

57523

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜÇ SİSTEMLERİNDE BULANIK MANTIK UYGULAMASI

Elek.Müh. Muğdeşem TANRIÖVEN

F.B.E. Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Erdin GÖKALP

İSTANBUL , 1996

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans akademik çalışmamda tez danışmanlığımı yapan Hocam Sayın Yrd.Doç.Dr. Erdin GÖKALP'a, çalışmalarında yol gösteren sayın Yrd.Doç.Dr. Celal KOCATEPE'ye ve arkadaşlarım Kayhan GÜLEZ ile Seydi Vakkas ÜSTÜN'e ve bana manevi destek olan tüm aile fertlerime teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA NO</u>
ÖZET	V
ABSTRACT	VI
BÖLÜM 1. 1.0 GİRİŞ	1
1.1 Güç Sistemlerine Genel Bakış	1
1.2 Üretim Merkezlerinin Çeşitleri	2
1.2.1 Hidrolik Santrallar	2
1.2.1.1 Biriktirmeli Santrallar	4
1.2.2 Termik Santrallar	5
1.2.2.1 Buhar Santralları	5
1.2.2.2 İçten Yanmalı Buhar Santralları	7
1.2.2.3 Jeotermal Güç Santralları	8
1.2.2.4 Kombine Çevrimli Güç Santralları	9
1.2.2.5 Nükleer Güç Santralları	9
1.3 Modern Güç Sistemi Konuları	10
1.4 Güç Sistem Kontrol	15
1.4.1 Generatör Barası Olmayan Baralarda Gerilim ve Güç Akış Kontrolü	17
1.4.1.1 Reaktif Güç Enjekte Ederek Gerilim Kontrolü	17
1.4.1.2 Genlik ve Faz Değiştirme Transformatörleriyle Güç Akış Kontrolü	20
1.4.2 Otomatik Üretim ve Gerilim Kontrolü	23
1.4.2.1 Otomatik Gerilim Kontrolü	24
BÖLÜM 2. SENKRON GENERATÖRLER	27
2.1 Senkron Generatörler	27
2.1.1 Senkron Generatör Modeli Parametrelerinin Ölçümü ve Doyma Eğrisi	30
2.1.1.2 Alternatörün Boşta Çalışma Deneyi	31

2.1.1.3	Alternatörün Kısa Devre Deneyi	31
2.2	Senkron Makina İkazının Etkileri	32
2.3	Senkron Makinalarda Yük Açısı	33
2.3.1	Meyilli Devir-Yük Karakteristikleri Aynı Olan İki Alternatörde Yükün Bölüşülmesi	37
2.4	Şebekeye Paralel Bağlı Senkron Makinalarda Aktif ve Reaktif Güç Ayarı	39
2.4.1	Senkron Generatörlerde Reaktif Güç Ayarı	39
2.4.2	Senkron Generatörlerde Aktif Güç Ayarı	41
BÖLÜM 3.	BULANIK MANTIK (FUZZY SET THEORY)	43
3.1	Bulanık Mantık ile Klasik Mantığın Karşılaştırılması	44
3.2	Matematiksel Semboller ve Tanımlar	45
3.2.1	Bulanık Kümeler	45
3.2.1.1	Belirsizlik Miktarı	45
3.2.1.2	Bulanık Küme Tanımı	46
3.2.2	Keskin (crisp) Kümeler	49
3.2.3	Temel Bulanık İşlemler ve Bağıntılar	51
3.2.4	Bulanık Bağıntılar	54
3.2.5	Normal Bulanık Küme	58
3.2.6	Konveks Bulanık Küme	59
3.2.7	Bulanık Kümelerin Doğrudan Çarpımı	59
3.2.8	α -Kesimler ve Uzantı İlkesi	59
3.2.8.2	Çözülme İlkesi	60
3.2.8.3	Uzantı İlkesi	62
3.2.9	Bulanık Sayılar	63
BÖLÜM 4.	BULANIK KONTROL	66
4.1	Bulanık Kontrolörün Genel Yapısı	66
4.1.1	Bulanıklaştırma Birimi	67
4.2	Bilgi Tabanı	68
4.3	Çıkarım Ünitesi	70
4.4	Berraklaştırma Birimi	77

BÖLÜM 5. BİR GÜÇ SİSTEMİ İÇİN BULANIK KONTROL TASARIMI	79
5.1 Radyal Bir Hattın Yükteki Değişim Miktarı Bilinmeksizin Yük Frekans ve Gerilim Kontrolü	79
5.1.2 Önerilen Kontrolörün Genel Yapısı	79
5.1.3 Bulanık Kontrolör Bilgi Tabanı	81
5.2 Sonsuz Güçlü Bir Baraya Bağlı Senkron Generatörde Aktif ve Reaktif Güç Ayarı İçin Bulanık Kontrolör Tasarımı	84
- 5.2.1 Önerilen Kontrolörün Genel Yapısı	84
5.2.2 SCADA Sistemi	85
5.2.3 SCADA Sisteminden Elde Edilen Bilgilerin Matematiksel İşlemci Üzerinden Sistem Girişine Uygulanması	85
5.2.3.1 Yapay Sinir Ağlarına Kısa Bir Bakış	87
5.3 Seçilen Üyelik Fonksiyonları ve Bulanık Kurallar	90
5.4 Simülasyon Neticeleri	92
SONUÇLAR	94
KAYNAKLAR	95
EK - 1	97
ÖZGEÇMİŞ	99

ÖZET

Belli bir dönem güç sistem işletimi sabit yük şartları altında göz önünde bulunduruluyordu. Bununla birlikte aktif ve reaktif güç ihtiyacı hiçbir zaman sabit değildir ve bunlar sürekli olarak artan veya azalan eğilimler gösterirler. Bundan dolayı turbo generatöre olan buhar girişi (veya hidro generatöre olan su girişi) aktif güç ihtiyacıyla eşleştirilmek için sürekli regule edilmelidir. Aynı şekilde reaktif güç ihtiyacı da sürekli olarak kontrol edilir. Aksi halde değişik sistem baralarındaki gerilim, olamsı gerekenden daha fazla olur. Geniş ve modern enterkonnekte sistemlerde el ile düzeltme mümkün değildir. Ve bundan dolayı, otomatik üretim ve gerilim regüle ekipmanları herbir generatör üzerinde kurulur.

Bu çalışmada yukarıda analtılan kontrol işlemleri radyal bir hatta, ve sonsuz güçlü bir barada herbir generatör ünitesi için, bulanık denetleyici kullanılarak gerçekleştirilmiştir ve simülasyon neticeleri verilmiştir.

ABSTRACT

Power system operation considered so far was under conditions of steady load. However, both reactive and active power demands are never steady and they continually change with the rising or falling trend. Steam input to turbo generators (or water input to hydro-generators) must, therefore, be continuously regulated to match the active power demand. Also the excitation of generators must be continuously regulated to match the reactive power demand with reactive generation, otherwise the voltages at various system busses may go beyond the prescribed limits. In modern large interconnected systems, manual regulation is not feasible and therefore automatic generation and voltage regulation equipment is installed on each generator.

In this study, control actions are described above was fulfilled on each generations units in radial and infinite bus systems by using fuzzy controller and its simulation results was given.

BÖLÜM 1

1.0. GİRİŞ

20. yüzyılın başlarına kadar enerji üretimi enerjinin tüketildiği noktalardaki yakıt yanmasına dayanıyordu. 1882 yılında Thomas Edison tarafından ilk elektrik güç istasyonu faaliyete geçirildi (Gönen, Modern Power System Analysis, 1988). Bu yıldan sonra elektrik kullanan endüstri hızla arttı ve üretim istasyonları tüm ülkeye yayıldı kompleks güç sistemlerinin başlangıcı oldu. Güç sistemlerindeki komplekslik kontrol, kararlılık, analiz gibi birçok konuda problemleri beraberinde getirdi.

Bu çalışmada güç sistemlerindeki kontrol problemi günümüzün popüler konularından biri olan bulanık mantık teorisiyle ele alınmıştır. Klasik mantığın bir çok alanda yetersiz gelmesi, insan aklının işleyişini yeterince yansıtmaması bilim adamlarının bulanık mantığın üzerine eğilmesine neden olmuştur. İlk kez 1965 yılında L.A. Zadeh tarafından yazılan bir makalede ele alınmıştır.

1.1. Güç Sistemlerine Genel Bakış

Elektrik güç ve enerji sisteminin yapısı çok geniş ve kompleks olup, aşağıdaki şekilde olduğu gibi basit olarak 5 ana bölüme ayrılabilir.



Şekil 1.1. Elektrik güç sisteminin yapısı

Burada, en önemli bileşen enerji kaynağı veya yakıt olup, enerji dönüşümü için kullanılır. İkinci bileşen enerji konvertörü veya üretim sistemi olup enerji kaynağını elektrik enerjisine dönüştürür. Üçüncü ana bileşen, iletim sistemi olup, üretim merkezlerindeki elektrik enerjisini ana yük merkezlerine yüksek gerilim hatları üzerinden iletir. Dördüncü ana bileşen dağıtım hatları olup, enerjiyi tüketicilere alçak gerilim şebekesiyle dağıtır.

Sonolarak beşinci bileşen ise elektrik yükü veya enerji havuzu olup, enerjiyi veya arzu edilen forma dönüştürür. Şekil (1.2) güç sistem yapısını ayrıntılı olarak göstermektedir.

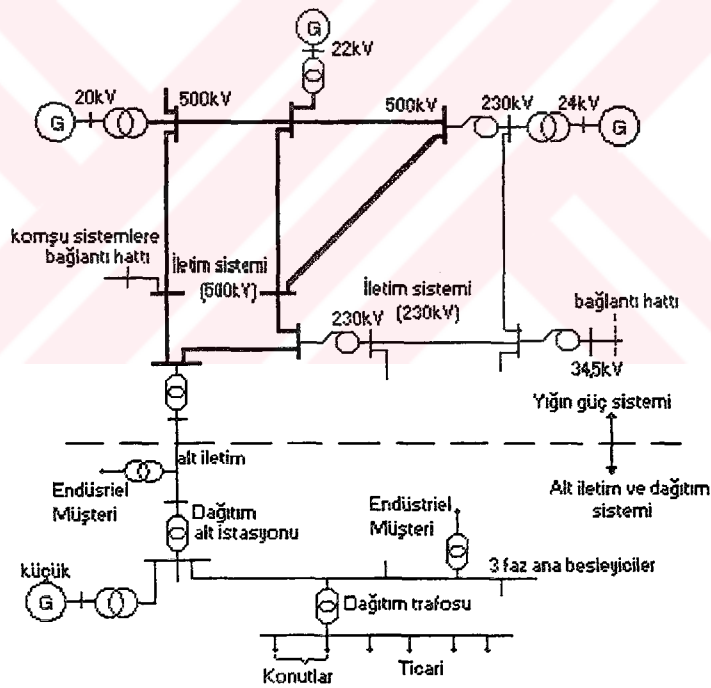
1.2. Üretim Merkezlerinin Çeşitleri:

1.2.1. Hidroelektrik Santraller

Şekil 1.3’de bir hidroelektrik güç santralının prensip şeması görülmektedir. Hidroelektrik santral tarafından üretilen elektrik gücü, hidroelektrik türbin boyunca geçen su miktarına ve su basıncına bağlıdır. Kilowatt olarak santral kapasitesi şu şekildedir :

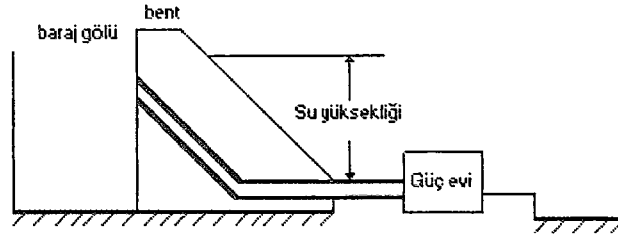
$$P = 9,81.Q.H.\eta \quad (1.1)$$

Burada : $Q = m^3/s$ ’de akan su miktarı ; $H =$ düşü yüksekliği ; $\eta =$ verim’dir.



Şekil 1.2 Bir güç sisteminin temel elemanları

Suyun düşü yüksekliğini artırmak için, ırmak barajları veya saptırma kanalları inşa edilir. Hidrolik türbin, baraj gölünden gelen sudaki kinetik enerjiyi kendi dönen milinde olan mevcut mekanik enerjiye dönüştürür. Hidrolik türbinler darbe ve reaksiyon türbinleri olmak üzere iki çeşide ayrılabilirler.



Şekil 1.3 Hidroelektrik güç santralinin prensip şeması

Reaksiyon türbinleri orta ve alçak düşü türbinleri olup verimleri oldukça iyidir. Düşü yükseklikleri 300m.'ye kadar çıkabilir. Bu türbinler yükün azalıp çoğalmasına karşı büyük uyum gösterirler. Reaksiyon türbinlerinin kanatları genelde sabit değildir. Bu kanatlar değişen yük durumlarına göre otomatik olarak ayarlanarak en ekonomik çalışma durumu sağlanır. Sabit kanatlı olanları ise sadece sabit yük durumunda kullanır. Bunların ayarlanması söz konusu değildir.

Darbe türbinleri yüksek düşülerde kullanılırlar (300m.'den fazla). Bir enjektörden (meme ağzı) püskürtülen suyun çark kelepçelerine çarparak burada mekanik enerji oluşturması prensibine göre çalışır. Bu türbinde de yükün değişen durumuna göre suyun miktarı ve hızı ayarlanabilir.

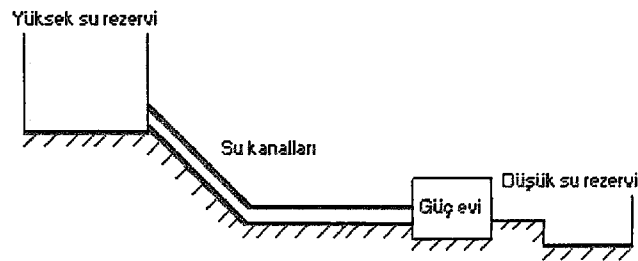
Elektrik santralının türbini ve generatörü ortak bir mil üzerine konumlandırılmıştır. Böylece generatör rotorunun kutup sayısı elektrik güç sisteminin işletme frekansına dayalı olan ortak bir dönme hızına sahiptirler (Yamayee, Bala, Electromechanical Energy Devices and Power System, 1994).

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{P} \quad (1.2)$$

Hidro elektrik santralleri elektrik enerjisi üretimine ilaveten birçok sebep ve amaç için inşa edilirler. Irmak akış kontrolü, nehir taşımacılığı ve tarımsal amaçlar bunlardan bazılarıdır.

1.2.1.1. Biriktirmeli Santrallar

Elektrik santralları tarafından üretilen elektriki güç, tüm zamanlarda değişik kullanıcılar tarafından tüketilen elektriki güce eşit olmalıdır. Bireysel elektrik ihtiyacı bireysel ve rastgele olup, toplam elektriki güç tüketimi üniform değildir. Bir gün boyunca toplam güç ihtiyacı talep eğrisi olarak belirlenir. Bu eğri birçok konveks ve konkav noktaları içerir. Bu eğriden anlaşılan şudur ki toplam yük ihtiyacı belli saatlerde yüksek ve diğer saatlerde düşük olmaktadır. Buradan şu sonuç çıkarılabilir ki, bazı generatörler nominal kapasitelerinin altında işletiliyor veya hatta bazı zamanlarda devreden çıkarılıyor ki bu da tamamen kullanılmayan güç ekipmanlarına gereksiz fazla para yatırımı demektir. Termal güç santralları sabit yük durumunda en ekonomik işletilenidir. Bu santrallar üretimde hızlı ve geniş değişimler için dizayn edilmemiştir. Termal santralların devreye alınması ve devreden çıkarılması büyük zaman ve efor kaybına sebep olmakta ve bundan dolayı gereksiz yere ekipmanların hızlı bir şekilde yıpranmasına öncelik edilmiş olunmakta. Biriktirmeli santrallar ise, tüketimin az olduğu zamanlarda suyu depo eder, tüketimin fazla olduğu zamanlarda ise suyu kullanarak enerji üretir ve bu işlem birkaç dakika içerisinde gerçekleşebilir. Elektrik ihtiyacının maksimumdan minimum seviyelere geçmesi gereken durumlarda biriktirmeli santrallar suyu düşük su deposundan yüksek su deposuna transfer etmek için bir pompa gibi kullanılır. Aynı zamanda elektrik makinası senkron kondansatör olarak çalışır ve tüm sistemin güç faktörüne iyileştirici bir etki yapar. Maksimum ihtiyacın olduğu zamanlarda ise yukardaki işlemin tam tersi yapılarak elektrik üretilir. Biriktirmeli santralların prensip şeması şekil 1.4'te görülmektedir.



Şekil 1.4 Biriktirmeli santralların prensip şeması

Biriktirmeli santrallarda ters amaçlı hidrolik türbinler kullanılır ki bu türbinler hem pompa hemde türbin görevini yapabilir. Mekanizma şekil 1.5’te görülmektedir.



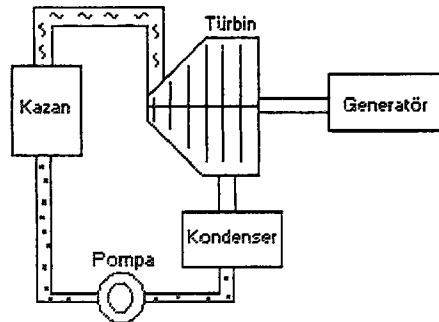
Şekil 1.5 İki amaçlı biriktirmeli güç santrali

1.2.2 Termik Santrallar

Termik santralları genel olarak buhar santralları ve içten yanmalı motor santralları olmak üzere iki ana gruba ayırabiliriz. Buhar santrallarında kendi aralarında, pistonlu buhar makinalı santrallar ve buhar türbinli santrallar olarak ikiye ayırmak mümkün olduğu gibi bazı özelliklerine göre ise normal buharlı santrallar, lokomotifli santrallar ve nükleer santrallar olarak üç gruba da ayırmak mümkündür. İçten yanmalı motor santralini ise dizel motorlu santrallar, gaz türbinli santrallar, gazojenli santrallar ve benzin motorlu santrallar olarak 4 gruba ayırabiliriz.

1.2.2.1 Buhar Santralları

Bir buhar santralinin prensip şeması şekil 1.6’ da görülmektedir. Buhar santrallarında yakıt hava karışımı ocaklarda yakılarak kazanlardaki su ısıtılır ve buhara dönüştürülür.



Şekil 1.6 Bir buhar santralinin prensip şeması

Elde edilen buhar, borular yardımı ile döndürücü makinaya iletilir. Döndürücü makina ile akupile olan generatör ise bu enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Buhar santrallerinin en önemli üniteleri şunlardır (Peşint, Elektrik Santralleri, Enerji İletimi ve Dağıtımı, 1986):

- Buhar koyma ve yakıt sistemi
- Su arıtma ve pompalama üniteleri
- Buhar makinası (pistonlu buhar makinası ve buhar türbini)
- Kondenser
- Elektrik donanımı

Buhar santrallerinden olan 'pistonlu buhar makinalı santraller' da kullanılan pistonlu buhar makinaları lokomotifli santraller olup bugün çok az kullanılmaktadır. Daha çok enerji ihtiyacı az olan yerlerde kurulurlar. Yaş buharla çalışan bu santrallerde kazan buhar makinası ve generatör aynı mil üzerinde bulunur. Bu santrallerde duman borulu kazanlar kullanılmaktadır. Az yer kaplarlar ilk kuruluş masrafları çok fazla değildir. Kızdırıcıları yoktur. Kazanda elde edilen buhar, buhar makinasına gönderilir. Buhar makinası volanlıdır ve düşük devirde(100 ~ 400 dev/dak) dönmesi büyük kolaylıklar sağlar. Burada kullanılan generatörler düşük devir nedeni ile çok kutupludur.

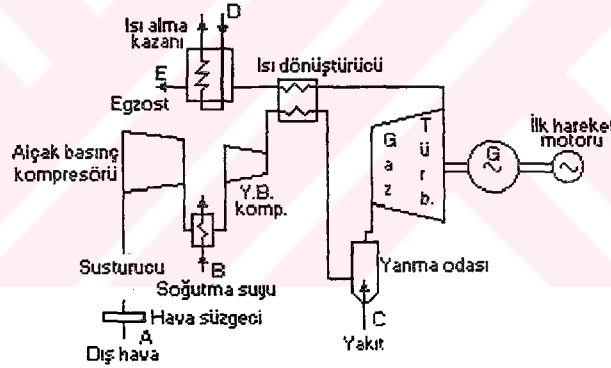
Buhardan daha çok faydalanmak için ise buhar türbinli santraller kullanılır. Buhar türbinleri yüksek devir hızları için ve yatay milli olarak düzenlenmişlerdir. Buhar türbinlerine gelen buharın sıcaklığı 900 ~ 950 ° C ye kadar ulaşmaktadır. Buhar türbinlerinde enerji, doğrudan doğruya mile geçtiği için kayıplar az dolayısı ile de verim yüksektir. Buhar türbinlerinde buharın kinetik enerjiye, kinetik enerjinin de mil enerjisine dönüşmesini sağlayan iki ana eleman vardır

1) Püskürtme ağızı : Buhar türbinlerinde püskürtme ağızına gelen buharın basıncı çok yüksektir. Püskürtme ağızından çıkan buhar, basıncı düşük bir ortama geçer. Bu iki basınç arasındaki fark, buharın türbin kanatlarına çarpma hızını belirler. Basınç farkı ne kadar fazla olursa buharın kazanacağı hız da o kadar fazla olur.

2) Kanatçıklar : Kanatçıklar üzerine etki ederek yön değiştiren buhar demeti, kanatçıkların açılmal durumlarına baēlı olarak kuvvet veya basınç oluşturur. Basıncın en büyük olduēu durum, kanatların 180  C lik durumunda oluşur.

1.2.2.2. İçten Yanmalı Motor Santralları

Gaz türbinli santrallar ‘ İçten Yanmalı Motor Santral’ larındandır. Bu santrallar genel olarak puvant yüklerin karşılanması amacıyla kurulur. Ancak enerji yetmezliēi karşısında temel yük santralları olarak da çalıştırılmaktadır. Gaz türbinli bir elektrik şemasının basit şeması şekil 1.7’ de görülmektedir. Gaz türbinlerinin devir sayıları oldukça yüksektir. Bunun için generatöre iletilen devir sayısı dişiler yardımı ile azaltılır. Türbin milleri yerden oldukça y kseēe monte edilmiş olup, sistem beton veya madeni temeller üzerine oturtulmuştur.



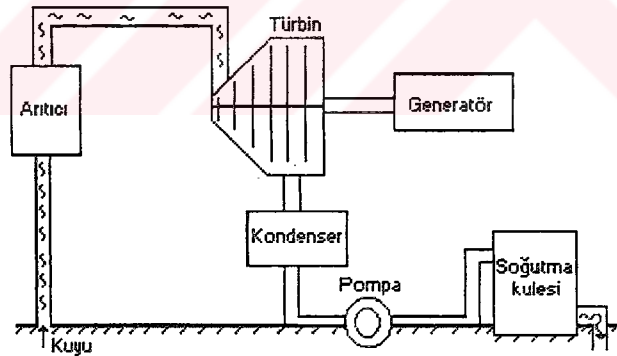
Şekil 1.7 Gaz türbinli bir elektrik santralı ve  niteleri

İçten yanmalı motor santrallarına diēer bir örnek dizel santrallar olup, bu santrallar küçük şehir veya kasabanın beslenmelerinde fabrika, işletme ve benzeri yerlerle PTT, TRT, hastahane gibi önemli kuruluşların enerji ihtiya ını gidermede veya enerji kesilmelerinde hizmetlerin sürdürülmesinde kullanılmaktadır. Benzin motorlu üniteler ise çok küçük g   lerde (15 ~ 20 kW ‘a kadar) enerji ihtiyaçları için kullanılmaktadır. Elektriēin bulunmadıēı yerlerde aydınlatma işlerinde kullanılabilir. Ayrıca bazı elektrikli aygıtların çalıştırılmasında da kullanılır. Yakıt depoları birlikte monte edilmiş olup, bakım işletme ve kumandaları oldukça kolaydır.

1.2.2.3. Jeotermal Güç Santralleri

Jeotermal güç santralleri yeryüzünden çıkarılan buharı kullanırlar. Yerküre yüzeyinin altında sıcaklık derinlikle birlikte artar ki bu sıcaklık 6 ~ 30 mil derinliklerinde 1000 ~ 1200 °C sıcaklığa ulaşır. Sıcak menbaların bulunuşu, o yüzey altında oldukça yüksek sıcaklıkların bulunduğu bir işareti olup bu yerler jeotermal güç gelişimi için müsait mevkilerdir.

Jeotermal güç santrallerinde, sıcak jeotermal buhar, bir termal güç santralindeki kazanda üretilen buhar gibi kullanılır. Ama yer küresinden elde edilen buharlar, termal güç santralindeki buhar gibi saf ve temiz olmayıp birçok kirlilik içerir. Bu kirli buhar korozyona sebep olur ve güç santralının farklı parçalarında kazınma ve dökülmeler olur. Ayrıca dışarıya atılan egzoz gazıda atmosferi saran kirliliğe katkıda bulunur. Böylece türbine gitmeden önce bu buharın temizlenmeye ihtiyacı vardır. Bu amaç için korozyona dayanıklı ekipmanlar ve buhar temizleyicileri dizayn edilmiş olup kısaca temizleyici (scrubber) denir. Jeotermal güç santrallerinin prensip şeması şekil 1.8' de görülmektedir.



Şekil 1.8 Bir jeotermal güç santralının prensip şeması

Sıcak jeotermal buhar alçak basınç boyunca geçer, çünkü mevcut buhar basıncı, modern kömür veya nükleer termal güç santrallerinde oldukça düşüktür. Buhar türbin çıkışından sonra kondensere getirilir ve yoğunlaştırılmış buhar soğutma kulelerine alınır ki burada bu buhar aşağı doğru bir fan tarafından püskürtülen su su püskürtücüsündeki esen hava

akışına karşı olarak püskürtülür. Suyun büyük bir bölümü soğutma kuleleri vasıtasıyla atmosfere buharlaşıp giderler ve geriye kalan su kulenin dibine ulaşarak tekrar yer altındaki kuru menbalara geri döner.

1.2.2.4. *Kombine Çevrimli Güç Santralleri*

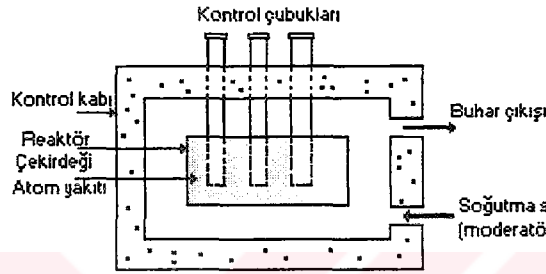
Gaz türbin üretim ünitesi ile buhar türbin ünitesi bir güç santralında beraber bulunabilir. Bu kombine güç santralında gaz türbin ünitesi ve buhar ünitesi ve buhar ünitesi yanan yakıttan elde edilen sıcaklığı paylaşırlar. Isı enerjisinin bir parçası buhar üretmek için kullanılır ve buhar türbinini sürebilmek için buharı uygun sıcaklığa ve basınca çıkarır. Yakıtın yanması esnasında üretilen sıcak gazlar gaz türbinini döndürmek için kullanılır. Türbinden ayrılıştan ise çıkan gazlar buhar generatörünün besleme suyunu ısıtmak için kullanılır. Kombine güç santrallerinin tüm verimi, sadece gaz türbinli güç santrallerinden veya konvensiyonel buhar santrallerinden önemli derecede yüksektir.

1.2.2.5. *Nükleer Güç Santralleri*

Bir nükleer güç santralında, ısı enerjisi nükleer fizyon (atom çekirdeğinin bölünmesi) tarafından açığa çıkarılır ve bu enerji elektrik generatörünü süren türbini döndürmek için kullanılan buharı üretmede kullanılır. Nükleer güç santrali ile konvensiyonel termal güç santralleri arasındaki en büyük fark ısı enerjisini üretmedeki metottur. Nükleer santrallerde ısı, nükleer yakıtın fizyonu ile bir reaktör içerisinde üretilir. Diğerlerinde ise bir kazan içerisinde kimyasal yakıtın yanmasıyla elde edilir. Her iki durumda da üretilen ısı suyu buhara çevirmek için kullanılır ve bu buhar ile türbin beslenir.

Nükleer reaktör nükleer güç santralının en önemli elemanı olup prensip şeması şekil 1.9’ da görülmektedir. Nükleer reaktörlerde nötronlarla bombardıman edilen uranyum elementinin çekirdeği bölünür. Nükleer parçalanmalar neticesinde, nötronlar ve prosesin diğer parçaları oldukça yüksek bir hızla dağılırlar ve bunlar bu şekilde bir zincirleme reaksiyonu devam ettirirler ki daha fazla çekirdek bölünür ve işlem bu şekilde devam

eder. Bu da büyük bir ısı enerjisinin açığa çıkması demektir. Nükleer yakıt (uranyum) çubukların şekli ile şekillendirilmiş yakıt tüpleri içinde konumlandırılmış olup bu yakıt tüpleri reaktör çekirdeğinin içine yerleştirilir. Nükleer reaksiyon, çubukların içinde meydana gelir ve süreç içerisinde büyük miktarlarda ısı açığa çıkar. Reaksiyon, reaktör çekirdeğinde kontrol çubuklarının yükseltilip azaltılmasıyla kontrol edilir. Bir soğutucu reaktör boyunca akarak üretilen ısıyı reaktörden ayırır. Soğutucu (modaratör) olarak ağır su (D_2O), hafif su (normal su), buhar veya diğer akışkanlar kullanılır. Bu moderatörler atomun parçalanması sırasında



Şekil 1.9 Bir nükleer reaktörün prensip şeması

ortaya çıkan hızlı nötronları yavaşlatır ve termik nötronlara dönüştürür. Soğutucular yakıt çubuklarının yüzeyi üzerinde akar ki ısı burada maksimumdur. Soğutucu varken ısı dışarıya çıkar. Büyük miktarlarda enerji nükleer fizyon esnasında açığa çıkar ve nükleer yakıtı ısıtmadan dolayı tükenir. Taşınım vasıtasıyla ısıнын soğutucuya transfer edilmesinden dolayı soğutucunun hızı yüksek olmalı ki ($3 \sim 7 \text{ m/s}$) çıkış ısını artırabilsin.

1.3. Modern Güç Sistemi Konuları

I. Temel Güç Sistem Modellemesi

- A. Üç faz İletim hattı modellemesi ve iletim koordinasyonu
- B. Üç faz, iki faz ve tek faz dağıtım hattı modellemesi ve dağıtım koordinasyonu
- C. Senkron makina modellemesi ve generatör kontrolü
- D. Üç faz transformatör modellemesi
- E. Güç sistem yük modeli
- F. Simetrik bileşenler

II. Kısa Devre Analizi ve Sistem Koruma Mantığı

- A. İletim sisteminin kısa devre hesabı
- B. Dağıtım sisteminin kısa devre hesabı
- C. Güç sistem korumasına giriş

1. Koruma bölgelerine göre koruma tipleri

a.) Generatör koruması

1.) Diferansiyel generatörlerde koruma

Diferansiyel Generatör : Elektriksel bir açığa mekaniksel bir açığı ekleyen ve bunların toplamını bir elektriksel açı olarak veren senkron generatördür. Üç girişteki bir grup gerilim ile uyarıldığında, üç çıkış ucu elektriksel giriş açısı ile mekanik rotor açısının toplamı olan bir açığı tanımlayan gerilimleri verir.

2.) Ana güç diferansiyel transformatöründe koruma

Diferansiyel transformatör : İki veya daha fazla sinyal kaynağını ortak bir iletim hattına birleştirmek için kullanılan bir transformatördür

3.) Alan kaybı koruması

4.) Güç rezervi koruması

5.) Devre dışı bırakamama adımı koruma

6.) Frekans Koruması

7.) Düşük gerilim koruması

b.) İletim barası koruması

1.) Yüksek empedans farklılığına karşı koruma

2.) Akımdaki farklılığın aşırı olması durumuna karşı koruma

3.) Gerilim ve akım transformatörlerinde koruma

c.) İletim hattı koruması

1.) Mho (admitans) mesafe koruması

2.) Diferansiyel hat akımı koruması

3.) Faz karşılaşımı koruması

4.) Doğru aşırı akım koruması

d.) Ototransformatör koruması

1.) Diferansiyel transformatör koruması

2.) Basınç artış oranını karşı koruma

e.) Reaktör koruması

1.) Aşırı akım koruması

2.) Yüksek basınç koruması

f.) Kondansatör koruması

1.) Aşırı akım koruması

2.) Dengesizlik koruması

3.) Sigorta koruması

2. Koruma rölelerinin ayarlanması

a.) Ayar noktalarının tesbitinde kullanılmak maksadıyla arıza akımı ve arıza empedansının hesabı için kısa devre programının kullanımı.

b.) Mesafe rölesi için, ayar noktalarının tesbitinde kullanmak maksadıyla R(direnç) - X(impedans) diyagramlarının kullanımı.

c.) Aşırı akım rölelerinde ayar noktalarının tesbiti için akım koordinasyon eğrilerinin kullanımı.

d.) Diferansiyel trafo rölelerinde ayar noktalarının tesbiti.

e.) Diferansiyel bara rölelerinde ayar noktalarının tesbiti.

III. İletim Koordinasyonu Planlaması ve İşletimi

A. İletim koordinasyonuna giriş

B. İletim yük akış analizine giriş

C. Yük akışı çözüm metodları

D. Güç sistem planlaması ve işletimi için yük akış analizi

E. Elektriksel gücün devretmesi (dönmesi)

F. Hızlı yük akışı

IV. Enerji Havuzu Kontrolü ve Güç Sistem Stabilitesi

- A. Enerji havuzu kontrolünün tanıtımı
- B. Geçici kararlılığın tanıtımı
- C. Dinamik kararlılık çalışmasının tanıtımı
- D. Gerilim kararlılığı çalışmalarının tanıtımı
- E. Güç sistem planlaması ve işletiminde kararlılık
- F. Bir generatör kontrolünde aktif ve reaktif güç rezervleri

V. Güç Sistem İşletimi ve Generatör koordinasyonu

- A. Generatör koordinasyonunun tanıtımı
- B. Güç sistem kontrolü
 - 1. Giriş
 - 2. Rgülatör ve yük frekans karakteristikleri
 - 3. Ekonomik Dağıtım
 - 4. Otomatik üretim kontrolü
- C. Durum kestirimi
- D. Dengesiz bir güç sisteminde aktif ve reaktif güç kontrolü

VI. Dağıtım koordinasyonu planlaması ve işletimi

- A. Dağıtım koordinasyonuna giriş
- B. Yük akış dağıtımı
- C. Talep yönetimi
- D. Dağıtım sisteminin veri tabanı
- E. Dağıtım sistemi planlaması ve işletimi
- F. Üretim koordinasyonu

VII. Güç Kalitesi

- A. Harmonikler
 - 1. Harmonik kaynakları
 - 2. Harmonik etkileri
 - 3. Harmonik ölçümleri
 - 4. Standart ve dizayn rehberi
- B. Gerilim dalgalanması
 - 1. Gerilim regüle yöntemi

2. Statik Var kompanzatörleri

C. Dalgalanma koruması

1. Dalgalanma yok edicileri
2. Standartlar
3. Dalgalanma koruyucularının performans testi

VIII. Reaktif Güç ve Gerilim Kararlılığı

- A. Temel fikirler
- B. Aktif ve reaktif gücün belirlenmesi
- C. İletim hatları ve reaktif güç
- D. Generatörler ve reaktif güç
- E. Yükler ve reaktif güç
- F. Gerilim kararlılığı
- G. Reaktif güç dağıtımı ve kontrolü

IX. Elektrik Dağıtım Ağında Regülasyonsuzluk

- A. Reaktif güç şebekesi
- B. Aktif güç şebekesi
- C. Güç devri
- D. Generatör, iletim, dağıtım ve enerji havuzu koordinasyonları
 1. Elektrik şirketlerinin ayrı olması ve işletimi
 2. Rekabet
 3. Aktif ve reaktif güç rezervleri
- E. Güç şirketleri

Yukardaki temel güç sistem konuları göz önünde bulundurduğumuzda görülen şudur ki; günümüzde gelişen sanayi ve enerji ihtiyacının günden güne artmasından dolayı, güç kalitesi, sistemin dengesizliğinin getirdiği problemler, güç sistem işletimi, güç sistem stabilitesi, güç sistem kontrolü, gerilim ve güç stabilitesi konuları güncelliğini artan bir etkinlikte korumaktadır. Çünkü sistem ne kadar büyük ve kompleks olursa, koruma, kontrol ve stabilize okadar zorlaşmaktadır. İşte bu çalışmada böyle bir enterkonnekte sistem göz önünde bulundurularak sonsuz baraya bağlı üretim merkezlerinde yani

senkron generatörlerde, sistemin ihtiyacı olan aktif ve reaktif güç kontrolü ile radyal bir sistemde yük frekans ve gerilim kontrolü daha etkin bir şekilde bulunak denetleyici ile tasarlanmıştır.

1.4. Güç Sistem Kontrol

Elektrik güç sisteminin fonksiyonu mevcut doğal formlardaki enerjiyi elektriksel forma dönüştürmek ve bu dönüştürülen enerjiyi tüketim noktalarına iletmektir. Enerji, nadiren elektriksel formlarda tüketilir fakat daha ziyade ısı, ışık ve mekanik enerji gibi diğer formlara dönüştürülerek tüketilir. Elektriksel formdaki elektrik enerjisinin avantajı, uzak noktalara iletebilmesi, yüksek güvenilirlik ve verimlilik ile kontrol edilebilmesidir. Diğer enerji şekillerinin kontrolü nisbeten daha zordur. Bu yüzden uygun olarak dizayn edilmiş ve işletilen güç sisteminde aşağıdaki temel gereksinimler olmaktadır(Balu,Lauby, Power System Stability and Control, 1993).

1. Güç sistemi sürekli olarak değişen yüklere, dolayısıyla sürekli değişen aktif ve reaktif güç taleplerine cevap verebilmek zorundadır. Diğer enerji şekillerinden farklı olan elektrik, yeterli miktarlarda uygun şekilde depo edilememektedir. Bundan dolayı, yeterli miktarlarda devir yapan aktif ve reaktif güç rezervleri sürekli olmalı ve tüm zamanlar uygun bir şekilde kontrol edilebilmelidir.

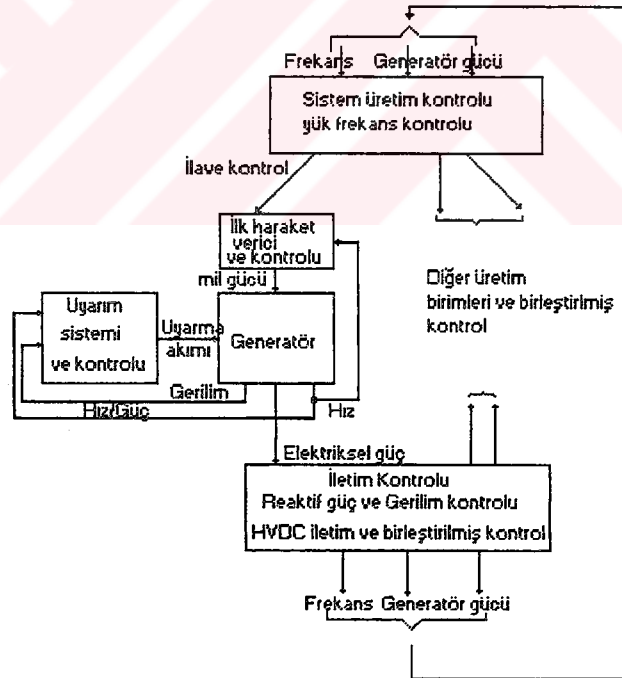
2. Güç sistemi, enerjiyi minimum maliyette ve çevreye minimum etki ile temin etmelidir.

3. Kaliteli güç temini için, aşağıdaki faktörler hususunda asgari standartlar temin edilmelidir.

a.) Frekansın sabitliği b.) Gerilimin sabitliği c.) Güvenirlilik seviyesi

Komplex mekanizmaları içeren kontrol seviyelerinin birçoğu yukardaki ihtiyaçları karşılamak için kullanılır. Bütün bunlar şekil 1.10' da gösterilmiş olup, bir güç sisteminin değişik alt sistemlerini ve birleştirilmiş kontrolünü tanımlamaktadır. Tüm bu yapıda, direkt olarak her bir eleman üzerinde işleyen kontrolörler mevcuttur. Bunlar enerji üretim birimlerinde, ilk hareket verici kontrolünü ve uyarım kontrolünü içermektedir.

İlk hareket verici kontrolü, hız regülasyonu ve enerjiyi temin eden sistem değişkenlerinin (kazan basıncı, sıcaklık ve akış gibi) kontroluyla ilgilidir. Uyarım kontrolünün fonksiyonu, gerilim regülasyonu ve reaktif güç çıkışı içindir. Herbir generatör ünitesinin arzu edilen MW çıkışı sistem üretim kontrolü ile belirlenir. Sistem üretim kontrolünün birinci amacı toplam sistem üretimi ile toplam kayıplar ve sistem yükleri arasındaki dengeyi sağlamaktır, böylece istenen frekans ve komşu sistemler arasındaki güç değişimi sürekli olur. İletim kontrolü statik var kompanzatörleri, senkron kondansatör (mekanik yük olmaksızın çalışan ve bir kondansatör gibi büyük bir akım çeken bir motordur. Bir a-c sistemdeki güç faktörünü ve gerilim regülasyonunu düzeltmek için kullanılır.), anahtarlama kondansatörler ve reaktörler (reaktans elemanı), uç değiştirme transformatörleri(ara uç değiştirme sargılarından sarım oranını değiştirecek şekilde bir ara uç almak suretiyle bir transformatörün gerilim oranını



Şekil 1.10. Bir güç sisteminin alt sistemleri ve birleştirilmiş kontrolü

değiştirme yöntemi), faz değişim trafoları ve HVDC iletim kontrolü gibi güç ve gerilim kontrol cihazlarını içerir.

Kontrol amaçları, güç sisteminin işletme şartlarına bağlıdır. Normal şartlar altında, kontrol amacı frekans ve gerilim değişimini mümkün olduğu kadar nominal değerlerine yakın tutmaktır. Anormal şartlar geliştiği zaman kontrol amaçları sistem işletimini normal işletme şartlarına dönüştürmeyi amaçlamalıdır.

1.4.1. Generatör Barası Olmayan Baralarda Gerilim ve Güç Akış Kontrolü

1.4.1.1. Reaktif Güç Enjekte Ederek Gerilim Kontrolü

Sistem geriliminin temel kontrolü, generatör uyarım sisteminde yatar. Uyarıcılar incelenirse, direkt olarak generatör bara gerilimi kontrol edilir. Ama biz tüm baralarda gerilimin arzu edilen toleranslar içerisinde kalmasını arzu ederiz ($\pm \% 15$). Generatör barası olmayan baralarda gerilim kontrolünü nasıl yapabileceğimizi düşünelim.

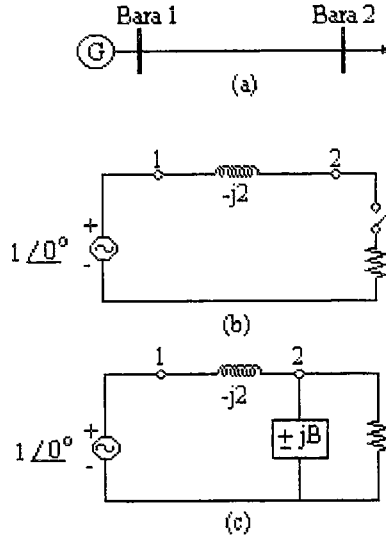
Basit devre şeması şekil (1.11 a ve b)' de görülmekte olan iki baralı bir sistemi göz önünde bulunduralım. Yüksüz durumda (anahtar açıkken); $V_1 = V_2 = 1 \angle 0^\circ$

Gerilim her iki barada da aynı olup 1.0 p.u. tür ve arzu edilen değeri temsil eder. Bununla birlikte, sistem yüklü halde iken (anahtar kapalı iken) “2” barasındaki gerilim

$$V_2 = \frac{-j2}{1-j2} 1 \angle 0^\circ = 0.894 \angle -26.6^\circ$$

Bu gerilim normalin %10.6 aşağısında olup kabul edilemez derecede düşüktür. Şimdi şekil (1.11 c)'de görüldüğü gibi yük ile paralel bir B suseptans reaktif elemanını ekleyelim.

1 barasının gerilimi etkilenmez ve birim değerinde kalır, fakat 2 barasına ne olacağını düşünelim.



Şekil 1.11. Şönt kompanzasyon ile gerilim kontrol sistemi örneği (a) Örnek sistem (b)

Kompanze edilmemiş devre : Eleman değerleri admitans olarak verilmiştir. (c)

Kompanze edilmiş devre

Admitanslı gerilim bölücüyü kullanarak, 2 barasının genliği

$$V_2 = \frac{2(1)}{\sqrt{1 + (2 - B)^2}}$$

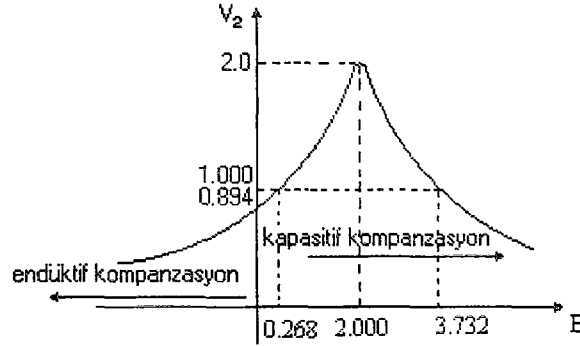
Kapasitans için $B > 0$

Endüktans için $B < 0$

V_2 ile B arasındaki genel ilişki şekil (1.12)' de verilmiştir. V_2 'yi birim değerine çıkarmak için mümkün olduğu kadar düşük kapasiteli B değeri seçilir. Yani şekilden de görüldüğü üzere küçük olan B değerini seçeriz. Dikkat edilirse 2 barasına endüktansın eklenmesi gerilimi düşürecektir. Bu basit örnek güç sistemindeki genel uygulamanın bazı prensiplerini gösterir. Bu prensipleri kısaca şu şekilde sıralayabiliriz:

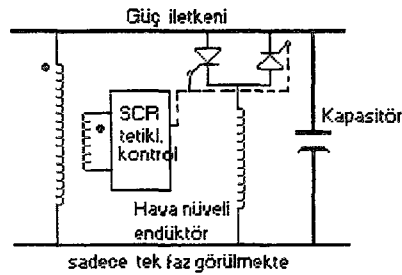
- Bir güç sisteminin gerilim karakteristiği, sistem yükünün fonksiyonu olup, normalde hafif yük şartlarında yüksek, ağır yük şartlarında ise düşüktür.

- Gerilim generatör barası olmayan baralarda, baraya şönt reaktans bağlayarak bir dereceye kadar kontrol edilebilir. Normalde endüktansın eklenmesi baradaki gerilimi düşürürken, kapasitanasın eklenmesi ise baradaki gerilimi artırır.



Şekil 1.12. Şekil 1.11'deki sistem için V_2 'ye karşılık B 'nin değişimi

Reaktif şönt elemanı eklenerek sistem geriliminin ayarı, bazan şönt kompanzasyon olarak adlandırılır. Yükn günün değişik zamanlarına bağlı olarak değişmesi, dolayısıyla sistem geriliminin değişmesi sebebiyle ağır yük şartlarında kapasitans devreye alınır ve düşük yük şartları durumunda devreden alınır. Bu elemanların masraflarından dolayı, endüktörler düşük sistem gerilimlerinde nadiren ve ekstra durumlarda kullanılır.



Şekil 1.13. Statik var kompanzasyon

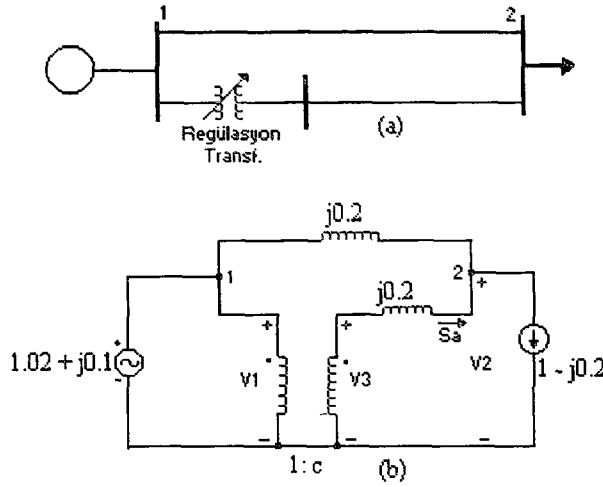
Şimdi hangi fiziksel bileşenin gerekli B değerini sağlayacağını düşünelim. Bazı tesisatlarda senkron kondenser kullanılır (senkron makinalar reaktif gücü dağıtmak veya absorbe etmaek maksadıyla indüktör veya kapasitör olarak dizayn edilirler).

Bu yöntem gayet kullanışlı fakat oldukça pahalıdır. En genel metod paralel kondansatör gurupları (bankaları) kullanmak olup, devreye alınır veya devreden çıkarılır. Bu konuda bir alternatif olan SCRs (silicon - controlled rectifier = silüsyum kotrollu redresör) endüktöre akım akışını şekil (1.13)' de gösterildiği gibi kontrol eder.

Bu teknoloji statik VAR kontrol olarak adlandırılıp (SVC), bütün şönt kompanzasyon seviyesine imkan verir. Endüktörler tamamen devredeyken paralel L - C bankası net endüktif olarak görüldüğü gibi endüktörler tamamen devre dışındaykende L - C bankası kapasitif olur. SCR tetikleme açısı kontrol edilerek, bu noktalar arasındaki tüm değişimler mümkün hale getirilebilir. Birçok bileşen içeren gerilim regülatörleri bara gerilimini kontrol etmek için kullanılan farklı bir yaklaşımdır. Basit olarak bu bileşenler (cihazlar) bire - bir (1:1) çevirme oranlı ve $\pm \% 10$ gerilim değişimi yapabilen ara uç bağlantılı ototransformatörlerdir. Ara uç bağlantıları yük altında değişebilir ve ara uç bağlantısı değişim mekanizması tipik bir motor sürücüsüdür. Gerilim regülatörleriyle gerilim kontrolünün bir farkı bu mekanizmaların iki kapılı (input - output) cihazlar olmasıdır. Böylece çıkış geriliminin artmasıyla eşzamanlı olarak giriş gerilimi düşme eğiliminde olacaktır ki bu istenmeyen durum olabilir. Buna ilave olarak, düşük gerilim tarafında sabit güç akışı için, yüksek akım değerine sahip olmalıyız. Gerilim regülatörleri güç sisteminin dağıtım kısmında, güç kapasitesi orta ve küçük tesislerde, tek ve üç - faz versiyonlarında oldukça geniş bir şekilde kullanılır.

1.4.1.2. Genlik ve Faz Değiştirme Transformatörleriyle Güç Akış Kontrolü

Akım, dolyısıyla güç kirşof kanunlarına uygun olarak bir güç sistem şebekesi boyunca generatörden yüke doğru akan yolları tercih eder. Bilindiği üzere gerilim transformatörleri sistemde belirli bir yol boyunca güç akışını kontrol eder. Gücün bu belirli yol boyunca, regülasyon transformatörlerinin faz ilişkileri ve genlik değişimleri yapılarak akışı kontrol edilebilir (Gross, Power System Analysis, 1986).



Şekil 1.14. Tüm güç kontrolü için örnek sistem (a) Tek hat diyagramı (b) Tek - faz eşdeğer devresi

Özellikle aktif güç akışı P , faz açısı kontrolü ile ve reaktif güç akışı Q genlik kontrolü ile ayar edilebilir. Bu söylenenlerin daha iyi anlaşılabilmesi için şekil (1.14)'teki sistemi göz önünde bulunduralım. Burada bir generatör iki paralel iletim hattı üzerinden bir yükü beslemektedir. Bir regülasyon transformatörü ise bir hat üzerine, bulunduğu yoldaki güç akışını kontrol etmek üzere yerleştirilmiştir. Analizi kolaylaştırmak için generatör ideal bir gerilim kaynağı ve yük bir akım kaynağı olarak modellenmiştir. Regülasyon transformatörü kompleks bir dönüştürme oranına sahip olup, faz ve genlik kontrolüne imkan tanır. Öyleki,

$$\begin{aligned}\tilde{V}_3 &= \tilde{c} \cdot \tilde{V}_1 \\ &= \tilde{c} \cdot (1.02 + j0.1) \\ &= \tilde{c} \cdot (1.0249 \angle 5.6^\circ)\end{aligned}$$

$\tilde{c} = 1 \angle 0^\circ$ iken temel durumu göz önünde bulunduralım, simetriden dolayı hatlar eşit olarak $\tilde{S}_a = 0.5 + j0.1$ yüküyle yüklenir. $\tilde{c}$ ayarının etkisini araştırmak için, devreyi analiz etmemiz gerekmektedir. 2 düğümünde kirşof kanunları uygulanırsa,

$$\frac{\tilde{V}_1 - \tilde{V}_2}{j0.2} + \frac{\tilde{c} \cdot \tilde{V}_1 - \tilde{V}_2}{j0.2} = 1 - j0.2$$

Yukardaki ifade düzenlenirse

$$\tilde{V}_2 = \frac{1}{2} \cdot [(1 + \tilde{c}) \cdot \tilde{V}_1 - 0.04 - j0.2] \quad (1.3)$$

ve

$$\tilde{S}_a = P_a + jQ_a = \tilde{V}_2 \cdot \left(\frac{c \cdot \tilde{V}_1 - \tilde{V}_2}{j0.2} \right)^* \quad (1.4)$$

Eşitlik 1.3 ve 1.4 kontrol edilen hattın yüklenme durumunu hesaplamak için $\tilde{c}$ 'nin bir fonksiyonu olarak kullanılabilir. Sonuçlar tablo - 1' de gösterilmiştir.

Tablo 1. $\tilde{C}$ deki değişim sebebiyle Pa ve Qa daki değişim

$\tilde{C}$	Pa (% Δ Pa)	Qa (% Δ Qa)
$1 \angle 0^\circ$ (temel durum)	0.5000	0.1000
$1 \angle 5^\circ$	0.7137 (+%43)	0.1000 (% 0)
$1 \angle -5^\circ$	0.2825 (- % 44)	0.1000 (% 0)
$1.02 \angle 0^\circ$	0.5100 (+%2)	0.1530 (+%53)
$0.98 \angle 0^\circ$	0.4900 (-%2)	0.0480 (- %52)

Tablodan görüleceği üzere, V_3 geriliminde 5° 'lik bir değişiklik Pa' da +%43'lük bir değişim ve Qa'da hiçbir değişim oluşturmamaktadır. Aynı zamanda V_3 ' ün genliğinde +%2'lük bir değişim Qa'da +%53'lük bir değişim, Pa'da ise %2'lik ufak bir değişim oluşturmaktadır.

Bulunan bu sonuçlar örneğimiz üzerinde oldukça sağlam bir şekilde uygulanmasına rağmen, tabloda resmedilen prensip genel sistemde temel olarak doğrudur. İletim hattındaki faz açısının ilerlemesi aktif güç akışını artıracak (ileriden-geri faz'a doğru) ve genliğin artması ise reaktif güç akışını artıracaktır (yüksekten - alçak gerilime doğru). Yük gücünün temel olarak sabit olması durumunda P veya Q'daki artış veya azalışlar P veya Q daki kompanzasyonun artması veya azalmasıyla sistemdeki paralel akış yolu boyunca düzenlenir.

generatör hızında ani değişikliklere sebep olur. Bundan dolayı yük - frekans ve uyarma gerilim kontrolleri ufak değişimler için birbirini etkilemez ve bunlar birbirinden bağımsız olarak modellenip analiz edilebilir. Yük ihtiyacındaki değişimler şu şekilde belirlenebilir (Nagrathy, Kothari, Modern Power System Analysis, 1982).

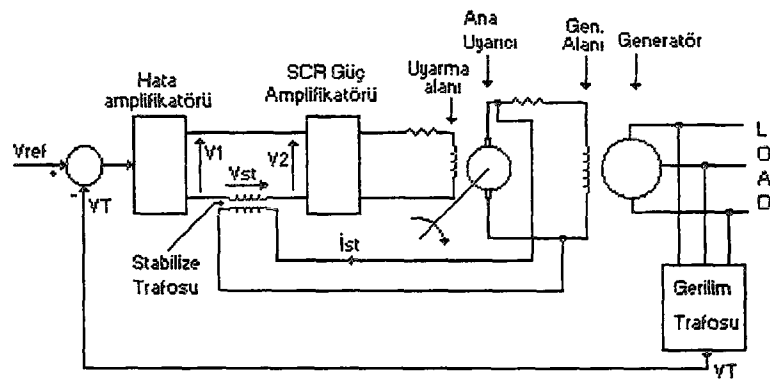
1. Ortalama ihtiyaçta ufak değişiklikler
2. Ortalama etrafında rastgele hızlı değişimler

Regülatörler hızlı rastgele hızlı değişimlere karşı, duyarsız olarak dizayn edilmelidir, aksi halde sistem kontrol elemanları ve döner makinaların yıpranması kolaylaşır.

Radyal bir hatta, yük frekans ve gerilim kontrolünün regülatörler ile nasıl ayar edildiği, ayrıca senkron generatörün sonsuz baraya bağlı olması durumunda sistemin ihtiyacı olan aktif ve reaktif güç ayarının nasıl yapılacağı bir sonraki bölüm olan senkron generatörler kısmında anlatılacaktır.

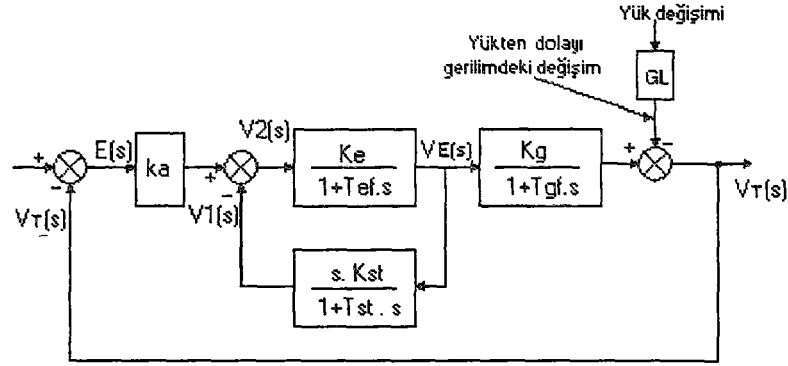
1.4.2.1. Otomatik Gerilim Kontrolü

Şekil (1.16) bir senkron generatör otomatik gerilim regülatörünün şematik diyagramını göstermektedir. Bu regülatör basit olarak bir ana uyarıcıdan oluşur ki bu uyarıcı alternatör alanını uyararak çıkış gerilimini kontrol eder.



Şekil 1.16 Alternatör gerilim regülatörünün şematik diyagramı

Uyarıcı alan, gerilim ve güç amplifikatörleri vasıtasıyla uygun bir şekilde amplife edilmiş olup, hata $e = V_{ref} - V_T$ vasıtasıyla otomatik olarak kontrol edilir. Sistemin blok diyagramı şekil (1.17)'de verilmiş olup, önemli bilşenleri aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 1.17. Alternatör gerilim regülatörünün blok diyagramı

Gerilim transformatörü : Terminal gerilimi V_T 'yi verir.

Fark aracı : Bu sürekli değişen hata değerini verir.

$$e = V_{ref} - V_T$$

Bu hata alternatör uyarımının doğru bir şekilde ayarlanabilmesi için başlangıç değerini oluşturur.

Hata amplifikatörü : Bu ampli hata sinyalinin ayarını bozar ve güçlendirir. Ve bunun kazancı k_a 'dır.

SCR güç amplifikatörü ve uyarıcı alanı : Bu bölüm uyarıcı alan kontrolü için, işarete gerekli güç kuvvetlendirmesini yapar. Amplifikatörü sabit zamanlı kabul ederek (küçük seçilir ki ihmal edebilelim), bütün bu ikisinin transfer fonksiyonu şudur :

$$\frac{K_e}{1 + T_{ef}.s} \quad (1.5)$$

burada Tef, uyarıcı alan zaman sabitidir.

Alternatrör : Bunun alanı ana uyarıcı gerilim V_E tarafından uyarılır. Bu bölüm yük altında değilken, alan akımına orantılı olarak bir gerilim üretir. Yüksüz transfer fonksiyonu :

$$\frac{K_g}{1 + T_{gf} \cdot s} \quad (1.6)$$

burada Tgf, generatör alanı zaman sabitidir. Yükler, bir gerilim düşümüne sebep olup, şematik olarak G_L bloğu tarafından temsil edilmiştir.

Kararlılık trafosu : Tef ve Tgf, sistemin dinamik cevabını bozmak için yeteri kadar büyük zaman sabitleridir. Sistem kontrolünün dinamik cevabı iç - geri besleme çeviriminin türevi ile geliştirilebilir. Sistemdeki geri besleme türevi uyarıcı çıkış gerilimi V_E ile uyarılan kararlılık trafosu yoluyla temin edilir. Kararlılık trafosunun transfer fonksiyonu aşağıda gösterilmiştir.

$$\frac{V_{st}(s)}{V_E(s)} = \frac{s \cdot K_{st}}{1 + T_{st} \cdot s} \quad (1.7)$$

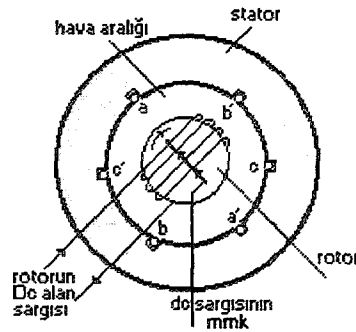
BÖLÜM 2

SENKRON GENERATÖRLER

Senkron generatörler bir güç sisteminin en önemli elemanları olup tüketmiş olduğumuz bütün elektrik enerjisinin birincil üretim kaynağıdır. Dolayısıyla tüm kontrol tiplerinin (senkron generatörün sisteme vereceği aktif ve reaktif güç kontrolü, yük - frekans ve gerilim kontrolü vb.) ilk başlangıcı senkron generatörlerde olmaktadır. Bu çalışmada radyal bir güç sisteminde ve enterkonnekte bir güç sisteminde sırasıyla “yük - frekans ve gerilim” ile “aktif ve reaktif güç” kontrolü değişik yük şartlarında senkron generatörler üzerinde bulanık denetleyici kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu sebepten dolayı genel olarak senkron generatörler incelenecek ve senkron generatörün sisteme vereceği aktif ve reaktif gücün değişen yük şartlarına göre sürekli olarak ayar edilebilmesi için bulanık kontrolör tasarımı yapılacaktır.

2.1. Senkron Generatörler

Şekil (2.1) çok basit bir üç fazlı generatörü göstermektedir. Taralı olarak gösterilen kısım haraketsiz parçadır ve stator veya armatür olarak adlandırılır. Yaklaşık olarak dikdörtgen olan bir bobinin karşıt yanları a ve a' olukları içindedir. Benzer bobinler b ve b' ile c ve c' olukları içindedir.



Şekil 2.1. Basit üç faz a.c. generatörünün silindirik rotorunun kenar görünüşü ve statorun kesiti

a,b ve c oluklarındaki bobin yanları arası 120° dir. Oluklar içinde gösterilem iletkenler bir bobinin yalnızca bir sarımını göstermektedir. Fakat böyle bir bobin genellikle birçok sarıma sahiptir ve belirlenen a ve a' uçlarına sahip bir sargıyı oluşturmak için komşu oluklardaki bobinlerle tüm oluklar seri bağlıdır. b ve b' ile c ve c' uçlu sargılarda armatürün çevresini belirleme dışında a - a' ile aynıdır.

Silindirik rotor bir dc sargısına sahiptir ve rotor sargılarındaki akımın endüklendiği akımın yönü gösterilmiştir. Rotor tahrik makinasıyla döndürüldüğünde stator sargılarında gerilimler endüklenir. İki kutuplu rotorun her bir tam dönüşünde her bir bobinde gerilimin bir periyodu üretilir. Eğer rotor dört kutuplu ve a,b ve c olukları bobin yanları arasında 60° lik mekanik açı bulunmak üzere oluk sayısı iki misli olsa herbir dönüşte iki periyot üretilir. Herbir dönüş periyot sayısının kutup çiftleri sayısına eşit olmasından dolayı, p rotor kutup sayısını, n dakikada rotor dönüş hızını göstermek üzere üretilen gerilimin frekansı :

$$f = \frac{p.n}{120} \quad (2.1.)$$

Rotorun uygun dizaynı ve stator sargılarının armatür üzerinde düzgün aralık ve sayıda yerleştirilmesiyle çıkışta çok saf sinüsoidal gerilimler üretilebilir.

Üç fazlı dengeli bir yük generatöre bağlandığında armatür sargılarında denen üç fazlı stator sargılarından geçen akım dönen rotorda 120° elektriksel açılı sinüsoidal magnetomotor kuvveti oluşturur. Stator akımının meydana getirdiği mmk'ne armatürün mmk reaksiyonu denirki rotorun dc sargısının meydana getirdiği mmk'ne göre kalıcıdır. Hava aralığındaki net akı; stator ve rotorun meydana getirdiği mmk'lerin bileşkesidir.

Bu akı sonucu her fazda oluşan gerilime E_r , generatörün ucundaki gerilime V_t (terminal gerilimi), sargı reaktansına x_1 , faz akımı I_a (armatür akımı) olarak gösterilirse;

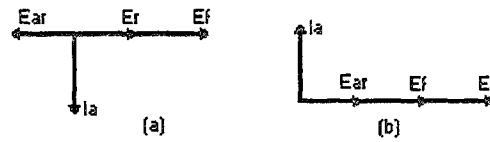
$$V_t = E_r - jI_a x_1 \quad (2.2)$$

bağıntısı verilir. Armatürden akım geçmiyorsa ($I_a = 0$) sargılarda gerilim düşümü olmaz. Yukarıda izah edildiği üzere bu gerilim rotorun dc sargısının ürettiği mmk'nin akısı sebebiyle meydana gelir. a fazındaki bu gerilim E_{ao} veya kısaca E_f ile gösterilir.

Şimdide armatür mmk'sının tesirlerini inceleyelim. Silindirik rotorlu bir generatörün rotoru ile statoru arasında hava aralığı mevcuttur. Bu aralıktaki armatür reaktansı sebebiyle meydana gelen akı, rotorun pozisyonuna bağlı değildir. Mağnetik akı yolu doyuma ulaşmamışsa E_r gerilimi, E_f ile E_{ar} geriliminin vektörel toplamına eşittir. E_f ve E_{ar} gerilimleri sırasıyla dc alan sargısının mmk'sı ile armatür reaktansının mmk'lerine bağlıdır.

Makina teorisine göre armatür veya stator akımı, yüksüz iken üretilen E_f gerilimine göre 90° geridedir. Armatür reaktansının mmk'i yüksüz mmk'ne göre 180° farklıdır. Tam aksine yüksüz gerilime göre 90° ileri olan armatür akımı, yüksüz mmk ile aynı yönde doğrudan ilave edilebilir mmk üretir. Dc alan sargısı akısının oluşturduğu E_{ar} gerilimi birbirine zıt yöndedir (şekil 2.2a). Şekil (2.2b)' de akımının 90° ileride olduğu E_f gerilimi ile E_{ar} aynı yöndedir. Böylece endüktif reaktans X_{ar} 'yi aşağıda olduğu gibi tanımlayabiliriz.

$$E_{ar} = -jI_a x_{ar} \quad (2.3)$$



Şekil 2.2. Generator yüklü iken E_f ile E_{ar} durumunu gösteren fazör diyagramı

(2.3) eşitliği I_a akımına göre E_{ar} geriliminin faz açısını vermektedir. a fazında hava aralığı akısı tarafından üretilen gerilim E_r 'dir. Burada :

$$E_r = E_f + E_{ar} = E_f - jI_a \cdot x_{ar} \quad (2.4)$$

a fazının nõtüre göre terminal gerilimi :

$$V_t = E_f - jI_a \cdot X_{ar} - jI_a \cdot x_1 \quad (2.5)$$

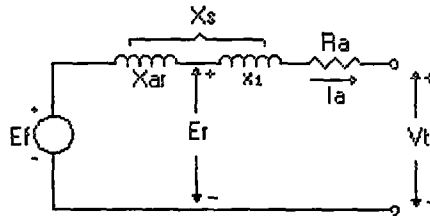
veya

$$V_t = E_f - jI_a \cdot X_s \quad (2.6)$$

Buarada X_s 'e senkron reaktans denir ki $(X_{ar} + x_1)$ toplamına eşittir. Armatür direnci R_a 'da hesaba katılırsa (2.6) eşitliği

$$V_t = E_f - I_a \cdot (R_a + jX_s) \quad (2.7)$$

olur. Genellikle R_a 'nın değeri X_s 'e göre çok küçüktür. Bu sebeple ihmal edilebilir. Eşitlik (2.7)'nin eşdeğer devresi şekil 2.3'te gösterilmiştir.



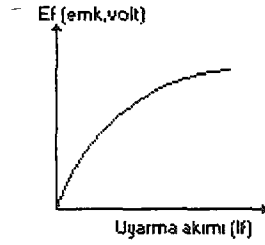
Şekil 2.3. Bir a.c. generatörün eşdeğer devresi

2.1.1. Senkron Generatör Modelinin Parametrelerinin Ölçümü ve Doyma Eğrisi

Alternatörlerin senkron empedansının bulunması için iki deney yapılır. Alternatörün boş çalışma ve kısa devre deneyleridir.

2.1.1.2. Alternatörün Boşta Çalışma Deneyi

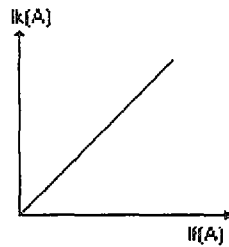
Alternatör senkron devri ile döndürüldükten sonra yavaş yavaş uyarım akımı artırılır ve her uyarım akımına tekabül eden uçlardaki emk'ler voltmeterden okunarak tesbit edilir. Bu değerlerle alternatörün boşta çalışma karakteristik eğrisi çizilir. (Şekil 2.4.)



Şekil 2.4. Alternatörün boşta çalışma karakteristik eğrisi

2.1.1.3. Alternatörün Kısa Devre Deneyi

Alternatör ampermetrelerle kısa devre edilir. Alternatör senkron devirle döndürülür ve yavaş yavaş uyarım akımı artırılır ve uyarım akımında geçen kısa devre akımı tesbit edilir. Normal akımın 1,5 veya 2 katı kadar akım geçinceye kadar uyarımın artırılmasına devam edilir. Alınan değerlerle kısa devre karakteristiği çizilir. (Şekil 2.5)



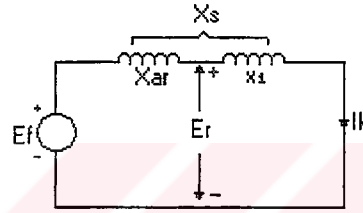
Şekil 2.5. Alternatörün kısa devre karakteristiği

Senkron reaktans, boşta çalışma ve kısa devre deneylerinden alınan verilerle bulunabilir. Şöyleki açık devre ve kısa devre senkron generatör çıkış gerilimlerinin yaklaşık aynı

uyarma akımlarında olduğu kabulü ile, açık devre faz - nötr geriliminin kısa devre akımına oranı senkron reaktansı verir.

$$X_s = \frac{V_t \sqrt{3}}{I_k} \quad (2.8.)$$

Burada açık devre anındaki uyarma akımı I_f ile kısa devre anındaki uyarma akımı I_f^* yaklaşık olarak birbirine eşittir. Kısa devre anında ise senkron generatör modeli şekil (2.6.)'da olduğu gibidir.



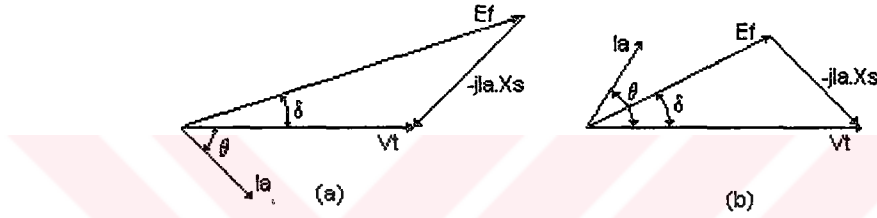
Şekil 2.6. Senkron generatörün kısa devre modeli

2.2. Senkron Makina İkazının Etkileri

Reaktif güç akışında ve bunun kontrolunda ikazın tesirleri önemli bir faktördür. Generatörün çok büyük bir güç sistemine bağlandığını kabul edelim. Generatörün ikazı ne kadar değiştirilirse değiştirilsin, çıkışındaki V_t gerilimi değiştirilmez. Generatörün bağlandığı bu tip baralara sonsuz güç barası denir. Böylece sonsuz güç baralarına bağlanan generatörlerle makinanın alan ikazı veya giriş gücünde yapılan değişiklik ne olursa olsun baranın ne gerilimi ne de frekansı değiştirilebilir. Eğer generatörden sisteme belli bir güç vermek istersek vereceğimiz güç $|V_t| \cdot |I_a| \cdot \cos\theta$ ile ifade edilecektir. Bizim ikazı değiştirmemiz $|E_f|$ 'yi değiştirecektir. $|E_f|$ 'nin yüksek ve düşük değerleri için generatörün fazör diyagramları şekil (2.7)'de verilmiştir. δ açısına makinanın kuvvet meydana getiren açısı (torque) veya yük açısı denir. Aşağıdaki eşitliğin gerçekleşmesi halindeki ikaza normal ikaz denir.

$$|Ef| \cos \delta = Vt \quad (2.9)$$

Şekil (2.7a)'de generatör aşırı ikazlanmış ve ürettiği akım geridedir (akım endüktiftir). Makina, sisteme reaktif güç veren kapasite gibi sistemden ileri akım (kapasitif akım) çekiyor diyebiliriz. Şekil (2.7b)'de sisteme ileri akım veren zayıf ikazlanmış generatör içindir. Buna sistemden geri akımda çekiyor diyebiliriz. Az ikazlanmış generatörler sistemden reaktif güç çekerler. Bu özellik armatür reaksiyonun mmk'i ile açıklanabilir. Mesela generatör aşırı ikazlandığında onu düşürmek için, geri akım bir zıt mmk üretelir ve sisteme geri akım verilir (Sarioğlu, Elektrik Makinaların Temelleri, 1980).



Şekil 2.7. (a) aşırı ikazlanmış (b) az ikazlanmış generatörlerin fazör diyagramlarını göstermektedir. I_a generatörün ürettiği akımdır.

2.3. Senkron Makinalarda Yük Açısı

Şekil (2.7)'deki E_f ile V_t arasındaki yük açısını inceleyelim. Kararlı durumda bir generatörün büyük bir enerji sistemini beslediğini düşünelim. Bu durumda V_t ile E_f gerilimleri δ açısı oluşur ve E_f gerilimi V_t gerilimine göre ilerdedir. Generatörün rotoruna daha fazla mekanik güç uygulanır ve E_f sabit tutulursa rotorun dönüş hızı ve E_f ile V_t arasındaki açı artar. δ artınca artan δ' 'ya bağlı olarak I_a akımı artar θ açısı azalır. Kayıplar ihmal edilirse generatörün rotoruna uygulanan mekanik güç generatörün şebekeye verdiği güce eşit olur. Sistemin frekansı sabit tutulduğundan generatör tatbik edilen mekanik gücü, δ açısını değiştirerek sonsuz baraya verir. Böylece dengeyi temin eder.

Generatörlerde δ açısına bağlı olarak verilen güç bağıntısı $P + jQ$ ilede verilebilir. Eğer :

$$V_t = |V_t| \angle 0^\circ \quad \text{ve} \quad E_f = |E_f| \angle \delta^\circ$$

Burada V_t ve E_f gerilimleri volt ile birimlendirilebilir.

Buradan

$$I_a = \frac{|E_f| \angle \delta^\circ - |V_t|}{jX_s} \quad (2.10)$$

$$I_a^* = \frac{|E_f| \angle -\delta^\circ - |V_t|}{-jX_s} \quad (2.11)$$

Buradan

$$P + jQ = V_t \cdot I_a^*$$

$$P + jQ = \frac{|V_t| \cdot |E_f| \angle (-\delta^\circ) - |V_t|^2}{-jX_s}$$

$$P + jQ = \frac{|V_t| \cdot |E_f| \angle (90^\circ - \delta^\circ) - |V_t|^2 \angle 90^\circ}{X_s} \quad (2.12)$$

(2.12) eşitliğinin reel kısmı

$$P = \frac{|V_t| \cdot |E_f|}{X_s} \cos(90^\circ - \delta) = \frac{|V_t| \cdot |E_f|}{X_s} \sin(\delta) \quad (2.13)$$

sanal kısmı

$$Q = \frac{|V_t| \cdot |E_f|}{X_s} \cdot \sin(90^\circ - \delta) - \frac{|V_t|^2}{X_s}$$

$$Q = \frac{|V_t|}{X_s} \cdot (|E_f| \cdot \cos \delta - |V_t|) \quad (2.14)$$

(2.13) ve (2.14) eşitliklerinde V_t ve E_f için volt'tan ziyade per-unit değerler kullanılır. Burada V_t ve E_f gerilimlerinin faz - nötr gerilimleri olduğuna dikkat edilmelidir. P ve Q değerleride her faz için aktif ve reaktif güçlerdir. Şayet V_t ve E_f gerilimleri faz - faz gerilimleri olarak alınırsa P ve Q değerleri 3 fazın toplam değerini verir. İstenilen tek - faz gücü veya toplam 3 faz gücü (2.13) ve (2.14) eşitliklerinden bulunan P ve Q per-ünit değerlerinin 3 faz baz MVA veya baz MVA değeri ile çarpılmasıyla bulunur.

Aynı zamanda (2.13) eşitliği X reaktansı üzerinden iki barayı birleştiren, baranın birinden diğerine aktarılan gücü gösterir. Şayet bara gerilimleri V_1 ve V_2 ise ve V_1 gerilimi V_2 gerilimine göre δ açısı kadar ileride ise

$$P = \frac{|V_1| \cdot |V_2|}{X} \cdot \sin \delta \quad (2.15)$$

yine aynı mantığa göre (2.12) eşitliğinden 2 nolu baradan çekilen Q:

$$Q = \frac{|V_2|}{X} \cdot (|V_1| \cdot \cos \delta - |V_2|) \quad (2.16)$$

2.2. Alternatörlerin Devir - Yük Karakteristikleri

Herhangi bir alternatör yüklendilçe alternatörü döndüren tahrik mekanizmasının (su türbini, dizel motoru, buhar türbini vb.) devir regülatörü alternatöre verilen gücü otomatik olarak ayarlar. Devir regülatörlerinin ayarlama karakteristikleri değişik olabilir.

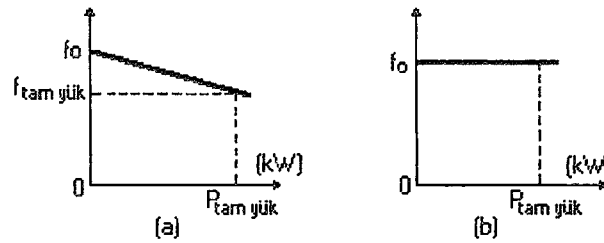
Herhangi bir alternatörün baştaki devri ile, tam yükteki devri arasında fark vardır. Yani alternatör yüklendikçe devri biraz düşer. Alternatörün yük ile devrinin değişimini gösteren eğriye, devir regülatörünün devir - yük karakteristiği denir. Devir değişiminin yüzde olarak ifade edilmesine, yüzde devir değişimi veya yüzde devir regülasyonu denir.

$$\% \text{ devir değişimi} = \frac{n_{\text{boş}} - n_{\text{tam yük}}}{n_{\text{tam yük}}} \times 100 \quad (2.17)$$

formülü ile bulunur. Alternatörde devir ile frekans doğru orantılıdır. Alternatörün kutup sayısı sabit olduğuna göre, yüzde devir değişimi yüzde frekans değişimine eşittir. Boştaki frekans ile tam yük frekansı arasındaki farkın tam yük frekansının yüzdesi olarak ifade edilmesidir,

$$\% \text{ frekans değişimi} = \frac{f_o - f_{\text{tam yük}}}{f_{\text{tam yük}}} \times 100 \quad (3.18)$$

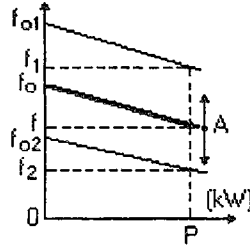
Şekil (2.8a) deki gibi karakteristiği olan devir regülatörüne meyilli karakteristikli regülatörler denir. Burada her frekans muayyen bir yükte elde edilir. Eğer alternatörün tam yük frekansı ile boştaki frekansı aynı olursa, böyle karakteristikli regülatöre şekil (2.8b) yatay karakteristikli regülatör denir.



Şekil 2.8. Devir regülatörlerinde (a) meyilli karakteristik (b) yatay karakteristik

Meyilli karakteristikli bir devir regülatörünü ayar ederek alternatöre giren mekanik enerji artırılırsa, şekil (2.9)'da görüldüğü gibi karakteristik yukarıya doğru kayar. Tam yük frekansı f ve boştaki f_o iken, tam yük frekansının f_1 ve boştaki frekansında f_{o1} gibi daha

yüksek değere çıktığı görülür. Regülatörü ayarlayarak alternatöre verilen mekanik enerji azaltılırsa, karakteristik eğrisi aşağıya doğru kayar(Saçkan, Senkron Makinalar, 1974).



Şekil 2.9. Alternatöre giren mekanik enerjinin artırılması veya azaltılması durumunda devir regülatörü karakteristiğinin değişimi

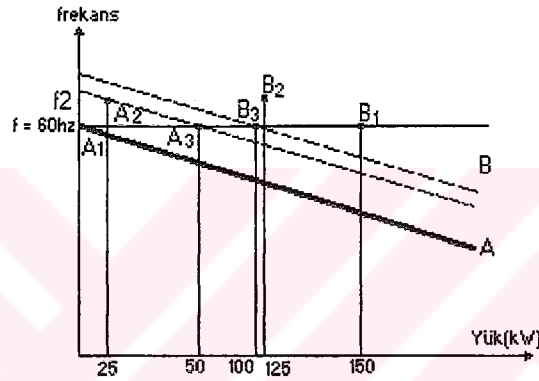
2.3.1. Meyilli Devir - Yük Karakteristikleri Aynı Olan İki Alternatörde Yükün Bölüşülmesi

İki eş alternatörün devir - yük regülatörlerinin karakteristikleri aynı olduğuna göre, yük transferi şekil (2.10)'da görülmektedir.

B alternatörü 60 hz frekansında 150 kW'lık yükü besliyor. B'nin eşi olan (güçleri, senkron empedansları, etkin dirençleri aynı olan) A alternatörü henüz B'ye yeni bağlanmış ve hiçbir yük taşımıyor. B alternatörü B₁, A da A₁ durumundadır. Bir miktar yükün, sistemin frekansını değiştirmeden, B'den A'ya aktarılması için her iki alternatörün devir regülatörlerini ayarlamak gerekir.

B yükünün 1/3'ünü A'ya aktarmak istediğimizi düşünelim. Yani B alternatörü 100kW'lık yükü taşıırken A alternatöründe 50 kW'lık yük taşıyacaktı demektir. A alternatörünün devir regülatörünü ayarlayarak tahrik makinasına verilen enerjiyi artırdıkça A'nın devir - yük karakteristiği yukarı doğru kayar, makinanın devri yükselir ve A üzerine yük almaya başlar. Bu şekilde A'nın üzerine 25 kW'lık yük aktarıncaya kadar devir regülatörünün ayarlanmasına devam edilir. Bu durumda B alternatörü üzerindeki 25kW'lık yük kalktığı için devir biraz artar ve sistemin yeni frekansı f₂ de A alternatörü A₂ ve B de B₂

durumundadır. A 25 kW'lık B'de 125 kW'lık yükü taşımaktadırlar. B alternatörünün devir regülatörünü ayarlayarak tahrik makinasının dolayısıyla B alternatörüne verilen enerji yavaş yavaş azaltıldıkça B alternatörü üzerinden yük atmaya başlar, ve A alternatörü yüklendikçe devri düşer (noktalı karakteristikte A_2 'den A_3 'e doğru gelir.) B alternatöründe de karakteristiği aşağı doğru kayarak noktalı hat durumuna gelir. Bu şekilde 25 kW'lık daha yük alan A alternatörü A_3 durumunda 50 kW yükü beslerken, B alternatörü de B_2 'den itibaren üzerinden 25 kW'lık daha yük atarak B_3 durumunda 100 kW'lık yükü beslemeye başlar.



Şekil 2.10. Meyilli devir - yük karakteristikleri aynı olan iki alternatörde yükün bölüşülmesi

Sistemin 60'ın üstündeki frekansı f_2 tekrar 60 Hz'e düşer. Bu şekilde iki eş alternatörün devir regülatörlerini ayarlamak suretiyle alternatörler arasında arzu edilen yük taksimi gerçekleştirilebilir.

2.4. Şebekeye Paralel Bağlı Senkron Makinada Aktif ve Reaktif Güç Ayarı

Burada şebeke deyimini iç empedansı ihmal edilecek kadar küçük olan, sabit gerilimli ve göz önüne alınan makinaya göre sonsuz güçlü bir kaynak anlamında kullanılmaktadır. Senkron makina böyle bir şebekeye bağlı olduğundan, uç gerilimi V_t sabittir; öte yandan makinanın parametreleri R_a , X_s 'de sabittir. O halde, burada aktif ve reaktif güç kontrolunda, yalnız E_f yada buna ilişkin uyarma akımı ve makinanın miline verilen moment değiştirilebilir.

2.4.1. Senkron Generatörde Reaktif Güç Ayarı

Senkron generatörde, sonsuz büyük şebekeyle paralel çalışmada uyarma kontrolü, kendisinin endüklediği emk'yi değiştirir ve sadece makinanın reaktif gücü etkilenir. Aktif güç sabit kalır.

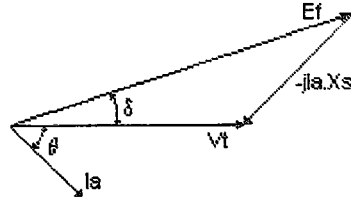
Makinanın aktif gücü iki yolla belirtilebilir. Birincisi olarak generatörün uç şartlarından :

$$P = V_t \cdot I_a \cdot \cos \theta \quad (2.19)$$

yazılır. İkincisi ise, stator direnci ihmal edilerek ,yük açısı, senkron reaktansı ve uyarmanın endüklediği geriliğin bakımından

$$P = \frac{E_f \cdot V_t}{X_s} \cdot \sin \delta \quad (2.20)$$

yazılır. Generatörün şekil (2.11)'deki fazör diyagramı ile gösterilen şartlarda çalışırken uyarmanın artırıldığını düşünelim.



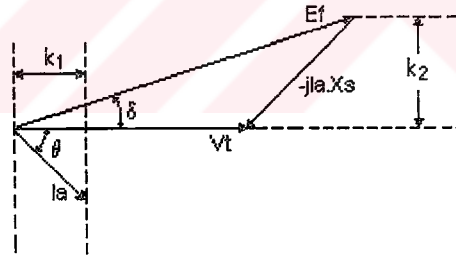
Şekil 2.11. Generatörün başlangıç şartlarına ait fazör diyagramı

Makinanın uç gerilimi V ve aktif gücü P sabit kalacağından (2.18) ve (2.19) denkleminde :

$$I_a \cdot \cos \theta = k_1$$

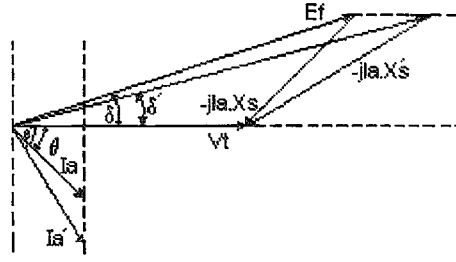
$$E_m \cdot \sin \delta = k_2$$

yazılır ve bu değerler uyarmanın değişmesinden etkilenmeyecek ve sabit kalacaktır. Uyarmanın artırıldığını düşünmüştük, dolayısıyla E_f fazörü büyüyecektir. k_1 ve k_2 sabitleri şekil (2.12)'deki fazör diyagramında gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Kontrol sınırları

Uyarma akımının artmasıyla, E_m fazörü k_2 sınırları içinde büyüyecektir. Akım ise $I_a \cdot \cos \theta$ sınırları içinde değişecektir. E_f 'nin yeni değerine E_f' akımın yeni değerine I_a' dersek şekil (2.13)'deki fazör diyagramını çizebiliriz.

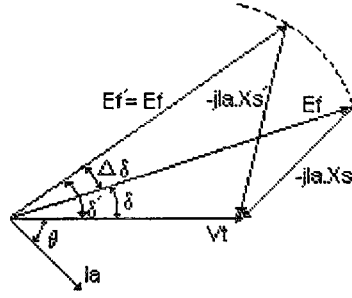


Şekil 2.13. Sabit uç gerilimi ve aktif güçte Ef uyarma geriliminin artması

Fazör diyagramından da görüleceği gibi, uç gerilimi V_t ile yük akımı I_a arasındaki açı büyümüştür. Akımın aktif bileşeni sabit kalırken reaktif bileşeni değişmiş, dolayısıyla generatörün şebekeye verdiği reaktif güç artmıştır. Başka bir deyişle generatör endüktif yüklenmiştir.

2.4.1.2. Senkron Generatörde Aktif Güç Ayarı

Bu kez dikkatlerimizi şebeke ile paralel çalışan makinanın P aktif gücünün nasıl ayarlanıp kontrol edildiği konusu üzerine toplayalım. Yukarıda anlatıldığı üzere aktif güç uyarma akımı ile değişmemektedir. Uyarma akımı sabit olan bir makinada E_f gerilimi sabittir. O halde aktif gücü ayarlamak için $\sin \delta$ 'yı yada δ yük açısını değiştirmek lazımdır. Şimdi de δ 'nin nasıl ayarlandığını inceleyelim. V_t sonsuz büyük şebekeyi gösteren fazör olduğuna göre, bunun doğrultusu sabittir. Fazör diyagramından görüldüğü gibi E_f geriliminin fazörü, kutup akısı tarafından meydana getirilir. Kutupların konumunu belirleyen δ açısında $\Delta \delta$ kadar değişme kutupların konumunun $\Delta \delta$ kadar kayması demektir. Böylece kutupların konumu $\Delta \delta$ açısı kadar değişince, E_f fazöründe $\Delta \delta$ kadar kayar. Kutupların konumunu $\Delta \delta$ kadar ileriye kaydırmak için generatörün miline uygulanan M momentini artırmak ve çok kısa bir sürede makinayı ivmelendirmek lazımdır. Örneğin, şebekede paralel çalışan generatörlerin bulunduğu su santrallerinde, generatörü döndüren su türbinlerinin su vanasını açarak, su miktarını artırmak yolu ile M momentini büyüterek, dizel elektrojen gruplarında dizel motorun yakıtını artırmak ve buhar santrallerinde buhar miktarını artırarak yine M momentini büyüterek aktif güç ayarı yapılır. (şekil (2.14))



Şekil 2.14. Yuvarlak kutuplu senkron generatörde aktif güç ayarı

BÖLÜM 3

BULANIK MANTIK (FUZZY SET THEORY)

Bulanık küme teorisi, klasik küme teorisine alternatif olarak L.A.Zadeh (Zadeh, Fuzzy Sets, 1965) tarafından ortaya atılmıştır. Zadeh bu çalışmasında klasik küme teorisinin tanımlayamadığı kümelerden hareket ederek, bu tanımlara ulaşmanın yollarını araştırmıştır. Zadeh'e göre gerçek dünyada bir kümenin elemanları arasında ilişkiler tam olarak tanımlanamamaktadır. Bundan dolayı sözü edilen kümede ortaya atılan problemler kolaylıkla çözülememektedir. Klasik küme teorisinden kaynaklanan bu problem, klasik mantığın kabülü olan var - yok çiftinin ara değerlerini aramakla yok edilebilir.

Bulanık küme teorisinin ortaya atılmasından sonra, Zadeh(Lemke, Aplication of Fuzzy Controller in a Warm Water Plant, 1976) 1973'te yayınladığı notlarında, bulanık küme teorisinin en büyük yaklaşıklıkla insan'ın karar verme sistemini modelleyebilecek yeterlikte olduğu fikrini ortaya atmıştır. Zadeh'in peşinden giden araştırmacılar konunun genişliğinden dolayı pekçok dala ayrılmışlardır. Bulanık mantık teorisinin geçirdiği önemli aşamaları şu şekilde sıralayabiliriz :

Bulanık mantık teorisinin geçirdiği önemli aşamalar (Süreç,1994):

1965 Bulanık küme teorisi (Prof. Lotfi A. Zadeh, California)

1966 Bulanık mantık (Dr. Peter N.Marinos, Bell Laboratuvarı)

1972 Buhar türbini denetiminde bulanık mantık uygulaması (Prof. E.H.Mamdani, Queen Mary Colege, University of London)

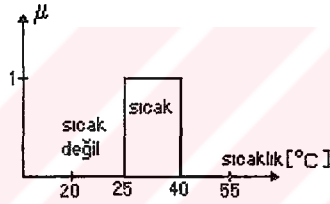
1980 Çimento sanayiinde uygulama (F.L. Smidth, Kopenhag, Danimarka)

1987 Sendai Metrosu'nda otomatik tren denetimi (Hitachi)

1989 Japonya'da LIFE (Laboratory for International Fuzzy Engineering) Laboratuvarının kurulması

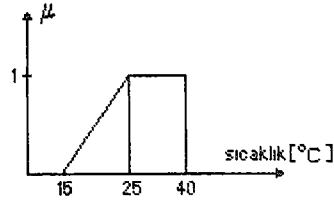
3.1. Bulanık Mantık İle Klasik Mantığın Karşılaştırılması

Bulanık mantıkta, herhangi bir nesne bir kümeye ya aittir yada değildir. Bu “0” yada “1” değerinde oluşan ikili mantıktır. Bunun ortası yoktur. Bulanık mantıkta ise elemanlar kümeye kısmen aittir. Ayrıca aynı anda birçok kümeye de ait olabilir. Örneğin hava %30 “serin” olabilir ve aynı zamanda %70 “serin değil” olabilir. Bulanık mantık konusunda tek kısıtlama, bir nesnenin tamamlayıcı gruptaki üyelik derecelerinin toplamının bir olması koşuludur. Farkı daha iyi anlayabilmek için bir örnek ele alalım. Klasik mantık teorisine göre 25 °C’de hava sıcak 24 °C’de ise hava sıcak sayılmaz. (şekil 3.1)



Şekil 3.1. Klasik küme anlayışı

Doğal olarak bu mantığın hiçbir esnekliği yoktur. Gerçek dünyada ise sınırlar bu kadar esnek değildir. Tam tersine, olayların belli bir esneklikte olması istenir. Bulanık mantık kesin ifadeleri (siyah/beyaz , sert/yumuşak) az, çok ve biraz gibi terimlerle yumuşatıp, biraz sert çok yumuşak gibi ifadelere dönüştürerek insan düşünme mantığına benzettir. Şekil (2.2)’de görüldüğü gibi sıcaklık 25 °C’de maksimum üyelik derecesine 15 °C’de minimum üyelik sahiptir.



Şekil 3.2. Bulanık gösterim

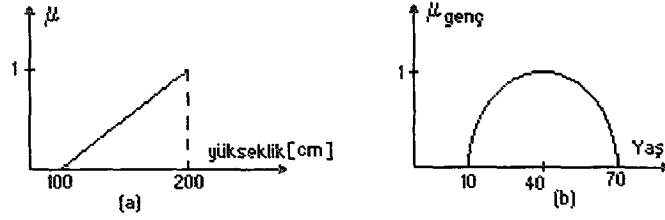
3.2. Matematiksel Semboller ve Tanımlar

Birinci bölümde bulanık mantığın nı olduğu, neden gerek duyulduğu ve geçirdiği aşamalar ele alındı. Bu bölümde ise bulanık mantığın temellerini oluşturan bulanık kümeleri ve işlemleri ele alacağız.

3.2.1. Bulanık Kümeler :

3.2.1.1. Belirsizlik Miktarı :

Birçok dilde belirsizlik ve çok anlamlılık ifadeleri yer alır. Mesela kısa boylu kişi dediğimizde bu kişinin kısa olup olmadığını net bir şekilde saptayamadığımız gibi, genç insan dediğimizde de net bir şey söylemek mümkün değildir. Buradaki belirsizlikler genç ve kısa sıfatından gelmektedir. Buradan da anlaşıldığı gibi kelimeler genellikle nitelikselidir. Fakat gençlik veya kısalık miktarları üyelik derecesi ile anlatılabilir. Özellikle mühendislikte fiziksel olayları tanımlamak için miktarlar kullanılır. Genç ve kısa anlam belirsizliklerini bir kere daha ele alalım. Örneğin ; 100 cm’den 200 cm ‘ ye kadar olan bölgeyi incelediğimizizde, yatay eksen ; x (cm) : yükseklik derecesi , dikey eksen ; μ : üyelik fonksiyonunu göstermektedir. İkinci şekilde 10’ dan 70’ e kadar olan yaşlar ele alınmaktadır.



Şekil 3.3. (a) Uzunluk derecesi (b) Gençlik derecesi

Grafiklerden de görüldüğü gibi yatay eksen bir boyutlu uzayda yükseklik ve yaş ifadesi; dikey eksen belirsizlik derecesidir (miktarıdır). Kelime anlamı özel bir bölgenin miktarıdır. Bu bölge (ara) 100cm-200cm arasıdır.

Bulanık küme teorisi; küme teorisi içindeki grafiklerdeki kelime anlamlarının miktarıyla çalışır. Pratik bakış açısından küme teorisi belirsizlik miktarı (quantification of ambiguity) için gerekmez. Fakat küme teorisi yapısı içinde çalışmakla kullanım alanının artması mümkündür. Çünkü küme teorisi çok basit bir fikirdir ve çağdaş matemağın tüm alanları ile bağlantısı vardır. Bulanık küme teorisinde kullanılan bazı semboller aşağıda verilmiştir.

X : Tüm küme

E : X 'in alt kümesi

$\{0,1\}$: 0,1 kümesi

$[0,1]$: 0'dan 1'e gerçel sayı aralığı

XE : E kümesi karakteristik değeri

$a \wedge b$: a ve b 'nin minimum değeri

$a \vee b$: a ve b 'nin maksimum değeri

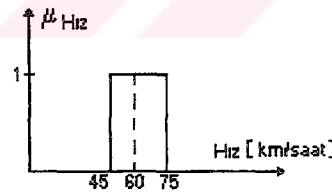
3.2.1.2. Bulanık Küme Tanımı

Daha önceki bölümde de anlatıldığı gibi geleneksel küme teorisine yeni bir anlayış getirmiştir. Geleneksel küme teorisinde bir eleman bir kümeye ya aittir yada değildir. Ancak normal insanın karar verme sürecinde kesin farklar, kesin ayrılıklar çoğunlukla

bulunmaz. Örnek olarak bir insanı zeki olarak nitelemek anlamsızdır. Çünkü tüm insanların zekilik dereceleri aynı değildir. Ancak bir insanın zeki kabul edildiği bulanık dereceleri vardır. Küme sınırlarındaki bu belirsizlik (bulanıklık), bulanık küme teorisinde 0 ve 1 arasında değerler alabilen bulanık küme belirsizliğin miktarı olarak tanımlanabilen “üyelik fonksiyonu” ile ifade edilebilir. Geleneksel küme teorisinde üyelik fonksiyonları sadece 0 ve 1 değerlerini alabilir. Bulanık küme teorisinde; eğer X tüm olası noktaların uzayısıysa (söylem evreni - universe of discourse), X 'teki bir A bulanık kümesi, $\mu_A(x)$, $x \in X$ herbir gerçek sayı noktasıyla belirlenir (Vürk, Digital Computer Control System, 1991).

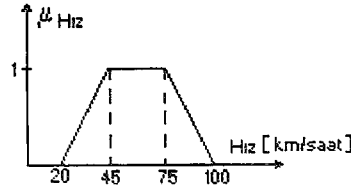
$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\}$$

Böylece, $\mu_A(x)$ ' in bire yakın değeri x 'in üyelik düzeyinin en büyük değeridir. Bu yöntemle bilgideki kesinsizlik ve nitelik tam olarak ifade edilebilir. Bir örnek verilirse, “20 km/saat'ten 100 km/saat'e hız aralığının” dilsel anlatım ifadesi gerekebilir. Yada 60 km/saat civarı hızlar gibi bir anlamda ifade edilmesi gerekir. Klasik küme kesin bir sınırlama koyar, (örneğin ± 15 km/saat) ve hızın sınırların içinde olup olmamasına göre 0 ve 1 değerlerini alan üyelik fonksiyonları ile belirtilir. (Şekil 3.4)



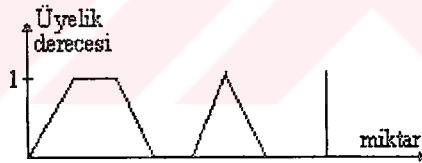
Şekil 3.4. Bulanık olmayan hız kümesi

Aynı durumda bir bulanık küme üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibidir. (Şekil 3.5)



Şekil 3.5 Bulanık hız kümesi

Klasik kümenin kesin bir sınırı vardır. Bu sınır üyeliği yada üyelik dışı olmayı belirtir. Oysa bulanık kümenin üyeliği derece derece geçiştedir. Geçiş şekli kullanıcı tarafından seçilir ve değişik biçimlerde olabilir. Bulanık lojikte üyelik aralığının alabileceği en büyük değer 1, en küçük değer ise 0, dır. Bu 1 veya 0 üyelik aralığı (grade of membership) olarak adlandırılır. Üyelik aralığı belirli bir değerın bir bulanık küme içerisinde yer almasını güvenilirliğinin (confidence) veya eminliğinin (certainty) bir işaretidir. Üyelik işlevleri biçimsel olarak, denetlenen sürecin özelliklerine göre değişik şekillerde olabilir. Fakat şu ana kadar optimal bir biçim seçimi tam olarak yapılamamıştır. Çeşitli şekillerde “üyelik fonksiyonları” (membership function) vardır. Bu tamamen uygulanan sistemin özelliklerine bağlıdır. (şekil 3.6)



şekil 3.6. Çeşitli üyelik fonksiyonları

Farklı uygulamalarda çeşitli sayıda ve isimde etiket kullanılmaktadır. Fakat genelde 7 ayrı etiket (label) kullanılır. Bunlar :

NB :Negatif büyük (NB : Negative big) ;NO :Negatif orta (NM : Negative medium) ; NK :Negatif küçük (NS : Negative small) ;SF :Sıfır (Z : Zero);PK :Pozitif küçük (PS : Positive small);PO :Pozitif orta (PM : Positive);PB :Pozitif büyük (PB : Positive big); Bu etiketin dışında PVB (Positive very big), PVS (Positive very small) gibi etiketlerde bazı uygulamalarda kullanılır.

Üyelik fonksiyonlarından üçgen, yamuk, çan ve monolitik üyelik fonksiyonları hem giriş hem de çıkış değerlerini tanımlamakta kullanılabilmesine rağmen, monotonik üyelik fonksiyonu sadece çıkış değerlerini tanımlamakta kullanılır.

3. 2.2. Keskin (Crisp) Kümeler

Keskin kümeler açıl şekilde tanımlanan sınırlara işaret eder (Sugeno,1993).

E X 'in alt kümesi ise,

$$x_E(X) = \begin{cases} 1 & \dots\dots\dots x \in E \\ 0 & \dots\dots\dots x \notin E \end{cases} \quad x: \text{Karakteristik fonksiyon}$$

Derece iki değerlidir. Eğer $x \in E$ 'yi içeriyorsa 1, E ' yi içermiyorsa 0 olur. Başka bir deyişle

$$x \in E: x \rightarrow \{0,1\} \quad (3.1)$$

Keskin kümeler için 3 temel işlem vardır. Birleşme, kesişim ve tümleyen (compenent).

Birleşim:

A ve B bulanık kümelerin birleşimi $A \cup B$ aşağıdaki üyelik fonksiyonuyla tanımlanan bulanık kümedir. Bulanık kümeleri, diğer kümelerden ayırmak için “ $\sim$ ” notasyonu kullanılabilir.

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \quad (3.2)$$

Kesişim:

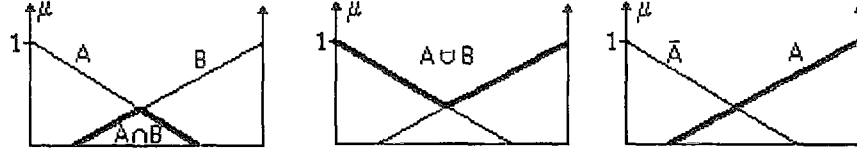
A ve B 'nin kesişimi $A \cap B$

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \quad (3.3)$$

Tümleyen:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (3.4)$$

Şekil (3.7)'de bulanık kümelerde birleşim, kesişim ve tümleyen durumları, üyelik eğrileri üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.7. (a) Birleşim (b) Kesişim (c) Tümleyen

Aynı tanımlar keskin kümeler için de geçerli olmak üzere birleşim, kesişim ve tümleyen işlemleri aşağıdadır :

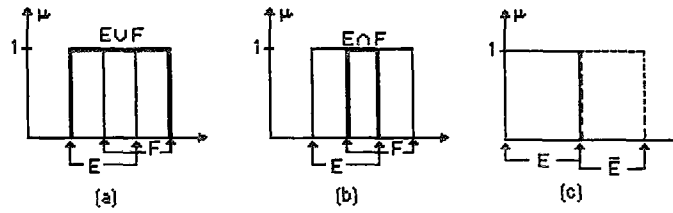
$$E \cup F = \{x \mid x \in E \text{ veya } x \in F\} \quad (3.5)$$

$$x_1(x) = x_E(x) \vee x_F(x)$$

$$x_2(x) = x_E(x) \wedge x_F(x) \quad (3.6)$$

$$x_3(x) = 1 - x_E(x)$$

Şekil (3.8)'de ise keskin kümelerde birleşim, kesişim ve tümleyen durumları verilen üyelik fonksiyonları üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Keskin kümelerde (a) Birleşim (b) Kesişim (c) Tümleyen

Söylem evreni ; X destekleme noktası olarakta adlandırılabilir. X sonlu bir bulanık küme olmak üzere

$$X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$$

X'teki bir bulanık küme (alt küme) A ise,

$$A = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} = \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_A(x_n)}{x_n} \quad (3.7)$$

Burada (+) işareti aritmetik toplamdan çok küme teorisindeki bileşim işlemidir. $\mu(x)/x$ gösterimi de bölüm işlemi değil, söylem evrenindeki bir değere karşılık gelen özel bir üyelik fonksiyonunu gösterir. Eğer destekleme kümesi X sonsuz ise ; ifade şu hale gelir.

$$A = \int_x \frac{\mu_A(x)}{x} \quad (3.8)$$

Söylem evreni $X = \{0,1,2,3,4,\dots,10\}$ üzerinde yaklaşık 5 eşit üyelik değerine sahip bir bulanık küme düşünelim. Bu kümeyi şu biçimde tanımlayabiliriz.

$$A = \frac{0}{0} + \frac{0.2}{1} + \frac{0.4}{2} + \frac{0.6}{3} + \frac{0.8}{4} + \frac{1}{5} + \frac{0.8}{6} + \frac{0.6}{7} + \frac{0.4}{8} + \frac{0.2}{9} + \frac{0}{10} \quad (3.9)$$

3.2.3 Temel Bulanık İşlemler ve Bağıntılar

Kapsama :

X ve T iki bulanık küme ve T, X kümesinin elemanlarını içeriyorsa X T'nin alt kümesidir.

$$X \subset T \text{ ise } \mu_X \subset \mu_T \quad (3.10)$$

Değil İşlemi:

Bulanık X alt kümesinin değili $\bar{X}$ ile gösterilir. Bu durum aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\bar{X} = \int_y \frac{1 - \mu_X(y)}{y} \quad (3.11)$$

Ayrıca değil işleminde ;

$$\mu_X(y) + \mu_{\bar{X}}(y) = 1 \quad (3.12)$$

şartıda gerçeklenmek zorundadır.

Bulanık kümeler, basit tanımlamalarla sıradan kümelere benzer biçimde işleme tabi tutulurlar. Bu işlemleri örneklerle açıklayalım.

$X = [0,10]$ 'un büyük orta ve küçük olarak adlandırılabilcek bulanık kümelerini düşünelim. Bunlar şu şekilde olsun :

$$\begin{aligned} \text{Büyük} &= \frac{0}{0} + \frac{0}{2} + \frac{0.1}{4} + \frac{0.3}{6} + \frac{0.6}{8} + \frac{1}{10} \\ \text{Orta} &= \frac{0.3}{0} + \frac{0.6}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \frac{0.6}{8} + \frac{0.3}{10} \\ \text{küçük} &= \frac{1}{0} + \frac{0.6}{2} + \frac{0.3}{4} + \frac{0.1}{6} + \frac{0}{8} + \frac{0}{10} \end{aligned} \quad (3.13 ; 3.14 ; 3.15)$$

Birleşim:

A ve B gibi iki bulanık kümenin birleşimi C bulanık kümesi olsun. $C = A \cup B$ yada $C = A+B$ biçiminde yazılır. Toplam kümesinin üyelik fonksiyonu şu şekilde tanımlanır.

$$A \cup B = \int (\mu_A(x) \vee \mu_B(x)) / x \quad (3.16)$$

$$\mu_C(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad (3.17)$$

Bu işlem “veya” (OR) bağlantısına karşılık gelir. Böylece büyük yada orta :

$$\text{B.} \cup \text{Or.} = \frac{\text{mks.}(0,0.3)}{0} + \frac{\text{mks.}(0,0.6)}{2} + \frac{\text{mks.}(0.1,1)}{4} + \frac{\text{mks.}(0.3,1)}{6} + \frac{\text{mks.}(0.6,0.6)}{8} + \frac{\text{mks.}(1,0.3)}{10}$$

$$Bü \cap Or. = \frac{0.3}{0} + \frac{0.6}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \frac{0.6}{8} + \frac{1}{10}$$

Benzer şekilde “büyük yada küçük” veya “orta yada küçük” işlemleri yapılabilir.

Kesişim :

A ve B gibi iki bulanık kümenin kesişimi C olsun. $C = A \cap B$ şeklinde yazılır. Üyelik fonksiyonu şu şekilde yazılabilir.

$$A \cap B = \int_x \frac{\mu_A(x) \wedge \mu_B(x)}{x} \quad (3.18)$$

$$\mu_C(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad (3.19)$$

Bu işlem ve (AND) bağıntısına karşılık gelir. Örneğin büyük ve orta :

$$Bü \cap Or. = \frac{\min(0,0.3)}{0} + \frac{\min(0,0.6)}{2} + \frac{\min(0.1,1)}{4} + \frac{\min(0.3,1)}{6} + \frac{\min(0.6,0.6)}{8} + \frac{\min(1,0.3)}{10}$$

$$Bü \cap Or. = \frac{0}{0} + \frac{0}{2} + \frac{0.1}{4} + \frac{0.3}{6} + \frac{0.6}{8} + \frac{0.3}{10}$$

Tümleyen :

A bulanık kümesinin tümleyeni $\bar{A}$ olarak gösterilir ve üyelik fonksiyonu için

$$\bar{A} = \int 1 - \frac{\mu_A(x)}{x} \quad (3.20)$$

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (3.21)$$

şeklinde ifade edilir. Bu “DEĞİL (NOT)” olumsuzluğa karşı gelir.

Mesela “ORTA DEĞİL” ifadesini bilmaya çalışalım.

$$Orta. Değil = \frac{(1-0.3)}{0} + \frac{(1-0.6)}{2} + \frac{(1-1)}{4} + \frac{(1-1)}{6} + \frac{(1-0.6)}{8} + \frac{(1-0.3)}{10}$$

$$Orta. Değil = \frac{0.7}{0} + \frac{0.4}{2} + \frac{0}{4} + \frac{0}{6} + \frac{0.4}{8} + \frac{0.7}{10}$$

Bulanık kümelerin tanımlanma biçimlerini niteliksel ifadeler kullanarak arttırmak olanaklıdır. “Tam (very)”, “oldukça (rather)” gibi bir A bulanık kümesi düşünelim. “Tam A”

$$Tam. A = \sum_I \mu_A^2(x_I) / x_I \quad (3.22)$$

Şeklinde ifade edilir.

“Oldukça A” ise söylem uzayı boyunca C miktarı kadar hareket tanımlanır.

$$\mu_{oldukça A}(x) = \mu_A(x + c) \quad (3.23)$$

3.2.4. Bulanık Bağıntılar

Etkin bir kontrol çalışması için, sistem girişleri ile çıkışları arasında bir ilişki (bağıntı) oluşturmak gerekir. Bu tür bir ilişki, bulanık koşullu bir önerme kullanılarak sağlanabilir. Sırasıyla farklı U ve Y söylem evrenlerindeki bulanık A giriş değişkeniyle, bulanık B çıkış değişkeni arasındaki koşullu önerme, dilsel bir önermeyle verilir.

$A \rightarrow B$ veya EĞER A O HALDE B

Bu önerme şöyle okunur. {giriş şartı A}, {çıkış şartı B}’yi gerektirir. Burada A neden, B ise sonuçtur. Bir otomobil sistemi için dilsel gerektirme bağıntısına bir örnek yakıt ve hız için şu şekilde olsun :

EĞER { giren yakıt çok } O HALDE { hız 60 km/saat'ten büyüktür. }

Giren yakıt çok ise ; hız 60 kmph'dan büyüktür.

Bu gerektirmeli bağıntı “R” ; A ve B kümelerinin kartezyen çarpımı olarak gösterilir.

$$R = A \times B \quad (3.24)$$

Sonlu kümeler için R aşağıda gösterilen üyelik fonksiyonuna sahiptir.

$$\mu_R(u,y) = \mu_{A \times B}(u,y) = \min [\mu_A(u) , \mu_B(y)] , \quad u \in U \text{ ve } y \in Y \quad (3.25)$$

Alternatif olarak, sürekli diziler için

$$R = A \times B = \int_{U \times Y} \frac{\mu_A(u) \cap \mu_B(y)}{(u,y)} \quad (3.26)$$

Genellikle 3.25 eşitliği matris biçimindedir. Bundan dolayı

$$R = A \times B = \sum_{U \times Y} \frac{\mu_A(u) \cap \mu_B(y)}{(u,y)} \quad (3.27)$$

yada

$$A \times B = \begin{bmatrix} \min[\mu_A(u_1), \mu_B(y_1)] & \dots & \min[\mu_A(u_1), \mu_B(y_n)] \\ \min[\mu_A(u_m), \mu_B(y_1)] & \dots & \min[\mu_A(u_m), \mu_B(y_n)] \end{bmatrix} \quad (3.28)$$

Burada $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ ve $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$

Bu gerektiren bağıntıların anlamını göstermek için, Aşağıdaki bulanık koşullu önerme düşünülebilir.

İF {A küçükse} THEN {B büyük}

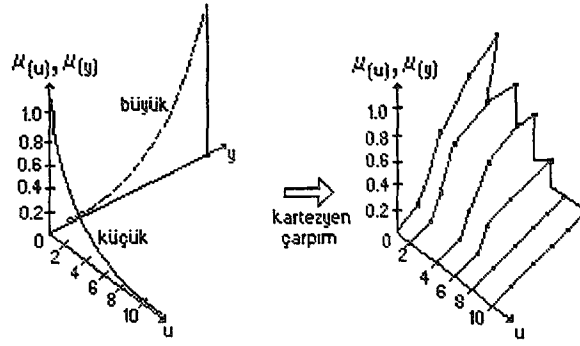
Değişik söylem evreni U ve Y deki bulanık kümeler (2.10) ve (2.8) denklemleriyle verilmiş A ve bulanık kümeleri olsun.

Böylece (3.28.) denklemi kullanılarak

$$A \times B = \begin{bmatrix} \min(1,0) & \min(1,0) & \dots & \min(1,0.6) & \min(1,1) \\ \min(0.6,0) & \min(0.6,0) & \dots & \min(0.6,0.6) & \min(0.6,1) \\ \min(0.3,0) & \min(0.3,0) & \dots & \min(0.3,0.6) & \min(0.3,1) \\ \min(0,0) & \min(0.1,0) & \dots & \min(0.1,0.6) & \min(0.1,1) \\ \min(0,0) & \min(0,0) & \dots & \min(0,0.6) & \min(0,1) \\ \min(0,0) & \min(0,0) & \dots & \min(0,0.6) & \min(0,1) \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

$$A \times B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.1 & 0.3 & 0.6 & 1 \\ 0 & 0 & 0.1 & 0.3 & 0.6 & 0.6 \\ 0 & 0 & 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.3 \\ 0 & 0 & 0.1 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.30)$$

(3.30) eşitliğindeki bağıntı matrisi, “ $A \times B$ ” nin kartezyen çarpımı kullanılarak türetilir. Bu ilişki aşağıdaki şekilde (şekil 3.9) görülmektedir. Şekilde matrisin satırlarının yüzey parçalarına denk geldiği görülmektedir.



Şekil 3.9. Bulanık bağıntıların kapsamı

Bulanık koşullu bir önerme ikiden fazla farklı söylem evreni içerebilir. Üç farklı söylem evreni düşünelim. U, Y ve W söylem evrenlerine karşılık düşen A, B ve C bulanık kümeleri olsun.

EĞER {A} O HALDE {B} O HALDE {C}

Bulanık bağıntı :

$$R = A \times B \times C = \int_{U \times Y \times W} \frac{\mu_A(u) \cap \mu_B(y) \cap \mu_C(w)}{(u, y, w)} \quad (3.31)$$

Bu ifade üç boyutlu bir ilişki matrisi olarak ifade edilir.

$$A \times B \times C = \sum_{U \times Y \times W} \frac{\mu_A(u) \cap \mu_B(y) \cap \mu_C(w)}{(u, y, w)} \quad (3.32)$$

Bir denetim stratejisinin formülasyonu sırasında, herbiri R^i bulanık kümesine sahip olan, birkaç bulanık koşullu önermenin kombinasyonunu oluşturmak gerekir. Eğer durum buysa, bütün bağıntıyı teşkil etmek için tek R^i değerlerini birleştirmek gerekir.

Dolayısıyla

$$R = R^1 + R^2 + \dots + R^N \quad (3.33)$$

Burada R^i ; I. yasa tarafından oluşturulmuş bulanık kümedir. N yasaların sayısıdır. Bu durumda belli bir sayıda koşullu önerme, uygun denetimi sağlayabilir. Her düşünülen durum için bir yasa kullanmak pratik değildir. O sebepten birleşik çıkarım yarası (composition rule of inference) kullanılır.

Bu özellik, açık olmayan (belirsizliği olan) durumları, programlanmış yasalardan uygun kararlar çıkararak değerlendirilmesini sağlar. $R = A \times B$ verilmiş bir bulanık bağıntı olsun ve A^I , A 'nın bir bulanık küme değeri olup, birleşik çıkarım yarası kullanılarak B^I değerini kullanmak için bağıntı kullanılır. B^I nün çıkarımı şu şekildedir.

$$B^I = A^I \circ R = A^I \circ (A \times B) \quad (3.34)$$

Burada “o” maks. - min. çarpımını göstermektedir. B^I çıkış bulanık alt kümesinin üyelik fonksiyonu ;

$$\mu_{B^I}(y) = \max_u \min [\mu_{A^I}(u), \mu_{R^I}(u, y)] \quad (3.35)$$

3.2.5. Normal Bulanık Küme

Üyelik fonksiyon derecesi 1 olan bir A bulanık kümesine, normal bulanık küme denir. Başka birç deyişle,

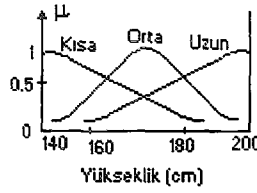
$$\max_{x \in X} \mu_A(x) = 1 \quad (3.36)$$

Yukardaki formülle ifade edilen bulanık kümelere, “normal bulanık küme” denir.

3.2.6. Konveks Bulanık Küme

Bir destek kümesi, gerçekte bir sayı kümesi olduğu zaman ve herhangi bir $[a,b]$ aralığında tüm $x \in [a,b]$ için aşağıdaki formül geçerli ise A bulanık kümesi, konvektir (şekil 3.10):

$$\mu_A(x) \geq \mu_A(a) \wedge \mu_A(b)$$



Şekil 3.10. Konvex Kümeler

3.2.7. Bulanık Kümelerin Doğrudan Çarpımı

$A \subset X$ (A , X 'in alt kümesi) ve $B \subset Y$ (B , Y 'in alt kümesi) olmak üzere A ve B 'nin doğrudan çarpımı; $A \times B$ şu şekilde ifade edilir.

$$A \times B \leftrightarrow \mu_{A \times B}(x, y) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(y) \quad (3.37)$$

3.2.8. α - Keismler ve Uzantı ilkesi

α kesim ; üyelik derecesinin α oranında kesilmesi demektir. Bulanık küme teorisi üç önemli kısımdan oluşur. Bunlar sırasıyla çözülme ilkesi, uzantı ilkesi ve temsil teoremidir.

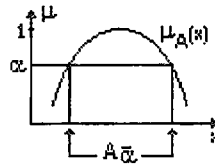
α - Keism

A bulanık kümesi için,

$$A_\alpha \equiv \{x \mid \mu_A(x) > \alpha\} ; \alpha \in [0,1) \quad (3.38)$$

$$A_{\alpha^-} \equiv \{x \mid \mu_A(x) \geq \alpha\} ; \alpha \in (0,1] \quad (3.39)$$

Bunlara sırasıyla zayıf α - kesim ve güçlü α - kesim denir. α - kesim terimi, zayıf ve güçlü tipleri içeren genel bir terimdir. Zayıf α - kesim, α düzeyi kümesi olarak da adlandırılır. Güçlü ve zayıf arasındaki fark, eşit işaretinin varlığı veya yokluğudur. Eğer üyelik fonksiyonu sürekli ise, güçlü ve zayıf arasındaki ayırım gereksizdir. Eğer destek kümesi gerçel bir sayı kümesi ve üyelik fonksiyonu sürekli ise konveks bir bulanık kümenin zayıf α - kesimi şekil (3.11) deki gibi bir kapalı aralıktır. α - kesimleri kullanan aşağıdaki bağıntı eşitliğine, çözülme ilkesi denir.



Şekil 3.11. Zayıf α - kesimler

3.2.8.2. Çözülme İlkesi

$$\begin{aligned}\mu_A(x) &= \sup_{\alpha \in [0,1]} [\alpha \wedge X_{A_\alpha}(x)] \\ \mu_A(x) &= \sup_{\alpha \in (0,1]} [\alpha \wedge X_{A_{\bar{\alpha}}}(x)]\end{aligned}\tag{3.40}$$

Çözülme ilkesi kullanılarak, üyelik fonksiyonu bir α - kesim yardımıyla ifade edilebilir. Zayıf α - kesim aracılığıyla ifade edilebilirliğinin isbatı şu şekildedir. $X_{A_\alpha}(x); A_{\bar{\alpha}}$ 'nın karakteristik fonksiyonu olduğu için

$$\begin{aligned}X \in A_{\bar{\alpha}} \text{ ise } \mu_A(X) &> \alpha, \\ X \notin A_{\bar{\alpha}} \text{ ise } \mu_A(X) &< \alpha, \text{ sıfırdır.}\end{aligned}$$

Şu sonuçlar elde edilir.

$$\begin{aligned}
\sup_{\alpha \in (0,1]} [\alpha \wedge X_{A_{\bar{\alpha}}}(x)] &= \sup_{\alpha \in [0, \mu_{A_{\bar{\alpha}}}(x)]} [\alpha \wedge X_{A_{\bar{\alpha}}}(x)] \vee \sup_{\alpha \in [\mu_{A_{\bar{\alpha}}}(x), 1]} [\alpha \wedge X_{A_{\bar{\alpha}}}(x)] \\
&= \sup_{\alpha \in [0, \mu_{A_{\bar{\alpha}}}(x)]} [\alpha \wedge 1] \vee \sup_{\alpha \in [\mu_{A_{\bar{\alpha}}}(x), 1]} [\alpha \wedge 0] \\
&= \sup_{\alpha \in [0, \mu_{A_{\bar{\alpha}}}(x)]} \alpha \\
&= \mu_{A_{\bar{\alpha}}}(x)
\end{aligned} \tag{3.41}$$

Eğer $\alpha A_{\bar{\alpha}}$ bulanık kümesini tanımlarsak,

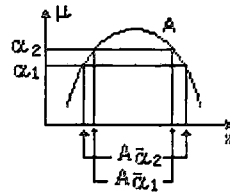
$$\alpha A_{\bar{\alpha}} \leftrightarrow \mu_{\alpha A_{\bar{\alpha}}}(x) = \alpha \wedge X_{A_{\bar{\alpha}}}(x) \tag{3.42}$$

çözülme ilkesi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$A = \bigcup_{\alpha \in (0,1]} \alpha A_{\bar{\alpha}} \tag{3.43}$$

Başka bir deyişle, A bulanık kümesi $\alpha A_{\bar{\alpha}}$, $\alpha \in (0,1]$ ' ayrıştırılır ve bunların birleşimi olarak ifade edilir. Bu da çözülme ilkesi demektir. $\alpha_1 < \alpha_2$, $\alpha A_1 \supset \alpha A_2$ olması durumu şekil (3.12)'de görülmektedir. αA_{α_1} ve αA_{α_2} gibi belli bulanık kümeler ise A bulanık kümesinin orjinal üyelik fonksiyonunu yeniden elde edebiliriz. Netice ise şu şekildedir.

$$\mu_A(x) \leftrightarrow \alpha A_{\bar{\alpha}} ; \alpha \in (0,1]$$



Şekil 3.12. Bir bulanık kümenin ayrıklaştırılması

Başka bir deyişle, bir bulanık küme fonksiyonları kullanılmaksızın α - kesimleri terimleri ile ifade edilebilir. α - kesimler hesaplamalar için çok uygundur.

$$f: X \leftrightarrow Y \quad (3.44)$$

Bu X 'in x elemanı Y 'nin $f(x)$ elemanı ile ilişkilidir. Eğer X 'in E keskin alt kümesi içinde bir değişken ise $F(x)$ ' in değiştiği bölge şu şekilde verilir.

$$f(E) \equiv \{y \mid y = f(x) ; \dots x \in E\} \quad (3.45)$$

Burada E hayalidir.

3.2.8.3. Uzantı ilkesi

$f: X \leftrightarrow Y$ fonksiyonunu uzatarak, X 'in A bulanık alt kümesi aşağıdaki şekilde Y 'nin $f(A)$ alt kümesine bağlantı yapılabilir.

$$\mu_{f(A)}(y) \equiv \sup_{y=f(x)} \mu_A(x) \quad (3.46)$$

y belli, sağ tarafta x için $\mu_A(x)$ 'in maksimum değeri elde edilir. Başka bir deyişle, bu A bulanık kümesinin görüntüsüdür. $f(A)$ aşağıdaki gibi doğrudan tanımlanabilir.

$$f(A) = \int_Y \frac{\mu_A(x)}{f(x)} \quad (3.47)$$

y için bulanık kümelerin ifade yöntemikarakteristiklerinden dolayı $x_1 \neq x_2$ ve $y = f(x_1) = f(x_2)$ olduğu zaman şu elde edilebilir.

$$\frac{\mu_A(x_1)}{f(x_1)} + \frac{\mu_A(x_2)}{f(x_2)} = \frac{\mu_A(x_1) \vee \mu_A(x_2)}{y} \quad (3.48)$$

Bu yüzden y için $f(A)$ 'nin derecesi tam olarak aşağıdaki gibidir. Eğer f birebir fonksiyon ise f 'nin tersi şu şekilde ifade edilebilir.

$$\mu_{f(A)}(y) = \mu_A(f^{-1}(y)) \quad (3.49)$$

Eğer $f(x)$, Y 'nin F keskin alt kümesi içinde değişirse, ters görüntü şu şekilde tanımlanır.

$$f^{-1}(F) = \{x \mid f(x) \in F\} \quad (3.50)$$

Örnek

Gerçek sayı kümeleri x, y olsun. $f(x) = 2x + 1$ ele alalım. $x = 3 \rightarrow f = 7$ değerini alır. Eğer x tek bir değil ise, örneğin 2'den 4'e kadar olan değerleri alır. E kümesinin hayali görüntüsü teorisinde bunu ifade edelim;

x 'i $[2, 4]$ aralığında değiştirirsek

$$\begin{aligned} f([2, 4]) &= 2x[2, 4] + 1 \\ &= [2 \cdot 2, 4 \cdot 2] + 1 \\ &= [2 \cdot 2 + 1, 4 \cdot 2 + 1] \\ &= [5, 9] \end{aligned}$$

Eğer x aşağı yukarı 3 değerini alırsa $f(x)$ fonksiyonu belirsiz değere sahip olur. Aşağı yukarı 3 ve 5 gibi sayılar $[2, 4]$ aralığı yerine kullanılabilirler. Bunlarada “bulanık sayılar” denir. Bu yüzden bulanık kümeler olarak gerçek sayı ekseninde ifade edilebilir.

3.2.9. Bulanık Sayılar

Belirsiz yada bulanık sayılar birçok şekilde anlatılabilir. Bulanık sayıların saklı aralık fikrinin bir uzantısı olduğunu kabul ediyoruz. Bu uzantı fikri doğal ve çok basit bir fikirdir. Tek bir seviyede saklı bir aralık kullanmak yerine birden fazla seviye ve 0'dan 1'e tüm seviyeleri ele alıyoruz. 1 seviyesinde maksimum ihtimal ve 0 seviyesinde minimum

ihtimal olduğu kabul edilir. 0 ihtimal seviyesi kısıtlayıcı bir teoridir. Benzer şekilde α ihtimal seviyesi

$\alpha \in [0,1]$ saklı bir aralık verir.

$A_\alpha = [a_1^{\alpha}, a_2^{\alpha}]$; α' nün monoton (tekdüze) azalan bir fonksiyonudur.

$$\alpha, \alpha' \in [0,1] \text{ için} \quad (3.51)$$

$$(\alpha' \rangle \alpha) \Rightarrow (A \alpha', \subset A \alpha) \quad (3.52)$$

veya

$$(\alpha' \rangle \alpha) \Rightarrow ([a_1^{\alpha'}, a_2^{\alpha'}] \subset [a_1^{\alpha}, a_2^{\alpha}]) \quad (3.53)$$

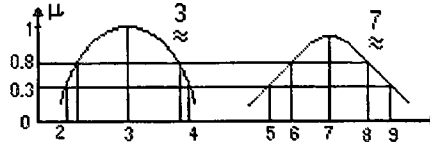
Tahmin seviye ifadeleri bulanık sayı için çok uygundur. Fakat rastgele sayılarla (değişkenlerle) bulanık sayılar karıştırılmamalıdır.

$$\forall \alpha_1, \alpha_2 \in [0,1];$$

$$(\alpha_1 \langle \alpha_2) \Rightarrow ([a_1^{\alpha_2}, a_2^{\alpha_2}] \subset [a_1^{\alpha_1}, a_2^{\alpha_1}]) \quad (3.54)$$

Bu α artsa bile kapalı aralığın artmayacağını söylemektedir(Kaufman, Introduction to Fuzzy Set Theory, 1991)

Bir normal ve konveks (dış bükey) bulanık kümesi için eğer zayıf bir α - kesim (α seviye kümesi) kapalı alan ise buna bulanık sayı denir. Bulanık sayılar şekil (3.13) teki gibi üyelik fonksiyonlarına sahiptirler.



Şekil 3.13. Bulanık sayılar

Eğer üyelik fonksiyonları sürekli ise, zayıf α - kesim kapalı bir aralık olacaktır. Fakat kapalı bir alan elde etmek için üyelik fonksiyonunun sürekli olması gerekmez.

Aşağı yukarı $3 \rightarrow \underline{3}$ (bulanık sayı)

Aşağı yukarı $5 \rightarrow \underline{5}$

$$f(\underline{3}) = 2 \times \underline{3} + 1 = \underline{7}$$

Eğer $f(\underline{3})$ uzantı ilkesi ile hesaplanırsa gerçekte 7 değeri elde ederiz. Sürekli bir fonksiyon olan f 'e α - kesim uygulanırsa :

$$f(\underline{3\alpha}) = 2 \times \underline{3\alpha} + 1 \quad (3.55)$$

Şekildeki gibi $\underline{3\alpha}$

$$\underline{3\alpha} = \begin{cases} 3 \dots \dots \dots \alpha = 1 \\ [2.5, 3.5] \dots \dots \alpha = 0.8 \\ [2, 4] \dots \dots \dots \alpha = 0.3 \end{cases} \quad (3.56)$$

$$f(\underline{3\alpha}) = \begin{cases} 7 \dots \dots \dots \alpha = 1 \\ [6, 8] \dots \dots \dots \alpha = 0.8 \\ [5, 9] \dots \dots \dots \alpha = 0.3 \end{cases} \quad (3.57)$$

Bu sonuçlar kullanılarak üyelik fonksiyonu çizilir. Buradan da bulanık sayı elde edilir.

BÖLÜM 4

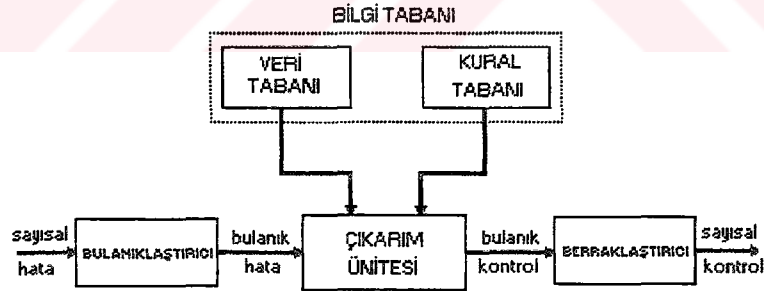
BULANIK KONTROL

4.1. Bulanık Kontrolörün Genel Yapısı

Bulanık kontrolörün dayandığı temel nokta; uzman bir sistem operatörünün bilgi, deneyim, sezgi ve kontrol stratejisini, kontrolör tasarımında bilgi tabanı olarak oluşturmaktır. Kontrol işlemleri, karmaşık ve klasik kontrol algoritmaları ile değil de bilgi ve deneyime dayanan sözel kurallarla gerçekleştirilir.

Örneğin bir uzman, sistem için gerekli kontrol davranışlarını, “küçük”, “hızlı”, “yavaş” gibi sözel bulanık terimlerini içeren komut kümesi ile temsil eder. Bu komut kümeleri “EĞER - İSE” (If - Then) kuralları yardımıyla oluşturulur.

Şekil 4.1.’de bulanık kontrolörün iç yapısı görülmektedir. Bulanık kontrolör genel olarak 5 ana bölümden oluşur.



Şekil 4.1. Bulanık kontrolörün iç yapısı

1. Kontrol kurallarını ihtive eden “kural tabanı”
2. Kural tabanında kullanılan dilsel ifadelerin üyelik fonksiyonlarını tanımlayan bir “veri tabanı”
3. Bulanık kontrol kurallarını değerlendiren “çıkarım ünitesi”

4. Sensörlerden alınan kesin sistem bilgilerini bulanık bilgiye dönüştüren “bulanıklaştırma birimi”

5. Bulanık kontrol işaretini sayısal değere çevirerek sisteme uygulayan “berraklaştırma birimi”

Temel olarak bir bulanık kontrolör sistemi, kontrol işaretini belirleyecek çıkarım ünitesi ve bir dizi kontrol kurallarından oluşur. Kontrol kuralları ; bulanık kontrol girişlerini, bulanık kontrol çıkışlarına bağlayan bulanık ifadelerdir. Çıkarım ünitesi, bulanıklaştırıcı çıkışı, kural tabanındaki bulanık kurallar ile karşılaştırarak, istenen sistem cevabı için gerekli bulanık kontrol davranışını tesbit eder.

4.1.1. Bulanıklaştırma Birimi

Bulanık kontrol sistemlerinde sensörlerden alınan sayısal bilgilerin bulanık forma dönüştürülmesi gerekir. Bilgilerin bulanık forma dönüştürülmesi, o büyüklüğün sıfır ile bir arasındaki değerlerle temsil edilmesi demektir. Bir başka deyişle, bir büyüklüğü bulanık hale dönüştürmekle sözel olarak ifade edilmesi sağlanır. Sayısal büyüklükleri bulanık forma dönüştürebilmek için ilk önce “sabit mantık kümelerinin” (universe of discourse) tesbit edilmesi gerekir. Daha sonra sabit mantık kümeleri içindeki her bir nokta üyelik fonksiyonlarıyla tanımlanır. Genellikle üyelik fonksiyonları değişik, miktar belirten ifadelerle (büyük, küçük ve sıfır gibi) gruplara ayrılabilirler. Üyelik fonksiyonları sistem parametrelerini tanımlar. Üyelik fonksiyonlarının şekline veya sayısına ait hiçbir kısıtlama yoktur.

Bulanık kümelerle ilgili belirsiz bilgilerin temsili, sayısal bilgisayar sistemlerinde bilginin ölçme ve değerlendirilmesi problemini ortaya çıkarır. Eğer bulanık küme sürekli formda temsil edilmiş ise, ayrıklaştırılarak ayrık sabit mantık kümesi elde edilebilir. Ayrıklaştırma işlemi, bulanık kümeyi belli sayıda seviyelerle ayırarak (kuvantalayarak) sağlanır. Bu durumda, bulanık kümenin üyelik fonksiyonu, boyutları kuvantalama sayısına bağlı vektör gruplarıyla temsil edilir(Lee,1990).

4.1.2. Bilgi Tabanı

Bulanık kontrol sistemlerinde; bilgi tabanı, kural tabanı ve veri tabanından oluşur. Kural tabanı; uzmanlar tarafından belirlenmiş, bulanık kontrol davranışlarını tesbit eden kontrol kurallarını içerir. Veri tabanı; bulanık kontrol kurallarını ve üyelik fonksiyonlarını tanımlar.

Kural tabanı, karar verme işleminde kullanılan birçok paralel kurallardan ve kontrol sistemi değişkenlerinden oluşmuştur. Bu kurallar sistemin giriş ve çıkışları arasındaki mantıksal ilişkileri açıklar.

Bulanık kontrolörün çıkışı, durum ve davranış bildiren kuralların değerlendirilmesi ile elde edilir. Kurallar, sistem değişkeninin tanımlandığı “eğer” ve kontrol değişkenlerinin tanımlandığı “ise” komutlarıyla oluşturulur. Bulanık kontrolörde kurallar iki değişik metotla ifade edilir. Bunlar ; kural davranışı bulanık kümeler ile ifade edilmiş kurallar veya kural davranışı fonksiyon şeklinde ifade edilmiş kurallardır (Paramth, 1993). Kural davranışı bulanık kümeler ile tanımlanmış kurallar aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\text{Eğer } x_1 ; A_1 \text{ ise, ve/veya, } x_2 ; A_2 \text{ ise } u ; B_1 \quad (4.1)$$

Burada, x_1 ve x_2 kontrol edilecek sistemin gözlenebilir değişkenleridir, (bu yüzden kontrol sisteminin giriş değişkenlerini oluştururlar), u ; kurala ait kontrol davranışdır, (dolayısıyla kontrol edilen sistem için bir giriş değişkenidir). x_1 , x_2 ve u değişkenleri sırasıyla, A_1 , A_2 ve B_1 bulanık kümelerinin elemanlarıdır.

Denklem (4.1) ’ deki kuralın davranışı B_1 üyelik fonksiyonu yerine, denklem (4.2)’ de görüldüğü gibi, sayısal bir değerle de temsil edilebilir.

$$\text{Eğer } x_1 ; A_1 \text{ ise, ve/veya, } x_2 ; A_2 \text{ ise } u = -0.75 \quad (4.2)$$

Kural davranışı fonksiyon şeklinde ifade edilmiş kurallar denklem (4.3)' teki gibi tanımlanabilir:

$$\text{Eğer } x_1 ; A_1 \text{ ise, ve/veya, } x_n ; A_n \text{ ise } u = f(x_1, x_n) \quad (4.3)$$

Burada, x_1 ve x_2 ; A_1 ve A_2 sistem değişkenlerine ait bulanık kümeleri temsil etmektedir. Kuarala ait kontrol davranışı u , x_1 ve x_2 sistem değişkenlerinin fonksiyonu olarak temsil edilmiştir. u ; kural çıkışı, $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ sistem içinde ayarlanabilen parametreler olarak tanımlandığında aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Maeda, 1988).

$$u = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n$$

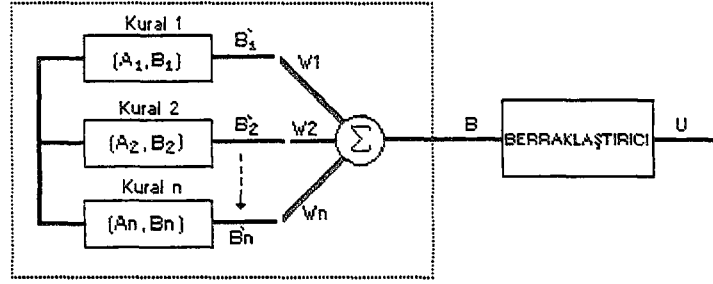
Kontrol kurallarını elde etmek için 4 değişik metod vardır (Mamdani, 1984).

1. Kontrol kuralları doğrudan operatörün sisteme ait bilgi ve deneyiminden oluşturulabilir.
2. Kurallar kontrol edilecek sistem karakteristiklerinin bulanık şekilde ifade edilmiş modellerinden türetilir. Sistemin bulanık modelleri aşağıdaki örnekte olduğu gibi kontrol kurallarına benzer şekilde ifade edilirler :

Eğer sistem çıkışı negatif büyük ve sitem girişi pozitif küçük ise sistem çıkışı pozitif orta.

3. Operatörün kontrol davranışları gözlenir ve kontrolör bu davranışlardan bulanık model oluşturur.
4. Kurallar kontrol edilecek sistemin matematiksel modelinden çıkarılabilir.
5. Kurallar kontrolör tarafından öğretilir.

Şekil 4.2.'de tek girişli tek çıkışlı bulanık sistemde n adet paralel kurallarla oluşturulan kural tabanının yapısı görülmektedir.



Şekil 4.2. Kural tabanı

Burada, A bulanık kontrol girişini, B bulanık kontrolör çıkışını, A_n , B_n sırasıyla n. kurala ait giriş ve çıkış bulanık kümeleri, B'_n n. kurala ait bulanık kontrol davranışını, W_n kurallarının skaler ağırlıklarını, u sayısal bulanık kontrolör çıkışını temsil etmektedir.

Bulanık kontrol çıkışını bulmak için, bulanık formdaki sitem değişkenleri, bulanık kontrol kuralları ile karşılaştırılır. Sistem değişkenleri ile uyuşmayan kurallar kullanılmaz. Diğer bütün kuralların türetilmiş sonuçları, kuralların skaler ağırlıkları göz önüne alınarak toplanır.

$$B = \sum (w_n \cdot B'_n) \quad (4.4.)$$

Kural tabanını oluşturan kurallar aşağıdaki özelliklere sahiptirler.

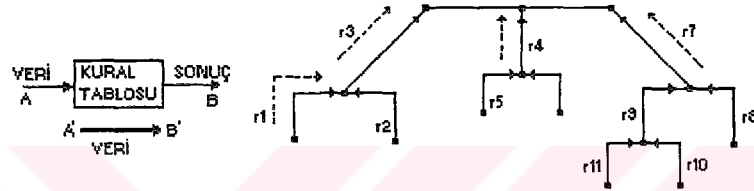
1. Her kural bağımsız bilgi parçasını içerir.
2. Yeni kurallar diğer kurallardan bağımsız olarak kural tabanına eklenebilir.
3. Eski kurallar yeni kurallardan bağımsız olarak değiştirilebilir.
4. Kontrol sisteminin kararlarını ve çözümlerini içerir.

4.3. Çıkarım Ünitesi

Bulanık kontrol sistemlerinde çıkarım ünitesi ; sistem değişkenlerine ait kurallar ile, sistem değişkenlerini temsil eden bulanık büyüklükleri berraklaştırarak bir döngü içinde

bulanık kontrol değerlerini bulur (Boullart, 1988). Çıkarım ünitesi, gerekli bilgiyi toplayarak programlanmış stratejiye uygun bir şekilde araştırma işlemini gerçekleştirir. Çıkarım ünitesi, çıkarım işlemi boyunca “ileri zincirleme” (forward chaning) veya “geri zincirleme” (backward chaning) yöntemlerini kullanır (Di Nola ,1988; Schründer,1994).

İleri zincirleme metnethodunda verilerden sonuca doğru gidilir. Bu yaklaşımda sistemden toplanan mevcut veriler değerlendirilerek, sistemi istenen sonuçlara ulaştıracak kurallar araştırılır. Böylece eldeki veriler yorumlanarak, amaca ulaştıran gerçekler bulunur. Şekil (4.3)’te ileri zincirleme metodu görölmektedir.



Şekil 4.3. İleri zincirleme metodu

Uzman sistemlerde ileri zincirleme yöntemi “Genelleştirilmiş Modus Ponens (GMP)” yaklaşımıyla gerçekleştirilir. Aşağıda buna ilişkin bir örnek görölmektedir.

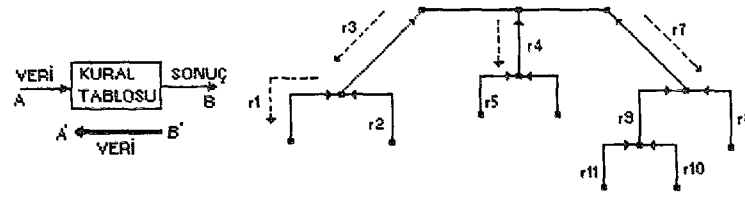
Şart 1 : Eğer x , A ise y , B dir

Şart 2 : x , A' dir

Sonuç : y , B' dir.

Burada x,y sırasıyla sistem giriş ve çıkış değişkenlerini, A ve B ise bu değişkenlere ait bulanık kümeleri temsil etmektedir.

Geri zincirleme metodunda ise, bütün olası sonuçlar değerlendirilerek, sistemden alınan verilere ulaşılır. Herbir adımda çıkarım ünitesi, bir sonucun doğru olduğunu kabul eder, ve bu sonuçtan yola çıkarak bir dizi yan sonucun doğruluğunu isbatlamaya çalışır. Şekil (4.4)’te geri zincirleme metodu şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Geri zincirleme metodu

Uzman sistemlerde, geri zincirleme yöntemi “Genelleştirilmiş modus tolens (GMT)” yaklaşımıyla gerçekleştirilir. Aşağıda GMT yaklaşımına ilişkin örnek görülmektedir.

Şart 1 : Eğer x , A ise y , B dir

Şart 2 : y , B' dir

Sonuç : x , A' dir.

Geri zincirleme yöntemi, tıp alanında teşhis koyma işlemlerinde, İleri zincirleme yöntemi ise kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bulanık kurallar, gözlem - davranış veya sebep - sonuç arasındaki ilişki ile tanımlanır. “Eğer fiyat yüksek ise kar çoktur” şeklindeki bir kuralın yorumlanabilmesi için “yüksek” ve “çok” bulanık ifadeleri arasında R bulanık ilişkisinin elde edilmesi gerekir. “yüksek” ve “çok” bulanık ifadeler, u ve v düzlemlerinde, sırasıyla A ve B gibi bulanık kümeler ile tanımlandığında, A ve B arasındaki ilişkiyi temsil eden, $R_{A \rightarrow B}$ bulanık ilişkisi, bir matris şeklinde elde edilir. Eğer birçok kural varsa, çok boyutlu matrisi oluşturmak, depolamak ve üzerinde işlem yapmak oldukça zordur. Bu nedenle, $R_{A \rightarrow B}$ bulanık ilişkisini bulmak için bir çok “bulanık ilişki yöntemleri” geliştirilmiştir.

Burada minumum ilişki, cebrik çarpım ve aritmetik kural yöntemleri açıklanacaktır. Buna göre bu üç yöntemle ilişkin $R_{A \rightarrow B}$ ifadesini bulalım.

$$\mu_{R'} = (\mu_A(u) \wedge \mu_B(v)) \quad (4.5)$$

$$\mu_{R'} = (\mu_A(u) \cdot \mu_B(v)) \quad (4.6)$$

$$\mu_{R'} = 1 \wedge [1 - \mu_A(u) + \mu_B(v)] \quad (4.7)$$

A' bulanık gözlemi ile temsil edilen fiyatın “çok yüksek” olması şartı; “Eğer A ise B” formunda ifade edilmiş, “fiyat çok yüksek ise kar çoktur” şeklinde bir kurala uygulandığında, sonuçtaki B' bulanık çıkış, A' ile R'nin kompozisyonu alınarak bulunur (Zadeh, Fuzzy Logic for the Manegment of Uncertainty, 1994)

$$B' = A' \circ R \quad (4.8)$$

Yukardaki işlemi açıklamak için bulanık yorumlama kurallarından faydalanılabilir. Kullanılan en yaygın metod Zadeh'in max - min kompozisyon metodudur. Bu işlem bir vektör ve bir matris çarpımına benzer. Çarpma işlemi min işlemi ile, toplama işlemi max. işlemi ile temsil edilir.

$$\mu_{B'}(v) = \max_{u \in U} [\mu_{A'}(u) \wedge \mu_R(u, v)] \quad (4.9)$$

Burada μ_R 'nin denklem (4.5)'teki ifadesi yerine konur ve düzenlenirse,

$$\mu_{B'}(v) = \max_u [\mu_{A'}(u) \wedge (\mu_A(u) \wedge \mu_B(v))]$$

$$\mu_{B'}(v) = \max_u [\mu_{A'}(u) \wedge \mu_A(u) \wedge \mu_B(v)] \quad (4.10)$$

$$= \alpha \wedge \mu_B(v) \quad (4.11)$$

elde edilir. Burada α aşağıdaki gibi tanımlanmıştır :

$$\alpha = \max_u (\mu_{A'}(u) \wedge \mu_A(u)) \quad (4.12)$$

Denklem (4.12)'deki ifadede “Eğer A ise B” şeklinde verilen kuralda R ilişkisini bulmak için bir matris üretmek zorunda değiliz. ilk önce A ve A' vektörleri üzerinde minumum işlemi uygulanır. Elde edilen sonucun maksimumu alınarak α bulunur. Elde edilen α sonucu ile B'nin minumumunu alınarak (kesişim) sistemin A' şartına ilişkin $\mu_B(v)$ bulanık çıkışı hesaplanır. (Zadeh, Fuzzy Logic for the Manegment of Uncertainty, 1994)

Sonuç olarak “fiyat yüksek ise kar fazladır” kuralında “fiyat çok yüksek” şartı uygulandığında, B' “kar çok fazladır” sonucu elde edilecektir.

Bulanık kontrol kurallarının “Eğer” kısmının birden fazla değişken içerdiği konunun ayrıca incelenmesi gerekir. Bu sözel olarak,

$$\text{Eğer } A \text{ ve } B \text{ ise } C \quad (4.13)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada A, B ve C sırasıyla u,v,w sabit mantık kümelerine ait bulanık kümeler olarak tanımlanmıştır. Denklem (4.13)' teki eğer bölümü iki değişkenli olduğu için R ilişkisi aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$R = (A \times B) \rightarrow C \quad (4.14)$$

Burada, $\times$ kartezyen çarpımı temsil eder ve minumum işlemi ile gerçekleştirilir. R bulanık ilişkisi için Mamdani'nin minumum ilişki yöntemi kullanıldığında denklem (4.14) aşağıdaki gibi yazılır.

$$\mu_R(u, v, w) = \mu_A(u) \wedge \mu_B(v) \wedge \mu_C(w) \quad (4.15)$$

$u \in U, v \in V, w \in W$

A' ve B' bulanık giriş olarak kabul edildiğinde, bulanık C' kural çıkışı, aşağıdaki gibi hesap edilir.

$$C' = (A' \times B') \circ R \quad (4.16)$$

Denklem (4.16)'ya ilişkin bulanık çıkışı ile aşağıdaki neticeler bulunur.

$$\begin{aligned} \mu_{C'}(w) &= \max_u \max_v [\mu_{A'}(u) \wedge \mu_{B'}(v) \wedge (\mu_A(u) \wedge \mu_B(v) \wedge \mu_C(w))] \\ \mu_{C'}(w) &= \max_u [\mu_{A'}(u) \wedge \mu_A(v)] \wedge \max_v [\mu_{B'}(u) \wedge \mu_B(v)] \wedge \mu_C(w) \\ &= \alpha \wedge \mu_C(w) \end{aligned} \quad (4.17)$$

elde edilir. Burada α , aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\alpha = \max_u [\mu_{A'}(u) \wedge \mu_A(v)] \wedge \max_v [\mu_{B'}(u) \wedge \mu_B(v)] \quad (4.18)$$

Denklem (4.17)'de bulanık ilişkiyi bulabilmek için, minumum ilişki yöntemi, bulanık yorumlama kuralları için ise max - min işlemi kullanılmıştır. Denklem (4.13)'de verilen kurala ait bulanık çıkış denklem (4.6)'daki cebrik çarpım yöntemi kullanıldığında aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\mu_{C'}(w) = \alpha \cdot \mu_C(w) \quad (4.19)$$

Denklem (4.13)'de verilen kurala ait bulanık çıkış denklem (4.7)'deki aritmetik kural kullanıldığında aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\mu_{C'}(w) = 1 \wedge [(\mu_A(u) \wedge \mu_B(v)) + \mu_C(w)] \quad (4.20)$$

Şekil 4.5.'te $\mu_A(u_0) = 0.8$ ve $\mu_B(v_0) = 0.6$ için minumum ilişki, aritmetik kural ve cebrik çarpım yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen çıkarım işlemi, grafik olarak görülmektedir (Mizumoto, 1988).

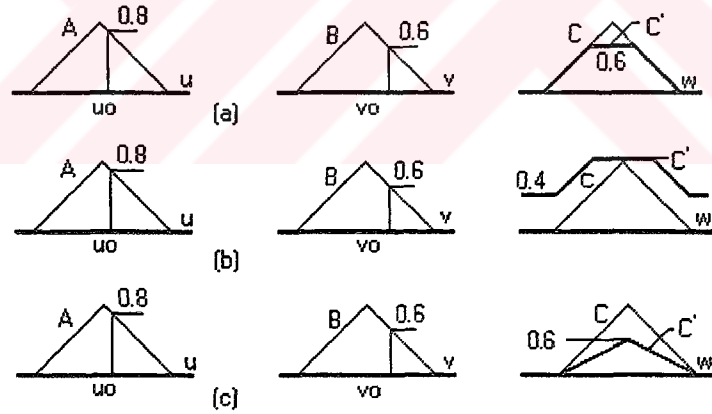
Kontrol sisteminde n tane kural birbirleriyle “veya” bağlacı kullanılarak bağlanır.

Eğer A_1 ve B_1 ise C_1 , veya

Eğer A_2 ve B_2 ise C_2 , veya

.....

Eğer A_3 ve B_3 ise C_3 , veya



Şekil 4.5. Çıkarım işlemleri (a) minumum ilişki (b) aritmetik ilişki (c) cebrik çarpım

Minumum ilişki ve cebrik çarpım metodu kullanılarak gerçekleştirilen çıkarım işlemlerinde, bulanık kurallardaki “veya” bağlacı, “lojik or” operatörü ile yorumlanır ve max işlemi ile gerçekleştirilir.

Burada α , aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\alpha = \max_u [\mu_{A'}(u) \cdot \mu_{A'}(v)] \cdot \max_v [\mu_{B'}(u) \cdot \mu_{B'}(v)] \quad (4.21)$$

$$C' = C_1' \vee C_1' \vee \dots \vee C_n' \quad (4.22)$$

Aritmetik kural metodu kullanılarak gerçekleştirilen bulanık ilişki yönteminde, bulanık kurallardaki “veya” bağlacı, “lojik and” operatörü ile yorumlanır ve min işlemi ile gerçekleştirilir.

$$C' = C_1' \wedge C_1' \wedge \dots \wedge C_n' \quad (4.23)$$

4.4 Berraklaştırma Birimi

Çıkarım işlemi sonucunda elde edilen bulanık kontrol işaretinin, kontrol edilecek sisteme uygulanabilmesi için kontrol işaretinin sayısal değere dönüştürülmesi gerekir. Bu dönüştürme işlemine “berraklaştırma” denir. Berraklaştırma işlemi için 3 yol vardır;

- Maksimum berraklaştırma metodu,
- Maksimum ortalama değer metodu,
- Ağırlık merkezi metodu

Maksimum berraklaştırma metodunda, aktif olan kuralların en büyük üyelik derecesi sayısal kontrol işareti olarak alınır (Mizumoto, 1988).

Maksimum ortalama değer metodunda, aktif kuralların çıkışlarına ilişkin üyelik fonksiyonlarının maksimum değerdeki skaler ağırlıklarının ortalaması kontrol işareti olarak alınır. Buna göre maksimum ortalama değer metodu aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$U = \sum_{i=1}^l \frac{w_i}{l} \quad (4.24)$$

Burada, U sayısal kontrol işaretini, w_i , $\mu(w_i)$ üyelik fonksiyonunun maksimum seviyeye ulaştığı değeri, l aktif kural sayısını temsil etmektedir.

Ağırlık merkezi yöntemi uygulamalarda yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Burada, aktif olan kuralların bulanık çıkışlarına ilişkin üyelik fonksiyon değerleri ile skaler ağırlıkları, çarpılarak toplamaları alınır. Elde edilen değer, üyelik fonksiyon değerlerinin toplamına bölünmesiyle sayısal kontrol değeri bulunur. n kural sayısı olmak üzere ağırlık merkezi yöntemi aşağıdaki gibi ifade edilir (Lee, 1990).

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot \mu(w_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(w_i)} \quad (4.25)$$

Burada, $\mu(w_i)$ üyelik fonksiyonunu, n kural sayısını temsil etmektedir.

BÖLÜM 5

BİR GÜÇ ÜRETİM SİSTEMİ İÇİN BULANIK KONTROL TASARIMI

5.1. Radyal Bir Hattaki Yükteki Değişim Miktarı Bilinmeksizin Yük Frekans ve Gerilim Kontrolünün Bulanık Kontrolör Kullanılarak Tasarlanması

Son yıllarda çok az sayıda makale güç sistemlerinde bulanık mantık kullanımıyla alakalı olarak yayınlandı. Bu sebepten dolayı ve güç sistemlerinin çok fazla nonlinear özelliğinden dolayı bu çalışma ileriki çalışmalar için önemli bir taban teşkil edebilir. Bu bölüm radyal bir hattaki senkron generatöre gerçek zaman bulanık kontrolörün uygulanmasını içermektedir. Radyal hat özelliğinden dolayı yükteki herhangi bir değişiklik, hem çıkış frekansında hemde çıkış geriliminde büyük bir değişiklik oluşturur.

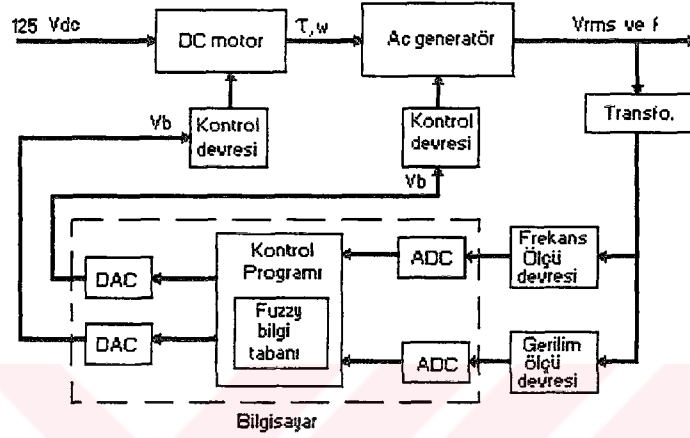
Bir gerçek zaman bulanık kontrolör, sistemin transfer fonksiyonu bilinmeksizin bir dc motor tarafından sürülen bir senkron generatör yük frekans ve gerilim kontrolü için tasarlanmıştır (Aminzadeh et al, Soft Computing , 1994). Bu kontrolörün amacı sırasıyla sistem çıkış frekansını ve gerilimini sadece sistemin giriş - çıkış davranış bilgileriyle 60 hz'de 120 Vrms'de sabit olarak tutmaktır. Bu bilgilerle bulanık mantık kural tabanı ve üyelik fonksiyonları oluşturuldu.

5.1.2. Önerilen Kontrolörün Genel Yapısı

Radyal bir hattaki senkron generatör için gerçekleştirilen bulanık kontrolör sisteminin blok diyagramı şekil (5.1)'de verilmiştir. Oluşturulan blok diyagramı aşağıdaki birimlerden oluşmaktadır.

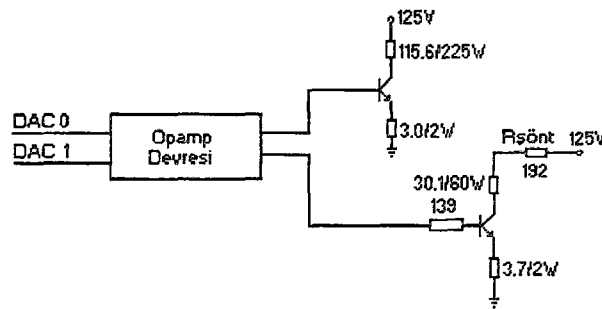
1. Dc motor (ilk hareket verici)
2. Senkron Makina
3. Bulanık Kontrolör (bilgisayar, kontrol devresi ve ölçme devresi)

Bu dc motor kampavnd (seri ve şönt sargıların birbirlerine yardımcı oldukları kampavd sargılı makina) oalrak bağlanmış olup, reostasındaki değişme ile basit bir hız kontrolü temin eder. Fakt hızı bilgisayar ile irtibatlandırmak gerektiğinden, reostanın yerini akım kontrollü bir güç transistörü alır.



Şekil 5.1. Tasarlanan bulanık kontrol sistemi

Çıkış gerilimindeki bir değişiklik, harici bir dc kaynak ile takviye edilen bir uyarma alanıyla bir dereceye kadar kontrol edilir. Uyarma alanının kontrolü dc motorun benzer tiplerinde bir transistör ile uygulanır.(şekil 5.2.)

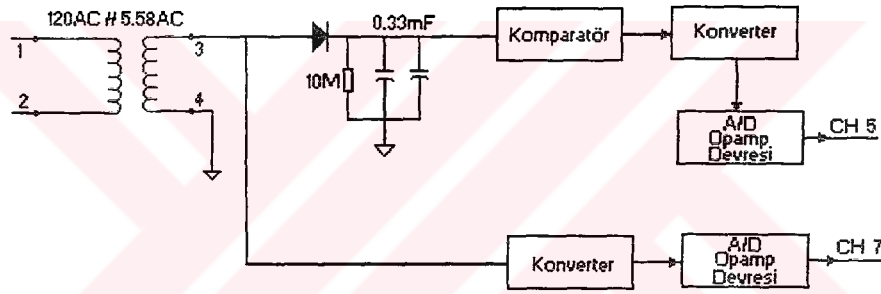


Şekil 5.2. Kontrol devresi

Transistör, uyarma sargılarından doğru geçen akımın büyüklüğünü kontrol eder ve transistörün temel gerilimi bilgisayardaki DAC tarafından temin edilir.

Generatör davranışını ve ilk hareket vericisini hissedebilmek için, çıkış gerilimleri ve çıkış frekansı ölçme devreleri tarafından ölçülür (şekil 5.3). Bu devreler dc 0 -5 volt arısında değişen bir çıkış gerilimini ölçülen değerle orantılı olarak verir. Bu dc gerilim işaretleri bir çift 8 bitlik ADC üzerinden bilgisayara verilir.

Bulanık kontrolör kısmı yazılımdan ibaret olup, kontrolör çıkışında elde edilen sayısal kontrol işareti DAC yardımıyla analog değere çevrilir. Enson elde edilen bu değerler, 2 temel kontrol transistörüne gönderilir ve bu kontrol çevrimini kapatır.



Şekil 5.3. Ölçme devresi

5.1.3. Bulanık kontrolör Bilgi Tabanı

Bilgi tabanını oluşturabilmek için çalışma sırasındaki giriş ve çıkış sinyalleri verilmelidir. Ve bu bağlamda gerilimin 110 - 130 volt arasında değiştiğine ve frekansında 55 - 65 hz arasında değiştiği sonucuna varılmıştır. Bundan sonra bu sınırlar kümelere bölünmüştür ve her birinin üyelik fonksiyonu verilmiştir. Bundan sonraki adım ise bilgi tabanını oluşturmaktır. Fakat bundan önce mümkün olan sistem davranışının giriş çıkış ölçümlerine ihtiyaç vardır. Bu ölçümlerden sonra bulanık kurallar oluşturulur. Burada bulanık kuralların oluşturulması için bir örnek verilmiştir.

Yük 1000 W ile yukarısı sınırlar arasında değişmektedir.

frekans : 60 hz $\rightarrow$ 57 hz $\Rightarrow \Delta f = 3$ hz

gerilim : 120 V_{AC} $\rightarrow$ 113 V_{AC} $\Rightarrow \Delta V_{AC} = 7$ V_{AC}

Frekansı tekrar 60 hz'e ve gerilimi 120 V_{AC}'ye getirmek için yapılması gereken işlem :

$I_{şönt} : 0.310 \text{ A}_{DC} \rightarrow 0.261 \text{ A}_{DC} \Rightarrow \Delta I_{şönt} = -0.049 \text{ A}_{DC}$

$V_f : 54.35 \text{ V}_{DC} \rightarrow 56.8 \text{ V}_{DC} \Rightarrow \Delta V_f = 2.45 \text{ V}_{DC}$

ve aşağıdaki kural bulanık kümeler için çıkartılır.

- Eğer Δf küçük ve ΔV_{AC} orta

o halde $\Delta I_{şönt}$ negatif ve ΔV_f pozitifdir.

Bu yolla giriş ve çıkıştaki büyüklüklerin değişikliğine bağlı olarak en son kural tabanı aşağıdaki gibidir.

Kural 1 : Eğer Δf küçük ve ΔV_{AC} küçük

o halde $\Delta I_{şönt}$ negatif ve ΔV_f negatif

Kural 2 : Eğer Δf küçük ve ΔV_{AC} orta

o halde $\Delta I_{şönt}$ negatif ve ΔV_f sıfır

Kural 3 : Eğer Δf orta ve ΔV_{AC} yüksek

o halde $\Delta I_{şönt}$ negatif ve ΔV_f pozitif

Kural 4 : Eğer Δf orta ve ΔV_{AC} düşük

o halde $\Delta I_{şönt}$ sıfır ve ΔV_f sıfır

Kural 5 : Eğer Δf orta ve ΔV_{AC} orta

o halde $\Delta I_{şönt}$ sıfır ve ΔV_f sıfır

Kural 6 : Eğer Δf orta ve ΔV_{AC} yüksek

o halde $\Delta I_{\text{şönt}}$ sıfır ve ΔV_f pozitif

Kural 7 : Eğer Δf yüksek ve ΔV_{AC} düşük

o halde $\Delta I_{\text{şönt}}$ pozitif ve ΔV_f negatif

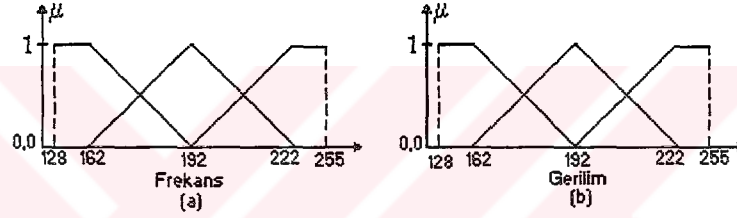
Kural 8 : Eğer Δf yüksek ve ΔV_{AC} orta

o halde $\Delta I_{\text{şönt}}$ pozitif ve ΔV_f sıfır

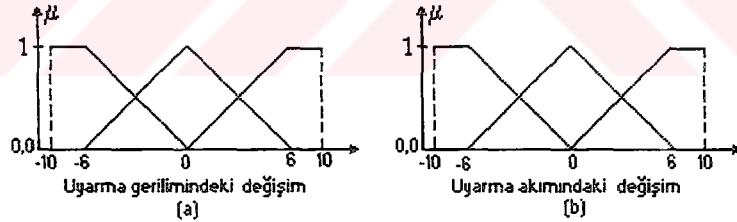
Kural 9 : Eğer Δf yüksek ve ΔV_{AC} yüksek

o halde $\Delta I_{\text{şönt}}$ pozitif ve ΔV_f pozitif

Kontrol sisteminde kullanılan üyelik fonksiyonları şekil (5.4) ve (5.5)'de verilmiştir.



Şekil 5.4. Kontrolörün giriş değerleri için üyelik fonksiyonları



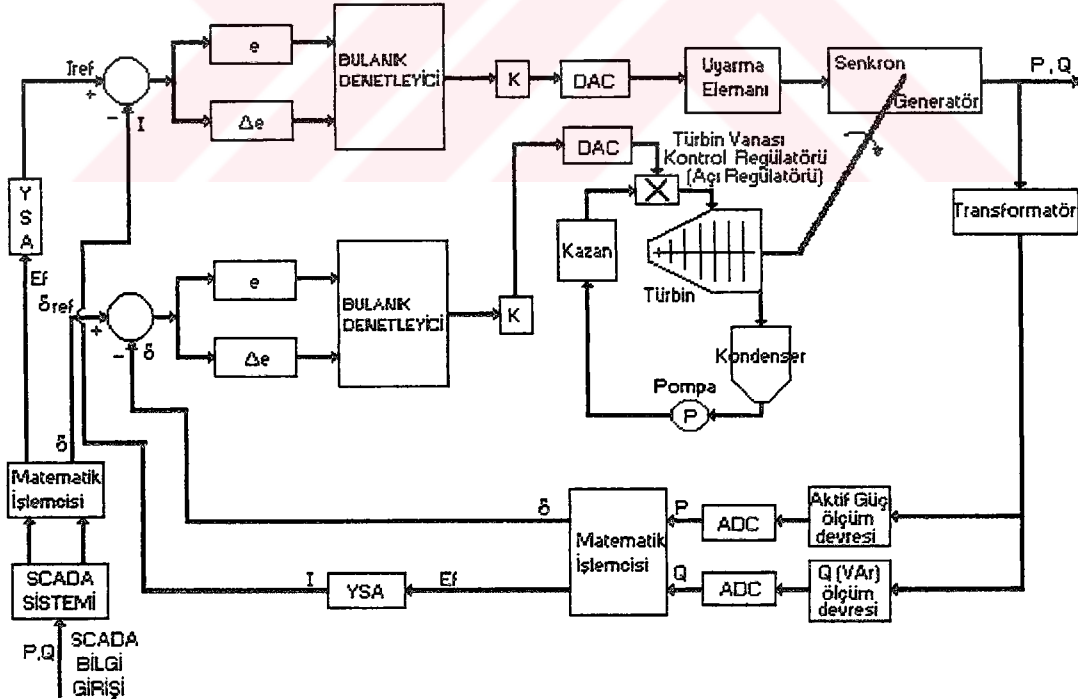
Şekil 5.5. Kontrolörün 8 bit'lik DAC kullanması durumunda çıkış değerleri için üyelik fonksiyonu

5.2. Sonsuz Güçlü Bir Baraya Bağlı Senkron Generatörde Aktif ve Reaktif Güç Ayarı İçin Bulanık Kontrolör Tasarımı

Sonsuz güçlü bir baraya bağlı senkron generatörde aktif ve reaktif güç ayarı, uyarma akımının ve moment açısının ayarlanmasıyla temin edilmektedir. Bilindiği üzere günün değişen saatlerinde yük talebi sürekli olarak değişmektedir. Dolayısıyla değişen bu yük ihtiyacının sürekli olarak karşılanması gerektiğinden dolayı, elektrik enerjisi üretim kaynakları olan senkron generatörlerin moment iç açılarının ve uyarma akımının sürekli olarak ayar edilmesi gerekir. Bu bölümde bu maksatla bir bulanık kontrolör tasarımı yapılmıştır ve kontrol sonucu simülasyonu “qbasic” programlama diliyle yapılmıştır ve yazılım ekte sunulmuştur.

5.2.1. Önerilen Kontrolörün Genel Yapısı

Sonsuz güçlü bir baraya bağlı senkron generatörde aktif ve reaktif güç ayarı için gerçekleştirilen bulanık kontrolör sisteminin blok diyagramı şekil (5.6)’da verilmiştir.



Şekil 5.6. Sonsuz güçlü bir baraya bağlı senkron generatörde aktif ve reaktif güç ayarı için bulanık kontrol sistemi

Yukarıdaki blok diyagramındanda görüldüğü üzere enerji sisteminde sürekli olarak ölçüm yapan scada sisteminden elde edilen değerlerle hangi generatörün ne miktarda yüklenilmesi gerektiğine karar verilir. Buradan elde edilen aktif ve reaktif güç değerleri, dolayısıyla generatörlerde, bu değerleri ayar eden uyarma akımı ve moment açıları bir matematiksel işlemci üzerinden kontrol bloğunun referans değerleri olarak verilirler. Bu referans değerler, artan veya azalan yük talebine göre sürekli olarak değişmektedirler. Daha sonra ise bulanık kontrolör yazılan bulanık kurallara göre kontrol hareketini belirler ve bu kontrol hareketi DAC'lar üzerinden ilgili regülatöre verilir. Bu şekilde çıkıştan alınan değerler sürekli bir şekilde girişe uygulanarak hatanın sıfır olması temin edilir. Şimdi bulanık kontrol sistemi üzerinde yapılan işlemleri ve bölümlerini daha ayrıntılı bir şekilde inceleyelim.

5.2.2. SCADA Sistemi

SCADA, kontrol merkezlerindeki operatörler ve diğer uygulama programları tarafından ihtiyaç duyulan verileri “Uzak Terminal Birimleri” aracılığıyla toplayan ve bunların gönderdiği komutları istasyonlara ileten uygulamadır. SCADA “Ulusal Yük Dağıtım Sisteminin” en temel fonksiyonudur. SCADA sistemi vasıtasıyla enterkonnekte elektrik şebekesinin önemli noktalarını izlenmesinin yanı sıra, kontrol merkezinde bulunan “Enerji Yönetim Sistemi” ile otomatik olarak yapılan yük frekans kontrolundan başka şebeke operatörlerinin hızlı ve doğru karar verebilmek için ihtiyaç duydukları hesaplama ve analizler yapılır. Enerji Yönetim Sistemi şu uygulama programlarından oluşmaktadır : Gerçek Zaman Üretim Uygulaması, Gerçek Zaman Şebeke Uygulaması, Kısıtlılık Analizi ve Yük Akış Uygulamaları. Bu uygulama programları, SCADA vasıtasıyla toplanan bilgileri şebeke analizleri ve kontrolü için kullanmaktadır (Bahadır, 1995).

5.2.3. SCADA Sisteminden Elde Edilen Bilgilerin Matematiksel İşlemci Üzerinden Sistem Girişine Uygulanması

Bir senkron generatörün sisteme vereceği aktif ve reaktif güç, denklem (5.1) ve (5.2)'de verilmiştir (Taylor, Power System Voltage Stability, 1993).

$$P = \frac{V_t \cdot E_f}{X_s} \cdot \sin \delta \quad (5.1)$$

$$Q = -\frac{V_t}{X_s} \cdot (E_f \cdot \cos \delta - V_t) \quad (5.2)$$

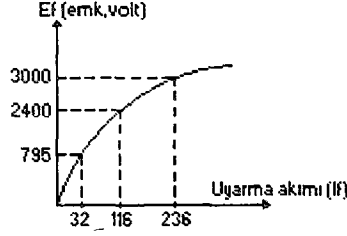
Bilindiği üzere uyarma akımının ayar edilmesi sadece reaktif güç büyüklüğüne etki etmektedir, fakat türbin giriş debisinin ayar edilmesi büyük bir miktar aktif güç üzerinde, küçük bir miktar ise reaktif güç üzerinde etkili olmaktadır. Bu sebepten dolayı aktif ve reaktif gücü tek tek düşünerek ayar etmek doğru olamaz, çünkü: iki gücede aynı anda talep vardır. Sonsuz güçlü bir baraya bağlı senkron generatörde V_t terminal gerilimi sabit olduğundan (5.1) ve (5.2) denklemlerinin ortak çözümünden δ ve E_f değerleri aşağıdaki gibi bulunur.

$$E_f = \frac{P \cdot X_s}{V \cdot \sin \left[\arctg \left[\left(\frac{V^2}{P \cdot X_s} - \frac{Q}{P} \right)^{-1} \right] \right]} \quad (5.3)$$

$$\delta = \arctg \left[\left(\frac{V^2}{P \cdot X_s} - \frac{Q}{P} \right)^{-1} \right] \quad (5.4)$$

Yukardaki denklemlerden ayar edeceğimiz δ değerini bulmuş olduk. Ama henüz uyarma akımı (I_f) değerini bilmemekteyiz. I_f değerini bulmak için ise E_f ile I_f arasındaki ilişki (5.7)'de gösterilen doyma eğrisinden yararlanacağız (Mcpherson and Laramore, An Introduction to Electric Machines and Transformers, 1990). Ayrıca kontrolü yapılan senkron generatör aşağıda doyma eğrisi ve diğer özellikleri verilen senkron generatördür. Eğriden de görüleceği üzere E_f ile I_f arasındaki bağıntı nonlineer bir bağıntıdır. Bu nonlineer eğrinin belli bir denklemi olmadığı için, eğriyi çıkarmak için yapılan deneylerden elde edilen noktaların haricindeki değerleri hassas bir şekilde bulmak

problem teşkil etmektedir. Bu maksatla bu bilinmeyen değerleri bulmak için son yıllarda kullanımı hızla artmakta olan yapay sinir ağları yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 5.7. Bulanık kontrolü yapılan senkron generatörün doyma eğrisi

5.2.3.1. Yapay Sinir Ağlarına Kısa Bir Bakış

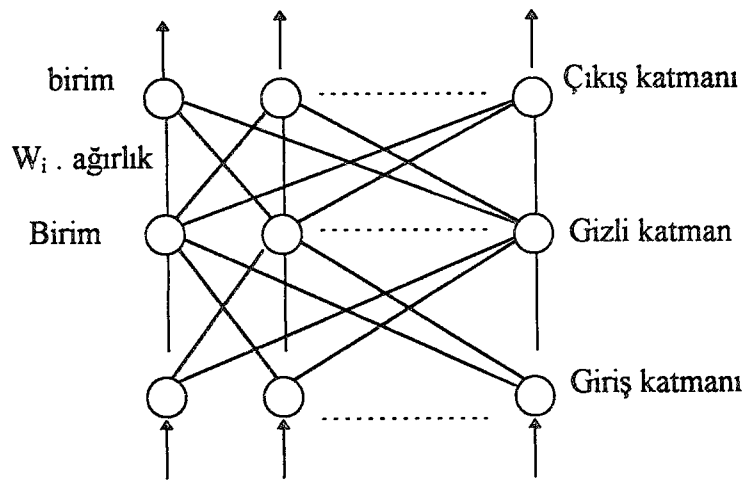
Yapay sinir ağları ya da kısaca YSA; insan beyninin çalışma sisteminin yapay olarak benzetimi çabalarının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. En genel anlamda bir YSA insan beynindeki birçok nöronun, ya da yapay olarak basit işlemcilerin birbirlerine değişik etki seviyeleri ile bağlanması ile oluşan karmaşık bir sistem olarak düşünülebilir. Önceleri temel tıp birimlerinde insan beynindeki nöronların matematiksel madelleme çabaları ile başlayan çalışmalar, geçtiğimiz on sene içerisinde, disipline bir şekil almıştır. YSA bugün fizik, matematik, elektrik ve bilgisayar mühendisliği gibi çok farklı bilim dallarında araştırma konusu haline gelmiştir. YSA'nın pratik kullanımı genelde, çok farklı yapıda ve formlarda bulunabilen bilgi verilerini hızlı bir şekilde tanımlama ve algılama üzerinedir. Aslında mühendislik uygulamalarında YSA'nın geniş çaplı kullanımının en önemli nedeni, klasik tekniklerle çözümü zor problemler için etkin bir alternatif oluşturmasıdır.

YSA teknolojisinde büyük atılımlar ancak 1980'den sonra kaydedilmiştir. Günümüzün gelişmekte olan YSA teknolojisi içinde büyük çalışma modellerinden biri ileri besleme ağlarıdır. YSA konusunda yapılan her çalışma kendine özgü ağ yapısına ve öğretme algoritmalarına sahiptir.

YSA ile yapılacak iterasyonel bir yaklaşım çok fazla iterasyon sayısı içermesine rağmen cevap süresinin çok kısa ve doğruluğunun yüksek olmasından dolayı en iyi çalışma tekniklerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bu kabulü temel bilimlerin (biyoloji, fizik ve matematik) sağladığı destekle gerçekleştirmiştir.

YSA'nın matematiksel denklem kurma zorunluluğundan bağımsız olması ve etkinliği, çok kısa zaman diliminde sonuçlara yaklaşması diğer yaklaşım metodlarına göre onu bir tercih sebebi haline getirmiştir. YSA'nın görüldüğü gibi her alana bazı ufak değişikliklerle uygulanabilirlik özelliği çoğu problemin çözümünde zaman açısından büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Bunda YSA'lar için son yıllarda geliştirilen hızlı öğrenme algoritmalarının (Fast Learning Rules) da çok büyük etkisi vardır .

Çok katmanlı YSA'lar çeşitli kompleks problemlerin çözümünde rahatlıkla kullanılabilir. Bu çalışmada da 3-katmanlı ileri besleme YSA ve eğitime için ise hatanın geriye yayılımı algoritması kullanılmıştır. Şekil (5.8)'de genel bir YSA görülmektedir.



Şekil 5.8. Genel bir YSA modeli

Yapay sinir ağıları ile elde edilen, uyarma akımına mukabil bazı Ef değerleri tablo 5.1’de görülmektedir.

Tablo 5.1. Yapay sinir ağıları ile elde edilen, uyarma akımına mukabil bazı Ef değerleri

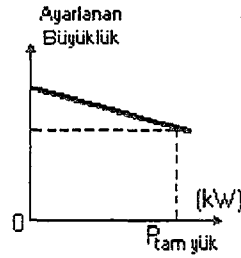
Uyarma Akımı (If)	EMK (Ef)
32	795
41.5	1010
54	1255
61	1460
116	2400
131.5	2530
149.5	2675
180	2800
236	3000

Senkron generatörün diğer özellikleri şu şekildedir : Uyarma akım sınırları (0 - 420 A) arasında değişmekte olup 9375 kVA gücünde ve 2400V nominal gerilime sahiptir.

(5.3) ve (5.4) denklemleri matematiksel işlemci içerisine programlanarak δ ve Ef değerleri bulunur. δ değeri direkt referans değeri olarak alınır, Ef değeri ise YSA’ya uygulanarak, test fazından elde edilen If değeri referans olarak alınır.

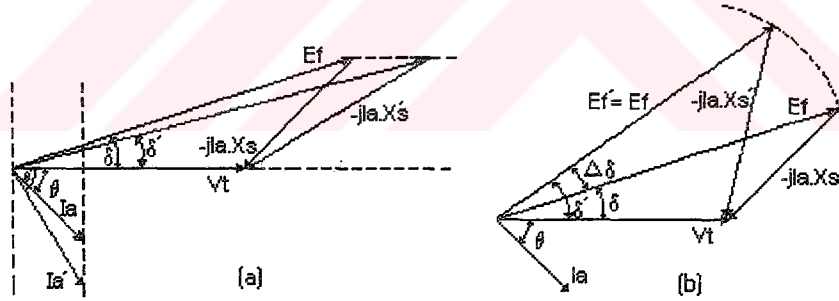
5.3. Seçilen Üyelik Fonksiyonları ve Bulanık Kurallar

Şekil (5.9)'da uyarma elemanı ve aç regülatörlerinin yük karakteristikleri görülmektedir. Görüldüğü üzere devir yük karakteristikleri lineer olarak değişmektedir. Şekil (5.10a ve b)'de ise senkron generatörlerde aktif ve reaktif güç ayarlarının fazör olarak değişimi görülmektedir.



Şekil 5.9. Regülatörlerin karakteristik şekilleri

Şekil (5.9) ve (5.10) incelenerek, şekil (5.11a ve b) ile şekil (5.12a ve b)'de gösterilen üçgen üyelik fonksiyonları hata (e) ve hatadaki değişime (ce) göre üçgen olarak seçilmiştir.

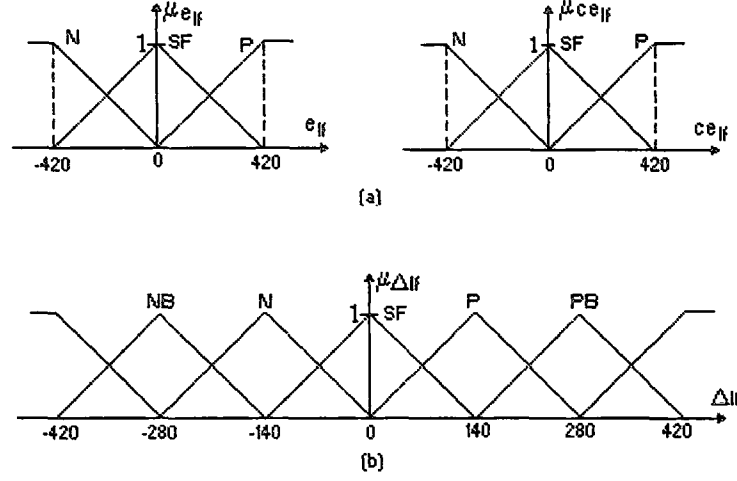


Şekil 5.10. Senkron generatörlerde (a) reaktif güç ayarı (b) aktif güç ayarı

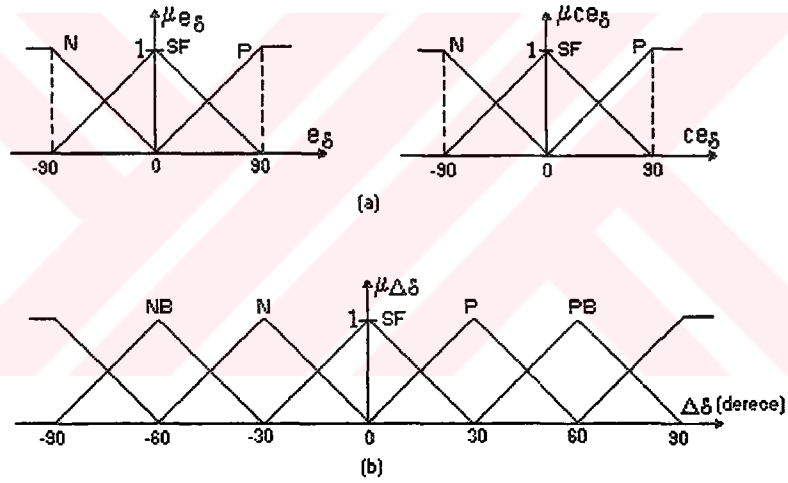
Bulanık kurallarda geçen hata ve hatadaki değişim

$$e = \text{Re ferans. Değer} - \text{Sistem. Çıkışı} \quad (5.5)$$

$$ce = \text{Bir önceki. Hata} - \text{Şimdiki. Hata} \quad (5.6)$$



Şekil 5.11. (a) I_f ve c_f giriş üyelik fonksiyonları (b) ΔI_f çıkış üyelik fonksiyonu



Şekil 5.12. (a) δ ve c_δ giriş üyelik fonksiyonları (b) $\Delta \delta$ çıkış üyelik fonksiyonu

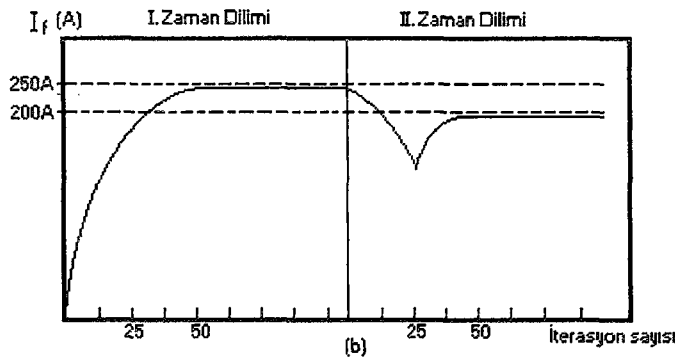
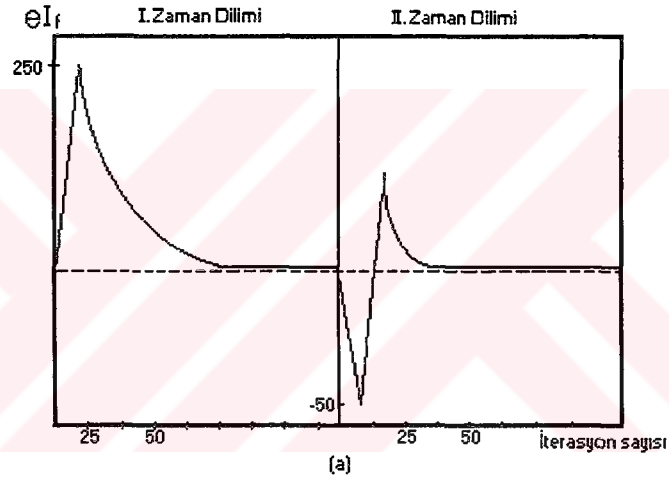
Bulanık sistem kural tablomuz ise tablo (5.2)'de verilmiştir. Tabloda : P = pozitif, SF = sıfır, N = negatif, PB = pozitif büyük, NB = negatif büyük manalarına gelmektedir.

Tablo 5.2. Bulanık kontrolör kural tablosu

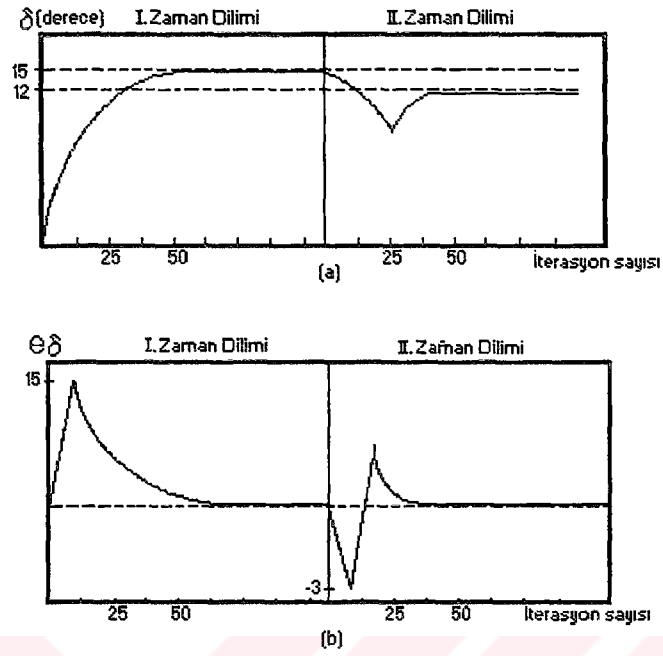
e_δ	P	SF	N
P	PB	P	SF
SF	N	SF	P
N	SF	N	NB

5.4. Simülasyon Neticeleri

Senkron generatörün aktif ve reaktif gücünün ayarlanmasını iki zaman dilimi içerisinde inceleyelim. Birinci zaman diliminde uyarma akımı sıfır amperden 250A değerine, moment açısını ise sıfır dereceden 15 dereceye; ikinci zaman diliminde ise uyarma akımını 250A'den 200A değerine, moment açısını ise 15 dereceden 12 dereceye ayarlayalım. Q - basic programlama dilinde yapılan simülasyon neticesinde şekil (5.13a ve b)'de I_f akımındaki ayarlanma ve hata değişimi görülmektedir. Şekil (5.14a ve b)'de ise δ açındaki ayarlanma ve hata değişimi görülmektedir.



Şekil 5.13. (a) Uyarma akım hatasının değişimi (b) Uyarma akımının ayarlanması



Şekil 5.14. (a) Moment açısının ayarlanması (b) Moment açısı hatasının değişimi

SONUÇLAR

Bu çalışmada, bulanık mantığın güç sistem kontrolüne uygulanması konu alınmıştır. Literatürde bulanık mantığın güç sistem uygulamalarını konu alan yayıncı gittikçe artmasına rağmen, diğer bilim dallarına nazaran uygulaması fazla değildir. Bulanık mantığın güç sistemlerine uygulanmasıyla karmaşık matematiksel ve dinamik modellere ihtiyaç duyulmamakta, dolayısıyla özellikle güç sistem kontrolü alanında çok kolay ve etkin bir şekilde kullanılabilir. Çünkü bulanık kontrol insan aklına benzer bir yöntemle, önce sistem davranışını gözlemekte sonra ona göre kontrol işlemi uygulamaktadır. Kontrol işlemi, bir uzman tarafından hazırlanmış kural tablosunu kullanarak neden sonuç ilişkisine dayandırılmaktadır.

Çalışmanın son bölümünde geliştirilmiş bir bulanık kontrolörün qbasic dilinde yazılan benzetimi yapılarak, bu program ile sonsuz güçlü bir baraya bağlı senron generatör üzerinde aktif ve reaktif güç ayarı simülasyonu yapılmıştır. Uygulanan kontrol sistemi güç sistem kontrolü için yeni bir yaklaşım olup, kontrol işareti çok kısa bir zaman diliminde çok düşük hatalarla istenen sonuca hemen ulaşmakta böylece etkin bir kontrol işlemi gerçekleşmiş olmaktadır. Önerilen kontrol yöntemi klasik yöntemlere nazaran daha az karışık ve daha etkili olup, pek fazla operatöre ihtiyaç duyulmamaktadır. Mesela paralel çalışan iki generatörün bir yükü bölüşmesi işleminde klasik yöntemlerde bir operatör gerekmesine rağmen önerilen yöntemde, sadece ayarlanması istenen değerlerin referans olarak girilmesi yeterlidir. Ayrıca bu yöntemle daha hızlı ve daha hassas kontrol işlemi gerçekleştirilebildiğinden güç sistem kararlılığına iyileştirici bir etki yapar.

Önerilen sistem üzerinde çalışmaların artmasıyla kullanım alanının genişlemesi temin edilebilir.

KAYNAKLAR

Carson, W., T., Balu, Neal J.B., Power System Voltage Stability Mc Graw Hill, Newyork, 1993.

Charles A., G., Power System Analysis, USA, 1986

Gönen, T., Modern Power System Analysis, Canada, 1988.

Kaufmann, A., Introduction to Fuzzy Aritmethic Theory and Applications, USA, 1991

Kaynak, O., Süreç Denetiminde Yeni Bir Yaklaşım ; Bulanık Mantık, Sayısal Motor Kontrolü Semineri, Eylül, 1994.

Lee, C.C., Fuzzy Logic In Control Systems : Fuzzy Logic Controller Part II, IEEE Transcation On Systems, Man, And Cybernetics, Vol.20, No.2 , April, 1990

Mamdani, E.H., Development in Fuzzy Logic Control, 23. IEEE Confefence on Decision and Control, December, 1994

Nagrathy, I., J., Kathari D., P., Modern Power System Analysis, Mc Grawn Hill, New Delhi, 1982.

Neal J., B., Mark G. Lauby, Power System Stability and Control, Newyork 1993.

Huang, L.I., Tomizuka, M., A Self - Paced Fuzzy Tracking Controller for Two-Dimentional Motion Control, IEEE Transcation On Systems, Vol.20, No.5, September/October, 1990.

Peşint, M., A., Elektrik Santralları Enerji İletimi ve Dağıtımı, M.E.G.S.B. Devlet Kitapları, 1986.

Pramth, R., Edwards, R.M., Lee, K.Y., An Automatic Tuning Method of a Fuzzy Logic Controllers for Nuclear Reactors, IEEE Transcation On Nucleer Science, Vol.40, No.4, August, 1993.

Schründer, C.P., A fuzzy Knowledge- Based Decision Support toolfor Production Operations Manegment, Expert Systems, Vol.11, No.1, February, 1994

Sugeno, M., Fuzzy System Theory and its Applications, USA, 1993. -

Uçan, B., Bir SCADA/EMS Uygulaması, Elektrik Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi, 1995

Virk, G., S., Digital Computer Control Systems, Macmilian Education Ltd., London, 1991.

Yamayee, Z.,A, Juan L., Bala, Y., Electromechanical Energy Devices and Power Systems, Newyork , 1986.

Zadeh, L.A., Fuzzy sets, Information and Control, vol. 8, p.p. 338 - 353, 1965

Zadeh, L.A., outline of a New Aproach to the Analysis of Comlex Systems, and Decision Processes, IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, vol, p.p. 28 - 44, 1973

*****SENKRON GENERATORLARDE REAKTIF GUC AYARI*****

```

SCREEN 1
DIM MAX(5)
ES = 100
E1S = 100
D = 0: I = 0
BE = 0: K = 1:30 : R = 250
I = I + D
E = R - I
CE = BE - E
BE = E
REM PRINT "I="; I, "E="; E, "CE="; CE, "D="; D
LINE (0, 100)-(400, 100)
ES1 = (.4 * CINT(E) + 100)
E1S1 = (.4 * CINT(I) + 100)
LINE (K, 200 - ES)-(K + 15, 200 - ES1), 5
LINE (K + 150, 200 - E1S)-(K + 15 + 150, 200 - E1S1), 4
E1S = E1S1: ES = ES1: K = K + 15
FOR J = 1 TO 100: NEXT
A = ABS(E): GOSUB 600
A = ABS(CE): GOSUB 700
IF Y1 < YC1 THEN H1 = Y1 ELSE H1 = YC1
IF Y1 < YC2 THEN H2 = Y1 ELSE H2 = YC2
IF Y2 < YC2 THEN H3 = Y2 ELSE H3 = YC2
IF Y2 < YC1 THEN H4 = Y2 ELSE H4 = YC1
IF E < 0 AND CE < 0 THEN 100
IF E < 0 AND CE >= 0 THEN 200
IF E >= 0 AND CE < 0 THEN 300
IF E >= 0 AND CE >= 0 THEN 400:100 :
D = (140 * H2 + (-280 * H3) + (-140 * H4)) / (H1 + H2 + H3 + H4)
GOTO 30:200 :
IF H1 < H3 THEN H1 = H3
IF H2 < H4 THEN H2 = H4
D = (-140 * H2) / (H1 + H2)
GOTO 30:300 :
IF H1 < H3 THEN H1 = H3
IF H2 < H4 THEN H2 = H4
D = (140 * H2) / (H1 + H2)
GOTO 30:400 :
D = (-140 * H2 + (280 * H3) + (140 * H4)) / (H1 + H2 + H3 + H4)
GOTO 30:600 : Y1 = -E / 420 + 1: Y2 = E / 420
RETURN:700 : YC1 = -CE / 420 + 1: YC2 = CE / 420
RETURN

```

*****SENKRON GENERATORLARDE AKTIF GUC AYARI*****

```

SCREEN 9
DIM MAX(5)
ES = 100: E1S = 100: D = 0
I = 0: BE = 0: K = 1:30 : R = 250: I = I + D: E = R - I
CE = BE - E: BE = E
REM PRINT "I="; I, "E="; E, "CE="; CE, "D="; D
LINE (0, 100)-(400, 100)
ES1 = (.4 * CINT(E) + 100)

```

```

E1S1 = (.4 * CINT(I) + 100)
LINE (K, 200 - ES)-(K + 15, 200 - ES1), 5
LINE (K + 150, 200 - E1S)-(K + 15 + 150, 200 - E1S1), 4
E1S = E1S1: ES = ES1: K = K + 15
FOR J = 1 TO 100: NEXT
A = ABS(E): GOSUB 600
A = ABS(CE): GOSUB 700
IF Y1 < YC1 THEN H1 = Y1 ELSE H1 = YC1
IF Y1 < YC2 THEN H2 = Y1 ELSE H2 = YC2
IF Y2 < YC2 THEN H3 = Y2 ELSE H3 = YC2
IF Y2 < YC1 THEN H4 = Y2 ELSE H4 = YC1
IF E < 0 AND CE < 0 THEN 100
IF E < 0 AND CE >= 0 THEN 200
IF E >= 0 AND CE < 0 THEN 300
IF E >= 0 AND CE >= 0 THEN 400:100 :
D = (30 * H2 + (-60 * H3) + (-30 * H4)) / (H1 + H2 + H3 + H4)
GOTO 30:200 :
IF H1 < H3 THEN H1 = H3
IF H2 < H4 THEN H2 = H4
D = (-30 * H2) / (H1 + H2)
GOTO 30:300 :
IF H1 < H3 THEN H1 = H3
IF H2 < H4 THEN H2 = H4
D = (30 * H2) / (H1 + H2)
GOTO 30:400 :
D = (-30 * H2 + (60 * H3) + (30 * H4)) / (H1 + H2 + H3 + H4)
GOTO 30:600 : Y1 = -E / 90 + 1: Y2 = E / 90
RETURN:700 : YC1 = -CE / 90 + 1: YC2 = CE / 90
RETURN

```

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi : 11 Eylül 1970

Doğum Yeri : Kayseri

Eğitim : 1985 - 1988 Kayseri Fevziçakmak Lisesi

: 1989 - 1993 Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Müh. Bölümü

: 1993 - 1996 Yıldız Teknik Üniversitesi F.B.E. Master Programı

İşi : 1994 - Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Müh. Bölümünde Arş.
Görevlisi

