

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜÇ SİSTEM KARARLAYICILARI
VE UYGULAMALARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELK. MÜH. AHMET SERDAR YILMAZ

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜH.
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK MÜH.

Bu tez 20/01/1997 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı
Y. Doç. Dr.
Erten Yarıkoçlu

Jüri Üyesi
Prof. Dr.
M. Uğur Ünver

Jüri Üyesi
Y. Doç. Dr.
M. Ali Yılmaz

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Son yıllarda artan elektrik enerjisi tüketimine paralel olarak, enerji üretimi de artmıştır. Bunun doğal sonucu olarak dünyanın her yerinde ulusal enterkonnekte şebeke oluşturma çabaları kendini göstermiştir. Bu büyüme sistemin kontrolünün zorlaşmasına yolaçmış ve yeni tekniklerle sistemlerin analizini gerekli kılmıştır.

Bu çalışmada güç sistemlerinin kararlılığı açısından önemli bir yere sahip olan güç sistem kararlayıcıları incelenmiş ve bilgisayar destekli benzetimler yapılmıştır.

Bu tezin hazırlanması sırasında bana her türlü kolaylığı gösteren tez danışmanım Y.Doç.Dr. Ertan YANIKOĞLU'na ve literatür yardımları için bölümümüz araştırma görevlilerinden Yük.Müh.Mustafa TURAN ile Yük.Müh.Mehmet BAYRAK' a teşekkür ederim. Ayrıca bu konuma gelmemde hiç şüphesiz en büyük paya sahip olan aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Ocak 1997 Adapazarı

Ahmet Serdar YILMAZ

İÇİNDEKİLER

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	.....	viii
TABLolar LİSTESİ	.....	xii
ÖZET	.....	xiii
SUMMARY	.....	xiv
BÖLÜM 1.	GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMLERİ ve KARARLILIK ANALİZİ	3
2.1.	Elektrik Enerji Sistemleri	3
2.2.	Enerji Sistemi Elemanları	4
2.2.1.	Buhar türbinleri	4
2.2.2.	Su (hidrolik) türbinleri	5
2.2.3.	Hız regülatörleri	5
2.2.4.	Senkron generatörler	5
2.2.5.	Uyarma sistemi ve gerilim regülatörleri	6
2.2.6.	Güç sistem kararlayıcıları	8
2.3.	Enerji Sistemlerinde Kararlılık Problemi	8
2.3.1.	Temel kavramlar	8
2.3.2.	Rotor açısı kararlılığı	10
2.3.2.1.	Küçük işaret (küçük bozucu etki) kararlılığı	13
2.3.2.2.	Geçici hal kararlılığı	16
2.3.3.	Gerilim kararlılığı	17
BÖLÜM 3.	GÜÇ SİSTEMLERİNİN DİNAMİK MODELİ	19
3.1.	Güç Sistemlerinin Dinamik Analizi	19
3.2.	Lincerleştirme	20
3.3.	Buhar Türbinleri ve Hız Regülatörlerinin Matematiksel Modelleri	22
3.4.	Su (Hidrolik) Türbinleri ve Hız Regülatörleri	24
3.5.	Senkron Generatörler	26
3.5.1.	Senkron generatörlerin genel denklemleri ve park dönüşümleri	26
3.5.2.	Senkron generatör modeli	27
3.6.	Uyarma Sistemi ve Gerilim Regülatörlerinin Modelleri	29
BÖLÜM 4.	GÜÇ SİSTEM KARARLAYICILARI (G.S.K)	31
4.1.	Giriş	31
4.2.	G.S.K. Tipleri ve Bileşenleri	32
4.2.1.	Şaft hızına dayalı (delta-omega) kararlayıcılar	32
4.2.2.	Delta-P-omega kararlayıcılar	34
4.2.3.	Frekans tabanlı kararlayıcılar	36
4.2.4.	Dijital kararlayıcılar	37
4.2.5.	Faz ilerletici bileşeni	37

	4.2.6.	Kararlayıcı işaret bileşeni	37
	4.2.7.	Kararlayıcı kazancı	38
	4.2.8.	Kararlayıcı limitleri	38
	4.3.	GSK Uygulamalarının İlkeleri	39
	4.4.	GSK'lı Sistemin Durum Denklemlerinin Bulunması	41
BÖLÜM	5.	GÜÇ SİSTEMLERİNİN GSK İLE KONTROLÜ	43
	5.1.	Tek Makina-Sonsuz Bara Güç Sisteminde GSK Uygulamaları	43
	5.2.	GSK'sız Generatörün Bozucu Etkilere Cevabı	45
	5.2.1.	% 10'luk yük artması durumu	45
	5.2.2.	% 10'luk yük azalması durumu	48
	5.3.	Delta-Omega Tip GSK'lı Generatörün Bozucu Etkilere Cevabı	51
	5.3.1.	% 10'luk yük artması durumu	51
	5.3.2.	% 10'luk yük artması durumu	55
	5.4.	Delta-Omega Tip GSK'lı Generatörün Bozucu Etkilere Cevabı	59
	5.4.1.	% 10'luk yük artması durumu	59
	5.4.2.	% 10'luk yük artması durumu	63
BÖLÜM	6.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	67
		KAYNAKLAR	69
		EKLER	71
		ÖZGEÇMİŞ	75

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

Simgeler Listesi

\sim	: Alternatif akım sembolü
Δ	: Küçük değişimler
δ	: Yük (rotor) açısı
δ_G	: İdeal modelde generatör yük açısı
δ_L	: İdeal modelde hat yük açısı
δ_M	: İdeal modelde motor yük açısı
σ	: Sürekli düşüm kompanzasyonu
θ	: Faz açısı
Ψ	: Akı
τ	: Simetrik park dönüşüm matrisi
τ^{-1}	: Simetrik park dönüşüm matrisinin tersi
\cdot	: Türev operatörü
A,B,C,D	: Sistem durum matrisleri
B	: Süseptans
c_v	: Su türbini çıkışı (mekanik güç)
D	: Viskoz sürtünme katsayısı (damping)
d/dt	: t domeninde türev operatörü
E_{FD}	: Uyarma gerilimi
E_G	: İdeal modelde generatör reaktans arkası gerilimi
E_M	: İdeal modelde motor reaktans arkası gerilimi
E_{T1}	: İdeal modelde generatör barası gerilimi
E_{T2}	: İdeal modelde yük barası gerilimi
f, g	: Fonksiyon
G	: İletkenlik (kondüktans)
$G(s)$	: Burulma filtresi transfer fonksiyonu
$G_{EX}(s)$	: Uyarma sistemi transfer fonksiyonu kapalı formu
$G_F(s)$	: Uyarma geri besleme filtresi transfer fonksiyonu kapalı formu
H	: Eylemsizlik sabiti
I_{ABC}	: Stator A,B,C faz akımları
i_d	: Akımın d- eksen bileşeni
i_q	: Akımın q- eksen bileşeni
$I_{S,R}$	: Rotor ve stator akımları
j	: Kompleks bileşen
K	: Başlatma kontrol sabiti (buhar santrallerinde)
K_A	: Otomatik gerilim regülatörü kazancı
K_E	: Uyarma sistemi kazancı
K_F	: Uyarma geri besleme kazancı
K_j	: Lineer model sabitleri

K_{PSS}	: Kararlayıcı kazancı
K_R	: Uç gerilimi dönüştürücü kazancı
L_{ABC}	: Stator A,B,C fazlarının endüktansları
$M_{ABC,FD}$	: Karşılıklı faz rotor ve stator endükleme katsayıları
odq	: odq- eksen takımı
P	: Güç
P_c	: Başlatma kontrol girişi (buhar santralleri için)
P_e	: Senkron generatörün elektriksel çıkış gücü
P_m	: Senkron generatörün mekanik giriş gücü
P_v	: Valf çıkışı
R	: Sürekli hal hız ayarı (hız regolatörü kazancı)
R	: Direnç
R_{ABC}	: Stator A,B,C fazlarının dirençleri
R_{FD}	: Rotordaki alan sargısının direnci
$R_{S,R}$	: Rotor ve stator sargı dirençleri
s	: Türev operatörü
S_F	: Doyma fonksiyonu
SR	: Su türbini referans girişi
T'_{d0}	: d- ekseni açık devre zaman sabiti
T_1, T_2	: Faz iletme filtresi zaman sabitleri
T_A	: Otomatik gerilim regülatörü zaman sabiti
T_c	: Başlatma kontrol zaman sabiti (buhar santralleri için)
T_{CH}	: Önısıtmasız buhar santrali zaman sabiti
T_D	: Sönümleyici moment katsayısı
T_E	: Uyarma sistemi zaman sabiti
T_e	: Elektriksel moment
T_F	: Uyarma geri besleme zaman sabiti
T_r	: Regülatör zaman sabiti
T_G	: Su santrali regülatörü zaman sabiti
T_p	: Pilot valfi zaman sabiti (su santralleri için)
T_R	: Uç gerilimi dönüştürücü zaman sabiti
T_S	: Senkronlayıcı moment katsayısı
T_s	: Türbin zaman sabiti
T_w	: GSK işaret filtresi zaman sabiti
U	: Kontrol değişkenleri vektörü
u_0	: Kontrol değişkenleri ilk koşulu
U_E	: Diğer gerilim işaretleri
u_i	: Kontrol işaretleri, sistemim girişler
U_{PI}	: GSK işaret filtresi çıkışı
U_{GSK}	: GSK çıkışı
V	: Gerilim (sonsuz bara)
V_A	: Uyarma girişi
V_{ABC}	: Stator A,B,C faz gerilimleri
V_F	: Geri besleme çıkışı
V_R	: Gerilim regülatörü çıkışı
V_{REF}	: Referans gerilimi
V_{REF}	: Uç gerilimi referans değeri

V_{Rmax}	: Gerilim sınırlayıcı üst sınırı
V_{Rmin}	: Gerilim sınırlayıcı alt sınırı
$V_{S,R}$	: Rotor ve stator gerilimleri
V_1	: Senkron generatörün uç gerilimi
w	: Rotor açısal hızı
w_b	: Nominal açısal frekans
w_{eq}	: Eşdeğer hız
W_{REF}	: Açısal hız referans değeri
\mathcal{X}	: Durum değişkenleri vektörü
X	Reaktans
x_0	: Durum değişkenleri ilk koşulu
X_d	: Senkron reaktansın d- ekseni bileşeni
X_d'	: Geçici reaktansın d- ekseni bileşeni
X_{Gt}	: İdeal modelde generatör reaktansı
x_i	: Durum değişkenleri
X_L	: İdeal modelde hat reaktansı
X_M	: İdeal modelde motor reaktansı
X_q	: Senkron reaktansın q- ekseni bileşeni
X_q'	: Geçici reaktansın q- ekseni bileşeni
X_{lr}	: İdeal modelde transfer empedansı
\mathcal{U}	: Giriş vektörü
\mathcal{Y}	: Çıkış vektörü
Y	: Admitans
Z	: Empedans

Kısaltmalar Listesi

AVR	: Automatic voltage regulator
dak	: Dakika
dev	: Devir
GHK	: Geçici hal kararlılığı
GR	: Gerilim regülatörü
GSK	: Güç sistem kararlayıcı
Hz	: Hertz
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineering
KBE	: Küçük bozucu etkiler
KİK	: Küçük işaret kararlılığı
OGR	: Otomatik gerilim regülatörü
Reg.	: Regülatör
S.G.B	: Sonsuz güçlü bara
SG	: Senkron generatör
Tür-Gen	: Türbin Generatör
UY	: Uyarma

ŞEKİLLER ve TABLOLAR LİSTESİ

Şekiller Listesi

No	Şeklin Adı	Sayfa
1.1	Bir elektrik güç sisteminin bileşenleri	2
2.1	1 nolu tip-Süreklili etekli regülatör ve kazancı	7
2.2	1S tipi-Sadece uç potansiyel beslemeli kontrollü doğrultucu	7
2.3	Basit bir uyarma-gerilim regülatörü modeli	8
2.4a	Tek hat diyagramı	11
2.4b	İdealleştirilmiş model	11
2.4c	Fazör diyagramı	11
2.4d	Güç-yük açısı değişimi	11
2.5a	Sistemin KBE karşı cevabı (AVR yok iken- sabit alan gerilimli)	15
2.5b	Sistemin KBE karşı cevabı (AVR var iken -uyarma kontrollü)	15
2.6	Geçici etkilere karşı rotor açısının cevabı	16
2.7	Güç sistemlerinin kararlılığının sınıflandırılması	18
3.1	Önısıtmasız buhar santralının blok diyagramı	22
3.2	Önısıtmasız buhar santrali lineer modeli	23
3.3	Su türbinleri için mekanik-hidrolik hız regülatörleri	25
3.3.a	Fonksiyonel blok diyagram	25
3.3.b	Yaklaşık nonlineer model	25
3.4	Çıkık kutuplu senkron generatörün eşdeğer devresi	26
3.5	Süreklili etekli uyarma sistemi ve gerilim regülatörü blok diyagramı	29
4.1	GSK'ların sistemin kontrolündeki yeri	31
4.2	OGR ve GSK'yı içeren blok diyagram	32
4.3	Delta P omega kararlayıcısının blok diyagramı	35
4.4	OGR ve GSK'yı içeren ikaz sistemi blok diyagramı	41
5.1	Simülasyonlarda kullanılan örnek sistem	43
5.2	Lineer senkron generatör modeli	44
5.3	GSK'sız generatörün rotor açısı (δ) değişimi (10-20 sn.'lerde %10'luk güç artışı için) (a) $2H=5$ sn ve $D=0$ iken (b) $2H=5$ sn ve $D=2$ iken	45
5.4	GSK'sız generatörün rotor açısı (δ) değişimi (10-20 sn.'lerde %10'luk güç artışı için) (a) $2H=12$ sn ve $D=0$ iken (b) $2H=12$ sn ve $D=2$ iken	45
5.5	GSK'sız generatörün rotor hız sapmalarının($\Delta\omega$) değişimi (10-20 sn.'lerde %10'luk güç artışı için) (a) $2H=5$ sn ve $D=0$ iken (b) $2H=5$ sn ve $D=2$ iken	46

5.6	GSK'sız generatörün rotor hız sapmalarının(Δw) değişimi (10-20 sn.'lerde %10'luk g¼c artışı için) (a) 2H=12 sn ve D=0 iken (b) 2H=12 sn ve D=2 iken	46
5.7	GSK'sız generatörün uç geriliminin (V_t) değişimi (10-20 sn.'lerde %10'luk g¼c artışı için) (a) 2H=5 sn ve D=0 iken (b) 2H=5 sn ve D=2 iken	47
5.8	GSK'sız generatörün uç geriliminin (V_t) değişimi (10-20 sn.'lerde %10'luk g¼c artışı için) (a) 2H=12 sn ve D=0 iken (b) 2H=12 sn ve D=2 iken	47
5.9	GSK'sız generatörün rotor açısı (δ) değişimi (10-20 sn.'lerde %10'luk yük azalması için) (a) 2H=5 sn ve D=0 iken (b) 2H=5 sn ve D=2 iken	48
5.10	GSK'sız generatörün rotor açısı (δ) değişimi (10-20 sn.'lerde %10'luk yük azalması için) (a) 2H=12 sn ve D=0 iken (b) 2H=12 sn ve D=2 iken	48
5.11	GSK'sız generatörün rotor hız sapmalarının(Δw) değişimi (10-20 sn.'lerde %10'luk yük azalması için) (a) 2H=5 sn ve D=0 iken (b) 2H=5 sn ve D=2 iken	49
5.12	GSK'sız generatörün rotor hız sapmalarının(Δw) değişimi (10-20 sn.'lerde %10'luk yük azalması için) (a) 2H=12 sn ve D=0 iken (b) 2H=12 sn ve D=2 iken	49
5.13	GSK'sız generatörün uç geriliminin (V_t) değişimi (10-20 sn.'lerde %10'luk yük azalması için) (a) 2H=5 sn ve D=0 iken (b) 2H=5 sn ve D=2 iken	50
5.14	GSK'sız generatörün uç geriliminin (V_t) değişimi (10-20 sn.'lerde %10'luk yük azalması için) (a) 2H=12 sn ve D=0 iken (b) 2H=12 sn ve D=2 iken	50
5.15	Delta - omega GSK'lı generatörün rotor açısı (δ) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede) (a) 2H=5 ve D=0 iken (b) 2H=5 ve D=2 iken	51
5.16	Delta - omega GSK'lı generatörün rotor açısı (δ) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede) (a) 2H=12 ve D=0 iken (b) 2H=12 ve D=2 iken	51

5.17	Delta - omega GSK'lı generatörün rotor hız sapmalarının ($\Delta\omega$) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken	52
5.18	Delta - omega GSK'lı generatörün rotor hız sapmalarının ($\Delta\omega$) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken	52
5.19	Delta - omega GSK'lı generatörün uç geriliminin (V_t) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken	53
5.20	Delta - omega GSK'lı generatörün uç geriliminin (V_t) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken	53
5.21	Delta - omega kararlayıcının bozucu etki cevabı (U_{PSS}) (10-20 sn.'lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken	54
5.22	Delta - omega kararlayıcının bozucu etki cevabı (U_{PSS}) (10-20 sn.'lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken	54
5.23	Delta - omega GSK'lı generatörün rotor açısı (δ) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken	55
5.24	Delta - omega GSK'lı generatörün rotor açısı (δ) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken	55
5.25	Delta - omega GSK'lı generatörün rotor hız sapmalarının ($\Delta\omega$) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken	56
5.26	Delta - omega GSK'lı generatörün rotor hız sapmalarının ($\Delta\omega$) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken	56
5.27	Delta - omega GSK'lı generatörün uç geriliminin (V_t) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken	57

5.28	Delta - omega GSK'lı generatörün uç geriliminin (V_t) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken	57
5.29	Delta - omega kararlayıcının bozucu etki cevabı (U_{PSS}) (10-20 sa.'lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken	58
5.30	Delta - omega kararlayıcının bozucu etki cevabı (U_{PSS}) (10-20 sa.'lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken	58
5.31	Delta -P- omega GSK'lı generatörün rotor açısı (δ) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken	59
5.32	Delta -P- omega GSK'lı generatörün rotor açısı (δ) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken	59
5.33	Delta -P- omega GSK'lı generatörün rotor hız sapmalarının ($\Delta\omega$) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken	60
5.34	Delta -P- omega GSK'lı generatörün rotor hız sapmalarının ($\Delta\omega$) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken	60
5.35	Delta -P- omega GSK'lı generatörün uç geriliminin (V_t) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken	61
5.36	Delta -P- omega GSK'lı generatörün uç geriliminin (V_t) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken	61
5.37	Delta -P- omega kararlayıcının bozucu etki cevabı (U_{PSS}) (10-20 sa.'lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken	62
5.38	Delta -P- omega kararlayıcının bozucu etki cevabı (U_{PSS}) (10-20 sa.'lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken	62

5.39	Delta -P- omega GSK'lı generatörün rotor açısı (δ) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken	63
5.40	Delta -P- omega GSK'lı generatörün rotor açısı (δ) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken	63
5.41	Delta -P- omega GSK'lı generatörün rotor hız sapmalarının ($\Delta\omega$) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken	64
5.42	Delta -P- omega GSK'lı generatörün rotor hız sapmalarının ($\Delta\omega$) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken	64
5.43	Delta -P- omega GSK'lı generatörün uç geriliminin (V_t) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken	65
5.44	Delta -P- omega GSK'lı generatörün uç geriliminin (V_t) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken	65
5.45	Delta -P- omega kararlayıcının bozucu etki cevabı (U_{PSS}) (10-20 sa.'lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken	66
5.46	Delta -P- omega kararlayıcının bozucu etki cevabı (U_{PSS}) (10-20 sa.'lerde bozucu etki devrede) (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken	66

Tablolar Listesi

No:	Tablonun Adı:	Sayfa
3.1	IEEE tarafından belirlenen buhar türbini tipleri	22

ÖZET

ANAHTAR KELİMELEER : Güç sistemleri, güç sistemlerinin kontrolü, uyarma kontrolü, küçük işaret kararlılığı ,güç sistem kararlayıcıları.

19 ve 20. yüzyıllarda sanayileşmeye önemli bir ivme kazandıran elektrik, günümüzde de büyük güçlü, yüzlerce generatörün, transformatörün ve baranın birbirine bağlandığı enterkonnekte şebekeler şeklinde hayatımızda önemli bir yer işgal etmektedir.

Özellikle son elli yıldan beri, sanayileşme ile birlikte, elektrik enerjisi tüketimi artmıştır. Bunun sonucunda büyük güçlü generatörler ve diğer sistem elemanları geliştirilmiştir. Bu büyümenin sonucunda enerji sistemlerinde koruma ve kontrol problemleri ortaya çıkmıştır. Çok sayıda generatörün birlikte çalıştığı bu sistemlerde, güç arz ve talebinde oluşan sürekli değişimler generatörlerin senkronizasyonunu olumsuz yönde etkilemiştir. Bunun generatörlere yönelik en önemli etkisi, elektriksel çıkış gücünün sürekli ve farklı genliklerde değişiklikler göstermesi şeklinde olmuştur. Sonuç olarak açısız hızda ve rotor açısında salınımlar meydana gelmektedir. Bu salınımlar şebeke frekansına göre daha düşük frekanslı olduklarından alçak frekanslı salınımlar olarak tanımlanmıştır.

Bu tezde düşük frekanslı bu salınımların güç sistem kararlayıcıları adı verilen bir tür regülatör ile sönümlenmesi incelenmiştir. Güç sistem kararlayıcıları hız yada güç teki sapmaların geri besleme kontrolü ile uyarma alan geriliminin değiştirilmesinde kullanılması esasına göre çalışmaktadır. İlk bölümde konuya dair giriş yapılmıştır. İkinci bölümde, üretim sistemlerindeki elemanların tanıtılması ve kararlılık probleminin en genel sınıflandırılması verilmiştir.

Üçüncü bölümde ise bu elemanların lineer modelleri incelenmiştir. Durum denklemleri ve blok diyagramlarına yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde, güç sistem kararlayıcılarının çalışma prensibi ve lineer modeli irdelenmiştir. Sonsuz güçlü bir sisteme hat üzerinden bağlanan senkron generatörün durum denklemleri ve matrisleri çıkarılmıştır.

Beşinci bölümde yapılan bilgisayar benzetimlerinin sonuçları verilmiştir. İlk bölümlerde verilen lineer modelin kullanılması ile gerçekleştirilen bu benzetimlerde Delta-omega ve Delta-P-omega tipi kararlayıcılar ile buhar türbini ve hız regülatörünün benzetimi yapılmıştır. Sonuçlar ve öneriler bölümünde ise yapılmak istenenler ve yapılması önerilenler tartışılmıştır.

POWER SYSTEM STABILIZERS AND THEIR APPLICATIONS

SUMMARY

KEYWORDS : Power systems, power system control, excitation control, small signal stability, power system stabilizers

In recent years, electric power systems, worldwide, have grown markedly in size and complexity. In order to maximize efficiency of generation and distribution of electric power, the interconnections between individual utilities have increased and the generators have been required to operate at maximum limits for extensive periods of time. In addition, the most economic sites for generation plants are often remote from load centers like metropolitan cities, industrial centers, etc. Power must be transmitted over long distances. The majority of power system interconnections are made through AC transmission lines and the interconnected systems, there may be thousands of synchronous generator in service to supply the load.

Because of the many generators in service, controllability and reliability problem occurred in interconnected power systems. The reliability of the interconnected system is enhanced by virtue of the capability of transferring power readily from one area to others within the large systems. For improving the controllability and reliability, modern control techniques and equipments are used in power systems. Excitation system and control, primary system control, automatic voltage regulators (AVR), governors and power system stabilizers (PSS) are important control equipments of generating systems.

In interconnected power systems, some electromechanical oscillations may occur. These oscillations appear in turbine-generator shaft, and as a result angular speed changes. These oscillations are called '*low frequency oscillations*'. A synchronous generator and its controllers have dynamic non-linear characteristics. For analysis of this system, linearized dynamic equations have to be known.

In this thesis, excitation system control is studied using PSS. Computer aided simulations are made. One machine-infinite bus system is used in the simulations. Chapter one is introductory. Basic power system components are introduced and stability concepts are classified in chapter two. In chapter three, linear models and state equations of power system components are given. These state equations are used in simulations. In chapter four, models, types, and linear state equations of PSS are given. At the end of this chapter, linear state equations of the whole system with ten state variables are obtained.

In chapter five, results of the simulations are illustrated. PSS's types simulated are delta-omega and delta-P-omega. In delta-omega type, PSS could not damp low

frequency oscillations successfully compared to delta-P-omega type. But in delta-P-omega type, PSS could damp them perfectly. It can be noted from these simulations that, power system stabilizers, especially delta-P-omega types, can damp the low frequency oscillations in power systems successfully.



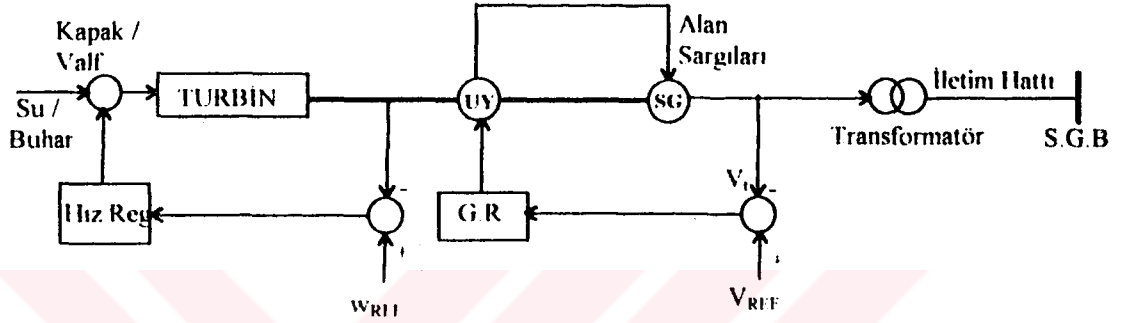
BÖLÜM 1. GİRİŞ

Elektrik enerji sistemlerinin birbirine göre hareketli elemanların birleşiminden meydana geldiğini ve bu elemanların iki ana grupta toplandığını söylemek mümkündür.

Birinci grupta, mekanik enerjiyi sağlayan tahrik sistemi elemanları, senkron generatörler, transformatörler, iletim ve dağıtım hatları ile elektriksel yükler bulunmaktadır. Görüldüğü gibi bu grupta bulunan elemanlar enerjinin üretildiği yada dağıtıldığı elemanlardır. İkinci grupta ise koruma ve kumanda elemanları yer almaktadır. Tahrik sistemine ait hız regülatörleri (mekanik regülatörler), senkron generatörün uyarma devresinde yer alan gerilim regülatörleri ile röleler ve açma-kapama elemanları ikinci grubun bileşenleridir. Bu ayırmadan da anlaşılacağı gibi elektrik enerji sistemleri, elektriksel ve mekanik elemanların birlikte çalıştığı elektromekanik bir yapıya sahiptir [1].

Elektrik enerji sistemlerinin en temel görevi, tüketicinin ihtiyaç duyduğu her yere, sabit frekans ve sabit gerilimde enerjiyi sağlamaktır. Sabit frekans ve gerilimin elde edilmesi, güç sisteminin denetimi ile mümkündür. Sistemin denetimi, dolayısıyla kararlılığı, tesislerin planlanmasında önemli bir kıstastır. Elektrik enerji sistemlerinin denetimi üretim merkezlerinde yapılabilmektedir. Elektrik üretim merkezleri, buhar yada su türbini, hız regülatörü, ve senkron generatörden meydana gelmektedir. Sistemin optimal denetimini yapabilmek için bu bileşenlerin modellerinin elde edilmesi gerekmektedir. Sistem modellemesi, fiziksel sistemin davranışlarının matematiksel gösterimidir. Modelleme herhangi bir sistemin kontrolü için önşarttır. Büyük ve hızlı bilgisayarların gelişimine paralel olarak, büyük enerji sistemlerinin modellenmesi ve denetimi üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır [2,3]. Bu konuda, 1969'da F. de Mello'nun yazdığı makale, güç sistemlerinin kontrolü

çalışmalarında önemli bir kilometre taşı olmuştur [4]. Daha sonraki yıllarda yapılan tüm yayınlarda F. de Mello ve arkadaşları referans olarak gösterilmiştir. Bunun yanı sıra Y.Yu'nun [5] ve P. Anderson'un [6] eserleri güç sistem mühendisleri için önemli bir referans olmuşlardır. Konuya ait diğer çalışmalara ilgili kısımlarda değinilecektir. Şekil 1.1'de bir güç sistemi, bileşenleri ile birlikte yer almaktadır.



Şekil 1.1 Bir elektrik güç sisteminin bileşenleri

BÖLÜM 2. ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMLERİ ve KARARLILIK ANALİZİ

2.1. Elektrik Enerji Sistemleri

Elektrik enerji sistemleri, enerji dönüşümünün ve iletiminin yapıldığı fiziksel sistemlerden birisidir. Üç temel bileşenden oluşmaktadır; Üretim merkezleri, iletim hatları ve dağıtım sistemleri. İletim hatları diğer iki bileşeni birbirine bağlayan alt sistemi oluşturmaktadır. Dağıtım sistemleri ise yük merkezlerine bağlı olan ve üretim ünitesinden gelen enerjiyi yüke ileten son eleman grubudur [2].

Yüzyılın ikinci yarısından sonra, dünyanın her tarafında güç sistemlerinin boyutlarında ve karmaşıklığında belirgin bir büyüme görülmüştür. Enerjinin üretim ve dağıtımında maksimum talebi karşılamak için her bir eleman ve alt sistem arasındaki bağlantılar artmıştır. Böylelikle yüklerin enerji ihtiyacını karşılamada güvenilirlik oranı yükselmiştir. Bunun yanısıra santrallerin tesisi için en ekonomik yerler, enerjinin daha fazla tüketildiği büyük şehirlerden ve sanayi bölgelerinden uzakta olmaktadır. Böylece enerjinin çok uzak mesafelere iletimi zorunluluğu ile karşılaşmıştır.

Enterkonnekte sistemlerin önemli bir bölümünü iletim hatları ve senkron generatörler oluşturmaktadır. Çok büyük sistemlerde yüzlerce generatör birlikte işletmede olabilmektedir. Bu kadar çok makinanın olduğu sistemde aktif ve reaktif güç ile diğer parametrelerin düzenlenmesinde bir kontrol mekanizması gerekmektedir. Bunun sonucunda ortaya çok büyük ve kompleks bir yapı çıkmaktadır. [7]

2.2. Enerji Sistemi Elemanları

Elektrik enerji sistemlerinin dinamik davranışlarını anlayabilmek ve bir denetim biçimi tasarlayabilmek için, elektrik güç santrallerini ve sistemlerini tanımak gereklidir. Güç sistemlerini oluşturan bileşenler (yardımcı elemanlar), sistemin dinamik yapısına etki etmektedir [5]. Bu bölümde bu elemanlar ele alınıp, tanıtılacaktır.

2.2.1. Buhar türbinleri

Mekanik buhar enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülme işlevinin gerçekleştiği elemanlardır. fuel oil, kömür, doğal gaz, nükleer enerji gibi yakıtlardan elde edilen buhar gücü bu türbinler vasıtası ile dönme hareketi şeklindeki mekanik enerjiye dönüşür. Bu mekanik dönme hareketi mil aracılığı ile senkron generatörün miline iletilerek döndürülmesini sağlar [2]. Değişik biçimleri bulunan buhar türbinleri, buhar koşullarına ve içinde bulunduğu ünite boyutlarına göre inşa edilmektedir. Normal olarak, iki veya daha fazla türbin blokundan yada seri silindir kuplajlardan ibarettir. Her bir türbin bloğu, bir dizi sabit vana ve rotora bağlı olan bir grup hareketli pervaneden oluşmaktadır. Sabit vanalar ile ivmelendirilen yüksek hızlı buharın kinetik enerjisi, pervaneler sayesinde mil momentine dönüştürülür. Türbinler genel olarak, seri (tandem) ve çapraz bağlı olarak iki kısımda incelenebilirler. Tandem bağlı türbinler 3000 dev/dak, çapraz bağlı olanlar ise 1500 dev/dak. hızında dönebilmektedirler [8].

Senkron generatörün rotorunun döndürülmesi ile statorda döner alan oluşur ve endüklenen gerilim ile elektrik enerjisi elde edilir. Bütün bu işlemler aslında bir enerji dönüşümüdür. Buhar santrallerinin ve türbinlerinin en belirgin özelliği, güçlerinin büyük olmaması ve sistem cevabının su türbinlerine göre daha hızlı olmasıdır [2,5].

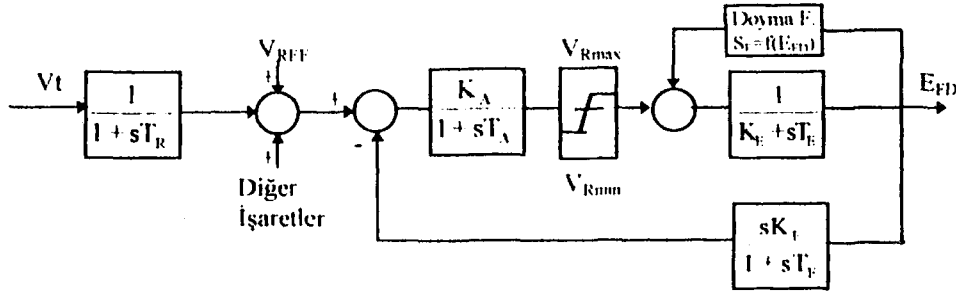
kutuplu ve yuvarlak kutuplu olmak üzere iki senkron generatör tipi bulunmaktadır. Senkron generatörün dinamik davranışı çeşitli modeller kurularak incelenmektedir. Bu modellere ve makinanın denklemlerine bölüm 3.'de diğer altsistemlerin modelleri ile birlikte yer verilecektir.

2.2.5. Uyarma sistemi ve gerilim regülatörleri

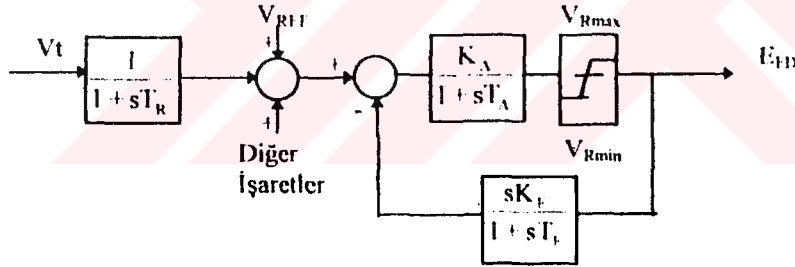
Uyarma sistemi ve gerilim regülatörünün asli görevi, senkron makinanın alan sargılarına yeterli uyarıyı sağlamak, gerilim düşmelerinde uyarıyı arttırmak ve gerilim yükselmelerinde ise uyarıyı azaltmaktır. Böylelikle, senkron generatörün diğer generatörlerle birlikte sürdürdüğü senkronizma olayını korumaktadır [5]. Bunun yanısıra, güç sisteminde meydana gelen bozucu etkiler makina rotor açılarının değişmesine yol açmaktadır. Bu değişimler bazen sistemin kararsızlığa gitmesine yol açmaktadır. 1960'lerden sonra güç sistemlerinde kararsızlığı ve sistemde meydana gelen düşük frekanslı salınımları önlemek için ilave uyarma kontrol teknikleri tasarlanmıştır [11]. Bu konuda yapılan çalışmalar 70'li yıllarda artarak, mil hızından yada ivmelendirme gücünden alınan işaretler sonucu elde edilen ilave kararlayıcı işaretler ile uyarma geriliminin denetlenmesinin, sistemin kararlı kalmasında etkili bir rol oynadığı görülmüştür [12,13,14].

Enterkonnekte sistemlerde yoğun bir şekilde meydana gelen küçük şiddetli bozucu etkiler, sistemi olumsuz yönde etkilemektedir. Sistemin bu etkilere rağmen salınım yapmadan ve kararsızlığa gitmeden çalışması istenmektedir. Makinalar arasında meydana gelen bu düşük frekanslı salınımlar iki ana grupta toplanmaktadır; Yerel salınımlar ve bölgeler arası salınımlar. Bu salınımlar 1 ile 40 saniye süresinde devam etmektedirler. Bu kadar uzun süre devam etme durumunda mekanik hız regülatörlerinin devreye girmesi sözkonusu olacağından sistemin dinamik analizini yapmak gerekecektir. Yerel salınımlar 0.8-2.0 Hz, bölgeler salınımları ise 0.1-0.8 Hz arasında değişen frekanslara sahiptirler [7].

Uyarma sistemlerinin incelenmesinde önemli kolaylıklar sağlamak, yeni sistem tasarımlarında gerekli sabitlerin kolayca belirlenebilmesi amacıyla 1968 yılında IEEE tarafından yayınlanan komite raporunda dört farklı uyarma ve gerilim regülatörü bilgisayar modeli önerilmiştir [15,16]. Bu modeller yapılan tüm çalışmalarda araştırmacılara önemli oranda faydalar getirmiştir. Şekil 2.1 ve 2.2'de bu çalışmada kullanılan Tip-1 ve Tip-1S modelleri gösterilmektedir.

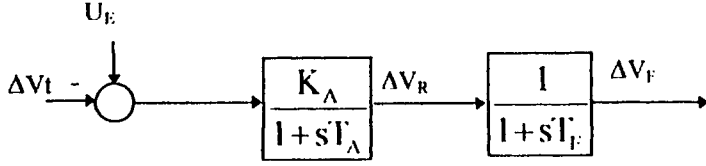


Şekil 2.1 1 nolu tip-Süreklî etkili regülatör ve uyarıcı



Şekil 2.2 1S tipi - Sadece uç potansiyel beslemeli kontrollü doğrultucu

Diğer bilgisayar modelleri için referans [6], [15] ve [16]'ya başvurulabilir. Yukarıda modeli verilen uyarma sistemlerinde K_A regülatör kazancı, T_A zaman sabiti olarak adlandırılır. T_R sabiti regülatör giriş filtresinin zaman sabitidir. Çok küçük bir değere sahip olduğundan dolayı genelde ihmal edilebilir. Uyarıcının transfer fonksiyonu $1/(K_F + sT_F)$ dir. Gerekli zaman sabitleri ve diğer sabitlerin genelde çok küçük olması, ayrıca doymasında ihmal edilmesi sonucu ortaya oldukça basit bir uyarma ve gerilim regülatörü modeli çıkar. Bu model Şekil 2.3'de görülmektedir [5].



Şekil 2.3 Basit bir uyarma-gerilim regülatörü modeli

2.2.6. Güç sistem kararlayıcıları

Güç sistem kararlayıcılarının (GSK) en temel fonksiyonu genaratörün rotor osilasyonlarını sönmlemektir. Bunu yardımcı kararlı kilit işaretler ile uyarma devresini kontrol ederek yapar. Uyarma gerilimini, maruz kalınan bozucu etkinin özelliğine göre artırır veya azaltır. Sönümü sağlayabilmek için rotor hız sapmalarıyla aynı fazda olan elektriksel moment bileşenini üretir. 1960'lerden sonra kullanılmaya başlanan kararlayıcılar dört grupta incelenebilir; Delta-omega kararlayıcılar, delta-P-omega kararlayıcılar, frekans tabanlı kararlayıcılar ve dijital kararlayıcılar [8].

2.3. Enerji Sistemlerinde Kararlılık Problemi

2.3.1. Temel kavramlar

Güç sistemlerinde kararlılık problemi, en basit ve en genel şekli ile, bir bozucu etkiye maruz kalan sistemin bu bozucu etki sonrasında kabul edilebilir dengeli bir çalışma noktasına dönebilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır [8].

Kararlılığın tanımını daha iyi ve daha anlaşılır bir şekilde yapabilmek için öncelikle kararsızlığın ne olduğunun tanımlanması gerekir. Kararsızlık, farklı biçimlerde tanımlanabilmekte ve bu konuda sisteme ait farklı değişkenler referans olarak alınabilmektedir. Bu bölümde, genel olarak, kararlılığın ne olduğu ele alınacak ve

yoğunlaşan enerji sistemleri araştırmalarında, enterkonnekte güç sisteminin tamamen yada kısmen senkronizma dışı kalması ve bunun sonucu olarak enerji üretimi ile dağıtımının sağlanamaması kararsızlık olarak algılanmıştır. Enerji üretiminde senkron generatörlerin vazgeçilmez bir eleman olmasından dolayı, sistemdeki paralel çalışan bütün generatörlerin senkronizma şartlarını sağlamaları arzu edilmektedir. Bu generatörlerin frekanslarının aynı olması ve rotor açılarının birbirlerine göre kararlı olması senkronizmada kalma şartlarından sayılmaktadır. Görüldüğü gibi, kararlılığın olmazsa olmaz şartı, senkronizmanın sağlanması, bunun içinde rotor açısının kabul edilebilir sınırlar dahilinde olması gerekmektedir. Genelde bu açının 90°'yi aşmaması istenir. Bununla birlikte 90°'nin altında yer alan kritik bir değeri aşmaması gerekir. Aksi takdirde açının kararlılık sınırlarına getirilmesi mümkün olmamaktadır. Bunun yanısıra, kararsızlık sadece senkronizmadan ayrılma, sistemin ahenginin bozulması şeklinde sonuçlanmayabilir. Yük geriliminin makul sınırlar dışına çıkması da bu nevi kararsızlık olarak tanımlanmıştır. Bu şekildeki kararsızlık tanımlamaları gerilim kararlılığı adını almıştır. Örneğin, bir senkron generatör tarafından beslenen asenkron motorun geriliminin düşmesi, hatta daha şiddetli şekli ile çökmesi sonucu kararsızlıklar yaşanmıştır. Bu haliyle kararlılık, büyük güçlü bir sistemin beslediği geniş bir bölgede yük gerilimlerinin korunması olarak ifade edilebilir. Gerilim kararlılığı olarak değerlendirilen bu konu bölüm 2.3.3'de biraz daha geniş olarak incelenmektedir.

Sonuç olarak, kararlılığın etüd edilmesinde ilgilenilen konu, geçici bir bozucu etkiye maruz kaldığında, güç sisteminin gösterdiği davranıştır. Söz konusu olan bozucu etkiler büyük yada küçük olabilir. Kısa yada uzun süreli olabilir. Yük değışikleri şeklindeki küçük bozucu etkiler (maksimum %10'luk değışme) sık sık meydana gelirler. Sistem bu değışimlere ayak uydurmak yada bir şekilde bu salınımları bastırmak zorundadır. Ayrıca iletim hattı yada baralarda oluşan şiddetli kısa devreler, büyük bir yükün veya generatörün devre dışı kalması sonucu oluşan ve sistemin önemli kısmını etkileyen salınımlar şeklindeki büyük bozucu etkiler karşısında en az kayıpla kararlılığını koruyabilmelidir [8].

2.3.2. Rotor açısı kararlılığı

Rotor açısı kararlılığı, sistemin kararlılığında rotor açısının kıstas alınması ile ortaya atılmış olan bir tanımdır. Özellikle gerilim kararlılığı araştırmalarının yoğunlaşması bir kısım literatürlerde rotor açısı ve gerilim kararlılığı şeklinde iki üst başlığın kullanılmasına yol açmıştır. Şimdiye kadar kararlılık tanımlarında vurgulanmakta olan, sistemin bozucu etki sonrası kabul edilebilir bir çalışma noktasına gelmesiydi. Rotor açısının bozucu etki sonrası kabul edilebilir değerler arasında kalması generatörlerin kararlılığı açısından fikir vermektedir. Özellikle çok makinalı sistemlerde generatörler arasındaki açı farklılıkları önem arz etmektedir.

Enerji sistemlerinde oluşan yük değişimleri, sistemde dinamik değişkenlerin salınımlara maruz kalmasına neden olabilmektedir. Bu değişkenlerden biri olan rotor açısında salınımlar meydana gelebilmektedir. Bu salınımlar bazen sistemi kararsızlığa götürmektedir. Rotor açısı kararlılığı analizlerini yapabilmek için sistemin doğasında var olan bu elektromekanik osilasyonların incelenmesi gerekir. Özellikle küçük bozucu etkiler olarak adlandırılan düşük frekanslı osilasyonlar, generatörün rotor açısında düşük frekanslı değişmelere yol açacak ve bu değişmelerde çıkış gücüne olduğu gibi etki edecektir.

Rotor açısı kararlılığı analizlerinde açı ile elektriksel çıkış gücü arasındaki ilişkinin ve senkron generatör parametrelerinin bu ilişkiye etkisinin bilinmesi zorunludur. Bilindiği gibi, senkron makinalarda ikaz ve endüvi sargıları olarak iki temel bileşen bulunmaktadır. Bu sargıların bulunduğu kısımlara rotor ve stator denilmektedir. Rotor, milinin bağlı olduğu bir tahrik elemanı grubu tarafından döndürüldüğünde, endüvi sargılarında (statorda) döner magnetik alan endükleyecektir. Bu alanın endüklenmesi için rotorda yer alan bu sargıların (ikaz-alan sargıları) uyarılması gerekmektedir. Bu döner magnetik alan sonucu statorda gerilim endüklenmektedir. Endüklenen bu alternatif gerilimin frekansı, rotor hızına ve kutup sayısına bağlıdır.

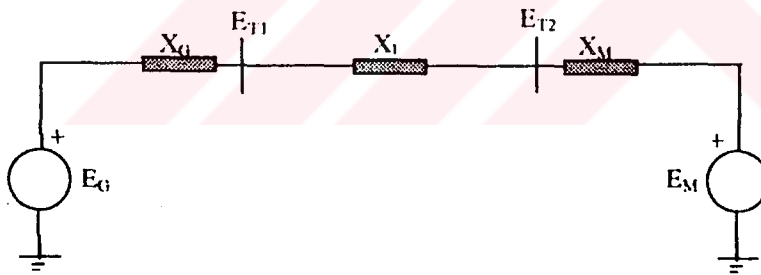
İki yada daha fazla generatör birbirine paralel bağlı iken güç üretilmesi için bütün makinalarının frekanslarının ve faz açılarının aynı olması gerekir.

Generatörün elektriksel çıkış gücü, sadece tahrik mekanizması tarafından rotora iletilen mekanik gücün değiştirilmesi ile değişir. Mekanik gücün değiştirilmesi sonucu stator ile rotor arasındaki açı farkı artacak veya azalacaktır. Sürekli çalışma durumunda stator döner alanı ile rotor aynı hızda dönecektir. Senkron motorda ise, generatörle karşılaştırıldığında, mekanik ve elektriksel güçler yön değiştirecektir [8].

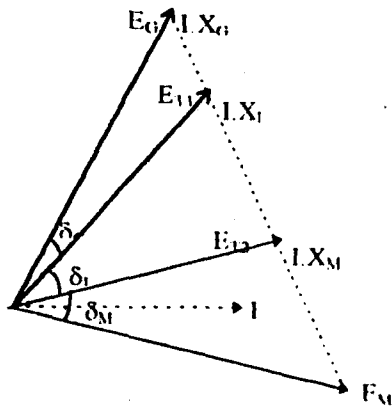
Güç sistemlerinde kararlılık sorununun tanımlanmasında en önemli nokta, güç ile yük açısı arasındaki lineer olmayan ilişkidir. Bu ilişkiyi göstermek için şekil 2.4a'da verilen sistem ele alınacaktır.



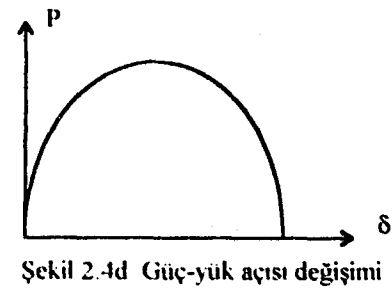
Şekil 2.4a Tek hat diyagramı



Şekil 2.4b İdealleştirilmiş model



Şekil 2.4c Fazör diyagramı



Şekil 2.4d Güç-yük açısı değişimi

Şekil 2.4a'da görülen sistem iki makina ve bunları birbirine bağlayan iletim hattından oluşmaktadır. İletim hattının seri direnci ile şönt admitansı ihmal edilmiştir. Generatörden motora aktarılan güç, iki makinanın rotor açıları arasındaki farkın fonksiyonudur. Bu açı farkı üç bileşenden meydana gelmektedir; Generatör iç açısı δ_G (generatör rotorunun, stator döner alanına göre açısı), generatör ve motor terminal gerilimleri arasındaki açı farkı δ_L (generatör stator alanının, motora göre açısı) ve motor iç açısı δ_M (motorun rotorunun, stator döner alanı arasındaki açısal fark). Şekil 2.4c 'de görüldüğü gibi uyarma gerilimi ile iç gerilim aynı fazdadır. Generatörden motora iletilen güç eşitlik 2.1'de verilmektedir.

$$P = \frac{E_G \cdot E_M}{X_{lr}} \sin(\delta) \quad (2.1)$$

Burada $X_{lr} = X_G + X_L + X_M$ ve $\delta = \delta_G + \delta_L + \delta_M$ 'dir. Eşitlik 2.1'in eğrisel ifadesi şekil 2.4d 'de verilmiştir. Dinamik kararlılık analizlerinde regülatörlerin devreye girmesi sonucu bu eğri sinüs formundan uzaklaşmaktadır [8].

Kararlılık, zıt kuvvetler arasındaki dengeli bir durumdur. Birbirine paralel bağlı olan senkron makinelerin mekanizması, bir başka makinanın düzenleyici kuvveti sayesinde senkronizmada kalmayı sürdürmektedir. Sürekli durumda mekanik giriş gücü (yada momenti) ile elektriksel çıkış gücü (yada momenti) birbirine eşit olduğundan hız sabit olmaktadır. Eğer bir bozucu etki sonucu sistem bu denge durumundan ayrılırsa, makina hızlanır yada yavaşlar. Eğer bir generatör geçici olarak yada bozucu etki sonucu dinamik elemanların devreye girmesiyle (yani elektriksel gücün artmasıyla) diğerinden daha hızlı tahrik edilirse, rotorun açısal konumu hızı yavaş olan makinaya göre ileride olacaktır. Açısal farkın artışı ile güç-açı değişimi eğrisine bağlı olarak yavaş makinadan hızlı makina doğru yükün bir kısmı transfer edilir. Hızlı makina daha fazla yükü üzerine alır. Bu transfer hız farkının ve açısal farkın azaltılması içindir. Yük açısı 90° 'ye ulaştığında maksimum güç iletimi sağlanır ancak makina çok fazla hızlanmıştı. Bundan sonra makina senkronizmadan ayrılır ve koruma elemanları devreye girer. Verilen herhangi bir durum için sistemin

kararlılığı, yeterli düzenleyici moment ile rotorun açısal konumundaki sapmalara bağlıdır.

Senkronizmanın kaybı, bir makina ile sistemin geri kalanı yada makina grupları arasında arasında oluşabilir. İkinci durumda, diğerlerinden ayrıldıktan sonra her grup kendi içinde senkronizmayı sürdürebilir. Bir senkron makinanın elektriksel momentindeki değişme eşitlik 2.2 ile verilmiştir.

$$\Delta T_e = T_s \cdot \Delta \delta + T_D \cdot \Delta \omega \quad (2.2)$$

Burada $T_s \cdot \Delta \delta$ rotor açısındaki değişme ile aynı fazda olan moment değişimi bileşenidir ve senkronlayıcı moment bileşeni olarak adlandırılır. T_s senkronlayıcı moment katsayısıdır. $T_D \cdot \Delta \omega$ ise hızdaki sapmalar ile aynı fazda olan sönümleyici moment bileşenidir. T_D 'de sönümleyici moment katsayısıdır.

Sistemin kararlılığı, her bir senkron makina için her iki moment bileşeninin varlığına bağlıdır. Yeterli senkronlayıcı momentin olmaması rotor açısında periyodik olmayan salınımlarla sonuçlanır. Diğer bir deyişle sönümleyici momentin yeterli olmayışı osilasyonlu kararsızlığa yol açar.

Analizlerde kolaylık olması için kararlılık olayları aşağıdaki iki kategoride sınıflandırılmıştır. Daha öncede söylendiği gibi bu tür sınıflandırmalar konusunda dünya genelinde kesin bir standart yoktur.

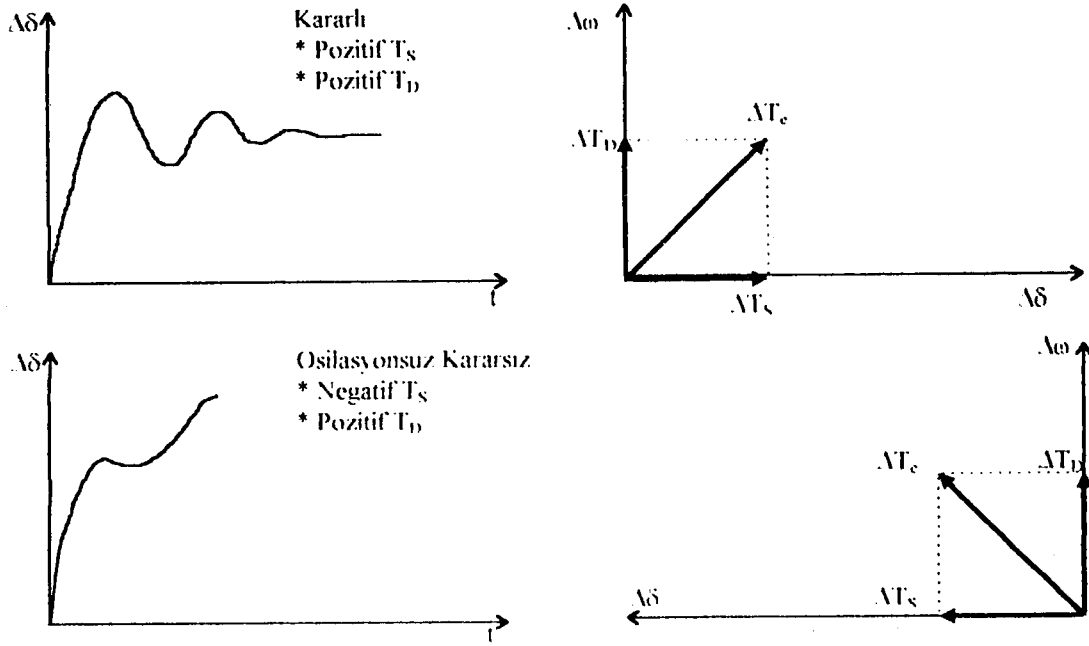
2.3.2.1. Küçük işaret (küçük bozucu etki) kararlılığı

Küçük işaret kararlılığı (KİK), küçük bozucu etkiler (KBE) altında güç sisteminin senkronizmayı sürdürebilme yeteneği olarak tanımlanır. Yükteki küçük değişimlerden dolayı bu bozucu etkiler sistemde sürekli olarak meydana gelmektedir. Düşük frekanslı (0.2-2 Hz arası) ve uzun süreli (1-40 saniye) olan bu bozucu etkilere karşı sistemin mekanik elemanlarının harekete geçerek cevap

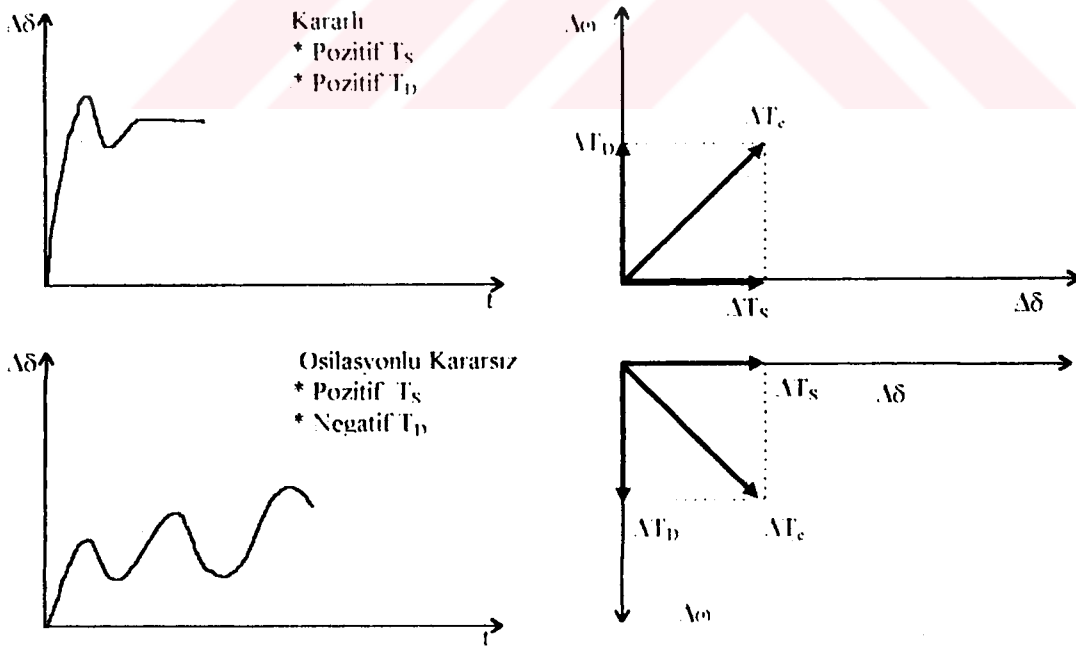
vermesi, analizlerde klasik yolları ve modelleri kullanmamızı engeller. Dinamik karaktere sahip olan regülatörler, sistemin dinamik yapısına katkıda bulunur. Sistemin analizlerinde lineerleştirilmiş denklemler kullanılmaya başlanır. Kararsızlık iki şekilde ortaya çıkar.

- i.) Yeterli miktarda senkronlayıcı momentin olmaması sonucu rotor açısında sürekli bir artış oluşur.
- ii.) Sönümleyici momentin yetersiz kalmasından dolayı, artan genlikte rotor osilasyonları oluşur.

Sistemin küçük etkilere cevabı, iletim sistemine ve generatörün uyarma kontrolüne bağlıdır. Büyük bir sisteme bağlı generatör için, otomatik gerilim regülatörlerinin olmaması yani alan gerilimin sabit olması durumunda, kararsızlık yeterli senkronlayıcı momentin olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu durum Şekil 2.5a'da görüldüğü gibi osilasyonsuz mod şeklinde kararsızlıkla sonuçlanır. Otomatik gerilim regülatörlerinin sürekli olarak çalışmasıyla KİK, sistem osilasyonlarının yeterince çabuk söndürülemediği problemi şeklinde ortaya çıkar. Kararsızlık ise, osilasyon genliğinin giderek artması şeklinde olmaktadır. Şekil 2.5b'de otomatik gerilim regülatörleri ile generatörün cevabı görülmektedir.



Şekil 2.5a Sistemin KBE karşı cevabı (AVR yok iken - sabit alan gerilimli)

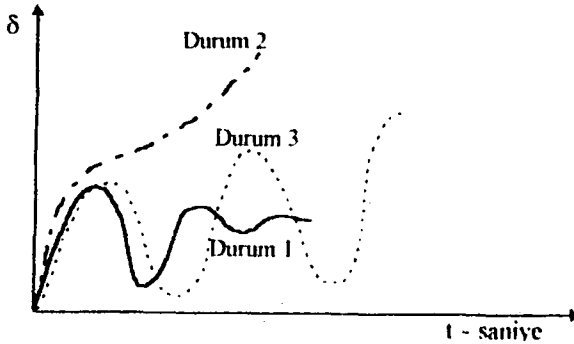


Şekil 2.5b Sistemin KBE karşı cevabı (AVR var iken - uyarma kontrollü)

2.3.2.2. Geçici hal kararlılığı

Geçici hal kararlılığı (GHK), KİK'dan farklı olarak büyük şiddetli, ani bozucu etkilere maruz kalan sistemin kararlılığını sürdürebilme kabiliyeti olarak algılanmaktadır. GHK'da şiddetli kısa devreler, çok büyük miktarda yük değişimleri gibi sistemde önemli dalgalanmalara yol açacak etkiler söz konusudur. Bu etkiler bir saniyeden daha kısa sürede meydana gelir, ne koruma elemanları ne de generatörün mekanik regülatörleri bu etkilere hızlı cevap verebilirler. Rotor açısında büyük salınımlar oluşur. Bu tür kısa devre şeklindeki bozucu etkiler kesicilerin arıza bölgesini şebekeden tamamen ayırması ile giderilebilir.

Şiddetli bir bozucu etkiye maruz kalan büyük sistemlerde, rotor açısının ilk salınımı kararlılık hakkında ipucu verir. İlk salınımlarda açı kritik değeri aşıyorsa kesicilerin arızalı bölgeyi şebekeden ayırması bile generatörlerin aşırı hızlanmasını önleyemez. Bu yüzden arıza olduktan sonraki birkaç saniyelik süre içinde sistemin hali belli olur. Şekil 2.6'da çeşitli durumlar için geçici bozucu etkilere karşı generatör rotor açısının değişimi verilmektedir. İlk durumda açı salınım yapmakta ve bu salınımların genlikleri giderek küçülmektedir. Generatör bir süre sonra kararlı hale gelecektir. İkinci durumda açı kısa sürede büyük bir ivme ile artmaktadır. Senkronizmadan ayrılma meydana gelecektir. Yeterli miktarda senkronlayıcı moment olmadığı için açı salınım yapmadan çok hızlı biçimde artmıştır. Üçüncü durumda ise, giderek artan genlikte salınımlar meydana gelmektedir. Bu durumda ilk salınımda kararlı gibi görülen sistem, geçici hal süresi sonrasındaki salınımlarında kararsızlığa gitmektedir. Bu gibi durumlar KİK olaylarında rastlanılan durumlardır.



Şekil 2.6 Geçici etkilere karşı rotor açısının cevabı

Ayrıca GHK analizlerinde generatörün mekanik giriş gücü ve momentinin değişmediği kabul edilir. Çünkü olayın meydana geliş süresi 3-5 saniye ile sınırlı olup, mekanik regülatörler devreye girmemiştir.

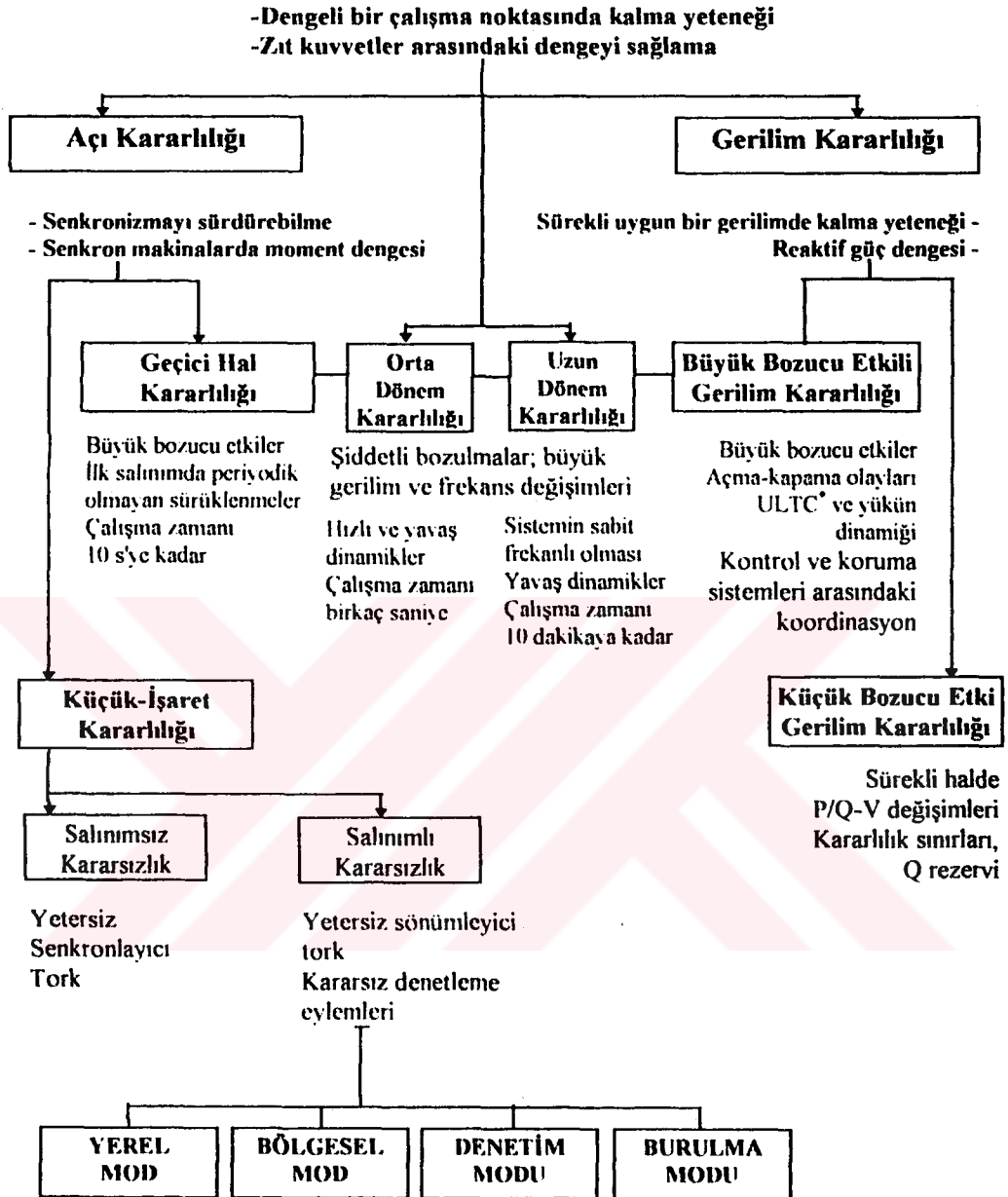
Bunun yanı sıra kararlılık sınıflandırmalarında sözü geçen dinamik kararlılık kavramı, üzerinde tartışmalar olan bir kavramdır. K.Amerikan literatüründe otomatik gerilim regülatörlerinin daha kısa zamanda (mekanik regülatörlere göre) cevap vermesinden dolayı sürekli hal incelemelerinden farklı düşünülmüştür. KİK ile dinamik kararlılık aynı anlamda algılanmıştır. Alman ve Fransız literatüründe ise GHK ile birlikte anılmıştır [8].

2.3.3. Gerilim kararlılığı

Gerilim kararlılığı, bir enerji sisteminin yük baralarının gerilimlerinin genliklerini, gerek sürekli halde gerekse geçici olaylar esnasında, belirli işletme limitleri içinde tutabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Gerilim kararsızlığının birincil nedeni, normal olmayan sistem çalışmaları ve kontrolör davranışları altında, yük taleplerini karşılamaya çalışan belirli sistem baralarına yeterli reaktif gücün verilmeyişidir. Bu durum, bir bölgede gerilimin ardışıl olarak düşmesi (gerilim çığı) ve sonunda sistemin tümünde gerilim çökmesine neden olacak şekilde sistem içinde yayılması biçiminde karakterize edilebilir [8,17]. Gerilim kararlılığını etkileyen faktörler olarak, öncelikle yüklerin yapısı ve karakteristikleri, kontrol cihazlarının dinamik cevapları, iletim hatlarının işletme biçimleri ve senkron generatörler şeklinde bir sıralama yapmak mümkün olacaktır [17]. Gerilim kararlılığı incelemelerinde aynı rotor açısı kararlılığında olduğu gibi dinamik, küçük bozucu etkiler, büyük bozucu etkiler gibi faktör ve sınıflandırmalara gidilmektedir [8].

Şekil 2.7'de tezin bu bölümünde anlatılan kararlılık kavramlarının sınıflandırılması yer almaktadır. Bu sınıflandırma dünya literatüründe kabul görmekte ve kullanılmaktadır.

GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI



* ULTCs :Yükte kademe değıştiricileri

Şekil 2.7 Güç sistemlerinin kararlılığının sınıflandırılması

BÖLÜM 3. GÜÇ SİSTEMLERİNİN DİNAMİK MODELİ

3.1. Güç Sistemlerinin Dinamik Analizi

Güç sistemleri lineer olmayan dinamik bir karakteristik arzeder. Sistemin analizlerini yapabilmek, lineer olmayan durum denklemlerin lineerleştirilmesi ile mümkündür.

Güç sistemleri n tane birinci mertebeli lineer olmayan adi diferansiyel denklemler ile temsil edilmektedir. İlişlik 3.1'de bu denklem gösterilmektedir.

$$\dot{x}_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_n; t) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.1)$$

Burada x_i 'ler durum değişkenlerini, u_i 'ler ise sistemin girişlerini göstermektedir. n ise sistemin mertebesini, r ise giriş sayısını belirtmektedir. Bu denklem, vektör-matris notasyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t) \quad (3.2)$$

Burada

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}; \quad \mathbf{u} = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_n \end{bmatrix}; \quad \mathbf{f} = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

'dir.

Sistemin zamanla değişmediği kabul edilirse eşitlik 3.2'deki denklem aşağıdaki gibi değişir.

$$\dot{x} = f(x, u) \quad (3.4)$$

$$u = g(x, u) \quad (3.5)$$

3.2. Lineerleştirme

Bu altbölümde eşitlik 3.4'deki denklemin lineerleştirilmesi irdelenecektir. Sistemin başlangıç değerlerini x_0 ve u_0 olarak alalım. Bu durumda sistemin denklemini şu şekli alacaktır.

$$\dot{x}_0 = f(x_0, u_0) = 0 \quad (3.6)$$

Sistemdeki küçük değişimler sonucu, değişkenlerde Δ değişimleri olmaktadır. Böylece değişkenler aşağıdaki biçimde olmaktadır.

$$x = x_0 + \Delta x \quad ; \quad u = u_0 + \Delta u \quad (3.7)$$

Bu yeni durumda eşitlik 3.4 şöyle olacaktır.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \dot{x}_0 + \Delta \dot{x} \\ &= f[(x_0 + \Delta x), (u_0 + \Delta u)] \end{aligned} \quad (3.8)$$

Bu bozucu etkilerin çok küçük olduğu kabulü yapılırsa, lineer olmayan $f(x, u)$ fonksiyonu Taylor serisine açılır. Seriyeye açılım aşağıda gösterilmektedir.

$$\dot{x}_1 = \dot{x}_0 + \Delta \dot{x}_1 = f_1[(x_0 + \Delta x), (u_0 + \Delta u)] \quad (3.9)$$

$$\dot{x}_i = f_i(x_0, u_0) + \frac{\partial f_i}{\partial x_1} \Delta x_1 + \dots + \frac{\partial f_i}{\partial x_n} \Delta x_n + \frac{\partial f_i}{\partial u_1} \Delta u_1 + \dots + \frac{\partial f_i}{\partial u_r} \Delta u_r \quad (3.10)$$

Burada $x_{i0} = f_i(x_0, u_0)$ olduğundan,

$$\Delta \dot{x}_i = \frac{\partial f_i}{\partial x_1} \Delta x_1 + \dots + \frac{\partial f_i}{\partial x_n} \Delta x_n + \frac{\partial f_i}{\partial u_1} \Delta u_1 + \dots + \frac{\partial f_i}{\partial u_r} \Delta u_r \quad (3.11)$$

elde edilir. Durum değişkenlerindeki küçük artımların elde edildiği eşitlik 3.11'de $i=1,2,\dots,n$ olmaktadır. Yani eşitlik 3.11 matrisel boyutta düşünülmelidir. Aynı şekilde eşitlik 3.5'deki denklemden Taylor serisine açılabilir.

$$\Delta y_j = \frac{\partial g_j}{\partial x_1} \Delta x_1 + \dots + \frac{\partial g_j}{\partial x_n} \Delta x_n + \frac{\partial g_j}{\partial u_1} \Delta u_1 + \dots + \frac{\partial g_j}{\partial u_r} \Delta u_r \quad (3.12)$$

Burada $j=1,2,\dots,m$ 'dir.

Bu durumda lineerleştirilmiş durum denklemleri yeni şeklini alır.

$$\Delta \dot{x} = A \Delta x + B \Delta u \quad (3.13)$$

$$\Delta y = C \Delta x + D \Delta u \quad (3.14)$$

Burada,

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial u_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial u_r} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_n}{\partial u_1} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial u_r} \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

$$C = \begin{bmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial g_1}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial g_m}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial g_m}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad D = \begin{bmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial u_1} & \dots & \frac{\partial g_1}{\partial u_r} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial g_m}{\partial u_1} & \dots & \frac{\partial g_m}{\partial u_r} \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

3.3. Buhar Türbinleri ve Hız Regülatörlerinin Matematiksel Modeli

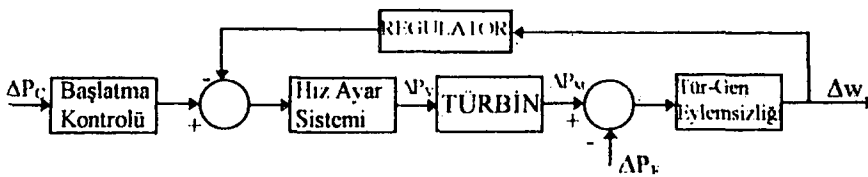
Buhar hız regülatörlerinin esas gayesi türbinlere giden buhar giriş enerjisini kontrol ederek, sabit hızı sağlamak olmasına rağmen, buhar kontrol valfleri ve kesici valfler güç sistemlerinin kararlılığını kolaylaştırıcı olarakta kullanılmaktadır [5].

IEEE Komite Raporunda belirtilen altı adet buhar türbin modeli bulunmaktadır [18]. Bu modeller Tablo 3.1'de sıralanmaktadır.

Tablo 3.1 IEEE tarafından belirlenen buhar türbini tipleri

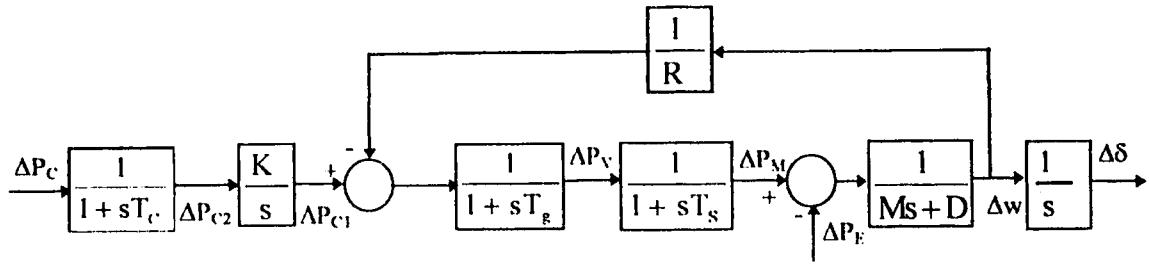
Tip A :	Önsıtmasız türbinler
Tip B :	Tandem bağılı, tek önsıtmalı
Tip C :	Tandem bağılı, çift önsıtmalı
Tip D :	Çapraz bağılı, tek önsıtmalı
Tip E :	D ile aynı, şaft düzeneğı farklı
Tip F :	Çapraz bağılı, çift önsıtmalı

Bu bölümde sadece ön ısıtmasız buhar santralının modeli ve durum denklemleri verilecektir. Diğer türbinler için referans [5], [9] ve [18]'de ayrıntılı bilgiler bulunmaktadır. Önsıtmasız türbine ait blok diyagram Şekil 3.1'de yer almaktadır.



Şekil 3.1 Önsıtmasız buhar santralının blok diyagramı

Şekil 3.1'de verilen blok diyagramından elde edilen lineerleştirilmiş model ise Şekil 3.2'de verilmektedir.



Şekil 3.2 Önsıtmasız buhar santrali lineer modeli

Lineerleştirilen bu sisteme ait durum denklemleri,

$$\dot{X} = AX + BU \quad (3.17)$$

şeklinde verilebilir. Bu eşitlikte durum değişkenleri durum değişkenleri vektörü X^T 'dir. $X^T = [\Delta\delta, \Delta w, \Delta P_M, \Delta P_V, \Delta P_{c1}, \Delta P_{c2}]$ ve $U^T = [\Delta P_f, \Delta P_c]$ 'dir. A ve B matrisleri eşitlik 3.18 ve 3.19'da gösterilmektedir.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-D}{M} & \frac{1}{M} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-1}{T_s} & \frac{1}{T_s} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-1}{RT_r} & 0 & \frac{-1}{T_r} & \frac{-1}{T_r} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-1}{T_c} \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

$$B^T = \begin{bmatrix} 0 & \frac{-1}{M} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{T_c} \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

Eşitlik (3.18) ve (3.19)'de,

M = Momentum eylemsizlik sabitini,

D = Viskoz sürtünme katsayısını,

R = Sürekli hal hız ayarını,

T_s = Türbin zaman sabitini,

T_g = Regülatör zaman sabitini,

K = Başlatma kontrol kazancını,

T_c = Başlatma kontrol zaman sabitini,

göstermektedir [9,18].

3.4. Su (Hidrolik) Türbinleri ve Hız Regülatörleri

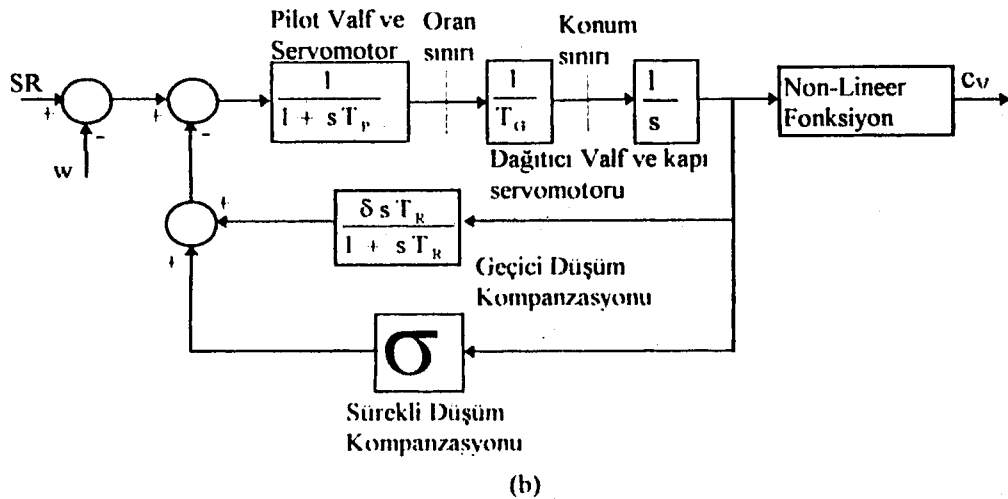
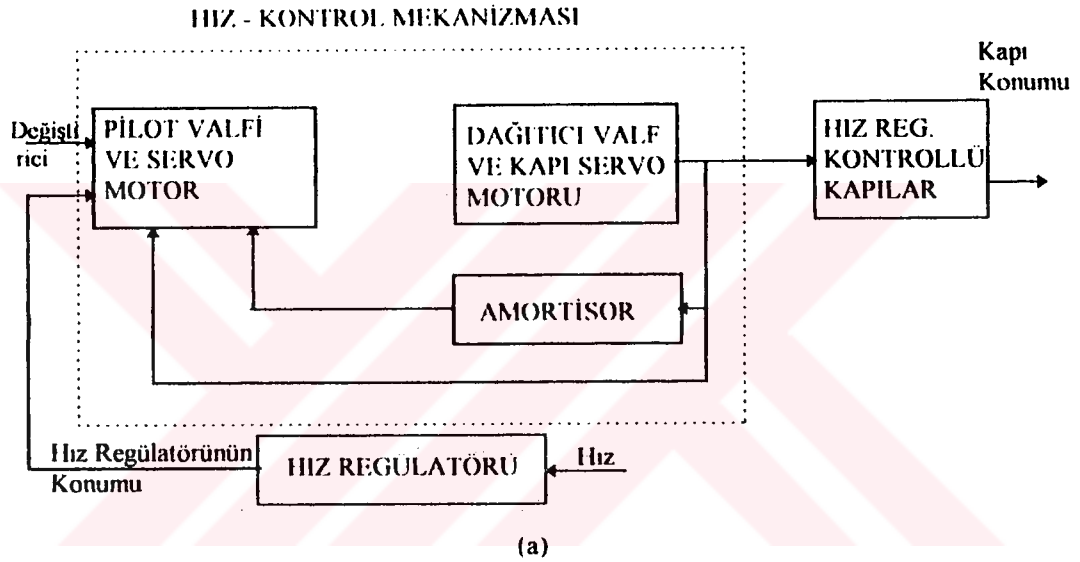
Su türbinleri en eski ve en önemli tahrik elemanıdır. Su türbinlerinin gelişmesi sonucu, günümüzde megawatt'lar seviyesinde güç üretimi için büyük boyutlu modern türbinler ortaya çıkmıştır. En önemli hidrolik türbinler, Kaplan, Francis ve Pelton türbinleridir. Kanatları ayarlanabilen Kaplan türbinleri çok düşük ve orta, Francis türbinleri orta ve yüksek, Pelton türbinleri de çok yüksek su debileri için verimlidir [19].

Daha öncede tarif edildiği gibi, hız regülatörleri tahrik mekanizmasına kumanda ederek, sisteme giren mekanik gücü (su veya buhar) kontrol eder. Bunun amacı giriş ve çıkış gücü arasındaki dengeyi yakalayarak senkron generatörün sabit hızda kalmasını sağlamaktır [5]. Güç çıkışındaki bir artmadan dolayı, grubun hızında bir azalma olduğunda, hız regülatörü türbinin giriş mekanik gücünü artırır. Bir hız artımı durumunda ise türbinin giriş mekanik gücünü azaltarak, hızın sabit kalmasını sağlar. Hız regülatörü, güç sisteminin kararlılığını arttıran bir kontrol elemanıdır [19]

Su santralleri gerek inşaatı ve gerekse enerji dönüşümünün gerçekleştiği türbinlerin yapısı itibarıyla buhar santrallerine göre daha büyük ve daha hantaldır. Bu yüzden, genellikle, temel yük santrali olarak enterekte sistemde kullanılırlar. Buhar santralleri ise puvant yükü karşılarlar. Su santrallerine ait hız regülatörlerinin zaman

cevabı yerel elektromekanik salınımların frekansı ile karşılaştırıldığında daha yavaştır ve yerel mod kararlılığında daha az etkilidir. Yerel salınımları söndürmede buhar santrali regülatörlerine nazaran daha az rol oynar. Bunun yanısıra bölgesel (inter-area) salınımların daha düşük frekanslı olmasından dolayı bu salınımların söndürülmesinde oynadığı rol daha etkindir [5].

Su türbinleri için kurulan mekanik-hidrolik hız regülatörleri, regülatör kumanda bölümünden başka, pilot valfi, servomotor, dağıtıcı (distribütör) valfi ve kapı servo motorundan meydana gelmektedir. Şekil 3.3'de prensip şeması gösterilmektedir.

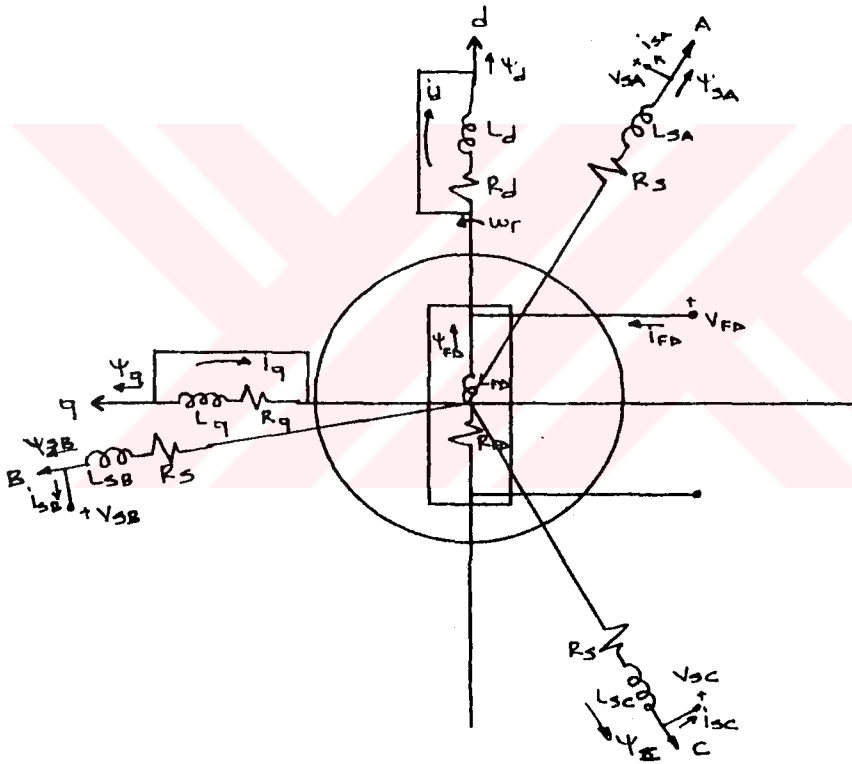


Şekil.3.3 Su türbinleri için mekanik-hidrolik hız regülatörleri
 (a) Fonksiyonel blok diyagram
 (b) Yaklaşık nonlinear model

3.5. Senkron Generatörler

3.5.1 Senkron generatörün genel denklemleri ve park dönüşümleri

Senkron makinanın sargısında magnetik kuplaj olması ve bu magnetik kuplajın rotor konumuna bağlı olması nedeni ile senkron makinanın matematik modelleri, zamanla değişken katsayılı lincer olmayan diferansiyel denklemlerden oluşur. Genel olarak bu denklemler, park dönüşümleri ile sabit katsayılı lincer denklemler biçimine dönüştürülerek çözülür. Bu bölümde çıkık kutuplu, amortisör sargıları bulunmayan senkron generatöre ait matematiksel modeller verilecektir. Şekil 3.4'de bu tür senkron makinaya ait eşdeğer devre verilmiştir.



Şekil 3.4 Çıkık kutuplu senkron generatörün eşdeğer devresi

Senkron generatörün elektriksel yanına ilişkin gerilim denklemleri, stator için;

$$V_s = -R_s I_s - \frac{d(L_s \cdot I_s)}{dt} + \frac{d(M \cdot I_R)}{dt} \quad (3.20)$$

rotor için;

$$V_R = R_R I_R - \frac{d(M \cdot I_R)}{dt} + \frac{d(L_R \cdot I_R)}{dt} \quad (3.21)$$

dir. Burada,

$$V_S = \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix}, \quad V_R = \begin{bmatrix} V_{FD} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad I_S = \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix}, \quad I_R = \begin{bmatrix} I_{FD} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

$$R_S = \begin{bmatrix} R_A & 0 & 0 \\ 0 & R_B & 0 \\ 0 & 0 & R_C \end{bmatrix}, \quad R_R = \begin{bmatrix} R_{FD} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

$$L_S = \begin{bmatrix} L_A & M_{AB} & M_{AC} \\ M_{BA} & L_B & M_{BC} \\ M_{CA} & M_{CB} & L_C \end{bmatrix}, \quad L_R = \begin{bmatrix} L_{FD} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad M = \begin{bmatrix} M_{A,FD} & 0 & 0 \\ M_{B,FD} & 0 & 0 \\ M_{C,FD} & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

Eşitlik 3.20 matris denklemi, senkron makinanın A,B ve C faz sargılarına ilişkin denklem takımını, eşitlik 3.21 matris denklemi, rotor ile birlikte dönen d-q eksenlerine göre yazılmış uyarma sargıları denklemleridir. Stator ve rotor sargıları birbirlerine göre hareket ettiklerinden, karşıt endükleme katsayıları zamana göre değişmektedir. Park dönüşümleri yardımı ile, rotor ile birlikte aynı hızda dönen fiktif boyuna ve enine sargılarına dönüştürülür. Dönüşüm sonucunda, rotor ile birlikte dönen fiktif boyuna ve enine stator sargıları ile, rotorda bulunan uyarma sargıları birbirlerine göre hareket etmediklerinden, karşıt endükleme katsayıları sabit kalır. Böylece, zamanla değişen bir sistem oluşturan gerçek makina yerine katsayıları zamanla değişmeyen bir makina modeli elde edilmiş olur [19]. Eşitlik 3.25'de simetrik Park dönüşüm matrisi verilmektedir. Bu dönüşüm ile senkron makina denklemleri oqd eksenlerine göre düzenlenmektedir.

$$\tau = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\theta & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \sin\theta & \sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

τ ve bunun tersi olan τ^{-1} matrisleri kullanılarak, (odq) dönen koordinatları için gerilim, akım ve akı ifadeleri ise şöyle olmaktadır.

$$V_{odq} = \tau V_{ABC} \quad \text{veya} \quad V_{ABC} = \tau^{-1} V_{odq} \quad (3.26)$$

$$I_{odq} = \tau I_{ABC} \quad \text{veya} \quad I_{ABC} = \tau^{-1} I_{odq} \quad (3.27)$$

$$\Psi_{odq} = \tau \Psi_{ABC} \quad \text{veya} \quad \Psi_{ABC} = \tau^{-1} \Psi_{odq} \quad (3.28)$$

3.5.2. Senkron generatör modeli

Bu bölümde üçüncü derece senkron generatör modeli ele alınacak ve diğer modellerden kısaca bahsedilecektir. Üçüncü derece modelde ikaz sargılarının reaktansları ihmal edilmemiştir. Özellikle dinamik analizlerde bu gereklidir. Ayrıca buradaki modelde ve bundan sonrakilerde per unit değerler kullanılmıştır. Buna göre üçüncü derece modelin durum denklemleri şu şekilde yazılabilmektedir.

$$\dot{w} = \frac{1}{M} (T_m - T_e - T_D)$$

$$\dot{\delta} = w_p (w - 1) \quad (3.29)$$

$$\dot{e}'_q = \frac{1}{T'_{dq}} \left[E_{FD} - e'_q - (x_d - x'_d) i_q \right]$$

Bu denklemlerin eldesinde kullanılan diğer denklemler ise 3.30 ve 3.31'de verilmektedir.

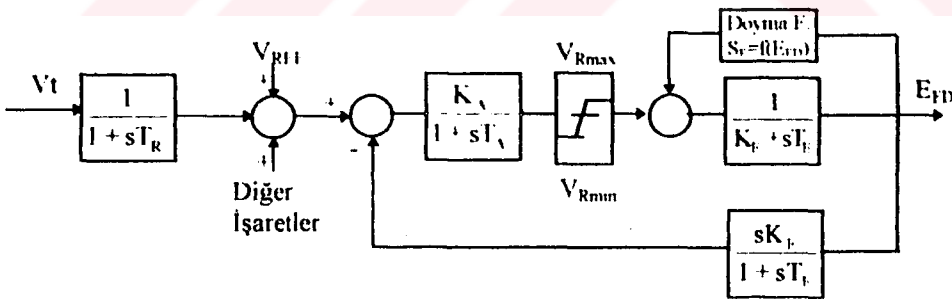
$$T_e \cong P_e \cong \frac{e'_q V_t}{x_d'} \sin \delta + \frac{V_t^2}{2x_d' x_q} (x_d' - x_q) \sin 2\delta \quad (3.30)$$

$$e'_q = v_t + jx_d' i_d + jx_q (j i_q) \quad (3.31)$$

Senkron jeneratörlerin daha yüksek dereceli denklemleri ve durum modelleride bulunmaktadır. Bu modellerde durum değişkenleri artmaktadır. Akılar ve akımlar da değişken olarak kullanılmaktadır. Bu konuda referans [2], [5], [6] ve [8]'e başvurulmalıdır.

3.6. Uyarma Sistemi ve Gerilim Regülatörlerinin Modelleri

Farklı tipte pekçok uyarma sistemi olmasına rağmen, bunları da statik ve dinamik olarak ikiye ayırmak mümkündür. Şekil 3.5'te, bugün kullanımda bulunan modern sistemlerin çoğunda mevcut olan, IEEE tarafından Type-1 olarak tanımlanan [15], sürekli etkili uyarıcı ve gerilim regülatörlü uyarma sisteminin blok diyagramı görülmektedir. Bu model bilgisayar destekli çalışmalarda tercih edilen bir modeldir.



Şekil 3.5 Sürekli etkili uyarma sistemi ve gerilim regülatörü blok diyagramı

Burada V_t , regülatöre uygulanan jeneratör uç gerilimidir. En soldaki blok, T_R zaman sabitli giriş filtresidir. Bir çok sistem için T_R çok küçüktür, bu nedenle ihmal edilebilir.

Regülatör kuvvetlendiricisine giren gerilim hatasını saptamak için, ilk toplama noktasında V_{REF} referans gerilimi ile filtre edilmiş V_t gerilimi ve varsa diğer

kontrolörlerden gelen kararlılaştırıcı işaretler karşılaştırılır. İkinci toplama noktasında, gerilim hata girişi ile uyarmadan alınan geribesleme işareti karşılaştırılır. Gerilim regülatörünün transfer fonksiyonu bir K_A kazancı ve T_A zaman sabiti ile temsil edilir. Diğer toplama noktasına, uyarmanın $S_E=f(E_{FD})$ şeklindeki doyma fonksiyonu ile tanımlanan işaret gelir. Generatörün alan gerilimi ve uyarmanın çıkışı E_{FD} , lineer olmayan bu doyma fonksiyonu ile çarpılır ve regülatör çıkış işaretinden çıkarılarak, uyarmanın transfer fonksiyonu olan $1/(K_F+sT_F)$ 'ye uygulanır. Ana sistemin amortismanı, E_{FD} 'den ilk toplama noktasına gelen geribesleme transfer fonksiyonu $sK_F/(1+sT_F)$ olan kararlayıcı ile beslenir. Bu kararlayıcının amacı, uyarmanın cevabını düzeltmektir. Bu çalışmada küçük işaret bölgesi ile ilgilenildiğinden doyma gözardı edilecektir [19]. Sözkonusu olan 1 nolu uyarma tipinin lineer durum denklemlerinin klasik gösterimi şu şekildedir.

$$\begin{aligned}\Delta\dot{X} &= A\Delta X + B\Delta U \\ \Delta Y &= C\Delta X + D\Delta U\end{aligned}\quad (3.32)$$

$X=[\Delta E_{FD}, \Delta V_R, \Delta V_F]^T$ durum değişkenleri vektörü olarak alınır, durum matrisi olan A matrisi eşitlik 3.33'deki gibi olacaktır.

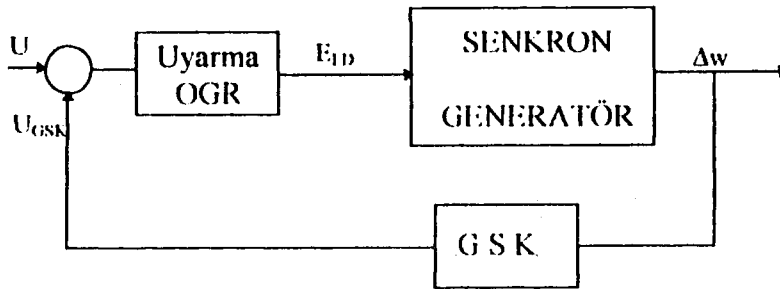
$$A = \begin{bmatrix} \frac{-K_E}{T_E} & \frac{1}{T_E} & 0 \\ 0 & -1 & \frac{-K_A}{T_A} \\ \frac{-K_F K_E}{T_F T_E} & \frac{K_E}{T_F T_E} & \frac{-1}{T_A} \end{bmatrix}\quad (3.33)$$

Durum denklemlerinin diğer matrisleri tanımlanan giriş ve çıkış değerlerine göre değişiklik gösterebilmektedir. Bunun yanısıra daha basit indirgenmiş uyarma modelleri kullanılırsa durum denklemlerinin boyutları da o ölçüde değişecektir. Tam tersi olarak kompleks bir uyarma modeli ile doymanın gözönünde bulundurulduğu uyarma sisteminin durum denklemleri dahada çoğalacaktır.

BÖLÜM 4. GÜÇ SİSTEM KARARLAYICILARI (G.S.K)

4.1. Giriş

Güç sistem kararlayıcıları 1950'lerin sonlarında ve 1960'ların başlarında fikri yapısı ortaya atılan, daha sonraki yıllarda ise teorik ve pratik açıdan geliştirilen yardımcı kontrol elemanıdır. O yıllarda elektrik enerji sistemlerinde sadece gerilim regülatörleri kullanılmaktaydı. Bu regülatörler sistemin dinamik kararlılığını artırmada azımsanmayacak bir rol oynamaktaydılar. Ancak enerji sistemlerinde meydana gelen küçük genlikli ve düşük frekanslı salınımlar uzun süre devam edebilmekte ve güç transferini olumsuz etkilemektedirler. Hatta bu küçük salınımlar senkronizmadan ayrılma sonucuna sistemi götürebilmektedirler. Bu salınımların generatör mil hızında saptalara ve burulmalara yol açması, yük açısının sürekli değişmesi bu olumsuzluklardan bazılarıdır. Bu yıllarda ortaya atılan fikirler, geribesleme ile sistemin kontrolü olarak bilinen, bu mil saptalarının uyarma devresine bir gerilim işareti olarak iletilmesi ve uyarma geriliminin denetlenmesi şeklinde kısaca özetlenebilirler. Şekil 4.1'de GSK ile yardımcı uyarma kontrolünün prensip şemasını gösteren blok diyagram görülmektedir.



Şekil 4.1 GSK'ların sistemin kontrolündeki yeri

aletin tasarımında milin kaçması gibi etkenlerden kaynaklanan gürültünün minimize edilmesi problemi, karşılaşılan en önemli sorunlardan biri olmuştur. Gürültünün kabul edilebilirlik düzeyi, gürültünün frekansına bağlıdır. 5 Hz'in altındaki gürültülerin oranı % 0.02'den az olmamalıdır. Çünkü ikaz gerilimindeki düşük frekanslı değişimler terminal gerilimlerinde önemli değişmelere yol açar. Mil dönme hızına karşılık gelen frekans ve milin kaçması bu anlamda en önemli gürültü bileşenleridir. Bu tip düşük frekans gürültü hareketleri klasik elektrik filtreleriyle yok edilemezler. Fakat hız işaretini ölçme yöntemi ile bu sorun halledilebilir. Bu da milin etrafındaki birkaç turdan alınan sonuçların toplanmasıyla sağlanır.

Mil hızına dayalı kararlayıcıların termal ünitelere uygulanması sırasında burulma osilasyonlarının dikkatlice göz önünde bulundurulması gerekir. Kararlayıcı, rotor osilasyonlarını sönmelerken, burulma modlarının kararsızlığına yol açabilir. Bu problemi çözmek için başarılı bir şekilde kullanılan bu yaklaşımlardan birisi, hızın milin üstünde kritik burulma modu noktalarına yakın bir yerde ölçülmesidir. Buna ilaveten kararlayıcı alanda burulma bileşenlerini azaltmak için elektronik bir filtre devresi kullanılmaktadır.

Birçok termal ünite mil hızının direkt ölçülmesine dayanan kararlayıcılar kullanılmakla birlikte, bu tip kararlayıcıların bazı sınırlamaları vardır. En büyük dezavantajları burulma filtresi kullanmak gerektirmesidir. Bu filtre, kararlayıcı işaretlerin burulma bileşenlerini azaltmak için düşük frekanlarda fazın geri kalmasına sebep olmaktadır.

Fazın geri kalması, uyarma moduna, kararlayıcı etkisini bozacak şekilde etkilemesinden dolayı kabul edilebilir kararlayıcı kazancına sınırlama getirir. Birçok durumda bu şok sınırlayıcı olur ve kararlayıcının sistem salınımlarını sönmlemedeki etkisini azaltır. Delta p omega kararlayıcılarda bu sınırlamaların üstesinden gelinmiştir [8].

4.2.2. Delta -P- omega kararlayıcılar

Delta P omega kararlayıcılar eşitlik 4.1 verilen bağıntı ile tanımlanmaktadır. Bu bağıntı ivmelendirme gücünden, rotor hız sapmalarıyla orantılı işaretin nasıl türetilceğini göstermektedir.

$$\Delta w_{\omega} = \frac{1}{M} \int (\Delta P_m - \Delta P_e) dt \quad (4.1)$$

Burada;

M=Atalet sabitini,

ΔP_m =Mekanik giriş gücündeki değişimi,

ΔP_e =Elektriksel çıkış gücündeki değişimi,

Δw_{ω} =Eşdeğer hız sapmasını,

göstermektedir.

Bu kararlayıcıların esası, hız işareti Δw_{ω} 'nin türetilmesine dayanır ve Δw_{ω} burulma modlarını içermemektedir. Çünkü burulma bileşenleri, doğal olarak, ΔP_e işaretinin integrali ile azaltılmaktadır. Problem, burulma bileşenlerinden bağımsız olarak ΔP_m 'nin ölçülmesidir.

Birçok uygulamada ΔP_m bileşeni ihmal edilmiştir. Ünitadaki yük değişimleri ve mekanik güç değişiminden kaynaklanan diğer olaylar haricinde bu ihmal tatmin edici sonuçlar verir. Bu iki durumda da kararlayıcı işaret olarak sadece ΔP_e kullanıldığı için gerilimde ve reaktif güçte geçici osilasyonlar meydana gelir. Mekanik gücün integrali mil hızına ve elektriksel güce bağlı olarak şöyle ifade edilir.

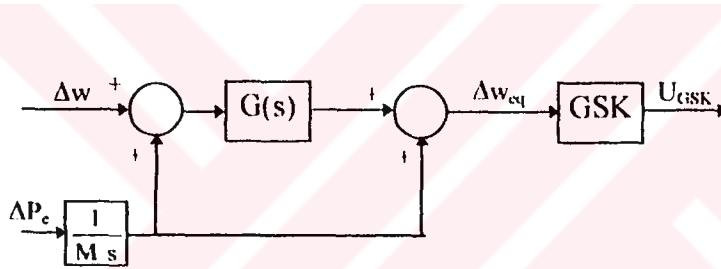
$$\int \Delta P_m dt = M \Delta w + \int \Delta P_e dt \quad (4.2)$$

Delta p omega kararlayıcısı yukarıdaki bağıntıyı kullanarak mekanik güç değişiminin integraliyle orantılı bir işaret üretir. Bunu da mil hızı değişimi ile elektriksel güç

değişiminin integralini orantılı bir şekilde ekleyerek yapar. Fakat bu işaret, filtre kullanılmadığı takdirde burulma modlarını içerir. Hızlı valf hareketlerine rağmen mekanik güç değişimi bağıl olarak yavaş olduğundan, türetilmiş mekanik güç işaretinin integrali basit bir alçak geçiren filtre ile burulma frekanslarından arındırılabilir. Mil hızından ve elektriksel güç ölçümlerinden türetilen rotor hız sapma işaretinin toplam transfer fonksiyonu şu şekilde verilebilir.

$$\Delta w_{\omega}(s) = -\frac{\Delta P_e(s)}{Ms} + G(s) \left[\frac{\Delta P_e(s)}{Ms} + \Delta w(s) \right] \quad (4.3)$$

Burada $G(s)$ burulma filtresinin transfer fonksiyonudur. Buna göre delta p omega kararlayıcının blok diyagramı şekil 4.3'de verilmektedir.



Şekil 4.3 Delta P omega kararlayıcısının blok diyagramı

Delta p omega kararlayıcısının delta omega kararlayıcısına göre iki üstünlüğü vardır.

i.) ΔP_e işaretinin içerdiği yüksek dereceli burulmalar azaldığından genellikle ana kararlayıcı alanda burulma filtresine gerek yoktur. Bu da uyarma modunun kararlılık problemini ortadan kaldırmaktadır. Böylelikle daha yüksek kararlayıcı kazancıyla, sistem salınımlarında daha iyi sönümleme sağlanabilmektedir.

ii.) Mekanik güç işaretini türetmek için basit bir burulma filtresi içeren mil sonu hız algılayıcı bir düzen elektriksel güç ile birlikte kullanılabilir. Bu da bütün birimlerde burulma karakteristiklerine bakılmaksızın standart tasarımın kullanılmasını sağlar [8].

4.2.3. Frekans tabanlı kararlayıcılar

Bazı GSK uygulamalarında kararlayıcı işaret olarak kullanılan terminal frekansı, direkt olarak kararlayıcının girişine uygulanır. Ayrıca simüle edilmiş makina reaktansının gerisindeki gerilime ait frekansın türetilmesi için terminal gerilimi ve akımında kullanılır.

Bu sistemlerin, hız tabanlı kararlayıcılarda olduğu gibi, buhar türbinli ünitelerde kullanılması halinde burulma modlarının filtrelenmesi gerekmektedir. Dış iletim sisteminin zayıflaması ile frekansındaki düşme eğilimi, frekans işaretinin rotor salınımlarına duyarlılığını artırır. Bu zayıf iletim sisteminden kaynaklanan kazançtaki düşümü, kararlayıcı çıkışından elektriksel moment olarak denkleştirmeye çalışır [20]. Bundan dolayı frekans tabanlı kararlayıcıların kazancı, zayıf alternatif akım iletim sistemi durumlarında en iyi performansı verecek şekilde ayarlanmalıdır.

Frekans işareti, yerel salınım modlarına nazaran, büyük bölgeler arasındaki salınım modlarına daha duyarlıdır. Dolayısıyla salınımın bölgesel modlarını sönmülemeye, hız giriş işaretinin kullanılmasına göre daha başarılı bir sonuca ulaşmaktadır. Ancak frekans tabanlı kararlayıcıların bazı kusurları vardır:

- i.) Terminal frekans işareti geçici haller sırasında ani faz kaymalarına maruz kalmaktadır. Bu durum generatörün çıkış büyüklüklerine etkiyen bölge geriliminde tepeler oluşturur.
- ii.) Frekans işareti ark fırınları gibi endüstriyel yüklerden kaynaklanan güç sistemi harmoniklerini içerebilmektedir. Bu birçok durumda frekansın giriş işareti olarak kullanılmasını elverişsiz kılar.
- iii.) Burulma salınımlarının filtrelenmesi gereklidir. Dolayısıyla frekans tabanlı kararlayıcılar delta omega kararlayıcıları ile aynı temel sınırlamaya sahiptir.

4.2.4. Dijital kararlayıcılar

Yukarıda anlatılan kararlayıcı tiplerinin dijital elektronik devreleri ile yapılması sonucu ortaya çıkmıştır. Mikroişlemciler kullanılmaktadır. Özellikle uyarma sistemlerinde dijital olarak üretilmesi sonucu kararlayıcı bu uyarma içinde sadece bilgisayar yazılımı haline gelmektedir [8].

4.3. G.S.K. Bileşenleri

4.3.1. Faz ilerletici bileşeni

GSK, rotor salınımlarını sönmüleyebilmek için rotor hız sapmalarıyla aynı fazda elektriksel moment bileşeni üretmek zorundadır. Dolayısıyla uyarma girişi (yani GSK çıkışı) ile elektriksel moment arasındaki faz gecikmesini kompanze edecek faz ilerletme devrelerine gereksinim vardır. Eğer faz kompanzasyonunun derecesi küçük isteniyorsa birinci dereceden tek bir blok kullanmak yeterlidir. d ekseni açık devre zaman sabiti (T_{d0}) küçük olan hidrolik generatörlerde küçük faz kompanzasyonu istenir. Hatta faz ilerleticiye gerek kalmayabilir.

GSK'nın yerel ve bölgesel salınımlarda sönmüleme yapması istenir. Bu yüzden faz kompanzasyonu GSK'nın yerel ve bölgesel salınımlarını da içeren geniş bir frekans aralığında sönmülene yapacak şekilde tasarlanır.

4.3.2. Kararlayıcı işaret filtresi

İşaret filtresi, uyarma gerilimini ayarlarken hızda meydana gelen sürekli değişimleri önleyen yüksek geçiren bir filtredir. Filtre zaman sabiti T_w rotor hızından kaynaklanan salınımları değiştirmeden geçirecek kadar büyük olmalıdır. T_w değeri kritik bir değer değildir. ve 1-20 saniye arasında değişebilir. Bu değer seçilirken, T_w 'nin istenilen frekanstaki işaretleri değiştirmeden geçirecek kadar büyük fakat sistem izolasyonu durumlarında, kararlayıcının çalışmasından dolayı, generatör

geriliminde istenmeyen dalgalanmalara yol açacak kadar büyük olmamasına dikkat edilir. Çünkü kararlayıcı ideal olarak bütün sistemdeki frekans değişimlerine cevap veremez.

0.8-2.0 Hz'lik yerel mod salınımlarında 1.5 saniyelik T_w değeri tatmin edicidir. Düşük frekanslı bölgesel salınımları söndürmesi için 10 saniye ve daha büyük olması istenir. Çünkü küçük zaman sabitleri düşük frekanslarda büyük faz ilerlemesine neden olur.

4.3.3. Kararlayıcı kazancı

Kararlayıcı kazancı K_{PSS} 'nin rotor salınımlarını sönmlemede büyük bir etkisi vardır. Kazancı değeri belirlenirken, geniş bir aralıktaki etkileri göz önünde bulundurulur. Kararlayıcı kazancı arttıkça bir noktaya kadar sönmleme artar, fakat kazanç daha fazla arttırılırsa sönmlemede düşme gözlenir. İdealde kararlayıcı kazancı maksimum sönmleme sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır.

4.3.4. Kararlayıcı limitleri

Kararlayıcı pozitif çıkış limiti bağıl olarak büyük bir değer olan 0.1-0.2 pu aralığında ayarlanır. Bu GSK'nın büyük dalgalanmalara yüksek düzeyde müdahale etmesini sağlar. Böyle büyük değerli kararlayıcı çıkış limitleriyle generatör terminal gerilimi 1.12-1.15 pu aralığında sınırlandırılabilir. Bu yüzden terminal gerilimi sınırlayıcısıda kullanmak gerekir. Negatif yönde ise -0.05 ve -0.1 pu limitleri uygundur ve bu limitler tatmin edici dinamik cevap için gerekli kontrol aralığını sağlar.

4.4. GSK Uygulamalarının İlkeleri

GSK uygulamalarını anlatmak için Şekil 4.2'deki blok diyagram ait sistem parametreleri aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\begin{array}{lllll} K_1=1.591 & K_3=0.333 & T_3=1.91 & K_6=0.3 & H=3.0 \\ K_2=1.5 & Gex(s) & K_A=200 & K_5=-0.12 & K_D=0.0 \end{array}$$

T_R , T_3 'e göre çok küçük olduğundan, GSK'nın performansını hesaplariken ihmal edilebilir. Bu ihmal analizini sonucu önemli derecede etkilemez. Şekil 4.2'deki diyagramdan, T_R ihmal edilmişken, $\Delta E'_q$ şöyle hesaplanabilir.

$$\Delta E'_q = \frac{K_3 K_A}{1 + sT_3} (-K_6 \Delta E'_q + \Delta U_{PSS}) \quad (4.4)$$

burada $T_3 = K_3 T'_{d0}$ 'dir. Böylece,

$$\begin{aligned} \frac{\Delta E'_{FD}}{\Delta U_{PSS}} &= \frac{K_3 K_A}{sT_3 + 1 + K_3 K_6 K_A} = \frac{0.333 \times 200}{1.91s + 1 + 0.333 \times 0.3200} \\ &= \frac{66.66}{1.91s + 21} \end{aligned} \quad (4.5)$$

10 rad/s frekansındaki bir rotor osilasyonunu sönmüleyecek gerekli sönmüleyici momenti üretmek için uygun faz kompanzasyonunu şöyle hesaplayabiliriz. ($s = j\omega = j10$)

$$\frac{\Delta E'_q}{\Delta U_{PSS}} = \frac{66.66}{21 + j19.1} \quad (4.6)$$

PSS Ke olduğundan $\Delta T_{PSS} = \Delta T_c$ 'dir. bu yüzden 10 rad/s'lik bir frekansta gerekli olan kompanzasyon şöyledir.

$$\frac{\Delta T_{PSS}}{\Delta U_{PSS}} = K_e \frac{66.66}{21 + 19.1s} = \frac{1.5 \times 66.66}{21 + 19.1s} \quad (4.7)$$

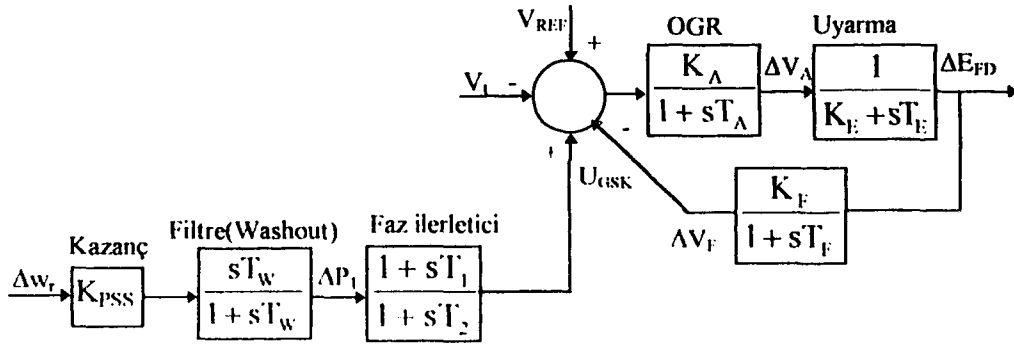
$$= 3.522 \angle -42.3^\circ$$

Eğer ΔT_{PSS} , $\Delta \omega_r$ ile aynı fazda ise $\Delta \omega_r$ işareti, 10 rad/s'lik osilasyon frekansında, faz ilerletme devresiyle $B=42.3^\circ$ ilerleyecek şekilde işlenmelidir. Böylece $\Delta T_{PSS}=(\omega=10$ 'da GSK'nın kazancı) $3.522 \cdot \omega_r$ olmaktadır.

Faz ilerletme devresiyle ΔT_e ve ΔU_{PSS} arasındaki faz gecikmesinin kompanzasyonu saf sönümleyicidir. GSK'dan kaynaklanan $\omega=10$ rad/s'deki sönümleyici moment katsayısı $K_D(\text{GSK})=(\text{GSK kazancı}) 3.522$ olacaktır. Otomatik gerilim regülatörü (OGR)'nden kaynaklanan K_D katsayısını -12.27 alırsak OGR ve GSK'nın etkilerini içeren net K_D kazancı -8.748 olmaktadır. GSK, OGR'nün çalışmasından dolayı meydana gelen negatif sönümlemeyi $12.27/3.522=3.482$ 'lik bir kazançla sönümleyebilir ve GSK'nın kazancı arttırıldıkça sönümlene oranında artar.

Eğer faz ilerletme devresi ΔT_e ve ΔU_{PSS} arasındaki faz gecikmesini gereğinden fazla kompanza ederse, GSK momentin sönümleyici bileşeniyle karşı karşı gelir. Bunun tersi olarak, yetersiz kompanzasyon durumunda ise pozitif senkronizasyon bileşeni meydana gelir. Genellikle GSK'nın tek bir frekans yerine belli bir frekans aralığında rotor salınımlarına müdahale etmesi istenir. Bunun için GSK parametrelerinin öz ayarlamalı değiştirilmesi gibi adaptif kontrol teknikleri günümüzde uygulanmaktadır. [8].

Bu aşamada GSK'larının temel yapıları, modellenmesi ve performansı, Şekil 4.4'de verilen IEEE 1 nolu uyarma tipi yardımıyla incelenecektir. GSK'lı sistemin durum matrisinin elde edilmesi anlatılacaktır. Burada küçük işaret kararlılığı incelemesi söz konusu olduğu için özgün modellerde yer alan kararlayıcı ve uyarma çıkış limitleri dikkate alınmayacaktır.



Şekil 4.4. OGR ve GSK'yi içeren ikaz sistemi blok diyagramı

4.5. GSK ' ılı Sistemin Durum Denklemlerinin Bulunması

Daha önceki bölümlerde bir generatörün lineer blok diyagramı ve durum denklemleri ayrı ayrı elemanlar halinde verilmişti. Bu bölümde ise tüm sistemin durum denklemleri GSK, OGR ve hız regülatörü var iken elde edilecektir. Böyle bir sistemin durum değişkenleri vektörü ve giriş vektörü şu şekilde verilebilir. Bu işlemde buhar türbini ve hız regülatörünün bulunduğu sistem incelenmiştir.

$$X=[\Delta\delta, \Delta w, \Delta E_{FD}, \Delta E'_q, \Delta V_{\Delta}, \Delta V_F, \Delta U_{PSS}, \Delta U_{PI}, \Delta T_m, \Delta P_V]^T$$

$$Y=[\Delta\delta, \Delta w]^T$$

$$U=[\Delta V_{REF}, \Delta w_{REF}]^T$$

Bu değişkenler için sonsuz barayı bir hat üzerinden besleyen senkron generatörün lineerleştirilmiş durum denklemlerinin A,B,C,D matrisleri şu şekilde elde edilir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1,10} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2,10} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{10,1} & a_{10,2} & \dots & a_{10,10} \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

A matrisinin elemanlarının açık şekli Ek-C de verilmektedir.

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{K_A}{T_A} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{T_{cl}} \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

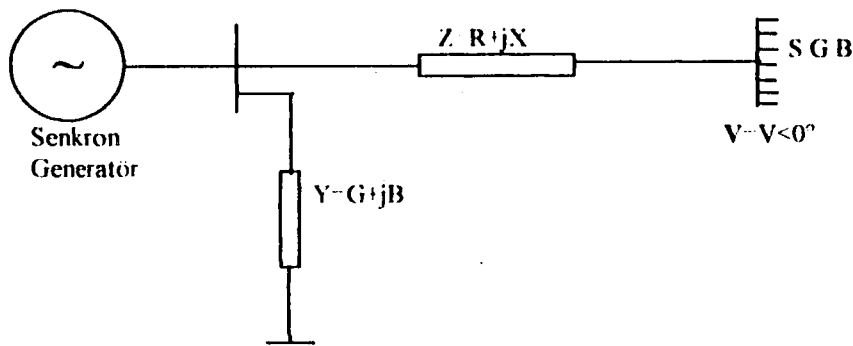
$$D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

BÖLÜM 5. GÜÇ SİSTEMLERİNİN GSK İLE KONTROLÜ

Tezin bu bölümünde şimdiye kadar yapılan teorik çalışmaların bilgisayarda benzetimi yer almaktadır. Önceki bölümlerde lineer durum denklemleri ve bu denklemlerden yola çıkılarak kurulan blok diyagramları verilmişti. Bu bölümde ise bu bilgilerden yola çıkılarak bilgisayarda kurulan bu modellerin simülasyonundan elde edilen sonuçlar açıklanacaktır. Tek makina ve sonsuz baradan oluşan güç sistemi simülasyonları verilecektir.

5.1. Tek Makina-Sonsuz Bara Güç Sisteminde GSK Uygulamaları

Bu çalışmada kullanılan örnek sistem ve değişkenleri aşağıda verilmiştir.

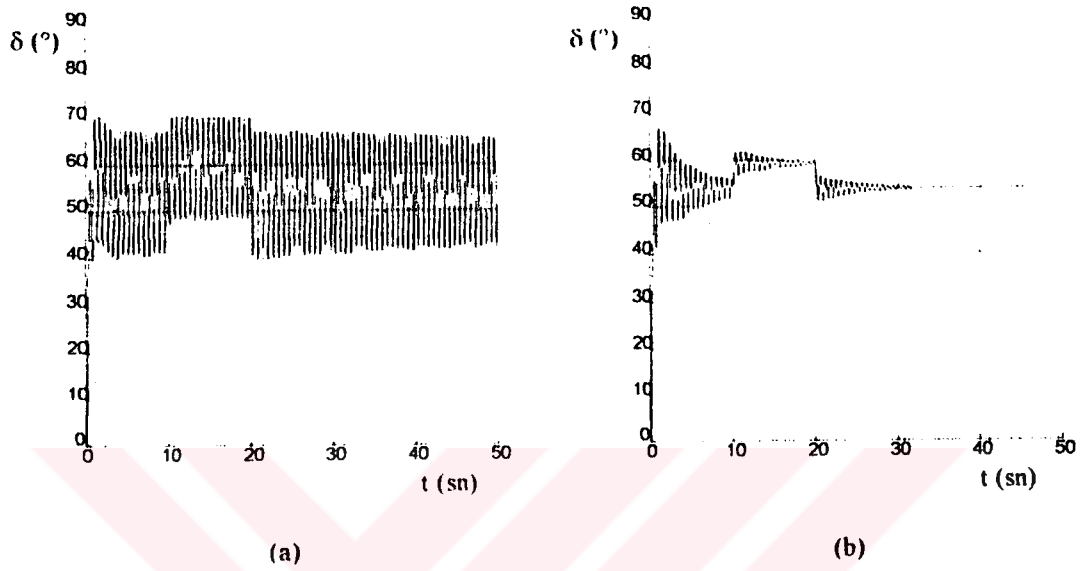


Şekil.5.1 Simülasyonlarda kullanılan örnek sistem

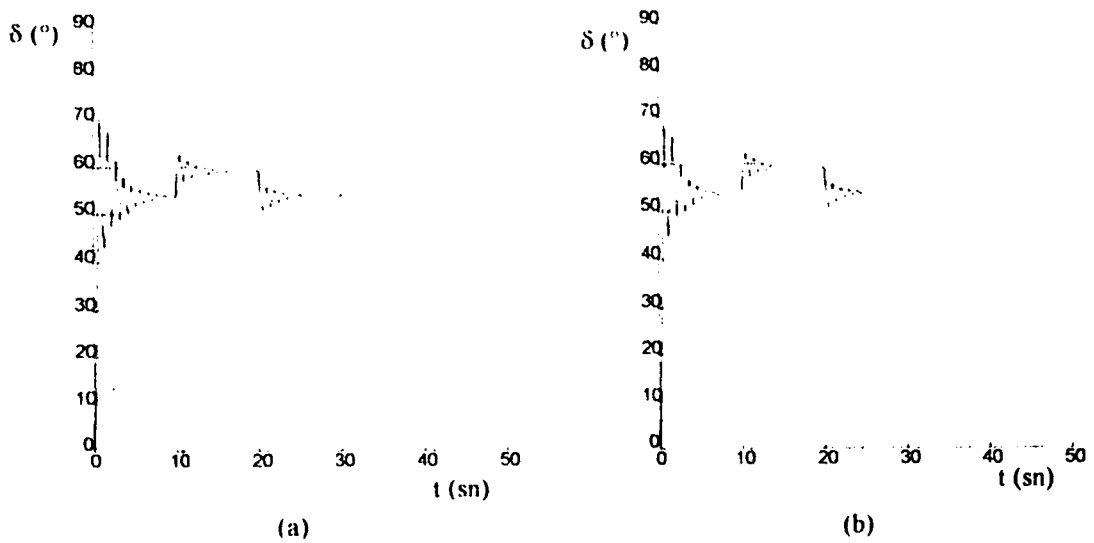
Şekil 5.1'deki sisteme ait parametreler Ek-A'da verilmektedir. Yapılan bilgisayar uygulamalarında önceki bölümlerde verilen lineer generatör modeli kullanılmıştır. Bu lineer generatör modeli Şekil 5.2'de tekrar verilmiştir.

5.2. GSK'sız Generatörün Bozucu Etkilere Cevabı

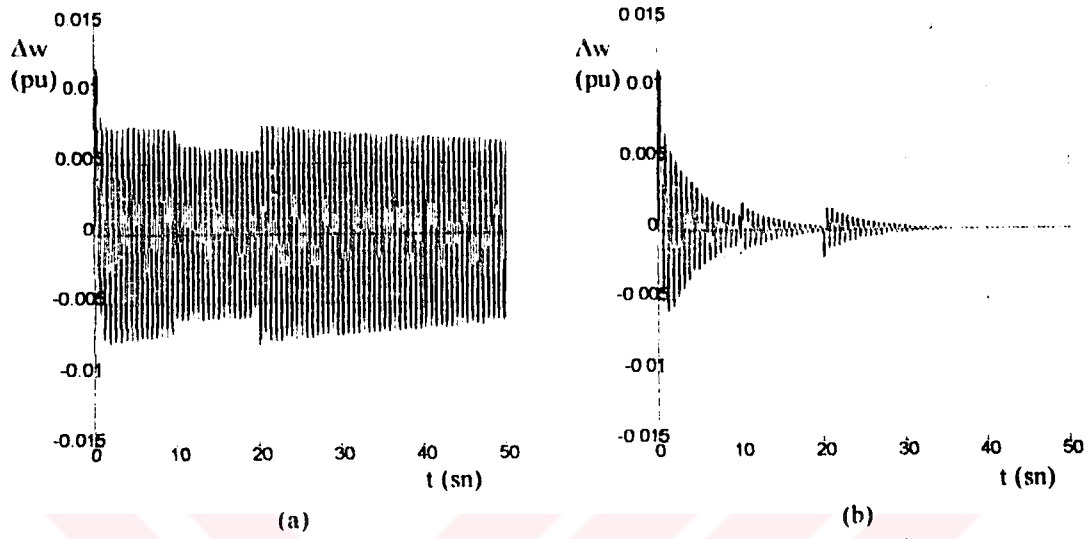
5.2.1. %10'luk yük artması durumu



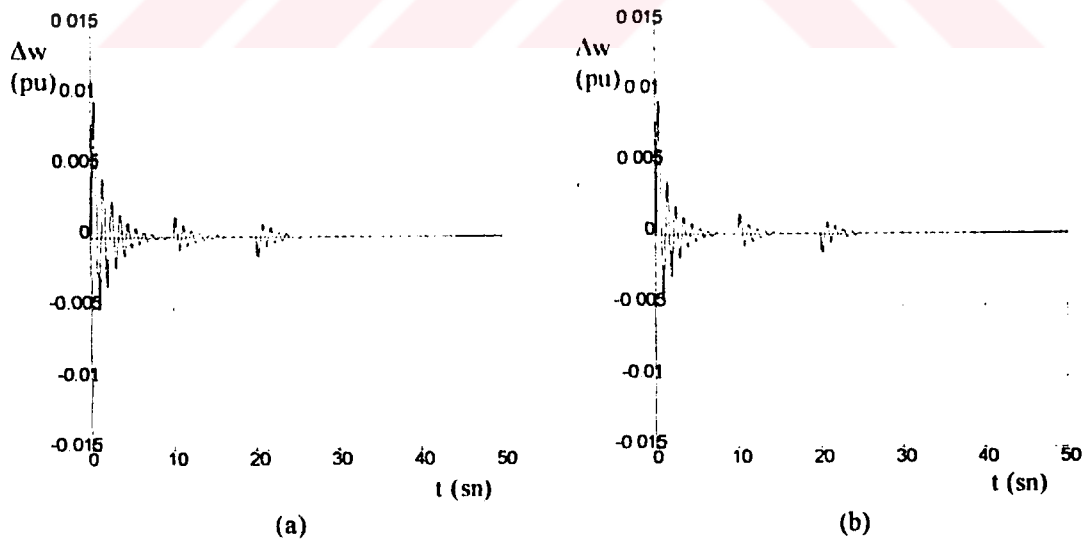
Şekil 5.3 GSK'sız generatörün rotor açısı (δ) değişimi (10-20 sn.'lerde % 10'luk güç artışı için)
 (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken
 (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken.



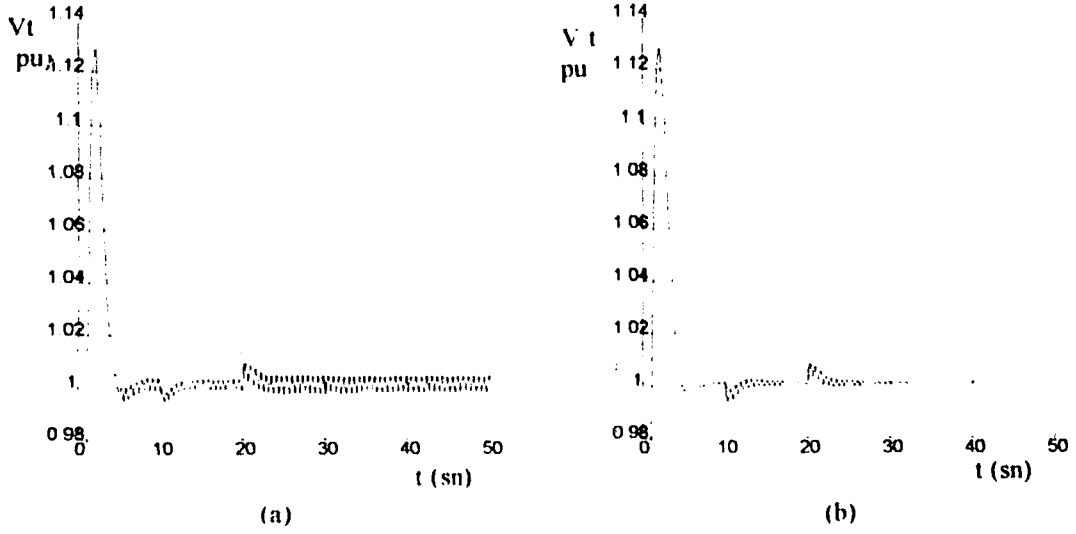
Şekil 5.4 GSK'sız generatörün rotor açısı (δ) değişimi (10-20 sn.'lerde % 10'luk güç artışı için)
 (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken.



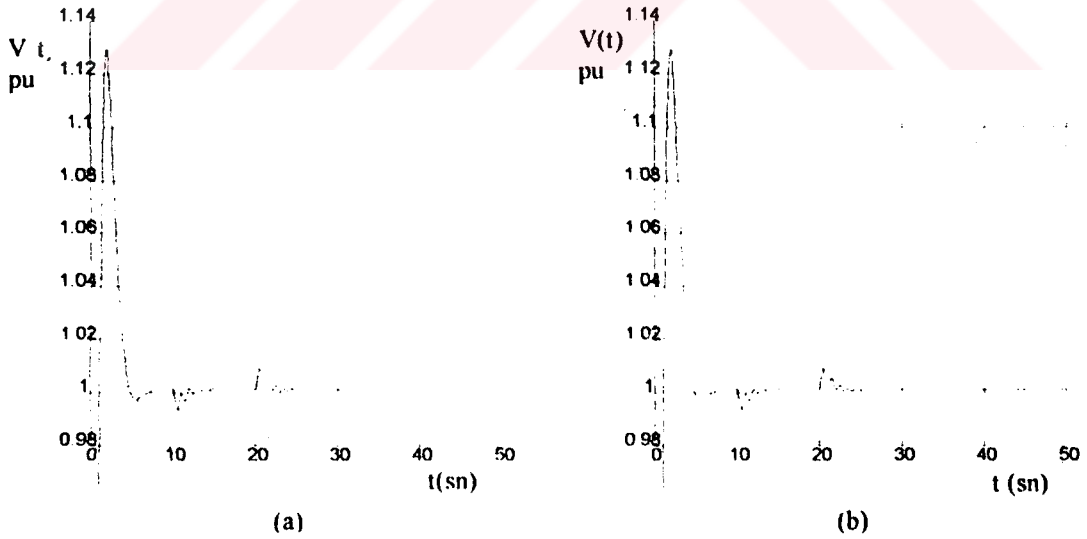
Şekil 5.5 GSK'sız generatörün rotor hız sapmalarının (Δw) değışimi (10-20 sn.'lerde % 10'luk güç artışı için)
 (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken.



Şekil 5.6 GSK'sız generatörün rotor hız sapmalarının (Δw) değışimi (10-20 sn.'lerde % 10'luk güç artışı için)
 (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken.

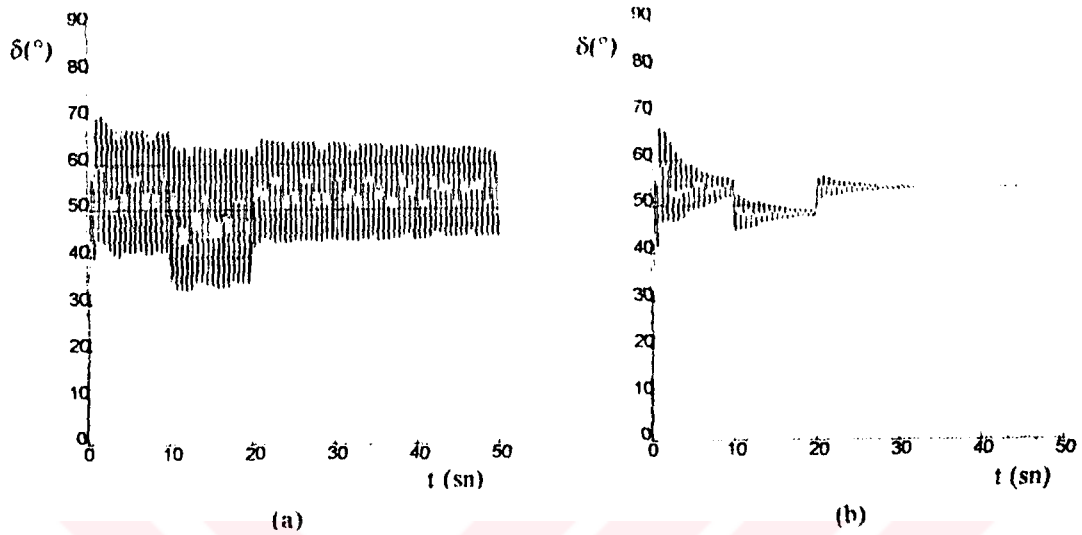


Şekil 5.7 GSK'sız generatörün uç geriliminin (V_t) değişimi (10-20 sn.'lerde % 10'luk güç artışı için)
 (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken.

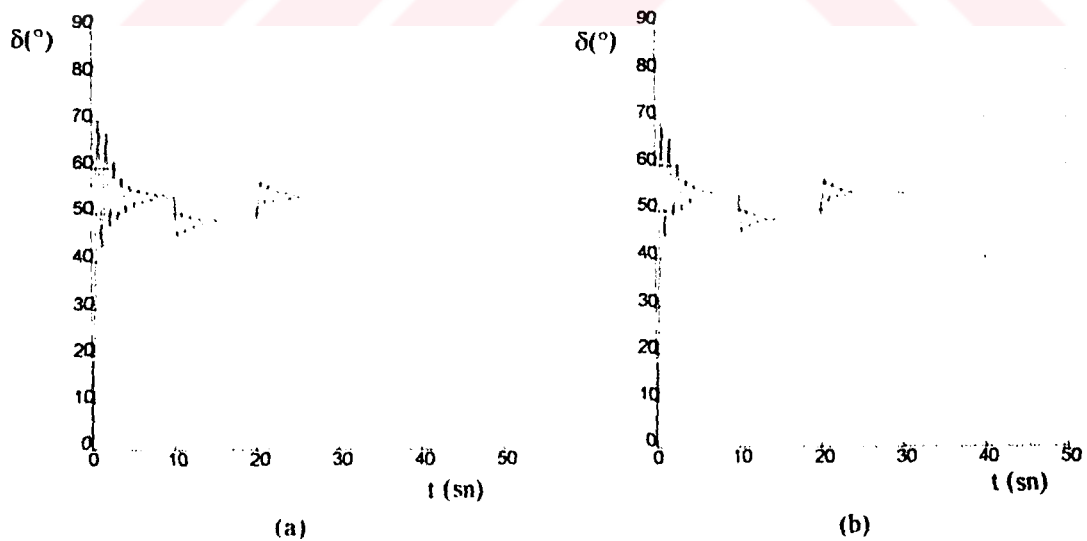


Şekil 5.8 GSK'sız generatörün uç geriliminin (V_t) değişimi (10-20 sn.'lerde % 10'luk güç artışı için)
 (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken
 (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken

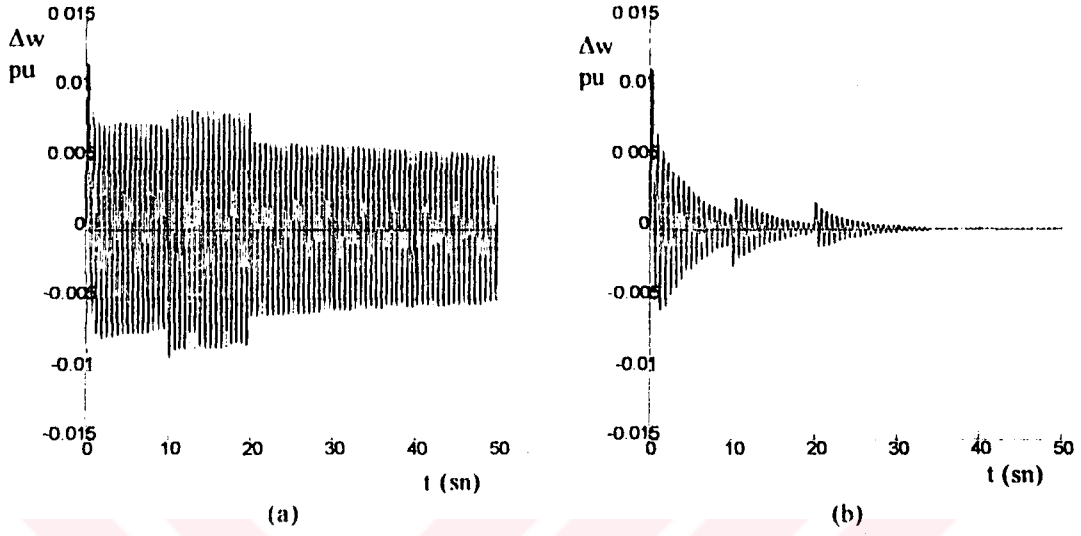
5.2.2. %10'luk yük azalması durumu



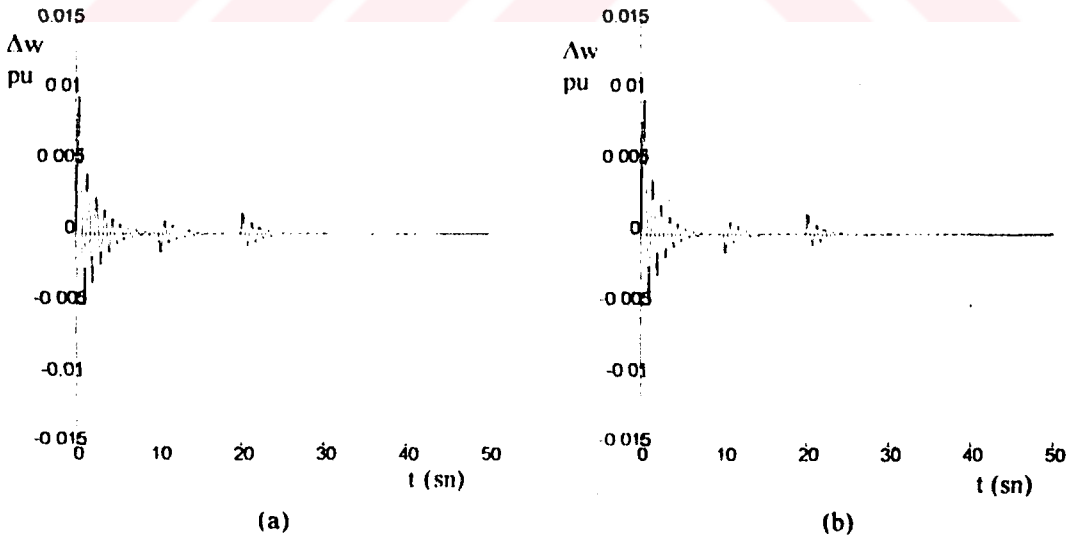
Şekil 5.9 GSK'sız generatörün rotor açısı (δ) değişimi (10-20 sn.'lerde % 10'luk yük azalması için)
 (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken



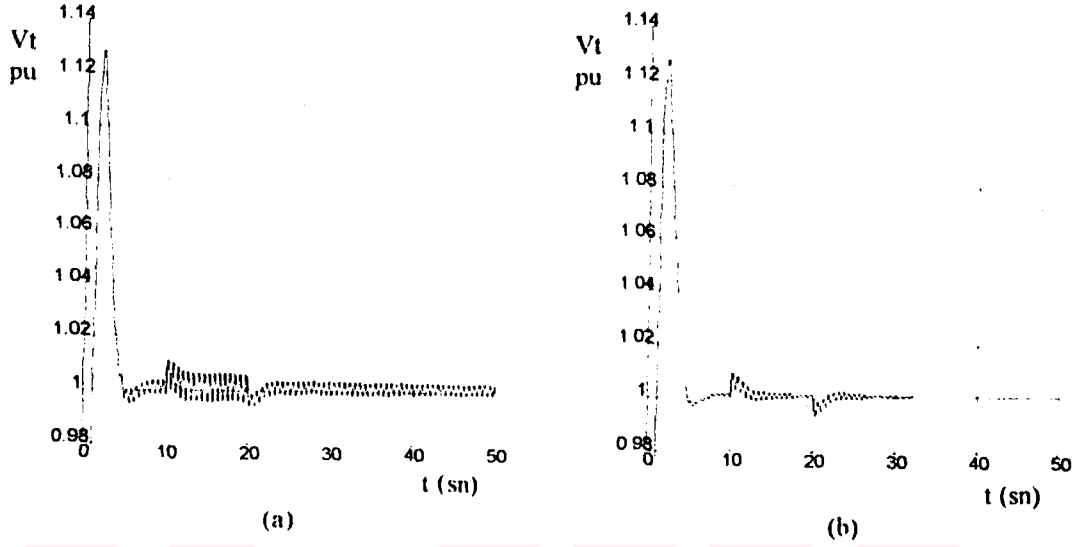
Şekil 5.10 GSK'sız generatörün rotor açısı (δ) değişimi (10-20 sn.'lerde % 10'luk yük azalması için)
 (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken.



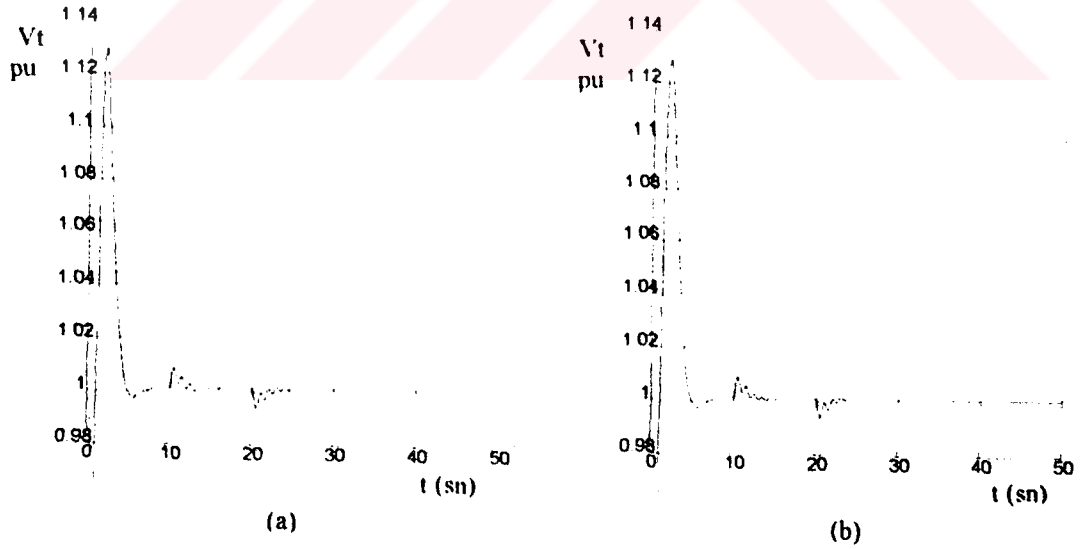
Şekil 5.11 GSK'sız generatörün rotor hız sapmalarının (Δw) değişimi (10-20 sn.'lerde % 10'luk yük azalması için)
 (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken.



Şekil 5.12 GSK'sız generatörün rotor hız sapmalarının (Δw) değişimi (10-20 sn.'lerde % 10'luk yük azalması için)
 (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken.



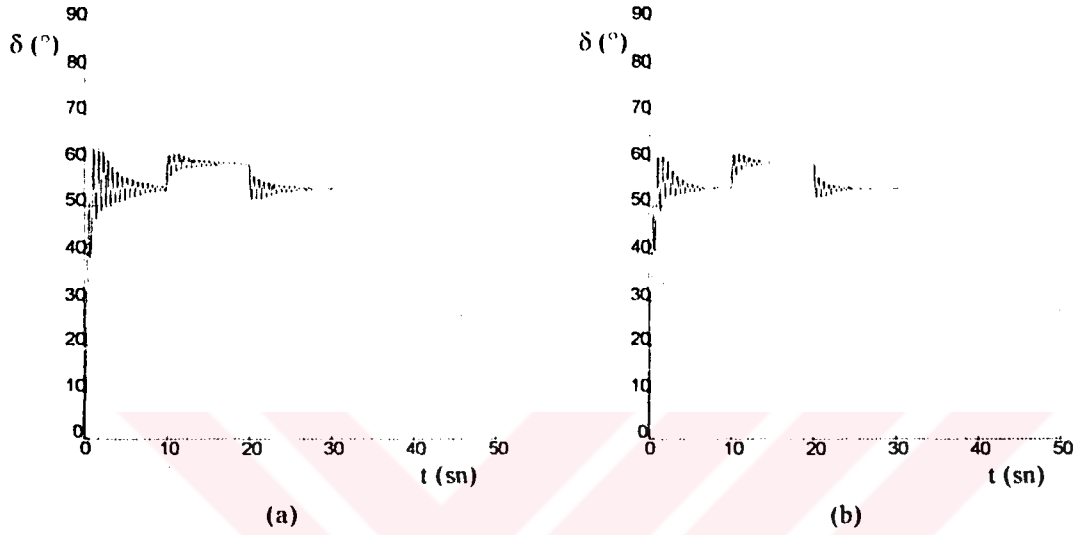
Şekil 5.13 GSK'sız generatörün uç geriliminin (V_t) değişimi (10-20 sn.'lerde % 10'luk yük azalması için)
 (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken.



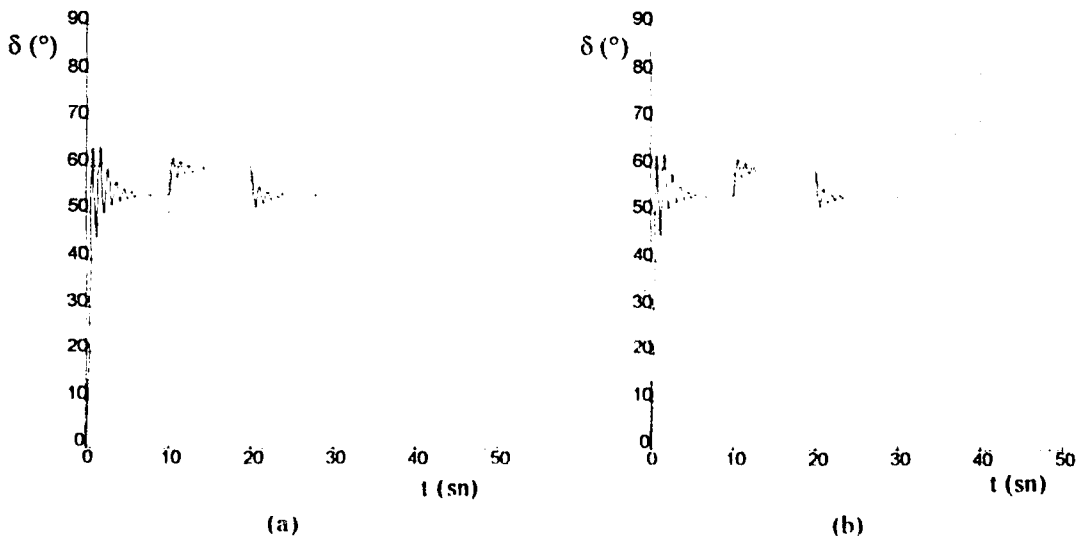
Şekil 5.14 GSK'sız generatörün uç geriliminin (V_t) değişimi (10-20 sn.'lerde % 10'luk yük azalması için)
 (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken.

5.3. Delta - Omega Tip GSK'lı Generatörün Bozucu Etkiye Cevabı

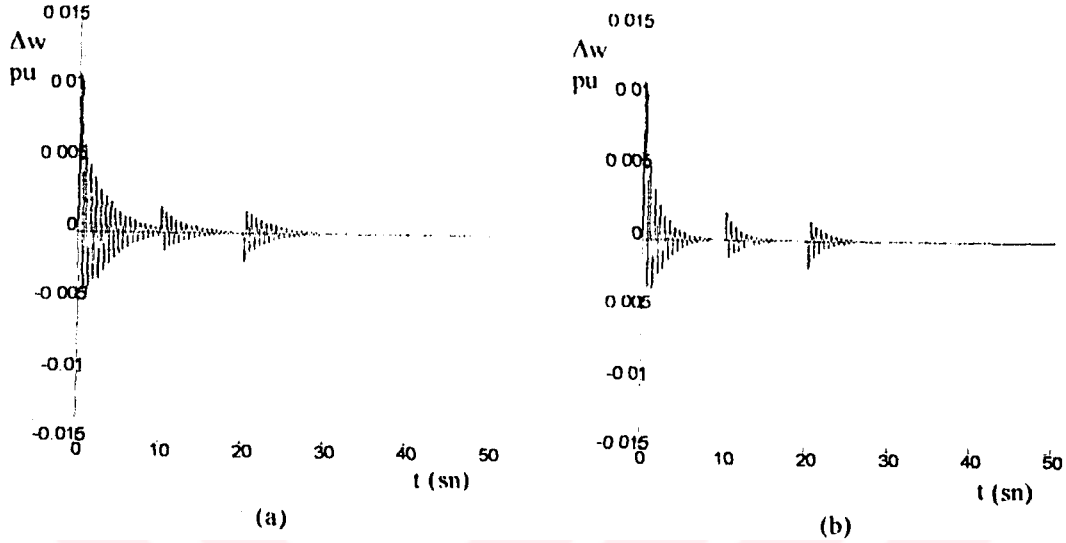
5.3.1 %10'luk yük artması durumu



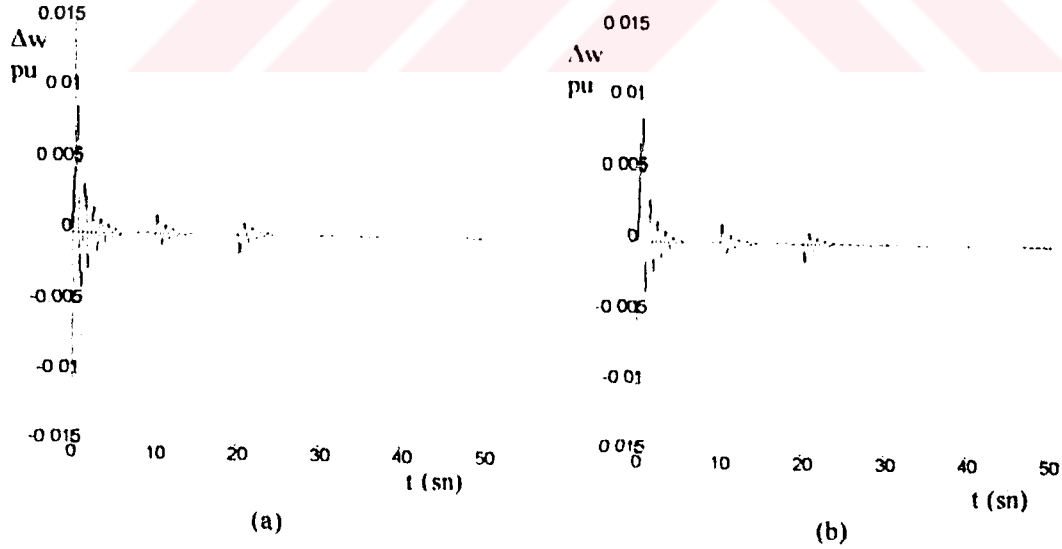
Şekil 5.15 Delta - omega GSK'lı generatörün rotor açısı (δ) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken



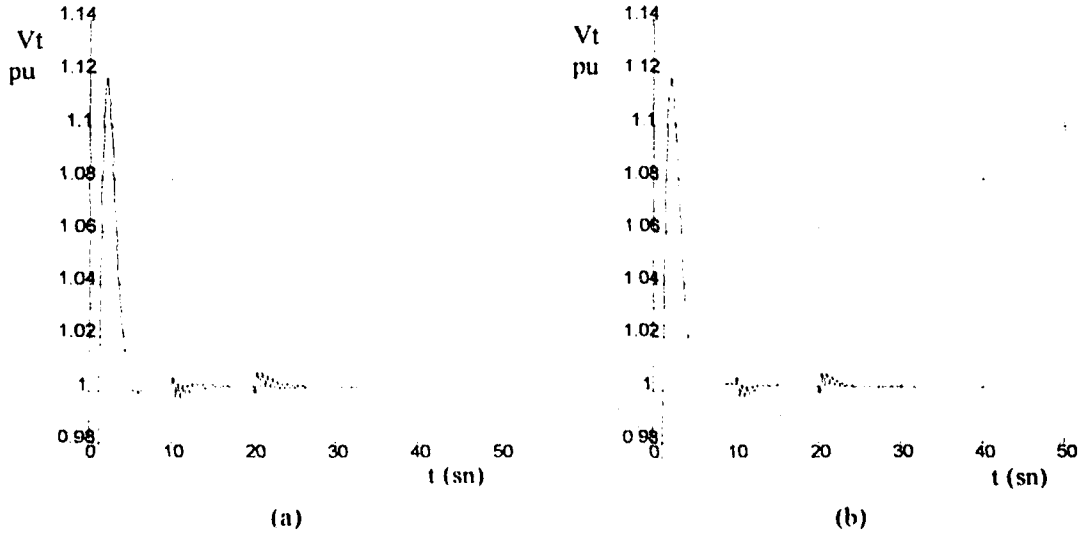
Şekil 5.16 Delta - omega GSK'lı generatörün rotor açısı (δ) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken



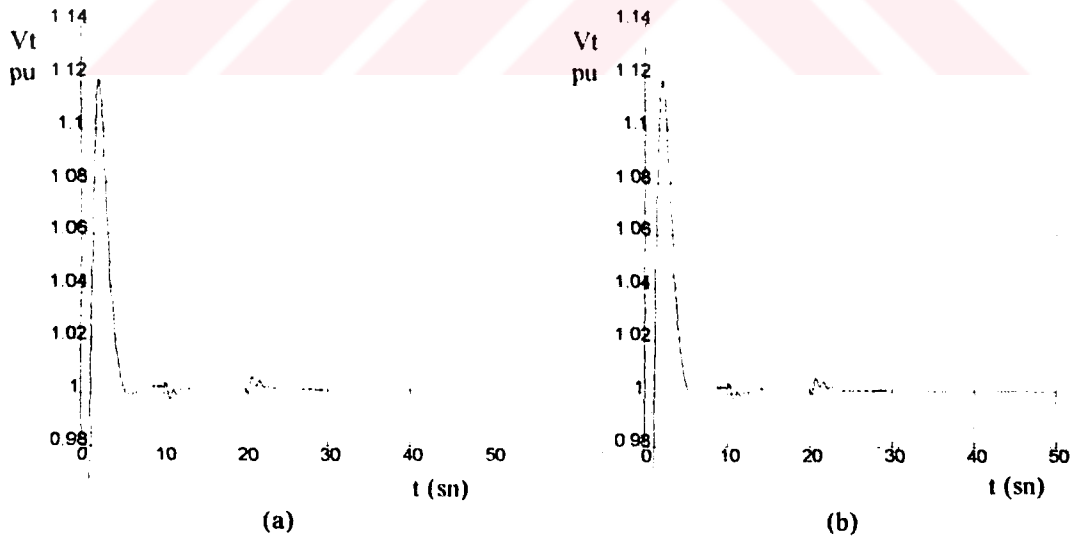
Şekil 5.17 Delta - omega GSK'lı generatörün rotor hız sapmalarının (Δw) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken



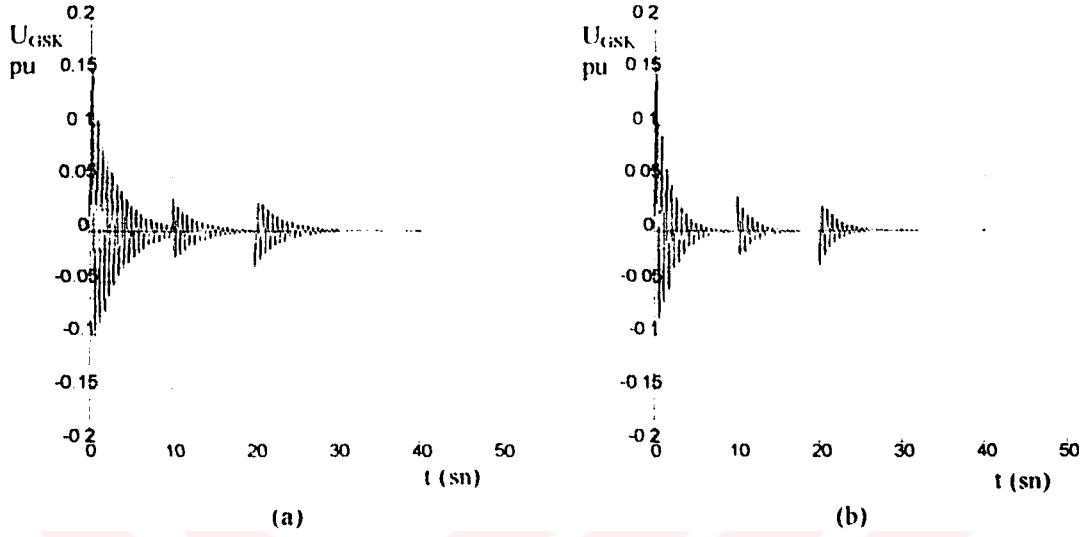
Şekil 5.18 Delta - omega GSK'lı generatörün rotor hız sapmalarının (Δw) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken



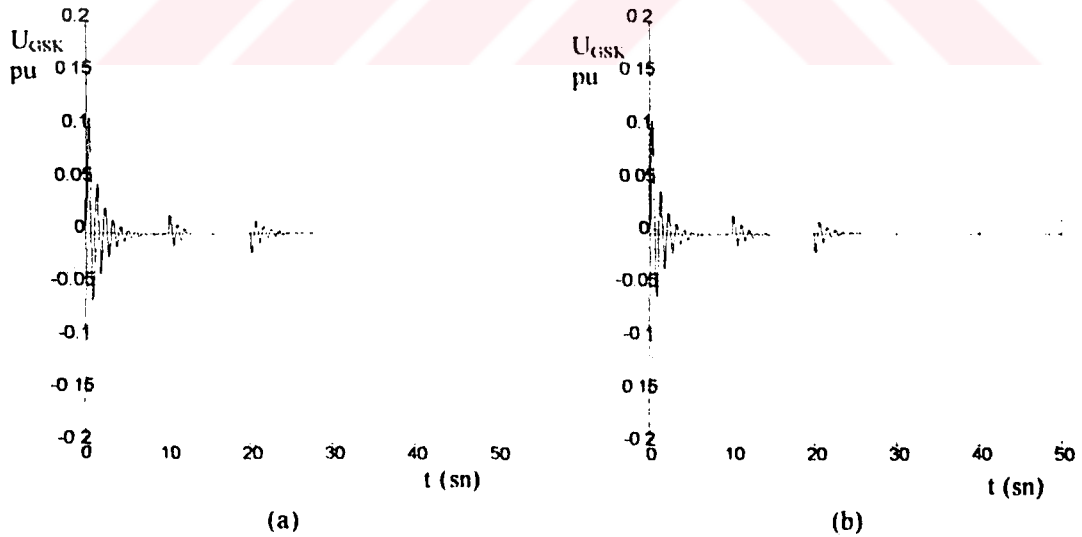
Şekil 5.19 Delta - omega GSK'lı generatörün uç geriliminin (V_t) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken



Şekil 5.20 Delta - omega GSK'lı generatörün uç geriliminin (V_t) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken

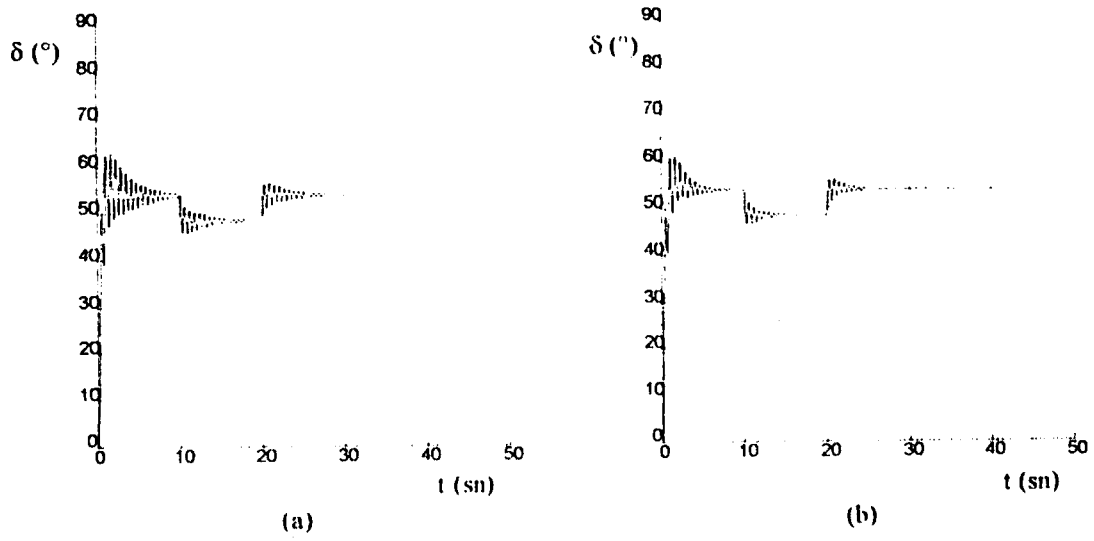


Şekil 5.21 Delta - omega kararlayıcının bozucu etki cevabı (U_{GSK}) (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken
 (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken

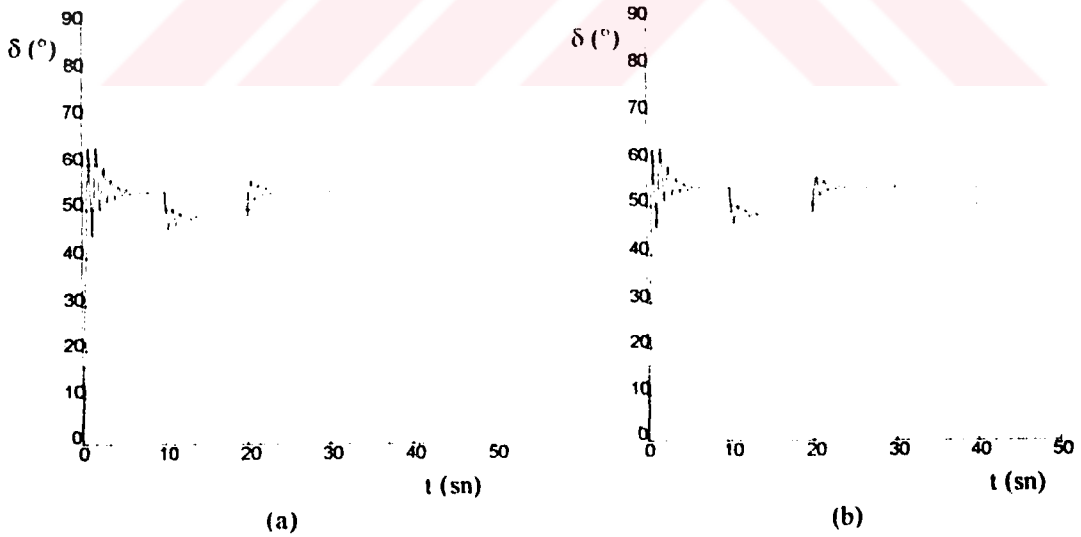


Şekil 5.22 Delta - omega kararlayıcının bozucu etki cevabı (U_{GSK}) (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken
 (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken

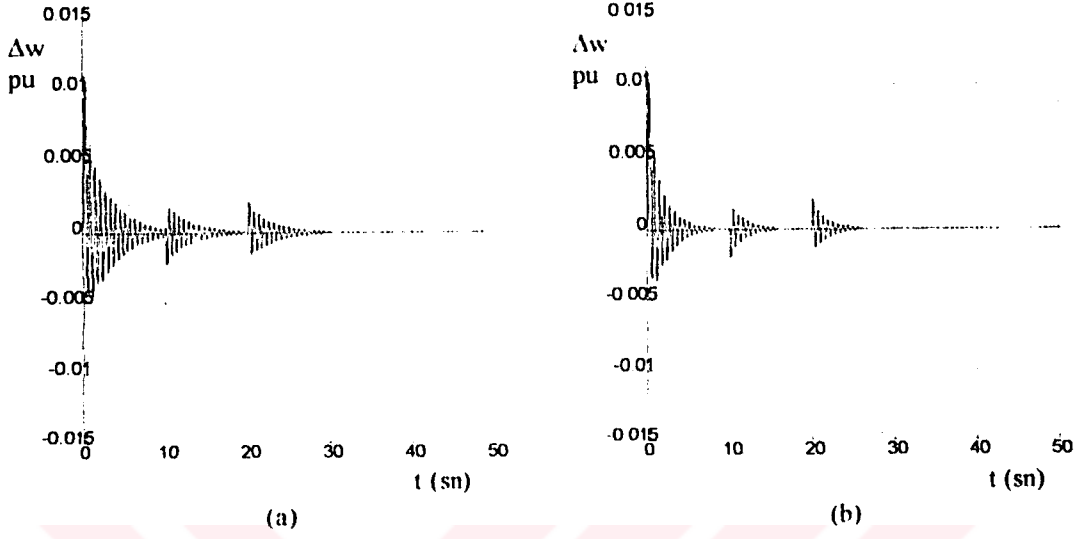
5.3.2 %10'luk yük azalması durumu



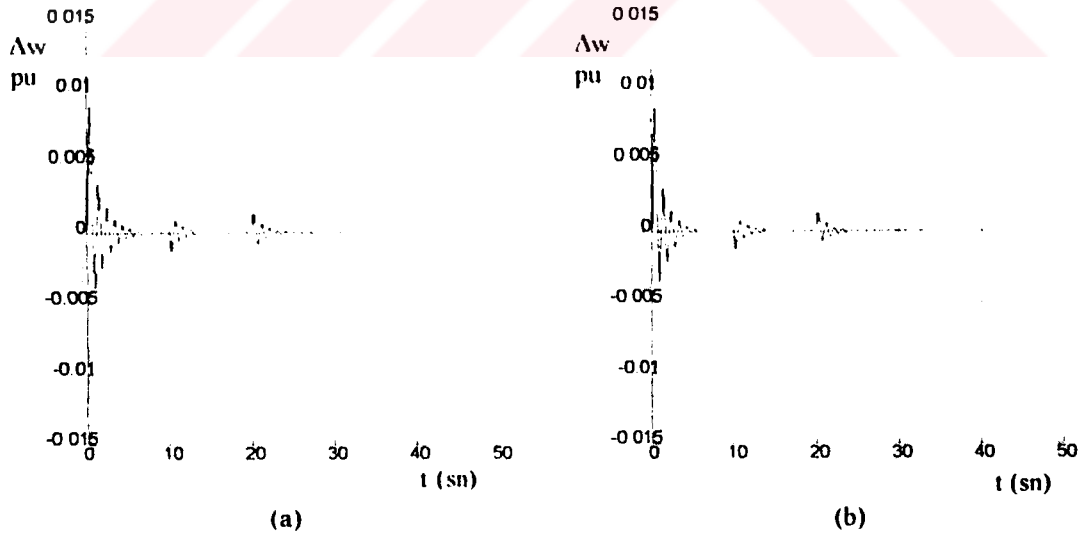
Şekil 5.23 Delta - omega GSK'lı generatörün rotor açısı (δ) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken



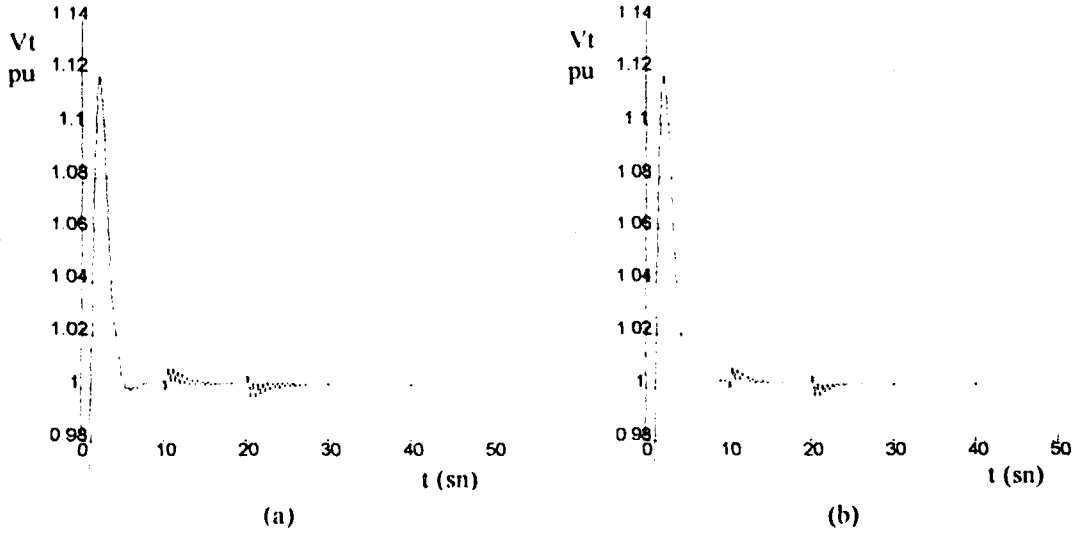
Şekil 5.24 Delta - omega GSK'lı generatörün rotor açısı (δ) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken



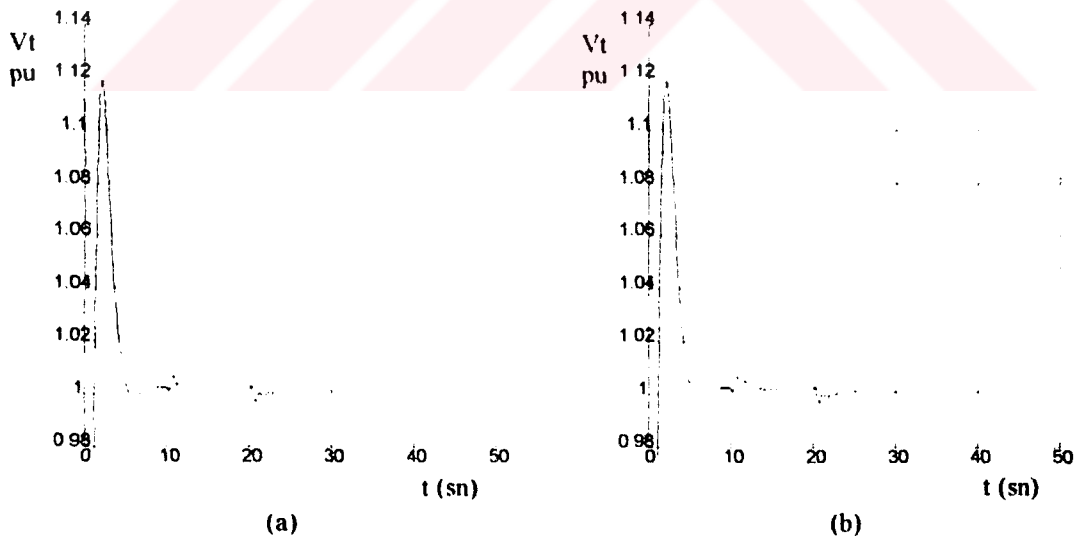
Şekil 5.25 Delta - omega GSK'lı generatörün rotor hız sapmalarının (Δw) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken



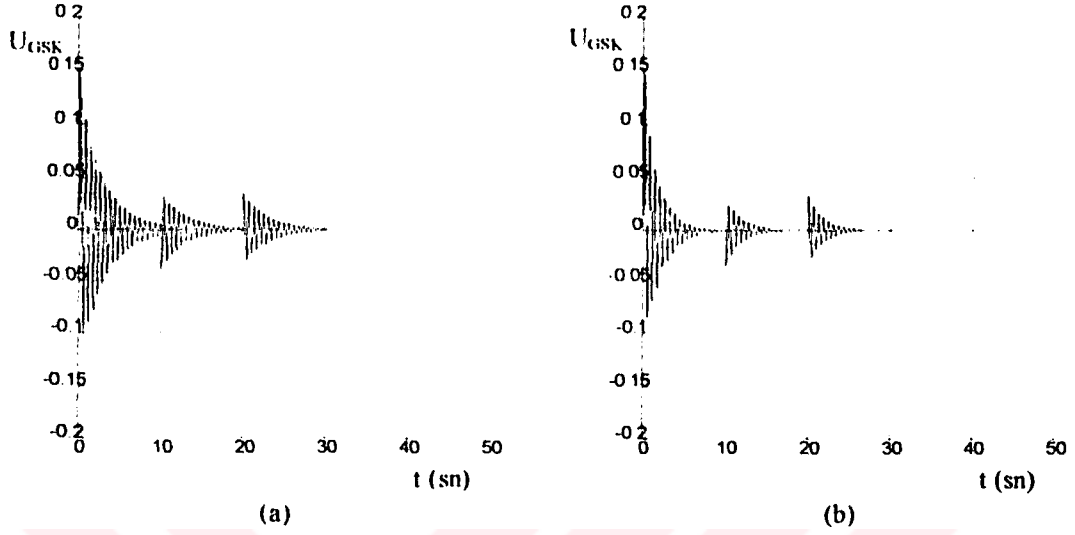
Şekil 5.26 Delta - omega GSK'lı generatörün rotor hız sapmalarının (Δw) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken



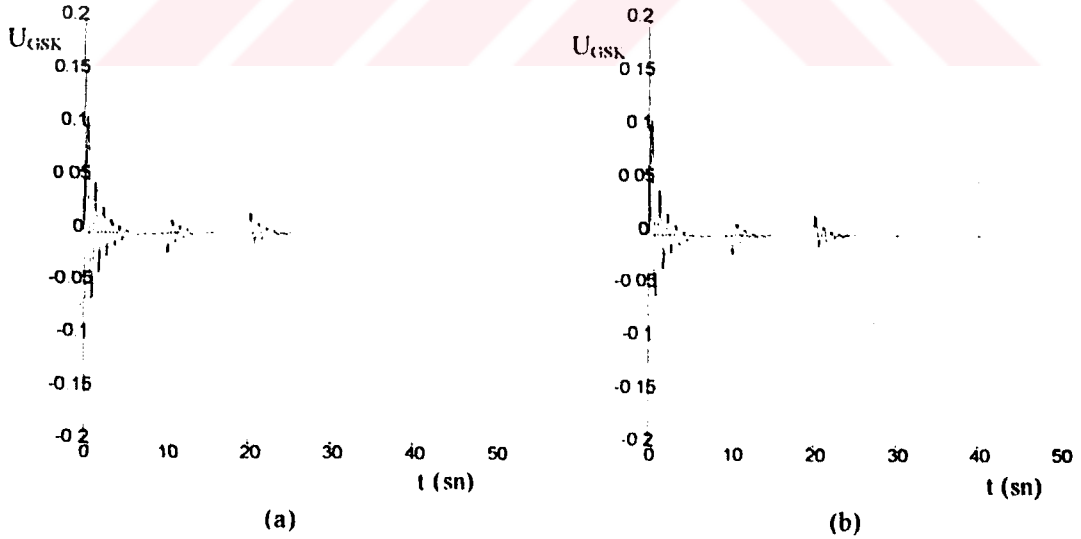
Şekil 5.27 Delta - omega GSK'lı generatörün uç geriliminin (V_t) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken



Şekil 5.28 Delta - omega GSK'lı generatörün uç geriliminin (V_t) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken



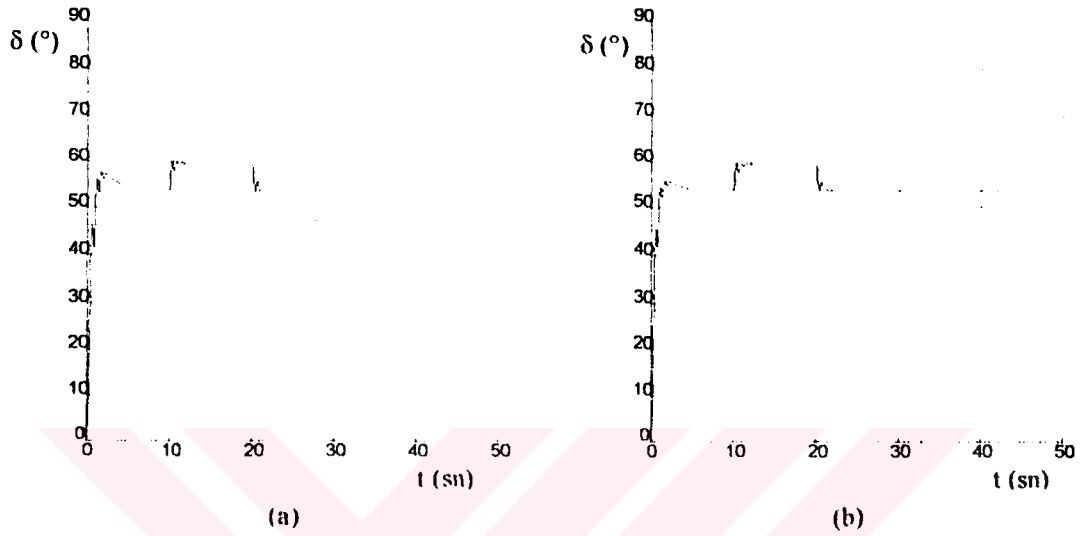
Şekil 5.29 Delta - omega kararlayıcının bozucu etki cevabı (U_{GSK}) (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken



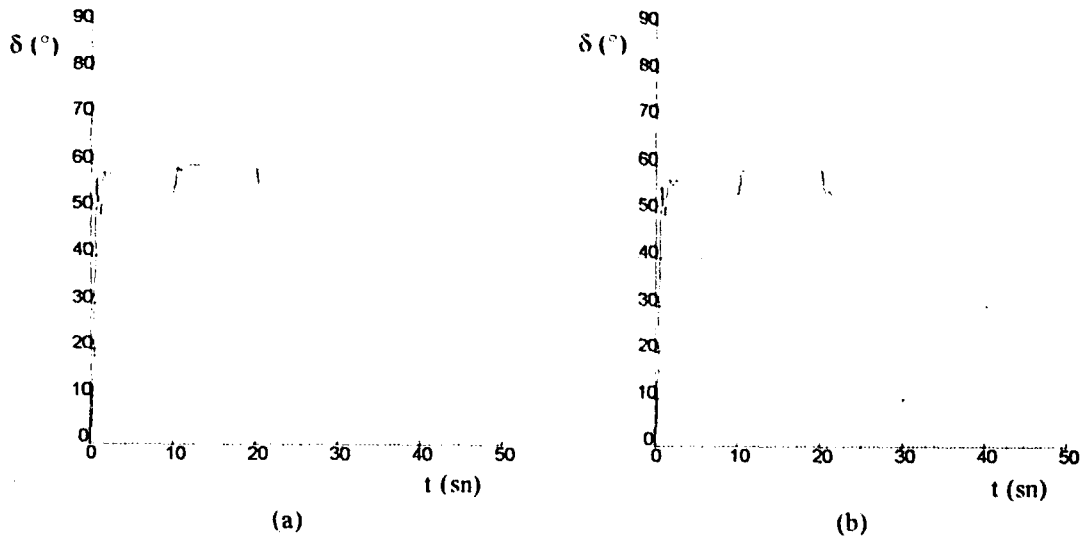
Şekil 5.30 Delta - omega kararlayıcının bozucu etki cevabı (U_{GSK}) (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken
 (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken

5.4. Delta -P- Omega Tip GSK'lı Generatörün Bozucu Etkiye Cevabı

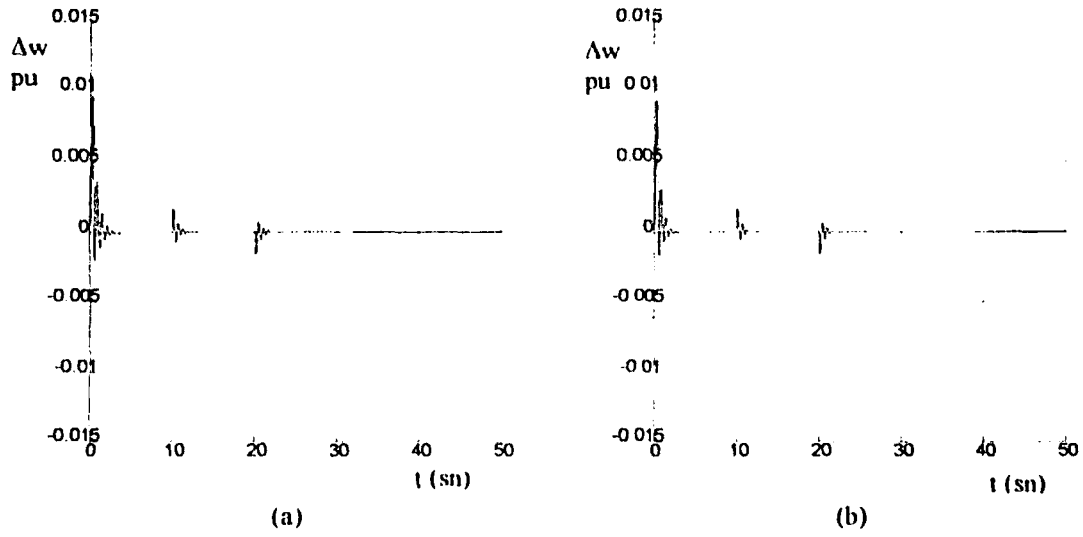
5.4.1 %10'luk yük artması durumu



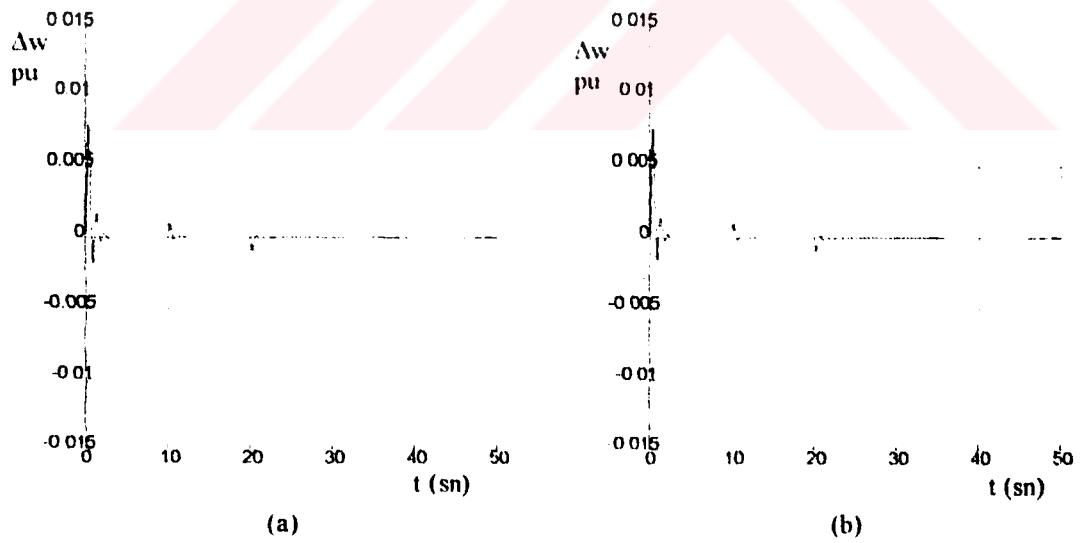
Şekil 5.31 Delta -P- omega GSK'lı generatörün rotor açısı (δ) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken



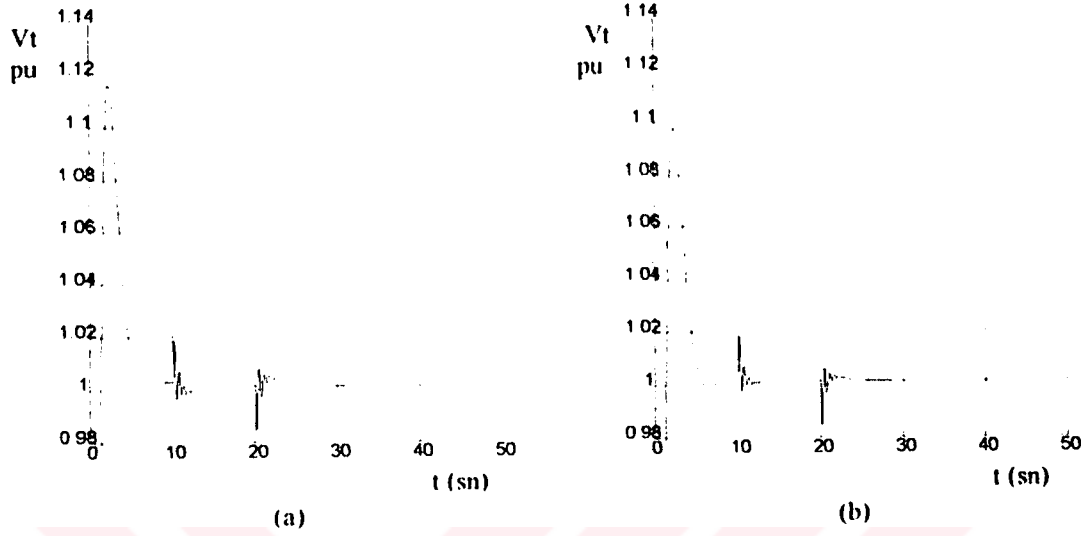
Şekil 5.32 Delta -P- omega GSK'lı generatörün rotor açısı (δ) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken
 (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken



Şekil 5.33 Delta -P- omega GSK'lı generatörün rotor hız sapmalarının (Δw) değışimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken

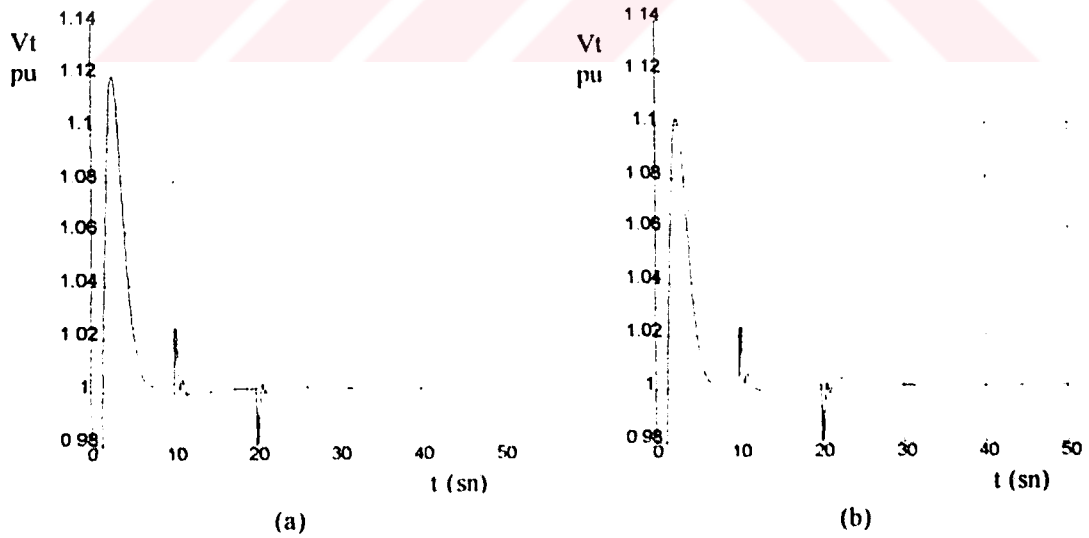


Şekil 5.34 Delta -P- omega GSK'lı generatörün rotor hız sapmalarının (Δw) değışimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken



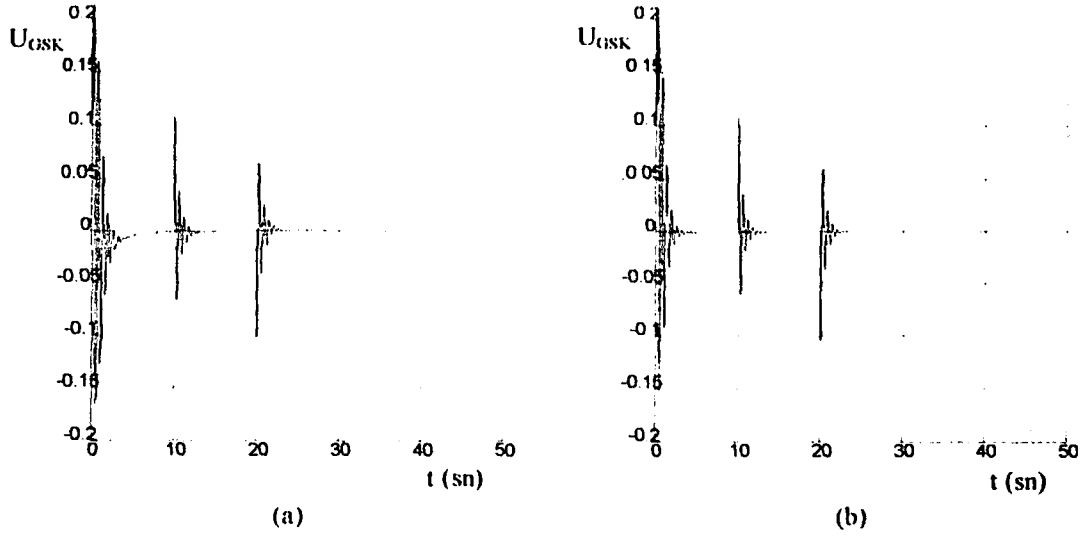
Şekil 5.35 Delta -P- omega GSK'lı generatörün uç geriliminin (V_t) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)

- (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken

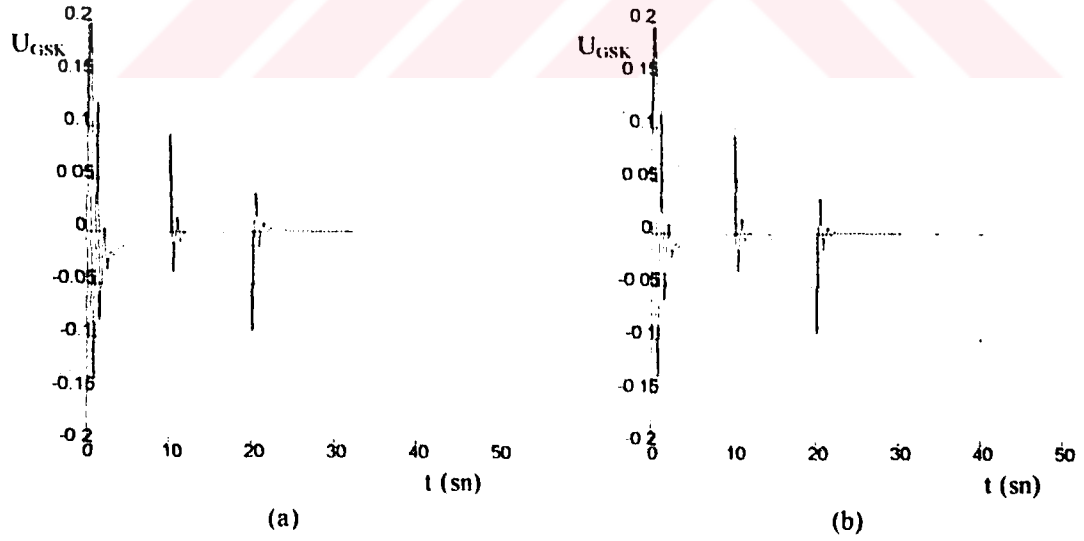


Şekil 5.36 Delta -P- omega GSK'lı generatörün uç geriliminin (V_t) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)

- (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken

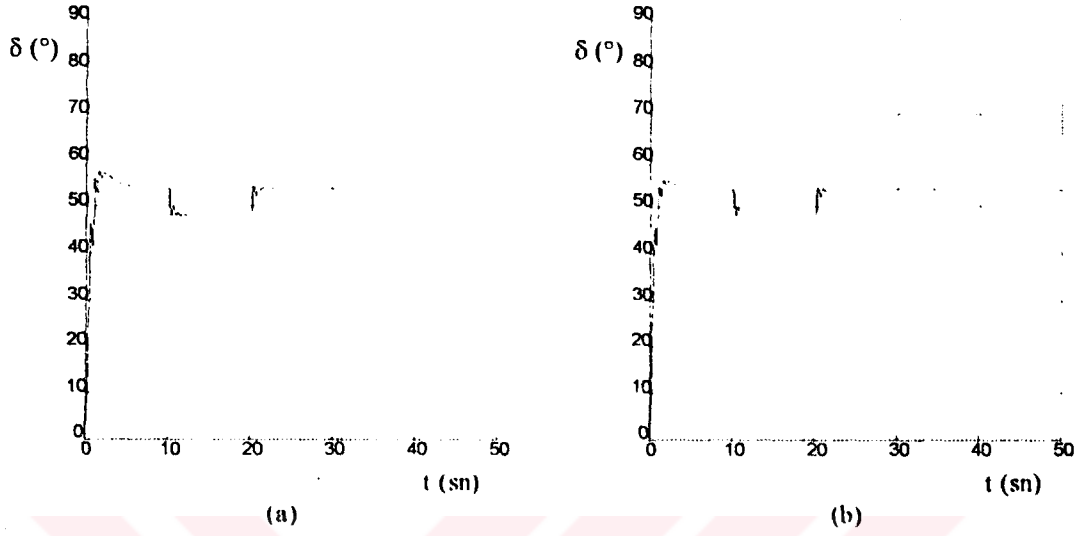


Şekil 5.37 Delta -P- omega kararlayıcının bozucu etki cevabı (U_{GSK}) (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken

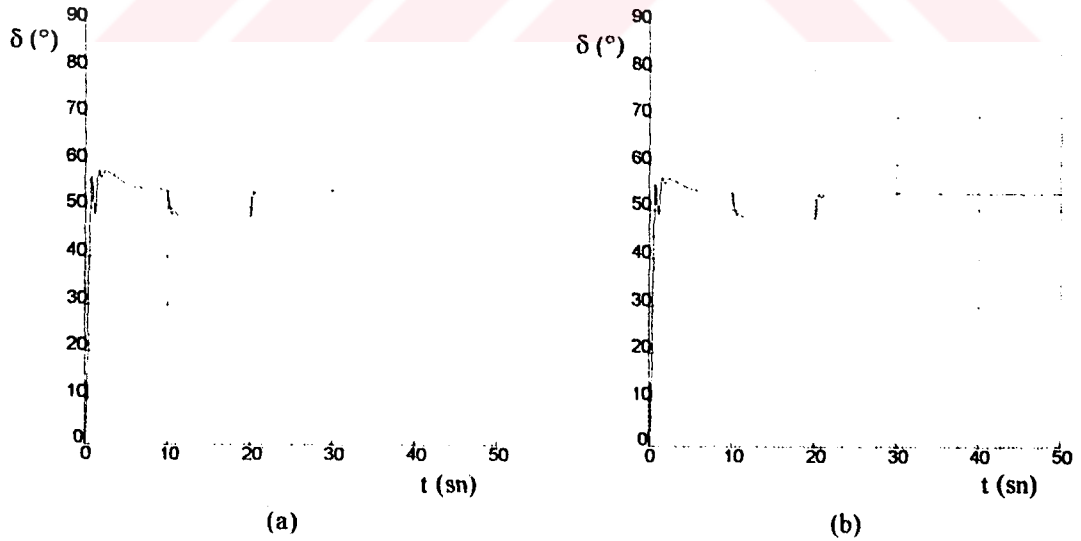


Şekil 5.38 Delta -P- omega kararlayıcının bozucu etki cevabı (U_{GSK}) (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken

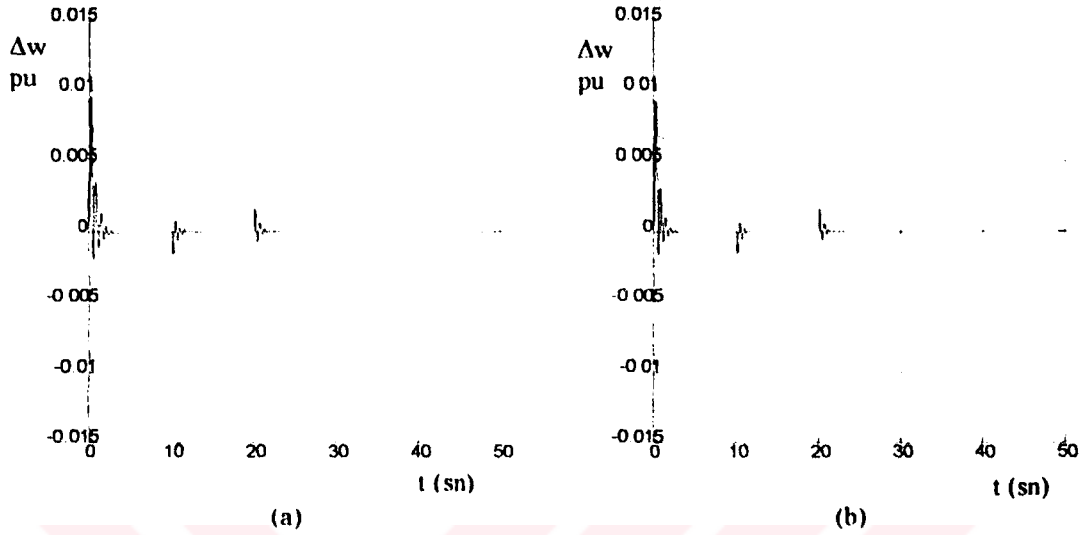
5.4.2. %10'luk Yük Azalması Durumu



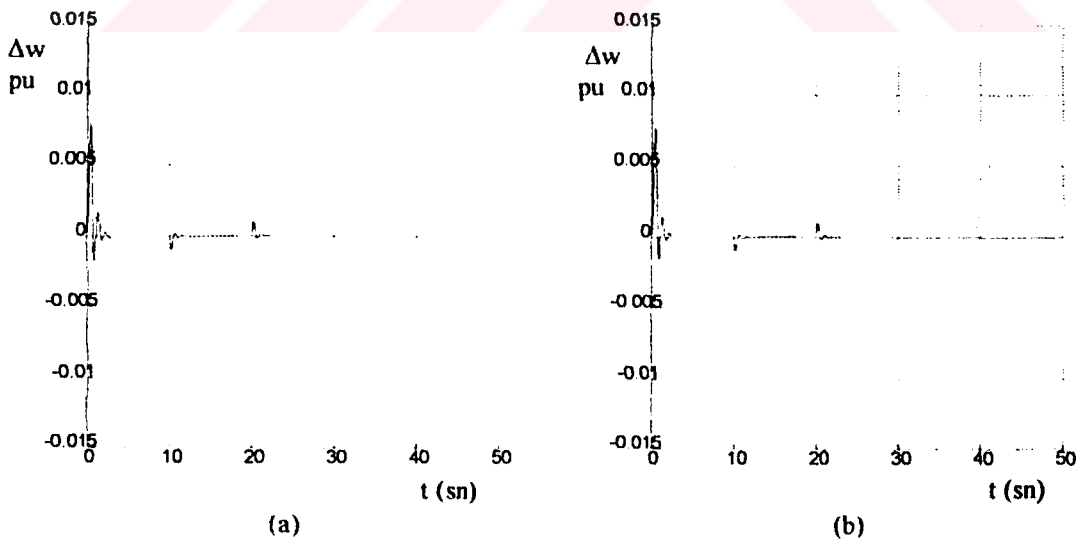
Şekil 5.39 Delta -P- omega GSK'lı generatörün rotor açısı (δ) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken



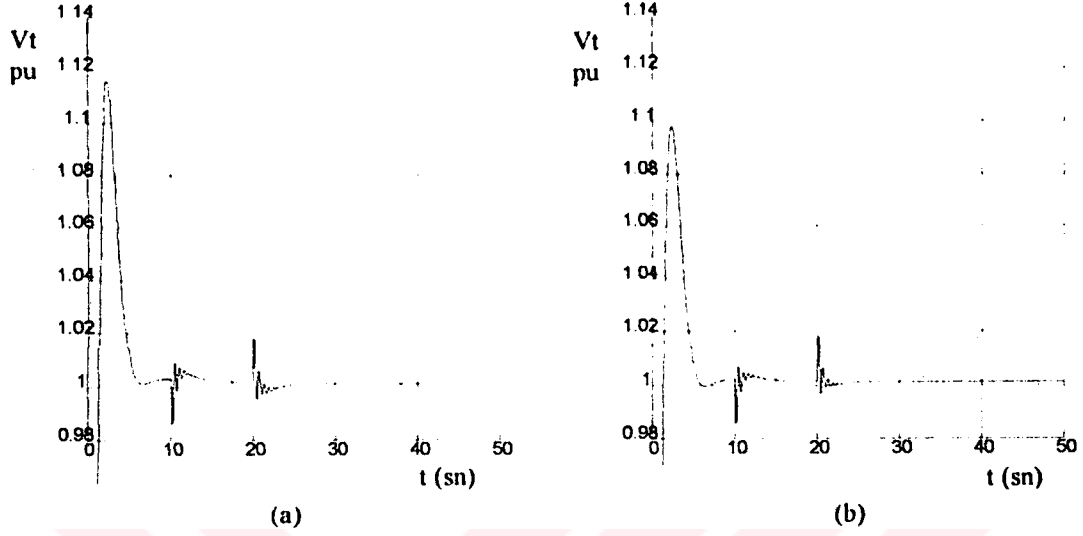
Şekil 5.40 Delta -P- omega GSK'lı generatörün rotor açısı (δ) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken



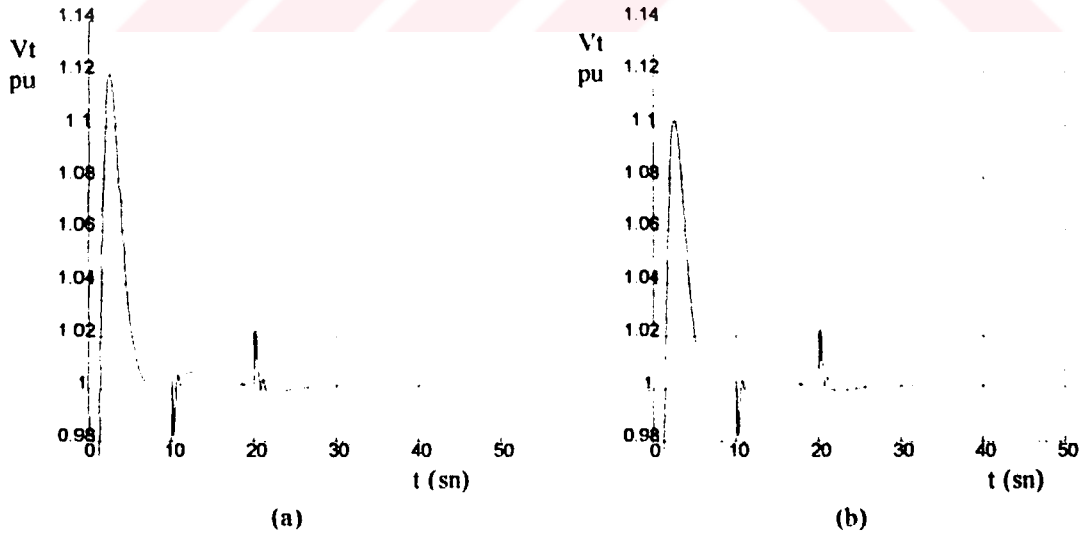
Şekil 5.41 Delta -P- omega GSK'lı generatörün rotor hız sapmalarının (Δw) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken



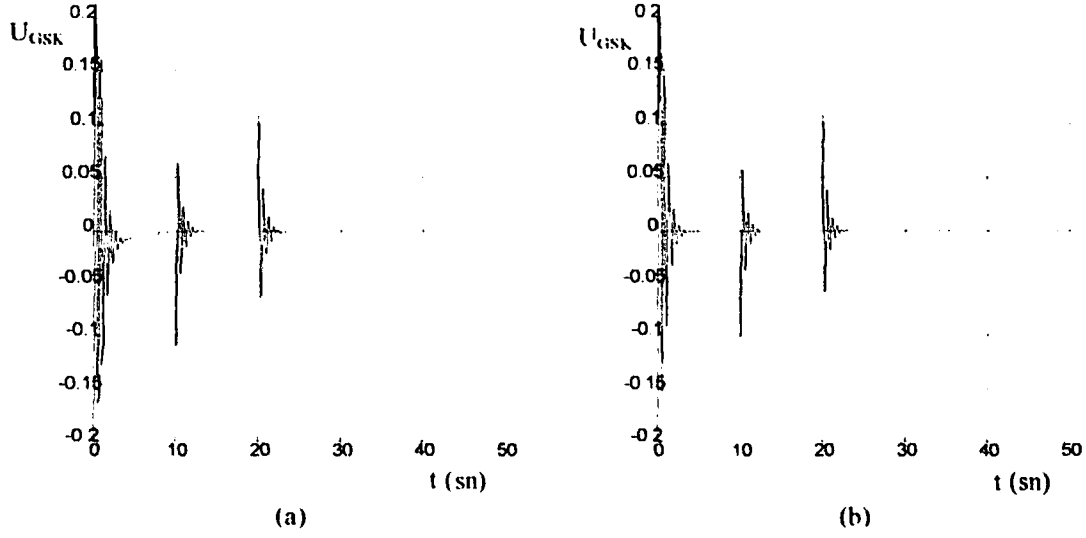
Şekil 5.42 Delta -P- omega GSK'lı generatörün rotor hız sapmalarının (Δw) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken
 (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken



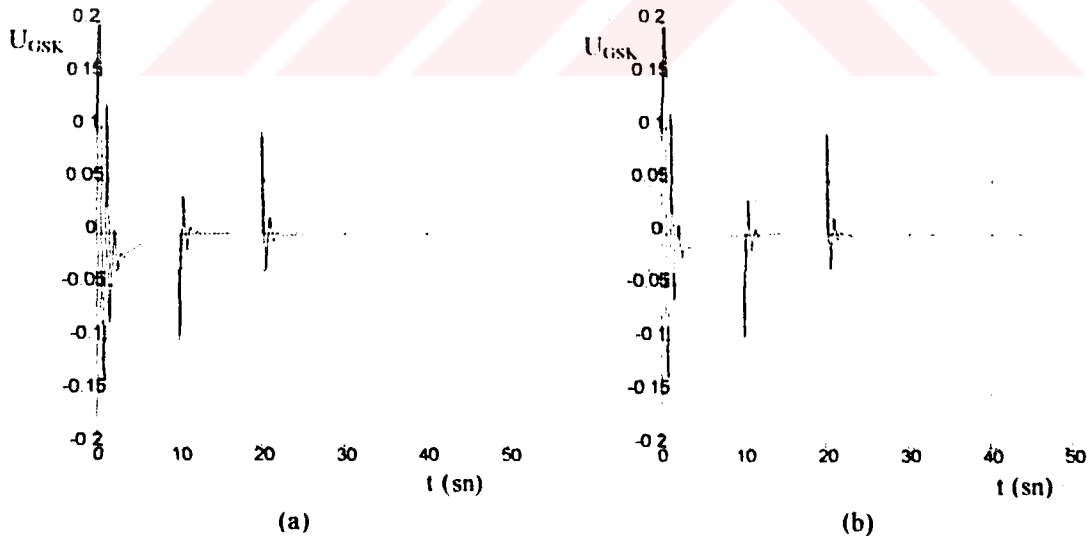
Şekil 5.43 Delta -P- omega GSK'lı generatörün uç geriliminin (V_t) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken



Şekil 5.44 Delta -P- omega GSK'lı generatörün uç geriliminin (V_t) değişimi (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken



Şekil 5.45 Delta -P- omega kararlayıcının bozucu etki cevabı (U_{GSK}) (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=5$ ve $D=0$ iken
 (b) $2H=5$ ve $D=2$ iken



Şekil 5.46 Delta -P- omega kararlayıcının bozucu etki cevabı (U_{GSK}) (10-20 sn.lerde bozucu etki devrede)
 (a) $2H=12$ ve $D=0$ iken.
 (b) $2H=12$ ve $D=2$ iken

BÖLÜM 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tezde, senkron generatörlerin oldukça sık olarak maruz kaldığı düşük frekanslı açısal hız ve rotor açısı salınımlarının güç sistem kararlayıcıları ile sönümlenmesi incelenmiş ve Matlab programı yardımıyla benzetimler yapılmıştır.

Enterkonnekte sistemlerin, birbirleri ile olan etkileşimleri ve sistemde hem üretim hemde tüketim tarafında sürekli değişmelerin olması, bu salınımları her zaman meydana getirebilmektedir. Bu salınımlar küçük yada büyük şiddetli bozucu etkiler olarak sınıflandırılabilir. Çalışmamızda ilgilendiğimiz, küçük bozucu etkiler sistemde çok sık oluşan küçük şiddetli salınımlardır. Düşük frekanslı bu salınımlar senkronizmayı olumsuz yönde etkilemekte ve hatta sistemlerde bazı bölgelerin devre dışı kalmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle bu salınımların önlenmesi çok önemli bir problem haline gelmektedir.

Türbin-generatör sistemlerinde oluşan bu salınımlar, rotor milinin hızında değişmelere yol açmaktadır. Bu durum üretilen güce de etki etmektedir.

Türbin-generatör sistemlerinde mevcut olan, hız regülatörleri ve uyarıyı kontrol eden gerilim regülatörleri bu salınımları bir ölçüde sönümleyebilmektedir. Ancak bu nun yeterli olmadığı pratikte görülmüştür. Özellikle hız regülatörlerin 5-10 saniye mertebesindeki bir gecikme ile devreye girmesi önemli bir dezavantajdır. Gerilim regülatörleri ise sadece uç geriliminin değişimlerinde bu gerilimi iyileştirmeye yönelik çalıştığından, rotor salınımlarında pek etkili olamamaktadır. Bu durumda devreye çabuk giren ve hız sapmalarına göre uyarı gerilimini daha etkili değiştiren bir elemana gereksinim vardır. Bu eleman aslında bir geribesleme elemanıdır ve geribesleme kontrolünün bütün üstünlüklerini sağlamaktadır. Çıkış işaretinin girişe iletilmesi amacını taşıyan geribesleme kontrolörleri, kontrol teorisinde daima

kararlılığı arttırıcı bir görev üstlenmiştir. Aynı şekilde güç sistemlerinde de bunu başarıyla gerçekleştirmiştir.

Bölüm 2.3.2.1'de anlatıldığı gibi, kararsızlık senkronlayıcı ve sönümleyici momentin yeterli miktarda olmaması sonucunda oluşmaktadır. Buna karşılık kararlayıcılar bu salınımları sönümlemektedir. Çalışmada, tek makinalı ve sonsuz baralı sistem ele alınmıştır. Bu sistemin lineer modeli kullanılmıştır. Hız, gerilim regülatörü ve uyarma sistemi içinde gerekli modeller kullanılmıştır. Kararlayıcı olarak delta-omega ve delta-P-omega tipleri incelenmiştir.

Yapılan benzetimlerde, bölüm 5'te de görüleceği gibi oldukça başarılı sonuçlar alınmıştır. delta-P-omega tipi diğer tipden daha başarılı olmuştur. Bu GSK tipinin olduğu sistemde daha az frekans ve genlikli salınımlar olmuştur. Delta-omega tipinde ise nispeten daha fazla salınımlarla karşılaşmıştır. Bunun sebebi, ivmelendirme gücünde bozucu etkilerde değişmesi, elektrik-mekanik güç dengesinin bozulmasıdır. Daha fazla değişkenden geribesleme alınırsa, daha iyi sonuçlar elde edilecektir. Özellikle şebeke frekansı bundan sonraki çalışmalarda önerilen bir değişkendir. Bunun yanısıra, terminal gerilimi, tahrik sistemindeki kapak yada valflerin konumu bir diğer çalışma konusu olabilir.

Çalışmamızda klasik bir kontrol uygulanmıştır. elde edilen sonuçlar oldukça tatmîn edicidir. Ancak adaptif kontrol teknikleri, PI, PID, bulanık mantık ve yapay sinir ağları, kararlayıcı elemanının tasarımında kullanılabilir. Bu tekniklerle daha iyi sonuçlar alınacağı, hatta büyük bozuculara karşı generatörün başarılı bir şekilde korunabileceği görülmektedir. Bu tezde yapılanları ilerletmek için bu teknikler önerilmektedir. Modern kontrol teorisinin tüm teknikleri, güç sistemlerinin kontrolünde başarılı sonuçlar verecektir. Ancak modelin lineer olması, kısıtlı bir alanda çalışabilmeye imkan tanımaktadır. Eğer senkron generatörün lineer olmayan bir modeli ile çalışılırsa, her türlü durum için generatörün kontrolü sağlanabilir. Lineer bölgede incelenmeyecek durumlarda da başarılı bir kontrol yapılabilir.

Küçük bir değişim aralığında, lineer sistemin analizi, bize birtakım kolaylıklar sağlanabilmektedir. Kararlayıcılar ile sistemin salınımları azaltılmakta, şebeke frekansının ve gücün istenmeyen şekilde değişmesi önlenebilmektedir. Bu başarılı sonuçlar, pratikte de kullanılmaktadır. K.Amerika'da büyük santrallerde kararlayıcılar kullanılmakta ve yeni tipleri geliştirilmektedir. Her türlü sistemde bu kararlayıcılar kolaylıkla kullanılabilir ve dinamik sistemlerin kontrolünde önemli faydalar sağlanabilir.



KAYNAKLAR

- [1] ÇAKIR, H.: " Elektrik Güç Sistemleri Analizi ", İstanbul, 1986.
- [2] BİLİR, B.: " Optimal Control Approach for Large Power System Dynamic Stability ", Msc Thesis, İTÜ, Feb 1990.
- [3] HEYDT, G.,T.: " Computer Analysis Methods for Power Systems ", Macmillian Publishing Company, New York, 1986.
- [4] de MELLO, F.,P., ve CONCORDIA, C., : " Concepts of Synchronous Machine Stability as Affected by Excitation Control ", IEEE Trans. on Power Appar. Syst. Vol.88, pp. 316-329, April 1969.
- [5] YU, Y., N.: " Electric Power System Dynamics ", Academic Press, New York, 1983.
- [6] ANDERSON, P.,M., ve FOUAD, A.,A.: " Power System Control and Stability ", IEEE Press, Piscataway, 1984.
- [7] ROGERS, G.,J.: " Control for Stability in Interconnected Power Systems ", IEEE Control Systems Magazine, Vol.9, No.1, pp19-22, Jan 1989.
- [8] KUNDUR, P.: " Power System Stability and Control ", EPRI PSE Series, McGraw-Hill, New York, 1994.
- [9] AŞAN, T.: " Küçük Bozucu Etkiler Altında Güç Sistemlerinin Dinamik Davranışlarının İncelenmesi ", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Eylül 1990.
- [10] DEMİRÖREN, A.: " Çok Makinalı Güç Sistemlerinde Parametre Adaptif Kontrol Yönteminin İncelenmesi ", Doktora Tezi, İTÜ, Mart 1993.
- [11] GRONDIN, R., ve diğerleri : " An Approach to PSS Design for Transient Stability Improvement through Supplementary Damping of the Common Low-Frequency " IEEE Trans. on Power Systems, Vol.8, No.3, pp.954-963, Aug. 1993.
- [12] de MELLO, F.,P., ve LASKOWSKI, T.,F.: " Concepts of Power System Dynamic Stability ", IEEE Trans. on Power Appar. Syst., Vol.PAS-94, No.3, pp. 827-833. May/June 1975.

- [13] de MELLO, F.P., HANNETT, L.N., ve UNDRILL, J.M.: " Practical Approaches to Supplementary Stabilizing from Accelerating Power ", IEEE Trans. on Power Appar. Syst., Vol.PAS-97, No.5, pp. 1515-1522. Sept/Oct 1978.
- [14] YANG, X., ve FELIACHI, A.: " Stabilization of Inter-Area Oscillation Modes through Excitation Systems ", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.9, No.1, pp.494-502 , Feb. 1994
- [15] IEEE Committee Report, "Computer Representation of Excitation Systems " IEEE Trans. on Power Appar. Syst., Vol.PAS-87, No.6, pp.1460-1464, June 1968.
- [16] TACER, M.E., " Enerji Sistemlerinde Kararlılık " ,İTÜ Kütüphanesi, Sayı : 1407, İstanbul, 1990.
- [17] YALÇIN, M.A., " Enerji Sistemlerinde Gerilim Kararlılığının Yeni Bir Yaklaşımla İncelenmesi, Doktora Tezi, İTÜ, Şubat 1995.
- [18] IEEE Committee Report, " Dynamic Models for Steam and Hydro Turbines in Power System Studies ", IEEE Trans. on Power Appar. Syst., Vol.PAS-92, No.6, pp.1904-1915, Nov./Dec 1973
- [19] TUNÇ, A., " Çıkık Kutuplu Senkron Generatörün Adaptif Kontrolü ", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Şubat 1988.
- [20] LARSEN, E.V., ve SWAN, D.A., "Applying Power System Stabilizers, Parts I,II, and III", IEEE Trans. on Power Appar. Syst., Vol.PAS-100, pp. 3017-3046, June 1981

EK-A

Bu çalışmada kullanılan, şekil 5.1'de eşdeğer diyagramı verilen tek makinalı ve sonsuz baralı örnek sistemin parametreleri aşağıdaki şekilde verilmektedir.

Senkron Generatör'e ait olan parametreler:

$X_d = 1.6$	; Senkron reaktansın d- bileşeni
$X_d' = 0.32$	; Geçici reaktansın d- bileşeni
$X_q = 1.55$	; Senkron reaktansın q- bileşeni
$T_{d(0)}' = 6.0$ s	; d- eksenli geçici açık devre zaman sabiti
$P_{pu} = 0.8$	; Aktif güç
$Q_{pu} = 0.6$	; Reaktif güç
$S_{BAZ} = 100$ MVA	; Baz güç
$V_{\infty} = 1.0$ pu	; Sonsuz bara gerilimi
$\delta = 53.3^\circ$	; Yük açısı
$R = 0.0$ pu	; Hattın seri direnci
$X = 0.4$ pu	; Hattın seri reaktansı
$G = 0.0$ pu	; Generatör barasına bağlı şönt yükün kondüktansı
$B = 0.0$ pu	; Generatör barasına bağlı şönt yükün süseptansı

Lineer Modele ait K Parametreleri:

$K_1 = 0.95385$
$K_2 = 0.9445$
$K_3 = 0.36$
$K_4 = 1.209$
$K_5 = -0.0539$
$K_6 = 0.4674$

EK - B

```
% -----
% Tek Makina - Sonsuz Bara Güç Sistemi İçin-----
% Lineerleştirilmiş Modelin K Sabitlerinin Hesabı-----
% Programlayan : A. SERDAR YILMAZ-----
% 1997 Sakarya-----
% -----TMSBK-----
```

```
% Senkron Generatör Parametreleri PU
```

```
p=input('aktif güç pu P.?');
q=input('reaktif güç pu Q.?');
v=input('sonsuz bara gerilimi kompleks pu V.?');
r=input('hattın seri direnci R pu.?');
x=input('hattın seri reaktansı X pu.?');
g=input('yükün şönt direnci G pu.?');
b=input('yükün şönt endüktansı B pu.?');
xd=input('generatör d eksenli senkron reaktansı pu.?');
xq=input('generatör q eksenli senkron reaktansı pu.?');
xdp=input('generatör d eksenli geçici reaktansı pu.?');
tdop=input('generatör d eksenli kısa devre geçici zaman sabiti sn.?');
```

```
% Hesaplamalar
```

```
guc=p+q*i;
cs=conj(guc);
cc=cs/v;
ymc=0+i;
ce=v+(ymc*xq)*cc;
ep=real(ce);
er=imag(ce);
beta=atan2(er,ep);
cp=real(cc);
cr=imag(cc);
c=sqrt(cp*cp+cr*cr);
ph=atan2(cr,cp);
pf=cos(ph);
cz=r+x*(0+i);
cy=g+b*(0+i);
ccl=cy*v;
cct=cc-ccl;
vop=real(cv);
```

```

vor=imag(cv);
vo=sqrt(vp^2+vr^2);
gama=atan2(vr,vp);
del=beta-gama;
deldeg=del*180/3.1415926

```

```
% d-q Bileşenleri
```

```

vd=v*sin(beta);
vq=v*cos(beta);
vod=vo*sin(del);
voq=vo*cos(del);
cd=c*sin(beta-ph);
cq=c*cos(beta-ph);
eqp=vq+xdp*cd;

```

```
% K sabitleri
```

```

top=1+cy*cz;
c1=real(top);
c2=imag(top);
r1=r-c2*xdp;
r2=r-c2*xq;
x1=x+c1*xq;
x2=x+c1*xdp;
z2=r1*r2+x1*x2;
yd=(c1*x1-c2*r2)/z2;
yq=(c1*r1+c2*x2)/z2;
cdel=cos(del);
sdel=sin(del);
fd=-vo*(r2*cdel-x1*sdel)/z2;
fq=vo*(x2*cdel+r1*sdel)/z2;
vdd=(xq-xdp)*cq;
vqq=eqp+(xq-xdp)*cd;

```

```

k1=fd*vdd+fq*vqq
k2=cq+yd*vdd+yq*vqq
k3=1/(1+(xd-xdp)*yd)
k4=(xd-xdp)*fd
cbeta=cos(beta);
sbeta=sin(beta);
xdd=-xdp*cbeta;
xqq=xq*sbeta;
k5=fd*xdd+fq*xqq
k6=cbeta+yd*xdd+yq*xqq
end

```


EK - C

Bölüm 4'te verilen A durum matrisinin elemanları şu şekildedir. Diğer elemanlar sıfırdır.

$$a_{12} = 2\pi f,$$

$$a_{21} = \frac{-K_1}{2H}, \quad a_{22} = \frac{-D}{2H}, \quad a_{24} = \frac{-K_2}{2H}, \quad a_{29} = \frac{1}{2H},$$

$$a_{33} = \frac{-K_E}{T_E}, \quad a_{35} = \frac{1}{T_E}, \quad a_{41} = \frac{-K_4}{T_{d0}}, \quad a_{43} = \frac{1}{T_{d0}}, \quad a_{44} = \frac{-1}{K_3 \cdot T_{d0}},$$

$$a_{51} = \frac{-K_\Lambda \cdot K_5}{T_\Lambda}, \quad a_{54} = \frac{-K_\Lambda \cdot K_6}{T_\Lambda}, \quad a_{55} = \frac{-1}{T_\Lambda}, \quad a_{56} = \frac{-K_\Lambda}{T_\Lambda}, \quad a_{57} = \frac{K_\Lambda}{T_\Lambda},$$

$$a_{63} = \frac{-K_F \cdot K_E}{T_F \cdot T_E}, \quad a_{65} = \frac{K_F}{T_F \cdot T_E}, \quad a_{66} = \frac{-1}{T_F},$$

$$a_{71} = \frac{-K_1 \cdot K_{PSS} \cdot T_1}{2H \cdot T_2}, \quad a_{72} = \frac{-D \cdot K_{PSS} \cdot T_1}{2H \cdot T_2}, \quad a_{74} = \frac{-K_2 \cdot K_{PSS} \cdot T_1}{2H \cdot T_2},$$

$$a_{77} = \frac{-1}{T_2}, \quad a_{78} = \frac{1}{T_2} \cdot \left(1 - \frac{T_1}{T_w}\right), \quad a_{79} = \frac{K_{PSS} \cdot T_1}{2H \cdot T_2},$$

$$a_{81} = \frac{-K_1 \cdot K_{PSS}}{2H}, \quad a_{82} = \frac{-D \cdot K_{PSS}}{2H}, \quad a_{84} = \frac{-K_2 \cdot K_{PSS}}{2H},$$

$$a_{88} = \frac{-1}{T_w}, \quad a_{89} = \frac{K_{PSS}}{2H},$$

$$a_{99} = \frac{-1}{T_g}, \quad a_{9,10} = \frac{1}{T_g},$$

$$a_{10,2} = \frac{-1}{R \cdot T_{CH}}, \quad a_{10,10} = \frac{-1}{T_{CH}}$$

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet Serdar Yılmaz, 1973 yılında K.Maraş'ta doğdu. Burada başladığı ilköğrenimini 1984 yılında İstanbul'da Ortaköy Burak Reis İlkokulunda tamamladı. 1987 yılında Ortaköy Gaziosmanpaşa Ortaokulundan, 1990 yılında ise Kabataş Erkek Lisesinden mezun oldu. Aynı yıl İ.T.Ü. Sakarya Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünü kazandı. Buradan 1994 yılında mezun oldu. 1995 yılı yaz yarıyılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisansına başladı. Aynı yıl ağustos ayında SA.Ü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Elektrik Tesisleri Anabilim Dalına araştırma görevlisi olarak atandı. Halen bu görevini sürdürmektedir.

