

**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GENETİK ALGORİTMA İLE RÜZGÂR TRİBÜNÜ
ROTOR HIZ KONTROL Pİ PARAMETRELERİNİN
BELİRLENMESİ**

Rıfat BİLİR

ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

**OCAK 2012
DÜZCE**



**T.C
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GENATİK ALGORİTMA İLE RÜZGÂR TRİBÜNÜ
ROTOR HIZ KONTROL Pİ PARAMETRELERİNİN
BELİRLENMESİ**

Rıfat BİLİR

ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

**OCAK 2012
DÜZCE**

RIFAT BİLİR tarafından hazırlanan GENETİK ALGORİTMA İLE RÜZGÂR TRİBÜNÜ ROTOR HIZ KONTROL Pİ PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Ali ÖZTÜRK

Tez Danışmanı, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Ali ÖZTÜRK

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Murat KALE

Teknoloji Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Mehmet UÇAR

Düzce Meslek Yüksek Okulu Teknik programlar, Düzce Üniversitesi

Tarih: / /2012

Bu tez ile Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Haldun MÜDERRİSOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Rıfat BİLİR

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması süresince bana yol gösteren ve tecrübesi ile bana her zaman yardımcı olan hocam Yrd. Doç. Dr. Ali ÖZTÜRK'e, bu zaman zarfı içinde yardımlarını esirgemediği değerli vakitlerini ayıran bölüm hocalarıma ve özellikle Yrd. Doç. Dr. Murat KALE'ye, araştırma görevlisi arkadaşlara sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması süresince her zaman destek olan eşim Reyhan BİLİR'e, varlığıyla beni mutlu eden biricik kızım Ayşenaz BİLİR'e ve tüm öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen annem ve babam Fatma ve Celalettin BİLİR'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak 2012

Rıfat BİLİR

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
SEMBOL LİSTESİ	x
KISALTMA LİSTESİ.....	xi
ÖZ	xii
ABSTRACT.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
2.1. RÜZGÂR TRİBÜNÜ KONTROLÜ	6
2.1.1. Kontrol Problemi.....	6
2.2. GÜÇ KONTROL.....	7
2.3. HIZ KONTROL	7
2.4. RÜZGÂR ENERJİSİ KONTROL AŞAMALARI	10
2.4.1. Enerji Tutma.....	10
2.4.2. Mekanik Yük	11
2.4.3. Şebeke Bağlantı Gereksinimleri.....	11
2.5. RT KONTROL SİSTEMİ.....	12
2.5.1. Aerodinamik model	14
2.5.2. Sürücü Model.....	17
2.5.3. İndüksiyon Makine Model	19
2.5.4. Back-to Back Dönüştürücü	22

2.6. KONTROL MODELİ.....	24
2.6.1. Akım Modeli	24
2.6.2. Dolaylı Alan Etkili Kontrol Modeli (DAEK)	25
2.6.3. dq Referans Çerçeve İçinde Elektromanyetik Tork	27
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	30
3.1. PID KONTROL.....	30
3.1.1. PID Denetleyicilerin Karakteristikleri.....	31
3.2. GENETİK ALGORİTMA (GA)	34
3.2.1. Genetik Algoritmanın Çalışması.....	36
3.2.2. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması	38
3.2.3. Uygunluk Değerinin Hesaplanması.....	38
3.2.4. Kodlama Yöntemleri	38
3.2.4.1. <i>İkili (Binary) Kodlama.....</i>	<i>39</i>
3.2.4.2. <i>Permütasyon Kodlama.....</i>	<i>39</i>
3.2.4.3. <i>Değer Kodlama</i>	<i>39</i>
3.2.4.4. <i>Ağaç Kodlama</i>	<i>40</i>
3.2.5. Elit Bireylerin Seçimi.....	40
3.2.6. Seçim Operatörleri	41
3.2.6.1. <i>Rulet Çarkı Metodu</i>	<i>41</i>
3.2.6.2. <i>Turnuva Seçim Metodu</i>	<i>42</i>
3.2.6.3. <i>Sıralı Seçim Metodu.....</i>	<i>42</i>
3.2.7. Çaprazlama Operatörleri.....	43
3.2.7.1. <i>Tek Noktalı Çaprazlama</i>	<i>43</i>
3.2.7.2. <i>Çift Noktalı Çaprazlama</i>	<i>43</i>
3.2.7.3. <i>Çok Noktalı Çaprazlama.....</i>	<i>44</i>
3.2.7.4. <i>Düzgün Çaprazlama</i>	<i>44</i>
3.2.7.5. <i>Ayrık Çaprazlama.....</i>	<i>45</i>

3.2.7.6.	<i>Ara Çaprazlama</i>	45
3.2.7.7.	<i>Doğrusal Çaprazlama</i>	45
3.2.7.8.	<i>Aritmetik Çaprazlama</i>	45
3.2.8.	Mutasyon Operatörü	46
3.2.9.	Genetik Algoritma İle SKİG ve PID Kontrolör Parametrelerinin Belirlenmesi	47
4.	BULGULAR	50
4.1.	HIZ DÖNGÜ TASARIMI	50
4.1.1.	İç Döngü Tasarımı	51
4.1.2.	Hız Kontrol Şeması ve Transfer fonksiyonu	52
4.1.3.	i_{sd}^* Akı Döngü Tasarımı	53
4.1.4.	i_{sp} Dış Döngü tasarımı	53
4.2.	BENZETİM SONUÇLARI	54
4.2.1.	Rüzgâr Tribünü SKİG Hız Kontrol Transfer Fonksiyonunun Simulink Modeli ve Sistem Parametreleri	54
4.2.2.	Rüzgâr Tribünü SKİG Rotor Hız Kontrol Modelinin P Parametresi ile Denetlenmesi ve Benzetim Sonuçları	57
4.2.3.	Ziegler-Nichols Metodu ile SKİG Rotor Hız Kontrol Modelin PI Parametrelerinin Belirlenerek Denetleyicinin Tasarlanması ve Benzetim Sonuçları	59
4.2.4.	Genetik Algoritma ile SKİG Rotor Hız Kontrol Modelin PI Parametrelerinin Belirlenerek Denetleyicinin Tasarlanması ve Benzetim Sonuçları	61
4.2.5.	Benzetim Sonuçlarının Karşılaştırılması	64
4.3.	SKİGRT ÇIKIŞ AKIM KONTROL	65
4.3.1.	Güç Devresi	66
4.3.2.	DGA Metodu	67

4.3.2.1.	<i>Sinüsoidal DGA</i>	67
4.3.2.2.	<i>Histerisiz bant DGA</i>	68
4.3.3.	Uzay Vektör PWM Tasarımı	73
4.4.	RÜZGÂR TRİBÜNÜ HIZ KONTROL SİMÜLASYONU	78
4.4.1.	Kontrol Blokları	79
4.4.1.1.	<i>Hız Kontrol Bloğu</i>	79
4.4.1.2.	<i>Alan Etkili Kontrol</i>	80
4.4.1.3.	<i>Sincap Kafesli İndüksiyon Generatör (SKİG)</i>	82
4.4.1.4.	<i>Rüzgâr Tribünü (RT)</i>	83
4.4.2.	Simülasyon Set Değerleri	83
4.4.3.	Ziegler-Nichols Metodu PI Parametreleri ile SKİG Rotor Hız Kontrol Simülasyonu ve Sonuçları	84
4.4.4.	Genetik Algoritma PI parametreleri ile SKİG Rotor Hız Kontrol Simülasyonu ve Benzetim Sonuçları	87
4.4.5.	Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması	91
5.	TARTIŞMA VE SONUÇ	93
	KAYNAKLAR	95
	ÖZGEÇMİŞ	99

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Rüzgâr tribün sistemi	6
Şekil 2.2	: Rüzgâr tribün çeşitleri (Marra, 2008)	8
Şekil 2.3	: Bir rüzgâr tribünü için ideal güç ayarı	9
Şekil 2.4	: Güç katsayısı (C_p) ile uç hız oranı (λ) değişim grafiği	10
Şekil 2.5	: Rüzgâr tribünleri için ideal güç regülasyonu	11
Şekil 2.6	: Rüzgâr tribün sistemi	12
Şekil 2.7	: İndüksiyon makine tork karakteristiği	13
Şekil 2.8	: Rüzgâr tribünü kontrol modeli TÖGDRT	14
Şekil 2.9	: Farklı rüzgâr hızlarında güç-hız eğrisi	16
Şekil 2.10	: Farklı rüzgâr hızlarında rotor hız fonksiyonuna bağlı güç-tork ifadesi	17
Şekil 2.11	: Sürücü model	18
Şekil 2.12	: Stator $\alpha\beta$ ve dq eşdeğer sargılar	19
Şekil 2.13	: Back-to back dönüştürücü	22
Şekil 2.14	: Stator ve dönüştürücü akım ve gerilimleri	23
Şekil 2.15	: Akım modeli rotor akı tahmin blok şeması	24
Şekil 2.16	: Dolaylı alan etkili kontrol yöntemi denklemleri (DAEK)	27
Şekil 2.17	: Rotor akısı ve q eksenli stator akımı açısından tork	28
Şekil 3.1	: Kapalı döngü PID kontrol blok diyagramı	30
Şekil 3.2	: Kapalı çevrim Ziegler-Nichols metodu osilasyon çıkış sinyali	33
Şekil 3.3	: GA akış diyagramı	37
Şekil 3.4	: Ağaç kodlama ile oluşturulan bir (birey) kromozom (Kaya, 2006).	40
Şekil 3.5	: Rulet çarkı seçim örneği	42
Şekil 4.1	: Hız döngüsü	50
Şekil 4.2	: isq akım döngüsü	51
Şekil 4.3	: Hız kontrol kapalı çevrim transfer fonksiyon şeması	52
Şekil 4.4	: isd iç döngü tasarımı	53
Şekil 4.5	: $is\phi$ Dış döngü tasarımı	53
Şekil 4.6	: Hız döngüsü kapalı çevrim transfer fonksiyonu simulink modeli	55
Şekil 4.7	: RT SKİG rotor hızı P kontrol modeli	57
Şekil 4.8	: P Kontrol rotor hızı	58

Şekil 4.9	: Ziegler Nichols yöntemi PI parametreleri SKİG rotor hız kontrol modeli	59
Şekil 4.10	: Ziegler Nichols yöntemi PI parametreleri SKİG rotor hız kontrol grafiği	60
Şekil 4.11	: Genetik algoritma PI parametreleri ile SKİG rotor hız kontrol modeli	61
Şekil 4.12	: Uygunluk fonksiyonu değişimi	62
Şekil 4.13	: GAPI denetleyicisi kullanarak SKİG rotor hız değişimi.....	63
Şekil 4.14	: Benzetim sonuçlarının karşılaştırılması	64
Şekil 4.15	: Paralel aktif güç filtresi blok diyagramı.....	65
Şekil 4.16	: Paralel aktif güç filtresi güç devresi.....	66
Şekil 4.17	: Sinüsoidal DGA.....	68
Şekil 4.18	: Histerisiz bant DGA (Ingram and Round, 1999).....	68
Şekil 4.19	: İki kondansatörlü evirici bağlantısı.....	69
Şekil 4.20	: Evirici çıkışındaki akım ve gerilim dalga şekli (Bose, 1990).	70
Şekil 4.21	: Bir anahtarlama periyodu boyunca evirici çıkışındaki gerilim ve akım dalga şekilleri (Bose, 1990).....	72
Şekil 4.22	: V_{ref} için UVM	74
Şekil 4.23	: Simetrik UVM için konum sırası.....	75
Şekil 4.24	: Simetrik UVM anahtarlama sırası	76
Şekil 4.25	: Rüzgâr tribünü kontrol sistemi	78
Şekil 4.26	: Hız kontrol bloğu	79
Şekil 4.27	: Alan etkili kontrol bloğu	81
Şekil 4.28	: Akım düzenleyici ile DGA-PWM sinyal üretim bloğu	82
Şekil 4.29	: Simülasyon çözücü değerleri.....	84
Şekil 4.30	: Ziegler Nichols yöntemi PI katsayılı İG çıkış akımı	85
Şekil 4.31	: Ziegler Nichols yöntemi PI katsayılı İG çıkış akımı 11 ile 12. Saniyeler arası büyütülmüş hali	85
Şekil 4.32	: Ziegler Nichols yöntemi PI katsayılı İG çıkış gerilimi.....	86
Şekil 4.33	: Ziegler Nichols yöntemi PI katsayılı İG rotor hız değişimi.....	86
Şekil 4.34	: Ziegler Nichols yöntemi PI katsayılı İG tork değişimi.....	87
Şekil 4.35	: GA yöntemi PI katsayılı İG çıkış akımı.....	88
Şekil 4.36	: GA yöntemi PI katsayılı İG çıkış akımı 11 ile 12. saniyeler arası büyütülmüş hali	89

Şekil 4.37	: GA yöntemi PI katsayılı İG çıkış gerilimi	89
Şekil 4.38	: GA yöntemi PI katsayılı İG rotor hız değişimi	90
Şekil 4.39	: GA yöntemi PI katsayılı İG tork değişimi	90
Şekil 4.40	: Sonuç grafiklerinin karşılaştırılması	92

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3. 1	: KP, Ki ve Kd kontrolörlerinin kapalı çevrim sisteme etkisi	31
Çizelge 3. 2	: Ziegler Nichols metodu.....	33
Çizelge 3. 3	: İkili kodlama ile oluşturulan kromozomlar	39
Çizelge 3. 4	: Permütasyon kodlama ile oluşturulan kromozomlar	39
Çizelge 3. 5	: Değer kodlama ile oluşturulan kromozom örneği	40
Çizelge 3. 6	: Rulet çarkı için örnek hesaplama.....	41
Çizelge 3. 7	: Tek noktalı çaprazlama	43
Çizelge 3. 8	: Çift noktalı çaprazlama	44
Çizelge 3. 9	: Çok noktalı çaprazlama.....	44
Çizelge 3. 10	: Düzgün çaprazlama.....	44
Çizelge 3. 11	: Rüzgâr tribünü SKİG sınır değerleri.....	48
Çizelge 3. 12	: PI kontrolör parametrelerinin sınır değerleri.....	48
Çizelge 4. 1	: RT hız kontrol parametre değerleri.....	56
Çizelge 4. 2	: IAE performans indeksinde GA ile optimize edilmiş PI parametreleri.....	62
Çizelge 4. 3	: Evirici anahtarlama durumu ve (a) fazı gerilimi	71
Çizelge 4. 4	: SV-PWM görev döngüsü.....	76
Çizelge 4. 5	: Hız kontrol bloğu parametre değerleri.....	80
Çizelge 4. 6	: Alan odaklı kontrol bloğu parametre değerleri	82
Çizelge 4. 7	: Sincap kafesli indüksiyon generatör (SKİG) bloğu parametre değerleri	83
Çizelge 4. 8	: Rüzgâr tribünü (RT) bloğu parametre değerleri.....	83

SEMBOL LİSTESİ

p	: Çift kutup sayısı
J	: Rotor atalet momenti
R_r	: Rotor direnci
R_s	: Stator direnci
X_r	: Rotor endüktansı
X_s	: Stator endüktansı
L_m	: Eşdeğer endüktansı
ω_r^*	: Rotor referans hızı
ω_r	: Rotor hızı
P_m	: Mekanik güç
P_e	: İG base güç
T_e	: Elektromagnetik tork
T_a	: Eşdeğer zaman sabiti
T_w	: Tribün torku
R_a	: Stator direnci
f_s	: Stator direnci
T_s	: Eşdeğer zaman sabiti
T_r	: Rotor zaman sabiti
V_n	: Anma rüzgâr hızı
V_{\min}	: Minimum enerji üretimi rüzgâr hızı
V_{\max}	: Maksimum enerji üretimi rüzgâr hızı
V	: Rüzgâr hızı
nf	: Nominal frekans
θ	: Pitch açısı
nf	: Nominal frekans
$\lambda'_{sa\beta}$: Stator manyetik akı
$\lambda'_{ra\beta}$: Stator manyetik akı
C_p	: Hava güç katsayısı
λ	: Rüzgâr optimum uç hız oranı
Teta	: Elektrik açısı
T_{pwm}	: Anahtarlama periyodu
ω_{dq}	: dq referans çerçeve hızı
S	: İG hız kayma
λ_{rdq}	: Rotor dq manyetik akı
J'_{WT}	: Tribün atalet momenti
J'_{gen}	: Tribün generatör momenti
T_{shaft}	: Generatör tarafı şaft torku
K_{gear}	: Şanjıman kazanç oranı
ω_{WT}	: Rüzgâr tribün hızı
$C_q(\lambda)$: Tork katsayısı
v	: Rüzgâr hızı
ω_g	: Generatör hızı

KISALTMA LİSTESİ

İG	: İndüksiyon Generatör
GA	: Genetik Algoritma
UF	: Uygunluk Fonksiyonu
IAE	: Hatanın Mutlak Değerinin Toplamı
ISE	: Hatanın Karesinin Toplamı
ITAE	: Hatanın Mutlak Değeri Toplamının Zaman İle Çarpımı
RT	: Rüzgâr Tribünü
SKİG	: Sincap Kafesli İndüksiyon Generatör
DAEK	: Dolaylı Alan Etkili Kontrol
AEK	: Alan Etkili Kontrol
ÇÇİG	: Çift Çıkışlı İndüksiyon Generatör
ZNY	: Ziegler Nichols Yöntemi
TÖGDRT	: Tam Ölçekli Güç Dönüştürücü Rüzgâr Tribünü
REDS	: Rüzgâr Enerjisi Dönüşüm Sistemleri
ŞK	: Şebeke Kodları
PID	: Oransal-İntegral-Türevsel Kontrol
PI	: Oransal-İntegral Kontrol
GAPID	: Genetik Algoritma İle Optimize Edilmiş Oransal-İntegral-Türevsel Denetleyicisi
DGA	: Darbe Genişlik Ayarı
REDS	: Rüzgâr Enerjisi Dönüşüm Sistemleri
TÖRT	: Tam Ölçekli Rüzgâr Tribünü
KDHRT	: Kısmi Değişken Hızlı Rüzgâr Tribünü
TÖGDRT	: Tam Ölçekli Güç Dönüştürücülü Rüzgâr Tribünü
DMİG	: Daimi Mıknatıslı İndüksiyon Generatör
TÖGD	: Tam Ölçekli Güç Dönüştürücü
BZNY	: Bode Ziegler Nichols Yöntemi
TFG	: Transfer Fonksiyon Grafiği

**GENETİK ALGORİTMA İLE RÜZGÂR TRİBÜNÜ ROTOR HIZ KONTROL Pİ
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Rıfat BİLİR

**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ocak 2012

ÖZ

Gelişen dünyamızda sanayi, ev, ofis vb. yerlerde elektrik enerjisi ile çalışan araç ve gereç sayısı çoğalmakta, buna paralel olarak elektrik enerjisine olan ihtiyaç artmaktadır. Artan bu ihtiyacı karşılamak için çeşitli elektrik santralleri geliştirilmiştir. Termik, hidroelektrik, nükleer, güneş, termal, doğalgaz, rüzgar vb. enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretilmektedir. Rüzgar santrallerinde herhangi bir yakıt kullanılmadığından daha çevrecidir. Rüzgâr santralleri çevreci olmaları nedeni ile tercih edilmektedir.

Elektrik enerjisi ile çalışan araç gereçlerden maksimum verim almak için sabit gerilim ve frekanslı elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. Kullanıcıların ihtiyacı olan temiz enerjinin sağlanmasında elektrik şebekelerinin ihtiyacı karşılayacak şekilde elektrik santralleri tarafından beslenmesi gereklidir. Şebekelerin ihtiyacını karşılamada rüzgar santrallerinden de yararlanılmaktadır. Rüzgar santralleri bir çok RT'den oluşmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde kullanılan RT'lerde çeşitli generatörler kullanılmaktadır. SKİG'nün diğer generatörlere oranla boyutlarının küçük, daha az bakıma gereksinim duymaları nedeni ile RT'lerde tercih edilmektedir. Rüzgâr tribünlerinde kullanılan sincap kafesli indüksiyon generatörden sabit gerilim ve frekanslı enerji elde etmek için rotor hızının referans hızda olması gerekir.

Bu çalışmada, rüzgâr santralinde kullanılan sincap kafesli indüksiyon generatörünün rotor hızının genetik algoritma ile Proportional–Integral kontrolü gerçekleştirilmiştir. Herhangi bir bozucu etki karşısında, SKİG rotorunun en kısa sürede istenen referans hızda çalışmasını sağlayacak PI katsayılarının tayini, bir optimizasyon yöntemi olan genetik algoritma ile belirlenmiştir. Bu amaçla oluşturulan indüksiyon makine modeli rotor hız kontrol transfer fonksiyonu ele alınmıştır. Çalışmada sensörsüz rotor hız kontrolü, alan etkili kontrol ile sağlanmıştır. Kontrolde kullanılan PI katsayıları önce klasik yöntem Ziegler-Nichols yöntemi ile bulunmuştur. Rüzgâr tribünü Matlab-Simulink ortamında modellenmiş; böylece ZNY ile bulunan PI katsayıları ile simülasyon çalıştırılmıştır. Aynı zamanda sistemin hız transfer fonksiyonu kullanılarak genetik algoritma ile PI katsayıları bulunmuştur. Daha sonra sistemin Matlab-Simülasyonu çalıştırılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. GA ile hesaplanan PI katsayılarıyla sistemin daha kısa sürede referans hıza ulaştığı ve daha kararlı olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu :
Anahtar Kelimeler : Rüzgâr Tribünü, sincap kafesli indüksiyon generatör,
Genetik Algoritma, PI kontrol, sabit hızlı sincap kafesli
indüksiyon generatör
Sayfa Adedi : 99
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Ali ÖZTÜRK

**WIND TURBINE ROTOR SPEED CONTROL WITH GENETIC ALGORITHM
PARAMETERS DETERMINATION OF PI**

(M.Sc. Thesis)

Rıfat BİLİR

**DUZCE UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

January 2012

ABSTRACT

In the developing world, the number of tools and equipments that is electric-powered such as industries, houses and offices etc is increasing and concordantly the electric power demand is increasing. The various electric power plants are improved to satisfy rising need. Electric power is produced from energy sources such as thermic, hydroelectric, nuclear, solar, thermal, wind etc. Because of not using any fuel the wind power plants are more environmentalist. The wind power stations are preferred because of being environmentalist.

Constant voltage and frequency electric power are needed to get maximum efficiency from the tools and equipment running with electric-power. In providing the clean energy needed by the consumers, it's necessary that the ring must be feeded by the electric power plants properly to answer the purpose. Wind power plants are used to provide the rings' needs. Wind power plants are constituted of many wind tribunes. Different types of generators are used by the wind tribunes while producing electric energy. SCIG are preferred in wind tribunes because of being smaller in size and needing less technical care. The rotor speed must be in reference speed to get constant voltage and frequency energy from squirrel-cage induction generator used in the wind turbines.

At this study, Genetic Proportional-Integral Control rotor speed of squirrel cage induction generator used in the wind power is carried out. Against any adverse impact, determination of PI coefficient that SKIG rotor enables to run the desired

reference speed within the shortest time is determined by the genetic algorithm being an optimization method. Transfer function of rotor speed control of induction machine model created for this purpose is discussed. Sensorless rotor speed control, Field Effect Control are carried out in this study. Initially, PI coefficients are discovered with Ziegler-Nichols method being classical method. Wind turbine is modelled in Matlab-Simulink environment, simulation is operated with PI coefficients found with Ziegler-Nichols Method. By using speed transfer function of the system, genetic algorithm and PI coefficients are come up with. And then, Matlab simulation of the system is operated and the results are compared. It is understood that the system reaches a speed of reference in a shorter time and is more stable with PI coefficients being calculated by the genetic algorithm.

Science Code :
Key Words : Wind Turbine, squirrel-cage induction generator, Genetic algorithm, The PI Control, Constant speed squirrel cage induction generators
Page Number : 99
Adviser : Assist. Prof. Dr. Ali ÖZTÜRK

1. GİRİŞ

Gelişen dünyamızda sanayi, ev, ofis vb. yerlerde elektrik enerjisi ile çalışan araç gereç sayısı hızla artmaktadır. Buna paralel olarak temiz elektrik enerjisine olan ihtiyaç artmaktadır. Artan enerji talebini karşılamak için yeni elektrik santrallerine ihtiyaç olmaktadır. Fosil yakıtlı ve nükleer santrallerin doğayı kirletici etkilerinin büyük olması nedeni ile doğayı daha az etkileyen santrallerle bu ihtiyacı karşılama arayışları hız kazanmıştır. RT'leri bu santrallerden biridir. RT'lerinden elde edilen enerjinin istenen frekans ve güçte olması için tribün kontrol problemleri ortaya çıkmaktadır. Kontrol ile normal çalışma koşullarında hem değişen yük hem de istenmeyen durumlar karşısında (yıldırım düşmesi, ani dalgalanma, elektrik kesintisi vb.) RT'nünün referans değerinde çalışmasını sağlamaktır.

RT'leri, istenmeyen durumlar ortaya çıktığında zarar görmemeleri için şebekeden ayırmak gerekir. RT'nin tekrar normal koşullarda enerji üretebilmesi için 4-5 dakika kadar bir zaman almakta bu da şebeke için istenmeyen bir durumdur.

RT'lerinden istenen referans değerlerde enerji elde edebilmek, güç kontrolü ya da hız kontrolü ile mümkündür. Gelişen teknoloji ile RT'lerinde SKİG'ün rotor hızı vektör kontrolü ile mümkün hale gelmiştir. SKİG'nün DAEK yapılabilmesi ve DMSİG oranla boyutunun küçük, bakımının kolay olması nedeni ile RT'lerinde tercih edilmektedir.

Şebekede istenmeyen durumlar oluştuğunda SKİG'lü RT'nünü şebekeden ayırmadan sistemde kalması ancak dolaylı alan etkili kontrol yöntemi ile hız kontrolü mümkündür.

Bu tez çalışmasında, rüzgâr santralinde kullanılan sincap kafesli indüksiyon generatörünün dolaylı alan etkili kontrol yöntemi ile rotor hızı PI katsayıları genetik algoritma ile belirlenmiştir. Herhangi bir yük değerinde, SKİG rotorunun en kısa sürede istenen referans hızda çalışmasını sağlayacak PI katsayılarının tayini, bir optimizasyon yöntemi olan genetik algoritma ile belirlenmiştir.

Bu tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde çalışmanın amacı hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde literatürde yapılan çalışmalar anlatılmış, RT'leri hakkında genel bilgi verilmiş, RT'lerinde kullanılan SKİG tork değişimi gösterilmiş, RT'ü sistemlerini oluşturan birimlerden bahsedilmiş, RT'nü sistemini oluşturan birimlerin matematiksel modeli anlatılmıştır. Üçüncü bölümde tez çalışmasında kullanılan materyal ve yöntemler olan PID kontrolör, genetik algoritma hakkında bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde RT'ü kontrol sistem dizaynı anlatılmış, Bu amaçla oluşturulan indüksiyon makine modeli rotor hız kontrol transfer fonksiyonu ele alınmıştır. Çalışmada sensörsüz rotor hız kontrolü, dolaylı alan etkili kontrol yöntemi PI katsayıları önce klasik yöntem Ziegler-Nichols yöntemi ile bulunmuştur. Rüzgâr Tribünü Matlab-Simulink ortamında modellenmiş, ZNY ile bulunan PI katsayıları ile önce transfer fonksiyonu simülasyonu gerçekleştirilmiştir. ZNY hız kontrol PI katsayıları ile ayrık zaman simülasyonu çalıştırılmıştır. Sistemin hız transfer fonksiyonu kullanılarak genetik algoritma ile PI katsayıları bulunmuş ve simülasyon sonuçları diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. RT'ü Matlab-Simulink simülasyonu GA hız kontrol PI katsayıları ile simüle edilmiş diğer yöntem sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Beşinci bölümde tez çalışmasındaki sonuçlar değerlendirilmiş olup gelecekte yapılabilecek çalışmalardan bahsedilmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

Günümüzde artan enerji talebi nedeni ile yenilenebilir enerji kaynaklarından RT'leri önem kazanmaktadır. RT'lerinden istenen frekans ve güç değerlerinde enerji üretebilmek için kontrol gerekmektedir. Bu sebeple RT sistemlerinde kullanılan klasik kontrol yöntemleri yetersiz kalmakta olup modern kontrol yöntemlerinin kullanımını gerekli kılmıştır. Literatürde konu ile ilgili yapılan çalışmalardan bazıları;

Elektrik enerjisi üretmek için RT'leri geliştirilmiştir. RT sistemlerinde elektrik elde etmek için çeşitli generatörler geliştirilmiştir. Marra, tez çalışmasında RT'lerinde kullanılan generatörler hakkında kısa bilgiler vermiş; dolaylı alan etkili kontrol yöntemiyle SKİG'ün rotor hızını referans değerinde tutma çalışmalarını Matlab-Simulink ortamında simule etmiş ardından laboratuvar uygulamasını yapmıştır.

Abbas ve Abdulsada (2010) yaptıkları çalışmalarında, rüzgâr tribünlerine bağlı kendinden uyarımlı bir indüksiyon generatörü bulunan sistemde, sistemleri lineerleştirilerek frekans ve yük kontrolü yapmışlardır.

Baroudi çalışmasında (2005) çeşitli generatörlerdeki dönüştürücü uygulamaları ve bunların maliyet, verim, güç tüketimi gibi özelliklerinin karşılaştırılması ile ilgili ayrıntılı bir literatür araştırması gerçekleştirmiştir.

İndüksiyon makinelerinde skaler kontrol, direk tork kontrolü, vektör kontrol gibi farklı kontrol yöntemleri kullanılmaktadır. Ayrıca rotor, stator ve hava aralığı alan yönlendirme kontrolleri de uygulanmaktadır.

Khalifa ve Fahim (2007) çalışmalarında, kendinden kapasitor uyarımlı indüksiyon generatörünün bilgisayar tabanlı kontrolünü gerçekleştirerek gerilim karalılığı kontrolü hakkında çalışma yapmışlardır.

Vihriala Harri (2007), RT'lerinden maksimum verim alabilmek için rüzgâr hızının 4-12 m/s olduğu aralıkta İG'li RT'lerinden enerji elde edebilmek için değişken hız kontrol çalışması yapmıştır.

Jemli Mohamed ve diğ. (2009), bir fazlı bir indüksiyon motorunda mekanik sensörsüz kontrol yöntemini kullanarak laboratuvar ortamında hız kontrolünü gerçekleştirmişlerdir.

Johnson Kathryn E. (2004), İG'li RT'lerinden değişken rüzgâr hızında maksimum verim alabilmek için adaptif tork kontrol yöntemini kullanmış ve başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

Jonathan Feller (2005), sabit mıknatıslı indüksiyon generatör pıd kontrol çalışmaları ile shaft sistemleri üzerinde burulma katsayısını azaltmaya yönelik simülasyon çalışmaları yapmıştır. PID katsayılarını klasik yöntemler kullanarak hesaplamış ve laboratuvar uygulaması ile iyi sonuçlar almıştır.

Maria Oana Mora (2009), RT sistemlerinde kullanılan daimi mıknatıslı generatörün sensörsüz alan etkili kontrol yöntemi kullanarak hız kontrol uygulamasını laboratuvar ortamında gerçekleştirmiş bu sonuçlarını master tez çalışmasında belirtmiştir.

A. Haniotis ve diğ. (2010) daimi mıknatıslı rüzgâr tribününün değişken rüzgâr hızlarında kontrolünü gerçekleştirmek için adaptif kontrol yöntemini kullanmış, yaptıkları çalışmadan başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

Decio Crisol Donha (2004), RT'lerinde kullanılan İG'lerinden sabit güç elde edebilmek için genetik algoritma optimizasyon yöntemini kullanmış; laboratuvar ortamında sistem uygulamasını gerçekleştirmiş ve iyi sonuçlar elde etmiştir.

Goldberg (1989), optimizasyon problemlerinin GA ile çözülebileceğini ortaya koymuştur.

Florin Iov ve diğ. Aalborg üniversitesi'nde (2004) Matlab-Simulink ortamında sabit rüzgâr hızında çalışan İG'li rüzgâr tribünü tasarlamışlar ve simülasyon sonuçlarını değerlendirmişlerdir.

Kaiyuan Lu (2007) Aalborg üniversitesi enerji enstitüsünde Grup PED 4-1037 öğrencileri yüksek hızlarda rüzgâr santrallerinde kullanılan İG'nün alan etkili kontrol yöntemiyle hız kontrolünü gerçekleştirmişlerdir.

Rosmin (2010), değişken rüzgâr hızlarında, rüzgâr santrali rotor hız kontrolünü kapalı çevrim skaler kontrol yöntemiyle sağlamaya çalışmış; başarılı sonuçlar elde etmiştir.

Brice Beltran ve diğ. (2009), değişken rüzgâr hızlarında İG'li rüzgâr tribünlerinde yüksek dereceden kayar mod kontrol yöntemiyle enerji elde etme simülasyonlarını gerçekleştirmişlerdir.

Morten H. ve diğ. (20059, çift çıkışlı indüksiyon generatör hız kontrol çalışmaları yapmışlar, PID kontrol katsayılarını klasik yöntemlerle hesaplayarak simülasyonu Matlab-Simulink ortamında gerçekleştirmişlerdir.

Mani Entezami (2010), çift çıkışlı indüksiyon generatörün hız kontrolünü kalman filtreyle simülasyonunu gerçekleştirmişler daha sonra da uygulamasını laboratuvar ortamında yapmışlardır.

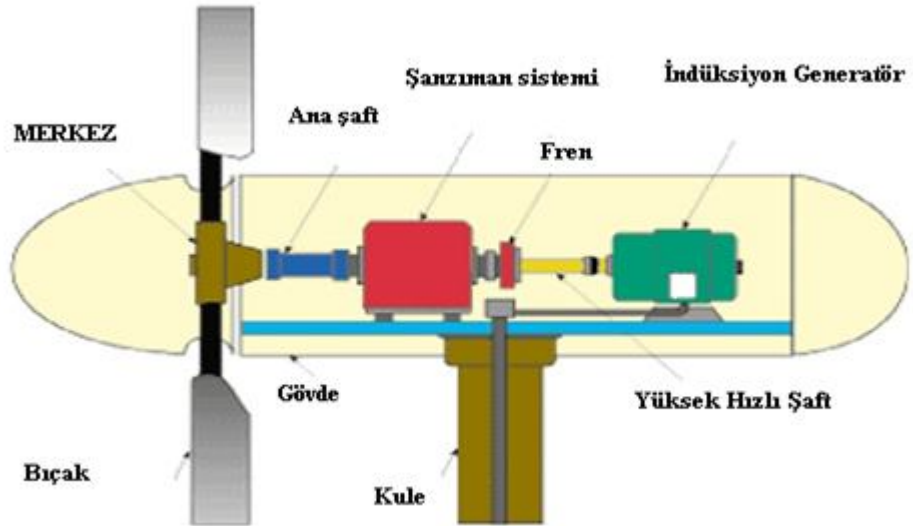
Bu çalışmada RT rotor hız kontrolü üç farklı yöntemle yapılmış, sonuçlar karşılaştırılmıştır. İlk önce RT'lerinde kullanılan sincap kafesli indüksiyon generatörünün sabit hızlı alan etkili kontrol yöntemi tanımlanmış, sonra da GA yöntemi sunulmuştur. Hız kontrol transfer fonksiyonu ifade edilmiş, Matlab-Simulink ortamında kurulan rüzgâr santrali kontrol simülasyonu önce P parametre değeri bir alınarak çalıştırılmış daha sonra da bode çizimi ile hesaplanan Ziegler-Nichols kapalı çevrim PI parametreleri ile çalıştırılmıştır. Son olarak genetik algoritma ile bulunan PI parametreleri kullanılarak aynı simülasyon çalıştırılmıştır. Yapılan simülasyon sonucunda GA PI parametreleri ile rotor hız kontrolünün daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

2.1. RÜZGÂR TRIBÜNÜ KONTROLÜ

2.1.1. Kontrol Problemi

Elektrik enerjisi ile çalışan cihazlar kararlı gerilim, akım ve frekans değerinde maksimum verim ile çalışırlar.

Gerilim, akım ve frekans kararlılığını doğrudan etkiler. Kesinti, elektrik akımının bulunmamasına. Sarkma ise kısa vadeli enerji talebinin ani artmasıyla voltajın düşmesine neden olur. Harmonikler, endüktif yükler tarafından üretilen gerilim etkileridir. Dalgalanma, enerji iletim hatlarının açılıp kapaması nedeniyle oluşan akım-gerilim bozunumlarını ifade etmektedir. Sivri uç gerilimi, elektrik şebekesine düşen yıldırım düşmesi ile oluşan gerilimdir. Yukarıda belirtilen etkiler elektrik enerjisinin kararlılığını bozan etkilerdir. Bu olaylar çok kısa sürede 100-300 ms de gerçekleşmektedir. Rüzgâr santralini şebekeden ayırmadan çalışmasını sadece alan etkili kontrol yöntemi ile gerçekleştirilebilir. Rüzgâr santralini şebekeden ayırdığında tekrar verimli çalışması için 4-5 dakika gerekir. Bu da istenmeyen bir durumdur. Bu çalışmada rüzgâr tribününün daha iyi kalkınma stratejileri belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 2.1’de rüzgâr tribünü sistemi gösterilmektedir.



Şekil 2.1: Rüzgâr tribünü sistemi

2.2. GÜÇ KONTROL

Rüzgâr tribünlerinde güç kontrolü üç şekilde yapılmaktadır.

Hız kesilerek kontrol, açı kontrolü ve aktif hız kesilerek yapılan kontrol olarak tanımlanmaktadır.

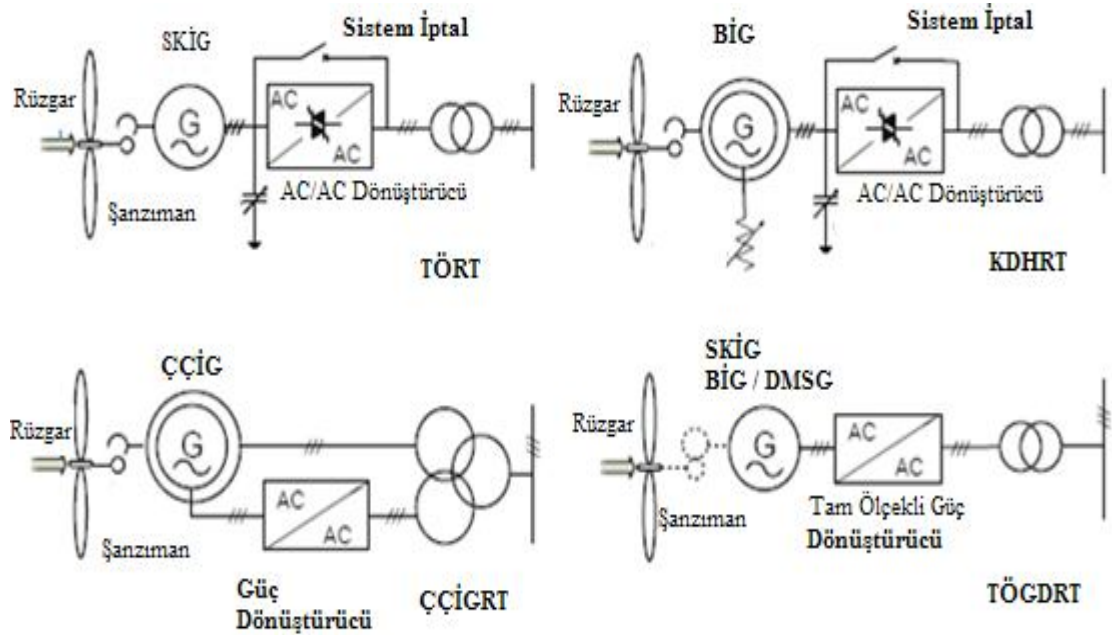
Hız kesilerek kontrolde rüzgâr tribünü bıçakları özel bir tasarımla imal edilerek rüzgâr gücü sabit tutulmaya çalışılır. Açı kontrolde ise rüzgâr tribününden alınan güç istenen değerden çok az ya da çok yüksek ise kanat açıları rüzgâr yönüne göre ayar yapılarak istenen değerde güç ayarlaması yapılır. Bu sistem ise karmaşık ve maliyetlidir. Aktif hız kesilerek kontrolde rüzgâr tribünü bıçakları belirli açılarla döndürülerek güç kontrolü yapılır. Bu üç kontrol yönteminde istenen değerlerde güç üretilmediğinde ise rüzgâr tribününü şebekeden ayırmak gerekir. Dolaylı alan etkili kontrol yöntemi ve güç elektroniği kontrolünde ise istenmeyen durumlar oluştuğunda rüzgâr tribününü şebekeden ayırmak gerekmez. Sistem değerleri normale dönüştüğünde en kısa sürede istenen enerji üretimi gerçekleştirilir.

2.3. HIZ KONTROL

Rüzgâr tribünlerinde hız kontrolü iki yöntemle gerçekleştirilir. Bu yöntemler sabit hız rüzgâr tribünü kontrolü ve değişken hız rüzgâr tribünü kontrolü ile sağlanır.

Sabit hız rüzgâr tribünü sistemlerinde SKİG sincap kafesli indüksiyon generatörleri bir kapasitör bankası, AC/AC dönüştürücü ve transformatör aracılığı ile üretilen enerji şebekeye verilir. Bu tip sistemlerde güç elektroniği ile kontrol olmadığından reaktif güç tüketimini ve güç kalitesini kontrol etmek pek mümkün değildir. Generatör'de rotor devir sayısında kayma meydana gelir. Generatördeki kayma ise tork dalgalanmasına neden olur. Tork dalgalanmaları şebekede güç ve gerilim dalgalanması şeklinde kendini gösterir.

Değişken hız rüzgâr tribün sistemleri bir indüksiyon generatör veya senkron generatör ile donatılmıştır. Bu sistemler bir güç dönüştürücü ile şebekeye bağlanmıştır. Güç elektroniği ile rüzgâr tribün sisteminde değişken rüzgâr hızlarında da maksimum verim alınır. En sık kullanılan rüzgâr tribünleri dört sınıfa ayrılabilir. Sabit hız tam ölçekli rüzgâr tribünleri sincap kafesli indüksiyon generatör, kısmi değişken hızlı rüzgâr tribünleri, çift çıkışlı indüksiyon generatör rüzgâr tribünleri sistemi ve tam ölçekli güç dönüştürücü ile değişken hız sincap kafesli indüksiyon generatör rüzgâr tribün sistemleri olarak tanımlanır. Güç elektroniğindeki gelişmeler, sincap kafesli indüksiyon generatörlerinin yapısının basitliği ve bakımının kolay olması, aynı zamanda da boyutlarının diğer generatörlere oranla küçük olması nedeniyle rüzgâr tribün sistemlerinde kullanımını arttırmıştır. Rüzgâr tribünlerinde kullanılan bu sistemler Şekil 2.2 de verilmiştir.



Şekil 2.2 : Rüzgâr tribün çeşitleri (Marra, 2008)

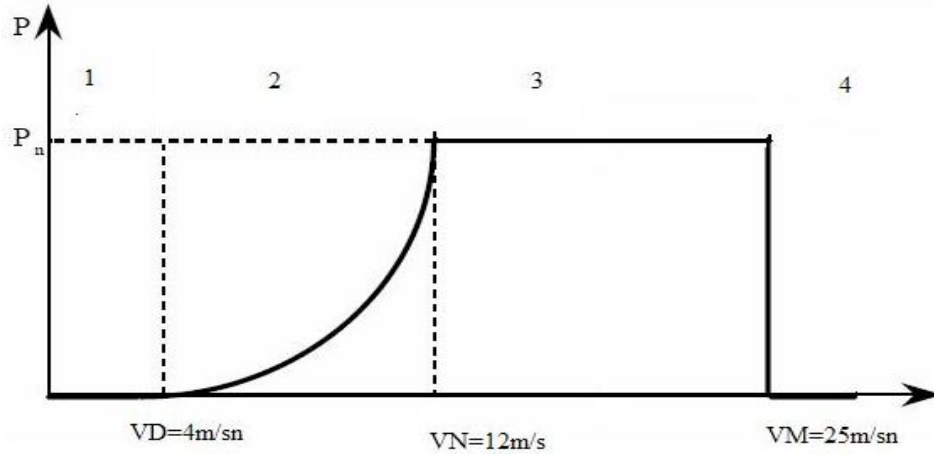
Sabit hız sincap kafesli indüksiyon jeneratörlü tam ölçekli rüzgâr tribün sisteminde generatör tarafından çekilen reaktif güç kapasitör bankası aracılığı ile karşılanır. AC/AC dönüştürücü ve trafo aracılığı ile şebekeye bağlanır. Kayma yaklaşık olarak % 1 civarında olur.

Kısmi değişken hızlı rüzgâr tribününde rotora bağlı direnç ile belli dar bir aralık içinde tork kontrolü vasıtası ile hız kontrolü gerçekleştirilir. Kontrol senkron hızın yaklaşık %10'u civarında yapılır.

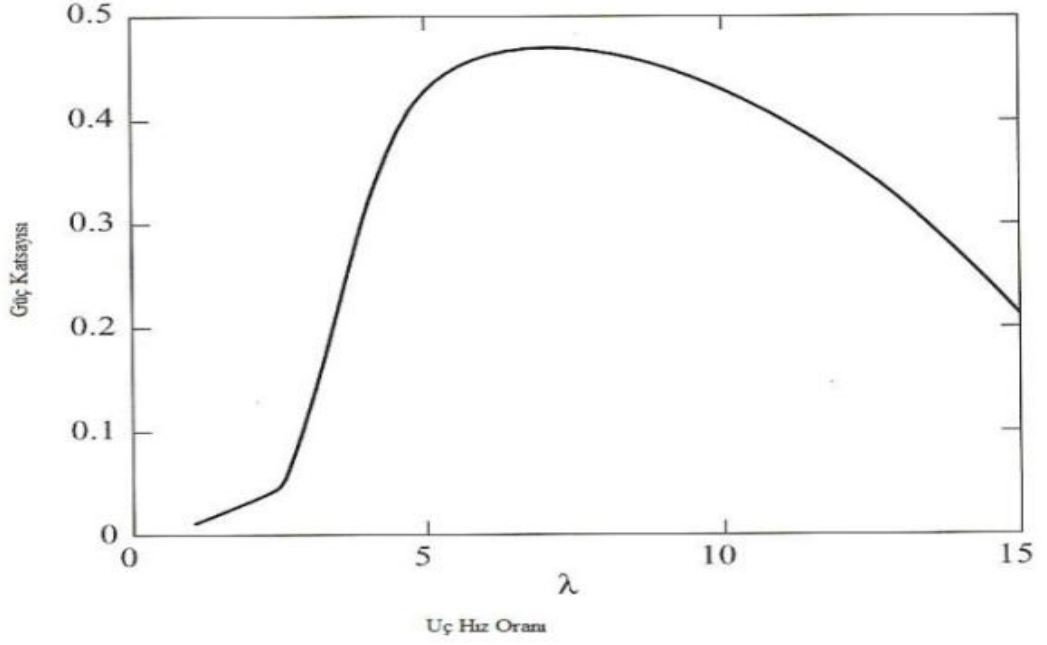
Çift çıkışlı indüksiyon generatörlü rüzgâr tribünlerinde de senkron hızın üzerinde rotordan alınan enerji güç elektroniği ve transformatör aracılığıyla şebekeye enerji verilir. Bu jeneratörler rotor bilezik ve fırça bakımları gerektirir. Boyutları IG oranla daha büyüktür ve maliyeti yüksektir.

Tam ölçekli güç dönüştürücülü rüzgâr tribün sistemi ile enerji direkt olarak transformatör aracılığı ile şebekeye verilir. Bu sistem ile değişken rüzgâr hızlarında da rüzgâr tribünü rotor hız kontrolü yapılabilir.

Bu çalışmada tam ölçekli güç dönüştürücülü rüzgâr tribün sistemiyle Şekil 2.3'te 3cü bölge aralığında dolaylı alan etkili kontrol yöntemi hız PI kontrol çalışması yapılmıştır. Rüzgâr tribünün de maksimum güç elde etmek için optimum uç hız oranı (λ) ve güç katsayısı (C_p) maksimum değer alınarak Şekil 2.4 kontrol gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.3: Bir rüzgâr tribünü için ideal güç ayarı



Şekil 2.4: Güç katsayısı (C_p) ile uç hız oranı (λ) değişim grafiği

2.4. RÜZGÂR ENERJİSİ KONTROL AŞAMALARI

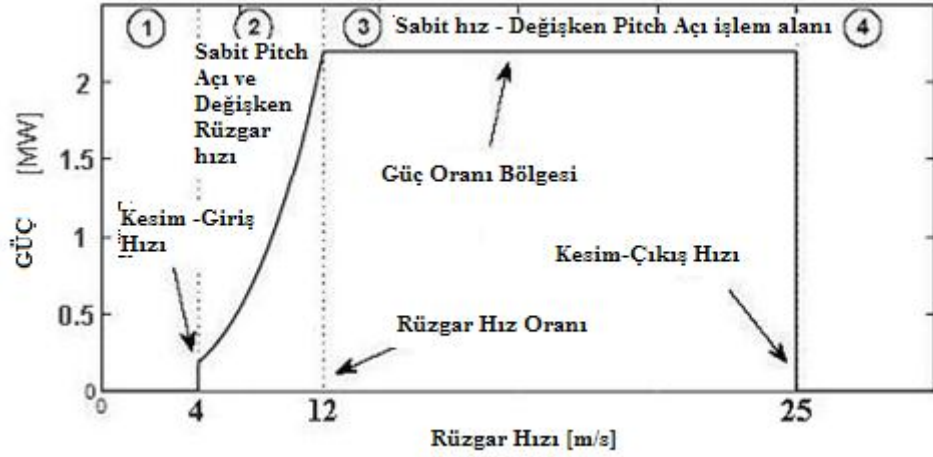
Rüzgâr enerjisi dönüştürücü sistemleri üretilen enerjiyi minimum maliyetle şebekeye verecek şekilde dizayn edilmelidir. Bu amaçla rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemleri kontrol hedefi:

1. Enerji tutma,
2. Mekanik yük,
3. Şebeke Bağlantı gereksinimleri,

olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilir.

2.4.1. Enerji Tutma

Rüzgâr tribünlerinde değişken hız ve değişken açı kontrolü Şekil 2.5 te verilen RT'ü ideal güç regülasyonuna göre yapılır.



Şekil 2.5: Rüzgâr tribünleri için ideal güç regülasyonu

RT'nünden Şekil 2.5'te verilen 4-25 m/s rüzgâr hızları arasında enerji üretilebilir. Rüzgâr hızı 12-25 m/s aralığında rüzgâr tribününden nünden maksimum güç alınır. Bu çalışmada Şekil 2.5'te verilen 3. bölge aralığında kontrol yapılmıştır. Rüzgâr tribünlerinden elde edilen güç rüzgâr hızının (v^3) küpü ile orantılıdır.

2.4.2. Mekanik Yük

Mekanik yükün fazla olması hasara ve böylelikle RT'nün ömrünün azalmasına sebep olabilir. Toplam maliyet daha kısa bir süreye yayılmış olduğundan, enerji maliyeti artacaktır. Mekanik yükler, aerodinamik torku oluşturan ortalama rüzgâr hızı ve dinamik yükler ile RT etkileşimi sürücü mekanik sistem statik yükler şeklinde ayrılabilir. Bir RT kontrol sistemine özellikle mekanik dinamik yüklerin çok güçlü etkisi vardır. Açık kontrolünü yapısal yükler etkilerse, indüksiyon generatörün kontrolünde güç aktarma organı yük yayılımını etkiler.

2.4.3. Şebeke Bağlantı Gereksinimleri

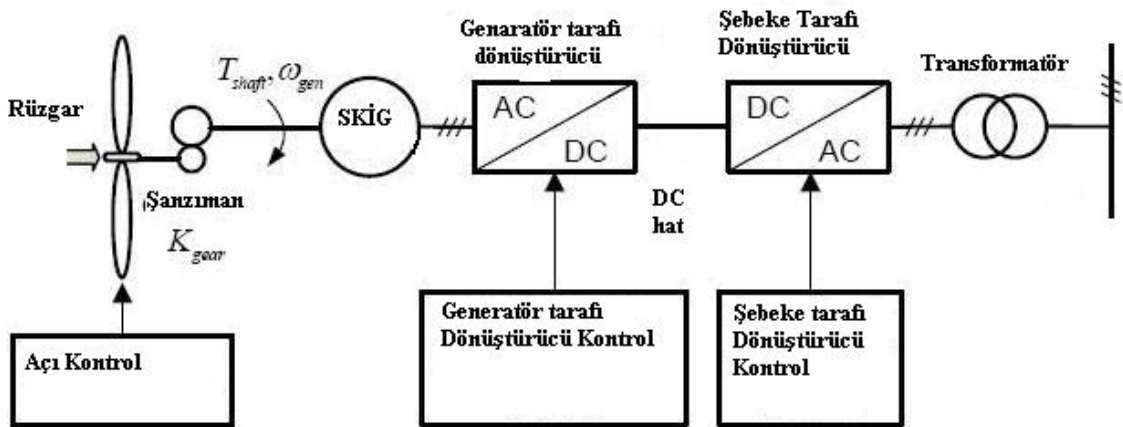
Elektrik şebekesine RT'lerinden elde edilen enerji aktarılırken sistem kararlılığını önemli ölçüde etkiler. Elektrik sistem kararlılığını sağlamak için, birçok Avrupa ülkesinde sistem operatörleri de şebeke kodları (ŞK'ları) olarak bilinen rüzgâr generatörleri için şebeke bağlantısı gereksinimleri belirlemektedir. Çok yüksek MW boyutlu REDS'leri için teknik gereksinimler; aktif ve reaktif güç kontrolü (frekans ve gerilim kontrolü), dinamik durumlara vereceği tepki hızı, güç kalitesi, alçak gerilimin

üstüne binme özelliği olarak ifade edilir. Rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemlerinin temel hedefi; alıcıların bağlı olduğu güç sisteminin kararlılığını ve güvenilirliğini sağlayarak gerekli olan enerjiyi iletmektir. Alıcıların bağlantı noktasında mümkün olduğunca gerilim ve frekans referans değeri sabit olmalıdır. Frekans çok fazla değişim gösteren değişkendir. Üretim ve tüketim arasındaki güç dengesizliği nedenleri arasında frekans değişimi önemli etkenlerdendir. Güç çıkışını etkilemeden, voltaj değişimlerini azaltmanın bir yolu reaktif güç akışını kontrol etmektir. Reaktif güç kontrolü güç elektroniğiyle mümkün hale gelmiştir. RT'lerinden oluşan santralleri güç elektroniği yardımı ile ortak bağlantı noktasından bağlama çalışmaları günümüzde popülerlik kazanmıştır.

2.5. RT KONTROL SİSTEMİ

Tam ölçekli güç dönüştürücü RT sistemlerinde çift çıkışlı indüksiyon generatörleri kullanılamaz. Çift çıkışlı indüksiyon generatörleri hattı iki koldan beslediğinden tam ölçekli güç dönüştürücülü rüzgâr tribünü sistemleri ile uyumlu değildir.

Tam ölçekli güç dönüştürücülü rüzgâr tribünü sistemlerinde SKİG'leri kolay kontrol edilebilir. Maliyetlerinin ucuz olması nedeni ile tercih edilir. Referans sistem Şekil 2.6 temsil edilir.

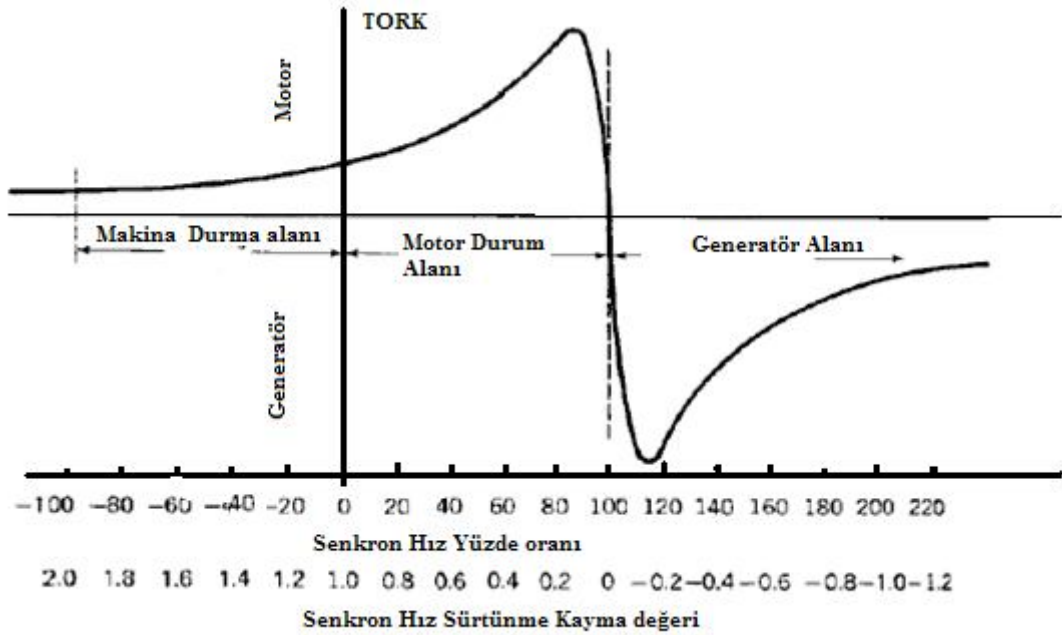


Şekil 2.6: Rüzgâr tribünü sistemi

Tam ölçekli güç dönüştürücülü sincap kafesli indüksiyon gerilimli rüzgâr tribünü referans sistemi Şekil 2.6 ile temsil edilmiştir. Burada T_{shaft} ve ω_g sırasıyla indüksiyon generatörün mekanik torkunu ve rotor dönme hızını ifade etmektedir. Endüstriyel uygulamalarda genellikle indüksiyon generatör rotor hız kontrolü dolaylı alan etkili kontrol yöntemi ile yapılır. Bu kontrol yönteminde indüksiyon makine modeli kullanılır.

İndüksiyon makine tork karakteristiği Şekil 2.7 de verilmiştir. İndüksiyon makine farklı bölgelerde çalıştırılabilir. İndüksiyon makinesini generatör olarak çalıştırmak için aşağıda belirtilen koşullar sağlanmalıdır.

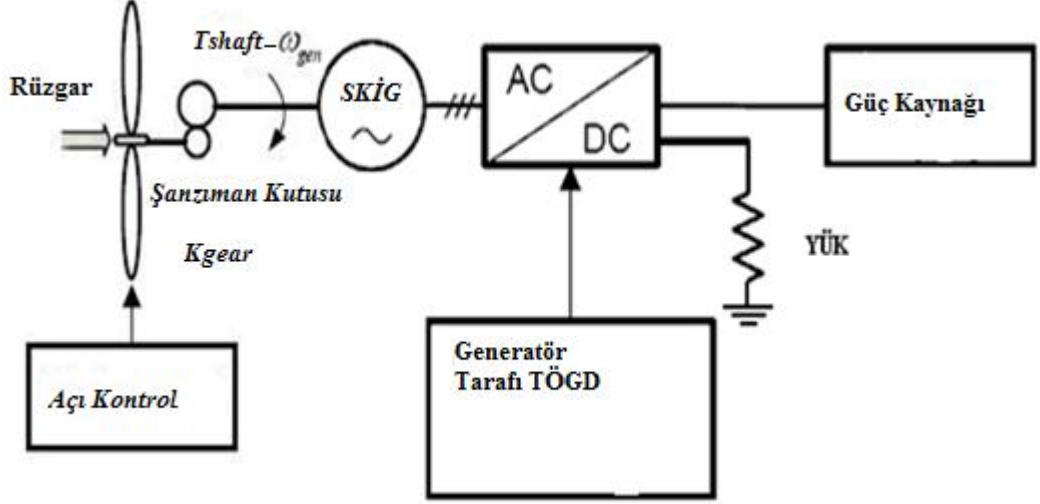
- Rotor hızı referans hız değerinden %1 kayma değerini aşmamalıdır.
- İG şebekeye direk olarak bağlandığında mıknatıslanma akımını sağlayan reaktif güç için kapasitör bağlanmalıdır. İndüksiyon generatör izole durumda reaktif güç, güç dönüştürücü (generatör tarafı dönüştürücü) tarafından üretilir.



Şekil 2.7: İndüksiyon makine tork karakteristiği

Simulinkte tasarlanan model Şekil 2.8 ideal güç ayarı Şekil 2.7 de verilen sincap kafesli indüksiyon makinesinin generatör alanı bölge aralığında alan etkili rotor hız kontrolü ile sınırlıdır. Bu rüzgâr tribün modeli; aerodinamik, aktarma organı, sincap kafesli

asenكرون generatör modeli ve back-to-back çevirici model adında dört modelden oluşmaktadır.



Şekil 2.8: Rüzgâr tribünü kontrol modeli TÖGDRT

2.5.1. Aerodinamik model

Rüzgâr enerjisi tribünün kanatları vasıtasıyla mekanik güce dönüştürülür. Mekanik güç sürücü sistem ile indüksiyon generatörünün elektrik enerjisi üretmesi için gerekli olan tork kuvvetini oluşturur.

Burada: Tribün tork T_w , rüzgâr hızı v , ortalama rüzgâr hızı aralığı $v_{min}-v_{mak}$, RT 'nün de üretilen güç P_w , kanat yarıçapı R , hava basıncı güç katsayıları C_p ve C_q , kinetik enerji E_c hava kütlesi m , yüzey alan S , mekanik güç P_m , tork T_g , hava yoğunluğu ρ , pitch açısı θ , aşağıdaki denklemlerle ifade edilir.

Kinetik enerji ifadesi denklem 2.1 ile gösterilmiştir.

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.1)$$

Burada hava kütlesi değeri denklem 2.2 ile ifade edilmiştir.

$$m = \rho S \Delta t \quad (2.2)$$

Rüzgâr gücü değeri denklem 2.3 ile verilmiştir.

$$P_w = \frac{d}{dt} E_c, P_w = \frac{1}{2} \rho S v^3 \quad (2.3)$$

Hava basıncı güç katsayısı değeri denklem 2.4 ile elde edilir.

$$C_p = \frac{P_m}{P_w}, \quad C_p < 1 \text{ dir.} \quad (2.4)$$

Tribün torku denklem 2.5 ile ifade edilmiştir.

$$T_w = \frac{1}{2} \rho \pi R^3 C_q (\lambda, \theta) v^2 \quad (2.5)$$

Tribün gücü ifadesi denklem 2.6 da verilmiştir.

$$P_m = \frac{1}{2} \rho R^2 C_p (\lambda, \theta) v^3 \quad (2.6)$$

Burada; tribün torku ile tribün gücü hava basıncı katsayıları arasında uç-hız oranı arasındaki bağıntı denklem 2.7 verilmiştir.

$$C_q = \frac{C_p}{\lambda} \quad (2.7)$$

Uç- hız oranı λ denklem 2.8 ifade edilmiştir.

$$\lambda = \frac{w_r R}{v} \quad (2.8)$$

Burada; w_r rotor hızını ifade etmektedir.

Güç katsayısı C_p aynı zamanda denklem 2.9 ki gibi ifade edilebilir.

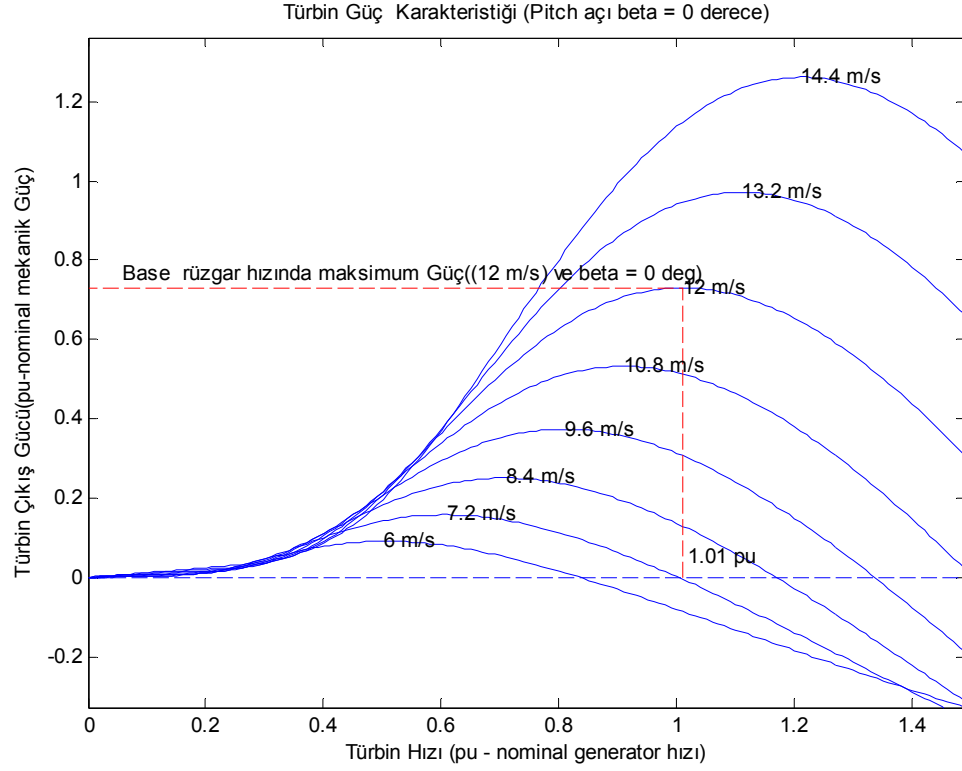
$$C_p(\lambda, \theta) = 0.22 \left(\frac{116}{\lambda_i} 0.4\theta - 5 \right) e^{-\frac{12.5}{\lambda_i}} \quad (2.9)$$

Burada; Uç hız oranı değişimi λ_i , θ açısı değişimine göre denklem 2.10 gibi ifade edilir.

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.8\theta} - \frac{0.035}{\theta^3 + 1} \quad (2.10)$$

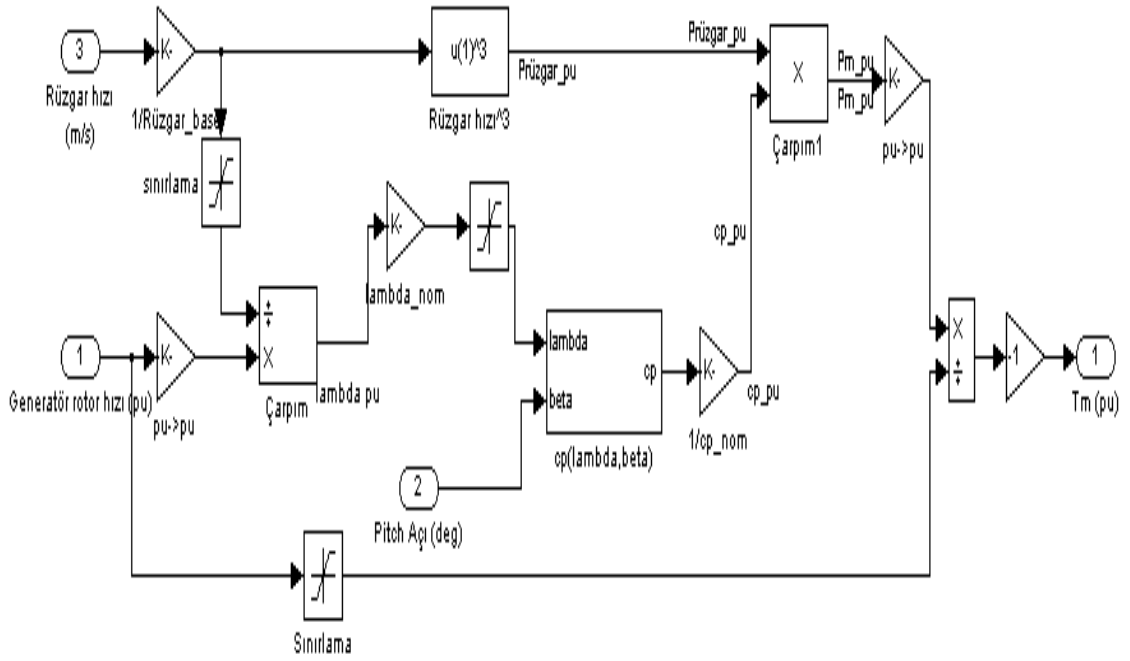
Simulink rüzgâr tribününden elde edilen Şekil 2.9 da pitch açısı = θ , tribün rotor hızı 1.01 pu değerinde iken çıkış gücünün maksimum değeri bulunur. Tasarım için bunun

bilinmesi gereklidir. Bu değer aşıldığında sistem cevap veremez duruma geçmektedir. Farklı rüzgâr hızlarında tribünden alınacak maksimum güç değerleri gözükmemektedir.



Şekil 2.9: Farklı rüzgâr hızlarında güç-hız eğrisi

Rüzgâr tribününden alınan güç rüzgâr hızına ve açısı değerine bağlı olarak değişir. Simülasyon için Matlab Simulink RT modeli kullanılmıştır. Şekil 2.10 da RT modeli görülmektedir.

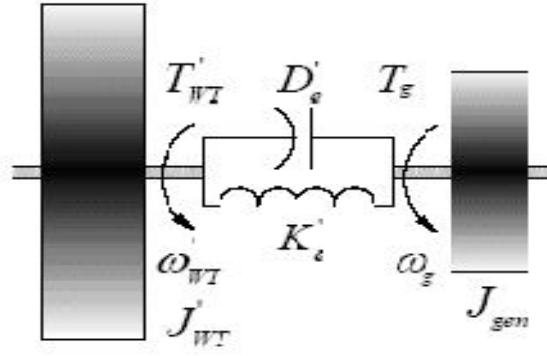


Şekil 2.10: Farklı rüzgâr hızlarında rotor hız fonksiyonuna bağlı güç-tork ifadesi

Rüzgâr modelinde blok giriş değerleri olarak rüzgâr hızı, pitch açısı ve rotor hız değerlerini alır. Bu değerler ile SKİG'ü döndüren mekanik tork kuvveti ifadesi oluşur.

2.5.2. Sürücü Model

Rüzgâr tribün sürücü modeli Şekil 2.11 de gösterilmektedir. Devir sayısı şanzıman sistemleri ile ayarlanmaktadır. Şaft sistemi bölümlere ayrılmıştır. Mil ile generatöre bağlanan sistem sonsuz sert olarak kabul edilemez. Belli bir burulma ve sönümleme katsayısına sahiptir. Rezonans frekansı 1-2 Hz belirlenir. Danimarka da yel değirmenleri için alman değer 1.67 Hz dir. Bu nedenle güç aktarımında dalgalanmalara neden olmaktadır.



Şekil 2.11: Sürücü model

Düşük mil hızlarında J'_{WT} ve J'_{gen} atalet momentleri ihmal edilebilir. RT ile üretilen tork yüksek hızlı mil ve şanzıman sistemi ile SKİG'ün rotoruna aktarılır. Yüksek mil hızlarında sistemin matematiksel modeli aşağıdaki diferansiyel denklemler ile tanımlanır.

Burada sürücü model matematiksel ifadeleri; J tribün ve generatör atalet momentini (kgm^2) J'_{WT} tribün atalet momenti, J'_{gen} generatör atalet momenti, K_{gear} şanzıman oransal kazancı, K'_e burulma katsayısını, D'_e sönümlleme faktörünü, ω'_{WT} tribün rotor hızını (rad/s), ω_g generatör rotor hızı (rad/s), T'_{WT} tribün momenti ($N.m$), T_g generatör momenti ($N.m$), ω_k burulma mil hızı, T_{shaft} shaft sonunda görülen torku ($N.m$) ifade etmektedir.

$$\omega_k = \omega_g - \omega'_{WT} K_{gear} \quad (2.11)$$

$$\omega_k = \theta_k \quad (2.12)$$

$$\omega'_{WT} = \frac{T'_{WT} - T_{shaft}}{J'_{WT}} \quad (2.13)$$

$$T_{shaft} = D'_e (\omega_g - \omega'_{WT} K_{gear}) + K'_e \theta_k \quad (2.14)$$

Şaft sonunda görülen tork denklem 2.15 ifade edilmiştir.

$$T_{shaft} = T'_{WT} + J'_{WT} \frac{d\omega'_{WT}}{dt} \quad (2.15)$$

Jeneratör sonunda görülen tork denklem 2.16 ile gösterilmiştir.

$$T_{shaft} = T_g + J'_{gen} \frac{d\omega_g}{dt} \quad (2.16)$$

Milin burulması, mil burulma direnci denklem 2.17 de K_{shaft} 'a bağlıdır.

$$(\theta_g - \theta_{WT}) = \frac{T_{shaft}}{K_{shaft}} \quad (2.17)$$

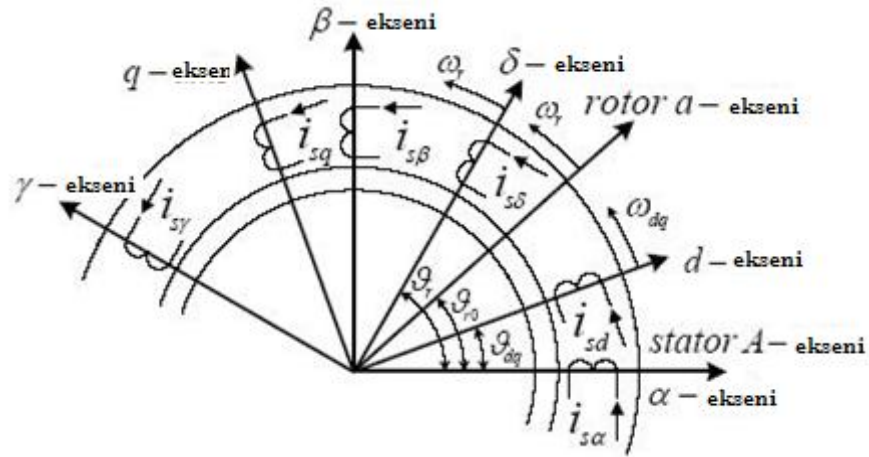
Generatör hızı ile generatör torku arasındaki transfer fonksiyonu denklem 2.18 de gösterilmiştir.

$$H(s) = \frac{\omega_g(s)}{T_g(s)} = \frac{Kg s^2 + Kt.K_{shaft}}{s^3 + (Kg.K_{shaft} + Kt.K_{shaft})s} \quad (2.18)$$

Transfer fonksiyonunda kullanılan katsayılar Kt ve Kg sırasıyla $\frac{1}{J'_{WT}}$ ve $\frac{1}{J'_{gen}}$ alınmıştır.

2.5.3. İndüksiyon Makine Model

Bu bölümde dq referans çerçevesinde indüksiyon makine modeli elde edilmiştir. Önce $\alpha\beta$ sabit referans çerçevesinde denklemler elde edilir. Rotor α eksenini, stator α eksenini ile uyumludur.



Şekil 2.12: Stator $\alpha\beta$ ve dq eşdeğer sargılar

İndüksiyon makine uzay vektör referans modeli denklemleri aşağıda belirtilmiştir.

$$V'_{s\alpha\beta} = R_s \dot{I}'_{s\alpha\beta} + \frac{d\lambda'_{s\alpha\beta}}{dt} \quad (2.19)$$

α eksenine göre, stator akımı $\dot{I}'_{s\alpha\beta}$, stator gerilimi $V'_{s\alpha\beta}$, stator akı bağlantısı $\lambda'_{s\alpha\beta}$ uzay vektörleri dönen dq referans çerçevesi aşağıdaki gibi temsil edilir.

$$V'_{s\alpha\beta} = V'_{sdq} \cdot e^{j\theta_{dq}} \quad (2.20)$$

$$\dot{I}'_{s\alpha\beta} = \dot{I}'_{sdq} \cdot e^{j\theta_{dq}} \quad (2.21)$$

$$\lambda'_{s\alpha\beta} = \lambda'_{sdq} \cdot e^{j\theta_{dq}} \quad (2.22)$$

Burada θ_{dq} stator α eksenine ve d eksenini arasındaki açıdır.

$$V'_{sdq} \cdot e^{j\theta_{dq}} = R_s \dot{I}'_{sdq} \cdot e^{j\theta_{dq}} + \frac{d\lambda'_{sdq}}{dt} \cdot e^{j\theta_{dq}} \quad (2.23)$$

$$V'_{sdq} = R_s \dot{I}'_{sdq} + \frac{d\lambda'_{sdq}}{dt} + J\omega_{dq} \lambda'_{sdq} \quad (2.24)$$

Benzer bir yaklaşım kullanılarak $\delta\gamma$ referans çerçevesinde w_r dönen rotor gerilim denklemleri elde edilebilir.

$$V'_{r\delta\gamma} = 0 = R_r \dot{I}'_{r\delta\gamma} + \frac{d\lambda'_{r\delta\gamma}}{dt} \quad (2.25)$$

Rotor kısa devre olduğundan, $V'_{r\delta\gamma} = 0$ indüksiyon makine modeli elde etmek için stator ve rotor değişkenlerini aynı referans çerçevesinde temsil etmek gerekir. Burada θ_r , δ eksenine ile α eksenini arasında ki açıdır. Bu verilerden yararlanarak akı ve akım denklemleri aşağıdaki gibi yazılır.

$$\lambda'_{r\delta\gamma} = \lambda'_{s\alpha\beta} \cdot e^{-j\theta_r} \quad (2.26)$$

$$\dot{I}'_{r\delta\gamma} = \dot{I}'_{s\alpha\beta} \cdot e^{-j\theta_r} \quad (2.27)$$

Denklem 2.26 ve 2.27 denklem 2.25 te yerine konular $e^{j\theta_r}$ rotor gerilimi ile çarpılarak $\alpha\beta$ referans çerçeve denklemi elde edilir.

$$V'_{r\alpha\beta} = 0 = R_r \dot{I}'_{r\alpha\beta} + \frac{d\lambda'_{r\alpha\beta}}{dt} - J\omega_r \lambda'_{r\alpha\beta} \quad (2.28)$$

α eksenine göre akım, gerilim ve akı bağıntıları rotor alan vektörleri dönen dq referans çerçevesi aşağıdaki denklemlerle ifade edilir.

$$V'_{r\alpha\beta} = V'_{rdq} \cdot e^{j\theta_{dq}} \quad (2.29)$$

$$\dot{I}'_{r\alpha\beta} = \dot{I}'_{rdq} \cdot e^{j\theta_{dq}} \quad (2.30)$$

$$\lambda'_{r\alpha\beta} = \lambda'_{rdq} \cdot e^{j\theta_{dq}} \quad (2.31)$$

Burada θ_{dq} stator α – eksen ve d – eksen arasındaki açıdır. Denklem 2.29, 2.30, 2.31 ifadeleri denklem 2.28 te yerine konular ve aşağıdaki denklem elde edilir.

$$V'_{rdq} \cdot e^{j\theta_{dq}} = R_r \dot{I}'_{rdq} \cdot e^{j\theta_{dq}} + \frac{d\lambda'_{rdq}}{dt} \cdot e^{j\theta_{dq}} - J\omega_r \lambda'_{rdq} \cdot e^{j\theta_{dq}} \quad (2.32)$$

Buradan;

$$V'_{rdq} = 0 = R_r \dot{I}'_{rdq} + \frac{d\lambda'_{rdq}}{dt} - J(\omega_r - \omega_{rdq})\lambda'_{rdq} \quad (2.33)$$

Denklem 2.28 ve 2.33 ifadelerinden stator akımı \dot{I}'_{sdq} değeri rotor bağlantı akısı λ'_{rdq} ile ifade edilirse:

$$V'_{sdq} = R_s \dot{I}'_{sdq} + \sigma L_s \frac{d\dot{I}'_{sdq}}{dt} + J\omega_{dq} \dot{I}'_{sdq} \sigma L_s + \frac{L_M}{L_r} \frac{d\lambda'_{rdq}}{dt} + J\omega_{dq} \frac{L_M}{L_r} \lambda'_{rdq} \quad (2.34)$$

$$0 = -\sigma_r L_M \dot{I}'_{sdq} + \sigma_r \lambda'_{rdq} + \frac{d\lambda'_{rdq}}{dt} + J(\omega_{dq} - \omega_r)\lambda'_{sdq} \quad (2.35)$$

Rotor akısı denklem 2.36 ile ifade edilir.

$$\lambda'_{rdq} = L_r \dot{I}'_{rdq} + L_M \dot{I}'_{sdq} \quad (2.36)$$

Burada:

L_r : Rotor endüktansını,

L_M : Karşılıklı endüktansı,

L_s : Stator endüktansını,

R_r : Rotor direncini,

T_r : Rotor zaman sabitini, ifade etmektedir.

Dağılım faktörü ifadesi denklem 2.37 ile gösterilmiştir.

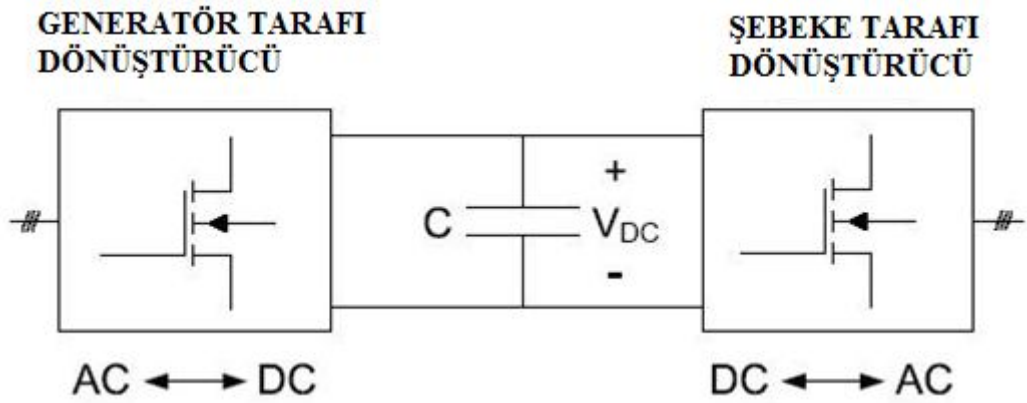
$$\sigma = 1 - \frac{L_M^2}{L_r L_s} \quad (2.37)$$

Rotor dağılım faktörü denklem 2.38 de ifade edilmiştir.

$$\sigma_r = \frac{R_r}{L_r} = \frac{1}{T_r} \quad (2.38)$$

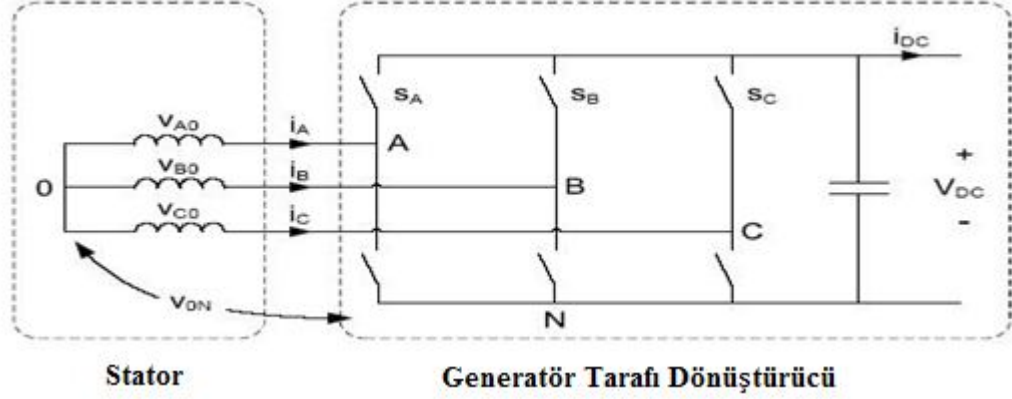
2.5.4. Back-to Back Dönüştürücü

Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi back-to back dönüştürücüler iki adet dönüştürücü ve bu iki dönüştürücünün arasına bağlı bir kondansatörden oluşmaktadır. Bu sayede; generatörden elde edilen elektrik akımı doğrultulur, reaktif güç yükü ortadan kalkar.



Şekil 2.13: Back-to back dönüştürücü

Yıldız bağlı generatörün çıkış gerilimleri V_{AO} , V_{BO} , V_{CO} aşağıdaki şekilde gösterilmiş ve Generatör tarafı dönüştürücü gerilimleri V_{AN} , V_{BN} , V_{CN} faz-nötür gerilimleri şekilde verilmiş ve denklemlerle ifade edilmiştir.



Şekil 2.14: Stator ve dönüştürücü akım ve gerilimleri

Stator gerilimi denklemleri 2.39-2.41 de verilmiştir.

$$V_{AO} = V_{AN} - V_{ON} = S_A V_{DC} - V_{ON} = \frac{V_{DC}}{3} (2 S_A - S_B - S_C) \quad (2.39)$$

$$V_{BO} = V_{BN} - V_{ON} = S_B V_{DC} - V_{ON} = \frac{V_{DC}}{3} (S_A - 2 S_B - S_C) \quad (2.40)$$

$$V_{CO} = V_{CN} - V_{ON} = S_C V_{DC} - V_{ON} = \frac{V_{DC}}{3} (S_A - S_B - 2 S_C) \quad (2.41)$$

Burada V_{ON} tanımlanırsa:

$$V_{ON} = \frac{1}{3}(V_{AN} + V_{BN} + V_{CN}) = \frac{V_{DC}}{3} (S_A + S_B + S_C) \quad (2.41)$$

Çıkış DC akımı denklem 2.43 belirtilmiştir.

$$I_{DC} = [S_A \ S_B \ S_C] \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} \quad (2.43)$$

Matris formu ile ortalama gerilim değerleri aşağıdaki gibi denklem 2.44 ifade edilebilir.

$$\begin{bmatrix} V_{AO} \\ V_{BO} \\ V_{CO} \end{bmatrix} = V_{DC} \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & \frac{-1}{3} & \frac{-1}{3} \\ \frac{-1}{3} & \frac{2}{3} & \frac{-1}{3} \\ \frac{-1}{3} & \frac{-1}{3} & \frac{2}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_A \\ S_B \\ S_C \end{bmatrix} \quad (2.44)$$

2.6. KONTROL MODELİ

2.6.1. Akım Modeli

DAEK kavramını kullanabilmek için, geçerli bir tahmin modeline ihtiyaç vardır. Geçerli tahmin modeli ya $\alpha\beta$ sabit referans çerçevesine veya dq dönen referans çerçeve içinde temsil edilebilir. Rotor eksenine uyumlu bir dq dönen referans çerçevesi dikkate alındığında sistemin matematik modeli aşağıdaki denklemler ile ifade edilir.

$$\dot{i}_{sdq} = \frac{\lambda'_{rdq}}{L_M} (1 + s \cdot T_r) \quad (2.45)$$

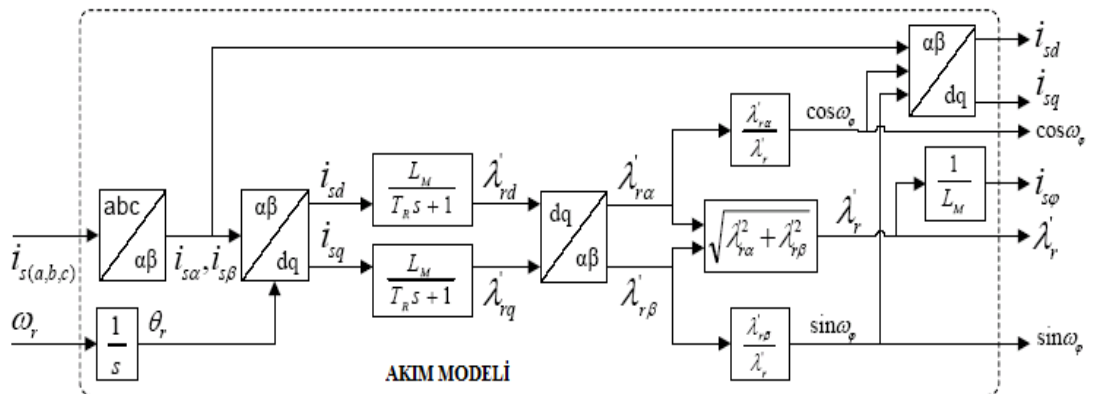
Stator akımları uzay vektörü $\dot{I}_{(a,b,c)}$ akımları ile Park dönüşümleri yapılabilir. ($i \rightarrow \alpha\beta$) ve ($\alpha\beta \rightarrow dq$) dönüşümleri park abc vasıtasıyla dq eksenine aktırılır.

Daha önceki eşitlikler kullanılarak λ'_{rd} ve λ'_{rq} rotor akı bileşenleri hesaplanır. Ters park dönüşümü ile $\lambda'_{r\alpha}$ ve $\lambda'_{r\beta}$ akı değerleri hesaplanır. λ'_r büyüklüğü hesaplanır.

$\cos\omega_\varphi = \lambda'_{r\alpha}/\lambda'_r$ ve $\sin\omega_\varphi = \lambda'_{r\beta}/\lambda'_r$ hesaplanır.

$\dot{i}_{s\varphi} = \frac{\lambda'_r}{L_M}$ hesaplanır.

Rotor akı frekansı ω_φ kayma kompanzasyon denklemi vasıtasıyla hesaplanır. Mevcut modelin blok şeması dq referans çerçeve içinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 2.15: Akım modeli rotor akı tahmin blok şeması

2.6.2. Dolaylı Alan Etkili Kontrol Modeli (DAEK)

İndüksiyon makine modeli stator akımları baz alınarak d ve q eksenli denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$V'_{sdq} = R_s \dot{i}'_{sdq} + \sigma L_s \frac{di'_{sdq}}{dt} + J\omega_{dq} \sigma L_s \dot{i}'_{sdq} + \frac{L_M}{L_R} \frac{d\lambda'_{rdq}}{dt} + J\omega_{dq} \frac{L_M}{L_R} \lambda'_{rdq} \quad (2.46)$$

$$0 = -\sigma_r L_M \dot{i}'_{sdq} + \sigma_r \lambda'_{rdq} + \frac{d\lambda'_{rdq}}{dt} + J(\omega_{dq} - \omega_r) \lambda'_{sdq} \quad (2.47)$$

Rotor akısı değeri denklem 2.48 ile ifade edilmiştir.

$$\lambda'_{rdq} = L_r \dot{i}'_{rdq} + L_M \dot{i}'_{sdq} \quad (2.48)$$

Alan etkili kontrol d eksenli uzay vektörü rotor manyetik akı λ'_{rdq} hizalanmıştır. dq referans çerçevesi içinde rotor manyetik akıları $\lambda'_{rdq} = \lambda'_r$ ve $\omega_{dq} = \omega_\varphi$ alınabilir.

d bileşeni rotor gerilimi;

$$0 = -\sigma_r L_{rM} \dot{i}'_{sd} + \sigma_r \lambda'_r + s \lambda'_r \quad (2.49)$$

q bileşeni rotor gerilimi;

$$0 = -\sigma_r L_{rM} \dot{i}'_{sq} + \omega_\varphi \lambda'_r + \omega_r \lambda'_r \quad (2.50)$$

d bileşeni stator gerilimi;

$$V'_{sd} = R_s \dot{i}'_{sd} + \sigma L_s S \dot{i}'_{sd} - \omega_\varphi \sigma L_s \dot{i}'_{sq} + \frac{L_M}{L_R} S \lambda'_r \quad (2.51)$$

q bileşeni stator gerilimi;

$$V'_{sq} = R_s \dot{i}'_{sq} + \sigma L_s S \dot{i}'_{sq} - \omega_\varphi \sigma L_s \dot{i}'_{sd} + \omega_\varphi \frac{L_M}{L_R} \lambda'_r \quad (2.52)$$

Akım değeri: $\dot{i}'_\varphi = \frac{\lambda'_r}{L_M}$ alınır.

Stator akımlarını oluşturduğu rotor akısı λ'_r aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\lambda'_r = \frac{\sigma_r L_M}{\sigma_r + s} \dot{i}'_{sd} = \frac{L_M}{1 + T_r s} \dot{i}'_{sd} \quad (2.53)$$

Rotor akısından açısal hız elde edilebilir.

$$\omega_{\varphi} = \omega_r \frac{\sigma_r L_M}{\lambda'_r} \dot{I}_{sq} \quad (2.54)$$

Rotor akı hızından rotor elektrik kayma açısı değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$S\omega_r = \frac{\sigma_r L_M}{\lambda'_r} \dot{I}_{sq} \quad (2.55)$$

Bu dolaylı alan etkili kontrol yöntemi denklemleri ana özelliğidir. Denklem 2.51 değeri denklem 2.53'te yerine yazılırsa, denklem 2.56 elde edilir.

$$V'_{sd} + \omega_{\varphi} \sigma L_s \dot{I}'_{sd} = (1 + \sigma T_s' \dot{I}_{sq} + (\sigma - 1) T_s \frac{S}{1+T_s}) R_s \dot{I}_{sd} \quad (2.56)$$

Burada $T_s = L_s / R_s$ stator zaman sabitidir. d eksenini boyunca transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\dot{I}_{sd} = \frac{1}{R_s T_s T_r \sigma S^2 + (\sigma T_s + T_r) S + 1} (V'_{sd} + \omega_{\varphi} \sigma L_s \dot{I}'_{sq}) \quad (2.57)$$

Denklemler 2.52 değeri 2.54 de yerine yazılırsa:

$$V'_{sq} + \omega_{\varphi} \sigma L_s (\dot{I}_{sd} - \dot{I}_{sq}) - \omega_r \frac{L_s}{L_M} \lambda'_r = \frac{R_s (T_s T_r)}{T_r} (1 + \sigma \frac{T_s T_s S}{T_r}) \dot{I}_{sq} \quad (2.58)$$

Eşdeğer zaman sabiti değeri denklem 2.59 gibi belirtilir.

$$T_a = \sigma \frac{T_s T_r}{T_s + T_r} \quad (2.59)$$

Eşdeğer direnç değeri denklem 2.60 ile ifade edilmiştir.

$$R_a = \frac{R_s (T_s T_r)}{T_s + T_r} \quad (2.60)$$

Yukarıda verilen denklemlere bağlı olarak aşağıda ki denklemler yazılabilir.

$$V'_{sq} + \omega_{\varphi} \sigma L_s (\dot{I}_{sd} - \dot{I}_{sq}) - \omega_r \frac{L_s}{L_M} \lambda'_r = R_a (1 + T_a S) \dot{I}_{sq} \quad (2.61)$$

$$\dot{I}_{sd} = \frac{1}{R_a (1 + T_a S)} (V'_{sq} + \omega_{\varphi} \sigma L_s (\dot{I}_{sd} - \dot{I}_{sq}) - \omega_r \frac{L_s}{L_M} \lambda'_r) \quad (2.62)$$

$$P(t) = R_a \left(\frac{3}{2} R_s \dot{i}'_{s\alpha\beta} i'^*_{s\alpha\beta} + \frac{3}{2} \sigma L_s \frac{d i'_{s\alpha\beta}}{dt} i'^*_{s\alpha\beta} + \frac{3 L_M}{2 L_r} \frac{d \lambda'_{r\alpha\beta}}{dt} i'^*_{s\alpha\beta} \right) \quad (2.68)$$

Mekanik güç aşağıdaki gibi ω_r rotor hızı içeren denklem halinde yazılabilir.

$$P_m = R_a \left(\frac{3 L_M}{2 L_r} \frac{d \lambda'_{r\alpha\beta}}{dt} i'^*_{s\alpha\beta} \right) = R_a \left(\frac{3 L_M}{2 L_r} J \omega_r \lambda'_{r\alpha\beta} i'^*_{s\alpha\beta} \right) \quad (2.69)$$

dq referans çerçeve dikkate alınarak $\lambda'_{r\alpha\beta} = \lambda'_{rdq} e^{j\theta_{dq}}$ ve $i'^*_{s\alpha\beta} = i'^*_{sdq} e^{j\theta_{dq}}$ şeklinde yazılabilir.

$$P_m = R_a \left(\frac{3 L_M}{2 L_r} J \omega_r \lambda'_{rdq} i'^*_{sdq} \right) = R_a \left(\left(\frac{3 L_M}{2 L_r} J \omega_r \right) (\lambda'_{rd} + j \lambda'_{rq}) (i'^*_{sd} - i'^*_{sq}) \right) \quad (2.70)$$

$$P_m = \frac{3 L_M}{2 L_r} \omega_r \lambda'_{rd} i_{sq} \quad (2.71)$$

$\lambda'_{rq} = 0$ alınarak elektromanyetik tork değeri aşağıdaki gibi yazılabilir.

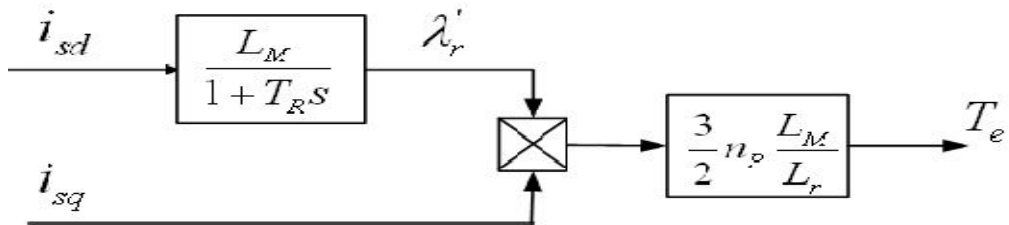
$$P_m = \frac{3 \omega_r}{2 p} T_m \quad (2.72)$$

Burada p çift kutup sayısıdır.

$$T_m = \frac{2}{3} p \frac{L_M}{L_r} \lambda_r i_{sq} \quad (2.73)$$

Denklem 2.55 ve 2.74 ile Şekil 2.13 ifadesi kurulur. Elektromanyetik tork i_{sq} ve \dot{I}_{sd} akımlarıyla kontrol edilir. Rotor bağlantı manyetik akı λ'_r değeri \dot{I}_{sd} stator d eksenli akımı ile değişir.

Elektromanyetik tork kontrolü aşağıdaki gibi temsil edilir.



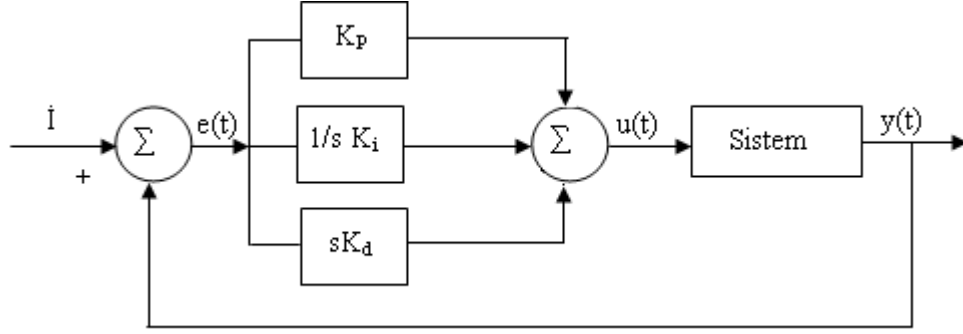
Şekil 2.17: Rotor akısı ve q eksenli stator akımı açısından tork

Rotor manyetik akısı λ'_r değeri \dot{I}_{sd} akımı ile rotor zaman sabiti T_r değerine göre değişir. Bu değişim rotor hızının, nominal rotor hızı $\omega_r \leq \omega_{rn}$ değeri ile sınırlıdır. Bu değerden sonra tork değişimi q – ekseni sıtator akımı i_{sq} ile istenen değere ayarlanır. İndüksiyon makinesi generatör olarak çalıştırıldığında manyetik akı $1/\omega_r$ oranında azalır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. PID KONTROL

PID kontrolün kapalı döngü blok diyagramı Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1: Kapalı döngü PID kontrol blok diyagramı

Şekil 3.1’de $e(t)$ sistemin hata sinyalini, I istenilen referans giriş değeri, $y(t)$ ise gerçek çıkış değeridir. $e(t)$ hata sinyali PID kontrolöre gönderilir. PID kontrolör çıkışı $u(t)$ denklem 3.1’de gösterilmektedir (İnternet 1, Erişim: 15 Ağustos 2011).

$$u = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3.1)$$

$u(t)$ sinyali sisteme gönderilerek çıkış sinyali $y(t)$ elde edilir. Çıkış sinyali tekrar referans sinyali ile toplanır. Sistem bu şekilde sürekli olarak devam eder. K_p , K_i ve K_d kontrolörlerinin her birinin etkisi kapalı döngü bir sistemde Çizelge 3.1’deki gibi gösterilebilir (İnternet 1, Erişim:15 Ağustos 2011).

PID kontrol günümüzde en çok kullanılan bir kontrol yöntemi olup endüstrideki uygulamaların %75’inde kullanılmaktadır. Çok geniş bir kullanım alanına sahip olmasına rağmen PID uygulamaları için standart bir tanımlama bulunmamaktadır (Kuşçu, Erişim:15 Ağustos 2011).

3.1.1. PID Denetleyicilerin Karakteristikleri

- Bir oransal denetleyici (K_p), yükselme zamanını azaltmada etkili olur ancak kalıcı durum hatasını hiçbir zaman ortadan kaldıramaz.
- Bir integral denetleyici (K_i), kalıcı durum hatasını ortadan kaldırmada etkili olur ama geçici cevabı daha kötü yapabilir.
- Bir türevsel denetleyici (K_d), sistem kararlılığının artmasında, aşmanın azalmasında ve geçici cevabın düzelmesinde etkili olur.
- Her bir denetleyicinin (K_p, K_i, K_d) kapalı döngülü bir sisteme etkisi, aşağıdaki Çizelge 3.1'deki gibi özetlenebilir (İnternet 1, Erişim:15 Ağustos 2011).

Çizelge 3. 1: K_p , K_i ve K_d kontrolörlerinin kapalı çevrim sisteme etkisi

Kapalı Çevrim Cevabı	Artış Zamanı	Aşım	Oturma Zamanı	Kararlı Hal Hatası
K_p	Azalır	Artar	Az değişir	Azalır
K_i	Azalır	Artar	Artar	Elenir
K_d	Az değişir	Azalır	Azalır	Az değişir

K_p, K_i, K_d kontrol katsayıları birbirine bağımlı olduğundan bu bağıntılar tahminsel olarak ifade edilir. Birindeki değişim diğer ikisini de etkilediğinden çok küçük değişimler sistem kararlılığını etkilemektedir. Bu nedenle K_p, K_i, K_d değerleri Çizelge 3.1'deki gibi ifade edilir.

Karl Astrom'a göre PID kontrolörün ifadesi denklem 3.2 ve 3.3'de verilmektedir (Kuşçu, Erişim: 15 Ağustos 2011).

$$u(t) = K \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (3.2)$$

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (3.3)$$

Denklem 3.2 biraz daha basitleştirilirse denklem 3.4 elde edilir (Kuşçu, Erişim: 15 Ağustos 2011).

$$u(t) = P(t) + I(t) + D(t) \quad (3.4)$$

$$P_s = K_{p_s} S(t), \quad I_s = K_{i_s} \int_0^t S(\tau) d\tau, \quad D_s = K_{d_s} \frac{dS(t)}{dt} \quad (3.5)$$

Örnekleme zamanı T ile ayrık zamanlı sistemde PID kontrol ifadesi denklem 3.6 ve 3.7 de ki gibi ifade edilir (GWALTNEY ve diğ, Erişim:15Ağustos 2011).

$$u(k) = K_p e(k) + \frac{T}{K_i} S(k) + K_d \frac{e(k) - e(k-1)}{T} \quad (3.6)$$

Burada:

$$S(k) = S(k-1) + \frac{T}{2} [e(k) + e(k-1)] \text{dir.} \quad (3.7)$$

Bu fonksiyonun Z dönüşüm PID kontrol ifadesi denklem 3.8, 3.9 ve 3.10 da verilmiştir (GWALTNEY ve diğ, Erişim:15Ağustos 2011).

$$D(z) = K_p + \frac{K_i T}{2} \left(\frac{z+1}{z-1} \right) + \frac{K_d}{T} \left(\frac{z-1}{z} \right) \quad (3.8)$$

$$D(z) = \frac{(K_p + K_i T/2 + K_d/T) + (-K_p + K_i T/2 - 2K_d/T)Z^{-1} + K_d/TZ^{-2}}{1 - Z^{-1}} \quad (3.9)$$

$$D(z) = \frac{a_0 + a_1 Z^{-1} + a_2 Z^{-2}}{1 + b_1 Z^{-1} + b_2 Z^{-2}} \quad (3.10)$$

$$a_0 = K_p + K_i T/2 + K_d/T$$

$$a_1 = -K_p + K_i T/2 - 2K_d/T$$

$$a_2 = K_d/TZ^{-2}$$

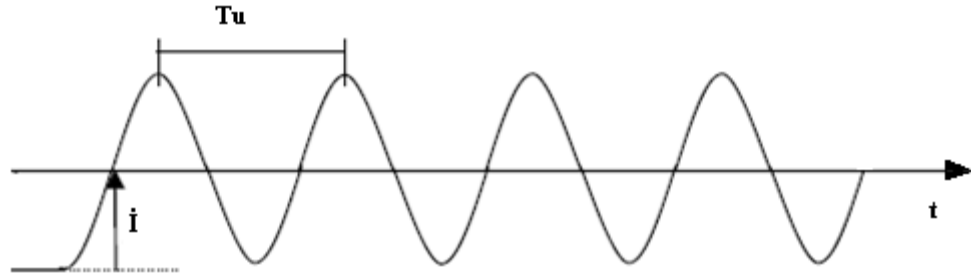
$$b_0 = 1$$

$$b_1 = -1$$

$$b_2 = 0$$

Ziegler Nichols'a göre ise PID kontrolörün K_p , K_i ve K_D parametreleri sistemin açık ve kapalı çevrim durumu göz önünde bulundurularak ayarlanabilir. Bu çalışmada kapalı çevrim Ziegler Nichols metodu kullanarak PID kontrolör parametreleri bulunmuştur.

Kapalı çevrim Ziegler Nichols metodunda öncelikle integral ve türev etkisi iptal edilerek oransal kazanç değeri P sistem osilasyona girene kadar artırılır. Osilasyon anındaki P kazanç değeri \dot{I} noktasına ulaştığı andaki kazanç değeri osilasyon kazancı K_u diye tanımlanır. Sistemin osilasyon anındaki iki tepe değeri arasındaki değer okunmakta (periyot değeri) ve T_u olarak isimlendirilir (Duman,2011). Şekil 3.2 de görülmektedir.



Şekil 3.2: Kapalı çevrim Ziegler-Nichols metodu osilasyon çıkış sinyali

Çizelge 3.2’de Ziegler Nichols metoduna göre P, PI ve PID kontrolör parametrelerinin belirlenmesi gösterilmektedir (Kuşçu, Erişim:15 Ağustos 2011).

Çizelge 3. 2: Ziegler Nichols metodu (Kuşçu, Erişim:15 Ağustos 2011)

Denetleyici	K_p	T_i	T_d
P	$K_u/2$		
PI	$K_u/2.2$	$T_u/1.2$	
PID	$K_u/1.7$	$2/T_u$	$T_u/8$

3.2. GENETİK ALGORİTMA (GA)

Günümüzde problemlerin giderek karmaşık hale gelmesi ile hızlı ve kolay bir şekilde çözüm elde edebilmek için yeni çözüm yöntemleri arayışına gidilmiştir. Özellikle sert optimizasyon tekniklerinin kullanımı giderek azalmış olup, yumuşak hesaplama ve evrimsel algoritma kullanımı karmaşık problemlerin çözümünde ön plana çıkmıştır. Evrimsel yaklaşımlardan biri olan ve kalıtım, seçim, çaprazlama, mutasyon gibi terimlerin optimizasyon problemlerine uyarlanması ile genetik algoritmalar oluşmuştur. Genetik algoritmalar ile iyi sonuçlar elde edilmesi ile problem çözüm yöntemleri içinde giderek önemli bir yer tutmaya başlamıştır. Uygulama başarıları artan ve araştırmacılar tarafından sürekli geliştirilmeye çalışılan genetik algoritmalar diğer sezgisel yöntemler ile birlikte kullanılarak hibrid çözümlerin geliştirilmesine çalışılmaktadır (Emel ve Taşkın, 2002).

GA en iyinin yaşaması ve doğal seçim mekanizmalarına dayalı arama yöntemi olup optimizasyon işlemlerinin yapıldığı evrimsel algoritma olarak adlandırılabilir. GA'nın ilkeleri 1975'te Michigan Üniversitesinde öğretim üyesi olan John Holland tarafından ilk olarak doğal ve yapay sistemlerde adaptasyon isimli teorik çalışmasıyla gösterilmiştir (Abido ve Abdel-Magid, 1998). 1980'lerin ortalarına kadar teorik olarak değerlendirilen GA, Holland'ın öğrencisi olan inşaat mühendisi 1989 da konusunda bir klasik olarak değerlendirilen kitabını yayımlayana dek pratikte kullanımının mümkün olmadığı varsayılıyordu. David Goldberg bu metodu gaz boru hatlarının iletim ve kontrolü üzerine hazırladığı doktora çalışmasındaki problemin çözümünde kullanarak algoritmanın pratikte de kullanılabileceğini ispatlamıştır (Tabakoğlu, 2009).

GA doğada geçerli olan şartlara göre en iyinin yaşaması prensibine dayanarak sürekli iyileşen çözümler üretirken kötü çözümlerinde elenmesini sağlar. Doğada güçlü olan hayatta kalır mantığı GA'da da geçerli olmaktadır. Bu yöntem sayılar üzerinde uygulanırken dikkat edilmesi gereken nokta hangi çözümün daha iyi olduğunu belirlenebilmesidir. Doğada meydana gelen evrimsel olaylar kalıtım, seçim, çaprazlama, mutasyon burada modellenerek GA operatörleri adı altında en iyi bulunmaya çalışılır. GA'nın bir diğer önemli özelliği de tek bir çözüm ile uğraşmayıp bir grup çözümle uğraşmasıdır. Bu sayede çok sayıda elde edilen çözüm içinden iyiler seçilip kötüler

elenmektedir. GA da olayların tamamıyla rastlantısal olarak gerçekleşmektedir.. Bu durum bütünüyle olasılığa bağlı olduğu için en iyi çözümün seçilmesi hiçbir zaman garanti altında değildir. Buda GA'nın başarısındaki sır olarak tanımlanabilmektedir. Doğada da olduğu gibi her zaman güçlülerin hayatta kalmayıp güçsüzlerinde hayatta kalması gereklidir (Alkanoğlu, 2007).

Kromozomlar, molekül yapıları çok iyi bilinen DNA (dezoksiribonükleik asit) zinciri ile "histon" denilen protein zincirinden oluşur. DNA zincirleri de özgül proteinleri sentezlemekle görevli "gen" adı verilen birimlerden oluşur. İnsanın kromozom sayısı ise 46'dır. 22'si çift otozom kromozomdur. İnsan hücresinde 1 çift de eşeysel kromozom bulunur ve toplam sayı 46 eder. Kromozomlar canlının tüm özelliklerini taşıdıklarından birey olarak ta adlandırılmaktadır.

Genellikle, değişkenler için "0" ve "1" lerden oluşan uzun diziler kullanılmaktayken son zamanlarda araştırmacılar değişkenleri gerçek değerlerle kodlayarak GA'nın diğer kodlama yöntemlerine nazaran daha iyi ve daha kısa zamanda çözüme ulaşabileceğini göstermişlerdir. GA ile çözümde genotip ve fenotip kavramı kullanılır. Genotip kromozomun iç yapısını oluşturan genleri "0" ve "1" ile ikili sayı sistemi ile ifade edilir. Fenotip ise kromozomun ikilik sayı sisteminden onluk sayı sisteminde karşılığını (dış görünüşünü) temsil etmektedir. Öncelikle, kullanıcı tarafından belirlenen kodlama yöntemine göre değişkenler belirlenen sınır değerleri arasında bir popülasyon oluşturularak bir çözüm uzayı meydana getirilir. Bu çözüm uzayında en kötü elemanlar popülasyondan atılır ve kullanılan seçim operatörüne göre seçilen bireyler çaprazlanarak daha iyiye gidecek çözümler elde edilir. Ayrıca, mutasyon oranına bağlı olarak belirlenen bireyler mutasyon işlemine tabi tutularak değişime uğratılır. Gerçek hayatta da bu şekilde bir adaptasyon çok güçlü bir organizma meydana getirir. Bu işlem nesiller boyu en iyi genlerin bir sonraki nesle aktarılması ile devam eder (Bolat, 2007).

Sezgisel bir arama yöntemi olan GA'lar başlangıçta doğrusal olmayan optimizasyon problemlerine uygulanmış olup günümüzde bilimsel ve mühendislik problemlerin çözümünde, yerleşim, atölye çizelgeleme, ders veya sınav programı gibi kombinasyona dayalı optimizasyon problemlerine, programlama, makine bilimi, elektronik devre tasarımı, bağışıklık sistemi, ekonomi, ekoloji, popülasyon genetiği, sosyal sistemler,

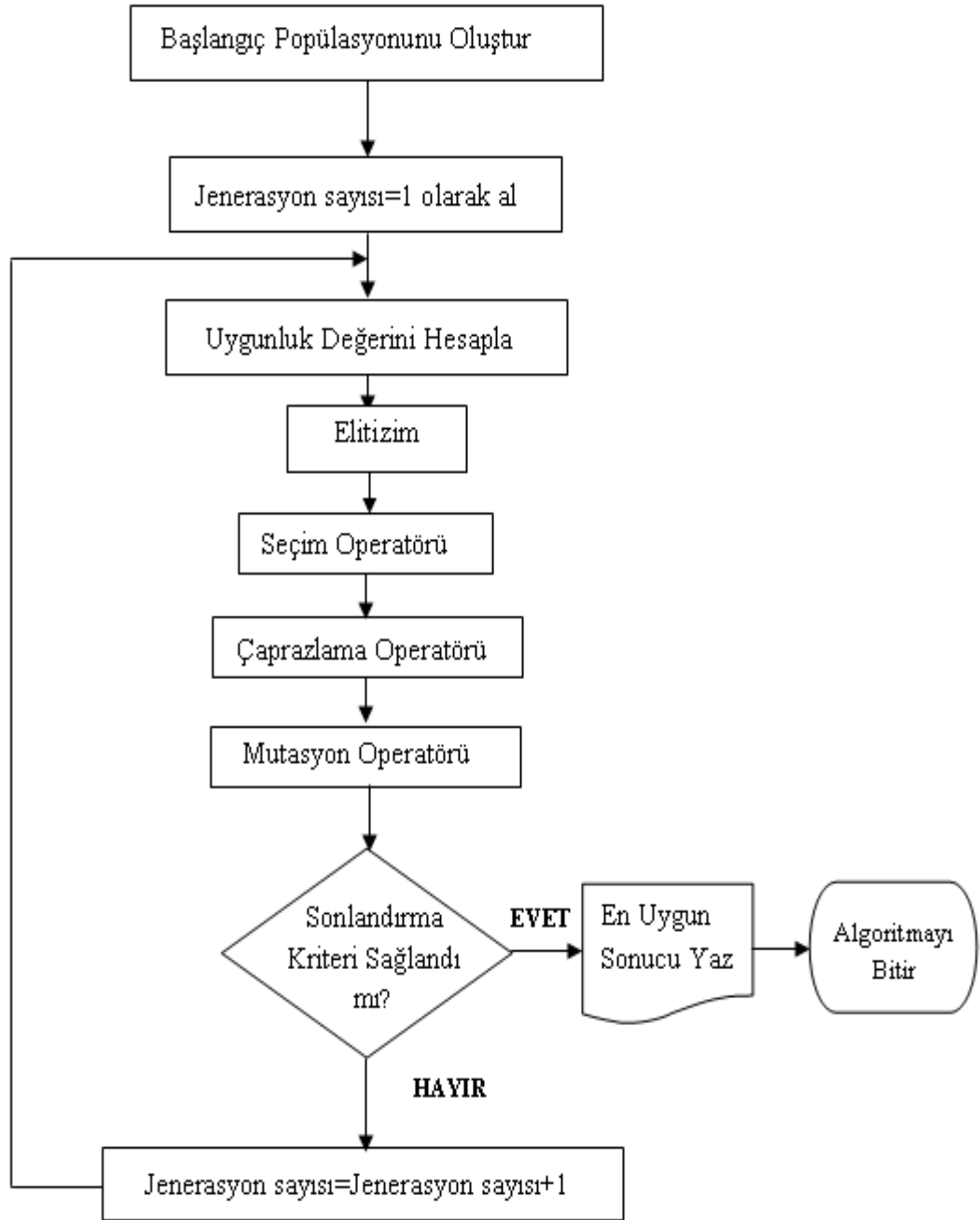
müzik, kablosuz iletişim gibi hayatın çok farklı alanlarındaki problemlerin çözümünde kullanılan GA ile elde edilen başarılı sonuçlar doğrultusunda kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. GA'nın bu başarısı geleneksel yöntemlerle karşılaştırılarak daha iyi anlamak mümkündür (Zeyveli, 2005, Tabakoğlu, 2009).

Bu bölümde GA'nın nasıl çalıştığı ve GA'da kullanılan operatörler hakkında bilgi verilecektir. Daha sonra bu çalışmada kullanılan PID kontrolörün ve rüzgâr tribinü SKİG parametrelerinin optimizasyonu için tasarlanan GA'ya ilişkin bilgiler verilecektir.

3.2.1. Genetik Algoritmanın Çalışması

GA'nın genel olarak çalışması akış diyagramı Şekil 3.3'de gösterilmektedir. Öncelikle çözülecek problem için uygunluk fonksiyonu ve başlangıç popülasyonu oluşturabilmek için sınır değerleri belirlenir ve rastgele başlangıç popülasyonu oluşturulur.

Akış diyagramından da görüldüğü gibi popülasyondaki tüm bireylerin uygunluk değerleri hesaplanır. Hesaplanan değerler sonucunda popülasyondaki bireyler genetik operatörlerden sırasıyla elitizm, seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemlerine tabi tutulur. Bu işlemler sonucunda durdurma kriteri sağlandıysa en uygun sonuç ekrana basılarak algoritma sonlandırılır. Eğer istenilen sonuç ve durdurma kriteri sağlanmadıysa jenerasyon sayısı arttırılır. Jenerasyon sayısının çok fazla arttırması gerektiğinde çözüm aralığından çıkılmaması için amaç fonksiyonu ceza fonksiyonu ile çarpılır. Bu işlemler durdurma kriteri sağlanıncaya kadar devam eder (Öztürk, 2007).



Şekil 3.3: GA akış diyagramı

3.2.2. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması

GA'nın çalışması için öncelikle başlangıçta kullanılacak olan popülasyonun belirlenmesi gerekmektedir. Her bir değişken geni, genlerin birleşimi kromozomu (birey) ve her bir kromozomun birleşiminden oluşan arama uzayı da başlangıç popülasyonunu oluşturmaktadır. Başlangıç popülasyonundaki çözümler problemin çözüm evreninden seçilen ve mümkün olduğunca problem uzayını temsil edebilen çözümler olmalıdır. Çözüme daha çabuk ulaşabilme olasılığını arttırabilmek için başlangıç popülasyonunun problemin çözüm uzayında homojen olarak dağılımı arzu edilir. Başlangıç popülasyonu genellikle rastgele seçimlerle oluşturulur. Aynı zamanda içerisinde değişkenlerinin kodlarını bulunduran bir gen havuzu olarak da adlandırılabilir.

Problemdaki değişkenleri ifade eden genler değişik metotlara bağlı olarak farklı şekillerde kodlanıp başlangıç popülasyonundaki kromozomları oluştururlar. Daha çok ikili sayı sistemi elemanları olan 0 ve 1 rakamlarından oluşan kodlama yöntemi kullanılmaktadır. Bilgisayar programı aracılığı ile ikilik sayı sisteminde oluşan genler onluk sayı sistemine dönüştürülür (Öztürk, 2007).

3.2.3. Uygunluk Değerinin Hesaplanması

GA'nın başlangıç popülasyonunu oluşturulan her bir kromozomun belirlenen amaç fonksiyonuna göre uygunluk değeri olan $f(x)$ değeri hesaplanır. Başlangıç popülasyonundaki kromozomlar için uygunluk fonksiyonu, bir kromozomun temsil ettiği çözümün kullanımıyla veya yeteneğiyle orantılı olan sayısal bir uygunluk değeri verir. Bu bilgi, her kuşakta daha uygun çözümlerin seçiminde yol göstermektedir. Bir çözümün uygunluk değeri ne kadar yüksekse, yaşama ve çoğalma şansı o kadar fazladır ve bir sonraki kuşakta temsil edilme oranı da o kadar yüksektir Emel ve Taşkın (2002).

3.2.4. Kodlama Yöntemleri

GA'da probleme bağlı olarak kromozomların kodlanması karşılaşılan problemlerden biridir. Kodlama işlemi problemin türüne göre değişmekte olup, ikili, permütasyon, ağaç kodlama gibi kodlama türleri kullanıcı tarafından en uygun olanı seçilerek optimum çözüm aranır (Kaya, 2006).

3.2.4.1. İkili (Binary) Kodlama

GA'da halen en yaygın olarak kullanılan kodlama metodudur. Bunun en önemli sebebi, genetik algoritmalar ile ilgili ilk yapılan çalışmalarda kullanılmış olmasıdır. Bu kodlama metodunda popülasyonu (birey havuzu) oluşturan kromozomların her biri 0 ve 1'ler ile ikili sayı sisteminde kodlanırlar. Kodlama sistemi sadece ikil kodlama değil ikilik sistemde ikinin kuvveti şeklinde üçlü kodlama ve karışık kodlama şeklinde de kodlanabilir Kaya ve Yağsan (2006). Çizelge 3.3'de ikili kodlama sistemi gösterilmiştir.

Çizelge 3. 3: İkili kodlama ile oluşturulan kromozomlar

Birey	A	0 1 0 1 1 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1 1 1
Birey	B	1 1 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 0 0 1 1 1 0 0 1

3.2.4.2. Permütasyon Kodlama

Bu kodlama yöntemi, genel olarak gezgin satıcı, görev sıralama problemleri, şebeke tasarımları gibi sıralamayı gerektiren problemlerde kullanılmaktadır. Bu tür kodlamada her bir kromozom sıralama gösteren sayılardan oluşturularak ifade edilir Kaya ve Yağsan (2006). Çizelge 3.4'de permütasyon kodlama metodu gösterilmiştir.

Çizelge 3. 4: Permütasyon kodlama ile oluşturulan kromozomlar (Yağsan, 2006)

Birey	A	4 5 3 2 6 1 7 9 8
Birey	B	6 5 8 7 2 3 4 1 9

3.2.4.3. Değer Kodlama

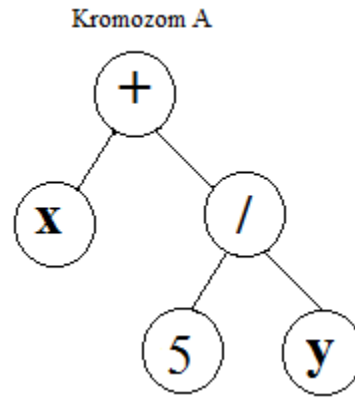
Bu kodlama metodu gerçel gibi kompleks sayılarında bulunduğu problemlerde kullanılmaktadır. Bu tür problemlerin çözümü için ikili kodlama kullanılması oldukça zordur. Bu kodlamada her bir kromozom problemle ilişkili olarak gerçel sayı veya karakterler ile ifade edilebilir. Bu yöntemde bazı nesnelere sayısal olarak ifade edilemeyeceğinden birey oluşturmada kullanılan genetik program kodlarında düzenleme yapılmalıdır. Bu tür kodlama örnek olarak yapay sinir ağında istenilen çıkışın elde edilebilmesinde giriş ağırlıklarının bulunması için kullanılmaktadır Kaya ve Yağsan (2006). Çizelge 3.5'de değer kodlama gösterilmiştir.

Çizelge 3. 5: Değer kodlama ile oluşturulan kromozom örneği

Birey	A	6.354 2.185 3.367 0.578 2.578 7.546 6.890
Birey	B	ABEFGDJEIFJDHJFDLAFEFDLDFGHK
Birey	C	(yukarı), (aşağı), (sağa), (sola), (aşağı), (yukarı),

3.2.4.4. Ağaç Kodlama

Genellikle GA'da programlama için gerekli ifadelerin daha kolay geliştirilmesini sağlamak amacıyla ağaç kodlaması kullanılmaktadır. Ağaç kodlamada işlemler kromozomun ağacın dallarına benzetilerek kolları, kolları dalları ayırarak kodlama yapılmaktadır. Kromozom $A = (x+(5/y))$ Şekil 3.4 te ağaç kodlama şeklinde gösterilmektedir Kaya ve Yağsan (2006).



Şekil 3.4: Ağaç kodlama ile oluşturulan bir (birey) kromozom (Kaya, 2006).

3.2.5. Elit Bireylerin Seçimi

Elitizm operatörü bir sonraki popülasyon içinde olacak bireylerin seçimini mevcut popülasyondaki en iyi uygunluk değerine sahip birey veya bireylerin aktarılmasını sağlar ve yeni popülasyonun ilk elemanı veya elemanlarını oluşturur. Böylece en iyi uyumluluğa sahip birey ve bireyler bir sonraki jenerasyonda yaşamlarını sürdürebilmeleri garanti edilmiş olur. Seçilen bu elit bireyler her bir jenerasyonda bunlardan daha iyi bir birey oluşturulamaz ise her jenerasyonda tekrar seçilirler. Oluşturulan birey önceki bireyden daha iyi bir uygunluk değeri veriyor ise elit bireyler olarak bir önceki bireylerin yerini alır (Öztürk, 2007).

3.2.6. Seçim Operatörleri

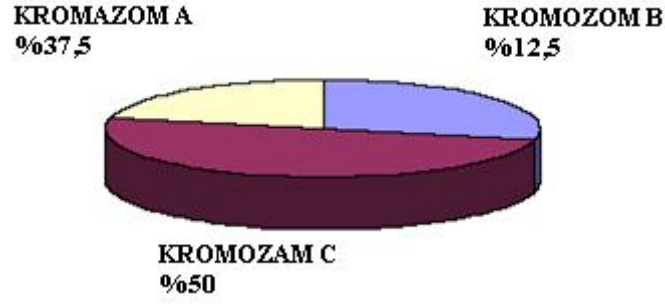
Popülasyon için yeni nesli oluşturulacak uygun bireylerin uygunluk fonksiyonunun değerlerine göre seçilmesi işlemine genetik algoritma optimizasyonunun seçim operatörü olarak adlandırılır. Seçimdeki amaç en iyi uygunluk değerine sahip bireylerin yaşamlarını sürdürebilmelerini sağlarken başarısız bireylerin ise elenmesini sağlamaktır. Seçim operatörü olarak çeşitli metotlar geliştirilmiştir. Bunlardan en çok kullanılan seçim operatörleri rulet çarkı (roulette wheel selection), turnuva (tournament selection) ve sıralı (rank selection) seçim olarak ifade edilebilir (Öztürk, 2007).

3.2.6.1. Rulet Çarkı Metodu

Rulet çarkı metodunda bireyler uygunluk fonksiyonu değerlerine göre bir dairenin dilimleri şeklinde çark dilimlerini oluşturmaktadırlar (Öztürk, 2007). Burada tüm bireylerin uygunluk değerleri bir Çizelgede istenen uygunluk aralıklarına göre yazılır ve bu değerler toplanır. Her bireyin uygunluk değerindeki sayıları toplam değere bölünerek çark üzerindeki yüzdelik dilimleri belirlenir (Bolat, 2006). Uygunluk fonksiyonu değeri yüksek olan bireylerin o oranda çarkın üzerinde yüzde olarak geniş bölgeye sahip olur. Yüzde olarak geniş aralığa sahip olan bireylerin seçilme şanslarını artırır. Seçilme olasılığı her ne kadar yüksek olsa da yüzdelik dilimi yüksek bireylerin seçilme garantisini vermez (Küçüktezcan, 2008, Kaya, 2006). Çark elitizim kullanılmıyor ise popülasyonu oluşturan birey sayısı kadar çevrilir. Eğer kullanılıyor ise elitizim ile belirlenen birey sayısı eksiği kadar seçim yapılır. (Öztürk, 2007). Bu metot popülasyonu oluşturan bireyler arasındaki uygunluk değerinin fazla olduğu durumlarda sorun çıkarabilmektedir. Popülasyonda yüksek uygunluk değerine sahip bireyler daha sık seçilerek algoritmanın yerel optimuma takılmasına neden olmaktadır. Bu durumun engellemek için turnuva veya sıralama seçim metodu kullanılır (Küçüktezcan, 2008). Örnek olarak Çizelge 3.6 ve Şekil 3.5’de rulet çarkı metodu gösterilmiştir (Bolat, 2006).

Çizelge 3. 6: Rulet çarkı için örnek hesaplama

Sayı	Uygunluk Değeri	Toplam
Kromozom A	300	37,5%
Kromozom B	400	50%
Kromozom C	100	12,5%
Toplam	800	100



Şekil 3.5: Rulet çarkı seçim örneği

3.2.6.2. Turnuva Seçim Metodu

Bu yöntemde popülasyondan rastgele bir grup birey seçilerek turnuva grubuna katılırlar. Grup içindeki en iyi uygunluk değerine sahip birey ebeveyn olarak seçilir. Bu işlem popülasyon sayısınınca birey elde edilinceye kadar devam eder. Turnuva sonrasında bireyler çaprazlama ve mutasyon işlemine tabi tutulurlar. Turnuva büyüklüğü genellikle iki seçilir (Küçüktezcan, 2008, Alkanoğlu, 2007). Bu yöntemin avantajı herhangi bir bireyin seçim süreci sırasında kaybedilme olasılığı yoktur. Popülasyon içindeki elit bireylerin dışında kalan tüm bireyler uygunluk fonksiyonu değerlerine göre yapılan turnuvalar neticesinde eşleşirler. Bu eşler çaprazlama ve mutasyon ile yeni popülasyonun bireylerini meydana getirirler (Öztürk, 2007).

3.2.6.3. Sıralı Seçim Metodu

Sıralama seçim metodunda önce popülasyondaki bireyler uygunluk fonksiyonundaki değerlerine göre sıralanmaktadır. En kötü uygunluk değerine sahip birey 1. sırada, ikinci kötü birey 2. sıraya, en iyisi ise son sıraya sahip olur. Yapılan bu seçim işleminden sonra popülasyondaki bütün bireylere seçim şansı doğacaktır. Ancak bu yöntemde jenerasyon sayısı arttığından çözüme ulaşma daha geç olmasıdır (Küçüktezcan, 2008, Kaya, 2006).

3.2.7. Çaprazlama Operatörleri

GA'da çaprazlama işlemi ebeveynlerinin özelliklerini taşıyan bireyleri oluşturmayı amaçlayan en önemli mekanizmadır. Bu yönteme gen takası yöntemi de denir. Çaprazlamadaki amaç popülasyon içerisindeki bireylerden uygunluk fonksiyonuna göre daha iyi çözümler bulan değişik bireylerin yaratılmasına olanak sağlamaktır. Uygulamada çok fazla çaprazlama yöntemi olup hepsinde de yeni birey oluşturmak için ebeveyn kromozomlar arasında gen alış verişi yapılmaktadır (Öztürk, 2007, Alkanoglu, 2007).

3.2.7.1. Tek Noktalı Çaprazlama

Popülasyondan seçim operatörleri vasıtasıyla yeni nesli oluşturmak için iki tane birey seçilir. Bu bireyler ebeveyn diye adlandırılır. Tek noktalı çaprazlamada gen uzunluğunu geçmeyecek şekilde birinci ebeveyn den gen sayı üretilir. Üretilen bu sayı çaprazlama noktası olarak adlandırılır. Çaprazlama noktasından sonra seçilen 2. Ebeveyn den genler alınarak aday bireyler oluşturulur. Çizelge 3.7'de tek noktalı çaprazlama gösterilmektedir.

Çizelge 3. 7: Tek noktalı çaprazlama

Ebeveyn	1 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 1 1 1 0 0
Ebeveyn	0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1
Aday Birey 1	1 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 0 0 1 0 1 1 1
Aday Birey 2	0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 0

3.2.7.2. Çift Noktalı Çaprazlama

Bu çaprazlama operatöründe iki ayrı noktadan çaprazlama yapılacağı için iki nokta rastgele seçilerek üretilir. Belirlenen noktalar arasındaki kalan bölüm ikinci olarak ebeveyn den değiştirilerek yeni bireyler elde edilir. Çizelge 3.8'de çift noktalı çaprazlama örneği gösterilmektedir.

Çizelge 3. 8: Çift noktalı çaprazlama

Ebeveyn	1 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 1 1 1 0 0
Ebeveyn	0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1
Aday Birey 1	1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 0
Aday Birey 2	0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 0 1 1 1 0 0 0 0 1 0 1 1 1

3.2.7.3. Çok Noktalı Çaprazlama

Çok noktalı çaprazlamada ise ikiden fazla rastgele gen nokta sayı üretilir. Belirlenen noktalar arasında gen alış verişi yapılarak yeni nesil için yeni bireyler oluşturulmuş olur. Çizelge 3.9’da çok noktalı çaprazlama örneği gösterilmiştir.

Çizelge 3. 9: Çok noktalı çaprazlama

Ebeveyn	1 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 1 1 1 0 0
Ebeveyn	0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1
Aday Birey 1	1 0 0 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0
Aday Birey 2	0 1 1 1 0 1 0 0 1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 1 0 1 0 1 1 1

3.2.7.4. Düzgün Çaprazlama

Düzgün çaprazlama işleminde yeni bireylerin üretimi için öncelikle çaprazlama maskesi tanımlanır. Düzgün çaprazlamada, her nokta bir çaprazlama noktası olarak alınmaktadır. Düzgün çaprazlamada ebeveyn bireylerle eşit uzunlukta maskeler kullanılmaktadır. Maske tesadüfî üretilen bitleri içermektedir. Birinci çocuk birey için bir maske üretilmekte, ikinci çocuk birey için birinci maskenin tersi alınmaktadır. Yeni bireyler oluşturulurken, maskedeki 1’ler için birinci ebeveynin bitleri, 0’lar için ikinci ebeveynin bitleri aday bireylere taşınmaktadır (Alkanoğlu, 2007). Düzgün çaprazlama Çizelge 3.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 3. 10: Düzgün çaprazlama

Ebeveyn	1 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 1 1 1 0 0
Ebeveyn	0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1
Maske 1	1 1 0 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 0 1 0 1 0 1 0
Maske 2	0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 1 0 1 0 1 0 1
Aday Birey 1	1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 1 1 1 0 1
Aday Birey 2	0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 0 0 0 1 0 1 0 1 1 1

3.2.7.5. *Ayrık Çaprazlama*

Gerçel kodla kullanılan çaprazlama operatörüdür. Örnek olarak $A=125\ 98\ 430$ $B=12\ 263\ 362$ gibi genlere sahip bireyler düşünelim. Burada aynı düzgün çaprazlamadaki gibi belirlenen anne ve baba bireyler için iki adet maske üretilir. Rastgele atanan maskeler 221 ve 121 olarak kabul edilirse yeni oluşacak çocuk bireyler aşağıdaki gibi oluşur (Küçüktezcan, 2008).

Aday Birey 1: 12 263 430

Aday Birey 2: 125 263 430

3.2.7.6. *Ara Çaprazlama*

Bu çaprazlama operatöründe sayısal işlem kullanıldığından GA gerçel kodlu olması durumunda kullanılır. A ve B anne, baba bireyler olmak üzere oluşan çocuklar $\mathcal{C}=A+\alpha(B-A)$ işlemiyle belirlenmektedir. Kullanılan α katsayısı gen çeşitliliğini arttırmakta olup her gen için 0,25 ile 1,25 arasında rastgele seçilir. Birinci çocuk için α değerleri 0,90-0,56-1,12 ve ikinci çocuk için α değerleri 0,45-0,6-0,95 ise yeni oluşan çocuk bireyler aşağıdaki gibi oluşur (Küçüktezcan, 2008).

Aday Birey 1: 23,3 190,4 353,84

Aday Birey 2: 74,15 197 365,4

3.2.7.7. *Doğrusal Çaprazlama*

Bu çaprazlama operatöründe her bir gen sayısı kadar α değeri yerine sadece bir α değerinin atanmasıdır. Birinci çocuk birey için α değeri 0,5 ikinci çocuk birey için α değeri 0,85 olduğunda çocuk bireyler aşağıdaki gibi oluşur (Küçüktezcan, 2008).

Aday Birey 1: 62,5 49 215

Aday Birey 2: 10,2 223,55 307,7

3.2.7.8. *Aritmetik Çaprazlama*

GA'da kullanılan gerçel kodlu bir çaprazlama operatörüdür. Aritmetik çaprazlama operatörü iki kromozomun doğrusal kombinasyonu şeklinde kullanılır. Rastgele popülasyondan çaprazlama için X_i^{jen} ve X_j^{jen} iki kromozom seçilir. Birbirlerinin denklem (3.6) ve (3.7) gibi doğrusal kombinasyonları sonucunda bir sonraki jenerasyonda yer alacak X_i^{jen+1} ve X_j^{jen+1} yeni çocuk bireyler oluşturulur. a katsayısı (0,1) arasında rastgele sayıdır (Yalçınöz ve diğ., 2001).

$$X_i^{gen+1} = a.X_i^{gen} + (1-a).X_j^{gen} \quad (3.6)$$

$$X_j^{gen+1} = (1-a).X_i^{gen} + a.X_j^{gen} \quad (3.7)$$

3.2.8. Mutasyon Operatörü

GA'da mutasyon operatörü kullanılarak yeni oluşacak bireylerin gen çeşitliliği artırılır. Mutasyon oranı çok küçük seçilmekte olup problemin çeşidine göre bu değer değişebilmektedir. Jenerasyon içerisinde bireyler birbirlerine çok yaklaşımları çeşitliliğin azalması anlamına gelmektedir. Çeşitliliği arttırmak için mutasyon operatörü ya seçim işleminden sonra ya da çaprazlama operatöründen sonra kullanılmaktadır. Genellikle çaprazlama operatöründen sonra tercih edilmektedir. GA'da çaprazlama operatöründen sonra bireyler mutasyon operatörüne tabi tutularak popülasyon içerisindeki bireylerin yerel optimum değere takılması engellenmiş olur (Alkanoğlu, 2007).

İkili sayı sisteminde belirlenen mutasyon oranı ile popülasyon içerisinde o oran doğrultusunda genler 0 ise 1'e 1 ise 0'a dönüştürülür. Gerçek kodlu GA'da mutasyon oranı denklem (3.8) göre belirlenebilir (Bouzeboudja ve diğ., 2005).

X_i mutasyona girmeden önceki bireyi, X_i' mutasyondan sonraki bireyi temsil etmektedir.

$$x_i' = x_i + mut_oranı.d_i.randn \quad (3.8)$$

Genellikle mut_oranı: 0.1 seçilebilir.

d_i : $mak_i - min_i$ i. bireyin genlerinin maksimum değerinin minimum değerinden çıkarımı olarak belirlenebilir. Randn; Rastgele oluşturulmuş sayıdır (Duman,2010). Mutasyon sayısının artırılması algoritmanın mevcut arama uzayı dışına çıkmasına veya en uygun çözüme yaklaşımını geciktirebilir. Popülasyon sayısı ve jenerasyon sayısının artması mutasyona uğrayan birey işlem sayısını arttırdığından uygun değerler alınmalıdır.

3.2.9. Genetik Algoritma İle SKİG ve PID Kontrolör Parametrelerinin Belirlenmesi

GA'da problemlerin çeşidine göre kullanılan operatörler kullanıcının deneyimine bağlı olarak seçilir. Bu çalışmada ilk önce simülasyonun transfer fonksiyonunun belli bir yük altında SKİG parametreleri belirli sınır değerleri bulunmuştur. Daha sonra sistemlerde bir kontrol elemanı olarak kullanılan PI kontrolörünün parametreleri belirli sınır değerleri arasında kalması sağlamak için ziegler nichols yöntemi kullanılarak sistemin transfer fonksiyonundan elde edilen bode diyagramı ile en uygun PI sınır değerleri bulunmuştur. SKİG bozucu bir etkiye maruz kaldığında aynı yük değerinde sistemin rotor hızı değişiminde oluşan salınımları söndürme ve yerleşme süresinin kısalmada amaçlanmıştır. Bode çizimleri ile elde edilen değerlerle ziegler nichols metodu ile hesaplanan PI katsayıları ile GA ile hesaplanan PI parametreleri ile yapılan kontrollerde GA ile daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. GA'da ilk olarak amaç fonksiyonu belirlenir. Eğer GA'da ceza fonksiyonu uygulanmıyor ise amaç fonksiyonu uygunluk fonksiyonuna eşit olmaktadır. Bu çalışmada ceza fonksiyonu kullanılmadığından amaç fonksiyonu uygunluk fonksiyonuna eşit olmaktadır. GA için uygunluk fonksiyonunun minimum değeri aranırken uygunluk fonksiyonu olarak performans indeksi (J) olarak da adlandırılan iki farklı durum düşünülmüştür. Denklem (3.9) ve (3.10) bu durumlar açıklanmıştır. Hata sinyali olarak Vw hız değişimi seçilmiştir.

$$UF = J = IAE = \int_0^t |Vw(t)|.dt \quad (3.9)$$

$$UF = J = ISE = \int_0^t Vw^2(t).dt \quad (3.10)$$

SKİG ve PID kontrolör parametrelerinin sınır değerleri Çizelge 3.11 ve 3.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 11: Rüzgâr türbinü SKİG sınır değerleri

Sınırlar	SKİG Parametreleri	
	K_c	T_1
Maksimum Değerler	1.1	5.6
Minimum Değerler	0	0

Çizelge 3. 12: PI kontrolör parametrelerinin sınır değerleri

Sınırlar	PID Kontrolör Parametreleri		
	K_p	K_i	K_d
Maksimum Değerler	1.1	5.6	-
Minimum Değerler	0	0	-

Bu çalışmada GA’da gerçel değerli kodlama sistemi ikili kodlama sistemine göre sistem cevabının daha hızlı gerçekleştirmesi sebebiyle kullanılmıştır. Başlangıç popülasyonu belirlenen popülasyon sayısına göre değişkenlerin belirli sınır değerleri arasında rastgele oluşturulmuştur. Başlangıç popülasyonundaki her bir birey problemdeki değişken sayısına bağlı olarak belirlenmektedir. Bu çalışmada popülasyon büyüklüğü daha iyi çözüme ulaşabilmek ve çözüm uzayının geniş tutulması için 100 olarak seçilmiştir.

Başlangıç popülasyonunda rastgele oluşturulan bireyler için ilk olarak denklem (3.9)’a göre uygunluk değerleri hesaplanmıştır. Uygunluk değerlerine göre bir sonraki jenerasyonda yer alacak elit bireylerin seçimi yapılmış ve yeni bireylerin oluşumunda kullanılacak popülasyondaki diğer bireylerin seçim işlemi turnuva seçim operatörüne göre yapılmıştır. Turnuva büyüklüğünün yüksek seçilmesi uygunluk değeri küçük olan bireylerin seçimini kolaylaştıracağından bu çalışmada turnuva büyüklüğü 2 olarak seçilmiştir.

Çaprazlama operatörü olarak aritmetik çaprazlama düşünülmüştür. Turnuva seçimi sonucunda belirlenen bireyler ebeveyn birey olarak atanmış ve çaprazlama işlemine tabi tutularak bir sonraki jenerasyonda kullanılmak üzere yeni bireylerin üretilmesi sağlanmıştır. Aritmetik çaprazlama iki bireyin doğrusal kombinasyonu şeklinde denklem 3.6 ve 3.7 ye göre yapılmıştır.

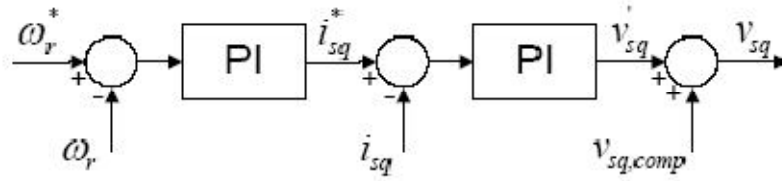
Mutasyon işlemi GA'da gen çeşitliliği arttırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu çalışmada çaprazlama operatöründen çıkan bireyler mutasyon operatörüne tabi tutulmuşlardır. Mutasyon operatörü olarak denklem 3.8 kullanılmış olup mutasyon oranı 0.1 alınmıştır. Böylece bireylerin uygunluk değerleri azalarak birbirlerine yaklaşımları sağlanmış olmaktadır.

GA'da sonlandırma kriteri olarak jenerasyon sayısı düşünülmüş olup, jenerasyon sayısı 260 olarak seçilmiştir. GA sonlandırma kriterini sağladığında algoritmayı bitirerek en uygun sonucu ekrana yazar.

4. BULGULAR

4.1. HIZ DÖNGÜ TASARIMI

Hız döngüsü Şekil 4.1 de verilen q eksenini ile temsil edilir. Blok şemasında hız döngüsü verilmektedir.



Şekil 4.1: Hız döngüsü

Burada tork değişkeni i_{sq} , gerekli tork i_{sq}^* referans değerine bağlıdır. i_{sq}^* referans değeri ise rotor referans hızı w_r^* ile rotor hızı w_r arasında ki değişime bağlıdır. Şekil 4.1 de verilen hız döngüsü denklemleri ve kontrol yöntemleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir. dq referans çerçevesinde generatör voltajı V_{sq} , geçerli q eksenini stator akımı i_{sq} , ile aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$V'_{sq} - V_{sq,comp} = R_a(1 + T_a \cdot s)i_{sq} \quad (4.1)$$

Buradan;

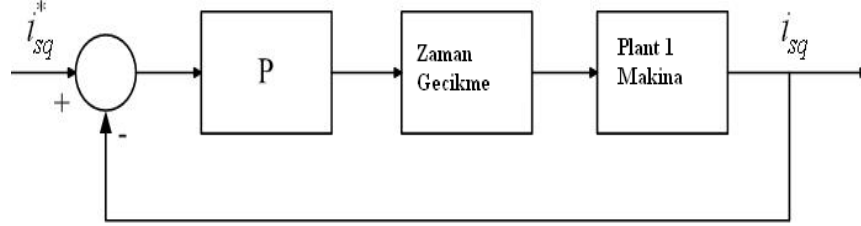
$$V_{sq,comp} = w_\varphi \sigma L_s (i_{sd} - i_{s\varphi}) + w_r \frac{L_s}{L_M} \lambda_r \quad (4.2)$$

Burada $V_{sq,comp}$ sistem üzerinde önemli bir etkisi olmadığından ihmal edilmiştir. Kontrol tasarımı için kullanılan PI kontrolörleri aşağıdaki formül ile ifade edilir.

$$F_{PI}(s) = K_p \frac{1+s\tau_i}{s\tau_i} \quad (4.3)$$

4.1.1. İç Döngü Tasarımı

i_{sq} iç döngü stator q ekseni akım döngüsü Şekil 4.2 de ki gibi gösterilebilir. Akı döngü tasarımı oransal kazanç P ($Kp1$), zaman gecikme , makine (plant1) olarak ifade edilmiştir.



Şekil 4.2: i_{sq} akım döngüsü

Döngüde kullanılan değerler ile denklem 4.6 elde edilir. Elde edilen denklem hız transfer fonksiyonunda $Gcc1$ olarak isimlendirilmiştir.

i_{sq} değeri için kapalı çevrim transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir.

Makine denklemi;

$$(Plant) = \frac{1}{R_a(1+T_{a,s})} = \frac{1}{0.02S+3,5} \quad (4.4)$$

$$Gecikme=Delay = \frac{1}{1+T_s} = \frac{1}{3.333e^{-4}+1} \quad (4.5)$$

Oransal kazanç = $Kp1 = 10$, bode diyagramına göre alınmıştır.

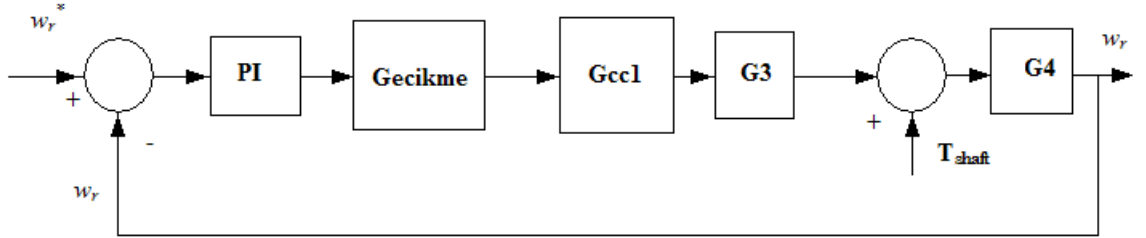
$Gcc1 = \text{feedback}(Plant, Delay, Kp1)$

$Gcc1 =$ Kapalı çevrim transfer fonksiyonu i_{sq}

$$i_{sq} = \frac{10}{6.666.e^{-6}S^2+0.02117S+13.5} \quad (4.6)$$

4.1.2. Hız Kontrol Şeması ve Transfer fonksiyonu

Hız kontrol şeması ve transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilebilir.



Şekil 4.3: Hız kontrol kapalı çevrim transfer fonksiyon şeması

Hız kontrol transfer fonksiyon şemasında zaman gecikmesi birinci dereceden fonksiyon olarak tanımlanmıştır. $T_s = \frac{1}{f_s} = 0.333\text{ms}$, $f_s = 3\text{Khz}$, $p =$ çift kutup sayısı olarak alınmıştır. Burada, T_s zaman sabiti, f_s örnekleme frekansdır.

$$G3 = \frac{3}{2} p \frac{L_M}{L_r} \lambda_r = 83.17 \quad (4.7)$$

$$G4 = \frac{p}{sJ} = \frac{2}{0.18s} \quad (4.8)$$

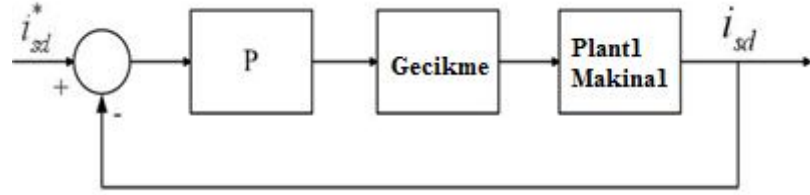
Hız kontrol PI transfer fonksiyonu $=PI = Kp + \frac{Ki}{s}$, bode diyagramından alınan değerler ile hesaplanan PI kontrol katsayıları. $Kp = 1$, $Ki = 5$, olarak bulunmuştur (Marra,2008).

Kapalı çevrim hız transfer fonksiyonu = feedback (PI.Delay.Gcc1.G3.G4,1)

$$G_\omega(s) = \frac{33.12s+165.6}{7.998e^{-11}s^5+4.939e^{-7}s^4+0.000924s^3+0.486s^2+33.12s+165.6} \quad (4.9)$$

4.1.3. i_{sd}^* Akı Döngü Tasarımı

Akı döngüsü Şekil 4.4'te d eksenini ile ifade edilir. IG rotor akısını elde etmek için önce i_{sd} akımı iç döngü ile elde edilmiştir. Daha sonra IG mıknatıslanma akımı $i_{s\phi}$ için dış döngü tasarlanmıştır.



Şekil 4.4: i_{sd} iç döngü tasarımı

$$\text{Plant1} = \frac{1}{R_s} \frac{1+T_s S}{T_r T_s S^2 + (T_s + T_r)S + 1} = \frac{0.008S+0.4}{0.00016S^2+0.028S+1} \quad (4.10)$$

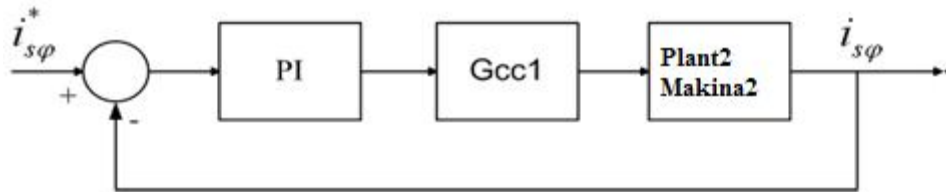
$$\text{Gecikme} = \text{Delay} = \frac{1}{1+T_s} = \frac{1}{3.333e^{-4}+1}$$

Oransal kazanç = $Kp = 10$, bode diyagramına göre alınmıştır.

$$Gcc1 = \text{feedback}(\text{Plant}, \text{Delay}, Kp, 1)$$

$$Gcc1_{i_{sd}} = \frac{0.08S+0.4}{5.333e^{-8}S^3+1.693e^{-4}S^2+0.1083S+5} \quad (4.11)$$

4.1.4. $i_{s\phi}$ Dış Döngü tasarımı



Şekil 4.5: $i_{s\phi}$ Dış döngü tasarımı

$$\text{Plant2} = \frac{1}{(1+T_r s)} = \frac{1}{0.02s+1} \quad (4.12)$$

$$\text{Gecikme} = \text{Delay} = \frac{1}{1+T_s} = \frac{1}{3.333e^{-4}+1}$$

Mıknatıslanma akımı PI transfer fonksiyonu $=PI = Kp + \frac{Ki}{s}$ bode diyagramından alınan değerler ile hesaplanan PI kontrol katsayıları. $Kp = 1.5$, $Ki = 75$, olarak bulunmuştur (Marra,2008).

$$C2 = Kp_i \left(\frac{1+s.tau_i-s}{s.tau_i-s} \right) = 1.5 \left(\frac{1+s.0.02}{s.0.02} \right) \quad (4.13)$$

Burada:

$tau_i - s$, entegrasyon zaman sabiti, T_r rotor zaman sabitine eşittir.

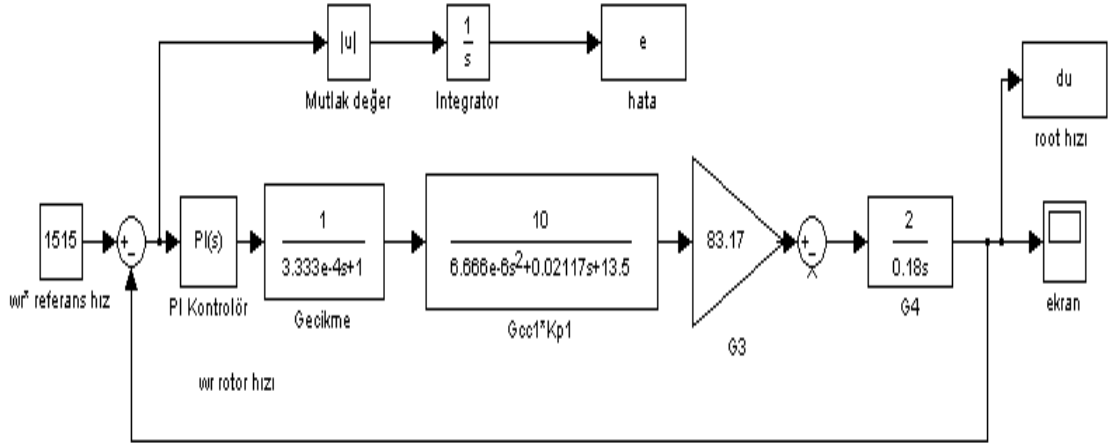
Kapalı çevrim transfer fonksiyonu = feedback(C2. Gcc1. Plant2,1)

$$G_{i_{s\phi}}(s) = \frac{3.376.e^{11}}{s^4+6126+1.125e^7s^2+5.626e^9s+3.376e^{11}} \quad (4.14)$$

4.2. BENZETİM SONUÇLARI

4.2.1. Rüzgâr Tribünü SKİG Hız Kontrol Transfer Fonksiyonunun Simulink Modeli ve Sistem Parametreleri

Hız döngüsü kapalı çevrim transfer fonksiyonunun simulinkte lineer modelde sistem parametreleri girilerek aşağıdaki gibi lineerleştirilmiş benzetim modeli Şekil 4.6 daki gibi ifade edilmiştir.



Şekil 4.6: Hız döngüsü kapalı çevrim transfer fonksiyonu simulink modeli

Rüzgâr tribünü hız kontrol transfer fonksiyonu benzetim modeli simulinkte Şekil 4.6 da ki gibi kurulmuştur. İstenen referans rotor hız değeri ω_r^* girilmiştir. Sistemde meydana gelen bozulmalar çok kısa sürelerde olduğundan (100-200 ms) , sistem benzetim modeli çalışma süresi 0.05 saniye olarak alınmıştır.

Sistem performansını değerlendirebilmek için performans indeksi kullanılmaktadır. Performans indeksi denklem 4.15-4.17. de ki hatanın mutlak değeri toplamı, hatanın karesinin toplamı, hatanın mutlak değeri toplamının zaman ile çarpımı şeklinde gösterilebilir. Bu indeksler özellikle benzetim çalışmalarında kullanılmaktadır (Neşe, 2008, Panda, 2009).

$$J = IAE = \int_0^t |e(t)|.dt \quad (4.15)$$

$$J = ISE = \int_0^t e^2(t).dt \quad (4.16)$$

$$J = ITAE = \int_0^t t.|e(t)|.dt \quad (4.17)$$

Rüzgâr Tribünü SKİG rotor hızı kapalı çevrim transfer fonksiyonunda hata indeksi olarak denklem 4.15 kullanılmıştır. Hata sinyali olarak ($\omega_r^* - \omega_r$) referans rotor hız

değerinden rotor hız değeri farkı alınarak hata indeksi denklem 4.15 ile sistem performansı bulunmuştur. Modelde iç döngü akım kontrolünde Kp1 oransal kazanç değeri ziegler-nichols yöntemi ile hesaplanmıştır. Hesaplama yönteminde bode çizimlerinden yararlanılmıştır. Hesaplanan oransal kazanç değeri Kp1, 10 alınmıştır (Marra,2008).

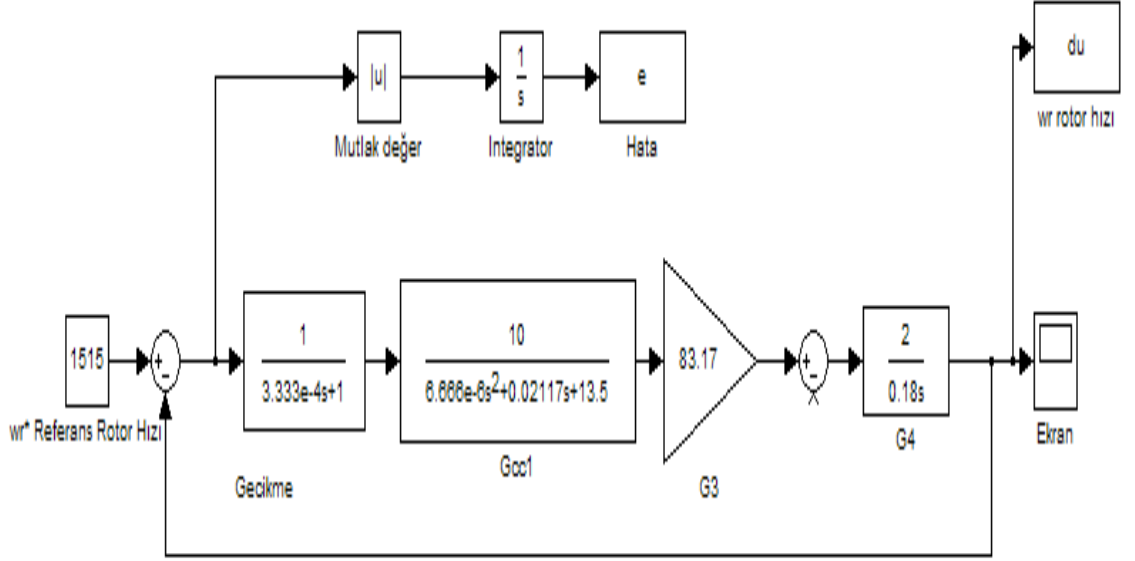
Sistem transfer fonksiyonu modelinde ; Gcc1, i_{sq} akı döngüsü kapalı çevrim transfer fonksiyonu, G3 ile i_{sq} akımının çarpımı ile Te elektriksel tork'u, G4 ise kutup sayısı ve atalet momenti bağıntısını, ω_r^* referans rotor hızını, PI oransal, integral kontrolü, ω_r İG rotor hızını ifade eder. Benzetim modelinde kullanılan senkron generatör , rüzgâr tribünü ve zaman gecikme parametre değerleri Çizelge 4.1 de verilmiştir.

Çizelge 4.1: RT hız kontrol parametre değerleri

ANLAMI	SEMBOL	DEĞERİ	BİRİMİ
Çift Kutup sayısı	p	2	
Rotor atalet momenti	J	0.18	kg.m ²
Rotor Tipi	Sincap kafesli		
Rotor Direnci	R_r	1.0	Ohm (Ω)
Stator Direnci	R_s	2.5	Ohm (Ω)
Rotor Endüktansı	X_r	20	mH
Stator Endüktansı	X_s	20	mH
Eşdeğer Endüktans	L_M	70	mH
Rotor Referans Hız	ω_r^*	1515	dev/dak
Rotor Hızı	ω_r	1500	dev/dak
Mekanik Güç	P_m	4	KW
İG Base Güç	P_e	4000/0.84	VA
Eşdeğer Zaman Sabiti	T_a	0.02/3.5	Sn
Eşdeğer Direnç	R_a	3.5	Ohm (Ω)
Örnekleme frekansı	f_s	3	KHz
Örnekleme zamanı	T_s	0.333	ms
Rüzgâr Hızı	V	12	m/s
Pitch Açısı	θ	0	derece
Nominal frekans	nf	50	Hz

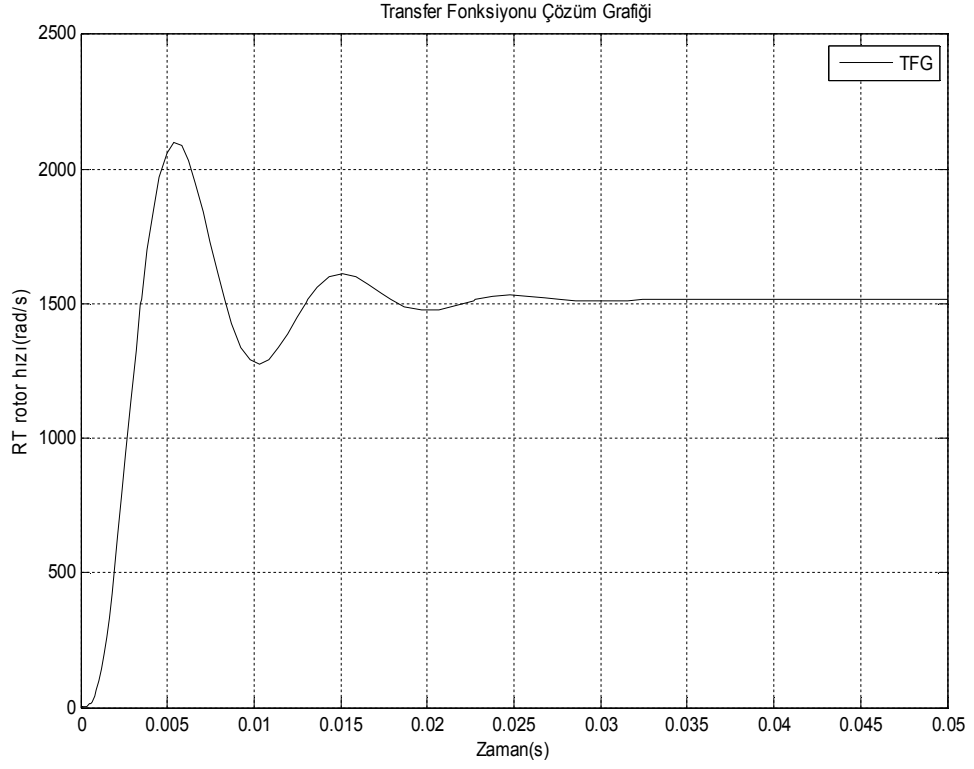
4.2.2. Rüzgâr Tribünü SKİG Rotor Hız Kontrol Modelinin P Parametresi ile Denetlenmesi ve Benzetim Sonuçları

Sistem modelinde Çizelge 4.1 deki değerler baz alınarak Şekil 4.7 Matlab Simulinkte modellenmiştir. P parametre değeri $K_p=1$ alınarak denetleyici çalıştırılmış, benzetim sonuçları Şekil 4.8 belirtilmiştir.



Şekil 4.7: RT SKİG rotor hızı P kontrol modeli

Sistem benzetim modelinde rotor hız değişimlerini görebilmek için zaman sabiti 0.05 olarak alınmıştır. Hata analizi için denklem 4.15 IAE hata indeksi kullanılmıştır. Simülasyon sonucunda rotor hız değişimi Şekil 4.8 görülmektedir.

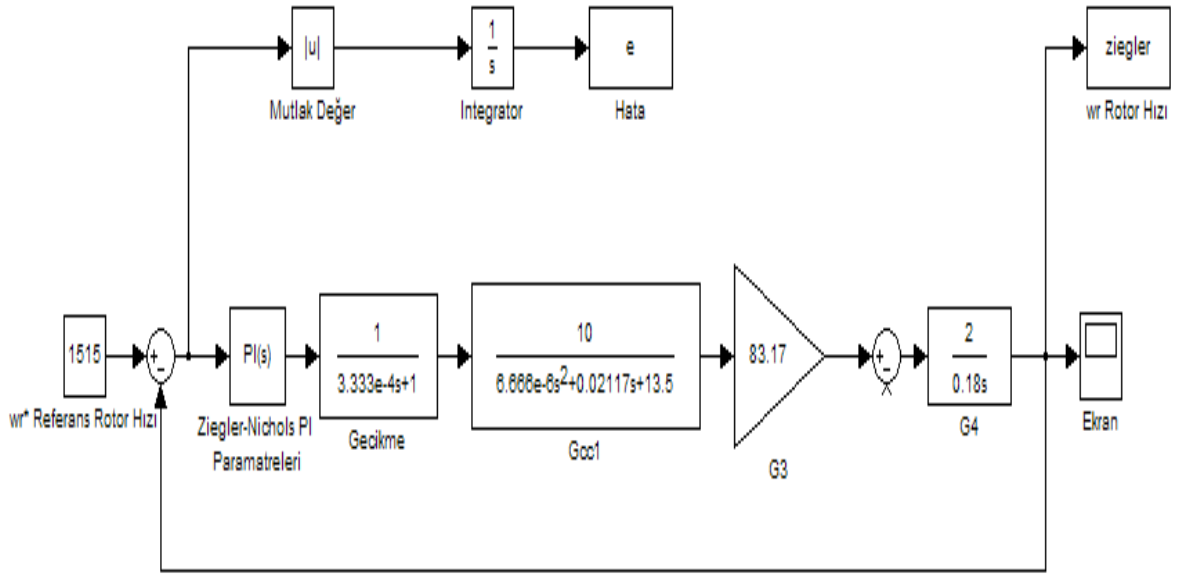


Şekil 4.8: P Kontrol rotor hızı

Bu bölümde benzetim sonuçlarının daha iyi anlaşılması için Şekil 4.8 de benzetim sonucu 0 ile 0.05 saniyeleri arasında gösterilmiştir. Salınım değerinin 0.005 ile 0.01 saniyeleri arasında 2100 rad/s aştığı görülmektedir. Salınım değerinin 0.01 ile 0.015 saniyeleri arasında devir sayısının önce 1250 rad/s düştüğü daha sonra 1700 rad/s çıktığı görülmektedir. Sistem 0.03-0.035. saniyeler arasında kararlı hale geldiği görülmektedir.

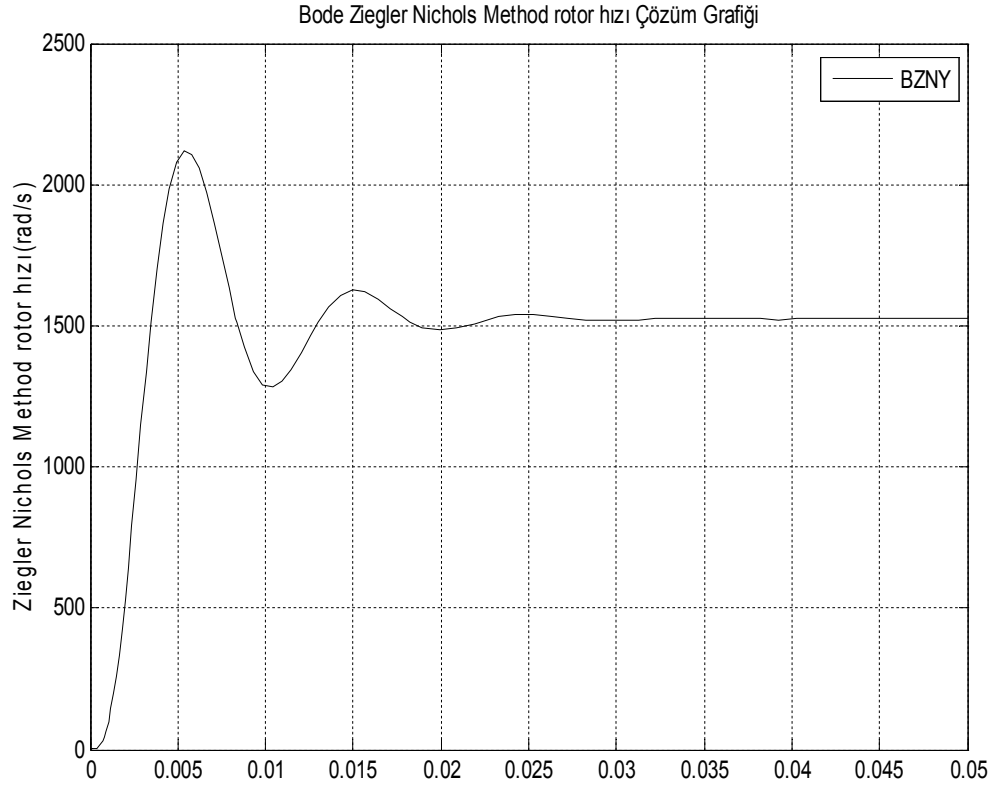
4.2.3. Ziegler-Nichols Metodu ile SKİG Rotor Hız Kontrol Modelin PI Parametrelerinin Belirlenerek Denetleyicinin Tasarlanması ve Benzetim Sonuçları

PI denetleyicisinin ayarlanması, sistem için gerekli en uygun orantı, integral parametreleri olan K_p , T_i değerlerinin en uygun değerde ayarlanmasıdır. Bu çalışmada Francesco Marra 'nın tez çalışmasında kapalı çevrim Ziegler-Nichols yöntemi ve bode çizimleri ile elde ettiği PI parametreleri benzetim modelinde kullanılmıştır. Benzetim modelinde Çizelge 4.1 de ki değerler kullanılmıştır.



Şekil 4.9: Ziegler-Nichols yöntemi PI parametreleri SKİG rotor hız kontrol modeli

PI Kontrollü SKİG rotor hız kontrol modeli şekil 4.9 de görülmektedir. Ziegler-Nichols yöntemi ile PI değerleri $K_p=1$, ve $T_i=5$ olarak bulunmuştur (Marra,2008). Sistem benzetim modelinde rotor hız değişimlerini görebilmek için zaman sabiti 0.05 olarak alınmıştır. Hata analizi için denklem 4.15 IAE hata indeksi kullanılmıştır. Simülasyon sonucunda rotor hız değişimi Şekil 4.10'da görülmektedir.

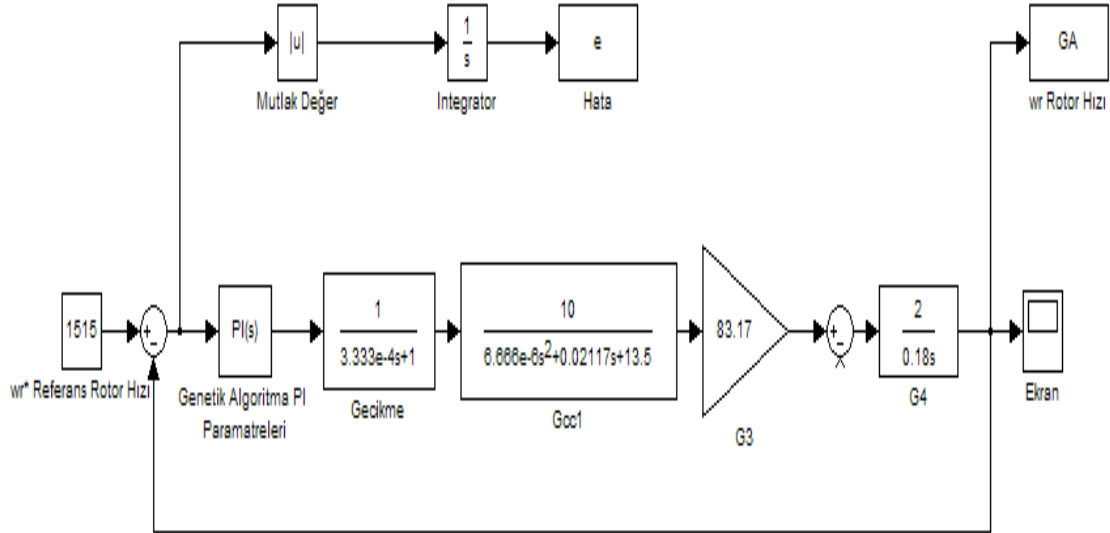


Şekil 4.10: Ziegler-Nichols yöntemi PI parametreleri SKİG rotor hız kontrol grafiği

Bu bölümde benzetim sonuçlarının daha iyi anlaşılması için Şekil 4.10 da benzetim sonucu 0 ile 0.05 saniyeleri arasında gösterilmiştir. Salınım değerinin 0.005 ile 0.01 saniyeleri arasında 2100 rad/s aştığı görülmektedir. Salınım değerinin 0.01 ile 0.015 saniyeleri arasında devir sayısının önce 1250 rad/s düştüğü daha sonra 1700 rad/s çıktığı görülmektedir. Hız değişimi 0.02-0.025. saniyelerde önce 1490rad/s daha sonra 1540 rad/s olmaktadır. Sistem 0.03-0.035. saniyeler arasında kararlı hale geldiği görülmektedir.

4.2.4. Genetik Algoritma ile SKİG Rotor Hız Kontrol Modelin PI Parametrelerinin Belirlenerek Denetleyicinin Tasarlanması ve Benzetim Sonuçları

Şekil 4.11’ da GA ile PI denetleyicisinin kontrol parametreleri optimize edilmiştir. Şekilde SKİG rotor hız kontrol modeli görülmektedir. GA ile optimize edilecek PI denetleyicisinin sınır değerleri Çizelge 3.12 de verilmiştir. Hata sinyali olarak($w_r^* - w_r$) referans rotor hız değerinden rotor hız değeri farkı alınarak hata indeksi denklem 4.15 ile uygunluk fonksiyonu olarak GA’da kullanılmıştır.

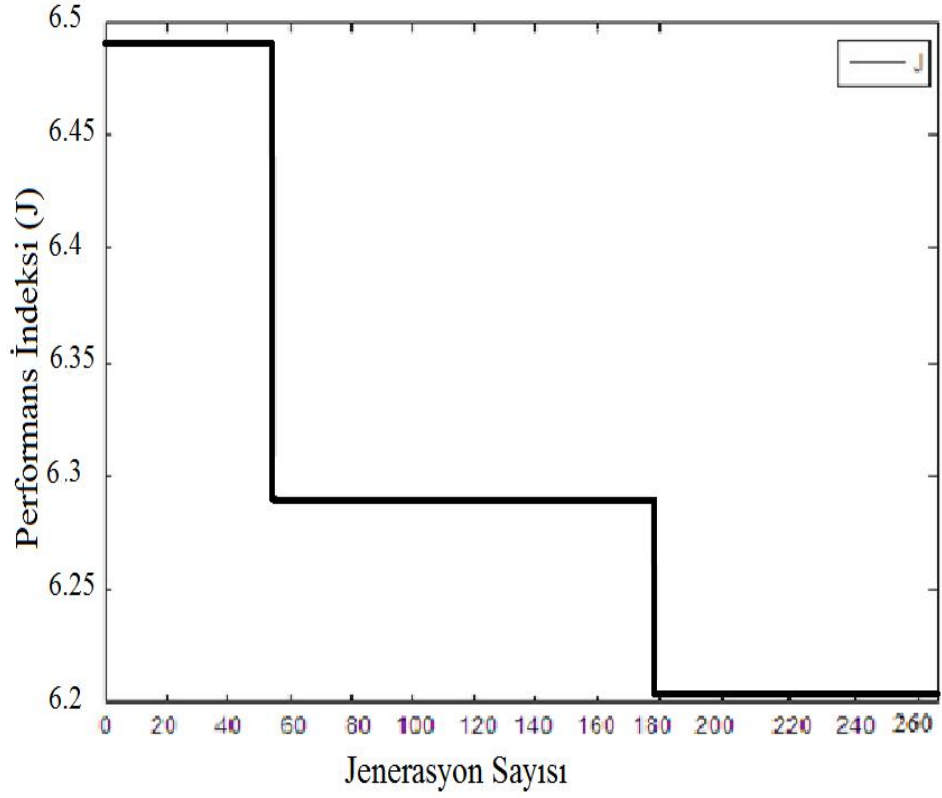


Şekil 4.11: Genetik algoritma PI parametreleri ile SKİG rotor hız kontrol modeli

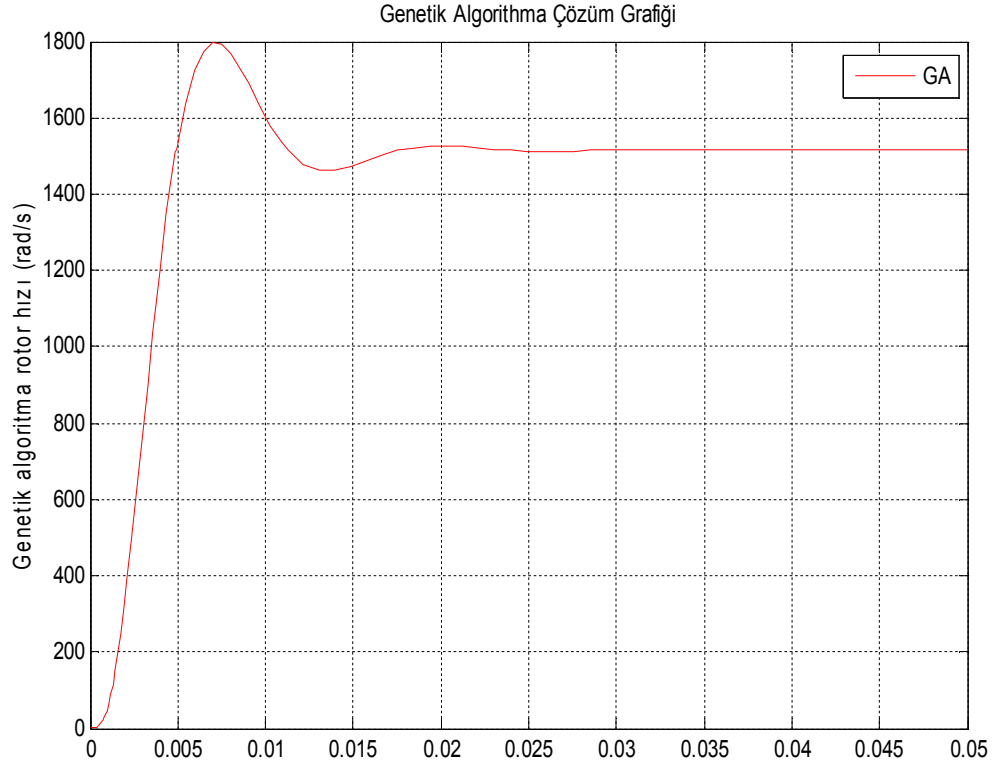
Sistemin çözümünde IAE performans indeksine bağlı uygunluk fonksiyonu ile GA kodları 30 kez çalıştırılmış en uygun PI parametreleri bulunmuştur. PI parametreleri Çizelge 4.2 de belirtilmiştir. Uygunluk fonksiyonunun değişim eğrisi Şekil 4.12 de görülmektedir. GA ile optimize edilen PI parametrelerinin sistemin çalışma performansına etkilerinin anlaşılabilmesi için Şekil 4.13 de benzetim sonuçları 0 ile 0.05 saniyeleri arasında gösterilmiştir.

Çizelge 4.2: IAE performans indeksinde GA ile optimize edilmiş PI parametreleri

Genetik Algoritma PI parametreleri	En uygun PI parametreleri		
	K_p	K_i	K_d
	0.7990	2.1877	-



Şekil 4.12: Uygunluk fonksiyonu değişimi

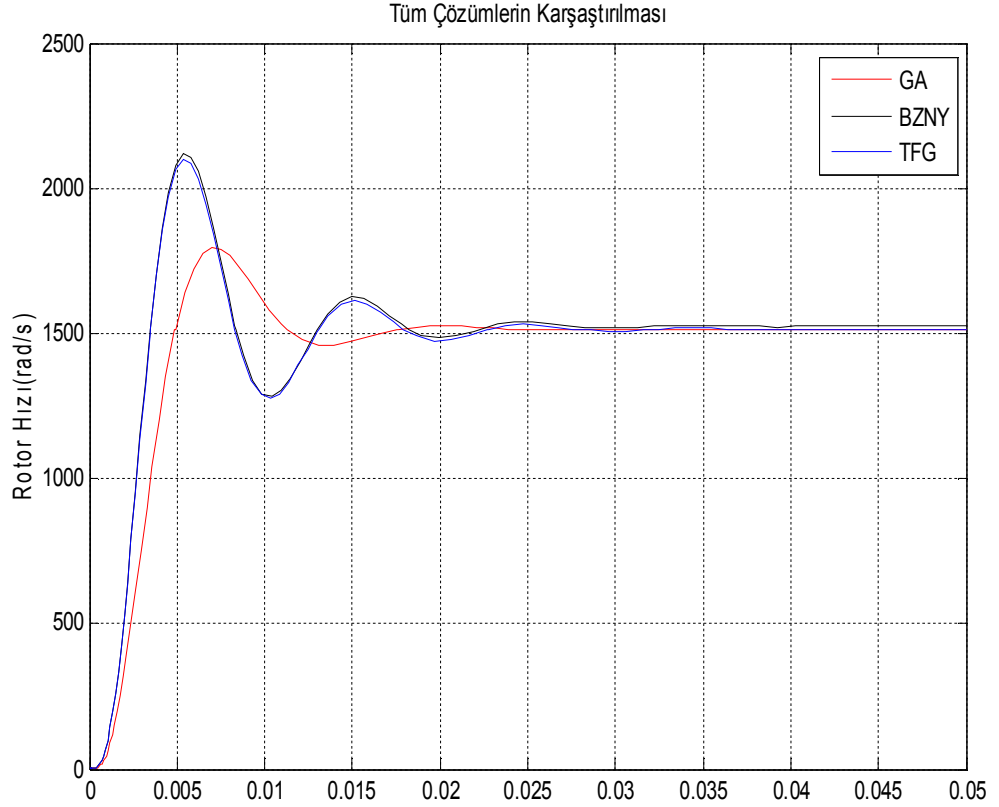


Şekil 4.13: GAPI denetleyicisi kullanarak SKİG rotor hız değişimi

SKİG rotor hız kontrol transfer fonksiyonunda Çizelge 4.1 deki sistem parametre değerleri alınmış ve GAPI katsayıları ile model simule edilmiştir. Benzetim sonucunda rotor hız değişimi Şekil 4.13 elde edilmiştir. Rotor hızının 0.005-0.01 saniyeleri arasında 1800 rad/s ile maksimum hıza ulaştığı ve 0.01. saniyede 1600 rad/s olduğu görülmektedir. Rotor hızının 0.01- 0.15. saniyelerde 1450 rad/s ile minimum değerini aldığı görülmektedir. Sistemin 0.02-0.025. saniyelerde kararlı hale geldiği, hızın referans değerinde 1515 rad/s olduğu görülmüştür.

4.2.5. Benzetim Sonuçlarının Karşılaştırılması

SKİG' ün rüzgâr tribünü lineer modelinde rotor hız kontrolü için üç farklı çalışma yapılmıştır. Sonuçların anlaşılabilmesi için çalışma zamanı 0-0.05 saniyeleri arasında gösterilmiştir.



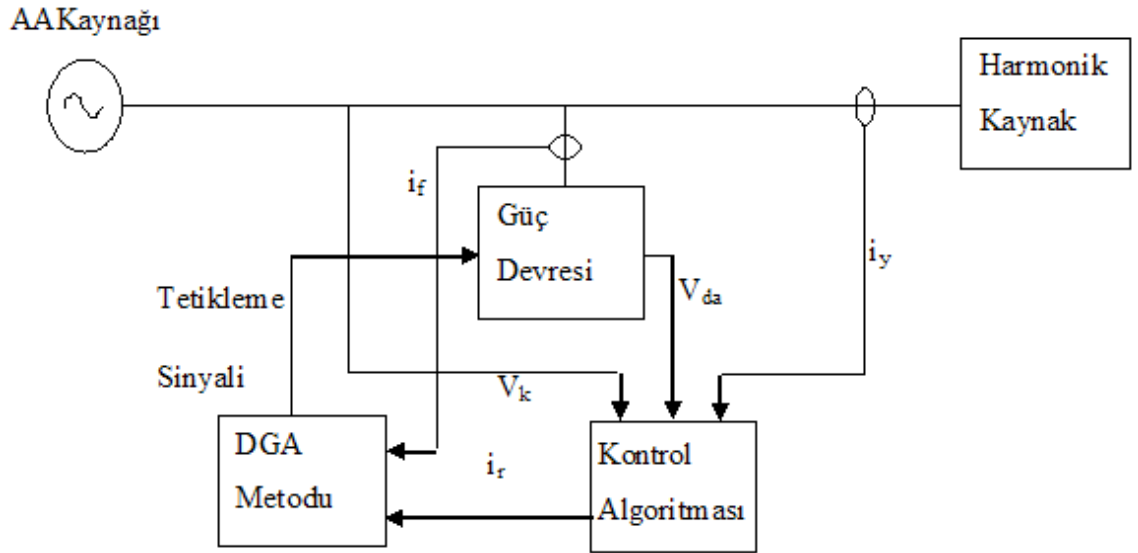
Şekil 4.14: Benzetim sonuçlarının karşılaştırılması

Bu çalışmada önerilen GAPI parametrelerinin, P parametre $K_p=1$ (TFG) ve Ziegler Nichols PI parametreleri ile elde edilen sonuçlardan daha iyi olduğu Şekil 4.14 te görülmektedir.

4.3. SKİGRT ÇIKIŞ AKIM KONTROL

Şekil 4.25 te verilen RT kontrol sisteminde SKİG çıkış akımları ve inverter çıkışı kontrol edilmelidir. Bu amaçla bu çalışmada histerizis bant akım denetimli DGA metodu kullanılmıştır. Sistemin çalışmasında sinüsoidal DGA ve uzay vektör PWM kullanılabilceğinden kısaca değinilmiştir. Şekil 4.27-4.28 histerizis bant akım denetimi Matlab-Simulink ortamında ifade edilmiştir.

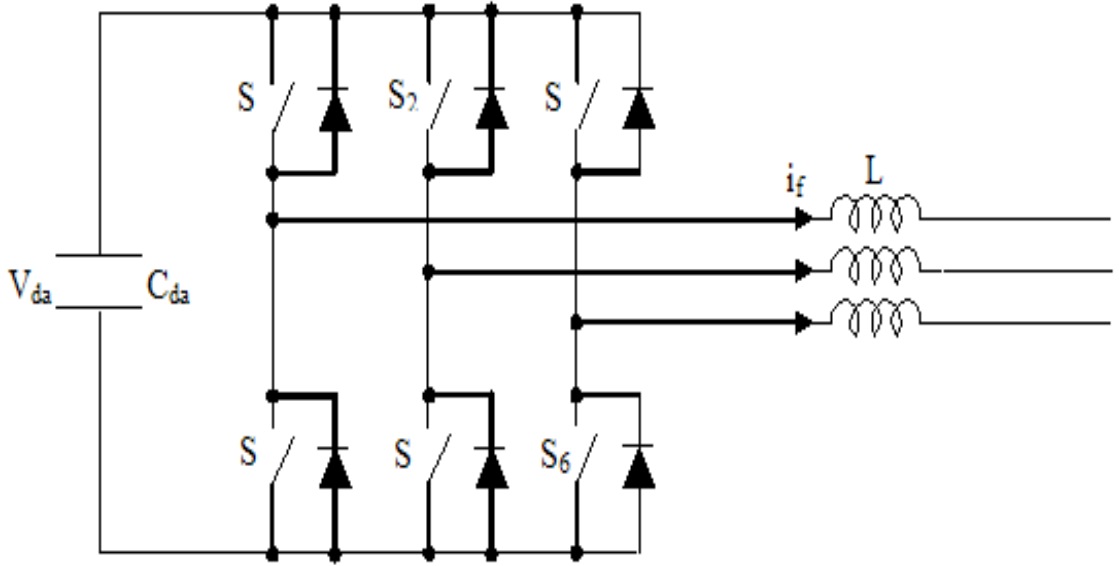
Paralel aktif güç filtresinin blok diyagramı Şekil 4.15’de görülmektedir. Tetikleme sinyalini üretebilmesi için öncelikle yükün çektiği harmonik akımlar tespit edilmelidir. Bunun için yük akımları ve kaynak gerilimlerinden örnekler alınır. Kontrol algoritmalarından biri kullanılarak referans akım sinyalleri üretilir. Üretilen bu referans sinyallerle paralel aktif güç filtresinin o anda çıkışındaki akım sinyalleri karşılaştırılarak tetikleme sinyalleri üretilir. Güç devresi, kontrol algoritması ve darbe genişlik ayarı (DGA) metotlarından biri kullanılarak paralel aktif güç filtresi gerçekleştirilmektedir(Kale,2003).



Şekil 4.15: Paralel aktif güç filtresi blok diyagramı.

4.3.1. Güç Devresi

Güç devresi üç fazlı köprü evirici, bobin ve DA kondansatöründen oluşmaktadır (Şekil 4.16). Paralel aktif güç filtresinin güç devresinde gerilim kaynağı DGA evirici veya akım kaynağı DGA evirici kullanılabilir. Her iki evirici de, paralel aktif güç filtresi uygulamasında doğrusal olmayan kontrollü akım kaynağı olarak çalıştırılır. Aktif güç filtrelerinde, eviricilerin DA tarafına güç kaynağı bağlı değildir. Onun yerine enerji depolama elemanı olarak gerilim kaynağı eviricide kondansatör, akım kaynağı eviricide ise bobin kullanılmaktadır. Güç devresinde anahtarlama elemanı olarak yüksek hızlı anahtarlama yetenekleri ve yüksek akım dayanımına sahip olduğu için izole kapılı transistör (IGBT) kullanılmaktadır (Kale,2003).



Şekil 4.16: Paralel aktif güç filtresi güç devresi.

Güç devresinde kullanılan AA tarafındaki bobin ve DA tarafındaki kondansatörün değeri ve DA tarafındaki gerilimin büyüklüğü güç devresinin ve dolayısıyla paralel aktif güç filtresinin performansını etkilemektedir.

Enerji depolama elemanı olarak kullanılan kondansatörün büyüklüğü DA tarafındaki gerilimin dalgalanmasını belirler. Kondansatörün büyük seçilmesi DA tarafındaki

gerilimin dalgalanmasını azaltır fakat geçici durumda (kondansatör şarj oluncaya kadar) eviriciden çok büyük akım geçer. Bu durum anahtarlama elemanlarının zarar görmesine sebep olur. Kondansatörün değeri küçük seçildiğinde ise geçici durumdaki bu olumsuzluklar giderilir. Fakat DA tarafındaki gerilim çok dalgalanır. V_{da} gerilimindeki bu dalgalanma filtre akımının yükselme hızını dolayısıyla filtrenin cevabına etki eder. Evirici hem doğrusal olmayan yükün çektiği akımları yok etmek için hem de V_{da} gerilimini sabit tutmak içinde kontrol edilir.

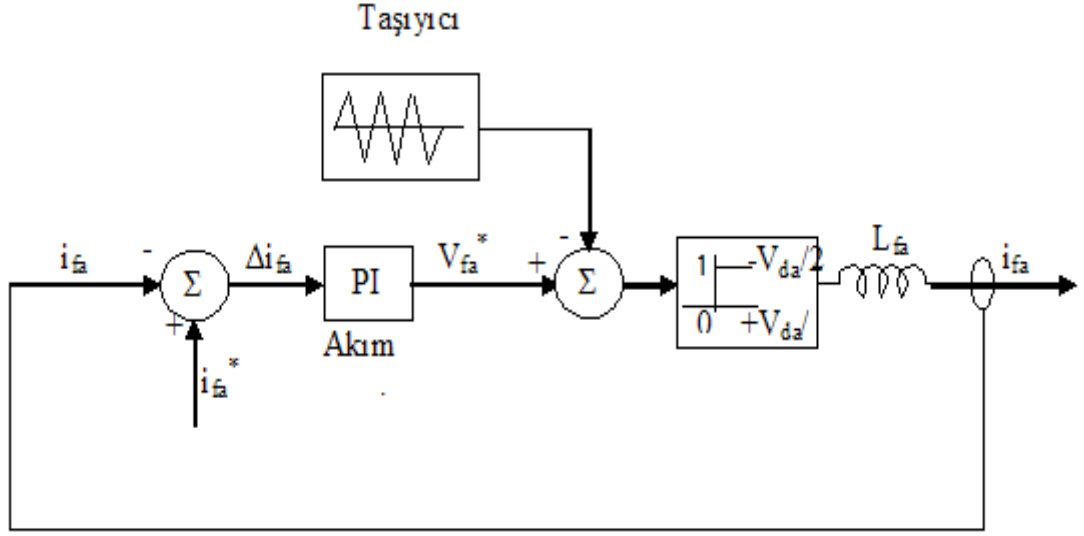
L_f bobini filtre akımının yükselme hızını belirler. Yükselme hızının değeri ise yüksek dereceli harmonik bileşenleri yok etmede önemlidir. L_f bobinin büyük olması aktif güç filtresinin yüksek dereceli harmonikleri yok etmesini engeller ve yük değişiminde aktif güç filtresinin cevabını yavaşlatır.

4.3.2. DGA Metodu

Paralel aktif güç filtrelerinde köprü eviricinin çıkışındaki akım kontrol edilmektedir. Dolayısıyla kullanılan bu eviriciler akım kontrollü gerilim kaynağı DGA evirici olarak adlandırılır. Aktif güç filtresi çıkışından istenilen dalga şekline sahip akım almak için akım kontrollü gerilim kaynağı evirici çeşitli metotlarla kontrol edilir. Bunlardan aktif güç filtrelerinde en çok kullanılanları sinüsoidal DGA, histerisiz bant akım denetimli DGA, uzay vektör DGA'dır.

4.3.2.1. Sinüsoidal DGA

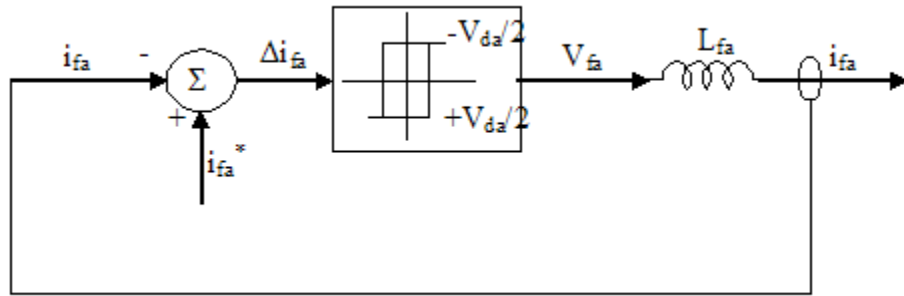
Şekil 4.17'te sinüsodal DGA'nın prensip şeması verilmektedir. Evirici çıkışındaki i_{fs} akımını kontrol etmek için bu akımlardan geri besleme alınır. Alınan bu sinyalle referans akım sinyali karşılaştırılarak Δi_{fa} hata sinyali elde edilir. Akım regülatörü bu hata sinyalini alarak çıkışında eviricinin faz gerilimlerine karşılık gelen V_{fa}^* gerilim sinyalini üretir. Anahtarlama sinyallerini üretmek için bu gerilim sinyali taşıyıcı sinyal olarak adlandırılan üçgen dalga şekline sahip sinyalle karşılaştırılır. Gerilim sinyalinin üçgen sinyalden büyük olduğu yerlerde S_4 anahtarı, küçük olduğu yerlerde ise S_1 anahtarı iletme geçer. Bu işlem her faz için ayrı ayrı yapılarak o fazlara ait kollardaki anahtarlar kontrol edilir. Taşıyıcı sinyalin frekansı anahtarlama frekansını vermektedir (Kale, 2003).



Şekil 4.17: Sinüsoidal DGA.

4.3.2.2. Histerisiz bant DGA

Şekil 4.18’te histerisiz bant DGA prensip şeması verilmektedir. Evirici çıkışındaki akımı kontrol etmek için çıkış akımlarıyla referans akımlar karşılaştırılır. Elde edilen hata sinyalleri histerisiz denetleyiciye uygulanarak anahtarlama sinyalleri üretilir. Her faza ait histerisiz denetleyici o fazlara ait akım hatalarını belli sınırlar içinde tutacak şekilde anahtarlama sinyalleri üretir. Hata sinyali üst sınıra ulaştığında S_4 anahtarı iletime geçerek akımın düşmesini sağlar, hata alt sınıra ulaştığında ise S_1 anahtarı iletime geçerek akımın artması sağlanır. Bu işlem de referans sinyal değişse bile hata sinyali histerisiz bant sınırları arasında tutulduğu için çıkış akımının referans sinyali takip etmesi sağlanmış olur (Kale, 2003).



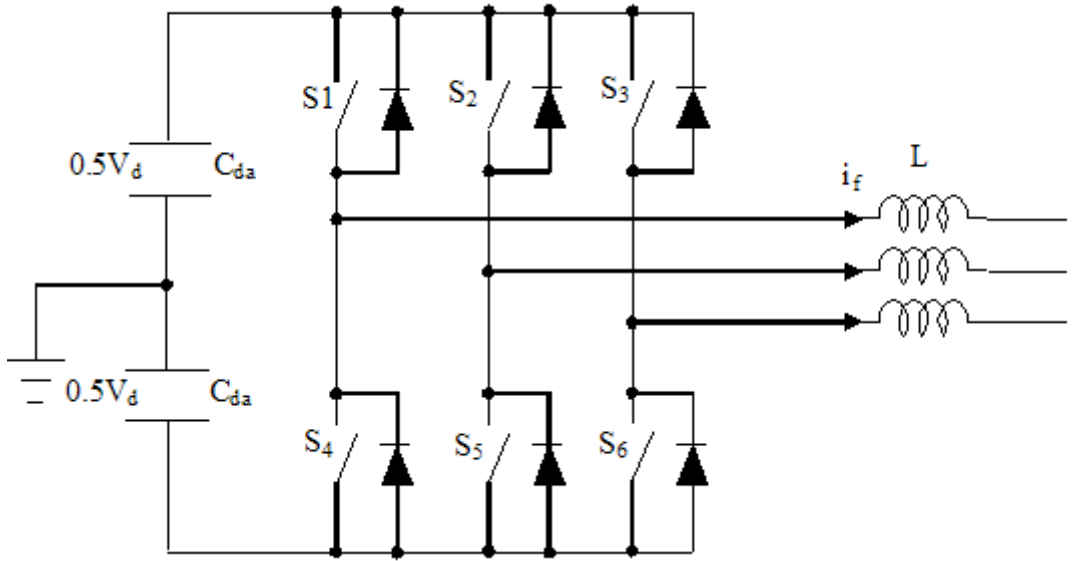
Şekil 4.18: Histerisiz bant DGA (Ingram ve Round, 1999).

Şekil 4.19’te eviricinin çıkışındaki L bobinin üzerindeki gerilim, anahtarların konumuna ve kaynak geriliminin anlık değerine bağlı olarak $+0.5V_{da}-V_a$ ile $-0.5V_{da}-V_a$ arasında değişmektedir. Şekil 4.20’de evirici çıkışındaki (a) fazına ait akım ve gerilim dalga şekli görülmektedir. S_1 anahtarı kapatıldığında i_{fa} akımı 1 numaralı noktadan 2 numaralı noktaya doğrusal olarak artar. 2 numaralı noktaya ulaştığında S_4 anahtarı kapatılır ve akım 3 numaralı noktaya doğrusal olarak azalır. t_1 ve t_2 anahtarlama aralıkları için

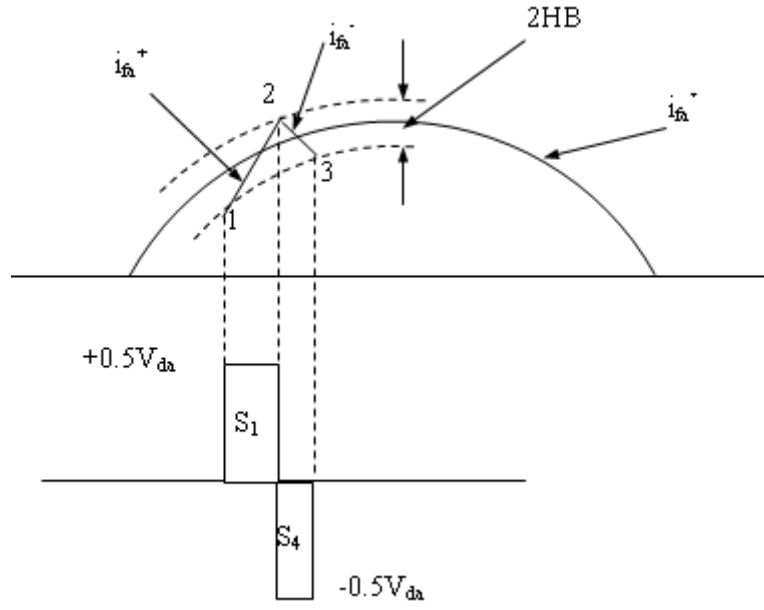
$$\frac{di_{fa}^+}{dt} = \frac{1}{L_{fa}}(0.5V_{da} - V_{ka}) \quad (4.18)$$

$$\frac{di_{fa}^-}{dt} = -\frac{1}{L_{fa}}(0.5V_{da} + V_{ka}) \quad (4.19)$$

denklemleri yazılır. i_{fa}^+ ve i_{fa}^- (a) fazı akımının yükselen ve düşen kısımlarıdır (Bose, 1990).



Şekil 4.19: İki kondansatörlü evirici bağlantısı

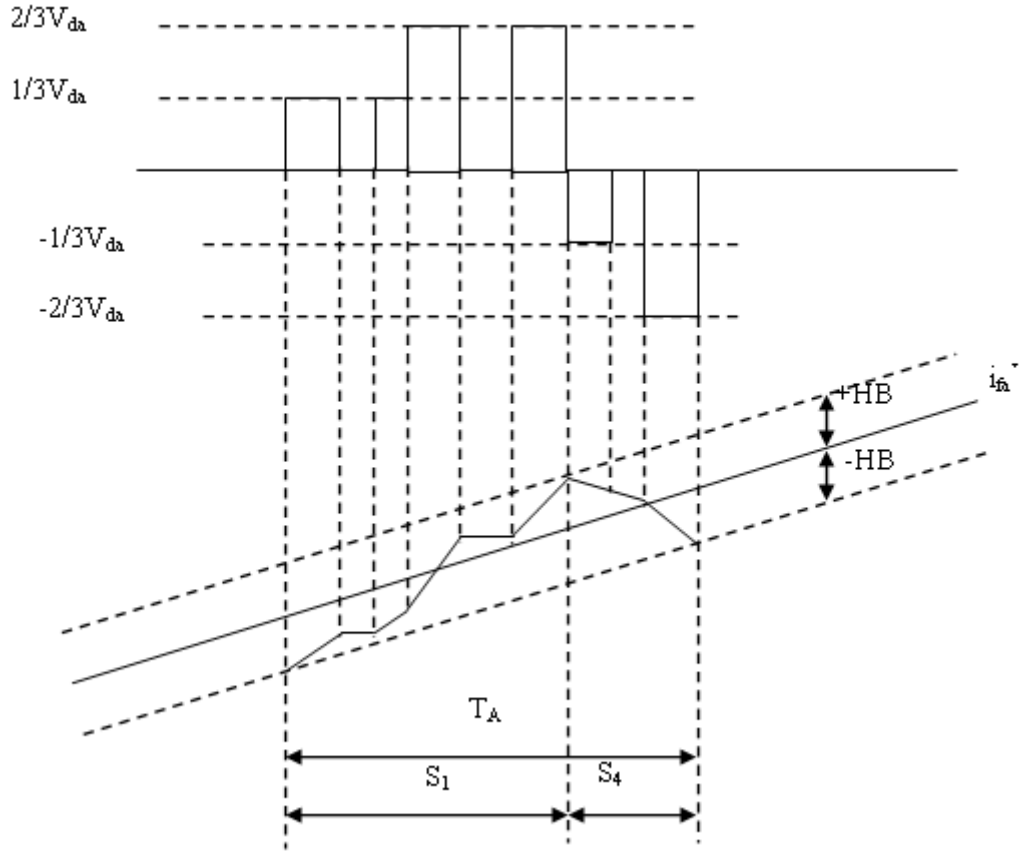


Şekil 4.20: Evirici çıkışındaki akım ve gerilim dalga şekli (Bose, 1990).

Bir çok paralel aktif güç filtresi uygulamasında DA tarafı nötr hattından ayrı kullanılmaktadır Şekil 4.19 da belirtilmiştir.. Bu durumda güç devresinin bir fazındaki çıkış gerilimi, diğer fazlara ait anahtarların kapalı veya açık olma durumuna göre değişmektedir. Çizelge 4.3’de eviricinin anahtarlama durumu ve bu durumlara göre (a) fazının gerilimi görülmektedir. S_1 anahtarı kapandığında (a) fazının gerilimi 0, $1/3$, $2/3V_{da}$ değerlerini alabilir. S_4 anahtarın kapandığında ise 0, $-1/3$, $-2/3V_{da}$ değerlerini alabilir. Şekil 4.20’de bir anahtarlama periyodu boyunca evirici çıkış gerilim ve akım dalga şekli görülmektedir. Kaynak geriliminin işaretine ve değerine bağlı olarak S_1 anahtarı kapandığında faz akımı yükselip düşebilir, S_4 anahtarı kapatıldığında ise akım sürekli düşer (Bose, 1990).

Çizelge 4.3: Evirici anahtarlama durumu ve (a) fazı gerilimi

Anahtarlama Durumu	Kapalı Anahtarlar	(a) Fazı Gerilimi (V)
1	$S_1 S_6 S_5$	$+1/3V_{da}$
2	$S_1 S_6 S_2$	$+1/3V_{da}$
3	$S_1 S_3 S_5$	0
4	$S_1 S_6 S_2$	$+2/3V_{da}$
5	$S_4 S_6 S_2$	0
6	$S_4 S_3 S_5$	$-2/3V_{da}$
7	$S_4 S_3 S_2$	$-1/3V_{da}$
8	$S_4 S_6 S_5$	$-1/3V_{da}$



Şekil 4.21: Bir anahtarlama periyodu boyunca evirici çıkışındaki gerilim ve akım dalga şekilleri (Bose, 1990)

Denklem 4.18, denklem 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'e göre anahtarlama frekansı; histerisiz bandın genişliğine, L bobin değerine, kaynak geriliminin büyüklüğüne ve DA tarafındaki gerilimin büyüklüğüne bağlıdır. Bobinin veya histerisiz bandın büyük olması veya V_{da} 'nın küçük olması akımın yükselme hızını ve anahtarlama frekansını küçültür. Bobinin veya histerisiz bandın küçük olması veya V_{da} 'nın büyük olması akımın yükselme hızını ve anahtarlama frekansının büyük olmasını sağlar. Akımın yükselme hızı dolayısıyla anahtarlama frekansının değeri paralel aktif güç filtresinin yok edeceği harmoniklerin derecesiyle ilgilidir. Anahtarlama frekansı yeterince büyükse yüksek dereceli harmoniklerin de kompanzasyonu yapılabilir (Kale, 2003). Bu çalışmada DGA kontrol simülasyonu Şekil 4.25 te verilen AEK (FOC) bloğunda yer almaktadır. DGA kontrol blokları Şekil 4.27 ve 4.28 de verilmiştir.

4.3.3. Uzay Vektör PWM Tasarımı

Uzay vektör PWM yöntemi IG için 3 fazlı sinüzoidal gerilim üretmek için seçilmiştir. UVM birincil olarak motor kontrol uygulamalarında kullanılır (özellikle motor kontrol uygulamalarında indüksiyon ve fırçasız DC motor da). Ancak UVM, kesintisiz güç kaynağı (UPS) uygulamalarında da kullanılabilir.

UVM daha popülerdir. Çünkü geleneksel sinüzoidal PWM tekniklerinden daha yüksek gerilimler ile daha düşük toplam harmonik bozulma oluşturur. UVM in bir diğer avantajı da motor kontrol uygulamaları için alan odaklı denetim planları ile çok iyi çalışıyor olmasıdır.

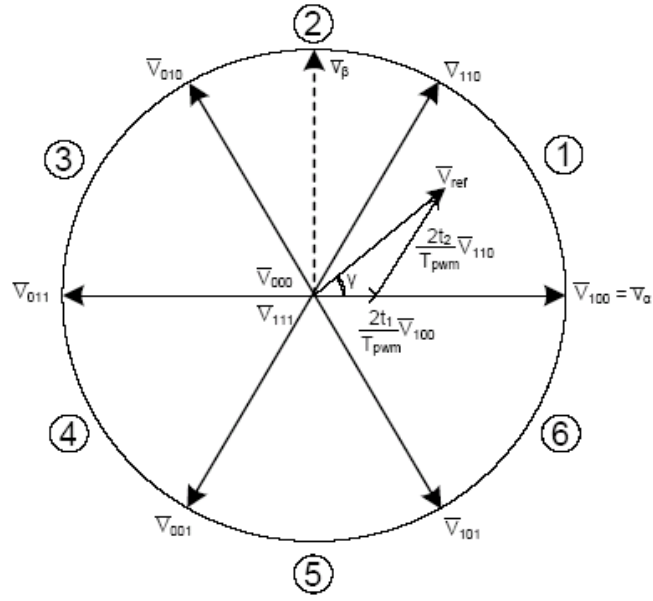
UVM referans gerilim uzay vektörü sabit $\alpha\beta$ referans çerçevesi kullanır.

V_{ref} aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$V'_{ref} = \frac{2}{3}(V_{Aref} + aV_{Bref} + a^2V_{Cref}) \quad (4.15)$$

Burada $a = \frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$ ve V_{Aref}, V_{Bref} ve V_{Cref} referans gerilimleri vardır. V_{ref} tanımını referans çerçevesi içindeki konumuna bağlıdır.

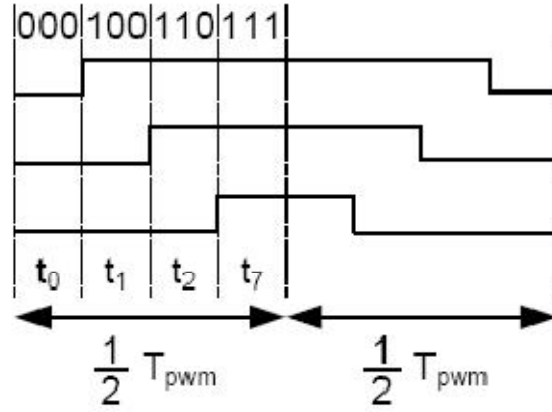
Şekil 4.22 de V_{ref} 1. bölgede bulunur ve bu nedenle durum gerilimi V_{100}, V_{110} ile tanımlanır. V_{110} gerilimi UVM nin ilk ve orta bacak ta üst anahtarlarla geçirilen [110] konumu ile üretilen voltajdır. T_{pwm} UVM için bir anahtarlama periyodu olarak gösterilir ve γ V_{ref} faz açısıdır.



Şekil 4.22: V_{ref} için UVM

Referans gerilimi vektörü d-q dönüşümü sayesinde, d-q düzleminde haritalama ile istenilen üç fazlı çıkış gerilimi elde edilir. 120 derece faz farklı üç fazlı sinüzoidal gerilim çıkış voltajı istendiğinde, V_{ref} istenilen 3 fazlı gerilime karşılık gelen uygun frekans ile d-q düzlemi orjini etrafında dönen bir vektör olur. Şekil 4.22 de gösterildiği gibi temel uzay vektörleri altıgen bir zarf oluşturmuş, maksimum V_{ref} de odağı konumundadır. Bu nedenle, V_{ref} dönen bir vektör olduğundan V_{ref} büyüklüğü bu zarfın kısa yarıçapı ile sınırlı olmalıdır. V'_{ref} için $V_{DC}/\sqrt{2}$ maksimum büyüklüğü verir. Buna bağlı olarak çıkış voltajları $V_{DC}/\sqrt{2}$ ve $V_{DC}\sqrt{6}$ temel maksimum rms değerleri faz-faz ve faz-nötr olur ki olandan $2/\sqrt{3}$ kat daha fazla bir sinüzoidal PWM tekniği oluşturabilir. Bu nedenle bir motor için gereken yol alma gerilimi $V_{DC} = \sqrt{2} * V_n$ tarafından belirlenir. Bu ifade gerekli olan yol voltajını ortaya koyar. $V_{DC} = 535 V$ ile $V_n = 380V$, Şekil 4.23 de görüldüğü gibi, anahtarlama çevirmeler sayısını azaltmak için geçiş sırası aşağıdaki sırayla yapılır $[0 0 0]$, $[1 0 0]$, $[1 1 0]$, $[1 1 1]$. IG hareket halinde olması sırasında, sıfır voltaj durumları olarak bilinen $[0 0 0]$ ve $[1 1 1]$ durumlar uygulanır. Diğer durumları etkin durumlar olarak adlandırılır. UVM içinde sıfır durumları simetriktir, sıfır durumu denklem 4.18 de verilmiştir.

$$t_7 = t_0 = \frac{1}{2} \left(\frac{T_{PWM}}{2} - t_1 - t_2 \right) \quad (4.18)$$



Şekil 4.23: Simetrik UVM için konum sırası

Örneğin sektör 1 olarak göz önüne alındığında, V_{ref} sonra da ifade edilebilir.

$$V'_{ref} = V'_{100} \frac{t_1}{\frac{T_{pwm}}{2}} + V'_{110} \frac{t_2}{\frac{T_{pwm}}{2}} \quad (4.19)$$

Durum voltajları denklem 4.20 de ki gibi ifade edilebilir.

$$V'_{100} = \frac{2}{3} (a^0 V_{DC} * 1 + a^1 V_{DC} * 0 + a^2 V_{DC} * 0) = \frac{2}{3} V_{DC}$$

$$V'_{110} = \frac{2}{3} (a^0 V_{DC} * 1 + a^1 V_{DC} * 0 + a^2 V_{DC} * 0) = \frac{2}{3} V_{DC} \left(\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \quad (4.20)$$

Zaman süreleri, t_1 ve t_2 denklem, (4.17) kullanılıp, gerçek ve sanal kısmı ile bölerek hesaplanabilir. Burada; $V'_{ref} = V_{ref} (\cos \gamma + j \sin \gamma)$ değerine eşittir.

$$Re[V_{ref}] = V_{ref} \cos \gamma = \frac{2}{3} V_{DC} \frac{t_1}{\frac{T_{PWM}}{2}} + \frac{2}{3} V_{DC} \frac{t_2}{\frac{T_{PWM}}{2}} \cos 60^\circ \quad (4.21)$$

$$Im[V_{ref}] = V_{ref} \sin \gamma = \frac{2}{3} V_{DC} \frac{t_2}{\frac{T_{PWM}}{2}} \cos 60^\circ \quad (4.22)$$

Re [V_{ref}] ve Im [V_{ref}] karşılık geldiğinden, bölüm 1 V_β denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$V_\beta = \frac{2}{3} V_{DC} \frac{t_2}{\frac{T_{PWM}}{2}} \sin 30^\circ \quad (4.23)$$

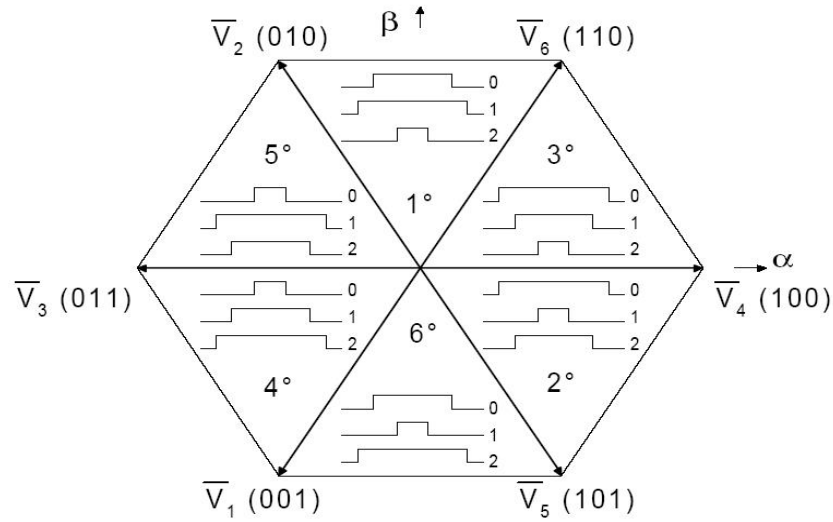
$$V_a = \frac{2}{3}V_{DC} \frac{t_1}{\frac{T_{PWM}}{2}} + \frac{2}{3}V_{DC} \frac{t_2}{\frac{T_{PWM}}{2}} \cos 60^\circ \quad (4.24)$$

Buradan t1 zamanı denklem 4.25 ve t2 zamanı denklem 4.26 gibi ifade edilebilir.

$$t1 = \frac{3V_a - \sqrt{3}V_\beta}{2V_{DC}} \frac{T_{PWM}}{2} \quad (4.25)$$

$$t2 = \frac{V_\beta}{V_{DC}} \sqrt{3} \frac{T_{PWM}}{2} \quad (4.26)$$

Simetrik uzay vektör modülasyonu anahtarlama sırası dairesel düzlemde Şekil 4.24 ile temsil edilmektedir.



Şekil 4.24: Simetrik UVM anahtarlama sırası

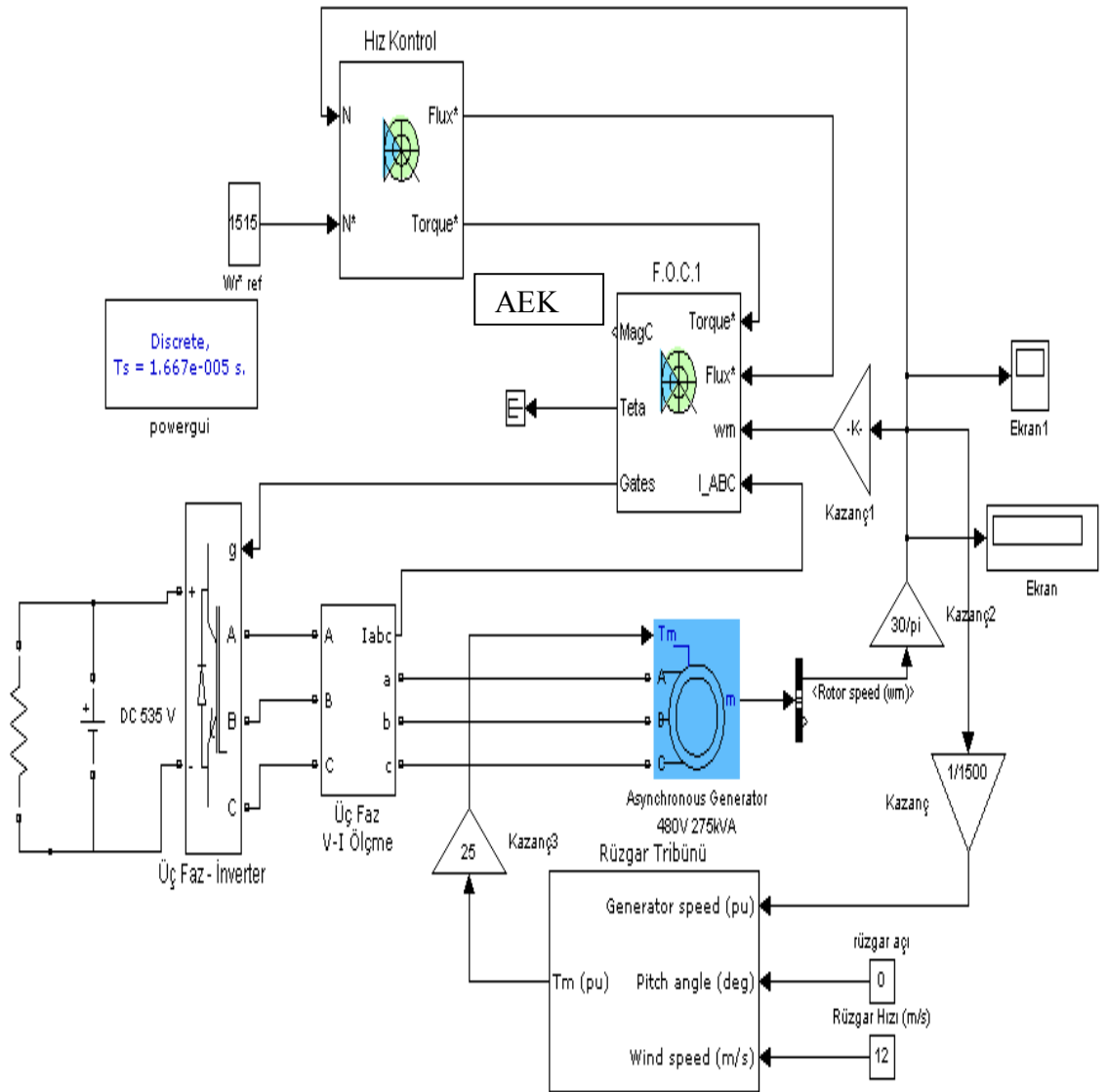
Her bir bölgedeki anahtarların anahtarlama PWM zamanları Çizelge 4.4 te gösterilmiştir. VA, VB, VC üç faz çıkış gerilimi asimetrik UVM uygulamaları için bu Çizelge 4.4 kolaylık sağlamaktadır.

Çizelge 4.4: SV-PWM görev döngüsü

Sektör Numarası	Açı	Görev döngüsü
1	$\left[0, \frac{\pi}{3}\right]$	$PWM0 = (t1 + t2 + t7/2)/T_{PWM}$ $PWM1 = (t2 + t7/2)/T_{PWM}$ $PWM2 = (t7/2)/T_{PWM}$
2	$\left[\frac{\pi}{3}, \frac{2\pi}{3}\right]$	$PWM0 = (t1 + t7/2)/T_{PWM}$ $PWM1 = (t1 + t2 + t7/2)/T_{PWM}$ $PWM2 = (t7/2)/T_{PWM}$
3	$\left[\frac{2\pi}{3}, \pi\right]$	$PWM0 = (t7/2)/T_{PWM}$ $PWM1 = (t1 + t2 + t7/2)/T_{PWM}$ $PWM2 = (t2 + t7/2)/T_{PWM}$
4	$\left[\pi, \frac{4\pi}{3}\right]$	$PWM0 = (t7/2)/T_{PWM}$ $PWM1 = (t1 + t7/2)/T_{PWM}$ $PWM2 = (t1 + t2 + t7/2)/T_{PWM}$
5	$\left[\frac{4\pi}{3}, \frac{5\pi}{3}\right]$	$PWM0 = (t2 + t7/2)/T_{PWM}$ $PWM1 = (t7/2)/T_{PWM}$ $PWM2 = (t1 + t2 + t7/2)/T_{PWM}$

4.4. RÜZGÂR TRİBÜNÜ HIZ KONTROL SİMÜLASYONU

Simülasyon Matlab-Simulink ortamında yapılmış olup, şanzıman sistemi olmayan direk bağlantılı SKİG Rüzgâr Tribün sistemi kullanılmıştır. RT ve SKİG parametre değerleri, üretici firmanın vermiş olduğu değerler simülasyon değerleri olarak alınmıştır. Bu değerler çizelge 4.1-4.7 de verilmiştir. SKİG rotor kayma değeri %' 1 olarak alınmıştır. Rüzgâr hızı 12 m/s, pitch açısı değeri 0° , referans rotor hızı 1515 rpm, mekanik tork 25 Nm olarak alınmıştır. Simülasyon genel şeması Şekil 4.25 de verilmiştir.



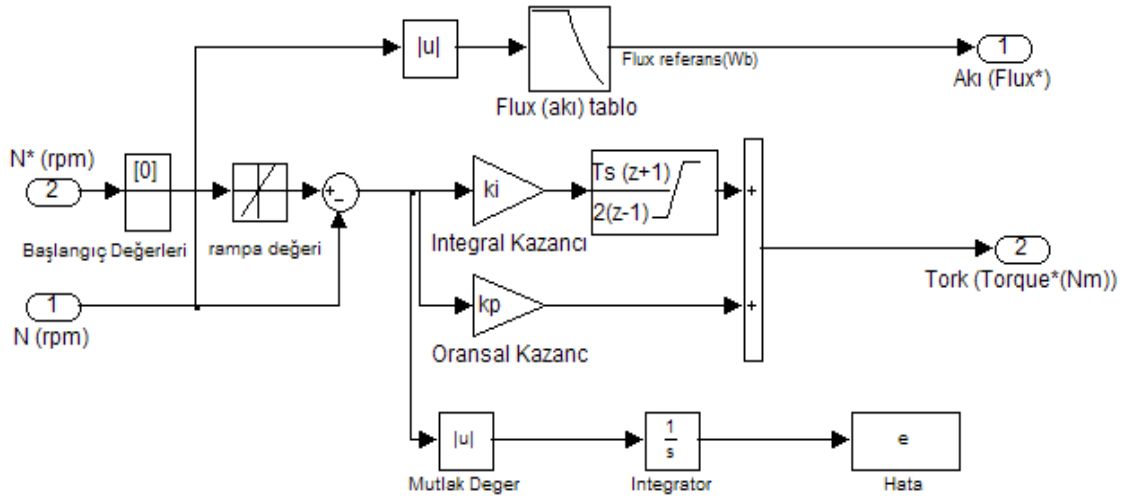
Şekil 4.25: Rüzgâr tribünü kontrol sistemi

4.4.1. Kontrol Blokları

Rüzgâr tribünü kontrol sisteminde kullanılan blokların parametre değerleri simulink ortamında çizelgelerde belirtildiği gibi veriler girilir.

4.4.1.1. Hız Kontrol Bloğu

Hız kontrol bloğu şekil 4.26 de verilmiştir. Burada N^* referans hızı 1515 rpm , N rotor hız (rpm) değerlerini ifade eder . Rotor hız değerinin mutlak değeri alınarak nominal akı değerlerinin çarpımı bu değere bölünerek referans akı değeri hesaplanır. Referans rotor hızı başlangıç değeri ve rampa işleminden sonra PI kontrolü ile referans tork (Nm) değeri elde edilir. PI kontrolünden önce alınan değer, IAE hata analizi ile sistem performansı değerlendirilmiştir. Çizelge 4.5'te hız kontrol blok değerleri verilmiştir.



Şekil 4.26: Hız kontrol bloğu

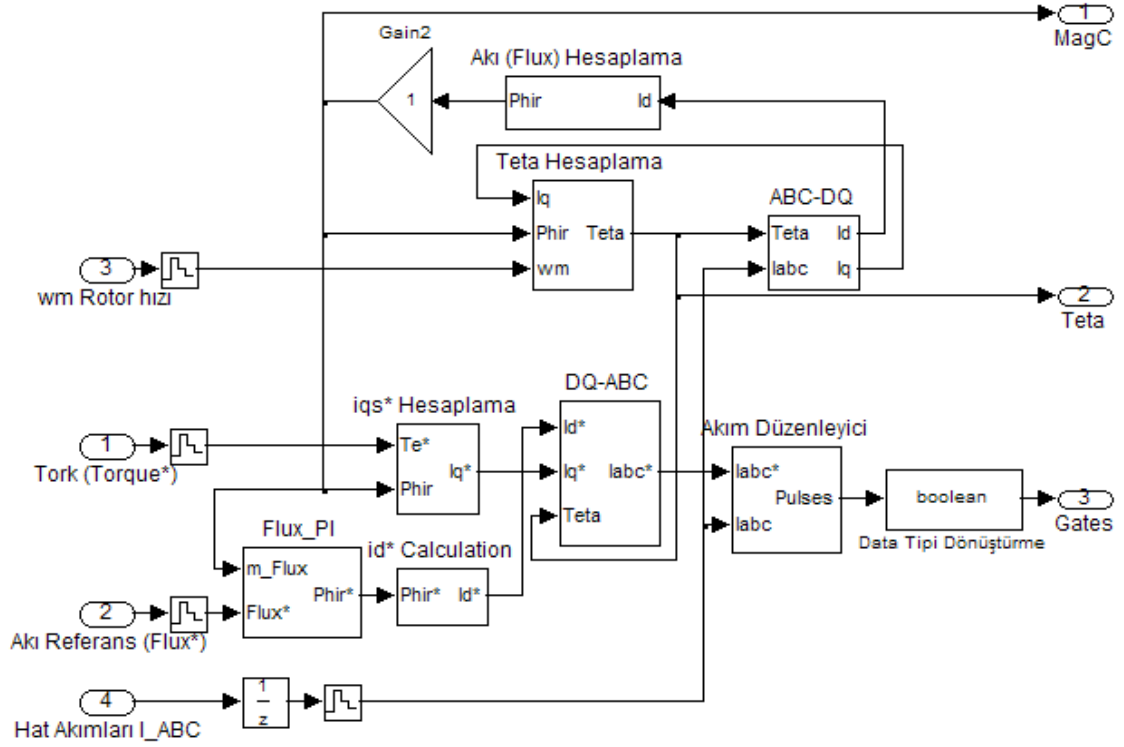
Çizelge 4.5: Hız kontrol bloğu parametre değerleri

ANLAMI	SEMBOL	DEĞERİ	BİRİMİ
Rampa referans hız		[-1800 1800]	
Filtre kesim frekansı		100	Hz
Tork saturasyon		[-5 50]	Nm
Kutup sayısı	p	2	
Rotor referans hız	N^*	1515	rpm
Rotor hızı	N	1500	rpm
Eşdeğer zaman sabiti	T_a	0.02/3.5	sn
Örnekleme frekansı	f_s	3	KHz
Örnekleme zamanı	$20 \cdot T_s$	$20 \cdot 0.333$	ms
Nominal frekans	nf	50	Hz
Nominal akı	λ	0.8	Wb

Hız kontrol bloğunda PI parametreleri simülasyon blokları tamamlandıktan sonra ilgili blok değerleri işlenir.

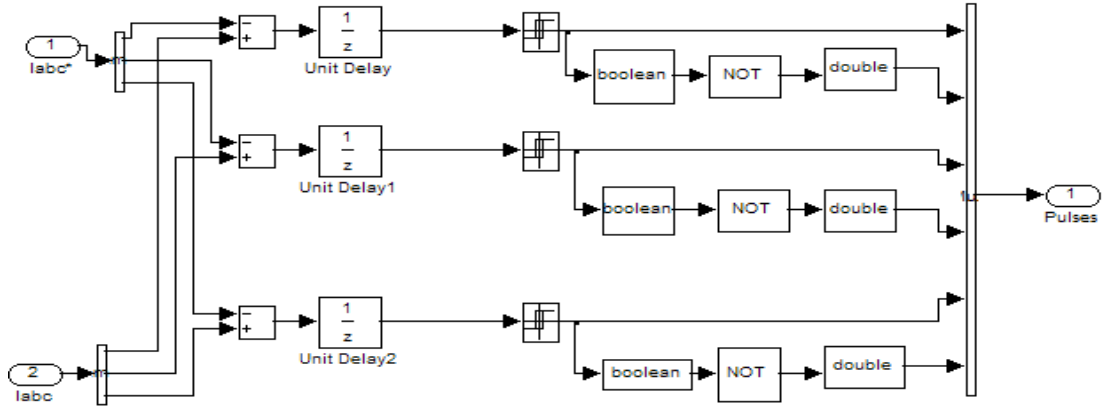
4.4.1.2. Alan Etkili Kontrol

Alan etkili kontrolde İG rotor hızı, referans tork, referans akı, ve üretilen üç faz akımı giriş değeri olarak alınır. Bu değerler ile UVM-PWM tetikleme değerleri üretilir. Üretilen değerler üç faz dönüştürücü için gerekli olan tetikleme değerlerini oluşturur. Bu çalışmada DGA metodu histerisiz bandına göre dönüştürücü sinyali üretilmiştir. Gate tetikleme sinyali Şekil 4.27 alan odaklı kontrol bloğunda akım düzenleyici olarak belirtilmiştir. Şekil 4.28 de ise iç yapı şeması verilmiştir.



Şekil 4.27: Alan etkili kontrol bloğu

İG den alınan hat akımları IABC-DQ park dönüşümü ile I_d ve I_q akımları hesaplanır. Bu akımlar ve İG rotor hızı ve İG imalat değerleri ile teta açısı ve akı değeri hesaplanır. Referans akı, referans tork, hesaplanan açı, İG rotor hızı ve hesaplanan akı değeri ile referans I_d^* ve I_q^* akımları hesaplanır. DQ-ABC park dönüşümü ile referans üç faz I_{abc}^* akımları bulunur. I_{abc}^* akımları ve İG de üretilen akım değerleri Şekil 4.27 deki blok işlemi ve data tipi dönüştürücü ile üretilen sinyal boolean tipine dönüştürülür. Gates sinyalleri üç faz dönüştürücü DGA-PWM sinyalleridir. Gates ucu şekil 4.25 de verilen RT kontrol modelinde verilen üç faz dönüştürücünün gate hattına bağlanır.



Şekil 4.28: Akım düzenleyici ile DGA-PWM sinyal üretim bloğu

Çizelge 4.6’da alan etkili kontrol bloğu parametre değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.6: Alan etkili kontrol bloğu parametre değerleri

ANLAMI	SEMBOL	DEĞERİ	BİRİMİ
Başlangıç Akı	λ	0.3	Wb
Dönüştürücü frekansı	[maksimum]	2000	Hz
Tork Saturasyon		[-5 50]	Nm
Kutup sayısı	p	2	
Rotor Endüktans	L_r	20	mH
Stator Endüktansı	L_s	20	mH
Eşdeğer Endüktans	L_m	70	mH
Örnekleme frekansı	f_s	3	KHz
Örnekleme zamanı	$20 * T_s$	$20 * 1,667e^{-5}$	ms
Nominal frekans	nf	50	Hz

4.4.1.3. Sincap Kafesli İndüksiyon Generatör (SKİG)

SKİG’ün blok parametre değerleri Simulink programında Çizelge 4.7 de verilen değerler işlenir.

Çizelge 4.7: Sincap kafesli indüksiyon generatör (SKİG) bloğu parametre değerleri

ANLAMI	SEMBOL	DEĞERİ	BİRİMİ
Nominal Güç	P	4000	Watt
Fazlar Arası Gerilim	V	380	Volt
Frekans	fn	50	Hz
Stator Rezistans	Rs	2.5	ohm
Stator Endüktans	Ls	20	mH
Rotor Rezistans	Rr	1	ohm
Kutup Sayısı	p	2	
Rotor Endüktans	L _r	20	mH
Eşdeğer Endüktans	L _m	70	mH

4.4.1.4. Rüzgâr Tribünü (RT)

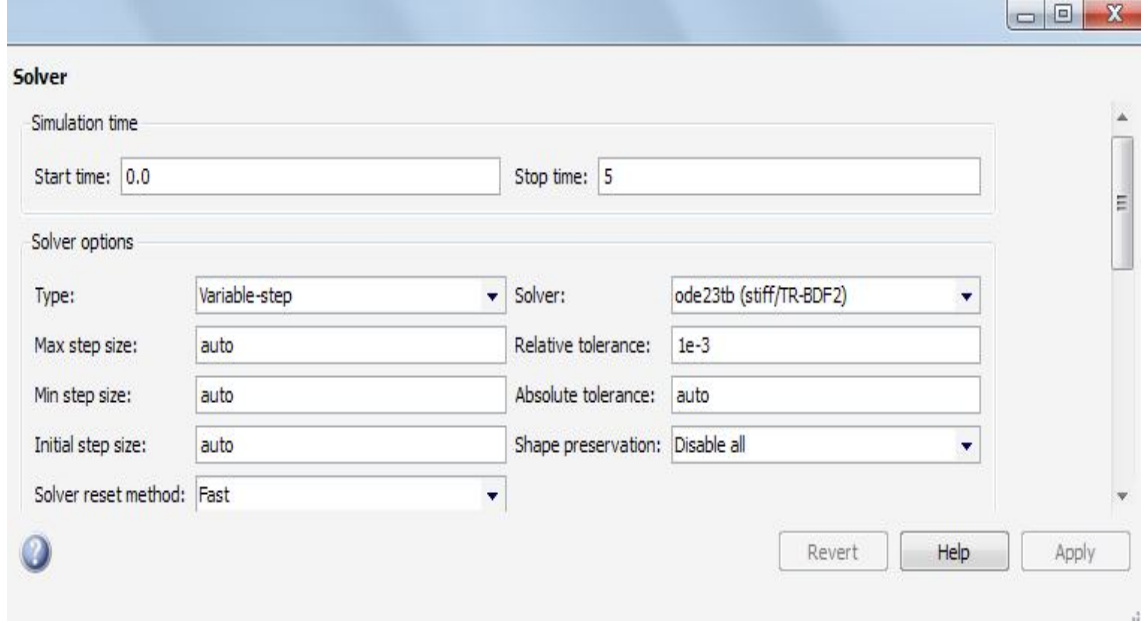
RT simulink modelinde rüzgâr hız, Pitch Rüzgâr açısı değeri, rotor hızı giriş değerleri olup bu değerlerle çıkış olarak mekanik tork değeri elde edilir. Sistem giriş değerleri perünit cinsinden ifade edilmiştir. Mekanik tork (T_m) 25 sabit değeri ile çarpılarak SKİG girişine benzetim modeline bağlanır. RT blok parametre değerleri Çizelge 4.8 de verilmiştir.

Çizelge 4.8: Rüzgâr tribünü (RT) bloğu parametre değerleri

ANLAMI	SEMBOL	DEĞERİ	BİRİMİ
Nominal Güç	P	4000	Watt
İG güç baz değeri	P _b	4000/0.84	VA
Rüzgâr hızı baz değeri	V	12	m/s
Mekanik Güç baz değeri		0.73	
Rotor Hızı p.u.		1.01	
Pitch Açısı		0°	derece

4.4.2. Simülasyon Set Değerleri

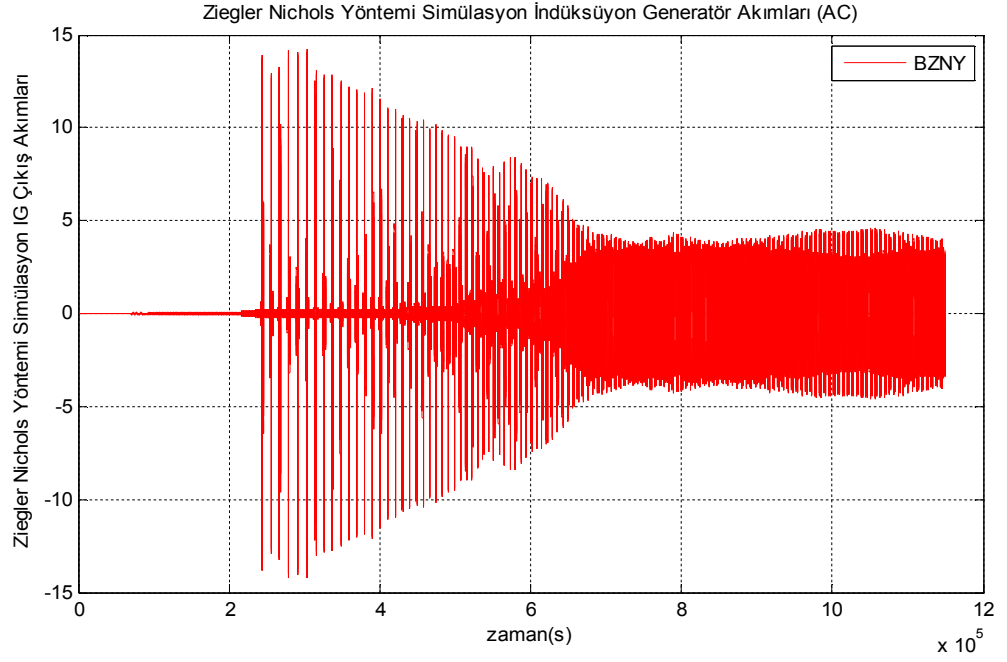
Tüm kontrol sistemi ode 23tb çözücü yöntemi ile simule edilmektedir. Power gui ayrık zaman, örnekleme Ts 1.666e⁻⁵ olarak alınmıştır. Her bir alt blok örnekleme zamanı örnekleme frekans değerinden ele edilen örnekleme zamanı Ts 3.333*10⁻⁴ değeri 20 ile çarpılarak elde edilir. Simulink ode 23tb çözücüsü şekil 4.29 de verilmiştir.



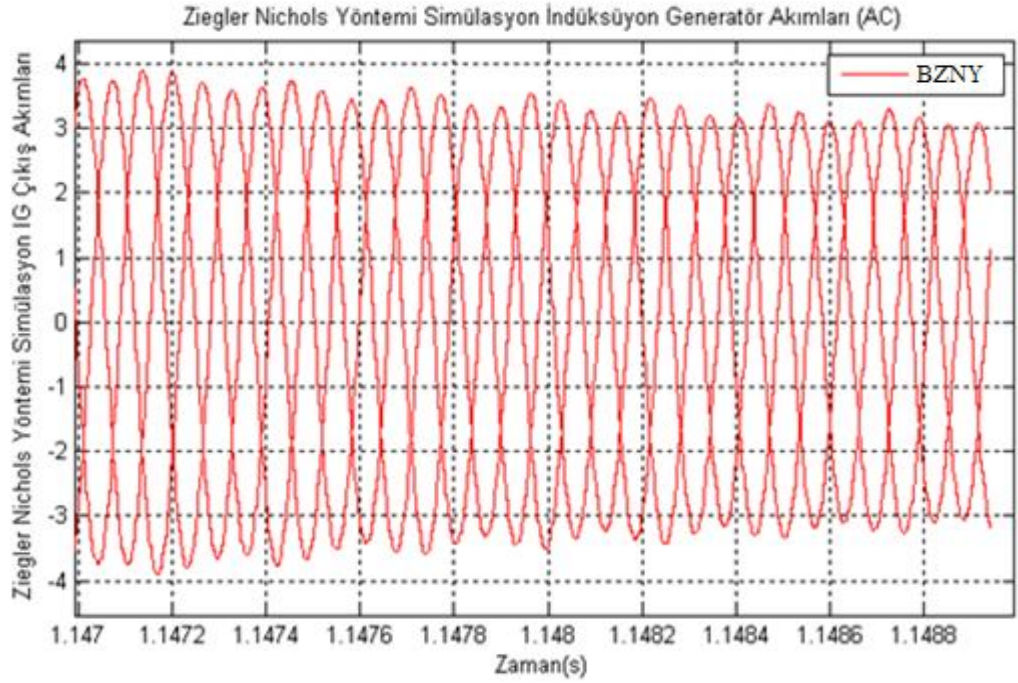
Şekil 4.29: Simülasyon çözücü değerleri

4.4.3. Ziegler-Nichols Metodu PI Parametreleri ile SKİG Rotor Hız Kontrol Simülasyonu ve Sonuçları

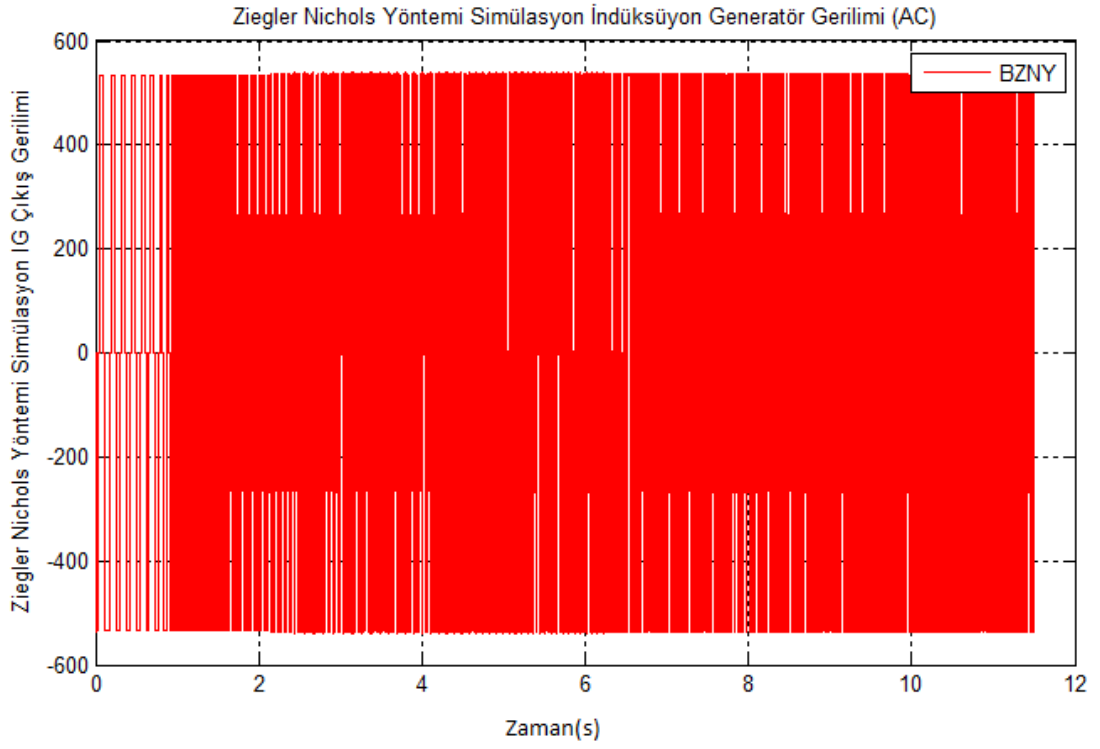
Şekil 4.26'de verilen hız kontrol bloğuna Ziegler-Nichols yöntemi ile bulunan PI değerleri $K_p=1$, ve $T_i=5$ olarak girilmiştir (Marra, 2008). Sistem simülasyonu 14 saniye olarak alınmıştır. Sonuçların daha iyi anlaşılması için örnekleme aralığı 0 ile 12 saniyeleri arasında alınmıştır. Simülasyona ait SKİG çıkış akım değişim grafiği, gerilim değişim grafiği, rotor hız değişim grafiği ve tork değişim grafiği Şekil 4.30 , 4.31 ,4.31 , 4.33, 4.34 da gösterilmektedir.



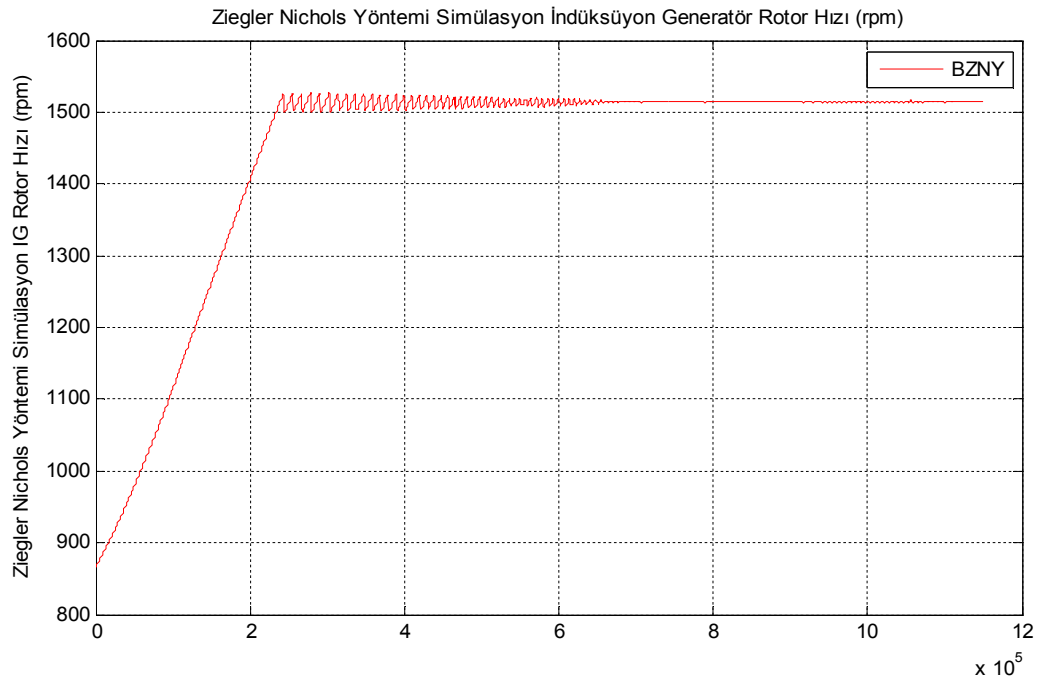
Şekil 4.30: Ziegler Nichols yöntemi PI katsayılı İG çıkış akımı



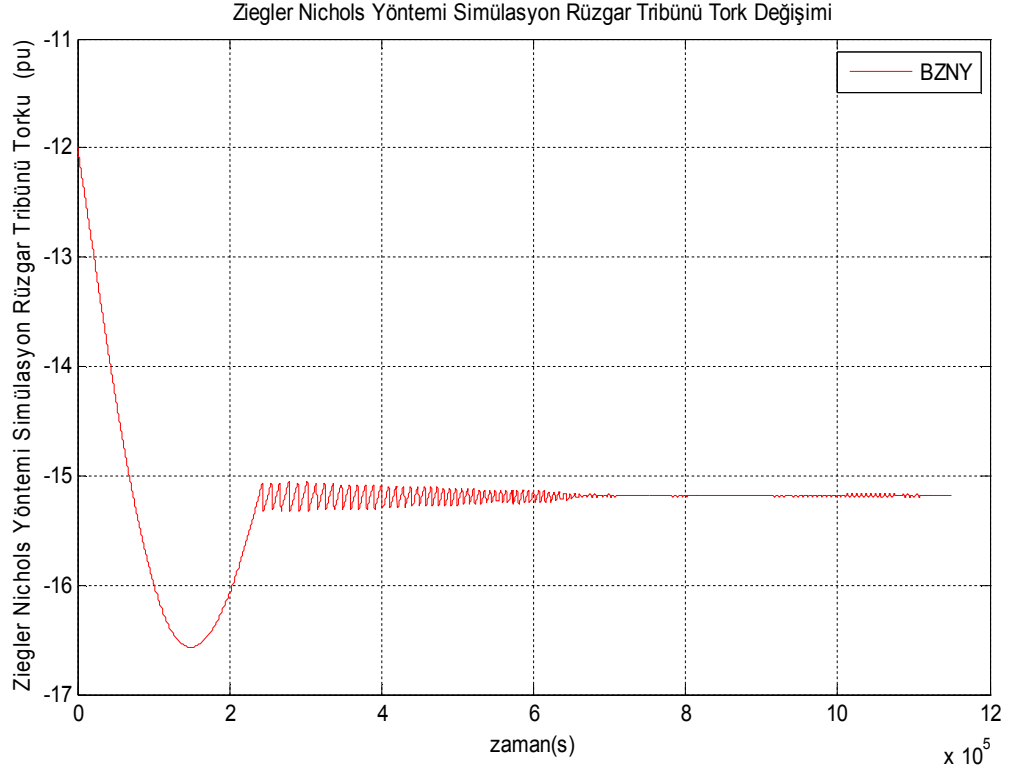
Şekil 4.31: Ziegler Nichols yöntemi PI katsayılı İG çıkış akımı 11 ile 12. saniyeler arası büyütülmüş hali



Şekil 4.32: Ziegler Nichols yöntemi PI katsayılı İG çıkış gerilimi



Şekil 4.33: Ziegler Nichols yöntemi PI katsayılı İG rotor hız değişimi



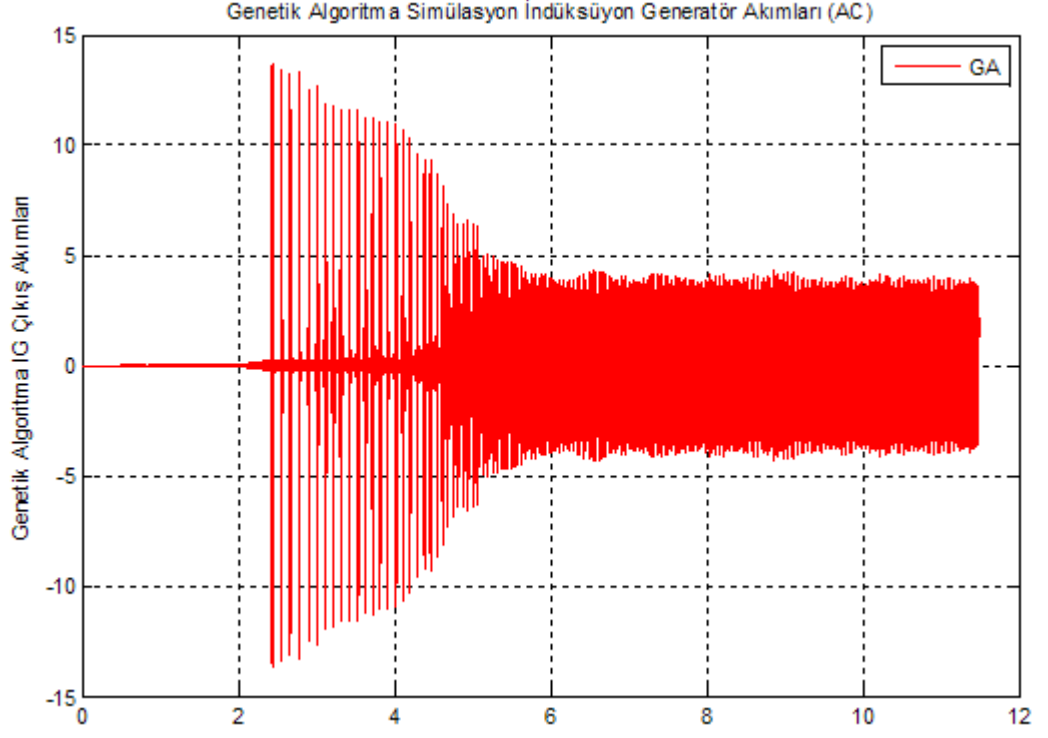
Şekil 4.34: Ziegler Nichols yöntemi PI katsayılı İG tork değişimi

Şekil 4.33 incelendiğinde rotor hızındaki değişim 7. saniyede 1515 rad/sn olduğu ancak PI katsayıları nedeni ile çok küçük değişimlere neden olduğu Şekil 4.34 da ki tork değişimlerinde görülmektedir. Şekil 4.30 da akım değişiminin 7. saniyede +5 ve -5 değerlerinden küçük olduğu görülmektedir. Akım değişimlerinin daha iyi anlaşılabilmesi için 11 ve 12'ci saniyeler arasındaki akım değişimleri büyütülerek Şekil 4.31 elde edilmiştir. Elde edilen şeklin 1.147 ile 1.488'ci saniyeler arasında akım değişiminin +4 ile -4 arasında değişmekte olduğu, aynı zamanda maksimum değer +4 ile +3 arasında olduğu, minimum değer değişiminin -4 ile -3 arasında olduğu görülmektedir.

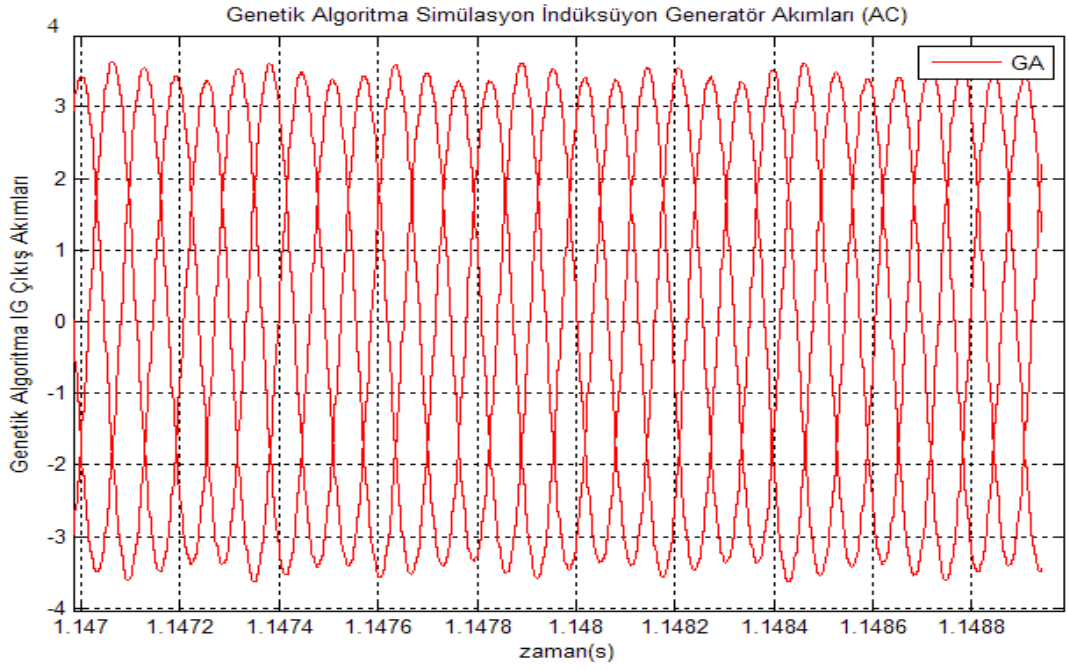
4.4.4. Genetik Algoritma PI parametreleri ile SKİG Rotor Hız Kontrol Simülasyonu ve Benzetim Sonuçları

Şekil 4.26'de verilen hız kontrol bloğuna Ziegler-Nichols yöntemi ile bulunan PI değerleri $K_p=0.7990$, ve $T_i=2,1877$ olarak girilmiştir . Sistem simülasyonu 14 saniye olarak alınmıştır. Sonuçların daha iyi anlaşılması için örnekleme aralığı 0 ile 12 saniyeleri arasında seçilmiştir. Simülasyona ait SKİG çıkış akım değişim grafiği, gerilim

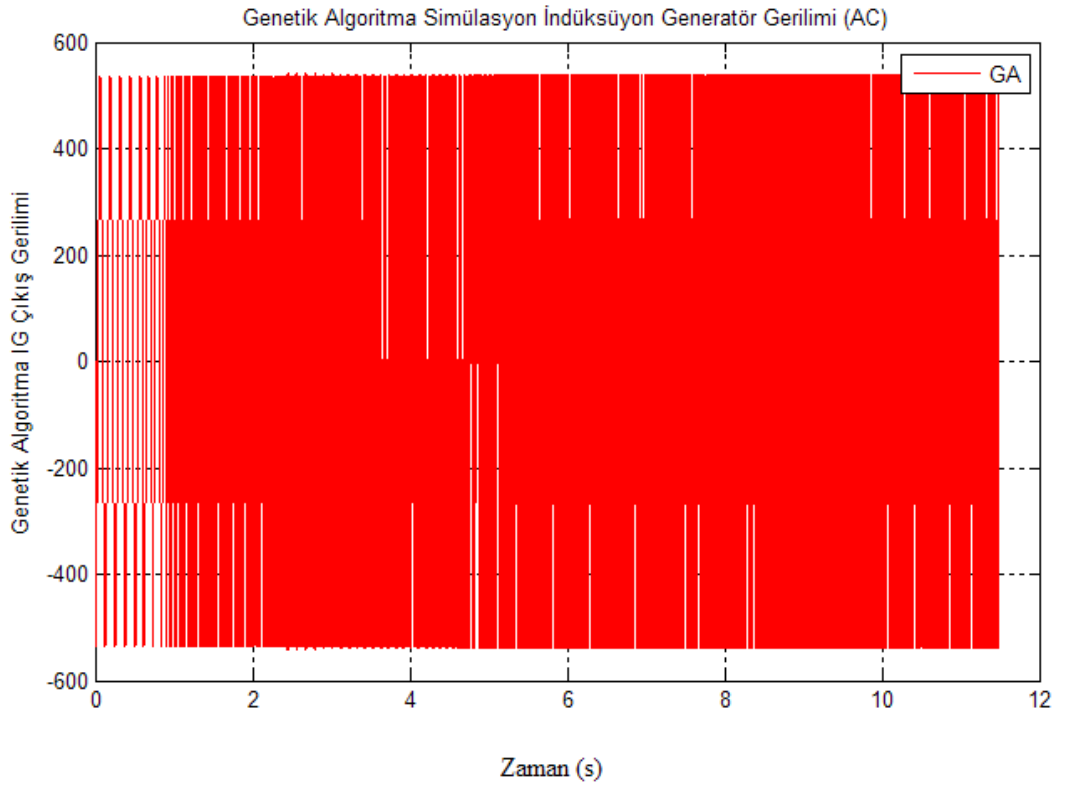
değişim grafiği, rotor hız değişim grafiği ve tork değişim grafiği Şekil 4.35 , 4.36 ,4.37 , 4.38, 4.39 de gösterilmektedir. Şekil 4.40 da akım çıkışları ve rotor hız grafikleri karşılaştırılmıştır.



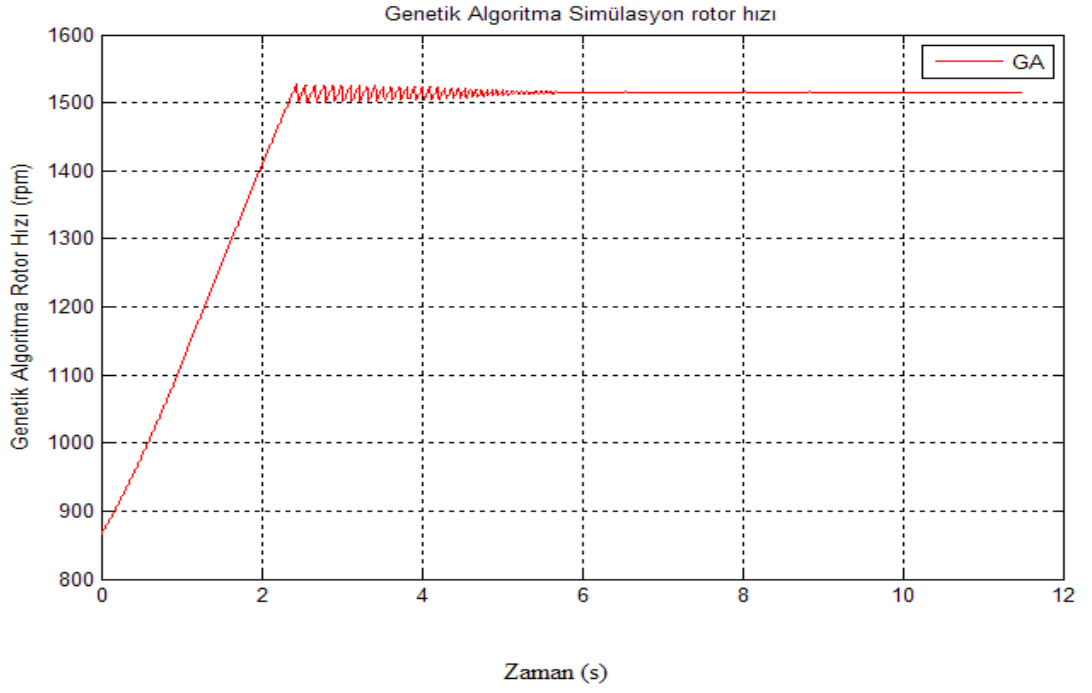
Şekil 4.35: GA yöntemi PI katsayılı İG çıkış akımı



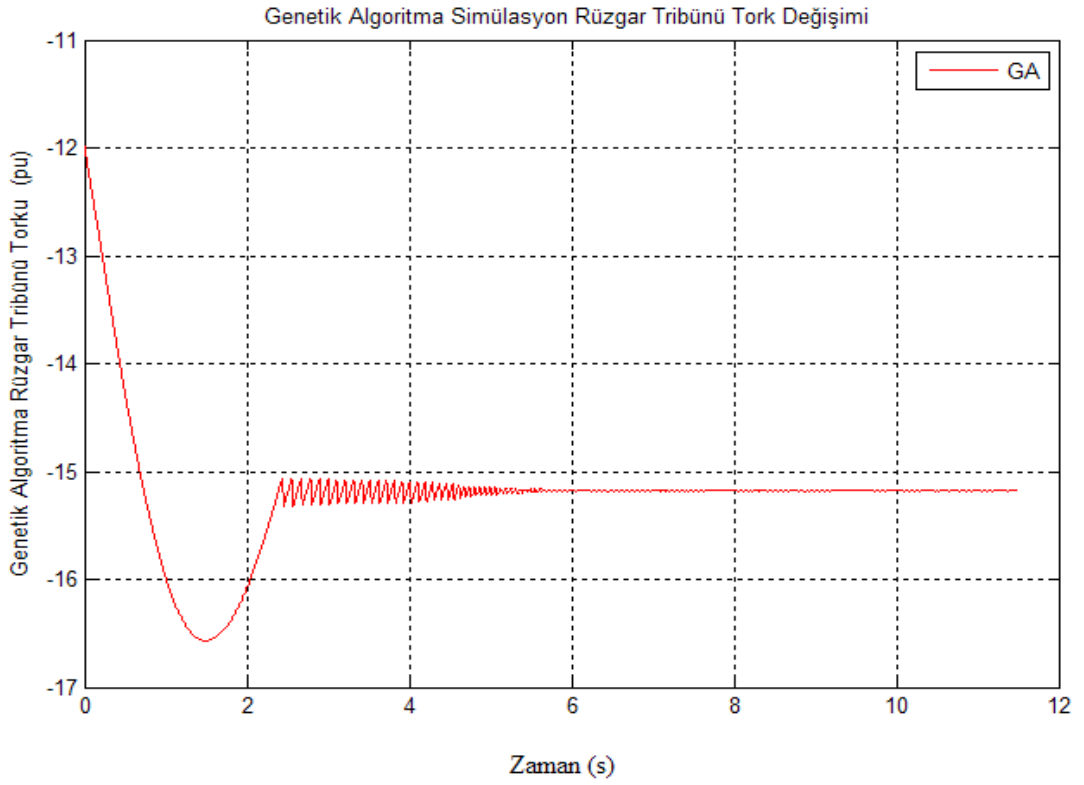
Şekil 4.36: GA yöntemi PI katsayılı İG çıkış akımı 11 ile 12. saniyeler arası büyütülmüş hali



Şekil 4.37: GA yöntemi PI katsayılı İG çıkış gerilimi



Şekil 4.38: GA yöntemi PI katsayılı İG rotor hız değişimi



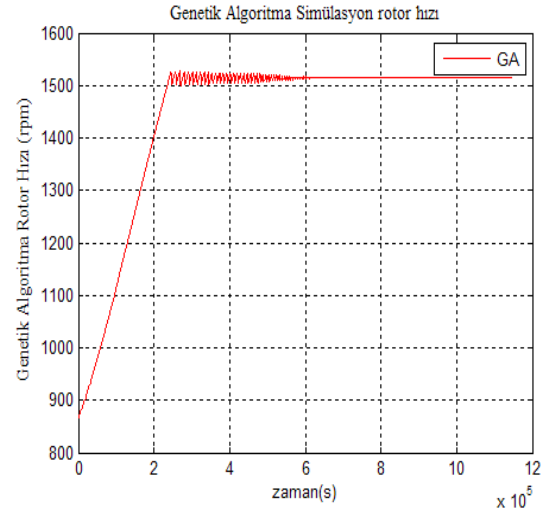
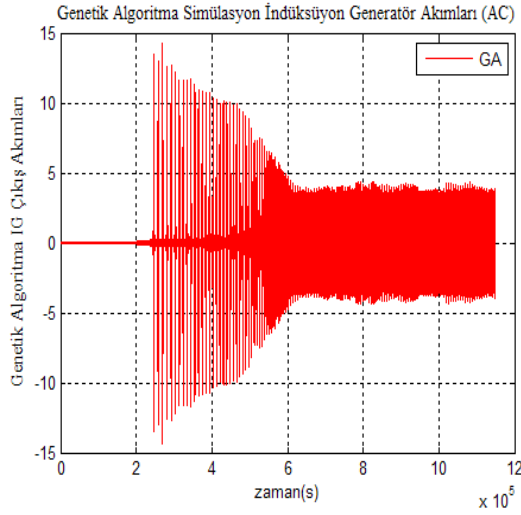
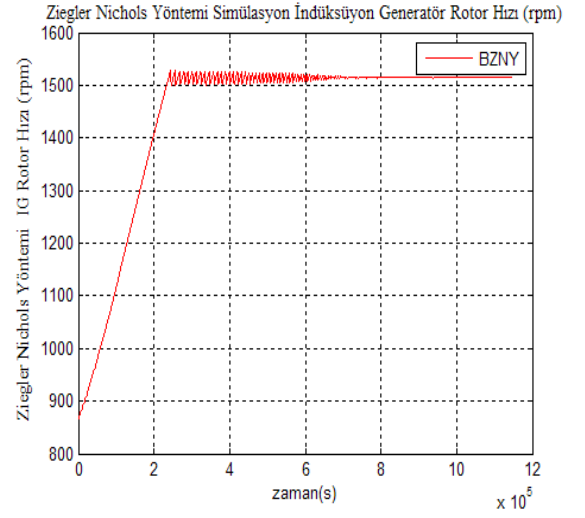
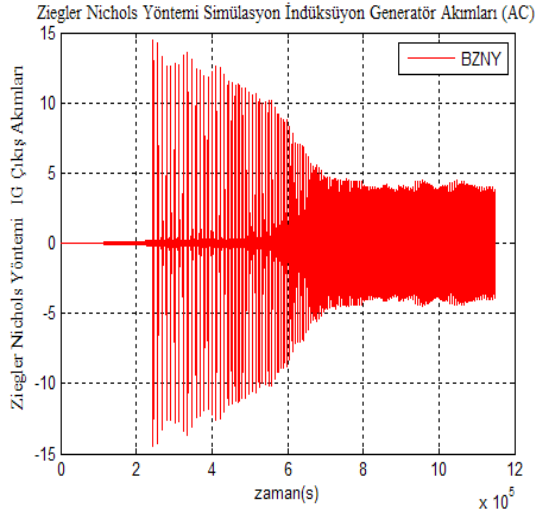
Şekil 4.39: GA yöntemi PI katsayılı İG tork değişimi

Şekil 4.38 incelendiğinde rotor hızındaki değişim 5. saniyede 1515 rad/sn olduğu ancak PI katsayıları etkisi nedeni ile çok küçük'te olsa değişimlere neden olduğu Şekil 4.39'de ki tork değişimlerinde görülmektedir. Şekil 4.35'de akım değişiminin 5. saniyede +5 ve -5 değerlerinden çok küçük olduğu görülmektedir. Akım değişimlerinin daha iyi anlaşılabilmesi için 11 ve 12'ci saniyeler arasındaki akım değişimleri büyütülerek Şekil 4.36'de elde edilmiştir. Elde edilen şeklin 1.1483 ile 1.489'cu saniyeler arasında akım değişiminin yaklaşık +3.6 ile -3.6 arasında değişmekte olduğu, aynı zamanda maksimum değer yaklaşık +3.6 ile +3.4 arasında olduğu, minimum değer değişiminin de yaklaşık -3.6 ile -3.4 arasında olduğu görülmektedir.

Rüzgâr tribünlerinde elektrik enerjisi elde etmede kullanılan SKİG rotor hız kontrol denetleyicisi önce Ziegler-Nichols yöntemi ile bulunan PI katsayıları ile sistem simüle edilmiş ve simülasyon sonuçları Şekil 4.30, 4.31, 4.32, 4.33 ve 4.34'de verilmiştir. Bu çalışmada önerilen GA yöntemiyle belirlenen PI parametreleri ile SKİG rotor hız simülasyonu çalıştırılmış ve Şekil 4.35, 4.36, 4.37, 4.38 ve 4.39'de sonuçlar verilmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında GA ile belirlenen PI katsayılarının daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir.

4.4.5. Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Sonuçları karşılaştırmak için Matlab Simulink programında iki ayrı hız kontrol simülasyonu oluşturulmuştur. Hız kontrol bloklarından birine Ziegler-Nicholz PI katsayısı yerine GA ile bulunan PI katsayıları girilmiştir. Simülasyon sonucu akım ve rotor hız değişimleri Şekil 4.40'de verilmiştir.



Şekil 4.40: Sonuç grafiklerinin karşılaştırılması

Şekil 4-40 da GAPI parametreleri ile SKİG rotor hız kontrolünün klasik yöntem ziegler nichols PI parametreleri hız kontrol sonuçlarından daha iyi olduğu anlaşılmaktadır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Elektrik enerjisi ile çalışan sistemler sabit frekans, akım ve gerilim değerlerinde maksimum verim ile çalışırlar. RT kullanılan SKİG'den sabit değerlerde enerji elde etme koşullarını sağlamak oldukça zordur. Gelişen güç elektroniği ile üretilen enerji doğrultularak enerji depolayan sistemlere bağlanır. Daha sonra istenen frekansa çevrilerek enerji hattına verilir.

RT'den enerji elde etmede kullanılan SKİG'ün devir sayısı sabit bir değerde tutulduğunda sabit frekans, akım ve gerilim değeri elde edilir. Buda enerji üretiminin verimini arttırdığı gibi İG ve enerji üretim elemanlarının zarar görmeden daha uzun süre çalışmasına imkan verir.

Bu tez çalışmasında RT'de kullanılan SKİG rotor hız kontrol PI parametreleri GA ile belirlenerek sabit rüzgâr hızında ve sabit pitch açısı değerinde rotor hızı sabit tutulmaya çalışılmıştır. GAPI katsayıları önce transfer fonksiyonu ile bulunmuş ve ziegler nichols yöntemi ile bulunan PI parametreleri ile karşılaştırılmış, GAPI katsayılarının daha iyi olduğu sonuçlarda görülmüştür. Bulunan katsayılar ayrık zamanlı RT simülasyonunda hız kontrol blok değerlerine atanmış ve simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. GAPI katsayılarının RT SKİG'ün rotor hızı kontrolünde daha iyi olduğu simülasyon sonuçlarından anlaşılmıştır.

Bu tez çalışmasında PI parametreleri sezgisel algoritmalarından genetik algoritma ile belirlenmiş olup, benzetim sonuçlarında geleneksel kontrol yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Gelecekte bu model genetik algoritma yerine sezgisel algoritmalarından parçacık sürü optimizasyonu, yapay arı kolonisi, karınca kolonisi, benzetim tavlama ve tabu arama algoritmaları ile PI parametrelerini belirlemede kullanılabilir.

Sisteme doğrultulan akımı AC akıma dönüştürücü bir inverter bağlanarak üretilen enerjinin hatta verilmesi sağlanabilir. Buradaki etkileri ve sistem üzerindeki etkileri incelenebilir.

PI katsayıları ayrıık zaman simülasyonu ile GA ile belirlenebilir.

Farklı yük değerlerinde ve farklı pitch açı değerleri için GA, parçacık sürü optimizasyonu, yapay arı kolonisi, karınca kolonisi, benzetim tavlama ve tabu arama algoritmaları PI parametrelerini belirlemede kullanılabilir.

SKİG'ün rotor hızının hiçbir salınım yapmadan istenen referans değerde tutmak için adaptif kontrol, kalman filtre uygulaması yapılabilir.

RT SKİG'ü benzetim modelinde RT yerine bir frekans sürücülü asenkron motor ve SKİG ile laboratuvar uygulaması yapılabilir.

KAYNAKLAR

- ABBAS, F.A.R., ABDULSADA, M.A., 2010, Simulation of wind-turbine speed control by matlab, *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, 2 (5), 1793-8163.
- ALKANOĞLU, U., 2007, *Genetik algoritmalarla kısa dönem optimum ünite tahsisi*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi.
- BAROUDI, J.A., DINAHAHI, V., KNIGHT, A.M., 2005, A review of power converter topologies for wind generators, *Electric Machines and Drives, 2005 IEEE International Conference on 15 May 2005*. 458 – 465.
- BELTRAN, B., AHMED ALİ, T., BENBOUZID, M., 2009, High-ordersliding-modecontrol of variable-speed wind turbines, *IEEE Transactions on Industrial Electronics, Sept. 2009*, 56 (9), 3314-3321.
- BOLAT, B., 2006, *Asansör kontrol sistemlerinin genetik algoritma ile simülasyonu*, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- BOSE, B.K., 1990, An adaptive hysteresis-band current control technique of a voltage-fed PWM inverter for machine drivesystem, *IEEE Transactions on Industrial Electrtonics*, 37 (5), 402-408.
- DONHA, D.C., 2004, Wind turbine controller tuning by genetic algorithm, *ABCM Symposium Series in Mechatronics*, 1, 346-354.
- DUMAN, S., 2011, *Güç sistemlerinde kararlılık analizi için PID kontrolör parametrelerinin genetik algoritma kullanarak belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi.
- GWALTNEY, D., *Implementation of Adaptive Digital Controllers on Programmable*

Logic Device, http://klabs.org/richcontent/MAPLDCon02/session/e3a_gwaltneys.ppt, [Ziyaret Tarihi: 15 Ağustos 2011].

GROUP PED4-1037, 2009, *High speed fieldoriented control*, Yüksek Lisans Tezi, Institute of Energy Technology Aalborg University.

GOLDBERG, D., E., 1989, *Genetic algorithms in search optimization and machine learning*, Addison-Wesley, 0-20-1157675.

HANIOTIS, A., A control procedure for permanent magnet variable-speed wind turbine, Laboratory of Electrical Machines Electric Power Division, *Department of Electrical and Computer Engineering National Technical University of Athens 9*, Iroon Polytechniou Street, 15780.

HANSEN, M.H., HANSEN, A., LARSEN, T.J., 2005, *Control design for a pitch-regulated variable speed wind turbine*, Wind Energy Department, Risø National Laboratory, Roskilde Denmark.

INGRAM, D.M., ROUND, S.D., 1999, A fully digital hysteresis current controller for an active power filter, *Int. J. Electronics*, 86 (10), 1217-1232.

JEMLI, V., BEN AZZA, H. BOUSSAK, M., GOSSA, M., 2009, Sensorless Indirect Stator Field Orientation Speed Control for Single-Phase Induction Motor Drive, *IEEE Transactions On Power Electronics*, 24 (6), 1618-1627.

JIANGANG HU, M.S., 2007, *Sensorless control of ac machines for integrated starter generator application*, Doktora Tezi, The Ohio State University.

JOHNSON, K.E., 2004, Adaptive Torque Control of Variable Speed Wind Turbines, *National Renewable Energy Laboratory NREL/TP-500-362651617 Technical Report*, Cole Boulevard, Golden, 1-107.

- KALE, M., ÖZDEMİR, E., 2003, A novel adaptive hysteresis band current controller for shunt active power filter, *CCA 2003, Turkey*, 1118-1123.
- KAYA, T., 2006, *Genetik algoritma ile sayısal filtre tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi.
- KHALIFA, F., SABRY, W., ELIWA, A., ABDELRAHMAN, M., 2007, Classical and modern control systems of self-excited induction generator, *19th International Conference on Electricity Distribution, CIRED 2007, 21-24 May 2007, Vienna*, 0003, 1-4.
- KUŞÇU, H., *Otomatik kontrol*, [http://hilmi.trakya.edu.tr/ders_notlari/Otomatik kontrol/Otomatik Kontrol 6 PID.pdf](http://hilmi.trakya.edu.tr/ders_notlari/Otomatik_kontrol/Otomatik_Kontrol_6_PID.pdf), [Ziyaret Tarihi: 11 Mayıs 2010].
- KÜÇÜKTEZCAN, F., 2008, *Genetik algoritma ile optimize edilmiş bulanık güç sistemi kararlı kılıcısının sistem kararlılığına etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- MARRA, F., 2008, *Simulation and laboratory implementation of a wind turbine control system with short-term grid faults management*, Yüksek Lisans Tezi, Department of Electrical Engineering Technical University of Denmark Elektrovej Building 3252800 Kgs. Lyng by Denmark.
- MELLON, C., *Control tutorials for matlab*, The University of Michigan, <http://www.engin.umich.edu/group/ctm/PID/PID.html#hint> [Ziyaret Tarihi: 15 Ağustos 2011].
- MORA, M.O., 2009, *Sensorless vector control of PMSG for wind turbine applications*, Yüksek Lisans Tezi, Institute of Energy Technology Aalborg University.
- ÖZTÜRK, A., 2007, *Güç sistemlerinde gerilim kararlılığının genetik algoritma ile incelenmesi*, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi.

- PANDA, S., 2009, Differential evolutionary algorithm for TCSC-based controller design, *Elsevier Simulation Modelling Practice and Theory*, 17 (10), 1618-1634.
- ROSMİN, N., WATSON, S.J., TOMPSON, M., 2010, Powerlimitation at high wind speed for a variable speed fixed pitch wind turbine using close-loop scalar control, *International Conference on Renewable Energies and Power Quality ICREPQ'10*, 23-25 Mart 2010, Granada (Spain), 572- 575.
- TABAKOĞLU, B., 2009, *Üç alanlı güç sisteminde genetik algoritma ile otomatik üretim kontrolü*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- VİHRİALA, H., 2002, *Control of Variable speed Wind Turbines*, Doktora Tezi, Tampere University of Technology, Finland.
- ZEYVELİ, M., 2005, *Genetik algoritma ile hız kutusu dişli tasarımı*, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi.

ÖZGEÇMİŞ

Soyadı, Adı : BİLİR, Rıfat
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 06/05/1975 - DÜZCE
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (380) 711 40 81
Faks :
e-mail : rifatbilir@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Düzce Üniversitesi/ Elektrik Eğitimi Bölümü	2001
Ön lisans	Düzce Üniversitesi MYO/Elektrik	1996
Lise	Düzce Endüstri Meslek Lisesi	1992

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-2010	Kozlu Endüstri Meslek Lisesi	Öğretmen
2010-Halen	Gölyaka Çok Programlı Lisesi	Müdür Yardımcısı

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Yeni gelişen teknolojiler, Doğa keşifleri, Seyahat etmek, Atletizm.