

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BULANIK MANTIK İLE GÜÇ SİSTEMLERİNDE
GERİLİM KONTROLU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Gülden OĞUZ

**Anabilim Dalı : Elektrik Mühendisliği
Programı : Elektrik Mühendisliği**

MAYIS 2004

**BULANIK MANTIK İLE GÜÇ SİSTEMLERİNDE
GERİLİM KONTROLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Gülden OĞUZ
(504011021)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Nisan 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 20 Mayıs 2004**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Ayşen DEMİRÖREN
Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Mustafa BAĞRIYANIK
Yrd.Doç.Dr. Şeniz ERTUĞRUL**

MAYIS 2004

ÖNSÖZ

Günümüzün önemli konularından biri olan bulanık mantığın, güç sistemlerinin kontrolunda kullanılması konusunda yaptığım araştırmalarda beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Prof. Dr. Ayşen Demirören'e, aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Nisan 2004

Güliden Oğuz

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	
1.1. Giriş.....	1
1.2. Güç Sistemlerinde Kararlılık.....	5
1.3. Bulanık Mantık Uygulamaları.....	6
1.4. İçerik.....	8
2. GÜÇ SİSTEMLERİNDE KARARLILIK	
2.1. Giriş.....	9
2.2. Güç Sistemlerinde Kararlılık Tanımı.....	9
2.3. Geçici Hal Kararlılığı (Transient Stability).....	11
2.4. Dinamik Hal Kararlılığı.....	13
2.5. Sürekli Hal Kararlılığı.....	13
2.6. Güç Sistemlerinde Kararlılık Analizinin Yapılması.....	13
3. BULANIK MANTIK TEORİSİ	
3.1. Giriş.....	17
3.2. Bulanık Mantık Teorisi.....	17
3.3. Bulanık Mantıkla Modelleme İlkeleri.....	17
3.4. Bulanık Küme Tanımı ve Üyelik Dereceleri.....	18
3.5. Bulanık Küme İşlemleri.....	20
3.6. Bulanık Kümeler ve Dilsel Değişkenler.....	21
3.7. Bulanıklaştırma İşlemi.....	21
3.8. Cümle Birleştirme Operatörleri.....	22
3.9. Durulaştırma İşlemi.....	22
3.10. Koşullu Bulanık Durumlar ve Bulanık Kontrol Kuralları.....	22
3.11. Bulanık Mantık Kontrolörünün Temel Yapısı.....	24
4. GÜÇ SİSTEMİ MODELLEMESİ	
4.1. Giriş.....	28
4.2. Güç Sistemi Modeli.....	28
4.3. Senkron Generatör Modeli.....	29
4.4. Senkron Generatöre İlişkin Yardımcı Denklemler.....	30

4.4.1. Senkron Generatör Elektrisel ve Mekanik Alt Sistemleri.....	30
4.4.2. Senkron Generatör Uyarma Sistemi.....	31
4.4.3. Senkron Generatör Sürekli Hal Çalışma Durumu.....	32
4.5. Kararlılık Kontrol Elemanları.....	32
4.5.1. Gerilim Regülatörü Genel Modeli (OGR).....	33
4.5.2. Devir Sayısı Regülatörü Genel Modeli (DSR).....	33
4.5.3. Güç Sistemi Kararlayıcısı Genel Modeli (GSK).....	34
5. GÜÇ SİSTEMİ GELENEKSEL KONTROL ELEMANLARI	
5.1. Giriş.....	36
5.2. Otomatik Gerilim Regülatörü (OGR).....	36
5.3. Hız regülatörü (DSR).....	38
5.4. Güç Sistemi Kararlayıcısı (GGSK).....	41
6. BULANIK MANTIK KONTROL ELEMANLARI	
6.1. Giriş.....	45
6.2. Bulanık Mantık Kontrol Elemanları.....	45
6.2.a. Bulanık Gerilim Regülatörü (BGR)	49
6.2.b. Bulanık Güç Sistemi Kararlayıcısı (BGSK)	52
7. BENZETİM SONUÇLARI	
7.1. Giriş.....	55
7.2. Kontrol Elemanları ve Generatör Bilgisayar Benzetimi.....	56
7.3. Senkron Generatör Modeli.....	58
7.3.1. Senkron Generatör Alt Sistemleri.....	59
7.3.1.a. Senkron Generatör Elektrisel ve Mekanik Alt Sistemleri...	59
7.3.1.b. Senkron Generatör Uyarma Sistemi.....	60
7.3.2 Senkron Generatör Sürekli Hal Çalışma Durumu.....	61
7.3.3. Üç Fazlı Kısa Devre Arızası Alt Modeli.....	62
7.4. Senkron Generatör Bilgisayar Benzetim Sonuçları.....	64
7.4.1. Senkron Generatör ve OGR Bilgisayar Benzetimi.....	65
7.4.2. Senkron Generatör, OGR ve DSR Bilgisayar Benzetimi.....	68
7.4.3. Senkron Generatör, OGR, DSR ve GGSK Bilgisayar Benzetimi.....	69
7.4.4. BGR ve Generatör Bilgisayar Benzetimi.....	72
7.4.5. BGR, DSR ve Generatör Bilgisayar Benzetimi.....	73
7.4.6. BGR, DSR, BGSK ve Generatör Bilgisayar Benzetimi.....	75
7.5. Normal ve Bulanık Kontrol Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	78
7.5.1. OGR ve BGR Karşılaştırılması.....	78
7.5.2. OGR, DSR ve BGR,DSR Karşılaştırılması.....	80

7.5.3. OGR, DSR,GGSK ve BGR,DSR, BGSK Karşılaştırılması.....	83
8. SONUÇLAR.....	86
KAYNAKLAR.....	92
EKLER.....	97
ÖZGEÇMİŞ.....	107

KISALTMALAR

AA	: Alternatif akım
AVR	: Automatic Voltage Regulator
BGR	: Bulanık gerilim regülatörü
BGSK	: Bulanık güç sistemi kararlayıcısı
BMK	: Bulanık mantık kontrolörü
DSR	: Devir sayısı regülatörü
EMF	: Elektromotor kuvveti
FLC	: Fuzzy logic controller
GGSK	: Geleneksel güç sistemi kararlayıcısı
GOV	: Governor
GSK	: Güç Sistemi Kararlayıcısı
MIMO	: Çoklu giriş çoklu çıkış
MISO	: Çoklu giriş tek çıkış
MUX	: Çoğullayıcı
OGR	: Otomatik Gerilim Regülatörü
PSS	: Power System Stabilizer
SISO	: Tek giriş tek çıkış

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 6.1. Bulanık gerilim regülatörü kural tablosu.....	50
Tablo 6.2. BGR' de kullanılan 49 adet kural tablosu.....	51
Tablo 6.3. Bulanık kararlayıcı kural tablosu.....	52
Tablo 6.4. BGSK' da kullanılan 25 adet kural tablosu.....	54
Tablo A.1. Geleneksel güç sistemi kararlayıcısı parametreleri.....	97
Tablo A.2. Otomatik gerilim regülatörü, bulanık gerilim regülatörü ve bulanık güç sistemi kararlayıcısı kazanç ve zaman sabitleri.....	97
Tablo A.3. Senkron generatör parametreleri.....	97
Tablo B.1. Bulanık mantık gerilim regülatörü kural tablosu.....	100
Tablo C.1. Bulanık mantık güç sistemi kararlayıcısı kural tablosu.....	103

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1.a	Kararlı Çalışma Durumu..... 12
Şekil 2.1.b	Kararsız Çalışma Durumu..... 12
Şekil 2.2.	İletim hatlarında arıza oluşması durumu..... 14
Şekil 2.3.	Arıza durumunda eşit alanlar kriteri..... 15
Şekil 3.1.	Üyelik fonksiyonu..... 19
Şekil 3.2.	Bulanık kontrol kuralları üyelik fonksiyonları..... 23
Şekil 3.3.	BMK yapısı..... 24
Şekil 3.4.	BMK temel konfigürasyonu..... 25
Şekil 3.5.a	En büyük üyelik metodu..... 27
Şekil 3.5.b	Ortalama en büyük üyelik metodu..... 27
Şekil 3.5.c	Ağırlık merkezi metodu..... 27
Şekil 4.1.	Sonsuz güçlü baraya bağlı generatör modeli..... 29
Şekil 4.2.	Sonsuz güçlü baraya bağlı generatörün vektör diagramı..... 29
Şekil 4.3.	OGR ve Uyarma Sistemi Modeli..... 33
Şekil 4.4.	DSR modeli..... 34
Şekil 4.5.	GGSK ve Generatör Modeli..... 35
Şekil 5.1.	Gerilim regülatörü ve uyarma sistemi bağlantı şeması..... 37
Şekil 5.2.	OGR modeli..... 37
Şekil 5.3.	Senkron generatördeki DSR modeli..... 38
Şekil 5.4.	Regülasyon katsayılı DSR' ın genel yapısı..... 39
Şekil 5.5.	Güç-hız regülasyonu..... 39
Şekil 5.6.a	Generatör, OGR ve DSR yapısı..... 40
Şekil 5.6.b	Generatör, OGR ve DSR besleme şeması..... 40
Şekil 5.7.	OGR ve GSK moment blok diagramları..... 42
Şekil 5.8.	GGSK transfer fonksiyonu..... 43
Şekil 5.9.	Çift girişli GGSK modeli..... 44
Şekil 6.1.	BMK yapısı..... 46
Şekil 6.2.a	Giriş işareti üyelik fonksiyonu..... 47
Şekil 6.2.b	Çıkış işareti üyelik fonksiyonu..... 47
Şekil 6.3.	Bulanık kontrolörün iç yapısı 48
Şekil 6.4.	Bulanık gerilim regülatörü uyarma sistemi bağlantısı..... 49
Şekil 6.5.	BGR bağlantı şeması 49
Şekil 6.6.	BGSK yapısı..... 53
Şekil 7.1.	Geleneksel sisteme ait bilgisayar benzetimi modeli..... 57
Şekil 7.2.	İletim hattında arıza öncesi, arıza durumu ve arıza sonrası modeli..... 58
Şekil 7.3.	Mekanik kısım modeli..... 59
Şekil 7.4.	Türbin ve tahrik sistemi modeli..... 60
Şekil 7.5.	Uyarma alt sistemi blok diagramı..... 60
Şekil 7.6.	Sürekli hal çalışma bloğu 61

Şekil 7.7.	Arıza bloğu iç yapısı.....	62
Şekil 7.8.a	Senkron generatör-GSK <i>Simulink</i> bağlantı şeması.....	63
Şekil 7.8.b	Senkron makina genel modeli.....	63
Şekil 7.9.	Senkron generatör uç gerilimi.....	64
Şekil 7.10.	Senkron generatör rotor açısı.....	65
Şekil 7.11.	OGR ile senkron generatör uç gerilimi.....	66
Şekil 7.12.	OGR' li senkron generatör rotor açısı.....	67
Şekil 7.13.	OGR ve DSR ile senkron generatör uç gerilimi.....	68
Şekil 7.14.	OGR ve DSR ile senkron generatör rotor açısı.....	69
Şekil 7.15.	OGR, DSR ve GGSK ile senkron generatör uç gerilimi.....	70
Şekil 7.16.	OGR, DSR ve GGSK ile senkron generatör rotor açısı.....	71
Şekil 7.17.	BGR ile senkron generatör uç gerilimi.....	72
Şekil 7.18.	BGR ile senkron generatör rotor açısı.....	73
Şekil 7.19.	BGR ve DSR ile senkron generatör uç gerilimi.....	74
Şekil 7.20.	BGR ve DSR ile senkron generatör rotor açısı.....	75
Şekil 7.21.	BGR, DSR ve BGSK ile senkron generatör uç gerilimi.....	76
Şekil 7.22.	BGR, DSR ve BGSK ile senkron generatör rotor açısı.....	77
Şekil 7.23.	BGR ve OGR' li senkron generatör uç gerilimlerinin karşılaştırılması.....	78
Şekil 7.24.	BGR ve OGR' li senkron generatör rotor açılarının karşılaştırılması.....	79
Şekil 7.25.	BGR-DSR ve OGR-DSR' li senkron generatör uç gerilimlerinin karşılaştırılması.....	81
Şekil 7.26.	BGR-DSR ve OGR-DSR' li senkron generatör rotor açılarının karşılaştırılması.....	82
Şekil 7.27.	BGR-DSR-GGSK ve OGR-DSR-BGSK' lı senkron generatör uç gerilimlerinin karşılaştırılması.....	83
Şekil 7.28.	BGR-DSR-GGSK ve OGR-DSR-BGSK' lı senkron generatör rotor açılarının karşılaştırılması.....	84
Şekil B.1.	Bulanık gerilim regülatörü girişler ve çıkış şeması.....	98
Şekil B.2.	Bulanık gerilim regülatörü hız değişimi ($d\omega$) girişine ait üyelik fonksiyon şeması.....	98
Şekil B.3.	Bulanık gerilim regülatörü kontrol kurallarının yüzeysel alanda gösterilişi.....	99
Şekil C.1.	Bulanık güç sistemi kararlayıcısı girişler ve çıkış şeması.....	101
Şekil C.2.	Bulanık güç sistemi kararlayıcısı hız değişimi ($d\omega$) girişine ait üyelik fonksiyon şeması.....	101
Şekil C.3.	Bulanık güç sistemi kararlayıcısı kontrol kurallarının yüzeysel alanda gösterilişi.....	102
Şekil D.1.	Yapısındaki DSR dışında kontrol elemansız, OGR' li ve BGR'li enkron generatör uç gerilimlerinin karşılaştırılması....	104
Şekil D.2.	Yapısındaki DSR dışında kontrol elemansız, OGR' li ve BGR' li senkron generatör rotor açılarının karşılaştırılması.....	104
Şekil D.3.	Yapısındaki DSR dışında kontrol elemansız, OGR, DSR' li ve BGR, DSR' li senkron generatör uç gerilimlerinin karşılaştırılması.....	105
Şekil D.4.	Yapısındaki DSR dışında kontrol elemansız, OGR, DSR' li ve BGR, DSR' li senkron generatör rotor açılarının karşılaştırılması.....	105
Şekil D.5.	Yapısındaki DSR dışında kontrol elemansız,	

	OGR, DSR, GGSK' lı ve BGR, DSR, GGSK' lı senkron generatör uç gerilimlerinin karşılaştırılması.....	106
Şekil D.6.	Yapısındaki DSR dışında kontrol elemansız, OGR, DSR, GGSK' lı ve BGR, DSR, BGSK' lı senkron generatör rotor açılarının karşılaştırılması.....	106

SEMBOL LİSTESİ

Δ	: Nominal değerlere göre değişim
P	: Aktif güç
Q	: Reaktif güç
f	: Sistem frekansı
P_e	: Elektriksel aktif güç
Q_e	: Elektriksel reaktif güç
ΔT_e	: Elektriksel moment değişimi
$\Delta P_G, \Delta Q_G$	: Generatörde üretilen aktif-reaktif güç değişimleri
$\Delta P_L, \Delta Q_L$	: Yük tarafından tüketilen aktif-reaktif güç değişimleri
t_{c1}, t_{c2}	: Arıza temizleme zamanları
δ_{c1}	: Arıza temizleme açısı
δ_k	: Kritik arıza temizleme açısı
A_a	: İvmelenme alanı
A_d	: Yavaşlama alanı
V_{tr}	: Uç gerilimi referans değeri
V_t	: Generatör uç gerilimi
V	: Sonsuz bara gerilimi
μ_f	: Üyelik fonksiyonu
R_e	: İletim hatları eşdeğer direnci
x_e	: İletim hatları eşdeğer reaktansı
δ	: Rotor açısal yerdeğişimi
E'_d	: d ekseni geçici gerilimi
E'_q	: q ekseni geçici gerilimi
T'_{do}	: d ekseni açık devre zaman sabiti
T'_{qo}	: q ekseni açık devre zaman sabiti
E_{fd}	: d ekseni uyarma gerilimi
x_e	: İletim hatları eşdeğer reaktansı
x_d	: Senkron makine d ekseni reaktansı
x'_d	: Geçici reaktans d ekseni bileşeni
x_q	: Senkron makine q ekseni reaktansı
x'_q	: Geçici reaktans q ekseni bileşeni
ω	: Açısal hız
ω_0	: Referans açısal hız
ω_r	: DSR açısal hızı
V_{td}	: Uç gerilimi d ekseni bileşeni
V_{tq}	: Uç gerilimi q ekseni bileşeni
I_d	: Stator akımı d ekseni bileşeni
I_q	: Stator akımı q ekseni bileşeni
P_m, Q_m	: Aktif, reaktif mekanik güçler
D	: Yavaşlatma katsayısı
M	: Generatörün eylemsizlik sabiti

ΔP_r	: Hız rölesi çıkış gücü değişimi
ΔP_h	: Servomotor çıkış gücü değişimi
ΔP_c	: İstim vanası çıkış gücü değişimi
ΔP_m	: Mekanik güç değişimi
T_{SR}	: Hız rölesi zaman sabiti
T_{SM}	: Servomotor zaman sabiti
T_{RH}	: Ara ısıtıcı zaman sabiti
K_{RH}	: Ara ısıtıcı kazancı
K_G	: Hız rölesi kazancı
K_E	: Uyarma kazancı
T_E	: Uyarma zaman sabiti
V_s	: Kararlayıcı gerilimi
K_F	: Uyarma geri besleme devresi kararlayıcı kazancı
T_{FE}	: Kararlayıcı devre zaman sabiti
R_a	: Stator direnci
R_e	: İletim hatları eşdeğer direnci
x_e	: İletim hatları eşdeğer reaktansı
I_0	: Generatör akımı başlangıç değeri
K_D	: Yavaşlatma sabiti
K_s	: Senkronizasyon sabiti
K_a	: OGR kazancı
T_M, T_d, T_s	: Mekanik, yavaşlatma ve senkronizasyon momentleri
T_a	: OGR zaman sabiti
K_f	: OGR geri besleme kararlılık kazancı
T_f	: OGR geri besleme zaman sabiti
K_s	: GSK kazancı
R	: DSR regülasyon katsayısı
$T_1, T_2, \dots T_6$	: CGSK endüktif-kapasitif zaman sabitleri
T_r	: GSK resetleme (washout) filtresi zaman sabiti
T_L	: GSK endüktif bloğu zaman sabiti
V_{GSK}	: GSK çıkış gerilimi
V_{min}, V_{max}	: Kontrolör sınırlamaları
E	: Hata
CE	: Hata değişimi
s	: Laplace operatorü
$T_1, \dots T_{12}$	: GGSK endüktif, kapasitif, integral zaman sabitleri
$T_{w1}, \dots T_{w4}$	: GGSK reset filtresi zaman sabitleri
K_{s1}, K_{s2}, K_{s3}	: GGSK kazançları
M, N	: GGSK filtre sabitleri
K_v, K_{dv}, K	: BGR ölçekleme katsayıları
K_1, K_2, K_3	: BGSK ölçekleme katsayıları

Alt indisler

0	: Değişken başlangıç değeri
r	: Referans değer
d	: d ekseni bileşeni
q	: q ekseni bileşeni

GÜÇ SİSTEMLERİNDE BULANIK MANTIKLA GERİLİM KONTROLU

ÖZET

Karmaşıklığına rağmen gerçek dünyanın insan beyni tarafından kesin veriler olmadan da yaklaşık olarak modellenenebilmesi, bulanık mantığın çıkış noktasını oluşturmaktadır. İnsan beyninin çalışma yapısının kullanılan sistemlere yansıtılması, bu sistemlerin ele alınmasında, modellenmesinde ve uygun çözümlerin geliştirilmesinde bir basamak oluşturmaktadır. Geleneksel mantığa uygun olarak çalışan bilgisayar sistemleri, belirsizlikler, kişiye göreceli durumlar kapsayan gerçek dünyadaki olayları, ancak bir takım kabuller ve ihmaller yaparak modelleyebilmektedir. Bulanık mantık bu aşamada belirsizlikleri de dikkate almasıyla öne çıkmaktadır.

Yapısı gereğince, günlük konuşma dilinde kullanılan kelimeler bulanık mantıktaki değişkenleri oluşturmaktadır. Bu değişkenler vasıtasıyla, insan beyninin algıladığı bir sistem, sözel ifadelerle dayanarak modellenenilmektedir. Geleneksel mantığa göre, olaylar arasında keskin ayrımlar bulunmaktadır. Bu mantıkta sıkça kullanılan kelimeler var, yok, sıcak, soğuk, yüksek, alçak gibi keskin ayrımlar ifade etmektedir. Ancak bir insanın uzun boylu olması ya da suyun sıcak olması kişiden kişiye değişen kavramlardır. Örneğin su sıcaklığı için suyun ılık olması, soğuğa yakın ılık olması, çok sıcak olması gibi pek çok alt sınıf bulunmaktadır. Bulanık mantık ile bu sıcaklık kümesinin bir çok alt kümeye ayrılarak bir elemanın iki kümeye birden ait olabilmesi mümkündür. Bu şekilde bir kişiye çok ılık gelen suyun bir başkasına soğuk gelmesi durumu için geleneksel sistemin yetersiz kalmasına karşın bulanık mantık sistemi ile kolayca modellenenilmektedir.

Belirsizlik içeren pek çok kelime günlük konuşma içerisinde sıkça kullanılmaktadır. Buna dayanarak bulanık mantık ile her türlü sistemin modellenenebilmesi mümkündür. Bulanık mantık, bir uzmanın sözel ifadelerine dayanarak oluşturulan kontrol kurallarını kullanır. Bu şekilde kontrol edilen sistemde dikkate alınacak parametrelerin giriş veya çıkış olarak secilmesi ve uzman tarafından oluşturulan kuralların uygulanmasıyla istenilen işaret elde edilebilir. Bir makinayı kontrol eden operatörün makine hızlandığında vanayı biraz kapaması, ya da biraz açması gerektiği bilgisi kontrol edilecek sistemin girişlerini, çıkışlarını ve elde edilmesi gereken sonucu kapsamaktadır. Geleneksel mantıkta kesinlik olmadığı için bir anlam taşımayan bu ifade, bulanık mantıkta bir bulanık kontrol kuralını oluşturmaktadır. Bu şekilde girişlerin karşılık gelebileceği her dilsel değişken için bir çıkış üretilerek sistemin hangi durumda, nasıl davranması gerektiği de belirlenmiş olur. Yani sorun modellenirken aynı zamanda bir çözüm de geliştirilmiş olur.

Bulanık mantığa dayalı olarak geliştirilen kontrol sistemlerinde, geleneksel yapıdaki karmaşık denklem ve fonksiyonların yerini bulanık dilsel değişkenleri, bulanık giriş ve çıkışlar ile bulanık kontrol kurallarını kapsayan bir kontrolör almaktadır. Ayrıca, uygulamadaki kontrol işlemlerinde sayısal işaretlerin kullanılması gerektiğinden bulanık işaret-sayısal işaret çevirimleri de bulanık kontrolör içerisinde yapılamaktadır.

Bu çalışma ile bulanık mantığın kontrol alanındaki etkinliği güç sistemlerinin gerilim ve açısal kararlılığının sağlanmasında kullanılmıştır. Bulanık mantığa dayalı kontrol elemanlarının, kısa devre arızası oluşan sonsuz güçlü baraya bağlı tek makinalı bir güç sisteminin gerilim ve rotor açısı işaretlerini düzeltmekteki etkinliği, geleneksel mantık kontrol elemanlarının performansları ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Uç gerilimi ve rotor açısının düzeltilmesinde kullanılan geleneksel mantık tabanlı gerilim regülatörü ve güç sistemi kararlayıcısı için karmaşık sayılabilecek bir takım transfer fonksiyonları ve katsayılar kullanılmıştır. Aynı elemanlar bulanık mantığa göre tasarlandığında, girişlerin normalizasyonunun yapıldığı kazançlar ve bulanık kontrolörü ifade eden bir bloğun kullanılması yeterli olmuştur.

Çalışma içerisinde kısaca, bulanık mantığın temeli, kullanılan sistem ve kontrol elemanlarının tanıtılması ve çalışma yapısı ile kontrol elemanları yerleştirilmiş güç sisteminin bilgisayar benzetimi ile benzetim sonuçları yer almaktadır.

VOLTAGE CONTROL ON POWER SYSTEMS BY FUZZY LOGIC

SUMMARY

In spite of its complexity, the real world can be modelled approximately by human brain without any data and this constitutes the main idea of fuzzy logic. Reflecting the working style of the human brain to systems constitutes a step in analyzing, modelling and solving these systems. Computers that works according to the conventional logic, can make the model of the indefinite or relative cases in real world with some acceptances and negligences. In this phase, fuzzy logic attracts attention .

The words used in daily conversations constitutes the variables of fuzzy logic. By using these variables, a system that perceived by human brain can be modeled easily with linguistic expressions. Conventional logic accepts that there are cirsp differences between events. Existent, nonexistent, hot, cold, high, low are the words oftenly used in conventional logic. But the temperature of water changes according to people. For example, one person can say that water is cold but another one says warm. So, the set of water temperature can divide into subsets like very hot, cold warm, hot warm water.

It is possible in fuzzy logic that an element can be member of two set. With this property, the water temperature problem that contains the expressions like warm water from one person and hot from another person can be solved easily by fuzzy logic inspite of the insufficiency of conventional logic.

A lot of fuzzy word are used in daily conversations. According to this expression, every system can be modelled by fuzzy logic with these fuzzy words. Fuzzy logic uses the control laws that created by an expert' s linguistic expressions. In a system using fuzzy logic control, deserved control signal can obtained by using fuzzy control rules and choosing the right parameters as inputs or outputs.

The knowledge of an operator on machine working that the operator must open the valve a little or must close the valve few, contains the inputs, outputs and deserved results for the controlled system. This knowledge does not have any meaning in conventional logic but becomes a control rule in fuzzy logic. Fuzzy logic determines the behaviour of the system for different input' s linguistic variables by producing the available output with control rules. The solution can improved during constituting the problem.

In control systems using fuzzy logic, a fuzzy logic controller contains fuzzy linguistic variables, fuzzy inputs, fuzzy outputs and fuzzy control rules take the place of complex equations and functions that used in conventional logic. In practical applications, the control signal must be conventional, so fuzzification and defuzzification processes are used in fuzzy logic controller, for transformations between fuzzy and numerical signals.

In this study, the effectiveness of fuzzy logic in control theory is used for providing the angular and voltage stability of power systems. In a one machine system that has a short circuit fault for a short time, performance of fuzzy controllers analyzed comperatively on correction of terminal voltage and angular speed signals according to conventional controllers. Conventional automatic voltage regulator and conventional power system stabilizer use some constants and transfer functions that

can be expressed as complex. In fuzzy systems, these controllers use scaling factors and a block that symbolizes the fuzzy controller.

Briefly, this study contains sections on fuzzy logic basics and concepts, definitions and theories of studied synchronous generator systems and controllers, simulations and simulation results of synchronous generator's model with each controllers, interpretations for performances of each controller on simulation results and conclusions.

1. GİRİŞ

1.1. Giriş

Sistem yapısının dinamik olmasına rağmen, büyük enterkonnekte güç şebekelerinin kararlı çalışma şartlarının sağlanması esastır. Sistemde bir arıza oluşması ya da ani yük değişimleri neticesinde bir elemanın kararlılığını kaybetmesi bile şebekeyi çok fazla etkileyebilmektedir. Elektrik şebekelerinde, kararlılığın kaybolmasına neden olabilecek kısa devre arızaları, ani yük değişimleri de oldukça sık karşılaşılan durumlardır. Bu durumlar karşısında arıza anı ve sonrasında üretim elemanı ve/veya iletim hattının devre dışı kalması gibi değişimlerin ardından bir takım kontrollerle sistemin yeni bir çalışma noktasına geçerek kararlılığını korumasını sağlamak gereklidir.

Enterkonnekte şebekelerde AA generatörlerin ürettiği momentler generatör rotorlarının açısal yer değişimlerine bağlıdır. Bu açısal yer değiştirmelerin, gerekli güç akışını sağlayacak ve sistem yükünü karşılayacak değerde tutulması gereklidir. Generatörler arasındaki açısal farkın artması halinde bu farkı azaltacak yönde bir moment üretilir ve bu momentler ile generatörlerin senkronizmada kalması sağlanır. Ancak bazen, iletim sisteminde oluşan büyük bir arıza etkisiyle bozulan rotor açısının tekrar sürekli hale getirilmesine bu senkronizasyon momenti yeterli olmayabilir. Bu durumda sistemdeki generatörlerin birkaçı veya hepsi senkronizmadan çıkarak güç sisteminde kararsızlığa yol açabilir. Oluşan arızanın küçük olması durumu için senkronizasyon momentlerinin etkisiyle, senkron generatörlerin birbirine bağımlı olan rotor açılarında salınımlar olması ile beraber senkronizmada tutulması sağlanabilir.

Her tip arıza durumunda senkronizmanın kaybolmasını engelleyebilmek amacıyla, kontrol elemanları kullanılarak senkronizasyon momentinin etkisi arttırılır. Bu sayede, aşırı yüklenmiş güç sistemlerinde küçük arızalar neticesinde bile rotor açısı

ve uç gerilimlerindeki salınımların büyüyen genliklerle artması mümkün iken, düzgün tasarlanmış ve kontrol elemanlarının uygun seçilmesi sonucunda doğru işletilen sistemlerde böyle bir sorunla karşılaşılmaz [1].

Generatörlerde artan güç ihtiyacını karşılamak ve senkronizmayı korumak amacıyla, generatör uyarma sistemlerinin yüklenmesi ve herhangi bir kontrol elemanının olmaması halinde, gerilim salınımlarının kararsız olması durumuyla karşılaşılabilir. Tek bir generatörde oluşabilecek gerilim salınımlarına karşılık, enterkonnekte sistemlerdeki gerilimin sabit tutulması zorunluluğu bu durumu engeller. Şebekelerde güç bölgeleri arasında iletim hatları üzerinden yük alışverişi yapılır ve sistem içindeki hatlara göre daha zayıf olan bu hatlar genellikle aşırı yüklenmezler. Dolayısıyla, bu bağlantılar üzerindeki senkronizasyon momentlerinin etkisi de daha zayıftır ve bağlı olan tüm sistemlerin eylemsizliği toplanmış olduğu için enterkonnekte şebekelerde salınım frekansları düşük olur. Kısaca, pek çok kararsızlık salınımı, enterkonnekte sistemlerde düşük frekanslı olur [1].

Salınımların, tek generatör veya tek güç bölgesinde olması ve generatör veya generatör grupları arasında olmasına göre sınıflandırılması mümkündür. Güç bölgeleri arasında oluşan salınımların karakteristiklerinin incelenmesi ve kontrolü daha karmaşık, tek bir bölgede oluşan salınımların incelenmesi ve kontrolü ise daha basittir. Bu yüzden güç sistemleri analizlerinde genellikle sonsuz güçlü baraya iletim hatları üzerinden bağlı generatörün olduğu tek bir güç bölgesi tercih edilir.

Generatöre eklenen kontrol elemanlarından gerilim regülatörlerinin güçlü olmayan yavaşlatma karakteristikleri nedeniyle, bu elemanın eklenmesi sonrasında gerilimde hala kompanze edilmesi gereken salınımlar gözlenebilmektedir. Bu istenmeyen salınımların giderilmesi için gerilim regülatörlerinin geri besleme döngüsüne kararlayıcı işaretler olarak adlandırılan ek işaretler verilir. Bunlar aslında, hız değişimi, güç değişimi gibi verilen işaretleri giriş olarak alıp kararlayıcı bir gerilim işareti üreten güç sistemi kararlayıcısı (GSK) tarafından generatör uyarma sistemine gerilim regülatörü üzerinden verilmektedir [2]. GSK' nın fonksiyonu generatör uyarmasını ayarlayarak sistem salınımlarının azalmasını sağlamaktır

Temel olarak, kararlayıcı çıkış işaretinin referans gerilimle toplanarak uyarma sistemine verilmesi ile uyarma geriliminin ayarlanması sağlanır. Rotor hız değişimi, frekans, ivmelenme gücü en çok kullanılan GSK giriş işaretleridir. Hız değişimi, ivmelenme gücü olarak seçilen bu işaretlerle GSK tarafından hız değişimi ile aynı fazda olan bir yavaşlatma momentı üretilir. Bu momentin generatör tarafından üretilen yavaşlatma momentine eklenmesiyle herhangi bir arıza karşısında yetersiz kalabilecek olan senkronizasyon momentı kuvvetlendirilir. Bu şekilde artan yavaşlatma momentı sayesinde salınımların söndürülmesinde daha iyi bir davranış sergilenir.

GSK' ya verilen herhangi bir giriş işareti için GSK' nın transfer fonksiyonu, bağlı olduğu generatörün uyarma ve güç sisteminin endüktif (lead) faz karakteristiğini kompanze edebilmelidir. Bu yüzden GSK' nın yapısında faz kompanzasyonu ile görevli bir takım elemanlar bulunur. [3].

GSK 'nın gelişimi incelendiğinde süregelen otuz yıl içerisinde çeşitli parametrelerin giriş olarak alınmasıyla pek çok farklı model geliştirilmiş olduğu görülmektedir. İlk geliştirilen GSK modelinde hız giriş olarak alınmıştır. Bu modelde basit olarak rotor açısının değişimini kompanze edebilmek için giriş olarak sadece rotor hız değişimi dikkate alınmaktadır [3, 4].

1960' ların başında rotor açısındaki değişimi giriş olarak alan kararlayıcı modeli geliştirilmiştir. Ancak bu modelde, sistem empedansında değişiklikler oluşması ve ölçüm süresündeki hata nedeniyle iyi bir performans elde edilememiştir. Daha sonra hız tabanlı kararlayıcılar geliştirilmiştir. Hız tabanlı kararlayıcının çalışması rotor mil hızının doğrudan ölçülüp kararlayıcı işaretinin üretilmesine dayanmaktadır. Bu modelin ilk uygulamalarında, özellikle yuvarlak rotorlu makinalarda, dar yarıçaplı ve uzun mile kararlayıcının bağlanmasıyla dönen kütleler arasında oluşan enerji değişimi kararlılığı bozucu yönde bir etki oluşturmuştur. Sonrasında bu problem, hızı ölçmek için kullanılan hız sondalarının (probe) düzgün yerleştirilmesi ve filtreler ile çözülmüştür [1, 4].

Başka bir model olarak frekans tabanlı kararlayıcılar geliştirilmiştir. Bu uygulamada terminal frekans işareti doğrudan kararlayıcıya giriş olarak verilmektedir. Bazı uygulamalarda da uç gerilim ve akımlarından makinanın rotor hızını temsil edecek

bir işaret üretilerek kararlayıcıya giriş olarak verilmektedir. Alternatif gerilimdeki faz kaymaları ve güç sistemi düzenindeki değişikliklerin generatör uyarma gerilimi ve çıkış büyüklüklerini etkileyen kısa süreli büyük frekans salınımları meydana getirmesi frekans tabanlı kararlayıcının tercih edilmemesindeki faktörleri oluşturmaktadır. Büyük endüstriyel yükler tarafından üretilen gürültü işaretinin ölçülen frekansı etkilemesi de başka bir dezavantajı oluşturmaktadır [4].

Kararlayıcıya giriş olarak verilebilecek alternatif bir işaret de elektriksel güçteki değişimdir. Büyük bir sisteme bağlanmış generatörlerde, hızda oluşan küçük elektromekanik salınımlar için elektriksel güç ve moment yaklaşık olarak aynıdır. Ölçülen elektriksel güç işareti rotor hız değişimi ile aynı fazdadır. Ölçülen güç işaretinin ölçülen hız işareti bileşeni ile birleştirilmesi sonucunda rotor hızı ile aynı fazda bir işaret üretilir. İki girişin kazanç değerlerini değiştirerek de faz ayarlaması yapılabilmektedir. Bu yapıda, elektriksel güç işareti veya hız ile birleştirilmiş güç işaretinin giriş olarak kullanıldığı bu uygulamada mekanik gücün değiştirilmesi nedeniyle uç gerilimde oluşabilecek büyük değişimlerin kompanze edilmesi gereklidir. Bu da elektriksel güç tabanlı kararlayıcının kullanımını zorlaştırmaktadır.

Bir sonraki dönemde ivmelenme gücünün giriş olarak alındığı kararlayıcı tipi geliştirilmiştir. Bu yapıda ölçülen elektriksel güç ve hız işareti birleştirilerek makinanın mekanik gücüne orantılı bir mekanik güç işareti türetilir. Gürültü işaretinin alçak geçiren filtre işleminden geçirilen türetilmiş mekanik güçten ayrılmasıyla elde edilen işareten elektriksel güç işareti çıkarılarak rotorun ivmelenmesine oranlı bir işaret elde edilir [4].

Pek çok alternatif girişin kullanılmasıyla kararlayıcı için her giriş tipinin sistem üzerindeki yapıcı ve bozucu etkisi gözönüne alınarak pek çok model geliştirilmiştir. Bu sayede sistem üzerinde ölçüm hataları ve parametrelerdeki değişimlerden en az etkilenen model oluşturuluncaya kadar bir çok kararlayıcı elde edilmiştir. Bazı modellerin bozucu etkilerinin de olmasına rağmen, ekonomiklik ve performans ihtiyacını yeterli ölçüde karşılaması sonucunda endüstride kullanıldığı görülmektedir.

OGR, GSK gibi salınımları azaltmak için kullanılacak kontrolör çeşitlerinde geleneksel kontrolör yapısı dışında optimal kontrol, adaptif kontrol gibi çeşitli modern kontrol teorileri de kullanılabilir. Özellikle enterkonnekte güç şebekelerinde kullanılan bu şekildeki sistemler dışında, yapay sinir ağları ve bulanık mantık teknikleri güç sistemi uygulamalarında çok kullanılan yeni teorilerdir [5].

Bulanık mantık teorisi ile tek bir güç alanındaki veya tek makineli bir sistemdeki salınım kontrolü geleneksel kontrole göre daha etkili bir şekilde yapılabilmektedir. Bulanık mantığın temeli gereğince kullanılan bulanık kontrol kuralları ile salınımları azaltmak için uyarma sisteminde daha ince ayarlamalar yapılabilmektedir. Yapılacak olan bilgisayar benzetim sonuçları incelenerek, aynı sistem üzerinde aynı çalışma şartlarında bulanık mantık teorisine dayalı kontrolör yapısının geleneksel kontrolörlere göre daha iyi performans verdiği gözlenebilmektedir.

1.2. Güç Sistemlerinde Kararlılık

Güç sistemlerinde kararlılık, sistem üretim ünitesi olan senkron generatörlerin sistemde oluşan arıza ve ani yük değişimleri karşılığında çalışma kararlılığını korumasıdır [6].

Güç sistemlerinde kontrol edilen ve sabit tutulmaya çalışılan iki değişken sistemin frekans ve gerilimidir. Frekans, generatörlerin tahrik makinalarının hız kontrolü ile, gerilim ise generatörlerin uyarma sistemlerinin kontrolü ile sistem sınırlamaları aralığında tutulur. Bu parametreleri sistem toleransları içerisinde tutabilmek için eklenen kontrol elemanları tarafından üretilen momentler dışında, generatörler tarafından rotorlarının açısal yerdeğişimlerine göre kendilerini senkronizasyonda tutan senkronizasyon momentini üretilir. Genellikle çok karşılaşılan, generatörün ürettiği momentin yeterli olmadığı durumlar için güç sistemi kararlayıcıları, devir sayısı regülatörleri, gerilim regülatörleri, generatör devrelerine eklenerek kararlılık momenti ve sistemin arızaya karşı kararlılığını koruyabilme yeteneği artırılır.

1.3. Bulanık Mantık Uygulamaları

Bulanık mantık teorisinin gelişimi incelendiğinde, teorisinin ilk olarak var, yok kavramlarının dışında üçüncü bir seçenek daha olabileceğini öne süren Plato tarafından ortaya atıldığı görülür. Plato’ dan sonra bulanık mantık, 1900’ lerin başında Lukasiewicz tarafından öne sürülen üç değerli mantık teorisi içerisindeki üçüncü terim “olabilirlik” ile tanımlanmıştır. Sonsuz terimli mantığa kadar da gidilebileceğini savunan Lukasiewicz sayesinde bu teori ile bulanık mantığın gelişimi sağlanmıştır. Kontrol alanındaki çalışmaları sırasında karşılaştığı karmaşık yöntemler ve çözümdeki zorluklar sonrasında 1965’ te Zadeh tarafından yazılan bulanık kümeler hakkındaki makale ile tekrar ortaya atılmış, ancak doğrudan uygulaması olmadığı için pek rağbet görmemiştir. Bu dönemde daha kuvvetli teorik temellere dayanan istatistik yöntemleri öne çıkmıştır. Bulanık teori, 1975 yılında Mamdani ve Assilian tarafından yapılan kontrol sistemine bulanık mantığın uygulanması çalışması ile dikkat çekmiştir. Daha sonraki yıllarda bir çimento fabrikasının işletilmesinde bulanık mantığın kullanılması ile öne çıkmaya başlayan bulanık mantık, ilk olarak Çin, Japonya, Kore gibi ülkelerde uygulama alanları bulmuştur. Özellikle 1980’ lerden sonra bulanık mantık uygulamaları ve uygulamalar hakkında yazılan makalelerin çokluğu ve bu teorisinin sistemlerde kullanılabilirliğinin artışı dikkat çekmektedir. Bu şekilde günümüzde bulanık mantık uygulamaları, vakum, kuru temizleme, asansörler, geometri, elektrik süpürgeleri, compact disklerdeki gürültünün saptanması, kontrol teorisi gibi pek çok alanda kullanılabilir hale gelmiştir. Kontrol teorisi içerisinde bulanık mantık, güç sistemi uygulamaları ile birleştirildiğinde güç sistemi kontrolü, güç sistemi kararlılığının sağlanması gibi konularda kullanılabilmektedir [7].

Geleneksel yapıdaki kontrol mantığından apayrı olarak bulanık mantık teorisi insan deneyimleri ve kesin olmayan bilgilere dayanabilmektedir. Bulanık bir sisteme girilecek olan verilerin yaklaşık olması yeterlidir. Bu da her türlü sistemin, bir uzman görüşü alınarak sistem parametrelerinin seçilmesi ve uygulanması gereken kuralların belirlenmesi sonrasında kolaylıkla modellenmesi imkanını sunmaktadır. Geleneksel yapıda sistem verilerinin işlenmesi ile oluşan durum modellenmeye çalışılırken, bulanık mantıkta kontrol kuralları aslında oluşan sorunu gidermeye yönelik olarak türetilmektedir. Kural yapısına göre her durum için olması gereken

değişimin yani oluşacak sonucun kontrolöre girilmesi, sistem çıkışının çok daha yeterli olarak elde edilmesini sağlamaktadır. Bir anlamda bulanık mantık sayesinde insan beyninin düşünce tarzı daha net yansıtılabilmektedir.

Sistem çıkışında elde edilmesi istenen işaretin nasıl elde edilebileceğine ait ifadelerin, işarete etkiyecek parametrenin değiştirilme miktarına kontrol kuralı olarak yansıtılması bulanık mantık tabanlı kontrolörün çalışma yapısını oluşturur. Örneğin, güç sistemi kontrol uygulamalarında bulanık mantık kontrolünün kullanılması durumunda bu işaretler gerilim kontrolü işleminde uyarma üzerinden kontrolü yapılan gerilim, senkron generatör hız kontrolunda rotor hızı, kararlılık kontrolunda güç, hız, frekans olarak seçilebilir.

Bulanık mantıkla bir sistemi modellemek ve kontrol edebilmek için geleneksel yapının tersine ayrıntılı ve kesin veriler yerine, sistemi etkileyecek parametrelerin doğru seçilmesi ve sistemin çalışma yapısının bilinmesi yeterli olmaktadır. Bir değişkenin değerinin biraz artması veya biraz azalması bulanık mantıkta bir anlam taşırken, böyle bir ifade geleneksel mantıkta değişkenin verilen referansa göre büyük ya da küçük değerleri kapsayan kümeye ait olması veya olmaması şeklinde ifade edilebilir.

Kontrol kurallarının insan düşünce ve deneyimine dayanarak oluşturulması, yapılan kontrol işleminde sistem ayarlamasının insan eliyle yapılıyor gibi olmasını sağlamaktadır. Musluk suyunun akış hızının insan tarafından ayarlanması ile daha yumuşak değişimleri kapsayan kontrol dizisi ile bir bulanık mantık kontrolörü ile yapılan kontrol işlemine ait benzer süreç oldukça yakın olacaktır. Çünkü bulanık mantık ile musluğu biraz açma ya da çok açma kavramları kontrol işlemine kolaylıkla yansıtılabilmektedir. Buna karşılık, aynı kontrol işlemi geleneksel mantığa dayanarak yapıldığında, referans değerden yüksek ya da düşük değerli bir kontrol işaretini düzeltecek kontrolün oluşturulması durumları daha keskin değişimlerin olduğu bir süreç meydana getirecektir.

Bilgisayar programları yardımıyla kolaylıkla oluşturulabilen modeller ve kontrolör benzetimleri ile sistem modelleri ve kontrolörlerin davranışlarının detaylı incelenebilmesi de mümkündür. Bulanık mantık teorisinin kapsadığı veriyi bulanıklaştırma işlemi, girişler ve çıkışlar için kullanılacak dilsel değişkenlerin ve

değer aralıklarının belirlenmesi sonrasında bunların bilgisayar programına girilmesi ile yapılabilmektedir. Bulanık teorinin kapsadığı kural tabanına, dilsel değişkenler kullanılarak kullanıcı tarafından belirlenen kontrol kurallarının girilmesinin ardından, kalan adımlar bilgisayar programı tarafından yapılmaktadır. Bu adımlar bulanıklaştırılan girişlere uygun değerlerin atanması, kontrol kurallarına göre çıkış değerlerinin belirlenip bulanık çıkışın oluşturulması ve çıkışın durulaştırılmasıdır. Elde edilen durulaştırılmış yani sayısal işaretin kullanıcı tarafından bir ölçekleme katsayısı ile çarpılarak bağlı olduğu sisteme uygulanabilecek seviyeye getirilmesi ile kontrol işareti elde edilmiş olur. Bu çalışma içerisinde de kontrolörlerin oluşturulması ve incelenmesinde de bu yöntemle başvurulacaktır.

1.4. İçerik

Giriş bölümüne ek olarak tez yedi bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde güç sistemlerinde kararlılık tanımı verilmiş, kararlılık kriterleri ve çeşitleri açıklanmıştır. Tezin ana konusu olan bulanık mantık teorisi bölüm 3' te açıklanmıştır. Bölüm 4' te bilgisayar benzetiminde kullanılan senkron generatörün durum denklemleri ile birlikte kullanılan kontrol elemanlarının çalışma yapısı genel olarak verilmiştir. Güç sistemlerinde kararlılık kontrol elemanları geleneksel elemanlar ve bulanık mantık tabanlı elemanlar olmak üzere iki kısma ayrılmış olup sırasıyla bölüm 5 ve bölüm 6' da verilmiştir. Bölüm 7' de önceki bölümlerde tanıtılan senkron generatör modeli üzerinde kısa devre arızası durumu için kararlılık kontrol elemanları eklenerek gerilim, güç değişimi ve rotor açıları bulanık mantık ve geleneksel mantık tabanlı elemanlar için gözlemlenmiştir. Her iki mantığa da uygun olarak tasarlanmış kontrol elemanların bilgisayar benzetimindeki kararlılık sonuçları da yedinci bölümde karşılaştırılmıştır. Bölüm 8 bu çalışmadan elde edilen sonuçları kapsamaktadır.

2. GÜÇ SİSTEMLERİNDE KARARLILIK

2.1. Giriş

Güç sistemlerinin sistem yükünde oluşan ani değişimleri, iletim hattı arızaları, kesintiler karşısında kararlılığını koruyabilmesi sistemin verimli ve sağlıklı çalışabilmesi için temel şarttır. Kararlılığı sağlamak amacıyla için sisteme bir takım sınırlamalar getirilmekte ve analizler yapılmaktadır. Bu bölümde kararlılığın tanımı, çeşitleri ve analizi hakkında bilgi verilecektir.

2.2. Güç Sistemlerinde Kararlılık Tanımı

Enerji sistemlerindeki kararlılık basit olarak sistemin maruz kaldığı bozucu etki sonrasında normal çalışma koşullarına dönebilme yeteneğidir. Bir güç sistemin kararlı çalışabilmesinin gerek şartı elektrik ve mekanik güç dengesidir [6, 8].

Enerji sisteminde kayıplar ihmal edildiğinde üretim üniteleri olan generatörlere tahrik makinaları vasıtasıyla verilen mekanik enerji ve generatörün sisteme verdiği elektrik enerjisi birbirine eşittir. Bilindiği gibi, enerji sisteminde tahrik makinalarıyla generatörlere verilen mekanik enerji elektrik enerjisine çevirilmekte ve sisteme bağlı olan yükler beslenmektedir.

Sistemdeki ani yük değişimleri, iletim sisteminde oluşabilecek kısa devreler gibi değişimler nedeniyle elektrik ve mekanik enerjiler arasındaki denge bozulur. Oluşan farkı yok edecek şekilde mekanik enerjide mekanik regülatörler kullanılarak generatöre verilen tahrik gücünde yapılan değişimlerle sistem dengede tutulur. Bozucu etki sonrasında enerji dengesinin bozulmasıyla sistem generatörlerinin rotor açılarında oluşan salınımlar makinanın kararlı çalışmasını ya da senkronizasyondan çıkmasını belirler. Senkronizasyondan çıkan üniteler enerji koruma sistemleri tarafından servis dışı bırakılır [6, 9]

Sistem tarafından karşılanan yükün sabit olduğu kabul edilerek yük ihtiyacını karşılayacak büyüklükte güç, sistem üniteleri tarafından üretilir. Üretim tüketim dengesini sağlayabilmek için sistem yükünün aktif güç bileşenindeki değişimin (ΔP_L) ve reaktif güç bileşenindeki değişimin (ΔQ_L), üretilen aktif ve reaktif güç bileşenlerindeki değişimler (ΔP_G , ΔQ_G) ile karşılanması gerekmektedir. Yük değişimlerinin kısa süreli olduğu durum düşünülürse, üretilen kısa süreli güç değişimleri ile denge sağlanarak güç sistemi nominal çalışma noktası etrafında tutulmaya çalışılır [10].

Güç dengesinin sağlanabilmesi için ayarlamalar yapılırken aktif güce bağlı olan şebeke frekansı ve reaktif güce bağlı olan gerilim genliğinde de değişimler oluşur[11]. Aktif güç ihtiyacında değişim oluşması durumunda rotor üzerine etkileyen güç farkı nedeniyle frekansta da değişim oluşur ve sabit olması gereken şebeke frekansındaki hata, üretilen aktif güçteki değişim ile giderilir. Şebeke frekansının değişmesi, senkron hızla çalışan senkron generatörlerin rotor hızlarının değişmesi ile doğru orantılıdır. Rotor açısal hızındaki değişimler nedeniyle oluşan salınımların toleranslar arasında tutularak senkronizmanın korunması açısal kararlılığın sağlanması dahilindedir [10-12].

Değişen reaktif güç ihtiyacı sonucu reaktif güçlerde dengesizlik olması durumunda generatörün uyarmasının ayarlanmasıyla değiştirilebilen gerilim genliğinde de hata oluşur. Yük ihtiyacının azalması veya artması durumlarında sistem gerilimi ve gücünün ayarlanabilmesi yeteneği gerilim kararlılığı olarak adlandırılır. Bir sistemin gerilim kararlılığı beslediği yüklerin karakteristiğine bağlıdır. Gerilimde oluşan hatanın sınırlamalar arasında tutulabilmesi, sistemin gerilim kararlılığını koruyabilmesidir. Sistemde, yük değişimi sonrasında düşük ya da aşırı gerilimlerin oluşması ve elemanlara zarar vermesinin engellenmesi gerilim kararlılığı ile sağlanır. Sistemde ani yük değişimi, uyarmanın sınırlarının zorlanması ya da hatların aşırı yüklenmesi gerilimde kararsızlığı oluşturan tipik nedenlerdir [12,13].

Generatörün ürettiği aktif güç değişimi regülatörler tarafından mekanik enerjinin, reaktif güç değişimi ise uyardaki elektriksel elemanlar tarafından uç gerilimi üzerinden elektriksel enerjinin değiştirilmesi ile oluşturulur. Mekanik enerji değişimini sağlayan devir sayısı regülatörlerinin zaman sabiti uyarma alanındaki

elektriksel elemanların zaman sabitine göre çok daha büyük olduğundan elektriksel enerjideki değişime mekanik enerji tarafından aynı hızla cevap verilemez. Bu yüzden bozucu etki ve sisteme müdahale zamanı dikkate alınarak güç sistemlerindeki kararlılık analizi müdahale zamanına göre geçici hal kararlılığı, dinamik hal kararlılığı ve sürekli hal kararlılığı olmak üzere sınıflandırılmıştır [6,14].

2.3. Geçici Hal Kararlılığı (Transient Stability)

Sistemin karşılaştığı bozucu etki sonrasındaki ve mekanik enerji değişimini sağlayacak regülatörlerin devreye girmediği varsayılan birkaç saniyelik sürede bozucu etkiye sistemin verdiği cevaptır [6, 8].

Geçici hal kararlılığı güç sistemindeki herhangi bir arıza veya kısa devre sonucunda iletim sisteminden ani olarak bir generatörün, hattın ayrılması ya da anahtarlama sebepleri olabilecek herhangi bir ani şok karşısında tüm generatörlerin senkronizmada kalması ile ilgilidir. Sistemin kararlı olarak çalışabilmesi için kritik bir açı bulunmaktadır. Generatörün ilk salınımda kararlılığını kaybetmesi durumu geçici kararsız çalışma, ilk salınımda kararlı çalışması durumuna da geçici kararlı çalışma durumu olarak adlandırılır. Güç sisteminin kararlılık analizinin yapılabilmesi için eşit alan kriterine ihtiyaç duyulur. Tek makinalı sistemlerde yük açısının zamana göre değişimi incelenerek de analiz yapılabilir.

Eşit alan kriteri kullanılarak sistemin kararlı veya kararsız çalışma durumları belirlenir. Aşağıdaki şekillerde kararlı ve kararsız çalışma durumları eşit alan kriteri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Kararlı çalışma durumunda sistemde oluşan arızanın t_{c1} ya da δ_{c1} anında temizlendiği varsayılarak generatörün ivmelenmesiyle oluşan A_a alanının generatörün yavaşlamasıyla oluşan A_d alanına eşit olduğu görülür. Arıza temizlendikten sonra açı maksimum değerine ulaşır ve tekrar azalmaya başlar. Arıza sonrasında makine farklı bir çalışma noktasında kararlılığa ulaşır. Arıza sonrası çalışmaya ait eğride ulaştığı denge noktası yeni kararlı çalışma noktasıdır [6, 14].

12

2.4. Dinamik Hal Kararlılığı

Bozucu etki sonrasında devir sayısı regülatörlerinin devreye girdiği birkaç dakikalık sürede bozucu etkiye sistemin verdiği cevaptır. Regülatörlerin devreye girmesiyle mekanik enerji elektrik enerji dengesi sağlanmaya çalışılır. Enerji dengesinin, elektriksel gücün değişmesi ile bozulmasının ardından hıza duyarlı olan regülatörler tarafından sistem nominal hızına ulaştırılmaya çalışılır. Dengeyi sağlamak amacıyla tahrik makinaları tarafından mekanik güç değiştirilir, ancak bu sefer de mekanik gücün denge noktasını geçmesi nedeniyle enerji dengesizliği oluşur. Dengesizliğin giderilmesi amacıyla mekanik enerji tekrar değiştirilir. Bu değişimler rotor açısında salınımlar oluşmasına neden olur. Salınımların genliklerinin giderek büyümesi kararsız çalışmaya, giderek küçülmesi ise sistemin bir süre sonra sürekli çalışma noktasına gelmesini sağlar [6].

2.5. Sürekli Hal Kararlılığı

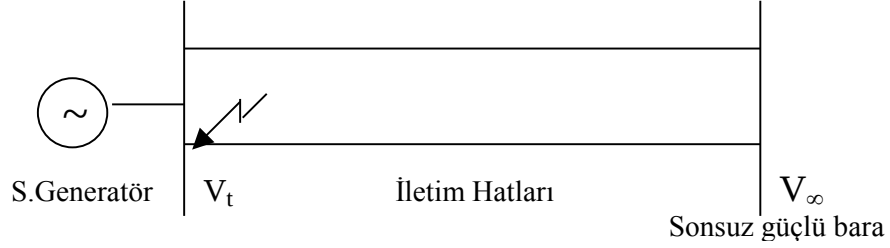
Küçük bozucu etkilere karşı sistemin verdiği cevaptır. Kararlı bir sistemde bozucu etki veya arıza sonrasında, sistem başlangıç işletme koşullarında ya da bozucu etki nedeniyle yeni işletme koşullarında kararlı olarak çalışmaya devam eder. Eğer sisteme ait tüm değişkenler arasında bozucu etki önce ve sonrasında oluşan fark çok küçükse sistem ilk koşullarda çalışıyor kabul edilir ki bu sistemin sürekli hal çalışma durumudur [6, 8, 14].

Genellikle analiz yapılırken sürekli hal kararlılığı ve dinamik hal kararlılığı beraber dikkate alınır.

2.6. Güç Sistemlerinde Kararlılık Analizinin Yapılması

Bozucu etki sonrasında enerji dengesi bozulur, oluşan ivmelendirme veya yavaşlatma momentinin etkisiyle rotor açısı salınımlar yapar. Rotor açısı salınımlarının giderek büyümesi durumunda bir süre sonra makine senkronizasyondan çıkar. Tersine rotor açısı en yüksek değerine ulaştıktan sonra giderek küçülen salınımlar yapmaya başlarsa senkron çalışmaya devam ederek kararlı kalır.

Sonsuz güçlü bir baraya iki eşdeğer paralel iletim hattı üzerinden bağlı senkron generatörün tek hat şemasında iletim hatlarından birinin başlangıç noktasında üç fazlı bir arıza oluşması durumunda çeşitli hesaplamalar yapılır.



Şekil 2.2. İletim hatlarında arıza oluşması durumu

Arızadan önceki generatör akımı, generatörün iç gerilimi, sistem gerilimi, maksimum güç ve mekanik güç aşağıdaki gibi hesaplanır [6].

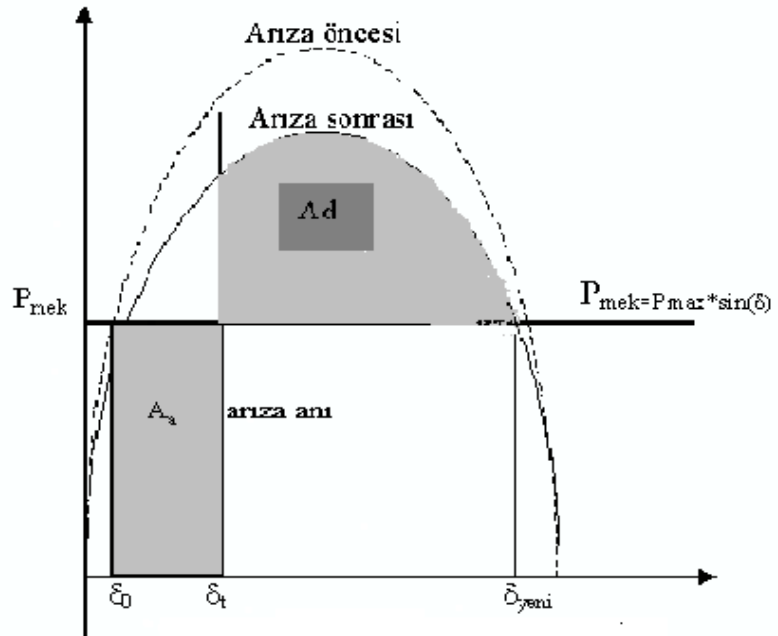
$$\begin{aligned}\bar{I}_{GEN} &= \frac{S}{V_t} \\ \bar{E}_{SIS} &= V_t - j(X_t + \frac{X_{hat}}{3} + X_{sistem}) \bar{I}_{gen} = |E_{sistem}| \angle \lambda \\ \bar{E}_f &= \bar{V}_t + jX'_d \bar{I}_{gen} = |E_f| \angle \alpha \\ P_{max} &= \frac{E_f E_{sistem}}{X_{toplam}}, \Rightarrow P_{mek} = P_{max} * \sin(\delta_0) \\ \delta &= \alpha - \lambda\end{aligned}\tag{2.1}$$

Üç fazlı arıza olması ve arızanın yeri nedeniyle arıza giderilene kadar generatörün çıkış gücü sıfır olacaktır. Arıza t anında giderildiğinde maksimum güç ve açı, devre dışı kalan hat gözönüne alınarak tekrar hesaplanır [6].

$$\begin{aligned}P_{max,yeni} &= \frac{E_f E_{sistem}}{X_{toplam,yeni}}, \\ \delta_{yeni} &= 180 - \frac{P_{mek}}{P_{max,yeni}}\end{aligned}\tag{2.2}$$

A_a ve A_d alanları hesaplanarak kararlılık analizinde A_a' nın A_d alanından büyük olması durumunda generatörün kararsız çalıştığı, A_a alanının A_d alanına göre küçük veya eşit olması durumunda kararlı çalıştığı belirlenir [6].

Şekil 2.3’ de ivmelenme ve yavaşlama alanlarının eşit olduğu durum gösterilmiştir. Bu alanların eşitlenerek senkron makinanın kararlılığını koruyabilmesi için kritik temizleme açısının hesaplandığı formüller ise denklem (2.3)’ de ayrıca gösterilmiştir[8, 14].


$$A_a = \int_{\delta_0}^{\delta_k} P_{\max} \sin(\delta_0) d\delta \quad (2.3)$$

$$A_d = \int_{\delta_k}^{\delta_{yeni}} P_{\max, yeni} \sin(\delta) - P_{\max} \sin(\delta_0) \quad (2.4)$$

$$A_a = A_d \Rightarrow \int_{\delta_0}^{\delta_k} (P_{\max} \sin \delta_0) d\delta + \int_{\delta_k}^{\delta_{yeni}} (P_{\max} \sin(\delta_0) - \frac{X_{toplam}}{X_{toplam,yeni}} P_{\max} \sin(\delta)) d\delta = 0 \quad (2.5)$$

$$\Rightarrow (\delta_k - \delta_0) \sin(\delta_0) + \sin(\delta_0)(\delta_{yeni} - \delta_k) + \frac{X_{toplaml}}{X_{toplaml,yeni}} (\cos \delta_{yeni} - \cos \delta_k) = 0 \quad (2.6)$$

$$\delta_k = \left(\cos^{-1} \frac{(\delta_{yeni} - \delta_0) \sin \delta_0 + \frac{X_{toplaml}}{X_{toplaml,yeni}} \cos \delta_{yeni}}{\frac{X_{toplaml}}{X_{toplaml,yeni}}} \right) \quad (2.7)$$

$$M \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_{mek}, \Rightarrow \frac{d\delta}{dt} = \frac{P_{mek}}{M} t \quad (2.8)$$

$$\delta = \delta_0 + \frac{P_{mek}}{2M} t^2 \quad (2.9)$$

$$\delta = \delta_k \Rightarrow t_k = \sqrt{\frac{2M}{P_{mek}} (\delta_k - \delta_0)} \quad (2.10)$$

Sonuç olarak, bu bölümde kararlılık tanımına ek olarak açısal kararlılığının kapsamaları verilmiş olup, kararlılığın müdahale zamanlarına göre sınıflandırılması, rotor açısı kararlılığı analizinde kullanılan eşit alan kriteri açıklanmıştır. Bundan sonraki bölümde bulanık mantığın temeli ve yapısı açıklanacaktır.

3. BULANIK MANTIK TEORİSİ

3.1. Giriş

Bulanık mantık teorisi 1965 yılında Prof. L. A. Zadeh tarafından geliştirilmiş, temeli bilgisayarlar da günlük konuşmalarda sıkça geçen dilsel değişkenlerin sistem modellemesinde kullanılmasına dayalı bir kavramdır. Bu bölümde bulanık mantığın temeli ve kullandığı kavramlar, bulanık mantık tabanlı kontrolörler açıklanacaktır[15].

3.2. Bulanık Mantık Teorisi

Bulanık mantık, yapısında doğru ya da yanlış olarak ifade edilen keskin ayrımlar bulunan Aristo mantığına dayalı geleneksel mantıktan farklı bir yapıya sahiptir. Bulanık mantıkta kullanılan kümeler bulanık kümeler olarak adlandırılır ve bulanık kümeler düz mantıktaki küme yapısının tersine elemanlarının $\{0, 1\}$ arasında değişen üyelik derecelerine sahip olmasına imkan verir. Bir elemanın aynı anda iki kümeye ait olabilmesi ile kümeler arasında girişimler oluşturulur. Bu kümeler günlük konuşma dilinde kullanılan “sıcak”, “ılık”, “orta”, “büyük” gibi çeşitli dilsel değişkenlerle ifade edilir [15, 16].

3.3. Bulanık Mantıkla Modelleme İlkeleri

Bulanık mantık, sistemlerin modellenmesinde geleneksel yöntemlerin tanımlamada yetersiz kaldığı ifadelerin tanımlanmasını sağlar. Basitçe, bulanık mantık günlük konuşmalarda kullanılan ve belirsizlik ifade eden kelimelerin dilsel değişken olarak sistem modellemesinde kullanılması olarak tanımlanabilir. Geleneksel sistemlerde kullanılan ve elde edilen veriler bir takım referans noktalarına, önceden belirlenmiş ya da ortak kabul edilmiş sabit değerlere göre işlenir. Ancak gerçek hayatta kullanılan bazı değişkenlerin aralığı kişiden kişiye değişiklik gösterebilir. Bu ifade bulanık mantığın açıklanmasında çok sık kullanılan sıcaklık örneğiyle daha net

olarak açıklanabilir. Su sıcaklığı bir kişi tarafından ılık olarak değerlendirilirken başka bir kişi tarafından soğuk veya sıcak olarak değerlendirilebilir. Bu da su sıcaklığının kişiler açısından farklı algılandığının göstergesidir. Geleneksel mantıkta kesin ayrımların kullanılması gerekliliğinden dolayı böyle bir sistemin modellenmesinde bulanık mantık devreye girer [16].

Bulanık mantık olayların karmaşık olması ve yeterli bilgi bulunmaması sonucunda insan deneyim ve görüşlerine dayanarak işlem yapılması halinde bile her türlü sistem modellemesinde kullanılabilir [16]. Tüm sistemler sistemi kontrol eden operatör ya da uzmanın deneyimlerine dayanarak bulanık mantıkla modellenebilir. Örneğin bir makinanın hızını ayarlayan operatörün vanayı ne kadar çevireceği bilgisi dilsel değişkenler yardımıyla ifade edilerek bulanık mantıkta kontrolü sağlayan kurallar oluşturulur ve bu şekilde sistem modellenebilir [16, 17].

3.4. Bulanık Küme Tanımı ve Üyelik Dereceleri

Geleneksel mantıkta elemanın bir kümeye ait olması ve olmaması gibi kesin ayrımlar vardır. Bir elemanın kümeye ait olması 1, ait olmaması ise 0 gibi değerlerle ifade edilir. Bulanık kümelerde bir evrensel küme içindeki kümenin üyeleri $\{0, 1\}$ aralığında değişen üyelik fonksiyonu μ_f ile karakterize edilirler. Bulanık kümelerde eleman aynı anda bir kümeye a üyelik derecesiyle ait iken diğer bir kümeye de b üyelik derecesiyle ait olabilir. Herhangi bir U evrensel kümesi altında bir F bulanık kümesi olduğu varsayılırsa, bulanık küme eleman ve elemanın üyelik fonksiyonu derecesi çiftinden oluşur [16, 18, 19].

F bulanık kümesi aşağıdaki denklemlerle gösterilebilir:

$$F = \{(u, \mu_F(u)) \mid u \in U\}$$

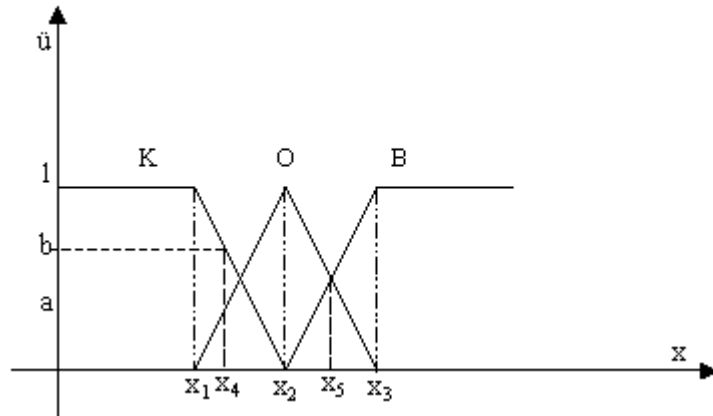
$$F = \int_U \mu_F(u) / u \quad (3.1)$$

Bulanık kümeler teorisinde tanımlanan üyelik derecelerinin her bir bulanık ifade için üç özelliği sağlaması gereklidir [16].

1. Elemanlardan en az bir tanesinin üyelik derecesi 1 olmalıdır.
2. Üyelik derecesi 1 olan elemanın en yakın sağ ve solundaki elemanların üyelik derecesi de 1' e yakın olmalıdır. Bu özelliğe bulanık kümenin monoton olması veya yakınsaklık özelliği denir.
3. Üyelik derecesi 1 olan eleman referans olmak üzere, simetrik elemanların üyelik dereceleri birbirine eşit olmalıdır. Bu özellik bulanık kümenin simetrikliği olarak adlandırılır.

Üyelik fonksiyonu küme elemanlarının üyelik derecelerini gösteren eğridir. Üçgen, sinüsoid, trapezoid gibi çeşitli şekiller kullanılarak en yüksek üyelik derecesi $\{1\}$ olabilen bulanık kümeler oluşturulur. Bulanık kümelerde üyelik fonksiyonları belirsizlik değişkenlerinin ifade edilebilmesi için örtüşmüş haldedir [16, 20].

Bulanık kümede tanımlanan aralıkta ortadaki elemanın üyelik derecesi 1' den başlamak üzere kenarlara yaklaşıldıkça elemanların üyelik dereceleri yani kümeye aitliği giderek azalır. Bu durum şekil 3.1' de gösterilmektedir [19].



Şekil.3.1. Üyelik fonksiyonu [16]

Üyelik fonksiyonu ile K, O, B aralıklarındaki tüm x değerlerine üyelik derecesi $\bar{u}(x)$ atanmış olur. Örneğin şekil 3.1' de x_4 elemanı K kümesine b , O kümesine a üyelik derecesi ile bağlıdır.

Üyelik dereceleri ve elemanlar denklem (3.2)' de olduğu gibi gösterilebilir:[18]

$$K = \left\{ \frac{1.0}{x_1}, \frac{b}{x_4} \right\} \quad (0 < a, b < 1) \quad (3.2)$$

x, A kümesinin kümesinin elemanı olmak ve Σ , + işaretleri küme üyelerin topluluğunu ifade etmek üzere bir bulanık küme denklem (3.3)' deki gösterilebilir:

$$A = \left\{ \frac{\ddot{u}(x_1)}{x_1} + \frac{\ddot{u}(x_2)}{x_2} + \dots \right\} = \left\{ \sum_i \frac{\ddot{u}(x_i)}{x_i} \right\} \quad (3.3)$$

$$A = \{x\mu_a(x) | x \in X\}$$

3.5. Bulanık Küme İşlemleri

Geleneksel küme teorisindeki küme işlemlerini bulanık kümeler için de aynı şekilde uygulayabilmek mümkündür. Geleneksel küme yapısı aslında bulanık kümenin alt kümesini oluşturmaktadır.

A ve B' nin U evrensel kümesi altında bulunan, üyelik dereceleri sırasıyla μ_A ve μ_B ile ifade edilen iki bulanık küme olduğu varsayılırsa bulanık kümeler için birleşme, kesişme ve bütünleme işlemleri üyelik fonksiyonları ile aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

1-Birleşim: $A \cup B$ bileşke kümesinin üyelik fonksiyonu U evrensel kümesi altındaki elemanlar için maksimum değeri ile tanımlanabilir [16-18].

$$\mu_{A \cup B}(u) = \max\{\mu_A(u), \mu_B(u)\} \quad (3.4)$$

2-Kesişim: $A \cap B$ kesişim kümesinin üyelik fonksiyonu U evrensel kümesi altındaki elemanlar için minimum değeri ile tanımlanabilir [16-18].

$$\mu_{A \cap B}(u) = \min\{\mu_A(u), \mu_B(u)\} \quad (3.5)$$

3-Bütünleme: A bulanık kümesinin bütünleyeni U evrensel kümesi altındaki elemanlar için kümenin üyelik derecesini maksimum değerine yani 1' e tamamlayan değer olarak tanımlanabilir [15-18].

$$\mu_{\bar{A}}(u) = 1 - \mu_A(u) \quad (3.6)$$

4-Kartezyen Çarpım: $U_1 \dots U_n$ evrensel kümeleri altında $A_1, \dots, A_n$ bulanık kümelerinin olduğu varsayılarak $A_1, \dots, A_n$ bulanık kümelerinin kartezyen çarpımının $U_1 \times \dots \times U_n$ çarpım uzayı altında ve üyelik fonksiyonunun aşağıdaki gibi olduğu görülür: [18].

$$\mu_{A_1 \times \dots \times A_n}(u_1, u_2, \dots, u_n) = \min\{\mu_{A_1}(u_1), \dots, \mu_{A_n}(u_n)\}$$

veya (3.7)

$$\mu_{A_1 \times \dots \times A_n}(u_1, u_2, \dots, u_n) = \mu_{A_1}(u_1) \cdot \mu_{A_2}(u_2) \cdot \dots \cdot \mu_{A_n}(u_n)$$

3.6. Bulanık Kümeler ve Dilsel Değişkenler

Sürekli bir U uzayındaki bir bulanık küme dilsel değişkenleri kapsar. Dilsel değişken olarak bulanık bir sayı ya da dilsel terimlerle tanımlanan değer ifade edilir.

Dilsel değişkenler: x bir dilsel değişkenin ismi, $M(x)$ x ' e ait U içindeki bulanık sayı olan dilsel değerler dizisini gösteren terim ve U evrensel küme olmak üzere bir dilsel değişken $(x, M(x), U)$ ile karakterize edilebilir [18, 21].

Örneğin, dilsel değer olarak sıcaklık ele alınırsa, sıcaklığın dilsel değerler dizisini gösteren terim $M(\text{sıcaklık})$ aşağıdaki gibi olur:

$$M(\text{Sıcaklık}) = \{ \text{Soğuk, Ilık, Sıcak} \}$$

$M(\text{Sıcaklık})$ içindeki her terim U uzayında bir bulanık küme ile karakterize edilir.

3.7. Bulanıklaştırma İşlemi

Bulanıklaştırıcının görevi, geleneksel mantık yapısında kümeye aitlik derecesi sadece 0 ya da 1 olabilen verileri bulanık hale getirmektir. x_0 sayısal giriş ve x bulanık çıkış olmak üzere bulanıklaştırıcı sembolik olarak aşağıdaki gibi gösterilebilir [16, 17]:

$$x = \text{bulanıklaştırıcı}(x_0) \quad (3.8)$$

3.8. Cümle Birleştirme Operatörleri

Bulanık mantık kavramına dayalı kontrolör (FLC) “VE”, “VEYA” bağlantılarının kullanıldığı bulanık mantık kontrol kurallarını kapsar. Bulanık kontrol kuralları ile sistemin tüm bulanık davranışı belirlenir. Bir anlamda, bulanık bir sistem, bulanık ilişki kural kümesindeki bulanık ilişkilerin kombinasyonudur [22].

3.9. Durulaştırma İşlemi

Bulanık sistemden elde edilen çıkış yine bulanık bir küme olur. Kontrol işleminin yapılabilmesi için, kontrol işareti veya hareketinin bulanık olmayan yani sayısal işaret olması gereklidir. Bu durum için elde edilen bulanık kontrol işareti durulaştırma yöntemi kullanılarak geleneksel işaret şekline dönüştürülür [16, 17].

$$z_o = \text{durulaştırıcı}(z) \quad (3.9)$$

Yukarıdaki ifadede z durulaştırma işleminden geçirilen bulanık çıkışı ve z_o da bulanık olmayan kontrol çıkışını ifade etmektedir.

3.10. Koşullu Bulanık Durumlar ve Bulanık Kontrol Kuralları

Bulanık mantık teorisinde, bulanık bir sistemin dinamik davranışı uzman görüşüne dayanarak belirlenen dilsel kurallar serisi ile karakterize edilir. Bulanık kurallar genellikle bir takım koşulların oluşması durumunda bir takım sonuçların elde edileceği temeline dayanır. Kurallar yapısı temel olarak aşağıdaki şekildedir [17, 22].

KURAL: EĞER (*oluşabilecek koşullar*) İSE O ZAMAN (*oluşabilecek sonuçlar*).

Kuralların kapsadığı EĞER-O ZAMAN yapısı dilsel terimlerle birleştirilmiş olarak kullanıldığından koşullu bulanık durumlar olarak adlandırılır. Bu şekilde uygulamada oluşabilecek koşullara karşılık uygulanacak kontrol belirlenmiş olur. Kurallarda öncül kısmı oluşturan EĞER bölümü uygulamada oluşabilecek koşulları belirlerken, soncul kısımda ise O ZAMAN teriminin ardından uygulanması gereken kontrol hareketi belirlenir. Temel olarak bulanık kontrol kuralları, üzerinde çalışılan sistem bilgisini ve uygulanabilecek kontrol çıkışını içerir. Kurallar içinde pek çok dilsel

değişkenin kullanılabilmesine ek olarak, tek giriş-tek çıkış (SISO), çoklu giriş-çoklu çıkış (MIMO), çoklu giriş-tek çıkış (MISO) yapısında sistemler oluşturulabilir. Sistemin çoklu girişi olduğu durumlarda girişler arasına küme birleşimini ifade eden VE, kesişimi ifade eden VEYA gibi bağlaçlar eklenir. Giriş işaretleri x_1 , x_2 ve kontrol değişkeni y olarak ifade edilmek üzere çoklu giriş tek çıkışın olduğu sisteme ait bulanık kontrol kural yapısı aşağıdaki gibi olur [17, 21, 23, 24]:

K_1 : Eğer x_1 A_{11} ve x_2 A_{12} ise o zaman y B_1 ,

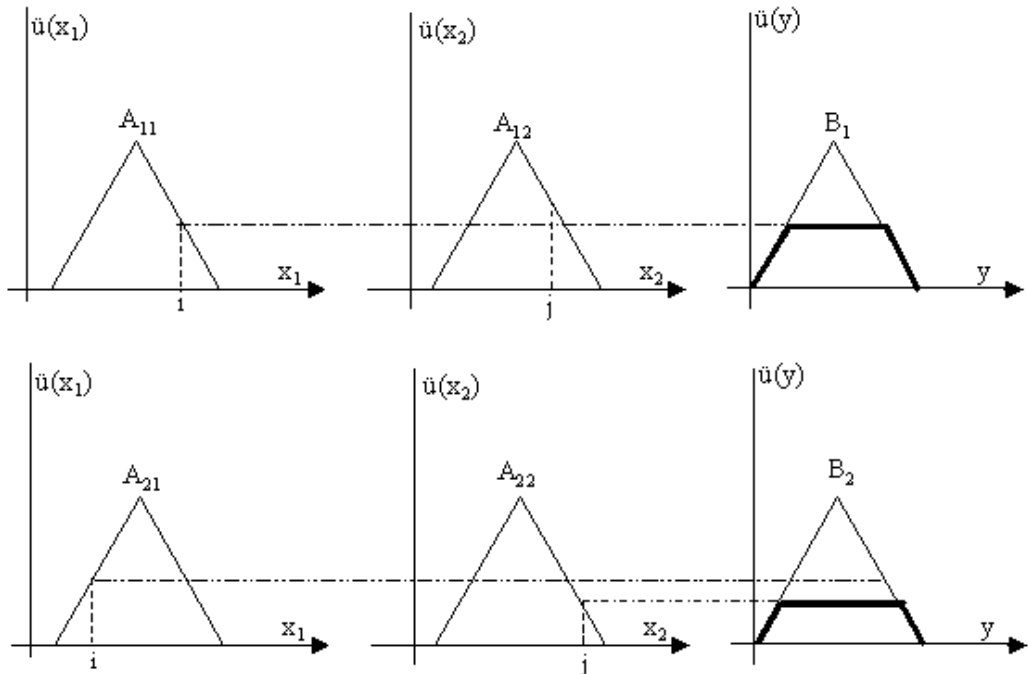
K_2 : Eğer x_1 A_{21} ve x_2 A_{22} ise o zaman y B_2 ,

...

...

K_n : Eğer x A_u ve y B_v ise o zaman z C_w

Kurallar içerisinde kullanılan A_i , B_i , C_i terimleri dilsel değişkenlerin değerlerini göstermektedir. Şekil 3.2' de söz konusu bulanık kurallar üyelik fonksiyonları ile gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Bulanık kontrol kuralları üyelik fonksiyonları [22, 24, 25]

Bulanık kontrol kuralları bulanık A_i ve B_i kümeleri $U \times V$ uzayında olmak üzere aşağıdaki gibi de ifade edilebilir [18]:

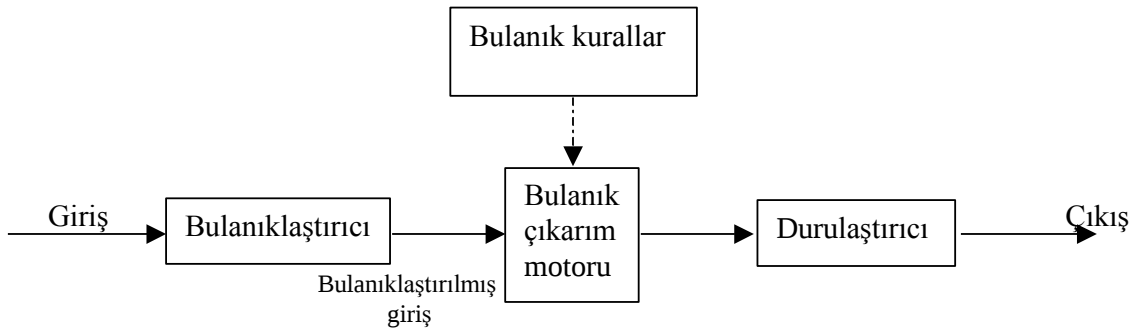
$$\mu_{R_i} \cong \mu_{(A_i \text{ and } B_i \rightarrow C_i)}(u, v, w) = [\mu_{A_i}(u) \text{ and } \mu_{B_i}(v)] \rightarrow \mu_{C_i}(w)$$

$A_i \times B_i \in u \times v$ iken $R_i (A_i \text{ ve } B_i) \rightarrow C_i$; $u \times v \times w$ bulanık bir gerçeklemedir.

Koşullu durumlar gereğince n tane durum için girişte verilen x değerlerine karşılık çıkışta alınan n tane bulanık işaret olan y değeri durulaştırma işleminden geçirilerek sisteme uygulanacak kontrol hareketi belirlenir.

3.11. Bulanık Mantık Kontrolörünün Temel Yapısı

Bulanık mantık kontrolörünün (FLC) temel yapısı incelendiğinde bulanıklaştırıcı, bilgi kural tabanı, bulanık çıkarım motoru ve durulaştırıcı olmak üzere dört ana bileşenden oluştuğu görülür. Basit bir FLC modeli şekil 3.3’ de gösterilmiştir.



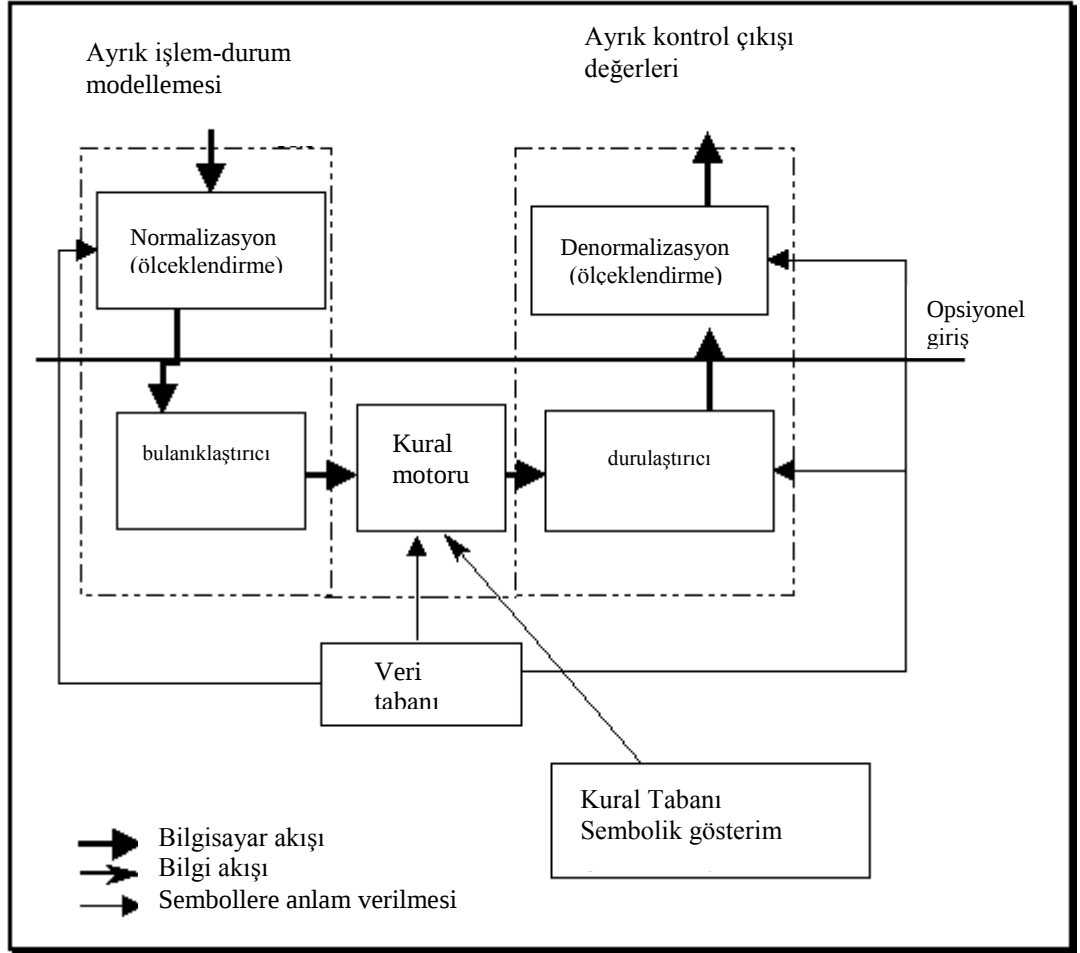
Şekil 3.3. FLC yapısı [22, 26]

Bulanıklaştırıcı: Giriş değişkenlerinin değerlerinin ölçülmesi, değerlerin ortak bir uzayda karşılaştırmasının yapılabilmesi için normalizasyon işlemi ve giriş verisinin bulanık kümeler için uygun dilsel değişkenlere atanması işlevlerini yapar [16, 22].

Bilgi Kural Tabanı: Uygulamanın yapıldığı alanın bilgisi ile istenen kontrol işlemlerinin karşılaştırılması işlevini yapar. Gerekli tanımlamaların yapılması için sisteme ait bilgiler ve amaçlanan kontrol çıkışını verecek dilsel bulanık kontrol kural tabanını içerir [16, 22].

Çıkarım Motoru: İnsan karar verme mekanizmasını bulanık mantık kavramını kullanarak sisteme yansıtma yeteneğindedir [16].

Durulaştırıcı: Elde edilen çıkış değerlerinin ait olduğu değer aralığına ölçeklendirilmesi ve sisteme uygulanabilmesi için bulanık çıkışın bulanık olmayan şekle dönüştürülmesi ile sorumludur [16, 22].



Şekil 3.4. FLC temel konfigürasyonu

Bulanık kontrol çıkışının durulaştırılması işlemi için çeşitli metodlar kullanılmaktadır. Bu metodlar arasında en çok kullanılan üç metod aşağıdaki gibidir:

➤ En Büyük Üyelik Metodu (*The max. criterion method*): Bu yöntemde bulanık kontrol işaretinin üyelik fonksiyonundaki maksimum değer gözönüne alınır. Kullanılması için çıkışta elde edilen bulanık kümelerin tepe değerlerinin olması gereklidir. Herhangi bir kontrol işlemine ait örnek bir üyelik fonksiyonunun maksimum değeri şekil 3.5.a' da gösterilmiştir [5, 16, 19].

➤ Ortalama En Büyük Üyelik Metodu (*The mean of max. method*): Bu yöntemde göre kontrol işareti tüm kural çıkışlarının ortalama değerine göre üretilir. Bu kontrol hareketinin üyelik fonksiyonu maksimum değere ulaşır. Burada y_j üyelik fonksiyonunun ulaştığı maksimum değer ve n bu değerlerin sayısı olmak üzere yöntem aşağıdaki gibi formüle edilebilir [5, 19]:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{j=1}^n y_j}{n} \quad (3.10)$$

Şekil 3.5.b ' de bu yöntemde ait üyelik fonksiyonu gösterilmiştir.

➤ Ağırlık Merkezi Metodu (*The centroid method*): Üyelik fonksiyonu eğrisinin sınırladığı alanın ağırlık merkezinin bulunmasına dayanan bir yöntemdir. Durulaştırma işlemlerinde yaygın olarak kullanılır. Bu metod aşağıdaki gibi formüle edilebilir [5, 16, 19]:

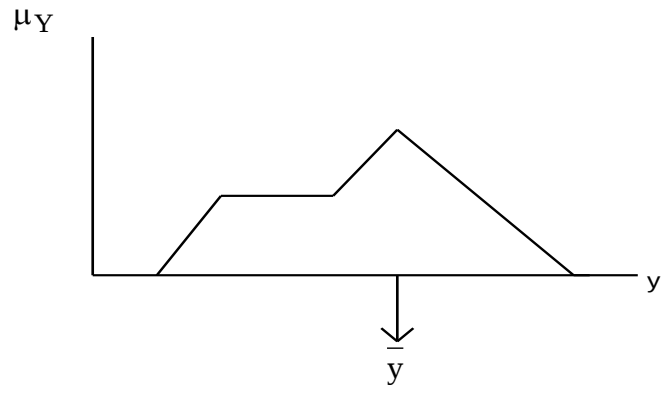
$$\bar{y} = \frac{\int \mu_Y(y) \cdot y dy}{\int \mu_Y(y) dy} \quad (3.11)$$

Şekil 3.5.c' de bu yöntemde ait üyelik fonksiyonu gösterilmiştir.

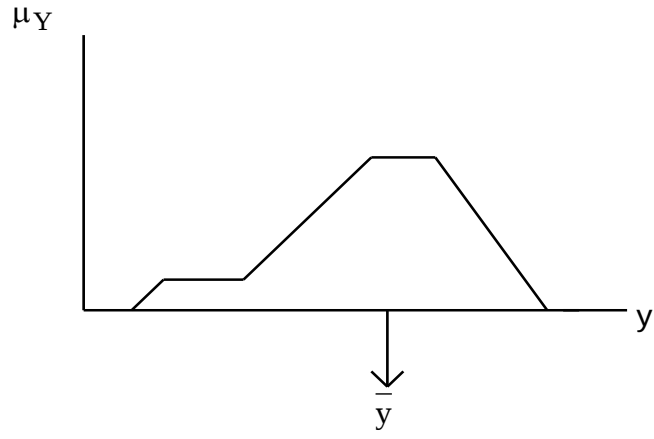
Uygulamada sisteme verilen kontrol işaretlerinin sayısal değerler olması gereklidir. Bir generatörün yakıtı ve/veya uyarmasının ne kadar arttırılacağı, geleneksel yapıya uygun olarak sayısal değerlerle verilebilir. Bu durumda, bulanık sistemden elde edilen bulanık sonuçların durulaştırma işleminden geçirilerek sayısallaştırılması bir gerekliliktir.

Sistemlerde genellikle bulanık kümelerin ağırlık merkezlerinin kullanıldığı ağırlık merkezi (sentroid) metodu kullanılmaktadır. Tez içerisinde yapılan bilgisayar benzetimlerinde de durulaştırma işlemi olarak ağırlık merkezi metodu seçilmiştir.

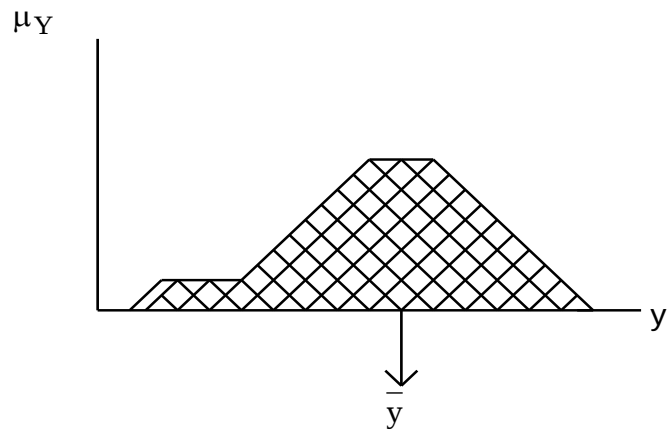
Sonuç olarak bu bölümde bulanık mantık teorisine ilişkin temel kavramlar tanıtılmış ve bir bulanık mantık kontrolörünün kapsamı gereken bölümler gösterilmiştir. Bundan sonraki bölümde çalışmada kullanılacak güç sistemi modeline ait matematiksel denklemler verilecektir.



Şekil 3.5.a En büyük üyelik metodu [5].



Şekil 3.5.b Ortalama en büyük üyelik metodu [5]



Şekil 3.5.c Ağırlık merkezi (sentroid) metodu [5]

4. GÜÇ SİSTEMİ MODELLEMESİ

4.1. Giriş

Bu bölümde tezde geçen bilgisayar benzetimlerinde kullanılacak güç sistemi, senkron generatör, otomatik gerilim regülatörü ve güç sistemi kararlayıcısı modelleri açıklanacaktır.

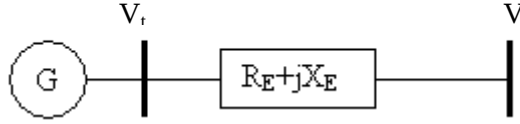
İlk olarak paralel iki iletim hattı üzerinde sonsuz güçlü şebekeye bağlı tek makinalı güç sisteminin genel bir modeli açıklandıktan sonra, tez çalışmasındaki temel bilgisayar benzetimini oluşturan senkron generatör modeli tüm mekanik ve elektriksel alt sistemleriyle zaman denklemleri verilerek anlatılacaktır. Ardından senkron generatöre eklenecek ve diğer bilgisayar benzetimlerinin oluşturulmasında kullanılacak gerilim regülatörü ve güç sistemi kararlayıcısı modeli genel özellikleriyle tanıtılacaktır.

4.2. Güç Sistemi Modeli

Güç sistemlerinde basitleştirme için tek bir generatörün iletim hatları üzerinden sonsuz güçlü şebekeye bağlandığı model gözönüne alınır. Genellikle sistem analizi yapılırken bu tarz sonsuz baralı tek makinalı sistemlerde karakteristikler kolay anlaşılabilir. Bu çalışmada ise basitleştirme için tek bir generatörün iletim hatları üzerinden sonsuz güçlü şebekeye bağlandığı model gözönüne alınır. Genellikle sistem analizi yapılırken bu tarz sonsuz baralı tek makinalı sistemlerde karakteristikler kolay anlaşılabilir.

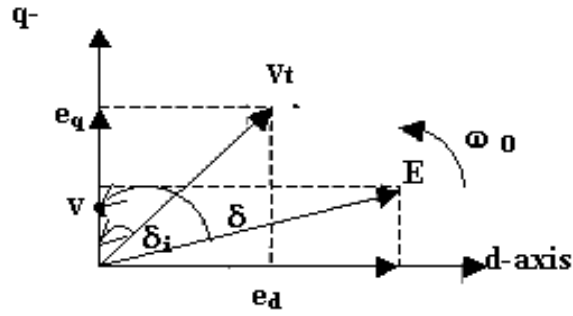
Tez çalışması için geliştirilen tüm elemanların benzetimleri, tek makinalı sistemdeki senkron generatör için oluşturulan bilgisayar benzetimi modeline eklenerek yapılacaktır. İlerideki bölümlerde kullanılacak bilgisayar benzetimlerinde de sonsuz güçlü bir baraya üç fazlı paralel iki iletim hattı üzerinden bağlanmış senkron generatör modeli kullanılmıştır. Üç fazlı iletim sisteminde oluşan kısa devre arıza sonucunda hatlardan biri, kısa bir süre devre dışı kalıp arıza giderildikten sonra tekrar devreye girmektedir. Bunun sonucunda generatör parametrelerinde oluşan

değişimler tek makinalı sistemde incelenebilmektedir. Şekil 4.1’ de sonsuz güçlü baraya bağlı senkron generatör modeli verilmiştir. Şekilde geçen V_t generatör uç gerilimini, V ise sonsuz güçlü bara gerilimini temsil etmektedir. İletim hatları ise R_E ve X_E bloğu ile gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Sonsuz güçlü baraya bağlı generatör modeli

Generatörün d-q eksenleri üzerindeki vektör diagramı Şekil 4.2’ de gösterilmiştir. Rotor açısı δ □□□ generatör iç açısı (δ_i) ile V_t ve V arasındaki açının toplamından oluşmaktadır.



Şekil 4.2. Sonsuz güçlü baraya bağlı makinanın vektör diagramı [27, 28]

4.3. Senkron Generatör Modeli

Tek makinalı güç sistemi modelinde kullanılan senkron generatöre ait tanımlamalar durum denklemleri ile verilebilir. Basit olması için senkron generatörün üçüncü dereceden dinamik modeli gözönüne alınmıştır [29].

Generatör modeli uyarma alt sistemi, devir sayısı regülatörü ile türbin elemanlarını kapsayan mekanik kısım, elektriksel kısım, generatörün sürekli çalışma durumunu yansıtacak sürekli hal çalışma alt sistemi gibi bölümlerden oluşmaktadır. Alt sistemlere ait blok diagramlar bilgisayar benzetiminin anlatıldığı bölüm 7’ de verilecektir.

4.4. Senkron Generatöre İlişkin Yardımcı Denklemler

Senkron makina alt sistemlerinde kullanılan denklemler blok diagramlar ile açıklanacaktır. Alt sistemlerde kullanılan katsayılar **EK-A'** de ayrıca verilmiştir.

4.4.1. Senkron Generatör Elektrisel ve Mekanik Alt Sistemleri

Senkron generatörün elektrisel kısmına ait t domenindeki denklemler (4.1), (4.2)' de verilmiştir. D-q eksenindeki geçici gerilimler sistemin elektrisel kısmını oluşturmaktadır [29-31].

$$\frac{d}{dt} E'_d(t) = \frac{x'_d - x_q}{T'_{q0}} - \frac{E'_d(t)}{T'_{q0}} \quad (4.1)$$

$$\frac{d}{dt} E'_q(t) = \frac{x'_d - x_d}{T'_{d0}} I_d + \frac{E_{fd}}{T'_{d0}} - \frac{E'_q(t)}{T'_{d0}} \quad (4.2)$$

Senkron generatörün mekanik kısmına ait durum denklemleri (4.3), (4.4)' de verilmiştir.

$$\frac{d}{dt} \Delta\omega(t) = \frac{(P_m - P_e)}{M} - \frac{D}{M} \Delta\omega(t) \quad (4.3)$$

$$\frac{d}{dt} \delta = \omega_0 \Delta\omega(t) \quad (4.4)$$

Türbin ve tahrik sistemi aşağıdaki denklemlerle ifade edilmektedir. Türbin ve tahrik sistemi hız rölesi, servomotor, ara ısıtıcı ve ısıtıcıdan oluşmaktadır. Kullanılan katsayılar hız rölesi kazancı (K_G) ve ara ısıtıcısı kazancının (K_{RH}) birimleri pu olarak seçilmiştir. Hız rölesi zaman sabiti (T_{SR}), servomotor zaman sabiti (T_{SM}), ara ısıtıcısı zaman sabiti (T_{RH}) birimi ise saniye olarak belirlenmiştir [29].

$$\frac{d}{dt} \Delta P_r(t) = \frac{K_G}{T_{SR}} \Delta\omega(t) - \frac{\Delta P_r(t)}{T_{SR}} \quad (4.5)$$

$$\frac{d}{dt} \Delta P_h(t) = \frac{\Delta P_r(t) - \Delta P_h(t)}{T_{SM}} \quad (4.6)$$

$$\frac{d}{dt} \Delta P_c(t) = \frac{\Delta P_h - \Delta P_c(t)}{T_{CH}} \quad (4.7)$$

$$\frac{d}{dt} \Delta P_{c1}(t) = \frac{d}{dt} \Delta P_c - \frac{\Delta P_{c1}}{K_{RH} T_{RH}} \quad (4.8)$$

DSR elemanlarına ait katsayılar ve zaman sabitlerinin oluşturduğu transfer fonksiyonlarıyla hızda oluşan değişimden mekanik güç değişimi elde edilmektedir. Mekanik güç bileşenine başlangıç zamanındaki güç bileşeninin (P_{m0}) eklenmesiyle generatöre verilen toplam mekanik güç elde edilmektedir.

4.4.2. Senkron Generatör Uyarma Sistemi

Generatörün uyarma sistemi ikinci dereceden dinamik bir modelle ifade edilmektedir[29]. Sisteme giriş olarak verilen referans uç gerilimi (1 pu) olarak belirlenmiştir. Modelde, referans uç gerilimi ile generatör uç gerilimi ve uyarma sisteminin çıkışı arasındaki farka göre generatöre uygulanacak uyarma gerilimi kapalı bir kontrol devresi üzerinden ayarlanmaktadır.

Uyarma kontrol devresini oluşturan t domenindeki transfer fonksiyonları uyarma kazancı ve uyarma zaman sabiti ile kararlayıcı devre kazancı, kararlayıcı devre zaman sabiti katsayılarının kullanıldığı birinci derece denklemlerden oluşmaktadır.

$$\frac{d}{dt} E_{fd}(t) = \frac{K_E}{T_E} (V_{tr} - V_t - V_s) - \frac{E_{fd}(t)}{T_E} \quad (4.9)$$

$$\frac{d}{dt} V_s(t) = \frac{K_F}{T_{FE}} \frac{d}{dt} E_{fd}(t) - \frac{V_s(t)}{T_{FE}} \quad (4.10)$$

Senkron generatörün uç gerilim ve elektriksel güç değerleri denklem (4.11), (4.12) ve (4.13)' e göre hesaplanmıştır. Geçici gerilimlerin ve akımların kullanılmasıyla d-q eksenini üzerindeki uç gerilim değerleri hesaplanmıştır. Bu denklemler sonsuz güçlü bara ve iletim şebekesi denklemleri ile makina denklemlerinin birleştirilmesi ile elde edilmiştir.

$$V_{td} = E'_d - R_a I_d - x'_d I_q = -V_0 \sin \delta + R_e I_d + x_e I_q \quad (4.11)$$

$$V_{tq} = E'_q - R_a I_q - x'_d I_d = V_0 \cos \delta + R_e I_q - x_e I_d \quad (4.12)$$

$$P_e = E'_d I_d + E'_q I_q \quad (4.13)$$

4.4.3. Senkron Generatör Sürekli Hal Çalışma Durumu

(4.14)' ten (4.25)' e kadar verilen denklemlerle generatör akımının başlangıç değeri, yük açısı, rotor açısı, elektromotor kuvveti, uç gerilimi, aktif gücü, uyarma gerilimi ve referans uç gerilimi hesaplanmıştır [29, 31, 32].

$$I_0 = \frac{\sqrt{P_0^2 + Q_0^2}}{V_0} \quad (4.14)$$

$$\varphi_0 = \arctan \frac{Q_0}{P_0} \quad (4.15)$$

$$\delta_0 = \arctan \frac{I_0(x_q + x_e) \cos \varphi_0 - I_0(R_a + R_e) \sin \varphi_0}{V_0 + I_0(R_a + R_e) \cos \varphi_0 + I_0(x_q + x_e) \sin \varphi_0} \quad (4.16)$$

$$I_{d0} = -I_0 \sin(\delta_0 + \lambda_0) \quad (4.17)$$

$$I_{q0} = I_0 \cos(\delta_0 + \lambda_0) \quad (4.18)$$

$$E_{fd0} = V_0 \cos \delta_0 + (R_a + R_e)I_{q0} - (x_d + x_e)I_{d0} \quad (4.19)$$

$$V_{t0} = \sqrt{(V_0 + R_e I_0 \cos \varphi_0 + x_e I_0 \sin \varphi_0)^2 + (x_e I_0 \cos \varphi_0 - R_e I_0 \sin \varphi_0)^2} \quad (4.20)$$

$$E'_{d0} = -(x_q + x'_d)I_{q0} \quad (4.21)$$

$$E'_{q0} = E_{fd0} + (x_d - x'_d)I_{d0} \quad (4.22)$$

$$P_{e0} = E'_{d0}I_{d0} + E'_{q0}I_{q0} \quad (4.23)$$

$$P_{m0} = P_{e0} \quad (4.24)$$

$$V_{tr} = \frac{E_{fd0}}{K_E} + V_{t0} \quad (4.25)$$

Yukarıdaki denklemlerin kullanılmasıyla senkron generatörün sürekli hal değerleri hesaplanmaktadır. Elde edilen bu değerler generatörün genel modelinde uyarma sistemine, elektriksel kısma ve mekanik kısma giriş olarak verilmektedir.

4.5. Kararlılık Kontrol Elemanları

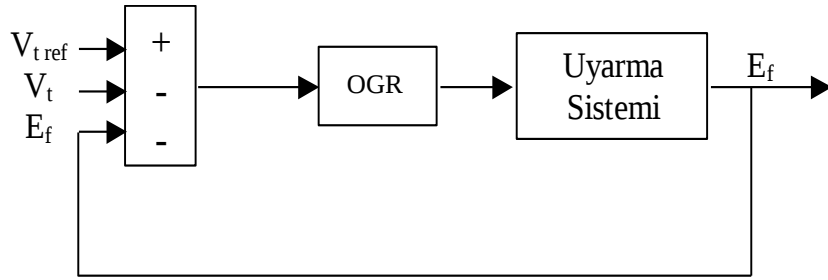
Kararlılık kriteri gereğince sistem gerilim ve rotor açısı salınımlarının belirli fiziksel sınırlamalar arasında tutulması gereklidir. Arıza etkisiyle bozulan generatör uç geriliminin ve rotor açısının uyarma ve tahrik sistemindeki ayarlamalarla düzgünleştirilebilmesi için senkron generatör modelinin yapısına bazı kontrol elemanları eklenir. Bu kontrol elemanları, uyarma sistemine yerleştirilen otomatik gerilim regülatörü, türbin sistemi içerisine yerleştirilen devir sayısı regülatörü ve

rotorun hız değişimi, ivmelenme gücü olarak seçilebilen girişler ile uyarma sistemi referans gerilimine eklenen çıkış arasındaki transfer fonksiyonu oluşturan güç sistemi kararlayıcısı olarak belirlenmiştir.

Bu kısımda kontrol elemanlarının generatör alt sistemlerine giriş ve çıkış bağlantıları genel olarak gösterilmiştir. Regülatörler ve kararlayıcının çalışma prensipleri ve iç yapısına ilerideki bölümlerde detaylı olarak değinilecektir.

4.5.1. Gerilim Regülatörü Genel Modeli (OGR)

Arıza etkisiyle bozulan sistem geriliminin uyarma sisteminde yapılan ayarlamalarla düzgünleştirilmesi için otomatik gerilim regülatörü kullanılır. Regülatör vasıtasıyla gerilimde oluşan sisteme zarar verebilecek genlikteki salınımların sınırlandırılması sağlanır. Şekil 4.3' de uyarma sistemi ile OGR bağlantısı genel olarak gösterilmiştir



Şekil 4.3. OGR ve Uyarma Sistemi modeli [33]

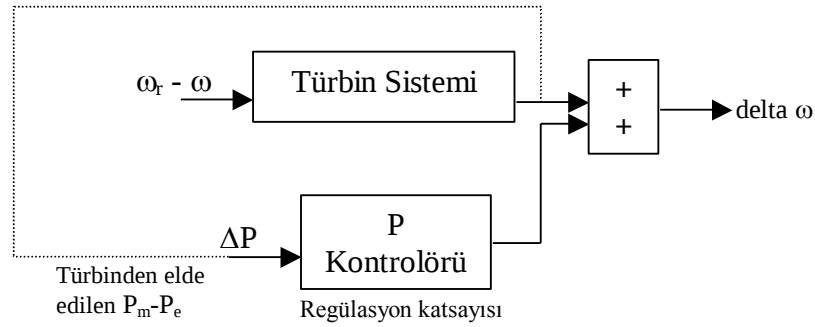
Uyarma sistemi içerisinde referans değere göre uyarma geriliminde oluşan sapma OGR' ye giriş olarak verilir. Bu şekilde gerçek zamanlı olarak kontrol edilen uyarma gerilimi kontrol devresinde referans değere göre belirlenen hatayı giriş olarak alan OGR tarafından uyarma geriliminin üretildiği sistem beslenerek düzgün bir gerilim üretilmesi sağlanır.

4.5.2. Devir Sayısı Regülatörü Genel Modeli (DSR)

Devir sayısı regülatörünün görevi yükte oluşan ani değişimlerin hız ayarı ile kontrol edilebilmesidir. Bilgisayar benzetimlerinde kullanılacak senkron generatör modelinin alt sistemlerinde türbin girişini besleyen yakıtın vana pozisyonunun kontrol edilmesi basit bir DSR tarafından yapılmaktadır. Servomotor, hız rölesi, ısıtıcı gibi elemanlar bu basit DSR modelini oluşturmaktadır. Bilgisayar benzetimi yapılırken arıza halinde ve yapısındaki DSR dışında herhangi bir kontrol elemanı olmadığı durumda senkron

generatörün kararlılığını korumasını sağlayan bu modele regülasyon katsayısı eklenerek hız kontrolünün daha yeterli yapılabilmesi amaçlanmıştır. Bu şekilde güç değişimlerine duyarlılığın artırılması ve hız değişiminden dolayı oluşan salınımların daha küçük aşımalarla elde edilmesi sağlanacaktır [34].

Alt sistemin değiştirilmesiyle türbin sisteminin içine güç farkını giriş olarak alan ve regülasyon katsayısını içeren bir P kontrolörü üzerinden hız farkına eklenen çıkışı türeten bir model yerleştirilmiştir. Senkron generatörün türbin ve tahrik sistemi içine yerleştirilecek bu yeni DSR 'nin genel modeli şekil 4.4' de gösterilmiştir.



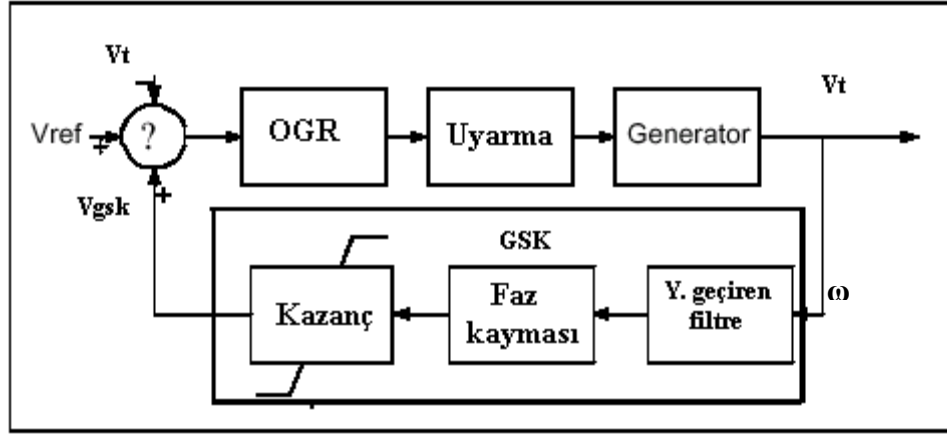
Şekil 4.4. DSR modeli

P kontrolörü içinde kullanılan regülasyon katsayısı sayesinde güç değişimine göre hız ayarlaması belli bir yüzdeyle yapılabilmektedir. Regülasyon katsayısı bu çalışma için 0.02 olarak seçilmiştir.

4.5.3. Güç Sistemi Kararlayıcısı Genel Modeli (GSK)

GSK, senkron generatörün rotor açısında arıza neticesiyle oluşan ve makinanın senkronizasyondan çıkmasını sağlayabilecek salınımların kompanze edilmesini sağlar. Giriş işareti hız farkı ve/veya güç farkı olarak seçilebilir. Genellikle senkron makinanın rotorundan alınan hız işareti ve hızın değişimini kararlayıcıya giriş olarak verilir. Ancak gürültünün hızdan izole edilememesi nedeniyle güç farkı ve hız farkının giriş olarak verildiği modelde sıkça kullanılmaktadır. Kararlayıcı belirli katsayılar ve zaman sabitlerinin kullanıldığı transfer fonksiyonları üzerinden ürettiği işareti senkron makinanın uyarma sistemine verir. Ancak, uyarma sistemine verdiği gerilimin bozucu etkisi nedeniyle bu eleman genellikle gerilim regülatörü ile beraber olarak kullanılmaktadır. Bu durumda kararlayıcı işaret, uç gerilimini düzeltmekle görevli OGR üzerinden uyarma sistemine verilir.

Güç sistemi kararlayıcısının senkron makinadan aldığı giriş ve makinayı beslediği alt sistemin tanımlanabilmesi için örnek olarak hızdaki değişimi giriş alan ve kararlayıcı gerilim işareti türeten basit bir model verilmiştir [35]. Şekil 4.5' de bu modele göre GSK senkron generatör arasındaki bağlantı yapısı gösterilmiştir.



Şekil 4.5. GSK ve Generatör Modeli [36]

Normal çalışma koşullarında GSK girişi olan hız değişiminin sıfır olması bu elemanı etkisiz kılacaktır. Ancak bir arıza neticesiyle elektriksel-mekanik güç dengesinin bozulması sonucunda sıfırdan farklı bir değere ulaşacak olan hız değişimi GSK' yı devreye sokar. Bu durum hız değişiminden başka güç, frekans gibi tüm parametre değişimleri için de geçerlidir. Giriş olarak seçilen işarete bir değişim oluşması sonrasında devreye giren GSK' nın çıkışı generatörün uyarma sisteminde referans gerilim ve anlık uyarma gerilimi arasındaki farka eklenmektedir [9].

Sonuç olarak bu bölümde üzerine OGR, GSK, DSR gibi kontrol elemanları eklenecek olan senkron generatör modelinin sürekli hal çalışma durumu ve alt sistemlerine ait matematiksel denklemler verilmiştir. Ayrıca modele eklenecek kontrol elemanlarının senkron generatörün hangi alt sistemi üzerinden nasıl bağlanacağı ve hangi işaretleri giriş olarak alacağı genel olarak anlatılmıştır. Bu kontrol elemanlarının geleneksel yapıdaki modelleri ve çalışma şekilleri bölüm 5' te detaylı olarak anlatılacaktır.

5. GÜÇ SİSTEMİNDE GELENEKSEL KONTROL ELEMANLARI

5.1. Giriş

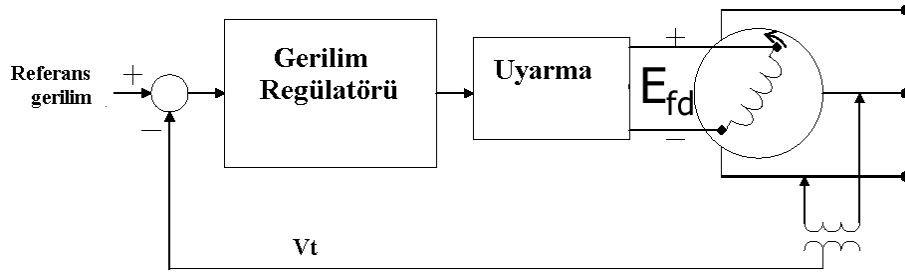
Bu bölümde güç sistemi kararlılığını sağlamak için kullanılan otomatik gerilim regülatörü, devir sayısı regülatörü ve güç sistemi kararlayıcısı gibi elemanların çalışma prensibi ve iç yapısı anlatılacaktır.

İlk önce sırasıyla geleneksel yapıya uygun olarak otomatik gerilim regülatörü, devir sayısı regülatörü, güç sistemi kararlayıcı yapısına ait transfer fonksiyonları ve çalışma yapıları verilecektir. Daha sonra aynı sırayla, bulanık sistemde kullanılan eşdeğer kontrol elemanlarının bulanık mantık kontrol yöntemi kullanılarak nasıl tasarlandığı, elemanlara verilen girişler, kullanılan bulanık mantık kuralları ile birlikte detaylı olarak altıncı bölümde açıklanacaktır.

5.2. Otomatik Gerilim Regülatörü (OGR)

Uyarma sistemi üretilen elektromotor kuvveti (EMF) dolayısıyla çıkış geriliminin yanında akım genliği ve güç faktörünü de kontrol eder [15]. Otomatik gerilim regülatörünün görevi generatörün uyarma sistemine etki ederek gerilimi ve reaktif güç değişimini kontrol etmektir. Normal sistemlerde referans değere göre generatör uç geriliminde oluşan hata doğrudan uyarma sistemini beslerken, otomatik gerilim regülatörünün kullanıldığı durumlarda uyarma sistemi regülatörün ürettiği gerilim işareti ile beslenir. Bu sayede uyarma sistemine giriş olarak salınımlı uç gerilimi yerine regülatör kontrol devresi üzerinde belirli bir seviyeye getirilmiş ve regülatör kapasitesi gereğince belirli sınırlar arasında tutulan bir gerilim işareti verilmektedir. Bu gerilim işareti arıza zamanlarında regülatörsüz bir senkron makinanın ani aşım yaratan uyarma geriliminin yerine puant seviyesi düşürülmüş bir uyarma değerinin endüklenmesini sağlar.

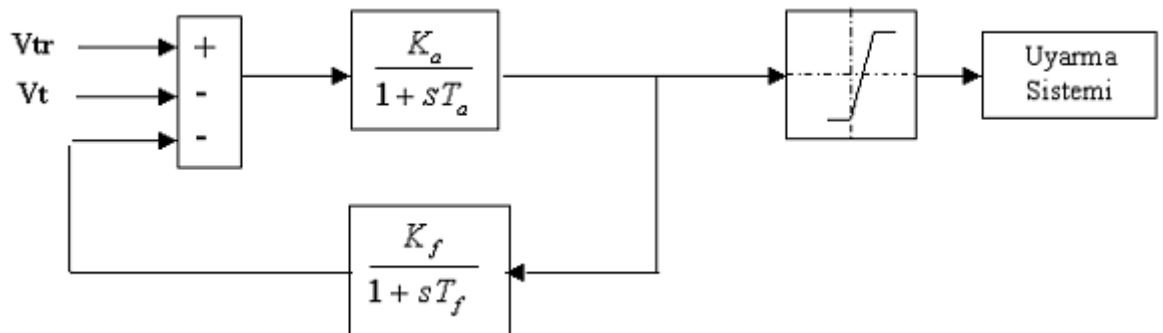
Uyarma geriliminin puant değerinin düşürülmesi uç gerilim salınımlarını ve maksimum değerlerini doğrudan etkilediği için gerilim ile akım genliği ve güç faktörü üzerinde düzgünleştirici bir etki oluşur. Şekil 5.1’ de regülatörün uyarma sistemi ile bağlantısı gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Gerilim regülatörü ve uyarma sistemi bağlantı şeması [37]

Sistemde arıza, aşırı yüklenme gibi durumlarda generatör uyarma gerilimi regülatörle ayarlanarak uç geriliminin sistem kararlılığının izin verdiği sınırlar arasında tutulması sağlanır. Aynı zamanda uyarma sisteminde regülatör tarafından yapılan kontrol ile uyarma gerilimi seviyesine doğrudan bağlı olan makina tarafından üretilen reaktif güç ve güç faktörü de kontrol edilmiş olur [15].

Gerilim regülatörünün girişlerini referans gerilim, uç gerilim ve uyarma devresinin geri beslemesi oluşturur. OGR çıkışı sistem kapasitesi sınırlamalarını ifade eden bir sınırlayıcıdan geçirilerek uyarma sistemine verilir [38]. Şekil 5.2’ de OGR modeli gösterilmiştir.



Şekil 5.2. OGR modeli [38, 39]

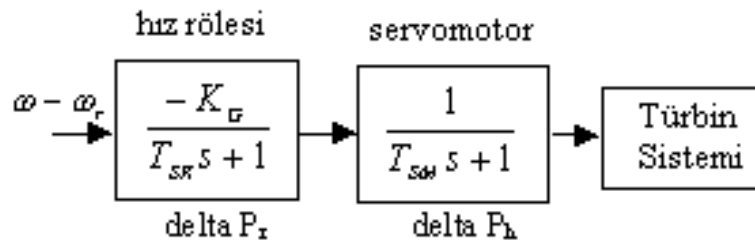
Yukarıda verilen otomatik gerilim regülatörü modeli IEEE model 2 örnek alınarak oluşturulmuştur. Regülatörün yaptığı gerilim kontrolü, arıza neticesinde generatör uç geriliminde oluşan ve sisteme zarar verebilecek aşırı salınımların da engellenmesini sağlar. Bu sayede hem makinanın hem de bağlı olduğu sistemin kararlılığı korunmuş olur [39].

5.3. Devir Sayısı Regülatörü (DSR)

Geçici durumlarda generatöre verilen mekanik güç, örneğin verilen buhar miktarı DSR tarafından ayarlanarak kontrol sağlanır. Elektriksel zaman sabitinin mekanik zaman sabitine göre yüksek olması nedeniyle DSR da gerilim regülatörüne göre daha uzun zamanda etkir.

DSR' ın görevi, yük değişimlerinde üretilen gücü ve hızı ayarlayabilmektir. Yük artışının olduğu durumda DSR sayesinde üretilen güç yavaşça arttırılırken hız da yavaşça azaltılır.

Bilgisayar benzetimlerinde de kullanılan ve senkron generatör tanıtılırken bahsedilen ilk DSR modeli şekil 5.3 ' de gösterilmiştir.

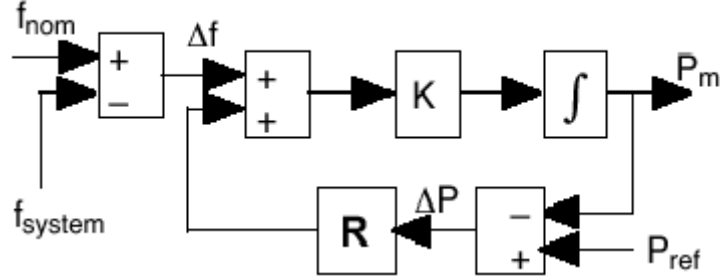


Şekil 5.3. Senkron generatör DSR modeli [29]

Şekilde de görüldüğü üzere generatör modeli içindeki DSR alt sistemi hız değişimini giriş olarak alan hız rölesi ve servomotordan oluşmaktadır. DSR çıkışı türbin sistemine giriş olarak verilmektedir.

Kullanılan modelden farklı olarak basit bir DSR yapısı şekil 5.4' te gösterilmiştir. Referans güce göre mekanik güçteki değişimin ayarlama faktörü ile çarpılarak frekans ya da hız değişimine eklenmesiyle mekanik güç elde edilmektedir. Bilgisayar benzetiminde DSR alt sistemine regülasyon katsayılı kısım eklenirken şekil 5.4 referans alınmıştır. Şekil 5.4 ' de referans güç ve mekanik güç arasındaki farkın

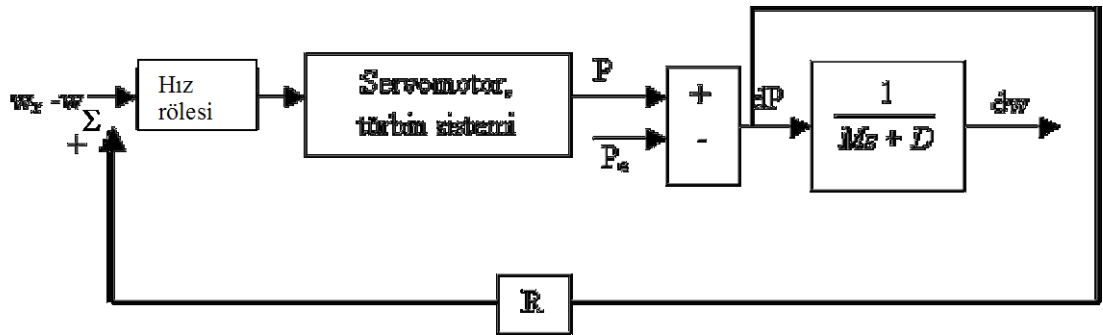
regülasyon katsayısı ile çarpılarak frekans farkına pozitif olarak eklenmesi sonucunda güç değişimi ve hız değişiminin sifıra yaklaştırılması ile üretilen mekanik gücün referans seviyeye çıkarılması söz konusudur [40, 41].



Şekil 5.4. Regülasyon katsayılı DSR'ın genel yapısı [28, 40, 41]

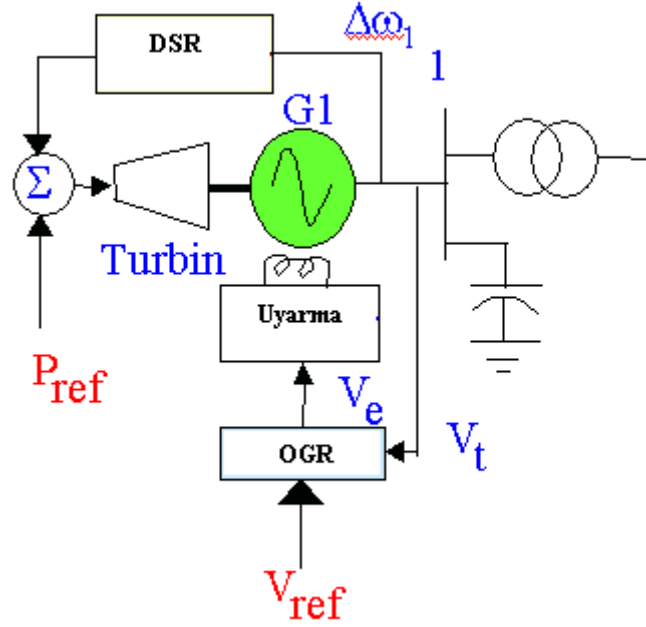
Bilgisayar benzetimi yapılırken DSR sisteminde şekil 5.4' teki model örnek alınarak, mekanik ve elektriksel güç arasındaki farkı giriş olarak alıp güçteki değişime göre ayarlamalar yapan regülatörü ifade eden bir oransal kontrolör kullanılmıştır. Bilgisayar benzetimleri yapılırken, regülatör tarafından yapılacak olan hız regülasyonu statığı [%2] olarak seçilmiştir [27, 40].

Referans hız değeri ile hız arasındaki farka güç değişiminin regülasyon katsayısıyla çarpılmış değeri eklenerek hız rölesini besleyen devreye giriş olarak verilmiştir. DSR alt sistemine yapılan bu ekleme ile hız rölesi, servomotor, türbin sistemi beslenerek mekanik güç ve hız arasında birbirine bağlantılı olarak ayarlamaların yapılabilmesi amaçlanmıştır.

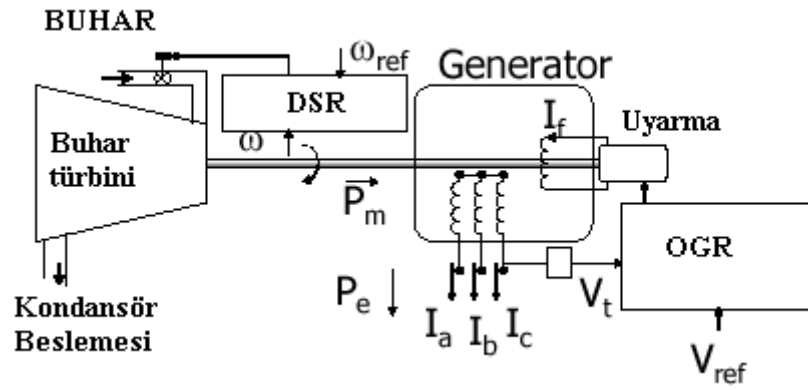


Şekil 5.5. Güç-hız regülasyonu

Genel olarak generatör modeline OGR ve DSR elemanlarının eklenmesiyle sistemin reaktif gücü, güç faktörü, gerilimi ve hızı kontrol edilmiş olur. Generatör, OGR ve DSR sistemlerinin bağlantıları basitçe şekil 5.6.a ve 5.6.b’ deki gibi gösterilebilir.



Şekil 5.6.a Generatör, OGR ve DSR yapısı [41]



Şekil 5.6.b Generatör, OGR ve DSR besleme şeması [37]

Şekillerin birleştirilmesiyle, OGR’ nin generatör terminalinden aldığı işaretle uyarma sistemini beslemesi ve DSR’ nin rotordan aldığı hız işareti ve güç işareti ile hız ayarı yapması görülmektedir.

5.4. Güç Sistemi Kararlayıcısı (GSK)

Güç sisteminde oluşan ani bir değişim sonucunda generatör hızı ve elektriksel güç sürekli hal değerlerinin etrafında salınımlar yapar. Mekanik ve elektriksel güç dengelerinin bozulması ile rotora etkiyen net moment ve makinanın eylemsizlik sabiti ile orantılı şekilde rotor hızında ivmelenme veya yavaşlama olur [1].

Güç dengesi ve hız arasındaki bağlantı (5.1) denklemi ile ifade edilebilir.

$$\frac{2H}{w_0} \frac{d^2 \delta}{dt^2} = T_M - T_e - K_D \Delta w_r \quad (5.1)$$

w rotor açısal hızı, δ rotor açısı, T_m mekanik momenti, T_e elektriksel moment, H eylemsizlik sabiti, K_D yavaşlatma katsayısını ifade etmektedir. Yavaşlatma momenti, senkronizasyon momenti, rotor açısı ve rotor açısal hızı kullanılarak yukarıdaki ifade denklem (5.2)' de gösterildiği gibi de yazılabilir [1].

$$\Delta T_e = T_s \Delta \delta + T_D \Delta w \quad (5.2)$$

Denklem (5.2)' den de görüldüğü gibi senkronizasyon momenti rotor açısının denge noktasına göre değişimini karşılarken, yavaşlatma momenti de rotor açısal hızındaki değişimi karşılamaktadır.

Generatör tasarımı, uyarma sistemindeki ayarlamalar gibi pek çok faktöre bağlı olarak normal çalışma şartlarında yeterli olan sönüm katsayısı herhangi bir arıza veya kesinti durumunda yetersiz kalabilir. Bu durumda salınımların yeterli derecede azaltılamaması yüzünden makinanın kararlı çalışma durumundan çıkması gibi bir sonuç oluşabilir. Güç sistemi kararlayıcısı ürettiği sönüm momentinin generatör tarafından üretilen yavaşlatma momentine eklenmesiyle bu noktada devreye girecektir.

Kararlılığa uyarma sistemi üzerinden etkiyen OGR 'nin senkronizasyon momentinde sağladığı iyileştirmeye ek olarak kararlayıcı tarafından da yavaşlatma momenti artırılarak salınımlar azaltılır [9, 42].

Güç sistemi kararlayıcısının temel fonksiyonu generatörün uyarma kontrolunu yaparak güç sisteminin gerilim, frekans salınımlarını kontrol etmek ve bu sayede sistemin dinamik performansını yükseltmektir. Kararlayıcı, senkron generatöre yavaşlatma momenti uygulayarak makinanın açısal kararlılık sınırlarını genişletmeyi dolayısıyla güç sistemlerinin dinamik kararlılığını geliştirmeyi sağlar [43]. Özellikle küçük işaret kararlılığında ve açısal kararlılığın geliştirilmesinde etkilidir.

Şekil 5.7’ de generatör, OGR ve GSK’ nın senkronizasyon ve yavaşlatma momentlerine etkisi gösterilmiştir. Şekilde gösterilen yapı denklem (5.1) ve (5.2) ifadelerine uygun olarak oluşturulmuştur.

	Blok Diagram	Moment Karakteristikleri
Uyarma Sistemi	K_1: Senkronizasyon momenti D: Yavaşlatma momenti	
OGR	K_{1A}: OGR senkronizasyon mom D_A: OGR yavaşlatma momenti	
OGR + GSK	K_{1P}: GSK senkronizasyon mom D_P: GSK yavaşlatma momenti	

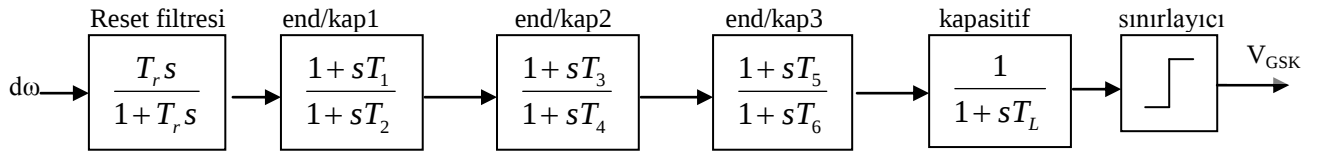
Şekil 5.7. OGR ve GSK moment blok diagramları [44]

Kararlayıcı tarafından yavaşlatma, generatörün hız değişimi ile aynı fazda olan ve rotora uygulanan elektriksel moment ile sağlanır. Bu tarz kontrol iletim hattı kesintilerinde ya da büyük güç transferlerinde oldukça faydalıdır [1, 43, 45]

GSK tarafından generatöre uygulanacak yavaşlatma etkisinin güç sistemlerinde kararsızlığa yol açmaması için, yavaşlatma etkisinin sistemin çalışma noktası etrafında küçük sınırlar içinde tutulması gereklidir [1].

Güç sistemi kararlayıcısı, sistemi bir işletme noktasındaki lineerleştirilmiş modeli kullanılarak tasarlanmıştır. OGR' nin senkronizasyon momentini arttırması neticesinde yavaşlatma momentinin de arttırılması gerekliliği GSK tarafından karşılanır. Bu yüzden genellikle GSK tarafından üretilen kararlayıcı gerilim işareti OGR' ye giriş işareti olarak verilir. GSK' ya giriş olarak verilebilecek işaretler rotor hız değişimi, frekans, elektriksel güç, ivmelenme gücü olarak seçilebilir. GSK' nın temel görevi rotor salınımlarını kontrol etmek olduğundan rotor hızının giriş işareti olduğu durum en çok karşılaşılan durumdur. Hız değişiminin giriş işareti olarak kullanıldığı kontrolörlerde genellikle türevsel ayarlama ve yüksek kazanç kullanılır [1, 9, 44]

Güç sistemi kararlayıcısının hız değişimini giriş olarak alan modeli şekil 5.8' de gösterilmiştir. OGR 'ye kararlayıcı işaretinin çıkışı giriş olarak verilir.



Şekil 5.8. Geleneksel GSK yapısı [1, 9, 44]

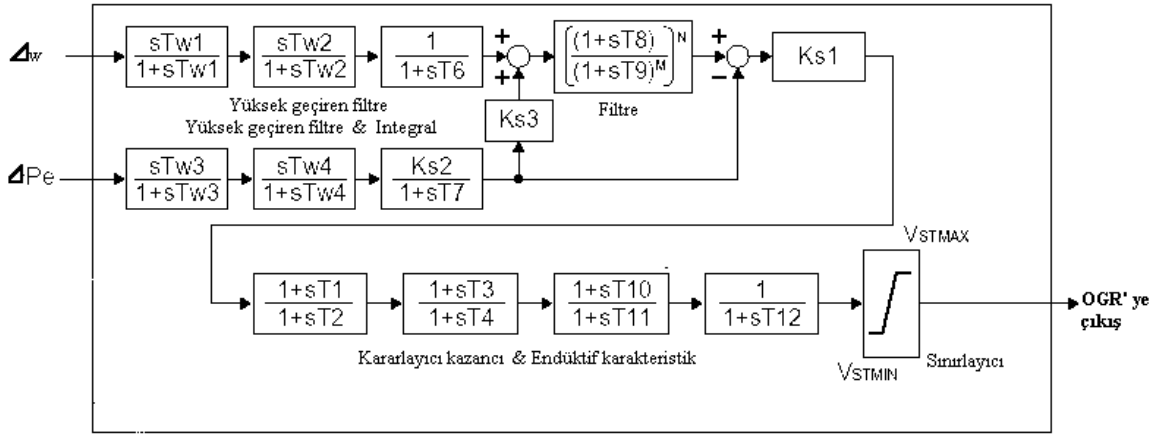
Geleneksel güç sistemi kararlayıcısı modeli incelendiğinde sistemin reset filtresi, endüktif&kapasitif faz blokları, sınırlayıcı ve kazançtan oluştuğu görülür [3, 45].

Reset filtresi aslında yüksek frekanslı işaretlerin alçak frekanslılardan ayrılmasını sağlayan yüksek-geçirici filtre olarak hizmet eder. Filtredeki T_r zaman sabiti yeterince büyük tutularak rotor hızındaki salınımların etkilenmeden geçmesi sağlanır ve böylece sürekli hal (steady-state) değişimlerin uç gerilimini değiştirmesi engellenir. T_r zaman sabiti standartlara göre [1-20] s arasında seçilebilir [1, 3].

Faz kompanzasyonu yapan endüktif&kapasitif faz blokları ile uyarma girişi ve generatörün elektriksel momenti arasındaki kapasitif fazın kompanze edilebilmesi için endüktif faz karakteristiği üretilir. T_1, T_3, T_5 zaman sabitleri endüktif (lead) karakteristik için kullanılan katsayılarıdır. Kullanılan T_2, T_4, T_6 , katsayıları işaret bileşeninde olabilecek gürültüyü kesmek için kullanılmaktadır. Standartlara göre tüm bu katsayılar [0.02-2] s arasında seçilebilir. Kazanç ile de güç sistemi kararlayıcısının yaratacağı salınım miktarı belirlenir. Kazanç katsayısı için [0-20] arasında bir değer seçilebilir [1, 3, 44].

Sistemden aldığı girişe göre güç sistemi kararlayıcıları kendi aralarında sınıflandırılmaktadır. Ancak tüm sınıflarda kullanılan temel bileşenler aynıdır. Hız değişimi, ivmelenme gücü gibi tek girişli kararlayıcı yapısına ek olarak hem hızdaki hem de güçteki değişimi giriş olarak alan çift girişli kararlayıcı yapısı oluşturmak da mümkündür.

Kararlayıcıya giriş olarak elektriksel güç ve hız işareti verilebilir. Kullanılan filtreler sayesinde hız işaretindeki istenmeyen bileşenlerin elenmesi de mümkün olur. Bu yapı şekil 5.9’ da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Çift girişli GSK modeli [1, 5, 44]

Şekildeki hıza bağlı yüksek geçiren filtreler vasıtasıyla hız işaretinden ortalama hız seviyesi ayrılarak sadece hız değişimi işaretinin üretilmesi sağlanır. Bu sayede kararlayıcı sadece hız değişimi olduğu durumlarda devreye girecektir. Elektriksel güce bağlı yüksek geçiren filtre ile de gerekli güç değişimi işareti elde edilir. Güç değişimi işareti ölçeklendirilerek hız değişimine eklenir. Elde edilen bu toplam işaret filtreden geçirilerek hızdaki bükümlü (**torsional**) bileşenler zayıflatılırken, elektriksel güçteki değişimi karşılayan sıfır sürekli hal hatası oluşturur. Filtreden alınan işaret endüktif karakteristiğin yansıtılabilmesi için tekrar filtreden geçirilir ve belirli sınırlamalar aralığında OGR’ ye uygulanır [1].

Sonuç olarak, bu bölümde OGR, GSK’ ya ilişkin transfer fonksiyonları, çalışma prensipleri verilmiştir. Üzerinde çalışılan senkron generatörün yapısında bulunan DSR’ ın çalışma şekli ve bilgisayar benzetimi için yapılan değişiklik anlatılmıştır. Aynı kontrol elemanlarının bulanık mantıktaki çalışmaları, bulanık kontrol kuralları ve seçilen girişler ile birlikte bölüm 6’ da verilecektir.

6. BULANIK MANTIK KONTROL ELEMANLARI

6.1. Giriş

Bu bölümde güç sistemi kararlılığını sağlamak için kullanılan kararlayıcı, regülatör gibi elemanların bulanık mantıkla çalışma prensibi ve iç yapısı anlatılacaktır.

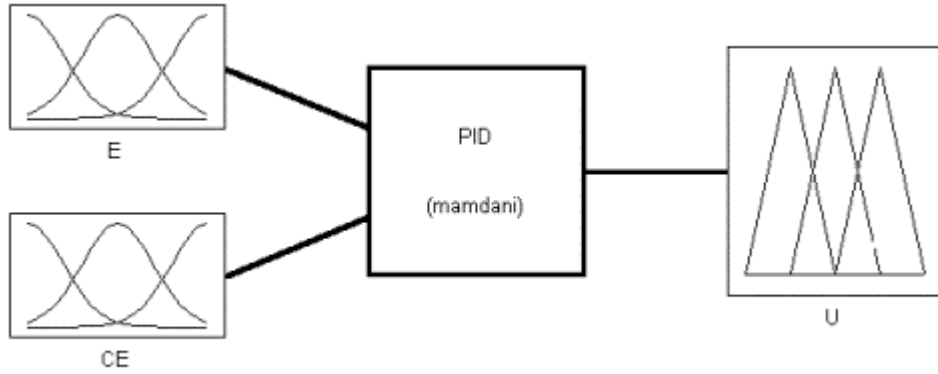
İlk önce sırasıyla bulanık gerilim regülatörü ve bulanık güç sistemi kararlayıcı yapısı verilecektir. Bu elemanların bulanık mantık kontrol yöntemi kullanılarak nasıl tasarlandığı, elemanlara verilen girişler, kullanılan bulanık mantık kuralları ile birlikte detaylı olarak bölüm içinde açıklanacaktır. Senkron generatör modeli içerisindeki yapılan değişiklik sonrasında elde edilen geleneksel yapıyı yeni devir sayısı regülatörü bulanık sistem içerisinde aynı şekilde kullanılmıştır.

6.2. Bulanık Mantık Kontrol Elemanları

Bulanık mantık kontrolörlerinde geleneksel yapıdaki transfer fonksiyonlarının yerini bulanık kontrol kurallarının girildiği bulanık mantık kontrolörü alır. Bulanık mantık tabanlı kontrol elemanları olarak geçen kararlayıcı ve gerilim regülatörünün ortak yanları da yapılarında bulunan bulanık kontrolördür. Her eleman yapacağı kontrole uygun olan sistem parametrelerini giriş olarak alır ve bulanık mantık teorisi gereğince bu giriş veya girişlerden bulanık kuralları kullanarak kontrol işaretini türetir. Temel olarak tüm bu elemanlar aslında hata ve hatadaki değişim olarak verilen girişler, bulanık kontrolör, çıkış işaretinden oluşur. Bulanık kararlayıcı, bulanık regülatörler arasındaki farkı seçilen giriş parametreleri, ölçeklendirme faktörleri ve kurallar oluşturmaktadır. Bulanık gerilim regülatöründe giriş olarak genellikle uç gerilimi ve gerilimdeki hata seçilirken, kararlayıcıda giriş işaretleri hız güç, frekans değişimleri olarak seçilebilmektedir. Ölçekleme katsayıları seçilen giriş

işaretlerini $[-1, +1]$ aralığına oturtacak katsayılar olarak belirlenebilmektedir. Girişlerin seçilmesi sonrasında elde edilecek çıkış işaretleri ise uzman görüşlerine göre belirlenir ve bu sayede bulanık kontrol kuralları da elde edilmiş olur [22, 46].

Standartlara uygun olarak kontrolöre verilen girişler ve çıkışlar $[-1, +1]$ aralığında tanımlanmaktadır. Sistemde giriş olarak seçilen parametrelerin çok küçük veya büyük olabilen değer aralıkları ölçeklendirme faktörleri kullanılarak standart aralığa oturtulur. Aynı şekilde, kontrolörden elde edilen çıkış işareti de sisteme uygun bir seviyeye ölçeklendirme faktörü kullanılarak getirilir [16, 20, 46].

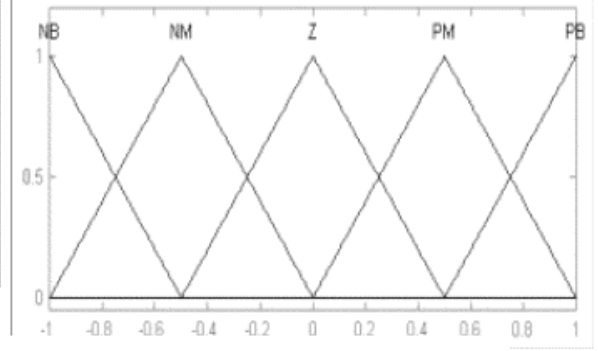
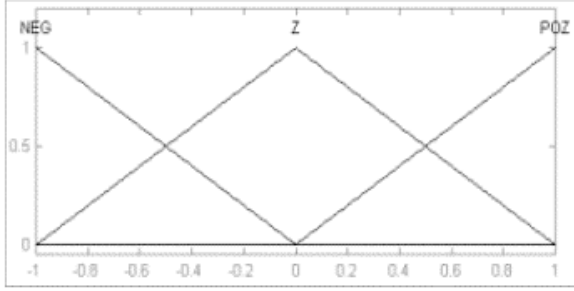


Sekil 6.1. BMK yapısı

Bulanık kontrolörler genellikle gözönüne aldıkları hız, güç, gerilim...vb. gibi bir işaretteki referans değere göre olan hatayı ve hatadaki değişimi giriş olarak alırlar. Şekil 6.1' de çift girişli ve tek çıkışlı (MISO) bulanık kontrolör yapısı gösterilmiştir[47, 48].

Yukarıdaki şekilde kontrolörün hata (E) ve hatadaki değişimi (CE) kapsayan girişleri ve kontrol işareti (u) olan çıkışı gösterilmektedir. Sistemden alınan bir işaretin referans değerine göre oluşturduğu hata ve değişimi olarak kullanılan sayısal girişleri bulanıklaştırma işlemi sonrasında ölçeklendirme katsayıları ile $[-1,+1]$ aralığında tanımlı bir takım dilsel değişkenler atanmıştır. Bu dilsel değişkenler seçilen giriş işaretinin tipine uygun olarak değişiklik gösterebilir. Üyelik fonksiyonları yardımıyla dilsel değişkenler girişlerde bir takım değerlere karşılık gelecek şekilde yerleştirilmiş olur. Sistem çıkışında elde edilen kontrol işareti de girişlerle aynı aralıkta elde edilir. Üyelik fonksiyonlarının sayısı ve şekli kontrol edilecek sisteme göre seçilebilir. Giriş ve çıkış işaretleri için farklı üyelik fonksiyonlarının seçilmesi mümkündür. Kontrol

edilecek sistemden seçilen girişlere uygun olarak tasarlanan bulanık kısımda giriş ve çıkış işaretleri için üyelik fonksiyonları başlangıçta seçilmektedir. Bu fonksiyonlar seçilirken her işarete farklı bir şekil verilebilir. Genellikle standartlarda her işaretin üyelik fonksiyonu aynı seçilmiştir. Şekil 6.2.a ve şekil 6.2.b' de örnek üyelik fonksiyonu ve dilsel değişkenler verilmiştir [48].



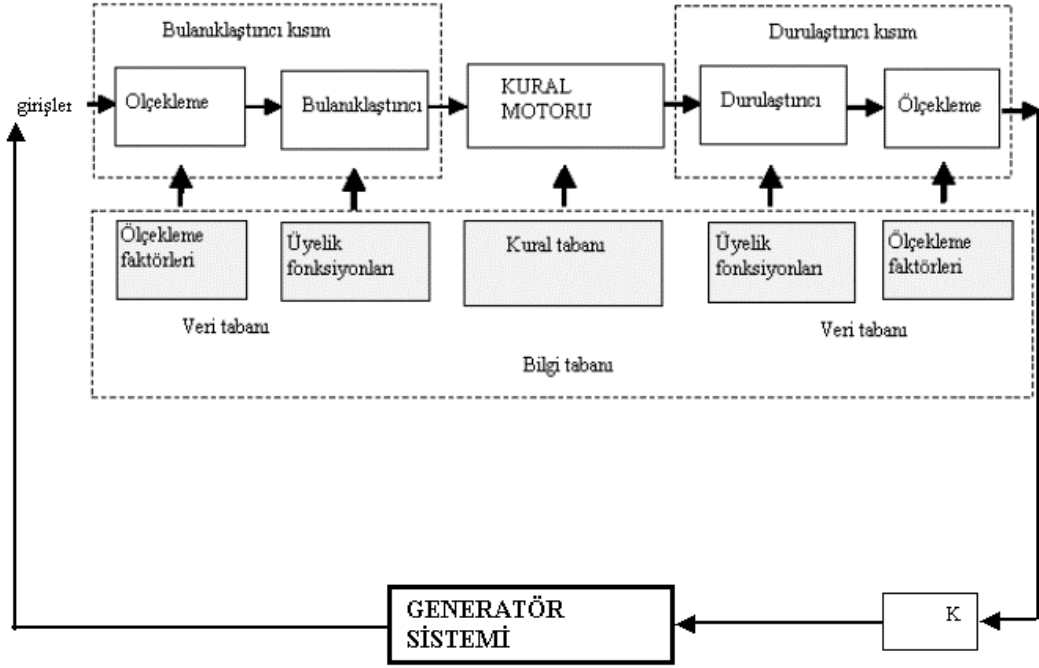
Şekil 6.2.a Giriş işareti üyelik fonksiyonu

Şekil 6.2.b Çıkış işareti üyelik fonksiyonu

Yukarıdaki şekilde verilen işaretlerin örnek bir giriş ve çıkış işareti için verildiği varsayılmıştır. Giriş işareti üyelik fonksiyonu negatif (NEG), sıfır (Z) ve pozitif (POZ) dilsel değişkenlerinden ve çıkış işareti de negatif büyük (NB), negatif orta (NM), sıfır (Z)-pozitif orta (PM), pozitif büyük (PB) dilsel değişkenlerinden oluştuğu varsayılmaktadır. Giriş işaretine üç adet, çıkış işaretine de beş adet dilsel değişken atanmıştır. Tüm işaretler aynı aralıkta tanımlıdır. Dilsel değişken sayısının artırılması durumunda değişkenlerin karşılık geldiği değer aralığı düşürülmekte ve daha ince kontrol yapılabilir. Ancak bu durumda da kontrol kurallarının dikkatli seçilmesi gereklidir [18, 49].

Hata işaretine ve hatanın artması, azalması veya sabit kalması durumlarını kapsayan hata değişimine atanan dilsel değişkenlerin kombinasyonları için yine dilsel değişkenler atanmış bir kontrol işareti üretilir. Üretilen kontrol işareti aynı değişkenleri içerir ve bulanık bir işarettir. Kontrolöre girilen bulanık kural sayısı kadar kontrol işareti (U) elde edilir. Bu işaretler girişlerin o anki durumlarında sisteme verilmesi gerekli işaretler olduğu için tüm bu kontrol işaretlerinin toplamından elde edilen bir işaret sistemin kontrolunda kullanılır.

Kontrolör, generatörden aldığı girişleri operatör tarafından belirlenmiş kurallara uygulayarak sisteme vereceği kontrol işaretini üretir. Kurallar hem makinanın çalışma prensibi dikkate alınarak hem de operatörün deneyimlerine dayanarak belirlenebilir [50]. Girişler için seçilen dilsel değişken sayısının çarpımı kadar bulanık kontrol kuralı kullanılır. Bulanık kontrolörün bulanık kavramlarla birleştirilmiş iç yapısı şekil 6.3’ de gösterilmiştir.



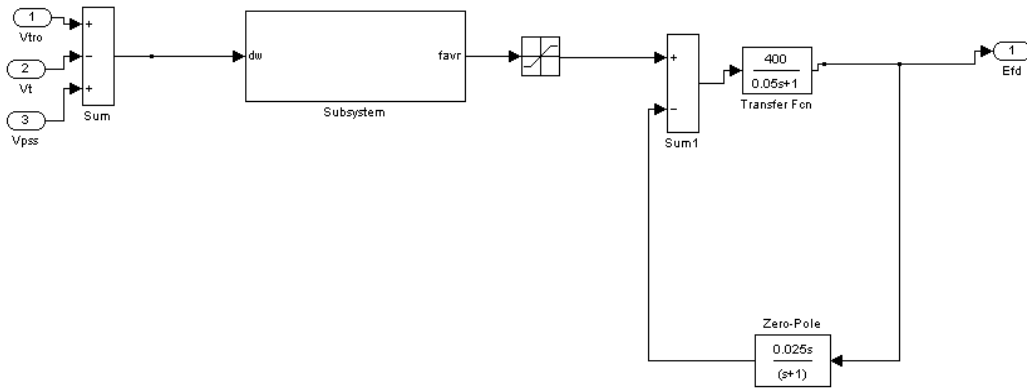
Şekil 6.3. Bulanık kontrolörün iç yapısı [51]

Şekilde de gösterildiği gibi ölçekleme faktörleri ile normalizasyonu yapılan girişler bulanıklaştırma işleminde üyelik fonksiyonlarına oturtulduktan sonra kural motoruna gönderilip girilen kurallar doğrultusunda çıkış işareti elde edilip tekrar sisteme uygulanabilecek değere ölçeklenerek generatöre verilir.

Bulanık kontrol elemanlarında gerek regülatör gerek kararlayıcı olsun en önemli parametrelerden biri ölçeklendirme faktörüdür. Düzgün değerlerin seçilmesi ile bulanık kontrol kuralları girişlere tam olarak uygulanarak kontrolörün performansının yüksek olması sağlanır.

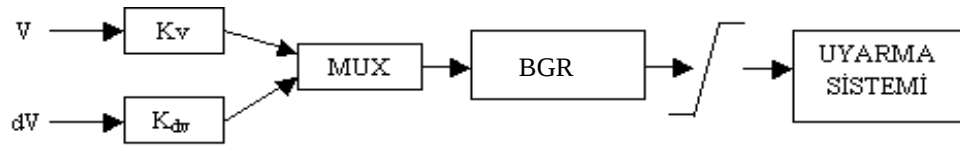
6.2.a. Bulanık Gerilim Regülatörü (BGR)

Bulanık mantık tabanlı gerilim regülatörü geleneksel yapıdakinden farklı olarak uyarma sisteminde değişiklikleri, kural tabanına girilen kontrol kuralları doğrultusunda yapar. Giriş olarak referans gerilim ile generatör uç gerilimi arasındaki hata değerini ve bu hatadaki değişimi ele alır. Şekil 6.4’ te uyarma sistemi ile gerilim regülatörünün genel bağlantısı verilmiştir.



Şekil 6.4. Bulanık gerilim regülatörü uyarma sistemi bağlantısı

Geleneksel gerilim regülatörü kontrol devresindeki transfer fonksiyonu ve geri beslemenin görevini bulanık yapıda BGR yapmaktadır. Giriş olarak verilen gerilimdeki hatanın değişimi işareti, hatanın türevi alınarak elde edilmektedir. Hata değişiminin artması, sabit kalması ve azalması durumları alınarak gerilim hata işaretindeki değerlerinin kombinasyonları için kontrol kuralları oluşturulmaktadır. Şekil 6.5’ te bulanık BGR’ nin iç yapısı gösterilmiştir [46, 52].



Şekil 6.5. BGR bağlantı şeması

Çoklu giriş- tek çıkış (MISO) yapısındaki sistemde uç gerilimdeki hata (V) ve hatanın değişimi (dV), çoğullayıcı vasıyasıyla BGR olarak gösterilen kontrol kuralları ve kural motorunu kapsayan kontrolör kısmına giriş olarak verilmiştir.

Sistem çıkışı sınırlayıcı üzerinden uyarma sistemini beslemektedir. Kullanılan sınırlamalar sayesinde gerçek kontrol sistemlerindeki kontrol kapasitesi bilgisayar benzetimine yansıtılmaktadır.

BGR' de uyarma sistemine giriş verilirken kullanılan sınırlamalar normal sistemdeki sınırlamalarla aynı olacak şekilde belirlenmiştir. Değerlerde standartlara uygunluk göz önüne alınmıştır. Gerek normal gerek ise bulanık mantık sistemi için gerilim regülatörü tarafından uyarma sistemine verilen işaret $[-0.7, +0.7]$ pu sınırlamaları arasında tutulmuştur. Giriş olarak, referans değerden uç geriliminin çıkarılmasıyla elde edilen hata işareti (dV) ve hata işaretinin türevi ile elde edilen hata değişimi $d(dV)$ alınan BGR' ye girilen kontrol kuralları tablo 6.1' de verilmiştir [15].

Tablo 6.1. Bulanık gerilim regülatörü kural tablosu [15]

		dV						
		NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
$d(dV)$	NB	NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZE
	NM	NB	NB	NM	NM	NS	ZE	PS
	NS	NB	NM	NS	NS	ZE	PS	PM
	ZE	NM	NM	NS	ZE	PS	PM	PM
	PS	NM	NS	ZE	PS	PS	PM	PB
	PM	NS	ZE	PS	PM	PM	PB	PB
	PB	ZE	PS	PM	PM	PB	PB	PB

Hem gerilim hatası ve hata işareti değişimi hem de kontrol işareti $[-1, +1]$ aralığında negatif büyük (NB), negatif orta (NM), negatif küçük (NS), sıfır (ZE), pozitif küçük (PS), pozitif orta (PM), pozitif büyük (PB) olmak üzere yedi adet dilsel değişkene ayrılmıştır. Kural tablosunda 49 adet kontrol kuralı tanımlanmıştır.

Tabloya girilen kurallar incelenerek regülatörün davranışının sisteme uygun olup olmadığı belirlenebilir. Gerilim regülatöründe uyarma gerilimi arttırılarak uç gerilimini yükseltme ve azaltarak da düşürme yöntemi kullanılır. Uç geriliminin referansa göre durumu ve değişimi dikkate alınarak uyarma kontrolü belirlenir.

Kurallar incelenirse, örneğin referans değere göre uç gerilimin çok yüksek olması yani gerilim farkının çok büyük bir negatif değerde olması ile gerilim farkındaki değişimin de gerilimin daha da yükselmesini sağlayacak yönde olması sonucunda, gerilim regülatörü tarafından uyarma geriliminin düşürülmesini sağlayacak büyük bir

negatif işaret uyarma sistemine verilir. Yani, uç geriliminin çok yüksek olması ve daha da yükselme eğiliminde olması durumunda uyarma gerilimi regülatör tarafından çok düşürülerek uç gerilimi referans değere getirilir [53]. Bu ifadeyi içeren kural aşağıda kural-1 ile verilmiştir:

KURAL 1: Eğer ΔV NL ve $d(\Delta V)$ NL ise U ML' dir.

KURAL 2: Eğer ΔV PS ve $d(\Delta V)$ ZE ise U PS' dir.

Kural 2 incelendiğinde, bu ifadeye göre uç geriliminin referansa göre biraz küçük olması (PS) ve hata değişiminin de gerilimin değişmemesi (ZE) yönünde olması durumunda uyarma sistemine, uç gerilimi biraz arttırmak için küçük bir pozitif işaret uygulanır [53]. Bu şekilde kural tablosundaki tüm kuralların açıklanabilmesi mümkündür. Gerilim işaretinin durumu ve değişimi için kullanılan biraz fazla, çok küçük gibi ifadeler dilsel değişkenler ile kontrol kurallarına kolaylıkla yansıtılabilmektedir. BGR' de kullanılan 49 adet kural tablo 6.2' de verilmiştir.

Tablo 6.2. BGR' de kullanılan 49 adet kural tablosu [15]

IF dV is NB and d(dV) is NB THEN U is NB IF dV is NB and d(dV) is NM THEN U is NB IF dV is NB and d(dV) is NS THEN U is NB IF dV is NB and d(dV) is ZE THEN U is NM IF dV is NB and d(dV) is PS THEN U is NM IF dV is NB and d(dV) is PM THEN U is NS IF dV is NB and d(dV) is PB THEN U is ZE IF dV is NM and d(dV) is NB THEN U is NB IF dV is NM and d(dV) is NM THEN U is NB IF dV is NM and d(dV) is NS THEN U is NM IF dV is NM and d(dV) is ZE THEN U is NM IF dV is NM and d(dV) is PS THEN U is NS IF dV is NM and d(dV) is PM THEN U is ZE IF dV is NM and d(dV) is PB THEN U is PS IF dV is NS and d(dV) is NB THEN U is NB IF dV is NS and d(dV) is NM THEN U is NM IF dV is NS and d(dV) is NS THEN U is NS IF dV is NS and d(dV) is ZE THEN U is NS IF dV is NS and d(dV) is PS THEN U is ZE IF dV is NS and d(dV) is PM THEN U is PS IF dV is NS and d(dV) is PB THEN U is PM IF dV is ZE and d(dV) is NB THEN U is NM IF dV is ZE and d(dV) is NM THEN U is NM IF dV is ZE and d(dV) is NS THEN U is NS IF dV is ZE and d(dV) is ZE THEN U is ZE	IF dV is ZE and d(dV) is PS THEN U is PS IF dV is ZE and d(dV) is PM THEN U is PM IF dV is ZE and d(dV) is PB THEN U is PM IF dV is PS and d(dV) is NB THEN U is NM IF dV is PS and d(dV) is NM THEN U is NS IF dV is PS and d(dV) is NS THEN U is ZE IF dV is PS and d(dV) is ZE THEN U is PS IF dV is PS and d(dV) is PS THEN U is PS IF dV is PS and d(dV) is PM THEN U is PM IF dV is PS and d(dV) is PB THEN U is PB IF dV is PM and d(dV) is NB THEN U is NS IF dV is PM and d(dV) is NM THEN U is ZE IF dV is PM and d(dV) is NS THEN U is PS IF dV is PM and d(dV) is ZE THEN U is PM IF dV is PM and d(dV) is PS THEN U is PM IF dV is PM and d(dV) is PM THEN U is PB IF dV is PM and d(dV) is PB THEN U is PB IF dV is PB and d(dV) is NB THEN U is ZE IF dV is PB and d(dV) is NM THEN U is PS IF dV is PB and d(dV) is NS THEN U is PM IF dV is PB and d(dV) is ZE THEN U is PM IF dV is PB and d(dV) is PS THEN U is PB IF dV is PB and d(dV) is PM THEN U is PB IF dV is PB and d(dV) is PB THEN U is PB
--	--

Bulanık gerilim regülatörüne ait detaylı şemalar **EK-B'** de ayrıca verilmiştir.

6.2.b. Bulanık Güç Sistemi Kararlayıcısı (BGSK)

Bulanık güç sistemi kararlayıcısında geleneksel yapıdaki kontrolü sağlayan transfer fonksiyonlarının görevini BGSK bloğu yerine getirmektedir. Temel olarak bulanık gerilim regülatörü ile aynı yapıdadır. Generatörden güç veya hız değişimi çıkışını giriş olarak alan kararlayıcı genellikle beraber kullanıldığı gerilim regülatörü üzerinden uyarma sistemine bağlanmaktadır.

Bilgisayar benzetiminde bulanık mantık teorisi kullanılarak tasarlanan kararlayıcı adaptif kararlayıcı yapısındadır. Giriş olarak senkron generatördeki güç değişimi ve hız değişimini ele almaktadır. Normal şartlarda sıfır olan hız değişimi ve güç değişiminin farklı değerlere ulaşması durumunda generatörün uyarma sistemine gerilim regülatörü üzerinden pozitif olarak verdiği gerilim işareti ile sistem gerilim ve rotor açısını, kararlılığın sağlandığı optimum değerlere getirmektedir. Değişimlerin sıfır olduğu durumlarda geleneksel yapıda olduğu gibi bulanık kararlayıcı da sisteme herhangi bir işaret vermemektedir [26, 48, 49].

Hem aktif güç değişimi (dP) ile rotor hızı değişimi ($d\omega$) hem de elde edilecek kontrol işareti (u) $[-1, +1]$ aralığında negatif büyük (NB), negatif küçük (NS), sıfır (ZE), pozitif küçük (PS), pozitif büyük (PB) olmak üzere beş dilsel değişkene ayrılmıştır. Bulanık kontrolör kural tablosuna güç ve hız değişimlerinin tanımlanan değişkenler için karşılaştırıldıklarında sisteme uygulanacak kontrol işaretleri girilmiştir [4, 54]. Güç değişimi olarak verilen giriş (ΔP) mekanik güç ile elektriksel güç arasındaki fark olarak seçilmiştir. Hız değişimi ($\Delta\omega$) referans hıza göre generatör hızının farkından oluşmaktadır. Kararlayıcıda kullanılan kontrol kuralları tablo 6.3' de verilmiştir.

Tablo 6.3. Bulanık kararlayıcı kural tablosu [54]

		dP				
		NB	NS	ZE	PS	PB
d ω	NB	NB	NB	NS	NS	ZE
	NS	NB	NS	NS	ZE	PS
	ZE	NS	NS	ZE	PS	PS
	PS	NS	ZE	PS	PS	PB
	PB	ZE	PS	PS	PB	PB

Kural tablosu incelendiğinde hız değişimi ile mekanik güçteki değişimin doğru orantılı olduğu ve kararlayıcının uyarma sistemine verdiği işaret sayesinde generatörün elektriksel gücünün artırılıp azaltılmasıyla güç dengesinin sağlandığı görülür. Örneğin ($\Delta\omega$ NB) ve (ΔP NB) olması kuralı ile mekanik güç ve elektriksel güç arasındaki farkın negatif, hız değişiminin negatif olması durumundaki kontrol işareti belirlenir. Yani bu kural, elektriksel gücün mekanik güce göre çok büyük olması ve generatör hızının referans değere göre çok düşük olması olarak ifade edilebilir. Generatör rotor hızının düşük olması hız ile doğru orantılı olarak değişen mekanik gücün de düşük olması demektir. Bu durumda generatöre uyarma sistemine büyük bir negatif işaret uygulanarak uyarma gerilimi düşürülür. Bu şekilde generatörde endüklenen gerilim dolayısıyla elektriksel güç azaltılarak denge sağlanır. Bu ifade kural 1 ile aşağıda verilmiştir:

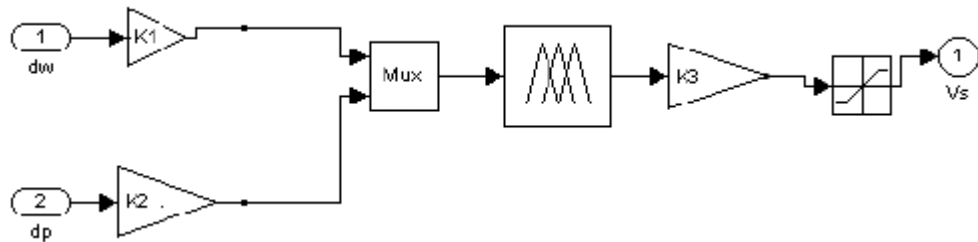
KURAL 1: Eğer $\Delta\omega$ NB ve ΔP NB ise U NB' dir.

KURAL 2: Eğer $\Delta\omega$ PS ve ΔP PS ise U PS' dir.

Rotorun referansa göre biraz hızlı dönmesi ($\Delta\omega$ PS) ve mekanik gücün elektriksel güce göre biraz büyük olması (ΔP PS) durumunda uyarma sistemine küçük bir pozitif kararlayıcı işareti (U PS) verilmesiyle artırılan uyarma gerilimi sayesinde elektriksel güç de artırılarak güç dengesi sağlanır. Bu ifade kural 2 ile verilmiştir.

Bulanık kararlayıcının sadece girişlerde değişim olduğunda kararlayıcı işaret üretmesi için her iki girişin de sıfır olduğu durumda kararlayıcı işaretin sıfır olması yine bir kural ile belirtilir.

Güç ve hız işaretlerinin çoğullayıcı üzerinden giriş olarak bulanık kontrolöre verildiği kararlayıcı yapısı şekil 6.6' da gösterilmiştir.



Şekil 6.6. BGSK yapısı [46, 55]

Uyarma sistemine uygulanacak kararlayıcı işaret [-0,05, +0,05] pu arasında sınırlandırılmıştır. Giriş işaretleri, K1 ve K2 ölçeklendirme faktörleri kullanılarak tanımlı aralığa oturtulmuştur. Elde edilen kontrol işareti K3 katsayısı ile sisteme uygulanabilecek seviyeye getirilmiştir [44, 55].

Tablo 6.4. BGSK' da kullanılan 25 adet kural tablosu [54]

IF d ω is NB and dP is NB THEN U is NB	IF d ω is ZE and dP is PS THEN U is PS
IF d ω is NB and dP is NS THEN U is NB	IF d ω is ZE and dP is PB THEN U is PS
IF d ω is NB and dP is ZE THEN U is NS	IF d ω is PS and dP is NB THEN U is NS
IF d ω is NB and dP is PS THEN U is NS	IF d ω is PS and dP is NS THEN U is ZE
IF d ω is NB and dP is PB THEN U is ZE	IF d ω is PS and dP is ZE THEN U is PS
IF d ω is NS and dP is NB THEN U is NB	IF d ω is PS and dP is PS THEN U is PS
IF d ω is NS and dP is NS THEN U is NS	IF d ω is PS and dP is PB THEN U is PB
IF d ω is NS and dP is ZE THEN U is NS	IF d ω is PB and dP is NB THEN U is ZE
IF d ω is NS and dP is PS THEN U is ZE	IF d ω is PB and dP is NS THEN U is PS
IF d ω is NS and dP is PB THEN U is PS	IF d ω is PB and dP is ZE THEN U is PS
IF d ω is ZE and dP is NB THEN U is NS	IF d ω is PB and dP is PS THEN U is PB
IF d ω is ZE and dP is NS THEN U is NS	IF d ω is PB and dP is PB THEN U is PB
IF d ω is ZE and dP is ZE THEN U is ZE	

Tablo 6.4' te BGSK' da kullanılan 25 adet bulanık kontrol kuralının tamamı verilmiştir. BGSK' ya ait detaylı şemalar **EK-C**' de verilmiştir.

Bu bölümde özetle, bilgisayar benzetiminde kullanılan BGR ve BGSK yapıları, kontrolörlerde kullanılan kurallar, kural açıklamalarıyla birlikte verilmiştir. Bundan sonraki bölümde bilgisayar benzetimleri ve sonuçlar verilmiştir.

7. BİLGİSAYAR BENZETİMİ SONUÇLARI

7.1. Giriş

Bu bölümde geleneksel ve bulanık mantık tabanlı kontrol elemanlarının sırasıyla senkron generatör yapısına eklenerek ele alınması sonucunda generatör uç gerilimi ve rotor açısı üzerindeki etkileri bilgisayar benzetimleri vasıtasıyla karşılaştırmalı olarak incelenecektir. Bilgisayar benzetimi yapılırken MATLAB programının SIMULINK ve FUZZY toolbox'ı kullanılmıştır. Kullanılan Matlab versiyonu 6.0 olarak seçilmiştir. Çalışmanın yapıldığı bilgisayar Windows 98 işletim sistemi, 20 GB hard disk, 128 MB RAM, Pentium III işlemciye sahiptir. Tüm benzetim süreleri fuzzy toolbox' ı içerisindeki bilgisayar benzetimi seçenekleri üzerinden ayarlanarak 10 s için çalıştırılmıştır.

Yapılan bilgisayar benzetimlerinde geleneksel ve bulanık mantık tabanlı kontrol elemanlarından oluşan iki model kullanılmıştır. Çalışmada, kontrol elemanlarının aynı senkron makina modeli üzerine uygulanarak, arıza neticesinde sistemde oluşan salınımlar üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Birinci modelde arıza durumunda senkron generatörün uç gerilimi ve rotor açısında oluşan ve kararlılığın bozulmasına neden olabilecek salınımlar sırayla önce geleneksel yapılı elemanlar, OGR, DSR ve GGSK kullanılarak söndürülmeye çalışılmıştır.

İkinci model ise ilk modeldeki geleneksel elemanların yerine bulanık modellerinin yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Sisteme BGR ve BGSK eklenmiştir. Modellerin bilgisayar benzetimlerinin yapılması sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda bulanık mantık tabanlı elemanlar hem kendi aralarında hem de eşdeğer geleneksel mantık kontrol elemanlarıyla karşılaştırılmıştır. Bölüm içerisinde ayrıca bilgisayar benzetiminde kullanılan ve bölüm 4' te senkron generatör için verilen matematiksel

denklemlere ait blok diagramlar verilmiştir. Daha önceki bölümlerde kullanılan kararlılık elemanlarının iç yapıları ve çalışma prensipleri detaylı olarak açıklandığı için burada tekrar değinilmemiştir.

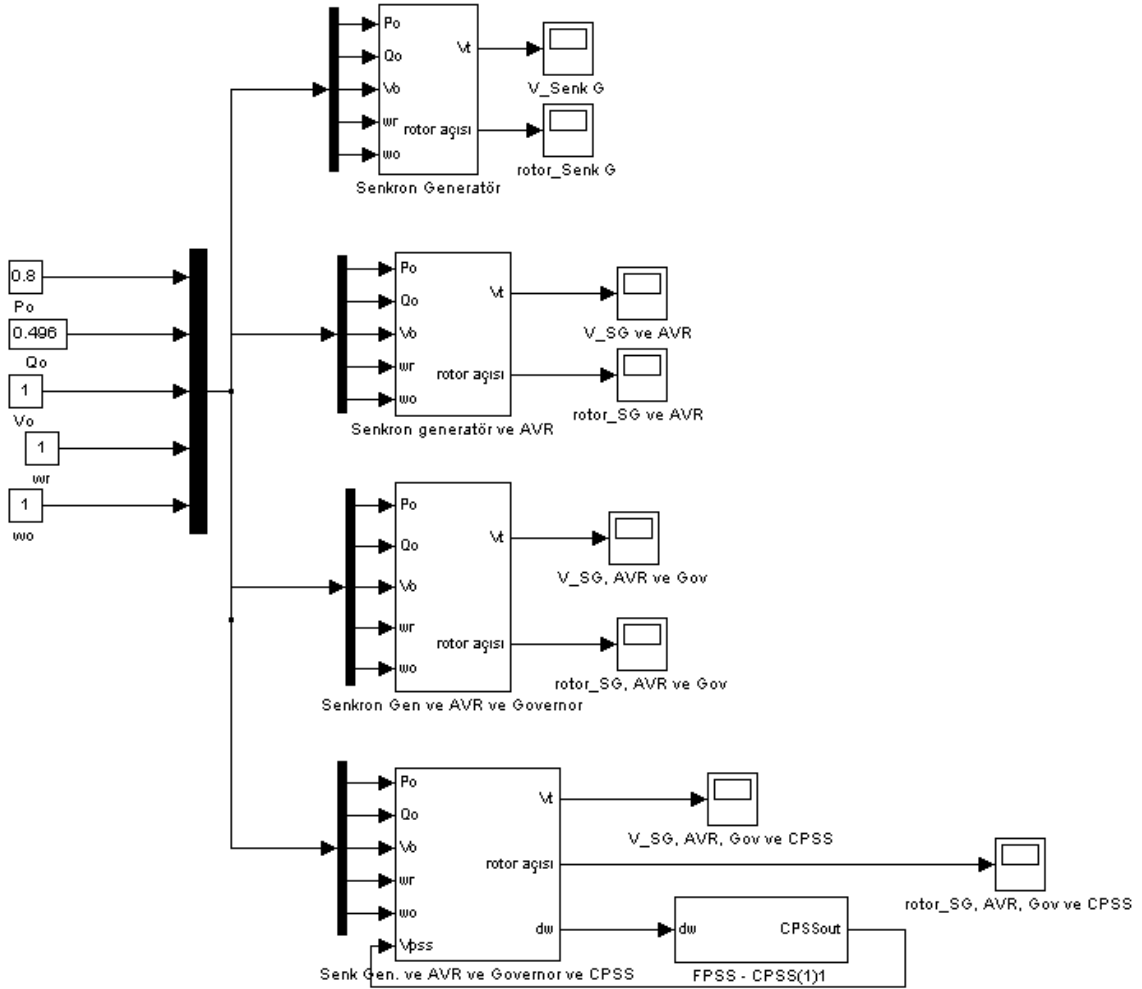
7.2. Kontrol Elemanları ve Generatör Bilgisayar Benzetimi

İletim sisteminde oluşan bir arıza sonrasında yapısındaki devir sayısı regülatörü modeli haricinde herhangi bir kontrol elemanı olmadan senkron generatör modeli kurularak benzetimi yapılmıştır. Kontrol elemanları senkron generatör üzerine birbiri ardına eklenerek, bir şebekede arıza sonrası gerilimdeki aşım ve dalgalanmanın ayrıca genliklerinin büyümesi durumunda makinanın senkronizmadan çıkmasına yol açabilecek kadar tehlikeli olabilen rotor açısı salınımlarının azalması amaçlanmıştır.

Senkron generatöre sırasıyla geleneksel sistem için OGR, bulanık sistem için BGR eklenerek gerilim işaretinde düzelme sağlanmıştır. Gerilimdeki düzelmeye ek olarak rotor açısında da düzelme sağlayabilmek için senkron generatörün yapısında bulunan DSR, geleneksel yapıya uygun olarak değiştirilmiş ve daha etkili olması sağlanmıştır. Yeni DSR modelinde güç değişimi regülasyon katsayısı ile çarpılarak hızdaki değişime eklenmiş ve hız ile aynı zamanda ivmelenme gücüne de duyarlı hale getirilmiştir. Benzetimlerde senkron generatör ifadesi kullanıldığında yapısındaki DSR, senkron generatör ve DSR ifadesi geçtiğinde de bu yeni regülasyon katsayılı DSR dikkate alınmalıdır. Hem gerilim hem rotor açısındaki düzelme, küçük işaret kararlılığında etkili olan kararlayıcının geleneksel sisteme GGSK, bulanık sisteme de BGSK olarak eklenmesiyle daha da arttırılmıştır. Bu şekilde, senkron generatör modeline kontrol elemanlarının eklenmesiyle tamamen geleneksel yapılı ve tamamen bulanık mantık tabanlı elemanlardan oluşan iki ayrı sistem elde edilmiştir.

Eklenen her kontrol elemanı ile dalga şekillerindeki salınım sayıları ve genliklerinin azalmasına ek olarak dalga şeklinin daha kısa sürede kararlı hale gelip tekrar sabitlendiği değerlerin de mümkün olduğunca başlangıç koşullarındaki değerlere yakın olması sağlanmıştır.

Şekil 7.1’ de senkron generatör yapısına eklenen kontrol elemanlarının bilgisayar benzetimi şeması verilmiştir. Bu benzetim modeli hem geleneksel hem de bulanık mantık tabanlı sistem için aynıdır. Burada sadece geleneksel sistem modeli örnek olarak gösterilmiştir.

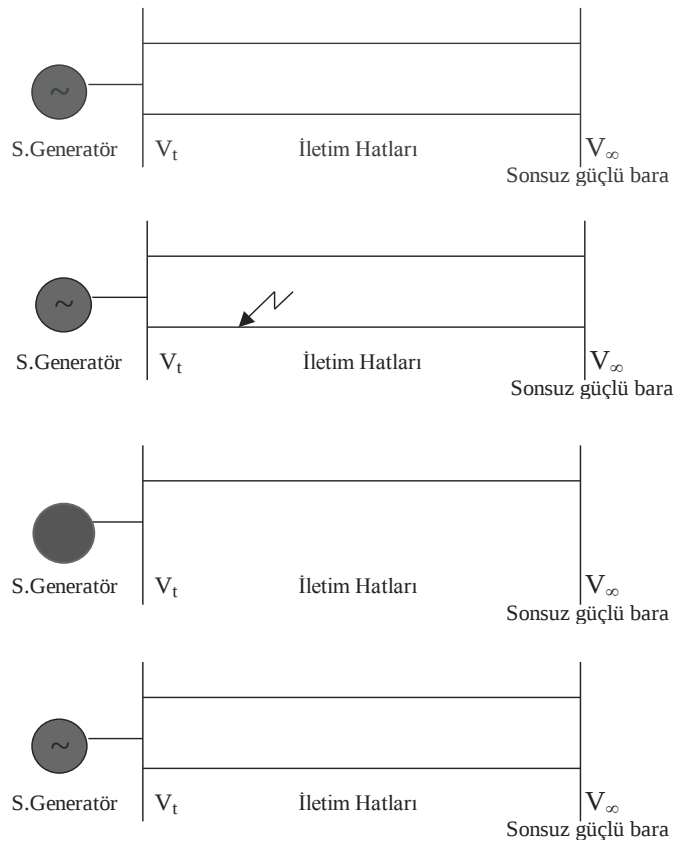


Şekil 7.1. Geleneksel sisteme ait bilgisayar benzetimi modeli

Şekilde görülen ilk bölümde yapısında DSR modeli bulunan ve üç fazlı kısa devre arızasına maruz kalan senkron generatör modellenmektedir. İkinci blokda, senkron generatörün uyarma sistemine gerilim regülatörü yerleştirilmiştir. Üçüncü kutuda, gerilim regülatörü kaldırılmadan, senkron generatörün yapısında bulunan DSR üzerinde değişiklik yapılarak güç ve hıza daha duyarlı hale getirilmiştir. Değiştirilen geleneksel DSR modeli hem bulanık, hem de geleneksel sistem için aynı yapıdadır. En son blokda da, gerilim regülatörü ve değiştirilen DSR modeli kaldırılmadan, modele güç sistemi kararlayıcısı eklenmiştir. Güç sistemi kararlayıcısı her iki yapı için de hız ve güç değişimlerini giriş olarak almaktadır.

7.3. Senkron Generatör Modeli

Bilgisayar benzetiminde senkron makina sonsuz güçlü bir şebekeye bağlanmış ve makinanın elektriksel, mekanik, türbin, uyarma alt sistemler modelleri gösterilmiştir. Senkron makina alt sistemlerin birleştirilmesiyle oluşturulmuş ve MATLAB/Simulink programı ile senkron makinanın, iletim hattında bir arıza olması sonucunda hatlardan birinin bir süre servis dışı kalıp sonra tekrar devreye girmesi durumundaki davranışı incelenmiştir. Bilgisayar benzetiminde 0.6. s' de enerji hatlarından birinde üç fazlı kısa devre arızası olduğu ve (0.6–0.78) s' leri arasında arızanın devam ettiği bu nedenle hat direnç ve reaktansının sıfıra düştüğü, 0.78. s' de arızalı hattın izole edilmesinden sonra (0.78-0.87) s. leri arasında tek iletim hattının devreye girdiği ve 0.87.s' den sonra arızanın tamamen giderilmesiyle kesicinin devreyi kapatması ile iki hat üzerinden sistemin arıza öncesi çalışma koşullarına döndüğü varsayılmıştır. Sisteme giriş olarak verilen aktif güç P_o 0.8 (pu), Q_o 0.496 (pu) ve V_t referans gerilimi de 1 (pu) olarak belirlenmiştir. Sistemde elde edilen tüm değerlerin birimi pu olarak seçilmiştir [29].



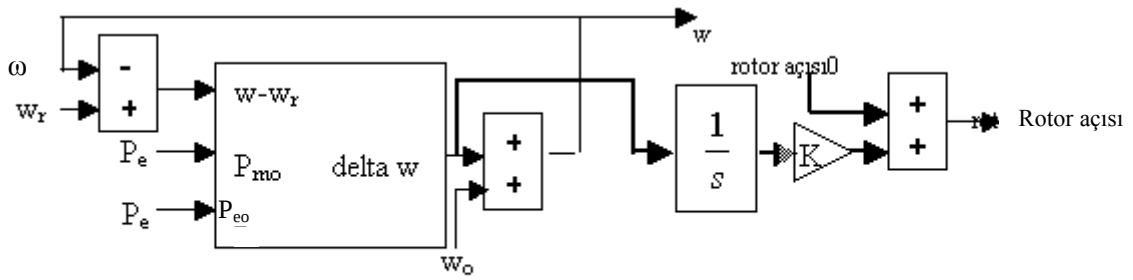
Şekil 7.2. İletim hattında arıza öncesi, arıza durumu ve arıza sonrası modeli

7.3.1. Senkron Generatör Alt Sistemleri

Senkron makina alt sistemlerinde kullanılan denklemlere ait blok diagramlar bu bölümde verilmiştir. Senkron makina matematiksel denklemleri bölüm 4' te verildiği için bu bölümde tekrar değinilmemiştir.

7.3.1.a. Senkron Generatör Elektrisel ve Mekanik Alt Sistemleri

Şekil 7.3' de mekanik kısım için kullanılan yapı blok diagramlarla gösterilmiştir. Blok diagram içerisinde kullanılan denklemler bölüm 4' te verilmiştir.



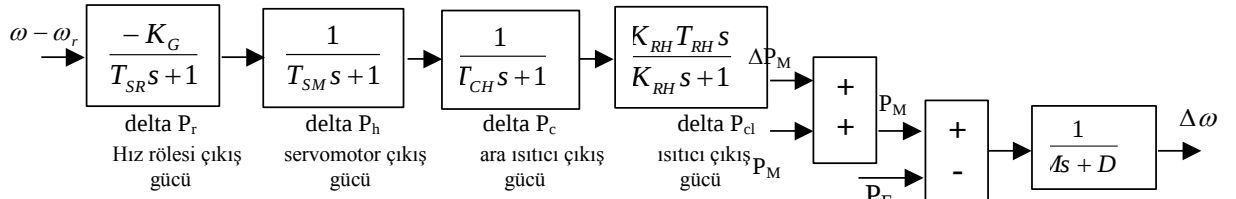
Şekil 7.3. Mekanik kısım modeli

Blok diagramda referans hız ile generatör hızı arasındaki fark, başlangıç anındaki elektriksel güç ve üretilen elektriksel güç giriş olarak verilmektedir. Bu girişler türbin ve tahrik sistemi vasıtasıyla güce çevirilmektedir.

Türbin ve tahrik alt sistemi içerisinde servomotor, hız rölesi, ara ısıtıcı, ısıtıcı gibi elemanları kapsamaktadır. Bu sistem aslında bir devir sayısı regülatörü ve türbin bağlantısından oluşmaktadır. Hız rölesi tarafından senkron makina hızında algılanan değişim sonrasında servomotor aracılığıyla türbine mekanik güç verilmesini sağlayan ısıtıcı vanası ayarlanır. Bu sayede buhar türbinine verilen tahrik gücü değiştirilerek mekanik güç ayarı sayesinde hız kontrolü yapılmış olur.

DSR içerisindeki hız rölesi ve servomotorun türbine verilen tahrik gücünün değişmesini sağlayacak vanayı ayarlaması sonucunda türbin üzerinden hız kontrolü yapılmaktadır. Arıza sonrasında oluşan hız farkının DSR kapsamındaki elemanlar tarafından algılanıp vanasının ayarlanması suretiyle türbine verilen tahrik gücünün değiştirilmesi ve bunun sonucunda makinanın hızının ayarlanarak dengenin

sağlanması söz konusudur. Şekil 7.4' te türbin ve tahrik sistem modeli verilmiştir. Bu blok diagrama ait matematiksel denklemler bölüm 4' te verilmiştir.

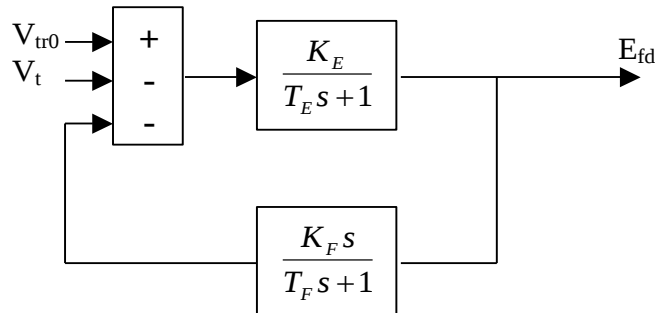


Şekil 7.4. Türbin ve tahrik sistem modeli

Normal çalışma koşullarında mekanik güç-elektriksel güçler eşitliğinin olması gereklidir. Bu durumda tahrik momenti ve elektriksel moment arasındaki fark sıfır olur. Generatör rotoru senkron hızda çalışır. Güçlerdeki eşitliğin etkisiyle sıfır olan hız değişimi, güç dengesinin bozulması durumunda sıfırdan farklı bir değere ulaşır. Şekil 7.4. incelendiğinde generatörün mekanik gücü ile elektriksel güç arasındaki farktan hız değişiminin elde edildiği ve bu işaretin referans hızdan çıkarılarak geri beslemeyle tekrar türbin-tahrik sistemine verildiği görülür.

7.3.1.b. Senkron Generatör Uyarma Sistemi

Uyarma sistemine ait modelin blok diagramı şekil 7.5' de gösterilmiştir. Uyarma sistemi matematiksel denklemleri bölüm 4' te verilmiştir. Uyarma devresinde kullanılan transfer fonksiyonunda K_E uyarma kazancını, T_E uyarma devresi zaman sabitini temsil etmektedir. Uyarma sistemi kontrol devresindeki geri beslemede kullanılan katsayılar K_F kararlılığı sağlayan kazanç katsayısını ve T_F ise kararlılık zaman sabitini ifade etmektedir.

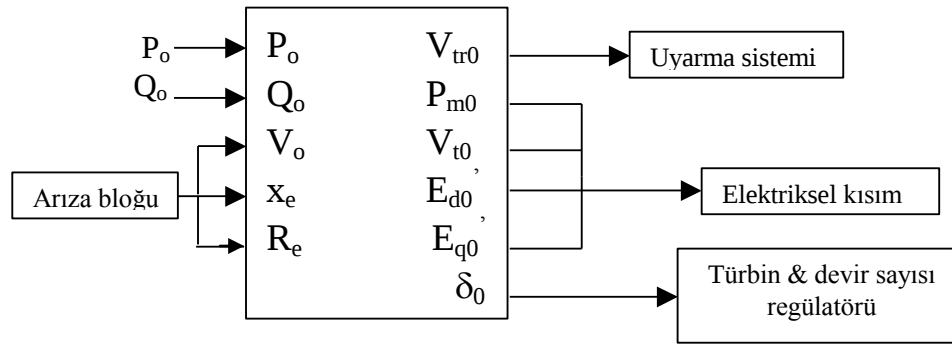


Şekil 7.5. Uyarma alt sistemi blok diagramı

Şekil 7.5' de gösterilen blok diagramda uyarma katsayısı ve zaman sabiti giriş olarak alınan gerilim işaretini uyarma gerilimine çevirmektedir. Uyarma gerilimini giriş olarak alan kararlayıcı sabiti ile kararlayıcı katsayısının oluşturduğu birinci dereceden Laplace transfer fonksiyonu uyarmayı ayarlamayı sağlayan kararlayıcı gerilimi üretmektedir.

7.3.2. Senkron Generatör Sürekli Hal Çalışma Durumu

Senkron generatörün sürekli hal değerleri generatörün genel modelinde uyarma sistemine, elektriksel kısma ve mekanik kısma giriş olarak verilmektedir. Sürekli hal bloğunun girişlerini aktif güç, reaktif güç, arıza etkisiyle değişim gösteren parametreler olan generatör uç gerilimi, iletim hattı direnç ve reaktansları oluşturmaktadır.



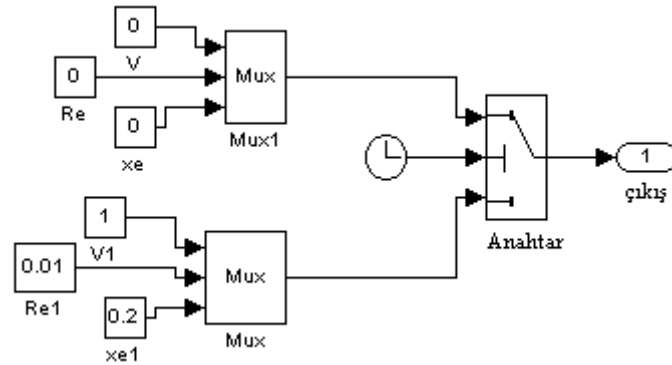
Şekil 7.6. Sürekli hal çalışma bloğu

Bölüm 4' te verilen sürekli hal denklemlerini kapsayan blok içerisinde generatör akımı başlangıç değeri, akıma ait faz açısı, uyarma gerilimi başlangıç değerini hesaplamada kullanılan akımın d-q eksenlerindeki değerleri, uyarma gerilimi başlangıç değerini kullanılarak hesaplanan ve uyarma sistemini besleyen uç gerilimi başlangıç değeri, türbin sistemini besleyen yük açısı başlangıç değeri, d-q eksenleri geçici gerilim başlangıç değerleri ve elektriksel güç başlangıç değeri hesaplamaları bulunmaktadır. Blok içerisinde dqo ekseni hesaplamaları yapılırken o eksenine ait bileşenler bir sürekli çalışma durumunda eksenlerde bir simetrisizlik oluşmadığı için gözönüne alınmamıştır.

7.3.3. Üç Fazlı Kısa Devre Arızası Alt Modeli

Senkron generatörde geçici hal kararlılık analizinin yapılabilmesi için sonsuz güçlü baraya bağlayan paralel iletim hatlarında üç fazlı kısa devre arızası olduğu varsayılmaktadır. Bu durumda generatör uç gerilimi ile iletim hatlarına ait direnç ve reaktans arıza süresince sıfır olur. Arızalı hattın sistemden izole edildiği süre aralığında hat direnç ve reaktansı tekrar sıfırdan farklı bir değere ulaşır. Arızalı hattın düzeltilip tekrar devreye alınması sonrasında sistem arıza öncesi çalışma koşullarına geri döner.

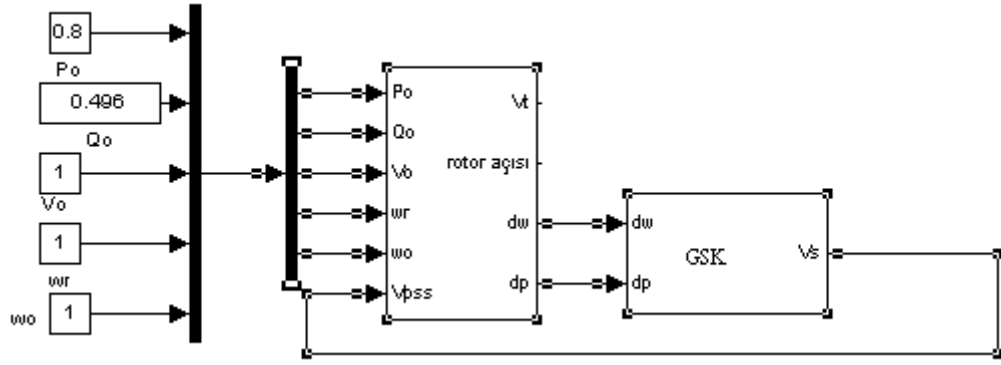
Kısa devre arızası modeli kendi içinde arıza öncesi, arıza anı ve sonrası olmak üzere üç ayrı bloktan oluşmaktadır. Arıza öncesi bloğu içerisinde iletim hatları eşdeğer direnç ve reaktansı ile 1 (pu) olan referans gerilim değerlerinin bilgisayar benzetiminin çalıştığı ilk 0.6 s' lik aralıkta sabit tutulması sağlanmıştır. Arıza öncesi-arıza anı bloğu içerisinde direnç, reaktans ve gerilim değerlerinin bir anahtar yardımıyla arıza öncesi değerlerinden sıfıra 0.6s.' de anahtarlanması, arıza temizleme bloğunda (0.6-0.78)s' leri arasında sıfır olan değerlerin 0.78. s' den itibaren tek hat devreye girdiği zamanki değerlere ve arıza sonrası bloğunda ise (0.78-0.87) s' leri arasında sistem tek hat ile çalıştığı için iki katına çıkan değerlerin, arızalı hattında devreye girmesi ile 0.87.s' den itibaren arıza öncesi değerlerine anahtarlanması sağlanmıştır. Şekil 7.7' de arıza temizleme bloğunun iç yapısı gösterilmiştir.



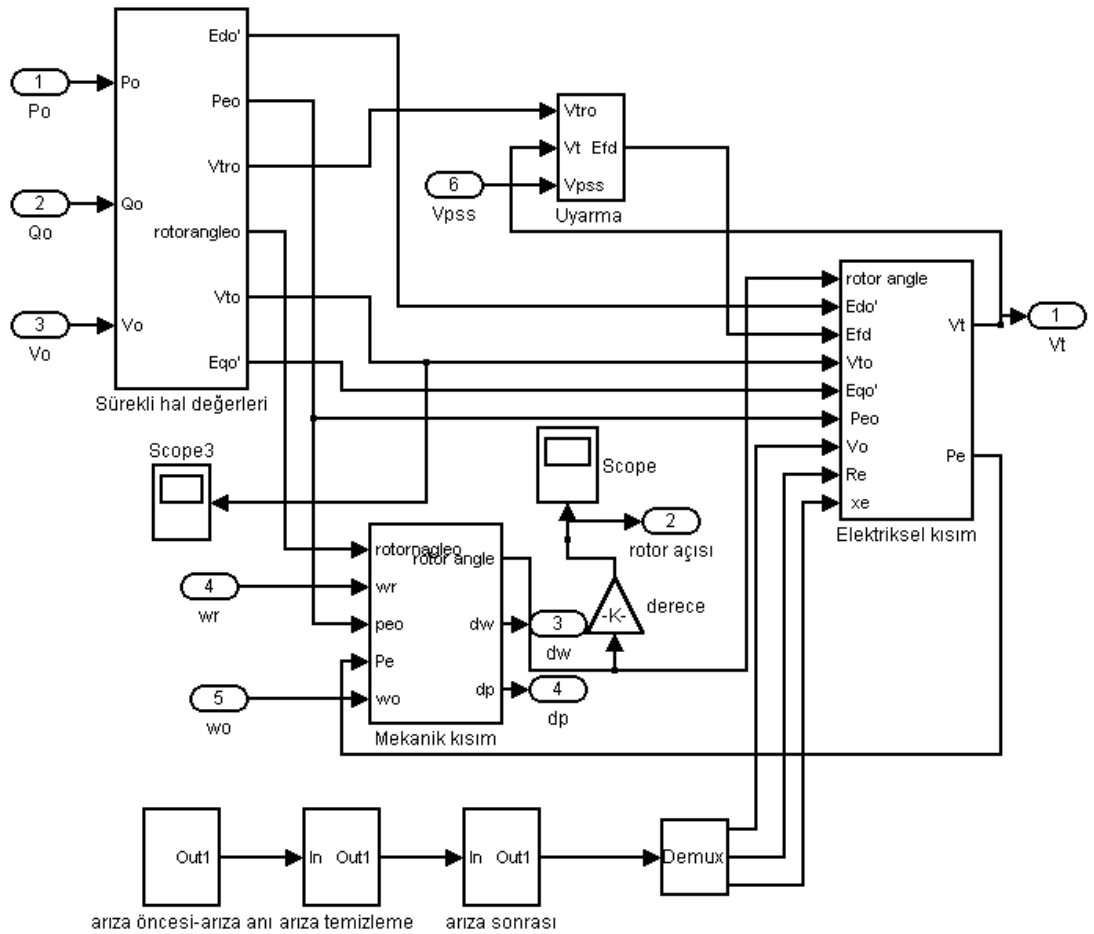
Şekil 7.7. Arıza bloğu iç yapısı

Bloklar içindeki anahtarlarda tanımlanan süre bilgisayar benzetiminin çalışmasındaki süreye eşitlendiğinde anahtar devreye girerek gerilim, direnç ve reaktans değerlerinin değişmesini sağlamaktadır. Bloklar içindeki gerilim, hat bileşenleri değerleri ile anahtarın devreye gireceği süre değeri aradaki tek farktır.

Şekil 7.8.a' da senkron generatör blok olarak verilmiştir. Senkron generatör bloğu P, Q, V, açısal hız başlangıç değeri ve açısal hız referans değerlerini giriş olarak almaktadır. GSK senkron generatörden giriş parametrelerini almakta ve çıkışında elde edilen kararlayıcı gerilimi senkron generatör bloğuna vermektedir. Senkron generatöre ait tüm alt sistemleri içeren model şekil 7.8.b' de gösterilmiştir.



Şekil 7.8.a Senkron generatör-GSK Simulink bağlantı şeması

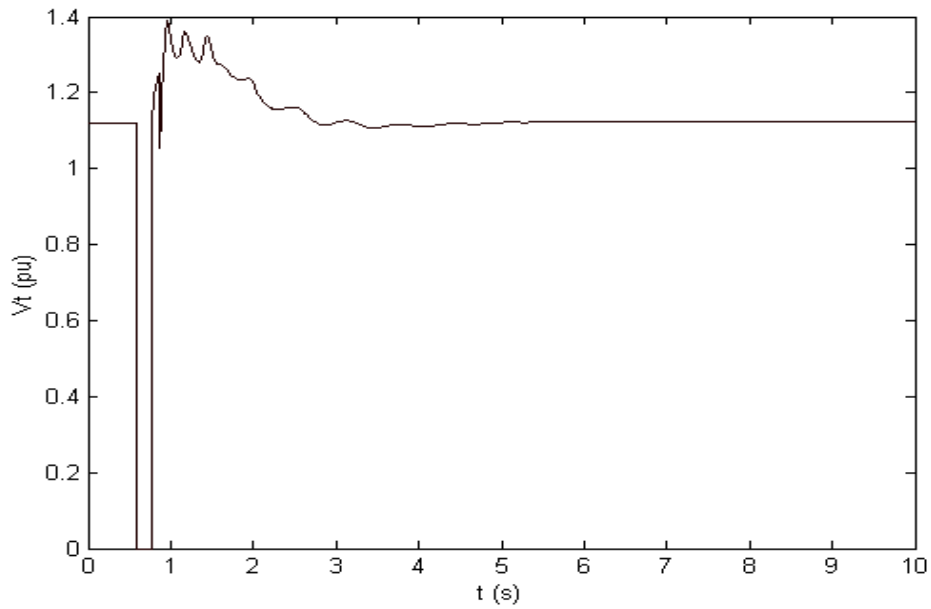


Şekil 7.8.b Senkron makina genel modeli

7.4. Senkron Generatör Bilgisayar Benzetim Sonuçları

Senkron generatör normal çalışma şartlarında bağlı olduğu sistemi toleranslar dahilinde sabit bir frekans ve gerilimle beslemelidir. Arıza durumlarında kararlı çalışma şartlarını koruyabilmek için gerekli momentleri üretir ve arıza sonrasında yeni bir çalışma noktasında gerilimi aynı zamanda frekansı düzgün olarak vermeye devam eder. Benzetimde de senkron generatör bağlı olduğu sonsuz güçlü şebekeyi arıza öncesinde ve arıza sonrasında sabit bir gerilim ve frekansla beslemektedir.

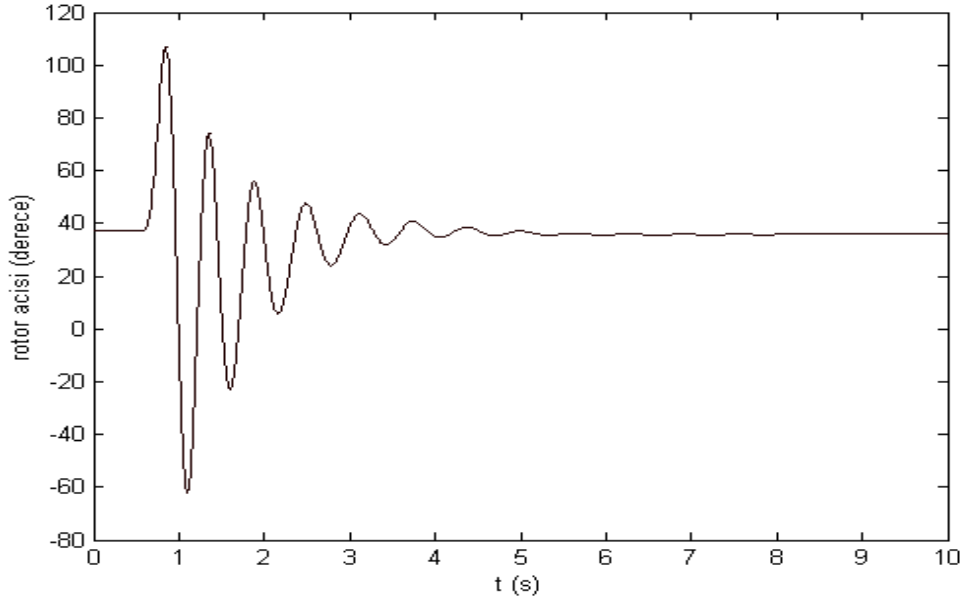
Sistemde arıza oluşması nedeniyle bozulan gerilim, arıza esnasında sıfıra düşüp tekrar yükselerek aşım yapmakta ve salınımlarla yeni bir çalışma noktasına oturmaktadır. Benzetim sonucunda elde edilen uç gerilimi şekil 7.9’ de verilmiştir.



Şekil 7.9. Senkron generatör uç gerilimi

Yapısında önceden bulunan DSR dışında herhangi bir kontrol elemanı ilave edilmemiş senkron generatöre ait gerilim ve rotor açısı eğrileri incelendiğinde uç geriliminin yüksek bir aşım yaparak uzun bir sürede tekrar sabit bir değere oturduğu görülmektedir. Arıza öncesinde 1.118 pu değerinde olan uç gerilimi arıza etisiyle 1.4 pu değerine kadar aşım yapmakta ve arıza sonrasında benzetimin [6-7] s’ leri arasında tekrar 1.1242 pu değerine salınımsız şekilde oturmaktadır.

Yapısı gereği küçük arıza durumlarında generatör, senkronizmayı koruyacak yönde momentler üretir. Model içindeki DSR dışında herhangi bir kontrol elemanı eklenmeden de senkron makina kararlılığını koruyabilmektedir. Kararlılık gereği rotor açısı salınım genlikleri giderek azalmakta ve yeni bir değere oturarak kararlılığa kavuşmaktadır. Senkron generatör rotor açısı şekil 7.10’ da gösterilmiştir.



Şekil 7.10. Senkron generatör rotor açısı

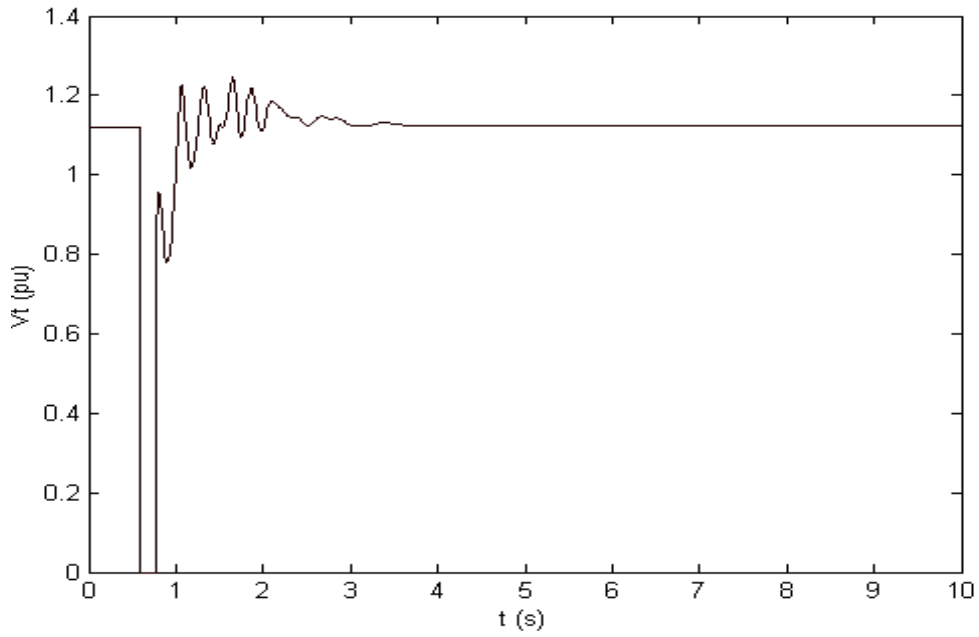
Rotor açısı dalga şekli incelendiğinde başlangıç değerinde düzgün iken arızanın etkisiyle açısının arızanın etkisiyle genlikleri giderek azalan salınımlar yapmaya başladığı görülmektedir. Arıza anından itibaren bozulan rotor açısındaki salınımlar gerilim ile benzer olarak bilgisayar benzetiminin [6-7]s’ leri arasında tekrar düzgün dalga şekline oturmaktadır. Rotor açısı salınımlarının maksimum genlik değerleri [+107, -62] derece olarak elde edilmektedir.

7.4.1. Senkron Generatör ve OGR Bilgisayar Benzetimi

Uyarma sistemine eklenen OGR’ nin etkisiyle gerek gerilim gerekse rotor açısı işaretinde iyileşme görülmektedir. OGR’nin esas görevi gerilimde salınımların azaltılmasıdır. Bu yüzden gerilim üzerinde gözle görülebilecek şekilde düzelme sağlayabilmektedir

Uç gerilim hata değerini giriş olarak alan kapalı kontrol devresi yapısındaki gerilim regülatörü tarafından uyarma sistemine daha küçük aralıkta salınan işaret $[-0.7, +0.7]$ limitleri arasında uygulanmaktadır.

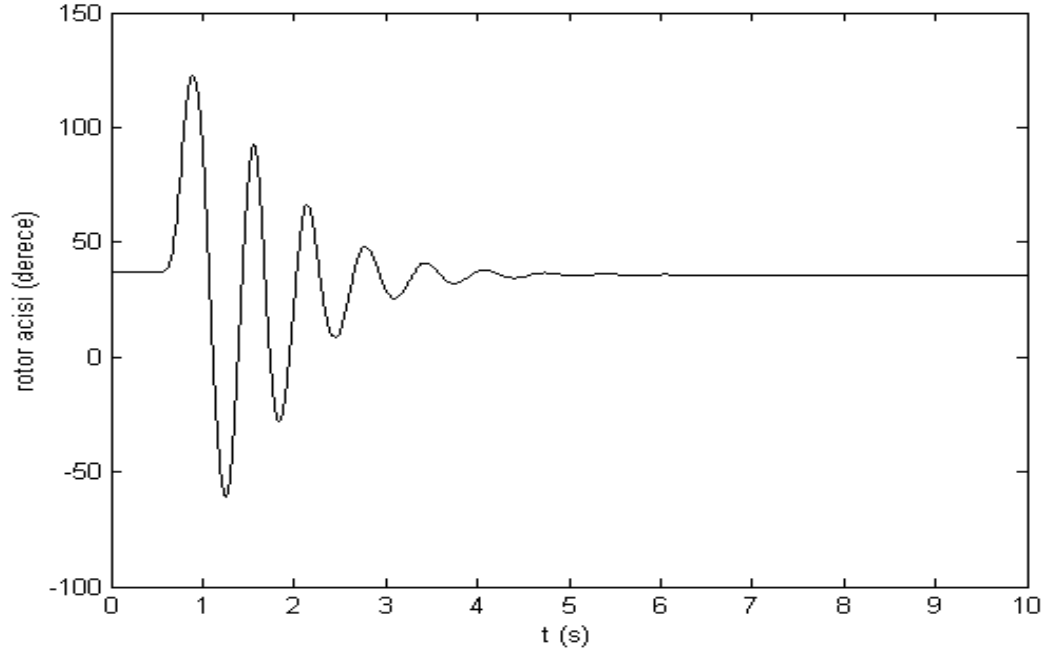
Uyarma sistemine regülatörün sınırlamaları ile belirli limitler arasında tutularak verilen generatör uç gerilimindeki aşım genliği 1.25 pu' e kadar düşürülmüştür. Senkron generatöre OGR eklenmesi sonrasındaki uç gerilimi şekil 7.11' de verilmiştir.



Şekil 7.11. OGR ile senkron generatör uç gerilimi

Gerilimdeki arıza etkisiyle oluşan aşım regülatör tarafından kısmen azaltılmıştır. OGR etkisiyle generatörün ürettiği uç gerilimi incelendiğinde bilgisayar benzetiminin ilk üç saniyesinde büyük salınımların, bu saniyeden sonra da 6.5. s' ye kadar daha küçük salınımların olduğu görülmektedir. Bu süreden sonra gerilim salınımsız olarak devam etmektedir. 1.118 pu değerindeki başlangıç uç gerilimi 1.24 pu civarında salınım yaparak arıza sonrasında 1.1241 pu değerinde tekrar sabitlenmektedir. Gerilimin ulaştığı maksimum değer 1.25 pu' e kadar düşürülmüştür. Gerilimde meydana gelen ikinci gerilim düşümü 0.78 pu olarak saptanmıştır.

OGR' nin rotor açısı üzerindeki etkisi çok azdır. Rotor açısı, regülator eklenmeden önceki senkron generatör modeline ait rotor açısı dalga şekliyle karşılaştırıldığında OGR' nin etkisiyle daha az salınım yaparak bilgisayar benzetiminin 6.s' den sonra tekrar kararlı hale gelmiştir. OGR eklendiği durumdaki generatör rotor açısı şekil 7.12' de verilmiştir.



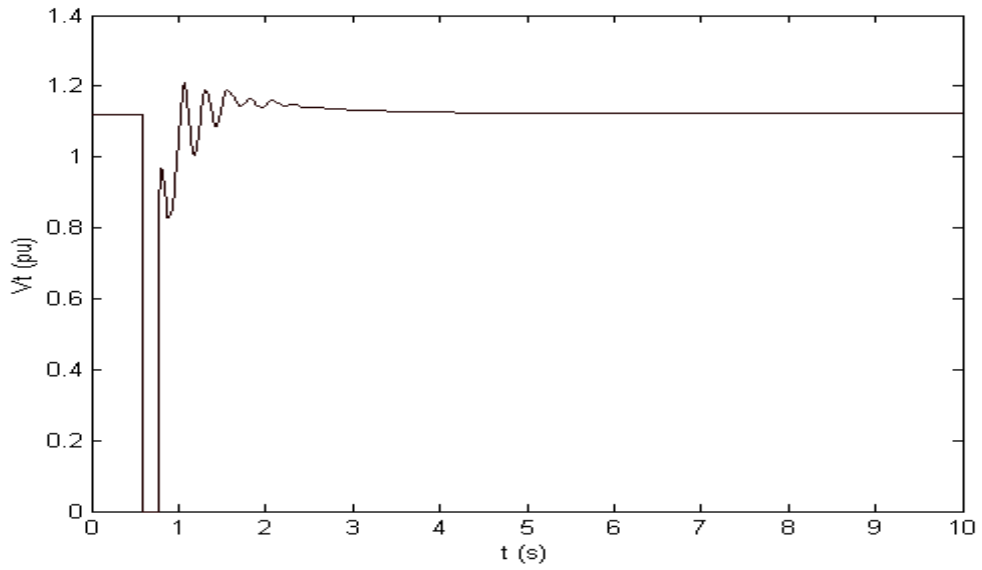
Şekil 7.12. OGR' li senkron generatör rotor açısı

Arıza öncesinde 37.35 derece değerinde iken arıza sonrasında kararlı hale 35.83 derece değerinde oturmaktadır. Ancak, OGR' nin eklenmesiyle uç gerilimi salınım genliklerinin azaltılmasına, rotor açısı salınımların negatif eksenindeki genliklerinin küçülmesine karşın pozitif eksenindeki değerlerinde küçük bir artış olduğu görülmektedir. Rotor açısının ilk salınım genliği $[+122.88, -60.53]$ derece olarak elde edilmiştir. İkinci salınım maksimum genlik değeri ise 92.274 derecedir.

Genel olarak bakıldığında OGR' nin özellikle gerilimdeki salınımların ve bu salınımların ulaştığı değerlerin azaltılmasında çok etkili olduğu görülmektedir. Uç gerilimi maksimum değerlerinde büyük düşüş olmasını sağlamaktadır. Aslında uç geriliminin düzelmesi sayesinde de rotor açısındaki salınım sayısı da azalmakta ve daha erken kararlı değere oturmaktadır.

7.4.2. Senkron Generatör, OGR ve DSR Bilgisayar Benzetimi

OGR' ye ek olarak senkron generatörde bulunan hız regülatörünün yapısının değiştirilmesiyle özellikle rotor açısındaki salınımlarda daha fazla iyileşme sağlanması amaçlanmıştır. Eklenen DSR modelinde güç değişimini giriş olarak alan regülasyon katsayısının girildiği geleneksel P kontrolörü çıkışı ile türbin sistemini besleyen hız değişimi arttırılmaktadır. OGR kaldırılmadan generatör modeline DSR eklenerek elde edilen uç gerilimi şekil 7.13' de verilmiştir.

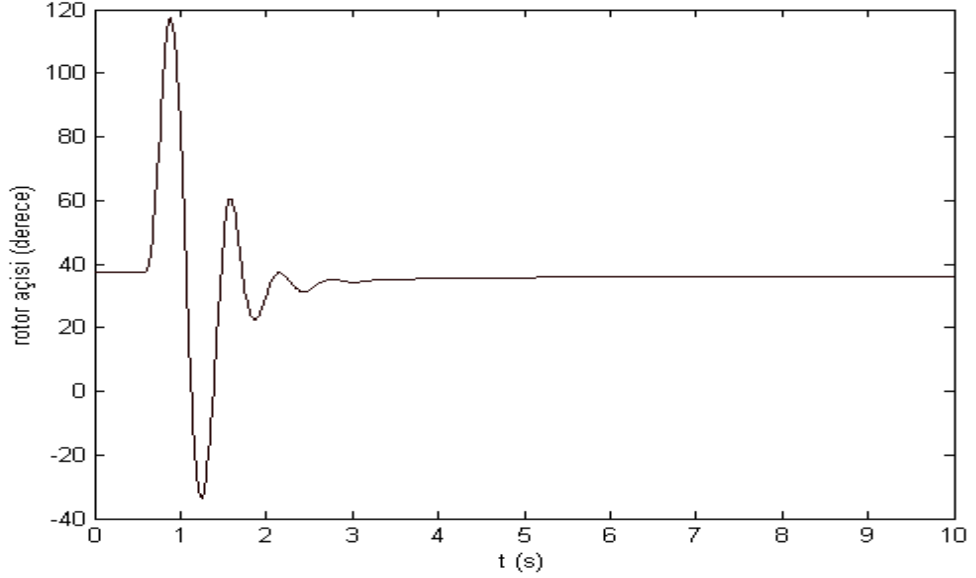


Şekil 7.13. OGR ve DSR ile senkron generatör uç gerilimi

DSR' nin eklendiği yapıdaki uç gerilimi incelendiğinde gerilimde arıza nedeniyle oluşan büyük genlikli salınımların bilgisayar benzetiminin ilk 2 saniyesinde sona erdiği görülmektedir. Bilgisayar benzetiminin 3.s' den sonra küçük salınımların aralıklı olarak devam etmesine karşılık düzgün bir gerilim şeklinin ilk 4s' den sonra oluştuğu gözlenmektedir. Gerilimin ulaştığı maksimum değer 1.209 pu ve meydana gelen ikinci gerilim düşümü 0.83 pu olarak saptanmıştır. DSR etkisiyle maksimum gerilim yaklaşık 0.05 pu düşürülürken ikinci gerilim düşümünün de 0.04 pu daha yüksek bir değer olması sağlanmıştır. Arıza sonrasında gerilimin oturduğu değer OGR' li yapıdaki ile aynı değerdir (1.124 pu).

Aynı yapı için rotor açısı dalga şekli incelendiğinde rotor açısındaki ilk salınının genliğinde pozitif yönde oluşan küçük artışla beraber negatif ekseninde de normal sisteme göre daha küçük bir genlik elde edilmiştir. Rotor açısının ilk salınımına ait

genlik değerleri $[+117.3, -33.5]$ derecedir. İkinci salınıma ait maksimum genlik değerleri ise 54.61 derecedir. Hız regülatörünün eklenmesiyle OGR' nin rotor açısının ilk salınımindaki genlik arttırıcı etkisi azaltılmış, ikinci salınım genliğinde ise bu etki tamamen ortadan kaldırılmıştır. Salınım sayısı gerilim regülatörlü sistemden elde edilen çıkışa kıyasla daha az oluşmuştur. DSR eklenmiş modelin rotor açısı şekil 7.14' de verilmiştir.



Şekil 7.14. OGR ve DSR ile senkron generatör rotor açısı

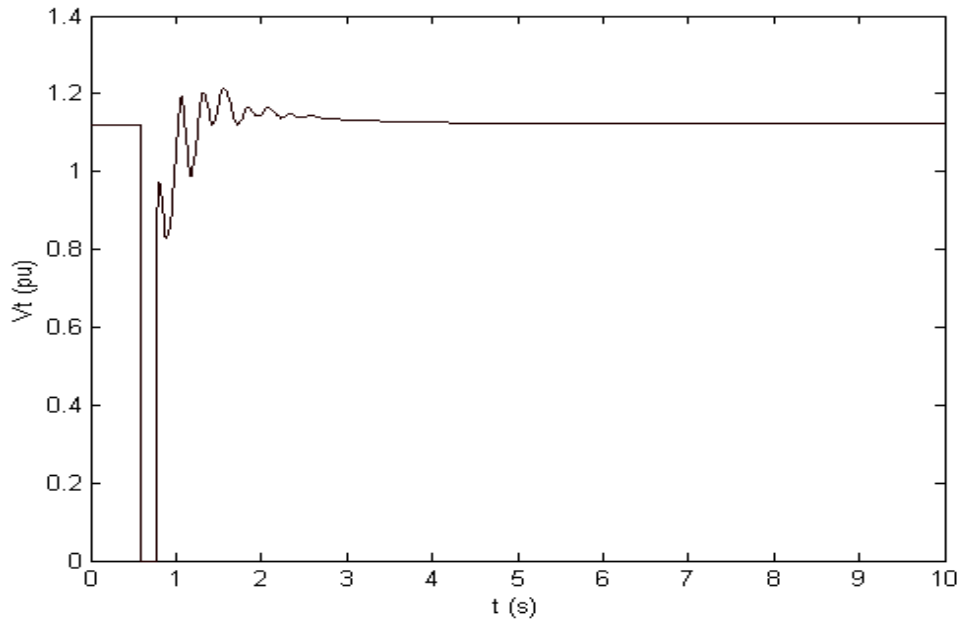
Rotor açısındaki ikinci salınıma ait genlik değeri incelendiğinde normal sisteme göre daha küçük bir değer olduğu görülmüştür. Bilgisayar benzetiminin 5.s' inden sonra rotor açısının salınımsız olarak çalışmaktadır. DSR kararlılığa oturma süresine 1 s öne çekmiştir. Benzetimin sonunda rotor açısı sadece OGR kullanılan modelde elde edilen değere kararlı bir şekilde oturmaktadır.

7.4.3. Senkron Generatör, OGR, DSR ve GGSK Bilgisayar Benzetimi

Senkron generatör devresine gerilim regülatörü ve hız kontrolünü sağlayan DSR eklenmesinin ardından geleneksel yapıdaki GSK da eklenerek gerilim ve rotor açısı optimum değerlere getirilmiştir. Geleneksel mantık kurallarına göre çalışan bu sistemde her elemanın eklenmesinin ardından sistem parametreleri bir önceki modele göre daha uygun olarak elde edilmektedir. GSK da optimum parametreleri elde etmekteki son basamağı oluşturmaktadır. GSK' nın sistem üzerindeki etkisi rotor

açısının salınım genlikleri ve gerilimin maksimum değerindeki azalma olmuştur. Uç gerilimini salınımlarının maksimumu GSK sayesinde diğer elemanlara kıyasla en düşük değere getirilmiştir.

Modele GSK eklenmesiyle rotor açısının ilk salınımlarında iyileşmeye ek olarak ikinci salınım genliği de geleneksel yapıdaki sistem için elde edilen en iyi değer olmuştur. GSK' li modele ait uç gerilimi şekil 7.15' de verilmiştir.

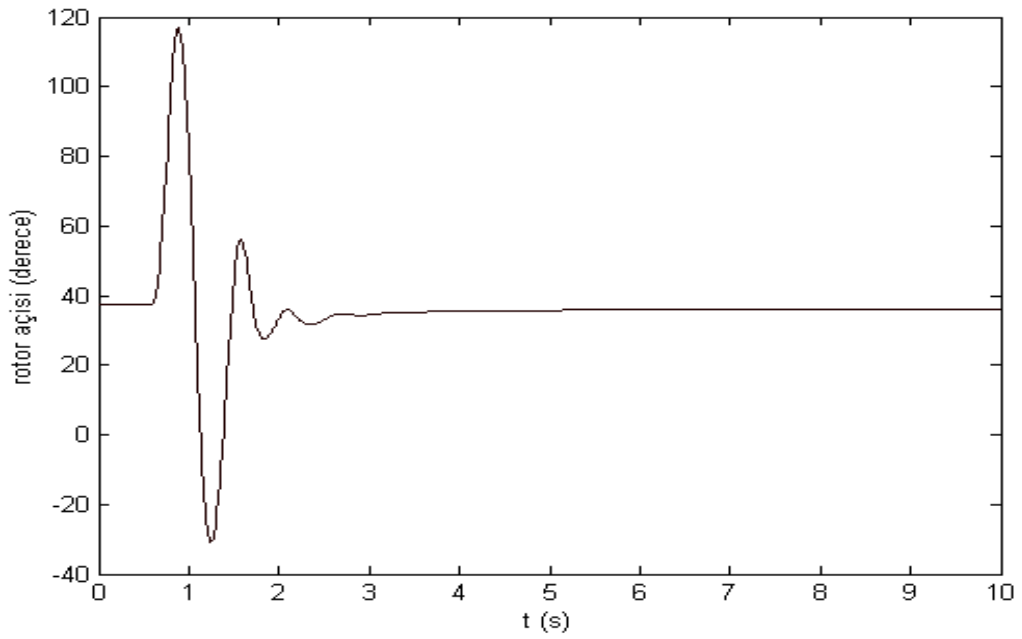


Şekil 7.15. OGR, DSR ve GSK ile senkron generatör uç gerilimi

GSK eklenmesiyle generatör uç gerilimi değerleri regülatör ve DSR' de elde edilen değerlere oldukça yakındır. Kararlayıcı sayesinde uç gerilimi salınımlarının maksimum değeri 1.213 pu değerine getirilmiştir. Gerilimde meydana gelen ikinci gerilim düşümü 0.83 pu olarak saptanmıştır. Uç geriliminin arıza öncesindeki değerinde kararlayıcının eklenmesiyle değişiklik olmamıştır. Arıza sonrasında gerilim 1.1242 pu değerine oturmaktadır. Kararlayıcı etkisiyle gerilim kararlılığının sağlandığı değerde 0.0001 pu' lik ihmal edilebilecek bir artış oluşmuştur.

GGSK kullanılmasıyla rotor açısında hem salınım genliği hem de kararlılığa oturma süresinde sistemdeki en iyi değere ulaşılmıştır. Özellikle ilk salınımdan sonraki salınımların genlikleri de geleneksel sistemdeki en iyi değerleri oluşturmaktadır. OGR' nin eklenmesinin ardından rotor açısının maksimum genliği GSK' nın kullanılmasıyla tüm modeller içinde en düşük değere getirilmiştir. GSK eklenmeden

önceki sistem ve regülatörlü sistemde ikinci salınım negatif değerlere inerken DSR modelinin ardından kararlayıcının da eklenmesiyle ikinci salınım pozitif değerler arasında kalmıştır. İlk salınıma ait genlik değeri $[+117.09, -31]$ derecedir. İkinci salınım ise 53.5 dereceye kadar aşım yapmaktadır. Rotor açısı daha önceki modeller ile yaklaşık olarak aynı değere oturmaktadır. GSK etkisiyle rotor açısının benzetimin sonunda oturduğu değer 0.001 derece' lik azalma göstermiştir. Çok küçük olduğu için bu hata ihmal edilebilmektedir. Rotor açısı üzerindeki GSK etkisi şekil 7.16' daki rotor açısı dalga şekliyle gösterilmiştir.



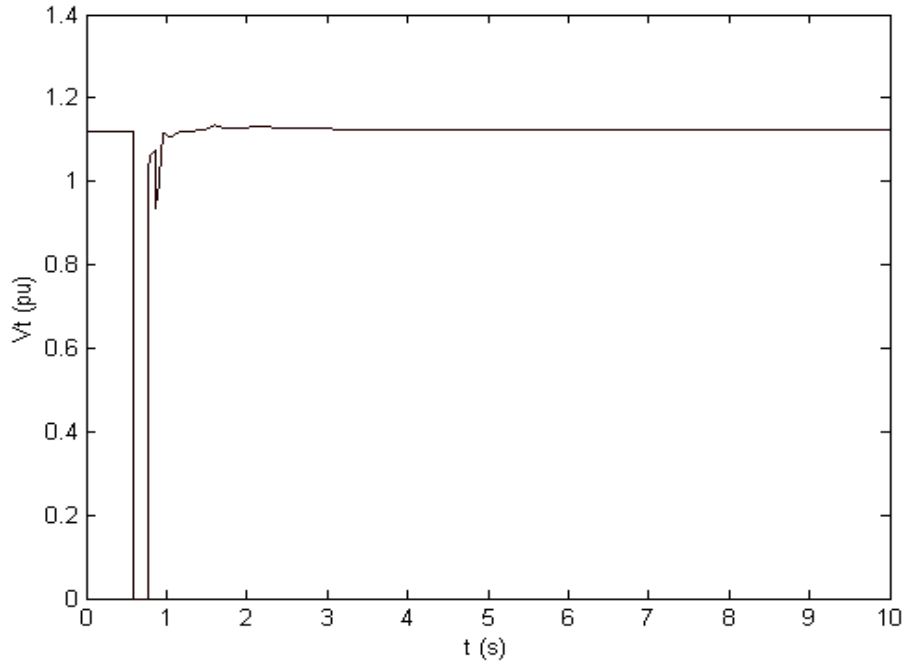
Şekil 7.16. OGR, DSR ve GSK ile senkron generatör uç gerilimi

Geleneksel kararlayıcılı modelde salınımsız dalga şekli gerilimde bilgisayar benzetiminin 4.12.s' sinden sonra, rotor açısında 4.85.s' sinden sonra oluşmaktadır. Bu ifadeden de anlaşılabildiği üzere GSK etkisiyle her iki dalga şeklinin de kararlı değere oturma süresi kısalmıştır.

Geleneksel yapılı elemanların sırasıyla senkron generatör modeline eklenmesi sonucunda, senkron generatör modelinden elde edilen parametreler minimum değerlerine getirilmiştir. Her eleman bir öncekinin meydana getirdiği düzeltici etkiyi geliştirip, bozucu etkisini kompanze ederek sistem çalışma koşullarını daha da iyileştirmiştir. Generatör çıkışları ve geleneksel kontrol elemanlarının çıkışlarının karşılaştırıldığı şekiller **EK-D'** te verilmiştir.

7.4.4. BGR ve Generatör Bilgisayar Benzetimi

Senkron generatör modeline bulanık mantık tabanlı gerilim regülatörü eklenerek gerilim ve rotor açısındaki değişimler bilgisayar benzetimi ile incelenmiştir. Uyarma sistemine OGR'nin yerine yerleştirilen BGR' nin etkisiyle oluşan uç gerilimi şekil 7.17' da gösterilmiştir. BGR' ye ait şemalar **EK-B'** de verilmiştir.

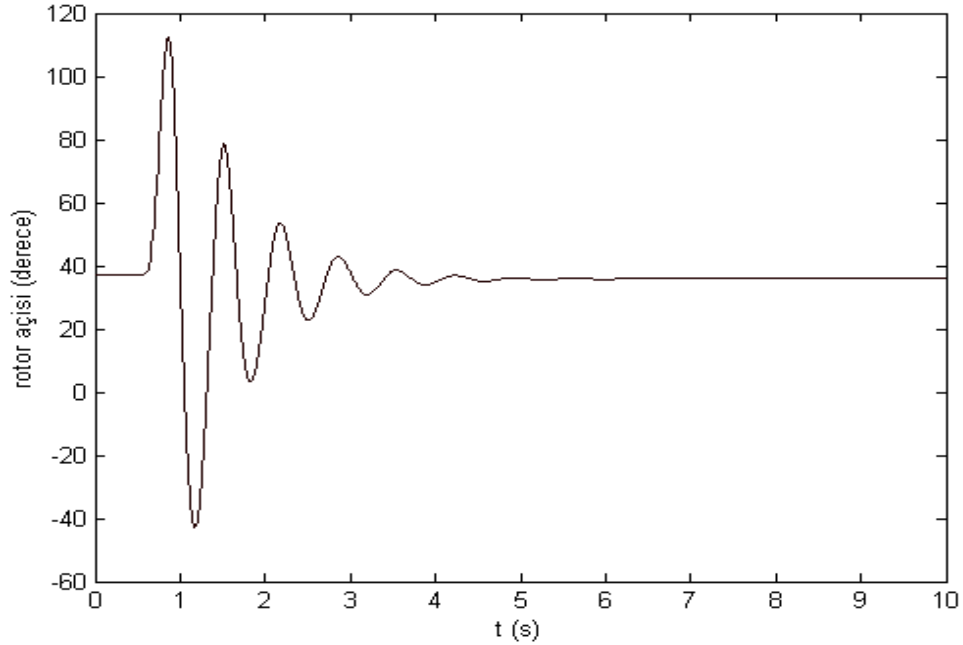


Şekil 7.17. BGR ile senkron generatör uç gerilimi

Uç gerilimi incelendiğinde gerilim geleneksel yapıdaki sistemin aksine maksimum değerine ulaştığı anda bile 1.14 pu altında kalmaktadır. Uç geriliminin maksimum değeri 1.1345 pu olarak belirlenmiştir. Gerilimde meydana gelen ikinci gerilim düşümü 0.93 pu olarak saptanmıştır. Bulanık regülatör etkisiyle arıza etkisiyle geleneksel regülatörlü ve geleneksel kararlayıcı sistemdeki aşımalar oluşmaz. Benzetimin ilk iki saniyesinde gerilimde küçük salınımlar oluşur. Gerilim, bilgisayar benzetiminin 3.s' sinden önce düzgün hale gelmektedir. Gerilimin arıza öncesi ve sonrasındaki değerleri geleneksel sistemdeki değerler ile aynıdır. Bilgisayar benzetimi sonunda gerilim 1.1241 pu değerine kararlı olarak oturmaktadır.

Geleneksel yapıdakine benzer olarak bulanık mantıkta da rotor açısının ilk salınımlarının pozitif eksandeki genliğinde küçük bir artış olmuştur. OGR' ye kıyasla bu artış BGR' li sistemde daha küçük olmuştur. İlk salınımların negatif eksandeki

genliği ve ikinci salınımın genliği OGR ile karşılaştırıldığında BGR' nin daha iyi bir performans gösterdiği görülmektedir. Rotor açısına BGR' nin etkisi şekil 7.18' de görülebilir.



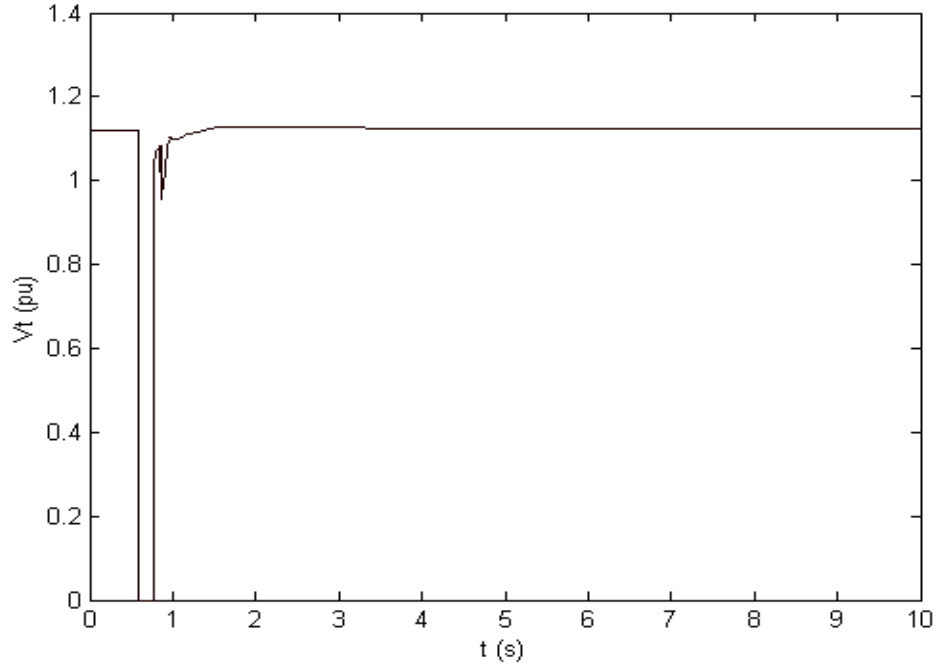
Şekil 7.18. BGR ile senkron generatör rotor açısı

Geleneksel yapıdaki ile kıyaslandığında BGR özellikle rotor açısında ilk salınımda $[+112.2, -43]$ derece ve ikinci salınımda $[+78.46, 3.183]$ derece arasında çok daha küçük bir genlik değeri ürettiği ve oluşan sonraki salınımların genliklerinde de belirgin düşüşler olduğu görülmektedir. BGR etkisiyle rotor açısı arıza sonrasında geleneksel regülatördeki sonuçlara oranla 0.01 derece lik daha yüksek bir değere oturmaktadır. (35.84 derece) Rotor açısının oturma süresi 5.5 s' dir.

7.4.5. BGR, DSR ve Generatör Bilgisayar Benzetimi

BGR kaldırılmadan senkron generatör modeline geleneksel yapıdaki hız regülatörü eklenerek sistem parametrelerinin daha da düzelmesi sağlanmıştır. Aslında geleneksel yapıli DSR modelindeki OGR yerine BGR kullanılmaktadır. Senkron generatör modelinde bulunan geleneksel DSR modeli BGR ile beraber kullanılmıştır. Bulanık regülatör kullanılmasının etkisiyle güç değişimindeki farklılık geleneksel yapıda kullanılan aynı regülasyon katsayısıyla hız değişimine eklenmektedir. Regülasyon katsayısı olarak 0.02 değeri kullanılmaktadır. Kısaca BGR'nin yarattığı

etki DSR modeli ile bir adım daha iyileştirilmiştir. Yeni DSR ve BGR eklenmiş senkron generatör modelinin bilgisayar benzetiminden elde edilen uç gerilimi şekil 7.19’ da verilmiştir.

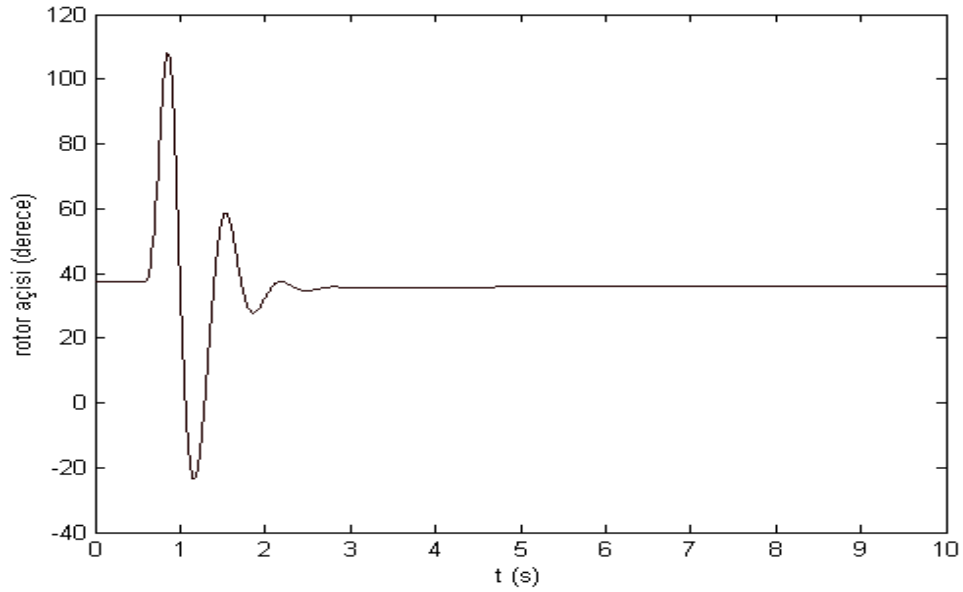


Şekil 7.19. BGR ve DSR ile senkron generatör uç gerilimi

DSR etkisiyle yok denecek kadar az olan gerilim aşımalarının maksimum değeri 1.129 pu değerine kadar indirilmiştir. Gerilimde meydana gelen ikinci gerilim düşümü 0.95 pu olarak saptanmıştır. Bilgisayar benzetiminin ilk 3 saniyesinden sonra küçük salınımların da tamamen kaybolarak düzgün bir gerilim elde edilmektedir. Gerilimin arıza öncesi ve sonrasında oturduğu değerler, bu modele karşılık gelen geleneksel yapıdaki değerler ile aynıdır.

DSR etkisiyle rotor açısında da bulanık regülatörün ilk salınımda yarattığı küçük artış nisbeten azaltılmıştır. İlk salınımdaki etkiye ek olarak ikinci ve sonraki salınımlarında değerleri DSR eklenmeden önceki bulanık sistem yapısı ve karşılık gelen geleneksel sistem yapısına ait değerlere göre daha düşüktür. Rotor açısının ulaştığı değerler DSR eklenmeden önce elde edilen değere göre pozitif ekseninde 4 derece, negatif ekseninde 20 derece küçüktür. Rotor açısında elde edilen değerler ilk salınım için $[+108.28, -23.493]$ ve ikinci salınım için $[+58.7584, +28.814]$ derece olarak saptanmıştır.

Rotor açısındaki salınım sayısı BGR' li sistemdekine göre çok daha az olmuştur. Bilgisayar benzetiminin yaklaşık 4.s' den sonra rotor açısında salınım oluşmamaktadır. DSR açının kararlılığa oturma süresini 1.5 s öne çekmiştir. DSR' nin geleneksel sistemde oturma süresinde 1 s' lik, bulanık sistemde 1.5 s' lik bir iyileştirme yaptığı göze çarpmaktadır. Bulanık sistem ile beraber geleneksel yapı bir sistem kullanılması durumunda bile bulanık sistem performansının daha iyi olduğu anlaşılmaktadır. Rotor açısı şekil 7.20' de verilmiştir.



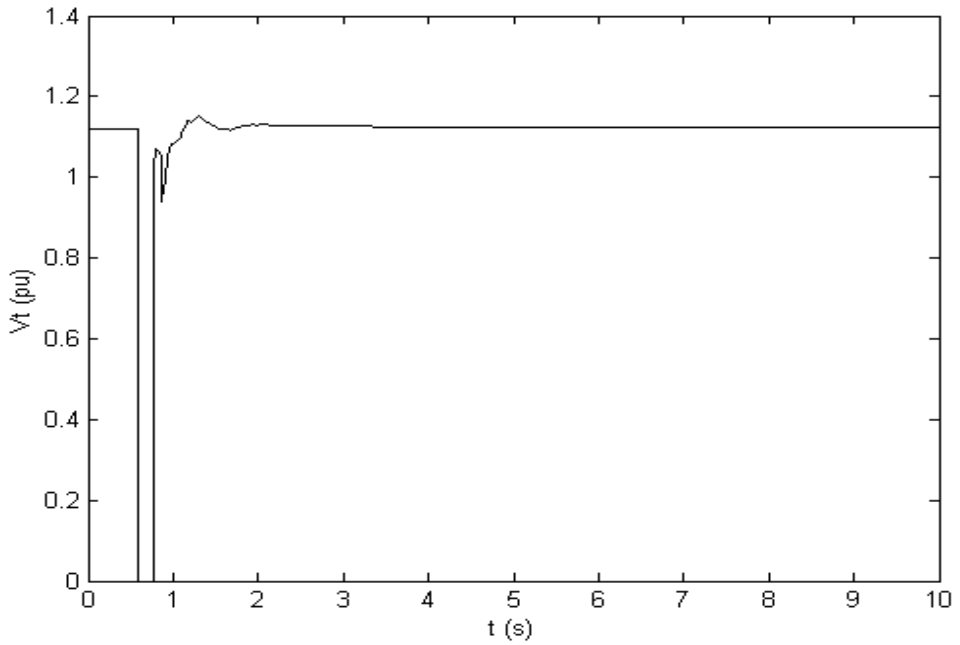
Şekil 7.20. BGR ve DSR ile senkron generatör rotor açısı

DSR etkisiyle arıza sonrasında rotor açısı BGR'li sistemdeki ile yaklaşık olarak aynı değere oturmaktadır. BGR' li sisteme göre kararlılığa oturma değeri 0.0006 derecelik artış göstermiştir, ancak çok küçük olduğu için bu değer ihmal edilmektedir.

7.4.6. BGR, DSR, BGSK ve Generatör Bilgisayar Benzetimi

Kullanılan senkron generatör modeline önce BGR' nin ardından DSR modeli eklenmesiyle sistem performansı yükseltilmiştir. BGR ve geleneksel DSR ardından yine bulanık kararlayıcı kullanılmıştır. Tasarlanan son eleman olan BGSK' nın diğer bulanık kontrol elemanların ardından eklenmesiyle de generatör uç gerilimi ve rotor açısında hem bulanık hem de geleneksel sistemdeki elemanların arasında en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

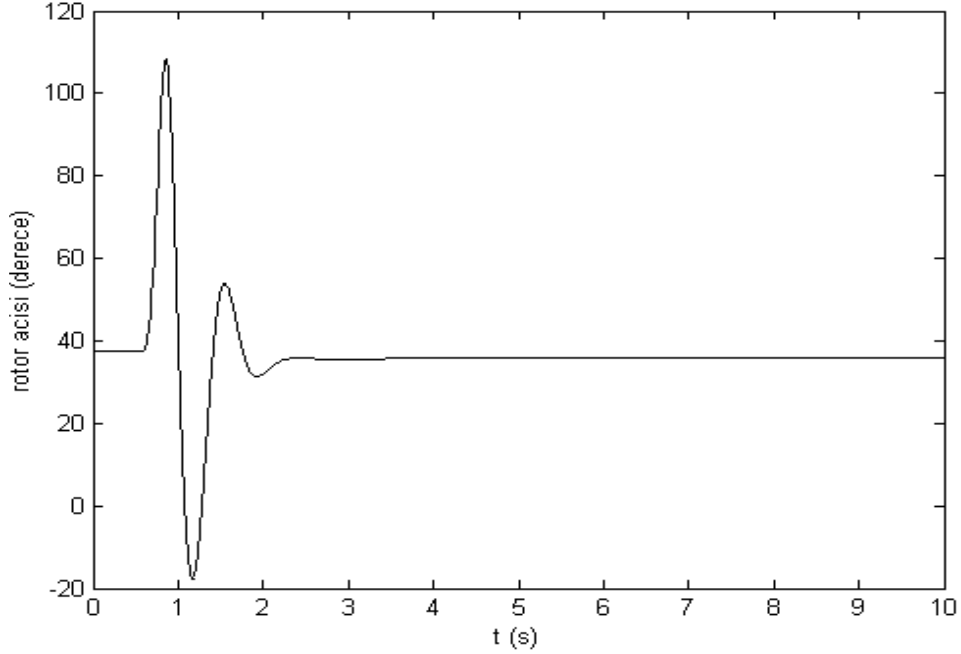
Bulanık mantık ile GGSK' nın sistem üzerindeki etkilerinin, kararlayıcı katsayıları ayarlanarak birbirine yakın tutulması sağlanmaktadır. Örneğin BGSK' da kararlayıcı katsayısının GGSK' dakine göre daha yüksek tutulması sonucunda sisteme daha büyük bir kararlayıcı işareti verilerek rotor açısının kararlılığının sağlanmasında, salınım sayısının azaltılmasında daha etkili olması sağlanabilmektedir. GSK limitleri sayesinde bir tipin diğerine göre baskın olmamasına ek olarak aynı zamanda kararlayıcı katsayısının da ayarlanmasıyla GSK'ların çıkışlarında elde edilen kararlayıcı gerilimlerde yaklaşıklık sağlanabilmektedir. BGSK kullanılan sisteme ait uç gerilimi şekil 7.21' de verilmiştir. BGSK' ya ait şemalar **EK-C'** de verilmiştir.



Şekil 7.21. BGR, DSR ve BGSK ile senkron generatör uç gerilimi

Arıza sonrasında oluşan gerilim salınımlarının maksimum değeri 1.152 pu değerine çıkmıştır. Uç gerilimindeki 0.023 pu' lik artış GSK' in generatör uyarma sistemine pozitif olarak giren kararlayıcı işaretinin uyarma geriliminin artmasına sebep olmasından kaynaklanmıştır. Elde edilen gerilim değerine ek olarak gerilimde oluşan ikinci büyük gerilim düşümünde de 0.94 pu elde edilmiştir. Gerilimin salınımsız olarak 1.241 pu değerine oturma süresi 2.25 s' dir. Diğer modellerle kıyaslandığında oturma süresinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Gerilimin kararlılığa oturduğu değer bulanık ve geleneksel sistemin tüm modellerindeki gibi 1.1241 pu olmuştur.

Aynı şekilde, sisteme kararlayıcı eklenmesiyle birlikte rotor açısı da hem bulanık sistem içinde en iyi değerlerle elde edilmiştir. Kararlayıcı eklenmesinden sonra elde edilen rotor açısı şekil 7.22’ de gösterilmiştir.



Şekil 7.22. BGR, DSR ve BGSK ile senkron generatör rotor açısı

Rotor açısının genlik değerleri ilk salınımda $[+108, -16.809]$ derece ve ikinci salınımda $[+53.8, -31.471]$ derece olarak elde edilmiştir. Geleneksel kararlayıcıli sistemdekine oranla rotor açısının maksimum genlik değeri 9 derece düşük kalmaktadır. İkinci ve sonra gelen diğer salınımların genlikleri de oldukça düşüktür. Bilgisayar benzetiminin ilk 2 saniyesi gözlemlendiğinde rotor açısında oluşan salınım sayısının çok daha düşük olduğu görülmektedir. Rotor açısı 3.34 s’ den sonra düzgün olarak oluşmaktadır. Kararlı olarak rotor açısının arıza ve salınımlar sonrasında oturduğu değer diğer modellerdeki ile aynıdır.

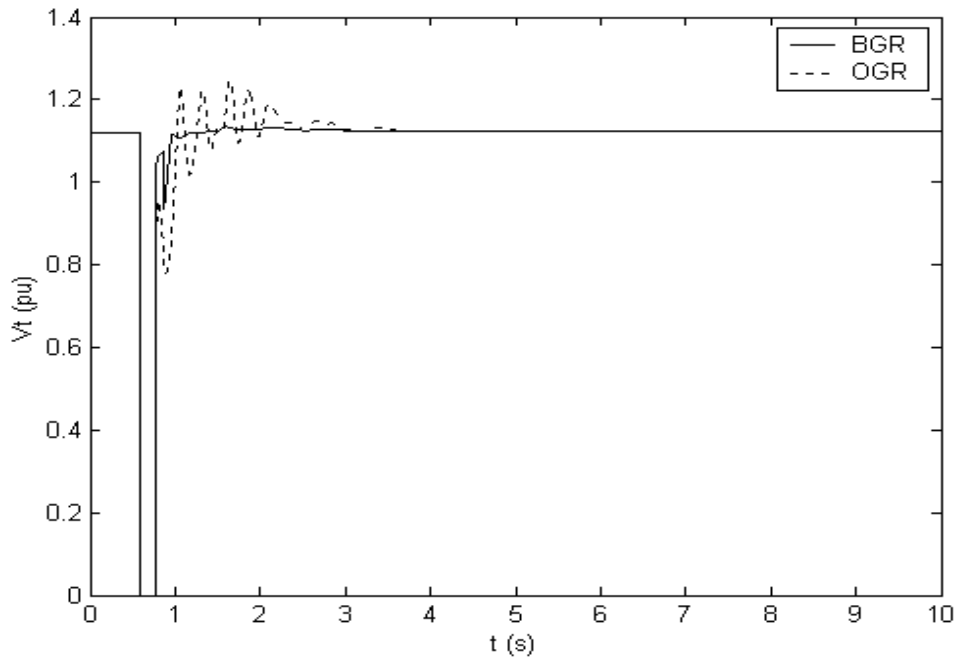
Genel olarak bakıldığında geleneksel ve bulanık sistem modellerinin her ikisinde de kontrol elemanların eklenmesiyle sistem kararlılığında iyileşme sağlanmıştır. Bulanık ve geleneksel sistem karşılaştırıldığında, bulanık sistem sonuçlarında rotor açısı genliği ve salınımlarındaki iyileşmeye ek olarak özellikle generatör uç geriliminde oluşan aşımalarının azaltılıp, gerilimin kararlı değere oturma süresinin kısaltılmasında bulanık sistemin daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.

7.5. Normal ve Bulanık Kontrol Sistemlerinin Karşılaştırılması

Senkron generatör bilgisayar benzetimine uygulanan geleneksel mantık ve bulanık mantık tabanlı sistemlerin uç gerilimi ve rotor açısındaki etkileri dalga şekillerinden karşılaştırılabilir. Kontrol uygulanmamış sisteme sırasıyla eklenen OGR, DSR ve GSK gibi elemanların sırasıyla bulanık-geleneksel çeşitlerinin sonuçları ve sistemlerin birbirine kıyasla performansları daha iyi olarak gözlenebilmektedir.

7.5.1. OGR ve BGR Karşılaştırılması

Hem transfer fonksiyonlarından oluşan OGR hem de BGR arıza sonrasında uç geriliminde oluşan salınımları gözle görülebilir bir şekilde azaltmaktadır. Gerilimin oturma süresi, salınım sayısı ve salınım yaparken ulaştığı maksimum aşım regülatörler yardımıyla küçük değerlere düşürülmektedir. Şekil 7.23’ de OGR ve BGR eklendikten sonra generatörün uç gerilimleri verilmiştir.

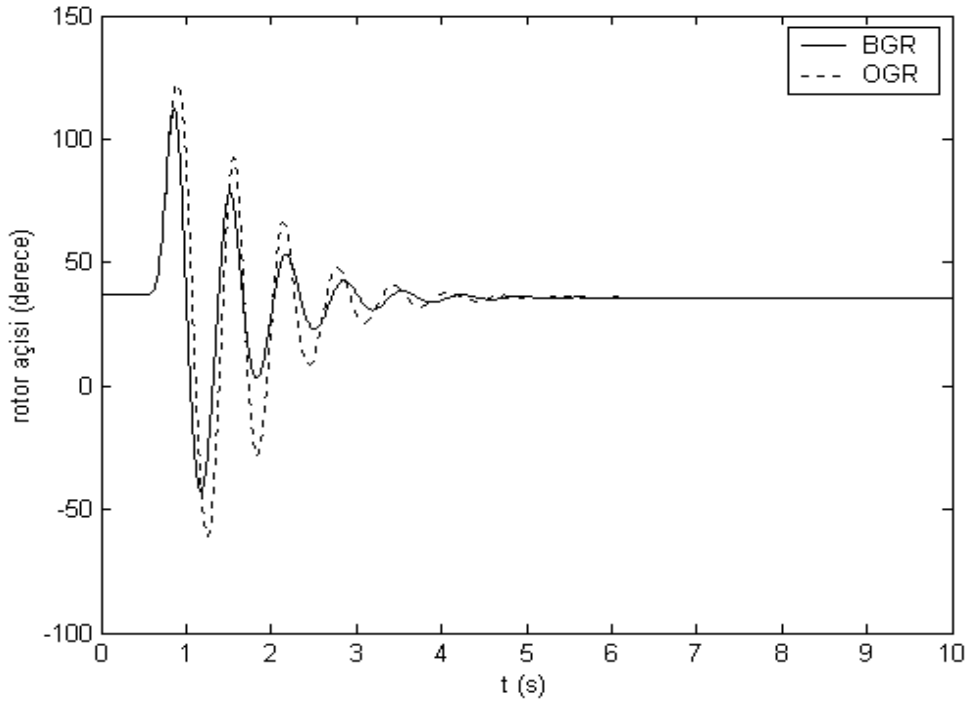


Şekil 7.23. BGR ve geleneksel OGR ile senkron generatör uç gerilimi

Şekil 7.23’ de BGR’ nin eklenmesi sonrasında elde edilen generatör uç geriliminin normal sistem regülatörü ile elde edilen gerilime göre çok daha düzgün olduğu görülmektedir. Bulanık sistem geriliminde oluşan salınımların genlikleri oldukça küçüktür.

OGR etkisiyle maksimum gerilim 1.25 pu iken BGR maksimum değeri 1.134 pu' e kadar düşürmüştür. Gerilimde meydana gelen ikinci gerilim düşümleri geleneksel sistemde 0.78 pu ve bulanık sistemde 0.93 pu olarak saptanmıştır. 0.12 pu' lik bir maksimum değer ve 0.15 pu gerilim düşümü farkı ile bulanık sistem regülatörünün performansı gerilim üzerinde daha yüksektir. Geriliminin oturma süresi de bulanık sistemde 3.5 s daha kısadır. OGR, oturma süresini bilgisayar benzetiminin 6.5.s' sine getirirken bulanık regülatör etkisiyle bu değer 3 s' ye düşürülmektedir.

Kontrol elemanlarının karşılaştırılmasında ele alınabilecek ikinci kriter de rotor açısındaki salınımların azaltılmasındaki etkileridir. Özellikle sistemin kararlılığının sağlanmasında en önemli değişken olan rotor açısının daha az salınım yaparak daha kısa sürede düzgün bir değere oturması kararlılığı sağlayan elemanın performansının yüksekliğini göstermektedir. Rotor açılarının karşılaştırılması şekil 7.24' de verilmiştir.



Şekil 7.24. BGR ve geleneksel OGR ile senkron generatör rotor açısı

Gerilim regülatörünün etkisi özellikle gerilimin düzgün olarak elde edilmesini sağlaması olduğu için rotor açısında meydana getirdiği iyileşme daha küçüktür. BGR OGR' ye oranla rotor açısının salınım genliklerinin daha küçük olmasını sağlamaktadır.

Hem OGR hem de BGR, kontrol elemanı eklenmeden önceki sistemden elde edilen rotor açısı ilk salınımindaki maksimum genliklerin artmasına neden olmaktadır. Buna karşılık negatif ekseninde ilk salınının ulaştığı maksimum değer eklenen gerilim regülatörü etkisiyle düşürülmüştür. Kontrol elemanı eklenmemiş sistemde rotor açısı $[+107, -62]$ derece, geleneksel sistemde $[+122.8, -60.53]$ derece ve bulanık sistemde $[+112.22, -43]$ derece olarak elde edilmiştir. Geleneksel sistem sonuçlarıyla kıyaslandığında, negatif eksenindeki değerler için, bulanık sistem benzetim sonuçlarında daha düşük değerler elde edilmektedir. Bulanık sistemde pozitif ekseninde ulaşılan maksimum genlik de, geleneksel sisteme göre daha küçüktür.

Gerilim regülatörleri, salınım sayısının azaltılmasında çok fazla bir iyileştirme sağlayamamaktadırlar. Buna karşılık, rotor açısında ikinci salınımdan itibaren genliklerin en yüksek değerlerinin azaltılmasında etkilidir. OGR' ye kıyasla BGR oluşan salınım genliklerinin daha küçük olmasını sağlamaktadır.

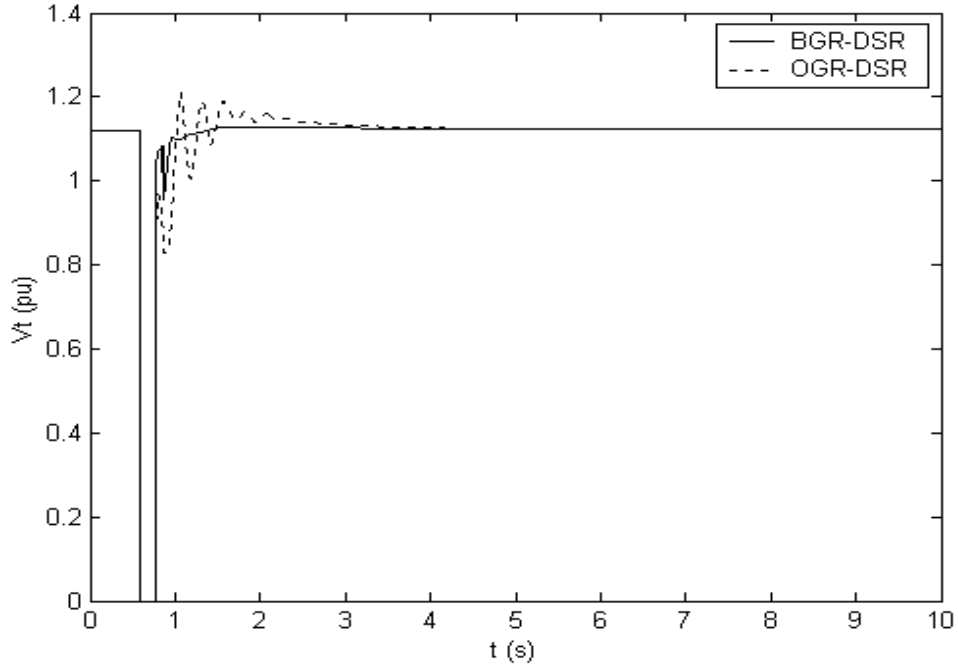
Hem BGR hem de OGR' nin sistem üzerindeki etkileri incelendiğinde gerilim regülatörünün çalışma yapısı gereğince rotor açısından ziyade generatör uç geriliminde etkili olduğu saptanmaktadır. Rotor açısının iyileştirmesindeki etkilerinin çok küçük olmasına rağmen gerilim üzerindeki etkileri gözle görülebilecek kadar büyüktür.

7.5.2. OGR, DSR ve BGR, DSR Karşılaştırılması

Senkron generatör modeline hem bulanık hem de normal yapılı sistem için gerilim regülatörünün ardından geleneksel yapıdaki bir DSR' ın değiştirilmesiyle bilgisayar benzetimi sonuçları daha düzgün olarak elde edilmiştir.

Senkron makina modeline herhangi bir kontrol elemanı eklemeyen önce arıza sonrasında kararlılığın korunmasında etkili olan, hız regülatörü, hız rölesi, servomotor, ara ısıtıcı, türbin gibi elemanlardan oluşmuş türbin-DSR alt sistemi bulunmaktadır. Yapılan çalışma ile var olan bu DSR alt sistemine bir regülasyon katsayısı eklenerek DSR yapısı değiştirilmiştir. Regülasyon katsayısı güç değişimi ile çarpılarak mekanik ve elektriksel güç arasındaki farkı belli bir orana düşürmekte ve hız farkına eklenen bir işaret oluşturmaktadır.

Bu şekilde hem güç değişimi hem de hız farkı dikkate alınarak gerilim regülatörü ve türbin sistemi tarafından sistem cevabı daha iyi oluşturulmaktadır. DSR modelinin eklenmesiyle elde edilen uç gerilimleri şekil 7.25’ de verilmiştir.

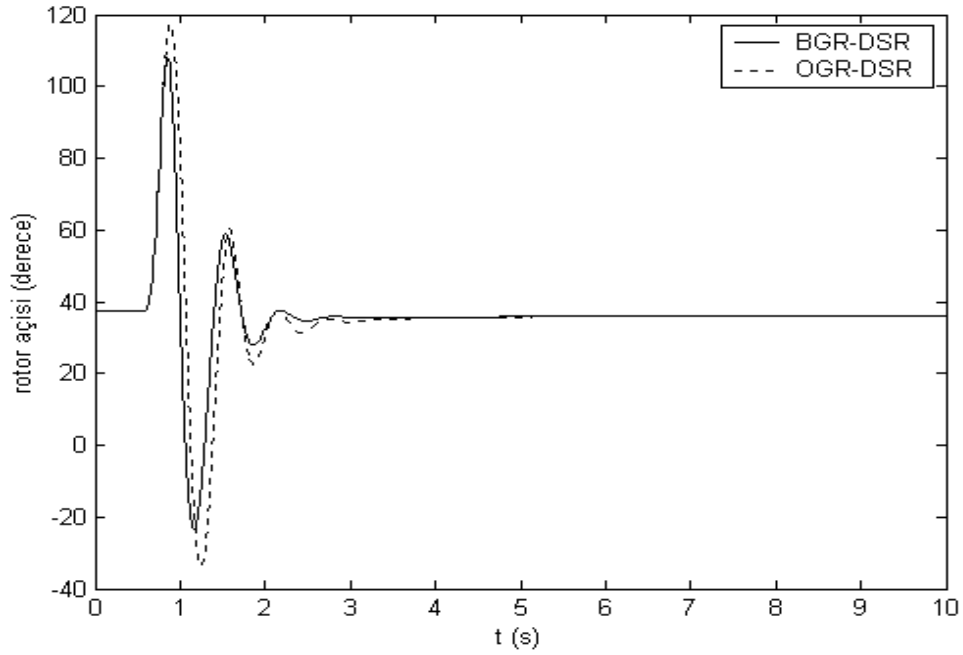


Şekil 7.25. BGR-DSR ve geleneksel OGR-DSR ile senkron generatör uç gerilimi

Gerilimde, regülatör değerlerine oranla DSR etkisiyle oluşan iyileşme küçüktür. Çalışma prensibi gereği DSR’ ın rotor açısı üzerinde daha etkili olması beklenmektedir. Uç geriliminin ulaştığı maksimum değerler geleneksel sistemde 1.209 pu ve bulanık sistemde 1.129 pu olarak elde edilmiştir. Gerilimde meydana gelen ikinci gerilim düşümü geleneksel sistemde 0.83 pu ve bulanık sistemde 0.95 pu olarak saptanmıştır. Daha iyi sonuçların elde edildiği bulanık sistemde maksimum gerilimde 0.08 pu düşüş sağlanırken, minimum değerde olması istenen ikinci büyük gerilim düşümü de 0.12 pu azaltılmıştır. Geleneksel sistemde DSR’ ın eklenmesi ile 4 s, bulanık sistemde de 3 s’ de gerilim işareti salınımsız olarak elde edilmektedir.

BGR’nin senkron generatör işaretlerinde yarattığı iyileştirme, geleneksel yapı ve regülasyon katsayısıyla güç değişimine duyarlı hale getirilmiş geleneksel DSR’ ın eklenmesinden sonra da daha etkili olmuştur. Regülasyon katsayılı DSR sayesinde geleneksel sistemde uç gerilimin oturma süresi kısaltılırken, bulanık sistemde bir fark oluşmamıştır.

DSR' nin rotor açısı üzerindeki etkisi gerilime kıyasla çok daha belirgindir. Regülasyon katsayılı DSR eklenmeden önceki rotor açısı dalga şekilleri ile karşılaştırıldığında senkron generatör ve gerilim regülatörlerinin kullanıldığı geleneksel ve bulanık sistemlerin her ikisi için de salınım sayısında azalma sağlanmıştır. Sistemlere ait rotor açıları şekil 7.26' da verilmiştir.



Şekil 7.26. BGR-DSR ve geleneksel OGR-DSR ile senkron generatör rotor açısı

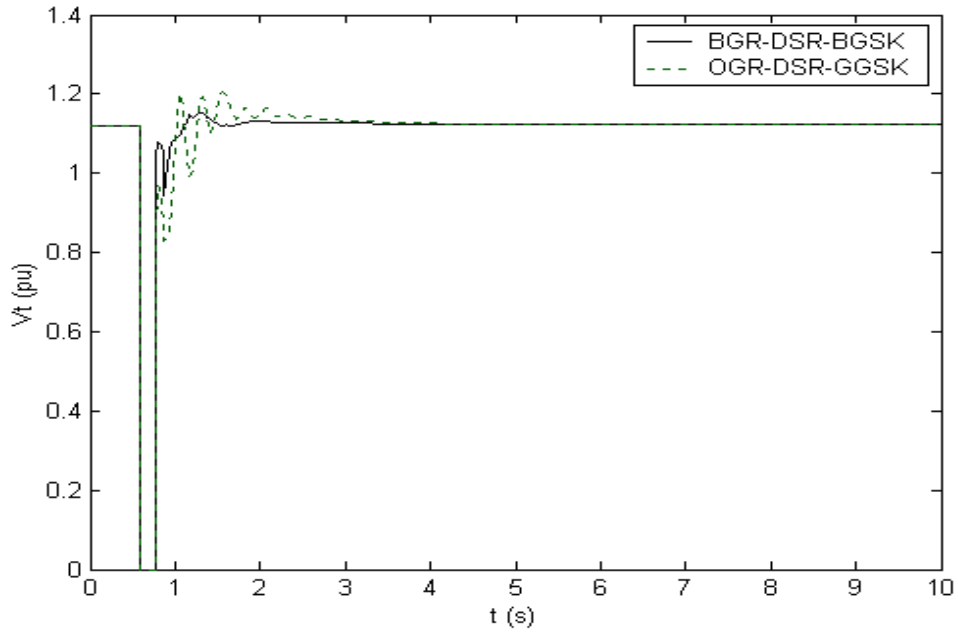
Uyarmanın bulanık kontrol edildiği sisteme DSR' nin eklenmesiyle gerilim regülatörlü modeldeki durum değişmemiştir. Sadece BGR' nin olduğu sistemde de, BGR ve DSR' in beraber kullanıldığı sistemde de geleneksel sistemdekine göre daha iyi sonuçlar elde edilmektedir. Bulanık sistem tarafından üretilen rotor açısı genliklerinin maksimum değerleri, yeni DSR eklendikten sonra da geleneksel sistemdeki değerlere göre daha düşüktür. Rotor açısı ilk salınım genliği geleneksel kontrol elemanlı sistemde $[+117.3, -33.5]$ derece ve bulanık sistemde $[+108.3, -23.5]$ derece olarak elde edilmiştir.

Özellikle çok makinalı sistemlerde generatörlerin kararlı çalışma koşullarına dönebilme sürelerinin kısalığı çok önemli bir parametredir. Bulanık sisteme ait modelde rotor açısının oturma süresi çok daha küçük elde edilmiştir. Bu sayede generatör kararlı çalışma durumuna çok daha kısa sürede dönebilmektedir. Mekanik yana ilişkin bir bulanık kontrol uygulanmamasına rağmen, rotor açısı oturma süreleri

geleneksel sistemde 5 s, bulanık sistemde 4s olmuştur. DSR' da geleneksel mantığa uygun olarak yapılan iyileştirme sonrasında da bulanık sistem sonuçları daha iyi değerlerde elde edilmektedir.

7.5.3. OGR, DSR, GGSK ve BGR ,DSR, BGSK Karşılaştırılması

Gerilim regülatörünün temel görevi gerilim işaretini düzeltmektir. Sisteme regülasyon katsayısının kullanıldığı DSR eklenmesi sonrasında rotor açısı salınımlarında iyileşme sağlanmıştır. Sistem kararlılığının sağlanması için son olarak güç sistemi kararlayıcısı bu elemanlara ilave edilmiştir. Kararlayıcının etkisi gerilimden ziyade özellikle rotor açısında olmaktadır. Kararlayıcı yapısı gereği uyarma sistemi üzerinden kontrol ettiği için gerilim işaretinde kısmi bir bozulmaya neden olmaktadır. Gerilim işaretleri şekil 7.27' de verilmiştir.

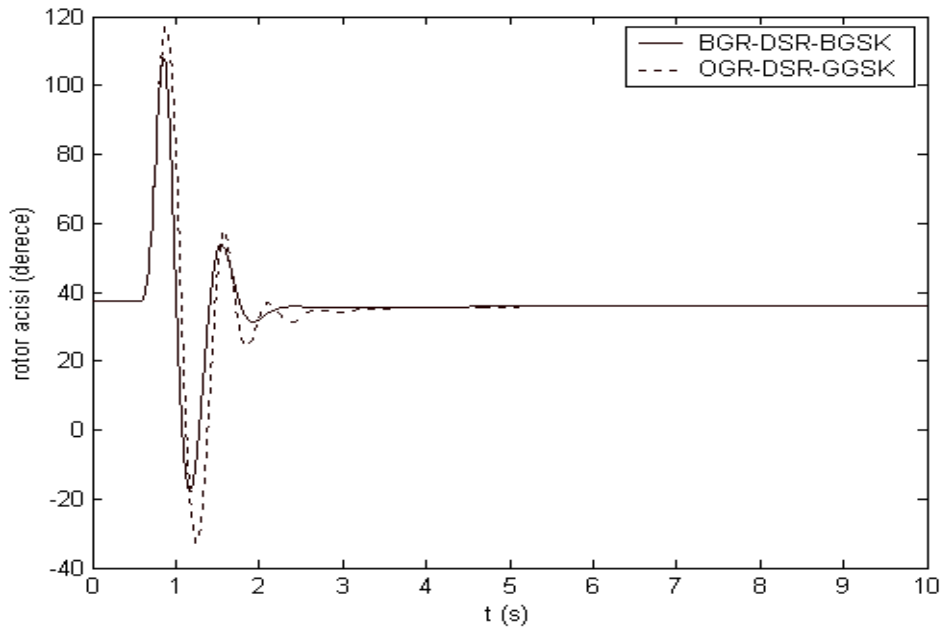


Şekil 7.27. BGR-DSR-GGSK ve OGR-DSR-BGSK ile senkron generatör uç gerilimi

BGSK ve GGSK' lı sistemlerin ürettiği uç gerilimler karşılaştırıldığında bulanık sistem uç gerilimi oturma süresi çok küçüktür. Bulanık sistemdeki uç gerilimi normal sisteme kıyasla çok küçük salınımlar oluşturmakta ve düzgün şekil arızanın ardından çok kısa sürede oluşmaktadır. Maksimum uç gerilimi değerleri geleneksel sistemde 1.213 pu ve bulanık sistemde 1.152 pu olarak belirlenmiştir. Gerilimde meydana gelen ikinci gerilim düşümü ise gelenekselde 0.83 pu ve bulanık sistemde 0.94 pu

olarak saptanmıştır. Maksimum gerilim değeri BGSK sayesinde 0.053 pu daha düşük ve ikinci gerilim düşümü de 0.09 pu daha yüksek elde edilmiştir. İkinci gerilim düşümü değerinin bulanık sistemde daha yüksek ve maksimum gerilim değerinin daha küçük olması BGSK daha iyi bir davranış sergilediğini göstermektedir. Bulanık kararlayıcının etkisiyle generatör uç gerilimi bilgisayar benzetiminin 2.3 s' inden sonra kararlı hale gelmektedir. Kararlayıcı performansı gösteren başka bir kriter olan gerilimde oturma süresi de bulanık sistemde, geleneksel yapılı sisteme göre yaklaşık 2 s daha kısadır. Güç sistemi kararlayıcısının uyarma gerilimine ilave edilen ve uyarma gerilimi dolayısıyla uç gerilim üzerinde kısmen bozucu etkisi olan kararlayıcı işaretin yarattığı gerilim salınımları gerilim regülatörü kullanılarak azaltılmaktadır.

Kararlayıcının etkisi en çok rotor açısı üzerinde olmaktadır. Hem geleneksel sistem hem de bulanık tabanlı sistem kontrol elemanı eklenmeden önceki rotor açısı işaretinin oturma süresi, salınım sayısı ve genliklerini düşürmektedir. Rotor açısı işaretleri şekil 7.28' de verilmiştir.



Şekil 7.28. BGR-DSR-GGSK ve OGR-DSR-BGSK ile senkron generatör rotor açısı

Bulanık sisteme ait işaretle kararlayıcı salınım sayısı ve genliği hem bulanık sisteme kararlayıcı eklenmeden önceki modeli hem de kararlayıcı kullanılan geleneksel sistem modeli sonuçlarına kıyasla çok daha küçük değerlerdedir. Rotor açısı ilk

salınım genliği geleneksel sistemde $[+117.09, -31]$ derece ve bulanık sistemde $[+108, -16.81]$ derece olarak elde edilmiştir. Bulanık kararlayıcı etkisiyle elde edilen rotor açısının ilk salınım genliği değeri daha düzgün olmuştur. Normal sistemde rotor açısının salınımının devam ettiği zaman aralığında bulanık sistemdeki rotor açısı sabit bir değere oturmaktadır. Rotor açısının kararlı hale gelme süresi geleneksel sistemde 4.85 s iken bulanık kararlayıcı sistemde 3.3 s' ye kadar düşürülmüştür.

Karşılaştırma yapılırken uyarma sistemine verilen kararlayıcı işaret geleneksel ve bulanık kararlayıcıdan yaklaşık olarak aynı değerlerde alınmış ve kararlayıcı işaretler aynı sınırlamalar arasında tutulmuştur. Bu yaklaşıklığın sağlanmasıyla kararlayıcıların sistem üzerindeki etkilerinin eşit olması sağlanmaktadır. Buradan da anlaşılabildiği gibi bulanık kararlayıcının performansı geleneksel kararlayıcıya göre çok daha yüksek olmuştur.

Sonuç olarak gerek uç gerilimi gerekse rotor açısı işaretinde yapılması amaçlanan iyileştirmeler sonrasında bulanık sistemin geleneksel sisteme göre çok daha iyi sonuçlar vermektedir. Bulanık sistemde kullanılan her bir kontrol elemanının sistem parametreleri üzerindeki iyileştirici etkisi, karşılık gelen geleneksel yapılı kontrol elemanının oluşturduğu etkiye kıyasla daha büyük olmaktadır. Bu sayede de bilgisayar benzetimi sonuçları karşılaştırıldığında, her benzetim sonucunda bulanık sistemin performansı gözle görülebilecek şekilde yüksek olmaktadır.

8. SONUÇLAR

8.1. Çalışma Özeti

Özetle, bu tezin amacı, sonsuz güçlü baraya paralel iki iletim hattı üzerinden bağlı tek makinalı sistem olarak ele alınan güç sisteminde üç fazlı kısa devre arızası ile oluşan bir geçici durumda, bulanık mantık teorisinden faydalanarak oluşturulan gerilim regülatörü ve güç sistemi kararlayıcısının kullanılmasıyla güç sistemi arızaları neticesinde oluşan salınımların önemli ölçüde azaldığının belirlenmesidir. Tezde, göz önüne alınan güç sistemi modeli üzerinde, geleneksel ve bulanık mantık tabanlı kontrol elemanlarının kullanıldığı iki ayrı kontrol sistemi ile çalışılmıştır. Güç sisteminde oluşan üç fazlı bir kısa devrenin ve sonrası hatanın temizlenmesi sırasında kontrol elemanlarının hem kendi aralarında hem de bulanık sistemdeki eşdeğer elemanların kullanılması durumundaki performans karşılaştırmaları yapılmıştır.

Arıza sonrasında kararlılığını korumasına rağmen, rotor açısı ve uç gerilimi işaretleri bozulan senkron generatör modeli üzerine kontrol elemanlarının eklenmesi ve bu elemanların etkinliğinin karşılaştırılması çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Çalışmada her adımda kontrol elemanları generatör modeline teker teker eklenerek sistem üzerindeki iyileştirici ve bozucu etkileri incelenmiştir. Generatör modeline otomatik gerilim regülatörünün ardından devir sayısı regülatörü, en son olarak da güç sistemi kararlayıcısı eklenmesi ile elde edilen iyileştirmeler geleneksel ve bulanık mantık tabanlı kontrol sistemleri için karşılaştırılmıştır.

Çalışma sonucunda; çalışmanın yapıldığı tek makinalı güç sistemi için bulanık mantık tabanlı gerilim regülatörü ve güç sistemi kararlayıcı elemanlarının hem sisteme eklenmesi sonrasında parametreleri düzelttiği, hem de geleneksel kontrol özelliklerine sahip eşdeğer elemanlarla karşılaştırıldığında gerilim ve rotor açısındaki salınımların söndürülmesinde daha etkili oldukları gözlenmiştir.

Belirli katsayılar ve transfer fonksiyonlarının kullanıldığı, var ya da yok, $[0,1]$ yapısındaki Aristo mantığını temel alan geleneksel kontrol elemanları, ele alınan kararlı güç sistemine ait gerilim işaretini ve rotor açısını daha da düzgünleştirmede bulanık sisteme göre zayıf kalmaktadır. Buna karşılık dilsel değişkenlere dayanarak geliştirilmiş bulanık kontrol elemanlarının kontrol aralıkları çok daha geniş tutulabilmektedir. Geleneksel elemanlar, sistem modellemesi sırasında elde bir takım kesin verilerin bulunması gerekliliği ve kontrol işleminde kullanılan denklemlerin belirli bir yaklaşıklıkla sistem davranışını modelleyebilmesi nedeniyle daha etkisiz kalmaktadır. Aristo mantığı ya da diğer bir deyişle geleneksel mantıkta sadece kullanılan işaretin referansa göre büyük veya küçük olması göz önüne alınmaktadır. Bu durumda da örneğin büyük kümesine ait bir işaretin biraz, orta ya da çok büyük olması gibi bir ayarlama yapılmadığı için sistemin tüm davranışları dikkate alınamamaktadır. Aynı örnek için bulanık mantıkta işaretin büyük, orta, küçük, biraz, çok, az olması gibi pek çok alt sınıfa ayrılabilmesi mümkün olmaktadır.

Tezde yapılan çalışmada senkron makinanın kararlılık kontrolü yapılırken, uç geriliminin biraz düşmesi neticesinde uyarma geriliminin biraz artırılması gerekliliğine ilişkin kural bulanık mantık kontrolörü ile sisteme kolayca yansıtılabilmektedir. Aynı durum geleneksel mantıkta, uyarma geriliminin bir takım geri besleme kontrol fonksiyonları ile ayarlanması sonrasında yapılabilmektedir. Bu ayarlama süresinde sadece uyarma geriliminin belirlenen bir referans değerden küçük olması ya da olmaması ayırımı yapılabilmektedir. Bu da geleneksel kontrol işleminin kısıtlı kalmasına neden olmaktadır. Bilgisayar benzetimlerinden elde edilen bulanık sisteme ait sonuçlar, çalışılan sistem üzerinde geleneksel mantık kontrolöre göre bulanık mantık kontrolörlerinin performans yüksekliğini göstermekte ve bulanık kontrolün daha etkili olduğu ifadesinin doğruluğu desteklemektedir.

Gerek kaynak olarak kullanılan makalelerde, gerek teoride ve gerekse yapılan bilgisayar benzetimlerinde bulanık mantığın üstünlüğü vurgulanmakta ve göze çarpmaktadır. Geleneksel gerilim regülatörü ve geleneksel güç sistemi kararlayıcısı ile aynı görevi yapan bulanık mantık gerilim regülatörü ve güç sistemi kararlayıcısının senkron generatör modeline uygulanması ile elde edilen sonuçlarda da bulanık mantığın üstünlüğü bir kez daha kanıtlanmaktadır. Yapılan her benzetimde sistem davranışında elde edilen iyileşme her iki mantığa dayalı

kontrolörler için gözle bile farkedilebilmektedir. Ancak bulanık mantığın tüm çıkışlar için sağladığı davranış üstünlüğü bir yana, sistemde aşım ve salınım genliklerinin en yüksek değerlere ulaştığı anlarda bile, bu parametrelerin söndürülmesinde bulanık mantık kontrolünün sağladığı iyileşme geleneksel kontrole baskın gelmektedir.

Yapılan çalışmadaki bölümler ele alınırsa, özetle, ilk bölümde çalışmaya giriş ve ikinci bölümde güç sistemlerinde kararlılık tanımı ve sınıflandırılması yapılmıştır. Üçüncü bölümde bulanık mantık teorisinin temeli, bulanık mantıkla modelleme ilkeleri, bulanık kontrolör ve bulanık kontrol kurallarının yapısı verilmiştir. Dördüncü bölümde çalışmanın temelini oluşturan senkron generatörün durum denklemleri ile beraber sistemde kullanılacak otomatik gerilim regülatörü, devir sayısı regülatörü, güç sistemi kararlayıcısı gibi kontrol elemanlarının genel tanımı verilmiştir. Bu kontrol elemanlarının geleneksel yapıya uygun modelleri, transfer fonksiyonları ve çalışma şekilleri bölüm 5’ te anlatılmıştır. Aynı şekilde, bölüm 6’ da da bu kontrol elemanlarının bulanık mantık teorisine uygun olarak geliştirilmiş yapıları, kullanılan girişler, bulanık kontrol kuralları verilmiştir. Hem geleneksel hem de bulanık yapıları kontrol elemanlarının, senkron generatör modeli içerisine yerleştirilerek sistem üzerindeki etkilerinin ve geleneksel sistem-bulanık sistem davranışlarının karşılaştırmalı olarak bilgisayar benzetimi yardımıyla incelenmesi bölüm 7’ de yapılmıştır. Yedinci bölümde ayrıca, generatöre eklenen her kontrol elemanı sonrasında geleneksel ve bulanık sistemler için elde edilen ve yine her kontrol elemanının eklenmesi sonrasında geleneksel ve bulanık sistemlerin birbirine üstünlüklerinin belirlenebilmesi için karşılaştırılmaların yapıldığı, rotor açısı ve uç gerilimi dalga şekillerine ait bilgisayar benzetimi sonuçları verilmiştir.

8.2. Sonuçlar

Senkron generatör modeline geleneksel otomatik gerilim regülatörü, bulanık mantık tabanlı otomatik gerilim regülatörü, geleneksel güç sistemi kararlayıcısı, bulanık mantık tabanlı güç sistemi kararlayıcısı ve devir sayısı regülatörü eklemelerinin ardından yapılan bilgisayar benzetimleri sonrasında elde edilen sonuçlar incelendiğinde aşağıdaki maddeler çıkarılabilmektedir:

1- Sistem parametrelerinin düzgün olarak seçilip ölçeklendirilmesi sonucunda bulanık mantık kontrolörünün, geleneksel mantık tabanlı kontrolörlere göre performans yüksekliği test edilmiştir.

2- Otomatik gerilim regülatörünün senkron generatör rotor açısındaki küçük bozucu etkisine karşılık uç gerilimini düzeltmekte ve güç sistemi kararlayıcısının da uç geriliminde küçük bir aşım meydana getirmesine rağmen açısal kararlılığı sağlamada çok etkili oldukları görülmüştür. Bu iki elemanın birlikte kullanılmaları ile birbirlerinin bozucu etkilerini kompanze ettikleri ve daha yüksek performans sergiledikleri gözlenmiştir.

3- Bulanık gerilim regülatörü kullanılmasıyla senkron generatör uç gerilimi daha düzgün olarak elde edilmiştir. Bulanık otomatik gerilim regülatörünün sistem uç gerilimini düzeltmekteki davranışı, geleneksel otomatik gerilim regülatörüne göre çok üstündür.

4- Bulanık güç sistemi kararlayıcısı kullanılmasıyla senkron generatör rotor açısı salınım genlik ve sayısını daha düşük olarak elde edilmiştir. Bulanık güç sistemi kararlayıcısının sistem rotor açısını düzeltmekteki davranışı, geleneksel güç sistemi kararlayıcısına göre daha üstündür.

5- Bulanık mantık kontrolörleri geleneksel kontrolörlere göre gerilim ve rotor açısı kararlılığını sağlamada daha etkilidirler. Hem bulanık gerilim regülatörü, hem de bulanık güç sistemi kararlayıcısının kullanıldığı benzetimlerden elde edilen sonuçlar, geleneksel sistem elemanlarının verdiği sonuçlara göre istenilene daha yakındır.

Sistemde kullanılan kontrolörler incelendiğinde bulanık mantığın kullanıldığı elemanlarda elde edilen cevabın, geleneksel elemanlara göre çok daha üstün olduğu görülmektedir. Bulanık mantık, eklenen her eleman için yapılan karşılaştırmada gerek sistemin oturma süresi gerekse elde edilmesi istenen işarete en yakın değeri üretebilmesi sayesinde kontrol işleminde daha başarılı olmaktadır. Yapısında sadece devir sayısı regülatörü bulunan generatör sistemine geleneksel kontrolörlerin yerleştirilmesi ile çıkışlarda elde edilen değişim, bulanık kontrolörlerin yarattığı değişimle karşılaştırıldığında daha küçük ve etkisiz kalmaktadır.

Ayrıca geleneksel sisteme ait transfer fonksiyonlarında kullanılan katsayıların belirlenmesi bir sorun oluşturmaktadır. Her ne kadar katsayılar belirli aralıklar için tanımlanmış olsalar da elde edilebilecek en iyi cevabı üretmek için çok sayıda değerin denenmesi gerekmektedir. Bulanık sistemde ise bu durumla karşılaşmamaktadır, normalizasyon işlemi için kullanılan ölçekleme katsayılarının dışında herhangi bir katsayı ayarlaması yapılmamaktadır. Bu sayede hem sistemin modellenmesi hem de bir katsayının olması gereken değerden yüksek tutulması sonucunda kontrolörde kullanılan bir parametrenin sistem üzerinde daha etkili olması olasılığı da ortadan kalkmaktadır.

Çalışmada esas, işletmeyi iyi bilen bir operatörün çalışma bilgisi ve mantığını, kullanacağı dilsel ifadeleri kapsayan kural tabanı şeklinde bulanık mantıkla ifade etmek ve buna göre kontrolörlerin çalışmaları ayarlamaktır.

8.3. Gelecekteki Çalışmalar

Gelecekte, yapılan bu çalışma için gerekli ara yüzlerin tanımlanarak gerçek bir sisteme uygulanabilmesi mümkündür. Bununla birlikte kullanılan geleneksel devir sayısı regülatörü yerine bulanık mantık tabanlı bir devir sayısı regülatörünün tasarlanarak sisteme uygulanması da başka bir çalışma konusu olabilir. Bunlar dışında, bulanık kontrol elemanları için farklı giriş parametrelerinin kullanılması, ölçeklendirme faktörlerinin optimizasyonu gibi konular incelenebilir. Bir bulanık kontrolörün, sistemde kullanılan geleneksel bir kontrolörün katsayılarını gerçek zamanlı olarak ayarlaması gibi bir çalışma da yapılabilir. Çalışmaya örnek olarak bir bulanık kontrolör tarafından bir PID kontrolörün oransal, integral ve türevsel katsayılarının ayarlanması verilebilir.

8.3.1. Diğer Güç Sistemi Kararlayıcısı Giriş İşaretleri

Bu tez içeriğinde bulanık kararlayıcıya rotor hız değişimi ve güç değişimi giriş olarak verilmiştir. Bunun dışında kararlayıcıya çeşitli girişler verilerek sistemde meydana getireceği etki incelenebilir. Giriş olarak frekans, hız ve hız değişiminin seçimi ya da giriş sayısının arttırılarak hız değişimi, güç değişimi ve uç gerilimdeki hatanın göz önüne alınması, sistem kontrolünün daha ince ayarla yapılmasını sağlayabilir. Ayrıca kullanılan değişkenler için bulanık mantıkta karşılık geldikleri

dilsel değişkenlerin sayılarının arttırılması da daha etkili bir kontrol yapılabilmesini sağlayabilir. Bununla birlikte giriş olarak frekans kullanılması durumunda frekansın güç sisteminden etkilenmesi yüzünden kontrolde yetersiz kalınması gibi bir durumla karşılaşılması da mümkündür. Hızın giriş olarak alınması durumunda gürültünün izole edilememesi de başka bir sorunu oluşturmaktadır. Bu yüzden hem güç farkı hem de hız farkının giriş olarak seçilmesi en iyi sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] www.basler.com/downloads/powst.pdf Power System Stability.
- [2] www.gepower.com/prod_serv/serv/energy_consulting/en/downloads/cc_story.pdf
PSEC Application Notes-Power System Stabilizer Helps Meet Plant
Stability Margins for Simple Cycle and Combined Cycle Power Plants
- [3] www.wecc.biz/comitees/OC/TOS/documents/PSS_tuning_guide.pdf
WECC Power System Stabilizer Tuning Guidelines
- [4] <http://www.csee-china.org.cn:8080/was40/search?channelid=18024>
Practical Utility Experience with Application of Power System
stabilizers.
- [5] **Sallam, A.A, El-Sarafi, K.A, Abdel-Azim, T.M.**, 1999. A near optimal fuzzy
logic stabilizer for weakly connected power systems, *M.Sc Thesis*,
University of Suez Canal, Egypt.
- [6] **Tacer, E.**, 1990. Enerji Sistemlerinde Kararlılık, İ.T.Ü Elektrik-Elektronik
Fakültesi Ofset Baskı Ateltyesi, İstanbul.
- [7] www.freequality.org/ClassesSpring2002/FuzzyLogicOperMgt345MitchPence.ppt
- [8] **Stevenson, W. D.**, 1994. Power System Analysis, Mc. Graw-Hill Inc. New York.
- [9] **Snyder, A.F.**, 1997. Inter-Area Oscillation Damping with Power System
Stabilizers and Synchronized Phasor Measurements, *MSc. Thesis*, the
Virginia Polytechnic Institute and State University, France.
- [10] **Mansoor, S.**, 2000. Behaviour and Operation of Pumped Storage Hydro Plants,
Ph. D. Thesis, University of Wales, Bangor.
- [11] **Repo, S.**, 2001. On-line voltage stability assesment of power system-an
approach of black box modelling, *Honours Thesis*, Tampare
University of Technology, Tempare.
- [12] **Begovic, M., Novosel. D., Milisavljevic, M.**, 1999. Trends in power system
protection and control, *Proceedings of the 32nd Hawaii International
Conference of System Sciences*, Maui, Hawai, January 03-06.
- [13] **Pahalawanththa, N. and Kumble, C.**, 2001. Appendix seven: Impacts on
Voltage, *FWSG Preliminary Report to the GSC*, Ankara, Turkey.
- [14] **Hsu, S.**, 1996. Power Systems : Basic Concepts and Applications Part II, *Ph. D.
Thesis*, Louisiana State University , Baton Rouge, Louisiana.

- [15] **Tomsovic, K. and Chow (ed.), M.Y.**, IEEE Power Engineering Society Tutorial: Fuzzy Set Applications to Power Systems, *IEEE PES TP-140-0*, Jan. 2000, (also co-author on Chapters 1 and 3).
- [16] **Şen, Z.**, 2001. Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Bilge Sanat Yapım Yayınları, İstanbul.
- [17] www.iau.dtu.dk/~jj/pubs/logic.pdf
Tutorial on Fuzzy Logic.
- [18] **Ergüven, Ç.**, 1999. Bulanık Mantık Kontrolör ile Klasik PID Kontrolör Algoritmalarının Karşılaştırılması, *Y. Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [19] **Mendel. J.M.**, 1995. Fuzzy logic systems for engineering: A tutorial, *Proceedings of IEEE*, Vol. 83, No.3, pp. 345-377, March 1995.
- [20] **Viljamaa, P.**, 2002. Fuzzy Gain Scheduling and Tuning of Multivariable Fuzzy Control—Methods of Fuzzy Computing in Control Systems, Tampere University of Technology, Tampere.
- [21] **Tomsovic, K. and Lambert-Torres, G.**, 2000 Fuzzy Systems Applications to Power Systems, *IEEE Power Engineering Society Tutorial: Fuzzy Logic and Evolutionary Programming Techniques in Power Systems*, Summer Meeting 2000, Seattle, July 2000.
- [22] www.iau.dtu.dk/~jj/pubs/design.pdf Design of Fuzzy Controllers.
- [23] **Tanaka, K.**, 1991. An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications Rassel Inc., Japanese.
- [24] **Hiyama, T. and Tomsovic, K.**, 1999. Current Status of Fuzzy System Applications in Power Systems, *Proceedings of the IEEE SMC99*, Tokyo, Japan, October, 1999, pp. VI 527-532.
- [25] **Tsoukalas, L.H., Uhrig, R.E.**, 1997 Fuzzy and General Approaches in Engineering, John-Wiley & Sons Inc., NewYork.
- [26] **Chetty, M. and Trajkoski, N.**, 1991. A Discrete Mode Power System Stabilizer, Aupec'99 Northern Territory University, Darwin Sept 26-29, Australia.
- [27] **Law, B.E.**, 2001. Simulation of the Transient Response of Synchronous Machines, *Honours Thesis*, The University of Queensland, Queensland.
- [28] http://www.iea.lth.se/eks/L5_03.pdf

- [29] **Demirören, A. And Zeynelgil, H. L.**, 2002 Modelling and simulation of synchronous machine transient analysis using simulink, *International Journal of Electrical Engineering*, 39/4, October.
- [30] **Harb, A.M., Widyan, M.S.**, 2002. Controlling Chaos and Bifurcation of Subsynchronous Resonance in Power System, *Nonlinear Analysis: Modelling and Control*, 2002, Vol. 7, No. 2, 15–36.
- [31] **Petrovic, T. and Dordevic, W.**, 1997. Robust Decentralized Feedback Controllers for the Turbogenerators, *Electronics and Energetics*, Vol. 10, No. 2(1997), 171-191.
- [32] **Atanasova, T. and Zaprianov, J.**, 1999. Performance of the RBF Neural Controller for Transient Stability Enhancement of the Power System, *International Conference on Accelerator Large Experimental Physics Control Systems International Conference on Accelerator and Large and Experimental Physics Control Systems*, 1999, Trieste, Italy.
- [33] **Alvarado, F.L., Meng, J., DeMarco, C.L., Mota, W.S.**, 2000. Stability Analysis of Interconnected Power Systems Coupled with Market Dynamics, *Power Systems Engineering Research Centre*, October.
- [34] www.wecc.biz/committees/OC/TOS/CTRLWG1/documents/wscggov1.pdf
WECC Tutorial on Speed Governors
- [35] <http://inauspicious.org/files/papers/upec2000.pdf>
High Speed Transient Simulator for On-line and Off-line Analysis.
- [36] **Fernando, I., Chung, L., Midford, L., Silk A., Coish, R., Golder, A, Hay, K. and Wilson, D.**, 2003. Real Time Online Evaluation of Small Signal System Damping Applied to Power System Stabilizer Commissioning and Testing, *International Conference on Power Systems Transients-IPST 2003* in New Orleans, USA.
- [37] http://www.ee.sc.edu/classes/Spring04/elct883/12_Excitation_system.pdf
- [38] <http://www.masashi.ne.jp/ohta/csf/csf2.html>
Power System Model.
- [39] http://www.itee.uq.edu.au/~aupec/aupec01/046_Costa_AUPECpaperrevised.pdf
- [40] www.wecc.biz/committees/PCC/TSS/MVWG/documents/Workshop-USBR-Shawn.ppt
Hydro Governor Modelling.
- [41] <http://ebrains.la.asu.edu/~nsfadp/presentations/DonWunsch.ppt>

- [42] **Hiskens, I. A.**, 2002 Systematic Tuning of Nonlinear Power System Controllers, *Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Control Applications*, Glasgow, Scotland, U.K., September 18-20.
- [43] <http://www.itee.uq.edu.au/~aupec/aupec02/Final-Papers/A-Naderian1.pdf>.
- [44] www.meppi.com/mepssd/npdfs2/PSS.pdf
Mitsubishi Power System Stabilizer An Optimal adaptive Power System Stabilizer.
- [45] **Mithulanathan, N., Canizares, C.A. and Reeve, J.**, 1999. Hopf Bifurcation Control in Power Systems using Power System Stabilizers and Static Var Compensators, *North American Power Symposium (NAPS)*, San Luis Obispo, California, October.
- [46] **Victor, J. and Dourado, A.**, 1997. Adaptive Scaling Factors Algorithm for the Fuzzy Logic Controller, *Proc. Of the 6th IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, FUZZ-IEEE'97, Barcelona, Spain, July-1997.
- [47] **Choi, B., Kwak, S., and Kim, B. K.**, 2000. Design and Stability Analysis of Single Input Fuzzy Logic Controller, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics*, Vol. 30, No. 2, April-2000.
- [48] **Hoang, P. and Tomsovic, K.**, 1996. Design and Evaluation of an Adaptive Fuzzy Power System Stabilizer, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 11, No. 2, June 1996, pp. 455-461.
- [49] www.itee.uq.edu.au/~aupec/aupec02/Final-Papers/NHosseinzadeh.pdf
Performance of a Self-tuned Fuzzy Logic Power System Stabilizer in a Multimachine System.
- [50] **Reznik, L., Gnanayem, O. and Bourmistrov, A.**, 2000. PID plus Fuzzy Controller Structures as a Design Base for Industrial Applications, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 13, No.4, p.419-430.
- [51] <http://lcewww.et.tudelft.nl/~et4099/transp/kr03-4.pdf>
- [52] www.iau.dtu.dk/~jj/pubs/fpid.pdf
Tuning of Fuzzy PID Controllers.
- [53] **Güzelbeyoğlu, N.**, 1998. Elektrik Makinaları I, II, İ.T.Ü Elektrik-Elektronik Fakültesi Ofset Baskı Ateltyesi, İstanbul.

- [54] **Voropai, N.I., Efimov, D.N., Popov, D.B. and Etingov, P.V.**, 2000. Advanced information Technologies in Power System Stability Studies, Energy System Institute, Irkutsk, Russia.
- [55] www.rpi.edu/~bonisp/fuzzy-course/99/hm2-99.pdf

EK A : GELENEKSEL KONTROL ELEMANLARI PARAMETRELERİ

Tablo A.1. Geleneksel güç sistemi kararlayıcısı parametreleri

GGSK		
T_1 : 0.02~2	T_8 : 0.02~2	T_{w1} : 1~10 s
T_2 : 0.02~2	T_9 : 0.02~2	T_{w2} : 1~10 s
T_3 : 0.02~2	T_{10} : 0.02~2	T_{w3} : 1~10 s
T_4 : 0.02~2	T_{11} : 0.02~2	T_{w4} : 1~10 s
T_6 : 0.5~10	T_{12} : 0.02~2	M : 1~5
T_7 : 0.02~2	K_{s1} : 0.2~20	N : 1~5
V_{smax} : 0~0.2	K_{s2} : 0.1~5	
V_{smin} : 0~0.1	K_{s3} : 0.5~2	

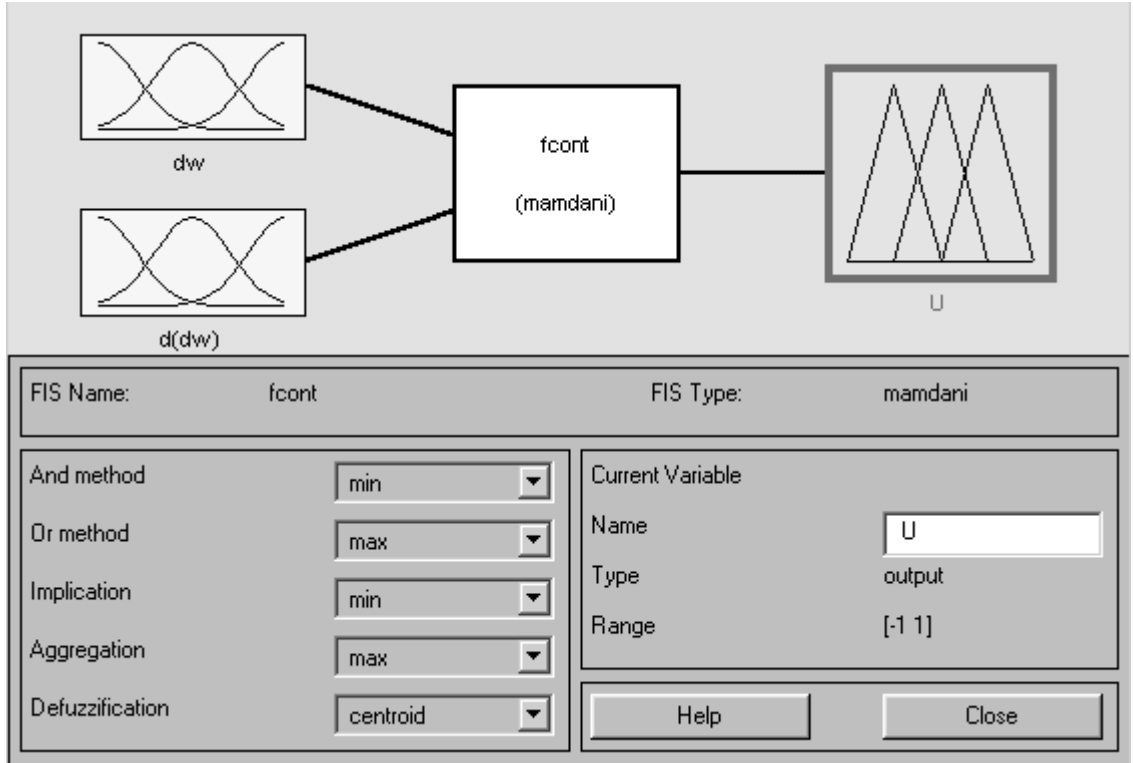
Tablo A.2. Otomatik gerilim regülatörü, bulanık gerilim regülatörü ve bulanık güç sistemi kararlayıcısı kazanç ve zaman sabitleri

OGR	BGR	BGSK
K_a : 50	K_v : 0.89~0.85	K_1 : 25
T_a : 0.5 s	K_{dv} : 0.25	K_2 : 0.4
K_f : 0.48	K : 8.5	K_3 : 0.09~0.15
T_f : 0.12 s		

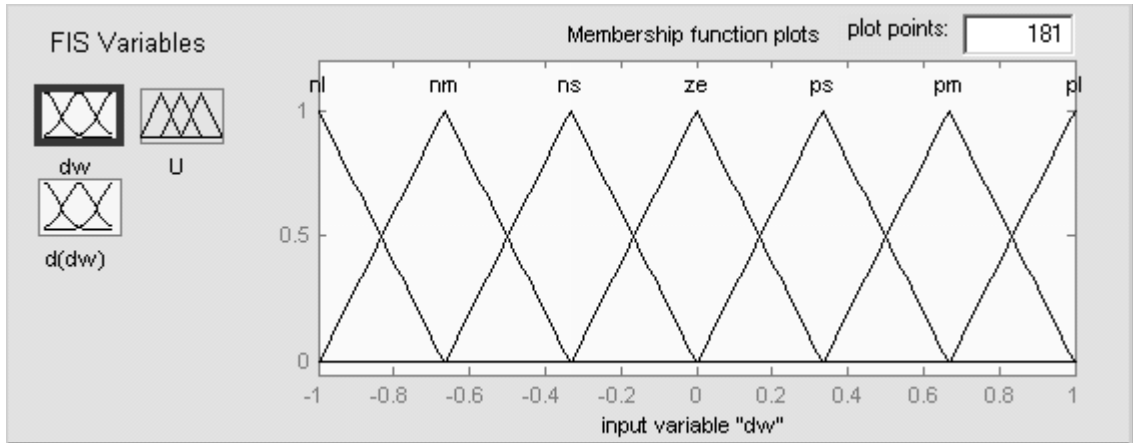
Tablo A.3. Senkron generatör parametreleri

SENKRON GENERATÖR		
P_o : 0.8	T_{d0} : 5.9 s	M : 4.74
Q_o : 0.496	T_{q0} : 0.075 s	K_{RH} : 1
V_o : 1	K_E : 400	w_o : 1
R_a : 0.001096	E_{dmax} : + 4.5	T_{RH} : 8 s
R_e : 0.01	E_{dmin} : - 4.5	T_{CH} : 0.05 s
x_d : 1.7	T_E : 0.05 s	T_{SR} : 0.1 s
x_q : 1.64	K_F : 0.025	K_G : 3.5
x_e : 0.2	T_{FE} : 1 s	T_{SM} : 0.2 s
x_d' : 0.245	D : 0	w_f : 1

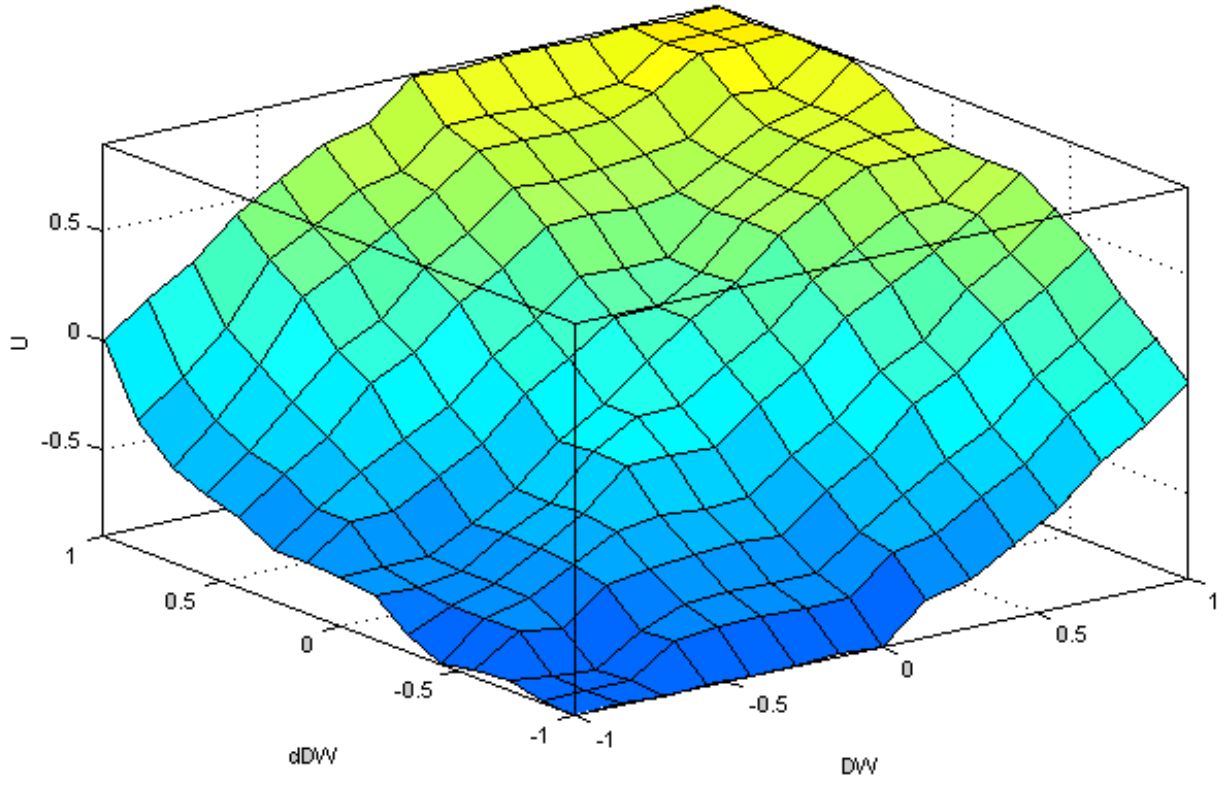
EK B : BULANIK MANTIK GERİLİM REGÜLATÖRÜ ŞEMALARI



Şekil B.1. Bulanık gerilim regülatörü girişler ve çıkış şeması



Şekil B.2. Bulanık gerilim regülatörü hız değişimi ($d\omega$) girişine ait üyelik fonksiyon şeması

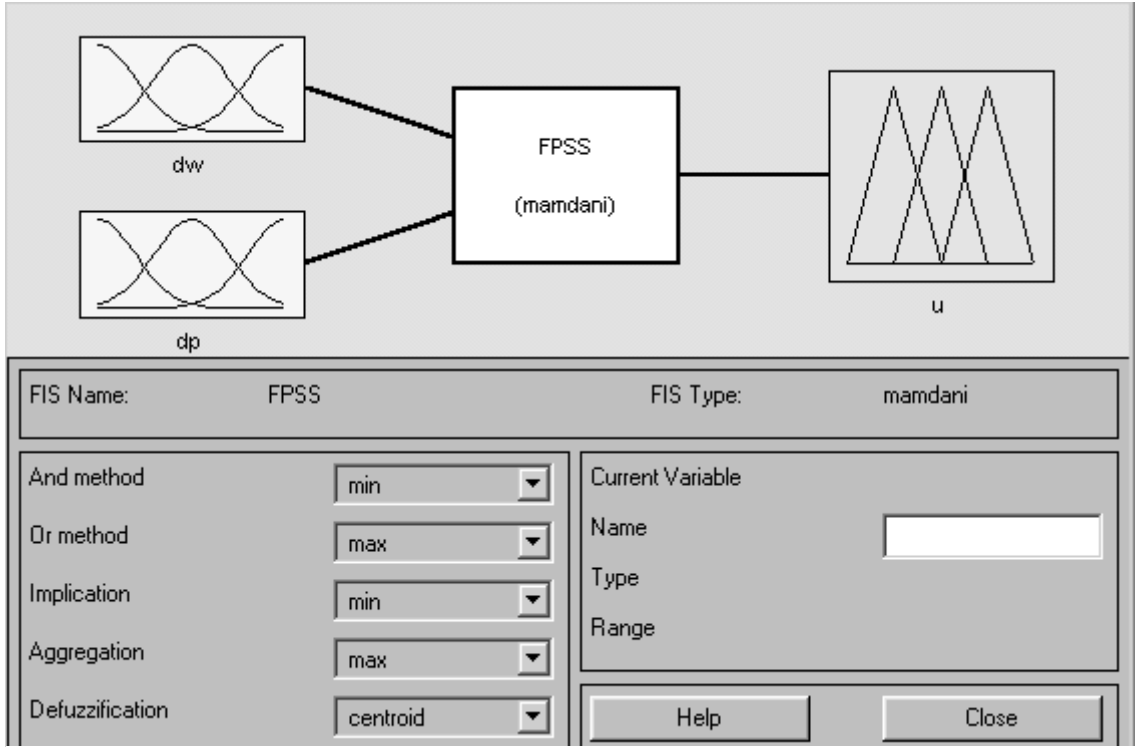


Şekil B.3. Bulanık gerilim regülatörü kontrol kurallarının yüzeysel alanda gösterilişi

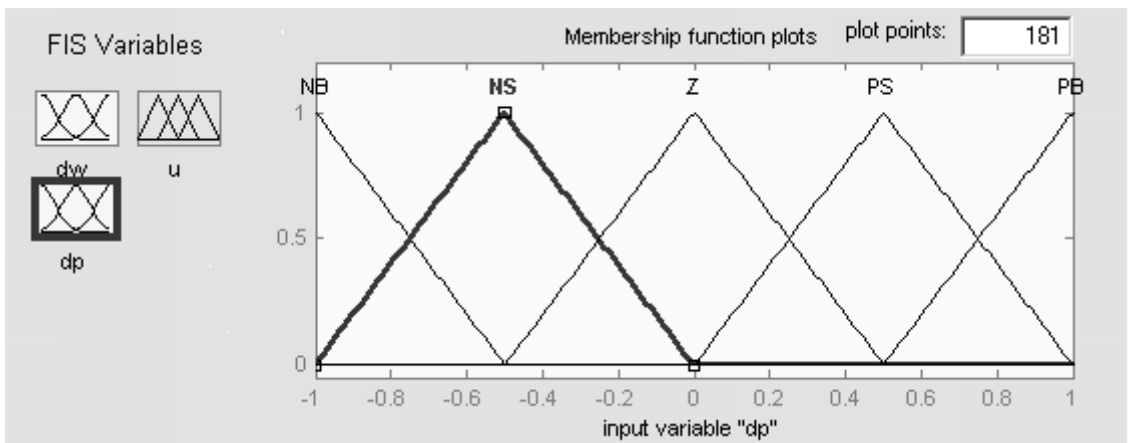
Tablo B.1. Bulanık mantık gerilim regülatörü kural tablosu

IF dV is NB and d(dV) is NB THEN U is NB
IF dV is NB and d(dV) is NM THEN U is NB
IF dV is NB and d(dV) is NS THEN U is NB
IF dV is NB and d(dV) is ZE THEN U is NM
IF dV is NB and d(dV) is PS THEN U is NM
IF dV is NB and d(dV) is PM THEN U is NS
IF dV is NB and d(dV) is PB THEN U is ZE
IF dV is NM and d(dV) is NB THEN U is NB
IF dV is NM and d(dV) is NM THEN U is NB
IF dV is NM and d(dV) is NS THEN U is NM
IF dV is NM and d(dV) is ZE THEN U is NM
IF dV is NM and d(dV) is PS THEN U is NS
IF dV is NM and d(dV) is PM THEN U is ZE
IF dV is NM and d(dV) is PB THEN U is PS
IF dV is NS and d(dV) is NB THEN U is NB
IF dV is NS and d(dV) is NM THEN U is NM
IF dV is NS and d(dV) is NS THEN U is NS
IF dV is NS and d(dV) is ZE THEN U is NS
IF dV is NS and d(dV) is PS THEN U is ZE
IF dV is NS and d(dV) is PM THEN U is PS
IF dV is NS and d(dV) is PB THEN U is PM
IF dV is ZE and d(dV) is NB THEN U is NM
IF dV is ZE and d(dV) is NM THEN U is NM
IF dV is ZE and d(dV) is NS THEN U is NS
IF dV is ZE and d(dV) is ZE THEN U is ZE
IF dV is ZE and d(dV) is PS THEN U is PS
IF dV is ZE and d(dV) is PM THEN U is PM
IF dV is ZE and d(dV) is PB THEN U is PM
IF dV is PS and d(dV) is NB THEN U is NM
IF dV is PS and d(dV) is NM THEN U is NS
IF dV is PS and d(dV) is NS THEN U is ZE
IF dV is PS and d(dV) is ZE THEN U is PS
IF dV is PS and d(dV) is PS THEN U is PS
IF dV is PS and d(dV) is PM THEN U is PM
IF dV is PS and d(dV) is PB THEN U is PB
IF dV is PM and d(dV) is NB THEN U is NS
IF dV is PM and d(dV) is NM THEN U is ZE
IF dV is PM and d(dV) is NS THEN U is PS
IF dV is PM and d(dV) is ZE THEN U is PM
IF dV is PM and d(dV) is PS THEN U is PM
IF dV is PM and d(dV) is PM THEN U is PB
IF dV is PM and d(dV) is PB THEN U is PB
IF dV is PB and d(dV) is NB THEN U is ZE
IF dV is PB and d(dV) is NM THEN U is PS
IF dV is PB and d(dV) is NS THEN U is PM
IF dV is PB and d(dV) is ZE THEN U is PM
IF dV is PB and d(dV) is PS THEN U is PB
IF dV is PB and d(dV) is PM THEN U is PB
IF dV is PB and d(dV) is PB THEN U is PB

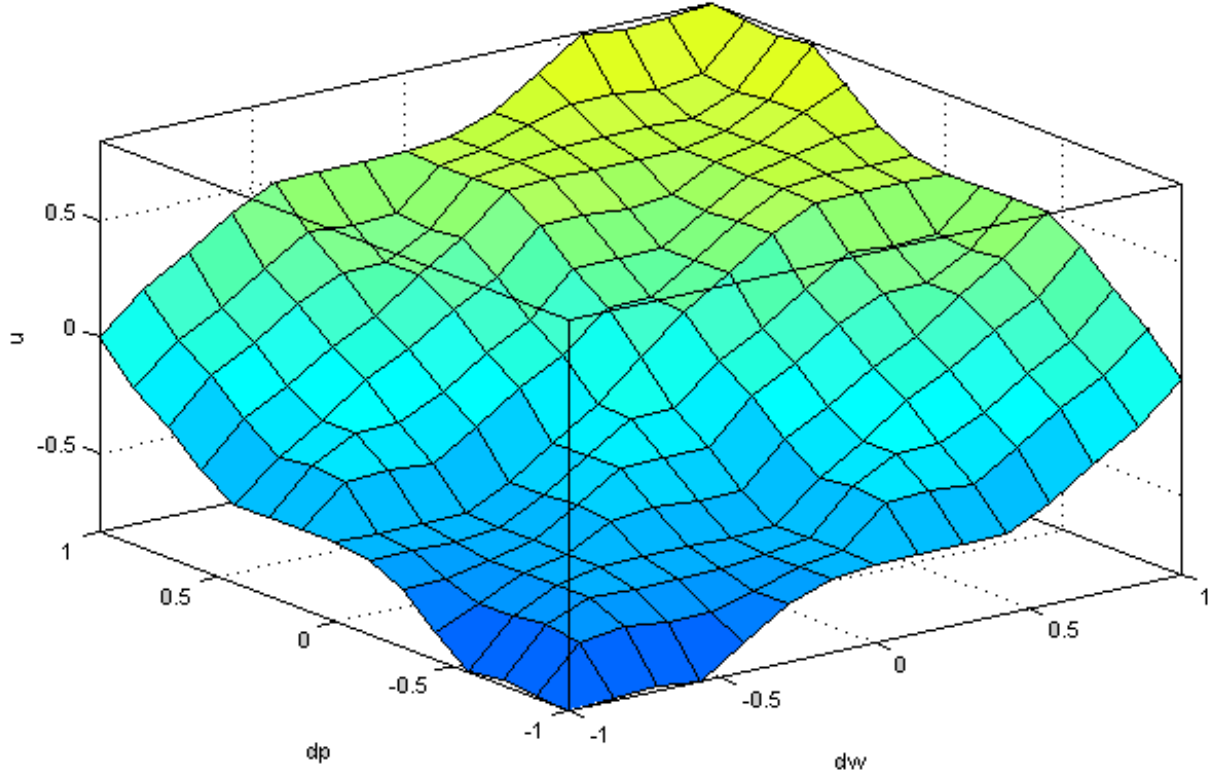
EK C : BULANIK GÜÇ SİSTEMİ KARARLAYICISI ŞEMALARI



Şekil C.1. Bulanık güç sistemi kararlayıcısı girişler ve çıkış şeması



Şekil C.2. Bulanık güç sistemi kararlayıcısı hız değişimi ($d\omega$) girişine ait üyelik fonksiyon şeması

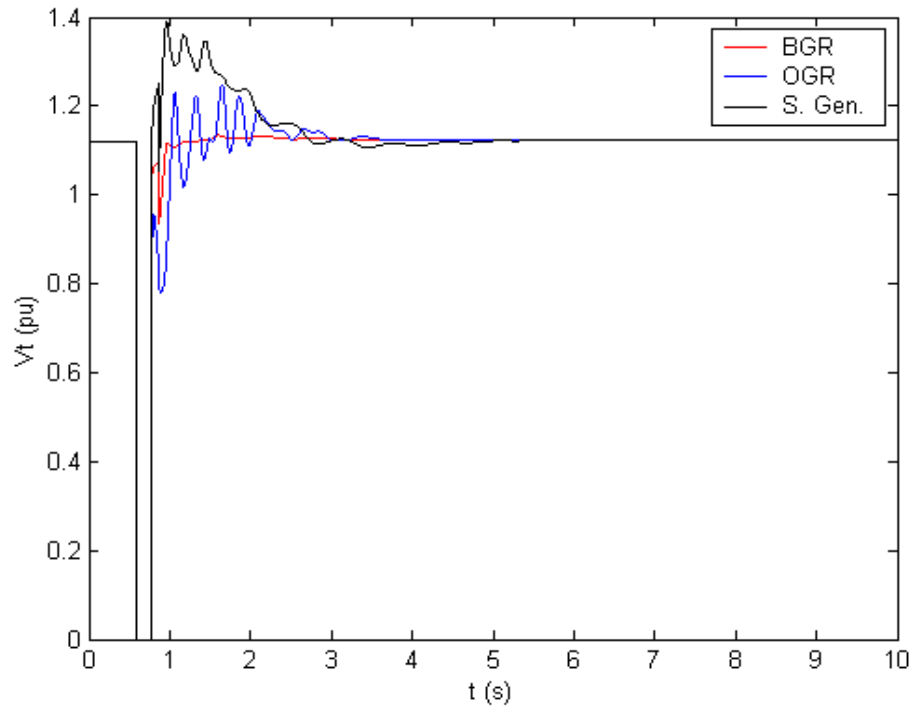


Şekil C.3. Bulanık güç sistemi kararlayıcısı kontrol kurallarının yüzeysel gösterilişi

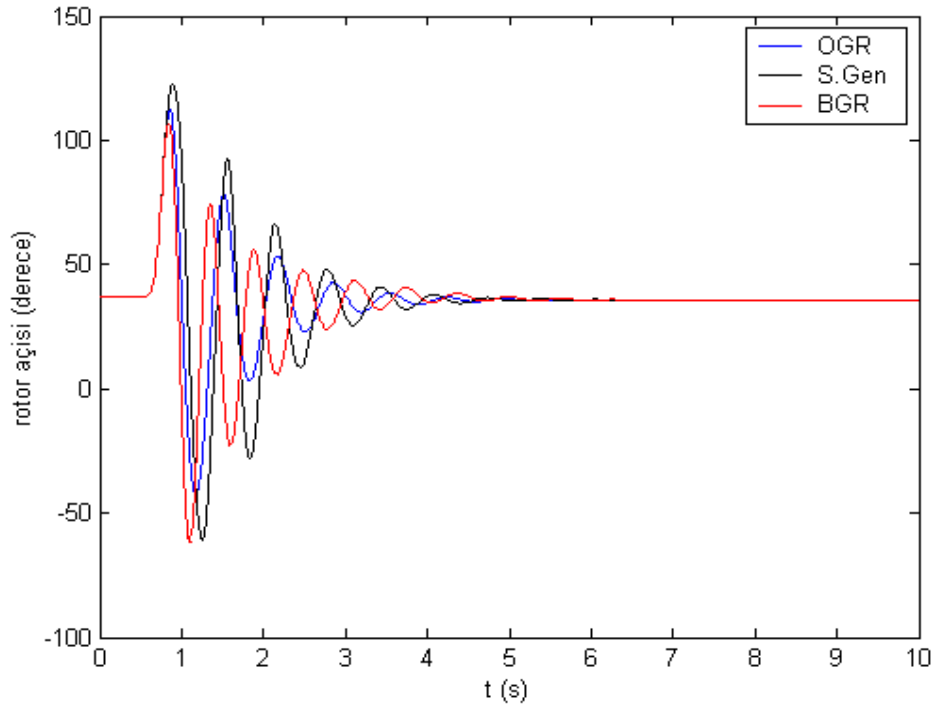
Tablo C.1. Bulanık güç sistemi kararlayısı kural tablosu

IF dw is NB and dP is NB THEN U is NB
IF dw is NB and dP is NS THEN U is NB
IF dw is NB and dP is ZE THEN U is NS
IF dw is NB and dP is PS THEN U is NS
IF dw is NB and dP is PB THEN U is ZE
IF dw is NS and dP is NB THEN U is NB
IF dw is NS and dP is NS THEN U is NS
IF dw is NS and dP is ZE THEN U is NS
IF dw is NS and dP is PS THEN U is ZE
IF dw is NS and dP is PB THEN U is PS
IF dw is ZE and dP is NB THEN U is NS
IF dw is ZE and dP is NS THEN U is NS
IF dw is ZE and dP is ZE THEN U is ZE
IF dw is ZE and dP is PS THEN U is PS
IF dw is ZE and dP is PB THEN U is PS
IF dw is PS and dP is NB THEN U is NS
IF dw is PS and dP is NS THEN U is ZE
IF dw is PS and dP is ZE THEN U is PS
IF dw is PS and dP is PS THEN U is PS
IF dw is PS and dP is PB THEN U is PB
IF dw is PB and dP is NB THEN U is ZE
IF dw is PB and dP is NS THEN U is PS
IF dw is PB and dP is ZE THEN U is PS
IF dw is PB and dP is PS THEN U is PB
IF dw is PB and dP is PB THEN U is PB

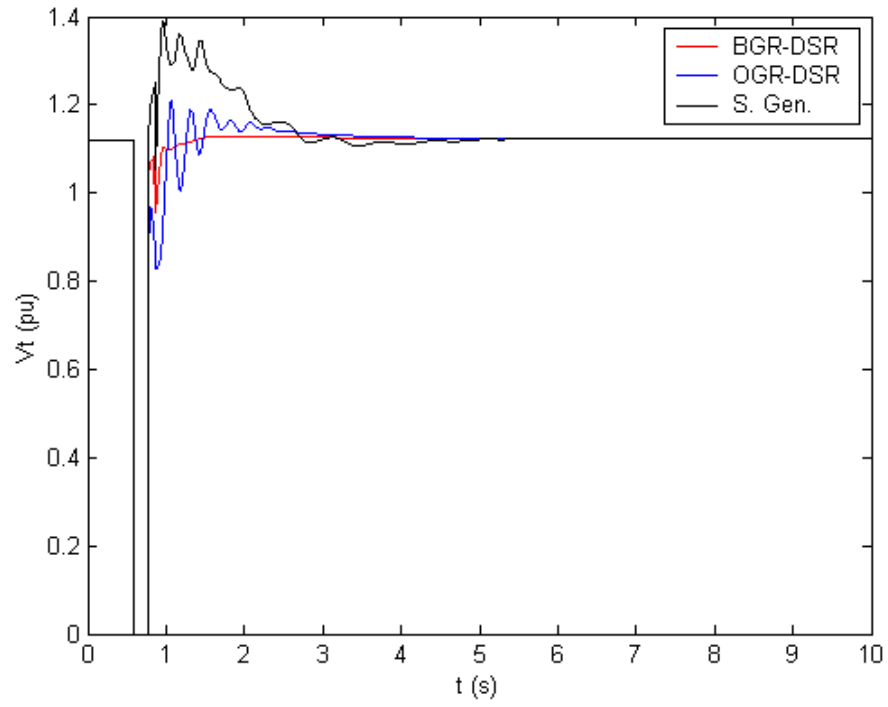
EK D : BİLGİSAYAR BEZETİM SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI



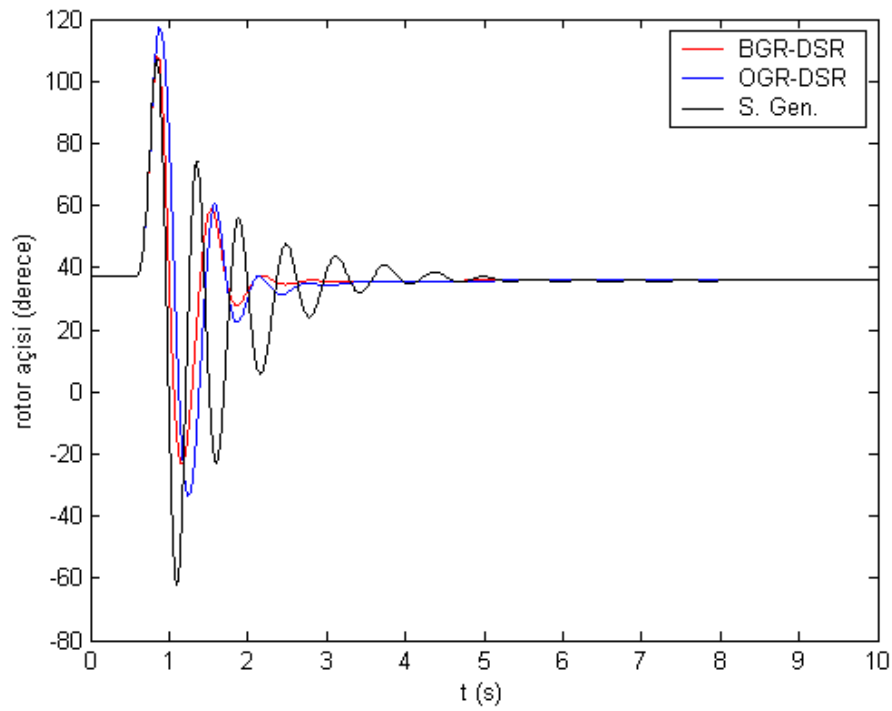
Şekil D.1. Yapısındaki DSR dışında kontrol elemansız, OGR' li ve BGR' li senkron generatör uç gerilimlerinin karşılaştırılması



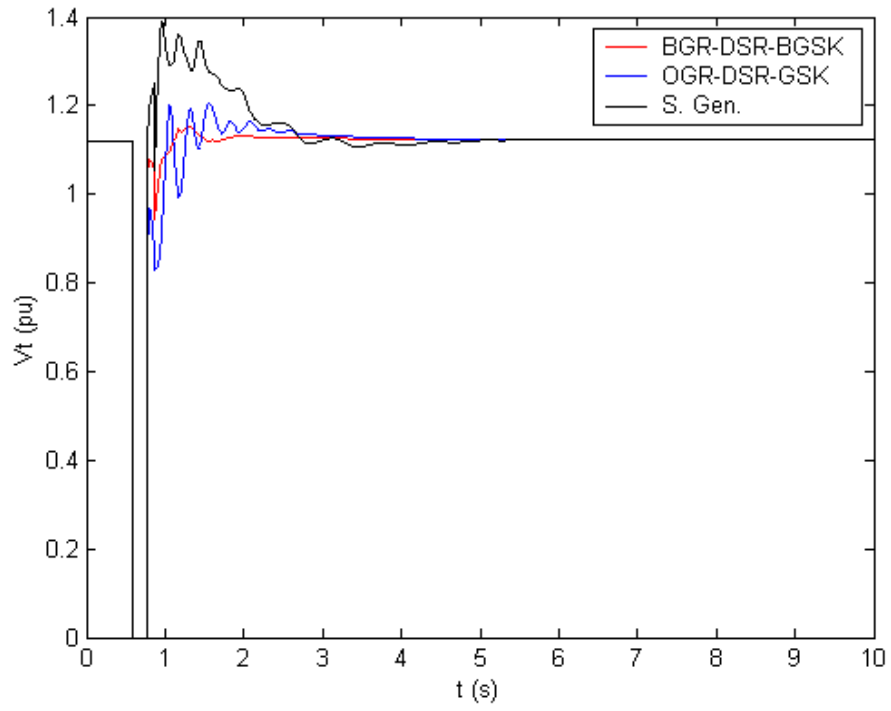
Şekil D.2. Yapısındaki DSR dışında kontrol elemansız, OGR' li ve BGR' li senkron generatör rotor açılarının karşılaştırılması



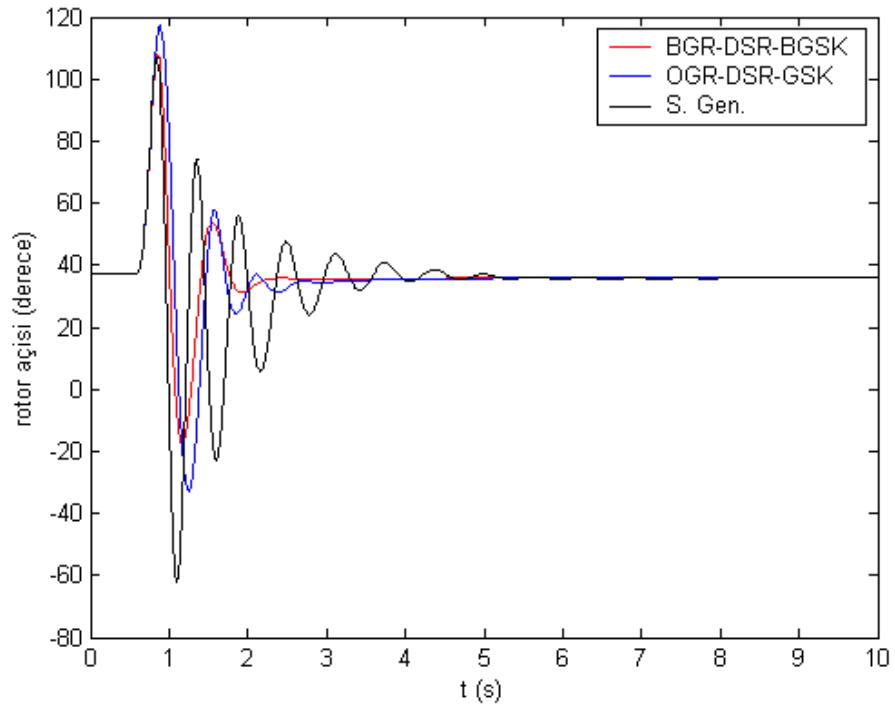
Şekil D.3. Yapısındaki DSR dışında kontrol elemansız, OGR, DSR' li ve BGR, DSR' li senkron generatör uç gerilimlerinin karşılaştırılması



Şekil D.4. Yapısındaki DSR dışında kontrol elemansız, OGR, DSR' li ve BGR, DSR' li senkron generatör rotor açılarının karşılaştırılması



Şekil D.5. Yapısındaki DSR dışında kontrol elemansız, OGR, DSR, GGSK' lı ve BGR, DSR, GGSK'lı senkron generatör uç gerilimlerinin karşılaştırılması



Şekil D.6. Yapısındaki DSR dışında kontrol elemansız, OGR, DSR, GGSK' lı ve BGR, DSR, BGSK'lı senkron generatör rotor açılarının karşılaştırılması

ÖZGEÇMİŞ

Gülden OĞUZ 1979 yılında İstanbul’ da doğmuştur. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul’ da tamamladıktan sonra 1997 yılında ITU Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümünde lisans eğitime başlamıştır. 2001 yılında mezun olduktan sonra ITU Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Programına kayıt olmuştur.