

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RÜZGAR TÜRBİNLERİNDEN KAYNAKLANAN
GERİLİM DALGALANMALARININ SVC
KULLANILARAK AZALTILMASI**

Elektrik Müh. Ali Rıfat BOYNUEĞRİ

**FBE Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Tesisleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez danışmanı : Doç. Dr. Mehmet UZUNOĞLU

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
2. RÜZGAR ENERJİSİ	4
3. RÜZGAR ENERJİSİNİN ŞEBEKE İLE BAĞLANTISI	7
3.1 Rüzgar Santrallerinin Şebeke İle Bağlantısında Kullanılan Sistem Bileşenleri	7
3.1.1 Sabit Hızlı Rüzgar Santralleri	7
3.1.2 Değişken Hızlı Rüzgar Santralleri	8
3.1.3 Evirici Sistemleri	10
3.2 Rüzgar Santrallerinin Şebeke ile Bağlantısı için Gerekli Olan Şartlar	10
3.2.1 Güç Kontrolü ve Frekans Aralığı	11
3.2.2 Güç Faktörü ve Gerilim Kontrolü	13
3.2.3 Geçici Arıza Tepkileri ve Gerilim Çalışma Aralığı	15
3.3 Rüzgar Santrallerinin Şebeke Üzerine Etkileri	18
3.3.1 Gerilim Dalgalanmaları	20
3.3.1.1 Reaktif Güce Bağlı Gerilim Dalgalanmaları	22
3.3.1.2 Gerilim Flikerleri	23
3.3.2 Gerilim Çökmeleri	23
3.3.3 Harmonikler	24
4. GERİLİM DALGALANMALARINI GİDERMEK İÇİN KULLANILAN BAŞLICA SİSTEMLER	25
4.1 Statik VAr Kompanzatör (SVC)	25
4.2 Statik Kompanzatör (STATCOM)	26
5. YAPILAN BENZETİM ÇALIŞMALARI VE SONUÇLARI	28
5.1 Omik Yük Durumunda Simülasyon Sonuçları	29
5.2 Omik-Endüktif Yük Durumunda Simülasyon Sonuçları	30
6. TEST SİSTEMİ	33
6.1 Test platformunda Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar	33
6.1.1 Motor-Generatör Grubu	33

6.1.2	DC Motor Kontrol Ünitesi.....	34
6.1.3	Bilgisayar-DC Motor Kontrol Ünitesi İletişim Kartı	35
6.1.4	SVC	35
6.1.5	dSPACE Kontrol Ünitesi.....	36
6.2	Test Platformunun Kurulması ve Testlerin Yapılması	37
6.3	Yapılan Deneysel Çalışmalar ve Sonuçları	38
6.3.1	Omik Bir Yükte Değişken Rüzgar Hızı ile SVC'nin Olması ve Olmaması Durumlarının İncelenmesi	38
6.3.2	Omik-Endüktif Bir Yükte Değişken Rüzgar Hızı ile SVC'nin Olması ve Olmaması Durumunun İncelenmesi	41
7.	SONUÇLAR.....	44
	KAYNAKLAR.....	46
	ÖZGEÇMİŞ.....	49

SİMGE LİSTESİ

ΔU	Şebeke ve bağlantı noktası arasındaki gerilim farkı
f_{grid}	Şebeke frekansı
I_g	Rüzgar santrali akımı
$n_{generator}$	Generatör döner alan hızı
n_{rotor}	Türbin rotorunun döner alan hızı
p	Generatör çift kutup sayısı
P_g	Rüzgar santrali çıkış aktif gücü
P_{lt}	Uzun dönem fliker şiddeti
P_{st}	Kısa dönem fliker şiddeti
Q_g	Rüzgar santrali çıkış reaktif gücü
r	Dişli kutusu dönüştürme oranı
SCC	Kısa deve gücü
S_g	Rüzgar santrali çıkış görünür gücü
U_g	Bağlantı noktası gerilimi
U_s	Sonsuz şebeke gerilimi
Z_k	Şebeke ve bağlantı noktası arasında kabul edilen şebeke empedansı

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternative Current
DC	Direct Current
D-STATCOM	Distribution Static Compensator
FACTS	Flexible Alternative Current Transmission System
GTO	Gate Turn Off Thyristor
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
MW	Megawatt
PID	Proportional-Integral-Derivative
PWM	Pulse Width Modulation
RMS	Root Mean Square
RS	Rüzgar Santrali
RT	Rüzgar Türbini
STATCOM	Static Compensator
SVC	Static Var Compensator
TAK	Tristör Anahtarlamaalı Kondansatör
THD	Total Harmonic Distortion
TKR	Tristör Kontrollü Reaktör
DTe	Dutch System Code

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Dünya enerji tüketimindeki artış ve gelecek yılların enerji tüketimi tahminleri.....	1
Şekil 1.2 Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesi tahmin edilen enerji miktarı	2
Şekil 2.1 Charles F. Brush tarafından yapılan, dünyanın ilk otomatik çalışabilen RS'i olarak kabul edilen türbini (Brightknowledge, 2009).....	4
Şekil 2.2 Enercon E 126 Rüzgar Türbini (WINDBLATT 04, 2007)	5
Şekil 2.3 Magenn firması tarafından üretilen yeni rüzgar türbini tasarımları (Magenn Power Inc, 2009)	5
Şekil 2.4 Dragonfly RT tasarımı(Dragonfly-WindTurbine, 2010).....	6
Şekil 3.1 Sabit hızlı RT sistemi	8
Şekil 3.2 Senkron ve asenkron generatörler kullanılarak sağlanan değişken hızlı RT bağlantısı9	
Şekil 3.3 Bilezikli asenkron generatörler kullanılarak sağlanan değişken hızlı RT bağlantısı ..	9
Şekil 3.4 RT güç-frekans eğrisi (TEİAŞ, 2008)	13
Şekil 3.5 Rüzgâr santrali reaktif güç kapasite eğrisi (TEİAŞ, 2008)	14
Şekil 3.6 Rüzgâr santrali gerilim ayar noktaları (TEİAŞ, 2008).....	14
Şekil 3.7 RT'lerinin arıza ve arıza sonrasında sağlaması gereken tepki (TEİAŞ, 2008)	17
Şekil 3.8 Gerilim dalgalanmalarında, RS'lerin vermesi gereken reaktif güç tepkisi (TEİAŞ, 2008)	18
Şekil 5.1 Benzetim çalışması blok diyagramı	28
Şekil 5.2 Benzetim çalışması.....	28
Şekil 5.3 SVC'yi test etmek amacı ile üretilen dalgalı gerilim	29
Şekil 5.4 Omik yük durumunda yük gerilimi	30
Şekil 5.6 Gerilim dalgalanmalarına bağlı olarak endüktans akımının değişimi.....	31
Şekil 6.1 Test platformunda kullanılan 1kW'lık motor-generatör grubu.....	34
Şekil 6.2 DC motoru kontrol etmek için geliştirilen DC motor kontrol ünitesi	34
Şekil 6.3 DC motor kontrol ünitesi ile bilgisayar arasındaki bağlantıyı sağlayan iletişim kartı35	
Şekil 6.4 Statik VAr Kompanzasyon (SVC) ünitesi	35
Şekil 6.5 dSPACE micro autobox kontrol ünitesi	36
Şekil6.6 Kontrol algoritması	37
Şekil 6.7 Oluşturulan test platformunun genel şeması	37
Şekil 6.8 Oluşturulan test platformu.....	38
Şekil 6.9 Değişken motor devir bilgileri	39
Şekil 6.10 SVC'nin devrede olmadığı durumda yük uçlarındaki geriliminin değişimi	39

Şekil 6.11 SVC'nin devrede olduğu durumda yük uçlarındaki geriliminin değişimi	40
Şekil 6.12 SVC'nin devrede olduğu ve olmadığı durumlardaki gerilim değişimi	41
Şekil 6.13 Omik-endüktif yükte SVC'nin devrede olmadığı durumda yük uçlarındaki geriliminin değişimi	41
Şekil 6.14 Omik-endüktif yükte SVC'nin devrede olduğu durumda yük uçlarındaki geriliminin değişimi	42
Şekil 6.15 Omik-endüktif yükte, SVC'nin aktif ve pasif olduğu durumlarda değişken rüzgar hızları için yük geriliminin değişimi.....	43

ÖNSÖZ

Çevresel etkilere ve fosil yakıtlarının tükenebilir bir kaynak olmasına bağlı olarak yenilenebilir enerji kaynakları üzerine olan çalışmalar artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından da özellikle rüzgar türbinlerinin şebeke içindeki güçleri büyük oranda artmıştır. Bu duruma bağlı olarak çeşitli güç kalitesi problemleri oluşmakta ve bu problemler ise şebekenin bir noktasına bağlanabilecek rüzgar türbini sayısını sınırlamaktadır.

Günümüzde bu durumu iyileştirmek üzere bir çok çalışmalar yapılmakta ve rüzgar türbinlerinden kaynaklanan güç kalitesi problemlerinin etkileri azaltılmaya çalışılmaktadır. Ülkemizde de rüzgar türbini sayısı hızla artmaktadır. Bu duruma bağlı olarak ileri de şebekede yaşanması muhtemel problemler ve bunların çözümleri üzerine çalışmalar yapılmalı ve sorunlar oluşmadan çözümleri üretilmelidir. Bu amaçla bu tez çalışmasında bu problemlere bir çözüm önerilmiş ve bu çözüm test edilmiştir.

Çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve deneyimleriyle beni yönlendiren danışman hocam Doç. Dr. Mehmet UZUNOĞLU'na, yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Bülent VURAL Ozan ERDİNÇ'e, beni yetiştiren ve hayatım boyunca destekleyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca “Projem İstanbul” kapsamında bu çalışmaya destek olan İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne teşekkür ederim.

ÖZET

Son yıllarda fosil yakıt kaynaklarının tükenmeye başlamasıyla birlikte mevcut enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi gittikçe artmaktadır. Bu enerji kaynakları içerisinde rüzgar enerjisi temiz, sürdürülebilir ve diğer kaynaklara göre daha az maliyetli olması nedeniyle ön plana çıkmaktadır. Ancak rüzgardan elde edilen enerjinin oldukça değişken olması nedeniyle büyük güçlerde rüzgar çiftliklerinin şebekeye bağlanmaları, güç kalitesi açısından sorunlara neden olabilmektedir.

Rüzgar santrallerinin şebeke ile bağlantısına bağlı olarak, güç kalitesi açısından etkilenen dağıtım şebekelerinin miktarı giderek artmaktadır. Türbinlerin neden olduğu bu güç kalitesi problemleri genellikle yavaş gerilim değişimleri, gerilim çökmeleri, hızlı gerilim değişimleri (Fliker), harmonikler ve frekans değişimleri başlıkları altında incelenmektedir. Rüzgar türbinlerinin (RT) şebeke ile bağlantısında en çok dikkat çeken sorunlardan biri de gerilim dalgalanmalarıdır. Bu tez çalışmasında RT'lerin çıkış gerilimini regüle etmek amacı ile prototip bir statik var kompanzatör (SVC) geliştirilmiştir. Yapılan test ve benzetim çalışmaları göstermiştir ki SVC, gerilimin genliğinde ani değişiklikler bile meydana gelse gerilim regülasyonunda etkileyici sonuçlar üretmiştir. Ayrıca yapılan test çalışmalarından elde edilen sonuçlar benzetim çalışmaları ile büyük oranda benzerlik göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar türbinleri, Statik VAr Kompanzatör, gerilim dalgalanmaları, gerilim regülasyonu.

ABSTRACT

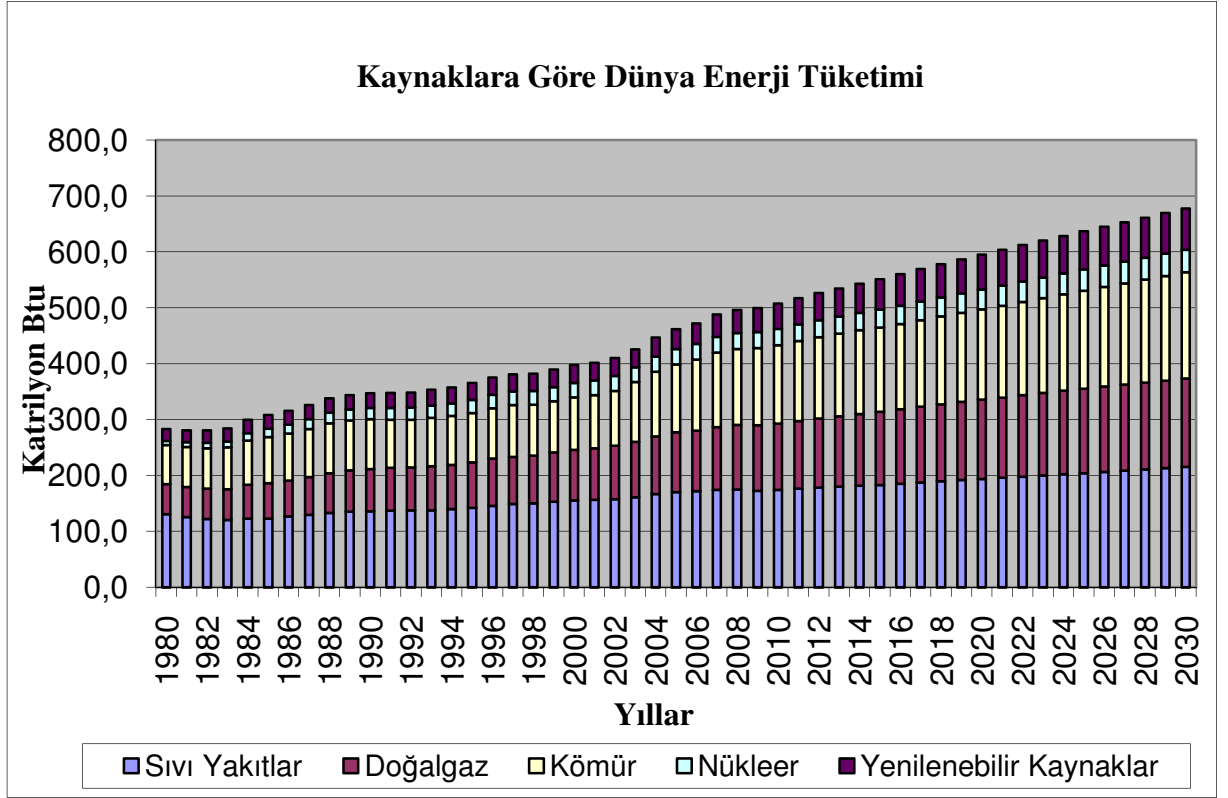
The importance of renewable energy sources has increased gradually on the present energy production depending on the depletion of fossil fuels and increase of global concern lately. Among these renewable energy sources, wind energy appear to occupy a prime position owing to the fact that it is a clean, sustainable and cost-effective energy. However, the connection of large wind farms to the grid may cause problems in terms of power quality due to the variability of the energy extracted from the wind.

Power quality of distribution networks is severely affected as wind penetration in power systems continues to increase. The power quality problems caused by wind turbines are generally examined concerning slow voltage variations, voltage dips, fast voltage variations (flicker), harmonics and frequency variations. One of the most important considerations in grid integration of wind energy is voltage variations. This thesis presents a prototype Static VAR Compensator (SVC) for the reactive power regulation of wind turbines in order to decrease voltage fluctuations. The simulation and the experimental studies have demonstrated the effective influences of the SVC on voltage profile, even in the case of the sudden changes in voltage magnitude. Furthermore, the experimental results give fairly good agreements with the simulation results.

Keywords: Wind turbines, Static VAR Compensator, voltage fluctuations, voltage regulation.

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızla artması ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak, dünyadaki enerji talebinde hızlı bir artış gözlenmektedir. Bu enerji ihtiyacının büyük bir kısmı Şekil 1.1’de de gösterildiği gibi fosil yakıtlardan (petrol, doğalgaz, kömür, vb.) karşılanmaktadır (U.S. Department of Energy, Energy Information Administration).

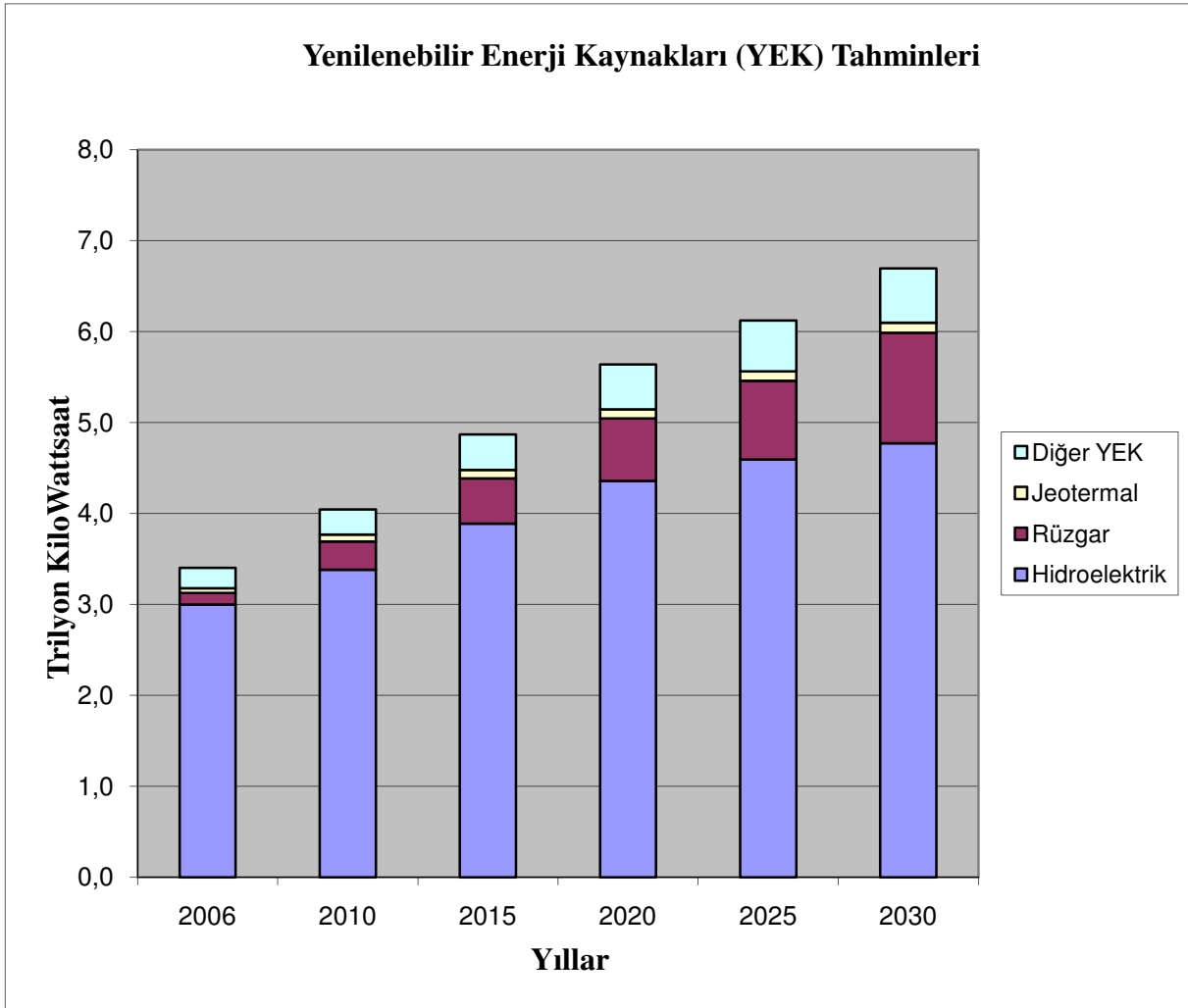


Şekil 1.1 Dünya enerji tüketimindeki artış ve gelecek yılların enerji tüketimi tahminleri.

Ancak fosil kökenli enerji kaynakları giderek azalmaktadır. Bu durumda artan enerji talebini karşılamak için; eldeki kaynakları en verimli şekilde kullanmanın yanında, alternatif enerji kaynakları (jeo-termal, güneş, rüzgar, hidrojen, biyoyakıt, vb.) ile ilgili çalışmaların da yapılması gerekmektedir. Gelecek nesilleri bekleyen küresel ısınma gibi önemli çevresel etkiler de göz önüne alındığında alternatif enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmalar değişik boyutlara taşınmaktadır. Özellikle fosil kökenli yakıtların atmosferde oluşturduğu sera etkisi ve buna bağlı olarak küresel ısınma gibi çevresel problemler, insanlığı çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiştir (Lightfoot, 2006; Muradov ve Veziroğlu, 2008,).

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında, özellikle rüzgar santralleri (RS) en çok yaygınlaşanlardan birisidir. Ülkemizde de 1 Kasım 2007 tarihine kadar Enerji Piyasası

Düzenleme Kurulu'na RS'lerin kurulumu için yapılan lisans başvurularının toplam gücü 78 bin MW'ın üzerindedir (Enerji İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü). Türkiye'nin toplam kurulu gücünün 2008 yılı itibarı ile 41817,2 MW olduğu göz önüne alındığında, rüzgar enerjisine olan ilginin büyüklüğü ortaya çıkmaktadır (TEİAŞ). RS'lerin elektrik enerjisi üretimindeki payı Şekil 1.2'den de görüldüğü gibi giderek artmaktadır. Bu verilerden yola çıkılarak, RS'lerin ilerleyen yıllarda enerji ihtiyacının daha da büyük bir kısmını karşılayacağı öngörülmektedir (U.S. Department of Energy, Energy Information Administration). Ancak RS'lerin birçok avantajının yanında çözüm bekleyen problemleri de bulunmaktadır.



Şekil 1.2 Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesi tahmin edilen enerji miktarı

RS'lerin neden olduğu önemli problemlerden biri, şebeke ile bağlantılarında gerilimde çeşitli bozulmalara sebep olmalarıdır. Gerilimdeki bu bozulmalar yavaş gerilim değişimleri, gerilim çökmesi, hızlı gerilim değişimleri (flicker), harmonikler ve frekans açısından incelenmektedir. Ancak bunlardan en etkin olanı hızlı gerilim değişimleri olan flickerlerdir (Li ve Chen, 2008; Sorensen vd., 2007). 0,05 Hz ile 35 Hz frekans aralığındaki gerilim dalgalanmalarının neden

olduğu ışık kaynaklarındaki aydınlık şiddetleri değişimi, gerilim flikeri olarak adlandırılır. Gerilim flikerlerinin, röleleri trip ettirme (gereksiz hızlı açma kapama yapma), güç elektroniği elemanlarında hatalı çalışmalara veya arızalara neden olma gibi etkileri olabilir. Ancak flikerin şebeke içerisindeki değerinin standartlarla kesin bir şekilde sınırlandırılmasının asıl nedeni, insan sağlığı üzerindeki etkileridir (Taşcıkaraoğlu, 2008).

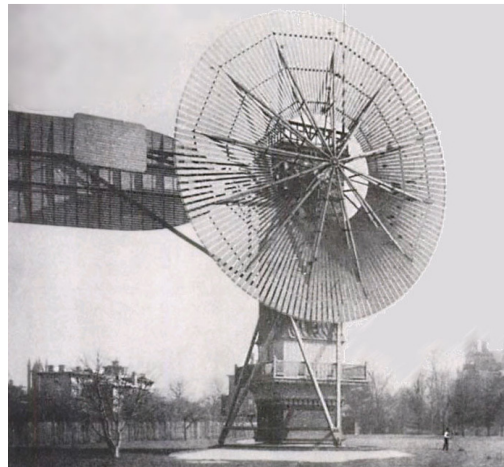
RS'lerin şebeke ile bağlantıları enerji kalitesi açısından EN 50160 ve IEC 61000-4-15 gibi standartlarda sınırlanmış ve bu sorunlar denetim altına alınmıştır (Taşcıkaraoğlu, 2008;). Ancak bu durum şebekeye bağlanabilen RT gücünde sınırlamalara yol açmaktadır. Şebekeye ait bir bağlantı noktasına daha çok RT'nin bağlanabilmesini sağlamak ve kurulumu tamamlanmış RT'lerden kaynaklanan enerji kalitesizliklerini gidermek için bir çözüm üretilmesi gerekmektedir.

Yapılan tez çalışmasının 2. bölümünde rüzgar enerjisi hakkında genel bilgiler sunulmuştur. Ayrıca rüzgar enerjisinden geçmişte nasıl faydalandığı, bu teknolojinin bugün hangi noktalara ulaştığı incelenmiş ve gelecekte kurulması muhtemel olan RT'ler gösterilmiştir. Tezin 3. bölümünde RS'lerin şebeke ile bağlantısı incelenmiş, bağlantı sırasında yaşanması muhtemel enerji kalitesi problemleri ve bu konu üzerine çalışmalar yapılan başlıca dünya ülkelerindeki yönetmelikler incelenmiştir. Bir sonraki bölümde ise RS'lerden kaynaklanan gerilim dalgalanmalarını gidermek amacı ile kullanılan sistemler incelenmiştir. Bu sayede yapılacak olan uygulama ve benzetim çalışmalarında kullanılacak yöntemle karar verilmiştir. Yapılan benzetim çalışmaları tezin 5. bölümünde gösterilmiş ve sonuçları sunulmuştur. Tezin 6. Bölümünde, kurulan test platformu tanıtılmış, test platformu üzerinde yapılan deneysel çalışmalar anlatılmış ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Tezin son bölümünde ise elde edilen çıktılar incelenmiştir.

2. RÜZGAR ENERJİSİ

Güneş ışınlarının yeryüzünün her bir parçasını farklı oranlarda ısıtması, basınç farklılıklarına yol açmaktadır. Bu basınç farklılığına bağlı olarak hava, yüksek basınçtan alçak basınca doğru hareket etmektedir. Havanın bu hareketi yani rüzgar, güneş enerjisinin dolaylı bir ürünüdür. Dünya üzerine gelen güneş enerjisinin yaklaşık %2'si rüzgar enerjisine dönüşmektedir. Bu enerjiden insanoğlu çok eski dönemlerden beri faydalanmaktadır.

Rüzgar enerjisinin kullanımı hakkında elde bulunan eski kaynaklar M.Ö. 500'de Mısır'da kullanılan yelkenli tarzı gemilerdir. Ancak aktif olarak ilk rüzgar değirmeni M.Ö 200'de Mezopotamya'nın antik kenti Babil'de kurulduğu tahmin edilmektedir. M.S. 10. yy'a kadar Doğu İran ve Afganistan'da yaklaşık 5 m kanat uzunluğuna sahip ve 10 m kule yüksekliğine sahip rüzgar değirmenleri ile tahıl öğütüldüğü bilinmektedir. Batıda rüzgar enerjisinin kullanımına dair ilk kaynaklar 12. yy'a aittir. Çok pervaneli yel değirmenleri aktif olarak 19. yy'da ABD demiryollarında lokomotiflerin buhar kazanlarına su pompalamak için kullanılmıştır. Otomatik olarak çalışabilen, elektrik üretimi için kurulmuş ilk RT, Şekil 2.1'de görülen Charles F. Brush tarafından çiftliğinin ihtiyaçlarını karşılamak için yapılmış türbin kabul edilmektedir. Bu türbin 12 kW güce sahip olup 1888 ve 1908 yılları arasında faaliyet göstermiştir. 1930 ve 1940'lı yıllarda ABD'de RT'ler elektrik enerjisi kaynağı olarak kullanılmıştır. Ulusal şebekenin henüz yaygınlaşmamasından dolayı birçok çiftlik enerji ihtiyacını RS'lerden sağlamıştır. Ancak 1950'lerde ulusal şebekenin yaygınlaşması ile RS'ler duraklama evresine girmişlerdir. Petrol fiyatlarındaki artış ve çevresel faktörlere bağlı olarak 1980'lerde hükümetlerin verdiği teşviklerle RS'lerin gelişimi hızlanmış, dünya çapında birçok RS üreticisi firma kurulmuştur.



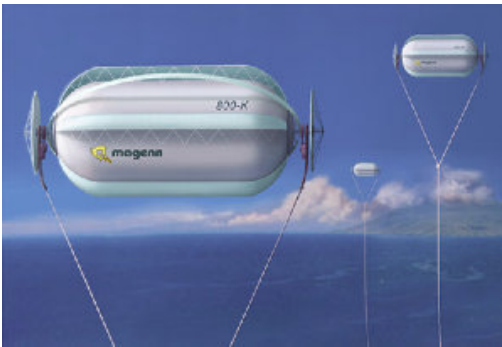
Şekil 2.1 Charles F. Brush tarafından yapılan, dünyanın ilk otomatik çalışabilen RS'i olarak kabul edilen türbini (Brightknowledge, 2009)

Günümüzde ise RT'ler çok daha büyük boyutlara çıkmıştır. Şekil 2.2'de Enercon firması tarafından üretilen E 126 tipi RT prototipi görülmektedir. E126'nın kule yüksekliği 138m, rotor çapı 126m'dir. Bu RT 6-7 MW güç üretim kapasitesi ile RT'lerin ulaştığı noktayı göstermektedir (WINDBLATT 04. 2007).

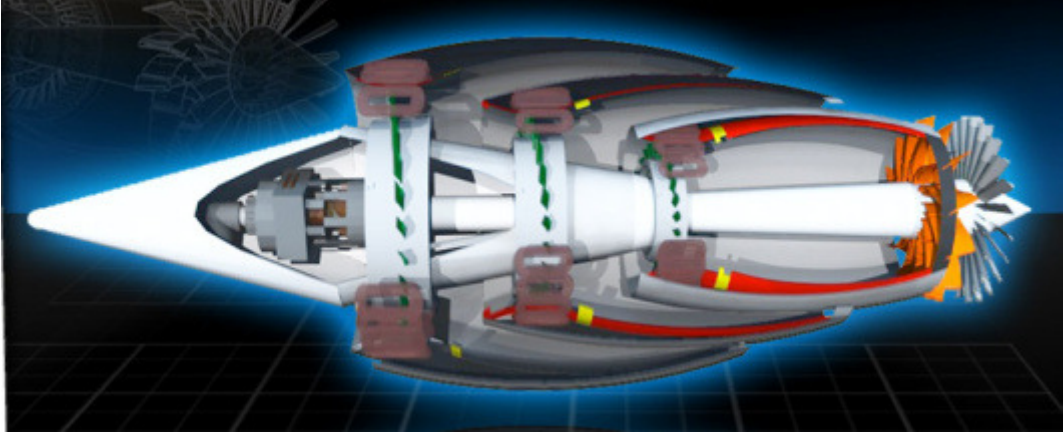


Şekil 2.2 Enercon E 126 Rüzgar Türbini (WINDBLATT 04, 2007)

Günümüzde RS'ler üzerine radikal tasarım çalışmaları da yapılmakta ve geleneksel RT tasarımları tamamen değişmektedir. Bu tasarım çalışmaları ve prototiplerden anlaşılmaktadır ki RS'ler gelecekte büyük bir değişim yaşayacaktır. Magenn firması tarafından geliştirilen ve prototipi üretilip testlerine başlanılan yeni nesil bir RT Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Bir zepline bağlanmış 2 adet generatörden oluşan balonlar gökyüzüne salınmaktadır ve üretilen enerjiyi kablolar aracılığı ile yeryüzüne aktarmaktadır. Bu tasarım sayesinde büyük kule ve kanat masrafları büyük oranda azalacağı, daha büyük yüksekliklerdeki rüzgar hızının fazlalığından yararlanılabileceği iddia edilmektedir.



Şekil 2.3 Magenn firması tarafından üretilen yeni rüzgar türbini tasarımları (Magenn Power Inc, 2009)



Şekil 2.4 Dragonfly RT tasarımı(Dragonfly-WindTurbine, 2010)

Yeni geliştirilen tasarımlardan biri de Şekil 2.4'te gösterilen Dragonfly türbinleridir. Jet motoru tasarımını RT'lere uygulayan firma bu sayede 3-4 kat daha fazla enerji üretebileceklerini iddia etmektedir.

3. RÜZGAR ENERJİSİNİN ŞEBEKE İLE BAĞLANTISI

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar enerjisi giderek daha büyük önem kazanmaktadır. Birçok ülke gelecekte enerji ihtiyacının büyük bir yüzdesini RS'lerden karşılamayı planlamaktadır. Ancak rüzgar gücünün zamana bağlı olarak değişkenlik göstermesi ve kontrol edilemez olması gibi bazı olumsuz yönleri de mevcuttur. Bu özelliklere bağlı olarak RS'lerin şebeke ile bağlantıları ve şebeke üzerine etkileri incelenmekte, bu konu üzerine bir çok çalışma yapılmaktadır (Alegría vd., 2007; Lahaçani vd., 2010; Chen ve Blaabjerg, 2009). RS'lerin şebeke bağlantısı durumunda değişken ve dinamik koşullar altında gerilim, frekans, aktif ve reaktif güç vb. kontrollerin gerçekleştirilmesi ve şebekenin bu etkilerden asgari bir şekilde etkilenmesini sağlamak oldukça önemli bir çalışma alanıdır. Bütün bunların sağlanmasında RS sistem konfigürasyonu ve kullanılan güç elektroniği teknolojisi önem kazanmaktadır (Rodriguez vd., 2009; Ghorashi vd., 1994; ENERGIE, 2001).

3.1 Rüzgar Santrallerinin Şebeke İle Bağlantısında Kullanılan Sistem Bileşenleri

Günümüzde kullanılan modern RS'lerin enerji dönüşümü biçimleri, tek veya çift hıza ayarlanabilen sabit hızlı ve değişken hızlı generatör çeşitleri olmak üzere temel olarak iki gruba ayrılmaktadır. Değişik güçteki RS uygulamalarında, bağlantı türlerine de bağlı olarak generatör çeşitlerinden uygun olanı tercih edilmektedir.(Martins vd., 2007; Rodríguez-Amenedo vd., 2008; ENERGIE, 2001).

3.1.1 Sabit Hızlı Rüzgar Santralleri

Sabit hızlı generatör kullanılan RT'lerde generatör ünitesi şebekeye doğrudan bağlıdır. Şebekenin frekansı, generatörün döner alan hızını ve dolayısıyla da rotorun hızını belirlemektedir. Türbin rotorunun düşük olan döner alan hızı(n rotor), eşitlik (3.1) de gösterildiği gibi bir vites kutusu vasıtasıyla bir dönüşüm oranı (r) ile generatörün döner alan hızına (n generatör)

$$n_{rotor} = \frac{n_{generator}}{r} \quad (3.1)$$

dönüştürülmektedir. Generatörün hızı, (eşitlik (3.2))

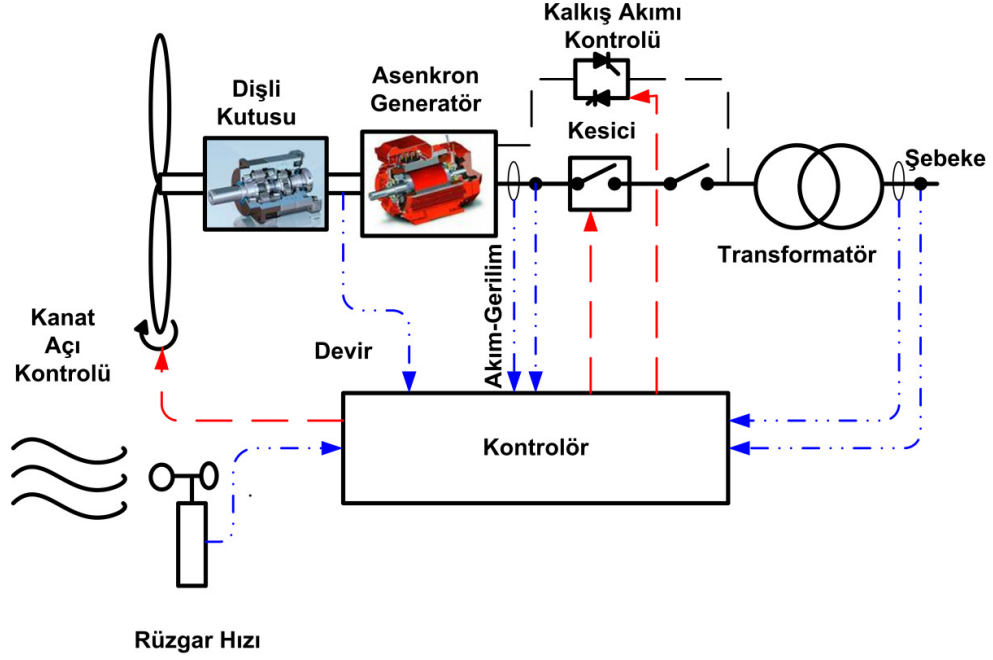
$$n_{generator} = \frac{f_{grid}}{p} \quad (3.2)$$

çift kutup sayısına (p) ve şebekenin frekansına bağlıdır. Eşitlik (3.2), eşitlik (3.1)'de yerine

yazılırsa rotor hızı

$$n_{rotor} = \frac{f_{grid}}{r.p} \quad (3.3)$$

şebeke frekansı, kutup sayısı ve dişli kutsunun dönüştürme oranının bir fonksiyonu olarak eşitlik (3.3)'te gösterildiği gibi yazılabilir. Sabit hızlı RT sisteminin detaylı görünümü Şekil 3.1'de verilmiştir.

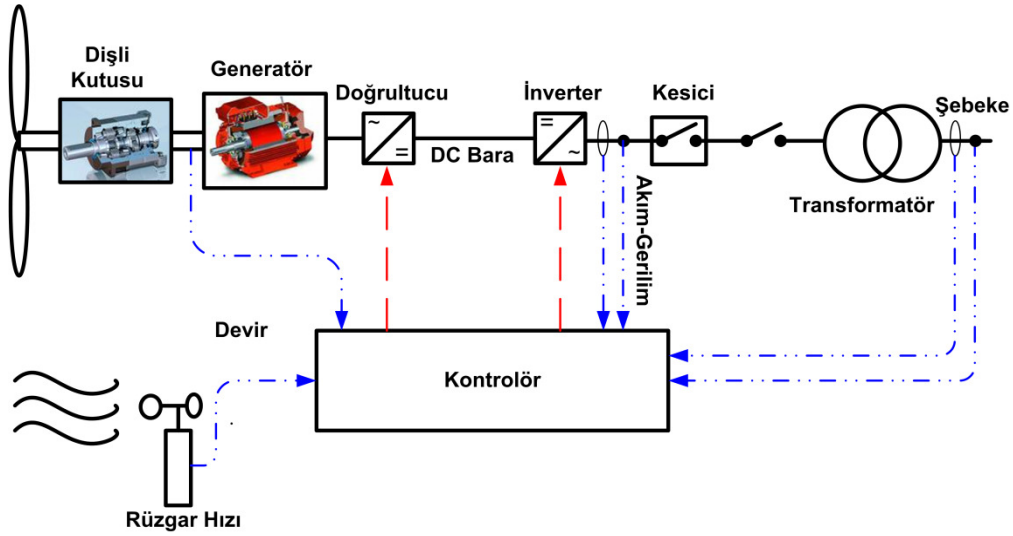


Şekil 3.1 Sabit hızlı RT sistemi

Asenkron generatörlü RT sistemlerinin en büyük avantajı ucuz ve basit bir yapıya sahip olmasıdır. Bunun yanı sıra hiçbir senkronizasyon cihazına gereksinim duyulmamaktadır. Ayrıca rulmanlar dışında sistemde aşınan parça bulunmamaktadır. Ancak asenkron generatörlü RT sistemleri yüksek kalkış akımlarına ihtiyaç duyarlar. Bu sistemlerin kalkış akımlarını kontrol altına alabilmek için tristör kontrollü devreler kullanılmaktadır. Ayrıca asenkron generatörlü RT sistemlerinin bir diğer dezavantajı da reaktif güç ihtiyaçlarını şebekeden karşılamalarıdır (ENERGIE, 2001).

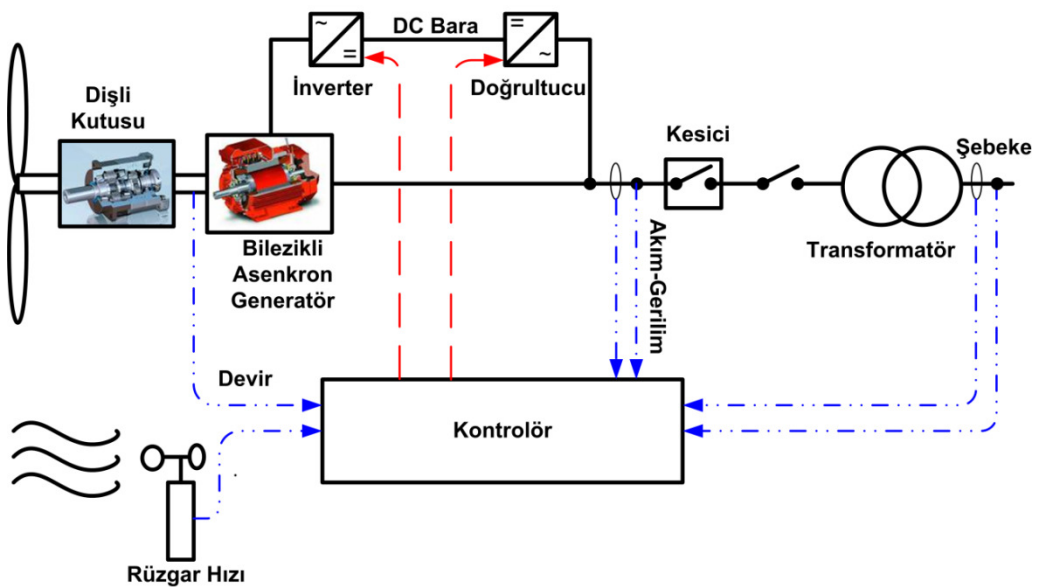
3.1.2 Değişken Hızlı Rüzgar Santralleri

Değişken hızlı RT'ler ise şebekeye bir elektronik evirici sistemi üzerinden bağlanmaktadır. Senkron ve bilezikli olmayan asenkron generatörlerde bu evirici sistemi stator ve şebeke arasına Şekil 3.2'de görüldüğü gibi bağlanmaktadır. Burada toplam güç, evirici üzerinden şebekeye aktarılmaktadır.



Şekil 3.2 Senkron ve asenkron generatörler kullanılarak sağlanan değişken hızlı RT bağlantısı

Bilezikli asenkron generatörlerde ise stator şebekeye doğrudan bağlıdır. Şekil 3.3'de gösterildiği gibi sadece rotor evirici üzerinden şebekeye bağlanmıştır. Bu durum, üretilen gücün sadece bir kısmının evirici üzerinden şebekeye aktarılması avantajını beraberinde getirmektedir. Böylece evirici sisteminin nominal gücü RT'nin nominal gücünden daha düşük olmaktadır. Genellikle eviricinin nominal gücü RT'nin gücünün yarısı kadar olmakta, dolayısıyla da nominal hızın yarısı kadar bir rotor hızı değişimine imkan sağlamaktadır. Eviricinin aktif gücünün kontrol edilmesi sayesinde generatörün döner alanının ve dolayısıyla da rotorun hızının kontrol edilmesi mümkün olmaktadır (Rabelo vd. 2009; ENERGIE, 2001).



Şekil 3.3 Bilezikli asenkron generatörler kullanılarak sağlanan değişken hızlı RT bağlantısı

3.1.3 Evirici Sistemleri

Eğer RT sistemi değişken hızda çalıştırılıyor ise, generatörün ürettiği değişken frekanslı elektrik enerjisi, sabit frekanslı şebekeye doğrudan bağlanamamaktadır. Bu husus bir evirici sistemi yardımıyla çözülebilmektedir. Doğal komütasyonlu ve zorlamalı komütasyonlu olmak üzere iki çeşit evirici sistemi kullanılmaktadır. Doğal komütasyonlu eviriciler temel olarak tristörler ile gerçekleştirilmektedir ve 6 darbeli, 12 darbeli, vb. türleri mevcuttur. Bu tür eviriciler 5., 7. 11. 13. vb. harmonikler üretmektedir ve bu harmonikler genellikle harmonik filtreleri kullanılarak düşürülmektedir. Öte yandan tristör tabanlı eviriciler ile reaktif güç kontrolü yapılamamaktadır. Reaktif güçle ilgili olarak bu davranış, endüktif reaktif güç kullanan bir asenkron generatörünün davranışına benzemektedir. Zorlamalı komütasyonlu evirici sistemleri ise, temel olarak darbe genişlik modülasyonu (PWM) kontrollüdürler ve bu tür eviricilerde genellikle IGBT'ler kullanılmaktadır. Bu tür eviricilerin avantajı aktif ve reaktif gücün kontrolüne imkan sağlamasıdır. Bu da generatörün reaktif güç ihtiyacının evirici tarafından karşılanabildiği anlamına gelmektedir. Bu sistemin tek dezavantajı kHz mertebesindeki iç harmonikleridir. Bu nedenle bu iç harmonikleri azaltmak için filtre kullanımı zorunludur. Fakat yüksek frekansa bağlı olarak filtre tasarımı kolaylaşmaktadır. Modern RS'lerde kullanılan dönüştürücülerde gelişen güç elektroniği teknolojisine bağlı olarak yüksek frekansla anahtarlama yapılabilmekte ve bu sayede filtre boyutları küçülmektedir. Ancak eviricinin kullanıldığı sistemin nominal akım değerlerinin büyüklüğüne bağlı olarak modern RS sistemlerinde genel olarak sadece transistör bazlı evirici sistemleri kullanılmaktadır (ENERGIE, 2001).

3.2 Rüzgar Santrallerinin Şebeke ile Bağlantısı için Gerekli Olan Şartlar

RS'ler son yıllara kadar şebekeye bağımlı generatörler olarak kabul edilirdi ve şebekenin gerilim ve frekans kontrolüne bir katkıda bulunmaları beklenmezdi. Ayrıca anormal işletim koşulları sırasında RS'ler şebekeden ayrılabilirdi. Bu durumda RS'ler şebekeye enerji sağlayan diğer kaynaklara oranla daha küçük güçlü yapılar olduklarından ve çoğu ülkede enerji ihtiyacının çok küçük bir kısmı RS'lerden karşılandığından genellikle bir problem teşkil etmezdi. Buna bağlı olarak RS'lerin şebeke bağlantısında teknik şartları sağlamanın bir gereği yoktu. Danimarka, İspanya ve Almanya gibi ülkelerde şebekeye bağlanan RS sayısının hızlı bir şekilde artmaya başlamasıyla bu durumda değişiklikler meydana gelmiştir. Orta ve büyük ölçekli (50 MW ve üzeri) RT çiftliklerinin miktarı hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu durumda RS'lerin şebekeye güç sağlayan diğer kaynaklara göre oranı da yükselmektedir. Danimarka'da bu oran %20'ye ulaşmıştır ve %50'ye kadar yükselmesi beklenmektedir.

Avrupa'nın birçok ülkesinde de benzer durumlar söz konusu olmuştur. Bu durumda RS'ler şebeke gerilimi üzerinde başlıca etkenlerden biri haline gelmişlerdir. Özellikle yukarıda belirtilen tür şebekelerde yük ihtiyacı az ve rüzgarın fazla olduğu durumlarda enerji ihtiyacının tamamının RS'lerden sağlanması muhtemel hale gelmiştir.

Danimarka gelecekte diğer ülkelerinde karşılaşması muhtemel sorunlara iyi bir örnek teşkil etmektedir. Bu bölgede şebekeye bağlanan bir çok rüzgar çiftliğinde, sınırlı gerilim ve frekans kontrolüne izin veren eski tip sincap kafesli asenkron generatörler kullanılmaktadır. Hindistan'da RS'lerin şebekeye enerji sağlayan diğer kaynaklara oranı, enerji kalitesini etkileyecek şekilde yüksektir. Bu duruma bağlı olarak zayıf şebeke gücü yüzünden RS'lerden sorun yaşaması muhtemel ülkelere örnek gösterilebilir. Rüzgar kaynakları yüksek olan ancak şebekeleri zayıf olan sistemlere adalar da örnek gösterilebilir. Şebeke gücü düşük ve rüzgar potansiyeli yüksek olduklarından gerilim ve frekans değerleri RS'lerden büyük oranda etkilenir.

Konvansiyonel enerji santrallerinde genellikle şebeke sağlayıcıları ve çalışanları tarafından iyi bilinen senkron makineler kullanılır. Senkron makineler geçici durumlara karşı gösterdikleri direnç, iyi bir gerilim regülasyonu, reaktif güç sağlayabilme, frekans kontrolü ve geçici kararlılık özellikleri sayesinde şebeke için gerekli teknik şartları fazlası ile karşılamaktadırlar. RT'lerde kullanılan sabit hızlı asenkron generatörler, çift beslemeli asenkron generatörler ve arka arkaya bağlanmış dönüştürücüler kullanılan senkron generatörlerin karakteristikleri, konvansiyonel sistemlerde kullanılan senkron makinelerden çok farklıdır. Bu duruma bağlı olarak şebekeye bağlanan rüzgar gücündeki artışın dağıtım şebekesinin teknik ve yürütme karakteristikleri üzerine çok büyük etkileri olacaktır. Bu etkileri sınırlamak için çeşitli teknik kısıtlar getirilmiştir (Alegría vd., 2007).

3.2.1 Güç Kontrolü ve Frekans Aralığı

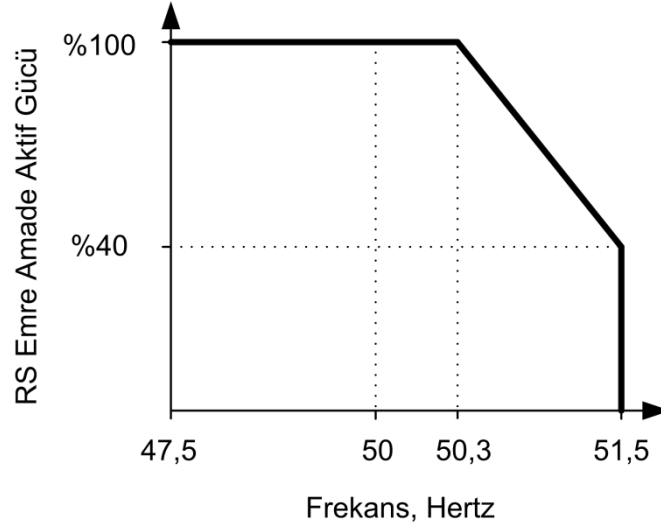
RS sistemleri şebekeye enerji sağlayan kaynaklar arasında hatırı sayılır bir paya sahip olduğu durumlarda, yüklerin ihtiyacı olan güçle, üretilen güç arasında dengeyi sağlamak için güç kontrolü büyük önem taşımaktadır. RS sistemlerinde diğer dünya ülkelerine göre önde giden ülkelerde bu durum belli şartlarla sınırlandırılmıştır. Bu duruma örnek olarak Almanya şebeke standartları gösterilebilir. Almanya şebeke standartlarına göre, şebekenin her bir çalışma noktasında nominal gücün bir yüzdelik dilimi olarak aktif güç çıkışının sınırlandırılması mümkün kılınmalıdır. Sistem dakika başına %10'luk güç azalışını karşılayabilecek yeterlilikte olmalıdır. Güç seviyesinin azalması küçük güçlü RS'lerin şebekeden ayrılması anlamına

gelmemelidir. Şebeke geriliminde düşme olması durumunda, güç dakika başına nominal gücün %10'unu aşmayacak bir oranla arttırılmalıdır. Bu artış RT'lerin tek tek bağlanması ile adımlar halinde gerçekleştirilebilir. RS'ler 47.5-51.5 Hz'lik bir frekans aralığında çalışmalıdır. Almanya'da faaliyet gösteren enerji dağıtım şirketlerine göre gelecekte RT çiftlikleri, konvansiyonel enerji santralleri gibi görülebilecektir.

Aynı konuda Danimarka şebeke yönetmeliğinde de sınırlandırmalar getirilmiştir. Danimarka şebekesinde aktif gücün kontrollü olarak sınırlandırılması, arıza sonrası RS'lerin reaktif güç taleplerinin kısıtlanmasına bağlanmıştır. Ayrıca bir arıza durumunda Danimarka ada konumunda çalışmaya başlarsa kaynak-talep dengesi sağlanmalıdır. Gücü nominal gücün %20'sine 2 saniyeden kısa sürede düşürebilmek mümkün olmalıdır. Geçici hal arızalarında toplam gücün düşmesi ve takriben yükselmesi yaklaşık olarak 30 saniye içinde tamamlanmalıdır. Şebekede müsaade edilen frekans aralığı 49-50 Hz'dir. Ancak frekansı 47 ve 53 Hz arasında değişen RS'lerin 300 ms kadar şebekeye bağlı kalmasına müsaade edilmektedir (Alboyaci ve Dursun, 2008).

Hollanda şebekesinde ise güç kontrolünü sağlamak için, fasıllı çalışan enerji kaynakları (rüzgar, güneş vb.) ile beslenmesi öncelik taşıyan yükleri birbirinden ayırmıştır. Bu sistemler, ne rezerv veya regülasyon gücü oluşturmak, ne de reaktif güç kompanzasyonu sağlamak zorunda değildirler. Gerilim çökmesi durumundaki istenilen sistem cevabının sağlanabilmesi, birincil kaynakların cevabına katkı yapılabilmesi ve reaktif gücün sağlanabilmesi önemli hususlar arasındadır (DTe, 2007).

Türkiye'de ise RS'lerin şebeke ile bağlantıları için 24.09.2008'de "Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği Ve Kalitesi Yönetmeliği'nde" ve "Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği'nde" yapılan değişiklikler ile bazı standartlar getirilmiştir. Bu değişiklikler iletim sistemine bağlı rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesisleri ile kurulu gücü 10 MW ve üzerinde olan dağıtım sistemine bağlı rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesislerini içermektedir. İletim sistemine bağlı rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesislerinde aktif güç çıkışı, tesisin toplam kurulu gücünün %20-%100'ü arasında otomatik olarak kontrol edilebilir olmalıdır. Bu kapsamda, kurulu gücü 100 MW ve altında olan RS'lerin yük alma/atma hızı dakikada kurulu gücün %5'i kadar olmalıdır. Kurulu gücü 100 MW'ın üzerinde olan RS'lerin yük alma/atma hızı dakikada kurulu gücün %4'ü kadar olmalıdır. Şebekenin standart frekans değeri 49.8 ve 50.2 Hz aralığında olmalıdır. Standart çalışma şartlarına ilave olarak, şebeke frekansının 50.2 Hz'in üzerinde olduğu durumlarda ilave bir RS devreye girmemelidir. RS'lerin frekans tepkisi Şekil 3.4'de verilen güç-frekans eğrisi sınırları içinde kalacak şekilde olmalıdır (TEİAŞ, 2008).



Şekil 3.4 RT güç-frekans eğrisi (TEİAŞ, 2008)

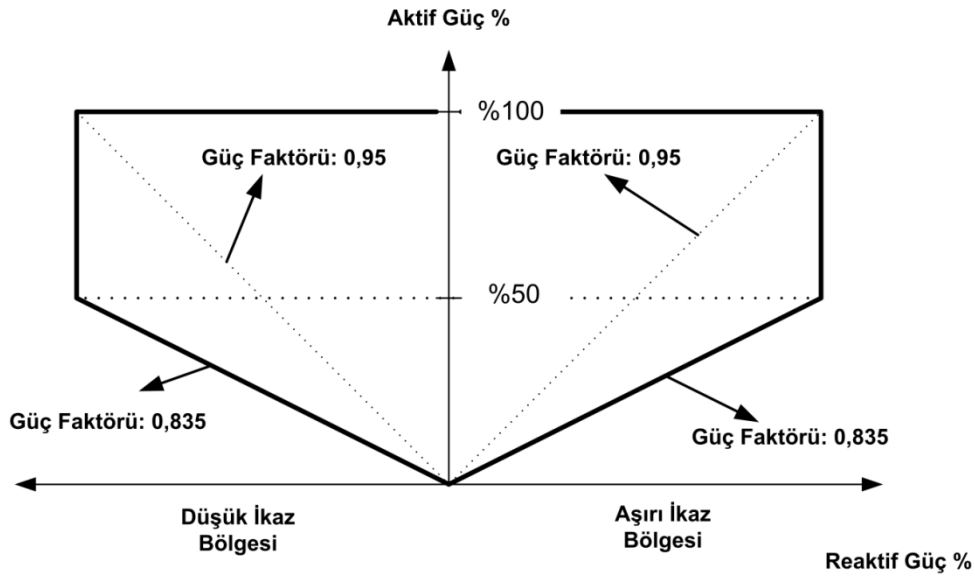
RT, şebeke frekansı 47.5 ve 50.3 Hz aralığında olduğu sürece emre amade gücünün tamamını üretebilecek özellikte olmalıdır. Şebeke frekansının 50.3 Hz'in üzerine çıkması durumunda ise Şekil 3.4'de verilen eğriyi takip ederek her 100 mHz frekans artışı için emre amade gücünün %5'i oranında yük atabilmelidir (Alboyaci ve Dursun, 2008; DTe, 2007; TEİAŞ, 2008).

3.2.2 Güç Faktörü ve Gerilim Kontrolü

Enerji sistemlerinde, gerilim ile reaktif güç değerleri birbiri ile yakın ilişkilidir. Reaktif güçteki değişimler şebeke gerilimini de etkilemektedir. Ayrıca RT'lerde kullanılan asenkron motorların reaktif güç ihtiyacı genellikle şebeke üzerinden karşılanmaktadır. Bu şartlar ise RS'lerin değişik güç faktörleri altında çalışmalarında farklılıklara yol açmaktadır. Bu durum şebeke yönetmelikleri ile çoğu ülkede sınırlandırılmıştır. Almanya şebeke standartlarına göre nominal gücü 100 MW'tan düşük olan RS'lerin ileri ve geri 0.95 güç faktörü ile çalıştırabilmeleri mümkün olmalıdır. Gerekli güç faktörü değerleri şebeke bağlantı noktasında sağlanmalıdır. Nominal gücü 100 MW ve üzeri olan RS'ler ileri 0.925 ve geri 0.95 reaktif güç aralığında çalıştırılabilir olmalıdırlar. Ayrıca nominal şebeke gerilimi altında ileri güç faktörü ile çalışmayı önlemek için, güç faktörü değeri, şebekenin nominal gerilimine bağlı olarak sınırlandırılmıştır. Düşük arıza akımı katkısı sağlayan generatörler, gerilim düşümüyle doğru orantılı bir şekilde sisteme reaktif güç sağlayarak şebeke gerilimini desteklemelidir. Şebeke gerilimin %50 ile %10 arasında değişimiyle doğru orantılı olarak reaktif güç akımı %10 ile %100 arasında değişmelidir. Yüksek kısa devre akımı sağlayabilen generatörlerin ise arıza durumunda gerilime destek olmaları beklenmez.

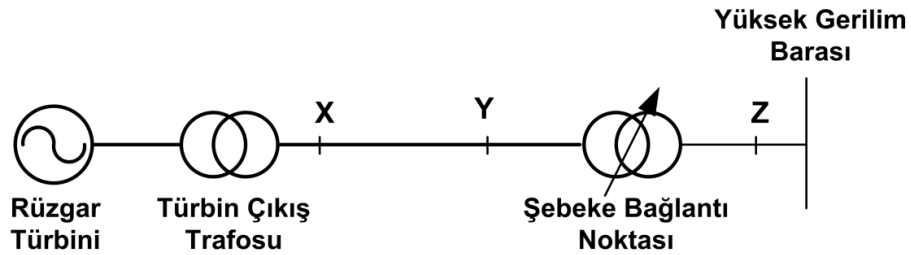
Bu durum için Danimarka şebeke yönetmeliğinde ise şu sınırlandırılmalar getirilmiş; RS'ler şebeke bağlantı noktasında güç faktörü 1 olacak şekilde reaktif güç kompanzasyonuna sahip olmalıdırlar. Gerilim seviyesi 150 kV olan sistemlerde kararlı hal çalışma durumunda gerilim 0.95 pu ile 1.13 pu arasında olmalıdır. Gerilim seviyesi 400 kV olan sistemlerde generatörlerin gerilim regülasyonunu sağlaması daha kolay olduğundan gerilim aralığı daha düşüktür. Eğer şebeke bağlantı noktasında gerilim 1.2 pu değerine ulaşırsa, gerilim seviyesine bakılmaksızın RS gerilim yüksekliğinin tespit edildiği andan itibaren 100 ms içinde gerilimi düşürmeye başlamalıdır. Reaktörlerin devreye alınması ile RS'nin reaktif güç talebi artırılarak gerilim düşürülmesi mümkündür.

Türkiye'de RS'lerin iletim sistemi bağlantı noktasında, Şekil 3.5'de koyu çizgilerle belirtilen sınırlar dâhilindeki güç faktörü değerleri için her noktada çalışabilir olmalıdır.



Şekil 3.5 Rüzgâr santrali reaktif güç kapasite eğrisi (TEİAŞ, 2008)

Şebekeye bağlı trafonun kademe oranları, Şekil 3.6'de Z noktasında şebeke gerilim aralığındaki (nominal gerilimin $\pm\%10$ 'u) her gerilim değeri için Y noktasında nominal gerilimi sağlamalıdır.



Şekil 3.6 Rüzgâr santrali gerilim ayar noktaları (TEİAŞ, 2008)

Ayrıca iletim sistemine doğrudan bağlı RS'lerin şebeke bağlantı trafoları yük altında otomatik kademe değiştirme özelliğine sahip olmalıdır (Alboyacı ve Dursun, 2008; DTe, 2007; TEİAŞ, 2008).

3.2.3 Geçici Arıza Tepkileri ve Gerilim Çalışma Aralığı

RS'ler, gerilim çökmesi gibi kısa süreli geçici arıza durumlarında konvansiyonel kaynaklara göre farklı tepkiler verebilmektedir. RT'lerde kullanılan asenkron generatörlerin karakteristikleri gereği gerilim çökmesi durumunda reaktif güç talepleri artar. Bu duruma bağlı olarak da şebeke üzerinde, arızayı arttırıcı yönde bir etki gösterirler. Almanya şebekesinde 400 kV sisteme bağlanacak olan RS'lere, konvansiyonel güç santralleri gibi davranılmaktaydı. Ancak rüzgar enerjisine olan ilginin artışına bağlı olarak rüzgar çiftlikleri artık 3-5 MW'lık RS'lerden oluşturulmaya başlamıştır. Bu duruma bağlı olarak kıyıda 100-200 m açıktaki kurulan büyük rüzgar çiftliklerinin şebeke bağlantısında yeni gereksinimler oluşmuştur. Şebekeye bağlanan RS miktarında artış olması durumunda şebeke alt yapısı üzerine yeni yatırımlar yapılması gerekebilir. Ayrıca doğu ve batı Almanya'yı birleştiren 220/400 kV'luk iletim hattı, rüzgar enerjisini taşımak üzere tasarlanmamıştır. Buna bağlı olarak Alman şebeke operatörleri gelecekte karşılaşılması muhtemel şartlara uygun şebeke bağlantı gereksinimlerini ve sınırlarını belirlemek üzere kapsamlı çalışmalar yapmaktadırlar. Eğer bağlantı noktasındaki şebeke gerilimi yarı kararlı hale (gerilim değeri dakikada %5'ten fazla değişmemesi durumu) geçip gerilim düşmesi olmadan önceki değerinin %80'ine inerse, en erken 3 en geç 5 saniye içinde rüzgar çiftliği sistemden ayrılmalıdır. Hata sonrasında kısa devre akımının, nominal akıma oranının 6'dan büyük olduğu durumlarda ve iletim sisteminde bağlantı noktasına yakın bir noktada 150 ms'lik 3 faz kısa devre arızası olması halinde sistem kararsızlığa gitmemelidir. Ayrıca bu arıza, genaratörün sistemden ayrılmasına sebep olmamalıdır. Daha küçük bir kısa devre oranı için daha kısa bir hata aralığı söz konusu olacaktır. Geçici hal arızalarının sebep olduğu dinamik etkilerin ve gerilim düşümlerinin daha uzun süreli olduğu durumlarda bile generatör sistemden ayrılmak zorunda kalmamalıdır. Düşük arıza akımı katkılı generatörler dahi arıza durumunda gerekli güç eğimlerini sağlayacak şekilde gücü değiştirebilmelidir. Genellikle arıza sonrası durumlarda güç, saniyede nominal değerinin %20'si oranında arttırılmalıdır. Aksi halde gerilim çok yavaş bir şekilde nominal değerine ulaşmaktadır. Eğer yavaş gerilim artışına sistemin zarar görmeden dayanabilmesi için gerekli koşullar sağlanmışsa, güç saniyede nominal değerinin %5'i oranında arttırılabilir. Bu durumda generatörün kısa süreli devre dışı kalması muhtemeldir ancak arıza sonrası en geç 2 saniye içinde yeniden şebeke ile senkronize olmalıdır ve güç

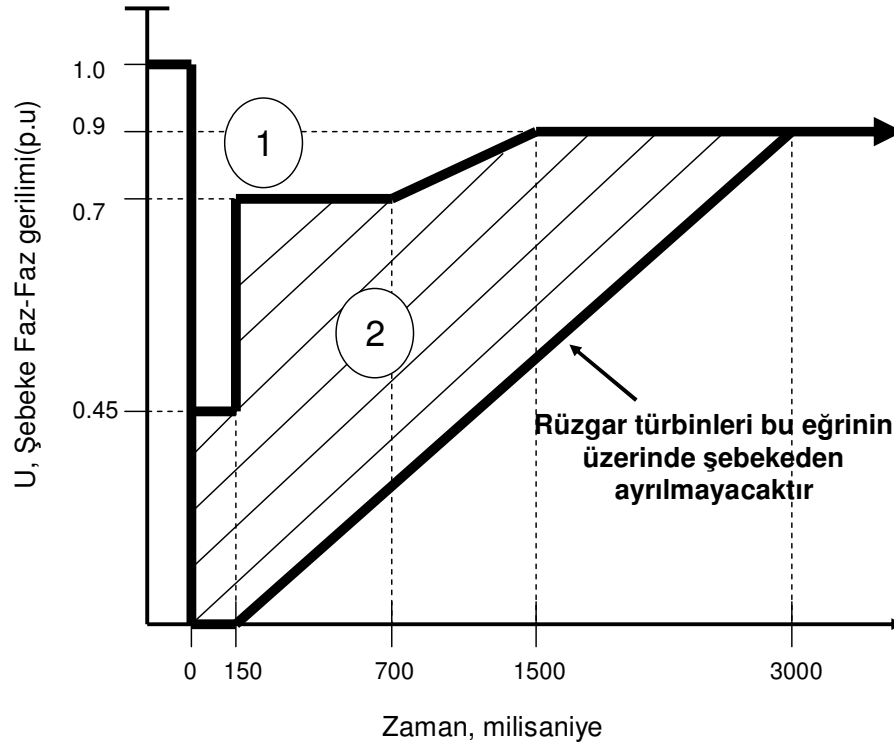
çıkışı saniyede nominal gücün %10'u oranında arttırılmalıdır (Alboyaci ve Dursun, 2008).

Danimarka'da RS'lerin şebeke bağlantı şartları arasında özel bir gerilim çalışma aralığı ve geçici hal arızaları için ayrı ayrı açma süreleri yoktur. Bağlantı noktasındaki gerilim değerlerini belirlemek amacıyla rüzgar çiftlikleri için özel şebeke topolojileri ile simülasyonlar yapılmalıdır. Ancak bu gereksinimler bir hatanın rüzgar çiftliğini ada moduna geçireceği radyal bağlı sistemlerde kullanılmaz. Örneğin arıza durumu düzeldiği zaman rüzgar çiftliğinin terminalleri açık devre olacağı sistemlerde rüzgar çiftliklerinin geçici kararlılık durumunda çalışması gerekmemektedir. Bu gibi durumlarda rüzgar çiftliklerinin şebekeden ayrılması gerekmektedir. Rastgele bir hatta veya bir transformatörde geçici 3 faz arızası veya başarısız kapama yüzünden oluşabilecek 2 faz arızaları gibi durumlarda rüzgar çiftlikleri sisteme bağlı kalabilmelidir. Bir arızanın gerçekleşmesi durumunda gerilim nominal değerinin %70'ine kadar en uzun 10 saniye boyunca düşebilmeli ve bu durum RS'leri kararsız hale götürmemelidir. RS'lerin, 3 dakika içerisinde 2 arıza olması durumunda veya 5 dakika arayla her arızanın kararlı hal durumunda olması şartıyla 6 arıza olması durumunda kontrolü sağlanabilmelidir. Bu gereksinimden ötürü RT'lerin, yeterli yardımcı gücü sağlayacak güç kaynakları ile donatılmış olması gerekir. Bir arıza sonrası durumda eğer gerilim nominal değerinin %60-80'nin altına düşer ve bu durum 2-10 saniye arasında devam ederse, bu durum RT'lerin aşırı hızlandığı anlamına gelir ve şebeke RT'leri normal hızlarına indirememektedir. Bu durumda gücün hızlı bir şekilde düşüşü ve reaktif gücün hızlı bir şekilde artışı kontrol edilmedir. Eğer bu şekilde şebeke gerilimi nominal değerine getirilemez ise rüzgar çiftliğinin şebekeden ayrılması gerekmektedir (Alboyaci ve Dursun, 2008).

Hollanda'da ise şebeke sisteminde RS'lerin geçici kararlılık durumunda çalışma halleri için özel sınırlamalar yoktur. Yenilenebilir enerji kaynakları ile üretim yapan tesislerin de dahil olduğu 110 kV ve altı gerilim değerlerinde bağlı olan tüm enerji üretim tesisleri beraber değerlendirilmektedir. Bu sistemlerde artık gerilim nominal gerilimin %70-%80'i arasında ise 300 ms sonrasında üretim tesislerinin şebekeden ayrılmasına müsaade edilmektedir. Eğer "artık gerilim değeri" nominal gerilimin %70'inden daha düşük bir seviyede ve aynı zamanda kritik kısa devre akımı süresinin %90'ı, 300 ms'den daha kısa ise kritik kısa devre akımı süresinin %90'ı süresinde üretim tesisi şebekeden ayrılmalıdır. Hat geriliminin 110 kV olduğu hatlara bağlı olan sistemlerde ise sadece gerilimin, nominal değerinin %70'nin altına düştüğü durumlarda yine kritik kısa devre akımı süresinin %90'ı veya 300 ms içinde şebekeden ayrılma söz konusudur. Eğer bir üretim tesisi şebekeden ayrılırsa arıza durumu kalkmasından itibaren 30 dakika içinde şebekeye bağlı olan tüm generatörlerle senkronize çalışabilecek

şekilde şebekeye bağlanabilmelidir. Ancak şebeke gerilimin düzeltilmesi işlemi bir saati geçerse bu şarta bakılmaz (DTe, 2007).

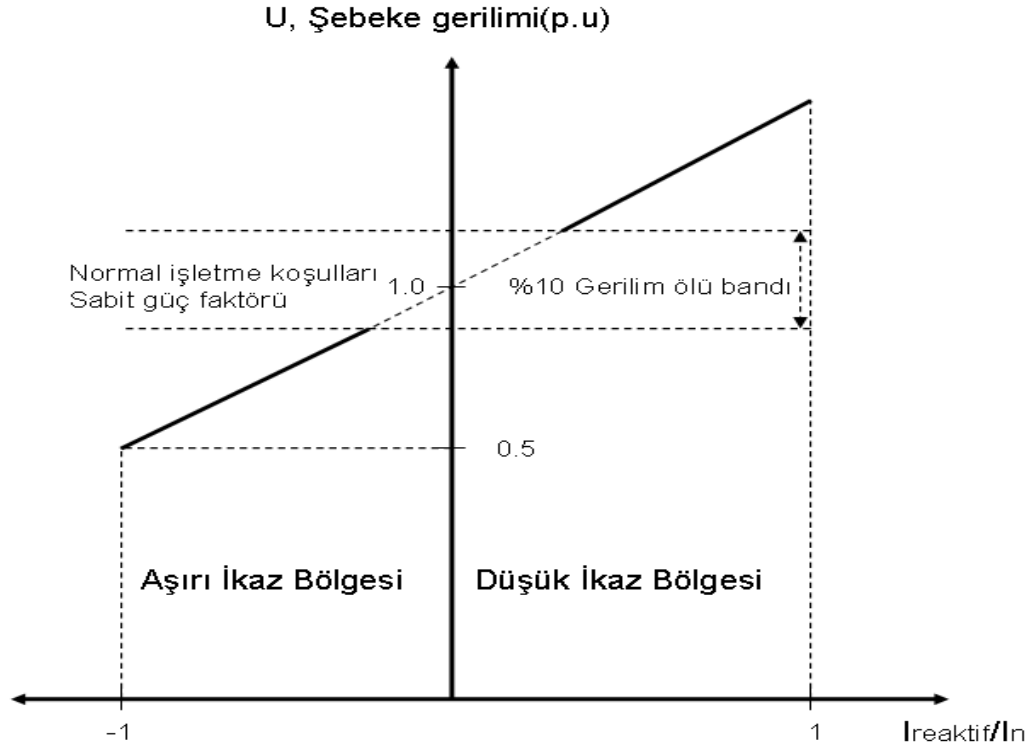
Türkiye şebeke yönetmeliğine göre şebeke bağlantı noktasındaki şebeke faz-faz geriliminin Şekil 3.7’de verilen 1 numaralı ve 2 numaralı bölgelerde kaldığı süre boyunca, herhangi bir fazda veya tüm fazlarda oluşan gerilim düşümlerinde RT şebekeye bağlı kalmalıdır.



Şekil 3.7 RT'lerinin arıza ve arıza sonrasında sağlaması gereken tepki (TEİAŞ, 2008)

Bir arıza durumunda eğer gerilim değeri Şekil 3.7’de verilen 1 numaralı bölgede kalırsa; RS’nin aktif gücü, arızanın geçmesinden hemen sonra saniyede nominal gücünün %20’si oranında artırılarak, üretebilecek maksimum aktif güç değerine ulaşmalıdır. Eğer arıza sırasında gerilim düşümü 2 numaralı bölgede kalırsa RS’nin aktif gücü, arıza temizlendikten hemen sonra saniyede nominal gücünün %5’i oranında artırılarak, üretebilecek maksimum aktif güç değerine ulaşmalıdır.

Gerilim dalgalanmalarında, RS’lerin vermesi gereken reaktif güç tepkisi Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8 Gerilim dalgalanmalarında, RS'lerin vermesi gereken reaktif güç tepkisi (TEİAŞ, 2008)

Şebeke geriliminde meydana gelen %10'a kadar olan dalgalanmalarda RT herhangi bir tepki vermeyecektir. Bu sınırın üzerindeki dalgalanmalarda, nominal gerilimin %1'lik değişimi için nominal akımın %2'si oranında reaktif akım desteği gerekmektedir (Şekil 3.8). Bu destek 20 milisaniye içinde gerçekleşmeli ve Şekil 3.7'de görüldüğü gibi bu destek 3 saniye boyunca sürmelidir (TEİAŞ, 2008).

3.3 Rüzgar Santrallerinin Şebeke Üzerine Etkileri

RS'lerin bağlanacağı şebeke, eğer yeteri kadar rezerv güce sahip ve enerji kalitesi açısından beslenmesi zorluklar taşıyan yükler bulundurmuyor ise, şebekeye enerji sağlayan kaynaklar içinde RS'lerin oranı yükseltilebilir. Ayrıca şebekeye bağlanacak olan RS'lerin modern sistemler ile enerji kalitesi üzerine etkileri azaltılması da bu oranın yükseltilebilmesine imkan veren etkenlerden biridir. Ancak bunun aksi durumlarda RS'ler şebeke üzerinde enerji kalitesi açısından olumsuz etkiler oluşturabilir. RS'lerin kurulumu sırasında bu parametrelere dikkat edilmesi, enerji kalitesi problemlerinin oluşmasının önüne geçecektir. Bu durumun dışında, eski teknolojiler ile donatılmış RS sistemlerinin ve kurulacak olan büyük güçlü rüzgar çiftliklerinin de modern cihazlar kullanılarak sisteme sağladıkları gücün enerji kalitesi açısından iyileştirilmesi, hem enerji kalitesi problemlerinin önüne geçer hem de sistemin

alternatif enerji kaynakları açısından zenginleşmesine destek sağlar. RS kurulumu sırasında kullanılan cihazlara bağlı olarak kurulacak olan sistemin enerji kalitesi üzerine etkileri belirlenebilip buna göre sınırlandırılmalar getirilebilir. Bunun dışında rüzgar çiftlikleri gibi şebekeye bağlandığında enerji ihtiyacının büyük kısmını karşılayacak RS sistemlerinde şebekeye sorunsuz olarak bağlanmayı sağlamak veya daha çok sayıda RS'yi şebekeye bağlamak için esnek AC iletim sistemleri (FACTS) cihazlarından faydalanılır. RS'lerin kurulumundan önce yapılan çalışmalar ile RS'lerin şebeke ile bağlantısı için gerekli olan şartları sağlayacak şekilde o bölgeye ne kadar güçte kaç adet RS bağlanabileceği tespit edilebilir. Bu sonuçlara bağlı olarak rüzgar potansiyeli yüksek olan bir bölgede geniş bir araziye sahip olsanız bile şebekeye bağlayacağınız RS miktarı sınırlanabilir. Bu durumda ise, ancak RS'lerin sebep oldukları enerji kalitesi problemlerinin önüne geçilmesi sayesinde ancak rüzgar potansiyelinden daha büyük oranda faydalanabilmek mümkün olacaktır. Bu yüzden öncelikle RS'lerin sebep olması muhtemel enerji kalitesi problemleri ve bu problemlere sebep olan faktörler incelenmelidir (Qian ve Chonghong, 2009; Lahaçani vd., 2010; Taşcıkaraoğlu, 2008).

RT'lerde kullanılan generatör tipinden şebeke bağlantı noktasının özelliklerine, RT'lerin birbirine göre konumundan o bölgedeki rüzgar hızlarının değişkenliğine kadar kurulum sırasında belirlenecek birçok parametre RS'lerin ileride şebekede oluşturması muhtemel enerji kalitesi problemlerini etkileyecektir. RT'lerde kullanılan generatör tiplerinin hepsi farklı karakteristikler göstermekte ve şebeke ile bağlantı durumunda hepsinin ayrı ayrı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Eğer kısa devre rotorlu veya çift beslemeli asenkron generatörler kullanılırsa RT, şebekeye değişken bir güç ulaştıracaktır ve bu duruma bağlı olarak gerilimin dalga şeklinde dalgalanmalar gözlenebilecektir. Gerilim dalgalanmaları, genellikle bu generatör tiplerinin reaktif güç ihtiyacını şebekeden karşılamasından kaynaklanır. Bu sistemde generatörler üzerinde elektromekanik enerji dönüşümü yapılır. RT'den gelen mekanik enerji, generatör ile elektrik enerjisine dönüştürülür. Ancak bu dönüşümün sağlanabilmesi için generatöre bir uyartım verilmelidir. Bu sayede elde edilen değişken manyetik alana bağlı olarak sargılar üzerinde gerilim oluşturulur. Bu manyetik alan oluşturmak için kullandığımız güç ise sürekli şebeke ile generatör arasında salınır ve faydalı iş yapmaz. Bu güç reaktif güç olarak isimlendirilmektedir. Reaktif güç enerji sistemlerinde gerilim üzerine başlıca etkenlerden biridir. Akımın reaktif bileşenine bağlı olarak şebeke empedansı üzerinde oluşacak gerilim düşmesi veya reaktif akımın ters yönlü olması durumunda gerilim yükselmesi, şebeke gerilimi üzerinde değişikliklere yol açar. Bu tür generatörlerin kullanıldığı RS'lerde reaktif güç kompanzasyonundan faydalanılarak bu tür

gerilim dalgalanması problemlerine çözümler getirilmektedir (Baroudi vd., 2007).

RS'lerin şebeke bağlantısında kullanılan generatörün yanı sıra şebeke bağlantı noktasının şartları da son derece önemlidir. Şebeke eşdeğer hat empedansı küçük olan ve kısa devre gücü yüksek olan bağlantı noktalarında şebekenin enerji kalitesi açısından RS'lerden etkilenmesi daha zordur. Ancak böyle bir bağlantı noktası sağlamak her zaman mümkün olamayacağı gibi bazı durumlarda da çok maliyetli olabilir. Ayrıca RS'lerin genellikle taşraya kurulması ve bu bölgelerde de genellikle kısa devre gücünün düşük, hat eşdeğer empedansının büyük olması çok rastlanan bir durumdur. Bağlantı noktasını kuvvetlendirmek veya daha uzaktaki fakat daha büyük kısa devre gücüne sahip bir bağlantı noktasına bağlanmak ekonomik olarak çoğu zaman uygulanabilir olmadığından, gerilim regülasyonu elemanlarının kullanılması daha ekonomik bir çözüm olmaktadır. Ayrıca RS'lerin şebeke ile bağlantısında kullanılan trafoların yük altında otomatik kademe değiştirme özelliğine sahip olması da bu enerji kalitesi problemlerine engel olmak amacı ile uygulanan yöntemlerden biridir (Akhmatov, 2004; TEİAŞ, 2008)

RT'lerin konumları ve yerleştirilmeleri de enerji kalitesi problemlerine etki etmektedir. RT'nin kurulduğu bölgede çevresindeki yeryüzü şekilleri, yapılar ve rüzgar akışını etkileyecek her türlü etken, RT'nin mekanik ömrünü etkileyeceği gibi aynı şekilde enerji kalitesi üzerine de olumsuz etkilerde bulunacaktır. RT'nin bir devri boyunca açısal hızındaki değişimler, ürettiği gerilimde değişkenliklere yol açacaktır. RT'lerin devirleri, şebekenin frekansı ile karşılaştırıldığında çok yavaştır. Genellikle generatörün şebeke ile bağlantı kurabileceği devirlerde dönebilmesi için dişli kutusu sistemleri veya çok kutuplu generatörler kullanılır. Bu durumda RT'nin bir devir süresi içerisinde şebekede bir çok periyot geçmiş olur. Buna bağlı olarak RT'nin bir devri içindeki açısal hız değişimleri şebeke üzerinde birkaç periyoda yansır. Bu değişimler gerilimin birkaç periyot boyunca dalgalanmasına sebep olur ki bu durum fliker emisyonunu yükseltir (Taşcıkaraoğlu, 2008).

RS'lerden kaynaklanan başlıca enerji kalitesi problemleri aşağıda alt bölümler halinde verilmiştir.

3.3.1 Gerilim Dalgalanmaları

RS'lerden kaynaklanan enerji kalitesi bozukluklarının başında gerilim dalgalanmaları gelir. Bu problem sisteme bağlanabilecek RS sayısını kısıtlayan bir faktördür. Nominal yüklenme durumunda aktif gücün %30 ile %40'ı arasında değişen reaktif güç, yüksüz durumda aktif gücün %60'ı seviyelerine kadar yükselebilmektedir. Şebekede oluşan gerilim karasızlıklarının

başlıca sebebi reaktif güçtür. Ayrıca reaktif güç, güç kayıplarının da başlıca sebeplerinden biridir. Normal çalışma koşullarında bir RT'nin veya bir grup RT'den oluşan bir çiftliğin gerilim kalitesi aşağıdaki parametrelere göre değerlendirilebilir (Chen ve Blaabjerg, 2009).

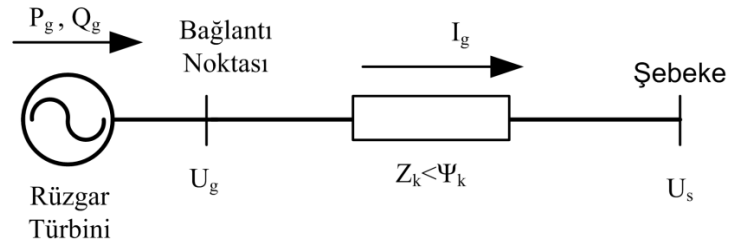
Sürekli güç üretimi durumunda kararlı hal gerilimi

- Gerilim flikierleri
 - Normal çalışma süresince oluşan flikierler
 - Anahtarlama bağlı oluşan flikierler

olarak sınıflandırılabilir. Bir RS'nin şebeke ile bağlantısında gerilim kalitesi üzerine etkileri doğrudan şebeke kısa devre gücü ile alakalıdır. Elektrik şebekesinde verilen noktada kısa devre gücü, sistemin gücünü gösterir. Eğer uzak bir noktada (sonsuz şebeke) gerilim sabit kabul edilip bu gerilim U_s olarak adlandırılırsa ve Z_k belirtilen noktalar arasındaki şebeke eşdeğer empedansı ise kısa devre gücü (SCC);

$$SCC = \frac{U_s^2}{Z_k}; \quad (3.4)$$

şeklinde olur.



Şekil 3.9 Şebekeye bağlanmış bir RT'nin eşdeğer devresi

Kısa devre empedansı Z_k olan bir RT'nin şebeke ile bağlantısının eşdeğer devresi Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Sonsuz şebekede bara gerilimi U_s ve bağlantı noktası gerilimi ise U_g olarak adlandırılmıştır. Çıkış aktif gücü P_g ve reaktif gücü Q_g olarak adlandırılmıştır. Bu güçlerden dolayı olan oluşan akım ise I_g olarak isimlendirilmiştir.

$$I_g = \left(\frac{S_g}{U_g} \right)^* = \frac{P_g - jQ_g}{U_s}$$

U_g ve U_s baraları arasındaki gerilim farkı ΔU olarak isimlendirilirse, ΔU ;

$$\begin{aligned} U_g - U_s = \Delta U &= Z_k I_g = (R_k + jX_k) \left(\frac{P_g - jQ_g}{U_s} \right) \\ &= \frac{R_k P_g + X_k Q_g}{U_g} + j \frac{P_g X_k - Q_g R_k}{U_g} = \Delta U_p + \Delta U_q \approx \frac{R_k P_g + X_k Q_g}{U_g} \end{aligned} \quad (3.5)$$

olarak elde edilir.

Gerilim farkı ΔU , şebekenin kısa devre empedansına ve RS'nin çıkış aktif ve reaktif gücüne bağlıdır. Buradan da açıkça görülecektir ki üretilen aktif ve reaktif güçlerdeki değişimler bağlantı noktası geriliminde de dalgalanmalara yol açacaktır. Eğer Z_k değeri küçük olursa (güçlü bir şebekede) o zaman gerilim dalgalanmaları da az olacaktır. Diğer yandan Z_k büyük olursa (zayıf bir şebekede) o zaman da gerilim dalgalanmaları büyük olacaktır (Chen ve Blaabjerg, 2009).

3.3.1.1 Reaktif Güce Bağlı Gerilim Dalgalanmaları

Gerilim değerinin reaktif güç ile doğrudan bağlantılı olduğu eşitlik 3.5'den görülmektedir. Buradan yola çıkılarak reaktif gücü kontrol etme yeteneğine sahip RS'ler sistemin gerilim kontrolüne de destekte bulunabilirler sonucuna erişilebilir. Modern rüzgar çiftlikleri hem aktif hem de reaktif gücü kontrol etme yeteneğine sahip şekilde tasarlanmaktadır. Konvansiyonel asenkron generatörler kullanılan değişken hızlı RS'lerde reaktif güç kontrolü, tristör anahtarlama kondansatör grupları kullanılarak sağlanabilir. Ayrıca şebeke bağlantı noktasına bir dinamik reaktif güç kontrol ünitesi de ek olarak konulabilir. Çift beslemeli asenkron generatörler veya tamamen güç elektroniği dönüştürücüleriyle donatılmış, güç elektroniği tabanlı RS'ler kullanıldığı zaman reaktif güç kontrolü, dönüştürücüler ile sağlanabilir. Bu sayede rüzgar hızındaki değişimlere bağlı olarak RS'nin ürettiği aktif güçte oluşan dalgalanmaların önüne geçilmiş olur. Böylece şebeke bağlantı noktası geriliminde, aktif güç değişimine bağlı olarak oluşan dalgalanmalar büyük oranda giderilmiş olur. Bu duruma örnek olarak Danimarka'da açık denizde kurulmuş çift beslemeli asenkron generatörlerden oluşturulan Horns Rev rüzgar çiftliği gösterilebilir (Chen, 2005).

Konvansiyonel asenkron generatörlerle donatılmış değişken hızlı RT'lerden oluşan rüzgar çiftliklerinde aktif güç üretimi ve reaktif güç tüketimi birbiriyle oldukça ilişkilidir. Bu duruma örnek olarak Doğu Danimarka şebekesi gösterilebilir. Aktif güçteki dalgalanmalar reaktif güç tüketiminde de benzer dalgalanmalara yol açacaktır. Eğer bu sistemde dinamik reaktif güç kompanzasyon ünitesi yerleştirilmezse gerilim dalgalanmaları önemli değerlere ulaşabilir.

Lokal olarak yerleştirilen kondansatör grupları, asenkron generatörün reaktif güç ihtiyacını karşılayabilir. Güç elektroniği elemanları kullanılarak üretilmiş kendinden uyartımlı makinelerde de reaktif güç kontrol edilerek kayıplar düşürülebilir ve gerilim kararlılığı artırılabilir. Büyük ölçekli rüzgar çiftliklerinde SVC veya STATCOM gibi merkezi bir

reaktif güç kompanzatorü kullanılabilir. Bu sayede daha hassas bir reaktif güç regülasyonu sağlanabilir (Chen, 2005).

3.3.1.2 Gerilim Flikerleri

Şebeke geriliminin efektif (RMS) değeriindeki dalgalanmalar, aydınlatma elemanlarında hissedilir derecede kırpışmalara yol açabilir. Kırpışmaların hissedilebilirliği, dalgalanmanın frekans ve genliğine bağlıdır. Bu türlü bozulmalar gerilim flikeri veya kısaca fliker olarak adlandırılmaktadır.

RS'lerden kaynaklanan iki tip fliker emisyonu bulunmaktadır: kararlı hal fliker emisyonları ve generatör veya kondansatör anahtarlamalarından kaynaklanan fliker emisyonları. Genellikle sistemde bu fliker emisyonlarından biri baskın olarak bulunur. Müsaade edilebilir fliker sınırları genellikle özel olarak şebeke yöneticileri tarafından belirlenir. RS'nin çıkış gücünde generatör veya kondansatör anahtarlamaları gibi sebeplere bağlı olarak oluşan hızlı değişimler de ayrıca gerilimin RMS değeriinde dalgalanmalara yol açar. Belli oran ve genliklerde bu dalgalanmalar aydınlatma elemanlarının parlaklığında dalgalanmalara sebep olur. Fliker emisyonlarının gerilim kalitesini etkilemesine engel olmak için generatörler çalıştırılırken aşırı gerilim flikeri üretmemesine dikkat edilmelidir.

IEC 61000-4-15 nolu standartında, flikeri direkt olarak ölçebilecek bir flikermetre tanımlamıştır (IEC Standard 61000-4-15, 1997). Fliker ölçümü P_{st} ve P_{lt} değerlerini hesaplamaya yönelik bir algoritmaya dayanır. P_{st} kısa dönem fliker şiddeti faktörüdür ve 10 dk aralıklarla ölçülür, P_{lt} ise uzun dönem fliker şiddeti faktörüdür ve 2 saatlik periyotlar ile ölçülür. Fliker üzerine yapılan çalışmalarda simülasyon yöntemi de kullanılabilir (Sun vd., 2005). Ayrıca P_{st} ve P_{lt} değerleri, RS üretici firmaların yaptığı ölçümler sonucu elde ettikleri ve tüketiciye verdikleri $c_f(\Psi_k, v_a)$ ve $k_f(\Psi_k)$ gibi katsayılar ve faktörlerle de tahmin edilebilir.

RS'lerin şebeke ile bağlantısından kaynaklanan fliker emisyonları belirtilen sınırlar içinde olmalıdır. Genellikle 10-20 kV gerilim değerine sahip şebekelerde P_{lt} değerinin 0.5'ten küçük olması, 50-60 kV gerilim değerine sahip şebekelerde P_{lt} değerinin 0.35'den küçük olması kabul edilebilir değerler olarak görülür. Bunun dışında farklı şebekelerin farklı fliker emisyonu sınırlamaları olabilir. (Chen ve Blaabjerg, 2009).

3.3.2 Gerilim Çökmeleri

RT sistemlerinde, MW mertebelerinde çift beslemeli asenkron generatör kullanan değişken hızlı RT'ler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu tip RT'lerde bağlantı noktasında gerilim

çökmeleri yaşanması durumunda, büyük hacim, düşük ağırlıklı mekanik yapısına ve güç elektroniği elemanları kullanılmasına bağlı olarak rotor devresinde yüksek akımlar endüklenmektedir. Bu durum, güç elektroniği dönüştürücülerinin rotor tarafının zarar görmesine ve dişli kutusunda aşırı metal yorgunluğuna sebep olabilir (Morren ve Haan, 2005).

Eski şebeke yönetmeliklerinde 0.8 pu değerinin altında bir gerilim düşümü olması durumunda RS'lerin şebekeden ayrılmasına müsaade ediliyordu. Ancak son yıllarda şebekeye bağlanan RS'lerin sayısındaki artış nedeniyle gerilim çökmelerinin oluşmasına neden olmasını önlemek için yeni şebeke yönetmeliklerine gereksinim olduğuna dikkat çekilmiştir. Yeni şebeke yönetmeliklerinde şebeke gerilimi düşük değerler olsa dahi RS'lerin şebeke bağlantısının kopmaması beklenmektedir (Xiangwu vd., 2009). Bu durumda RS'lerin şebeke ile bağlantısında en önemli gereksinimlerden biri RS'lerin geçici kararlılık durumunda çalışma özelliğidir. RS'lerin geçici kararlılık durumunda çalışmaları genellikle mekaniksel olarak incelenirse de, aslında hem mekaniksel hem de elektriksel olarak bir bütün halinde sistemi etkilemektedir. Mekaniksel etkilerin enerji kalitesini etkilediği gibi elektriksel olaylar da mekaniksel etkiler doğurmaktadır (Fadaeinedjad vd., 2007).

3.3.3 Harmonikler

Harmonik bozulma, temel sinüsoidal dalgada oluşan bozulmalardır ve nonlinear elektrik yüklerine bağlı olarak oluşurlar. Harmonikler akım değerlerinin yükselmesine, güç kayıplarına ve cihazlara zarar verebilecek seviyede ısınmalara yol açarlar. Ayrıca harmonikler, kontrol ve iletişim sistemlerindeki problemlerin de artmasına sebep olurlar. Buna bağlı olarak toplam harmonik bozulma (THD) harmonik standartları tarafından sınırlandırılmıştır. Ayrıca standartlarda THD sınırlandırıldığı gibi tek tek harmonik bileşenler de sınırlandırılmıştır.

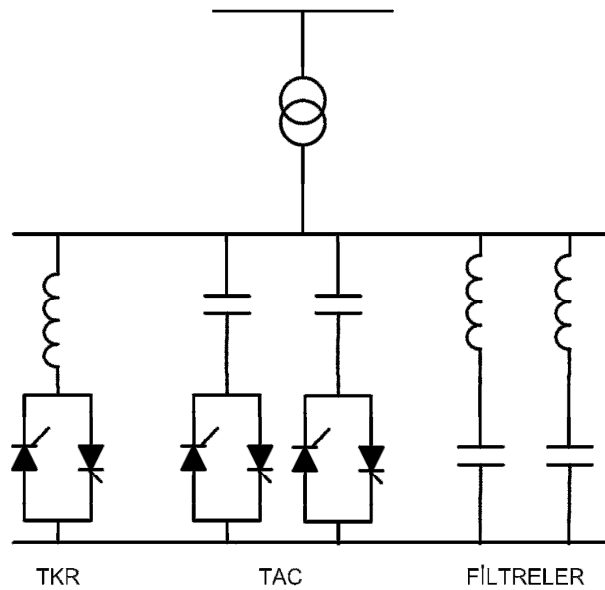
Değişken hızlı RT'lerde giriş ve çıkış yollarında harmoniğe sebep olması muhtemel olan güç elektroniği dönüştürücüleri kullanılır. Ancak dalga genişliği modülasyonu (PWM) anahtarlama yönetimi ve anahtarlama frekansının birkaç bin Hz değerinde tutulması, harmonikleri yüksek frekans değerlerine çeker. Bu durumda harmonikler, küçük filtreler ile kolayca elimine edilebilir. Bu sayede genellikle modern RS'lerde harmonik standartları rahatça karşılanır (Chen ve Blaabjerg, 2009).

4. GERİLİM DALGALANMALARINI GİDERMEK İÇİN KULLANILAN BAŞLICA SİSTEMLER

Ark fırınları gibi ani değişken akımlar çeken sistemler şebeke üzerinde gerilim dalgalanmalarına sebep olmakta ve fliker emisyonunu artırmaktadırlar. Aynı şekilde RS'ler de gerilim dalgalanmaları ve fliker emisyonuna sebep olmaktadır. Bu gibi gerilim problemleri oluşmasına en baştan engel olmak mümkündür. Ancak bu çözümler genelde uygulanabilir değildirler. Değişken hızlı RT'lerin kullanıldığı çiftliklerde genellikle reaktif güç kompanzatörü olarak SVC ve STATCOM (Statik Kompanzatör) kullanılmakta ve bu sayede gerilim dalgalanmaları ve flikerin önüne geçilmeye çalışılmaktadır.

4.1 Statik VAr Kompanzatör (SVC)

SVC, çekilen ve üretilen reaktif gücü pasif elemanlar vasıtasıyla kontrol etme özelliği sayesinde gerilim kontrolünde kullanılabilir. Ayrıca asimetrik yükleri dengelemek amacı ile de kullanılabilir. SVC, Şekil 4.1'de gösterildiği gibi genellikle bir tristör kontrollü reaktör (TKR) ve birkaç tristör anahtarlama kondansatör (TAK) grubundan oluşturulur. Her bir kondansatör grubunun devreye alınması, ani akımları önlemek için akımın sıfır noktasına dikkat edilerek yapılır. Aynı zamanda reaktörün reaktansı devamlı olarak tristörlerin tetikleme açısı değiştirilerek kontrol edilir. Bu yönetim şekli ile SVC, değişken bir reaktif gücü belirli bir aralıkta devamlı olarak üretebilir. Ayrıca bu durumda TKR'nin boyutu bir TAK'nin boyutuna orantılı olarak sınırlanır. Endüktif yönde çekilen reaktif gücün sınırlarını da reaktörün boyutu belirler.



Şekil 4.1 Statik Var Kompanzatör

SVC iletim hatları kompanzasyonunda, raylı sistemleri besleyen hatların kompanzasyonunda, haddehanelerin bozucu etkilerinin giderilmesinde ve ark ocaklarının kompanzasyonunda hem reaktif güç kompanzasyonu amaçlı, hem de fliker oluşumunu önleme amaçlı kullanılmaktadır. SVC'nin reaktif güçlerdeki değişimi kompanze etme özelliği, SVC'yi fliker emisyonunu azaltmak için uygun kılmaktadır. Bu amaçla kullanılan SVC sistemleri genellikle filtreli bir TKR'den oluşur (TAK kullanılmaz). SVC'nin ark fırınları ile beraber kullanılması sadece fliker emisyonunu azaltmaz aynı zamanda gerilimin regüle edilmesine bağlı olarak çelik üretimini ve üretilen çeliğin kalitesini de artırır. Ancak SVC'nin cevap verme süresinin uzunluğu sistemin dezavantajlarından biridir (Sannino vd., 2003).

4.2 Statik Kompanzatör (STATCOM)

Zorlamalı komitasyonlu dönüştürücülerin avantajlarından biri, aktif ve reaktif gücü hem tüketebilmesi, hem de üretebilmesidir. Bu sayede aktif güç ve reaktif güç birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilir. Gerilim kaynağı gibi davranan PWM kontrollü bir dönüştürücü, fliker emisyonunu daha başarılı bir şekilde gidermek için gerekli olan hızlı kontrolü sağlayabilir.

Anahtarlama elemanı olarak GTO kullanılan dönüştürücülerde harmonikleri ve anahtarlama kayıplarını azaltmak amacı ile 12 darbeli, 24 darbeli, 36 darbeli hatta 48 darbeli dönüştürücüler kullanılmaktadır. Örnek olarak 12 darbeli bir dönüştürücü, biri yıldız biri üçgen bağlı 2 transformatör üzerinde paralel bağlanmış 2 dönüştürücü köprüsü ile elde edilebilir. Gerilim kaynağı gibi davranan zorlamalı komitasyonlu bir dönüştürücü, fliker emisyonunun giderilmesinde en başarılı sonuçları veren sistem olarak gözükmektedir. Anahtarlama elemanlarının akım ve gerilim değerleri üzerindeki gelişmeler dikkate alınırsa anahtarlama elemanı olarak 'integrated gate bipolar transistor (IGBT)' kullanılabilir ki, bu şekilde anahtarlama frekansı artırılabilir. Bu duruma bağlı olarak sistemin cevap zamanı daha da hızlandırılabilir. PWM ile kontrol edilen paralel bağlı gerilim kaynağı gibi davranan ve IGBT'lerden oluşturulan bir dönüştürücü, genellikle STATCOM veya dağıtım kademelerinde genellikle kullanıldığı için statik dağıtım kompanzatörü (D-STATCOM) olarak adlandırılır. Son yıllarda üreticiler bu ürünün başarılı sonuçları sonucunda farklı isimlerle ürünü ticarileştirmişlerdir (Sannino vd., 2003).

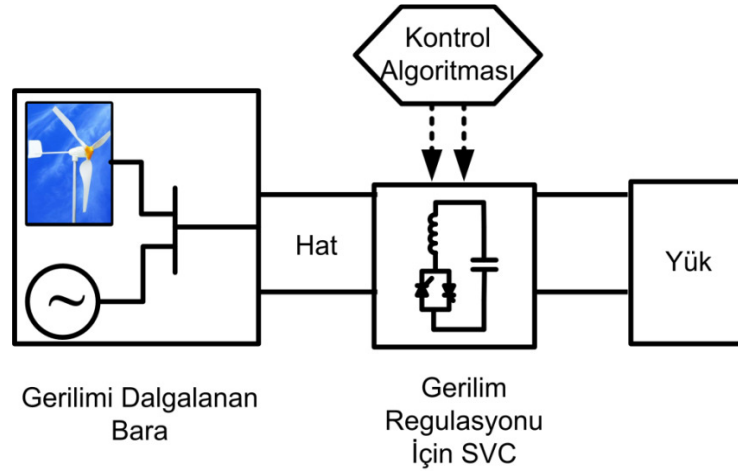
Larsson yaptığı çalışmada (Larsson, 1998) STATCOM'un, fliker emisyonunu gidermek için kullanılan SVC gibi diğer ekipmanlara karşı üstünlüğünü göstermiştir. Larsson yaptığı çalışmada, kısa dönem fliker şiddeti (P_{st}) değerini SVC kullanarak 3.8'den 2.4 değerine

düşürmüştür ki, bu da %40'a yakın bir iyileştirmeye karşılık gelmektedir. STATCOM kullanıldığında ise bu değer 0.65'e düşürülmüştür ki, bu da %80'den fazla bir iyileştirme demektir.

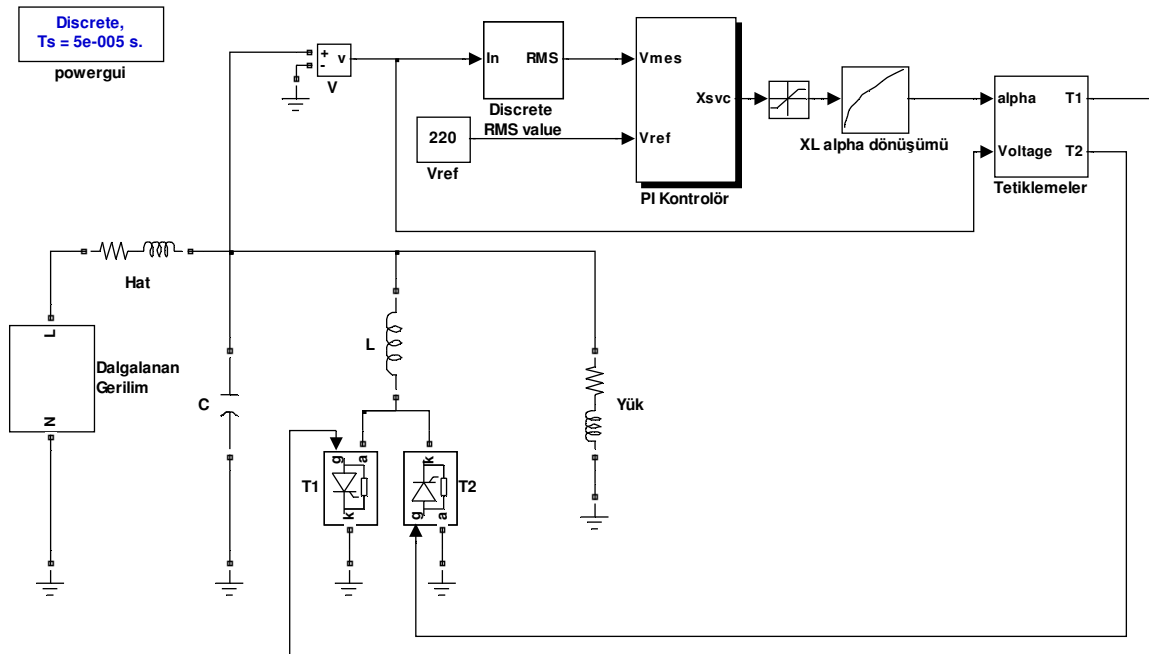
Ancak reaktif güce bağlı değişimlerde ve sınırlı fliker emisyonu olan yerlerde STATCOM, güç elektroniği elemanlarından oluşması, karmaşık yapısı ve kontrolü sebebi ile pahalı bir çözüm olmaktadır. SVC gibi pasif elemanlar kullanılan sistemler eğer yeterli kalıyorsa daha ucuz ve pratik çözüm olabilir. Ayrıca Samet, El Moursia ve Wang yaptıkları çalışmalar ile SVC'nin cevap verme süresini kısaltmak amacı ile kontrol yöntemleri geliştirmeye çalışmışlardır. (Samet ve Parniani, 2009), (El Moursia ve Joosb, 2009), (Wang vd., 2008)

5. YAPILAN BENZETİM ÇALIŞMALARI VE SONUÇLARI

Test platformu üzerinde çalışmalara başlamadan önce planlanan sistemin, elemanların ve algoritmanın doğruluğunu test etmek ve geliştirmek amacı ile benzetim ortamında denemeler gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda amaç doğrultusunda, dalgalanan bir gerilim üretilmiş ve bu gerilimin SVC kullanılarak regülasyonu sağlanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla Şekil 5.1’de blok diyagramı ve Şekil 5.2’de benzetim modeli verilen sistem oluşturulmuştur.



Şekil 5.1 Benzetim çalışması blok diyagramı

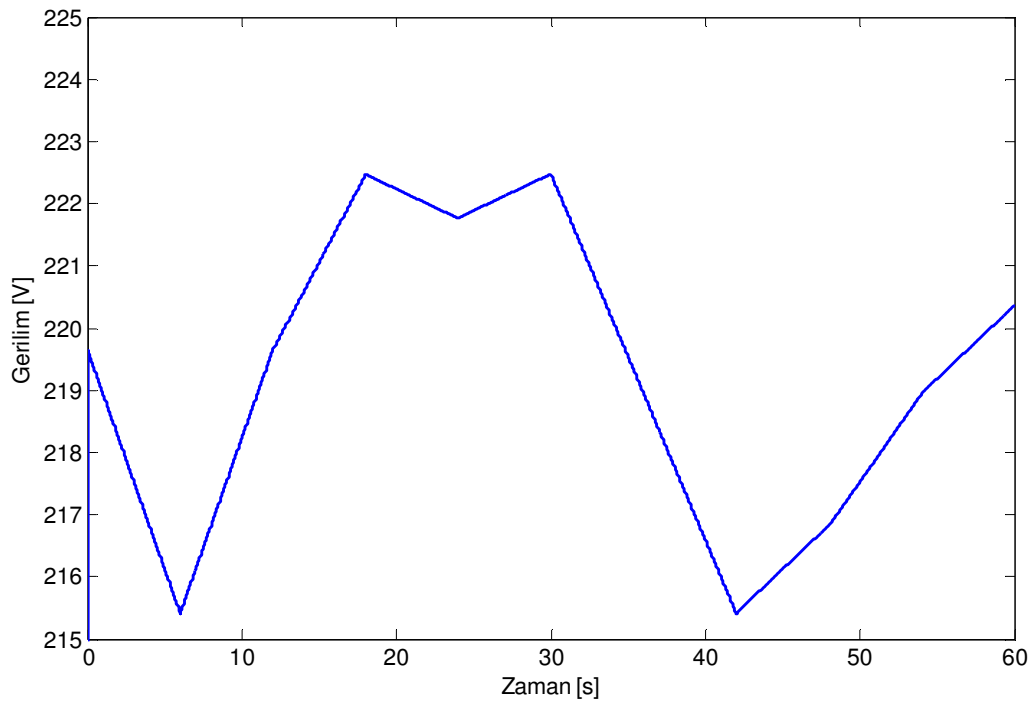


Şekil 5.2 Benzetim çalışması

RS'lerin kararlı hal çalışmasından dolayı oluşan dalgalı gerilim, sonsuz şebekenin sinüsoidal

gerilimine eklenerek dalgalanan bir gerilim oluşturulmuştur. Şebekeden ölçülen gerilimin efektif değeri ve belirlenen referans gerilim, PID kontrol bloğuna uygulanmıştır. PID bloğunun çıkışı deneysel veriler sonucunda kullanılan endüktanstan alınan ölçüm değerleri yardımı ile tetikleme açısına dönüştürülmüş ve tetikleme açıları 90 ile 180 derece arasında kalacak şekilde sınırlandırılmıştır.

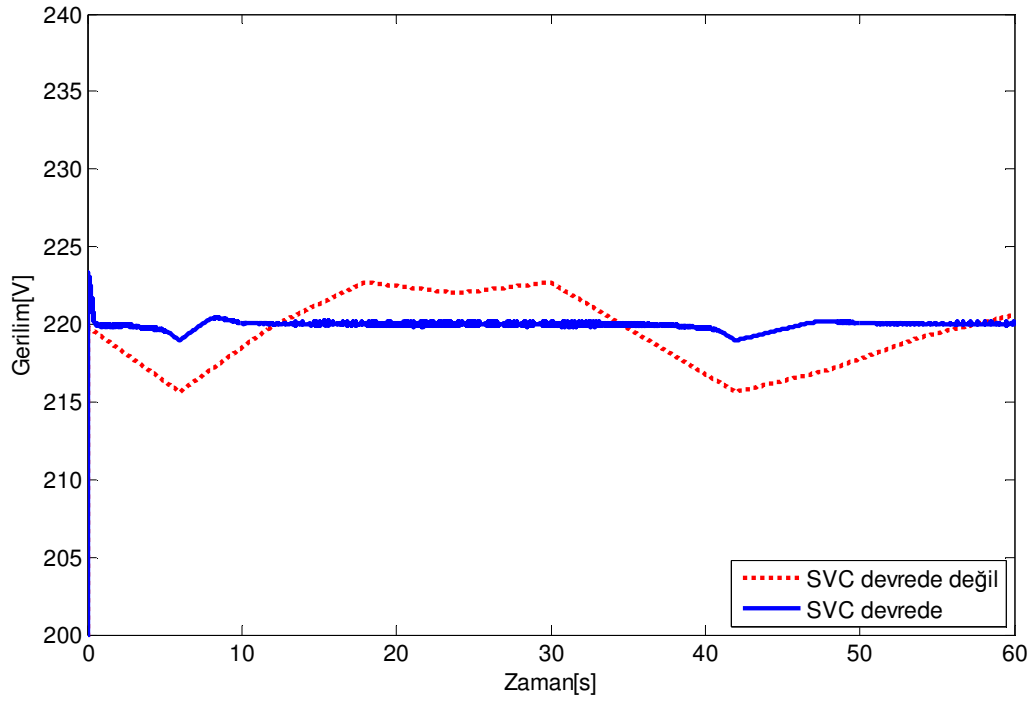
SVC'yi omik ve omik endüktif yükte test etmek için üretilen dalgalı gerilim Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Bu gerilim altında SVC'nin devrede olduğu ve olmadığı durumlarda, yük gerilimi ve endüktans akımı incelenmiş ve şebeke üzerine muhtemel etkileri karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.3 SVC'yi test etmek amacı ile üretilen dalgalı gerilim

5.1 Omik Yük Durumunda Simülasyon Sonuçları

Şebekedeki dalgalanan gerilimi temsil eden dalgalı gerilim, SVC ve omik yükten oluşan sisteme uygulanmıştır. Bağlantı noktasındaki gerilimin değişimi Şekil 5.4'te gösterilmiştir.

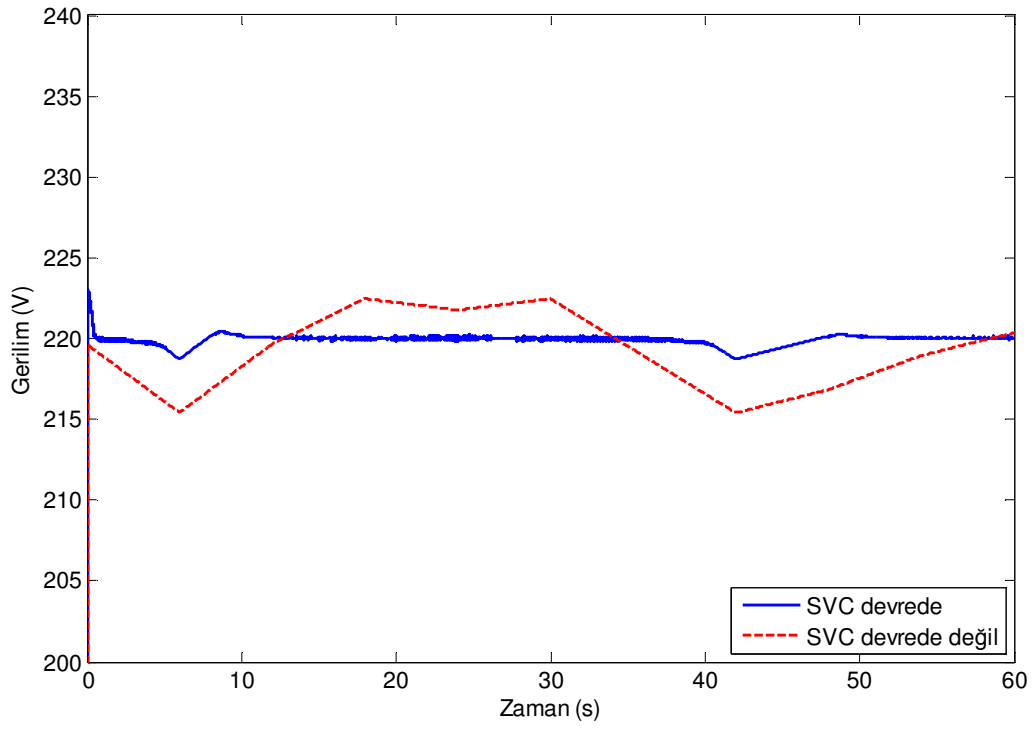


Şekil 5.4 Omik yük durumunda yük gerilimi

SVC'nin devrede olduğu durumda dalgalanan gerilimin istenilen referans gerilim değerinde regüle edilebildiği açıkça görülmektedir. RS'lerden kaynaklanan şebeke üzerindeki olumsuz etkilerin SVC kullanılarak azaltılabileceği gösterilmiştir.

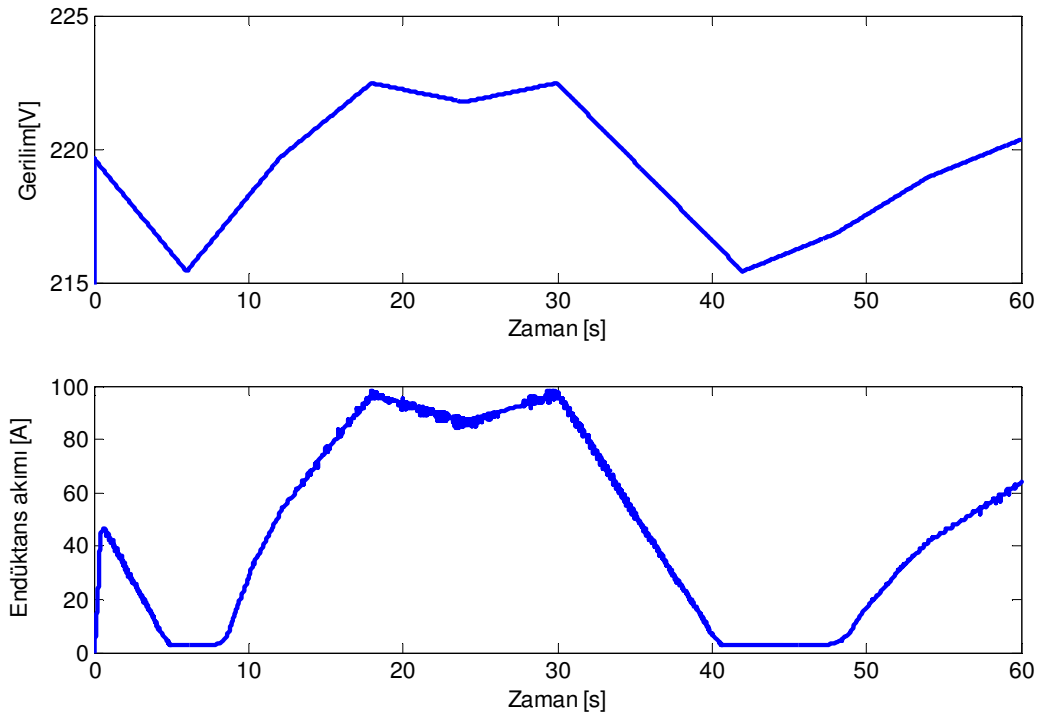
5.2 Omik-Endüktif Yük Durumunda Simülasyon Sonuçları

Üretilen gerilim (Şekil 5.3) omik endüktif bir sisteme uygulanmıştır. SVC'nin devrede olduğu ve olmadığı durumlarda yük gerilimi Şekil 5.5'te gösterilmiştir. Gerilimdeki dalgalanmalar omik yükte olduğu gibi omik-endüktif yükte de regüle edilmiştir.



Şekil 5.5 Omik-Endüktif yük durumunda yük gerilimi

Gerilim dalgalanmalarına bağlı olarak endüktans akımının efektif değerindeki değişim Şekil 5.6’da verilmiştir.



Şekil 5.6 Gerilim dalgalanmalarına bağlı olarak endüktans akımının değişimi

Kontrol algoritması, tristör tetikleme açılarını bara gerilimine bağı olarak kontrol etmektedir. Bara gerilimi, referans gerilim değerin altına düştüğünde, tetikleme açısı artırılmaktadır. Bu duruma bağı olarak endüktans üzerinden akım azaltılmakta ve SVC sistemi kapasitif hale getirilmektedir. Bu sayede gerilim yükselmekte ve referans değere yaklaşmaktadır. Bara geriliminin, ayarlanan referans geriliminin üzerine çıktığı durumlarda ise, tetikleme açısı azaltılmaktadır. Böylelikle endüktans üzerinden akım artmakta ve sistem endüktif hale geçmektedir. Bu duruma bağı olarak da bara gerilimi düşmekte ve referans gerilim değere yaklaşmaktadır. Gerilim değeriindeki kontrol aralığı, sistemin gücüne ve endüktif ve kapasitif elemanların boyutlarına bağıdır. Yapılan benzetim çalışması için bu değerler sonsuz şebeke gerilimini $\pm 4V$ değerler arasında kontrol edecek şekilde ayarlanmıştır.

6. TEST SİSTEMİ

RS'lerden kaynaklanan gerilim dalgalanmalarına çözüm getirmek amacı ile bir test platformu kurulmuştur. Bu test platformu ile prototip SVC kullanılarak RS'lerin generatör çıkışında elde edilen dalgalı gerilimin benzeri nominal değerinde tutulacak şekilde regüle edilmiştir.

6.1 Test platformunda Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar

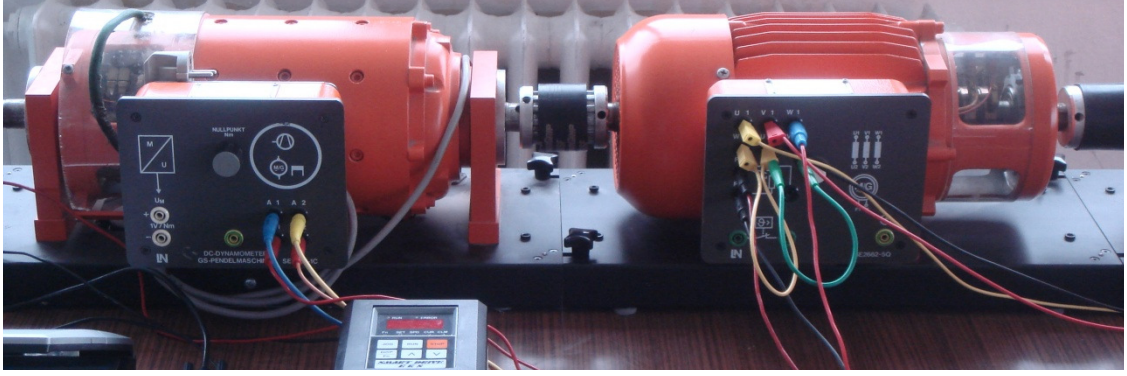
Bu tez çalışmasında, RT'lerin yüksek maliyetinin yanı sıra uygun olmayan coğrafik şartlar nedeni ile gerçek bir RT yerine test platformu oluşturulmuştur. RT yerine laboratuvar ortamında hazırlanan bu test platformu üzerinde rüzgar verileri devir bilgisine dönüştürülerek deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

RS'ler kurulurken bölgenin rüzgar potansiyeline göre içinde bir veya birkaç dişli bulunan dişli kutusu sayesinde düşük RT devri, kullanılan generatörün senkron devrine dönüştürülür. Bu yüzden rüzgar hızında oluşacak dalgalanmalar, kullanılan dişli kutusu aracılığı ile generatörün senkron devrine yakın değerlerde dalgalanmalar oluşturur. Bu nedenle kullanılan test platformunda oluşturulan devir bilgilerindeki dalgalanmalar, rüzgarda olması muhtemel dalgalanmaların üstünde tutulmuştur. Böylece test düzeneği oldukça kötü şartlarda çalışabilecek şekilde hazırlanmıştır.

Test platformu motor-generatör grubu, DC motor kontrol ünitesi, bilgisayardan devir bilgisini DC motor kontrol ünitesine aktaran iletişim kartı, SVC ve SVC'nin kontrolü için dSPACE kontrol ünitesinden oluşmaktadır.

6.1.1 Motor-Generatör Grubu

Şekil 6.1'de görüldüğü gibi motor-generatör grubu bir adet DC motor ile senkron generatör ve bunların akuplajını sağlayan mekanik aksamdan oluşmaktadır. Burada DC motor, rüzgarı simule etmek amacı ile kullanılmıştır. DC motor seçilmesinin sebebi ise, devir kontrolünün kolaylıkla sağlanabilmesidir. Senkron generatör ise bir RT'ye ait generatörü temsilen kullanılmıştır. Bu test platformunda DC motor ile tahrik edilen senkron generatör, bilgisayardan girilen rüzgar hızına bağlı olarak 3 fazlı bir AC gerilim üretmektedir.



Şekil 6.1 Test platformunda kullanılan 1kW'lık motor-generatör grubu

6.1.2 DC Motor Kontrol Ünitesi

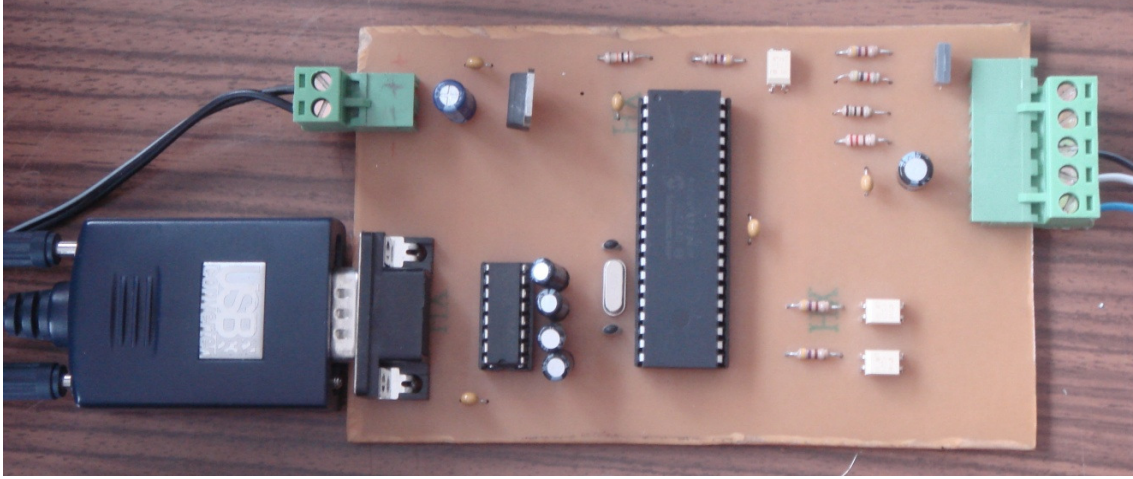
Şekil 6.2'de görülen DC motor kontrol ünitesi, değişken rüzgar hızlarına uygun olarak DC motorun devrini ayarlamaktadır. Böylece senkron generatör rüzgar hızı değerlerine uygun olarak tahrik edilmektedir. Bu kontrol ünitesi sayesinde rüzgar hızındaki ani değişimler DC motor aracılığı ile senkron generatöre aktarılmaktadır.



Şekil 6.2 DC motoru kontrol etmek için geliştirilen DC motor kontrol ünitesi

6.1.3 Bilgisayar-DC Motor Kontrol Ünitesi İletişim Kartı

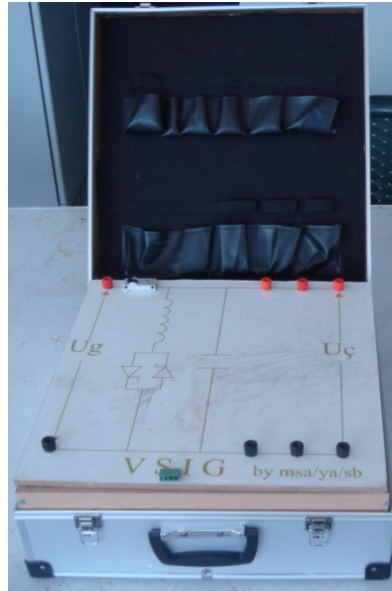
Şekil 6.3'te görülen elektronik kart, rüzgar hızı değişimlerine uygun olarak hazırlanan devir bilgilerin bilgisayardan DC motor kontrol ünitesine aktarılmasını sağlamaktadır.



Şekil 6.3 DC motor kontrol ünitesi ile bilgisayar arasındaki bağlantıyı sağlayan iletişim kartı

6.1.4 SVC

Şebeke geriliminde oluşabilecek çökme, dalgalanma gibi enerji kalitesini etkileyecek problemlere karşı önlem almak ve gerilim regülasyonunu sağlamak amacıyla sisteme Şekil 4.4'te görülen SVC ünitesi bağlanmıştır.



Şekil 6.4 Statik VAR Kompanzasyon (SVC) ünitesi

SVC; sabit kondansatör, reaktör ve güç anahtarı (triyak) olmak üzere 3 ana elemandan oluşmaktadır. Sabit kondansatör, yüke paralel bağlanarak, yük geriliminde yükseltici etki

yapmaktadır. Reaktör ise yüke güç anahtarı üzerinden paralel bağlıdır. Reaktör devresine uygulanan gerilimin efektif değeri ve buna bağlı olarak reaktör akımı ihtiyaca göre sürekli olarak güç anahtarı sayesinde ayarlanabilmektedir. Bu sayede gerilimin genliği nominal değerin altına düştüğünde reaktör daha düşük oranda devreye alınmakta böylelikle sistem kapasitif hale getirilmekte ve gerilimin nominal değerine yükselmesi sağlanmaktadır. Gerilimin genliğinin nominal değerin üzerine çıkması durumunda ise reaktör daha yüksek oranda devreye alınarak sistemin endüktif davranması sağlanmakta ve bu sayede gerilimin genliği nominal değerine düşürülmektedir.

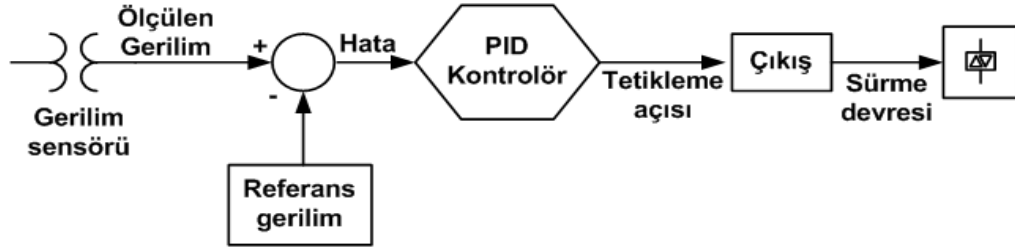
6.1.5 dSPACE Kontrol Ünitesi

Deneysel çalışmalarda kontrolör olarak Şekil 6.5’de görülen dSPACE gömülü kontrol ünitesi kullanılmıştır. Gerilim regülasyonu sağlamak amacı ile geliştirilen kontrol algoritması dSPACE ünitesi sayesinde SVC ünitesine uygulanmıştır.



Şekil 6.5 dSPACE micro autobox kontrol ünitesi

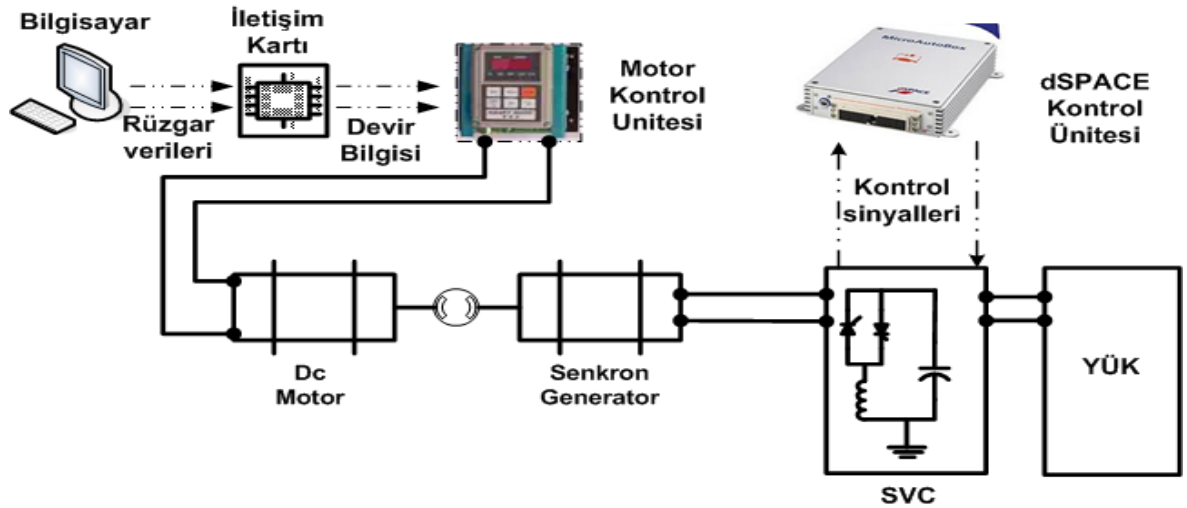
Ölçüm kartından alınan gerilim değeri, dSPACE içine gömülü olan Şekil 6.6’daki algoritma ile kontrol sinyaline dönüştürülür ve bu sinyal sürme devresine iletilerek güç anahtarının tetiklenmesi sağlanır.



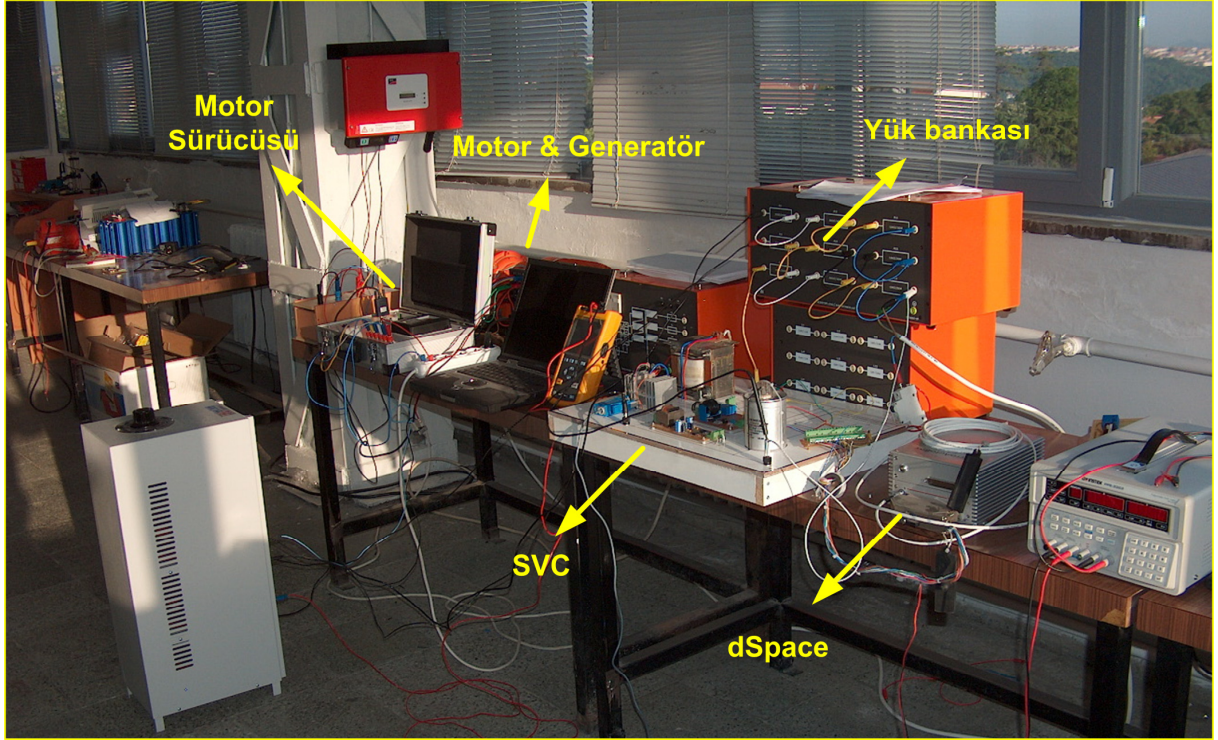
Şekil 6.6 Kontrol algoritması

6.2 Test Platformunun Kurulması ve Testlerin Yapılması

Şekil 6.7’de genel şeması verilmiş test platformunu oluşturacak cihaz, ekipman ve üniteler bir araya getirilerek bağlantı ve montajları tamamlanmış ve Şekil 6.8’de görülen test platformu oluşturulmuştur.



Şekil 6.7 Oluşturulan test platformunun genel şeması



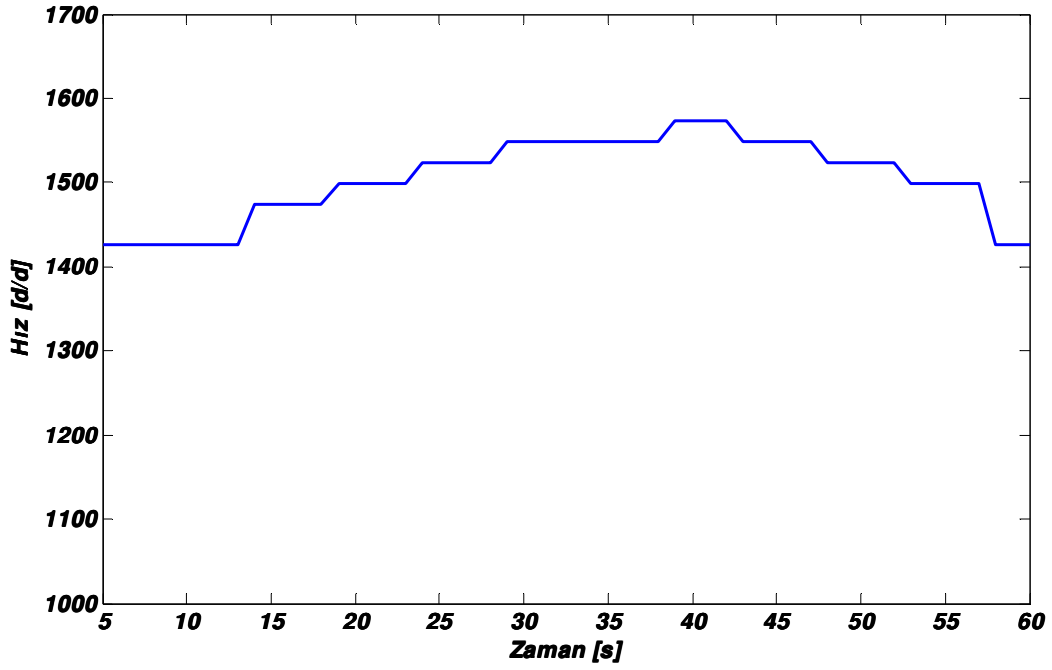
Şekil 6.8 Oluşturulan test platformu

Bilgisayardan girilen değişken rüzgar hızları, DC motor kontrol ünitesine bir iletişim kartı aracılığı ile iletilir. Bu sayede değişken rüzgar hızlarına bağlı olarak DC motorun tahrik ettiği senkron generatörün ürettiği gerilimin genliğinde dalgalanmalar olacaktır. SVC ünitesi ve yükler ise generatör çıkışına bağlanmıştır. Rüzgar hızı ve yüklerdeki değişimlere bağlı olarak gerilimde oluşacak yükselme ve düşmeler SVC'nin üzerinde bulunan ölçüm kartı ile tespit edilerek dSPACE kontrol ünitesine aktarılır. dSPACE kontrol ünitesi ise üzerinde gömülü olan bir PID kontrol algoritması ile gerilimdeki düşme veya yükselmeleri giderecek uygun kontrol sinyallerini üretir. Bu kontrol sinyallerini SVC üzerinde bulunan sürme devresi, tetikleme sinyali olarak güç anahtarına iletir. Bu sayede endüktans akımı kontrol edilerek yük geriliminin nominal değerinde kalması sağlanmış olur.

6.3 Yapılan Deneysel Çalışmalar ve Sonuçları

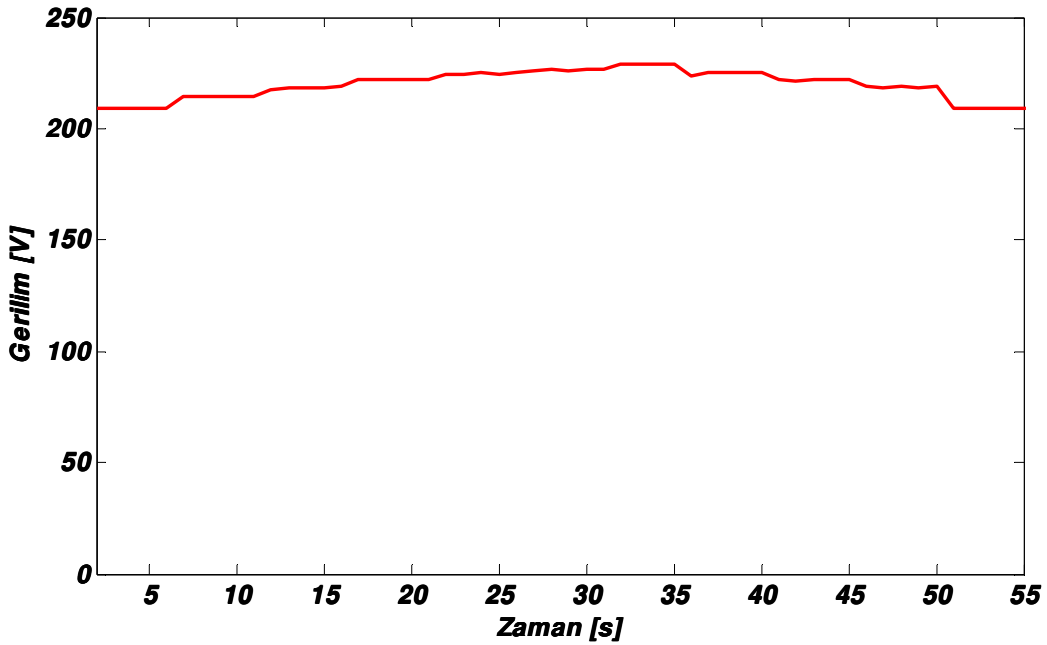
6.3.1 Omik Bir Yükte Değişken Rüzgar Hızı ile SVC'nin Olması ve Olmaması Durumlarının İncelenmesi

Bilgisayardan bir arayüzle değişken rüzgar hızlarına bağlı olarak Şekil 6.9'daki devir bilgileri iletişim kartına aktarılmıştır.



Şekil 6.9 Değişken motor devir bilgileri

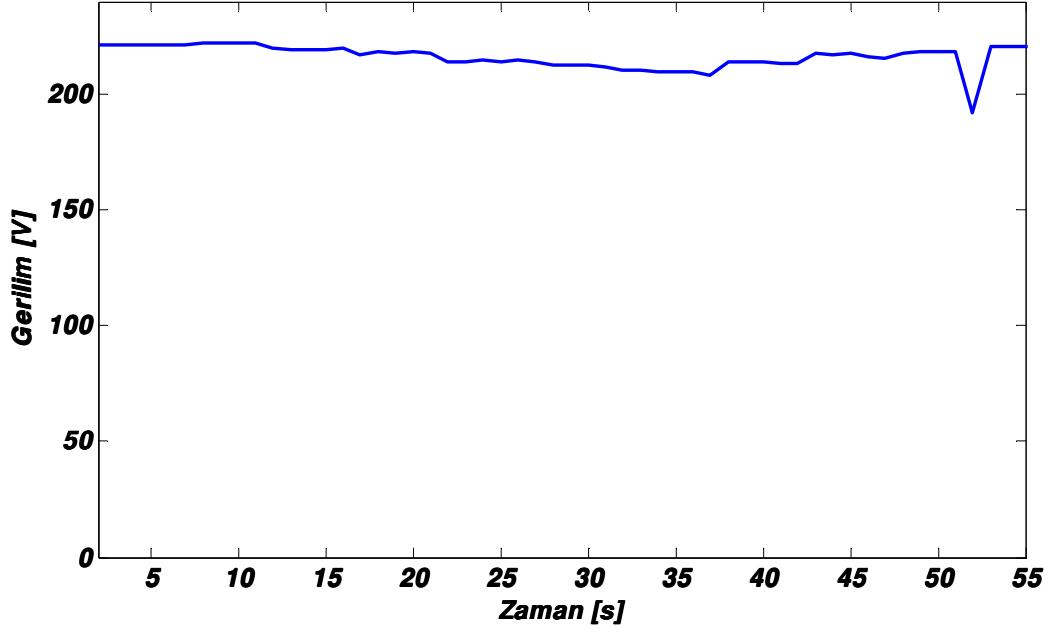
İletişim kartı aracılığı ile DC motor kontrol ünitesine iletilen devir bilgileri DC motorun ve buna bağlı senkron generatörün devrinde değişikliklere sebep olmuştur. Bu nedenle senkron generatörün değişen devrine bağlı olarak ürettiği çıkış geriliminde dalgalanmalar meydana gelmiştir. Bu dalgalanmaların etkisiyle yük gerilimi Şekil 6.10’da görüldüğü gibi değişmiştir.



Şekil 6.10 SVC’nin devrede olmadığı durumda yük uçlarındaki geriliminin değişimi

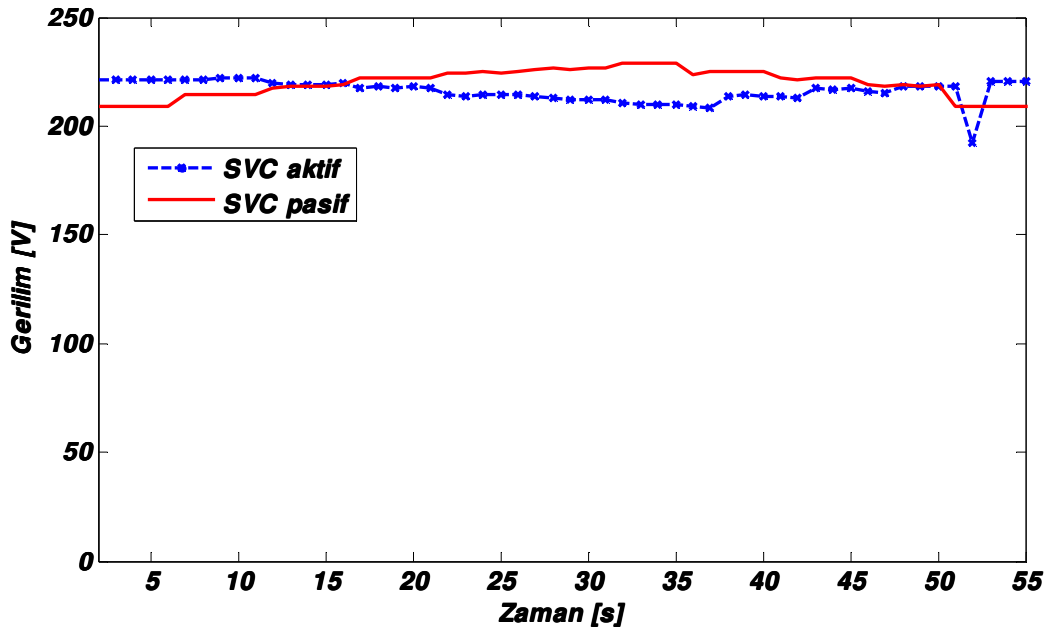
SVC’nin devrede olduğu durumda ise yük gerilimindeki değişim Şekil 6.11’de görüldüğü gibi

önemli derecede azalmıştır. Gerilimdeki dalgalanmaların azaltılması ile enerji kalitesini olumsuz olarak etkileyen etkenler ve özellikle insan sağlığı için zararlı olan fliker etkisi oldukça azaltılabilmektedir.



Şekil 6.11 SVC'nin devrede olduğu durumda yük uçlarındaki geriliminin değişimi

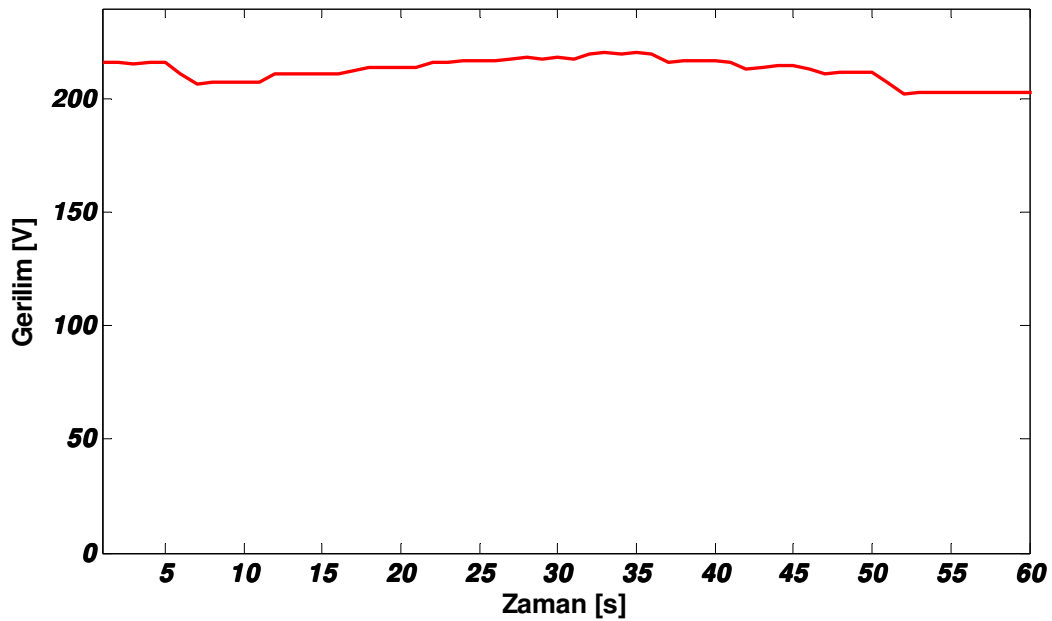
Şekil 6.12'de ise SVC'nin etkisinin daha belirgin olarak gözlemlenebilmesi için iki farklı durum için ölçülen değerler birlikte verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi SVC'nin devrede olmadığı durumda gerilim devirle orantılı olarak geniş bir aralıkta dalgalanmaktadır. SVC ise çok yüksek bir ivme ile değişen devir değerlerine rağmen gerilimi dar bir aralıkta tutmuştur. SVC'nin bulunduğu durumda 51-53 saniyeler arasında sadece bir gerilim çökmesi yaşanmıştır. Gerilimin çökmesine bağlı olarak PID kontrolörün tepki vermesi ile durum düzeltilmiştir. Bu anlık gerilim düşmesi kontrol algoritmasının yüksek gerilimi düşürmeye çalışması ve aynı anda gerilimin hızlı düşüşününün çakışması sonucunda oluşmuştur. Bu durum sadece omik yükte meydana gelmiştir ki şebeke yükleri genellikle omik-endüktif karakteristiktir.



Şekil 6.12 SVC'nin devrede olduğu ve olmadığı durumlardaki gerilim değişimi

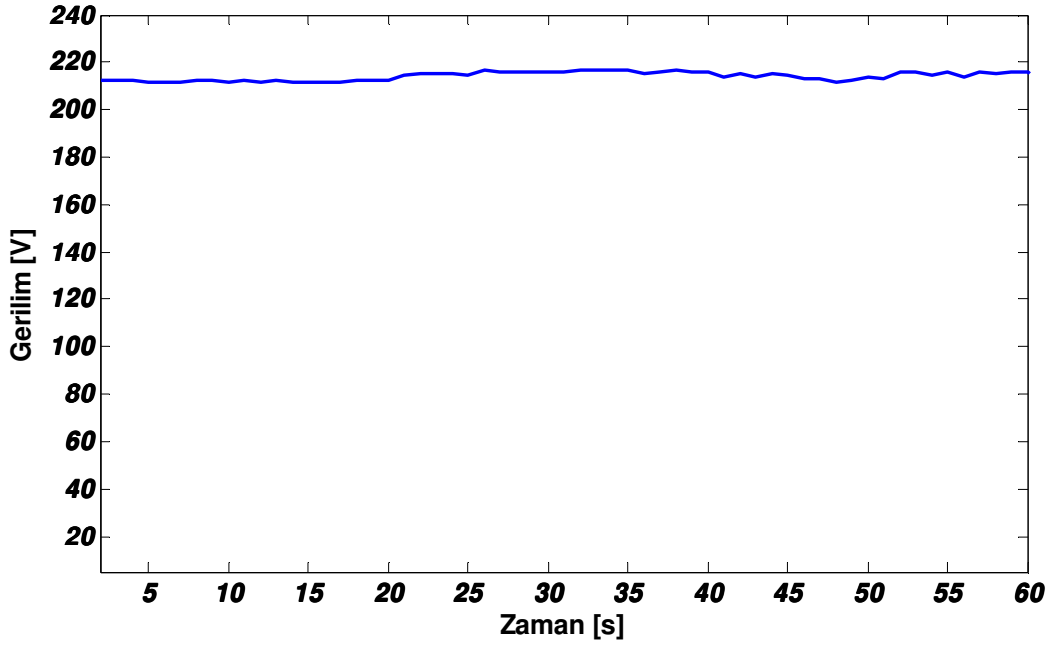
6.3.2 Omik-Endüktif Bir Yükte Değişken Rüzgar Hızı ile SVC'nin Olması ve Olmaması Durumunun İncelenmesi

Omik yükte yapılan işlemler aynı şekilde tekrarlanmıştır. Ancak sisteme yük olarak omik-endüktif bir yük bağlanmıştır. SVC'nin devrede olmadığı durumda rüzgar hızındaki değişimlere bağlı olarak yük uçlarındaki gerilim Şekil 6.13'deki gibi gözlemlenmiştir.



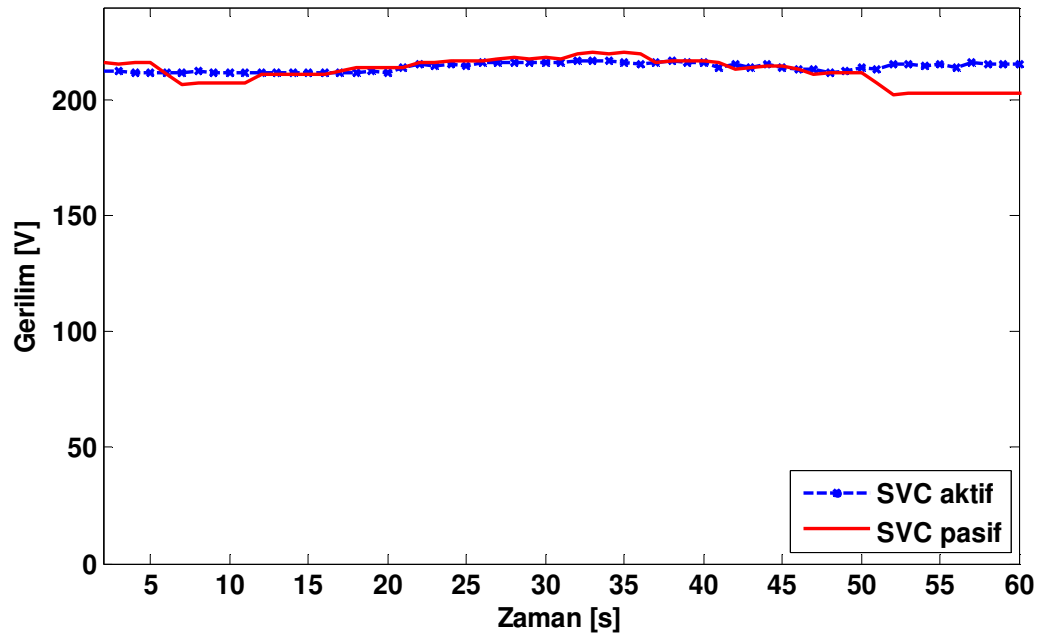
Şekil 6.13 Omik-endüktif yükte SVC'nin devrede olmadığı durumda yük uçlarındaki geriliminin değişimi

SVC devreye alındığında, omik-endüktif yük durumunda da Şekil 6.14'te görüldüğü gibi gerilimdeki dalgalanmalar belirgin derece de azalmış ve SVC'nin gerilim üzerindeki olumlu etkileri gözlemlenmiştir.



Şekil 6.14 Omik-endüktif yükte SVC'nin devrede olduğu durumda yük uçlarındaki geriliminin değişimi

Omik-endüktif yüklü durumda SVC'nin etkisinin daha da belirgin olarak gözlemlenebilmesi amacı ile iki farklı durum için ölçülen değerler Şekil 6.15'te birlikte verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi omik-endüktif yükte SVC gayet başarılı sonuçlar üretmiş ve gerilimi son derece başarılı bir şekilde nominal değerinde regüle etmiştir. Şebekeye bağlı yüklerin büyük oranda omik-endüktif olacağı düşünülürse sistemin gerçek başarısı Şekil 6.15'ten anlaşılabilmektedir.



Şekil 6.15 Omik-endüktif yükte, SVC'nin aktif ve pasif olduğu durumlarda değişken rüzgar hızları için yük geriliminin değişimi

7. SONUÇLAR

Ülkemizde enerji ihtiyacı her yıl artmaktadır ve artan bu ihtiyacı karşılamak için çeşitli kaynaklardan faydalanılmaktadır. Ancak enerji kaynaklarının çevreye olan olumsuz etkileri de göz önüne alındığında yenilenebilir enerji kaynakları daha öne çıkmaktadır. Bu tezin, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar enerjisinin daha etkin bir biçimde kullanılmasına ve enerji çeşitliliğine katkı sağlaması beklenmektedir.

Birleşmiş Milletler gibi dünya üzerinde birçok kurum sera gazı etkisinin azaltılması üzerine çalışmalar yapmaktadır. Sera gazı etkisi gibi çevre üzerine olumsuz etkenleri azaltmak amacıyla fosil yakıt tüketimi azaltılmak istenmektedir. Bu amaçla enerji ihtiyacının mümkün olduğu kadar fosil yakıtlardan karşılanmasını önlemek büyük önem arz etmektedir. Enerji ihtiyacının fosil yakıtlar yerine alternatif enerji kaynaklarından karşılanması ise kimi etkenlerle kısıtlanmaktadır. RS'lerin sayısını kısıtlayan sebeplerden biri de şebeke ile bağlantılarında karşılaşılan gerilim dalgalanmaları problemleridir. Bu tez çalışması ile bu tür kısıtlamaların önüne geçilmesi için bir yöntem önerilmiştir.

Gerekli tedbirler alınıp RS'lerin sağlıklı bir şekilde büyümesi sağlanmazsa, aydınlatma elemanlarının çok kullanıldığı sistemlerde olumsuz etkilere yol açan ve insan sağlığını önemli ölçüde etkileyen fliker oluşmaktadır. Flikerin insanlar üzerindeki etkileri çok sayıda parametreye bağlıdır ve flikerin neden olduğu rahatsızlık derecesi bu parametrelere bağlı olarak artabilir. Hızlı değişimlere sahip bir gerilim tarafından beslenen ışık kaynaklarına uzun süre maruz kalan insanlarda; yorgunluk, baş ağrısı ve migren gibi belirtiler görülebilmektedir. Bu tez ile bu tür olumsuz etkilere dikkat çekerek RS'lerin sağlıklı bir biçimde büyümesine katkıda bulunmak da amaçlanmıştır. Ayrıca, insan sağlığına önem verilerek kaliteli bir elektrik enerjisi üretimine kaynak teşkil etmesi beklenmektedir.

RS'lerin yerel şebekelere bağlanmasıyla şebekeler yerine göre çok ciddi bir şekilde etkilenmektedirler. Aynı zamanda RS'ler de şebekede meydana gelen bozulmalardan etkilenirler. Bu bozulmaların azaltılması RS'lerin geleceği açısından çok önemli bir konu olmuştur ve bu problemlerin giderilmesine yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalar genellikle gerilim üzerindeki bozulmalara yöneliktir. Çünkü tüketicileri ve RS'leri en çok etkileyen sorunlardan birisi de bu durumdur. Yapılan çalışmalar kullanılan SVC sisteminin, kullanım avantajlarından dolayı bu sorunların giderilmesinde pratik yollardan biri olduğunu göstermiştir.

SVC çeşitlerinden olan sabit kondansatörlü tristör kontrollü reaktör sisteminin gerilim

üzerinde olumlu etkileri bulunmaktadır. Bu sorunları asgariye indirebilmek için en iyi, en ekonomik ve en kolay yollardan birisi FACTS cihazlarından olan SVC'nin kullanılmasıdır. Simülasyon çıktılarından da deneysel çalışmalarda da görülmektedir ki SVC ile gerilim değişimleri belli bir aralıkta kontrol edilebilmektedir.

Gelişmiş ülkelerin eski teknoloji artıklarının şebekeye ve insan sağlığına olan muhtemel etkilerinin göz önüne alınmasına sebep olması beklenmektedir. Ayrıca ithal edilecek olan ürünlerin bu yönden incelenmeye tabi tutulmasına ve oluşabilecek sorunların önceden tespitine yarar sağlayacaktır.

RS'ler ile ilgili teknik şartnameler hazırlanırken bu tezin gözden geçirilmesi şartnamelerde istenilen özelliklerin sağlanmasında olumlu etkilere yol açabileceği düşünülmektedir.

RS'ler ne kadar faydalı, çevreye zararsız, işletim maliyeti düşük birer enerji kaynakları olsa da sağlıklı bir şekilde büyümesi halinde, zararları yüzünden kamuoyunun desteğini kaybedebilir ve tepki çekebilir. Ancak sağlıklı bir büyüme ile bu kamuoyu desteği korunabilir. Bu tez ile RS'lerin enerji kalitesine olan zararlarının önlenildiği gösterilerek, kamuoyu desteğinin alınmasına katkı sağlaması beklenmektedir.

Gelecekte, SVC'nin de yetersiz kalması muhtemel olduğu durumlara çözüm üretmek amacı ile STATCOM üzerine çalışmalar yapılarak daha başarılı sonuçlar elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- Akhmatov, V.; (2006) "System stability of large wind power networks: A Danish study case" *Electrical Power and Energy Systems* 28:48-57.
- Alboyaci; B.; Dursun B.; (2008) "Grid Connection Requirements for Wind Turbine Systems in selected Countries -Comparison to Turkey" *Leonardo Energy Electrical Power Quality & Utilization Magazine*, 3:1-15.
- Alegría; I.M.; Andreu, J.; Martín, J.L.; Ibañez P.; Villate, J.L.; Camblong, H.; (2007) "Connection requirements for wind farms: A survey on technical requirements and regulation" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11:1858-1872.
- Baroudi, J.A; Dinavahi, V.; Knight A.M.; (2007) "A review of power converter topologies for wind generators" *Renewable Energy* 32:2369-2385.
- Brightknowledge, 2009, <http://www.brightknowledge.org/projects/live-journals/null2029AR.html>
- Chen, Z.; (2005) "Issues of Connecting Wind Farms into Power Systems" *Transmission and Distribution Conference and Exhibition: Asia and Pacific, 2005 IEEE/PES* 1-6.
- Chen, Z.; Blaabjerg, F.; (2009) "Wind farm—A power source in future power systems" *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13:1288-1300.
- Deutsches Windenergie-Institut GmbH Germany; Tech-wise A/S Denmark; DM Energy United Kingdom; for ENERGIE for EUROPEAN COMMISSION Directorate-General for Energy and Transport (2001) *Wind Turbine Grid Connection and Interaction*.
- Dragonfly-WindTurbine, 2010, "Dragonfly-WindTurbine 2010" <http://www.dragonfly-windturbine.com/>
- DTe; (2007) "Dutch System Code"
- El Moursia, M.; Joosb, G.; (2009) "Optimal tracking secondary voltage control for the DFIG wind turbines and compensator devices" *Electric Power Systems Research* 79:1705-1716.
- Enerji İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, 2008, "Enerji İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, EPDK tarafından kabul edilen rüzgar enerjisi lisans başvuruları 01.11.2007"(http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/ruzgar/Turkiye_RES.html , http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/ruzgar/1Kasim2007_RES_Lisans_Basvuru_EPDK%20.xl).
- Fadaeinedjad, R.; Moschopoulos, G.; Moallem, M.; (2007) "Voltage Sag Impact on Wind

Turbine Tower Vibration” Power Engineering Society General Meeting 2007:1-8.

Ghorashi, A.H.; Murthy, S.S.; Singh, B.P.; Singh, B.; (1994) “Analysis of wind driven grid connected induction generators under unbalanced grid conditions” *Energy Conversion*, 9:217-223.

IEC Standard 61000-4-15, (1997) “Electromagnetic Compatibility (EMC)—Part 4: Testing and measurement techniques— Section 15: Flickermeter—Functional and design specifications”.

Lahaçani, N.A.; Aouzellag, D.; Mendil, B.; (2010) “Contribution to the improvement of voltage profile in electrical network with wind generator using SVC device” *Renewable Energy* 35:243-248.

Larsson, T.; (1998) “Voltage source converters for mitigation of flicker caused by arc furnaces” Ph.D. thesis ISSN 1100_/1631, Royal Institute of Technology.

Li, H.; Chen, Z.; (2008) “Overview of different wind generator systems and their comparisons” *Renewable Power Generation*, IET 2:123 – 138.

Lightfoot, H.D., (2006), “A Strategy for Adequate Future World Energy Supply and Carbon Emission Control”, EIC Climate Change Technology, 10-12 May. 2006, 1 - 10.

Magenn Power Inc, 2009, <http://www.magenn.com/>

Martins, M.; Perdana, A.; Ledesma, P.; Agneholm, E.; Carlson O.; (2007) “Validation of fixed speed wind turbine dynamic models with measured data” *Renewable Energy*, 32:1301-1316.

Morren, J.; de Haan, S. W. H.; (2005) “Ridethrough of Wind Turbines with Doubly-Fed Induction Generator During a Voltage Dip” *IEEE Trans Energy Conv*, 20:435-441.

Muradov, N.Z., Veziroğlu, T.N., (2008), “Green” path from fossil-based to hydrogen economy: An overview of carbon-neutral technologies”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 33:6804-6839.

Qian, Ai; Chenghong, Gu; (2009) “Economic operation of wind farm integrated system considering voltage stability” *Renewable Energy* 34:608-614.

Rabelo, B.C.; Hofmann, W.; da Silva, J.L.; de Oliveira, R.G.; Silva, S.R.; (2009) “Reactive Power Control Design in Doubly Fed Induction Generators for Wind Turbines” *Industrial Electronics*, 56:4154-4162.

- Rodriguez, P.; Timbus, A.; Teodorescu, R.; Liserre, M.; Blaabjerg, F.; (2009) "Reactive Power Control for Improving Wind Turbine System Behavior Under Grid Faults" *Power Electronics*, 24:1798-1801.
- Rodríguez-Amenedo, J.L.; Arnaltes, S.; Rodríguez M.A.; (2008) "Operation and coordinated control of fixed and variable speed wind farms" *Renewable Energy*, 33:406-414.
- Samet, H.; Paniani, M.; (2007) "Predictive Method for Improving SVC Speed in Electric Arc Furnace Compensation" *IEEE Transactions On Power Delivery*, 22:732-734.
- Sannino, A.; Svensson, J.; Larsson, T.; (2003) "Power-electronic solutions to power quality problems" *Electric Power Systems Research* 66:71-82.
- Sorensen, P.; Cutululis, N.A.; Lund, T.; Hansen, A.D.; Sorensen, T.; Hjerrild, J.; Donovan, M.H.; Christensen, L.; Nielsen, H.K.; (2007) "Power Quality Issues on Wind Power Installations in Denmark", *Power Engineering Society General Meeting*, IEEE 1 – 6.
- Sun; Tao; Chen, Z.; Blaabjerg, F.; (2005) "Flicker study on variable speed wind turbines with doubly fed induction generators" *IEEE Trans Energy Conv*, 20:896-905.
- Taşcıkaraoğlu, A., (2008) "Rüzgar Türbinlerinin Elektrik Güç Kalitesi Üzerine Etkilerinin Modellenmesi" *YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- TEİAŞ; (2008) "Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği"
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş.; 2008 "Türkiye Kurulu Gücünün Yıllar İtibariyle Gelişimi (1913-2008)" (<http://www.teias.gov.tr/istatistik2008/index.htm>).
- U.S. Department of Energy, 2008, "Energy Information Administration, World Energy and Economic Outlook" (<http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/world.html>).
- Wang, J.; Fu, C.; Zhang, Y.; (2008) "SVC Control System Based on Instantaneous Reactive Power Theory and Fuzzy PID" *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 55:1658-1665.
- WINDBLATT ENERCON Magazine for wind energy Issue 04 | 2007 www.enercon.de
- Xiangwu, Y.; Venkataramanan, G.; Flannery, P.S.; Yang, W.; (2009) "Evaluation the effect of voltage sags due to grid balance and unbalance faults on DFIG wind turbines" *Sustainable Power Generation and Supply SUPERGEN '09*:1-10.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 18.08.1986

Doğum yeri İstanbul

Lise 1997-2004 Burak Bora Anadolu Lisesi

Lisans 2004-2008 Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurumlar

2009-Devam ediyor YTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Müh.
Bölümü Araştırma Görevlisi