



T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE YAPAY ZEKÂ İLE YÜK
FREKANS KONTROLÜ**

Mehmet Mustafa YILDIRIM

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
EYLÜL-2017

T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE YAPAY ZEKÂ İLE YÜK
FREKANS KONTROLÜ**

Mehmet Mustafa YILDIRIM

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
EYLÜL-2017

T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK ANABİLİM DALI

Tezin Adı: **ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE YAPAY ZEKÂ İLE YÜK FREKANS KONTROLÜ**
Öğrencinin, Adı Soyadı: Mehmet Mustafa Yıldırım
Tez Savunma Tarihi: 15/09/2017
Fen Bilimleri Enstitüsü onayı


Kod No: 72

Doç. Dr. Mustafa Demirci
Enstitü Müdür V.

Bu tezin Yüksek Lisans/Doktora tezi olarak gerekli şartları sağladığımı onaylarım.

Doç. Dr. Muharrem Karaaslan
Enstitü ABD Başkanı

Bu tez tarafımda okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.


Y.Doç. Dr. Ersin Özdemir
Tez Danışmanı

Bu tez tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri:

Y.Doç.Dr. Ersin Özdemir

Y.Doç.Dr. Halil Erol

Y.Doç.Dr. Oğuzhan Akgöl

İmzası


.....

.....

.....

15/09/2017

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

Mehmet Mustafa YILDIRIM

SEMBOLLER DİZİNİ

S	: Güç görünür güç
P	: Aktif güç
Q	: Reaktif güç
F	: Frekans
Kp	: Oransal Kazanç
Ki	: İntegral Kazanç
Kd	: Türevsel kazanç
N	: Devir
UCTE	: Avrupa elektrik iletim koordinasyon birliği
Hz	: Hertz
Kv	: Kilovolt
Mw	: Megawatt
Kw	: Kilowatt
Pe	: Türbin Elektriksel tork gücü
Pm	: Türbin mekanik tork gücü
Rpm	: Bir dakikada dönme tur sayısı
Pk	: Kutup sayısı
DC	: Doğru akım
AC	: Alternatif akım
ELC	: Elektronik yük frekans kontrolörü
IGBT	: İzole edilmiş kapılı 2 kutuplu transistor (Insulated Gate Bipolar Transistor)
IGCT	: Kapısı izole özel tristör
PWM	: Darbe genlikli kare dalga
PID	: Oransal, integral ve türevsel kontrol
Fuzzy	: Bulanık kontrolör
IELC	: İzoleli Elektronik Frekans Kontrolör (Isolated Electronic Frequency Controller)
YSA	: Yapay Sinir Ağları

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1 Bir numaralı eğri frekans kontrolü ve kontrolsüz gösterimi.....	8
Şekil 2 Santral Frekans Güç Değişim Tepkisi	9
Şekil 4 Primer, sekonder ve tersiyer frekans kontrol akış diyagramı	12
Şekil 5 Güç sistemlerinin genel prensip modeli.....	25
Şekil 7 Kaplan Türbini	27
Şekil 8 a) Francis Türbin b) Pelton Türbin	27
Şekil 9 Rüzgâr Türbinleri.....	28
Şekil 10 Gaz Türbini	28
Şekil 11 Stator	29
Şekil 12 Rotor	29
Şekil 13 Rotoru Çıkıntılı Kutuplu Generatör Rotoru	30
Şekil 14 Rotoru Silindirik Kutuplu Generatör Rotoru	30
Şekil 15 Step-up trafosu	33
Şekil 17 Kapalı çevrim kontrol sistemi blok diyagramı.....	36
Şekil 18 Bulanık mantık kontrol birimi genel görünümü	41
Şekil 19 Üçgen üyelik fonksiyonunu ve sonuç işlemi	42
Şekil 20 Yamuk üyelik fonksiyonu ve sonuç işlemi.....	42
Şekil 21 Çan eğrisi üyelik fonksiyonu ve sonuç işlemi	43
Şekil 22 Bulanık mantık ağırlık merkezi yöntemi	44
Şekil 23 Bulanık Mantık Yükseklik yöntemi.....	45
Şekil 24 Elektrik üretim genel görünüm sistemi.....	46
Şekil 26 ELC kontrollü elektrik üretim santrali.....	49
Şekil 28 Matlab programında tüketici yükünün gösterimi.....	52
Şekil 29 Matlab programında generatör ünitesinin gösterimi.....	53
Şekil 30 Matlab' ta bir 3 faz ELC sisteminin modeli ve denge yükleri.....	54
Şekil 31 Yük Miktarı Frekans Değişimi	56
Şekil 32 Triyak anahtarlama yapısı ve gösterimi.....	57
Şekil 33 Triyak tetiklenmesi	57
Şekil 34 Frekans Osilatör mukayese gösterimi.....	58
Şekil 35 Fuzzy Kontrolörü uygulanmış ELC sisteminin kontrol algoritması.....	59
Şekil 37 Frekans hata sinyaline göre olan çıkış fonksiyonu	63
Şekil 38 Yük Kontrolsüz sistemde frekans gösterimi.....	65
Şekil 39 PID tabanlı yük kontrol sistemi ile sistemin frekansının gösterimi.....	66
Şekil 40 Fuzzy tabanlı yük kontrol sistemi ile sistemin frekansının gösterimi.....	67
Şekil 41 Üretilen güç, Denge yükünde harcanan enerji frekans ilişkisi	68
Şekil 42 Üretilen güç, Denge yükünde harcanan enerji frekans ilişkisi	69
Şekil 43 Yük değişimi Frekans ilişkisi.....	70

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1 Frekans hata sinyaline göre olan giriş üyelik fonksiyonunu.....	62
Tablo 2 Frekans hata sinyaline göre olan giriş üyelik işleminin sonucu	63
Tablo 3 Frekans kontrolör test içerik tablosu.....	64

İÇİNDEKİLER

SEMBOLLER DİZİNİ.....	I
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	II
TABLolar DİZİNİ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET.....	V
ABSTRACT.....	VI
LOAD FREQUENCY CONTROL USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ELECTRIC POWER SYSTEMS.....	VI
TEŞEKKÜR.....	VII
1.GİRİŞ	1
1.1 Yük Frekans Kontrolü.....	4
1.1.1 UCTE hakkında.....	6
1.2 Frekans kontrol yöntemleri	7
1.2.1 Birincil kontrol.....	7
1.2.2 İkincil kontrol.....	10
1.2.3 Üçüncül (Tersiyer) kontrol.....	11
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	12
3.GÜÇ SİSTEMLERİ BİLEŞENLERİ.....	20
3.1 Şebekelerde frekans seçimi	21
3.2 Türbinler.....	25
3.2.1 Su Türbinleri	26
3.2.2 Rüzgâr türbinleri	27
3.2.3 Gaz türbinleri	28
3.3 Generatörler.....	28
3.3.1 Stator (Endüvi).....	29
3.3.2 Rotor (Endüktör).....	29
3.4 Governor (Frekans kontrolörü)	31
3.5 Uyarım Sistemleri	32
3.6 Trafolar.....	32
3.7 Elektrik şebekeleri.....	33
3.8 Yükler.....	33
4.MATERYAL VE YÖNTEM	34
4.1 Otomatik Kontrol	35
4.2 Genel olarak otomatik kontrolörü içeriği	37
4.2.1 P kontrolör.....	37
5. FREKANS KONTROLÜNDE UYGULAMALAR.....	45

5.1 Sistemin Matlabda Modellenmesi.....	51
5.3 Test Sonuçları.....	64
6.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	72
7.KAYNAKLAR	74



ÖZET

ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE YAPAY ZEKÂ İLE YÜK FREKANS KONTROLÜ

Bu çalışmada güç değeri 100 kW'a kadar olan, küçük çaplı hidroelektrik santrallerinde kullanılabilir, yük frekans kontrolü ele alınmıştır. Köy ve mezralarda bulunan, debileri az olan akarsu yatakları üzerinde kurulabilecek, küçük ölçekli santraller de frekans kontrollünün yapılması amacıyla bir sistem tasarlanmıştır.

Çalışmada Elektronik yük frekans kontrolörü için PID ve Fuzzy kontrol teknikleri ayrı ayrı Matlab programı ile modellenerek, tasarlanan sistemin oluşabilecek durumlara verdiği cevaplar incelenmiştir. Simülasyon sonuçları kontrolsüz, PID ve Fuzzy kontrollü olarak alınmıştır. Fuzzy kontrolün daha etkin olduğu deneylerde görülmüştür.

2017, 76 Sayfa

Anahtar kelimeler: Yük-frekans kontrolörü, Elektronik yük frekans kontrolörü, Fuzzy ve PID tabanlı Elektronik yük frekans kontrolörü, Güç sistemleri.

ABSTRACT

LOAD FREQUENCY CONTROL USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ELECTRIC POWER SYSTEMS

In this study, load frequency control, which can be used in small diameter hydroelectric power plants with power values up to 100 kW, is considered. A system is designed for frequency control purposes for small-scale power plants which can be built on rivers with low volume located in villages and hamlets.

In the study, the PID and Fuzzy control techniques for the electronic load frequency controller are modeled separately with the Matlab program and the responses of the designed system to the possible situations are investigated. Simulation results are obtained uncontrolled, PID and Fuzzy controlled. Experiments and the results have shown that fuzzy control is more effective.

2017, 76 Pages

Key Words: Load frequency controller, Electronic ballast controller based on Fuzzy and PID, Power systems.

TEŞEKKÜR

Yaptığım bu çalışmada bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Sayın Yrd. Do. Dr. Ersin ÖZDEMİR'e teşekkür ederim. Ayrıca bu Tez sırasında desteklerini esirgemeyip sabır gösteren aileme çok teşekkür ederim.



1.GİRİŞ

Dünya nüfusundaki artışa bağlı olarak enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Kaynakların sınırlı olması nedeniyle elektrik enerjisi üretiminde verimlilik, maliyet, çevreye etki gibi parametrelerin de önemi artmaktadır.

Verimlilik elektrik üretiminde girdi olarak harcanan kaynağın enerjiye dönüşme oranıdır. Enerji kaynağı kısıtlı olan yerlerde doğal olarak verimi daha yüksek sistemlere (Üreteçler, Kontrol ekipmanları) gerek duyulur.

Maliyet elektrik üretiminde diğer önemli bir kriterdir. Elektrik santralleri kurulmadan önce ön fizibiliteden geçerek gerekli raporlar hazırlanır. Hazırlanan rapora göre üretilecek elektriğin kilovatının maliyeti belirlenir. Maliyetin yüksek olması santralin kurulmasını işletilmesini ekonomik olmaktan çıkarır. Elektrik santralleri genel olarak doğal kaynaklara yakın yerlere kurulur. Burada amaç santral kurulum maliyetlerini azaltmaktır.

Çevre enerji üretiminde diğer önemli bir parametredir. Özellikle termik santrallerde her ne kadar filtre kullanılsa da çevre kirliliği oluşmaktadır. Bu filtrelerin % 95 oranında filtreleme yapabilmesi bile çevre kirliliğinde büyük etkiye sahiptir. Termik santrallerden atmosfere SO₂, NO_x, CO türevleri ile uçucu küllerde bulunan Fe, Zn, Cu, Pb vb. ağır metaller atılmaktadır. Nükleer santraller de çevre konusunda risk teşkil etmektedir. Yakın zamanda bu riskin felakete dönüştüğü Fukuşima ve Çernobil örnekleri mevcuttur. 1986 yılında Çernobil Nükleer Santrali'nde reaktör patlaması sonucu radyoaktif sızıntı meydana gelmiş ve çok geniş bir alanda kirlenmeye neden olmuş, ülkemiz de etkilenmiştir. 2011 yılında deprem sonucunda Japonya/Fukuşima nükleer santralinden atmosfere radyoaktif madde sızmış ve Büyük okyanusta radyoaktif kirlilik oluşmuştur. Bu bakımından kurulacak santraller çevre konusunda da dikkatli değerlendirilir.

Elektrik üretimi belirli kaynağa bağlı olarak gerçekleşir. Bu kaynaklar güneş, rüzgâr, su ve yeraltı kaynaklarıdır. Bu kaynaklar sayesinde üretilen elektrik, tüketiciler için belirli bir gerilim ve frekans düzeyinde olmak zorundadır. Santrallerde üretilen elektriğin frekansı belirli bir kontrolden geçerek tüketiciye ulaştırılır. Elektrik gerilimi ise şebeke üzerinde bulunan alçaltıcı ya da yükseltici trafolar vasıtası ile ayarlanarak tüketicinin istediği değerlere getirilir.

Santrallerin kurulumu, devreye alınması işletilmesi gibi zor süreçleri içinde barındırır. Bu aşamaların zorluğu, santrallerin tipine, büyüklüğüne göre değişebilmektedir. Termik santraller için bu durum diğer santrallere göre daha kapsamlı çalışma ve daha uzun bir süreç gerektirir. Kurulacak santralin gücü ne kadar büyükse maliyetlerde orantılı olarak artar. Bu yüzden elektrik üretiminde büyük güçlü santrallerin (> 1 MW) kurulumunun tüzel kişiler tarafından karşılanması zordur.

Ülkemizde son birkaç yıl içinde enerji santrallerinin kurumu konusunda çeşitli düzenlemeler yapılmıştır. Tüzel kişi kendi elektriğini lisansız üretebilmekte isterse ürettiği enerjinin fazlasını dağıtım şirketlerine satabilmektedir. Bundan dolayı girişimciler kendi elektriğini üretmenin yolunu aramaktadırlar. Ülkemizde santral kurulumu için gerekli donanım, malzeme ve bilgi birikimi çoğunlukla yurt dışından temin edilmektedir. Bunlardan güneş panelleri, invertörler, rüzgârgülleri, türbinler ve generatörlerin temini için yurtdışına yüklü miktarda döviz aktarılmaktadır. Her yıl 50 milyar dolarlık pazar payı olan ülkemizde de bu yatırımlara ayrılan kaynağın büyük bir kısmı yurt dışına gitmektedir. Bununla birlikte ülkemizde yerli rüzgârgülleri ve su türbinleri gibi santral ekipmanları da üretilmeye başlanmıştır.

Ülkemizde türbin üretilmeye başlansa da generatör ve invertör gibi elektriksel ekipmanlar konusunda çalışmalar istenen düzeyde değildir. Yakın zamanda TÜBİTAK Mam, İstanbul Ulaşım A.Ş. ve TUSAŞ/TAI gibi kurumların işbirliği ile çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada amaç, milli rüzgâr enerji sistemlerinin geliştirilmesi ve prototip türbin üretimi projesi (MİLRES) dir. Her ne kadar projenin adı MİLRES olsa da projede kullanılan invertörler Siemens marka olarak seçilmiştir. Yine yakın zamanda 1000 MW'lık rüzgar enerji santrali için ihaleyi Siemens-Kalyon şirketlerinin oluşturduğu konsorsiyum kazanmıştır.

Büyük güçlü santrallerin (>1 MW) kurulumu için yapılacak yatırımlar çok kapsamlı ve masraflıdır. Gerekli yakıt kaynaklarının bulunması, çevre raporlarının hazırlanması, lisansların alınması oldukça zahmetlidir.

Güç bakımından küçük (<1 MW) olan santrallerin kurulumu kolaydır. Küçük güçteki santrallerin büyük çaplı santrallere göre avantajları vardır. Bunlar hızlı malzeme temini, bakım kolaylığı, maliyetinin daha az olması, kullanılan ekipman sayısının az olması ve daha az kompleks olması bunlardan bir kaçıdır. Bu yüzden bu tür küçük güçteki santrallerin sayısının artış gösterme potansiyeli yüksektir. Buna en iyi örnek

Almanya’da çatılara kurulan güneş santrallerinin sayısının fazla olmasıdır. Ayrıca ÇED raporlarına da gerek kalmadığından, zaman ve para kaybı bu noktada yaşanmaz.

Küçük güçteki santrallerin sayısının artmasında teknolojik gelişmelerin etkisi büyüktür. Öyle ki yarı iletken teknolojisindeki gelişmeler ile verimi yüzde yirmilere kadar çıkan güneş panellerinin, elektrik şebekelerine bağlı invertörlerin, kendinden uyarımlı generatörlerin, kendi kendine otomatik gerilim kontrolü yapan generatörlerin üretilmesi, bu gelişmelerden bir kaçıdır. Debisi 1 metreküpten az olan yerlerde kurulması zor olan büyük çaplı hidroelektrik santrallerinin yerine mikro santraller kurulabilmektedir. Bu tür mikro santraller rüzgâr ve güneş sistemleri için de aynıdır. Elektrik üretmek için enerji kaynaklarına göre fiziksel olarak tasarım yapmak gerekebilir. Havuz tipli hidro elektrik santrallerinden ayrı olarak, akarsu üzerinde havuz olmadan ve doğrudan debiden faydalanılarak elektrik üreten santraller kurulabilmektedir. Günümüzde mobil santrallerin kurulumu yapılmaktadır.

Elektrik santrallerinde genel olarak frekans kontrol üniteleri ve generatörlerin önemi büyüktür. Generatör elektrik üreten kısım, frekans kontrolörü üretilen elektriğin frekansını ayarlayan kısımdır. Güneş kaynaklı enerji sistemlerinde (güneş pilli sistemler) elektrik üretici güneş panelleridir. Frekans kontrolü ise invertörler sayesinde yapılmaktadır. Güneş pili ile çalışan enerji santralleri hariç, diğer santrallerde elektrik üretimi senkron generatörler vasıtası ile yapılmaktadır. Bu santrallerde frekans kontrolü, generatöre yol veren türbinin devrinin kontrolü ile yapılmaktadır. Türbin kontrolü hidrolik sistemler, servo sistemler vasıtası ile yapılmaktadır. Güneş pili kullanılan santrallerde üretim invertörler ile sağlanır.

Mikro santrallerinde kendinden uyarımlı senkron ya da asenkron generatörlerin kullanılması elektrik üretiminde bir avantaj sağlamıştır. Çünkü uyartım için fazladan ek sistem kurmaya gerek kalmaz.

Bununla beraber mikro santrallerde frekans kontrolünü sağlamak için ek sistemler kurmak gerekir. Bu iş için türbin ayarını yapacak mekanik sistemler veya güç elektroniği teknolojisi ile çalışan aynı görevi yapacak sistemler kullanılabilir. Mekanik olarak kullanılan frekans kontrolörünün maliyeti toplam sistemin kurulumunda ek bir yük getirmektedir.

Bu çalışmada kullanılacak frekans kontrolörü klasik frekans kontrolörü olan mekanik kontrolden farklı olarak daha ucuz, pratik, kullanıcı dostu olan elektronik

sistem üzerinde durulmuştur. Elektronik yük frekans kontrolörü olarak adlandırılan bu sistem sayesinde enerji üretiminde normal sistemlerden farklı olarak toplam tüketilen yük değiştirilerek frekans kontrolü sağlanmıştır.

1.1 Yük Frekans Kontrolü

Nüfusun artmasına paralel olarak elektrik enerjisinin tüketimi artmaktadır. Elektrik enerjisinde talebin artması beraberinde yeni elektrik şebekeleri, yeni santral ve diğer güç sistemleri ihtiyacını artırmaktadır.

Enerjinin artan önemi bilim insanlarını bu konu hakkında yüksek verimli yöntemlere yönlendirmiştir. Enerji planlama ve denetleme kurulu verilerine göre 2015 yılında Türkiye'nin elektrik üretiminin % 39' u doğalgazdan üretilmiştir. Türkiye gibi doğalgaz kaynağı olmayan ülkelerde haliyle doğalgaz santrallerinin verimi en yüksek seviyede tutmak gerekmektedir. Bu nedenle doğalgaz türbinlerinde daha verimli santrallerin kurulması sonucunda yakın zamanda kurulan fakat verimi düşük doğalgaz çevrim santralleri kapatılmaktadır. Van doğalgaz çevrim santrali (Aksa Enerji 2015 -51 MW kapasiteli) bu sebeple kapanmıştır. Doğal kaynakların kısıtlı miktarda olması insanları verimli, uzun ömürlü, düşük maliyetli yeni teknolojik gelişmelere sevk etmiştir.

Elektrik talebinin artması, elektrik üretim tesislerinin artmasına, elektrik şebekelerinin genişlemesine neden olmuştur. Santrallerde frekans kontrolü, elektrik talebindeki artışa bağlı olarak daha da zor olmaktadır. Elektrik şebekeleri taşıyacağı yük miktarına ve gerilimine göre şekil, yapı ve içerik bakımından birden fazla türe dönüşmüştür. Elektrik şebekeleri iletim gerilimi değişik değerlerde, örneğin 36KV, 154KV vb. olabilir. Bu şebekelerde kullanılan iletken kalınlığı, yüksek gerilim direklerinin boyutları, bulunduğu zaman dilimine göre inşa edilmişlerdir. Günümüzde Amerika, Rusya ve Çin gibi büyük ülkelerde elektrik dağıtım şebekeleri 1000 KV AC. ve üstü olarak tasarlanmakta ve bu değerlerin üstü denemeler yapılmaktadır. Çin'de Jindongnan-Nanyang bölgeleri arasında 2009 yılında tamamlanan 1000 KV AC ultra yüksek voltaj hattı şu an devrededir.

Yeni elektrik şebekelerinde gerilim değerine bağlı olarak kullanılan yüksek gerilim kablolarının boyutları, bu kabloların bağlantıları ve ekipmanları değişmektedir. Ülkemizde 380 KV AC sistemler yakın zamanda devreye alınmıştır. Burada amaç gerilimi yükselterek sistemin taşıyacağı akımı düşürmek ve daha az kablo kullanarak

maliyeti azaltmaktır.

Elektrik şebekeleri oluşumuna göre çeşitli uygulamalar vardır. Tek bir ülke, bölge ya da alanı içine alan şebekeler bulunmaktadır. Bununla birlikte birkaç ülke, bölge ya da alanın elektrik şebekesinin birleştiği şebekelerde mevcuttur. Bu ortak şebekeye enterkonnekte şebeke denir. Ülkelerin ortak bir şebekeye bağlı olması enerji alışverişinde kolaylık sağlaması, maliyetlerin düşürülmesi, elektrik sistemindeki parametrelerin daha kolay ve etkin şekilde kontrol edilebilmesi için gerekmektedir.

Enterkonnekte şebekeleri oluşturan ülkeler, bölgeler ya da kıtaların öncelikle kendi bölgelerinde elektrik üretim değerlerini kontrol etmeleri gerekmektedir. Bu parametreler arasında, üretilen elektriğin frekansı ve gerilimi bulunmaktadır. Frekansın belirli değere regüle edilmesi, gerilimin istenen değerler arasında ayarlanması gerekmektedir. Bölgeler arası şebekelerin enterkonnekte şebekeye bağlanması için o bölgenin elektrik gerilim değerinin, faz açısı ve frekansı enterkonnekte şebekenin değerleri ile aynı olması gerekmektedir. Enterkonnekte şebekeye bağlı bir bölgenin ürettiği elektrik frekansının enterkonnekte şebeke frekansından farklı olması durumunda bölge enterkonnekte şebekeden ayrılmak zorundadır. Enterkonnekte bir şebekede herhangi üretim bölgesinin kendi iç frekansı istenen frekansın farklı olup enterkonnekte sistemden ayrılmaz ise tüm enterkonnekte şebekede olumsuz etkiler yaşanabilir. 2015 yılı Mart ayında ülkemizde benzeri bir durum yaşanmış, Türkiye genelinde elektrik şebeke sistemi çökmüş ve ülkemiz saatler boyunca elektrik kesintisi olmuştur. Bu felaket sonucunda fabrikalarda üretimler durmuş, ulaşımda aksamalar meydana gelmiş, büyük maddi kayıplar oluşmuştur.

Elektrik sistemlerinde bozucu etkilere karşı önleyici sistemler geliştirilmektedir. Bölgesel sistemler arası anlık güç alış verişini takibi için bütün güç sistemleri arasında bir haberleşme ağı vardır. Bu haberleşme alt tabanı fiber optik kablo ve teknolojisi kullanılarak yapılır. Bölgeler arası sistemler bu haberleşme sayesinde kendi arasında olan güç alışverişini, merkezi sistem ile kendi sistemi arasındaki frekans karşılaştırmasını yapmaktadır. Bu parametrelerin kontrolü insan kontrolünden bağımsız otonom sistemler tarafından yapılır.

Elektrik enerjisi güneş pilleri haricinde alternatör vasıtası ile üretilir. Alternatörün dönmesi ile alternatör sargıları arasında gerilim indüklenir ve elektrik enerjisi ortaya çıkar. Alternatör vasıtası ile oluşan gerilim alternatörden kaynaklı olarak

belirli bir frekansta üretilir. Örneğin Amerika birleşik devletlerinde üretilen gerilimin değeri 110 volt iken frekansı 60 Hz, Avrupa ülkelerinde ve ülkemizde bu değer 220 volt ve 50 Hz değerindedir. Frekans alternatörün devir sayısı, kutup sayısı ile doğrudan ilişkilidir. Alternatörün ya da generatörün dönmesini sağlayan fiziksel bir güce ihtiyaç vardır. Bu güç su, rüzgâr, buhar gibi kaynaklardan sağlanır. Generatörü çeviren mekanik gücün değeri sürekli olmalıdır. Rüzgâr santralleri gibi sistemlerde mekanik gücü sağlayan rüzgârın şiddeti her zaman aynı olmadığı için bu sistemlerde frekans kontrolü için özel ekipmanlar kullanılır. Termik santrallerde türbini döndüren mekanik güç sürekli dir. Frekans kontrolör, türbine aktarılan mekanik gücü kontrol (regüle) eder.

Generatörün dönmesini sağlayan fiziksel gücün miktarı generatörün üreteceği gücü belirleyeceği için önemlidir. Bu fiziksel güç, elektrik enerjisinde aktif güç adı verilen ve direk elektriksel ekipmanların çalışmasını sağlayan kısmı oluşturur. Frekans aktif gücün değeri ile doğrudan orantılıdır. Frekans, elektriğin kalitesini gösteren önemli bir parametredir. Alternatif akım yöntemi ile üretilen sistemlerde frekans değeri belirli değerde olmak zorundadır ve bu değerlerin üstüne ve altına çıkması istenmez. Bu değerler Avrupa elektrik iletim koordinasyon birliği (European Network of Transmission System Operators UCTE) tarafından belirlenmiştir.

1.1.1 UCTE hakkında

Avrupa elektrik iletim koordinasyon birliği (UCTE) 1951 yılında kurulmuştur. İsviçre, Fransa ve Almanya'daki elektrik iletim şirketlerinin kurduğu bir birlik olarak ortaya çıkmıştır. Bu birliğe diğer Avrupa ülkelerinde faaliyet gösteren elektrik iletim şirketlerinin de katılması ile birlik genişlemiştir. Türkiye Elektrik Sisteminin, UCTE (Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity) ile ilgisi 1975 yılında başlamıştır. Türkiye bu tarihte bu yana programa alınmıştır. Bu birliğin kurulmasının amacı enterkonnekte sistemin işletme emniyetini ve enterkonnekte sistemin senkron işletiminin kalitesini sağlamaktadır. 21 Mart 2000 tarihinde UCTE prosedürleri çerçevesinde komşu ülke statüsü ile Yunanistan tarafından teklif edilmek suretiyle Türkiye elektrik sisteminin UCTE ye bağlantısı için başvuruda bulunmuştur. UCTE yönetim komitesi 26 Nisan 2000 tarihinde Türkiye Elektrik sistemi ile UCTE elektrik sistemi arasındaki senkronize bağlantı imkânlarını göz önünde bulundurarak değerlendirmiştir. Türkiye bu birliğe 2006 yılında dâhil olmuştur.

Frekans bir ülkenin gelişmişliğini gösterir. Frekansta kalite frekansın istenen

değerlerde bozucu etmenlerden etkilenmeden istikrarlı şekilde tutulmasıdır. Frekansın sabit tutulması kadar, frekanstaki bozulma değişimlerine karşı kontrol sistemlerinin de iyi tasarlanması son derece önemlidir. Çünkü frekanstaki bozulmalara karşı frekans kontrolörün düzeltme işlemini milisaniyeler içinde yapması gerekmektedir. Bu düzeltme işlemi için, frekans düzenleyici mikro saniyeler içinde sorunu algılamalı ve verilecek gerekli tepkiyi hazırlamalıdır.

Elektrik sistemlerinde değişken sayısının fazla olmasından dolayı frekansı etkileyen bozucu sayısı da fazladır. Öyle ki enterkonnekte sistemlerde kıtalar arası bölgelerde, şebekenin çökme potansiyeli vardır. Tüm bölgeler kendi iç frekansını, merkezi şebeke frekansını ve güç alışverişinin kontrolünü milisaniyeler içinde yaparak şebekedeki bozulmaları kontrol ederler.

Frekans, şebekede belirli değerler arasında olması gerekse de, aktif güç değişiminden ve sistemdeki anlık yük değişimlerinden artı ya da eksi yönde etkilenir. Örneğin termik santrallerde kullanılan ve türbini çeviren mekanik gücü sağlayan buharın miktarının istenenden fazla olması halinde türbin hızı değişecek ve frekans artacaktır.

Güç sistemlerinde frekansın mutlaka kararlı olması gerekmektedir. Bu yüzden tasarlanacak frekans kontrolörü oluşacak hatayı anında giderecek cevabı vermeli ve kalıcı hatayı en aza indirme yeteneğine sahip olmalıdır.

1.2 Frekans kontrol yöntemleri

Frekans kontrolü aşamadan oluşmaktadır.

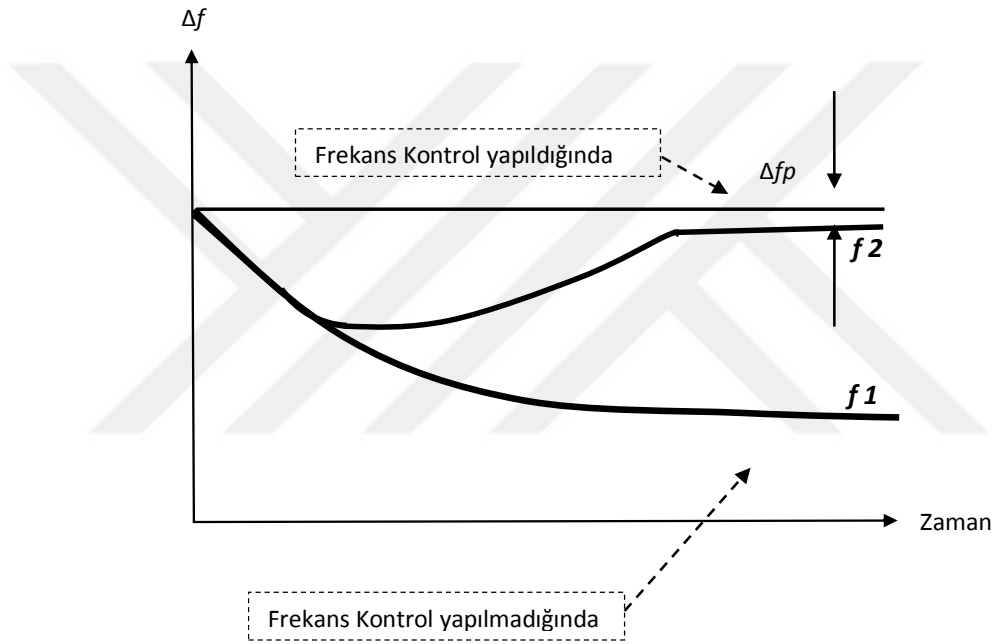
Bunlar;

1. Birinci kontrol
2. İkincil kontrol
3. Üçüncül (Tersiyer) kontrol olarak adlandırılır.

1.2.1 Birincil kontrol

Birincil kontrol frekanstaki ilk bozulma anında frekansı belirli değerler arasında dengeleyen bir kontrol sistemidir. Amaç frekansta ilk bozulmanın büyümesini engellemek ya da durdurmaktır. Bu kontrol sonucunda frekanstaki bozucu değer kısmen giderilerek ilk bozucu şok atlatılır. UCTE kriterlerine göre olması gereken frekans değerinden (Türkiye’de 50 Hz) 200 mHz alt ve üst aralığında ki sapmalara karşı birincil

kontrolün devreye girmesi gerekmektedir. Bununla beraber frekansta meydana gelen sapmadan arta kalan kalıcı hata değeri giderilemez. Bu hata değeri sistem için sorun oluşturacak bir değer olmayıp tolere edilebilecek değer aralığındadır. Bu kontrol sonucunda frekanstaki hata geçici olarak giderilmiş dolayısı ile kaba ayar yapılmış olacaktır. Geçici hata oluştuğundan yapılan kontrol hassas bir kontrol değildir. Bu yüzden frekans üzerindeki hatayı giderecek başka kontrol yöntemleri gereklidir. Elektrik santralinde bu kontrolü sağlayan sistemler merkezi bir müdahaleden ya da insan kontrolünden bağımsız olarak otomatik olarak gerçekleştirir. Çünkü frekanstaki bozucu değişimler mili saniyeler içinde meydana gelmektedir.



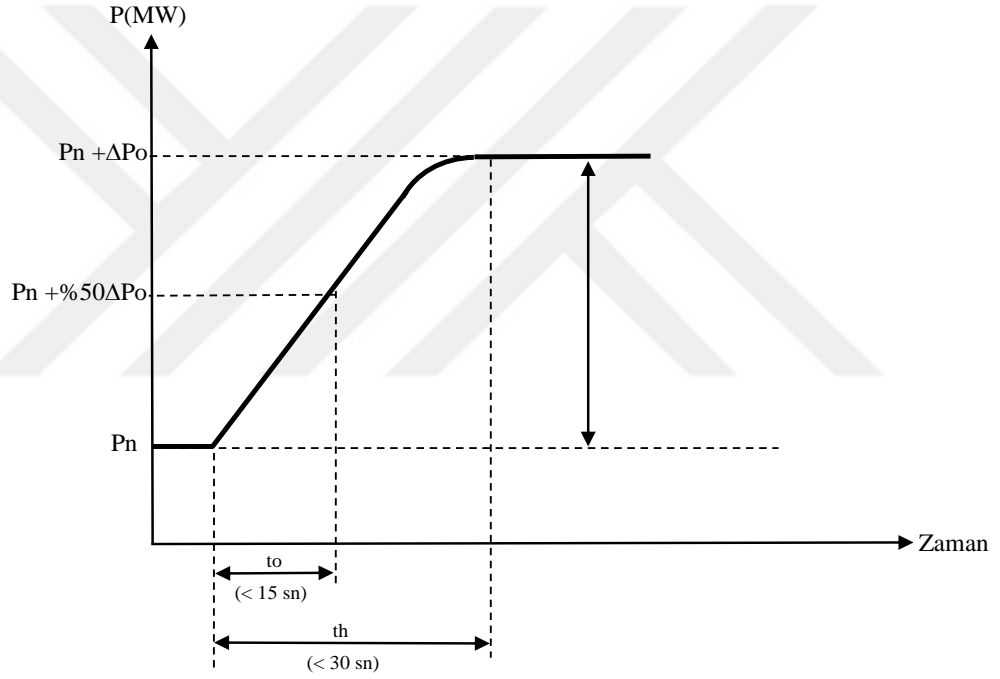
Şekil 1 Bir numaralı eğri frekans kontrolü ve kontrolsüz gösterimi

Şekil 1’de güç sistemleri için genel olarak gösterilen grafik bulunmaktadır. Bu grafikte elektrik şebeke sisteminde meydana gelen frekans bozulması ve sonraki davranışı gösterilmektedir. Grafikte, bir numaralı eğride, birincil kontrol olmamasından dolayı, frekans ilk anda kontrol altına alınamamış ve frekans düşmeye devam etmiştir. İki numaralı eğride ise, frekanstaki bozucu etkiden sonra birincil kontrol sistemi müdahale etmiş ve frekansın belirli bir değer aralığında kalması sağlanmıştır.

Birincil kontrol şebeke frekansında 200 mHz’lik sapma olduğunda devreye girer. Birincil kontrol yapan elektrik santral tesisi, frekanstaki sapmayı takip ederek en fazla 15 saniye içerisinde birincil rezerv yükünün yarısını, 30 saniye içerisinde

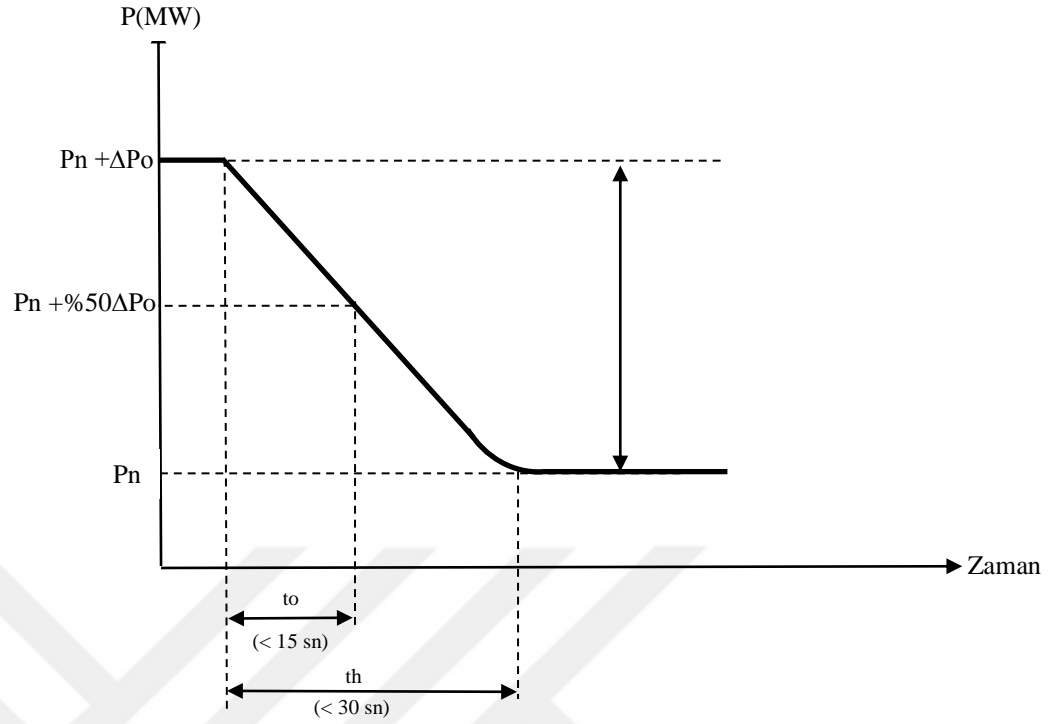
tamamını devreye alır. Bu sürenin başlangıcı ile birlikte, santral şebekeye verdiği maksimum gücü en az 15 dakika boyunca sürdürebilmelidir.

Şekil 2' de elektrik santrallerinde olması gereken frekans kontrol sisteminin güç kontrolü gösterilmiştir. Frekans doğrudan aktif güç ile ilgili olduğundan Şekil 2'de bir santralin yük değişimine karşı, güç üretim tepkisi gösterilmiştir. Santrallar nominal güçlerini üretirken ani yeni yükler santralden beslenmek isteyebilir ya da yükler birden devre dışı kalabilir. Her iki durumda santral yük miktarının değişimine göre ilk 15 sn. içinde kendini kontrol etmelidir. Bu değerler UCTE kriterlerine göre alınmıştır.



Şekil 2 Santral Frekans Güç Değişim Tepkisi

Şekil 3'te santral normal üretimini yaparken yük aniden azaldığında, santral kontrol birimini çalıştırarak, ilk 15 saniyede üretimini gereken gücün yarısına kadar, ilk 30 sn içerisinde de tamamını istenen güç miktarına düşürmek zorundadır.



Şekil 3 Santral Frekans Güç Değişim Tepkisi

Birincil kontrol esnasında santraller şebekedeki diğer santraller ile haberleşmeye devam etmektedir. Birincil kontrol esnasında santraller frekans bozulmalarına karşı ilk müdahale ya da ilk yardımı yapmaktadır. Bununla beraber her santralin kendine göre tepkisi farklı olduğu için frekansı regüle ederken sapma meydana gelebilir. Kalıcı olan bu frekans sapması birincil kontrol sonucunda giderilememektedir. Santraldeki bu frekans düşüm değeri UCTE kriterleri arasında olduğundan santralin çalışmaya devam etmesinde sakınca yoktur. Tesisin devamlılığı sağladığı için birincil kontrol sistemi büyük öneme sahiptir.

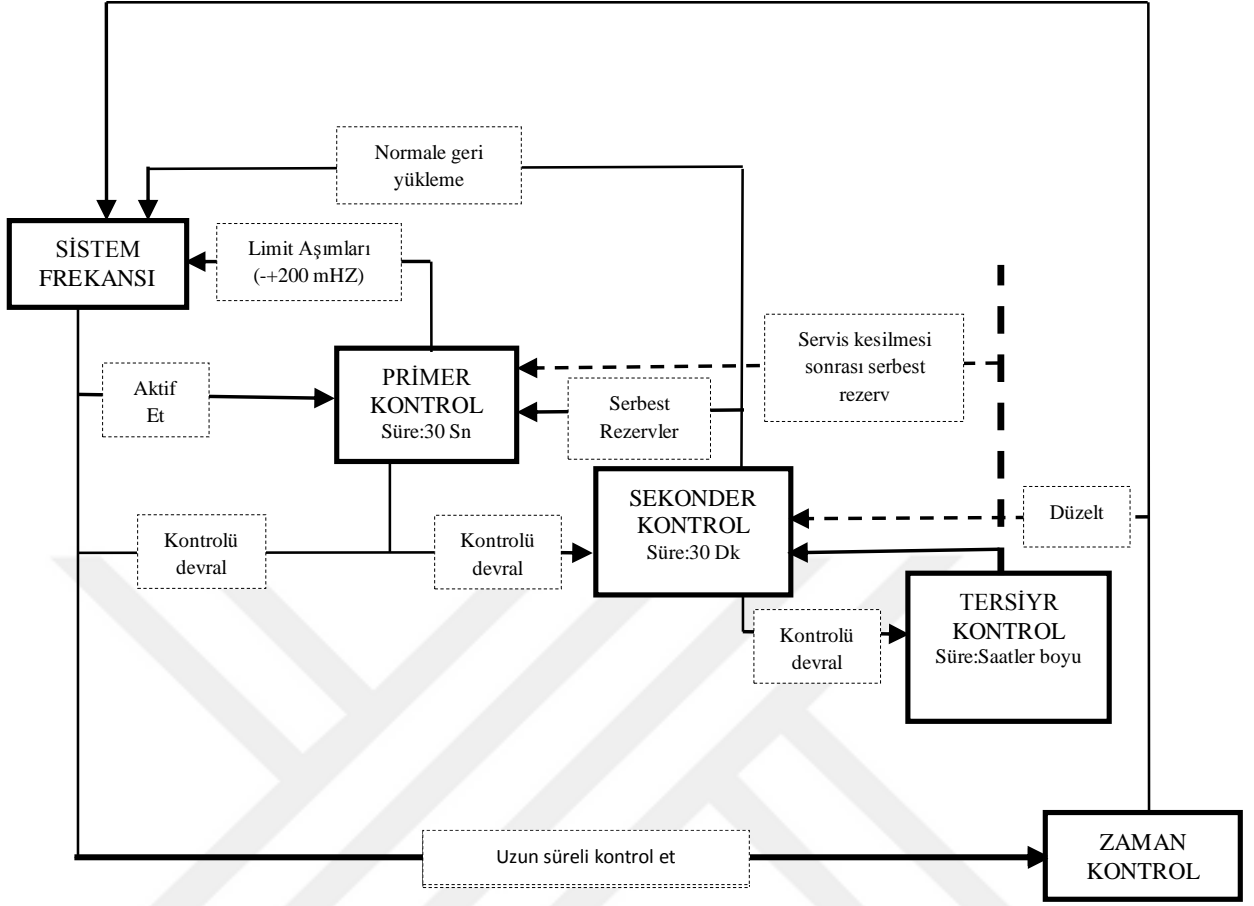
1.2.2 İkincil kontrol

İkincil kontrol sonucunda ise birincil kontrol sonucunda oluşan ve istenmeyen frekans kayması (düşüm ya da artım) ortadan kaldırılır. Frekansta meydana gelen kalıcı hata sıfırlanır. İkincil kontrol ile elektrik sistemi bölgeleri arasında frekans ayarlaması yapılır. İkincil kontrol ile elektrik üretim tesisleri merkezi bir sistemden yönlendirilir. Frekanstaki sapma PID kontrol tekniği ile kontrol edilir. İkincil kontrolün süresi dakikalar mertebesinde sürer ve bu süre UCTE kriterlerine göre 15 dakikayı geçmemelidir. Elektrik sisteminde alan denilen bölgeler bulunmaktadır. Bu bölgelere

blok adı verilmektedir. UCTE Avrupa’da Fransa, İspanya ve Portekiz bir bloğudur. Bloklar kendi başına bir bölge olmakla beraber diğer bloklar ile birlikte enterkonnekte şebeke ile bağlı olabilmektedirler. İkincil kontrol ile gerçekleşen olay blok içindeki alan kontrol hatasını devamlı hesaplar ve bu hesaplama sonucuna göre diğer santrallere set değeri gönderilir. Böylelikle frekansta ki hata sıfırlanır. Kontrol zaman aralığı dakikalar mertebesinde. Sistem birinci dakika ile onuncu dakika arasında işler.

1.2.3 Üçüncül (Tersiyer) kontrol

Üçüncü kontrolün amacı, ikincil kontrol için gerekli rezervi sağlamaktır. İkincil kontrol ile gerekli kontrolün sağlanamaması durumunda sistem için gerekli yük alma ve yük atma işlemi yaparak kontrolü sağlar. Onuncu dakikadan sonra ikincil kontrol bitmeden göreve başlar ve görevi saatler boyu sürebilir. Tersiyer kontrol ikincil kontrole katılan ünitelerin çalışma noktasını değiştirmeye ve sekonder kontrol gücünü, ekonomik açıdan farklı ünitelere, mümkün olan en iyi şekilde dağıtmaya çalışır. Tersiyer kontrol rezervi herhangi bir anda (genelde 3-20 dakika) devreye alınabilmelidir. Tersiyer rezerv, başka bir olayı karşılayabilmek için sekonder rezervi serbest hale getirir. Primer, sekonder ve tersiyer kontrol işlem aralıkları aşağıdaki Şekil 4’te gösterilmiştir (UCTE el kitabı.).



Şekil 4 Primer, sekonder ve tersiyer frekans kontrol akış diyagramı

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Konu üzerinde yapılan çalışmalarda birçok yöntem kullanılmıştır. Bu çalışmalarda sistemin kontrol edilmesi için farklı kontrol türleri incelenmiş, geliştirilen metotların bir kısmı uygulanmış, bir kısmı teoride kalmış ve simülasyonlar yapılmıştır. Bu yüzden önceki çalışmaları sadece kronolojik sıraya göre sıralamak yerine özelliklerine ve kronolojik olarak sıralamak daha doğru olacaktır.

2.1 Kontrol türlerine göre çalışmalar

2.1.1 PWM tekniği kullananlar

Wekhande and Agarwal 1999 yılında yaptıkları çalışmada değişken hızla çalışan ve çıkış gerilimini kontrol edebilen kendinden uyarımlı asenkron generatör ile çalışmışlardır. PWM (Darbe genlikli dalga – Pulse width modulation) tekniği ile asenkron generatörün frekansını kontrol etmeye çalışmışlar ve testlerde geçici yük geçişleri ve reaktif güç kullanmışlardır.

Wekhande ve Agarwal 2001 yılı Ekim ayında yaptıkları çalışmalarında kendinden uyarımlı asenkron generatör kullanmışlardır. PWM tekniği ile indüksiyon generatörünün terminal voltajını, motorun değişen hızına ve değişen yük etkisine göre ayarlamayı başarmışlardır.

Serban, C. Ion, C. Marinescu ve M. N. Cirstea 2006 yılında yaptıkları makale çalışmalarında şebekeden bağımsız sistemler için yük frekans kontrolörü tasarlamışlar ve bu kontrolörde generatörün ürettiği artık enerjiyi DC elektriğe çevirmişler ve bu artık enerjiyi PWM tekniği ile denge yükleri üzerinde tüketerek frekansı kontrol etmeye çalışmışlardır.

Juan M. Ramirez, Emmanuel Torres M. 2007 yılında yaptıkları makale çalışmalarında kendinden PWM kontrollü yük frekans kontrolörü tasarlamışlardır. Bu çalışma esnasında kendinden uyarımlı indüksiyon generatörü kullanmıştır. Generatörün çıkış gerilimi ölçülmüş, ölçülen gerilim referans gerilimle karşılaştırılarak hata değeri ortaya çıkarılmıştır. Bu hata değerini bir PI kontrolörü giderilmeye çalışmışlardır.

Karim H. Youssef ve ark. 2008 yılında yaptıkları çalışmalarında yük frekans kontrolü testlerinde kendinden uyarımlı senkron generatör kullanmışlardır. Bu testler esnasında oluşan artık AC elektriği DC elektriğe dönüştürmüşlerdir. DC link üzerinde ki artık enerjiyi PWM tekniği kullanarak sönümlenme dirençleri üzerinden tüketmişlerdir.

E.Torres, F.Chan, J. Ramirez, A. Cowo 2010 yılında yaptıkları çalışmada PI ve PWM tekniği kullanarak frekans kontrolü yapmışlardır. Bu testler esnasında asenkron generatör kullanılmıştır. Asenkron generatörün ürettiği gerilim, referans gerilimle kıyaslanarak hata hesaplanmıştır. Bu hata, oransal kontrolörde kıyaslanarak oransal kontrolörün çıkış vermesi sağlanmıştır. Çıkış sinyalleri ile PWM elde edilerek çıkış sağlanmış ve bu sinyaller IGBT'leri sürerek frekans kontrolü sağlanmıştır.

S. S. Murthy ve ark.yılında yaptıkları makale çalışmasında tek fazlı asenkron generatör çıkışındaki frekansın kontrolünü PWM tekniği kullanarak yapmıştır. Bu çalışma esnasında generatörün ürettiği gerilim ölçülerek bir PI kontrolün girişine girilmiş ve bu gerilim belirli referans karşılaştırılarak hata bulunmuştur. Bu hata sonucunda sönümlenme direncine verilecek artık enerji belirlenmiştir. Sistem laboratuvar ortamında 5,5 kW'lık sistem üzerinde denenmiştir. Bu çalışmada kullanılan mikroişlemci hızından dolayı önceki ELC'lere göre daha hassas çalıştığını (Yük

değişimlerinde voltaj ayarında ki tolerans değeri %5) belirtmişlerdir.

Ankita Gupta 2013 yılında yaptıkları makale çalışmasında 3 fazlı asenkron generatör çıkışındaki frekansın kontrolünü PWM tekniği kullanarak yapmıştır. Bu çalışma esnasında generatörün ürettiği gerilim ölçülerek bir PI kontrolün girişine girilmiş ve bu gerilim belirli referans karşılaştırılarak hata bulunmuştur. Bu hata sonucunda sönümlenme direncine verilecek artık enerji belirlenmiştir. IGBT kontrollü bir devre tarafından ve PWM kontrol tekniği kullanarak sönümlenme direncine fazla enerji aktarılmıştır. Sistem frekansı sistem devreye girdikten 0.25 sn sonra kontrol edilmeye başlanmıştır.

B. Nia Roodsari, E. P. Nowicki 2014 yılında makalelerinde yük frekans kontrolünde PWM tekniğinden bahsetmişlerdir. Bu çalışmanın diğer çalışmalardan farklı olarak kullanılan elektronik yük frekans kontrolörünün generatör tarafında olmamasıdır. Kullanılan ELC' ler tüketiciler tarafında ve her tüketici için ayrı ayrıdır. Geleneksel ELC'lerden farklı olarak kullanılan bu kontrolöre D-ELC (Dağıtılmış elektronik yük frekans kontrolörü – Distributed electronic load frequency controller) adı vermişlerdir. Bu çalışmada D-ELC'nin sistemdeki stresi aldığını ve uyarım kapasitör ömürlerinin artacağını belirlemişlerdir.

2.1.2 PID Kontrol Kullanılan Çalışmalar

Bhim Singh, S.S Murthy ve Sushma Gupta 2003 yılında yaptıkları çalışmalarında IELC' e (Improved Electronic Frequency Controller – Geliştirilmiş Elektronik Frekans Kontrolör) üzerinde testlerini yapmışlardır. Mikro hidro elektrik santrallerinde kullanılabilecek olan IELC sayesinde türbin governörünün elimine edilebileceğinden bahsetmişlerdir. Bu çalışmada kendinden uyarımlı asenkron generatörün ürettiği voltajı ve güç iki ayrı değeri ölçerek iki ayrı PI kontrol birimine gelmektedir. Voltaj kontrolü ile generatörün ürettiği artık gerilimin DC ye dönüşümü kontrol edilmektedir. Güç kontrolü ile sönümlenme direncinde harcanacak artık güç kontrol edilmektedir. Gerilimi kontrol etmişler ve bunu simülasyonlar ile desteklemişlerdir.

Juan M. Ramirez, Emmanuel Torres M. 2007 yılında yaptıkları makale çalışmalarında kendinden PWM kontrollü yük frekans kontrolörü tasarlamışlardır. Bu çalışma esnasında kendinden uyarımlı indüksiyon generatörü kullanmıştır. Generatörün çıkış gerilimi ölçülmüş, ölçülen gerilim referans gerilimle karşılaştırılarak hata değeri

ortaya çıkarılmıştır. Bu hata değerini bir PI kontrolörü giderilmeye çalışmışlardır.

Bhim Singh ve ark. 2011 yılında makalelerinde İzole edilmiş asenkron generatör ile 3 fazlı yükleri PI kontrol yöntemi ile kontrol ettiklerini bildirmişlerdir. Bu kontrol esnasında PWM tekniği kullanılmıştır. Bu kontrol sisteminde kullandıkları ELC ile kontrol esnasın frekans kontrolü yanında THD'yi de incelemişlerdir. Bu çalışmada frekans kontrolü sistem devreye girdikten 0,6 sn sonra kontrol edilmeye başlanmıştır.

Rajendra Adhikari, Rojan Bhattarai, Indraman Tamrakar 2013 yılında makale çalışmalarında küçük tipli bir hidro elektrik santralinde frekans kontrolünü sağlamaya çalışmışlar. Bu çalışma esnasında üreteç olarak senkron generatör ve kontrol tipi olarak PI kontrol yöntemini kullanmışlar.

2.1.3 Fuzzy Kontrol Kullanılan Çalışmalar

E. Özdemirci, 2002 yılında yaptığı tez çalışmasında bir elektrik güç sisteminde yük-frekans kontrolü incelemesi yapmış ve modelleme konusunu ele almıştır. Sistemde yük frekans kontrolünü inceleyen Özdemirci, kontrolör olarak bulanık kontrolör (Fuzzy kontrolör) kullanmış ve Türkiye elektrik güç sistemini incelemiş ve ele almıştır.

Yahya Sofian, Munawar Iyas 2011 yılında yaptıkları makale çalışmalarında fuzzy lojik kontrollü ve mikroişlemci tabanlı yük frekans kontrolünden bahsetmişlerdir. Bu kontrol esnasında fırçasız, sincap kafesli ve tek faz çıkışlı asenkron motor kullanmışlardır. Bu kontrol esnasından oluşan artık olarak nitelendirilen güç DC bara üzerinden sönümlenme dirençlerinde tüketerek frekans kontrolünü sağlamışlardır. Bu uygulamalar bilgisayar ortamında simüle etmişlerdir.

Gaound Chetana, S. K. Shah, S. J. Patel 2012 yılında makalelerinde yük frekans kontrolünde tek faz çıkışlı asenkron kullanmıştır. Bu testler esnasında akım kontrollü-gerilim kaynaklı invertör (CC-VSI) çalışan ELC kullanmışlardır. Fuzzy kontrol mantığının kullanıldığı bu yük frekans kontrolörü için bilgisayar ortamında simülasyonlar yapmışlardır.

2.1.4 YSA Kullanılan Çalışmalar

O. Darçın, 2004' de yaptığı tez çalışmasında tek ve iki bölgeli güç sistemlerinde yük frekans kontrolü incelemiştir. Güç sistemlerini modellerini çıkarmış, Yapay Sinir Ağları (YSA) ile yük frekans kontrolünü ele almıştır.

Bhim Singh, V. Rajagopal 2010 yaptıkları makale çalışmalarında YSA elektronik yük frekans kontrolörü tasarlamaya çalışmışlardır. Yapılan deneyler Matlab

programında simüle etmişlerdir. Bu çalışmada frekans kontrolü ile beraber sistemde oluşan harmoniği azaltmaya çalışmışlardır.

2.2 Uygulama türlerine göre

2.2.1 Uygulamaya Dönüştürülen Çalışmalar

Jun ve Bo 2000 yılında yaptıkları çalışmalarında kernel tabanlı mikro işlemci ve IGBT' yi (İzole edilmiş kapılı 2 kutuplu transistör – Insulated gate bipolar transistör,) anahtar olarak kullanarak yeni bir elektronik yük-frekans kontrolörü tasarlamışlardır. Yapılan çalışmalar küçük çaplı bir hidro elektrik santralinde başarılı sonuçlar vermiştir.

S.S Murthy, Ramhatham, Gayathri, Kiran Naidu, U. Siva 2006 yılında kendi yaptıkları çalışmalarında küçük tipli mikro hidro elektrik santralleri için elektronik yük frekans kontrolörü tasarlamışlar ve bunu laboratuvar ortamında test etmişlerdir Bu testler esnasında 3 fazlı asenkron generatöre kapasitör ilavesi kendinden uyartımlı asenkron generatör haline getirmişlerdir. Bu çalışmada frekans kontrol sistemi PIC marka mikro işlemciler kullanılarak tasarlanmışlardır.

S. S. Murthy, Rajesh Kr. Ahuja, Jeetandra Kr.Chaudhary 2011 yılında yaptıkları makale çalışmasında tek fazlı asenkron generatör çıkışındaki frekansın kontrolün PWM tekniği kullanarak yapmıştır. Bu çalışma esnasında generatörün ürettiği gerilim ölçülerek bir PI kontrolün girişine girilmiş ve bu gerilim belirli referans gerilim ile karşılaştırılarak hata bulunmuştur. Bu hata sonucunda sönümlenme direncine verilecek artık enerji belirlenmiştir. Sistem laboratuvar ortamında 5 kW'lık sistem üzerinde denenmiştir.

Erika S. Melo, Paulo C. Rosa, Enio. R. Ribeiro 2013 yılından yaptıkları makale çalışmalarında daimi mıknatıslı tek fazlı senkron generatör kullanmışlardır. Çalışmada kullanılan denge yüklerini ikili sisteme göre ayarlamaya çalışmışlardır. Toplamda 6 tane denge yükü sistemde vardır. Bu yükleri binary sisteme göre kullanarak 64 çıkış üretmişler ve bu şekilde daha dengeli sönümlenme yapmışlardır. Bu testleri laboratuvar ortamında gerçekleştirmişlerdir.

RajaSekhara Reddy Chilipi, Bhim Singh, Shikaripur Srinivasa Murthy, Sandeep Madishetti, Gurumoorthy Bhuvanewari 2013 yılında yaptıkları makale çalışmalarında yenilebilir enerji sistemleri üzerinde(mini heslerde özellikle) kullanılacak yük frekans kontrolünden bahsetmişlerdir. Frekans kontrolünü DELC (Dinamik elektronik yük frekans kontrolör – Dynamic electronic load controller) adını verdikleri kontrolör

ile yapmışlardır. Asenkron genratör ile üretilen gerilim DELC ile kontrol edilerek artık gerilim bir AC-AC sürücü ünitesine göndermektedir. Sürücü artık gerilimi AC ye dönüştürerek çıkışına bağlı bir pompayı çalıştırmaktadır. Bu yapıda sönümleme dirençleri yerine sürücü ve pompa düzeneği kurularak enerji israfından kaçınılmıştır.

Kristian Lending, Yi Sheng Koh, Melvic Low, Ravindra Bhadti, Leonardo Ialongo, Alexander Gallo ve Sanjana George 2014 yılında yaptıkları çalışmalarda mikro hidro elektrik santrallerinde (100 kW'tan küçük santraller) frekans kontrolü için mikroişlemci tabanlı kontrolör tasarlamışlardır. Yaptıkları çalışmada PWM kontrol tekniğini kullanmışlardır.

Mahmoud Kabalan, Diane Tamir, Pritpal Singh 2015 yılında yaptıkları makale çalışmalarında yük frekans kontrolörü olarak programlanabilir lojik kontrolör kullanmışlardır. Plc ile kontrol ettikleri dengeleme yükleri üzerinde on-of (aç-kapa) kontrol yöntemini denemişlerdir. Yapılan çalışmada frekansın 60,5 Hz'in üstüne çıktığı zaman ya da 59,5 Hz' in altına düştüğü zaman PLC sönümleme dirençlerini devreye almakta ya da devreden çıkarmaktadır. Bu çalışma esnasında laboratuvar ortamında prototip oluşturulmuş ve testler prototip üzerinde yapılmıştır.

Wang Jun, Yu Bo makalelerinde akım ve frekans kontrollü yük frekans kontrolörü tasarlamışlardır. Yapılan bu kontrolör 100 kW gücünde generatör için tasarlanmış ve şu an da bir mikro hidro elektrik santralinde çalışmaktadır.

2.2.2 Simülasyon düzeyinde yapılan çalışmalar

Paras Karki ve ark. yaptıkları makale çalışmasında, elektronik yük frekans kontrolörü frekansı kontrol etmişlerdir. Bu uygulamada frekans kontrol edilen santrali ada modundaki (bir ya da birkaç antralin bağlandığı şebeke modu) şebekeye bağlamışlardır. Sistemde şebekeye bağlanmak amacı ile senkronoskop ünite eklemişlerdir. Senkronoskop elektrik santralinin şebekeye bağlanması için faz açılarını kontrol eden cihazdır. Santralde üretilen elektriğin şebekeye dâhil etme ya da bağlama için gerilim seviyelerinin ve genliklerinin eşit olması gerekmektedir. Bu durumun eşitliğini senkronoskop cihazı ile sağlanır. Şebekeye bu sistemin bağlanması için THD' nin düşük olması gerekmektedir. THD nin düşürülmesi için sönümleme yüklerini binary sıraya göre ve sayısı birden fazla olacak şekilde kullanmışlardır.

Bhim Singh, S.S Murthy ve Sushma Gupta 2003 yılında yaptıkları çalışmalarında IELC (Improved Electronic Frequency Controller – Geliştirilmiş

Elektronik Frekans Kontrolör) den bahsetmişler. Mikro hidro elektrik santrallerinde kullanılabilen olan IELC sayesinde türbin governorun elimine edilebileceğini bildirmişlerdir. Kendinden uyarımlı asenkron generatörün ürettiği voltajı PI kontrol ederek sistemde frekans, gerilimi kontrol etmişler ve bunu simülasyon ile desteklemişlerdir.

Bhim Singh, S.S Murthy ve Sushma Gupta 2005 yılında makalelerinde kendinden uyarımlı tek fazlı asenkron generatör kullanmışlardır. Yaptıkları testlerde gerilim kontrolü ve frekans kontrolünü bir elektronik yük frekans kontrolör ile sağlamışlardır. Bu kontrolde müşteri yükü olarak omik ve reaktif yükler kullanılmıştır. Sönümle direnci omik ve tek seçilmiştir. ELC' nin omik yükte daha az kontrol ettiğini görmüşlerdir. Bunun nedenini omik yüklerde gerilim dalgasının sinüzoidal yapıya daha yakın olduğu için ELC'nin daha az etki ettiğini anlaşılmıştır. Bu çalışmada omik ve reaktif yükler karşısında sistemde oluşan THD (Toplam Harmonik bozulma – Total Harmonic Distortion) incelenmiştir. Omik yüklerde THD nin daha fazla olduğunu yaptıkları simülasyonlar ile ispatlamışlardır.

S. Akçay, 2007' de yaptığı tez çalışmasında Hidroelektrik santrallerinde yük frekans Kontrolü incelemiştir. İki santralin santralin oluşturduğu güç sistemi modellemiş ve bilgisayar ortamında simüle etmiştir.

S. S. Murthy, G. Bhuvaneswari, Sarsing Gao ve M. Sree Lalitha Gayathri 2008 yılında yaptıkları çalışmalarında mikro işlemci tabanlı dijital kontrolör tasarlamışlardır. Yapılan çalışmada kendinden uyarımlı asenkron generatörü kullanmışlardır. Bu generatörün ürettiği gerilimi dijital kontrolör ile ölçmüşler ve oluşacak artık enerjiyi denge yüklerinde tüketerek sistemdeki frekans kontrolünü sağlamışlardır. Bu çalışmalar bilgisayar ortamında simüle edilmiştir.

Gaurav Kumar Kasal and Bhim Singh 2008 yılında makalelerinde yük frekans kontrolünü ve gerilim kontrolünü aynı sistem üzerinde farklı kontrol birimleri ile yapmışlardır. Bu kontrol esnasında gerilimi STATCOM (Statik senkron kompanzator – Static Synchronous Compensator.) adlı bir kontrolör ile sağlamış, yük kontrolünü ELC adı verilen sistem ile sağlamışlar. Bu çalışmada kullanılan frekans kontrolörü PI kontrollü ile çalışmaktadır ve çalışma mantığı genartörün ürettiği gücü kontrol etmektedir. Bu çalışma esnasında lineer ve lineer olmayan yükler test edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada THD bu iki kontrolör sayesinde %5' in altına indirmeye başarmışlardır.

Bhim Singh, V. Rajagopal 2010 yaptıkları makale çalışmalarında YSA elektronik yük frekansı kontrolörü tasarlamaya çalışmışlardır. Yapılan deneyler Matlab programında simüle etmişlerdir. Bu çalışmada frekans kontrolü ile beraber sistemde oluşan harmoniği azaltmaya çalışmışlardır.

Yahya Sofian, Munawar Iyas 2011 yılında yaptıkları makale çalışmalarında fuzzy lojik kontrollü ve mikroişlemci tabanlı yük frekans kontrolünden bahsetmişlerdir. Bu kontrol esnasında fırçasız, sincap kafesli ve tek faz çıkışlı asenkron motor kullanmışlardır. Bu kontrol esnasından oluşan artık olarak nitelendirilen güç DC bara üzerinden sönümlenme dirençlerinde tüketerek frekans kontrolünü sağlamışlardır. Bu uygulamalar bilgisayar ortamında simüle etmişlerdir.

Debasish Dhua, Sayambhu Sen ve Sabyasachi Bandyopadhyay 2015 yılında yaptıkları çalışmalarında küçük çaplı rüzgâr santralinden oluşan küçük bir şebekede frekans kontrolünü sağlamaya çalışmışlardır. Bu çalışma esnasında sistemde oluşan artık enerjiyi sönümlenme dirençleri üzerinde harcamak yerine, bu enerjiyi akü gurubunda şarj edebilecekleri fikrini öne sürmüşlerdir. Bu küçük şebeke frekansı 49,5 Hz' in altına düştüğü zaman ELC akü gurubundan şebekeye doğru güç aktarımı yapmaktadır. Şebeke frekansı 50,5 Hz' in üstüne çıktığı zaman ise ELC artık gücü aküye aktarmaktadır.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, çalışmaların daha çok generatörün ürettiği gerilimi ölçmeye dayalı olduğu görülmektedir. Ölçülen gerilim belirli referans ile karşılaştırılarak bir hata bulunmaktadır. Hata sinyali ile generatörün ürettiği artık gerilim DC'ye dönüştürülmektedir. DC barada oluşan gerilim PWM tekniği ile IGBT'ler tetiklenerek sönümlenme dirençleri üzerinde harcanmaktadır. Bu sayede yük ve frekans dengelenmektedir. Çalışmalarda özellikle dikkat çeken noktalardan biri de generatörü çeviren gücün devamlı ve sabit olmasıdır. Bu sayede ELC'nin çok karmaşık yapıda olmasına gerek kalmamıştır. ELC'lerin sürülmesinde klasik kontrol olarak PID, yapay zeka ile kontrolde ise Yapay Sinir Ağları, Bulanık mantık metotlarının kullanıldığı görülmüştür.

Bu tez çalışmasında generatörü uyarmak için ayrı bir uyarım sistemine gerek kalmadan kendinden uyarımlı bir generatör kullanılmıştır. Ayrıca kullanılan generatörün çıkış gerilimi kendine ait otomatik voltaj regülatörü (AVR) sayesinde kontrol edilmektedir. Bu sayede generatörde gerilimi kontrol etmeye gerek kalmamıştır.

Dolayısı ile tek kontrol edilecek parametre frekans olacaktır. Frekans kontrolü, mikroşlemci tabanlı elektronik devre kullanılarak yapılacaktır. Mikroşlemci içinde bulunduğu yazılım sayesinde denge yüklerini sisteme dâhil edecek ya da sistemden ayıracaktır. Bu sistem Matlab programında simüle edilerek testler yapılmıştır. Deneyleerde ELC, üç faz çıkışlı generatörün her fazı için ayrı ayrı kullanılmıştır. Bu sayede her faz için ayrı ayrı yük kontrolü yapılarak farklı bir tasarım üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışma ile ilgili testler ileriki bölümlerde anlatılmıştır.

3.GÜÇ SİSTEMLERİ BİLEŞENLERİ

Elektrik güç sistemleri, elektrik üretimi yapılan üreteçlerden (elektrik santrallerinden) başlamakta ve tüketici olan bilinen yüke kadar olan bölümdür. Bu iki kısım arasında kalan iletim ve dağıtım elemanları bulunmaktadır. Elektriğin üretiminden son tüketiciye ulaşana kadar belirli değerler arasında olması gerekmektedir. Bu kriterler arasında elektriğin şebeke gerilim değerinin ve frekansının sabit, gerilim dalga formunu tam sinüs formunda olması gerekmektedir. Örneğin Türkiye’de kullanılan şebeke gerilimi 220 volt, Frekans değeri 50 Hz dir. Amerika birleşik devletlerinde bu değer 110 Volt, 60 Hz iken yine Avrupa kıtasında bu değer 220 Volt ve 50 Hz’ dir. Güç sistemlerinde elektriğin bu değerlerde olması elektriğin kalitesinin iyi olduğunu gösterir. Bir anlamda bu kalite elektrik üretimi yapan tesis, bölge ya da ülke için başarı ölçüsüdür. Elektrikte kaliteyi kontrol etmek ve sürekliliğini sağlamak önemli ve zordur. Sistemde bozulmalara karşı milisaniyeler mertebesinde ilk müdahale edilmeli ve sistemde ilk düzeltmeler yapılmalıdır. Kontrol sistemi bu ilk müdahale için iyi tasarlanmalıdır ve dinamik bozulmalara karşı alt yapısının iyi tasarlanmış olması gereklidir. Aksi takdirde güç sistemlerinde oluşacak bozulmalar sonucunda kısmi ya da tümünden bozulmalar oluşabilir.

Elektrik güç sistemleri, kendi içerisinde elektrik santralleri, elektrik şebekeleri, yükler gibi elemandan oluşur. Elektrik güç sistemleri, sistemde oluşan değişken problemlerden etkilenmektedirler. Bunlardan biri harmoniklerdir. Bu harmonikler şebeke kullanım verimini, sistemde ısı etkisi oluşturarak düşürür. Yine evlerde kullandığımız elektriğinin gerilim değerinin 220 volttan daha az ya da fazla olması sonucunda cihazlarda çalışma verimi düşer ya da arıza oluşabilir. Elektrik şebekelerinde frekans değerinin kritik değer olan 50 Hz den az ya da fazla olması yük üzerinde fazla ısınmalara yol açar, verim kaybına neden olur. Bu yüzden elektrik güç sistemlerinin

zarar görmemesi için özellikle üretilen elektriğin gerilim ve frekans değerleri mutlaka belirli kriterlerde sürekli olması gerekmektedir.

3.1 Şebekelerde frekans seçimi

Güç sistemlerinde her bölgenin kendine ait bir şebeke frekansı vardır. Şebeke frekansları bölgeden bölgeye, ülkeden ülkeye ya da kıtalar arası değişebilmektedir. Bu tamamen ülkelerin kendi tercihinine bağlıdır. Bununla birlikte frekans değerleri farklı olan ülkeler aynı enterkonnekte sisteme dahil olamazlar.

Üç fazlı alternatif akıma dayalı elektrik üretim, dağıtımı 19. Yüzyılda ünlü bilim adamı Nikola Tesla tarafından geliştirildi. Tesla alternatif akım sistemi üzerinde yoğunlaşmış bir bilim adamı olup alternatif üretimin buluş sahibidir. Alternatif akım elektrik enerjisinin, alternatör ile belirli bir periyota üretilmesidir. Alternatif akımda gerilim ve akım değerleri sinüs dalga sistemine göre belirli bir genliktedir. Alternatif akım sisteminden başka gerilimin ve akımın sabit değerde üretildiği doğru akım sistemide (DC) mevcuttur. Tesla, alternatif akım sisteminin (AC), güç dağıtımı açısından kayıpları yüksek olan doğru akım (DC) sistemine göre üstün olduğunu belirlemiştir. Yaptığı araştırma ve hesaplamalardan sonra, alternatif akımda güç üretimi için en uygun frekansın saniyede 60 salınım, yani 60 Hz olduğu sonucuna varmıştır. Bu frekansla birlikte 240 voltluk gerilim düzeyini önermiştir. Fakat bu durum, 110V' luk doğru akım sistemlerini devreye sokmuş bulunan ve düşük voltajın daha güvenli olduğunu savunan Thomas Edison'la ters düşmelerine neden olmuştur. Zamanla, elektrik kullanımı yaygınlaştıkça, daha uzak mesafelere güç iletebilmek amacıyla Doğru akımdan, Alternatif akıma geçilmiştir. Bu yapılırken, Tesla' nın 60 Hz önerisi benimsenmiştir. Fakat Edison' un yerleştirmiş olduğu 110V'luk gerilim düzeyi korunmuştur..

Avrupa'da ise Alman AEG firması ilk güç üretim tesisini inşa ettiğinde, işe 110 voltluk gerilimle başlandı. Hâlbuki bu, pek de isabetli bir seçim değildi. Aynı güçle çalışan iki cihazdan; 110V luk olanı, 220 V luk olanına oranla, iki misli akım çekmek zorundadır. Sonuç olarak, düşük gerilim tercihi halinde; kablo kesitlerinin daha kalın olması gerekir. Ayrıca, cihazların ilk anahtarlama anlarında çekeceği geçici akımlar yüksektir ve güvenlik amacıyla, prizlere giden dağıtım hatlarına devre kesicilerin konması gerekir. Dolayısıyla, bu sıkıntıları aşabilmek ve aynı bakır tel kesitinden daha az kayıpla daha fazla güç çekebilmek için gerilimi arttırmak gerekir. Nitekim zamanla

220 V standardına yönelmişlerdir.

AEG mühendisleri frekans seçiminde 60 Hz'in, onlu sayı sistemine ve metre standardındaki birimler dizilimine uymadığı gerekçesi ile frekansı 50 Hz olarak tercih etmişlerdir. Hâlbuki 50 Hz, üretimde %20 daha az etkin, iletimde %10-15 daha verimsizdir ve trafo üretiminde %30'a varan oranda daha büyük sarımların ve manyetik çekirdek malzemesinin kullanımını gerektirir. Öte yandan, elektrik motorları şebeke frekansları (50 Hz < 60 Hz) düşük frekanslarda daha verimsiz çalışır ve elektrik kayıpları daha çok olur. Bu kayıpların yol açtığı ek ısıya dayanıklı olmaları için, daha sağlam yapılmaları gerekir. Ancak, AEG o sıralarda bu alanda bir tekel oluşturduğundan, benimsediği frekans standardı tüm kıtaya yayıldı. İngiltere'de ise, bu durum II. Dünya savaşından sonra 50 Hz standardı benimsenene kadar, her iki frekans da kullanıldı. Bugün ülke olarak sadece; Peru, Ekvator, Guyana, Filipinler ve Güney Kore, Tesla' nın 60 Hz frekans önerisini, 220-240 V gerilimle birlikte kullanıyor. Avrupa düşük frekans tercihinin doğurduğu ek maliyetleri üstlenirken, ABD ve Japonya düşük gerilimin sıkıntılarını yaşamaktadır. Bu nedenle olsa gerek, devre kesiciler ABD de, Avrupa'dan çok daha önceleri yaygınlaşmış bulunuyor. Ancak, ABD deki yeni inşa edilen binalar artık, nötr uçla arasında 115 V gerilim bulunan iki faz ucuna ayrılmış halde, 230V' luk gerilim alıyor. Böylelikle fırın gibi fazla güç kullanan ana aygıtlar, 230V' a bağlanıyor. Avrupa'dan sağlanan elektrikli aygıtlar, frekans farkını kabul ettikleri takdirde bu prizlere bağlanabilmektedir.

Elektrik şebekeleri elektrik güç sistemlerinin önemli bileşenlerinden olup güç sisteminde enerjinin dağıtım yapıldığı kısımdır. Santrallerde üretilen elektriğin frekansı şebeke üzerinde dengelenebilmektedir. Bir den fazla santralin aynı ortak şebeke üzerinde regüle edilmesi daha kolay olmaktadır. Çünkü bu şekilde tüm şebekenin frekansı ortak olacaktır. Bu ortak frekans bozulmalardan daha az etkilenir. Elektrik sistemlerinde üretim, tüketim ile doğru orantılı olmak zorundadır. Yük miktarının anlık artması ya da azalması sonucunda üretim de bu değişime cevap vermeli ve üretimde anlık olarak artmalı ya da azalmalıdır.

Frekans aslında üretilen elektriğin aktif kısmı dediğimiz bölümü ile doğrudan orantılıdır. Elektrik güç sistemlerinde frekansın değişimi direk üretim ve tüketim ile ilgilidir. Örneğin bir bölgenin yükü birkaç demir çelik fabrikası ve birkaç yüz bin evden oluşabilmekte iken, bu evlerin ya da fabrikanın hangisinin ne zaman devreye gireceği

bilinememektedir. Bununla beraber fabrika ve evlerin tümü aynı anda devreye girebilir ya da aynı anda devre dışı kalabilir. Sonuç olarak burada büyük bir yük değişim kombinasyonu oluşmaktadır. Bu kombinasyon karmaşasında bile güç sistemlerinde frekansın kontrolü sağlanmalıdır. Güç sistemlerinde santraller şebeke frekansını sağlayamazlar ise devre dışı kalarak ortak güç sisteminden çıkmak zorundadırlar. Eğer santral devre dışı kalmazsa diğer santrallerde etkilenecek domino taşı gibi tüm sistem çökebilir. 2015 yılında Bursa doğalgaz çevrim santralinin devre dışı kalması diğer santrallerin devre dışı kalmasını tetiklemiştir.

Santrallerin güçleri ve kuruluş türleri ne olursa olsun tüm santraller değişken yüklerle göre çalışma stratejisini anlık olarak regüle etmelidirler. Yükün artması ya da tüketilen gücün üretilen güçten fazla olması santralin elektrik üretimini sağlandığı generatörün dönme hızını düşürecek. Buna bağımlı olarak frekansta düşme eğilimine girecektir. Yükün azalması diğer ya da tüketilen gücün üretilen güçten az olması durumunda generatörün dönme hızı artacaktır. Buna bağlı olarak frekansta artacaktır. Santral bu iki duruma göre generatörün hızını ayarlamalıdır.

Santraller bu frekans kontrolünü nasıl sağlar? Elektrik santrallerinde Frekans kontrolünü (Frequency Controller) sağlayan bir yapı vardır. Frekans kontrolörü belirli bir elektriksel ve mekanik yapıda olabilir. Genelde kurulan santralin karakteristiğine göre değişmektedir. Bazı santrallerde elektromekanik yapıdadır, bazı santrallerde elektronik kartlardan oluşan bir cihaz olabilir. Frekans kontrolü yapı olarak farklı olmakla beraber işlev olarak aynı görevi yapar. Santral gücünün büyüklüğünden bağımsız olarak bu işlevi yapmak zorundadır.

Santrallerde üretilen elektrik enerjisi aslında santralin gücünü belirler. Güç görünür güç (S) aktif güç (P) ve reaktif güç (Q) olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Aktif güç direk iş yapan güçtür. Evlerimizde ısıtıcıların çalışmasını, lambaların aydınlatmasını sağlayan güçtür. Reaktif güç motor, trafo gibi bobinli ekipmanların bobinlerinin mıknatıslanması için gerekli olan ve kullanıldıktan sonra şebekeye aktarılan güçtür. Reaktif güç şebekeden çekilir ve şebekeye geri verilir. Reaktif güç her ne kadar gerekli olsa da şebekede istenmez. Trafolar da trafo kapasitesini azaltmasına sebep olur ve iş yapmayan güç olarak da adlandırılır. Reaktif güç şebekelerde veriminin düşmesine sebep olur.

Santrallerde elektrik üretimi generatörlerin mekanik güç ile dönmesi ile elde

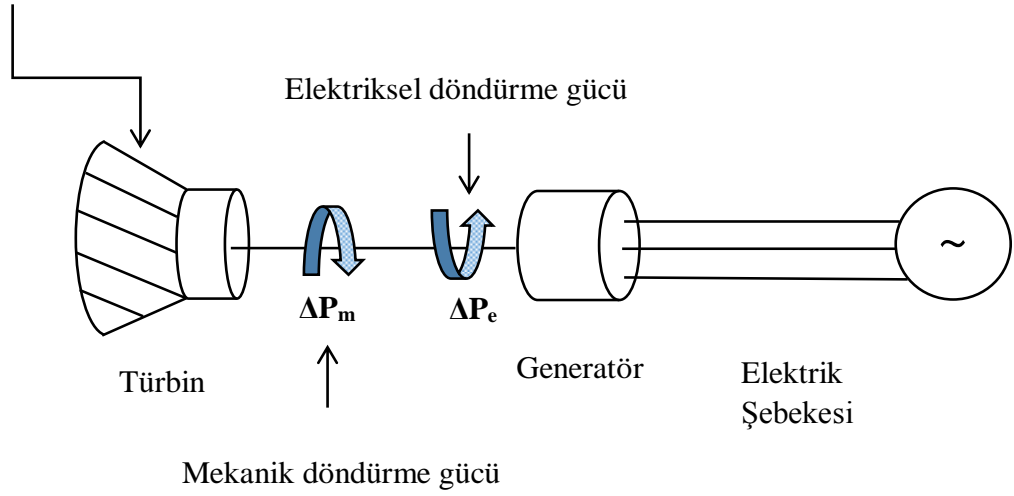
edilmektedir. Dönen generatörlerin devri ile generatörün ürettiği aktif güç doğru orantılıdır. Ayrıca generatörün devri ile frekans doğru orantılıdır. Dolayısı ile sistemin frekansı ile aktif güç doğru orantılıdır.

Generatörler üretilen enerji ile tüketilen gücün aynı olduğu durumda daha kararlı çalışır. Bu durumlarda frekanstaki sapmalar en az olacağından ve frekans sabit ve karardır. Santraller üretilen elektrik enerjisini, iletim nakil hatları vasıtası tüketiciye iletilirler. İletim nakil hatları çok sayıda santralin bağılı olduğu ve tüm bütün bölgeyi kontrol eden enterkonnekte sistem ya da tek santralin lokal bir bölgeyi beslediği ada sistemi olmak üzere iki türlü şebeke bulunur. Enterkonnekte sistemlerde aktif gücün değişim oranı ada moduna göre daha azdır. Bu büyük bir denize atılan taşın etkisinin küçük bir su birikintisine atılan taşın etkisinden daha az olması ile ifade edilebilir. Yani enterkonnekte şebekede yük değişimine karşı frekans değişimi daha az olacaktır. Bu yüzden enterkonnekte sistem modunda frekans kontrolü ada sistem moduna göre daha kolaydır.

Elektrik güç sistemleri kendi içinde genel olarak üretim, taşıma ve tüketim olmak üzere üç kısım altında incelemek doğru olur. Üretim kısmı enerjinin üretildiği ve elektriğin iletimi için istenen değerlere getirildiği tesislerdir. Üretim tesislerinde üretilen elektrik enerjisi belirli frekansta ve gerilim seviyesinde üretilerek tüketicinin kullanımına hazır hale getirilir.

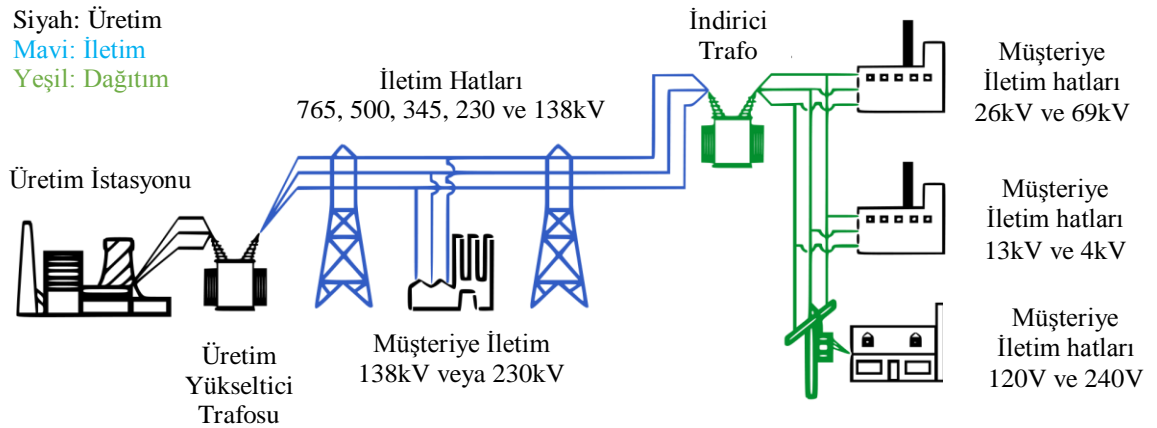
Taşıma ya da iletim olarak bahsedilen kısım ise üretilen enerjinin son tüketiciye iletildiği kısımdır. Tüketim kısmı ise kısaca yük olarak adlandırılan elektrik enerjisini tüketen kısımdır. Aslında iletim hatlarında iletim esnasında elektriğin bir kısmını ısıya dönüştürerek elektrik enerjisinden kayıp olarak adlandırdığımız tüketimler oluşur. Güç sistemlerinin kısaca prensip şeması şekil 5'te üretim, taşıma ve tüketim olarak gösterilmiştir.

Enerji Kaynağı (Buhar, Su veya Gaz)



Şekil 5 Güç sistemlerinin genel prensip modeli

Elektrik kalitesinin sürekliliği için güç sisteminin bileşenlerinin iyi tanınması, doğru irdelenmesi ve tasarlanması ile olur. Güç sistemlerinin ana bölümleri olan üretim, iletim ve tüketim birimleri aslında türbin, generatör, uyartım sistemi, regülasyon sistemi, yük, şebeke, trafo bileşenlerinden oluşmaktadır. Şekil 5'te türbin tarafından üretilen mekanik güç (ΔP_m), generatör ile türbinin bağlı olduğu milde döndürme etkisi yapmaktadır. Generator tarafından tüketiciye aktarılan elektriksel güç ise (ΔP_e) fren etkisi yapmaktadır.



Şekil 6 Güç sistemlerinin genel akış şeması

3.2 Türbinler

Generatörün dönmesini sağlayan mekanik gücü üreten kısımdır. Türbin buhar,

su, rüzgâr gibi kaynaklar tarafından dönme hareketi yaparlar. Türbinin dakikadaki dönme tur sayısı (Revolution Per Minute, RPM) olarak adlandırılır. Türbinlerde bu kaynakların oluşturduğu mekanik gücü generatöre aktarmaktır. Türbinlerden aktarılan mekanik gücün tümü generatöre aktarılmaz. Mekanik güç kontrol edilerek generatör miline aktarılır. Termik santrallerde türbini çeviren buhardır. Türbine giren buharın akış miktarı kontrol edilerek türbin hızı kontrol edilir. Buharın akışının yüksek olması türbinin hızını artırır, buhar akışının düşük olması türbin hızını azaltır. Bu şekilde mekanik güç ayarı yapılmış olur.

Yükün artması durumunda elektriksel frenleme momenti artacak ve buda türbinin dönme hızını yavaşlatacaktır. Diğer türlü ise yükün azalması durumunda türbin hızı artacaktır. Bu durumda türbine giden buharın miktarı azaltılırsa ve türbinin hızı azalacaktır.

Türbinler tesis türüne göre farklı tiptedirler. Bunlardan termik santrallerinde olan türlerine buhar türbini, gaz çevrim santrallerinde olanlarına gaz türbini, hidro elektrik santrallerinde olanlarına hidro türbin olarak adlandırılır. Hepsinin fiziki özellikleri birbirinden farklı olsa da hepsinin görevi aynıdır. Türbinlerin hepsi mekanik döndürme gücü vasıtası ile döndürülür ve generatörün elektrik üretmesini sağlar.

Türbinler çalışma şartlarına göre de özellikleri değişir. Örneğin buhar türbinleri hidro türbinlere göre daha hızlı döner. Burada buharın sıcaklığı yaklaşık 100 derece ve basıncıda 560 bar civarındadır. Türbinler kendi aralarında su, buhar, rüzgâr ve gaz türbini gibi çeşitleri vardır.

3.2.1 Su Türbinleri

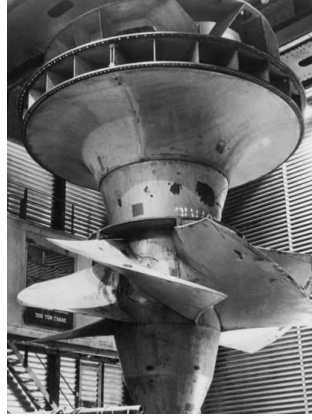
Bu türbinler hidroelektrik santrallerde kullanılır. Suyun debisinden faydalanılır. Su türbin kanatlarına çarparak kanatlar üzerinde bir güç oluşturur. Bu şekilde su debisinin enerjisi türbini döndürerek elektrik enerjisi oluşur.

Su türbinlerinin birçok çeşidi vardır. Bunlardan en çok bilinenler;

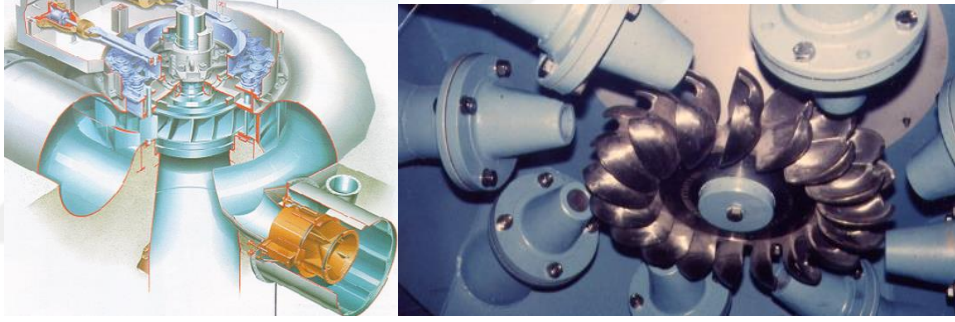
- Francis
- Kaplan
- Pelton
- Michell-Banki

olarak bilinir ve en çok kullanılan tiplerdir. Bu türbinlerin seçimi için suyun akış

miktarına ve kurulacak tesisin düşü hesabına bakılır.



Şekil 7 Kaplan Türbini



Şekil 8 a) Francis Türbin b) Pelton Türbin

3.2.2 Rüzgâr türbinleri

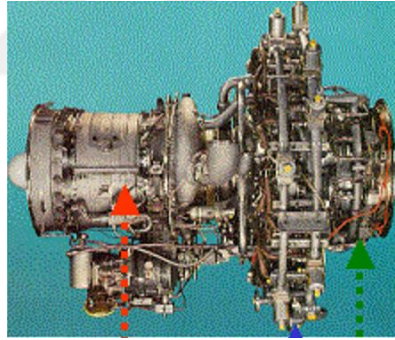
Rüzgâr enerjisinden elektrik elde eden santrallerde kullanılır. Çalışma prensibi su türbinlerine benzerdir. Fakat türbin kanatçıkları rüzgâra göre daha hafif ve geniş olarak dizayn edilir.



Şekil 9 Rüzgâr Türbinleri

3.2.3 Gaz türbinleri

Gaz türbini çalışma tarzı ile tersine çalışan bir gaz kompresörüdür. Sıkıştırılmış gaz türbin kanatçıklarına çarparak milin dönüşünü ve hareketi sağlar. Gaz türbinleri çok büyük güçlü elektrik santrallerinde, orta güçlü uçak ve gemilerde, ufak güçlü kara nakil vasıtalarında ana veya yardımcı makine olarak vazife görmektedir.



Şekil 10 Gaz Türbini

3.3 Generatörler

Generatör güç sisteminde mekanik enerjinin elektrik enerjisine çeviren kısımdır. Genaratörler mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler. Generatörlerin ürettiği gerilim alternatif gerilimdir. Dönüştürülen AC gerilimin frekansı hem generatörün kutup sayısına hem de rotorun dönüş hızına bağlıdır. (7)

Senkron generatörler yapısal olarak iki kısımdan oluşur. Bunlar;

- 1) Stator
- 2) Rotor

kısımlarıdır. Generatörün elektrik üretimini anlamak için bu kısımları bilmek gerekir.

3.3.1 Stator (Endüvi)

Stator genel olarak generatörün duran kısmıdır. Endüvi saçtan yapılmış olup içinde endüvi sargılarının yerleştirilmesinden oluşur. Generatörde alternatif gerilimin alındığı ve bu gerilimin yüke bağlamak için kablo bağlantı uçlarının olduğu kısımdır.



Şekil 11 Stator

3.3.2 Rotor (Endüktör)

Rotor genel olarak generatörün dönen kısmıdır. Senkron generatörler rotor şekline göre olarak iki kısma ayrılmaktadır. Bunlar

- Çıkık kutuplu generatörler
- Silindirik kutuplu generatörler

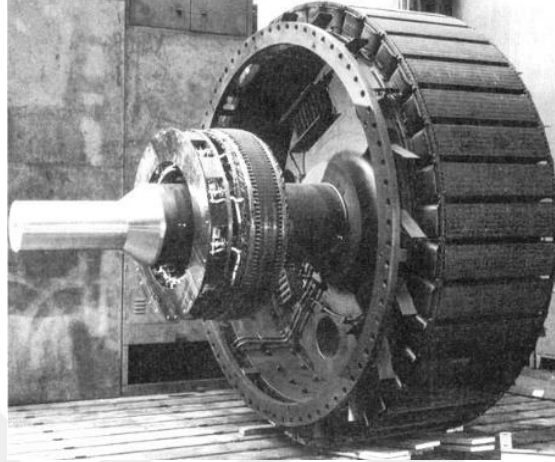
olarak iki kısma ayrılır.



Şekil 12 Rotor

3.3.2.1 Çıkık kutuplu generatörler

Çıkıntılı kutuplu generatörler genellikle rotor hızının az olması gereken yerlerde kullanılırlar. Çok kutuplu olarak yapılırlar. Çok hızlı yerlerde tasarlanmadıkları için hızlı çalışma koşullarına uygun değildirler. Hidroelektrik santrali gibi santrallerde, türbin hızı dolayısı ile rotor hızı düşüktür.



Şekil 13 Rotoru Çıkıntılı Kutuplu Generatör Rotoru

3.3.2.2 Silindirik kutuplu generatörler

Rotor hızı yüksek olan yerlerde kullanılır. Kutup sayısı genel olarak 2 ya da 4 kutuplu olarak üretilirler. Termik santral gibi rotor hızının yüksek olması gereken yerlerde silindirik kutuplu generatör kullanılmaktadır.



Şekil 14 Rotoru Silindirik Kutuplu Generatör Rotoru

Generatörler rotor kısmına DC gerilim uygulanır. Rotor DC gerilim sonucu mıknatıslanma özelliği kazanmış olur. Rotorun türbin ile dönüşü sonucu statorda

gerilim endüklenir ve alternatif gerilim oluşur. Stator uçlarında oluşan alternatif gerilim iletim hatlarına verilir.

3.4 Governor (Frekans kontrolörü)

Elektrik güç sistemlerinde yük bileşeni değişkendir. Generatörün devir sayısı yük miktarına göre değişmektedir. Normalde yük miktarı generatör çıkış gücü ile aynı olması durumunda Generator ne yavaşlayacak nede hızlanacaktır. Generatör bu durumda devrini koruyacaktır.

Yük miktarı aşması durumunda generatör yavaşlama reaksiyonuna girecek ve hızı düşecektir. Diğer türlü yük miktarı üretilen enerjiden daha az durumda ise generatörün devir miktarı artım yönünde olacak ve generatör hızlanacaktır.

$$Nr = \frac{120F}{Pk} \quad (1)$$

Nr = Rotor deviri

F = Frekans

Pk = Kutup sayısı

Generatör rotorunun devri frekans ile doğru orantılı (1) ve kutup sayısı ile ters orantılıdır. Frekansı istenen değerde kalmasını sağlanması asıl amaç olduğundan frekansı etkileyen faktörleri irdelemek gerekir. Frekans generatörün rotor kısmının stator kutupları etrafında dönme devir sayısı ile belirlenir. Generatörde kutup sayısı değişmeyeceğinden frekans değerini rotorun devir sayısı belirler. Dolayısı ile frekans değeri rotorun devir sayısı ile doğrudan ilişkilidir. Generatör rotorunun devir miktarı azalırsa frekansta azalacak, artarsa frekansta artacaktır. Generatörün devri yük değişimi karşısında değişime uğrayacak olup bu değişim yük miktarı ile ters orantılıdır.

Generatörün yavaşlama ve hızlanma eğilimine girdiğinde türbinde aynı davranışları gösterir. Frekansın ayarlanması için türbinin hızının regüle edilmesi gerekir. Regülasyon işlemi türbine uygulanan mekanik gücün artırılması ya da azaltılması ile sağlanır. Bu işlem sonucunda türbinin generatöre ileteceği mekanik güç ayarlanarak frekans ayarlanmış olur. Termik santrallerde bu regülasyon işlemi türbine giden kızgın buharın akış miktarını kontrol vanalarının kontrolü ile yapılır. Hidroelektrik santrallerde türbin kanatçıklarına çarpma açısını değiştiren servo motorlarla regülasyon yapılır. Bu tezin içeriğinde bahsedilen regülasyon işlemi

generatöre uygulanan yük miktarı değiştirerek yapılacaktır.

3.5 Uyarım Sistemleri

Uyarım sistemleri rotora uygulanan DC gerilimi kontrol eder. Uyarım sistemleri kontrolü sonucunda stator uçlarından elde edilen gerilim kontrol edilir. Bir diğer görevi ise reaktif gücü kontrol etmektir.

Uyarım sistemleri dinamik ve statik olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Dinamik uyarımda doğru akım bir döner makinaya bağlıdır. Bu doğru akım motoru ile generatör, uyarım devresini tamamlar. Bu uyarım sistemi günümüzde pek kullanılmayan ve tercih edilmeyen uyarım sistemidir. 1-250 amper arası olan ve düşük uyarım akımlarında kullanılmaktadır. Küçük güçlü generatörlerde kullanılmaktadır.

Statik Uyarımda yarı iletken teknolojisinden faydalanılarak uyarım sistemi sağlanmaktadır. Bu uyarım sisteminde tristör gibi yarı iletken elemanları ile elde edilen doğru akım direkt uyarım sargısına bağlanır. 150-25000 amper arası yüksek uyarım akımlarında kullanılmaktadır.

Generatörün gücü arttıkça uyarım akımının değeri de artmaktadır. Genel olarak uyarım sisteminin gücü generatör gücünün % 4-6'sı kadardır. Uyarım sisteminin dizaynı yapılırken generatörün gerilimi, gücü, güç faktörü gibi parametreler göz önüne alınır.

3.6 Trafolar

Trafolar belirli bir gerilimdeki elektrik enerjisini aynı frekansta diğer bir gerilim değerine dönüştüren statik elektrik makinalarıdır. Belirli tipleri vardır.

Trafo tipleri;

- Bir fazlı transformatörler
- Çok fazlı transformatörler
- Oto-transformatörler
- Step-up transformatörler
- Çok sargılı transformatörler
- Ark ocağı transformatörleri
- Reaktörler

Santrallerde üretilen elektriğin tüketiciye ulaşması esnasında kayıp istenmez. Bu durumda üretilen elektriğin tüketiciye iletilmeden önce akım miktarının düşürülmesi

dolayısı ile geriliminin artırılması gereklidir. Genelde santrallerde üretilen gerilim seviyesi dağıtım için uygun olmayan değerlerde üretilir. Bu durumda gerilimi yükseltecek birim olan step-up trafoları ya da güç trafolarına ihtiyaç vardır. Bu durumda trafoları giriş ve çıkış birimine göre 34,5 / 154 kv gibi değerler ile anılırlar. Verilen değerler trafoların giriş ve çıkış gerilim değerlerini göstermektedir. Giriş tarafı trafoyu besleyen kaynağın gerilimini ve çıkış tarafı trafonun besleyeceği ise şebekenin gerilimini belirler. Trafonun besleyeceği çıkış gerilimi genel olarak şebekedir. Trafolar ayrıca şebeke ile yük arasında gerilimi dengelemek için kullanılır. Bu durumlarda genelde step down adı verilen gerilim düşürücü trafolar kullanılır.



Şekil 15 Step-up trafosu

3.7 Elektrik şebekeleri

Trafolarda yükseltilecek elektrik şebeke üzerinden yüke aktarılır. Şebekeler elektrik enerjisini taşıyacağı mesafe önemlidir. Mesafenin fazla olması ile şebeke üzerindeki kayıplar artar. Bu kayıplar kullanılan malzemeye ve şebeke gerilimi ile ilgilidir. Kullanılan malzeme genel olarak aynıdır. Şebeke gerilimi değişebilir. Uzun mesafelerde şebeke gerilimi yükseltilebilir ve bu sayede kullanılan malzemenin boyutları düşürülerek maliyetler azaltılır. Ayrıca gerilim seviyesinin daha yüksek seçilmesi şebeke akımını düşüreceğinden iletim hatlarında ısı kayıpları azalır.

3.8 Yükler

Elektrik santrallerinde generatör tarafından üretilen elektriğin son uç noktaya

ulaştığı kısımdır. Generatör vasıtası ile üretilen elektriğin elektrik şebekesi vasıtası ile ulaştığı bu kısımdaki elektrik tüketim miktarı değişkendir. Bu değişimler sonucu oluşan arz talep dengesi santraller tarafından çok hızlı bir şekilde karşılanması gerekmektedir.

Santraller için önemli olan yükün anlık değişimi, yükün niceliğidir. Yükler endüktif yük, kapasitif yük ya da omik olarak üç kısma ayrılırlar. Endüktif yükler bobin etkisi yaratan yüklerdir ve generatörün ürettiği gerilim üzerinde gerilim azalması yaparlar. Kapasitif yükler generatör gerilimi üzerinde gerilim yükselmesi yaparlar. Omik yükler generatör gerilimi üzerinde gerilim değişimi oluşturmazlar.

Özellikle yaz aylarında klimalardan kaynaklı tüketimin artması sonucunda üretim miktarı artar. Ayrıca tüketim miktarı nüfusun artması, sanayileşmenin artması gibi durumlara göre yıllık planlar yapılarak güç sistemlerinde iyileştirmeler ve kapasite artırımı yapılmalıdır. 2016 yılı içerisinde enerji tüketimi Temmuz Ağustos ayı içerisinde tavan yaparak 44,734 MW olarak gerçekleşmiştir.

4.MATERYAL VE YÖNTEM

Günümüzde birçok endüstri alanında olduğu gibi, güç sistemlerinin kontrolü üzerinde yapılan araştırmalar, geliştirmeler ile tasarlanan sistemlerin her gün daha verimli hale gelmesi sağlamaktadır.

Bilgisayar teknolojisine bağlı olarak gelişen otomatik kontrol ve yapay zekâ (Yapay sinir ağları, Genetik algoritma, Fuzzy kontrol vb.) algoritmaları ile kontrol konusunda yeni uygulamalar yapılmaktadır. Her ne kadar kontrol sistemlerinin işlevleri aynı olsa da hangi kontrol tekniğinin kullanılacağı, nerede kullanılacağı, sistemin özelliklerine bağlıdır. Örneğin kontrol edilecek problemin parametreleri çok fazla ya da karışık olabilir. Bu durumda problemin matematiksel olarak çözümü daha da zordur, kontrol türü olarak yapay zekâ kullanılabilir.

Güç sistemlerinin enerji üretim kısmında, hangi kontrol türünün kullanılacağı tasarım aşamasında belirlenir. Yine matematiksel olarak çözüm zor veya sistemin modeli yok ise yapay zekâ bilim dalı ön plana çıkabilir. Çünkü matematiksel verilerin girdi olarak çok sayıda olduğu problemlerde, matematiksel ifadeleri ve formüllerin kullanımı ve problemlerin çözümleri oldukça zordur. Burada amaç matematiksel yöntemlerden kaçınmak değil daha az işlemle sonuç üretebilmektir. Bu gibi durumlarda insan beyninden esinlenerek ortaya çıkarılmış yapay zekâ yöntemlerinin kullanılması ile problemlerin çözümleri daha kolay olabilir. Günümüzde Nikon firması fotoğraf

makinalarında odaklanma işlevini, Mitsubishi firması klimalarda fan devrini ayarlama işlevini Yapay Sinir Ağları (YSA) metodunu kullanarak uygulamışlardır. Bu konuda örnekler artırılabilir.

Güç sistemlerinde kullanılan kontrol türleri genel olarak aşağıdaki gibi klasik kontrol ve yapay zeka kontrol olarak gruplandırılabilir.

Klasik

1. P kontrolör
2. I kontrolör
3. PI kontrolör
4. PID kontrolör

Yapay Zekâ

5. Fuzzy kontrolör
6. Yapay Sinir Ağları
7. Genetik Algoritma

4.1 Otomatik Kontrol

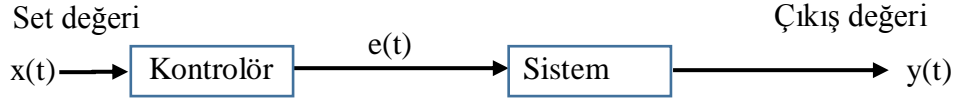
Otomatik kontrol tekniği günümüzde çok kullanılan ve en çok tercih edilen kontrol türlerinden biridir. Tasarım esnasındaki bir otomatik kontrolör, sistemde ki değişkenler göz önüne alınarak tasarlanır. Otomatik kontrolün amacı sistemde giriş değişkeni ile çıkış değişkeni arasında meydana gelen farkı otonom olarak gidermektir. Herhangi bir sistemde oluşabilen istem dışı bozucu etkiyi sürekli kontrol eder ve otomatik giderir.

Bozucu etki meydana gelirse otomatik kontrolör bozucu sinyale göre giriş sinyalinde artırım ya da azaltma yaparak sistemi dengelemeye çalışır.

Otomatik kontrolör, kendi kontrolünü sağlayamayan sistem üzerine eklenerek sisteme dâhil edilir. Bu süreçten sonra otomatik kontrolörün sisteme adapte olması için sistemin uygun parametreleri çıkartılır ve otomatik kontrolöre bu parametreler girilir.

Bu kontrol sisteminde giriş sinyaline göre çıkış sinyalinin farkı takip edilir. Şekil 17' da gösterilen şekilde kapalı çevrim kontrol sistemi gösterilmiştir. Şekil 16'de olduğu gibi çıkış sinyalinin izlenmediği kontrol türüne açık çevrim kontrol denir. İstenen kontrolün daha hassas, daha güvenilir ve daha hızlı olması için kapalı çevrim kontrol kullanılmalıdır. Demir Çelik fabrikalarında vinç kontrolörü, CNC makinalarında servo motor kontrolü, arabalarda hız kontrolü (Cruise Control) otomatik kontrol ile

yapılmaktadır.



Şekil 16 Açık çevrim kontrol sistemi blok diyagramı

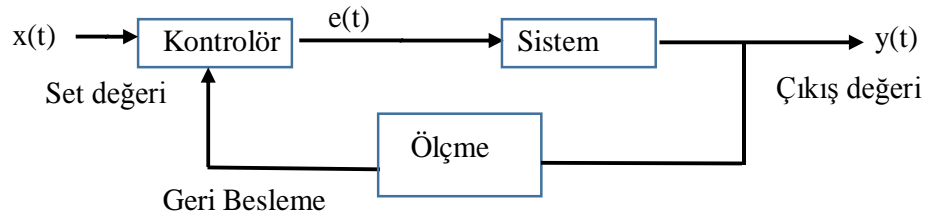
$x(t)$: Otomatik kontrol giriş değeri

$e(t)$: Otomatik kontrol hata değeri

$y(t)$: Otomatik kontrol çıkış değeri

Şekil 16 da açık çevrim kontrol sistemine ait diyagram bulunmaktadır. Açık çevrim kontrol çıkış değerinin (sonuç değerinin) giriş değeri ile kıyas yapılmadan yapılan kontroldür. Bu kontrolde sonuç istenen değer ile mukayese edilmediğinden hassas bir kontrol sağlanamaz. Kontrolörün seçiminde önemli olan sisteme verdiği tepki süresi ve tepki sonrası kalıcı hatanın büyüklüğünün kontrol edilmesidir. Bazen de kontrolörün tam anlamıyla görevini yerine getirmesi için sistem üzerinde son ayarlama yapılması gereklidir. Bu ayarlamalar için sistem tepki süresi, sistemin oluşturabileceği hata büyüklüğü gibi parametrelerinin önceden bilinemediği ya da bilinmesin çok zor olduğu sistemlerde yapılır.

Otomatik kontrolde sistemde oluşan bozucu etkiyi azaltmak için çıkış birimi devamlı kontrol edilerek yapılır. Bozucu etkinin büyüklüğü, çıkışı ölçen ve bunu kontrol birimine ileten ölçme elemanı tarafından yapılır. Kontrol elemanı sistemin nasıl çalışması gerektiğini giriş ve çıkış parametrelerini ölçerek karar verir.



Şekil 17 Kapalı çevrim kontrol sistemi blok diyagramı

$x(t)$: Otomatik kontrol giriş değeri

$e(t)$: Otomatik kontrol hata değeri

$y(t)$: Otomatik kontrol çıkış değeri

Şekil 17 de kurulu bir sistemin çalışması otomatik kontrol tasarlanmış halinin blok diyagramı gösterilmektedir. Sistemin daha hassas çalışabilmesi için kontrolör ile çıkış arasından geri besleme yapılmıştır. Sistemden kaynaklı ya da dış kaynaklı olarak meydana gelen bozucu etkenler vardır. Bu etkenler sonucunda hata miktarı değişir. Hatanın giderilmesi için kontrolörün parametrelerinde değişiklik yapılarak en iyi parametreleri bulunmaya çalışılır. Sonuç olarak sistemde en iyi sonucu verecek kontrolör elde edilmiş olur.

Otomatik kontrol kendi içinde kısımlara ayrılır. Kontrol edilecek sistemlerde bu kontrollerden her hangi biri kullanılabilir.

4.2 Genel olarak otomatik kontrolörü içeriği

Otomatik kontrol oransal (P), integral (I) ve türevsel (D) birimlerden oluşur. Her bir birimin sistemde kullanılması tasarım esnasında belirlenir. P, PI, PD, ya da PID şeklinde kullanılır. Sistemde bu kontrol tiplerinden biri yeterli olabilir. PID parametrelerinin hangilerinin kullanılacağı sistemin tasarım aşamasında kontrolcü tarafından belirlenir.

4.2.1 P kontrolör

Oransal kontrolör olarak adlandırılan bu kontrol ile sistemde oluşan hatanın belirli bir katsayı ile çarpılarak düzeltilmesi sağlanmaya çalışılır. Aslında kaba kontrol yapılıır. Sistemde giriş birimi ile kazanç oranı olarak adlandırılan K_p birimi ile çarpılarak belirli bir oranda bir çıkış elde edilmiş olunur. K_p miktarı artıkça sistemin çıkış birimi daha hızlı büyür. Bu büyüme sistemin tepkisini artırabilir ve sistemi kararsızlığa götürebilir. Bu kontrolde arzu edilen çıkış belirli hataya uğrar. Kontrol elemanın tam çıkış vermesi için gerekli olan hatadaki değişimine oransal bant denir. Oransal bant oransal kazanç (K_p) ile ters orantılıdır. Oransal bantın büyümesi için K_p kazanç katsayısının küçültülmesi gereklidir.

K_p^* Oransal Bant = 100 dür.

Oransal kontrolde kontrolör çıkışı, hata çıkışının oransal kazanç çarpılarak bulunur.

$$U(t) = K_p * e(t) \quad (2)$$

4.2.2 PI kontrolör

Oransal hatada meydana gelen kalıcı hatanın giderilmesi gerekir. İşte bu durumda integral kontrolör prensibi devreye girerek bu hatanın giderilmesinde rol oynar. İntegral kontrol sistemin kararlı hatasını anlık gideremez. Ama bu hatayı salınım yaparak sıfıra indirebilir.

$$U(t) = K_p * e(t) + K_i * e(t) \quad (3)$$

4.2.3 PD kontrolör

İntegral kontrolün sistemde hatayı sıfırlamakla beraber, salınımları devam eder. Bu salınımların ortadan kaldırılmasında türevsel kontrol devreye girerek salınımları giderir.

$$U(t) = K_p * e(t) + K_d * e(t) \quad (4)$$

4.2.4 PID kontrolörü

Sistemde PD kontrolör ve PI kontrolörün kullanılmasının avantajı ve dezavantajı vardır. PD kontrol kalıcı hata etkisini değiştirmemekle beraber PI kontrolörün salınım etkisini azaltmakta, PI kontrolör ise kararlı hata etkisine tepki göstermekle beraber salınımlardan dolayı sistemin düzene oturma zamanını artırır. Bu durumdan dolayı PID kontrolör kullanılması kaçınılmazdır. Bugüne kadar PID kontrolü üzerine çok sayıda çalışma yapılmış olup, bu yöntem konusunda değişik yöntemler geliştirilmiştir. Ziegler – Nichols kural yöntemi bu kural yöntemine örnektir.

Özellikle mikroişlemcilerin geliştirilmesi ile PID kontrolörün yazılımsal kullanılabilmesi kontrol alanında büyük kolaylıklar sağlamıştır.

$$U(t) = K_p * e(t) + K_i * e(t) + K_d * e(t) \quad (5)$$

4.3 YAPAY ZEKÂ

Yapay zekâ (YZ) kavramı insan beyninin çalışma yöntemlerini bilgisayar tabanlı sistemler üzerinde uygulanması ya da benzetilmesi ile ortaya çıkmıştır.

Beynin en küçük yapı taşı olan nöronların işlevlerini matematiksel olarak modelleyen YZ bilim dalı, karmaşık problemlerin çözümünde alternatif bir bilim dalı haline gelmiştir.

İnsan beyninin, matematik modelleme ve algoritmalar ile incelenmesi sonucunda ortaya çıkan yapay zekâ kavramıdır. Her ne kadar insan beyni inceleniyor

olsa da YZ' nin çözüm aralığı şu an için insan beyninin çözüm aralığından küçüktür. Günümüzde birçok alanda yapay zekâ bilim dalının kullanıldığı örneğe rastlanmaktadır. Fotoğraf makinalarında odaklanma işlevi, klimada sıcaklık kontrolü, sanayide, yazılım sektöründe örnekleri bulunmaktadır. Bir problemin çözümü için yapay zekâ yöntemlerinden hangisinin kullanılacağı sorunun yapısına göre değişmektedir. Buna göre optimizasyon sorunlarında Genetik Algoritma (GA), örüntü tanıma sorunlarında Yapay Sinir Ağları (YSA), bir sistemin kontrolü gerektiğinde Fuzzy Lojik (FL) kullanılır. Dolayısıyla problemin çözümünde tasarımcının sorunu çözmesi için yapay zekânın yöntemlerini bilmeli ve probleme göre alet kullanmalıdır.

Bu çalışmanın konusu sabit frekans sağlamak için yük kontrolü olduğundan, YZ metodu olarak Fuzzy Lojik (Bulanık Mantık) kullanılacaktır.

4.3.1 Fuzzy Kontrol

Fuzzy kontrol yapay zeka biliminin yöntemlerinden biridir. Temelinde sonuçlarının insan beynine göre kesin olmayan problemlerin çözümünde kullanılan kontrol yöntemidir.

Bulanık mantık insanların etrafındaki çevresel nesnelere kendine göre kesin olmayan durumlar biçmesidir. Bazen “Az serin”, “yavaş hareket ediyor”, ”çok hızlısın” gibi ifadeleri kullanırız. Burada ki az, yavaş ve çok kelimeleri kişiden kişiye değişen ifadelerdir.

Matematiksel ifadeler kesin olan ifadelerdir. Var veya yok mantığını içeren ifadelerdir ve matematiksel olarak var (1) ve yok (0) olarak nitelendirilir. Günlük hayatta insanlar için bir binanın yüksekliğinin ifadesi, kimi insanlar için yüksek, kimileri için ise çok yüksek olabilir veya başka türlüde ifade edilebilmektedir. Yani insanlar kendi sezgilerine göre ifadeler üretirler. Bu tür kişiden kişiye değişebilen düşünme biçimine bulanık düşünme denir.

Klasik mantıkta, bir eleman durum değeri 1 ya da 0 olurken, Fuzzy mantıkta bir elemanın durum değeri 0,3 veya 0,7 (0-1 aralığında) gibi kesin olmayan ifadeler şeklinde oluşmaktadır. Matematiksel olarak kesinlik içermeyen bu ifadeler kimi problemlerde belirli çözüm yöntemlerinin kaynağı olmuştur.

Fuzzy kontrolde aslında matematiksel ifadelerle çözümü olmayan ya da çözümü çok karışık olarak ifade edilen uygulamalarda kullanılır. Bulanık mantık kontrol kolaylığı sağlar, matematiksel olarak anlamı zor olan ifadelerden belirli sonuçlar çıkarır,

çözüm kolaylığı sağlar.

Bulanık mantık ile ilgili ilk makale 1964 yılında Azerbaycan uyruklu bilim adamı Lütfi Zadeh tarafından ortaya atılmış ve o yıllarda ilk makalesi yayınlanmıştır. 1973 yılında Danimarka'da Lauritz Peter Holmblad tarafından ilk ticari uygulama Çimento mikseri karışımında yapılmış ve İngiltere' de Ebrahim Mandani tarafından buhar makinası kontrolünde uygulanmıştır.1980'li yıllarda Japonyada bulanık mantık kontrolünü iyice benimsemiş 1990'lı yıllarda Asya'da çok popüler olmuştur.

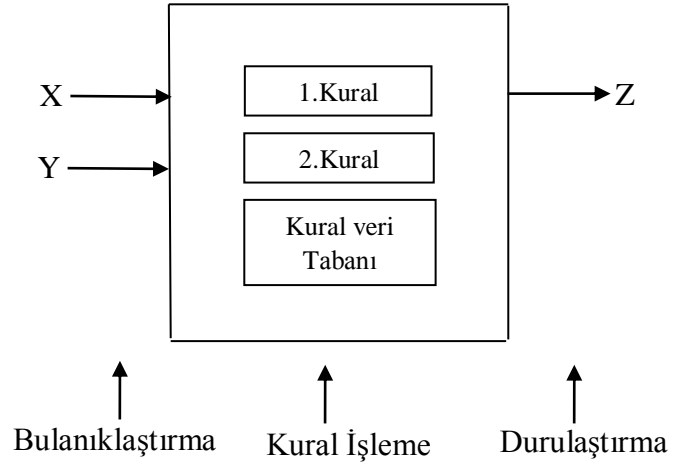
Bulanık mantık kontrolü özellikle beyaz eşya endüstrisinde (Çamaşır makinası, Elektrikli süpürge vb.) asansör uygulamalarında, otomotiv sektörü, uzay endüstrisinde gibi birçok endüstride kullanılmış olup günümüzde birçok mühendislik dalında kullanılmaktadır.

4.3.2 Fuzzy Kontrolör Tasarımı

Bulanık mantık kontrol sisteminde bulanıklaştıran birim bulanık kontrol sisteminin ilk sistemi olarak devreye girer. Giriş değerlerini birer üyelik derecesine atar. Bulanık mantık kontrol sistemindeki kural işleme birimi sistemin ikinci birimi olup kendi içindeki koşul veri tabanına dayalı olarak sonuçlar çıkarır. Bulanık mantık kontrol sisteminin son halkası olan Durulaştırma birimi ise kural işlem biriminden çıkan sonuçlara göre sayısal sonuçlar çıkarır. Bir başka deyişle bulanık olan girişi gerçek sayılara dönüştürerek durulaştırma işlemini sağlamış olur. Şekil 18'de Fuzzy kontrol genel şeması gösterilmiştir. Şekil 18'de X ve Y girişleri öncelikle bulanıklaştırma işlemine uğrar, ardından kural işleminde geçerek durulaştırma işlemine sonucunda Z çıkışı ortaya çıkar.

Bulanık mantık kontrolü üç aşamadan oluşmaktadır.

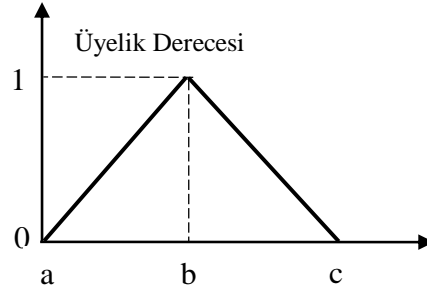
- Bulanıklaştırma (Fuzzification)
- Bulanık İşlem (Fuzzy Processing)
- Durulaştırma (Defuzzification)



Şekil 18 Bulanık mantık kontrol birimi genel görünümü

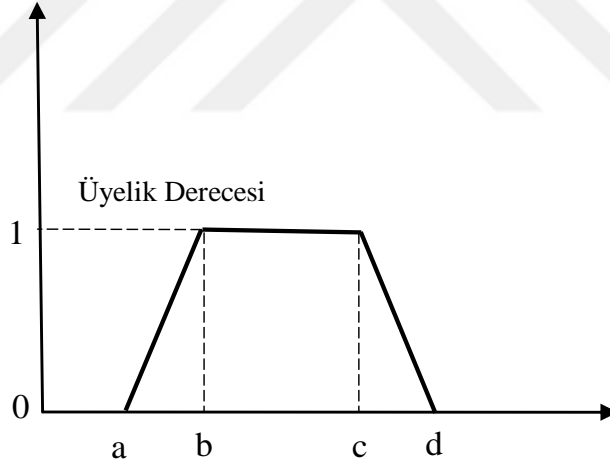
4.3.2.1. Bulanıklaştırma

İnsanların sezgisel düşüncelerinden çıkan belirsiz ifadeleri kesin ifade kümesine alınamaz. Bu ifadeler matematiksel olarak yaklaşık değerler kümesine yani üyelik derecesi $(0,0-1,0)$ aralığında değişen küme içine alınır. Burada 0,0 ve 1,0 ifadeleri kesin ifadeler olmakla beraber bu iki değer arasında kalan değerler belirsiz küme elemanlarını ifade eder. Her bir değer o elemana ait üyelik derece fonksiyonunda belirli bir karşılığa sahiptir. Üyelik derece fonksiyonları üçgen, yamuk ve çan eğrisi gibi türleri vardır. Şekil 19, Şekil 20 ve Şekil 21 bu üyelik sistemine ait hesaplama türlerinin üyelik fonksiyonu ve sonuç işlemi gösterilmiştir.



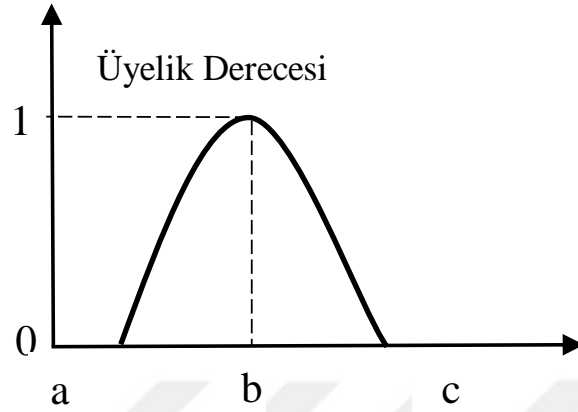
$$\mu_{A(x)} = \mu_{A(x; a, b, c, d)} = \begin{cases} (x-a)/(b-a) & \text{eğer } a \leq x < b \\ 1 & \text{eğer } b \leq x < c \\ (c-x)/(c-b) & \text{eğer } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{eğer } x > c \text{ veya } x < a \end{cases}$$

Şekil 19 Üçgen üyelik fonksiyonunu ve sonuç işlemi



$$\mu_{A(x)} = \mu_{A(x; a, b, c, d)} = \begin{cases} (x-a)/(b-a) & \text{eğer } a \leq x < b \\ 1 & \text{eğer } b \leq x < c \\ (d-x)/(d-c) & \text{eğer } c \leq x < d \\ 0 & \text{eğer } x > d \text{ veya } x < a \end{cases}$$

Şekil 20 Yamuk üyelik fonksiyonu ve sonuç işlemi



$$\mu_{A(x)} = e^{-a(x-m)^2} \quad a > 0, m \in R$$

Şekil 21 Çan eğrisi üyelik fonksiyonu ve sonuç işlemi

4.3.2.2 Bulanık İşlem

Bulanıklaştırma ile oluşturulan girişler Bulanık işlem kısmında “if... then... else” gibi koşul formüllerine tabi tutularak koşul endeksli çıkışlar sağlanır. Burada asıl yapılmak istenen bulanık girişleri hazırlanan bir koşul veri tabanından geçirilmesi ve ilgili çıkışın sağlanmasıdır.

Örneğin:

Eğer (If) X1 girişi ise (then) Y1 çıkışı olsun

Eğer X1 girişi ve X3 girişi ise Y2 çıkışı olsun

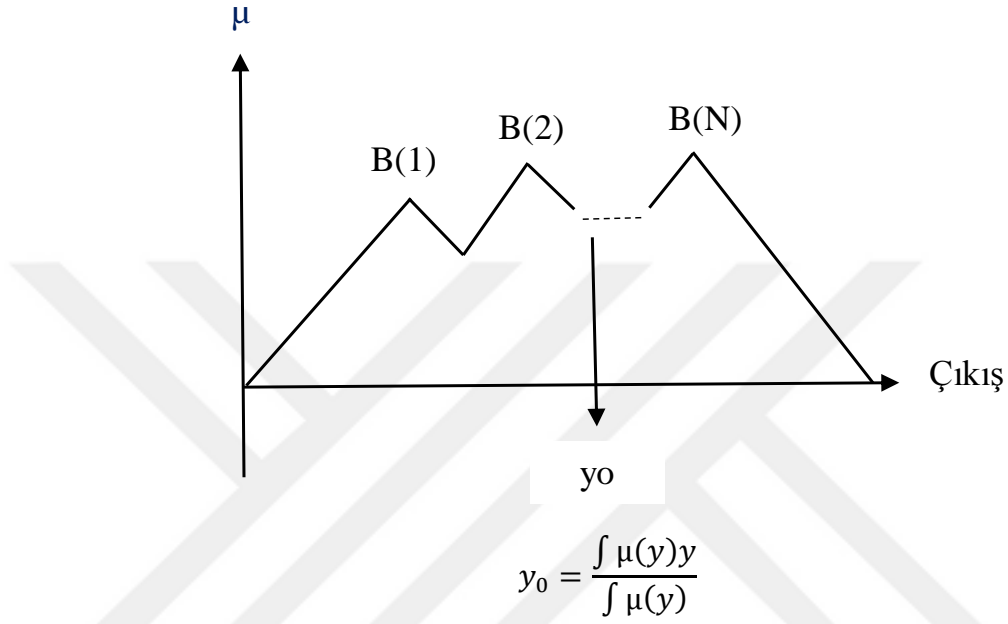
Şeklinde işleme tabii tutulur.

4.3.2.3. Durulaştırma

Mühendislik dalında istenilen veriler kesin ifadelerle dayanır. Örneğin suyun debisi, gaz basıncı mutlaka sayısal değerlerle ifade edilir. Kesin sonuçların gereksiniminden dolayıdır ki bulanık mantıkta da sonucun işe yaraması için sonucun gerçek bir değer olması gerekir. Bulanık kontrolün çıkışında sonuçların kesin ifadelerle dönüştürülmesi durulaştırma ile sağlanır. Durulaştırma işlemi, Yükseklik yöntemi, Ağırlık yöntemi gibi yöntemler kullanılarak sağlanır.

4.3.2.4 Ağırlık yöntemi

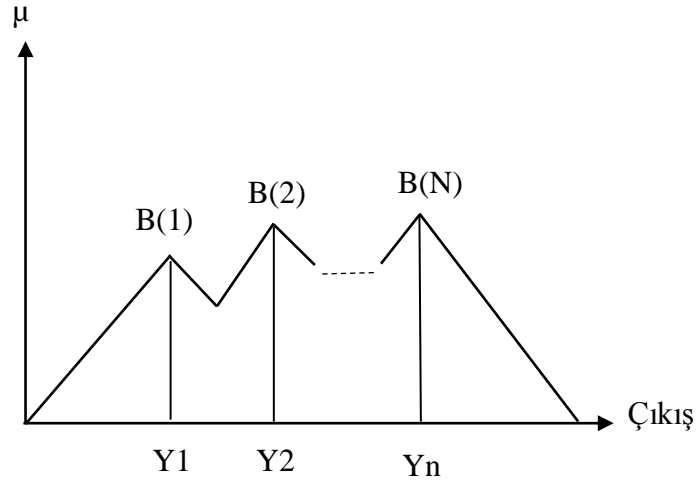
Durulaştırma işleminde yaygın olarak kullanılan bu yöntemdir. Ağırlık merkezi yöntemi şekil 22 deki gibi olan çıkış fonksiyonlarının ağırlık merkezini bulma yolu ile ilgili gerçek sonucun çıkışını sağlayan yöntemdir.



Şekil 22 Bulanık mantık ağırlık merkezi yöntemi

4.3.2.5 Yükseklik yöntemi

Durulaştırma işleminde kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Yükseklik yönteminin uygulanması için şekil 23 de ki gibi çıkış fonksiyonu grafiğinde en yüksek üyelik derecelerine sahip değerlerin bilinmesi ve aşağıdaki formülde bu değerlerin yerine konarak hesaplanması gerekir.

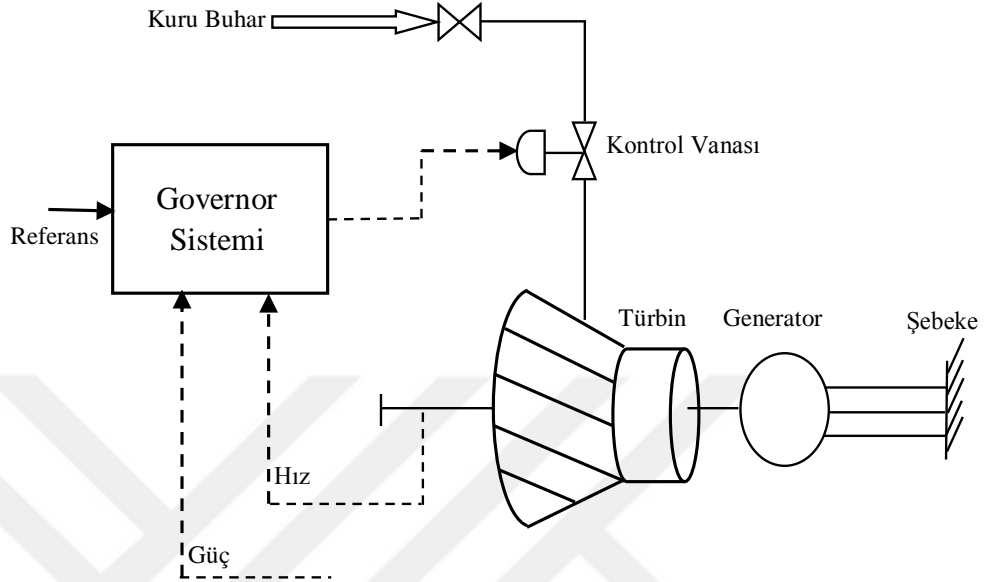


$$y_0 = \frac{\sum \mu(y_i) y_i}{\sum \mu(y_i)}$$

Şekil 23 Bulanık Mantık Yükseklik yöntemi

5. FREKANS KONTROLÜNDE UYGULAMALAR

Frekans kontrolünde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler üretim kaynağının özelliklerine göre değişmektedir. Üretim tesislerinin büyüklüğü, üretim kaynağının tipi gibi özellikler frekans kontrolündeki farklı metotların kullanılmasına neden olmaktadır. Frekans kontrolünü sağlayan sistemler frekansın değişimine göre tepki vererek frekansı kontrol ederler. Frekans kontrolü ile yük miktarının değişimine bağımlı olan aktif güç kontrol edilir. Aktif güç, iş yapan güçtür ve frekans ile doğrudan ilişkilidir. Aktif güç senkron generatörlerde rotoru döndüren mekanik güce bağımlıdır. Mekanik gücün artması rotorun hızını ve aktif gücünü artırır. Elektrik tüketiminin artması rotorun hızını ve aktif gücü azaltır. Sonuç olarak üretimin ya da tüketim artması ile oluşacak frekans dengesizliği, frekans kontrolcüsü tarafından giderilir.



Şekil 24 Elektrik üretim genel görünüm sistemi

Şekil 24’ te elektrik üretimi yapan ve frekans kontrolünü mekanik olarak sağlayan frekans kontrolörü gösterilmiştir. Aktif güç, türbine gelen buharın miktarı ile kontrol edilerek sağlandığı gösterilmiştir. Frekans kontrolü rotoru döndüren mekanik güç kontrol edilerek yapılır.

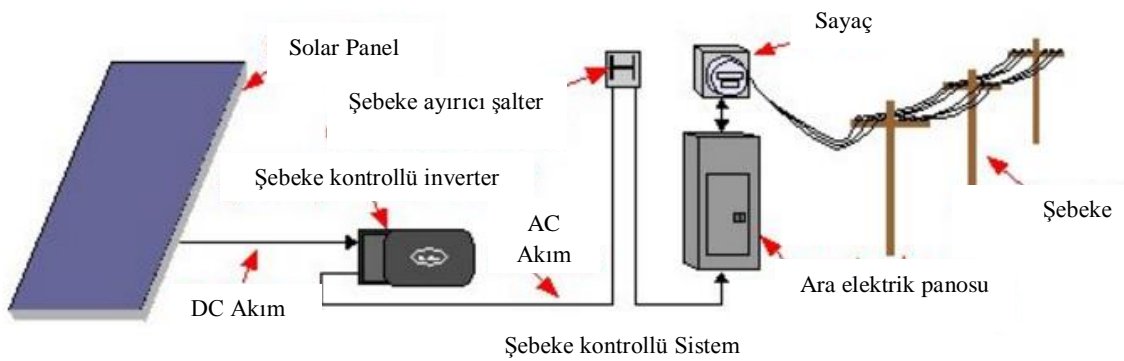
Türbinin dönme hızı mekanik güce bağımlı olarak değişmektedir. Değişken hızlarda dönen türbin neticesinde generatörde kararsız hızlarda döner. Generatörün değişken hızlarda dönmesi durumunda frekansta sapmalar olacaktır. Bu durumda türbinin hızının sürekli kontrol altında tutulması gerekmektedir.

Türbinin hızının kontrol eden sistemlerin olmadığı durumda ise frekans kontrolü için yarı iletken teknolojisinden faydalanılarak kurulan sistemler vardır. Yarı iletken teknolojisinin gelişimi ile frekans kontrolünde yeni bir dönem başlamıştır. Rüzgâr hızlarının değişken olması sonucunda rüzgar türbini değişken hızlarda dönmektedir. Üretilen enerji miktarı sürekli stabil olmayan rüzgar santralleri gibi üretim yapan elektrik sistemlerde bu teknolojinin gelişimi ile önemli bir çığır açmıştır. Bu sayede rüzgar debisi az olsa bile ya da türbin düşük devirlerde dönse bile, üretilen elektrik yarı

iletken teknoloji sayesinde şebeke gerilimine ve frekansına dönüştürülebilir. Yarı iletken teknolojinin gelişimi, frekans kontrolü, türbinin dönme hızına bağlı kalmadan yapılabilir olduğu görülmüştür. Alternatörün belirli bir gerilim üretmesi yeterlidir.

Yarı iletken teknolojisinde inverter, doğrultucu, kıyıcı gibi güç blokları bulunmaktadır. Bu bloklar bir araya getirilerek frekans kontrol sistemleri tasarlanmaktadır. Özellikle bu tasarımlar inverter olarak adlandırılır. Bu tasarımların çalışma mantığı gerilimi AC-DC-AC şekline belirli kontrol algoritması ile dönüştürerek sağlanır. AC-DC gerilim çevriminde üretilen kararsız AC gerilim, doğrultucular vasıtası ile DC gerilime dönüştürülür ve inverter içinde DC bara olarak bilinen bara'ya gönderilir. DC barada DC gerilimi tam DC gerilime çevrilir. DC barada bloğunda gerilim son olarak kıyılarak istenen gerilim ve frekanstaki AC gerilime dönüştürülür. Özellikle solar santrallerde bu tür frekans kontrollerin kullanılması zorunludur. Çünkü solar panellerin ürettiği elektrik türü DC elektriktir ve efektif değer bakımından küçük olduğu için şebekede kullanılamaz. İnvörtörler sayesinde DC gerilim istenen AC gerilim ve frekansa çevrilir. Günümüzde ABB, GE, SIEMENS gibi büyük firmalar büyük güçlü(1MW' a kadar) solar inverterler üretmişlerdir.

İnverter teknolojisinde sadece istenen şebeke gerilimi ve frekansı üretmek yeterli değildir. Üretilen elektrik şebekeye(on-grid) dâhil edilecekse gerilim ve frekansın şebeke frekansı senkronize etmesi gereklidir. Gerilimin faz açısının da şebeke açısı ile aynı olması gerekmektedir. Yarı iletken teknoloji bu konuda da sorunu çözmüştür. Şebeke bağlanma özelliği taşıyan (On grid) sürücüler faz açısını da şebekeye göre ayarlar ve bu şekilde şebekeye senkron olarak bağlanmaya olanak sağlarlar. Sürücülerin frekans kontrolünde getirdiği kolaylıklar büyük avantajdır. Bu sistemlerin pahalı olması dezavantajdır.



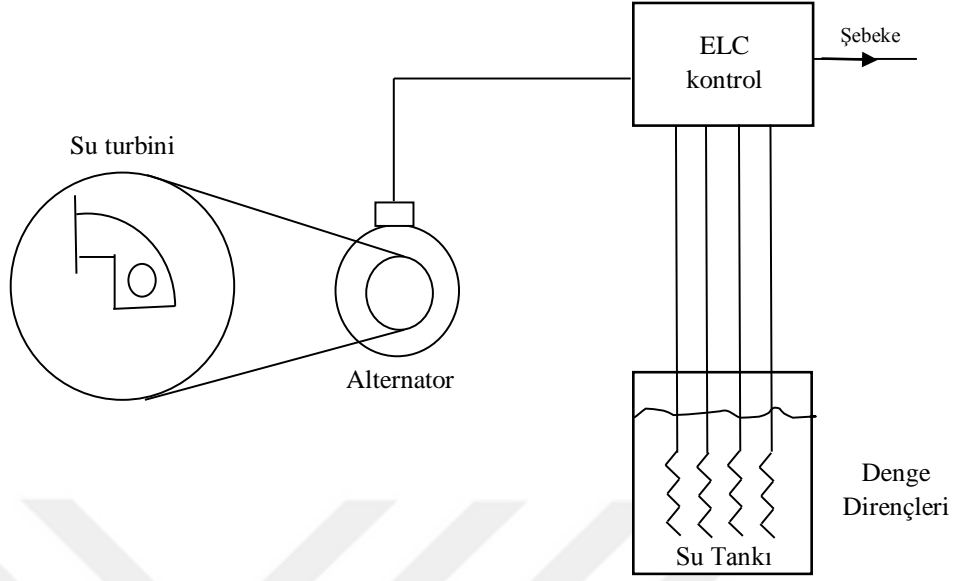
Şekil 25 Solar elektrik üretim genel santrali gösterimi

Şekil 25 solar bir sisteme ait genel görünüm gösterilmiştir. Solar sistemlerde kullanılan sürücüler DC-AC mantığına göre çalışır. Çünkü solar üreteçler DC gerilim üretirler. Oluşan DC gerilim sürücüye direk bağlanacağı için solar sistemlerde kullanılan sürücülerde AC gerilim girişi bulunmaz.

Bu projede de yarı iletken teknolojisinden faydalanılmıştır. Çalışmada kullanılan frekans kontrolörün en büyük avantajı diğer kontrollerin aksine ucuz elektronik malzemeler (Triyak, mikrokontrollör) kullanılmış olmasıdır. Ayrıca tasarlanan sistem basit bir yapıya sahiptir. Bu sistemde tüketici yükleri ve denge yükleri olmak üzere iki tür yük bulunmaktadır. Üretilen aktif güç, gerçek yükler ve denge yükleri arasında paylaşılma esasına göre frekans kontrol edilmektedir. Tüketici yükler ana alıcılardır ve önceliklidir. Denge yükleri ise aktif gücün istenmediği durumlarda enerjinin fazlasını ısıya dönüştürülerek sistemde dengeyi sağlamaya çalışan yüklerdir.

Türbin hızının kontrolünün yapıldığı ve yarı iletken güç devresi kullanıldığı bu yöntem ile özellikle mikro hidroelektrik santralleri için uygun bir seçenektir. Diğer güç sistemlerinde türbine giden mekanik güç, yük değişimine göre değiştirilmektedir. Türbinin hızı mekanik güç değiştirilerek ayarlanmaktadır. Bu çalışmada türbini çeviren mekanik gücü kontrol edecek ayrı bir yapı bulunmamaktadır. Yani türbinin çeviren kaynağa müdahale edilmemektedir. Öyle ki generatörü döndüren mekanik güç her zaman aynıdır. Yalnız yük miktarı değiştirilerek türbin hızı değiştirilmektedir. Burada önemli olan nokta toplam harcanan gücün, generatörün ürettiği aktif güce eşit ya da altında olmalıdır. Tüketici gücünün fazla olması generatörden fazla güç çekimine yol açacaktır. Aşırı güç tüketimi rotorda frenleme etkisi yaratacağından frekansta anlık düşmelere sebep olacaktır. Sistemde tüketici yük miktarı değişken olduğu için toplam yük miktarını dengelemek gerekmektedir. Bu yüzden denge yükleri sistemde sürekli hazır bulundurulur.

Kontrol ünitesi sistemde yük gereksinimini anlar ve yarı iletken güç devresi vasıtası ile denge yüklerini devreye alır. Kontrol ünitesi, sistemde üretilen elektrik frekansını ölçerek sisteme ne kadar yük dâhil edileceğini ya da edilmeyeceğini milisaniyeler mertebesinde karar verir. Elektronik ve yarı iletken teknolojisinden faydalanılarak frekans kontrolü yapan bu tür sistemlere elektronik yük frekans kontrolörü (Electronic load frequency controller) denir.



Şekil 26 ELC kontrollü elektrik üretim santrali

Bu uygulamada kullanılan sistemde, türbini çeviren mekanik kuvvetin sabit olması için suyun debisi sürekli maksimum ve sabit olmalıdır. Generatörün nominal değerde dönmesi için su debisinin sabit olması gereklidir. Generatörün nominal devirde dönerek nominal çıkış gücü verir. ELC sistemin frekansını generatörün dönüş milinden ölçer. Eğer frekansta bir değişme olmuyor ise ELC bu durumu tüketilen ile üretilen enerjinin aynı olduğu kararına vararak sisteme müdahale etmez. Yani sisteme herhangi bir yük ilave etmez ya da denge yük dâhil edilmiş devre dışı bırakmaz. Bunun dışındaki durumlarda ise denge yüklerini ilave eder ya da denge yüklerini devre dışı bırakır. Yük dengeleme işleminde yüklerin tam olarak devre dışı bırakmak ya da devreye almak sistemde ani yüklenmelere sebep olacaktır. Bu durumda hassas bir kontrol olmayacaktır. Bu durumda yükler belirli oranlarda devreye girmeli ya da çıkmalıdır. Denge yükleri bu nedenle belirli oranlarda kademelendirmek bir çözüm olarak düşünülmüş ve frekans kontrolündeki hassasiyet artırılmıştır. Yüklerin var yok(0/1) şeklinde devreye alınması yerine yarı iletken teknolojisinden faydalanılarak kısmi ya da oransal olarak devreye alınması sağlanmıştır. Bu sayede kontrol üzerindeki hassasiyet artırılmıştır. Yüklerin bu şekilde devreye alınması triyakın tetiklenme açısının değiştirilerek yapılmıştır.

Güç elektroniği teknolojisinde, İzole edilmiş kapılı iki kutuplu transistör (IGBT), entegre edilmiş kapı komütatörlü tristör (IGCT) gibi kontrollü kapılar bu tür

çalışmalarda sıkça kullanılan kapılardandır. Genel olarak bu kapıların PWM tekniği ile kontrol edildiği uygulamalar yapılmıştır. PWM tekniği, kapıların devrede kalma süresinin değiştirilmesi ile darbe genliğinin süresi değiştirilir. Genlik süresinin değişimi ile çıkış birimi analog olarak değişmektedir. Maliyet bakımından bu kapıların pahalı olması ve uygulama alanı için ek kontrol birimlerine gereksinim duyulması gerektiğinden kullanıcılar için uygun olmayabilir. Bununla beraber bu kapılarla çok daha hassas ve doğru sonuçlar verecek sistemler tasarlanabilir. Bu yüzden inverter teknolojinde bu kapılar daha çok kullanılmaktadır.

Yarı iletken teknolojide diğer bir ekipman olan triyaklarla bu çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada IGCT ve IGBT kapılarının yerine triyak kullanılmıştır. Triyak maliyeti bakımından daha ucuz olduğu için ve kontrol yönünden daha az kapsam gerektirdiğinden kullanıcı dostudur.

Çalışmada kullanılan triyaklar dengeleme dirençlerini devreye alma amaçlı kullanılmıştır. Kontrolör, triyak sayesinde gerekli denge yükünü devreye alacak ya da devre dışı bırakacaktır. Bu çalışmada kullanılan kontrolör için Fuzzy kontrol ve PID kontrol ayrı ayrı kullanılmıştır. Ne kadar gücün sönümlenmesi gerektiğini kontrolör içinde geliştirilen algoritma karar vermektedir. Denge yükleri kademelendirildiği için kademe sayısına göre triyak gurubu oluşturulmuştur. Triyakların tetiklenme zamanları bir önceki gerçekleşen yarım saykılın zamanı belirlenerek hesaplanır. PID ve Fuzzy kontrol tekniğinin kullanıldığı bu uygulamada gerekli modellemelerin sonuçları uygulamalar kısmında sunulmuştur. Bu sistem Matlab programından ortamında simüle edilmiştir.

Bu modellemede 85 kW gücünde 3 faz, gerilimi 400 volt ve rotor hızı 1500 rpm olan senkron generatör kullanılmıştır. Bu generatör nominal gücünde 1500 rpm dönecektir.

$$P_g = P_c + P_d \quad (6)$$

P_g = Generatörün üreteceği nominal güç

P_c = Tüketicinin tükettiği güç

P_d = Denge gücü

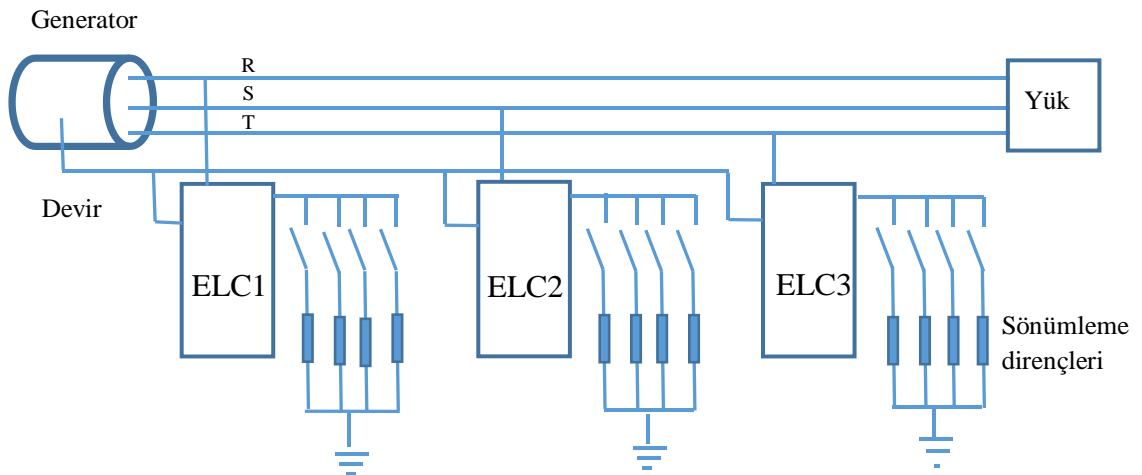
Bu denklemlerden yola çıkarak tüketilen güç üretilen güçten az olduğu zaman generatörün dönüş milinin hızı artacak ve generatör 1500 rpm' den fazla dönecektir. Dolayısı ile frekans artacaktır. Diğer türlü tüketilen güç üretilenden fazla olduğu zaman,

generatör durmak isteyecek ve generatörün hızı 1500 rpm'in altına düşecektir. Dolayısı ile frekans düşecektir. ELC içindeki algorithma yapılacak değişiklikler sayesinde generatörün durmasını engelleyecek yükler devre dışı bırakabilir.

PID ve Fuzzy yöntemleri ayrı ayrı ve beraber kullanıldığı ELC sisteminde denge yükleri için 4 tane çıkış kademesi vardır. Bu kademeler yazılım vasıtası ile ikili kod sistemine göre devreye alınabilmektedir. Bu sayede sistemde $2^4 = 16$ tane denge yük kademesi olacaktır. Tüketicinin değişken gücüne göre triyakların tetikleme açıları ELC kontrolünde yazılım ile belirlenmiştir. PID kontrolünde ise dört çıkışta kendi aralarında kullanılmadan kombinasyon yapılarak en uygun çıkış bulunmaya çalışılmıştır. Bu şekilde on altı çıkış oluşturulmuştur. Fuzzy kontrolde ise bu dört çıkış lineer olarak en küçüğünden en büyüğüne doğru olarak çıkışları devreye alınıp çıkması ile kontrol yapılmıştır.

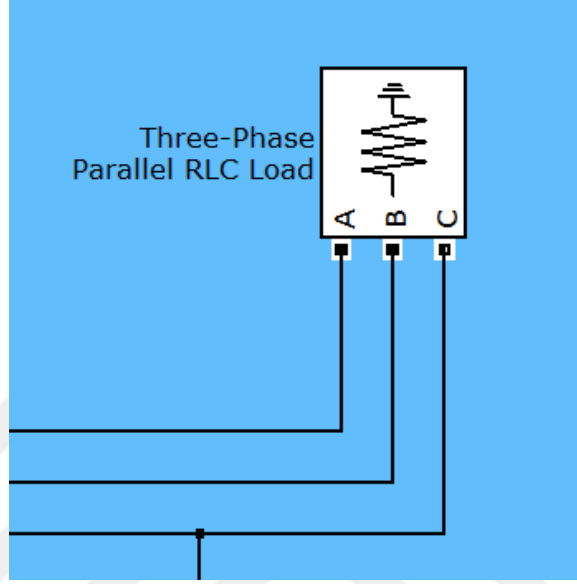
5.1 Sistemin Matlabda Modellenmesi

Sistem Matlab simulink ortamında modellenmiştir. Bu modellemede 85 kW gücünde 1500 rpm, üç faz 400 volt gerilim çıkışlı senkron generatör kullanılmıştır. Modellemede Senkron generatörün frekansı generatör çıkış fazları üzerinden her fazdan ayrı ayrı ölçülmüştür. Matlab ortamında oluşturulan gömülü program yazma tekniği kullanılmış ve matlab programında kontrol sistemi (ELC) tasarlanmıştır. Sistemde 3 tane ELC kullanılmıştır. Kullanılan bu her bir kontrolör senkron generatörün çıkış fazlarına ayrı ayrı adapte edilerek her faz için ayrı kontrol yapılmıştır.



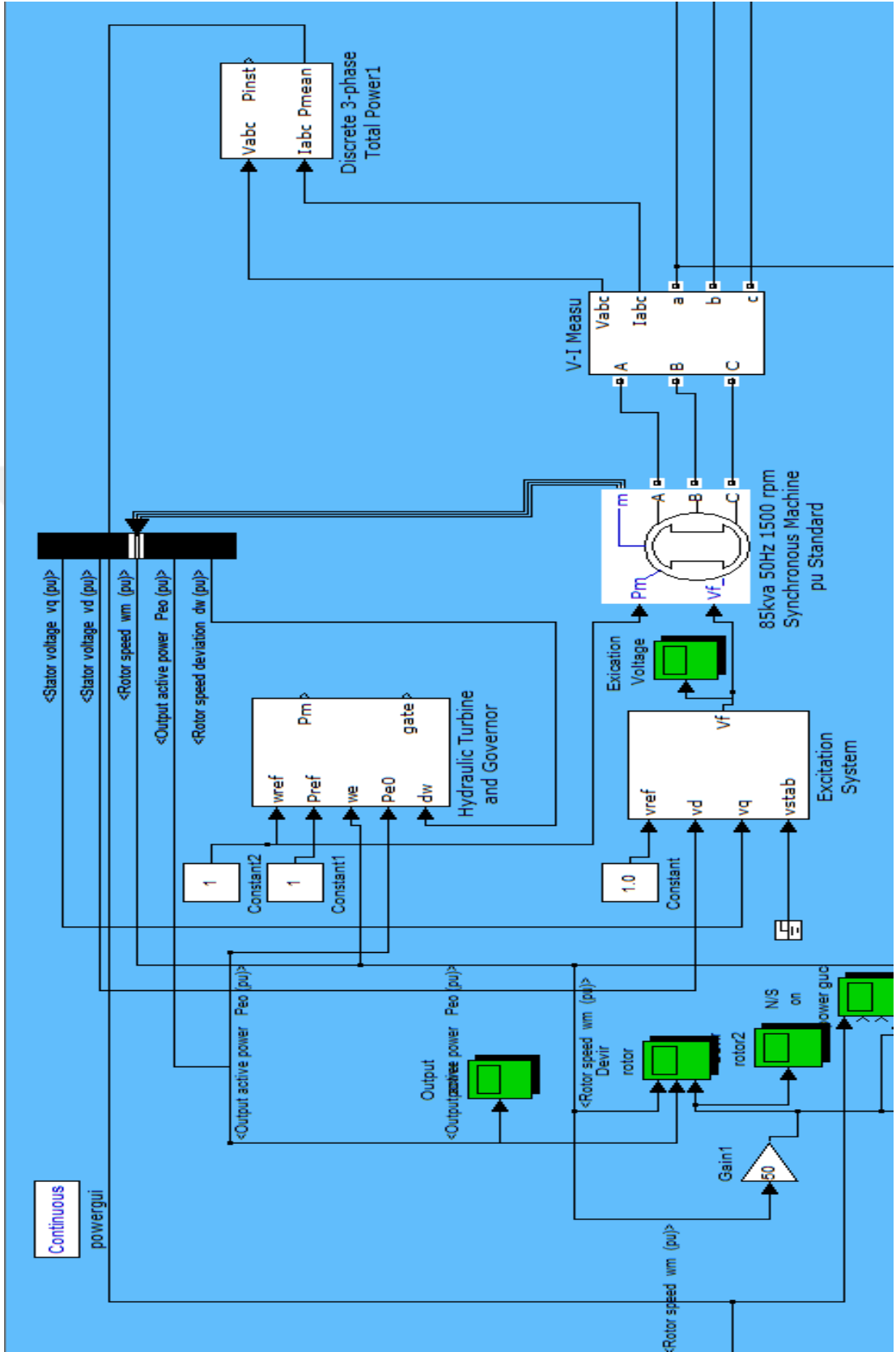
Şekil 27 Üç fazlı ELC kontrolörlü sistemin prensip şeması

Şekil 27 de ELC kontrol ünitesi genaratörün ürettiği fazla gücün, yükler üzerinde sönümlendiği sistem gösterilmiştir. Bu sistemde amaç genaratörün dönme hızı nominale ayarlanarak frekansı regüle edilir.



Şekil 28 Matlab programında tüketici yükünün gösterimi

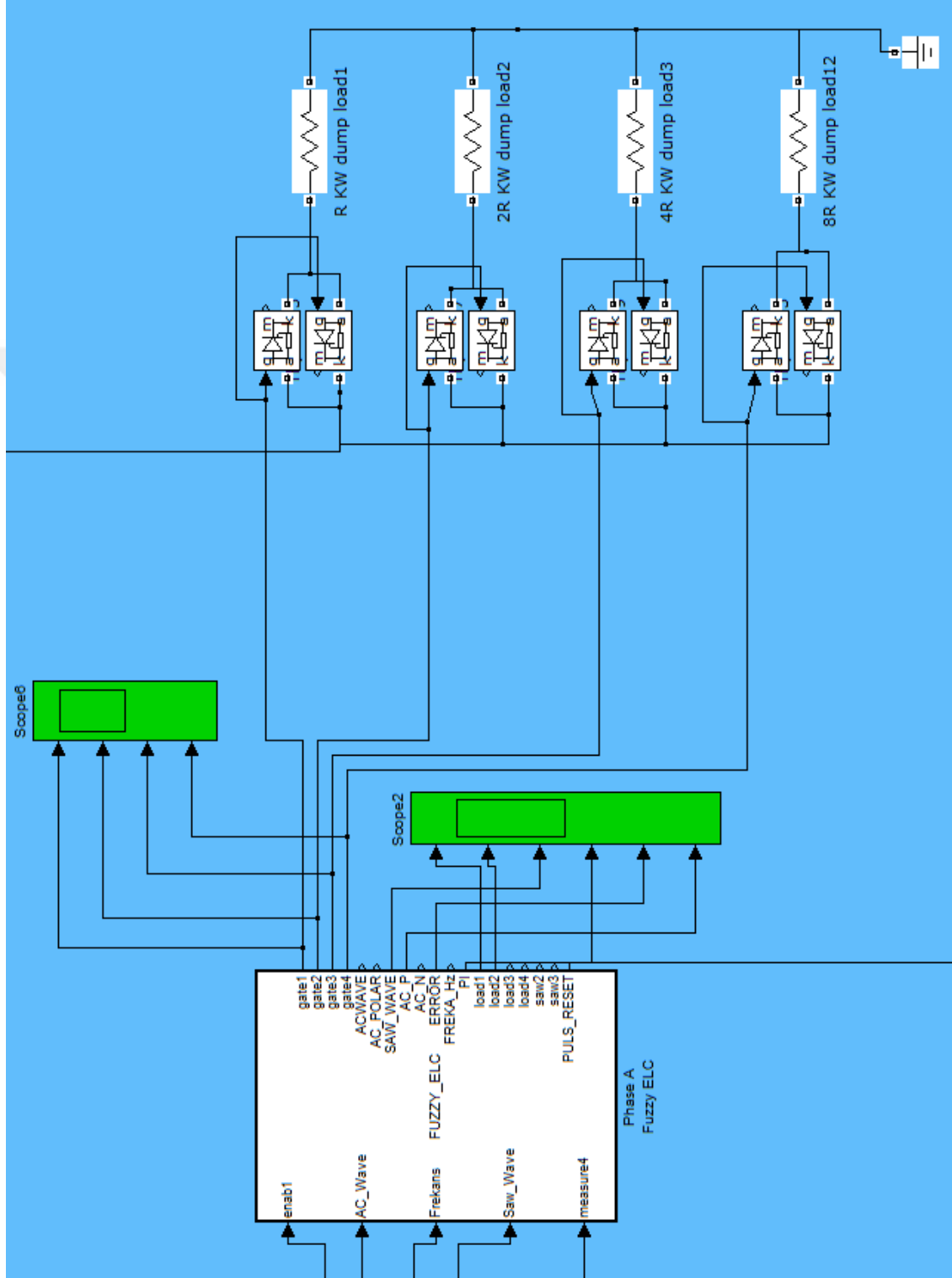
Şekil 28’de sistemde bulunan tüketici yükü olarak adı geçen yük mevcuttur. Bu yükler şehir aydınlatması, evdeki elektrikli aletler, tarladaki sulama motorları olabilir. Bunlar farklı periyotlar da devreye girerek ya da devreden çıkarak enerji üretim sistem üzerinde kararsız bir durum oluştururlar.



Şekil 29 Matlab programında generatör ünitesinin gösterimi

Şekil 29'da üretim generatörü gösterilmiştir. Bu uygulamada Generatör 85kva,

50 Hz ve 1500 rpm seçilmiştir. Generatör üç fazlı çıkışa sahip ve 380 V olarak seçilmiştir.



Şekil 30 Matlab' ta bir 3 faz ELC sisteminin modeli ve denge yükleri
Şekil 30'da frekans kontrol eden ünite olan ELC ve denge yükleri gösterilmiştir.

ELC ünitesi generatör girişinde frekansı ölçer. Her faza ayrı ayrı eklenen ELC, frekansı ölçerek kendine ait denge yükleri üzerinden sisteme müdahil olur. Her ELC kendine ait denge yükleri mevcuttur ve sadece kendi denge yüklerine müdahale edebilir. Sistem bu şekilde tasarlanmıştır. ELC faz frekansını ölçerek frekansın 50 Hz ten küçük olduğu durumda sisteme müdahale etmez. Frekansın 50 Hz ten büyük olduğu yerlerde denge yüklerini devreye alarak frekansı ölçer ve frekans yükselmeye devam ederse ilave yük miktarını artırır. Bu şekilde sistemde sürekli kontrol vardır ve frekans sabit olana kadar bu kontrol devam eder.

5.2 Uygulama Test Türleri

Matlab programında iki ayrı kontrolör kullanılarak uygulama yapılmıştır. İlk uygulamada PID kontrolü, ikinci uygulamada Fuzzy kontrolde yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca bu iki uygulama olmadan kontrolsüz sistemin davranışı incelenmiştir.

5.2.1 PID uygulaması

Matlab ortamında gerçekleştirilen bu uygulama tablo 3 verilen değerlere göre yapılmıştır. Bu uygulamada 85 kW gücünde senkron generatörün frekansının değişik tüketici güçlerine göre değişimi ve bu değişime göre PID kontrollü elektronik yük frekans kontrolörün (ELC) etkisi simüle edilmiştir. PID kontrol yöntemi P oransal, I integral ve D diferansiyel olmak üzere 3 kriterden oluşmaktadır.

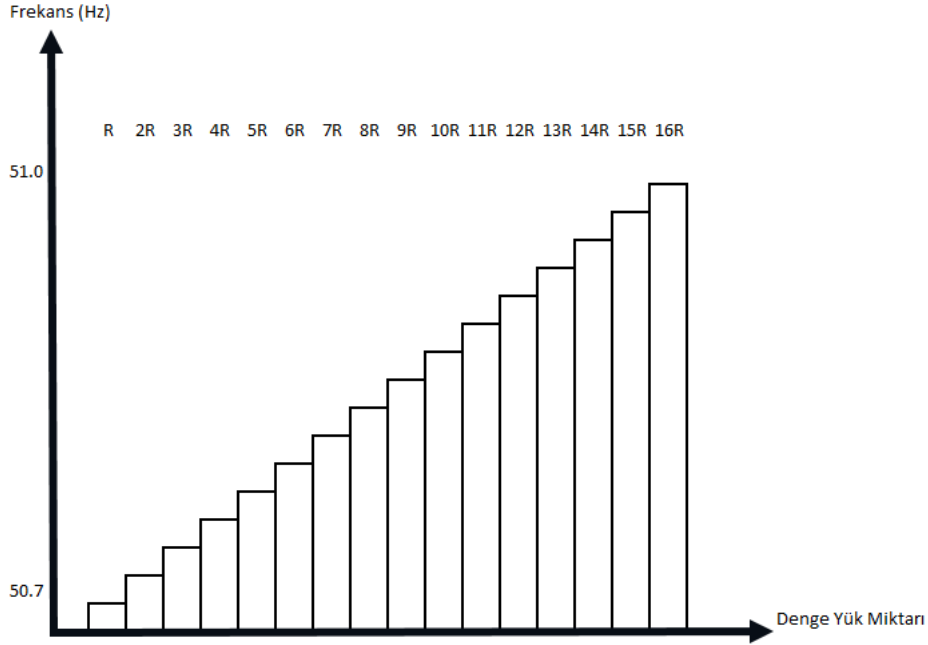
5.2.2 Fuzzy uygulaması

Matlab ortamında gerçekleştirilen diğer bir uygulamada Fuzzy kontrolü ile yapılmıştır. Bu uygulama da tablo 3'te verilen değerlere göre yapılmıştır. Bu uygulamada 85 kW gücünde senkron generatörün frekansının değişik tüketici güçlerine göre değişimi ve bu değişime göre Fuzzy kontrollü elektronik yük frekans kontrolörün (ELC) tepkisi neticesine göre frekans değişimi incelenmiştir.

5.2.3 Triyak tetikleme açısının bulunması

Sistemde denge yükleri tam olarak devreye alınması ya da devreden çıkarılması kontrol için uygun değildir. Çünkü ani yük değişimi generatör üzerinde fren etkisine veya generatör hızlanmasına neden olacaktır. Rotorun dönme hareketindeki ani değişimler frekansta bozulmalara neden olur. Bu yüzden üretilen güce göre çıkış yükünün tam olarak dengede olması gerekmektedir. Denge yüklerinin iki duruma göre devreye girmesi sağlanır. Bu çalışmada kullanılan denge yükü miktarı dört adettir. Her denge yükü bir öncekinin iki katı olarak kullanılmıştır. Her kontrolör üzerinde dört

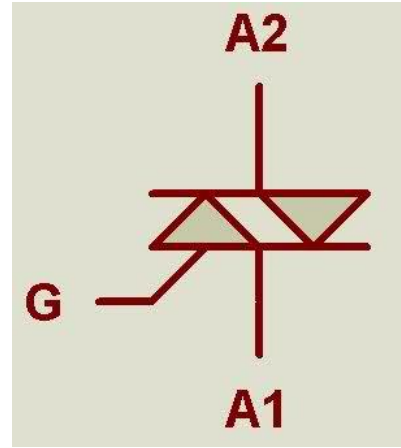
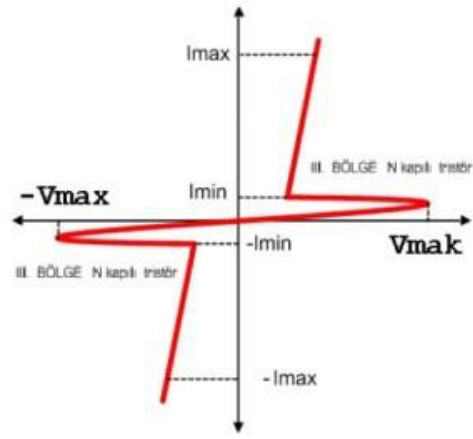
denge yükü dört çıkış üzerinden kontrol edilebilmektedir. Bununla beraber yazılımda binary kodlamasına göre çıkışlar olacak şekilde tasarlanmıştır. Denge yükleri 16 ayrı şekilde kademede çıkış verir.



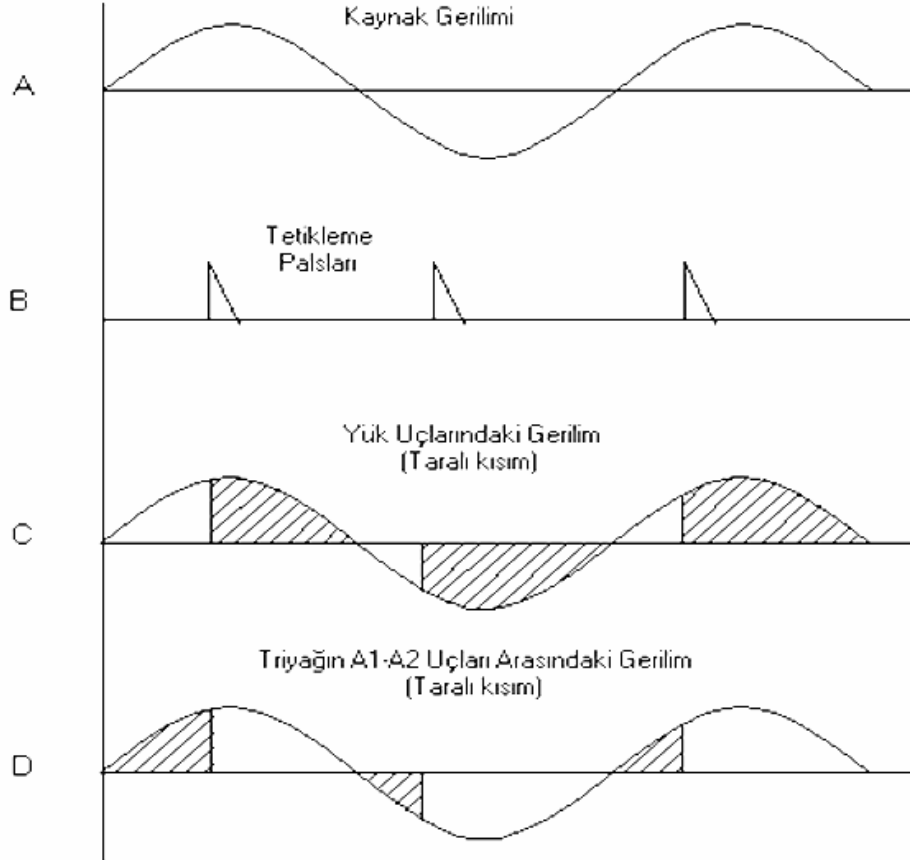
Şekil 31 Yük Miktarı Frekans Değişimi

Bu sayede, çıkışta devreye alınacak toplam yük miktarında denge kurulacaktır. İkinci aşamada ise denge yükleri devreye alınırken güç elektroniğinden faydalanılarak devreye alınacaktır. Denge yükünün ne kadarının devreye gireceği ayarlanabilmektedir. Bu hesaplama yazılım üzerinde triyakların tetikleme açıları değiştirilerek yapılmaktadır. Bu çalışmada denge yüklerinin kısmı ya da oransal olarak devreye alınarak kontrol hassasiyeti artırılmıştır.

Triyak'ın A1 (Anot 1), A2 (Anot 2) ve Gate olmak üzere 3 bacağı vardır. Triyaklar DC ve AC gerilimlerde çalışabilir. AC'de çalışırken gate kapısının tetiklenmesi halinde iletme geçer. Gate kapısı tetiklendikten sonra A1 ve A2 uçları arası 0 volta düşer. Aksi takdirde iletim halindedir. Şekil 32'de gösterildiği gibi DC'de ise bir kez tetiklendiğinde sürekli iletim halinde olur.



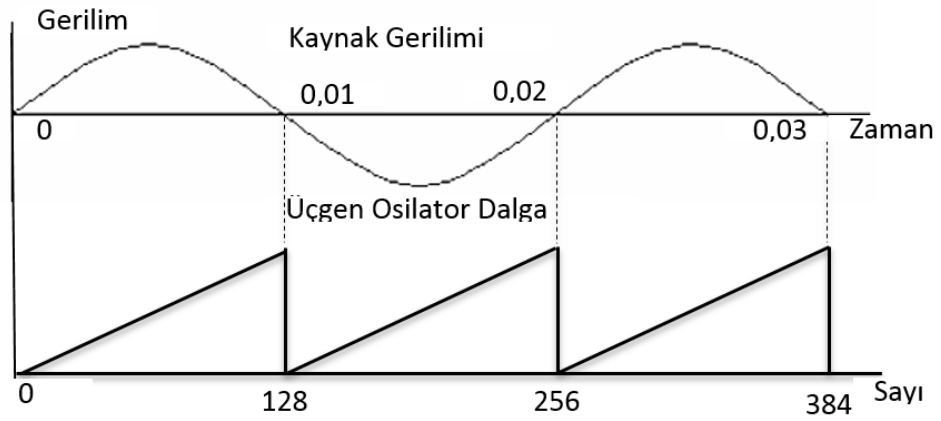
Şekil 32 Triyak anahtarlama yapısı ve gösterimi



Şekil 33 Triyak tetiklenmesi

Denge yükleri triyaklar üzerinden belirli zaman aralıklarında tetiklenerek devreye alınırlar. Triyakların tetikleme anları gerekli yük miktarına göre hesaplanmaktadır. Rotorun dönme hızı sistemin elektrik frekans değerini verecektir.

Türkiye’de elektrik şebekelerinde nominal frekans değeri 50 Hz’dir. Nominal frekans değerinin 50 Hz olan sistemde periyot süresi ya da genlik süresi 0.02 sn’dir (4). Dolayısı ile tam periyot 0,02 sn’ yarım periyot ise 0,01sn’dir. Bu sistemde kullanılan ELC frekans ölçümünü her bir yarım saykılta yapacak şekilde tasarlanmıştır. Genliğin sıfır olduğu anda (Zero Crossing) yarım periyotun süresi hesaplanmaktadır. Şekil 34’te Frekans Üçgen dalga osilatörü karşılaştırması gösterilmiştir. Geliştirilen yazılımda her yarım periyot bir üçgen dalga osilatör ile mukayese edilerek hesaplanmaktadır. Mukayese Üçgen dalganın periyodu bir sayıcı ile yarım saykılın 0,01sn’ den kısa olması frekansın 50 Hz’den fazla olması demektir (eşitlik 4). Yarım saykılın, 0,01 sn’den daha kısa olduğu durumda kontrolör devreye girmekte ve gerekli yükü devreye almaktadır.



Şekil 34 Frekans Osilatör mukayese gösterimi

Bu işlemler yazılımda bulunan matematiksel formül sayesinde yapılmıştır. Fuzzy kontrolün giriş bilgisini periyot süresi, çıkış durumunu ise triyakların tetikleme açısı oluşturmaktadır.

Tetikleme açısı zamanla değişerek generatörün ürettiği güce göre toplam tüketici yükü oransal olarak ayarlamaktadır. Generatörün ürettiği güç ile tüketici gücü dengelendiğinde frekansı sabitlenmiş olacaktır. Sistem bu prensibe göre çalışmaktadır.

Frekans periyot arasında ki bağıntılar

$$T = 1/F \quad (7)$$

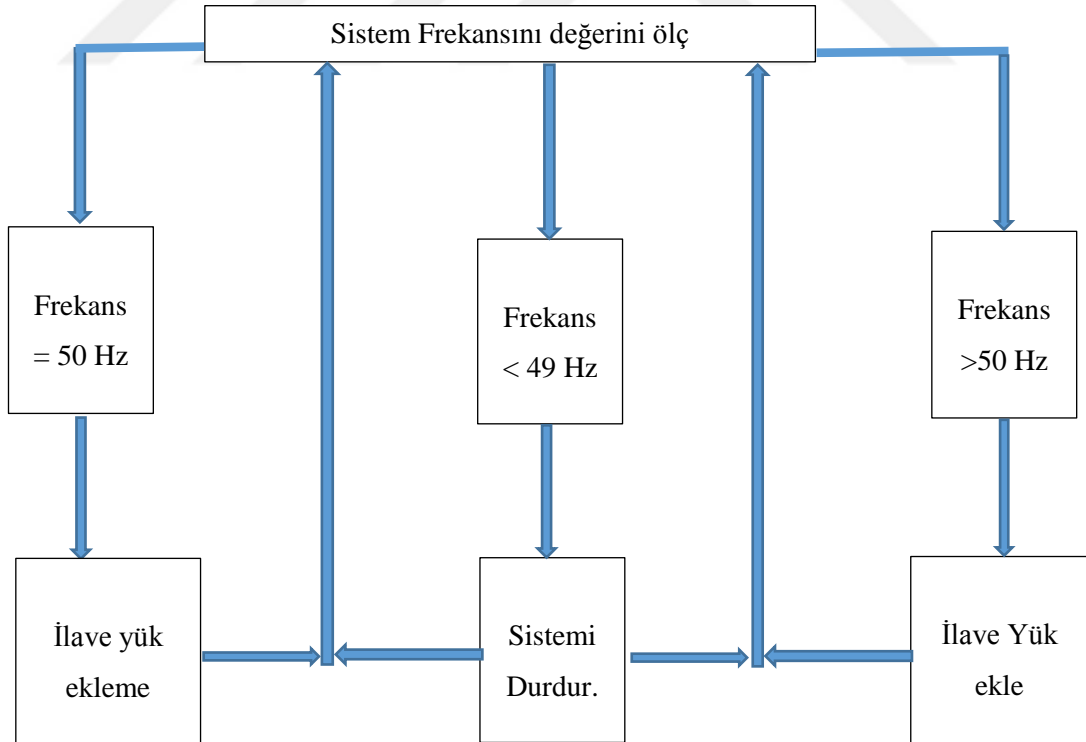
T = Periyot

F = Frekans

gösterilmektedir.

Bu bağıntılara göre 50 Hz' lik sistemde bir periyot değeri 0.02 sn (20000 μ s) dir. Frekansın 50,1 Hz olması frekansta 0,1 Hz artış oluşur. Frekanstaki 0,1 Hz artış ile (4) yarım saykıl süresi 19960 μ sn olur. Nominal bir periyot süresi 20000 μ sn'dir.Frekansta 0,1 Hz'lik artış ile 40 μ sn'lik bir hata oluşur. Bu sistemde kontrol girdileri alınan hata girdisi olarak alınan giriş süreleri 0 ile 1050 μ sn arasındadır. Çalışmada kullanılan bu hata değeri 50-51 Hz arası değerlere karşılık gelmektedir. Hata giriş zamanına göre üyelik fonksiyonu belirlenmiştir. Çıkış değerleri bu üyeliklere göre sonuçlanmaktadır. Hata sinyalini belirli katsayı ile çarpılarak büyütülmüştür. Hata sinyalinin büyütülmesi ya da küçültülmesi kontrol edilecek frekans aralığının değiştirmek amaçlıdır.

Fuzzy kontrole giren hata giriş değerine göre üyelik çıkarılarak çıkış birimi olan tetikleme açısı bulunacaktır. Her yarım periyotta hata ölçülecek ve hatanın düzeltilmesi için gerekli düzeltme cevabı bir sonraki yarım periyotta verilecektir. Bu çalışmada tasarlanan ELC bu prensibe çalışmaktadır. ELC' nin tetikleme açısının bulunmasında Fuzzy kontrol kullanılmıştır. Tetikleme açısının bulunması ile ilgili bir örnek bölüm 5 te gösterilmiştir.

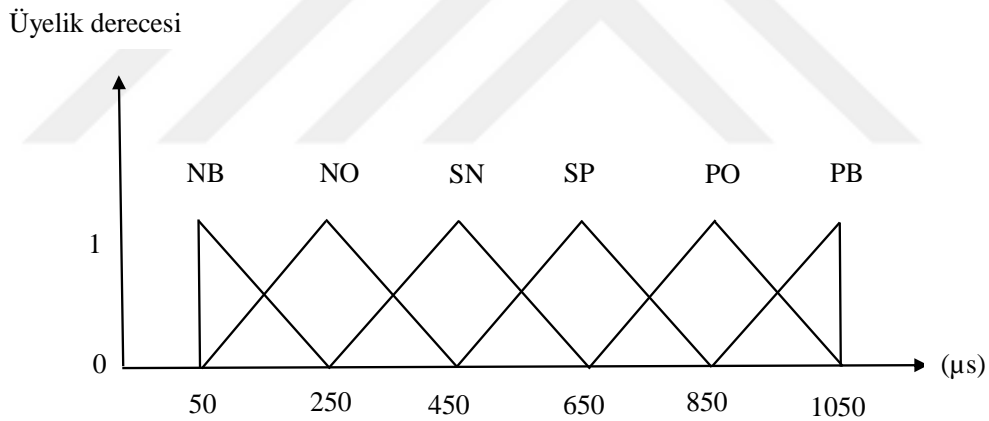


Şekil 35 Fuzzy Kontrolörü uygulanmış ELC sisteminin kontrol algoritması

Şekil 35 te sistemin algoritması gösterilmiştir. Sistemde frekansın 50 Hz'e göre ayarlamak için sistemin verdiği tepki gösterilerek anlatılmıştır. Bu döngüye göre frekans 50 Hz' in üstüne çıktığında frekans kontrolü başlamakta ve kontrol frekans 50 Hz değerine kadar devam etmektedir. Frekans 49 Hz'in altına indiği anda yük fazlalığından dolayı kontrolcü kontrolünü bırakacaktır. Bu noktada sistemin durdurulması daha uygun olacağı için elektrik üretiminin durdurulması uygun olacaktır. Ulusal şebekede üretim yapan santrallerde kontrol bu şekildedir.

5.2.3.1 Bulanıklaştırma İşlemi

Bulanıklaştırma işlemi esnasında giriş hata sinyaline göre üyelik fonksiyonu oluşturulacaktır. Bu fonksiyona göre giriş değerinden çıkılarak üyelik fonksiyon değerleri hesaplanacaktır. Şekil 36 da üyelik fonksiyonunda üyelikler sıfır negatif (SN), negatif orta (NO), negatif büyük(NB), Sıfır pozitif (SP), pozitif orta (PO) ve pozitif büyük oluşmaktadır.



Şekil 36 Frekans hata sinyaline göre olan giriş üyelik fonksiyonu

Üyelik değerlerinin hesaplanması;

$$\mu(\text{SN}(x)) = \begin{cases} (x-250)/200 & 250 < x < 450 \\ (650-x)/200 & 450 < x < 650 \end{cases}$$

$$\mu(\text{SP}(x)) = \begin{cases} (x-450)/200 & 450 < x < 650 \\ (850-x)/200 & 650 < x < 850 \end{cases}$$

$$\mu(\text{PO}(x)) = \begin{cases} (x-650)/200 & 650 < x < 850 \end{cases}$$

$$\mu(\text{PB}(x)) = \begin{cases} (1050-x)/200 & 850 < x < 1050 \\ (X-850)/200 & 850 < x < 1050 \end{cases}$$

$$\mu(\text{NO}(x)) = \begin{cases} (x-50)/200 & 50 < x < 250 \\ (450-x)/200 & 250 < x < 450 \end{cases}$$

$$\mu(\text{NB}(x)) = \begin{cases} (250-X)/200 & 50 < x < 250 \end{cases}$$

Hatanın 200 değerinde olduğu noktada yukarıdaki hesaplamalar kullanarak üyelik derecelerinin

$$\mu(\text{SN}(x))=0$$

$$\mu(\text{NO}(x))=0,75$$

$$\mu(\text{NB}(x))=0,25$$

$$\mu(\text{PB}(x))=0$$

$$\mu(\text{PO}(x))=0 \text{ olduğu görülür.}$$

5.2.3.2 Bulanık İşlem (Kural Koyma)

Bulanık işlemde “if”, “then”, “else” gibi koşul durum fonksiyonlarını kullanarak koşul verisini oluşturulur. Giriş bilgi koşullarına dayanarak gerekli çıkış durumları sağlanır. Aşağıdaki tabloda çıkış üyelik derecesi fonksiyonunda hata sinyalinin üyeliğine göre çıkış tablosu oluşturulmuştur.

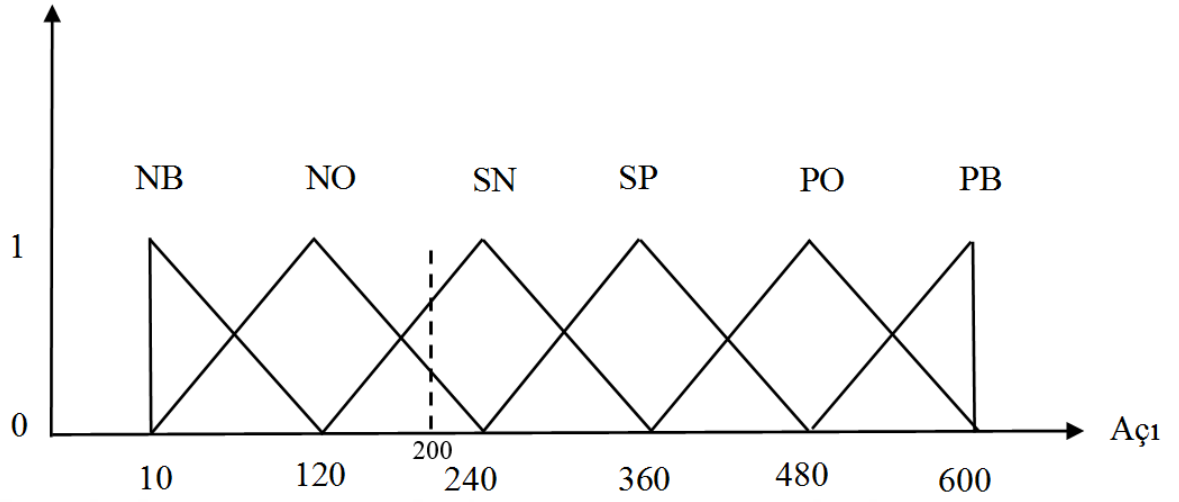
Set	Giriş Değeri Üyelik derecesi	Çıkış Değeri	Çıkış durumu
NB	Giriş NB değeri	Çıkış NB değeri	$G_{NB} * \text{Ç}_{NB}$
NO	Giriş NO değeri	Çıkış NO değeri	$G_{NO} * \text{Ç}_{NO}$
SN	Giriş SN değeri	Çıkış SN değeri	$G_{SN} * \text{Ç}_{SN}$
SP	Giriş SP değeri	Çıkış SP değeri	$G_{SP} * \text{Ç}_{SP}$
PO	Giriş PO değeri	Çıkış PO değeri	$G_{PO} * \text{Ç}_{PO}$
PB	Giriş PB değeri	Çıkış PB değeri	$G_{PB} * \text{Ç}_{PB}$

Tablo 1 Frekans hata sinyaline göre olan giriş üyelik fonksiyonunu

5.2.3.3 Durulaştırma

Durulaştırma işlemi bulanıklaştırma işlemi sonunda çıkışlarının sayısal olarak hesaplanmasıdır. Çıkış sinyalleri sonucunda tetikleme açısı bulunmak istenmiştir. Bu amaçla tetikleme açısı çıkışları üçgen dalga osilatörü ile genratör frekansı karşılaştırılarak çıkış bulunmuştur. Şekil 37'deki açı ile gösterilen sayı değerleri 1 baytlık yani 8 bitlik bir sayıcının değeri kadar ya da katları kadardır. Her yarım dalga bir üçgen dalga sinyali ile karşılaştırılmıştır. Üçgen dalganın her periyodu 8 bitlik sayıcının saymaya başlaması ile oluşturulmuştur. Normalde generatör frekansının yarım periyodu 8 bite çözümlenmiştir. Aşağıda giriş hata değeri 200 μs olan durumda çıkış değeri hesaplanmıştır. Giriş değerine göre Fuzzy durulaştırma işleminde üyelik derecelerine göre çıkış değeri hesaplanmıştır. Bu hesaplama tablo 2 de nasıl yapıldığı gösterilmiştir.

Üyelik derecesi



Şekil 37 Frekans hata sinyaline göre olan çıkış fonksiyonu

Giriş fonksiyonunda 200 μ s hata değerine göre aşağıdaki üyelik dereceleri oluşmaktadır.

$$\mu(\text{SN}(x)) = 0$$

$$\mu(\text{NO}(x)) = 0.75$$

$$\mu(\text{NB}(x)) = 0.25$$

$$\mu(\text{SP}(x)) = 0$$

$$\mu(\text{PO}(x)) = 0$$

$$\mu(\text{PB}(x)) = 0$$

Bu değerlere göre durulaştırma işlemi yapılarak sonuç üyelik dereceleri ortaya çıkarılır.

Üyelik dereceleri tablo 2 de gösterilmiştir.

Set	Giriş Değeri Üyelik derecesi	Çıkış Değeri	Çıkış durumu
NB	0,25	Çıkış NB değeri	$0.25 * 10$
NO	0,75	Çıkış NO değeri	$0.75 * 120$
SN	0	Çıkış SN değeri	$0 * 0$
SP	0	Çıkış SP değeri	$0 * 0$
PO	0	Çıkış PO değeri	$0 * 0$
PB	0	Çıkış PB değeri	$0 * 0$

Tablo 2 Frekans hata sinyaline göre olan giriş üyelik işleminin sonucu

Çıkış sonucu üyelik derecesinin hata sinyalinin bulunduğu bölge değerleri ile çarpılarak bulunur. Ortaya çıkan değer tetikleme açısıdır. Bu tetikleme açısı sisteme verilen yük ile ters orantılı olduğundan yarım periyot değerinden çıkarılarak bulunur. 200 µs'lik hata sinyaline göre tetikleme açısının $0,25*10 + 0,75*120 = 92,5$ olarak hesaplanır. Bu sistemde yarım periyot değeri yaklaşık olarak 120 olarak alınmıştır. Çünkü yarım periyot değeri 1 baytlık ya da 8 bitlik bir sayıcı ile hesaplanmıştır. Tetikleme açısı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

Tetikleme Açısı = Yarım periyot – Fuzzy çıkış değeridir.

200 µs' lik hata için tetikleme açısı $120-92,5$ yani 27,5 olarak bulunur.

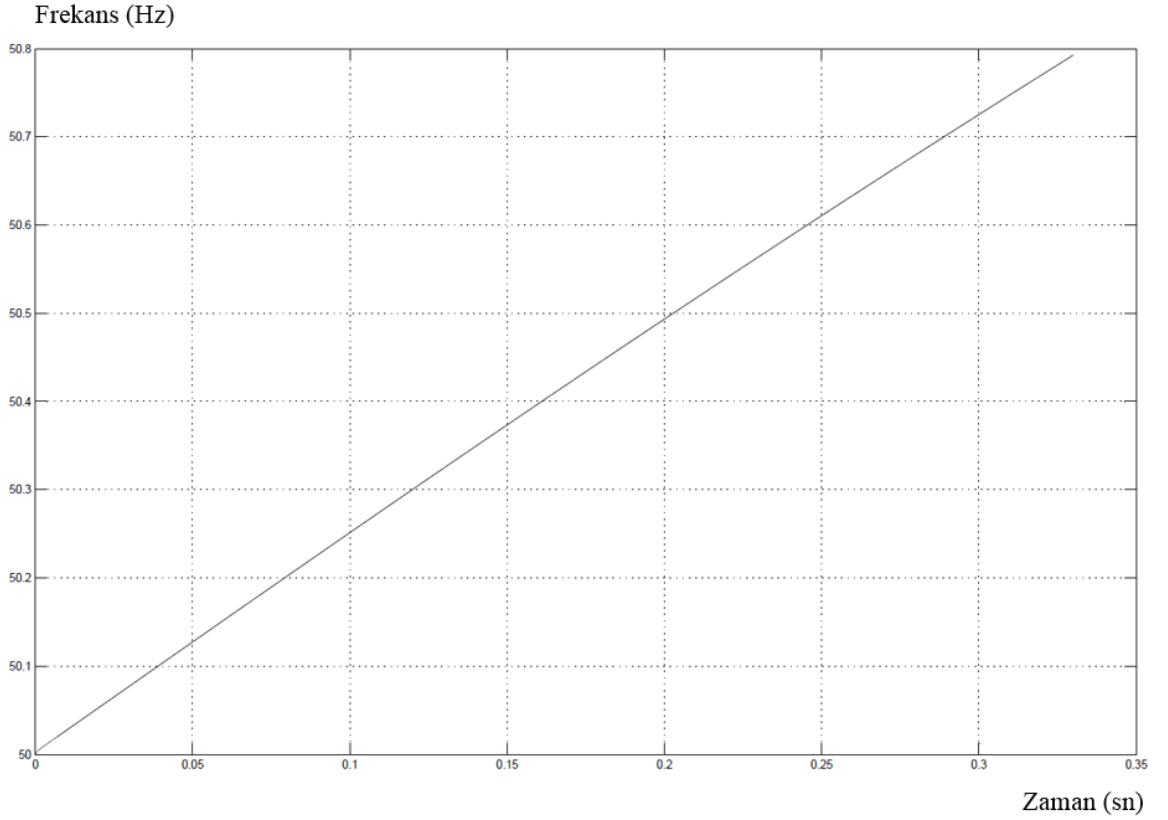
5.3 Test Sonuçları

Kontrolör içindeki yazılımda iki tür kontrol tekniği kullanılmıştır. PID ve Fuzzy kontrol tekniğinin ayrı ayrı simüle edilerek yapılan bu testler sonucunda farklı cevaplar alınmıştır.

Tablo 3 te yapılacak testlerde kullanılacak üretici, tüketici ve kontrol tipleri gösterilmiştir. Bu tablodan anlaşılacağı üzere testler üç aşamada yapılmıştır. Testlerden birincisi yük frekans kontrolü (ELC) olmadan olacak, ikinci aşamada PID kontrollü yük frekans kontrolörü (P-ELC) ile yapılacak üçüncü aşamada ise fuzzy kontrollü yük frekans kontrolörü (F-ELC) ile yapılacaktır.

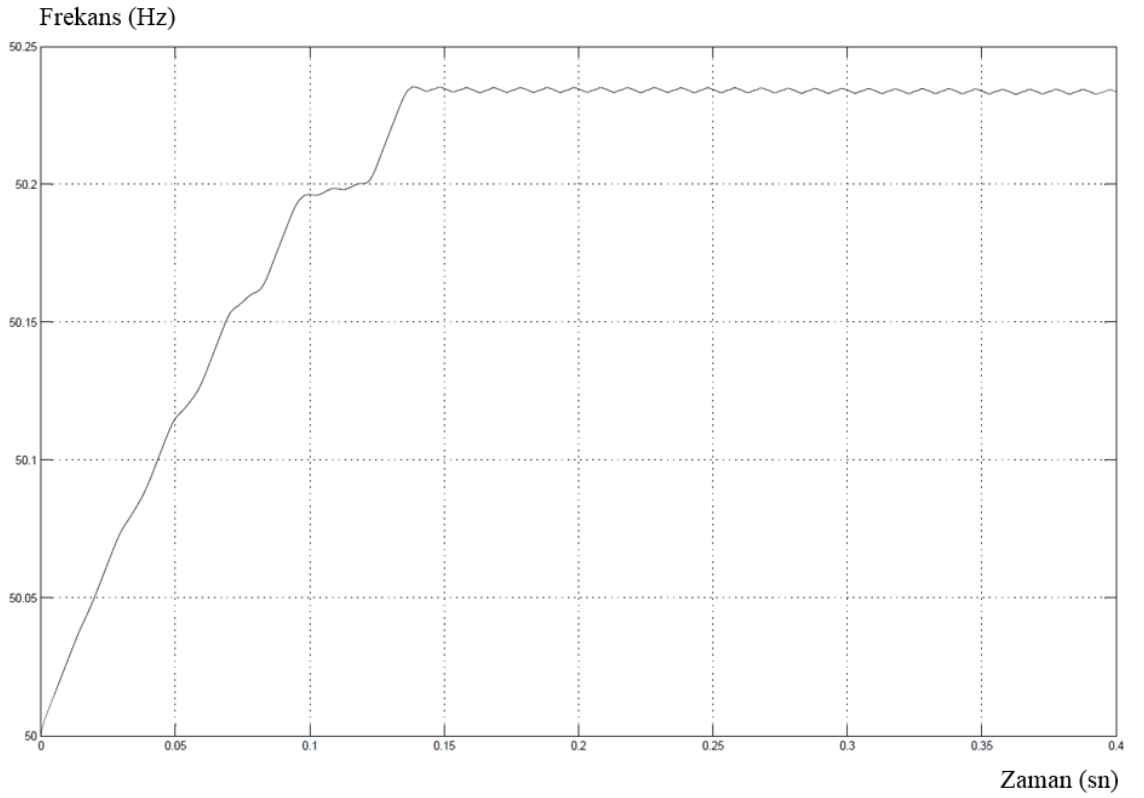
Uygulama	Senkron Genaratörün Gücü	Tüketici Gücü	Kontrol Durumu
1	85 kW	60 kW	Kontrolsüz.
2			Fuzzy kontrol
3			PID Kontrol

Tablo 3 Frekans kontrolör test içerik tablosu



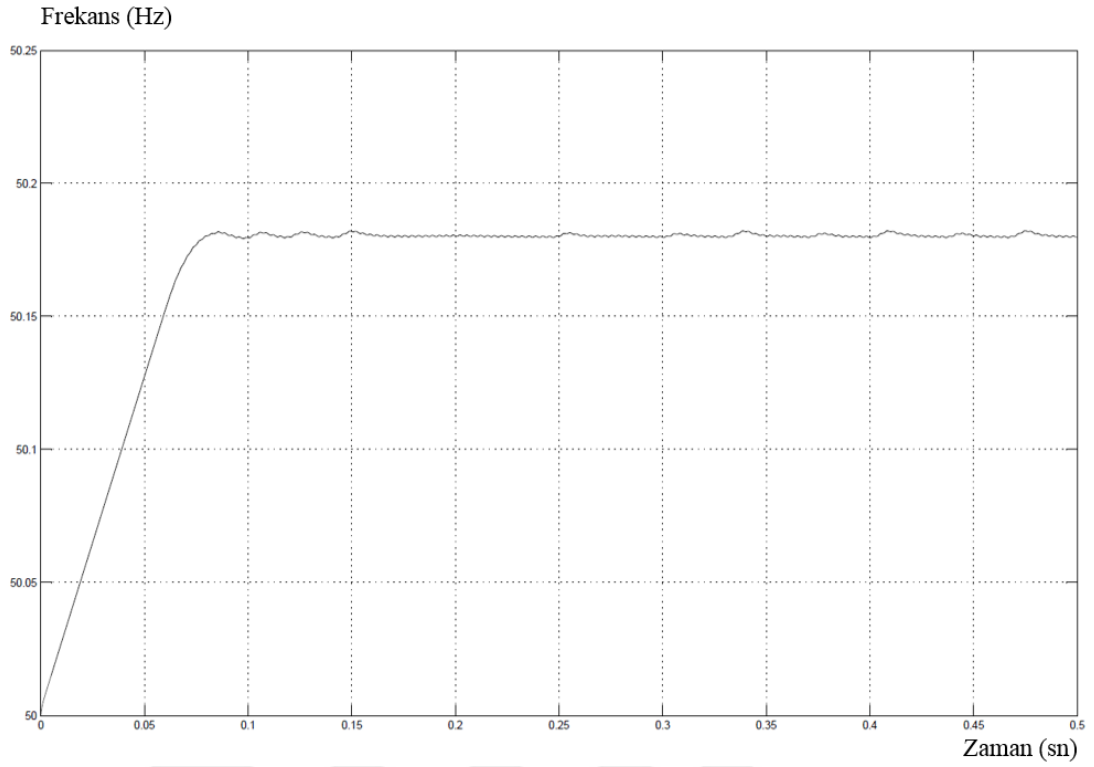
Şekil 38 Yük Kontrolsüz sistemde frekans gösterimi

Şekil 38 da ilk aşamada yapılan frekans kontrolü için simülasyon sonucu gösterilmiştir. Bu kontrolde frekans kontrol olmadığı için kısa zamanda hızlı artış olduğu gözükmektedir. Frekans 0,12 sn gibi sürede 50,8 Hz' e kadar çıkmaktadır ve bu artış zamanla doğru orantılı olarak devam etmektedir. Sistemde herhangi bir kontrolörün olmadığından bu artış lineer şekilde devam edecektir. Frekansta ki artış miktarı her ne kadar lineer olsa da enterkonnekte şebekelerde bu tür artışlar için belirli limitler vardır. Bu limitlerin üstüne çıkılması durumunda santral devre dışı bırakılacaktır.



Şekil 39 PID tabanlı yük kontrol sistemi ile sistemin frekansının gösterimi

Şekil 39 de ikinci aşamada yapılan frekans kontrolü için simülasyon sonucu gösterilmiştir. Bu kontrolde frekans kontrolü PID kontrolör ile yapılmaktadır. Bu kontrol sonucunda frekans belirli değer aralığında kalarak frekans kontrol altına alınmaktadır. Bu artışın sebebi PID kontrolörün Fuzzy kontrolör gibi tepki değerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Frekans 0,15 sn gibi bir sürede kontrol altına alınmaktadır. Bu kontrolün sayesinde frekansın 0,15 sn gibi sürede 50,24 Hz bandına sabit konuma gelmiştir.

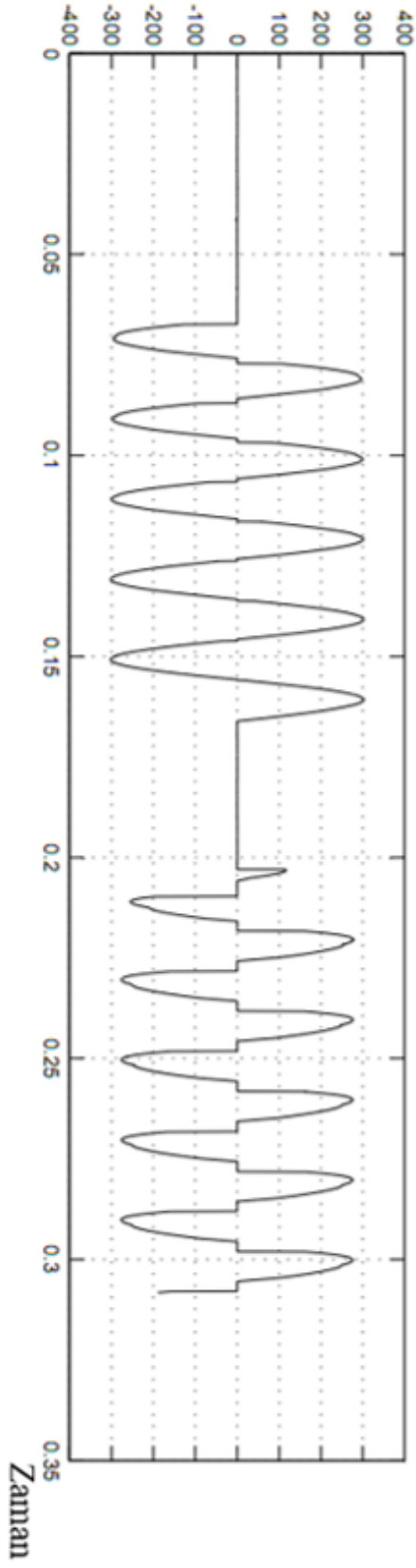


Şekil 40 Fuzzy tabanlı yük kontrol sistemi ile sistemin frekansının gösterimi

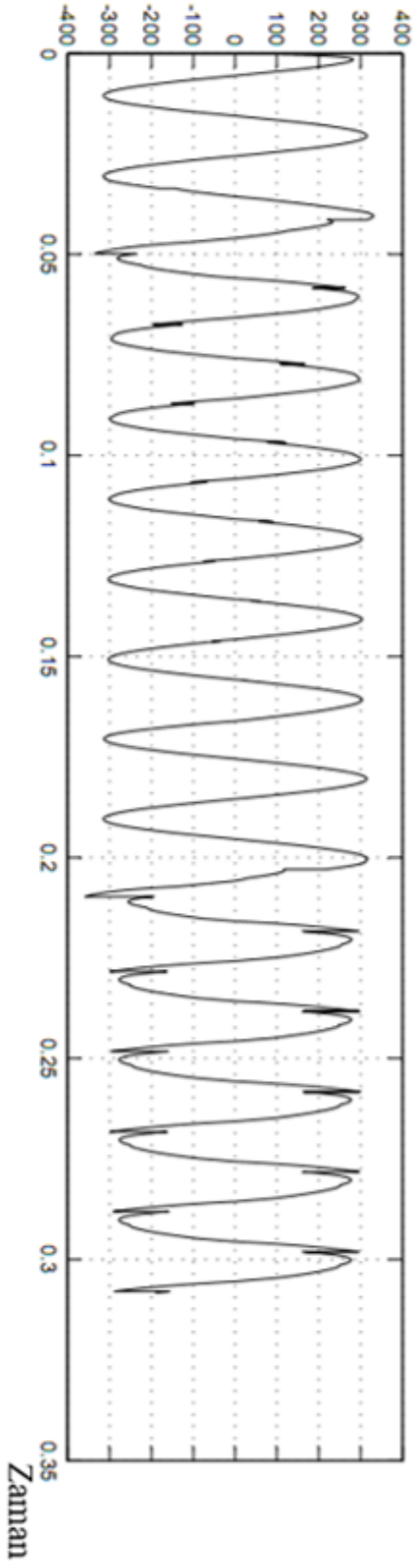
Şekil 40'da üçüncü aşamada yapılan frekans kontrolü için simülasyon sonucu gösterilmiştir. Bu kontrolde frekans kontrolü fuzzy kontrolör ile yapılmaktadır. Bu kontrol sonucunda frekansın az miktarda arttığı gözlemlenmektedir. Bu artışın olması fuzzy kontrolün tepki vereceği hata alanının içinde olmamasından kaynaklıdır. Yani ilk hata değeri belirli bir değerden sonra değerlendirilir. Frekans 0,1 sn gibi bir sürede kontrol altına alınmaktadır. Bu kontrolün sayesinde frekansın 0,1 sn gibi sürede 50,17 Hz bandına sabit kalmıştır.

Bu çalışmada denge yükleri üzerinde harcanan gerilim ve generatörün ürettiği frekans genliği generatör çıkış gücü şekil 39 ve şekil 40'taki grafiklerde gösterilmiştir.

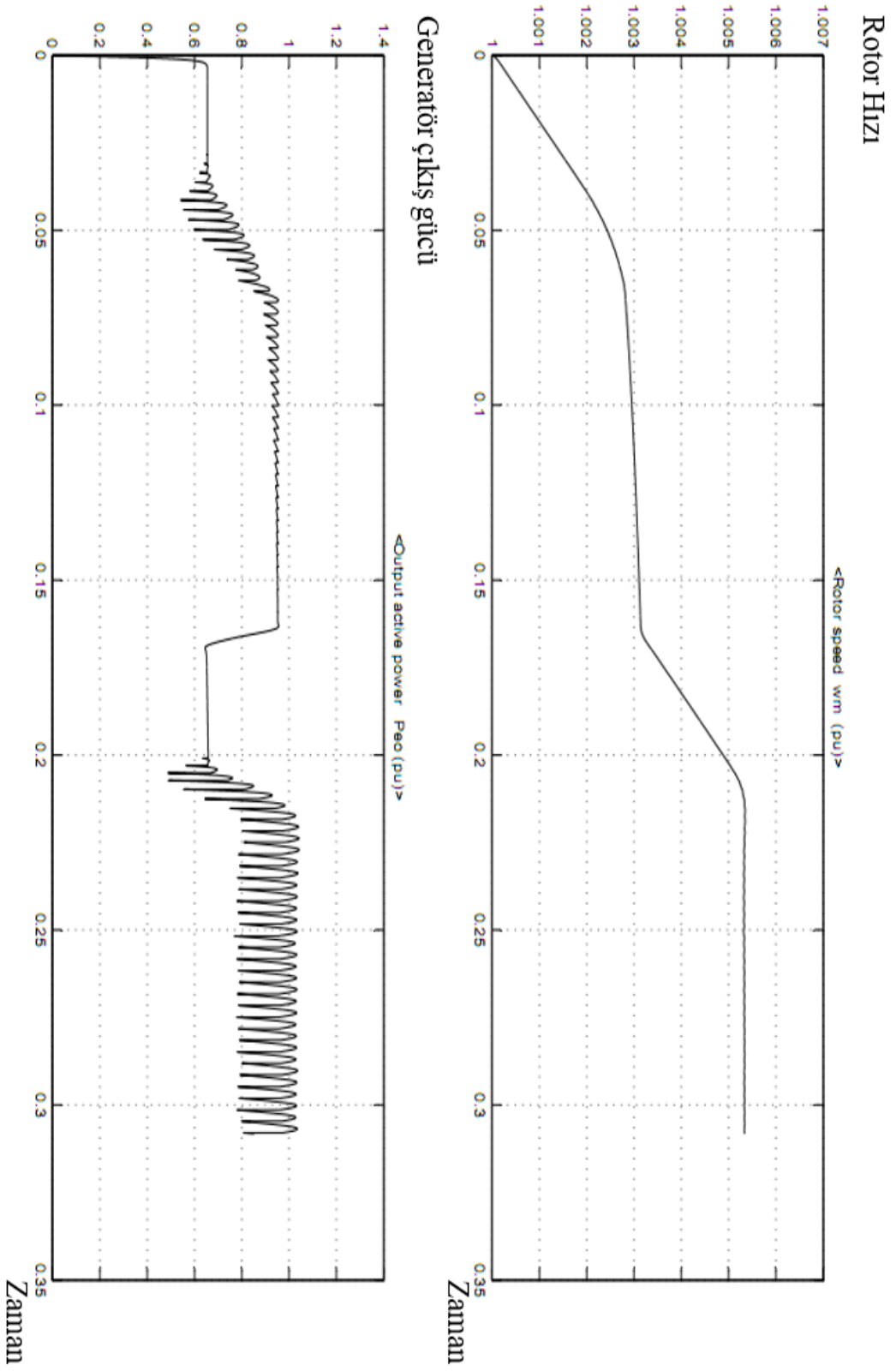
Denge yükleri üzerindeki gerilim



Generatörde üretilen gerilim

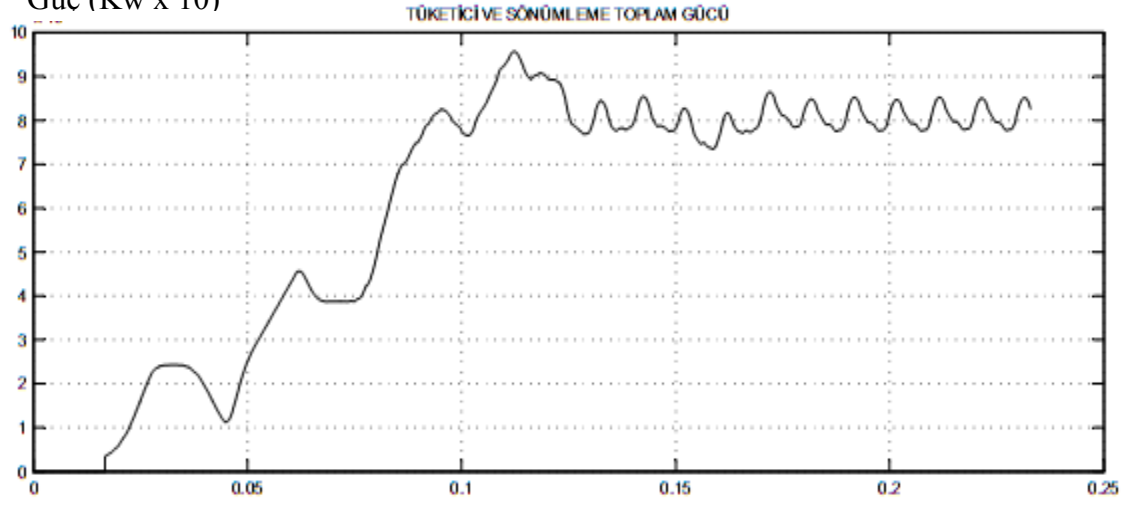


Şekil 41 Üretilen güç, Denge yükünde harcanan enerji frekans ilişkisi



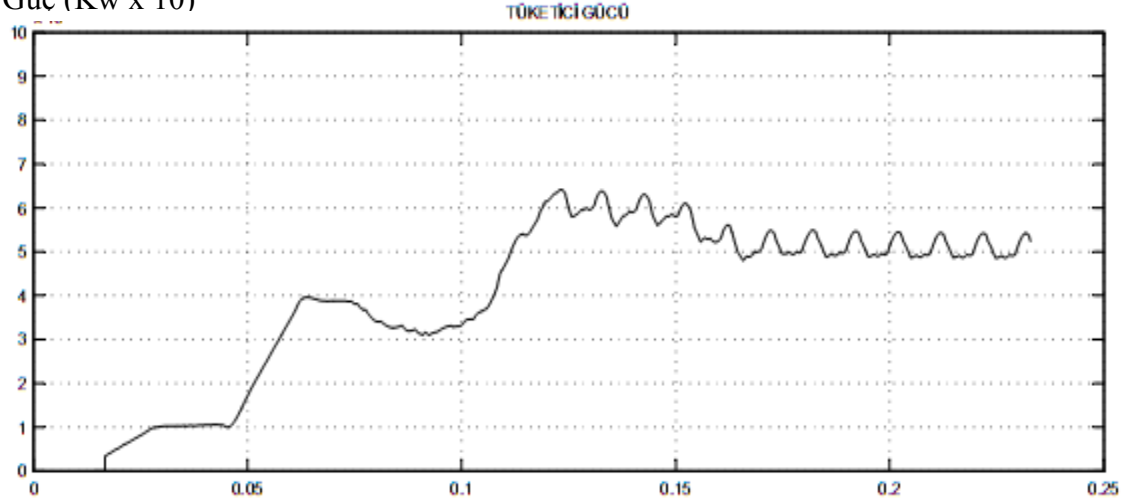
Şekil 42 Üretilen güç, Denge yükünde harcanan enerji frekans ilişkisi

Güc (Kw x 10)



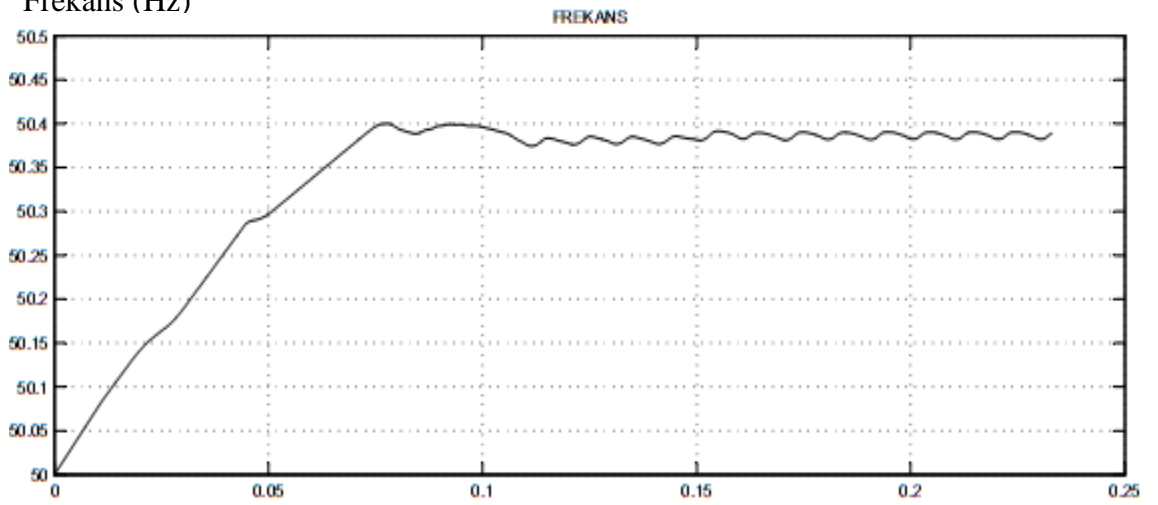
Zaman

Güc (Kw x 10)



Zaman

Frekans (Hz)



Zaman

Şekil 43 Yük değişimi Frekans ilişkisi

Şekil 43'te farklı tüketici yükleri için yapılan deneyde, frekans kontrolünün başarısı gösterilmiştir. Sistemde kullanılan ELC'ler, frekansı 0.5 saniyenin altındaki sürede kontrol etmeyi başarmıştır.



6.SONUÇ VE ÖNERİLER

Elektrik enerjisi santrallerinin klasik kontrol sistemlerinde, generatörün hızı, bir kontrolcü ve buna bağlı bir mekanizma tarafından kontrol edilir. Klasik yük frekans kontrolünde denetim, generatörü döndüren mekanik gücün ayarlanması ile yapılır. Generatör çevrimini yapan mekanik güç su, buhar ve rüzgâr gibi fiziksel büyüklüklerdir. Bu enerjiler bir kontrolcü mekanizması tarafından sürekli kontrol edilerek gerekli mekanik güç belirli bir aralıkta tutulur. Bu da ek bir maliyete sebep olur. Bu tezin konusu olan ELC kontrolör ile generatörü döndüren su, buhar gibi fiziksel unsurların gücünü, debisini ayarlayan mekanik bir yapıya gerek kalmaz. Sistemdeki toplam yükü, denge yüklerini kullanarak, sabit tutmak ve böylelikle frekansı sabit tutmak hedeflenmiştir. Literatürde frekansın yük değişimi ile kontrolü konusunda çok sayıda ilgili çalışma bulunmaktadır. 2011 yılında Bhim Singh ve arkadaşları bu alanda çalışma yapmışlar, frekansı 0,6 sn’de kontrol etmişlerdir. Yine 2013 yılında Ankita Gupta benzeri çalışmada frekansı 0,25 sn’ de kontrol etmiştir.

Bu çalışmada basit bir kontrolör ile frekans kontrol edilmesi hedeflenmiştir. 3 fazlı bir generatörün tüm faz çıkışlarına ELC kontrolörü ayrı ayrı eklenerek frekans kontrol edilmiştir. Sonuç olarak frekans kontrolü çıkış yük miktarlarını kontrol edilerek sağlanmıştır.

Yapılan çalışmada kendinden kontrollü, yük frekans kontrol sistemi için tasarlanan simülasyon üzerinde testleri yapılmıştır. Deneyle için 85 KW’lık bir santral tasarlanarak, santralde farklı durumlar için frekans hatası incelenmiştir. Frekans değeri, generatörün çevrim hızından alınmıştır. Frekans kontrolü, aktif yük miktarının sürekli olarak bir kontrolcü tarafından kontrol edilmesi ile sağlanmıştır. Bu santralin güç kontrol modelinin simülasyonu Matlab programı kullanılarak, PID ve Fuzzy kontrol için ayrı ayrı yapılmıştır. Yapılan simülasyon deneylerinde, bu iki kontrol türünün de, frekans kontrolünde başarılı bir şekilde sonuç verdiği görülmüştür. Deneylerde Fuzzy yöntemiyle yapılan kontrolde PID yöntemiyle yapılan kontrole göre daha iyi performans verdiği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar aynı güç ve yükte Fuzzy kontrolörün PID kontrolöre göre frekansı daha kısa zamanda kontrol altına aldığı şekil 39 ve şekil 40’teki test sonuçlarından anlaşılmaktadır. Yine şekil 39 ve şekil 40’tan çıkacak sonuçlardan biride Fuzzy kontrolde hedef frekans olan 50 Hz’ e daha yakın bir değerde kontrol edildiği görülmektedir.

Elektrikte kalite üretimden tüketime kadar elektriği istenen gerilim ve frekansta sapmalara uğramadan ulaştırmaktır. Bu projede, generatörde üretilen elektriğin frekansının ELC kontrolör sayesinde kararlı halde kalması sağlanmıştır. Sistemde kullanılan ELC'nin kontrol yazılımında PID ve Fuzzy kontrol yöntemleri bulunmaktadır. Bu kontrol sistemlerinin her birinin kendine göre farklı algoritması vardır. Her iki kontrolün modellemeleri yapılmış ve sonuçları grafiklerle gösterilmiştir. Kullanılan sistemde ELC olmadan, sistemin frekansı 1sn'de 51 Hz'in üstüne çıkmaktadır. ELC kontrol sistemi sayesinde sistemin frekansı 0,3sn'de 50-51 Hz arasında kontrol edilebilmektedir. Ayrıca ELC' nin frekans kontrolü üzerinde olumsuz davranışı gözlemlenmiştir. Yarı iletken kapılar tetiklendikten sonra ani sönümleme devrelere girdiğinden generatörün çıkış geriliminde anlık sapmalar, sıçramalar oluşmaktadır. Gerilime ait sinüs dalga grafiği üzerinde oluşan sıçramaları şekil 41'de grafikte gözükmektedir. Bu durumu engelleyebilmek için filtre devreleri kullanılabilir.

Dünyada ELC üzerindeki çalışmalar daha çok teorik kalmış ve ticari bir noktaya yeterince getirilememiştir. Enerji firmalarının ürün yelpazesinde bu ürünler bulunmaktadır. Ülkemizde konu üzerinde çalışma ya da uygulama henüz yapılmamıştır.

Sonuç olarak, ELC gibi yeni sistemler enerji üretim santrallerinde enerjinin kalitesinin artırılması için kullanılabilir.

ELC'nin kullanımında olumsuz nokta ise denge yükleri üzerinde harcanan enerjidir. Atık enerjinin değerlendirilmesi konusunda çalışmalar yapılabilir verim artırılabilir. Denge yüklerine aktarılan enerji, ısıya dönüştürülerek ısınmada, şehir su şebekelerinde kullanılan su pompalarında, sulama pompaları ile sulamada kullanılabilir. Bu yöntemlerle sistemde artık enerjide kullanılarak sistemin verimliliği artırılmış olur.

7.KAYNAKLAR

- Singh, B., Kumar, G., Chandra, K. A. and Al-Haddad, K. IEEE 2008. A Frequency Based Electronic Load Controller for an Isolated Asynchronous Generator Feeding 3-Phase 4-Wire Loads .
- Youssef, K. H., Wahba, M. A., Yousef, H. A. and Sebakhy, O. A. IEEE 2008. New Method for Voltage and Frequency Control of Stand-Alone Self-Excited Induction Generator Using PWM Converter with Variable DC link Voltage.
- Murthy, S. S., Gayathri, R., Naidu, K. and Siva, U. IEEE 2006. A Novel Digital Control Technique of Electronic Load Controller for SEIG Based Micro Hydel Power Generation.
- Bruno, W. F., Silva, L. and Aredes, M. IEEE 2011. A Novel Predictive Controller And Experimental Analysis Of Power Electronic Load.
- Torres, E., Chan, F., Ramirez, E. J. and Cowo, A. IEEE 2010. A PWM control for electronic load controller for Self-Excited induction generator based in IGBT series-inverted switch.
- Austegard, A. 2012. Electronic Load Control ELC from Remote HydroLight for Synchronous Generator.
- Ramirez, J.M. and Torres, E. IEEE 2007. An Electronic Load Controller for the Self-Excited Induction Generator.
- Banerji, A., Sujit, K. B. and Singh, B. IEEE 2014. Voltage and Frequency Controller for An Autonomous Asynchronous Generator.
- Roodsari, B. N. and Nowicki, E. P. IEEE 2014. An Experimental Investigation of the Distributed Electronic Load Controller.
- Murthy, S. S., Ahuja, R. and Chaudhary, J. IEEE 2011. Design and Fabrication of a Low Cost Analog Electronic Load Controller for a Self Excited Induction Generator Supplying Single-Phase Loads.
- Singh, B. and Rajagopal, V. 2009. Design of a Star-Hexagon Transformer Based Electronic Load Controller for Isolated Pico Hydro Generating System.
- Sofian, Y. and Iyas, M. 2011. Design of Electronic Load Controller for a Self Excited Induction Generator Using Fuzzy Logic Method Based Microcontroller.
- Singh, B., Chandra, A. and Haddad, K. 2010. Development of Electronic Load Controller for IAG Based Standalone Hydro Power Generation .
- Melo, E., Rosa, P. C. and Ribeiro, E.R. 2013.
Electronic Load Controller Of A Micro-Hydro Generator For Stand-Alone Operation.
- Akçay, S. Yüksek Lisans Tezi 2007. Hidroelektrik Santrallerde Güç - Frekans Denetimi Uygulaması.
- Darçın, O. O. Yüksek Lisans Tezi 2004. Güç Sistemlerinde Yük Frekans Kontrolü Ve Sınır Ağı Kontrol.
- Elmas, Çetin Bulanık Mantık Denetleyiciler 2003, Ankara

Anonim, 2017. <http://ludens.cl/paradise/turbine/turbine.html>

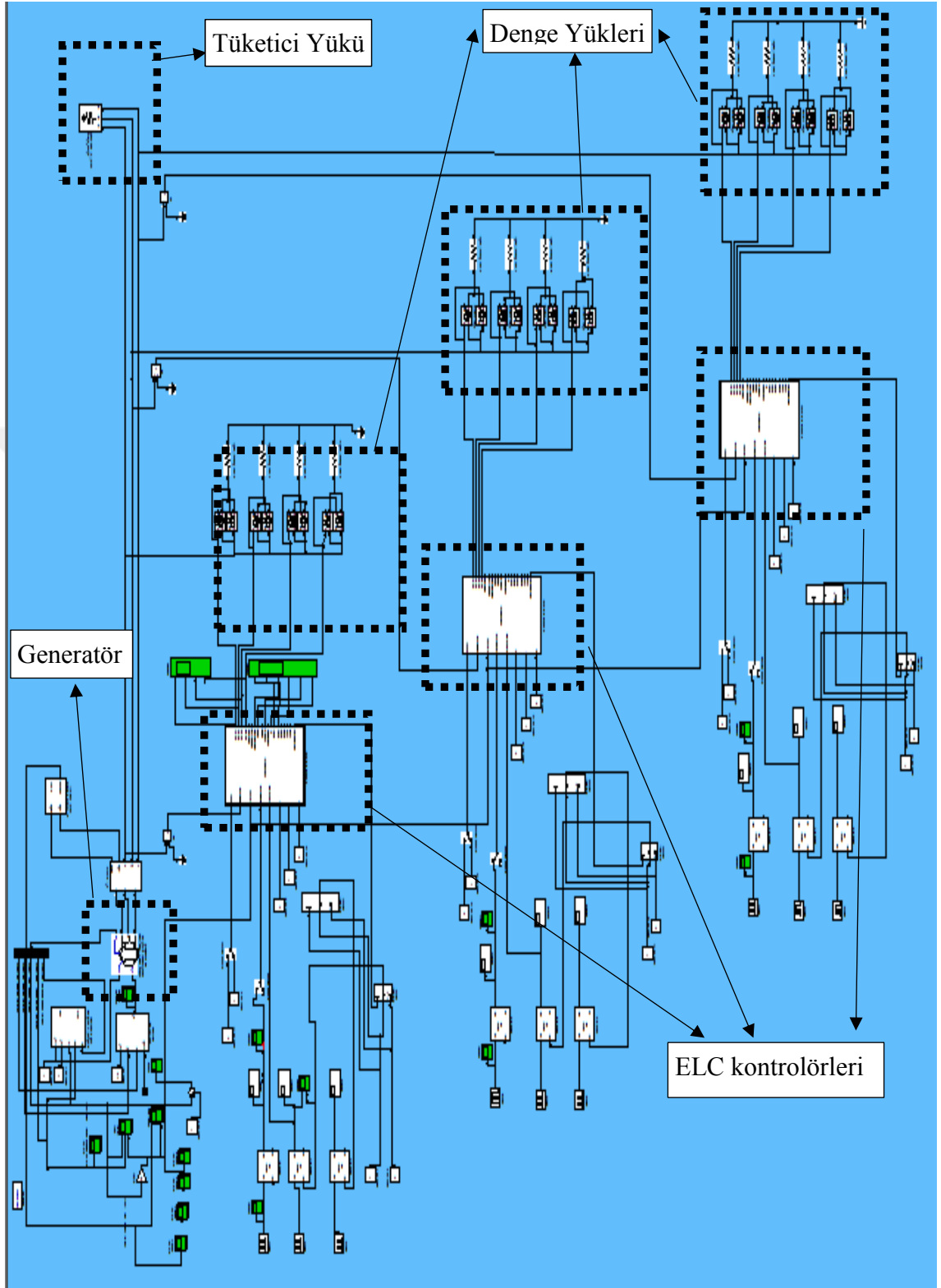
Anonim, 2017. <https://www.xing.com>

Anonim, 2017. <https://www.orsanenerji.com>

Anonim, 2017. [https://en.wikipedia.org/wiki/Ultra-high_voltage_electricity_transmission
in China](https://en.wikipedia.org/wiki/Ultra-high_voltage_electricity_transmission_in_China)

Anonim, 2017. <http://www.milres.org.tr>





Matlab programında 3 faz ELC' li sistem modeli genel gösterimi

ÖZGEÇMİŞ

Yazar, 1980 yılında İskenderun'da doğdu. İlkokul, Ortaokul ve Liseyi (İskenderun Süper Lisesi) İskenderun'da tamamladı. Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Bölümü'nü 1999 yılında kazandı. Üniversiteden 2003 yılında mezun oldu. Bir yıl sonra İstanbul'da EMT elektrik Ltd. Şti. ve Adım otomasyon Ltd. Şti. şirketlerinde çalıştı. 2005 yılında İskenderun Demir Çelik A.Ş. şirketinde çalışmaya başladı ve halen çalışmaya devam etmektedir.

