıda açıklanan durum için, termik güç santralleri oransal hız kontrolörü ile donatılırken, hidro-elektrik santraller gibi istasyonlar oransal arttırımlı integral hız kontrolörleri ile donatılırlar. Oransal (P) kontrolörlü bloklar sürekli elektriksel çıkışı

ayarlanan ilk değerine döndürdüğü için ikincil frekans kontrolüne sürekli iştirak etmezler. Öte yandan frekansın iyileştirilmesi için uygulanan birincil frekans kontrolüne sürekli iştirak ederler. Oransal artırımı integral (PI) kontrolörlü bloklar ise ikincil frekans kontrolünün uygulanabilmesine olanak sağlarlar.

3.2 .Güç Santralinin Yük-Frekans Kontrolüne Katılmaması Durumu (Sabit yük işletme şartlarında)

Blok “frekansın sabit tutulması” işleminde yer almıyor ise pasif blok olarak nitelendirilir. Temel olarak pasif blokların uygulamadaki kullanımları Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de sunulmuştur. Bu diyagramlarda blok no.1 aktif blok, blok no.2 pasif blok olarak yer almıştır.

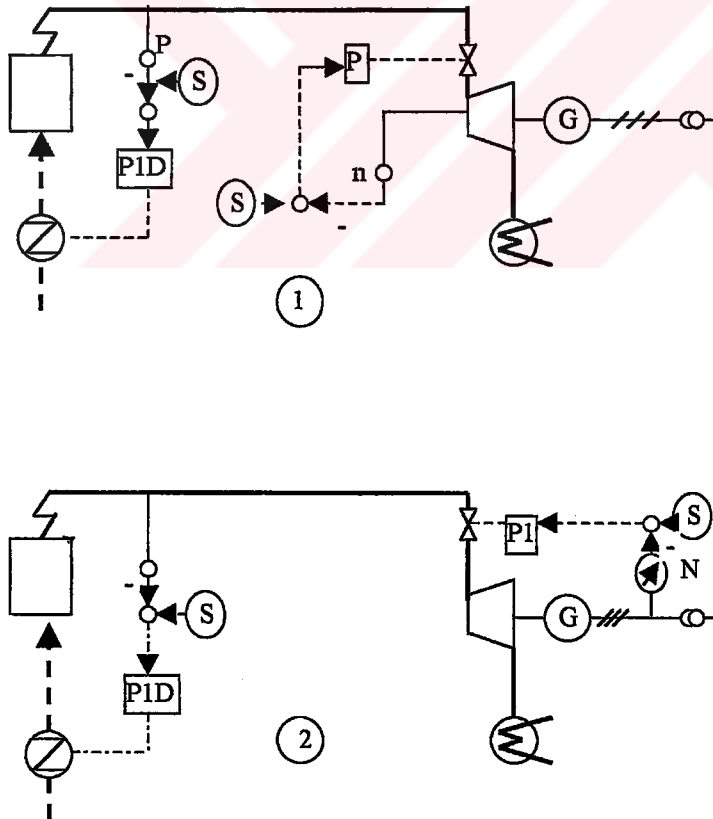


Şekil 3.7 Temel kontrol şeması: Bir ünite aktif
Bir ünite pasif

Şekil 3.7’de sunulan alternatifte, blok no.2 türbinindeki buhar basıncının akışı türbin valfi ile sabit tutulur. Bu, kazandaki depolanmanın herhangi bir şekilde kullanımını

öner, türbin, sistemi kazan tarafından üretilen güç kadar besler. Kazan yakıt akışı sabit bir değere ayarlandığından generatör çıkışı sahip olur. Frekanstaki bir değişiklik güç üretiminde bir değişikliğe neden olmaz.

Tüketici tarafından talep edilen yük değişikliği aktif blok tarafından karşılanır. Eşitlik (3.1) göz önüne alındığında yük değişikliğinin neden olduğu Δf frekans değişiminin hesaplanmasında önemli bir sonuca ulaşılır: Herhangi bir elektrik sisteminde mümkün olduğu kadar çok sayıda güç santrali ve mümkün olduğu kadar çok güç ünitesi frekans kontrolüne iştirak etmelidir. Sadece bu şart sağlandığında frekans bozulması dar bir sınır içerisinde tutulabilir. Buna ilaveten, enterkonnekte şebekelerde güç sisteminin bir bölümde oluşabilecek bir arıza sonucu komşu sistem arasındaki bağlantı hattının aşırı yüklenmesine karşın sistem kararlılığı sağlanır. Nükleer güç santralleri başlangıç anındaki yüksek kapital harcamaları nedeniyle yük-frekans kontrolüne katılması fayda sağlamayacaktır ve bu nedenle pasif ünite olarak görevlendirilirler.



Şekil 3.8 Temel kontrol şeması: Bir ünite aktif
Bir ünite pasif

Şekil 3.8 pasif ünite uygulamasının bir başka şeklidir. Bu kez blok no.2'deki generatör-türbin ünitesi yük kontrolörü ile donatılır. Bu kontrolde çekilen elektrik enerjisi türbin giriş valfi ile denetlenir ve gücün artışı yada azalışı bu donanım aracılığı ile yük frekans değerinin ayarlanması ile sağlanır. Şekil 3.7'de görülen alternatifin tersine, kazan sanki aktif üniteymiş gibi kontrol edilir. İşletmede, kazan çıkışındaki buhar basıncının sabit tutulması için yakıt akışı otomatik olarak ayarlanır. Buhar basıncı, kazanın buhar çıkışı ile türbin tarafından alınan buhar arasındaki dengesizliğin bir ölçüsü olarak algılanır.

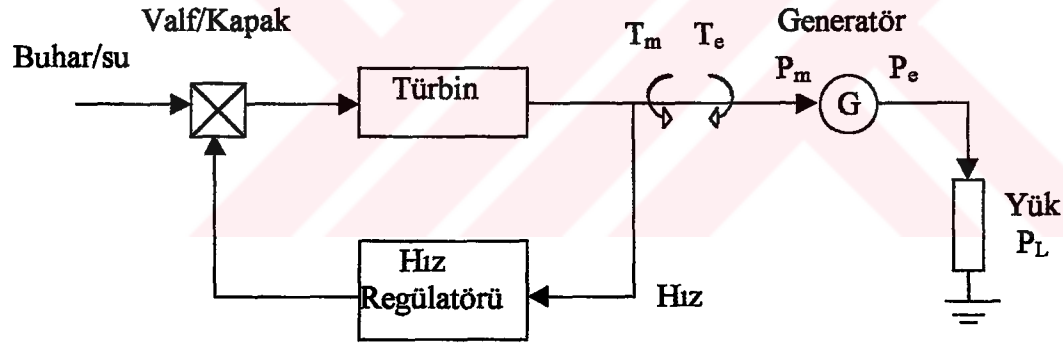
Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de sunulan pasif üniteler arasındaki temel fark Şekil 3.8'de görülen ünitenin yük değişikliğini Şekil 3.7 deki üniteden daha hızlı yüklenmesidir. Bunun nedeni şudur: Şekil 3.8'de ki pasif ünite brülör depolama kapasitesini kullanır. Bu hareket yükün referans değerinin üstüne yükselmesi ile gündeme gelir, türbin giriş valfi üretimin yeni yük değerine ulaşması için hızlı bir şekilde mümkün olduğunca açılır. Buhar akışında istenilen artış kazandaki buhar deposunu harcanması ile karşılanır. Bu bağli olarak buhar basıncını düşmesine neden olur, bu sırada basınç kontrolörü bu deponun tekrar elde edilmesini ve güç artışı kadar buharın üretilmesini sağlar. Bunun aksine Şekil 3.7'de yük artışı yakıt kaynağındaki enerjinin artışı ile birlikte başlar. Buhar basıncı yanma işlemini tahrikine ve buhar üretme işlemine bağlı olarak artar ve basınç kontrolörü bağli olarak türbin giriş valfinin açılmasına yönlendirir. Ağır davranışı nedeniyle bu devre çok nadiren kullanılmaktadır. Yerine daha hızlı davranan yük kontrol düzenleri tercih edilmektedir. Ünitenin frekans kontrolüne katılımı sağlamak için ilave bir frekans ölçümü tanımlamak ve uygun bir sinyal çıkararak bu sinyalin yük kontrolü için yük referans değerinin ayarlanmasında etkin olmasını sağlamak yeterli olacaktır. Bu frekans kontrol teknikleri içerisinde en çok kullanılan yöntemdir. İleride ki bölümde detaylı olarak tartışılacaktır (Klefenz.,1986).

BÖLÜM 4

TEK KONTROL BÖLGELİ GÜÇ SİSTEMLERİNDE OTOMATİK YÜK-FREKANS KONTROLÜ

Tek kontrol bölgesi bir güç sistemlerinde, yük-frekans kontrol çevriminin rolü; aynı kontrol bölgesi içindeki bir yada bir kaç generatör ünitesinin aktif güç çıkışını ve frekansını kontrol etmektir. Dolayısıyla türbin çevrimi, yük ve frekansta küçük ve yavaş değişimler olduğunda kontrolü sağlar.

Bir güç santralindeki kontrol hareketini algılamak için bir termik ünitenin hız regülatörü-türbin-generatör birleşimini düşünelim (Kundur, 1994).



T_m = Mekaniksel Moment

T_e = Elektriksel Moment

P_m = Mekaniksel Güç

P_e = Elektriksel Güç

P_L = Yük

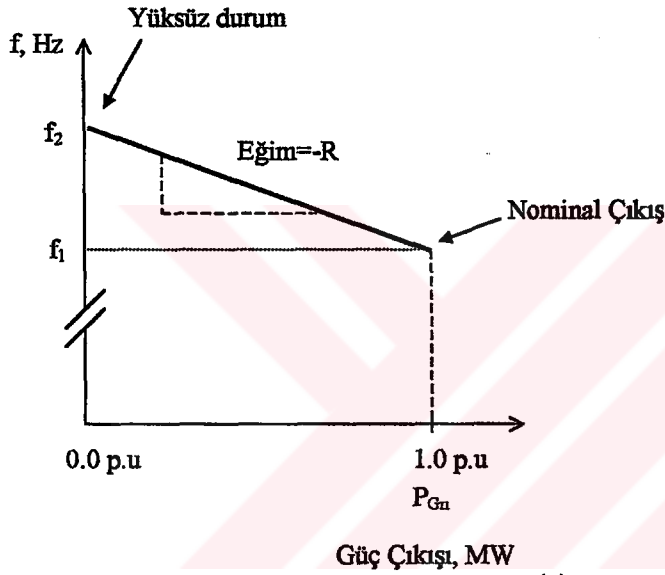
Şekil 4.1. İzole bir yükü besleyen generatör ünitesi

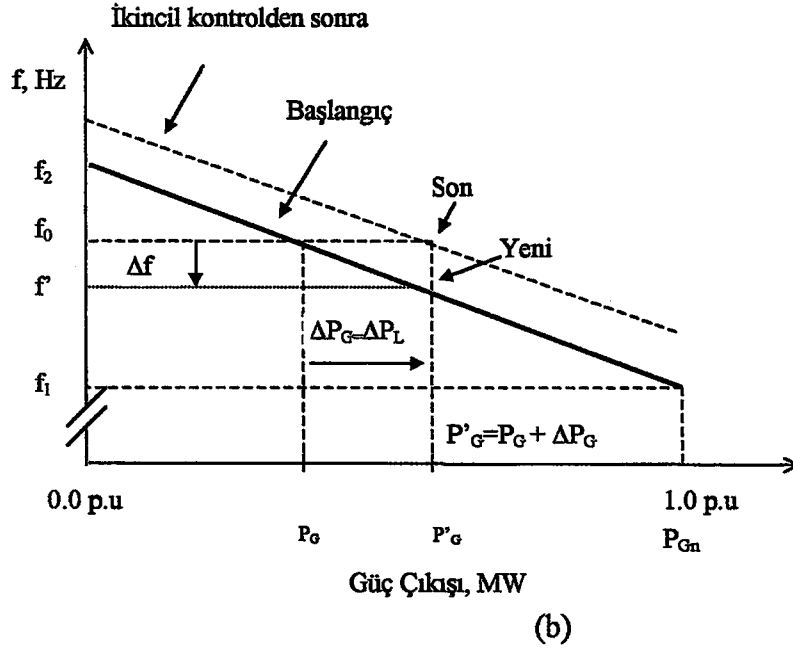
4.1. Yük-Frekans Kontrolünde Hız Regülatörü

Güç ünitelerinde, türbinlerin çoğu hız regülatörleri ile donatılmıştır. Hız regülatörünün işlevi; frekans yada sistem hızındaki değişikliğe cevap vermek üzere

türbin içindeki buhar çıkışını ayarlamak üzere valfi kontrol etmek ve türbin-generatör hızını sürekli gözlemlemektir (Grainger, 1994).

Hız regülâtörünün idealde hız-güç çıkışı ayar karakteristiği Şekil 4.2(a)'de olduğu gibi doğrusaldır. Bir generatör ünitesinin hız regülasyonu, R_u ; ünite çıkışındaki nominal gücün, 1.00 p.u'den 0.00 p.u'e azaltıldığında, per-unit cinsinde açıklanan nominal hızın değişimi olarak açıklanabilir. Frekans eksenini ve çıkış gücü eksenini nominal değerlerine bağlı olarak per-unit cinsinden ölçeklendirildiğinde, per-unit hız regülasyonu; hız-çıkış gücü karakteristiğinin eğiminin genliğidir





Şekil 4.2. (a) Bir generatör ünitesinin hız regülasyon karakteristiği

(b) Yük artışı ΔP_L yük artışından öncesi / sonrası ve ikincil kontrol

Şekil 4.2 (a)'dan per-unit cinsinden hız regülasyonu, R_u şu şekilde verilebilir.

$$R_u = \frac{(f_2 - f_1)/f_n}{P_{Gn}/S_n} \quad \text{per-unit} \quad (4.1)$$

Burada,

f_1 = Yüksüz durumda frekans (Hz)

f_2 = Nominal güç çıkışında (P_{Gn}) frekans (Hz)

f_n = Nominal frekans (Hz)

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

S_n = Megawatt baz değeri

dir.

Eşitliğin her iki tarafı f_n/S_n ile çarpılır ise;

$$R = R_u \frac{f_n}{S_n} = \frac{f_2 - f_1}{P_{Gn}} \left(\frac{\text{Hz}}{\text{MW}} \right) \quad (4.2)$$

elde edilir. Burada, R ; hız ayar karakteristiğinin eğiminin (Hz/MW) genliğidir.

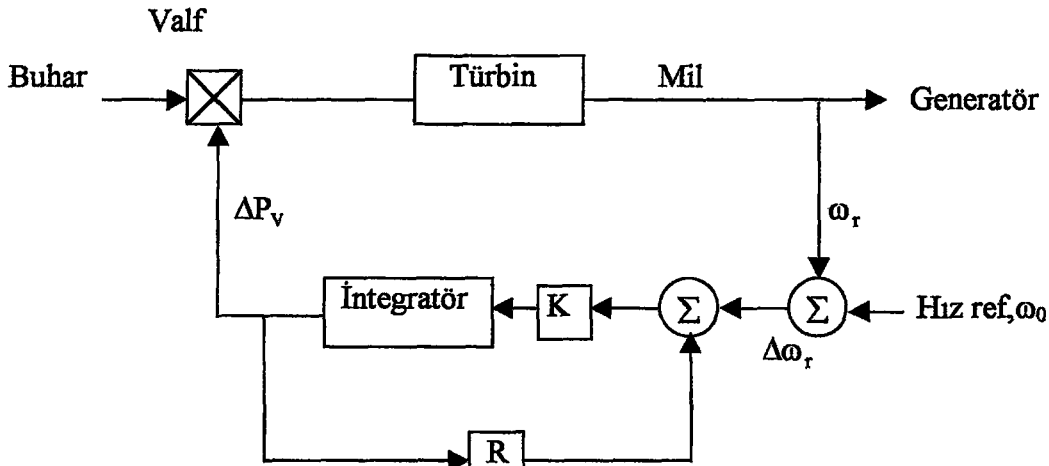
Şekil 4.2(b) görüldüğü gibi f_0 frekansında ünitenin sağladığı güç çıkışı P_G iken yük artışı (ΔP_L) olduğundan $P'_G = P_G + \Delta P_L$ olur. Bu durumda, ünitenin hızı azalır ve hız regülatörü ile kazandan türbine daha fazla buharın alınmasına izin verilir.

Yeni frekansta, $f' = f_0 + \Delta f$, üretilen ve tüketilen güçler arasında eşitlik olur. Eşitlik (4.2)'de verilen hız-çıkış gücü karakteristiğinin eğimine göre frekans değişikliği şöyle ifade edilir;

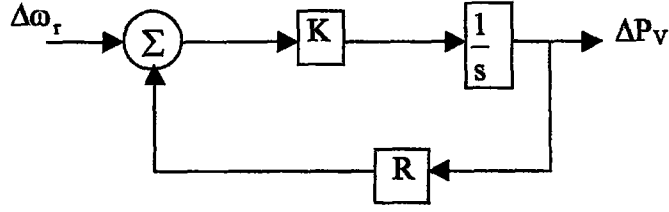
$$\Delta f = -R\Delta P_G = -\left(R_n \frac{f_n}{S_n}\right)\Delta P_G \text{ (Hz)} \quad (4.3)$$

Şekil 4.2'de sunulan izole güç ünitesi, Δf kadar azaltılan frekansında işlemeye devam edecektir. Böylece, kontrol sisteminin birincil kontrol aksiyonu tamamlanmış olur. Sistem yeni çıkış gücü P'_G 'yi verirken, sistemi tekrar istenilen nominal frekansta çalışmasını sağlamak üzere üretim ünitesinin kinetik enerjisini arttıracak şekilde hız regülatörünün yük-referans ayarı yapılarak ikincil kontrol gerçekleştirilir (Grainger, 1994).

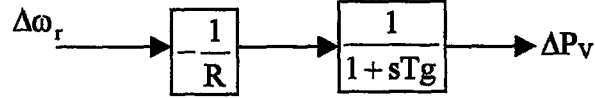
Şekil 4.2(a)'da sunulan karakteristik bir integratöre bir sürekli-durum geri besleme çevriminin eklenmesi ile elde edilir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Sürekli-durum geri besleme bir hız regülatörü



(a) Sürekli -hal geri beslemeli blok diyagram



$$T_g = \frac{1}{KR}$$

(b) İndirgenmiş blok diyagram

Şekil 4.4 .Hız-kayma karakteristikli bir hız regülatörünün blok diyagramı

Şekil 4.3'deki hız regülatörünün transfer fonksiyonu Şekil 4.4'deki şekilde indirgenebilir. Hız regülatörü, oransal kontrolör gibi temsil edilebilir.

R değeri; Şekil 4.5'de görüldüğü üzere üretim ünitesinin hız-çıkış gücü karakteristiğini belirler.

Hız bozulmasının ($\Delta\omega_r$) yada frekans bozulmasının (Δf) valf pozisyonu (ΔP_v) yada çıkış gücündeki değişime (ΔP_G) oranı R'ye eşittir. R parametresi hız regülasyonu yada kayması olarak tanımlanır.

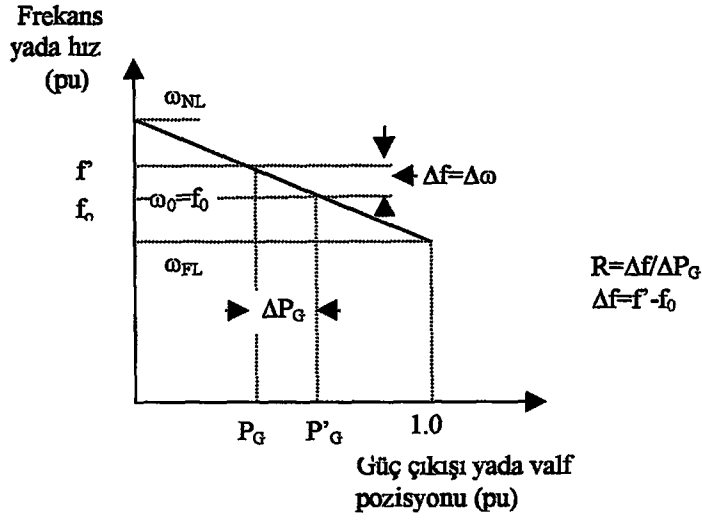
Yüzde değer olarak şu şekilde açıklanabilir.

$$R\% = \frac{\text{Hızıyadafrekansdeğişimi min inyüzdedeğeri}}{\text{Güççıkışındaki değişimi min yüzdedeğeri}} * 100$$

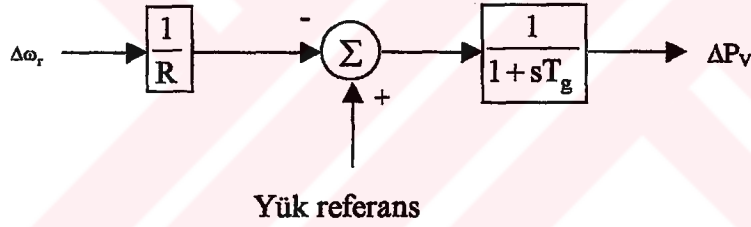
Örneğin; 5% regülasyon oranı; 5% frekans bozulmasının, valf pozisyonunda yada güç çıkışında 100% bir değişikliğe sebep olacağı anlamına gelir

Hız ile yük (güç çıkışı) arasındaki ilişki Şekil 4.6'da görüldüğü üzere yük-frekans değeri olarak isimlendirilebilecek bir giriş değerinin değişmesiyle ayarlanabilir. Bu

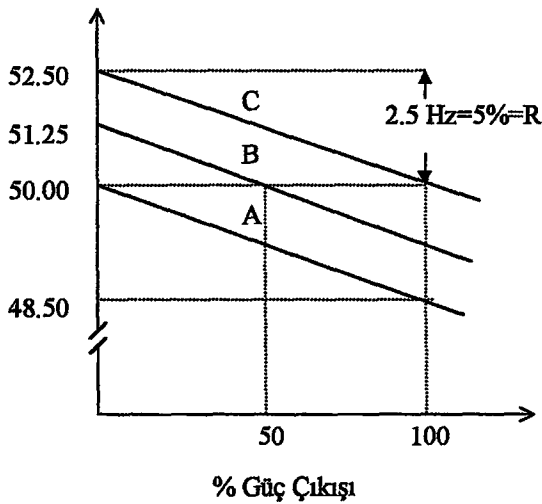
ayarlama bir hız değıştirici servo-motor aracılığı ile yapılır. Hız regülatörünün yük-frekans ayarının etkisi Şekil 4.7’de gösterilmektedir.



Şekil 4.5.Hız-kayma karakteristikli hız regülatörün ideal sürekli-durum karakteristiği



Şekil 4.6 .Hız-yük ilişkisini ayarlamak için yük-frekans kontrol hız regülatörü



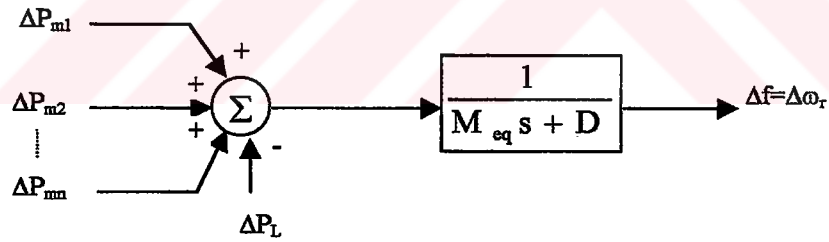
Şekil 4.7 .Hız regülatörünün hız-çıkış gücü karakteristiğine hız değıştirici servomotor ile gerçekteşen yük-referans ayarının etkisi.

Burada üç değişik yük-frekans değeri ayarı için üç paralel karakteristik ailesi görülmektedir. Örneğin; 50 Hz'de A karakteristik eğrisi 0% güç akışı sonucunu verir, B karakteristik eğrisi 50% güç akışı sağlar, C karakteristiği ise 100% güç akışı sonucunu verir. (Kundur, 1994).

4.2. İzole Bir Yükü Besleyen Bir Üretim Ünitesinin Hız Kontrolü

Bir generatörün, bir izole yükü beslemesi istendiği zaman yada çok generatörlü sistemde, sadece bir generatörün yükteki değişikliklere cevap vermesi istendiğinde, asenkron hız regülatörleri verimli olarak çalışır.

Asenkron sabit hız anlamındadır. Asenkron hız regülatörü, türbin valf/kapak pozisyonunu frekansı nominal yada programlanan değerine getirmek için ayarlar. Şekil 4.8 böyle bir asenkron hız regülatörünün şematik gösterimini vermektedir.



Şekil 4.8 .Bir asenkron hız regülatörünün şeması

Ölçülen rotor hızı ω_r , referans hız ω_o ile karşılaştırılır. Hız bozulmasına eşit olan hata sinyalinden, $\Delta\omega_r$, buhar türbininde ana buhar besleme valfini, hidrolik türbinde kapağı harekete geçirmek üzere bir ΔP_V kontrol sinyali üretilir (Kundur, 1994 ve Wood, 1996).

4.3 .Paralel Üniteler Arasında Yükün Paylaşımı

İki yada daha fazla üretim ünitesinin paralel işletildiği durumlarda, kayma karakteristiği; tek bir genel frekans oluşacak şekilde, yükün üniteler arasında kapasiteleri oranınca paylaşılmasını sağlar.

K adet üretim ünitesinin verilen frekansta senkronize işletildiğinde ΔP_L megawatt kadar yük değişikliğinin olduğunu düşünelim. Başlangıçtaki hız regülasyon aksiyonundan sonraki sürekli-durum eşitliğinde bütün ünitelerin frekans artış miktarı Δf Hz olacak şekilde değişecektir. Değişikliğe cevap olarak ünite çıkışları şu şekildedir.

$$\begin{aligned} \text{Ünite 1 için; } \Delta P_{G1} &= -\frac{S_{n1}}{R_{1u}} \cdot \frac{\Delta f}{f_n} (\text{MW}) \\ &\vdots \\ \text{Ünite i için; } \Delta P_{Gi} &= -\frac{S_{ni}}{R_{iu}} \cdot \frac{\Delta f}{f_n} (\text{MW}) \\ &\vdots \\ \text{Ünite k için; } \Delta P_{Gk} &= -\frac{S_{nk}}{R_{ku}} \cdot \frac{\Delta f}{f_n} (\text{MW}) \end{aligned} \quad (4.4)$$

Bu eşitliklerin birbirine eklenmesi ile güç çıkışındaki toplam değişiklik şu şekilde elde edilir:

$$\Delta P_L = -\left(\frac{S_{n1}}{R_{1u}} + \dots + \frac{S_{ni}}{R_{iu}} + \dots + \frac{S_{nk}}{R_{ku}} \right) \frac{\Delta f}{f_n} \quad (4.5)$$

Buradan, frekans değişikliği;

$$\frac{\Delta f}{f_n} = -\frac{\Delta P_L}{\left(\frac{S_{n1}}{R_{1u}} + \dots + \frac{S_{ni}}{R_{iu}} + \dots + \frac{S_{nk}}{R_{ku}} \right)} \text{ Per-unit} \quad (4.6)$$

olarak bulunur. Eşitlik (4.6), eşitlik (4.4)'de yerine konulduğunda Ünite i için ilave güç çıkışı (ΔP_{Gi}) hesaplanır (Kundur, 1994).

$$\Delta P_{Gi} = - \frac{S_{Ri} / R_{iu}}{\left(\frac{S_{n1}}{R_{1u}} + \dots + \frac{S_{ni}}{R_{iu}} + \dots + \frac{S_{nk}}{R_{ku}} \right)} \cdot \Delta P_L \text{ MW} \quad (4.7)$$

Şekil 4.9'da gösterilen kayma karakteristiklerine sahip iki ünite başlangıçta P_{G1} ve P_{G2} gücünde ve nominal frekansta (f_0) işletildiğini düşünülür ise; yükte ΔP_L kadar bir artış söz konusu olduğunda, ünitelerin hızı düşecektir. Hız regülatörleri çıkışlarını yeni işletme frekansına gelinceye kadar arttıracaklardır. Her ünitenin kaldıracağı yük miktarı kayma karakteristiğine bağlıdır:

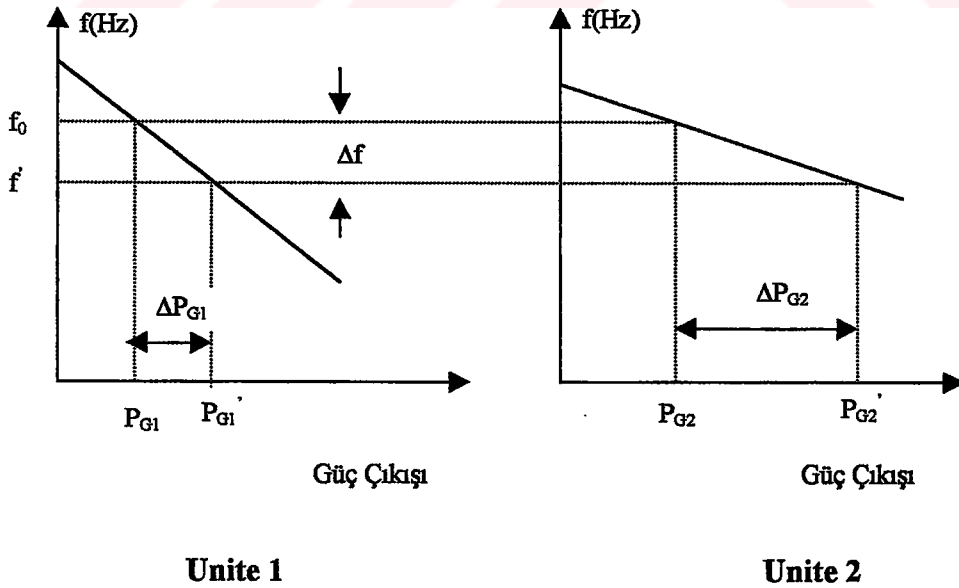
$$\Delta P_{G1} = P_{G1}' - P_{G1} = \frac{\Delta f}{R_1} \quad (4.8)$$

$$\Delta P_{G2} = P_{G2}' - P_{G2} = \frac{\Delta f}{R_2}$$

Böylece,

$$\frac{\Delta P_{G1}}{\Delta P_{G2}} = \frac{R_2}{R_1} \quad (4.9)$$

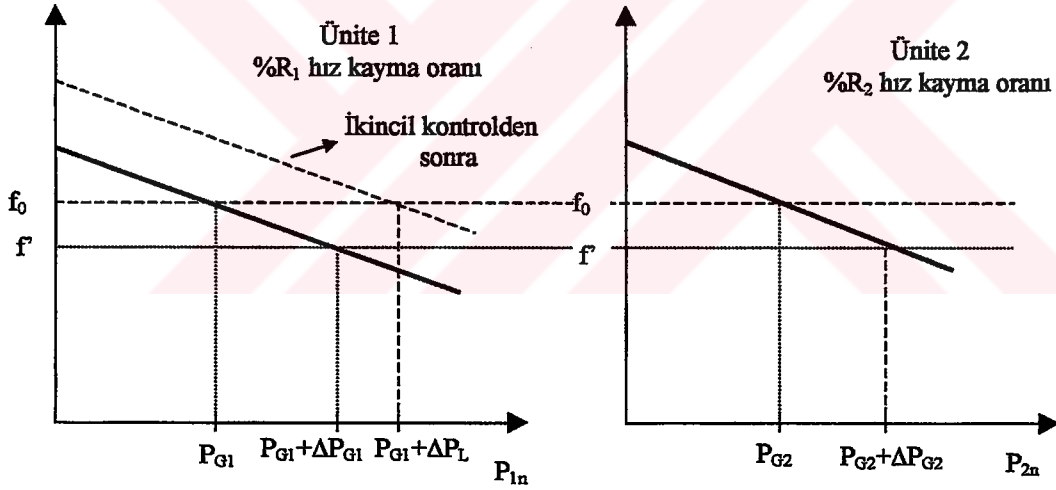
olduğu görülebilir (Grainger, 1994).



Şekil 4.9. Kayma karakteristikli hız regülatörlerine sahip üniteler arasında yük paylaşımı

Yük değişikliğinin olduğu bölgede, üniteler senkronize olarak yeni sistem frekansı ile çalışmaya devam ederler. 'Düşür' yada 'yükselt' sinyalleri, o bölgedeki güç santrallerinde seçilmiş yada bütün hız değiştiricilere gönderilir. Hız regülatörlerinin yük referans ayarlarının koordineli kontrolü ile sistem bütün ünitelerini arzu edilen f_0 frekansına geri getirmek ve üretim ünitelerinin kapasitelerine göre istenilen yük bölüşümünü sağlamak mümkündür. Böylece ikincil frekans kontrolü gerçekleştirilir.

Aynı düşünce ile Şekil 4.10'da gösterilen sistemi tartışalım. Kayma karakteristikli hız regülatörüne sahip iki ünite başlangıçta P_{G1} ve P_{G2} gücünde ve nominal frekansta işletildiğini düşünelim. Yükte ΔP_L kadar bir artış olduğunda ünitelerin hızı düşecektir. Hız regülatörleri çıkışlarını yeni iletme frekansına gelinceye kadar artırırlar. Sadece ünite 1'in ikincil kontrole iştirak ettiği düşünülür ise, ünite 1'in yük referans ayarı değiştirilerek yük artışını üzerine alması ile birlikte sistemin yeniden nominal frekansta işletilmeye başlanır.



Şekil 4.10. Sadece ünite 1'in ikincil kontrole katılması durumunda üniteler arasında yükün paylaşımı

4.4. Otomatik Yük Frekans Kontrolünün Birincil Çevriminin Kapanması

Normal işletme şartlarında, sistemin güç dengesi süreklidir.

Bu denge,

$$P_G = P_L + P_{\text{kayıplar}} \quad (4.11)$$

ile sağlanır.

Frekans ise, bu şartlar içerisinde nominal değerindedir. Yükün aniden artması dengeyi bozar. Generatör çıkışı da yeni yüke uyum sağlamak için aniden artar ve

$$\Delta P_G = \Delta P_L$$

olur. Ancak bu denge sağlanırken, $\Delta P_T = \Delta P_L(MW)$ değerinde bir dengesizlik oluşacaktır. Bunun sonucu olarak hız ve dolayısıyla frekans değişecektir. Bu değişikliğin alan boyunca düzgün olduğu kabul edilir ve kinetik enerjinin, hızın karesi ile orantılı olduğu düşünülür ise,

$$W_{kin} = W_{kin_0} \left(\frac{f'}{f_0} \right) MWs \quad (4.12)$$

olur. Bölgede güç dengesi; türbin güç artışı; yük değişikliği ve kinetik enerjinin değişiminin toplamına eşit olması ile elde edilir.

$$\Delta P_T = \Delta P_L + \frac{d}{dt}(W_{kin}) + D\Delta f \quad MW \quad (4.13)$$

Burada;

$$f' = f_0 + \Delta f$$

dır. Eşitlik (4.12) kullanılarak bölge kinetik enerji tekrar ifade edilir ise;

$$\begin{aligned} W_{kin} &= W_{kin_0} \left[\frac{f_0 + \Delta f}{f_0} \right]^2 = W_{kin_0} \left[1 + \frac{\Delta f}{f_0} \right]^2 \\ &= W_{kin_0} \left[1 + 2 \frac{\Delta f}{f_0} + \left(\frac{\Delta f}{f_0} \right)^2 \right] \\ &\approx W_{kin_0} \left(1 + 2 \frac{\Delta f}{f_0} \right) \end{aligned} \quad (4.14)$$

Eşitlik (4.14), eşitlik (4.13)'de yerine yerleştirilirse, güç dengesi eşitliği şu şekli alır;

$$\Delta P_T - \Delta P_L = \frac{2W_{kin_0}}{f_0} \frac{d}{dt}(\Delta f) + D\Delta f \quad \text{MW} \quad (4.15)$$

Eşitlik (4.15) generatör nominal gücü P_{Gn} ile bölünür ise, makinanın atalet sabiti per-unit cinsinden tanımlanır.

$$H = \frac{W_{kin_0}}{P_{Gn}} \left(\frac{\text{MWs}}{\text{MW}} \right) \quad (4.16)$$

Genelde değeri 2-8 saniye arasındadır. Yukarıdaki eşitlik şu hale gelir:

$$\Delta P_T - \Delta P_L = 2 \frac{H(s)}{f_0} \Delta f + D\Delta f \quad \text{p.u. MW} \quad (4.17)$$

Denkleme Laplace dönüşümü uygulanırsa;

$$\Delta P_T(s) - \Delta P_L(s) = 2 \frac{H(s)}{f_0} \Delta f(s) + D\Delta f(s) \quad (4.18)$$

bulunur. Buradan,

$$\Delta f(s) = G_p(s) [\Delta P_T(s) - \Delta P_L(s)] \quad (4.19)$$

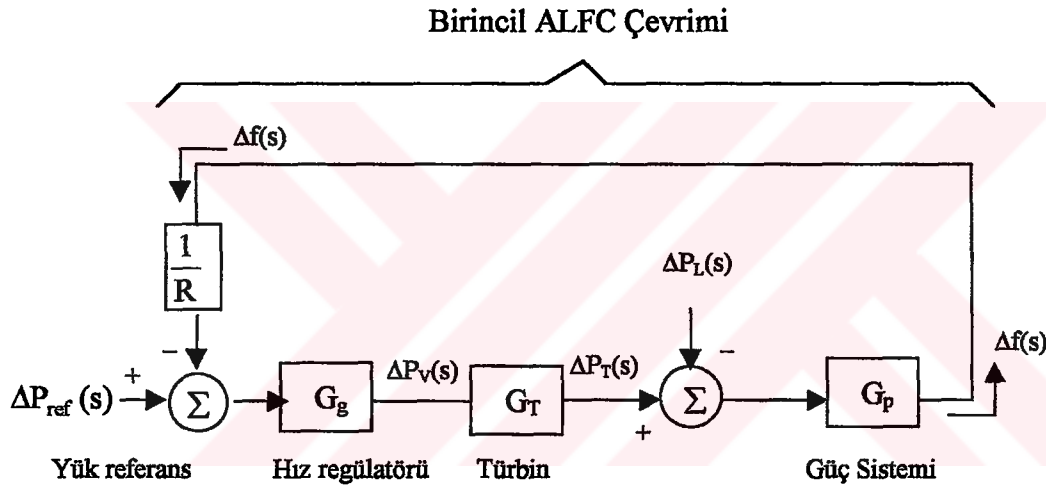
elde edilir ve G_p ; güç sistemi transfer fonksiyonu olmak üzere şu parametreler tanımlanır:

$$G_p(s) = \frac{\Delta K_p}{1 + sT_p} \quad (4.21)$$

$$T_p(s) = \frac{\Delta 2H}{f_0 D} (\text{sn}) \quad (4.22)$$

$$K_p(s) = \frac{\Delta 1}{D} \left(\frac{\text{Hz}}{\text{p.u}} \text{MW} \right) \quad (4.23)$$

Güç sistemini tanımlayan parametrelerin de yardımıyla, Şekil 4.11'de otomatik yük-frekans kontrolünün birincil kontrol çevrimi sunulmuştur.



Şekil 4.11. Birincil otomatik yük-frekans kontrol çevrimi

4.5. Otomatik Yük-Frekans Kontrolünün İkincil Çevriminin Kapanması

İkincil otomatik yük-frekans kontrol çevrimi ile, frekansın istenilen değere restorasyonu ve sabitliği sağlanır.

Şekil 4.11'de de görüldüğü üzere, otomatik yük-frekans kontrol çevrimi, bir çıkış; Δf ve iki giriş; ΔP_{ref} , ΔP_L değişkenine sahiptir. Blok diyagramında,

$$\Delta f = G_p \left[\left(\Delta P_{ref} - \frac{1}{R} \Delta f \right) G_g G_T - \Delta P_L \right] \quad (4.24)$$

olarak bulunur.

Yük-frekans kontrolünün dinamiği daha iyi anlamak için, Şekil 4.11'de sunulan kontrol çevrimini iki farklı durum için inceleyelim.

4.5.1. Kontrolsüz durumda otomatik yük-frekans kontrol çevriminin frekans cevabı

Hız değiştiricinin pozisyon değiştirmedeği düşünülür ise;

$$\Delta P_{ref} = 0$$

olur. Bu durumda frekans değişiminin transfer fonksiyonu,

$$\Delta f(s) = - \frac{G_p(s)}{1 + \frac{1}{R} G_p(s) G_g(s) G_T(s)} \Delta P_L(s) \quad (4.25)$$

dir. $\Delta P_L = M$ kadar bir basamak yük değişikliği için,

$$\Delta P_L(s) = \frac{M}{s} \quad (4.26)$$

olarak transfer fonksiyonu elde edilir.

Eşitlik (4.25)'den statik frekans düşüşü,

$$\Delta f_0 = \lim_{s \rightarrow 0} [s \Delta f(s)] = - \frac{K_p}{1 + \frac{K_p}{R}} = - \frac{M}{D + \frac{1}{R}} H_2 \quad (4.27)$$

olarak bulunur. Buradan; bölge frekans cevap karakteristiği; β , tanımlanabilir.

$$\beta = D + \frac{1}{R} \quad \text{p.u.} \frac{\text{MW}}{\text{Hz}} \quad (4.28)$$

Bu durumda, frekans düşüşü;

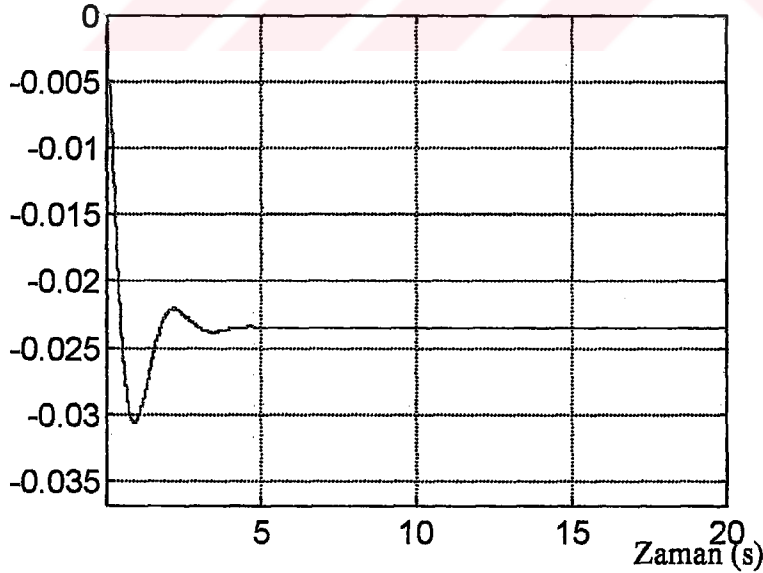
$$\Delta f_0 = -\frac{\Delta P_L}{\beta} = -\frac{M}{\beta} \text{ Hz} \quad (4.29)$$

olarak bulunur.

Sistemin dinamik davranışı incelemek amacıyla, eşitlik(4.25) için gerekli Laplace dönüşümü yapıldığında, R'nin azalmasının statik frekans hatasını azalttığı görülür.

Sistemin geçici performansı adım bozulma ile karakterize edilir. Yükteki birim adım yük değişimi sistemin frekans cevabı hakkında bilgi verecektir. Genliği 0.01 p.u. olan bir yük değişimi lineer bir model olan yük-frekans kontrol çevrimi için yeterli olacaktır (Chan, 1981).

Şekil 4.12'de 0.01 p.u. değerinde birim yük artışı için kontrolsüz durumda sistemin frekans cevabı sunulmuştur. Bu cevap aynı zamanda sistemin birincil frekans kontrolünün frekans bozulmasına verdiği cevaptır (Elgerd, 1971).



Şekil 4.12. Birincil yük-frekans kontrol çevriminin adım yük değişimine verdiği frekans cevabı

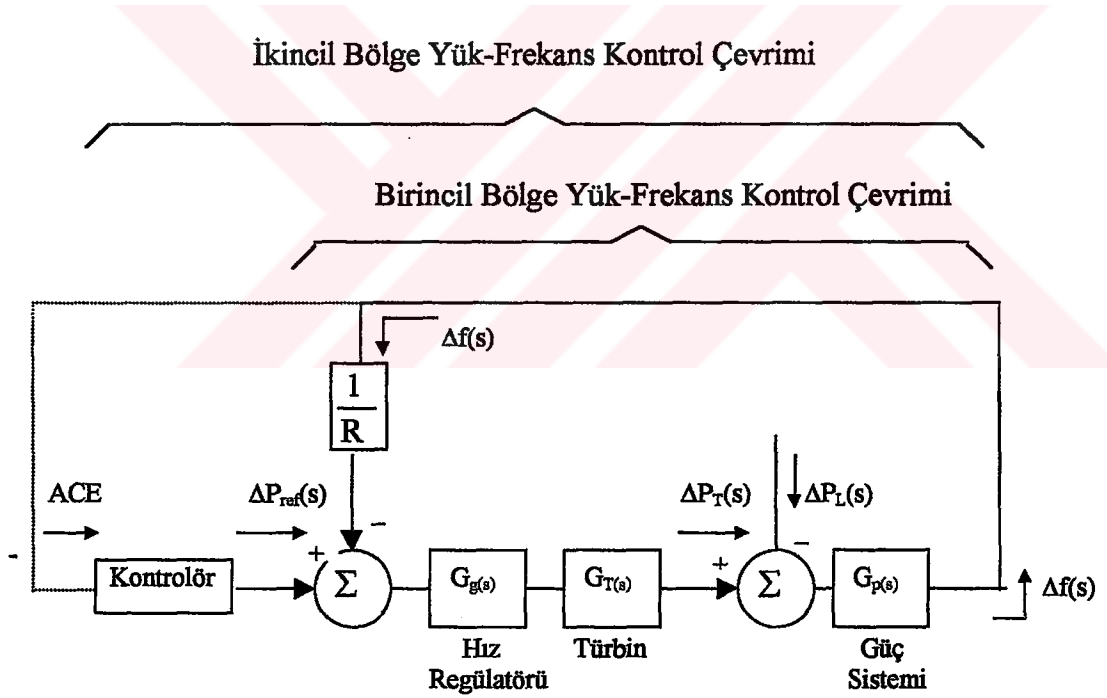
4.5.2. Kontrollü durumda otomatik yük-frekans kontrol çevriminin frekans cevabı

Hız regülatörlerinin sağladığı frekans sabitliğinden daha iyi sonuçlar sağlamak ve bir adım yük değişikliğini takiben, frekans hatasını sıfıra döndürmek için hız değiştiricisi uygun kontrol stratejisi ile hareket ettirilmelidir.

Şekil 4.13 birincil yük-frekans kontrol çevrimine ikincil döngü eklenerek elde edilmiştir. Kontrolörü besleyen sinyal "Bölge Kontrol Hatası (ACE-Area Control Error) olarak adlandırılır. Tek bölgeli sistemler için bu sinyal;

$$ACE = \Delta f$$

dir.

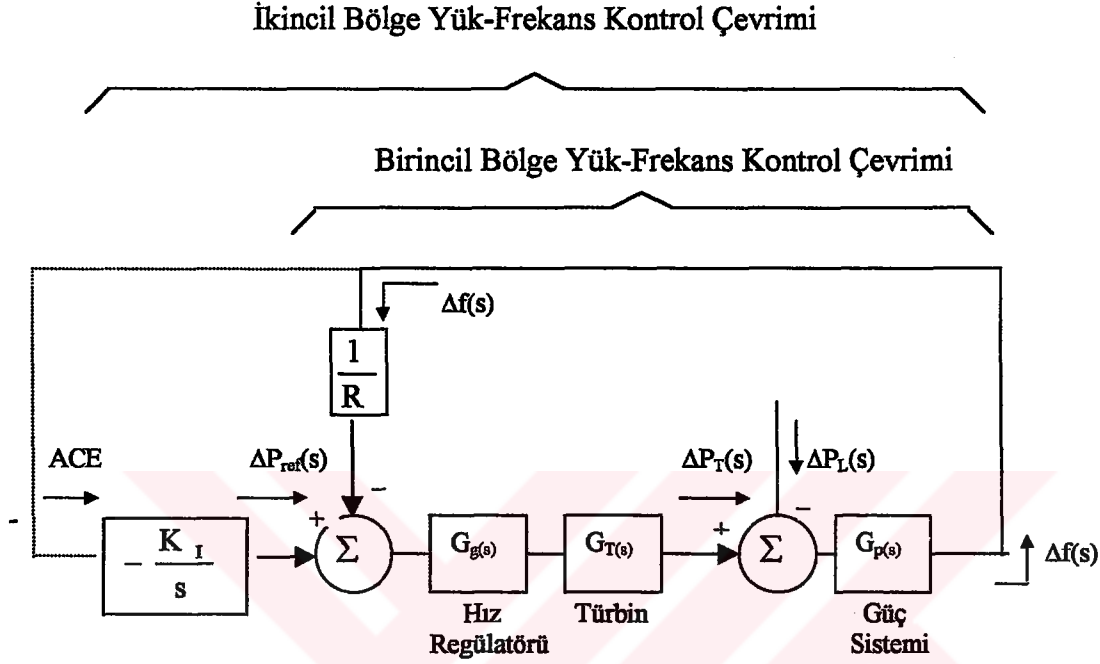


Şekil 4.13. Kapalı çevrim otomatik yük-frekans kontrolü

4.6. Otomatik Yük-Frekans Kontrolünde Integral Kontrolörün Kullanılması

Bu altbölümde kontrol aksiyonunun daha iyi anlaşılabilmesi için, kontrolör olarak integratör kullanılarak inceleme yapılmıştır.

İkincil yük-frekans kontrolüne katılan ünitenin yük-frekans ayarlayıcısına bir integral kontrolörü eklenerek sürekli durumda sıfır frekans hatası sağlanır(Şekil 4.14).



Şekil 4.14. İntegral kontrolörü ile donatılmış tek bölgeli bir güç sisteminin otomatik yük-frekans kontrol diyagramı

İntegral kontrolör, sistemde bir hata kaldığı sürece çıkışını artırır ve hız değiştiricinin hareketine neden olur. İntegratör çıkışı yalnızca frekans hatası sıfır olduğunda sabit bir değere ulaşır ve böylece hız ayarlayıcı pozisyon değiştirmez. K_I ; kazanç sabiti integrasyon oranını kontrol eder ve çevrimin cevap hızını denetler.

Basamak yük değişimine karşılık olarak hız değiştiricinin pozisyon değiştirdiği düşünülür ise,

$$\Delta P_{ref}(s) = -\frac{K_I}{s} \Delta f(s) \quad (4.30)$$

dir.

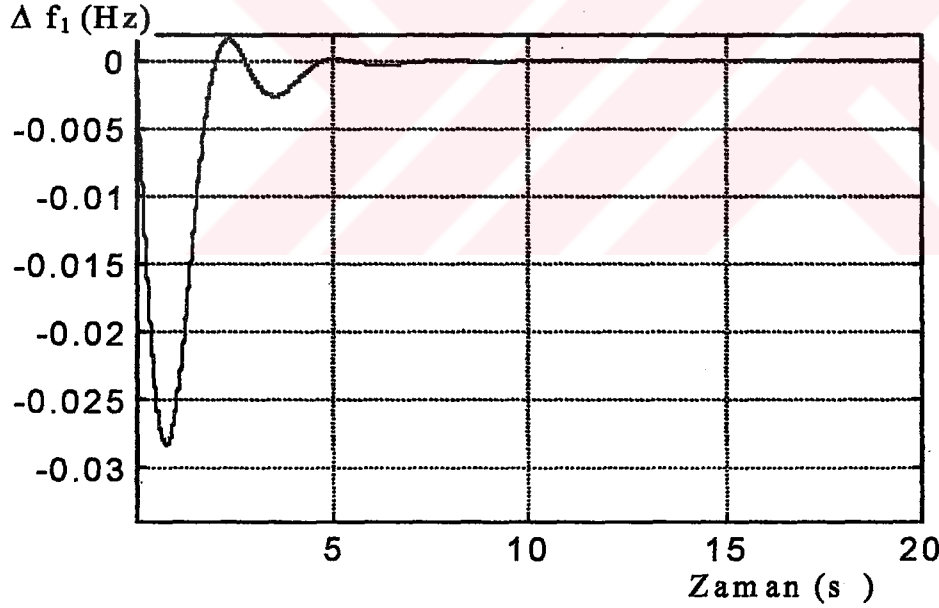
Şekil 4.14'deki blok diyagramdan,

$$\Delta P(s) = -\frac{K_I}{s} \frac{G_p(s)}{1 + \frac{1}{R} G_p(s) G_g(s) G_T(s)} \cdot \frac{M}{s} \quad (4.31)$$

elde edilir. Sistemin dinamik davranışı eşitlik (4.31)'e gerekli Laplace dönüşümü uygulanarak görülebilir. Dönüşüm irdelendiğinde K_I kazancının;

$$K_I > \frac{1}{4T_p K_p} \left(1 + \frac{K_p}{R}\right)^2 \triangleq K_{I, \text{kritik}} \quad (4.32)$$

olduğu sonucu çıkarılabilir. $K_I \leq K_{I, \text{kritik}}$ ise kontrol sistemi osilasyon yapmayan bir cevap sağlar.



Şekil 4.15. Şekil 4.14'de tanımlanan sistem için adım yük değişiminde ortaya çıkan dinamik frekans dalgalanması

Şekil 4.15'de adım yük değişimine karşın integral kontrolör ile donatılmış ikincil yük-frekans kontrol çevriminin frekans cevabı sunulmuştur.

BÖLÜM 5

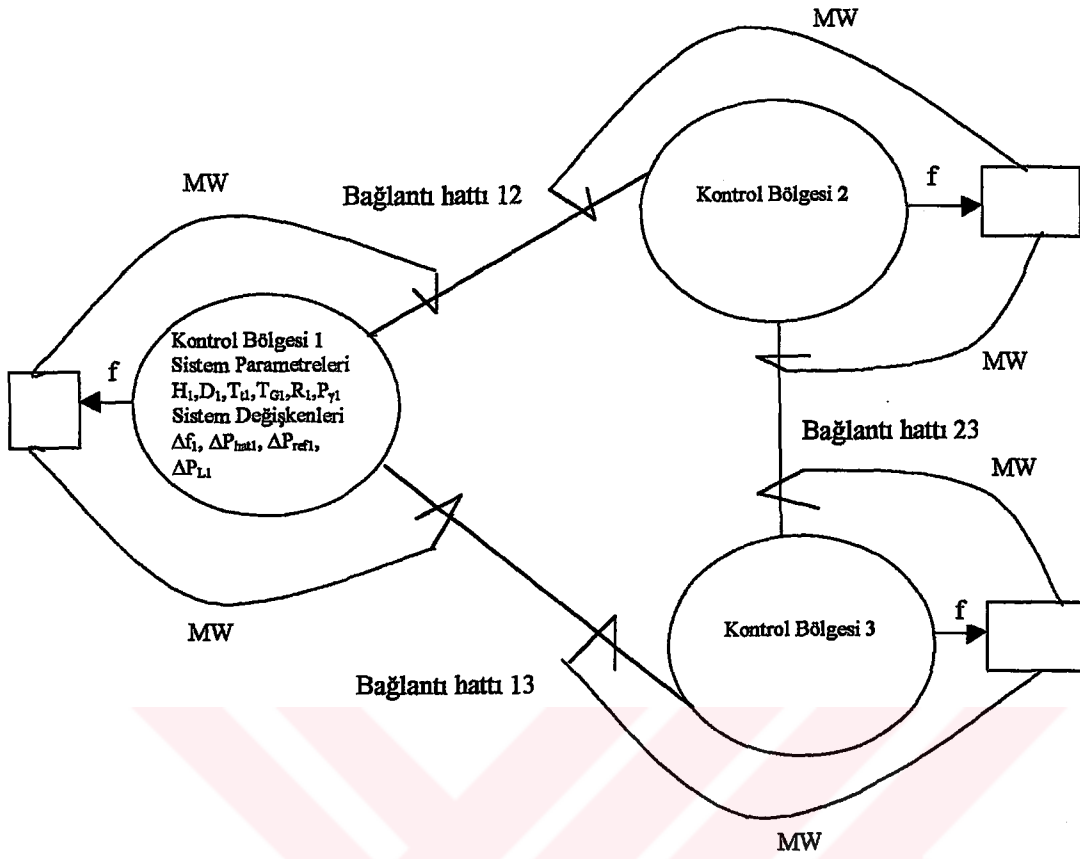
İKİ veya DAHA FAZLA KONTROL BÖLGESİNE SAHİP GÜÇ SİSTEMLERİNDE OTOMATİK YÜK-FREKANS KONTROLÜ

İki veya daha fazla kontrol bölgesine sahip güç sistemlerinde, otomatik yük-frekans kontrolü¹; generatör ünitelerinden istenilen aktif güç çıkışlarının sağlanması yolu ile frekans kontrolüne yardımcı olduğu gibi, bölgeler arasındaki güç alışverişinin arzu edilen değerler arasında tutulmasını da sağlar.

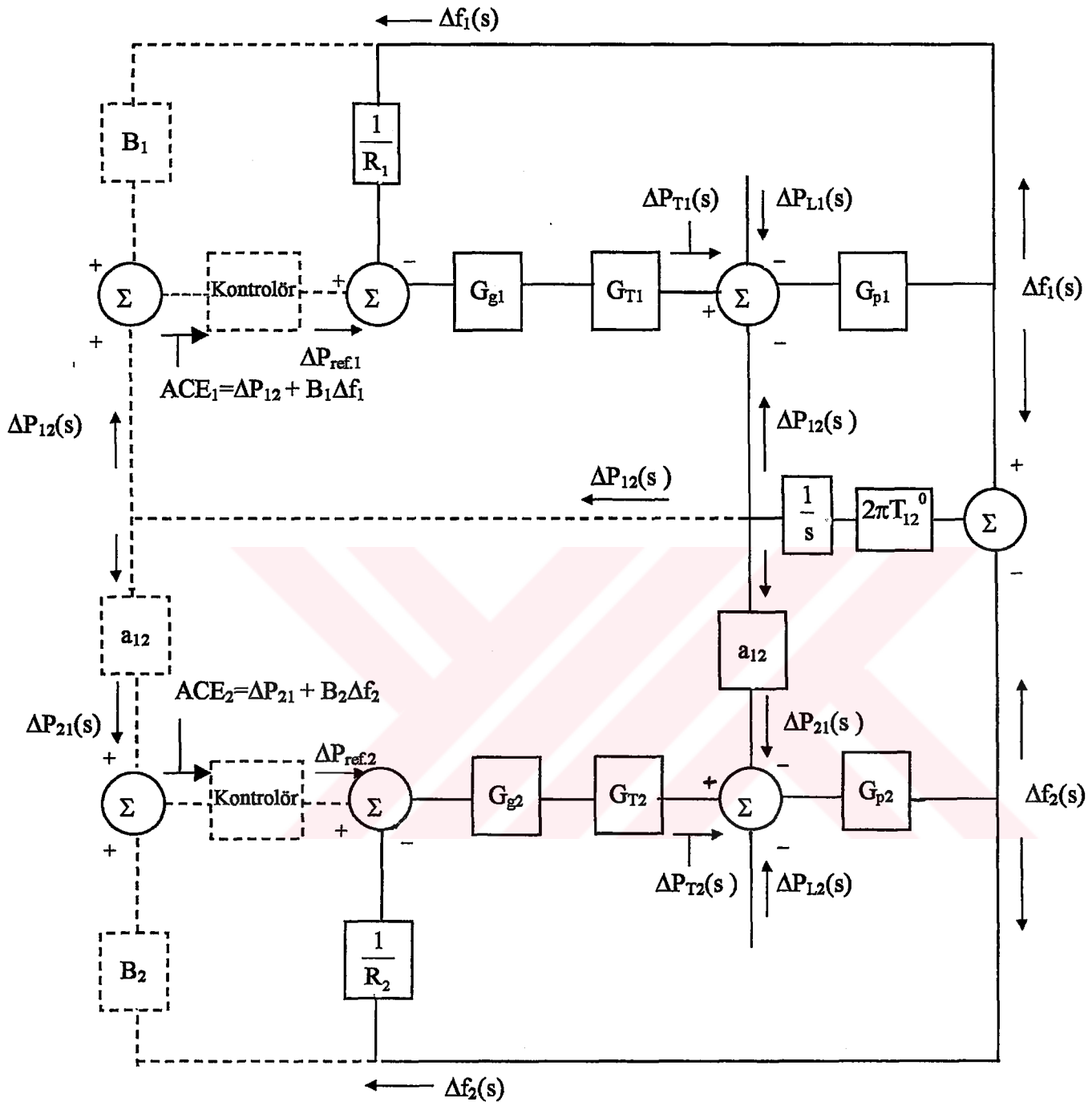
Şekil 5.1'de sunulduğu gibi, her kontrol bölgesi kendi kontrol parametreleri ile tanımlanır. Ancak bütün bölgelerin ortak paylaştıkları tek bir frekans değeri vardır.

İki veya daha fazla kontrol bölgesini içeren bir enterkonnekte sistemdeki otomatik yük-frekans kontrolünü incelemek için iki kontrol bölgesi bir güç sistemi Şekil 5.2'de sunulmuştur

¹Genellikle, yük-frekans kontrolü terimi yerine otomatik üretim kontrolü (AGC-Automatic Generation Control) kullanılmaktadır (Elgerd, 1971).



Şekil 5.1. Çok bölgeci bir güç sisteminin diyagram ile ifadesi



Şekil 5.2. İki bölge bir güç sistemi için yük-frekans kontrol çevrimi.

Konuya başlamadan önce iki bölge arasında transfer fonksiyonu, a_{12} , tanımlanmalıdır.

$$a_{12} = -\frac{P_{\gamma 1}}{P_{\gamma 2}} \quad (5.1)$$

Burada,

$P_{\gamma 1}$ = 1 nci kontrol bölgesinin güç bölgesinin güç kapasitesi

$P_{\gamma 2}$ = 2 nci kontrol bölgesinin güç bölgesinin güç kapasitesi

Eğer iki bölgenin kapasitesi birbirinden farklı ise, bağlantı hatları arasında iletilen güç;

$$\Delta P_{\text{hat},2} = -\frac{P_{\gamma 1}}{P_{\gamma 2}} \Delta P_{\text{hat},1} \quad (5.2)$$

$$\Delta P_{\text{hat},2} = a_{12} \Delta P_{\text{hat},1}$$

olur.

5.1. Otomatik Yük-Frekans Kontrolünde Birincil Çevrimin Kapanması ve Çevrimin Frekans Cevabı

İki bölgeli bir sistemde hız değiştiricinin pozisyonunun sabit olduğu kabul edilir ise,

$$\Delta P_{\text{ref},1} = \Delta P_{\text{ref},2} = 0$$

olur.

Birinci bölgedeki yükün ΔP_{L1} ve ikinci bölgedeki yükün ΔP_{L2} kadar arttığı düşünülür ise frekanstaki ve bağlantı hattındaki güç değişiminin statik durumu şu şekildedir.

$$\Delta P_{T1_0} = -\frac{1}{R_1} \Delta f_0$$

$$\Delta P_{T2_0} = -\frac{1}{R_2} \Delta f_0 \quad (5.3)$$

Bağlantı hatlarındaki güçlerin toplanması ile,

$$\Delta P_{T1} - \Delta P_{L1} - \Delta P_{hat,1} = D_1 \Delta f_0 \quad (5.4)$$

$$\Delta P_{T2} - \Delta P_{L2} - \Delta P_{hat,2} = D_2 \Delta f_0$$

elde edilir.

Eşitlik (5.3) ve (5.2), eşitlik (5.4)'de yerine konular ise,

$$-\frac{1}{R_1} \Delta f_0 - \Delta P_{L1} = D_1 \Delta f_0 + \Delta P_{hat,12} \quad (5.5)$$

ve

$$-\frac{1}{R_2} \Delta f_0 - \Delta P_{L2} = D_2 \Delta f_0 - a_{12} \Delta P_{hat,12} \quad (5.6)$$

ifadeleri elde edilir. Δf_0 ve $\Delta P_{hat,12}$ için eşitlik (5.5) ve (5.6) çözülür ise,

$$\Delta f_0 = \frac{\Delta P_{L2} - a_{12} \Delta P_{L1}}{\beta_2 - a_{12} \beta_1} \quad (5.7)$$

$$\Delta P_{hat,12} = \frac{\beta_1 \Delta P_{L2} - \beta_2 \Delta P_{L1}}{\beta_2 - a_{12} \beta_1} \quad (5.8)$$

olur.

Burada bölge frekans cevap karakteristikleri,

$$\begin{aligned}\beta_1 &= D_1 + \frac{1}{R_1} \\ \beta_2 &= D_2 + \frac{1}{R_2}\end{aligned}\tag{5.9}$$

şeklindedir. Eşitlik (5.9)'daki parametreler özdeş kabul edilir ise,

$$\begin{aligned}D_1 &= D_2 = D \\ R_1 &= R_2 = R \\ \beta_1 &= \beta_2 = \beta\end{aligned}\tag{5.10}$$

olur ve,

$$a_{12} = -1\tag{5.11}$$

elde edilir. Bu durumda,

$$\Delta f_o = \frac{\Delta P_{L2} + \Delta P_{L1}}{2\beta} \text{ Hz}\tag{5.12}$$

$$\Delta P_{\text{hat},12_o} = \frac{\Delta P_{L2} - \Delta P_{L1}}{2} \text{ p.uMW}\tag{5.13}$$

olarak bulunur.

5.2. Otomatik Yük-Frekans Kontrolünde İkincil Çevrimin Kapanması ve Sistemin Frekans Cevabı

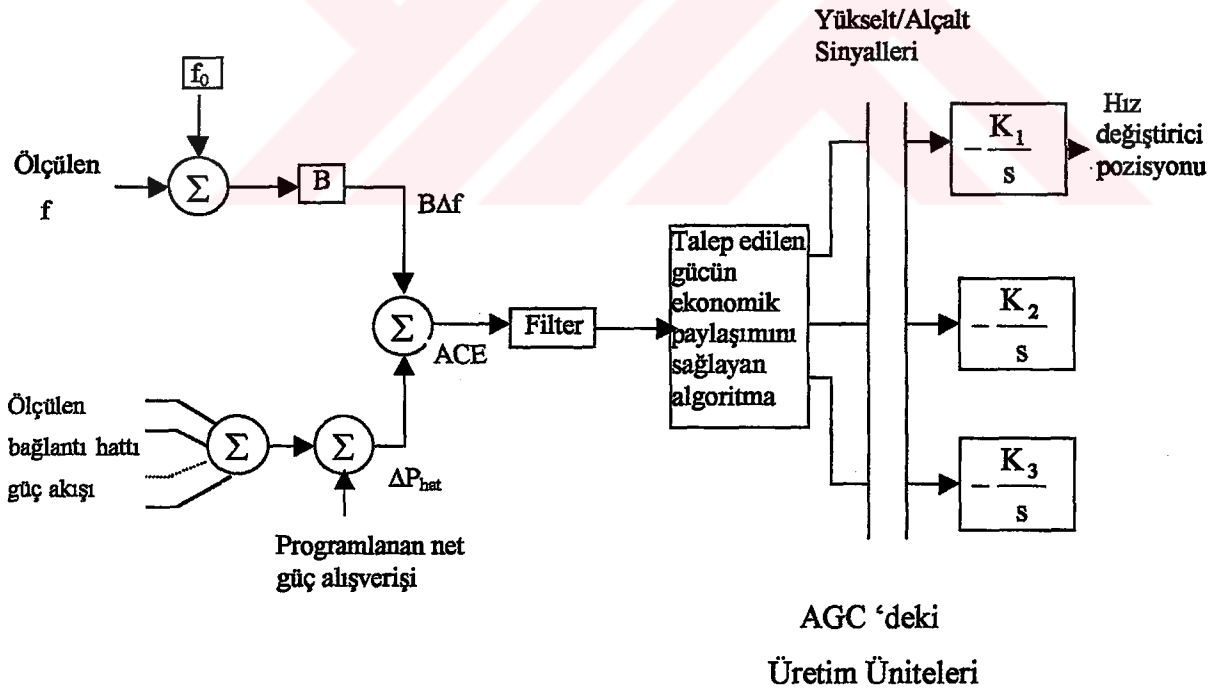
İkincil kontrolün etkin olmadığı süreç içerisinde, üniteler senkronize olarak yeni sistem frekansı ile çalışmaya devam ederler. İkincil kontrol çevriminin sistemdeki değişikliğe cevap vermesi ile, yük değişikliğinin olduğu bölge içerisindeki güç santrallerinin hız değiştiricileri “düşür” yada “yükselt” sinyalleri gönderir. Hız regülatörlerinin yük-frekans değerlerinin koordineli olarak kontrolü ile sistemin tekrar arzu edilen f_o frekans değerine geri getirmek ve üretim ünitelerinin kapasitelerine göre yük bölüşümünü sağlamak mümkündür.

Diğer taraftan, iki yada daha fazla kontrol bölgesinden oluşan enterkonnekte sistemlerde her bölge birbiriyle bağlantı hatları ile bağlanır. Bağlantı hatları; anormal işletme şartlarında iletim hatları aracılığı ile bölgeler arasında enerji alışverişini sağlayarak bölgeler arasında yardımlaşmayı sağlar. Bölgeler arasındaki bu yardımlaşma karşılıklı yapılan anlaşmalar ile sınırlandırılır.

Çok bölgeci enterkonnekte sistemlerde otomatik üretim kontrolünün görevi;

- Her bölgenin kendi yük değişikliğini karşılamasını sağlamak
- Komşuları ile önceden yapılmış anlaşma sınırları içerisinde güç alışverişini sağlamak
- Üretimin ekonomik olara üniteler arasında dağılımını sağlamak
- İstenilen frekans değerine ulaşılması için bölgenin payına düşeni yapmasına izin vermek (Grainger, 1994).

Şekil 5.3’de tipik bir AGC sisteminin kontrol mantığı sunulmuştur.



Şekil 5.3. Her bir kontrol bölgesi için AGC mantığı

5.3. Bağlantı Hattı Yönelimli Kontrol Stratejisi

İkincil frekans kontrolü öncelikle 5.1.2 alt bölümünde sunulan ilk iki görevi yerine getirmek zorundadır. Bağlantı hattı yönelimi esas alınarak sistem kontrolü yapıldığında istenilen frekans ve programlanan güç akışını sağlamak için sistem hem frekans değişimine hem de güç akış değişimine cevap verir.

ACE, bir frekans yönelim faktörü, B, ile ağırlık kazanmış frekans değişimi ve bağlantı hattı güç akışı değişimi ile belirlenmiş bir kontrol işaretidir. Yük-Frekans kontrol (LFC-Load-Frequency Control) çevrimi ACE tarafından sürülür. İki bölge bir güç sistemde birinci kontrol bölgesi için ACE şu şekilde ifade edilebilir (Kundur, 1994).

$$\begin{aligned} ACE_1 &= \Delta P_{\text{hat}_{12}} - (-B_1)\Delta f_{1,p.u} \\ &= \Delta P_{\text{hat}_{12}} + B_1\Delta f_1 \end{aligned} \quad (5.17)$$

Aynı şekilde, $\Delta P_{\text{hat}_{21}} = -\Delta P_{\text{hat}_{12}}$ olmak üzere, ikinci kontrol bölgesi için ACE;

$$\begin{aligned} ACE_2 &= \Delta P_{\text{hat}_{21}} - (-B_2)\Delta f_{2,p.u} \\ &= -\Delta P_{\text{hat}_{12}} + B_2\Delta f_2 \end{aligned}$$

şeklinde yazılabilir.

Burada;

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{hat}_{12}} &= 1 \text{ nci ve 2 nci Bölgeler arasındaki bağlantı hattı güç akışı değişimi} \\ &(\text{p.u MW}) \end{aligned}$$

$$B_1, B_2 = 1 \text{ nci ve 2 nci Bölgeler için frekans yönelim faktörü } \left[\text{p.u} \frac{\text{MW}}{\text{Hz}} \right]$$

$$\Delta f = \text{frekans bozulması (Hz)}$$

Diğer bir ifade ile ACE, aşağıdaki eşitlikte de sunulduğu gibi, ölçülen ve programlanan güç akışı arasındaki değişiklik ile frekans yönelim faktörü tarafından ağırlık kazanmış, ölçülen ve istenilen frekans arasındaki değişikliğin farkıdır.

Birinci kontrol bölgesi için ACE,

$$\begin{aligned} ACE_1 &= (P_M - P_S)_1 - (-B_1) (F_M - F_S)_1 \quad (MW) \\ &= (P_M - P_S)_1 + B_1 (F_M - F_S)_1 \end{aligned} \quad (5.18)$$

olarak ifade edilebilir. Aynı şekilde, ikinci kontrol bölgesi için ACE,

$$\begin{aligned} ACE_2 &= (P_M - P_S)_2 - 10 (-B_2) (F_M - F_S)_2 \quad (MW) \\ &= (P_M - P_S)_2 + 10 B_2 (F_M - F_S)_2 \end{aligned}$$

şeklindedir.

Burada,

$P_M - P_S$ = Bağlantı hattındaki güç akışının ölçülen ve planlanan değeri arasındaki fark (MW)

B_1, B_2 = 1 nci ve 2 nci bölge için frekans yönelim faktörü $\left(\frac{MW}{0,1Hz} \right)$

$F_M - F_S$ = Ölçülen ve planlanan frekans arasındaki fark (Hz)

Frekans yönelim faktörü, bölge frekans cevap karakteristiğinin yıl içinde pik yükün olduğu saatlerde oluşan ve büyük yük kayıpları ile sonuçlanan arızaların olduğu anda gözlemlenen ortalama değerinin tahmini ile elde edilir.

Frekans yönelim faktörü negatif bir değerdir ve genellikle MW/0,1 Hz olarak verilir. Bu değer hem yükün hem de hız regülatörünün frekansa olan duyarlılığını gösterir (Jaleeli, 1992).

$$\beta = \frac{1}{R} + D$$

Frekans yönelim faktörünün tahmin edilen değerinin altında seçilmesi; bir ünitenin devre dışı kalması durumunda, diğer kontrol bölgelerinin arızalı bölgedeki hız regülasyon oranının çok küçük olduğunu zannetmelerine ve ikincil kontrolün üretimi geri düşürmesine ve dolayısı ile frekansın düşmesine neden olur. Diğer taraftan, çok büyük seçilmesi, normal işletme şartlarında küçük bir frekans bozulması kontrole sunulması gerekmediği halde AGC'yi sürmek için bir ACE'ye neden olur (Nanda, 1973)

Klasik ACE eşitliğinde en mükemmel yakın yönelim faktörü değeri hem normal hemde arızalı işletme şartlarına uygun olmalıdır. Araştırmalar en uygun frekans yönelim faktörü değerinin frekans cevap karakteristiğine eşit olduğunu göstermiştir (Elgerd, 1970 ve Kundur, 1994).

$$|B| = |\beta| \quad (5.19)$$

Bağlantı hattı yönelimli kontrol stratejisinin uygulaması Şekil 5.2'ye kesik çizgili çevrimin eklenmesi ile sağlanır. Bu çevrimde kontrolörü besleyen eşitlik (5.17)'de de sunulduğu gibi; kontrol hatası; frekans ve bağlantı hattı hatasının lineer bir birleşimidir.

Bu bölümde de kontrol aksiyonunun daha iyi anlaşılabilmesi için kontrol sadece konvansiyonel kontrol ile sağlanacaktır. İki bölge bir enterkonnekte sistemde ikincil frekans kontrolüne katılan ünitenin yük-frekans ayarlayıcısına bir integral kontrolörü eklenerek sürekli-durumda sıfır frekans hatası sağlanır.

Basamak yük değişimine karşılık olarak hız değiştiricinin pozisyon değiştirdiği düşünülür ise,

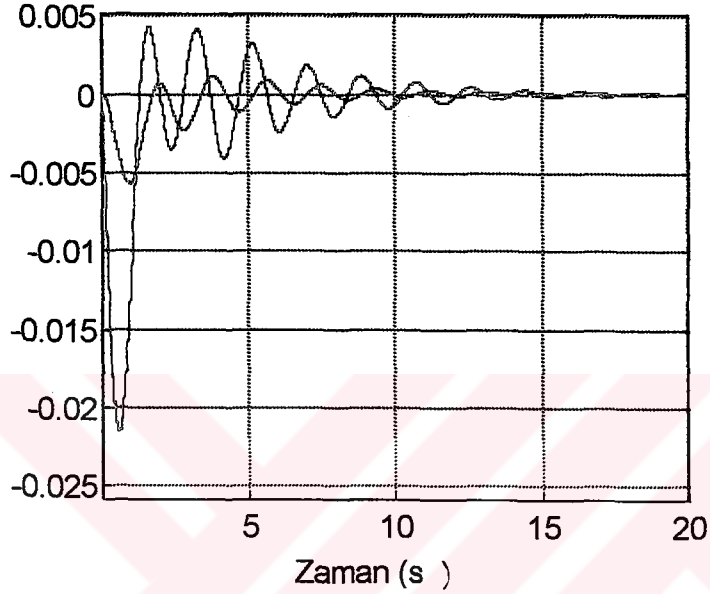
$$\Delta P_{ref,1} = -K_{I_1} \int (\Delta P_{hat,12} + B_1 \Delta f_1) dt \quad (5.20)$$

$$\Delta P_{ref,2} = -K_{I_2} \int (\Delta P_{hat,21} + B_2 \Delta f_2) dt \quad (5.21)$$

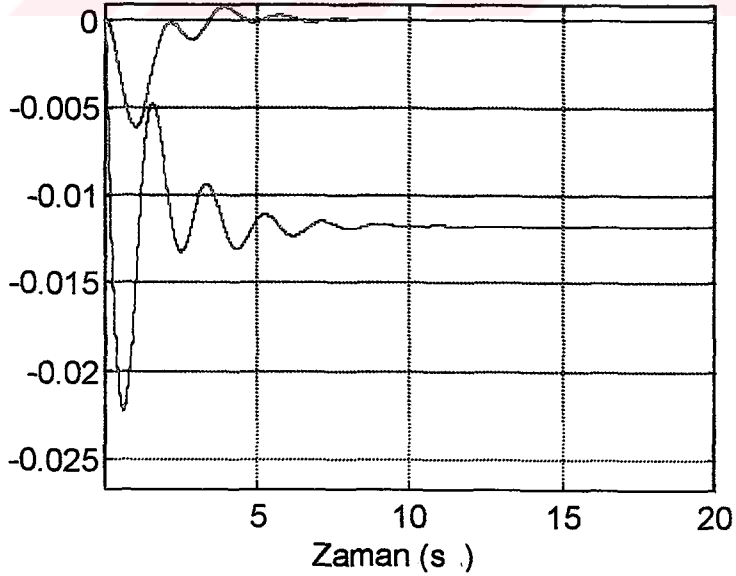
olur(Elgerd, 1971).

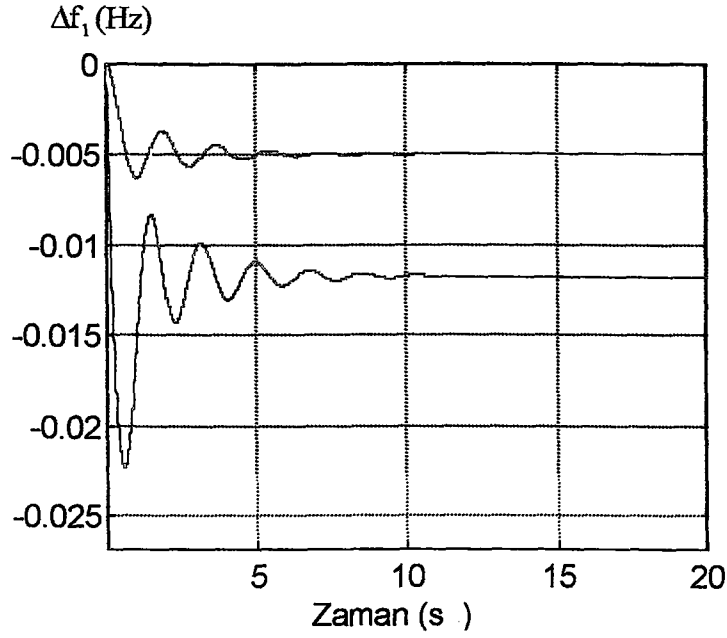
Eğer dört kazanç parametresinden birisi, $K_{I_1}, K_{I_2}, B_1, B_2$, çok büyük seçilirse kapalı çevrim sistemi kararsız hale gelecektir. Şekil 5.4'de Şekil 5.2'deki sistem modeli için Ek A'da sunulan sistem parametreleri kullanılarak farklı kazanç koşulları için iki bölge sistemin birinci bölgesindeki frekansın ve bağlantı hattı güç akışının bozulması gözlemlenmiştir.

Δf_1 (Hz)

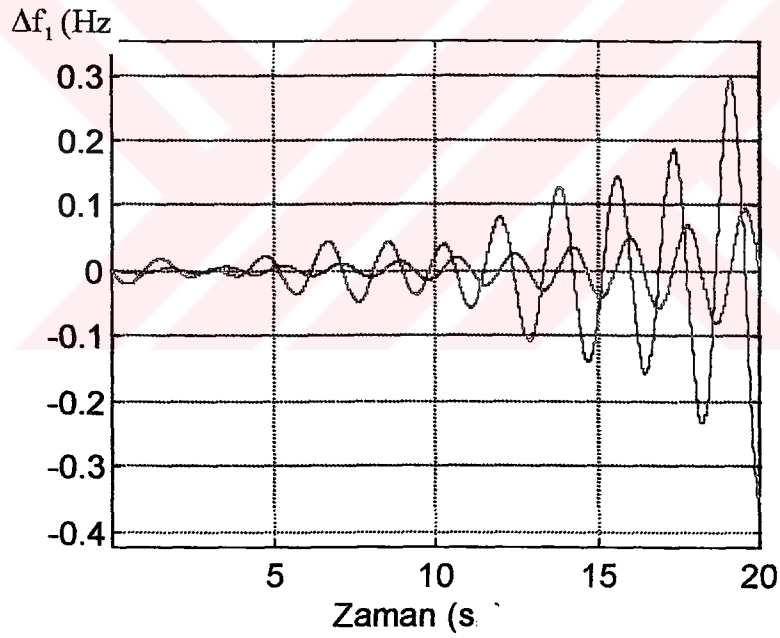


Δf_1 (Hz)





(c)



— Δ f 1 - - - Δ P hat 12

(d)

Şekil 5.4. İki bölgeli sistem için bir adım yük değişikliğinin ardından frekansın ve bağlantı hattı gücünün bozulması sadece birinci bölge için sunulmuştur.

(a) $B = 0.425$, $K_I = 0.75$, (b) $B = 0$, $K_I = 0.75$

(c) $B = 0$, $K_I = 0$, (d) $B = 1.0$, $K_I = 1.0$

BÖLÜM 6

GÜÇ SİSTEMLERİNDE YÜK FREKANS KONTROLÜNÜN KAZANCIN BULANIK MANTIK KURALLARI İLE PROGRAMLANDIĞI BİR PI KONTROLÖR İLE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Yeterli ve iyi kalitede elektrik gücünün sağlanması için yük-frekans kontrolü, güç sistemi için çok önemlidir. Yük-frekans kontrolü önceden açıklandığı gibi net güç alışverişi ve frekans hatasının lineer bir birleşimi olan ve bölge kontrol hatası (ACE- Area Control Error) olarak adlandırılan bir kontrol sinyaline dayanır. ACE'nin kontrol sinyali olarak kullanılması frekans ve bağlantı hattındaki bozulmayı sürekli durumda sifira azaltır. Ancak klasik PI kontrolör ile bu kontrol gerçekleştirildiğinde geçici cevap tatmin edici değildir. Oturma zamanı uzundur ve aşırı yükselmeler oluşur.

6.1. PI Kontrolör ile Yük-Frekans Kontrolü

6.1.1. PI kontrolörler

Bir PI kontrolörün transfer fonksiyonu aşağıdaki şekildedir:

$$G_C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (6.1)$$

burada K_p ve K_i ; sırası ile oransal ve integral kazançlardır. PI kontrolörün kullanılan başka bir eşdeğeri ise,

$$G_C(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (6.2)$$

dir. Burada;

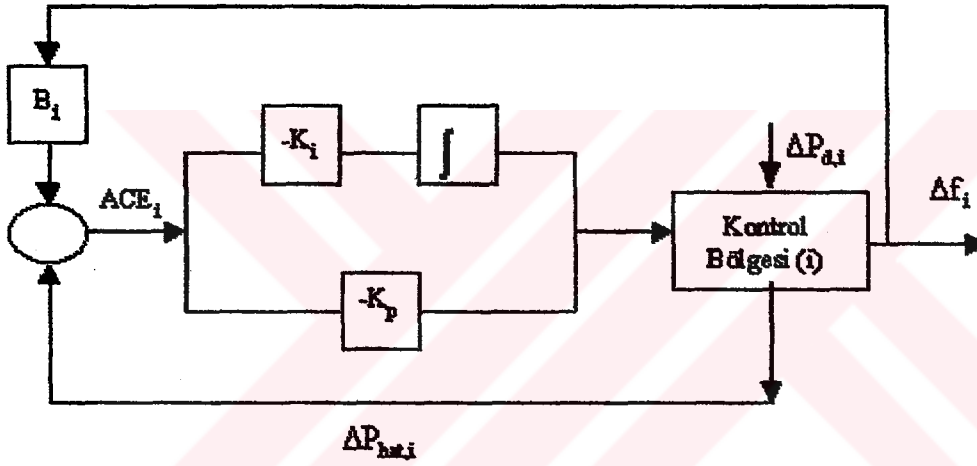
T_i = integral zaman sabiti

dir.

6.1.2. PI Kontrolörün Yük-Frekans Kontrolünde Kullanılması

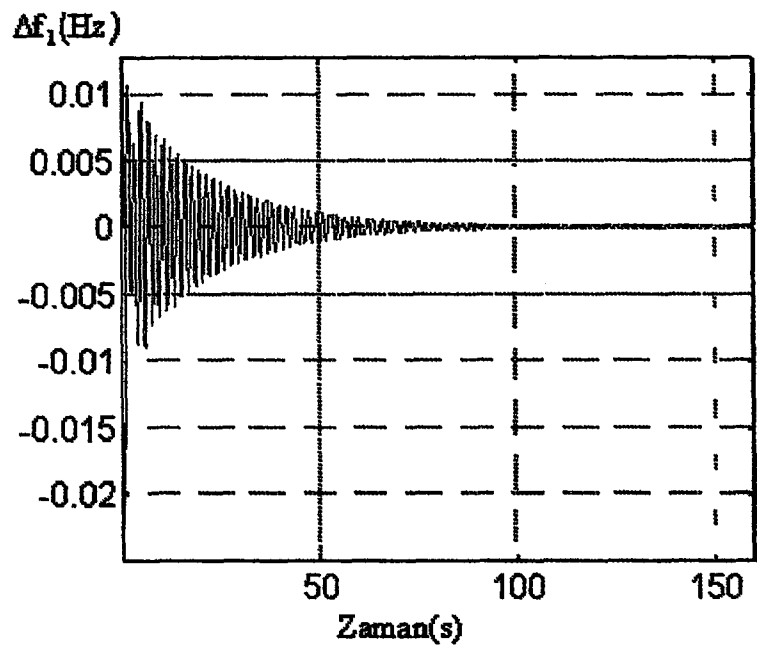
Yük-frekans kontrolünün amacı frekans ve bağlantı hattı güç alışverişini istenilen değere ulaştırmak üzere bir u kontrol sinyali üretmektir. Yük-frekans kontrolünde kullanılan PI kontrolörün blok diyagramı Şekil 6.1'de görülmektedir. Kontrol vektörü ise şu şekildedir:

$$U_i(t) = -K_{p,i}ACE_i(t) - K_{i,i} \int ACE_i(t)dt \quad (6.3)$$

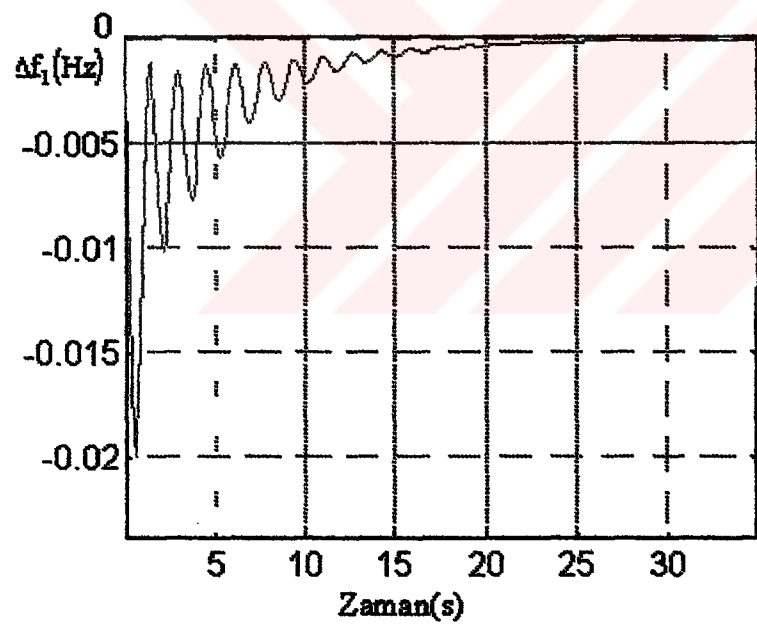


Şekil 6.1. i. bölge için konvansiyonel PI kontrolör

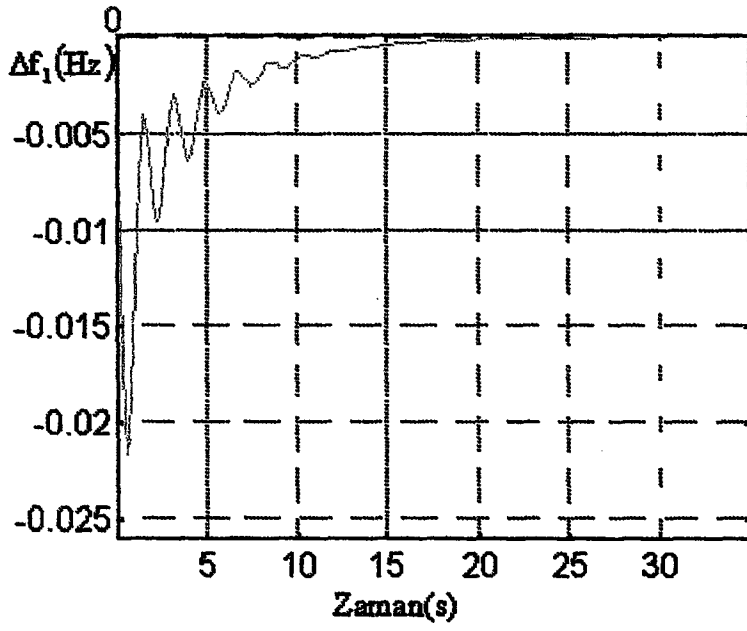
Yük-frekans kontrolünde konvansiyonel kontrolör olarak kullanılan PI kontrolörün kazançlarının değişmesi sistem cevabını farklı şekillerde etkileyebilmektedir. Şekil 6.2' de , Şekil 5.5 ' de sunulan iki bölgeli güç sistemi ve Ek A'da sunulan sistem parametreleri kullanılarak farklı integral ve oransal kazançlar için sistem cevabı gözlemlenmiştir.



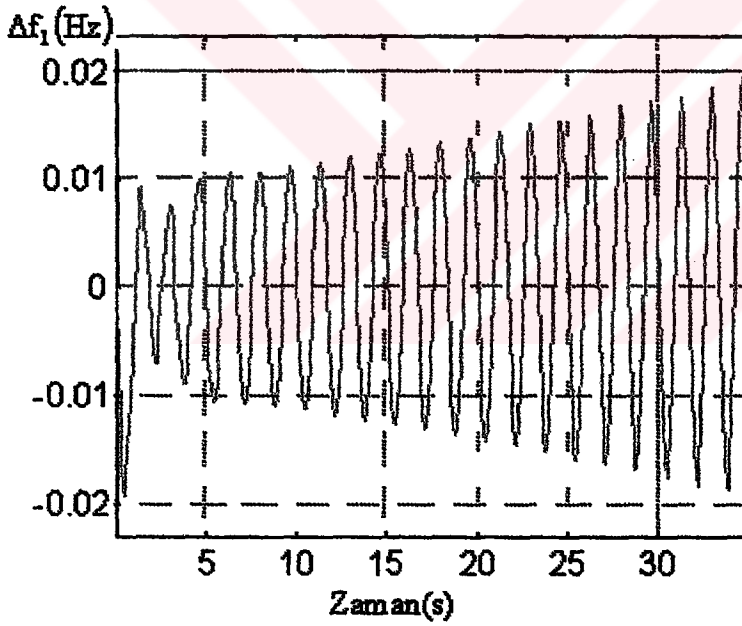
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 6.2. PI kontrolörünün farklı oransal ve integral kazançları için sistemin cevabı

- (a) $K_p = 0.05$; $K_i = 1.25$
- (b) $K_p = 0.35$; $K_i = 0.21$
- (c) $K_p = 0.05$; $K_i = 0.21$
- (d) $K_p = 0.35$; $K_i = 1.25$

Tablo 6.1’de de görüldüğü üzere, oransal ve integral kazançlarının büyük değerlerde seçilmesi cevabın oturma zamanını uzatmakta, ancak maksimum bozulmayı küçültmektedir. Diğer taraftan bu kazanç değerlerinin küçük seçilmesi ise; oturma zamanını kısalttığı fakat maksimum bozulmayı arttırmaktadır.

Tablo 6.1. PI kontrolörünün farklı oransal ve integral kazançları için sistemin performansının karşılaştırılması

PI Kontrolör kazançları		Δf_1 (Hz)	
K_p	K_i	Oturma zamanı (s)	max. bozulma
0.35	1.25	∞	-0.0192 ; +0.0094
0.35	0.21	27	-0.0199 ; -0.0015
0.05	0.21	21.5	-0.0217 ; -0.0040
0.05	1.25	130	-0.0208 ; +0.0107

6.2. Kazancın Bulanık Mantık Kuralları ile Programlandığı PI Kontrolörün Yük-Frekans Kontrolünde Kullanılması

6.2.1. Kazancı Bulanık Mantık Kuralları ile Programlanan PI Kontrolörler

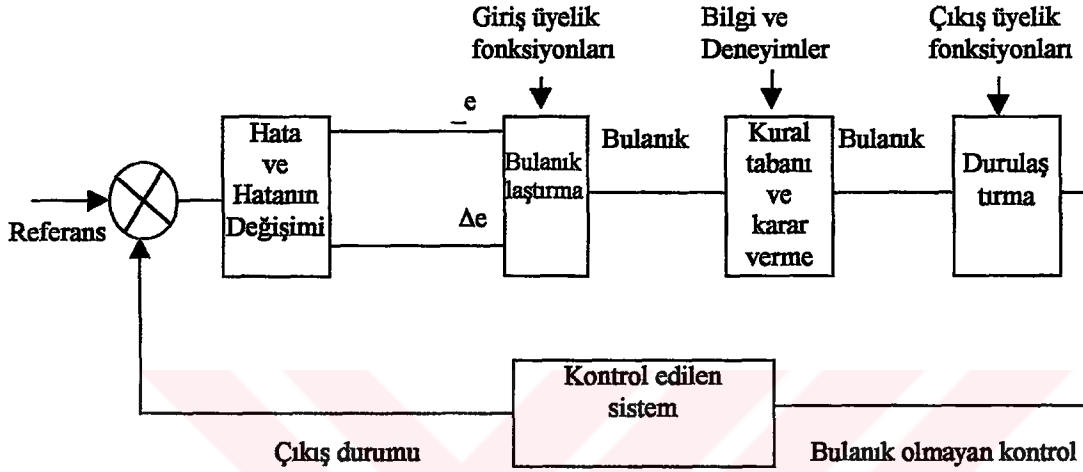
6.2.1.1. Bulanık mantık ile kontrol

Bulanık mantık, insan düşüncesi ve insan dili açısından klasik mantığa göre daha fazla benzerlik gösterir. Temel olarak gerçek dünyanın belirsiz doğasını kavramanın etkin anlamını sağlar. Bir bulanık mantık kontrolörün ana ögesi bulanık anlam ve çıkarımın birleşme kurallarıyla ilişkili olan dilsel kontrol alt kümesidir. Temel olarak, bulanık mantık ile kontrol, uzman bilgisine dayanan dilsel kontrol stratejisini otomatik kontrol stratejisine dönüştürebilen bir algoritma sağlar.

Bulanık mantık kontrolörü dört ana bileşenden oluşur:

- Giriş sinyalinin bulanıklaştırılması
- Kural tabanı
- Kara verme mantığı
- Kontrol elemanları için sinyal üretmek üzere çıkış sinyalinin durulaştırılması

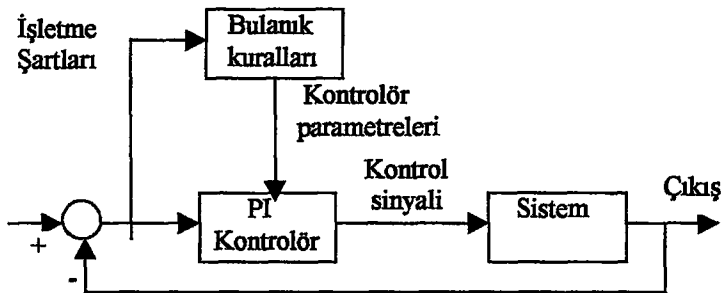
Kontrol sinyali, hata (e) ve hatanın değışimi (Δe) (de/dt örnekleme aralığı) olmak üzere iki değışkenden elde edilmektedir. Bu değışkenler p.u sinyallere dönüştürülerek e ve Δe sinyalleri elde edilir ve bulanık kümelere dönüştürülür. Daha sonra, sistem tarafından istenilen değere durulaştırılma yapılarak dönüştürülür. Akış diyagramı Şekil 6.3 de sunulmuştur.



Şekil 6.3 Bulanık Mantık akış diyagramı

6.1.1.2. Bulanık mantık ile PI kontrolörün kazancının programlanması

PI kontrolörün kazancının programlanması için gerekli bulanık mantık kuralları, sistemin adım cevabına dayanılarak elde edilir. Şekil 6.4'de bulanık kazanç programlayıcılı bir PI kontrol sistemi görülmektedir .



Şekil 6.4 Bulanık kazanç programlama şeması

Bulanık mantık kontrolörün giriş değişkenleri; hata (e) ve hatanın değişimi (Δe), çıkışı ise sistemin giriş değişkeni yani kontrol sinyali (CI) dır.

6.2.2. Kazancı Bulanık Mantık Kuralları ile Programlanan PI Kontrolörler ile Yük-Frekans Kontrolü

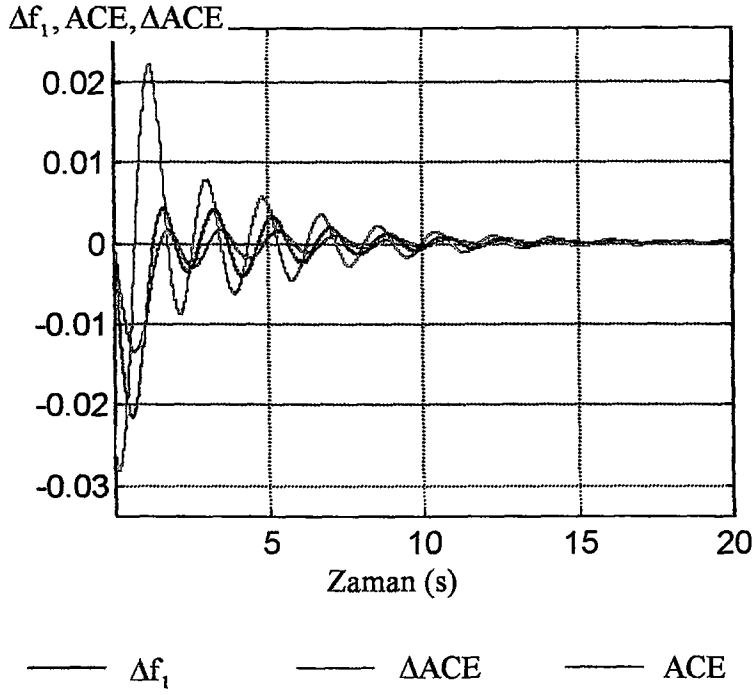
Amaçlanan kontrolörün dizaynı üçe bölünebilir. Bunlar; giriş değişkenleri ($ACE, \Delta ACE$), bulanık mantık kurallarının belirlenmesi ve durulaştırma (K_p, K_i)

6.2.2.1. Giriş değişkenlerinin aralığının belirlenmesi

ACE , AGC 'nin gerçekleştirilmesinde esastır. ACE ve türev ACE (ΔACE) istenilen kontrolün sağlanmasında belirleyici iki faktördür.

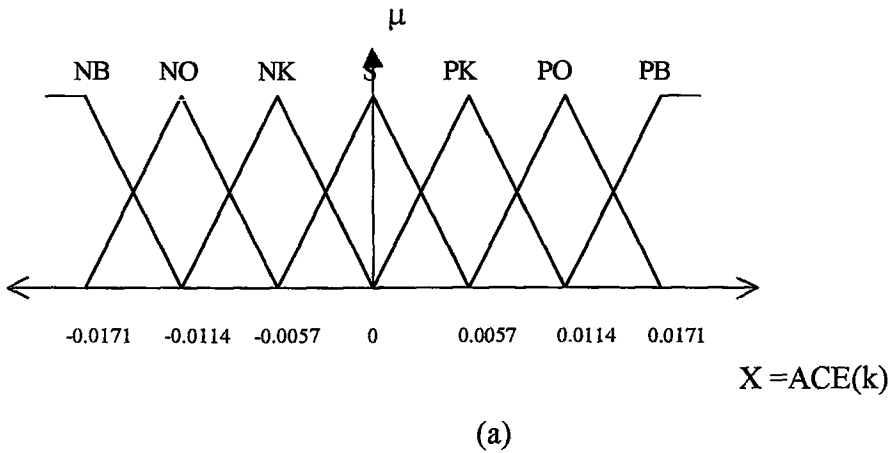
Çalışmada, ACE ve ΔACE genliğine ve işaretine bağlı olarak yedi kontrol bölgesine bölünmüştür. Bunlar; negatif büyük (NB), negatif orta (NO), negatif küçük (NK), sıfır (S), pozitif büyük (PB), pozitif orta (PO), pozitif küçük (PK).

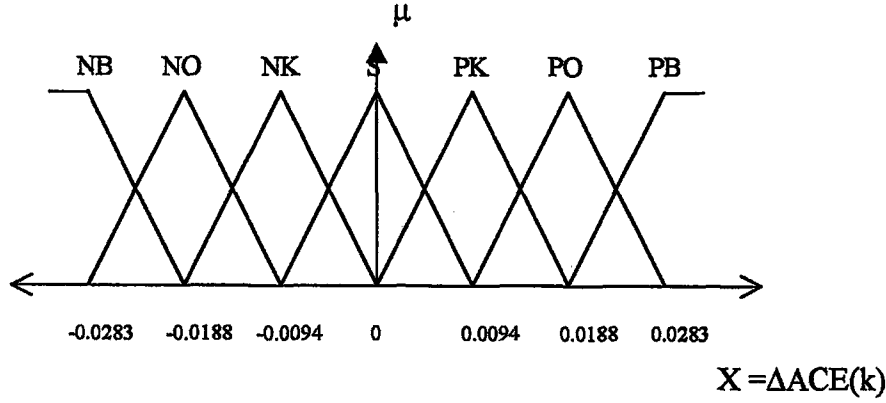
Giriş değişkenlerinin genliğine ve işareti sistemin adım yük değişimine verdiği cevap doğrultusunda değişir (Şekil 6.5)



Şekil 6.5. Adım yük değişimi için sistem frekans cevabı (Δf_1), hata (ACE_1) ve hatanın değişimi (ΔACE_1)

ACE ve ΔACE için üyelik fonksiyonları Şekil 6.6 'de sunulduğu gibidir.





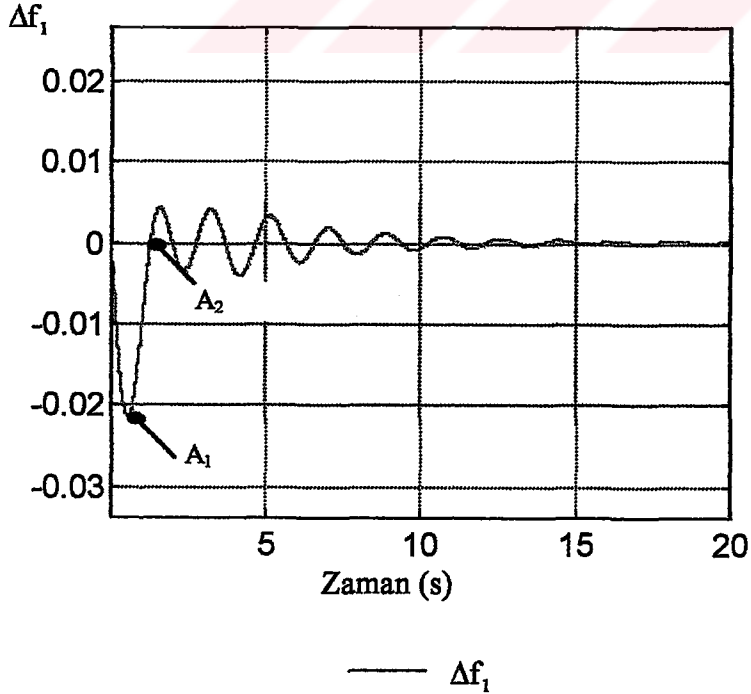
(b)

Şekil 6.6 Giriş değişkenleri için üyelik fonksiyonları (a)ACE ve (b) ΔACE için.

6.2.2.1. Bulanık Kuralları

Kuralların oluşturulmasında iki farklı yaklaşım irdelenmiştir. Bunlardan ilki Chang (1997) tarafından yapılan çalışmadır.

Bu çalışmada, PI kontrolörün parametrelerinin programlanmasında Şekil 6.7'de sunulan sistemin adım cevabından yararlanılmıştır.



Şekil 6.7 İstenilen adım cevabı

Başlangıçta (A_1 civarında) büyük kontrol sinyaline ihtiyaç vardır. Bu nedenle, PI kontrolör; cevabı iyileştirmek için büyük oransal kazanç, fakat aşırı yükselmeleri önlemek için küçük integral kazanç sahiptir. Bu durumda A_1 civarındaki kural şu şekilde oluşturulmuştur.

$$\text{Eğer } \Delta \text{ACE}(k) \text{ NB ve } \Delta \text{ACE}(k) \text{ S ise } K_p \text{ ' Büyük ve } K_i \text{ ' Küçük} \quad (6.4)$$

dür.

A_2 noktası civarında küçük kontrol sinyaline ihtiyaç vardır. Böylece, PI kontrolörde sistem osilasyonunu azaltmak üzere küçük oransal kazanç ve sürekli durum hatasını ortadan kaldırmak için büyük integral kazanç kullanılmıştır.

$$\text{Eğer } \Delta \text{ACE}(k) \text{ NB ve } \Delta \text{ACE}(k) \text{ S ise } K_p \text{ ' Büyük ve } K_i \text{ ' Küçük} \quad (6.5)$$

Yukarıda açıklanan yaklaşım ışığında K_p ' ve K_i ' kazançlarının belirlenmesi için oluşturulan kurallar Tablo 6.2 ve Tablo 6.3' de sunulmuştur.

Tablo 6.2. K_p ' için bulanık mantık kuralları (Chang,1997).

		$\Delta \text{ACE}(k)$						
		NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
ACE(k)	NB	B	B	B	B	B	B	B
	NO	K	B	B	B	B	B	K
	NK	K	K	B	B	B	K	K
	S	K	K	K	K	K	K	K
	PK	K	K	B	B	B	K	K
	PO	K	B	B	B	B	B	K
	PB	B	B	B	B	B	B	B

Tablo 6.3. K_i ' için bulanık mantık kuralları (Chang,1997).

		$\Delta ACE(k)$						
		NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
ACE(k)	NB	K	K	K	K	K	K	K
	NO	K	K	B	B	B	K	K
	NK	K	B	B	B	B	B	K
	S	B	B	B	B	B	B	B
	PK	K	B	B	B	B	B	K
	PO	K	K	B	B	B	K	K
	PB	K	K	K	K	K	K	K

Diğeri ise çalışmada savunulan kurallar dizinidir. PI kontrolörün kazancının programlanmasında Tablo 6.1 'de sunulan farklı kazanç değerleri için sistemin adım cevabı göz önüne alınmıştır.

Başlangıçta maksimum bozulmayı küçültmek amacıyla oransal ve integral kazançları büyük seçilmiş ve daha sonra oturma zamanını küçültmek için oransal ve integral kazanç değerleri göreceli olarak küçültülmüştür.

Bu yaklaşım ile K_p ve K_i kazançlarının programlanmasında Tablo 6.4 ve Tablo 6.5' daki kurallar dizini oluşturulmuştur.

Tablo 6.4. K_p ' için bulanık mantık kuralları

		$\Delta ACE(k)$						
		NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
ACE(k)	NB	B	B	B	O	O	K	S
	NO	B	B	O	O	K	S	K
	NK	B	O	O	K	S	K	O
	S	O	O	K	S	K	O	O
	PK	O	K	S	K	O	O	B
	PO	K	S	K	O	O	B	B
	PB	S	K	O	O	B	B	B

Tablo 6.5 K_i ' için bulanık mantık kuralları

		$\Delta ACE(k)$						
		NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
ACE(k)	NB	B	B	B	O	O	K	S
	NO	B	B	O	O	K	S	K
	NK	B	O	O	K	S	K	O
	S	O	O	K	S	K	O	O
	PK	O	K	S	K	O	O	B
	PO	K	S	K	O	O	B	B
	PB	S	K	O	O	B	B	B

6.2.2.3. Çıkış değerlerinin durulaştırılması

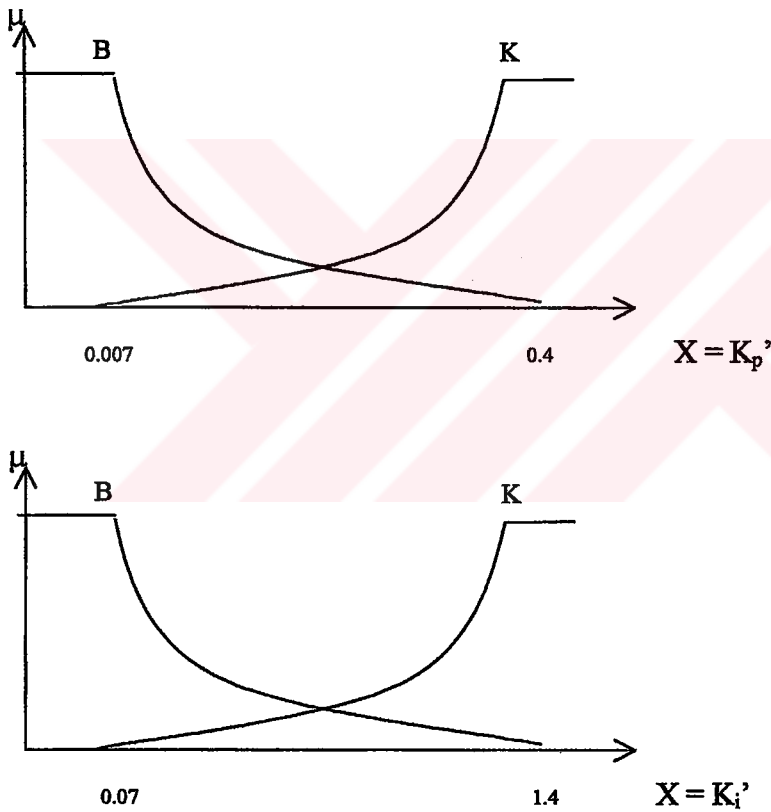
Amaçlanan programlamada, PI kontrol parametreleri K_p ve K_i ; ACE ve onun ilk farkı ΔACE ' ye göre tanımlanır.

K_p ve K_i ; tecrübeler ışığında $[K_{p,max}; K_{p,min}]$ ve $[K_{i,max}; K_{i,min}]$ değerleri arasında değişmektedir. Kullanımda K_p ve K_i değerleri eşitlik (6.6) yardımı ile normalize edilir (Zhao,1993 ve Chang,1997).

$$K_p' = (K_p - K_{p,min}) / (K_{p,max} - K_{p,min}) \quad (6.6)$$

$$K_i' = (K_i - K_{i,min}) / (K_{i,max} - K_{i,min})$$

Çıkış değerleri olan K_p' ve K_i' için üyelik fonksiyonları Chang (1997)'nin çalışmasında Şekil 6.8'deki gibi tanımlanmıştır ve iki farklı kontrol bölgesi vardır; Büyük (B) ve Küçük (K).



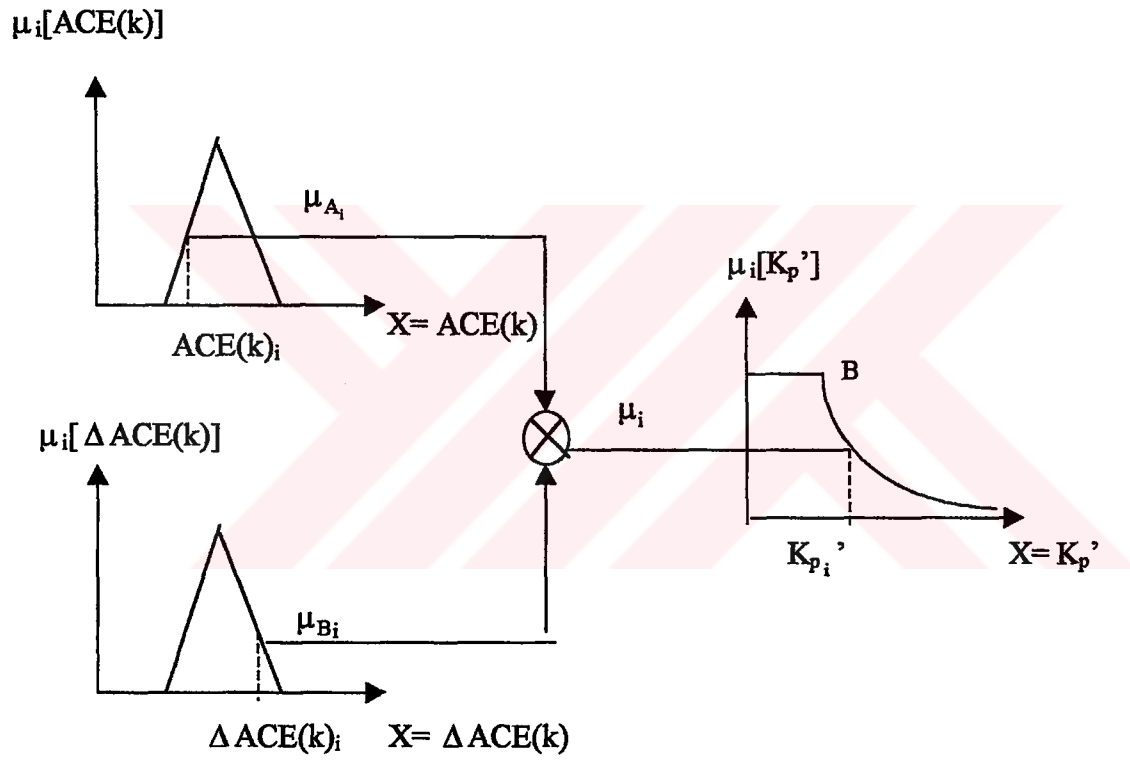
Şekil 6.8 K_p' ve K_i' için üyelik fonksiyonları (Chang,1997)

Tablo 6.2 ve Tablo 6.3' de sunulan kurallar seti K_p' ve K_i' değerlerini belirlemek üzere kullanılır. Örneğin;

$$\text{Eğer } ACE(k) \text{ NB ve } \Delta ACE(k) \text{ S ise } K_p' \text{ B ve } K_i' \text{ K} \quad (6.7)$$

dır.

Tablolarda sunulan herhangi i.nci kuralın değeri $ACE(k)$ ve $\Delta ACE(k)$ 'nın bir ürünüdür (Şekil 6.9).



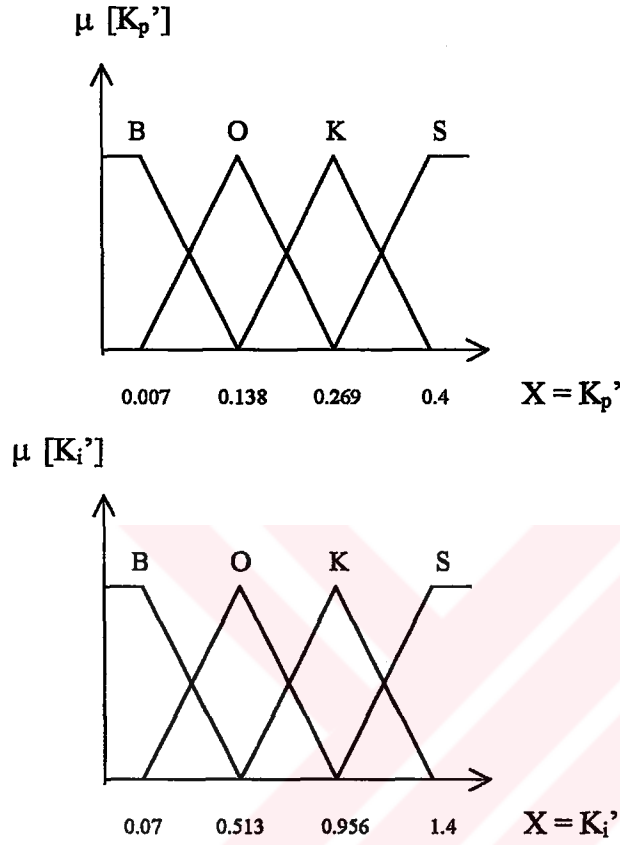
Şekil 6.9 Bir bulanık mantık kuralının uygulaması

K_p' ve K_i' değerleri bulunduğundan sonra, PI kontrolörün parametreleri aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanır.

$$K_p = (K_{p,max} - K_{p,min}) K_p' + K_{p,min} \quad (6.8)$$

$$K_i = (K_{i,max} - K_{i,min}) K_i' + K_{i,min}$$

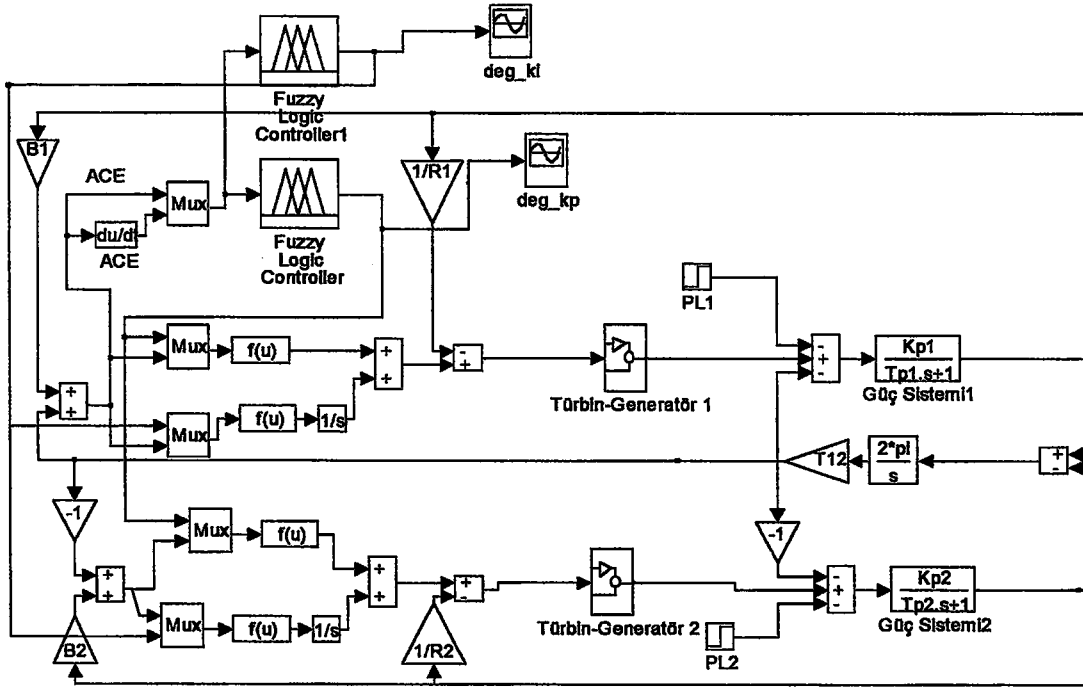
Yapılan tez çalışmasında kontrol bölgesi sayısı artırılarak daha iyi bir kontrol sağlanması amaçlanmıştır. Üyelik fonksiyonları oluşturulurken dört kontrol bölgesi kullanılmıştır; Büyük (B), Orta (O), Küçük (K), Sıfır (S) (Şekil 6.10).



Şekil 6.10 K_p' ve K_i' için üyelik fonksiyonları

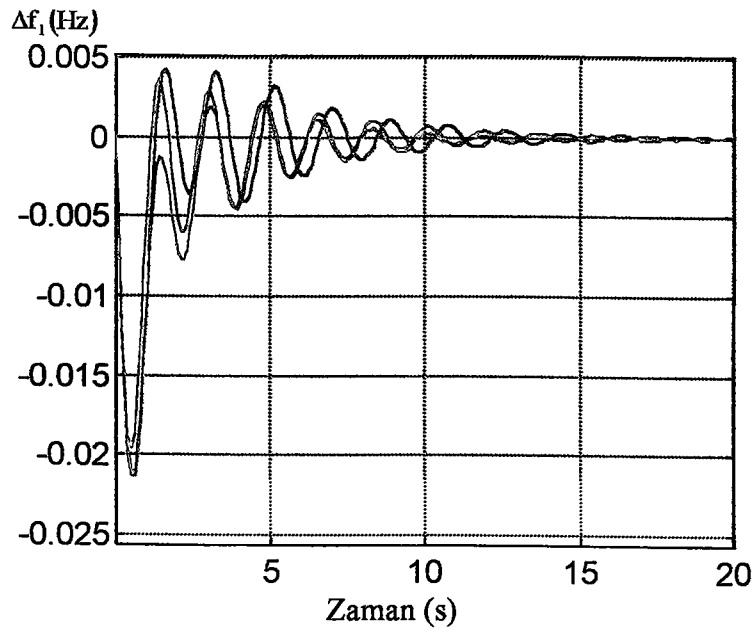
6.2.2.4. Kazancın bulanık kurallar ile programlandığı PI kontrolörler ile klasik PI kontrolörün performansının karşılaştırılması

Ek A' da sunulan sistem parametrelerine sahip iki bölgeci bir güç sisteminin amaçlanan kontrolör ile kontrolünün gerçekleştirilmesi için sistemin MATLAB benzetim programına uygun blok diyagramlarla ifadesi Şekil 6.11'deki gibidir (Akalin,1998).

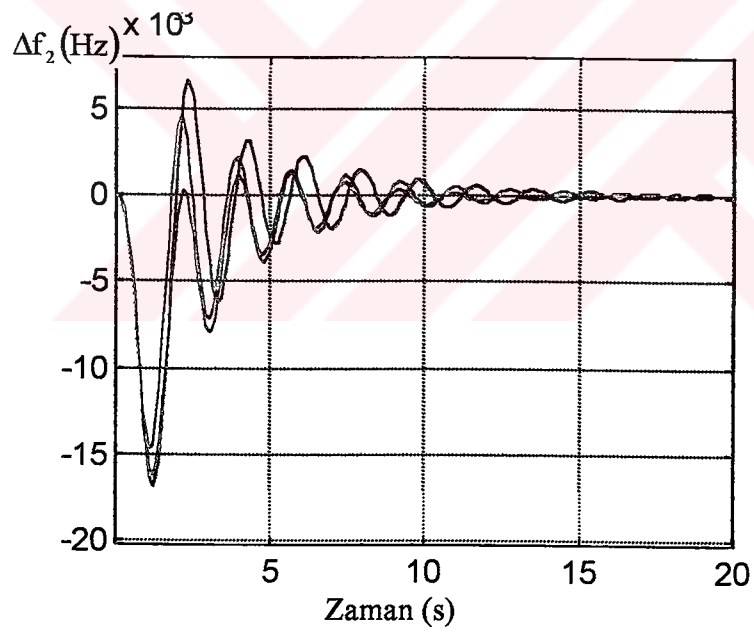


Şekil 6.11. İki kontrol bölgesi bir güç sisteminin yük-frekans kontrolünde kazanç oranlarının bulanık mantık kuralları ile belirlendiği PI kontrolörün kullanılması durumunda sistemin blok diyagramlarıyla ifadesi

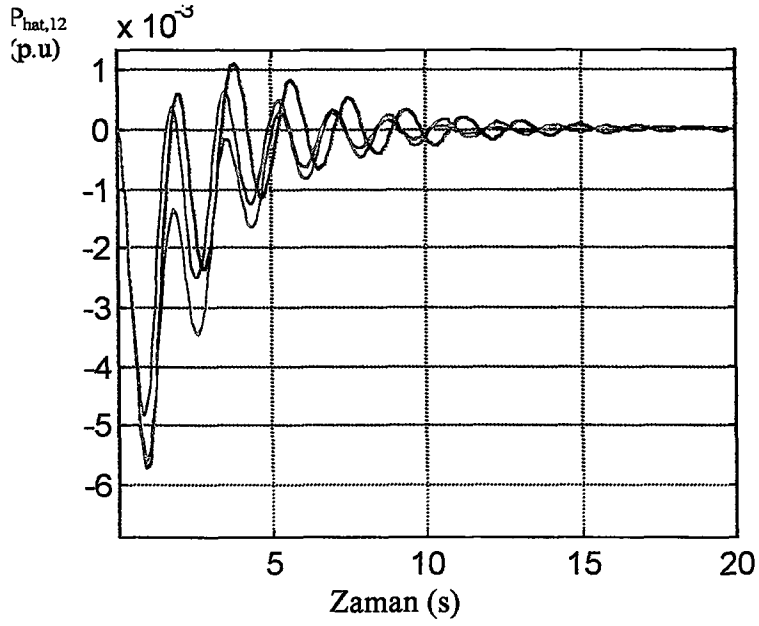
Şekil 6.12' de tez çalışmasında amaçlanan kontrolörün, Chang (1997) tarafından oluşturulan kontrolörün ve klasik PI kontrolörün iki bölgesi bir güç sisteminin yük-frekans kontrolünde kullanılması sonucu sistemin adım yük değişimine verdiği cevaplar sunulmuştur.



(a)

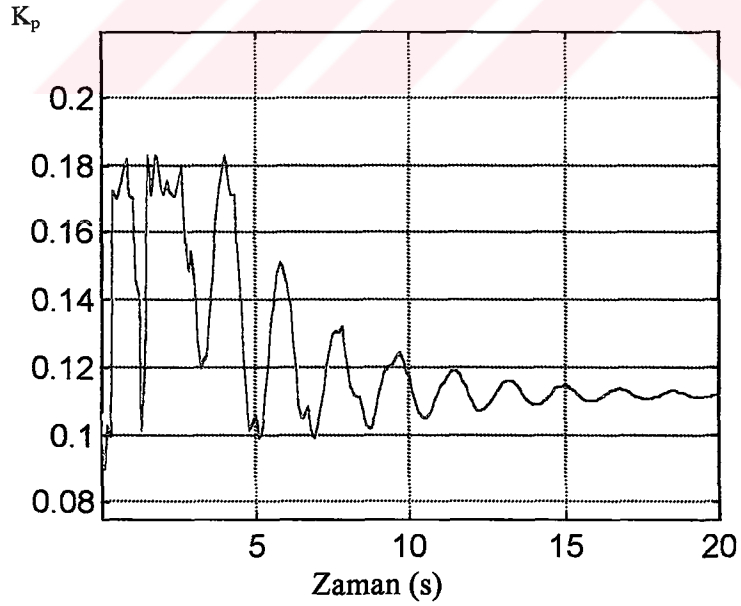


(b)

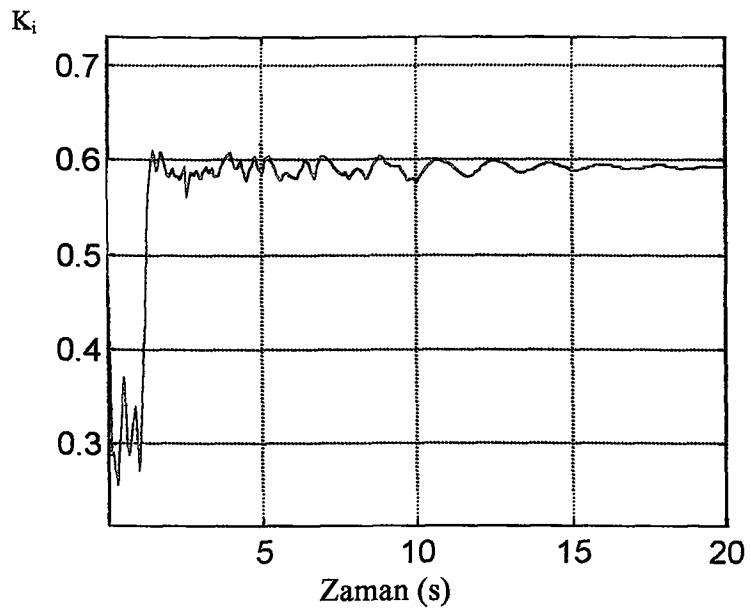


- Klasik PI Kontrol ($K_p=0.01, K_i=0.75$)
- Kazancın bulanık mantık ile programlandığı PI kontrol (Akalin) ($K_{p,max}=0.4; K_{p,min}=0.007, K_{i,max}=1.4; K_{i,min}=0.07$)
- Kazancın bulanık mantık ile programlandığı PI kontrol (Chang, 1997) ($K_{p,max}=0.28; K_{p,min}=0.00071, K_{i,max}=0.8; K_{i,min}=0.07$)

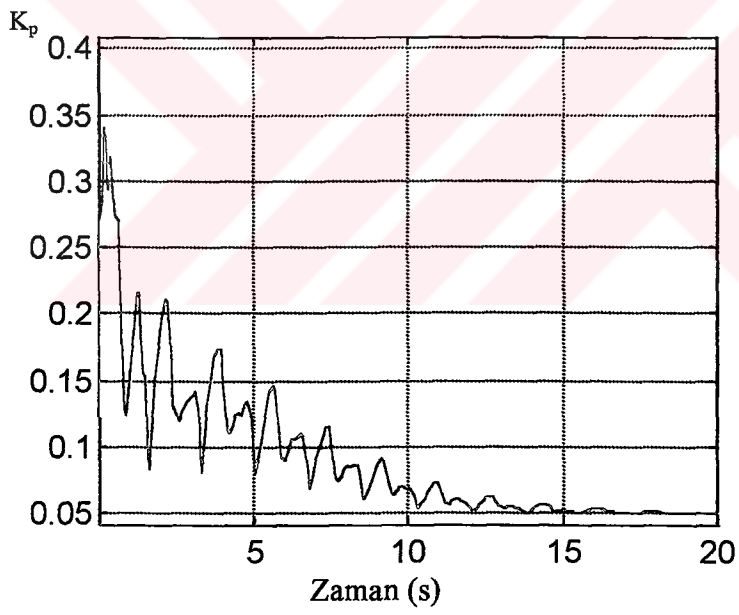
(c)



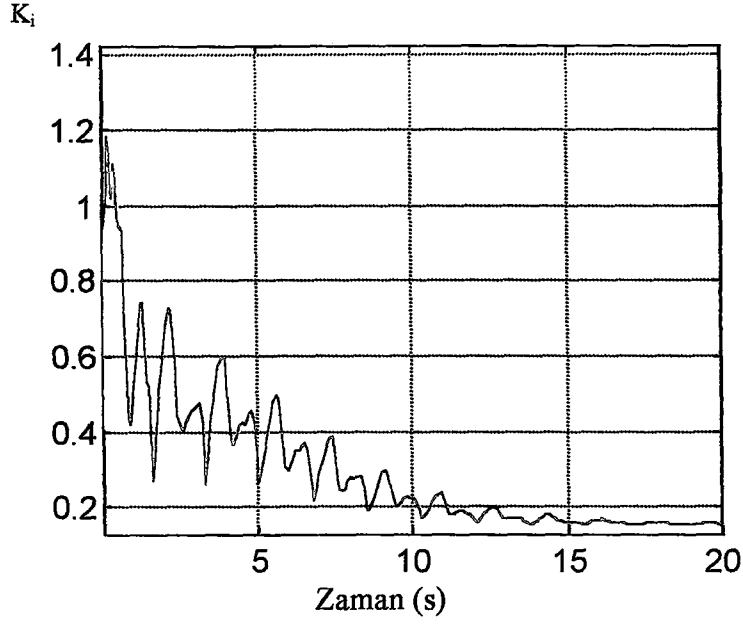
(d)



(e)



(f)



(g)

Şekil 6.12. İki kontrol bölgesi bir güç sisteminde birinci bölgede 0.01 p.u adım yük değişimi olması durumunda yük-frekans kontrolünün, klasik PI kontrolör ve kazancın bulanık mantık kuralları ile belirlendiği PI kontrolör ile gerçekleştirilmesi durumlarında (a) Δf_1 , (b) Δf_2 , (c) $\Delta P_{hat 12}$, (d) K_p (Chang, 1997), (e) K_i (Chang, 1997), (d) K_p , (e) K_i .

Tablo 6.6. Klasik PI ve amaçlanan PI kontrolörler ile yük-frekans kontrolünün gerçekleştirilmesi durumunda sistem performansları

	Δf_1		Δf_2		$\Delta P_{\text{hat},1,2}$	
	oturma zamanı, (s)	max. bozulma (Hz)	oturma zamanı, (s)	max. bozulma (Hz)	oturma zamanı, (s)	max. bozulma (p.u MW)
Kazancın bulanık mantık ile programlandığı PI kontrolörün kullanılması durumu						
Akalın'a göre	13.50	-0.0195	10.75	-0.0147	10.00	$4.8 \cdot 10^{-3}$
Chang'a göre	17.25	-0.0210	18.25	-0.0162	12.50	$5.8 \cdot 10^{-3}$
Klasik PI kullanılması durumu						
	18.25	-0.0214	19.25	-0.0168	13.50	$5.8 \cdot 10^{-3}$

Şekil 6.12 ve Tablo 6.6 'da görüldüğü üzere kazancın farklı bulanık mantık kuralları programlandığı her iki PI kontrolör ile gerçekleştirilen yük-frekans kontrolü, gerek aşırı yükselmeler gerekse oturma zamanı açısından klasik PI kontrolörün verdiği cevaptan daha uygun ve hızlıdır.

Ayrıca, çalışmada amaçlanan kontrolör gerek güç sistem dinamiklerinin değişmesine, gerekse güç sisteminin işletim noktasının değişmesine karşılık olarak Ek-B ve Ek-C' de sunulduğu gibi daha iyi bir performans göstermektedir.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada, kontrol parametreleri bir optimal yol ile belirlenen ve kontrol boyunca sabit tutulan PI kontrolör ile kontrol parametreleri bulanık mantık kuralları ile programlanan PI kontrolör tarafından gerçekleştirilen yük-frekans kontrolünün birbiriyle karşılaştırılması yapılmıştır.

Kontrol parametreleri bulanık mantık kuralları ile programlanan PI kontrolör, güç-sistem performansını daha iyileştirmek için önerilmiştir. Oransal ve integral kazançlarının bulanık mantık kuralları ile programlanmasında büyük integral ve oransal kazanç değerlerinin sistem cevabındaki maksimum bozulmayı azalttığı, küçük oransal ve integral kazanç değerlerinin ise oturma zamanını kısalttığı yaklaşımları kullanılmıştır.

Elgerd (1970) tarafından oluşturulan model üzerinde yapılan bilgisayar benzetimlerinin sonuçları karşılaştırıldığında, aşırı yükselmenin Tablo1'de de sunulduğu üzere amaçlanan kontrolörde, klasik PI kontrolöre oranla daha az olduğu, oturma zamanının ise daha kısa olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo1 Kazancın bulanık mantık ile programlandığı PI kontrolör kullanılması durumunda, klasik PI kontrolöre göre sağlanan % iyileştirme

Δf_1		Δf_2		$\Delta P_{hat,12}$	
oturma zamanı,	max. bozulma	oturma zamanı,	max. bozulma	oturma zamanı,	max. bozulma
%26	%9	%44	%12.5	%26	%17

Sonuç olarak, çalışmada amaçlanan kontrolör ile güç sistemlerinde bağlantı hattı güç alışverişi ve frekans bozulması azaltılabilmekte ve daha kısa sürede sıfır hata elde edilebilmektedir.

Gün içerisinde öngörülmeyen yük değişimlerinin güç sisteminin işletim noktasını sürekli değiştirmektedir. Ayrıca enterkonnekte sistemlerin gün geçtikçe büyümesi ve buna bağlı olarak sistem dinamiklerinin değişmesi, sabit kazançlı PI kontrolör ile gerçekleştirilen yük-frekans kontrolörünün her sistem koşulu için uygun cevaplar vermesini güçleştirmektedir. Değişen her koşul için kontrol parametrelerinin yeniden belirlenmesi oldukça güç ve uzun zaman alacaktır. İleride yapılacak çalışmalar için, kazancın bulanık mantık kuralları ile belirlendiği PI kontrolörün sistem cevabını sabit kazançlı PI kontrolöre göre daha iyileştirebildiği avantajı göz önünde tutularak farklı sistem dinamikleri için bulanık kontrolör kullanılabilir. Böylece, bu olumsuzluk ortadan kaldırılabilir ve sistem cevabı değişen dinamikler için de iyileştirilebilir.

KAYNAKLAR

1. AKALIN, G.,KOCAASLAN, İ., YÖRÜKEREN, N., ERFİDAN, T., 1998. TOK'98 Türkiye Otomatik Kontrol Sempozyumu
2. ANDERSON P.M., and FOUAD, A.A., 1993. Power System Control and Stability. IEEE Press Power Systems Engineering Series, New York.
3. BODERANKO, A.F., KOMAROW A.N., 1994. Control of Power Flow and Frequency İn electrical Power Systems. Electrical Technology, No.2, 69-85.
4. CHAN, W., HSU, Y., 1981. Automatic Generation Control of Interconnected Power Systems Using Variable- Structure-System Controllers. IEE Proceedings, Vol.128, Pt. C, No.5,269-273.
5. CHANG, C.S., FU, W., 1997. Area Load FrequencyControl Using Fuzzy Gain Scheduling of PI Controllers. Electric Power Systems Research 42, 145-152.
6. ELGERD, O., FOSHA, JR.,1970. Optimum Megawatt-Frequency Control of Multiarea Electric Energy Systems. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-89, No.4, 256-262.
7. ELGERD, O., 1971. Electric Energy System Theory. Mc.Graw Hill, 299-340.
8. FOSHA, JR.,ELGERD, O., 1970. Optimum Megawatt-Frequency Control Problem: A New Approach Via Optimal Control Theory. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-89, No.4, 563-571.
9. GRAINGER, J.J., STEVENSON, W.D., 1994. Power System Analysis, Mc. Graw Hill, 562-573.
10. JALEELİN., 1992. Understanding Automatic Generation Control, IEEE/PES/PSE/ System Control Subcommittee Report ,1993.
11. KLEFENZ, G., 1986. Automatic Control of Steam Power Plants. Wissenschaftsverlag Bibliographisches Institut,10-27.
12. KUMAR, A., and MALİK, O.P., 1985. Variable-Structure-System Control Applied to AGC of an Interconnected Power System. IEE Proceedings, Vol.132, Pt. C, No.1, 23-29.
13. KUNDUR, P.,1994. Power System Stability and Conrol. EPRI PSE Series, Mc.Graw Hill, New York, 581-627.

14. LEE, C.C., 1990. Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller-Part II. IEEE Transactions on Systems, Man And Cybernetics, Vol.20, No.2, 419-435.
15. LEE, C.C., 1990. Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller-Part I. IEEE Transactions on Systems, Man And Cybernetics, Vol.20, No.2, 404-413.
16. MALİK O.P., KUMAR, A., HOPE, G.S.,1988. A Load-Frequency Control Algorithm Based on a Generalized Approach. IEEE Transactions on Power Systems, Vol.3, No.2, 375-382.
17. NANDA, B.E., 1981 Automatic Generation Control of An Interconnected Hydrothermal System in Continuous and Discrete Modes Considering Generation Rate Constraints, IEE Proc.Vol.130, Pt.D, No.1, 17-26.
18. STERLING,M.H., 1978. Power System Control, 1-27.
19. SHAHRODİ, F.B., MORCHED, A., 1985. Dynamic Behaviour of AGC Systems Including the Effect of Nonlinearities, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-104, No.12, 3409-3415.
20. TALAQ, J., AL-BASRİ, F., 1999. Adaptive Fuzzy Gain Scheduling for Load – Frequency Control. IEEE Transaction on Power System, Vol.14, No.1, 145-150.
21. TRİPATHY, SC., HOPE, G.S., 1982. Optimisation of Load-Frequency Control Parameters For Power Systems With Reheat steam Turbines and Governor Deadband Nonlinearity. IEE Proc, Vol.129, Pt.C, No.1, 10-16
22. WANG, Y., ZHOU, R., WEN, C., 1993. Robust Load-Frequency Controller Design for Power Systems. IEE Proceedings-C, Vol.140, No.1,11-17
23. WOOD, A.J., WOLLENBERG, B.F., 1996. Power Generation, Operation & Control. Jhon Willey&sons, Inc., 328-361
24. ZHAO, Z., 1993.FuzzyGain Scheduling of PID Controllers. IEEE Transactions on Systems, Man And Cybernetics, Vol.23, No.5, 1392-1398.
25. ZOBİ, C., 1996. Yük-Frekans Kontrolünün İncelenmesi. İTÜ., Fen Bilimleri Enst. Y.lisans Tezi, İstanbul.

EKLER

EK-A

Bu çalışmada kullanılan iki kontrol bölgesi örnek güç sisteminin parametreleri MATLAB benzetim programında temsiline uygun sunumu şu şekilde verilmiştir(Elgerd,1971).

$$f = 60 \text{ Hz}$$

$$P_{\gamma 1} = P_{\gamma 2} = 2000 \text{ MW}$$

$$P_{L1} = P_{L2} = 1000 \text{ MW}$$

$$\Delta P_{L1} = 0.01 \text{ p.u MW}$$

$$P_{\text{hat}12,\text{max}} = 200 \text{ MW}$$

$$H_1 = H_2 = 5.0 \text{ sn}$$

$$\chi_p = \% 4$$

$$\delta_{12} = 45^\circ$$

$$T_{g1} = T_{g2} = 0.08 \text{ sn}$$

$$T_{t1} = T_{t2} = 0.3 \text{ sn}$$

Yukarıda belirtilen sistem şartları içerisinde diğer parametreler şu şekilde hesaplanır.

$$R_1 = R_2 = 2.4 \text{ Hz / p.u MW}$$

$$D_1 = D_2 = 8.33 \cdot 10^{-3} \text{ p.u MW / Hz}$$

$$T_{p1} = T_{p2} = 20 \text{ sn}$$

$$K_{p1} = K_{p2} = 120 \text{ Hz / p.u MW}$$

$$\beta_1 = \beta_2 = 0.425 \text{ p.u MW / Hz}$$

$$\beta_1 = |B_1| = 0.425$$

$$\beta_2 = |B_2| = 0.425$$

$$T_{12} = 0.086$$

Aşağıda sunulan farklı sistem dinamikleri için kontrolörlerin sergilediği performans Şekil Ek B-2’de sunulmuştur.

$$T_{12} = 0.145$$

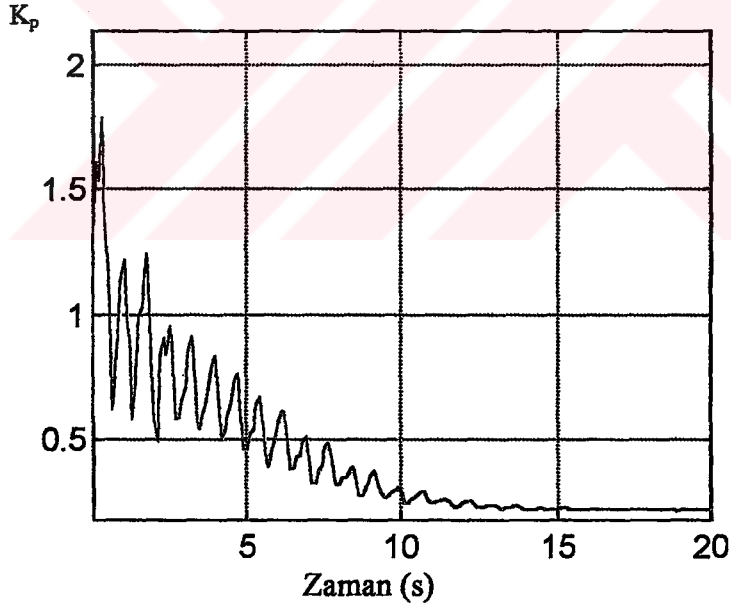
$$T_p = 10$$

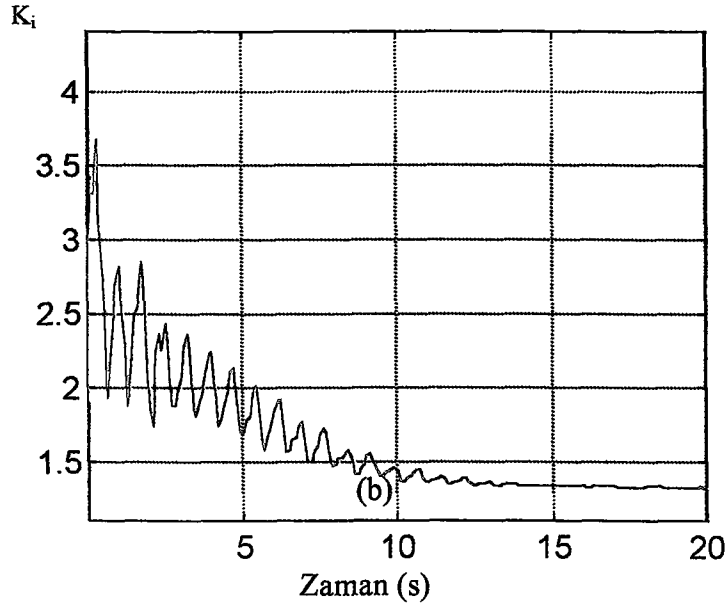
$$B = 0.125$$

Klasik PI kontrolör için kontrol parametreleri;

$$K_p = 0.001, K_i = 1.46$$

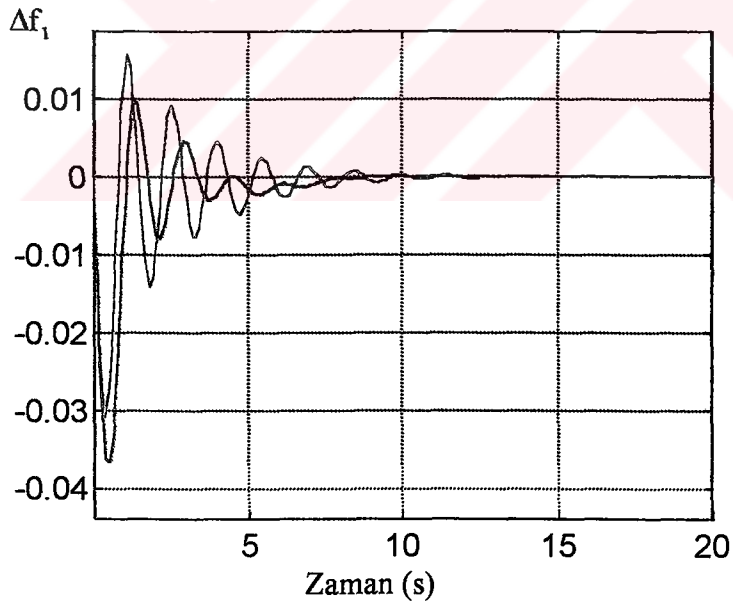
Kazancın bulanık mantık kuralları ile programlandığı PI kontrolör için kontrol parametreleri (Şekil Ek B-1)





(b)

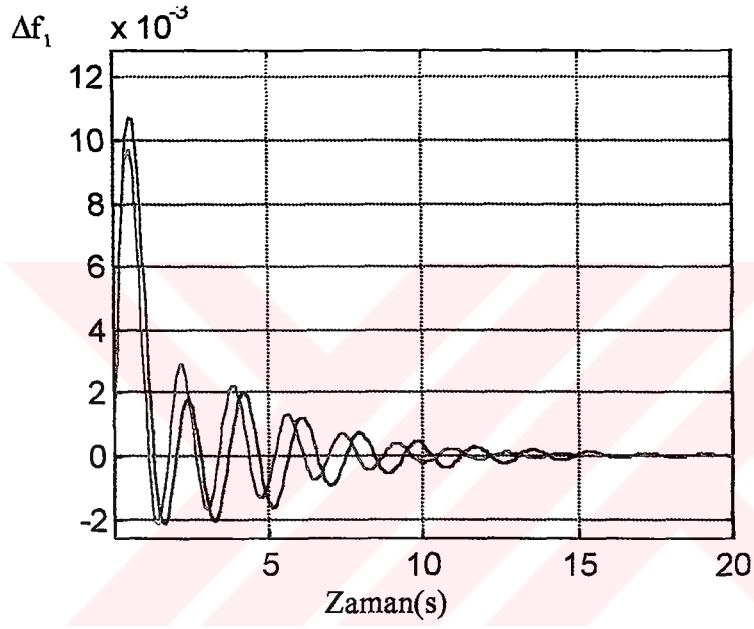
Şekil Ek B-1. Kazancın bulanık mantık kuralları ile programlandığı PI kontrolör için kontrol parametreleri; (a) K_p , (b) K_i



- Klasik PI Kontrol
- - - Kazancın bulanık mantık ile programlandığı PI kontrol (Akalm)

Şekil Ek B-2. Farklı sistem dinamiklerinde 0.01 p.u yük değişimi için frekans cevabı

$\Delta P_L = -0.005$ p.u yük değişimi için çalışmada amaçlanan kontrolörün gösterdiği performans Şekil C-1'de sunulmuştur.



— Klasik PI Kontrol

- - - Kazancın bulanık mantık ile programlandığı PI kontrol
(Akalm)

Şekil C-1. -0.005 p.u yük değişimi için sistemin frekans değişimi

ÖZGEÇMİŞ

1970 yılında Erzurum 'da doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini İstanbul 'da tamamladı. 1987 yılında girdiği Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği bölümünden 1991 yılında Elektrik Mühendisi olarak mezun oldu. 1992-1994 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı.

1993 yılından beri Kocaeli Üniversitesi elektrik mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Yayınlanmış beş tane yurt içi yayını bulunmaktadır.

